

电子信息行业节能减排先进适用 技术指南

（第一批）

二〇一二年九月

目 录

<电子材料行业篇>	1
第一章 导言	2
1.1 编制目的	2
1.2 适用范围	2
1.3 编制依据	2
1.4 术语及定义	3
第二章 行业资源能源消耗及产排污情况	5
2.1 行业形态	5
2.1.1 行业分类	5
2.1.2 行业概况	5
2.2 硅行业能耗及排污水平	6
2.3 陶瓷材料烧结行业能耗水平	8
2.4 光纤材料行业能耗水平	8
第三章 行业技术现状及发展水平	9
3.1 行业技术结构	9
3.2 行业技术水平	9
3.2.1 硅材料	9
3.2.2 陶瓷材料烧结	20
3.2.3 光纤材料行业	23
3.2.4 其他材料	29
3.2.5 行业技术总结	29
第四章 节能减排先进适用技术	31
4.1 生产过程节能减排技术	32
4.1.1 改进型多晶硅还原炉热能转换技术	32
4.1.2 低温共烧陶瓷（LTCC）技术	35
4.2 资源能源节约与综合利用技术	38
4.2.1 改良西门子法物料回收综合利用技术	38

4.3	节能产品技术.....	42
4.3.1	宽禁带半导体材料.....	42
4.3.2	封装焊接铜线材料.....	50
4.3.3	Sn-Zn-Bi-Cr 合金无铅焊料.....	53
4.4	新技术焦点.....	58
4.4.1	辉钼材料(MoS ₂)技术.....	58
4.4.2	磷酸铁锂电池材料产品节能技术.....	59
<电子元器件行业篇>.....		61
第一章 导言.....		62
1.1	编制目的.....	62
1.2	适用范围.....	62
1.3	编制依据.....	62
1.4	术语及定义.....	63
第二章 行业资源能源消耗及产排污情况		65
2.1	行业类型划分.....	65
2.1.1	产业统计分类.....	65
2.1.2	产业形态分类.....	65
2.2	能源消耗情况.....	65
2.2.1	能源消耗特点.....	65
2.2.2	能源消耗水平.....	66
2.3	资源消耗情况.....	67
2.3.1	资源消耗特点.....	67
2.3.2	资源消耗水平.....	67
2.4	污染物排放情况.....	70
2.4.1	污染物排放特点.....	70
2.4.2	污染物排放水平.....	75
第三章 基础电子元件行业		78
3.1	行业技术发展现状.....	78
3.1.1	行业技术结构.....	78

3.1.2	生产制造过程节能技术.....	80
3.1.3	生产管理控制系统节能技术.....	82
3.1.4	工业设计端和回收端节能技术.....	82
3.2	行业技术水平.....	87
3.2.1	生产过程节能减排技术.....	87
3.2.2	污染物治理技术.....	88
3.2.3	节能产品技术.....	89
3.3	节能减排先进适用技术.....	89
3.3.1	生产过程节能技术.....	89
3.3.2	产品技术.....	101
3.4	新技术焦点.....	115
3.4.1	用于生产高性能电容器的合成碳材料技术.....	115
第四章	印刷电路板行业	120
4.1	行业技术发展现状.....	120
4.1.1	行业技术结构.....	120
4.1.2	生产制造过程节能技术.....	123
4.1.3	生产管理控制系统节能技术.....	123
4.1.4	工业设计端和回收端节能技术.....	126
4.2	行业技术水平.....	129
4.2.1	生产过程节能减排技术.....	130
4.2.2	资源能源节约与综合利用技术.....	130
4.2.3	污染物治理技术.....	131
4.3	节能减排先进适用技术.....	131
4.3.1	能源回收利用技术.....	131
4.3.2	废弃资源回收利用技术.....	135
4.4	工艺技术的优化组合.....	141
4.4.1	覆铜板生产线节能改造.....	141
4.5	新技术焦点.....	144
4.5.1	全印制电子技术.....	144

第五章	半导体器件	146
5.1	行业技术发展现状.....	146
5.1.1	行业技术结构.....	146
5.1.2	节能技术.....	152
5.2	行业技术水平.....	163
5.2.1	生产过程节能减排技术.....	164
5.2.2	资源能源节约与综合利用技术.....	165
5.2.3	污染物治理技术.....	165
5.2.4	节能产品技术.....	166
5.3	节能减排先进适用技术.....	166
5.3.1	工艺替代技术.....	166
5.3.2	产品技术.....	175
5.4	新技术焦点.....	186
5.4.1	概率修剪技术.....	186
5.4.2	新石墨烯晶体管.....	187
<整机装配行业篇>		189
第一章	导言.....	190
1.1	编制目的.....	190
1.2	适用范围.....	190
1.3	编制依据.....	190
1.4	术语及定义.....	191
第二章	行业资源能源消耗及产排污情况	193
2.1	行业类型划分.....	193
2.1.1	微特电机行业细分.....	193
2.1.2	液晶显示器行业细分.....	193
2.1.3	计算机行业细分.....	194
2.1.4	白色家电行业细分.....	195
2.1.5	LED 行业细分	195
2.2	能源消耗情况.....	198

2.2.1	电机的能源消耗情况.....	198
2.2.2	液晶显示器的能源消耗情况.....	199
2.2.3	计算机的能耗情况.....	200
2.2.4	白色家电的能耗情况.....	201
2.2.5	LED 的能耗情况	203
2.3	资源消耗情况.....	206
2.3.1	微特电机的资源消耗情况.....	206
2.3.2	液晶显示器行业资源消耗情况.....	207
2.3.3	计算机行业资源消耗情况.....	211
2.3.4	白色家电行业资源消耗情况.....	211
2.4	污染物排放情况.....	212
2.4.1	液晶显示器行业污染物排放情况.....	212
2.4.2	计算机行业污染物排放情况.....	213
2.4.3	白色家电行业污染物排放情况.....	215
2.4.4	LED 行业污染物排放情况	215
第三章	微特电机行业	220
3.1	行业技术发展现状.....	220
3.1.1	行业技术结构.....	220
3.2	节能减排先进适用技术.....	223
3.2.1	智能变频模块.....	223
3.2.2	无刷直流变频电机.....	225
第四章	液晶显示器行业	227
4.1	行业技术发展现状.....	227
4.1.1	行业技术结构.....	227
4.2	节能减排先进适用技术.....	228
4.2.1	低成本超低功耗待机电源技术.....	228
4.2.2	超低待机和图像内容检测及光感应动态节能技术.....	231
4.2.3	优化背光效率技术.....	233
第五章	计算机行业	235

5.1	行业技术发展现状.....	235
5.1.1	行业技术结构.....	235
5.1.2	行业技术水平.....	237
5.2	节能减排先进适用技术.....	239
5.2.1	刀片服务器节能技术.....	239
第六章	信息家电行业	242
6.1	行业技术现状.....	242
6.1.1	行业技术结构.....	242
6.1.2	行业技术水平.....	242
6.2	节能减排先进适用技术.....	246
6.2.1	蒸发式冷凝器节能技术.....	246
6.2.2	冰箱真空绝热技术.....	249
第七章	LED 行业	253
7.1	行业技术现状.....	253
7.1.1	行业技术结构.....	253
7.1.2	行业技术水平.....	253
7.2	节能减排先进适用技术.....	261
7.2.1	照明用高效智能节电控制器.....	261
7.2.2	LED 照明灯	263
第八章	废电子电器产品回收利用	266
8.1	行业技术发展现状.....	266
8.1.1	行业技术结构.....	267
8.1.2	行业技术水平.....	278
8.2	节能减排先进适用技术.....	280
8.2.1	冰箱发泡剂加压旋风分离技术.....	280
8.2.2	CRT 玻璃回收技术-电热丝切割技术	287
8.2.3	废锌锰电池真空热解技术.....	290
8.2.4	废旧电池有价金属回收技术.....	294
8.2.5	废日光灯回收技术--真空热解技术.....	304

<信息服务行业篇>	313
第一章 导言	314
1.1 编制目的	314
1.2 适用范围	314
1.3 编制依据	314
1.4 术语及定义	314
第二章 行业资源能源消耗及产排污情况	317
2.1 行业类型划分	317
2.1.1 产业统计分类	317
2.1.2 产业形态分类	317
2.2 能源消耗情况	317
2.2.1 能源消耗特点	317
2.2.2 能源消耗水平	319
第三章 行业技术发展现状	321
3.1 行业技术现状	321
3.1.1 行业技术现状	321
3.1.2 行业技术水平	323
第四章 主设备节能技术	332
4.1 分布式基站	332
4.1.1 技术介绍	332
4.1.2 技术发展水平	333
4.1.3 技术适用条件	333
4.1.4 实施建设内容	333
4.1.5 节能减排效果	334
4.1.6 成本效益分析	335
4.1.7 技术推广应用情况	336
4.1.8 技术知识产权情况	336
4.2 多载波基站	337
4.2.1 技术介绍	337

4.2.2	技术发展水平.....	337
4.2.3	技术适用条件.....	339
4.2.4	实施建设内容.....	340
4.2.5	节能减排效果.....	341
4.2.6	成本效益分析.....	342
4.2.7	技术应用情况.....	342
4.2.8	技术知识产权情况.....	343
4.3	室外标准化机柜.....	344
4.3.1	技术介绍.....	344
4.3.2	技术发展水平.....	344
4.3.3	技术适用条件.....	344
4.3.4	实施建设内容.....	345
4.3.5	节能减排效果.....	345
4.3.6	成本效益分析.....	345
4.3.7	技术应用情况.....	345
4.3.8	技术知识产权情况.....	346
第五章	空调及环境节能技术	347
5.1	基站定制空调.....	347
5.1.1	技术介绍.....	347
5.1.2	技术发展水平.....	347
5.1.3	技术适用条件.....	347
5.1.4	实施建设内容.....	348
5.1.5	节能减排效果.....	348
5.1.6	成本效益分析.....	349
5.1.7	技术推广应用情况.....	350
5.1.8	技术知识产权情况.....	350
5.2	智能通风.....	351
5.2.1	技术介绍.....	351
5.2.2	技术适用条件.....	353

5.2.3	实施建设内容.....	354
5.2.4	节能减排效果:	354
5.2.5	成本效益分析:	355
5.2.6	技术推广应用情况.....	355
5.2.7	技术知识产权情况.....	356
5.3	热管换热机组.....	356
5.3.1	技术介绍.....	356
5.3.2	技术发展水平.....	358
5.3.3	技术适用条件.....	358
5.3.4	实施建设内容.....	359
5.3.5	节能减排效果.....	359
5.3.6	成本效益分析.....	359
5.3.7	技术推广应用情况.....	359
5.3.8	技术知识产权情况.....	359
5.4	蓄电池恒温箱.....	360
5.4.1	技术介绍.....	360
5.4.2	技术发展水平.....	361
5.4.3	技术适用条件.....	361
5.4.4	实施建设内容.....	361
5.4.5	节能减排效果.....	363
5.4.6	成本效益分析.....	363
5.4.7	技术推广应用情况.....	363
5.4.8	技术知识产权情况.....	363
5.5	中央空调主机变频技术.....	364
5.5.1	技术介绍.....	364
5.5.2	技术使用水平.....	365
5.5.3	技术适用条件.....	365
5.5.4	实施建设内容.....	366
5.5.5	节能减排效果.....	366

5.5.6	成本效益分析.....	366
5.5.7	技术推广应用情况.....	366
5.5.8	技术知识产权情况.....	368
第六章	供电系统节能技术	369
6.1	高频开关整流器休眠技术.....	369
6.1.1	技术介绍.....	369
6.1.2	技术发展水平.....	370
6.1.3	技术适用条件.....	371
6.1.4	实施建设内容.....	371
6.1.5	节能减排效果.....	372
6.1.6	成本效益分析.....	372
6.1.7	技术推广应用情况.....	372
6.1.8	技术知识产权情况.....	373
6.2	高压直流供电技术（HVDC 供电技术）	373
6.2.1	技术介绍.....	373
6.2.2	技术发展水平.....	374
6.2.3	技术适用条件.....	375
6.2.4	实施建设内容.....	375
6.2.5	节能减排效果.....	377
6.2.6	成本效益分析.....	377
6.2.7	技术推广应用情况.....	384
6.2.8	技术知识产权情况.....	384
第七章	重点关注的新技术	385
7.1	风/光互补供电技术	385
7.1.1	技术介绍.....	385
7.1.2	技术试验示范效果.....	387
7.1.3	技术知识产权.....	387
7.2	燃料电池发电技术.....	388
7.2.1	技术介绍.....	388

7.2.2	技术试验示范效果.....	390
7.3	乙二醇节能技术.....	392
7.3.1	技术介绍.....	392
7.3.2	技术试验示范效果.....	394
7.3.3	技术推广应用情况.....	394
7.3.4	技术知识产权.....	396
<能源管理系统篇>		397
第一章	导言.....	398
1.1	编制目的.....	398
1.2	适用范围.....	398
1.3	编制依据.....	398
第二章	行业资源能源消耗及产排污情况	399
2.1	行业类型划分.....	399
2.2	资源能源消耗情况.....	399
第三章	行业技术现状	401
3.1	行业技术结构.....	401
3.2	行业技术水平.....	403
3.2.1	按系统类别分类.....	404
3.2.2	按行业类别分类.....	405
第四章	节能减排先进适用技术	406
4.1	无功补偿技术.....	406
4.1.1	技术介绍.....	406
4.1.2	技术发展水平.....	407
4.1.3	技术适用条件.....	410
4.1.4	实施建设内容.....	410
4.1.5	节能减排效果.....	411
4.1.6	成本效益分析.....	411
4.1.7	技术应用情况.....	411
4.1.8	技术知识产权情况.....	412

4.2	数字可视化监管平台技术.....	413
4.2.1	技术介绍.....	413
4.2.2	技术发展水平.....	414
4.2.3	技术适用条件.....	418
4.2.4	实施建设内容.....	419
4.2.5	节能减排效果.....	422
4.2.6	成本效益分析.....	422
4.2.7	技术推广应用情况.....	423
4.2.8	技术知识产权情况.....	423

图表目录

图

<电子材料行业篇>

图 2-1 工序流程概况.....	7
图 3-1 改良西门子法工艺流程.....	10
图 3-2 硅烷法生产工艺流程.....	11
图 3-3 流化床法生产工艺流程.....	12
图 3-4 冶金法生产工艺流程.....	13
图 3-5 二氧化硅生长曲线.....	20
图 3-6 化学气相沉积（A）	20
图 3-7 化学气相沉积（B）	21
图 3-8 化学腐蚀.....	21
图 3-9 等离子体刻蚀.....	22
图 3-10 硅熔合键合技术.....	22
图 3-11 光纤制造工艺图.....	30
图 3-12 成缆工艺.....	31
图 4-1 多晶硅生产工艺.....	36
图 4-2 多晶硅炉基本构造图.....	37
图 4-3 多晶硅还原炉工艺流程.....	38
图 4-4 LTCC 工艺流程图.....	41
图 4-5 传统的西门子法生产工艺.....	44
图 4-6 千吨级多晶硅生产过程中节能技术改造流程图.....	44
图 4-7 焊料合金的组合	59
图 4-8 锂电池生产流程.....	64
图 4-9 锂电池示意图.....	64
图 4-10 锂电池技术原理.....	65
图 4-11 辉钼材料实图.....	68

<电子元器件行业篇>

图 2-1 集成电路制造主要生产工序材料消耗与污染物排放示意图.....	83
图 3-1 电容器生产工艺流程.....	89
图 3-2 金属箔电阻典型生产工艺流程.....	90
图 3-3 电子元器件回收再利用流程.....	93
图 3-4 典型的废水回用处理工艺流程.....	95
图 3-5 节能型氮气气氛保护推板窑结构.....	101
图 3-6 辊道窑结构示意图	106
图 3-7 电子膨胀阀系统组成.....	111
图 3-8 电子膨胀阀工作原理图.....	114
图 3-9 电子镇流器基本框架结构图.....	118
图 3-10 高强度气体放电灯用大功率电子镇流器技术原理图.....	120
图 3-11 各种电化学能源之能量比较图	126
图 3-12 单元件双电层电容器工作原理.....	126
图 3-13 从椰子壳中获取的活性碳材料孔洞按尺寸分布热处理后.....	127
图 4-1 PCB 产业链	130
图 4-2 CCL 生产流程.....	131
图 4-3 单面 PCB 生产工艺流程	132
图 4-4 双面 PCB 生产工艺流程	132
图 4-5 多层 PCB 生产工艺流程	133
图 4-6 蓄热式废气处理炉工艺原理图.....	143
图 4-7 完全物理回收法空气分离工艺流程.....	147
图 4-8 瑞典 SR 公司机械处理技术流程.....	147
图 4-9 净化空调系统节电效果.....	153
图 5-1 二极管生产工艺流程.....	157
图 5-2 双极型三极管扩散法生产工艺流程.....	157
图 5-3 晶闸管生产工艺流程.....	158
图 5-4 集成电路制造产业链.....	158
图 5-5 芯片制造基本工艺.....	159

图 5-6 光刻过程操作步骤.....	159
图 5-7 光伏产业链.....	161
图 5-8 集成电路封装生产工艺流程图.....	163
图 5-9 制造各种太阳能电池所必须的电能比较.....	164
图 5-10 集成电路生产含氟废水处理工艺流程.....	168
图 5-11 集成电路制造生产线废水处理工艺流程.....	169
图 5-12 太阳能电池生产过程废水处理流程.....	171
图 5-13 太阳能电池片生产过程中酸性废气处理技术.....	171
图 5-14 太阳能电池片生产过程中 VOC 废气处理技术	172
图 5-15 新风机组+干盘管+FFU 空调方式示意图.....	179
图 5-16 ARM 的 CORTEX A7 架构	190
图 5-17 绝缘栅双极型晶体管结构图.....	193

<整机行业篇>

图 2-1 白色家电分类.....	206
图 2-2 后板制造工艺.....	219
图 2-3 显示板装配工艺和设备.....	220
图 2-4 LCD 回收工艺流程	221
图 2-5 LED 照明工艺流程及排污节点示意图.....	227
图 2-6 LED 生产工艺污染环节示意图.....	230
图 4-1 低成本超低功耗待机电源原理框图.....	239
图 6-1 白色家电产业链图.....	257
图 6-2 蒸发式冷凝器结构原理图.....	261
图 7-1 LED 热管理技术.....	269
图 7-2 室内 LED 灯具二次光学设计	271
图 7-3 自然循环冷却器结构示意图.....	277
图 8-1 电子电气废弃物回收路径.....	284
图 8-2 东芝公司的废旧冰箱回收处理流程.....	286
图 8-3 日本三菱东滨废旧冰箱处理流程.....	286

图 8-4 日本 NKK 公司废旧冰箱处理流程.....	287
图 8-5 德国废旧冰箱处理工艺流程.....	287
图 8-6 瑞典电子废弃物处理基本流程（SRAB）	288
图 8-7 苏格兰环境保护处废旧冰箱处理工艺流程.....	288
图 8-8 国内废旧冰箱处理现状.....	289
图 8-9 德国选矿方法处理废旧冰箱工艺流程.....	300
图 8-10 三菱电机冰箱废发泡聚氨酯绝热材料再生利用示意图.....	302
图 8-11 电热丝切割法流程.....	306
图 8-12 锌锰干电池回收真空处理技术流程.....	308
图 8-13 锂离子电池湿法处理工艺流程图.....	315
图 8-14 盐酸法回收处理锂离子电池工艺流程图.....	316
图 8-15 废旧日光灯粉碎处理系统.....	323
图 8-16 废旧日光灯汞蒸馏回收处理系统.....	323
图 8-17 废弃荧光灯回收处理工艺流程图.....	324
图 8-18 废旧荧光灯直接破碎分离回收系统.....	325
图 8-19 温度对废弃荧光灯玻璃上吸附汞含量的影响.....	326
图 8-20 超临界 CO ₂ 法工艺流程图	327
图 8-21 离心法分离三基色荧光粉工艺流程图.....	328

<信息服务行业篇>

图 2-1 基站机柜耗电结构图.....	336
图 2-2 2010 电力能耗结构（单位：万度）	337
图 3-1 传统基站传热过程.....	342
图 3-2 热管技术.....	343
图 3-3 传热过程优化曲线.....	343
图 4-1 分布式基站与传统基站结构比较.....	351
图 4-2 分布式基站构成	352
图 4-3 GSM 网络技术发展趋势.....	356
图 5-1 基站定制空调节能减排效果.....	368

图 5-2 湖南移动公司使用效果证明.....	369
图 5-3 中国移动通信基站空调机专利证明.....	370
图 5-4 新风系统的基本工作原理.....	371
图 5-5 新风系统的过滤.....	371
图 5-6 热管基本原理.....	376
图 5-7 热管运行原理.....	377
图 5-8 改造系统图.....	386
图 6-1 高频开关整流器工作原理.....	389
图 6-2 HVDC 整流模块原理示意图	392
图 6-3 通信用高压直流供电系统与交流 UPS 供电系统的组成分析	395
图 7-1 风—光互补供电系统.....	404
图 7-2 风—光—柴油混合供电系统原理框图.....	405
图 7-3 氢燃料电池的工作原理.....	407
图 7-4 氢燃料电池供电系统框图.....	408
图 7-5 通信用氢燃料电池发电供电系统.....	409
图 7-6 氢燃料电池供电系统的直流供电与交流供电线路.....	410
图 7-7 乙二醇节能系统结构.....	411
图 7-8 空调、乙二醇节能系统联动工作示意图.....	411
图 7-9 乙二醇机组理论年运行时间柱状图.....	412
图 7-10 乙二醇节能系统翅片盘管安装位置.....	413
图 7-11 哈尔滨年温度曲线图.....	414
图 7-12 哈尔滨某示范站乙二醇节能系统 5 月份一天实测数据.....	414
图 3-1 能源管理系统示意图.....	421

<能源管理系统篇>

图 4-1 SVG 工作原理示意图	426
图 4-2 SVG 等效电路图	429
图 4-3 SVG 结构图	430
图 4-4 数字可视化系统网络结构图.....	433

图 4-5 数字可视化能效监管信息平台结构.....	438
图 4-6 层次结构模型.....	439

表

<电子材料行业篇>

表 2-1 电子信息制造全行业和电子信息产业的单位工业增加值的能耗情况.....	5
表 2-2 单晶硅、多晶硅、人造水晶的产量和综合能耗情况.....	7
表 2-3 各工序的耗水、耗材和排污比例表.....	8
表 3-1 改良西门子法与冶金法比较.....	11
表 3-2 单位(KG)产品能耗、物耗指标对照表（2007）	15
表 3-3 行业技术比例情况.....	19
表 3-4 电子行业陶瓷材料种类.....	20
表 3-5 绝缘陶瓷的介电性能.....	20
表 3-6 国内重点永磁铁氧体企业与 TDK 产品牌号对照表	21
表 3-7 我国永磁铁氧体市场格局.....	21
表 3-8 子材料行业节能技术及水平汇总.....	30
表 4-1 筛选出的电子信息行业节能减排先进适用技术.....	31
表 4-2 国内外多晶硅还原炉技术比较.....	34
表 4-3 无铅合金焊料种类.....	54
表 4-4 无铅焊料的特征.....	57
表 4-5 成本效益分析表.....	60

<电子元器件行业篇>

表 2-1 2006-2008 年规模以上电子元器件工业增加值及综合能耗情况	66
表 2-2 部分 PCB 企业水电单耗统计	68
表 2-3 100W 晶体硅太阳能电池的材料消耗情况（单位：吨）	70
表 2-4 电子元器件生产过程中污染物排放情况.....	70
表 2-5 电子元件制造业苯、甲苯、二甲苯平均排放浓度.....	71
表 2-6 电子元件生产过程中污染物排放.....	71
表 2-7 太阳能电池切片环节的污水产物情况.....	74

表 2-8 太阳能电池及组件生产工艺一般含氟废水产生情况.....	75
表 2-9 太阳能电池及组件生产工艺浓氟废水、废酸液及废碱液产生情况.....	76
表 2-10 太阳能电池及组件生产工艺酸碱废水的产生情况.....	77
表 3-1 基础电子元件行业节能减排技术清单.....	86
表 3-2 基础电子元件生产过程节能减排技术清单.....	87
表 3-3 基础电子元件污染物治理技术清单.....	88
表 3-4 节能产品技术清单	89
表 3-5 江阴长源机械有限公司全自动氮气氛围保护推板窑节能效果比较.....	93
表 3-6 电瓷焙烧窑炉能耗分等表.....	97
表 3-7 汉玉王陶瓷有限公司窑炉节能改造项目实施效果一览表.....	100
表 3-8 电子膨胀阀与毛细管、热力膨胀阀特点比较.....	102
表 3-9 高强度气体放电灯电子镇流器专利技术.....	109
表 3-10 电子镇流器和电感镇流器节能效果比较.....	111
表 3-11 镇流器自身耗电费用比较.....	111
表 3-12 灯泡的使用寿命延长节约的费用.....	111
表 3-13 供电线路电损耗与年费用.....	112
表 3-14 减少初装费用分析.....	112
表 3-15 电感镇流器、电子镇流器年费用对比.....	112
表 3-16 用获取的活性炭材料生产的高性能电容器性能比.....	118
表 4-1 PCB 清洁生产工艺技术和设备统计表.....	124
表 4-2 印刷电路板生产无铅化处理办法.....	125
表 4-3 印刷电路板行业节能减排技术清单.....	128
表 4-4 印刷电路板行业生产过程节能减排技术清单.....	130
表 4-5 资源、能源节约与综合利用技术清单.....	130
表 4-6 污染物治理技术清单.....	131
表 4-7 RTO 废气焚烧炉主要技术指标.....	134
表 4-8 蓄热式废气焚烧炉技术的节能降耗情况（按年产能 2000 万 M ² 计）	134
表 4-9 万容科技处理系统与国内外回收系统的相关参数比较.....	140
表 5-1 芯片晶圆加工工艺.....	149

表 5-2 太阳能电池制造能耗、污染比较.....	151
表 5-3 我国几个洁净室的能耗统计.....	152
表 5-4 国产三代扩散炉技术比较.....	154
表 5-5 半导体器件行业技术清单.....	161
表 5-6 半导体器件行业生产过程节能减排技术清单.....	164
表 5-7 半导体器件行业资源、能源节约与综合利用技术清单.....	165
表 5-8 半导体器件行业污染物治理技术清单.....	165
表 5-9 太阳能电池及组件行业节能产品技术清单.....	166
表 5-10 集成电路旨在各工艺环境控制要求.....	167
表 5-11 FFU 系统关键工艺设备	170
表 5-12 各种不同设计之洁净室耗能比较(单位 KW)	172
表 5-13 低能耗型 FFU 运行成本比较	174
表 5-14 CORTEX A15 与 CORTEX A7 的性能和能耗比较	178
表 5-15 国内部分代表性企业在 IGBT 领域的进展	181

<整机装配行业篇>

表 2-1 LED 照明的应用领域.....	196
表 2-2 LED 产业 2009 年产值.....	197
表 2-3 规模以上计算机相关制造业工业增加值及综合能耗	200
表 2-4 洗衣机能效水平的调查结果.....	202
表 2-5 各种液晶显示器背光源的光源及其特点简单对比介绍.....	204
表 2-6 几种照明光源的性价比.....	205
表 2-7 白光 LED 与前三代照明产品性能对比.....	205
表 2-8 白色家电产品成本结构（典型产品）	212
表 2-9 计算机制造过程中废水处理系统处理情况汇总表.....	213
表 2-10 2005-2007 排污缴费及污水处理运行费用情况汇总表	214
表 2-11 计算机制造过程中废气排放情况汇总表.....	214
表 2-12 主要固废产生及处置情况.....	214
表 2-13 废弃物产生原因.....	215

表 2-14 LED 照明产业污染物排放.....	216
表 2-15 LED 生产过程中使用的主要化学物质及形成的污染物.....	218
表 3-1 世界各国电机能效水平要求及市场比例.....	223
表 3-2 阀门节流控制和电机调速控制情况下电机能耗.....	224
表 4-1 液晶电视控制系统节能效果.....	232
表 5-1 某型号刀片服务器的节能情况.....	240
表 6-1 冰箱节能技术.....	243
表 6-2 某品牌双动力洗衣机技术指标.....	244
表 6-3 三种冷凝方式的制冷系统的能效比较.....	247
表 8-1 电冰箱的材料组成.....	267
表 8-2 废冰箱回收技术清单.....	271
表 8-3 CRT 玻璃回收技术清单.....	273
表 8-4 一次电池回收处理技术清单.....	275
表 8-5 二次充电电池回收处理技术清单.....	275
表 8-6 废弃日光灯回收技术清单.....	277
表 8-7 电子废弃物回收处理技术水平.....	278
表 8-8 废旧镉镍电池火法处理工艺示例.....	295
表 8-9 废旧镉镍电池湿法处理工艺示例.....	296
表 8-10 汞在荧光灯各个组成部分中的分布.....	306

<信息服务行业篇>

表 2-1 中国移动能源消耗情况.....	320
表 3-1 信息技术服务行业节能减排技术清单.....	321
表 3-2 通信基站主设备节能减排技术清单.....	326
表 3-3 空调及环境节能技术清单.....	329
表 3-4 供电系统节能技术清单.....	330
表 4-1 传统宏基站与分布式基站 CAPEX 比较表.....	334
表 4-2 传统宏基站与分布式基站 OPEX 比较表.....	335
表 4-3 分布式基站成本效益比较.....	335

表 4-4 基站技术分布情况.....	336
表 4-5 网络前后 KPI 对比	338
表 4-6 单载波基站和多载波基站技术对比.....	338
表 4-7 多载波基站修改的指标.....	339
表 4-8 3G 网络扩容几种实现方式比较.....	340
表 4-9 传统机房和标准化室外机柜的成本对比表.....	345
表 5-1 移动定制空调主要技术指标.....	348
表 5-2 与同类产品比较节能效果.....	349
表 5-3 基站节能新风系统的主要技术指标.....	354
表 5-4 热管换热机组主要技术指标.....	359
表 6-1 直流输出参数	371
表 6-2 交流输入参数.....	372
表 6-3 新建 40KW（50KVA）IT 设备配套电源系统投资对比表	378
表 6-4 盐城 832 局传输网管、小灵通网管 IT 设备供电系统改造电能实测参数	379
表 6-5 已经在线运行 IT 设备（IP 设备）统计表	379
表 7-1 空调加装乙二醇机组改造对照实测结果.....	396

<能源管理系统篇>

表 3-1 筛选出的能源管理系统节能减排技术清单.....	403
表 3-2 能源管理系统按系统类别节能减排技术清单.....	404
表 3-3 能源管理系统按行业类别分类节能减排技术清单.....	405

<电子材料行业篇>

第一章 导言

1.1 编制目的

电子材料的生产制造是电子信息产业的源头产业,也是我国电子产业中的高耗能产业。目前我国电子材料生产制造比较分散,规模化和技术化都尚未达到国际先进水平,但是由于最大化的市场需求和国际供给,我国当前处于电子材料的资源和生产的大国地位。减少资源能源的消耗和污染物的排放是我国电子材料产业目前面临的重大课题。

从生产制造技术上对电子材料行业进行评估、分析,建立指标体系和模型,对产业能耗和排污进行掌控,对产业发展提供技术应用指导,引导政策扶持方向,有助于健全我国电子信息行业节能减排管理体系,进一步促进绿色生产、绿色经济渗透于国民经济的每一个角落,对社会带来巨大的经济效益和社会效益。

1.2 适用范围

《电子信息行业节能减排技术指南》(电子材料篇)适用于电子信息行业中电子材料生产制造企业技术领域的节能减排工作,包括新建项目的技术选择、已建项目的技术改造等。

1.3 编制依据

中国政府发布了《电子信息产品污染防治管理办法》(中国 RoHS),由此,业界对材料及元件的环保要求越来越高,在电子元件制造领域刮起了一股“绿色旋风”。

本指南是根据行业生产和节能环保的相关法律、法规、技术政策标准等制订的。

- ①中华人民共和国节约能源法;
- ②中华人民共和国环境保护法;
- ③中华人民共和国清洁生产促进法;
- ④《能源中长期发展规划纲要(2004年-2020年)》;
- ⑤《国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》(国发[2011]26号);
- ⑥《电子工业污染物排放标准》

- ⑦《电子废物污染环境防治管理办法》
- ⑧《废弃电器电子产品回收处理管理条例》
- ⑨《清洁生产标准》

1.4 术语及定义

(1) 生产过程节能减排技术：本指南中的“生产过程节能减排技术”是指产品生产过程中降低物耗、能耗、减少污染物产生量的源头削减技术，具体包括低能耗、低污染的新工艺、新技术；原料替代、预处理；过程优化等技术。

生产过程节能减排技术包括如下指标：

物耗能耗：该技术在资源、能源方面的消耗水平（用吨产品消耗量计）。

相对节能量：该技术与其它高耗能技术相比的节能量（用吨产品节能量或百分比计）。

产污情况：该技术的污染物产生情况（用吨产品产生量计）。

相对减排量：该技术与其他高污染技术相比的减排量（用吨产品减排量或百分比计）。

(2) 资源能源节约与综合利用技术：本指南中的“资源能源节约与综合利用技术”是指将企业生产过程中产生的余热、余压、废料、废水等经回收、加工、转化或提取，从而生成新的可被利用的资源、能源或副产品的这样一类技术。具体包括余热余压回收利用技术，高浓度废液处理回用技术、固体废弃物资源化技术等类型。

资源能源回收利用技术包括如下指标：

资源能源回收率：该技术回收的物质的量占废物的比例（用%计）。

节能量：该技术运用后可为企业带来的节能量（用年节能量或百分比计）。

副产品产量：该技术运用后可为企业产生的副产品的量（用年产量计）。

污染物减排量：该技术运用后可为企业带来的污染减排量（用年减排量或百分比计）。

(3) 污染物治理技术：本指南中的“污染物治理技术”是指通过化学、物理或生物等方法，将企业中已经产生的污染物进行削减或消除，从而使企业的污染排放达到环境标准或相关要求的这类技术。具体包括水污染处理技术、大气污染控制技术、固体废物处理处置技术等。

污染末端控制技术包括如下指标：

污染物去除率：（进口浓度-出口浓度）进口浓度（用%计）。

污染物减排量：该技术运用后可为企业削减污染物的量（用年削减量或百分比计）。

污染排放水平：该技术运用后企业的污染排放水平（用浓度计，并与排放标准进行比较）。

（4）技术适用条件：指技术使用中的特定条件限制，如运行规模、对物料的性质（浓度、温度、压力等）的限定、上下游技术间的特定匹配关系、产品技术的使用环境要求等。

（5）成本效益分析：

单位投资：技术总投资/总产能（或总产品）

单位运行费用：技术年运行费用/年产量或产值

净效益：技术产生的年度总效益-年均成本

投资回收期：技术在投入后获得回报的时间期限

（6）技术推广应用情况：

技术普及率：行业内采用该技术的企业数量/企业总量，或行业内采用该技术生产的产品量/产品总量。

产品市场占有率：采用某项节能减排产品技术的产品在市场中所占的份额。

“十二五”预计推广比例：结合技术发展趋势和专家经验估计，预测技术在2015年底的技术普及率或产品市场占有率。

第二章 行业资源能源消耗及产排污情况

2.1 行业形态划分

2.1.1 行业分类

电子材料生产制造是电子信息产业中的耗能大户，主要耗能环节包括多晶硅、单晶硅、人造水晶、铁氧体、电子陶瓷、铝电极箔、光纤、电子玻璃等材料产品的生产制造。该行业涉及面广，产品种类多。

本指南编入了 6 项节能减排先进适用技术，涉及电子陶瓷材料、半导体材料、电子焊材和电池材料等。

表 2-1 电子信息制造全行业和电子信息产业的单位工业增加值的能耗情况

		2006	2007	2008
电子信息产业全行业能耗 (Kg 标煤)		11,280,485,849	14,141,828,872	16,155,190,740
电子信息制造业全行业	工业增加值 (万元)	109,804,414	130,988,834	147,685,263
	单位能耗 (Kg 标煤/万元)	102.73	107.96	109.39

2.1.2 行业概况

1、硅行业

根据耗能情况，硅材料生产主要分为：硅提纯、单晶生长和多晶硅铸锭。

(1) 硅提纯

硅提纯是电子信息产业中的最大耗能点之一。硅提纯有多种方法，当前国内主流工艺是三氯氢硅还原法，也叫改良西门子法，工艺原理包括氧化反应、还原反应。其中，还原工序是最大的耗能点，还原时不仅需要将几十根硅棒加热至 1050℃-1100℃，而且还只有 1/3 的三氯氢硅能还原成硅，剩下 2/3 的三氯氢硅要再送回还原炉，需要再消耗两倍能源才能全部还原。平均下来，我国硅提纯的单位产量能耗为 350kWh/kg。

(2) 单晶生长

电子信息产业使用的单晶材料很多，用量最大的是半导体单晶和压电单晶。半导体单晶有元素单晶（如单晶硅）和化合物单晶（如砷化镓单晶）两类，采用提拉法或区熔法制备。硅单晶的生长需要 1400℃ 的高温，砷化镓单晶的生长需要 1200℃ 的高温。单晶炉的电功率一般都在 100kW 以上，区熔炉的电功率也在

10kW 左右。平均下来，我国单晶生长的单位产量能耗为 300kWh/kg。

（3）多晶硅铸锭

当前，我国光伏产业所使用的硅基片有单晶片也有多晶片，多晶片生产需要将高纯硅料熔铸成一个 200kg-500kg 的硅锭，然后再切割成片。铸锭炉炉温高达 1500℃ 以上，加热功率为 100kW。平均下来，我国多晶硅铸锭的单位产量能耗为 45kWh/kg。

2、陶瓷

陶瓷材料有功能材料和结构材料两大类，常用的功能材料有磁性材料、电介质材料和压电材料，结构材料有各类基片和零件。陶瓷烧结生产技术大同小异，可统称为陶瓷工艺。主要耗能点是烧结，能源种类主要是电能。

3、铝电极箔

尽管片式元器件发展很快，但大电容元件目前还难以片式化，所以铝电解电容器的用量很大，电极箔是其关键材料。电极箔是对光铝箔的一侧表面先行腐蚀，使其表面坑坑洼洼以增大其表面积，然后用电化学方法对腐蚀面改性，生成电介质层，后一过程叫赋能。上述过程需要在容器中连续作业，不仅需要加热电化学反应液，还有腐蚀、赋能需要的高电压和大电流的电能以及铝箔自动传送的电，单台设备电功率在 100kW 数量级。平均下来，我国铝电极箔赋能的单位产量能耗为 200kWh/kg。

4、光纤

光纤生产有两个耗能点：一是采用气相沉积法生产预制棒，使用氢氧做热源，温度高达 1500℃-1900℃，每台设备需要数小时才能生产 1 根预制棒。二是拉制光纤，预制棒在 2000℃ 高温的拉丝炉中熔化拉丝，经涂敷后在固化炉中烘干。平均下来，我国光纤预制、拉丝的单位产量能耗为 0.6kWh/kg。

5、电子玻璃

电子玻璃是平板显示器件的结构零件，生产中主要耗能点是原料熔化，熔化池炉采用柴油或重油火焰加热，温度高达 1500℃。因池炉内玻璃溶液的容量很大，点火后要不停顿地连续生产，因此能耗极高。

2.2 硅行业能耗及排污水平

从 2006 年至 2008 年的部分数据可以看出，该行业的生产情况存在较大的波动性。但总体看来，由于产品的需求量大，产量的扩张速度非常惊人，电子材料生产过程中的能耗随着产品产量的提高而急剧增加。

表 2-2 单晶硅、多晶硅、人造水晶的产量和综合能耗情况

	产量（吨）			单位能耗 (kWh/吨)	综合能耗（亿 kWh）		
	2006	2007	2008		2006	2007	2008
单晶硅	2,235	2,675	9,828	300,000	6.70	8.03	29.49
多晶硅	0	14,460	23,524	395,000	0.00	57.12	92.92
人造水晶	645	995	188	75,000	0.48	0.75	0.14

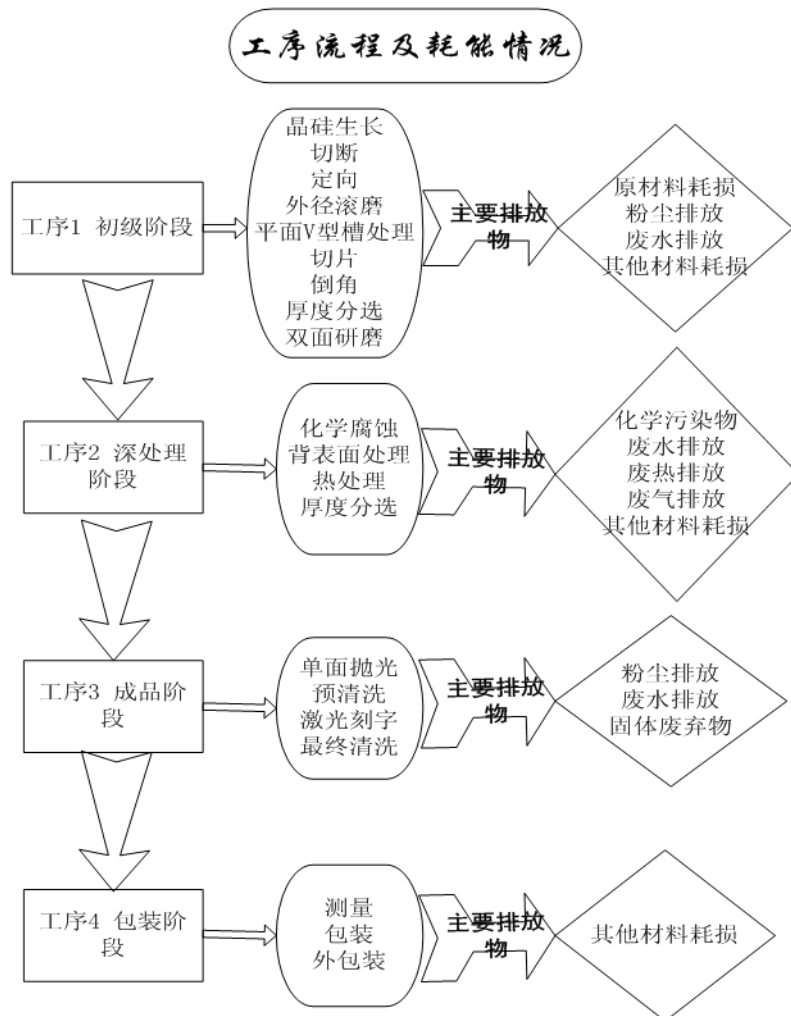


图 2-1 工序流程概况

总体上看硅材料生产行业，其加工过程主要分为四个工序阶段：初级阶段、深处理阶段、成品阶段、包装阶段。

工序 1 初级阶段是：晶硅生长→切断→定向、外径滚磨→平面 V 型槽处理→切片→倒角→厚度分选→双面研磨。

工序 2 深处理阶段：化学腐蚀→背表面处理→热处理→厚度分选。

工序 3 成品阶段：单面抛光→预清洗→激光刻字→最终清洗。

工序 4 包装阶段：测量→包装→外包装。

表 2-3 各工序的耗水、耗材和排污比例表

工序	耗水	原料耗损	污水排放	废热排放	粉尘排放	其他材料耗损
1 初级阶段	12%	≥60%	≤5%	17%	62%	15%
2 深处理阶段	46%	≤10%	55%	48%	7%	45%
3 成品阶段	37%	≥20%	40%	35%	30%	30%
4 包装阶段	5%	≤10%	无	无	1%	10%

注：其他材料耗损主要指：加工工具、环境以及包装材料等。

2.3 陶瓷材料烧结行业能耗水平

铁氧体是磁性材料，俗称黑瓷，烧成温度一般在 1200℃-1400℃之间，烧结窑功率一般在 10kW-100kW 数量级，烧结时间一般为数小时至数十小时。平均下来，我国铁氧体烧结的单位产量能耗为 35kWh/kg。

电子陶瓷俗称白瓷，有电介质、压电等功能材料和基片等结构材料，烧成温度一般在 1200℃-1600℃之间，烧结炉电功率一般在 100kW 数量级，烧结时间一般为数小时至数十小时。由于电子陶瓷的种类很多，因此单位产量能耗差别较大。平均下来，我国电子陶瓷烧结的单位产量能耗为 55kWh/kg。

2.4 光纤材料行业能耗水平

光纤生产有两个耗能点：一是采用气相沉积法生产预制棒，使用氢氧做热源，温度高达 1500℃-1900℃，每台设备需要数小时才能生产 1 根预制棒。二是拉制光纤，预制棒在 2000℃高温的拉丝炉中熔化拉丝，经涂敷后在固化炉中烘干。平均下来，我国光纤预制、拉丝的单位产量能耗为 0.6kWh/kg。

第三章 行业技术现状及发展水平

3.1 行业技术结构

本指南重点对电子材料行业中的几大重点能耗细分行业的技术作了详细的梳理和归类。目前电子材料行业的主要细分行业有：硅材料、陶瓷材料烧结、光纤材料和其他材料等；要技术分类有：生产过程节能减排技术、资源能源节约与综合利用技术和

3.2 行业技术水平

3.2.1 硅材料

3.2.1.1 多晶硅生产

冶金级硅（工业硅）是制造多晶硅的原料，它由石英砂（二氧化硅）在电弧炉中用碳还原而成。尽管二氧化硅矿石在自然界中随处可见，但仅有其中的少数可以用于冶金级硅的制备。一般来说，要求矿石中二氧化硅的含量应该在97%~98%以上，并对各种杂质特别是砷、磷和硫等的含量有严格的限制。冶金硅形成过程的化学反应式为： $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ 。

在用于制造多晶硅的冶金硅中，要求含有99%以上的Si，还含有铁、铝、钙、磷、硼等，它们的含量在百万分之几十到百万分之一千（摩尔分数）不等。而EG硅中的杂质含量应该降到 10^{-9} （摩尔分数）的水平，SOG硅中的杂质含量应该降到 10^{-6} （摩尔分数）的水平。要把冶金硅变成SOG硅或EG硅，显然不可能在保持固态的状态下提纯，而必须把冶金硅变成含硅的气体，先通过分馏与吸附等方法对气体提纯，然后再把高纯的硅源气体通过化学气相沉积（CVD）的方法转化为多晶硅。目前世界上生产制造多晶硅的工艺技术主要有：改良西门子法、硅烷（ SiH_4 ）法、流化床法以及专门生产SOG硅的新工艺。

1、改良西门子法

1955年，西门子公司成功开发了利用氢气还原三氯硅烷（ SiHCl_3 ）在硅芯发热体上沉积硅的工艺技术，并于1957年开始了工业规模的生产，这就是通常所说的西门子法。

在西门子法工艺的基础上，通过增加还原尾气干法回收系统、 SiCl_4 氢化工艺，实现了闭路循环，于是形成了改良西门子法——闭环式 SiHCl_3 氢还原法。

改良西门子法的生产流程是利用氯气和氢气合成 HCl （或外购 HCl ）， HCl 和冶金硅粉在一定温度下合成 SiHCl_3 ，分离精馏提纯后的 SiHCl_3 进入氢还原炉被氢气还原，通过化学气相沉积反应生产高纯多晶硅。具体生产工艺流程见下图。

改良西门子法包括五个主要环节： SiHCl_3 合成、 SiHCl_3 精馏提纯、 SiHCl_3 的氢还原、尾气的回收和 SiCl_4 的氢化分离。该方法通过采用大型还原炉，降低了单位产品的能耗。通过采用 SiCl_4 氢化和尾气干法回收工艺，明显降低了原辅材料的消耗。

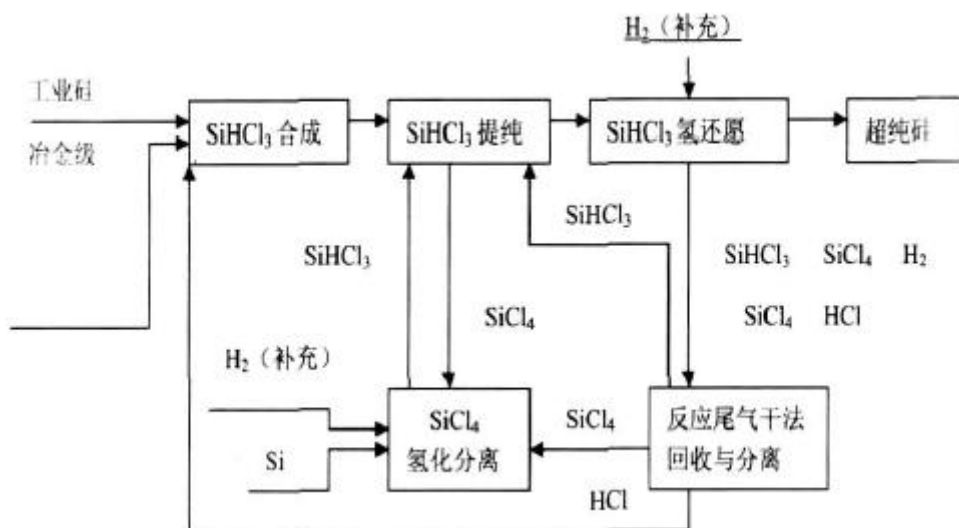


图 3-1 改良西门子法工艺流程

改良西门子法制备的多晶硅纯度高，安全性好，沉积速率为 $8\text{--}10\mu\text{m}/\text{min}$ ，一次通过的转换效率为 $5\%\sim 20\%$ ，相比硅烷法、流化床法，其沉积速率与转换效率是最高的。沉积温度为 1100°C ，仅次于 SiCl_4 （ 1200°C ），所以电耗也较高，为 $120\text{kWh}/\text{kg}$ （还原电耗）。改良西门子法生产多晶硅属于高能耗的产业，其中电力成本约占总成本的 70% 左右。 SiHCl_3 还原时一般不生产硅粉，有利于连续操作。该法制备的多晶硅还具有价格比较低、可同时满足直拉和区熔要求的优点。因此是目前生产多晶硅最为成熟、投资风险最小、最容易扩建的工艺，国内外现有的多晶硅厂大多采用此法生产 SOG 硅与 EG 硅，所生产的多晶硅占当今世界总产量的 $70\text{--}80\%$ 。

2、硅烷法

1956 年，英国标准电讯实验所成功研发出了硅烷（ SiH_4 ）热分解制备多晶硅的方法，即通常所说的硅烷法。1959 年，日本的石冢研究所也同样成功地开发出了该方法。后来，美国联合碳化物公司采用歧化法制备 SiH_4 ，并综合上述工艺且加以改进，便诞生了生产多晶硅的新硅烷法。

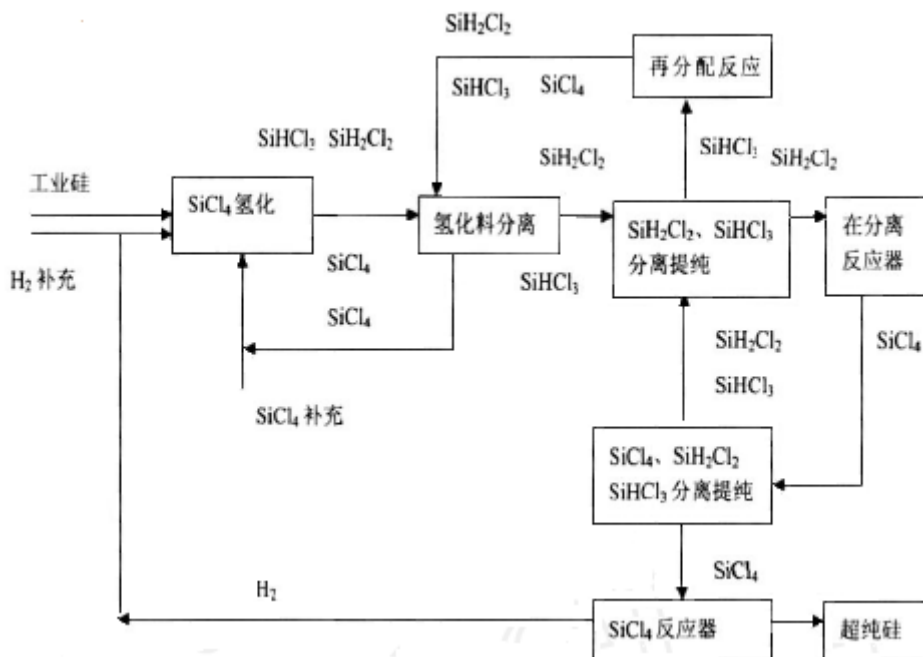


图 3-2 硅烷法生产工艺流程

硅烷法以氟硅酸、钠、铝、氢气为主要原辅材料，通过 SiCl_4 氢化法、硅合金分解法、氢化物还原法、硅的直接氢化法等方法制取 SiH_4 ，然后将 SiH_4 气提纯后通过 SiH_4 热分解生产纯度较高的棒状多晶硅。硅烷法与改良西门子法接近，只是中间产品不同：改良西门子法的中间产品是 SiHCl_3 ；而硅烷法的中间产品是 SiH_4 。硅烷法的具体生产工艺流程见上图。

硅烷法存在成本高、硅烷易爆炸、安全性低的缺点；另外整个过程的总转换效率为 0.3，转换效率低；整个过程要反复加热和冷却，耗能高； SiH_4 分解时容易在气相成核，所以在反应室内生成硅的粉尘，损失达 10%~20%，使硅烷法沉积速率（ $3\mu\text{m}/\text{min} \sim 8\mu\text{m}/\text{min}$ ）仅为西门子法的 1/10。

表 3-1 改良西门子法与冶金法比较

项目	改良西门子法	冶金法
最高纯度	11N	6~7N
能耗	100-160kwh	30 kwh
成本	\$30~40	\$10~20
投资	\$200,000,000	\$30,000,000
建设周期	12~24 个月	6~8 个月
废液废气	环保投资约为 15%	废液废气处理简单

3、流化床法

该方法是以 SiCl_4 （或 SiF_4 ）、 H_2 、 HCl 和冶金硅为原料在高温高压流化床（沸

腾床)内生成 SiHCl_3 , 将 SiHCl_3 再进一步歧化加氢反应生成 SiH_2Cl_2 , 继而生成 SiH_4 气。制得的 SiH_4 气通入加有小颗粒硅粉的流化床反应炉内进行连续热分解反应, 生成粒状多晶硅产品。

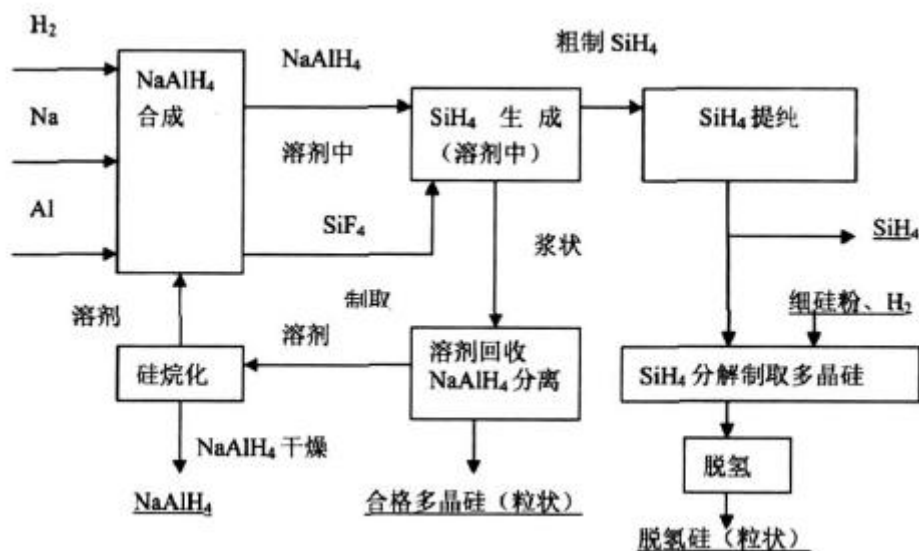


图 3-3 流化床法生产工艺流程

由于在流化床反应炉内参与反应的硅表面积大,故该方法生产效率高、电耗较低、成本低。该方法的缺点是安全性较差,危险性较大;生长速率较低($4\mu\text{m}/\text{min}\sim 6\mu\text{m}/\text{min}$);一次转换效率低,只有 $2\%\sim 10\%$;还原温度高(1200°C),能耗高达 $250\text{kWh}/\text{kg}$,产量低。

4、生产 SOG 硅的新工艺技术

以上三种方法主要定位于 EG 硅的生产, 兼顾 SOG 硅的生产。为了降低 SOG 硅的生产成本, 发展了以太阳能电池用为目的的多晶硅生产新工艺技术。

(1) 冶金法

冶金法的主要工艺是：选择纯度较好的冶金硅进行水平区熔单向凝固成硅锭，除去硅锭中金属杂质聚集的部分和外表部分后，进行粗粉碎与清洗，在等离子体融解炉中去除硼杂质，再进行第二次水平区熔单向凝固成硅锭，之后除去第二次区熔硅锭中金属杂质聚集的部分和外表部分，经粗粉碎与清洗后，在电子束融解炉中去除磷和碳杂质，直接生成 SOG 硅。

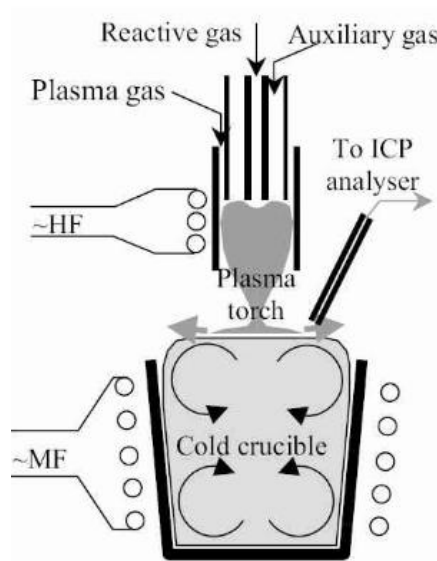


图 3-4 冶金法生产工艺流程

(2) 气液沉积法

主要工艺是：将反应器中的石墨管的温度升高到 1500°C ，流体 SiHCl_3 和 H_2 从石墨管的上部注入，在石墨管内壁 1500°C 高温处反应生成液体状硅，然后滴入底部，降温变成固体的 SOG 硅。

德山公司开发该技术的最初目标是“低成本”，即尽量从三氯硅烷中找到最大沉积率而不是追求纯度，据称其沉积速度大大高于制造 EG 硅所达到的水平。利用 VLD 技术生产的多晶硅不是颗粒状，而是大的结晶块。目前，德山公司已经解决了相关技术上的大部分难题。2005 年，德山公司已建成 200 吨/年的半商业化工厂，2008 年大型商业性工厂产能达到 6800 吨，至今已增长到 7400 吨。

(3) 无氯技术

无氯技术（Chlorine Free Technology）是一种很有发展前途的 SOG 硅制备技术，其原料为冶金级硅。

工艺流程包括在催化剂作用下硅原料与 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 反应生成 $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3\text{H}$ ，反应温度为 280°C ， $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3\text{H}$ 在催化剂作用下又分解为 SiH_4 和 $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ， $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ 水解得到高纯 SiO_2 或硅溶胶， SiH_4 在 $850\text{--}900^{\circ}\text{C}$ 的高温下热解生成多晶硅和氢气。

利用该工艺技术生产 1kg 的多晶硅仅需要 15-30kWh 的能量，硅产量（多晶硅、主要副产品、硅溶胶）可达 80%~90%。

(4) 碳热还原反应法

将高纯石英砂制团后用压块的炭黑在电弧炉中进行还原。炭黑是用热 HCl 浸出过，使其纯度和氧化硅相当，因而其杂质含量得到了大幅度降低。

目前存在的主要问题还是碳的纯度得不到保障，炭黑的来源比较困难。碳热还原法如果能采用较高纯度的木炭、焦煤和 SiO_2 作为原材料，那将非常有发展前景。

（5）铝热还原法

铝热还原法主要利用 CaO-SiO_2 液相助熔剂在 $1600-1700^\circ\text{C}$ 条件下，对石英砂进行铝热还原反应生产多晶硅和氧化铝。这种助熔剂一方面可以溶胶副产物氧化铝，同时又可作为液-液萃取介质。一旦硅被释放出来，因与助熔剂不互融从而被分离开来。由于硅的密度较小，它将浮在上层，经过一段时间后，将其灌入铸模中进行有控制的正常凝固，以便分离分凝系数小的杂质。用这种新的、半连续的工艺能得到比通常冶金级硅纯度高的硅。它具有较低的硼、碳含量，然后将其进行破碎、酸洗和液-气萃取。

此外，采用高纯金属还原硅的卤化物也是一条比较理想的途径。许多研究人员采用不同的高纯还原剂还原硅的卤化物从而得到了纯度较高的 SOG 硅。但到目前为止还没有实现工业化生产。

（6）常压碘化学气相传输净化法

首先，碘与冶金硅反应生成 SiI_4 ，高温下 SiI_4 进一步与冶金硅反应生成 SiI_2 。当原材料 Si 的温度约为 1200°C 、衬底温度为 1000°C 时， SiI_2 很容易分解，此时 Si 的沉积速率将大于 $5\mu\text{m}/\text{min}$ 。再通过以下几种途径可有效剔除冶金硅中的杂质：1) 当 I 与冶金硅初步反应时，碘化物杂质的形成早于或迟于 SiI_4 的生成；2) SiI_4 的循环蒸馏提纯过程将使蒸气压低于 SiI_4 的金属碘化物留在蒸馏塔的顶部，巨大的蒸气压差使它们易于分离开来；3) 在 Si 从 SiI_2 中沉积的过程中，多数金属碘化物的标准生成自由能的负值较大，因而比 SiI_4 和 SiI_2 要稳定的多，且很容易保持为气相，从而在沉积区域不会被重新还原出来。

目前，多晶硅制备技术与工艺主要掌握在美国、日本、德国以及挪威等国家的几个主要生产厂商中，形成技术封锁和垄断，并明确表示不会对我国进行技术转让。为满足社会经济日益发展的需求，国内的多晶硅生产厂家和研发机构也开始加大自主研发的力度，取得了一定的成功。目前国内的几家多晶硅生产单位的扩产，都是采用改良西门子工艺技术。

①改进改良西门子法

国内绝大多数的多晶硅生产厂家均使用改良西门子法生产，但是国外具有成熟技术的大企业拒绝向国内企业转让。1999 年，中国政府从俄罗斯购入“改良西门子法”，放到四川峨嵋半导体厂。但俄罗斯当时的能力也仅限于百吨级产量的技术，没有达到 1000 吨产能的最小经济规模。同时俄罗斯的技术在电能消耗上明显高于国际同行，生产每公斤硅材料耗电量 300 度，而国际水准仅为 100 度。

1999年，四川峨嵋半导体厂与原北京有色设计研究总院在俄罗斯的“改良西门子法”的基础上，共同开发的年产100吨改良西门子法多晶硅工业试验线取得成功，2000年1月通过了专家鉴定。作为国内自行开发的工艺技术，与过去采用的传统技术相比，无论从规模、还是消耗指标上，都有很大进步。

洛阳中硅于2005年10月建成了一条年产300吨多晶硅生产线，技术来自峨嵋半导体厂和原北京有色设计研究总院，并于当年11月投产，2007年扩建到1000吨。年产700吨生产线的产品主要介于EG国标1级品与2级品之间；还原直接电耗为170.59kWh/kg多晶硅（传统电耗为400-500kWh）。2007年12月，河南省多晶硅工程技术研究中心在洛阳中硅挂牌启用，将为国内多晶硅行业研究工作提供国际一流的研究平台，成为我国多晶硅材料及新能源材料生产工艺和装备技术、检测分析技术的重点研发实验基地。

②低成本生产SOG硅的新工艺

太阳能电池用低成本多晶硅的生产工艺技术研究也空前活跃，规模化的生产线也开始建设。

方城迅天宇科技有限公司以中科院技术物理研究所研究人员的核心技术采用物理提纯法（“方城物理法”）生产SOG硅，中试产品纯度已达到6N，生产工艺属国内首创、国际领先。与目前世界上通用的德国西门子化学法相比，电耗可减少三分之二，水耗减少十分之九，生产成本降低六分之五，几乎不对环境造成污染。

锦州新世纪石英玻璃有限公司自主开发高纯石英砂制备SOG硅。将高纯石英砂和提纯的高纯石墨、碳黑或石油胶按比例加入还原炉内还原，生成杂质含量低的硅产品；再将硅在真空熔炼炉中进行真空熔融，按照硅的熔点控制温度，过滤除渣，除去碳、碳化硅及二氧化硅粉杂质，再将熔融状态的硅倒入铸模中，定向凝固，即可得6N级的SOG硅。该工艺优点是：生产一次性投资小、建设周期快、产品纯度高、生产成本低、工艺流程简单、无污染、自动化程度高、适合产业化生产。该技术是将化工生产技术与工业硅冶炼技术的一种有机结合，生产工艺充分利用了化工生产中还原产品的高纯度与冶炼工艺的操作简便性。

表 3-2 单位(kg)产品能耗、物耗指标对照表（2007）

项目	单位	国内	国外
三氯氢硅消耗	Kg/Kg- K	15~18	8
氢气消耗	m ³ /Kg	5~8	0.5~1.2
还原电耗	kwh/Kg	150~200	70-90
硅棒直径	mm	60~130	150-200
硅芯棒数	对	9 或 12	18 或 24

单炉产量	kg	80~1200	3000~6000
单位成本	USD/kg	40~45	28~30
四氯化硅量	Kg/Kg	12~15	0

3.2.1.2 硅单晶/单晶硅生产

硅单晶是由硅原子周期性彼此紧密平行排列在一起的单晶体，是一种半导体材料，它是微电子技术的基石。根据硅单晶中各结晶面(或方向)不同，它分<100>、<110>及<111>三类。硅的物理化学性质在不同晶向有所差异，因此根据器件不同的要求，对材料提出不同的生长方向。多数硅结型器件(如晶体管、集成电路等)，大都采用<111>晶向硅片；对于表面器件如 MOSFET，CCD 等，大都采用<100>晶向。

下面对直拉法(CZ 法)简单介绍。

直拉法，也叫切克劳斯基(J. Czochralski)方法。此法早在 1917 年由切克劳斯基建立的一种晶体生长方法，后来经过很多人的改进，成为现代制备硅单晶的一种主要方法。用直拉法生长单晶的设备和工艺比较简单，容易实现自动控制，生产效率高，易于制备大直径单晶，容易控制单晶中杂质浓度，可以制备低电阻率单晶。据统计，世界上硅单晶的产量中 70%~80%是用直拉法生产的。

利用直拉式晶体生长炉生产硅单晶，主要依靠将普通硅材料进行熔化—重新结晶来完成的。根据硅单晶的结晶规律，制造一个熔化和结晶的环境：将原材料放在坩埚中加热熔化，控制温度比硅单晶的结晶温度略高，确保熔化后的硅材料在熔液表面可以结晶。结晶出来的单晶通过直拉炉的提升系统提出液面，在惰性气体的保护下冷却、成形，最后结晶成一个主体为圆柱体、尾部为圆锥体的晶体。

单晶硅棒加工工序：多晶硅料→选料→酸洗→水洗→烘干→封装检测→投料→单晶拉制→硅棒检测→截断→剖方。

目前国内大多采用 HD 系列硅单晶炉，HD 系列硅单晶炉的炉室采用 3 节设计。上筒和上盖可以上升并向两边转动，便于装料和维护等。炉筒升降支撑采用双立柱设计，提高稳定性。支撑柱安装在炉体支撑平台的上面，便于平台下面设备的维护。炉筒升降采用丝杠提升技术，简便干净。

全自动控制系统采用模块化设计，维护方便，可靠性高，抗干扰性好。双摄像头实时采集晶体直径信息。液面测温确保下籽晶温度和可重复性。炉内温度或加热功率控制方式可选，保证控温精度。质量流量计精确控制氩气流量。高精度真空计结合电动蝶阀实时控制炉内真空度。上称重传感器用于晶棒直径的辅助控制。伺服电机和步进电机的混合使用，即可满足转动所需的扭矩，又可实现转速

的精确控制。

自主产权的控制软件采用视窗平台，操作方便简洁直观。多种曲线和数据交叉分析工具提供了工艺实时监控的平台。完整的工艺设定界面使计算机可以自动完成几乎所有的工艺过程。

加热电源采用绿色纵向 12 脉冲直流电源。比传统直流电源节能近 15%。

特殊的温场设计使晶体提拉速度提高 20%~30%。

3.2.1.3 行业技术例举

(1) 二氧化硅生长

通常用做湿法化学腐蚀的掩蔽材料。在 KOH 溶液中 SiO_2 腐蚀慢，在 EDP 中实际上根本不腐蚀。

氧化物的生长速率强烈依赖于温度。一旦二氧化硅膜的厚度超过几个纳米，速率控制工艺看起来就是氧原子或分子扩散通过正在生长的二氧化硅层。在湿法工艺中，蒸汽加到在炉管中流动的氧气中。加蒸汽的一个标准方法是直接将氧气通过（几乎）沸腾的去离子水。

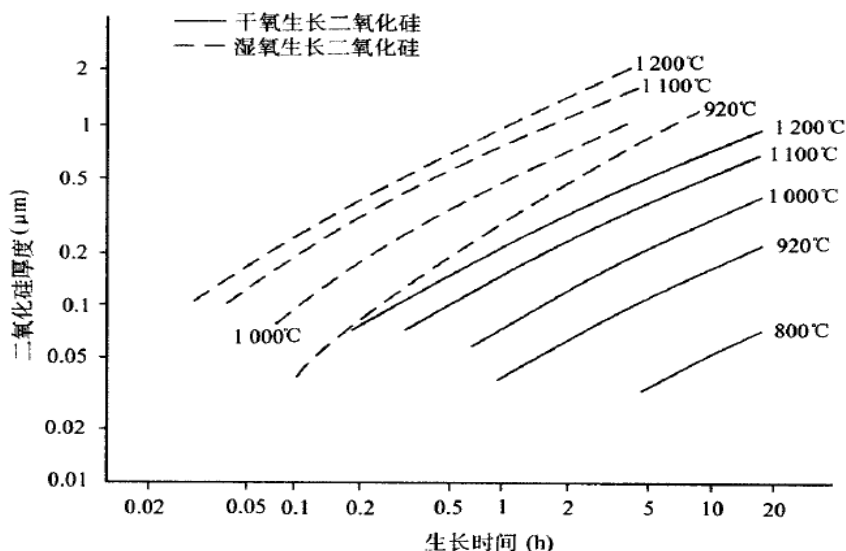


图 3-5 二氧化硅生长曲线

(2) 化学汽相淀积

化学汽相淀积（CVD）在微机械加工工艺中是一个非常重要的淀积方法。引人注目的材料是以多晶形式出现的硅（“多晶硅”，甚至简称“多晶”）、氮化硅和磷硅玻璃（PSG），后者主要在表面机械加工工艺中被用做牺牲层，而前两者常被用做结构材料。多晶具有与单晶硅相近的特性，而氮化硅是一种非常硬、化学性质不活泼、强而比较脆、具有非常低的热导率的材料。

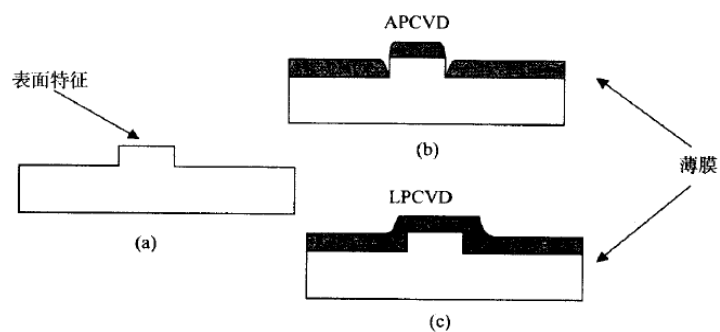


图 3-6 化学气相沉积 (a)

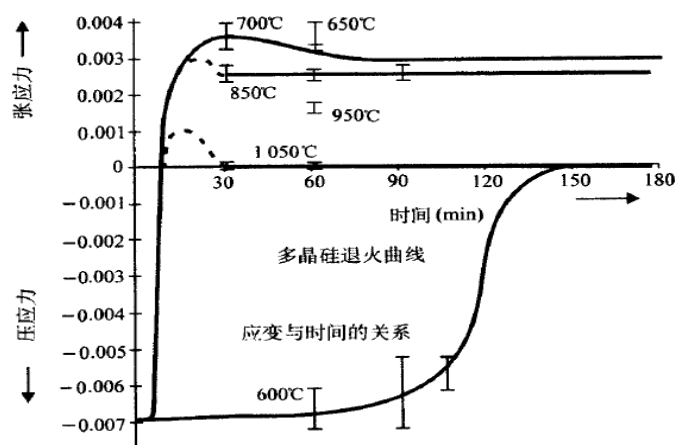


图 3-7 化学气相沉积 (b)

(3) 其他工艺

在传统意义上的硅材料及产品的加工生产有很多工艺,同时也包括很多先进的工艺技术,如化学腐蚀、圆片键合、刻蚀等。

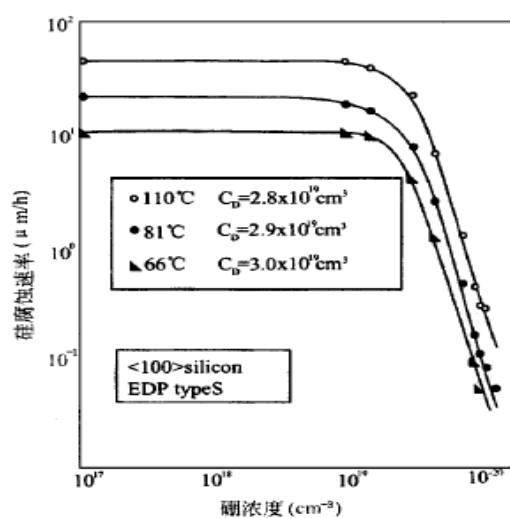


图 3-8 化学腐蚀

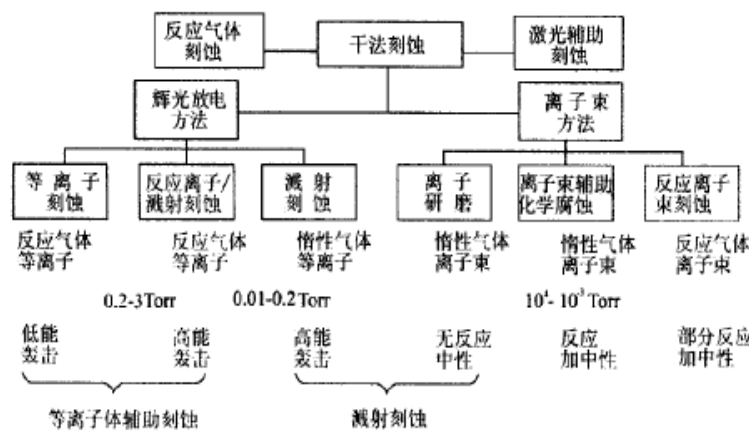


图 3-9 等离子体刻蚀

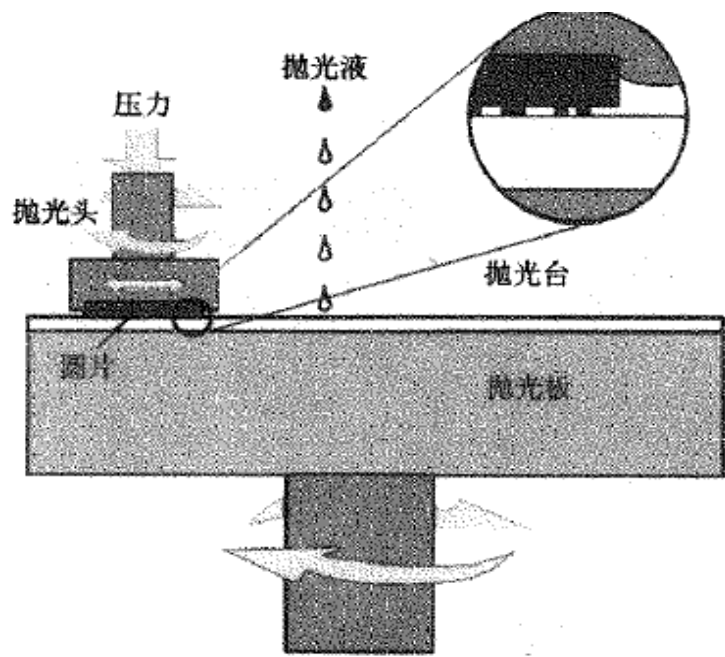


图 3-10 硅熔合键合技术

3.2.1.4 技术市场比例

在这些传统工艺技术和先进适用技术结合的生产加工工艺中，各种技术在现有市场所占的份额（技术普及率）和行业整体技术水平和未来的发展趋势如下表所示。

表 3-3 行业技术比例情况

	加工工艺	技术创新、设计与改造
传统工艺技术	60%	40%
先进适用技术	40%	60%
回收利用技术	30%	70%

3.2.2 陶瓷材料烧结

3.2.2.1 陶瓷材料的种类

陶瓷是人类最早利用自然界所提供的原料进行加工制造而成的材料。陶瓷原来大多指陶瓷器皿、玻璃、水泥和耐火砖之类人们所熟悉的材料，它们是用无机原料经热处理后的“陶瓷器”制品的总称。这些陶瓷器即使在高温下仍保持坚硬、不燃、不生锈，能承受光照或加压和通电，具有许多优良性能。

相对于这种用天然无机物烧结的传统陶瓷，以精制的高纯天然无机物或人工合成无机化合物为原料，采用精密控制的制造加工工艺烧结，具有独特性能的高功能陶瓷称为新型陶瓷或精细陶瓷。

表 3-4 电子行业陶瓷材料种类

种类	典型材料及形态	重要应用示例
绝缘陶瓷	Al_2O_3 、 AlN 、 BeO (薄片、膜状多层、条状或异形体)	集成电路(IC)衬底、微波大功率器件散热支撑件、多芯片组装(MCM)用基板及封装
介质陶瓷	BaTiO_3 、 $(\text{MgCa})\text{TiO}_3$ 、(薄片、膜状多层)	高比容电容器、射频高功率电容器、抗电磁干扰滤波器，微波射频技术
压电陶瓷	$\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ 、 PbTiO_3 (经极化的烧结体或薄膜)	铁电阴极、非易失性抗辐射铁电随机存储器(FRAM)

3.2.2.2 陶瓷材料的应用

一般而言，绝缘陶瓷是粉体原料经过成型和烧结而得到的多相多晶材料。

在当今世界上，每年要制造数百亿件质量相当高的集成电路，其中约 20% 要采用精密绝缘陶瓷基片。

在计算机集成电路中采用多层绝缘陶瓷基片与封装材料可以使高速计算机的工作效率翻番，其价值超过了陶瓷自身所具价值的成千上万倍。

正因为精密绝缘陶瓷对各种电子装置运行性能的改善有如此巨大的功效，所以对它们的研究开发尤为必要。

目前应用的主要有氮化物陶瓷，如 Si_3N_4 、 BN 、 AlN 等。

除多晶陶瓷外，近年来又发展了单晶绝缘陶瓷，如人工合成云母、人造蓝宝石、尖晶石、氧化铍及石英等。

表 3-5 绝缘陶瓷的介电性能

材料	$\text{tg}\delta/1\text{MHz}$, 室温	$\epsilon'/1\text{MHz}$, 室温	$\text{DS}/\text{kV}\cdot\text{mm}^{-1}$	$\rho/\Omega\cdot\text{cm}$, 25℃
滑石瓷	0.0008-0.0035	5.9-6.1	7.9-13.8	1017
镁橄榄石瓷	0.0004-0.001	5.8-6.7	7.9-11.9	1017

堇青石瓷	0.003-0.007	4.1-5.4	5.5-9.1	1016
Al ₂ O ₃ 瓷	0.0003-0.002	8.2-10.2	9.9-15.8	1016
尖晶石瓷	0.0004	7.5	11.9	1014
莫来石瓷	0.004-0.005	6.2-6.8	7.8	1014

3.2.2.3 磁性材料烧结工艺

永磁铁氧体是以 SrO 或 BaO 及 Fe 为原料，通过陶瓷工艺（预烧、破碎、制粉、压制成型、烧结和磨加工）制造而成，具有宽磁滞回线、高矫顽力、高剩磁，一经磁化即能保持恒定磁性的功能性材料。按生产工艺不同，将永磁铁氧体分为烧结和粘结两种，其中烧结又分为干压成型和湿压成型，粘结分为挤出成型、压制成型和注射成型。由粘结铁氧体料粉与合成橡胶复合而制成的具有柔软性、弹性及可扭曲的磁体又被称做橡胶磁。根据成型时是否外加磁场则分为各向同性永磁体和各向异性永磁体。

随着电子设备的小型化、轻型化、薄型化技术的发展，对永磁铁氧体器件的体积、重量、性能有着越来越高的要求。特别是汽车、摩托车、微机工业的飞速发展，刺激了对永磁铁氧体的需求。近年来中高档市场不断扩大，需求量不断增加，在磁性能上也有较高的要求，所以高性能烧结永磁铁氧体的研制与工业化大生产在我国有着十分重要的意义。

表 3-6 国内重点永磁铁氧体企业与 TDK 产品牌号对照表

序号	TDK	横店东磁	江粉磁材
1	FB6	DM4040、DM4240等	JMP-5、JMP-6
2	FB9	DM4350、DM4545等	JMP-7
3	FB12	/	JMP-8(研发中)

表 3-7 我国永磁铁氧体市场格局

省市地区	企业数	产量比例
浙江、江苏长三角地区	约 100 家	56%以上
广东、广西、湖南、福建、海南华南地区	约 20 家	20%
北京、天津、河北、吉林、辽宁等华北地区	约 15 家	5%
山东、山西	约 10 家	5%
陕西、河南、湖北、安徽	约 20 家	6%
四川、重庆、贵州等西部地区	约 30 家	8%

注：数据来源《国家统计年鉴 2009》

（1）预烧料的指标

生产高档磁体首先必须有高性能磁粉。衡量磁粉性能指标，常采用比饱和磁化强度 δ^2 、 Fe^{2+} 含量。 δ^2 越高， Fe^{2+} 含量越低，表征预烧料质量越好 Br 、 Hcb 、 Hcj 、 $(\text{BH})_{\text{max}}$ ，很多厂家常采用此方法。四个参数越高，样品性能越好，表征预烧料性能越好。

（2）预烧料的原材料及配方的选择

原材料的纯度及含杂情况、颗粒度、比表面积、松装密度等物理性能直接影响预烧料的性能。因此，生产高性能永磁铁氧体磁粉须用优质的铁红和碳酸锶。此外，原材料的混合是否均匀，预烧料的固相反应是否完全，也直接影响预烧料的质量水平。马鞍山高科公司从美国全套引进具有国际先进水平的磁粉生产线，采用高纯铁红($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 99.3\%$ ，粒度 $< 0.8\mu\text{m}$)，优质 SrCO_3 (含量 $> 97.5\%$ ，粒度 $< 1.1\mu\text{m}$)，用湿法工艺生产的预烧料，性能达到美国 MMPA 标准中 C_{11} 、 C_{12} ，TDK FB5-FB6 系列水平，且一致性好。目前大量出口到日本、欧美等国，受到用户的好评。

生产高性能预烧料一次配方是关键。锶铁氧体正分配方应是 Fe_2O_3 与 SrO 的摩尔比为 $n=6$ ， $n < 6$ 时过剩的 SrO 促进铁氧体固相反应，导致晶粒长大，但国外资料报道 $n > 6$ 时也能生产出高 Br 产品。

（3）二次球磨工艺

首先将高性能预烧球料通过粗粉碎磨至 $3\mu\text{m} - 5\mu\text{m}$ 。

产品磁性能不仅与平均粒度有关，而且与粒度分布有关。相比普通档次的产品来说，高性能料粉一般粒径要求控制在 $0.7\mu\text{m} - 0.8\mu\text{m}$ ，且呈正态分布。要想获得高性能产品，除了有高性能料粉，二次球磨工艺的粒度及其分布也是至关重要的。

（4）烧结工艺及设备

烧结也是生产高性能产品的关键工序之一。高性能产品对烧结温度和烧结气氛都有特别的要求。在烧结过程中，特别在高温 1000°C 以上，窑炉中的含氧量与升温速率、高温区的温度及保温时间、降温速率对产品磁性能有着直接的影响。若烧结温度太低或保温时间过短，则固相反应不完全，晶体生长不完全，气孔多，产品的磁性能就不好。若烧结温度过高或保温时间过长，则会导致异常晶粒生长，使产品磁性能恶化。只有当烧结温度适当时，晶粒细而均匀，气孔呈球形，产品密度高，性能就高。另外在烧结过程中会发生相变反应，如氧气充足会形成纯 M 相铁氧体；如在还原性气氛中或缺氧状态下会产生其它中间相变，如生成 W 型铁氧体 $\text{SrFe}_{18}\text{O}_{27}$ ，从而影响产品 Hc 。所以确保在氧气充足的气氛下烧结，是生产高性能永磁铁氧体的重要条件。

高性能永磁铁氧体烧结温区要窄一些，气氛要求较严，这就要有先进的烧结设备来保证。一般煤窑控温效果差，温差大，不易生产高性能产品。全自动辊道推板电气隧道窑、全自动辊道窑控温精度高，而且烧结气氛易控制，满足高性能连续大生产工艺条件。

3.2.3 光纤材料行业

光纤是当今通信时代的重要介质基础之一，信息化节能、绿色信息化同样离不开光纤材料的生产节能技术的提高。

光纤的问世，拉开了光纤通信的序幕。与此同时，计算机和互联网日益普及，又大大地刺激人们对信息交换的需求。正是光纤、激光器、系统设备、计算机、互联网共同构筑的通信平台创造出了一个崭新的信息时代。

3.2.3.1 光纤材料性能

当今，光纤制造技术日趋完善，再加上器件和系统的飞速发展带来了光纤品种不断推陈出新，特别是网络业务呈指数式增长势态，使得光纤网带宽每 6-9 月就可翻一番。为切实满足网络业务高速发展的需要，光纤通信业内的科研工作者不懈地努力开发新光纤、新器件、新系统来实现高速率、大容量、远距离光纤通信。正是高速率、大容量、远距离光纤通信促使光纤的性能研究由最初的衰减、色散转向非线性效应、偏振模色散、色散斜率、色散绝对值大小。与之相应的推出了一个供不同光纤通信系统选用的光纤系列，如：G.651、G.652、G.653、G.654、G.655、色散补偿光纤等。

光纤业内人士熟知光纤通信系统发展初期，传输距离短、传输速率低、传输容量小，故系统对光纤性能的要求仅仅停留在“衰减”一个性能上，与之适应的光纤为 G.651 光纤。通信系统发展中期，传输距离延长、传输速率提高、传输容量增大，这时系统对光纤性能的要求就由“衰减”一个性能指标转向“低衰减”、“高带宽”2 个性能，从而诞生了 G.652 光纤。G.652 光纤因其在 1310nm 波段上具有零色散（高带宽）、低衰减特点，但在 1550nm 波段色散大约为 18ps/(nm.km)，限制了其在 1550nm 波段传输宽带和传输距离。人们通过改变光纤的折射率分布来改变波导色散，从而使光纤的总色散在 1550nm 波长上为零，这样便研究开发出了在 1550nm 波长上兼有最低衰减和最大宽带的 G.653 光纤。正是跨洋海底光缆线路需要用极低衰减的光纤，人们又开发出了衰减极小的 G.654 光纤。G.654 光纤是一种截止波长大于 1310nm，专门用于 1550nm 波段（衰减最小窗口）的海底光纤通信系统用光纤。今天正逢光纤通信发展的盛世，为实现超长传输距离、超高传输速率、超大容量传输发展需要用掺铒光纤放大器来延长传输距离，用波分复用技术来增大传输容量，用时分复用技术来提高传输速率。这样，在用掺铒

光纤放大器和波分复用，甚至密集波分复用相结合的高速率、大容量、远距离光纤通信线路中，大功率的激光光源和低衰减单模光纤的使用，使光纤芯内光强度很高，低衰减使高光强连续传输很长距离。然而光场和光纤介质相互作用产生非线性效应变得十分显著。光纤的非线性效应会损伤系统传输信号质量，引起数字信号误码和模拟信号畸变。在光纤放大器的使用波长（1530~1565nm）上，采用波分复用或密集波分复用的光纤通信系统中，减少光纤非线性效应的办法，有增大光纤有效受光面积和在 1530~1565nm 波段中引入一定的色散值等措施。减小光纤偏振模色散的方法是保证所生产的光纤纤芯截面为理想圆和避免光纤遭受内、外应力作用。这样，人们又开发出了 G.655 光纤。毫无疑问，当前在不断发展的时分复用、波分复用、掺铒光纤放大器组成的光纤通信系统中，G.655 光纤是最佳传输介质的理想选择。2000 年，信息产业部武汉邮电研究院参照 ITU-T 有关单模光纤的最新建议，起草了单模光纤系列的最新国家标准，如：GB/T9771.1《非色散位移单模光纤特性》（G.652A、G.652B）；GB/T9771.3《波长段扩展的非色散位移单模光纤特性》（G.652C）；GB/T9771.4《色散位移单模光纤特性》（G.653）；GB/T9771.2《截止波长位移单模光纤特性》（G.654）；GB/T9771.5《非零色散位移单模光纤特性》（G.655A、G.655B）。

3.2.3.2 光纤材料的种类及应用

光纤的选用，应就其承担的业务综合考虑其传输容量、传输距离、系统传输质量要求等因素，力求选用的光纤能考虑到近期的业务量，同时要兼顾业务中、远期发展，还要能获得良好的性能价格比。为此，我们有必要在充分了解各种光纤特点和性能的基础上，根据系统的传输特点对所用的光纤能做出合理的选择。

1、多模光纤

与单模光纤相比，多模光纤芯径大，便于接续；但其衰减系数大，带宽小，故目前多模光纤只适用于短距离、小用量的数据和模拟光信息传输。

2、单模光纤

（1）G.652 光纤。G.652 光纤特点是零色散波长在 $1.31\mu\text{m}$ ，故其被称为常规单模光纤或非色散位移单模光纤。G.652 光纤在 $1.31\mu\text{m}$ 处衰减系数为 0.35dB/km 左右，在 $1.55\mu\text{m}$ 处衰减系数为 0.20dB/km 左右，但 $1.55\mu\text{m}$ 处的色散系数大约为 $17\text{--}20\text{ps/km.nm}$ ，从而限制了其在工作波长为 1550nm 系统中的传输速率和传输距离。

（2）G.653 光纤。G.653 光纤特点是零色散波长由 G.652 光纤的 $1.31\mu\text{m}$ 移到 $1.55\mu\text{m}$ 制得的光纤，故其称为色散位移光纤。G.653 光纤同时实现了 $1.55\mu\text{m}$ 窗口的低衰减系数和小色散系数。但是当其用于带有掺铒光纤放大器的波分复用

系统中时，由于光纤芯中的光功率密度过大产生了非线性效应，限制了 G.653 光纤在单信道速率 10Gbit/s 以上波分复用或密集波分复用系统中的应用。

(3)G.655 光纤。G.655 光纤特点是在 1.530 μ m -1.565 μ m 波长区为非零色散，故其称为非零色散位移光纤。G.655 光纤解决 G.653 光纤在单信道速率 10Gbit/s 以上波分复用中出现的非线性效应，特别是四波混频，所以其在 10Gbit/s 以上波分复用或密集波分复用的高速率、大容量、远距离光纤传输系统中得到极为广泛地应用。

当今，消费者选用光纤主要是依据光纤的光传输性能（如衰减、色散、偏振模色散、非线性效应）、系统单信道速率、传输距离，是否采用波分复用或密集波分复用或稀疏波分复用等因素综合考虑。

3.2.3.3 光纤材料制造技术

通信用光纤大多数是由石英玻璃材料组成的。光纤的制造要经历光纤预制棒制备、光纤拉丝等具体的工艺步骤。最常使用的工艺是两步法：第一步采用四种气相沉积工艺，即：外气相沉积（Outside Vapour Deposition-OVD）、轴向气相沉积（Vapour Axial Deposition-VAD）、改进的化学气相沉积（Modified Chemical Vapour Deposition-MCVD）、等离子化学气相沉积（Plasma Chemical Vapour Deposition-PCVD）中的任一工艺来生产光纤预制棒的芯棒；第二步是在气相沉积获得的芯棒上施加外包层制成大光纤预制棒。值得强调的是，光纤预制棒的光学特性主要取决于芯棒的制造技术，光纤预制棒的成本主要取决于外包技术。

1、芯棒制造

芯棒制造技术普遍采用气相沉积工艺，如 OVD、VAD、MCVD、PCVD。其中 OVD 工艺是 1970 年美国康宁公司的 Kapron 研发的简捷工艺。OVD 工艺的化学反应机理为火焰水解，即所需的芯玻璃组成是通过氢氧焰或甲烷焰中携带的气态卤化物（SiCl₄ 等）产生“粉末”逐渐地一层一层沉积而获得的。OVD 工艺有沉积和烧结两个具体工艺步骤：先按所设计的光纤折射分布要求进行多孔玻璃预制棒芯棒的沉积（预制棒生长方向是径向由里向外），再将沉积好的预制棒芯棒进行烧结处理，除去残留水份，以求制得一根透明无水份的光纤预制棒芯棒，OVD 工艺最新的发展经历从单喷灯沉积到多喷灯同时沉积，由一台设备一次沉积一根棒到一台设备一次沉积多根棒，从而大大提高了生产率，降低了成本。

VAD 工艺是 1977 年由日本电报电话公司的伊泽立男等人，为避免与康宁公司的 OVD 专利的纠纷所发明的连续工艺。VAD 工艺的化学反应机理与 OVD 工艺相同，也是火焰水解。与 OVD 工艺不同的是，VAD 工艺沉积获得的预制棒的生长方向是由下向上垂直轴向生长的。烧结和沉积是在同一台设备中不同空间同

时完成的，即预制棒连续制造。VAD 工艺的最新发展由 70 年代的芯、包同时沉积烧结，到 80 年代先沉积芯棒再套管的两步法，再到 90 年代的粉尘外包层代替套管制成光纤预制棒。

MCVD 工艺是 1974 年由美国 AT&T 公司贝尔实验室的 Machesney 等人开发的经典工艺。MCVD 工艺为朗讯等公司所采用的方法。MCVD 工艺是一种以氢氧焰热源，发生在高纯度石英玻璃管内进行的气相沉积。MCVD 工艺的化学反应机理为高温氧化。MCVD 工艺是由沉积和成棒两个工艺步骤组成。沉积是获得设计要求的光纤芯折射率分布，成棒是将已沉积好的空心高纯石英玻璃管熔缩成一根实心的光纤预制棒芯棒。现 MCVD 工艺采用大直径合成石英玻璃管和外包技术，例如用火焰水解外包和等离子外包技术来制作大预制棒。这些外包技术弥补了传统的 MCVD 工艺沉积速率低、几何尺寸精度差的缺点，提高了质量、降低了成本，增强了 MCVD 工艺的竞争力。

PCVD 工艺是 1975 年由荷兰飞利浦公司的 Koenings 提出的微波工艺。长飞公司采用的就是这种工艺。PCVD 与 MCVD 的工艺相似之处是，它们都是在高纯石英玻璃管管内进行气相沉积和高温氧化反应。所不同之处是热源和反应机理，PCVD 工艺用的热源是微波，其反应机理为微波激活气体产生等离子使反应气体电离，电离的反应气体呈带电离子。带电离子重新结合时释放出的热能熔化气态反应物形成透明的石英玻璃沉积薄层。PCVD 工艺制备芯棒的工艺有两个具体步骤，即沉积和成棒。沉积是借助低压等离子使流进高纯石英玻璃沉积管内气态卤化物和氧气在大约 1000℃ 的高温下直接沉积成设计要求的光纤芯玻璃组成。成棒则是将沉积好的石英玻璃管移至成棒用的玻璃车床上，利用氢氧焰高温作用将该管熔缩成实心的光纤预制棒芯棒。PCVD 工艺的最新发展是采用大直径合成石英玻璃管为沉积衬底管，沉积速率提高到了 2g/min~3g/min，沉积长度达到 1.2m~1.5m。

2、外包层制造

外包层制造技术主要有套管法、等离子喷涂法、火焰水解法等。外包层制造技术是光纤通信全球性高速发展应运而生的大光纤预制棒制造新技术。外包层技术发展和完善的目的是将光纤预制棒做的更粗、更长，即提高光纤生产率，降低生产成本，使光纤通信比其他介质的通信形式具有更大、更强的竞争力。外包层技术中的套管法是将气相沉积工艺制成的芯棒置入一根作光纤外包层的高纯石英玻璃管内制造大预制棒技术。等离子喷涂法是用高频等离子焰将石英粉末熔制于气相沉积工艺得到的芯棒上制成大预制棒的技术。火焰水解法（粉末外包）实质上就是 OVD、VAD 等火焰水解外沉积工艺在芯棒上的应用。

通常，将气相沉积法工艺和外包层技术结合制成的大预制棒直径缩小，且保

持芯包比和折射率分布恒定的操作称为光纤拉丝。拉丝过程中要对裸光纤施加预涂覆层保护。涂覆层既可以保护光纤的机械强度、隔离外界潮湿,又可以避免外应力引起光纤的微弯损耗。此外,高速拉丝还应注意光纤的充分冷却,消除光纤中的残余内应力,以求确保光纤的翘曲度指标最优。

3、工艺流程

(1) 光纤制造工艺

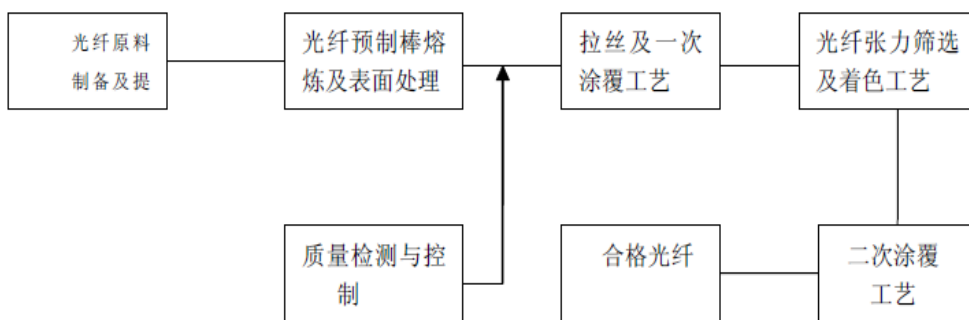


图 3-11 光纤制造工艺图

(2) 缆芯制造工艺 (成缆工艺)

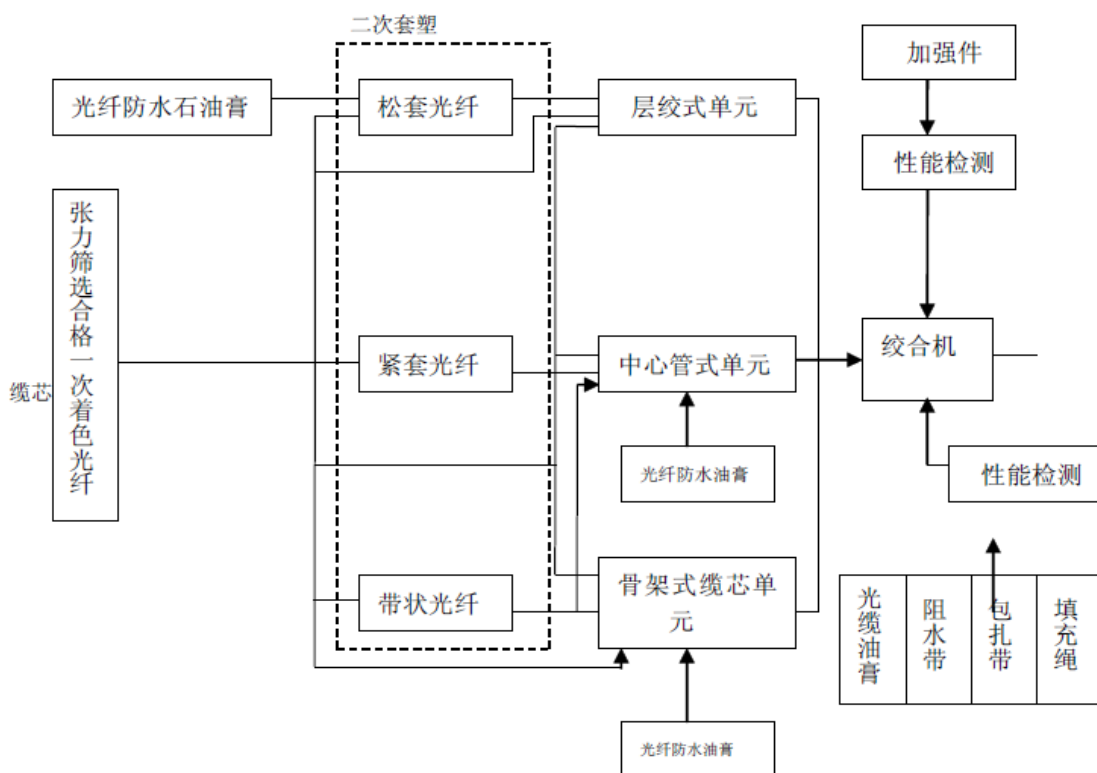


图 3-12 成缆工艺

3.2.3.4 光纤材料发展趋势

随着密集波分复用 (DWDM) 技术、光纤放大技术, 包括掺铒光纤放大器

(EDFA)、分布喇曼光纤放大器 (DRFA)、半导体放大器 (SOA) 和光时分复用 (OTDM) 技术的发展和广泛应用, 光纤通信技术不断向着更高速率、更大容量的通信系统发展, 而先进的光纤制造技术既能保持稳定、可靠的传输以及足够的富余度, 又能满足光通信对大宽带的需求, 并减少非线性损伤。

1、多模光纤

多模光纤的中心纤芯较粗($50\mu\text{m}$ 或 $62.5\mu\text{m}$), 可传多种模式的光。常用的多模光纤为: $50\mu\text{m}/125\mu\text{m}$ (欧洲标准), $62.5\mu\text{m}/125\mu\text{m}$ (美国标准)。

2、全波光纤

随着人们对光纤带宽需求的不断扩大, 通信业界一直在努力探求消除“水吸收峰”的途径。全波光纤 (All-WaveFiber) 的生产制造技术, 从本质上来说, 就是通过尽可能地消除 OH 离子的“水吸收峰”的一项专门的生产工艺技术, 它使普通标准单模光纤在 1383nm 附近处的衰减峰, 降到足够低的程度。自 1998 年, 美国朗讯公司研制了一种新的光纤制造技术, 它能消除光纤玻璃中的 OH 离子, 从而使光纤损耗完全由玻璃的特性所控制, “水吸收峰”基本上被“压平”了, 从而使光纤在 1280nm - 1625nm 的全部波长范围内都可以用于光通信, 由此, 全波光纤制造技术的难题也逐渐得到了解决。

3、聚合物光纤

通信的主干线已实现了以石英光纤为基质的通信, 但是, 在接入网和光纤入户 (FTTH) 工程中, 石英光纤却遇到了较大的困难。由于石英光纤的纤芯很细 ($6\mu\text{m}$ ~ $10\mu\text{m}$), 光纤的耦合和互接都面临技术困难, 因为需要高精度的对准技术, 因此对于距离短、接点多的接入网用户是一个难题。而聚合物光纤 (polymer optical fiber, POF) 由于其芯径大 (0.2mm ~ 1.5mm), 故可以使用廉价而又简单的注塑连接器, 并且其韧性和可挠性均较好, 数值孔径大, 可以使用廉价的激光源, 在可见光区有低损耗的窗口, 适用于接入网。

聚合物光纤分为多模阶跃型 SI-POF 和多模渐变型 GI-POF 两大类, 由于 SIPOF 存在严重的模式色散, 传输带宽与对绞铜线相似, 限制在 5MHz 以内, 即便在很短的通信距离内也不能满足 FDDI、SDH、B-ISDN 的通信标准要求, 而 GIPOF 纤芯的折射率分布呈抛物线, 因此模式色散大大降低, 信号传输的带宽在 100m 内可达 2.5Gbps 以上, 近年来, GIPOF 已成为 POF 研究的主要方向。最近, N.Tanio 从理论上预测了无定形全氟聚丁烯乙烯基醚在 1300nm 处的理论损耗极限为 0.3dB/km , 在 500nm 处的损耗可低至 0.15dB/km , 这完全可以和石英光纤的损耗相比拟。G.Giorgio 等人报道了 100m 全氟 GIPOF 的数据传输速率已达到 11Gbps 。因此, GIPOF 有可能成为接入网, 用户网等的理想传输介质。

4、光子晶体光纤

光子晶体光纤（PCF）是由 St.J.Russell 等人于 1992 年提出的。对石英光纤来说，PCF 的结构特点是在其中间沿轴向均匀排列空气孔，这样从光纤端面看，就存在一个二维周期性的结构，如果其中一个孔遭到破坏和缺失，则会出现缺陷，利用这个缺陷，光就能够在其中传播。PCF 与普通单模光纤不同，由于它是由周期性排列空气孔的单一石英材料构成，所以有中空光纤（holeyfiber）或微结构光纤（micro-structured fiber）之称。PCF 具有特殊的色散和非线性特性，在光通信领域将会有广泛的应用。

PCF 引人注目的一个特点是，结构合理，具备在所有波长上都支持单模传输的能力，即所谓的“无休止单模”特性（endlessly single-mode），这个特性已经有了很好的理论解释。这需要满足空气孔足够小的条件，空气孔径与孔间距之比必须不大于 0.2。空气孔较大的 PCF 将会与普通光纤一样，在短波长区会出现多模现象。

PCF 的另一个特点是它具有奇异的色散特性。现在人们已经在 PCF 中成功产生了 850nm 光孤子，预计将来波长还可以降低。PCF 在未来超宽 WDM 的平坦色散补偿中可能扮演重要角色。

5、通信光纤面临的问题

目前，光纤在光通信应用中还有许多问题有待解决。如色散与弥散、有限色散和小色散斜率、负色散、偏振模色散、非线性、大芯区有效面积弯曲损耗、综合优化面临的矛盾、有效面积与色散斜率、负色散与损耗等。但有理由相信，随着光通信技术的不断进步，这些问题都会找到合适的解决办法。

3.2.4 其他材料

本研究指南所指的其他材料跟以上各个细分的硅材料、磁性材料和光纤材料都有联系和交叉，其中包括：辉钼材料、焊接材料、半导体原材料和锂电池材料等。

这部分材料的生产技术和工艺既包括替代材料（如：辉钼材料），也包括渗透了几个细分行业中材料的综合和优化组合，从而使得新材料在电子信息中下游行业的生产加工和应用过程中达到很好的节能减排的效果，本指南筛选了几项具有代表性材料技术，有：宽禁带材料、LED 丝球焊铜线、合金无铅焊料、锂电池负极活性材料。

3.2.5 行业技术总结

目前电子材料行业节能减排相关技术及其水平评估汇总如下。

表 3-8 电子材料行业节能减排技术及水平汇总

序号	技术名称	行业/工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
一	生产过程节能减排技术				
1	多晶硅还原炉	电子炉	●		
2	单晶炉谐波治理	电子炉		●	
3	单晶炉热场装置	电子炉		●	
4	氮气保护推板窑	烧结	●		
5	宽截面辊道窑炉	烧结		●	
6	多晶硅材料生产节能	烧结	●		
7	干法混合球磨工艺	铁氧体烧结	●		
8	高性能磁粉	永磁铁氧体烧结	●		
9	电极箔生产线节能改造	生产线管控	●		
10	等离子体化学气相沉积	光纤熔缩	●		
11	低温共烧陶瓷（LTCC）	电子陶瓷	●		
二	资源能源节约与综合利用技术				
12	多晶硅炉热能利用	炉窑	●		
13	改良西门子法物料回收综合利用	炉窑	●		
14	单晶炉治理	炉窑		●	
三	节能产品技术				
15	宽禁带材料	半导体	●		
16	贱金属内电极高压片式多层陶瓷电容器	半导体	●		
17	封装焊接铜线	封装焊接	●		
18	Sn-Zn-Bi-Cr 合金无铅焊料	焊接	●		
19	锂电池负极活性材料	电池制备	●		

第四章 节能减排先进适用技术

围绕电子材料产业调整振兴规划和实现行业节能减排目标的战略目标,研究适用于我国电子材料产业实际情况的节能减排技术,经行业专家评估及筛选,提出适合在基础电子材料行业内推广的7项节能减排技术和2项重点关注的前沿新技术。这些节能减排技术主要分布在材料生产的烧结、焊接、清洗和废弃物回收环节。

根据电子材料生产企业特点、各类技术在生产过程中的功能及前沿性技术细分为,生产过程节能减排技术、资源能源节约与综合利用技术、产品节能技术及重点关注的新技术共计四大类,见下表。

表 4-1 筛选出的电子信息行业节能减排先进适用技术

序号	技术名称	行业/工序
一	生产过程节能减排技术	
1	改进型多晶硅还原炉热能转换技术	电子炉
2	低温共烧陶瓷(LTCC)技术	电子陶瓷
小计	2 项	
二	资源能源节约与综合利用技术	
3	改良西门子法物料回收综合利用技术	炉窑
小计	1 项	
三	产品节能技术	
4	半导体宽禁带材料	半导体
5	封装焊接铜线	LED 焊接
6	Sn-Zn-Bi-Cr 合金无铅焊料	无铅焊料
小计	3 项	
共计	6 项	
四	重点关注的新技术	
7	辉钼材料	
8	磷酸锂电池材料	
小计	2 项	

4.1 生产过程节能减排技术

4.1.1 改进型多晶硅还原炉热能转换技术

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

多晶硅是由多晶硅铸锭炉生产出来。多晶硅的生产是把高纯多晶硅装入到铸锭炉中，先熔化成液态，通过铸锭炉的自动化操作，使液态硅自下向上缓慢地重新结晶，生成一块大晶粒的多单晶体的铸锭硅来。

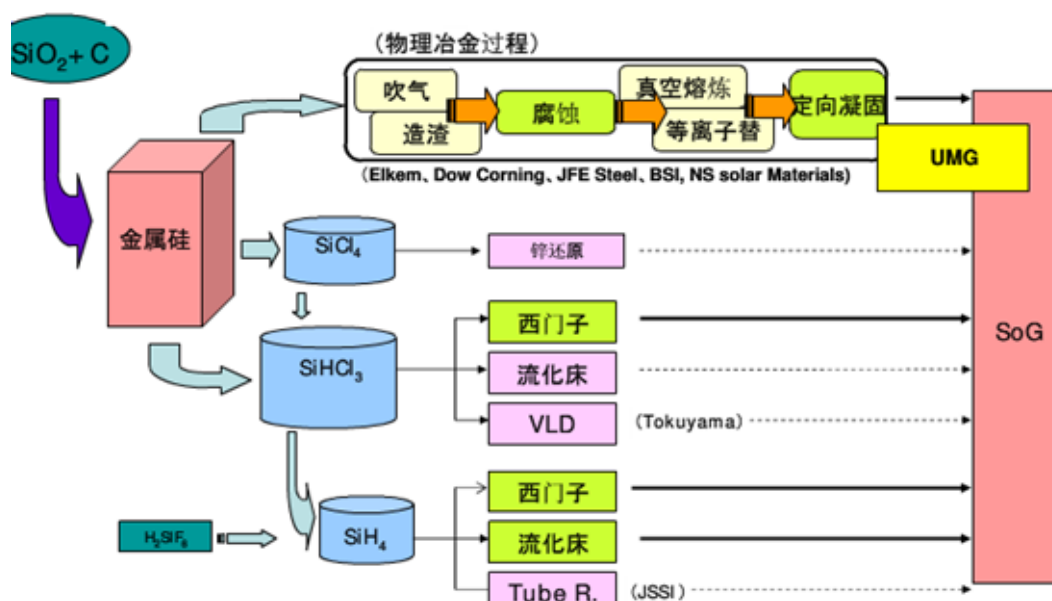


图 4-1 多晶硅生产工艺

多晶硅生产过程：

①装炉

将多晶硅料和掺杂剂放入炉内，给炉室抽真空并通氩气，保持气压为：400-600mbar。

②加热熔化硅料

给炉室内的石墨加热器通电加热。先预热，使石英坩埚的温度达到 1200-1300℃ 左右，保持 4h-5h。然后逐渐增加加热功率，使石英坩埚内的温度达到 1500℃（大于硅熔点）左右，硅原料开始熔化。该时间约为 9h-11h。

③铸锭硅生长

使石英坩埚的温度降至 1420℃-1440℃（硅熔点）左右，通过缓慢提升隔热系统或缓慢降低坩埚的方法，使下部的液态硅温度降低首先凝固成晶体，并从下往上非常缓慢地长晶。

④退火处理

坩埚内的液态硅全部结晶成固态后，把炉温控制在稍比熔点低一些，并让硅锭整体温度保持一致，退火处理 3h-4h，以消除硅锭内部的应力和裂纹，减少位错

⑤停炉冷却

把加热功率降低并关闭，并充入氩气，提升气压至大气压。让铸锭硅在炉内自然冷却 8-13 个小时，方可打开炉室，取出铸锭硅块。

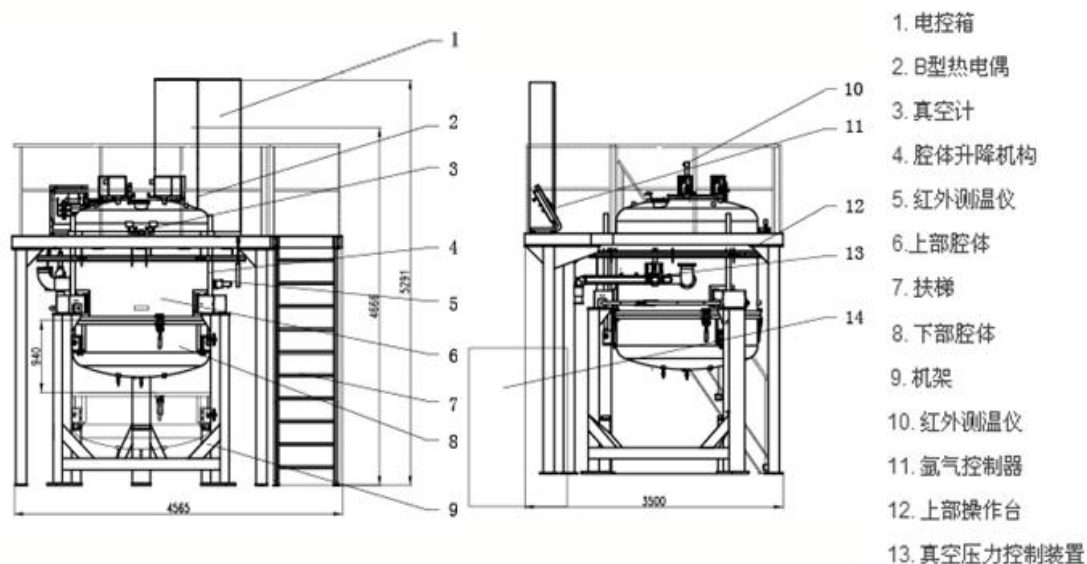


图 4-2 多晶硅炉基本构造图

(2) 技术基本原理

采用热能转换系统，利用多晶硅还原炉循环水的热量，通过回收转换装置获得 0.4Mpa 低压蒸汽，作为精馏塔及其他装置的热源。从而节省了生产低压蒸汽消耗的能源天然气，并减少了冷却水的用量，实现了系统能量平衡，达到节能降耗的目标。

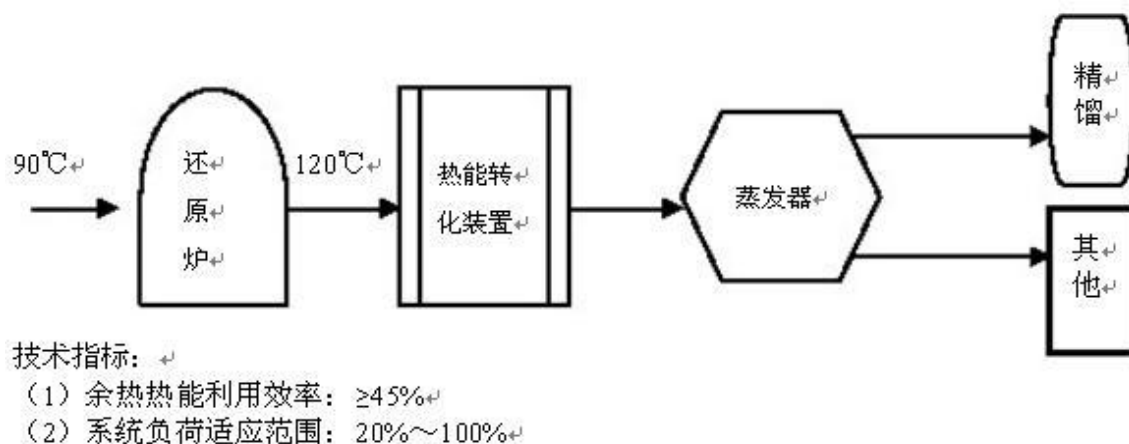


图 4-3 多晶硅还原炉工艺流程

2、技术发展水平

氢化炉和还原炉是生产多晶硅的核心设备，也是决定系统产能、能耗、环保指标，以及可靠、安全性的关键因素。三氯氢硅在还原炉中还原生成多晶硅棒，同时也生成四氯化硅、氯化氢、氢气等，未经处理的四氯化硅是一种有极强腐蚀性、难以保存的液体。大型还原炉系统是目前多晶硅制备行业较为行之有效的节能技术之一。通过还原炉的大型化技术，提高单炉产量，降低物料的循环次数以及提高自控水平，使 300-400kWh/kg 硅降到 120kWh/kg 左右，大大降低电能消耗。

国内 80%的多晶硅生产企业使用的是森松集团的还原炉技术，洛阳中硅自行研制的 12 对、棒节能型多晶硅还原炉技术分别于 2004 年和 2007 年投产。其中 24 对棒大型节能多晶硅还原炉单炉产量 1400kg，电耗小于 200kWh/kg；24 对棒大型节能多晶硅还原炉单炉产量 4000kg，电耗 160kWh/kg。

表 4-2 国内外多晶硅还原炉技术比较

性能指标	国内主流产品	国外主流产品
硅棒数	9 对	12 对、24 对
多晶硅直径（mm）	60-130	150~200
单炉产量（kg）	500-800	2400~5000
还原直接电耗（kWh/kg）	300-400	80~150

3、技术适用条件

多晶硅产业属于高耗能产业，能源消耗是影响行业生产成本的一个重要指标。其中多晶硅还原炉炉筒余热以及还原炉炉筒排出的热量未加以回收利用，是不合理的工艺运行。

通过设计优化将还原炉排出的热水，经过热能转换装置转化为低压蒸汽，满足精馏塔釜等所需蒸汽和其他工序的部分蒸汽用量，这样可节约锅炉生产蒸汽，进而节约天然气的消耗量，实现能源节约。

4、实施建设内容

（1）关键工艺

节能型多晶硅大还原炉装置由机械和电气控制两部分组成，该装置主要解决了径向和轴向气流场及温度场、满足产量、产品规格、质量要求。高电压、大电流、无触点多倒档和连锁保护，冷却及能量回收等。节能型多晶硅大还原炉装置是生产多晶硅的关键设备之一，该研究成果解决了目前国内低能耗、高质量多晶硅大还原炉技术、设计、制造、运行等一系列的技术问题，为我国建设大规模多晶硅工厂奠定了坚实基础，应用前景广阔。

（2）技术指标

余热热能利用效率≥45%；

系统负荷适应范围：20%~100%。

5、节能减排效果

该技术利用综合回收 SiCl_4 和导热油循环冷却等六项新工艺技术，在同等生产条件下，预计可降低电耗 400~450kWh/kg-Si，按 1000 吨/年计算，年节省电耗 4 亿度~4.5 亿度，若按电价 0.35 元/kWh 计算，每年可节电费 15750 万元。如果采用燃气锅炉提供 40 吨/h 蒸汽（两台提供），利用回收装置后，每年可节省天然气 1800 万 m^3 。从而为解决我国大规模生产多晶硅，实现真正意义上的产业化奠定基础。

6、成本效益分析

每年可节省费用 2700 万元。综合本蒸汽热回收系统扣除装置电费后节约 2200 多万元/年。目前本热能回收系统单套约投资 1000 万元，作为千吨级多晶硅生产系统至少需要三套，因此总投资在 3000 万元以上，全系统运行费用为 6300 万，投资回收期预计为 5 年。

7、技术水平及应用情况

多晶硅行业资金和技术门槛都较高，本技术实施的热能综合利用是千吨级多晶硅生产线的工艺和设备优化完善的结果，该技术在新光公司的股东单位—四川天威硅业和乐电天威硅业各自的 3000 吨多晶硅项目的工程中，通过工艺包的转让得到实施应用。

本应用技术成熟，节能效果显著，符合国家的节能环保的政策，经济效益和社会效益明显，对当前我国大量上马的多晶硅项目节能具有实际的应用效果。

大型高效还原技术的突破和导热油循环冷却回收热能技术的研制成功，与综合回收多晶硅生产过程当中的副产物再利用，形成了能量回收、物料回收两大循环系统，是解决千吨级改良西门子法制备多晶硅的关键环节。

8、技术知识产权情况

青岛科技大学；化学工业第二设计院宁波工程有限公司。

申请号/专利号：200810249626。

专利类型：发明专利。

分类号：C30B29/06;C01B33/035。

4.1.2 低温共烧陶瓷（LTCC）技术

1、技术介绍

（1）技术应用节点

低温共烧陶瓷技术（Low Temperature Cofired Ceramic, LTCC）是近年来兴起的一种令人瞩目的多学科交叉的整合组件技术，涉及电路设计、材料科学、微

波技术等广泛的领域。由于它在信息时代为各种电子系统的元器件以及模块小型化、轻量化提供了比较好的解决途径，因此在国内国际上越来越受到重视，广泛用于基板材料、封装材料以及微波器件材料等。LTCC 基板被用作第五代电子元件组装用基板，已经成为无源集成的主流技术，成为无源元件领域的发展方向和新的元件产业的经济增长点

(2) 技术基本原理

LTCC 技术将低温烧结陶瓷粉制成厚度精确而且致密的生瓷带，在生瓷带上利用激光打孔、微孔注浆、精密导体浆料印刷等工艺制出所需要的电路图形，并将多个被动组件（如低容值电容、电阻、滤波器、阻抗转换器、耦合器等）埋入多层陶瓷基板中，然后叠压在一起，内外电极可分别使用银、铜、金等金属，在 900℃ 下烧结，制成三维空间互不干扰的高密度电路，也可制成内置无源元件的三维电路基板，在其表面可以贴装 IC 和有源器件，制成无源/有源集成的功能模块，可进一步将电路小型化与高密度化，特别适合用于高频通讯用组件。

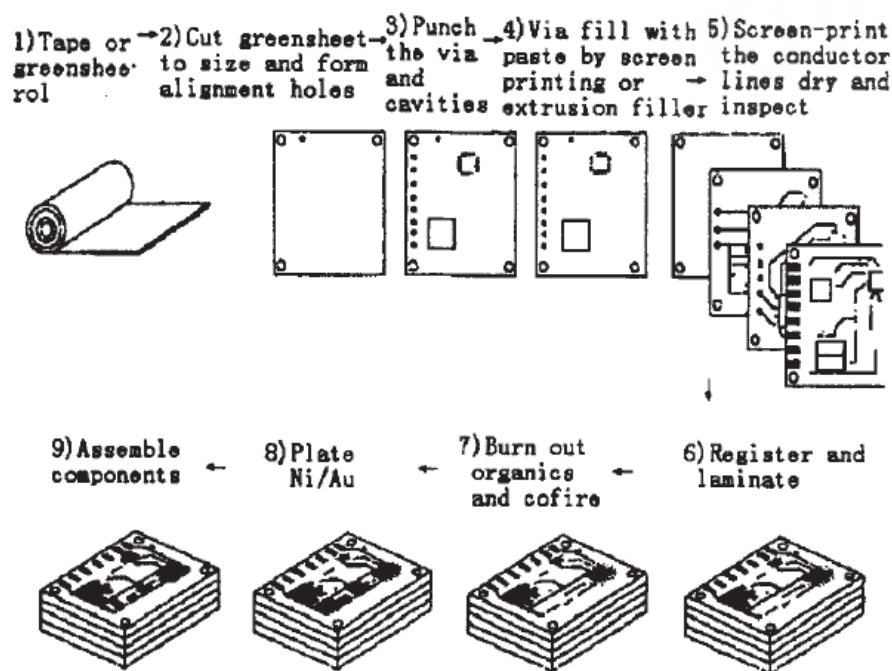


图 4-4 LTCC 工艺流程图

2、技术发展水平

目前已开发的 LTCC 基板材料很多，大致可分为三大类：（1）陶瓷-玻璃系（微晶玻璃）。烧结过程中，玻璃晶化低损耗，使材料具有低介电损耗，这种工艺适用于制作 20~30GHz 器件；（2）玻璃加陶瓷填充料的复合系。玻璃作为粘结剂使陶瓷颗粒粘结在一起，玻璃和陶瓷间不发生反应并要求填充物在烧结时与玻璃形成较好的浸润，填充物主要是用来改善陶瓷的抗弯强度、热导率等，此时玻

璃不仅作为粘结剂，而且在烧结过程中玻璃和填充料反应形成高 Q 值晶体，材料的性能由烧结工艺条件控制，如烧结升温速率、烧结温度、保温时间等；(3) 非晶玻璃系。国内外研究集中在“微晶玻璃”系和“玻璃+陶瓷”系。但仍存在“微晶玻璃”系材料的烧结温度难低于 900℃和“玻璃+陶瓷”系材料难于高致密化而使材料介电常数比较大、介电损耗过大等问题，还不能完全满足多层电路性能的要求。

3、技术使用条件

(1) 烧结温度一般应低于 950℃，以便和 Ag、Cu 等导体共烧；(2) 介电常数和介电损耗适当，一般要求 Q 值越大越好；(3) 谐振频率的温度系数应小；(4) 陶瓷与内电极材料等无界面反应，扩散小，相互之间共烧要匹配；(5) 粉体特性应利于浆料配制和流延成型等。

4、实施建设内容

目前，国内尚没有生产厂可制造与 LTCC 有关的成型设备，基本上都是从国外引进完整的 LTCC 生产线。

5、节能减排效果

LTCC 多层技术可使多种电路封装在同一多层结构中，可集成数字、模拟、射频、微波及内埋置无源元件，降低了组装复杂程度，减少了接入损耗，加之封装重量的减小，绝缘介质和导体的低损耗特征，使得 LTCC 成为民用和军品电子系统最理想的选用材料。

(1) 陶瓷材料具有优良的高频、高速传输以及宽通带的特性。根据配料的不同，LTCC 材料的介电常数可以在很大范围内变动，配合使用高电导率的金属材料作为导体材料，有利于提高电路系统的品质因数，增加了电路设计的灵活性；

(2) 可以适应大电流及耐高温特性要求，并具备比普通 PCB 电路板更优良的热传导性，极大地优化了电子设备的散热设计，可靠性高，可应用于恶劣环境，延长了其使用寿命，相对于普通基板，适用寿命提高了 50%；

(3) LTCC 技术具有高兼容性和微型化特点，耗材相对普通功能材料和组件的 50%，废弃物（固体金属）、污染物排（污水、化学气体和废热）的排放量减少了 30%，生产过程节电 25%。

6、成本效益分析

(1) 生产线成本。完整的 LTCC 生产线，从国外引进成本约为 2000 万人民币。

(2) 封装成本。应用 LTCC 技术可以制作层数很高的电路板，并可将多个无源元件埋入其中，免除了封装组件的成本，在层数很高的三维电路板上，实现无源和有源的集成，有利于提高电路的组装密度，进一步减小体积和重量；相对普通基板封装成本的 1/3。

(3) LTCC 技术具有较高的兼容性和混合性能, 可实现高组装密度的混合与技术结合, 减少了功能材料和元件的投入, 相对降低拍普通混合组件投资的 50%。

(4) LTCC 技术生产工艺为非连续式生产工艺, 有利于提高多层基板的成品率和质量, 缩短生产周期, 降低生产成本, 相对于普通基板生产成本的一半。

7、技术应用情况

(1) 应用于航空、航天及军事领域, LTCC 技术最先是在航空、航天及军事电子装备中得到应用的。美国 Raytheon、Westinghouse 和 Honeywell 等公司都拥有 LTCC 设计与制造技术, 并研制出了多种可用于导弹、航空和宇航等电子装置的 LTCC 组件或系统。(2) 应用于 MEMS、驱动器和传感器等领域, LTCC 可以通过内埋置电容、电感等形成三维结构, 从而大大缩小电路体积。因此, 在射频电路的驱动器、高频开关等高性能器件中, 三维结构电路得以大量应用, 以适应目前对该类电路体积和性能的要求。(3) 应用在汽车电子等领域, 随着汽车电子技术的发展, 现代汽车的控制已开始迈入电子化和信息时代, 但是一般的电路系统无法完全安装在驾驶室内, 加之许多控制电路又必须与被控制的系统放在一起, 置于引擎盖的下方, 而一般引擎附近的温度为 $130\sim 500^{\circ}\text{C}$, 因此要求电路板必须能够耐受高温、高湿的工作环境, 还必须具有很高的工作可靠性。由于 LTCC 具有众多优良的特性, 在国外已被列为制作汽车电子电路的重要技术。

8、技术知识产权

清华大学、电子科技大学、上海硅酸盐研究所和中国电子科技集团公司第四十三研究所等单位正在开发 LTCC 用陶瓷粉料, 但尚未到批量化生产的程度, 国内现在急需开发出系列化的、有自主知识产权的 LTCC 用陶瓷粉料。目前, 很多国内企业和研究所都是购买国外公司的 LTCC 粉料和配套有机载体后进行流延; 甚至直接购买生瓷带, 然后低温烧结生产 LTCC 基板或无源元件。

4.2 资源能源节约与综合利用技术

4.2.1 改良西门子法物料回收综合利用技术

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

利用大型高效还原技术和导热油循环冷却回收热能技术对多晶硅生产线进行节能改造, 与综合回收多晶硅生产过程当中的副产物再利用, 形成了能量回收、物料回收两大循环系统, 解决了千吨级改良西门子法制备多晶硅过程中的原料和能源损耗问题。

(2) 技术基本原理

纯净的 SiHCl_3 常温下是无色易挥发的透明液体，带有强烈气味，密度约 1.33kg/L ，沸点 31.5°C 。它极易与水反应，一旦泄漏就迅速与空气中的水分反应，释放出大量的热和 HCl ，即污染环境又有安全危险，使用时应该注意检查。 SiHCl_3 未充分反应时产生硅氧烷，其具有易燃性，冲击或摩擦作用下有可能着火。另外，在加热到 200°C 以上时， SiHCl_3 还易与 H_2 、 Na 、 Al 、 Mg 等还原剂反应。

用西门子法合成多晶硅合成过程中， SiHCl_3 只有 30% 转化为多晶硅，其余多变成了 SiCl_4 。在千吨级多晶硅材料生产过程中，利用了 SiCl_4 氢化回收技术、 SiHCl_3 合成产物全回收工艺、 SiHCl_3 高效提纯技术、24 对棒大还原炉技术等多种工艺改造，将多余的 SiCl_4 进入物料循环系统重新变成 SiHCl_3 ，同时利用干法进行尾气回收，实现资源的循环利用。

传统的西门子生产法工艺流程如下：

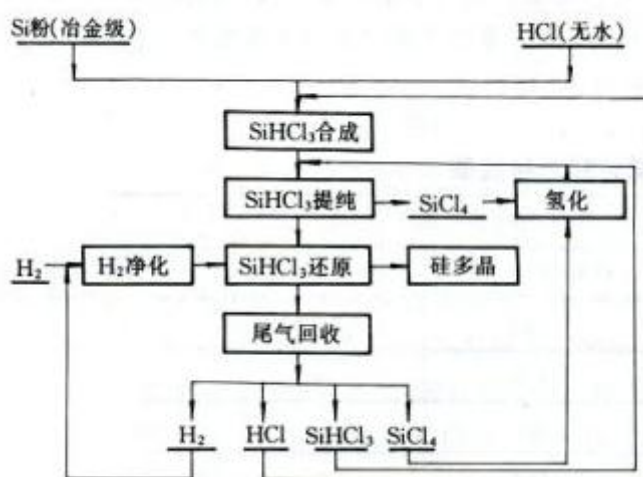


图 4-5 传统的西门子法生产工艺

改造后的的生产工艺流程如下：

SiHCl_3 合成→ SiHCl_3 提纯→大型高效还原→多晶硅产品洁净处理→副产物回收→热能循环回收利用。

具体工艺图见下图：

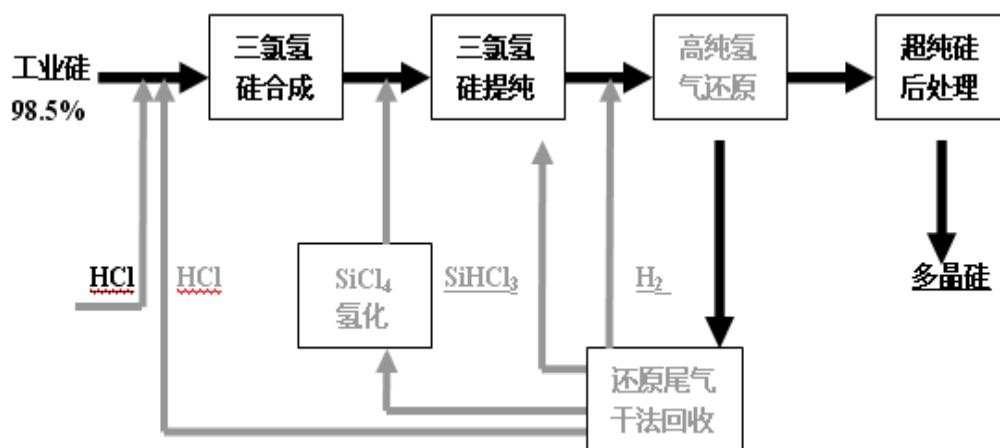


图 4-6 千吨级多晶硅生产过程中节能技术改造流程图

2、技术发展水平

目前多晶硅的工艺技术多采用改良西门子法，该方法是目前为国际上主要多晶硅大厂普遍采用，产量占全球多晶硅产量的 80% 以上。世界上主要的几种多晶硅生产工艺：

（1）改良西门子法——闭环式三氯氢硅氢还原法

改良西门子法是用氯和氢合成氯化氢（或外购氯化氢），氯化氢和工业硅粉在一定的温度下合成三氯氢硅，然后对三氯氢硅进行分离精馏提纯，提纯后的三氯氢硅在氢还原炉内进行 CVD 反应生产高纯多晶硅。国内外现有的多晶硅厂绝大部分采用此法生产电子级与太阳能级多晶硅。

（2）硅烷法——硅烷热分解法

硅烷（ SiH_4 ）是以四氯化硅氢化法、硅合金分解法、氢化物还原法、硅的直接氢化法等方法制取。然后将制得的硅烷气提纯后在热分解炉生产纯度较高的棒状多晶硅。以前只有日本小松掌握此技术，由于发生过严重的爆炸事故后，没有继续扩大生产。但美国 Asimi 和 SGS 公司仍采用硅烷气热分解生产纯度较高的电子级多晶硅产品。

（3）流化床法

以四氯化硅、氢气、氯化氢和工业硅为原料在流化床内（沸腾床）高温高压下生成三氯氢硅，将三氯氢硅再进一步歧化加氢反应生成二氯二氢硅，继而生成硅烷气。

此法是美国联合碳化物公司早年研究的工艺技术。目前世界上只有美国 MEMC 公司采用此法生产粒状多晶硅。此法比较适合生产价廉的太阳能级多晶硅。

除了上述改良西门子法、硅烷热分解法、流化床反应炉法三种方法生产电子

级与太阳能级多晶硅以外，还涌现出几种专门生产太阳能级多晶硅新工艺技术。如冶金法生产太阳能级多晶硅、气液沉积法生产粒状太阳能级多晶硅、重掺硅废料提纯法生产太阳能级多晶硅等。

我国高纯多晶硅尤其是千吨级高纯度多晶硅生产技术上，工艺上乃至装备上仍远远落后于发达国家。五十年代末，进行了 SiCl_4 氢还原实验研究，进入六十年代进行了 SiHCl_3 氢还原法研究，取得了比较快的进展，取得了可喜的成果。在 SiHCl_3 合成方面，也应用了 $\text{Si}+\text{HCl}$ —— SiHCl_3 的路线，并成功地获取了 SiHCl_3 ，在 SiHCl_3 提纯方面，主要是进行了填料塔实验，或膜式操作，或乳化操作，也取得了较好的效果。1963 年，用 SiHCl_3 氢还原法获得的高纯多晶硅，经直拉法，不掺杂拉制成单晶测试结果是 N 型， $P>100\Omega\cdot\text{cm}$ 。应该说西门子法生产高纯多晶硅的技术在我国已臻成熟。

国内部分企业也已经开始探索还原炉尾气回收技术。740 厂成功地进行了还原炉尾气回收，回收了尾气中的 SiCl_4 和 SiHCl_3 （深冷法）。并成功解决了回收氢气中 CO_2 过高的难题，使其纯度达到了电解氢的水平。

3、技术使用条件

该技术用于改良西门子法生产多晶硅过程中的技术改造。

4、实施建设内容

（1）关键工艺

该生产线节能技术改造采用六项节能工艺：

SiHCl_3 合成产物全回收工艺；

SiHCl_3 高效提纯技术；

24 对棒大还原炉技术；

还原尾气干法回收技术；

副产生 SiCl_4 氢化回收技术；

超纯硅后处理工艺。

（2）关键设备

三氯氢硅合成的流化床反应器；

三氯氢硅提纯用的塔器；

还原炉；

干法回收设备；

氢化设备等。

5、节能减排效果

技术改造后生产线形成了完整的闭路循环系统，利用这个系统能够回收生产过程中产生的副产物和副产热能，节能降耗特点显著。

该项目利用综合回收 SiCl_4 和导热油循环冷却等六项新工艺技术，在同等生产条件下，预计可降低电耗 400~450kWh/kg-Si，按 1000 吨/年计算，年节省电耗 4 亿~4.5 亿度。从而为解决我国大规模生产多晶硅，实现真正意义上的产业化奠定基础。

6、成本效益分析

若按电价 0.35 元/kWh 计算，每年可节电费 15750 万元。平均规模投入约 50000 万元，运行费用约 10000 万元/年，投资回收期约为 8 年。

7、技术应用情况

通过六项新工艺的改造，该生产线已经突破了改良西门子法生产的关键技术，目前国内大部分多晶硅企业的生产设备和技术仍需从国外进口，预计五年内该技术市场占有率将会达到 20%，并在接下来的 10 年内占领整个国内市场。千吨级多晶硅生产线节能技术的推广将会提升整个产业的核心竞争力，使我国多晶硅由生产大国向强国转化，实现我国光伏产业高转化率（18%~22%）、长寿命（40 年）、低发电成本（1 元/度电）战略。

8、技术知识产权

（1）专利名称：三氯氢硅合成产物加压冷凝的生产工艺

申请号/专利号：200910065895

申请人/专利权人：洛阳中硅高科技有限公司

（2）专利名称：一种三氯氢硅合成尾气的干法回收方法

申请号/专利号：200910065894

申请人/专利权人：洛阳中硅高科技有限公司

（3）专利名称：多晶硅生产干法尾气回收四氯化硅淋洗塔

申请号/专利号：200820223324

申请人/专利权人：张家港市华菱化工机械有限公司

（4）专利名称： SiCl_4 氢化生产 SiHCl_3 的节能降耗循环工艺及系统

申请号/专利号：201010133341

申请人/专利权人：成都鸿宝新能源科技有限公司

4.3 节能产品技术

4.3.1 宽禁带半导体材料

宽禁带半导体材料（ E_g 大于或等于 2.3eV）被称为第三代半导体材料。主要包括金刚石、SiC、GaN 等。和第一代、第二代半导体材料相比，第三代半导体材料具有禁带宽度大，电子漂移饱和速度高、介电常数小、导电性能好的特点，非常适用于制作抗辐射、高频、大功率和高密度集成的电子器件。

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

以氮化镓和碳化硅为代表的第三代半导体材料具有禁带宽度大、击穿电场高、热导率大、电子饱和漂移速度高、介电常数小、抗辐射能力强、良好的化学稳定性等独特的特性，它在光显示、光存储、光探测等光电子器件和高温、高频大功率电子等微电子器件领域有广阔的应用前景，成为半导体领域研究热点。

宽禁带半导体材料中最有意义的是碳化硅、氮化镓和氧化锌。这些材料的共同特点是它们的禁带宽度在 3.3eV~3.5eV 之间，是硅的 3 倍，比砷化镓的禁带宽度也大了两倍以上。由于它们的一些特殊性质和潜在应用前景使它们备受关注。

(2) 技术基本原理

宽禁带半导体材料是一种新型材料，具有禁带宽度大、击穿电场高、热导率高等特点，非常适合于制作抗辐射、高频、大功率和高密度集成电子器件；利用其特有的禁带宽度，还可以制作蓝光、绿光、紫外光器件和光探测器件，能够适应更为苛刻的生存和工作环境。在宽禁带半导体材料中，具有代表性的是碳化硅(SiC)、氮化镓(GaN)、氮化铝(AlN)、金刚石以及氧化锌(ZnO)。

①碳化硅

在宽禁带半导体材料领域就技术成熟度而言，碳化硅是这族材料中最高的，是宽禁带半导体的核心，具有宽禁带(Eg: 3.2eV)、高击穿电场(4×10^5 V/cm)、高热导率($4.9 \text{ W/cm}\cdot\text{K}$)等特点。从结构上讲，SiC 材料属硅碳原子对密排结构，既可以看出成硅原子密排，碳原子占其四面体空位；又可看成碳原子密排，硅占碳的四面体空位。对于碳化硅密排结构，由单向密排方式的不同产生各种不同的晶型，业已发现约 200 种。目前最常见应用最广泛的是 4H 和 6H 晶型。4H-SiC 特别适用于微电子领域，用于制备高频、高温、大功率器件；6H-SiC 特别适用于电子领域，实现全彩显示。

②氮化镓

作为一种具有独特光电属性的半导体材料，GaN 的应用可以分为两个部分：凭借 GaN 半导体材料在高温高频、大功率工作条件下的出色性能可取代部分硅和其它化合物半导体材料；凭借 GaN 半导体材料宽禁带、激发蓝光的独特性质开发新的光电应用产品。目前 GaN 光电器件和电子器件在光学存储、激光打印、高亮度 LED 以及无线基站等应用领域具有明显的竞争优势，其中高亮度 LED、蓝光激光器和功率晶体管是当前器件制造领域最为感兴趣和关注的。

③氮化铝

AlN 材料具有宽禁带(6.2eV)，高热导率($313 \text{ W / cm}\cdot\text{K}$)，且与 AlGaN 层晶格匹配、热膨胀系数匹配都更好，所以 AlN 是制作先进高功率发光器件(LED, LD)、

紫外探测器以及高功率高频电子器件的理想衬底材料。

近年来, GaN 基蓝、绿光 LED、LD、紫外探测器以及大功率高频 HEMT 器件都有了很大发展。在 AlGaN HEMT 器件方面, AlN 与 GaN 材料相比有着更高的热导率, 而且更容易实现半绝缘; 与 SiC 相比, 则晶格失配更小, 可以大大降低器件结构中的缺陷密度, 有效提高器件性能。AlN 是生长 III 族氮化物外延层及器件结构的理想衬底, 其优点包括: 与 GaN 有很小的晶格失配和热膨胀系数失配; 化学性质相容; 晶体结构相同, 不出现层错层; 同样有极化表面; 由于有很高的稳定性并且没有其它元素存在, 很少会有因衬底造成的沾污。AlN 材料能够改善器件性能, 提高器件档次, 是电子器件发展的源动力和基石。

④金刚石

金刚石是碳结晶为立方晶体结构的一种材料。在这种结构中, 每个碳原子以“强有力”的刚性化学键与相邻的 4 个碳原子相连并组成一个四面体。金刚石晶体中, 碳原子半径小, 因而其单位体积键能很大, 使它比其他材料硬度都高, 是已知材料中硬度最高 f 维氏硬度可达 10400kg/mm^2)。另外, 金刚石材料还具有禁带宽度大 (5.5eV); 热导率高, 最高达 $120\text{W/cm}\cdot\text{K}(-190^\circ\text{C})$, 一般可达 $20\text{W/cm}\cdot\text{K}(20^\circ\text{C})$; 传声速度最高, 介电常数小, 介电强度高特点。金刚石集力学、电学、热学、声学、光学、耐蚀等优异性能于一身, 是目前最有发展前途的半导体材料。

⑤氧化锌

氧化锌(ZnO)是 II-VI 族纤锌矿结构的半导体材料, 禁带宽度为 3.37eV ; 另外, 其激子束缚能(60meV)比 GaN(24meV)、ZnS(39meV)等材料高很多, 如此高的激子束缚能使它在室温下稳定, 不易被激发(室温下热离化能为 26meV), 降低了室温下的激射阈值, 提高了 ZnO 材料的激发效率。基于这些特点, ZnO 材料既是一种宽禁带半导体, 又是种具有优异光电性能和压电性能的多功能晶体。它既适合制作高效率蓝色、紫外发光和探测器等光电器件, 还可用于制造气敏器件、表面声波器件、透明大功率电子器件、发光显示和太阳能电池的窗口材料以及变阻器、压电转换器等。相对于 GaN, ZnO 制造 LED、LD 更具优势, 据预计, ZnO 基 LED 和 LD 的亮度将是 GaN 基 LED 和 LD 的 10 倍, 而价格和能耗则只有后者的 1/10。

2、技术发展水平

(1) 国外发展概况

美国、日本、俄罗斯及西欧都极其重视宽禁带半导体的研究与开发。从目前国外对宽禁带半导体材料和器件的研究情况来看, 主要研究目标是 SiC 和 GaN 技术, 其中 SiC 技术最为成熟, 研究进展也较快; GaN 技术应用面较广泛, 尤

其在光电器件应用方面研究较为透彻。而金刚石技术研究报告较少，但从其材料优越性来看，颇具发展潜力。

国外对 SiC 的研究早在五十年代末和六十年代初就已开始了。到了八十年代中期，美国海军研究局和国家宇航局与北卡罗来纳州大学签订了开发 SiC 材料和器件的合同，并促成了在 1987 年建立专门研究 SiC 半导体的 Cree 公司。九十年代初，美国国防部和能源部都把 SiC 集成电路列为重点项目，要求到 2000 年在武器系统中要广泛使用 SiC 器件和集成电路，从此开始了有关 SiC 材料和器件的系统研究，并取得了令人鼓舞的进展。即目前为止，直径 $\geq 50\text{mm}$ 具有良好性能的半绝缘和掺杂材料已经商品化。美国政府与西屋西子公司合作，投资 450 万美元开了 3 英寸纯度均匀、低缺陷的 SiC 单晶和外延材料。另外，制造 SiC 器件的工艺如离子注入、氧化、欧姆接触和肖特基接触以及反应离子刻蚀等工艺取得了重大进展，所以促成了 SiC 器件和集成电路的快速发展。由于 SiC 器件的优势和实际需求，它已经显示出良好的应用前景。航空、航天、冶炼以及深井勘探等许多领域中的电子系统需要工作在高温环境中，这要求器件和电路能够适应这种需要，而各类 SiC 器件都显示良好的温度性能。SiC 具有较大的禁带宽度，使得基于这种材料制成的器件和电路可以满足在 470K 到 970K 条件下工作的需要，目前有些研究水平已经达到 970K 的工作温度，并正在研究更高的工作温度的器件和集成电路。

国外对 SiC 器件的研究证明了 SiC 器件的抗辐射的能力。6H-SiC 整流器的抗电磁脉冲（EMP）能力至少是硅器件的 2 倍。实验结果表明结型 6H-SiC 器件有较强的抗下辐射的能力。埋栅 JFET 在 γ 辐射条件下的测试结果，总剂量 100 兆拉德条件下，跨导和夹断电压基本不变。对 125 伏和 410 伏 6H-SiCpn 结整流器进行中子辐照实验，中子流从 1013nA/cm^2 ，到 1015nA/cm^2 ，时，辐照前后 1000mA 电流的正向压降和雪崩击穿电压的测试结果说明：具有高掺杂的 125 伏整流器在正向电流 400mA 的降压几乎不变（30 伏），而雪崩击穿电压仅增加了 8.8%，而低掺杂的 410 伏整流器正向压降和雪崩击穿电压分别增加了 8.6%和 4%。

GaN 在宽禁带半导体中也占有主导地位。GaN 半导体材料的商业应用研究始于 1970 年，其在高频和高温条件下能够激发蓝光的特性一开始就吸引了半导体开发人员的极大兴趣。但 GaN 的生长技术和器件制造工艺直到近几年才取得了商业应用的实质进步和突破。由于 GaN 半导体器件在光电子器件和光子器件领域广阔的应用前景，其广泛应用预示着光电信息乃至光子信息时代的来临。

1993 年日本的日亚化学公司研制出第一支蓝光发光管，1995 年该公司首先将 GaN 蓝光 LED 商品化，到 1997 年某市场份额已达 1.43 亿美元。GaN 器件年增长率高达 44%，到 2006 年其市场份额达 30 亿美元。目前，日亚化学公司生产

蓝光 LED，峰值波长 450nm，输出光为 3mw，发光亮度 2cd ($I_p=20mA$)。GaN 绿光 LED，峰值波长 525nm，输出光功率为 2mw，发光亮度 6cd ($I_p=20mA$)。

此外，日亚化学公司利用其 GaN 蓝光 LED 和磷光技术，又开发出白光固体发光器件产品，不久将来可替代电灯，既提高灯的寿命，又大大地节省能源。因此，GaN 越来越受到人们的欢迎。GaN 蓝光激光器也被日亚公司首先开发成功，目前寿命已超过 10000hr。与此同时，GaN 的电子器件发展也十分迅速。目前 GaN FET 性能已达到 $f_t=52GHz$ ， $f_{max}=82GHz$ 。在 18GHz 频率下，CW 输出功率密度大于 3W/mm。这是至今报导 K 波段微波 GaNFET 的最高值。

在美国开展氮化镓高亮度 LED 和 LD 研究的公司和大学有几十家之多，耗资上亿美元。美国的 APA 光学公司 1993 年研制出世界上第一个氮化镓基 HEMT 器件。2000 年 9 月美国 kyma 公司利用 AlN 作衬底，开发出 2 英寸和 4 英寸 GaN 新工艺；2001 年 1 月美国 Nitronex 公司在 4 英寸硅衬底上制造 GaN 基晶体管获得成功；GaN 基器件和产品开发方兴未艾。目前进入蓝光激光器开发的公司包括飞利浦、索尼、日立、施乐和惠普等。包括飞利浦、通用等光照及汽车行业的跨国公司正积极开发白光照明和汽车用 GaN 基 LED（发光二极管）产品。涉足 GaN 基电子器件开发最为活跃的企业包括 Cree、Rfmicro Device 以及 Nitronex 等公司。目前，国外正朝着更大功率、更高工作温度、更高频率和实用化方向发展。日本、美国等国家纷纷进行应用于照明 GaN 基白光 LED 的产业开发，计划于 2015 年-2020 年取代白炽灯和日光灯，引起新的照明革命。预计，2009 年世界 GaN 器件市场达到 48 亿美元的销售额。

美国 Cree 公司由于其研究领先，主宰着整个碳化硅的市场，几乎 85%以上的碳化硅衬底由 Cree 公司提供，90%以上的生产在美国，亚洲只占 4%，欧洲占 2%。碳化硅衬底材料的市场正在快速上升阶段，到 2007 年，碳化硅衬底材料的生产达到 60 万片，其中 90%~95%被用于氮化镓基光电子器件作外延衬底。

目前在 6H-SiC 衬底上氮化镓微电子材料室温迁移率达到 $2000cm^2/Vs$ ，电子浓度达到 $10^{13}cm^{-3}$ 。生长在碳化硅衬底上的氮化镓基 HEMT 的功率密度达到了 10.3W/mm（栅长 0.6mm，栅宽 300mm），生长在碳化硅衬底上的 AlGaN/GaN HEMT 器件（栅长为 0.12mm）的特征频率 $f_t=101GHz$ 、最高振荡频率 $f_{max}=155GHz$ 。

与蓝宝石衬底材料相比，碳化硅衬底材料具有高的热导率，晶格常数和热膨胀系数与氮化镓材料更为接近，仅为 3.5%（蓝宝石与氮化镓材料的晶格失配度为 17%），是一种更理想的衬底材料。目前在碳化硅衬底上氮化镓微电子材料及器件的研究是国际上的热点，也是军用氮化镓基 HEMT 结构材料和器件的首选衬底，但碳化硅衬底上材料十分昂贵。

（2）国内研究状况

中国国内开展 SiC、GaN 材料和器件方面的研究工作比较晚，和国外相比水平还比较低。国内已经有一些单位在开展 SiC 材料的研究工作。到目前为止，2 英寸、3 英寸的碳化硅衬底及外延材料已经商品化。目前研究的重点主要是 4 英寸碳化硅衬底的制备技术以及大面积、低位错密度的碳化硅外延技术。目前国内进行碳化硅单晶的研制单位有中科院物理所、中科院上海硅酸盐研究所、山东大学、信息产业部 46 所等，进行碳化硅外延生长的单位有中科院半导体所、中国科技大学以及西安电子科大。西安电子科技大学微电子研究所已经外延生长了 6H-SiC，目前正在进一步测试证明材料的晶格结构情况。另外，还对材料的性质和载流子输运进行了理论和实验研究，器件的研究工作也取得了可喜的进展。采用国外进口的材料成功地制造出肖特基二极管和我国第一只 6H-SiC MOSFET，肖特基二极管的理想因子为 123，开启电压为 0.5 伏。MOSFET 的跨导为 0.36ms/mm，沟道电子迁移率为 $14\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。采用 Al/NiCr 制作的欧姆接触的比接触电阻为 $8.5 \times 10^{-5}/\Omega \cdot \text{cm}^2$ ，达到了可以应用于实验器件的水平。

国内 GaN 研究亦已开始，主要在基础研究方面，进展较快。在氮化镓基材料方面，中科院半导体所在国内最早开展了氮化镓基微电子材料的研究工作，取得了一些具有国内领先水平、国际先进水平的研究成果，可小批量提供 AlGaIn/GaN HEM 结构材料，一些单位采用该种材料研制出了 AlGaIn/GaN HEM 相关器件。如：中科院微电子所研制出具有国内领先水平的 AlGaIn/GaN HEM 器件；信息产业部 13 所研制出了 AlGaIn/GaN HEMT 器件，还研制出 GaN 蓝光 LED 样管，但发光亮度低，也研制出了 GaN FET 样管（直流跨导 10ms/mm），性能较差。西安电子科技大学自主研发的 MOCVD 系统及关键技术已成功产业化，应用于 GaN 半导体微波器件和光电器件制造企业。

由于碳化硅衬底上材料十分昂贵，目前国内氮化镓基高温半导体材料和器件的研究主要在蓝宝石衬底上进行，由于蓝宝石与氮化镓材料的晶格失配大、热导率低，因此，材料和器件性能均受到很大限制。

3、技术使用条件

当前，电子器件的使用条件越来越恶劣，要适应高频、大功率、耐高温、抗辐照等特殊环境。为了满足未来电子器件需求，必须采用新的材料，以便最大限度地提高电子元器件的内在性能。近年来，新发展起来了第三代半导体材料—宽禁带半导体材料，该类材料具有热导率高、电子饱和速度高、击穿电压高、介电常数低等特点。

基于宽禁带半导体材料的特性，使得这类半导体很容易在硅集成电路和砷化镓、磷化镓电路不能实现的高温、大电流和强电压下工作。GaN/AlGaIn 制成的

高电子迁移率晶体管（HMET）的直流和射频特性优越，在 X 波段优于 GaAs/GaAlAs HEMT，功率密度预计大于 12W/mm；在 10GHz 下，低噪声系数小于 0.6dB，同时保持击穿电压在 60V 以上，因而有很大的动态工作范围，适合于大功率发射和接收的应用。而在小于 100MHz 低频下，GaN 器件工作电压可大于 1000V，适用于大功率开关应用。

4、实施建设内容

（1）关键工艺设备

宽禁带材料主要生产技术工艺如下：

①原料破碎

采用锤式破碎机对石油焦进行破碎，破碎到工艺要求的粒径。

②配料与混料

配料与混料是按照规定配方进行称量和混匀的过程。

③电炉准备

电炉准备是把上次用过的炉重新修整、整理，以再次投入使用。作业内容包括清理炉底料，修整电极，清理炉墙并修补，去装力、1 挡，检查、排除炉的其他缺陷。

④装炉

装炉是按照规定的炉料类别、部位、尺寸往炉内装填反应料、保温料、炉芯材料，并砌筑具有保温和盛料作用的熔炼炉侧墙。

⑤送电冶炼

冶炼炉与变压器接通之后即可送电。送电开始 15min 投以明火，点燃 CO，冶炼过程持续 170h。

⑥冷却

冶炼炉停炉之后进行自然冷却，然后进行扒炉（卸炉墙，扒乏料），继续进行自然冷却。

⑦出炉分级

出炉分级是从炉上取下结晶块、石墨，并把一级品、二级品、石墨等物分开的过程。本项目出炉分级采用炉外分级法，人工劈开结晶筒，将成块状的结晶筒运往分级场，进行人工分级。

材料生产技术的工艺设备主要有：

破碎机；

配料混料机；

电炉；

冶炼装置；

冷却设备；

配装设备。

（2）主要技术指标

电子漂移饱和速度；

介电常数；

导电性能；

抗辐射能力；

频率、功率和密度。

5、节能减排效果

宽禁带材料能够提高功率器件工作温度极限，使其在更恶劣的环境下工作；能够提高器件的功率和效率，提高装备性能。大大节约了电子器件的耗材和提高了能源使用效率。相对于传统的材料，消耗降低 20%。

6、成本效益分析

原料和工艺设备成本总投入约为 100 万元，运行成本为 30 万元，投资回收期不超过 3 年。

7、技术应用情况

GaN/AlGaN HEMT 在空间与地面的高温、大功率应用方面有很大的潜力，例如高速卫星通信、天气预报、先进雷达、遥感、核工业抗辐照电子器件、日盲紫外探测器、高温电子学、功率开关等。随着工业的快速发展，尤其是信息技术的非凡进步、电动汽车的推广、供电站分散分布技术的应用，对电能的产生、储存和传输的优化有更高要求。虽然目前硅功率器件在这一领域占主导，但是它的性能和容量受到材料的性质所限，而 SiC 和 GaN 基宽禁带半导体的高性能远远超过硅，成为发展低能耗、紧凑型、电网快速切换的功率器件，将被应用于 100-2000kVA 和 1-50MVA 的电网。

利用气体和碳氢化合物气体通过金属接触层向 GaN 界面的扩散，引起器件特性的改变，简单的肖特基二极管可制成集成气敏探测器，将在环境监测等领域得到广泛应用。

半导体自旋电子学有着广泛的应用前景，其判据是：铁磁性在实用温度 (>300K) 以上存在，半导体材料自身在其他领域已经有广泛的技术基础，自旋电子器件要解决自旋极化载流子的有效电注入、高传输率和它的接收与收集，对晶体管结构，还需要有控制输运的能力。早期的 (Ga,Mn)As, (In,Mn)As 一类材料的居里温度远低于室温，其他材料也没有实际应用的技术基础；但是宽禁带半导体的出现，突破了这一困境，GaN 基稀磁半导体的居里温度远远高于室温，自旋极化载流子的寿命长，对它们的研究也得到了迅速发展。从长远看，有可能在

同一材料体系实现非易失性自旋存储和电、光信号处理器件的集成，这将成为宽禁带半导体微电子发展的远期目标。

8、技术知识产权

(1) 专利名称：一种碳化硅表面改性方法

申请号/专利号：C04B35/626、C09C3/10

申请人/专利权人：中国科学院长春应用化学研究所

(2) 专利名称：一种氮化镓基 LED 外延片及其生长方法

申请号/专利号：H01L33/00、H01L21/205、C23C16/18、C23C16/34、C23C16/44

申请人/专利权人：大连美明外延片科技有限公司

(3) 专利名称：一种氮化铝压电薄膜及其制备方法

申请号/专利号：C23C14/06、C23C14/35、B08B3/12、B32B7/02、B32B33/00

申请人/专利权人：电子科技大学

(4) 专利名称：一种多掺杂氧化锌基宽禁带导电材料及其制备方法

申请号/专利号：H01B1/00、H01B13/00;H01B5/14、C23C14/35、C23C14/06、H01L31/0224、H01L31/18

申请人/专利权人：中国科学院上海硅酸盐研究所

4.3.2 封装焊接铜线材料

近几年来，随着电子元器件封装制造业的成本竞争日益加剧，作为封装材料中的主要成本之一的金丝替代问题正日益受到人们的关注，而电路键合的细密间距趋势，更促使我们对铜丝球焊替代丝球焊的可行性赋予重望。

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

电子元器件封装焊接环节。

丝球焊是引线键合中最具代表性的焊接技术，它是在一定的温度下，作用键合工具劈刀的压力，并加载超声振动，将引线一端键合在 IC 芯片的金属法层上，另一端键合到引线框架上或 PCB 板的焊盘上，实现芯片内部电路与外围电路的电连接，由于丝球焊操作方便、灵活、而且焊点牢固，压点面积大（为金属丝直径的 2.5-3 倍），又无方向性，故可实现高速自动化焊接。

(2) 技术基本原理

封装焊接广泛采用金引线，金丝具有电导率大、耐腐蚀、韧性好等优点，广泛应用于 LED、半导体分立器件及集成电路等。

由于铜线丝球焊接技术存在一定的难点：铜容易被氧化，键合工艺不稳定；铜的硬度、屈服强度等物理参数高于金和铝，键合时需要施加更大的超声能量和

键合压力，因此容易对硅芯片造成损伤甚至是破坏。

➤ 铜线的物理优势

首先在导电性能上，铜的电导率为 $1.6730 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ，而金的电导率为 $2.4 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ，铜的电导率是金的 2/3 左右，也即铜的电阻比金小的多，而从物理的发热功率公式可以看出， $W = \rho R t$ ，可见电阻越小，同等电流情况下发热量越小，即铜的电流发热功率远小于金的发热功率。

其次在导热性能上，铜热导率：39.7kw/m²K，金热导率：31.55kw/m²K，可见铜的热传导性能比金好，也即铜的散热特性比金好，更容易把热量传出去，不易因聚热而熔断。而且铜的熔点温度是 1183.4℃，金的熔点是 1064℃，铜丝更不容易因聚热而熔断。

其三在机械性能上，铜的硬度比金要高，99.99%金的硬度是维氏(HV)61，而 99.97%的铜的硬度是维氏(HV)70，所以铜焊丝在球焊工艺中比金丝更容易保持线弧稳定，同时因铜的优异物理特性，可以使用更细铜丝替代金丝，所以更适合细小引线的键合。

另一个重要的特性是铜球与键合区的铝层的焊点金属间化合物，研究表明，比金球与铝的化合物更稳定，不易生长，这也是一个很好的优点。因为金与铝两种元素的扩散速率不同，导致界面处形成柯肯德尔孔洞以及裂纹，降低了焊点力学性能和电学性能，易在金属间化合物界面发生脆断，造成电路开路。而 Cu/Al 界面的金属间化合物生长速度比 Au/Al 界面慢 10 倍，因此，铜丝球焊焊点的可靠性要高于金丝球焊焊点。

➤ 铜丝的防氧保护

铜线表面的污染与氧化是造成铜线焊接性能差的主要因素。铜线表面的污染问题一般可采用离子清洗法和过程控制来解决。而对于氧化问题则必须采用增加保护气体来处理。因为铜丝在空气中的易氧化特性，在很大程度上阻碍了它的可用性。

铜的氧化有两种情况，一种是不充分氧化而生成的红色 Cu_2O ，其主要是在存放与运输中，由于长期与空气接触而产生的缓慢氧化现象；另一种是在焊接加工过程中，在工作台的高温作用下与空气中的氧气充分反应，生成黑色的 Cu_2O 。铜线在空气中发生的这两种氧化反应，直接影响了铜丝的焊接性能，使其成为难焊接材料。因此，在铜丝焊接过程中必须采取措施进行保护和保护。

针对两种不同的反应模式，在实际操作中首先在铜丝的生产包装运输途中采用真空包装，目前许多铜丝供货商都已实现。同时为了减少在焊线过程中 Cu_2O 的生成，主要是对其在空气中的暴露时间进行控制，空气中暴露一般不得超过几天，不用时应存放在保护气体中，隔绝空气对铜丝的缓慢氧化。

对于焊接过程中的防氧化方式,目前有两种,一种是采用保护加还原的方式,即采用 H_2 、 N_2 混合保护气体,混合比率一般按 95% 的 N_2 和 5% H_2 ,加在易出现氧化的 EFO 烧球点与工作台的芯片加热区域,流量一般为 1L/min 左右,而流量的大小主要视铜球的氧化颜色与铜球的焊接形状而定,太大会出现高尔夫球情况,太小则会影响保护作用。这种方式的还原反应方程式为: $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$ 。而另一种是采用 100% N_2 做为保护气。

2、技术发展水平

铜线具有优秀的机械、传热和电性能,在芯片引线键合工艺中取代金线,可以使焊接间距进一步缩小,提高芯片频率、散热性和芯片可靠性。但是,由于其容易氧化的特性,在焊接时必须加入特殊的防氧化工艺,并用特定的几台参数控制弹坑现象。由于铜丝球焊的工艺与金丝球焊相近,所以在可靠性及性能测试的标准方面一般都套用同规格的金丝来衡量。并且因铜丝的价格低廉,加工成本的控制已使得铜丝球焊工艺的推广应用具有很强的现实意义。

3、技术使用条件

- (1) 铜的防氧;
- (2) 降低硬度;
- (3) 焊点间化合物生长;
- (4) 焊点剪切。

4、实施建设内容

(1) 关键工艺设备

- 丝球焊机
- 清洗设备
- 防氧设备
- 剪切设备

(2) 主要技术指标

- 导电率的控制
- 材料软化控制
- 化合物生长指标
- 力学性能和电学性能
- 弹坑键合参数
- 剪切断裂载荷

5、节能减排效果

- (1) 节约贵金属耗材 10 万吨/年;
- (2) 增强了元器件的功率,提高利用率;

(3) 降低焊接化合物污染排放 4 万吨/年;

(4) 铜线材料焊点使用寿命是 4 万 h, 是金线焊点的 4 倍。

6、成本效益分析

对比金线材料的成本降低了 30%, 减少其他金属丝线耗材 10 吨/年。

7、技术应用情况

早在 20 世纪 90 年代初期, 美国国家半导体公司就开始致力于铜丝球焊技术的应用研究, 如今已十几年过去了, 铜丝球焊仍未得到大面积的应用, 所占引线键合的比率依然很少。

8、技术知识产权

专利名称: 一种功率器件的铜线键合方法

申请号/分类号: B23K20/24;B23K20/10;H01L21/607

申请人/专利权人: 深圳市贵鸿达电子有限公司

4.3.3 Sn-Zn-Bi-Cr 合金无铅焊料

锡铅焊料是电子组装焊接中的主要焊接材料, 以其优质的性能和低廉的成本, 一直被人们所重视。但铅及它的化合物是有毒物质, 人类如长期接触会给生活环境和安全带来较大的危害。其中铅对儿童的危害更大, 会影响其智商和正常发育。电子工业中大量使用 Sn/Pb 合金焊料是造成应用污染的重要来源之一。

世界各国都纷纷开展无铅焊料的研究工作。日本首先研制出无铅焊料并应用到实际生产中, 并从 2003 年起禁止使用美国和欧洲提出 2006 年 7 月 1 日起禁止使用。二十世纪末日本已有多家知名公司相继使用无铅焊料进行批量生产。Panasonic 1998 年 9 月就开始在批量生产盒式收录机中使用 Sn-Ag-Bi(In), 还有 NEC、SONY、TOSHIBA、HITACHI 等公司先后用无铅焊料进行批量生产, 同时都制定了全面推行无铅化的期限。

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

传统锡铅焊料, 它是利用 $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{37}$ 为锡铅低共熔点, 其共晶温度是 183°C , 与目前 PCB 的耐热性能接近, 并且具有良好的可焊性、导电性以及较低的价格等优点而得到广泛使用。

无铅焊料是利用锡与其它金属如铜、铋、银等金属的合金在共晶点或非共晶点出现的共熔现象制成的焊料。作为锡铅共晶焊料合金的替代材料, 无铅焊料应该在熔点、机械特性和物理特性等方面同锡铅共晶焊料合金接近, 且供应材料充足, 毒性弱并能在现有的设备中运用现有的工艺条件进行使用。

(2) 技术基本原理

Sn-Zn-Bi-Cr（锡-锌-铋-铬）合金无铅焊料的制备方法，属于电子材料技术领域。本发明包括以下步骤：(1)中间合金 Sn-Cr 的制备：①按照 Cr 为 0.005-1.5%，Zn 为 3-12%，Bi 为 0.5-12%，余量为 Sn 的 Sn-Zn-Bi-Cr 合金焊料的组成要求先分别称乳状、粒状或粉末状纯金属 Cr 和 Sn；②将温度升至金属 Cr 的熔点以上，熔化后保温，并充分搅拌；③将剩余的 Sn 原料加到炉中，待溶化后，降温，保温，同时继续搅拌；(2)Sn-Zn-Bi-Cr 合金熔炼：①将上述 Zn 和 Bi 原料放入熔融的 Sn-Cr 中间合金中，待全部溶化后充分搅拌，并保温；②降温，在不断搅拌条件下，保温；③冷却至室温或根据需要浇铸成定。本发明焊料的抗氧化性、耐腐蚀性大为改善，延展性等机械性能明显提高，同时由于抗氧化性和耐腐蚀性的改善，润湿性也得到了进一步的提高。

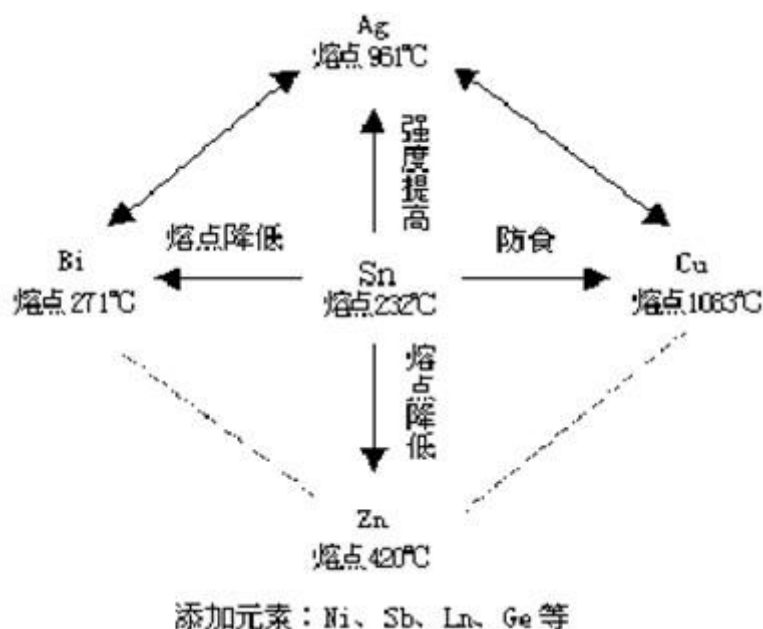


图 4-7 焊料合金的组合

2、技术发展水平

目前常用的无铅焊料主要是以 Sn-Ag、Sn-Zn、Sn-Bi 为基体，添加适量其它金属元素组成三元合金和多元合金。

表 4-3 无铅合金焊料种类

种 类	优 点	缺 点
Sn-Ag	具有优良的机械性能、拉伸强度、蠕变特性及耐热老化比 Sn-Pb 共晶焊料稍差，但不存在延展性随时间加长而劣化的问题。	熔点偏高，比 Sn-Pb 高 30-40 度润湿性差，成本高。
Sn-Zn	机械性能好，拉伸强度比 Sn-Pb 共晶焊料好，可拉制成丝材使用；具有良好的蠕变特性，变形速度慢，至断裂时间长	Zn 极易氧化，润湿性和稳定性差，具有腐蚀性。

Sn-Bi	降低了熔点，使其与 Sn-Pb 共晶焊料接近，蠕变特性好，并增大了合金的拉伸强度；	延展性变坏，变得硬而脆，加工性差，不能加工成线材使用。

（1）锡锌合金焊料

锡锌系(Sn91-Zn9)在日本无铅化使用面很广，锡锌系焊料是无铅焊料中唯一与锡铅系焊料的共晶熔点相接近的，可以用在耐热性不好的元器件焊接上，并且成本较低。但是在大气中使用表面会形成很厚的锌氧化膜，必须要在氮气下使用或添加能溶解锌氧化膜的强活性焊剂，才能确保焊接质量。而且润湿性差也不能忽视。用于波峰焊生产时会出现大量的浮渣。制成锡膏时由于锌的反应活性较强，为保证锡膏的存放稳定性和增加它的润湿性，会增添不少的麻烦。可以说此种焊料短期内不会得到推广。

（2）锡铜合金焊料

锡铜系(Sn99.3-Cu0.7)焊料在焊点亮度、焊点成型和焊盘浸润等方面和传统锡铅焊料焊接后的外观没有什么区别。而且由于锡铜系焊料构成简单，供给性好且成本低，因此大量用于基板的波峰焊、浸渍焊，适合作松脂心软焊料。有比锡铅焊料好的强度和耐疲劳性，还有优于锡铅系焊料之处，那就是在细间距 QFP 的 IC 流动焊中无桥连现象，同时也没有无铅焊料专有的针状晶体和气孔，可得到有光泽的焊角。在 260℃ 和 245℃ 的温度下焊接实验都很成功。

（3）锡银合金焊料

锡银系(Sn96.5-Ag3.5)焊料作为锡铅替代品已在电子工业使用了多年。它能在长时间内提供良好的粘力。在过回流焊时无需氮气保护浸润性和扩散性与锡铅系焊料相近，并且锡银系的助焊剂残留外观比锡铅系的残留还要好，基本无色透明。而且还在合金的电导率、热导率和表面张力等方面与锡铅合金不相上下。

（4）锡银铜合金焊料

锡银铜系(Sn95.4-Ag3.1-Cu1.5)焊料可能将是锡铅焊料的最佳替代品，它有着良好的物理特性。锡与次要元素银和铜之间的冶金反应是决定应用温度、同化机制及机械性能的主要因素。在这三元素之间有三种可能的二元共晶反应。在温度动力学上锡更适合与银或铜反应，来形成 Ag_3Sn 或 Cu_6Sn_5 金属间的化合物。较硬的 Ag_3Sn 和 Cu_6Sn_5 粒子在锡基质的锡银铜三重合金中，可通过建立一个长期的内部应力，有效地强化合金。这些硬粒子也可有效地阻挡疲劳裂纹的蔓延。

Ag_3Sn 和 Cu_6Sn_5 粒子的形成可分隔较细小的锡基质颗粒。 Ag_3Sn 和 Cu_6Sn_5 粒子越细小，越可以有效地分隔锡基质颗粒，结果是得到整体更细小的微组织。这有助于颗粒边界的滑动机制，因此延长了提升温度下的疲劳寿命。其中 Sn95.4-Ag3.1-Cu1.5 此种配制为最佳，它良好的性能是细小的微组织形成的结果，微组织给予高的疲劳寿命和塑性。对于 0.5%~0.7% 铜的焊锡合金，任何高于大约

3%的含银量都将增加 Ag_3Sn 的粒子体积分数，从而得到更高的强度，并且不会再增加疲劳性。反之含铜量较高时造成疲劳性降低。在此种三重系统中，1.5%的铜 3%~3.1%的银最有效地产生适当数量的、最细小的微组织尺寸的 Cu_6Sn_5 粒子，从而达到最高的强度、可塑性和抗疲劳性。

锡银铜系($\text{Sn}95.4\text{-Ag}3.1\text{-Cu}1.5$)与传统锡铅系($\text{Sn}63\text{-Pb}37$)比较优势在于，配比为 3.0%~4.7%Ag 和 0.5%~1.7%Cu 的合金成分通常具有比 $\text{Sn}63\text{-Pb}37$ 更好的抗拉强度。

锡银铜系($\text{Sn}95.4\text{-Ag}3.1\text{-Cu}1.5$)与锡银系($\text{Sn}96.5\text{-Ag}3.5$)比较优势在于，它的熔化温度为 $216^\circ\text{C}\sim 217^\circ\text{C}$ ，比共晶的 $\text{Sn}96.5\text{-Ag}3.5$ 低大约 4°C 。当与 $\text{Sn}96.5\text{-Ag}3.5$ 比较基本的机械性能时，研究中的特定合金成分在强度和疲劳寿命上表现更好。

锡银铜系($\text{Sn}95.4\text{-Ag}3.1\text{-Cu}1.5$)与锡铜系($\text{Sn}99.3\text{-Cu}0.7$)的比较，3.0%~4.7%Ag 和 0.5%~1.7%Cu 的锡银铜成分合金具有较好的强度和疲劳特性，但是塑性没有 $\text{Sn}99.3\text{-Cu}0.7$ 高。

3、技术使用条件

通过长时间的研究，锡被认定为是最好的基础金属，因为锡的货源储备充足，无毒害，检修容易，有良好的物理特性，熔点是 232°C ，与其他金属进行合金化后熔点不会很高。配比合金在得到接受前都必须考虑以下几种要求：

- (1)使用产品时的材料消耗情况。
- (2)产品制造过程中使用的能量情况。
- (3)产品处理后的重复使用性。
- (4)材料从制造到再生利用这期间的辐射情况。

最有可能替代 Sn/Pb 焊料的元素合金是 Sn 为主，添加 Ag 、 Zn 、 Cu 、 Sb 、 Bi 、 In 等金属元素，选择这些金属材料可在和锡组成合金时降低焊料的熔点，使其得到理想的物理特性。

(1) Bi 的加入使 $\text{Sn}3.5\text{Ag}$ 共晶钎料的熔点降低，并提高了其流动性与润湿性，钎料的抗拉强度和伸长率也得到提高。

(2) $w(\text{Bi})$ 应控制在 5%左右，过多的 Bi 会使钎料脆性增大，韧性下降，且 $w(\text{Bi}) > 5\%$ 后，对降低钎料熔点的作用已不明显。

4、实施建设内容

(1) 关键工艺设备

对无铅焊接设备有特殊要求的是无铅回流炉、无铅波峰焊炉和电烙铁。因为无铅焊接和有铅焊接工艺的最大区别是对温度的要求不同，有铅焊料熔点为 183°C ，而一般无铅焊料的熔点为 217°C ，以此为依据，展开有无铅焊接工艺的区别。相对有铅焊接设备，无铅焊接设备材料要求耐温度高、温度控制精度高、

功率高。

(2) 主要技术指标

- 熔点低，合金共晶温度近似于 Sn63/Pb37 的共晶焊料相当，具有良好的润湿性；
- 机械性能良好，焊点要有足够的机械强度和抗热老化性能；
- 热传导率和导电率要与 Sn63/Pb37 的共晶焊料相当，具有良好的润湿性；
- 机械性能良好，焊点要有足够的机械强度和抗热老化性能；
- 要与现有的焊接设备和工艺兼容，可在不更换设备不改变现行工艺的条件下进行焊接。
- 焊接后对各焊点检修容易；

表 4-4 无铅焊料的特征

合金系	名称	主成分	熔点 (℃)	抗拉强度 100mm/min	扩展率 (%)	润湿性 (大气中)
锡银系	Sn96	Sn/Ag	约 221	4.7kgf/mm ²	33	良好
锡银铜系	Sn96Cl	Sn/Ag/Cu	约 217	5.3kgf/mm ²	27	良好
锡银系	Sn100C	Sn/Cu/Ni	约 227	3.3kgf/mm ²	48	良好
锡铋系	Bi57	Sn/Bi	约 139	7.6kgf/mm ²	33	良好
锡铋锡系	LF-B2	Sn/Bi/Sb 等	约 144-200	8.2kgf/mm ²	4	良好
锡银铋铜系	LF-C2	Sn/Ag/Bi/Cu	约 208-213	5.1kgf/mm ²	25	良好
锡锌系	LF-A	Sn/Zn	约 199	--	--	良好
锡锑系	95A	Sn/Sb	236-243	4.7kgf/mm ²	38	良好
1)锡银铜系(Sn96C)及锡银铋铜系(LF-C2)是通过美国某研究所检验的产品； 2)锡银系(Sn100C)在国内外 32 个国家申请专利； 3)润湿性试验使用 RMA 免清洗助焊剂。						

5、节能减排效果

- (1) 避免了铅污染。世界每年减少近 20 万吨铅的使用。
- (2) Sn-Bi 系焊料，融点是在共晶态 139℃的低温，强度和延伸性也比较较好。较传统焊料减少了能耗。
- (3) Sn-Zn 系焊料是无铅焊料中唯一与锡铅共晶熔点接近的焊料，适合用于耐热性差的电子器件的焊接。提高电子器件的成品率和寿命。
- (4) 低银焊料，减少贵金属的添加和使用。
- (5) 减少焊渣的排放。

6、成本效益分析

- (1) 锡原料供应。目前焊料的世界年产量为 23 万吨，广泛用于金属连接和表面处理镀覆等方面。焊料主成分锡的世界年产量为 21 万吨，其中 6 万吨

作为焊料的原料使用。

- (2) 低银焊料材料成本降低。全球最大的电脑主板供应商华硕通过采用低银焊料，一年累计成本节省 1 亿元人民币。

7、技术应用情况

锡锌系无铅焊料，是一种有前途的无铅焊料，其熔点接近锡铅焊料可兼容现有的工艺、设备以及高强度，资源丰富，价格低廉等特点，而备受瞩目。然而，锌元素较活泼，容易发生氧化，使锡锌合金的润湿性、抗氧化和抗腐蚀性很差，影响了该焊料的大面积应用和推广。

8、技术知识产权

专利名称：Sn-Zn-Bi-Cr 合金无铅焊料的制备方法

申请号/专利号：CN200510028448.5

申请人/专利权人：上海交通大学

4.4 新技术焦点

4.4.1 辉钼材料(MoS_2)技术

辉钼在自然界中含量丰富，通常用于合金钢或润滑油添加剂中的成分，在电子学领域尚未得到广泛研究。它是一种二维材料，非常薄，很容易用在纳米技术上，在制造微型晶体管、发光二极管（LED）、太阳能电池等方面有很大潜力。洛桑联邦理工学院教授安德列斯 凯斯说，他们将这种材料同硅以及当前主要用于电子和计算机芯片的富勒烯进行了对比。



图 4-8 辉钼材料实图

同硅相比，辉钼的优势之一是体积更小，辉钼单分子层是二维的，而硅是一种三维材料。在一张 0.65 纳米厚的辉钼薄膜上，电子运动和在两纳米厚的硅薄膜上一样容易。但目前不可能把硅薄膜做得像辉钼薄膜那么薄。

辉钼的另一大优势是比硅的能耗更低。在固态物理学中，能带理论描述了在特定材料中电子的能量。在半导体中，自由电子存在于这些能带之间，称为“带隙”。如果带隙不太小也不太大，某些电子就能跳过带隙，能更有效控制材料的

电子行为，开关电路更容易。

辉钼单分子层内部天然就有较大的带隙，虽然它的电子流动性较差，但在制造晶体管时，用一种氧化钨介质栅门就可使室温下单层辉钼的运动性大大提高，达到富勒烯纳米带的水平。富勒烯没有带隙，要想在上面人为造出带隙非常复杂，还会降低其电子流动性，或者需要高电压。由于辉钼直接就有带隙，可以用单层辉钼制造间带通道场效应晶体管，且在稳定状态下耗能比传统硅晶体管小 10 万倍。在光电子学和能量捕获应用领域，单层辉钼还能与富勒烯共同使用，形成优势互补。

4.4.2 磷酸铁锂电池材料产品节能技术

1、技术介绍：技术基本原理

（1）它既具备了所有锂离子电池所共有的优点：

- ①蓄能密度大。是铅酸电池的 4 倍以上，氢电池的 2 倍以上。
- ②无记忆效应。可以长期在线充放电，蓄能效果几乎不受影响。
- ③转换效率高。有力的节约了能源。
- ④自放电率极低。可较长期的存储电能。
- ⑤一致性好。适于标准化生产。
- ⑥免维护。降低使用成本。

（2）也拥有着其它锂离子电池所不具备的独特优势：

- ①绝对安全。其它锂电池共有的燃烧爆炸隐患不复存在。
- ②可快速充放电。保证了快速充电和大功率应用的需求。
- ③循环寿命长。铅酸电池、氢电池以及其它各种锂电池循环寿命均小于 500 次，磷酸铁锂电池寿命至少可达 2000 次以上，甚至可超过 3500 次。
- ④价格低廉。市售价仅为钴酸锂的三分之一以下，且仍有很大的降价空间。
- ⑤环保。主要分解物完全无污染。

（3）正因如此，磷酸铁锂电池在诸多领域拥有着无可替代的优势：

- ①便携电子设备。其高安全性特点是商务型笔记本、手机的最佳选择。
- ②电动工具。蓄能密度大、可大功率放电是手持电钻等设备的不二之选。
- ③矿灯。高安全要求仅铅酸电池和磷酸铁锂电池可保证。
- ④电动自行车、轮椅、高尔夫车、沙滩车、汽车启动电源。重量仅为铅酸电池的四到五分之一。

⑤电动汽车、混合动力汽车。磷酸铁锂电池的所有优点均不可或缺，是该领域目前唯一满足所有需求的产品，也是磷酸铁锂电池的主要应用领域。

⑥新能源蓄能。风能、太阳能等新能源发电项目的共同问题是输出不稳定，

蓄能电池组必不可少，长寿命、高容量的磷酸铁锂电池是其最佳选择。

⑦军用。电台、潜艇、航空、航天都有着大量的应用空间。

2、技术知识产权情况

中电十八所、中北国技（北京）科技有限公司

3、技术水平及应用情况

本技术工业化生产的产品性能稳定，技术指标国内领先，达到或超过目前可采购的进口产品的水平。

本技术产业化生产线生产的产品 2010 年 9 月在中电十八所测试的数据已达 168.1mAh/g (0.2C)，141.1mAh/g (0.5C)，130.9mAh/g (1C)。

4、应用前景

通常的锂电池中，电池正极材料的用量均以克为计算单位（一部手机需要 5-6 克钴酸锂，所谓超大容量电池也很少超过 10 克），而国内一年消耗的钴酸锂材料即达 30000 吨以上。一部电动汽车，至少需要使用 50~60kg 的磷酸铁锂，用于常规潜艇、新能源电站的蓄能电池组更将以吨计量，其应用前景不言自明。

5、成本效益分析

表 4-5 成本效益分析表

生产规模	设备投资	厂房规模	装机容量	人员
	万元	平米	KW	人
200 吨/年	350	1000	350	30
400 吨/年	450	1200	450	35
1000 吨/年	850	2000	750	65
生产规模	原料成本	综合成本	年产值	年利润
	万元/吨	万元/吨	万元	万元
200 吨/年	各工艺均<6 部分工艺<5	<7	3000	>1600
400 吨/年		<6.8	6000	>3280
1000 吨/年		<6.5	15000	>8500

<电子元器件行业篇>

第一章 导言

1.1 编制目的

电子元器件是电子信息行业的基础，也是电子信息产业的重要组成部分，主要应用于电脑、通信设备制造、汽车电子、工业控制等方面。全球经济危机过后，受市场需求回暖影响，下游产品产量大幅度提升，直接拉动了电子元器件产品的需求。

与钢铁、水泥等行业相比，电子元器件制造业并不属于高耗能和高污染行业，但由于电子元器件制造企业数量庞大，而且目前尚存在一些能耗相对较高的工艺环节，如果将整个行业进行综合统计，其耗能量和污染量仍是相当惊人的。而长久以来，电子元器件制造业对节能环保的重视程度并不算高。在未来，如何将节能环保理念融入我国电子元器件制造业的生产经营过程中，使企业主动地采用节能环保技术开展日常生产，将是整个行业面临的重大课题。以节能、降耗、减污为目标的绿色生产已经成为电子元器件制造的必然趋势。

1.2 适用范围

《电子元器件行业节能减排技术指南》适用于电子信息行业企业技术领域的节能减排工作，包括新建项目的技术选择、已建项目的技术改造等。

1.3 编制依据

中国政府发布了《电子信息产品污染防治管理办法》(中国 RoHS)，由此，业界对材料及元件的环保要求越来越高，在电子元件制造领域刮起了一股“绿色旋风”。

本指南是根据电子信息行业生产和节能环保的相关法律、法规、技术政策标准等制订的。

- ①中华人民共和国节约能源法；
- ②中华人民共和国环境保护法；
- ③中华人民共和国清洁生产促进法；
- ④《能源中长期发展规划纲要（2004 年~2020 年）》；
- ⑤《国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》（国发[2011]26 号）；
- ⑥《电子工业污染物排放标准 电子元件》；

- ⑦《电子工业污染物排放标准 半导体器件》；
- ⑧《平板电视能效定值及能效等级》；
- ⑨《电子废物污染环境防治管理办法》；
- ⑩《废弃电器电子产品回收处理管理条例》；
- ⑪《清洁生产标准 印制电路板制造业》。

1.4 术语及定义

(1) 生产过程节能减排技术：本指南中的“生产过程节能减排技术”是指产品生产过程中降低物耗、能耗、减少污染物产生量的源头削减技术，具体包括低能耗、低污染的新工艺、新技术；原料替代、预处理；过程优化等技术。

生产过程节能减排技术包括如下指标：

物耗能耗：该技术在资源、能源方面的消耗水平（用吨产品消耗量计）。

相对节能量：该技术与其它高耗能技术相比的节能量（用吨产品节能量或百分比计）。

产污情况：该技术的污染物产生情况（用吨产品产生量计）。

相对减排量：该技术与其他高污染技术相比的减排量（用吨产品减排量或百分比计）。

(2) 资源能源节约与综合利用技术：本指南中的“资源能源节约与综合利用技术”是指将企业生产过程中产生的余热、余压、废料、废水等经回收、加工、转化或提取，从而生成新的可被利用的资源、能源或副产品的这样一类技术。具体包括余热余压回收利用技术，高浓度废液处理回用技术、固体废弃物资源化技术等类型。

资源能源回收利用技术包括如下指标：

资源能源回收率：该技术回收的物质的量占废物的比例（用%计）。

节能量：该技术运用后可为企业带来的节能量（用年节能量或百分比计）。

副产品产量：该技术运用后可为企业产生的副产品的量（用年产量计）。

污染物减排量：该技术运用后可为企业带来的污染减排量（用年减排量或百分比计）。

(3) 污染物治理技术：本指南中的“污染物治理技术”是指通过化学、物理或生物等方法，将企业中已经产生的污染物进行削减或消除，从而使企业的污染排放达到环境标准或相关要求的这类技术。具体包括水污染处理技术、大气污染控制技术、固体废物处理处置技术等。

污染物治理技术包括如下指标：

污染物去除率： $(\text{进口浓度}-\text{出口浓度})/\text{进口浓度}$ （用%计）。

污染物减排量：该技术运用后可为企业削减污染物的量（用年削减量或百分比计）。

污染排放水平：该技术运用后企业的污染排放水平（用浓度计，并与排放标准进行比较）。

（4）技术适用条件：指技术使用中的特定条件限制，如运行规模、对物料的性质（浓度、温度、压力等）的限定、上下游技术间的特定匹配关系、产品技术的使用环境要求等。

（5）成本效益分析：

单位投资：技术总投资/总产能（或总产品）

单位运行费用：技术年运行费用/年产量或产值

净效益：技术产生的年度总效益-年均成本

投资回收期：技术在投入后获得回报的时间期限

（6）技术推广应用情况：

技术普及率：行业内采用该技术的企业数量/企业总量，或行业内采用该技术生产的产品量/产品总量。

产品市场占有率：采用某项节能减排产品技术的产品在市场中所占的份额。

“十二五”预计推广比例：结合技术发展趋势和专家经验估计，预测技术在2015年底的技术普及率或产品市场占有率。

第二章 行业资源能源消耗及产排污情况

2.1 行业类型划分

2.1.1 产业统计分类

电子元器件是元件和器件的总称，是组成电子产品的基础，我国电子元器件行业中，电子元件占据市场主要地位。

电子元件：指在工厂生产加工时不改变分子成分的成品。如电阻器、电容器、电感器。因为它本身不产生电子，它对电压、电流无控制和变换作用，所以又称无源器件。

电子器件：指在工厂生产加工时改变了分子结构的成品。例如晶体管、电子管、集成电路。因为它本身能产生电子，对电压、电流有控制、变换作用（放大、开关、整流、检波、振荡和调制等），所以又称有源器件。

2.1.2 产业形态分类

常用的电子元件有：电阻、电容、电感、电位器、变压器、PCB 等，常用的电子器件主要有半导体集成电路和半导体分立器件、光电子器件等。

按分类标准，电子器件可分为 12 个大类，可归纳为真空电子器件和半导体器件两大块。

在本指南中涉及的电子元器件分为四类：电子元件（包括电阻、电容、电感、电位器、变压器、敏感元件等）、线路板（含覆铜板）、半导体（含分立器件、集成电路）、光电组件。

2.2 能源消耗情况

2.2.1 能源消耗特点

电子元器件生产是功能、结构零件的加工和组装过程，加工和组装除使用力学方法，还使用其他物理、化学、电化学的方法。因各类元器件的原理、材料、结构和功能差异很大而形成各具特色的专用工艺，在各专用工艺中有一些高耗能的共性技术，例如镀膜和改性等。

2.2.2 能源消耗水平

根据工业和信息化部统计数据，2008 年我国规模以上电子信息产品制造业综合能源消耗量分别为 1476 万吨标准煤，平均每万元增加值能耗为 0.11 吨标准煤。从能源消耗种类来看，电子信息产业消耗最多的能源依次是电力、原煤、燃料油和柴油。

与国家标准相比，电子元器件行业能源消耗指标均低于电子行业 1.20 吨标准煤/万元、覆铜板行业 0.159 吨标准煤/万元的要求。从行业来看，电子真空器件每万元增加值能耗为 0.81 吨标准煤；半导体分立器制造业每万元增加值能耗为 0.19 吨标准煤；集成电路制造业每万元增加值能耗为 0.11 吨标准煤；光电子器件及其他电子器件制造业每万元增加值能耗为 0.077 吨标准煤；电子元件及组件制造业每万元增加值能耗为 0.19 吨标准煤；印刷电路板制造业每万元增加值能耗为 0.096 吨标准煤。

表 2-1 2006-2008 年规模以上电子元器件工业增加值及综合能耗情况^①

行业	工业增加值（万元）			单位工业增加值能耗	综合能耗（kg 标煤）		
	2006	2007	2008	（kg 标煤/万元）	2006	2007	2008
电子真空器件	1,085,212	1,159,719	1,274,560	814.79	884,219,885	944,927,444	1,038,498,742
半导体分立器件	682,499	1,124,271	1,577,058	193.58	132,118,156	217,636,380	305,286,888
集成电路	3,127,088	4,989,342	6,321,844	113.46	354,799,404	566,090,743	717,276,420
光电子器件及其他电子器件	2,545,527	4,896,938	7,881,029	77.42	197,074,700	379,120,940	610,149,265
电子元件及组件	11,518,375	14,163,211	17,998,188	193.86	2,232,952,178	2,745,680,084	3,489,128,726
印制电路板	3,889,806	4,325,973	5,110,908	96.1	373,810,357	415,726,005	491,158,259

太阳能电池

目前生产多晶硅的企业一般都采用改良的西门子法。使用该方法 1kW 的太阳能电池约需 10kg 的多晶硅，需要消耗电能 5800-6000 度，耗电量是巨大的。从国内平均水平来看，生产工业硅每公斤需要 30 度电，生产多晶硅每公斤 150

^①该表中“单位工业增加值能耗”数据是 2005 年同类产品的单位工业增加值能耗。由于 2006-2008 的数据不可得，故本表采用 2005 年数据。

数据来源：2006-2008 中国电子信息产业统计年鉴，综合篇

—250 度电，再拉成单晶硅每公斤消耗 60 度电，而每公斤单晶硅可以切 60—90 片，这又要耗电 6—8 度，再做成电池需要 110 度电。所有工序加起来，每公斤硅变成电池要用 350-450 度电。

2.3 资源消耗情况

2.3.1 资源消耗特点

4.4.2.1 太阳能电池

晶体硅电池生产所需的材料除了电池片、白玻璃、EVA 等，还有许多辅料参与其中，以硅片为界，可以将其分为硅片前和硅片后 2 个部分。

(1) 硅片前辅料

硅片前辅料主要是提纯和生产多晶硅、单晶硅所用的辅料，主要包括氯产品如盐酸、氯气、三氯氢硅等，氢气和氯化氢所用的气体，多晶硅铸锭用的氮化硅粉，惰性气体以及其它反应气体。在多晶硅铸锭时需要用到的石英坩埚、铸锭炉和单晶炉内用的石英坩埚（又分为石英陶瓷坩埚和石英玻璃坩埚）、隔热用的碳毡（分为硬毡和软毡）以及工作时需要消耗的温度传感器件，也都属于硅片前辅料。此外，在多晶硅铸锭和单晶硅拉制时，还需要用到保护气体和反应气体。

(2) 硅片后辅料

在硅片切割过程中，要用到切割线（包括钢线、钼线、金刚砂线）、切削液、金刚砂微粉（或称碳化硅微粉）；在硅片切割后清洗时，要用到各类的碱、酸和纯净水。

硅片切割后，进入电池片生产阶段，此时，除了前期对于硅片的清洗制绒需要的各类酸碱和纯水辅料外，扩散还需要用到三氯氧磷气体，等离子体增强化学气相沉积（PECVD）要用到硅烷气体，电极加工要用到银浆和铝浆，这些硅片后辅材的耗损量甚至不亚于主原料硅的价值。

在组件加工方面，要用到超白玻璃、EVA 薄膜（近期也产生了用有机硅薄膜的新产品）、铝合金框（最近开始使用工程塑料代替），还有各种粘结剂。

在电站建设方面，则主要是电缆和支架材料，支架材料目前以钢结构为主，也有采用铝合金和工程塑料代替的。

2.3.2 资源消耗水平

4.4.2.2 印刷电路板行业

印刷电路板（PCB）的主要原料包括覆铜板、铜箔、半固化片、化学药水、阳极铜/锡/镍、干膜、油墨等，其中铜箔是占覆铜板成本比重最大的原材料，约

占覆铜板成本的 30%(厚板)和 50%(薄板)以上。

印制板生产离不开水,简单的单面板生产中水洗工序不少于五道,而双面板生产中水洗工序不少于十道。多层板有多张内层图形制作,水洗工序更多。因印制板工厂是个用水大户,有一定规模工厂年用水量达数十万 m^3 。

如以一个大型的月产量 3 万 m^2 多层 PCB 的工厂为例,大约每月耗用水 9 万吨(m^3),用电约 450 万度(kWh),耗用金属铜约 18 吨。每月会有排放废水约 7 万吨,废水中含有铜、COD 需要进行处理后才能排放,经处理后排放废水中会含铜总量约 140 千克,含 COD 总量约 3.5 万千克。另外还产生含金属铜等污染物的废液近 1 千吨,还有含铜废基板和泥渣约 100 多吨,需要回收金属物,如回收利用充分可有 10 吨多铜得到再生。

表 2-2 部分 PCB 企业水电单耗统计①

企业序号	种类	水 m³/m²	电 kWh/m²	CCL 用率	废水回用	末端 Cu (mg/L)	末端 COD (mg/L)
S1	单面板	0.22	5.9	89%	40%	116	300
S2		0.17	3.14	85%	---	10	120
S3		0.4	7.25	80%	---	15	165
S4		0.05	---	83%	---	---	---
S5		0.12	10.8	77%	---	24	265
S6		0.75	14.4	81%	10%	56	580
S7		0.3	22		---	28	530
S8		0.45	25	70	---	16	---
D1	双面板	2.5	32	65%	40%	38	180
D2		1.5	50.8	83%	30%	100	4000?
D3		3.2	64.8	95%	---	75	500
D4		2	85	83%	---	25	160
D5		0.78	21.7	76%	---	85	1000?
D6		0.85	41.5	---	---	50	700
D7		1	43	73%	---	---	---
D8		0.9	54	75%	---	---	---
多层板							
M1	L4	2.76	63.6	96%	---	53	210

①数据来源为《清洁生产标准 印制电路板制造业》

M2	L4	2	106	62%	---	65	4000
M3	L7.5	2.46	126.9	80%	---	50	800
M4	L8	2.1	150	71%	30%	90	320
M5	L5	4	72	74%	5%	100	750
M6	L3	2.1	64	77%	20%	110	1500
M7	L7.7	2	100.5	79%	---	30	2000
M8	L6	2.3	64	65%	---	50	3000
M9	L4	1.5	57		---	---	---
M10	L4	1.1	44	70%	---	---	---
M11	L7.5	3.36	130	---	---	---	---
M12	L4	2.07	52.7	68%	---	---	---
挠性板							
F1	L2	3.5	46	40%	10%	26	190
F2	L1	1.6	42	53%	---	30	220
	L2	2	47	48%	---	60	---
F3	L1	1.5	70	60%	---	---	---
F4	L2	1	40	40	---	28	150
HDI 板							
H1	L7.7	7.6	175	68%	5%	136	1500
H2	L6.8	3	75	80%	---	180	2000
H3	L7	3.4	167	---	---	---	---
H4	L7.7	3.2	320	76%	---	50	300

电子级酚醛树脂大量用于电子材料制造业，主要是环氧塑料制造业和覆铜板制造业，根据统计，目前我国覆铜板制造业对酚醛树脂的年需求量约为 10000 吨（不包括由厂家自己生产的纸基 CCL 的主树脂—改性酚醛树脂）。

2.3.2.1 太阳能电池

晶体硅太阳能电池成本受生产规模和技术水平影响，各个企业生产消耗有较大差别，以每 100W 硅太阳能电池行业大致平均消耗水平来计算评估晶体硅太阳能电池资源消耗水平，具体如下：

表 2-3 100W 晶体硅太阳能电池的材料消耗情况（单位：吨）

	单晶硅电池	多晶硅电池
100W 池片重量	380-410	410-450
需消耗多晶硅材料	1500-1600	1200-1300
需消耗金属硅材料	2200-2600	2100-2200

2.4 污染物排放情况

2.4.1 污染物排放特点

电子元器件在生产过程中，原材料毒性高（氯化物、溴化物、重金属、光敏物质、酸、塑料添加剂等），生产排放的废水、废气及固体废弃物腐蚀性和毒性都很强。

表 2-4 电子元器件生产过程中污染物排放情况

排放废弃物	所含污染物种类
废水	氟化物、酸碱废液、有机废液（异丙醇、丙酮等）、重金属（铜、银、铬、铅、汞等）
废气	氟化物、酸碱废气、VOC、N ₂ O、NH ₃ 、CO
固废	重金属

2.4.1.1 废气

电子元器件生产过程中产生的废气中含有大量氟化物、酸碱废气、VOC 及一些剧毒气体物质。

2.4.1.2 固体废物

电子元器件行业在生产过程中的废弃物主要有炉渣、金属废料/废渣、放射性废物、电镀废渣、污水处理污泥、氧化铍废渣、环氧树脂、铬渣等。固体废物中的污泥中含有多种重金属。

2.4.1.3 废水

电子元器件生产过程涉及到电镀、清洗、机械加工等生产工艺，会产生高浓度的工业废水，其中含有镉、铅、镍、铬、铍等剧毒性的第一类污染物；酸碱、化学需氧量、悬浮物、石油类、动植物油、铜类化合物、锌类化合物、氟化物、氰化物等第二类污染物。具体分行业如下：

（1）电子元件行业

电子元件主要的挥发性有机污染物排放来自于电子元件生产过程中清洗零部件或材料使用的一些甲苯、二甲苯等挥发性有机物的溶剂。主要涉及污染物为：苯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、异丙醇、非甲烷总烃、VOCs、颗粒物、铅尘、锡尘、氯化氢、氟化物、硫酸雾、 NH_3 等。其中含有颗粒物、铅尘、锡尘等指标时主要是一些小部件装配及元件中的引线焊接等工序，氟化物、 NH_3 则主要在蚀刻时产生，而有机污染物则主要在点胶、涂布和清洗等工序中产生。

表 2-5 电子元件制造业苯、甲苯、二甲苯平均排放浓度

受控工艺/设施	污染物项目(mg/m^3)			voc 总计(mg/m^3)
	苯	甲苯 *	二甲苯	
电容器涂硅工艺	0.15	4.25	20.90	25.3
电容器封装工艺	0.32	3.48	3.25	7.05
线路板松香涂布工艺	0.31	460.25	0.32	460.88
线路板丝路印制工艺	0.21	10.99	0.18	11.38
音频磁头固定绕线工艺	1.18	2.21	0.08	3.47
半固化片涂层工艺	23.21	0.12	0.15	23.48
电感点胶工艺	0.42	3.35	0.25	4.02

电子元件生产过程的蚀刻工艺可能用到氟化氢或氨气，废水中可能产生氟化物或氨氮，生产过程中的酸洗、碱洗工序都会产生一定量的酸、碱废水，工艺清洗过程中会清洗出一些油脂、其它有机物或还原性物质。

(2) 线路板

线路板生产过程有机废气主要来源于大量使用的油墨及稀释、清洁用挥发性有机物，其主要成分是苯、甲苯、二甲苯。

覆铜板(CCL)生产过程产生的污染物主要包括废水、废气，排放大量含DMF、丙酮等有机溶剂的废气；印刷电路板(PCB)污染物种类相对集中，主要是COD与重金属铜的污染。

PCB行业的工序分为干处理和湿处理两大类，湿处理包括粗化、活化、敏化、氧化、蚀刻、电镀、退锡、沉镍金等二十多个工序，是PCB生产流程中比重最大的一块，且每个工序都产生污染废液(浓度高)和废水(洗涤水等，浓度较低)。线路板生产过程废气中污染物包括：粉尘，指标为TSP或 PM_{10} ；酸性气体，主要成份为硫酸、HCl和 HNO_3 ；蚀刻气体，主要成份是 NH_3 ；有机气体，主要成份是苯、甲苯、二甲苯等；喷锡废气，主要成份是松香。具体如下：

表 2-6 电子元件生产过程中污染物排放

	生产过程污染物排放

电容	在包封、涂硅、灌封过程都会有丙酮和甲苯，二甲苯，乙苯等有机气体的产生，在清理过程中会有酸碱废水的产生，腐蚀过程中有酸雾产生，废弃电容器
电阻	清洗过程中有油污/洗涤剂产生，蚀刻/显影过程中有酸雾产生，废弃电阻器
电位	浆料配置过程中溶剂容易挥发，显影过程中有酸雾产生，清洗过程中有油污/洗涤剂产生，废弃电位器
电感	封装过程中容易产生有机废气（含二甲苯、丙酮），废弃电感器
变压器	封装过程中有机废气（含二甲苯、丙酮）的产生，废弃电感器
电路板	在表面刷磨过程中用稀硫酸来去除样品表面的 CuO 时有硫酸铜和稀硫酸废液的产生；在蚀刻去墨的过程和之前的上油墨和光固化过程中会有有机气体的产生。在表面清洗的过程中也会有酸废水和有机废水（含重金属 Cu、Ni 以及阴离子 CN ⁻ 等离子）的产生；在线路板的印制过程中也会有有机气体的产生；在后处理的松香涂布过程中会有较大量的有机废气的产生。
敏感元件	腐蚀过程中产生废气（有少量 HF 气体）及废水（含 Fe ²⁺ 、F ⁻ 、Cl ⁻ ），清洗过程中有废弃油脂
磁性材料	生产过程产生粉尘

（3）半导体行业

半导体行业废气排放具有排气量大、排放浓度小的特点。挥发性有机废气主要来源于光刻、显影、刻蚀及扩散等工序，在这些工序中要用有机溶液（如异丙醇）对晶片表面进行清洗，其挥发产生的废气是有机废气的来源之一；同时，在光刻、刻蚀等过程中使用的光阻剂（光刻胶）中含有易挥发的有机溶剂，如醋酸丁酯等，在晶片处理过程中也要挥发到大气中。半导体封装工艺产生的有机废气较为简单，主要为晶粒粘贴、封装后烘烤过程产生的烘烤废气。

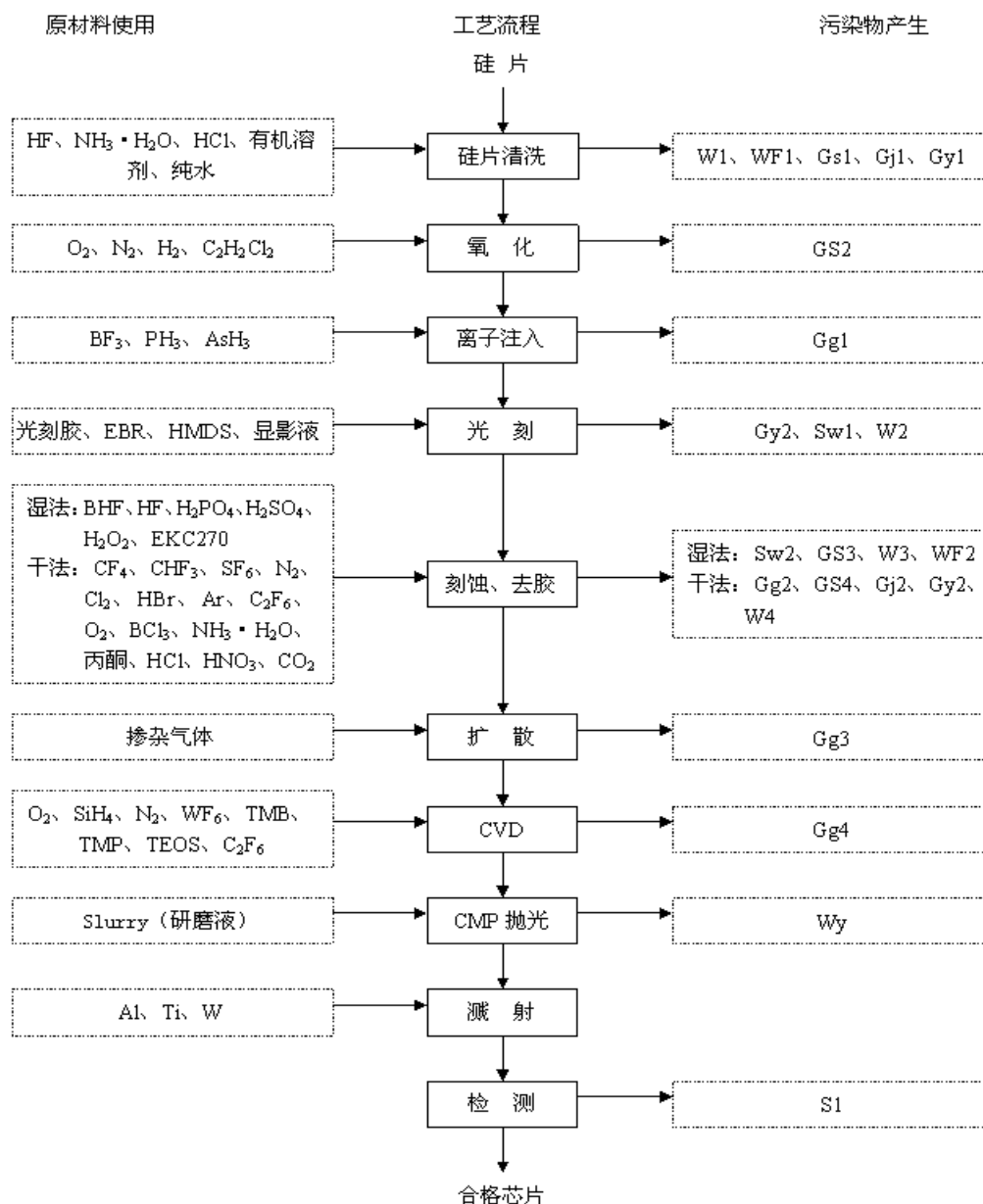


图 2-1 集成电路制造主要生产工序材料消耗与污染物排放示意图

(4) 太阳能电池及组件

太阳能电池及组件生产产生的废气主要是电池片生产线清洗和扩散过程中产生的酸碱性废气、沉积碱反射膜过程中剩余的硅烷和氨气混合气、丝网印刷和烧结过程中产生的含松油醇的有机废气，以及组件加工过程中产生的少量含二氧化硅及微量铅废气。在硅片去损伤层和绒面制备时，扩散前硅片清洗机使用到 NaOH、酒精、盐酸等化学制剂，此过程将有酸碱废气挥发，另外扩散后硅片清洗机以及扩散过程中也会产生少量废气。

废水主要来自扩散前后硅片清洗过程，在硅片去损伤层和绒面制备过程中，硅片清洗机将使用 NaOH（浓度<20%）、工业酒精、盐酸（浓度<10%）等化学

试剂，此过程中产生的工业废水主要是含 NaOH 和工业酒精的碱性废水、HCl 的酸性废水。此外炉管清洗机也会产生少量的酸性废水。

①表面腐蚀：在制造电池之前要先进性硅片的表面准备，包括硅片的化学清洗和硅片的表面腐蚀，通过表面腐蚀去除硅片表面的切割损伤，获得适合制结要求的硅表面。

②制绒：单晶硅的制绒工艺是碱制绒，利用氢氧化钠（混合）溶液对单晶硅片进行各向异性腐蚀来制备绒；多晶硅的制绒工艺是酸制绒，通过加入铬酸和氢氟酸，利用铬酸的强氧化性将切割后硅片上的污物清楚，导致硅片表面产生球形腐蚀坑，从而使硅片表面对光线的吸收增强，降低表面反射率，达到在硅片上形成减反机构的目的。

③去磷硅玻璃（PSG）及去边缘 P-N 结：一般是将硅片浸入稀释的 HF 中，以去除磷硅玻璃，与此同时，去除扩散过程中硅片周边表面形成的扩散层，以消除电池正负极短路。

表 2-7 太阳能电池切片环节的污水产物情况

生产环节	污水名称	主要污染物	水质
单晶切片	HF、HNO ₃ 废液混合冲洗污水	F ⁻ 、HNO ₃ 、F ⁺ 、SS、H ⁺	F ⁻ : 200g/L SS: 150g/L PH: 2-4
	硅片预清洗高浓度污水	PFG、硅粉、硅胶	COD: 12000mg/L SS: 600mg/L PH: 7-8
	硅片清洗污水	PFG、硅粉	COD: 800mg/L SS: 200mg/L PH: 7-8
	切、磨冷却水含硅污水	SS	SS: 200mg/L
多晶切片	HF、HNO ₃ 废液混合冲洗污水	F ⁻ 、HNO ₃ 、F ⁺ 、SS、H ⁺	F ⁻ : 200g/L SS: 200g/L PH: 2-4
	硅片预清洗高浓度污水	PFG、硅粉、硅胶	COD: 1000mg/L SS: 600mg/L PH: 7-8
	硅片清洗污水	PFG、硅粉	COD: 600mg/L SS: 200mg/L PH: 7-8
	切、磨冷却水含硅污水	SS	SS: 200mg/L

2.4.2 污染物排放水平

2.4.2.1 印刷电路板

按印制电路板铜箔的利用率为 30%~40% 计算, 生产 1 万 m^2 的双面印制电路板, 排出约 2 万吨的废水, 废水中的含铜量就有 4000 公斤, 此外还有其他重金属和贵金属。

2.4.2.2 太阳能电池

(1) 一般含氟废水

太阳能电池及组件生产工艺产生的一般含氟废水主要包括太阳能电池片生产线的制绒清洗 HF 腐蚀机清洗废水、电池片氧化层腐蚀清洗废水。一般含氟废水产生情况见下表。

表 2-8 太阳能电池及组件生产工艺一般含氟废水产生情况

编号	生产线	废水	废水量 t/a	污染物产生情况	
				污染物	浓度 mg/L
1	太阳能电池片 生产线	制绒清洗 HF 腐 蚀机清洗废水	199931.2	pH	4~6
				氟化物	500
				SS	20
				氯化物	50
2	太阳能电池片 生产线	电池片氧化层 腐蚀清洗废水	118862.0	pH	2~3
				氟化物	700
				SS	20
	一般含氟废水	混合后废水	318793.2	pH	3~5
				氟化物	574.6
				SS	20
				氯化物	31.4

(2) 浓氟废水、废酸液及废碱液

浓氟废水主要包括废气治理设施中 G4、G5 混合酸雾的碱喷淋塔定期排水和尿素喷淋塔定期排水、氧化层氢氟酸腐蚀酸雾的碱喷淋塔定期排水。废酸液主要有制绒过程硝酸氢氟酸混酸腐蚀废酸液、氧化层氢氟酸腐蚀废酸液；废碱液主要有废硅料氢氧化钠腐蚀废碱液、硅片药液清洗过程废清洗药液、制绒过程氢氧化钾腐蚀废碱液。

浓氟废水、废酸液及废碱液产生情况见下表。

表 2-9 太阳能电池及组件生产工艺浓氟废水、废酸液及废碱液产生情况

编号	生产线	废水及废液	废水量 t/a	污染物产生情况	
				污染物	浓度 mg/L
1	太阳能电池片 生产线	制绒过程硝酸 氢氟酸混酸腐 蚀废酸	1836.2	pH	<1
				SS	1000
				氟化物	70940
2	太阳能电池片 生产线	氧化层氢氟酸 腐蚀废酸液	886.4	pH	<1
				SS	1000
				氟化物	61940
3	单晶硅硅片生 产线	废硅料氢氧化 钠腐蚀废碱液	72.6	pH	>14
				SS	5000
4	单晶硅硅片生 产线	硅片药液清洗 过程废清洗药 液	195.9	pH	>14
				SS	3000
				阴离子表面 活性剂	4600
5	太阳能电池片 生产线	制绒过程氢氧 化钾腐蚀废碱 液	928.4	pH	>14
				SS	2000
		浓氟废水、废酸 液、废碱液混合 后	10519.5	pH	<1
				SS	651.2
				CODcr	972.5
				氟化物	18649.1
				氯化物	718.7
				NH3-N	547.6
				阴离子表面 活性剂	85.7

(3) 酸碱废水

产生的以酸碱及悬浮物为主要污染的废水(不包括同时含氟或含有机污染的废水)主要包括单晶硅硅片生产线的废硅料腐蚀前清洗废水、废硅料氢氧化钠碱腐蚀清洗废水、废硅料盐酸腐蚀清洗废水、硅片清洗机清洗废水、废气治理设施中单晶硅硅片生产线盐酸腐蚀酸雾的碱喷淋塔定期排水、太阳能电池片生产线扩散制结反应废气的碱喷淋塔定期排水、PECVD 沉积氮化硅膜反应废气燃烧尾气的水喷淋塔定期排水。

酸碱废水的产生情况见下表。

表 2-10 太阳能电池及组件生产工艺酸碱废水的产生情况

编号	生产线	废水	废水量 t/a	污染物产生情况	
				污染物	浓度 mg/L
1	单晶硅硅片生 产线	废硅料腐蚀前清 洗废水	16332.1	pH	6-8
				SS	1200
2	单晶硅硅片生 产线	废硅料氢氧化钠 碱腐蚀清洗废水	8168.7	pH	12-13
				SS	300
3	单晶硅硅片生 产线	废硅料盐酸腐蚀 清洗废水	8125.2	pH	1-3
				SS	100
				氯化物	350
4	单晶硅硅片生 产线	硅片清洗机清洗 废水	157558.4	pH	8-10
				SS	200
				阴离子表面活 性剂	0.5
5	废气治理设施	单晶硅硅片生 产线盐酸腐蚀酸雾 的碱喷淋塔定期 排水	300	pH	10-12
				SS	100
				氯化物	3150
6	废气治理设施	太阳能电池片生 产线扩散制结反 应废气的碱喷淋 塔定期排水	600	pH	10-12
				SS	1800
				氯化物	1070
7	废气治理设施	PECVD 沉积氮化 硅膜反应废气焚 烧尾气的水喷淋 塔定期排水	300	pH	9-11
				SS	960
				NH3-N	240

第三章 基础电子元件行业

3.1 行业技术发展现状

电子元件是电子工业的基础，产品包括电容器、电阻、电位器、电连接元件、控制元件，以及敏感元件和传感器等。片式、小型化是电子元件近些年发展的主要方向，某种程度讲，片式化、小型化已成为衡量电子元件技术发展水平的重要标志之一，美、欧、日等发达国家以及亚太、印度等发展中国家和地区，各类电子元件均已有相应的片式化产品。其中，片式电容、片式电阻、片式电感三大无源元件，约占全球片式元件总产量的 85%~90%。电子元件片式化的同时，小型化也在迅速发展，不仅传统元件在迅速小型化，片式元件也在迅速小型化。

同时便携式消费电子设备正向小尺寸、轻重量、多功能化、数字化方向发展，全面带动了世界电子元件科技向小型、片式、低厚度、低功耗、高频、高性能的深入发展和不断改进。与此同时，国防和尖端科技装备也对电子器件提出低功耗、高可靠等性能方面的新要求。

3.1.1 行业技术结构

电子元件产品种类多、结构和生产工艺差别很大，加工工艺一般涉及机械、化工、热加工或配制等多种工艺的组合。

3.1.1.1 电容器

电容器是一种最基本、最常用的电子元件，电容在电路中有调谐、耦合、滤波、去耦、隔断直流电、通过交流电、反馈等作用。

电容器按其结构可分为固定电容器和可变电容器。固定电容器可分为无极性电容器和有极性电容器。常见的无极性电容器有薄膜电容器、陶瓷电容器（单片及多层）、云母电容；有极性电容有铝电解电容、钽电解电容等。

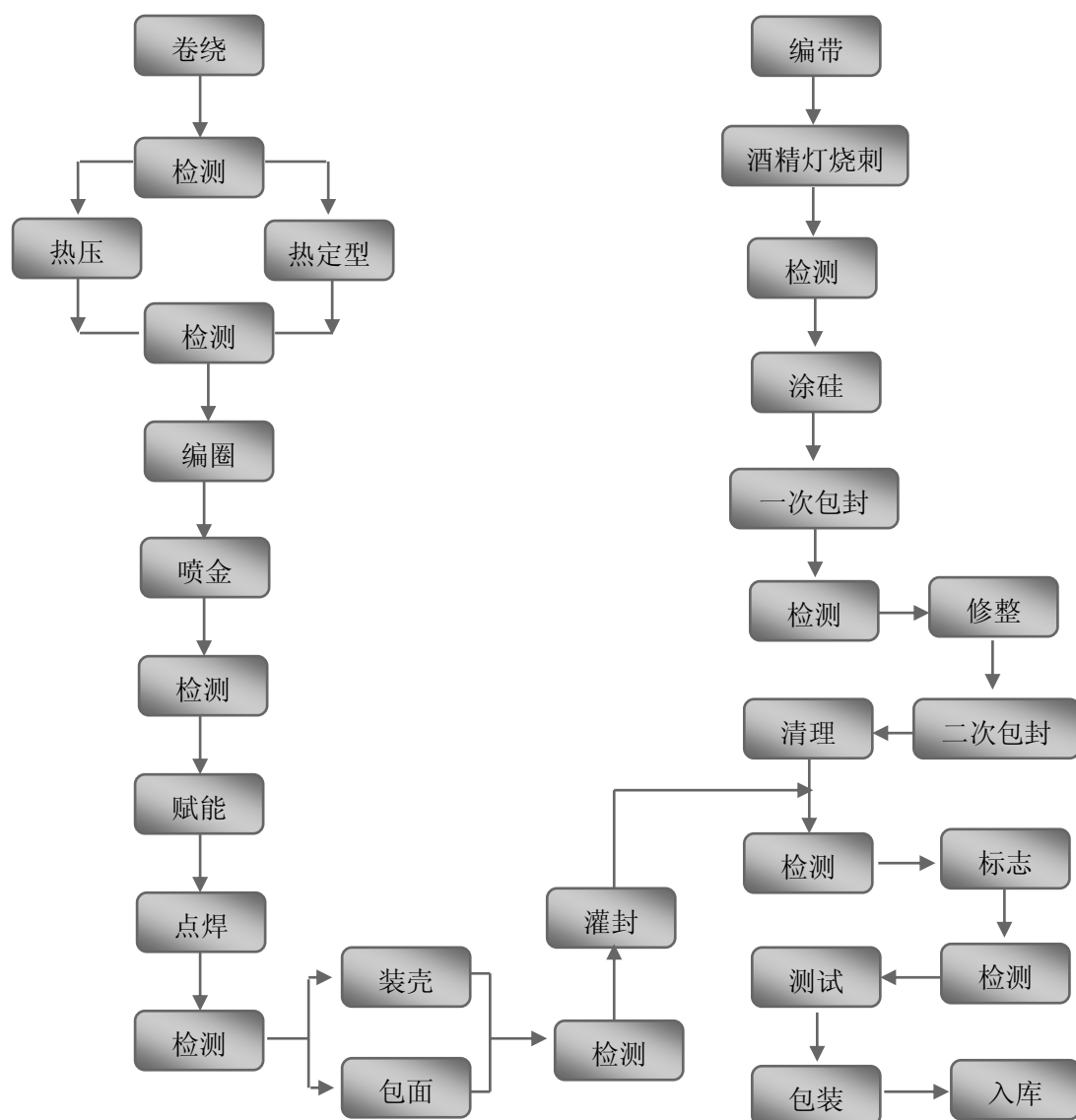


图 3-1 电容器生产工艺流程

铝电解基本由正极箔+氧化膜（不能独立于正极箔存在）+电解纸（浸有电解液）+负极箔+外壳+胶塞+引线+套管。固体钽电解基本由钽粉（正极）+氧化膜（不能独立于钽粉存在）+二氧化锰+银粉+石墨+环氧树脂+引线。

3.1.1.2 电阻器

电阻器种类较多，按制作材料不同可分为合成（实芯）电阻器、碳膜电阻器、金属膜电阻器、线绕电阻器。按结构形式可分为固定电阻器、可变电阻器和办半可变电阻器，其中可变电阻器通常也称之为电位器。

电子信息技术的高速发展，推动者片式电阻器迅速更新换代，向超小型化、绿色环保化、高精度化、低温度系数化、贱金属化发展。

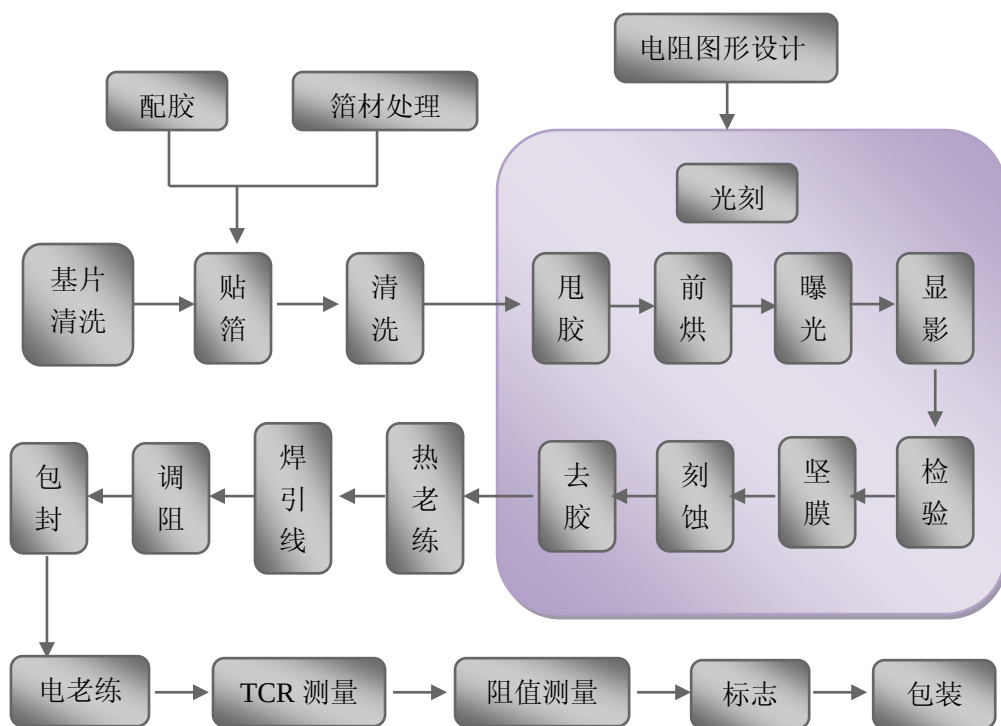


图 3-2 金属箔电阻典型生产工艺流程

3.1.1.3 电感器

电感器也是一种储能元件，在电路中有阻交流、通直流的作用，可以在交流电路中起阻流、降压、阻抗等作用，经常与电容器一起工作，构成 LC 滤波器、LC 振荡器等。

电感器可分为插装电感器、片式电感器两大类。片式电感器又可分为绕线式与叠层式两种。由于插装电感器很难顺应“轻、薄、短、小”的现代电子技术发展要求，其市场需求在逐渐减少。相比之下，片式电感器由于体积小、重量轻、可靠性高、适应于 SMT 安装等优点，已取代插装电感器成为电感器中的主流产品。

3.1.2 生产制造过程节能技术

在电子元件生产过程中，原材料和工艺是实现绿色制造的关键。

3.1.2.1 电子窑炉

电子工业炉窑是电子元件产业的高能耗设备。目前电子信息产业有各种工业炉窑 3 万台左右，其耗能量占电子信息产业制造业产业总耗电量的 30%。我国电子工业炉窑的热效率多数都比较低，例如陶瓷隧道窑产品热效率在 10%左右，产品工艺热效率在 30%左右。而国际上较先进的工业炉窑，工艺热效率已达到 60%

以上,我国电子工业炉窑还有很大的节能潜力,工业窑炉的技术改造有以下主要途径:1)正确选用燃烧装置;2)烟气余热的回收利用;3)加强炉体绝热;4)提高炉子的密封性;5)减少水冷件热损失。

3.1.2.2 再流焊工艺

再流焊又称“回流焊”,是伴随微型化电子产品的出现而发展起来的焊接技术,主要应用于各类表面组装元器件的焊接。它是提供一种加热环境,使预先分配到印制板焊盘上的膏状软钎焊料重新熔化,从而让表面贴装的元器件和 PCB 焊盘通过焊锡膏合金可靠的给合在一起的焊接技术。再流焊操作简单,效率高,质量好,一致性好,节省焊料,是一种适合自动化生产的电子产品装配技术,目前已成为 SMT 电路板组装技术的主流。

(1) 红外热风再流焊

元件表面贴装工艺是主要耗能点之一,传统的全热风再流焊效率差,耗电多。目前国际上流行的焊接技术是红外热风再流焊,这类再流焊炉是在 IR 炉基础上加上热风使炉内温度更均匀,是目前较为理想的加热方式。这类设备充分利用了红外线穿透力强的特点,热效率高,节电,同时有效克服了红外再流焊的温差和遮蔽效应,并弥补了热风再流焊对气体流速要求过快而造成的影响,因此这种 IR+Hot 的再流焊在国际上目前是使用得最普遍的。

(2) 氮气保护再流焊炉

随着组装密度的提高,精细间距组装技术的出现,还出现了氮气保护的再流焊炉,在氮气保护条件下进行焊接可防止氧化,提高焊接润湿力润湿速度加快,对未贴正的元件矫正力大,焊珠减少,更适合于免清洗工艺。

(3) 无铅焊

回流焊接使用的焊膏中含有铅和有机溶剂,是造成焊接过程污染的主要源头。目前美国、欧盟及我国均已经出台相关法规限制电子产品铅污染。新型无铅焊接材料主要包括锡银铜合金和锡铜合金,2000 年以后美国国家电子制造业创进会与英国 Soldertee Ltd 等单位分别提出以锡银铜合金来替代锡铅合金建议后,锡银铜合金已经成为无铅焊接材料的主流产品。

3.1.2.3 电镀工艺

国内电子元器件电镀的生产工艺近年来迅速向国际先进技术水平靠拢,其最突出的就是采用高速连续电镀自动生产线生产设备及先进的多排冲压、电镀及全封闭式的新型高速电镀线,以提高效率、降低能耗、减少污染物产生。

3.1.3 生产管理控制系统节能技术

电镀往往在一定的温度下进行的，以往工厂大部分采用的加热方式是：电热管、柴油锅炉、燃煤锅炉、蒸汽加热等，而制冷基本都采用电镀冷冻机降温，这些方式明显存在高耗能、高污染问题。

3.1.4 工业设计端和回收端节能技术

3.1.4.1 废弃物回收利用技术

电子元件在原材料上需要化学物质，即使每个极小的零件中仅含有少量的化学物质，最终产品中也会装载上成百上千个零件。如果将元件随最终产品一起以不恰当的方法丢弃，将会给环境带来极大的影响。

目前国内电子元器件拆解主要用人工，元器件拆解线也称为精拆线，是一条完全人工化的流水线，主要用于印刷电路板上元器件的拆除，并适用于小型电子产品整机解体，如收录机、照相机、电话机等。拆解产物类型有塑料机壳、金属机壳、玻璃、印刷电路板裸板、电线、电缆、各种电子元件、其它零部件等。

能通过可靠性检测重新使用的电子元器件，可由个人直接收购或由网络销售给需要的厂家降级使用。无法降级使用的器件连同分类后得到的废电路裸板以及各类扩展槽经过破碎、分选后再进一步处理。经过一系列的破碎、分选后最终获得的塑料、玻璃、环氧树脂粉等非金属可以进行焚烧回收其中的热值或作为用作涂料、人造木材、保温材料、筑路材料及塑料添加剂等，而各类金属富集体，一般精度可达到 88%~90%左右，则可送到金属冶炼公司进行深加工或进行电解提纯，分类拆解后的危险废弃物则送至有资质的处理机构进行处理。

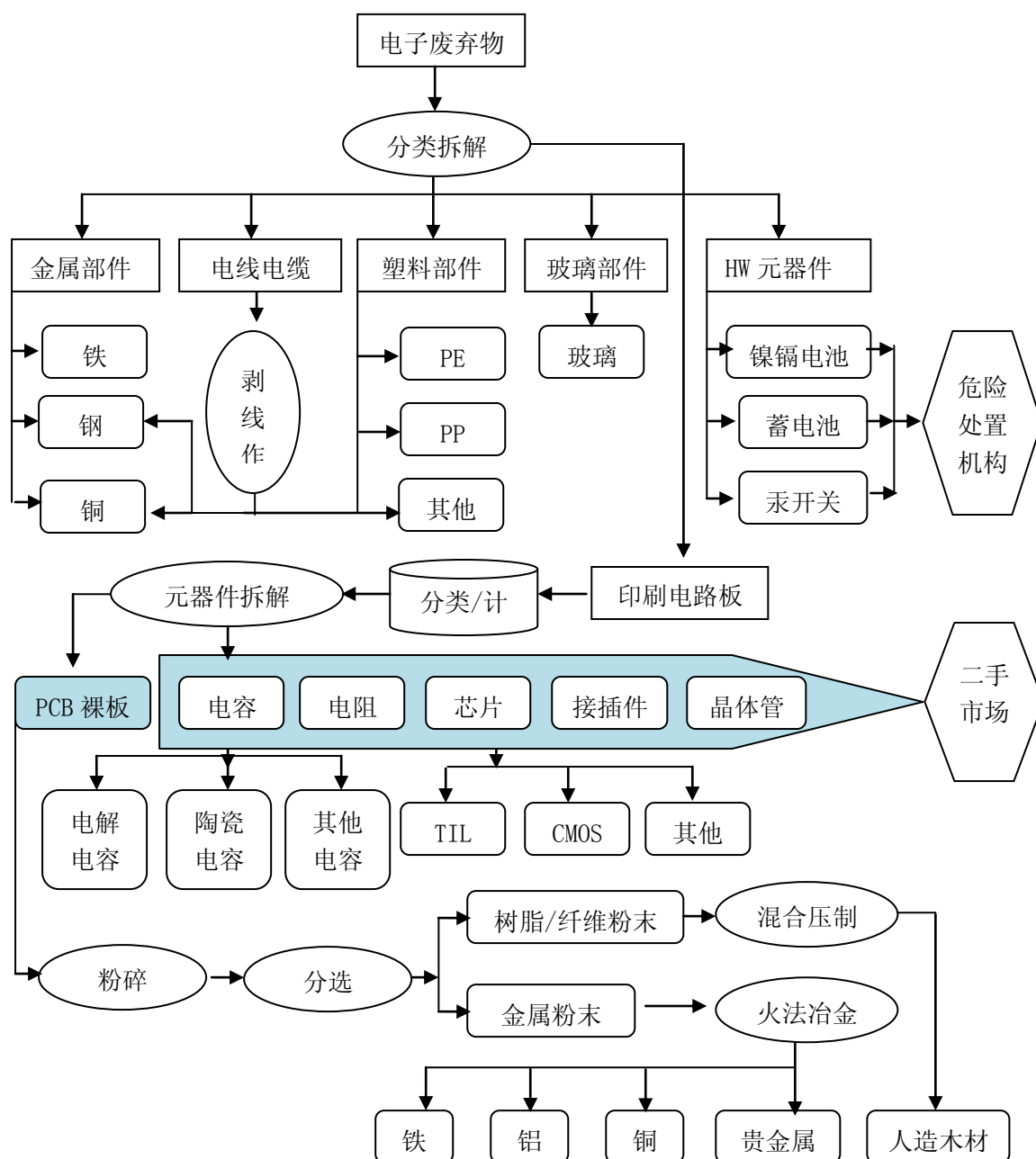


图 3-3 电子元器件回收再利用流程

3.1.4.2 废水处理技术

(1) 表面处理废水

①磨光、抛光废水

在对电子元件进行磨光与抛光过程中，由于磨料及抛光剂等存在，废水中主要污染物为 COD、BOD、SS。一般可参考以下处理工艺流程进行处理：

废水→调节池→混凝反应池→沉淀池→水解酸化池→好氧池→二沉池→过滤→排放

②除油脱脂废水

常见的脱脂工艺有：有机溶剂脱脂、化学脱脂、电化学脱脂、超声波脱脂。除有机溶剂脱脂外，其它脱脂工艺中由于含碱性物质、表面活性剂、缓蚀剂等组成的脱脂剂，废水中主要的污染物为 pH、SS、COD 等。

一般可以参考以下处理工艺进行处理：

废水→隔油池→调节池→气浮设备→厌氧或水解酸化→好氧生化→沉淀→过滤或吸附→排放

该类废水一般含有乳化油，在进行气浮前应投加 CaCl_2 破乳剂，将乳化油破除，有利于用气浮设备去除。当废水中 COD 浓度高时，可先采用厌氧生化处理，如不高，则可只采用好氧生化处理。

（2）电镀废水

电镀生产工艺有很多种，由于电镀工艺不同，所产生的废水也各不相同，电子元件焊膏中一般都含有铅和有机溶剂，企业所排出的废水包括有酸、碱等前处理废水，氰化镀铜的含氰废水、含铜废水、含镍废水、含铬废水等重金属废水。此外还有多种电镀废液产生。

对于含不同类型污染物的电镀废水有不同的处理方法，分别介绍如下：

①含氰废水

目前处理含氰废水比较成熟的技术是采用碱性氯化法处理，必须注意含氰废水要与其它废水严格分流，避免混入镍、铁等金属离子，否则处理困难。

该法的原理是废水在碱性条件下，采用氯系氧化剂将氰化物破坏而除去的方法，处理过程分为两个阶段，第一阶段是将氰氧化为氰酸盐，对氰破坏不彻底，叫做不完全氧化阶段，第二阶段是将氰酸盐进一步氧化分解成二氧化碳和水，叫完全氧化阶段。

处理后的含氰废水混入电镀综合废水里一起进行处理。

②含铬废水

含六价铬废水一般采用铬还原法进行处理，该法原理是在酸性条件下，投加还原剂硫酸亚铁、亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、二氧化硫等，将六价铬还原成三价铬，然后投加氢氧化钠、氢氧化钙、石灰等调 pH 值，使其生成三价铬氢氧化物沉淀从废水中分离。

③综合重金属废水

综合重金属废水是由含铜、镍、锌等非络合物的重金属废水以及酸、碱前处理废水所组成。此类废水处理方法相对简单，一般采用碱性条件下生成氢氧化物沉淀的工艺进行处理。

处理工艺流程如下：

综合重金属废水→调节池→快混池→慢混池→斜管沉淀池→过滤→pH 回调

池→排放

④多种电镀废水综合处理

当一个电镀厂含有多种电镀废水，如含氰废水、含六价铬废水、含酸碱、重金属铜、镍、锌等综合废水，一般采取废水分流处理的方法，首先含氰废水、含铬废水应从生产线单独分流收集后，分别按照上述对应的方法对含氰、含铬废水进行处理，处理后的废水混入综合废水中与其一起采用混凝沉淀方法进行后续处理。

处理工艺流程如下：

含氰废水→调节池→一级破氰池→二级破氰池→综合废水池

含铬废水→调节池→铬还原池→综合废水池

综合废水→综合废水池→快混池→慢混池→斜管沉淀池→中间池→过滤器
→pH 回调池→排放

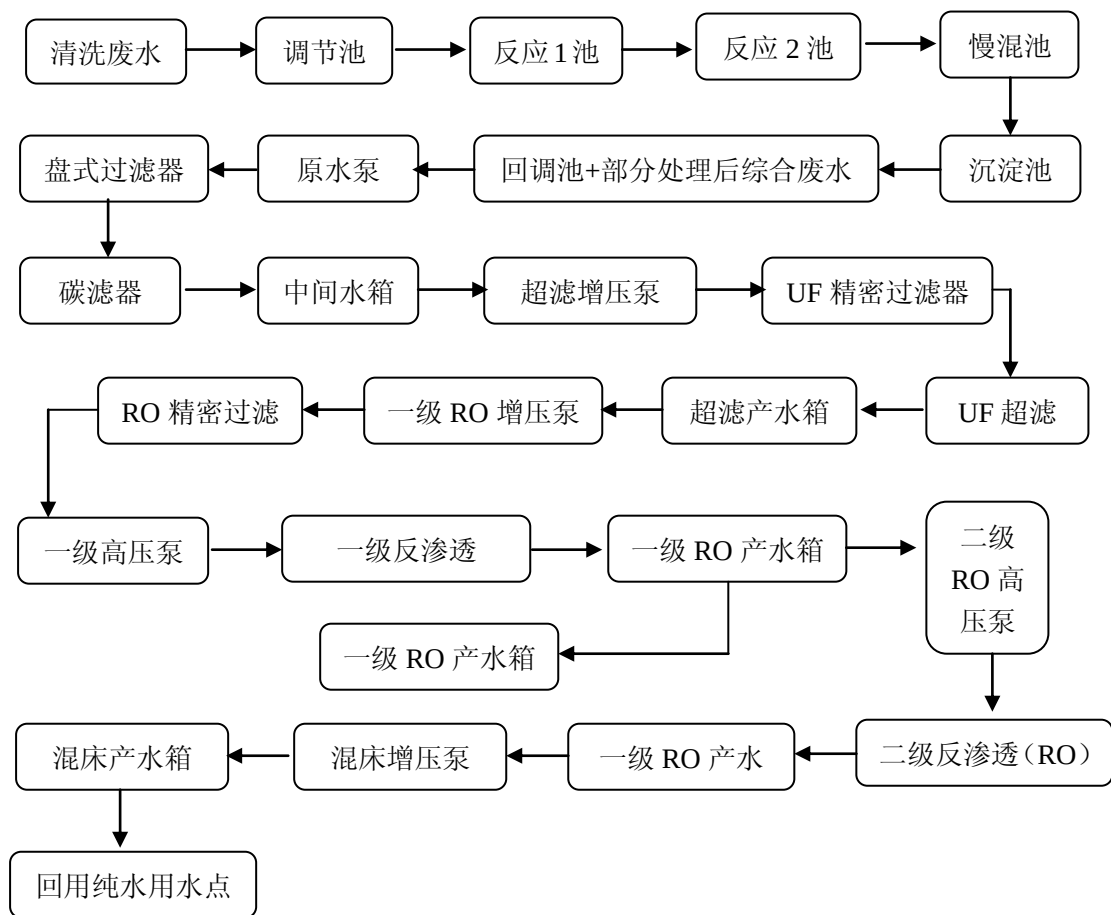


图 3-4 典型的废水回用处理工艺流程

本课题将围绕电子元器件产业调整振兴规划和实现行业节能减排目标的战略目标，研究适用于我国电子元器件产业实际情况的节能减排技术，经行业专家评估及筛选，提出适合在基础电子元件行业内推广的 22 项节能减排技术和 1 项

重点关注的前沿新技术。这些节能技术主要分布在基础电子元件生产的 SMT、电镀、清洗和废弃物回收环节。

研究基于工序和子行业的节能减排特征指标，并应用课题十三建立的节能减排技术筛选辅助系统，开展节能减排技术筛选与评估。根据电子元器件生产企业特点、各类技术在生产过程中的功能及前沿性技术细分为，生产过程节能减排技术、资源能源节约与综合利用技术、污染物治理技术、节能产品技术及重点关注的新技术共计四大类，见下表。

表 3-1 基础电子元件行业节能减排技术清单

序号	技术名称	行业/工序
一	生产过程节能减排技术	
1	波峰焊技术	SMT
2	红外热风再流焊技术	SMT
3	氮气保护再流焊技术	SMT
4	无铅焊技术	SMT
5	膜法富氧助燃技术	电子窑炉
6	节能型氮气氛保护推板窑技术	电子窑炉
7	宽截面辊道窑炉技术	电子窑炉
8	低能耗镀膜改性技术	电子元件电镀
9	表面贴装及回焊技术	SMT
10	多层印刷技术	电感器
11	叠层生产工艺	电感器
12	绿色非 ODS 超声波清洗技术	电子元件
13	灰色预测模糊控制技术	电子窑炉
小计	13 项	
二	污染物治理技术	
14	膜法水处理技术	污水处理
15	中空纤维膜技术	污水处理
16	化学沉淀法	污水处理
17	氧化还原法（化学还原法、铁氧体法、电解法）	污水处理
18	溶剂萃取分离法	污水处理
19	吸附法	污水处理
20	离子交换法	污水处理
21	生物处理技术（生物絮凝法、生物吸附法、生物化学法、植物修复法）	污水处理

序号	技术名称	行业/工序
小计	8 项	
三	节能产品技术	
22	开关电源技术	电子元件
23	电子膨胀阀节能技术	电子元件
24	非晶合金变压器	电子元件
25	高强度气体放电灯用大功率电子镇流器新技术	电子元件
小计	4 项	
共计	22 项	
四	重点关注的新技术	
(一)	工艺过程节能减排技术	
26	用于生产高性能电容器的合成碳材料技术	电子元件
小计	1 项	
合计	26 项	

3.2 行业技术水平

通过调查先进适用技术在市场中所占份额（技术普及率），技术水平和未来发展方向，将上述前三类的 25 项技术水平评价列于下表。分为：生产过程节能减排技术、资源能源节约与综合利用技术、污染物治理技术、节能产品技术。

3.2.1 生产过程节能减排技术

表 3-2 基础电子元件生产过程节能减排技术清单

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
一	生产过程节能减排技术				
1	波峰焊技术	SMT	●		
2	红外热风再流焊技术	SMT		●	
3	氮气保护再流焊技术	SMT	●		
4	无铅焊技术	SMT	●		
5	膜法富氧助燃技术	电子窑炉	●		
6	节能型氮气氛围保护推板窑技术	电子窑炉		●	
7	宽截面辊道窑炉技术	电子窑炉		●	
8	低能耗镀膜改性技术	电子元件电	●		

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
		镀			
9	表面贴装及回焊技术	SMT	●		
10	多层印刷技术	电感器	●		
11	叠层生产工艺	电感器		●	
12	绿色非 ODS 超声波清洗技术	电子元件清洗			
13	灰色预测模糊控制技术	电子窑炉	●		

上表的成熟技术系指已广泛在各生产工序中应用。其中，表面贴装技术（SMT）在技术上应为成熟，但仍处于不断改进中。成熟技术共计 4 项，占 11 项的 36.36%。

先进技术系指根据各企业产品特点和工艺改造时应采用的技术。先进技术共计 5 项，占 45.45%。

国际先进技术系指国外已开发出的技术，国内尚无应用。绿色非 ODS 超声波清洗技术在国内已经开始研究，但尚未投入实际使用。国际先进技术共计 2 项，占 18.18%。

上述生产技术在国内外先进等级中，属于工艺生产技术，不是所有电子企业均能适用，因此不能用市场份额的推广百分比进行表述。

3.2.2 污染物治理技术

表 3-3 基础电子元件污染物治理技术清单

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
二	污染物治理技术				
1	膜法水处理技术	污水处理		●	
2	中空纤维膜技术	污水处理		●	
3	化学沉淀法	污水处理	●		
4	氧化还原法（化学还原法、铁氧体法、电解法）	污水处理	●		
5	溶剂萃取分离法	污水处理	●		
6	吸附法	污水处理	●		
7	离子交换法	污水处理	●		

8	生物处理技术（生物絮凝法、生物吸附法、生物化学法、植物修复法）	污水处理		●	

上表成熟技术系指已广泛在各生产工序中应用，共计 5 项，占 8 项的 62.5%。先进技术共计 3 项，占 37.5%。

3.2.3 节能产品技术

表 3-4 节能产品技术清单

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
三	节能产品技术				
1	开关电源技术	节能产品		●	
2	电子膨胀阀节能技术	节能产品		●	
3	非晶合金变压器	节能产品		●	
4	高强度气体放电灯用大功率电子镇流器新技术	节能产品		●	

上表 4 项技术均是国内先进技术，在部分企业中已经投产使用，但尚未进行大面积的推广。例如电子膨胀阀技术，电子膨胀阀是空调压缩机节能的关键环节，国内企业中浙江三花股份和盾安集团是主要生产厂家。非晶合金变压器技术在国内已经有产品研发出，但尚未进行认证和节能效果检验。

3.3 节能减排先进适用技术

3.3.1 生产过程节能技术

3.3.1.1 新型节能氮气气氛保护推板窑

1、技术介绍

（1）技术应用节点

软磁铁氧体材料生产工艺是排水、脱胶、烧结、冷却四个关键过程。其中烧结过程的固相反应要在低氧条件下进行，否则产品会氧气报废。目前采用的方法是往窑里通入氮气进行隔离保护，窑形式主要有氮气保护推板窑、氮气保护辊道窑、氮气保护钟罩窑。

氮气保护推板窑采用的是一种自动循环的结构，烧结的产品放在推板上，承载放材料的推板在窑内和返回轨道上运动，形成一个自动生产线，连续装料与出料，自动化水平高，而且具有温度稳定、烧结时间准确、节省氮气、烧结气氛稳

定和生产连续等优点。

(2) 技术基本原理

新型节能型氮气氛保护推板窑是通过进一步技术创新和改进后新设计的新一代节能型氮窑，该窑自动化程度高，运行安全稳定可靠，动态显示明了，故障查寻简便，窑炉温度曲线和气氛曲线调整方便，在内部结构和工艺方面重点围绕节能和烧结效果进行创新设计，窑炉的适用性能也强，不仅能适应功率铁氧体材料烧结，同时也适应高导材料的烧结。

2、技术发展水平

铁氧体材料的烧结过程是一个物理和化学变化的结合过程，它对磁芯几何尺寸和电磁性能起着决定性作用。对高磁导率材料来说，要得到密度高、气孔率低、晶界直、晶粒大而均匀的铁氧体磁芯，就必须在烧结时严格控制烧结温度、烧结时间和烧结气氛，同时要控制 Mn 离子和 Zn 离子的变动、防止出现 Zn 的高温挥发配方偏移，又要保证铁氧体固相反应完全和抑制巨晶形成。所以，烧结工艺和设备也是铁氧体工序中至关重要的因素。国外起始磁导率在 10000 以下的材料一般在氮气氛保护窑中烧结。美国使用钟罩炉工业生产铁氧体材料的磁导率 μ_i 可达 15000-18000。

随着国内烧结设备制造厂家和磁性材料生产厂家的密切配合以及对外技术交流的增多，烧结设备在温度和气氛的调节和控制方面有了新的进展，在烧结方法上也有了新的尝试。如 48 所与国内有关单位合作，成功地将推板窑用于烧结 Mn—Zn 铁氧体料粉，取得了较好的效果。在解决氮气氛保护推板窑的气氛调节等关键技术方面，48 所在国内率先成功地设计出双推板窑中间进气的结构，加上先进的进气组合，使更大窑腔内的气氛调节变得更为容易。在推进控制系统方面，该所又率先在 32+（12）米单、双推板窑上使用先进的智能控制系统，将窑内的温度、压力即时记录和显示在计算机屏幕上，并增加了故障自诊断、报警等人机对话功能，大大方便了窑炉设备的操作，取得了满意的效果。

但国产窑炉与国外先进窑炉相比尚存在一定的差距。欧洲铁氧体工厂的氮窑特点是装料高度低（130mm），推进速度快（12.1 分钟/板），其产量（按 300 天计算）为 900 吨左右。48 所的 32+(12)米双推板氮窑，装料高度为 180mm，推进速度为 16 分钟/板，最大年产量可达 970 吨左右。国内的用户也希望在大装载量的情况下达到 12 分钟/板左右的推进速度。48 所目前正在和有关用户配合，使推进速度进一步提高，也取得了新的进展。这种改进非常需要工艺人员提出具体的温度气氛曲线，在窑炉上做有关试验，但往往因为生产任务等原因，使这种改进工作变得异常困难。在工艺方面，由于缺乏大量的实验数据，对窑炉的某些改进（有的是吸收国外先进经验），在实际使用时也有达不到预期效果的时候。

3、技术使用条件

氮气保护推板窑在磁性材料生产中被广泛使用，随着电子工业飞速发展，对作为基础电子材料——磁性材料的要求也越来越高，磁性材料生产工艺对温度控制均匀度和气氛控制精度要求都非常高。新型氮气氛保护推板窑是磁性材料实现自动化大生产的主体设备。磁性材料生产烧结工序也是能耗最大的工序。磁性材料生产过程中，氮窑烧结工序所消耗的能源占了 85%，随着国家节能减排政策的不断深化和实施，能源紧缺的矛盾越发突出。因此，节能节电成为磁性材料生产企业选购氮窑设备最主要的考核指标之一。

4、实施建设内容

(1) 关键工艺设备

整个窑炉分为 5 个部分，即窑体、气氛控制系统、清洗室、循环推进系统和温度控制系统。

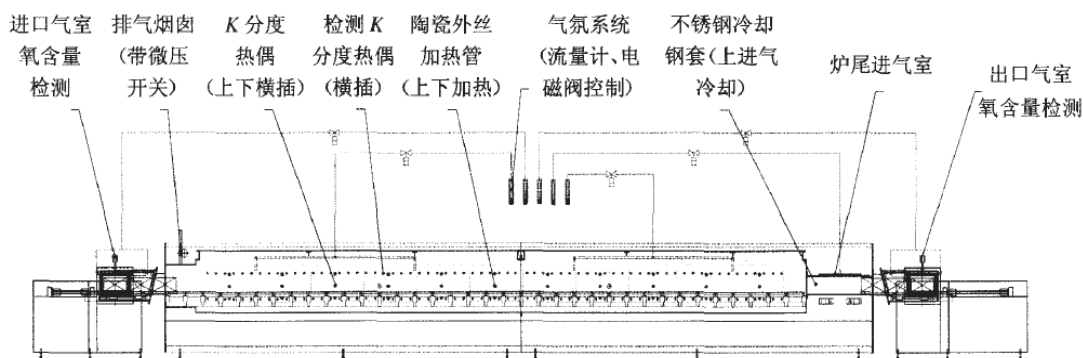


图 3-5 节能型氮气氛保护推板窑结构

①窑体

窑炉采用密闭循环式设计。在窑炉的进出口处安装有置换气室，上有内外两道密封门，使炉膛形成密封的烧成气氛。窑体分成升温、烧成和冷却区。整个炉膛采用外密封结构，材质为钢板，硅橡胶密封。炉膛前端连接置换气室，顶部开有设排气烟囱，由微压开关控制废气的排放，以保证炉膛内部气氛为正压。

所有温区采用陶瓷管外缠电热丝上下加热。炉膛保温内外层采用超轻质材料，温度控制灵敏，并且有明显的节能效果。在冷却区采用不锈钢水冷套内外同时冷却。钢套尾部连接出口置换气室。在出口置换气室安装了一台红外测温仪，直接照射测量工件表面温度，这样避免了普通热偶间接测量气室温度而带来的工件温度不准确。

②气氛控制系统

为防止二价铁氧化，达到氧含量要求，通入氮气共分成 5 路，在出口置换气室各 1 路，电磁阀控制。炉体通入 2 路氮气，每路连接 2 根不锈钢喷管，与炉膛宽度等长的喷管上均匀开有许多喷孔，使氮气流均匀分布满整个炉膛截面，有利

于氮气保护。不锈钢水冷套 1 路氮气，从顶部通过不锈钢网孔板垂直吹下，大面积均匀的吹到工件上，提高冷却效果；同时起到阻隔炉膛热气向出口气室扩散的作用。每路均由微氧含量测试仪和微正压检测仪自动控制炉膛内的氧含量浓度的炉气压力。氧含量仪控制氮气通断，微压表控制氮气排放。

③温度控制系统

控制系统采用温控仪表，可编程序控制器结合计算机控制。每个温区都有一套独立的测温，控温系统及温度超温报警系统，分别检测，控制各自温区，并且当某个温区温度发生超温现象时，相应温区的温度超温报警系统立即发出声光报警信号，面板上的对应温区报警信号灯点亮，蜂鸣器发出断续的报警声。

计算机控制系统同时设有数据管理、实时监控等功能。

④推进循环系统

推进循环线由主推进器、入口横送、纵向返回、出口横送 4 个部分组成。PLC 控制，设有超载卸荷保护系统，使运行更为安全、可靠。

(2) 主要技术指标

使用温度：1400℃

窑口尺寸：720mm x 240mm

温度稳定度：2℃ / 2h

高温区温度均匀度：5℃

额定功率：550kW

保温功率：220kW

控温点数：36 个

氮气消耗量：30m/h

降温区氧含量：<100ppm

表面温升：<45℃

循环方式：全自动循环

温度控制方式：日本 RKC 温控仪、带通讯功能移相触发

升温区长度：14m

高温区长度：8m

降温区长度：14m

窑体长度：36m

电源：380VAC ± 10%，50Hz，3 相 4 线制(3 相 5 线制)，供电容量≥630kW

5、节能减排效果

以江阴长源机械有限公司的全自动氮气氛保护推板窑为例可见，新型节能型氮气氛保护推板窑与原有氮窑相比，具有以下优势：

- (1) 烧结磁性材料所需单位能耗节能达 40%;
- (2) 日产量提高 15%;
- (3) 烧结成的产品质量合格率稳定在 98%以上;
- (4) 余热回收利用效率高。具有很大的推广应用价值。

江阴长源机械有限公司从苏州冠达磁业有限公司购进的 2 号实验氮窑与经过公司技术改造后的 5 号氮窑进行了对比试验和分析, 见下表:

表 3-5 江阴长源机械有限公司全自动氮气氛保护推板窑节能效果比较

	2 号氮窑	5 号氮窑	对比
购进时间	2003 年	2009 年	
氮窑长度	46 米 (主窑 32 米+副窑 14 米)	36 米	
氮窑装载高度	180MM	220MM	指装料有效高度
氮窑装载量	18KG/板	22KG/板	
推进速度	15 分钟	16 分钟	
年产量	1261.44 吨	1445.4 吨	增加 183.96 吨
保温功率	340KW	250KW	减少 90KW
全年用电量	297.84 万度	219 万度	年节电 78.84 万度
单位能耗	2361.1 度/吨	1515 度/吨	节电 845.95 度/吨

从上述表中的实验数据表明: 新型节能型氮窑具有产量高 (日产量提高了 15%), 能耗低 (改进后的新型节能型氮窑较原氮窑降低能耗 40%) 烧结成的产品合格率高 (山坡合格率稳定在 98%以上), 余热回收利用率高 (将降温区排出的热气体送至前端预热区, 提高了余热的使用效率) 等优点。

6、成本效益分析

成本下降 40%。设备投资 350 万元/套。“九五”期间, 我国磁性材料设备销售总额达 9 亿多元人民币, 其中全自动氮气氛保护窑 5 亿多元, 按照国家“十二五”期间的规划目标, 预计“十二五”期间, 磁性材料设备销售额将达到 20 亿多元人民币, 其中全自动氮气氛保护推板窑将达到 13 亿元人民币。

7、技术应用情况

国内电子消费产品和电子信息产业的飞速发展带动了我国软磁铁氧体产业的发展。主要应用领域已拓展到电视机、绿色照明、家用电器、通信和计算机等领域配套的开关、电源、变压器磁芯、滤波器磁芯和电感器磁芯等。另一方面, 低碳经济对新能源汽车、智能电网、变频器、太阳能发电、LED、无极灯、绿色照明等行业的发展提供了广阔的发展空间。磁性材料又大量应用于上述相关行业。可以预见, 低碳经济相关行业会出现持续快速的生长, 对磁性材料的需求也会不断加大。按照我国磁性材料“十二五”规划, 磁性材料需求量每年将增长 15%。

由此可见，软磁铁氧体的增长有着巨大的市场潜力。

作为磁性材料生产过程中最主要的烧结设备，全自动氮气氛保护推板窑的需求也将迅速增长。由于国产全自动氮气氛保护推板窑技术已成熟，服务也及时到位，因此给国内全自动氮气氛保护窑制造商提供了一个广阔的发展空间。

8、技术知识产权

(1) 专利名称：氮气保护推板窑

申请号/专利号：200620073709

申请人/专利权人：南京福特高磁材设备有限公司

(2) 专利名称：一种用于生产磁性材料的氮气推板窑

申请号/专利号：201020128058

申请人/专利权人：湖南华磁磁性科技有限公司

(3) 一种氮气氛保护推板窑低温区轨道

申请号/专利号：201110033086

申请人/专利权人：江阴长源机械制造有限公司

(4) 氮气保护全自动双轨道推板窑炉

申请号/专利号：200820041438

申请人/专利权人：淮安鼎宇科技有限公司

(5) 氮气保护全自动双轨道推板窑炉

申请号/专利号：200810196276

申请人/专利权人：淮安鼎宇科技有限公司

3.3.1.2 宽截面辊道窑炉技术

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

电子陶瓷是指应用于电子技术中的陶瓷，主要包括：

- ①装置瓷及电真空瓷-主要用作绝缘体、架构、基层等；
- ②电容瓷（包括铁电瓷）-用作高频或低频电容器介质；
- ③压电瓷-利用其机电转化功能制作换能器、滤波器及变压器；
- ④半导体瓷-制作各种敏感元件，用以检测、测量或转换非电物理量；
- ⑤磁性瓷-制作高频或微波铁氧器件、恒磁器件；
- ⑥其他瓷-微波介质、热释电瓷、电光、光弹、光纤灯。

电子陶瓷产品的性能除了决定于配方之外，烧成工艺是最关键的，而陶瓷烧成的综合热效应大致包括：烧成温度、保温时间和窑炉气氛，大部分电子陶瓷的

烧结依赖于液相形成、粘滞流动和溶解再沉淀过程。作为电子陶瓷技术装备的核心组成部分—窑炉的优劣，直接影响到陶瓷产品烧成的优等品率和品质，以及烧成时间的长短、单位能耗的高低、投资回报的快慢等，电子陶瓷需要在超高温窑炉中进行烧制，主要应用的窑炉有箱式炉、管式炉、立式窑、隧道窑、钟罩窑、辊道窑等。

辊道窑炉节能减排技术在电子陶瓷生产方面已得到普遍的推广应用，随着电子陶瓷工业的发展，辊道窑窑体结构向宽体发展。与普通窑相比，宽体窑具有很多明显的优点：节能减排、产量加大，人工成本降低、产品品质稳定，规格更全、更大。宽体窑炉的烧成温度较均匀，上下的温差也较小，而且还具有产量大、能耗低以及质量好等特点。

（2）技术基本原理

①宽截面单层构造

辊道窑的结构与节能降耗有直接关系，辊道窑因无窑车，容易实现双层或多层结构，但双层或多层都用作烧成制品，不仅增加了操作检修的困难，且窑内温度不易均匀，难以实现快烧。从节能降耗的趋势来看，辊道窑目前逐渐往宽截面单层发展。

随着窑内高的增加，单位制品热耗和窑墙散热量也增加。如当辊道窑窑高由 0.2m 升高至 1.2m 时，热耗增加 4.43%，窑墙散热升高 33.2%，故从节能的角度讲，窑内高度越低越好；随着窑内宽度增大，单位制品热耗和窑墙散热减少。如当辊道窑窑内宽从 1.2m 增大到 2.4m，单位制品热耗减少 2.9%，窑墙散热降低 25%，故在一定范围内，窑越宽越好；当窑内宽和窑内高一定的情况下，随着窑长的增加，单位制品的热耗和窑头烟气带走的热量均有所减少。如当辊道窑的窑长由 50m 增加到 100m 时，单位制品热耗降低 1%，窑头烟气带走热量减少 13.9%。

②拱顶结构改造

目前国内外使用最普遍的是吊顶结构的辊道窑，这种辊道窑具有安装运输方便、维修快捷简单的优点，但在能源的消耗和温差的控制等方面则有别于拱顶窑炉。经过对拱顶结构进行改造，使改造后的新型窑炉的内部空间比吊顶窑炉大，热能利用率更高。同时改变以往传统拱顶结构的形状，调整了热辐射的角度，采用热风助燃的方式，因此窑内断面各处温差较小，成功解决了宽断面辊道窑常见的断面温差难题。

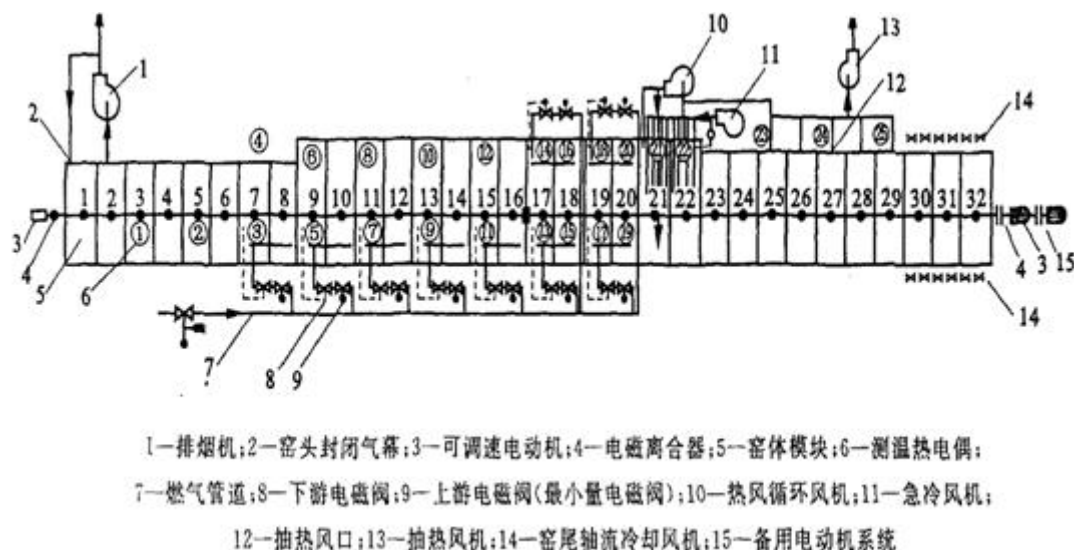


图 3-6 辊道窑结构示意图

2、技术发展水平

近二十年来,我国电瓷窑炉烧成的窑炉和窑具取得重大进步,并大量采用符合环境保护要求的气体燃料,使烧成过程基本上实现了机械化、自动化和微机控制,烧成合格率稳步提高,操作条件和生产环境大为改善。

电瓷烧成的窑炉经历了从倒焰窑、隧道窑到现代车底窑的演变和发展。

(1) 倒焰窑

是根据窑内火焰的流动情况命名的。燃料燃烧的火焰从燃烧室进入烧成窑室后向上冲向拱顶,受到拱顶的阻挡和窑底烟道的抽力而折下运动。到焰窑与直焰试的立窑相比延长了火焰在窑内的流动的距离和停流时间,使窑内温度场分布的均匀性有所改善。窑体尺寸可大可小能适合大尺寸电瓷坯体的烧成。所以在百余年的电瓷生产中一直发挥着主要热工设备的作用,只不过近二三十年才逐渐地被现代车底窑所替代。

(2) 隧道窑

隧道窑的窑体如同一条长长的拱顶隧道而得名,它由两侧的窑的要墙和顶部的桥拱形成一狭长的窑体,在两侧的窑墙中部设置相对的燃烧设备,窑体一端的内侧布置着与排烟机相通的排烟孔,窑的下部铺设轨道,沿轨道运动的窑车上表面则构成隧道窑的底部,解体装载窑车上,随同窑车载窑内穿行。

隧道窑烧成时窑内各部位的温度恒定,形成较稳定的温度分布,窑炉的使用寿命较长。烟气被用来预热解体,冷却带的热空气也可利用,窑炉的效率比倒焰窑有较大的提高。

隧道窑是一种连续工作的窑炉,容易实现机械化和自动化控制。装窑和出窑在室外的窑车上进行,改善了生产环境和条件。特别适合于大批生产的、品种单

一或相类似的产品烧成，有较稳定的烧成制度。在预热带仍存在由于气体分层而形成的较大的上下温差问题。同时，隧道窑的烧成制度不宜改变，不能停窑。

表 3-6 电瓷焙烧窑炉能耗分等表^①

焙烧产品	窑型及规格	燃 料	千 克 合 格 电 瓷 能 耗 等 级 指 标							
			特 等		一 等		二 等		三 等	
			kg	kg 标煤	kg	kg 标煤	kg	kg 标煤	kg	kg 标煤
小型产品 (35 kV 及以下 产品、线路电瓷)	>100m 隧道窑	煤气、重油	≤ 13000	≤ 0.444	> 13000-21000	> 0.444-0.717	> 21000-25000	> 0.717-0.854	> 25000-33000	> 0.854-1.127
	80-100m 隧道窑	煤气、重油	≤ 15000	≤ 0.512	> 15000-23000	> 0.512-0.786	> 23000-30000	> 0.786-1.025	> 30000-57000	> 1.025-1.264
	80-100m 隧道窑	烟 煤	≤ 17000	≤ 0.581	> 17000-30000	> 0.581-1.025	> 30000-35000	> 1.025-1.196	> 35000-48000	> 1.196-1.435
	倒焰窑	烟 煤	≤ 30000	≤ 1.025	> 30000-45000	> 1.025-1.537	> 45000-58000	> 1.537-1.982	> 58000-75000	> 1.982-2.562
中型产品 (相当于 110 kV 套管及普通 棒型)或中、小 型产品混装 大型产品 (相当于 220 kV 及以上产品) 或大、中、小型 产品混装	>100m 隧道窑	煤气、重油	≤ 17000	≤ 0.581	> 17000-31000	> 0.581-1.059	> 31000-35000	> 1.059-1.196	> 35000-45000	> 1.196-1.537
	80-100m 隧道窑	煤气、重油	≤ 19000	≤ 0.649	> 19000-37000	> 0.649-1.264	> 37000-44000	> 1.264-1.503	> 44000-50000	> 1.503-1.708
	80-100m 隧道窑	烟 煤	≤ 21000	≤ 0.717	> 21000-44000	> 0.717-1.503	> 44000-50000	> 1.050-1.708	> 50000-58000	> 1.708-1.982
	倒焰窑	煤气、重油	≤ 34000	≤ 1.162	> 34000-55000	> 1.162-1.879	> 55000-67000	> 1.879-2.289	> 67000-80000	> 2.289-2.733
	倒焰窑	烟 煤	≤ 38000	≤ 1.298	> 38000-63000	> 1.298-2.152	> 63000-80000	> 2.152-2.733	> 80000-94000	> 2.733-3.211
	倒焰窑	煤气、重油	≤ 38000	≤ 1.298	> 38000-63000	> 1.298-2.152	> 63000-80000	> 2.152-2.733	> 80000-100000	> 2.733-3.416
倒焰窑	烟 煤	≤ 42000	≤ 1.435	> 42000-75000	> 1.435-2.562	> 75000-92000	> 2.562-3.143	> 92000-110000	> 3.143-3.758	
注										
1 焙烧 220 kV 以上电瓷的隧道窑能耗等级指标，用焙烧中型电瓷产品隧道窑能耗等级指标乘以 1.25 系数。 $Q_{DW}^Y \leq 23000 \text{ kg}$ 烟煤作为燃料的窑，相应等级指标乘以 1.1 系数。										
2 110kV 防污棒形按大型产品考核。										
3 普通台车式窑（抽屉窑）按倒焰窑能耗等级指标考核。										
4 1 kg 标煤按 29.308 kg 折算。										

(3) 车底窑

现代的车底窑是一种广泛应用新型轻质耐火材料以流体燃料、微机控制等科技成果的新型窑炉。车底窑的结构结合了倒焰窑和隧道窑的某些特点，而它的工作原理是以流体燃料（重油/柴油/煤气/液化气等）在等温高速烧嘴中燃烧，形成温度调节自如，速度高达 60~120m/s 的高速烟气流喷入窑内。

(4) 现代隧道窑

传统的隧道窑有一系列的优点，特别适合于烧成制度固定的、大批量生产的、种品有单一或形状大小相近的电瓷坯体的烧成。隧道窑的最大不足时预热带的温差可达 200~300℃，制约了坯体的快速烧成。为此，现代隧道窑借鉴了现代车底窑的成功经验，对传统隧道窑进行了一系列改进，在很大程度上克服了预热带温差过大的问题。

现代隧道窑采用了上述的多项新技术、新的材质和新的结构，使烧成周期大为缩短，产量提高三倍，能耗下降 1/3，热效率达到 25% 的较高水平，单位产品的热耗仅 8170KJ/kg 瓷，是各种类型的电瓷窑烧成窑炉中热耗最低的窑炉。

(5) 辊道窑

^① 《电瓷焙烧窑炉能耗分等》（1999）

辊道窑最初是由意大利引进，后来国产化，都采用液化气、煤气、轻柴油等清洁燃料，明焰裸烧。明焰裸烧辊道窑产量高，质量佳，烧成周期短，烧成热耗低，是目前电子陶瓷烧结行业使用最多的辊道窑类型，也是辊道窑发展的重要方向。

辊道窑炉的出现也将窑炉与陶机设备融为一体化。先进的辊道窑设备不仅极大提高生产效率（如日产 1.8 万 m^2 宽体辊道窑），大大降低能源消耗，缩短了烧成周期。由于采用高效节能燃烧喷枪，使窑内温度差别降低，具备自动点火、安全操作等优点。目前我国窑炉行业通过技术引进与消化吸收，已经实现辊道窑制造国产化的技术水平，不仅满足了国内市场要求，也有部分辊道窑设备出口到东南亚地区。这些标明我国窑炉制造技术水平登上一个新台阶。

目前，我国自行研制的宽体辊道窑，在生产效率、能耗与自动控制方面已经达到国外同类窑炉的性能与技术水平。高性能辊道窑设备上的高温调速喷枪，内宽达 3.2m 的窑体，直径达 700mm、长度为 5m 的辊棒，以及可以自动控制产品入窑、出窑，调试烧成温度、窑内气氛与压力，自动除净辊棒粘疤等关键性技术均已掌握。

（6）梭式窑

目前国内外流行的梭式窑，实际使用容积小到 0.1m^3 ，大至几百 m^3 ，已广泛应用于日用、艺术、卫生及电瓷制品烧成，还出现了烧成温度高达 1800°C 的用于烧制特种陶瓷的超高温窑炉。梭式窑烧成时间一般为 6-8h，速度最快者达到 3.5h。烧成周期短、装窑开窑均在窑外进行，劳动强度小。

梭式窑采用高速燃烧喷嘴系统，便于调节操作，窑体采用蓄热好、绝热性高的陶瓷纤维棉、系无匣直焰式烧成，大大提高热效利用率。倒焰圆窑热效利用为 3%、隧道窑为 7-9%，梭式窑则为 20-30%，大大降低能耗成本。较之传统的圆窑上下温差为 $30-50^\circ\text{C}$ ，隧道窑上下温差为 $10-30^\circ\text{C}$ ，梭式窑温差仅为 10°C 以下。在日本甚至开发出温差为零的梭式窑炉，我国在梭式窑炉开发研制与使用方面与国外尚存有较大差距。

（6）宽体辊道窑炉

在中国陶机产能大降耗的趋势下，宽体窑突破传统窑炉制造技术，国内外陆续有企业投入使用。目前国外宽体窑在电子陶瓷工业中已有应用，国内最先研发出 200 米以上超长宽体窑的是萨克米公司，紧接着摩德娜、中瓷、中鹏、群星等有实力的窑炉公司纷纷上马宽体窑。影响宽体窑发展的“温差问题”和“快烧问题”目前也已经逐渐得到解决，国内部分企业已经利用长短枪和辐射层厚薄调节等方法解决了温差的难题。

3、技术使用条件

宽体辊道窑炉用于电子陶瓷的烧结过程。

4、实施建设内容

(1) 关键工艺设备

辊道窑的结构分为：

窑体：包括窑墙、窑顶、事故处理孔、工作通道的挡墙结构、膨胀缝。测温孔与观察孔；

钢架结构：主要由角钢、槽钢或方形钢管组成；

燃烧装置：主要由烧嘴、燃料供应设备及管线组成；

排烟装置：包括排烟风机、烟囱及排烟管道等；

通风装置：包括助燃风机、急冷、缓冷风机、窑尾冷却风机及相应的管道系统；

传动装置：包括辊子及驱动装置、窑炉的进出窑机构及必要的储坯系统；

自控装置：包括窑炉的温度、压力检测装置、自动控制机调节装置。

(2) 主要技术指标

辊道窑断面通道尺寸从 20 世纪 90 年代的内宽 1.5 米、长度 80 米，发展到现在的内宽 2.5 米，长度达到 350 米，甚至 400 米。

目前国内窑宽体窑炉面积在 3.1-3.5 米，长度介于 149-280 米之间。一般标准的宽体窑，以生产瓷片为例，一般为窑宽 3.2 米，生产抛光砖的话，窑宽为 3.1 米。由于温差控制和强度的限制，窑炉的长度及宽度需要有一定的限度，不可能一味地增加。

主要技术指标如下：

燃料及燃烧方式：轻油、气、明焰；

烧成周期(h)：0.5~1.5；

烧成温度(℃)：1050℃~4000℃；

窑体长度(m)：30-160；

窑内宽度(m)：3.1-3.4；

5、节能减排效果

宽体窑的最大优势在于提高了产能，减少了能耗。如果将窑宽从 2.5 米加到 3.1 米，生产 800mm×800mm 地砖时，在同等长度下，产量可提高 50%，产能能达到 15000m²/天。同等产量下，窑长可缩短三分之一，使陶瓷企业一次性投资大大减少，占地面积减少，能耗降低 30%以上。

以恒福陶瓷河源厂 3.3 米宽体窑为例，该窑炉日产量为 2 万 m²，最大产量达 2.3 万 m²。和普通窑炉相比，宽体窑产量大，普通的窑炉生产 300mm×450mm 产品，进砖每排是 8 片，而宽体窑炉每排进 9 片。这样，相同的时间内就多出 11%

的产量。同时和普通窑炉相比，宽体窑节能 5%~8%。此外，宽体窑的品质稳定，釉面缺陷少，坯体烧结度高。

汉玉王陶瓷有限公司将烧成工序 1#、2#生产线的 2 条窑炉为新型宽截面燃气节能辊道窑。改造后的节能效果如下：

表 3-7 汉玉王陶瓷有限公司窑炉节能改造项目实施效果一览表

技改工程名称	技改前指标	技改后指标	年总节能量 (折合标煤吨)
烧成工段技改	0.158kg 标煤/kg 瓷	0.125kg 标煤/kg 瓷	9108 吨标煤

6、成本效益分析

使用宽截面辊道窑一方面可降低投资成本，另一方面可降低生产过程中的原来成本。从行业平均水平来看，总成本下降约 20%。

7、技术应用情况

我国磁性材料和陶瓷工业虽然在世界上处于领先地位，但是其自身也存在一定的缺陷和不足，例如该行业具有能耗高、资源消耗率大的特点，而且对环境的污染也非常严重，能源利用率与国外的相比，依然有很大的差距。伴随着辊道窑炉的应用，既可以减少燃料成本，又能减少环境污染，因此，辊道窑炉有着广阔的发展前景。

近两三年，宽体窑已陆续在一些陶瓷厂里应用，其产能大、大幅降低成本及能耗的特点得到越来越多陶瓷企业的青睐。

8、技术知识产权

(1) 专利名称：一种陶瓷烧成辊道窑

申请号/专利号：200820051216

申请人/专利权人：广东科达机电股份有限公司

(2) 专利名称：烧成瓷质砖宽体辊道窑

申请号/专利号：200810132443/200820127608

申请人/专利权人：广东新明珠陶瓷集团有限公司

(3) 专利名称：脉冲控制比例燃烧宽体辊道窑

申请号/专利号：200520121827

申请人/专利权人：侯敬东

(4) 专利名称：宽体辊道窑炉

申请号/专利号：200510000219

申请人/专利权人：佛山市灵海陶瓷科技有限公司

3.3.2 产品技术

3.3.2.1 电子膨胀阀技术

1、技术介绍

①技术应用节点

电子膨胀阀作为自动控制的节流元器件，对于空调节能降耗具有重要意义。

电子膨胀阀是制冷系统里的节流阀，发挥控制制冷剂流量的作用，在家用空调生产领域主要应用于变频空调系统控制。而在定速空调上，发挥制冷系统制冷剂流量控制、调节作用的是毛细管和热力膨胀阀。电子膨胀阀的驱动方式是控制器通过对传感器采集的参数进行计算，向驱动板发出调节指令，由驱动板向电子膨胀阀输出电信号，驱动电子膨胀阀的动作，这一过程在几秒内完成。从空调整机配套需求来看，电子膨胀阀适应了制冷机电一体化的发展要求，为制冷系统的智能化控制提供条件，是一种很有发展前途的自控节能元件。

②技术基本原理

电子膨胀阀由阀体和线圈两部分构成，阀体通过连接管与空调系统连接，线圈装配在阀体上。线圈与阀体构成了 PM 型步进电机，线圈相当于步进电机的定子，阀体充当步进电机的转子，通过对脉冲发生器输入到线圈的脉冲驱动信号的控制，可以控制阀体内转子的定位转动，从而实现电子膨胀阀的开闭和冷媒流量的线性调节。

电子膨胀阀是变频空调系统中的关键节流元件。变频空调是通过变频器改变压缩机的供电频率，通过频率的变化调节压缩机的转速，当供电频率高时，压缩机转速就快，空调器制冷（热）量也就大；当供电频率较低时，空调器制冷（热）量就小。上述大小变化必须依靠电子膨胀阀来自动控制系统中冷媒流量的大小，使之与变频压缩机的功率相匹配。通过电子膨胀阀对制冷剂流量的自动调节，可使空调系统始终保持在最佳的工况下运行，达到快速制冷、精确控温、节省电能的效果。而且电子膨胀阀具有可逆性，可实现制冷、制热状态下流量的自动控制。

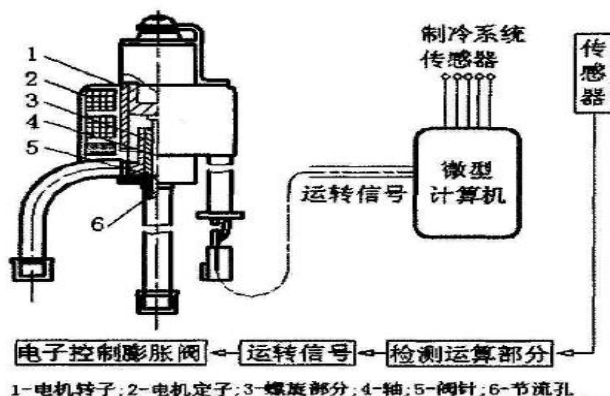


图 3-7 电子膨胀阀系统组成

2、技术发展水平

目前，在家用空调生产领域，电子膨胀阀和变频压缩机组成的变频系统性能优越。通过电子膨胀阀大范围流量调节特性与变频压缩机变频特性相结合，实现对空调运转真正意义上的变频控制。电子膨胀阀能够调整空调进入比较好的工作状态。变频空调压缩机工作频率是根据室内外的环境温度不停变化的，压缩机工作频率发生变化后，流经管路的制冷量也发生变化，必须通过电子膨胀阀进行调节，以适应压缩机变化着的工作状态。

表 3-8 电子膨胀阀与毛细管、热力膨胀阀特点比较

	毛细管	热力膨胀阀	电子膨胀阀
制冷剂与阀的选择因素	不限	由感温包充注决定	不限
制冷剂流量调节范围	小	较大	大
流量调节机构	毛细管流动阻力	阀开度	阀开度
流量反馈控制的信号	冷凝器出口过冷度	蒸发器出口过热度	蒸发器出口过热度
调节对象	冷凝器	蒸发器	蒸发器
蒸发器过热度控制偏差	大	较小，但蒸发温度低	很小
流量调节特性补偿	困难	困难	可以
过热度调节的国度过程特性	不好	较好	优
允许负荷变动	很小	较大，但不适合能量可调节的系统	很大，也适合于能量可调节的系统
流量前馈调节	困难	困难	可以
价格	便宜	较高	高

由于成本原因，目前市场上正在销售的部分变频空调不能算是真正的变频空调，部分企业生产的变频空调仍旧采用毛细管或热力膨胀阀。采用毛细管控制制冷剂流量的空调，当实际运转频率高于设计频率时，系统制冷量比配装电子膨胀阀的空调系统低 20%左右。在空调系统设计过程中采用热力膨胀阀，系统匹配在某种程度上也会受到热力膨胀阀功能和性能的限制。应用于变频空调系统，电子膨胀阀更为出色的控制性和节能效果早已得到业内广泛认可。电子膨胀阀在变频空调上的应用是必然趋势。

国内电子膨胀阀技术已经达到世界领先水平。长期以来外国老牌企业掌握着电子膨胀阀的技术专利，近几年来浙江三花集团和盾安集团开始加大研发力度，在电子膨胀阀节能专利技术上有了重大突破。

①国际市场

从国际市场来看,在电子膨胀阀生产领域,具有一定规模和竞争实力的企业并不多。目前从事膨胀阀生产的知名国外品牌有丹佛斯、艾默生(ALCO)、斯波兰(PARKER)、鹭宫等企业。

作为老牌的膨胀阀生产企业,丹佛斯全的热力膨胀阀盘踞节流阀件市场达半个世纪之久,丹佛斯的电子膨胀阀(ETS)在中国空调市场因其卓越稳定的性能而得到广泛应用。

艾默生拥有超过 70 年在热力膨胀阀领域的设计和生产的经验,其推出的 ALCOEXV 系列电子膨胀阀采用全封闭式设计,能极短时间内从全关到全开,具有高可靠性、高寿命等优点,同时适用于所有 CFCs, HCFCs 和 HFCs。

斯波兰从最初的选择性充气膨胀阀发展到了当前的精密步进电机技术和电动“智能”阀,一直坚持不断创新,树立了制冷配件行业的标杆。

日本开展变频空调生产比较早,变频空调在日本市场的普及率非常高。与市场同步发展的同时,日本鹭宫、不二工机等企业在电子膨胀阀生产技术上拥有较多专利权。

②国内市场

目前国内生产膨胀阀的主要品牌有:三花、盾安、春晖、红叶、上恒、鸿森等。而我国的电子膨胀阀研发与生产主要集中在少数几家企业手中,其中以浙江三花最具影响力,其产品主要供给三菱电机、松下、美的、海尔等众多空调企业,为国内规模最大的控制阀件生产企业。浙江三花从 2000 年立项开发空调用电子膨胀阀以来,在变频空调用电子膨胀阀上具有自有知识产权,已形成 Q、O、R、S 四大系列。2010 年 8 月,三花股份 600 万套变频空调用电子膨胀阀节能项目正式竣工通过国家验收,这个项目是 2010 年中央预算内投资计划项目,得到国家专项补助资金 450 万元。这一项目正是被列入发改委的上述技术报告的典型项目。

在阀件控制产品上与三花齐头并进的盾安集团,则从 2001 年开始了对电子膨胀阀的全面布局。经过连续 9 年攻关,其电子膨胀阀团队完成了盾安电子膨胀阀的自有知识产权体系,并建成了先进的生产线,成功实现了电子膨胀阀的量产。

其他大部分国内品牌仍然致力于热力膨胀阀领域,能在电子膨胀阀领域正面对抗老牌外资品牌的企业不多。

3、技术使用条件

电子膨胀阀适用于变频空调器、变频制冷机等作为节流降压部件,实现制冷剂流量的自动调节,具有较好的节能效果。

4、实施建设内容

①关键工艺设备

电子膨胀阀主要由阀体及线圈两部分组成：

可回收的热塑性塑料及导磁体内封装工艺制作线圈；

钕铁硼磁粉注塑成型阀体的磁转子；

阀体的阀腔结构的设计优化。

②主要技术指标

适用环境温度： $-30^{\circ}\text{C} \sim +90^{\circ}\text{C}$ ；

适用环境湿度：95%RH 以下；

适用介质：R22、R134a、R407、R404、R410A 和冷冻油

气密性 $4.2\text{MPa} \times 1\text{min}$ 无泄漏；

耐压 $6.3\text{MPa} \times 3\text{min}$ 无变形；

破坏压力 $16.8\text{MPa} \times 1\text{min}$ 无开裂破坏；

阀口泄漏 $\leq 600\text{ml/min}$ ；

逆向开阀压差 $\geq 2.11\text{MPa}$ ；

最高动作压差 $\geq 3.43\text{MPa}$ ；

绝缘电阻 $\geq 100\text{M}\Omega$ ，电气强度 AC500V/50Hz 1min 无闪络或击穿；

线圈温升 $\leq 60\text{K}$ ；

线圈抗雷击 5kV 以上；

寿命耐久 10 万次以上。

③工艺流程

电子膨胀阀的工作原理如下图所示：

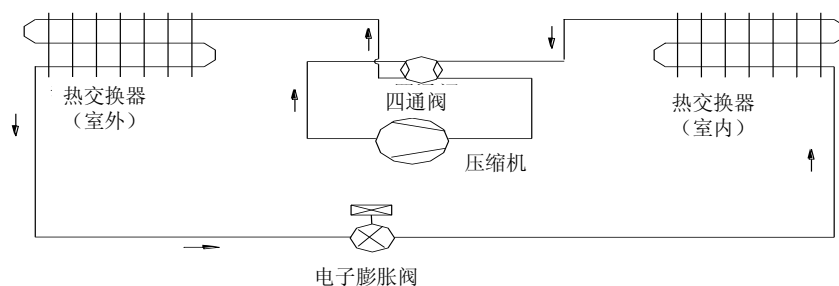


图 3-8 电子膨胀阀工作原理图

5、节能减排效果

测试结果显示，各运行频率下，空调机在采用电子膨胀阀时系统制冷性能均优于采用毛细管，在低频或高频时效果尤为显著。在 20Hz、80Hz、120Hz 时，前者的制冷量、EER 比后者分别高出 14.6%、10%，5%、6%，和 17%、16%。

6、成本效益分析

典型用户：三菱电机、松下、日立、富士通、夏普、三星、LG、格力、美的、海尔等。

建设规模：年产 600 万套直流变频空调用电子膨胀阀的生产线。主要技改内容：选择和采购合适的高精度加工设备及确定合理的加工工艺；选择和采购转子部件相关材料（特别是功能材料），转子部件相关成型模的设计制造和加工工艺的确定，以及转子充磁工装的设计和充磁参数的确定，以满足转子精度、磁性能和稳定性、可靠性的要求；3PBT 塑封线圈的极板精度保证和包封材料、加工设备的选型、工艺设备的确定，以保证分度精度和塑封密封性等。节能技改投资额 7500 万元，建设期 2 年。每年可节电 21.268 亿 kWh，折合 26.0 万吨标煤/年，投资回收期 5.6 年。

7、技术推广应用情况

该技术达到国内领先水平。目前已在部分变频空调上应用，技术成熟，节能效果较好。

电子膨胀阀主要应用于变频空调系统中，以实现制冷剂流量的自动调节，具有较好的节能效果。目前国内压缩机上的使用比例约为 20%，随着变频节能技术的推广，国内变频空调市场将会逐步提高，预计 2015 年，全国使用电子膨胀阀的压缩机将超过 2000 万台，年节能能力可达 85 万吨标煤。

在国家发改委 2011 年公布的《国家重点节能技术推广目录(第三批)》文件中，电子膨胀阀节能技术成为关注重点。文件指出，为了加快重点节能技术的推广普及，将引导用能单位采用先进的节能新工艺、新技术和新设备，提高能源利用效率，力争在 2015 年将“电子膨胀阀变频节能技术”的推广比例从现有的 20% 提升至 50%以上，总投入资金将达 2 亿元。

8、技术知识产权情况

浙江三花股份有限公司在电子膨胀阀方面具有 60 多个专利。盾安集团也完成了盾安电子膨胀阀的自有知识产权体系。

（1）专利名称：电子膨胀阀

申请号/专利号：200320108727、200320109033、03243806、03129440、200410067560、200420107866、200410093130、200520101881、200610154515、200720191987、200820131841、200810059943、200920192640、200910093681、200910093680、200910235359、200910235360、200910087920、200910089403、

申请人/专利权人：浙江三花股份有限公司

（2）专利名称：电子膨胀阀

申请号/专利号：200520059676

申请人/专利权人：珠海格力电器股份有限公司

- (3) 专利名称：电子膨胀阀
申请号/专利号：200520146309/200620133593
申请人/专利权人：浙江中宝自控元件有限公司
- (4) 专利名称：电子膨胀阀
申请号/专利号：94209161
申请人/专利权人：西安交通大学
- (5) 专利名称：电子膨胀阀
申请号/专利号：91228499
申请人/专利权人：北京清华人工环境工程公司
- (6) 专利名称：电子膨胀阀
申请号/专利号：02208097
申请人/专利权人：浙江新昌日发锭子有限公司
- (7) 专利名称：电子膨胀阀
申请号/专利号：200820132648
申请人/专利权人：浙江盾安人工环境设备股份有限公司
- (8) 专利名称：电子膨胀阀
申请号/专利号：200820132647/201030129244
申请人/专利权人：浙江盾安禾田金属有限公司
- 专利名称：电子膨胀阀的阀体与线圈的联结结构及电子膨胀阀
申请号/专利号：200910127125/ 200920006737
申请人/专利权人：浙江盾安禾田金属有限公司
- 专利名称：线圈连接结构及电子膨胀阀
申请号/专利号：201020115013
申请人/专利权人：浙江盾安禾田金属有限公司
- (9) 专利名称：一种用于制冷系统的电子膨胀阀
申请号/专利号：200610127206
申请人/专利权人：浙江盾安精工集团有限公司
- 专利名称：变频空调用直动式电子膨胀阀
申请号/专利号：02261051
申请人/专利权人：浙江盾安精工集团有限公司

专利名称：变频空调用减速式电子膨胀阀

申请号/专利号： 200420023433

申请人/专利权人： 浙江盾安精工集团有限公司

专利名称：用于控制压缩机的电子阀

申请号/专利号： 200710002986

申请人/专利权人： 浙江盾安精工集团有限公司

专利名称：用于电子膨胀阀转子的定位装置及电子膨胀阀

申请号/专利号： 200620138826

申请人/专利权人： 浙江盾安精工集团有限公司

专利名称：一种制冷用电子膨胀阀

申请号/专利号： 200720140577

申请人/专利权人： 浙江盾安精工集团有限公司

(10) 专利名称：电子膨胀阀

申请号/专利号： 200610130010

申请人/专利权人： 天津科技大学

3.3.2.2 高强度气体放电灯用大功率电子镇流器技术

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

HID 灯是一种高压放电灯，其放电的“伏—安”性能呈负阻特性，因此在灯的工作电路中需连接限流器件，即通常称为镇流器。作为一般照明用的常用 HID 灯有高压汞灯、高压钠灯和金卤灯。高压钠灯和金卤灯是近代发展的高效节能新光源，要求镇流器能和灯有很好的匹配，以取得更好的综合效果。其中高压钠灯以其特高光效和透雾性强在道路、港口照明方面得到普及；而金属卤化物灯除高光效外，还以高显色性备受青睐，在体育馆、展厅、商场、广场及要求高显色性的工厂、车间被广泛采用，成为流行的泛光照明中的一枝独秀的主要光源。

高强度气体放电灯工作时须采用镇流器补偿自身的负阻特性。高强度气体放电灯启点时必须加以数千伏的高压触发脉冲使灯启动，启点初期电弧电流很大，正常工作时灯又运转在高压电弧放电状态。从启点到灯稳定工作期间灯阻抗变化很大。高强度气体放电灯的上述特点要求镇流器不仅要提供启动所需高电压，而且要与灯的不同阶段的不同负载特性相匹配，并能承受更高的瞬态电压和更大的短暂电流的冲击。

电感镇流器绕组线径粗，体积较大，材料消耗多，加以自身消耗的功率较大

(达到灯功率的 15%或更高), 温升高, 功率因数低(0.3-0.4)和三次谐波高等固有缺点, 远不符合绿色照明的要求。以电子镇流器代替电感镇流器已经成为绿色照明工程中一项紧迫任务。电子镇流器是镇流器的一种, 是指采用电子技术驱动电光源, 使之产生所需照明的电子设备。

(2) 技术基本原理

①通过对高频波段及高频电流的控制, 将高频频率改变为所需的频率, 30-40kHz 为 1000W, 40-50kHz 为 750W, 50-60kHz 为 600W。

②1000W 调光型电子镇流器输入电压范围: 120-240V。主要是由交流 120-240V 的输入通过桥式整流滤波, 再由直流稳压电源的 IC 控制保证直流电压不变, 达到输入交流在规定的波动范围内波动而直流电压不变的目的。

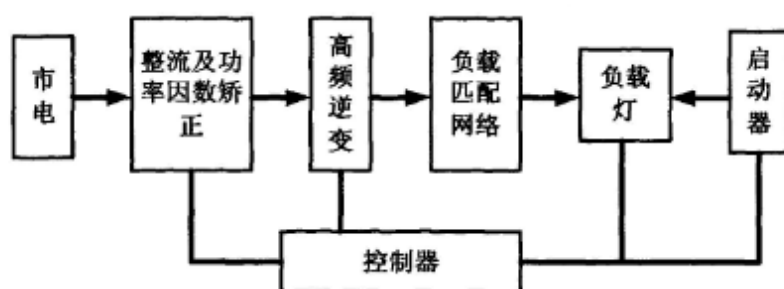


图 3-9 电子镇流器基本框架结构图

2、技术发展水平

电子镇流器从时间上划分, 它的发展过程可划分为三个阶段:

第一阶段是 80 年代中期至 90 年代初期。在这一时期, 电力电子技术由低频向高频发展, 出现了有源功率因数校正技术, 谐波抑制技术也开始起步, 国内外的相关法规和法令已出台或即将出台, 电子镇流器的优缺点已经显露。这一阶段的电子镇流器具有两个明显特征: 其一是镇流器输入端采用了不可控整流和大电容滤波, 造成了输入电流的严重畸变、谐波失真严重、中线电流增加, 甚至造成了多起重大火灾事故, 节能又引起了新的电网污染。这阶段的产品称为第一代电子镇流器。其二是采用无源逐流技术进行功率因数校正和谐波抑制, 使得功率因数 $PF > 0.9$, 总谐波畸变 $THD < 30\%$, 但是九次谐波超标。由于母线上的 100Hz 交流成分的影响, 使得波峰因子 $CF \approx 2$, 超过标准。这种电路称为第二代电子镇流器。

第二阶段是 90 年代初期到 90 年代中期, 有源功率因数校正技术业已成熟, 一些大的集成芯片公司已推出专用芯片, 其典型电路多采用两级功率变换器, 即输入级由升压型功率因数校正电路和 D 类功率逆变器组成。通常把这类电路称为第三代电子镇流器。

第三阶段的典型电路是单级多功能电子镇流器。单级电子镇流器的发展分为两个主要思路。其一是美国 Virginia 电力电子中心的研究者提出的电荷泵电路，它是在 D 类功率变换器基础上发展起来的，其主要技术指标是 $PF \geq 0.995$ ， $THD < 5\%$ ， $CF < 1.6$ ；其二是 CUK 等人提出的单管电子镇流器。

近来，国内外都在致力于中功率金卤灯电子镇流器的开发。国外已开发成功中功率高频金卤灯电子镇流器，其工作频率 $> 100\text{kHz}$ ，可防止产生放电管内的声共振。该镇流器还可以实现一定范围的调光。金卤灯使用这种电子镇流器后可增加灯的光输出，极大地降低光衰，提高灯的寿命，并具有节能好的综合效果。

1994 年以后的近 50 个专利中，有代表性的几个高强度气体放电灯电子镇流器专利技术如下：

表 3-9 高强度气体放电灯电子镇流器专利技术^①

国别	专利号	发明人	发明人单位
英国	GB265773	Joe Allen Nuckolls	自由人
美国	US5319286	Paul Leyten	北美菲利普公司
美国	US5369340	Paul Leyten	北美菲利普公司
美国	US5381076	Louis R.Nerone et al	美国通用电气公司

上述专利中，北美菲利普公司和美国通用电气公司的专利在原理上很相似，且均已在小功率上实现了商品化。目前，世界上三大照明巨头荷兰 PHILIPS 公司，美国 GE 公司和德国 OSRAM 公司均投入精力，开发大功率 HID 灯电子镇流器，但至今尚未有一家公司能够推出实用化 250W 以上金属卤化物灯或高压钠灯电子镇流器。美国 GE 公司最大仅推出 130W 商品化高强度气体放电灯电子镇流器，而德国 OSRAM 公司最大也仅仅推出 120W 商品化高强度气体放电灯电子镇流器。对其某些型号电子镇流器的测试结果来看，其产品性能指标并不高，并且温升比较高。

国内也早就开始了该项技术的研究，但仍落后于上述企业。

3、技术使用条件

适用于高压钠灯、金卤灯用电子镇流器取代电感镇流器，用于道路、交通、公共场所、农业、工业、航空、军事、城市建筑群、厂矿等方面的照明。

4、实施建设内容

①关键工艺设备

芯片和电子模块的优化设计；

变频调光；

^① 资料来源：孙多春 王涟 李璜 北京国际技术合作中心《高强度气体放电灯电子镇流器》

高压钠灯和金卤灯电子镇流器的通用性；

宽电压（102-240V）输入。

②主要技术指标

电压范围：120-240V；

电源频率 50/60Hz；

功率因数 >0.99 ；

灯电流波峰比 <1.7 ；

电流总谐波 $<10\%$ ；

环境温度 $-10-40^{\circ}\text{C}$ ；

启动时间 5min；

输出灯功率变化 $<2\%$ ；

抗干扰的最大距离是 0.6m；

可使用灯：HPS（钠灯）/MH（金卤灯）

可变频调光 600W、750W、1000W。

③工艺流程

技术原理见下图所示：

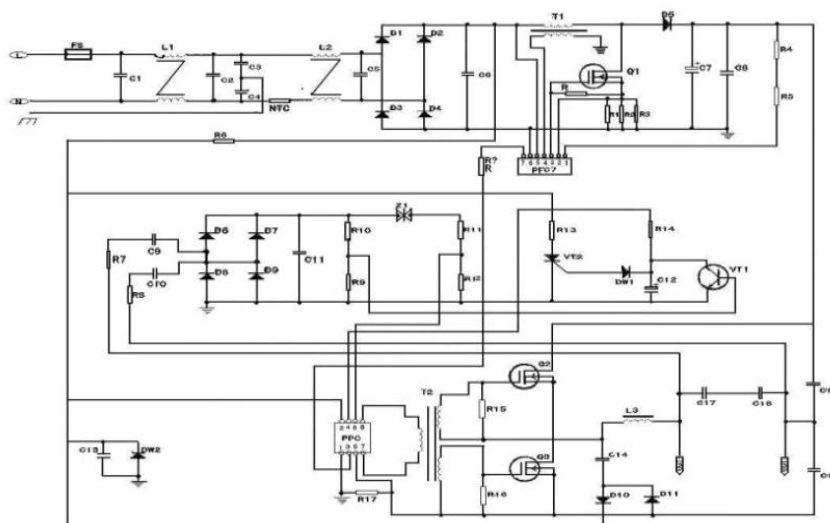


图 3-10 高强度气体放电灯用大功率电子镇流器技术原理图

5、节能减排效果

由于电子镇流器具有稳定的灯输出功率（某企业生产的电子镇流器，电源电压变化 $\pm 15\%$ 时，灯输出功率变动小于 3% ），而使用电抗式镇流器的灯输出功率会随电源波动超过 10% 以上，因此，在设计时，为保证在电源电压波动范围内满足设计照度，均按电压波动的下限（ -10% ）设计，这样在正常电压使用时，灯从电源取得的输入功率将超过正常功率约 10% ，既造成灯泡过载，缩短灯寿命，

也造成不必要的浪费。但是，如果使用电子镇流器，由于有稳定输出功率的特性，达到同样的设计效果时，其从电源输入的功率可以降低 10%以上。

采用电子镇流器可以大大降低资源损耗，以 400W 金属灯（电感镇流器）为例，需要铜 2.0 公斤，硅钢片 4.0 公斤，而使用电子镇流器，只需要铜约 0.4 公斤，不需要硅钢片。

表 3-10 电子镇流器和电感镇流器节能效果比较

	每只镇流器本身耗电(W)		每只年节电(kWh)
	电感镇流器	电子镇流器	2500h/年
荧光灯(40W)	约 8	1	17.5
金属卤化物灯(250W)	38	8	75
高压钠灯(400W)	58	11	117.5

6、成本效益分析

如果使用调光电子镇流器，每一只镇流器每年直接节省电费约 490 元（ $1448.06 - 956.03 = 492.03$ ），1 万只路灯每年可直接节省资金达 490 万元，而节省了供变电设备（变压器、控制室等）的投资和线路费用（以 100 盏路灯集中供电计算，减少初装费用 5.1 万元）。另外还可以大幅度地降低高额的维护费用（每杆路灯可降低 75 元）。具体如下：

（1）镇流器自身耗电与年费用（平均每天按工作 10h、电费按 0.8 元/度，功率 400W，全功率）见下表：

表 3-11 镇流器自身耗电费用比较

镇流器类型	电感式	电子式	差额
自身功耗(W)	70	20	50
年耗电(度)	255.5	73	182.5
年电费(元)	204.4	58.4	146

可见，采用电子镇流器每年每只镇流器自身耗电节约电能 115.2 度，节约电费 60.48 元。

（2）灯泡的使用寿命延长节约的费用（高压钠灯泡平均使用寿命 4000h，每天按工作 10h，每只灯泡按 80 元计算）见下表：

表 3-12 灯泡的使用寿命延长节约的费用

镇流器类型	灯泡寿命(h)	使用年限(年)	年费用(元)	年费用差额(元)
电感式	4000	1.09	73.39	36.7
电子式	8000	2.18	36.69	

可见，采用电子镇流器由于延长灯泡使用寿命每年每只节省费用 36.7 元。

(3) 供电线路电损耗与年费用（以 100 盏路灯集中供电计算）见下表：

表 3-13 供电线路电损耗与年费用

镇流器类型	线路电流 (A)	视在功率 (VA)	线路损耗 (W)	年耗电(度)	年总电费 (元)	年单电费 (元/只)
电感式	251	55200	828	3022	2417.6	24.17
电子式	192	42200	484	1767	1414	14.14

（电感式镇流器线损按视在功率 1.5% 计算）

(4) 减少初装费用分析（以 100 盏路灯集中供电计算）见下表：

表 3-14 减少初装费用分析

镇流器类型	电感式	电子式	差额
电灯电流 (A)	2.51	1.92	
区域总电流 (A)	251	191	60
总电缆面积 (mm ²)	70	50	
电缆价格 (元) (1200m)	1200×15=1800	1200×10=12000	6000
变压器容量 (KVA)	75	50	
变压器价格 (元)	25000	20000	5000
节能控制柜价格	(元)	40000	40000
合计费用差额	51000 元(若不加节能控制柜，则费用差额 11000 元)		

可见，采用电子镇流器以 100 盏路灯集中供电计算可节约初装费 51000 元。

(5) 电感镇流器，电子镇流器（无调光）和调光电子镇流器年费用/只对比分析（每天平均工作 10h，电费按 0.8 元/度计算）见下表：

表 3-15 电感镇流器、电子镇流器年费用对比

镇流器类型	灯泡年电费 (元/年)	自身耗电年电费(元)	灯泡费用(元/年)	平均线损(元/年)	合计(元/年)
电感镇流器	1168	182.5	73.39	24.17	1448.06
电子镇流器 (无调光)	1168	58.4	36.69	14.14	1277.23
电子镇流器 (调光模式 1)	963.6	58.4	36.69	14.14	1072.83
电子镇流器 (调光模式 2)	846.8	58.4	36.69	14.14	956.03
电子镇流器 (调光模式 3)	887.2	58.4	36.69	14.14	996.043

①电感镇流器灯泡消耗电费：

$400\text{W} \times 10\text{H} \times 365\text{D} \times 1000 = 1460$ 度， $1460 \times 0.8 = 1168$ 元

②无调光电子镇流器灯泡消耗电费：

$400\text{W} \times 10\text{H} \times 365\text{D} / 1000 = 1460$ 度， $1460 \times 0.8 = 1168$ 元

③有调光电子镇流器灯泡消耗电费计算：

调光模式 1：1 阶段调光，满额功率(400W)输出 3h，然后功率降为 75%满额功率(300W)输出，直到断电。灯泡消耗电费：

$(400 \times 3 + 300 \times 7) \times 365 / 1000 = 1204.5$ 度， $1204.5 \times 0.8 = 963.6$ 元。

调光模式 2：2 阶段调光，在灯泡点亮后 2.5h 内满额输出 (400W)，然后灯泡功率降为额定功率的 85% (340W)，持续 2h 后再将灯泡功率降为额定功率的 60% (240W)，直到断电。灯泡消耗电费：

$(400 \times 2.5 + 340 \times 2 + 240 \times 5.5) \times 365 / 1000 = 1058.5$ 度， $1058.5 \times 0.8 = 846.8$ 元。

调光模式 3(可控调光)：3 阶段调光，在灯泡点亮后 2h 内满额输出 (400W)，然后灯泡功率降为额定功率的 85% (340W)，持续 2h，再将灯泡功率降为额定功率的 60% (240W)，持续 5h 后将功率上调到额定功率的 90% (360W)，直到断电。灯泡消耗电费：

$(400 \times 2 + 340 \times 2 + 240 \times 5 + 360 \times 1) \times 365 = 1109$ 度， $1109 \times 0.8 = 887.2$ 元。

7、技术推广应用情况

到 2004 年我国的电子镇流器产量与传统的电感镇流器的产量基本持平，电子镇流器的出口已超过电感镇流器一倍。随着世界能源的紧张及节能意识在照明领域的提高，预计在未来几年，电子镇流器的产量将超过电感镇流器。目前欧美已对传统的电感镇流器加以限制，北京奥运会工程也明确提出了绿色节能的概念，优先选用电子镇流器。HID 用电子镇流器近几年也逐步在国内得到应用，特别是 150W 以下小功率 HID 用电子镇流技术基本成熟、产品质量稳定，因此小功率 HID 灯用电子镇流器将会在未来的几年中得到快速发展。国内的路灯几乎都是采用 250W、400W 高压钠灯，与路灯高压钠灯配套的镇流器全部为电感式镇流器。从绿色节能的长远考虑，电子镇流器必定取代电感镇流器，但这需要一个长期的过程。

传统的高强度气体放电灯使用电感镇流器，电能利用效率不高，未来 5-10 年内，电子镇流器将不断替代耗能高的电感镇流器。目前我国在使用的路灯镇流器 90%以上均为低效镇流器，在我国实施绿色照明工程后，这些在线使用的旧镇流器在今后几年内必将被更换，加之每年的新上工程，预计到 2015 年，全国使用电子镇流器的高强度气体放电灯将达到 670 万台，年节能能力可达 125 万 tce。

目前，高强度气体放电灯的应用也不断向新的领域拓展。特别是小功率金属

卤化物灯开始广泛用于商场、会议厅、写字间，并正逐渐进入家庭。德国 OSRAM 公司已成功解决了小功率金属卤化物灯的热灯再起辉问题，并将 36W 金属卤化物灯应用于奔驰、林肯等高档汽车的大前灯上，光强较卤素灯大前灯提高 3 倍以上。这些新的应用领域为高强度气体放电灯电子镇流器的发展提供了更为广阔的空间。

8、技术知识产权情况

- (1) 专利名称：电子镇流器（HID）
申请号/专利号：03314456
申请人/专利权人：温州金奥达照明科技有限公司
- (2) 专利名称：一种新的 HID 灯电子镇流器
申请号/专利号：200510113033
申请人/专利权人：林福泳；林福祥
- (3) 专利名称：一种用于 HID 灯的电子镇流器
申请号/专利号：200620069545
申请人/专利权人：苏州启明星科技有限公司
- (4) 专利名称：HID 灯电子镇流器
申请号/专利号：200720072400
申请人/专利权人：上海米开罗那机电技术有限公司
- (5) 专利名称：改进的 HID 灯电子镇流器
申请号/专利号：200820211454
申请人/专利权人：巢湖凯达照明技术有限公司
- (6) 专利名称：电子镇流器(HID)
申请号/专利号：200830049407
申请人/专利权人：佛山市伊戈尔电业制造股份有限公司
- (7) 专利名称：HID 灯电子镇流器
申请号/专利号：200810189276
申请人/专利权人：山东华鼎伟业能源科技有限公司
- (8) 专利名称：一种用于 HID 的交流电子镇流器
申请号/专利号：200820139374
申请人/专利权人：佛山市华全电气照明有限公司
- (9) 专利名称：一种 HID 灯电子镇流器

申请号/专利号：200920043053

申请人/专利权人：河海大学

(10) 专利名称：应用于太阳能照明系统的 HID 灯电子镇流器

申请号/专利号：201020187544

申请人/专利权人：东莞市里奥电子实业有限公司

(11) 专利名称：HID 灯定功率控制电子镇流器

申请号/专利号：201020616760

申请人/专利权人：合肥融讯电子科技有限公司

3.4 新技术焦点

3.4.1 用于生产高性能电容器的合成碳材料技术

3.4.1.1 技术介绍

(1) 技术应用节点

高性能电容器（分子电能存储器）在电子学和电气学的不同领域有着广泛的应用。生产该产品需要用到一种基础性的原料——活性炭，这种碳不但可以从植物原料中提取，还可以人工合成。特别重要的是来自植物原料中的活性炭，其结构具有一定的次序，且原料本身中包含有以固定形态存在的一定数量的水。因此，需要通过加热和使用发泡剂（成孔剂）来去除水分从而形成孔洞，并保证内部孔洞分布的均匀度，而原材料的结构从本质上影响着表面活性值和内部孔洞按尺寸的分布。因此，对植物原材料成分的研究是一个迫切的技术问题，解决了这个问题就为得到廉价的且性能具有高度可控性的活性炭提供了可能。

(2) 技术基本原理

电子学和电气学领域需要生产具有高容量的电容器，包括滤波器、晶体振荡器、发动机发射系统、空间技术和其他类似的领域。双电层电容器在很多时候符合这些要求，所以大家对生产这种电容器的工艺技术有浓厚的兴趣。

由下图可以看出，高性能电容器在能源领域和电能存储器领域占有重要的地位。

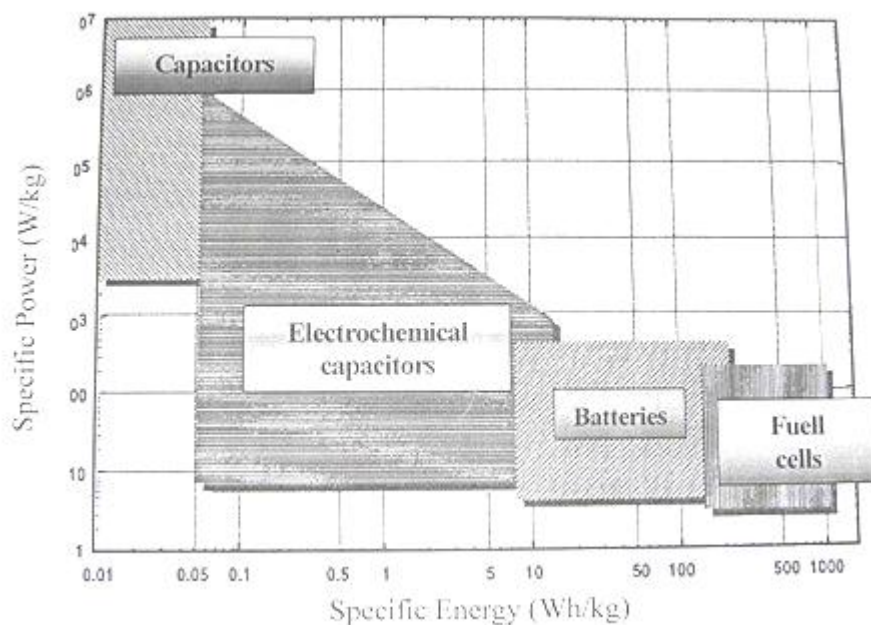


图 3-11 各种电化学能源之能量比较图

这种电容器与传统电容器最根本的区别在于它的容量是由双电层来保证的，双电层是由电解质和电子材料表面触电组成的。

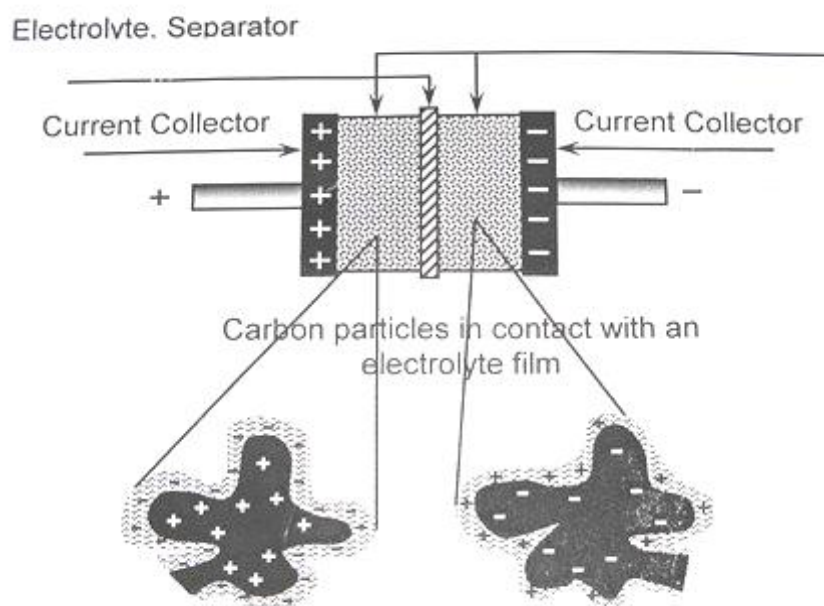


Рис. 2. Principle of a single-cell double-layer capacitor

图 3-12 单元件双电层电容器工作原理

为了生产这种电容器的电极需要用到活性炭材料，这种材料需要有很大的比

表面积 ($> 1000\text{m}^2/\text{克}$)，工作孔洞尺寸在 $1\text{-}1.8\text{nm}$ 之间。获取活性炭材料的技术在于碳化有机合成物（甲醛树脂、聚丙烯、苯乙烯等）以及随后的活性化。通常这种技术都对生态有危害，且获得活性炭材料的工艺本身存在对常态进气、质量流失、生产设备温度可操控性差的问题。一篇关于植物原材料（椰子壳、坚果等）使用的报道指出，可以从植物原材料中获得活性炭，扩展到电化学的电容器领域。为了提高电容器的生产规模，需要具备很高可控性的、廉价的、原材料在生态上是安全的活性炭材料。但是，用传统工艺获得活性炭材料是不可能的。前期研究表明，解决该问题必须采用新的技术手段才能得到用于高性能电容器的电极所用的活性炭，以及随后的经过热处理的、化学和激光处理的改型产品。所得到的活性炭材料的孔洞按尺寸分布的情况见下图。

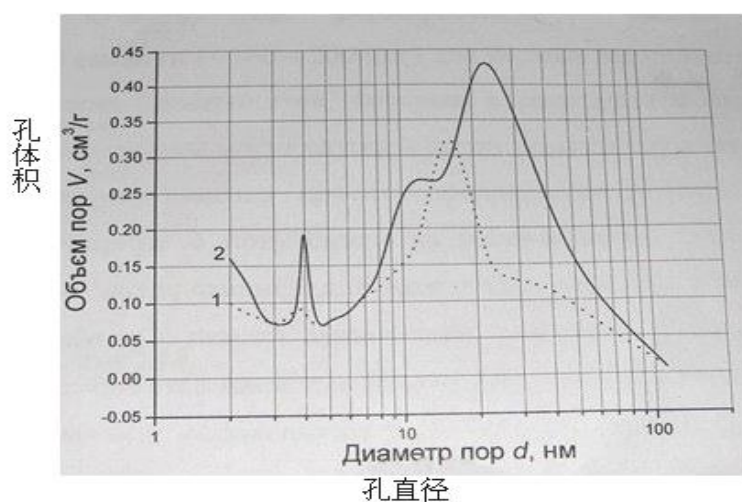


图 3-13 从椰子壳中获取的活性炭材料孔洞按尺寸分布热处理后

3.4.1.2 技术实验示范效果

(1) 关键工艺设备

方案的目的是研发从生态上安全且廉价的原材料（水果核，农作物技术处理后的残渣）中获取活性炭的技术，用于生产水电解质（ $180\text{-}200$ 法/克）和有机电解质（ $75\text{-}80$ 法/克）的高容量电容器的电极，用于独立电源系统的蓄电池和太阳能电池中。

在完成方案的框架内建议解决从含活性炭的植物原材料中提取活性炭，以及电化电容器电极的改型产品这一技术问题，其中包括在完成方案的框架内选择最符合预定目标的原料的品质等级。当活性炭的性能（孔洞按尺寸分布、比表面积、堆积密度、亲水性、电导性等）达到制造电化电容器的最佳状态时，制定出提取活性炭和改型产品的方式，然后将定型电化电容器并研究它的操作特性。

在方案中将研究新的完善的获取活性炭材料的技术方法。建议研究在提高压

力（达到 20 个大气压）的情况下对碳加工的热电偶的影响。作为获取活性炭材料的原材料将使用生态上安全的、廉价的植物原材料（椰子壳、坚果、水果核等）。将进行活性炭材料在高性能电容器中使用激光和化学处理对其影响的实验性研究。

（2）主要技术指标

下面的用获取的活性炭材料生产的高性能电容器性能比表描绘出了用所得到的活性炭材料生产的高性能电容器的性能比率图。

表 3-16 用获取的活性炭材料生产的高性能电容器性能比

原料来源	堆积密度比 (克/立方厘米)	容积比 (法/克)	体积比 (法/立方厘米)
椰子壳	0.48	195	93.6
杏核	0.28	215	60.2
樱桃核	0.26	205	53.3
黄连木果	0.39	195	76.05

（3）节能减排效果

方案计划实现：

①在高压力的情况下用水热加工法从原材料中获取活性炭，预计比表面积为 1000-1800m²/克。

②通过改变合成条件对有针对性的产品材料的结构特性（表面形态，孔隙率）进行研究的方法。

③优化作为生产高容量电能存储器基础性材料的活性炭及其改型产品的获取条件和方法。

④通过阻抗光谱的方法研究在高性能电容器的电极/电解质部分的电离过程。

⑤研究材料的表面形态和孔隙率对高性能电容器耗电量的影响。

⑥在实验性生产的基础上编纂从植物原材料中获取用于制造高性能电容器电极的活性炭的技术文件。

⑦生产实验性分子电能存储器样机，并研究其性能。

3.4.1.3 技术应用前景分析

该型电容器作为存储部件同其他独立的电源（太阳能电池、蓄电池）一起能够在电子学和电气学的很多领域广泛应用。在均衡破损区电压和电网峰值过载装置，放大化学电流功率级，产生强大的红外低频信号，发动机内燃室点火和其他常用技术领域都有广泛应用。

从植物原料的废弃物中获取活性碳的技术将得到优化, 电能存储器的实验室样品将被定型, 技术和商业性能在世界市场上将很有竞争力。

第四章 印刷电路板行业

4.1 行业技术发展现状

线路板属于电子产业的基础产品，广泛应用于计算机、通讯网络设备、新型显示器产品、新一代视听产品等高新技术领域。线路板分软性线路板和刚性线路板。

集成电路（IC）等元件的集成度急速发展，迫使 PCB 向高密度化发展，组装技术进步也推动着 PCB 走向高密度化方向，信号传输高频化和高速数字化，迫使 PCB 走上微小孔与埋/盲孔化，导线精细化，介质层均匀薄型化等，即高密度化发展和集成元件 PCB 发展。自 PCB 诞生以来（1903 年算起 100 年整），组装技术的进步和发展，PCB 工业已走上了三个阶段。而 PCB 生产技术的发展与进步一直围绕着“孔”、“线”、“层”、和“面”等而发展着，分为通孔插装技术（THT）用 PCB 产品→表面安装技术（SMT）用 PCB 产品→芯片级封装（CSP）用 PCB 产品三个阶段。

4.1.1 行业技术结构

线路板典型的生产工艺包括：基板裁板、钻孔、沉铜、图形电镀、蚀刻、阻焊印刷、文字印刷、喷锡等工序。

完整的 PCB 产业链可以分为原材料-覆铜板（CCL）-印刷电路板（PCB）-电子产品应用。

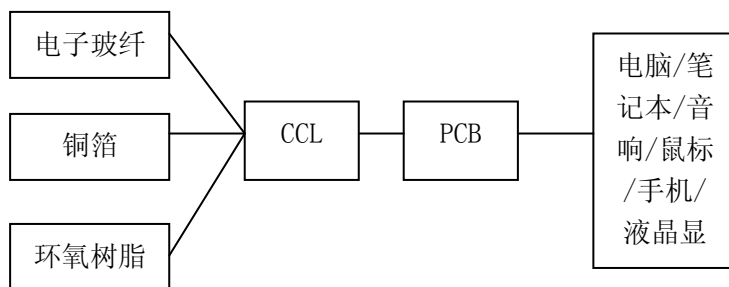


图 4-1 PCB 产业结构

4.1.1.1 CCL

覆铜板是以环氧树脂等为融合剂将玻纤布和铜箔压合在一起的产物，是 PCB 的直接原材料，在经过蚀刻、电镀、多层板压合之后制成印刷电路板。覆铜板主要由铜箔、基材、粘合剂三大部分构成，由无碱玻纤布和铜箔压合而成，铜箔作

为线路连接导体，玻纤布由无碱玻纤细纱纺织而成，作为电子零件间的绝缘体并起增强支撑作用。

具体生产流程如下：

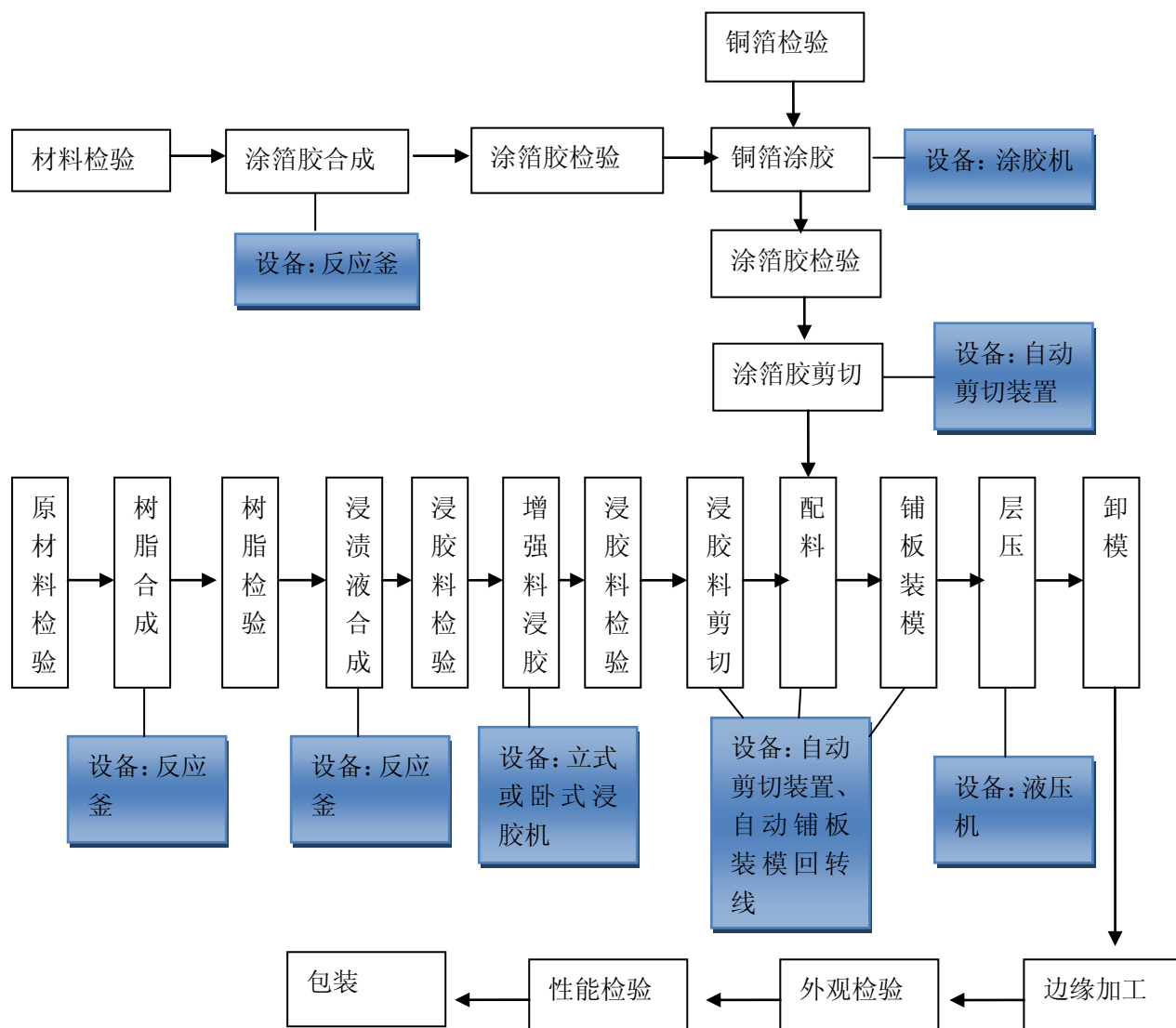


图 4-2 CCL 生产流程

4.1.1.2 PCB

线路板分软性线路板和刚性线路板。线路板典型的生产工艺包括：基板裁板、钻孔、沉铜、图形电镀、蚀刻、阻焊印刷、文字印刷、喷锡等工序。

根据 PCB 的导电图形层数不同，可把它们分为单面板、双面板和常规多层板、挠性板、HDI(高密度互联)板、封装基板等 6 个主要细分产品。从产品生命周期“导入期—成长期—成熟期—衰退期”等 4 个周期维度来看，其中单面板、双面板由于不适合目前电子产品短小轻薄的应用趋势，正处于衰退期，其产值比例逐渐减少，发达国家和地区如日本、韩国和我国台湾在本土已经很少生产该类产

品，不少大厂已经明确表示不再接单双面板。常规多层板和 HDI 属于成熟期的产品，工艺能力日益成熟，产品附加值较高，是目前大多主要 PCB 厂全力主供的方向，中国只有超声电子等少数几家厂商掌握生产技术；挠性板特别是高密度挠性板和刚硬结合板，由于目前技术尚未成熟，未能实现大量厂家大批量生产，属于成长期的产品，但由于其具有比刚性板更适应于数码类产品的特性，挠性板的成长性很高，是各个大厂未来的发展方向。

各种 PCB 制造过程主要都是采用化学处理和电镀工艺，但工序多少不同的。它们的基本生产流程如下：

(1) 单面 PCB(只在绝缘基板的一面有导电图形的印制板)：

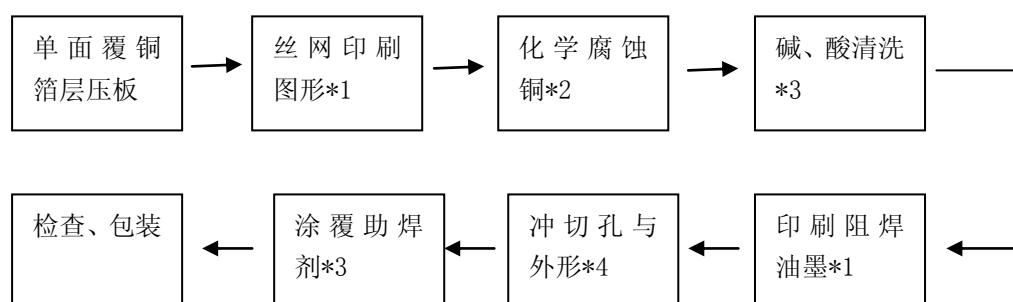


图 4-3 单面 PCB 生产工艺流程

(2) 双面 PCB(在绝缘基板的两面均有导电图形的印制板)：

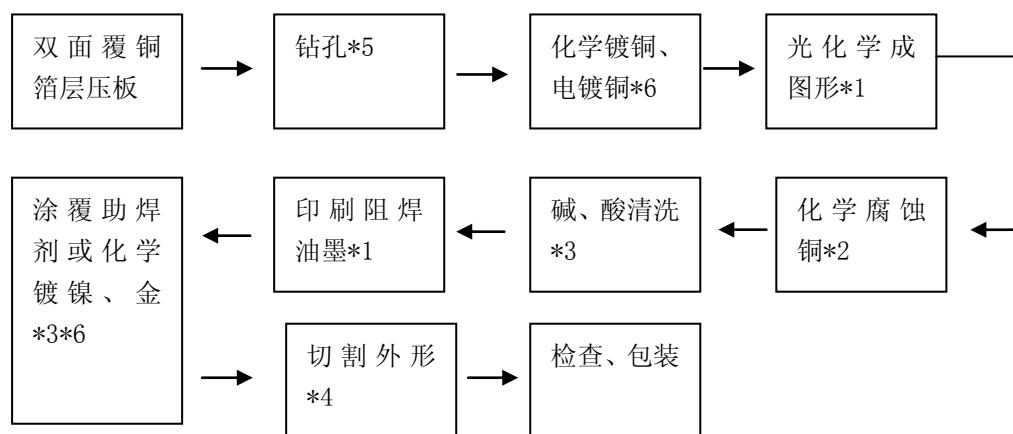


图 4-4 双面 PCB 生产工艺流程

(3) 多层 PCB(具有 3 层或更多层导电图形的印制板，层间有绝缘介质粘合，并有导通孔互连)：

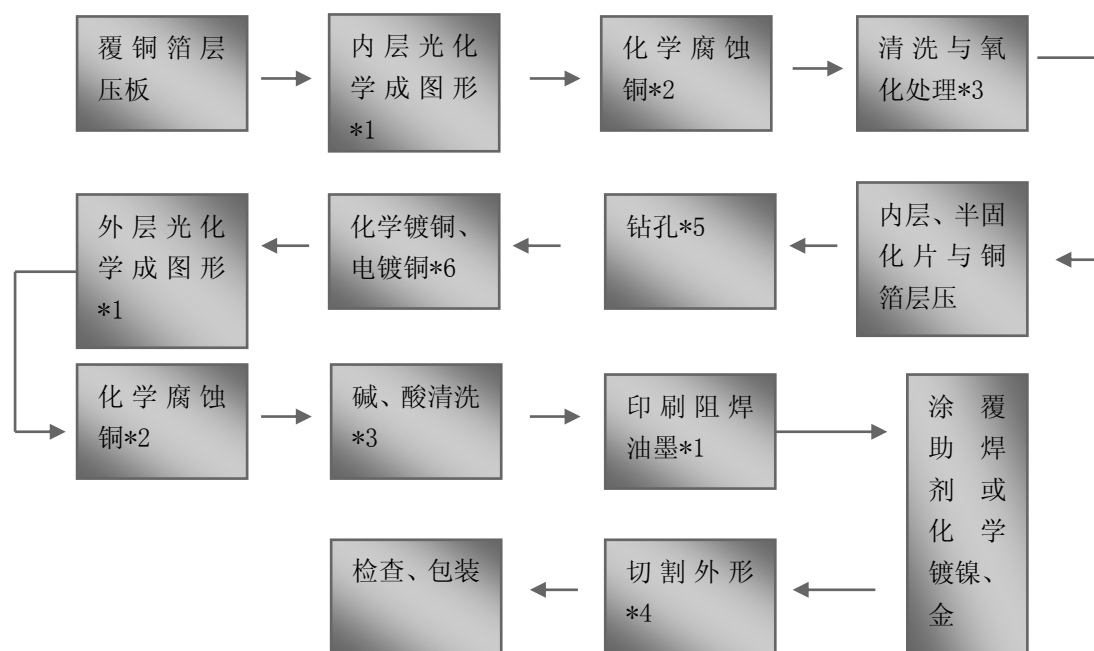


图 4-5 多层 PCB 生产工艺流程

4.1.2 生产制造过程节能技术

4.1.2.1 CCL

为了解决 HDI 多层板提出的基板材料更高性能，在覆铜板制造中运用了许多工艺新技术，例如采用无机填料手段降低基本的热膨胀技术。在环氧-玻纤布基覆铜板树脂组成中，采用酚醛树脂等新型固化剂技术；采用新型阻燃剂、无卤阻燃树脂等基材绝缘层树脂的阻燃技术；基材绝缘层用环氧树脂改性技术、采用新型高聚物树脂及共聚技术；采用对刚性主树脂的增韧技术；薄型玻纤布在薄型覆铜板中的应用技术；基材绝缘层用树脂的分子结构控制技术；提高复合基材各界面接合力理论与技术，高性能半固化片的浸渍、干燥加工工艺技术。

4.1.2.2 PCB

印制电路板的制造，工序多，流程复杂。PCB 生产需要大量的水，还需要大量的电，是耗电大户。生产中用电主要有在制板湿处理清洗后的加热烘干，化学处理溶液的加热，油墨涂层的固化，光致干膜热压与曝光，多层板的层压等工序，用到烘箱、加热器和大功率紫外灯。为降低能耗，将高压蒸汽加热改为热煤油，辅以节能先进的 BS-S 蓄能管。

4.1.3 生产管理控制系统节能技术

CCL 生产过程中的主要耗能点在上胶、层压等过程中。在上胶过程中，胶

纸和胶布必须存放在温度 15-20℃、湿度 20-40%的恒温恒湿的空调室内，供冷空调系统在配套设施用电量中所占比例是很大的。

印制板生产环境需要恒温与清洁控制，厂房的空调系统消耗大量的电能。清洁生产就要选用节能型设备和工艺，如用红外线加热器代替普通的电加热器，用快速光固化型油墨涂料代替固化时间长的热固化型油墨等。对于空调系统按不同区域不同要求进行分段控制，宽严区分达到节约能耗。

技术工艺方面的清洁生产主要关注生产过程的技术工艺水平、连续生产能力、生产稳定性、工艺条件是否过严以及如何预防污染。印制电路板常用的节能技术手段有表面安装工艺、回流焊接工艺等，目前比较成熟的清洁生产工艺和设备如下表：^①

表 4-1 PCB 清洁生产工艺技术和设备统计表

名称	技术说明	替代的落后技术
CAD 和光绘制版技术	使用光绘机可以直接将 CAD 设计的 PCB 图形数据文件送入光绘机的计算机系统，控制光绘机利用光线直接在底片上绘制图形。然后经过显影、定影得到菲林底版。	可提高底版质量，减少照相底版的浪费和污染。随着计算机技术的发展，印制板 CAD 技术得到极大的进步，印制板生产工艺水平也不断向多层、细导线、小孔径、高密度方向迅速提高
液态光致抗蚀剂图像转移工艺	液态光致抗蚀剂主要由高感光性树脂、感光剂、色料、填料及少量溶剂组成。可用网印方式或其他涂布(如辊涂或帘涂)方式进行涂覆，用稀碱水溶液显影，可抗酸性及弱碱性蚀刻液蚀刻，可抗酸性镀铜、氟硼酸镀锡铅、酸性镀锡、酸性镀镍、微氰酸性镀金等溶液的电镀。	替代代干膜图形转移工艺，该工艺以成膜薄，效率高，成本低，操作条件要求低等优势
激光直接成像工艺	利用 CAM 系统输出的数据直接驱动激光直接成像装置，此装置使用聚焦的激光束，用光栅扫描的方式，并在已涂覆光致抗蚀剂的基板上进行曝光，每次一个像素，以数据码的形式来达到定义所需的电路图形，而 CAM 系统则利用这些数据来控制激光直接在涂有光致抗蚀剂的基板上描绘成像	采用激光直接成像工艺，可以省去照相制版工序，从而避免照相底片的浪费和污染以往制作菲林底版时，一般都需要先制出照相底图，再利用照相或翻版完成菲林底版的制作
化学镀镍/金	化学镀镍/金技术是取代热风整平而用于微孔板的最可靠技术，它是在完成的 PCB 上先化学镀镍以阻挡贵金属扩散，再实施化学镀金，从而获得外观和物理、化学性能都好的表面处理层。这一方法的成本比较高，只适合于高技术要求和高附加值的产品	化学防氧化技术是在铜表面形成均匀的隔绝氧化介质而又有助焊性能的有机膜。这一技术的优点是简便易行，但可靠性不够理想。对要求高的精密 PCB 产品，则需要采用化学镀镍/金技术。
蚀刻液回用技术	把从 PCB 上蚀刻下来的铜采用电镀技术直接回收起来，同时又把常规含铜量的蚀刻液又运回到 PCB 蚀	替代将蚀刻液卖给有资质的单位处理，节约成本，减少运输风险

^①谢成屏、罗道军《印刷电路板生产过程中的清洁生产技术》

术	刻槽里使用，这样反复循环，实现了 PCB 铜蚀刻液“零”排放	和污染物的转移
双束光的 CO ₂ 激光钻孔设备	把双激光光束直径调制到与被加工孔的直径相同，在没有铜箔的绝缘介质（如树脂层）上直接进行孔加工	激光加工孔的速度达到了 1000 孔/秒，比最初出现的激光钻孔机的成孔速度提高了约 10 倍
直接金属化法 (DMS) 电镀	将精细碳粉浸涂在孔壁上形成导电层，经过微蚀处理，除去铜层上的碳基，只在孔壁内部非导体(绝缘的环氧树脂基材)上保留导电的碳膜层，然后直接电镀	替代以前的化学沉铜，化学沉铜液中乙二胺四乙酸(EDTA)被用作螯合剂，而大多数印制电路板制造商不具备回收乙二胺四乙酸的技术，故化学沉铜在使用上受到限制
化学镀铜甲醛还原替代技术	可以取代甲醛作为化学镀铜还原剂的有次磷酸钠、硼氢化钠、二甲胺基硼烷(DMAB)、肼等，这些还原剂的标准电极电位都比铜离子的标准电位负，从热力学角度来说用作化学镀铜的还原剂是可行的。	PCB 底板的绝缘性使化学镀铜在孔金属化中起着重要作用，至今仍是印制板孔金属化的主流。但是，目前化学镀铜所使用的还原剂是对人体有危害的甲醛，因此，其使用受到限制。
路板水基清洗技术	水基清洗工艺是以水为清洗介质的，为了提高清洗效果可在水中添加少量的表面活性剂、洗涤助剂、缓蚀剂等化学物质（一般含量在 2%~10%）并可针对印制电路板上不同性质污染物的具体情况，在水基清洗剂中添加不同的添加剂，使其清洗的适用范围更宽。水基清洗剂对水溶性污垢有很好的溶解作用，再配合加热、刷洗、喷淋喷射、超声波清洗等物理清洗手段，能取得更好的清洗效果。	替代以往的具有毒性的有机溶剂清洗，减少对工人健康的伤害，同时也减少发生起火、爆炸等危险
真空层压工艺	制造多层压印制电路板，国外普遍采用真空多层压机。采用真空层压设备和计算机控制，使层压质量有着显著的提高。因为真空层压前多层印制电路板层与层之间已经真空排气，除去低分子挥发物，使层压压力有极为明显的降低，仅是常规多层印制电路板层压压力的 1/4~1/2。同时，	替代常规多层印制电路板层压，采用真空层压工艺，可提高多层印制电路板的表面平整度、减少多层印制电路板质量缺陷（如缺胶、分层、白斑及错位等）。同时使多层印制电路板导线图形层之间的介质材料厚度均匀、精度高、公差小，保证特性阻抗 Z ₀ 在设计要求的范围以内的技术指标

印刷电路板无铅化是清洁生产未来要解决的首要问题，技术难度不高，主要基板耐热性足够、采用不含铅且耐热性佳的金属表面处理通常可满足需求。近几年出于成本考虑及无铅焊料的焊接性问题，许多新兴的表面处理方式如有机保护膜、浸镀银、浸镀锡等都在快速发展中。

表 4-2 印刷电路板生产无铅化处理方法

方法	性能
镀金板	最稳定、价格最高
有机保护膜	最便宜，性能最差
浸镀银	性能次之，易转移导致漏电
化金板	黑垫现象，一些品牌禁用
浸镀锡	制程未成熟

4.1.4 工业设计端和回收端节能技术

PCB 生产过程中通过对“三废”的资源化利用，不但可以减少污染物的排放总量，还可以实现废物的资源化回收。废旧电路板包括废覆铜板（CCL）、废印刷线路板(PCB)、带有集成电路和电子器件的印刷线路板卡（一般称为废电路板）。废覆铜板含铜量不一，低的约 15%，高的可达 70%以上，是一种回收铜的重要资源。印刷线路板的含铜量比覆铜板要低，但是印刷线路板仍然是回收铜的资源之一。废电路板卡的成分比较复杂，除印刷线路板之外，还含有集成电路和各种电子元器件，主要成分是二氧化硅、铜箔、铅、锡、铁微量的贵金属和塑料、树脂、油漆等有机物质，因此处理难度比废覆铜板、废印刷线路板的处理难度大。

4.1.4.1 CCL

目前，世界各地制造覆铜板的主流工艺仍是用各类树脂做基板。在生产过程中树脂用有机溶剂制成胶液，然后将胶液涂在增强材料上，通过烘箱烘干。在烘干过程中，有大量有机溶剂挥发出来，形成有机溶剂废气。这些有机溶剂废气如果直接排放，会严重污染大气环境。废气治理的主要方法有：燃烧法、活性炭吸附法、蜂窝回转式浓缩吸附-催化燃烧装置等，目前国内不少生产厂家配备了废气燃烧炉，可利用废气作为燃料，将废气的热量进行回收再利用。

（1）燃烧法

由于覆铜板生产过程中排放的废气具有气量大、有机物浓度高等特点，采用传统废气处理技术进行治理局限性较大，燃烧法（包括催化燃烧）虽可达标排放，但设备庞大、能耗高而且控制不好易发生爆炸，造成严重的设备、人身伤亡事故。

（2）活性炭吸附法

活性炭吸附法虽然可较好地吸收覆铜板生产过程中挥发的有机物，但设备庞大、活性炭更换周期短、运行费用高、回收溶剂品质差，因吸附层散热性差，容易发生火灾事故，而且排放的尾气较难达标。

（3）蜂窝回转式浓缩吸附-催化燃烧装置

近年日本和欧美针对大气量、低浓度废气开发了蜂窝回转式浓缩吸附-催化

燃烧装置，虽然吸附介质使用寿命长、尾气能达标排放，但设备庞大、能耗高，资源无法再次利用。

4.1.4.2 PCB

PCB 的生产加工工序多、材料类型多、能耗水耗多、产生污染物多，以及一些有毒有害甚至剧毒物质的使用，都给 PCB 行业冠以“重污染行业”的帽子。随着企业和政府的环保意识的加强，企业的污染状况有所好转，但是 PCB 产业越来越大，导致整个 PCB 行业污染总量仍然非常大。

印刷线路板(PCB)作为电器中附加值最高的附件之一，其处理技术一直是业内关注的焦点。通常，印刷电路板的再生利用是由大型金属冶炼公司通过冶炼提取其中的铜及微量金、银等贵金属。印刷电路板经过破碎、焙烧后，冶炼铜，或者通过电气精炼，回收贵金属。目前废旧 PCB 板有 3 个处理技术，一个是热处理法，包括焚烧、裂解、直接冶炼等；二是化学处理，包括酸洗、溶蚀等；三是物理机械处理，包括粉碎和分选。目前，国际上推行的方法是物理方法，它具有投资少、环境污染小等特点。粉碎的效率、研碎机的寿命、能否使金属材料与非金属材料剥离等，是粉碎技术的关键。国际上物理机械方法主要是静电分选和风选。

(1) 静电分选

静电分选是利用线路板的金属材料与非金属材料的性质差别来区分，分选的精度大约 95%以上，最高可以达到 99.9%。德国、日本很多公司采用静电分选，但其成本是比风选要高。我国有企业选择的是粉碎加风选分离，利用空气动力学原理设计的空气分选器，把空气流动变成一个流动稳定、流场均匀的空气流，利用均匀的空气流把金属和非金属分离，它的特点是分离精度在 95%左右、最高可达到 98%、产量大、处理成本低。静电分选机在控制条件下可以分离颗粒小于 0.1mm 的废混料，甚至能够从粉尘中回收贵金属。

(2) 风选

风选机主要用于分选铜与铝等密度差异较大的物料。用完全物理的方法把废线路板、金属粉和非金属粉全部回收，没有二次污染。最佳生产工艺流程是：废弃电路板经过粗碎机初破后进入细碎机破碎然后再经过磁选机分选出铁磁性物质，用高频气力分选机分选出非金属和铜与金属，最后用静电选达到分选精度。在国内废电路板的一级破碎一般使用剪切式破碎机破碎粒度为 1-2mm，二级破碎可采用锤式破碎机破碎粒度为 0.1-0.3mm。而德国 Daimler-Benz Ulm Research Centre 则先用旋转刀片切成 2cm*2cm 的碎块，然后采用液氮冷冻粉碎机碾成小粉末。实践证明，当粉碎粒度达到 0.6mm 或 80 目以上时，金属基本上可以达到 100%的解离。

围绕印刷电路板产业调整振兴规划和实现行业节能减排目标的战略目标,研究适用于我国电子元器件产业实际情况的节能减排技术,经行业专家评估及筛选,提出适合在行业内推广的 25 项节能减排技术和 1 项重点关注的前沿新技术。

根据电子元器件生产企业特点、各类技术在生产过程中的功能及前沿性技术细分为,生产过程节能减排技术、资源能源回收利用技术、污染物治理技术、综合性节能减排技术及重点关注的新技术共计五大类,见下表。

表 4-3 印刷电路板行业节能减排技术清单

序号	技术名称	行业
一	生产过程节能减排技术	
1	表面安装工艺	PCB
2	回流焊工艺	PCB
3	CAD 和光绘制版技术	PCB
4	液态光致抗蚀剂图像转移工艺	PCB
5	激光直接成像工艺	PCB
6	化学镀镍/金	PCB
7	双束光的激光钻孔设备	PCB
8	直接金属化法(DMS)电镀	PCB
9	化学镀铜甲醛还原替代技术	PCB
10	真空层压工艺技术	PCB
11	水平电镀技术 CO ₂	PCB
小计	10 项	
二	资源、能源节约与综合利用技术	
12	蚀刻液回用技术	PCB
13	路板水基清洗技术	PCB
小计	2 项	
三	污染物治理技术	
14	燃烧法	CCL
15	活性炭吸附法	CCL
16	蜂窝回转式浓缩吸附-催化燃烧装置	CCL
17	重力选矿技术	PCB
18	化学冶金技术(火法冶金技术、湿法冶金技术)---火法冶金技术(鼓风炉熔炼技术、卡尔多炉技术)、湿法处理技术(酸洗法、溶蚀法)火法处理技术(焚化法、裂解法)	PCB

序号	技术名称	行业
19	机械处理技术	PCB
20	干馏法	PCB
21	微波资源化处理技术	PCB
22	超临界流体技术	PCB
23	生物浸取技术	PCB
24	热解技术	PCB
小计	11 项	
四	产品节能技术	
25	无铅高 TG 电路板	
小计	1 项	
共计	25 项	
五	重点关注的新技术	
(一)	工艺过程节能减排技术	
26	全印制电子技术	PCB
小计	1 项	
合计	26 项	

4.2 行业技术水平

国内废旧电路板处理技术与国际先进水平相比还有一定的差距。废电路板的一级破碎一般使用剪切式破碎机破碎粒度为 1-2mm，二级破碎可采用锤式破碎机破碎粒度为 0.1-0.3mm。而德国 Daim-Ler-Benz Ulm Rcsearch Centre 则先用旋转刀片切成 2cm*2cm。

目前国内 PCB 行业约有 312 家大中型企业，实施“三废”治理改造预计需总投资约为 60 亿元，每年可回收铜近 30 万吨，总价值 100 亿元以上，为企业创造资源增值效益 17 亿元，投资回报率达 28%，具有显著的经济效益。与此同时，减少水资源消耗 1.5 亿 m³，减少固体废弃物填埋量 41.6 万吨，废液减排 270 万 m³，氨氮 8.28 万吨，重金属污泥 20 万吨，COD11840 吨，悬浮物 8288 吨，具有非常显著的经济效益和环境效益。

课题通过调查先进适用技术在市场中所占份额（技术普及率），技术水平和未来发展方向，将上述前三类 24 项技术水平评价分别列于下表。分为：生产过程节能减排技术、资源能源回收利用技术、污染物治理技术。

4.2.1 生产过程节能减排技术

表 4-4 印刷电路板行业生产过程节能减排技术清单

序号	技术名称	行业	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
一	生产过程节能减排技术				
1	表面安装工艺	PCB	●		
2	回流焊工艺	PCB	●		
3	CAD 和光绘制版技术	PCB	●		
4	液态光致抗蚀剂图像转移工艺	PCB		●	
5	激光直接成像工艺	PCB		●	
6	化学镀镍/金	PCB	●		
7	双束光的 CO ₂ 激光钻孔设备	PCB		●	
8	直接金属化法(DMS)电镀	PCB	●		
9	化学镀铜甲醛还原替代技术	PCB	●		
10	真空层压工艺技术	PCB			●
11	水平电镀技术	PCB			●

上表中的成熟技术系指已广泛在各生产工序中应用。成熟技术共计 6 项，占 11 项的 54.5%。

先进技术系指根据各企业产品特点和工艺改造时应采用的技术。先进技术共计 3 项，占 27.3%。

国际先进技术系指国外已开发出的技术，国内尚无应用。但可作为发展方向提出。国际先进技术共计 2 项，占 18.2%。

4.2.2 资源能源节约与综合利用技术

表 4-5 资源、能源节约与综合利用技术清单

序号	技术名称	行业	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
二	资源、能源回收利用技术				
1	蚀刻液回用技术	PCB	●		
2	路板水基清洗技术	PCB		●	

共有技术两项，其中蚀刻液回用技术为成熟技术，仍在不断改进中。路板水基清洗技术为国内先进技术。

4.2.3 污染物治理技术

表 4-6 污染物治理技术清单

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
三	污染物治理技术				
1	燃烧法	CCL	●		
2	活性炭吸附法	CCL	●		
3	蜂窝回转式浓缩吸附-催化燃烧装置	CCL	●		
4	重力选矿技术	PCB	●		
5	化学冶金技术（火法冶金技术、湿法冶金技术）---火法冶金技术（鼓风炉熔炼技术、卡尔多炉技术）、湿法处理技术（酸洗法、溶蚀法）火法处理技术（焚化法、裂解法）	PCB	●		
6	机械处理技术	PCB		●	
7	干馏法	PCB	●		
8	微波资源化处理技术	PCB			●
9	超临界流体技术	PCB			●
10	生物浸取技术	PCB			●
11	热解技术	PCB		●	

其中成熟技术有 6 项，国内先进技术 2 项，国际先进技术 3 项。

4.3 节能减排先进适用技术

4.3.1 能源回收利用技术

4.3.1.1 蓄热式废气焚烧炉

1、技术介绍

（1）技术应用节点

蓄热式废气焚烧炉(Regenerative Thermal Oxidizer)简称 RTO，是新一代有机废气处理设备。

蓄热式废气焚烧炉的特点是将炉膛中燃油与废气共同燃烧时所产生的部分热量由蓄热体(“蜂窝陶瓷”)蓄存起来，它起到预热废气，使废气进入炉膛时氧化

燃烧更彻底，甚至可以直接引燃废气的作用，因此可以明显节约燃油，节约能源。

(2) 技术基本原理

蓄热式废气焚烧炉工作原理是：有机废气经预热室吸热升温后，进入燃烧室高温焚化(升温到 800℃)，使有机物氧化成二氧化碳和水，再经过另一个蓄热室蓄存热量后排放，蓄存的热量用于预热新进入的有机废气，经过周期性地改变气流方向从而保持炉膛温度的稳定。覆铜板及半固化片生产过程中主要的污染物有：有机溶剂废气、固体废物等；不产生有害废水。在混胶、上胶及干燥过程产生有机溶剂的挥发性废气，如丙酮、二甲基甲酰胺（DMF）等。这些废气由专设的排风装置引入至蓄热式废气焚烧炉进行燃烧后，全部转化为 H_2O 和 CO_2 ，使排放出的气体满足排放标准，同时降低废气回收过程中的能源消耗。

RTO 设备由 3 个蓄热室、2 个燃烧室、6 个主气流切换阀组成。有机废气在鼓风机作用下先进入陶瓷蓄热室 A，吸热后进入燃烧室，蓄热室 A 因放热而降温。燃烧升温后的气体进入蓄热室 B，通过热交换把热量蓄存在蓄热室 B 的陶瓷蓄热体中，然后排出同时蓄热室 C 空间中残留未处理有机废气被净化后的气体反吹回燃烧室进行焚化处理经过一定时间(约 2 分钟)后，气流改变方向从蓄热室 B 进入燃烧室。通过蓄热室 B 吸收热量升温后，在炉膛内高温焚化，最后经蓄热室 C 热交换后排放。同时蓄热室 A 处于反吹扫状态，经一定时间(约 2 分钟)后，气流再改变方向，不断地交替循环，保证燃烧室温度在 800℃ 以上，从而保证高的去除率和换热效率。

蓄热室内装满蜂窝陶瓷蓄热体，每个燃烧室装一个带比例调节的液化石油气燃烧器。每个燃烧器的供热能力是通过炉膛内的温度反馈信号经过 PID 调节器自动地进行调节。此外燃烧系统还带有点火前的自动预吹扫、熄火保护、超温报警和超温自动切断燃料供给等功能。RTO 炉共有预吹扫、点火、升温、焚化、保温、后吹扫停机 6 种状态，当 RTO 炉处于预吹扫、点火、升温、保温、后吹扫停机 5 种状态时，烘干室的废气全部直接排放。设备可根据各个烘干室的开停状态自动给出 RTO 炉的实际运行风量，再通过变频器自动地调整 RTO 炉系统的鼓风机、引风机的转速和风量，以保证烘干室的正常工艺生产。一旦 RTO 炉发生故障，RTO 炉将向各烘干室发出信号，废气直接排空，RTO 炉转入故障吹扫状态。

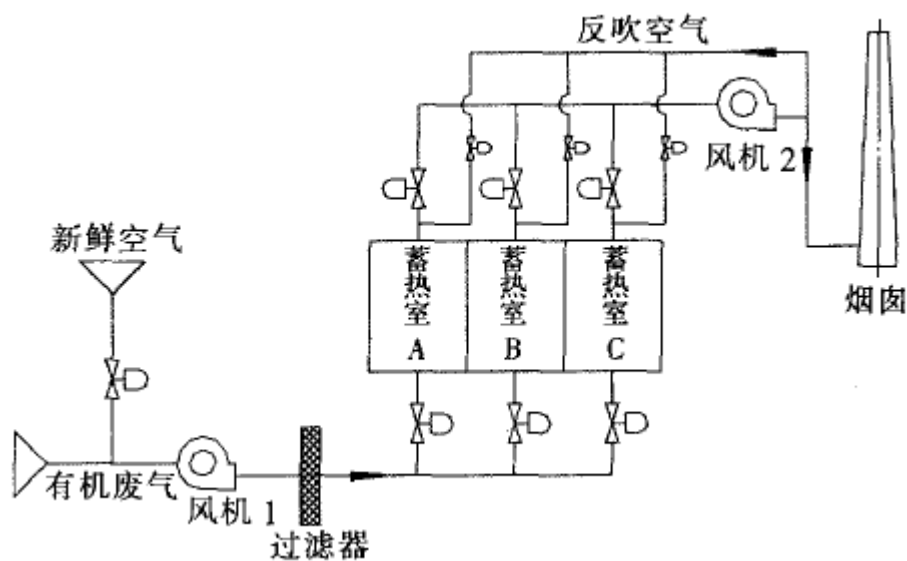


图 4-6 蓄热式废气处理炉工艺原理图

2、技术发展水平

覆铜板制造过程的废气排放问题，从上世纪九十年代开始，尤其是近几年来，至少出于降低成本考虑，绝大多数公司都采用了废气回收燃烧技术。日本研究出了 RTO 技术，该技术的应用，在保持对有机废气处理的基础上，大大提高了热能的利用率。2008 年以来又出现了新型焚烧设备，可以使排放气体的温度进一步降低，更加有利于环保。

废气焚烧炉有直燃式(简称 TO)和蓄热式(简称 RTO)两种，由于直燃式废气焚烧炉对废气热值充分利用尚不够，“蓄热式”废气焚烧炉被研制出来，这种焚烧炉造价较高，但燃料耗用量比一般焚烧炉低很多，已有不少用户厂将其用于 CCL 生产。当前最先进的双塔式和单塔式 RTO 废气焚烧炉存在价格昂贵、蜂窝陶瓷容易黏堵、维护费用高、安装以后不容易更改等问题。自由式 RTO 废气焚烧炉具有在安装、试生产以后可以根据工艺要求对炉膛结构进行调整、制造成本低、蜂窝陶瓷不容易黏堵、维护方便、使用范围更加广泛等优点。

由于成本问题，目前国内企业多数仍在使用“直燃式”废气焚烧炉技术。

3、技术使用条件

RTO 宜用于 $28\text{g}/\text{m}^3$ 浓度的有机废气。对于低热值气体(如乙酸乙酯等)可达 $12\text{g}/\text{m}^3$ ，特别适用于难分解组分的焚化。

RTO 废气焚烧炉炉膛焚烧温度必须达 760°C 以上。

RTO 焚烧炉的造价比较昂贵，前期推广工作只能在大中型企业中展开。

4、实施建设内容

(1) 关键工艺设备

废气焚烧炉由燃烧室、废气预热室、上胶机供热系统，排气烟囱等几个部分组成。RTO 设备由 3 个蓄热室、2 个燃烧室、6 个主气流切换阀组成。

(2) 主要技术指标

表 4-7 RTO 废气焚烧炉主要技术指标

项目	烟气出口温度 /℃	烟气停留时间/s	焚烧炉渣热灼减 率%	出口烟气中氧含 量%
指标	≥850	≥2	≤5	6-12
	≥1000	≥1		

5、节能减排效果

采用蓄热式焚化炉(简称 RTO)工艺技术后,PCB 企业单位产品的燃料消耗量下降了 85%。如果一家 PCB 工厂拥有一台蓄热式热力焚化炉(RTO),从干燥系统和风罩中排出的混合有机废气传输到蓄热式热力焚化炉的流量是 2 万 SCFM,温度约为 150 ℉,经过蓄热式焚化炉后排出的有机废气平均温度为 275 ℉。假定换热效率为 50%,可将高温有机废气转换为温度为 125 ℉的气体或液体,则每 h 大约能回收 270 万 BTU 的能量。如果这些能量得到 100%的利用,且工厂昼夜不停地运行,那么一年可节约资金 22.5 万美元。

表 4-8 蓄热式废气焚烧炉技术的节能降耗情况（按年产能 2000 万 m²计）^①

指标项目	每万 m ² 覆铜板 蒸汽消耗（吨）	全年覆铜板蒸汽消耗 （吨）	废气中污染物总 量（甲醇，吨）	废气中污染物浓 度（甲醇， mg/m ³ ）
应用前情况	150	300000	27640	27640-27700
应用后情况	≤75	≤150000	≤100	≤100
实施效果	下降 75，降幅 50%	下降 150000，降幅 50%，折算节约燃煤 2.5 万吨。	减排 27540 吨， 降幅 99.6%。	下降 27540，降 幅 99.6%。

6、成本效益分析

按照上表中计算，废气系统改造每年可节约蒸汽 5 万吨，减少 7000 吨/年的燃煤使用，在解决了甲醇、二氧化硫污染问题的同时，也增加了效率，生产能力提高了 25%，成本大大降低，每年可新增 500 万元的利润。

7、技术应用情况

RTO 焚化炉废气处理技术是目前国际上先进的覆铜板生产厂家采用的先进技术,采取 RTO 焚化炉直接燃烧法处理有机工艺废气,废气收集率可达到 99.5%、净化效率达到 99%。由于该技术具备操作费用低、系统寿命长、废热回收效果强

^① 广东生益科技股份有限公司

的优点，在 PCB 行业内的应用前景非常广泛。目前国内知名的 CCL 及 PCB 企业均已经通过了该技术的改造，如广东生益科技、超声电子等。

8、技术知识产权情况

(1) 专利名称：有机废气蓄热式焚化炉

申请号/专利号：01207962

申请人/专利权人：台湾公害处理工程股份有限公司。

(2) 专利名称：蓄热式焚化炉

申请号/专利号：200720152350

申请人/专利权人：杰智环境科技股份有限公司；华智智财技术服务有限公司。

(3) 专利名称：蓄热式焚化炉

申请号/专利号：201020186164

申请人/专利权人：劲顺科技股份有限公司。

(4) 专利名称：多室蓄热式有机废气焚烧炉

申请号/专利号：200620167491

申请人/专利权人：北京科技大学。

(5) 专利名称：蓄热式废气焚烧炉

申请号/专利号：201010218570

申请人/专利权人：南通凯迪自动机械有限公司。

(6) 专利名称：蓄热式废气焚烧炉

申请号/专利号：201020197152

申请人/专利权人：江苏大信环境科技有限公司。

(7) 专利名称：蓄热式焚化炉

申请号/专利号：200920025171.4

申请人/专利权人：青岛华世洁环保科技有限公司。

4.3.2 废弃资源回收利用技术

4.3.2.1 废旧电路板物理回收技术

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

目前我国已成为世界上最大的电路板生产国，产值、产量都位居世界第一。

在我国，每年仅线路板生产企业中产生的边角废料重量即达 40 万吨以上，再考虑到每年大量进口废弃电器及中国大陆报废电子产品的拆解产生的废旧线路板，则其总量将达 100 万吨以上。因此，对废旧电路板进行环保、可靠的回收再用，一方面可节约资源，另一方面也减少环境污染，是电子信息产业发展的重要基础条件。

废旧电路板是玻璃纤维、强化树脂和多种金属化合物的混合物，如果不妥善处理与处置，其所含溴化阻燃剂等致癌物质，会对环境和人类健康产生严重的危害。废旧电路板也是有待开发的“第二资源”，具有很高的回收利用价值。线路板中的金属品位相当于普通矿物中金属品位的几十倍，金属的含量高达 10-60%，含量最多的是铜，此外还有金、银、镍、锡、铅等金属，还不乏稀有金属。

（2）技术基本原理

PCB 的种类较多，基板主要是单层或多层，玻璃布基或复合基环氧树脂覆铜板，上面有塑料引脚。PCB 所含的金属包括基本金属(铝、铜、铁、镍、铅、锡和锌等)和稀有金属（金、银、钯、铑、硒）等，其中铜的含量较高。塑料的主要成分主要为 25%左右的 C-H-O 聚合物（聚乙烯、聚丙烯、聚脂、聚碳酸脂和酚醛等）、含量小于 5%的卤化物和含量小于 1%的含氮聚合物。惰性氧化物的主要成分为大约 15%的硅酸、约 6%的氧化铝及约 6%的碱和碱性氧化物，约占 3%的氧化物和碳酸钡和云母等。不同的电子设备的电路板中元素的组成和含量不同。如电视机中 PCB 的含量比计算机少，铁、铅和镍的含量多。电脑主板和线路板中的主要成分是树脂和玻璃纤维、塑料、铜、铁、合金等。用物理方法分离不同物料的最重要前提是使电路板中的不同组分在破碎的过程中得到充分的解离。

用物理方法来处理和回收废旧印制电路板中有用的金属和非金属原料，其中主要工艺过程包括废旧印制电路板的破碎和解离及回收技术。其原理是：通过二次机械粉碎，是印刷电路板成为金属与非金属的混合粉，在通过空气分离技术，把金属与非金属粉完全分离并收集。

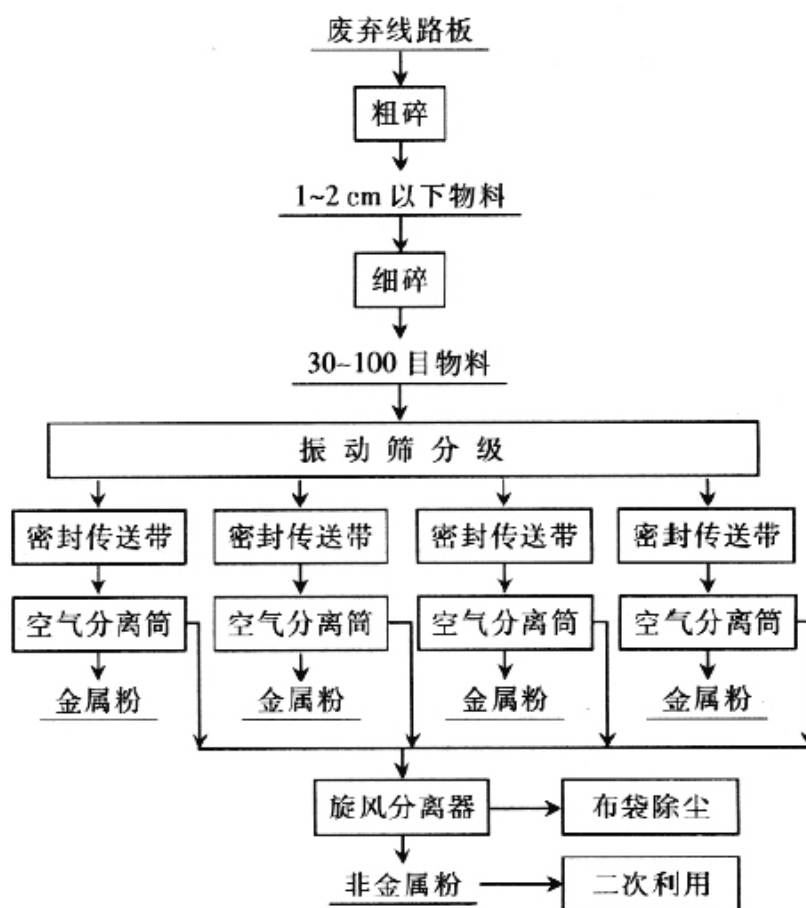


图 4-7 完全物理回收法空气分离工艺流程

2、技术发展水平

在 1990 年以前，主要的废弃线路板资源化方法是湿法冶金、火法冶金、电化学，都是以回收贵金属、稀有金属为主要目标。1990 年之后，机械物理方法得到了迅速的发展。现在意义上的资源化技术是指完全的材料回收，包括铁磁体、废铁金属、贵金属和非金属等的回收。

瑞典 Scandinavian RecyclingAB（SR）是世界上最大的回收公司之一，一直致力于实施和开发电子废弃物的机械性处理技术和设备。

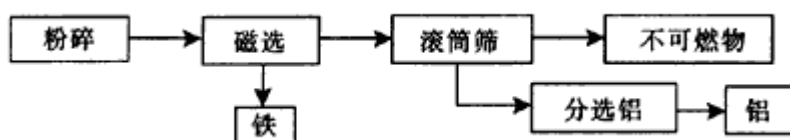


图 4-8 瑞典 SR 公司机械处理技术流程

德国 Daimler-Benz Ulm Research Center 在以前处理方法的基础上，开发了预破碎、液氮冷冻后粉碎、分类、静电分选等 4 段后处理工艺；日本 NEC 公司采

用两段式破碎法，利用特制破碎设备将废板粉碎成小于 1mm。德国 Hamos 公司开发了自动化综合机械系统，该系统由破碎、分离出有色金属、磨碎、自清洁筛分类、静电分离、二次破碎等阶段组成，德国 Fuba 公司已经开发了废电路板的整体机械处理系统。

日本东滨废品再生利用中心开发了新技术，将包括细铜线、破碎电路板和金属片、电线包层氯乙烯等塑料混合物粉碎成小颗粒。用比重分选和静电分选法出金属和氯乙烯，最后将塑料用作高炉还原剂，金属用作铜原料。

目前国内外 PCB 回收利用技术主要包括以下几种类型：

（1）重力选矿技术处理废旧电路板

该技术基于重力选矿的原理，首先将废板破碎到一定的粒度，然后以水为介质，采用摇床对其进行处理，最终达到铜与玻璃纤维等增强材料分离的目的。重力选矿技术处理废覆铜板效果最好，处理印刷线路板效果次之，但不能处理废电路板卡。

采用重力选矿技术处理废电路板具有投资少、工艺简单的优点，但不能直接处理废电路板卡。该技术产生的铜粉含杂质高，不便于直接利用，而且铜中含有铅锡，金属回收率低。此外，产生的玻璃纤维碎料难以处理，堆积过程中会对环境产生影响。目前一些企业尝试将其制成砖等建筑材料或加工成其他材料，但这些使用有机粘合剂制成的材料寿命较短，一旦损坏又将重新成为污染源。

（2）火法熔炼技术

火法熔炼技术主要包括了鼓风炉熔炼、卡尔多炉熔炼。火法处理废电路板的优点在于充分利用了废电路板中的玻璃纤维，使其在熔炼过程中起到熔剂的作用，并在熔炼过程中与杂质和其他熔剂形成稳定的硅酸盐炉渣，解决了湿法处理被动处理玻璃纤维碎屑的问题。

①鼓风炉熔炼技术

鼓风炉熔炼技术主要用于熔炼低档次的废铜，是传统的三段法中的一种，也是目前国内处理废电路板的主要方法。该法可以同时处理废覆铜板、废印刷线路板和废电路板卡。

目前鼓风炉处理废电路板存在的主要是环境问题。废电路板中含有大量有机物，在燃烧过程中会产生二恶英，对环境造成影响。二恶英的生成温度大约是 400℃~800℃，当温度大于 800℃时，二恶英分解，但在烟气缓慢降温时，有重新合成的可能性，因此必须建立良好的环保处理系统。

②卡尔多炉处理废电路板

卡尔多炉处理废电路板的先进性主要体现在金属回收率高和环境效益好等方面，废电路板不经任何处理就可以直接作为炉料加入卡尔多炉。采用氧气顶吹

的卡尔多炉以油或天然气为燃料，热效率高，同时利用有机物料燃烧产生的热量，使能耗大幅度降低。产生的烟气不外溢，能得到良好的收集，还配备了完善的环保系统，使高温烟气在瞬间冷却至 400℃ 一下，消除了二恶英的污染。为了解决废电路板燃烧烟气的异味，环保系统配备了活性炭吸附设施，消除了烟气的恶臭。

卡尔多炉优点很多，但由于投资大，设备折旧费高，只适宜大规模处理电子废料，在中国很难应用于电子废料处理。

（3）焚烧、熔炼工艺处理废电路板

废旧电路板熔炼过程中对环境的污染物主要来自有机物的燃烧，因此，该技术的重点是在废电路板入炉之前对其进行预处理，将有机物燃烧掉，并对烟气进行有效的处理，消除其对环境的污染，然后再对焚烧料进行熔炼处理。

焚烧—熔炼法已经成为日本再生铜企业处理废旧电路板的经典工艺。目前采用的焚烧炉有两种：一种是固定式的焚烧炉，另一种是回转式的焚烧炉，两者焚烧的基本原理相同。

（4）其他方法

目前一些单位正在研究干馏法处理废覆铜箔板技术，使废覆铜箔板在高温下干馏，其中的环氧树脂在高温下挥发，并在冷凝器中回收。干馏之后的废电路板已经不存在有机物，经过熔炼，得到的是粗铜，粗铜再继续进行阳极炉和电解精炼，并从电解阳极泥中回收贵金属。该法的优点是回收了环氧树脂，不仅避免了有机物燃烧产生的污染问题，而且综合回收了其中的环氧树脂。该技术目前正处于实验阶段。

目前，国际上推行回收处理废弃线路板的最佳方法是物理方法，这种方法具有资源回收率高，环境污染小等特点，是电子废弃物处理的发展趋势。由于废旧线路板韧性较大，很难通过一次破碎使金属与非金属分离，且所含物质种类较多，解离后金属有缠绕现象等，这些特点决定了废旧线路板的回收处理难度大。在此前，我国尚未有成熟的、高效的废旧线路板回收处理成套设备，国内较多的还是采用最原始的方法处理废旧线路板，对于电路板等有贵金属的部分，采取焚烧或强酸溶解的方式，把其他成分去掉后留下贵金属。这一过程产生大量“三废”，由于没有环保设施，对环境和劳动者都有相当的危害，并且没有使再生资源得到最充分的利用。

目前国内适合中小企业采用的投资少、运行成本低、简单实用的处理技术有：湿法破碎+水力摇床分选，可避免破碎时产生刺激性气体和粉尘，分选效率达 95%，设备供应商有南京环务资源再生科技有限公司、江西铭鑫冶金设备有限公司等；干法破碎+气流分选，适合处理废印刷电路板及其边脚料，分选效率达 95%，设备供应商有湖南万容环保设备公司等。

3、技术使用条件

该技术用于废旧电路板回收生产线。

4、实施建设内容

(1) 关键工艺设备

废旧电路板物理回收设备主要由以下几个系统构成：粗碎与物料输送系统、高速粉碎解离系统、金属粉末提纯收集系统、非金属粉末分级与收集系统、粉尘及尾气收集与除噪系统、自动控制系统。

(2) 主要技术指标

废旧电路板物理回收设备分离处理后的非金属粉末粒径可达 200 目左右，金属含量可控制在 0.5% 左右，可以直接作为填充料应用于 PVC 管、板材料、塑木复合制品中，创新地实现了非金属粉料的直接材料化利用。

表 4-9 万容科技处理系统与国内外回收系统的相关参数比较

技术指标	国内现有处理方法			万容科技系统	德国回收系统
	焚烧与酸浸	粉碎+水洗	多级粉碎与筛分技术		
金属回收率	<97%	85%~95%	90%左右	96%~98%	95%~98%
非金属回收率	0	0	不确定	>95%	不确定
环境污染	严重	严重	较严重	无污染	无污染
技术含量	低	低	较低	高	高
生产环境	恶劣	差	差	好	好
设备投资	少	少	少	较少	多

以下是设备系统主要的工艺技术参数指标和特点：

①产能(kg / h)：≥500kg。

②装机容量：290kW。

③整体金属回收率：≥95。

④非金属粉末中金属含量：<1%。

⑤整套生产线采用负压系统输送物料，在一个封闭的系统中进行，采用标准脉冲除尘器系统回收粉尘，基本没有粉尘泄漏情况。注：主要在粉末包装(装袋)处有轻微泄漏。

⑥噪声：车间内约 90dB，车间外约 60dB，通过降噪和屏蔽装置，可以进一步降低并达到国家环保标准要求。

⑦废气处理：经喷淋塔 3 级化学溶液喷淋除味和气水分离，排放的气体完全能达到国家标准。

⑧生产过程中没有废水排放：系统采用“旋风涡流重力分离”技术的原理，整

个过程中没有废水需要排放。机械设备冷却用水循环方式，不需要排放。

5、节能减排效果

以湖南万容科技有限公司废旧印制电路板回收处理设备为例，其 3000 型设备年处理废旧线路板及边框料 3000 吨。可实现资源化和固废减排的效果。

6、成本效益分析

以湖南万容科技有限公司废旧印制电路板回收处理设备为例：

自行研发制造的废旧印制电路板回收处理设备生产线从 2006 年 5 月份开始大规模投产试运行以来，已经取得了明显的经济效益和社会效益。例如 3000 型回收生产线，设备投资 280 万元，流动资金 250 万元，年处理废旧线路板及边框料 3000 吨。

分别在湖南郴州、广东东莞、深圳、江苏无锡等地建立了回收处理基地，年处理规模达万吨以上。单个基地总投资额不超过 600 万元。建设两条回收生产线，设备投资 360 万元。年处理电路板 5500 吨以上。若粗略预计每处理 1 吨电路板利润为 600 元，则项目投产正常运营后可以实现年利润 300 万元，静态投资回收期约 2 年。

7、技术应用情况

目前我国拆解电子废弃物产生的废旧电路板每年达 100 万吨，每年可回收金属铜 20 万吨，贵金属 40 吨，价值 200 多亿元。我国 PCB 企业的工业废弃物每年产生四类含铜废物中铜及贵金属含量达 25 万吨，价值 160 多亿元，共计价值 380 多亿元。

8、技术知识产权情况

(1) 专利名称：废旧电路板物理回收设备

申请号/专利号：991028627

申请人/专利权人：湖南万容科技有限公司

4.4 工艺技术的优化组合

4.4.1 覆铜板生产线节能改造

1、技术组合介绍

利用变频控制节电技术、焚化炉 RTO 蓄热燃烧技术、燃油设备节能改造、供冷系统节能技术应用等，对覆铜板生产线上的主要耗能设备-上胶机焚化炉、净化空调和压缩空气系统进行节能改造，降低整体能耗。

2、技术组合原理

覆铜板生产企业的节能降耗方案可分为节油和节电两部分：

（1）节油方案

a) 对蓄热式焚化炉（RTO）实施下列的技术性改造措施，使每千米 P 片的油耗降低 93%，多个班次实现“0”油耗：

上胶机烘箱的温度平衡情况下，热风的风量尽量调低，避免废气过多从其他途径排走，提高排气的浓度。

蓄热式焚化炉燃烧室的温度设定多种温度跟进炉头燃烧时间。

蓄热室温度高于某一温度时，热分路风门打开。

摸索循环风车出口温度和热分路风门开关的最佳关系，防止燃烧室热空气反冲直接排除浪费热量。

增加“热分路风门开度 4 台接线自动时开度设定”，开度越大，能耗越小。开度越小，能耗越大。

增加出口温度控制内容：“循环风门强制闭温度”和“循环风门强制闭复归温度”，控制出口温度不能高于设定值，防止太多热量排走浪费。

通过以上调节，蓄热式焚化炉每千米油耗年降低了约 50%，每千米油耗从使用初期的 17.31 升，降低到 9.19 升。同时，继上述的改善措施实施之后，对废气再次进行回收给蓄热式焚化炉焚烧，使每千米 P 片油耗再次降低 87%，从 9.19 升降低到 1.16 升，并有 10 个班次实现了“0”油耗。

深入研究直燃式焚化炉（TO）的耗油原理，对直燃式焚化炉进行科学改善，使直燃式焚化炉上胶机每千米 P 片油耗降低 40%。

b) 其中，对热风式上胶机的直燃式焚化炉和红外辐射上胶机的直燃式焚化炉等实施下列技术改造措施，取得了显著的成果，具体措施为：

对直燃式焚化炉进行改造，提高废气热量的回收率

在上胶机新鲜风进风处加装换热器，利用焚化炉热水对新鲜风进行加热，有效利用焚化炉多余热量

减小上胶机排风机频率，减小上胶机回风量

减小上胶机焚化炉排风机的压差

减少进热风风量

合理调节缓冲区抽风和下行进抽风，减少上胶机烘箱热量损失

经过以上的技术改造和工艺调节，使红外辐射式直燃式焚化炉上胶机每千米 P 片油耗逐年降低，由原来的每千米 86.54 升油耗，下降到目前的 50.98 升，降低幅度达 40%。

c) 热风式直燃式焚化炉上胶机节油改善措施：

截短百叶出风口长度，适当提高 P 片的加热面积

降低进烘箱热风温度，减少进烘箱之前在热风管到中的热量损失

通过调节进风以控制回风，减少热风排放量，提高热风在上胶机中的利用率
在保持进烘箱所必须热风风量的前提下，降低炉温，使空气比例增加，确保柴油充分燃烧

调整缓冲区冷水进入方式，提高冷却效果，防止 P 片粘辊
在下行冷却辊前加装吹冷风装置，确保下行过底辊不打折

(2) 节电方案

由于净化空调与压缩空气系统占总用电量的比重最大，达 40%，因此节电工作以此两项作为工作重点。

a) 净化空调系统节电

针对原有的净化空调系统因手动控制造成不必要的电量损耗的情况，对原有控制系统进行了改造，实现了系统的自动控制。主要有如下几方面内容：

根据车间实际所需冷量，自动控制阀门开度大小，避免冷量浪费。

根据末端空调的耗冷情况，自动控制冷冻水泵开机台数及对冷冻水泵泵组变频调速节电。

根据耗冷情况，自动选择相匹配的制冷机组，避免“大马拉小车”而多耗电。

根据室外温度变化情况，自动控制冷却水泵的开机台数及转速，节省用电。

系统改造后，经统计，节电率达 25.55%。见下图：

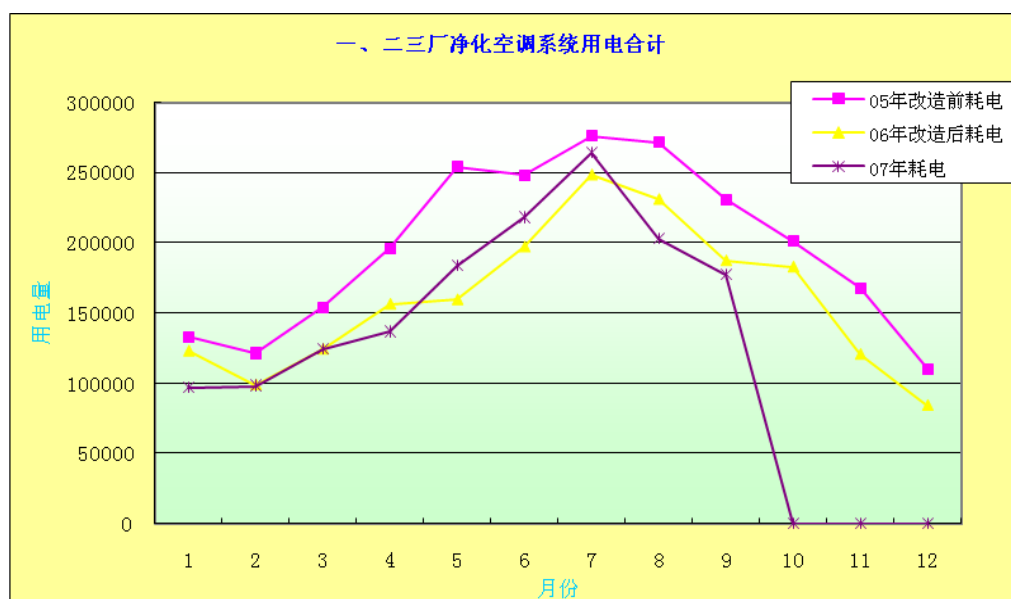


图 4-9 净化空调系统节电效果^①

b) 压缩空气系统节电

原有的空气压缩机，主电机运行方式为星-三角降压启动后全压运行，并通过不断的加载、卸载，达到保证供气量，稳定系统压力的目的。由于空压机基本

^① 2007 年数据统计至 9 月份。

上属于恒转矩负载，当卸载的时候，电机仍然运转，浪费了较大的能耗。

基于这种情况，采用变频式的空压机组。由于机组采用了变频调速（VSD）的方式，根据实际检测的系统供气压力变动情况，自动调整空压机的电机转速，从而基本上成正比地控制了机组的供气量和供气压力，避免了机组的频繁加卸载。由于基本上不需卸载，因而避免了卸载运行电机空转时电量的浪费。

覆铜板的生产工艺流程主要由四段构成：第一段为胶水制备；第二段为玻璃布上胶；第三段为叠合与层压；第四段为修边与检验。其中耗能最多的程序为上胶和层压过程，本次项目节能技术是对上胶生产线进行的节能改造。

3、关键工艺设备

设备包括混胶系统、上胶机、涂覆机、剪切系统、层压机、焚化炉、反应釜和辅助生产设备，生产线的改造主要是对上胶机焚化炉的节能改造和辅助生产设备的空调节电改造。

4、节能减排效果

经过以上的技术改造和工艺调节，热风式直燃式焚化炉上胶机每千米 P 片油耗亦是逐年降低，由原来的每千米 124.59 升油耗，下降到目前的 72.75 升，油耗比原来降低了 40%，节电率达到 40%。

按照 1000 元/吨的价格计算，2009 年公司共节省能源成本 87.3 万元。

5、技术应用情况

经专家组审定 2009 年度广东生益科技股份有限公司综合节能量为 873 吨标准煤，2009 年公司产值综合能耗为 0.0702 吨标准煤/万元，产能综合能耗远低于电子行业 1.20 吨标准煤/万元，覆铜板行业 0.159 吨标准煤/万元的要求。

4.5 新技术焦点

4.5.1 全印制电子技术

1、技术介绍

“全印制电子技术”是指采用快速、高效和灵活的数字喷墨打印技术在基板(无铜箔)上面形成的导电路径和图形，或形成整个印制电路板的过程。全印制电子电路是指整个印制电路板的形成过程全部是用喷墨打印技术来完成的。

数字喷墨打印技术的优点是很多的，由于喷墨打印机可以直接采用常规的数据格式(如 Gerber)或 CAD / CAM 的数据进行喷墨形成所需要的抗蚀线路和图形、直接形成导电图形与线路、埋嵌(无源的或有源的)元件以及全印制电子产品，避免了传统的“图形转移”，甚至消除了“钻孔”、“孔化与电镀”等一系列的设备和工艺过程，不仅可实现“非接触式”形成线路和图形，而且明显提高了位置精度，既达到快速、低成本化，又有利于“降污减排”的环境保护，符合“绿色生产”的要

求，特别是对于样品、多品种和低批量的 PCB 产品的生产是十分理想的。目前，数字喷墨打印技术的优点已经逐步被人们所认识和理解。

2、技术试验示范效果

“全印制电子技术”是最近几年正在开发和应用到 PCB 生产上来的一个有竞争力技术。由于“全印制电子技术”具有一系列特点和优势：(1)大大地缩短了 PCB 生产制造的过程，如用于图形转移制造过程，至少可节省 60%以上的工序和设备，若直接用于形成“导线”和“积层”技术，则可大大简化了 PCB 生产制造过程；(2)有利于小型化和高密度化的发展，由于消除了传统的底片(菲林)的图形转移等一系列工艺过程，明显提高了图形的位置度和精确度等，因而有利于高密度化；(3)缩短生产周期和降低生产成本，由于工艺过程大量简化，节省了大量的人力和物力，不仅生产的产品周期明显缩短，而且生产成本也显著降低；(4)极大改善了生产环境及其生态化，由于简化或消除了“图形转移”工艺，大量(至少 70%)消除或完全消除了各种“抗蚀剂(干膜等)”所带来的、也是目前最难处理(或处理成本最高)的有机污染废水的问题，从而大大减轻、或消除了环境污染问题。

3、技术应用前景分析

“全印制电子技术”在 PCB 工业领域将会迅速发展和推广应用开来，并迅速成为 PCB 生产的主流。目前，一些印制电子产品如有机太阳能电池(OPV)、电子标签(RFID)、发光显示器(OLED)等已获得市场的应用。欧盟委员会在第 6、第 7 框架计划下就已资助了十几亿欧元用于印制电子技术的研究，发展速度十分惊人。

IDTechEx 公司发布信息称，2016 年采用全印制电子技术的 RFID 的世界市场将达百亿美元。Caryl Holland 公司估计，今后 20 年内全印制电子的市值将达 3000 亿美元。

4、技术知识产权情况

国际上诸多大公司均涉足这个领域，日本的三菱、索尼、德国的 BASF、韩国三星都在这方面有很多研究成果展示和报告。国内对该技术还处于研发阶段。

第五章 半导体器件

5.1 行业技术发展现状

5.1.1 行业技术结构

半导体器件可大致划分为三大类：分立器件、集成电路与光电组件，其中集成电路就占了半导体近九成的比重。最常见的双极管之一的 NPN 三极管主要生产工艺包括氧化、光刻、埋层、扩散、N 型外延、隔离扩散、基区扩散、发射区扩散、金属化、CVD 钝化层等步骤。集成电路制造可大致分为各独立的“单元”，如晶片制造、氧化、参杂、显影、刻蚀、薄膜等。各单元中又可再分为不同的“操作步骤”，如清洗、光阻涂布、曝光、显影、离子植入、光阻去除、溅镀、化学气相沉积等。

5.1.1.1 分立器件

目前国内分立器件市场应用结构主要在二极管、三极管、功率晶体管、光电器件等四大类，主要应用于各类消费电子、计算机及外设、网络通信、电子专用设备、仪器、汽车电子、照明等领域，功率晶体管是国内分立器件市场中销售额最大的产品。由于电子整机向数字化、多功能化和小型化方向发展，分立器件将向微型化、片式化、高性能化方向发展。

二极管的主要特性是单向导电性，常用于整流、隔离、稳压、极性保护、编码控制、调频调制和静噪等电路中。晶体三极管主要用于放大电路中起放大作用。

不同的晶体管生产工艺不同。一般常用工艺如下：氧化，扩散，离子注入，CVD 化学气相淀积，CMP 化学机械抛光，金属化电极，凸点电镀，化学清洗，光刻，腐蚀，封装等等。

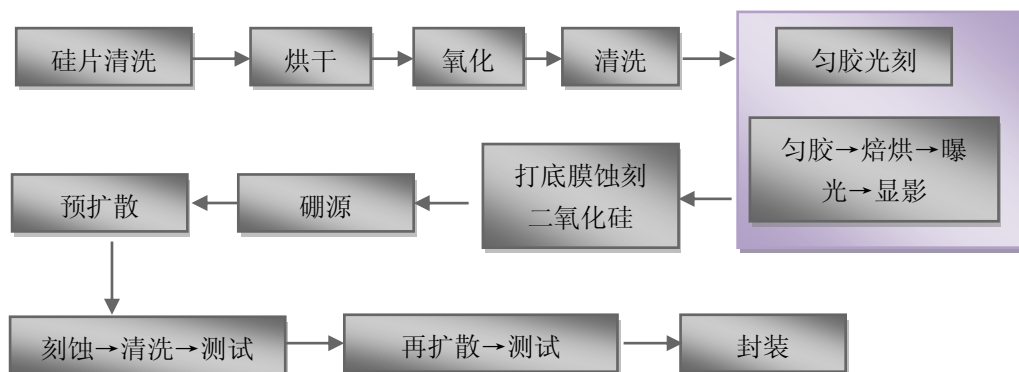


图 5-1 二极管生产工艺流程

三极管分为双极型三极管和场效应三极管（单极型三极管），分立器件中所指的三极管一般是指双极型三极管，目前国内三极管的制造工艺分为合金法、扩散法、离子注入法。合金法工艺简单，价格低廉，目前国内多采用此法生产，合金法制成的晶体管的缺点是结的厚度不易精确控制，因而工作频率不高。扩散法的优点是 P—N 结的厚度可以精确控制，能获得很薄的扩散层，因而工作频率可以大大提高。最常见的双极管（Bipolar）之一的 NPN 三极管主要生产工艺包括氧化、光刻、埋层、扩散、N 型外延、隔离扩散、基区扩散、发射区扩散、Al 金属化、CVD 钝化层等步骤。

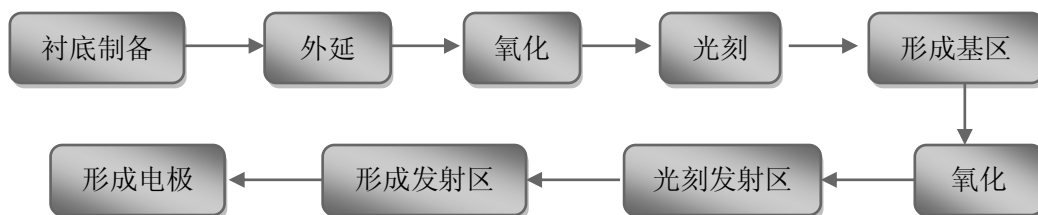


图 5-2 双极型三极管扩散法生产工艺主要流程

可控硅（晶闸管）能在高电压、大电流条件下工作，具有耐压高、容量大、体积小等特点，是大功率形状型半导体器件，广泛应用于可控整流、交流调压、无触点电子开关、逆变及变频等电子电路中。可控硅分单向可控硅、双向可控硅。

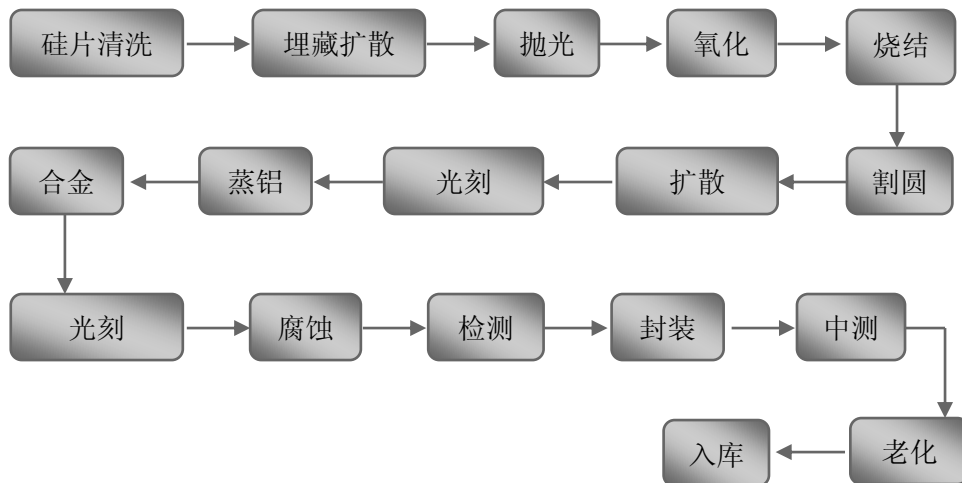


图 5-3 晶闸管生产工艺流程

5.1.1.2 集成电路

集成电路制造可大致分为各独立的“单元”，如晶片制造、氧化、参杂、显影、刻蚀、薄膜等。各单元中又可再分为不同的“操作步骤”，如清洗、光阻涂布、曝光、显影、离子植入、光阻去除、溅镀、化学气相沉积等。

通常将集成电路的制造分为四个阶段：原料制作、单晶生长和晶圆的制造、集成电路晶圆的生产、集成电路的封装。其中原料制作、单晶生长和晶圆制造属于电子材料阶段。

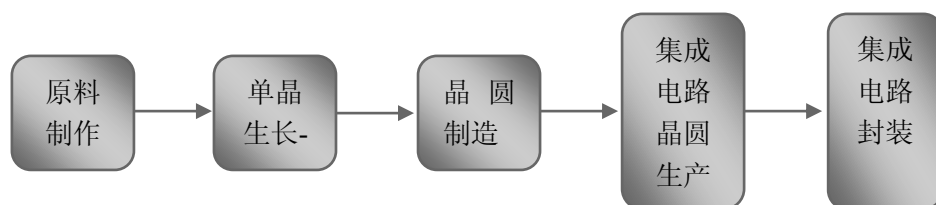


图 5-4 集成电路制造阶段示意图

晶片在制造工艺后进入封装工艺，封装指从晶片上切割单个芯片到最后包装的一系列步骤。在冲切中，用激光或金刚石锯将单个芯片（或模片）从晶片上分离。然后通过锡焊或使用环氧树脂将金属结构（如铅）裱到芯片上，然后进行清洗和引线接合（插脚），使芯片的金属化部分与封装或框架连接起来。

在封装阶段，用塑料或环氧树脂做的密封包装，在一些应用中也使用陶瓷盖。绝大数的芯片是被单个地封装起来的，但是混合电路、多芯片模块（MCMs）或直接安装在电路板上（COB）的形式正在日趋增加。混合电路是在陶瓷基片上将半导体器件（分立和 IC）和厚或薄膜电阻及导线还有其它电子元件组合起来的形式。

芯片制造基本工艺方法是增层、光刻、掺杂、热处理。增层是在晶圆表面形成薄膜的加工工艺。光刻是通过一系列生产步骤将晶圆表面薄膜的特定部分除去的工艺，光刻是四个基本工艺中最关键的。掺杂是将特定量的杂质通过薄膜开口引入晶圆表层的工艺制程。热处理是简单地将晶圆加热和冷却来达到特定结果的制程。在热处理的过程中，在晶圆上没有增加或减去任何物质，另外会有一些污染物和水汽从晶圆上蒸发。

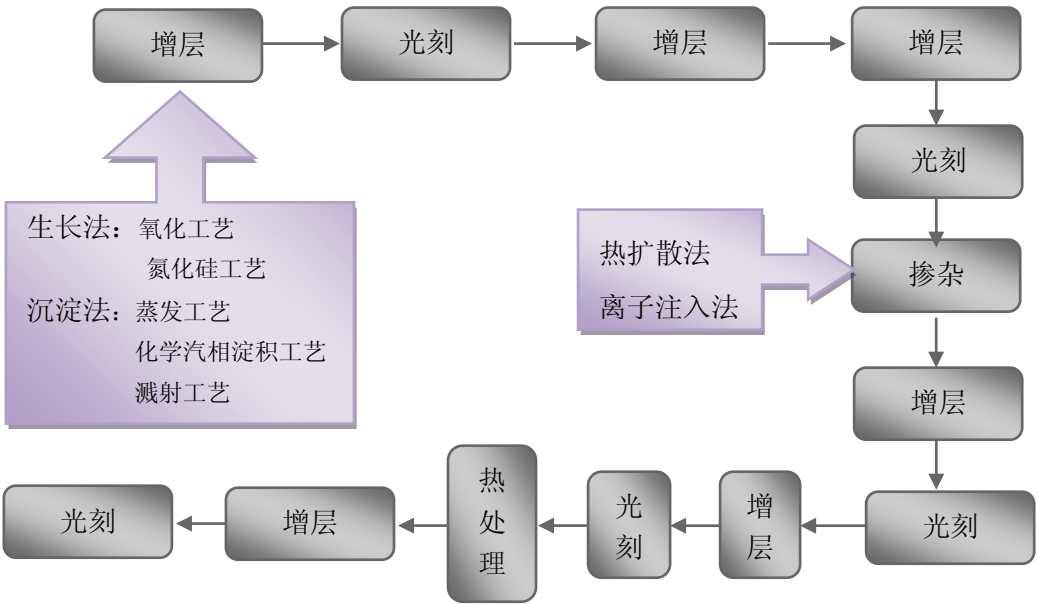


图 5-5 芯片制造基本工艺

光刻工艺有下列几个步骤：氧化层；涂光刻胶；光刻机曝光；光刻机的显影与烘干；酸刻蚀；旋转、清洗和干燥；离子注入、等离子刻蚀或者金属沉积等各种工艺加工步骤；去除光刻胶（沙洗）。掺杂工艺有两种工艺方法：热扩散和离子注入。

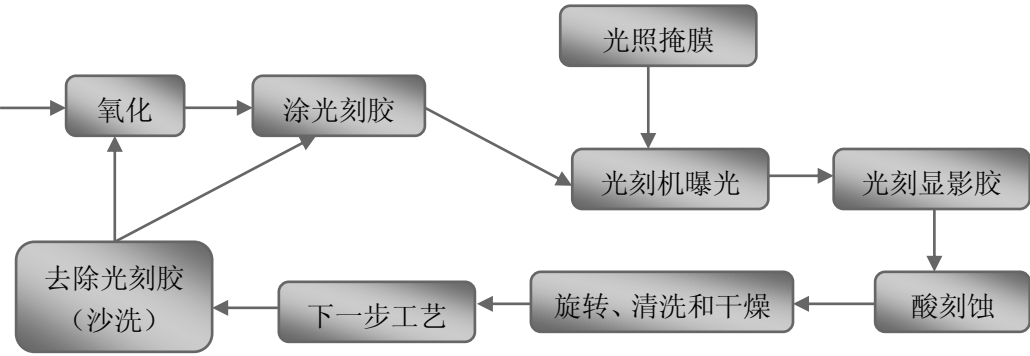


图 5-6 光刻过程操作步骤

表 5-1 芯片晶圆加工工艺

基本工艺	制程方法	具体分类
增层	氧化	常压氧化法
		高压氧化法
		快速热氧化法
	化学气相淀积	常压化学气相淀积

		低压化学气相淀积
		等离子增强化学气相淀积
		气相外沿法
		金属有机物化学气相淀积
	分子束外延物理气相淀积	真空蒸汽法
		溅射法
光刻	光刻胶	正胶工艺
		负胶工艺
	曝光系统	接触式曝光
		接近式曝光
		投影式曝光
		步进曝光机
	曝光源	高压汞
		X 射线
		电子束曝光
	成像工艺	单层光刻胶
		多层光刻胶
		防反射层
		偏轴照明
		环状照明
		平坦化
		对比度提高
	刻蚀	湿化学刻蚀
		干法刻蚀
掺杂	扩散	剥落
		离子磨
		反应离子刻蚀法
		开放式炉管-水平/竖置
		封闭炉管
		快速热处理
	离子注入	中/高电流离子注入
		低能量/高能量离子注入
热处理	加热	加热盘
		热对流

		快速加热
	热辐射	红外线加热

5.1.1.3 光电组件

以硅材料的应用开发形成的产业链条称之为“光伏产业”，包括高纯多晶硅原材料生产、太阳能电池生产、太阳能电池组件生产、相关生产设备的制造等。光伏产业链从上游到下游，主要包括的产业链条包括多晶硅、硅片、电池片以及电池组件。

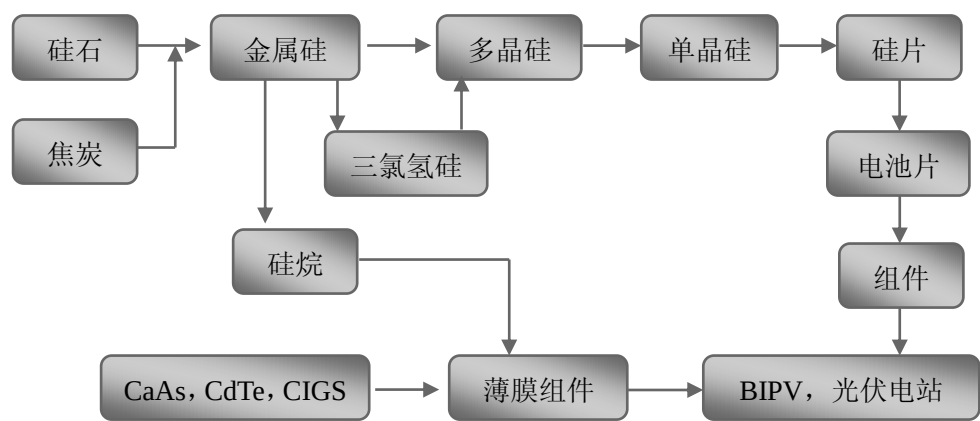


图 5-7 光伏产业环节

太阳能电池是利用太阳光和材料相互作用直接产生电能的器件，能产生光伏效应的材料有许多种，如：硅系材料（单晶硅、多晶硅、非晶硅），化合物半导体（砷化镓、硒铟铜）等。

表 5-2 太阳能电池制造能耗、污染比较

材料	光电转换效率	制造能耗	成本	资源	可靠性	污染
单晶硅	15%~24.7% (UNSW)	稍差	稍差	良	优	优
多晶硅	12%~20%	良	良	良	良	优
非晶硅（a-si）	6%~16.6%	优	优	优	良	优
铜铟（镓）硒 CIS/CIGS	11%~19.2%	-	-	稍差	良	稍差
碲化镉 CdTe	16.5%	良	良	稍差	良	稍差
砷化镓 CaAs	25.7%~30%	稍差	差	稍差	优	稍差
磷化铟	14%以下	良	良	稍差	优	稍差

5.1.2 节能技术

5.1.2.1 生产制造过程节能技术

1、集成电路

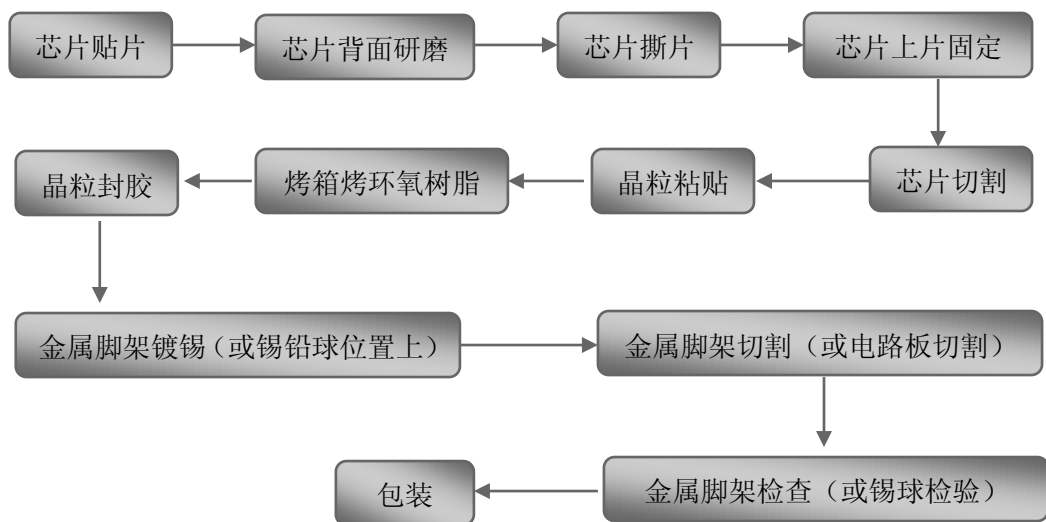
为降低芯片制备过程中的各种污染造成的芯片缺陷，现在的集成电路多是在洁净厂房中制造的，洁净厂房空调系统具有排风量大、送风量大、工艺设备发热量大、阻力大和风机静压高的特点，这些共同造就了洁净厂房空调系统的高耗能，洁净厂房成为半导体器件企业最耗能的地方，耗能量约占集成电路能耗量的30%。

根据统计，洁净室能耗为一般办公建筑的10~30倍。其中8寸芯片厂1.86KW/m²，12寸芯片厂2.88KW/m²。5代TFT厂0.98KW/m²，6代TFT厂1.66KW/m²。

表 5-3 我国几个洁净室的能耗统计^①

单位	类型	空气洁净度等级	洁净室形式/ 空气循环	单位能耗 (KW/m ²)	设计冷量 (RT/m ²)
A厂	微电子	5级(0.3μm) 6级(0.5μm)	隧道式、FFU	1.1	0.6
B厂	微电子	5级(0.3μm) 6级----	隧道式、FFU	0.61	0.36
C厂	微电子	5级(0.3μm) 6级(0.5μm)	开放式+微环境	0.49	0.33

在晶圆制造的整个过程中，晶圆要经过多次的化学刻蚀与清洗，每步刻蚀与清洗后都要经过清水冲刷。在整个的制造过程中，晶圆总共要在冲洗的系统中待上好几个h，一个现代的晶圆制造厂每天要使用多达几百万加仑的水。



①陈霖新 《洁净室与节能. 2008》中国国际洁净技术论坛文集. 苏州. 2008

图 5-8 集成电路封装生产工艺流程图

2、太阳能电池

太阳能电池及组件的生产制造是一个高耗能高污染的过程。以单晶硅太阳能电池组件来说，从石英砂中提炼出多晶硅，再以多晶硅投入炉中炼制成单晶硅，最后将成型的单晶硅切片，做成电池，做成组件，最后销往世界各地。就这一个简单的过程，却耗费了巨大的能量。

太阳能电池生产流程中，存在着不少高耗能环节，并且有大量污染产生，如晶体硅电池的拉晶工艺、切片工艺、清洗工艺、扩散工艺、封装工艺等，国内企业探索了各种各样的电池新技术、金属化材料和结构来改进电池性能提高其光电转换效率，降低生产能耗。由于单晶硅太阳能电池的制造耗能最大，用浇铸法或晶带法制造多晶硅太阳能电池的工艺逐渐开始发展，非晶硅电池尤其是薄膜电池近年来市场份额逐渐提高，其生产能耗远远低于单晶硅和多晶硅电池能耗，制造薄膜式太阳能电池多使用化学气相沉积 VCD，物理化学相沉积 PCVD 等技术，相较于晶体硅太阳能电池的晶体拉制、切割工艺可大大降低制造能耗，约为 100kwh。

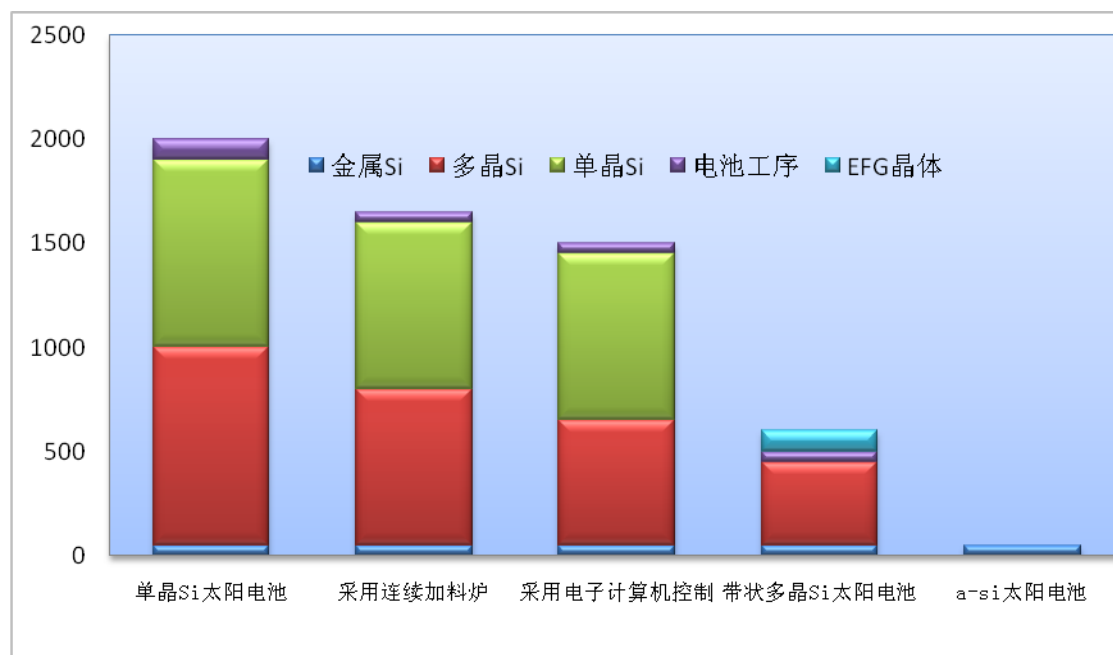


图 5-9 制造各种太阳能电池所必须的电能比较

清洗技术

在太阳能电池企业，目前在清洗制绒方式上采用的设备方式一般有三种：一种是效率不高但很实用的手动操作清洗设备；第二种是分体式全自动清洗，即清洗、制绒工序各用相关设备；第三种是目前较流行的一体式清洗机，从研磨片到

电池片一步到位。以上三种方式各有利弊：手动操作尽管慢，但对于产量不大，人力成本低的厂家来说是很好的选择；分体式清洗机对硅片参数要求不高，效率也比较高，较容易找出电池片出问题的所在；一体式清洗机效率高，自动化程度高，但对硅片尺寸要求严格，维护起来也不太方便。

目前国内的清洗制绒设备以达到了国际先进水平，国内清洗制绒设备生产企业有以下三种状态：一是从国有企业转型的老牌电子或半导体设备制造企业，代表企业有：中电四十八所（能提供完整的电池生产线）、西北电子影备技术研究所（中电二所）、中电四十五所、保定天威新能源等；二是新近崛起的典型电子或半导体企业，代表企业有：北京七星华创、深圳捷佳创、北京华林嘉业、北京中联科利、苏州华林科纳、青岛赛瑞达等；三是水处理或超声波设备公司转型，代表企业有：深圳市恒通源、深圳市和科达、张家港声达超声设备、深圳市超纯水、深圳市纯水一号、张家港德科超声、上海睿鹏清洗设备等。

扩散技术

扩散炉经历了开管——闭管——全封闭扩散三个阶段，绝大部分电池企业采用国产装备和全封闭洁净扩散技术。

表 5-4 国产三代扩散炉技术比较

序号	开管扩散	闭管扩散	全封闭清洁扩散	效果
1	反应管尾部进气、头部排气，载片量 300 片/管	反应管尾部进气、头部排气，尾气定向收集 400 片/管	反应管尾部进气、尾部排气，尾气定向收集 400 片/管	废气排放量减少 90%以上，生产量提高 30%以上
2	悬臂推舟送片，和反应管平板靠接	悬臂推舟送片，圆锥立体靠封	软着陆送片，自动门完全密封	减少源消耗 4/5，大大减少偏磷酸排放，综合扩散成本降低 15%以上
3	送片桨始终在反应管中	送片桨始终在反应管中	送片机构装片后	送片机构基本不用清洗，石英管清洗延长到 2 次/年
4	多层源柜同一抽气管道	分层独立抽气	推出分层独立抽气，抽风量独立可调	彻底杜绝微泄漏引起的慢性腐蚀
5	加热炉端口硬质材料密封	石英领密封	新型炉体结构，石英领密封	炉体变形更小，更节能

封装技术

组件封装也是太阳能电池产业生产工艺中高耗能环节，其中焊接、层压等环节耗电较多，

目前市场上应用比较广泛的封装工艺有两种：

（1）用 TPE 材料封装

先在薄膜电池上铺上 EVA，再铺上 TPE，进层压机封装；优点是电池比较轻，缺点是不能做成透光的组件，而且电池板弯曲度会变大，可能影响电池效率。

（2）用浮法玻璃封装

也是先铺上 EVA，再铺上浮法玻璃，进层压机封装；因有两块玻璃，比较重，但可以做成透光的 BIPV 组件，甚至可以配合工艺做成半透明的。钢性好，电池板弯曲小。

5.1.2.2 生产管理控制系统节能技术

在集成电路厂房中，维持生产环境洁净度的空气净化循环系统是除工艺设备外的耗能最大的系统。空调通风及冷热源能耗约占洁净室能耗的 40-70%。

洁净室与洁净厂房能源消耗比其他的建筑大得多，其运行费约是一般办公楼的 10（1 万级）-30（100 级）倍。就空调冷负荷而言，一般办公大楼为 $120\text{W}/\text{m}^2$ 左右，而大规模半导体器件厂房可以达到 $1400\text{-}1600\text{W}/\text{m}^2$ 。同时，由于半导体器件生产工艺的特点，要求洁净厂房内全天（24h）保持相应的洁净度，因此，洁净空调系统（包括排风系统）、为其配套的冷、热源及相应的输送系统需每天 24h 运行。

根据洁净室空气循环特点可以将洁净室分为三种类型：循环空调机配合高效送风口系统、循环风机配合湿式密封系统和 FFU(风机过滤单元)循环系统。在 3 种洁净系统中，FFU 循环系统运行成本最低，洁净度安全性最高，因此集成电路洁净厂房多采用 FFU 循环系统。

循环空调机配合高效送风口系统在小规模低等级要求的洁净室设计中被广泛应用，对于大面积高等级的洁净室则存在运行成本过高、占用空间过大等缺点。循环风机配合湿式密封系统的设计可以满足集成电路制造洁净室大面积高等级的要求，但运行成本较高，并且洁净室风速、风量调节困难，系统升级改造困难，因此操作灵活性很低。FFU 循环系统不仅节省运行空间、洁净度安全性高、运行成本低，而且操作灵活性很高，可以在不影响生产的情况下随时进行系统升级和调整，这些都能很好地满足半导体制造的需求，因此在半导体制造业 FFU 循环系统逐渐成为最主要的洁净设计方案。

采用 FFU 风机系统的洁净室一般通过 FFU 的分布率来决定该洁净室的洁净等级，洁净室的正压通过新风量来控制，洁净室温湿度的控制是通过循环空气冷却系统(RCU)和新风空调系统(MAU)完成。MAU 是洁净系统运行成本最高的部分，因此在设计上可以考虑通过热回收进行节能。夏季可以利用新风空调的预热盘管将热回收到再热盘管，节省热水用量；采用喷淋室加湿设计，可以减少热损失，且可以稳定而高效地去除新风中的 AMC，延长化学过滤器寿命。在运行上

要有效控制工艺排风量以降低新风用量，降低 MAU 送风温度，减少加热量和洁净室内冷负荷。

5.1.2.3 工业设计端和回收端节能技术

半导体行业废气排放具有排气量大、排放浓度小的特点。挥发性有机废气主要来源于光刻、显影、刻蚀及扩散等工序，在这些工序中要用有机溶液（如异丙醇）对晶片表面进行清洗，其挥发产生的废气是有机废气的来源之一；同时，在光刻、刻蚀等过程中使用的光阻剂（光刻胶）中含有易挥发的有机溶剂，如醋酸丁酯等，在晶片处理过程中也要挥发到大气中，是有机废气产生的又一来源。

1、集成电路

半导体封装工艺产生的有机废气主要为晶粒粘贴、封胶后烘烤过程产生的烘烤废气。

（1）废气处理

废气主要来自集成电路芯片生产线产生的废气和集成电路制造生产线产生的废气；其中，集成电路芯片生产线产生的废气主要为酸性废气、碱性废气、有机溶剂废气、特殊气体废气、无组织排放废气；集成电路制造生产线产生的废气主要为电镀过程产生的各种酸雾和烧结工序产生的少量烟气。

①酸性废气

酸性废气来源于工艺流程中使用各种酸液蚀刻、清洗过程，主要污染物为氮氧化物、磷酸、醋酸等，通过酸性废气处理系统进行处理回收，主要由废气洗涤塔、通风机、排气管和加药系统等组成。

②碱性废气

碱性废气主要来源于清洗、显影、去胶、湿法刻蚀、CMP 等工序，主要污染物为 NH_3 ，碱性废气通过碱性废气处理系统进行处理回收，主要由废气洗涤塔、通风机、排气管和加药系统等组成。

③有机溶剂废气

有机废气采用活性炭吸附法、沸石转轮处理系统等对其进行处理。

④工艺尾气处理系统（POU+湿式洗涤器处理系统）

CVD 废气来自化学气相沉积（CVD）和干法刻蚀（DE）等工序，主要成份有硅烷、磷烷等特种气体尾气，含量甚微。

生产线工艺设备本身自带这类气体的 POU 净化装置（Point Of Use 装置）进行预处理（燃烧或洗涤）。该系统废气处理效率可达 85%~90%以上，上述处理过程处理后的废气中有害成甚微，再经后一级的湿式洗涤塔中被吸收，达标后从排气筒排放。区域性废气处理系统主要采用吸附、燃烧、水洗和热氧化 4 种处理方式，分别处理不同性质的废气污染物。

（2）固体废弃物

危险固体废物包括废活性炭、含铜污泥、含砷废物、含汞废物等，一般由具有资质的危险废物处理单位进行处置；一般固体废物包括废水处理污泥（主要成份氟化钙）、废包装材料、废五金、废芯片、废试剂瓶和办公垃圾等，废水处理污泥由专业公司处置，废包装材料、废五金、废芯片、废试剂瓶由废品回收商收购，办公生活垃圾由环卫部门清运处置。

固态杂质（颗粒）通过沙石过滤器、泥土过滤器与次微米级薄膜从水中去除。水是细菌和真菌的避难所。细菌和真菌可由消毒器去除，这种消毒器使用紫外线杀菌，并通过水流中的过滤器滤除。

有机污染物（植物与排泄物）可通过碳类过滤器去除。溶解的氧气与二氧化碳可用 forced draft decarbonators 和真空消除毒气剂去除。在制造工厂中，用于刻蚀和清洗晶圆和设备的酸、碱、溶剂必需是最高纯度的。涉及的污染物有金属离子微粒和其它化学品。

（3）废水处理

集成电路制造过程中要消耗大量的水，同时使用大量的化学试剂和特殊气体，排放的废水中成分十分复杂。集成电路芯片生产线产生的废水主要有酸碱废水、含氨废水、含氟废水、研磨废水、有机废水等；集成电路制造生产线产生的废水主要为电镀废水和有机废水。

①酸碱废水

酸碱废水利用酸碱中和原理进行治理。含铬废水是芯片制造业排放的毒性最大的废水，对该股废水一般都采用酸性还原工艺。

②含氟废水

含氟废水利用石灰沉淀法进行处理，在采用氢氧化钙沉淀法处理含氟废水的同时，亦可去除废水中大部分磷。

集成电路产业中含氟废水量相对较大，且氟离子浓度较高，一般采用化学沉淀与絮凝沉淀相结合的处理方法，沉淀剂通常选用石灰（生石灰或熟石灰均可），絮凝剂选用聚合氯化铝（PAC）和聚丙烯酰胺（PAM），必要时投加一定量的 CaCl_2 代替石灰增加 Ca^{2+} 的浓度，同时调整 pH 值。另外还可利用铝盐投加到废水中，铝离子与氟离子的络合以及铝盐水解中间产物和最后生成的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 矾花对氟离子的配体交换，物理吸附，卷扫等作用来去除废水中的氟离子，从而确保处理后出水水质氟离子浓度低于 10mgPL。

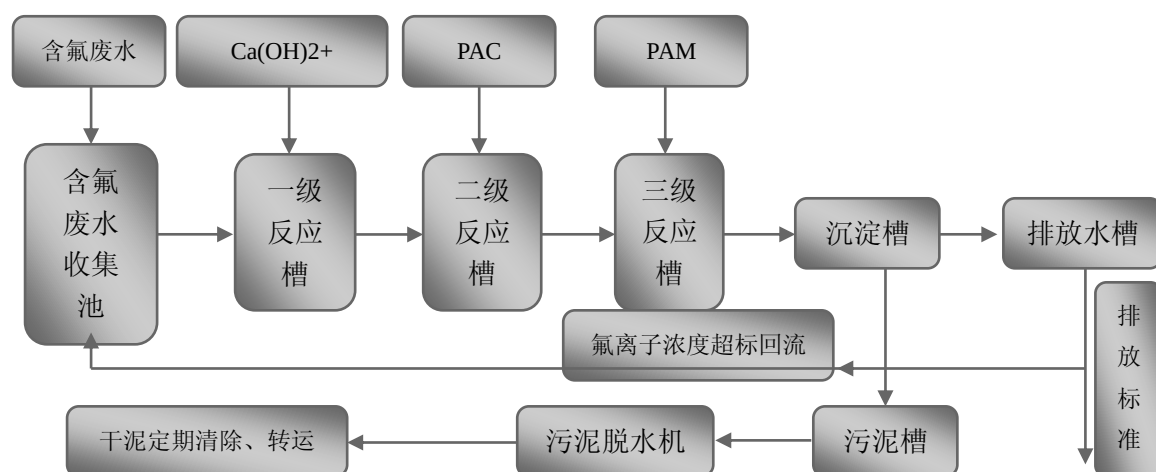


图 5-10 集成电路生产含氟废水处理工艺流程^①

③含氨废水

针对行业中含氨废水的已有处理工艺，即吹脱法去除氨氮。

④研磨废水

研磨废水一般利用絮凝沉淀法进行处理。

⑤有机废水

有机废水利用生化法处理。废水经过 pH 调节，生物接触氧化，澄清沉淀后排放，部分污泥回流，其余污泥经浓缩、脱水后外运。

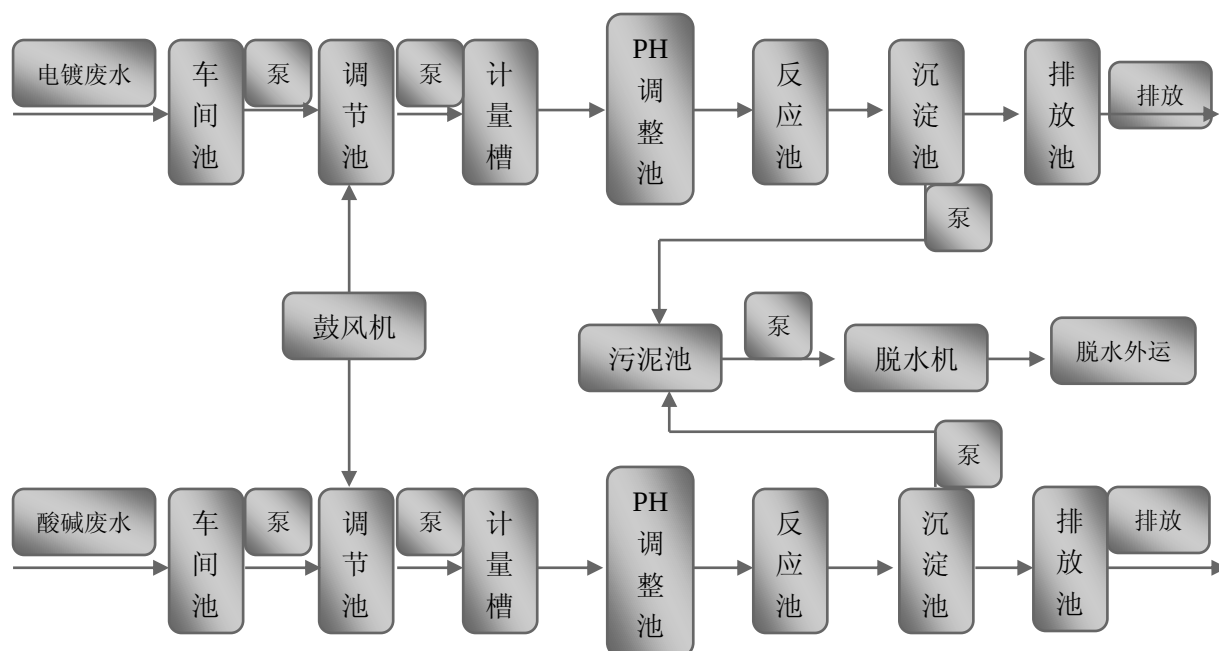


图 5-11 集成电路制造生产线废水处理工艺流程^①

①中船第九设计研究院 戴荣海《集成电路产业含氟废水处理工程》

⑥废气洗涤塔排水

生产过程中电镀废气 HCl、硫酸雾及芯片加工过程中排放的 HF、HCl、硫酸雾、NH₃ 等酸碱废气，工程上设置有碱（酸）液喷淋吸收塔吸收处理，排放的废水为吸收塔中多次循环使用的吸收废液。碱性洗涤塔废水汇入中和收集槽进行处理；酸性洗涤塔废水汇入中和收集槽进行处理。

2、太阳能电池

电池行业是一个重金属耗用量大，生产、回收、运输、再生等环节重金属污染风险高的行业。生产线所产生的污水主要为酸碱废水、含氟废水、废气净化塔废水、纯水制备排水以及生活污水等。大气污染物主要是工艺废气，主要包括制绒、扩散前酸洗、磷扩散、边缘刻蚀、去 PSG 等工段产生的含氟酸性废气、酸雾等；等离子化学气相沉积（PECVD）产生的硅烷、氨气在燃烧塔中燃烧后形成 SiO₂ 沉淀，氮氧化物；以及丝网烧结阶段挥发产生的少量有机废气等，各工艺废气分别进入各自相应的处理系统处理后排入大气。

目前，国内绝大部分多晶硅生产都采用改良西门子技术第一代工艺，这种高耗能工艺最后形成的产品有两种：高纯硅和四氯化硅。在国外，每千克太阳能级多晶硅会产生 10kg~15kg 的四氯化硅，通过氢化还原闭环工艺循环后，四氯化硅的排放量仍然高达 5kg~10kg。如果国内按 10kg 来算，2010-2011 年就算只有 50% 的计划产能实现，也会有近 80 万吨的剧毒性四氯化硅产出。

（1）废水处理

废水来源主要有晶圆清洗、蚀刻、蒸镀等处理后产生的酸碱废水及氟系废水，废水具体处理流程如下图。由于产生的氟系废水量大、浓度高，通常会使用化学沉淀法、化学沉淀/混凝法、吸附法等三种工艺处理：

一是化学沉淀法，投加钙盐，利用化学反应生成沉淀去除废水中的氟离子，利用钙离子与氟离子发生反应结合成氟化钙粒子沉淀后去除，

化学沉淀法是化学处理法优点是处理弹性大且能迅速方便完成废水处理作业；缺点是成本高且产生大量污泥，若水中含有其他盐类的话，氟化钙的溶解度会增加，使去除效率降低。为减少污泥，有研究提出采用流动床式氟化钙结晶法，加强含氟废水与一般酸碱废水的分流，使氟离子浓度提高，并于氟离子与钙离子发生反应时加入晶种，在流动床式反应器中使氟化钙结晶析出，以去除氟离子，如此可大量降低化学药剂量，并减少污泥产生量。结晶法目前应用在半导体厂高浓度含氟废水处理中，可有效降低氟离子浓度，其初设成本及操作成本低可使废弃物减量或资源化。

二是絮凝沉淀法，利用铝盐在水中所产生的矾花对氟离子的各种作用作用将

①同济大学 刘新超, 高连敬, 孙勇 半导体集成电路器件生产废水处理工艺研究与应用

氟离子去除，该方法加药量小，处理量大，效果明显，但很难一次处理达标排放；三是吸附法，虽效果较好，但需要更换载体，运行费用较高。

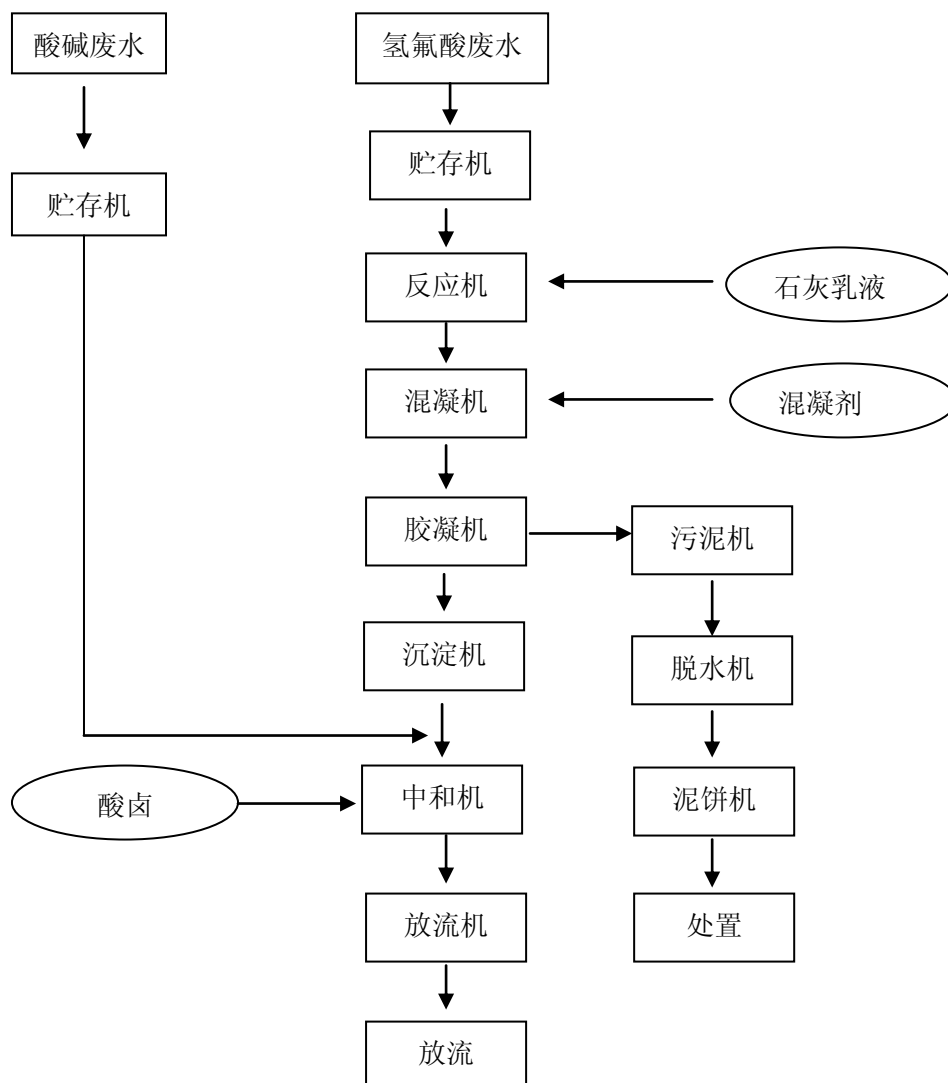


图 5-12 太阳能电池生产过程废水处理流程

（2）废气处理

太阳能电池生产过程产生的废气主要来自蚀刻、清洗、蒸镀产生的 IPA 或卤素化合物等气体，可能会产生有机废气、无机酸气、碳氢化合物气体等废气。

产生的酸性废气：一般采用混式洗涤设备，如隔板式洗涤塔、浮床式洗涤塔、填充式洗涤塔等，国际上最常用的是填充式洗涤塔。

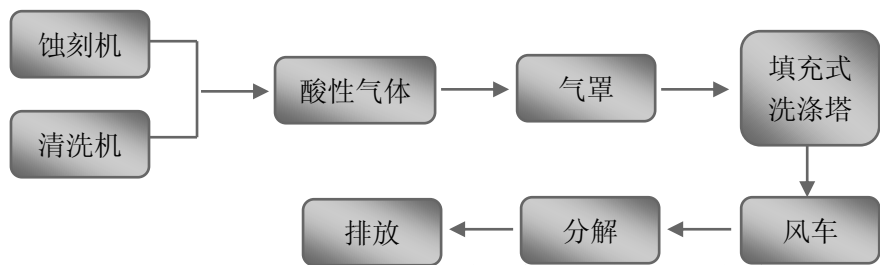


图 5-13 太阳能电池片生产过程中酸性废气处理技术

产生的 VOC 废气：常见的 VOC 处理方法有吸附法、燃烧法和冷凝法，若废气特性为小风量、低温、低浓度时，可用一般活性炭吸附处理；若废气为大风量、低浓度时则用浓缩转轮处理，经由浓缩装置可浓缩大部分废气。焚化法适用于小风量、高浓度、高温时，其可提高效率，可几乎完全去除 VOC 废气，但需注意含尘浓度高者会造成触媒毒化的物质须先行经过处理设备去除杂质。VOC 废气处理流程如下：



图 5-14 太阳能电池片生产过程中 VOC 废气处理技术

经行业专家评估及筛选，提出适合在行业内推广的 43 项节能减排技术和 12 项重点关注的前沿新技术。这些节能技术主要分布在太阳能电池及组件生产及封装工序中。根据太阳能电池生产企业特点、各类技术在生产过程中的功能及前沿性技术细分为：生产过程节能减排技术、资源能源节约与综合利用技术、污染物治理技术、节能产品技术及重点关注的新技术，共计五大类，见下表 5-5。

5.1.2.4 总结

由表 5-5 可以看出，本课题所筛选出的 43 项成熟的节能减排技术，其中目前国内已经投入运行的技术 33 项，重点关注的技术 12 项，重点关注技术可能是未来几年内太阳能电池行业发展的方向。这些节能技术主要分布在分立式器件和集成电路、太阳能电池生产和废弃物回收利用过程中。

表 5-5 半导体器件行业技术清单

序号	技术名称	行业
一	生产性技术	

序号	技术名称	行业
1	无铅焊接封装技术	半导体
2	气相沉淀法	半导体
3	能源互助技术	半导体
4	外圆切割、内圆切割、多线切割（游离磨料多线切割）、电火花线切割	半导体
5	化学气相沉积法（低压化学气相沉积 LPCVD、等离子增强化学气相沉积 PECVD 工艺）	半导体
6	液相外延法（LPPE）	半导体
7	MOVPE 技术	半导体
8	LPE 技术	半导体
9	溅射沉积法	半导体
10	浇铸法	半导体
11	晶带法	半导体
12	区熔再结晶技术	半导体
13	丝网印刷技术	半导体
14	光刻照相技术	半导体
15	全封闭洁净扩散技术	半导体
16	RCA 清洗技术	半导体
17	兆声波清洗技术	半导体
18	接触式清洁技术	半导体
19	酸性化学腐蚀制绒工艺技术	半导体
20	EVA-玻璃封装技术	半导体
21	含氟透光树脂类非玻璃封装技术	半导体
22	真空热压技术	半导体
小计	22 项	
二	资源能源回收利用技术	
23	洁净空调系统（RCU、MAU、FFU 系统）	半导体
24	热回收技术	半导体
25	多晶硅材料生产过程中节能技术	半导体
小计	3 项	
三	污染物治理技术/废弃物回收利用技术	
26	活性炭吸附法	半导体
27	化学沉淀法	半导体
28	酸碱中和还原工艺	半导体
29	吹脱法	半导体

序号	技术名称	行业
30	絮凝沉淀法	半导体
31	生化法	半导体
32	混凝法/冷凝法	半导体
33	焚化法/燃烧法	半导体
34	浓缩转轮法	半导体
小计	9 项	
四	节能产品技术	
35	绝缘双极晶体管	半导体
36	低功耗芯片	半导体
37	平面高效太阳能电池	半导体
38	刻槽埋栅电极晶体硅电池	半导体
39	“硅粒”太阳能电池	半导体
40	叠层太阳能电池	半导体
41	碲化镉电池	半导体
42	铜铟镓硒薄膜太阳能电池	半导体
43	多晶硅薄膜电池	半导体
小计	9 项	
共计	43 项	
五	重点关注的新技术	
(一)	工艺过程节能减排技术	
44	概率修建技术	半导体
45	石墨烯晶体管	半导体
46	涂布转换型技术	半导体
47	脉冲激光沉积法	半导体
48	旋转涂覆技术	半导体
49	耐光热塑性聚氨酯封装技术	半导体
50	太阳能电池用聚酯树脂片	半导体
(二)	节能产品技术	半导体
51	nm 晶化学太阳能电池	半导体
52	砷化镓 III-V 化合物薄膜电池	半导体
53	GaAs 太阳能电池	半导体
54	二氧化钛太阳能电池	半导体
55	染料敏化太阳能电池技术	半导体
小计	12 项	
合计	55 项	

5.2 行业技术水平

课题通过调查先进适用技术在市场中所占份额（技术普及率），技术水平和

未来发展方向，将上述前四类的 43 项技术水平评价分别列于下表。分为：生产过程节能减排技术、资源能源回收利用技术、污染物治理技术和节能产品技术。

5.2.1 生产过程节能减排技术

表 5-6 半导体器件行业生产过程节能减排技术清单

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
1	无铅焊接技术	集成电路	●		
2	气相沉淀法	集成电路	●		
3	能源互助技术	集成电路		●	
4	外圆切割、内圆切割、多线切割（游离磨料多线切割）、电火花线切割	太阳能电池	●		
5	化学气相沉积法（低压化学气相沉积 LPCVD、等离子增强化学气相沉积 PECVD 工艺）	太阳能电池	●		
6	液相外延法（LPPE）	太阳能电池	●		
7	MOVPE 技术	太阳能电池	●		
8	LPE 技术	太阳能电池	●		
9	溅射沉积法	太阳能电池	●		
10	浇铸法	太阳能电池	●		
11	晶带法	太阳能电池	●		
12	区融再结晶技术	太阳能电池		●	
13	丝网印刷技术	太阳能电池	●		
14	光刻曝光技术	太阳能电池	●		
15	全封闭洁净扩散技术	太阳能电池	●		
16	RCA 清洗技术	太阳能电池		●	
17	兆声波清洗技术	太阳能电池		●	
18	接触式清洁技术	太阳能电池	●		
19	酸性化学腐蚀制绒工艺技术	太阳能电池	●		
20	EVA-玻璃封装技术	太阳能电池	●		
21	含氟透光树脂类非玻璃封装技术	太阳能电池			●
22	真空热压技术	太阳能电池		●	

上表中的成熟技术系指已广泛在各生产工序中应用。其中，无铅焊接封装技

术和气相沉淀法在技术上应为成熟,在应用上要结合企业自身环境条件和原燃料的特点进行选用。成熟技术共计 16 项,占 22 项的 72.73%。

先进技术系指根据各企业产品特点和工艺改造时应采用的技术。先进技术共计 4 项,占 18.18%。能源互助技术在集成电路行业的应用已经开始,上海华虹 NEC 电子有限公司的冬季余热回收、夏季削峰填谷综合节能系统及锅炉烟气余热利用技术均属于能源互助技术。

国际先进技术系指国外已开发出的技术,国内尚无应用。国际先进技术有 1 项,占 5%。

上述生产技术,在国内先进等级中属于工艺生产技术,不是所有电子企业均能适用,因此不能用市场份额的推广百分比进行表述。

5.2.2 资源能源节约与综合利用技术

表 5-7 半导体器件行业资源、能源节约与综合利用技术清单

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
1	洁净空调系统(RCU、MAU、FFU 系统)	集成电路		●	
2	热回收技术	集成电路		●	
3	多晶硅材料生产过程中节能技术	太阳能电池		●	

上表中的技术均属于集成电路生产线的先进技术。

5.2.3 污染物治理技术

表 5-8 半导体器件行业污染物治理技术清单

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
1	活性炭吸附法	废气回收	●		
2	化学沉淀法	废气/废水回收	●		
3	酸碱中和还原工艺	废气/废水回收	●		
4	吹脱法	废气回收	●		
5	絮凝沉淀法	废水回收	●		
6	生化法	废水回收	●		
7	混凝法/冷凝法	废水回收	●		
8	焚化法/燃烧法	废气回收	●		

9	浓缩转轮法	废气回收	●		

上表成熟技术系指已广泛在各生产工序中应用。共计 9 项。

5.2.4 节能产品技术

在 973、863 等高科技计划的支持下,我国在碲化镉和铜铟硒薄膜电池、敏化太阳能薄膜电池、多晶硅薄膜电池以及应用系统方面取得了很大的科研进展。我国薄膜电池产业化步伐也在加快。无锡尚德在上海成立薄膜太阳能研发中心;河北新奥引进全球领先水平的 Sunfab 薄膜太阳能电池全套自动化生产线;保定天威与设备厂商 Oerlikon 签订购买薄膜太阳能模块生产线设备合约;南开大学正在福建泉州合作开发非晶硅/微晶硅叠层太阳能电池产业化技术。

表 5-9 太阳能电池及组件行业节能产品技术清单

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
1	绝缘双极晶体管	分立器件		●	
2	低功耗芯片	集成电路			●
3	平面高效太阳能电池	产品	●		
4	刻槽埋栅电极晶体硅电池	产品	●		
5	“硅粒”太阳能电池	产品	●		
6	叠层太阳能电池	产品		●	
7	碲化镉电池	产品	●		
8	铜铟镓硒薄膜电池	产品			●
9	多晶硅薄膜电池	产品	●		

5.3 节能减排先进适用技术

5.3.1 工艺替代技术

5.3.1.1 低耗能洁净厂房技术

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

由于半导体工业生产工艺的特殊,对室内的环境提出相应的要求,即室内应保持一定的空气条件,使空气温度、相对湿度、空气流动速度及洁净室达到生产工艺的要求。因洁净室不仅需要温湿度满足要求,更重要的是使洁净区悬浮粒子

颗粒数满足要求。所以风系统则由组合式净化空调机组和高效送风口共同来满足温度、湿度和洁净度的要求。

干盘管净化空调方式是由新风机组+干盘管+FFU 空调方式组成。干盘管净化空调方式指的是室外新风经过新风机组处理后送入洁净室的天花技术夹层内，干盘管负责处理空气至所要求的参数，然后用 FFU 来循环空气从而达到洁净度要求的换气量，通常新风机组将新风处理到室内露点温度，承担新风负荷及室内湿负荷，干盘管承担室内的显热负荷，FFU 负荷循环及过滤空气。即湿度由新风机组负责，温度由干盘管负责，洁净度由 FFU 负责。

控制洁净度(洁净室的含尘浓度)是洁净室主要目的，在洁净室设计时 1~5 级的洁净室常以 FFU 满布和高架地板回风来实现单向流以满足洁净度的要求，6~9 级则以高效送风口送风来达到洁净度的要求。在设计 6~9 级的洁净室时同样可以采用干盘管—FFU 系统，此时 FFU 并不需要满布而用来取代高效过滤器送风达到室内洁净度的要求。因为电子行业在不断的发展，所以对洁净室的要求也越来越高，使得很多业主在改造厂房、扩大生产或进行实验研究中满足新工艺的要求。改造的厂房中 FFU—干盘管系统是一种很合适的设计方式。

表 5-10 集成电路旨在各工艺环境控制要求

区域	FFU 覆盖率	洁净度	温度控制℃	相对湿度
掩模制造	100%	1	22±0.5	45%±3%
光刻	25%	100	22±0.5	45%±3%
扩散、薄膜、清洗、 离子注入、蚀刻	25%	100	22±1	45%±5%
铜制程、化学机械 研磨	12.5%	100	22±1	45%±5%

洁净厂房由较多的换气次来满足室内洁净度的要求，如果采用一次回风系统，送风风管与回风风管的尺寸必然很大，很占用吊顶技术夹层的空间。各种管路都在技术夹层内，错综复杂，多数改造项目厂房高度都较低，为了保证洁净室室内高度，一般室内净高为 2.6~3.0m，所以吊顶技术夹层一般只有 1~1.5m(厂房为钢筋混凝土结构)，当采用一次回风系统时，风管将会占用技术夹层的所有空间，而且会造成风管走不通管道“打架”，高效过滤器与风管没有连接的空间，技术夹层内无法上人，为电气配电造成困难，运行以后技术夹层内无法上人进行检修。采用“新风机组(MAU)+干盘管(DC)+FFU”系统则可以避免这一问题。

(2) 技术基本原理

该净化空调系统采用新风机组+干表冷盘管+风机过滤单元(FFU)的组合形式。空调区域分为三部分，即送风上夹层静压箱、生产区、回风下夹层。洁净室内的气流流型为垂直单向流，空气由吊顶上的风机过滤单元(FFU)中的高效

过滤器过滤后送入生产区，再经地面带孔板高架地板进入回风下夹层，通过两侧回风夹道，经干表冷盘管冷却后回至送风上夹层，与送入上夹层的新风混合后再送入生产区。新风机组的送风补充工艺排风（酸、碱排风等）及维持房间正压所需风量，同时满足生产区内人员对新风量的要求。由于室内散湿量小，热湿比趋向于 $+\infty$ ，所以新风处理到室内空气状态点的机器露点，主要承担新风热湿负荷和洁净室内的全部湿负荷；干盘管主要承担洁净室内显热负荷。洁净室内的洁净度由风机过滤单元(FFU) 保证。

此技术是新风机组将新风处理到洁净室热湿比线与相对湿度 95%线交点以下，新风机组不仅将本身的湿负荷去掉，而且还负担洁净室内产生的湿负荷，新风机组要确保洁净室所需要的相对湿度。而新风机组热处理不足部分的干冷负荷将由设在洁净室吊顶上(或夹道内)的干表冷器来补充。因干表冷器是设在 FFU 循环空气通过的吊顶上或夹道内，因此，干表冷所弥补的干冷负荷被循环空气带到洁净室内。由新风机组处理过的新风用管道以最能与 FFU 循环空气均匀混合的方式送到洁净室的送风静压箱内。

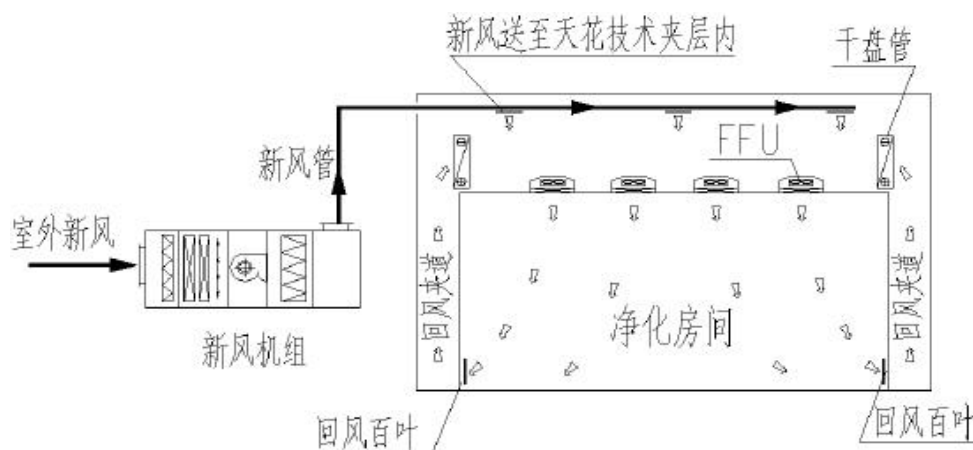


图 5-15 新风机组+干盘管+FFU 空调方式示意图

所谓干盘管(Dry Coil)是指干盘管表面温度高于回风的露点温度，换热器表面没有凝结水析出。FFU(Fan Filter Unit)风机过滤器单元，其中风机为了减小高度而采用外转子后倾式，中间电动机部分可独立拆卸以便于维修，电动机内置过载热保护装置、故障指示灯、故障输出接点、加配调速控制器和传感器以利于自控系统控制，FFU 需内置消音层和均流结构，单体要求噪声在 53dB(A)、风速 0.4m/s 以下，箱体材料一般为锌铝涂层钢板。新风机组处理过的空气经 FFU 风机加压通过 HEPA 或 ULPA 过滤后送入室内。

2、技术发展水平

根据循环空气的特点把洁净厂房分为三种：

第一种是循环空调将配合高校顺风口的形式,这种洁净室的形式是比较早的形式,在八十年代甚至最早的六十年代都是用这种形式。它的形势比较多种送风的形式有上送、侧送。它的缺点是不适合高等级和大面的洁净室,运行成本高,占用空间大。

第二种形式是循环风机配合湿式密封系统,它的特点是高静压、液槽密封;适合各种等级的洁净室。它的缺点是运行费用比较高,主要是电费方面,再来就是噪音比较高,循环风机一般都是大风机可能通过风管或者建筑结构引进来。另外施工难度大,漏风量大,系统升级(洁净度)扩充困难。

第三种形式是 FFU 循环风系统,这套系统在半导体制造行业应用最广泛的一种形式。这种形式的特点由 FFU 提供循环空气的动力,整个循环空气通过一台一台小风机进行循环风系统,在 FFU 操作引擎的时候,在施工的时候都不会造成影响,用起来非常方便,并且节省空间,另外非常重要一点是洁净度安全性高。缺点就是维护成本高。

FFU 循环系统的特点是:整个洁净室由静压层、工艺层、工艺辅助层和回风通道组成,由 FFU 提供循环空气的动力,将新风、循环风混合后通过超高效过滤器送入工艺层和工艺辅助层,静压层相对于工艺层为负压。此外,还有生产辅助区为集成电路制造厂务设备区域,包括电力供应、气体和化学品供应、超纯水供应等。

3、技术使用条件

干盘管净化空调洁净方式可以实现空气洁净度等级要求在 ISO3-ISO9 (即 1 级-100 万级)之间的洁净室。多采用在净化级别 6 级以上,新建项目 7 级净化系统也可采用这种方式。净化房间安装 FFU 的数量由洁净房间的洁净度来决定,不同数量的 FFU 组合可实现 4、5 级等单向流洁净室,也可实现 6、级等 7 非单向流洁净室,FFU 风机的转数可调,房间断面风速可控制。

4、实施建设内容

(1) 关键工艺设备

FFU 布置在洁净室的吊顶上,与新风混合的循环风经 FFU 被高效过滤器过滤后送到洁净室内,以保证洁净室的洁净度。FFU 的规格以 1200mm×600mm 和 1200mm×1200mm 居多,其断面风速应为 $\geq 0.45\text{m/s}$,余压应 $\geq 120\text{Pa}$,噪声应 $\leq 50\text{dB(A)}$ 为好。FFU 的风机风量应可调,高效过滤器应可更换。

干冷盘管一般由双排组成,为了减小阻力铝翅片间距 $\geq 3\text{mm}$,阻力损失应为 30~40Pa,循环风通过干盘管的面风速 $< 2\text{m/s}$,最好为 1.5m/s。进入干盘管冷水的进水温度应高于洁净室露点温度 2℃,通常称为中温冷冻水。虽然叫干盘管,但在起始运行时还可能有凝结水产生,因此干盘管还应有凝结水滴水盘和排水措

施。

目前,各种 FFU 最多由以下几部分组成(按从上到下、从内到外的顺序),视不同厂家组成部分可能有所减少。

表 5-11 FFU 系统关键工艺设备

设备	功能
预过滤器	主要防止因施工、检修或其他意外情况产生杂物而可能造成的对高效过滤器的伤害,起到保护高效、延长使用寿命的功能。
外壳体	组成材料约有钢板、铝板、铝合金、硬塑、不锈钢等集中,不同厂家和不同的使用环境有不同的选择,厚度约为 1.2-2.0。
风管连接部件	在洁净级别较低(≤ 1000 级,联邦标准 209E)的场合,此时吊顶上部没有静压箱,带有风管连接部件的 FFU 使得风管和 FFU 的连接十分方便
电机	交流电机和直流电机在 FFU 中都有使用,直流电机体积大,造价高,控制容易实现,能耗较高。交流电机体积小,造价低,控制需要相应的技术,能耗较低。
叶轮	叶轮有两种形式,前倾和后倾,前倾有利于增加气流组织的失向流动,增强去除尘埃的能力。后倾有利于降低能耗,减少噪音
气流均衡装置	分为三种:一种为孔板,主要通过板上的空的疏密分布来调节 FFU 的出气气流;一种为格栅,主要通过格栅的疏密来调节 FFU 的出口气流;一种为动力曲线,主要通过曲线的形状来诱导气流的流动,同时也通过曲线上的孔的疏密分布来调节气流
高效过滤器	FFU 使用的过滤器和洁净厂房所用的其他过滤器一样
金属防护网	主要起到对过滤器的保护作用,大部分防静电
刀缘	当 FFU 使用在一些特别的场合时,带刀缘的 FFU 可使用液槽密封,从而能满足高密封性的要求
控制元件	FFU 的控制大致可分为多档开关、连续调节、计算机控制等集中,同时显现的功能有单台控制、分区控制、报警、运行状态显示灯

洁净室设施的气流系统运行大约将会耗去总能耗的 50%或更多些,而在 ISO5 等级以上的洁净室内,风机占去总能耗的 60%~80%;因此节能的洁净室设计减少洁净室的运行费用需选择更高效的直流 FFU 来节省能源与成本。

市面上目前销售的 FFU 种类很多,各品牌交流 1170×570 的 FFU 风速 0.45m/s 时消耗功率在 120W~300W 之间,直流 1170×570 的 FFU 风速 0.45m/s 时在 50W~100W 之间;交流 1170×1170 的 FFU 功率在 260W~350W 之间,直流 1170×1170 的 FFU 功率在 75~250W 之间。

(2) 主要技术指标

适合为了满足 ISO 标准等级 5 或等级 1 的环境标准,一个洁净室在每 0.6 到 1.2 米的天花板顶就需要安装一个 FFU;之后在环境中就会有经过过滤器底部吹出洁净的空气层流以大约每秒 0.45 米的速度向下吹出(约 1000 风量/每 h),这

样可以在洁净室内保证一个正向压力。该压力阻止污染物通过洁净室的墙壁或窗帘渗透、流入，而且也保证洁净室内人为造成的微粒和工艺设备产生的微粒可以迅速过滤排除出去。

5、节能减排效果

此技术中，洁净室的相对湿度由新风机组(MAU)来保证，洁净室的温度由干冷盘管来保证，洁净室的洁净度由 FFU 来保证。这种 MAU 加 FFU 加 DC 的净化空调送风方案，目前我国和国外的微电子(集成电路)工业，光电子(TFT-LCD、LCD、LED 等)工业等大面积、高洁净度等级的洁净厂房中得以广泛应用，它具有调节方便，节能显著，适应工艺的更新换代，又大大地节省了非生产面积和非生产空间的优点。而且，随着洁净技术和洁净设备的不断发展和进步，FFU 风机的效率不断提高，耗电量不断降低，整体价格不断下降，其初投资也与其他类型的送风方案基本持平，但运行费却大大节省。

某 300mm DRAM 厂洁净室实际设计参数作为案例分析如下：

外气条件	31℃ DB, RH= 80%
室内条件	23℃ DB, RH= 45%
洁净室面积	11,182m ²
洁净室高度	3.5m
作业人数	500
循环量	6,543,000CMH
热排气	498,120CMH
酸排气	30,540CMH
碱排气	335,400CMH
有机气体排气	59,880CMH
制程设备负载	7,367KW

该厂使用的空调系统构型为抽风式外气空调箱(MAU)、风机过滤器(FFU)以及冷却干盘管(DCC)之搭配方式，其中每部外气空调箱容量为 100,000CMH 共 10 台，静压为 1,300Pa($\eta_{fan}=0.8$)， $\eta_{motor}=0.95$)，冷却盘管采高/低温冰水盘管连续冷却方式；FFU 平均面风速 0.35m/s，风量为 900CMH，静压为 100Pa($\eta_{fan}=0.3$ ， $\eta_{motor}=0.95$)，配合循环量的大小共采用 7270 台。

以同样的设计参数为基础，分别引入其它不同的空调系统构型藉以交叉比对耗能的影响：

(1) 外气空调箱、轴流风机组以及冷却干盘管方式

其中，轴流风机共十台，每部风量 654, 300CMH，静压 850Pa($\eta_{fan}=0.85$ ， $\eta_{motor}=0.95$)

(2) 外气空调箱(MAU)及循环空调箱(RCU)方式

其中循环空调箱共十台，每部风量 654, 300CMH，静压 1850Pa($\eta_{fan}=0.45$, $\eta_{motor}=0.95$)。

(3) 纯循环空调箱(RCU)方式(即与一般空调之空调箱设计类似)

其中循环空调箱共十台，每部风量 654, 300CMH，静压 2,000Pa($\eta_{fan}=0.85$, $\eta_{motor}=0.95$)。

(4) 外气空调箱(MAU)及循环空调箱(RCU)方式加上局部循环风机盘管(FCU)

组成与外气空调箱(MAU)及循环空调箱(RCU)方式类似，但增加局部小型冷风系统，其循环量占总循环量之 30%；小型冷风机之 $\eta_{fan}=0.3$, $\eta_{motor}=0.85$

各机械公用设备规格如下：

(1) 冰水主机及系统：热回收式，备有高低温冰水机两种，其中高温冰水机出水温度为 9/14℃、性能系数(COP)=3.5，低温冰水机出水温度为 6℃、性能系数(COP)=4。

(2) 冰水泵扬程 25m(pump efficiency=80%)

(3) 热水泵扬程 20m(pump efficiency=80%)

(4) 冷却干盘管循环扬程 20m(pump efficiency=80%)

(5) 制程洁净区之最主要的空调负荷，分为室内及室外负荷。室内负荷采用热指标法(Thermal Index)作为计算依据。

计算结果可知，以外气空调箱以及分散型的循环及冷却装置(FFU 或轴流风机)其能源消耗较集中式为少，再以轴流风机与风机过滤器两者来看，因前者的噪音、振动问题远大于后者，而此两点也正是无尘室的操作大忌；若再加上洁净室运用弹性以及日常维修保养及操作成本均高的观点来看，毫无疑问的抽风式外气空调箱、风机过滤器以及冷却干盘管(DCC)之组合几乎可说是目前电子工业洁净室的设计主流；不过初设成本表较空调箱加风管的组合偏高为其缺点。但在整个建厂投资成本及日后节能的观点而研则无足轻重。

表 5-12 各种不同设计之洁净室耗能比较(单位 KW)

系统搭配方式	FFU+MAU	Axial Fan+MAU	MAU+RCU	RCU	MAU+RCU+FCU	RCU
/w76%RA Bypass						
6℃冰水制冷电量	2349.06	2349.06	2349.06	11615.37	2349.06	7819.59
9℃冰水制冷电量	2681.05	2681.05	3558.99	-	2681.05	-
14℃冰水制冷电量	439.03	694.28	-	301.01	-	-
一次冰水泵电力	122.76	122.76	122.76	606.99	122.76	408.63
二次冰水泵电力	128.10	128.10	170.04	-	157.46	-

14℃冰水泵电力	58.99	93.29	-	31.46	-	-
热水泵电力	26.40	26.40	24.79	162.99	24.79	408.63
MAU	472.47	472.47	472.47	-	472.47	-
气流循环单元动力	727.00	1875.64	4957.06	4689.11	2598.05	4689.11
FCU	-	-	31.46	-	-	-
总计	7004.86	8443.06	11655.18	17074.46	8769.57	13325.97
气流循环系统耗能指标(W/m2)	65.02	167.74	443.31	419.34	232.34	419.34
(以 FFU 型为基础)耗能评比	1	1.21	1.66	2.44	1.25	1.90
系统评论	最省能，洁净室运转有弹性，为目前主流设计，但初设成本偏高为其缺点	洁净室运转有弹性，但有噪音问题，系统保养性差	造价便宜，但风管布建较复杂，不利于大规模或使用弹性需大的无尘室，可作为改善案之参考	造价便宜，但风管布建较复杂，耗能设计，同时不利于大规模或使用弹性需大的无尘室	风管布建较复杂，耗能较纯 MAU+R CU 改善许多，唯洁净度较不易维持	造价便宜，但风管布建较复杂，耗能设计，同时不利于大规模或使用弹性需大的无尘室

6、成本效益分析

电子洁净室初始建设投资费用较为客观，据估计，ISO5 级（相当于美国标准 FS2091000 级）洁净室室内建筑和净化空调系统单位面积建造成本约为 3000 元/平-4000 元/平。ISO4 级（相当于美国标准 FS20910 级）洁净室室内建筑和净化空调系统单位建造成本则高达 1 万元/平-1.5 万元/平，与普通空调净化方式比较，干盘管净化方式可节省投资 5000 元/平。

新风机组+干盘管+FFU 净化方式与常规净化空调方式的比较如下：

（1）由于干盘管与 FFU 制造技术的发展与普及，生产厂家的飞速增长，促使它们的价格相比前些年已经大幅度下降，品牌选择也开阔得多，不仅有外国进口的产品，而且国内众多厂家的新产品也均可以选择；

（2）新风机组+干盘管+FFU 净化方式相比于常规净化方式，其空调风柜仅为规格很小的新风机组，不含混风机组，所以空调风柜房的面积可以相应缩小，节省了建筑空间，而且新风管占用洁净室吊顶空间较少，节省了吊顶空间；

（3）相比于常规净化方式，新风机组+干盘管+FFU 净化方式由于使用天花板技术夹层，所以其在围护结构方面的价格会稍高；

（4）相比于常规净化方式，新风机组+干盘管+FFU 净化方式由于整体用电功率较少，所以其在空调配电方面用到的电线电缆型号较小，开关及变频器等也可缩小型号，造价下降；

(5) 新风机组+干盘管+FFU 的净化方式所需要的风管量是很少的, 仅为新风机组的新风管, 而常规的净化方式中需要的风管量就很多, 它包括新风机组的送风管、混风机组的送风管及回风管(都是大规格的风管)。总体来说, 新风机组+干盘管+FFU 的净化方式的初投资与常规净化方式的初投资基本持平。运行费用大约是常规净化方式的 60%~80%, 下降约 3000 元/平。

以 500 台风量 2200m³/h, 规格 1170*1170 的 FFU 一年的运行成本比较:

表 5-13 低能耗型 FFU 运行成本比较

低耗能型FFU	常用型FFU
风速0.45m/s时功率:84W	风速0.45m/s时功率:220W-350W(取平均值285W)
耗电量: 每小时0.084度/台	耗电量: 每小时0.285度/台
500台耗电量: 500*0.084= 42度/h	500台耗电量: 500*0.285= 142.5度/h
每天以24小时开机计算: 42度/h*24=1008度	每天以24小时开机计算: 142.5度/h*24=3420度
一年电费计算: 1008度*1元=1008元*365天=367920元	一年电费计算: 3420度*1元=3420元*365天=1248300元
以500台低耗能型FFU相比500台常用型FFU一年节省电费:1248300-367920= <u>880380元</u> 此方案10-15个月时间就可收回前期直流电机的投入资金	

7、技术应用情况

目前大多数已建成的电子厂房中, 洁净室的空调系统一般都会使用常规净化空调方式---新风机组+混风机组+高效过滤器(HEPA), 而新的低能耗空调方式---新风机组+干盘管+FFU 比较少见, 原因有: (1) 常规净化方式一直沿用, 不愿更新改变; (2) 部分企业认为新风机组+干盘管+FFU 方式的洁净空调系统是用于高洁净度(≥ 100 级)要求的项目中, 担心用于 1000 级—10000 级项目时造价会偏高。

由于电子电路行业的飞速发展, 洁净室的使用将会越来越广泛, 而净化空调方式的选择则显得尤为重要, 由于常规系统(新风机组+混风机组+高效过滤器)存在着运行能耗高、建筑空间要求大、管线交叉多等缺点, 使用新型净化空调方式(新风机组+干盘管+FFU)的节能效果明显优于常规系统, 建筑空间要求小, 管线也不多, 并且综合造价和成本与常规系统相差已经不大。

8、技术知识产权

(1) 专利名称: 一种洁净室通风系统

申请号/专利号: 200910144673

申请人/专利权人: 吴江市宏达通风制冷设备厂

(2) 专利名称: 一种洁净室的节能控制方法及其洁净室

申请号/专利号：200910028940

申请人/专利权人：苏州克林络姆空调系统工程有限公司

(3) 专利名称：干盘管恒温恒湿空调机组

申请号/专利号：200620160637

申请人/专利权人：广东西屋康达空调有限公司

5.3.2 产品技术

5.3.2.1 低耗能芯片技术

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

随着半导体工艺的飞速发展和芯片工作频率的提高，芯片的功耗迅速增加，而功耗增加又将导致芯片发热量的增大和可靠性的下降。芯片作为电子产品的核心是耗能最高的部件，其电力消耗和散热能力正在成为 IT 行业重点关注的问题。由十亿晶体管构成的芯片可额外泄漏 60 至 70W 的电力，芯片功能变强大的同时带来了能源的巨大消耗浪费。因此，功耗已经成为集成电路设计中的一个重要考虑因素。为了使产品更具竞争力，工业界对芯片设计的要求已从单纯追求高性能、小面积转为对性能、面积、功耗的综合要求。

降低芯片功率已经成为 IT 产业寻求创新的首要途径，通过采用低功耗版本的芯片，将大大降低电子产品的功耗，由此带来的电源、系统散热等方面的节能效应相当显著。据统计在芯片级每降低 1W 的功耗，由此致使电源转换、配电系统、UPS、制冷系统和变压器等一系列的功耗随之降低 2.84W。

(2) 技术基本原理

芯片的节能主要落实在工艺技术上，主要从两个方面来考虑：

一是通过改良电力管理技术和 Turbo Memory 技术来降低电源和待机能耗，从而降低整体能耗。大部分的芯片在待机状况时，是切断电源使用率的 10 倍，降低待机能源消耗是降低芯片能耗的重要途径，Turbo Memory 使用的闪存芯片在没有电力供应的情况下也能存储数据，它可以缩短电脑必须接入硬盘所需要的时间，降低能耗并提高性能。

芯片内置峰值电流补偿电路，可以使不同交流电压输入时极限峰值电流一致，并通过线电压控制端的应用来控制开关，使输入交流电压过高或过低时关闭开关，同时还可以补偿极限峰值电流，从而调节极限输出功率。采用具有峰值电流补偿电路为芯片提供最大功率平衡，该电路初始化后，可有效的减小芯片启动时变压器的应力。根据负载的实际情况，芯片的开关频率可在 24~67KHz 范围内进行调节，轻负载的降频模式和峰值电流控制功能可以为芯片提供更高的效率。

作为现代微处理器中的重要部件，Cache 的功耗约占整个芯片功耗的 30%~60%，因此设计高性能、低功耗的 Cache 结构，对降低微处理器的功耗有明显作用。Cache 低功耗设计的关键在于降低失效率，减少不必要的操作。通常用来降低 Cache 功耗的方法有以下两种：一种是从存储器的结构出发，设计低功耗的存储器，例如采用基于 CAM 的 Cache 结构；另一种是通过减少对 Cache 的访问次数来降低功耗。

二是通过先进的制造工艺和芯片设计，调整芯片尺寸和结构来降低自身功耗。从目前来看，90nm，65nm 甚至未来 45nm 工艺演进给交换机芯片节能带来了大幅度的提升，仅以 90nm 到 65nm 的升级为例，一般就可将芯片能耗节省 30% 左右。芯片的能耗和尺寸越来越小，取决于制造工艺的进步。2006 年，英特尔的大部分芯片均采用 90nm 工艺生产，而如今，已采用 45nm 工艺生产芯片。

2、技术发展水平

（1）国际市场

CPU 芯片厂商英特尔、AMD 以及各种业务处理器厂商 LSI、博通、英飞凌等公司的节能芯片都展现了良好的市场业绩。威盛电子的节能芯片为其赢得了巨大的市场优势。到目前为止，能够生产芯片组的厂家有美国英特尔、VIA、SiS、ULI、Ali、AMD、NVIDIA、ATI、ServerWorks、IBM、HP 等为数不多的几家，其中以英特尔和 NVIDIA 以及 VIA 的芯片组最为常见。

在台式机的英特尔平台上，英特尔自家的芯片组占有最大的市场份额；在 AMD 平台上，NVIDIA 成为市场占用率最大的芯片组厂商。笔记本方面，英特尔平台具有绝对的优势，所以英特尔自家的笔记本芯片组也占据了最大的市场份额。服务器/工作站方面，英特尔平台更是绝对的优势地位，英特尔自家的服务器/工作站芯片组产品占据着绝大多数的市场份额。在手机芯片市场，ARM 的份额超过 90%。

从芯片厂商来看，全球最大的两家电脑内存芯片厂商韩国三星电子公司与 hynix 半导体公司占据了 60% 以上的市场份额，日本尔必达公司则占到了第三的位置，位居第四的是镁光公司。闪存芯片方面，三星位居首位。紧随其后的是日本东芝公司，镁光与 intel 合资的 im flash 位居第三，hynix 位居第四。科瑞、欧司朗、飞利浦、日亚、首尔半导体、丰田合成等企业是主要的 LED 芯片生产厂商。

（2）国内市场

国内芯片厂商有几十家，国产芯片已经开始占领部分市场。从手机芯片市场来看，联发科虽然仍占据国内一半以上的市场，但占有率已经大幅度下滑，展讯、晨星、英飞凌等厂商正在逐渐崛起。

主要 LED 芯片企业有厦门三安、杭州士兰明芯、武汉华灿、厦门乾照、武汉迪源、广州晶科等。其中厦门三安侧重于小功率 LED 背光和显示屏市场，杭州士兰明芯、武汉华灿聚焦 LED 户外显示屏市场，厦门乾照则专攻红黄光芯片，专注于大功率芯片生产的厂商主要为武汉迪源、广州晶科等。

（3）低能耗芯片技术

从全球范围来看，主要的低能耗芯片为以下三款：

①英特尔的凌动芯片

凌动芯片是目前能耗最低的芯片之一，英特尔的 Atom 芯片研发出来的目的是服务于上网本等能耗较低的设备，但却被很多服务器厂商看中，走进了服务器的大家庭。

2010 年英特尔推出了凌动 N450 芯片。与以前的版本相比，凌动 N450 芯片尺寸小 60%，能耗低近 20%，能耗仅为 5.5W。凌动 N450 芯片时钟频率为 1.66GHz，与现有的凌动 N280 芯片相当。凌动 N450 芯片的改进来自更小的芯片尺寸，集成有内存控制器和显示芯片。凌动 N450 芯片处理多媒体内容的速度更快，并释放处理器的带宽，使其更好地与其他组件通讯。之前，内存控制芯片和图形芯片都没有集成在处理器内。N450 芯片集成的图形处理器芯片能够处理 720p 的视频，N450 芯片针对互联网内容，而非对图形性能有较高要求的游戏或看高清电影。目前有约 80 款上网本设计采用凌动 N450 芯片。

2011 年 9 月英特尔推出了两款 32nm 工艺制造工艺芯片-凌动 D2700 和凌动 D2500。凌动 D2700 芯片时钟频率为 2.13GHz，价格为 52 美元，每个内核可运行两个线程；凌动 D2500 芯片时钟频率为 1.86GHz，价格为 42 美元，每个内核只能运行一个线程。两款芯片都集成有 1MB 缓存，支持 HDMI(高清晰度多媒体接口)和 DisplayPort，支持至多 4GB 内存。

根据该公司的规划，公司首款 22nm Tri-Gate 凌动芯片 Silvermont 将在 2013 年推出。从 22nm 工艺开始，英特尔将改变凌动笔记本的功率范围设计，设计目标由 40W 下降到 15W。另外，该公司还将提供大量片上系统解决方案来涵盖 1W 至 10W 范围的芯片。在 2012 的前半年，英特尔将在 Medfield（32nm 凌动）芯片的基础上设计智能手机芯片。

英特尔表示代号为“Silvermont”的新的基于凌动芯片的微架构将在 2013 年推出。新的 Silvermont 芯片在新的晶体管结构的基础上增加一个全新的架构。Silvermont 将是一个系统芯片设计，把大多数核心芯片集成在一个芯片上或者一个芯片封装中，将取代目前的 GPU。

②Nvidia 公司的 Echelon 超级计算机用芯片

Echelon 为 128 个 SM 模块和 Project Denver 的基础——名为 Latency Processor

的 8 个 CPU 核心所组成，其中每个 SM 模块含有 8 个 CUDA Core 和独立的 L0 Cache。据此计算，Echelon 芯片整体含有 $8 \times 128 = 1024$ 个 CUDA Core。各个 SM 模块独立命名为 "NoC" (Network on Chip) 通过内部界面，经由 L2 Cache 和内存控制器与其他 SM 相互连接。L2 Cache 和 CUDA Core 数量一样分 1024 块，单个 Echelon 芯片中，NoC 通过 MC 与一同封装的 DRAM Cube 连接带宽可达 1.4TB/s。Echelon 芯片的峰值计算性能（以双精度浮点运算记）可达 20T FLOPS。NVIDIA 设想的每个 Echelon 机柜搭载 32 个模块，每个模块封装 4 个 Echelon 芯片，这样单个机柜的运算能力可达 2.56P FLOPS。Echelon 的 Phase1（第一阶段）设计就是如此，NVIDIA 将在此基础上第二阶段主要考虑继续提高运算性能和降低芯片所消耗的电力。实现 2.56P FLOPS 的计算能力，功率 38 千 W

Nvidia 公司发布了其 TeslaS1070GPU 处理器，从该处理器的应用来看，其与传统的 X86 服务器在性能和功耗方面的比较，在许多行业具有优势，如石油、天然气、勘探行业、动漫制作，这些行业涉及大量数据分析以及图形处理等浮点运算，传统服务器需要耗费很多电力，功耗非常大，而 Tesla 则能很好地解决此类问题。

IBM 的 iDataPlexdx360M3 是 IBM 服务器产品系列中比较高端的产品，专门服务于高性能的计算设施，并且给予 CPU 的基础上传送大量的数据。而这款服务器加入了 Nvidia 的 Tesla 芯片后，每节点在性能上将会有 10 倍的提升，同比上代 iDataPlex 服务器产品能耗却降低了 65%。

③ARM 的 Cortex A7 芯片

ARM 推出了旗下新的 Cortex A7 架构，将于 Cortex A15 并驾齐驱，Cortex A7 是为低功耗走出的一代，产品在提供必要性能的同时，大幅降低功耗。根据 ARM 官方的数据，单位能耗比提升了多达 5 倍，即使面对 Cortex A15 也不遑多让。

表 5-14 Cortex A15 与 Cortex A7 的性能和能耗比较

	Cortex-A15 vs Cortex-A7 Performance	Cortex-A7 vs Cortex-A15 Energy Efficiency
Dhrystone	1.9x	3.5x
FDCT	2.3x	3.8x
IMDCT	3.0x	3.0x
MemCopy L1	1.9x	2.3x
MemCopy L2	1.9x	3.4x

ARM Cortex A7 将成为 ARM 已经开发的产品中最具能效比的产品，产品专为入门级智能手机、平板电脑和其它高级移动设备等。和 Cortex A15 一样，Cortex A7 采用全新的 28nm 工艺，默认频率大于 1GHz，支持 1-4 个核心设计，单核面积仅为 0.45mm^2 。为了保持高能效比，Cortex A7 优化了流水线技术，只有 8 级，内存管理和总线得到大幅优化，整合了超低延迟的 L2 缓存。携带 FPU、NEON

单元，配备 32KB 的 L1 缓存。

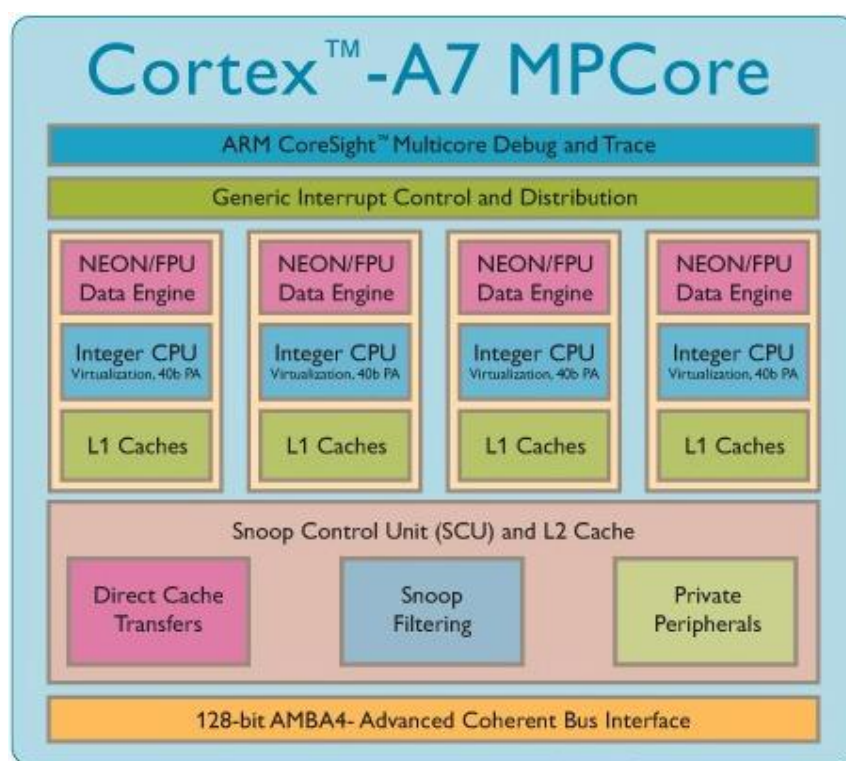


图 5-16 ARM 的 Cortex A7 架构

3、技术使用条件

目前低能耗芯片可以提供的功率范围为：宽电压范围 5-18W，窄电压范围 7~21W。可广泛应用于台式电脑、移动终端设备、机顶盒、DVD 播放机、电源适配器等整机产品中。

4、节能减排效果

目前个人电脑市场主流配置为 AMD 公司的 AthlonXP 和英特尔公司的 Pentium-IV 系列芯片，前者集成了 29.5M 以上晶体管，而后者则集成了 42M 以上的晶体管，采用 0.18um 工艺，典型工作频率为 2.0-3.0GHZ 不等，单个芯片的正常工作功耗可达到 55-70W，甚至更高。

低能耗芯片正常工作功耗设计在 25W 以下，能耗下降 50%~60%。以威盛工业专用低能耗芯片组为例，整机功耗不到 15W，还不到普通台式机的 1/10，按 20 台电脑主机计算，一年至少可节约电费 15000 元，做到最大限度的降低综合使用成本。

5、成本效益分析

按每 100 台 PC 机每天持续工作 10h 所消耗的电能来计算，使用低能耗芯片每年可节省电费约 4760 元人民币。目前中国拥有电脑的数量大约为 8000 万台，每年总共能节省 38.1 亿元人民币。如全球的 6 亿台计算机全使用低功耗芯片，1

年工作 200 天，每天 8h，则在全球可以少盖 13 座核能电厂。

6、技术应用情况

目前来看，我国在小芯片上的差距不大，但功率型芯片与国外相比还有一定的差距。目前国产芯片自给率不足 20%，国内所需芯片的 80% 依靠进口，芯片代工企业 80% 的单子来自国外，低耗能芯片的发展给国内芯片制造业发展契机。

7、技术知识产权

(1) 专利名称：集成电路芯片

申请号/专利号：200520037225

申请人/专利权人：威盛电子股份有限公司

(2) 专利名称：一种芯片结构

申请号/专利号：200920004625

申请人/专利权人：苏州市华芯微电子有限公司

(3) 专利名称：数据率转换装置及方法

申请号/专利号：201010004098

申请人/专利权人：澜起科技（上海）有限公司

5.3.2.2 绝缘栅双极晶体管（IGBT）

1、技术介绍

(1) 技术应用节点

绝缘栅双极晶体管 IGBT，是一种典型的双极 MOS 复合型功率器件，是功率 MOSFET 工艺基础上的产物。

(2) 技术基本原理

IGBT 的开通和关断是由栅极电压来控制的。当栅极加正电压时，MOSFET 内形成沟道，并为 PNP 晶体管提供基极电流，从而使 IGBT 导通，此时，从 P+ 区注到 N 一区进行电导调制，减少 N 一区的电阻值，使高耐压的 IGBT 也具有低的通态压降。在栅极上加负电压时，MOSFET 内的沟道消失，PNP 晶体管的基极电流被切断，IGBT 即关断。

IGBT 是 MOS 结构双极器件，属于具有功率 MOSFET 的高速性能与双极的低电阻性能的功率器件。IGBT 的应用范围一般都在耐压 600V 以上、电流 10A 以上、频率为 1KHz 以上的区域。鉴于 IGBT 的参数特性，IGBT 开发之初主要应用在电机、变换器（逆变器）、变频器、UPS、EPS 电源、风力发电设备等工业控制领域。在上述应用领域中 IGBT 凭借电压控制、驱动简单，开关频率高，开关损耗小，可实现短路保护等优点在 600V 以上电压应用领域中竞争力逐步显现，在 UPS、开关电源、电车、交流电机控制中已逐步替换 GTO、GTR。

2、技术发展水平

电能作为现代社会的重要能源之一，在工农业生产和人民生活的能源中占据了重要的地位，因此节电就成为建设节约型社会的最重要内容。而电力消耗中工业电力占 55%以上，其中电机驱动占到了 70%以上。随着人民生活水平的提高，民用电力消耗中空调、电梯、冰箱、洗衣机、电动车、电动工具等电机类能源消耗比例也在大幅度上升。因此总体来说电机不论是在工业领域还是民用领域已经成为最大的电力消耗对象，提高电机的工作效率也成为降低电力消耗的重中之重。提高电动机的工作效率可以采用效率更高的新型电机（综合效率可以提高 40%以上），也可以采用更加先进的控制和驱动技术（综合效率可以提高 20%~40%以上）。这两种手段都离不开新型的功率器件，特别是 IGBT 产品。

IGBT 是一种新型的功率半导体器件，它融合了 MOSFET 器件和双极型三极管的优点，是功率半导体领域技术最先进、最有发展前途的器件，国际上 IGBT 自上世纪八十年代取得重要技术突破以后，得到了广泛的使用，到目前为止已几经换代。IGBT 发明于 1982 年，作为新型功率半导体器件仍处于不断的发展中，其方向主要包括高速响应、高耐用性等。以其在逆变器中的功率损耗为例，对于额定电流 75A、电压 600V 的 IGBT 模块，其功率损失已从第 1 代的 100W，减少至第 5 代的 33W，而新近的第 6 代产品更是在 30W 以下。

在产品开发上，各大半导体生产厂商不断开发 IGBT 的高耐压、大电流、高速、低饱和压降、低成本技术，推出了诸如低功率 IGBT、非传统 IGBT、超速 IGBT，以及高度集成化的 IGBT 模块等新产品。

表 5-15 国内部分代表性企业在 IGBT 领域的进展

公司	业务类型	最新进度
科达半导体	芯片制造	功率半导体封装测试项目按计划已于2011年2月23日正式投产运营，设计年产能3.1亿只，年产值3亿元以上。自主研发的1200V的IGBT成功入选2010年国家重点新产品计划。2011年将重点开发场终止技术IGBT和沟槽IGBT、汽车节能及新能源汽车专用IGBT芯片。
华微电子	芯片制造	2010年IGBT产品研发成功，公司已经搭建起IGBT产品基础工艺平台，并使产品进一步实现系列化研发成为可能。开工建设新型电力电子器件基地项目，计划首期建设一条年产426万片扩散片、420万片外延片材料片生产线。
中环股份	芯片制造	研发出 IGBT 用区熔硅单晶抛光片填补了国内空白，已成功打入国际市场；研制出国内首类 1200V 沟槽型非穿通（NPT）IGBT 系列产品，可应用于家电；开发出 3300V 平面型 IGBT 样品，可应用于机车与电网。
无锡凤凰	半导体芯片制造	量产产品线已经涵盖600V、1200V、1700V三种系列的多种型号。建设有国内首条NPT-IGBT芯片薄片生产线，可以测量IGBT全部静态及动态参数。公司拥有芯片生产线及与生

		产配套的可靠性实验室、器件测试实验室、失效分析实验室等。
比亚迪	芯片制造	顺利组装成IGBT模块，并成功在电动汽车台架上进行了测试；可供货1200V系列。电动汽车用大功率IGBT模块产业化项目列入国家新型电力电子器件产业化专项。
上海贝岭	芯片制造	完成了1200V和600V IGBT的设计、试制和测试及评估工作。获得2010年度发改委《1200V-1700V沟槽结构NPT型IGBT开发及产业化》项目800万元资金支持。
长电先进封装公司	IGBT 单管封装	长电科技子公司、中外合资性质。
西安爱帕克	模块	合资公司，外方提供IGBT芯片。2010年推出1700V 100A-300A快恢复模块，用于满足轻轨，风电等需求。
威海星佳电子	模块	公司 IGBT 产品纳入企业新型元器件发展规划。

3、技术使用条件

IGBT 作为新型电力电子器件的代表，是国际上公认的电力电子技术第三次革命的最具代表性的产品；IGBT 在汽车电子上的应用也十分广泛，并且要求颇高。同时，IGBT 在国防电子设备上用途广泛，对我国国防工业的发展具有十分重要的意义。

4、实施建设内容

(1) 关键工艺设备

绝缘栅双极型晶体管，是由BJT(双极型三极管)和MOS(绝缘栅型场效应管)组成的复合全控型电压驱动式功率半导体器件。

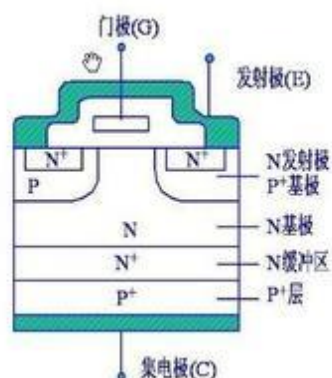


图 5-17 绝缘栅双极型晶体管结构图

左边所示为一个N沟道增强型绝缘栅双极晶体管结构，N+区称为源区，附于其上的电极称为源极。P+区称为漏区。器件的控制区为栅区，附于其上的电极称为栅极。沟道在紧靠栅区边界形成。在漏、源之间的P型区（包括P+和P-区）（沟道在该区域形成），称为亚沟道区。而在漏区另一侧的P+区称为漏注入区，它是IGBT特有的功能区，与漏区和亚沟道区一起形成PNP双极晶体管，

起发射极的作用，向漏极注入空穴，进行导电调制，以降低器件的通态电压。附于漏注入区上的电极称为漏极。

（2）主要技术指标

集电极、发射极间电压（符号：V_{CES}）：栅极、发射极间短路时的集电极，发射极间的最大电压。

栅极发极间电压（符号：V_{GES}）：集电极、发射极间短路时的栅极，发射极间最大电压。

集电极电流（符号：I_C）：集电极所允许的最大直流电流。

耗散功率（符号：P_C）：单个 IGBT 所允许的最大耗散功率。

结温（符号：T_j）：元件连续工作时芯片温度。

关断电流（符号：I_{CES}）：栅极、发射极间短路，在集电极、发射极间加上指定的电压时的集电极电流。

漏电流（符号：I_{GES}）：集电极、发射极间短路，在栅极、集电极间加上指定的电压时的栅极漏电流。

饱和压降（符号：V_{CE}（sat））：在指定的集电极电流和栅极电压的情况下，集电极、发射极间的电压。

输入电容（符号：C_{iss}）：集电极、发射极间处于交流短路状态，在栅极、发射极间及集电极、发射极间加上指定电压时，栅极、发射极间的电容。

5、节能减排效果

在 2006 年总装机量的 6.24 亿 kW 的电动机装机总量中，只有不到 4000 万 kW 的电动机是带变频控制的。在中国，2006 年，带变动负载、具有节能潜力的电机至少有 3 亿 kW。如果，这些电机都采用 IGBT 变频调速系统，按照 30% 的节电率计算，可以节电 9000 万 kW，数量相当于 2007 年全国新开工建设的装机总量。

6、成本效益分析

以科达集团的项目为例：

项目完成投资 11528.95 万元，组建了新型功率半导体器件设计中心、性能测试实验室、可靠性测试实验室；建成了国内首条 IGBT 超薄晶片后道生产线及先进的封装生产线，具备年生产 600V-1200V 各类 IGBT 器件 5000 万只的能力。

7、技术应用情况

中国是世界最大的功率半导体市场，占全球市场份额的 30% 以上。根据 iSuppli 公司的研究，中国 IGBT 市场未来几年将快速增长，2014 年销售额将从 2009 年的 4.30 亿美元上升到 9.75 亿美元，增长一倍以上。未来四年，工业领域的需求和消费领域的需求的复合增长率分别达到 20% 和 15%，而细分领域增长

最快的为太阳能市场和空调设备。

2010 年开始步入产业化，多家企业在 2011 年开始该项目的投资建设。

8、技术知识产权

国内多家企业有该项技术的专利。

(1) 专利名称：一种 IGBT 电路

申请号/专利号：200910189823/200910110732

申请人/专利权人：比亚迪股份有限公司

专利名称：一种 IGBT 及其制作方法

申请号/专利号：200910110732/200910110735

申请人/专利权人：比亚迪股份有限公司

(2) 专利名称：IGBT 模块驱动电路

申请号/专利号：200520093324

申请人/专利权人：张继科

(3) 专利名称：一种 IGBT 功率模块

申请号/专利号：200920131707

申请人/专利权人：深圳市禾望电气有限公司

(4) 专利名称：一种具有介电质阻止层的 IGBT 器件

申请号/专利号：201020236755

申请人/专利权人：浙江华芯科技有限公司

(5) 专利名称：一种磁敏 IGBT 器件

申请号/专利号：201020246054

申请人/专利权人：王开

(6) 专利名称：一种采用氮化硅(Si₃N₄)和掺磷氧化硅(PSG)复合薄膜隔离技术的 IGBT 功率器件及其制造工艺

申请号/专利号：200710114842

申请人/专利权人：科达半导体有限公司

专利名称：非穿通(NPT)绝缘栅双极型晶体管 IGBT 及其制造方法

申请号/专利号：200710114843

申请人/专利权人：科达半导体有限公司

(7) 专利名称：一种具有 P 型浮空层的槽栅 IGBT

申请号/专利号：200910167911/200910167912

申请人/专利权人：电子科技大学

专利名称：一种高速 IGBT

申请号/专利号：200910119961

申请人/专利权人：电子科技大学

专利名称：绝缘栅异质结双极晶体管

申请号/专利号：96117550

申请人/专利权人：电子科技大学

专利名称：一种沟槽绝缘栅双极型晶体管

申请号/专利号：200810046420

申请人/专利权人：电子科技大学

专利名称：一种 SOI 横向绝缘栅双极型晶体管器件

申请号/专利号：201010572154/201010028094

申请人/专利权人：电子科技大学

(8) 专利名称：一种 IGBT 及其制造方法

申请号/专利号：200410093011

申请人/专利权人：上海华虹 NEC 电子有限公司

(9) 专利名称：具有改进型终端的 IGBT

申请号/专利号：201020563312

申请人/专利权人：无锡新洁能功率半导体有限公司

(10) 专利名称：绝缘栅双极晶体管

申请号/专利号：201010530388/201020590611

申请人/专利权人：浙江大学

(11) 专利名称：一种绝缘栅双极晶体管及其制造方法

申请号/专利号：200810203921

申请人/专利权人：上海芯能电子科技有限公司

(12) 专利名称：双向绝缘栅双极晶体管

申请号/专利号：200710077631

申请人/专利权人：刘华友

(13) 专利名称：绝缘栅双极型晶体管

申请号/专利号：200920192175、200920192176、200910101803、

200910101804

申请人/专利权人：无锡凤凰半导体科技有限公司

(14) 专利名称：具有内透明集电极的绝缘栅双极晶体管

申请号/专利号：200710063086

申请人/专利权人：北京工业大学

专利名称：硅材料内透明集电区绝缘栅双极晶体管的制造方法

申请号/专利号：200810240512

申请人/专利权人：北京工业大学

专利名称：变缓冲层浓度内透明集电区绝缘栅双极晶体管的制造方法

申请号/专利号：200810240514

申请人/专利权人：北京工业大学

(15) 专利名称：一种硅化物全自对准槽栅绝缘栅双极晶体管的制备方法

申请号/专利号：02114674

申请人/专利权人：西安交通大学

(16) 专利名称：绝缘体上硅的正反导通横向绝缘栅双极晶体管

申请号/专利号：200910212766

申请人/专利权人：苏州博创集成电路设计有限公司

5.4 新技术焦点

5.4.1 概率修剪技术

1、技术介绍

美国莱斯大学与新加坡南洋理工大学合作在新加坡设立的持续性与应用信息动力学研究所（旨在研发出更节约能源和降低成本的创新信息技术）和瑞士电子与微系统技术中心的科学家携手开发的“概率修剪技术”，将集成电路中很少使用的部分修剪后，使计算机芯片的性能提高了 2 倍，而能耗仅为以前的一半。。

这种“概率修剪”技术的原理非常简单：通过允许微处理器出错来削减其对能源的需求。“概率修剪”技术通过允许微处理器出错，并正确地管理错误发生的可能性及通过限制哪些计算产生错误，来削减能源需求并提升芯片的性能。而在将集成电路中很少使用的部分修剪后，计算机芯片的性能提高了 2 倍，而能耗仅为以前的一半。

根据摩尔定律，芯片上的晶体管会越来越多。芯片上的高密度晶体管会导致

许多背景“噪声”。为了补偿，工程师会通过增加电路上的电压来克服噪声和保证计算的精确，因此，略减少计算精度能在一定程度上改进速度和节省能耗。

2、技术试验示范效果

使用“概率修剪”技术将集成电路上很少使用的部分剪切掉，制造出的新芯片模型，修剪后电路的运行速度至少是以前电路的 2 倍，能耗是以前的 1/2，而其占用的空间仅为传统电路的一半。”

这项技术的缺点是令处理器的计算精确度有所降低。诸如声音和影像解码等实时处理所需要的精确度无须太高，但处理器是否省电及运算是否快速更为重要。可以通过削减助听设备、照相机和其他多媒体设备中使用的集成电路中不必要的部分，达到同时提升芯片性能和减少能耗的目的。

5.4.2 新石墨烯晶体管

1、技术介绍

IBM 公司的科学家研发出了新的石墨烯晶体管，其截止频率为 155GHz（吉赫），比 2010 年 2 月推出的 100GHz 石墨烯晶体管的速度增加了 50%，而且块头更小。该产品的截止频率比采用 Si 技术、栅极长度相同的 MOSFET 的最大值要大 2.5 倍。

石墨烯是一种将碳原子连接成 6 角形网眼状的片状材料。石墨烯是只有一个碳原子厚度的单层片状结构，可由石墨剥离而成。石墨烯不仅是已知材料中最薄的一种，还非常牢固坚硬。作为单质，它在室下传递电子的速度比已知导体都快，因此，它有望替代硅作为顶级电子材料来制备速度更快的晶体管。由于迁移率非常高等而备受关注，各半导体厂商一直在研究该产品在晶体管等方面的应用可行性。

2、技术试验示范效果

以前，科学家通过将石墨烯薄层置于一个绝缘衬底（诸如二氧化硅）的上方来制造石墨烯设备；然而，这种衬底会削弱石墨烯的电学性能。

现在，IBM 公司将衬底对石墨烯电学性能的影响减至最低。科学家将一个“类金刚石碳”放置在一个硅晶圆衬底上，制备出了新的石墨烯晶体管。这种“类金刚石碳”是无极性介质，也不会像二氧化硅那样捕获或驱散电荷，因此，新石墨烯晶体管在度发生改变时（包括像太空中那样的极低度下）显示出了卓越的稳定性。

IBM 在 1450℃ 环境下在 2 英寸 SiC 晶圆上形成了 1-2 层的石墨烯。然后，在其上方依次形成源电极、漏电极、由聚羟基苯乙烯构成的层、由 HfO₂ 构成的 10nm 厚绝缘层以及栅极，最终制成顶栅型 FET。此次的石墨烯 FET 的最大特点是截止频率高。IBM 此前制作过几款栅极长度不同的试制品。其中栅极长度最短仅 240nm 的石墨烯 FET 的截止频率为 100GHz。栅极长度为 550nm 的产品的

截止频率为 53GHz。

另外，IBM 还进行了为石墨烯“开辟带隙”的研究。该公司于 2010 年 1 月 21 日在“nanoletters”杂志上发表论文称，成功为石墨烯开辟了 100-200meV 的带隙。利用基于 1 枚石墨烯薄片的晶体管，电流的导通/截止比在常温下为 100-2000；利用基于 2 枚石墨烯薄片的晶体管，电流的导通/截止比在常温下可达到 20000。

3、技术投资及效益分析

这种新型石墨烯晶体管是一种模拟器件，这种类型的器件能够被用于蓝牙耳机以及无线射频辨识（RFID）标签中的无线通信。IBM 表示，这种新的高频石墨烯晶体管将在手机、互联网或雷达等通讯设备领域大展拳脚。而且，现有的制备标准硅设备的技术也可以用于制造新的晶体管，这意味着新石墨烯晶体管可以随时进行商业化生产。

4、技术应用前景分析

石墨烯晶体管成本较低，可以在标准半导体生产过程中表现出优良的性能，为石墨烯芯片的商业化生产提供了方向，从而用于无线通信、网络、雷达和影像等多个领域。

5、技术知识产权情况

IBM 的专利技术。

<整机装配行业篇>

第一章 导言

1.1 编制目的

整机装配行业是电子信息行业产品技术的终极体现,也是电子信息行业的重要组成部分。整机装配行业的产品通常包括电子消费类产品、计算机及通讯信息产品含办公及商用电子设备、信息家电产品、专用成套电子产品。本研究中的整机装配产品主要关注间接耗能领域中节能减排潜力大、国内外法律法规对其能耗有规范要求的电子电器产品,主要包括微特电机、液晶显示器、计算机、信息家电、LED 等。这些电子电器产品按整个产品生命周期来看,其生产、销售、使用和废弃过程就伴随了相应的能量消耗,需要不断改进技术达到节能减排的目的。

相对于很多重污染、高能耗行业,整机装配和生产过程只产生少量的污染物和噪声,能耗也相对较少。但由于整机在使用过程中都需要消耗大量的电能,整机装配产业的节能减排主要体现减少和降低整机使用过程中及回收处理过程中的能耗。如何将节能环保理念融入我国整机装配产业,主要取决于元器件的选择和工艺组合,以及产品节能技术的选择。

编制本指南的目的:一方面有效地引导整机装配产业通过产品设计和生产工艺的改进,不断降低产品自身的功耗;另一方面,通过先进技术的使用,可以直接或间接地提高整机系统的能效同时实现整机产品的高效回收;最后通过发展整机装配行业的先进节能技术,引导行业不断自我完善,产生良好的社会效益。

1.2 适用范围

《整机装配行业节能减排技术指南》适用于电子信息行业的企业在技术领域的节能减排工作,包括新建项目的技术选择、已建项目的技术改造等。

1.3 编制依据

继欧盟 RoHS、WEEE、REACH 指令后,中国政府也发布了《电子信息产品污染防治管理办法》(中国 RoHS),由此,业界对材料及元件的环保要求越来越高,在电子元件制造领域刮起了一股“绿色旋风”。

本指南是根据行业生产和节能环保的相关法律、法规、技术政策标准等制订的。

①中华人民共和国节约能源法;

- ②中华人民共和国环境保护法；
- ③中华人民共和国清洁生产促进法；
- ④《能源中长期发展规划纲要（2004 年-2020 年）》；
- ⑤《国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》（国发[2011]26 号）；
- ⑥《电子工业污染物排放标准》
- ⑦《电子废物污染环境防治管理办法》
- ⑧《废弃电器电子产品回收处理管理条例》
- ⑨《清洁生产标准》

1.4 术语及定义

（1）生产过程节能减排技术：本指南中的“生产过程节能减排技术”是指产品生产过程中降低物耗、能耗、减少污染物产生量的源头削减技术，具体包括低能耗、低污染的新工艺、新技术；原料替代、预处理；过程优化等技术。

生产过程节能减排技术包括如下指标：

物耗能耗：该技术在资源、能源方面的消耗水平（用吨产品消耗量计）。

相对节能量：该技术与其它高耗能技术相比的节能量（用吨产品节能量或百分比计）。

产污情况：该技术的污染物产生情况（用吨产品产生量计）。

相对减排量：该技术与其他高污染技术相比的减排量（用吨产品减排量或百分比计）。

（2）资源能源节约与综合利用技术：本指南中的“资源能源节约与综合利用技术”是指将企业生产过程中产生的余热、余压、废料、废水等经回收、加工、转化或提取，从而生成新的可被利用的资源、能源或副产品的这样一类技术。具体包括余热余压回收利用技术，高浓度废液处理回用技术、固体废弃物资源化技术等类型。

资源能源回收利用技术包括如下指标：

资源能源回收率：该技术回收的物质的量占废物的比例（用%计）。

节能量：该技术运用后可为企业带来的节能量（用年节能量或百分比计）。

副产品产量：该技术运用后可为企业产生的副产品的量（用年产量计）。

污染物减排量：该技术运用后可为企业带来的污染减排量（用年减排量或百分比计）。

（3）污染物治理技术：本指南中的“污染物治理技术”是指通过化学、物理或生物等方法，将企业中已经产生的污染物进行削减或消除，从而使企业的污染

排放达到环境标准或相关要求的这类技术。具体包括水污染处理技术、大气污染控制技术、固体废物处理处置技术等。

污染物治理技术包括如下指标：

污染物去除率： $(\text{进口浓度}-\text{出口浓度})/\text{进口浓度}$ （用%计）。

污染物减排量：该技术运用后可为企业削减污染物的量（用年削减量或百分比计）。

污染排放水平：该技术运用后企业的污染排放水平（用浓度计，并与排放标准进行比较）。

（5）技术适用条件：指技术使用中的特定条件限制，如运行规模、对物料的性质（浓度、温度、压力等）的限定、上下游技术间的特定匹配关系、产品技术的使用环境要求等。

（6）成本效益分析：

单位投资：技术总投资/总产能（或总产品）

单位运行费用：技术年运行费用/年产量或产值

净效益：技术产生的年度总效益-年均成本

投资回收期：技术在投入后获得回报的时间期限

（7）技术推广应用情况：

技术普及率：行业内采用该技术的企业数量/企业总量，或行业内采用该技术生产的产品量/产品总量。

产品市场占有率：采用某项节能减排产品技术的产品在市场中所占的份额。

“十二五”预计推广比例：结合技术发展趋势和专家经验估计，预测技术在2015年底的技术普及率或产品市场占有率。

第二章 行业资源能源消耗及产排污情况

2.1 行业类型划分

整机是电子信息行业最终产品的总称。本指南中的整机装配产业主要包括微特电机行业、液晶显示器行业、LED 行业、计算机行业、白色家电行业。由于这些行业都有各自的特点，产品分类方法也不尽相同，因此在下面分别论述。

2.1.1 微特电机行业细分

电机是指依据电磁感应定律实现电能的转换或传递的一种电磁装置。它的主要作用是产生驱动转矩，作为用电器或各种机械的动力源。微特电机指直径小于 160mm 或额定功率小于 750W 或具有特殊性能、特殊用途的电机。微特电机综合了电机、微电子、电力电子、计算机、自动控制、精密机械、新材料等多门学科的高新技术行业，尤其是电子技术和新材料技术的应用促进了微特电机技术进步。电机按不同的工作形式可分为静止电机和旋转电机。

静止电动机指变压器。它应用电磁感应原理，可将一种电压的电能为另一种电压的电能（一般是交流电）。从电力的生产、输送、分配到各用电户，都应用着各式各样的变压器。

旋转电机指电动机，是把电能转换成机械能的设备，它是利用通电线圈在磁场中受力转动的现象制成，分布于各个用户处，电动机按使用电源不同分为直流电动机和交流电动机，电力系统中的电动机大部分是交流电机，可以是同步电机或者是异步电机（电机定子磁场转速与转子旋转转速不保持同步速）。电动机主要由定子与转子组成。通电导线在磁场中受力运动的方向跟电流方向和磁感线（磁场方向）方向有关。电动机工作原理是磁场对电流受力的作用，使电动机转动。

2.1.2 液晶显示器行业细分

1、按显示方式可分为：反射型、透射型和投影型。

2、按显示物理结构可分为：扭曲向列型（TN—Twisted Nematic）、超扭曲向列型（STN—Super TN）、双层超扭曲向列型（DSTN—Dual Scan Tortuosity Nomograph）、薄膜晶体管型（TFT—Thin Film Transistor）。

（1）扭曲向列型采用的是液晶显示器中最基本的显示技术，而之后其它种类的液晶显示器也是以扭曲向列型为基础来进行改良。而且，它的运作原理也较其它技术来的简单。

(2) 超扭曲向列型的显示原理与扭曲向列型相类似。不同的是，扭转式向列场效应的液晶分子是将入射光旋转 90 度，而超扭转式向列场效应是将入射光旋转 180-270 度。

(3) 双层超扭曲向列型是通过双扫描方式来扫描扭曲向列型液晶显示屏，从而达到完成显示目的。双层超扭曲向列型是由超扭曲向列型显示器（STN）发展而来的。由于双层超扭曲向列型采用双扫描技术，因此显示效果相对 STN 来说，有大幅度提高。

(4) 薄膜晶体管型的液晶显示器是目前主流液晶显示器的面板。主要是由：萤光管、导光板、偏光板、滤光板、玻璃基板、配向膜、液晶材料、薄模式晶体管等构成。首先，液晶显示器必须先利用背光源，也就是萤光灯管投射出光源，这些光源会先经过一个偏光板然后再经过液晶。这时液晶分子的排列方式就会改变穿透液晶的光线角度，然后这些光线还必须经过前方的彩色的滤光膜与另一块偏光板。因此只要改变加在液晶上的电压值就可以控制最后出现的光线强度与色彩，就能在液晶面板上变化出有不同色调的颜色组合。

3、按衬底与字、符的黑白可分为正型和负型。正型是字、符为黑，衬底为白，多用于白色背景下。负型是字、符为白，衬底为黑，适合与黑背景下使用。

4、按用途分有：计算器用、手表用、仪器仪表用、彩电用、影碟机用、电脑用等类型。

2.1.3 计算机行业细分

计算机（Computer）是一种能够按照事先存储的程序，自动、高速地进行大量数值计算和各种信息处理的现代化智能电子设备，由硬件和软件所组成。为个人应用而设计的计算机称为微型计算机，简称微机。

计算机的分类按数据表示可分为数字计算机、模拟计算机以及混合计算机三类。数字计算机按构成的器件划分，曾有机电计算机和机电计算机，现用的电子计算机，正在研究的光计算机、量子计算机、生物计算机、神经计算机等。电子计算机按照规模或系统功能可分为巨型、大型、中型、小型、微型计算机和单片机。总之，计算机的分类可概括如下：

(1) 按照性能指标可分为：

- ①巨型机：高速度、大容量；
- ②大型机：速度快、应用于军事技术科研领域；
- ③小型机：结构简单、造价低、性能价格比突出；
- ④微型机：体积小、重量轻、价格低。

(2) 按照用途可分为：

- ①专用机：针对性强、特定服务、专门设计；

②通用机：科学计算、数据处理、过程控制解决各类问题。

(3) 按照原理可分为：

①数字机：速度快、精度高、自动化、通用性强；

②模拟机：用模拟量作为运算量，速度快、精度差；

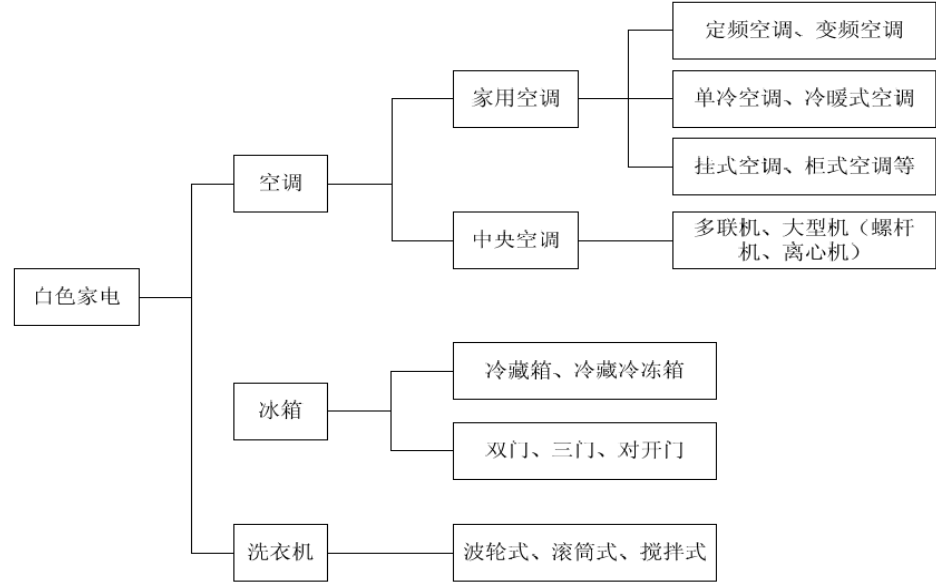
③混合机：集中前两者优点、避开其缺点，处于发展阶段。

根据《中国计算机行业分析报告》(中国经济信息网)分类显示，目前市场上比较常见的主要计算机产品可分为台式计算机、笔记本计算机及平板电脑等。

2.1.4 白色家电行业细分

家电产品可以分为黑色家电和白色家电。黑电产品是指用于娱乐、休闲的产品；而白色家电产品则是指减轻人们劳动强度的产品（如洗衣机、干衣机、洗碗机、微波炉、烤箱等部分厨房电器）和改善生活环境及提高物质生活水平的产品（如房间空调器、热水器、电冰箱、酒柜等）。

本指南中白色家电主要包括三大主要产品——空调、冰箱和洗衣机。空调根据类型可分为家用空调和中央空调。其中，家用空调又可分为定频房间空调和变频房间空调，中央空调可分为多联机、螺杆机和离心机。冰箱有双门、三门以及对开门等。洗衣机可分为波轮式、滚筒式以及搅拌式三类。



资料来源：中国家电协会、Natrust 分析

图 2-1 白色家电分类

2.1.5 LED 行业细分

LED 按照应用可分为三大类：LCD 屏背光、LED 照明、LED 显示。

2.1.5.1 LCD 屏背光

LCD 屏背光又分为以下三种：

- (1) 小尺寸（1.5 寸到 3.5 寸）LCD 屏背光：如手机、PDA、MP3/4 等便携设备的 LCD 屏都需要 LED 来背光；
- (2) 7 寸 LCD 屏背光：如数码相框等；
- (3) 大尺寸 LCD 屏背光：如 LCD TV/Monitor、笔记本电脑的 LED 屏背光。

目前大部分 LCD TV/Monitor、笔记本电脑采用 LCD 屏，它是采用的 CCFL 荧光灯管做背光；然而由于 CCFL 荧光灯管存在寿命、环保等不利因素，目前正朝向采用发展 LED 屏背光。按 LCD 屏的尺寸大小一般需要数十个到上百个白光 LED 做背光。

LED 作为 LCD 背光源应用，具有寿命长、发光效率高、无干扰和性价比高等特点，已广泛应用于电子手表、手机、BP 机、电子计算器和刷卡机上。随着便携电子产品日趋小型化，LED 背光源更具优势，因此背光源制作技术将向更薄型、低功耗和均匀一致方面发展。LED 是手机关键器件，一部普通手机或小灵通约需使用 10 只 LED 器件，而一部彩屏和带有照相功能的手机则需要使用约 20 只 LED 器件。现阶段手机背光源用量非常大，一年要用 35 亿只 LED 芯片。目前我国大部分 LED 背光源还是进口的，对于国产 LED 产品来说将有很大的市场机会。

2.1.5.2 LED 照明

照明经过白炽灯、日光灯，到现在比较普遍的节能灯，再下个阶段应该就是 LED 照明灯的普及。LED 照明需要超高亮度的 LED，超长寿命、极低功耗将是 LED 灯的优势，同时成本也是一个关键因素。

家用室内照明的 LED 产品包括：LED 筒灯，LED 天花灯，LED 日光灯，LED 光纤灯等，此外，LED 手电筒、LED 矿灯和 LED 草地灯也日益受到关注。

交通信号灯主要用超高亮度红、绿、黄色 LED。采用 LED 信号灯既节能，可靠性又高，所以在全国范围内交通信号灯正在逐步更新换代。

表 2-1 LED 照明的应用领域

分类	发光强度	用途	具体应用
普通亮度	<100mcd	指示灯	仪器仪表的指示光源、LED发光点阵组成的小型字符或数字显示器，用于计算器、测试仪器、指示牌等电子设备上

高亮度	10mcd-100mcd	特殊照明	全彩显示屏、交通信号灯、汽车车灯、背景光源、景观照明、特种工作照明（如强调安全生产、特殊用途的矿灯、警示灯、防爆灯、救援灯、野外工作灯等）、军事及其它应用（玩具、礼品、轻工产品等）
超高亮度	>100mcd	通用照明	各种民用及工业用照明替代现有白炽灯和荧光灯

2.1.5.3 LED 显示

公交车、地铁里都能看到各样的 LED 字幕显示屏，并且在户外也有不少大屏幕 LED 点阵显示屏。LED 显示需要用到专用的 LED 显示控制芯片。

广泛应用于各种室内、户外显示屏的显示光源应用的 LED 灯具有抗震耐冲击、光响应速度快、省电和寿命长等特点，分为全色、三色和单色显示屏。目前全国共有 100 多个单位在开发生产。

表 2-2 LED 产业 2009 年产值

分类	项目	产值（亿元）	份额（%）
1	LCD背光	60	10
2	手机等便携电子	65	11
LCD背光合计		125	21
3	景观装饰照明	140	23
4	照明	75	13
5	交通信号	35	6
6	指示	25	4
7	汽车	12	2
照明合计		287	48
8	显示屏	120	20
显示屏合计		120	20
9	其他	68	11
其他合计		68	11
总计		600	100

水清木华研究中心最新研究报告指出，2010 年 LED 市场规模增长 58%，从 100 亿美元达到 158 亿美元。受到 LED 背光技术爆发的驱动，应用在液晶电视背光上的 LED 市场规模暴增，从 9.6 亿美元增加到近 39 亿美元。

背光采用 LED 的液晶电视在 2010 年达到 26.9%，预计到 2014 年 LED 将完全取代 CCFL。而背光采用 LED 的笔记本电脑在 2009 年还只有 59%，在 2010 年就达到 95%。背光采用 LED 的液晶显示器在 2009 年只有 1.5%，2010 年达到 15%。

2011 年我国 LED 产业产值达 1540 亿元，同比增长 22%，产量同比增长 50%。预计截止 2012 年末在照明产品的带动下，行业产值有望达到 2000 亿元，同比增

长 30%。

目前 LED 的成熟应用市场有：建筑景观照明、广告显示屏、小尺寸 LCD 背光源、汽车应用、太阳能 LED 照明。未来还将在中大尺寸 LCD 背光源、道路照明、室内普通白光照明、农业生产用人工光源、医疗用光源、LED 液晶投影仪、DLP 背投用 LED 光源、航空照明光源、博物馆文物展示照明灯等领域有着更广阔的应用前景。

2.2 能源消耗情况

整机生产是电子元器件加工和组装过程。因各类产品的原理、材料、结构和功能差异很大而形成各具特色的专用工艺，并且由于不同元器件的选择和组合工艺也会有不同的能源消耗情况。另外与元器件产业不同，整机产业的主要能源消耗不发生在组装和加工过程，而是发生在产品的使用过程中，下面分别介绍电子信息行业几种主要的耗能产品的能耗情况和能耗水平。

2.2.1 电机的能源消耗情况

电机是各种设备的动力源，广泛用于工业、农业、建筑以及公用设施等领域。我国工业尤其是重工业经济规模大，加上大量使用的是普通电机，因而电机用电量和比重都很高。统计显示，2010 年我国电机耗电约为 2 万亿 kWh，占全国用电总量的 60%和工业用电量的 80%。

据国际电工委员会（IEC）统计，工业用电机消耗全世界发电量 39%~40%，中国这一数字大于 40%，是世界排名第二的一次能源消耗国。我国人均占有量大大低于世界平均水平，随着工业化、城镇化加速发展，能源消耗总量不断增加，石油和电力供应紧张已成为制约经济发展的一个重要因素。

目前我国能源消费不合理、利用效率低的状况仍然比较严重。据统计，我国电机系统运行效率比国外先进水平低 10%~20%，低效电机及相关设备仍在大量使用。目前我国约有 10 亿台电机在运营，耗电量占电网总负荷的 60%，占整个工业用电的 70%。受制于能源短缺的瓶颈，我国目前约有 6 成电机在低于设计额定负荷 60%的状态下运行，导致高达 30%的用电被浪费掉。我国电机安装总功率约 5 亿 kW，若电机系统运行效率提高 20%，则可减少电力装机约 1 亿 kW，是超过 5 个三峡工程的装机容量。从电机产品的整个生命周期来看，电费的支出是采购支出的 100 倍，因此通过节约或者提高产品能效能够给用户带来的客观的经济效益。

2.2.2 液晶显示器的能源消耗情况

2.2.2.1 能源消耗特点

液晶显示器具有功耗低、无辐射、无闪烁、抗电磁干扰强、发热量小、有效显示面积大等特点。

(1) 功耗低，发热量低，辐射小。

它属于低耗电产品，可完全不发热（主要耗电和发热部分存在于背光灯管或 LED），而 CRT 显示器则因显像技术不可避免产生高温。液晶显示器的显示原理是通过扭转液晶像素中的液晶分子偏转角度来背光而实现还原画面的，其不存在像传统显示器那样内部具有超高压元器件，不至于出现由于高压导致的 x 射线超标。而且机器结构电路简单，模块化以及芯片的高集成化足以把电路工作时产生的电磁辐射降到最低。因此直接降低了电路的功耗，发热量也非常小。液晶显示器在工作时可能产生轻微的电磁辐射，但是很容易通过屏蔽电路解决。而传统显示器由于散热需要在屏蔽罩上钻孔，导致辐射的泄露。

(2) 体积小，寿命长。

传统的阴极射线管显示器是通过电子枪发射电子束到屏幕，因而显像管的管颈不能做得很短，后面总是拖着一个笨重的射线管；屏幕增加时也必然增大整个显示器的体积。而液晶显示器通过显示屏上的电极控制液晶分子状态来达到显示目的，即使屏幕加大，它的体积也不会成正比的增加，而且在重量上比相同显示面积的传统显示器要轻得多。传统液晶显示器，额定使用寿命（半亮）一般在 8000-100000h 之间，而液晶显示器的使用寿命则可以达到前者的两倍以上。

2.2.2.2 能源消耗水平

随着电视产业的迅猛发展，大屏幕平板电视尤其是液晶电视在中国城市居民家庭日益普及，在给消费者带来震撼视听享受的同时，平板电视产品功耗过大、耗电量较高也增加了消费负担。尽管液晶显示器比相同尺寸 CRT 显示器的能耗更小，但是随着液晶显示器的普及，大部分消费者会更愿意选择更大更亮的液晶电视，这意味着电视机所消耗的电能实际是在不断增加的。以一台 42 寸普通液晶电视为例，整机功率在 250W 左右，按每月观看 120h 计，耗电 30 度，而一般家庭每月用电为 100~120 度，电视耗电就占到 30%。

据 2008 年统计，全世界的液晶电视总共消耗了大约 83 太瓦时（TWh）的电能，当于 11 座核电站的电力输出。如果这些电能全部由燃煤发电站来产出，则排放的二氧化碳高达 6600 万吨。据中国电子商会消费电子产品调查办公室调研数据显示，截止到 2009 年底，中国城市家庭液晶电视保有量超过 2500 万台，液晶电视整机消耗功率每降低 10W，意味着每年可节电约 3.6 亿度，基本可以满足

是一个百万人口的中型城市一年的日常生活用电。在电子制造领域，欧洲、亚洲和美国的相关监管部门都在制定和实施平板电视的功耗法规。

目前，我国液晶显示器数量是巨大的。2007 年，全球一共销售了 1.67 亿台显示器，其中，2083 万台是销售到中国市场的。这些显示器的功耗均在 40W 左右（视尺寸不同而不同），按照平均每天开机 4h 计算，每天就将消耗 32 亿度电。因此，液晶电视节能技术对社会节能的意义巨大。

2.2.3 计算机的能耗情况

2.2.3.1 能源消耗特点

计算机的能耗与其各部件的性能有着直接的关系，不同的主板、CPU、显示屏等其耗电量往往相差很大。同时计算机的耗电与其不同部件之间的配置也有很大的关系。据测算，目前的 intel 公司出品的 CPU 的功率应在 20W-60W 之间。一般来说，计算机在关机状态下功耗约为 6.2W，打印机 45W，小型音响 10W，ADSI 终端 9W，路由器 10W。一台计算机功率在 150W~250W，甚至更大，因此耗电较大。计算机关机后，只要电源插头没有拔掉，每月耗电 5kWh 至 20 kWh.，另外如果让计算机显示器处在待机状态，每月将多浪费电 3kWh 至 10kWh。

2.2.3.2 能源消耗水平

一般而言，计算机功率大约为 250-400W 之间。一台计算机每个月的耗电量：假如每 h 为 300W×10h/天×30 天/月=90kW/月，即每月消耗 90 度电。这只是一个保守的估计。计算机耗电不仅体现在其运行状态下，其在待机模式、睡眠模式情况下，也大量耗电。一份由加拿大某大学提出的报告指出，最新的计算机如果拥有省电功能，每 h 待机耗电约 35W，约比一个一般亮度的灯泡稍高，尽管这一浪费对个人影响不大，但若全球所有的计算机长时间待机，每 h 浪费的电量就非常惊人。计算机在睡眠状态下耗电约为 7.5W，在 Windows Xp 下进入待机时耗电竟能达到 51.48W。说明主板此时为了保护数据，还在消耗着不小的电能；即便关了机，只要插头还没拔，计算机照样有能耗，约为 4.81W。下表是《微型计算机》杂志对计算机相关制造业工业增加值及综合能耗情况的统计。

表 2-3 规模以上计算机相关制造业工业增加值及综合能耗

行业	工业增加值（万元）			单位工业增加值能耗 (kg 标煤/万元)	综合能耗 (kg 标煤)		
	2006	2007	2008		2006	2007	2008
电子计算机整机制造	12,579,340	15,719,306	11,607,708	25.31	318,383,095	397,855,635	293,791,089

计算机网络设备制造	701,482	900,566	1,320,116	27.62	19,374,933	24,873,633	36,461,604
电子计算机外部设备制造	9,421,601	14,023,437	12,977,562	189.73	1,787,560,358	2,660,666,702	2,462,232,838

2.2.4 白色家电的能耗情况

2.2.4.1 能源消耗特点

(1) 房间空调能耗

空调器是耗能最多的家电，主要是因为它的功率较大，开机时间较长。房间空调的用电量还与使用地区的气候有关，随着全球变暖趋势的发展，家庭使用空调进行温度调节的天数越来越多，使用时间越来越长，因此单台家用空调年耗电量呈逐渐增长的趋势。

(2) 冰箱能耗

统计显示：我国冰箱生产量位居全球首位，城镇冰箱普及率达 85%，每年新增近千万台冰箱进入市场。据估算，冰箱耗电量约占居民日常总用电量的一半。按照目前的电力消费水平和生产能力估计，中国未来 10 年生产的冰箱在其预期使用寿命中，将消耗 6010 亿 kWh 电，需要增加 5700 兆瓦（MW）的发电能力。

目前，一般的新式节能冰箱，日耗电量为 0.6-0.8 度左右，一月在 20 度左右。市面上的家用冰箱日耗电量都在 0.48 度以上，全行业只有为数不多的冰箱厂家能够批量生产日耗电 0.29 度的冰箱。在日常使用中受环境温度、湿度、冰箱放置位置、通风情况、开关门的次数、开门时间的长短等等因素影响，家用冰箱耗电量有所增加。

(3) 洗衣机能耗

我国洗衣机以波轮式为主。波轮式洗衣机功率一般在 200W—500W 之间，滚筒式洗衣机功率则在 2000W 以上。一般洗衣机一个周期耗电量都为 0.10kWh，表示每 h 耗电 0.1 度，1.5h 就是 0.15 度，这是一个平均参数，洗衣机在进水的时候，进水电磁阀耗电工作的时间与水压有密切关系，因此此时的耗电不一定是固定值。2008 年底，我国洗衣机的生产能力已经稳居世界第一，新产品率达到 80%。截止 2009 年底，家用洗衣机年产量为 4935 万台。可见洗衣机的使用能耗也是一个不小的数字。

2.2.4.2 能源消耗水平

2010 年中国标准化研究院编制的《中国用能产品能效状况白皮书》中对 2009 年全国用电约 56% 的涉及家电等五大领域的 15 种典型用能产品能效状况进行了调查分析。其中电冰箱用能占总量的 1.97%，2009 年总用能 719.68kWh；洗衣机

用能占占总量的 0.29%，总用电 105 kWh；房间空调用电占总量的 5.45%，用电量 2137.95 kWh。这三种产品的能耗水平如下。

(1) 房间空调

我国目前采用的房间空调能效标准为 GB12021.3-2010《房间空调器能效限定值及能效等级》，新标准规定：额定制冷量小于等于 4500W 的分体式房间空调器能效限定值为 3.2，额定制冷量大于 4500W 小于等于 7100W 的为 3.1，额定制冷量大于 7100W 小于等于 14000W 的为 3.0。

新标准将房间空调器产品按照能效比大小划分为三个等级，其中 1 级表示能效最高值；2 级表示节能评价值，即评价空调产品是否节能的最低要求；3 级表示能效限定值，即标准实施以后产品达到市场准入的门槛。该标准提高了房间空调器产品的能效准入门槛，与旧标准相比，能效限定值提高了 23%左右。

能效限定值的提高也反应了我国房间空调行业节能技术水平的不断提高，新能效标准于 2010 年 3 月发布，6 月 1 日开始实施，大大降低我国空调器产品的功耗和提高了能效水平。

(2) 冰箱

我国目前采用的家用冰箱能效标准为 GB 12021.2-2008《家用电冰箱能效限定值及能效等级》，于 2008 年 10 月 8 日颁布，于 2009 年 5 月 1 日正式实施。根据标准，冷藏冷冻箱 1 级能效水平提高 27%，能效限定值提高了 20%，与旧标准相比，能效限定提高了两个能效等级，新能效标准中能效 5 级水平相当于就标准中的 3 级水平。根据 2009 年我国市场中家用电冰箱产品型号统计，节能型冷藏冷冻箱所占份额已达到 90%。

(3) 洗衣机

我国现行的电动洗衣机能效标准为 GB12021.4-2004《电动洗衣机耗能量限定值及能源效率等级》。洗衣机的单位功耗限定用水量限定值和单位功效耗电限定值为：波轮式和全自动搅拌式耗电限制 0.032（kWh/cycle/kg），滚动式 0.35kWh/cycle /kg；波轮和全自动搅拌式用水量限制 36 L/cycle/kg，滚动式限制 20 L/cycle /kg。能效等级可以分为 5 级。下表 2-4 为能效白皮书中对洗衣机能效水平的调查结果。

表 2-4 洗衣机能效水平的调查结果

产品类型		波轮式洗衣机		滚筒式洗衣机	
		耗电量 kWh/cycle /kg	用水量L/cycle /kg	耗电量 kWh/cycle /kg	用水量 L/cycle /kg
能效均值	2008年	0.021	23	0.17	9.7
	2009年	0.020	23.7	0.17	9.9

2.2.5 LED 的能耗情况

2.2.5.1 能源消耗特点

由于光谱中没有紫外和红外线，既没有热量，也没有辐射，LED 照明产品属于典型的绿色照明光源，废弃物可回收，无污染。

(1) 节约能耗

由于是冷光源，LED 照明不仅自身对环境没有任何污染，而且与传统的白炽灯、荧光灯相比，电光功率转换接近 100%，功耗超低（单管 0.03-0.06W），一般来说 LED 的工作电压是 2-3.6V，工作电流是 0.02-0.03A；即它消耗的电能不超过 0.1W，相同照明效果比传统光源节能 80%以上。白光 LED 的能耗仅为白炽灯的 1/10、节能灯的 1/4。

(2) 无污染

与白炽灯、节能灯相比，LED 最大的特点在于无汞污染并且更节能，同时 LED 也可以回收再利用。

(3) 亮度大，寿命长

将 LED 与普通白炽灯、螺旋节能灯及 T5 三基色荧光灯进行对比，结果显示：普通白炽灯的光效为 12lm/W，寿命小于 2000h，螺旋节能灯的光效为 60lm/W，寿命小于 8000h，T5 荧光灯则为 96lm/W，寿命大约为 10000h，而直径为 5 毫米的白光 LED 光效可以超过 150lm/W，寿命可大于 100000h。有人还预测，未来的 LED 寿命上限将无穷大。

而且 LED 被完全封装在环氧树脂里面，比灯泡和荧光灯管都坚固。灯体内也没有松动的部分，不存在灯丝发光易烧、热沉积、光衰等缺点，使得 LED 不易损坏。使用寿命的延长降低了资源的耗费，而且光效大，在同一样面积区域内，使用的照明灯更少，节约了能耗，减少了资源的浪费。

(4) 不受电压波动和温度变化的影响和电磁干扰

传统光源工作电压范围很窄，只允许 20%的电压波动范围，电压波动直接影响到光通量和寿命，过低会造成无法启动，过高会烧坏光源。LED 外接驱动电源，可工作在 90-260V 宽电压范围，电压波动对光通量和寿命无影响。

日光灯只有在 25℃工作时发光效率最高，温度低的冬天发光效率大大减低，这就是冬天总感觉日光灯不够亮的原因，LED 可以在-40℃-+60℃宽温度范围内工作。

日光灯等气体放电光源都是在气体上加上高电压放电来发光的，放电过程对周围环境会造成电磁干扰，有时甚至影响到电视的收看质量。LED 在低压直流条件下工作，不存在电磁干扰。

2.2.5.2 能源消耗水平

(1) LCD 屏背光

LCD 为非发光性的显示装置，须要借助背光源才能达到显示的功能。背光源性能的好坏除了会直接影响 LCD 显像质量外，背光源的成本占 LCD 模块的 3-5%，所消耗的电力更占模块的 75%，是 LCD 模块中相当重要的零组件。高精度、大尺寸的 LCD，必须有高性能的背光技术与之配合。下面的表 2-5 给出了各种液晶显示器背光源的光源及其特点。

表 2-5 各种液晶显示器背光源的光源及其特点简单对比介绍

光源形状	光源种类	功耗 (W)	寿命 (h)	特点
点状光源	Lamp (灯泡)	1.0以上	2000	简单、小型、低价、发热严重
	LED (发光二极管)	0.0038以上	100000	寿命长、低发热、亮度稍低
线状光源	CCFL (冷阴极荧光管)	1.0—10	25000	亮度高、寿命比较短
	HCFL (热阴极荧光管)	4.0—220	5000-7000	发热严重
面状光源	VFD (扁平荧光灯)	200mW/cm ² 以下	5000	双电源驱动、高亮度
	EL (电致发光片)	20mW/cm ² 以下	5000	寿命短、亮度低、薄、均匀性好
	OEL (有机电致发光片)		1000以上	薄、均匀性好、寿命短、亮度高
	FED (平板场发射)		10000以上	亮度高、开发中

LED 光源属于一次性光源，在发光的过程中，电能直接转化成光能。LED 使用的是 6—12V 的低压供电模块的设计也颇为简单，这种设计，不仅安全，还能够使得 LED 的背光屏比 CCFL 背光屏通常会省电 48%，功耗小。

LED 和冷阴极灯管相比，节能优势明显。冷阴极灯管光电效率在 60 流明/W (lm/W) 左右，当前商业化的 LED 灯的光电效率已经达到这一数值的两倍，实验室中的样品的光电效率更可以再翻番。

(2) LED 照明

与传统照明灯具相比，LED 照明具有光效高的节能优势：

白炽灯的光效为 12-24lm/W，节能灯的光效为 50-70lm/W，钠灯的光效为 90-140lm/W，大部分的耗电变成热量损耗。LED 白光照明灯的最高白光功率可达到 231lm/W。这一结果是在使用单芯片器件、4500K 相关色温、器标准室温、350mA 电流条件下测试得出的。

表 2-6 几种照明光源的性价比

灯	LED 灯泡	紧凑型荧光灯	白炽灯泡
消费电力 (W)	8	13	54
光效 (lm/W)	100	60	15
光通 (lm)	800	780	810
寿命 (h)	40000	8000	1000
销售价格 (元)	-	15	3.2
日本销售价格(日元)	4000	1000	100
年能耗 (kWh)	23.36	37.96	157.68
年电费 (元)	15.88	25.81	107.22
每流明费用 (日元/流明)	5	1.28	0.123

目前我国的 LED 照明还主要应用于特殊照明领域，如交通信号灯、景观照明、LED 全彩显示屏等，但节能效果明显。据统计，景观照明（替代霓虹灯）节能 70%，交通信号灯（替代白炽灯）节能 90%，庭院灯节能 70%。在功能性照明领域，节能效果已开始显现，如 LED 作为次干道路灯（替代高压钠灯）节能 70%。

随着 LED 进入普通照明市场，可以实现年节电 500 亿度，通过节电可减少、SO₂、NO_x 粉尘排放 5000 万吨。当 LED 产品的发光率达到 150lm/W 时，LED 照明将占有 20%的照明市场（照明用电将超过 5000 亿度），每年将节约用电 1000 亿度，超过三峡水电站的年发电量（847 亿度），通过节电可减少 CO₂、SO₂、NO_x 粉尘排放 1 亿吨。2009 年 LED 行业报告中给出了白光 LED 与前三代照明产品性能对比见下表 2-7。

表 2-7 白光 LED 与前三代照明产品性能对比

	G1	G2	G3	G4	
	白炽灯	日光灯	高强度气体放电灯 (HID)	LED	
	卤钨灯	紧凑型节能灯			
	高效荧光				
发光效率 (lm/W)	8-15	30-	60	60-80	理论可达400
	30	55			
	80				
寿命 (h)	<2000	6000-8000	1000-3000	100000	

	500				
体积	大	大	大	小	
环保性能	较好	含汞、铅，	较好	绿色环保	
	有污染，				
	难以回收				

2.3 资源消耗情况

整机资源消耗的一个中要的共同点就是需要消耗大量的钢材、铁、铜、铝等金属材料和硅等导电材料。但是不同的产品有不同特性，其资源消耗特点和消耗量也有所不同。LED 行业的主要资源为硅，并且有产品种类众多，对其他资源如金属、塑料等的需要难以计量，这里不做讨论。

2.3.1 微特电机的资源消耗情况

在电机的生产中，需求最大的原材料是铜、硅钢片以及磁铁。

(1) 铜

电机制造中广泛使用高导电和高强度的铜合金，主要用铜部位是定子、转子和轴头等。大型电机中的绕组要用水或氢气冷却，称为双水内冷或氢气冷却电机，需要很长的中空导线，因此铜的消耗量大。

电机内部的能量消耗主要来源于绕组的电阻损耗；因此增大铜线截面是发展高效电机的一个关键措施。近年开发的一些高效电机与传统电机相比，铜绕组的使用量增加 25%~100%。目前，美国能源部正资助一个开发项目，拟采用铸入铜的技术生产电机转子。

(2) 硅钢片

硅钢俗称矽钢片或硅钢片，是电力、电子和军事工业不可缺少的含碳极低的硅铁软磁合金，硅含量为 0.8%~4.8%，经热、冷轧成厚度在 1mm 以下的硅钢薄板。加入硅可提高铁的电阻率和最大磁导率，降低矫顽力、铁芯损耗（铁损）和磁时效，主要用作各种电机、发电机和变压器的铁芯。

硅钢片有热轧与冷轧两种制作方法，而冷轧的节能效果比热轧要好，故我国正在推广“以冷代热”的硅钢片。冷轧硅钢片分晶粒无取向和晶粒取向两种钢带。冷轧电工钢带具有表面平整、厚度均匀、叠装系数高、冲片性好等特点，且比热轧电工钢带磁感高、铁损低。若用冷轧取向带，性能更佳，用它代替热轧带或低档次冷轧带，可减少变压器电能消耗量 45%~50%，且变压器工作性能更可靠。通常，晶粒无取向冷轧带用作电机或焊接变压器中；晶粒取向冷轧带用作电源变压器、脉冲变压器和磁放大器等的铁芯。

(3) 磁铁

磁场可以由电流励磁产生，也可以由永磁体产生。但一般的永磁体，由于磁能密度低，因而所建立的能量转换所必需的气隙磁场强度也较低，所以只能制造一些容量小的永磁电机，如目前大量生产的铁氧体永磁电机。高性能稀土永磁材料，特别是钕铁硼永磁问世后，不仅可以达到电流励磁所产生的磁场强度，而且还远远超过电流励磁，因而可以制造大中型电机。

高性能稀土永磁电机是许多新技术、高技术产业的基础。它与电力电子技术和微电子控制技术相结合，可以制造出各种性能优异的机电一体化产品，如数控机床、加工中心、柔性生产线、机器人、电动车、高性能家用电器、计算机等。

2.3.2 液晶显示器行业资源消耗情况

液晶显示器制造技术可分为三部分：前板制造、后板制造、装配和检测。板卡组装是整机生产的耗能点，元器件与印制板焊接是主要耗能工序。波峰焊机的电功率在 100kW-101kW 量级，再流焊机的电功率在 101kW 量级；整机总装主要是人工插装、气动螺装、烙铁焊装以及工件自动输送和整机调试，耗能不大。

（1）前板制造

主要是制造滤色器（片）和 ITO 透明电极的形成。滤色器制造需要玻璃基板和光刻，需要基板制造技术和光刻掩膜技术的有力支撑。玻璃基板制造中的关键是玻璃材料的研制、开发和加工。

（2）后板制造工艺

主要是制造 TFT 和金属电极，而金属电极是 TFT 制造过程中同时形成的。后板制造工艺和设备如图所示：

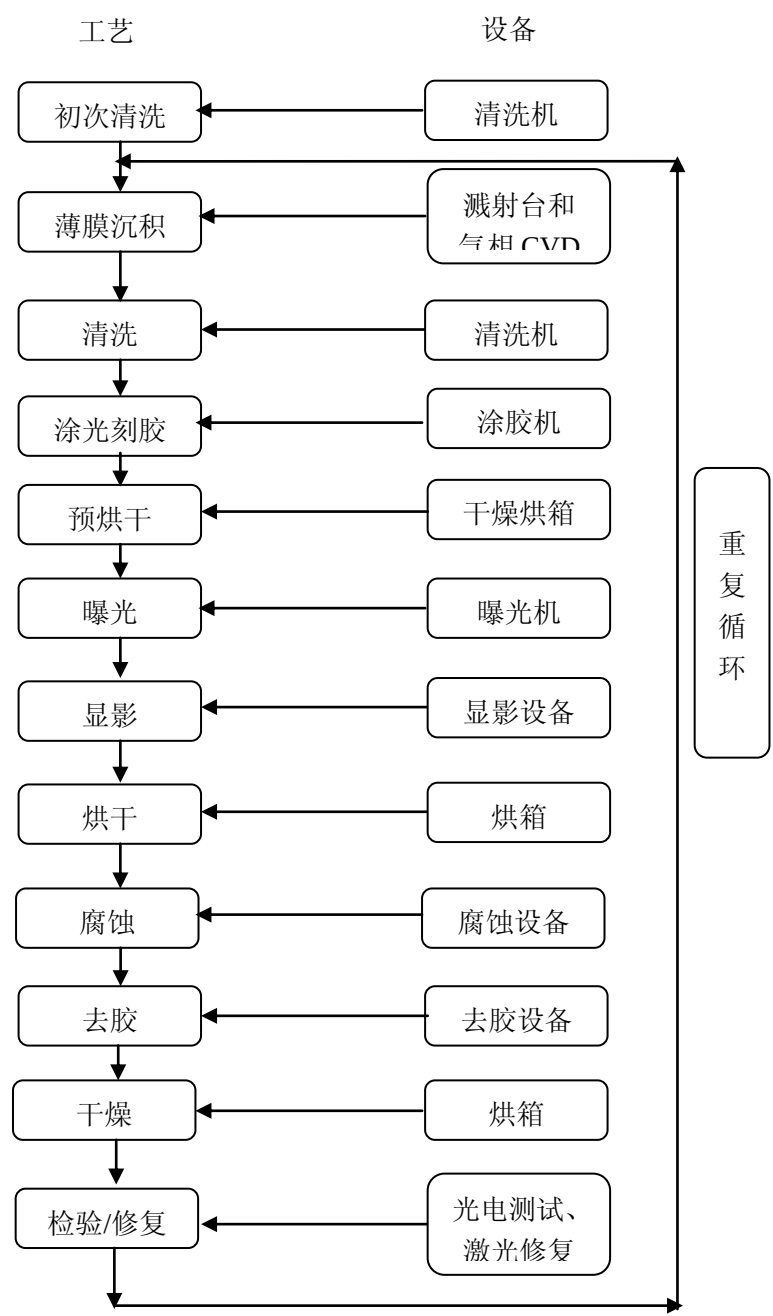


图 2-2 后板制造工艺

(3) 显示板组装和检测修复工艺

显示板组装工艺直接影响产品质量的优劣和全线成品率的高低，因此是生产中的关键技术之一。

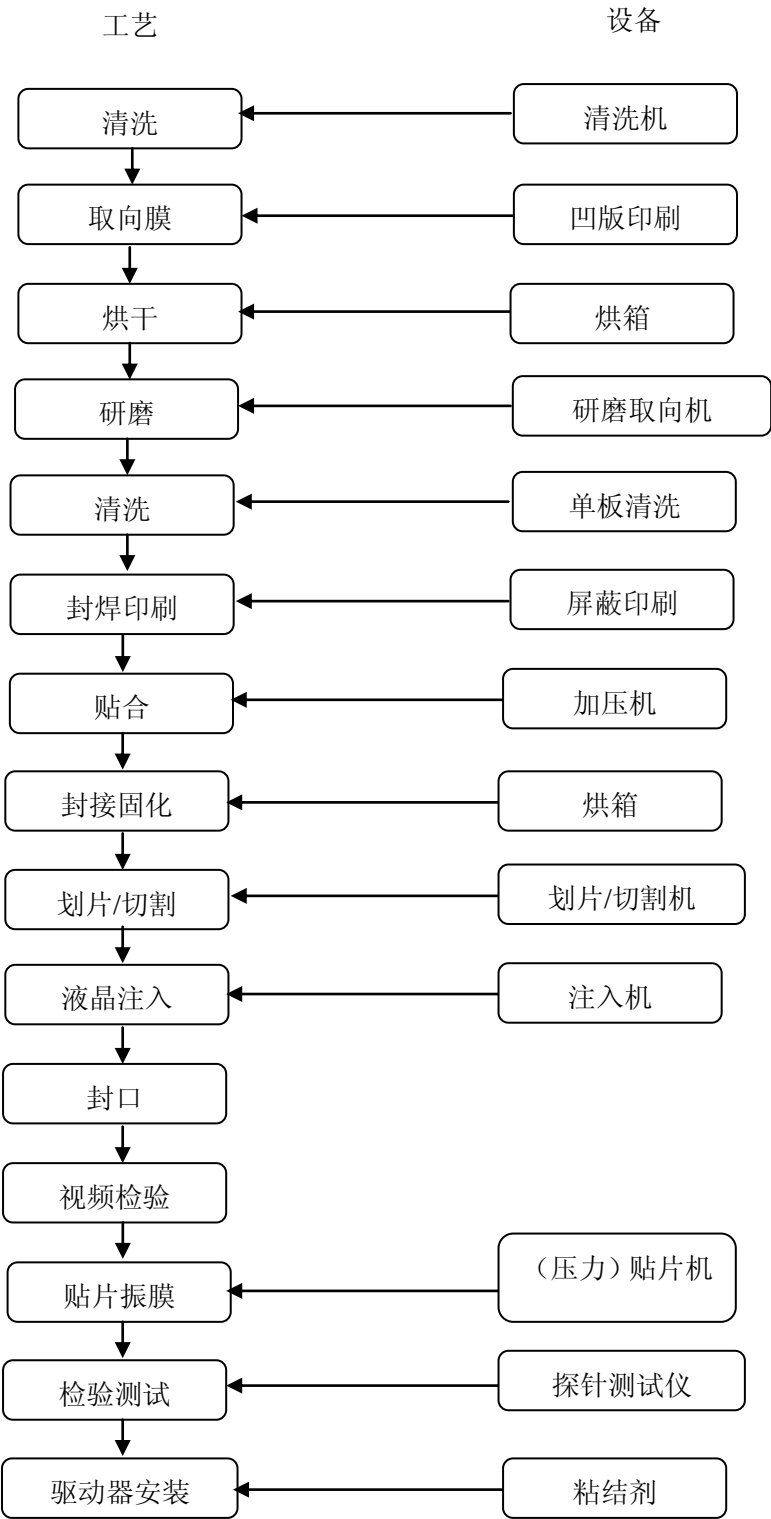


图 2-3 显示板装配工艺和设备

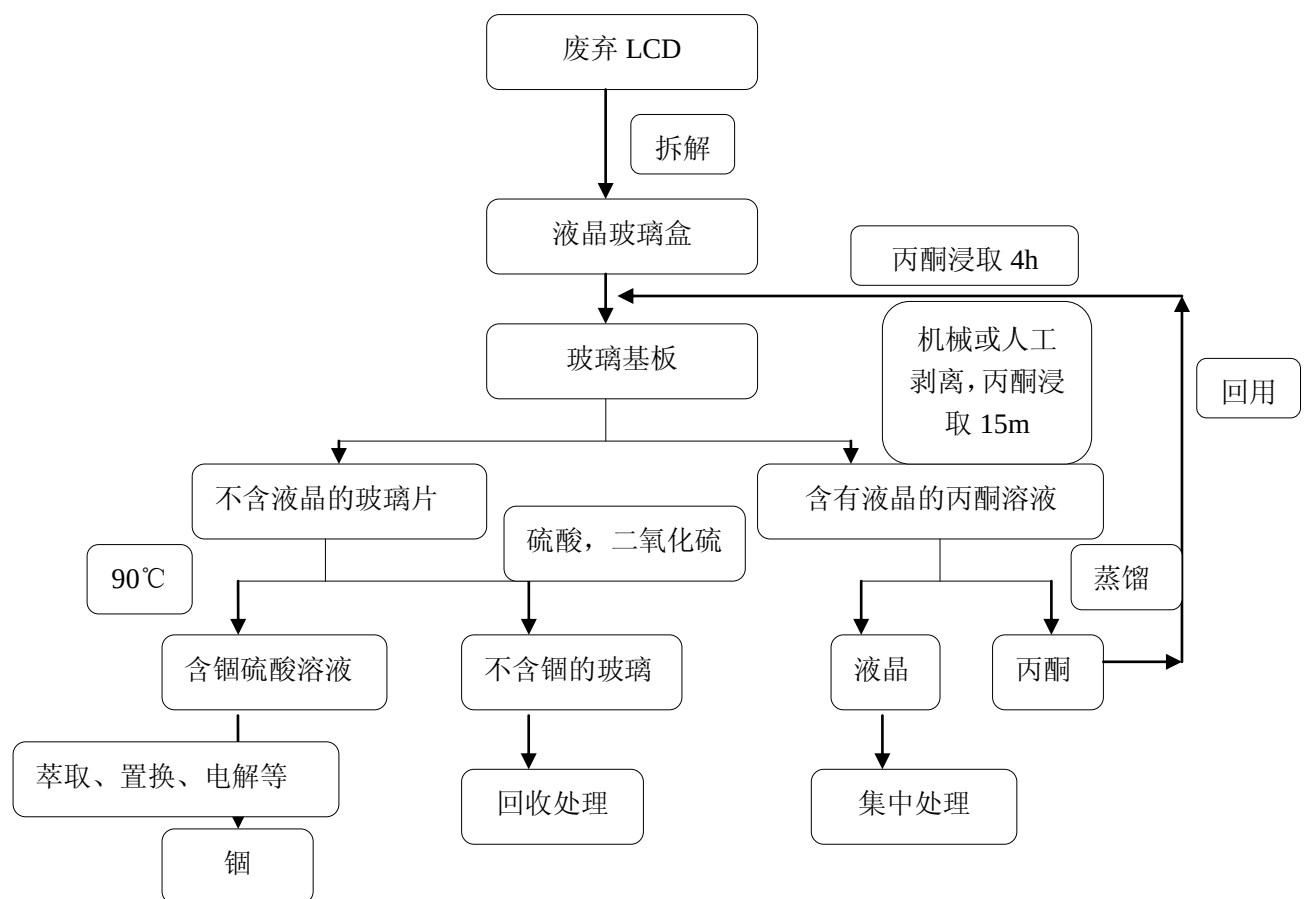


图 2-4 LCD 回收工艺流程

液晶显示器主要由 ITO 导电玻璃、液晶、偏光片、封接材料（边框胶）、导电胶、取向层、衬垫料等组成，液晶显示器制造过程就这些材料的加工和组合过程。液晶显示器的制造是在洁净室环境下进行的，工艺上大体分成清洗与干燥、光刻、取向排列、制盒、切割、灌注液晶、目测、电测、贴片、上引线、包装等工序。

（1）液晶材料

液晶是制造液晶显示器的主要材料之一，它是一种透明的液晶有机聚合物，其主要结构为棒状分子（氰联苯）

（2）多晶硅

多晶硅是硅的多结晶体，能导电，光学透明。多晶硅可将行驱动器和列驱动器直接做在显示器的基板上，取消了外部驱动电路，减少了显示器的外部引线。随着显示器分辨率和复杂性的提高，分离的驱动器将占 LCD 成本很大一部分。多晶硅取消了分离驱动器，大大降低了成本，提高产品性能。

针对中国家用电器待机能耗居高不下的局面，中国节能产品认证管理委员会于 2002 年 2 月 1 日发布并开始实施了针对家用电器的第一个节能认证法规，也将我国电视机的待机能耗标准限定在 3W 以内。中标认证中心也于 2004 年 9 月

1 日发布并开始实施对电视机的认证实施细节，从此全面拉开了中国家电产品节能的序幕。国际能源署是降低待机能耗的积极倡导者和推动者，国际能源署（IEA）2000 年向其成员国的电器产品生产商和销售商发起了节能倡议，目标是 2010 年所有产品的待机能耗降低至 1W 以下。欧美、日本、澳大利亚等发达国家积极响应这一计划，加强降低待机能耗的技术要研发。

2.3.3 计算机行业资源消耗情况

生产计算机的主要原材料有钢材、铁、硅、铝、一些导电材料、塑料、玻璃、水平晶状体等等。计算机主板、键盘、显示屏、电源、CPU 等不同元器件都由不同的原材料组成，具有不同的资源消耗特点。由于计算机一些关键元器件的特殊性，其包含少量重金属、微量元素等。

例如，生产计算机所使用的主板原材料有中的铅（Pb）、镉（Cd）、六价铬、汞 Hg、PBB/PBDE 等，对人的肝脏、肾脏、呼吸道、心脏系统、皮肤、生殖系统等都会产生影响。因此，国内外相关法规都对其含量做了严格规定，其中铅（Pb）、汞（Hg）、六价铬（Cr⁶⁺）、多溴联苯（PBB）、多溴二苯醚（PBDE）的含量不超过 0.1%（1000ppm），镉（cd）的含量不超过 0.01%（100ppm）。

2.3.4 白色家电行业资源消耗情况

2.3.4.1 资源消耗特点

（1）房间空调

近年来我国房间空调器的产量和拥有量都出现了快速增长的趋势，近 10 年来拥有量平均年增长率超过 30%。房间空调器的大量生产和使用不仅消耗了大量能源，而且消耗了大量金属等材料资源。

（2）冰箱

冰箱的生产除了消耗钢材等金属矿产资源、塑料等石油资源，还要消耗一定的制冷材料和保温材料，包括冷藏室隔板采用的 ABS 材料和发泡材料（如发泡板、聚氯乙烯发泡保温板、聚氨酯发泡胶）等。发泡材料主要成分为：EVA、PU、PE、PP、PS、PVC、PVA、酚醛树脂、环氧树脂等。冰箱外壳是铁皮中间夹有泡沫隔热保温材料，管道有铜管、铝管。管道内是制冷剂（R12、R134 等），无氟环保制冷剂异丁烷（R600a）是国际公认的冰箱制冷剂之一，对臭氧层无破坏作用，温室效应为零，热学性能也比较好，为欧洲环保组织积极倡导。异丁烷冰箱在欧洲占有很大的市场份额，我国出口到欧洲的冰箱多采用异丁烷作制冷剂。

（3）洗衣机

洗衣机的外壳一般有两种材料，一种是全塑的，这种优点是轻便不生锈；另外一种是用钢板的，具体又分为：含锌钢板、镀锌钢板、渗锌钢板，然后在钢板表

面再喷一层塑，优点是结实耐用，缺点是做工差的品种容易生锈。另外，洗衣机在使用过程中会消耗大量的电和水。滚筒式洗衣机的耗电量最大，洗涤时间较长，价格较高，但耗水量却是最小的；搅拌式与波轮式洗衣机的耗电量相近，但两者的耗水量却远远大于滚筒式洗衣机；其次，脱水转速高的洗衣机比较节水；对于全自动洗衣机而言，重要的是如何将洗涤物中的洗涤剂尽可能多地与其分离，减少清洗用水。

2.3.4.2 资源消耗水平

钢材、铜铝以及塑料是白色家电的主要原材料。根据行业初步测算，铜材（包括压缩机和电机中的铜）占房间空调、冰箱和洗衣机的总成本比例分别为 25%、11.2%和 7.8%，钢材（包括压缩机和电机中的各类钢材钢板）占房间空调、冰箱和洗衣机的总成本比例分别为 22%、16.8%和 28.5%。

从白电产品的成本结构（表 2-8）中可以看出，钢材、铜以及塑料构成白电产品的主要生产成本。由于白电企业对这些大宗商品缺乏议价能力，因此，钢材、铜以及塑料的价格波动对白电企业的生产成本影响很大。

白色家电的成本结构如下：

表 2-8 白色家电产品成本结构（典型产品）

品类	冰箱	房间空调	洗衣机
钢相关	22%	17%	29%
铜相关	25%	11%	8%
铝相关	4%	5%	-
塑料相关	14%	30%	25%
其他材料	20%	22%	23%
制造成本	15%	15%	25%
合计	100%	100%	100%

2.4 污染物排放情况

整机在装配过程中由于不存在原材料的加工和处理，不会产生大量的污染物，并且废料也能达到很高的回收利用率。但是由于整机中使用了大量的金属和特殊的原材料，整机产品废弃后产生的电子垃圾也是全球关注的重要环境问题。

2.4.1 液晶显示器行业污染物排放情况

液晶显示器产品污染物排放主要集中在废水污染和大气污染、噪声污染和固体废弃物污染。废水污染来自上游生产过程产生的刻蚀、腐蚀、清洗废水及酸雾、

氨气洗涤塔排水。大气污染源主要来自清洗、烘干、刻蚀、贴片等工序。噪声源主要为前板制造和后板制造生产过程中机械设备运行时的噪声。

固体废弃物主要为检测出的不合格衬底和产品、切割边角料、蒸镀废弃金属、含 Ga 和 In 废渣、废异丙醇有机溶剂、废光刻胶、废显影液，以及有机废气处理产生的废活性炭、废水处理污泥和生活垃圾等。

2.4.2 计算机行业污染物排放情况

计算机的生产原料大都含有有毒有害物质。制造一台计算机需要约 700 种化学原料，其中大约有一半原料含有对人体有害的毒素，包括对环境造成长期污染的汞、镍、铬等重金属，机壳上使用的阻燃剂，计算机电池和电路板中含有的镉和汞等有害重金属，阴极射线管内含有的氧化铅和氧化钡，显示器玻璃中含有的铅等。

计算机生产的核心是主板制造，目前在主板生产过程中主要会对周边环境造成三类污染，其中两大污染是基本上无法避免的：

第一是空气污染。主板生产中对各种元件进行焊接，同时在对主板成品进行清洁时使用一些挥发性的各种化学物质，所以会造成少量的空气污染；

第二是噪音污染。主板生产的第一步就是贴片，即将各种南北桥芯片、音频网卡芯片贴到主板上，而贴片机会产生一定的噪音。一个较大规模的主板生产工厂内往往有 60~70 条贴片流水线，产生的噪音显而易见；

第三类污染也就是主板行业对自然环境最大的污染，即水污染。主板制造中的插件、波峰焊、水洗三个生产过程，其中波峰焊的主要目的是通过波峰机与锡膏，将插件环节中插上的各主板直插元件（如内存插槽、I/O 接口）紧密地焊接在主板上。而在焊接过程中，锡膏会对主板 PCB 产生一定的污染，所以需用水对波峰焊后的主板 PCB 进行清洗。这是一个耗水量很大，同时产生水污染的过程。

下面以昆山某企业 2005-2007 的排污缴费及污水处理运行费用情况为例，说明废水、废气、废渣等的产生量。

表 2-9 计算机制造过程中废水处理系统处理情况汇总表

监测日期	污染物排放浓度（mg/L）				
	pH	CODcr	TP	NH3-N	Zn
2005 年 1 月 12 日	8.45	245	6.23	34.4	—
2005 年 10 月 27 日	7.59	47	1.56	—	0.03
2006 年 2 月 23 日	7.72	13	0.79	0.85	0.47
2007 年 10 月 22 日	7.44	100	3.99	—	0.09

标准限值 (mg/L)	6—9	100	0.5	15	2.0
达标情况	达标	部分超标	超标	部分超标	达标

注：表中数据来源于昆山市环境监测站日常监督监测数据。

表 2-10 2005-2007 排污缴费及污水处理运行费用情况汇总表

类别	年份		
	2005 年	2006 年	2007 年
排污费 (万元/年)	0.2449	0.0513	0.0497
污水处理运行费 (万元/年)	2.5	2.6	2.8

公司生产中废气主要为喷漆过程溶剂挥发产生的甲苯、二甲苯。废气排放情况见表 2-11。

表 2-11 计算机制造过程中废气排放情况汇总表

排放源	排气筒高度 (m)	污染物名称	排放情况		执行标准		备注
			浓度 (mg/Nm ³)	速率 (kg/h)	浓度 (mg/Nm ³)	速率 (kg/h)	
手动喷漆房涂装东排	24	甲苯	1.32	0.0064	40	10	达标
		二甲苯	0.003	0.0064	70	3.4	达标
手动喷漆房涂装西排	24	甲苯	未检出	/	40	10	达标
		二甲苯	未检出	/	70	3.4	达标
自动喷漆房	24	甲苯	0.536	0.0023	40	10	达标
		二甲苯	0.003	0.0023	70	3.4	达标

注：表中数据来源于昆山市环境监测站编制的《建设项目环保设施竣工验收监测表》[昆环监验字（2004）第 021 号]。

公司固体废弃物主要有金属边角料、漆渣以及废水处理污泥。其产生及处置情况见表 2-12，产生原因分析见表 2-13。

表 2-12 主要固废产生及处置情况

废弃物名称	发生源	年产生量 (吨)	处理/处置方式
金属边角料	镭射、冲压成型	90	外卖
漆渣废液	喷漆	24	委外处置
皮膜渣	皮膜	0.12	委外处置
废水污泥	废水处理	12	委外处置

表 2-13 废弃物产生原因

废弃物产生部位	废弃物名称	原因分类							
		原辅料和能源	技术工艺	设备	过程控制	产品	废弃物特性	管理	员工
表面前处理	含磷废水	使用含磷皮膜剂	传统工艺, 较落后	—	—	—	未进行循环使用	力度不够	缺乏专业技术人员
	皮膜渣	板材未经表面处理	传统工艺, 较落后	—	—	—	不利于后续处理	力度不够	操作水平不高
喷漆	喷漆废水	—	使用液体涂装工艺	—	—	—	经多次循环后, COD、SS 含量较高	力度不够	操作水平不高
	甲苯、二甲苯	使用含甲苯、二甲苯的油漆	—	—	自动化水平低	—	处理成本较大	力度不够	操作水平不高
	漆渣	—	喷漆附着率较低	自动化水平低	过程控制水平较低	—	属危险固废, 不好处理	力度不够	操作水平不高

2.4.3 白色家电行业污染物排放情况

白色家电生产过程是组装生产线, 因此几乎没有废气和固体废物的排放, 只有少数生产环节有废水的排放。因此, 家电行业的“节能减排”重点不在生产过程中, 而是在如何降低产品使用过程中的能耗。目前在房间空调、洗衣机、冰箱、冷柜等产品的生产过程中的污染物主要是在涂装环节排放的脱脂、磷化废水。比如冰箱生产中箱体外壳的涂装表面前处理工序、房间空调室外机外壳的喷涂表面前处理工序等是主要排污工序。一直以来, 工件如对防腐要求较高时, 大部分情况下人们都会选择无机转化膜来提高工件的抗腐蚀能力。锌系磷化具有较好的抗腐蚀性能, 广泛应用于金属涂装前处理工艺中, 会产生能耗高、污染较严重、含有害重金属、废水处理较困难、容易在管壁及管道内结渣等一系列问题。

家电生产过程中产生的废水经化学混凝沉淀方法除磷等污染物后排入市政管网系统。一些规模较小的家电整机企业, 喷涂环节都采用外包方式处理, 在专门的加工厂处理后, 才用来组装产品, 因此装配过程中基本没有污染物的排放问题。很多大型企业已经通过了 ISO14000 环境管理体系认证, 在有害物质的管理方面较为规范。

2.4.4 LED 行业污染物排放情况

LED 照明行业的废水污染来自上游 LED 外延片及管芯生产过程产生的刻

蚀、腐蚀、清洗废水及酸雾、氨气洗涤塔排水。

大气污染源主要来自 MOCVD 炉、光刻、刻蚀、去胶、SiO₂ 沉积、SiO₂ 腐蚀、剥离等工序。

噪声源主要为 LED 外延片和管芯生产线生产过程中机械设备运行时的噪声。

固体废弃物主要为检测出的不合格衬底和产品、切割边角料，蒸镀废弃金属，含镓（Ga）和铟（In）废渣，废异丙醇有机溶剂，废光刻胶、废显影液，有机废气处理产生的废活性炭，废水处理污泥和生活垃圾等。LED 照明的工艺流程及排污节点如下图所示。

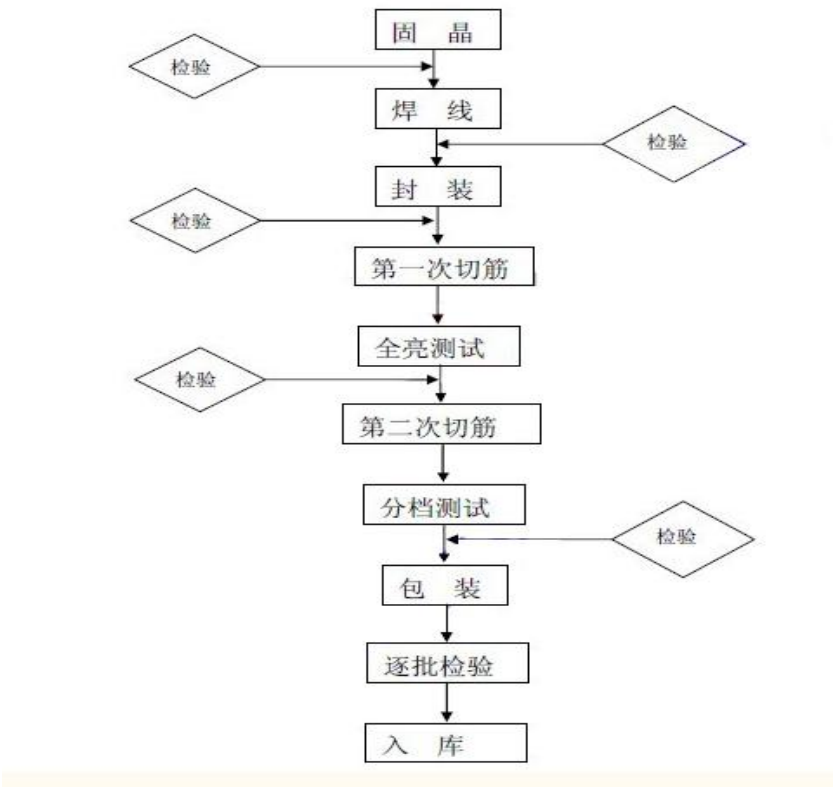


图 2-5 LED 照明工艺流程及排污节点示意图

现以某项目为例说明 LED 照明的排污水平。该项目年产 LED 外延片 26 万片，LED 芯片 92 亿颗，具体污染物排放水平如下：

表 2-14 LED 照明产业污染物排放

种类	污染物名称	产生量	削减量	排放量
废水	废水量	82031	0	82031
	COD	16.318	7.788	8.53
	SS	5.02	1.76	3.26
	氟化物	0.147	0.138	0.009

		氨氮	1.59	1.25	0.34
		总砷	0.0229	0.02283	0.00007
		总磷	0.0347	0.03456	0.00014
废气	有组织排放	砷烷	0.024	0.02376	0.00024
		磷烷	0.0384	0.03802	0.00038
		氨气	1.224	1.102	0.122
		丙酮	0.20	0.16	0.04
		异丙醇	0.77	0.616	0.154
		TVOC	0.70	0.56	0.14
		HCl	0.036	0.0324	0.0036
		硫酸雾	0.220	0.198	0.022
		磷酸雾	0.142	0.1278	0.0142
		NOx	0.120	0.108	0.012
		氟化物	0.074	0.0666	0.0074
		Cl ₂	0.012	0.0114	0.0006
	无组织排放	HCl	0.0018	0	0.0018
		硫酸雾	0.011	0	0.011
		氮氧化物	0.006	0	0.006
		氟化物	0.0004	0	0.0004
		丙酮	0.001	0	0.001
		异丙醇	0.04	0	0.04
固废		423.85（综合处置量）			

综合来看，光电子生产污染物主要来源于外延生长、光刻、刻蚀、减薄等技术。外延生长技术会产生含砷废水，有毒气体和 NH₃-N 废气等；光刻时由于使用了酚醛树脂、丙二醇醚脂、丙酮、丁酮等，因此在烘干过程中会产生有机废气，在清洗过程中会产生有机废液。目前光电子器件生产工艺已经很少采用湿法刻蚀，基本上都为干法刻蚀，干法刻蚀产生部分废气外在清洗过程中会产生酸碱废水和含砷废水；对于砷化镓工艺而言，减薄时会产生含砷废水。

光电子生产过程中还会使用普通化学品，如氢氧化钠、硫酸、硝酸、氢氟酸等。他们对水的污染主要表现为 PH、氟等，对大气污染主要表现为酸碱废气，下图为 LED 生产过程的产污环节。

表 2-15 LED 生产过程中使用的主要化学物质及形成的污染物

工艺环节	使用物质	形成的污染物			
		废水性质	污染因子	废气性质	污染因子
基片处理	HF 三氯乙烯 CH ₂ ClCCL ₂	酸性废水	pH、COD	有机废气	VOCs
外延工艺	氨 (NH ₃)、砷烷 (AsH ₃)、磷烷 (PH ₃)	含砷废水	As、磷酸盐 NH ₃ -N	有毒废气	氨 (NH ₃)、 砷烷 (AsH ₃)、 磷烷 (PH ₃)
	H ₂ SO ₄				
	HNO ₃				
氢氧化钠光刻	乙醇 (C ₂ H ₅ OH)、丙酮 (CH ₃ COCH ₃)、异丙醇 ((CH ₃) ₂ CHOH)、光刻胶 (主体: 酚醛树脂、丙二醇醚脂)、显影液 (主体: 四甲基氢氧化铵)	有机废水	pH、COD、 BOD	有机废气	VOCs
丁酮	CH ₃ COC ₂ H ₅				
硅烷	SiH ₄				
三甲基镓	(CH ₃) ₃ Ga				
三甲基铟	(CH ₃) ₃ In				
三甲基铝	(CH ₃) ₃ Al				

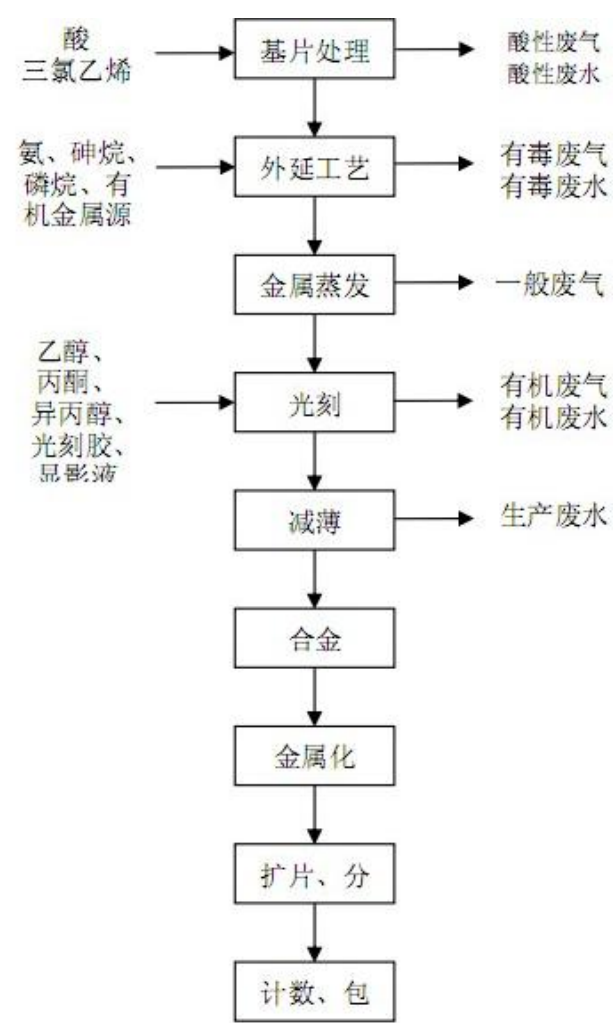


图 2-6 LED 生产工艺污染环节示意图

第三章 微特电机行业

3.1 行业技术发展现状

我国微型电机行业创建于 20 世纪 50 年代末期,从为满足国防武器装备需要开始,经历了仿制、自行设计和研究开发的阶段,至今已有 40 余年的发展历史,已形成产品开发、规模化生产和关键零部件、关键材料、专用制造设备、测试仪器配套的完整的工业体系。主要产品是有刷永磁直流电动机、小功率交流电动机、交直流串激电动机、罩极电动机、步进电动机、振动电机(手机用)等。

本指南围绕电机产业调整振兴规划和实现行业节能减排目标的战略目标,研究适用于我国微型电机产业实际情况的节能减排技术,经行业专家评估及筛选,提出适合微型电机行业内推广的 2 项节能减排技术清单。

3.1.1 行业技术结构

3.1.1.1 节能技术方向

新技术、新材料、新工艺的应用推动了微电机的发展,出现了新的发展趋势。主要表现在以下几个方面:

(1) 无刷化

为了提高微电机的可靠性,降低噪音,提高电磁兼容性能,延长电机寿命,除了在电机结构上不断改进,使其能长期可靠的运行外,国际上一直致力于发展各种无刷电机,如无刷直流电机、无刷自整角机、无刷旋转变压器等,许多电机新品种已经进入商品化生产。

(2) 微型化

微电机的微型化,不仅指它的质量和体积,还指它的功率消耗。在宇航系统中,通常以燃料电池或太阳能电池供电,所有电器组件的耗电量受到严格控制。在高空飞行中,飞行物理量每增加 1kg,每小时就要多 100kg 左右的燃料。因此,微电机的微型化是目前迫切需要解决的问题。通常采取改进设计、简化结构,采用新材料、新工艺等措施。

(3) 一体化(模块化)

一体化是指多台电机组合、电机和传感器的组合、电机和其它机械组合、电机和控制组合等,甚至将微电机、变速器、传感器和控制器等构成一体,形成新一代电动伺服系统,从而明显提高系统的精度和可靠性。

(4) 永磁化

随着微电机向微薄轻量化、无刷化和电子化的方向发展，永磁材料在微电机中的普遍应用已是必然趋势。特别是我国稀土资源丰富，目前研制生产的钕铁硼（Nd-Fe-B）永磁体的最大磁能积已达 318.4KJ/m^3 ，处于国际先进水平，为我国永磁电机的发展提供了良好的条件。

（5）数字化

微电机的数字化是指在其控制单元中采用可编程控制器，综合现代控制理论、电力电子技术、微电子技术等，实现电机速度和位置的自适应调整与控制。电动机控制策略的模拟实现正逐渐退出历史舞台，而采用微处理器、FPGA/CPLD、通用计算机、DSP 控制器等现代手段构成的数字控制系统得到了快速发展，电动机控制系统也正朝着高精度、高性能、网络化、信息化、系统芯片化方面不断前进。同时，数字化的发展，改变了微电机作为组件使用的概念，确立了微电机作为一个小系统的设计、生产和使用的新概念，标志着微电机发展已进入一个新阶段。

（6）变频化

电力电子技术、微电子技术、自动控制技术的高度发展和应用使变频器的节能效果更为显著。不但能实现无级调速，而且在负载不同时，始终高效运行，有良好的动态特性，能实现高性能、高可靠性、高精度的自动控制。相对于其它调速方式（如：降压调速、变极调速、滑差调速、交流串级调速等），变频调速性能稳定、调速范围广、效率高，随着现代控制理论和电力电子技术的发展，交流变频调速技术日臻完善，已成为交流电机调速的最新潮流。

使用变频器调速信号传递快、控制系统时滞小、反应灵敏、调节系统控制精度高、使用方便、有利于提高产量、保证质量、降低生产成本，因而变频器成为节能降耗的首选产品。变频器就负载类型而言主要有两方面的典型应用：1）恒转矩应用；2）变转矩应用。就应用的目的而言主要有：1）以改进工艺为主要目的，确保工艺过程中的最佳转速、不同负载下的最佳转速以及准确定位等，以其优良的调速性能，提高生产率、提高产品质量、提高舒适性，使设备合理化，适应或改善环境等；2）以节能为主要目的——以流量或压力需要调节的风机、泵类机械的转速控制来实现节能，改造效果非常显著。

变频电机节电器基于微处理器数字控制技术，通过其内置的专用节电优化控制软件，动态调整电机运行工程中的电压和电流，在不改变电机转速的条件下，保证电机的输出转矩与负荷需求精确匹配，从而有效避免电机因出力过度造成的电能浪费。

3.1.1.2 行业技术水平

为使电机更加高效与节能，早在 2006 年 12 月，国家标准化管理委员会发布

了强制性标准《中小型三相异步电动机能效限定值及节能评价》，规定：低于三级能效的电机禁售，并设定四年过渡期；2011年7月1日以后，将禁售三级能效电机。这意味着2012年以后高效节能电机将全面取代传统高能耗电机。

目前我国电动机节能技术与装备水平距离节能目标相差很远，采用变频调速电动机系统仍为少数，不到总量的10%；我国中小电动机基本是通用常规类型，还没能形成变频调速电动机系列，变频器电动机集成、智能电动机、机电一体化技术与国际相比有一定差距。国产中小功率变频器多为U/F比控制方式，很少采用先进矢量控制及直接转矩控制方式，其控制性能、保护技术、可靠性等方面难与国际产品抗衡，只能采取低成本、低价格的市场策略，占据低端市场。新型可关断电力电子器件取代普通晶闸管已成为趋势，目前国际电工采用IGBT/IGCT等新型电力电子器件的变频器已成为电动机系统节能的主流。然而我国除普通晶闸管外还不能制造IGBT/IGCT等新型电力电子器件，因此国产变频IGBT/IGCT电力电子器件及电容等配套部件绝大部分需要依赖进口。

表3-1给出了各国现有相关法规和自定规则，从中可以看出，世界各国都制订相应法规来扩大高效甚至超高效电动机的市场份额。其中，美国、加拿大推进最快（高效电机占市场份额54%，超高效占16%），中国较慢（高效电机仅达1%）。目前，中国市场上电动机效率水平仅为IE1（平均效率为87%）。据国家统计局数据，2007年中国生产交流电动机产量为1.88亿kW，据中国电器工业协会中小型电机分会测算其中在IEC60034-30标准覆盖范围（与GB18613-2006略有差异）内的电动机（只含低压、单速、2、4、6极三相笼型感应电动机，且不包括变频专用电动机）约为1亿kW以上，分布在近3000家电机生产企业，其中60多家电机厂生产了这1亿kW的80%的产量。按照中国节能中长期规划的要求，到2010年电动机效率水平应达到IE2（平均效率为90%左右），并推广IE3（平均效率近92%）效率的电动机，显然差距巨大。因此，需要强制性法规、配套政策（包括鼓励政策和惩罚性政策）、示范项目以及标准制订等多种手段提高中国电机的能效水平。

表 3-1 世界各国电机能效水平要求及市场比例

国家/地区	强制（实施年度）	自愿协议（实施年度）	市场份额
美国	EPAct-High Efficiency（1997）高效 NEMA Premium(2011) 超高效	NEMA Premium(2001) 超高效	NEMA Premium 超高效(16%) EPACT(54%)
加拿大	EPAct-High Efficiency 高效	NEMA Premium(2001) 超高效	NEMA Premium 超高效(16%) EPACT(54%)
墨西哥	EPAct-High Efficiency （1998）高效	NEMA Premium(2003) 超高效	n.a.
欧盟		Efficiency Classification and market reduction of EFF3 (1998)	EFF1(9%) EFF2(87%) For CEMEP agreement members CEMP 协议成员国
澳大利亚	High efficiency（2006） 高效	Premium efficiency (2006) 超高效	Premium（10%）超高效 High efficiency（32%）高效 Standard (58%)标准
新西兰	High efficiency（2006） 高效	Premium efficiency (2006) 超高效	n.a.
巴西		High efficiency 高效	High efficiency（15%）高效
中国	标准效率（2002） 高效率（2010）	高效率（2002） 超高效（2010）	高效（1%） 标准效率（99%）
韩国		Standard efficiency(1996)标准	High (10%)高效 Standard (90%) 标准

通过调查先进适用技术在市场中所占份额（技术普及率）、技术水平和未来发展方向，目前智能变频模块、无刷直流变频电机 2 项技术为是国内先进技术，在部分企业中已经投产使用，但尚未进行大面积的推广。

3.2 节能减排先进适用技术

3.2.1 智能变频模块

3.2.1.1 技术原理

“智能变频模块”是为节能降耗工程提供的一种新型的电机变频调速模块或逆变电源模块，是集 IGBT 应用技术、计算机智能控制技术和先进的传感检测技术于一体的“智能变频功率模块”。

“智能变频模块”工作原理是由封装在模块内部的微型计算机按预先设定的程序，根据传感电路反馈信号，按电压空间矢量调制型式（SVPWM）控制交流输出电压频率的变化来驱动电机负载，使电动机的输出功率、转速根据负载的变化要求而改变，在不同的转速情况下，均保持较高的运行效率以获得合理的运行工况，达到变频调速节能的目的。

3.2.1.2 技术适用条件

变频器用于风机、泵类设备驱动控制场合取得了显著的节电效果，是一种理

想的调速控制方式。既提高了设备效率，又满足了生产工艺要求，并大大减少了设备维护、维修费用，还降低了停产周期，直接和间接经济效益十分明显。

3.2.1.3 节能减排效果

目前，我国电动机总装机容量约 4.2 亿 kW，其年用电量约为 15000 亿 kWh，如按节电 20%计算，全部应用变频节电技术，年可节电 3000 亿 kWh，折合 2441 万吨标准煤。

应用变频调速技术，可以大大提高电机转速的控制精度，使电机在最节能的转速下运行。以风机水泵为例，根据流体力学原理，轴功率与转速的三次方成正比。当所需风量减少，风机转速降低时，其功率按转速的三次方下降。因此精确调速的节电效果非常可观。

下表是对水泵进行阀门节流控制和电机调速控制情况下的实测数据记录。

表 3-2 阀门节流控制和电机调速控制情况下电机能耗

流 量 L/s	时 间 (h)	消耗电网输出的电能 (kW·h)	
		阀门节流调节	电机变频调速
47	2	$33.2 \times 2 = 66.4$	$28.39 \times 2 = 56.8$
40	8	$30 \times 8 = 240$	$21.16 \times 8 = 169.3$
30	4	$27 \times 4 = 108$	$13.88 \times 4 = 55.5$
20	10	$23.9 \times 10 = 239$	$9.67 \times 10 = 96.7$
合计	24	653.4	378.3

经权威部门测试结果表明，采用电力电子技术的交流电动机变频调速可节电 20-30%，轧钢传动采用交流调速后吨钢电耗可减少 30%以上，船舶推进采用交流变频调速可提高效率 20%以上。

3.2.1.4 技术水平

依据控制智能化、封装一体化、结构模块化的设计思路，应用电力电子系统集成设计技术，将具有电力电子智能功率变换单元或装置集成设计成智能专用电机节能模块，具有信号数据自动采集处理、过程自动控制、自我诊断、自我调节、自我保护功能，节电效果显著、性能先进、工作可靠、成本低廉、使用方便、耐蚀防尘和体积小、重量轻、寿命长等特点。

3.2.1.5 知识产权

智能式大功率电力拖动模块项目为科技部中小企业创新基金支持项目、国家级火炬计划项目；IGBT 模块为信息产业部电子发展资金支持项目和发改委产业升级项目；智能变频模块为国家级重点新产品、发改委电力电子专项项目，山东

省节能减排奖励资金支持项目。

3.2.1.6 技术应用情况

智能变频模块是应用变频调速节能技术研发的模块式变频器，因而节能原理相同并具有变频调速技术节能技术的全部优势，同时，由于电力电子系统集成设计技术的应用，在使电机变频调速装置的体积减小，功率密度增大，可靠性提高的同时，还可节约 30% 的铜等金属材料和改善电机启动性能，保护电动机及负载，延长其工作寿命。据估算，我国变频器市场潜力为 1200-1800 亿元人民币，智能逆变电源模块无论安装在逆变焊机上，还是取代传统的电源都呈现出良好的市场前景。

3.2.2 无刷直流变频电机

3.2.2.1 技术原理

无刷直流电动机又称“无换向器电机”或“无整流子电机”，是一种新型的无级变速电机，由一台同步电机和一组逆变桥所组成。它具有直流电机一样良好的调速特性，但由于没有换向器，因而可做成无接触式，具有结构简单、制造方便、无需经常性维护等优点，是一种理想的变速电机。

无刷直流电动机（brushless direct current motor，BLDC）采用方波自控式永磁同步电机，以霍尔传感器取代碳刷换向器，以钕铁硼作为转子的永磁材料；产品性能超越传统直流电机的所有优点，同时又解决了直流电机碳刷滑环的缺点，并且实现了数字式控制。

无刷直流电动机由同步电动机和驱动器组成，是一种典型的机电一体化产品。同步电动机的定子绕组多做成三相对称星形接法，同三相异步电动机十分相似。而转子上粘有已充磁的永磁体，为了检测电动机转子的极性，在电动机内装有位置传感器。驱动器由功率电子器件和集成电路等构成，其功能是：接受电动机的启动、停止、制动信号，以控制电动机的启动、停止和制动；接受位置传感器信号和正反转信号，用来控制逆变桥各功率管的通断，产生连续转矩；接受速度指令和速度反馈信号，用来控制和调整转速；提供保护和显示等。

3.2.2.2 技术适用条件

直流变频电机具有伺服控制的功能，特有的有限转角正反转控制，特别适用于高功能洗衣机的驱动，四象限控制驱动等功能提高家电产品的自动化。

3.2.2.3 节能减排效果

与交流变频电机相比，直流变频电机采用永久磁铁，减少了电机转子感应电

流和磁场方面的损失，因此具有更高的节能潜力，直流变频家电未来有望成为家电业的一个崭新的亮点，而无刷直流变频电机也必将成为实现这一技术的最热门变频装置。

以变频洗衣机为例，一方面，定频洗衣机在脱水启动时，转速由零直接提升到某一高转速，转速跨度大，易导致震动大、噪音大；而变频调速技术的应用可使洗衣机进行软启动，电机转速可以由零逐渐提升到最高转速，使脱水筒平稳旋转，震动极小，有效降低洗衣机的噪声；另一方面，变频洗衣机可以根据用水量、洗涤时间进行调节，从而在省水、省电方面达到高效率。一般来说，变频洗衣机能效可比普通产品提高 1/3，噪音降低 3-4 分贝，而且洗净度也大幅提升。

3.2.2.4 技术水平

该技术属于成熟应用技术，符合国家的产业技术推广方向，并达到了完全国产化。

3.2.2.5 技术应用情况

无刷直流电动机在先进国家已大量应用于军事、信息业、办公设备、家电业、DIY 手动工具、伺服系统、电动汽车、电瓶车、磁悬浮列车等；无刷直流电动机非常适合使用在 24h 连续运转的产业机械及空调冷冻主机、风机水泵、空气压缩机负载；低速高转矩及高频率正反转不发热的特性，更适合应用于机床工作母机及牵引电机的驱动；其稳速运转精度比直流有刷电机更高，比矢量控制或直接转矩控制速度闭环的变频驱动还要高，性能价格比更好，是现代化调速驱动的最佳选择。

第四章 液晶显示器行业

4.1 行业技术发展现状

液晶显示器行业的技术发展主要体现在使用过程和待机过程中功耗的不断降低。

4.1.1 行业技术结构

4.1.1.1 产业技术方向

液晶电视在发展过程中自身的技术在不断革新。背光源技术的进步可以为液晶电视在色域广度、节能程度等多个方面带来长足的进步，正是在这种行业技术进步需求的推动下，LED 背光源液晶电视应运而生。LED 背光源液晶电视的需求量也在不断增长。除了 LED 背光源液晶电视之外，3D 技术概念从 2009 年下半年开始兴起，裸眼 3D 技术也将被不断完善。

4.1.1.2 节能技术

（1）低功耗待机节能

随着半导体技术和超大规模集成电路技术发展，电视系统将更多的功能模块集成到一颗芯片中（即 SOC，System on chip），如微处理器、解调模块、解码模块、图像增强模块、存储器模块等，降低了成本、提高了工艺技术水平；但带来的问题是，电视进入待机状态后，由于微处理器要处于活动状态，相应的周边也要处于上电状态，导致整机待机功耗不够理想，无法满足国家 2009 年节能评价标准 1W 的要求。通过采用协处理器辅助工作的方法，待机时只有协处理器处于工作状态，由于协处理器是一颗简单的 51 单片机，功耗极低。

（2）屏变技术节能

屏变技术是包括两部分：环境光检测和图像内容亮度检测。具体包括光感屏变技术和场景屏变技术。光感屏变技术是指环境光检测光感应系统，根据周围光线的变化来调节液晶电视背光灯的亮度，环境光越低，背景灯亮度越低。由于液晶电视 85% 的能耗消耗在液晶屏上，所以可以有效降低整机的功耗。场景屏变技术是指图像处理电路方面，画质增强模块除了可以精确管理颜色和调配和显示外，同时可以检测每帧图像的平均亮度、峰值亮度等。利用该功能，我们提出了实时检测图像的平均亮度来调节液晶电视背景光源亮度的思想，不仅可以有效降低液晶屏的功耗，而且光图像显示大面积高亮内容时，降低背光源亮度可以缓解

对比眩光引起的不适感和视觉疲劳。

(3) IPS 硬屏技术

IPS 硬屏技术同传统 VA 软屏相比，耗电量进一步下降，比后者更为节能也更环保。IPS 硬屏技术创造性的将液晶分子水平排列，减少了液晶层厚度，从而改变了液晶屏的透光率。另外，采用双极驱动技术，使像素开口率提高 25%，由于增大了透光率，IPS 硬屏应用在液晶电视上可以降低背光灯的功率，从而达到节能省电的效果。

4.2 节能减排先进适用技术

4.2.1 低成本超低功耗待机电源技术

4.2.1.1 技术原理

(1) 电路结构框图：

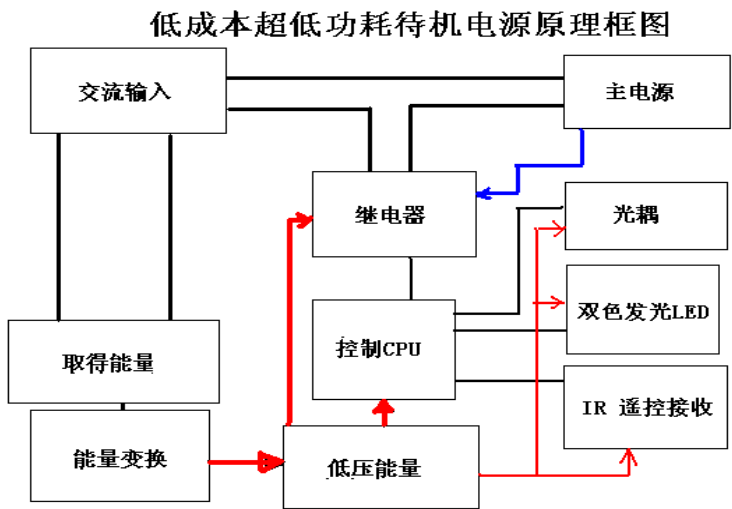


图 4-1 低成本超低功耗待机电源原理框图

(2) 各部分电路功能分析介绍

a.控制 CPU

待机 IC: MICROCHIP 公司的 PIC12F675，8-Pin FLASH-Based 8—Bit CMOS Microcontroller，SOIC 封装，电压范围 2.0V—5.5V，典型消耗电流约 20uA 在 2.0V/32kHz 状态下；低压供电电路用稳压二极管将供电电压钳位于 5.6V 左右，可串电阻、二极管降压后为 CPU 供电；CPU 编程后，可检测按键或遥控接收信号，实现开、待机控制，同时控制相应的 LED 发光管点亮。

b.双色发光 LED 二极管

发光 LED 二极管的 5mA 左右的电流，使 LED 的亮度能在任何状态下不致太暗；待机时为红色，开机时为蓝色（或绿色、白色、不亮、），接受到遥控信号

后闪亮。

c.光耦、IR 遥控接收器

为了满足用户的使用习惯，整机采用同一个遥控接收头，待机时主电源没有供电，只能将遥控接收头连接于热地的初级侧；利用一个独立的光耦，在开机状态下，将遥控信号传到主 CPU，解决共用问题；另设一个按键开关，也可通过按键切换开机、待机状态（但要注意此开关的绝缘问题）。

d.继电器（或可控硅）

在待机状态下，主电源的交流输入用继电器（或可控硅）断开；隔绝电力消耗，可提高主电源电路在待机状态下的可靠性、安全性。在开机状态下，主电源直接与交流供电连通，保证主电源及整机的正常供电。主电源工作后，继电器的线圈改由主电源供电，保证了待机控制电路的稳定性。

e.交流输入、能量存储、能量变换、低压能量

高压电容 C101 串联二极管 D101， 并联在交流输入电源的两端，在 220V、50Hz 交流的半个周期中，C101 经 D101 充电到很高的电压 U_a ，C101 电容储能 $1/2 * C U_a^2$ ；如果没有 D102 的话，当 C101 量端电压低于 U_a 时，C101 就保持比交流输入的另一端“B”电位高 U_a 的值；由于有了二极管 D102 的存在，交流输入 B 点的电位低于另一侧 6.2V（5.6V+0.6V）后，D102 导通，C101 中存储的能量向低压电解电容 C102 释放；这样的过程每 50Hz 重复一次，即 C101 半个周期充电，半个周期放电；通过 D101/D102/C102 完成了能量变换。

由于交流电压不同时，C101 的储能会相应变换，在高交流输入电压时，当低压端能量卸放低于补充的能量时，有可能出现电压上升，为此特增加稳压管 VD101，在保证待机 CPU 的供电安全的前提下，释放掉多余的储存能量。

由于主电源在接通交流电后，需要延迟一定的时间才能开始正常工作；为保证向继电器控制绕组提供足够吸合电压，同时向待机 CPU 提供够高的工作电压；低压电解电容 C102 的储能也许足够大，经试验取 2200uF/16V 的电解电容，可满足要求（在主电源的启动足够快的状态）。

f.主电源启动部分

为使主电源在接通交流电后能够尽快启动，进入工作状态为继电器线圈提供低压；主电源采用分立元件的准谐振电路；

主电源工作后，利用初级侧的独立的一个绕组，专门为切换主电源交流供电的继电器绕组提供能量，防止初级待机 CPU 因供电电压过低发生误动作。

主要的技术优势为：

a.采用独特的、独立的超低功率消耗的待机电源控制电路，待机功耗小于等于 0.1W；

b.遥控接收头可与主板（信号板的）CPU 共用，可通过继电器切断主电源板

的供电；

c. 待机电源可采用遥控、按键两种控制方式，并有双色 LED 灯显示不同工作状态；

d. 待机电源的供电方式独特，消耗功率低于 0.1W；

待机电源与主电源的连接方便，仅需较小的改动，就可增加此功能。

4.2.1.2 技术适用条件

产品的主要结构件均为批量使用的通用件，结构件通用性好、内部结构设计合理、易于生产作业，无非标工具、设备使用。产品的电路结构布局合理，主机芯与其它功能块的联接易于生产作业。整体布局、布线、PCB 排版符合有关标准和规定的要求。

采用该技术的电视剧与原型电视机相比，主要组件数量由原来 8 件增加为 9 件。

(1) 整机生产流程中装配环节节省复杂的生产工序 1 道；

(2) 调试环节工序不变；

(3) 连接线安装简单清晰；

(4) 增加装配工位 1 个。

4.2.1.3 节能减排效果

本技术开发的 LCD 集成化电源，改变了原来 LCD 整机满足节能标准小于等于 3W 的指标，大大提升了节能功能，LCD 整机在待机状态 $\leq 0.1W$ 的超低功耗，电路结构的改进，提高了整机待机状态的安全性、可靠性，仅仅用很小的成本，提高了电源的性能。

4.2.1.4 技术水平

采用本技术的整机测试符合国家“3C”认证、“节能”认证的技术要求。性能指标满足《Q/WP2045-2006 液晶电视接收机》、《Q/WP1010-2005 PDP 电源系统》、《Q/TTE-11001-3-2006 平板电源的技术要求和测量方法》企业标准和产品设计技术指标。

4.2.1.5 知识产权

低成本超低功耗待机电源技术，属于国内自主知识产权

4.2.1.6 技术应用状况

中国节能产品认证管理委员会于 2002 年 2 月 1 日发布并开始实施了针对家用电器的第一个节能认证法规，为了尽快在节能领域达到世界水平，我国政府今

年已经将单位 GDP 能耗列入国民经济发展的控制性指标。“十一五”期间，配合节能减排工作，通过推广实施节能惠民工程，我国电子电器产品的能效得到普遍提高。随着液晶电视的市场规模在全球范围内快速增长，研发节能的液晶彩色电视机，提供切实可行的解决方案并实现产业化，具有广阔的市场。

4.2.2 超低待机和图像内容检测及光感应动态节能技术

4.2.2.1 技术原理

超低待机和利用图像内容检测及光感应实现动态节能的系列液晶电视有如下几项关键：

（1）超低待机功耗

超低待机功耗的控制电路，是一种辅助实现低待机功耗的实用性必备控制电路，能够满足国家 2009 年节能评价标准 1W 的要求十分必要且具超前性。为给电视用户提供最大方便、而同时又尽最大限度降低电视的待机功耗，原有的依靠主芯片实现待机控制功能的情况并不理想。原因在于原有待机电源本身的功耗太大（相对而言），而改用功耗小的又满足不了主芯片的工作要求。解决措施只能是在改用小功耗的待机电源的同时，增加合适的控制电路实现电视的待机控制功能，本实用新型电路就能实现此功能。实际应用表明，该电路应用后的待机功耗可低至 0.3W 左右。

（2）利用图像内容检测及光感应实现动态节能

超低待机和利用图像内容检测及光感应实现动态节能的系列液晶电视的另外一项是利用图像内容检测及光感应实现液晶电视的动态节能。

液晶电视内部可以自动的感应外界环境光亮度的电路，根据环境光的亮度的不同来改变输入到液晶屏 INVERTER 中的脉冲（包括直接输入 PWM 脉冲和对 PWM 脉冲整流后输入），改变其输出给背光灯管的电压来使液晶屏的亮度发生变化。液晶电视的图象亮度取决于背光灯管的亮度，此亮度一般会根据液晶屏尺寸和厂家不同而有所不同，亮度越大，图像越是明亮，同样耗费的电量就越大。但是实际上当外界光的亮度很大时，液晶屏的亮度太小可能会导致有些细节方面不清楚，这时候需要将液晶屏本身的亮度提高一些；当外界光很暗时，此时液晶屏的亮度需要降低一些，因为这种情况下太亮的话会感觉很刺眼，对眼睛是一个伤害。另外当外界光恒定不变的时候输入信号的亮度也会随着场景、时间的变化而变化，这时候如果输入信号太亮，观看电视者也会感觉很刺眼，这时候降低背光亮度也十分必要。降低液晶屏亮度的同时也降低了整个液晶电视的耗电量，节约了电能。

（3）液晶电视的节能控制系统设计

已有的液晶电视机均为固定背光亮度或通过降低每个像素的亮度来调节液

晶屏的亮度，这样液晶屏的功耗就不变或变化非常少。在某些观看环境中，固定的画面亮度会显得不必要而且造成电能浪费。

液晶电视节能控制系统提供一种可实现液晶电视节能控制功能的电视机电路，使电视机具有不同的背光亮度来达到不同的电能耗费。它通过控制芯片发出占空比可调的脉冲（脉冲的频率根据所采用的 LCD Panel 被预先设定），输入到液晶屏的 INVERTER 中（包括直接输入 PWM 脉冲和对 PWM 脉冲整流后输入）改变其输出给背光灯管的电压来使液晶屏的亮度发生变化。该节能控制电路可使液晶电视具有三种（或几种或连续可调的）不同的能耗模式：标准、模式一、模式二。在标准模式下电视的功率为额定功率，从标准模式到模式一及从模式一到模式二的功率降低幅度不小于 20W。

综上，超低待机和利用图像内容检测及光感应实现动态节能的系列液晶电视，运用了超低待机功耗的控制电路、利用图像内容检测及光感应实现动态节能的控制电路、以及液晶电视节能控制系统。使得待机功耗得到控制、对检测的电视内部动态图像自身的亮度进行变换调节及利用电视中的光学感应器，通过对外界环境亮度强弱的监测来调整背光灯管亮度等级和功率，达到图像亮度调节，使得检测的动态场景利用芯片的补偿处理，自动跟踪输入信号的强弱，对背光灯管的亮度进行精确管理控制。

4.2.2.2 技术适用条件

该技术可广泛应用于液晶显示器和液晶电视中，从而在使用过程中实现很好的动态节能。

4.2.2.3 节能减排效果

液晶电视节能控制系统的应用，使液晶电视的功耗比原来降低 30%左右，对大屏幕平板电视的节能效果尤为明显，对企业和消费者的节能都起到了质的变化，具体的节能减排情况如下表：

表 4-1 液晶电视控制系统节能效果

项目	产品	应用前功率	应用后功率	节省/10 万台
液晶电视	TLM40V69	300W	210W	9MW
	TLM46V69	350W	250W	10MW
	TLM4236P	250W	160W	9MW
	TLM46V69GPR	350W	250W	10MW
合计		1250W	870W	≥38MW

4.2.2.4 技术水平

该技术已达到生产应用阶段，属于成熟技术，技术运行稳定，为全部国产化技术。

4.2.2.5 知识产权

目前该项目已经申请国家专利（ZL 2004 2 0098482.0），并在市场上的液晶电视中批量应用。

4.2.2.6 技术应用状况

本技术方案已经在液晶产品上批量应用，每个机型比原先最少节能 30%以上，平均单台最高节能 60W 以上；按照年产 100 万台，年度节能 6 万 kW 以上。其中单台对于家庭使用的消费电子将是不可忽略的一种能源节省，批量的生产将为“十一五”国家、社会的节能降耗产生积极影响。

4.2.3 优化背光效率技术

4.2.3.1 技术原理

该项液晶显示器节能技术通过引入新型光学材料优化背光的利用效率，达到减少背光源的数量从而降低液晶显示器能耗的目的。

关键技术及主要创新点在于：LCD 下偏光片为传统的吸收型偏光片，选择透过一个振动方向的光线，而将与其偏振方向垂直的光线全部吸收。光线在通过 LCD 下偏光片时，偏光片本身会吸收掉 50% 的光线变成热能。增强型偏光片位于发光模块和液晶屏的下偏光片之间，除了将 P 向光完全投射外，并将 S 向光反射回去，然后在背光源中被打散成为非偏振光（P 光+S 光）后重新射出背光源，从而被循环利用（如图所示）。与其它增亮方式相比，增强型偏光片在增亮的同时，不会对视角产生影响。通过采用棱镜膜和增强型偏光片，在获得同样亮度，且不影响其它性能指标和使用寿命的情况下，发光单元数量可由原来的四根灯管减少至两根灯管，从而大幅降低 LCD 的功耗。

4.2.3.2 技术适用条件

该液晶显示器节能技术通过应用新型的光学材料及工艺，2008 年 4 月首次出现了使用该技术的 17 寸及 19 寸宽屏液晶显示器。

4.2.3.3 节能减排效果

经“国家计算机检测中心”的检测，定位于普通商务应用的绿色产品 L174（17 寸），正常工作时的功率仅为 17.3W，低于传统液晶显示器 30W 以上的工作功率，

能效比可达 1.38cd/W，同时只有 0.44W 的待机功率；定位于高端商务应用的联想 L197W（19 寸宽屏），正常工作时的功率仅为 19.7W，低于传统液晶显示器 30W 以上的工作功率，待机功率只有 0.42W，其能效也高达 1.39cd/W。

以 19 寸宽屏绿色节能液晶显示器为例（计算方法参考全民节能减排手册），应用新背光技术的绿色显示器每台节能 6W，按平均每天工作 6h，一年工作 360 天估算，则单台每年能够节约能耗可达 12.96kWh（即 12.96 度电），相当于减少排放 12.31kg 二氧化碳，减少消耗 4.79kg 标准煤炭。

4.2.3.4 技术水平

应用此技术的两款显示器能效达到了《计算机显示器能效限定值及能效等级》国家标准的一级标准。达到技术成熟，运行稳定，全部国产化水平级别。

4.2.3.5 知识产权

属于国内自主研发，拥有自主产权。

4.2.3.6 技术应用情况

特有的超薄与省电的特性，使背光源面板的液晶屏幕以很快的速度得到发展，相关数据显示应用背光源技术的桌上型液晶屏幕面板市场占有率将达 22%。

第五章 计算机行业

5.1 行业技术发展现状

5.1.1 行业技术结构

计算机系统是由数量和品种繁多的部件组成的。各种部件技术内容十分丰富，主要有运算与控制技术、信息存储技术和信息输入输出技术等。

5.1.1.1 运算与控制技术

计算机的运算和逻辑功能主要是由中央处理器、主存储器、通道或 I/O 处理器以及各种外部设备控制器部件实现的。中央处理器处于核心地位。运算算法的研究成果对加速四则运算，特别是乘除运算有重要作用，随着器件价格的降低，从逻辑方法上大大缩短进位与移位的时间。指令重叠、指令并行、流水线作业以及超高速缓冲存储器等技术的应用，可提高中央处理器的运算速度。微程序技术的应用，使原来比较杂乱和难以更动的随机控制逻辑变得灵活和规整，它把程序设计的概念运用于机器指令的实现过程，是控制逻辑设计方法上的一大改进，但因受到速度的限制，多用于中、小型计算机、通道和外部设备部件控制器中。早期计算机的各种控制，均集中于处理器，使系统效率很低。多道程序和分时系统技术的产生和各种存储器和输入输出部件在功能和技术上的发展，使计算机系统内部信息的管理方法与传输成为重要问题，计算机的控制从集中式走向分布式，出现了存储器控制技术与通道、外部设备部件控制技术。

5.1.1.2 信息存储技术

存储技术使计算机能将极其大量的数据和程序存放于系统之中，以实现高速处理。由于存储手段在容量、速度、价格三者之间存在尖锐矛盾，存储器不得不采取分级的体系，形成存储器的层次结构，自上至下可分为超高速缓冲存储器、高速主存储器（又称内存储器）和大容量外存储器等。主存储器是存储体系的核心，直接参与处理器的内部操作，因此它应具有与处理器相适应的工作速度和足够大的容量。50 年代以来虽出现多种基于不同物理原理的存储方法，但均未获得理想的结果。50 年代中期，铁氧体磁心存储器问世，沿用达 20 年之久，直到 70 年代中期，MOS 存储器技术兴起后才逐步被淘汰。MOS 存储器在速度、价格、功耗、可靠性及工艺性能等方面均有很大优越性，是主存储器比较理想的手段。主存储器的工作速度，一直未能跟上处理器，一般慢 5-10 倍。为充分发挥处理

器潜力，出现了超高速缓冲存储器。超高速缓冲存储器通常以与处理器同类的双极型器件构成，使二者速度相匹配，但由于价格较高，容量一般只有主存储器的几百分之一。计算机巨量的数据，存储于速度较慢价格较低的外存储器中，外存储器主要有磁盘机和磁带机。存储器的层次结构相对缓和了速度、容量、价格三者之间的矛盾，但给用户带来存储空间调度的困难。为此，一般以硬件自动调度缓存空间，使之透明于用户；以虚拟存储方法（见虚拟存储器），在操作系统软件的支持下，实施主存与外存之间的自动调度。

5.1.1.3 信息输入输出技术

输入输出设备是计算机送入数据和程序、送出处理结果的手段。输入的基本方法是以穿孔卡片或纸带为载体，经卡片或纸带输入机将数据和程序送入计算机，70 年代初期出现的键控软盘数据输入方法（即数据输入站）已逐渐普及。将文字、数据的印刷（或手写）体直接读入计算机的光文字阅读机已经实现，语音图像直接输入计算机的技术也已取得一定成果。

在输出方面，最普通的是建立在击打技术基础上的各类打印机，但速度受到机械运动的限制。非击打技术的输出设备能显著提高速度，主要有将电压直接加在电介质涂覆纸张以取得静电潜像的静电式打印机；靠激光在光导鼓上扫描而形成静电潜像的激光静电式打印机；利用喷墨雾点带电荷后受电极偏转而形成文字的喷墨式打印机等。作为轻便输出手段，则以利用热敏纸张遇热变色原理的热敏打印机比较流行。人一机对话输出多采用以显像管进行图像文字显示的终端设备。计算机的输入输出技术正向智能化发展。

5.1.1.4 计算机组装技术

组装技术同计算机系统的可靠性、维修调试的方便性、生产工艺性和信息传递的延迟程度有密切的关系。计算机电子器件的可靠性随着环境温度和湿度的升高而下降，尘埃的积聚可能造成插件或底板的短路或断路，因此制冷和空调是组装技术需要解决的重要问题。常用的方法有：将液态氟里昂引入插件冷却片的直接制冷法；用氟里昂使水冷却，再将冷水引入插件冷却片的水冷法；用氟里昂使空气冷却，再将冷空气送入机仓的强制风冷法等。前两者工艺结构较为复杂，故多采用风冷。组装技术需要解决的另一个问题是提高组装密度。计算机器件进入亚纳秒级后，几厘米长的导线所产生的信号延迟已足以影响机器的正常工作，使组装密度问题更加突出。计算机电子器件的变革，对组装技术产生极大影响，组装技术的进步始终与计算机的换代相协调，不断向小型、微型化发展。在电子管时期，一个“门”即是一个插件，以焊钉、导线钎焊而成。晶体管使组装密度提高一个数量级，每一个插件可包含若干个门，组装采用单面或双面印制板。集成电

路将过去的插件吸收到器件内部，同时采用多层印制的插件板与底板，以及绕接连线工艺，大大提高了组装密度。大规模和超大规模集成电路门阵列的应用，使组装实现微型化，典型的方法是将集成电路的裸芯片焊接在多达 30 余层的陶瓷片上，构成模块，然后将模块焊接于十余层的印刷底板上。

5.1.2 行业技术水平

5.1.2.1 电源数字化技术

电源数字化技术一直是业界节能技术发展的趋势，在电源数字化方面走在前面的公司有 TI 和 Microchip 即德州仪器公司和微芯国际公司。TI 公司既有数字信号处理方面的技术优势，又兼并了 PWM IC 顶级的专业制造商公司 UNITRODE，所以它们合并在一起最具有技术实力。TI 公司已经用 DSP 的 TMS320C28F10 制成了通讯用的 48V 输出大功率电源模块。其中 PFC 和 PWM 部分完全为数字式控制。现在，TI 公司已经研发出了多款数字式 PWM 控制芯片。目前主要是 UCD700 系列、UCD800 系列和 UCD900 系列，它们将成为下一代数字电源的探路者。

5.1.2.2 超级计算机节能技术

超级计算机通常是指由数百数千甚至更多的处理器（机）组成的、能计算普通 PC 机和服务器不能完成的大型复杂课题的计算机。

新一代的超级计算机采用涡轮式设计，每个刀片就是一个服务器，能实现协同工作，并可根据应用需要随时增减。单个机柜的运算能力可达 460.8 千亿次/s，理论上协作式高性能超级计算机的浮点运算速度为 100 万亿次/s，实际高性能运算速度测试的效率高达 84.35%，是名列世界最高效率的超级计算机之一。通过先进的架构和设计，它实现了存储和运算的分开，确保用户数据、资料在软件系统更新或 CPU 升级时不受任何影响，保障了存储信息的安全，真正实现了保持长时、高效、可靠的运算并易于升级和维护的优势。

5.1.2.3 低成本环保型服务器节能优化技术

基于龙芯技术的低成本节能环保型智能服务器参考设计，低成本环保型服务器具有办公、上网、娱乐等基本 PC 功能和网站服务器、自主建站、进销存（ISS）、流动人口集中管理、宽带网关等高层次信息化应用。主要服务于农村政府机关、企事业单位，以及城市中小企业客户。性能稳定可靠，只需简单维护。服务器整机功耗 20W，远远低于常见普通服务器及 PC 功耗。按每天运行 24h 估算，一个月耗电仅 14.4 度。

5.1.2.4 应用处理器 JZ4760

JZ4760 是大陆本土首颗面向智能手机、平板电脑等移动设备的双核 CPU 应用处理器芯片，采用自主创新的 XBurst 双核 CPU 微体系架构，是国产 CPU 首次进入智能手机和平板电脑领域。JZ4760 芯片支持 720P 高清解码，可以运行 Android、Linux、RTOS 等操作系统，与国内外同类芯片相比具有最优的性价比和最低的运行功耗。Jz4760 芯片获得由工信部评选的、代表国内集成电路设计最高荣誉的第五届“中国芯”最具潜质奖。

5.1.2.5 刀片服务器节能技术

在节能技术方案中，刀片服务器在节能降耗上采用先进的技术，从电源供应器、处理器、内存和其他重要模块上降低功耗这一目标出发，与此同时积极提升产品高性价比，采用电源转换率高达 93% 低瓦数电源模块，在不降低产品工作效能的前提下，采用低电压的处理器与内存，从刀片服务器系统整体来说，极大的降低了功耗，与此同时该刀片服务器共享电源供电模块、散热风扇和其他模块，极大地降低用电量，从根本上降低产品的能源功耗。

刀片服务器节能技术是应用于高性能刀片服务器的高效节能技术方案。在这个节能技术方案中，刀片服务器通过采用低噪音、低瓦数和高转换率的电源模块，选取低电压的处理器和内存，较低功耗的网络交换模块和管理模块等模块，同时让整个刀片系统共享散热风扇、电源供应模块、以太网和交换模块等设备，极大的节省了电力，也降低了散热量，从而大大降低了能源消耗。

5.1.2.6 刀片系统能量智控技术

刀片系统能量智控技术组合使用户能够根据需求监控、整合、共享并匹配电力资源；同时，还可以根据当前的工作、供电容量以及冷却水平平衡性能、供电与冷却，以达到最佳性能。用户可以设定供电与冷却阈值以实现最佳性能或最高效率；或者自动开启冷却或调整冷却水平以应对并解决产生的热量，由此实现最为精确的供电及冷却控制能力。

在能量智控技术产品组合中，包括功率封顶（power-capping）服务器技术。用户采用功率封顶技术后，相同的能源配置和电力设施可服务相当于原来 3 倍数量的服务器。这相当于客户的每个 1MW 级数据中心可节省 1600 万美元的成本支出。

5.2 节能减排先进适用技术

5.2.1 刀片服务器节能技术

5.2.1.1 技术介绍

刀片服务器（准确的说应叫做刀片式服务器）是指在标准高度的机架式机箱内可插装多个卡式的服务器单元，实现高可用和高密度。每一块“刀片”实际上就是一块系统主板。它们可以通过“板载”硬盘启动自己的操作系统，如 Windows NT/2000、Linux 等，类似于一个个独立的服务器，在这种模式下，每一块母板运行自己的系统，服务于指定的不同用户群，相互之间没有关联。管理员可以使用系统软件将这些母板集成一个服务器集群。在集群模式下，所有的母板可以连接起来提供高速的网络环境，并同时共享资源，为相同的用户群服务。在集群中插入新的刀片，就可以提高整体性能。而由于每块“刀片”都是热插拔的，系统可以轻松地进行替换，并且将维护时间减少到最小。

刀片服务器在设计上具有低功耗、空间小、单机售价低等特点，同时它还继承发扬了传统服务器的一些技术指标，比如把热插拔和冗余运用到刀片服务器之中，这些设计满足了密集计算环境对服务器性能的需求；有的还通过内置的负载均衡技术，有效地提高了服务器的稳定性和核心网络性能。而从外表看，与传统的机架/塔式服务器相比，刀片服务器能够最大限度地节约服务器的使用空间和费用，并为用户提供灵活、便捷的扩展升级手段。

5.2.1.2 技术发展水平

在节能技术方案中，刀片服务器在节能降耗上采用先进的技术，电源供应器、处理器、内存和其他重要模块上均能减低能耗，同时提升产品性价比，采用电源转换率 93% 低 W 数电源模块，在不降低产品工作效能的前提下，采用低电压的处理器与内存。从刀片服务器系统整体来说，可以极大的降低功耗，与此同时该刀片服务器共享电源供电模块、散热风扇和其他模块，极大地降低用电量，从根本上降低产品的能源功耗。

刀片服务器的模组化设计是必然的设计趋势，而此趋势的率先典范正是刀片服务器所带动。此外过去各种特有的超级电脑，也都很快地被 Linux Cluster 系统所取代，无论科学运算、工程运算，其庞大的运算系统，都从整房间降至整机柜，从整机柜降至整机箱，现在正逐渐往整单片的方向发展中，并将过往的机柜机箱视为共同服务的基座，模化式的运算架构将是未来的主流。这些都依赖与刀片服务器技术的发展和运用。

5.2.1.3 技术适用条件

刀片服务器是一种 HAHD（High Availability High Density，高可用高密度）的低成本服务器平台，是专门为特殊应用行业和高密度计算机环境设计的，其主要结构为一大型主体机箱，内部可插上许多“刀片”，其中每一块刀片实际上就是一块系统主板，类似于一个个独立的服务器，它们可以通过本地硬盘启动自己的操作系统。每一块刀片可以运行自己的系统，服务于指定的不同用户群，相互之间没有关联。而且，也可以用系统软件将这些主板集成成一个服务器集群。在集群模式下，所有的刀片可以连接起来提供高速的网络环境，共享资源，为相同的用户群服务。在集群中插入新的刀片，就可以提高整体性能。而由于每块刀片都是热插拔的，所以，系统可以轻松地进行替换，并且将维护时间减少到最小。

刀片服务器比机架式服务器节省了空间，散热问题也更突出，往往要在机箱内装上大型强力风扇来散热。此型服务器虽然空间较节省，但是其机柜与刀片价格都不低，一般应用于大型的数据中心或者需要大规模计算的领域，如银行电信金融行业以及互联网数据中心等。

目前，节约空间、便于集中管理、易于扩展和提供不间断的服务，成为对下一代服务器的新要求，而刀片服务器正好能满足这一需求，因而刀片服务器市场需求正不断扩大，具有良好的市场前景。

5.2.1.4 节能减排效果

刀片服务器的运用可以带来很好的节能减排效果。以某公司推出的刀片服务器为例。它采用 Intel 45nm 四核处理器，提供 21GB/s 的 I/O 传输带宽，配合 FBD 内存以及外存设备，可有效提升系统计算性能；在能耗方面，由于采用转换效率高达 93% 的电源系统以及多项节能技术，相对于传统机架式服务器大幅降低了系统功耗。

采用该节能技术的某型号刀片服务器的节能降耗的性能指标和创新点，如下表所示：

表 5-1 某型号刀片服务器的节能情况

某型号低功耗刀片服务器	
采用Intel低电压处理器和低功率内存	处理器电源功耗降低近50%
采用高转换功率的电源模块	电源模块的转换效率达到93%
采用电源模块内置的变频式风扇	变频式风扇可视刀片运作状况调整转数，进而减低功耗
采用模块共享技术	由于共享电源模块，散热风扇与网络设备等，相对机架服务器可节省25%以上的耗电量
采用新型节能机箱和机柜	透过整体构架改造，极大的降低了耗电量

5.2.1.5 技术成本效益分析

在采用相同的电源设备的情况下，与普通的机架式服务器和塔式服务器相比，新型节能技术的低功耗刀片服务器，电源转换效率能提高 15%~20%。采用低电压处理器与内存也将省下许多电力和散热量，即使在高负载的状态下也能省下 40%~50%的用电量。在刀片处理器的基础上，采用新型的机箱设计和共享散热风扇、电源模块和其他网络设备，也会极大地节省电力，相比较架式服务器节省将近 30%~50%的功耗。

刀片服务器根据其内存，机箱尺寸不同价格也不近相同，市场上的刀片型服务器以 7U-6U 居多，价格在 2-4 万元不等。运行成本为其能源消耗成本。大部分服务器全速工作的功率为 200W-400W，以北京市商业用电价格 1.03 元，由于商业和工作需要一般服务器每天工作 24h，每年工作约 340 天计算，一年的电费约为 1600-3500 元。由于其能将电源效率提高 15%~20%，而价格比类似功能的普通塔式服务器高出 1/3，因此只需要 3-4 年就能收回成本。

通过提高电能转化率和采用新型机箱设计和配调设备简化，刀片服务器节能技术能很好的大大降低设备维修和运行成本。同时由于能源效率的提高，费用也大大降低。

5.2.1.6 技术应用情况

刀片式服务器已经成为高性能计算集群的主流，在全球超级 500 强和国内 100 强超级计算机中，许多新增的集群系统都采用了刀片架构。由于采用刀片服务器可以极大减少所需外部线缆的数量，可以大大降低由于线缆连接故障带来的隐患，提高系统可靠性。

目前，节约空间、便于集中管理、易于扩展和提供不间断的服务，成为对下一代服务器的新要求，而刀片服务器正好能满足这一需求，因而刀片服务器市场需求正不断扩大，具有良好的市场前景。

5.2.1.7 技术知识产权情况

曙光信息产业（北京）有限公司，2011 年 05 月 18 日获得一项刀片服务其的发明专利。

联想（北京）有限公司，2009 年 05 月 13 日一项刀片服务器的发明专利。

浪潮电子信息产业股份有限公司，拥有多项刀片式服务器发明专利和实用新型。

第六章 信息家电行业

6.1 行业技术现状

6.1.1 行业技术结构

信息家电是指带有嵌入式处理器的、结合数字化与网络技术设计的新型家用电器，本研究中的信息家电主要包括：空调、冰箱、洗衣机。其主要的产业链如下图所示，从原材料到零部件到整机，最后通过销售提供服务，以及进行回收利用。从产业链的角度来看，白色家电行业的技术结构可以分为，零部件成产技术、整机装配技术、资源回收利用技术以及产品回收技术。

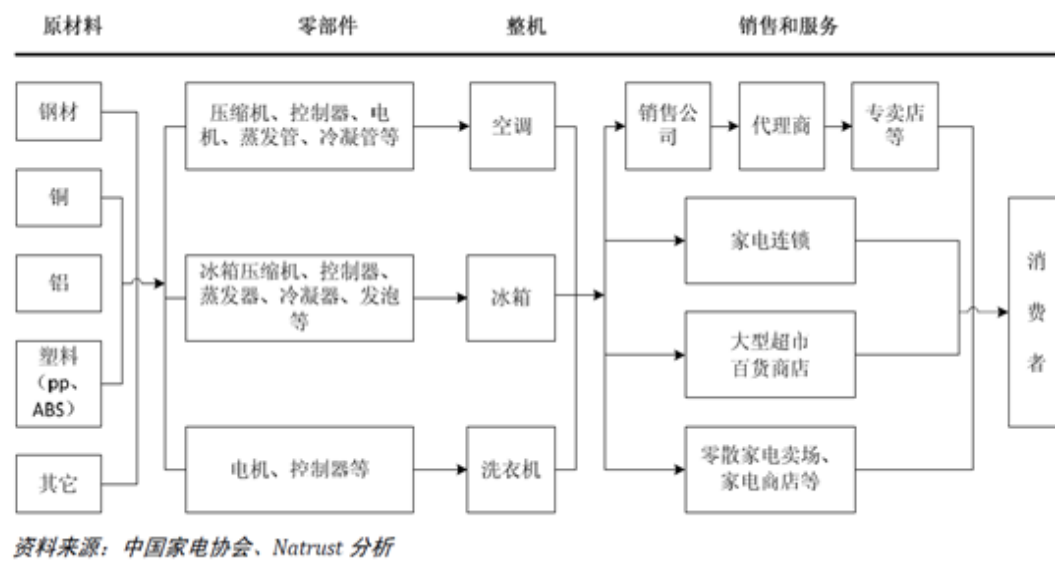


图 6-1 白色家电产业链图

从白电产业的整体划分来看可以按照产品分为：空调节能技术、冰箱节能技术和洗衣机节能技术。另外，在不同产品内部，可以根据各自的情况进行相应的技术划分。冰箱上的主要节能技术有变频技术、绝热技术、制冷技术等。空调的节能技术包括变频技术、蒸发冷凝技术、空调压缩机技术。洗衣节能技术包括洗衣机节电技术和洗衣机节水技术。

6.1.2 行业技术水平

2008 年，中国生产洗衣机 4231 万台、冰箱 4757 万台、空调 8307 万台、微波炉 6286 万台；全球超过 70% 的空调器、微波炉和 40% 以上的洗衣机和冰箱在

中国生产。目前，中国已成为世界上最大的家电制造基地。面对日新月异的科学技术变革、日益强化的资源环境约束、面对以创新和技术升级为主要特征的激烈国际竞争，中国家电产业必须从“要素资源导向”过渡到“创新导向”，通过产业升级创造新的竞争优势，以创新提升中国家电产业的竞争力。

6.1.2.1 冰箱节能技术水平

常规的节能技术主要从三个方面来降低电冰箱的能耗：

（1）增加电冰箱发泡层厚度，普通冰箱冷藏室发泡层厚度为 35mm-45mm，冷冻室厚度 60mm-80mm，节能冰箱为了减少冷量向外界的辐射将冷藏室的发泡层厚度增加为 55mm-65mm，冷冻室发泡层厚度增加为 85mm-100mm 甚至 120mm。

（2）采用机械式温控器单循环制冷系统机械式温控器，单循环制冷系统的电冰箱没有电脑板电磁阀等耗电部件，同时采用单循环制冷系统的冰箱压缩机开停只受冷藏室温度控制。相比双循环制冷系统的冰箱开机时间短，较为省电。

（3）采用高效无氟压缩机高效无氟 R600A。压缩机在冰箱上已经广泛使用，其能源效率值 COP 能达到 1.75，是冰箱节能的最主要手段。

表 6-1 冰箱节能技术

节能技术	特点	选用理由
隔热技术	提高隔热材料的性能，比如聚氨酯隔热性能的提高，采用真空的隔热材料	减轻冰箱内发热，要尽量防止从门缝里有热量进去，在门上贴密封的垫片。新的真空 VIP 隔热材料跟玻璃棉相比，隔热性能是玻璃棉的 20 倍。跟原来的硬质聚氨酯相比，他的隔热性能是其 11 倍。通过真空的力量，可以防止食物不被氧化，保持营养元素。真空室通过它的真空之后，气压可以降低到 0.7，地面一般是 1.0 的气压。真空室的作用非常大，可以防止氧化，防止食物的变色，同时还可以保持食物的风味和营养。
冷却技术	提高压缩机的效率、冷却风扇的控制、传感器冷却系统的控制	冷藏室使用铝质的宽冷板，可以辐射冷却，抑制温度的不均，通过冷却的扩散，可以使冰箱的温度均匀，达到节能的效果
压缩机的变频控制技术	通过压缩机的转速，高速和低速之间的调节来控制温度	采用最佳的阀门结构，用电机控制以提高效率

6.1.2.2 家用洗衣机节能技术水平

家用电动洗衣机在 2007 年 3 月 1 日实施能效标识制度以后，能效水平成为各制造企业追逐的目标，根据 GB1 2021.4-2004《家用洗衣机能耗限定值及能源效率等级》和 GB/T4288-2003《家用电动洗衣机》国家标准要求，家用电动洗衣机在能效标识上所标出的三个指标为洗净比、耗水量和耗电量。

根据节能技术分析，我国的家用洗衣机产品的节能潜力很大，通过技术可行性、经济合理性论证计算，我国家用洗衣机的用电水平可比目前提高 20%~30%，我国家用洗衣机的用水量水平可比目前提高 10%~15%。据计算按我国目前家用洗衣机的拥有量，家用洗衣机用电量平均水平每提高一个百分点，每年可节约 22 万吨标准煤；家用洗衣机用水量平均水平每提高一个百分点，每年可节水 2200 万吨。

选用高效电动机、电热管是家用洗衣机节能的根本。目前使用的洗衣机专用电动机的检测标准是 JB/T3758-1996《洗衣机用电动机通用技术条件》，其他零部件如温控器、程控器、开关等电控部件额定值也影响整机的能效。

节能技术和节水技术是洗衣机行业节能减排的主要技术。特点如下：

1) 不用洗衣粉洗涤技术。产品在洗涤进水过程中，把自来水电解为弱碱性离子水，与污垢产生皂化反应，同时自动加入 1-2g 改质剂，在双动力的作用下，使污垢脱落，不用洗衣粉达到标准要求以上的洗涤效果，排放无污染；

2) 双动力洗涤技术。采用申报了 PCT 国际发明专利的双驱动技术，实现一个动力输入，同时产生两个双向的动力输出，洗涤时内桶与盆型波轮都有动力驱动，形成强有力的沸腾水流，衣物易翻滚，洗涤更有力、更干净、更均匀，节电、节时。

3) 漂甩二合一节水技术。漂洗过程中，边喷水边排水，使污渍迅速排出桶外，减少了漂洗次数及用水量，缩短了洗涤时间，节水、节电、节时。

4) 主要技术参数与技术水平国际领先。经山东科学技术厅组织专家鉴定，不用洗衣粉洗涤技术属国际首创，洗衣机不用洗衣粉的洗净比、消毒杀菌、耗水、耗电等主要性能指标优于国家标准，无污染排放。

表 6-2 某品牌双动力洗衣机技术指标

项目名称	国家标准 (使用洗衣粉)	国内先进水平 (不用洗衣粉)	国际先进水平 (不用洗衣粉)	本项目 (不用洗衣粉)
洗净比	≥0.70	0.3	0.4	0.875
用电量 (kWh/kg)	≤0.025	0.07	0.05	0.013
用水量 (L/kg)	≤36	30	25	21.3
噪音 (dB) (A 计权)	≤72	68	60	57.6

6.1.2.3 空调节能技术水平

近 10 年来,我国住宅空调器拥有量平均年增长率超过 30%。空调器的大量生产和使用不仅消耗了大量能源,而且消耗了大量金属等材料资源。空调系统的能耗主要有两个方面,一方面是为了供给空气处理设备冷量和热量的冷热源能耗,如压缩式制冷机耗电,吸收式制冷机耗蒸汽或燃气,锅炉耗煤、燃油、燃气或电等;另一方面是为了给房间送风和输送空调循环水,风机和水泵所消耗的电能。目前空调技术的不断创新,产生出了一系列先进的房间空调节能技术,其主要的节能技术可以分为以下几类。

1、微电子和计算机技术的应用。应用计算机仿真模拟制冷循环,研究制冷系统及部件的稳态和瞬态过程,研究制冷的热物理特性,采用优化设计的方法确定产品的结构参数和系统参数,使制冷系统设计和制造过程自动化,从而获得最佳的空调效率。

2、高效压缩机的应用。制冷空调设备主机压缩机的效率对整个系统的效率有着决定性的影响。从节能及减少温室气体排放的角度出发,提高制冷压缩机的效率是极其重要的。目前日本对房间空调器 cop 的要求已达到 5.0 以上,高效离心式水冷冷水机组的 cop 达到 6.5-7,这都与制冷压缩机效率的提高密切相关。以变频压缩机、变速压缩机、复合型压缩机等为代表的新型空调压缩机得到发展。主要特征为:新材料的应用、现代绿色设计技术、性能和可靠性好、调节技术。

3、新型制冷剂的应用。自 1987 年在加拿大蒙特利尔通过臭氧层保护条约以来,研制 CFC、HCFC 的替代物,以及开发适应新制冷剂的压缩机,一直是制冷压缩机上研究的课题。 CO_2 及碳氢化合物在压缩机的应用改善了其可靠性和性能;来源广泛、价格低廉、压力比小、单位容积制冷量高、无毒、不可燃、对常见材料没有腐蚀性等优点。碳氢化合物的热力学性能和油溶性好,低的运行压力又可降低空调噪声,但需注意安全问题。制冷剂向 HFC 和天然工质转型,重视新型混合工质开发和研究,以期获得更高的循环效率。蒸发式冷凝器就是其中的一种。

4、空调设计技术的进步。强化空调功能、重视空调绿色设计技术,开发新一代智能健康空调,使得空调向超静节能、舒适健康及多功能等方向发展。主要技术有:1) 防噪设计技术;2) 健康舒适性设计技术;3) 环保设计技术;4) 绿色模块化设计技术等。

6.2 节能减排先进适用技术

6.2.1 蒸发式冷凝器节能技术

6.2.1.1 技术介绍

蒸发式冷凝器——即在冷凝器上喷水，其形式有两种：一种是用甩水装置把蒸发器外的凝结水甩洒到冷凝器表面；其二是凝结水+补充水用小水泵喷淋在冷凝器的表面。蒸发式冷凝以水和空气的混合物作为冷却介质，其中，气态制冷剂冷凝过程所放出的凝结潜热主要依靠冷却水的蒸发带走。冷却水在水冷式冷凝器中的温升只有 6℃-8℃，即 1kg 水只带走 25kJ-35kJ 的显热量，而 1kg 水吸热蒸发可以带走 2450kJ 的潜热量，使得蒸发式冷凝器实际运行中的水量为水冷式的 30%~45%，明显节约了水资源。

制冷装置的制冷系数随着蒸发温度的升高和冷凝温度的降低而增高。在制冷系统中，冷凝器的作用是把压缩机排出的高温、高压制冷剂蒸汽冷却并使之液化。提高冷凝器的换热性能，就能减小制冷剂蒸汽与环境之间的传热温差，从而也就降低了冷凝温度。对蒸发器也是如此，增强其换热性能，就能提高蒸发温度。

蒸发式冷凝器的技术原理是：喷淋水由水泵将集水槽中的水输送到蒸发式冷凝器顶部的喷淋管，经喷嘴喷淋到冷凝排管的外表面形成很薄的水膜，水膜中部分水吸热后蒸发为水蒸气，其余落入集水槽，供水泵循环使用。

轴流风机强迫空气从顶部和侧壁下部被吸入流经盘管，填料、饱和热湿空气则被排到周围大气中，热湿空气中夹带的部分水滴通过收水器截留，有效地控制水滴飘散损失，散失致大气中的水蒸气在系统中由浮球阀控制补充。

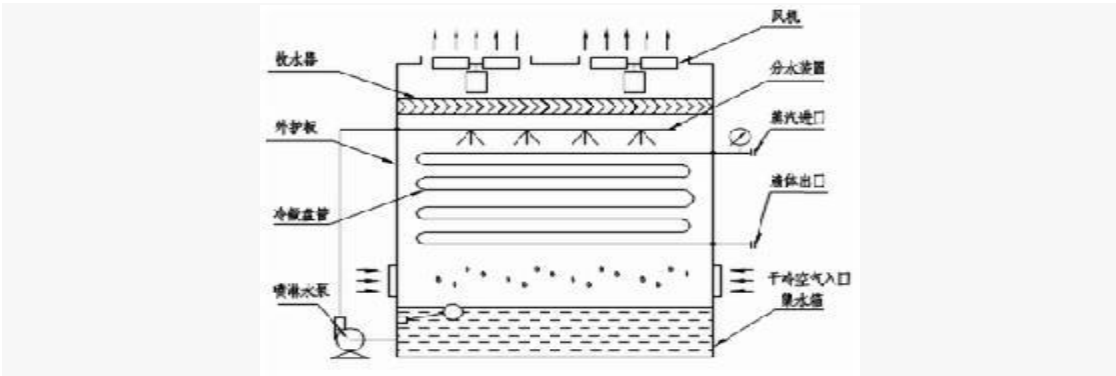


图 6-2 蒸发式冷凝器结构原理图

6.2.1.2 技术发展水平

蒸发式冷凝器集普通水冷冷凝器、冷却塔、水泵、水系统管路为一体，具有节电、节水、占地面积小、安装方便等特点，美国、加拿大等国家在 20 世纪 70 年代起就在冷库制冷装置上加以应用。目前国外蒸发式冷凝器目前已经比较成熟，主要厂家有丹麦的 GRAM 公司，荷兰 GEA 公司，美国的 BAC 公司和

EVAPCO 等公司，其产品型式各有特点。

由于蒸发式冷凝器传热传质过程复杂，目前缺乏较精确的描述其过程的理论，大多数国内蒸发器厂家只能依据工程经验，使得蒸发式冷凝器的设计制造存在一定问题。

蒸发式冷凝器按照换热体部件可以分为管式蒸发式冷凝器以及板式蒸发式冷凝器，目前国内外普遍使用的是管式蒸发式冷凝器，板式蒸发式冷凝器处于实验研究阶段，同时研究高效的换热管提高换热效率也需要更多的研究和创新。

6.2.1.3 技术适用条件

首先，蒸发式冷凝器受到气候和温度的影响，蒸发式冷凝器制冷量与能效比受空气湿球温度的影响更大。有资料研究表明，当湿球温度达到 19.4℃-20.9℃后，制冷量与能效比降低趋势变得明显。所以，蒸发式冷凝器适合湿度较低（即气候干燥）的地区或季节使用。对于长江以南地区，在选用蒸发式冷凝器时，必须考虑当地气候条件的影响，为适应不同季节气候条件留出适当空间。

循环水也影响蒸发式冷凝器的工作效率。蒸发式冷凝器进风口为敞开式负压进风，而工厂环境中大多含有大量的工业废气、盐分和灰尘等，这些杂质进入设备被循环水吸收会形成腐蚀性溶液，并不断富集、浓缩，影响蒸发冷凝器的正常使用。因此，在设备选址、选材及工艺用水的确定时，要对周围环境影响进行评估，并采取相应的措施。

最后，蒸发式冷凝器的配管管路设计直接影响制冷效果。对于冰机水冷器，要做好平衡管与存液弯的正确设置，解除潜在的不均匀压力状况，确保冷凝下来的液氨顺利流入贮氨器，防止把液体逼进冷凝盘管而降低设备的运行效率。不凝性气体的存在会提高冷凝压力，增加系统运行功率，从而增加电耗。应在冷凝器进气口、贮液器、每个盘管的出液口接口和系统高点设置放空气接口。另外，为了安全使用，必须在冷却盘管进、出口管段上安装安全阀。

6.2.1.4 节能减排效果

对制冷房间空调系统进行性能分析，只对起主要作用的制冷压缩机进行能效分析是不科学的，它不能真实地反映系统的经济性能。不考虑水源等因素影响，现对某项目的房间空调系统分别采取不同的冷凝方式，选用风冷冷水机组、水冷冷水机组和蒸发式冷水机组进行系统能效分析。各设备参数及其比较结果如下表所示。

表 6-3 三种冷凝方式的制冷系统的能效比较

名称	风冷冷水机组	水冷冷水机组	蒸发式冷水机组
制冷量, kW	381.8	381.8	381.8

制冷剂	R22	R22	R22
环境温度, °C	33.5	33.5	33.5
运行时冷凝温度, °C	50	40	35
压缩机类型	半封闭螺杆机	半封闭螺杆机	半封闭螺杆机
压缩机输入功率, kW	121.6	85.0	76.5
冷却水泵输入功率, kW	-	10.45	1.1
冷却循环水量, m ³ /h	-	79.6	26.9
冷却水补水量, m ³ /h	-	1.3	0.56
冷却风机输入功率, kW	13.5	-	7.5
冷却塔输入功率, kW	-	2.85	-
总输入功率, kW	135.1	98.3	85.1
压缩机能效比, kW/kW	3.14	4.49	4.99
系统能效比, kW/kW	2.83	3.88	4.99

从上表可以看出, 同样获取 381.8kW 的制冷量, 采用风冷冷水机组时压缩机的输入功率相对于蒸发式冷水机组要高出 37%, 水冷冷水机组相对于蒸发式冷水机组也要高出 10%, 对于冷却系统输入功率, 风冷和水冷没有明显的差别, 均高出蒸发式冷却系统所需功率的 37%。可见, 采用蒸发式冷凝方式不但能降低制冷压缩机的输入功率, 并且大幅度地降低了冷却系统能耗, 使系统能效比高达 4.49, 比风冷制冷系统高出 58.7%, 比水冷制冷系统高出 15.7%。

6.2.1.5 成本效益分析

不管采用何种冷凝方式, 系统能效比要比压缩机能效比低 11.0%~15.7%, 可见系统能效比概念的引入能真实地反映系统的能耗。蒸发式冷凝器的投资成本约为 7-9 万元/吨, 大型工程和写字楼的成本为 20-30 万元, 以每天工作 12h, 全年运行 100 天, 每年耗电电费约为 9-14 万元。大约 4-5 年可以收回成本。

蒸发式冷凝器的传热系数约为卧式水冷式冷凝器的 1/2, 则蒸发式冷凝器所需的换热面积约为管壳式冷凝器的 2 倍。但其冷凝温度可以保持在 35-37°C 以下, 能提高制冷压缩机的制冷效率, 冷凝温度的降低, 使冷凝压力下降, 可延长压缩机的使用寿命, 降低机组维修费用。加之冷却水量的减少, 有效地节约了冷却水泵的输入功率, 一般为水冷式的 5%~10%。全面权衡蒸发式冷凝器的投资和水冷式冷凝器与冷却塔组合使用的安装和运行费用, 使用蒸发式冷凝器是经济的。

6.2.1.6 技术应用情况

蒸发式冷凝是一种节能环保的新技术。目前，蒸发式冷凝运用于制冷工艺带来的经济价值已逐步被从事于制冷房间空调的设计者所接受。

除了在制冷系统方面的应用之外，蒸发式冷凝器在海水淡化，火电厂冷却系统等也有广泛的应用。近几年来，在氮肥行业，蒸发式冷凝器在氨冷冻工序、尿素生产的尾气收集应用广泛，在氨合成、甲醇合成、气体压缩、精馏及余热回收等工序中的气体冷却、冷凝及液体冷却方面也有所实践。不少地方政府在能源规划中，把蒸发冷凝器的应用作为技术革新的重要内容，目前也被氮肥行业认为节能减排支柱技术。

6.2.1.7 技术知识产权

上海永佳节能科技有限公司 2009 年 07 月 16 日申请用于空调的新型蒸发式冷凝器的发明专利。2010 年 2 月 6 日获得授权，申请号/专利号：200910054939。西安工程大学申请一种自带冷热源的一体化蒸发冷却式空调机组 2009 年 07 月 24 日实用新型专利。申请号/专利号：200920306869。

6.2.2 冰箱真空绝热技术

6.2.2.1 技术介绍

目前环戊烷、环异戊烷等作为聚氨酯发泡泡沫塑料（简称PU）的替代发泡剂，本身导热系数较高，隔热性能不太理想。这些替代发泡剂虽然符合了环保的要求，但需要消耗更多的能源。因此研究和开发符合环保进而节能要求、隔热性能优良的新型保温材料一直是人们努力的方向，而对新型保温材料更加节省能源的要求也越来越强烈。

冰箱真空绝热技术采用SiO₂纳米技术的真空绝热板（以下简称VIP）有超群的绝热性能，热传导率为2.5-4.5 mW/mK，其热传导率为传统普通的发泡苯乙烯的1/20，发泡氨基甲酸乙酯的1/10，其隔热性能遥遥领先于传统产品。

VIP以玻璃纤维（主要成分为SiO₂）为基材，加上经纳米技术处理后的SiO₂气凝胶（其分子结构改变，比重类似空气，具有极好的绝热性能）填充到基材间隙中，使玻璃纤维的整体绝热性能大大改善；同时对纤维板进行抽真空（真空度一般可以达到 1×10^{-2} Torr），可以极大减少纤维板内部空气对流换热，这样就能更好的保证VIP材料的绝热性能。同时，使用VIP可长时间保持温度；做保温层使用时，可以使能源消耗量削减、隔热层薄壁化而使容器内部有效使用空间增大。将VIP应用于冰箱，可以节能70%以上，冷冻室的有效容积能提升30%以上。

6.2.2.2 技术发展水平

真空绝热技术在国外发展已相对成熟，如位于德国西北部下萨克森州的塞森真空绝热公司提供的冷冻车就应用了VIP材料进行隔热，日本、美国、土耳其等国家的一些公司所生产的冰箱也采用了VIP材料。从应用效果来看，VIP能明显提高冷藏车、冰箱冷柜、冷库的绝热节能效果，另外在建筑围护结构中也有应用。而国内对真空绝热的研究起步较晚，但在VIP技术研究方面已经取得一定发展，在应用方面主要应用于冰箱保温结构中。对制造商来说，采用VIP技术其生产成本将有一定程度的提高，但它对缓解能源紧张的状态起到了积极的作用，VIP技术的应用从长远的利益来看还是很可观的，预计在更为严格的能耗标准出台后，其应用范围将扩大。

目前上海交通大学已成功研制出一种新型吸气材料，上海夏普电器有限公司利用进口设备和原材料试产了部分开孔硬质聚氨酯泡沫（PU）板材，厦门高特新材料有限公司则生产以聚苯乙烯泡沫（PS）、聚氨酯泡沫（PU）、玻璃纤维和气凝胶等为芯材的VIP产品，青岛冈森塑料有限公司研发和生产的VIP多层高阻隔薄膜经相关部门检测其各项技术指标均达到世界先进水平，另外扬州大学等高校联合在VIP产品研发上也做出了一定成果。国内各个科研院所的参与积极推动了VIP产业的向前发展。

6.2.2.3 技术适用条件

VIP的使用需要在一定的环境压力、温度和湿度下。环境压力、温度和湿度对VIP的使用绝热效果和使用寿命有很大的影响。若VIP所处环境压力大于一个大气压，会导致气体的渗透速率也增大；环境温度的升高，会导致VIP表面隔膜和封装边口处的空隙相对增大，气体和水蒸气的活动速率也明显增大；环境湿度增大，特别是相对湿度大于90%时，水蒸气通过表面隔膜的渗透有明显上升趋势。总之，板内外压差、环境温度和湿度的增大，都导致渗透现象加重，使气体吸附材料失效加快，进而严重影响到VIP的绝热节能效果，大大缩短了使用寿命。

6.2.2.4 节能减排效果

1、家用冰箱使用VIP可以节约电能约25%左右。目前根据冰箱使用的要求已研制出各种异型VIP，如开孔的VIP、带槽的VIP或带弧型的VIP等以适应各种不同需求。

2、在箱体有效容积为100升的冷柜上也进行了试验研究，节约电能约14%。与纯PU低温冷柜保温箱体比较，若将容积100升的新型隔热箱体用VIP覆盖80%，成本约需增加人民币232元，与其节约的电耗费用比较大大降低，商用回收期为8年左右。随着技术改进和规模生产，VIP板生产成本也将进一步下降，回收期也

将缩短。

3、应用于铁路火车车厢的保温也进行了有益的探索。采用10mm厚的VIP替代65-85mm厚聚苯乙烯保温材料，不但使每节车厢节省17.5m³的空间，而且能使车体的传热系数降低37%，具有更好的保温效果，也节约了资源；同时，VIP具有很好的水气阻隔性能，就不需要在列车车厢壁再装水气阻隔薄膜。

6.2.2.5 成本效益分析

VIP除了具有轻、薄的特点以外，还可节省大量能源、无污染、可回收及可大量生产。未来若配合使用以普通环戊烷发泡的硬质聚氨酯做为芯部保温层，则可广泛地应用到冰箱等制冷器具上，从而可以进一步地降低电能消耗与生产成本。实验结果显示，家用电冰箱若使用VIP材料可节能10%以上。根据传热原理预估使用VIP材料在电冰箱及冷藏库上约可节能20%~30%左右。真空绝热板的价格为100-150元/m²。

未来家电的趋势将向更轻、薄、可回收、省能源和资源的方向发展，并要逐步实现实用化。VIP材料的应用使得保温层减薄，则可实现增加制冷容器空间的效果。

6.2.2.6 技术应用情况

VIP由于其优异的绝热性能已开始如冰箱、冰柜、自动贩卖机、热水器、电饭煲、冷藏集装箱等各工业领域应用。随着真空绝热板技术的不断发展，成本不断的降低，将会大量用于建筑保温领域。我国每年能源的25%~27%是消耗在建筑上，如果用真空绝热板做墙体保温，在寒冷地区每年冬季可以节约大量的能源，减少大量的二氧化碳的排放。

日本的Sharp公司在冰箱中大量使用VIP作为隔热材料。这些冰箱壁厚仅2.8cm，只有普通冰箱的一半，不仅减少了冰箱重量，而且容积增加20%。其VIP隔热的SJ-WE44B是节能型的，容积440L，月耗电28kWh，比过去同类产品节电50%。日本松下电器产业公司从2001年12月1日起推出了采用新开发的高效压缩机和使用新真空隔热材料等手段减少耗电量的节能冰箱，年耗电量控制在300kWh以下。

2004年以来，有报道国内Haier公司开发出一批带VIP绝热材料的冰箱，如：BCD-228BF/222BBF/242BBF等型号的冰箱，其冷冻室厚度已经做到35mm（常规节能产品的保温层厚度一般均在85mm以上），242L冰箱耗电不足0.66kWh/24h。伊莱克斯的VIP冰箱在欧洲获得了两项环保和节能大奖。俄亥俄州的诺考德公司采用VIP进行冰箱隔热。Whirlpool采用VIP隔热材料作成的保温箱使保温期延长至4-5天，大幅度降低了运输费用。

国内外冰箱等应用VIP的技术是成熟的，但由于VIP冰箱价格较高，因而需要改变冰箱设计、改变生产工艺，研究出价廉质优的VIP冰箱，才能实现VIP的商业量产。目前国内有公司已经能保证采用VIP的冰箱单台成本增加控制在200元以内。

6.2.2.7 技术知识产权

康佳集团股份有限公司于 2007 年申请并获得批准真空绝热电冰箱的实用新型专利技术。专利号 200720120366。

2009 年 11 月 4 日申请获得合肥美菱股份有限公司获的实用新型专利技术，2010 年 7 月 7 日获获得授权公告。专利号 200920180296

海信容声冰箱有限公司 2010 年 7 月 16 日申请真空隔热冰箱新型专利技术，于 2011 年 4 月 27 日获得授权公告。专利号 201020262382

第七章 LED 行业

7.1 行业技术现状

7.1.1 行业技术结构

LED 照明处于产业链的末端，本身污染较小，作为绿色照明产品，目前 LED 照明产业节能技术主要集中在产品节能上，且都是在生产过程中的技术。

7.1.2 行业技术水平

7.1.2.1 热管理技术

与传统光源一样，LED 在工作期间也会产生少量热量，多少取决于整体的发光效率。在外加电能量作用下，电子和空穴的辐射复合发生电致发光，在 P-N 结附近辐射出来的光还需经过芯片（chip）本身的半导体介质和封装介质才能抵达外界（空气）。综合电流注入效率、辐射发光量子效率、芯片外部光取出效率等，其中有 30%~40% 的输入电能转化为光能，其余 60%~70% 的能量主要以非辐射复合发生的点阵振动的形式转化热能。因而当 LED 的发光效率大幅度增加之后，散热便成了 LED 生产过程中需要注意的问题。

LED 的热管理技术包括芯片、封装和系统集成方面的热管理。芯片方面，人们努力地提高材料的结晶质量或设计新型结构，来提高芯片本身的内外量子效率，比传统的低导热率的蓝宝石衬底芯片热阻更小。

封装方面，寻找适合 LED 封装的高导热封装材料一直是人们努力的目标，另外在封装结构上，如广泛应用的 flip-chip 的封装方式缩短了传热通道，降低了芯片的热阻，在系统集成方面，各种制冷技术被广泛应用于 LED 灯具上。

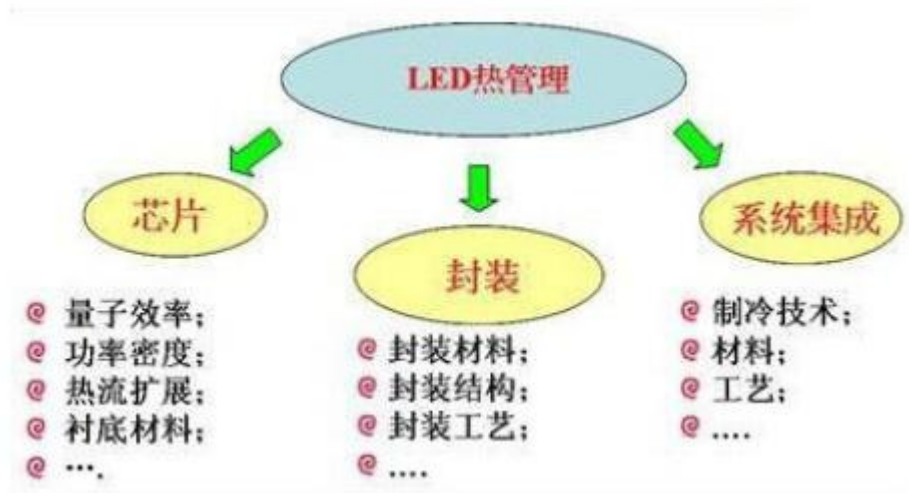


图 7-1 LED 热管理技术

目前，LED 行业的热管理概况如下：

- （1）改进 LED 芯片、封装的结构和材料——上中游产业完成；
- （2）系统集成，主要针对灯具散热方式，提高换热功率——散热设计的工作。

LED 灯具散热结构剖析如下：

芯片（节点温度控制在 $<85^{\circ}\text{C}$ ）——（热阻小的产品有利于散热）——灯珠基板——铝基板（增加覆铜面积有利于热量传导）——（使用导热硅胶）——散热器壳灯（良好的结构便于空气对流）——周围环境。

LED 封装技术中的封装材料：原来多使用环氧树脂，但是环氧树脂耐热性比较差，在 LED 芯片本身的寿命到达前，环氧树脂就已出现变色。

关于 LED 封装基板散热设计，目前大致可以分成，LED 芯片至封装体的热传导、及封装体至外部的热传达两大部分。使用高热传导材时，封装内部的温差会变小，此时热流不会呈局部性集中，LED 芯片整体产生的热流，呈放射状流至封装内部各角落，所以利用高热传导材料，可提高内部的热扩散性。

就热传导的改善而言，几乎是完全仰赖材料提升来解决问题。普遍认为：随 LED 芯片大型化、大电流化、高功率化发展，会加速金属封装取代传统树脂封装方式。目前金属高散热基板材料可分成硬质与可挠曲两种基板。硬质基板属于传统金属材料，金属 LED 封装基板采铝与铜等材料，绝缘层部分大多采充填高热传导性无机填充物，拥有高热传导性、加工性、电磁波遮蔽性、耐热冲击性等金属特性，厚度方面通常大于 1mm，大多都广泛应用在 LED 灯具模块与照明模块等，技术上是与铝质基板具有相同高热传导能力，在高散热要求下，相当有能力担任高功率 LED 封装材料。

7.1.2.2 提高显色性

目前白光 LED 普遍使用发蓝光 LED 叠加由蓝光激发的发黄光的钇铝石榴石 (YAG) 荧光粉, 合成为白光。由于其发光光谱中仅含蓝、黄这两个波谱, 所以存在色温偏高、显色指数偏低的问题, 不符合普通照明要求。人眼对色差的敏感性大大高于对光强弱的敏感性, 对照明而言, 光源的显色性往往比发光效率更重要。所以加入适量发红光的荧光粉并能保持较高发光效率是 LED 白光照明中的一个重要的课题。然而, 现有红色荧光粉的光效较低 (大约 40lm/W), 这将会导致整个 LED 的光效降低。为解决这一问题, 有研稀土新材料股份有限公司 (稀土材料国家工程研究中心) 通过近三年的努力, 研制出两类高效低光红色荧光粉, 并且这两类荧光粉都已成功地应用于高显色低色温的白光 LED 的制备中。

有研稀土在红色荧光粉的制备过程中通过辅助剂的添加和表面处理, 有效地减缓了粉体的潮解、氧化及硫的析出, 使粉体的稳定性得到了很大的提高。应用结果表明, 使用该荧光粉可制备出显色指数在 90 以上, 色温在 3000K 以下的白光 LED, 而且白光 LED 的色坐标在 1000h 以内的偏差小于 10%, 具有较高的稳定性。在改进硫化物红色荧光粉的同时, 有研稀土成功研制了一种新型的碱土和过渡金属复合氧化物红色荧光粉。该系列荧光粉以三价铕为激活剂, 能被紫外、紫光或蓝光 LED 有效激发。该系列荧光粉在稳定性和发光效率方面都明显优于传统的红色荧光粉。现已申报了国家发明专利。以上两种红色荧光粉已经形成了产品, 并销往美国、韩国、台湾和内地的多家 LED 封装厂家。

进一步研发目标为: 显色性能达到 80Ra 以上。拟采用的方法、技术、工艺流程图: 与国际技术结构、国际化企业、院校、研究机构强强联手建立产学研基地、产业化联盟, 建立有效的产品可靠性分析验证平台、拟定周密、技术过硬、可操作性的技术标准。

7.1.2.3 灯具系统的二次光学设计

传统灯具长期以白炽灯、荧光灯光源为参照物来决定灯具的光学和形状的标准, 因此 LED 灯具系统应考虑摒弃传统灯具加上 LED 发光模块的组装方式, 充分考虑其光学特性, 为 LED 光源专门设计不同的灯具。光学系统设计内容主要包括如下几个方面:

(1) 根据照明对象、光通量的需求, 决定光学系统的形状、LED 的数目和功率的大小;

(2) 将若干个 LED 发光管组合设计成点光源、环形光源或面光源的“二次光源”, 根据组合成的二次光源, 计算照明光学系统;

(3) 控制构成照明光学系统设计的“二次光源”上的每只 LED 管子配光分布。利用平面镜光学系统, 可以只用 1-2 个 LED 就可照亮很大的表面, 而灯具

深度很薄；而利用光导技术，LED 直接装于光导管旁，可大大减少光源及其它组件占用的体积，制成超薄的灯具。

大功率 LED 照明零组件在成为照明产品前，一般要进行两次光学设计。把 LED IC 封装成 LED 光电零组件时，要进行一次光学设计，以解决 LED 的出光角度、光强、光通量大小、光强分布、色温的范围与分布。一般大功率 LED 都有一次透镜，发光角度为 120 度左右，二次光学就是将经过一次透镜后的光再通过一个光学透镜改变它的光学性能。一次光学设计的目的是尽可能多的取出 LED 芯片中发出的光；二次光学设计的目的则是让整个灯具系统发出的光能满足设计需求。

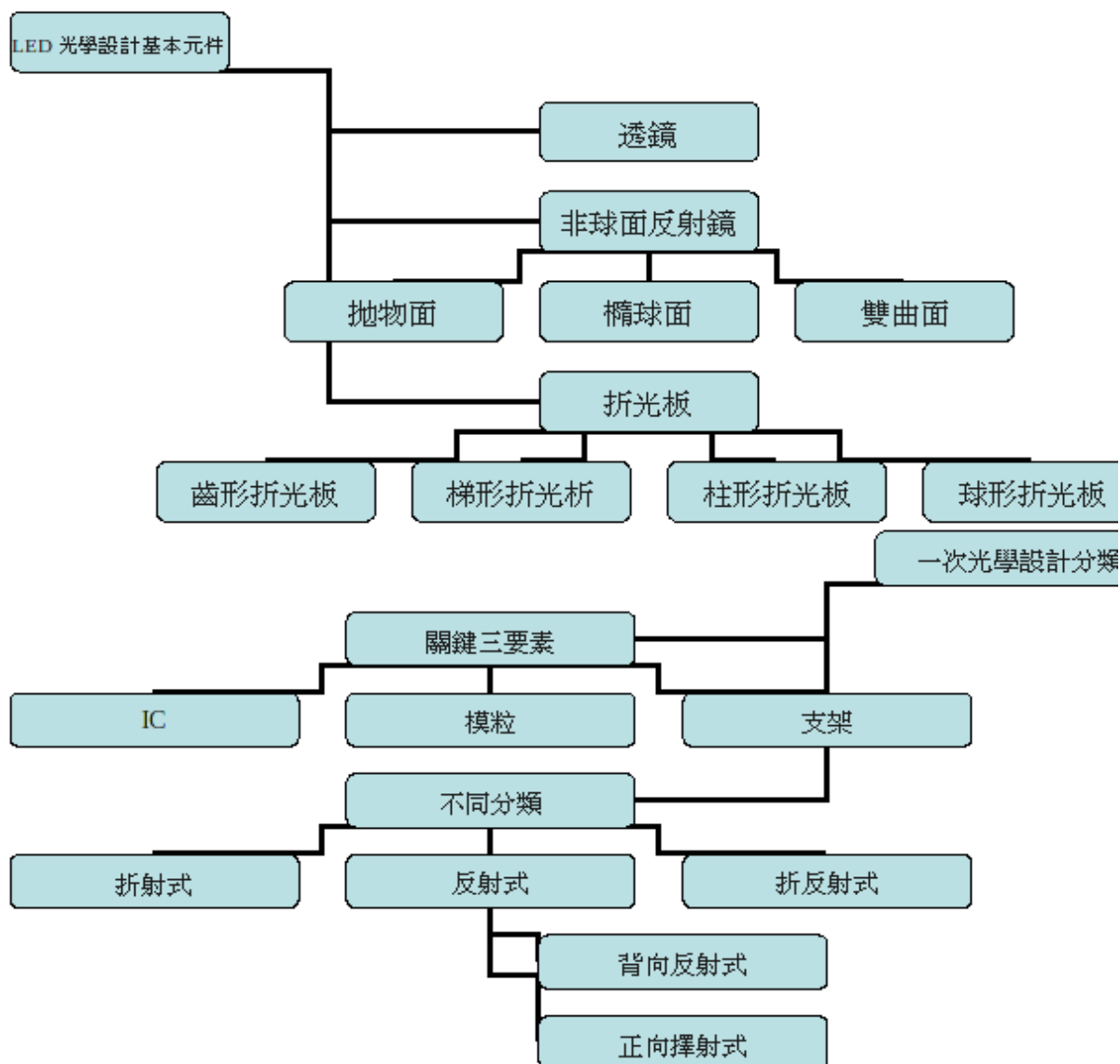


图 7-2 室内 LED 灯具二次光学设计

目前 LED 在道路灯具中使用的最普遍形式主要有两类，一类是采用传统的

道路灯具外壳，只是在灯具内，在一个几乎是平板的安装面（也是反光面）上，装上了矩阵式的 LED，这种设计方式是不可能得到良好的灯具配光的。另一类是把多个 LED 集成在一个圆形的区域内（区域直径大约为 30mm-40mm），使这一小区域的光输出密度接近高强度气体放电灯，再利用灯具反射器进行配光，但这种设计方式的灯具分布光度也不会优于传统的道路灯具，并且由于在一个很小的区域内集成了高密度的 LED，使 LED 的散热情况明显不良，不仅影响到 LED 的发光效率，而且也往往影响到 LED 的使用寿命。

另外，目前照明用 LED 的最大特点是具有定向发射光的功能，目前功率型 LED 几乎都装有反光杯或透镜，但这类配光存在以下几类问题：1）透镜的配光特性和出光效率受到很大的限制，在均匀度上、色斑效应都很难处理；2）反光杯的配光特性虽好但也受到很大限制，在产品的耐候特性上性能很不稳定，通常只适合于室内温度条件、盐雾条件不高的场合。如要处理上述两种产品的短处，目前市场化成本都很高。

采用 LED 的道路灯具应尽可能地利用 LED 的定向发射光的特性，使道路灯具中的各个 LED 分别直接把光线射向被照路面的各个区域，再利用灯具反射器的辅助配光，来实现很合理的道路灯具的综合配光。应该说，道路灯具要真正做到符合 CJJ45-2006 和 CIE31 以及 CIE115 标准的照度和照度均匀度要求，灯具采用专用一次配光良好的 LED 灯。在灯具内，再按照路灯高度及路面宽度设计各个 LED 的安装位置和发射光的方向从而实现良好的二次配光功能，以保证道路照度更好的均匀度。这应该是产业 LED 灯的重要技术突破路线。

需要进一步解决的关键技术：达到国家标准 CJJ45-2006 和 CIE31 以及 CIE115 标准的照度和照度均匀度要求。拟采用的方法、技术路线及工艺流程：开发对应场所的高效、高可靠、一次配光透镜技术的 LED 产品，高可靠度、高效的二次配光（反光杯），研究开发对应得材料技术，使其产品的实用性。

7.1.2.4 电源、电路与灯具的集成

LED 需要专门的电源与驱动电路与其配套，在设计灯具的时候应考虑电源与灯具系统集成。

LED 对驱动电路的要求是能保证恒流输出的特性，因为 LED 正向工作时结电压相对变化区域很小，所以保证了 LED 驱动电流的恒定也就基本保证了 LED 输出功率的恒定。

要想使 LED 驱动电路呈现恒流特性，从驱动电路的输出端向内看，其输出内阻抗一定是高的。工作时，负载电流也同样通过这一输出内阻抗，如果驱动电路由降压、整流滤波后加直流恒流源电路或通用的开关电源加电阻电路组成，在其上必定也消耗很大的有功功率，所以此两类驱动电路在基本满足恒流输出的前

提下，效率是不可能高的。正确的设计方案是采用有源电子开关电路或采用高频电流来驱动 LED，采用上述两种方案可以使驱动电路在保持良好的恒流输出特性的前提下，仍具有很高的转换效率。

目前我国的道路灯具，基本都采用 HID 光源加配触发器和电感镇流器的模式，这一模式尽管还存在能效较低及频闪的问题，但其可靠性是很高的。而采用电子驱动电路的 LED 灯具，在野外照明场合使用时，雷电感应是威胁其可靠性的一个重要方面。

要解决这一问题，必须在 LED 驱动电路中的输入端，连接快速响应的压敏电阻，以保证差模干扰的泄放。由于闪电的感应干扰是重复多次的，当干扰电压高时，压敏电阻瞬时导通泄放的电流可能很大，所以采用的压敏电阻不仅应具有快速的响应能力，还应具备瞬时导通数十安培的泄放能力而不损坏。除了采用压敏电阻外，LED 的驱动电路的输入端还应结合传导干扰（EMI）的防护，设计有复合的 LC 网络，使这些 LC 网络不仅能阻碍内部的 EMI 对电网的泄露，而且能对闪电的干扰信号起到明显的抑制作用。此外，LED 驱动电路各点对地的电气间隙应保持在 7mm 以上，EMI 防护的接地电容以及驱动电路的对地绝缘强度，应达到强化绝缘（4V+2750V）的要求，这样能使 LED 的驱动电路具有良好的抗差模和共模雷电感应的能力。

目前希望达到的结果：电源转换效率达到 90%，满足室外（路灯）环境可靠性要求，使用寿命达到 5 年（坏机率小于 5%），控制电路电路设计集中控制、标准模块化、系统可扩展性。简化电路、更小体积，减少成本。拟采用的方法、技术路线及工艺流程：通讯基站及防雷、驱动单之路精确恒流、高压（安全电压内）高转换效率、高效低 EMC 高 PFC 值的电路；单片机智能化控制（时间、半功率、LED 电压智能检测驱动等）。

半导体照明和太阳能发电的最大特点都是环保、节能、长寿命、安全。太阳能发电和半导体照明相结合完成光电到电光的转换，是最佳的组合。以太阳能电池发电作为电源的自然能利用型独立半导体照明灯具，节能、环保、长寿命，还省去了相关的电线及配套设施，拥有巨大的市场空间。

7.1.2.5 提高系统的可靠性

LED 光源作为固体发光器件，其理论寿命在 100000h 以上，其使用寿命远比传统光源要长。然而，目前大家普遍使用的 LED 是电子工业界最常使用的是指示功能的直径为 3mm-5mm 的 LED，利用简单的电子电路加大电流来增加其发光强度，但是 LED 只获得了短暂的高亮度，却失去了 LED 应有的寿命。因此在半导体照明灯具设计上应使用大功率 LED 作为照明设备光源。

涉及系统可靠性的技术包括以下几个方面：

（1）LED 的封装技术

LED 封装技术是目前 LED 的技术瓶颈，LED 技术的发展可以从两个面来说明。

①芯片技术的发展，芯片技术主要是在功率密度、发光效率、抗静电指数、波段、光率、生产成本六大方面提升。

②封装技术的发展，封装技术主要是在封装工艺、热可靠度、热阻、出光效率、设备、生产成本六大方面提升。目前我国的两大技术都处于滞后端，如果说真正把白光 LED 推到主照明的平台上来，封装是其中的一项决定性因数。作为 LED 可靠度验证上要从冷热冲击、热阻、耐候、回流焊接、抗静电指数、耐 2 倍电流冲击等多方面验证。从目前技术发展来看，陶瓷封装、倒装焊接（HVQFN）应该是产业 LED 灯封装的重要技术突破路线。LED 封装的配套材料是目前造成光率大、可靠性不高的主要原因。高可靠的透明硅胶透镜、荧光粉、银胶、LED 封装支架等众多材料是 LED 生产中重点控制和技术把关的，应该也是 LED 灯封装的重要技术突破路线。

（2）电源

一个适合于室外路灯环境的高可靠性、寿命长的电源是 LED 产品质量的关键。简化元件、提高电转换效率、提高产品可靠性、智能化控制技术是目前所要攻克的一个重大课题。

（3）结构材料

重点是灯具外壳的耐候性、生产制成中热、静电的防护及制成控制都是会造成系统可靠性降低的原因。

目前需要解决的关键技术：室外（路灯）环境的抗感应雷击、抗电压波动冲击、-35℃-+50℃环境的温差冲击、太阳紫外线辐射等性能，达到产品 5 年以上的使用寿命。拟采用的方法、技术路线及工艺流程：倒装封装技术且经过高可靠性验证的 LED，光率小于 20%（测试条件 IF=700mA。LED 表面温度=85℃±5℃。相对湿度 PH=85℃±10%，1000h 持续点亮，衰减在 0.4%以内）；5 年以上使用寿命的高可靠性电源，10 年以上耐候设计的高可靠性结构件，线上灯模块漏电检测系统，在线高温、电压冲击、电源开关冲击等检测质量控制系统，拟定周密、技术过硬、可操作性的技术标准。

7.1.2.6 提高光通量、降低价格

目前单个 1W 的 LED 器件，光通量约为 70-120lm，质量好的售价要超过 5 美元，差一些的也要 3 美元。而 25lm 的光通量对于普通照明而言太小了，一只普通的 60W 白炽灯的光通量大于 700lm，也就是说，要代替传统照明需要多个 LED 器件，还要加上驱动电路、灯壳、灯头等，如此高的成本是白光 LED 在普

通照明中的最大问题。特别是效率还有待于进一步提高。

LED 芯片随工艺、数量增长采用更大尺寸晶圆片制作工艺，会不断的降低成本，近年来每年在 20%速度降低，但同时需要将光效的提升也计入价格降低中，使同样的价格能够购买更好的产品。LED 芯片占 15%比重还是很合理的，预计今后还会继续维持在这个水平。

LED 封装成本占相当的价格比重，大概在 50%，必须选择更合适的封装结构。Cree、Lumileds、OSRAM 现有封装均不符合灯具设计需要，设计成本会高居不下。COB 是未来灯具化设计主流方式，按灯具光学要求 COB 封装，同时减少二次光学设计成本。封装成本在灯具总成本的 20-30%才较为合理。

实际 LED 芯片成本只有 15%，其它成本主要来自封装、散热、结构成本、电源。从成本的组成来看降低灯具成本是在制造环节，单纯要求 LED 芯片降低没有太大作用。

7.1.2.7 大功率 LED 的散热技术

在大功率 LED 中，散热是个大问题。例如，1 个 10W 白光 LED 若其光电转换效率为 20%，则有 8W 的电转换成热能，若不加散热措施，则大功率 LED 的器芯温度会急速上升，当其结温（TJ）上升超过最大允许温度时（一般是 150℃），大功率 LED 会因过热而损坏。LED 散热问题会影响照明质量，并且会严重影响寿命。若一直保持 50℃以下使用，则 LED 有近 20000h 的使用寿命，75℃则只剩 10000h 的使用寿命，100℃剩 5000h，125℃剩 2000h，150℃剩 1000h。

散热设计需要把握住两个方向：1) LED 芯片与外散热器件路径越短越好；2) 要有足够的‘散热道路’。散热设计通常有 5 个控制变因，分别为 LED 间距、介电层厚度、电路层厚度、焊锡厚度以及环境温度。通常 LED 间距为五个控制因子中影响较大的控制因子。然而，LED 间距因混光及光均匀度之光学设计需求无法任意改变。除了利用 LED 封装及 LED 模块设计，使接面温度降低，LED 寿命及可靠度上升以外，提高 LED 对高接面温度抵抗力也是一种方法。

LED 除了考虑芯片温度之外，还需考虑以热阻大小（热量传递至每个传输介质，在介质两侧所产生之温差除以发热 W 数，即可求出热阻值（热阻的定义就类似电阻一样），来判断散热效率的好坏，在 LED 散热设计时，需降低 LED 整体封装热阻值，以确保组件稳定。

高亮度、大功率 LED 皆采用封装体之结构来保护发光部分之接面位置，针对 LED 接面散热之主要散热途径为热传导，此点由 LED 封装设计与材料着手，使其接面温度容易传递至外界。再经由 LED 模块设计来让外部之热量易于散去。其中，LED 封装中的基座部分，大多采用金属材料，其热传导系数较高，且为热传导主要途径。经散热良好设计与材料匹配之 LED 封装体，尚需搭配散热良

好之 LED 模块设计，才可有效将热量导至外部环境，长时间使用下使接面温度降低以提高 LED 之发光效率。

不过散热的基础还是在于基板。LED 的散热措施，能够发挥的主要部分，为 LED 晶粒与组件本身承载晶粒的载板，与 LED 组件与安装于系统主机板上的电路基板两个部位做强化，在实务上，承载 LED 晶粒的载板属于 LED 封装制程中可以介入控制的关键点，而 LED 组件与所安装的电路基板散热关系，则是一般 LED 模块厂所关注的散热改善重点。LED 常见基板通常有四类：传统且非常成熟的 PCB、发展中的金属基板（MCPCB）、以陶瓷材料为主的陶瓷基板（Ceramic）、覆铜陶瓷基板（DBC）。其中覆铜陶瓷基板是将铜箔直接烧结到陶瓷表面，而形成的一种复合基板，可用于一般 LED 应用之产品。不过当单位热流密度较高时，LED 散热基板主要采用金属基板及陶瓷基板两类强化散热。金属基板以铝（Al）及铜（Cu）为材料，可分为金属基材（metal base）、金属蕊（metal core）。金属基板制造过程尚需多一道绝缘层处理，目前全球主要散热绝缘胶厂商以美商及日商为主。另一类是采用 AlN、SiC、BeO 等绝缘材料为主的陶瓷基板，由于本身材料就已经绝缘，因此不需要有绝缘层的处理。此外，陶瓷基板所能承受的崩溃电压，击穿电压（Break-down voltage）也较高，其热膨胀系数匹配性佳，可减少热应力及热变形产生。目前确实已经有相当多 LED 产品采用，但价格较贵，约为金属基板的 2-3 倍，因此要大规模普及，还有待降低相关成本。

7.2 节能减排先进适用技术

7.2.1 照明用高效智能节电控制器

7.2.1.1 技术介绍

照明用高效智能节电控制器采用自主研发的高性能数字处理电子电路、单片机芯片应用程序控制技术、先进的电子显示控制电路、远程 GPRS 微电子控制无线技术，这种技术在数据传输时，将数据进行分组传送，并提供透明通道。网络容量仅在需要时才分配，一旦分组完成发送任务，信道容量立即释放，提供了即时连接和高效传输，实现了实时在线的功能。完全自行开发研制的高度智能化数据采集器，网络版专用软件，可以方便在任何联网的一台电脑上进行操作，非常易于实现远程联网，可在监控中心进行节电数据的信息处理和监控。其不同的防护等级可适应户外、户内及不同程度的恶劣环境，还具有远程集中控制与监控信息管理系统的功能，显著延长灯具使用寿命，节电率达：14%~27%，光照度变化大于 6%~8%。

7.2.1.2 技术适用条件

采用先进的电抗电磁补偿技术、微电子控制及三相电磁平衡技术，可动态实时调整负载在运行过程中的电压、电流、功率因数等供电参数输出，确保输出工况与实际负荷需求精确匹配，功率因数补偿，抑制谐波。其输入输出电压、电流经限幅采样、滤波整形、A/D 转换后输入微电子电路单片机芯片，单片机芯片程序按照预先设定的优化控制程序参数进行计算比较并发出控制信号，信号经放大驱动切换，实时调整输出电压、电流、功率因数等供电参数，不产生谐波，动态调节功率因数，性能安全稳定。可连续监控和调制交流正弦波，实现对日光灯、高压钠灯、汞灯、金属卤化物灯等光源的节电控制。不产生谐波，性能安全稳定。

7.2.1.3 实施建设方案

主要创新点：

(1) 将高压线圈分成三段，用三个接触器分担切换大电流，可做到自动逐步降压切换，减少了高压时的闪断现象；

(2) 采用自主研发的电磁转换器，根据电参数的变化自动调整高压线圈的电流，改变了主回路的电抗，从而达到抑制浪涌电流，改善了供电质量的目的；

(3) 采用电子显示电路，高性能数字处理电路和先进的单片机芯片程序控制技术；

(4) 该产品还具有：状态自动旁路、系统故障旁路、应急手动旁路及线路故障指示等实用功能；

(5) 采用专门工艺合成的高性能铁氧体铁芯材料，磁通密度大于 1700T，损耗较小。研制过程中，公司采用了国内外先进可靠的电子器件及电器部件，使产品完全满足设计参数要求。

主要技术指标：

- (1) 工作电压：220V $\pm$ 10%
- (2) 工作频率：50Hz $\pm$ 5%
- (3) 额定功率：5KVA-300KVA
- (4) 介电强度：2.5KV/min
- (5) 绝缘电阻： $\geq$ 100M Ω
- (6) 谐波畸变： $\leq$ 2.0
- (7) 工作温度：-25 $^{\circ}$ C-55 $^{\circ}$ C
- (8) 节电率：14%~27%

7.2.1.4 节能减排效果

用户在安装节电设备后，不仅可以降低经营成本，产品对用电设备及线路起

保护作用，延长了用电设备使用寿命，相应减少了维护费用。同时也减轻了主送电变压器的负担，增大了变压器的宽裕度，并增加了用户的负荷使用容量。该节电器产品 2006 年 7 月经过新疆维吾尔自治区产品质量监督检验所检测：各项性能指标检验合格，节电率可达 14%~27%。

7.2.1.5 成本效益分析

据估算，该技术的应用将会降低用电成本 20%左右。

7.2.1.6 技术应用情况

本项目产品广泛应用于市政路灯、工厂、大厦、百货公司、办公大楼、医院、银行、学校、图书馆、展览馆、地铁、隧道、酒店等场所。产品推广至今，经多家用户使用测试，产品性能稳定、节电率较高，为用户取得良好的社会效益，具有广阔的市场前景。

7.2.1.7 技术知识产权情况

2007 年 5 月通过了新疆维吾尔自治区的高新技术产品认定；2007 年 8 月通过了新疆维吾尔自治区的节能产品认定。

7.2.2 户外 LED 照明灯

7.2.2.1 技术介绍

该户外 LED 照明灯，采用独特的模块化结构及密封结构，克服了传统结构散热问题，在保证灯具体积减小、重量减轻 60%的基础上，获得了更好的散热效果，并因此获得了两项发明专利及多项实用新型专利及外观设计专利。

同时“与散热器一体的大功率 LED 照明光源单元”使得灯具获得了更高的灯具效率。

通过采用不同类型的光学透镜，使得该灯具能够适应多种应用场合，如路灯、隧道灯、厂区照明、广场照明、停车场照明、加油站照明等等。

由于独特的模块化散热结构，该系列产品最大功率可达 500W，功率范围在 10W-500W。

7.2.2.2 技术适用条件

LED 照明灯具的导光设计：采用独特技术，利用光学透镜原理，通过建模和修模的手段，快速得到产品配光，精确度达到 90%以上，使得灯具的配光有较大的分配自由度，达到提高光效、照度分布均匀的效果。

与散热器一体的大功率 LED 照明光源单元：采用带有小型通透结构散热器

的照明单元，在热量传到灯具之前，就已经由这个小散热器将热量散发到空间，由这一光源单元组成的灯具也具有通透型结构，使散热效率大大提高，有效解决了大功率 LED 的散热问题。

智能控制 LED 照明系统：根据不同照明场合需求，专门开发适应不同场合的 LED 照明灯智能控制系统，可自动开关闭部分照明灯，或自动跟踪照明变化需求，自动调节 LED 照明灯整体的亮度，更大限度节电。

电源设计的安全及易维护性：在电源方面有相应的突破，采用隔离分体式电源设计，性能稳定可靠，如需更换电源时徒手即可更换，适应了便于现场维护的需要，并且达到保护灯体和使用者的人身安全效果。

7.2.2.3 节能减排效果

由于 LED 光源环保，没有红外和紫外辐射，无频闪，无眩光，显色系数高，能耗低，加之产品自主知识产权的光学导光设计、散热设计和电源设计技术，大大提高 LED 灯具的光利用率和灯具的长寿命，较白炽灯节能 80%以上，与金属卤素灯相比节能 50%以上，较荧光灯节能 35%以上。

7.2.2.4 成本效益分析

LED 节能灯应用于企业，如北京申安投资集团有限公司（生产线）、山东济南虚拟科技有限责任公司、上海三思电子工程有限公司等时，平均投资成本为 100~300 元/盏，运行成本为每年 650 元/盏，投资回收期为 1 年，收益是 350 元/盏。

中国现有路灯约 600 万盏（套），现有公路隧道约 3800 座，总长度约 1800 公里，现有路灯或隧道照明绝大多数采用碘钨卤素灯或高压钠灯等传统照明灯具，逐步替换为节能环保的 LED 照明灯具将会产生数千万盏 LED 灯具的市场需求。LED 照明灯具还可广泛用于厂区、广场、停车场、加油站等众多场合的照明，并将逐步进入通用照明领域，那将是一个更加广阔的市场。

7.2.2.5 技术应用情况

该产品已成功用于公路隧道照明工程：江西景鹰高速隧道、云南富广砚高速董来隧道、上海长江隧道和复兴路隧道（试验段）、浙江金丽温高速西湾隧道（试验段）、陕西窄小高速渡船口隧道、湖南常德--吉首高速隧道、沪青平高速公路外青松收费站等。

该产品也在下列企业中应用：北京申安投资集团有限公司（生产线）、山东济南虚拟科技有限责任公司、上海三思电子工程有限公司、东莞勤上光电股份有限公司、江苏伯乐达光电科技有限公司、江西吉安市木林森电子科技有限公司、江西省昌大光电科技有限公司、江苏连云港光鼎电子有限公司（生产线）、天津

市中环华祥电子有限公司、桂林金源公司。

第八章 废电子电器产品回收利用

8.1 行业技术发展现状

废弃家电分为四大类：含有制冷剂的电器产品，如冰箱、冰柜、空调器等；含有显示器的电子产品，如电视机、监视器、显示器等；其他电器产品，如洗衣机、洗碗机、微波炉；其他电子产品，如计算机主机等。

废弃电子产品回收技术通常包括拆卸、破碎、分选等几方面，处理后的物质必须经过冶炼、填埋或焚烧等后继处理。目前，拆卸一般由手工完成，自动拆卸技术处于可行性研究阶段。一项拆卸方法是否适用，要综合考虑拆卸、测试、回收、销售等费用问题。破碎是关键的一步，破碎程度不仅影响破碎设备的能耗，还影响到后继的分选效率。常用的破碎设备主要有锤碎机、锤磨机、切碎机和旋转破碎机等。分选是利用材料的磁性、导电性和密度的差异进行分离。通过真空和磁力分选，可将物质分为铁、非铁金属和塑料三类。涡流分离技术可将铝和铜分开。电子垃圾的回收路径见下图：

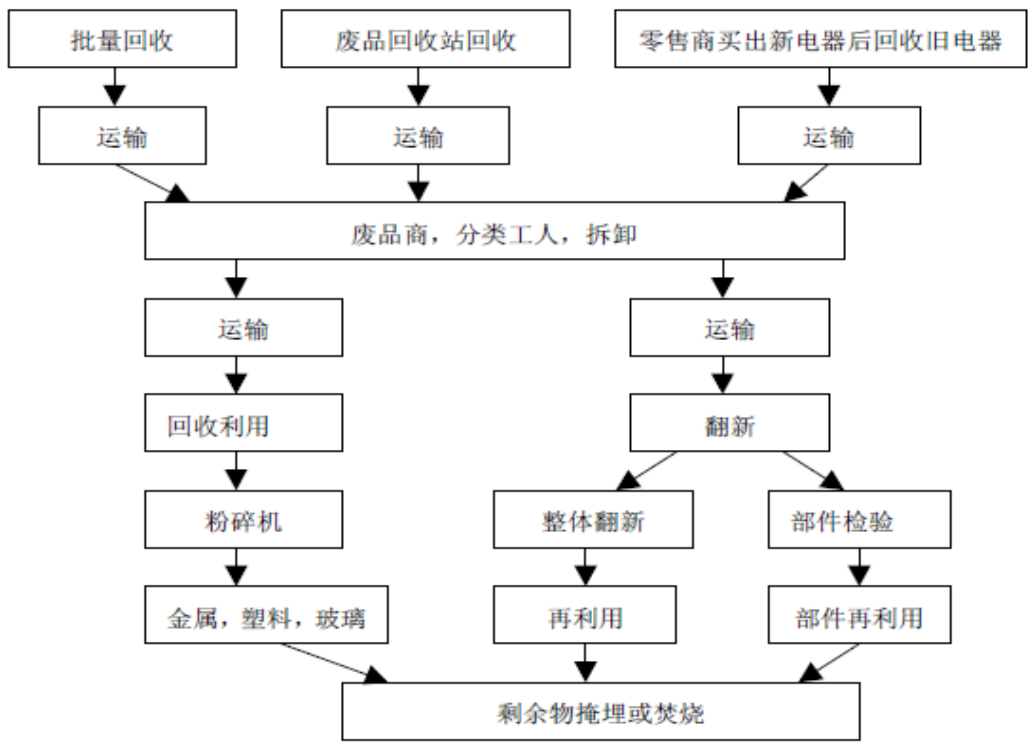


图 8-1 电子电气废弃物回收路径

根据不同类别的废弃家电产品，回收处理技术主要分为有害物质拆除与破碎

分选技术、冰箱发泡剂和聚氨酯回收处理技术、废印刷电路板回收处理技术、废 CRT（阴极射线管）显示器回收处理技术、废 LCD（液晶）显示器回收处理技术五大类。

在本课题中，将电子废弃材料回收处理技术和设备分为 6 类，包括：冰箱发泡剂回收处理技术和设备，含 CRT 的电视机和电脑显示器的回收处理技术和设备，印刷电路板回收处理技术和设备（在电子元器件中详述），一次干电池回收处理技术和设备、二次充电电池回收处理技术和设备，废日光灯回收处理技术和设备等。

8.1.1 行业技术结构

8.1.1.1 冰箱回收处理技术和设备

据统计，我国冰箱的社会保有量达到 1.1 亿，每年更新的冰箱约 400 万台，我国已迎来废旧冰箱报废的高峰期。目前我国只有少量废旧冰箱是直接废弃的，大部分都经过了一定处理，但处理的程度与效果都不容乐观，回收企业数量多、规模小，技术以手工拆解为主，手段原始落后，回收处理效率和经济效益低下，造成了资源严重浪费。

表 8-1 电冰箱的材料组成

组成部分	大约所占比例 (重量) %	部件、零件或材料
铁	53	侧板、门面板、压缩机、压缩机后罩、压缩机托板、门铰、毛细管、干燥过滤管、回气管、蒸发器、冷凝器、储液器、焊接点等
除铁以外的金属	6	
塑料	37	ABS 或 HIPS 内胆、PVC 门封、ABS 定位板、ABS 或 PP 顶盖板、门拉手、PU 泡层、海绵、ABS 电器盒、橡胶件等
其它	4	制冷剂、玻璃层架、玻璃门、电路板、纸箱、说明书等

(1) 日本概况

日本在废旧家电回收处理方面采用了以减少废弃物排放量（Reduce），重新使用（Reuse）和废品再生利用（Recycle）为主的 3R 循环处理体系，并且形成了自主回收和再资源化的结构路线，取得了良好的社会效益，并得到迅速发展。如日本的东芝公司、NKK、三菱公司建成的废旧家电回收处理厂已运行多年。

东芝公司家电回收厂将箱体和泡层一道粉碎，再进行干馏处理，通过瓦斯变换装置将所生气体在 1200℃ 以上高温分解，用作清洁氧化燃料。

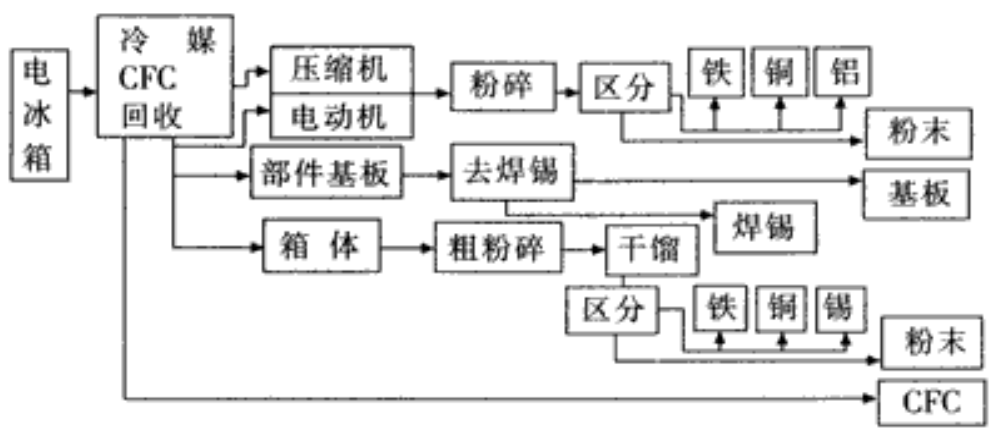


图 8-2 东芝公司的废旧冰箱回收处理流程

三菱电机的东滨废品再生利用中心使用的是一种高效再循环技术系统，将手工拆卸完毕后的剩余物，投入冲击破碎机，破碎金属通过磁力分选机将铁块分四种尺寸筛选出来，用比重分选机、涡电流分选机等分选不同材质的物品，收集铜、铁、塑料、铝、弱磁性物和尘屑等。此外，将塑料混合物粉碎成小颗粒，再用比重分选和静电分选法选出金属和聚氯乙烯，最后将塑料用作高炉还原剂，金属用作铜原料。

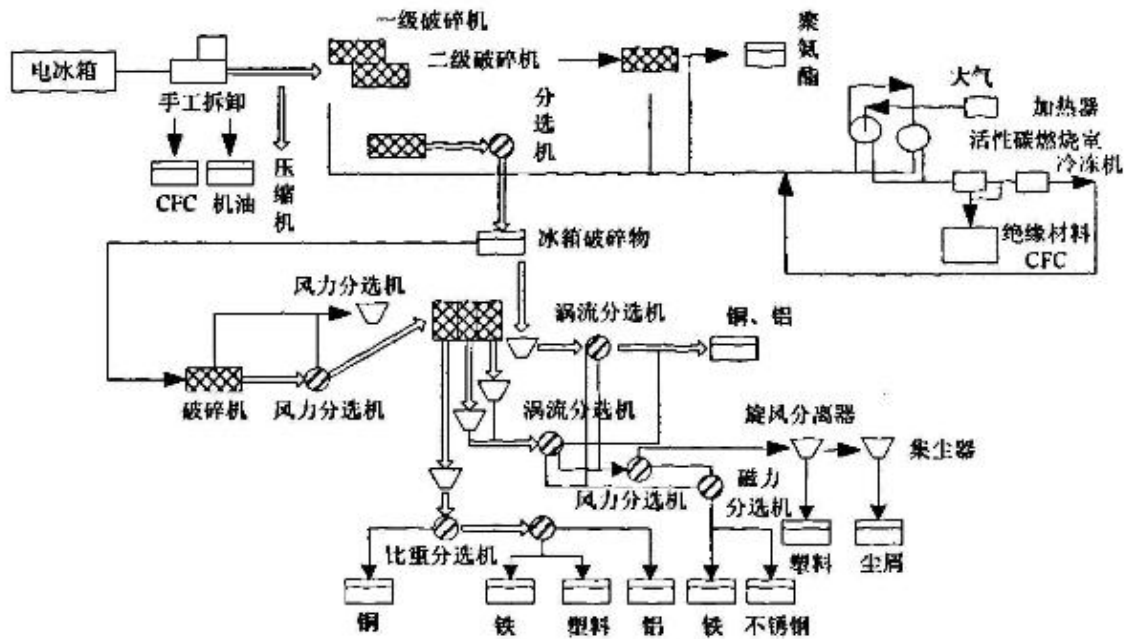


图 8-3 日本三菱东滨废旧冰箱处理流程

其共同特点是：①重视制冷剂和 CFC 的回收处理；②在预处理过程中拆除压缩机、电机、门封条和箱内玻璃部件；③对手工拆卸后的剩余部分进行整体破碎，采用风力分选技术、磁力分选技术等固体颗粒分离技术分离不同成分的材料。

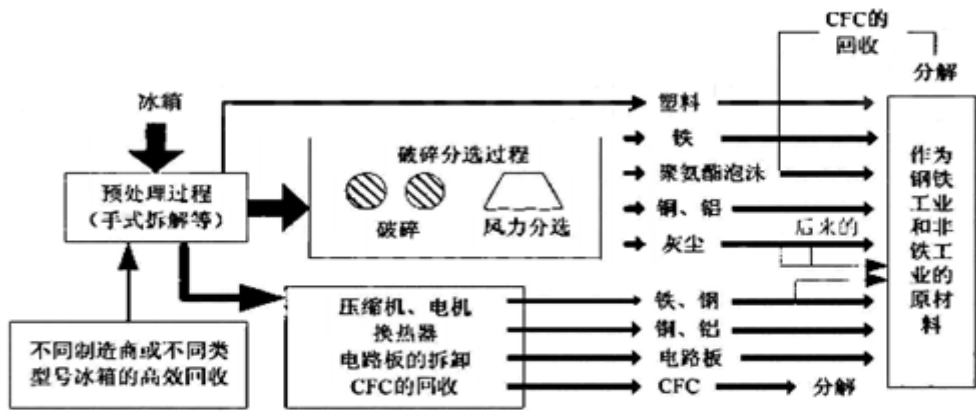


图 8-4 日本 NKK 公司废旧冰箱处理流程

不足之处：①整机进行破碎使各种材料混合在一起，分选工序较多，因此回收工艺比较复杂；②采用自动化装备，设备的投入大，容易造成冰箱处理企业的亏损。

（2）德国概况

德国也是世界上对冰箱回收处理研究最早的国家之一。从 80 年代初，德国就开始对电子废弃物的综合利用进行深入研究，他们致力于手工拆卸和金属富集工艺技术的开发。德国推出了一种用选矿方法处理电子设备的工艺流程。由该流程可知，废旧冰箱经过粉碎、磁选和涡电流分选等一系列操作可得到各种有价值的金属产品。

德国的 AU+T 公司，是专门从事废旧电子电器回收的企业，已经形成了一套技术含量高的回收工艺和装备，其中包括冰箱机械物理回收装备。冰箱回收过程中难点之一是冰箱整体破碎时，发泡层里的发泡剂（R11）会泄露到大气中，造成二次污染。AU+T 公司在密封装置内进行破碎分选，这样泄露出来的发泡剂被封闭在装置内，再通过 CO₂ 活性吸附设备回收利用。

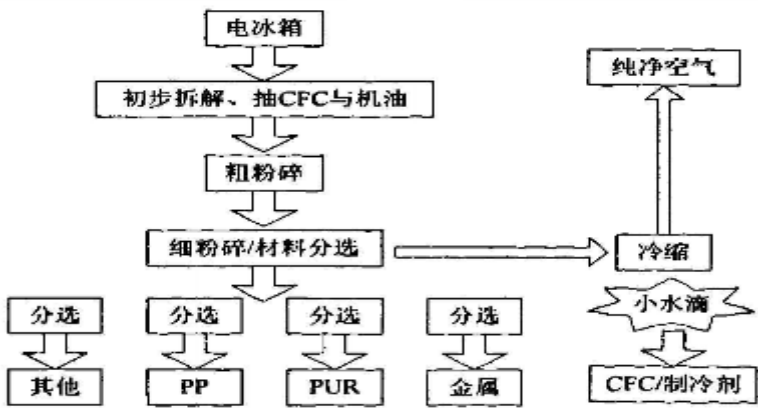


图 8-5 德国废旧冰箱处理工艺流程

通过这种密闭装置可以把塑料、PUR、铜、铝、铁和重金属等分开，而且完

全避免二次污染。这种处理方式的特点：①自动化程度高，降低工人的劳动；②整机进行破碎使各种材料混合在一起，分选工序较多，回收工艺比较复杂；⑧采用自动化装备，设备的投入大，给回收企业造成很大的风险。

(3) 欧洲其他国家概况

瑞典 Scandinavian RecyclingAB (SR) 公司的 SRAB 流程是目前最为完整的机械处理方法（见废旧电路板物理回收技术发展水平）。

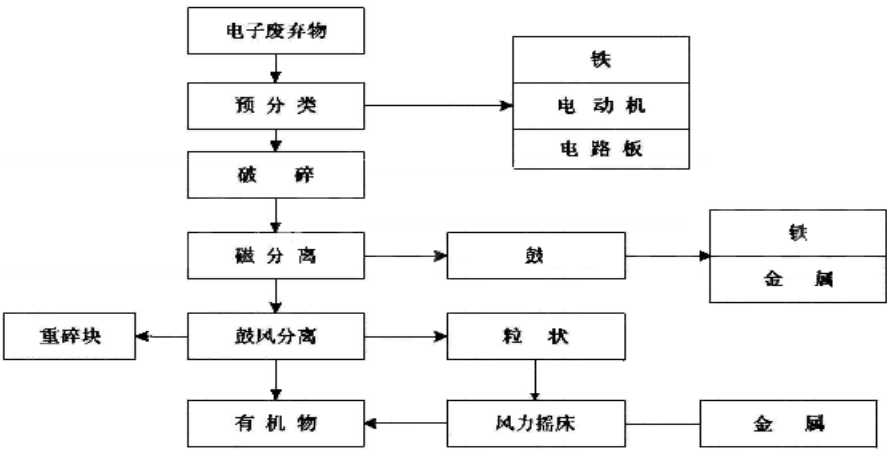


图 8-6 瑞典电子废弃物处理基本流程 (SRAB)

英国苏格兰环境保护处很早就开始了冰箱回收处理，开发了环保型冰箱回收处理工艺流程。

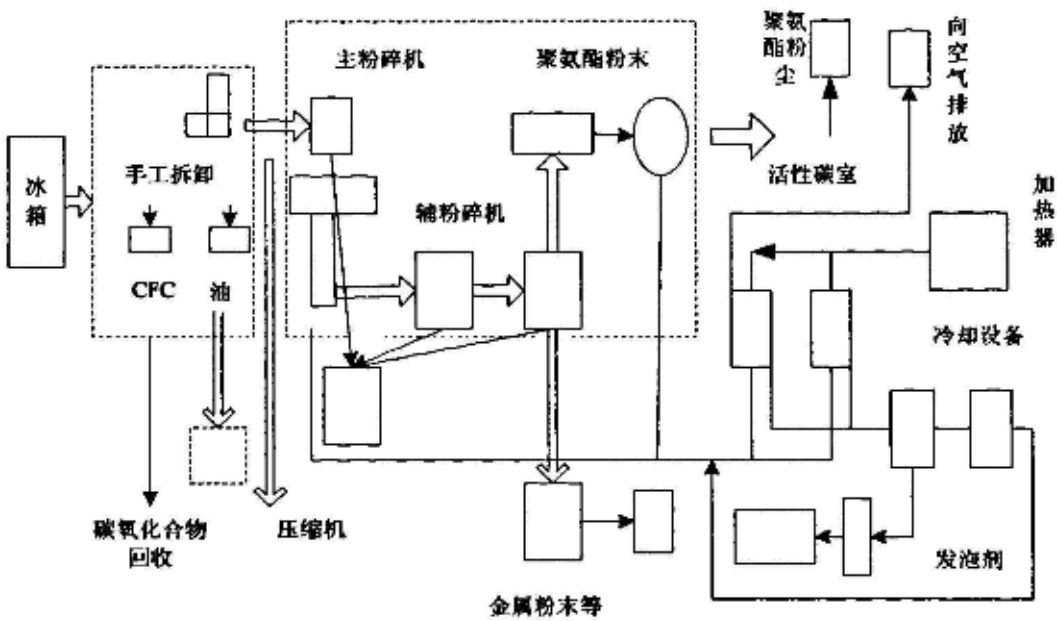


图 8-7 苏格兰环境保护处废旧冰箱处理工艺流程

(4) 国内概况

国内在废旧冰箱处理方面还处在起步阶段。目前，在浙江、青岛、北京、天津、广州、杭州、南京等地相继建立了家电回收处理中心。

目前国内的处理技术方案是手工拆解+专用工具、设备，拆解过程中首先要考虑到的是被拆解电器零部件和材料的再生利用。

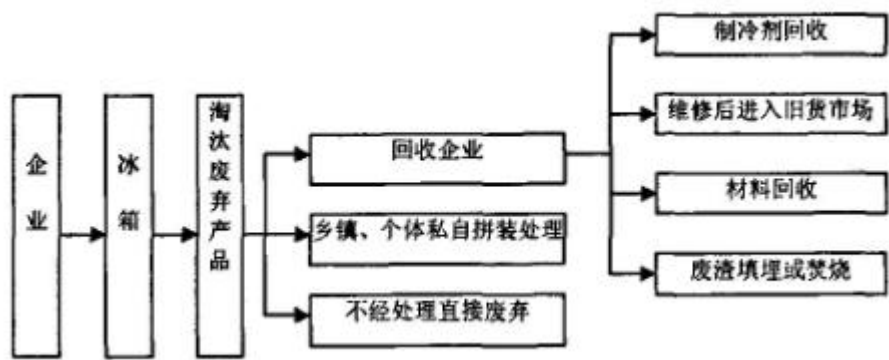


图 8-8 国内废旧冰箱处理现状

目前国内外废旧冰箱处理技术主要如下：

表 8-2 废冰箱回收技术清单

序号	技术名称	工序
1	箱体密闭破碎分选技术	整体工艺
2	高速切割、压延，直接回收高浓度发泡剂技术	整体工艺
3	切割、分离和破碎分选技术	整体工艺
4	冰箱聚氨酯制作再生聚氨酯保温板技术	聚氨酯塑料回收
5	活性炭吸附法	发泡剂回收
6	液体介质溶解法	发泡剂回收
7	超临界流体吸收法	发泡剂回收
小计	7 项	

8.1.1.2 CRT 玻璃回收处理技术和设备

CRT 主要由管屏和管锥组成，不含铅的管屏与含铅的管锥，由高含铅的低熔点玻璃连接。对 CRT 进行再生利用，必须将管屏、管锥分离，且不得使含铅玻璃混入管屏中。CRT 分离方法主要分为两种：

一是将 CRT 玻壳从显示器中取出后，直接采用玻壳的拆解技术分离玻锥玻璃和玻屏玻璃，然后单独进行破碎处理；这种方式可以得到完整的 CRT 玻锥玻璃和玻屏玻璃，两种玻璃的分离较彻底。如果需要回收完整的玻锥玻璃或玻屏玻璃，或者对玻璃成分的要求严格，可以优选这种方法。

二是将取出的 CRT 玻壳玻璃直接进行破碎，采用分选的方式将两种不同的

玻璃分离；这种方法不需对玻壳玻璃进行拆解，但需要增加对不同玻璃成分进行分选的装置，两种玻璃的分离也不够彻底。如果用于对玻璃成分要求不严格的情况，可以优选这种方法。

方式二的破碎分选法分离效率很低，为了得到分离较完整的 CRT 玻锥、玻屏玻璃，使其用于 CRT 管或其他功能玻璃的生产，实现 CRT 显示器资源化利用价值的最大化；因此方式一的拆解法是比较合适的。

当前国内外研究采用的拆解 CRT 玻壳的方法基本可以分为两类，即物理拆解法和化学拆解法。物理拆解法包括电加热丝法、变形法、熔融法、激光处理法，以及其他分割方法如硬金属棍、金刚石切割等。化学拆解法即酸法，由于用来封接 CRT 锥-屏玻璃的熔结玻璃是一种可微晶化的低熔点玻璃，较易溶解于硝酸等溶液中。所以可以采用硝酸、有机酸等溶液，通过浸泡或冲洗的方式溶解熔结玻璃，并辅以冷热冲击过程实现 CRT 玻壳玻璃的分离。主要的分离方法如下：

（1）电热丝分割法。利用电热丝加热——骤冷热应力使管屏、管锥分离，每小时可处理约 30 个 CRT，分离时无噪声，设备投资不大，但切口有时不太整齐，需做简单后续处理。

（2）热变形法。加热屏、锥连接处，然后用水迅速冷却，使屏、锥分开。其优点是分割速度快，简便。缺点是无法得到完整的管屏、管锥组件，与最初目标相距较远。

（3）激光切割法。激光自动切割装置是芬兰 Preventia 公司的专利设备，这是一套全自动设备，利用激光发生器产生的激光分割开管屏、管锥，可分离开无铅的屏玻璃及含铅的锥玻璃，切割分离面非常整齐，分离质量好。分离后的无铅玻璃及含铅玻璃经过无水洗涤后，可以直接利用到新 CRT 生产企业。整个处理过程中，不使用化学物质和水，可形成 CRT 行业一个完整闭环过程，此外，该设备还可以统计切割显像管的数量。例如，一个 40kg 的电视机经过处理后可得到 35~38kg 的再生原材料，循环再利用效益非常显著。该设备的报价为每台 50 万欧元，价格较贵。

（4）金刚石切刀切割法。是用一对切刀割 CRT，其切割面整齐，但切割刀较贵，切割时噪声大，刀具磨损严重。例如德国一对金刚石切刀 2500 欧元，只能切割 6000 个 CRT。按照 1 天切割 200 个 CRT 计，1 个月就要更换一对切刀，1 年的换刀费高达 30 万欧元。由于切割刀具价格昂贵、磨损率高经常更换刀具，不适合工业应用。

（6）熔融法。熔融法利用熔结玻璃的软化温度低于锥玻璃和屏玻璃的特性，将整个玻壳加热到熔结玻璃的软化温度，而此时锥玻璃和屏玻璃还没有软化，施加超声波的方法以加强酸溶液的溶解效果，缩短分离周期。将管保持一定的倾斜角度，即可实现锥-屏的自然分离，该方法的操作时间长，一般需要 6h-8h。

(6) 用硝酸等溶解屏、锥连接处，使之分离的化学处理法，后续废水处理成本较高，效率较低。这种方法适用于 CRT 显像管的生产厂家，可以把生产线中新生产的有质量问题的 CRT 屏、锥拆解分离后的零部件继续用于生产新的 CRT。化学处理法包括热酸喷射和热酸浴两种方法。

热酸喷射是对着熔结玻璃部位喷射热酸溶液，使熔结玻璃溶解到一定深度，然后将冷水和热水轮流喷射到 CRT 玻璃上，使其发生热胀冷缩，实现玻锥和玻屏的分离。

热酸浴是把整个 CRT 管浸泡在热的酸溶液中，酸液淹过玻屏和熔结玻璃，但并不需要淹没整个 CRT 玻壳，使熔结玻璃溶解到一定深度，后续步骤与热酸喷射法一致。在热酸浴过程中，还可采用机械振荡施加超声波的方法以加强酸溶液的溶解效果，缩短分离周期。

(7) 荧光粉等涂附材料的去除

CRT 显像管屏玻璃上的荧光粉层含有金属络合物、重金属等对环境存在潜在污染的物质，同时又含有 Eu、Y 等稀土金属元素，需要回收处理。显像管回收处理工艺流程中屏玻璃的荧光粉涂层较薄，且与屏玻璃结合不紧密，去除较简单，可采取干法工艺和湿法工艺两种路线。

干法工艺有带吸收单元金属刷的真空抽吸、高压气流喷砂吹洗等。湿法工艺有超声波清洗法、高压水冲击、酸碱清洗法等方法。目前荧光粉的回收处理主要以干法工艺为主。

在欧盟、日本以及我国国内的一些电器电子产品拆解示范企业应用较多的是真空抽吸法。真空抽吸法主要原理是：在吸取 CRT 面板玻璃荧光粉涂层时，采用真空吸尘器和刷子相结合的干法去除屏玻璃上的绝大多数荧光粉，并且安装了空气抽取和过滤装置，可以防止荧光粉的逸散，妥善收集荧光粉。

荧光粉的处置方式主要有两种：一是采用高温焚烧法；二是采用填埋法：采用水泥加药剂的固化填埋技术。

表 8-3 CRT 玻璃回收技术清单

序号	技术名称	工序
1	热变形法	CRT 管屏、管锥分离技术
2	金刚石切刀切割法	CRT 管屏、管锥分离技术
3	激光切割法	CRT 管屏、管锥分离技术
4	电热丝分割法	CRT 管屏、管锥分离技术
5	热酸喷射法	CRT 管屏、管锥分离技术
6	热酸浴法	CRT 管屏、管锥分离技术
7	自蔓延法	对 CRT 玻璃中有毒有害重金属进行无害化处理

序号	技术名称	工序
8	真空碳热还原法	分离回收铅金属
9	超临界水处理法	分离回收硅
10	真空抽吸法	含荧光粉涂层去除
11	高压气流喷砂吹洗	含荧光粉涂层去除
12	超声波清洗法	含荧光粉涂层去除
13	高压水冲击法	含荧光粉涂层去除
14	酸碱清洗法	含荧光粉涂层去除
15	高温焚烧法	荧光粉处理方法
16	填埋法	荧光粉处理方法
小计	16 项	

8.1.1.3 一次、二次电池回收处理技术和设备

常用的废旧干电池的处理回收利用技术主要分为干法、湿法、干湿法 3 大类。

(1) 干法

也称高温分解法，可分为常压冶金法和真空冶金法。基本原理是在高温下使废旧干电池中的金属和化合物氧化、还原、分解、挥发和冷凝，优点是过程中不引进新的杂质，回收产品纯度较高、除汞效果好，缺点是能耗大、设备费用高。此法在瑞士、日本、瑞典、美国等国家得到了广泛应用。

真空冶金法具有除汞效果好、不引进新的杂质，回收产品纯度较高、对环境的污染小。不足之处：为了回收干电池中的铁、二氧化锰要在高温下还原，能耗高。有些金属可通过其他相对简捷的方法回收，却也在真空中长期加热，增加了处理量和能耗。

(2) 湿法

基于废干电池中的金属及其化合物易溶于酸的性质，先将其溶解，溶液用于生产化工副产品硫酸锌、硫酸锰等或将溶液净化后经电极生产 Zn、MnO₂ 等。优点是设备投资少、操作费用较低；缺点是加入化学物质多、产品纯度低，工艺流程长，可能会产生二次污染。德国、奥地利等国采用此法建立了废干电池处理回收工厂。

(3) 干湿法

将干法与湿法结合起来，利用各自的优点，避免各自的缺点，形成新的废旧电池处理回收利用工艺技术和方法，世界上也有不少国家正在研究或使用这种方法对废旧电池实施处理回收利用。

国内研究起步较晚，取得了一定的研究成果，获得了一些新的废旧电池处理

回收利用技术和方法，但工业化利用程度和推广应用较少。国内具有代表性的废旧电池处理回收利用工艺技术主要有：焙烧-浸出法；利用废旧电池生产化工产品氧化锌与电池级二氧化锰的工艺；选矿法处理废干电池；利用废干电池生产锌锰复合肥工艺；利用废旧干电池生产硫酸锌和立德粉工艺；多次酸浸法；利用废电池回收锌、锰，生产出口饲料级一水硫酸锌及碳酸锰工艺。

(a) 机械分离技术

主要指机械剥壳分离，采用减速机构、曲柄滑块机构、电气自动控制装置，使废旧干电池在脱壳过程中，自动完成对电池的装填（送料）、破解、分离、回收等工序的实现，最大限度地将废旧电池外层金属分离利用，并在一定程度上分离出碳芯棒。

(b) 真空蒸发分离技术

真空蒸发法是根据废电池内可蒸发物质在同一温度下具有不同蒸汽压的特点，在真空中通过加热蒸发和冷凝使各蒸发物质相互分离回收利用。

(c) 真空热解技术

真空热解是在真空条件下，实现对固体废物的热解。

(d) 真空冶金焙烧分离技术

真空冶金分离技术是指高温冶炼方法，将可蒸发和可析出的物质从残留物质中分离出来。

表 8-4 一次电池回收处理技术清单

序号	技术名称
1	常压冶金法
2	真空冶金法
3	湿法
4	机械分离技术
5	真空蒸发分离技术
6	真空热解技术
7	真空冶金焙烧分离技术
小计	7 项

表 8-5 二次充电电池回收处理技术清单

序号	技术名称
1	电沉积法
2	离子交换法

3	碳燃烧法
4	泡沫浮选法
5	沉浮法
6	Na ₂ CO ₃ 共沉淀法
7	非晶型柠檬酸盐沉淀法
8	盐析法
9	化学沉淀法
10	溶剂萃取法
11	盐酸法

8.1.1.4 废日光灯回收处理技术和设备

荧光灯是一种气体放电灯，废弃荧光灯对环境的污染主要来自汞、铅和砷这三种物质。汞在灯管内是作为气体放电介质而存在的，并且荧光灯在工作时需要维持必要的游离汞蒸气压（0.67-1.33Pa），以保证汞与玻璃、荧光粉以及电极间的化学结合。汞的沸点很低，在常温下即可蒸发，废弃的荧光灯管破碎后，立即向周围散发汞蒸气，瞬时可使周围空气中的汞浓度达到 10-20 mg/m³，而国家规定的汞在空气中的最高允许浓度为 0.01mg/m³。人体一次吸入 2.5g 汞蒸气即可致死。目前汞已被联合国环境规划署（UNEP）列为全球性污染物，是除了温室气体外唯一一种对全球范围产生影响的化学物质。荧光灯灯管通常使用铅玻璃，铅玻璃中的氧化铅会在各种自然环境下慢慢被置换析出。砷的污染主要是玻璃熔制用白砷作澄清剂带入最终残留在玻璃中，简单的填埋或焚烧，这些污染物最终都将进入人类的生存环境，危害人类健康。

一支管径为 36mm 的粗管径荧光灯含汞量为 25-45mg，一支管径为 26mm 的细管径荧光灯含汞量为 20mg，一支管径为 10mm 的紧凑型荧光灯含汞量为 10mg。一支含 23mg 汞的荧光灯，破碎后释放出的汞，可以污染 30 吨水。据中国照明协会统计，我国每年的荧光灯产量约为 8 亿只，每年消耗的荧光灯数量为 4 亿多只，用汞量约为 12 吨。对于废旧荧光灯管不加处理或处理处置不当时，有害成分汞就会通过皮肤、呼吸或食物进入人体，对人类健康产生极大危害。

目前，国内外对于废弃荧光灯处理方法主要有加硫填埋法、焚烧法和回收利用法。加硫填埋法主要在于消除汞对环境的污染，目的在于把汞以硫化汞的形式固化。汞在土壤中往往以 Hg⁰、Hg¹⁺和 Hg²⁺三种价态存在，在不同的自然条件下在三种价态之间转换。虽然美国照明电器制造协会经过近 10a 的研究还没有发现填埋对人类健康有明显危害，但简单的填埋不能使其中的汞分解破坏，而只能转移其存在的位置和转变其理化形态。对于焚烧法，效果更不理想，处理的结果

灯管中 90% 的汞直接进入大气，灯头中的塑料成分经焚烧转化成二恶英类的剧毒化合物。

国外废旧灯管的回收处理技术主要有“直接破碎分离”和“切端吹扫分离”两种工艺。

（a）直接破碎分离

“直接破碎分离”工艺的处理流程为：先将灯管整体粉碎洗净干燥后回收汞和玻璃管的混合物，然后经焙烧、蒸发并凝结回收粗汞，再经汞生产装置精制后供荧光灯用汞，每支灯管回收 10mg-20mg。该工艺特点是结构紧凑、占地面积小、投资省，但荧光粉较难被再利用。

范例：日本野村兴产株式会社

北海道山区的野村兴产株式会社主要业务是一次废弃电池处理和废荧光灯处理，有职工 110 人。其设在北海道的依托模卡矿业所原有废荧光灯管的处理能力为 1000 万支/年，根据政府颁布法规后回收量上升的需要，于 2001 年 12 月投资 6 亿日元，新增每年 2250 万支的处理能力，使 2002 年的处理量已达 7300 吨（折合 3650 万支），同时取得从菲律宾进口废荧光灯管的处理权。提取废荧光灯中的水银一年可达 40 吨，满足日本全年的需求量，实现了真正意义上的循环利用，从而也确保了企业的运行成本和利润。

（b）切端吹扫分离

“切端吹扫分离”工艺是先将灯管的两端切掉，吹入高压空气将含汞的荧光粉吹出后收集，再通过真空加热器回收汞，其生成汞的纯度为 99.9%。该技术特点是可有效地将可再回收利用的稀土荧光粉分类收集，但投资较大。

范例：日本 NKK 环境公司

NKK 公司负责废塑料回收的子公司 NKK 环境公司 2000 年从德国引进废荧光灯管“切端吹扫分离”再生装置，并充分利用其在关东地区回收废塑料的网点和物流系统进行废旧荧光灯管的集中回收，2001 年处理量达到 600 万只，2002 年扩大到 800 万支。再生汞集中运到德国精制后供该国工业使用。荧光粉和玻管亦供应相关企业利用。

表 8-6 废弃日光灯回收技术清单

序号	技术名称	工序
1	直接破碎分离	荧光灯的破碎与物理分离
2	切端吹扫分离	荧光灯的破碎与物理分离
3	湿法	汞的无害化处理
4	水洗法	汞的无害化处理
5	气化法	汞的无害化处理

序号	技术名称	工序
6	超临界 CO ₂ 技术	稀土三基色荧光粉的回收与分离
7	湿法冶金技术	稀土三基色荧光粉的回收与分离
8	风力分选技术	稀土三基色荧光粉的回收与分离
9	离心分离技术	稀土三基色荧光粉的回收与分离
10	浮选分离法	稀土三基色荧光粉的回收与分离
小计	10 项	

8.1.2 行业技术水平

我国尚未形成完整的废旧电子材料回收体系，国内废旧电子材料回收现状与发达国家水平还存在较大的差距。

与国际先进水平相比，国内废旧电路板处理技术还有较大的差距。在国内废电路板的一级破碎一般使用剪切式破碎机破碎粒度为 1mm-2mm，二级破碎可采用锤式破碎机破碎粒度为 0.1mm-0.3mm。而德国 Daim-Ler-Benz Ulm Rcsearch Centre 则先用旋转刀片切成 2cm * 2cm。

目前国内 PCB 行业约有 312 家大中型企业，实施“三废”治理改造预计需总投资约为 60 亿元，每年可回收铜近 30 万吨，总价值 100 亿元以上，为企业创造资源增值效益 17 亿元，投资回报率达 28%，具有显著的经济效益。与此同时，减少水资源消耗 1.5 亿 m³，减少固体废弃物填埋量 41.6 万吨，减少废液排放 270 万 m³，氨氮 8.28 万吨，重金属污泥 20 万吨，COD11840 吨，悬浮物 8288 吨，具有非常显著的经济效益和环境效益。

课题通过调查先进适用技术在市场中所占份额（技术普及率），技术水平和未来发展方向，将上述各项技术水平评价列于下表。分为：电子废弃物回收处理、CRT 玻璃回收处理、一次电池回收处理、二次充电电池回收处理、废弃荧光灯回收处理五大类。

表 8-7 电子废弃物回收处理技术水平

序号	技术名称	技术水平等级		
		成熟	国内先进	国际先进
	废旧冰箱回收处理技术			
1	箱体密闭破碎分选技术	●		
2	高速切割、压延，直接回收高浓度发泡剂技术	●		
3	切割、分离和破碎分选技术	●		
4	冰箱聚氨酯制作再生聚氨酯保温板技术			●
5	活性炭吸附法	●		

6	液体介质溶解法			●
7	超临界流体吸收法			●
	CRT 玻璃回收技术			
13	热变形法			●
14	金刚石切刀切割法			●
15	激光切割法			●
16	电热丝分割法			●
17	热酸喷射法			●
18	热酸浴法			●
19	自蔓延法			●
20	真空碳热还原法			●
21	超临界水处理法			●
22	真空抽吸法		●	
23	高压气流喷砂吹洗			●
24	超声波清洗法			●
25	高压水冲击法			●
26	酸碱清洗法			●
27	高温焚烧法	●		
28	填埋法	●		
	一次干电池回收处理			
29	常压冶金法	●		
30	真空冶金法			●
31	湿法	●		
32	机械分离技术		●	
33	真空蒸发分离技术			●
34	真空热解技术			●
35	真空冶金焙烧分离技术			●
	二次充电电池回收处理			
36	电沉积法			●
37	离子交换法			●
38	碳燃烧法			●
39	泡沫浮选法			●
40	沉浮法			●
41	Na ₂ CO ₃ 共沉淀法			●

42	非晶型柠檬酸盐沉淀法			●
43	盐析法			●
44	化学沉淀法			●
45	溶剂萃取法			●
46	盐酸法			●
	废弃荧光灯回收处理技术			
47	直接破碎分离	●		
48	切端吹扫分离			●
49	湿法	●		
50	水洗法			●
51	气化法			●
52	超临界 CO ₂ 技术			●
53	湿法冶金技术			●
54	风力分选技术			●
55	离心分离技术			●
56	浮选分离法			●

8.2 节能减排先进适用技术

8.2.1 冰箱发泡剂加压旋风分离技术

8.2.1.1 技术介绍

(1) 技术应用节点

聚氨酯（PU）是由多异氰酸酯与多元醇通过加聚反应而制得。将聚氨酯发泡制成的海绵状硬质聚氨酯泡沫塑料，具有优越的绝热性能和机械强度，容易与板材粘结，因而广泛用作电冰箱的绝热材料。实施废家电再生利用法后，占冰箱重量 9.0%的聚氨酯发泡材料的再生利用成为提高冰箱再生利用率的重要课题。虽然目前 CFC-11 已经被明令禁止，作为替代品的 HCFC-141b 也已经被国家有关部门列入淘汰计划，以真空发泡技术为代表的绿色制冷剂技术将逐渐成为消耗臭氧层物质的最佳替代品，但新技术的成熟和推广则需要一定的时间，废旧冰箱发泡剂回收技术仍将是未来一段时间的研究课题。

破碎、加压（或加入蒸汽）、旋风分离回收技术是将拆解出的泡沫进行封闭粉碎使发泡剂挥发并进行收集，收集的发泡剂混合气体进行压缩分离，去除发泡剂之后的泡沫粉料进一步的利用，这种方式比较适合国内废旧冰箱发泡剂回收处理。

（2）技术基本原理

处理工艺主要包括以下三个过程：

①粉碎：经过二级破碎，使铁、铜、铝、塑料及聚氨酯泡沫各物料实现完全分离。粉碎的粒度越细越有利于发泡剂的排除，粉碎粒度可以结合后续的利用方式予以确定。泡沫的粉碎用辊轮破碎机或混合破碎机，在破碎过程中，采用氮气对破碎及输送过程进行保护。

完全分离后的物料先进行风力分选，在旋风收集器处收集粒径较小的聚氨酯泡沫，尾气经除尘器除尘后达标排放，其余物料落入皮带输送机，通过振动给料器连续均匀地将物料送入涡电流分选机，将贵金属铜、铝、塑料及粗聚氨酯泡沫分离出来并分别落入不同的接料车。

②加压：将粉碎后的泡沫粉料经气体压缩机加压，使发泡剂充分溢出，实现发泡剂与聚氨酯的分离。

③收集：将排出的发泡剂气体收集，经除尘器存入储气罐。

8.2.1.2 技术发展水平

CFCs、HCFCs 发泡剂对生态环境的破坏主要是缘于其较高的臭氧消耗潜值（ODP）及地球温室效应值（GWP）。因而在聚氨酯泡沫的回收利用过程中，需对 CFCs、HCFCs 发泡剂进行环保处理。与冰箱制冷剂 R12 不同的是，发泡剂位于冰箱箱体隔热保温层聚氨酯的微孔中，这些微孔非常小，要破坏这些微孔，必须将聚氨酯磨碎到微米级，才能使发泡剂逸出，然后进行收集。

根据中国家用电器协会 2010 年对 51 家冰箱和冷柜企业制冷剂和发泡剂使用情况调查结果，采用 HCFC-141b 发泡剂的产品占总产量的比例约 9%，使用 CFCs 发泡剂的产品占总产量的比例约 0%，大型企业多采用环戊烷、环/异戊烷、HFC-245fa 生产技术。

冰箱保温层内的聚氨酯泡沫中发泡剂一部分填充于聚氨酯泡沫体的孔隙中，起隔热作用；另一部分溶解或积聚在泡沫固体材料上。在聚氨酯泡沫的破碎过程中，可先通过真空挤压法排出泡孔中的发泡剂，然后再将泡沫粉碎到适当的细度，以确保发泡剂的彻底释放。破碎过程中所逸出的发泡剂，经过滤、分离，除去粉尘后，进入发泡剂的回收装置。目前，用于回收聚氨酯泡沫中发泡剂的方法主要为活性炭吸附法，此外还有液体介质溶解法及超临界流体吸收法。

（1）国外技术和设备

对于冰箱发泡聚氨酯绝热材料的回收处理，德国 Bayer 公司做过相关方面的研究：把软质微孔泡沫废料粉碎成粉末，掺混到热塑性聚氨酯中，在挤出成型机中造粒，采用注射成型方法制造鞋底等制品。日本聚氨酯工业协会把聚氨酯废料粉碎得到的碎片和微细粉末作为填料使用，制造聚氨酯泡沫或其它制品，不但使

废旧聚氨酯材料得到回收，还可有效地降低制品成本。

目前，国外回收处理冰箱隔热层聚氨酯中的发泡剂的方式有以下几种：

①破碎、分选、活性炭吸附、解吸、液氮冷却回收方式。这是以欧洲破碎、分选技术为代表的处理方式。用电锯锯开冰箱，手工分离冰箱内胆及外壳钢板，用专用设备将发泡聚氨酯粉碎、加压、降温回收方式。这是美国加利福尼亚家电再循环中心采用的处理方式。用电锯把经过预拆解的冰箱箱体锯成 3 块，手工撕掉 ABS 内胆和外壳钢板，分离出聚氨酯发泡料，在专用设备中将发泡料粉碎，经过加压、降温、冷却液化逸出 R11，液态 R11 经过气液过滤器，最终装入贮罐。采用该回收方式，R11 回收率可达到 99.8%。

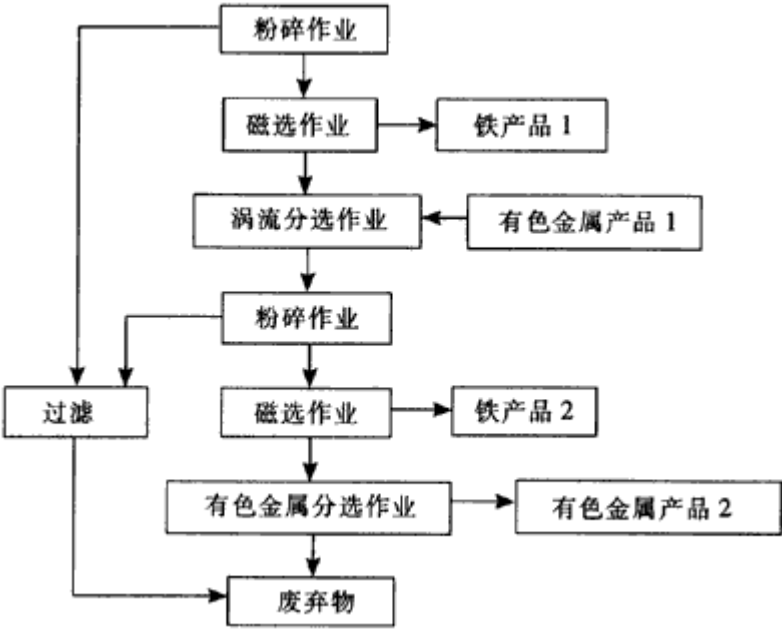


图 8-9 德国选矿方法处理废旧冰箱工艺流程

上世纪八十年代，美国 Cellu 产品公司的 Burt 等人就开始采用活性炭吸附装置在生产期间从泡沫中回收发泡剂。该法首先采用风扇或抽风机从泡沫挤塑机出口处的闭合区中吸出含有发泡剂的气流并将其送入活性炭室；经吸附-解吸作用后，富集发泡剂的气流被送至冷凝器，在冷凝器中，水从气流中被分离；随后，富集发泡剂的气流经压缩机压缩，发泡剂被液化，最后由加压容器的底部排出。日本三菱东滨废品再生利用中心、德国 AU+T 公司以及苏格兰环境保卫处在废旧冰箱的处理过程中也都采用了类似的工艺回收聚氨酯泡沫中的 CFC 发泡剂。

活性炭吸附法的不足之处在于：活性炭材料的热导率较低，对其进行冷却或升温操作的工艺较为耗时；同时，在进行连续操作时，装置中需备有数由活性炭填充的容器，且涉及对其进行更换，这些都会造成设备体积偏大。Mikio Yotsumoto 等对传统的回收装置进行了改进，首先对泡沫进行预压缩，然后由一对压缩滚对泡沫体进行破坏，逸出的发泡剂气体以较高的浓度进入一回收套，并

与惰性气体介质一道被压缩、冷却，发泡剂气体经液化装置得以分离，气体介质则进入回收套循环利用。经改进后的回收系统体积缩小，成本降低，回收效率也得以提高。

上世纪 90 年代，美国 Dupont 公司加拿大分公司的 Ascough 等人公开了一种从泡沫聚合物中提取和回收发泡剂的方法。该法采用高速旋转桨叶、捏合辊或捏合机等设备将泡沫在液体介质中破碎，得到固相聚合物碎片和液相发泡剂及液体介质。用过滤、离心等方法首先将固相与液相分离，然后根据发泡剂与液体介质的混溶性采用蒸馏或倾析的方法将液相中的发泡剂进行分离。部分残留于固相中的发泡剂则采用传统的活性炭吸附技术或膜选择技术进行回收。该法将泡沫聚合物中的发泡剂分为两个部分分别进行回收，工艺过程较为复杂，成本较高，且未见相关产业化的报道。

②破碎、加压（或加入蒸汽）、旋风分离回收方式。这是日本废冰箱处理厂采用的发泡聚氨酯处理方式。将含有发泡剂的聚氨酯破碎成 0.3mm 的粒度，加压（或通入 125℃蒸汽）使气泡破裂，发泡剂逸出，再通过旋风分离聚氨酯与发泡剂，分别进行回收。

③高速切割、压延，直接回收高浓度发泡剂方式。日本家电企业在德国冰箱回收处理技术工艺的基础上不断创新，开发出有特色的冰箱发泡剂回收处理工艺技术路线。即将经过预拆解的冰箱送入高速自动切断拆解系统中，把冰箱切成 3 部分，分选、分离出可再使用的零件和铁、铜、铝等材料，然后将发泡聚氨酯送入全封闭的超高压压延装置，经过压延破碎，直接液化回收高浓度的发泡剂 R11。它由高速自动切断拆解系统和电冰箱隔热材料氟利昂回收系统两部分组成，是由日本松下公司研发的。

④将废树脂化学分解、再生为原料的化学再生利用方法，是废聚氨酯再生利用法之一。如 Dow 塑料公司推出了一种可行的胺解法化学回收工艺；德国 Repra 回收公司推广一种低成本的聚氨酯废料回收技术，用于聚氨酯制鞋废料的回收。三菱电机公司应用特殊的分解溶剂，将冰箱废聚氨酯再生为原料成分多元醇，如下图所示。

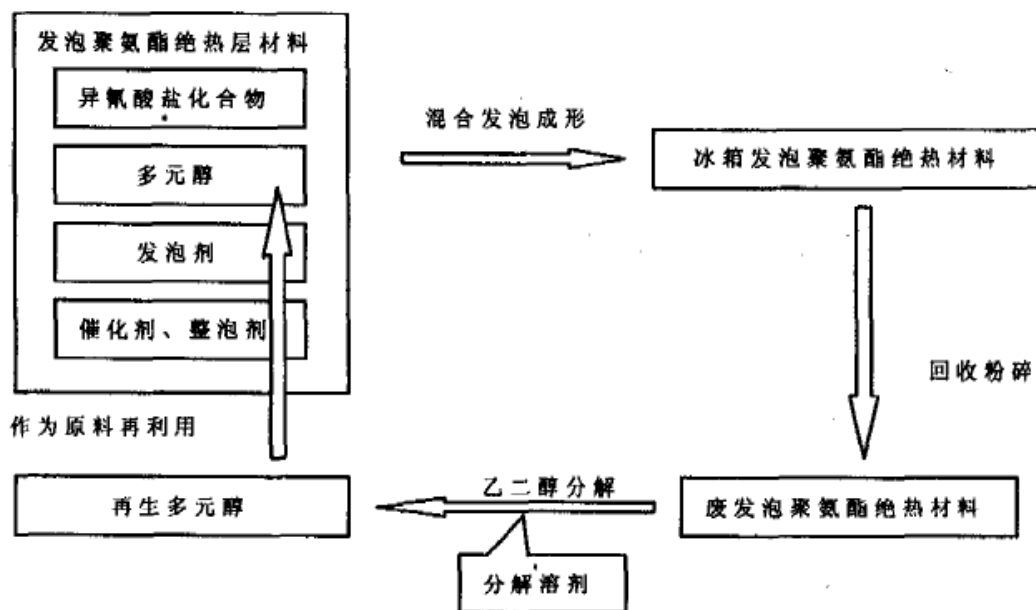


图 8-10 三菱电机冰箱废发泡聚氨酯绝热材料再生利用示意图

三菱电机专门开发出来的分解溶剂对冰箱废发泡层聚氨酯绝热材料进行甘醇分解，得到与原始材料的多元醇具有同样性状的再生多元醇。用再生多元醇制作的发泡聚氨酯绝热材料可再次用于冰箱，具有与原始聚氨酯同样的性能。聚胺酯是热固性树脂，很难溶解或融化，所以不易再利用，其废品通常只能进行焚烧和掩埋处理。废旧冰箱泡层中发泡时含有 CFC，再利用时要对其作无害化有效处理。三菱公司从废电冰箱中回收的发泡聚胺酯绝热材料，通过专用分解溶剂（乙二醇）分解，可再生为聚胺酯原料组成多元醇，再生多元醇与其他材料混合，通过发泡成型，可作为电冰箱绝热材料再利用。

（2）国内技术和设备

目前，中国已经具备较成熟的冰箱、空调制冷剂回收、净化技术和设备，净化装置可有效去除制冷剂中的水汽、杂质，分离出制冷系统中的废油，国内部分企业目前也已经具备了用于处理氟利昂类有机废气的活性炭吸附回收设备的生产能力。设备供应商有青岛金华工业集团、合肥华美制冷配件有限公司、南京春木制冷机电科技设备有限公司等。对于冰箱隔热层发泡聚氨酯的回收处理，一般采用美国加利福尼亚家电再循环中心的技术和设备。

目前我国报废电冰箱发泡剂主要分两种：R11 和环戊烷。2005 年，中国家用电器研究院在国家科技部项目的支持下，研发了冰箱箱体钢板切割技术，该技术可以成功地将箱体钢板与聚氨酯分离。2007 年，徐州国贸稀贵金属综合利用研究所在江苏省科研院所技术开发专项资金的支持下，在冰箱钢板切割的基础上，研发利用冰箱聚氨酯制作再生聚氨酯保温板技术。但是由于再生聚氨酯保温板材与市场上其他保温板材没有价格优势，因此市场推广很难。另外，该技术没

有从根本上解决发泡剂的回收问题。2007 年，北京京卫快车环保公司在借鉴美国冰箱回收处理技术的基础上研制了开放式、四辊冰箱箱体破碎单机，并在北京海淀区电子废物回收处理示范项目中使用。2009 年，湖南万荣科技有限公司研制出处理能力 2.5-10 万台/年的、封闭式粉碎分离系统为关键技术的冰箱回收处理线。2010 年山东中绿资源再生有限公司、兰州泓翼废旧电子产品拆解加工中心的电冰箱回收处理生产线相继投产。

8.2.1.3 技术使用条件

用于废旧冰箱破碎后的发泡剂分选回收过程中。

8.2.1.4 实施建设内容

(1) 关键工艺设备

手动拆解工位台、冷媒回收装置、带压料装置、双轴撕碎机、皮带输送机、辊轮破碎机、永磁自卸式除铁器、振动给料器及筒式除铁器、振动给料器、涡电流分选机、旋风收集器、除尘器及风机、氮气保护、喷雾除尘降温装置。

(2) 主要技术指标

带压料装置的双轴撕碎机结构为：机架上的撕碎腔内安装有由 2 台大功率电机分别带动的 2 根大角度六角柱强力旋转轴及安装在旋转轴上的撕碎刀具，撕碎腔上方安装进料斗，进料斗顶部连接负压抽风除尘管道，在进料斗的背面机架上还安装有压料装置；双轴撕碎机还包括有上料装置，上料装置结构为：上料斗安装在双轴撕碎机机架一侧，上料斗臂端通过转轴与双轴撕碎机机架连接，上料斗臂中部与液压活塞杆连接，液压缸端部与双轴撕碎机机架连接。

辊轮破碎机结构为：机架下安装有电机、传动皮带及旋转轴，旋转轴通过轴承、轴承座安装在机架上，旋转轴一直向上伸至破碎腔内，机架上安装有出料腔及破碎腔，出料腔位于破碎腔下方并与破碎腔连接连通，破碎腔壁四周装有由螺栓联接固定的定刀，破碎腔内的旋转轴上装有切刀支架和辊轮安装圆盘，切刀支架上装有切刀，辊轮安装圆盘通过销轴安装有旋转带齿辊轮；破碎腔下面为出料腔，安装有刮料板，刮料板固定在旋转轴上，破碎腔上部连接进料斗，进料斗顶部连接负压抽风除尘管道。

混合破碎机其结构为：机架下部装有电机、传动皮带及旋转轴，旋转轴通过轴承、轴承座安装在机架上，旋转轴一直向上伸至破碎腔内，机架上安装有出料腔及破碎腔，出料腔位于破碎腔下方并与破碎腔连接连通，破碎腔壁安装定刀，破碎腔内的旋转轴通过切刀支架安装有切刀，旋转轴还通过辊轮支架及销轴安装有旋转带齿辊轮，破碎腔下面为出料腔，安装有刮料板；破碎腔上部连接安装有撕碎腔，撕碎腔内安装有由 2 台大功率电机分别带动的 2 根大角度六角柱强力旋

转轴，以及安装在强力旋转轴上的撕碎刀具，撕碎腔上方安装进料斗，进料斗顶部连接负压抽风除尘管道。

筒式除铁器结构为：在机架内安装有不锈刚滚筒，不锈刚滚筒内壁安装有小半边圆弧形永磁磁性材料，进料边沿不锈刚滚筒上部的切线方向安装，机架下部前后分别具有非磁性物料出口和磁性物料出口。

涡电流分选机结构为：在机架上安装有第一电机及由第一电机带动高速旋转的高强永磁材料滚筒，与此同时，机架上还安装有第二电机及由第二电机带动的皮带滚筒及输送皮带，输送皮带置于高强永磁材料滚筒上方，在输送皮带末端下方的机架前后位置分别安装有色金属出口和非金属物质出口。

8.2.1.5 节能减排效果

以湖南省电子废弃物处理中心有限公司为例，该中心 2009 年购买一套废旧冰箱无害化处理及资源回收生产线，用于处理国家“家电以旧换新”行动长沙试点所回收的报废冰箱。按单班生产计算，每天可处理废旧冰箱约 200 台，平均资源回收率达到了 95%以上。制冷剂经过专用设备妥善处置，破碎机分选环节采用封闭处理，噪声、粉尘、废气均达到国家环保要求。

8.2.1.6 成本效益分析

我国电冰箱的社会保有量约为 2.5 亿台，平均每年报废 460 万台以上，并以年均 20%的速度增长。目前已报废总量约为 1260 万台，废旧冰箱拆解后物料主要有塑料、聚氨酯泡沫、压缩机、铜、铝、铁等物质，经过处理回收后可得到 3 万吨有色金属、25 万吨钢铁、9 万吨塑料、10 万吨聚氨酯泡沫、12 万吨压缩机，资源回收产生的经济收益可达 13 亿元。

8.2.1.7 技术应用情况

该技术能满足大规模废旧冰箱无害化处理的要求，在保护环境的前提下能高效回收二次资源，且性价比优越，适合在国内推广，可产生良好的环境、经济效益。在国内多个电子废弃物处理中心开始投产。

8.2.1.8 技术知识产权情况

- (1) 专利名称：废旧冰箱无害化处理及资源回收技术及设备
申请号/专利号：200920066021.8
申请人/专利权人：湖南万容科技有限公司
- (2) 专利名称：废旧冰箱拆解回收处理方法
申请号/专利号：200910307714
申请人/专利权人：刘景洋

(3) 专利名称：物理发泡剂的回收方法

申请号/专利号：201010236380

申请人/专利权人：中国电子工程设计院

(4) 专利名称：废弃（旧）电冰箱综合拆解、资源再利用处置线

申请号/专利号：200920026358

申请人/专利权人：青岛新天地生态循环科技有限公司

8.2.2 CRT 玻璃回收技术-电热丝切割技术

8.2.2.1 技术介绍

(1) 技术应用节点

由于设备投资少、效率高、操作简单，无废液产生的优点，电热丝加热骤冷热应力分离 CRT 屏、锥技术成为最适合国内处理废弃 CRT 显示屏的方法。

电热式分割法是利用电热丝加热-骤冷热应力使之分离的方法，其分离速度快，无噪音，缺点是切口不太整齐，需要做简单后续处理。

(2) 技术基本原理

电热丝分割设备分为预处理，屏、锥玻璃分离两个工序，预处理工序是完成后盖、电路板、电线及外壳等部件的拆解，然后进入显示屏自动切割机，使用加热急冷的方式来分离含铅的锥管玻璃和含钨的屏玻璃，使显像管在屏锥玻璃结合处裂开。显像管经切割后，分开屏、锥玻璃，取出阴极罩网。

主要工艺流程如下：

固定：将显像管固定在回转台上的显像管固定装置上；

调整：调整显像管固定装置的高度，使刻痕刀位于屏玻璃和锥玻璃结合部位齐平或之下的位置，调整回转台使其处于初始位置；

一次刻痕：转动刻痕刀使其紧贴显示管，显像管随回转台旋转，刻痕刀自动对显像管刻痕，刻痕的一端靠近加热丝缠绕装置并与加热丝起点部件处于同一角度，另一端远离加热丝缠绕装置，刻痕的角度大于或等于加热丝缠绕装置与刻痕刀之间的夹角；

二次刻痕：显像管随回转台旋转，刻痕刀对显像管继续刻痕，在加热丝起点部件到刻痕刀同一角度时，转动刻痕刀使其远离显像管结束二次刻痕，两次刻痕的角度之和大于或等于 360 度；

加热丝缠绕：使加热丝起点部件作径向移动紧贴显像管，随回转台的旋转电热丝自动缠绕在显像管上并包裹住刻痕，夹紧电热丝，使电热丝通电加热一定时间；

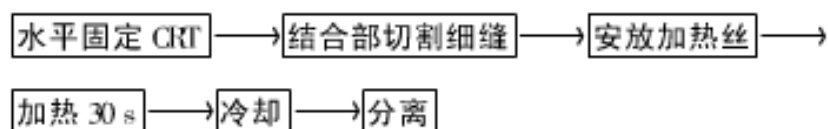


图 8-11 电热丝切割法流程

加热丝脱离：回转台反向旋转回到初始位置，加热丝自动从显像管上脱离并被抽回加热丝缠绕盒里，在加热丝从玻璃上的离开后，玻璃的刻痕部位在瞬间从热变冷，在刻痕处将产生极大的内部应力，使屏玻璃和锥玻璃沿刻痕位置分离开。

8.2.2.2 技术发展水平

发达国家和发展中国家的 CRT 显示器处理技术发展趋势是不完全相同的。在发达国家，当前显示器处理的技术趋势是运用现代科技，简化处理工艺和人员数量，只需经过很少的工序，就可得到高附加值的回收产品。例如，激光自动切割 CRT 装置的开发和应用，设备的自动化程度高，造价高，技术先进，在较少操作人员的情况下可以很好的分离 CRT。此外，欧洲国家也有采用金刚石切刀切割法的实例。德国某公司的电热丝分割是被是采用镍铬合金（80%Ni+20%Cr）电热带，通电加热，在 400℃ 高温下，对 CRT 加热 30-40s，断电后 CRT 周围温度 18-20℃，利用加热-骤冷热应力，使屏、锥分离，该公司的全自动切割设备每小时可切割 CRT27-33 个。

在中国，电热丝分割法和热变形法是合理的技术工艺流程。电热丝分割法在国内已经进入投产应用阶段。2005 年，中国家用电器研究院在国家 863 项目的支持下，研发了可产业化应用的电热丝法阴极射线管屏锥分离的设备和锥玻璃清洗设备。2008 年，由四川长虹电器集团牵头，在中国家用电器研究院专利技术的基础进行改进，在四川绵阳市建成年处理 4 万台废弃电视机的示范处理线。

8.2.2.3 技术使用条件

该技术简单易操作，分离效率高，不产生污染，电热丝分离材料相对便宜，适于规模化应用。

8.2.2.4 实施建设内容

（1）关键工艺设备

电热丝切割装置包括工作台、电热丝和至少四个电热丝支架，其还包括一电热丝张紧机构，所述的电热丝张紧机构由两个松紧轮、驱动机构和传动机构构成；驱动机构和传动机构连接，驱动机构驱动传动机构带动松紧轮顺时针或逆时针方向转动，使电热丝整体张紧和松开；其中一松紧轮的转轴与传动机构连接；每个

松紧轮转轴上分别同轴安装有齿轮，两齿轮相啮合；电热丝连接电热丝支架后两端缠绕于松紧轮上。

(2) 主要技术指标

分割 CRT 尺寸：14#-29#

处理能力：20-40 个/h

电压：AC220V

最大功率：5kW

8.2.2.5 技术应用情况

随着数字电视、液晶和等离子电视的快速推出，未来 10 年内，将有数亿台显像管电视面临更新和被淘汰。虽然激光切割技术和金刚石切割技术在国外应用范围较广，但由于设备投资较高，并不适合国内情况。电热丝分割技术目前是国内市场主要应用的技术，预计 5 年后市场占有率将达到 50%。

8.2.2.6 技术知识产权情况

仁新设备制造（四川）有限公司拥有 CRT 回收处理和清洗设备电热丝分割技术的专利权，该设备在北京华星环保有限公司进行示范应用。

杭州大地环保公司作为首批国家废旧家电回收处理示范企业，自行研发了利用电热丝法分离 CRT 的回收处理设备，并在杭州大地处理厂进行应用。

2008 年，清华大学环境工程系在国家科技支持项目的支持下，研发了可产业化利用电热丝法分离阴极射线管的设备，并在苏州伟翔环保公司进行应用。

(1) 专利名称：电加热丝切割显像管装置

申请号/专利号：200820206115

申请人/专利权人：广州电器科学研究院

(2) 专利名称：带强制冷却装置的显像管屏锥切割分离机

申请号/专利号：200520014165

申请人/专利权人：杭州大地环保有限公司

(3) 专利名称：CRT 显像管屏玻璃与锥玻璃切割装置

申请号/专利号：200520132498

申请人/专利权人：中国家用电器研究院

(4) 专利名称：CRT 显像管含铅玻璃和钡锶玻璃分离切割装置

申请号/专利号：200920059611

申请人/专利权人：惠州市鼎晨实业发展有限公司

(5) 专利名称：CRT 显像管屏锥玻璃的分离方法及分离设备

申请号/专利号：200710050178

申请人/专利权人：仁新设备制造（四川）有限公司

(6) 专利名称：一种 CRT 玻壳热裂分离方法

申请号/专利号：200810116518/200810116711

申请人/专利权人：清华大学

8.2.3 废锌锰电池真空热解技术

8.2.3.1 技术介绍

(1) 技术应用节点

真空热解法是利用在较低真空度下，不同物质汽化温度降低的原理，使废电池中的不同物质汽化继而冷凝从而分离，属物理处理。

(2) 技术基本原理

在真空高温的环境中，废电池成分不易发生氧化反应，有利于得到预期的回收物。固体废物的热解是指固体废物在没有诸如氧气、空气、二氧化碳、水蒸气等气化剂的条件下，加热高分子有机化合物（空气饱和系数小于 1），高分子有机化合物的化学键断裂，分解成低分子碳水化合物从而导致熵增加的过程。固体废物的热解受固体废物化学成分、水分含量、反应器类别及其运行方式、温度及反应时间等因素的影响。

热解阶段可分为干燥阶段、热解阶段和气体形成阶段。当温度达到 200-℃ 时，固体废物因其水分物理分离而干燥。这一过程能耗较多（大约在一个大气压下每千克水耗能 540ka1）。在温度达到（200—500）℃ 时，固体废物开始热解，一些高分子化合物如纤维素，纸，塑料等物质裂解成气态、液态有机化合物及碳。当温度达到（500-1200）% 时，在热解阶段形成的物质继续分解，形成 H、CO、CO₂、CH 等稳定气体。

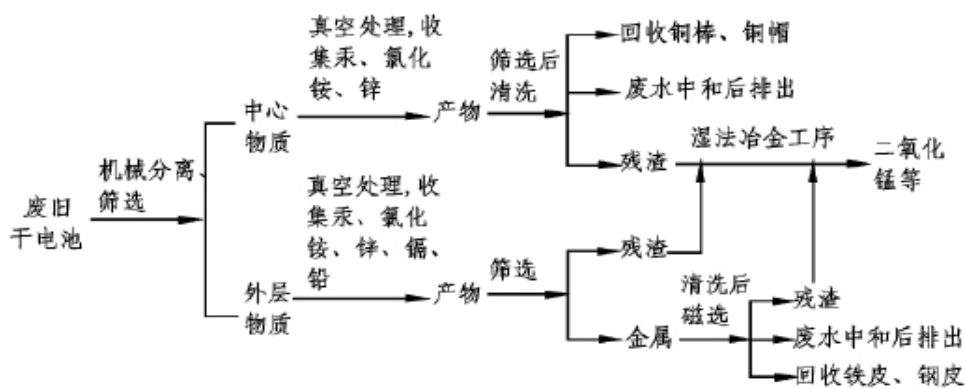


图 8-12 锌锰干电池回收真空处理技术流程

与传统的干湿法处理技术相比，真空处理技术特点在于先采用专用机械分离

设备，分离废旧干电池外层金属（约占废旧干电池金属含量的 80%），通过初步筛选成中心物质和外层物质，采用真空法先分离回收低熔点金属和易蒸发的有害化合物，再筛选、水洗分离回收可再利用金属和其他物质，最后采用湿法处理分离残渣中的高熔点金属和有害物质。在整个处理过程中，对废旧电池处理回收利用效率高、能耗小、设备投资少，利于中小城市乃至城镇对废旧干电池的处理与回收利用，具有较大的经济效益和社会效益。

8.2.3.2 技术发展水平

目前干电池回收处理以欧洲国家，如瑞士、法国等国家相对成熟，但其处理过程中通过政策、补助等形式支持下整个回收处理体系得以运转，德国现有成熟的真空处理干电池设备，但造价高昂。

（1）机械分离技术

主要指机械剥壳分离，采用减速机构、曲柄滑块机构、电气自动控制装置，使废旧干电池在脱壳过程中，自动完成对电池的装填（送料）、破解、分离、回收等工序的实现，最大限度地废旧电池外层金属分离利用，并在一定程度上分离出碳芯棒。

（2）真空蒸发分离技术

真空蒸发法是根据废电池内可蒸发物质在同一温度下具有不同蒸汽压的特点，在真空中通过加热蒸发和冷凝使各蒸发物质相互分离回收利用。该技术从理论和应用上已相当成熟，它不但可以降低能耗，且系统封闭，无二次污染，在石油化工、盐化工中已得到广泛的应用。

（3）真空热解技术

真空热解是在真空条件下，实现对固体废物的热解。

（4）真空冶金焙烧分离技术

真空冶金分离技术是指高温冶炼方法，将可蒸发和可析出的物质从残留物质中分离出来。该技术的研究和应用也非常成熟，同样具有能耗低，系统封闭，无二次污染等特点。最早将真空冶金焙烧法引入废干电池处理的是德国和日本，但两者将真空法主要用于汞的脱除，并未将真空法应用于其他金属如锌、锰等的回收。前辈们的实践证明，利用真空冶金焙烧法从废电池分阶段回收汞和锌等金属是完全可行的，通过控制温度、真空度、蒸馏时间和破碎形式等工艺参数，可以确定废电池真空处理的佳操作条件。

干电池中含有氯化铵；汞及其化合物；锰及其化合物；锌、镉、铅及其化合物；铁、铜及其化合物等多种成分，因此需要用复合工艺进行分类：

（1）氯化铵的回收处理工艺

由氯化铵的物理性质可知，它在常温下就极容易挥发，所以在真空中，稍微

加热蒸发便可送入氯化铵冷凝器冷凝回收。

由机械装置将废电池外层物质剥离，经筛选后将中心物质（包括：包装纸、塑料、纤维、黑色粉末、电解液、锌粉、碳棒、铜棒、铜帽等），送入真空设备进行加热，蒸馏分离，冷凝回收氯化铵。

（2）汞及其化合物的回收处理工艺

汞是有毒的物质，而且在电池中的分布极为分散，汞的回收问题应该是在整个废旧锌锰干电池回收处理工艺设计与设备设计中需要重点研究的课题之一。

常见的废旧锌锰干电池回收处理工艺是将废旧电池进行简单拆解后，经水洗后直接回收利用。由于纯汞和氧化汞不溶于水，水洗只能去除粘附在表面的少量汞和氧化汞，大部分仍存在于锌皮或锌粉中。含汞废物处理回收常用的方法有干法、湿法两类。

湿法，多用酸浸出，然后用还原法、硫化法处理得到汞盐或汞，将其分离。湿法有很多的不足，比如难于控制浓酸的加入量、反应产物的成分多样化、消耗金属粉末、产生酸性有毒气体等。而普通干法在常压下燃烧，通过除尘器后，加硫收集汞，但由于在常压下燃烧时，干电池中的各种成分易于氧化，如铁、铜等，增加了废旧电池氧化物的还原量，能源消耗较大。如果直接回收利用氧化物，其经济效益非常有限，直接废弃将造成二次环境污染。

（3）锰及其化合物的回收处理工艺

废旧干电池中的锰化合物，除了 MnOOH 外， Mn 的氧化物都是高熔点、高沸点的物质， Mn 及其氧化物的蒸汽压非常低，在真空下不容易挥发，而且金属锰在空气中又非常容易被氧化，显然用真空蒸馏法回收，不能有效节约能源也得不到纯净的金属。锌锰干电池中的锰及其化合物的回收处理工艺有很多种。归纳起来，比较典型的有如下两类：

①在有氧氛围中高温焙烧，再在熔融炉中加入还原剂，加热至高温（甚至还高于 1500°C ）使金属还原，或回收锰铁合金（价格比较低），或再经湿法回收各种金属。

②加浓酸（为了提高浸出率有些还加入部分促进剂）使所有锰及其化合物转化为可溶的锰盐，再生产出硫酸锰或碳酸锰（价格比较低）。或在可溶的锰盐中再加入各种试剂进行除氯、除铁、除镉、除铅，然后经电解处理，生成电解二氧化锰。

这两类工艺都有共同的缺点：回收产物经济效益低，要加入还原剂，另外，前者能耗高，后者工艺复杂。

（4）其他化合物处理工艺

锌锰干电池中的锌、镉、铅及其化合物采用与汞、氯化铵相似的方法在真空加热中分步析出回收。

铁、铜及其化合物在真空加热中可采用与二氧化锰相似的反应处理方法得到还原，在出炉后经过筛选后分离回收利用。

锌锰干电池中的碳及有机物在真空加热下热解，并参与还原反应。

8.2.3.3 技术使用条件

技术适用于废锌锰干电池处理。废电池由于主要消费对象为广大消费者，有着分散的特点，所以回收是最困难的环节，该技术的运行必须以保证原料回收和有效分类为前提，设计年处理量根据实际回收量计算以年处理 1000 吨规模为适宜。

8.2.3.4 实施建设内容

(1) 关键工艺设备

包括真空系统、充气系统、电气控制系统、水冷系统、锌汞收集系统组成，并设有前炉炉室、炉体、加热室、放气口、后炉炉盖、加热元件、观察窗、工作区、炉盖锁紧装置、炉腿、充气口、测温热电偶、真空表、真空阀门、汞收集器、锌收集器、真空阀门、真空机组。

(2) 主要工艺流程

①氯化铵的回收处理工艺

电池剥离物经筛选后，将外层物质另送真空设备，进行蒸馏分离，冷凝回收氯化铵。

②汞及其化合物的回收处理工艺

经专用分离机械分离电池外层金属物质，将中心剩余物质和外层金属物质分别送入真空分离设备，在加热到 300℃-350℃，30Pa-40Pa 压强下保压蒸馏 4h，分解蒸发分离汞及其化合物，并经汞冷凝器回收 Hg。

③锰及其化合物的回收处理工艺

在利用专用机械设备分离废旧干电池外层金属后（减少高温处理量），将含锰的中心物质在真空下加热，并利用碳及有机物在真空下热解产生的还原性气体以及废旧干电池中的碳棒、石墨，将锰的高价化合物还原为低价的易溶于酸的化合物 MnO 。采用筛选、清洗的方法将经真空还原后的 Mn 及其化合物和其他金属分开，再经浓硫酸溶解得到 $MnSO_4$ ，再进一步采用电解的方法进行回收得到售价较高的电解二氧化锰。

酸浸溶解处理工艺技术：经真空处理后的锰及其氧化物，可能含有 Ca 、 K 离子，为了减少 Ca 、 K 离子的含量，可以经过水洗，将其溶入水中，过滤后再将其溶解于浓硫酸，生成 $MnSO_4$ 盐。

8.2.3.5 节能减排效果

废电池真空处理技术由于全部操作过程在真空负压状态下,不会造成废气污染,产生的废气经专业处理回收后,直接水体循环使用不对外排放,最终产生汞、锌、锰、钢铁、铜等回收产品,回收率可达 95%以上。

8.2.3.6 成本效益分析

以北京东华鑫馨废旧电池回收中心的 1000 吨设备投资为例,设备投资共计 300 万元人民币。设备使用寿命为 10 年。

一只普通锌锰干电池,平均含锌 22%、锰 26%、碳 8%、铁 17%;一只碱性锌锰干电池平均含锌 16%、锰 35%、碳 4.5%、铁 20%。照此计算,我国每年消费普通锌锰及碱性锌锰干电池 98 亿只,折合重量 20 多万吨。我国每年废电池可回收锌 4 万多吨、锰 4 万多吨。

8.2.3.7 技术应用情况

据中国电池工业协会提供的数据:2008 年我国生产电池总量 362 亿余只,其中国内市场消费就达 157 亿余只,折合重量 30 余万吨。镉镍充电电池、氢镍充电电池、锂离子电池等由于其中富含镍、镉、钴等贵金属,市场投资趋之若鹜。

8.2.3.8 技术知识产权情况

- (1) 专利名称:真空处理废电池废灯管设备
申请号/专利号:00320100485
申请人/专利权人:王自新
- (2) 专利名称:废旧电池热解气化焚烧处理设备及其处理方法
申请号/专利号:00131913
申请人/专利权人:金卫强

8.2.4 废旧电池有价金属回收技术

8.2.4.1 技术介绍

(1) 技术应用节点

该技术采用“粉碎--分选--浸出--萃取--电积及浓缩结晶”工艺回收废锂电池中的铜、钴、镍等有价金属,不仅对各个工序进行最优化研究,提高了酸浸出率和产品的纯度,而且整合缩减了工艺流程,降低了工艺操作的复杂性,降低回收成本,同时还提高工艺灵活度。工艺流程利用湿法冶金技术对废旧充电电池进行有色金属的分类和回收,通过破碎、磁选、酸浸、萃取、结晶等工艺流程对废旧氢

镍电池/锂离子电池进行回收处理。

(2) 技术基本原理

氢镍电池/锂离子电池经破碎设备破碎后，经过烘干机烘干脱胶，然后进行筛分，筛上物主要为镍、铁、铜、铝等金属碎片，筛下物为电池正负极粉。筛上物进入磁选机，将镍、铁等铁磁金属分选出来，作为镍铁合金的原料，再经涡流分选，将铜铝分离。筛下物正负极粉主要含镍、钴、铜、锂、锰等金属，经酸溶后进入溶液，通过多级萃取分离，分别得到锂、镍、钴、铜、锰的纯净溶液。最后经浓缩结晶、电解或雾化水解、热处理等方法得到固体金属。

8.2.4.2 技术发展水平

废弃充电电池再生处理技术的研究开始于 20 世纪 90 年代中后期，在借鉴成熟的矿石冶炼工艺的基础上，针对废锂离子电池的特殊性，经过十几年的发展，工艺已日趋完善，并已经应用于实际生产过程。研究对象主要集中在以石墨为负极、LiCoO₂ 为正极的锂离子电池，这是当前使用最多、最早进行商品化生产的锂离子电池。目前，国内外学者对废锂离子电池的各个处理过程都做了详细的研究，包括放电、拆解等预处理，以及各种再生工艺，如选矿技术、火法冶金、湿法冶金等。其中湿法冶金技术因其优势已成为研究和应用的主要方面。如法国的 SNAM 公司、英国的 AEA 电源技术公司、美国的 TOXCO 公司等。

(1) 废旧镉镍、氢镍电池的回收工艺

废旧镉镍、氢镍电池的回收工艺主要分火法和湿法两类工艺。干法主要利用镉及其氧化物蒸气压高的特点，在高温下使镉蒸发而与镍分离。湿法则是将废电池破碎后，一并用硫酸浸出后再用 H₂S 分离出镉。

火法回收工艺主要利用废旧电池中各金属元素的沸点差异进行分离、熔炼，如真空蒸馏法处理废旧镉镍电池时就是利用镉的低沸点，将其蒸馏回收，而镍、铁等残留在渣中并随后被熔炼成镍铁合金出售。下表为镉镍电池火法处理工艺示例。火法冶炼流程比较简单，但其能耗高，且难以获得高价值的回收产品。

表 8-8 废旧镉镍电池火法处理工艺示例

研究者	回收工艺	备注
H.Gunjishama 等	加热到 500℃，氢氧化物分解，有机物挥发，再加热到 900℃，非氧化气氛回收镉	日本专利 No.04128324， 1992-4-28
J.Sun 等	高温高压下还原，然后蒸馏回收镉	中国专利 No.1063314 1992-8-5
Y.Sakata 等	由小型镍镉电池蒸馏回收镉	日本专利 No.05247553， 1993-9-2
H.Morrow	加热到 400℃去掉有机相，再加热到 900℃在还原气氛下蒸馏回收镉，镍铁合金送到	瑞典 Saft Nife 应用。Cd 的 纯度可达 99.5%

	冶炼厂连成不锈钢	
J.David	加热到 400℃去掉有机相，再加热到 900℃在还原气氛下蒸馏回收镉，镍铁合金送到冶炼厂连成不锈钢	法国 SNAM 和 SAVAM 所用工艺
Sakata 等	加热到 900℃以上，蒸馏回收镉，剩余物质与铁水反应生成合金	
R.J.Delisle 等	加热到 1000℃以上回收镉，残余物质中的镍按常规方法处理	欧洲专利 No.608098，1994-07-027
H. Gunjishima	加热到 500℃去掉有机相，再加热到 900℃，蒸馏回收镉	日本专利 No.05247553，1993-09-02

采用湿法冶金流程处理废旧氢镍和镉镍电池具有投资小、能耗低、污染小且产品附加值高等优点，特别是这类湿法冶金流程还可兼顾含镍电镀污泥、废催化剂等含镍废物的处理，故湿法冶金流程受到小型回收工厂青睐。下表为镉镍电池湿法处理工艺示例。

表 8-9 废旧镉镍电池湿法处理工艺示例

研制者	工艺流程描述	文献来源
Dobos Gabor 等	HCl 浸出，然后分两步萃取回收	匈牙利专利
Pentek 等	H ₂ SO ₄ 浸出、加锌置换镉，加 NH ₄ HCO ₃ 析出 ZnCO ₃ ，Fe(OH) ₃ 等	纯度低
J.Agh 等	用有机物分两步选择浸出 Ni，Cd，最后分别得到氢氧化物	中国专利 No.1053092
X.Yu 等	煅烧得 CdO，NiO，然后选择浸出，分别得氢氧化物	Hung 专利 No.57837
X.Guo 等	H ₂ SO ₄ 浸出、电解沉积 Cd	中南工业大学
J.Van Erkel 等	酸浸出、过滤、萃取 Cd、电解沉积 Cd、Ni(OH) ₂ 析出	美国专利 No.5407463
Alavi, Salami	压碎、磁选、磁性物质为铁镍混合物、其余物质溶于稀酸、选择性萃取	美国专利 No.5377920
Xianghua.Kong	氨水浸出、驱氨，过滤后煅烧处理、然后二次浸氨、过滤分离，固体物质为氧化镍、液体驱氨后得氢氧化镍	
D.A.Wilson， B.J.Wiegand	洗掉 KOH 电解液，加热到 500℃，1h，镉盐，镍盐分离，镉氧化成 CdO，加入 NH ₄ NO ₃ ，浸出 Cd（Ni，Fe 不反应），通入 CO ₂ 生成 CdCO ₃ 沉淀，加热到 40-60℃，pH=4.5，抽真空，加 HNO ₃ 中和去碱，浸出剂循环使用	只有 94%Cd 浸水，Fe，Ni 未分离，加热设备投资大
H.Hamansta 等	在加热条件下，硫酸浸出 Ni、Cd、Fe.pH=4.5-5，加 Na ₂ CO ₃ ，NaOH 沉淀出 Ni(OH) ₂	Ni，Cd 分离的好，但要保证 NH ₄ HCO ₃ 的质量
H.Reinhardt 等	滤除 KOH 电解液、用 NH ₄ HCO ₃ ³⁺ NH ₃ .H ₂ O 浸出 Cd ²⁺ 、Ni ²⁺ 、Co ²⁺ ，空气氧化 Co ²⁺ 成 Co ³⁺ ，加络合剂 LIX64N 萃取 Ni，驱走 NH ₃ ，Cd(OH) ₂ 沉淀析出，加热到 100℃，1h，Cd(OH) ₃ 沉淀析出	回收 95%以上的 Ni，99%以上的，但络合剂成本高，连续处理设备投资大
T.Furuse 等	粉碎、筛分、H ₂ SO ₄ 浸出、电解沉积镉、加水	镉纯度可达 99.75%，但

	稀释用空气或氧化剂氧化，石灰中和使 PH=7，滤除铁，加 CaCO ₃ ，冷却至室温，NiSO ₄ 生成	电解电流密度不易控制，能耗

(2) 废旧锂离子电池的处理工艺

目前锂离子电池的再生工艺研究，较为成熟、经济可行的是湿法冶金工艺，其主要的工艺流程如下图所示：

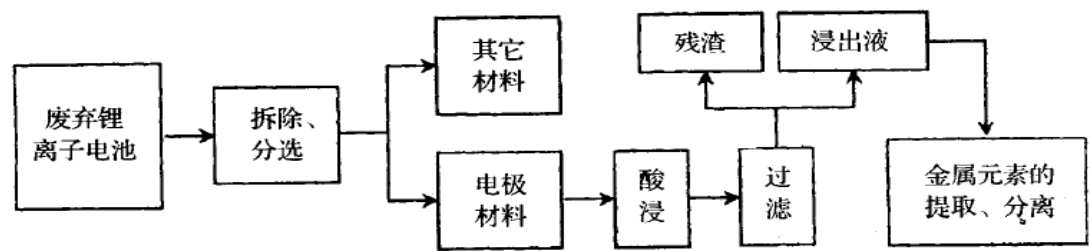


图 8-13 锂离子电池湿法处理工艺流程图

浮选法是用粉碎机后，进行筛分，得到筛上产品和筛下产品。筛上产品经风力摇床分选，获得轻产品和重产品。筛下产品用振动筛筛分，获得筛上产品和筛下产品。浮选法的工艺流程相对比较简单，投资成本比较低，可以实现活性材料中 LiCoO₂、Al 箔、Cu 箔和石墨粉末的有效分离；所获得的 LiCoO₂ 经湿法浸出提纯、资源化。

盐酸法主要流程为：废的锂离子电池经过粉碎和筛分工序后，被去掉金属外壳，得到电极活性材料；在 100℃ 下用氮甲基吡咯烷酮将活性材料浸泡后过滤可分离出 Al 和 Cu 的金属箔片，以及锂钴氧化物和石墨粉末混合物，对锂钴氧化物和石墨粉末进行多次水洗，回收 NMP 循环使用；用 4M 的 HCl 溶液将所得的 LiCoO₂ 粉末浸出后，过滤、除去石墨粉末，得到含有 Co²⁺ 离子的溶液；NaOH 调节溶液 pH 值，产生沉淀，过滤，得到 Co(OH)₂。但该工艺得到的主产品 (Co(OH)₂) 纯度较高，但仅停留在实验室阶段，只实现了金属钴的回收，而未考虑到锂的回收问题。

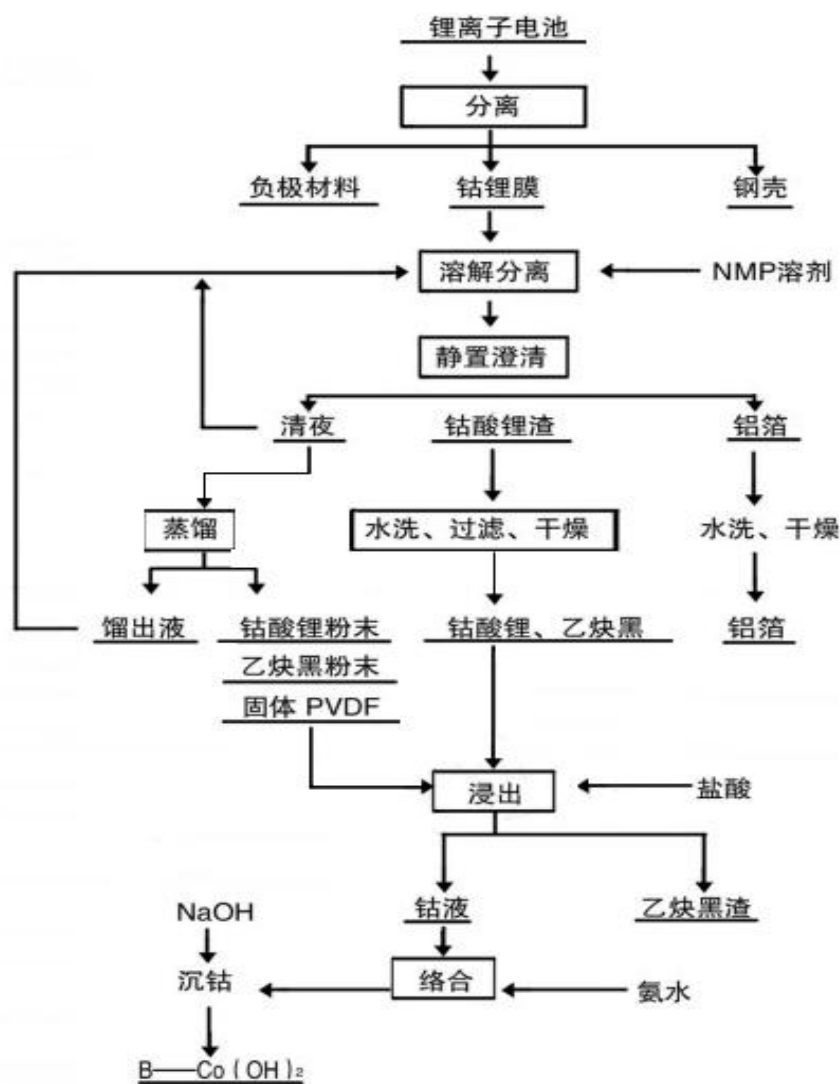


图 8-14 盐酸法回收处理锂离子电池工艺流程图

溶剂萃取法流程主要包括是锂电池经破碎后，除去外层的塑料皮和金属外壳，拆解分离出正极材料，用 $\text{H}_2\text{SO}_3/\text{NH}_2\text{OHHCl}/\text{HCl}$ 等浸取分离出 Co 、 Li 溶液。分别用 $\text{D}_2\text{EHPA}/\text{PC-88A}$ 进行钴的萃取分离，在萃取液中加入饱和碳酸钠溶液，加热浓缩至饱和，冷凝出 Li_2CO_3 。萃取回收法不仅可以有效地回收金属钴和锂，而且产品纯度较好、回收率较高，是目前研究比较多的工艺之一。

柠檬酸溶胶—凝胶法是从废旧锂离子电池中直接生产正极材料的新工艺，主要包括如下工序：经破碎、筛分、浮选后，获得纯度大于 94% 的废旧正极材料 LiCoO_2 ；用硝酸浸出废旧正极材料中的 Li 和 Co ；浸出液经萃取除杂后加入柠檬酸等调节混合物的配比，经过蒸发干燥做成凝胶，在高温下加热培烧干凝胶，获得具有活性的电池正极材料锂钴氧。该工艺路程简单，但成本偏高。

整体来看，废旧锂离子电池溶解分离工艺要经历 3 个步骤：

①将废旧电池放电、剥离外壳、简单破碎、筛选后得到电极材料，或者简单

破碎后焙烧去除有机物获得电极材料。

②将第一步获得的材料进行溶解浸出使电极中的各种金属进入溶液中。其中钴和镍分别以 Co、Ni 形式存在。浸出分一步溶解法和两步溶解法：一步溶解法直接采用酸浸出，将所有金属溶于酸中，然后采用一些不同的方法分离净化回收；两步法是用碱浸出铝并回收，然后用酸浸出剩余金属氧化物，其后处理与第一步法类似。

③对溶解后溶液（浸出液）中金属元素进行分离回收或将该溶液直接合成正极材料。分离回收的方法有化学沉淀法、盐析法、离子交换法、萃取法、电化法等，分别得到含钴或锂的化合物。化学萃取是最常用的技术，萃取剂一般为弱酸性有机酸。除了化学萃取技术之外，还可以通过改变浸出液的 pH 值使金属选择性沉淀，避免在湿法冶金处理体系中引入有机溶剂。

电极材料的溶解浸出：将经过第一步处理后获得的电极材料用酸溶解浸出是整个分离回收技术的关键。电极材料中的重要物质 $\text{LiNi}_x\text{Co}_{(1-x)}\text{O}_2$ 溶于还原性酸 HNO_3 、 HCl ，但在此过程中随着三价钴镍被还原为 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 会产生 Cl_2 等污染物使得工作条件恶化。为此普遍采用在 H_2SO_4 溶液中加入还原剂 H_2O_2 或 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 做为浸出溶液以避免有毒有害物质的产生，并使溶解率提高到 99.5%，且反应速率快。随着生物冶金技术的进步，利用无机化能营养、嗜酸氧化亚铁菌从废锂离子电池中溶解金属的生物浸出法是一种新颖的、有发展潜力的浸出方法，能源消耗低。

浸出液中金属元素的分离回收：通过浸出得到的浸出液可能含有 Co、Li、Al、Ni、Mn、Fe 等多种元素，其中前面四种含量较高，也是回收的主要目标金属元素。要获得需要的回收产品就必须对浸出液进行除杂并逐一提取和分离。通常利用各金属氢氧化物溶度积的差异，通过调节 pH 值可选择性地把 Al、Fe 分别沉淀出来，并将其作为前期除杂和回收 Al 的手段。

浸出液合成电极材料的分类：对浸出液金属元素单独分离、分别回收的冶金方法虽然较成熟、实用，设备和操作要求低，但它们共同的缺点是后续分离和提取铝、钴及锂等金属元素的工艺非常复杂，存在成本高和回收产品价值低的缺点。主要方法有非晶型柠檬酸盐沉淀法、 Na_2CO_3 共沉淀法等。

④直接获取 LiCoO_2 材料的回收技术：该技术是将预处理得到的电极材料，通过破坏粘结剂 PVDF 使活性材料（ LiCoO_2 和碳的混合粉末）和铝箔分离，然后采用各种方法将混合粉末中的 LiCoO_2 分离并回收。破坏 PVDF 的常见方法有两种：（1） 500°C 左右焙烧使 PVDF 分解，（2）用某种有机溶剂溶解 PVDF。 LiCoO_2 和碳粉的分离方法有碳燃烧法、泡沫浮选法和沉浮法等。

化学沉淀法和盐析法较适合 Ni 含量低的电池的处理或者将回收产品做为生产电池的前驱体。因为钴镍的化学性质相似往往产生共沉淀不易进行分离。目前

较好的钴镍分离方法是离子交换法和 cyanex272 萃取法。浸出液中金属元素的分离方法具体如下：

①化学沉淀法和盐析法

碱浸—酸溶化学沉淀法是在有效回收氢氧化铝后通过调节 pH 值除去 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mn^{2+} 和少量 Al^{3+} 杂质加入饱和 $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液得到 CoC_2O_4 ，钴的回收率为 96.3%。

盐析法是通过在除杂后的低浓度浸出液中加入电解质饱和硫酸铵溶液和低介电常数溶剂无水乙醇，调节溶液的介电常数、改变混合溶剂的结构和溶剂化离子的半径等，使溶液离子的溶剂化能降低至不足以破坏盐分子晶格的程度，即溶剂化能低于晶格能，达到过饱和而使其中的 Co 以 $(\text{NH}_4)_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2$ 的形式析出，析出率达到 92% 以上。

②离子交换法

离子交换法采用选择性沉淀回收铝后，在溶液中过量加入含有一定量 NH_4Cl 盐的氨水溶液，充分搅拌，溶液中的 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 分别转化为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ， $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 络合离子。由于无法将这两种离子成功地分离，因此通过在溶液中通入氧气的方法将钴的 2 价络合物 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 氧化为 3 价络合物 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{H}_2\text{O})]^{2+}$ 或 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ，而 $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 不被氧化。氧化后的溶液通过由弱酸性阳离子交换树脂组成的离子交换柱，两种金属络合物都被阳离子交换树脂吸附，根据其吸附系数相差较大的特点用不同浓度的硫酸氨溶液选择性地洗脱并分离，Co 的回收率为 89.9%，Ni 的回收率为 84.1%。

③萃取法

液液萃取法是一种研究较多的处理方法，操作条件温和，资源回收率高，可得到高纯度的产物（99.99% 的 CoSO_4 ）。萃取剂 cyanex272 对电池中主要金属的萃取平衡图表明 cyanex272 对钴锂分离，钴镍分离均有很好的效果。碱浸—酸溶—萃取工艺采用碱浸法去除铝，再用硫酸、 H_2O_2 浸出其他金属，然后用 AcorgaM5640 萃取除铜，最后用 cyanex272 作萃取剂进行钴和锂的分离，得到 CuSO_4 、 CoSO_4 和 Li_2CO_3 产品。其中铜、钴回收率分别达到 98%、97%。然而溶剂在萃取过程中的流失和再生过程中能源消耗大以及除杂过程过于繁杂，使这种方法存在一定局限性，应用受到很大的限制。

④电沉积法

硫酸浸出—电积工艺，将浸出液选择性除去铁、铝杂质后，直接在 55°C – 60°C 、电流密度 $234\text{A}/\text{m}^2$ 条件下电积，得到含少量 Ni、Mn 等杂质的 Co 产品，Co 回收率 $>93\%$ ，电流效率 92.08%。由于钴镍在电积过程中产生共沉积现象，往往得到的是钴镍合金。为此在电积之前以 cyanex272 萃取方法进行 Ni、Co 分离，分离效果较佳，萃余液几乎只含 Ni。在 $250\text{A}/\text{m}^2$ 、pH3-3.2 和 50°C 条件下电积该萃余

液得到 Ni，电流效率 87%，具体能量消耗 2.96kWh/kg。在含锰和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的 CoSO_4 溶液中，电流密度 250A/m^2 、 $\text{pH}4-4.2$ 、 50°C 条件下电积 Co，其电流效率达 96%，具体能量消耗 2.8kWh/kg。电化学处理方法简单、易行，但能耗较高。钴镍分离操作也使成本和工艺复杂性大大增加。

上述方法对 Li 的回收方法缺乏系统的探讨，只是简单地在回收钴镍后的余液中加入饱和碳酸钠，再浓缩溶液使碳酸锂沉淀出来。以此方式回收存在回收率低和浓缩过程中能耗过高等问题，也会因残余的 Co、Ni 等离子影响其纯度。而向浸出液中引入其他物质的处理方法将带来大量正负干扰离子增加了溶液的复杂性，不仅加大 Li 的回收难度，也加重了二次污染。用 $\lambda\text{-MnO}_2$ 离子筛将锂离子选择性地吸附在其晶隙中，再用稀盐酸溶液对吸附在离子筛晶隙中的 Li 离子进行洗脱，从而达到分离和回收锂的目的，该方法工艺简单，回收率高，锂的纯度高，环境友好。

⑤非晶型柠檬酸盐沉淀法

非晶型柠檬酸盐沉淀法工艺流程为：失效锂离子电池→热预处理（电池解离、熔化塑料）→一次破碎→一次筛分→二次热处理→二次筛分→高温焙烧→硝酸介质还原浸出（ H_2O_2 作还原剂）→净化除杂→柠檬酸沉淀→高温焙烧→钴酸锂。该工艺通过调整溶液中钴和锂的配比（锂在钴酸锂中应稍过量），再用柠檬酸与钴、锂离子形成凝胶沉淀，在 950°C 下经 24h 煅烧，得到粒度为 $20\mu\text{m}$ 、比表面积 $30\text{cm}^2/\text{g}$ 的具有良好充放电性能的钴酸锂。

⑥ Na_2CO_3 共沉淀法

Na_2CO_3 共沉淀法是向 H_2SO_4 和 H_2O_2 的浸出液中加入 3mol/L 的 Na_2CO_3 调节溶液 $\text{pH}=11$ 获得 CoCO_3 和 Li_2CO_3 共沉淀物。调节配比 $\text{Li/Co}=1.05:1$ ，将该紫红色粉末前驱体在 750°C 下烧结，保温 2h，即获得比表面积达 $18.55\text{m}^2/\text{g}$ ，平均粒度在 $0.1\mu\text{m}$ 左右的粉体，具有较大的活性，良好的充放电性能，充放电容量分别达 146mAh/g 和 142mAh/g 。10 次循环后仍保持 96% 以上的放电容量，大大提高了材料的电化学性能。

用浸出液直接合成电极材料且具有很好的充放电性能，省去常规冶金方法中钴、镍、锂分离操作步骤，能简化工艺、增加回收产品价值和提高回收效率，同时符合活性电极材料多元化的复合氧化物（ $\text{LiNi}_x\text{Co}_{(1-x)}\text{O}_2$ ）发展趋势。但能耗依然很高，二次污染严重，经济可行性需进一步研究。

（3）铅蓄电池的处理工艺

铅蓄电池的体积较大而且铅的毒性较强，所以在各类电池中，最早进行回收利用，故其工艺也较为完善并在不断发展中。

8.2.4.3 技术使用条件

生产线需要稳定的原料来源。

8.2.4.4 实施建设内容

(1) 关键工艺设备

破碎机、烘干脱胶炉、镍钴铜分离提纯系统、废水处理系统

(2) 主要技术路线

首先对废旧电池进行预处理，包括放电、拆解、粉碎、分选；拆解后的塑料及铁外壳回收；分选后的电极材料进行碱浸出、酸浸出、除杂后，进行萃取。萃取是关键一步，将铜与钴、镍分离；铜进入电积槽进行电积产生电积铜产品；经萃取后的钴、镍溶液再进行萃取分离，这时经过结晶浓缩，直接得到钴盐和镍盐；或者经萃取分离的钴、镍分别进入电积槽中，得到电积钴和电积镍产品。

①废电池的预处理

回收的废电池首先进行剥皮、去壳、破碎、分选等预处理过程，将电极材料和其它材料分离。

②电极材料的浸出

分离出的电极材料通过溶剂选择性的浸出之后，使目的组分进入溶液而与其它组分相分离。

③浸出液中金属元素的提取和分离

8.2.4.5 节能减排效果

该技术采用湿法回收工艺，整合、简化工艺流程，整套工艺能耗低，产品回收率高。浸出工序采用多次回流浸出，提高浸出率；高效的铜、钴萃取剂将铜、钴萃取分离出来，并富集成高浓度的硫酸铜液、硫酸钴液，使之满足电解沉积的工艺要求，提高了回收重金属的效率。电沉积工序电压和电流密度降低，节省电耗。整个工艺流程回收率高，是高值化生产。

8.2.4.6 成本效益分析

一条年回收量达 8000 吨的废锂离子全封闭清洁生产线，预计投资约为 3000 万元，每年回收得到钴 1500 吨、铜 1200 吨和镍 420 吨，总产值超过 4 亿元。

8.2.4.7 技术应用情况

该技术为国际领先水平。

锂电池平均含钴 12%~18%，锂 1.2%~1.8%，铜 8%~10%，铝 4%~8%，壳体合金 30%。以钴为例，一个重约 40 克的电池，含金属钴约 6 克，按每年报废 1

亿只计算，即可回收大约 600 吨钴。

8.2.4.8 技术知识产权情况

- (1) 专利名称：一种从废旧锂电池回收有价金属的方法
申请号/专利号：201010262198
申请人/专利权人：深圳市泰力废旧电池回收技术有限公司
- (2) 专利名称：一种废旧磷酸铁锂电池综合回收的方法
申请号/专利号：201010148325
申请人/专利权人：奇瑞汽车股份有限公司

专利名称：一种自废旧锰酸锂电池中回收有价金属的方法
申请号/专利号：201010141128
申请人/专利权人：奇瑞汽车股份有限公司
- (3) 专利名称：一种从锂离子电池中分离回收锂和钴的方法
申请号/专利号：200910300759
申请人/专利权人：大连理工大学
- (4) 专利名称：一种从废旧锂离子电池及废旧极片中回收锂的方法
申请号/专利号：201010523257
申请人/专利权人：湖南邦普循环科技有限公司

专利名称：一种从废旧锂离子电池中回收、制备钴酸锂的方法
申请号/专利号：200810028730
申请人/专利权人：佛山市邦普镍钴技术有限公司；清华大学核能与新能源技术研究院；李长东；黄国勇；徐盛明

专利名称：一种废旧锂离子电池阳极材料石墨的回收及修复方法
申请号/专利号：200910226670
申请人/专利权人：湖南邦普循环科技有限公司

专利名称：一种从废旧镍镉电池中回收镉、镍，并制备成金属镉锭与超细镍粉的方法及设备
申请号/专利号：200810026004
申请人/专利权人：佛山市邦普镍钴技术有限公司；李长东；黄国勇；谭静进；徐盛明

专利名称：废旧电池处理过程中产生的镍钴锰废水的处理方法
申请号/专利号：200910044152

申请人/专利权人：湖南邦普循环科技有限公司

- (5) 专利名称：一种自废旧锰酸锂电池正极材料中回收 MnO_2 的方法及其应用

申请号/专利号：200910116656

申请人/专利权人：合肥工业大学

- (6) 专利名称：一种含钴镍废料、废旧电池处理的工艺方法

申请号/专利号：201010295577

申请人/专利权人：苏州群瑞环保科技有限公司

- (7) 专利名称：一种废弃电池的控制破碎回收方法及其系统

申请号/专利号：200710125489

申请人/专利权人：深圳市格林美高新技术股份有限公司

专利名称：一种废弃电池的控制破碎装置及其回收系统

申请号/专利号：200720196364

申请人/专利权人：深圳市格林美高新技术股份有限公司

专利名称：废弃电池自动分选机

申请号/专利号：200620017472

申请人/专利权人：深圳市格林美高新技术有限公司

专利名称：废弃电池分选拆解工艺及系统

申请号/专利号：200610061204

申请人/专利权人：深圳市格林美高新技术股份有限公司

专利名称：废弃电池立式破壳机

申请号/专利号：200620017474

申请人/专利权人：深圳市格林美高新技术有限公司

- (8) 专利名称：一种回收废旧锂离子电池正极材料有价金属预处理的方法

申请号/专利号：201010508706

申请人/专利权人：中南大学

8.2.5 废日光灯回收技术--真空热解技术

8.2.5.1 技术介绍

(1) 技术应用节点

真空热解法是利用在较低真空度下，不同物质汽化温度降低的原理，使废灯管中的汞汽化继而冷凝从而分离，属于热脱附法。

(2) 技术基本原理

在密闭荧光灯破碎分选装置中经过多次破碎、分离和磁选，分离出玻璃、灯头、铁和含汞荧光粉。在汞蒸馏装置中利用高温分离出汞蒸气和含氟荧光粉，预期经过活性炭吸附装置达标排放。

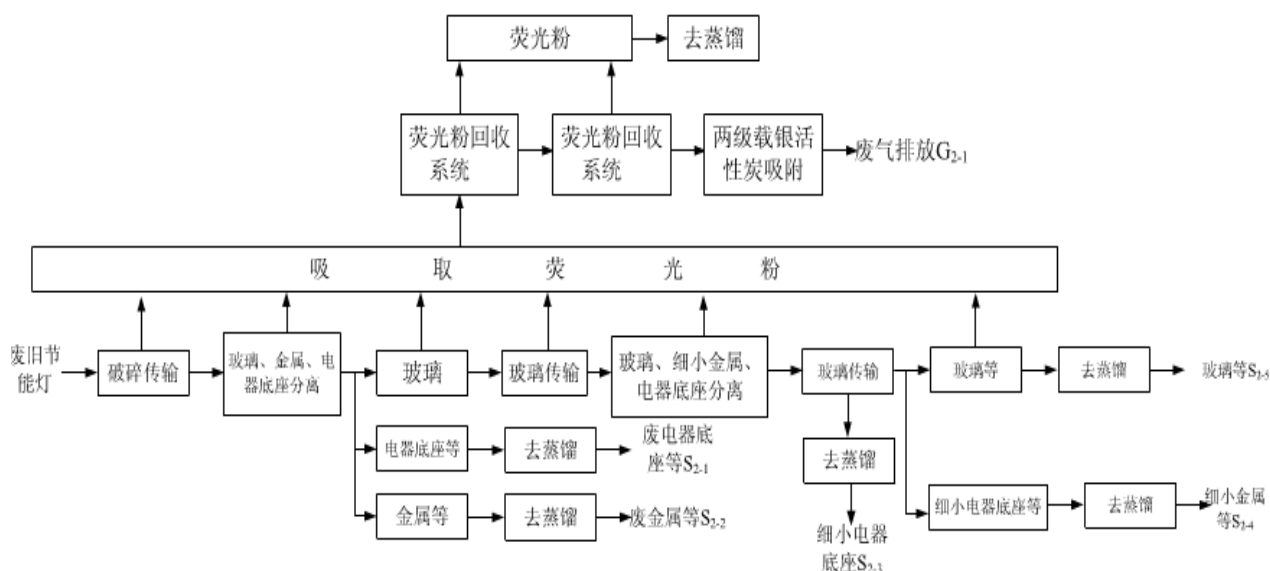


图 8-15 废旧日光灯粉碎处理系统

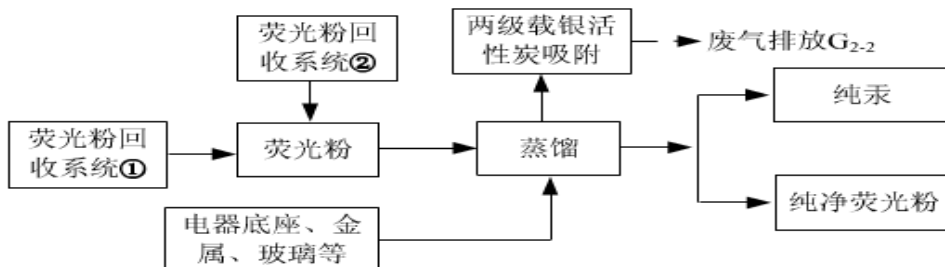


图 8-16 废旧日光灯汞蒸馏回收处理系统

废弃荧光灯管中的汞除蒸气外吸附在灯管的各个部件，如灯头、荧光粉以及玻璃上，Min Jang 等人的研究结果表明，不同类型的荧光灯汞的分布不同，而且与新的荧光灯相比较，汞在荧光灯管中的分布存在一定差异，主要在于气态汞蒸气含量减少。

表 8-10 汞在荧光灯各个组成部分中的分布

组分 \ 类型	T8 型(废)	T12 型(废)	T12 型(新)
灯头	2.07	0.50	0.09
脱落的荧光粉	2.86	5.34	2.72
气态	未检出	0.04	0.17
管壁上荧光粉与玻璃	95.08	94.12	97.02

从汞总的分布来看, 99%以上以吸附汞的形式存在, 其中管壁荧光粉与玻璃上占 95%左右。因此废弃荧光灯中的荧光粉是极易造成环境汞污染的一种物质。汞与玻璃之间有较强的吸附作用, 脱附温度在 240℃-800℃, 原因在于氧化汞可以扩散进入玻璃碎片中。随温度升高, 各种价态的汞脱附的次序为 HgO 、 Hg_2Cl_2 , HgCl_2 , HgO 。

8.2.5.2 技术发展水平

废弃日光灯的汞处理技术有两种, 一种是酸洗法, 属于湿法。另一种为热脱附法。高温气化法属于热脱附法, 技术基本原理为先将灯管两端封口切掉, 再用特殊方法吹入空气将堆在玻管上的荧光粉单独回收后, 再将玻管粉碎为 3cm 的碎片, 将堆在玻片和封口上的汞通过加热机真空高温蒸发, 并在装置内凝缩为高纯汞回收, 同时并回收荧光粉中的稀有金属和封口上的铝及玻璃。

到目前为止, 最具发展前景的是回收利用法, 其典型工艺见下图, 从 3R 的理念出发, 把对废弃荧光灯的资源化、无害化相结合。回收利用法把荧光灯破碎分离后, 关键在于汞的处理和荧光粉中稀土资源的循环利用。^①

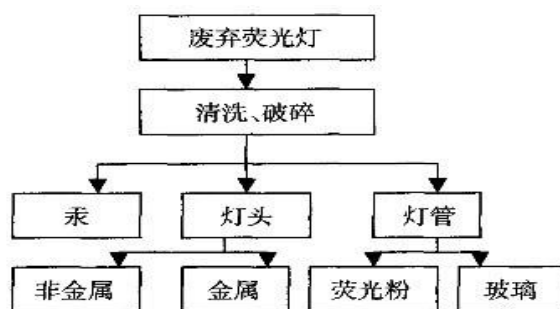


图 8-17 废弃荧光灯回收处理工艺流程图

(1) 荧光灯的破碎与物理分离

废弃荧光灯的破碎与物理分离技术有湿法、干法两种, 其主要区别就在于湿法进行液下破碎, 而干法同样为了有效地回收汞, 通常在密闭甚至是真空条件下进行。为避免废旧荧光灯运输过程中破碎和体积庞大的问题, 目前还发明了一种

^①梅光军, 解科峰, 李军武汉理工大学资源与环境工程学院《废弃荧光灯无害化、资源化处置研究进展》

处理废弃荧光灯的流动设备。干法处理目前研究较多的主要有“直接破碎分离”和“切端吹扫分离”两种工艺。

湿法

湿法的产生源于水银可通过水封保存的特性，为避免荧光灯破碎空气受汞蒸汽的污染，而在水中添加丙酮或乙醇，以便能更有效地捕获汞。Mahmoud A. Rabah 从废弃荧光灯中分离金属的过程中采用含 30% 的丙酮溶液下破碎，成功地避免了汞蒸汽带来的困扰。荧光灯管内壁的荧光粉通过使用旋转的湿刷结合喷雾器喷射分离，经 10 μ m 细筛过滤而得；剩下含汞溶液经减压蒸馏将汞分离回收。在欧洲，德国、芬兰、瑞士等国家生产的“湿法”灯碾碎机已经应用于工业。

直接破碎分离

“直接破碎分离”工艺的处理流程为：先将灯管整体粉碎洗净干燥后回收汞和玻璃管的混合物，然后经焙烧、蒸发并凝结回收粗汞，再经汞生产装置精制后供荧光灯生产使用。该工艺的特点是结构紧凑、占地面积小、投资省，但荧光粉较难被再利用。

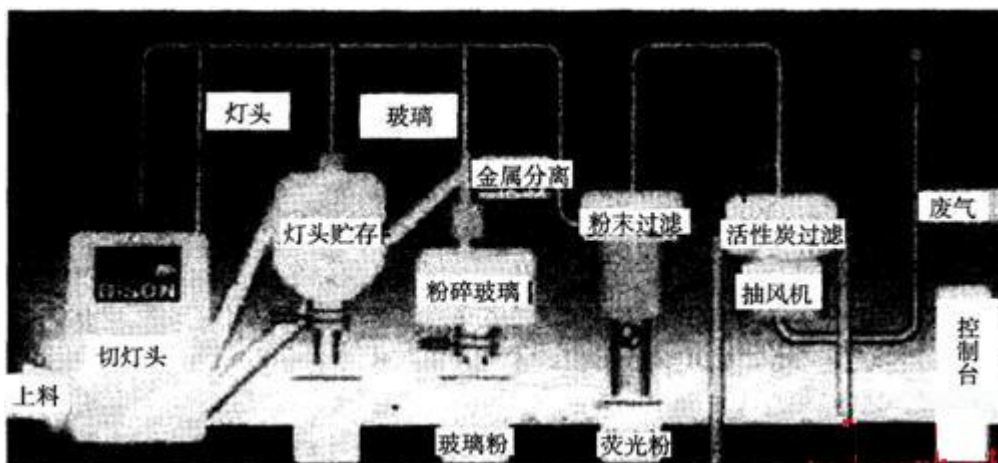


图 8-18 废旧荧光灯直接破碎分离回收系统

切端吹扫分离

“切端吹扫分离”工艺是先将灯管的两端切掉，吹入高压空气将含汞的荧光粉吹出后收集，再通过真空加热器回收汞。处理前首先根据荧光粉是否含稀土进行分类，经该系统处理，废弃荧光灯可分成灯头、玻璃和荧光粉。所贮存的灯头经特制的粉碎器粉碎成碎片，通过震动气流床被加速，相互推进、摩擦，配合电磁分离器，有效地分离成铝、导线、玻璃和塑料。该技术可再回收利用稀土荧光粉并分类收集，但投资较大。

处理废弃荧光灯的流动设备

目前美国还发明了一种流动设备，其中完整地包含了荧光灯的破碎与组分分离装置。在密闭的容器中将荧光灯管粉碎，较大颗粒物质把汞清洗掉后进一步回

收；较小颗粒被气流带走，经粉尘过滤器回收部分荧光粉，最后气流通过活性炭过滤器除去汞蒸汽和其它有害气体，排入大气。该装置不仅能避免废旧荧光灯运输过程中破碎和体积庞大的问题，而且工艺流程简单，给零星分布的回收点带来很大的便利。

（2）汞的无害化处理

针对汞的赋存状态，对废弃荧光灯中汞的无害化处理主要通过水洗和气化两种方法。

水洗法

水洗法是使用闭路净化系统中的循环水作为捕获汞的介质和载体，达到净化废管含汞玻璃渣和废管破碎时散发出的含汞废气。将少量电解质溶入水中，组成具有一定氧化性的气体吸收净化液，用以净化废管破碎工艺中的含汞废气，使之达标排放。用水洗涤废管破碎的玻璃渣，使其完全脱汞后回用。将饱和吸收废液和洗涤废水，用高效净化材料净化脱汞，循环使用，并将净化后分选出不带汞的金属和玻璃进行回收。

气化法

2001 年日本不二仓业公司与美国再生装置的大企业联合开发的气化法回收废荧光灯管上汞的技术，SeungMoHong 等人也对高温气化法回收废弃荧光灯玻璃上的吸附汞进行专门的研究。加温至 400℃，废弃荧光灯玻璃上汞的残留量不能够再检出，这足以表明高温气化法较能彻底有效地回收废弃荧光灯中的汞。且经经济核算，比水洗法费用降低 10%~15%，由于不建含汞水处理装置，投资减少 1/2。因此高温气化法回收汞比水洗法有更好的发展前景。

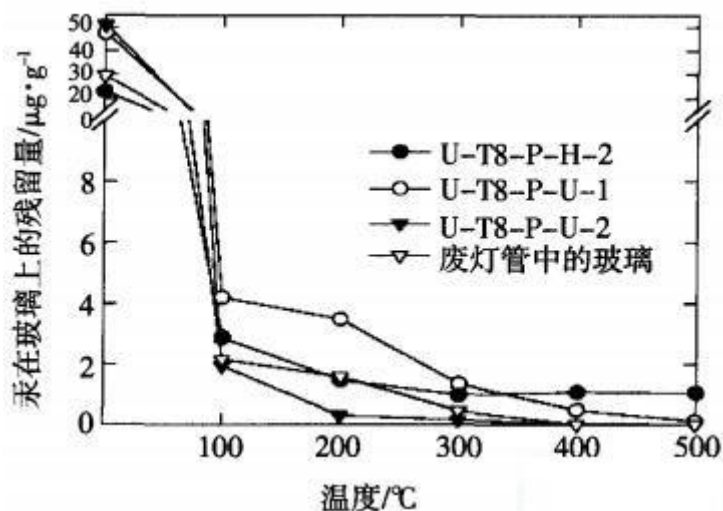


图 8-19 温度对废弃荧光灯玻璃上吸附汞含量的影响

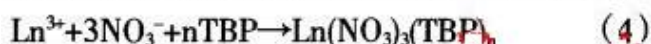
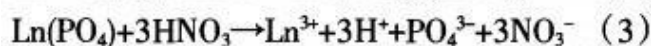
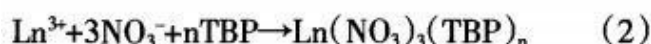
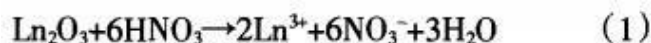
（3）稀土三基色荧光粉的回收与分离

目前对于废弃稀土三基色荧光粉的回收利用主要有两个方向：一是从三基色

荧光粉中回收稀土；二是稀土三基色荧光粉的分离。

超临界二氧化碳萃取稀土技术

Ryosuke Shimizu 等研究了采用超临界 CO₂ 法从废弃三基色荧光粉中回收 Y, EuLa 和 Ce, 其工艺流程见废弃荧光灯回收处理工艺流程图。将废荧光粉溶于 TBP, HNO₃, H₂O 按 1.0: 1.3: 0.4 的比例组成的溶液中, 通过使用超临界 CO₂ 在 15MPa, 333K 的情况下静态萃取 20min, 分别有 99.7% 钇和 99.8% 铕被萃取。由于 Y, Eu 以氧化物的形式存在于荧光粉中, 而 La 和 Ce 则为磷酸盐形式, 因此萃取原理各不相同, 分别见方程 (1)、(2)、(3) 和 (4)。



该工艺与传统的溶剂萃取技术相比有如下优点:

①超临界条件下, CO₂ 大量、快速地传输, 使萃取效率大大提高;

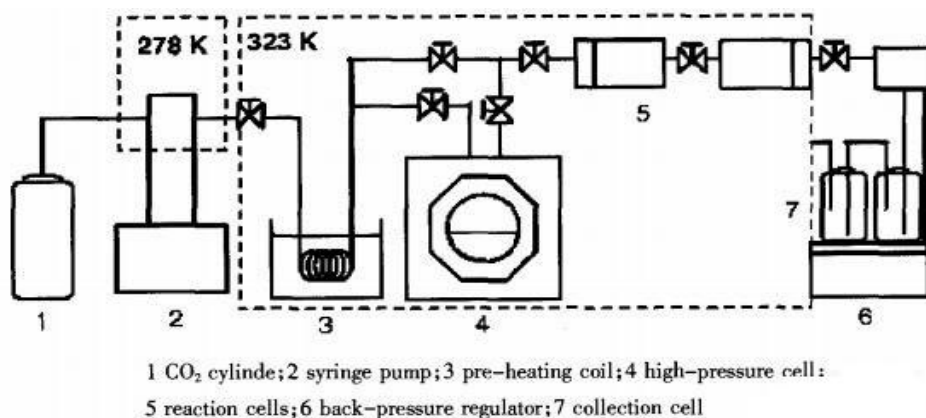


图 8-20 超临界 CO₂ 法工艺流程图

②萃取完成后, 在大气压下, 作为溶质的 CO₂ 可从溶剂中快速并完全分离出来;

③溶解 CO₂ 的 TBP, HNO₃ 和水所组成混合溶液, 可有效溶解和萃取金属氧化物。

湿法冶金技术

湿法冶金技术的基本原理主要是利用金属能溶解在强酸、王水和其他苛性酸的特点, 将金属浸出并从液相中予以回收。日本高桥等人采用湿法冶金的方法将稀土荧光粉加强酸溶解, 并用草酸沉淀和回收稀土; 然后通过共沉淀的方法再次合成了发光性能良好的红色荧光粉 (Y₂O₃Eu³⁺)。但湿法冶金法回收稀土荧光粉存在成本高、工艺流程复杂和形成二次污染等缺点。

风力分选技术

风力分选是根据白色卤磷酸钙与三基色荧光粉之间存在密度差异的特性,颗粒在重力的作用下,下降的最终速度不同。以此为依据通过把密度较小的卤磷酸钙从废弃三基色荧光粉中分离。此项研究虽然取得一定进展,但即使在最佳条件下牛顿效率也很难达到 0.34。

离心分离技术

为避免风力分选存在的不足, T.Hirajima 等人采用密度较大的 CH_2I_2 ($3.3\text{g}/\text{cm}^3$) 作为溶剂, 从废弃荧光粉中通过离心回收含稀土的三基色荧光粉。分别考察了离心机的转速、离心时间、颗粒在溶剂中的浓度及表面活性剂 (NaOI) 的吸附作用对试验结果的影响。研究表明, 效果远远优于风力分选。溶剂 CH_2I_2 通过循环蒸发, 回收率高达 99.8%。但此法能耗高, 而且 CH_2I_2 是有毒品, 经皮肤进入人体有麻醉和刺激作用, 并且对环境有害, 易造成大气污染。

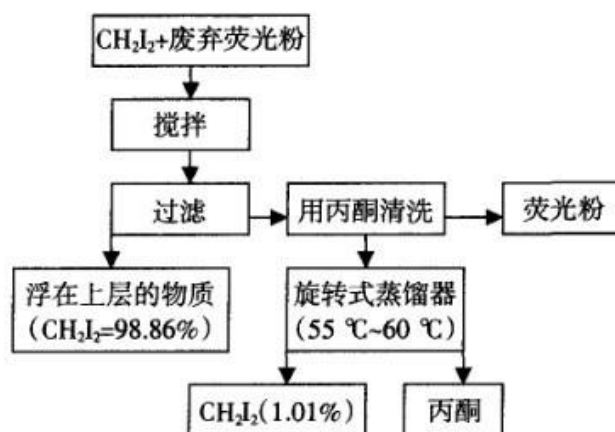


图 8-21 离心法分离三基色荧光粉工艺流程图

浮选分离法

T.Hirajima 等人采用浮选法以 DAA, SDS, NaOI 为捕收剂 Na_2SiO_3 为分散剂对卤磷酸钙与稀土三基色荧光粉的进行分离。在分离卤磷酸钙的同时也有效分离了红、绿、蓝色荧光粉, 使荧光粉的循环利用取得了突破性的进展。但较低的牛顿效率说明, 采用浮选法提纯和分离三基色荧光粉的实验中, 捕收剂对荧光粉的选择性还有待进一步研究, 并且存在浮选废水二次污染的缺点。

我国目前直形荧光灯管所用荧光粉主要成分为卤磷酸钙, 经济回收价值较低, 宜采用“直接破碎分离”灯管处理回收工艺。目前国内废旧灯管处理系统基本都是从瑞典 MRT System AB 公司引进的“MRT 废旧灯管处置设备”, 该设备采用真空处理技术, 厦门通士达有限公司、佛山电器照明股份有限公司、浙江阳光照明电器集团股份有限公司、天津燕捷荧光灯处理技术有限公司、临安宇洁含汞固体废物处置工程公司、上海电子废弃物交投中心有限公司等单位均使用该进口生产线。

8.2.5.3 技术使用条件

用于废弃日光灯回收处理工艺中汞的回收处理，需要保证资源的连续性。

8.2.5.4 实施建设内容

（1）关键工艺设备

由真空系统、破碎装置、分选装置、蒸馏装置、收集装置、活性炭吸附装置等组成。

（2）主要技术路线

破碎：对废旧日光灯进行密闭破碎。传统的人工破碎会危害操作工的身体健
康：打碎荧光灯管，可使周围空气中的汞浓度瞬时超标上百倍，流出的汞在常温
下会迅速挥发，而人体一次吸入 2.5g 汞蒸气即可致死。在该工艺流程中，全部
的操作都在密闭的容器里进行，没有丝毫渗漏。

分离：高温蒸汽和破碎物进入 3 个分离塔，进行层层筛选。经过传送带，灯
管开始被逐步分选出金属、玻璃。磁选机最先选出含汞铁，其余包括铝、塑料、
电极、铅在内的含汞废料被分离出来，留下的玻璃经过转鼓处理成为无汞玻璃。

收集：含汞废料以及最后单独筛选出的含汞荧光粉，经过专门的汞蒸馏机，
将汞收入吸收塔。吸收塔内的汞到达一定量之后，将收入专门容器。

8.2.5.5 节能减排效果

以上海电子废弃物交投中心有限公司为例，该中心自瑞典引进的废荧光灯处
置设备可处理 40W 直管荧光灯 1500 根/h，一班制能处理荧光灯管 864 吨/年，二
班制能处理荧光灯管 1728 吨/年。一班制能回收玻璃吨/年，节约 399.64 吨标准
煤/年。

8.2.5.6 成本效益分析

北京东华鑫馨废旧电池回收中心年处理 1500 吨日光灯管的设备投资约 600
万元，运行费用 50 万元，可回收玻璃 1440 吨，金属 20-30 吨，汞无害化处理 200
公斤，荧光粉（含氟）无害化处理 10 吨，净利润达到 250 万元/年。

上海电子废弃物交投中心有限公司从瑞典 MRT SystemAB 公司引进的含汞
废旧灯管处理设备，主要包括破碎分离设备，蒸馏装置，投资总额约为 600 万元。
2009 年 10 月 19 日开展回收试生产，该处理线集破碎和蒸馏两段分别封闭式的
设备，年处理废荧光灯管 1728 吨（约 540 万根）。项目计划建设期为半年，生产
期 13 年，经济寿命计算期为 13.5 年。项目静态投资回收期为税前 7.93 年，税后
8.42 年。

8.2.5.7 技术应用情况

我国目前节能灯年产量约 20 亿只，按平均 5%的废品率估算，每年需处理生产环节中的废品就达 1 亿只。目前国内仅有几个省市成立了废灯泡回收利用中心，该技术在国内的普及率约占 5%，预计十二五末，普及率将达到 40%。

8.2.5.8 技术知识产权情况

- (1) 专利名称：从废弃荧光灯管和类似碎灯中机械分离各种材料/物质用的方法和系统
申请号/专利号：96193517
申请人/专利权人：MRT 系统股份公司
- (2) 专利名称：一种废旧灯管回收成套装置
申请号/专利号：200920059612
申请人/专利权人：惠州市鼎晨实业发展有限公司
- (3) 专利名称：一种回收废弃荧光灯中稀土元素的方法
申请号/专利号：200810029417
申请人/专利权人：广州有色金属研究院
- (4) 专利名称：废旧日光灯管处理方法
申请号/专利号：200410021571
申请人/专利权人：大连力达环境工程有限公司
专利名称：废旧日光灯管处理粉碎吸收设备
申请号/专利号：200420070035
申请人/专利权人：大连力达环境工程有限公司
- (5) 专利名称：废荧光灯管汞无害化处理及回收利用的方法和装置
申请号/专利号：200810067282
申请人/专利权人：陈午

<信息服务行业篇>

第一章 导言

1.1 编制目的

近几年来，我国移动通信业发展迅猛，网络规模居世界首位，通信行业已经成为推动国民经济增长的重要行业。同时，为满足客户通信服务的迫切需求，网络规模在不断扩大，各种通信设备不断增加，我国的通信网络中已有上万台的交换机、几十万的移动基站，为保障通信设备的不间断运转，网络设备所需的电力等能源需求日益增长。目前，我国通信行业年耗电超过 200 亿度，仅基站用空调每年的耗电量就达 70 亿度，通信行业不仅是一个高科技的行业，也是一个高耗能行业。随着通信行业的高速发展，通信业节能减排问题也日趋严峻，通信业的能耗不容忽视。

1.2 适用范围

《信息服务业行业节能减排技术指南》适用于信息服务行业企业技术领域的节能减排工作，包括新建项目的技术选择、已建项目的技术改造等。

1.3 编制依据

本指南是根据行业生产和节能环保的相关法律、法规、技术政策标准等制订的。

中华人民共和国节约能源法；

中华人民共和国环境保护法；

中华人民共和国清洁生产促进法；

①《能源中长期发展规划纲要（2004 年~2020 年）》；

②《国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》（国发[2011]26 号）；

③《通信产品技能分级导则》

④《通信产品能耗测试方法通则》

1.4 术语及定义

（1）生产过程节能减排技术：本指南中的“生产过程节能减排技术”是指产品生产过程中降低物耗、能耗、减少污染物产生量的源头削减技术，具体包括低能耗、低污染的新工艺、新技术；原料替代、预处理；过程优化等技术。

生产过程节能减排技术包括如下指标：

物耗能耗：该技术在资源、能源方面的消耗水平（用吨产品消耗量计）。

相对节能量：该技术与其它高耗能技术相比的节能量（用吨产品节能量或百分比计）。

产污情况：该技术的污染物产生情况（用吨产品产生量计）。

相对减排量：该技术与其他高污染技术相比的减排量（用吨产品减排量或百分比计）。

（2）资源能源节约与综合利用技术：本指南中的“资源能源节约与综合利用技术”是指将企业生产过程中产生的余热、余压、废料、废水等经回收、加工、转化或提取，从而生成新的可被利用的资源、能源或副产品的这样一类技术。具体包括余热余压回收利用技术，高浓度废液处理回用技术、固体废弃物资源化技术等类型。

资源能源回收利用技术包括如下指标：

资源能源回收率：该技术回收的物质的量占废物的比例（用%计）。

节能量：该技术运用后可为企业带来的节能量（用年节能量或百分比计）。

副产品产量：该技术运用后可为企业产生的副产品的量（用年产量计）。

污染物减排量：该技术运用后可为企业带来的污染减排量（用年减排量或百分比计）。

（3）污染物治理技术：本指南中的“污染物治理技术”是指通过化学、物理或生物等方法，将企业中已经产生的污染物进行削减或消除，从而使企业的污染排放达到环境标准或相关要求的这类技术。具体包括水污染处理技术、大气污染控制技术、固体废物处理处置技术等。

污染物治理技术包括如下指标：

污染物去除率：（进口浓度-出口浓度）进口浓度（用%计）。

污染物减排量：该技术运用后可为企业削减污染物的量（用年削减量或百分比计）。

污染排放水平：该技术运用后企业的污染排放水平（用浓度计，并与排放标准进行比较）。

（4）技术适用条件：指技术使用中的特定条件限制，如运行规模、对物料的性质（浓度、温度、压力等）的限定、上下游技术间的特定匹配关系、产品技术的使用环境要求等。

（5）成本效益分析：

单位投资：技术总投资/总产能（或总产品）

单位运行费用：技术年运行费用/年产量或产值

净效益：技术产生的年度总效益-年均成本

投资回收期：技术在投入后获得回报的时间期限

（6）技术推广应用情况：

技术普及率：行业内采用该技术的企业数量/企业总量，或行业内采用该技术生产的产品量/产品总量。

产品市场占有率：采用某项节能减排产品技术的产品在市场中所占的份额。

“十二五”预计推广比例：结合技术发展趋势和专家经验估计，预测技术在2015年底的技术普及率或产品市场占有率。

第二章 行业资源能源消耗及产排污情况

2.1 行业类型划分

2.1.1 产业统计分类

根据信息产业部 2003 年颁发的《电信分类目录》将信息服务划分为包括内容服务、娱乐/游戏、商业信息和定位信息等服务。信息服务业务面向的用户可以是固定通信网络用户、移动通信网络用户、因特网用户或其他数据传送网络的用户。此分类中，信息服务是电信服务中的一项增值业务。

2.1.2 产业形态分类

网络运营商、内容提供商和服务提供商构成了信息服务业产业价值链的主要环节。在各环节中，网络运营商又是目前主要的推动力量。运营商投入大量资金为信息服务业搭建相关服务平台；内容提供商积极与运营商合作，提供更加丰富的内容产品；服务提供商为整个产业价值链设计、搭建起一个运行支撑平台，从系统保障方面提供了支撑服务，为信息服务业的发展奠定了基础。市场需求量的不断扩大推动了信息服务业的发展。

2.2 能源消耗情况

2.2.1 能源消耗特点

目前运营商能耗主体是电，约 80%以上的能耗都是电力消耗。据初步统计，2007 年由基站耗电引起的二氧化碳排放已超过 600 万吨，2008 年，中国移动服务应用的二氧化碳排放量约为 794 万吨，全国信息服务业二氧化碳排放量为 4850 万吨，约为中过移动服务的 6 倍左右。中国移动 2009 年二氧化碳减排量约为 5820 万吨。2009 年三大运营商的电力消耗将近 290 亿度，能耗总量折合为 440.7 万吨标准煤，增幅约 26%。2010 年我们国家的电话用户总数已经突破了 10 亿万户，通信网络规模进一步扩大，通信业一年的耗电量高达 300 亿度以上。

2.2.1.1 基站主设备功耗

基站主设备功耗主要有机柜功耗和载频功耗组成，其中机柜功耗主要是由控制板、风扇和合路器等设备构成的，占主设备能耗的比重较小；载频功耗主要由

基带功耗、射频信号功耗、静态功放功耗和动态功放功耗组成，是主设备能耗的主要组成部分。

在稳定的状态下，机柜的蓄热变化量为零，设备输入能量（电量）等于其输出能量，其中基站发射电磁波的能量很小，可以忽略，故输入的电量主要通过循环风和机柜表面辐射两种以热量的方式输出。测试结果表明，1 台机柜输入的功率约为 684W，其中 564W 的热量通过循环风带走，120W 的热量通过机柜表面辐射散出。

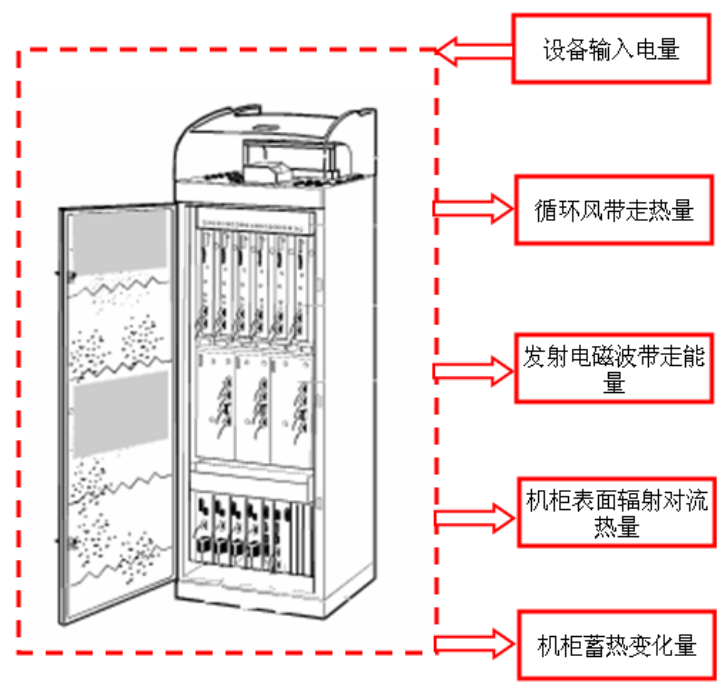


图 2-1 基站机柜耗电结构图^①

从以上分析可以看出，将通信机柜散发的热量传导到基站机房外是基站环境控制的核心问题，也是空调设备耗电的根本原因。

2.2.1.2 通信机房功耗

在通信机房中的电能主要包括两个方面：

(1) 通信设备的用电

一般通信设备用电占总用电量的 30%左右，由于目前的通信网络在用设备新旧交错，所以耗电量也参差不齐。通过更换效率低下的在网设备，合理调整用电负荷能够有效的达到节能的效果。注意，除非采用投资设备更新改造的方法，用新型节能设备替换下耗电大的旧设备，否则这部分用电是必须保证的，且不能节

^①中国移动通信集团广东有限公司广州分公司 郑川 杨文俊 龙智 朱海天 苏晓亮 清华大学 江亿 魏庆芄 李震 王鑫《移动通信基站环境控制及节能研究》

省的。

(2) 机房环境用电

主要包括机房照明、空调制冷和制热。其中照明及其它用电占总用电量的 10%左右，空调用电占总用电量的 60%左右。机房使用空调设备能有力保障通信设备的正常运行，而空调系统是机房耗电的主要设备，在耗能量方面占了相当大的比例，从实际情况来看，机房环境节能是大有潜力的。机房节能的主要方向是机房环境节能，而机房环境的节能重点是空调节能。

2.2.2 能源消耗水平

电信运营企业的耗能主要包括日常运作用电和通信网络用电两部分，通信网络用电占主要部分。通信网络耗电主要集中在通信机房，大多采用传统的空调进行温控，存在较大的节能空间。

2010 年中国移动总耗电量预计达到 119.3 亿度，其中生产管理用房耗电 37.1 亿度，占比 31%，渠道用房耗电 6.6 亿度，占比 6%，其他用房耗电 75.6 亿度，占比 63%；基站机房耗电为 73.3 亿度，占总能耗的 61%；通信机房耗电 26.4 亿度，占总能耗的 22%。

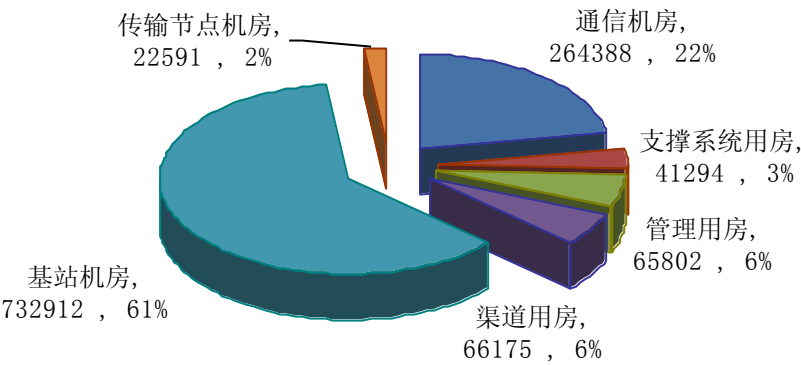


图 2-2 2010 电力能耗结构（单位：万度）

随着运营商网络和用户规模的进一步扩大和业务量的迅猛增长，通信业能耗将保持较快增长，其节能减排的任务也将更为艰巨。通信作为社会信息化的推手，带动社会信息化节能的前景也非常广阔，因此通信行业的节能减排工作潜力很大。

表 2-1 中国移动能源消耗情况①

	2007	2008	2009
耗电总量（亿度）	85.8	99.2	111.4
天然气用量（百万立方米）	6.0	6.6	8.8
液化石油气用量（百吨）	3.5	3.9	10.5
煤气用量（百万立方米）	-	-	0.8
煤炭用量（万吨）	8.4	8.3	5.3
汽油总消耗量（百万升）	138.1	143.8	155.6
管理用油（汽油）（百万升）	-	-	73.1
发电机油耗（汽油）（百万升）	-	-	82.5
柴油总消耗量（百万升）	27.6	32.9	23.5
管理用油（柴油）（百万升）	-	-	8.9
发电机油耗（柴油）（百万升）	-	-	14.6
二氧化碳总排放量（百万吨）	7.28	8.42	9.46

① 1、数据来源：中国移动网站

2、管理用油（柴油、汽油）指除发电机用油外的其他管理相关用油，如机动车用油的统计。

3：2009 年，中国移动进一步规范了能耗统计口径，并对部分历史数据进行了核对、修订。

4：根据国家公布的能源转化数据，二氧化碳换算系数分别采用：电 0.849，汽油 2.3，柴油 2.63，天然气 0.559，液化石油气 1.49，煤炭 2.66，煤气 9.5。

第三章 行业技术发展现状

随着通信行业的高速发展，通信业节能减排问题也日趋严峻。其中通信基站耗电量已占 45%，成为未来节能降耗首要部分。

目前，通讯行业的节能技术主要集中在通信网络核心设备(基站等)的节能、通信机房空调的节能、机房通风和热交换的节能、通信电源的节能、通信建筑与照明节能以及新能源技术应用节能极大方面。其中，基站节能和机房空调节能是核心，80%的技术是围绕这两大方面开展的。围绕通信产业调整振兴规划和实现行业节能减排目标的战略目标，研究适用于我国通信产业实际情况的节能减排技术，经行业专家评估及筛选，提出适合在行业内推广的 36 项节能减排技术清单和 2 项重点关注的前沿新技术。

3.1 行业技术现状

3.1.1 行业技术现状

研究基于工序和子行业的节能减排特征指标，并应用课题十三建立的节能减排技术筛选辅助系统，开展节能减排技术筛选与评估。根据通信企业特点、各类技术在生产过程中的功能及前沿性技术细分为，主设备节能技术（生产过程中节能技术）、空调及环境节能技术（资源、能源节约与综合利用技术）、供电系统技能技术（资源、能源节约与综合利用技术）三类，其中空调及环境节能技术可分为基站环境节能技术和机房环境节能技术共计两类，具体见下表。

表 3-1 信息技术服务行业节能减排技术清单

序号	技术名称	技术类别
一	主设备节能技术	
1	网络中的光纤连接器和光连接技术	通信网络核心设备
2	荒漠治理中的太阳光伏技术	新能源技术
3	太阳能光伏光热与建筑一体化综合利用技术	新能源技术
4	IP 化、2G/3G 化	通信网络核心设备
5	无线软件节能	通信网络核心设备
6	服务器存储设备动态节能技术	通信网络核心设备
7	节能分级标准	通信网络核心设备

序号	技术名称	技术类别
8	分层存储技术	通信网络核心设备
9	虚拟化技术提高内存和 CPU 利用率	通信网络核心设备
10	多模基站技术	基站设备节能
11	分布式基站技术	基站设备节能
12	多载波技术	基站设备节能
13	载波和功放的智能关断技术	基站设备节能
14	室外标准化机柜	基站设备节能
小计	14 项	
二	空调及环境节能技术	
15	基站空调远程管理	基站空调节能
16	基站温控技术	基站空调节能
17	热管技术空调	基站空调节能
18	变频改造节能技术	基站空调节能
19	基站围护结构改造	基站建筑节能
20	空调变频技术节能	机房空调节能
21	机房专用空调的自适应控制节能技术	机房空调节能
22	新风系统	机房通风和热交换 节能
23	新型制冷剂技术	机房空调节能
24	智能通风技术	机房通风和热交换 节能
25	热管换热技术	机房通风和热交换 节能
26	定制空调技术	机房空调节能
27	压缩机节能控制器	机房空调节能
28	冷凝器辅助散热	机房通风和热交换 节能
29	冷却塔供冷	机房通风和热交换 节能
30	热管一体化空调	机房空调节能
小计	16 项	
三、	供电系统节能技术	
31	高频开关整流器休眠技术	机房电源节能
32	高效开关电源	机房电源节能

序号	技术名称	技术类别
33	HVDC 供电技术（高压直流取代 UPS）	机房电源节能
34	蓄电池修复	机房电源节能
35	前置端子蓄电池使用	机房电源节能
36	谐波治理技术	机房电源节能
小计	6 项	
共计	36 项	
四	重点关注的新技术	
(一)	主设备节能减排技术	
小计	0 项	
(二)	空调及环境节能技术	
37	乙二醇空调节能技术	新能源技术
小计	1 项	
(三)	供电系统节能技术	
38	太阳能、风电互补供电系统	新能源技术
39	燃料电池发电技术	新能源技术
小计	2 项	
共计	3 项	
合计	39 项	

3.1.2 行业技术水平

课题通过调查先进适用技术在市场中所占份额（技术普及率），技术水平和未来发展方向，将上述 37 项技术水平评价列于下表。分为：主设备节能技术（生产过程中节能技术）、空调及环境节能技术（资源、能源节约与综合利用技术）、供电系统技能技术（资源、能源节约与综合利用技术）三类。

3.1.2.1 主设备节能技术

我国移动通信基站数量 80 万个左右，特别是随着第三代移动通信网(3G)建设的启动，我国还将建设数以万计的 3G 基站。移动通信基站由 BTS 设备、天馈系统、传输设备、整流器、蓄电池组、交流配电屏、变压器、空调、环境监控等组成，所以基站节能目前的重点是基站系统设计、通信设备、机房环境和配电系统的几个方面的节能。

在移动通信基站中，无线基站设备作为主设备，其耗电量占基站总耗电量的 60%以上，因此主设备的节能是很关键的一个环节，但是这个环节主要还是依赖

厂家的技术研发能力和新产品、新技术的开发。

目前相关厂家在基站设备的节能降耗方面做了很多卓有成效的工作，包括从硬件和软件方面都采取了多种节能措施。目前主要包括以下一些技术：分布式基站的应用、多模基站技术、多载波技术、载波和功放的智能关断技术等。

（1）传统基站传热过程

在基站中，发热的电子元器件要将其发热量散发到机房外，需要通过以下途径：电子元器件—设备机箱—设备机柜—机房环境—空调风系统—空调水系统—空调制冷剂—室外空气。在这一传热过程中，机柜散热温差仅 7℃，但冷源工作温差达 27℃。

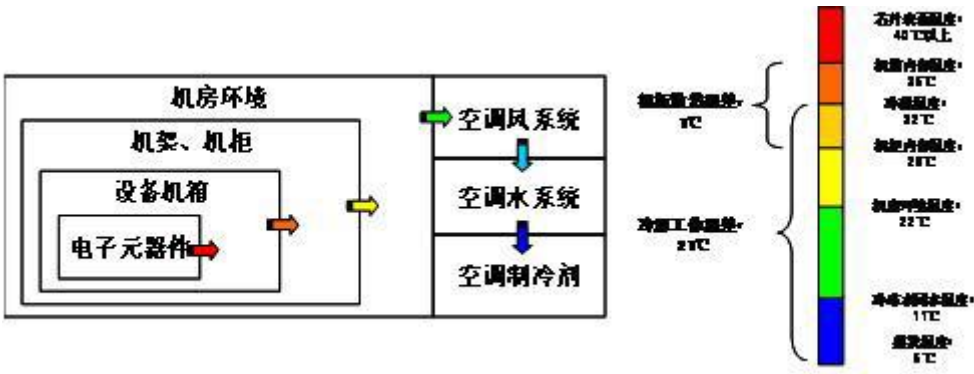


图 3-1 传统基站传热过程

以上传热过程中，由于传热环节较多，室内各环节温差较大，因此不可避免发生掺混的现象，导致冷量损失；另一方面，为了得到较大的冷源工作温差，传统空调采用了压缩机技术，而压缩机正是空调机的主要耗电部件。

（2）热管技术

热管是 20 世纪 60 年代宇航技术发展的突出技术成就之一。其导热能力很高，为良导热体银、铜的当量导热系数的成百上千倍，能在温差极小的情况下，传递大量的热流，故有超导热体之称。目前热管技术主要应用于航空、军事和工业导热领域。热管的基本结构如下图所示，它是由外壳容器、吸液芯（也有的热管不带吸液芯）和载热工作介质三部分构成。在轴向分为蒸发、冷凝、绝热三段（通常无绝热段）。

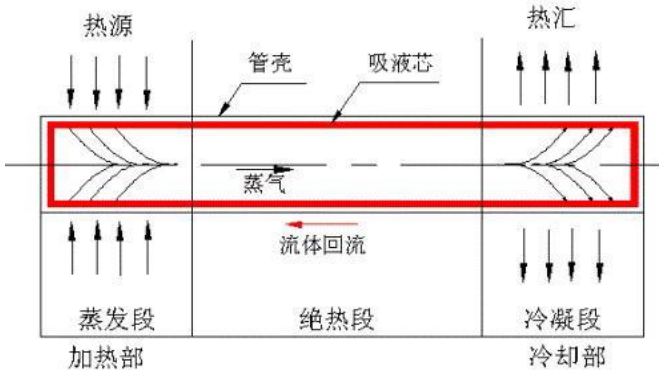


图 3-2 热管技术

热管工作时，外部热源使蒸发段受热后毛细吸液芯的工质汽化，由于不断产生蒸汽，因而压力较高，依靠压差使蒸汽经热管中间通道迅速流向冷凝段，冷凝成流体释放出等量的冷凝潜热。在管芯毛细力作用下，流体又回到蒸发段，通过这种反复循环的过程，从而传输比一般方法大得多的热流。

（3）基站传热过程优化

由于热管可以在较小温差下传导较大热量，我们考虑将热管技术应用到基站的传热上，对基站的传热过程进行优化。在保持模块表面温度不超过 45℃前提下，将电子元器件散发的热量通过热管传导到机房室外。如下图所示，采用热管技术可以降低传热各环节之间的温差，减少掺混，并且由于热管技术不需要机械制冷，其部件耗能远远低于传统的压缩机式空调，从而达到大幅度节能的目的。

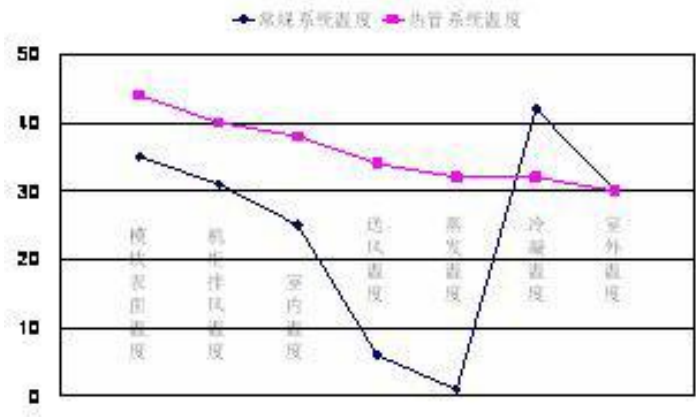


图 3-3 传热过程优化曲线

与传统空调比较，热管系统的优点在于能耗低，耗电量约为设备发热量的 1/20，而传统空调耗电量占设备发热量的 1/3；热管系统的缺点在于其温度控制效果受室外温度影响，在室外气温最高的时段里可能需要机械制冷补充。

技术水平总结：

表 3-2 通信基站主设备节能减排技术清单

序号	技术名称	行业	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
一	通信基站主设备节能减排技术				
1	网络中的光纤连接器和光连接技术	通信网络核心设备		●	
2	荒漠治理中的太阳光伏技术	新能源技术			●
3	太阳能光伏光热与建筑一体化综合利用技术	新能源技术			●
4	IP 化、2G、3G 化	通信网络核心设备		●	
5	无线软件节能	通信网络核心设备	●		
6	服务器存储设备动态节能技术	通信网络核心设备		●	
7	节能分级标准	通信网络核心设备		●	
8	分层存储技术	通信网络核心设备		●	
9	虚拟化技术提高内存和 CPU 利用率	通信网络核心设备		●	
10	多模基站技术	基站设备节能		●	
11	分布式基站技术	基站设备节能		●	
12	多载波技术	基站设备节能		●	
13	载波和功放的智能关断技术	基站设备节能		●	
14	室外标准化机柜	基站设备节能		●	

上表中的成熟技术系指已广泛在各生产工序中应用。成熟技术共计 1 项，占 14 项的 7.14%。

先进技术系指，根据各企业产品特点和工艺改造时应采用的技术。先进技术共计 13 项，占 92.86%。

3.1.2.2 空调及环境节能技术

在本课题中，我们将资源能源节约与综合利用技术分成两部分进行研究：

一是空调及环境节能技术；

二是供电系统节能技术。

空调及环境的节能降耗是通信基站所有节能降耗环节中节能潜力最大的。这

类节能方案实际上就是通过各种节能方案的实施,来降低现有空调及环境设备的耗电。空调及环境节能技术主要是针对空调设备采取的措施,主要包括以下几个方面的内容:

(1) 变频技术节能

变频技术是一种应用广泛的电机节能技术。应用了变频技术的空调系统一方面降低了开关损耗,另一方面提高了低频运转时的能效。在空调多种节能技术的应用中,变频技术是比较有效和成熟的技术。目前在市场上有很多国内外品牌的变频器,这为变频调速节能提供了充分的技术和物质基础。变频器已在国民经济各部门广泛使用。在通信机房空调系统中,目前变频节能技术主要有两种方式:

①中央空调水系统变频调速节能方式

空调水泵的耗电量可占空调系统耗电量的 15%~30%,所以水泵节能非常重要,节能潜力也比较大。

采用交流变频技术控制水泵的运行是目前中央空调系统节能改造的有效途径之一。

室外空气温度、湿度参数在整个供冷季是在不断变化的,所以空调系统的冷负荷在一年中也在不断变化中,并不是一成不变的。空调的冷负荷一年中变化很大,全年大部分时间的负荷只有最大负荷的 50%左右。用变频调速的方法来减少水泵流量的经济效益是十分显著的。当所需流量减少,水泵转速降低时,其电动机的所需功率按转速的三次方下降,如水泵转速下降到额定转速的 60%,即 $f=30\text{Hz}$ 时,其电动机轴功率下降了 78.4%,即节电率为 78.4%。

②机房专用空调压缩机变频方式

传统的机房专用空调和普通的民用空调一样,由于供电频率不能改变,传统的定频空调的压缩机转速基本不变,是依靠压缩机不断“开—停”来调整室内温度,其一开一停之间容易造成室温忽冷忽热,并消耗较多电能。机房专用空调压缩机变频技术通过变频器来改变压缩机供电频率,调节压缩机转速,依靠压缩机转速的快慢达到控制室温的目的。空调在每次开始启动时,先以最大功率、最大风量进行制热或制冷,在迅速接近所设定的温度后,压缩机便在低转速、低能耗状态下运转,仅以所需的功率维持设定的温度,这样不但温度稳定,还避免了压缩机频繁的开停对设备造成的损伤,而且耗电量大大下降,实现了高效节能。应用了变频技术的空调机一方面降低了开关损耗,另一方面提高了低频运转时的能效。不过由于变频技术的核心原理为高频脉宽调制技术,使用变频器就相当增加了一个谐波源,而且空调设备的功率一般都比较大会比较大,因此对通信电源低压配电系统的谐波干扰,以及通信设备的电磁干扰不容忽视。在采用中央空调水系统变频调速节能方式时,应尽量将空调系统的低压配电与通信设备的低压配电分隔开。

机房专用空调压缩机采用变频技术,应注意与通信设备保持距离并做好电磁防护措施。

(2) 空调的自适应控制节能技术

机房专用空调的自适应控制节能技术通过自动计算机房不同的工况条件、空调冷量分布、风量扩张循环等综合数据,动态跟踪计算空调在外部不同季节的环境温度与室内目标温度的关系,以及空调当前的富余容量,精确控制“N+1”、“N+0”、“N-1”台等空调数量的优先开关机顺序,使空调组群始终处于最合理的工作状态,提高优化冷量的利用效果,达到空调效率最大化的目的。机房专用空调的自适应恒温恒湿控制节能监控系统的安装和施工简单方便,对机房结构没有任何变动,不影响原有空调系统结构,具有较好的安全性可靠性,而且日常维护工作也相对简单方便。

(3) 冷水机组空调水处理

在冷水机组中,空调水系统水管的水垢、腐蚀及青苔对制冷系统影响极大,也是空调能耗高的主要原因之一。

定期对空调水系统进行水处理是降低消耗、提高空调系统工作效率的一种方法。空调水处理的方法可以采用对水系统加缓蚀剂等药水处理的方法,这是一种常用的对空调水系统进行清洁保养的方法。此外,采用高频多段磁场对冷却水系统及冷冻水系统的水质进行处理,也是一种可行的方法。

(4) 利用自然冷源的节能技术——新风系统

这种节能技术的工作原理是利用机房室外的自然环境为冷源,当室外空气温度比室内低一定程度时,依靠通风将机房内的热量带走实现室内散热,从而达到降低机房内部温度的目的,通过减少空调的使用时间达到节约电能的目的。新风系统主要有两种类型:

① 自然通风新风系统

直接利用室外新风送入机房内。当室外空气温度较低时,可以直接将室外低温空气送至室内,为室内降温。当室外温度高不足以带走室内热量时,则仍然开启空调工作。

② 热交换新风系统

在室外新风冷源的利用上采用了隔绝换热的方式,只利用室外新风作为冷源带走热量,室外空气并不直接进入室内,而室内空气通过换热冷却后再被送回室内。

新风系统本身工作原理简单,节能效果比较直接,但要注意以下两点:

a) 自然通风新风系统直接引入室外的空气,机房环境将直接受外界的影响,如何保证机房的温度、湿度、洁净度是一个需要探讨的问题。

b)新风系统的效率主要受室内外温差的影响。由于我国幅员辽阔,地形复杂,各地由于纬度、地势和地理条件不同,气候差异悬殊。因此新风系统的节能效果因地而异,需要通过实践来验证。

(5) 新型制冷剂节能技术

在市场上出现了一些号称可以节能环保的 R4 制冷剂,用于替代现在常用的 R12、R22 等制冷工质,这种环保节能型制冷剂在的某些地方进行了试验性应用,取得了一定的效果,但也存在一些问题。

R4 制冷剂是由多种氟利昂(HFC 类或 HCFC)按一定比例形成的多元非共沸混合工质,是一种多元非共沸制冷剂,一般用于现有设备的环保制冷剂工程改造,无须改变原设备结构,无须更换任何部件,无须更换润滑油,注入即可使用(DROP-IN)。根据目前掌握的资料和数据表明,使用 R4 制冷剂的实际节能效果受各种因素影响,与理论计算有一定误差,需要进一步在不同环境和条件下进行实验测试,并在实际使用环境中跟踪,长时间测量有关数据,观察设备的运行工况。使用不同的制冷剂会改变空调设备的工况。在没有得到空调设备厂商认可的情况下,应该谨慎的考虑使用 R4 制冷剂去替换现有工质。

技术水平:

经过研究共选取了空调及环境节能技术 16 项,其中成熟技术共计 11 项,占 16 项技术的 68.75%。先进技术共计 5 项,占 31.25%。

表 3-3 空调及环境节能技术清单

序号	技术名称	行业	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
二	空调及环境节能技术				
1	基站空调远程管理	基站空调节能		●	
2	基站温控技术	基站空调节能	●		
3	热管技术空调	基站空调节能	●		
4	变频改造节能技术	基站空调节能	●		
5	基站围护结构改造	基站建筑节能	●		
6	空调变频技术节能	机房空调节能	●		
7	机房专用空调的自适应控制节能技术	机房空调节能		●	
8	新风系统	机房通风和热交换节能	●		
9	新型制冷剂技术	机房空调节能	●		
10	智能通风技术	机房通风和热	●		

序号	技术名称	行业	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
		交换节能			
11	热管换热技术	机房通风和热交换节能		●	
12	定制空调技术	机房空调节能		●	
13	压缩机节能控制器	机房空调节能	●		
14	冷凝器辅助散热	机房通风和热交换节能	●		
15	冷却塔供冷	机房通风和热交换节能	●		
16	热管一体化空调	机房空调节能		●	

3.1.2.3 供电系统节能技术

供电系统的节能主要是针对配套电源设备采取的措施,主要包括以下几个方面的内容。

(1) 开关电源节能方面

在开关电源系统多模块并联工作时,根据系统实际负载动态调整工作模块数量,在系统负荷率较低的情况下,使其他并联模块进入休眠状态,从而使系统工作效率提高,使系统的总电能损耗减小到最小值。

(2) 太阳能、风能等清洁能源系统

太阳能系统和风能系统作为绿色无污染的清洁能源,在通信基站采用而无需引入外市电电源,可大大降低电能消耗,具有能源取之不尽、清洁无公害、供电可靠性高、运行维护成本低等优点。但是其有环境依赖性强、系统造价较高、发电功率较小等缺点。

技术水平:

经过研究共选取了供电系统节能技术 6 项,其中成熟技术共计 2 项,占到三分之一。先进技术共计 4 项,占三分之二。

表 3-4 供电系统节能技术清单

序号	技术名称	行业	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
三	供电系统节能技术				
1	高频开关整流器休眠技术	机房电源节能		●	

序号	技术名称	行业	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
2	高效开关电源	机房电源节能		●	
3	HVDC 供电技术（高压直流取代UPS）	机房电源节能		●	
4	蓄电池修复	机房电源节能	●		
5	前置端子蓄电池使用	机房电源节能		●	
6	谐波治理技术	机房电源节能	●		

第四章 主设备节能技术

4.1 分布式基站

4.1.1 技术介绍

4.1.1.1 应用节点

分布式基站以灵活的安装方式和容量特性、良好覆盖特性适用于各种应用场景，特别在以下场景应用更具有优势：如新增物理站点，室内覆盖、农村覆盖、主要干道覆盖（含隧道等）。

（1）大中城市重点建筑的室内覆盖，如体育馆、会展中心、商务写字楼等；

（2）机房空间紧张，新选址又无法按期完成的场景，如密集城区等；

（3）在高速公路、国道、省道等场景，BBU+RRU 可将不同物理小区合并为同一小区，有效避免小区频繁切换；

（4）人口密度、话务量较小的平原、丘陵或山势较缓乡村的村通覆盖；

其中双密度载频 RRU 适用于每小区 S4 以下的小站型，如村通、公路覆盖等。对于单小区超过 4 载波的中、大站型一般建议采用多载波 RRU。

4.1.1.2 技术基本原理

分布式基站结构的核心概念就是把传统宏基站基带处理单元（BBU）和射频处理单元（RRU）分离，二者通过光纤或微波相连。

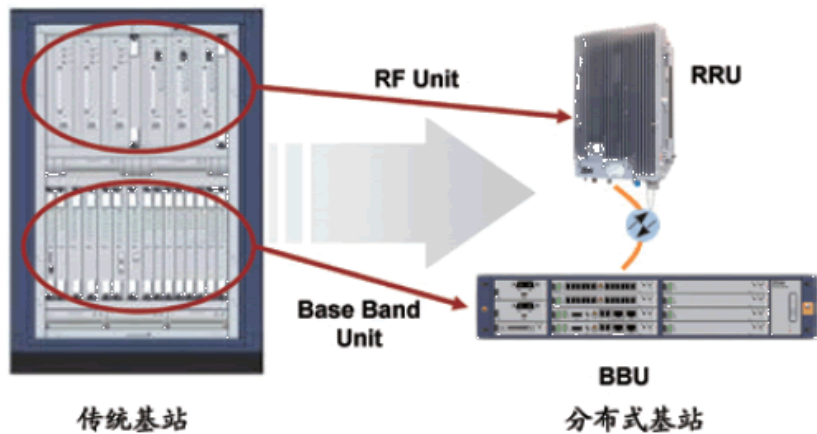


图 4-1 分布式基站与传统基站结构比较

分布式基站是将传统的宏基站设备主要包括基带处理板、主控、传输、监控、

时钟、收发信机、功放单元等按功能划分为两个相对独立的部分，才通过将射频拉远或基带拉远设置以达到节能效果。

4.1.2 技术发展水平

目前，分布式基站主要采用两种开放式接口标准：分离无线设备和无线设备控制部分的 CPRI 接口(Common Public Radio Interface)标准,还有基带处理、射频、网络传输和控制层面都分离的 OBSAI 接口标准。

CPRI 接口实现相对容易，支持厂商以 Ericsson、华为、Siemens、Nortel、NEC 等为代表。OBSAI 接口研发有一定难度，标准完善相对复杂，Nokia、Samsung、中兴、Alcatel、烽火、首信等基站设备商参加了该组织，天线、器件厂家多有加盟，也颇受 WiMAX 等宽带无线接入阵营成员青睐。

4.1.3 技术适用条件

4.1.3.1 RRU 环境要求

(1) 采用全密闭一体化结构，防水和防尘设计符合 IP65 标准。防潮、防霉和防盐雾设计达到三防等级中的一级防护，能够防止太阳辐射，抵御恶劣环境。

(2) 工作温度范围宽，在-33℃-+50℃(无太阳辐射时的环境温度)范围内可正常工作。

(3) 电压适应范围宽。采用交流电源输入时，可在 150V AC-300V AC 范围内正常工作；采用直流电源输入时，可在-37V DC--60V DC 范围内正常工作。

4.1.3.2 RRU 环境要求

(1) 采用全密闭一体化结构，防水和防尘设计符合 IP65 标准。防潮、防霉和防盐雾设计达到三防等级中的一级防护，能够防止太阳辐射，抵御恶劣环境。

(2) 工作温度范围宽，在-33℃-+50℃(无太阳辐射时的环境温度)范围内可正常工作。

(3) 电压适应范围宽。采用交流电源输入时，可在 150V AC-300V AC 范围内正常工作；采用直流电源输入时，可在-37V DC--60V DC 范围内正常工作。

4.1.4 实施建设内容

4.1.4.1 关键工艺设备

(1) BBU Bandwidth Based Unit，中文译名为基带单元

主要功能：完成基带信号处理、传输、主控、还有时钟等功能。

(2) RRU Radio Remote Unit 中文译名射频拉远单元

主要功能：完成对射频信号的滤波、信号放大和上下变频处理，并采用数字中频技术来实现从中频模拟信号到基带数字信号的转换。

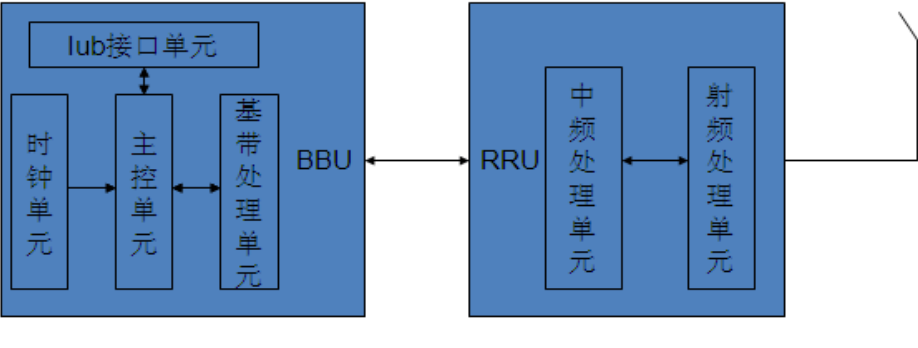


图 4-2 分布式基站构成

4.1.4.2 主要技术指标

- 体积：1600*600*600mm(H*W*D)
- 重量：小于 450Kg（含蓄电池）
- 交流输入电压：176-290VAC
- 直流输出电压：-58—44V
- 工作稳定：-40-+45℃
- 可选备电容量：可配置 48V/100Ah 或 200Ah 蓄电池

4.1.5 节能减排效果

整体节电可达 12%~25%。在共享已有机房的典型应用情况下，采用分布式基站可节省约 40%的 CAPEX，如下表。

表 4-1 传统宏基站与分布式基站 CAPEX 比较表

传统宏基站	小计 (万元)	分布式基站	小计 (万元)	节省 (万元)
天线抱杆	0.6	天线抱杆	0.6	81%
馈缆设施	1.4	光纤连接，无馈缆设施	0.1	
机房装修	1.5	机房装修	0	
机房消防	0.2	机房消防	0	
两台 2 匹空调	1	空调	0	100%
传输设备	1.5	传输设备	1.5	0%

市电引入	2	市电引入	2	0%
含开关电源、配电箱、备电系统等	4.5	室外备电系统	3	33%
防雷接地	1	防雷接地	1	0%
合计	13.7	合计	8.2	40%

在共享已有机房的典型应用情况下，采用分布式基站，包括空调电费、基站电费和站点租金等在内的 OPEX 则可节省约 65%。

表 4-2 传统宏基站与分布式基站 OPEX 比较表①

项目	传统建 站(元)	分布式基 站(元)	节省(元)	备注
空调电费	9145	0	8230.5	每年 2 匹空调 70%运转计算电费，1 元/度
基站电费	9198	6570	2628	S444 站型，电费 1 元/度
				传统宏基站平均功耗 1050W
				分布式基站平均功耗 750W
站点租金	18000	6000	12000	机房+天面租赁 1500/月，天面租赁 500/月
合计	36343	12570	22858.5	节省约 65%

4.1.6 成本效益分析

主设备：分布式基站单载频价格与传统基站单载频价格相当，2009 年传统基站单载频价格 1.5 万；配套设备：分布式基站较传统基站节省 40%的配套成本；

表 4-3 分布式基站成本效益比较

配套项目	传统宏基站	小计 (万)	分布式基站	小计 (万)	节省 (万)
抱杆及馈 缆设施	1) 天线抱杆 0.6 万元 2) 馈缆设施 1.4 万元 3) 机房装修 1.5 万元 4) 机房消防 0.2 万元	3.7	1) 天线抱杆 0.6 万元 2) 光纤连接，无馈缆 设施，约 0.1 万元	0.7	3
空调	两台 2 匹空调，0.5 万/ 台	1	无需空调	0	1
传输设备	外置传输设备 1.5 万元	1.5	外置传输设备 1.5 万 元	1.5	0
市电引入	2 万元	2	2 万元	2	0

①数据来源：《中国移动“绿色行动计划”节能技术导则（讨论稿）》

电源/备电	含开关电源、配电箱、备电系统，共计 4.5 万元	4.5	室外备电系统约 3 万元	3	1.5
防雷接地	1 万元	1	1 万元	1	0
合计	—	13.7	—	8.2	5.5

4.1.7 技术推广应用情况

目前甘肃、湖南、重庆、广东、江苏、湖北、福建、广西、浙江、山东、贵州、山西、内蒙古、青海 14 个省实际应用了 GSM 分布式基站，主要为爱立信、华为、中兴三个设备厂家，共计 5610 个载频，占全网总载频的 0.13%。其中，58%的分布式基站应用于村通场景；仅浙江现网应用了多载波 RRU，共 1432 个载频。2009 年 18 个省确定 2G 分布式基站需求，合计 7378 载频。

表 4-4 基站技术分布情况①

功耗 (W)	S2/2/2			S4/4/4		
	BBU+RRU	宏基站	对比	BBU+RRU	宏基站	对比
爱立信	760	1257	40%	1510	2095	28%
华为	920	1060	13%	1150	1766	35%
中兴	1175	1580	26%	2225	2634	16%

4.1.8 技术知识产权情况

华为、中兴、爱立信、诺西已支持 GSM 的 BBU+RRU，华为、中兴支持多载波 RRU，其他厂家最早 09 年 Q3 支持。

(1) 专利名称：无线电设备节点、分布式无线通信基站及其通信方法

申请号/专利号：200710163736

申请人/专利权人：中兴通讯股份有限公司

专利名称：一种分层异构分布式基站和方法

申请号/专利号：200810088014

申请人/专利权人：中兴通讯股份有限公司

专利名称：实现上下行传输速率匹配的方法及 BBU 和 RRU

申请号/专利号：200910087379

申请人/专利权人：中兴通讯股份有限公司

(2) 专利名称：一种改进型分布式基站架构及实现方法

①数据来源：百度文档《分布式基站原理与应用》

申请号/专利号：201010174629

申请人/专利权人：武汉邮电科学研究院

(3) 专利名称：室内基站系统

申请号/专利号：200510056106

申请人/专利权人：华为技术有限公司

专利名称：分布式基站、分布式基站的室内单元和室外单元

申请号/专利号：200710130360

申请人/专利权人：华为技术有限公司

4.2 多载波基站

4.2.1 技术介绍

4.2.1.1 技术应用节点

适用于市区、密集城区等话务量大的区域

4.2.1.2 技术基本原理

传统 GSM 基站主要采用单载波功放（SCPA）设计，通过多个单载波功放合路实现单扇区多载波，由于引入无源合路器带来了信号的损耗（通常，经过一级合路器，信号衰减约 3.5dB，两级合路器信号衰减约 7dB），降低了基于单载波技术的传统 GSM 基站发射机的整机效率。

4.2.2 技术发展水平

传统 GSM 基站使用单载波技术，使用窄带功率放大器（带宽为 200KHz），每一个载波对应一个独立的射频通道（包含基带处理模块、数模转换模块和窄带功放）。在以往的 2G 网络建设中，为满足大容量需求，一个小区要配置多个载波，多个载波的信号通过模拟合路器进行合路后输送到天线发射，以达到节省天线的目的。由于模拟合路器引入了较大的插入损耗（-3dB/2 载波合路），为满足覆盖要求，基站必须提高发射功率，同时传统基站还存在载波集成度低、单站容量受限、无法支持网络后续演进等问题，制约了 GSM 网络的进一步发展。

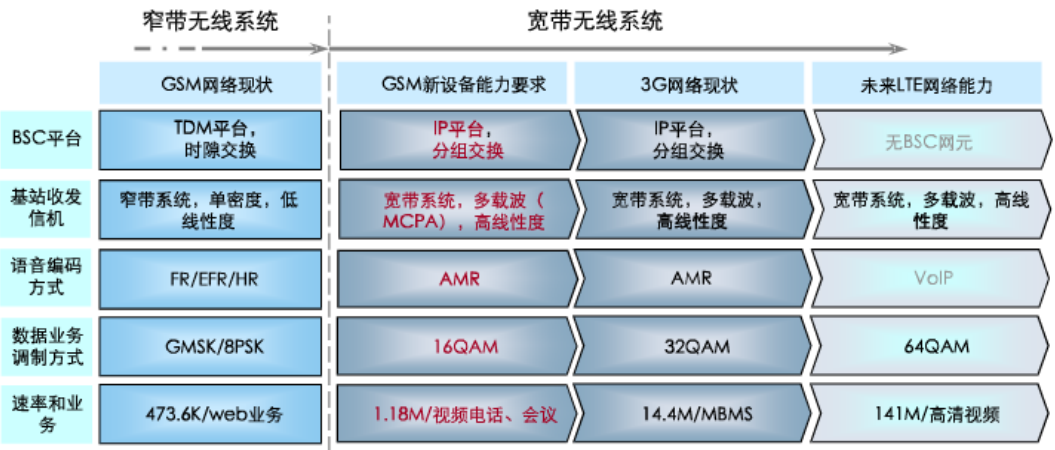


图 4-3 GSM 网络发展趋势

多载波基站的节能降耗特点

在通信网络节能减排趋势下，使通信基站更节能更符合“绿色”要求的 GSM 多载波基站技术出现，其核心是将在 3G（主要是 WCDMA 和 cdma2000）系统中成功使用的宽带功放技术应用用于 2G 基站，实现了射频宽带化。目前宽带功放支持的带宽为 15MHz。为解决采用宽带功放之后产生的信号非线性和功率效率问题，多载波基站综合采用了数字中频合路技术、数字预失真(DPD)、多哈里（Doherty）技术。相比于传统单载波基站，多载波基站具有合路损耗小（数字中频合路插损为 1 个 dB）、集成度高等特点。

传统基站技术和多载波基站技术的性能对比如下：

表 4-5 网络前后 KPI 对比

项目	单载波基站	多载波基站
功放	窄带功放 200KHZ	宽带功放 KHZ
合路	模拟和路	数字中频和路
线性化技术	FF（前置反馈）	DPD（数字预失真）
提高功放效率技术	无	多哈里技术（Doherty）
集成电路技术	DSP+FPGA	ASIC

表 4-6 单载波基站和多载波基站技术对比

修改项目	单载波基站要求	多载波基站要求
互调指标	-80dBc	Class1t-70dBc
Class2t-60dBc		
宽带噪声和杂散	峰值要求	改为均值要求
阻塞指标	-13dBm	-25-80dBm

表 4-7 多载波基站修改的指标

网络	测试时间	业务信道掉话率	得令信道掉话率	立即指配成功率	切换成功率
杭州	替换前	0.25%	0.23%	99.3%	96.8%
	替换后	0.15%	0.24%	99.8%	97.5%
泸州	替换前	0.25%	0.33%	98.3%	98.9%
	替换后	0.29%	0.35%	98.1%	97.9%

在全行业节能减排发展趋势下，移动运营商面临着来自基站节能的压力，原有 GSM 基站的能耗过高，同时，传统基站的无线资源的调整分配比较繁琐，由于原有 GSM 单板支持的载波数有限，遇有大话务场景往往通过拆闲补忙去弥补容量需求，而且这种调整资源的模式往往要工作人员去现场插拔硬件设备，效率比较低下。

如果采用多载波基站，单板的载波数更多，基站的容量可以更高，并且运营商可以选择是否通过软件开通相应的载波，这样工作人员在网络中调整载波就十分方便。多载波基站的体积较传统基站体积有较大幅度的减少，进一步缓解了机房空间紧张的局面。此外，多载波技术结合软件无线电技术，可使 GSM 网络平滑地向 EDGE、EDGE+甚至 LTE 演进，有效保护运营商投资。

结合以上对多载波基站的描述，我们可以发现，多载波基站是解决基站节能降耗、网络持续演进的有效方案之一。

4.2.3 技术适用条件

GSM 是窄带数字通信系统，第一代和第二代 GSM 基站都是采用单密度 STRU (TRX) 射频模块。随着射频器件的小型化和 DSP (数字信号处理) 技术的发展，在第三代和第四代基站中出现了现在普遍使用的双密度载波射频模块 DTRU。双密度模块将两个单密度射频模块封装在一个单元内，成倍提高了基站的容量和集成度。但无论是 STRU 还是 DTRU，其本质上都属于窄带单载波技术，即每一个载波对应一个独立的射频通道。

随着运营商越来越关注降低 TCO 和平滑演进，经济、绿色、快速、高效的网络建设、扩容和演进成为运营商竞争制胜的关键。这时传统的单密度或双密度载波模块无法满足上述需求，第五代基站应运而生。第五代基站支持 3GPP R7/R8 和即将冻结的 R9 版本的增强 EDGE 及其后续演进，在 GSM 制式上可以提供高达 2~4M 的空中接口速率，同时实现了对 WCDMA、HSPA 甚至 LTE 的支持。基站集成度进一步提高，接口标准化和模块化进一步成熟，多模基站和全 IP 的多任务基站控制器成为主流，可以完美支持多无线电融合网络。2002 年 10 月，由多家电信设备制造商、模块供应商和元器件厂商发起建立了 OBSAI 组织。OBSAI 的最终目标是建立一个开放的 BTS 设备制造市场，以使更多的模块和元器件厂

商参与 BTS 相关的标准模块的研发和制造,以进一步降低成本和提高性能。这样,电信设备制造商只需集成相应的模块就可完成 BTS 设备的研发和制造,从而大大缩短开发周期和降低成本。类似的机构组织还有 CRPI。因此,模块化 IP 系统架构和多模将是 BSS 未来发展的一个重要特征。第五代基站系统还可能支持 MIMO (多输入多输出) 和 OFDM (正交频分复用),并引入软件无线电,配合宽带多载波功放技术的日趋成熟和成本降低,可以实现真正意义上的软件基站。第五代基站的核心是基于宽带多载波技术的开放式架构。宽带多载波技术也就是将宽带多载波功放技术引入 GSM 射频模块,来替代传统的窄带模拟功放,从而实现射频的宽带化。多载波技术可以满足现网绝大多数场景下的网络应用需求,节省机房空间资源、降低基站能耗、对站址资源要求低、建网灵活。

表 4-8 3G 网络扩容几种实现方式比较

实现方式	具体方案	优缺点
大规模的小区分裂	●建网初期,基站间距离较大,主要解决网络覆盖 ●建网后期,未来满足用户增长需要,将原来的小区分裂成更多的覆盖面积更小的小区	●要对前期基站的覆盖作大规模的收缩调整 ●要为大量新增站找到合适的站址 ●要进行大规模的网络重新优化
宏蜂窝和微蜂窝部署分层网(HCS)	●将宏蜂窝和微蜂窝设置成不同层级 ●采用特定算法,将处于空闲或连接模式下的用户分配到宏蜂窝或微蜂窝层	●宏蜂窝和微蜂窝层需要足够的隔离距离 ●可能会浪费宏蜂窝层的资源 ●微蜂窝层要求实现较好的连续覆盖,否则会造成资源浪费或者频繁切换
多载波基站	●不用新建基站,在支持多载波的基站上增加基带信道单元模块和收发调制模块单元 ●在基站功率储备足够大的情况下,无线容量随着基站载波数的增加成倍增长 ●载波间的切换易于解决	●网络扩容成本低,扩容工程量最小 ●能够保持原有的网络结构,有助于保证已运营网络的性能稳定,减少网络优化的工作量 ●运营商要有多载波

4.2.4 实施建设内容

4.2.4.1 关键工艺设备

中国移动对 GSM 多载波基站应用进行了两阶段的试验:第一阶段进行了实验室测试,相关部门对 3GPPTS45.005 规定的多载波基站射频指标进行了一致性测试,测试的指标包括互调、底噪、杂散和阻塞指标;第二阶段,中国移动在浙江杭州、四川泸州等地开展了外场规模组网环境下网络性能测试,设置浙江杭州

(10 个站)、四川泸州 (11 个站)、资阳 (单站) 三个外场, 覆盖场景包括密集城区、普通城区、郊区和农村, 试验内容包括网络性能、基站功耗、网络覆盖和网络容量等指标。

4.2.4.2 主要技术指标

传统基站技术和多载波基站技术的性能指标对比如下表所示。

供电方式: BBU:-48V DC/+24V DC

RRU: BBU:-48V DC/220V DC

典型功耗: RRU3004: S2/2/2(TOC 30W 单天馈) 490W

RRU3008: S4/4/4 780W S6/6/6 780W S8/8/8 700W

输出功率: RRU3004: 30W

RRU3008: 20W(3C)/20W(4C)/12W(6C)/7W(8C)

4.2.5 节能减排效果

中国移动在杭州、泸州两地外场采用挂表方式分别测试了多载波宏基站和多载波分布式基站在不同载波配置情况下的节能性能。测试结果表明, 对于三扇区室外分布式基站, 50%话务负载条件下, 传统基站平均功耗为 1630W, 而采用多载波基站后, 基站平均功耗降为 1071W, 较传统基站下降 34%; 宏基站 75%话务负载条件下, 传统基站平均功耗为 2400W, 采用多载波基站后, 平均功耗降为 1700W, 功耗降低了 29%。试验结果表明, GSM 多载波基站在运营企业可持续发展、网络节能降耗上体现出了 5 大特点。

(1) 各项射频指标满足 3GPP 协议要求

为了能够使多载波技术尽快成熟和应用, 考虑目前多载波关键技术的成熟度, 3GPP 协议对原 GSM 协议互调、宽带噪声和杂散以及阻塞等四项射频指标进行了修改, 本文在不影响网络性能指标的前提下, 通过仿真得到了多载波基站指标, 如上面的表格所示。

实验室测试表明, 目前多载波基站中的 80W 和 60W 设备, 均满足宽带噪声、杂散和阻塞指标的要求。在互调指标上, 80W 设备目前仅满足 Class2 的要求, 还无法满足严格的 Class1 要求而 60W 设备满足 Class1 要求。

(2) 规模组网条件下基站性能稳定满足商用需求

浙江杭州外场使用 10 个多载波基站替换了原有单载波基站。在替换前后基站话务量和话务分布一致的条件下, 经过持续网络性能指标观测 (3 个月), 替换后的多载波基站部署区域重要网络性能指标(KPI)与替换前一致。在四川外场, 工程人员将原有 11 个传统基站升级为多载波基站后, 网络 KPI 表现平稳。

试验表明, 在真实组网条件下, 采用多载波基站组网后, 网络性能稳定, 基

本满足商用要求。

（3）基站耗电量下降 30%

功放是基站中耗电最多的模块。对于宽带功放而言，线性度和效率一直是业界的一大难题。传统基站使用的窄带功放，主要采用 FF（前反馈）技术来补偿非线性失真，其功放效率一般仅为 10% 左右。多载波基站采用 DPD 技术来补偿非线性，功放效率可达到 20%；DPD 技术配合采用 Doherty 技术，可将功放效率提高到 30% 左右。

中国移动在杭州、泸州两地外场采用挂表方式分别测试了多载波宏基站和多载波分布式基站在不同载波配置情况下的节能性能。测试结果表明，对于三扇区室外分布式基站，50% 话务负载条件下，传统基站平均功耗为 1630W，而采用多载波基站后，基站平均功耗降为 1071W，较传统基站下降 34%；宏基站 75% 话务负载条件下，传统基站平均功耗为 2400W，采用多载波基站后，平均功耗降为 1700W，功耗降低了 29%。

（4）单站容量提升缓解机房空间紧张

传统单载波基站，基带处理采用 DSP+FPGA 方案，单板集成度低，一般 1 个单板支持 1-2 个载波，单机柜最大支持容量 12 载波配置，按三扇区配置为 S4/4/4；如果实际容量需求超过基站最大容量配置，则需要增加机柜实现。

而多载波基站，基带处理采用 ASIC 解决方案，集成度更高。目前多载波基站 1 个单板最大可支持 6 个载波，每扇区可配置 2 个单板，单机柜最大支持 36 载波配置（S12/12/12），是传统基站容量的 3 倍，而站地面积与传统基站相同，并无明显增加，可有效缓解机房空间紧张问题。

（5）基站配线简化容量调配灵活

扩容试验表明，运营商在使用 3 个多载波模块建设了一个 S4/4/4 的站点需要扩容到 S6/6/6 时，只需要在中心机房修改软件配置即可，不需要工程人员再次访问站点去更换硬件或者更改基站的配线方式，不需要中断业务。在采用多哈里技术之后，每个小区不再需要配置传统的宽带合路器或空腔合路器，基站配线极大简化，同时也降低了对基站维护人员的技术要求和配线出错的概率。同时多载波基站可实现远程的站点载频调配，操作方便快捷，可实现在不同站点之间灵活的容量调配，减少了工程和维护工作量。

4.2.6 成本效益分析

平均功耗成本下降 30%。

4.2.7 技术应用情况

中国移动在浙江、四川等地进行的试验证明，多载波基站通过采用宽带功放、

数字预失真和多哈里技术，提高了基站功放效率和载波集成度，对于 2G 网络节能减排工作具有较大的促进意义。笔者建议产业链进一步加快多载波基站产业化推进工作，特别是推进多载波基站行业标准的制订，带动更多企业开展 GSM 多载波基站产业化工作，为现网引入“绿色基站”做好准备工作。

中国移动将继续发挥试验的示范和产业带动作用，扩大多载波基站的试验范围，选择更多厂家的产品进行组网试验，提高多载波基站的技术成熟度。多载波基站可实现发射机和接收机的宽带化设计，具备集成度高、功耗低等特点，是 GSM 基站未来的发展方向，建议运营商在大中城市密集城区特别是机房紧张和话务密集区域，通过采用多载波基站解决机房面积受限和容量问题。

4.2.8 技术知识产权情况

- (1) 专利名称：一种多载波组网方法及无线网络控制器、基站和终端
申请号/专利号：200610112981
申请人/专利权人：大唐移动通信设备有限公司
- (2) 专利名称：GSM 基站功放单元及 GSM 基站
申请号/专利号：200820079467
申请人/专利权人：中国移动通信集团公司
专利名称：多载波移动通信系统中的通信方法、基站以及通信系统
申请号/专利号：200810223945
申请人/专利权人：中国移动通信集团公司
- (3) 专利名称：一种 TD-SCDMA/GSM 双模式多载波数字直放站
申请号/专利号：201020022979
申请人/专利权人：上海瀚儒通信技术有限公司
- (4) 专利名称：基于多载波基站的载波控制方法及系统
申请号/专利号：200710187385
申请人/专利权人：中兴通讯股份有限公司
专利名称：多载波基站站点确定方法和装置
申请号/专利号：200710163731
申请人/专利权人：中兴通讯股份有限公司
- (5) 专利名称：多载波控制方法、多载波削峰模块和基站
申请号/专利号：200810216615
申请人/专利权人：华为技术有限公司
专利名称：一种 GSM 宽带基站中的多载波任务处理方法
申请号/专利号：00125707
申请人/专利权人：华为技术有限公司

4.3 室外标准化机柜

4.3.1 技术介绍

4.3.1.1 技术应用节点

现网、3G 无线基站；城区、郊区、农村难以找到机房的地区

4.3.1.2 技术基本原理

基站室外标准化机柜是一种应用于通信系统，直接处于户外气候环境条件下，内部可以集成基站设备、传输设备、通信电源、交直流配电、温控、监控、防雷接地和蓄电池组等系统功能的机柜。

室外标准化机柜应用于通信系统，直接处于户外气候环境条件下，集成通信电源、交直流配电、温控、监控、防雷接地和蓄电池组等系统功能，为内部通信设备提供机械和环境保护的柜体。其特征是集成度高、扩展灵活、安装简单、支持整体运输和吊装、设备空间按逻辑分区、免进人维护等。

4.3.2 技术发展水平

室外标准化机柜成为基站建设中必不可少的设备和解决方案和快速建设优质网络的利器，也是目前国际上先进的快速建设基站网络方法。

4.3.3 技术适用条件

（1）密集城区室外覆盖

在难以找到机房的地方，采用户外标准化机柜进行覆盖可以节省机房投资具有成本优势。

（2）一般城区室外覆盖

对于机房建设或租赁比较困难的地区，可以采用在屋顶或街道建设室外型基站，并通过采用增强覆盖的技术扩大覆盖半径。

（3）村通

农村自身条件相对较差，无法租用到合适的机房，即使租用了民房，也无法满足通讯设备对环境的要求；搭建机房其时间成本和建设成本往往要高于设备本身；多数自然村人少、分散，规模较小，采用机房建设覆盖困难。因此建议在村通中采用户外标准化机柜。

4.3.4 实施建设内容

4.3.4.1 关键工艺设备

标准化室外机柜内可安装电源设备、通信设备、配线设备(DDF、ODF)、温控设备、蓄电池及其它备附件的功能区组成。

4.3.4.2 主要技术指标

工作温度范围：-40℃～+45℃。

贮存温度范围：-25℃～+55℃。

标准化室外机柜内尺寸分两种规格，分别为（宽×深×高：800mm×800mm×1800mm）、（宽×深×高：800mm×800mm×1400mm）；

热交换器的主控板和内外循环风机采用-48V DC 供电。

电加热器采用 220V AC 供电。

4.3.5 节能减排效果

中国移动对标准化室外机柜做了多地试点，通过将传统机房和标准化室外机柜的成本进行对比后得出：户外站配置灵活，支持后续平滑扩容；与传统机房相比，减少占地面积超过 60%，免空调，分舱温控，年节约电费 40%。

表 4-9 传统机房和标准化室外机柜的成本对比表^①

室内宏基站 BTS3900 S444，传统机房采用空调设置温度 26℃				
对比项目	传统机房	户外标准化机柜	节约比例	节约成本（元）
温控设备耗电量(KWh)	9000	5400	40%	11172
占地面积（平米）	7.2	2.5	65%	

4.3.6 成本效益分析

与传统机房相比，使用标准化机柜后，年结余电费 40%，节约成本达到 11172 元。

4.3.7 技术应用情况

在西方发达国家，有超过 50%的站点选用户外机柜建站方式，市场趋于成熟。但在我国，标准化室外机柜的应用正处于推广阶段，市场潜力巨大。

为了降低能耗和减少排放，国家去年从宏观政策上也开始不断提出“绿色”的政策性措施以及相关的手段来推动和促进。相对目前而言，国内运营商的传统

^① 《中国移动“绿色行动计划”节能技术导则（讨论稿）》

机房建设仍然偏向于整体机房建设,但是三大运营商在逐渐推广相应的一体化机柜试点。新建站点将全都优先考虑户外标准化的机柜。随着老的租用机房的到期,运营商将逐步考虑退出高成本的机房租赁模式,应用更多易选址的户外机柜。

户外标准化机柜正获得越来越多的应用,比如安徽联通、天津联通、吉林移动、云南联通、重庆电信等地方运营商均有采用。中兴新、艾默生、中国普天、深圳日海等生产户外一体化机柜的设备厂商为运营商 3G 网络以及整个通信网络的迅速铺开提供了有力的支持。

4.3.8 技术知识产权情况

(1) 专利名称: 户外一体化机柜

专利号: 200630123682

申请人/专利权人: 普天信息技术研究院

专利名称: 三开门式户外通信机柜

申请号/专利号: 201020207674

申请人/专利权人: 普天信息技术研究院

(2) 专利名称: 户外通信机柜

申请号/专利号: 201020233303

申请人/专利权人: 深圳市科信通信设备有限公司

(3) 专利名称: 一体化户外 BTS 设备

申请号/专利号: 200910110191

申请人/专利权人: 深圳市中兴新地通信器材有限公司

(4) 专利名称: 户外一体化机柜

申请号/专利号: 200920271913

申请人/专利权人: 苏州新大诚科技发展股份有限公司

(5) 专利名称: 户外机柜

申请号/专利号: 200720172612

申请人/专利权人: 艾默生网络能源有限公司

第五章 空调及环境节能技术

空调及环境节能技术包括空调节能、通风、换热等技术，是通讯节能的主要环节。

5.1 基站定制空调

5.1.1 技术介绍

5.1.1.1 技术应用节点

物理宏基站

5.1.1.2 技术基本原理

基站定制空调从基站通信设备散热的特点出发，改良以往基站空调以适应人的使用为核心的设计思路，专门为移动基站量身定做，在产品的技术和结构方面进行了大量的改进，具有能效高、可靠性高、性能稳定性高等特点，更好的发挥了运行节能的优势，是适合基站使用的节能型空调。

5.1.2 技术发展水平

中国移动于 2008 年 8 月启动基站定制空调研发项目，经过近一年的努力，基站定制空调的研发工作取得了阶段性的成果，首批基本型基站定制空调已经于 2009 年 5 月在重庆、福建、广东、湖南四省完成试点，经实测，相比现网基站使用的舒适性分体式空调节约能耗 25%左右。为进一步提高基站定制空调的节能效果，中国移动正在联合空调厂家，研发在现有基本型基站定制空调的基础上引入自然冷源的双冷源基站增强型定制空调。预计增强型基站定制空调将比目前基站使用的舒适性分体式空调节能 35%~45%。

5.1.3 技术适用条件

适用于所有基站新装及空调设备更新。

5.1.4 实施建设内容

5.1.4.1 关键工艺设备

中国移动定制空调采用电子膨胀阀节能技术，室外机无压缩机。

5.1.4.2 主要技术指标

美的分体式下送风空调主要是针对中国移动公司的基站使用环境特意定制的一系列节能型空调器。外形尺寸、内部构造，以及各项性能参数都按照中国移动公司的相关标准而制作，各项指标均达到要求。

表 5-1 移动定制空调主要技术指标

分类方式			分类内容		
结构型式			分体式空调机：由室外机和室内机组成，室内机组结构分类为柜式、壁挂式。压缩机及控制板设置于室内机。		
冷却方式			风冷式		
功能			冷风型、热泵型		
送风方式			下前送风，上回风型		
代号	设备类型（定频）		名义制冷量	名义制热量	备注
F-1	单冷	壁挂（单相）	≥5000		
	冷暖	壁挂（单相）	≥5000	≥5000	热泵型
F-2	单冷	柜式（三相）	≥7000		
	冷暖	柜式（三相）	≥7000	≥7000	热泵型
F-3	单冷	柜式（三相）	≥12000		
	冷暖	柜式（三相）	≥12000	≥12000	热泵型

5.1.5 节能减排效果

该种类型的空调深挖空调运行节能潜力，优化空调结构，能效比达到 3.0，比目前电信运营商基站普遍使用的舒适性分体式空调节能 25%左右。

中国移动于 2008 年 8 月启动基站定制空调研发项目，经过近一年的努力，基站定制空调的研发工作取得了阶段性的成果，首批基本型基站定制空调已经于 2009 年 5 月在重庆、福建、广东、湖南四省完成试点，经实测，相比现网基站使用的舒适性分体式空调节约能耗 25%左右。

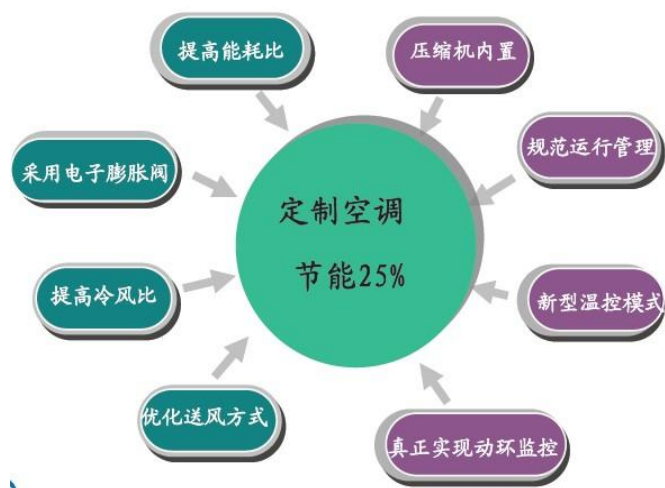


图 5-1 基站定制空调节能减排效果

中国移动近 40 万个基站来测算，若全部使用定制空调，每年可节电约 8 亿度，这相当于减少 CO₂ 排放 67.92 万吨，节约标准煤 9.832 万吨。

与同类产品技术进行比较：

表 5-2 与同类产品比较节能效果

比较项目	定制基站空调	舒适性空调	节能能力说明
EER（能效比）	≥3.0	≤2.6	油画和加大蒸发器和冷凝器的换热面积，采用高效压缩机及风机使整机能效比提高 15%
SHR（显热比）	≥0.8	≤0.7	加大送风机风量，减小冷风比，提高显热比，使整机节能 5%
冷风比	≤5.0	≥7.0	
节流方式	电子膨胀阀	毛细管	电子膨胀阀可以精确调节制冷剂流量，在部分负荷情况下节能效果 5%
送风回风方式	下送风，上回风	上送风，下回风	送风方式的改变，优化了基站内温度场，提高制冷效率，节能效果 2%
室外机	无压缩机	带压缩机	压缩机移到室内机，减少因室外机被盗造成平均每台减少损失 2000 元
控制系统	可变程序	不可变程序	控制程序可以根据需要（不同地区的特点）而改变

平均每站每年可以节约用电 2000 度，能节约人民币 2000 元左右。噪音降低 10dB。

5.1.6 成本效益分析

（1）同型号空调柜机的 145%，比同型号空调低 8%~13%。

(2) 为了支持新技术的应用发展，财政部、国家发改委组织实施“节能产品惠民工程”，将对能源效率等级为 1 级或 2 级产品的生产企业给予每台 650 元补助。

(3) 由于现网室外机偷盗严重，将定制空调压缩机放置室内，可减少失窃时的损失。平均每台减少损失约 2000 元。

5.1.7 技术推广应用情况

为大范围使用 5-10 年，中国移动与 6 家空调厂商合作，定制了一批适用于基站的节能空调。2008 年 8 月，中国移动联合阿尔西、格力、佳力图、美的、铨高、松下六家空调厂家，共同研发通信基站用节能型定制空调。

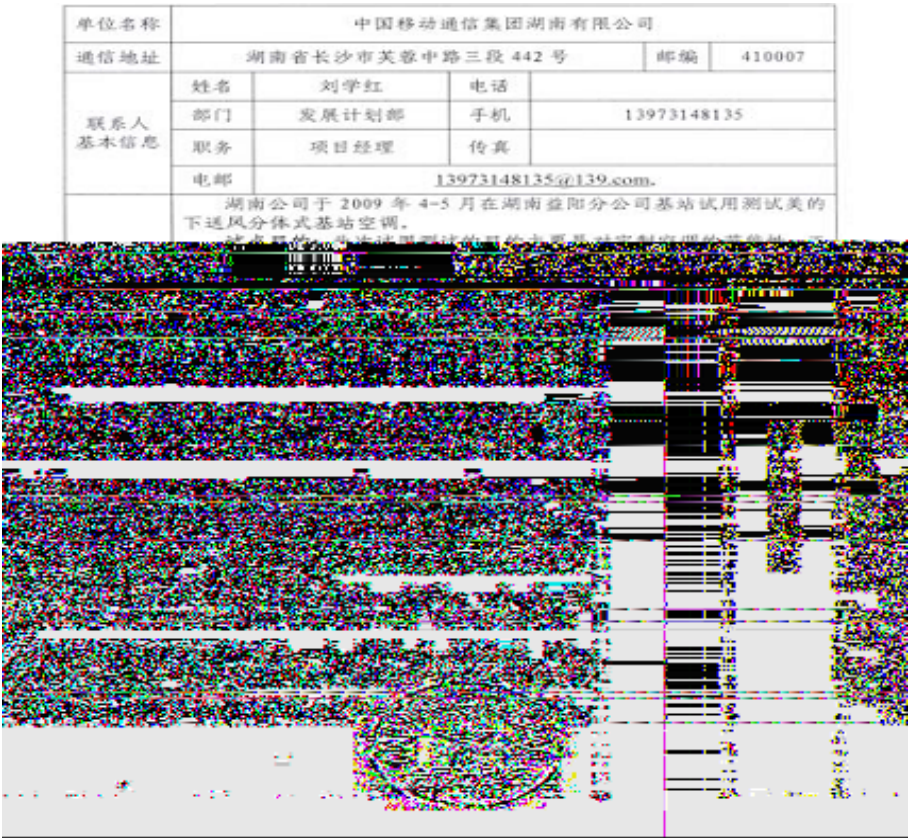


图 5-2 湖南移动公司使用效果证明

5.1.8 技术知识产权情况

中国移动通信集团于 2009 年 7 月 28 日向中华人民共和国国家知识产权局申请实用新型专利。申请号：200920110361.6。

共 1 页

中华人民共和国国家知识产权局

邮政编码: 100005
北京市东城区建国门内大街7号光华长安大厦2座818室
北京中誉威圣知识产权代理有限公司
彭晓玲 丛芳
申请号: 200920110361.6

A
发文日期:
2009 年 7 月 28 日

专利申请受理通知书

根据中华人民共和国专利法第二十八条及其实施细则第三十九条、第四十条的规定, 申请人提出的专利申请国家知识产权局专利局予以受理。现将确定的申请号和申请日通知如下:

申请号: 200920110361.6

申请日: 2009 年 7 月 28 日

申请人: 中国移动通信集团公司 中国移动通信集团设计院有限公司

实用新型名称: 通信基站空调机

经核实确认国家知识产权局专利局收到如下文件:

请求书	每份页数: 2	份数: 2	摘要	每份页数: 1	份数: 2
摘要附图	每份页数: 1	份数: 2	权利要求书	每份页数: 2	份数: 2
说明书	每份页数: 5	份数: 2	说明书附图	每份页数: 2	份数: 2
专利代理委托书					

简要说明

- 根据专利法第二十八条规定, 申请文件是邮寄的, 以寄出的邮戳日为申请日。若申请人发现上述申请日与邮寄申请文件之日不一致时, 可在收到本通知书起两个月内向国家知识产权局专利局受理处提交意见陈述书及挂号存根, 要求办理更正申请日手续。
- 申请号是国家知识产权局给予每一件被受理的专利申请的代号, 是该申请最有效的识别标志。申请人向我局办理各种手续时, 均应准确、清晰写明申请号。
- 寄给审查员个人的文件或汇款不具法律效力。
- 中间文件、分案申请, 要求本国优先权的申请应直接寄交国家知识产权局专利局受理处。

中华人民共和国国家知识产权局

专利受理章 (15)

审查员: 王亮

0930-2-C12038

邮政编码: 100088 地址: 北京市海淀区蓟门桥西土城路六号国家知识产权局专利局受理处 邮政信箱: 北京 8020 信箱

图 5-3 中国移动通信基站空调机专利证明

5.2 智能通风

5.2.1 技术介绍

5.2.1.1 技术应用节点

物理宏基站, 昼夜温差大、过渡季节长、室内外温差大于 8℃时段较长、周围环境比较清洁的宏蜂窝站。

目前在全国 31 个省均有使用, 安装数量达 3 万多套。根据各地气候条件不同节能效果在 20%以上。贵州、湖南、云南等省安装数量较多。

5.2.1.2 技术基本原理

该技术是一种向通信基站室内提供经过除尘过滤的室外空气的通风机组。其本身不带任何制冷元件，通过将基站外部冷空气直接引入、把通信基站内部热空气直接排出，从而实现通信基站降温。

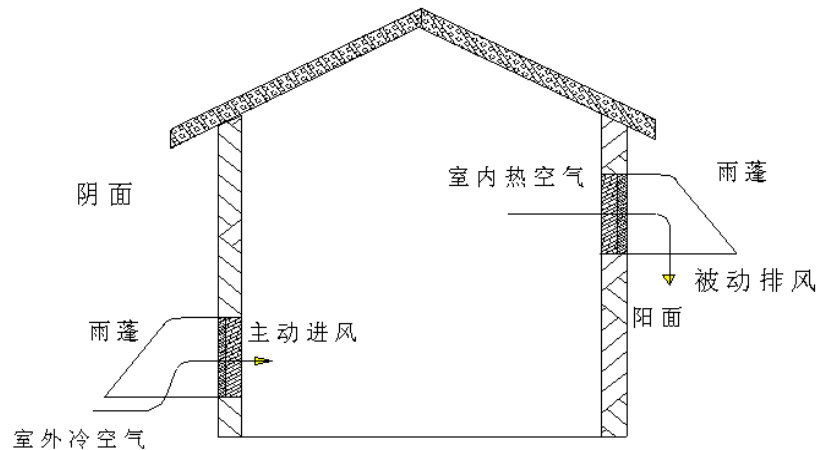


图 5-4 新风系统的基本工作原理

利用温湿度传感器探测机房外的空气温湿度情况，当温度低于某个设定值时，开启进风单元的新风风门，开启风机，将机房外冷空气吸入机房。冷空气与机房内热空气进行热交换，使机房内温度得以下降。同时，维持机房内一定的正压开启排风单元的排风风门，依靠正压或风机排出机房内的热空气。机房外的冷空气被吸入时，经过过滤装置的处理。

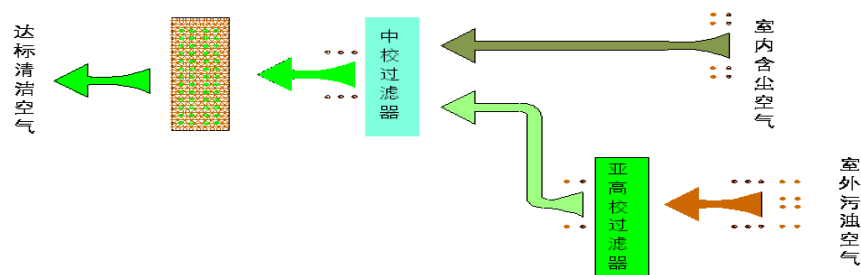


图 5-5 新风系统的过滤

5.4.2 技术发展水平

基站、机房智能通风系统（TLKS-SPC）充分利用基站、机房室内外的温差的条件，通过在适当的环境下启动风机代替空调的运行，依靠大量的空气流通，有效地将基站、机房内的热量迅速向外迁移，实现室内散热。从而大幅度降低电能消耗和运营成本、延长空调使用寿命，节能效率高达 25%~45%。

5.2.2 技术适用条件

昼夜温差大，过渡季节长，室内外温差大于 10℃时段较长的区域，智能换热设备与智能通风相比效率稍低，但室外空气的湿度和洁净度对室内空气影响不大，可在室外空气质量稍差的区域使用。

(1) 用于自然冷源充足，四季及昼夜室外温差较大，空气洁净度较高，湿度均衡的地区。

外界环境温度和通信机房设定温度应在 10℃以上的温差；相对湿度：≤90%；

(2) 在接入网机房安装新风节能系统之前，应对接入网机房本身、周围的地理环境及气候环境进行必要的勘查和论证。主要从以下几方面予以考虑：

--宜选择耗电量较大的接入网机房；

--宜选择在通风条件比较好，机房周围环境比较理想的接入网机房安装新风节能系统；

--不宜在灰尘比较大的公路、道路旁或灰尘比较大的工厂、厂房如水泥厂、建筑材料加工厂周围等安装新风节能系统。以保证更换滤网的周期大于 30 天；

--不宜在湿度比较大的接入网机房安装新风节能系统。

--湿度小的环境加湿器；

--温差过大时加混风。

(3) 在大机房（交换局、IDC）安装新风节能系统之前，应对机房自身条件、周围的地理环境、气候环境进行必要的勘查和论证。

--大机房（交换局、IDC）的设备工作环境要求更高，不仅要满足节能的要求，还对引入新风的洁净度，有害气体浓度有更高要求。

--有些地区要求新风系统具有湿度调节功能。当冷空气湿度太低时，加湿装置将开始工作，提高冷空气的湿度，满足机房的湿度要求。当节能通风系统开始工作时，将联动机房原有的空调系统，停止其部分或全部制冷加湿功能。

(4) 应用时注意事项：

--应根据各地的实际情况设计与选择新风系统。

--新风系统有节能效果，建设新风系统需要一定的投入，使用过程会对机房的环境产生一定的影响，针对机房环境要求定期清洁滤网或更换等；

--新风系统中温、湿度采集探头是关键部件，温、湿度探头的精度按标准要求进行采集；

--根据室内外温度变化情况合理确定空调设备、新风系统的启停控制，同时设置一定的时延值，避免空调机频繁启动。

--系统应具有防火、防盗、防侵入功能及防鼠类、蚊虫类进入机房的措施。

5.2.3 实施建设内容

5.2.3.1 关键工艺设备

智能通风系统系统主要是由主控机箱、进气装置（进气箱）、排气装置（排气箱），室内外温度探测器、室内外湿度探测器、室外灰尘探测器、防雨透风口、交流互感器、交流接触器、滤尘装置、安装配件线缆等组成。

5.2.3.2 主要技术指标

表 5-3 基站节能新风系统的主要技术指标

名 称	技 术 指 标
工作电压	AC220V/DC48V/DC24V
风机功率	进气 120W/排气 60W
控制模块消耗功率	<2W
最大进风量	1700-3000 m ³ /H 或（可按要求加大）
最大排风量	850-2000 m ³ /H 或（可按要求加大）
风机最大换风量	≥2000m ³ /H
平均无故障时间	50000H
风机换气风压	≧400Pa
测温范围	-40~+123.8℃
温度测量精度	±0.3℃（25℃）
湿度测量范围	0~100%RH
湿度测量精度	±2.0%RH
工作环境	—20℃~+60℃ 湿度：0~95%RH
噪 音	<55dB
通讯方式与协议	RS485/RS232/GPRS
防尘滤网外型尺寸 (mm*mm*mm)	300×180×60
设备外型尺寸 (mm*mm*mm)	主控箱 410mm×320mm×110mm 进气箱 515 mm×570 mm×230 mm 排气箱 420 mm×270 mm×100 mm

5.2.4 节能减排效果：

此技术相对于其它换热式新风系统，新风直接引入机房能量损失较小，节能效果较明显，能效比较高，但这种方式也可能会对机房环境产生影响，需要相应的技术措施保证机房的温度、湿度、洁净度满足通信设备运行需要。

根据各地气候条件不同节能效果在 20%以上。贵州、湖南、云南等省安装数

量较多。以贵州为例，贵州山区较多，空气清洁度高，全年平均气温在 15℃左右，山区基站在每年 10 月到第二年 5 月近七个月的时间内基本可以关闭空调，完全依靠智能通风满足基站的温度要求。与采用空调相比，节能效果高达 50% 以上，贵州移动公司目前已安装智能通风设备 5000 多台，仅该项措施一年就节约用电 3227 万度。

5.2.5 成本效益分析：

4000-9000 元/台

不使用新风置换装置的费用计算：按 300W/m²制冷量计算，假如机房面积在 1000 m²，机房空调能效比在 3.0(一般舒适性空调在 2.5 左右)，电费 0.6 元，压缩机年运行时间在 70%： $(300 \times 1000) / 3 \times 24 \times 365 / 1000 \times 0.6 \times 0.7 = 36.792$ 万元。

新风置换装置的计算： $Q = V \times S \times \rho \times (h_2 - h_1)$ 式中 Q 为制冷量，V 为风速，S 为出风口面积，ρ 为空气密度，取 1.2，以上公式可以简化 $Q = M \times (h_2 - h_1)$ ，其中 $M = V \times S \times \rho$ ，为送风量。

由于即使制冷量一定，焓值随季节变化较大，不便于计算，按使用新风置换装置后，空调运行时间 30%，采用 10 台 5.5KW 变频风机，年运行时间 50%，耗电 80% 运行，计算如下： $(300 \times 1000) / 3 \times 24 \times 365 / 1000 \times 0.6 \times 0.3 = 15.768$ 万元。 $5.5 \times 10 \times 24 \times 365 \times 0.6 \times 0.5 \times 0.8 = 11.56$ 万元。通过计算，可以看到，至少可以节约 25% 左右的电费。

若企业每年消耗的电费中 50% 来自空调，通过新风置换系统每年节约 50% 的能耗，即总能耗的 25%，若每年电费是 2000 万，则节约 500 万。对于没有空调设备的农村支局、光节点，通过新风置换降低室内温度，减少通信设备处于高温状态的时间，则可以提高通信的安全性和可靠性，延长设备寿命，特别是蓄电池组的使用寿命，其效益更将是不可忽视。

空调设备的增加并不仅仅表现在能耗上，需要强调的是系统成本，即空调设备增加、耗电增加、线路增加、变配电设备增加、维护成本增加。

对于无人光节点和基站可以不使用空调，采用 60W 风机，风量 2000M³/h，噪音低于 55 分贝，能有效延长设备使用寿命

5.2.6 技术推广应用情况

目前在全国 31 个省均有使用，安装数量达 3 万多套。根据各地气候条件不同节能效果在 20% 以上。贵州、湖南、云南等省安装数量较多。

普及 5-10 年。

5.2.7 技术知识产权情况

- (1) 专利名称：一种通信基站节电智能通风装置
申请号/专利号：200920099032
申请人/专利权人：哈尔滨黄金时代电子科技有限公司；中国移动通信集团黑龙江有限公司哈尔滨分公司；张宪民；崔向伟
- (2) 专利名称：通信机房用智能节能通风系统
申请号/专利号：201020164379
申请人/专利权人：深圳市中兴新地通信器材有限公司
- (3) 专利名称：通信机房智能节能减排通风控制器
申请号/专利号：201020151353
申请人/专利权人：深圳市海能通信设备股份有限公司
- (4) 专利名称：机房智能通风系统、以及机房
申请号/专利号：200920049711
申请人/专利权人：深圳日海通讯技术股份有限公司
- (5) 专利名称：基站智能通风系统
申请号/专利号：201020578683
申请人/专利权人：山东瑞科通信科技发展有限公司
- (6) 专利名称：智能通风控制装置
申请号/专利号：200820103685
申请人/专利权人：新疆鑫科来科技有限公司
- (7) 专利名称：小型通信机房通风换气机组
申请号/专利号：200610118371
申请人/专利权人：中达电通股份有限公司；上海谷林净化空调技术有限公司

5.3 热管换热机组

5.3.1 技术介绍

5.3.1.1 技术应用节点

热管换热空调器使基站室内、外的空气完全隔离，避免了引入室外空气带来的水汽、灰尘粒子和腐蚀性气体对室内环境的影响，彻底解决了其他自然冷源节能方式在梅雨季节、沙尘天气以及含硫大气环境等条件下不能使用的问题，适用气候范围广。

5.3.1.2 技术基本原理

通信基站用热管换热机组是一种将热管导热技术应用于通信基站环境控制，利用室内、外空气温差将室内热量排到室外，从而降低室内温度的设备。

热管是一种具有高导热性能的传热元件，它通过在全封闭真空管壳内工质的蒸发与凝结来传递热量。由热管组成的热管换热器具有传热效率高、结构紧凑、流体阻损小、有利于控制露点腐蚀等优点。热管换热器包括：蒸发器、冷凝器、风机等部件，蒸发器内充注循环工质，通过管路连接蒸发器和冷凝器，并构成密闭管路；风机启动，驱动机房内热空气流过蒸发器使蒸发器内循环工质受热蒸发为气体，经气体总管流动到冷凝器，冷凝器内气体在通讯机房外冷空气流过冷凝器时冷凝成为液体，通过液体总管流回到蒸发器。热管换热设备避免了直接引入室外污染空气引起的安全隐患，并以较高的效率实现了热量从通讯机房内向通讯机房外的转移。

热管换热机组的工作原理如图所示，该机组整体式换热器上有二个相互隔离的风道，一个风道流过机房内的空气，另一个风道流过环境空气。机房内空气携带的热量通过铜热管换热器高效快速地传递给环境空气，使机房内空气得到冷却降温。本产品是两股气流相互隔离的状况下实现热量的高效传递。

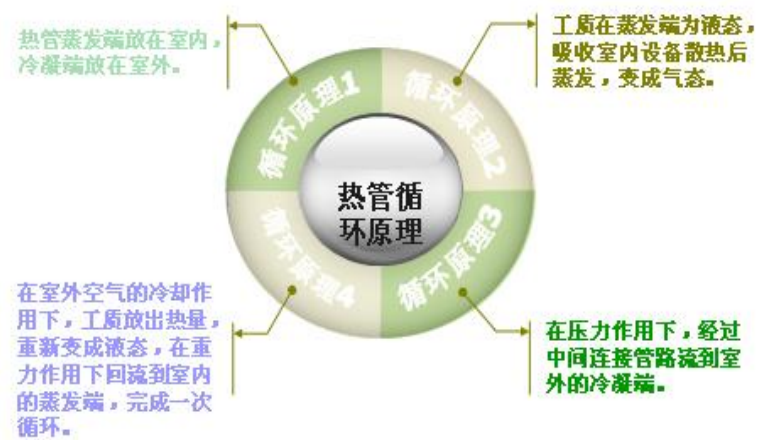


图 5-6 热管基本原理

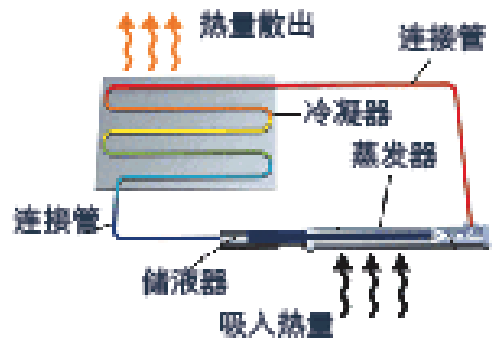


图 5-7 热管运行原理

5.3.2 技术发展水平

通信机房节能途径，对于通信机房这类几乎全年都需要向外排热的特殊场所，全年运行空调能耗很大，目前国内存在以下几种节能手段：变频技术；机房空调机组自适应控制技术；新风冷却技术等。

（1）通信机房新风节能方案

应用室外新风实现机房空调节能技术的原理就是以室外的自然环境为冷源，当室外空气温度低于室内温度一定程度时，通过相应的技术手段将室外新风与机房内空气进行热交换，把机房的热量带走，达到降低机房温度的目的，从而减少空调设备的使用时间，达到节约电能的目的。

（2）通信基站类机房隔离式换热器解决方案

主要针对机房通信设备发热量小于 10000W 的基站类机房，一般为移动、联通公司的数据、传输、交换类基站机房。主要选用热管换热器，换热器具体型号根据基站机房的发热量、机房内安装环境来选择。

（3）电信机房类机房新风解决方案

主要针对机房通信设备发热量高于 10000W 的电信机房，一般为电信、网通公司的数据、程控交换类机房。主要选用热管换热器，换热器具体型号根据机房的发热量、机房内安装环境来选择。若机房发热量太大，且热管换热器安装空间有限，也可以根据具体情况考虑换热器部分承担机房冷负荷。

（4）应用热管技术特点

用热管技术不需要机械制冷，它的部件耗能远远低于传统的压缩机空调，因此热管技术可以大幅度节省空调耗电。跟传统的空调相比，热管技术的优点在于它的能耗低，它的耗电量是设备发热量的 11/20，而传统的压缩机式的空调是发热量的 1/3。另外控制效果受室外温度影响，最热时可能需要机械制冷补充。

5.3.3 技术适用条件

热管换热机组可在室内外温差在 5℃ 以上高效利用自然冷源，相对通风换热产品对昼夜温差较小，过渡季节偏短的气候区域也适用。

（1）适用于发热量较小的基站、机房；

（2）设备适用于各种建筑结构类型，砖混、彩钢，民宅，允许打洞、开孔基站；

（3）设备适用于全年低于 15℃ 时间较长的区域。

5.3.4 实施建设内容

5.3.4.1 关键工艺设备

通信机站房热管换热系统由热管换热机组、安装风道与支架、控制器等组成。热管换热机组是实现换热的核心部件，风道合理地为机组工作组织气流，支架用于固定或支撑机组的。控制器用于控制机组的运转，使机组根据需实现三种工作模式：单独运行，与空调机联合运行，停止运行。

5.3.4.2 主要技术指标

表 5-4 热管换热机组主要技术指标

型号	名义换热量	安装形式	外形尺寸 mm		
			H（高）		
LRG-2K	2kW	吊装	400	LRG-2K	2kW
		落地安装	1250		
LRG-4K	4kW	吊装	500	LRG-4K	4kW
		落地安装	1300		

热管换热机组有 2K、4K 两种规格，其外形尺寸及名义换热量列于表中。

5.3.5 节能减排效果

自 2007 年开始，广东和上海等地开展了热管换热空调器测试，取得了好的节能效果。为进一步提升自然冷源利用价值，研究热管换热空调在不同气候条件下的适应性和节能效果，排河南、河北、广东、云南，上海、辽宁六省市于 2009 年 9 月—2010 年 4 月进行了测试。节能效果很明显，一般平均节电率在 40%~60%。

5.3.6 成本效益分析

18000-25000 元/台

5.3.7 技术推广应用情况

小规模使用/10 年左右

5.3.8 技术知识产权情况

- (1) 专利名称：热管式换热机组
 申请号/专利号：201010603837
 申请人/专利权人：北京华阳新能源投资有限公司
- (2) 专利名称：一种热管冷回收型蒸发冷却式高温冷水机组
 申请号/专利号：200820029280

申请人/专利权人：西安工程大学

(3) 专利名称：**热管蓄能空调系统**

申请号/专利号：200710019452

申请人/专利权人：南京大学

(4) 专利名称：**机房空调系统用热管换热节能装置**

申请号/专利号：200520134337

申请人/专利权人：杭州中信网络自动化有限公司

(5) 专利名称：**一种强迫对流式分离型热管机房排热装置**

申请号/专利号：200710122081

申请人/专利权人：清华大学

(6) 专利名称：**分体式机房热管热交换器**

申请号/专利号：200920266190

申请人/专利权人：苏州海派特热能设备有限公司

5.4 蓄电池恒温箱

5.4.1 技术介绍

5.4.1.1 技术应用节点

蓄电池恒温箱是将蓄电池安装在独立的空间内，对蓄电池的独立空间进行单独的温度控制，可提高机房主设备和电源设备的工作温度，从而降低站点能耗的综合解决方案。

在常温状态下，温度每上升 10 度，蓄电池的寿命将减少一半。电子装置每高出上限 8.6 度，其安全运行性能将下降 48%，所以工作环境温度对于电子装置是至关重要的一个指标。提高基站运行环境温度，可以大量减少空调运行费用。在基站中，蓄电池恒温技术采用蓄电池恒温箱为蓄电池提供一个适宜的局部温度环境，可实现面向对象的制冷，从而可以提高机房温度，减少空调使用量，最终实现基站机房有效节能。对有机房的基站均可以使用本技术，蓄电池最佳工作温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，超过 25°C 时，温度每升高 10°C ，蓄电池寿命就减少一半。为了保证蓄电池寿命，传统做法是将整个机房温度设置在 25°C 。而采用蓄电池恒温箱技术后，可以通过电池柜内置的微型空调保证蓄电池工作温度为 25°C ，同时将机房空调温度设置在 30°C 甚至 35°C ，这样可以显著减少空调运行能耗。

5.4.1.2 技术基本原理

提高基站运行环境温度，可以大量减少空调运行费用。2008 年，移动通信

基站最高运行环境温度已经提高到 28℃，为进一步提升基站运行环境温度减少能耗，需要对蓄电池进行局部温度调节，使其与其他设备具有不同的环境分区，以达到温度分区控制的目的。

蓄电池分区温控系统是将蓄电池安装在独立的空间内，对蓄电池的独立空间进行单独的温度控制，可提高机房主设备和电源设备的工作温度，从而降低站点能耗的综合解决方案。系统建成后，可为蓄电池提供一个 15℃-25℃的工作环境，基站设备的工作温度从 25℃提高到 30℃-40℃范围，从而降低站点温控设备的能耗。

5.4.2 技术发展水平

目前，深圳特力康、大唐电信等都有蓄电池恒温柜解决方案。中国电信集团、中国移动集团高度重视节能减排技术的应用，此前组织了试点单位和专家团队对蓄电池恒温柜保护技术经过反复试点、研究和论证，最后认可了该技术在基站使用的节能效果。目前，蓄电池恒温技术已经在中国电信、中国移动得到了小规模推广和部署，2010 年中国电信安排专项资金对南北省份的几千余站点进行了蓄电池恒温结合基站升温改造，极大的提高了基站的节能效率。

5.4.3 技术适用条件

基站内需要具备一定的安装空间，以便于维护管理。安装恒温箱后，正面维护距离不小于 800mm。

5.4.4 实施建设内容

5.4.4.1 关键工艺设备

蓄电池恒温箱由拼装式防火材料箱体、压缩机、温度探测器组成，由系统控制器控制。

- (1) 压缩式恒温蓄电池仓
 - 进口高背压活塞式压缩机
 - 干燥过滤器
 - 控制电磁阀
 - 高可靠膨胀阀
 - 低噪离心风机
 - 低噪轴流风机
 - 亲水铝翅片蒸发盘管
 - 亲水铝翅片冷凝盘管

回风口传感器

蓄电池仓外传感器

低压保护开关

高压保护开关

134a 冷媒

智能控制器

新风置换系统

保温材料

(2) 电子制冷恒温蓄电池仓

电子热泵

轴流风机

管壳散热器

智能控制器

5.4.4.2 主要技术指标

(1) 额定电压：220V

(2) 频率：50Hz

(3) 控制方式：DC 触点

(4) 输入功率：320W

(5) 制冷输入功率 (W)：320

(6) 额定制冷量 (W)：440

(7) 加热输入功率 (W)：460

(8) 额定加热量 (W)：400

(9) 仓内尺寸：1700*1100*600mm

(10) 容量：2V500AH 蓄电池 24 节

(11) 温度控制：25±3℃

(12) 工作环境温度范围：-40℃~+50℃

(13) 储运温度范围：-40℃~+70℃

(14) 工作相对湿度范围：90% (40±2℃)

(15) 储运相对湿度范围：95% (40±2℃)

(16) 最高允许海拔高度：4000m。

(17) 供电模式：蓄电池独立温控系统的工作电源可选择以下两种制式之一：

直流供电：-48VDC (-40VDC~-65VDC)

交流供电：~220V±10%，50±5%Hz。

5.4.5 节能减排效果

可以减少基站空调耗电 20-50%，平均每站可减少能耗约 400kWh。无污染。

采取基站蓄电池恒温箱及智能通风系统后，基站空调的温度可以由原来的 26℃ 提高至 32℃，可以节能 30% 以上。且工作时间缩短为原来工作时间的 15-20%，基站空调很多时间处于停用状态，基站空调的寿命大大延长。

按照每个基站两台 3 匹的空调考虑，每台空调的耗电达到 3KW，两台达到 6KW。根据我们长期的监测统计数据，基站每月空调的电费损耗在 1800-2500 元之间（电费按照每度 1 元计算），每个基站空调年损耗电费在 20000—30000 元之间。采取蓄电池恒温箱及智能通风系统后，基站的能耗大大降低，只占原来空调总能耗的 30% 左右。基站年节省空调电费在 14000 元—21000 元以上。

5.4.6 成本效益分析

恒温箱每套投资 10000 元。

这个综合节能系统的投入包括 3 个部分，蓄电池恒温箱大约投入约 1 万元，运行费用约 450 元/站。基本可以保证 1 年收回投资。

5.4.7 技术推广应用情况

中国电信集团、中国移动集团高度重视节能减排技术的应用，此前组织了试点单位和专家团队对蓄电池恒温箱保护技术经过反复试点、研究和论证，最后认可了该技术在基站使用的节能效果。目前，蓄电池恒温技术已经在中国电信、中国移动得到了小规模推广和部署，2010 年中国电信安排专项资金对南北省份的几千余站点进行了蓄电池恒温结合基站升温改造，极大的提高了基站的节能效率。2009 年中国移动开始试点应用，2011 年纳入集采，使用寿命 5-7 年。

5.4.8 技术知识产权情况

（1）专利名称：蓄电池恒温箱

申请号/专利号：200820160824

申请人/专利权人：南京科迅科技有限公司；中国移动通信集团江苏有限公司镇江分公司

专利名称：蓄电池恒温箱及其控温方法

申请号/专利号：200810234866

申请人/专利权人：南京科迅科技有限公司；中国移动通信集团江苏有限公司镇江分公司

（2）专利名称：一种蓄电池恒温箱

申请号/专利号：201010183043

申请人/专利权人：阿尔西制冷工程技术（北京）有限公司

(3) 专利名称：**蓄电池恒温箱**

申请号/专利号：200920277639

申请人/专利权人：中国移动通信集团吉林有限公司

(4) 专利名称：**一种蓄电池恒温箱**

申请号/专利号：201020208448

申请人/专利权人：杭州华日电冰箱股份有限公司

专利名称：**一种蓄电池恒温箱及其控温方法**

申请号/专利号：201010186683

申请人/专利权人：杭州华日电冰箱股份有限公司

(5) 专利名称：**一种风冷式蓄电池恒温箱**

申请号/专利号：201020265707

申请人/专利权人：中捷通信有限公司

(6) 专利名称：**蓄电池半导体恒温箱**

申请号/专利号：201020564583

申请人/专利权人：湖南丰日电源电气股份有限公司

专利名称：**蓄电池变频空调恒温柜**

申请号/专利号：201020564564

申请人/专利权人：湖南丰日电源电气股份有限公司

(7) 专利名称：**通信机房蓄电池保温系统**

申请号/专利号：201020167253

申请人/专利权人：深圳市中兴新地通信器材有限公司

5.5 中央空调主机变频技术

5.5.1 技术介绍

5.5.1.1 技术应用节点

物理宏基站

5.5.1.2 技术基本原理

通过在中央空调主机应用变频技术，可以将这种设计、安装存在的富裕量进行有效调节，改善空调的运行工况，使空调大部分处于良好的工况下，提高空调的工作效率，达到节能的目的。

制冷压缩机组通过压缩机将制冷剂(冷媒介质如 R134a、R22 等)压缩成液态后送蒸发器中,冷冻循环水系统通过冷冻水泵将常温水泵入蒸发器盘管中与冷媒进行间接热交换,这样原来的常温水就变成了低温冷冻水,冷冻水被送到各风机风口的冷却盘管中吸收盘管周围的空气热量,产生的低温空气由盘管风机吹送到各个房间,从而达到降温的目的。冷媒在蒸发器中被充分压缩并伴随热量吸收过程完成后,再被送到冷凝器中去恢复常压状态,以便冷媒在冷凝器中释放热量,其释放的热量正是通过循环冷却水系统的冷却水带走。冷却循环水系统将常温水通过冷却水泵泵入冷凝器热交换盘管后,再将这已变热的冷却水送到冷却塔上,由冷却塔对其进行自然冷却或通过冷却塔风机对其进行喷淋式强迫风冷,与大气之间进行充分热交换,使冷却水变回常温,以便再循环使用。

5.5.2 技术使用水平

目前通信机房中央空调系统节能方案主要包括:

一是中央空调水泵系统采用变频技术。

中央空调的水泵系统采用变频技术目前国内用得比较广泛,因为中央空调的耗能比较大,但是中央空调在设计、规划的时候富裕量比较大,所以有进一步节能的空间。

二是中央空调离心机组主机变频节能技术。中央空调离心机组主机的变频来说,目前好像只有约克空调有这样的技术,其他的还没有这方面成熟的技术。

三是精密空调压缩机风柜变频节能技术。

精密空调压缩机风柜的变频技术,从原理上说可以,但是也有一定的缺陷。从理论上来说,变频器在变频技术的应用,可以说是广泛地应用。但考虑空调主机要使用变频器,国内通信企业不主张另外引进技术做变频,因此该项技术目前仍处于理论研究阶段。

5.5.3 技术适用条件

(1) 离心式主机变频技术适合用于有一定制冷余量的中央空调系统。一般来说,主机变频节能技术应用在热源负荷变化大的环境节能效果会好一些,电信综合大楼包含有办公室和通信机房,日夜负荷变化较大,应用中央空调系统主机变频技术是比较好的选择。

(2) 应用时注意事项

--离心式主机的变频运行可能存在低频振荡点,从而增大机械磨损,导致缩短主机寿命,应特别引起注意。

--变频技术的核心原理为高频脉宽调制技术,使用大功率变频器相当于增加了一个大谐波源,它对通信电源低压配电系统的谐波干扰以及通信设备的电磁干

扰不容忽视，在采用变频技术时应特别引起注意。所以建议机组装变频驱动装置时安装滤波器。

5.5.4 实施建设内容

5.5.4.1 关键工艺设备

中央空调系统一般主要由制冷压缩机系统、冷冻循环水系统、冷却循环水系统、盘管风机系统、冷却塔风机系统等组成。

5.5.4.2 主要技术指标

工作环境温度：0℃-40℃

工作环境相对湿度：≤90%（20℃）

使用地点海拔高度：≤1000M

输入电源频率：50Hz

输出频率：0Hz-50Hz

控制柜防护等级：三相 AC380V ±10%

装置操作方式：三相 AC 0V-380V

通信接口：RS-485

5.5.5 节能减排效果

此项目兼顾了自动控制和节能效益，节能率高达 30%以上。通过变频控制调节，中央空调系统的水、风系统耗电水平可降低 30%~60%，主机系统可节电 10%以上，总体系统节电可达 40%左右。

5.5.6 成本效益分析

投资收益率根据日运行时间不同，在 25—40%之间。用户可在设备投运后几个运行期后，即可从节省的电费支出中收回投资。

5.5.7 技术推广应用情况

较少试用，一般可使用 5-10 年。

技术应用案例：中国电信汕头分公司机房精密空调变频节能改造方式

在每一台机房专用空调机上加装一套变频控制系统，实现一台变频器控制一台压缩机工作。

变频系统根据空调回风口的温度采集数据与空调机之间实现闭环全自动控制。机房目标温度设定由变频系统设置，空调回风口的温度采集数据送至变频系

统，通过变频系统内部 PID 调节器进行运算后输出相应的频率，控制空调压缩机的运行速度。变频系统的输出从 50Hz（工频）-20Hz（变频系统进入休眠状态）。同时变频系统具备故障自动切换到工频的功能。改造系统图（双压缩机系统）如下图所示。

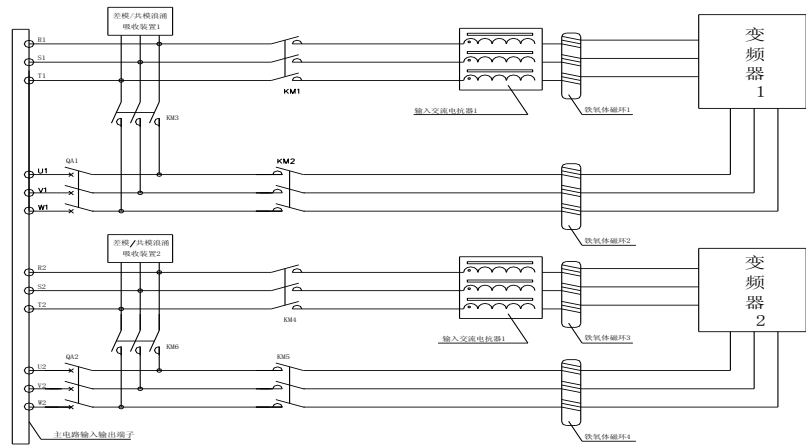


图 5-8 改造系统图

2006 年汕头第三季度空调节能改造工程，共对 22 个通信机房，52 台机房专用精密空调机进行节能改造。本次工程改造涉及面广，改造空调类型多，工程在 2006 年 12 月全部竣工投入使用。使用至今空调系统和变频设备未出现异常情况。

变频节能运行测试情况及效果评估

变频器的输入侧电源品质表明变频供电时，其电压总体谐波 THDU 很小，3%左右，符合电力系统标准，且与平时工频供电时基本一致；其电流总体谐波 THDI 有 25%，比平时工频供电时增加了 20 个百分点，但与其它通信电源设备，如六脉冲 UPS 设备、开关电源设备的 THDI 值基本相同。若要进一步减低电流谐波含量，必须额外加装有源滤波装置。变频供电时功率因数比市电直供时下降了 3%，对电力总功率因数影响很小。

变频器的输出侧电源输出波形为高频脉冲组成的方波，输出电压有效值 225V，脉冲毛刺尖峰电压达 800V，这类毛刺尖峰对压缩机马达线圈绝缘没有负面影响，但对稳压、钳位电子器件有一定损坏影响。由于精密空调主机节能系统变频器只对压缩机供电，不对空调内电子设备供电，因此没有破坏稳压电路的危险。

变频器变频供电时输出电压、电流在空调地线上产生的杂散电流与用 50Hz 直通供电时产生的杂散电流基本相同，均处于比较小的幅值。对比 50Hz 供电与变频供电状态，空调设备、监控系统均没有出现被干扰现象。

变频器变频供电时在交换机房信号线上产生的感应电压与用 50Hz 直通供电

时产生的感应电压基本相同，均处于比较小的幅值。对比 50Hz 供电与变频供电状态，交换系统均没有出现被干扰现象。

由于变频工作时，压缩机是采用软启动模式，能有效地减少压缩机冲击电流。变频器变频供电时压缩机表面温度与用 50Hz 直通供电时相比，发热温升还小一些。

本次改造的机房专用空调机未出现压缩机或控制电路损坏现象。未发现变频设备对交流供电系统、机房环境和地线系统的干扰。节能效果基本在 20%左右。

5.5.8 技术知识产权情况

(1) 专利名称：中央空调变频节能控制方法

申请号/专利号：200410089172

申请人/专利权人：宁波华普工业控制技术有限公司

(2) 专利名称：中央空调变频器控制装置

申请号/专利号：200920096635

申请人/专利权人：天津博大元通科技有限公司

专利名称：一种中央空调变频器控制装置及方法

申请号/专利号：200910068748

申请人/专利权人：天津博大元通科技有限公司

(3) 专利名称：中央空调变频节能控制系统

申请号/专利号：200410067062

申请人/专利权人：宁波华液机器制造有限公司

(4) 专利名称：通讯基站空调综合节能系统

申请号/专利号：200810080812

申请人/专利权人：周星风

(5) 专利名称：机房用新风空调机

申请号/专利号：200620021109

申请人/专利权人：哈尔滨天地自动化工程有限公司

第六章 供电系统节能技术

6.1 高频开关整流器休眠技术

6.1.1 技术介绍

6.1.1.1 技术应用节点

开关电源休眠功能适用低负载、低效率的开关电源节能管理，在《通信用高频开关电源系统》（YD/T 1058-2007）的基础上增加安全节能控制系统及模块休眠技术。

符合中国移动《通信用开关电源设备节能分级标准》中 A 级标准的开关电源产品不采用休眠功能。全国一干传输干线站点使用的开关电源不考虑使用休眠功能。

6.1.1.2 技术基本原理

休眠电源系统根据负载电流大小，自动调整工作功率模块的数量，使系统在该工况下达到最佳效率点并保证各模块同步老化的技术。休眠技术包括功率模块的休眠和监控模块对功率模块的冗余及循环开关机控制两部分。

为了提高电源系统的运行效率，系统根据实际的负载使用情况和系统最佳工作点情况，调节模块工作状态，使某些模块处于休眠状态，达到损耗最低，一旦负载增加，则由监控模块将其唤醒进入工作状态。

为使所有的整流模块同步老化，延长电源使用寿命，监控模块统计每个整流模块的运行时间，按一定的时间间隔将某些运行时间最短并处于休眠中的模块唤醒工作，同时将运行时间最长的模块进入休眠状态，从而达到所有整流模块使用时间基本同步，延长电源设备使用寿命。

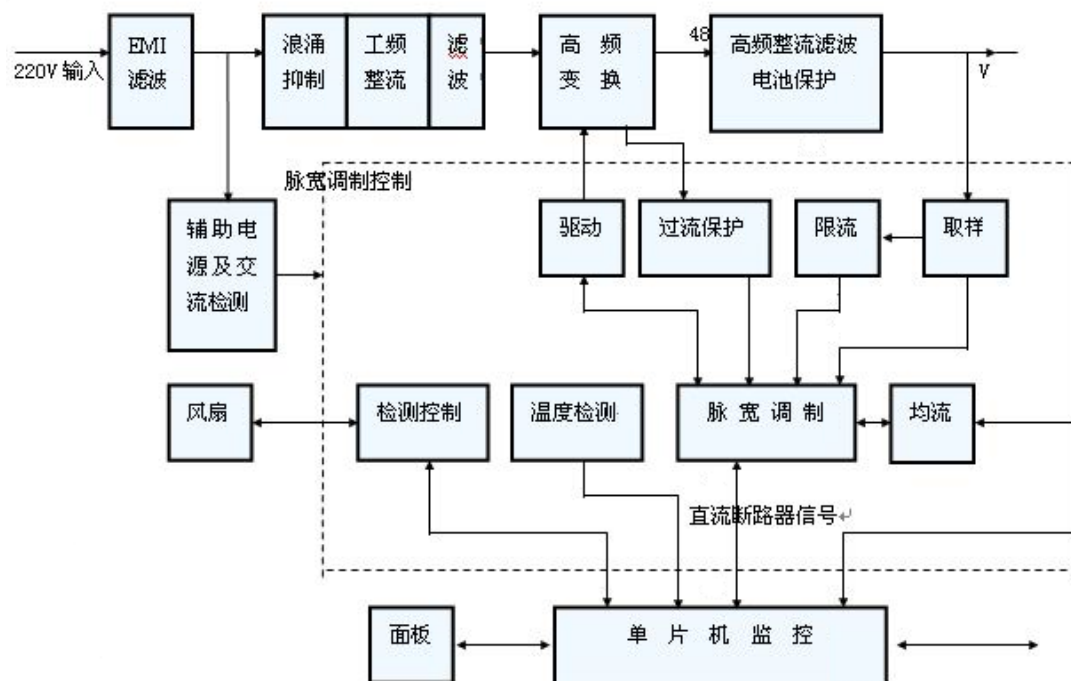


图 6-1 高频开关整流器工作原理

6.1.2 技术发展水平

开关整流器是电源系统中最重要的部分，它的技术是否先进，关系着开关电源系统的功能和可靠性。

主要技术包括：

(1) 恒功率整流器技术

恒功率整流器，其突出特点是在规定的交流输入电压和直流输出电压范围内，均能给出额定功率。即在蓄电池低电压时，仍能输出更大的电流。这种采用恒功率设计的新型智能高频开关电源系统，是通信电源构思上的一个飞跃，也是现代通信电源设备的最优选择。

（2）相移谐振脉宽调制技术

相移谐振脉宽调制与普通 PWM 电路的区别,可用全桥式变换器来说明,即在高频变压器初级电路中串入了一个谐振电感并加上两个小电流箝位二极管。

(3) 有源功率因数校正技术

普通开关整流器大多数采用电容器滤波。这种滤波电路，只有输入电压超过滤波电容储存电压时才导通。

(4) 用一个主频同步控制 PFC、DC/DC 变换器和辅助开关电源

有源功率因数校正器 APFC 实际上是一个高频脉宽调制升压变换预调器。它的输出电压通常比交流输入峰值电压高。接在功率因数校正器输出端作为能量储

存用的电解电容器，在开关管截止时，升压电感器储存的能量将通过升压二极管对其充电。而接在电解电容器下一级的 DC/DC 全桥变换器所需的电流是通过软开关脉冲控制从电解电容器放电中得到。

（5）倍流整流器技术

通常 DC/DC 变换器是一个全桥功率变换器，在高频变压器次级也常使用全波整流技术。倍流整流器是由一个没有中心抽头的高频变压器次级绕组，两个电感量相等而且同绕在一个磁芯上的电感器以及由两个整流二极管和输出电容器组成。

（6）精心设计的 EMC 技术

整流模块应具有输入输出防电磁干扰电路和屏蔽结构，它包括：一个共模式四阶低通滤波器，对无线广播干扰有很好的抑制，对模块开关脉冲频率基波及高次谐波加以滤波，以防相互干扰；输入输出应装有过流保护空气开关，具有过流切断保护能力；在输入端串入由两个大瓦数小阻值电阻器组成的软启动电路，以防在开、关机瞬间，浪涌电流对设备元器件造成损坏，正常工作后用继电器短接。

6.1.3 技术适用条件

应用于冗余并联模块构成的电源系统中。现网运行的开关电源设备，若负载率低于 50%，应开启休眠功能，如无休眠功能应对原有设备进行改造使其具备休眠功能；若负载率高于 50%，不开启休眠功能，如原有设备无休眠功能则不需要进行改造。

应用时注意事项：休眠技术功能的使用不得降低系统的可靠性和安全性。当系统出现功率模块故障、控制器失效、市电异常、电池均充等情况时，系统应自动取消功率休眠功能；当异常情况消失，系统处于浮充状态时，再启动模块休眠功能，从而保证系统的安全稳定运行。

6.1.4 实施建设内容

6.1.4.1 关键工艺设备

整流器由交流输入、高频变换、脉宽调制控制、高频整流滤波、直流输出及电池保护、单片机监控、面板电路、辅助电源等部分组成。

6.1.4.2 主要技术指标

表 6-1 直流输出参数

型 号	DMA14-48/10
电 压	220V ±20%

频 率	45~65Hz
绝缘强度	AC 1500V 一分钟
开机浪涌电流	≤3A
电磁骚扰	符合 CISPR-22

表 6-2 交流输入参数

型 号	DMA14-48/10
输出电流标称值	10A
输出电压标称值	48V
功率限制	600W
效率（满载）	90%

6.1.5 节能减排效果

相对现有开关电源产品，可以提高设备效率 5%以上，每站可以省电约 120kWh/月，无新增污染。

以一个 300A 电源系统为例，配 10 个 30A 的整流模块，一组 600Ah 蓄电池，常态负载为 90A，整流模块在负载率为 50%时效率可以达到 91%，在负载率为 30%时效率为 84%。

如果不采用休眠技术，每天的用电量为 $(53.5V \times 90A \times 24h) \div 84\% = 137571W$ ，采用休眠技术后，此时关闭 4 个模块，整流模块的负载率 50%，考虑到整流模块休眠时的功率（每个模块的休眠功率为 5W），此时每天的用电量为

$$(53.5V \times 90A \times 24h) \div 91\% + 5W \times 4 \times 24h = 127469kW,$$

因此每个站点每天节电量为 $137571W - 127469W = 10102W$ ，年节电 3687 度，节能比例为 $10102W / 137571W = 7.34\%$ 。

该产品及节能技术如在中国移动全国 50 万个基站中的 50%站点使用，每年可节约电能消耗约 9.22 亿度电左右。

6.1.6 成本效益分析

每站增加投资约 25%，平均每站增加投资约 3500 元，无新增运行费用。

6.1.7 技术推广应用情况

湖北电信更换了全部的相控整流器和老款开关电源共 20 多套，工作效率由 70%上升至 90%，每年节约电费 800 万—1000 万元。更换性能下降的专用空调 14 台，节电率在 30%以上每年节约电费约 60 万元；更新机房用 5P 柜机 200 台，节电率在 30%以上，每年节约电费约 110 万元。有的本地网还根据当地市电情况，

在满足设备运行稳定的前提下，拆除高耗能的稳压器，根据计算，拆除后降低7%的功耗。

6.1.8 技术知识产权情况

- (1) 专利名称：一种高效电力直流高频开关整流器
申请号/专利号：00200857
申请人/专利权人：烟台东方电子信息产业集团有限公司；烟台东方玉麟电子有限公司
- (2) 专利名称：高频开关整流器
申请号/专利号：200530078562
申请人/专利权人：蒋志祥

6.2 高压直流供电技术（HVDC 供电技术）

6.2.1 技术介绍

6.2.1.1 技术应用节点

通信设备均可以采用本技术。

6.2.1.2 技术基本原理

用标称电压为 240V 或以上的直流供电系统为通信设备进行供电，并称之为高压直流。

高压直流供电系统由多个并联冗余整流器和蓄电池组成。正常情况下，整流器将 380V 交流电源变换成 240V 或以上高压直流电源，再通过高压直流配电设备供给通信设备，同时给蓄电池充电。当交流输入电源故障时，由蓄电池放电为通信设备提供可靠的直流电源。高压直流系统由交直流配电部分、整流模块、监控模块、蓄电池组组成。下图是高压直流整流模块原理示意图：

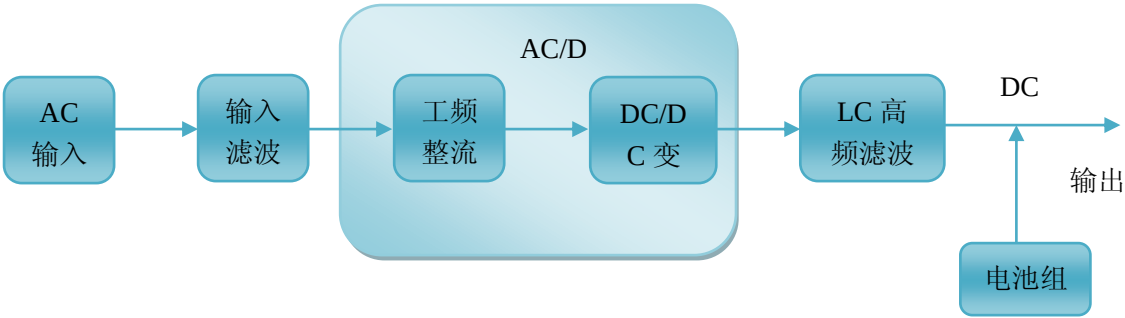


图 6-2 HVDC 整流模块原理示意图

高压直流供电有以下优点：

(1) 供电可靠性大大提高

停电时，蓄电池可以直接提供给负载，确保供电的不间断；直流电压的参数只有电压幅值一个，各整流模块间不存在相位需要同步的问题，系统电路拓扑结构简单，可靠性大大提高；整流模块间的并联相对交流 UPS 而言要简单，整流模块即使脱离了控制模块，只要输出电压稳定，也能并联输出电能。

(2) 工作效率提高

高压直流系统减少逆变环节功率的损耗；IDC 设备没有功率因数及谐波的问题，减低了线损；高压直流系统整流模块的并机技术简单，可以采用大量模块并联，使单模块的容量使用率比交流 UPS 提高了很多。

(3) 可维护性和快速扩容性增强

交流 UPS 由于涉及到复杂的同步并机技术，整机维护和扩容只能依赖于厂家，而采用高压直流后，就如普通的 48V 直流系统一样，虽然电压增高了，但只要做好安全防护措施，更换维护和扩容都是便捷的。

(4) 再有“零地”电压干扰

由于高压直流的输出是“浮地”的，没有零线，因此也就没有了“零地”电压对 IDC 设备造成的不明原因的干扰和故障。

6.2.2 技术发展水平

近年来，随着通信技术的 IP 化，IT 设备得到了大量的应用，作为其主要供电方式的 UPS 电源也在通信机房中大量应用。但 UPS 固有的特点，决定了其具有可靠性差、转换效率低、输入电流谐波大等一系列缺点，大型 UPS 系统故障造成的通信阻断频繁发生，造成重大的经济损失和社会影响，以至于工信部在近年的[2009]315 文中列出的 3 大电源技术故障中，“UPS 开关转换失灵”就占据了一席之地。在此背景下，采用高压直流替代 UPS 供电的呼声越来越高，部分省市运营商已经在小规模商用试点，主流设备厂家已经在推出高压直流供电电源。

目前对高压直流供电的应用，总体情况是电信运营商非常热心，热切希望大规模高压直流供电，与电源系统厂商一起进行了大量了理论研究，国内业界已就包括高压直流供电电压、接地方式等关键问题达成了共识，高压直流供电已在部分本地网进行了试点。

与之形成鲜明对比的是，到目前为止，后端 IT 设备还没有针对高压直流供电的电源技术标准，也没有大型 IT 厂商宣布支持后端设备高压直流供电。

高压直流供电有多种电压可供选择，因为缺乏后端设备厂商的响应，国内高压直流供电的思路均是基于不对后端用电设备进行改造，供电电压的选择就必须保证在电源系统各种运行模式下，后端设备均可正常工作，目前国内业界对高压

直流供电的标称电压已达成共识，即选用 240V 电压等级。

6.2.3 技术适用条件

通信局站和数据机房中向交流输入电压范围为 110V-240V 的通信设备供电，输出标称电压为 240V 或以上的直流供电系统。高压直流供电系统应用于可采用直流供电的通信设备，且电压等级应与通信设备的输入电压范围相匹配。

应用时注意事项：

(1) 服务器电源的母线电压与效率

目前使用的服务器电源有两大类，一类是传统无功功率因数校正的硬开关技术的电源(ATX 和 SSI 制式)，大多采用单端正激或半桥拓扑结构，其效率在 70-85% 之间。由于是硬开关技术，在输入电压低（输入电流大）和输入电压高时其开关损耗都较大，效率最大点都在额定 220VAC，额定负载下。因此，HVDC 的浮充应该在 275V 较为合适，过高的母线电压不仅会效率降低，也会威胁到开关管的安全工作区，则最高直流电压不宜超过 350V。

另一类是加有 APFC 高功率因数的电源，这类电源实际上是两级变换，第一级是 APFC BOOST 变换器，第二级是 DC/DC 变换器。由于 BOOST 变换器效率高与输入电压范围不是太大，可以考虑使用标称电压 240V 或以上直流电压。

(2) 绝缘监测仪在 HVDC 中的必要性，为了保证操作人员的人身安全和系统安全，HVDC 必须具有绝缘监测的功能，且应具备支路定位功能。

(3) 电池回路应采用熔断器，直流配电回路宜采用直流空开或者熔断器。

6.2.4 实施建设内容

6.2.4.1 关键工艺设备

高压直流供电系统由多个并联冗余整流器和蓄电池组成。正常情况下，整流器将 380V 交流电源变换成 240V 或以上高压直流电源，再通过高压直流配电设备供给通信设备，同时给蓄电池充电。

6.2.4.2 主要技术指标

交流配电单元

高压直流配电单元

CP DMA10-240/40 型高频开关整流器

CP DMA10-240/20 型高频开关整流器

CP DKD12 型监控器

CP DUM27-240/240 型一体化机柜

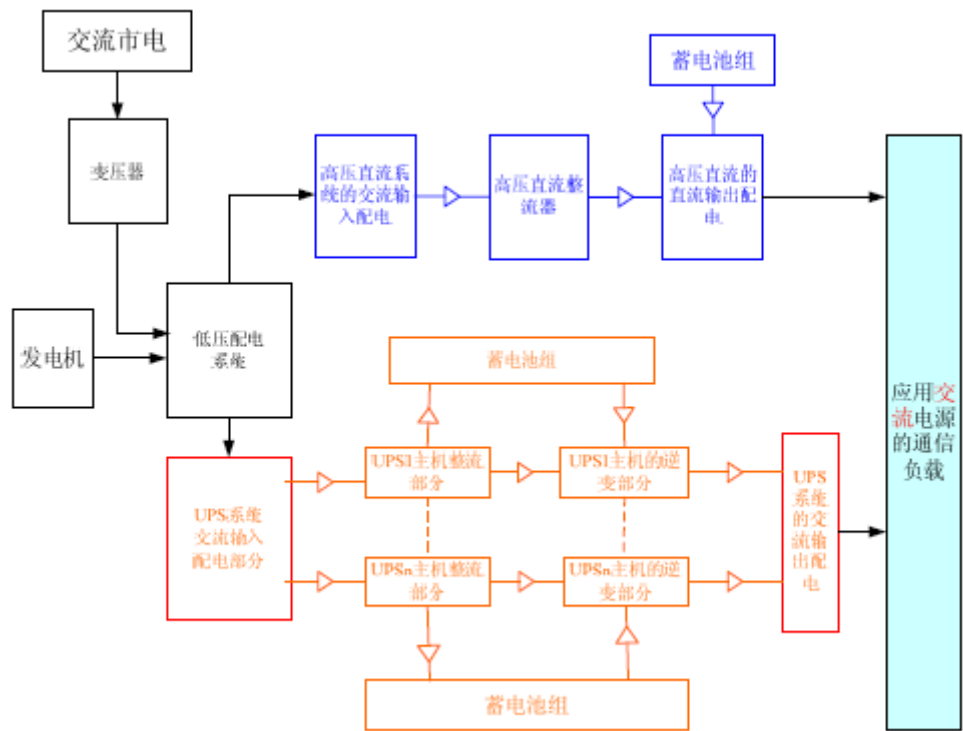


图 6-3 通信用高压直流供电系统与交流 UPS 供电系统的组成分析

上图是两个供电系统组成的示意图，表述了每个系统组成的主要部分和结构特点，可看出交流 UPS 供电系统要比直流供电系统复杂得多。无论是并联冗余 n+1 系统运行方式，还是模块式并联冗余系统运行方式，都存在逆变失效、蓄电池组能量不能直接供给负载等问题，而高压直流供电系统却不存在这些问题，当交流市电停电后，蓄电池组的能量能够直接供给负载使用，这在技术上就大大提高了供电系统的安全可靠性。

现在通信行业使用交流供电的绝大多数负载均由交流 UPS 系统供电，然后经过负载自身的整流变换为+12V、+5V 等直流电压为本身的电路供电，其输入不管是交流还是直流，最后都要转换为自身电路板使用的低压直流。所以在技术上负载设备是能够直接接入 240V 高压直流系统的电能的。因为，使用交流 220V 供电的电压范围约为 180V 至 240V，所以负载理论上可以承受 $240V \times 1.414 = 339.36V$ 的直流电压；而标称 240V 的高压直流系统最高电压约为 $120 \times 2.35V = 282V$ ，远小于 339.36V，所以现在的交流负载肯定能够承受高压直流 240V 供电系统的耐压。另外使用交流负载的整流电路由于使用高压直流供电其正半周长期处于导通状态，其发热问题是否会导致通信负载的整流部分故障率提高呢？我们知道当其由 50Hz 交流供电时，通过整流二极管的电流为脉动电流，而采用高压直流供电时，通过整流二极管的电流为平滑电流，当整流二极管通过的平均电流一定时，电流脉动成分越大其发热量也大，所以采用高压直流供电的

整流器件不会比交流供电时的发热量更大,所以其整流部分的故障率也就不会提高。

6.2.5 节能减排效果

可以提高通信电源系统转换效率 10%左右,1kW 通信设备的年耗电量可以减少耗电 110W 以上,按计算通信行业此技术可以减少耗电 5 亿 kWh 以上。

目前大量使用的 UPS 主机均为在线双变换型,在负载率大于 50%时,其转换效率与开关电源相近。但一个不容忽视的现实是,为了保证 UPS 系统的可靠性,UPS 主机均采用 $n+1$ ($n=1、2、3$) 方式运行,加之受后端负载输入的谐波和波峰因数的影响,UPS 主机并不能满足运行,通常 UPS 单机的设计最大稳定运行负载率仅为 35%~53%。而受后端设备虚提功耗和业务发展的影响,很多 UPS 系统通常在寿命中后期才能达到设计负载率,甚至根本不能达到设计负载率,UPS 主机单机长期运行在很低的负载率,其转换效率通常为 80%多,甚至更低。

对于直流电源系统而言,因其采用模块化结构,可根据输出负载的大小,由监控模块、监控系统或现场值守人员灵活控制模块的开机运行数量,使整流器模块的负载率始终保持在较高的水平,从而使系统的转换效率保持在较高的水平。

6.2.6 成本效益分析

高压直流系统投资低于 UPS 系统,且可以减少电力电缆、谐波治理等设备的投入。高压直流供电系统投资约为 1300 元/kW。

(1) 建设投资

电源系统投资包括 UPS 电源(高压直流)、前端电源(市电、油机)、机房三个部分。以成都某运营商最近完工的一个机房为例进行对比分析,该机房同层布置 4 套 400KVA 1+1 UPS 系统,采用高压直流供电,需 5×4 套 50KW 系统。

UPS 电源(高压直流)部分:采用 UPS 方案每套系统的投资大约为 250 万元,采用高压直流供电时 5 套直流系统投资约 160 万元。直流系统投资仅是 UPS 方案的 2/3,究其原因,主要是没有 UPS 柜,并且其仅与交流整流输入电缆,没有旁路回路电缆。

前端电源部分:粗略测算,采用高压直流方案,市电和油机供电系统约可减少 20~25%。

机房:采用 UPS 方案和高压直流供电方案,所需占用的机房面积基本相同,但是采用高压直流供电方案时,开关电源安装区域机房荷载要求大大低于 UPS 机房,粗略测算,机房土建成本约降低 10%左右。

对以上投资加权后,采用高压直流供电方案总投资降低约 30%。需要说明的

是，采用高压直流供电方案，不仅电源系统可分期建设，系统的电源模块也可根据需要分期建设，考虑投资折现率后，高压直流供电方案的投资节约率将更加明显。

（2）运维成本

运维成本主要包括电费成本和维修成本，由于转换效率的提高，高压直流供电将大大节约电费成本。在维修成本方面，高压直流供电采用的整流模块化结构，现场替换非常方便，模块除厂家外，一些通信支撑企业也可维修，维修价格在一定程度上可由市场决定。

合肥联通的监测数据表面，在成本减少方面，与建设传统 1+1 冗余 120kVA UPS 和 2 套 50kW 高压直流电源(100kW)进行分析对比发现，建设同样的 100kW 电源系统，HVDC 电源系统比传统型 UPS 成本占优：投资建设成本要低 66%；占用机房面积减少 24.22%；系统运营成本低 16.22%，年可节省 26.91 万元。

项目案例：高压直流供电系统（240V）在江苏电信试运营案例

江苏电信盐城分公司从 2007 年 11 月开始网上试运行，2008 年 4 月开始批量试推广。6 月对新建 IT 系统直接配套 240V 直流，不再配套交流 UPS 供电。其交、直流供电系统投资对比见下表：

表 6-3 新建 40KW（50KVA）IT 设备配套电源系统投资对比表

序 号	项 目	新建 UPS 系统 (双机并联冗余)	新建 240V 直流系统	性能对比
1	主机	19.8 万元	11.6 万元	240V 直流系统 比 UPS 系统直接 成本节约投资 40.7%
2	输入交流控制	0.4 万元（6 路）	0.1 万元（1 路）	
3	输出并机控制	0.5 万元	不需要	
4	电池控制装置	0.5 万元	不需要	
5	蓄电池配置	11.2 万元（5 小时）	7.6 万元（5 小时）	
6	安装材料	0.3 万元	0.1 万元	
直接成本合计		32.7 万元	19.4 万元	240V 直流系统 比 UPS 系统间接 成本节约投资 46.1%
7	变压器提供功率	20 万元（100KVA）	10 万元（50KVA）	
8	发电机提供功率	9.6 万元（80KW）	6 万元（50KW）	
9	空调提供	1 万元（5P）	0.5 万元（2.5P）	
间接成本合计		30.6 万元	16.5 万元	总投资 240V 直 流系统比 UPS 系统节约投资节 约投资 43.3%
总投资		63.3 万元	35.9 万元	

10	运营成本	240V 直流系统比 UPS 系统平均节电 20-30%		
11	运行安全性	240V 直流系统比 UPS 系统可靠性高一个数量级		
12	主设备运行寿命	8-10 年	10-12 年	240V 直流系统比 UPS 系统运营成本低
13	投资阶段性	一次规划，一次投资	一次规划，分批投资	
14	维护方式	复杂	简单	

同时,对在网运行的盐城本地网的核心网 IT 设备供电系统逐步改造,用 240V 直流系统取代 220V 交流 UPS。到 2008 年底,盐城电信停运 6 套交流 UPS 系统。供电系统改造测试数据见下表。

表 6-4 盐城 832 局传输网管、小灵通网管 IT 设备供电系统改造电能实测参数

改造前记录各参量	开始日期	结束日期	经历时长(h)	起/止电量读数(度)	净增度数(度)	每天耗电(度)
	2008/2/21 21: 30	2008/2/27 9: 12	131. 8	起: 0.6 止: 861.6	861	156. 72
改造后各参数	2008/2/28 15: 12	2008/3/3 8: 20	89. 13	起: 899.6 止: 1305.0	405. 4	108. 96
结果分析	每天节电: 47.76(度); 节电率 30.5%; 每年节电(直接节电): 17432 度; (间接节电): 2421 度。合计每年节电 19853(度)					
测试人员	赵长煦 盛洪林 盛红虎					
初步结论	实验成功, 节电率 30%左右, 具有推广价值					

江苏盐城电信分公司改造后的高压直流供电和在线运营的各通信设备见下表。

表 6-5 已经在线运行 IT 设备 (IP 设备) 统计表

序号	设备厂商或供应商	设备名称	设备规格型号
1	HP	服务器	HP 5300
2	HP	小型机	HP rp4440
3	DELL	服务器	DELL 2850
4	HP	服务器	HP DL 380G4
5	HP	服务器	HP DL 380G5
6	HP	服务器	HP DL 360G5
7	HP	服务器	HP DL 180
8	HP	服务器	HP E55
9	HP	服务器	HP ML 320
10	DELL	服务器	DELL R900
11	DELL	服务器	DELL 6800

12	DELL	服务器	DELL 2950
13	DELL	服务器	DELL 1950
14	DELL	服务器	DELL R900
15	DELL	服务器	联想万全 R510
16	SUN	服务器	SUN 1405
17	SUN	服务器	SUN v880
18	SUN	服务器	SUN v210
19	SUN	服务器	SUN T3
20	SUN	服务器	SUN 240
21	SUN	服务器	SUN 480
22	SUN	服务器	SUN 890
23	SUN	服务器	SUN 3300
24	HITACHI	服务器	日立 9500V
25	HP	小型机	HP 5300
26	HP	小型机	HP 7410
27	HP	小型机	HP 9000 rp3440
28	康柏	服务器	康柏 ES40
29	中兴	刀片 服务器	VS8000
30	IBM	服务器	IBM 5500
31	IBM	服务器	IBM X3650
32	IBM	服务器	IBM 235
33	中兴	磁阵	中兴 S510
34	中兴	磁阵	中兴 S260
35	中兴	磁阵	中兴 ZXF20 S260
36	富士通	磁阵	富士通 2000
37	HP	磁阵	HP MSA2000
38	HP	磁阵	华为 S3100
39	华为	磁阵	华为 D160
40	DELL	磁阵	Dell CX300
41	DELL	磁阵	MA01772
42	EMC2	网络加速及优化□	CN-7740
43	思科	交换机	中兴 ZXR 10 2826S
44	中兴	交换机	中兴 ZXR 10 2626
45		交换机	Brocade 5000

46		交换机	Silkworm 4100
47	思科	交换机	思科 2960G
48	思科	交换机	思科 3560
49	中兴	EPON	ZTE A10 系列
50	烽火	EPON	AN 5006-07B
51	中兴	交换机	ZTE R10 2826E
52		交换机	AT-8724XL
53		交换机	F-engine S2000
54	华为	交换机	华为 2403
55	思科	路由器	CISCO PIX 515E
56	思科	路由器	CISCO 2600
57	思科	路由器	CISCO 3600
58	中兴	路由器	中兴 T64G
59	中兴	路由器	中兴 ZXR 10 8905
60	HP	小型机	HP rp 8440
61	HP	小型机	HP xp 10000
62	HP	小型机	HP 9000 rp8420
63	HP	小型机	HP RP 5470
64	HP	小型机	HP 4/256
65	HP	小型机	HP 5300
66	HP	小型机	HP hsu100
67	HP	服务器	HP DL180
68	HP	服务器	HP DL380
69	HP	服务器	HP DL380 G4
70	HP	服务器	HP DL380 G5
71	HP	服务器	HP 580 G4
72	HP	服务器	HP 580 G5
73	HP	服务器	HP ML370
74	SUN	服务器	SUN V480
75	SUN	服务器	SUN V880
76	SUN	服务器	SUN 2000
77	SUN	服务器	SUN 2500
78	IBM	服务器	IBM345
79	IBM	服务器	IBM346

80	DELL	服务器	DELL ML370
81	DELL	服务器	DELL GX260
82	DELL	服务器	DELL GX240
83	DELL	服务器	DELL GX270
84	DELL	服务器	DELL GX520
85	DELL	服务器	DELL SC1420
86	DELL	服务器	DELL 620
87	DELL	服务器	DELL 840
88	DELL	服务器	DELL 1800
89	DELL	服务器	DELL 6800
90	DELL	服务器	DELL R900
91	浪潮	服务器	浪潮 NF 280 G2
92	康柏	服务器	康柏 3000
93	HP	服务器	HP HSU 200-A
94	HP	磁盘阵列	HP360
95	IBM	磁盘阵列	IBM EXP 400
96	IBM	磁盘阵列	IBM 3650
97	IBM	磁盘阵列	IBM 8685
98	DELL		DELL 1750
99	DELL	磁盘阵列	DELL 1850
100	DELL	磁盘阵列	DELL 2650
101	DELL	IPTV(磁阵)	DELL EMC CX300
102	中兴	路由器	中兴 ZXR10 T46G
103	华为	磁阵)	华为 S 3100
104	华为	磁阵)	华为 D 160
105	Brocade	光交换)	Brocade 5000
106	华为	交换机	HUAWEI S2008
107	华为	交换机	HUAWEI 2300
108	华为	交换机	HUAWEI 2403
109	华为	交换机	HUAWEI 3000
110	华为	交换机	HUAWEI 3026
111	华为	交换机	HUAWEI 3500
112	D-LINK	交换机	D-LINK DES-1016R
113	D-LINK	交换机	D-LINK DE-816TP

114	D-LINK	交换机	D-LINK DES-1024R+
115	H3C	交换机	H3C S1016
116	RAISECOM	光猫	
117		光猫	OVIENT O-RIC-E1/10 BASET
118	Rady	光猫	Rady RC-203AIV+
119	金太科技	光猫	CV218-NB/D
120	华为	路由器	HUAWEI AR 28-11
121	COLLAPSAR	防火墙	COLLAPSAR 600
122	COLLAPSAR	防火墙	COLLAPSAR 2000

根据盐城电信分公司用 240V 直流取代 220V 交流成功改造的经验，江苏省电信公司从保障网络安全角度出发，于 2008 年 12 月 18 日以中电信苏[2008]598 号文“关于印发《通信设备高压直流供电安装设计规范（试行）》的通知”，要求全省各本地网进行推广。2009 年 5-6 月，徐州电信改造上线二套；常州电信、无锡电信已经做好相关准备，计划在 09 年 7 月改造上线。江苏电信含其他本地网在 09 年年底已有 19 套 240V 高压直流供电系统在运行。

从江苏电信采用 240V 直流取代 220V 交流 UPS 运行结果来看，用 240V 直流对 IT 设备（IP 设备）供电比 220V 交流 UPS 供电具有较大的优越性，主要体现在以下几个方面：

（1）设备运行稳定。到目前为止，接入高压直流运行的 IT 设备（IP 设备）有 1200 余台、120 多个设备型号，时间最长的有 19 个月，没有一台发生设备损坏故障。通过抽样测试，发现 240V 直流供电比 220V 交流供电，服务器电源模块功耗减少 13%，温度低 2℃-3℃，也就是说，发热量减少 13%，从这个意义上说，直流供电比交流供电 IT 设备的电源模块运行的寿命将会延长。另一方面，直流供电系统可维护性强，操作简单，本身供电可靠性比 UPS 系统可靠性提高一个数量级。

（2）节能效果显著。从改造的 UPS 系统安装计量表测试结果显示，每套系统均节能 20%以上。

（3）建设投资节省。通过新建 IT 系统配套电源投资比较，采用 240V 直流供电系统比新建 UPS 系统投资将会减少 40%以上。随着传统通信设备的不断退网，转型业务、增值业务等数据通信比重逐步增大，按照现在的设备供电模式，需要新建大量的 UPS 系统，如今后全部建设 240V 直流供电系统，每年节省的资金非常可观。同时，直流供电系统技术相对更成熟，所以系统的安全性更高。

6.2.7 技术推广应用情况

本技术在 2008 年开始试点，已经在通信行业得到一定应用，设备使用年限不低于 7 年。

通信用 240V 高压直流系统代替交流 UPS 系统为使用交流的通信负载供电尽管在国内应用还很少，但这个理念早已深入人心。国外已经有许多应用的实例，国内中国电信盐城分公司的成功应用也为这项技术的更大范围推广起到了很好的示范作用。人们之所以越来越重视这项新技术的应用，直流系统的安全可靠就是充足的理由。

6.2.8 技术知识产权情况

(1) 专利名称：高压直流远端供电系统及方法

申请号/专利号：200510033596

申请人/专利权人：华为技术有限公司

第七章 重点关注的新技术

7.1 风/光互补供电技术

7.1.1 技术介绍

太阳能光伏电源系统是指利用太阳能辐射转化成电力能源，然后供给负载供电的系统，主要由风力发电机、控制器、蓄电池、配电设备及电路保护等部件通过电气连接组成。通信行业目前主要采用的是硅晶材料的太阳能电池组件。

风力发电系统是指风力发电机组将风能转化成电力能源，然后通过太阳能控制器处理后给负载供电的系统，主要由风力发电机组、控制器、蓄电池、配电设备及电路保护等部件通过电气连接组成。

风光互补供电系统，由风力发电机组、太阳电池方阵、控制器、支撑结构（塔架）、耗能负载、蓄电池组和逆变器以及负载构成，如下图所示。

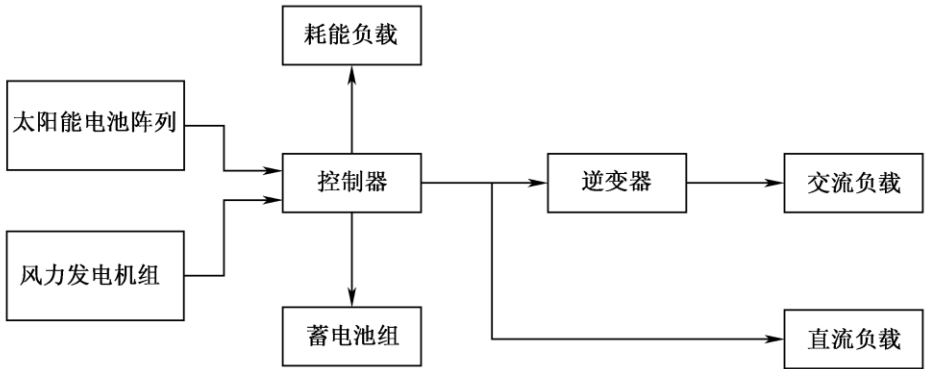


图 7-1 风—光互补供电系统

技术适用条件

- （1）风能资源、太阳能资源均较为丰富的地区；太阳能年日照时数不低于 1800h 的地区；年平均风速不低于 3.5m/s 的地区，风力发电机组建议距离民房 500m 以外。
- （2）市电资源缺乏的偏远山区、海岛等地区；
- （3）根据太阳能和风能资源的不同以及光伏与风力发电容量的配置不同，可选择以下几种类型：
 - 光伏—风力互补供电系统。光伏发电为主，风力发电为辅，适合于太阳能资源非常丰富、风能资源仍可利用的地区。

--风力—光伏互补供电系统。风力发电为主，光伏发电为辅，适合于风能资源非常丰富、太阳能资源仍可利用的地区。

--带有备用柴油发电机的风力—光伏—柴油机互补供电系统(简称风—光—柴互补系统)，如下图所示。风—光—柴互补系统适合以下两种情况：

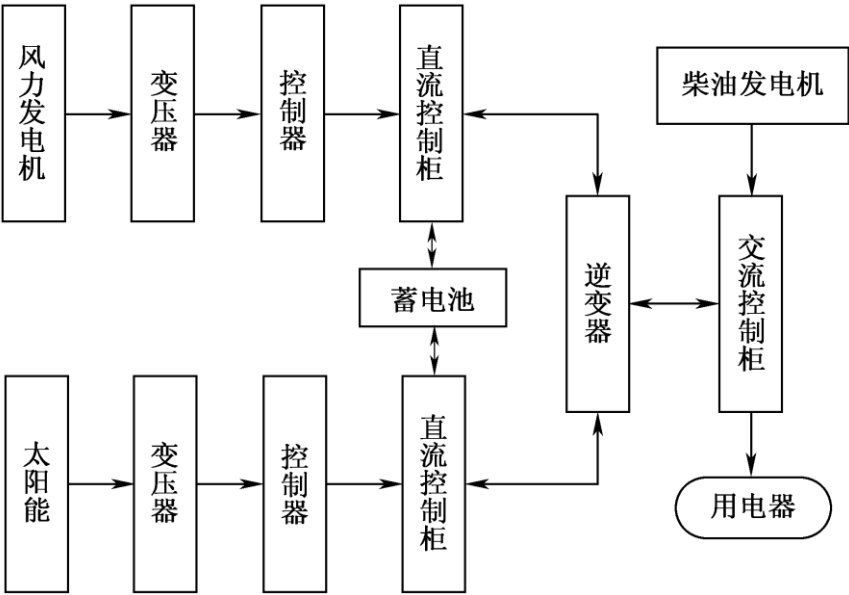


图 7-2 风—光—柴油混合供电系统原理框图

①太阳和风能虽然比较丰富，但互补性欠佳的地区，如个别月份太阳能和风能均不能满足负载要求；

②太阳能和风能互补性很好，但太阳能和风能资源总量仍感欠缺的地区。当系统以光伏发电为主时，也可称为“光伏—风力—柴油机互补供电系统(简称光—风—柴互补系统)。

(4) 出于节能考虑，可利用可再生能源的通信基站、视频监控点和接入网点等场合。

(5) 应用时注意事项：

①在进行选址设计之前，应汇集及测量当地风能资源、太阳能资源、其他天气及地理环境数据，包括每月的风速、风向数据、年风频数据、每年最长的持续无风时数、每年最大的风速及发生月份、韦布尔（Weble）分布系数等；全年太阳日照时数、在水平表面上全年每平方米面积上接收的太阳辐射能、在具有一定倾斜角度的太阳光电池组件表面上每天太阳辐射峰值时数及太阳辐射能等；当地在地理上的纬度、经度、海拔高度、最长连续阴雨天数、年最高气温及发生的月份、年最低气温及发生的月份等，了解当地是否适合采用风光互补供电系统。

②根据当地风能资源、太阳能资源，确定风力发电及太阳能发电所分担的供电份额，并按 YD/T 1669-2007 中相关规定合理配置风光互补供电系统。

③若采用风—光—柴油混合供电系统，应按 YD/T 5040-2005 中的相关规定配置供电系统设备。

④风光互补供电系统与单一风力发电系统或光伏发电系统相比，系统设计较复杂，对系统的控制和管理要求较高。系统的投资较大；增加维护工作量。

7.1.2 技术试验示范效果

太阳能组件的发电量主要与太阳能辐射强度、太阳能组件转换效率、系统效率有关，每 W_p 太阳能电池组件年平均发电量约为 1.2kWh，无直接污染。

风力发电机组的发电量主要与太阳能辐射强度、太阳能组件转换效率、系统效率有关，每 W_p 太阳能电池组件年平均发电量约为 1.2kWh，无直接污染。

成本效益分析

1) 太阳能投资：25 元/ W_p ；运行费用：约 1-3 元/ W_p 。

2) 风能投资：22 元/W；运行费用：约 5-7 元/ W_p 。

7.1.3 技术知识产权

(1) 专利名称：一种风光互补基站机房

申请号/专利号：201020598583

申请人/专利权人：中国移动通信集团设计院有限公司

(2) 专利名称：一种风光市电互补通讯基站供电系统

申请号/专利号：201010119366

申请人/专利权人：北京凯华网联新能源技术有限公司;冬雷

(3) 专利名称：风光互补型新能源通信塔

申请号/专利号：201020296970/ 201010257035

申请人/专利权人：北京梅泰诺通信技术股份有限公司

(4) 专利名称：基于光伏阵列切换控制的风光互补发电电源装置

申请号/专利号：200920067726

申请人/专利权人：路建乡

专利名称：基于蓄电池组轮换控制的风光互补发电电源装置

申请号/专利号：200920067620

申请人/专利权人：路建乡

(5) 专利名称：绿色多功能生活基站

申请号/专利号：200920216735

申请人/专利权人：北京中竞同创能源环境技术有限公司

(6) 专利名称：光电互补变频冷却自然送风基站机房

申请号/专利号：200920181225

申请人/专利权人：谢逢华

7.2 燃料电池发电技术

7.2.1 技术介绍①

氢燃料电池将储存在燃料和氧化剂中的化学能直接转化为电能，氢燃料电池的电极本身不含有活性物质，而只是个催化转换部件；氢燃料电池不是能量贮存容器，而相当于能量转换装置。

氢燃料电池也是我们国家十一五重点发展支持项目，氢能是可再生能源，可以循环利用，有巨大的发展前景，成为继火力发电、水力发电、核能发电之后的第四代发电方式。

(1) 单电池（以广泛应用的质子交换膜型氢燃料电池为例）

质子交换膜型氢燃料电池使用氢气作为燃料，空气（氧气）作为氧化剂，铂/碳或铂-钌/碳为催化剂，带有气体流动通道的石墨或表面改性的金属板为双极板，目前多以全氟或部分氟化磺酸型固体聚合物为电解质，其工作原理如下图所示。

氢燃料电池的工作原理即电解水的逆过程。电化学反应在电极上发生，反应式为：

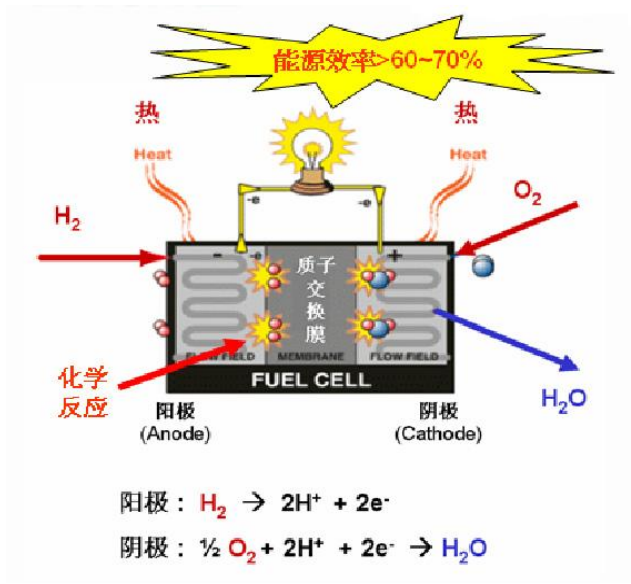
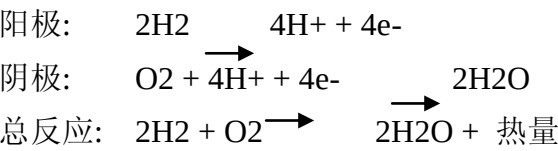


图 7-3 氢燃料电池的工作原理

①通信电源和机房环境节能技术指南第 2 部分_应用条件(征求意见稿)》

氢燃料电池工作时，向阳极供给燃料（氢），向阴极供给氧化剂（空气）；氢在阳极分解成正离子 H^+ 和电子 e^- ；氢离子进入电解液中向阴极迁移，而电子则沿外部电路移向阴极；在阴极上，空气中的氧同电解液中的氢离子吸收电子并结合形成水。依照原电池的定义，燃料电池内部的阴极对于外电路即为正极，阳极即为负极。

（2）电池堆

氢氧燃料电池的单电池工作电压在 $0.6V-0.9V$ 之间，将多个单电池串联起来形成电池堆以提高输出电压，输出电压等于单电池的工作电压乘以电池的串联数，其输出电流就等于电流密度与工作面积的乘积。电池堆的组装程序相当严格，密封是组装燃料电池的关键技术之一，其目的是确保阳极与阴极两侧的反应气体不会互窜或泄漏。

（3）发电系统

氢燃料电池与传统电池同属电化学装置，但也有不同之处——燃料和氧化剂等活性物质都从外部供给。当不断地从外部向燃料电池供给燃料和氧化剂、反应产物不断排除时，其可以连续发电，相当于一种节能环保的直流发电机，如下图。燃料电池使用的燃料和氧化剂均为流体，即气体或液体。最常用的燃料为纯氢、各种富含氢的气体（如重整气）和某些液体（如甲醇水溶液）。

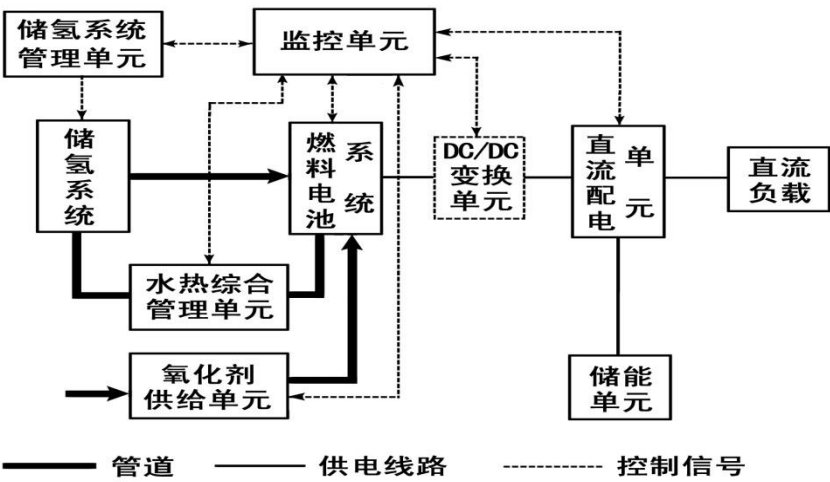


图 7-4 氢燃料电池供电系统框图



图 7-5 通信用氢燃料电池发电供电系统

7.2.2 技术试验示范效果

(1) 按燃料电池工作温度进行分类：

低温（工作温度低于 100℃）燃料电池，它包括碱性与质子交换膜燃料电池；
中温燃料电池(工作温度在 100-300℃)，它包括培根型碱性燃料电池和磷酸型燃料电池；

高温燃料电池(工作温度在 600-1000℃)，它包括熔融碳酸盐燃料电池和固体氧化物燃料电池。

(2) 燃料电池具有常规电池（如锌锰干电池）的积木特性，即可由多台电池按串、并联的组合方式向外供电。燃料电池既适宜用于集中发电，也可用作各种规格的分散电源和可移动电源。

目前应用于通信基站的氢燃料电池属于质子交换膜燃料电池，可在室温条件下快速启动，输出电能较稳定，环境适应能力强，能够满足通信行业的需要。如下图显示了氢燃料电池供电系统在通信电源系统中所处的位置和作用，图中虚线画出的椭圆即表示氢燃料电池供电系统可替代的电源产品。

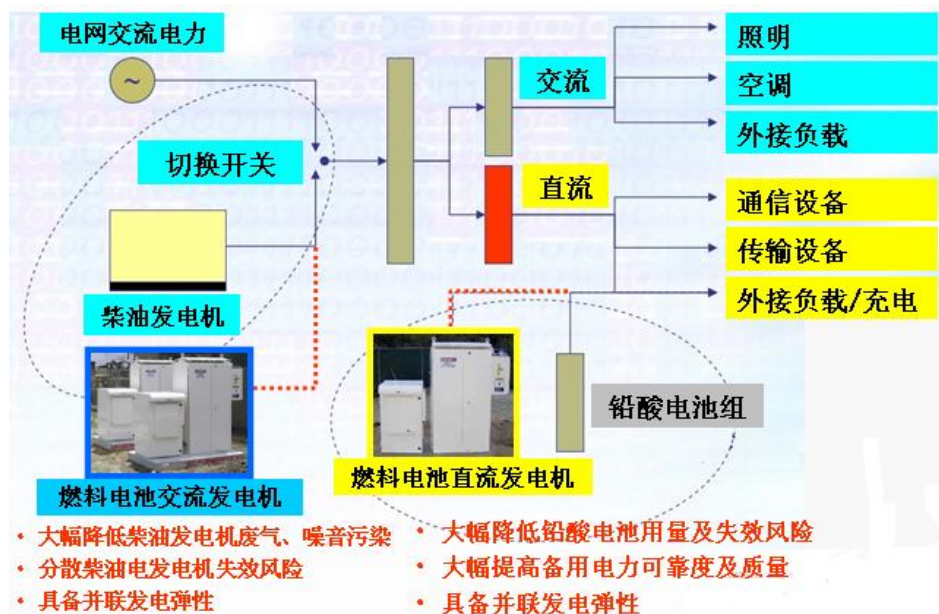


图 7-6 氢燃料电池供电系统的直流供电与交流供电线路

氢燃料电池供电系统若增加 DC/AC 逆变设备，即可为通信局站的交流负载供电，替代油机，降低噪音和振动，减少排放。

(3) 应用时注意事项：

--必须慎重选用抗压能力、防撞能力和防火能力均达到强制性标准要求的产品，或者采用固态氢化合物储氢。

--燃料电池系统应安装在户外，距离建筑物应大于 3m，距离人行道、马路、停车场等人群应大于 4.5m。燃料电池机柜和储氢机柜的地基应良好；燃料电池机柜和储氢机柜应接地、连线应牢固。

--系统的维护重点是关注氢气瓶阀门、接头和管道的泄漏。通常，在燃料电池发电和储氢装置内均安装氢气探测器和氢气浓度传感器，一旦发生氢气泄漏，控制电路就会关闭阀门，阻止氢气泄漏达到爆炸和燃烧的极限。

--定期更换空气进气处过滤网和 DC-DC 变换器处过滤网、液体冷却系统的冷却液；检查燃料电池内部是否有积水；电线连接点是否锈蚀、电池能量是否充足以及风扇、泵等工作是否正常

--定期检查部件、管道有无锈蚀、连接有无松动、氢气浓度传感器、氢气压力传感器、电磁阀是否工作正常；

--软件需要更新，可在每年维护时进行。

7.3 乙二醇节能技术

7.3.1 技术介绍

利用室内外温差，不自带冷源，使用乙二醇溶液作为载冷剂，实现室内外热交换的技术。

系统结构及工作原理如下图所示。在室外气温较低的情况下，利用乙二醇节能系统，通过水泵的运转，由乙二醇液体将室内的热量传送到室外冷凝器，再由室外冷凝器将热量散发出去。由于乙二醇节能系统工作时空调压缩机停止工作，而水泵功率比空调压缩机的功率小很多，所以能起到节能降耗的作用。同时室内外的空气不会混合，又可以保证室内环境的清洁。

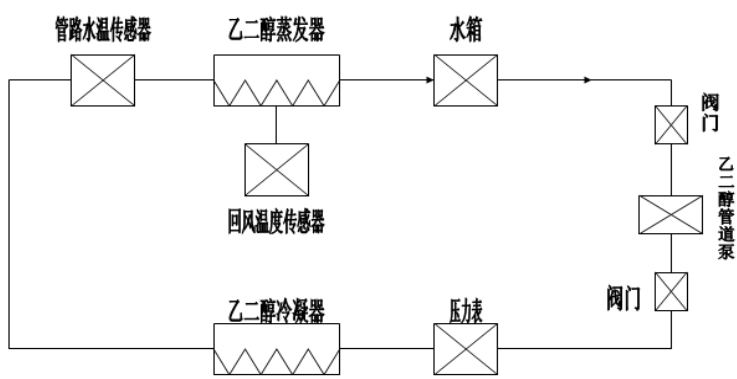


图 7-7 乙二醇节能系统结构

技术特性：

(1) 乙二醇节能技术可以单独应用，亦可以与空调配合构成双冷源系统；系统工作期间，空调压缩机将关闭，只有室内主风机启动，减少空调压缩机的耗电及磨损，延长压缩机使用寿命。

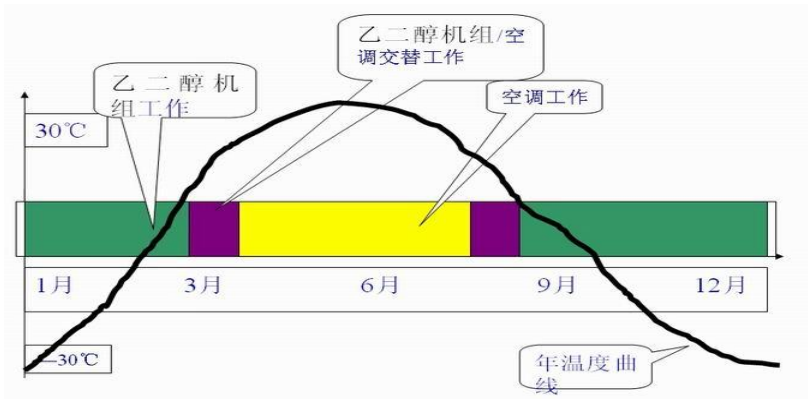


图 7-8 空调、乙二醇节能系统联动工作示意图

(2) 乙二醇机组采用可靠独立的工业控制单元使乙二醇机组工作稳定，控制精度高，不影响原有空调控制系统正常工作。

(3) 进行乙二醇节能改造时，在原有空调室内机上加装室内换热器，不改变原有空调制冷机构，不影响原有空调运行；不破坏机房维护结构，不影响机房外观。

2、技术适用条件：

适用于北方地区，冬季和过渡季自然冷源应用时间较长全年室外气温低于 5℃的时间在 2500 个小时以上的地区，可应用在已有机房节能改造和新建机房中。目前乙二醇系统应用最多的是黑龙江，还有内蒙古、北京和辽宁。

(1) 外界环境温度和通信机房设定温度应有 10℃以上的温差；

(2) 按下图所示，中国气温情况可分五类地区：严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、温暖地区、夏热冬暖地区，

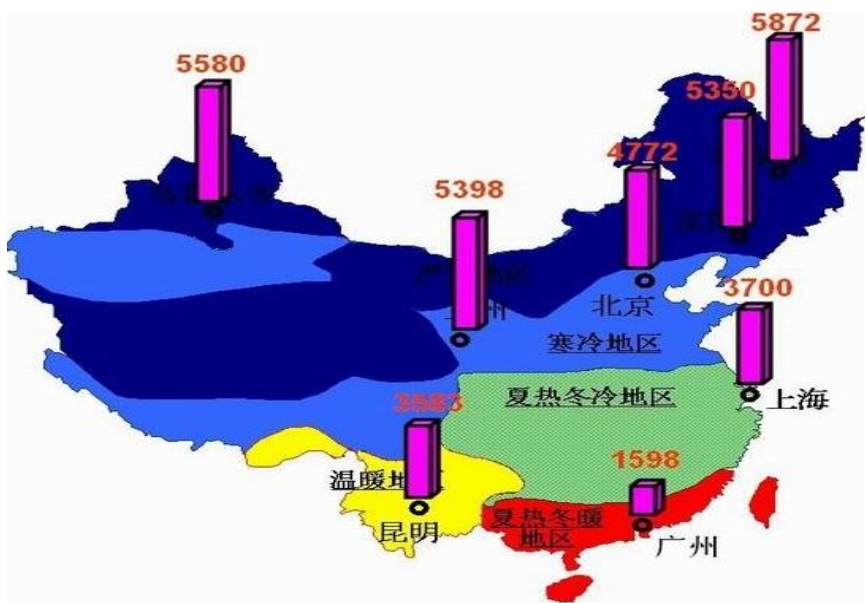


图 7-9 乙二醇机组理论年运行时间柱状图

从上图所示，可以看出即使在夏热冬暖的南方地区，可以使用乙二醇机组的理论年运行时间也有 1598 个小时，在北方可以使用接近 6000 个小时。

(3) 应用时注意事项：

--乙二醇节能系统宜采用 PPR 管路，不会有内部腐蚀和外部氧化，管路不用维护。

--乙二醇节能系统的水泵宜选用封闭电磁泵，不会渗漏。

--乙二醇节能系统室内过滤网更换和原有空调一样。

--乙二醇节能系统每年须添加少量乙二醇和水。

--乙二醇热交换可以有两种布局方法，一种是独立安装，另一种在原有空调风柜的蒸发器上方叠加。在蒸发器上方叠加乙二醇热交换器可能会增加风阻，影响空调供风量及风压。建议乙二醇热交换系统最好独立安装，不会影响空调的正

常运行。

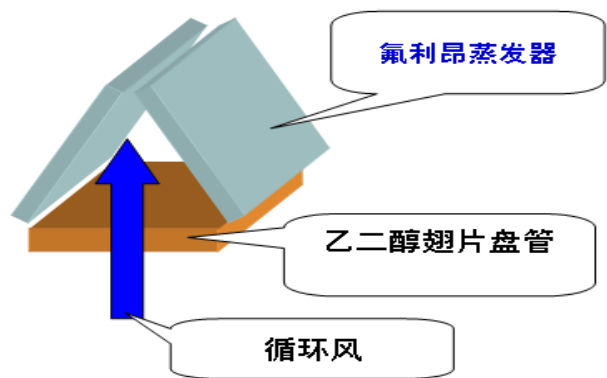


图 7-10 乙二醇节能系统翅片盘管安装位置

7.3.2 技术试验示范效果

根据在黑龙江地区的试用情况，在室外温度低于 10℃ 的情况下，乙二醇机组节能率在 25%~40%。

7.3.3 技术推广应用情况

武汉某 IDC 机房应用情况

（1）机房所在地区的地理情况：属暖温带半湿润大陆性季风气候，无霜期一般在 240 天左右，乙二醇节能机组可以工作 120 天左右。这种气象条件利于乙二醇节能系统的使用与推广。

（2）机房内设备及发热量情况：

6 楼 IDC 机房，面积约 600mm²，共计 9 个电源柜，12 个列配线柜，1 个中心配线柜，198 个服务器机柜，发热功率大约为 600kW。

5 楼 IDC 机房：面积约 600mm²，共计 11 个电源柜，15 个列配线柜，2 个中心配线柜，3 个网络柜，223 个服务器机柜，发热功率大约为 670kW。

该 IDC 采用封闭冷却塔，按全国各地温度情况统计得知，武汉市交换机房乙二醇循环制冷的工作时间 4363 小时，全年工作时间 41.2%。

（3）空调及乙二醇节能系统基本配置：

6 楼 IDC 机房：按机房内现共有 15 台制冷量为 3.7 万大卡的机房专用空调计算，则现有总制冷量为 55.5 万大卡。

5 楼 IDC 机房：按机房内现共有 15 台制冷量为 3.7 万大卡的机房专用空调计算，则现有总制冷量为 55.5 万大卡。

在现有的专用空调上安装乙二醇节能机组，每层楼的 IDC 机房将分别安装 15 套。其具体安装方式为：鉴于现在机房内走线、空调送风方式为“上走线、下送风”，市内换热器将加装在空调机的上方。室外要求有 15-25m² 的设备安装场

地，要求通风良好，如平台、楼顶等。每个换热器有 2 根直径为 5cm 的 PPR 管路与室外机组相连接。

（4）按武汉所处地理位置乙二醇节能系统年工作 120 天，节能比例为 20%，则年节约电能为：

6 楼 IDC 机房：600×24×365×20%=1051200 度。

5 楼 IDC 机房：670×24×365×20%=1173840 度。

技术应用案例：哈尔滨移动应用情况

哈尔滨年温度曲线下图所示，以哈尔滨示范站 5 月份一天实测数据为例，室外温度低于 12℃启动乙二醇机组，可以发现一天需要启动压缩机制冷的时间不到全天的 1/3。

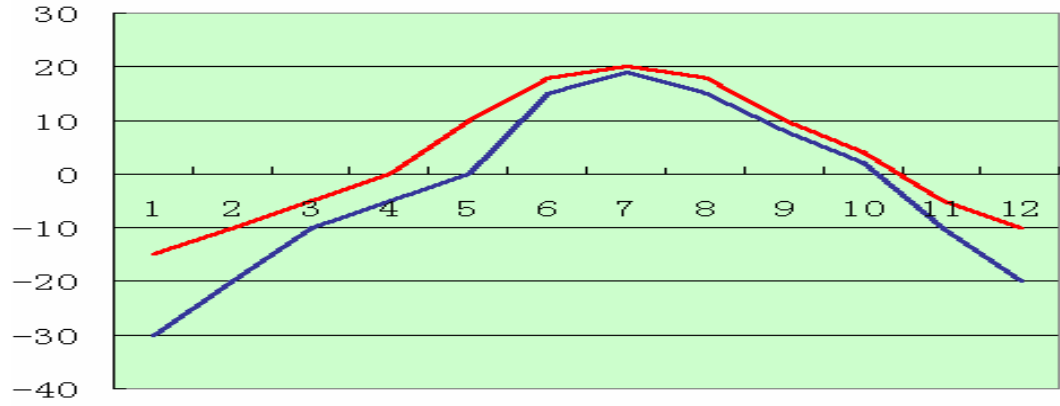


图 7-11 哈尔滨年温度曲线图

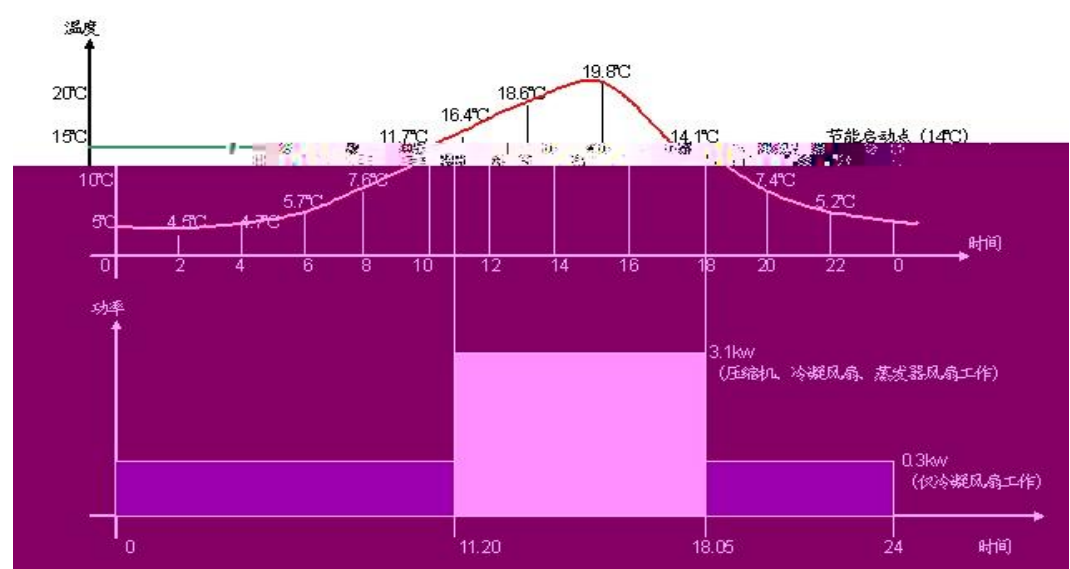


图 7-12 哈尔滨某示范站乙二醇节能系统 5 月份一天实测数据

空调加装乙二醇机组改造对照实测结果如下表所示。

表 7-1 空调加装乙二醇机组改造对照实测结果

项目	海洛斯 34UA (kWh)	加装乙二醇节能系统的海洛 斯空调(kWh)	备注
空调压缩机日功耗	216	36	
室外风机日功耗	14.4		
加湿器日功耗	21.07	21.07	
室内风机日功耗	69.6	69.6	
单台日总功耗	321.07	126.67	
单台年总功耗	117190.55	81712.55	
年节约	35478		
百分比	100%	69.73%	
年节能率	30.07%		

由上表可见节能效果良好，节能率达 30%，单机年节能 3.5 万度，经济效益良好，预计 2 年即可收回投资。

7.3.4 技术知识产权

(1) 专利名称：乙二醇节能空调机

申请号/专利号：200820170533

申请人/专利权人：余姚捷丰空调设备有限公司

(2) 专利名称：空调系统中的乙二醇热回收装置

申请号/专利号：200520040922

申请人/专利权人：上海大智科技发展有限公司

(3) 专利名称：一种用于空调系统的乙二醇热能回收机构

申请号/专利号：200510025162

申请人/专利权人：上海大智科技发展有限公司

<能源管理系统篇>

第一章 导言

1.1 编制目的

能源管理系统是指通过能源计划、能源监控、能源统计、能源消费分析、重点能耗设备管理、能源计量设备管理等多种手段，使企业管理者对企业的能源成本占比和发展趋势有准确的掌握；并将企业的能源消费计划任务分解到各个生产部门车间，使节能工作责任明确，促进企业健康稳定发展。企业建立一套完整的能源管理系统，可以在能源数据采集、分析处理、物料平衡和优化方面发挥重要作用。本指南可以为企业开展能源管理、构建能源管理系统提供标杆；为企业的节能减排技术选择、改造以及技术转让提供信息参考为用户建筑与工业设施能源系统精细设计和节能改造提供依据；为电子信息行业节能减排技术推广应用政策提供配套和索引。

1.2 适用范围

本指南适用于企业建筑与工业设施整体能耗状况的实时监测和细致化管理，电力、燃气、水等分类能耗数据和电量各分项能耗数据的透明化。本指南同时也适用于企业新改建项目的能源管理系统改造和企业节能减排改造。

1.3 编制依据

本指南是根据行业生产和节能环保的相关法律、法规、技术政策标准等制订的。

中华人民共和国节约能源法；

中华人民共和国环境保护法；

中华人民共和国清洁生产促进法；

①《能源中长期发展规划纲要（2004年~2020年）》；

②《国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》（国发[2011]26号）；

③《通信产品技能分级导则》

④《通信产品能耗测试方法通则》

第二章 行业资源能源消耗及产排污情况

2.1 行业类型划分

能源管理系统是以帮助工业生产企业在扩大生产的同时，合理计划和利用能源，降低单位产品能源消耗，提高经济效益为目的信息化管控系统。通过能源计划、能源监控、能源统计、能源消费分析、重点能耗设备管理、能源计量设备管理等多种手段，使企业管理者对企业的能源成本占比，发展趋势有准确的掌握；并将企业的能源消费计划任务分解到各个生产部门车间，使节能工作责任明确，促进企业健康稳定发展。能源管理系统是一套以计算机和软件为依托的软件系统，其在不同行业都有着广泛的应用。按照应用行业的不同能源管理系统可以划分为：企业能源管理系统、建筑能源管理系统、设备能源管理线系统、生产工艺能源管理系统等。

目前，工业企业采用的节能技术范围比较广、技术水平也比较高，可以说是多种多样错综复杂。但是依据工业企业能源系统的特点，大致可能源管理系统节能技术进行如下划分：

设备节能——通过进行新增、改造、辅配节能设备实现节能；

控制节能——通过对能源系统进行工艺改造与运行优化实现节能；

管理节能——通过提升企业能源管理水平促进企业实现节能；

合同能源——节能服务公司以承诺节能项目的节能效益或承包整体能源费用的方式为客户提供节能服务，以实现节能目标。

2.2 资源能源消耗情况

能源管理系统以服务器主机、以太网或者局域网连通的通讯网络、无线传输部分、有线传输部分和能源管理软件、各计量点（流量计、液位计、温度、压力等）、电表等为主要组成部分，硬件组成包括：1）各个采集点的计量表（带 RS485 通讯的流量计、电表等），2）采集和传输数据的集成箱，3）可以通讯的有线网络，4）上位机主机。因此其主要的资源消耗与计算机和网络服务系统相似，主要原材料有钢材、铁、硅、铝、部分导电材料、塑料、玻璃、水平晶状体等。计算机主板、键盘、显示屏、电源、CPU 等不同元器件都由不同的原材料组成，具有不同的资源消耗特点，计算机一些关键元器件的特殊性，其包含少量重金属、贵金属等。此外，计量点的计量仪器、电表等会消耗一定的金属、玻璃和化学药剂等。

能源消耗方面，能源管理系统虽然有监控和优化能源利用的功能，其运行过程中也会消耗电能。能源管理系统的能源消耗量为其硬件设备的耗电量，包括计算机运行能耗、电表计量表测量耗电、网络通讯设备的能耗等。能源管理系统的能耗与这些设备的型号的功率息息相关，也会因为管理对象类型和设备大小功率的不同而不同。

第三章 行业技术现状

3.1 行业技术结构

能源管理是指对工业企业能源的全过程（购进、存储、转换、传输、消耗等）进行的管理工作。像其他管理工作一样，能源管理也具有普遍性与通用性的特点。能耗管理系统是以帮助工业生产企业在扩大生产的同时，合理计划和利用能源，降低单位产品能源消耗，提高经济效益为目的信息化管控系统。通过能源计划、能源监控、能源统计、能源消费分析、重点能耗设备管理、能源计量设备管理等多种手段，使企业管理者对企业的能源成本占比和发展趋势有准确的掌握，并将企业的能源消费计划任务分解到各个生产部门车间，使节能工作责任明确，促进企业健康稳定发展。

建设一个全厂级的集中统一的能源管理系统可以完成对能源数据进行在线的采集、计算、分析及处理从而实现对能源物料平衡、调度与优化、能源设备运行与管理等方面发挥着重要的作用。为了更好地促进我国工业企业对于能源管理的重视，提升企业能源管理的水平，我国自 2009 年 11 月 1 日正式发布了《能源管理体系要求》（GB/T23331-2009）标准。

企业能源管理系统的基础建设主要由能源管理中心、现场监测及计量和计算机网络环境构成。能源管理中心可选择安置在企业办公大楼内，并可根据各专业的特点和需要在各分厂安装操作员工作站，实现协同管理。在各分厂车间或办公室的相关责任人在合法登录的情况下可通过 IE 浏览器访问系统的实时数据和用能统计数据等；现场监测及计量部分主要包括各类监测及计量仪表、衡器监测系统、PLC 系统或 DCS 系统等，经由 EMS 数据采集终端集中接入，为整个项目系统提供数据源。

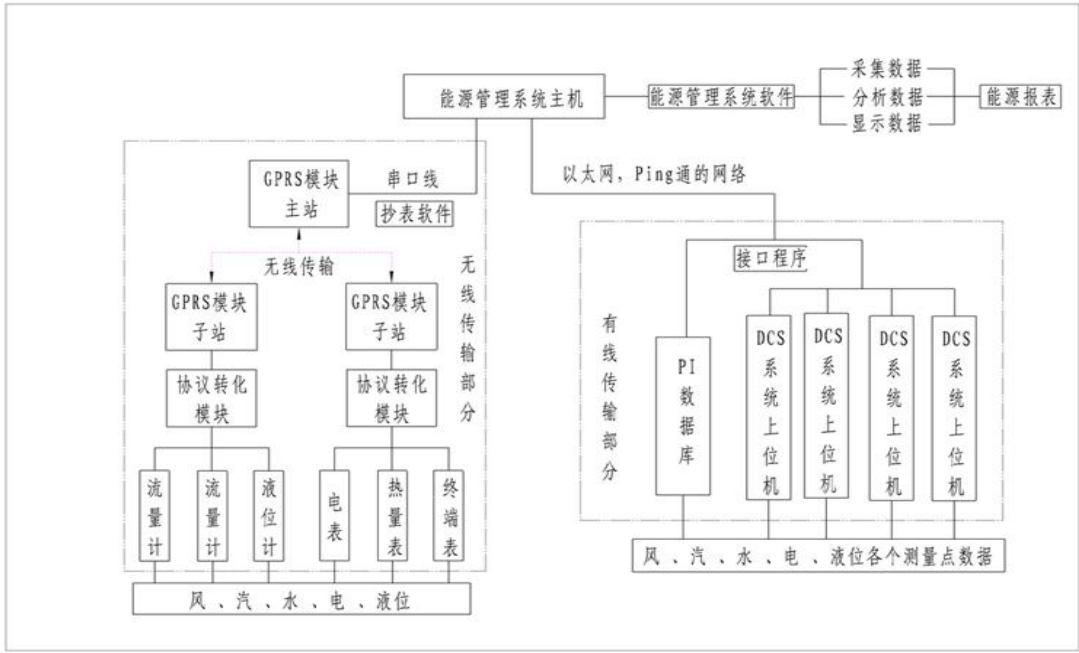


图 3-1 能源管理系统示意图

（1）能源监测计量系统

因企业自动化水平不同，该子系统划分为两部分：一部分直接从现场获取数据，实现对能源使用信息的数据采集、传输、加工处理。该系统由中心控制室、企业变电所集中监测、车间工序机台分散监测、企业能源监控后台、能源远程监控后台等主要部分组成，主要完成能源数据的实时采集和报的功能，是企业能源管理数据的主要来源。采集系统主要由中心接收服务器和下位采集终端两部分组成，下位采集终端获取实时数据，设定报文协议，通过硬件设备采用一定的传输方式把实时数据发送给中心数据接收服务器；数据采集系统保证数据的实时传递的同时，大幅度减少网络数据通讯量和中心服务器的负担，保证中心服务器的稳定可靠，可以根据用户需要保存一定时间的数据，保证在通讯链路故障时的数据不会遗失，最大限度的保证数据的完整性和连续性。

继第三代控制系统 CCS（CCS: Computer Control System 中央控制计算机系统）之后,为了提高系统的可靠性,人们又研发推出了第四代控制系统 DCS(DCS: Disrtibuted Control System 分布式控制系统)，但在变电站配电室所特有的变化快、强干扰环境下，DCS 系统使用效果不尽人意。随着计算机网络技术的发展和智能器件研发的长足进步，第五代控制系统 FCS（FCS: Fieldbus Control System 现场总线控制系统）在变电站、配电室的监控环境下应运而生。

（2）能源分析预测系统

该子系统是在现场数据采集的基础上，完成企业生产过程控制的能源管理。主要功能包括能源生产、供应动态平衡系统动态调度、能源消耗计划、核算管理、

监测和计量自动化、数据处理和分析、能源管理和考核、能源供需实绩分析、能源计划管理、能源质量管理、预测分析、报警管理、事故预案与分析、能源审计、报表和报图、运行优化及闭环控制、WEB 实时发布等。

(3) 能源辅助管理系统

该子系统在数据采集子系统,生产能源管理子系统的基础上,为企业决策层进行能源管理,制定能源决策提供服务。主要子系统包括:设备维护管理子系统、物资管理子系统、生产安全运行管理子系统、原料管理子系统、生产统计子系统、成本分析子系统、企业门户管理子系统、安全控制子系统。

3.2 行业技术水平

经行业专家评估及筛选,提出适合在行业内推广的 18 项节能减排技术清单和 3 项重点关注的技术。由于技术的分类标准不同,在一类技术和二类技术中有重合的技术。具体见下表。

表 3-1 筛选出的能源管理系统节能减排技术清单

号	技术名称	行业/系统
一	按系统类别分类	
1	中央控制计算机技术 CCS	能源管理中心
2	分布式控制技术 DCS	能源管理中心
3	现场总线控制技术 FCS	能源管理中心
4	智能配电系统	能源管理中心
5	PLC 技术	现场监测和测量
6	智能监测仪表技术	现场监测和测量
7	芯片集成技术	现场监测和测量
8	现场数据采集技术	现场监测和测量
9	物联网/云计算技术	网络环境
小计	9 项	
二	按行业分类	
1	数据中心全面能耗解决方案	通信、计算机
2	中央空调能源解决方案	建筑
3	建筑能耗统计和实时监测系统	建筑

号	技术名称	行业/系统
4	高耗能企业能源管理平台	钢铁、水泥、化工、 有色金属冶炼
5	卷烟企业能源管理平台	烟草
6	地铁能源管理系统	交通
7	火电能源管理系统	电力
8	家庭能源管理系统	民用
9	车用动力能源管理系统/电池管理系统	汽车
小计	9 项	
共计	18 项	
三	重点关注技术	
1	空气冷却技术	
2	微网技术	
3	物联网/云计算技术	
共计	3 项	
合计	21 项	

由上表可以看出，所筛选出的 21 项成熟的节能减排技术，其中目前国内已经投入运行的技术 18 项，重点关注的技术 3 项，重点关注技术可能是未来几年内企业能源管理系统发展的方向。

通过调查先进适用技术在市场中所占份额（技术普及率），技术水平和未来发展方向，将上述 18 项技术水平评价分类列于下表。

3.2.1 按系统类别分类

表 3-2 能源管理系统按系统类别节能减排技术清单

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
一	按系统类别分类				
1	中央控制计算机技术 CCS	能源管理中心	●		
2	分布式控制技术 DCS	能源管理中心	●		
3	现场总线控制技术 FCS	能源管理中心			●
4	智能配电系统	能源管理中心			●
5	PLC 技术	现场监测和测量		●	

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
6	智能监测仪表技术	现场监测和测量		●	
7	芯片集成技术	现场监测和测量		●	
8	现场数据采集技术	现场监测和测量	●		
9	物联网/云计算技术	网络环境			●

其中，成熟技术系指已广泛在各生产工序中应用，共计 3 项，占 9 项的 1/3。先进技术系指根据各企业产品特点和工艺改造时应采用的技术，共计 3 项，占 1/3。国际先进技术共计 3 项，占 1/3。

3.2.2 按行业类别分类

表 3-3 能源管理系统按行业类别分类节能减排技术清单

序号	技术名称	工序	技术水平等级		
			成熟	国内先进	国际先进
二	按行业分类				
1	数据中心全面能耗解决方案	通信、计算机		●	
2	中央空调能源解决方案	建筑		●	
3	建筑能耗统计和实时监测系统	建筑		●	
4	高耗能企业能源管理平台	钢铁、水泥、 化工、有色金属 冶炼		●	
5	卷烟企业能源管理平台	烟草		●	
6	地铁能源管理系统	交通		●	
7	火电能源管理系统	电力		●	
8	家庭能源管理系统	民用		●	
9	车用动力能源管理系统/电池管理系统	汽车		●	

目前国内企业能源管理方面仍处于初步发展阶段，因此大部分技术均为国内先进技术。

第四章 节能减排先进适用技术

4.1 无功补偿技术

4.1.1 技术介绍

（1）技术应用节点

无功补偿技术的基本原理是：从系统侧看，把具有容性功率的负荷与感性功率的负荷并联在同一电路中，当容性负荷释放能量时，感性负荷吸收能量；而感性负荷释放能量时，容性负荷吸收能量，能量在两种负荷之间互相交换，补偿需要由电源提供的无功功率。

高压动态无功补偿发生装置，即静止同步补偿器，又名静止无功发生器，是第三代无功补偿装置。由于其开关器件为 IGBT，所以其动态补偿效果是早期的同步调相机、电容器和无功补偿装置不能比拟的，无功补偿装置以其较低谐波、较高的效率、较快速的动态响应，成为现代柔性交流输电系统中的重要设备，是未来无功补偿技术的发展趋势。

该装置主要用来补偿电网中频繁波动的无功功率，抑制电网闪变和谐波，提高电网的功率因数，改善高压配电网的供电质量和使用效率，进而降低网络损耗，有利于延长输电线路的使用寿命。

（2）技术基本原理

SVG 的原理就是适当地调节桥式电路交流侧输出电压的幅值和相位或者直接控制其交流侧电流就可以使该电路吸收或者发出满足要求的超前 90° 或滞后 90° 的无功电流，从其原理上来补偿和实现动态无功补偿的目的。

SVG 以三相大功率电压逆变器为核心，其输出电压通过变压器或电抗器接入系统，与系统侧电压保持同频、同相，通过调节其输出电压幅值与系统电压幅值的关系来确定输出功率的性质与容量，当其幅值大于系统侧电压幅值时输出容性无功，小于时输出感性无功。

其原理如下图所示：

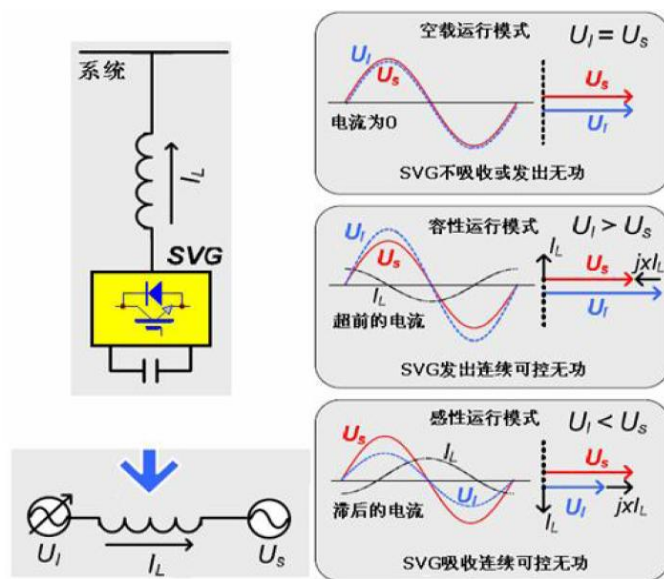


图 4-1 SVG 工作原理示意图

4.1.2 技术发展水平

无功补偿技术经历了以下三个发展阶段：以并联电容器和并联电抗器为代表的第一代无功补偿装置；第二代的静止无功补偿器(SVC)；第三代的静止无功发生器(SVG)。同步调相机由于自身的缺点，正逐渐被其它无功补偿方式取代。从总无功补偿容量上看，并联电容器补偿仍然是现在国内外主要的无功补偿方式。并联电抗器主要用于输电系统中。SVC无功补偿已经形成了成熟的技术方案，在输配电系统中得到了很好的应用，它在提高电网稳定性以及改善配电系统的电能质量等方面发挥了重要作用，现在研究的重点是研制高可靠性、大容量的 SVC。新型无功补偿装置(SVG)具有响应速度快、吸收无功连续、产生的高次谐波量小等优点，代表着无功补偿技术的发展方向。在大容量无功补偿领域，SVG 性价比有待进一步提高，才能进一步拓展其市场前景。

第一代的并联电容器和并联电抗器适合于负载变化慢、补偿性能要求不高的场合。只有当系统无功发生变化时，控制器根据变化量来控制电容器或者电抗器的投切。其投切开关一般用接触器或者接触器和可控硅并联，由于受所用元器件固有特性的限制，当控制器检测到无功变化需要投切一定容量的无功补偿容量时，要延时一定的时间才进行投切。采用并联电容器进行无功补偿，其补偿是有级的、定时的，因此补偿精度差；不能做到无涌流投入电容器，这不但影响电容器的使用寿命，而且增加了系统谐波电流。并联电抗器可以采用可控电抗器，它借助控制回路直流的励磁改变铁心的饱和度(工作点)，达到平滑调节无功输出。

第二代 SVC 和第三代 SVG 都是动态无功补偿装置，一方面，补偿的跟随性能好，可以实现一个正弦波周期内作出响应。另一方面，不但可以补偿感性无功，

而且可以补偿容性无功。但两者有所不同，在大多数 SVC 装置中，SVC 本身产生一定量的谐波，如 TCR 型的 5、7 次特征次谐波比较大，占基波有效值的 6% 左右，所以 SVC 系统输出必须增加滤波器。而在 SVG 中，可以采用 PWM 技术、多电平技术或多重化技术，可以消除次低次谐波，并能减小较高次谐波，如 7、11 次等，SVG 经过电抗器接入电网，其作用是滤除产生的高次谐波，并连接变流器和电网，所以需要的电感值比较小，如果采用串联变压器将 SVG 接入高压电网中，还可以利用变压器的漏抗，进一步减小电抗器的电感值。而 SVC 装置的补偿容量直接和电抗器的容量相关，所以与相同容量的 SVG 相比，SVC 需要的电抗器大的多；由于 SVG 的基本拓扑结构采用 6 对开关管，采用 PWM 控制技术，适合于数字信号处理器(DSP)控制，其运算速度快，处理能力强，使得复杂的控制算法在一个开关周期内可以实现，因此 SVG 跟随性比 SVC 强，快速调节的典型值为几个 ms，具有优良的静态性能和动态性能。由于 SVG 采用较多的全控型开关管，其价格比采用普通晶闸管作为开关管的 SVC 高，特别是高压全控型开关管。当然，在高压系统中无功补偿可以采用前面提到的串联变压器，但是由于变压器损耗的存在，会降低整个装置的效率。

具体如下：

1、调相机

早期的无功补偿装置以同步调相机为典型代表，它相当于空载运行的同步电动机，在过励磁运行时，向系统发出感性无功功率，起到无功电源的作用；在欠励磁运行时，它从系统吸收感性功率，起到无功负荷的作用。通过自动励磁调节装置，同步调相机可以根据装设点的电压数值平滑改变输出(吸收)无功功率，进行电压调节，也有利于提高系统的稳定性。但是同步调相机是旋转机械，有功损耗较大，约为容量的 1.5%~5%。小容量的同步调相机单位容量的投资费用较高，所以同步调相机一般宜于大容量集中使用。至今在无功补偿领域中这种装置还在使用，而且随着控制技术的进步，其控制性能还有所改善。

2、电容器

在系统中并联电容器，即增加了容性负载，从系统吸收容性无功功率，相当于发出感性无功功率，满足线路和感性负荷的感性无功功率需求，达到无功补偿的目的。采用电容器进行无功补偿，一次性投资和运行费用都比较低，且安装调试简单损耗低，效率高(损耗只有本身容量的 0.02%左右)，既可以集中使用，又可以分散装设。目前，国内外电力系统中约 90% 的无功补偿容量是采用并联电容器实现的，但是并联电容器供给的无功功率与所在节点电压的平方成正比 ($Q_c = V^2/X_c$)，当节点电压下降，需要增加无功功率时，其供给系统的无功功率反而减小。换言之，从补偿效果上说，系统电压变动时，并联电容器补偿效果不理想。

3、电抗器

并联电抗器是无功补偿装置的重要组成部分，用来提高感性无功功率以平衡电力系统过剩的容性无功功率，这在电力系统初期输送功率较小及后期轻负荷时都是十分必要的。因为在上述两种情况下，输电线路感性无功功率小，而导线的电容效应使输电线路产生的容性充电功率大于输电线路上的感性无功功率，为了维持系统的电压水平，必须满足系统无功平衡，否则电力系统的电压会升高，无法保证安全运行。

4、无功补偿器(SVC- Static Var Compensator)

静止无功补偿器(SVC) 是第二代无功补偿装置，它被广泛用于输电系统波阻补偿及长距离输电的分段补偿，也大量用于负载无功补偿。其典型代表是固定电容器+ 晶闸管控制电抗器(FC+TCR) 、晶闸管投切电容器(TSC) 及晶闸管投切电抗器(TCR)。无功补偿基本原理：通过控制晶闸管触发角，改变接入系统中的等效电纳，从而调节系统无功功率输出。TCR 无功补偿存在两个问题：一方面，由于晶闸管的半控特性，一旦被触发导通，只能待流过它的电流小于维持电流后才关断，因此在每半个电源周期内，反并联晶闸管对只能受控导通一次。也就是说，TCR 不可避免地存在原理上的控制滞后，制约着补偿系统动态响应性能的提高；另一方面，由于 TCR 装置是通过改变电抗器来调节其输出的无功功率，可以等效为可控电抗器，其输出的无功功率与系统电压的平方成正比，因此在系统电压降低时，TCR 输出的无功功率也会随系统电压下降呈平方降低。并且由于 TCR 是电抗型，接入系统时改变了电力系统的阻抗特性，需要防止系统出现谐振。

5、静止无功发生器(SVG)

随着电力电子技术进一步发展，出现了采用自变换变流电路的静止无功补偿装置，即静止无功发生器(SVG)，或称为静止同步补偿器(STATCOM)。这可以称为是无功补偿装置的第三代。

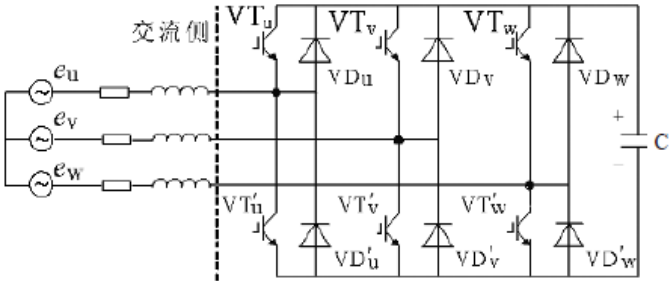


图 4-2 SVG 等效电路图

SVG 的等效电路如上图所示，由于在 SVG 中采用全控型器件(GTO 或

IGBT)，其交流侧电压的相位(以电网电压的相位为基准)是任意控制的，虽然交流侧电压的幅值受直流侧电压幅值限制，但在一定的范围内也是可控的，所以可以通过控制交流侧电压幅值和相位来改变交流侧电流的幅值和相位，即可实现交流侧电流相位超前或者滞后电网电压相位 90°，完成发出无功功率或者吸收无功功率的功能。从电力系统一侧来观察，可以把无功发生器看成是与电网频率相同、相位可控的交流电压源。如果不考虑无功发生器的损耗，它与系统之间只有无功交换，没有有功交换，直流侧电容电压保持不变。只有在 SVG 启动时，吸收一定量的有功功率给电容充电，建立直流电压。在正常工作时，由于损耗的存在，电网电压矢量和电流矢量不可能垂直(小于 90°)，即需要从电网中吸收有功功率补偿 SVG 的损耗。由于高压全控型器件价格高，SVG 用于低压系统时，可以直接通过交流电抗器连接到电网上，而用于高压系统时，通过串联变压器与电网连接。

4.1.3 技术适用条件

无功补偿技术广泛应用于冶金、电力、煤炭、石化、电气化交通等领域等行业，适用远距离电力传输、城市二级变电站（66/110kV）、电弧炉、轧机、电力机车供电、提升机等其他重工业负载。

4.1.4 实施建设内容

(1) 关键工艺设备

SVG 的组成部分主要由连接电抗器、启动装置、IGBT 换流阀组、控制系统、等部分组成。

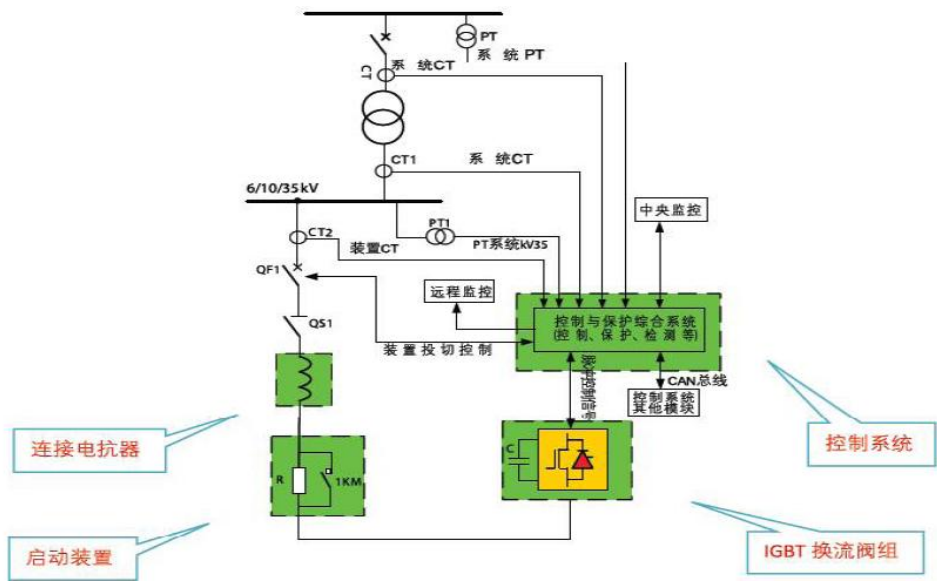


图 4-3 SVG 结构图

(2) 主要技术指标

电网电压：单相/三相，50Hz

6kV/10kV/35kV/27.5kV/55kV

允许运行电压：<120%

功率因数：>0.96（补偿容量范围内）

谐波：满足 GB/T 14549-93 的要求

系统响应时间：最快可达 5ms

输出三相电压的不平衡度：低于 5%

4.1.5 节能减排效果

无功补偿技术有很好的节能减排效果，这里以某重工集团和某牵引变电所谐波治理的无功补偿控制系统的应用为例来说明其节能减排效果。

重工集团采用无功补偿技术实现动态无功补偿，功率因数提高到 0.95 以上，降低线路损耗电量、消除电网谐波，提高电网运行质量。

该技术通过减少发热，进而延长设备寿命，并提高电动机的起动电压，降低设备运行能源消耗。按照一般电网用电设备的功率因数平均为 0.85，进行补偿后的功率因数提高到 0.95 来计算，原来的无功损耗可降低 40.72%。若采用信息控制技术将补偿后的功率因数进一步提高到 0.97，可以降低无功损耗 53.85%。

牵引变电所所在京沪线徐州至上海段行车密度较大，电力机车产生三相不平衡的谐波电流和基波负序电流注入系统，将使电力系统的电压波动，影响电能质量。加装了无功补偿全控型开关器件，安装变电所链式结构变流器的新型无功发生装置（SVG），经过 2 年多运行效果显示，实现年均节约用电量 1328 万 kWh，节电率 42%。

4.1.6 成本效益分析

技术应用的成本效益以某重工·起重集团的无功补偿控制系统为例。该项目自 2006 年 6 月开始进入实质性研究开发和设计与试验阶段，2007 年开始在公司所属 14 个 10KVA 变电所进行安装测试，功率因素达到 0.96 以上，每年减少电费支出 60 万元。

4.1.7 技术应用情况

目前，国内 SVG 市场正处于起步阶段，尚未大规模普及，而且在一些对性能要求不是非常严格的场合，也可采用 SVC 进行无功补偿。目前 SVG 还只是在铁路等少数行业得到部分应用，但随着技术的不断进步，SVG 取代 SVC 是必然。预计到“十二五”末期，国内 SVG 市场占有率将达到 10%以上，实现节能 40%，年均节电 3 亿 kW/h 以上。

4.1.8 技术知识产权情况

- (1) 专利名称：一种自动控制并联电容器投切的 SVG 静态无功补偿装置
申请号/专利号：201020594114
申请人/专利权人：华北电网有限公司唐山供电公司；荣信电力电子股份有限公司
- (2) 专利名称：一种大容量静止无功发生器
申请号/专利号：200420076144/200410060663
申请人/专利权人：华中科技大学
- (3) 专利名称：配网侧静止无功发生器
申请号/专利号：200920065845
申请人/专利权人：长沙学院
- (4) 专利名称：一种模块并联式静止无功发生装置
申请号/专利号：200920213183
申请人/专利权人：上海聚动交能电气电子有限公司
- (5) 专利名称：电网静止同步补偿装置
申请号/专利号：201020183531
申请人/专利权人：潍坊共业电子科技有限公司
- (6) 专利名称：基于晶闸管的静止同步补偿器
申请号/专利号：200610002138/200620022786
申请人/专利权人：清华大学
- (7) 专利名称：静止同步无功补偿装置
申请号/专利号：200920026038
申请人/专利权人：山东鲁电电气集团有限公司
- (8) 专利名称：一种模组化结构的可移动式静止同步补偿器
申请号/专利号：201010624232
申请人/专利权人：中电普瑞科技有限公司;中国电力科学研究院;上海市电力公司
- (9) 专利名称：一种静止同步无功补偿装置
申请号/专利号：201020254785
申请人/专利权人：山东能发实业有限公司
- (10) 专利名称：低压三相静止无功同步补偿器
申请号/专利号：200620051227
申请人/专利权人：栗时平

4.2 数字可视化监管平台技术

4.2.1 技术介绍

（1）技术应用节点

数字可视化能效监管信息平台技术实质就是在网络技术、多媒体技术、数据库技术等信息技术支撑下，按照企业统一的数据标准与格式，将各种不同的能源购入信息与能源使用流通信息进行采集、加工、处理、汇总、分类，并将其分别存储于具有不同权限级别和业务主题层次的数据库中，并以有利于管理和决策的方式进行展现，通过系统地各个层面上进行生产经营活动的人机交互。

数字可视化能效监管信息平台为企业的整个生产过程提供供能决策、供能计划、供能分配与传输、供能结算与考核、供能安全预警、自动化分析与报表等系统。提供实时监测，完成整体供能的优化调度和管理，实现安全、优良供能，提高工作效率、降低能耗等。

能效监管信息平台应建立在专门的能源管理中心，其管理的对象覆盖全集团范围的各种大型供能设施。它由多个子系统构成，完成整个企业内信息的实时采集、海量储存、综合分析处理、协调运行调度等工作。

能效监管信息平台整合数据库功能后，做到多台数据库服务器数据共享，并与集团 ERP 或 OA 及其他相关系统实现接口功能，取得部分生产数据进行统计计算，传送能源分析数据。

（2）技术基本原理

通过分布在企业内部各处的能源数据采集装置及以有线或无线的现场总线将企业能源使用情况动态的实时转化为更直观的图形、表格方式展现出来。建立虚拟能源管道，保证能源从第一次进入企业开始，到转化、分配、传输、使用、回收等七个环节都保持高效，无浪费。能源数据存入数据库，通过为企业定制开发的各种数学模型，对企业的用能情况进行分析，从而得出设备的能耗效率高低，员工个体能源使用是否存在浪费，工艺流程是否可以更节能更优化，单位产品能耗的下降空间、节能标杆等结论，帮助企业进入节能低碳运营行列。

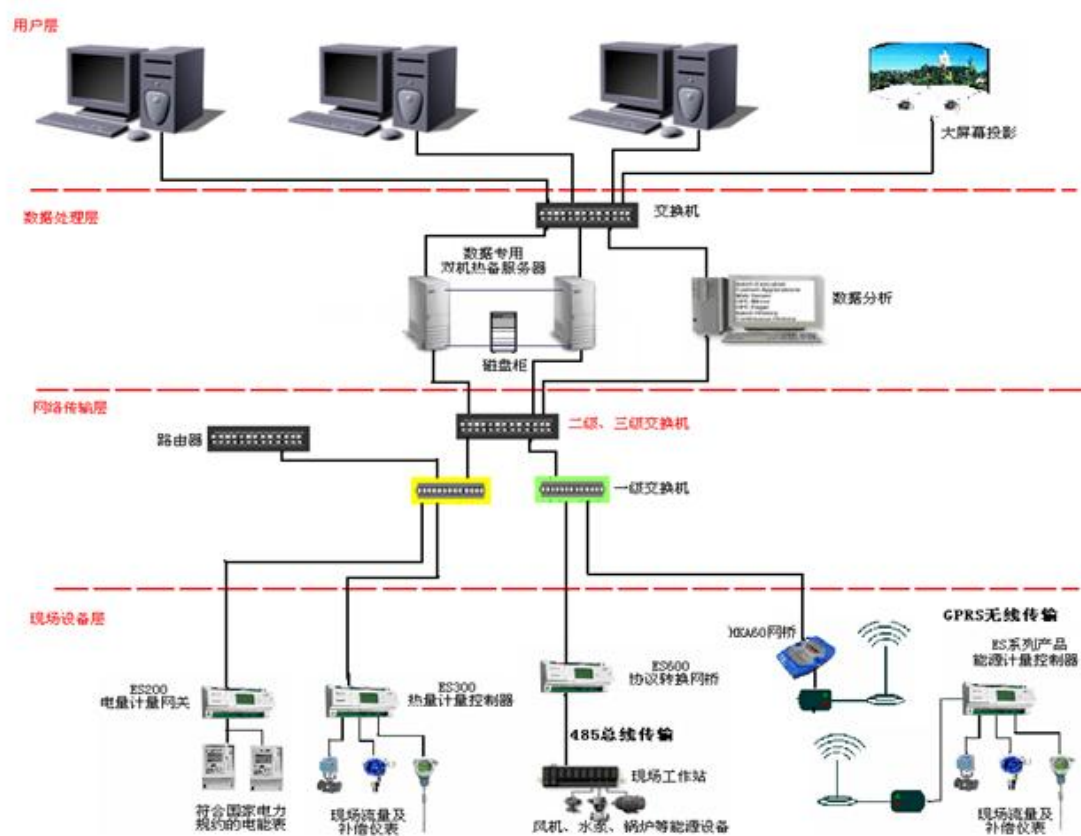


图 4-4 数字可视化系统网络结构图

数字可视化能效监管信息平台的能源信息处理包括信息的采集、存储、加工、传递、分析和发布等，覆盖能源购入、流通、使用的全过程。能效监管信息平台是将各个应用系统集成到一个统一的平台框架上，使得企业的各用能环节的信息、各种信息处理都能够实现互相通信、数据共享和流程直通处理，实现能管信息的集成、应用的集成和业务流程的集成。平台提供的统一资源管理和个性化工具使得企业高管、中层领导和普通员工可以从统一的平台上各取所需，方便灵活地获得权限范围内的服务。

从使用角度来看，信息平台是一个面向企业能源信息应用的分布式数据和应用系统，是企业能源使用支持和信息收集、处理和发布的中心，是一个承载数据通讯、安全保障、多级事务处理、目录管理合成的交互式集成平台；从开发角度来说，信息平台是一个通用的框架平台，为企业现有的设备、系统集成和新系统开发提供标准的“组装接口”和信息处理通道。

4.2.2 技术发展水平

数字可视化能效监管信息平台自2008年生成以来，经不断的改进和实践，其功能越来越强大。除传统的能源各流通环节的实时在线监测、主要生产装置和生产过程的实时监控外，还能够实现生成趋势分析、报警管理和事故追忆、生产成

本核算、计量数据管理、生产调度业务处理、全厂信息集成与发布等多种功能。具体功能如下：

（1）数据采集

信息平台与各工作站通讯，采集各能源节点流量、压力、温度等实时信息，数据采集更新周期保持与现场数据刷新时间同步。信息平台可根据用户的需要自由定义采集周期，国内先进的管理系统数据采集率已经达到 100%。

（2）数据存储

信息平台在保存历史数据上采用了高效的压缩技术，使得历史数据可以保存很长时间。能源管理及生产调度信息化系统以数据原型在线存储数据一般不少于 5 年。数据的存储精度可以由用户自由设定。系统管理员可以在线调整每个数据点的数据保留精度。支持多种数据类型：整型、实型、字符型、开关量和二进制数据值等。数据库容量可根据用户的需要进行扩容。系统管理员可以在线调整历史数据库空间的大小，可以随时增加、删除、备份或恢复历史数据库文件。信息平台可以实现自动备份，还可以将系统从一台机器移植到另一台机器上。

（3）数据维护

信息平台支持在线和远方维护数据库、画面、报表和各种系统参数。提供数据库的在线及自动备份功能，能实现完全及增量备份；提供数据库的数据冗余功能，实现磁盘镜像或磁盘阵列；提供数据库的恢复功能，在实时数据库系统崩溃时，提供紧急恢复功能；提供实时数据库服务器、采集站的集中监控，能远程实现实时数据库服务器、采集站的重配置、启动、停止、切换等管理任务。提供标准化的通信接口让用户进行二次开发。

（4）厂级监视及综合查询

通过系统提供的客户端工具，可以根据用户的需要自由组态各种中文流程图画面、棒图、参数图、趋势图等，实时显示各种类型的数据、实时数据库服务器与接口机之间的通讯状态。可以通过流程图、趋势图和数据一览表的方式随意查询实时和历史数据，实现对各生产流程进行统一的监视和查询。支持插入对象，诸如 Microsoft PowerPoint、Microsoft Visio drawing、Microsoft Word、Microsoft Excel 等连接对象，可方便的根据用户的需要生成各种图文并茂的报表。可以根据用户的需要打印各种报表、图形和报警值。画面刷新周期可由用户自己定义。

（5）数据计算和统计分析

信息平台在生产过程各环节建立的数学模型对基本数据进行计算，并能对表示系统性能的参数值进行统计分析。数学模型模块提供了大量的计算函数，可以利用这些函数来实现一些较复杂计算，根据数学模型进行设备运行、性能和经济指标的计算。

生产模型主要是建立每个产品的每个工序和设备之间的关系。这种关系可

以通过数学公式建立，例如线性规划、整数规划、动态规划等；也可以通过自然语言的规则建立。将每个物料的工序、工序间的先后关系、每个工序的可用设备、可用设备间的优先级关系、设备的能力、效率表述出来。

信息平台在建立生产模型基础上，快速交付多种高度图形化、交互式的应用，用于能耗分析、关键性能测定、产品收益性分析、预测以及有效性能源分析信息分析，为企业量身订做针对不同层面的分析决策方式。

（6）生产成本核算

正确掌握各项用能结果信息，并提供各项统计、分析以产生有用的管理信息。为使用者提供适时正确能耗信息，并自动产生各类报表。建立与能源计量系统的数据接口，自动取得正确的能耗结果数据。提供简易使用的应用功能，自动对原定能源计划与真正能耗结果进行差异分析。提供以图形人机界面为基础的统计分析软件工具，制作各类动态或静态图形和打印报表。

对能源计划和结果间的差异分析反馈，有助于计划的适时调整，提高管理效率。自动化的数据收集及统计、分析，将节省大量人力并确保数据正确性，同时提高其时效性，加强能源信息的管理价值。

（7）用能过程监控

对主要耗能工艺过程或设备进行整体性监控，提供集成的图形人机界面，使工厂管理人员能在办公室内掌握车间单一或多装置的过程状态。协助建立工厂生产监控中心，由单一人机界面可了解全部工厂能耗状况。提供与各装置过程控制系统的连接接口，实现上、下之间的数据通信；提供动态图形显示功能，集成各装置的用能过程数据于集中式的监控画面，并提供分析、警示功能；提供实时数据库功能，使用者可任意查询各过程数据的状态值、历史值和累计值等，并能产生相关报表；建立与各生产管理应用系统的信息接口，将监控数据转化为有用的生产信息。同时，对多装置或较大范围的工艺过程进行监控，有助于工厂管理人员对生产状况的掌握，使生产更顺畅，并有效避免生产操作失误。正确收集过程数据，降低人工记录工作需求，保证数据准确性与时效性。

（8）综合计划调度系统

建立计算机辅助计划系统，运用先进数学方法及技术经济模型，适当制定中、长期（年、季、月）能源生产计划。根据中、长期生产计划，针对各企业情况，制定短期作业具体操作计划，包括周、日作业排序，以计算机辅助方式更快、更精确地完成。

建立能源调度计划，协调分厂间作业互动，以图形方式表现计划与调度结果。建立与生产计划、调度计划相关系统的接口（购入、输送、储运等等），自动取得各项所需的输入信息。

建立订单处理系统，将产品代号、产品名称、材质、结构、工序名称、工序

代号、工序次序、设备名称、设备代号、设备优先级、生产周期、生产节拍、父项产品、子项产品、数量、产出率、对应的销售订单号、交货期、交货期冗余度等作为对象属性，建立调度系统数学模型，能够预测并模拟生产过程中的不均衡性，并合理安排生产，能够极大缓解生产管理的压力，提高生产管理的效率。

建立订单预处理优化规则，通过订单的优先级、剩余加工时间、剩余加工时间冗余度等确定哪个订单先加工，哪个订单后加工。在预处理的时候能够预先知道这些产品能否按期完成，对于明显不能按期完成的订单进行处理。所有设计必须进行逻辑分析，避免规则的对立和不相容，根据规则之间的关系确定规则的运算方法，从大的方面确定了订单的完成优先顺序。

操作计划与排序涵盖生产调度、装置和生产线的开车 / 停车计划、过程或配比计划、能源流向路径计划等，并能借助过程数据采集系统反馈的结果对原计划进行分析比较，协助修订计划至更合理、具体可行。提高工厂 / 装置的运转利用率，扩大产量、提高经济效益，并适当配合营业目标。协助完成最佳的工厂活动安排，避免作业损失或迟延，提高生产率。

（9）设备维护管理

建立辅助工厂设备维护管理系统，将预防保养计划、派工、修护、设备履历维护等作业纳入系统应用范围。建立备件、能源库的库存系统，有效控制存量，并针对各项物料申请、入出库、修护记录等业务提供自动化作业环境。

建立备件数据库，集中管理各场、库的库存物资，并具备存量定额计算模型，自动产生采购建议表，提供在线查询、分析等信息处理功能。主动跟踪设备状态，建立预警系统及早维修保养潜在故障设备，避免意外停机的损失。

（10）能源储运管理

建立各工厂区储罐、管路的储存、输转等作业管理系统，准确记录所有库存变化、输转量等信息。正确管理能源采购、接收、储存的全作业周期的信息流，加强管制。对能源计划和结果间的差异分析反馈，有助于计划的适时调整，提高管理效率。自动化的数据收集及统计、分析，将节省大量人力并确保数据正确性，同时提高其时效性，加强能源信息的管理价值。

（11）实时生产作业管理（实绩考核）

将生产计划和能源调度结果的信息转化为过程操作条件等生产指示，传达至车间供操作人员执行或直接输入过程控制系统执行。系统所产生的生产数据，合并能效报告将结果自动制作绩效考核传回至工厂管理系统进行处理。

（12）环境污染监控

将各重要环境监测点（废水、废气、废渣产生来源、散布地区、处理场、排放点）的在线分析仪表纳入系统，并自动收集状况数据，以彩色图形方式显示监控情况。对所采集数据进行分析（警示值、趋势分析……），适时提供状况预警。

借助各监测点感测讯号，再连线至监控工作站，进行自动数据采集。提供彩色图形人机界面，以动态图、趋势图、历史数据累积等方式表达环境状态。早期监测废水、气污染状况，立即向生产单位或排放源告警，以进行改善，避免因环境污染造成的损失。

（13）管理层决策支持

提供针对整个集团数据库的统一能源信息查询界面，使各阶层管理人员能以简易、有效的作业随时取得最新、最正确的能源管理信息。提供针对各项能源管理信息的统计、分析、图表制作、报表生成、模拟、试算等决策支持功能，将基础数据提升为有效的管理信息。提供容易操作的信息处理界面，使用者能对数据库读取信息并利用各项应用工具，如统计模板、图表制作工具、试算表对其进行再处理，以变成有用的管理信息。

（14）财务管理

对总厂有关能源的资金、现金、应收、应付帐等财务资源提供更具效率与适时、正确的流向跟踪和汇报。集成各分厂级能源帐务信息以集中控管各项能源支出成本、财务数据，强化成本、利润、资金分析，不断追求效益最佳化。能提供在线财务、成本信息收集、更新与处理功能，对总厂内部各项能源财务、会计往来帐务进行自动化、无纸化处理。

（15）实时/历史数据的 WEB 发布

实时/历史数据的 WEB 发布提供以 IE 方式浏览全厂的生产实时数据，作为一个 ActiveX 控件，将工厂实时数据与互联网紧密地结合起来，实现了在 Internet/Intranet 环境下进行信息发布、趋势分析等多项功能。

（16）报警

信息平台对任何一个工位号进行报警条件设置，如高报警、高高报警、低报警偏差报警和数值大小变化率报警。这些报警可以送入历史数据库中，用户可以查询当前报警和历史报警记录。这些报警消息有助于用户解决引起报警的原因。用户可以根据需要制定各种报警机制，对重要设备，关键指标进行监控。报警管理和事故追忆。系统发生故障时，系统有自动报警功能，提供设置报警级别、报警权限功能和报警信息的记录、维护和管理功能；提供事故追忆功能，当事故发生时，系统产生报警，启动事故记录，记录相关报警、事件、时间及相关的大量信息。提供事故追忆的事故分析和管理功能，用户可以根据权限进行事故管理的设定、修改、取消等。

4.2.3 技术适用条件

数字可视化能效监管信息平台广泛适用于各种大中型企业集团，涉及石油、化工、机加工、矿山、水泥、冶金等诸多领域，可以充分利用企业现有环网优化

为全局性的能源信息化管理系统，构成覆盖基础自动化、过程监控及管理三个功能层次的计算机网络系统，并建立数据通信网络，完成计量、监测、结算、考核、分析、优化调度、信息集成于一体的信息处理平台。通过将网络技术和信息管理引入到系统，打破了传统系统的信息瓶颈，改变了原有的数据流程和监控管理模式，帮助企业实现了从分散控制和独立管理到管控一体化的转变。

4.2.4 实施建设内容

(1) 关键工艺设备

数字可视化能效监管信息平台由多个子系统组成，能源成本分析、财务预算、能源消费的实时管理、能源项目的财务分析、节能设备的动态监测、节能量的准确确认等，各子系统可独立运行，亦可组成大型能源管控系统。

能效监管平台结构设计：

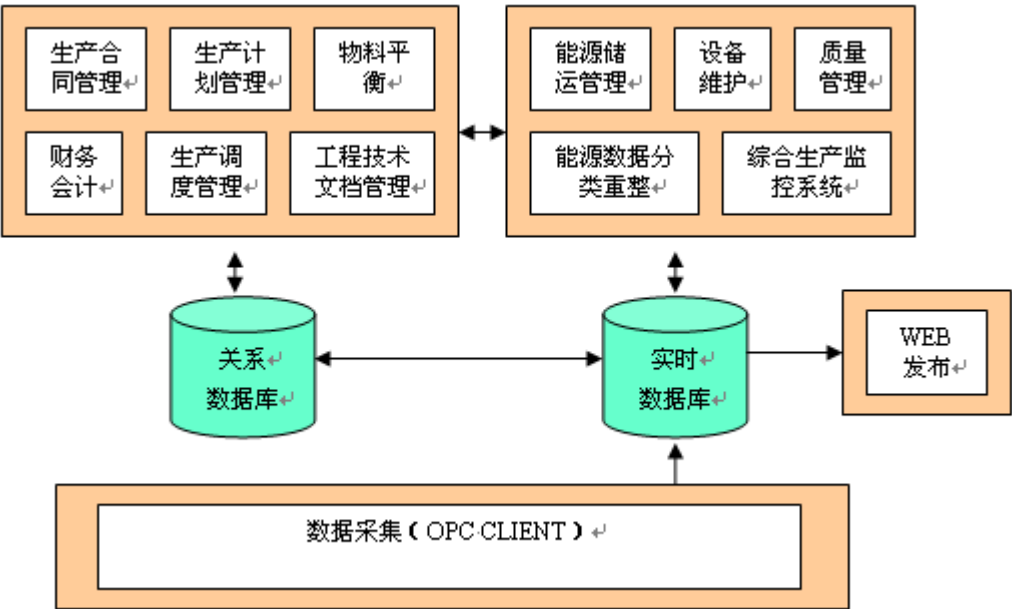


图 4-5 数字可视化能效监管信息平台结构

(1) 数据库服务器

数据库服务器通信接口可以兼容以太网、有线或无线等各种方式的数据传输、它挂接在局部网络上，带海量存储器等外设，具有复杂运算能力和较强的管理能力。它可以显示各节点工作站所包容的每一个数据点的信息，可以通过调用画面来了解系统各部分的各类信息，也可以操作管理各节点工作站，以至于各节点工作站所辖的各点。

功能：采用 OPC 数据传送模式，完成现场能源数据的收集、存储及发布；双机容错或双硬盘备份数据库；实时多任务操作系统；实时过程数据库；WEB 发布服务；历史趋势数据库；操作工的接口软件；工程师的接口软件。

(2) 信息化处理服务器

信息化处理服务器根据信息量和服务量大小可由一台或多台服务器组成。服务器直接连接到网络交换机上，通过与数据库服务器进行实时数据交互，实现全厂分布式数据访问，汇总和反馈能源信息、能源结算信息以及统计信息。数据库的运行和管理是信息化处理服务器的主要任务。

功能：完成现场能源数据汇总、整理；双硬盘备份数据库；实时多任务操作系统；关系型数据库；各种运算功能块接口；各种分析模块；工程师的接口软件。

数据库模型结合总体模型中的三层模型，实时数据库和关系数据库在整个系统中的作用和地位如下图所示。

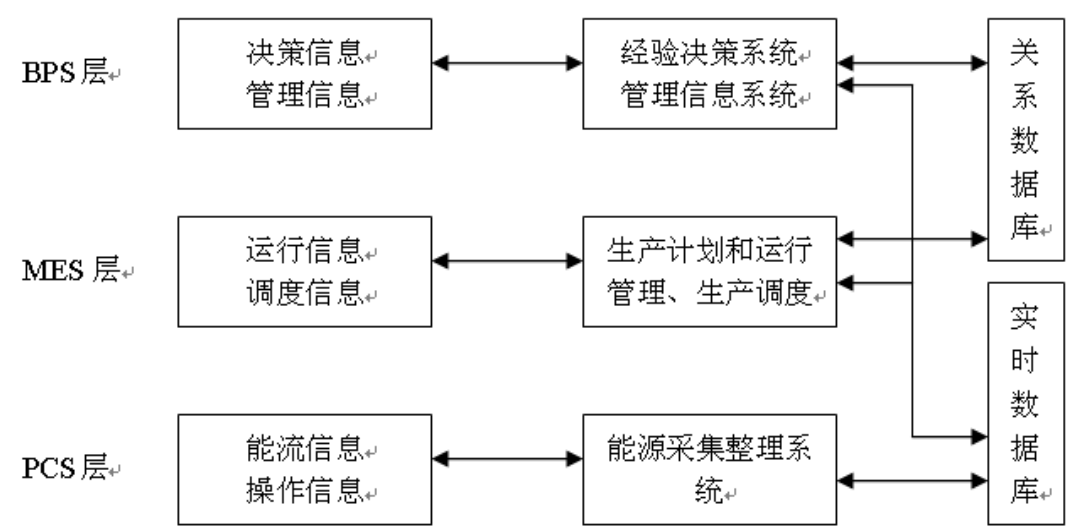


图 4-6 层次结构模型

(3) 实时数据库

实时数据库在能管信息管理平台建设中作为信息基础建设部分尤为重要，需要考虑：

系统可靠性：必须满足长时间可靠运行，系统能提供检测报告等。

系统功能：充分考虑当前应用需求和将来发展需求。

系统开销：系统性能指标情况。

系统结构：有效选择当前流程工业中领先技术的产品（如分布式结构）。

系统的开放性：主要考虑与自控系统的接口，支持 OPC 规范；支持用户开发接口，支持管理数据库联接。

系统安全性：有严格的访问权限控制。

使用方便性：从组态应用方面，以及配置流程图组态、数据报表生成、浏览器访问、配套软件工具等角度进行选择。

实时数据：为远程监控和企业信息管理系统提供可靠、及时的实时数据源。

（4）关系数据库

关系数据库技术是能管信息管理平台的核心技术，其应用水平的高低直接影响到企业管理水平的高低。作为企业能源信息化建设，必须将建立企业级能源数据库服务器作为首选，使其成为公司关键数据的集散地，为企业的信息应用与共享提供基础。基于 SQL 的对象关系型以及 Web 查询技术的数据库是能管信息管理平台的核心技术。应用关系数据库技术可以实现企业生产过程中能源分析及生产指导。

根据生产计划进行耗能预测，给出能源生产控制、采购和高层管理的信息，以便对企业的各部门用能进行计划和控制。关系数据库识别每天生产和消耗活动的的数据细节，对日常事物作出响应。通过主生产计划功能，将整个企业的用能计划同生产细节结合起来。

帮助系统定义产品用能清单和生产工艺流程的信息，适用于各部门中各种计划和成本核算的要求，具有直接的联机过帐能力和可存取全部的产品结构、工艺和能耗计划清单等信息。

识别生产过程中的能源瓶颈和出现瓶颈之前的积压问题，指出了关键加工中心负荷，并允许更好地调度工艺流程和人工计划。

给生产管理提供了精确的、实时性的能耗信息。这些信息是关于加工、在制品和生产活动的。可支持详细的计划与调度，对车间定单或主生产计划的主要内容进行选择。在潜在的主要生产问题发生前后，可以帮助管理人员控制实际生产和效率。

可以直接从车间或仓库采集数据，并尽可能地减少人工干预，以获得更高的精度。采用了大量的工业标准接口可将数据送入很多现有的模块中，以便实时数据采集。用户可以方便地裁剪系统以提供附加数据。

提供了能源采购管理模式，用以解决能源采购的建立和跟踪，采购和绩效的衡量等问题，将计划、采购和检验联系在一起，有助于在分配和制造环境中形成闭环控制。

库存管理使用户获得简洁、准确的库存管理信息，用于能源库存进行计划和控制，它能对财务和生产控制目标进行详细分析和汇总。

预测机制从产品订单中接受反馈以形成闭环，这些应用是有关需求、发货和主生产计划执行情况的信息。预测功能提供了一些关键的变量和数据，用于确定未来的库存和能力方面的需求。

绩效评估是在实施期间用于回答高层管理人员、项目执行小组成员在产品运行过程中为公司发展而关心的一些重要问题。作为一个积累和监控企业重要信息的工具，绩效评估可以提供和反馈财务方面的信息。系统能在问题发生之前就指出来，为实施提供帮助。它可以评价每一阶段的成果是否达到了预定的目标，帮

助决定改进方向，绩效评估通过自动采集和计算企业的能耗数据，并将结果同预算或目标进行比较，然后用直方图的形式显示出来，并具有详细的溯源、报表和查询，指出未来的改进趋势的能力。

如对各职能部门、生产厂区实现定制统计运算，当日出报表统计产、耗量，做到日清日结；统计产量、耗量，设定能耗计划、计算历年生产/消耗同期对比。

成本统计提供了准确、及时的能源成本信息，控制确定成本和生产率的变化。系统对生产成本和制造决策提供关键的管理信息。应用系统对工作效率的提升效果如下：

- 1) 每天每人业务处理数据准确率达 99.9%；
- 2) 形成典型报表所需的时间 < 30 秒；
- 3) 数据采集的精度 > 99.99%；
- 4) 办公自动化提高 70%；
- 5) 获取数据信息所需的时间 < 5 秒。

4.2.5 节能减排效果

数字可视化监管平台的节能减排效果以海化工业园某企业能源监管信息系统节能数据为例：该企业是中国化工业第一个循环经济工业园，企业的工艺复杂，厂区面积大，在运行管理系统前整个厂区能源计量数据和成本结算全部是人工抄表，人工报表等；在企业建设能源监管系统后总能耗降低了 15%，系统实时数据为企业的调度系统、企业结算系统等提供了重要依据，第一年为海化集团节约资金 570 万人民币。采购能源管理系统投入成本为：360 万元人民币，年内收回投入成本。

4.2.6 成本效益分析

该项技术的经济收益主要体现在：1) 通过全面的监、控、管、改，企业的能源利用效率全面提升，直接为企业带来能源节约，从而大大降低了企业的运营成本；2) 实现企业总体节能减排目标从管理层向企业员工进行可量化目标分解并得以落实，真正实现量化管理；3) 让企业高层、管理层、基层均可以获取相应的能源分析数据，真正实现能源动力在企业中透明化流转；4) 企业整体节能意识的提升结合有效的能效考核机制的建立。

具体的成本效益以国内某大型柴油机制造企业为例：从 2006 年起，企业建设老工业园能源计量系统后，建设能源监管系统后总能耗降低了 26%，通过流程优化、绩效考核、意识提升等第一年就为企业节约资金达 1380 万人民币；这相当于为企业创造纯利润 1380 万人民币，按国内大企业纯利润达到 10%推算，相当于为企业创造了 1.38 个亿的销售额。采购能源管理系统一期投入成本为：

760 万元人民币，当年收回投入成本；并建立了全新机制的能源管理中心。随后又陆续建设了新工业园能源监管系统、临港工业园及正在建设中的集团能源信息平台共四期的建设。全厂实现 1300 多个计量监测点自动化数据采集，自动化报表分析，自动能源平衡等，能源管理水平迈入国际先进行列，已经基本实现信息化能源管理，建成了海量数据分析型的现代化能源管理中心。

4.2.7 技术推广应用情况

目前国内能源管理市场正处于起步阶段，根据国家统计局数据分析国内尚有 96% 的能源未进行有效管理，能源管理尚未大规模普及。目前能源管理系统还只是在钢铁等少数行业得到部分应用。未来随着能源费用高启、节能减排的压力，全面推广能源管理信息平台是必然之路。预计到“十二五”末期，国内能源管理市场将有 30%~50% 的大中型企业建设能效监管信息平台，实现能效提升为 15%~35%，这将是一个巨大的应用市场和节能市场，产生的节能量将不可估量。

4.2.8 技术知识产权情况

专利名称：能源计量控制器

申请号/专利号：ZL03207191.4

申请人/专利权人：北京华控自动化系统有限责任公司

另有两项专利正在申请中；

软件著作权证书号：

著作权编号：2006SR01992

企业能源管理系统 (简称：Energy SCADA)；

串行口与TCP通信协议转换软件V1.0(简称：HKA 串口/TCP转换软件)；

软著所有人：北京华控自动化系统有限责任公司