

装备制造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

第一章 导言.....	1
1.1 编制目的.....	1
1.2 适用范围.....	1
1.3 编制依据.....	1
1.3.1 行业清洁生产标准.....	1
1.3.2 污染排放标准.....	1
1.3.3 工艺消耗定额.....	2
1.3.4 相关管理标准.....	2
1.3.5 行业准入条件.....	2
1.3.6 其它相关技术政策.....	2
1.4 术语及定义.....	2
1.4.1 材料利用率.....	2
1.4.2 铸件成品率.....	3
第二章 装备制造业资源能源消耗及产排污情况.....	4
2.1 行业类型划分.....	4
2.2 能源消耗情况.....	9
2.2.1 能源消耗特点.....	9
2.2.2 能源消耗强度.....	10
2.3 资源消耗情况.....	11
2.3.1 资源消耗特点.....	11
2.3.2 资源消耗强度.....	11
2.4 污染物排放情况.....	11
2.4.1 污染物排放特点.....	11
2.4.2 污染物排放强度.....	13
2.4.3 行业特征污染物与排放水平.....	14
第三章 装备制造行业技术现状.....	17
3.1 装备制造行业技术结构.....	17
3.1.1 装备制造行业节能减排技术体系.....	17

3.1.2 典型行业节能减排技术结构.....	24
3.2 装备制造业节能减排技术水平.....	27
3.2.1 生产过程节能减排技术水平.....	28
3.2.2 资源能源回收利用技术水平.....	30
3.2.3 污染物治理技术水平.....	30
3.2.4 产品节能减排技术水平.....	31
第四章 节能减排先进适用技术.....	33
4.1 生产过程节能减排技术.....	33
4.1.1 多供电（一拖二、一拖三）感应电炉供电技术.....	33
4.1.2 外热风水冷长炉龄冲天炉熔炼设备.....	34
4.1.3 中小铸铁件流水线余热时效退火技术.....	36
4.1.4 大型铸铁件地坑控温余热时效退火技术.....	37
4.1.5 频谱谐波时效技术.....	38
4.1.6 精密组芯造型铸件近净成形技术.....	41
4.1.7 程控液压锻锤.....	43
4.1.8 精密剪切技术.....	46
4.1.9 前上料短行程铝挤压技术.....	48
4.1.10 精密冲裁成形技术.....	50
4.1.11 高效率空气自身预热烧嘴.....	51
4.1.12 非调质钢在锻件中的应用.....	52
4.1.13 多工位高速精密成形技术.....	54
4.1.14 锻造模拟技术.....	58
4.1.15 冷摆动辗压成形技术.....	59
4.1.16 电动螺旋压力机.....	61
4.1.17 真空热处理技术.....	65
4.1.18 可控气氛热处理技术.....	67
4.1.19 加热炉陶瓷纤维炉衬保温技术.....	68
4.1.20 晶体管电源感应加热技术.....	70
4.1.21 计算机精密控制热处理技术.....	71
4.1.22 化学热处理催渗技术.....	72

4.1.23 轴承精密冷辗扩技术.....	73
4.1.24 轴承钢管冷冲切无切屑下料技术.....	76
4.1.25 轴承套圈高速精密锻造技术.....	77
4.1.26 轴承套圈三联套锻工艺技术.....	78
4.1.27 G8SiMnMoVRE 耐冲击高淬透性轴承钢应用技术.....	80
4.1.28 轴承钢智能退火技术.....	81
4.1.29 轴承套圈锻造整径技术.....	82
4.1.30 细晶非调质钢应用技术.....	82
4.1.31 紧固件模具优化技术.....	84
4.1.32 紧固件新型除锈工艺技术.....	85
4.1.33 紧固件锻造加热设备优化技术.....	87
4.1.34 热处理网带炉氮-甲醇保护气氛.....	88
4.1.35 紧固件少无切削加工技术.....	89
4.1.36 紧固件中低温磷化技术.....	90
4.1.37 回火炉保温层改造技术.....	91
4.1.38 热卷弹簧碾尖、卷绕与连续中频淬火技术.....	93
4.1.39 黑色磷化工艺.....	94
4.2 资源能源回收利用技术.....	95
4.2.1 粘土砂、呋喃树脂砂型铸造废砂循环再生技术.....	95
4.2.2 酯硬化水玻璃砂（或碱性酚醛树脂砂）干热法再生技术.....	96
4.2.3 锻后余热处理的技术.....	97
4.2.4 双层辊底式连续球化退火炉余热利用退火技术.....	99
4.2.5 高效空气换热技术.....	100
4.2.6 机床行业再制造技术.....	102
4.2.7 汽车零部件行业再制造技术.....	105
4.3 污染物治理技术.....	107
4.3.1 冲天炉高效余热利用及除尘一体化技术.....	107
4.3.2 轴承企业工业废水处理及回用技术.....	108
4.3.3 磨削液集中供应、过滤、处理、循环使用技术.....	109
4.3.4 内燃机排气后处理系统.....	110

4.3.5 多功能淬火冷却技术.....	114
4.3.6 真空清洗技术.....	115
4.4 节能减排产品技术.....	116
4.4.1 金属液过滤技术.....	116
4.4.2 发热保温冒口技术.....	117
4.4.3 高压共轨燃油喷射技术.....	119
4.4.4 点燃式内燃机缸内直喷燃油喷射系统.....	123
4.4.5 点燃式内燃机缸内直喷燃烧技术.....	126
4.4.6 柴油机组合式电控单体泵燃油喷射系统.....	129
4.4.7 内燃机替代燃料—醇燃料燃烧技术.....	131
4.4.8 内燃机热能综合梯级利用技术.....	133
4.4.9 内燃机废气再循环系统.....	137
4.4.10 非道路移动用柴油机优化匹配与节能技术.....	140
4.4.11 低摩擦及机械效率提升技术.....	142
第五章 节能减排新技术动态.....	150
5.1 装备制造行业节能减排技术发展态势.....	150
5.1.1 精准.....	150
5.1.2 清洁.....	151
5.1.3 高效.....	151
5.1.4 无废弃物制造.....	151
5.2 典型行业节能减排技术动态.....	151
5.2.1 铸造行业节能减排新技术动态.....	152
5.2.2 锻压行业节能减排新技术动态.....	152
5.2.3 焊接行业节能减排新技术动态.....	156
5.2.4 热处理行业节能减排新技术动态.....	156
5.2.5 表面处理行业节能减排新技术动态.....	158
5.2.6 切削加工技术行业节能减排新技术动态.....	158

第一章 导言

1.1 编制目的

装备制造行业节能减排先进适用技术指南（以下简称《指南》）是为装备制造企业开展节能减排对标工作提供信息参考，是企业进行以节能减排为主旨的技术选择、技术改造以及技术转让提供决策参考，是为研究装备制造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

适用于部分非金属制品业，金属制品业，通用设备制造业，专用设备制造业，交通运输设备制造业，电气机械及器材制造业，仪器仪表及文化、办公用机械制造业 7 大类行业中的 126 个小类行业企业的节能减排工作，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

1.3.1 行业清洁生产标准

JB/T 11149	热处理行业清洁生产水平评价技术要求
GB/T 20106	工业清洁生产评价指标体系编制通则
GB 15735	金属热处理生产过程安全卫生要求
HJ/T 293	汽车制造业（涂装）清洁生产标准
HJ/T 314	电镀行业清洁生产标准
JB 8434	热处理环境保护技术要求
GB/Z18718	热处理节能技术导则
GB/8959	铸造防尘技术规范
GB 13318	锻造生产安全与环保通则

1.3.2 污染排放标准

GB 8978	污水综合排放标准
GB 16297	大气污染物综合排放标准
GB 9078	工业炉窑大气污染物排放标准
GBZ 2.1	工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素
GB 14554	恶臭污染物排放标准

GB 3095	环境空气质量标准
GB 18599	一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB/T 2589	综合能耗计算通则
JB/T 5073	热处理车间空气中有害物质的限值
JB/T 9052	热处理盐浴炉有害固体废物污染管理的一般规定

1.3.3 工艺消耗定额

GB/T 9452	热处理炉有效加热区测定方法
GB/T 17358	热处理生产电耗计算和测定方法
GB/T 19944	热处理生产燃料消耗定额及其计算和测定方法
JB/T 6983	铸件材料消耗工艺定额计算方法
GB/T 9174	模锻件材料消耗工艺定额编制方法
JB/T 6053	钢质锻件热锻工艺燃料消耗定额计算方法

1.3.4 相关管理标准

GB/T 24001	环境管理体系 要求及使用指南
GB/T 28001	职业健康安全管理体系认证
ISO/TS 16949	质量管理体系——汽车行业生产件与相关服务件的组织实施
ISO 9001: 2000	的特殊要求

1.3.5 行业准入条件

铸造行业准入条件（拟实施）
中国锻压企业生产基本条件（拟实施）

1.3.6 其它相关技术政策

财政部、国税局和国家发改委《节能节水专用设备企业所得税优惠目录》 (2008年版)
国家发改委《国家重点节能技术推广目录》
工信部节[2010]104号“热处理行业清洁生产技术推广方案”
工信部《节能机电设备（产品）推荐目录》

1.4 术语及定义

1.4.1 材料利用率

材料利用率=成品零件重量 (kg) ÷工艺规定的材料定额 (kg)

1.4.2 铸件成品率

铸件成品率=合格铸件重量 (kg) ÷熔化金属炉料总重量 (kg)

第二章 装备制造业资源能源消耗及产排污情况

2.1 行业类型划分

装备制造业是为国民经济发展及国家安全提供技术装备的基础性、战略性产业，覆盖了机械、电子制造业中生产投资类产品的全部企业。依据《国民经济行业分类与代码（GB/T 4754-2002）》标准，本指南所指装备制造业涉及非金属制品业，金属制品业，通用设备制造业，专用设备制造业，交通运输设备制造业，电气机械及器材制造业，仪器仪表及文化、办公用机械制造业等 7 个大类行业中的 126 个小类行业，见表 2-1。

表 2-1 装备制造行业的范围

大类行业	小类行业	
非金属制品业	光学玻璃制造	特种陶瓷制品制造
	石墨及碳素制品制造	其他非金属矿物制品制造
金属制品业	切削工具制造	农用及园林用金属工具制造
	集装箱制造	金属压力容器制造
	金属表面处理及热处理加工	其他未列明的金属制品制造
通用设备制造业	锅炉及辅助设备制造	内燃机及配件制造
	汽轮机及辅机制造	水轮机及辅机制造
	其他原动机制造	金属切削机床制造
	金属成形机床制造	铸造机械制造
	金属切割及焊接设备制造	机床附件制造
	其他金属加工机械制造	起重运输设备制造
	气体压缩机械制造	泵及真空设备制造
	液压和气压动力机械及元件制造	阀门和旋塞的制造
	齿轮、传动和驱动部件制造	轴承制造
	风机、风扇制造	烘炉、熔炉及电炉制造
	制冷、空调设备制造	气体、液体分离及纯净设备制造
	喷枪及类似器具制造	风动和电动工具制造
	衡器制造	包装专用设备制造
	金属密封件制造	其他通用设备制造

	机械零部件加工及设备修理	紧固件、弹簧制造
	钢铁铸件制造	其他通用零部件制造
	锻件及粉末冶金制品制造	
专用设备制造业	采矿、采石设备制造	石油钻采专用设备制造
	建筑工程用机械制造	建筑材料生产专用机械制造
	冶金专用设备制造	炼油、化工生产专用设备制造
	橡胶加工专用设备制造	塑料加工专用设备制造
	木材加工机械制造	模具制造
	其他非金属加工专用设备制造	食品、饮料、烟草工业专用设备制造
	农副食品加工专用设备制造	饲料生产专用设备制造
	制浆和造纸专用设备制造	印刷专用设备制造
	日用化工专用设备制造	制药专用设备制造
	照明器具生产专用设备制造	玻璃、陶瓷和搪瓷制品生产专用设备制造
	其他日用品生产专用设备制造	纺织专用设备制造
	皮革、毛皮及其制品加工专用设备制造	其他服装加工专用设备制造
	电工机械专用设备制造	拖拉机制造
	机械化农业及园艺机具制造	营林及木竹采伐机械制造
	畜牧机械制造	渔业机械制造
	农林牧渔机械配件制造	其他农林牧渔业机械制造及机械修理
	环境污染防治专用设备制造	地质勘查专用设备制造
	邮政专用机械及器材制造	商业、饮食、服务业专用设备制造
	水资源专用机械制造	其他专用设备制造
	交通运输设备制造	工矿有轨专用车辆制造
改装汽车制造		电车制造
汽车车身、挂车的制造		汽车零部件及配件制造
摩托车整车制造		摩托车零部件及配件制造
其他交通运输设备制造		
电气机械	发电机及发电机组制造	电动机制造

及器材制造业	微电机及其他电机制造	变压器、整流器和电感器制造
	电容器及其配套设备制造	配电开关控制设备制造
	电力电子元器件制造	其他输配电及控制设备制造
	电线电缆制造	光纤、光缆制造
	绝缘制品制造	其他电工器材制造
	电池制造	
仪器仪表及文化、办公用机械制造业	工业自动控制系统装置制造	电工仪器仪表制造
	绘图、计算及测量仪器制造	实验分析仪器制造
	试验机制造	供应用仪表及其他通用仪器制造
	环境监测专用仪器仪表制造	汽车及其他用计数仪表制造
	导航、气象及海洋专用仪器制造	农林牧渔专用仪器仪表制造
	地质勘探和地震专用仪器制造	教学专用仪器制造
	核子及核辐射测量仪器制造	电子测量仪器制造
	其他专用仪器制造	钟表与计时仪器制造
	光学仪器制造	电影机械制造
	幻灯及投影设备制造	照相机及器材制造
	复印和胶印设备制造	计算器及货币专用设备制造
	其他文化、办公用机械制造	

装备制造业中，影响资源能源消耗和污染物产生及排放水平的主要因素是产品、原材料、生产工艺和生产规模。在这四大因素中，工艺是决定性因素。装备制造业中 80% 以上的零件与毛坯件需要进行加工。如汽车 65% 以上的重量由钢材、铝合金、铸铁等材料通过铸造、塑性加工、焊接等工艺方法而形成；汽车发动机和传动部件中绝大部分零件需要热处理或表面改性。《机械制造工艺类别划分及其代码（JB/T5992-92）》标准将装备制造分为九大类基础制造工艺，具体内容见表 2-2。

表 2-2 装备制造工艺类别划分

类别	工艺名称										
	铸造	砂型铸造		湿型铸造	干型铸造	表面干型铸造	自硬型铸造				
特种			金属	压力	离心	熔模	壳型	实型	连续		其他

	铸造		型铸造	铸造	铸造	铸造	铸造	铸造	铸造		
压力加工	锻造		自由锻	胎模锻	模锻	平锻	墩锻	棍锻			其他
	轧制			冷轧	热轧						其他
	冲压		冲裁	弯曲	成形	精整					
	挤压		冷挤压	温挤压	热挤压						
	旋压		普通旋压	变薄旋压							其他
	拉拔		冷拉拔	热拉拔							
	其他		其他成形方法								
焊接	电弧焊		无气保护焊	埋弧焊	熔极气体保护电弧焊	非熔极气体保护电弧焊	等离子弧焊				其他电弧焊
	电阻焊		点焊	缝焊	凸焊		电阻对焊				其他
	气焊		氧燃焊接	空气燃气焊	氧乙炔喷焊						
	压焊		超声波焊	摩擦焊	锻焊	高能机械焊	扩散焊		气压焊	冷压焊	
	特种焊接		铝热焊	电渣焊	气电立焊	感应焊	光束焊	电子束焊	储能焊	螺柱焊	
	钎焊		硬钎焊			软钎焊			钎接焊		
切削加工	刀具切削	车削	铣削	刨削	插削	钻削	镗削	拉削	刮削		其他
	磨削	砂轮磨削	砂带磨削		珩磨	研磨	超精加工				其他
	钳加工	划线	手工锯削	锯削	锉削	手工刮削	手工打磨	手工研磨	平衡		其他
特	电物		电火	电子	离子	等离		激光	超声	其他	

种加工	理加工		花加工	束加工	束加工	子加工		加工	加工		
	化学加工		电解加工				电铸				其他
	化学加工										
	复合加工		电解磨削	加热机械切削		振动切削	超声研磨		超声电火花加工		
	其他		高压水切割		爆炸索切割						
热处理	整体处理		退火	正火	淬火	淬火与回火	调质	稳定化处理	固溶处理	时效	
	表面处理		表面淬火	物理气相沉积	化学气相沉积	等离子体化学气相沉积					
	化学热处理		渗碳	碳氮共渗	渗氮	氮碳共渗	渗其他非金属	渗金属	多元共渗	熔渗	
覆盖层	电镀		镀单金属	镀合金	镀复合层	镀复合材料层					
	化学镀		无电流镀		接触镀						
	真空沉积		化学气相沉积	物理气相沉积	离子溅射	离子注入					
	热浸镀										
	转化膜		化学转化	电化学转化							
	热喷涂		熔体热喷涂	燃气热喷涂	电弧喷涂	等离子喷涂	电热喷涂	激光热喷涂	喷焊		
	涂装		手工	喷涂	浸涂	淋涂	机械	电泳			

			涂				棍涂				
	其他		包覆	衬里	搪瓷	机械 镀					
装 配 与 包 装	装配		部 件 装配	总装							
	试 验 与 检 验		试验	检验							
	包装		内 包 装	外 包 装							
其 他	粉 末 冶 金		轴 向 压 实	径 向 压 实	等 静 压 压 实	挤 压 和 轧 制					
	冷作		弯曲	膨胀	收缩	整形					
	非 金 属 材 料 成 形	聚 合 材 料 成 形	橡 胶 材 料 成 形	玻 璃 成 形	复 合 材 料 成 形						
	表 面 处 理		清洗	粗化	光整	强化					
	防 锈		水 剂 防 锈	油 剂 防 锈	气 相 防 锈	环 境 封 存 防 锈	可 剥 性 塑 料 防 锈				
	缠 绕		弹 簧 缠 绕	绕 组 绕 制							
	编 织		筛 网 编 织								
	其 他		粘 接		铆 接						

2.2 能源消耗情况

近年来，尽管装备制造生产过程万元产值综合能耗呈下降趋势，但随着国民经济发展对装备制造业需求的刚性增长，装备制造业综合能耗呈现出上升态势。

2.2.1 能源消耗特点

2.2.1.1 生产过程能源单耗不高

装备制造生产过程能源单耗不高。据对 2008 年国家经济普查资料分析，装备制造业万元产值综合能耗比重化工行业大体要低一个数量级，见表 2-3。

表 2-3 2008 年工业主要行业能耗情况

单位：吨标煤/万元产值

行业类别	能耗	与装备制造业的比较
装备制造业（机械工业）	0.11（测算）	
冶金	0.9031	8.21 倍
建材	0.8954	8.14 倍
化工	0.7291	6.63 倍
有色	0.4644	4.22 倍
纺织	0.1838	1.67 倍
行业类别	能耗	与装备制造业的比较

2.2.1.2 装备制造业规模大

2010 年，全国装备制造行业规模以上企业达 10 万余家，从业人数 1752 万人，资产总额 10.4 万亿元；完成产值 14.38 万亿元，占全国工业总产值的 20.3%，占全国 GDP 的比重已超过 9%。因此，在装备制造业中推广应用节能减排先进适用技术具有重要的现实意义。

2.2.1.3 与国际先进水平相比差距较大

装备制造业单位产品综合能耗与工业发达国家相比存在差距，尤其是热加工工艺的单位产品综合能耗与工业发达国家相比存在较大差距。如，我国每吨铸件铸造工艺能耗比国际先进水平高 60%，每吨锻件锻造工艺能耗比国际先进水平高 70%，每吨热处理件热处理工艺能耗比国际先进水平高 47%。

2.2.2 能源消耗强度

从基础制造工艺的视角看，装备制造生产过程的能源消耗强度如表 2-4 所示。

表 2-4 装备制造基础制造工艺能源消耗强度

工艺	铸造	锻压	焊接	热处理	机械加工	特种加工	清洗	表面处理	装配	检验	动力	材料供应
能源消耗	++++	++++	++++	++++	++	++	++	+++	+	++	++++	

注：++++十分严重；+++严重；++较严重；+轻微。

2.3 资源消耗情况

装备制造生产过程是将原辅材料通过工艺技术与装备使之成为产品的转化过程。全世界 75% 的钢材需要塑性加工，65% 的钢材通过焊接得以成形，每年约有 1 亿吨钢和大量金属被切削成切屑。

2.3.1 资源消耗特点

装备制造业是钢材的耗用大户之一。从产品全生命周期看，生产钢材等原材料需耗用大量能源。因此，装备制造业的节能减排应高度重视节材工作。总体上看，装备制造业水资源的消耗量不大。但在材料利用率方面，与国际先进水平相比尚存在较大差距。以轴承套圈材料利用率为例，我国企业一般水平为 50%，国际先进水平为 75%，平均比国际先进水平低 1/3。

2.3.2 资源消耗强度

2009 年，装备制造业消耗钢材 1 亿多吨，用铜量约占全国铜材消费量的 60% 以上，同时还消费了铝、钛、镁、结构陶瓷、功能陶瓷、复合材料、高分子材料等原材料。装备制造业资源消耗强度见表 2-5。

表 2-5 装备制造业生产过程资源消耗强度

工艺	铸造	锻压	焊接	热处理	机械加工	特种加工	清洗	表面处理	装配	检验	动力	材料供应
材料消耗	++++	++++	+++	++	++	+	+	++	+	+	++	++++

注：++++十分严重；+++严重；++较严重；+轻微。

2.4 污染物排放情况

装备制造生产过程排放的污染物有：工业废水；有害气体，烟尘、粉尘；固体废弃物；噪声、振动；光、热辐射及电磁、射线辐射等。

2.4.1 污染物排放特点

装备制造业生产过程的主要污染物及来源如表 2-6 所示。相对于流程工业而言，装备制造业的生产过程是离散的，其污染物排放是间断的，且排放量占制造业污染物排放总量的比重非常低，绝大多数污染因子小于 5%。

表 2-6 装备制造业生产过程主要污染物及来源

污染物	行业特征污染物	主要来源
工业废水	悬浮物	湿法除尘（锅炉、铸造、喷砂、打磨）、水力清砂、表面清洗、磷化、涂装、等离子弧切割及水切割
	石油类	表面清洗、乳化液、各类切削液、防腐油类、含工业用油废水
	酸碱盐	酸洗、磷化、涂装及电镀前处理、离子交换再生废水、水溶性淬火介质、铸造废水、化验废水
	重金属	电镀、热处理淬火、印刷电路板制造
	有机物污染	表面清洗、脱脂、铸造废水、涂装废水、生活用洗涤剂
工业废气	烟气	锅炉、铸造冶炼、焊接、各种加热炉
	工业粉尘	铸造、喷砂抛丸、砂轮制造、粉末冶金、粉末涂装、复合材料成形与加工
	油烟	热处理淬火、磨削、高速切削、脱模剂汽化
	二氧化硫	锅炉、火力发电厂、铸造、汽车尾气、锻造加热
	一氧化碳	煤气站、锅炉、火力发电厂、铸造、汽车尾气
	氮氧化物	锅炉、火力发电厂、铸造、焊接、汽车尾气
	二氧化锰	焊接
	重金属、铅	电镀、铸造、仪器仪表制造、蓄电池制造、电路板制造、波峰焊、汽车尾气、氩弧焊
	酸雾	电镀、酸洗、刻蚀、蓄电池充电、蜡料回收
	铬、镉	电镀、仪器仪表制造
	汞	温度计、压力计制造
	苯系物	喷漆、涂装、粘接、复合材料成形与加工
	甲醛	铸造、木制件加工
	苯并（a）花	火力发电厂、锅炉、汽车尾气
	石棉	保温材料（铸造、热处理、锻造、超塑成型、高温试验检验）
	乙炔气体	焊接、热切割、乙炔发生器
	氟利昂	制冷设备、汽车空调、清洗
固体废物	工业废物	加工余料、焊条料头、废焊锡渣、废硅钢片； 铸造废砂、锻造氧化皮、热处理废盐、工业炉窑衬炉渣、锅炉房炉渣、粉煤灰、含油棉纱、废塑料、废橡胶、废石棉、

		废绝缘材料、包装纸箱、废树脂、废活性炭、废蓄电池、废油漆桶、废有机溶剂
	污泥及废渣	电镀污泥、污水处理污泥、废切削渣、热处理渣、电石渣、油漆渣、磷化渣、铸造熔渣、焊渣
	废油	热处理淬火油、润滑油脂、防锈油脂、液压油、变压器油
	生活垃圾	废灯管、废电池、废纸张、一次性饭盒、食品残渣
	其中：危险废物	电镀污泥、废电镀液、酸碱废液、废有机溶剂、油漆渣、磷化渣、热处理钡盐、含铅废物、废石棉、废油及含油废物、废油漆桶、灯管、充电电池及扣式电池
噪声	机械振动噪声	锻造、冲压、铸造、机械加工、装配、试验
	空气动力噪声	鼓风机、空压机、风动砂轮工具、蒸汽锤、空气锤
	电磁噪声	焊接、感应加热及熔化、电加工、电动机、变压器、发电机
	运输噪声	厂内起重、运输、物流设备

2.4.2 污染物排放强度

装备制造生产过程主要污染物排放特征及强度，见表 2-7。从表 2-7 可以看出，装备制造生产过程污染物排放较高的工艺是电镀及转化膜和涂装。正因为如此，电镀和涂装工艺的专业化生产趋势越来越明显，许多地方建立了电镀工业园，以提高污染物末端控制水平；涂装自动化程度和末端治理设施水平也不断提高，涂装污染物排放得到了有效控制。与此同时，电镀和涂装行业还积极推行清洁生产审核，促进企业优化工艺，实现节水节能和减少污染物排放。

表 2-7 装备制造行业污染物排放特征及强度

	工业废水					工业废气				危险废物
	废水量	COD	石油类	六价铬	氰化物	窑炉废气	工艺废气	烟尘	工业粉尘	
铸造	++	++	++	/	/	++++	++	++++	++++	+
锻造	++	++	++	/	/	+++	++	+++	+	+
焊接/热切割	+	+	+	/	/	/	+++	+++	+	+
机加工	+	++	+++	/	/	/	+	/	+	+
热处理	++	++	++	/	+	++	++	++	+	++

电镀及转化膜	++++	+++	++	++++	++	/	++++	/	+	++++
涂装	++++	++++	+++	+	+	+++	++++	++	+++	++++
装配	+	+	+	/	/	/	/	+	+	++
试验/检验	++	++	+	/	/	++	++	/	/	+
包装	+	+	+	/	/	/	/	/	/	/

注：++++十分严重；+++严重；++较严重；+轻微

2.4.3 行业特征污染物与排放水平

2.4.3.1 铸造行业特征污染物与排放水平

(1) 废砂。铸件的 70%~80% 采用砂型铸造工艺生产。铸造所用的砂型主要包括粘土砂型、水玻璃砂型和有机粘结剂自硬砂型。2011 年我国铸件总产量为 4150 万吨，采用砂型铸造的铸件约在 3200 万吨，循环用砂量高达 3 亿吨。粘土砂和有机粘结剂砂旧砂的回用率一般可达 80%~90%。循环旧砂的 10%~20% 要不断废弃；水玻璃砂的回用率要低的多，有些工厂甚至不回用。目前，仍有许多将废砂运到郊区、偏僻地方堆积、倒掉，这将对自然环境造成长期污染。

(2) 烟气和粉尘。冲天炉烟气主要成分是 CO_2 、 CO 、 NO_x 、 SO_2 等，粉尘的主要组成是冶金烟尘、碳素烟尘和灰尘。冲天炉烟尘具有颗粒分散的特点，100~200 μm 左右的颗粒比例最大，4~6 μm 左右的颗粒比例最小。根据炉料及熔炼特点分析，100 μm 以上的颗粒主要来源于焦炭、石灰石、炉衬、炉料火杂物等，2~5 μm 尘粒主要是金属氧化物，有 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 SiO_2 、 CuO 、 Al_2O_3 等，还有少量有机物。冲天炉烟尘弥散至环境中，大颗粒粉尘除直接危害现场人员外，遇到风雨会形成二次污染；小颗粒粉尘，除加剧设备、仪器磨损外，严重的是通过口、鼻的吸入而损害人体健康。

(3) 炉渣。冲天炉熔化过程会产生一定量的炉渣，一般酸性冲天炉产生的炉渣为铁水量的 5~10%，大型水冷冲天炉为 1~3%，碱性冲天炉为 15~30%。目前，一般企业的做法是将炉渣扔掉，污染环境。

(4) 有机粘结剂制芯、造型及浇注时产生的废气和有害气体。用有机粘结剂制芯或造型，会散发出游离甲醛、游离酚、三乙胺等有害气体；砂型（包括煤粉湿型砂和消失模、树脂自硬砂等）浇注后还会产生 CO 、 CO_2 、甲苯等有害气体，长期吸入人体会严重损害身体健康。

(5) 砂处理系统和落砂、铸件清理过程的粉尘。粘土砂砂处理系统（包括

落砂工序)是铸造车间的主要污染源之一,主要污染物是粉尘。干旧砂在运输过程中到处飞扬,一些小型企业铸造车间没有除尘设备,粉尘含量超过国家标准限制值,工人得矽肺病的比例很高。

2.4.3.2 锻压行业特征污染物与排放水平

(1) 烟尘。烟尘主要来源于燃料燃烧过程中产生的灰分、不完全燃烧的碳质微粒和未燃烧完的挥发成分。烟尘粒径在 $0.1\sim 0.001\mu\text{m}$ 时能长久漂浮在大气中,粒径在 $10\sim 0.1\mu\text{m}$, 在静止空气中能缓慢下降, 这些烟尘称之为飘尘。

(2) 有害气体。矿物燃料(煤及其转化物如煤气、石油、天然气等)燃烧后的烟气中含有二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等有害气体,对大气、水质造成污染。

(3) 废液、废油、废渣、污水。在锻件生产过程的若干环节上,根据工艺需要,如润滑模具和锻坯的润滑剂、锻后锻件处理(如去除钛合金锻件表面 α 脆化层)及锻件热处理产生的废液、废水和清理锻件表面产生的渣尘和氧化皮等。

(4) 噪声和振动。噪声和振动是锻造行业另一个对人类和环境产生有害影响的因素。

2.4.3.3 热处理行业特征污染物与排放水平

(1) 废气。包括燃料炉燃烧废气、淬火油和化学热处理渗剂挥发的烟气,其中主要是工件在淬火时产生的油烟和淬火后残留在工件表面的淬火油在回火时所产生的油烟。

(2) 废水。主要产生在清洗工件环节。热处理生产过程中每年用水约 3000 万吨,排放废水约 1000 万吨。

(3) 固体废物。主要来自盐浴炉产生的废盐渣。目前,全行业共有各类盐浴炉 2 万余台,年消耗氯化钡、氯化钾、氯化钠、硼酸钠、碳酸钠等热处理用盐近 1 万吨,其中 8% 在使用过程中产生盐类蒸气挥发,其余变为废渣排放。热处理含氰废物,如含氰热处理钡渣,含氰污泥及冷却液,含氰热处理炉内衬,热处理渗碳氰渣等须按国家环保部门的规定交具有处理资质的单位进行处理。

2.4.3.4 焊接行业特征污染物与排放水平

焊接过程中的主要污染物是烟尘。即使露天焊接,空气中烟尘量一般也会超过 $5\text{mg}/\text{m}^3$, 同时释放 HF、 O_3 、 NO_2 、CO 等有毒有害气体。

2.4.3.5 电镀行业特征污染物与排放水平

(1) 废水。电镀废水中含有毒性物质种类多,如碱(氢氧化钠为主)、硫酸、

盐酸、硝酸、磷酸、氢氟酸、六价铬、氰化物、重金属离子等有害成分。

(2) 废气。包括酸性废气、碱性废气、氮氧化物废气、铬酸雾、氯化氢废气、含尘废气等有害物质。

(3) 固废。电镀污泥中通常含有重金属铜、镍、铬、锌、锡、镉、铁、铅、银等有害物质。

2.4.3.6 切削加工行业特征污染物与排放水平

(1) 废切削屑。金属被切削过程产生废金属屑。

(2) 废油/水、烃/水混合物或乳化液。使用切削油和切削液进行机械加工过程中会产生大量的废油/水、烃/水混合物或乳化液等危险废物。

第三章 装备制造行业技术现状

3.1 装备制造行业技术结构

装备制造业产品种类繁多，技术结构复杂，其通用生产过程流程如图 3-1 所示。其中正是铸造、热处理、锻压、焊接、机械加工、表面处理、装配等这些最基础的加工工艺和机械基础件的组合，构成了庞大的装备制造业技术体系。

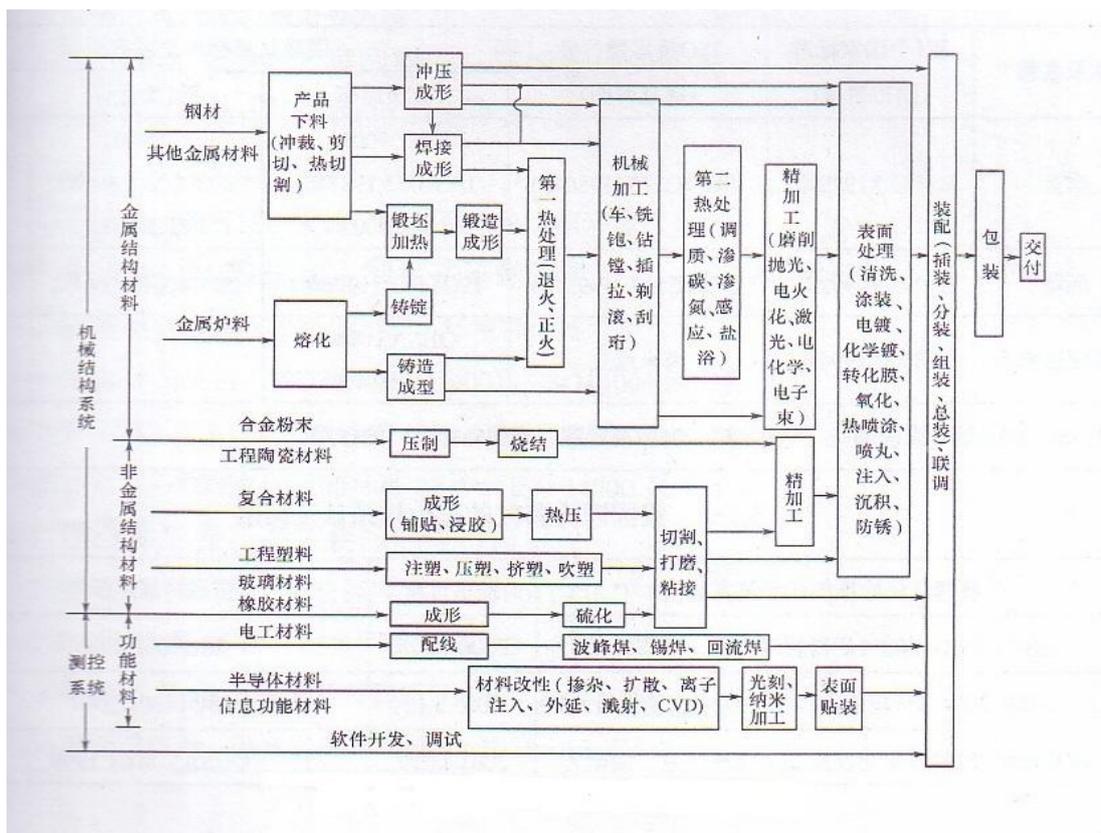


图 3-1 装备制造通用生产流程

3.1.1 装备制造行业节能减排技术体系

装备制造业节能减排技术体系是指在制造资源流动过程中提高资源能源利用率、降低废弃资源产生率的相关技术按其内在联系形成的科学的有机整体。围绕装备制造业“十二五”节能减排目标，结合行业资源能源消耗和污染物排放特点，提出了装备制造业节能减排技术体系框图，见图 3-2。

经筛选与行业专家评估，提出了适合在行业内推广的 63 项节能减排技术，见表 3-1。其中，生产过程节能减排技术 39 项，资源能源回收利用技术 7 项，污染物治理技术 6 项，其他节能减排技术 11 项。

表 3-1 装备制造业节能减排技术清单

序号	制造工艺及产品	技术名称
一、生产过程节能减排技术		
1	铸造	多供电（一拖二、一拖三）感应电炉供电技术
2		外热风水冷长炉龄冲天炉熔炼设备
3		中小铸铁件流水线余热时效退火技术
4		大型铸铁件地坑控温余热时效退火技术
5		频谱谐波时效技术
6		精密组芯造型铸件近净成形技术
7	锻压	程控液压锻锤
8		精密剪切技术
9		前上料短行程铝挤压技术
10		精密冲裁成形技术
11		高效率空气自身预热烧嘴
12		非调质钢在锻件中的应用
13		多工位高速精密成形技术
14		锻造模拟技术
15		冷摆动辗压成形技术
16		电动螺旋压力机
17	热处理	真空热处理技术
18		可控气氛热处理技术
19		加热炉陶瓷纤维炉衬保温技术
20		晶体管电源感应加热技术
21		计算机精密控制热处理技术
22		化学热处理催渗技术
23	轴承	轴承精密冷辗扩技术
24		轴承钢管冷冲切无切屑下料技术
25		轴承套圈高速精密锻造技术
26		轴承套圈三联套锻工艺技术
27		G8SiMnMoVRE 耐冲击高淬透性轴承钢应用技术
28		轴承钢智能退火技术

29		轴承套圈锻造整径技术
30	紧固件与弹簧	细晶非调质钢应用技术
31		紧固件模具优化技术
32		紧固件新型除锈工艺技术
33		紧固件锻造加热设备优化技术
34		热处理网带炉氮—甲醇保护气氛
35		紧固件少无切削加工技术
36		紧固件中低温磷化技术
37		回火炉保温层改造技术
38		热卷弹簧碾尖、卷绕与连续中频淬火技术
39		黑色磷化技术

二、资源能源回收利用技术

1	铸造	粘土砂、呋喃树脂砂铸造废砂循环再生技术
2		酯硬化水玻璃砂（或碱性酚醛树脂砂）干热法再生技术
3	锻造	锻后余热热处理技术
4	热处理	高效空气换热技术
5	轴承	双层辊底式连续球化退火炉余热利用退火技术
6	再制造	机床行业再制造技术
7		汽车零部件行业再制造技术

三、污染物治理技术

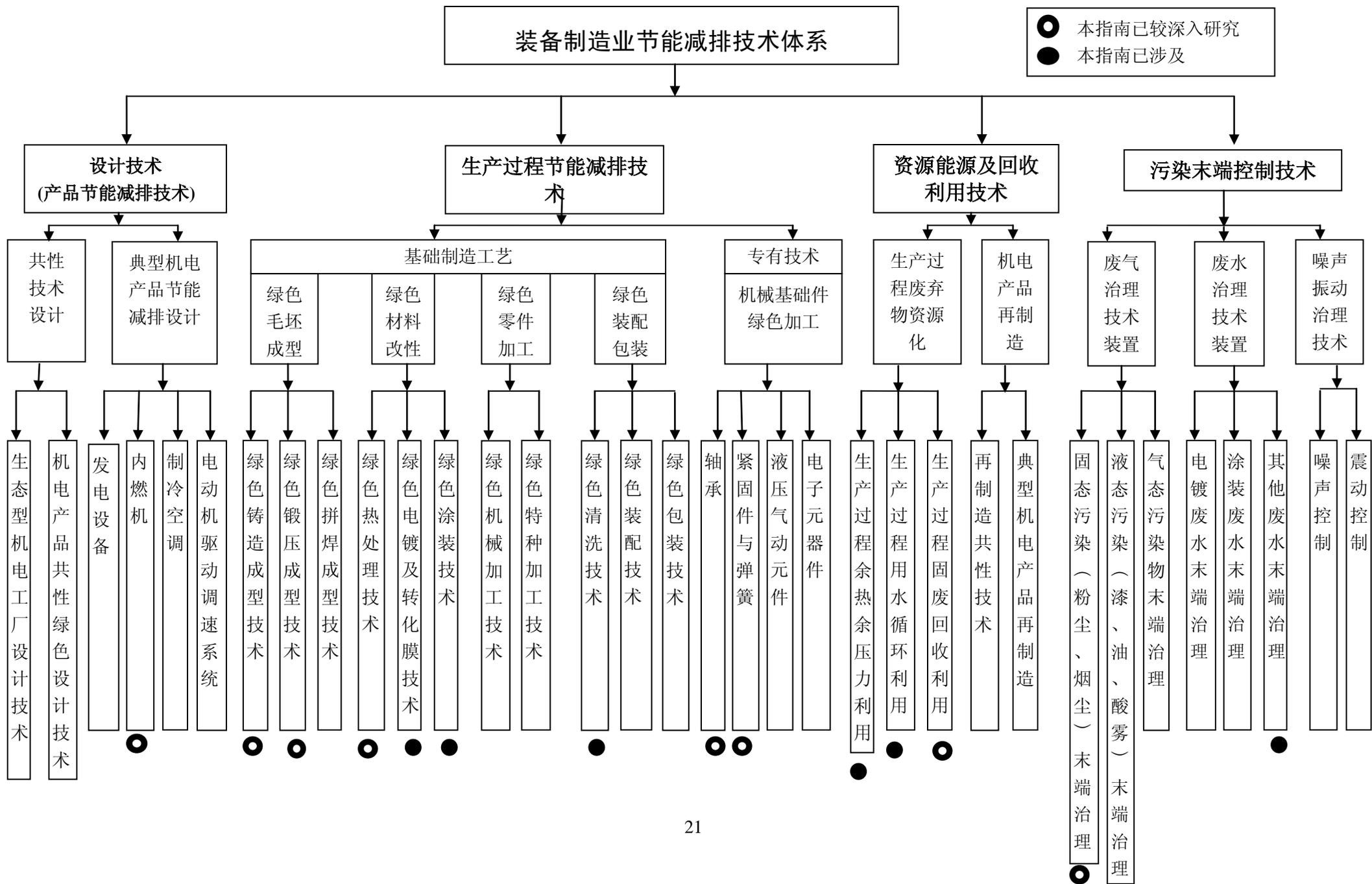
1	铸造	冲天炉高效余热利用及除尘一体化技术
2	热处理	多功能淬火冷却技术
3		真空清洗技术
4	轴承	轴承企业工业废水处理及回用技术
5		磨削液集中供应、过滤、处理、循环使用技术
6	内燃机	内燃机排气后处理系统

四、其他节能减排技术（产品节能技术或综合管理节能技术）

1	铸造	金属液过滤技术
2		发热保温冒口技术
3	内燃机	高压共轨燃油喷射技术

4		点燃式内燃机缸内直喷燃油喷射系统
5		点燃式内燃机缸内直喷燃烧技术
6		柴油机组合式电控单体泵燃油喷射系统
7		内燃机替代燃料——醇燃料燃烧技术
8		内燃机热能综合梯级利用技术
9		内燃机废气再循环系统
10		非道路移动用柴油机优化匹配与节能技术
11		低摩擦及机械效率提升技术

从应用的角度看，有的技术适用于在多个行业推广，如：热加工工艺模拟优化技术、加热炉陶瓷纤维炉衬保温技术、多供电（一拖二、一拖三）感应电炉供电技术，可同时在铸造、锻压、热处理三个行业推广；频谱谐波时效技术广泛应用于铸造、锻压、焊接、热处理及机械加工工序；高效率空气自身预热烧嘴适用于锻压行业，同时在热处理行业也有大量应用，也可在铸造燃气炉领域推广应用。63项技术之间的逻辑关系见图 3-3。



类别			共性技术	专有技术
大类	中类	小类		
绿色 毛坯 成形	绿色 铸造 成形	熔炼	多供电（一拖二、一拖三）感应电炉供电技术	
			外热风水冷长炉龄冲天炉熔炼设备	
		浇注	金属液过滤技术	
		造型制芯	精密组芯造型铸件近净成形技术	
			发热保温冒口技术	
		后处理	频谱谐波时效技术	
			大型铸铁件地坑控温余热时效退火技术	
			中小铸铁件流水线余热时效退火技术	
		绿色 锻压 成形	工艺设计	锻造模拟技术
	下料		精密剪切技术	轴承钢管冷冲切无切屑下料技术
			精密冲裁成形技术	
	锻坯加热		高效率空气自身预热烧嘴	
				紧固件锻造加热设备优化技术
锻造设备	电动螺旋压力机			
	程控液压锻锤			
精锻	多工位高速精密成形技术		轴承套圈高速精密锻造技术	
			轴承套圈三联套锻工艺技术	
	紧固件少无切屑加工技术			
前上料短行程铝挤压技术				
回转成形	冷摆动碾压成形技术		轴承精密冷碾扩技术	
			轴承套圈锻造整径技术	
后处理	非调质钢在锻件中的应用		细晶非调质钢应用技术	
绿色 材料	绿色 热处	工艺设计	计算机精密控制热处理技术	轴承钢智能退火技术
		加热	真空热处理技术	

改性	理		可控气氛热处理技术	热处理网带炉氮—甲醇保护气氛	
			加热炉陶瓷纤维炉衬保温技术	回火炉保温层改造技术	
			晶体管电源感应加热技术	热卷弹簧碾尖、卷绕与连续种频率淬火技术	
			化学热处理催渗技术	G8SiMnMoVRE 耐冲击高淬透性轴承钢应用技术	
		冷却	多功能淬火冷却技术		
			高效空气换热技术		
		后处理	真空清洗技术		
	绿色表面处理	涂装、电镀预处理技术		紧固件新型除锈工艺技术	
				紧固件中低温磷化技术	
			黑色磷化技术		
资源能源回收利用	生产过程	铸造	粘土砂、呋喃树脂砂铸造废砂循环再生技术		
			酯硬化水玻璃砂（或碱性酚醛树脂砂）干热法再生技术		
		锻造	锻后余热热处理技术		
		热处理	双层辊底式连续球化退火炉余热利用退火技术		
	再制造	机床	机床行业再制造技术		
		汽车零部件	汽车零部件行业再制造技术		
末端污染治理	废气	铸造	冲天炉高效预热利用及除尘一体化技术		
	废水	轴承行业	轴承企业工业废水处理及回用技术		
磨削液集中供应、过滤、处理、循环使用技术					
产品节能减排技术	典型机电产品	内燃机	内燃机排气后处理系统		
			高压共轨燃油喷射技术		
			点燃式内燃机缸内直喷燃油喷射系统		
			点燃式内燃机缸内直喷燃烧技术		
			柴油机组合式电控单体泵燃油喷射系统		

			内燃机替代燃料——醇燃料燃烧技术
			内燃机热能综合梯级利用技术
			内燃机废气再循环系统
			非道路移动用柴油机优化匹配与节能技术
			低摩擦及机械效率提升技术

图 3-3 63 项节能减排技术之间的关联关系

3.1.2 典型行业节能减排技术结构

3.1.2.1 铸造行业节能减排技术结构

铸造工艺可分为：粘土砂砂型铸造 [包括：湿砂手工造型（单件—小批量—大）和自动化流水线造型（大批量）]、自硬树脂砂造型、水玻璃砂造型、熔模铸造（包括：水玻璃制壳工艺和硅溶胶制壳工艺）、压力铸造、低压铸造、金属型重力铸造、离心铸造、消失模铸造及 V 法铸造等。铸造的能耗主要在金属液的熔炼过程，即由固态金属经过加热成为液态；废弃物主要为废渣、废气、废水，其废大多可循环使用，只有少量排放。铸造生产过程技术、污染治理技术和资源能源回收利用技术三大类的逻辑关系，如图 3-4 所示。

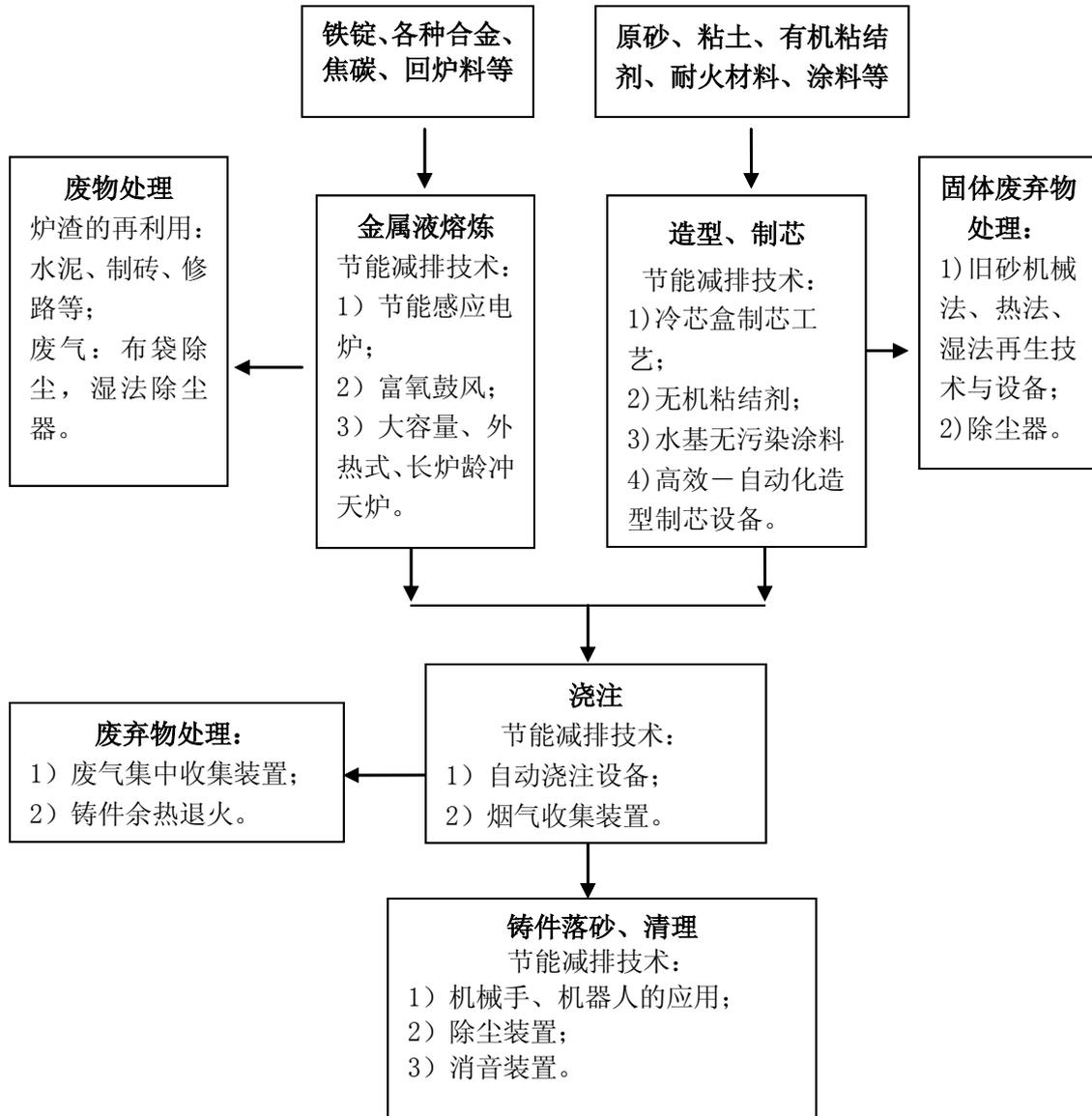


图 3-4 铸造行业节能减排技术结构图

3.1.2.2 热处理行业节能减排技术结构

热处理技术可分为：整体热处理技术、表面热处理技术、化学热处理技术（包括：气体渗碳技术、气体渗氮技术和碳氮共渗技术）、可控气氛热处理技术、真空热处理技术、盐浴热处理技术和清洗技术。其节能减排技术体系架构见图 3-5，带*号部分为节能减排技术。其中：

整体热处理排放物主要有废水、废油、油烟气、废聚合物；表面热处理排放物主要有废水、油烟气；化学热处理排放物主要有氨气、甲醇、乙醇、丙烷、丙酮等有机挥发性气体；真空热处理排放物主要有油烟气；可控气氛热处理排放物主要有甲醇、乙醇、异丙酮等有机挥发性气体；盐浴热处理排放物主要有：钡盐渣、硝酸盐渣等；清洗技术排放物主要有：残酸、残碱和石油类。

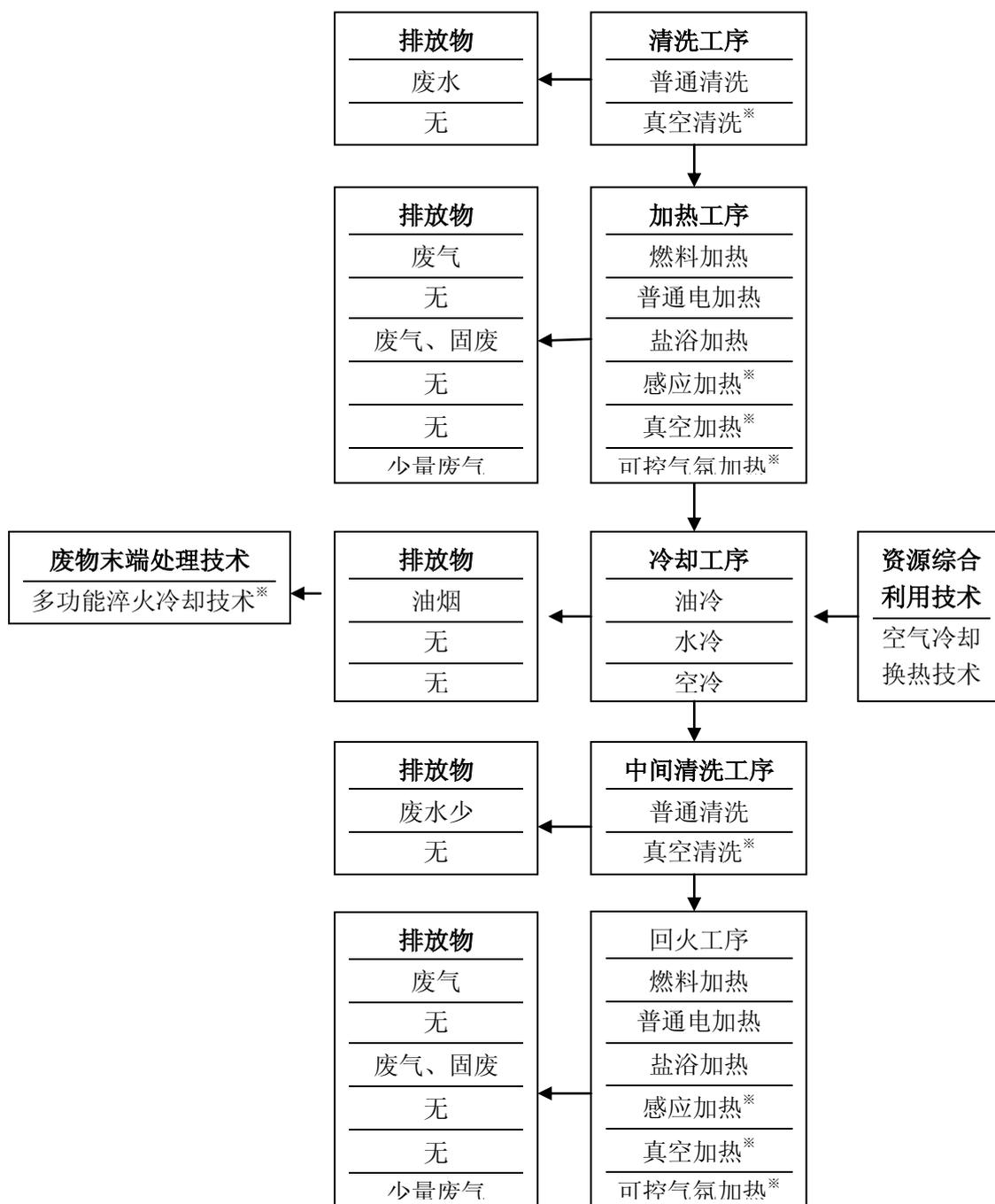


图 3-5 热处理行业节能减排技术结构图

3.1.2.3 轴承行业节能减排技术结构

轴承生产过程包括：锻造、热处理、机械加工等基础制造工艺。其节能减排技术体系架构见图 3-6，带*号部分为节能减排技术。

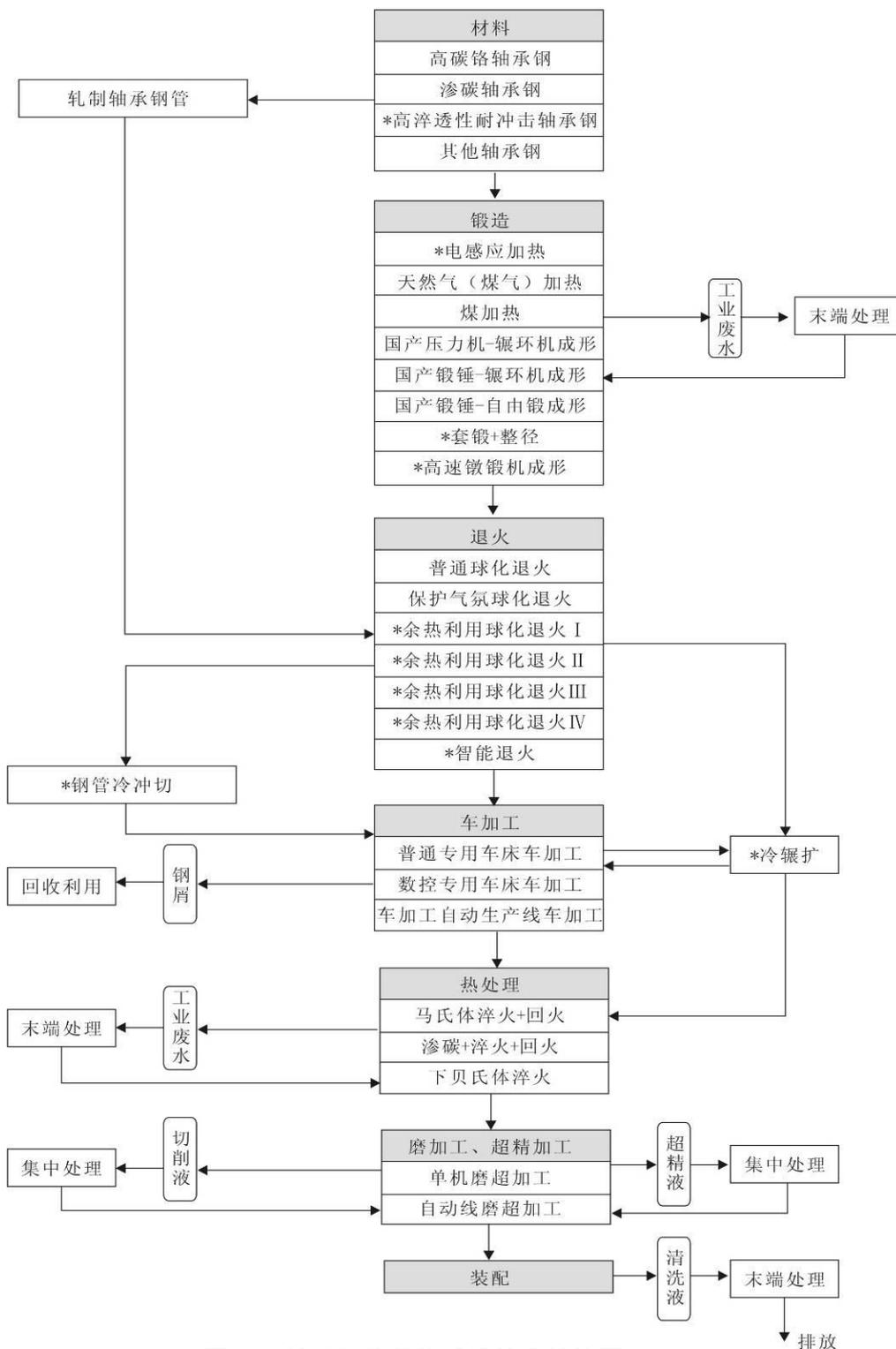


图 3-6 轴承行业节能减排技术结构图

3.2 装备制造业节能减排技术水平

根据“十二五”国家工业转型升级的总体部署，围绕装备制造业结构调整与转型升级需求，即大幅度提高“机械基础件、基础制造工艺和基础材料”产业整体水

平及为装备制造业的配套能力和发展高端装备制造，经多次咨询与论证，最终确定 63 项节能减排先进适用技术作为“十二五”装备制造业第一批重点推广的节能减排技术。

3.2.1 生产过程节能减排技术水平

生产过程节能减排技术共 39 项，其技术水平见表 3-2。其中 4 项技术处于国际先进水平，8 项技术处于国内领先水平，27 项技术处于国内先进水平，分别占生产过程节能减排技术的 10%、20%、70%。

表 3-2 生产过程节能减排技术水平

序号	技术名称	工艺/产品	技术水平		
			国际先进	国内领先	国内先进
1	多供电（一拖二、一拖三）感应电炉供电技术	铸造			√
2	外热风水冷长炉龄冲天炉熔炼设备				√
3	中小铸铁件流水线余热时效退火技术				√
4	大型铸铁件地坑控温余热时效退火技术				√
5	频谱谐波时效技术		√		
6	精密组芯造型铸件近净成形技术				√
7	程控液压锻锤	锻压		√	
8	精密剪切技术			√	
9	前上料短行程铝挤压技术			√	
10	精密冲裁成形技术				√
11	高效率空气自身预热烧嘴			√	
12	非调质钢在锻件中的应用				√
13	多工位高速精密成形技术			√	
14	锻造模拟技术				√
15	冷摆动辗压成形技术		√		

16	电动螺旋压力机			√	
17	真空热处理技术	热处理			√
18	可控气氛热处理技术				√
19	加热炉陶瓷纤维炉衬保温技术				√
20	晶体管电源感应加热技术				√
21	计算机精密控制热处理技术 (SPC)				√
22	化学热处理催渗技术				√
23	轴承精密冷辗扩技术	轴承			√
24	轴承钢管冷冲切无切屑下料技术		√		
25	轴承套圈高速精密锻造技术				√
26	轴承套圈三联套锻工艺技术				√
27	G8SiMnMoVRE 耐冲击高淬透性轴承钢应用技术				√
28	轴承钢智能退火技术				√
29	轴承套圈锻造整径技术				√
30	细晶非调质钢应用技术	紧固件和 弹簧		√	
31	紧固件模具优化技术				√
32	紧固件新型除锈工艺技术				√
33	紧固件锻造加热设备优化技术				√
34	热处理网带炉氮—甲醇保护气氛				√
35	紧固件少无切削加工技术				√
36	紧固件中低温磷化技术				√
37	回火炉保温层改造技术			√	
38	热卷弹簧碾尖、卷绕与连续中频淬火技术		√		

39	黑色磷化工艺				√
----	--------	--	--	--	---

3.2.2 资源能源回收利用技术水平

资源能源回收利用节能减排技术共 7 项，见表 3-3。其中 1 项技术处于国际先进水平，1 项技术处于国内领先水平，5 项技术处于国内先进水平，分别占资源能源回收利用技术的 14%、14%、72%。

表 3-3 资源能源回收利用技术水平

序号	技术名称	工艺/产品	技术水平		
			国际先进	国内领先	国内先进
1	粘土砂、呋喃树脂砂铸造废砂循环再生技术	铸造			√
2	酯硬化水玻璃砂(或碱性酚醛树脂砂)干热法再生技术				√
3	锻后余热热处理技术	锻造			√
4	高效空气换热技术	热处理			√
5	双层辊底式连续球化退火炉余热利用退火技术	轴承			√
6	机床行业再制造技术	再制造		√	
7	汽车零部件行业再制造技术	再制造	√		

3.2.3 污染物治理技术水平

污染物治理技术共 6 项，其技术水平见表 3-4。其中 1 项技术处于国际先进水平，5 项技术处于国内先进水平，分别占污染物治理技术的 17%、83%。

表 3-4 污染末端控制技术水平

序号	技术名称	工艺/产品	技术水平		
			国际先进	国内领先	国内先进
1	冲天炉高效余热利用及除尘一体化技术	铸造			√
2	多功能淬火冷却技术	热处理			√
3	真空清洗技术				√

4	轴承企业工业废水处理及回用技术	轴承			√
5	磨削液集中供应、过滤、处理、循环使用技术				√
6	内燃机排气后处理系统	内燃机	√		

3.2.4 产品节能减排技术水平

产品节能减排技术共 11 项，其技术水平见表 3-5。其中 3 项技术处于国际领先水平，1 项技术处于国际先进水平，2 项技术处于国内领先水平，5 项技术处于国内先进水平，分别占产品节能减排技术总量的 27%、9%、18%、46%。

表 3-5 产品节能减排技术水平

序号	技术名称	工艺/产品	技术水平			
			国际领先	国际先进	国内领先	国内先进
1	金属液过滤技术	铸造				√
2	发热保温冒口技术					√
3	高压共轨燃油喷射技术	内燃机	√			
4	点燃式内燃机缸内直喷燃油喷射系统		√			
5	点燃式内燃机缸内直喷燃烧技术			√		
6	柴油机组式电控单体泵燃油喷射系统				√	
7	内燃机替代燃料——醇燃料燃烧技术		√			
8	内燃机热能综合梯级利用技术					√
9	内燃机废气再循环系统					√

10	非道路移动用柴油机优化匹配与节能技术				√	
11	低摩擦及机械效率提升技术					√

第四章 节能减排先进适用技术

4.1 生产过程节能减排技术

4.1.1 多供电（一拖二、一拖三）感应电炉供电技术

4.1.1.1 技术介绍

采用自主创新的具有无功补偿功能的可控硅晶闸管反馈串联谐振电路核心技术，优化集成高电压大电流整流逆变技术，运行功率分配技术，提高功率因素及减少谐波污染技术，高电压、大电流抗干扰技术、智能化自动控制技术、大型钢壳感应炉力学设计，形成一台变频电源(变压器)可同时向多台感应电炉供电，进行连续长时间相同或不同作业的成套熔炼、加热设备。

4.1.1.2 技术发展水平

该技术居国内先进水平。目前并联谐振电路的电炉功率因素 $\cos\varphi < 85\%$ ，采用串联谐振电路的电炉功率因素 $\cos\phi \geq 95\%$ ，可节能 10%。与其他电路相比，其负载回路的电流要小 10~12 倍，可节约运行电耗 2%。每套多供电设备由一组逆变器独立供电，无需大电流换炉开关切换，节电 1%。多供电设备始终全功率运行，不存在凹角即功率损失部分，使熔炼时间明显缩短，既增加产量又节约电耗，可节能 7%。

4.1.1.3 技术适用条件

该技术节能降耗效果显著，适用于各种批量的铸件生产，特别是大中型铸铁件、铸钢件的单件中小批量生产。

4.1.1.4 实施建设内容

需增加电源（变压器）等电力设施。以中信重型机械集团有限公司生产 200 吨特大铸件建设项目为例，原设计方案为采用 6 套 6000kW/30t 并联电路“一拖一”熔炼设备，即 6000kW/30t × 6 套 加 15%~20% 的设计余量。该方案需电力 43900kVA(6000KW×6÷0.82)，但车间原有电力 20000kVA，需申请增容 23900kVA，如此大的增容量需两路系统供电，电力设施投资需要 2 个多亿，6 套“一拖一”电炉设备投资将近 5000 万元。此外，大件、特大件铸件的生产量仅占的 15% 左右，如果增容，85% 的时间变压器处于无效运行状态。后来采用 2 套“一拖三”串联电路的熔炼设备，在不增容电力的情况，圆满地解决了原来 6 套电炉所需解决的 200 吨特大铸件生产的难题。最后配置为 6500kW 拖 60、30、12t 和 6500kW 拖

60t、12t、12t 加 15%~20%的设计余量。该设计方案的优点，一是原有 20000kVA 电力足够使用 ($6500\text{kW} \times 2 \div 0.92 = 14130\text{kVA}$)，无须增容；二是原需 6 台电源(变压器)现只需 2 台电源(变压器)，不仅减轻用电压力，而且功率因素始终 $\geq 95\%$ ，并可 365 天连续作业，比“一拖一”并联线路节能 25%。

4.1.1.5 节能减排效果

多供电设备只用 1 台变压器可控制 2 台、3 台、4 台或 N 台电炉，而单供电设备做同样工作则需 2 台、3 台、4 台或 N 台变压器，两者比较可节电 3%~10%，总计节能 23%~30%。

以中信重型机械集团有限公司 200 吨特大铸件生产建设项目为例，具体节省投资和节约能源：

- (1) 节省电力增容及设施费 20000 万元；
- (2) 节省电炉设备投资 50%，即 2500 万元；
- (3) 节省每年电力运行费用 803 万元 ($23900\text{kVA} \times 28 \text{元} \times 12 \text{月}$)；
- (4) 与“一拖一”相比，“一拖三”节能 25%，产量越大，节能效果越好；
- (5) 设备占用厂房面积可节省 25%。

4.1.1.6 成本效益分析

一台 6500 kW 电源，投资估算 1200 万元，运行维护费用 300 万元/年，预计 3.5 年左右可收回投资。

4.1.1.7 技术应用情况

目前技术普及率为 5%；“十二五”预计推广比例 20%~30%。

技术应用实例：中国第一重型机械集团公司、中信重工机械股份有限公司、中钢集团邢台机械轧辊有限公司、武汉重工铸锻有限责任公司、镇江中船瓦锡兰螺旋桨有限公司、沈阳机床银丰铸造有限公司、浙江佳力风能技术有限公司等。

4.1.1.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.2 外热风水冷长炉龄冲天炉熔炼设备

4.1.2.1 技术介绍

由冲天炉及其配套设备组成铸铁熔炼系统，在通风机的负压作用下，将冲天炉炉气从加料口下面引入燃烧室，其中的 CO 在送入燃烧室的空气中燃烧放热，

形成 800℃左右的高温烟气。高温烟气进入空气预热器，将送往冲天炉的空气加热到 400℃以上，实现预热送风。高温风进入冲天炉底焦，为底焦燃烧提供了更有利的化学热力学和动力性条件，加快焦炭燃烧速度，在底焦中形成热量更集中、温度更高的氧化带，为铁液过热和冶金反应提供了更好的条件，从而提高铁液出炉温度、减少合金元素烧损、提高铁液质量。

从空气预热器排出的烟气温度在 450℃左右，进入余热换热器，加热生产生活用水或作为第一级空气预热器预热送风。余热换热器排出的烟气温度降至 200℃以下，使冲天炉内焦炭的热能得到充分利用，从而可以减少焦炭消耗量，尤其是 CO 排放量，达到节能减排效果。

4.1.2.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.1.2.3 技术适用条件

适用于 5t/h 以上冲天炉的大批量铸铁件生产。

4.1.2.4 实施建设内容

需建设外热风水冷长炉龄冲天炉熔炼设备。

4.1.2.5 节能减排效果

以 10t/h 冲天炉为例，与同性能指标的常温送风冲天炉相比，每熔炼 1t 铁液与冷风冲天炉相比可节省焦炭 20%以上；减少 CO₂ 排放量 20%左右。

4.1.2.6 成本效益分析

以 10 t/h 冲天炉为例，全套设备投资 900 万元，运行维护费用 600~700 元/t-铁液，预计 4 年收回投资。

4.1.2.7 技术应用情况

目前该技术普及率不到 1%；预计“十二五”推广比例 5%。

技术应用实例：潍柴动力（潍坊）铸锻有限公司、天津内燃机有限公司、山东吉明美工业有限公司、定州东方铸造有限公司、余姚万豪不锈钢制品公司、荆州荆一机床有限公司、莱芜鑫鑫铸造有限公司、沛县东光铸造有限公司等。

4.1.2.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.3 中小铸铁件流水线余热时效退火技术

4.1.3.1 技术介绍

铸件残余应力会影响其尺寸稳定性和承载能力。通常用时效热处理工艺减少铸件的残余应力。传统时效热处理工艺是在铸件冷却到常温后再采用煤炭或电加热进行热处理，但耗能大且污染环境。

利用铸件余热进行时效热处理的工艺方案，是指铸件在高温下开箱，用机械手去除浇冒口、型砂、砂芯后，带着余热装入连续式热处理炉按需保温 1~8 小时。利用铸件开箱后的余热加电热辅助调节的连续通过式退火工艺，不仅能减少铸件铸造残余应力，而且物流顺畅、节约场所、降低能耗并能显著地提高生产效率。

4.1.3.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.1.3.3 实施建设内容

增加连续式退火炉等辅助设备。

4.1.3.4 技术适用条件

工件余热温度不低于 200℃、又需降残余应力的中小铸铁件流水线，要求退火炉的同一断面温度分布均匀，极差不大于 50℃。

4.1.3.5 节能减排效果

铸件高温入炉退火，小幅升温至 550℃，可节省升温能耗。按平均入炉温度 450℃，年平均气温 28.4℃计算，每 t 铸件升温 1℃需电能 0.24kW h，则每 t 铸件可节约电能： $(450-28.4) \times 0.24=101.18(\text{kW h/t})$ 。

4.1.3.6 成本效益分析

该技术设备投资 700 万元/套，运行维护费用不高于 200 元/t-铸铁件，预计 3 年左右收回投资。

4.1.3.7 技术应用情况

目前技术普及率 1%；“十二五”预计推广比例 5%。

技术应用实例：潍柴动力（潍坊）铸锻有限公司、中国重汽集团济南动力有限公司铸造中心、杭州汽发铸造有限公司等。

4.1.3.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.4 大型铸铁件地坑控温余热时效退火技术

4.1.4.1 技术介绍

铸件在冷却过程中由于各部位冷却速度不一，会产生铸造应力；铸件粗加工后，由于各部位尺寸变化，破坏应力平衡会重新产生应力。因此，要采取时效热处理或长期放置的自然时效来减少或消除铸件内的残余应力，其过程即耗能又耗时。

地坑控温时效退火技术，针对地坑造型铸件，在铸件的不同部位通过采用不同的保温材料和压缩空气快速冷却等手段，使铸件在 600℃ 以下冷却时冷速小于 50℃/时，实现铸件厚、薄部位均匀冷却，以减少铸件内应力，达到时效的目的。

4.1.4.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.1.4.3 技术适用条件

地坑控温余热时效退火技术适用于 10t 以上、长度尺寸 \geq 上、形状复杂的大型铸铁件。在砂箱铸造可能需要用多件砂箱的情况下，为降低工装费用可采用地坑造型。

4.1.4.4 实施建设内容

需要增加铸造车间的作业面积。以年产量 20000t 单件 10t 以上铸件生产为例，地坑作业面积应不小于 2000m²。

4.1.4.5 节能减排效果

采用大型铸铁件控温余热时效退火技术可完全取消热时效工艺所消耗的能源。以年产量 20000t 单件 10t 以上铸件生产为例，采用大型铸铁件控温余热时效退火与采用退火窑（用电加热）热时效工艺消除应力相比，可节约电能 125kW h/t 铸件，减少污染物排放量 90% 以上。

4.1.4.6 成本效益分析

除对铸造车间作业面积有一定要求外，采用大型铸铁件控温余热时效退火技术不必新增设备，且由于不存在常规热时效退火工艺的能源消耗，整体经济效益非常可观。

4.1.4.7 技术应用情况

目前技术普及率 20%；“十二五”预计推广比例 60%。

技术应用实例：北京第一机床(高碑店)铸造有限公司、北一重型机械铸造股份有限公司、济南二机床铸造有限公司、齐齐哈尔重型铸造有限责任公司、自贡长征精密铸锻有限公司等。

4.1.4.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.5 频谱谐波时效技术

4.1.5.1 技术介绍

频谱谐波时效技术的基本原理是：通过傅立叶分析寻找低次谐波，施加合适的能量在多个谐波频率振动，引起高次谐波累积振动产生多方向动应力，与多维分布的残余应力叠加，造成塑性变形，从而降低峰值残余应力，使残余应力分布均化。

频谱谐波时效技术的特点：一是处理工件前无需扫描，对工件用傅立叶分析法进行频谱分析。任何工件都能在激振器转速范围内找到至少 5 个最佳谐振频率，解决了超出激振器转速范围的高刚性、高固有频率工件的处理难题；二是完全实现了多振型处理，复杂工件的多方向残余应力受到多维动应力叠加，产生塑性变形从而得到很好的消除与均化，处理效果显著优于传统振动时效和热时效；三是选择的谐振频率都在 6000 rpm 以下，振动噪音低，达到了绿色环保要求；四是把振动时效可处理的工件从原来的 23% 拓展到接近 100%，可逐步取代以消除应力为目的的热时效(要求改变组织的除外)。

4.1.5.2 技术发展水平

从 2005 年至今，频谱谐波技术已经发展到第七代，有效地解决了高刚性、大吨位的工件振动能量不够的难题，七代频谱谐波技术发展历程见表 4-1。该技术处于国际先进水平。

表 4-1 七代频谱谐波技术发展历程

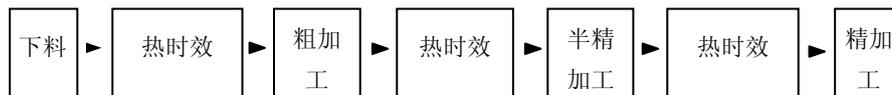
型 号	第二代	第三代	第四代	第五代	第六代	第七代
系统功能						
频谱分析	有	有	有	有	有	有
全程参数监控	无	有	有	有	有	有

亚共振频率自动识别	无	有	有	有	有	有
频率循环选择	无	无	有	有	有	有
加速度延时保护	无	无	有	有	有	有
频率重组	无	无	无	有	有	有
振动频率精调	无	无	无	有	有	有
数据动态保存	无	无	无	有	有	有
亚共振频率自动过峰	无	无	无	有	有	有
稳波供电电源	无	无	无	有	有	有
动应变在线检测	无	无	无	无	有	有
能量因子分析	无	无	无	无	有	有
模态分析	无	无	无	无	有	有
频谱谐波时效工艺模拟/仿真	无	无	无	无	无	有

4.1.5.3 技术适用条件

机械零件加工过程中，消除应力是不可或缺的工艺环节。一般在毛坯状态下、粗加工之后、半精加之后均采用热时效工艺，以降低和均化材料原始残余应力和机加过程中产生的残余应力，提高尺寸精度稳定性，防止变形开裂。频谱谐波技术广泛应用于装备制造过程中铸件、锻件、焊接结构件以及机加工件的残余应力降低和均化，如图 4-1 所示。

热时效工序：



频谱谐波时效工序：

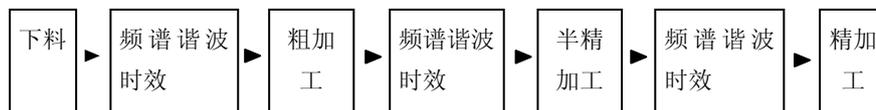


图 4-1 机械零件加工过程的热时效工序

4.1.5.4 实施建设内容

配备频谱谐波时效技术设备，主要技术指标包括：

(1) 最大激振力可达 80kN，能够有效振动处理高刚性、大吨位（100 吨以上）的工件；

- (2) 最大过载电流：30A；
- (3) 振动参数除激振力调节保证有两个最大振动加速度 $30\sim 70\text{m/s}^2$ 值之外，其余参数选择由振动设备自动完成；
- (4) 工件处理前，无需扫描，对工件进行频谱分析；对任何工件都能通过计算机优化选择 5 个最佳谐振频率，2 个备用谐振频率，自动控制激振器对工件进行时效处理；
- (5) 具备频率组合、全程参数监控、亚共振频率自动识别、亚共振频率自动过峰、加速度延时保护处理、稳压供电电源、振动频率精调、时效处理数据动态保存等功能；
- (6) 动应力在线检测；
- (7) 能量因子分析；
- (8) 模态分析；
- (9) 频谱谐波时效工艺模拟/仿真；
- (10) 软件支持主流操作系统：微软 Windows 系统。

频谱谐波时效技术设备的应用流程，如图 4-2 所示。

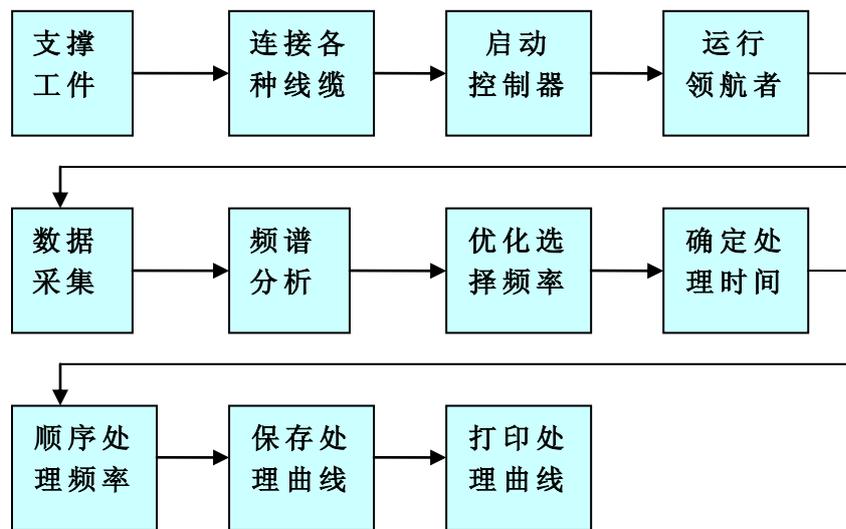


图 4-2 频谱谐波时效技术设备应用流程

4.1.5.5 节能减排效果

以平均 8 小时为例：传统热时效炉平均功率 800kW、1000kW，时效周期从 4 小时到几十小时不等，消耗电能为 6400~8000 kW h；采用频谱谐波时效技术消除残余应力，机型额定功率为 2.5kW、3.2kW，处理时间为 1 小时，消耗电能为 1~3 kW h。频谱谐波时效与传统热时效相比节约能源 90%以上，对比分析汇总见表 4-2。

表 4-2 频谱谐波时效技术与热时效技术对比汇总

类别\时效方式	热时效	频谱谐波时效
时效周期	12 小时以上	1 小时
能源消耗	高（以烧煤、烧气、电为主）	低（1 小时 1 度电左右）能源消耗仅为热时效的 1~5%，成本仅为热时效 8~10%。
占地面积	占地面积大，需要固定的场地，无法挪动。	占地面积小，设备轻便易携，工艺简便易于操作。
环境污染	废气排放，污染严重。	零排放，无污染。
时效工件体积	体积大或较长工件无法进炉时效处理。	对工件体积大小无特殊要求，可通过选择不同型号激振器进行时效处理。
处理效果	炉内温度有差异，不同位置的工件处理效果不一样，改变工件性能，弹性模量降低。	多振型处理，效果好，不降低工件机械性能，提高工件抗变形能力。
频谱时效与热时效相比其他优势	①降低工件残余应力(峰值)30~80%，同时使残余应力分布均化； ②工件尺寸稳定性提高 30~50%。抗静载荷变形能力提高 30% 以上，抗动载变形能力提高 1~3 倍； ③所有处理参数能自动记录，为频谱谐波时效效果判定和检验提供可靠依据； ④劳动条件好，无污染，无需来回吊装运输。工件没有氧化脱碳现象，能保持原来金属光泽； ⑤提高生产效率，节能减排方面的经济效益、社会效益无法估量。	

4.1.5.6 成本效益分析

以年需热时效工件 3.5 万吨的企业为例，每年需支付配套厂热时效费用 400 元/t-热处理件；采用频谱谐波时效技术后，投资 1000 万元购置 25 套频谱谐波设备，支付配套厂热时效费用为 100 元/t-热处理件，1 年即可收回投资。

4.1.5.7 技术应用情况

目前技术普及率 1%，“十二五”预计推广比例 10%。

技术应用实例：天津一机机械有限公司、天润曲轴有限公司、一汽铸造有限公司、内蒙古第一机械制造（集团）有限公司、天津市三达铸造有限公司、北京市北瀛铸造有限责任公司等。

4.1.5.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.6 精密组芯造型铸件近净成形技术

4.1.6.1 技术介绍

用高精度自动制芯造型机及高精度芯盒制造出高精度砂芯和砂型。制芯造型工艺可以是传统的三乙胺冷芯盒工艺，也可以是先进的无机粘结剂工艺。通过高精度夹具，用工业机器人或人工将砂芯精确组合紧固，再将芯组下到砂型中，合模后就得到精密砂模，浇注后就能获得高精度铸件。其核心是组芯定位坐标系技术、精确制芯造型技术、精确组芯合模技术。

在铸件工艺开发阶段根据铸件内腔结构及特征确定砂芯结构及组芯下芯的定位芯头及组合次序，最关键的是要建立组芯及合模定位坐标系及尺寸公差系统，以保证芯组积累误差、搬运及浇注时的冲击位移以及热变形误差，从而保证铸件尺寸精度。

精密砂模需要每一个精确砂芯及砂型本身的尺寸精度及表面质量来保证。因此精确制芯造型技术是系统的核心技术之一。精确制芯造型技术的核心是精密模具及高精度自动制芯造型机的结合。模具芯盒的结构刚性设计、型块尺寸精度、系统精度、射砂及排气系统设计、固化系统设计、砂芯顶出系统设计等决定了芯盒模具的系统精度，从而决定了砂芯砂型的质量。

4.1.6.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.1.6.3 技术适用条件

砂型铸造工艺。

4.1.6.4 实施建设内容

采用高精度自动制芯造型机，掌握组芯定位坐标系技术、精确制芯造型技术、精确组芯合模技术等关键技术。从单个的精确砂芯砂型到合为一体的精密砂模，中间的另一个关键技术是精确组芯、下芯及合模的动作及过程控制。通过巧妙设计的高精度的组芯夹具、胎具、组芯工作台、机构及工业机器人等技术的组合运用，保证每个过程的精确、稳定可靠、可控。

4.1.6.5 节能减排效果

精密组芯造型工艺可以提高尺寸精度，减少壁厚公差及加工余量可以减少到1.5mm或取消机加工，与其他铸造工艺相比，可以节约金属材料的损耗5%以上，综合能耗下降20%~30%。在精密组芯造型铸件近净成形技术的基础上，通过无机粘结剂的运用、砂再生技术及利用铸件余热进行热处理技术，使得铸造过程更加环保、节能。

4.1.6.6 成本效益分析

设备投资 2000 万元，运行维护费用 800 万元/年，预计 4 年左右收回投资。

4.1.6.7 技术应用情况

目前技术普及率 0.5%；“十二五”预计推广比例 5%。

技术应用实例：成都桐林铸造实业有限公司、鹰普（宜兴）机械有限公司、南京精益铸造有限公司、南京长安马自达发动机有限公司等。

4.1.6.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.7 程控液压锻锤

4.1.7.1 技术介绍

程控液压锻锤采用智能测控技术实现打击能量、打击步序的自动控制；采用高度集成锥阀式控制技术，实现锻锤的全液压动力驱动；采用整体 U 型铸钢砧座床身及可拆换的放射型宽导轨结构，实现打击系统的无故障运行；采用等行程等能量对击，彻底解决了锻锤工作时对基础的冲击震动问题实现锻锤的主动隔振。程控全液压锻锤是锻造行业实现高效、节能节材、符合环保要求的新型数控锻造设备。

4.1.7.2 技术发展水平

程控液压锻锤是在国内外锻锤先进技术基础上发展起来的具有自主知识产权的机电一体化的高科技产品，已经形成系列产品，技术处于国内领先水平。

4.1.7.3 技术适用条件

模锻锤、自由锻锤和蒸空模锻锤的改造和更新。

4.1.7.4 实施建设内容

根据企业技术改造规划要求及资金情况，确定程控液压锻锤的规格。

4.1.7.5 节能减排效果

(1) 高效。液压动力驱动技术使得液压锤在极短的行程中获得巨大动能成为可能，因而使锻锤的高频率连续锻造成为现实，大大提高了锻锤的工作效率。

(2) 节能。程控液压锻锤的传动效率为 65%，为蒸空锻锤的 15 倍以上。打

击能量的精确控制避免多余能量的打击，节能效果尤为显著。

(3) 高精度。程控液压锻锤采用放射形宽导轨结构及高刚性的U形床身结构，锤的工作精度可达到并超过压力机的要求，精度保持性好；打击能量的精确控制、程序打击的实现可以大大提高模具使用寿命。

(4) 低噪音。锻锤的噪音是不可避免的，但可降低。如果锻锤打击能量足够，不需要多次打击即能使锻件成形，或者打击能量可以控制，给足锻件成形需要的打击能量，但不多给，情况就大不一样。传统锻锤打击能量是不可调的，经常用足最大能量，其实是不需要的。操作人员也习惯于多打几下，实际是多余的。程控液压锻锤可以精确地控制打击能量，每一次打击的能量都可以调控，可以按设计的程序来控制一定能量的打击顺序，决不多给。这样多余的打击次数没有了，噪音相应地减少。

(5) 低振动。为了克服有砧锤振动较大缺点，程控液压锻锤采用了液压阻尼隔振器，不仅隔离了对周围机床、建筑和居民的振动影响，而且降低了由于锤击带来的对设备可靠性和使用寿命的影响。锻锤本身在设计时也已考虑到振动问题，如：尽量不采用螺纹紧固件，模块用楔铁固定在模座内，这样振动不会影响设备本身，动力头采用柔性联接等，均考虑了振动的减少及吸除。

(6) 稳定的产品质量。如果锻锤是由人操作，不管多么熟练的工人，也难保持100%的一致，特别换班操作，对同一种锻件更难以得到一致的打击能量和打击次数。全液压锤采用电子程序控制，不论谁踩踏板，锻打操作是一致的。对某一特殊零件的工艺如已经编入程序，即可以数码储存起来。以后再锻造同一零件时，只须调出该零件的编码，锻锤即可以进行生产。

(7) 较低的运行费用。节能不仅是指锤的传动效率高，还包括能量的准确控制带来的节能效益，多余的打击不仅多消耗能量，而且影响设备及模具因吸收多余能量带来寿命问题。

(8) 广泛的适应性。锻锤的突出优点在于打击速度快，打击频次高，特别适合要求多次锤击成形及要求高速变形来充填模具的场合。

(9) 蒸空模锻锤的程控化改造。将液压动力驱动、程序打击控制、在线监测和数字显示等新技术用于蒸空模锻锤的程控化改造。

蒸空模锻锤的程控化改造采用全液压动力驱动原理，即工作缸有杆腔始终通过恒定的压力油，当无杆腔进压力油时，有杆腔与无杆腔同时接通实现差动，锤头在自重及油压作用下快速下降，实现打击。打击后，无杆腔与回油口接通失压同时与有杆腔的通路被切断，锤头在有杆腔压力油作用下迅速回程。

液压锤动力驱动，既克服了进油打击方式液气锤有杆腔压缩气体少量泄漏即影响锤头不能正常回程及回程速度、位置难以得到控制的缺点，又克服了放油打

击方式液气锤闷模时间长、回弹连击、回程速度慢、打击频率低、油气互串等缺点。

蒸空模锻锤程控化改造，驱动系统实现液压动力驱动，控制系统实现打击能量打击步序程序控制，打击系统改造为大锤头短行程结构实现高频次打击。蒸空模锻锤经程控化改造可实现精密、高效、节能、环保、高可靠运行。

锻造振动和噪声控制。程控液压锻锤采用等行程等能量对击和液压阻尼隔振器，主动隔振，使锻锤工作时对基础的冲击极小，隔离了对周围机床、建筑和居民的振动影响。

图 4-3 表示了锻锤基础。锻锤直接弹性支承系统（如图 4-3((b)) 的成本比常规基础（图 4-3(a)）成本低，比较时包括所有土建费用、弹簧隔振器和阻尼器费用以及安装费用。一般锻锤运行 8~10 年，直接弹性支承系统的成本便可收回。若设计运行 10 年以上，直接弹性支承系统的经济性便非常明显。弹性支承还有助于减少固体传声，固体传声是高频振动通过地基、墙及地板，传播到空气中形成二次噪声。弹性支承可以使二次噪声轻易地降低 10db (A) 或者更多。所以，弹性支承对于降低此类噪声是非常有益的。

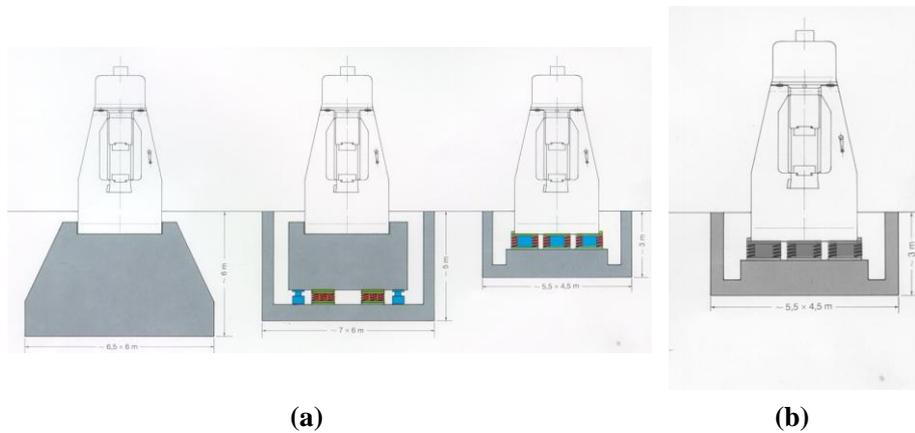


图 4-3 锻锤基础

(a) 传统的固定支承 (b) 直接弹性支承

程控液压锻锤能源利用率为 65%，而传统蒸空模锻锤能源利用率仅为 3%~5%，如果采用程控锻锤，原来蒸空锻锤所用的煤可全部节约下来，传统蒸空锻锤生产能耗为 0.45tce/t-锻件，采用程控全液压锻锤生产能耗为 0.22tce/t-锻件。我国锤上模锻件产量大约 70 万 t/年，若采用程控液压锻锤每年可节约 161000tce /年。

4.1.7.6 成本效益分析

以 5t 程控液压模锻锤为例：设备投资 500 万元，年运行费用 50 万元/年，5~6 年收回投资。

4.1.7.7 技术应用情况

目前技术普及率 40%；“十二五”预计推广比例 80%。

技术应用实例：一汽巴勒特锻造（长春）有限公司、浙江跃进锻造有限公司、内蒙古一机集团富成锻造有限责任公司、青海康泰锻造有限责任公司、常州精棱铸锻有限公司等。

4.1.7.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.8 精密剪切技术

4.1.8.1 技术介绍

基于精密剪切技术的精密棒料剪断机近年来在锻造下料领域得到广泛应用。精密棒料剪断机利用约束剪切和纯剪切技术原理，在剪切过程中给被剪棒料施加一个足够大的径向约束力和轴向约束力，坯料既不弯曲，也没有轴向位移，动刀、静刀与被剪棒料呈均匀接触，载荷分布均匀，避免了应力集中，有效地遏制剪切裂纹产生，获得的剪断面质量高，比普通棒料剪切机提高剪切精度 1~3 倍。精密棒料剪断机对剪切材料没有特殊要求。凡符合国家标准的热轧钢，冷拔钢和六角钢等，均可精密剪切。

4.1.8.2 技术发展水平

该技术处于国内领先水平。

4.1.8.3 技术适用条件

精密剪切技术用于大批量锻造生产的金属棒材的下料工序。

（1）适用于下列工艺要求，以剪切 45# 热轧钢 $L/d=2$ 为例：

断面倾斜度： $\leq 1.5^\circ$

重量公差： $\leq 0.5\%$

断面圆度： 0.96

可以满足温、热精锻和闭式模锻等下料要求。

（2）适用不同的精密剪切材料：

既可适用于精密剪切：40Cr、45#、20CrMnTi、42CrMo 等中、硬材料，也

可适用于精密剪切：08、10、15、Q235A 等软材料。

(3) 对剪切 40Cr、45#、20CrMnTi、42CrMo 等材料，直径在 $\phi 90$ 以下，可以采用室温精密剪切取代予热剪切。

(4) 可以用于室温剪切，也可用于温剪和热剪。

(5) 对剪切材料尺寸及外形没有特殊要求。凡符合国家标准的热轧钢，冷拔钢和六角钢等，都可以精密剪切，即使表面有锈也不影响精密剪切。

4.1.8.4 实施建设内容

企业根据下料规格配备精密剪切机。

4.1.8.5 节能减排效果

与锯切方法相比，每万件节约锯口损耗材料 15000mm；节约电耗 10%~15%。带锯床下料节能减排优势十分明显，特别适用于中、小锻造企业下料。设备投资不大，却可获得较高的下料精度，而且应用范围很广。但是带锯床若用于大型锻造企业下料，它的劣势就会暴露出来。首先，是有屑加工，有锯口损失；其次生产效率不及精密剪切机，精密剪切的生产率比较高速带锯提高 6~10 倍，甚至可以更高。

以 S-Q45 精密棒料生产线为例：应用约束剪切原理，纯剪切技术和刀具制造技术，实现了：

——以无屑加工取代有屑加工。精密剪切下料与高速带锯下料比较，每万件可节约锯口损失 15000mm；

——以约束剪切取代自由剪切。与普通棒料剪断机比较，可提高剪切精度 1~3 倍；

——以室温精密剪切取代预热剪切。精密剪切通过应用约束剪切原理和纯剪切技术，使被剪棒料在剪切时受三向压应力，呈均布载荷，可防止集中应力产生，不仅可提高剪切质量，防止剪切裂纹产生，除了特别高的硬度需要预热外，一般如 45#、40Cr、42CrMo、8620H 等常用材料都不需预热，可以节约大量预热费用。

4.1.8.6 成本效益分析

以 S-Q45-220A 精密棒料生产线为例：设备投资需 29 万元；按年产 300 万件计，运行费用 12 万元/年。

4.1.8.7 技术应用情况

目前该技术普及率 5% 左右；“十二五”预计推广比例 40%。

技术应用实例：天津汽车锻造有限公司、北京北内锻造有限公司、江苏龙城精锻有限公司、希美克（广州）实业有限公司、厦门亨泰五金制品有限公司、广州亮晖五金制品有限公司、山东高强紧固件有限公司、江苏双环齿轮有限公司、拉伊台克株桥铁路扣件（武汉）有限公司、洛阳北方易初摩托车有限公司等。

4.1.8.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.9 前上料短行程铝挤压技术

4.1.9.1 技术介绍

前上料短行程特征适用于所有单、双动卧式铝挤压机。但无论是采用固定挤压垫，还是循环垫片，都必须配置先进可靠的控制系统和自适应式供锭机械手。短行程(也称“紧凑型”Compact type)挤压机与传统挤压机的显著区别，在于向挤压中心供锭方式不同。它取消了垫片循环系统，采用固定挤压垫、前上料供锭方式。

挤压杆在挤压筒内处于回程状态，装有坯锭的供锭器在模具和挤压筒之间。先以挤压杆用较小负载顶住坯锭，让供锭器退出。再使挤压筒以一定的锁紧力闭合后，由挤压杆加载挤压。挤压结束后，挤压筒和挤压杆同时退回最大锭长的行程，准备下一个挤压循环，大大缩短了非挤压辅助时间。

前上料短行程铝挤压机已能系列生产，其公称压力为 20MN, 25MN, 27.5MN, 31.5MN, 36MN, 50MN, 55MN, 75MN, 90MN, 95MN, 100MN, 110MN, 150MN, 225MN。100MN“短行程”双动卧式铝挤压机如图 4-4。



图 4-4 100MN“短行程”双动卧式铝挤压机

4.1.9.2 技术发展水平

随着固定挤压垫技术的推广应用，前上料短行程挤压技术得以不断发展。目前该技术处于国内领先水平。

4.1.9.3 技术适用条件

所有单、双动卧式前上料短行程铝挤压工艺。

4.1.9.4 实施建设内容

根据企业产品大纲和挤压工艺对象要求的实际情况设计建设规划，确定所需要的设备规格。

4.1.9.5 节能减排效果

前上料短行程铝挤压机的节能减排效果体现在以下几个方面：

(1) 挤压杆行程缩短 1/3，机架开档减少 1/6，机架刚度高；主、侧缸容积减小 1/2。挤压工作时，主、侧缸，锁紧缸内高压油容积小，升、卸压时间缩短。非挤压辅助时间减少 15%，主行程无功作业时间减少 50%，一条中等挤压生产线（含炉子）平均装机功率按 5000kW 计，降低功率消耗 750kW。

(2) 设备重量减轻 20%，投资费用每台平均降低 400 万元左右，主行程无功作业时间减少 50%，非挤压辅助时间减少 15%。短行程紧凑型挤压机占地面积减少平均 50m²，使用企业土地、厂房、基础工程造价得到相应减少。

(3) 坯锭轴线中心与挤压筒中心一致性好，实现无摩擦装料、轴对称中心载荷锻造，挤压工具寿命长；改善排气操作，易将残余空气排出，避免了气爆现象和制品中产生气泡缺陷。

(4) 将直管电阻式电热元件直接插入挤压筒组件外套，加热效率高，热量损失少；采用径向上下分区、轴向分段加热和冷却，可根据需要采用不同的加热、保温制度调控。

(5) 通过多组定量和变量泵组合匹配，提供所需流量，根据挤压速度要求，设定投入泵的数量，并采用了电液比例阀控制和无级调节变量泵流量的容积传动，控制主液压系统各机构运行速度，避免了阀控节流和高压溢流造成的能量损失及油液温度升高。

(6) 控制泵、锁紧泵、辅助系统采用恒压变量泵。在恒定压力下，流量输出根据系统需要自动变量，避免了高压溢流造成的能量损失及油液温度升高。

(7) 挤压杆和挤压筒短行程、快速上料和压余剪切、工模具快速更换、快速检测调整等专有技术，使非挤压辅助作业时间大大缩短，提高了全线设备的效率和生产率，降低了所有设备的功率消耗。

(8) 油泵站的所有油泵电机均布置在地面以下 3m 的地坑内，噪声可垂直向高空散发，减小了地面噪声。

总之，前上料短行程铝挤压机改善了挤压工艺性能，材料利用率和成品率可

分别增加 3%~5%，折合挤压材成本降低平均 1500 元/t-产品。

4.1.9.6 成本效益分析

以 75MN 挤压机为例：设备投资 4000 万元，运行费用 500 万元/年，7~8 年收回投资。

4.1.9.7 技术应用情况

目前推广比例为 20%；“十二五”预计推广比例 50%。

技术应用实例：辽宁忠旺集团有限公司、青海国鑫铝合金管棒材股份有限公司、天津锐新电子热传技术股份有限公司、江阴东华铝材科技有限公司、山东兖矿轻合金有限公司、山西阳泉铝业股份有限公司、吉林麦达斯铝业有限公司、湖南晟通科技集团有限公司铝型材分公司、西安飞机工业铝业股份有限公司、广西南南铝业股份有限公司等。

4.1.9.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.10 精密冲裁成形技术

4.1.10.1 技术介绍

精密冲裁成形技术（简称“精冲技术”）具有生产效率高、材料利用率高、能量消耗小、生产成本低、容易技术实现自动化等优点。冲头与凹模间采用小间隙（约 0.5%t，t 为被冲材料厚度），并在沿零件轮廓分布的 V 形环压边圈和反压板作用的压力下冲裁，使变形区材料产生三向压应力状态（即静水压），塑性提高，从而出剪切面完整光洁的零件。

普通冲裁方件只有 1/3 为光亮带，其余是粗糙的撕裂面，且微有斜度。精冲件的整个剪切面光洁可达到磨削水平的工件。对于复杂形状的齿形零件尤为明显，可大大节省加工工时和电能消耗，降低成本，而且零件的互换性好。精冲件质量可达到：剪切面粗糙度 $Ra=0.4\sim 0.8\mu m$ ；尺寸精度：IT7；精冲模具一次刃磨寿命为 4 万次，总寿命可达到 50 万次。

4.1.10.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。精冲技术是一项节能、环保的制造技术，具有技术含量高，资金投入大，产品附加值高等特点。精冲技术广泛应用于汽车、摩托车、拖拉机、仪器仪表、家电、建筑门窗、运输机械、起重机械、轻工机械、飞

机和航天器等制造工业部门。但总体上看，我国精冲技术发展与工业发达国家的差距主要体现在对精冲工艺和模具设计技术掌握不够、模具的制造精度不高等方面。

4.1.10.3 技术适用条件

板材的精密冲裁，批量、连续生产。

4.1.10.4 实施建设内容

根据企业产品大纲和冲裁工艺对象要求的实际情况设计建设规划。

4.1.10.5 节能减排效果

与普通冲裁相比，精冲技术可节约后续加工的能能源消耗。

4.1.10.6 成本效益分析

一条 6500kN 精冲生产线设备投资需 500 万元，运行费用 100 万元/年，投资回收期 7~8 年。

4.1.10.7 技术应用情况

目前该技术普及率 20%；“十二五”预计推广比例 50%。

技术应用实例：苏州东风精冲工程有限公司、武汉迪克精冲有限公司、武汉长江融达电子有限公司、湖北中航精机科技有限公司、苏州忠明祥和精工有限公司、武汉华夏精冲技术有限公司、广州市华冠精冲零件有限公司、上海交运汽车精密冲压件有限公司、重庆五九精密锻压有限责任公司、嘉兴和新精冲科技有限公司等。

4.1.10.8 技术知识产权情况

该技术已经形成一批国内专利技术。

4.1.11 高效率空气自身预热烧嘴

4.1.11.1 技术介绍

烧嘴采用多级混合燃烧原理，燃烧充分且火焰温度低。烧嘴内装高效率空气换热器，换热器结构为内外高密度翅片结构，将助燃空气预热到 500℃~700℃（根据不同炉温），以达到节约能源的目的。而采用普通烧嘴时，集中换热器只能将空气预热到 250℃~450℃。

目前热风比调节烧嘴可将预热空气温度调节到 500℃，自预热烧嘴达 600℃，

寿命 5~6 年。整体预热烧嘴可预热到 800℃。自预热烧嘴把供热系统、排烟系统的烟筒、烟道、换热器和烧嘴有机地合成一体，又和普通烧嘴一样便于安装在回热炉上，利用炉膛排出的废气，将助燃空气预热到 350℃~500℃，可节约燃料 30%。空气自身预热烧嘴对温度采用自动控制，能耗与原来加热设备相比节约能源 10%~15%，污染排放降低，产品质量和成品率大大提高。

4.1.11.2 技术发展水平

该技术处于国内领先水平。随着天然气的大量使用，国内一些大中型锻压企业开始对加热设备进行改造。改造后的加热设备取得了较好的效果，采用空气自身预热烧嘴可实现多级混合燃烧，具有燃烧充分、火焰消耗的热量小、污染物排放量低、工件氧化烧损率低的特点。同时，产品的质量和成品率也大大提高。

4.1.11.3 技术适用条件

燃气热处理炉、加热炉。

4.1.11.4 实施建设内容

根据企业对锻件热处理、加热工艺要求的实际情况设计建设规划，选择改善热处理炉及加热炉的烧嘴类型。

4.1.11.5 节能减排效果

与采用普通烧嘴同类炉子相比，节能 15%；减少 NOX 排放量 50%。

4.1.11.6 成本效益分析

设备投资 4.5 万元/对，运行费用 5000 元/年，半年左右收回投资。

4.1.11.7 技术应用情况

目前技术普及率 10%；“十二五”预计推广比例 70%。

技术应用实例：内蒙古北方重工业集团有限公司、北京第一机床厂等。

4.1.11.8 技术知识产权情况

该技术正在申请国内专利。

4.1.12 非调质钢在锻件中的应用

4.1.12.1 技术介绍

机械零件大量采用碳素结构钢及合金结构钢，为使零件具有良好的综合力学

性能，一般都要通过热锻后重新加热，经过调质热处理（淬火并高温回火）。

20 世纪 70 年代，为了节约能源，降低制造成本，各国相继开发出一系列不需要调质热处理的机械结构钢，即非调质机械结构钢。非调质机械结构钢，是在碳素结构钢或合金结构钢中加入极微量的 V 或 Ti、Nb、N 等特殊元素进行“微合金化”（Micro-alloyed）。这些元素在锻造冷却过程中，以碳化物、氮化物形态析出阻止晶粒粗大，在连续冷却析出强化作用中，强化效果最显著的是 V 的碳化物、氮化物 [V (C、N)]，即微量元素在钢中起析出强化和细化晶粒作用，用这种钢制成的零件，锻造后控制冷却，即可达到要求的力学性能，零件可直接使用。

非调质钢的优点是省去锻造以后整个加热、淬火和回火热处理工序，不仅简化了工序，节约大量能源，降低生产成本，避免锻件在热处理过程中产生变形、脱碳和淬火裂纹所造成的废品，减少热处理过程造成的污染，改善环境，而且零件心部与表面硬度几乎没有差别，切削性能又好，具有很好的技术经济效益和社会效益。所以非调质钢种类不断发展，应用领域不断扩大。

4.1.12.2 技术发展水平

为了降低综合能耗，提高锻件质量与性能，非调质钢种类不断发展，已由微合金非调质钢发展到铁素体细晶粒、铁素体—珠光体型韧性非调质钢，以及高强度、高韧性贝氏体或马氏体型非调质钢，例如贝氏体高韧性微合金非调质钢和低碳马氏体组织的高强度高韧性微合金非调质钢。

非调质钢具有很多优点，使用范围也已从机械结构钢扩展到其它领域，发展前景宽广。非调质钢不仅用于发动机曲轴、连杆，而且已经用于汽车底盘前轴、半轴、转向节等。非调质钢推广应用需要企业产品设计师、材料工程师和工艺工程师三者结合，密切合作，齐心协力，协同工作才能获得快速发展。目前，国内机械行业企业正在积极推行非调质钢的应用。

4.1.12.3 技术适用条件

汽车发动机、底盘等锻件，其它机械零件。

4.1.12.4 实施建设内容

非调整钢的应用，需要控制锻造温度在较小的波动范围内。因此，要对加热好的坯料进行温度分选，剔除高温或低温的坯料，在坯料加热炉出口设置温度监控装置。锻后的零件需要控制冷却，大型锻件采用悬挂冷却输送链，中小型锻件采用控制冷却输送带。

4.1.12.5 节能减排效果

(1) 节能。由于省去了锻件调质热处理工序，可节能 1000 kW h /t-锻件；减少污染排放量 30%~35%。

(2) 节省热处理设备的投资、场地和设备维护费用。一条连续式铸链电阻炉或网带电阻炉约 200 万元左右，曲轴类锻件的调质生产线价格约 600 万元左右，再加上淬火介质和设备日常运行维护费用。

(3) 避免热处理过程中产生的不良品和废品。因节省调质热处理工序，避免了因变形和脱碳产生不良品，提高了零件表面质量。

(4) 缩短生产周期。据统计，因简化生产工序一般可缩短生产周期约 20%，并降低人工成本，从而提高了劳动生产率。

4.1.12.6 成本效益分析

由于不同零件工艺要求不同，设备投资在 5~30 万元，运行维护费用 2~5 万/年，1 年左右收回投资。

4.1.12.7 技术应用情况

目前技术普及率不到 10%；“十二五”预计推广比例 40%。

技术应用实例：一汽巴勒特锻造（长春）有限公司、东风锻造有限公司、湖北神力锻造股份有限公司、白城中一精锻股份有限公司、上海运良锻造实业有限公司、辽宁五一八内燃机配件有限公司、第一拖拉机股份有限公司锻造分公司、浙江跃进锻造有限公司、江铃汽车股份有限公司、江苏宏宝锻造有限公司等。

4.1.12.8 技术知识产权情况

该产品技术为国外专利技术。

4.1.13 多工位高速精密成形技术

4.1.13.1 技术介绍

精密模锻即净成形或近净成形技术，能有效提高锻件精度，提高材料利用率，而且还促进精密模锻配套技术持续快速发展。如精密剪切下料、无氧化加热、模锻工艺、润滑剂、模具精密加工、锻件和模具的检测技术等。热精锻和冷、温精锻主要包括两个方面：一是精化毛坯，即利用精锻工艺取代粗切削加工工序，例如用高速热锻机或热模锻造力机闭式模锻生产轿车变速箱齿轮，精锻汽车等速万向节毛坯等，其余量 0.35~1mm、公差 $\leq \pm 0.4\text{mm}$ ；二是精锻零件，通过精密模锻直接获得成品零件，例如冷精锻轿车差速器行星齿轮和半轴齿轮、汽车变速

箱倒档齿轮、星形套等，能够减少或省去锻后切削加工工序。图 4-5 为采用温锻和冷锻组合工艺生产锥齿轮精锻件的实物照片。

(1) 汽车等速万向节的多工位高速精密成形技术和温冷联合精密成形技术采用多工位高速成形设备生产汽车万向节零件，流程短效率高。因为采用运动仿真技术，优化生产过程中机械手的运动轨迹，避免锻件在各个工位间传动过程中发生干涉，实现高效自动化传递。又由于合理分配各工位变形程度，缩短工艺流程，提高模具使用寿命，从而实现汽车等速万向节锻件高速自动化生产。

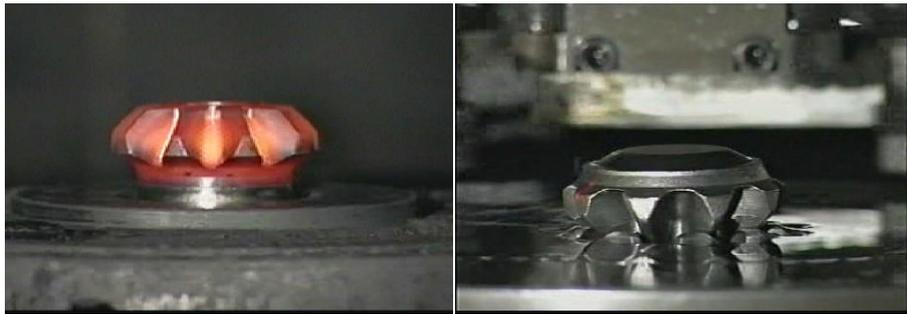


图 4-5 采用温锻和冷锻组合工艺生产锥齿轮精锻件

温冷联合精密成形技术，综合应用了温成形与冷成形工艺特点，可制造大尺寸、高精度的锻件。金属的主要的变形由温成形工艺完成，重要尺寸由冷成形工艺来保证，特别适合于汽车万向节滑套与钟形壳零件的精密制造。

汽车等速万向节钟形壳零件的温冷联合成形工艺流程为：下料→抛丸→自动涂层→感应加热→正挤（一工位）→镦粗（二工位）→整形（三工位）→反挤（四工位）→控制冷却→抛丸→磷、皂化→冷精整→缩径。

此工艺具备高效、节能、自动化生产的特点，能保证制造每件产品的材料、模具、能源消耗达到最低限度，且产品质量稳定，具体如下：

- ①无模锻斜角和飞边，锻件尺寸公差小；
- ②后续机加工余量小，关键难加工部位可实现少无加工；
- ③采用通过式感应加热器加热棒料，对锻件采用控制冷却，保证金相组织优良、稳定；
- ④自动化生产，消除了影响产品质量稳定的人为因素；
- ⑤对模具自动润滑、冷却，提高了模具寿命；
- ⑥模具加工采用数控硬车、高速硬铣等先进技术。

等速万向节温冷联合成形生产线中的主要设备为 20MN 五工位自动温锻线，从上料、石墨涂层处理到感应加热、锻造各工序的工件转移、模具的冷却和润滑，都是自动进行。生产线还实现了加热温度的自动控制和模具的自动润滑、冷却及模具破损的自动检测。钟形壳五工位温锻成形的制品如图 4-6，生产节拍为每分

种 18~35 次。为了使模具充分冷却，温锻成形一般实施间隔上料，生产率为 12.5 个/分，即 750 件/小时。由于生产线工艺条件严格、稳定，生产效率很高，年产量可达 300~500 万件。产品质量稳定，能满足等速万向节大批量生产的要求。此生产线代表了当代精密锻造先进水平。



图 4-6 钟形壳 5 工位温锻的制品

(2) 单向闭塞与分流联合成形技术

将闭塞成形和分流成形两项先进精密技术复合起来，优化设计预成形毛坯，使复杂的零件外型面在封闭模腔内一次无飞边成形，达到图纸要求，中心孔在成形过程中分流减压，有利于金属充填型腔和提高模具寿命，实现汽车等速万向节星形套零件的内沟道和外球面同时精密成形，无须后续切削加工。

传统的星形套锻造工艺为热锻成形，对锻件切边后正火处理，再抛丸。由于形状和尺寸精度不高，表面有脱碳等缺陷，因此，星形套锻造的全部轮廓需机加工成形，材料消耗和机加工量很大，不利于大批量生产的节能降耗。

采用闭塞锻造和分流成形技术，其工艺流程如下：下料→球化退火→制坯→抛丸→磷皂化→镦粗→低温退火→抛丸→磷皂化→反挤→冲孔→低温退火→抛丸→磷皂化→闭塞锻造。

星形套三工位成形的技术特点：

- ①无飞边复动成形，锻件精度高，尺寸公差小；
- ②后续机加工余量小，内沟道和外球面仅留磨加工余量，降低了材料消耗，同时节省了沟道铣加工设备；
- ③省去了铣削工序，节约了生产成本，缩短了生产周期，提高了生产效率；
- ④高压气动闭塞成形模架，无泄漏，系统简单，造价低；
- ⑤对模腔采用高速硬铣加工，提高了模具质量和制造模具效率。

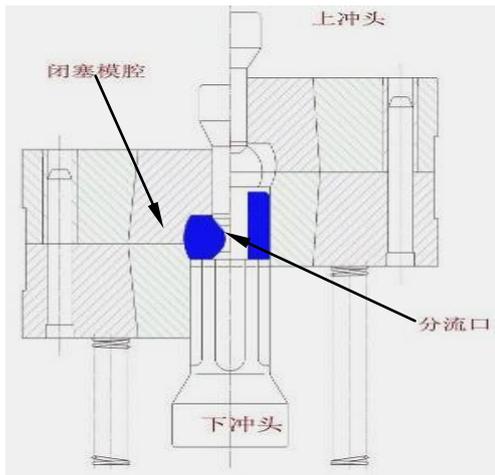


图 4-7 工艺原理示意图



图 4-8 星形套产品

4.1.13.2 技术发展水平

精密塑性成形工艺由单工位冷锻成形发展到多工位冷锻成形；锻造温度由室温下的冷锻发展到温—冷联合成形和热—冷联合成形。

(1) 材料利用率。冷、温锻件为 90% 以上，热精锻件平均为 85%。

(2) 生产率。冷温锻件手工操作平均班产为 1000~2000 件，步进梁机械手自动化操作平均班产 5000 件。目前绝大多数企业还是手工操作。

(3) 进出口情况。冷锻汽车伞齿轮等少数品种已有部分出口美国。

(4) 精度指标。冷锻件外径误差 $\leq 0.05\text{mm}$ ，内径误差 $\leq 0.08\text{mm}$ ，厚度误差 $\leq 0.15\text{mm}$ 。

该技术处于国内领先水平。

4.1.13.3 技术适用条件

大批量生产的中小型锻件。

4.1.13.4 实施建设内容

根据企业产品大纲和产品工艺对象，增加相应的全自动温锻生产线。

4.1.13.5 节能减排效果

与普通锻压设备进行温锻成形相比，节能 40%；节材 30%；减少后续机加工时间 30%；生产效率提高 60%。

4.1.13.6 成本效益分析

以 20MN 五工位全自动温锻生产线为例：设备投资 8000 万，运行费用 100 万/年，6~7 年收回投资。

4.1.13.7 技术应用情况

目前技术普及率 1%，“十二五”预计推广比例 15%。

技术应用实例：江苏太平洋精锻科技股份有限公司、江苏飞船股份有限公司、江苏森威精锻有限公司、上海纳铁福传动轴有限公司、德西福格汽车零部件集团、上海保捷汽车零部件锻压有限公司、陕西法士特汽车传动集团有限责任公司等。

4.1.13.8 技术知识产权情况

该产品技术为国外专利技术。

4.1.14 锻造模拟技术

4.1.14.1 技术介绍

锻造成形模拟技术作为先进制造技术的重要组成部分，不仅生产效率高、原材料消耗少，而且可以有效地改善金属材料的组织和力学性能。随着技术进步和需求的高速增长，传统的基于经验公式、数据的工艺和模具设计方法已不能满足现代化市场快速反应与产品短周期开发的实际需求。要提高锻件材料利用率、模具使用寿命、产品质量，缩短新品开发周期，必须提高锻造成形设计技术的水平，应用模拟软件的现代设计方法受到广泛关注。

锻造企业引入 Qform2D、Deform-3d 有限元数值模拟软件以来，应用模拟技术解决了大量实际工程问题，在提高材料利用率、模具寿命及产品质量方面，尤其是提高新品开发一次试模成功率，缩短开发周期等方面发挥了重要的作用。

4.1.14.2 技术发展水平

目前，大中型锻造企业基本都采用了锻造成形模拟软件，在优化锻造工艺、改善产品质量、提高模具寿命和生产效率等方面发挥了重要的作用。该技术处于国内先进水平。

4.1.14.3 技术适用条件

新产品开发及产品质量的持续改进过程，提高模具寿命，开发新工艺等。

4.1.14.4 实施建设内容

根据企业自身的条件，购置软件及其相关硬件设备。

4.1.14.5 节能减排效果

与不采用计算机模拟方式相比，节能 10~20%；材料利用率提高 10%；模具

寿命提高 20% 以上。

4.1.14.6 成本效益分析

投资额预计 32 万元，运行费用 1 万元/年，1 年左右收回投资。

4.1.14.7 技术应用情况

目前技术普及率 5%；“十二五”预计推广比例 60%。

技术应用实例：东风锻造有限公司、芜湖三联锻造有限公司、江苏森威精密锻造有限公司、一汽巴勒特（长春）锻造有限公司、江苏飞船股份有限公司、南京汽车锻造有限公司、中国重汽（香港）公司济南铸锻中心、无锡透平叶片有限公司、江阴全华丰精锻有限公司、无锡东海锻造有限公司等。

4.1.14.8 技术知识产权情况

锻造模拟软件为国外专利技术。

4.1.15 冷摆动辗压成形技术

4.1.15.1 技术介绍

通过摆辗机摆动对金属坯料表面部分接触使金属充填模型，成形精密复杂锻件。摆动辗压的优点是：

①变形力小，摆辗件加工压力是传统锻造压力的 1/5~1/20。

②冷摆辗加工变形均匀，产品容易成形。冷摆辗件尺寸精度达 0.025mm；表面粗糙度 $Ra=0.8\sim 0.2\mu m$ ；最适合成形一般锻造工艺无法加工的局部很薄、直径与厚度之比较大、外形复杂的带杆法兰件。

③冷摆辗成形件综合性能好，金属纤维流向分布合理。冷摆辗强化后工件的抗拉强度和硬度有较大提高。

④冷摆辗模具成本低，节材节能，振动及噪音小，劳动条件好，符合环保要求，容易实现机械化与自动化。图 4-9 是冷摆辗成形的零件。

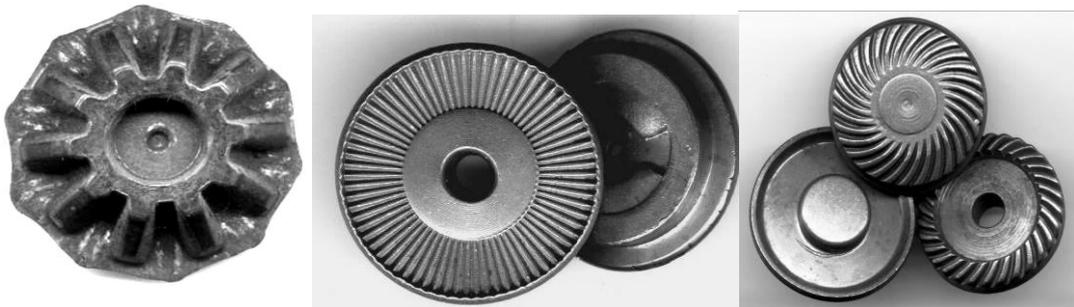


图 4-9 冷摆辗成形的直齿锥齿轮（左）螺旋锥齿轮（中）和兵器零件（右）

摆辗的材料可以是黑色金属或是有色金属，也可对复合材料摆辗成形。采用耐磨性好的铜和钢复合的钢基复合材料是制造轴套的最佳材料，这样可节省铜这样的重要战略物资。绝大多数轴套是整圆结构，它的制作方法可以在无缝钢管内壁浇铸铜合金后摆辗加工强化，但这样生产条件太差，生产率很低。如将粉末在无缝钢管内壁压制生成铜合金衬层后烧结，工艺则较为简单，再摆辗衬层使其加工强化，使密度也大大提高，可达到相对密度 $\geq 98\%$ 。

4.1.15.2 技术发展水平

自在 20 世纪 90 年代起，我国轴承行业就有企业开始探索冷摆动辗压成形技术。目前，该技术处于国际先进水平。

4.1.15.3 技术适用条件

齿轮与齿条、同步环、法兰、转向节套筒、球笼、高强度螺栓、异型杆件等零件的摆动辗压成形。

4.1.15.4 实施建设内容

根据企业生产大纲，需增加摆辗机及辅助配套设施。

4.1.15.5 节能减排效果

摆动辗压省力，生产相同产品只需传统锻造力的 5%~20%；室温下摆辗成形，不需加热；模具寿命高。

(1) 普通摆辗件的节能减排效果

①锥齿轮。摆辗件的齿形精度达到 6~7 级，不需后续磨齿加工，大幅度地节约了原料和加工工时。疲劳寿命提高 2~5%，成本约为进口产品的 50%。

②端面凸轮。摆辗件凸轮升程面最大误差在+0.048 到-0.031，粗糙度 $Ra \leq 3.2$ ；生产率比热精锻提高 5 倍多，比棒材切削加工提高 10 倍多。材料利用率达 75%（热锻利用率约为 55%，用棒材车削约为 30%），比热锻件节省后续机加工工时 1/3 左右。每件摆辗件生产利润达 5 至 10 元。

③导磁体。摆辗件节省 40%的原材料。

(2) 粉末摆辗件的节能减排效果

①粉末冶金汽车转向轴推力轴承环。单件重 90g。先在 1600kN 液压机上预制坯，烧结后密度 $\rho=6.4\sim 6.6\text{g/cm}^3$ ，硬度为 80~110HBS。预制坯在室温下放入摆动辗压模内辗压。复压后密度 $\rho=7.74\sim 7.81\text{g/cm}^3$ （相对密度大于 98.9%，大大超过冷轧产品的 93~97%），性能与一般冶金低合金钢材性能相近，疲劳强度高 100%~200%。材料利用率提高 90%以上（比热锻一般冶金件高 52%）；生产率

4~6 件/min。比一般冶金件磨损厚度小 20~85%，使用寿命为普通冶金锻件的 1.25~2 倍。

②粉末冶金齿类零件。粉末冶金齿类零件重 640g，采用冷摆辗复压烧结碳氮共渗钢，密度 7.6g/cm^3 。用传统热锻造的方法生产成分与其相近的 20CrNiMo 钢齿类零件，坯料重 1.30kg，要浪费 0.66kg 材料，劳动强度高 15~60%。

4.1.15.6 成本效益分析

以国产 2000kN 摆辗机为例：设备投资 40~50 万元，运行费用 5 万元/年，2~3 年收回投资。

4.1.15.7 技术应用情况

目前技术普及率 1%；“十二五”预计推广比例 5%。

技术应用实例：江阴全华丰精锻有限公司、昆山精密模具导向件公司、江苏太平洋精锻科技股份有限公司、湖北博盈投资股份有限公司、洛阳市冠华精锻齿轮总厂、北京汽车配件厂、北京工具厂等。

4.1.15.8 技术知识产权情况

目前，国内摆动辗压理论和工艺研究已达国际先进水平，基本上与日本、瑞士同步。国外专利技术，国内在消耗吸收的基础上进行了创新。

4.1.16 电动螺旋压力机

4.1.16.1 技术介绍

螺旋压力机是采用螺旋机构传递飞轮能量的锻压设备，基本部分由飞轮、螺杆、螺母、滑块和机身组成。电动螺旋压力机是利用可逆式电动机不断作正反向的换向转动，带动飞轮和螺杆旋转，使滑块作上下运动，其结构原理如下图所示。电机通过支架固定在机身的顶部，电机的转子通过齿轮带动飞轮。当定子绕组通以三相交流电时，电磁力驱动飞轮旋转，如果改变在定子上的电源相序，就能改变飞轮的旋转方向。通过螺旋副的作用，就能实现滑块的往复运动和实行锻击工序。J58K 系列数控电动螺旋压力机采用双电机驱动的齿轮传动方式，其结构原理图如图 4-10 所示。

相同规格的两台电动机相隔 180 度对称的固定在机身顶部，使飞轮受力均衡，以避免螺杆导套（铜套）产生偏磨。小齿轮由高分子材料制造，强度高且重量轻，惯量不到同样尺寸钢齿轮的 1/5，这样可以保证电机轴在频繁的正反转冲击中受损最小，寿命最长；另外，小齿轮与驱动电机轴采用摩擦联接，通过摩

擦打滑安全保险装置可保证打击力超载时小齿轮可以打滑,进一步有效的保护电机。

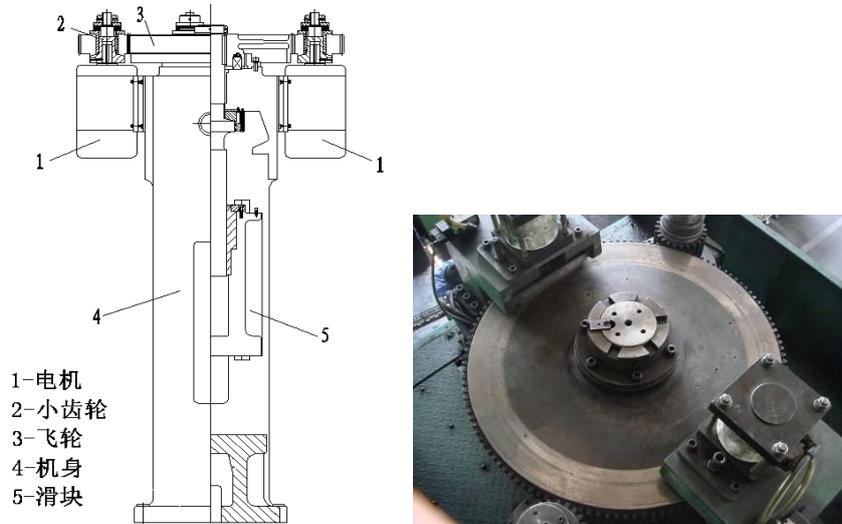


图 4-10 J58K 系列数控电动螺旋压力机结构原理图

电机经小齿轮带动飞轮和螺杆加速旋转,通过螺旋副将螺杆的旋转运动转化为滑块的上下往复运动。接收到打击命令后,电机由静止状态启动,通过齿轮传动带动滑块加速下行,检测达到预先设置的打击能量时,利用飞轮储存的动能做功,使制件成形。飞轮释放能量后,电机立即反转,带动滑块返回至一定高度后,进入制动状态,使得滑块回到预先设定的打击行程位置。由于滑块回程时主要靠电机制动,机械制动器仅在滑块接近上止点时才工作,因而制动材料不易磨损。

4.1.16.2 技术发展水平

(1) 技术先进且成熟

采用 ABB 变频器控制交流异步电机的驱动方案,技术先进且成熟。将基于矢量控制技术的永磁交流伺服电机驱动系统和基于直接转矩控制技术的交流异步电机驱动系统均成功应用于电动螺旋压力机。通过大量的对比实验证明了基于直接转矩控制的交流异步电机驱动系统在转矩响应和输出能力,以及电机温升等关键方面均优于永磁交流伺服驱动系统,性价比更高,故障率越低。

(2) 效率高且磨损小

采用双电机驱动的齿轮传动方式,效率高且磨损小。电动螺旋压力机目前主要是两种传动形式,一是电机的转子与螺杆连为一体的电机直接传动形式,这一方案的特点是传动环节少,但须设计低速、大扭矩专用电机,螺杆导套磨损后会影电机的气隙,电机出现故障维修困难。二是电机经齿轮或皮带带动飞轮螺杆的电机机械传动形式。这一方案的特点是专用电机转速较高,转矩较小,可以设计少数几种的专用电机系列供不同吨位压力机使用,电机出现故障时,更换方便,维护简单;同时,螺杆导套磨损后不会影响电机性能。

（3）抗过载和偏载能力强

采用长滑块、长导轨导向形式，精度高，抗过载和偏载能力强。J58K 系列数控电动螺旋压力机吸收国外先进技术和长期研发积累经验，采用长滑块、长导轨的导向形式，导向精度高，抗过载和偏载能力强。

（4）控制精度高

J58K 系列数控电动螺旋压力机控制系统采用德国西门子可编程控制器产品，可靠性高，性能优良：

①打击能量可精确设置，成形精度高，制件公差小，特别适合于精密锻造。

②由于能精确控制打击能量，可减轻模具载荷，比摩擦压力机模具寿命明显提高。

③滑块静止时，电机不工作，电耗低。当采用了飞轮能量回收装置后，还可进一步降低电耗。

④结构简单，故障率低，易于维护，无液压驱动单元，使用维护费用明显减少。

⑤可进行程序锻造，主机能自动按预先设置的每工步打击能量运行，可方便地与制坯、加热等配套设备通过机器人或机械手组成自动化生产线，显著提高工艺稳定性和锻件质量。

⑥由于采用了最新的变频驱动技术，不会对工厂电网产生冲击和影响其它设备运行。

⑦操作简单，能方便地调整行程高度，滑块回程位置准确。

⑧安装了吨位指示器，保护主机不致超载。

（5）自动化程度高

自动化程度高，容易实现锻造自动生产线。电动螺旋压力机的突出优点是自动化，用户只要在人机界面上设置好打击行程和打击能量，其它计算和控制只交给压力机控制系统自动完成即可。在其上配置六自由度工业机器人和多工位步进梁机械手，是目前实现锻造自动化的重要途径。图 4-11 和图 4-12 所示为电动螺旋压力机锻造自动生产线。



图 4-11 一台机器人方式锻造自动生产线



图 4-12 二台机器人方式锻造自动生产线

4.1.16.3 技术适用条件

适用于模锻生产线的技术改造和更新。

4.1.16.4 实施建设内容

根据企业产品规划和技术改造项目，投资规模大小，确定电动螺旋压力机规格及生产线配套设备。

4.1.16.5 节能减排效果

电动螺旋压力机的摩擦损耗能不超过标称能量的 5%，公称压力下机器的弹性变形能不超过 10%。因此，其在公称压力下的打击能量不会低于运动部分总能量的 85%，远超过国家标准中要求螺旋压力机在公称压力下有效能量不低于运动部分总能量 60%的要求，具有很高的打击效率。同时，电动螺旋压力机可实现打击能量准确控制，可有效减轻模具载荷，提高了模具的使用寿命，并减少振动，降低打击噪音。与摩擦压力机相比较，电动螺旋压力机滑块静止时，电机不工作，电耗低，比传统压力机省电 20% 以上。

4.1.16.6 成本效益分析

以 10MN 电动螺旋压力机模锻生产线为例：设备投资 200 万元，运行费用 5~8 万元/年，投资回收期预计 1~2 年。

4.1.16.7 技术应用情况

目前普及率 5%；“十二五”预计推广比例 25%。

技术应用实例：湖北三环锻造有限公司、白城中一精锻股份有限公司、青岛三星精锻齿轮有限公司、四川名齿齿轮制造有限公司、重庆创精温锻成型有限公

司、江苏双环齿轮有限公司、浙江昌利锻造有限公司、浙江龙虎锻造有限公司、浙江正昌锻造股份有限公司、陕西法士特齿轮股份公司等。

4.1.16.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.17 真空热处理技术

4.1.17.1 技术介绍

真空热处理是将工件置于抽真空的炉罐进行热处理的过程。这种被抽真空的低压气氛,在 0.133Pa 时,残余空气量只占真空炉罐的 0.5%,当低压气氛在 - 30℃ 以下时,便可实现不氧化不脱碳加热。真空热处理包括:真空加热后气淬、油淬和真空渗碳淬火等。

按照加热炉结构和加热方式,真空热处理炉分为外热(热壁)式和内热(冷壁)式两大类。外热式真空炉的热源在炉外。其优点是结构简单,易制造,投资小,缺点是热效率低(工件间接加热及工件表面黑度低以至热惯性大,加热速度慢,炉罐热损失大),炉罐易变形,焊缝易开裂和漏气,寿命短,考虑炉罐的变形及焊缝的开裂和漏气,炉罐内真空度不宜过高,不适合处理尺寸大的工件及需要高温加热的工件。内热式真空炉的结构复杂,制造、安装、调试精度要求较高,工作温度高(最高可达 1300~1350℃),可以大型化(装炉量可达 1000kg~2000kg),空炉升温速度快。内热式真空炉是真空淬火、真空回火、真空退火、真空渗碳的主要炉型。

气冷式真空炉在工件加热后的冷却阶段往炉内充入惰性气体,并开动风扇进行强迫循环冷却。冷却气体可用氢、氦、氩、氮等气体。真空加压气冷,可提高冷却速度,可以代替传统的气冷、部分油冷或分级淬火,可以实现控制冷却,达到合理冷却的目的。

油淬式真空炉由加热室、冷却室和冷却油槽构成。是目前真空热处理的主要工艺,除应用于工模具热处理外,已成功地用于重要结构件,特别是航空航天零件的精密热处理。

真空渗碳多采用真空—脉冲充气渗碳工艺,可以避免渗碳过程中产生内氧化等缺陷。该工艺具有工件表面光亮、生产效率高、成本低、乙炔低压渗碳可进行盲孔或小孔渗碳、不锈钢渗碳等优点。

4.1.17.2 技术发展水平

热处理过程需要把钢件加热到一定温度,然后在适当的气体或液态介质中冷

却。传统的退火、正火工艺一般在空气中加热，氧化脱碳严重。上世纪 50 年代，西方工业发达国家开始普及真空热处理技术，它可使钢件完全避免热处理时的氧化脱碳，使机械零件质量大幅度提高。

在冷壁式炉中施行真空退火已有百年历史。上世纪 60 年代成功研发的冷壁式真空油淬炉是真空热处理技术发展的里程碑。由于实现绝对的无氧化、无脱碳加热，钢件畸变小，使其迅速成为工模具和飞机零件热处理的首选设备；80 年代，国际上出现真空下加热、高压（2~6bar）氮气冷却的高压气淬炉，由于均匀的冷却可进一步减少工模具畸变，且取消油淬还可避免油烟的污染排放。90 年代，法、德等国家研发出真空低压渗碳、10~15 bar（1~2 MPa）高压气淬炉，可以成批量生产中小型汽车和飞机零件。几乎同时，法国 ECM、德国 Ipen 和 ALD 公司又研发出用乙炔（C₂H₂）低压渗碳，20 bar 氮气冷却的真空渗碳高压气淬生产线，用于优质汽车零件的大批量生产。可以不夸张地说，真空加热高压气淬已成为热处理生产技术先进程度的主要标志。

我国从 70 年代初开始研发冷壁式真空油淬炉，70 年代末投入市场，现在已能制造低压渗碳炉、单室和双室 10~20 bar 高压气淬炉，距国际最高水平仅一步之遥。当前国产真空热处理炉已成为航空工业热处理技术改造首选设备，也是模具制造业热衷购置的设备，成为名副其实的进口替代产品。

真空热处理占热处理行业加工总量的 20%，真空热处理技术应用范围广泛，该技术水平处于国内先进水平。

4.1.17.3 技术适用条件

金属材料或工件的真空退火、真空淬火、真空渗碳、真空回火、真空固溶及真空时效处理。

4.1.17.4 实施建设内容

企业根据生产大纲，选择必要的真空热处理炉。

4.1.17.5 节能减排效果

高效。渗碳零件综合制造时间减少 50%。

节能。一次交检合格率可达 99%，可实现全行业总能耗节约 1%。按 2010 年全行业电耗 250 亿度计算，年节电 5 亿度。相当于减排 40.8 万吨 CO₂，或 13.8 万吨碳粉尘。

优质。减少返工和废品的效果明显，产品一次交检合格率可达到 99% 以上，（而其他热处理技术一次交检合格率低于 90%）。

节材。真空热处理技术可实现无氧化无脱碳的效果，因而可以免除热处理加

工后的精加工，节省钢材 3~5%。从而达到提高产品使用寿命和节材效果。

无污染。真空热处理技术可实现热处理过程的零排放。

4.1.17.6 成本效益分析

据统计分析，全行业可采用真空热处理技术加工占行业总加工量的 20%。需要增加各类真空炉约 4000 台，按每台设备 150 万元计算，此项投入约 60 亿元。此项技术可实现行业节电 5 亿 kW·h/年。

4.1.17.7 技术应用情况

目前该技术普及率 10%；“十二五”预计推广比例 20%。

技术应用实例：浙江省永康市求精热处理厂、上海明嘉金属科技有限公司、上海旗春热处理有限公司、无锡宏达热处理锻造有限公司、天津市热处理研究所有限公司、深圳市先力德热处理有限公司、广州市新濠热处理厂等。

4.1.17.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.18 可控气氛热处理技术

4.1.18.1 技术介绍

可控气氛热处理技术是指：为使热处理工件在加热过程中不发生氧化脱碳现象或对工件进行化学热处理，在加热的过程中向炉内通以可控制成分、碳势和氮势气体的技术。常用的可控气氛中含有 CO、H₂、N₂、和少量的 CO₂ 和 CH₄、CnHm 等成分。可控气氛热处理技术主要应用于光亮淬火、退火，渗碳淬火，碳氮共渗淬火，气体渗氮，气体氮碳共渗等工艺。

可控气氛有反应生成气氛、氨分解气氛和氨基气氛。在热处理生产中常用吸热式气氛、放热式气氛、氨分解气氛、滴注式气氛、氨基气氛。

可控气氛热处理炉可分为周期式和连续式两大类。其中，周期式可控气氛设备有：井式炉和密封箱式炉（又称多用炉），适用于多品种小批量生产。连续式可控气氛设备有：网带式、推杆式、转底式及各种形式的连续式可控气氛生产线，适用于大批量生产。

制备可控气氛的燃料有天然气、氨、丙烷、丁烷、甲醇、异丙醇、乙酸乙酯和工业氮等。

4.1.18.2 技术发展水平

应用可控气氛热处理技术不仅可以提高生产效率、改善劳动环境，而且可以

完全避免脱碳，提高材料的力学性能、延长机械零件的使用寿命，但其设备结构复杂、自动化程度高、投资大，对操作人员要求高。可控气氛热处理技术应用方面处于国内先进水平。

4.1.18.3 技术适用条件

各种整体加热的热处理及化学热处理。

4.1.18.4 实施建设内容

企业根据生产大纲，选择必要的可控气氛热处理炉。

4.1.18.5 节能减排效果

节能。一次交检合格率提高 9%，可实现全行业总能耗节约 3%。如在全国行业推广普及，按 2010 年全行业电耗 250 亿 kW·h 计算，年节电 7.5 亿 kW·h，相当于减排 74.8 万吨 CO₂，或 20.4 万吨碳粉尘。

减少油烟排放。如在全行业推广普及，年减少油烟排放约 1 亿立方米。

节材 3%~5%。

4.1.18.6 成本效益分析

据统计分析，全行业可采用可控气氛热处理技术加工占行业总加工量的 60%。需要增加各类可控气氛炉约 6000 台，按每台设备 250 万元计算，此项投入约 150 亿元。行业内若达到 60% 的普及率行业可实现 3% 的节电效果，即节电 10 亿 kW·h/年。

4.1.18.7 技术应用情况

目前该技术普及率 30%；“十二五”预计推广比例 60%。

技术应用实例：江苏南方机电股份有限公司、大连热处理有限公司、张家口市塞特热处理有限公司、河北三河新鑫热处理有限公司、宣化恒科热处理有限公司、广东省佛山市华鑫热处理科技有限公司、常州武进湖塘欣业热处理厂、上海热处理厂有限公司、天津创真金属科技有限公司等。

4.1.18.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.19 加热炉陶瓷纤维炉衬保温技术

4.1.19.1 技术介绍

为使加热炉的热量集中与炉膛内，减少其热损失，炉子上下四壁都砌有耐火砖隔热炉衬。过去主要考虑炉衬的耐火度和强度，采用重质粘土砖堆砌，其容重大、蓄热多、升温慢、能耗大。上世纪 60 年代，国际上研发出一种用陶瓷纤维制成的板或块，作为炉衬耐火隔热材料具有容重（密度）小、导热率低、蓄热少、散热慢，炉子升温快，节能效果十分显著等优点，成为近代加热炉炉衬的首选材料。

4.1.19.2 技术发展水平

推广陶瓷纤维保温材料作为热处理加热炉炉衬的节能潜力较大。热处理行业企业规模小、数量多，大多数热处理加工企业设备陈旧，当前采用陶瓷纤维炉衬加热炉的企业尚不足 20%。国内在陶瓷纤维炉衬技术应用方面，已经形成了自主知识产权技术，技术水平处于国内先进水平。

4.1.19.3 技术适用条件

各种类型加热炉的炉衬。

4.1.19.4 实施建设内容

企业根据生产大纲，增添陶瓷纤维炉衬加热炉，或对现有加热炉炉衬进行改造。

4.1.19.5 节能减排效果

全纤维保温材料容重小、导热率低，可大大减少炉体蓄热，提高升温速度，减少热损失，单班作业有节电 20%~30% 的效果。

4.1.19.6 成本效益分析

据统计分析，全行业约有 7 万台电阻加热炉可采用该技术。按每标准台制造和安装费用 120 万元计算，需投入 840 亿元。若在行业内推广普及，可实现行业节能 10% 的效果，节电 25 亿 kW·h。

4.1.19.7 技术应用情况

目前该技术普及率 20%；“十二五”预计推广比例 90%。

技术应用实例：常州市新城光大热处理有限公司、常州科恒炉业有限公司、上海诚牛金属材料有限公司、江苏南方机电股份有限公司等。

4.1.19.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.20 晶体管电源感应加热技术

4.1.20.1 技术介绍

感应加热热处理是上世纪 30 年代苏联开发并迅速推广的技术。其基本原理是把工件放在感应器中，当一定频率的交流电通过感应器时，由于电集肤效应，在工件表面层产生与感应器中交变频率相同、电流方向相反的感应电流。感应电流沿零件表面形成封闭回路，称为涡流。在涡流及零件本身电阻的作用下，电能可在零件表面层转化为热能，将工件表面加热。

感应加热装置主要有感应加热电源和感应器等。其中感应加热电源是感应加热装置的关键设备之一。采用大功率半导体器件制作的晶体管感应加热电源由于大量节电、节水、节材、效率高，调试方便、负载适用范围宽，正在逐步取代机组电源和电子管振荡式高频电源。

4.1.20.2 技术发展水平

高频感应加热可实现钢件表面一定深度，甚至极薄层的硬化，是当前应用极广的表面热处理技术。由于表面热处理采取表面局部加热方式，故其本身就有明显节能效果。电源是感应加热设备重要组成部分，这些年来经历了从电火花、电子管、晶闸管、可控硅、中频发电机到晶体管电源的发展沿革。采用晶体管作为感应加热电源是感应加热设备的发展方向，晶体管电源感应加热技术水平处于国内先进水平。

4.1.20.3 技术适用条件

各种淬硬深度要求的感应加热电源。

4.1.20.4 实施建设内容

企业根据生产需要，增加晶体管电源感应加热设备，以及工艺技术。

4.1.20.5 节能减排效果

感应加热约占全行业产能的 20%。目前，我国热处理企业中还有 60% 的企业仍在使⽤老式电子管电源和中频发电机电源。新型晶体管电源与电子管和中频发电机电源相比，节能 20%~30%。若在行业内普及晶体管电源可实现全行业节电 2% 的效果，即节电 5 亿 kW·h/年，相当于减排 40 万吨 CO₂ 或 13.8 万吨碳粉尘。

4.1.20.6 成本效益分析

设备投资 50~80 万元，运行费用 1 万元/年，5 年收回投资。

4.1.20.7 技术应用情况

目前该技术普及率 40%；“十二五”预计推广比例 80%。

技术应用实例：上海工业大学嘉定通用机械有限公司、天津热处理研究所有限公司、江苏南方机电有限公司等。

4.1.20.8 技术知识产权情况

国内企业利用进口元器件组装，电路系自行研发。

4.1.21 计算机精密控制热处理技术

4.1.21.1 技术介绍

计算机在热处理中的应用越来越广泛，主要包括：设计计算及计算机辅助设计、热处理工艺过程控制、集散控制计算机系统、热处理计算机仿真技术。计算机精密控制热处理技术是采用 PID、PLC、ERP、群控等计算机控制技术及模拟技术，实现对工件加热的温度、均匀性、时间，工件冷却的时间、速度以及气氛、压力等参数进行控制，并对整个热处理工艺过程进行监测与控制。

4.1.21.2 技术发展水平

随着计算机和信息技术的飞速发展，热处理的精密控制技术得到了迅速发展。热处理工艺正从凭经验生产的落后状态向精密控制、智能化控制的方向发展。计算机精密控制技术在热处理设备自动控制，特别是在真空热处理、可控气氛及化学热处理的自动控制，工艺及数据管理、界面显示、报警，能源管理及生产实现无人化等方面都具有重要意义。计算机精密控制热处理技术处于国内先进水平。

4.1.21.3 技术适用条件

各种热处理工艺生产过程控制和管理。

4.1.21.4 实施建设内容

根据需要，选择控制处理主机、控制仪表、可控硅调功器和加热炉，以及相应的软件。

4.1.21.5 节能减排效果

与接触式继电器开关控制技术相比,通过精密控制,避免温度偏差和超温,单台电炉可达到节能 12%的效果。全行业年节电 5 亿度。

4.1.21.6 成本效益分析

设备投资 50~80 万元/套,运行费用 1 万元/套年,2 年收回投资。

4.1.21.7 技术应用情况

目前该技术普及率 30%;“十二五”预计推广比例 50%。

技术应用实例:西安福莱特热处理有限公司、北京热处理有限公司、常州新区河海热处理工程有限公司、南京宏光热处理厂等。

4.1.21.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.22 化学热处理催渗技术

4.1.22.1 技术介绍

化学热处理是金属零件依赖加热扩散实现的表面合金化与改性的热表层强化技术。将金属或合金工件置于具有一定活性的介质中保温,使介质内各组分间或某些组分在工件表面发生化学反应,一种或几种元素扩散进入工件表层,使其化学成分得以改变,并配以不同的后续热处理,赋予工件表面强化和心部韧化的性能。

化学热处理催渗基本原理是通过添加一定的化学活性物质,提高钢表面活性,从而加速化学热处理表面反应和晶界扩散速度。

化学热处理催渗技术是在化学热处理过程中加入催渗剂,使工件表面活化,加快元素吸收和扩散,缩短化学热处理周期,同时获得改善产品质量,提高产品性能、延长使用寿命的效果。

4.1.22.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.1.22.3 技术适用条件

渗碳、渗氮化学热处理。

4.1.22.4 实施建设内容

增加适当的工艺材料。

4.1.22.5 节能减排效果

化学热处理是应用广泛的常规热处理工艺,但在实际应用中存在着工艺周期长耗能高的现象(有的工件需在 920℃的高温下保温长达 100 小时)。采用催渗技术可以缩短工艺周期 30%,达到节能 20%的效果。若在行业内推广普及可实现行业节能 6%。即年节电 15 亿度,相当于减排 144 万吨二氧化碳或 39.6 万吨碳粉尘。

4.1.22.6 成本效益分析

与常规热处理投资回收期基本相同,运行费用 380 元/t-热处理件。

4.1.22.7 技术应用情况

目前该技术普及率不足 3%;“十二五”预计推广比例 30%。

技术应用实例:哈尔滨北方热处理有限公司、哈尔滨鑫强实业有限公司、北京热处理有限公司、沈阳双马永源机械厂、沈阳福风机械有限公司、唐山市丰润东方热处理厂、上海齐热金属加工有限公司等。

4.1.22.8 技术知识产权情况

稀土催化剂和 BH 催渗剂是自主研发技术,并拥有国内专利。

4.1.23 轴承精密冷辗扩技术

4.1.23.1 技术介绍

精密冷辗扩技术,是一项在常温状态下,少无切削精密成形金属零件的高新技术。在受控辗压力的作用下,通过对金属材料流动方向和变形过程的有效控制使金属材料按设计的方向流动,按指定的部位分布。从而使形状简单的矩形截面金属环料坯,直径由小变大,壁厚由厚变薄,内外表面由简单的圆环面,变成由各种曲线、圆弧、直线组成的精密特型面或球面。轴承套圈的精密冷辗扩工作原理简图如图 4-13 所示,冷辗工作过程如图 4-14 所示。冷辗毛坯上料时由机械手送入工作区,芯辊穿入毛坯,进给系统开始运动,辗扩过程开始:主滑块在伺服电机的驱动下,通过安装在主滑块前端的支承轮推动芯辊压向辗压轮,完成对工件的辗压;电动机通过减速器带动辗压轮旋转,辗压轮通过摩擦力咬入毛坯,毛坯通过摩擦力带动芯辊转动,同时芯辊在进给系统的推动下,与辗压轮之间的中心距逐渐减小,旋转的矩形截面毛坯在辗压力作用下沿变形区域产生局部金属流动,直至变形结束。变形后工件外径长大,截面与成形空间截面相同,壁厚减小,轴向略有展宽。冷辗过程中,托辊与工件始终保持接触,起稳定工件中心高的作

用，并通过反作用力对工件实施整圆，可提高工件的精度。

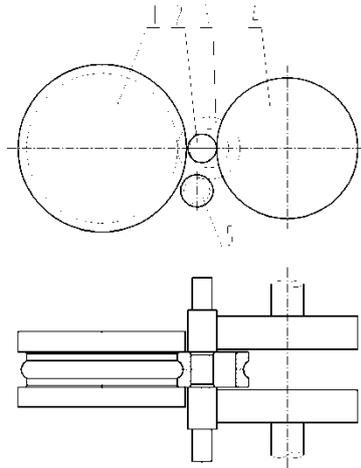


图 4-13 套圈冷辗扩示意图

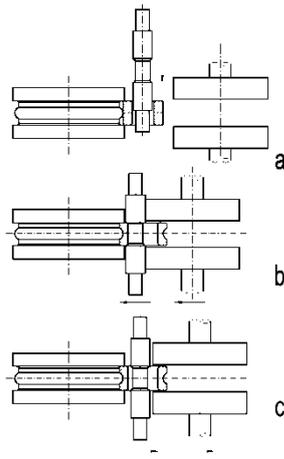


图 4-14 冷辗扩工作过程

1.辗压轮 2.芯辊 3.套圈 4.支承轮 5.托辊

4.1.23.2 技术发展水平

精密冷辗扩技术是在金属环形零件热辗扩成型基础上，发展起来的环形零件精密成型技术。上世纪七十年代末，德国、日本等国家已开始应用冷辗扩技术制造轴承套圈。我国从上世纪八十年代中后期，少数轴承企业，通过引进国外设备，开始采用冷辗扩技术。上世纪末本世纪初，随着国产冷辗机研制成功并投入批量生产，冷辗扩技术在国内轴承行业，初步得到规模化应用。

洛阳轴承研究所从 1976 年开始冷辗扩技术的研究，并在“七五”期间完成了有关轴承套圈精密冷辗扩工艺的国家科技攻关课题，研制出工艺原理实验机，而后对工艺原理、工艺参数、机床结构等方面进行了深入研究，为我国冷辗扩技术的发展奠定了基础。近年来中机十院、洛阳轴承厂和洛阳工学院等单位也开始对冷辗扩技术及装备进行研究，为我国冷辗扩技术的发展作出了积极贡献。

4.1.22.3 技术适用条件

适用于外径 $\leq 260\text{mm}$ 、内径 $\geq 20\text{mm}$ 的轴向截面对称的环形零件的加工。

冷辗扩首先应用于球轴承的生产，工艺相对最成熟。球轴承的冷辗应用是从小型号起步，逐步向大中小型号扩展。目前冷辗扩加工球轴承最小工件内径为 $\Phi 20\text{mm}$ ，单件重量为 40g；最大工件外径 $\Phi 240\text{mm}$ ，单个工件重量超过 4.5kg。通常冷辗扩用于生产均匀矩形截面环件，或者对称的成形截面环件，如图 4-15 所示。

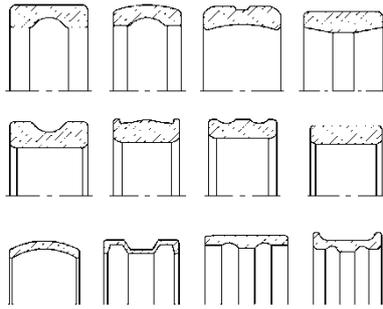


图 4-15 冷辗扩工件的类型

4.1.23.4 实施建设内容

(1) 关键工艺设备：本项目关键工艺设备为大型精密冷辗扩机。

(2) 主要技术指标：不圆度 $<0.10\text{mm}$ ，尺寸公差 $<0.10\text{mm}$ ，辗扩工件外径尺寸目前已达到 240mm，发展目标为 300mm。

4.1.23.5 节能减排效果

与传统工艺相比，提高轴承钢材料利用率 15% 以上。以一台大型精密冷辗扩机为例，年加工 400 吨工件，节材（轴承钢）60 吨。

采用冷辗扩加工轴承套圈时，由于是利用金属冷塑性成形原理，利用不同形状模具，可将形状简单的毛坯一次加工成形。由于是利用成形模具一次加工成形，因此工件形状一致性好，精度高；内、外面同步成形，其同轴度优于切削加工获得的工件。在冷辗扩过程中，金属材料的流线按模具轮廓取向，金属纤维无断头，金属组织更致密，因此有利于提高环件的机械性能。行业内普遍认为：套圈经冷辗扩的轴承，寿命可提高 40%~50%，乃至两倍。冷辗扩本身是无切削加工，所用毛坯形状简单，口径小，容易制备，其切削余量小，相对传统方式，可节约大量原材料，有利于降低成本。

4.1.23.6 成本效益分析

一台大型精密冷辗扩机设备和配套设施投资 76 万元，2~3 年可收回投资。

4.1.23.7 技术应用情况

目前该技术普及率 10%；“十二五”预计推广比例 30%。

技术应用实例：浙江五洲新春集团有限公司、浙江天马轴承股份有限公司、浙江人本集团有限公司、重庆长江轴承股份有限公司、洛阳国华轴承机械有限公司等。

4.1.23.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.24 轴承钢管冷冲切无切屑下料技术

4.1.24.1 技术介绍

国内外轴承厂家采用轴承钢管制造轴承套圈的下料方法(即将钢管切割成单个的轴承套圈毛坯的方法)均采取车床车刀切割的方法,相当于车刀宽度的切口部分成为钢屑。本技术采用轴承钢管冷冲切生产线对钢管进行冷冲切下料,实现无切屑加工,减少了切口部分的轴承钢损耗,节材率达 12.5%以上。冲切精度:垂直度 $\leq 0.1\text{mm}$,高度差 $\leq \pm 0.1\text{mm}$,完全满足轴承加工要求。WZQG 系列轴承钢管冷冲切自动生产线工作原理,如图 4-16 所示。

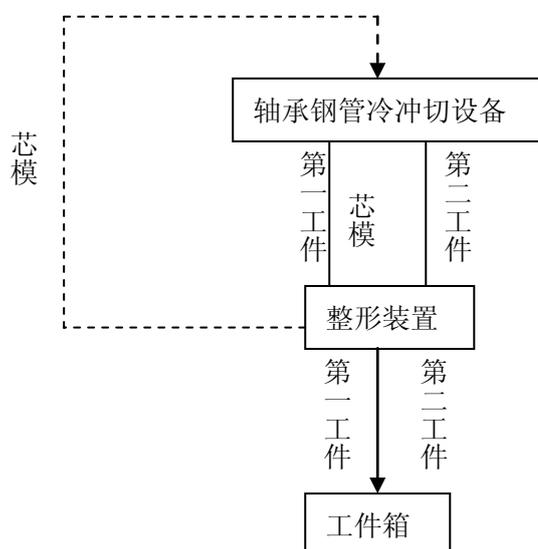


图 4-16 WZQG 系列轴承钢管冷冲切自动生产线工作原理框形图

轴承钢管冷冲切自动生产线分成六大子系统：钢管自动上料系统；钢管快进和套料定位系统；钢管夹紧及冲切系统（核心技术为一次冲切能产生二个工件的冲切模）；活动芯模循环输送系统；工件整形系统及电气控制系统。轴承钢管冷冲切自动生产线每一次工作循环包含 41 个工步，由 PLC 数字程序控制器控制各种电机、气动元件，机械机构按编程自动工作，电气控制系统同时具有故障报警，安全保障，自动计数等先进技术，能满足广大用户冲切不同规格轴承套圈的实际需求。关键技术包括：控制轴承钢管在冷冲切时的变形量、避免冷冲切时产生毛刺、提高冷冲切自动生产线的工作节拍、提高冷冲切自动生产线的数字化控制水平。

4.1.24.2 技术发展水平

该技术处于国际先进水平。

4.1.24.3 技术适用条件

加工范围：钢管外径 $\Phi 20\sim\Phi 100\text{mm}$ ；钢管内外径尺寸公差要控制在一定范围内；大、中批量生产。

4.1.24.4 实施建设内容

- (1) 关键工艺设备：自主研发制造轴承钢管冷冲切自动生产线。
- (2) 主要技术指标：冲切精度垂直差 $\leq 0.1\text{mm}$ 高度差 $\leq \pm 0.1\text{mm}$ 。

4.1.24.5 节能减排效果

与车削加工相比，钢材利用率提高 12.5%。以年下料 228 吨的轴承钢管冷冲切自动生产线为例，年减少钢管消耗约 28.5 吨。

4.1.24.6 成本效益分析

轴承钢管冷冲切生产线设备投资 25~40 万元/条，与传统工艺相比不增加运行费用，2~3 年收回投资。

4.1.24.7 技术应用情况

该技术处于小批量生产阶段；“十二五”预计推广比例可达到 30%。

技术应用实例：浙江五洲新春集团公司、浙江新昌富盛轴承配件有限公司。

4.1.24.8 技术知识产权情况

自主创新技术，获国内发明专利。

4.1.25 轴承套圈高速精密锻造技术

4.1.25.1 技术介绍

采用高速镦锻、中频感应加热等设备，组建适合中国国情的轴承套圈高速精密清洁锻造生产线，实现中频感应加热，高速、多工位镦锻成形，用于中小型轴承套圈的高速精密清洁锻造生产。

4.1.25.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.1.25.3 技术适用条件

适用于外径在 $\Phi 200\text{mm}$ 以下的中小型轴承套圈大批量生产。

4.1.25.4 实施建设内容

关键工艺设备：高速锻锻机、中频感应加热炉；主要技术指标：尺寸和几何精度公差 $<\pm 0.1\text{mm}$ 。

4.1.25.5 节能减排效果

轴承套圈高速精密锻造技术与传统工艺相比，节能降耗效果显著，见表 4-4。

表 4-4 轴承套圈高速精密清洁锻造生产技术与传统工艺的节能降耗比较分析

指标	传统技术/	先进适用技术采用后	节约量%
钢材利用率	56%	64%	提高 8%
电耗 (KW.h/t 产品)	400	320	下降 20%

一条年锻造 8000 吨轴承套圈的生产线，电耗降低 20%，年节电 64 万 KW h；材料（轴承钢）利用率提高 8%，年节材 640 吨；并减少废水、废气、粉尘排放治理费用。

4.1.25.6 成本效益分析

以年锻造 8000 吨轴承套圈生产线为例：设备投资 2300 万元/生产线，与传统工艺相比不增加运行费用，2~3 年可收回投资。

4.1.25.7 技术应用情况

目前该技术普及率 5%；“十二五”预计推广比例 10%。

技术应用实例：重庆长江轴承股份有限公司、浙江人本集团公司、浙江五洲新春集团公司、哈尔滨轴承制造有限公司、浙江新昌西密克轴承有限公司等。

4.1.25.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.26 轴承套圈三联套锻工艺技术

4.1.26.1 技术介绍

传统工艺是加热一个料段，锻造加工一个套圈。轴承套圈毛坯三联套锻工艺技术是加热一个料段后加工第一个套圈，利用加工第一个套圈冲孔分离出的料芯加工第二个套圈，再利用加工第二个套圈冲孔分离出的料芯加工第三个套圈，在一条生产线上，加热一个料段，制造三个套圈。

4.1.26.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.1.26.3 技术适用条件

专业轴承套圈锻造生产。

4.1.26.4 实施建设内容

关键工艺设备：压力机、辗环机；主要技术指标：产品质量达轴承行业锻造工艺标准。钢材利用率提高 15%，电耗降低 5%。

4.1.26.5 节能减排效果

1 条年锻造轴承套圈 1500 吨的生产线，可实现节材 15%，节能 5%。轴承套圈毛坯三联套锻工艺技术与传统工艺比较的结果，见表 4-5。

表 4-5 轴承套圈三联套锻工艺技术与传统工艺的节能降耗比较分析

指标	传统技术	先进适用技术采用后	节约量
钢材利用率	45%	60%	提高 15%
电耗(KW h/t-产品)	400	380	降低 5%

4.1.26.6 成本效益分析

以年锻造轴承套圈 1500 吨生产线为例：设备投资 380 万元/生产线，与传统工艺相比不增加运行费用，2~3 年可收回投资。

4.1.26.7 技术应用情况

目前该技术普及率 10%；“十二五”预计推广比例 40%。

技术应用实例：襄樊市汇聚龙机械制造有限公司、襄阳汽车轴承股份有限公司、人本轴承集团有限公司、浙江天马轴承股份有限公司、河北鑫泰轴承锻造有限公司。

4.1.26.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.27 G8SiMnMoVRE 耐冲击高淬透性轴承钢应用技术

4.1.27.1 技术介绍

高 Ni 高 Cr 渗碳轴承钢是制造承受冲击载荷的矿山、冶金、火车轴承的最佳材料。但 Ni、Cr 为稀缺金属，价格昂贵，同时因要进行渗碳加工，生产成本低，新研制的 G8SiMnMoVRE 耐冲击高淬透性轴承钢强度高、淬透性好，冲击韧性优于渗碳钢，完全可以取代高 Ni 高 Cr 渗碳钢。因不含 Ni、Cr 等稀缺金属，同时不需渗碳，节能减排效果显著，钢材价格和生产成本均比高 Ni 高 Cr 渗碳钢低。

4.1.27.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.1.27.3 技术适用条件

承受冲击载荷的矿山轴承、冶金轴承、火车轴承等。

4.1.27.4 实施建设内容

(1) 关键工艺设备：钢厂和轴承厂家可利用原有设备。

(2) 主要技术指标：强度和耐磨性达到高碳铬轴承钢标准；冲击韧性达到渗碳轴承钢标准。

4.1.27.5 节能减排效果

节约渗碳电耗 1000kW h/t-钢材；节约渗碳用甲醇、煤油等工艺材料 40kg/t-钢材。

4.1.27.6 成本效益分析

无需设备投资。

4.1.27.7 技术应用情况

目前，该技术处于小批试用阶段。

技术应用实例：北京天马轴承有限公司、西北轴承股份有限公司。

4.1.27.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.28 轴承钢智能退火技术

4.1.28.1 技术介绍

在企业原有退火炉体上配置智能化温度控制系统,根据设备运行过程中反馈的退火炉热特性、温场分布、装炉量等参量,智能化地调整各区加热温度、冷却速度等参量,自动完成退火的全过程,无人操作因素。

4.1.28.2 技术发展水平

智能化轴承钢退火技术已在多家轴承套圈、热轧棒料、钢球、盘条等大规模生产企业应用。技术成熟,技术水平居国内先进水平。

4.1.28.3 技术适用条件

连续式退火炉。

4.1.28.4 实施建设内容

关键工艺设备:配置智能化温度控制系统。

4.1.28.5 节能减排效果

以 RJT—360kW 退火炉为例:退火电耗由 270kW h/t-产品下降至 200 kW h/t-产品,节电 70 kW h/t-产品,节电 26%。

4.1.28.6 成本效益分析

用智能轴承钢退火技术改造一台退火炉,设备投资 20 万元,1~2 年可收回投资。

4.1.28.7 技术应用情况

目前技术普及率 10%;“十二五”预计推广比例 20%。

技术应用实例:大连冶金轴承股份有限公司、瓦房店冶金轴承集团有限公司、甘肃海林中科科技股份有限公司、洛阳市洛凌轴承科技股份有限公司、韶关东南轴承有限公司、山东梁轴轴承有限公司、河北轧机轴承有限责任公司、广西轴承有限责任公司、长治轴承(集团)有限公司、大连龙岩轴承有限责任公司等。

4.1.28.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.29 轴承套圈锻造整径技术

4.1.29.1 技术介绍

在传统的压力机（或锻锤）制坯—手动控制辗扩的传统工艺中，增加用模具整径的工序，提高锻件的尺寸精度和几何精度，从而减少锻件加工余量，提高材料利用率。

4.1.29.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.1.29.3 技术适用条件

适合外径 ϕ 250mm 以下的锻件。

4.1.29.4 实施建设内容

- (1) 关键工艺设备：曲轴压力机
- (2) 主要技术指标：整径面公差 $< \pm 0.15\text{mm}$ ，钢材利用率提高 5%。

4.1.29.5 节能减排效果

与未增加整径工序相比，材料利用率提高 5%。

4.1.29.6 成本效益分析

一条生产线需增加 1 台压力机，投资 35 万元，运行费用 20 万元/年，2~3 年可收回投资。

4.1.29.7 技术应用情况

目前技术普及率 40%；“十二五”预计推广比例 80%。

技术应用实例：瓦房店轴承集团有限责任公司、浙江天马轴承有限公司、浙江五洲新春集团有限公司、洛阳 LYC 轴承有限公司、人本轴承集团有限公司、河北鑫泰轴承锻造公司等。

4.1.29.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.30 细晶非调质钢应用技术

4.1.30.1 技术介绍

高强度紧固件所用细晶非调质钢通过采用成分优化设计与低温控轧控冷有机结合的技术思路,获得具有超细铁素体+退化珠光体或粒状贝氏体的组织形貌、尺寸精度和表面质量良好的线材,从而使其具有良好的冷作性能和韧塑性,既可解决传统非调质钢线材的低冷加工性难题,又可解决限制传统非调质钢进一步推广应用的韧性偏低的难题。

传统的高强度紧固件生产工艺如图 4-17 所示,制做紧固件的钢线材冷拔前须球化退火软化,冷镦、滚丝后须调质处理。球化退火和调质处理工序不仅耗时、耗能,而且若控制不当,还会导致产品质量不稳定。使用非调质钢生产高强度螺栓等紧固件产品可省去钢线材冷拔前的球化退火处理和冷镦成形后的调质处理两道热处理工序,既减少工时,也节约了能源,减少了排放,降低了生产成本。



图 4-17 高强度紧固件的典型制造流程

4.1.30.2 技术发展水平

20 世纪 70 年代到 80 年代,国外陆续研制出非调质钢并工业化批量应用。“七五”期间,我国钢铁研究总院等单位先后研究开发出用于紧固件行业螺栓类产品的冷作强化非调质钢,主要用来制作 8.8 级、9.8 级高强度螺栓。然而,受当时设备和生产技术水平的限制,线材的冷变形能力差、强度波动大、尺寸精度和表面质量差,加之缺乏配套的工艺规范和标准,一直没有实现工业化批量生产和应用。在国家 863 计划、科技支撑计划的支持下,我国低温控轧控冷型紧固件用非调质钢线材和钢结构连接件用低成本高强度非调质冷镦钢产品的研究开发取得实质性进展,φ6.5~φ16mm 的细晶非调质钢线材成功用于制造 8.8~10.9 六角头螺栓、六角头螺钉、螺杆及 U 形螺丝等产品生产,技术处于国内领先水平。

4.1.31.3 技术适用条件

细晶非调质钢技术适用于 8.8~10.9 级、M20 以下紧固件、异型零件、长径比 $L/\Phi > 10$ 的螺杆产品的冷镦工艺;特别适用于长杆件, U 型件的生产。

4.1.31.4 实施建设内容

无需新增设备。

4.1.31.5 节能减排效果

使用细晶非调质钢生产高强度螺栓等紧固件产品因减少钢线材冷拔前的球化退火处理和成形后的调质处理两道工序，可节约能源，减少环境污染，降低生产成本，减少工厂投资，避免因热处理控制不当而产生的淬火裂纹、工件变形、表面脱碳等质量问题，实现综合节能约 5 千瓦时/吨—产品。其中，工艺优化节能 15%，提高材料利用率 1%~3%，同时减少淬火介质消耗并降低环境污染。

4.1.31.6 成本效益分析

非调质钢材的售价比制造同性能等级的合金钢稍贵（约 250 元/吨），冷镦模具消耗略有增加，两项成本增加值比省去的淬火和回火工艺费用低，总体上可以降低一定的生产成本，视具体产品不同也有较大的差异，其环境效益远大于经济效益。

4.1.31.7 技术应用情况

目前，细晶非调质钢技术在紧固件行业的普及率 5%， “十二五”期末预计到达 20%， 在一些异型零件制造领域有进一步拓展的空间。

技术应用实例：一汽富奥吉林标准件公司、济南实达紧固件有限公司、宁波中斌紧固件有限公司、浙江乍浦实业股份有限公司、宁波东港紧固件制造有限公司、富奥汽车零部件股份有限公司紧固件分公司等。

4.1.31.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.1.31 紧固件模具优化技术

4.1.31.1 技术介绍

模具在紧固件生产中不可或缺，也是保证产品实现间接节能减排的重要环节。紧固件模具优化技术是运用先进的设计工具、新材料新工艺来提高模具的精度和使用寿命。具体内容包括：运用有限元分析和模拟仿真技术，模拟模具使用过程中的受力情况，优化模具设计；采用长寿命模具材料，用硬质合金材料替代碳钢模具；采用新型表面涂层工艺（如，氮化钛等）和精密抛光工艺，提高模具精度和表面性能。

4.1.31.2 技术发展水平

国内紧固件模具加工装备已经达到国际先进水平，但模具的精度及保持性和寿命与国外相比还存在较大差距。究其原因，一是模具材料与紧固件产品发展不匹配；二是模具设计、加工工艺水平，尤其是高速模具（200 件/分以上）的设计、加工工艺水平亟待提高。

4.1.31.3 技术适用条件

紧固件模具优化技术适用于紧固件生产的常规冷锻设备和热锻设备，对于多工位冷锻机尤为重要。

4.1.31.4 实施建设内容

无。

4.1.31.5 节能减排效果

应用紧固件模具优化技术生产的高寿命模具的寿命是普通模具的 5~8 倍，不仅提高了生产的连续性和劳动生产率，而且提高了产品质量的稳定性和合格率，间接实现节材。同时，还可以降低设备的锻锻力，实现节能减排。

4.1.31.6 成本效益分析

模具优化成本主要在模具的设计阶段，一次性投入不大，后续的使用中基本不产生直接费用，使用新材料和表面处理技术，成本略有提高，但模具寿命提高使得分配到每件产品的模具费用降低，另外，使用优化的模具还可以减少模具更换次数，提高生产效率，提高产品合格率和表面质量，形成间接效益。

4.1.31.7 技术应用情况

目前，在高强度紧固件生产领域模具优化技术的普及率 30%；“十二五”预计推广比例 70%。

技术应用实例：舟山市 7421 工厂、宁波九龙紧固件制造有限公司等。

4.1.31.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.32 紧固件新型除锈工艺技术

4.1.32.1 技术介绍

目前在紧固件行业常用的除锈技术包括酸洗和机械式除锈两种。

酸洗通常用于对原材料表面除锈处理。热轧态钢丝表面有可能存在脱碳、氧

化物、油污及其他外来污染物，为了避免这些有害成分残留影响后续加工及产品质量，需要通过酸洗清除。一般酸洗工艺为两热两冷，既冷热水交替的方式。钢材酸洗过程中有可能因为氢离子渗入发生“氢脆”，其对紧固件的影响是致命的，会导致紧固件延时断裂，而且无法检测和预防。酸洗使用的酸液酸度越高，酸洗时间越长产生氢脆的危险越大。通过改变酸洗液的配方，用弱酸代替强酸，既可以达到预期的清洗要求，又可以有效地避免“氢脆”的发生，同时可以减少一轮冷水清洗，进而实现减少清洗用水量。

机械式除锈可用于对原材料表面进行除锈处理，也可以用于对产品进行清理。它无需使用酸液，也免去了清洗环节的水消耗，同时消除了氢脆现象发生的可能。从节能和保证产品质量的角度应该大力推广。

弱酸或机械除锈技术代替传统酸洗工艺，其优势在于节约能源和水资源消耗，减少酸液排放，避免氢脆发生，生产效率大大提高。如国外的盘料机械喷丸清洗机，可以在一根心轴上安放多盘钢材，同时进行清洗，时间约 20 分钟。而且它具有不止一根心轴，可以在上一轮清洗完成后连续清洗下一批材料。虽然需要一定投资，但是节能和环保的效益非常明显，是较科学先进的酸洗方法。

4.1.32.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.1.32.3 技术适用条件

紧固件新型除锈工艺技术适用于对紧固件原材料（棒料、盘料）表面除锈和成品进行表面处理前的清理环节。

4.1.32.4 实施建设内容

无需增加设备，只需改动工艺材料。

4.1.32.5 节能减排效果

机械除锈：节约用水 100%，节约能源 70%（使用电力驱动喷砂机，免去酸洗的加热过程）。

弱酸除锈：节约用水约 50%，节约能耗 0.3tce/t-紧固件。

4.1.32.6 成本效益分析

若购买机械除锈设备，设备投资 200~500 万元；弱酸工艺为消耗性投入约 200~500 元/t-紧固件；2 年左右收回投资。

4.1.32.7 技术应用情况

目前该技术普及率 10%，“十二五”期末预达到 75%。

技术应用实例：上海金马高强度紧固件有限公司、上海申光高强度螺栓有限公司、宁波九龙紧固件制造有限公司等。

4.1.32.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.33 紧固件锻造加热设备优化技术

4.1.33.1 技术介绍

紧固件锻造加热设备优化技术体现在加热设备的更新换代和加热设备的技术改造两部分。

加热设备的更新主要是采用中频电加热技术代替煤、燃气等传统燃烧加热方式，对于已经采用电加热设备进行技术改造升级，包括采用中频电源的、用晶体管代替可控硅来实现高效的电能转换。仅这一项改造即可节约电能 30%；改造加热线圈，针对不同规格产品使用合适的线圈，以达到最好的加热效果，节约电力消耗。

4.1.33.2 技术发展水平

电加热技术已经非常成熟，但是国内电加热自动线的水平较低，主要表现在对温度的控制和自动调频技术。自动调频可以防止过烧对材料晶格的破坏和欠烧造成锻造力加大或出现锻造缺陷，温度控制探头可以对被加热件进行在线监测，使零件在理想的温度下锻造，保证产品的质量一致性，一旦发现有温度异常，能够及时采取处理措施，避免不合格产品的出现。同时，带有机器手臂的热锻生产线也是发展的方向，其主要作用是实现无人化生产，提高生产率。

4.1.33.3 技术适用条件

紧固件锻造加热设备优化技术主要用在大规格（M24 以上）螺栓产品的头部锻段工序。

4.1.33.4 实施建设内容

购置功率 100kw 的设备投资 6 万元/套。

4.1.33.5 节能减排效果

节煤：0.1 吨标煤/吨—产品，节约费用约 10%。替代煤加热方式，降低的污染物的排放量，改善工人工作环境，使得清洁生产水平大大提高。

4.1.33.6 成本效益分析

购置功率 100kw 设备，投资 6 万元/套，1 年左右收回投资。

4.1.33.7 技术应用情况

目前该技术普及率 40%，“十二五”期末预计达到 75%。

技术应用实例：宁波中斌紧固件有限公司、上海高强度紧固件厂、上海沪西高强度螺栓螺帽厂、连云港兴怡紧固件有限公司等。

4.1.33.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.34 热处理网带炉氮-甲醇保护气氛

4.1.34.1 技术介绍

热处理网带炉氮—甲醇保护气氛技术用于紧固件材料改质的热处理工序。紧固件行业通常使用网带式连续炉对紧固件进行热处理。氮—甲醇保护气氛技术主要是通过混合的保护气和富化气综合作用，使炉内处于无氧状态，主动地消除氧化发生的根源，起到保护作用。在炉中增加碳势自动控制装置，监控炉内碳势变化，动态进行甲醇的补充和减少，防止脱碳或增碳发生。同时，优化炉顶保温层的材料，采用压缩式纤维棉，提升保温效果，隔断热量散失，降低热能消耗；利用高温区炉气对预热区进行加热，实现热量循环二次利用，降低能源消耗。

4.1.34.2 技术发展水平

热处理网带炉氮—甲醇保护气氛技术是采用氮—甲醇混合气氛代替传统的甲醇高温分解气氛，实现可控保护目的。目前，国内网带炉生产企业较多，技术参差不齐，重点在于对温度的精确控制和无氧化调质的控制，国际上也都在使用这种热处理方式。

4.1.34.3 技术适用条件

大批量紧固件连续生产过程中的无氧化调质处理。

4.1.34.4 实施建设内容

根据企业生产发展需要选择新购设备或对原由设备改造。

4.1.34.5 节能减排效果

紧固件可控气氛热处理工艺可避免工件表面的氧化脱碳，减少后续加工，提高产品质量和产品一次合格率。节省甲醇用量 50%，避免炉内碳黑积存，提高工件清洁度，节约清洗用水 30%。

4.1.34.6 成本效益分析

改造优化设备投资 40~50 万元，投资回收期 1.5 年。

4.1.34.7 技术应用情况

目前该技术普及率 30%，“十二五”期末达到 80%。

技术应用实例：舟山正源标准件有限公司、宁波九龙紧固件有限公司、宁波东港紧固件有限公司、宁波中斌紧固件有限公司等。

4.1.34.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.35 紧固件少无切削加工技术

4.1.35.1 技术介绍

紧固件少无切削加工技术是指采用多工位先进成型设备，完成大规格紧固件的成型。少无切削加工的宗旨即为减少废料的产生。紧固件生产技术的发展到今天，有许多少无切削的技术得到了广泛应用，比如螺纹的制作由切削成型进化为碾压成型，不但减少切削量，更提高了并且稳定了螺纹加工质量。目前，主要推广的采用先进成型设备来实现螺栓的冷镦生产无切削技术以及大规格紧固件的冷镦生产。具体技术内容：一是，主要采用整体模具生产无需切除“飞边”废料的螺栓。通过精确的下料，以及凹穴式冲头来进行冷镦，使材料完全充满模具而成型；二是，以冷镦方式生产大规格紧固件，不仅提高生产效率，而且还能够节约能源消耗。

4.1.35.2 技术发展水平

冷镦工艺与热镦工艺相比，在节能方面具有优势。目前紧固件行业 M24 以下的产品可采用冷镦的方式生产，M30、M36 等大规格产品通常使用热镦工艺生产。近年来，风电设备发展的拉动下，对钢结构螺栓等大规格紧固件的需求量不

断增多，但随着行业竞争的日益激烈和节能减排的要求，发展 M30，M36 等大规格产品的冷镦工艺和节能高效的大规格的冷镦机势在必行。大规格冷镦的主要问题是原材料的质量，要求较高的球化水平，以及相当高的下料精度。该技术水平属于国内先进水平。目前国际上应用冷镦工艺加工 M30、M36 等大规格产品的也不是十分广泛。

4.1.35.3 技术适用条件

紧固件少无切削加工技术适用于 M24~M36 大规格紧固件的冷镦工艺。

4.1.35.4 实施建设内容

企业根据产品生产需要增加冷镦设备，并掌握 M24~M36 大规格紧固件的冷镦工艺技术。

4.1.35.5 节能减排效果

采用冷镦工艺加工 M24~M36 大规格紧固件与用热镦工艺相比，加工效率提高 50%；材料利用率提高 15%；能源消耗仅相当于热镦工艺能源消耗的 1/3。

4.1.35.6 成本效益分析

设备投资 300~500 万，2~3 年可收回投资。

4.1.35.7 技术应用情况

目前该技术普及率 10%；“十二五”期末预计推广比例 60%。

技术应用实例：山东高强紧固件有限公司、上海申光高强度螺栓有限公司、上海上标汽车紧固件有限公司等。

4.1.35.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.36 紧固件中低温磷化技术

4.1.36.1 技术介绍

紧固件中低温磷化技术是采用自动化生产线和中低温（60℃）磷化工艺，代替传统的高温（90℃）磷化工艺。磷化过程分为材料改制阶段和产品磷化两种。材料改制磷化又称为润滑磷化，主要为紧固件原材料进行拉拔、冷镦做前处理。产品磷化主要为紧固件提供均匀一致的润滑条件，以保证扭矩系数的要求，并有一定的防腐作用。

4.1.36.2 技术发展水平

材料改质磷化一般采用高温磷化，以获得预期的润滑作用和短期防腐功能，其性价比较高，关键技术是控制好槽液浓度和温度，及时清理槽液中的残渣，提高磷化膜的结合力，减少酸洗液残留，避免改变磷化液的成分。采用中低温磷化，可以减少能源的消耗，同时形成较细的磷化膜，再配合封闭剂，实现良好的防腐效果，并获得较一致的扭矩系数。

4.1.36.3 技术适用条件

紧固件中低温磷化技术满足耐腐蚀条件下有一致性扭矩要求的紧固件批量生产和材料改制磷化。

4.1.36.4 实施建设内容

购置中低温磷化成套设备，磷化液为工艺消耗材料。

4.1.36.5 节能减排效果

中低温磷化技术因降低了磷化液温度，可降低能耗约 30%，节约用水 20%。

4.1.36.6 成本效益分析

购置设备费用 300 万，投资回收期 2 年。

4.1.36.7 技术应用情况

目前该技术普及率为 30%，“十二五”预计推广比例 80%。

技术应用实例：山东高强紧固件有限公司、上海申光高强度螺栓有限公司、上海高强度螺栓厂等。

4.1.36.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.37 回火炉保温层改造技术

4.1.37.1 技术介绍

热卷弹簧卷制成型后通过淬火工艺将金属组织结构由奥氏体改变为马氏体，通过回火处理达到所需硬度的回火屈氏体组织；冷卷弹簧卷制过程中形成形变的残余应力，需要进行去应力退火处理，因此回火炉是弹簧生产的基础设备。

国内弹簧行业使用的连续式网带回火炉大部分是在上世纪八十年代引进消

化日本炉型的基础上发展起来的。一方面，保温材料已经落后；另一方面，结构不尽合理，回程网带裸露在空气中，造成大量热能的散失，降低了热效率。为此结合弹簧加工工艺，对回火炉保温层进行改造，主要采取两项技术措施，一是对炉体隔热层用新型环保材料进行加厚改造（由原来 10cm 厚度增加至 15cm），二是将原来炉体下方的敞开式回程网带进行封闭改造。通过采取这两项措施，可减少能量的无效散发，显著降低设备运行能耗，并改善作业环境。

4.1.37.2 技术发展水平

回火炉保温层改造技术已经在弹簧生产企业应用，具有理想的节能效果。该技术处于国内领先水平。

4.1.37.3 技术适用条件

弹簧或其他机械基础件的回火或低温去应力退火处理工序。

4.1.37.4 实施建设内容

企业根据生产大纲需要，对原有设备进行炉体保温层加厚和网带回程封闭改造。

4.1.37.5 节能减排效果

以 1 台功率 30kW 网带炉为例：改造后可节电 35%，全年按 252 个工作日连续开动计，一年 1 台 30kW 网带炉可节电 5 千瓦时。

4.1.37.6 成本效益分析

每台回火炉的改造投资因炉型和产量不同而有所差异。单台回火炉的平均改造费用约 1 万元左右，不增加运行费用，1 年可收回投资。

4.1.37.7 技术应用情况

目前该技术普及率 5%；“十二五”预计推广比例 60%。

技术应用实例：浙江美力科技股份有限公司、湖北宝马弹簧有限公司、杭州钱江弹簧有限公司、浙江伊思灵双第弹簧有限公司、山东联美弹簧有限公司等。

4.1.37.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.38 热卷弹簧碾尖、卷绕与连续中频淬火技术

4.1.38.1 技术介绍

许多大规格热卷弹簧两端支承圈需要锻扁，大多数工厂用自由锻来制扁，用电阻炉或油炉加热，再到卷簧机上卷绕，加热环节多，既浪费能源又易脱碳和晶粒粗大，影响质量。热卷弹簧碾尖、卷绕与连续中频淬火技术，采用中频加热将弹簧碾尖、卷绕和淬火工序连续完成，减少中间加热过程，实现节电。

4.1.38.2 技术发展水平

近年来，在机车车辆热卷弹簧生产中率先使用热卷弹簧碾尖加热卷绕与连续中频淬火技术，效果十分显著，减少了原电炉长时间升温 and 冷炉的热能消耗，改善了弹簧的质量。该技术达到国际先进水平。

4.1.38.3 技术适用条件

新购中频加热炉，新建或改造现有生产线。

4.1.38.4 实施建设内容

新购中频加热炉，改造现有生产线，使中频感应加热碾尖、卷绕、淬火形成新的生产线。

4.1.38.5 节能减排效果

以卷绕外径 $\varnothing 60\text{mm}$ 长 6m 材料的弹簧生产线为例，每个班原来需要两小时预热电炉，下班后余热损耗极大，第二天需再升温；现改用中频加热，可增加两小时工作并减少升温时间，随用随供电，一个班次(8 小时计)可节电 33%，约 530 kw h。

4.1.38.6 成本效益分析

以年产 2000t 热卷弹簧企业为例，除去原有碾尖、卷绕设备及淬火冷却槽，每条生产线新增投资 100 万元左右，运行费用 20 元/t-弹簧，4 年可回收投资。

4.1.38.7 技术应用情况

目前该技术普及率 10%；“十二五”预计推广比例 80%。

技术应用实例：山东宁津弹簧有限公司、杭州弹簧有限公司、无锡金峰园弹簧制造有限公司、杭州钱江弹簧有限公司、中国南方集团浦镇株洲车辆厂、中国北方长春客车厂、天津齐齐哈尔车辆厂等。

4.1.38.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.1.39 黑色磷化工艺

4.1.39.1 技术介绍

目前国内仍大量使用传统的氧化工艺对弹簧进行防腐处理，由于使用的亚硝酸钠无法中和和回收，形成污染，防腐效果也不理想，测试结果表明，氧化处理盐雾试验只有 24 小时，磷化工艺盐雾试验可达 150 小时，国外已基本废除氧化工艺，改为磷化处理。

4.1.39.2 技术发展水平

现有弹簧磷化工艺都是灰色的，且要油密封，有污染，达不到清洁度要求。黑色磷化工艺作为最终产品表面防腐的替代氧化技术在弹簧表面发蓝防腐处理方面，该技术处于国内先进水平。

4.1.39.3 技术适用条件

需要表面发蓝防腐处理的弹簧。

4.1.39.4 实施建设内容

改变表面处理配方，改造原有原有氧化发蓝设备及生产线，1 条生产线设备投资约需 30 万元。

4.1.39.5 节能减排效果

大大降低了致癌物质亚硝酸钠的排放。

4.1.39.6 成本效益分析

虽然磷化工艺中用的硝酸盐比氧化工艺中用的亚钠和氢氧化钠成本高，但保护了环境。以年产 1000t 弹簧企业为例，生产线设备投资约 30 万元，运行费用 2000 元/t-弹簧，投资回收期 1 年。

4.1.39.7 技术应用情况

目前该技术普及率 5%；“十二五”期末预计推广比例 50%。

技术应用实例：扬州核威碟形弹簧制造有限公司、廊坊市双飞碟簧厂、浙江瑞安新泰紧固件有限公司等。

4.1.39.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.2 资源能源回收利用技术

资源能源回收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。

4.2.1 粘土砂、呋喃树脂砂型铸造废砂循环再生技术

4.2.1.1 技术介绍

粘土砂、呋喃树脂砂型铸造废砂循环再生技术是指采用热法再生或热法—机械再生的方式，对铸造树脂砂废砂或粘土砂废砂进行再生处理。其原理是：当废砂通过破碎、筛分、磁选后，从炉顶均匀加入，燃烧器对废砂进行均匀加热焙烧，脱膜过程主要在这一区域内完成，紧接着砂子进入二次焙烧区，由于此区域内在高压大流量通风条件下砂粒表面的结碳继续燃烧，使砂粒表面的结碳全部烧尽，放出冷却后经离心擦洗机去或经研磨再生机去掉砂粒表面覆盖层，使铸造废砂得以再生。

4.2.1.2 技术发展水平

采用铸造再生砂生产的覆膜砂，树脂加入量为 1.25%，能满足砂芯使用性能和强度要求，铸件不需热处理可直接震动清砂，改善客户的生产现场管理，降低生产成本，减少废品率。铸造再生砂的应用还能减少铸件的气孔、高温变形等缺陷，缩短铸件的清砂时间。

当温度在 550℃ 以下时，废砂表面粘土附着力很低；当温度升到 700℃ 以上时，由于废砂表面粘土瓷化严重，附着力显著增加，机械再生则无法完全处理；当温度在 900℃ 以上时，碳的附着力才开始有下降的趋势。根据这一焙烧机理，有企业设计出了焙烧温度在 600~700℃ 的低温焙烧炉。焙烧炉装置采用竖炉结构，炉膛分为三个区，即燃烧区、沸腾焙烧区和二次焙烧区。焙烧过程是：废砂从炉顶的进砂通道进入，经过燃烧区的分砂器把废砂均匀的分成砂帘（实现雨淋式均匀加料），此时，燃烧器对废砂进行加热生温，形成高温焙烧，落下的焙烧砂进入焙烧区进行焙烧。与此同时，进入的高压冷空气与高温焙烧砂进行热交换，形成预热空气，其作用一是搅动砂层，使其处于沸腾状态，在沸腾焙烧区内，由于沸腾搅拌作用，废砂的加热很均匀，使砂粒表面的碳素膜燃烧，脱膜过程主要在

这一区域内完成，这一区域的炉膛温度保持在（600~700）℃，紧接着高温砂子进入第二焙烧区，在高压大流量通风条件下，砂粒表面的结炭继续燃烧，经过在二次焙烧区内砂粒缓慢通过出砂管，由于有较长的时间移动，能使燃烧中未烧尽的碳素膜全部烧尽，焙烧过程就全部完成。在焙烧过程中火焰中心区（高温燃烧区）的温度达 1200℃ 以上，在富氧条件下可将废砂残留的有机化合物（酚醛树脂等）分解为二氧化碳和水。焙烧废气中主要污染物为粉尘，不含酚类有机物。该技术处于国内先进水平。

4.2.1.3 技术适用条件

铸造后粘土砂、树脂砂废砂再生利用。

4.2.1.4 实施建设内容

根据生产需要，增加再生砂生产线，主要设备包括：低温再生焙烧炉，离心摩擦再生机，研磨式再生机等。

4.2.1.5 节能减排效果

废砂回收再生处理利用率达到 90% 以上。

4.2.1.6 成本效益分析

以每 5t/h 的再生砂生产线为例：设备总投资 800 万元（其中：再生砂设备 500 万元，其它 300 万元），设备寿命 10 年；运行成本 120 元/t-再生砂；3 年收回投资。

4.2.1.7 技术推广应用情况

目前技术普及率 3%；“十二五”预计推广比例 15%。

技术应用实例：重庆长江造型材料（集团）有限公司、山东时风（集团）有限责任公司、东风汽车有限公司、中国重汽集团济南动力有限公司铸造中心、昆明云内动力股份有限公司等。

4.2.1.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.2.2 酯硬化水玻璃砂（或碱性酚醛树脂砂）干热法再生技术

4.2.2.1 技术介绍

酯硬化水玻璃砂（或碱性酚醛树脂砂）干热法再生技术的基本原理是将旧砂

经焙烧炉上部预热，下部高温焙烧达到再生要求，再生砂稳定性好。

4.2.2.2 技术发展水平

目前国内采用砂型铸造工艺生产铸钢件主要采用酯硬化水玻璃砂或碱性酚醛树脂砂，按照现有环境保护要求及未来发展，对于旧砂再生回收利用是绿色清洁节能减排的迫切需求。铸造用新砂资源有限，再生砂比新砂的价格低出很多，是一项合理利用资源及降低成本的技术。该技术处于国内先进水平。

4.2.2.3 技术适用条件

铸造后碱性酚醛树脂砂、酯硬化水玻璃砂废砂再生利用。

4.2.2.4 实施建设内容

根据生产需要，增加再生砂生产线，主要设备包括：焙烧炉主体，鼓风机，燃烧器，除尘系统（含旋风卸料器）等。

4.2.2.5 节能减排效果

旧砂回收再生处理利用率达到 70%以上，节约采购新砂的成本 40%左右；降低废砂排放 50%。

4.2.2.6 成本效益分析

焙烧炉设备投资 90 万元，其它设备投资 30 万元，设备总投资 120 万元，土建投资 10 万元；运行费用 210 元/t-再生砂；2 年收回投资。

4.2.2.7 技术推广应用情况

目前，技术普及率 5%；“十二五”预计推广比例 20%。

技术应用实例：上海重型机器厂有限公司、无锡市铸造有限公司、沈阳重型机器有限公司、上海沪东造船铸造有限公司、无锡桥联风电科技有限公司、苏州纽威铸造有限公司、齐车集团牡丹江齐兴铸业有限公司、中铁山桥集团有限公司、大连船用阀门有限公司等。

4.2.2.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.2.3 锻后余热处理的技术

4.2.3.1 技术介绍

锻件锻后余热热处理的原理是利用锻后工件温度尚在临界点之上，迅速将其放入能控制温度的输送带上，通过控制锻件的冷却工艺曲线，防止形成粗大的铁素体和珠光体以及析出网状碳化物，直接获得相当于锻后再次加热进行的常规淬火、退火、正火和等温正火所得到的组织、性能和硬度。由于取消了常规的淬火、退火、正火和等温正火处理，即实现了节能减排效果，也避免了中碳钢退火的脱碳风险，提高了产品质量、降低废品率，使其满足后续的冷锻或机加工的性能要求。锻后余热热处理可细分为：

(1) 锻造余热淬火

锻造余热淬火是钢坯在稳定的奥氏体区锻造成形后，在温度仍高于 Ar_3 （对亚共析钢而言）条件下，可利用锻件余热淬火。一般在 $820^{\circ}C \sim 900^{\circ}C$ 左右立即入淬火介质急冷，并在合适的温度下回火，以代替调质热处理。一般低合金结构钢，锻造加热温度在 $1200^{\circ}C$ 左右较合适。余热淬火锻件的高温回火温度比普通淬火后的回火温度一般需提高约 $40^{\circ}C \sim 50^{\circ}C$ 。

(2) 锻造余热正火

锻造余热正火是钢坯在稳定的奥氏体区锻造成形后，当温度高于 Ar_3 （对亚共析钢而言）条件下，利用锻件余热在冷却箱或退火炉内控制锻后冷却速度，得到正火组织。

(3) 锻造余热等温正火

正火温度应高于 Ar_3 ，一般采用 $900^{\circ}C \sim 950^{\circ}C$ ，急冷速度一般按 $40^{\circ}C \sim 50^{\circ}C / \text{min}$ 冷却到等温温度，等温温度一般为 $610^{\circ}C \sim 680^{\circ}C$ ，根据锻件材料和要求的硬度确定，急冷是锻造余热等温正火工艺的关键工序，可通过调节风温、风量和锻件移动速度调节冷速，锻造余热等温正火多用于 CrMo 渗碳钢，例如 22CrMoH。

4.2.3.2 技术发展水平

锻造余热热处理是一种锻造和热处理相结合的综合工艺，是一种既节能降耗又环保的先进工艺，并具有产品质量稳定优势。目前锻造车间设计时，会将锻造余热热处理工艺应纳入工厂设计原则，安排在大批量热模锻设备机组内，组成锻造生产线和自动化生产线。该技术处于国内先进水平。

4.2.3.3 技术适用条件

汽车及其它行业锻件整体热处理工序。锻后余热热处理工艺对生产过程控制有一定的要求。首先，锻件原材料质量要相对稳定；其次，连续生产，锻件终锻温度不能波动范围过大，否则影响内在质量的一致性；再次，生产过程实行监控，以保证晶粒度大小在理想的范围内；最后，对余热淬火的介质温度控制，在生产过程中淬火介质的温度要在工艺规定的范围内。

4.2.3.4 实施建设内容

根据不同的锻件热处理工艺选择热处理设备。如，坯料感应加热温度控制装置、锻后余热等温正火炉、锻后余热淬火装置等。

4.2.3.5 节能减排效果

与常规锻件热处理方式相比：

- ①锻件锻后余热热处理：节能 0.10 tce/ t-锻件，减排 40%；
- ②锻件锻后余热均温热处理：节能 0.073 tce/ t-锻件，减排 30%；
- ③锻后利用部分余热热处理：节能 0.049 tce/ t-锻件，减排 20%。

4.2.3.6 成本效益分析

坯料感应加热温度控制装置投资 5 万元左右，锻后余热淬火装置投资 20 万左右，锻后余热等温正火炉投资 150 万左右； 0.5~5 年收回投资。

4.2.3.7 技术应用情况

目前技术普及率 5%；“十二五”预计推广比例 35%。

技术应用实例：东风锻造有限公司、一汽巴勒特锻造（长春）有限公司、白城中一精锻股份有限公司、上海运良锻造实业有限公司、辽宁五一八内燃机配件有限公司、第一拖拉机股份有限公司锻造分公司、重庆大江杰信锻造有限公司、南京汽车锻造有限公司、浙江跃进锻造有限公司、江苏飞船股份有限公司等。

4.2.3.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.2.4 双层辊底式连续球化退火炉余热利用退火技术

4.2.4.1 技术介绍

轴承零件的球化退火通常采用“隧道式”连续退火炉，工件从退火炉的一端进，另一端出，完成退火工艺过程。出炉工件温度通常在 600~640℃之间，余热大量浪费，且污染环境。本技术将退火炉设计成双层结构，工件从上层进，下层出，上层进入工件的升温段与下层工件的降温段重叠，在重叠部位设置热交换室，利用下层降温段工件的余热加热上层升温段的工件，实现余热利用。

4.2.4.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.2.4.3 技术适用条件

大批量轴承生产。

4.2.4.4 实施建设内容

关键工艺设备：双层辊底式球化退火炉。

4.2.4.5 节能减排效果

与未利用降温段余热的退火工艺相比，节电 40%。

4.2.4.6 成本效益分析

每台退火炉设备投资 300 万元。未增加运行费用，2~3 年可收回投资。

4.2.4.7 技术应用情况

目前技术普及率 10%；“十二五”预计推广比例 50%。

技术应用实例：杭州金舟电炉有限公司、浙江富立钢管有限公司、天马轴承股份有限公司、常州球川轴承工业有限公司、洛阳市贤达热处理有限公司、常州通盛热处理有限公司、浙江五洲新春集团、重庆长江轴承股份有限公司、新昌县富盛轴承配件有限公司、洛阳市洛凌汽车轴承有限公司等。

4.2.4.8 技术知识产权情况

该技术为国内发明专利技术。

4.2.5 高效空气换热技术

4.2.5.1 技术介绍

高效空气换热技术采用强化传热技术，在热管外壁上焊接螺旋翅片，管内采用沟槽结构，插入扭曲带或内壁附着金属网，改变流体的流动状态或边界层，提高湍流度，加大旋转，引发二次流。通过合理布局，使空气流道畅通，外掠气体分离点后移，旋涡压变小，明显增强外侧传热效果，降低风机功率，减少电耗，达到节能效果。空冷器的总传热系数比常规的换热器提高 50%~70%。其技术原理是：由单支热管组成管束，将加热管插入淬火介质中，高温淬火介质加热热管后把热量转递到热管的冷却段，冷空气横向冲刷热管冷却段管外螺旋翅片，将淬火介质的热量扩散到大气中，达到冷却淬火介质的目的。

4.2.5.2 技术发展水平

上世纪二十年代，美国首先把空气冷却器用于工业生产过程中，用它代替水冷式换热器。由于各产业的快速发展，伴随着工业用水的不足，特别是炼油行业、石油化工及其他产业的生产对过程流体冷却的需求，各国相继引进空气冷却器并迅速推广应用。空气冷却器在我国热处理行业的应用始于上世纪末，首先是在连续渗碳炉中采用空气冷却器冷却淬火油，取得良好的效果。

热处理淬火过程中，淬火介质需要进行冷却以保证工件淬火效果，传统冷却方式是采用板式换热器加冷却塔的水冷却方式。此方式中存在二次冷却水循环泵的能耗及水的消耗。

采用空气换热器取代水冷却淬火介质，不但能改善淬火介质的性能，还具有节水节电效果。技术水平为国内先进水平。

4.2.5.3 技术适用条件

替代水冷换热，适用于热处理液态淬火剂和设备的冷却。

4.2.5.4 实施建设内容

主要设备包括：真空炉、多用炉、淬火槽等。

4.2.5.5 节能减排效果

节约水资源，由水冷改为空气冷却，如在行业内推广面达 10%，年节水可达 300 万吨。

提高传热效果，比水冷换热器节电 30%。目前热处理加工企业大多使用水冷换热器，若在行业内推广可实现节电 1.8 亿度/年，相当于减排 18 万吨二氧化碳/年，或 54.9 万吨碳粉尘/年。

4.2.5.6 成本效益分析

单台（套）设备投资在 10~100 万元之间，年运行维护费用 1.6~16 万元，3 年可收回投资。

4.2.5.7 技术推广应用情况

目前技术普及率 3%；“十二五”预计推广比例 50%。

技术应用实例：大连热处理有限公司、沈阳机床集团热处理事业部、北方重工集团有限公司热处理分公司、天津热处理研究所有限公司、瓦房店轴承集团公司。

4.2.5.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.2.6 机床行业再制造技术

4.2.6.1 技术介绍

机床再制造是一种基于废旧机床资源循环利用的机床制造模式，运用现代先进的制造、信息、数控及自动化等技术对废旧机床进行可再制造性评估、拆卸以及创新性再设计、再加工、再装配，制造出功能和性能均得到恢复或提升且符合绿色制造要求的新机床。

技术原理：基于所研发的废旧机床综合测试与再制造方案设计及评价技术、环境友好性改进技术、机床零部件绿色修复处理技术、节能化提升技术、信息化提升技术等机床再制造关键技术，并集成数控化技术等常用技术，形成一套创新的实用化的机床再制造与综合提升成套技术。采用该技术，可充分利用机床的主体、基座、铸造大件等零部件，资源循环利用率可达 80% 以上，比制造新机床零部件节能 80% 以上，节能降耗减排效果明显；强调机床整体性能的提升，实现数控化、绿色化、节能性、信息化等功能性提升，可保证再制造机床性能达到或超过原新机床的设计标准。

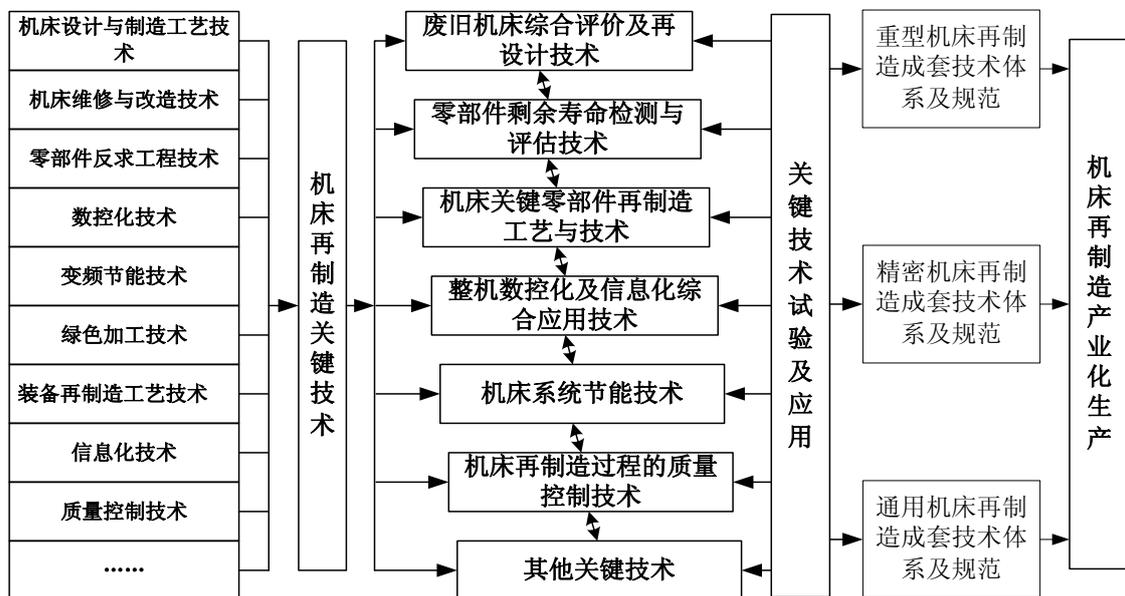


图 4-17 旧机床再制造技术框架

(1) 旧机床再制造流程

旧机床再制造常用的流程，如图 4-18 所示。

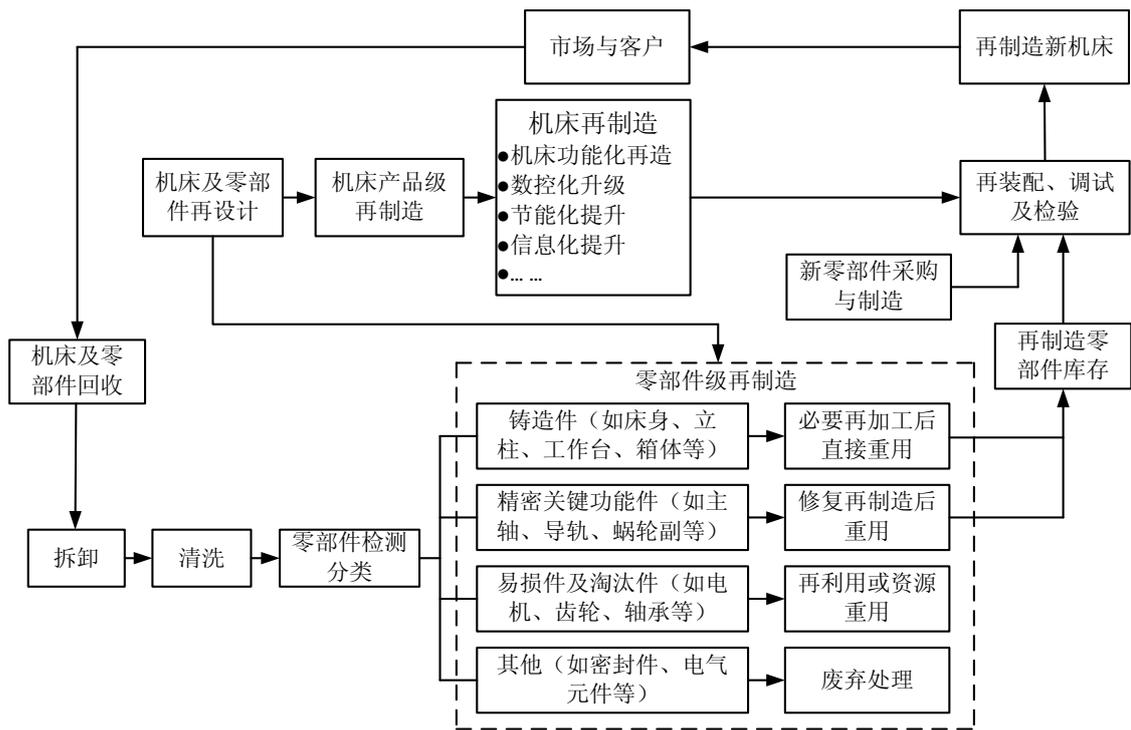


图 4-18 旧机床再制造流程图

(2) 机床再制造关键技术

①机床零部件修复及再制造技术。采用多种机械加工技术（如导轨再制造智能刮研技术等）以及复合表面技术、纳米表面技术等高新表面处理技术修复与强化机床导轨、溜板箱和尾座等零部件的磨损表面，并恢复其尺寸、形状和位置精度。

②机床功能恢复及维修技术。采用修复、强化与更新、调整等方法恢复与提高旧机床的运动精度，恢复其功能，如通过更换滚珠丝杠提高传动精度，通过自动换刀装置提高刀具定位精度和加工自动化程度。

③利用现有的数控化改造技术，提高普通机床的数控化及自动化程度，或对数控机床进行数控装置的升级与改造。

4.2.6.2 技术发展水平

目前，美国、日本、欧洲等国家均有家专门从事机床再制造的公司，并已形成一定的产业规模。如美国 Maintenance Service Corp. 已有 50 多年的机床再制造历史，可对各种品牌的车床、钻床、刨床、铣床、镗床、磨床、齿轮加工机床及加工中心等进行改造、翻新以及再制造，并在美国制造工程师学会（SME）的推动下，制定了机床再制造系列行业标准。欧洲最大的机床制造企业——德国吉特迈集团股份有限公司（DMG）也已将机床再制造作为其重点发展的业务之一。日本

从事机床再制造服务的典型企业有大隈工程公司、冈三机械公司、千代田工机公司、野崎工程公司、滨田工机公司和山本工程公司等。

“十一五”以来，在国家科技支撑计划的支持下，我国研究开发了机床再制造与综合提升成套技术，解决了废旧机床综合测试与再制造方案设计及评价技术、废旧零部件无损检测与寿命评估技术、基于嵌入式系统的再制造机床信息化提升技术、导轨再制造智能刮研技术、机床再制造标准化技术等关键技术。机床再制造技术处于国内领先水平。

4.2.6.3 技术适用条件

适用于各类机床床身、导轨、主轴、工作台、立柱、底座、蜗轮蜗杆等废旧零部件的再制造以及整机性能的综合提升。

4.2.6.4 实施建设内容

主要包括各类零部件修复与再加工设备、整机性能综合提升装置及系统。

4.2.6.5 节能减排效果

机床再制造的资源循环利用率达 80% 以上，比制造新机床节能 80% 以上。

再制造机床相比于原机床，能耗降低 20% 以上，噪声降低 10% 以上，环境污染排放减少 90% 以上，节能减排效果显著。

以一台自重约 15 吨的 Y3150H 滚齿机床再制造为例，其新制造相比，可节约钢材 18 吨左右（考虑毛坯余量），节能 20.3tce。

4.2.6.6 成本效益分析

一般机床的再制造成本相当于生产新机床成本的 1/3 到 1/2，大型机床再制造，只需付出新机床购置费用的 1/3，甚至更低。再制造机床利润率 20% 左右，远高于新机床制造。

以再制造中小型机床年产能 200 台左右规模为例，需投资场地 2000 平米，1500~2000 万元（不含厂房建设），运行费用 200~300 万/年，投资回收期 4~5 年。

4.2.6.7 技术推广应用情况

目前技术普及率 15%；“十二五”预计推广比例 30%。

技术应用实例：重庆机床（集团）有限责任公司。

4.2.6.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.2.7 汽车零部件行业再制造技术

4.2.7.1 技术介绍

汽车零部件再制造技术是一个技术群。它包括：废旧零部件的无损检测与剩余寿命评估技术、废旧零部件的高效无损拆解技术、环保高效绿色清洗技术、自动化纳米复合电刷镀技术、自动化高速电弧喷涂技术、自动化微束等离子熔覆技术、超音速高效能等离子喷涂技术、激光熔覆技术等几十项技术。具体技术根据零部件特征不同，其内容有所不同。

汽车零部件再制造企业的工艺流程为：废旧件回收—清洗(清理)—拆解(分类)—检测—再制造—分(总)装配—检测—产品入库。与一般汽车零部件制造企业相比，汽车零部件再制造企业的工艺流程较长，较复杂。这些环节的增加，意味着人员、设备、场地等的增加。再制造发动机工艺流程图，见图 4-19。

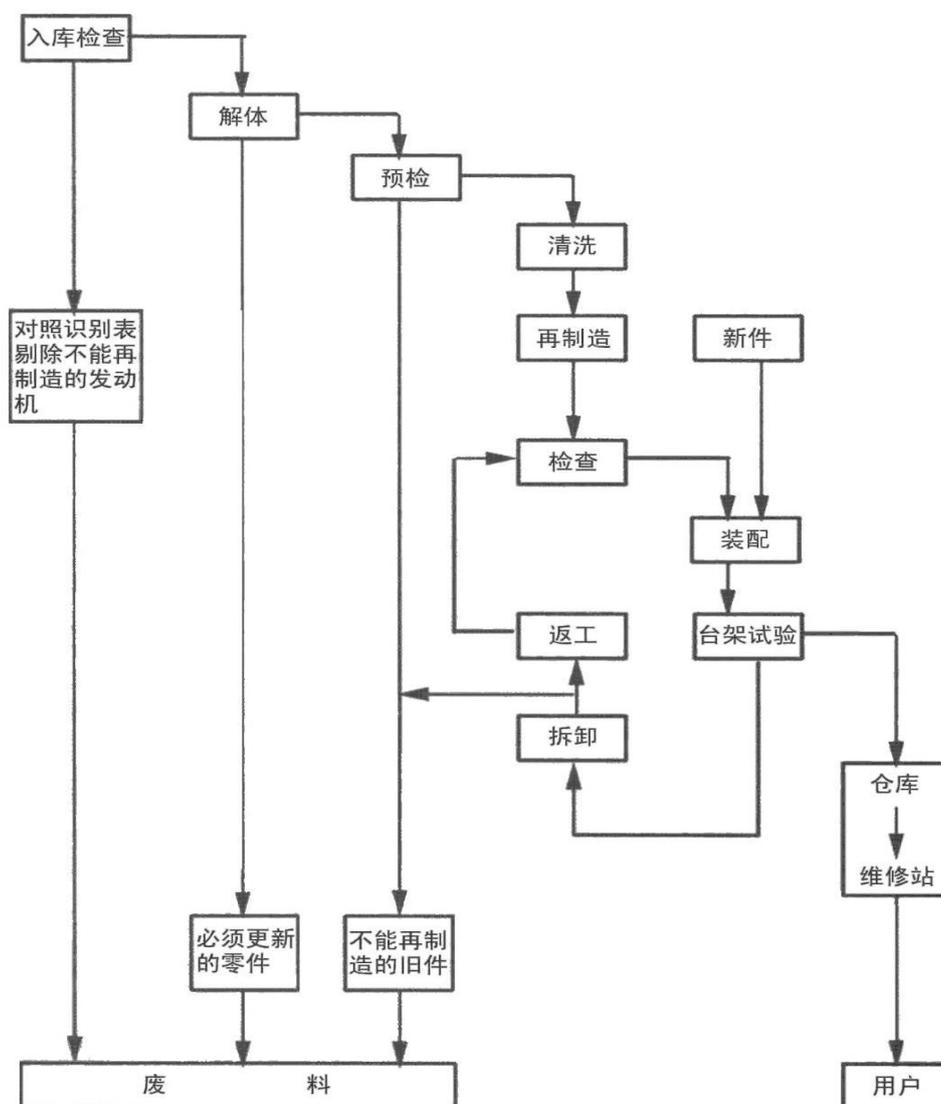


图 4-19 再制造发动机工艺流程图

4.2.7.2 技术发展水平

工业发达国家再制造产业已具规模，形成一定水平的再制造技术体系，特别是在废旧产品再制造加工方面一系列的专业技术和设备研发，有力地推动了再制造产业的发展。然而，国外再制造企业在进行再制造生产过程中，技术手段相对单一，主要以尺寸加工和换件为主，导致废旧产品的再制造率很难进一步提高，同时很难保证再制造产品性能的跨越式提升。我国再制造产业起步较晚，但政府高度重视再制造产业的发展，在有关部门的支持下，再制造技术研发和攻关取得重大进展，特别是装备再制造技术国防科技重点实验室在国家发改委、科技部、国家自然科学基金委、中国工程院和军队有关单位科研项目的支持下，再制造的基础理论与相关前沿技术得以深入地探索研究，微纳技术、信息技术和先进表面工程技术为支撑的再制造关键技术不断有所突破，在废旧零部件的尺寸恢复和性能提升方面研究水平处于国际领先地位。

目前，针对重载车辆柴油发动机的再制造问题，已研发了废旧零部件缺陷、裂纹和应力集中综合检测仪器、自动化表面工程再制造专机等一系列具有自主知识产权的发动机零部件再制造关键技术，形成了具有中国特色的尺寸恢复性能提升发动机再制造技术体系；再制造零部件剩余寿命评估理论、纳米复合表面制备与成形一体化技术、等离子熔覆再制造快速成形技术以及缸体、曲轴、连杆等零部件自动化再制造工艺等方面取得了一批创新性成果，经济效益和节能、节材、环保等社会效益显著。但针对汽车零部件中量大面广的轴、孔和齿类机械零部件，特别是以变速箱、后桥、油泵油咀、空气压缩机为典型对象的汽车关键零部件再制造，在废旧零部件绿色清洗技术、剩余寿命评估技术支撑产业发展方面还存在很多问题，技术还仅处于试验室研究阶段，未形成体系、标准和系列专用设备。

4.2.7.3 技术适用条件

适用于汽车典型零部件如发动机、离合器、转向器等零部件的再制造。

4.2.7.4 实施建设内容

主要设备包括：自动化纳米复合电刷镀设备、超声无损检测设备、涡流磁记忆检测设备、剩余寿命评估设备、微弧等离子焊接设备、自动化高速电弧喷涂设备等。

4.2.7.5 节能减排效果

汽车零部件旧件综合利用率达 90% 以上，比制造新零部件节能 80% 以上。

汽车发动机再制造成本不到生产新发动机成本的 50%，曲轴、缸体等零件的再制造，其材料消耗为零件本体重量的 0.5%，费用投入不超过新品价格的 1/10。

每销售 1 万台再制造斯太尔发动机，购买者在获取与新机同样性能发动机的前提下，可以减少投资 2.5 亿元；节电 1450 万 kW h，减少 CO₂ 排放量 11300~15300 t。

4.2.7.6 成本效益分析

以年再制造 1 万台斯太尔发动机为例，汽车零部件再制造关键技术设备的投资约为 750 万元，运行费用 200 万元/年，1 年可收回投资。

4.2.7.7 技术推广应用情况

目前技术普及率 21%；“十二五”预计推广比例 50%。

技术应用实例：中国重汽集团济南复强动力有限公司。

4.2.7.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.3 污染物治理技术

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。具体包括水污染控制技术、大气污染控制技术、固体废物末端处置技术等。

4.3.1 冲天炉高效余热利用及除尘一体化技术

4.3.1.1 技术介绍

工业炉窑在运行中产生的各种高温烟尘排出经风管进入扰流式旋风冷却器，烟气温度由高于 500℃ 降到 150℃ 左右，然后进入多管水冷却器，烟尘再次冷却，温度降到 100℃ 以下，最后进入使用常温滤袋的气箱高压脉冲袋式除尘器，烟气经过净化后达标排放。吸收了烟气热量的冷却水被升温到 80℃ 以上，将这些热水通过水-水换热器加热净水，提供余热利用，有效实现余热回用。

4.3.1.2 技术发展水平

冲天炉高效余热利用及除尘一体化技术可以按照各类工业炉窑的烟气性质、操作习惯、场地状况和地区环境等各方面因素，综合布局，合理设计，实现高温烟气余热利用、颗粒物稳定达标排放。主要表现为：

拥有自主知识产权的扰流式旋风冷却器有效地将大颗粒粉尘和带有火星的尘粒沉降下来，降低了去除粉尘的颗粒度，提高除尘效率；大幅度降低了大颗粒粉尘对冷却管壁面和冷却器壳体内壁磨损，有限延长了设备使用寿命。

技术采用气箱高压脉冲袋式除尘器的优点是脉冲喷吹比原喷吹管吹灰结构简单，安装更换滤袋方便，清灰彻底，无二次吸附现象，设置定压清灰装置能实现自动控制，喷吹灰阀数量少，不需耐高温滤料，降低制作成本和维修成本。

为了提高离线清灰阀的气密性，把刚性提升阀片换成弹性阀片，把面接触改成线接触，提高了分室反吹阀门的密封性，从而提高了清灰效率，延长了滤袋的使用寿命。

技术成功实现了高温烟气余热回用，技术水平处于国内先进水平。

4.3.1.3 技术适用条件

用冲天炉加热熔炼金属的铸造企业。

4.3.1.4 实施建设内容

主要设备包括：扰流式旋风冷却器，多管水冷却器，气箱高压脉冲袋式除尘器，袋式脉冲除尘器用刚性提升阀，风机，自动化控制系统，水—水换热器等。

4.3.1.5 节能减排效果

减少高温烟气排放热量损失 90%，减少排放烟尘 60%。

4.3.1.6 成本效益分析

以 10t/h 冲天炉为例：设备投资 130 万元，运行费用 35 万元/年，两年收回投资。

4.3.1.7 技术推广应用情况

目前技术普及率 2%；“十二五”预计推广比例 20%。

技术应用实例：山东隆基机械股份有限公司、潍柴动力股份有限公司、昆明云内动力有限公司等。

4.3.1.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术，包括项发明专利和 4 项实用新型专利。

4.3.2 轴承企业工业废水处理及回用技术

4.3.2.1 技术介绍

轴承行业工业废水的污染物主要为 COD 和石油类。轴承行业工业废水处理技术前端采用隔油、破乳和两级气浮处理工艺，后端采用催化氧化、生化、生物炭吸附等处理工艺，达到中水回用标准。

4.3.2.2 技术发展水平

该技术成熟且处于国内先进水平。

4.3.2.3 技术适用条件

适用于大型轴承企业，工业废水污染物主要为 COD 和石油类。

4.3.2.4 实施建设内容

关键工艺设备：工业废水处理系统。

4.3.2.5 节能减排效果

达标排放。COD \leq 50mg/L，石油类 \leq 5mg/L。

4.3.2.6 成本效益分析

设备及配套投资 1000 万元，运行费用 250 万元/年，10 年可收回投资。

4.3.2.7 技术应用情况

目前普及率 10%；“十二五”预计推广比例 50%。

技术应用实例：洛阳 LYC 轴承有限公司等。

4.3.2.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.3.3 磨削液集中供应、过滤、处理、循环使用技术

4.3.3.1 技术介绍

轴承工件磨削加工时，需要使用起润滑、冷却、冲洗和防锈作用的磨削液。原来磨削液为单机供应，失效后即排放，消耗费用大，污染环境严重。本技术将分散供液改为集中供液，使用后的磨削液集中过滤、除油、增氧、杀菌，控制其浓度、PH 值和菌落数，循环使用，达到接近于零排放。

磨削液中的细菌可以分为亲氧菌和厌氧菌两类。其中厌氧菌是造成磨削液黑臭的主要因素。磨削液中总是含有一定量的不溶氧，因此总有亲氧菌在这种环境下繁殖生长，同时消耗掉磨削液中的不溶氧，造成水体缺氧，这时厌氧菌就会趁

机繁衍增生，厌氧菌以磨削液中的有机成分和盐类为营养，同时分解出氨、硫化氢等难闻刺鼻的气体，厌氧菌分解出的有机酸使乳化液的 PH 值下降并与铁反应，使磨削液呈现出灰黑色，这一过程在一定温度和一定杂质量的“死水”环境中进行的相当快，磨削液处理系统的目的就是要通过过滤、除油、增氧、杀菌延缓这一过程。

4.3.3.2 技术发展水平

该技术成熟，处于国内先进水平。

4.3.3.3 技术适用条件

磨削加工设备较多的工厂或车间。

4.3.3.4 实施建设内容

(1) 关键工艺设备：磨削液集中处理配送系统。

(2) 主要技术指标：切削液（主要污染物为 COD、石油类）达到轴承行业工艺标准；零排放。

4.3.3.5 节能减排效果

切削液（主要污染物 COD、石油类）接近零排放。

4.3.3.6 成本效益分析

以一套为 60 台磨床供液的系统为例，年节电 13.8 万元，节省切削液 10 万元，年节能减排效益合计 23.8 万元。

4.3.3.7 技术应用情况

目前该技术普及率 10%；“十二五”预计推广比例 50%。

技术应用实例：张家港市 AAA 轴承有限公司等。

4.3.3.8 技术知识产权情况

该技术为非专利技术。

4.3.4 内燃机排气后处理系统

4.3.4.1 技术介绍

(1) 技术背景

随着排放法规的日益严格，车用柴油机 NO_x 排放限值已由 2005 年的

8.0g/kW h 降至 3.5g/kW h (国IV阶段, 2012 年全国实施), 下降幅度达到了 50% 以上。抑制 NO_x 排放的技术手段集中在推迟喷射正时、EGR 和尾气后处理三个方面。要实现 NO_x 排放 3.5g/kW h 目标, 燃油喷射时刻会大幅度的推迟, 从而引起燃油消耗率增加 10%~20%, 按照 2010 年柴油消耗 1.5 亿吨计, 会导致 CO₂ 排放、能耗急剧增加。可以采用不同的后处理方法可以降低发动机的废气排放。目前, 可以采用的方法有; EGR, SCR、PDF、DOC、POC 等技术措施。

EGR 利用废气中的惰性成分抑制燃烧速率, 降低燃烧反应区的最高温度, 从而使得 NO_x 排放急剧降低。大量研究表明, 采用 EGR 技术可使柴油机在经济性不变的情况下 NO_x 达到排放标准且不需要增设后处理系统。对于采用 SCR 后处理系统的机型, 合理优化 EGR 系统可以减少还原剂喷射量, 从而减少实车运行的成本和能耗。

(2) 技术原理

后处理系统即在内燃机排气管道中加设具有特定物理、化学特性的转化器。该转化器在特定尾气氛围(温度、各主要成分浓度、流速)下依靠物理捕集或化学催化对一种或多种有害物进行捕集或无害化处理, 从而降低有害物排放水平。汽油机后处理系统构架比较简单, 在接近理论空燃比燃烧(氧传感器闭环控制实现)氛围下可同时催化转换 90% 及以上的 CO、NO_x 和 HC 等有害气体为 CO₂、N₂、H₂O 等无害气体。

柴油机自身的富氧、非均相燃烧特性带来两个方面的后处理难题, 既三效催化转化失效和氮氧化物(NO_x)和微粒(PM)的矛盾性。因此, 要达到日益严格的排放法规, 必须采用燃烧系统优化耦合单一 PM 后处理器或单一 NO_x 后处理器的方案, 甚至国 V 以后会采用燃烧优化耦合 PM 和 SCR 两种后处理器的方案。NO_x 后处理系统一般采用尿素作为还原剂, 从而必须增设还原剂喷射系统; PM 后处理系统采用先捕集后再生方式, 从而必须增设再生控制系统。无论是还原剂喷射系统还是再生系统, 都需要与发动机主 ECU、OBD 系统集成与搭载, 这使得后处理系统的复杂程度急剧增加。

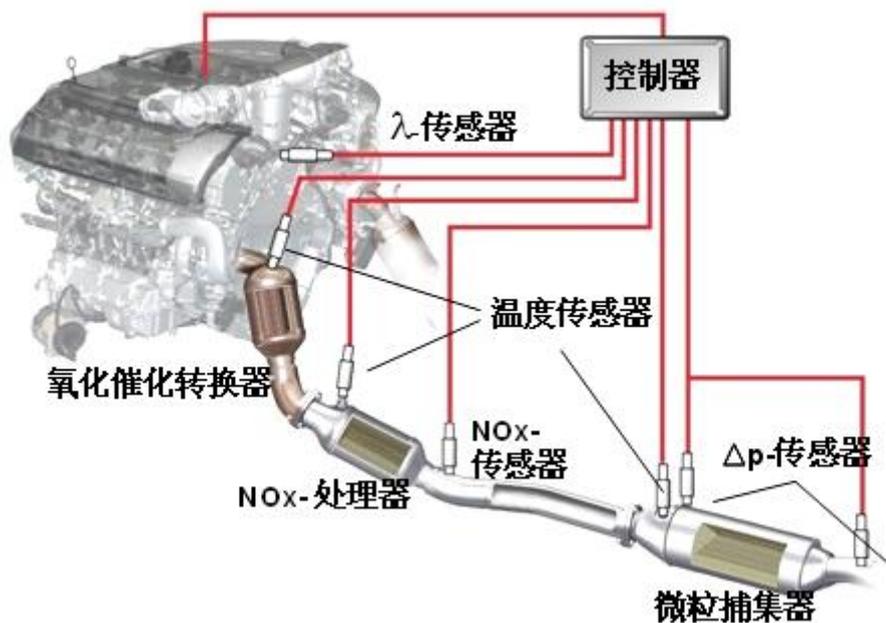


图 4-19 柴油机后处理系统常规布置

4.3.4.2 技术发展水平

与该节能技术相关生产环节的能耗现状。随着排放法规的日益严格，国 4 法规实施之日起，后处理系统成为了必备部件。后处理系统利用物理、化学等手段，在尾气氛围下实现对一种或多种有害物的高效捕集或转化，从而实现最终有害物排放降低 50-95% 的目标。从内燃机燃烧动力学可知，有害物的生产与热效率存在很强的关联性。要想单纯依靠燃烧过程控制实现有害物排放达到国 4 要求，其燃油消耗率较比采用三效催化转化器的汽油机恶化 20-40%，较比增压中冷柴油机采用微粒后处理器恶化 20% 以上，较比采用 SCR 后处理系统恶化 30% 以上。按照目前内燃机燃油消耗 2.2 亿吨计算，若想达到国 VI 及以上排放水平且不采用任何后处理系统，则燃油消耗可能会增加 25% 以上，即 0.5 亿吨燃油。

目前，汽油机三效后处理系统已经实现国产化和商品化，成本已降低至 3000 元左右。柴油机用连续再生式简单后处理系统如 DOC、POC、四效催化转化后处理系统等我国研究相对深入，从载体、催化剂到系统集成都有大量的技术储备，产业化和商品化比较容易。而涉及到与主 ECU、OBD 系统通讯搭载的 DPF、SCR 等复杂后处理系统我国的研究尚属起步阶段，未有成套技术产生，仍由国外垄断。从而导致价格昂贵，严重影响了该技术的广泛应用和快速发展。

4.3.4.3 技术适用条件

具有有害物控制需求的各类机型（包括汽油、柴油、代用燃料内燃机），恰当的后处理系统采用后可使燃烧组织面向经济性优化，产生巨大的节能效益。

4.3.4.4 实施建设内容

根据不同的配套机型，配置成套后处理系统。

4.3.4.5 节能减排效果

国 4 以上的车用发动机可以 100%采用后处理器。在“十二五”期间，预计主要执行国 4 标准，SCR 系统逐渐成熟，判断每年新车出厂配装的的 SCR 系统销售将超过 70 万套，占整个细分市场的约 70%，售后维修和再用车改造每年将有 30 万套以上，以上合计金额每年 100 亿元以上，预计 60%的市场份额是进口的系统或品牌。

国 V 或国 VI 阶段的柴油机，而且需要至少一种以上的后处理器装置同时采用，例如，SCR+DPF、SCR+POC、SCR+DOC、SCR+EGR。届时，全国的后处理器的市场规模将扩大到目前的 3~4 倍以上，达到 500 亿元/年。

三效催化转化后处理系统 NO_x、HC、CO 转化效率应在 90%以上，成本 0.4 万元以内；POC、DOC 等后处理系统 HC 转化率 70%以上、CO 转化率 90%以上，PM 转化效率 50%以上，成本 0.5 万元以内。DPF 微粒转化率 90%以上，使用寿命应超过 20 万公里，成本应低于 1.2 万元。SCR 后处理系统 NO_x 转化率 80%以上且 NH₃ 泄漏小于 10PPM，成本应在 0.8 万元以下。

4.3.4.6 成本效益分析

在我国真正实现后处理系统的自主开发及产业化之前，后处理系统投资将十分巨大。缩短投资回收期的唯一手段是增加机型的销售价格，转嫁成本。而要想提升企业的竞争力需尽快形成自主后处理器的产业化能力。预计自主 SCR 和 POC 的投资回收期为 2~3 年；DPF 的投资回收期为 3~4 年。CR 系统运行所需尿素是燃料成本的 3%~5%。

4.3.4.7 技术应用情况

目前国外机型均已采用不同后处理系统。国 4 以后内燃机将 100%会采用后处理系统；而国 V 以后 SCR 和 DPF 的总应用率将超过 50%。

4.3.4.8 技术知识产权情况

后处理系统设计到电子控制、载体、催化剂、涂覆工艺、封装集成、OBD 系统开发等广泛的领域。目前我国在催化剂、载体、涂覆工艺等领域有一定的技术储备，拥有一定的自主知识产权。例如，一汽技术中心在后处理技术领域申报的专利 63 项，授权的后处理专利为 36 项；吉林大学获得的后处理方面的专利授权 15 项；清华大学获得的后处理方面的专利授权 7 项；无锡凯龙公司获得的后

处理方面的专利授权 13 项；张家口百通公司获得的后处理方面的专利授权 4 项。知识产权方面的成就，体现了国内相关企业队后处理技术领域的重视。

在电子控制、封装集成、OBD 系统开发领域关键技术把握不足，知识产权大多数为国外公司所拥有，国内企业需加紧研发。

4.3.5 多功能淬火冷却技术

4.3.5.1 技术介绍

通过计算机模拟，进行淬火冷却过程设计，达到提高工效、降低能耗、有效减少有害气体排放、杜绝火灾事故。

4.3.5.2 技术发展水平

在热处理生产过程中，工件加热后需要以不同的冷却速度进行冷却，从而获得要求的组织和性能。淬火冷却技术包括：淬火介质温度控制技术、介质搅拌技术、淬火油烟处理排放技术和安全灭火技术。该技术处于国内先进水平。

4.3.5.3 技术适用条件

大批量生产或大型零件热处理淬火冷却。

4.3.5.4 实施建设内容

软件技术应用及淬火槽。

4.3.5.5 节能减排效果

减少有害气体排放 90%；综合节能 5%。

大型工件在油中淬火时产生大量的油烟，并存着安全隐患。此项技术可以有效地减少有害气体的排放，杜绝火灾事故。并达到节能效果。综合节能 5%。

4.3.5.6 成本经济效益

设备投资 300 万元，运行费用 2 万元/套年，8 年收回投资。

4.3.5.7 技术推广应用情况

目前技术普及率不足 1%；“十二五”预计推广比例 10%。

技术应用实例：重庆齿轮箱有限公司、大连重工起重集团热处理分厂、北方重工集团有限公司热处理分公司。

4.3.5.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.3.6 真空清洗技术

4.3.6.1 技术介绍

采用对金属切削液、防锈油和淬火油等有良好的溶解性的环保型碳氢化合物为清洗剂，通过在真空状态下用溶剂和溶剂蒸汽对工件进行有效清洗，然后在真空负压下干燥工件，同时再生装置在真空负压状态下对溶剂进行蒸馏，并冷凝回收。真空清洗流程，见图 4-20。

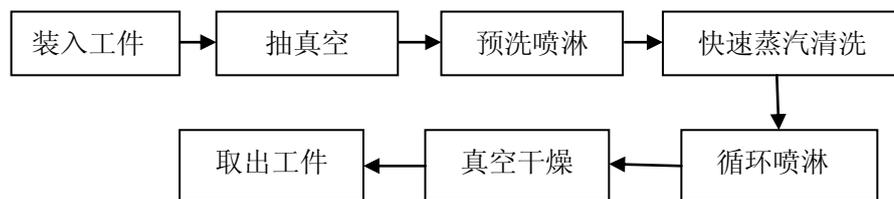


图 4-20 清洗工艺流程图

4.3.6.2 技术发展水平

在热处理过程中，清洗工件虽属辅助工序，但却是一项对产品质量和环境影响的重要工序。机加工完的工件在热处理前必须把表面粘附的切削液、油脂、冲压润滑剂、拉延涂料以清洗法或燃烧法除掉，以防在加热时挥发污染工作场地和环境。此为前清洗。钢件加热油中淬火后表面附着的油要经中间清洗，再送入回火炉加热回火，否则也会污染环境。

通常用热碱液喷射清洗工件，然后用清水漂洗。要求高的零件需用溶剂清洗，但过去用的氟氯烃溶剂因影响大气臭氧层而禁止使用。真空+碳氢化合物溶剂清洗因溶剂不影响大气、且可重复使用，不外泄，是一种既有高清洗效果，又节能环保的清洗生产工序。该技术处于国内先进水平。

4.3.6.3 技术适用条件

高质量的热处理工件清洗。

4.3.6.4 实施建设内容

热处理工件清洗专用设备。

4.3.6.5 节能减排效果

热处理加工过程中淬火和回火产生油烟的主要原因是工件清洗不良，据统计

全行业年产生油烟约 3.2 亿立方米。与普通溶剂清洗技术相比，减少油烟排放量 95%。目前行业内不清洗和清洗不良的占 70%。如在全行业推广真空清洗技术可减少油烟排放量的 50%。（约 1.6 亿立方米/年）。

4.3.6.6 成本效益分析

设备投资 200 万元/台，运行费用 2 万元/台·年，6 年收回投资。

4.3.6.7 技术推广应用情况

目前行业刚开始推广应用，“十二五”预计推广比例 10%。

技术应用实例：浙江永康求精热处理厂、上海丰东热处理工程有限公司。

4.3.6.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.4 节能减排产品技术

节能减排产品技术是指通过对用能产品的改造、革新，从而降低产品使用过程中能源消耗和污染物排放的这样一类技术。

4.4.1 金属液过滤技术

4.4.1.1 技术介绍

在浇注系统中安放泡沫陶瓷过滤器或直孔过滤器，由于其立体三维结构，过滤效果好、强度高，可以有效地去除金属液中的夹杂物，明显降低铸件夹杂类废品率，提高机械性能和加工性能。

4.4.1.2 技术发展水平

该技术处于国内先进水平。

4.4.1.3 技术适用条件

我国铸造业正在朝着扩大生产规模、提高铸件品质方向发展。高品质铸件的要求一是外在质量好，二是内在质量高，要大批量、稳定地生产高品质铸件，仅仅沿用传统的工艺已远远不能满足要求，必须有先进的设备、材料、工艺做保证。

4.4.1.4 实施建设内容

无。

4.4.1.5 节能减排效果

在关键铸件铸造生产中使用陶瓷过滤器，可以明显降低铸件废品率。按平均降低 5%废品率计算，每吨铸件（价格按 10000 元/吨）可减少废品损失 500 元，采购过滤器费用 100 元，报废铸件回收材料费 60 元，每吨铸件可节约生产成本： $500-100-60=340$ （元）。

4.4.1.6 成本效益分析

每吨铸件需要增加过滤器采购成本 100 元。

4.4.1.7 技术推广应用情况

目前技术普及率 10%；“十二五”预计推广比例 30%。

技术应用实案：一汽铸造有限公司、天津一汽丰田发动机公司、东岳动力总成有限公司、大连华锐重工铸业有限公司、天津新伟祥工业有限公司等。

4.4.1.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.4.2 发热保温冒口技术

4.4.2.1 技术介绍

发热保温冒口套是采用冒口套特定成型工艺，添加一定比例的发热材料和保温材料，保证金属液凝固过程中，冒口部分的金属液在冒口套发热和保温作用下，晚于铸件最后凝固，对铸件起到最佳的补缩作用。

4.4.2.3 技术发展水平

在铸造生产中，从熔融金属液到冷却后的铸件产品，都存在一个凝固收缩的过程，只是受到不同的铸件材质和生产因素等条件的影响，铸件的收缩量存在较大的差异。对于多数铸件来讲，设置冒口是获得优质铸件质量的重要措施之一，其主要作用就是对铸件进行补缩。传统的冒口设计方法是根据冒口的补缩效率和铸件的收缩情况，设置砂型冒口，砂型冒口与砂型本身的材质相同，因此，金属液在冒口和铸件型腔中的凝固速度也相同。根据实际生产情况分析，砂型冒口的有效补缩体积为 6~10%，为获得最佳的补缩效果，冒口的体积需要做到足够大，一般情况下，冒口的重量要占到铸件重量的 30~100%，所以，熔炼获得的金属液有 25~50%都要用到冒口上，尽管冒口可以回炉重熔，但是切割冒口和重熔冒口所产生的劳动量和损耗量非常大，明显增大了铸件成本和能源消耗。

发热保温冒口套根据不同的铸件材质要求，分配不同比例的保温材料和发热材料，补缩效率明显优于普通砂型冒口，其有效补缩效率可达到 30%，甚至更高。根据其有效补缩效率计算得到的铸件冒口重量与普通的砂型冒口重量相比大幅度减少，铸件的出品率特别是铸钢件的出品率得到大幅度的提升，铸件出品率的提升带来生产相同重量铸件所需要熔炼金属液总重量的下降。技术水平居国内先进水平。

4.4.2.3 技术适用条件

铸造行业。

4.4.2.4 实施建设内容

无。

4.4.2.5 节能减排效果

采用发热保温冒口替代普通砂型冒口，冒口的有效补缩效率由原来的 6~10% 提高到 30% 左右，随着补缩效率的大幅度提高，冒口占铸件的重量比例可有效降低，生产相同数量的铸件所需金属液大幅度减少，减少了熔炼原料的使用，降低了能源消耗，每吨铸件的平均熔炼消耗降低了 30%。随着冒口的体积减小，生产相同的铸件，所需砂箱尺寸和高度也相应减小，从而节约了造型材料的消耗，特别是粘结剂的消耗量大约降低 20% 左右。铸件清理过程中，冒口体积减小 60% 以上，专用冒口套采用缩颈和易割措施，更加简化了切割程序，冒口的切割和打磨成本下降，清理费用明显降低 60% 以上。

以某厂生产的高铬铸铁磨辊为例：铸件毛坯重量为 1600 公斤，按照普通砂型冒口设计，需要尺寸为 $\phi 400 \times 400 \text{mm}$ 的冒口 3 个，冒口总重量为 1173 公斤，铸件出品率为 57.6%；按照发热保温冒口设计，需要尺寸为 $\phi 200 \times 300 \text{mm}$ 的冒口 3 个，冒口总重量为 330 公斤，铸件出品率为 82.9%。

作为铸造领域中的一种新型的节能降耗产品，结合实际生产案例，使用发热保温冒口套的铸钢件与使用普通冒口套的铸钢件比较，其平均工艺出品率从 50% 提升到 72%，发热保温冒口套在节能、降耗、增效方面的优势体现：

(1) 发热保温冒口与普通砂型冒口相比，冒口体积大幅度减小，生产相同数量的铸件所需金属液大幅度减少，减少了熔炼原料的使用，降低了能源消耗，每吨铸件的平均熔炼消耗降低了 30%。

(2) 随着冒口的体积减小，生产相同的铸件，所需砂箱尺寸和高度也相应减小，从而节约了铸造型砂的用量，另外，随着砂箱尺寸和高度的减少，节省了造型材料的消耗，特别是粘结剂的消耗量大约降低 20% 左右。

(3) 铸件清理过程中，冒口体积减小 60%以上，专用冒口套采用缩颈和易割措施，更加简化了切割程序，冒口的切割和打磨成本下降，清理费用明显降低 60%以上。

(4) 随着铸件出品率的提升，熔炼相同重量的金属液，可以浇注更多的铸件，提高了电炉的使用率，相对生产效率得到了很大的提升

4.4.2.6 成本效益分析

每吨铸件大约需要 200 元冒口套采购成本。

4.4.2.7 技术推广应用情况

目前技术普及率 10%；“十二五”预计推广比例 30%。

技术应用实例：天津新伟祥工业有限公司、中国重汽集团济南动力有限公司铸造中心、浙江佳力风能技术有限公司等。

4.4.2.8 技术知识产权情况

该技术为国内专利技术。

4.4.3 高压共轨燃油喷射技术

4.4.3.1 技术介绍

柴油机高压共轨燃油喷射系统将供油过程和喷油过程分开控制。高压油泵向共轨管供油，并利用共轨管上设置的共轨压力传感器通过调节供油量进行压力闭环控制，共轨管再向各个喷油器供油，喷油器按 ECU 指令向发动机气缸喷油。因此，喷油器喷油量、喷油定时、喷油规律直接由开关喷油器的电磁执行器或压电执行器来控制，并由安装在发动机上的转速传感器进行发动机转速的闭环控制。喷油系统还利用其它的传感器进行发动机运行状态、环境参数、喷射系统自身差异和运行过程渐变的修正和补偿，确保喷射系统的精确和可靠控制。此外，共轨系统还按照国际标准，对系统运行进行实时监控和故障诊断及设置 OBD 功能，保障系统运行和排放标准的实现。柴油机高压共轨燃油喷射系统示意图见图 4-21。

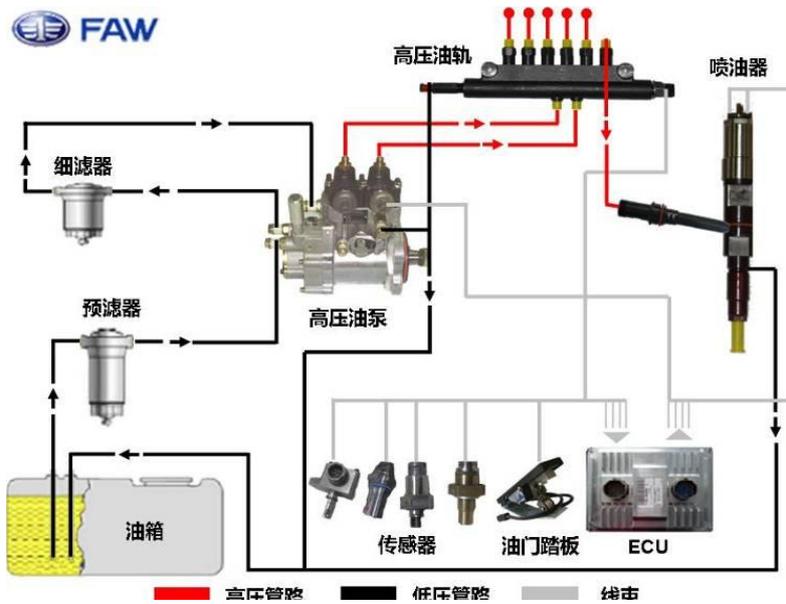


图 4-21 柴油机共轨燃油喷射系统示意图

共轨燃油喷射系统与柴油机的匹配过程称为标定。利用专用的软件进行全过程标定，使发动机在不同的工况、环境参数、应用领域和使用阶段达到最优的匹配，满足用户的需求。利用标准的故障检测工具和软件，可以非常方便地确定系统的故障模式，并进行维修。

4.4.3.2 技术发展水平

目前，我国开发的系列化直列式高压油泵系统的最高喷射压力可以超过 180MPa，处于国际同类产品的领先水平，具有极强的市场竞争力，在国内国III排放柴油机市场应用上处于垄断地位。该系列化产品的成功开发克服了国内国III排放柴油机缺乏高喷射压力喷油泵、柴油机技术升级受到制约和需要从国外进口先进燃油系统价格昂贵等诸多发展障碍。

在过去 10 多年里，我国在柴油机电控高压燃油喷射系统的技术研究和开发方面也开展了一系列工作，取得了卓有成效的进展。为了适应技术发展、满足我国柴油机市场配套和实现节能减排目标要求、推动我国柴油机技术进步，中国一汽技术中心和无锡油泵油嘴研究所、山东龙口龙泵、辽宁新风集团、中国重汽重庆燃油喷射有限公司、成都威特电喷、衡阳南岳、亚新科北京天纬以及南京威孚金宁等一些国内柴油机燃油喷射系统行业的研究机构、企业在电控高压共轨系统、高压直列泵及其电控、电控组合式单体泵和电控分配泵等系统技术和产品的研究、开发方面做了大量的工作，进行了大量投资，取得了突破性的进展，已经开发出了喷射压力 160MPa 的电控高压共轨系统、电控单体泵或组合式单体泵系统、电控直列式喷油泵系统、电控分配泵系统等柴油机电控燃油系统产品，可以覆盖轻

型、中型/中重型直至重型车用柴油机等用途，不但可以满足柴油机达到国III排放标准对喷射压力的要求，而且也具备了满足国IV排放标准的一定条件。

现在，国内已经建设了多条柴油机电控高压共轨喷射系统和电控单体泵或组合式单体泵系统的生产线，装备水平较高，具备了一定的规模生产能力。自主开发的共轨系统产品现在已经开始小批试用，可望实现批量生产。

目前，我国年产多缸柴油机约 450 万台，单缸柴油机约 800 万台。在多缸柴油机中，约三分之二与各种车辆进行配套，约三分之一用作非道路装置动力。而在车用柴油机中，约三分之二与轻型柴油车辆配套，约三分之一则用于重型商用车辆。单缸柴油机主要用于低速汽车（100 多万辆）、农机和其它各种非道路机械。今后，低速汽车等许多现今采用单缸柴油机作动力的机械都要逐渐采用多缸柴油机作动力。所以，今后轻型多缸柴油机的产量还将大大增加。

我国柴油机在能源利用效率和排放方面与国外先进水平相比，存在较大的差距。中型商用车柴油机的排放水平比国外低 1~2 个等级，轻型车用柴油机实际比国外低 2~3 个等级，非道路柴油机普遍也比国外低 2~3 个等级。通常我国柴油机的实际燃油消耗率比国外同类产品高 3~8%，有的甚至高达 15% 以上。如果考虑排放等级达标等因素，实际燃油消耗率更高。

我国重型柴油机将从 2012 年 1 月 1 日起开始将执行国IV排放标准，其中关键的技术就是电控高压燃油喷射系统。轻型柴油车将从 2013 年 7 月 1 日起开始执行国IV排放标准。非道路柴油机也将执行更严格的排放标准。另外，中国市场约 800 万台单缸柴油机也面临部分多缸化以及节能减排和技术升级的问题。然而，目前国内柴油机要降低燃油消耗、使排放达到较高的标准最关键的问题是严重缺乏满足要求的电控高压燃油喷射系统。

尽管我国已经有一些研究机构和企业具备了相当的电控高压燃油喷射系统的研究开发能力、条件，掌握了很多核心技术，能够大规模生产高水平的、具有 180MPa 高喷射压力能力的直列式喷油泵，也形成了批量生产电控分配泵、电控单体泵或组合式单体泵、电控高压共轨喷油系统等电控燃油喷射系统产品的能力和条件。但是，电控燃油喷射系统的技术水平与国外先进水平相比仍有较大差距，产品品种和系列尚不全面，标准、规范还有待于进一步完善，产品的性能、一致性和稳定性以及质量、可靠性等均有待进一步改进，高压喷射压力能力还要进一步提高，高端产品和技术目前主要掌握在国外公司手中。目前，我国油泵油嘴行业尚无厂家具备大规模、稳定生产满足国IV及以上排放标准的电控高压燃油喷射系统产品的经验和能力。国内柴油机市场迫切希望具有我国自主开发的高端电控高压燃油喷射系统产品与之配套，此举不但可以摆脱跨国公司的制约，打破跨国公司技术垄断，以更好地掌握柴油机自主开发的主动权，有利于降低柴油机的成

本，以更好地适应市场的需要，而且可以提高我国燃油喷射系统的技术水平，实现燃油系统技术自我发展，自我升级，推动行业技术进步，建立自主配套的体系。

目前，柴油机主要配套常规的机械式燃油喷射系统。因柴油机广泛地应用于各种交通运输、工程和农业机械、船舶、发电机组等领域，虽然机械式燃油喷射系统能基本满足柴油机的功能和性能要求，但匹配和控制调节的灵活性受到严重制约，不能控制喷射压力和喷油规律，喷射时间的控制也非常有限，不能对最常用的工况进行最优化标定，造成燃料消耗量增加，增大了二氧化碳的排放。共轨燃油喷射系统可灵活地控制喷射压力、喷油规律和喷油定时，可对各种发动机工况下的控制参数进行优化，改善燃烧效率和减少有害排放物的生成，提高发动机热效率，减少了温室气体排放。同时还可实现因工作磨损而造成的性能劣化的补偿，保证喷射性能的稳定和可靠。由于采用了电子控制技术，更有利于与柴油机的其它系统如空气管理系统、后处理系统等协同控制，实现发动机全工况和全寿命的优化控制，实现发动机全寿命内提高燃油经济性的提高，是柴油机技术的一个重要的发展方向。

4.4.3.3 技术适用条件

适用于各种类型柴油机的配套，包括自然吸气、增压及增压中冷。既适用于中小型高速车用柴油机，也可应用于重型柴油机的系统配套。

4.4.3.4 实施建设内容

主要技术指标：

柴油机燃油喷射系统的最高喷射压力：180MPa

每工作循环的喷射次数：5次

最高发动机转速：4000r/min

最小控制油量：1mm³/循环

B10 寿命：50万 km

节能指标：降低油耗 5%

4.4.3.5 节能减排效果

全国有超过 600 万台重型载重车和超过 100 万台的公路客运车，而且每年重载车的数量仍以 100 万台以上的速度在增长。而且还有数百万台柴油动力的工程机械以及数量巨大的船用柴油机，每年要消耗 1.0 亿吨以上的柴油。如果其中的一半数量柴油动力逐步采用自主共轨喷射系统，每年就可在满足排放标准的前提下减少柴油消耗至少 1000 万吨。以 8000 元/吨柴油计，节约 800 亿元。减少二氧化碳排放 3150 万吨。

4.4.3.6 成本效益效益

若与中重型柴油机配套的电控高压燃油喷射系统产品平均价格以 8000 元/套计，轻型柴油机用电控高压燃油喷射系统产品平均价格以 4500 元/套计，并按照中国市场 450~500 万台多缸柴油机来计算，今后电控高压燃油喷射系统产品市场销售额可高达 250~300 亿元左右，是当前我国燃油系统行业市场销售额的 3 倍，所以市场需求巨大。

4.4.3.7 技术应用情况

该技术分别经在多种客车、公交车、40t 载重车、解放轿运车以及军车上应用和试验，最长行驶里程已达 40 万公里。该项技术目标是在满足国家排放法规的条件下，通过常用工况的优化标定，实现节能 5% 以上，降低喷射系统的配套成本（与进口或合资产品相比）30% 以上。

4.4.3.8 技术知识产权情况

该技术的关键是高压的产生和控制、喷油量和喷油规律的精确控制、喷油系统性能稳定性和可靠性技术、高精度制造技术和高压密封技术、控制策略和控制软件编制技术等。目前，已在该系统上形成的许多核心共性技术，可指导和推广共轨燃油喷射技术的开发和制造。

4.4.4 点燃式内燃机缸内直喷燃油喷射系统

随着各种排放、噪声法规的出台，各种内燃机高效节能关键技术迎来了发展的黄金时期。鉴于我国人口众多、汽车发展速度快、石油资源不丰富的条件，发展小排量汽车具有的特有优势，更由于增压发动机和 GDI 发动机具有降低排放、减少二氧化碳排放、加快整车响应性、提高燃油经济性、增加发动机功率、增加发动机在低速时的扭矩的特点，因此，开发小排量并结合增压和 GDI 的汽油机必将成为各汽车企业应对日益严格的排放和油耗法规的主要技术路线。

4.4.4.1 技术介绍

点燃式内燃机实现缸内燃油直接喷射的关键零部件系统技术的主要特点是：提供较高且恒定的喷射压力（约 20MPa）；灵活、准确和迅速的喷射过程控制；每循环可实现 3 次以上的喷射。系统组成包括传感器，高压泵，高压轨，控制器和喷油器等。工作原理可简述如下：低压燃油经过高压泵升压后进入高压轨稳压，再到达喷油器；控制器根据传感器采集的信号确定发动机运转状态，驱动喷油器按最佳模式向缸内喷油。

4.4.4.2 技术发展水平

近些年来,对以分层稀薄燃烧缸内直喷汽油机和均质压燃汽油机为代表的新型稀薄燃烧模式的研究,大大地提高了汽油机的燃油经济性。GDI 汽油机超稀薄空燃比的利用和工作方式的改变带来了很多优点,如:取消节流降低了泵气损失;燃油蒸发引起的缸内温度降低,提高了汽油机可工作的压缩比;燃油在进气行程中对进气进行冷却,提高了充气效率等。这些优点使得分层稀燃 GDI 汽油机的燃油经济性可以提高 10~25%,动力输出也比进气道喷射的汽油机增加 10%左右。此外,GDI 汽油机瞬时响应能力提高、空燃比控制精确、冷启动快速等都显示了其比进气道喷射汽油机的优越性。但是,这种以稀燃为目标的 GDI 在实际应用中也遇到了一些问题:如:所需的稀燃催化剂尚未成熟,因而造成 NO_x 排放高;分层稀燃混合气控制难度很大,中小负荷未燃碳氢较高。

鉴于分层稀燃 GDI 存在上述问题,从 2000 年以后,欧洲采取了均质混合气和化学计量比(均质当量比)为特征的技术路线。这种 GDI 发动机与传统的 PFI 发动机相比可以分别改善燃油经济性和动力性 10%左右,由于采用均质当量比仍可以采用传统的三效催化剂,产业化的可行性较高。另外为了降低冷启动排放,在这种均质当量比 GDI 发动机中,分层混合气燃烧策略仍有价值,尤其在冷启动阶段,采用分层混合气燃烧有助于催化剂快速起燃。比如丰田汽车公司新开发的 3.5 升 V6 化学计量比缸内直喷汽油机,在冷启动阶段采用分层燃烧方式,与进气道喷射汽油机相比可以将催化剂工作温度提高约 500℃,取得了大幅度降低 HC 排放的效果。

世界各国汽车节能减排法规日趋严格,并把 CO₂ 排放作为衡量燃油经济性的主要指标,当前欧盟已经通过了 CO₂ 相关法规来限制新车的油耗水平,到 2015 年,欧洲新车平均 CO₂ 排放将逐步降至每公里 130g,到 2020 年为 95g/km,日本、美国及我国也推出了相应法规标准。中国新的油耗法规将于 2015 年实施,相应折算的 CO₂ 排放量为每公里 161g,并且明确指出要通过努力,争取到 2020 年我国汽车排放和能耗进入国际先进水平。仅仅采用均质当量比 GDI 显然很难满足这种要求,西南研究院 Terry Alger 等人提出了高效稀薄燃烧汽油机的概念,在 GDI 发动机上进行了高 EGR 率的研究。结果表明,在中小负荷引入低压回路非冷却 EGR,降低了泵气损失,油耗降低 4%,NO_x 和 CO 排放都有所下降;高负荷引入高压回路冷却 EGR,可有效减小爆震倾向,提前燃烧相位,从而降低了排温,减小了保护性加浓的需要,在降低 NO_x 和 CO 排放的情况下,油耗可下降 10~20%。Delphi 公司 John E. Kirwa 等人对一台三缸 TGDI 发动机进行了分层 GDI 和配备了全可变气门系统(Variable Valve Actuation, VVA)的均质 GDI 对比研究,结果表明:相比一台四缸 PFI 发动机,分层 GDI 发动机 CO₂ 排放最

多可降低 22%，而配备了 VVA 的均质 GDI 发动机 CO₂ 排放最多可降低 18%，由于后者采用传统的价格低廉的三元催化转化器即可达到欧 VI 排放法规，因而更胜一筹。

4.4.4.3 技术适用条件

道路车辆用点燃式内燃机。

4.4.4.4 实施建设内容

无。

4.4.4.5 节能减排效果

点燃式内燃机在应用直喷燃油喷射技术后再结合增压技术，可节油 15% 左右。温室气体 CO₂ 的排放量也有相同比例的下降。

随着排放和油耗法规的日益严格，增压、直喷发动机规模每年全球应能达到 2000 万台的产能规模，中国国内应能达到 1000 万台的产能规模。

增压、直喷汽油发动机的最主要的两个系统部件，电喷系统和高压燃油系统制造技术完全掌握在国外公司手中，目前国内无这两个系统的供应商，发动机成本降低压力很大。通过本项目的开展和实施，仅这两项技术国产化就可使每台发动机成本降低约 800 元，每年可为国内整车和发动机生产企业节省采购成本近百亿元。

从国内外的研究情况看，增压、直喷汽油发动机的燃油经济性与同功率汽油机相比可改善 15~25%；发动机综合应用电子节温器和电控水泵燃油经济性可提高 3%；而智能起停技术能带来 5%~8% 的油耗降低。通过这几项汽油机高效节能关键共性技术的开发和产业化，有望使我国紧凑型 and 小型汽车油耗降低 20% 以上，不仅大幅降低消费者用车成本，减少温室气体排放，同时也为国家节能减排工作做出重要贡献。

4.4.4.6 成本效益分析

在应用了直喷燃油喷射技术和增压技术后，点燃式内燃机的制造成本增加 2000~3000 元。如果考虑 15% 左右的节油效果，一辆百公里油耗 10 升的轿车在每年行驶 15000 公里的条件下，每年可节省燃油费用 1500 元，不到两年即收回投资。

4.4.4.7 技术应用情况

目前直喷增压汽油机在国内的市场占有率为 2~3%，但未来几年将经历大幅

度增长，十二五期间预计推广比例在 30%~40%左右。

奇瑞公司在 GDI 发动机项目上投入了很大的人力物力，建立相关的实验研究机构，成立专门的项目组推进 GDI 发动机量产工作，目前已有 2.0GDI 发动机成功实现量产。

4.4.4.8 技术知识产权情况

国内企业如成都威特电喷有限责任公司已开始研制该项技术并在申请有关专利。奇瑞公司 GDI 发动机项目已完成。

4.4.5 点燃式内燃机缸内直喷燃烧技术

4.4.5.1 技术介绍

目前，汽车已经成为石油消耗的主要领域。由于汽车保有量的持续增加，车用能源的消耗占整个石油消耗量的比重日益加大。2008 年，我国车用燃油占总石油消耗的比例从 2000 年的 17.8% 增加到 33% 左右，成为石油消耗的主要领域。在燃料类型方面，我国柴油消耗的比例在逐步增加，但汽油消耗仍然是车用燃料消耗的主流。从 2000~2007 年我国汽车消耗汽油量从 3554 万吨增加到 5989 万吨，其中汽车总消耗比例一直在 86% 以上，成为汽油消耗的主力。据公安部交管局统计，截止 2010 年 9 月底，我国机动车保有量达 1.99 亿辆，其中汽车 8500 多万辆。预计到 2020 年中国汽车保有量将超过 2 亿辆，由此带来的能源安全和环境问题将更加突出。大力推进传统汽车节能减排，成为中国汽车产业亟须解决的重大课题。中国现有乘用车中汽油车占有近 100% 的比例。虽然汽油机的热效率低于柴油机，但它有一些重要优点：成本低，在中国汽油供应比柴油充足，解决了混合动力和柴油轿车所遇到的难题；升功率高、重量轻、后处理技术较成熟，有很大的节油潜力，采用新技术后可提高部分负荷热效率。这些因素使汽油机能够在未来 30 年内继续作为乘用车的主流动力。因此发展高效清洁汽油机是一条成本低且更有效的节能途径。

缸内汽油直喷燃烧技术，顾名思义就是通过直接在气缸里面喷射汽油燃烧的技术。传统的汽油机一般采用在进气道内喷射汽油，进入气缸内燃烧的方式，但是传统的汽油机一般来说压缩比低，泵气损失大，因此其燃油经济性低。缸内直喷汽油机兼有柴油机热效率高和汽油机升功率大的特点，与传统进气道喷射相比，缸内汽油直喷汽油机具有冷启动碳氢排放低、充气效率高、燃油经济性好、瞬时反应快、起动快、空燃比控制更精确等优势，是未来发动机技术的发展方向。

4.4.5.2 技术发展水平

新一代小型增压直喷发动机，排量可在 1.2~1.4L 之间，装备整车后整车动力性达到或优于原匹配 1.5~2.0 升自然吸气发动机的整车水平；燃油消耗率能满足比国家第三阶段油耗更严格的欧洲 2012 碳排放要求；整车排放达到国五排放法规，并具备主要系统不变的情况下升级到国六的潜力；相对于目前 1.5~2.0L 发动机成本增加 \leq 3000 元/台；完成匹配整车的批量化生产。

缸内直喷发动机主要有以下几个发展趋势和特点：

(1) 化学计量比燃烧方式已成为 GDI 发动机的主流趋势

第一代 GDI 发动机采用分层稀薄燃烧方式，通过压缩冲程中缸内喷入燃油，可以大幅度提高燃油经济性，但会出现高 NO_x 排放甚至碳烟排放的问题。第二代采用化学计量比燃烧方式，通过进气冲程中缸内早喷燃料形成均质混合气后火花点火，保持在化学计量比下工作，因此可以使用三效催化转换器，能节省下大量 NO_x 处理的成本。

(2) 喷雾引导已成为 GDI 发动机混合气形成方式的发展趋势

GDI 发动机混合气形成方式有两类。第一代为壁面引导或气流引导 (wall guided or air guided)，第二代为喷雾引导 (spray guided)。三菱和宝马等汽车公司的研究表明，喷雾引导工作模式的运行范围比壁面引导或气流引导工作模式更宽，HC 和 CO 排放比传统进气道喷射汽油机更低，燃油消耗率按 NEDC 循环测试降低约 20%。另外，莲花公司、西门子 VDO 和三所英国大学联合启动了一个三年的 HOTFIRE 研究项目，目标也是开发喷雾引导的 GDI 发动机。

(3) GDI 与增压相结合

缸内直喷和增压相结合不仅在柴油机上被证实是成功的应用，对于汽油机来说具有更大的意义——改进汽油机性能效果显著，可以使燃油经济性和 CO₂ 排放达到柴油机水平，而且升功率可以达到 100kW/L。由于发动机尺寸减小 (Downsizing)，重量减轻，整车燃油经济性也进一步提高。

(4) GDI 与全可变气门系统相结合

将 GDI 系统与全可变气门系统相结合，不仅可保留采用可变气门气时系统 (VVT) 的优点，还可以通过调整进气门开启包角控制部分负荷的进气量，有效减小部分负荷的泵气损失，将均质 GDI 发动机的经济性提高到与分层 GDI 接近的水平。宝马 N55 3.0 L TGDI 发动机装备 TwinScroll 废气涡轮增压器和独有的 Valvetronic 全可变系统装备整备质量 2015 kg 的整车 CO₂ 排放量仅为 209 g/km，百公里油耗仅 8.9 L。

4.4.5.3 技术适用条件

该技术适合轿车、轻型客车用汽油发动机，可以在原来的气道喷射汽油机的基础上进行产业升级，生产设备和供应商体系可以沿用。

4.4.5.4 实施建设内容

主要技术指标：

(1) 建立汽油直喷高压燃油系统的设计、开发集成与匹配技术，建立系统匹配能力与评价体系；

(2) 建立汽油直喷发动机燃烧系统的开发策略，设计开发手段和方法；

(3) 实现发动机怠速智能停机和快速启动，在综合工况下节省 4% 的油耗，在城市工况下节省 8% 的油耗；

(4) 单纯采用汽油直喷，可以降低约 5%~7% 的整车油耗，如果结合增压技术与 EGR 技术，通过降低发动机排量，提高功率和扭矩，降低高速排温的方法，可降低乘用车实际的燃油消耗 20% 以上。

4.4.5.5 节能减排效果

从国内外的研究情况看，增压、直喷汽油发动机的燃油经济性与同功率汽油机相比可改善 15%~25%；发动机综合应用电子节温器和电控水泵燃油经济性可提高 3%；而智能起停技术能带来 8% 的油耗降低。通过这几项汽油机高效节能关键共性技术的开发和产业化，有望使我国紧凑型 and 小型汽车油耗降低 20% 以上，不仅大幅降低消费者用车成本，减少温室气体排放，同时也为国家节能减排工作做出重要贡献。预计每台车平均燃油消耗降低 20%， “十二五” 期间每年平均推广 300 万台，共 1500 万台，按每台每年耗油 2.0t 计算，则在 “十二五” 末期每年可节油最少 600 万吨以上，可减排 CO₂2000 万吨左右。

4.4.5.6 成本效益分析

由于直喷汽油机的扭矩输出特性，整车动力性大大增加，用户在充分享受驾驶乐趣的同时，仅用两年时间就可通过节省的燃油费收回花费在因发动机成本增加带来的支出。同时对于厂家来讲，随着市场用户对该项技术的认可，将带来很大的投资效益。

4.4.5.7 技术应用情况

该技术主要应用在乘用车上。目前该发动机已广泛应用于奇瑞公司的瑞麒国 V 及国 VI 等整车上，其中瑞麒国 V 已经上市，提前开展的市场调查反馈良好，用户反馈发动机加速有力，噪音小，油耗低，随着该发动机社会保有量的增加，必将为客户和公司带来可观的经济效益和社会效益。

4.4.5.8 技术知识产权情况

为了保证 GDI 发动机的产业化，该技术的关键是以均质混合气燃烧系统开

发、涡轮增压和可变气门正时为核心技术，同时配合先进零部件系统，进一步提高发动机节油潜力。

本技术拥有完全自主知识产权，具有多项已授权的国家发明专利。

4.4.6 柴油机组式电控单体泵燃油喷射系统

4.4.6.1 技术介绍

在过去 10 多年里，我国在柴油机电控高压燃油喷射系统的技术研究和开发方面也开展了一系列工作，取得了卓有成效的进展。柴油机满足国IV以上排放法规的关键零部件系统技术的主要特点是高的喷射压力（约 170MPa），灵活、准确的喷射定时和喷油量控制，系统集成度高，便于在装有直列式喷油泵的柴油机上安装，使用维护便利等。系统组成包括传感器，电控高压泵，控制器和喷油器等。工作原理可简述如下：控制器根据传感器采集的信号确定发动机运转状态，驱动位于高压泵上部的高速电磁阀，从而实现喷油过程的开始和结束。

4.4.6.2 技术发展水平

为了适应技术发展、满足我国柴油机市场配套和实现节能减排目标要求、推动我国柴油机技术进步，中国一汽技术中心和无锡油泵油嘴研究所、山东龙口龙泵、辽宁新风集团、中国重汽重庆燃油喷射有限公司、成都威特电喷、衡阳南岳、亚新科北京天纬以及南京威孚金宁等一些国内柴油机燃油喷射系统行业的研究机构、企业在电控高压共轨系统、高压直列泵及其电控、电控组合式单体泵和电控分配泵等系统技术和产品的研究、开发方面做了大量的工作，进行了大量投资，取得了突破性的进展，已经开发出了喷射压力 160MPa 的电控高压共轨系统、电控单体泵或组合式单体泵系统、电控直列式喷油泵系统、电控分配泵系统等柴油机电控燃油系统产品，可以覆盖轻型、中型/中重型直至重型车用柴油机等用途，可以满足柴油机达到国III排放标准对喷射压力的要求，也具备了满足国IV排放标准的一定条件。

4.4.6.3 技术适用条件

可应用在各种型号的车用或非道路柴油机上，需要与增压，中冷及后处理等技术同时应用。

4.4.6.4 实施建设内容

（1）喷油器达到的技术指标如下：

最高工作压力：160~180MPa

最小喷油量：1 mm³/循环

最小喷油间隔：0.5ms

预喷油量：(1~3) mm³/循环

响应速度：≤0.3 ms

油轨压力波动率：≤3.5%

喷油一致性：≤4%

使用温度范围：(-41~+70)°C

匹配机型：单缸 0.4~2.5L 增压中冷柴油机

(2) 具有自主知识产权、以高压燃油喷射系统为核心的整车/整机电子控制单元的产业化及示范应用；

(3) 具有自主知识产权、新型灵活可控高压燃油喷射系统应用研究与示范推广，系统可达到的最大喷射压力不低于 180MPa；可靠性指标 MTBF 达到 2000 小时以上；

(4) 掌握柴油机电控高压燃油喷射系统（机械系统、液力系统和控制系统控制硬件软件等）的开发流程、方法和设计技术等一系列核心技术，包括机械强度刚度、液力系统及其特性、电磁执行器及其特性等的数值模拟分析技术以及匹配标定技术；制订系统技术条件、性能试验方法、可靠性考核规范等一系列喷油系统行业标准和企业的技术规范。

4.4.6.5 节能减排效果

与传统的直列燃油喷射系统相比，降低油耗 5%~8%，有害气体排放性能提高一个排放等级。

柴油机在应用上述一揽子技术后，主要有害排放物均有大幅度的下降，其中 ONX 下降 70%左右，颗粒物下降近 90%。对国内目前产量最大的自然吸气式轻型商用车柴油机，节能效果也非常明显，燃油耗将下降 15% 以上。

4.4.6.6 成本效益分析

组合式电控单体泵燃油喷射系统的成本仅比传统的机械式直列泵高 2000 元左右，加上其它需要结合的技术，每台发动机成本将提高 4000 元左右，但如果考虑 15%左右的节油效果，一辆百公里油耗 15 升的轻型卡车在每年行驶 50000 公里的条件下，每年可节省燃油费用 7000 元，不到一年即收回投资。

4.4.6.7 技术应用情况

目前采用电控燃油喷射系统的车用柴油机不过 15%，但未来几年将经历大幅度增长，“十二五”期间预计推广比例接近 100%。

4.4.6.8 技术知识产权情况

成都威特电喷有限责任公司等国内企业拥有对组合式电控单体泵的全部知识产权。

4.4.7 内燃机替代燃料—醇燃料燃烧技术

4.4.7.1 技术介绍

在内燃机吸气过程将醇类燃料（甲醇或掺水乙醇）喷入并与进气混合。利用醇类燃料具有的高汽化潜热，降低进气混合气的温度。对柴油机来说，利用醇类燃料对柴油的化学反应动力学作用，实现了柴油机低温、高效燃烧的目标。启动时，发动机仅用柴油，以保证启动性能与原机相同。暖机后，发动机转向柴油/醇二元燃料燃烧方式。醇燃料按照发动机的工况适时、适量由电子装置控制喷入量和喷入时刻。喷进发动机的醇燃料在气缸内由柴油引燃，实现柴油/醇二元燃料的燃烧方式。见图 4-22。

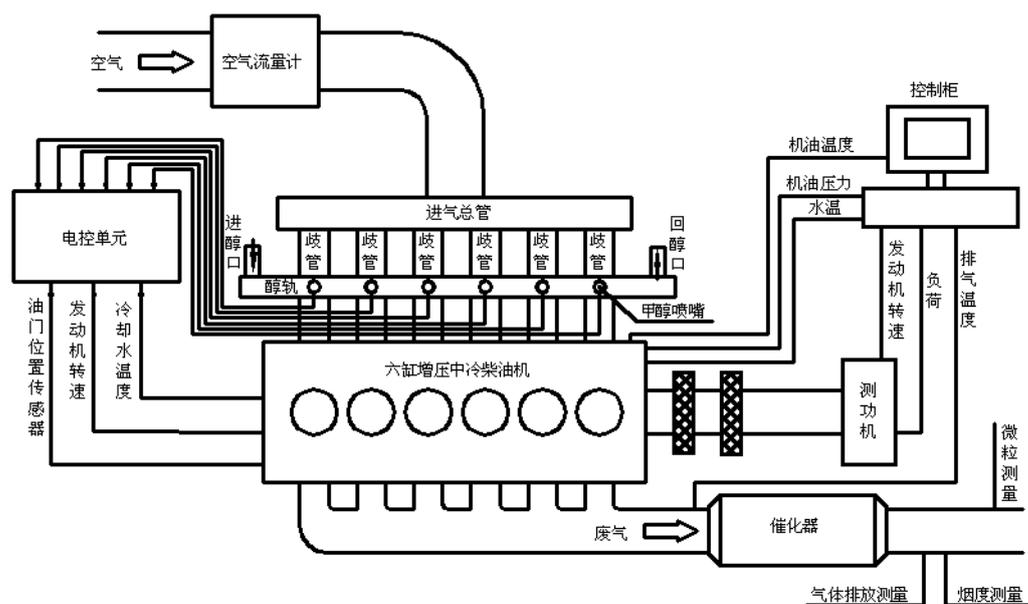


图 4-22 柴油机低温燃烧系统结构示意图

4.4.7.2 技术发展水平

目前，我国的内燃机产品主要以石油为燃料，不计航空发动机消耗，2009 年我国全年消耗商品柴油 14126.8 万吨，商品汽油 7194.8 万吨，内燃机用润滑油 390 万吨，常规动力船舶用燃料油 1536 万吨，全年消耗 2.32 亿吨。内燃机产品消耗的各类燃料油和润滑油占当年我国石油消耗总量（自产 18900 万吨，进口 19900 万吨）38800 万吨的 60%，是目前我国石油消耗的最大产业。

我国能源结构为缺油、少气、相对富煤，虽然我国的能源消耗主要源于自给，

但作为内燃机目前所依赖的石油资源自给率严重不足。自 1993 年开始，我国由石油出口国转变成为净进口国以来，仅用 16 年，石油进口量已经达到当年全国消耗的 50% 以上，超过国际上公认的能源安全警戒线。2009 年我国石油对外依存度达到 51.3%（2010 年 1 月国家能源局公布数据）。据社科院的预测，十年后我国石油对外依存度将达到 64.5%。由于石油燃料的重要战略地位，对进口石油的高度依赖，已构成对国家能源安全较大的威胁，石油能源已经成为影响国民经济健康发展的重要瓶颈。国家为此开展一系列石油能源的替代工作，对新能源的发展给予了极大的鼓励和推动，并在中长期发展规划中提出至 2020 年实现替代 5000 万吨石油燃料的重要战略发展目标。鉴于此，作为年消耗我国石油能源 60% 以上的内燃机行业，在认真贯彻国家节能减排科技发展政策的同时，积极开展内燃机高效利用替代燃料的研究和推广应用，是减少我国石油对外依存度，保障国家能源安全行之有效的措施。

与其它替代燃料在资源自给，产能基础，产量储备，输、配送体系以及车辆的蓄能、储能特性要求等方面相比，经过多年的探索和研究，我们认为，醇醚燃料家族中的甲醇，是目前条件最合适的替代燃料之一。推广和应用内燃机的替代燃料是减少矿石燃料应用，减少尾气中氮氧化物排放，缓解能源压力的一个重要措施。

我国内燃机工作者在甲醇替代柴油的技术研究方面已经做出很大成绩，甲醇的生产部门以及内燃机用户对于甲醇替代柴油的积极性也很高。目前该技术处于国际领先水平。

4.4.7.3 技术适用条件

各种类型柴油机，包括自然吸气、增压及增压中冷。同时既适用于对在用车进行改装也适用于新车生产。

4.4.7.4 实施建设内容

主要技术指标：可以用占燃料总热值 20% 比例的醇燃料和柴油一起实施二元燃料燃烧。与原柴油机相比，燃料经济性提高 10% 以上，减少二氧化碳排放超过 10%。其它废气排放品质优于原柴油机。

4.4.7.5 节能减排效果

实现 1.5kg 甲醇替换 1.0kg 柴油。甲醇对柴油的替代率平均达到 20% 以上，最高替代率达到 40%。燃料经济性提高 10% 以上，减少 CO₂ 排放超过 10%。可将原发动机的排放水平提高一个标准法规等级。

4.4.7.6 成本效益分析

每辆车改装的成本不到 1 万元，系统仅需清洗喷油器和更换橡胶密封件，按年行驶 10 万公里计，约 300~500 元/年，半年左右可收回投资。

4.4.7.7 技术应用情况

该技术目标是实现甲醇替代柴油 20% 以上，降低燃料的使用成本 10% 以上，符合国家对机动车辆安全、排放法规要求，成本低且维护方便。目前，该技术分别在在用车和新生产车上进行试验，种类包括轻型客车、公交车、40t 载重车、25t 槽罐车、2.5t 叉车等多种车型，总行驶里程近十万公里。

4.4.7.8 技术知识产权情况

该技术具有完全自主知识产权，具有国家发明和实用新型专利以及软件著作权多项。

4.4.8 内燃机热能综合梯级利用技术

4.4.8.1 技术介绍

内燃机是交通运输、工程机械、农用机械等动力装置的主要原动机。内燃机排气的余热能量约占燃料燃烧总能量的 35%，且温度较高，是高品位余热能量。对排气余热能量的回收利用是内燃机余热梯级利用的关键。本技术通过涡轮复合循环技术进行排气余热能量的综合梯级利用。发动机排气能量通过动力涡轮回收，将排气余压能量转换为机械能，通过传动装置与发动机输出轴机械复合或者通过发电机将机械能转换为电能，存储到蓄电池中；动力涡轮出口的排气余热能量还可以通过换热器传递给底循环（朗肯循环或者布莱顿循环），通过底循环将余热能量转换成电能，存储到蓄电池中。蓄电池存储的电能可以用于内燃机的水泵、风扇、机油泵、起动电机等附件。对于混合动力内燃机，通过余热发电获得的电能还可用于驱动主电机，内燃机余热综合梯级利用技术如图 4-23 所示。

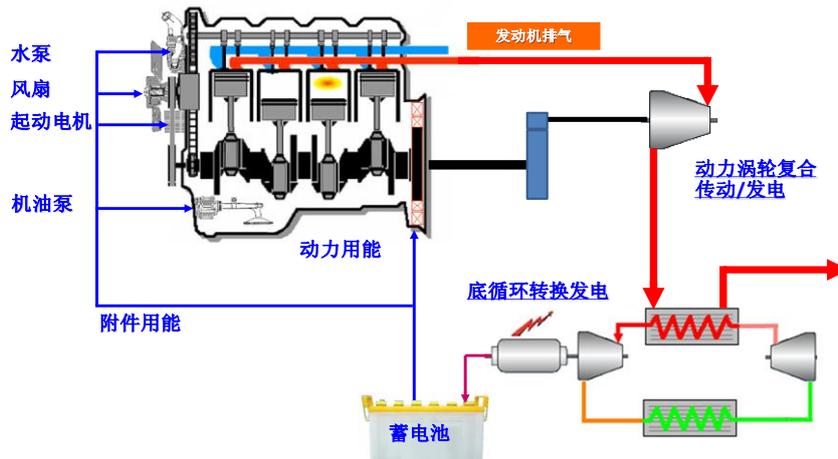


图 4-23 内燃机余热综合梯级利用技术示意图

4.4.8.2 技术发展水平

从内燃机的能量平衡来看，动力输出功率一般只占燃油燃烧总能量的 30%~45%（柴油机）或 20%~30%（汽油机），除了不到 10%用于克服摩擦等功率损失之外，其余的燃料能量没有得到利用，主要通过内燃机排气及冷却散热排放到大气中。将内燃机的余热能回收再利用是提高内燃机总能效率、降低油耗的重要途径。

目前柴油机的平均热效率约为 30%~40%，其它部分的能量损失主要包括，冷却液带着的热量、排气带走的热量和机械摩擦损失等，其中冷却水和排气散热共损失掉燃料近 50%的化学能，如果能把这两部分的热量回收利用，必然大幅提升发动机的热效率，节能减排，获取巨大的社会和经济效益。多年以来，我国企业和研究机构为了提高柴油机的燃油经济性，通过改善燃烧过程提高热效率、减少机械摩擦损失等方面已经开展了大量研究工作。近年来，柴油机行业普遍注意到了通过提高柴油机的总能利用率来提高商用车油耗的技术途径，各地相继开展了增压匹配技术、热管理、余热能量利用方面的初步研究和开发，取得了一些初步成果和产品。开展柴油机总能利用率的共性关键技术已经成为柴油机行业的普遍共识。

以中重型柴油机为重要动力的商用车，和轻型车辆相比数量相对较少，但是单位小时的燃油消耗量高。承担我国货物运输的主力，年运行里程高，消耗燃油总量巨大，因此对于提高总能利用率具有迫切的需求。

对发动机的传热进行综合控制和利用，进行综合集成与整体优化，达到有效散热、降低油耗和减少排放的目的，简单的说就是可以快速达到稳定的、优化的工作温度，从而解决发动机的寿命、工作稳定性等问题。采用发动机热管理技术后，发动机能够保持在最适宜的温度环境下，既减少了发动机附属设备的能耗损

失，又使油耗降低 5%~10%，通过热管理技术达到节油目的。

在热管理技术方面，传统的基于部件和子系统的发动机传热控制研究与应用，在发动机开发中取得了巨大成功。随着发动机性能要求的不断提高，传统的发动机传热研究已不能满足要求。发动机系统一个部件、一个过程的改变都会造成多方面的影响。整个发动机系统的高性能和稳定工作是各系统相互匹配和平衡的结果。近年来发动机传热控制的研究方法，由部件和子系统转为强调发动机系统整体，重视发动机传热与流动和能量转换过程的相互作用、相互影响，其关键技术为发动机热管理。

发动机热管理与传统冷却技术有着显著区别，从发动机冷却到发动机热管理，不仅是技术上的进步，更是管理、设计思想上的突破。发动机热管理技术，已成为发动机节能减排、功率强化、提高可靠性及寿命的重要措施。发动机热管理技术已被列为美国 21 世纪卡车计划的关键技术之一，对提高整车性能潜力巨大。高性能的发动机热管理系统的控制目标是节省燃油、降低排放，增加功率输出和车辆承载能力，降低车辆维护费用，提高可靠性以及车辆对环境的适应能力。研究发动机热管理技术、创造发动机作业需要的 85%~95℃最佳温度环境、达到节能减排和改善性能的目的，是发动机专家和装备制造企业多年来的重要研究课题。

发动机热管理技术在欧美等发达国家已开始成熟应用，但在国内的应用几乎是空白。进入 21 世纪以来，我国的发动机研发水平取得了巨大的进步，在某些方面甚至达到了国际先进水平。柴油机余热利用一直是我国相关高校、科研院所、大中型企业关心的焦点。国内相关专利检索（截止到 2009 年 12 月）表明，我国在车用发动机余热利用领域形成成果 230 余项。以天津大学、吉林大学、北京工业大学、哈尔滨工程大学为代表的几个高校分别在朗肯循环、斯特林循环和气动式循环不同技术领域取得突破性的进展。基于朗肯循环的动力涡轮驱动方式北京工业大学开展了工质选取、蜗杆式动力转换机构开发等研究；哈尔滨工程大学开展了一些能够回收部分废气余能的斯特林发动机开发研究；天津大学基于一维模拟对朗肯循环核心部件的具体尺寸进行了模拟和优化，提出了燃油消耗率可以降低 8.8% 结论。吉林大学创造性的提出了能够简化动力涡轮传动机构的气动式废气能量回收系统方案，已取得了一些阶段性的成果。

使用朗肯循环回收发动机废热获取动力的研究国内虽然刚起步，但由于借鉴了国外的成功经验，一些企业和科研单位在此方面进步也较快，取得了较好成果。常州高度新能源科技有限公司采用朗肯循环，以二氧化碳水合物为工质回收发动机冷却水和废气余热，以涡卷膨胀机驱动发电机发电，目前推出 5kW 热电机产品，25kW 产品正在研发。浙江开山集团借助压缩制冷机组的经验，将此过程反过来使用，开展发电机组柴油机冷却水和排气余热的能量回收研究，利用余热

发电，计划回收 200kW 的发电机组余热得到 30kW 的额外电力。玉柴使用朗肯循环废热回收技术回收发动机排气余热增加发动机的功率，可以增加发动机的输出功率 10%，首台样机试制成功，可以获得 25kW 的额外动力。玉柴计划深入研究，使用该技术进一步回收发动机冷却水和中冷器的余热，在不增加油耗量的情况下，提高 15% 发动机输出功率。

热管理方面，2007 年宇通与德国林尼克公司合作，在客车上推出热管理系统，主要的技术是应用了电磁风扇离合器和发动机废热用于制暖。该技术的应用产生了较好的经济效益，节油效果明显。

国内热管理技术方面的研究还处于起步阶段，较早开始这方面研究的是清华大学，他们与 AVL 合作开发了热管理系统仿真平台。目前做这方面的研究高校主要有浙江大学、华中科技大学、同济大学等，也有一些初步的研究成果。

玉柴于 2006 年开展热管理技术研究，2007 年以来对柴油机本体冷却系统和整车冷却系统做了大量研究工作，取得了一定成果，并开始在产品中应用，在国内柴油机行业处于领先地位。

4.4.8.3 技术适用条件

内燃机余热综合梯级利用技术适用于交通运输、工程机械、农用机械等装备的内燃机。对于经常工作在高速大负荷工况的卡车和长途客车等商用车柴油机的节能效果尤其显著。

4.4.8.4 实施建设内容

发动机热管理系统及可调功率的附件开发。建立能量管理系统的试验平台、试验规范、评价指标和应用评价体系，建立卡车和客车各一款车型的评估。完成柴油机各种先进热管理技术的开发和应用对比验证，建立基础数据库。实现电磁风扇离合器的批产。完成温控型电子风扇在轻卡上的小批应用。初步实现智能温控系统（包括热系统集成化）在重型牵引车上的应用。

4.4.8.5 节能减排效果

该技术能使内燃机燃油经济性提高 5%~15%，减少 CO₂ 排放量 5%~15%。

4.4.8.6 成本效益分析

按一次性投入与油耗收益的折衷关系，所开发的余能利用系统成本应控制在 5000~7000 元左右，每台内燃机按降低油耗 10% 计，一年之内可收回投资。

目前我国商用车年产量约 450 万辆，平均每辆商用车每年耗油 30t 以上，每年新增商用车需消耗燃油 1.35 亿 t 以上，采用内燃机余热综合梯级利用技术可提

高商用车燃油经济性 10%以上，每年可节约燃油消耗 1350 万 t 以上。

4.4.8.7 技术应用情况

国外发动机余热利用发展趋势为由单纯的废热取暖向复合增压，朗肯循环废热发电、做功方向发展，目前国外复合增压技术已经成熟，朗肯循环废热回收利用成为热门研究方向。

批量生产复合增压柴油机的外国企业有康明斯、底特律、卡特彼勒、斯堪尼亚、奔驰、依维柯等知名公司，底特律复合增压系统使发动机热效率提高 5%、油耗降低 2%、功率增加 35kW。

该技术已在重型卡车柴油机上得到应用，实车道路测试表明，通过涡轮复合技术回收排气余热能量使柴油机的功率输出提高了 10%，燃油经济性提高了 5%。目前采用该技术的柴油机已批量生产，技术成熟，节能效果明显。

4.4.8.8 技术知识产权情况

该技术的关键是内燃机与涡轮复合系统的一体化设计及全工况性能优化控制，相关技术具有完全自主知识产权。

4.4.9 内燃机废气再循环系统

4.4.9.1 技术介绍

在发动机排气管处设置废气回流通道，一部分废气经过该通道进入中冷器冷却，经冷却后的废气经 EGR 阀控制流量后引入进气管。在增压机型中由于扫气现象的存在，废气压力可能会低于进气压力，为了防止 EGR 的倒流有些系统会增设节流阀和文丘里管。见图 4-24。

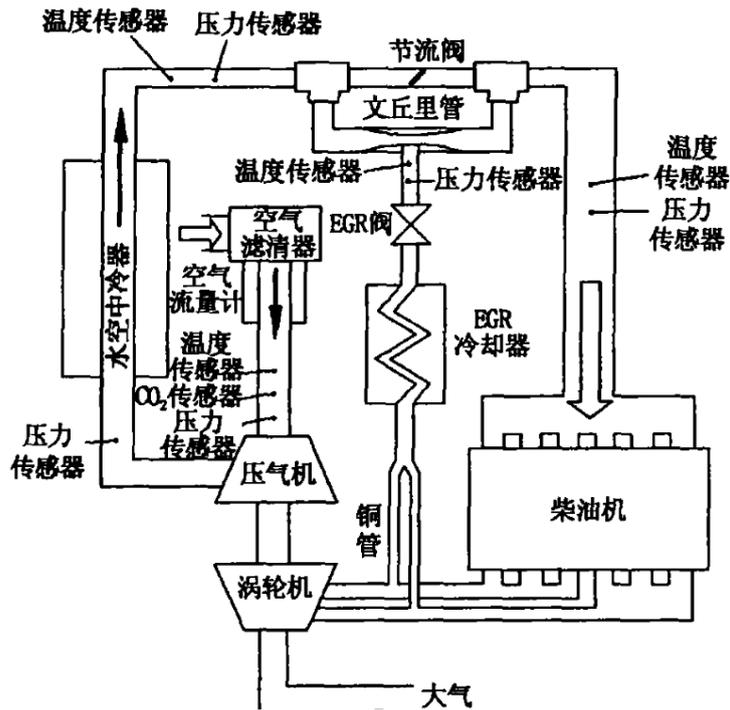


图 4-24 柴油机低温燃烧系统结构示意图

废气与进气混合后进入燃烧室，从而使混合气中存在一定量的惰性废气。这些废气会抑制燃烧速度和燃烧温度，从而降低 NO_x 排放。由于不同工况下发动机状态不同，需增设并匹配 EGR 控制系统，从而实现全工况的 EGR 率优化。

4.4.9.2 技术发展水平

废气涡轮增压技术和 EGR 和技术主要作用是改善匹配性能，使得内燃机在全工况范围内经济性得到明显提升，或者能够消除由于采用增压技术所带来的负面影响。采用废气涡轮增压技术本身可以使内燃机的热效率提高 3%~5%。综上所述，开展高效增压系统的开发及产业化研究是内燃机大幅度节能减排的需要，是提升国产涡轮增压器品牌技术水平和市场竞争力的需要，关系到国家的能源安全，将会产生巨大的经济效益。

国内在两级增压方面也开展了相关研究，上海交通大学对车用两级增压系统进行过理论与实验研究，形成了相应的计算软件以及试验台架。对二次进气两级增压系统性能进行了计算分析，并与陕西柴油机厂合作进行了试验研究；对高压级采用可变几何涡轮增压器的可调两级增压系统进行了理论和计算研究。近年来，提出了用于可调两级增压系统性能分析的等效增压器方法，并应用于系统匹配和优化，并研究了切换调节阀的特性，现已在 D6114 柴油机上进行了可调两级增压的实验研究。同时，上海交通大学还进行了双涡轮顺序增压的计算与实验研究，开发了顺序增压切换阀及其控制机构，试验证明了柴油机的经济性得到了有效改

善。北京理工大学也进行了可调两级增压系统的相关研究。建立了可调两级增压系统的增压器试验台架，在上面进行了压比分配、压气机性能和喘振特性的相关试验研究，考察了不同类型调节阀的调节能力和对系统性能的影响。

随着科技的不断发展，国内的增压技术不断提升，从 80 年代中期国内就有不少高校、研究机构及生产厂家开始致力与 VGT 增压器的研究，已经具备 VGT 结构设计与制造能力，并开展了 VGT 与柴油机的匹配研究工作。

国内目前对采用 EGR 技术路线的发动机研发普遍采用 VGT 的技术方案，主要是对 EGR 和 VGT 的联合工作规律进行研究，以实现更低 NO_x 排放的目标。对于利用涡轮再冷增压技术实现高的 EGR 率，目前北京理工大学正在和一汽技术中心进行联合研究，仿真结果表明，涡轮再冷增压系统可以有效的降低发动机进气压力和温度，实现高的 EGR 率和更低的 NO_x 排放，

4.4.9.3 技术适用条件

内燃机行业，尤其是涉及降低氮氧化物（NO_x）的各种类型内燃机，尤其适合于过量空气系数大于 1 的稀燃类发动机。包括柴油机、GDI 汽油机、稀燃代用燃料发动机等。该技术既适用于对在用车进行改装也适用于新车生产。

4.4.9.4 实施建设内容

无。

4.4.9.5 节能减排效果

减少二氧化碳排放，降低 NO_x 排放。与 SCR 后处理系统配合，可降低尿素消耗量 15%左右。

4.4.9.6 成本效益分析

采购成本 1500 元/辆车，按每辆汽车年行驶 10 万公里计，运行费用 200~400 元/年。节油 3000 升计，投资回收期为 0.25 年。

4.4.9.7 技术应用情况

目前国外欧 V 及以上柴油机均已采用该技术。国 IV 以后将有 50% 柴油机及代用燃料机型采用该技术。国 V 以后，随着 NO_x 限值的进一步严格，此技术将逐步普及。

4.4.9.8 技术知识产权情况

该技术的关键是 EGR 系统与具体机型的协同构建，EGR 冷却系统对热负荷

的影响和 EGR 率的优化标定。在知识产权方面，国内的汽车企业已经申报或授权的汽车用 EGR 或相关技术专利超过 500 项，例如，重汽集团的 EGR 方面的专利达到 35 项以上，其中，CN301371101S 的‘EGR 水泵总成’、CN200820020654 的‘车用 EGR’以及 CN201030199815X 的‘EGR 阀’等专利，覆盖了车用 EGR 产品和系统的各个方面，拥有核心的技术。

4.4.10 非道路移动用柴油机优化匹配与节能技术

4.4.10.1 技术介绍

非道路用柴油机广泛应用于工程和农业机械、船舶和国防等各个领域。在城市化、工业化的发展进程中，大量使用的工程机械挖掘机、推土机、装载机、叉车等工程机械设备，极大的提高了生产效率。2010 年我国工程机械用柴油机约为 73 万台，其中大量使用的是气缸直径为 90~160mm 范围的四缸、六缸柴油机，柴油机的单机功率范围从 20kW~300kW，主要特征是单机功率范围广，配套机械种类多燃油消耗高于国外同等机械 8~15%，个别的高达 20%。开展移动用高功率密度柴油机节能技术的专题研究，对减少我国石油的对外依存度，保障国家能源安全具有重要意义。

(1) 针对非道路机械的实际工作状况特点，采集和试验农业机械在水田、旱田、水浇地等不同耕作环境下的行驶阻力谱、工程机械怠速举升、怠速负载、加速急停等特殊运行工况谱的，确定非道路柴油机工作工况与传动系统的低油耗最佳功率匹配，确保非道路机械的配套动力在高效率、低油耗区域工作，达到节能的目的。

(2) 针对柴油机运行工况的要求，推广高效涡轮增压器及增压中冷系统。优化增压系统结构的设计、中冷器的选型和结构设计、不同冷却系统（水-空中冷系统、空-空中冷系统）的设计、涡轮截面参数调整、可变涡轮与电控涡轮与柴油机工况的匹配等工作。同时兼顾高速、低速柴油机性能，满足不同负荷条件下的经济性和加速性能。

(3) 开发并推广液压传动、静压传动技术等传动技术，减少动力传输过程中的功率损失。通过对不同用途、不同工况的标定方法的研究，推广工程机械、农业机械、排灌机械、内河运输、近海捕捞、固定机械、湖泊运输发电动力等非道路机械的标定方法。对传统的传动系统各参数进行优化设计，提高非道路机械配套动力的燃油经济性，降低使用过程中的燃油消耗。

(4) 结合中、高速船机工况的特点，开发动力涡轮技术开发及应用、电子水泵、节温器，高温精确冷却，智能温度控制系统完成智能温控系统（包括热系统集成化）等柴油机可调功率的关键附件，并进行优化设计，提高上述非道路用

柴油机的紧凑性和可靠性，满足安全、节能的设计要求。

(5) 优化立式单缸机燃烧系统、供油、进排气与直联传动系统，开发新型单缸柴油机的电控燃油系统，研究电控单体泵柴油机的怠速控制策略、喷油规律等，提高电控单体泵单缸柴油机怠速带载能力和自动调速能力，改善怠速过渡性和载荷突变工况下的稳定性，优化等速供油凸轮升程段和回程段的设计参数，提高发动机燃料喷射压力及精度，优化油、气比例，缩短起喷和停喷延迟时间，实现电控柴油机喷油的精确正时控制。对柴油机附件的布置，油底壳、动力传动结构设计等，开发直联式农业机械用、农用小型挖掘机配套动力，最大限度的降低单缸机的油耗率。

4.4.10.2 技术发展水平

在柴油机的技术发展过程中，非道路用柴油机产品在燃油消耗、排放、可靠性等方面与道路用柴油机产品的差距较大。非道路用柴油机作业条件较差(无迎风面、冷却条件差)、尤其是大型工程机械用柴油机、叉车用柴油机以及单缸柴油机的工作环境大多比较恶劣(受冲击和振动、负荷变化大、突变工况多)，功率范围广，使用工况复杂，要求储备较大的扭矩，对发动机的经济性、可靠性、加速性、起动机有较高的要求。我国工程机械用非道路柴油机基本上是以农机动力为雏形发展的，柴油机的使用工况与所用传动装置未能进行良好的匹配，造成燃油消耗过高。一般来说，非道路用柴油机的燃油消耗高于国外同类机型的10%~25%。另外，非道路柴油机的操作人员的操作技能较低，特别是农业机械的操作人员，使用过程中难以按照柴油机的使用规定对柴油机进行保养，这些因素造成了我国非道路柴油机燃油消耗高、柴油机实际使用寿命短。

随着非道路用柴油机排放标准的出台、用户需求的高端化，节能已经成为非道路用柴油机产品升级的主要因素。为加快推进农机装备、工程机械现代化进程，应对挑战，开发节能化产品是内燃机工业的不可推卸的责任。目前对非道路柴油机的研究主要集中在提高非道路柴油机的可靠性、降低排放等方面，通过对非道路柴油机节能技术、低能耗配套驱动装置进行专项研究和推广，完全可以节约10%~25%燃油消耗。

4.4.10.3 技术适用条件

适用于工程机械(装载机、挖掘机、推土机)、农业机械(作物收获机械、土壤耕作机械、农产品加工机械、植保机械、农业运输机械)、林业机械、渔业机械、发电动力、建筑、水利、煤矿、港口和国防等领域的机械所配备的的各种的柴油机，包括自然吸气、增压及增压中冷。

4.4.10.4 实施建设内容

无。

4.4.10.5 节能减排效果

非道路移动用高功率密度柴油机节能技术的应用后，与原柴油机相比，燃料经济性提高 10% 以上，减少 CO₂ 排放超过 10%。其它废气排放品质由于原柴油机。

4.4.10.6 成本效益分析

中国一拖集团有限公司、徐工集团等企业生产的非道路柴油机，每年可节约燃料费用 2.5 万元以上。投资半年不到可以收回成本。

4.4.10.7 技术应用情况

该技术分别经在用和新出产的非道路移动用柴油机，种类包括工程机械（装载机、挖掘机、推土机）、农业机械（作物收获机械、土壤耕作机械、农产品加工机械、植保机械、农业运输机械）、林业机械、渔业机械、发电动力、建筑、水利、煤矿、港口和国防等领域的机械所配备的的各种的柴油机。目前，总行驶里程近十万公里。该项技术目标是实现降低燃油消耗率 10% 以上，降低燃料的使用成本 10% 以上，符合国家对机动车辆安全、排放法规要求，实现低成本和便捷维护。

4.4.10.8 技术知识产权情况

该技术属完全自主知识产权，具有国家发明和实用新型专利八项。CN200920276765. 一种低排放四缸电控柴油机及其双轴平衡机构，CN200920258034.5 具有双轴平衡装置的低排放四缸电控柴油机，CN200920117594.9 非道路机动车用单向离合式无级变速装置，CN200920023765.1 非道路用柴油机低排放系统，CN200820143002.6 一种非道路点燃式发动机排气污染物测量装置，CN200910019909.0 非道路用柴油机低排放系统 CN200810244157.3，净化非道路用小型柴油发动机废气的催化剂及制备方法，CN200820033678.X 单缸四冲程气体发动机燃烧净化装置，CN200520116869.9 一种非道路移动式机械用柴油机。

4.4.11 低摩擦及机械效率提升技术

4.4.11.1 技术介绍

机械损失主要包括：a.活塞与活塞环的摩擦损失；b.轴承与气门机构的摩擦

损失；c.驱动附属机构的功率消耗；d.泵气损失。其中，活塞、活塞环与缸套的摩擦损失占 50%~60%，轴承摩擦损失占 10%~30%，附件损失占 10%~20%，泵气损失占 15%~30%。

动机作为车辆的“心脏”，它的节能技术起着举足轻重的作用。一般对于发动机的节能技术方法主要有：燃烧系统的优化；机械开发，减少机械损失；回收废气能量等方式。减少机械损失作为内燃机通用技术，降低摩擦损耗途径：降低活塞和活塞环的摩擦损失；降低连杆曲柄的摩擦损失；滚动轴承的应用；提高机油性能。为了减少活塞、活塞环与缸套的摩擦损失，发动机多采用先进结构的活塞环。同时采用优质材料和结构先进的活塞，严格控制活塞与缸套的配合间隙；为了减少轴承之间的摩擦损失，严格制定内控标准，采用新技术、新工艺，努力提高零部件的加工质量和装配精度。降低附件功率消耗的途径主要有：采用电控水泵，电控风扇，电控机油泵等可变功率消耗附件。

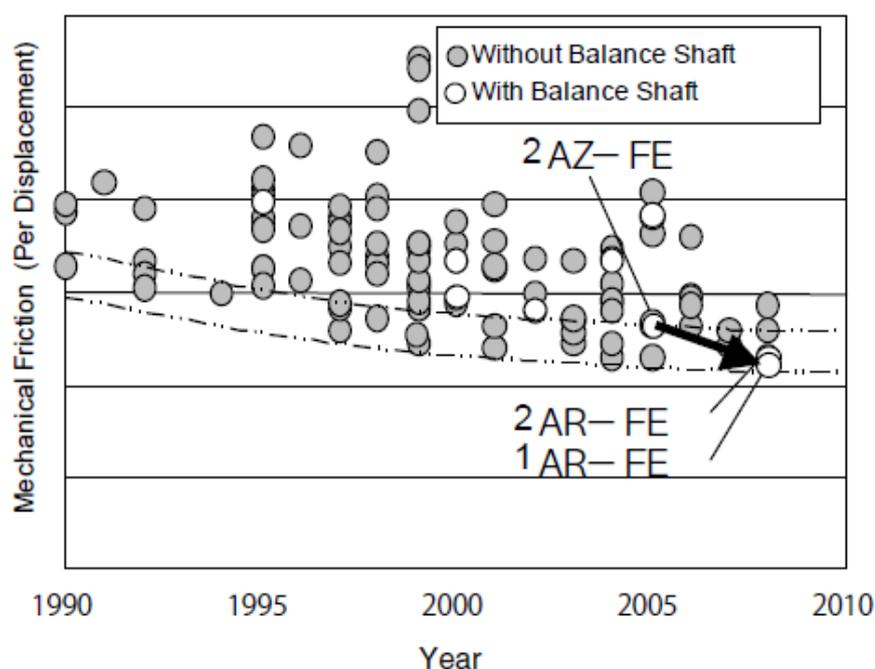


图 4-25 丰田发动机摩擦损失趋势

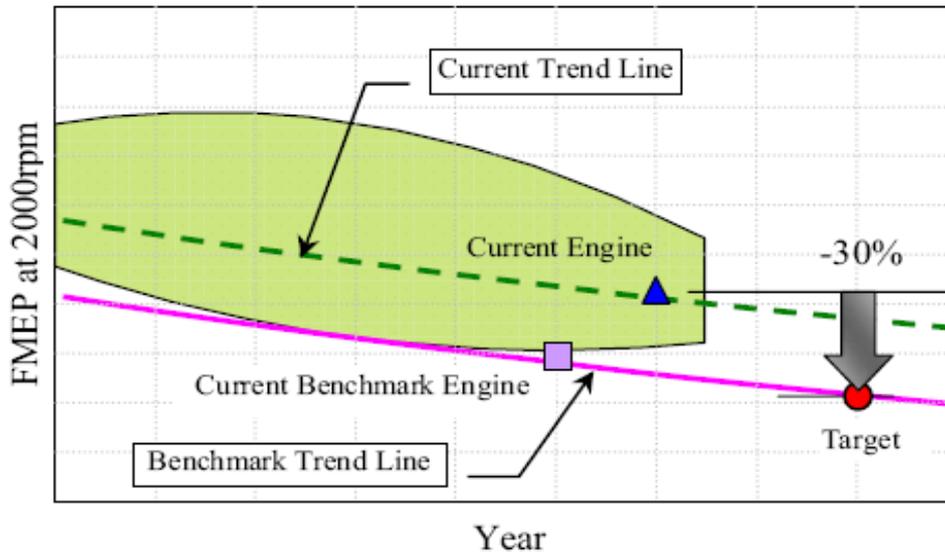


图 4-26 日产发动机摩擦损失趋势

国外大的汽车公司和研究机构都在进行发动机低摩擦技术的研究。图 4-25、图 4-26 显示国外发动机低摩擦发展趋势，可以看到，发动机的摩擦损失有逐年降低的趋势，而且经过摩擦学优化设计的发动机比没经过摩擦学优化设计的发动机摩擦损失降低 50%。

宝马公司新开发的发动机在 2000rpm 时，比上一代发动机摩擦损失减少 15%，在高转速时摩擦损失减少 30%。大众公司 2010 年新开发的奥迪 V6 发动机，比上一代发动机减少摩擦损失 30%。丰田公司 2009 年新开发的 AR 系列发动机，通过摩擦学的系统优化，燃油消耗量节省 3%。日产新开发的 HR 及 MR 系列发动机，摩擦损失在原机的基础上减少 40%。马自达公司在 2011 年投产的新一代高效率直喷汽油发动机“SKYACTIV-G”及新一代柴油发动机“SKYACTIV-D”，通过摩擦学优化设计及低摩擦技术的应用，带来了 2~5% 的燃效提升。

活塞环组的摩擦损失与活塞环张力、活基环高度等有着密切的关系。因此，各工业国家正在致力研制低张力的活塞环，并使活塞环朝着矮化方向发展，活塞环的高度变化趋势如表 4-6 所示。

表 4-6 活塞环的高度变化趋势

环类别	气环 (mm)		油环 (mm)	
	10 年前	现在	10 年前	现在
柴油机	2.5~3.0	2.0~2.5	4.0~5.0	3.0~4.5
汽油机	1.5~2.0	1.2~1.5	4.0	2.8~3.0

根据研究结果，柴油机油环的高度如若由 5mm 改为 4mm，摩擦损失可减少 15%，润滑油消耗可降低 20% 左右。

为了提高活塞环的耐磨性，延长使用寿命，在含铅汽油机和小型柴油机中，镀铬活塞环已得到广泛推广。有的国家技术标准规定，第一道活塞环外圆必须经镀铬处理，铬层厚度一般为 0.08~0.15mm。但镀铬环必须要与铸铁气缸套相匹配。喷铝处理的活塞环比镀铬环有更高的耐磨性。经气体氮化处理的活塞环，耐磨性比镀铬环高 2.5 倍。

此外，作为降低活塞环摩擦损失的方法，把活塞环从 3 道减到 2 道即 2 道环钢化，也能够降低张力而减少摩擦损失。在这种情况下，为了用 2 道环完成原有 3 道环所承担的气密和调整油膜功能，大都把第 1 道环开口作成特殊形状，但因为其加工时需要特殊设备，而且容易引起机油润滑不足，所以它只在很少的机型中采用。

另外还有通过提高缸筒圆度以降低活塞环弹力来降低摩擦；采用摩擦副涂层技术降低摩擦；通过采用可变排量机油泵技术、热管理技术、低摩擦油封技术、滚轮摇臂技术、低张力传动系统等降低摩擦。

4.4.11.2 技术发展水平

近年来，国内一些发动机生产企业均不同程度的开展了低摩擦技术研究。一汽技术中心在 2000 年建立发动机拆除法反拖摩擦功试验台架，对大量国内外先进发动机进行摩擦功测量，积累了大量试验数据。目前，一汽正在进一步减小发动机的摩擦损失，2009 年一汽技术中心建立了汽车摩擦学科学技术平台，与上海交大、西安交大共同成立“汽车摩擦学联合实验室”，进行发动机低摩擦先进技术研究；与中科院兰州化学物理研究所共同成立“汽车材料摩擦学联合实验室”，进行发动机低摩擦材料研究，共同合作开发新一代的低摩擦发动机。

4.4.11.3 技术适用条件

各种用途的内燃机。

4.4.11.4 实施建设内容

主要技术指标：

(1) 发动机机油泵

对于全球的汽车制造商来说，提高整车的燃油经济性和发动机的效率是一直追寻的目标。效率的提高很大方面可以通过减少发动机附件驱动损失来达到，而发动机机油泵的功耗则是影响其效率的一个原因。

S.Loganathan 等人通过对油泵的改进来实现发动机节油的目的。主要通过减少油泵转子重量；改变油泵出口侧的型线；改变切向位置和大小；调整转子和油泵壳之间的间隙；改变转子和齿轮盖板间的间隙等的方式来研究其对于发动机能

耗的影响。

通过试验发现减少转子的质量，可以明显的影响流动速率和能量的消耗。现有的技术和设计能够使转子质量最优降低 10%。通过这些方面的改进，从总体来考虑，可以使机油泵功率消耗总体降低 18%。

(2) 发动机水泵

重型柴油发动机的生产制造在设计方面已经取得的长足的进步，从某种角度来说，这都得益于残酷的竞争及严格的法规要求。但是传统的设计要求很难达到愈加严格的排放法规要求，为了满足法规对于燃油经济性，动力性，耐久性 & 成本的要求，发动机技术的发展趋向于电控方向。例如，传统的机械式水泵的设计是满足发动机全负荷工况时所需要的流量和压力，但是对于发动机本身，大部分时间处于部分负荷，这时，水泵提供的流量超过了所需的范围，增加了发动机的驱动附件功耗，损失了多余的油耗。

1999 年，法雷奥公司提出了在发动机上配置为 Themis（智能热调节系统）的新型电子调节系统，来改善发动机的冷却性能。它实现水泵和缸体的分离，泵的流量和通风装置都通过发动机的 ECU 来进行调整和控制，便于水泵的安装，而且远离缸体这一热源后，水泵可以用塑料制成，既降低了成本，又减轻了水泵的重量，达到了水泵的转速随水温的变化而变化，进一步降低传热损失和机械损失，降低污染和油耗的目的。

维斯通（Visteon）公司提出了精确冷却系统的设计，用电控水泵和精确开闭的电磁阀取代传统的水泵和节温器，ECU 根据发动机的工况来控制电控风扇、电控节温器和电控水泵，使发动机的温度始终保持在最佳范围内。宝马 6 系列新型轿车率先采用电动式水泵，与发动机转速无关，独立后的水泵在 ECU 的控制下能在必要的时候向发动机输送适当的水量，既可以更有效的利用冷却水，又可以实现降低燃烧费用。

Robert D.Chalgren 等人研究了电控水泵与传统机械式水泵对于发动机能量消耗的变化。试验结果得出，在发动机 1600r/min 时，电控水泵比机械式水泵降低功耗 1.9kW。对于平均 30% 的负荷工况，可以有效降低发动机油耗达 1.8% 多。对于 EPA FTP 瞬态循环提高了经济性 1.2%。如果全局电子水泵，电子阀门，控制器等的作用，可以使发动机燃油经济性提高 5%。同时采用电控水泵还具有以下优点：a. 电控封装的优势，可以使水泵和阀门安装在发动机，底盘或散热器上；b. 电子阀门可以控制不同的旁通流量及散热流量；c. 同时不存在泄漏的问题；d. 通过控制可以达到不同的冷却温度。

Cho 等人用电控水泵取代传统机械水泵，利用试验和模拟对比分析发现，通过控制水泵转速并提高电控水泵效率，功率消耗降低量超过 87%；若将水泵转速

提高至最大值时,可降低散热器尺寸超过 27%,对提高发动机性能和燃料经济性潜力很大。在相同的配置和冷却要求下,电控水泵的能量消耗仅为机械水泵的 16%,即使考虑到电能的转换效率只有机械能效率的一半,整个冷却系统的能量消耗仍可降低 2/3 左右,优势十分明显。

(3) 发动机风扇

发动机的运行最佳温度区间是 80-95℃,此时发动机效率最高,最节省能源。当发动机低于最佳工作温度下工作,将会造成发动机燃油蒸发雾化不良,燃烧恶化,低温下机油粘度增大,使摩擦损失增大,还会使气缸的腐蚀磨损加剧造成燃油的大量浪费,而发动机在高于最佳温度情况下运行会造成气缸的充气系数变小,发动机的动力性下降,高温会破坏润滑油膜,并使润滑油变质失效,影响润滑系统的正常工作,高温还会使金属材料的机械强度下降,承载能力变差。

冷却风扇是由发动机驱动的。装有风扇的发动机与装有风罩的散热器必须分别用弹性支座固定在车架上,为了避免车辆在运行中因振动而引起风扇与风罩相碰,风扇叶片与风罩的径向间隙值至少为 15-20mm,这就极大地降低了风扇的容积效率。再加上风扇机械效率损失较大及液力效率较低,使得风扇总效率仅为 30%左右。由于风扇总效率较低,故风扇消耗发动机大量的有效功率约 10%以上,这一数值是十分可观的,但大量试验指出,水冷系只有 25%的时间需要风扇工作,而冬季风扇的工作只有 5%的时间是有意义的。

在 20 世纪 80 年代出现了电动冷却风扇。它利用电机带动风扇,使风扇可以根据发动机温度和负荷的不同,实现运转速度的变化,避免了发动机驱动冷却风扇的功率损失,缩短了发动机的预热时间,减少传热损失。

最早的汽车电动冷却风扇出现在 1981 年 3 月的美国专利文件中 (US4257554),该专利首次提出了用电动冷却风扇取代发动机曲轴通过 V 型皮带驱动的冷却风扇。当汽车低速大负荷行驶时,由于迎面风对散热器的冷却作用不强,发动机水温上升,当温度超过正常工作温度时,电动冷却风扇运转,消除了发动机的过热。当汽车高速行驶时,由于迎面风对散热器的冷却作用足可以保持发动机的正常工作温度,电动风扇停止工作。

在韩国现代汽车公司生产的现代牌轿车上,设计者用两个相对独立而又相互联系电子控制的冷却风扇,这两个风扇分别用于冷却发动机散热器和冷凝器散热器,利用 ECU 对冷却温度和空调冷凝器温度进行多级联合控制,该系统可以根据冷却水温度和空调系统的工作状态不同对风扇的转速进行分别的控制。

80 年代中期,美国、德国、日本及瑞典等国家开始进行发动机冷却风扇温控液压驱动系统的研究开发工作。电液比例控制系统一般由冷却液温度传感器、电控单元、比例阀、油泵、油箱、冷却器、油马达及过滤器组成。系统由冷却液

温度传感器将冷却液温度信号传给电控单元，电控单元处理冷却液温度信号后，发出控制信号，通过比例阀调节液压系统油压，从而实现马达及风扇转速的无级调节。

Nikhil Bhat 等人研究了外部独立控制的风扇驱动装置，通过外部控制器可以实现对风扇的独立控制，实现不同的温度控制。试验结果证明相比于传统的离合器控制风扇，在城市道路中运行，使发动机节省了 30% 能耗，如果在高速路上能节省功耗约 85%。如果配备了合适的控制系统，独立的风扇可以用于不同的发动机。

（4）热管理系统

发动机是车辆的“心脏”，作为附件的换热系统如何适度散热，以保障发动机更加可靠、稳定地工作，如何满足排放升级后带来的散热能力大幅提升的要求，如何在冷启动下做到快速暖机，如何充分利用尾气的余热等等，这些问题都与车辆/发动机的热管理技术密不可分。

当前车辆热交换器的设计，通常还是按照单个换热器在极端条件下能满足的最大冷却能力进行设计，因此单个换热器体积较大，风扇的转速也相对过高，能耗也是最大的。这种设计方法虽然可以保障车辆发动机在极端条件下不过热，但这种条件工况时间较短，在更多时间里都会表现出相对过冷现象，使得相当比例的能量白白浪费掉了；而且在发动机的冷却系统中，通常空调冷凝器、中冷器、水散热器等都集中布置，连同风扇和导风罩一起，共同组成冷却模块，它们之间的相对位置、进出口的布置、热测介质的流向组合等因素对其性能都会产生很大影响。单个换热器可以做到性能最好，但集成在一起的整体性能却未必最佳。

我们在城市内和高速公路上，经常会看到公交车和客车在运行的时候，车后面的动力舱盖打开着，即便这样，仍时有水散热器开锅等过热现象的出现。这说明，除了冷却模块之外，动力舱的布置对冷却模块的性能也有很大影响，整车的热管理显得日益重要。

对于发动机的节能技术研究，降低发动机驱动附件功耗只是其中一个方面，目前很多研究也致力于研究智能热管理系统，使冷却系统随发动机工况和大气温度的变化变化改变冷却水的流率，使有关零部件保持最佳温度状态，减少冷却水泵和风扇的驱动功率。为了充分达到发动机节能的目的，需要全方位考虑各种节能方式，将其合理的耦合利用，以达到最优的节油效果。

（5）附件模块化

随着排放法规的升级以及驾驶舒适性要求的不断提高，中冷器、EGR 冷却器、燃油加热器、空调冷凝器等热交换器正在越来越多地应用到车辆上，动力舱已经十分拥挤，原有的散热器空间没有改变，但散热能力要求却显著提高。这就

要求冷却模块的各个单元换热器之间必须经过优化匹配，体积做到最小、性能达到最佳。目前车辆正朝着小型化、轻量化的方向发展，在冷却系统节能和轻量化设计方面还有很多工作需要做。

4.4.11.5 节能减排效果

燃油经济性提高 5~8%。我国中、重型柴油机社会保有量巨大，用户对燃油经济性的提升也有着强烈需求，有利于总能利用技术的推广应用。目前我国每年新增以柴油机为动力的商用车车辆高过 500 万辆，如全部逐步采用机械效率新技术，新增产值将超过千亿元人民币，产业化前景广阔。

4.4.11.6 成本效益分析

面对目前世界范围内油价上涨和越来越严格的排放、油耗法规，各大汽车公司和研究机构都致力于提高发动机的热效率、燃油经济性、降低排放。随着技术的日益发展和成熟，提升发动机本身经济性、整车匹配性能技术已取得了广泛的进展。我国在此技术领域与国外水平有所差距，借鉴国外技术并形成自主知识产权成为了良好的选择。

我国发动机行业相关企业、科研院所和高等院校在降低机械损失、摩擦损失方面开展深入、系统的研发工作，形成完整知识产权、创新构架、具有产业化潜力的发动机低摩擦及低功耗的技术体系对提升我国发动机行业国际地位、技术水平和国际竞争力具有广泛的社会效益。

4.4.11.7 技术应用情况

目前市场使用率 3%；“十二五”预计推广比例 40%。

4.4.11.8 技术知识产权情况

蔡念松发明了一种发动机节能装置，该装置包括水泵、风扇皮带轮、风扇、温度传感器、继电器、电刷、铜片线圈、电磁线圈、吸盘。该新型结构紧凑，发动机风扇能随汽车发动机温度变化而自动开关，实现自动控制，始终保证汽车发动机在最佳温度下工作，耗能低，节能效果显著，安全可靠，使用方便。

辽宁工程技术大学李文华等人基于冷却系统风扇驱动技术存在的不足，提出了一种整机结构简单，无中间传递过程能量消耗，工作效率高的工程机械发动机节能冷却风机。有益效果是：工程机械发动机节能冷却风机是通过发动机热能驱动风机叶片角度实现冷却能力的控制，整机结构简单，没有中间传递过程中的能量消耗，工作效率高，可以使发动机处于最佳工作温度之中，提高发动机的使用寿命，该机的生产成本低。

甘肃省内燃机行业的专家提出了一种发动机的节能装置，包括汽车发动机、小发动机，高压油泵及液压油箱；小发动机与油泵通过轴连接，该高压油泵的出口通过高压油管与汽车发动机的进气口连通，高压油泵的入口通过低压油管与液压油箱联通；汽车发动机的排气口与液压油箱的进油口通过低压油管连通。运行时，小发动机提供动力，高压油泵输出高压油，而使发动机的活塞循环往复运动，从而输出动力带动汽车运行，克服原发动机高转速，低扭矩的模式，实现发动机低转速，高扭矩运行，达到较低耗油量，节能，降低噪音，减少环境污染的目的。

刘炯等人提出了一种发动机冷却风扇系统及用于该系统的冷却风扇控制方法，控制方法包括：设定各级风扇的开启或关闭温度值，采集发动机的实时工作温度；判断发动机的实时工作温度是否达到所述各级风扇的开启或关闭温度值，若达到，则发出开启或关闭各级风扇的开启或关闭控制信号；根据该控制信号控制各级风扇的开启或关闭。该发明能够根据预设温度和发动机的实时工作温度进行智能可靠的风扇启动或开启控制，适用于多个风扇或多级运行风扇，结构简单，易于实现，具有节能减噪的特点。

第五章 节能减排新技术动态

5.1 装备制造行业节能减排技术发展态势

装备制造行业节能减排技术的发展态势是精准、清洁、高效和再利用。

5.1.1 精准

随着计算机信息技术特别是建模与仿真技术（Modeling & Simulation）的发展，基于信息技术和自动控制技术的精密控形与精确控性数字化技术推动装备制造从“经验”走向“精准”，对实现生产过程的节能减排起着重要的支撑作用。首先，利用信息技术，可实现多信息融合下的智能决策、过程适应控制、误差补偿智能控制、故障自诊断和智能维护等功能，不仅大大提高成形和加工的精度、生产效率，而且材料利用率较一般传统的成形工艺提高 20~40%，冷精锻精确成形可使材料利用率提高到 98% 以上，精确铸造成形技术可使材料利用率达到 90% 以上。二是，免除或减少成形后续加工。净成形零件的几何形状与尺寸，已全部达到零件的使用要求，完全免除后续加工；近净成形零件，关键部位已达到使用要求，后续加工量不大；精密成形产品，一部分尺寸已满足使用要求，其余部分留有较小的加工余量。三是，提高了零件的内在质量。精确成形过程中材料流动经过合理控制，材料纤维连续并按照要求分布，且由于免除或减少成形后续加工，最大限度地保留了成形的纤维形态，使零件的机械强度得到提高，提高了产品的寿命，

实现了间接节能和减排。

5.1.2 清洁

在资源能源与环境的约束下，一方面，耗材高、能效低、污染排放严重的制造工艺不断被淘汰，被节能环保工艺所替代；另一方面，传统工艺不断被优化，铸造、锻造、热处理等热加工工艺在保持原理不变的前提下，通过优化工艺参数或基于工艺设备、辅助工艺、结构材料及工艺材料、检测控制的系统成套，朝着高效、低耗、少/无污染的方向发展，机械加工围绕大幅度地减少冷却液的使用与排放，发展干切削、微量润滑技术。

5.1.3 高效

高效反映在两个方面，一是生产过程的高效率。可控的复合工艺技术成为是节能减排技术的重要内容。二是产品的高效。提高产品效率，设计是关键。在产品阶段就要考虑产品的高效，实现节能降耗和减排，又要考虑其回收性。以节能减排为目标的设计技术和支持产品循环再利用的可拆卸、可回收产品设计技术，是实现产品高效的重要基础。

5.1.4 无废弃物制造

进入新世纪以来，无废弃物制造已经从理念到实践。基础制造工艺在保证实现产品设计的同时，不仅追求低能耗、低物耗和低污染排放，还向“无废弃物制造”迈进。“无废弃物制造”是指加工制造过程中不产生废弃物，或产生的废弃物能被其它制造过程作为原料而利用，并在下一个流程中不再产生废弃物。通过开发和应用再制造、回收处理等技术，形成资源、能源的全生命周期闭环循环，减少报废固体废弃物，提高资源与能源的利用率。支撑废旧机电产品回收拆解与资源化循环再利用产业发展的高效、自动化、清洁化的回收处理工艺与装备是未来节能减排技术的重要发展领域；随着汽车、工程机械、机床等机电产品更新换代也不断加快，工程机械、机床以及汽车零部件高效再制造成套技术也将得到重点发展。

5.2 典型行业节能减排技术动态

目前，传统铸造技术正向高效化、敏捷化、清洁化方向发展。早在本世纪之初，美国、加拿大等工业发达国家就制定了《铸造行业技术路线图》，并不断修订与完善。

5.2.1 铸造行业节能减排新技术动态

5.2.1.1 高效铸造

随着铸造企业工业装备自动化水平的日益提高，从单机自动化发展到单元自动化、直到全系统自动化，特别是机器人计算机技术（包括 CAD/CAM/CAE、网络技术，物联网技术）、传感——检测技术的应用，使得铸件品质得到不断提升，复合材料用于铸件生产、轻金属的半固态铸造、钢液的精炼技术，毛坯尺寸接近零件尺寸，机加工量小。

5.3.1.2 快速铸造

从砂型、砂芯的无需型板、芯盒，直接从三维 CAD 数字模型在专用的设备上制造出来，一直到采用专用数控机床直接加工砂块成砂型或砂芯、熔模铸造型壳的直接成形，甚至采用激光直接由金属粉末熔化、烧结成铸件。

5.3.1.3 绿色铸造

铸造工艺是能耗、污染较高的工艺。发达国家十分重视开发新的节能、清洁、低排放、低污染的铸造材料并投入生产使用，在生产全过程以循环经济的 4R 为准则，即以减量化（Reduce）、再利用（Reuse）、再循环（Recycle）、再制造（Remanufacture）来开展工作，特别重视在企业的全体员工中树立“环境—健康—安全”的意识，强调“以人为本”，同时加大对环境保护和节能减排的设备投入。为实现节能、低排放、低污染，铸件趋于复杂轻型化、高性能、全生命周期。为达到提高整机性能和节能减排等方面的要求，铸件的结构越来越复杂、薄壁高强度，增加了铸造的技术难度，而且还要考虑铸件的回收、修复、再利用的全生命周期。

5.2.2 锻压行业节能减排新技术动态

早在 1997 年 11 月美国发表了《美国锻造技术路线图》，明确锻造行业的愿景是：在工具加工、材料利用、能耗、环境、产量和质量各方建立起积极进取的技术目标，以确保美国锻造行业在关注消费者和有效购买高质量供给上保持世界领先水平。其发展重点是：模具材料、模具表面处理和润滑，以及模拟、数据库建设和闭环控制等两大领域。

锻件主要集中在运载、能源、化工及国防工业的各种重大装备中，往往是重要承力件、关键传动件和安全保障件。例如，汽轮机发电机的转子、叶片、叶轮、航空器起落架、涡轮盘、机车车轴、连杆、载重汽车的前轴、转向节、轿车等速万向节、汽车覆盖件等。在家用电器、计算机、办公用品和其他民用产品中、电

子电器产品中也大量采用各种锻件。这些行业的发展推动锻压技术精密化、数字化、高效化、轻量化和低能耗。

5.2.2.1 精密锻造技术

锻压工艺的热点问题是在保证产品的性能指标的前提下，提高材料的利用率，降低废品率。因此，“净成形”（无余量的完全零件形状—Net shape）是锻造工艺的主要发展方向。如：轿车发动机连杆的重量公差由 2.5% 降到 1.0%，冲压覆盖件车身装配几何尺寸标准差(6σ)1990~1993 年从 6mm 降到 3mm, 1993~1995 年从 3mm 降到 2mm。今天轿车工业已进入要求实现“近零冲压”的阶段，要求尺寸偏差进一步降到 1mm 以下，力求实现“亚毫米”公差水平，十字轴、交叉轴、万向节行星轮等几十种轿车精密零件的材料利用率要从 40% 提高到 80~90%，齿轮精锻尺寸精度提高到无需机械加工的程度。这一系列的具体需求，有力地推动锻压工艺的精密化。锻压精密化的核心是冷温成形技术、精密冲裁技术与装备。

5.2.2.2 冷锻成形技术

冷锻成形是一种优质、高效、低消耗的先进制造技术，被广泛地用于汽车零件的大批量生产中。目前，国外一辆普通轿车采用的冷锻件总量 40~45kg，其中齿形类零件总量达 10kg 以上。冷锻成形的齿轮单件重量可达 1kg 以上，齿形精度可达 II 7 级。冷闭塞锻造是在封闭凹模内通过一个或两个冲头单向或对向挤压金属一次成形，获得无飞边的近净形精锻件。一些轿车精密零件如行星和半轴齿轮、星形套、十字轴等如果采用切削加工方法，不仅材料利用率很低（平均不到 40%），而且耗费工时多，生产成本极高。国外采用闭塞锻造生产这些净形锻件，省去大部分切削加工，生产成本。冷锻技术成形精度比温锻和热锻都要高，在精密成形领域有着其独特的优势。

冷锻技术在我国起步虽然不算太晚，但发展速度与发达国家相比存在较大差距。目前，我国生产的轿车上的冷锻件重量不足 15kg，仅相当于发达国家的三分之一，开发潜力很大，加强冷锻技术开发与大公称压力行程冷锻压力机开发是实现精密化的有效技术路线。

5.2.2.3 精密冲裁技术与装备

采用精冲工艺技术，在精冲压力机和专用精冲模具上加工精冲零件，是获取高质量冲压件的重要手段。精冲加工工艺因其具有零件精度高、冲切面光洁度好、材料利用率高、生产效率高、耗能少和无噪音污染等优点，在汽车、航空航天、电器、军工、工程机械和五金建材等领域被广泛应用。精冲件的使用，替代了许多铸锻件、机械加工件和普通冲压件，大大降低了制造成本，提高了机器的可靠

性和安全性。

5.2.2.4 数字化渐进成形技术

随着市场需求向多样化方向发展以及机械和控制技术的进步，汽车覆盖件的数字化成形时多点成形技术的重要发展方向，实现汽车覆盖件的多点成形，将使板料数字化多点成形技术推进到一个更为广阔的应用领域。数字化渐进成形技术可以直接应用于汽车工业、航空航天飞行器、医疗器械等产品的制造上。利用渐进成形的方法相比一次拉伸成形的传统工艺能加工出曲面更复杂、延伸率更高的零件。

数字化渐进成形作为一种新的无模、柔性成形新工艺，是一项多学科交叉的工艺技术，它的发展可推动相关学科尤其是快速成形技术和塑性加工理论的发展，具有重要的理论意义，初步的工业应用也显示出该技术具有广阔的应用前景。

5.2.2.5 高效锻压技术

在国际锻压领域，面对来自发展中国家劳动力成本的挑战，发达国家大力发展高效率锻压技术以弥补其在劳动力成本方面的竞争劣势，具有代表性的产品与技术有是两大类汽车车身自动化冲压生产线。

单机联机自动化。配置为 5~6 台压力机，配备拆垛、上下料机械手，穿梭翻转装备和码垛装置，全线总长约 60 米。由于工件传送距离长，工件的上下料换向和双动拉伸必须用工件翻转装备。这种单机联机自动化冲压技术的生产节拍最高为 6~9 次/分。

大型多工位压力机。大型多工位压力机集机械、电子、控制和检测技术为一体，具有全自动、智能化、操作安全的特点，可大幅度降低冲压件的综合成本，提高劳动生产率和冲压件质量，以满足汽车工业大批量生产的发展需求。以一台多工位压力机系统代替一条由 5~6 台压机组成的冲压线，按同规模冲压生产量比较，设可减少备投资 20%~40%，降低能耗 50%~70%，冲压件综合成本可节约 40%~50%，而且节省了大量生产面积和减少工人的数量。

可进行柔性冲压生产的大型多工位压力机，是当今国际锻压技术的重要发展方向。

5.2.2.6 铝合金等精密锻造技术

用铝合金代替钢质零件是汽车轻量化的重要方向之一，是节能减排的一项重要技术措施。世界各国都把车辆轻量化摆在技术进步的首要位置，确定为技术攻关的主要战略目标。据统计分析，汽车重量每减少 10%，可降低 8% 的油耗。据统计，一辆汽车每使用 1 公斤铝，可取代 1.5 公斤钢材，在使用周期内可减少 40

公斤 CO₂ 排量。国外在过去的十年中由于铝合金在汽车上的开发应用，全球每年减少 CO₂ 排量约 5000 万吨。目前国外每辆轿车开发应用铝合金锻件的总重量平均已达到 40kg，国内轿车应用铝合金锻件仅为国外的 1/3 左右，而且零件结构简单，复杂零件精密锻造还是空白。因此，随着汽车轻量化的迫切要求，对铝合金精密锻造技术的需求日益增加，开发具有完全自主知识产权的铝合金精密锻造成套技术已经成为汽车轻量化发展的紧迫任务。

5.2.2.7 锻模 CAD/CAE/CAM 一体化技术和锻模高速铣制造技术

国外 CAD/CAM 技术应用于锻模始于 20 世纪 70 年代，国内大概始于 20 世纪 90 年代初，随着先进制造技术和手段的不断出现，使锻模 CAD/CAM 的发展更快，近年来锻模 CAD/CAM 与 CAE 一体化，锻造工艺过程的数值模拟在金属塑性成形领域广泛应用，并成为锻造工艺设计的有力工具，锻模 CAD/CAE/CAM 一体化显著提高了锻模设计和制造的效益，从而从根本上改变传统锻模设计制造完全依赖于设计者和制造者的经验，可大幅提高模具质量，降低锻模生产周期，降低成本。

随着电子信息和机械制造技术的发展，制模技术已发展到高速数控加工，极大地提高模具制造精度，又缩短了制模时间，为精密锻造创造条件。

高速铣减少模具的加工工序，提高加工效益，缩短制造周期，提高模具制造质量，而 CAD/CAE/CAM 一体化、模块标准化和高速铣技术三者相结合，将大大缩短模具设计和制造周期，使今天接到订单，明天或后天就设计，并制造出模具的愿望成为可能。

5.2.2.8 特种锻造技术

特种锻造技术包括粉末锻造、液态锻造、半固态锻造等，另外还有铸—锻复合成形，冲—锻复合成形等。

粉末冶金锻造是一种高精、节材先进生产工艺技术，例如粉末冶金锻造连杆，其重量公差可达 1%，而热模锻连杆重量公差 $\geq 2\%$ ，粉末冶金锻件精度高，仅需精加工即可，美国 1992 年生产 1000 万件粉末冶金锻造连杆，如能达到经济批量，这项技术与热模锻连杆相比，可节约投资 25%，节约加工费 35%。

半固态锻造技术现在主要应用于有色金属锻造，例如铝、镁合金，生产汽车零件如悬挂前后控制臂、悬挂支架、减震器支架、转向节等，也有少量钢锻件，例如轮毂。半固态锻造可加工复杂和近净形零件，具有锻造负载低、模具寿命更长等优点。

铸—锻复合成形，即铸造毛坯模锻技术，美国用该方法生产驾驶接头和盘式刹车片，俄罗斯用该方法生产曲轴、十字轴、变速箱齿轮、节约材料 23%，降低

锻件成本 14.7~30%。冷挤传动轴花键技术，已经在轻型载货车上应用。

5.2.3 焊接行业节能减排新技术动态

焊接技术的总体发展趋势是高效、优质、低成本、环境友好、适应新材料、新结构、在尽可能减少对环境不利影响的条件下提高生产力、保证产品质量及实现各种不同规格尺寸部件的连接。

以焊接机器人为代表的自动化焊接是未来焊接技术的发展趋势，接近焊接自动化率 80%的世界先进水平也只是时间问题。由焊接自动化率提高而带动的焊接专机、各种焊丝及相关技术的发展也是必然趋势。高精度切割技术将是重点发展的方向之一，对于提高材料使用率，节能减排，减低成本都是最好的途径。

5.2.4 热处理行业节能减排新技术动态

热处理技术的主要发展趋势是：清洁热处理、精密热处理、节能热处理和以可控气氛与真空热处理为的少无氧化热处理等。2004 年美国发布了《热处理技术发展路线图》，提出 2020 年的目标是：能源消耗减少 80%，工艺周期缩短 50%，生产成本降低 75%；热处理产品实现零畸变和最低的质量分散度，加热炉寿命提高 10 倍，加热炉价格降到 50%，且生产零排放。

少无浪费能源。采取节能的工艺措施有事半功倍效果，诸如缩短加热时间，降低加热温度，强化化学热处理过程，利用前道工序余热等。具体工艺有零保温加热和不均匀奥氏体化淬火，用铁素体状态（ $<600^{\circ}\text{C}$ ）下的化学热处理代替奥氏体状态（大于 850°C ）下的化学热处理，由 930°C 提高到 1050°C 渗碳，采用稀土等催渗剂，利用锻件锻后余热淬火等都获得推广应用。合理选用设备节能潜力也很大，大炉子比小炉节能、连续炉比周期炉节能，充分利用废热的燃料炉比电阻炉节能至少 50%，陶瓷纤维和轻质耐火砖炉衬比重质砖炉衬的蓄热、散热都少的多，圆筒形炉比矩形炉散热减少 20%、热处理单位能耗降低 7%，减轻料盘、料筐、夹具重量能节约 10%~20% 的电能。合理组织生产，保持生产的连续性，对设备能源进行有效管理和监控对于节约能源也非常重要。

少无有害排放。先进的热处理技术首先应该是对环境没有污染的清洁生产技。其中包括清洁工艺、清洁设备和清洁工辅材料。可控气氛、真空、有良好屏蔽的感应热处理是广泛应用的清洁工艺。等离子热处理、低压渗碳、高压气淬、激光表面强化，喷雾淬火也都属于少污染技术。与这些工艺对应的真空炉、气氛炉、离子渗氮炉、天然气燃烧加热炉， Al_2O_3 和 SiO_2 浮动粒子炉属无污染设备。PAG 聚合物淬火剂、非氟氯烃溶剂， Al_2O_3 和 SiO_2 浮动粒子、氮和各种惰性气体属清洁材料。当前国内外尚普遍采用的淬火油，其油烟的排放是值得注意的大问题。现在国内外把淬火油烟直接向大气排放的企业仍很多，中国热协在“十一五”

的减排计划中已将其列为重点要解决的问题，目前已提出数种油烟无害化处理排放的方法和设施。

少无质量分散。由于材料化学成分的波动，炉内温度的不均匀、加热和冷却条件的差别以及操作人为因素的差异会使同一炉次的热处理件质量有明显差别，不同炉次产品质量的不可重复。采用科学的管理和先进技术可使这种差异降到最低程度。美国热处理技术发展线路图 2020 年目标之一是把热处理件质量分散度降低到“零”。为实现此目标，设备的可靠性、工艺参数的精确稳定控制，炉温炉气循环的高度均匀性、材料成分的稳定、质量在线控制、消除人为因素都是重要课题。此外科学管理，ISO9000 认证，原材料进厂检验，前后工序的配合与衔接，标准的认真执行也都和产品质量分散度有密切关系。可见缩小质量分散度是从技术到管理上的一种系统工程，必须经过长期、细致和踏实的工作，才能逐步取得良好效果。

少无畸变。金属制件热处理时不可避免地会发生形状和尺寸变化。过大和不均匀的畸变会增加最后的精加工余量，严重时会导致零件报废。热处理后不再加工的零件由于严重畸变还会使其失去互换性，恶化接触面，增加车辆或机器噪声。尽量减少热处理畸变一直是许多热处理专家终生努力的事业。美国热处理线路图 2020 目标之一要使热处理件畸变达到“零”。

开发新型淬火冷却介质和冷却方法，采取等温分级淬火，冷却介质的变向循环、高压气体淬冷等可使工件获得均匀的淬火冷却，减少表面和心部的温差都是近些年广为采用的减少畸变措施。保持零件材料化学成分的稳定和采用控制淬透性钢（H 钢）可使淬火畸变具有稳定规律，便于规定确切的加工余量、选择合适的少无畸变措施。

少无氧化加热。金属在空气和氧化介质中加热会发生氧化造成金属的损耗，氧化也会破坏零件和制品的表面状态和精度。近代热处理的加热尽可能避免在氧化气氛中进行，而采用中性、惰性气体保护，涂以保护涂料或用不锈钢箔包裹，在深度真空中加热可完全避免氧化。加热时间很短的电感应方法，盐浴和流态床加热都可使金属的氧化降到最低程度。把燃烧比控制到一定还原程度的燃料炉也可在一定程度上缓解被加热金属的氧化。

少无脱碳。钢件在空气等氧化气氛中加热、与表面氧化的同时还伴随表面含碳量的降低，形成表面脱碳。脱碳会降低钢淬火表面硬度、耐磨性、表面形成拉应力、降低钢件疲劳寿命。少无脱碳的加热方法基本和少无氧化相同，但工艺条件比其更为苛刻。在多元混合可控气氛中，为避免脱碳还需要调节炉气碳势，使其和钢表面含碳量相适应。按此已脱碳钢件还可在相应碳势气氛中加热，以期恢复钢材原来的含碳量。在深度真空中加热不会脱碳，但在惰性或中性气体中加热

必须使其含水量或露点达相当低的 ($< -60^{\circ}\text{C}$) 程度。在浮动粒子炉、盐浴、深层和包装加热后都有少无脱碳效果, 感应热处理虽有轻微氧化, 但不会有明显脱碳。

少无废品和返修品。从零件的设计, 材料的选择, 材质的保证, 加工过程和工艺线路的优化, 用数据库和专家决策系统优选工艺和设备, 设备可靠性的保证, 工艺参数和质量的在线控制, 无损自动检测系统来完成全部加工和热处理过程, 实现产品的全面质量控制, 使废品率和返修品趋零, 达到 100% 合格已不是梦想。严格的管理、高超的工艺、可靠的设备、精确的传感、精密控制的成套系统工程是实现无废品、无返修品生产的充分保证。

少无人工。热处理的人工操作是一种恶劣环境下的繁重体力劳动。目前一些发达国家已感到招收热处理操作工的困难。人工操作还会造成因人而异的产品质量波动。过多使用人工也会增加生产成本。因此, 在可以组织批量生产前提下尽快实现自动化生产和无人作业已不是对未来热处理的憧憬, 在一些发达国家的现代化企业已可以目睹这一制造技术的奇迹。但必须有一个正确认识, 无人作业决不意味着无人监控。实施无人作业必须具备充足的技术实力, 管理水平和人才保证, 能源电力的正常供应, 高可靠设备、健全的维护保养、可靠的控制系统、事故及时报警、故障自诊断和及时排除等条件缺一不可。任何环节上的失误都会造成严重甚至灾难性后果。无人作业生产线只能是一个国家发展到一定程度、一个企业发展到相当先进水平的自然产物。

5.2.5 表面处理行业节能减排新技术动态

以材料表面处理技术来看, 表面处理是对材料表面进行涂覆、改性等基础处理, 以改变材料表面的形态、化学成分、组织结构和应力状态, 获得所需表面性能的系统工程。表面处理往往是多学科与技术的综合和交叉, 能够以多种方法制备出优于整体材料性能的表面功能薄层, 赋予零部件耐高温、防腐蚀、耐磨损、抗疲劳、防辐射等性能, 其方法有: 热喷涂(喷焊)、热处理、真空镀、电镀、化学转化、涂料与涂装等等。精准化和绿色化是表面处理工艺的主要技术发展趋势。

5.2.6 切削加工技术行业节能减排新技术动态

随着产品多样化和个性化的趋势进一步加剧, 制造业的产品更新速度会大大加快。每一种新产品的开发都意味着零件功能、结构、材料的重大变更, 也是对切削加工提出更高的要求。在这种背景下, 制造业对切削加工新技术、新产品的需求在现在将达到空前的高度, 这既是对切削技术的挑战, 也是对切削行业陈旧体制的挑战。20 世纪 90 年代以来, 激烈的市场竞争推动以机械制造技术为先导

的先进制造技术以前所未有的速度和广度向前发展。高生产率和高质量是先进加工技术追求的两大目标。一是，高速切削、精密和超精密切削是当前切削技术的重要发展方向，已成为切削加工的主流技术。二是，减排工艺。围绕大幅度减少冷却液的使用和排放所开展的工艺研究。如干切削，不使用冷却液；微量润滑等。