



上海发电设备成套设计研究院有限责任公司
SHANGHAI POWER EQUIPMENT RESEARCH INSTITUTE CO.,LTD

TES法废水零排放技术及应用

赵亮 180-1759-6713

2018-07-11

国家核电 www.snptc.com

目录



- 1 上海成套院简介
- 2 废水零排放背景与现状
- 3 TES法废水零排放技术
- 4 TES技术的应用



一、上海成套院简介

1.1 发展历程



1959, 前身一机部汽轮机锅炉研究所（简称“汽锅所”）正式成立；
1962, 建立国内最大的电站设备成套试验基地；
1969, 汽锅所因文革动乱被解散。



1959-1969

1980-1985

1980, 引进美国Westinghouse和Combustion Engineering公司300MW、600MW亚临界火电机组技术，参与国家“六五”“七五”“八五”科技攻关计划；
1981, 经国务院学位委员会批准，授予硕士学位单位；
1985, 组建机械工业火电设备产品质量监督检测中心QSIC。

1979

1979, 汽锅所恢复重建，更名为上海发电设备成套设计研究所。

2011年10月27日, 上海成套院加入国家核电技术公司。

2011



2015

国家核电与中电投合并为国家电投。

1999-2003

1999, 转制为科技型企业，由机械部转为属地化管理，隶属于上海市经委。
2003, 转入上海市国资委管理。



国家电投
SPIC



一、上海成套院简介

核电

火力发电

清洁能源

燃机发电

1.2 重点业务



 电站工程



 研发



 技术服务与改造



 产品



 检测与评定

- 火（热）电站工程
- 环保节能工程
- 新能源工程

- 锅炉
- 汽轮机与燃气轮机
- 高温材料
- 电站自动控制
- 系统集成技术

- 节能环保
- 寿期服务
- 清洁燃烧
- 燃气轮机技改

- 机电一体化产品
- 电气及控制产品
- 核电产品

- 电站机组/设备检测与性能优化咨询
- 电站工程设备监理/监造
- 核电核级设备与材料鉴定和咨询
- 电站金属材料鉴定

目录



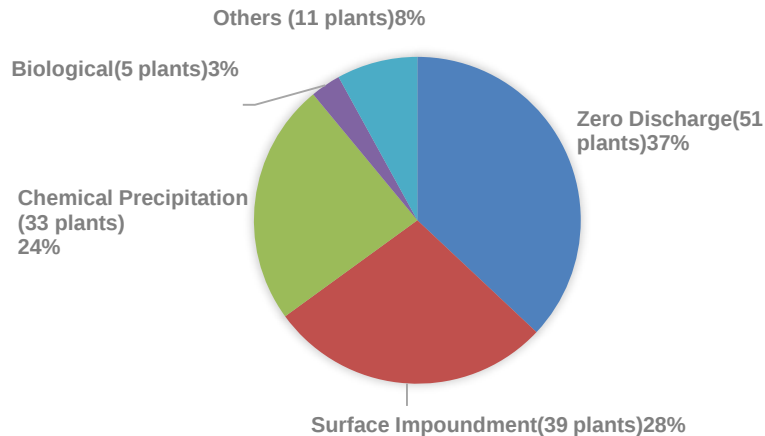
- 1 上海成套院简介
- 2 废水零排放背景与现状
- 3 TES法废水零排放技术
- 4 TES技术的应用



二、废水零排放背景与现状

2.1 国际背景

- 美国燃煤电厂从**70年代**开始安装脱硫装置；
- 2009年起，美国环保局对美国燃煤电厂**水污染**情况做了一个调查，历时6年，于2015年9月30日正式颁布最终版《火电厂点源类污水排放限制指导和标准》，其中一个主要的部分就是对脱硫废水的排放制定了新的标准。



© SPIC 2018. All Rights Reserved.





- 火电厂大气治理至今十几年，电厂大气排放指标已走在国际前列，大气污染治理的重金属、氯离子等主要特征污染物绝大部分转移至**脱硫废水**中，对环境具有很大的危害性。

大气治理转向废水
治理



- 截至 2017 年底，全国燃煤电厂总装机容量 **10.2亿千瓦**，燃煤脱硫机组约 **5000** 台，超过全球半数水平。

煤电-我国主要能
源组成



- 全国燃煤电厂每小时产生的脱硫废水量约为 1.6 万吨，2017 年全国燃煤电厂发电小时数平均值约为 4000 小时，因此2017年燃煤电厂脱硫废水产生量约为 **6400万吨**。

废水总体产生量大
污染性强





二、废水零排放背景与现状

国家政策

- 2015年起国务院相继发布《水污染防治行动计划》、《生态文明体制改革总体方案》、《排污许可证管理暂行规定》
- 一政策要求越来越严格，排放标准要求越来越高，执法力度越来越大。

地方政策

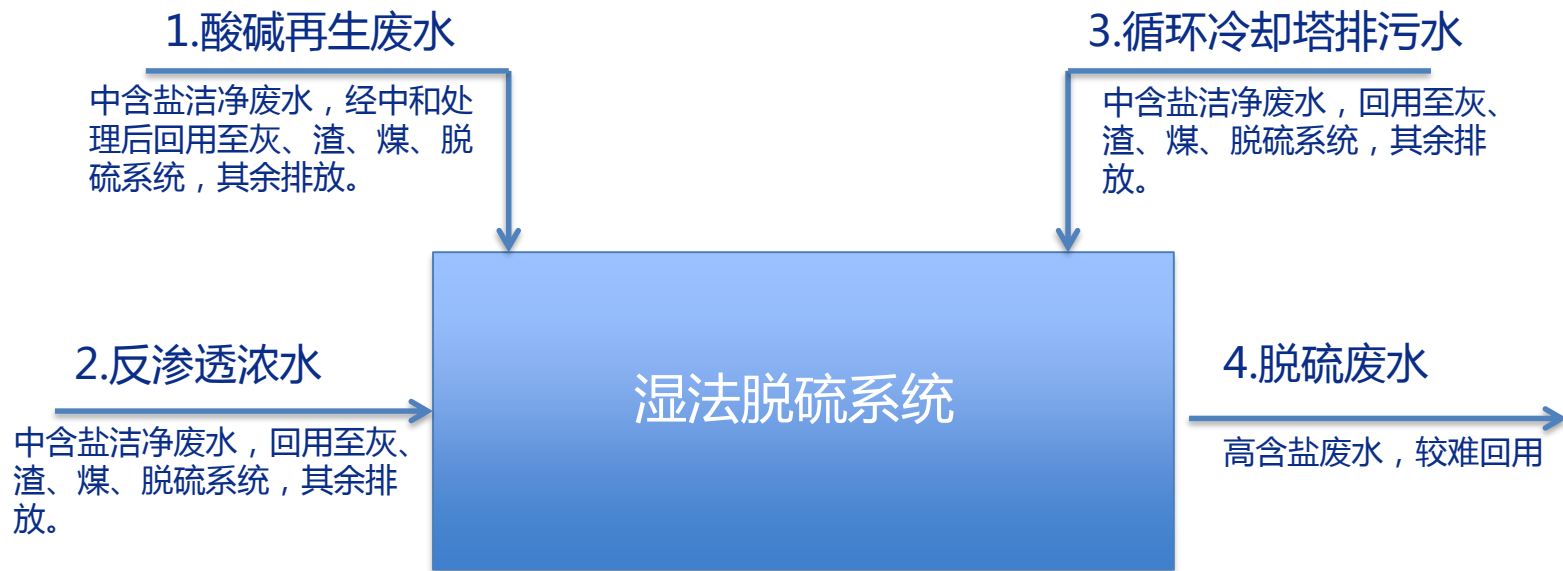
- 近两年来一些地区陆续出台限制高盐废水排放的地方政策：如山东、河北、内蒙、辽宁、贵州、上海等地区。
- 对外排废水含盐量作出限值要求的省市，若不实现零排放，则无达标排放可能。

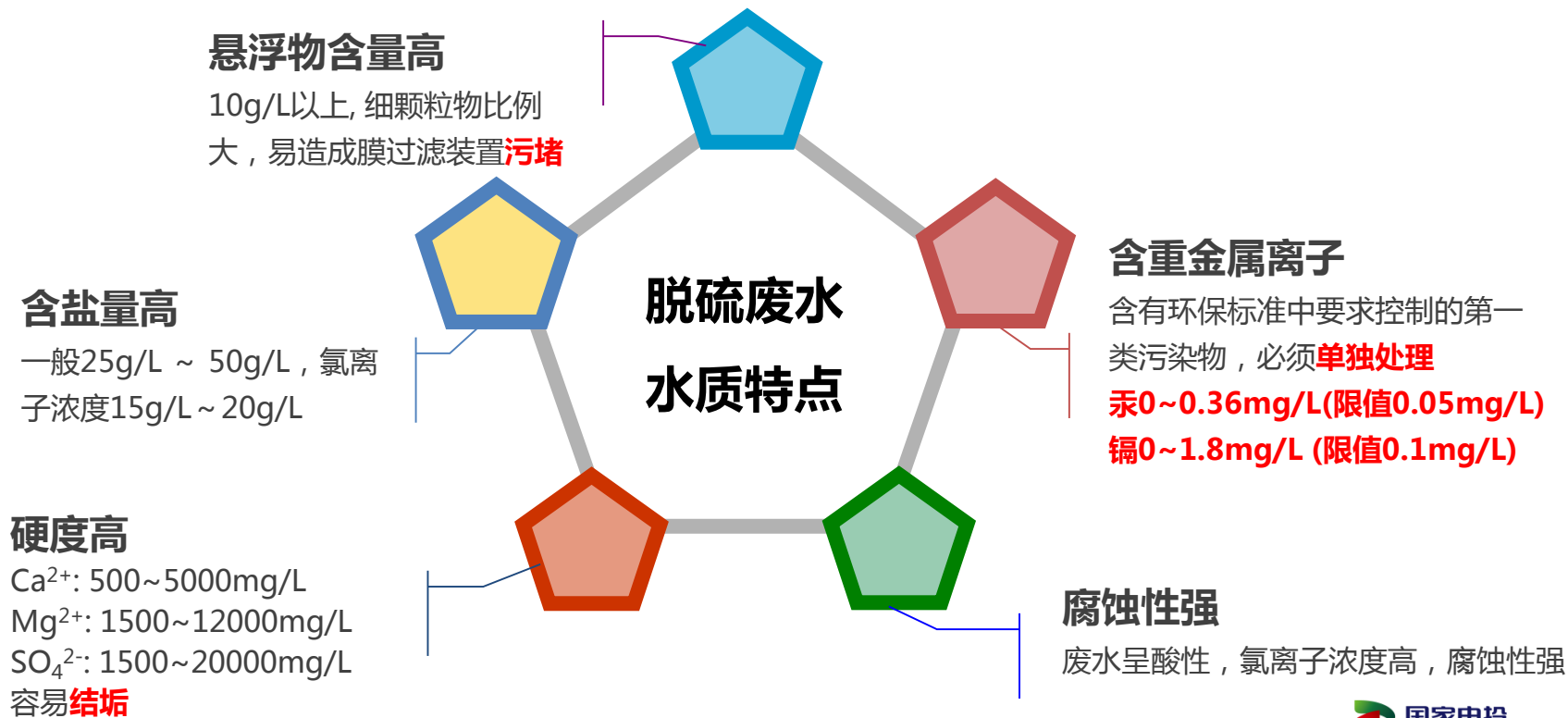
行业政策

- 2017年1月环保部发布《火电厂污染防治技术政策》，鼓励火电厂实现废水的循环使用不外排；蒸发干燥为鼓励采用的处理工艺，实现脱硫废水不外排。
- 2017年5月26日环保部启动《燃煤电厂脱硫废水处理技术路线》、《燃煤电厂脱硫废水处理工程规范》研究和编制工作。

集团政策

- 各大电力集团纷纷开展燃煤电厂水系统优化及废水零排放的技术储备及示范工程的建设。



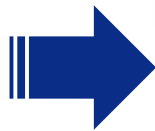




序号	成分	主要来源
1	钙离子	石灰石
2	镁离子	石灰石
3	二氧化硅	工艺水
4	有机物	工艺水
5	硫酸根	石灰石
6	PH	/
7	氯离子	煤、工艺水
8	氟离子	煤
9	氨氮	工艺水
10	总含盐量	煤、工艺水

湿法脱硫废水水质极其复杂

- ◆ 燃煤煤质不同
- ◆ 工艺水水质不同
- ◆ 采用的石灰石品质不同
- ◆ 运行方式不同



■ 一厂一测

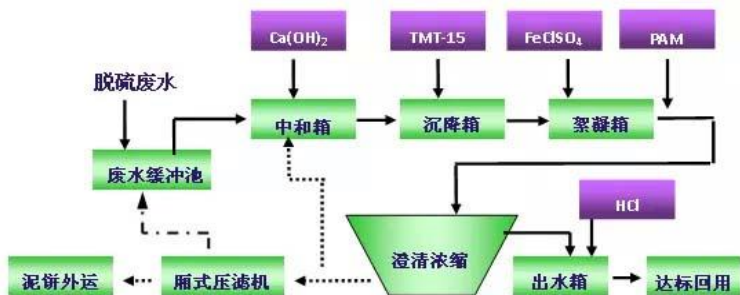


■ 一厂一策



二、废水零排放背景与现状

2.5 脱硫废水常规处理现状



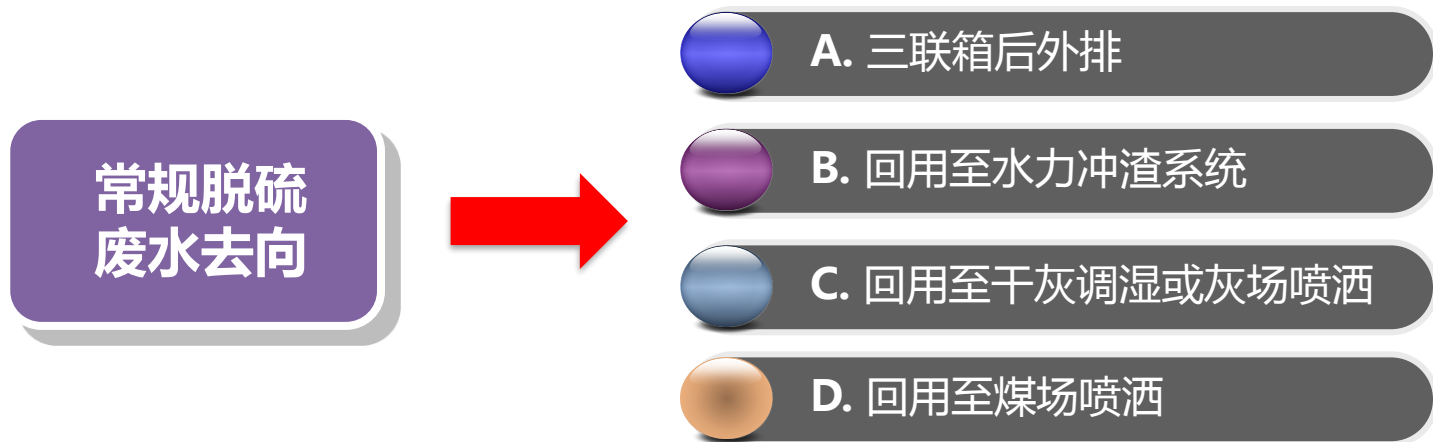
三联箱工艺存在的问题

- 未降低废水含盐量和氯离子，不能有效的回用；
- 大部分电厂运行状况不好，很多都处于闲置状态或者面临着改造。

火电厂石灰石—石膏湿法脱硫废水 水质控制指标 DL/T 997-2006

正在修订中

序号	监测项目	控制值或最高允许排放浓度	序号	监测项目	控制值或最高允许排放浓度
1	Hg	0.05 mg/L	7	Zn	2.0 mg/L
2	Cd	0.1 mg/L	8	SS	70 mg/L
3	Cr	1.5 mg/L	9	COD	150 mg/L
4	As	0.5 mg/L	10	氟化物	30 mg/L
5	Pb	1.0 mg/L	11	硫化物	1.0 mg/L
6	Ni	1.0 mg/L	12	pH	6~9



- 外排存在的问题：高盐水外排污染环境，同时部分地区**政策不允许**。
- 回用存在的问题：用于灰、渣等方式很难实现，并不能完全回用，用于煤场喷洒会带来系统内氯离子富集的问题，**实际去向并不明确**。
- **废水零排放**：实现废水近100%回收利用—**趋势**，
三段式工艺：预处理+浓缩减量+固化（蒸发结晶、烟道蒸发）。



预处理

- 全软化：
加药+重力澄清
加药+管式膜分离
- 调节软化

浓缩减量

- 热法浓缩（20%）：
MED、MVR
- 膜法浓缩：
反渗透：SWRO（7%）
DTRO（12%）
STRO（12%）
正渗透（20%）
电渗析（20%）

固化

- 烟道蒸发
- 蒸发结晶
- 蒸发塘
- 综合利用

目录

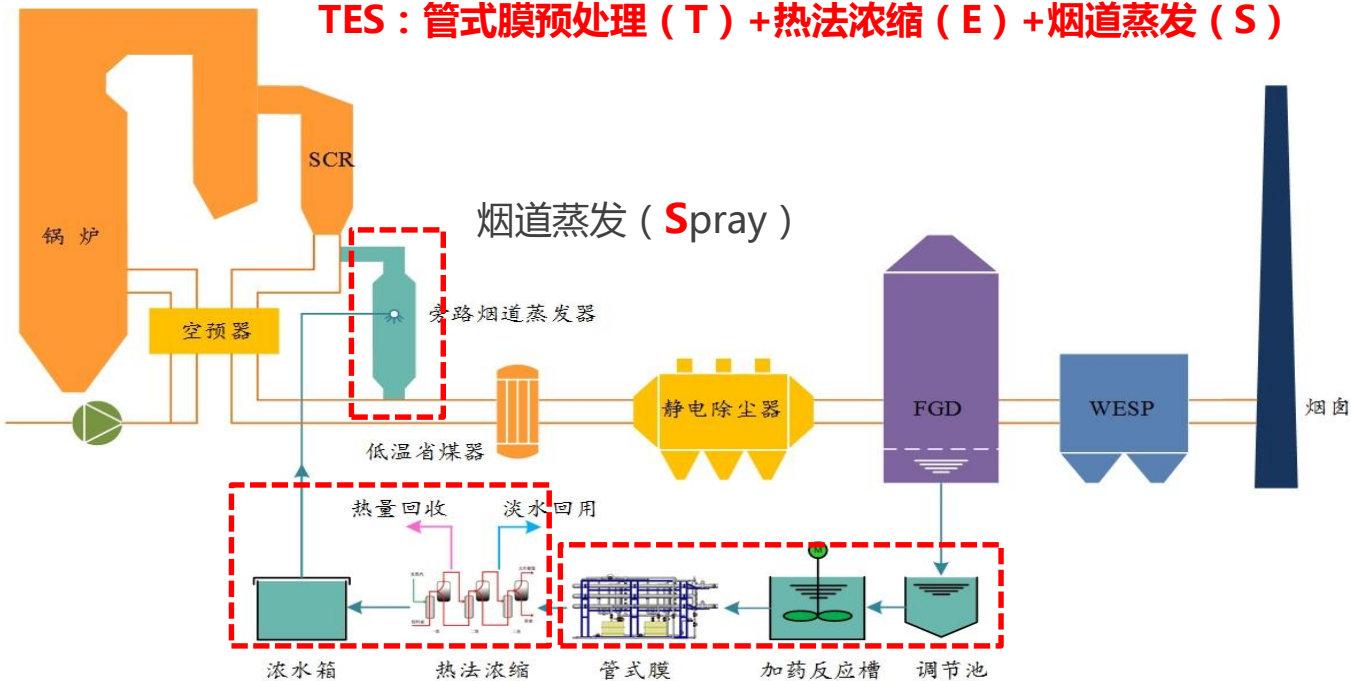


- 1 上海成套院简介
- 2 废水零排放背景与现状
- 3 TES法废水零排放技术
- 4 TES技术的应用



三、TES法废水零排放技术

TES：管式膜预处理（T）+热法浓缩（E）+烟道蒸发（S）



TES工艺路线

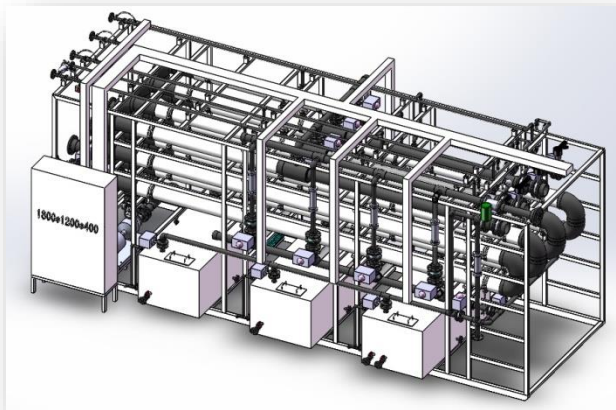
- (1) 采用化学加药和管式微滤膜预处理，达到软化和固液分离的作用；
- (2) 利用蒸发器进行浓缩减量（蒸发的淡水回收利用）；
- (3) 通过烟道喷雾蒸发使废水完全气化进入烟气，固体产物随除尘器进入干灰。

热法浓缩（E） 管式膜预处理（T）

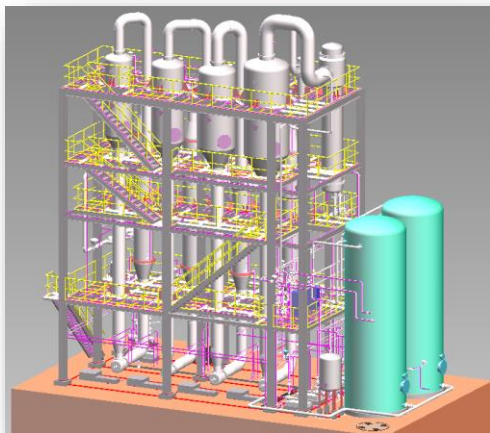


三、TES法废水零排放技术

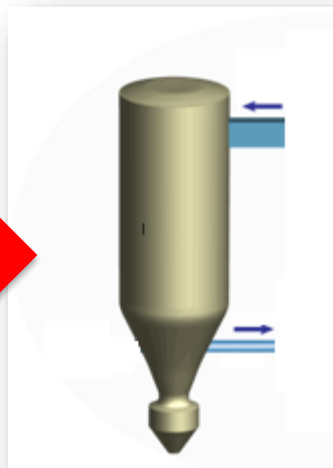
核心设备



管式微滤膜



热法浓缩蒸发器



烟道蒸发器



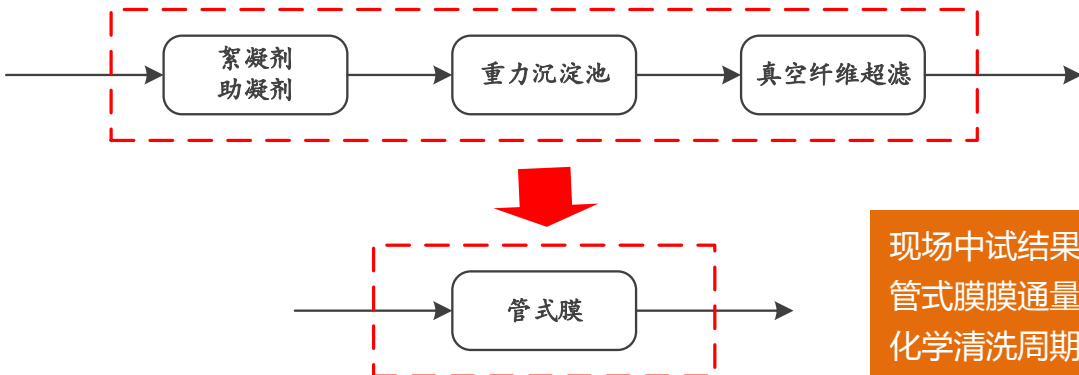
□ 优化加药成本

钙多镁少水质：硫酸钠预除钙后碳酸钠深度除钙

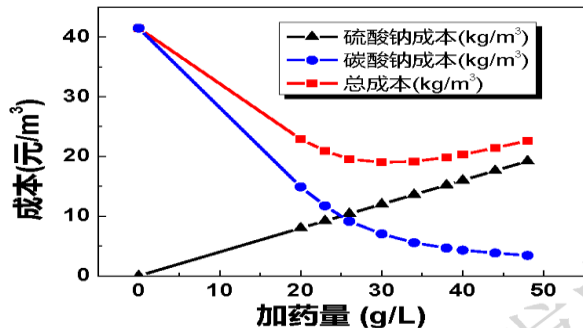
钙少镁多水质：pH调节软化

□ 优化固液分离工艺

采用管式膜分离工艺取代传统重力沉淀法



© SPIC 2018. All Rights Reserved.



硫酸钠、碳酸钠加药成本随硫酸钠加药量的变化
(其中硫酸钠 400 元/t, 碳酸钠 2000 元/t)

现场中试结果：
管式膜膜通量衰减小于5%；
化学清洗周期延长3倍。

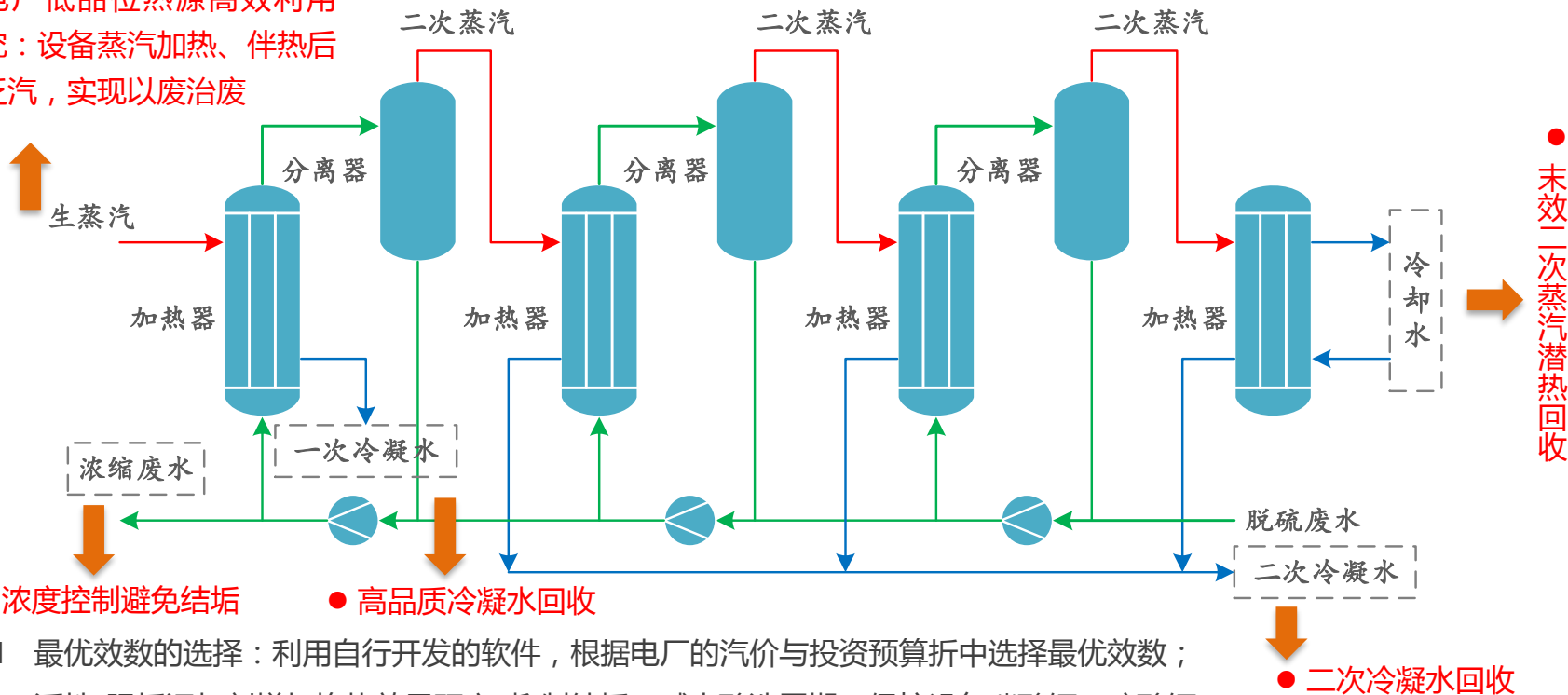




三、TES法废水零排放技术

3.2 热法浓缩模块 (TES)

- 电厂低品位热源高效利用
研究：设备蒸汽加热、伴热后的乏汽，实现以废治废



- 最优效数的选择：利用自行开发的软件，根据电厂的汽价与投资预算折中选择最优效数；
- 活性/阻垢添加剂增加换热效果研究：抑制结垢，减少酸洗周期，保护设备碳酸钙、硫酸钙。



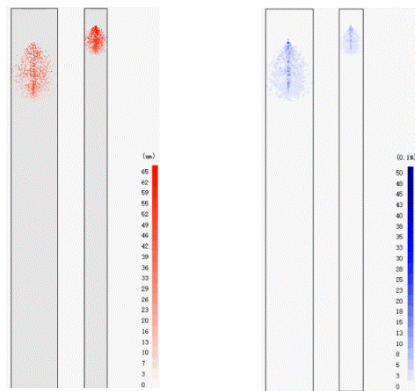
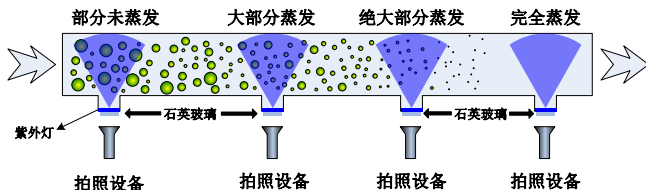
□ 物理实验

PDA试验平台：测试喷嘴雾化特性。

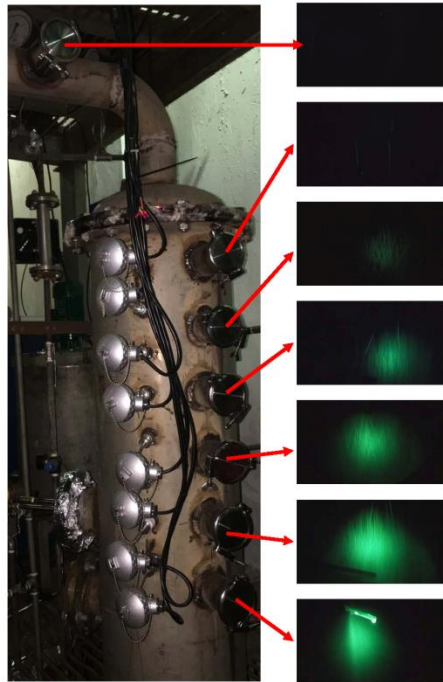
燃煤热态试验台：模拟实际烟气环境，进行烟道蒸发相关参数的正交试验研究。

□ 数值模拟实验

开展脱硫废水蒸发过程流动、传热的数值模拟研究。研究影响液滴群的蒸发各个因素，最大限度避免雾滴贴壁，**保证完全蒸发**。



■ 液滴粒径场 ■ 水滴浓度场





影响对象	影响分析
烟气温度	采用旁路烟道蒸发时抽取总烟气量小于3%； 混合后烟气温度略微上升。
除尘效率	浓水雾化后，湿度增加0.2~1%，理论降低了粉煤灰的比电阻，提高了除尘效率。
脱硫效率	雾化前后脱硫效率基本不变； 蒸发的水分成为脱硫系统补水，减少了补水量。
设备腐蚀	气态HCl含量增加<1%，对烟道系统的腐蚀性影响可忽略； 烟温高于酸露点，不会对烟道及除尘器造成腐蚀。
粉煤灰的利用	水中离子以NaCl为主；粉煤灰的氯离子的质量分数低于0.3%（硅酸盐水泥中氯离子限量），对粉煤灰的综合利用无影响。



预处理模块 (T) 减少加药量



管式膜降低加药量；E模块对预处理水质要求低，减少加药量

蒸发浓缩模块 (E) 二次蒸汽热量回收



用蒸发浓缩模块的最后一效排放的二次蒸汽加热凝汽器热井的凝结水



烟道蒸发模块 (S) 无固废处置

烟道蒸发模块无需固废处置，增加烟气含湿量，降低了脱硫塔的补水



蒸发水回收

蒸发浓缩模块的蒸馏冷凝水可引至化水车间超滤水箱加以利用

目录



- 1 上海成套院简介
- 2 废水零排放背景与现状
- 3 TES法废水零排放技术
- 4 TES技术的应用



四、TES技术的应用

西宁火电厂废水零排放示范项目

机组容量：2×660MW

设计处理规模：

230 m³/h一级反渗透浓水的回收系统及
精处理再生废水的回收系统

22.5 m³/h脱硫废水零排放系统

脱硫废水工艺流程：

皮带机滤后废水→加碱沉淀→管式膜→
4效MED→旁路烟道蒸发

12.5 m³/h淡水回用至锅炉补给水系统

10 m³/h浓水进入喷雾蒸发系统，最终成为脱硫补水





四、TES技术的应用

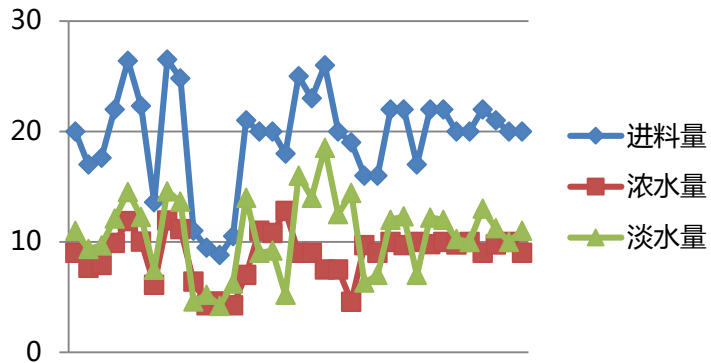
西宁项目试运行数据：

- 系统处理水量共2235 m³，冷凝水量1110m³，浓水量1125 m³。
- 预处理管式膜出水母管水量约为10-28 m³/h。单套管式膜设备制水量在8-14 m³/h，三套管式膜设备两用一备时制水量能达到16-28m³/h，可以满足系统额定制水量22.5 m³/h的设计要求。
- 热法浓缩蒸发每吨水的蒸汽耗量约为270 kg，小于设计值300kg；冷凝水出水电导小于10μs/cm，远优于设计值。设备进水量可以达到25m³/h，蒸发水量为13m³/h，浓缩比提高到60%时系统蒸发量没有明显降低；运行过程中，设备内列管未发现结垢情况，从1效至4效视镜清晰。
- 蒸发器根据负荷变化雾化水量，单台蒸发器取气烟量14153~26421Nm³/h,进口烟温306~353℃之间，出口烟温在150~170℃之间，最大处理水量2.6m³/h，低负荷时处理水量1.23m³/h。蒸发器底部灰测试杆抽样检查均为纯干灰状态；通过检修口观察旁路烟道内壁，未发现有积灰情况。

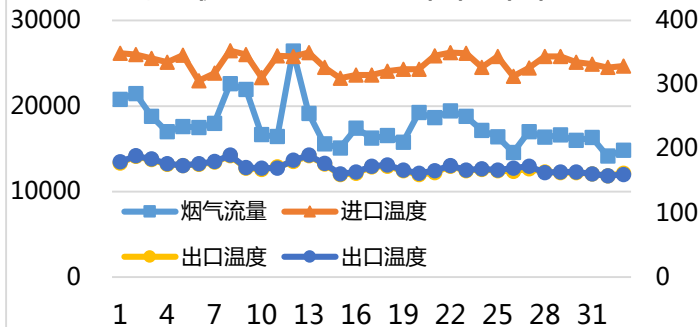


四、TES技术的应用

MED进出水量图



抽取烟气与烟温曲线图



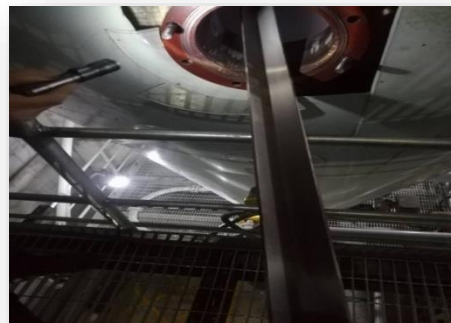
各设备进出水水质对比



MED试镜观察无结垢现象



烟道蒸发器测灰杆干燥无湿灰





四、TES技术的应用

飞灰氯离子含量分析结果

	单位	原灰	粗灰	细灰
第一次测试值	g/kg	0.384	0.454	0.364
第二次测试值	g/kg	0.345	0.392	0.346
平均值	g/kg	0.365	0.423	0.355
质量百分数	%	0.0365	0.0423	0.0355

按照GB 175-2007《通用硅酸盐水泥》，粉煤灰硅酸盐水泥与复合硅酸盐水泥中，粉煤灰的添加量应 $>20\%$ 。

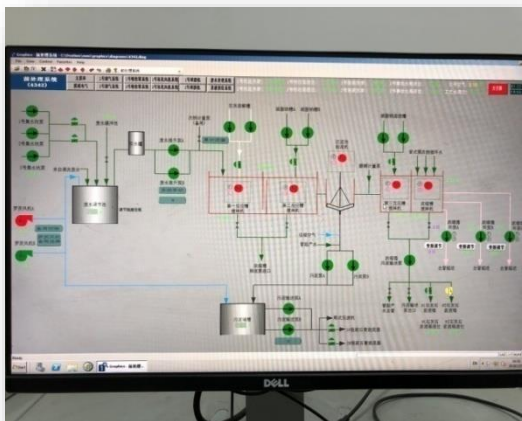
通用硅酸盐水泥化学指标中，氯离子的质量分数的要求： $\leq 0.06\%$ 。

故粉煤灰的氯离子的质量分数应低于 0.3% 。

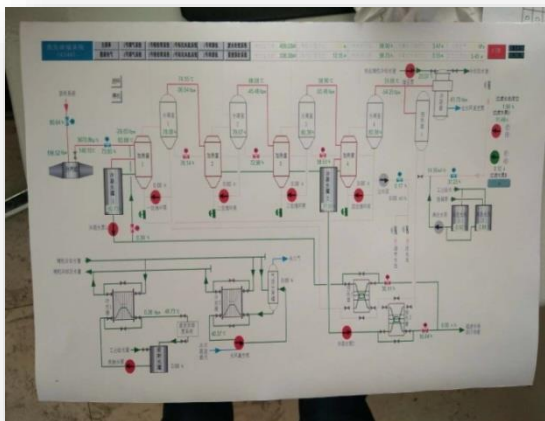
上述分析结果的数据皆小于 0.3% ，故掺加该粉煤灰基本不影响硅酸盐水泥的品质。



四、TES技术的应用



预处理DCS操作画面



热法减量DCS操作画面



烟道蒸发器DCS操作画面



四、TES技术的应用





四、TES技术的应用



- ❑ 脱硫废水零排放系统一次性成功通过168 h试运行；
- ❑ 该项目已荣获发电行业水处理创新成果一等奖；
- ❑ 2017国家核电创新专项奖励；
- ❑ 专利成果：CN106517628A、CN206940653U、CN107626465A、CN207342941U

谢谢！
THANK YOU !



上海发电设备成套设计研究院有限责任公司
SHANGHAI POWER EQUIPMENT RESEARCH INSTITUTE CO.,LTD

联系我们：

上海发电设备成套设计研究

电站工程事业部 赵亮

地址: 上海市闵行区剑川路1115号 200240

电话: 021-64358710 转 695

手机: 18017596713

传真: 021-64355183

邮箱: zhaoliang@speri.com.cn

网站: www.speri.com.cn



www.speri.com.cn