

末端废水技术路线探讨

西安热工研究院有限公司

2018年7月

01

末端废水水质特征及总体技术路线

02

精处理再生废水脱氨氮及资源化利用

03

脱硫废水达标处理技术发展

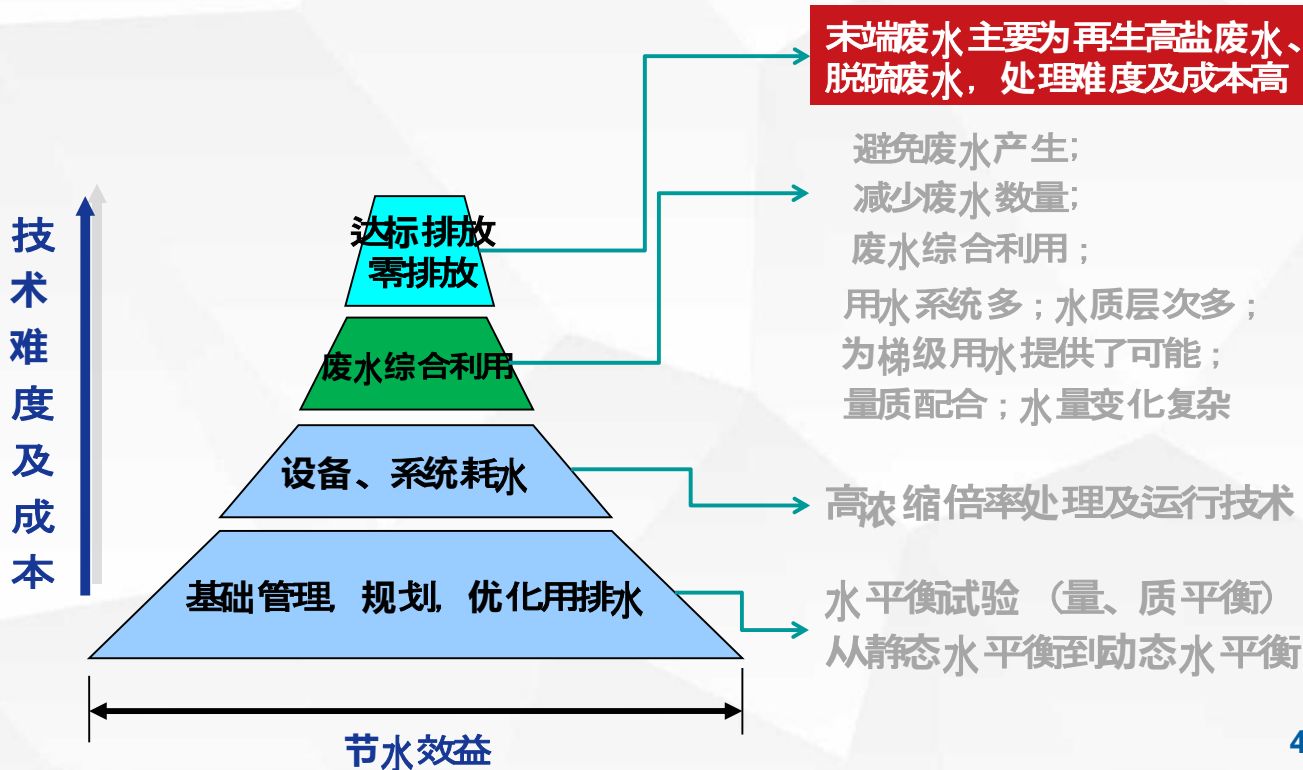
04

脱硫废水零排放技术路线

一、末端废水水质特征及总体技术路线

一、末端废水水质特征及总体技术路线

末端废水处理在火电厂环保工作中的重要性



一、末端废水水质特征及总体技术路线

末端废水水质特征

	脱硫废水	精处理再生 废水	化学再生 废水	循环排污水 反渗透浓水
TDS(mg/L)	3430~138500	5578~22886	2615~25666	16000
Ca ²⁺ (mg/L)	14.3~17000	~0	2~304	60
Mg ²⁺ (mg/L)	47.2~7331	~0	2.4~192	64
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	659~67742	43~120	36.3~1550	4600
Cl ⁻ (mg/L)	425~48218	5043~32240	2251~38840	3270
COD(mg/L)	13.2~1550	12~84	—	120
氨氮(mg/L)	0.15~2076	115~335	—	6.5

- ✓ 循环水排污回收系统的反渗透浓水，其水质随循环水补水、浓缩倍率的变化而变化。

一、末端废水水质特征及总体技术路线

末端废水处理总体技术路线

主要污染因子：

悬浮物、重金属、氨氮、COD等

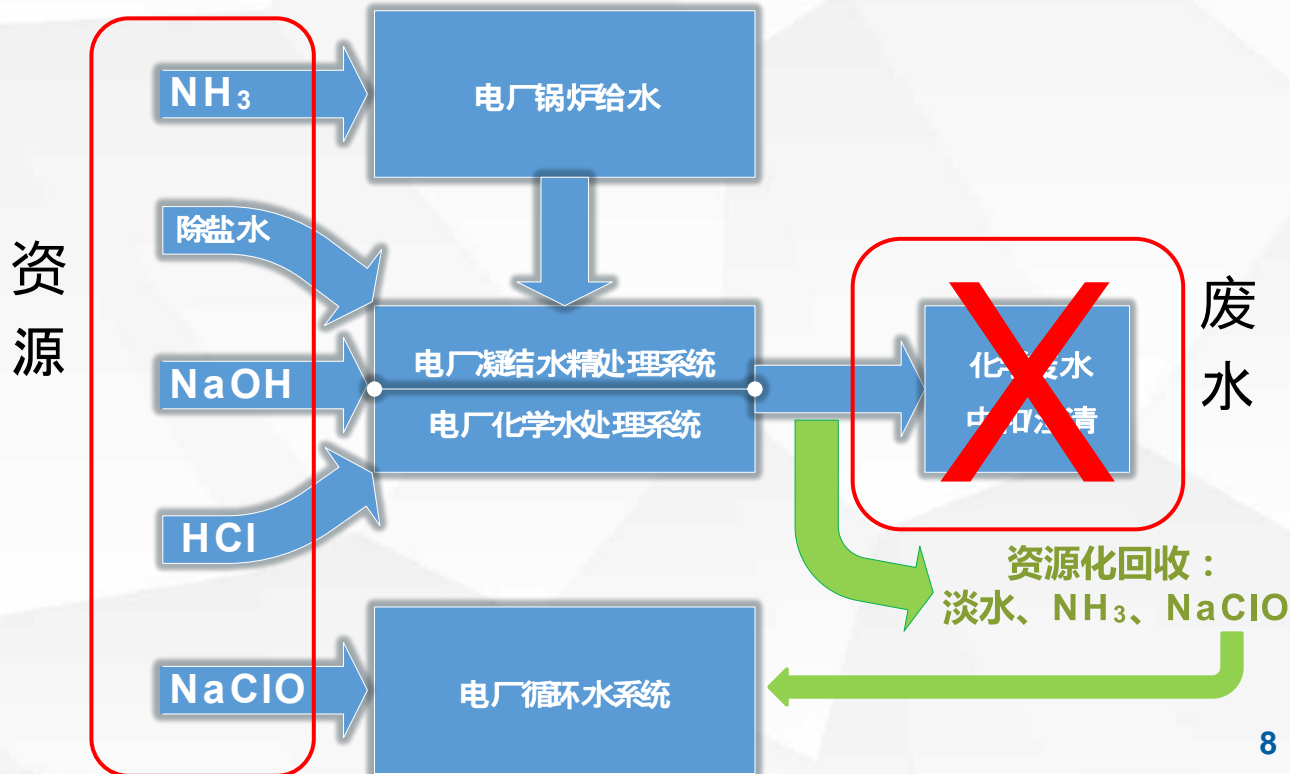
达标排放

DL/T 997-2006 《火电厂石灰石-石膏湿法脱硫废水水质控制指标》

二、精处理再生废水脱氨氮及资源化利用

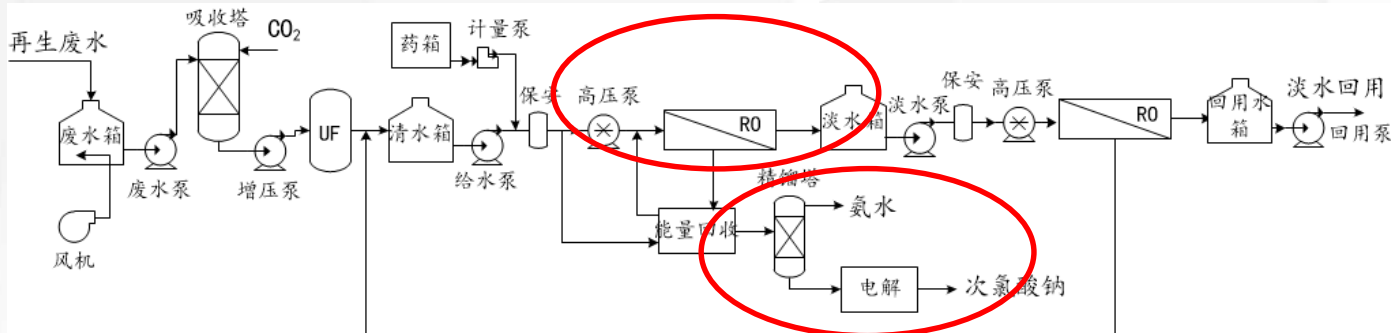
二、精处理再生废水脱氨氮及资源化利用

1. 浓缩 - 电解工艺



二、精处理再生废水脱氨氮及资源化利用

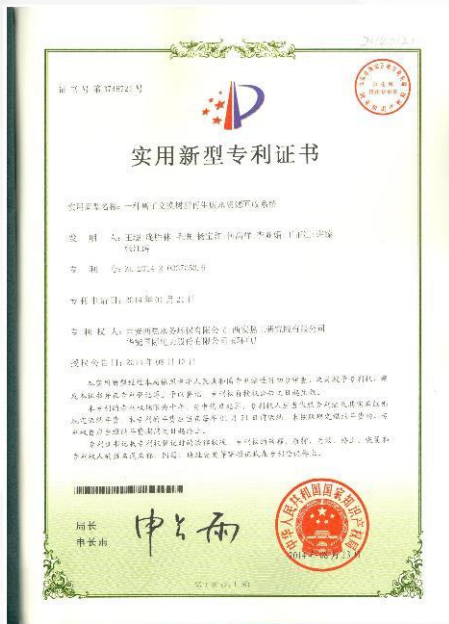
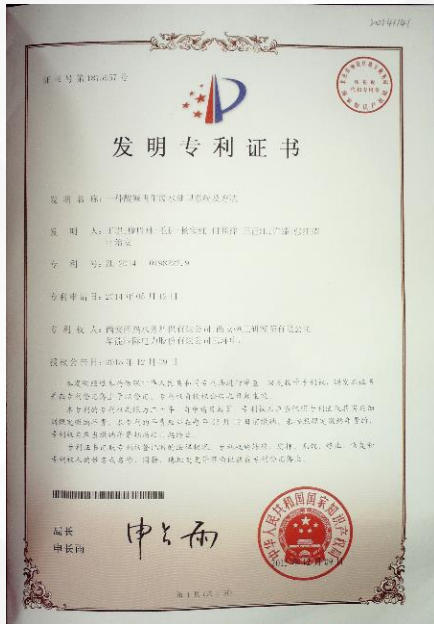
1. 浓缩 - 电解工艺



一种酸碱再生废水处理系统及方法 201410198222.9

二、精处理再生废水脱氨氮及资源化利用

1. 浓缩 - 电解工艺



一种离子交换树脂再生废水资源回收系统及方法 ZL 201410026885.2

一种酸碱再生废水处理系统及方法 ZL 201410198222.9

二、精处理再生废水脱氨氮及资源化利用

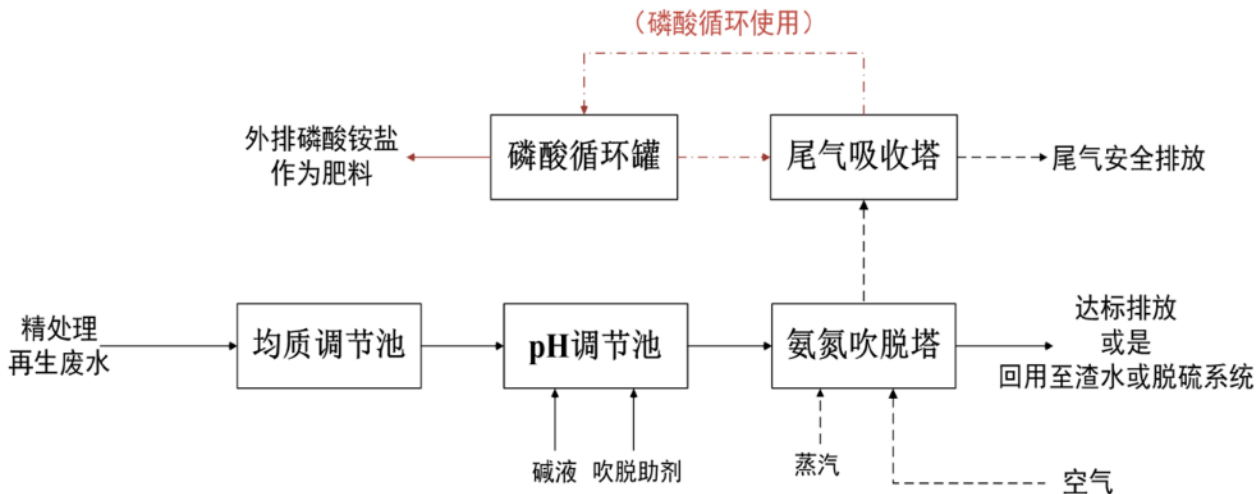
1. 浓缩 - 电解工艺



华能玉环电厂示范项目超滤-反渗透-脱气膜系统

二、精处理再生废水脱氨氮及资源化利用

2. 吹脱-吸收工艺



三、脱硫废水达标处理技术发展

三、脱硫废水达标处理技术发展

脱硫废水水质变化特征

- ◆ 对国内百余座燃煤电厂脱硫废水水质进行调查和检测，部分水质数据如下。其水质恶劣且复杂，波动性极大。

项目	单位	平均值	波动范围	DL/T 997控制指标
pH	mg/L	7.66	3.65-9.79	6~9
SS	mg/L	12228	106~65760	70
氟化物	mg/L	96.23	0.95-644	30
硫化物	mg/L	/	/	1.0
SO ₄ ²⁻	mg/L	13743	659~67742	2000
COD	mg/L	300.19	13.19-1550	150
氨氮	mg/L	169.86	0.15~2076	/
TDS	mg/L	40758	430~138500	/
Cl ⁻	mg/L	9150	425~48218	/
Ca ²⁺	mg/L	1476	14.35~17000	/
Mg ²⁺	mg/L	5692	47.25~7331	/
TOC	mg/L	74.52	3.52~540	/

三、脱硫废水达标处理技术发展

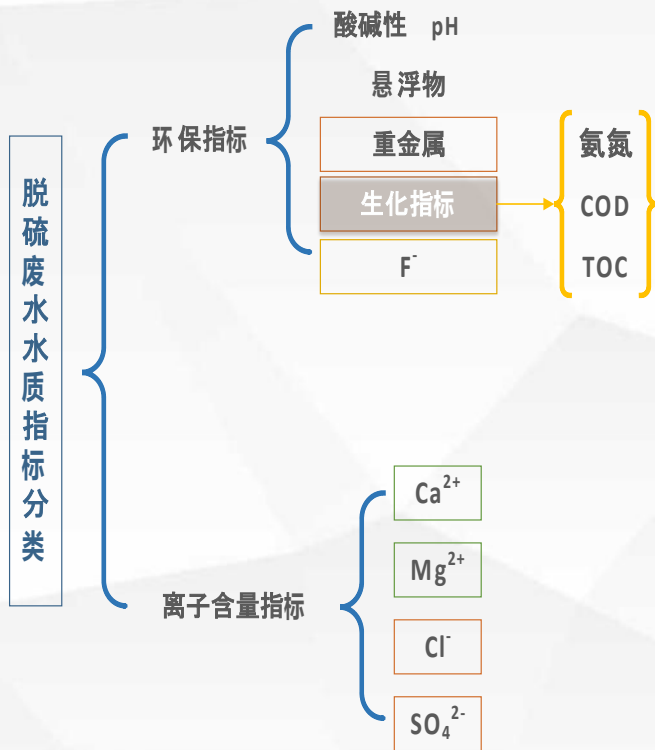
脱硫废水水质变化特征

◆ 部分燃煤电厂脱硫废水中重金属含量汇总如下：

项目	单位	平均值	波动范围	DL/T 997控制指标
总汞	mg/L	0.080	未检出-0.640	0.05
总镉	mg/L	0.112	0.006~0.787	0.1
总铬	mg/L	0.133	0.010~0.300	1.5
总砷	mg/L	2.240	未检出-5.396	0.5
总铅	mg/L	0.786	0.053~1.460	1.0
总镍	mg/L	0.315	0.020~0.790	1.0
总锌	mg/L	1.168	0.024~6.190	2.0

三、脱硫废水达标处理技术发展

脱硫废水水质指标体系



脱硫废水排放控制指标

监测项目	单位	控制值或最高允许	控制值或最高允许
		排放浓度值 DL/T 997—2006	排放浓度值 GB 8978-1996
pH		6~9	6~9
悬浮物	mg/L	70	70
总汞	mg/L	0.05	0.05
总镉	mg/L	0.1	0.1
总铬	mg/L	1.5	1.5
总砷	mg/L	0.5	0.5
总铅	mg/L	1.0	1.0
总镍	mg/L	1.0	1.0
总锌	mg/L	2.0	2.0
COD	mg/L	150	100
氟化物	mg/L	30	10
硫化物	mg/L	1.0	1.0
硫酸盐 (总排口)	mg/L	2000	—

三、脱硫废水达标处理技术发展

脱硫废水氨氮达标处理技术研究

- 磷酸铵镁化学沉淀法去除氨氮；
- 吹脱-吸附法去除氨氮；
- 曝气-次氯酸钠氧化法除氨氮及COD；
- 高级氧化法除氨氮及COD；
- 电催化氧化法除氨氮及COD；
- 生物法除氨氮及COD。

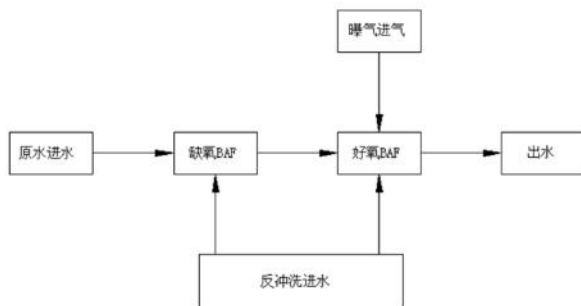


三、脱硫废水达标处理技术发展

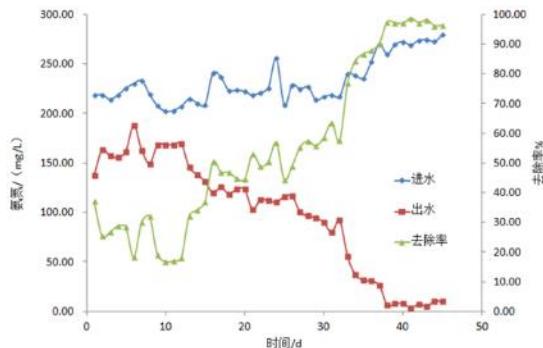
脱硫废水氨氮达标处理技术研究

脱硫废水生物除氨氮法

脱硫废水生物除氨氮工艺采用前置反硝化工艺



生物除氨氮工艺流程



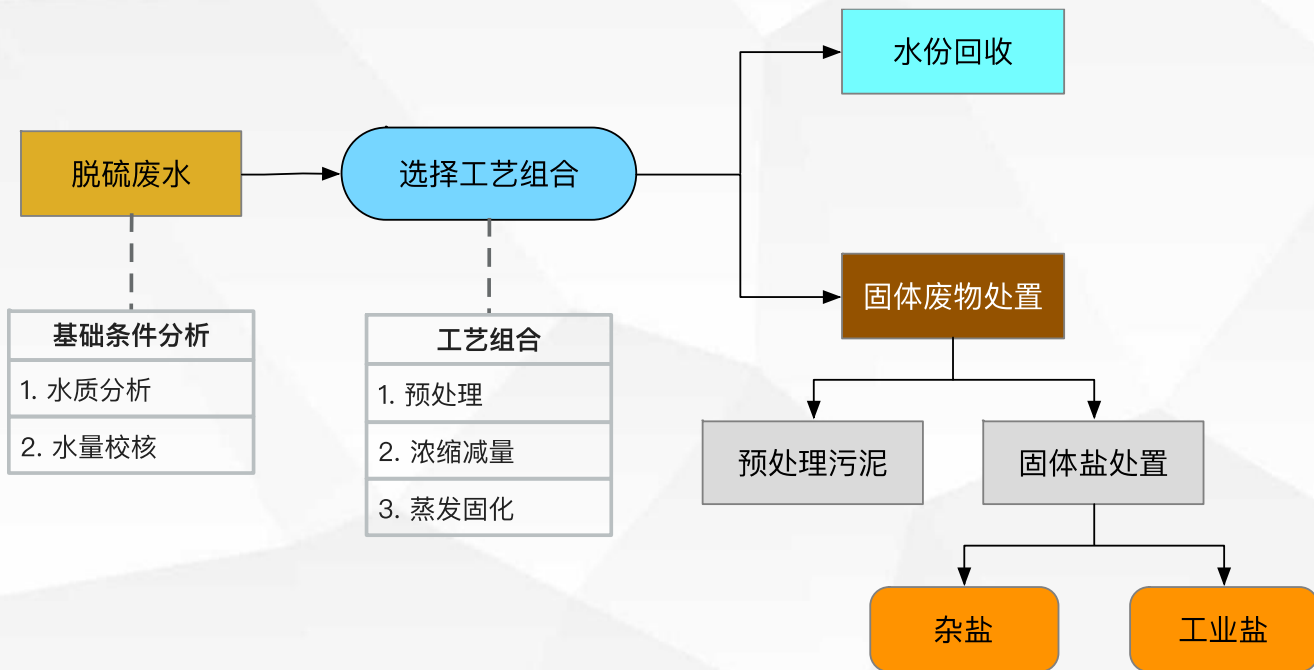
生物装置驯化期间氨氮变化情况

脱硫废水氨氮进水浓度260-300mg/L，控制C/N值3:1、pH控制约6-7.5等最优条件下，氨氮去除率可稳定达到60-80%。

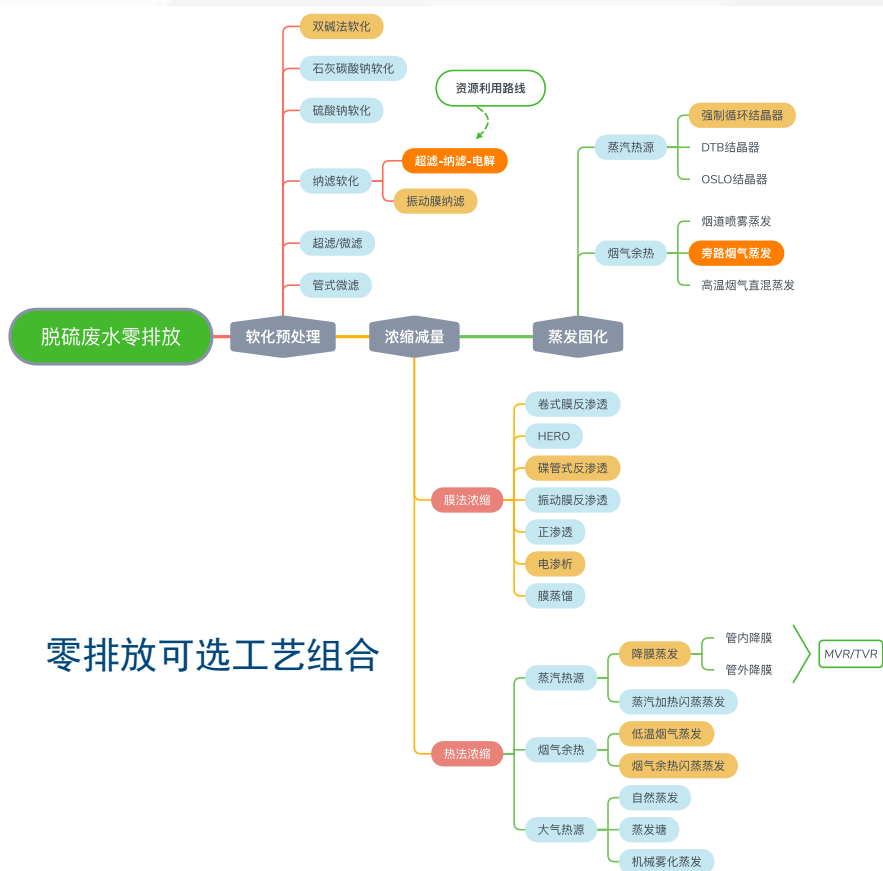
四、脱硫废水零排放技术路线

四、脱硫废水零排放技术路线

脱硫废水零排放技术目标



四、脱硫废水零排放技术路线



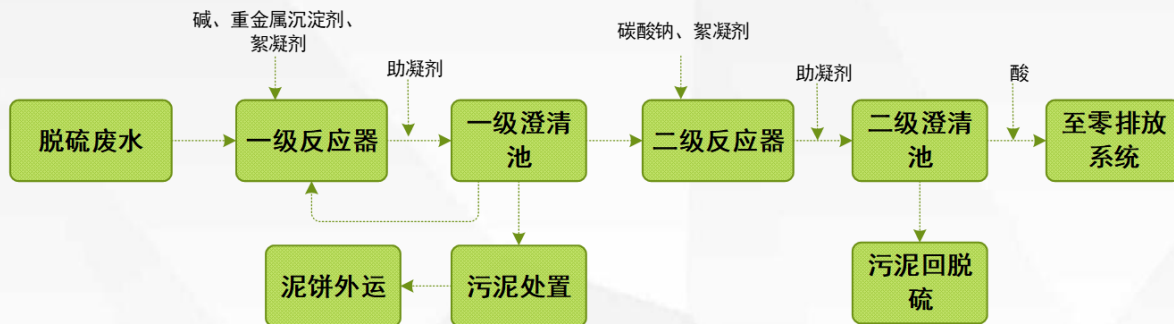
四、脱硫废水零排放技术路线

1. 软化预处理

2. 浓缩减量

3. 蒸发固化

1) 两级软化澄清



工艺特点:

- 可以实现脱硫废水的软化，降低结垢因子含量；
- 可以利用原有达标排放处理设施，运行灵活性较高；
- 随着脱硫废水水质变化，药剂投加量差异很大，影响零排放系统运行费用；
- 设备占地面积较大。

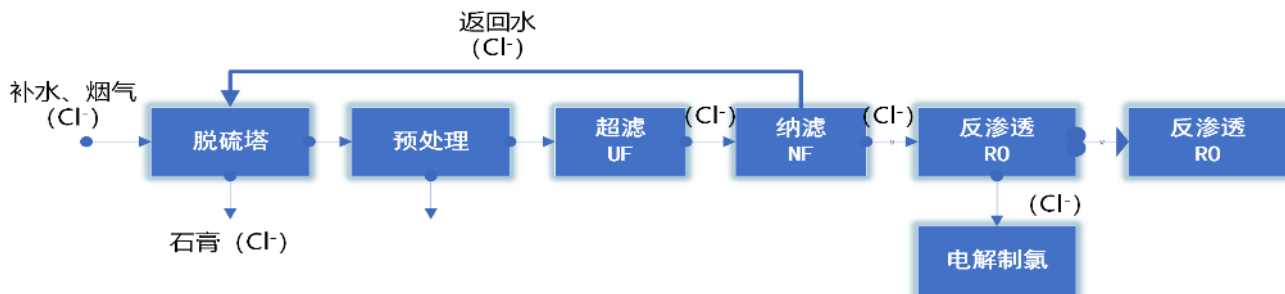
四、脱硫废水零排放技术路线

1. 软化预处理

2. 浓缩减量

3. 蒸发固化

2) 纳滤软化-电解



过滤器



浸没式超滤



纳滤

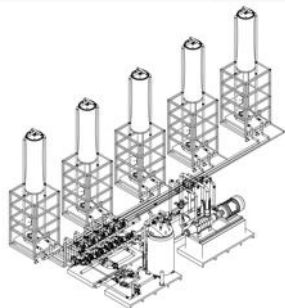
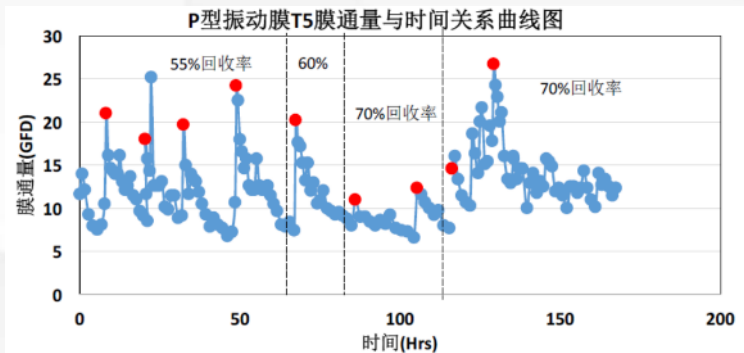
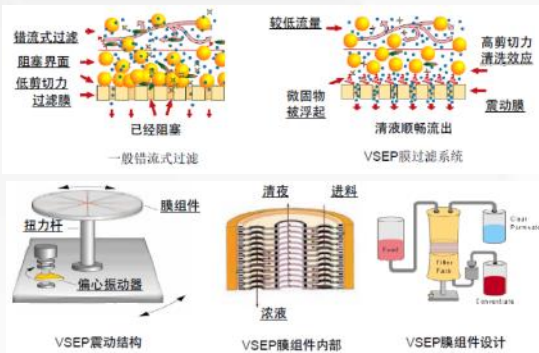
四、脱硫废水零排放技术路线

1. 软化预处理

2. 浓缩减量

3. 蒸发固化

3) 震动膜纳滤



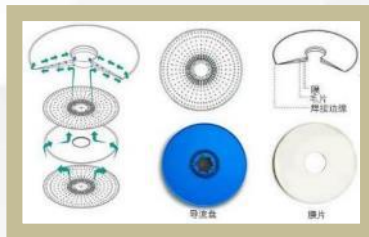
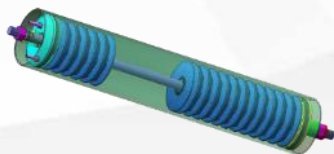
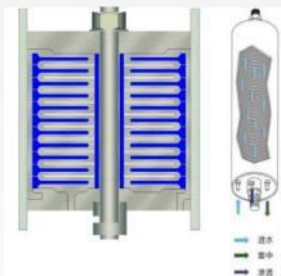
四、脱硫废水零排放技术路线

1. 软化预处理

2. 浓缩减量

3. 蒸发固化

1) 膜法浓缩—碟管式反渗透 (DTRO)



- ◆ 抗污染能力较强，对预处理要求较低；
- ◆ 浓缩性能与卷式RO相同；
- ◆ 单支膜面积小，设备占地面积大；
- ◆ 膜成本高，进口DTRO膜成本为卷式RO膜的20倍以上，设备造价高昂。

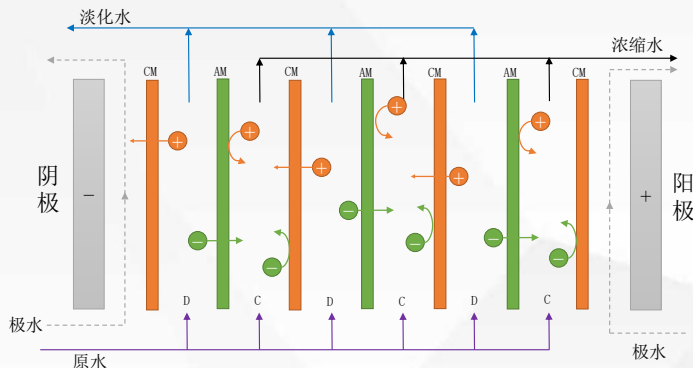
四、脱硫废水零排放技术路线

1. 软化预处理

2. 浓缩减量

3. 蒸发固化

2) 膜法浓缩—电渗析 (ED)



- 采用异相膜电渗析，原水含盐量3.7%，可浓缩至含盐量12.7%，浓淡比15.9；
- 通过多级浓缩，可将脱硫废水进一步浓缩至15%~20%；
- 使用均相膜电渗析，还能提高浓缩倍数。

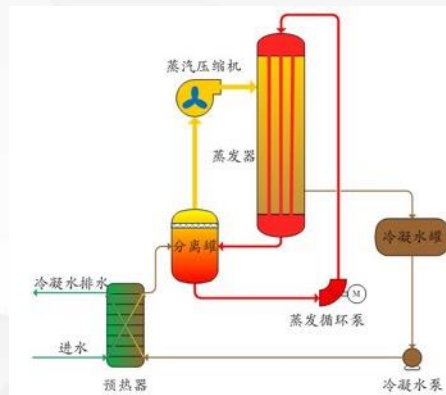
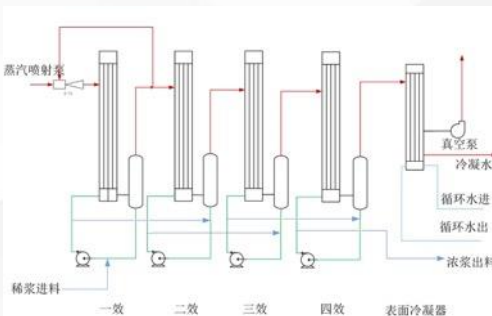
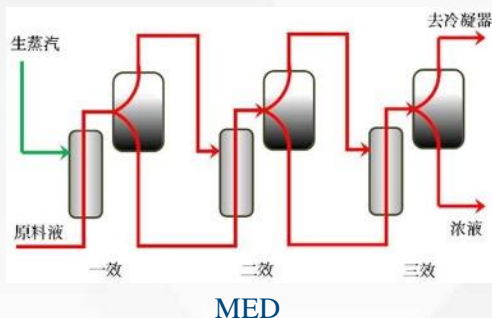
四、脱硫废水零排放技术路线

1. 软化预处理

2. 浓缩减量

3. 蒸发固化

3) 热法浓缩—蒸汽热源 (MED、TVR、MVR)



- 进水需要预处理，防止结垢；
- 换热面采用贵金属，造价高；
- 蒸汽热源，运行费用高。

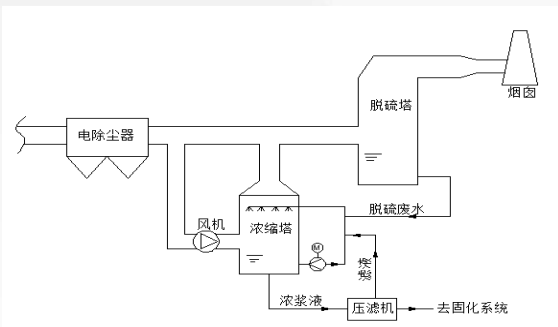
四、脱硫废水零排放技术路线

1. 软化预处理

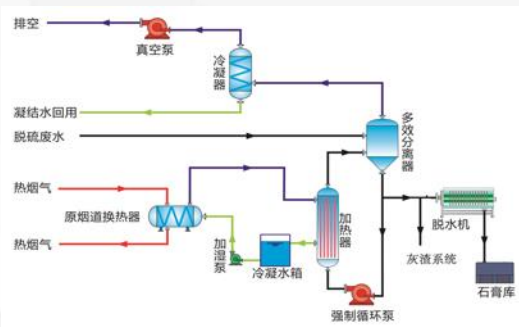
2. 浓缩减量

3. 蒸发固化

4) 热法浓缩—尾部烟气热源（烟气余热闪蒸、烟气余热浓缩）



尾部烟气余热浓缩



尾部烟气余热闪蒸



- 可以利用尾部低温烟气余热，进水软化需求低；
- 抽烟气量大，引风机能耗高；
- 塔体和转动设备腐蚀环境恶劣，所需材质要求高；
- 闪蒸换热器内存在结垢风险。

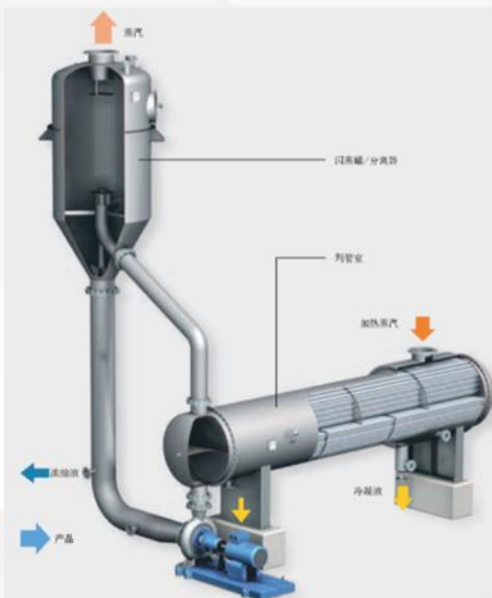
四、脱硫废水零排放技术路线

1. 软化预处理

2. 浓缩减量

3. 蒸发固化

1) 蒸发固化—蒸汽热源（强制循环蒸发结晶）



强制循环结晶器

❖ 强制循环结晶器

- 依靠大流量低扬程的循环泵维持溶液的强制循环，溶液满管并维持一定流速，减少管壁结垢；
- 换热面需用贵金属，投资高；
- 消耗较大量蒸汽、电，运行成本高；
- 工业盐产品的处置较困难，需对原料液进行分盐处理，以提高产品纯度。

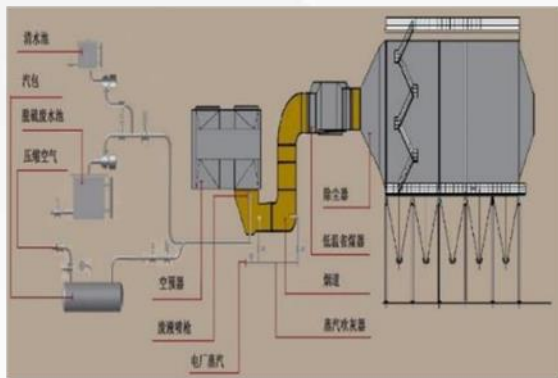
四、脱硫废水零排放技术路线

1. 软化预处理

2. 浓缩减量

3. 蒸发固化

2) 蒸发固化—烟气热源（烟道喷雾蒸发）



- 1) 处理能力较低，不能完全满足零排放要求；
- 2) 设计不当的条件下，烟道结垢严重，可能造成烟道部分堵塞，垢样成分与水泥类似，很难清洗；
- 3) 喷头的布置对蒸发固化效果影响很大，对炉后烟道安装位置要求高，在低温改造后布置困难；
- 4) 蒸汽吹灰消耗蒸汽量大，却并不能完全防止烟道堵塞；
- 5) 可能增大机组正常安全运行的风险。



物质	CaO	MgO	SiO ₂	Cl ⁻ (可溶)	溶解性 物质	pH
质量比 %	3.56	2.29	49.10	1.30	42.80	9.36

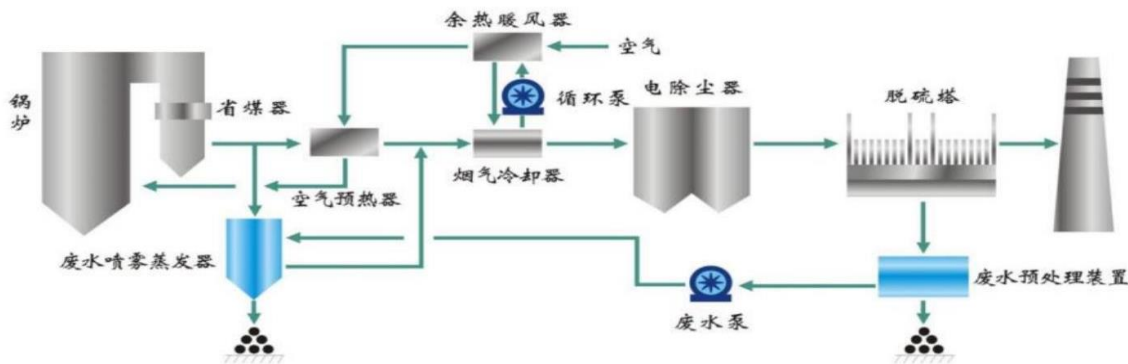
四、脱硫废水零排放技术路线

1. 软化预处理

2. 浓缩减量

3. 蒸发固化

2) 蒸发固化—烟气热源（旁路烟气蒸发）

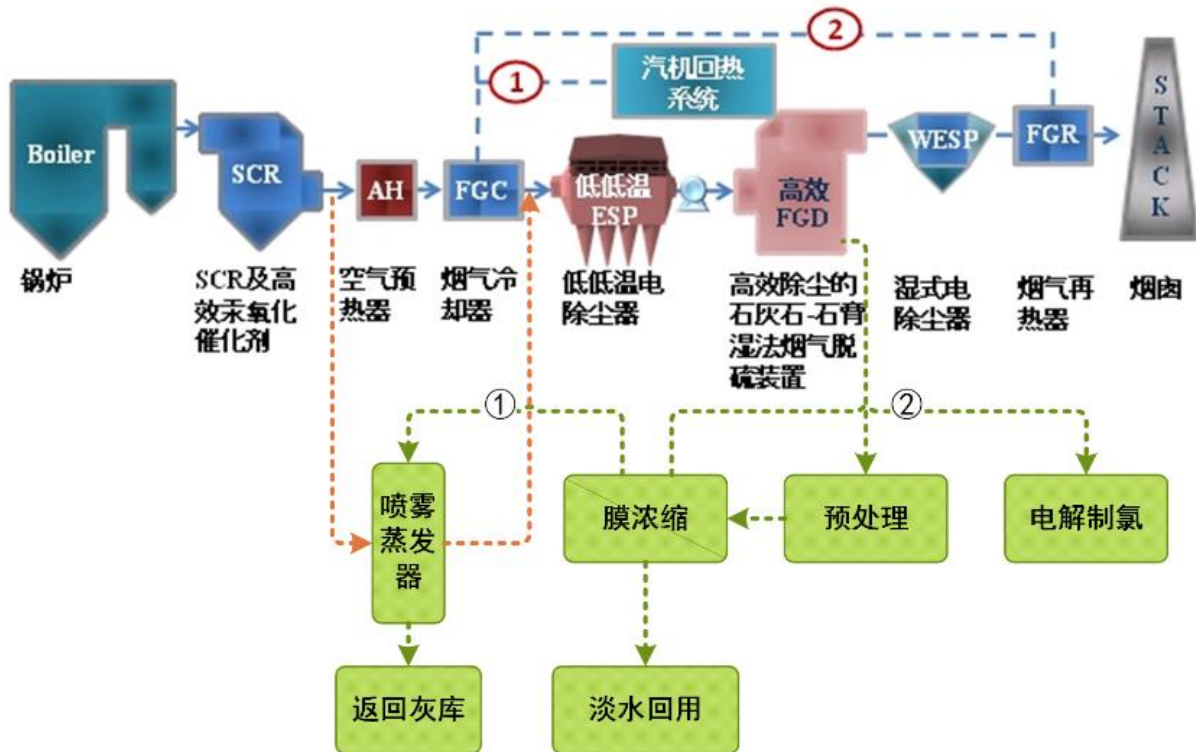


热烟气蒸发处理调质脱硫废水系统图

- 脱硫废水经预处理及浓缩后，避免喷雾蒸发过程的结垢、堵塞烟道等问题；
- 喷雾蒸发器排出烟气湿度增加，可提高除尘器效率；
- 脱硫废水蒸发水分进入脱硫塔，可降低脱硫工艺水耗；
- 能够实现稳定、经济、真正意义的脱硫废水零排放，**无需单独处置固体盐。**

总结

脱硫废水零排放推荐工艺路线



谢谢！

西安热工研究院有限公司

电站水处理技术部 刘亚鹏

Tel: 029-82002133 18392180287

E-mail:liuyapeng@tpri.com.cn