



电力规划设计总院

China Electric Power Planning & Engineering Institute

燃煤电厂脱硫废水零排放技术

发电工程部水务环保处



1

脱硫废水的产生和水质

2

国内脱硫废水零排放工程案例

3

国外脱硫废水零排放工程案例

4

结论和建议

脱硫废水产生的原因



腐蚀
问题

脱硫系统氯离子推荐控制值不超过20000mg/L



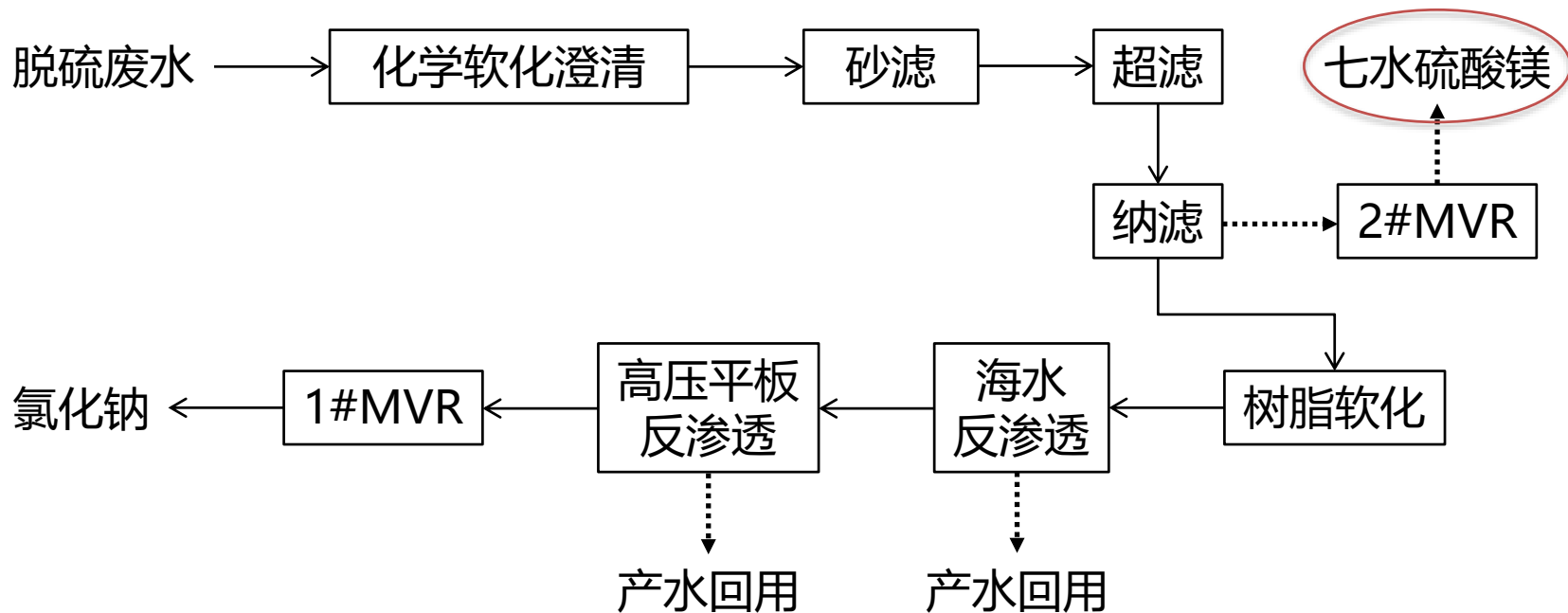
脱硫
效率

石灰石中惰性物质的富集会影影响脱硫效果

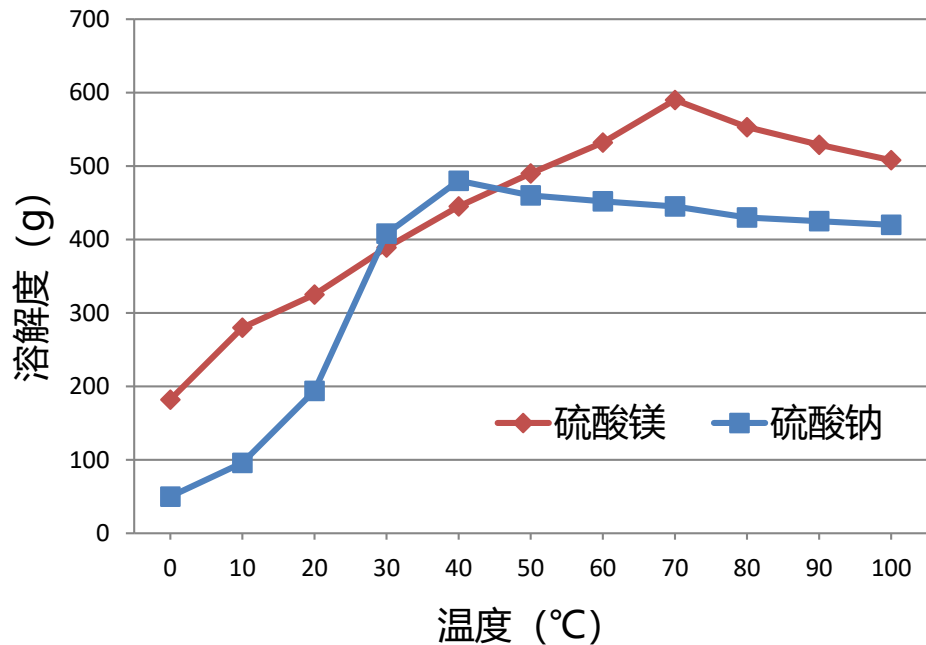
脱硫废水的水质

水质指标	单位	平均值	最小值	最大值	水质指标	单位	平均值	最小值	最大值	水质指标	单位	平均值	最小值	最大值
K ⁺	mg/L	73.60	12.70	199.9	CO ₃ ²⁻	mmol/L	0	0	0	P碱度	mmol/L	0	0	0
Na ⁺	mg/L	271.00	29.60	658.00	NO ₃ ⁻	mg/L	226.20	36.30	602.00	酸度	mmol/L	0	0	0
Ca ²⁺	mg/L	1417.40	476.20	5206.00	NO ₂ ⁻	mg/L	12.00	0.03	38.20	pH	/	5.98	2.90	6.99
Mg ²⁺	mg/L	2592.40	204.70	9037.70	OH ⁻	mmol/L	0	0	0	氨氮	mg/L	10.15	0.30	45.20
铁	mg/L	4.80	0.05	16.17	阴离子	mmol/L	312.49	66.60	628.71	COD _{Cr}	mg/L	325.15	26.70	708.00
Al ³⁺	mg/L	18.60	0.01	97.70	全硅	mg/L	148.99	12.60	494.41	BOD ₅	mg/L	151.23	15.40	315.00
NH ₄ ⁺	mg/L	9.39	0.29	40.80	非活性硅	mg/L	87.82	4.60	454.41	TOC	mg/L	7.64	0	23.66
Ba ²⁺	mg/L	0.09	0.02	0.27	活性硅	mg/L	61.17	8.00	120.00	溶固	mg/L	22710	4765	59185
Sr ²⁺	mg/L	4.23	0.91	14.13	总硬度	mmol/L	284.05	56.80	767.45	全固	mg/L	41918	4937	107958
阳离子	mmol/L	300.67	72.00	774.31	永硬	mmol/L	282.62	56.70	766.76	悬浮物	mg/L	19209	172	79892
Cl ⁻	mg/L	5635	1127	14524	暂硬	mmol/L	1.44	0	3.53	细菌数	cfu/ml	4×10 ⁵	9	1.7×10 ⁶
SO ₄ ²⁻	mg/L	7123	1142	25380	负硬度	mmol/L	0	0	0	电导率	μs/cm	28502	6500	57200
HCO ₃ ⁻	mmol/L	1.44	0	3.53	M碱度	mmol/L	1.44	0	3.53	游离CO ₂	mg/L	2.20	0.02	6.89

A电厂脱硫废水零排放工程——30t/h

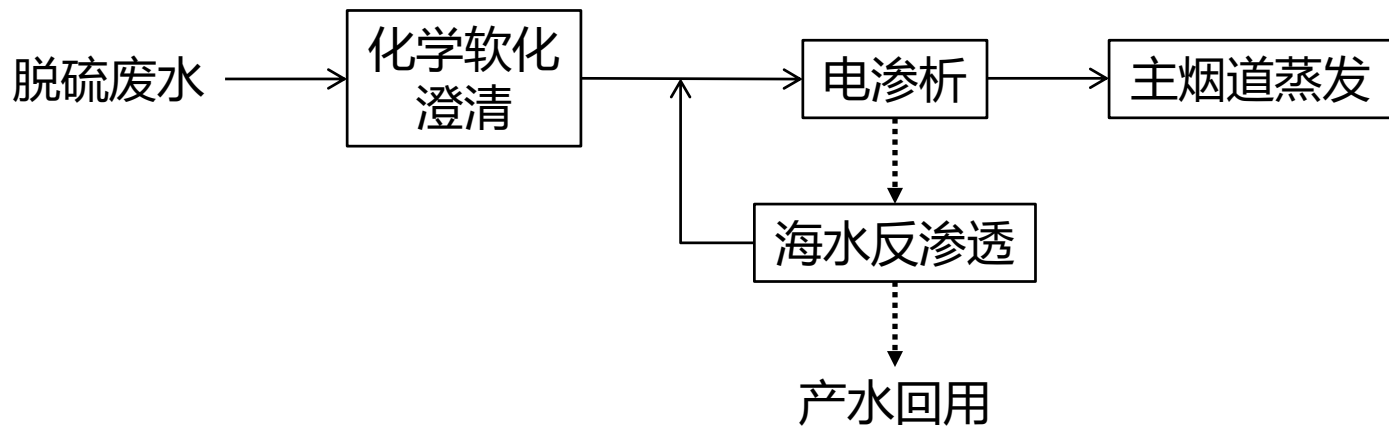


A电厂脱硫废水零排放工程——30t/h



1m³ 脱硫废水冷却至20°C结晶时，可以回收37.2kg七水硫酸镁；冷却至10°C和30°C结晶时分别可以回收44.2kg和28.8 kg的七水硫酸镁

B电厂脱硫废水零排放工程——20t/h



电渗析运行成本低，只消耗电能和少量化学药剂，运行过程中不需要进行化学清洗；离子交换膜和电渗析槽目前需要进口；拆卸周期一般每年一次，拆卸的目的是清理隔板上水流道；对入口脱硫废水的COD值，没有强制性要求。

B电厂脱硫废水零排放工程——20t/h

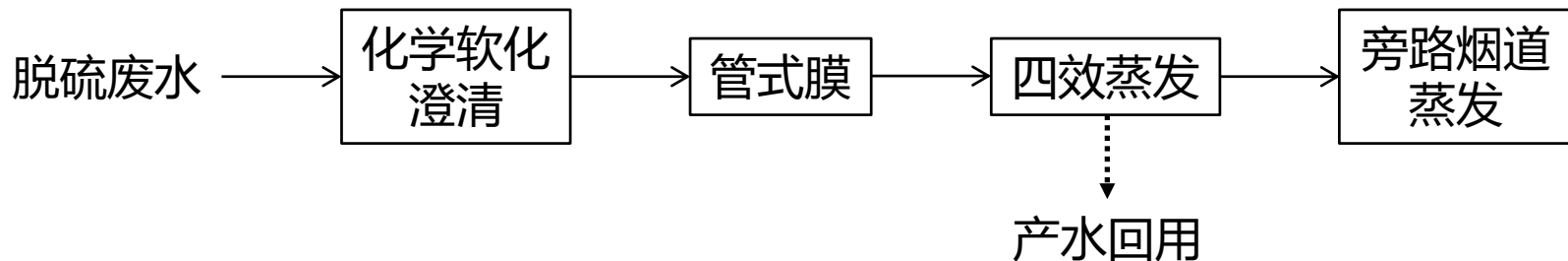
《GB175-2007通用硅酸盐水泥》规定粉煤灰硅酸盐水泥中粉煤灰的质量分数在20%到40%之间，氯离子的质量分数不大于0.06%。在采用烟道蒸发处理脱硫废水时，脱硫废水中的氯离子进入到飞灰中，必须保证不影响粉煤灰的综合利用。

项目	数值
设计氯离子浓度 (mg/L)	10000
脱硫废水产生量 (t/h)	20
脱硫废水中氯离子含量 (t/h)	0.20
烟气中氯离子含量 (t/h)	0.06
粉煤灰产生量 (t/h)	98.32
粉煤灰中氯离子含量 (%)	0.264



掺混比例 (%)	氯离子含量 (%)
40	0.1056
22.73	0.0600
20	0.0528

c电厂脱硫废水零排放工程——22.5t/h



药剂种类	加药量 (g/L)	吨水药剂成本 (元)
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	3.70	1.85
Na_2CO_3	15.22	30.44
HCl	0.56	0.54
合计		32.83

药剂种类	加药量 (g/L)	吨水药剂成本 (元)
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	3.70	1.85
Na_2SO_4	15.77	7.88
Na_2CO_3	3.45	6.89
HCl	0.56	0.54
合计		17.16

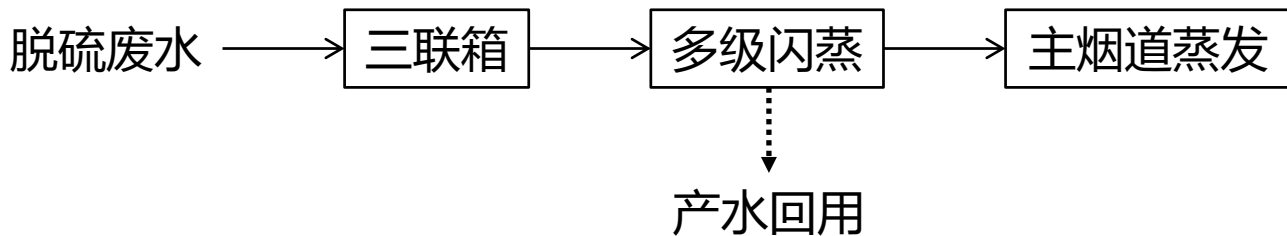
预处理系统在石灰和碳酸钠二级软化之间增加一级硫酸钠软化处理，需要增加一个停留时间为6-8h的沉淀池，会使相关设备和土建成本增加约100万元。由于硫酸钠的价格约是碳酸钠的1/4，按年运行5000h计，年运行药剂成本相对可以降低176万元。

c电厂脱硫废水零排放工程——22.5t/h

项目	三效MED	四效MED	五效MED
加热器换热面积 (m ²)	620	680	790
冷凝器换热面积 (m ²)	115	150	90
冷却水耗量 (t/h)	100	85	40
装机功率 (kW)	50	58.5	65
蒸汽耗量 (Kg/h)	4812	3950	3010
运行费用 (元/t)	14.48	12.01	9.31
能量回收费用 (元/t)	6.10	5.16	2.46
实际净运行费用 (元/t)	8.38	6.85	6.75
投资费用 (¥)	0.86c	1.00c	1.13c

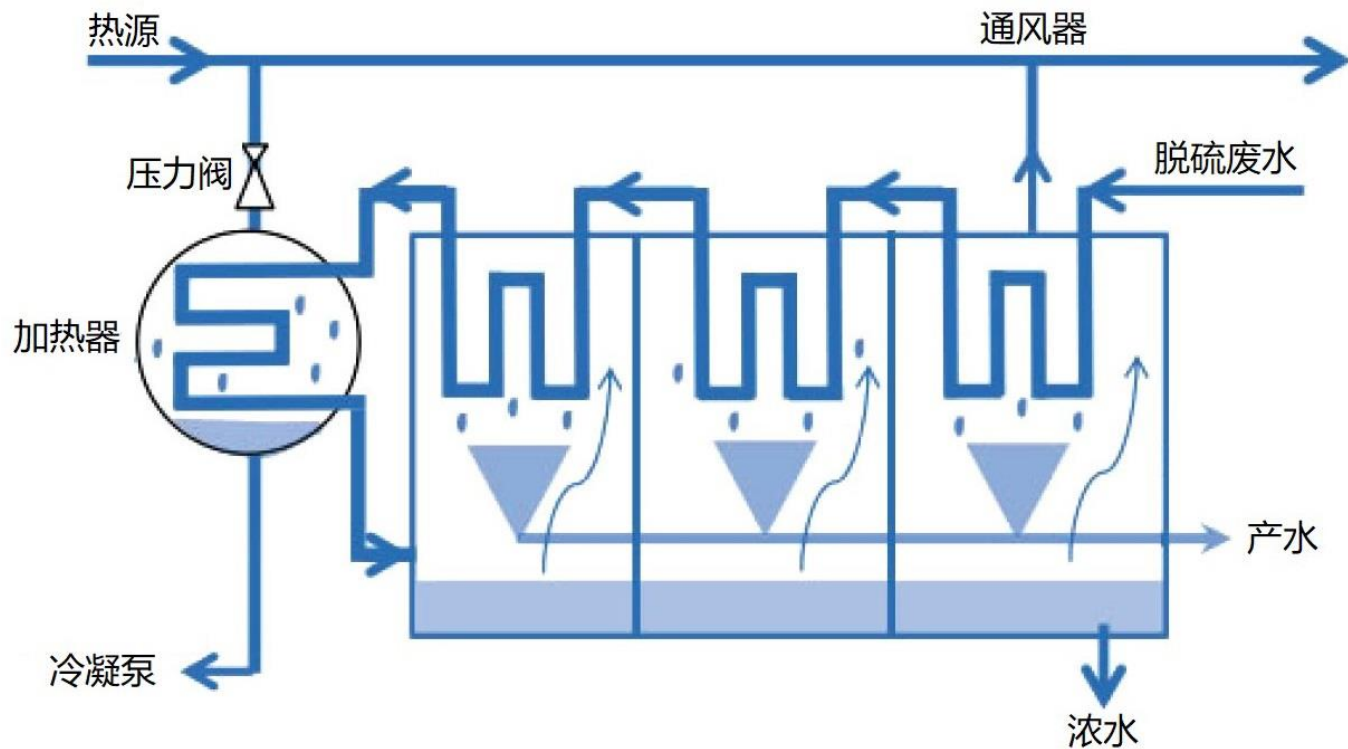
末效二次蒸汽量约3.5t/h，温度为54℃的饱和蒸汽。为了回收末效二次蒸汽潜热，冷凝器的冷却水从化水车间生水池引出一部分生水，约85t/h，经过冷凝器的换热后回至生水池，将生水从5℃加热至20℃，回收能量以减少生水池的加热蒸汽耗量。

D电厂脱硫废水零排放工程——21t/h

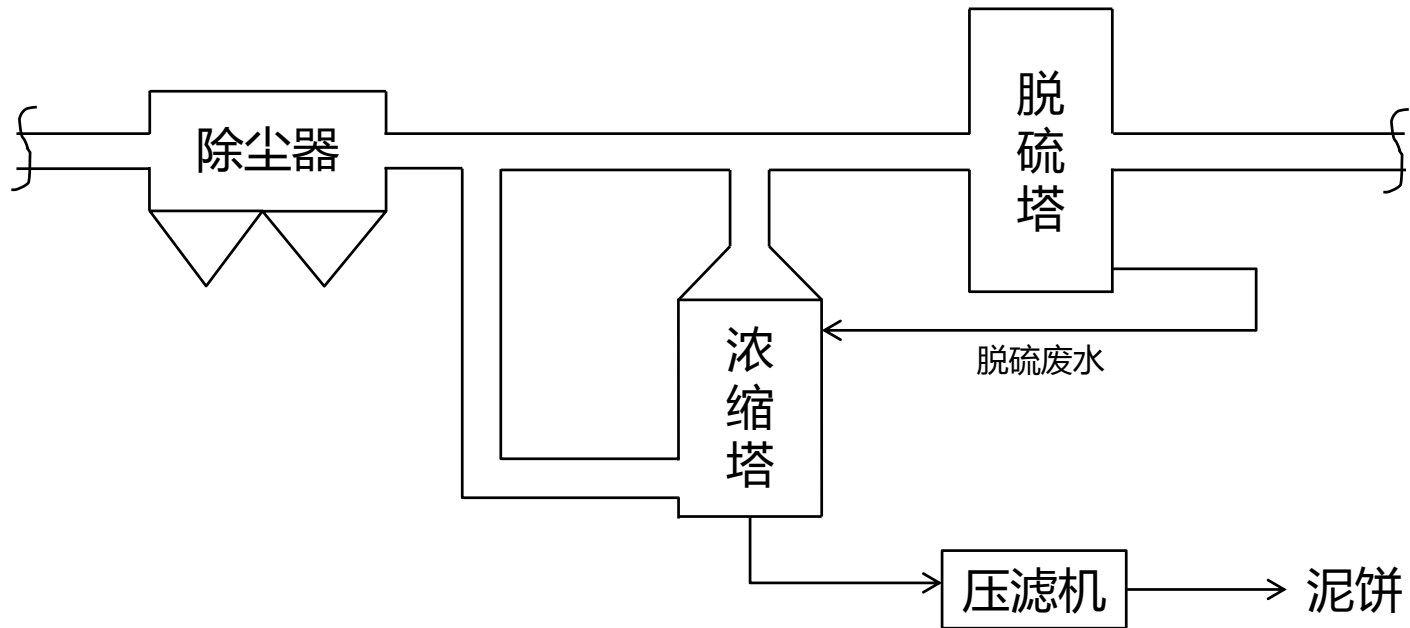


闪蒸浓缩所需要的热源拟采用低温省煤器出口凝结水；脱硫废水在多效闪蒸时采用水浴式加热的方式，加热器内置在蒸发器内，并浸没在带结晶种子的酸性环境中，可有效防止加热器表面结垢；可以不需要预处理系统。

D电厂脱硫废水零排放工程——21t/h



E电厂脱硫废水零排放工程——20t/h



抽取的烟气温度为92.8℃；设置一台中间调质箱用于中和浓浆中的酸以减少设备管道的腐蚀，石灰加药量约为浓浆量的0.5%；板框机出泥良好，泥饼成块，含水率小于50%，每年约产生1万吨泥饼。

E 电厂脱硫废水零排放工程——20t/h



根据《GB 5085.1-7 危险废物鉴别标准》对泥饼的各项性质进行了检测，检测结果表明泥饼不属于危险废物，可以将泥饼外运至灰场进行堆放或委托专业的固废公司进行处理。

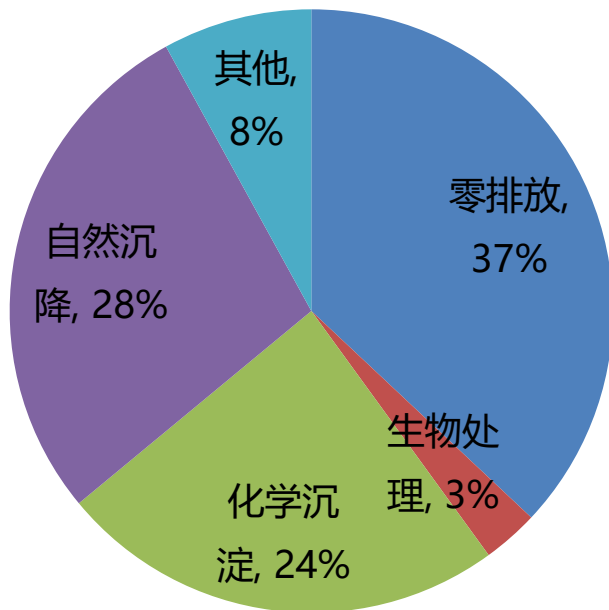
脱硫废水零排放技术路线



各种技术路线的工程投资对比

电厂名称	机组大小	脱硫废水量	处理方案	工程投资
A电厂	2×350MW 2×300MW 2×350MW	30t/h	软化预处理+高压平板RO膜浓缩+MVR蒸发 结晶	4600万
B电厂	2×660MW	20t/h	软化预处理+ED膜浓缩+主烟道蒸发	3800万
C电厂	2×660MW	22.5t/h	软化预处理+MED浓缩+旁路烟道蒸发	3500万
D电厂	2×660MW	21t/h	三联箱预处理+MSF浓缩+主烟道蒸发	4100万
E电厂	2×1000MW	20t/h	浓缩塔+压滤机	3600万

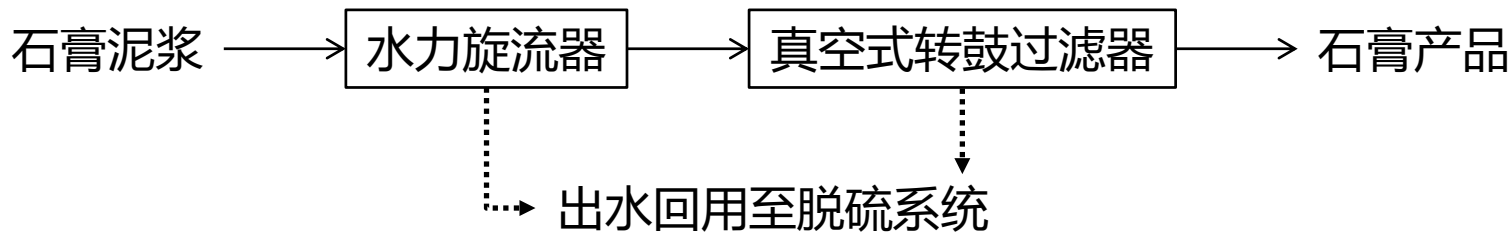
美国脱硫废水处理现状



零排放方式	电厂数量
再循环	18
蒸发塘	9
干灰调湿	5
湿法脱硫&半干法脱硫结合	3
深井注入	2
蒸发	1

数据来源: Steam Electric Survey[ERG,2015a]

美国Mount Storm电厂——再循环



脱硫废水处理系统	脱硫塔耐氯限值	运行时脱硫塔中氯离子浓度	石膏含水率	石膏去向
无	120000ppm	40000ppm	20-25%	填埋

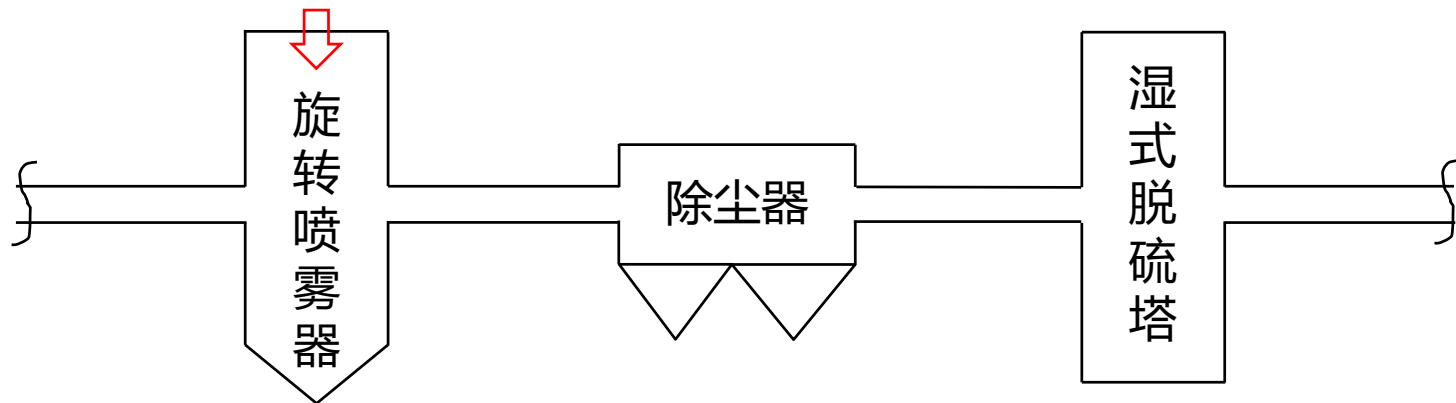
美国西南部某电厂——蒸发塘

脱硫废水量	年运行时间	蒸发折减系数	多年平均蒸发量	多年平均降雨量	蒸发塘面积
5t/h	5000h	0.6	3260mm	28mm	12966.8m ²



美国Cliffside电厂——湿法脱硫&半干法脱硫结合

项目	5#机组	6#机组
脱硫方式	湿法脱硫	喷雾半干法脱硫+袋式除尘+湿法脱硫
脱硫废水处理系统	三联箱	无



脱硫废水零排放技术路线的选择

(1) 因地制宜。例如西北部地区可以采用蒸发塘的方式实现零排放；石膏综合利用不畅的地区可以考虑采用再循环的方式；同时有湿法脱硫和喷雾半干法脱硫的电厂可以采用两者结合的方式；有湿式除渣系统的电厂可以考虑将脱硫废水处理后再用作除渣系统补水。

(2) 目前来看各种处理方法在技术上都是可行的，工程投资相差不大，差异主要体现在运行成本上。相对于蒸发结晶，烟道蒸发在运行成本上具有一定的优势，也是目前各个电厂选择较多的技术路线。

THANKS

感谢您的时间



China Electric Power Planning & Engineering Institute

地址：北京市西城区安德路65号 邮政编码：100120
电话：010-58388230 传真：010-82086966 邮箱：info@eppei.com
No.65 Ande Road,Xicheng District,Beijing,100120
Tel: 010-58388230 Fax: 82086966 E-mail: info@eppei.com
www.eppei.com