

# 燃煤热水锅炉烟气余热回收冷凝水 利用途径研究

承德热力集团有限责任公司  
康佳月

# 目录

## content



## 01 研究背景



## 02 烟气冷凝水量理论分析



## 03 冷凝水水质特点及水质成分对各系统的影响



## 04 烟气冷凝水利用途径分析



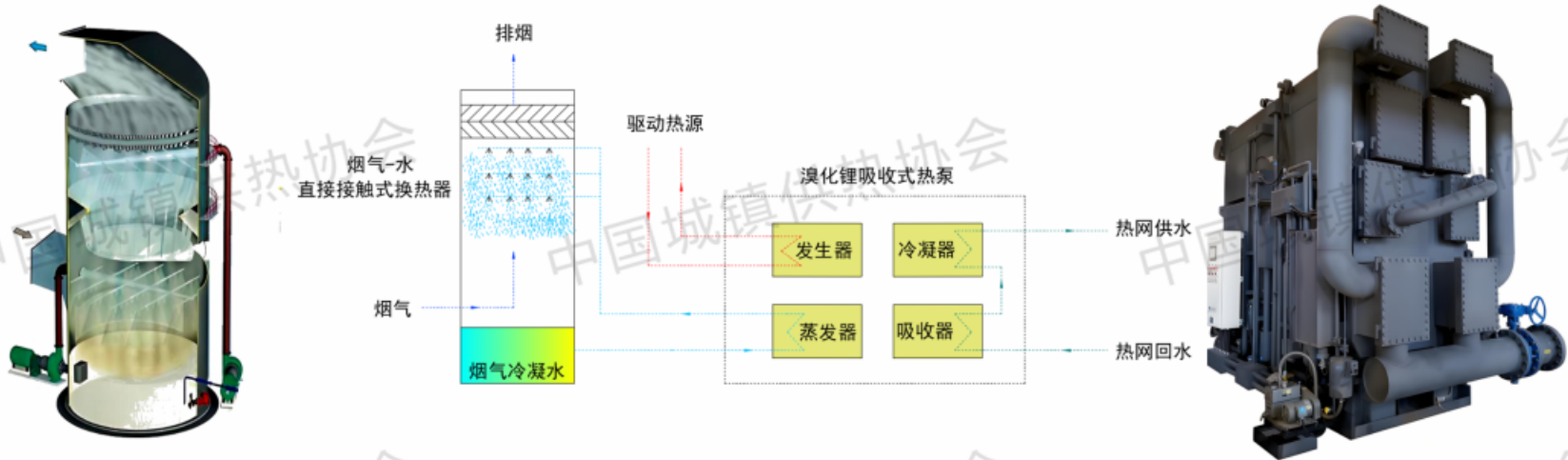
## 05 结论

01

# 研究背景

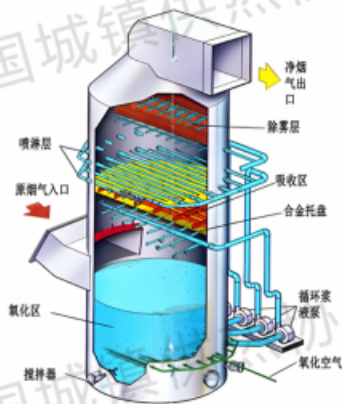
Paper Background

## 烟气余热回收系统介绍



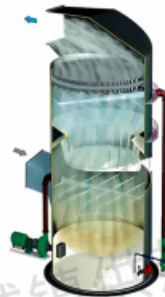
吸收式热泵耦合直接接触式换热器在烟气余热回收领域得到了大量应用

## 烟气凝水产生过程



湿法脱硫

湿法脱硫后烟气温度 $50-55^{\circ}\text{C}$ ，  
水蒸气体积分数占 $12-18\%$ ，  
烟气中蕴含大量的热量。



直接接触式换热器

烟气与水直接接触换热，烟气中的水  
蒸气因低温冷凝产生凝水。



烟囱排放

烟气温度 $30^{\circ}\text{C}$ 左右排放

## 烟气凝水利用过程中出现的问题



### 1. 利用途径不清晰

产生的冷凝水不清楚能用于哪个生产环节



### 2. 未合理处置利用

冷凝水没有明确有效、合理的处理工艺或者不经处理随意使用



### 3. 环境污染

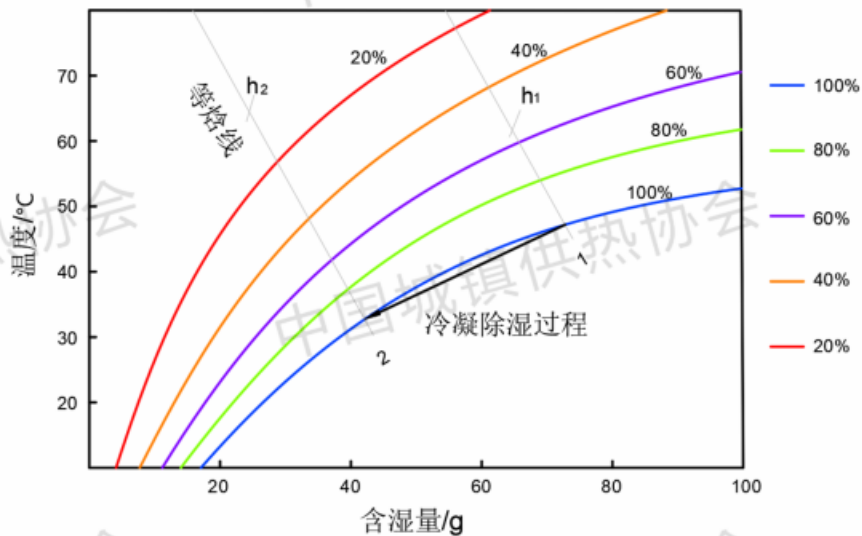
因未做好生产用水的水平衡分析，烟气冷凝水溢流至环境或城镇污水管网，导致环境污染、冲击城镇污水处理系统

02

# 烟气冷凝水量理论分析

Theoretical analysis of flue gas  
condensate water volume

## 烟气冷凝水产生的热力学过程



在冷凝除湿过程中，烟气始终保持饱和状态。

## 烟气冷凝水量计算方法



Antoine方程

$$\ln p_{H_2O} = 9.3876 - \frac{3826.36}{T_{gy} - 45.47}$$



Magnus公式

$$p_{H_2O}(T_d) = A \cdot \exp\left(\frac{B \cdot T_d}{C + T_d}\right)$$

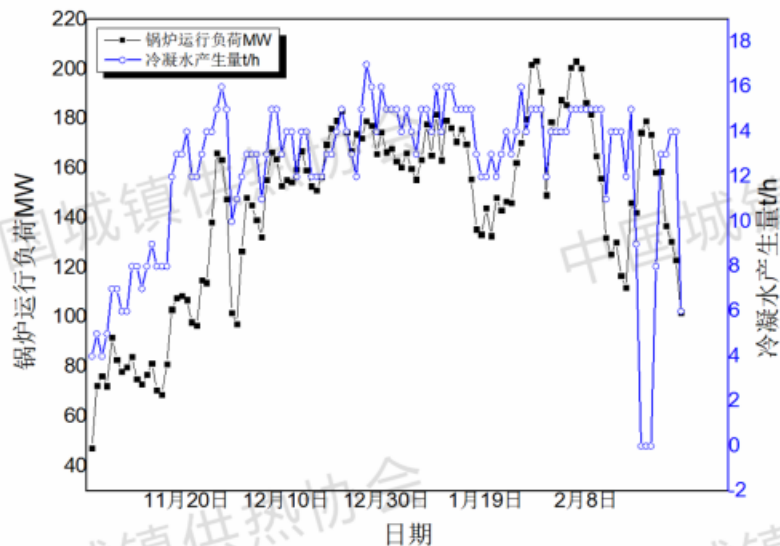
$$T_d = \frac{C \cdot \ln\left(\frac{p_{H_2O}}{A}\right)}{B - \ln\left(\frac{p_{H_2O}}{A}\right)}$$



道尔顿分压定律

$$d = 622 \times \frac{p_{H_2O}}{0.1 - p_{H_2O}}$$

# 烟气冷凝水产生量



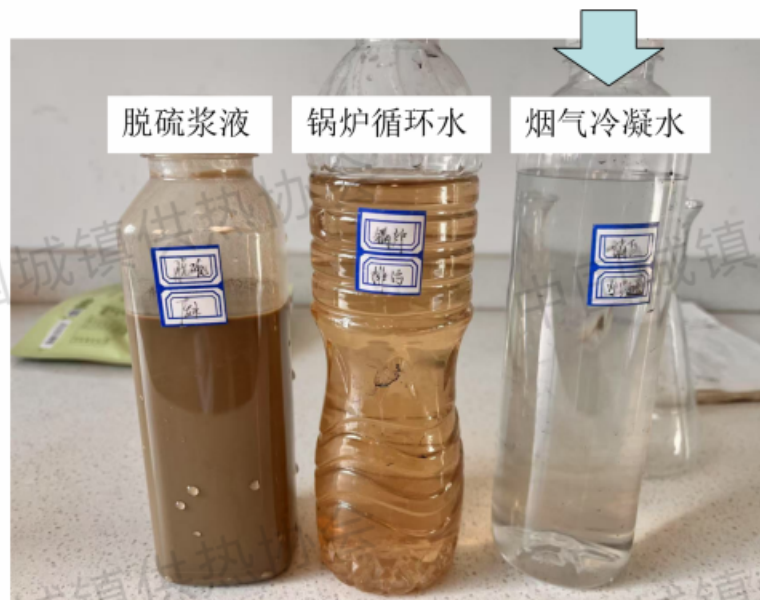
负荷64MW (燃煤量 20t/h)	换热器进口烟气温度/℃										
	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
25	8.8	9.7	10.7	11.7	12.8	13.9	15.2	16.5	17.8	19.3	20.8
26	8.3	9.2	10.2	11.2	12.3	13.5	14.7	16.0	17.4	18.8	20.4
27	7.8	8.7	9.7	10.8	11.8	13.0	14.2	15.5	16.9	18.3	19.9
28	7.3	8.2	9.2	10.2	11.3	12.5	13.7	15.0	16.4	17.8	19.4
29	6.8	7.7	8.7	9.7	10.8	12.0	13.2	14.5	15.8	17.3	18.8
30	6.2	7.1	8.1	9.1	10.2	11.4	12.6	13.9	15.3	16.7	18.3
31	5.6	6.5	7.5	8.5	9.6	10.8	12.0	13.3	14.7	16.1	17.6
32	5.0	5.9	6.9	7.9	9.0	10.1	11.4	12.6	14.0	15.5	17.0
33	4.3	5.2	6.2	7.2	8.3	9.5	10.7	12.0	13.3	14.8	16.3
34	3.6	4.5	5.5	6.5	7.6	8.7	10.0	11.3	12.6	14.1	15.6
35	2.8	3.7	4.7	5.7	6.8	8.0	9.2	10.7	11.9	13.3	14.8
36	2.0	2.9	3.9	4.9	6.0	7.2	8.4	9.7	11.1	12.5	14.0
37	1.1	2.1	3.0	4.1	5.2	6.3	7.5	8.8	10.2	11.6	13.2
38	0.2	1.2	2.1	3.2	4.3	5.4	6.6	7.9	9.3	10.7	12.3

# 03

## 冷凝水水质特点及水质成分对各系统的影响

The characteristics of condensate water quality and the influence of water quality components on various systems

## 烟气冷凝水水质特点



水质指标	测定值
pH	3.6
氯化物 (Cl <sup>-</sup> ) (mg/L)	92.5
挥发份 (mg/L)	0.0016
总氰化物 (mg/L)	<0.004
总汞 (mg/L)	0.00022
总砷 (mg/L)	0.002
总铜 (mg/L)	<0.006
总锌 (mg/L)	0.038
总铅 (mg/L)	<0.05
总镉 (mg/L)	<0.005
六价铬 (mg/L)	<0.004
氟化物 (mg/L)	2.86
氨氮 (氨氮(NH <sup>3</sup> -N)) (mg/L)	239
总氮 (湖, 库, 以N计) (mg/L)	430
硫酸盐 (以SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 计) (mg/L)	1035
总铁 (mg/L)	0.46
总锰 (mg/L)	0.062
浊度 (NUT)	5.78
二氧化硅 (mg/L)	1.12
硝酸亚氮 (mg/L)	0.922
钠 (mg/L)	228
钙 (mg/L)	11.4
高锰酸盐指数 (mg/L)	1.7
悬浮物 (mg/L)	45.2
COD (mg/L)	0.52

## 冷凝水不处理直接用于脱硫系统的影响



1 脱硫浆液PH、密度调整困难、药剂消耗量增加

2 浆液密度增高设备磨损

3 副产物石膏含水率高，脱水困难

# 进入脱硫系统的水质要求

ICS 27.020  
P 60  
备案号: J2160-2016

**DL**

中华人民共和国电力行业标准

P DL/T 5196—2016

代替 DL/T 5196—2004

## 火力发电厂石灰石—石膏湿法 烟气脱硫系统设计规程

Code for design of limestone / gypsum wet flue gas  
desulfurization system of fossil fired power plant

2016-01-07 发布

2016-06-01 实施

国家能源局 发布

## 通过冲洗除雾器进入吸收塔的工艺水水质要求

序号	项目	含量
1	pH	7-8
2	Ca <sup>2+</sup>	不宜超过200mg/L
3	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	不宜超过400mg/L
4	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	不宜超过10mg/L
5	总悬浮固形物	不宜超过1000mg/L

## 直接进入脱硫系统的工艺水水质要求

序号	项目	含量
1	pH	6.5-9.0
2	总硬度 (以CaCO <sub>3</sub> 计)	不宜超过4500mg/L
3	Cl <sup>-</sup>	不得超过600mg/L, 不宜超过300mg/L
4	COD	不宜超过30mg/L
5	氨氮 (以N计)	不宜超过10mg/L
6	总磷 (以P计)	不宜超过5mg/L
7	阴离子表面活性剂	不宜超过0.5mg/L
8	油类	不宜超过0.00mg/L

# 进入热泵机组的水质要求

GB 18431-2014

GB

中华人民共和国国家标准

GB/T 18431—2014  
代替 GB/T 18431—2004

蒸汽和热水型溴化锂吸收式冷水机组

Steam and hot water type lithium bromide absorption water chiller

2014-06-24 发布

2014-12-31 实施

中华人民共和国质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 冷却水水质要求

项目	基准值	倾向		
		腐蚀	结垢	
基准项目	酸碱度pH(25℃)	6.5~8.0	○	○
	导电率(25℃)/(μS/cm)	≤800	○	
	氯离子Cl <sup>-</sup> /[mg(Cl <sup>-</sup> )/L]	≤200	○	
	硫酸根离子SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /[mg(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )/L]	≤200	○	
	酸消耗量 (pH=4.8)/[mg(CaCO <sub>3</sub> )/L]	≤100		○
	全硬度/[mg(CaCO <sub>3</sub> )/L]	≤200		○
参考项目	铁 Fe/[mg(Fe)/L]	≤1.0	○	○
	硫离子S <sup>2-</sup> /[mg(S <sup>2-</sup> )/L]	不应检出	○	
	氨离子 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /[mg(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )/L]	≤1.0	○	
	氧化硅SiO <sub>2</sub> /[mg(SiO <sub>2</sub> )/L]	≤50		○

注：“○”表示腐蚀或结垢倾向的有关因素。



04

# 烟气冷凝水利用途径分析

Analysis of the Utilization Pathways of  
Flue Gas Condensate Water

## 烟气余热回收产生的冷凝水去向



### 1.处理后回用

处理后用于生产用水。处理后的水质条件应满足**湿法脱硫系统**和**热泵机组**的水质要求。水处理工艺复杂，成本高，但环保并能实现水资源重复利用。

### 2.处理后外排

处理后排放，排放标准较低，水处理工艺简单，成本低，但易造成环境污染，同时造成水资源浪费。



## 烟气冷凝水处理后回用→用水分析

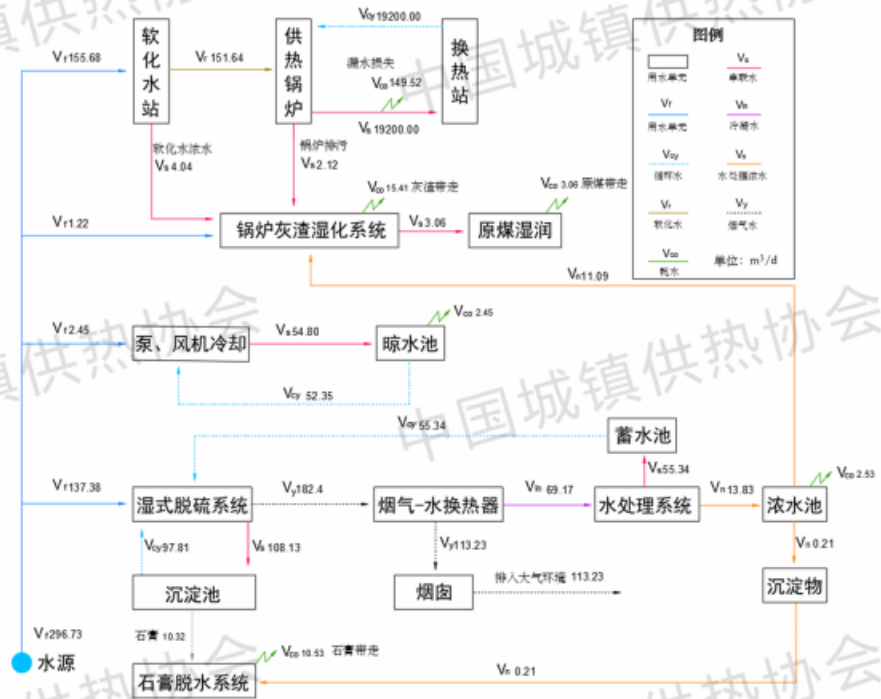
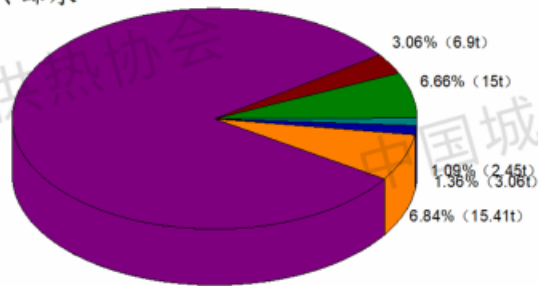
### 热源耗水情况



# 各系统用水情况统计

- 脱硫系统
- 脱硝系统
- 锅炉一次网水
- 泵、风机冷却水
- 原煤湿润
- 灰渣湿化

80.99%  
(182.4t)

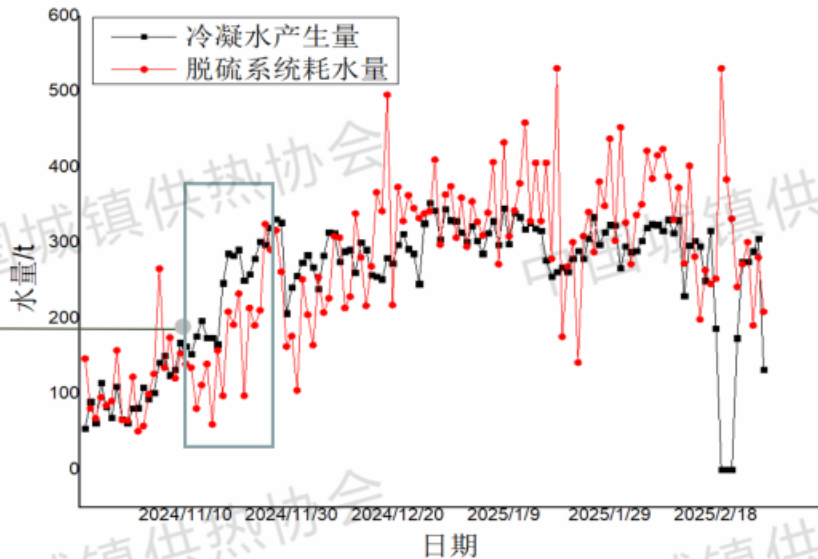


## 烟气冷凝水产生与湿法脱硫系统用水情况统计

生产运行期内，湿法脱硫系统耗水量34467吨，烟气余热回收系统冷凝水产生量32234吨。

### 偏差情况

部分时间段内，湿法脱硫系统用水量低于烟气余热回收系统烟气冷凝水的产水量。易造成外溢问题。



## 处理回用的水处理技术路线

### 预处理

工艺：化学软化 + 沉淀 + 过滤  
去除：悬浮物、钙离子、镁离子、  
重金属离子等

**产生浓盐水及固体沉淀物**

### 减量浓缩

工艺：膜法浓缩、热法浓缩

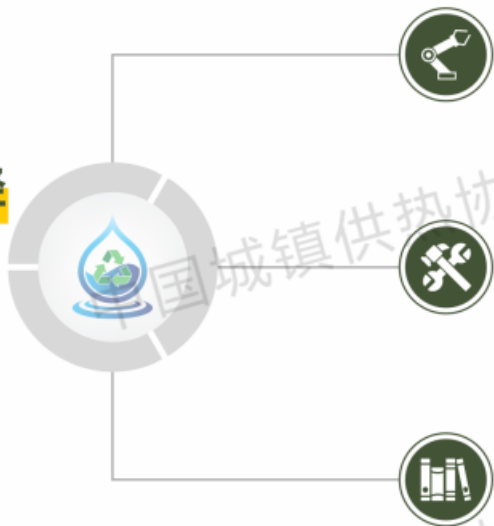
**浓盐水减量**

### 末端固化

工艺：蒸发塘技术、蒸发结晶技术MED  
MVR、烟气蒸发干燥技术

**浓盐水固化 产生固体废物**

## 烟气冷凝水的利用路径



### 处理后净水

脱硫系统补水

### 高含盐浓水

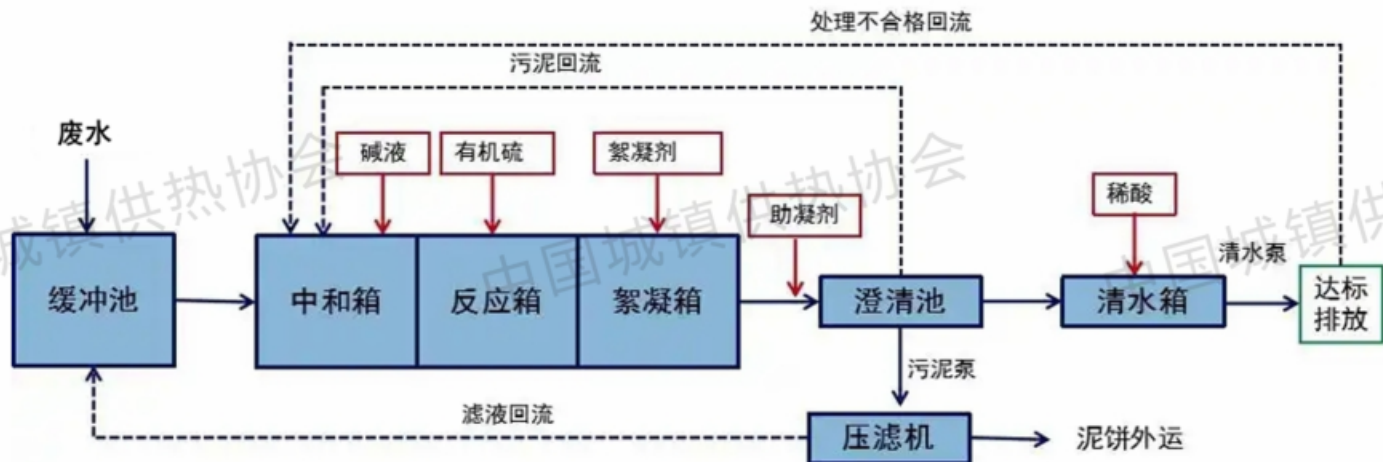
冲渣及原煤湿润

### 固体沉淀物

与脱硫石膏掺混统一处理

## 烟气冷凝水对外排放的水处理技术路线

传统“三联箱”水处理方法



# 05

## 结论

Conclusion



## 结论

- 1** 燃煤锅炉烟气余热回收过程中产生的冷凝水成分复杂，不经处理直接用于脱硫系统，易导致脱硫系统有害离子成分富集，增加运行失控风险。同时，也会增加热泵机组腐蚀结垢的风险。所以，烟气冷凝水应先处理且水质条件应同时满足溴化锂吸收式热泵机组及湿法脱硫系统补水水质要求。
- 2** 烟气冷凝水最佳利用途径为：处理后的烟气冷凝水用于湿式脱硫系统补水，可降低脱硫系统原水利用量约30%。由于湿法脱硫系统用水需求与烟气余热回收系统产水量在时间上存在一定的偏差，应根据实际需要建立应急蓄水池，防止外溢造成二次污染。同时，水处理浓水可用于冲渣及原煤湿润，产生的固体沉淀物与脱硫石膏掺混统一处理。但由于浓水产生量大于冲渣及原煤湿润用水量，需经过水处理达到外排标准后再进行排放。



**承德热力**  
Chengde Heating Group

**谢谢大家!**