

上海电气环保超低排放 “消烟羽” 技术介绍



上海电气电站环保工程有限公司

2019年7月31日

集团介绍



上海电气是一家大型综合性装备制造集团，主导产业聚焦能源装备、工业装备、集成服务三大领域，致力于为客户提供绿色、环保、智能、互联于一体的技术集成和系统解决方案。产品包括火力发电机组（煤电、气电）、核电机组、风力发电设备、输配电设备、环保设备、自动化设备、电梯、轨道交通和机床等。改革开放以来，上海电气诞生了一大批世界领先的创新产品，如首套百万千瓦超超临界燃煤发电机组、三代核电核岛和常规岛主设备、大型海上风电设备、西气东输的高频电动机等。近年来集团营业收入保持在900亿元左右。



 **总资产**
¥ 2302 亿元

 **营业收入**
¥ 918 亿元

 **员工数量**
4.7万人

 **有效专利**
4727件

 **品牌价值**
¥ 602 亿元

公司介绍



上海电气电站环保工程有限公司是上海电气集团股份有限公司的子公司，也是国内较早成立的专业从事脱硫、脱硝和电除尘系统工程以及废水处理、垃圾焚烧、生物质发电等总承包业务的一家上海市高新技术企业。



公司与IHI签订了完整的技术转让合同，成系列的拥有脱硫技术，SCR 脱硝技术（自主研发SNCR和低氮燃烧）以及低低温电除尘技术，并通过自主研发及工程设计经验积累。拥有废水处理、固体废弃物处理、生物质资源化及生态修复等技术，是一家集研发、设计、工程、服务于一体的工程公司。

公司资质



- ✓ 环境工程（大气污染防治工程）专项甲级
- ✓ 环保工程专业承包一级
- ✓ 防水防腐保温工程专业承包二级
- ✓ 市政公用工程施工总承包三级
- ✓ 建筑机电安装工程专业承包三级
- ✓ 钢结构工程专业承包三级
- ✓ 安全生产许可证
- ✓ ISO9001质量管理体系认证
- ✓ ISO14001环境管理体系认证
- ✓ OHSAS18001职业健康安全管理体系认证
- ✓ 中国环境保护骨干企业
- ✓ 中国百佳环保高新技术企业

技术专利



自主专利76项，其中发明37项，实用新型39项；



Content 目录

- 01 / 烟羽的形成**
- 02 / 烟羽的执行标准**
- 03 / “消烟羽” 技术**
- 04 / 主要成功案例**
- 05 / 项目方案**

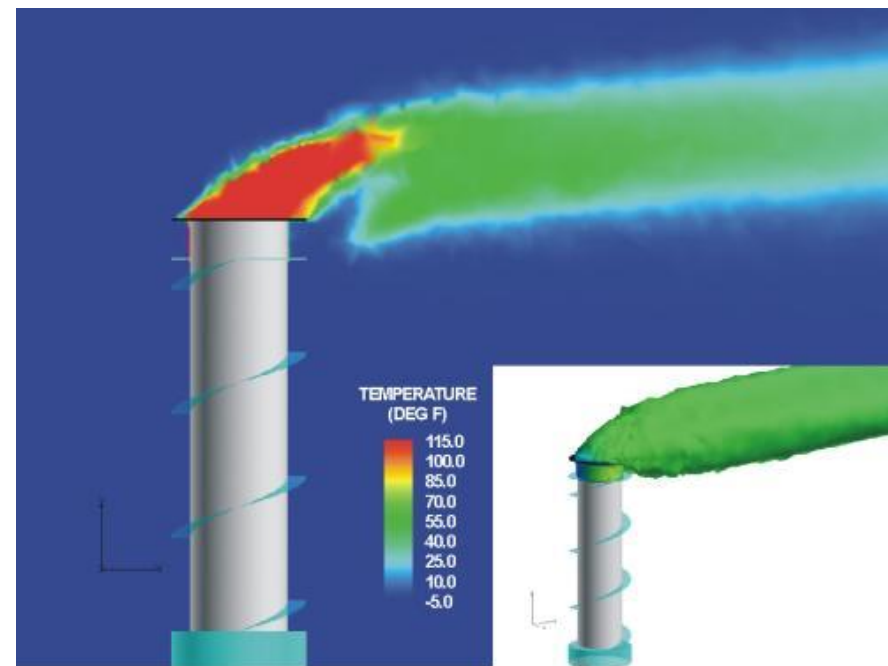
Chapter 01

烟羽的形成

01 / 烟羽的形成

何为烟羽

烟气在烟囱口排入大气的过程中因温度降低，烟气中部分汽态水和污染物会发生凝结，在烟囱口形成雾状水汽，雾状水汽会因天空背景色和天空光照、观察角度等原因发生颜色的细微变化，形成“有色烟羽”，通常为白色、灰白色或蓝色等颜色。



01 / 烟羽的形成

白色烟羽

原火电发电设备无脱硫装置，烟气从除尘器后直接排入烟囱，温度通常在120-150C°，称为干烟气。增设脱硫装置后，烟囱排出烟气温度降低，烟气变为饱和湿烟气。该类烟气与温度较低的环境空气接触时，在烟气降温过程中，烟气中所含**水蒸气冷凝成液态**，烟气透光率下降，凝结水滴对光线产生折射、散射，从而表现出烟囱冒白烟现象。随着烟气在大气中的进一步扩散，液滴浓度降低，同时水蒸汽分压降低、饱和温度下降不再继续冷凝，已冷凝液滴重新蒸发，透光率提高，进而白烟又逐步减少直至消失。



01 / 烟羽的形成



蓝色烟羽

“蓝烟”的形成原因，主要因为烟羽中**SO₃**、**NH₃**等粒子产生的气溶胶在光照条件下反射引起。SO₃、NH₃的排放成为影响烟羽颜色和不透明度最主要的因素。在大多数情况下，当烟气中硫酸气溶胶、NH₃气溶胶的浓度超过10-20ppm时，会出现可见的蓝烟烟羽，而且硫酸气溶胶、NH₃气溶胶的浓度越高，烟羽的颜色越浓、烟羽的长度也越长，严重时甚至可以落地。同时尾迹的问题还与当时的气相条件相关，在阴天和在晴天所看到的“蓝烟”程度是不一样的。消除“蓝烟”，关键是减少SO₃、NH₃在排放烟气中的浓度。

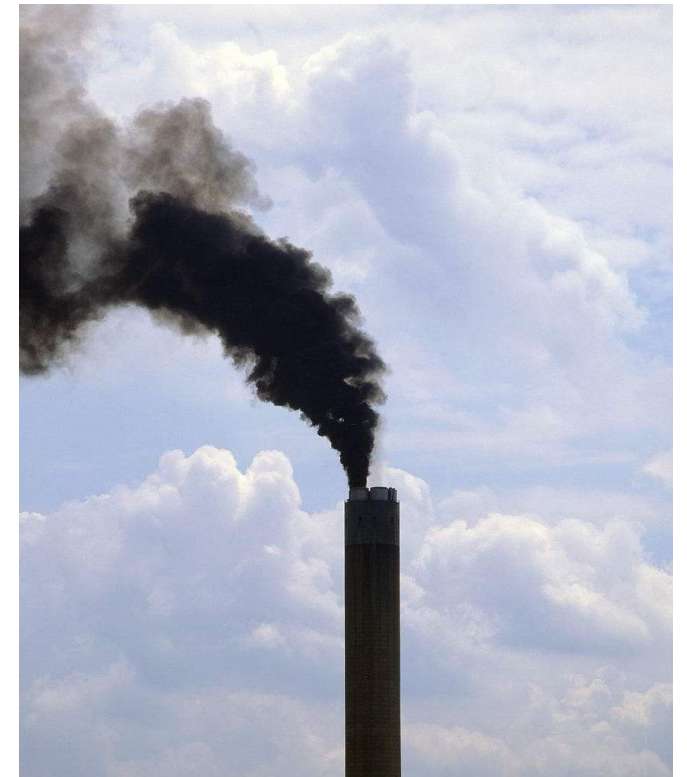
01 / 烟羽的形成

黑色、灰色烟羽

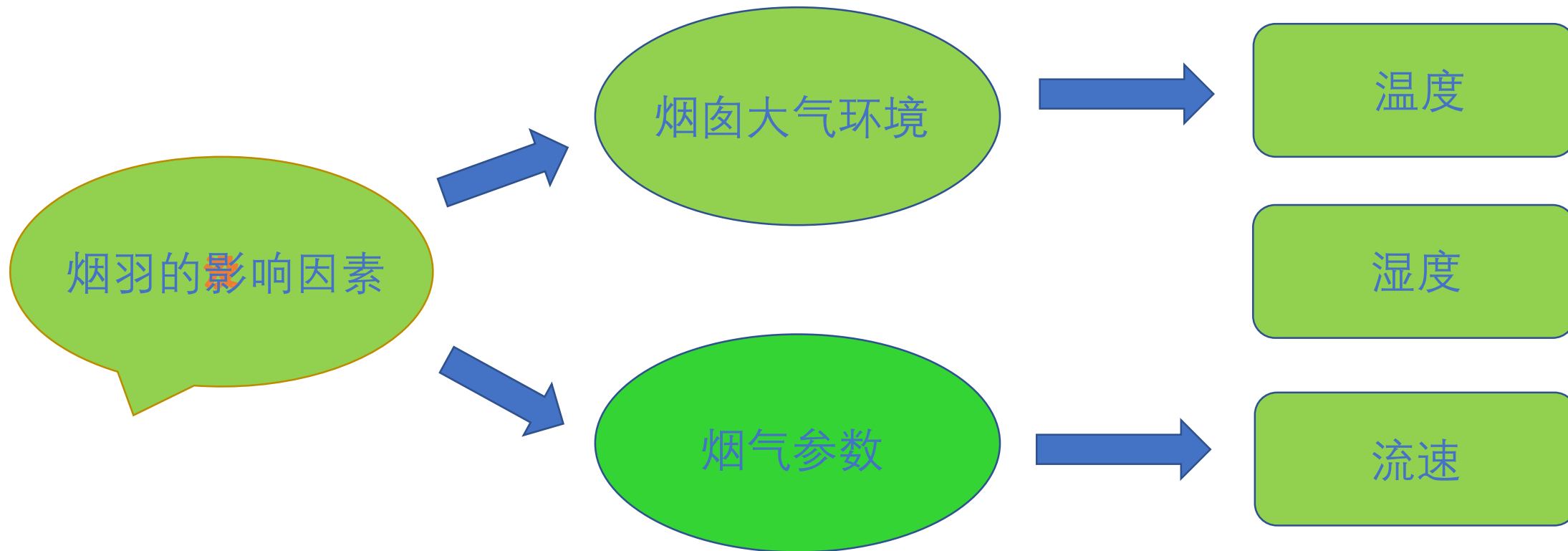
灰色、黑色烟羽的形成原因主要有两种：

第一种原因主要是未运行除尘装置或者除尘装置故障时，**烟气未经除尘装置处理直接排出烟囱**，烟囱出口冒出滚滚黑烟，此种现象多出现于上个世纪末的工厂，当时国家处于经济快速发展阶段，虽然国家出台了相应的环保排放标准，但是企业的环保意识较低，为了降低运行费用，往往在夜间关停除尘装置，而导致烟囱出口出现黑烟现象。目前国家的环保标准非常严格，且惩罚措施严厉，此种原因导致的黑烟现象已不会出现。一旦烟囱出口污染物排放浓度超标，机组就需要立即关停。

第二种原因是**天气原因**，人眼之所以能看到东西，是因为光线在照射到物体表面，发生反射，反射后的光源进入人眼被视网膜识别成像。而在**环境光线较暗**的情况下，所能反射的光源较少，人眼接受到的光源亦较少，人眼看物体会感觉发黑、发暗。烟囱出口排放的烟羽实为白色烟羽，之所以人为视觉上感觉“发暗、发黑”，实际为光线较暗的情况下，烟囱烟气所能折射出来进入人眼的光源较少，特别是在阴雨天气和傍晚时分。此种原因产生的灰色烟羽只是视觉问题，并未对环境质量有直接的影响。



01 /烟羽的形成



Chapter 02

烟羽的执行标准

02 / 烟羽的执行标准



上海市

采取烟气加热技术的，正常工况下排放烟温应持续稳定达到 75°C以上，冬季（每年 11 月至来年 2 月）和重污染预警启动时排放烟温应持续稳定达到 78°C以上；采取烟气冷凝再热技术且能达到消除石膏雨和白色烟羽同等效果的，正常工况下排放烟温必须持续稳定达到 54°C以上，冬季和重污染预警启动时排放烟温应持续稳定达到 56°C以上。

浙江省

要求同上海。

邯郸市

正常工况下冷凝阶段降温2°C以上，烟温达到48°C以下，加热阶段排放烟温达到54°C以上；冬季冷凝阶段降温5°C以上，烟温达到45°C以下，加热阶段烟温达到60°C以上，烟气水分回收率达到30%-50%。

河北省

烟温控制采取降温冷凝方法的，正常工况下，夏季（4-10月）冷凝后烟温达到48°C以下，烟气含湿量11.0%以下；冬季（11月-次年3月）冷凝后烟温达45°C以下，烟气含湿量9.5%以下。鼓励燃煤发电企业利用回收余热或其他方式对烟气再加热。

唐山市

10月底前完成45家钢铁企业烧结(球团)烟气脱硝、湿法脱硫烟气“脱白”、无组织排放治理。9月底前完成19家燃煤电厂(含自备电厂、煤和其他能源混烧电厂)湿法脱硫烟气“脱白”治理。

天津市

非采暖季（4月至10月）烟气排放温度不得高于48°C；采暖季（11月至次年3月）烟气排放温度不得高于45°C。燃煤锅炉采取相应技术降低烟气排放温度后，可利用余热或其他方式对烟气再加。

Chapter 03

“消烟羽”技术

03 /

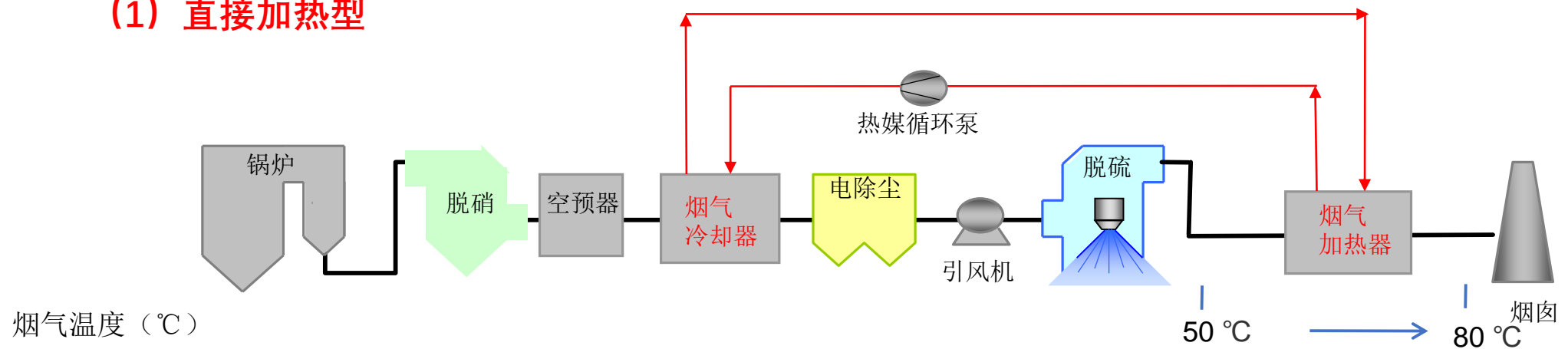
“消烟羽” 技术



MGGH换热器

我司的mggh消烟羽技术主要是通过改变烟囱排放烟气的温度及湿度来达到消除烟羽的效果。根据不同形式共分为三大类：

(1) 直接加热型



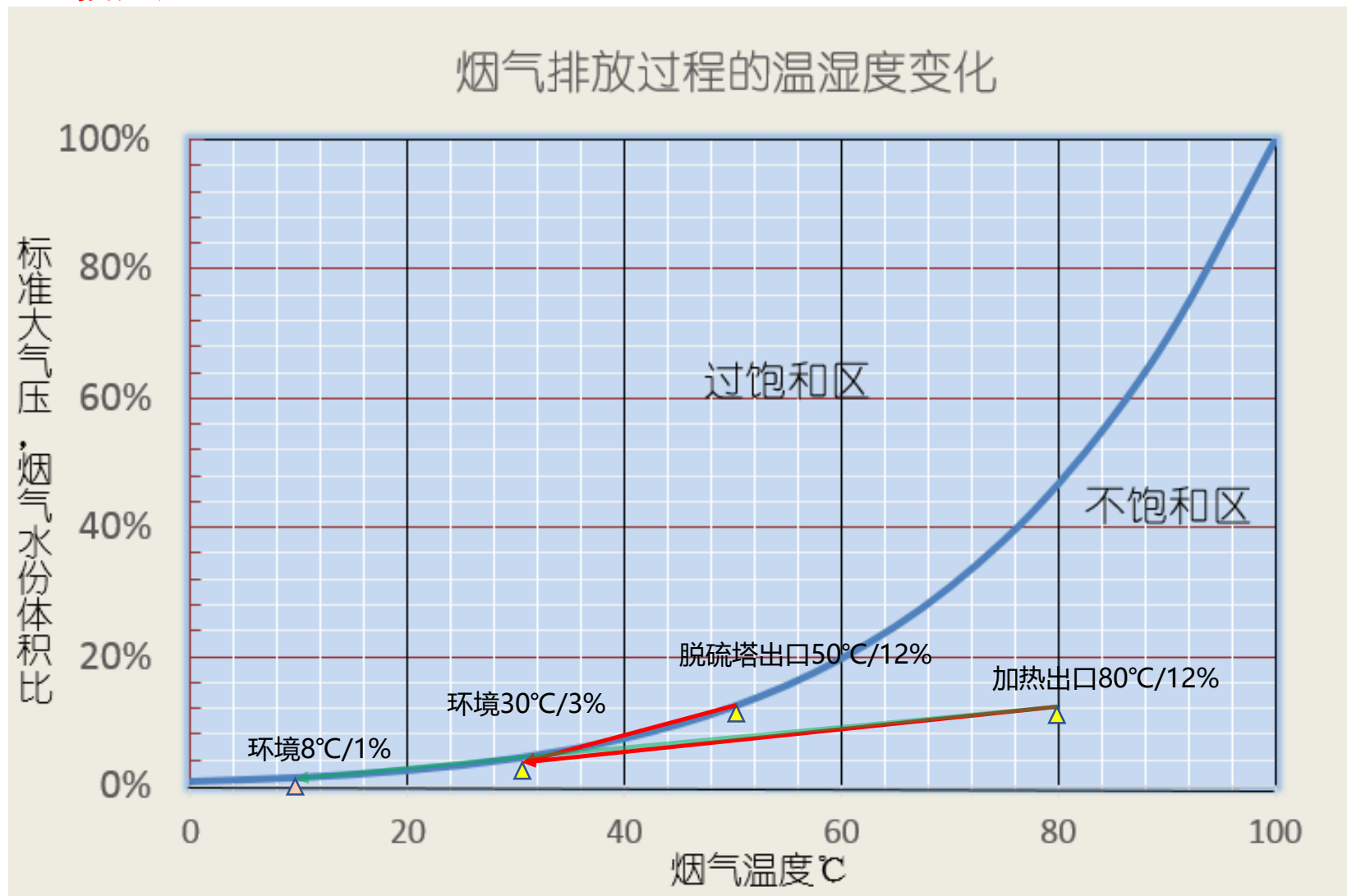
设备组成：烟气加热器、烟气冷却器（若需）、循环泵等。

加热热量来源：1、通过增设在脱硫塔前的烟气冷却器回收热量，由循环水为换热媒介加热尾部烟气。若是原先超净改造已有低温省煤器可以直接进行改造作为烟气冷却器。

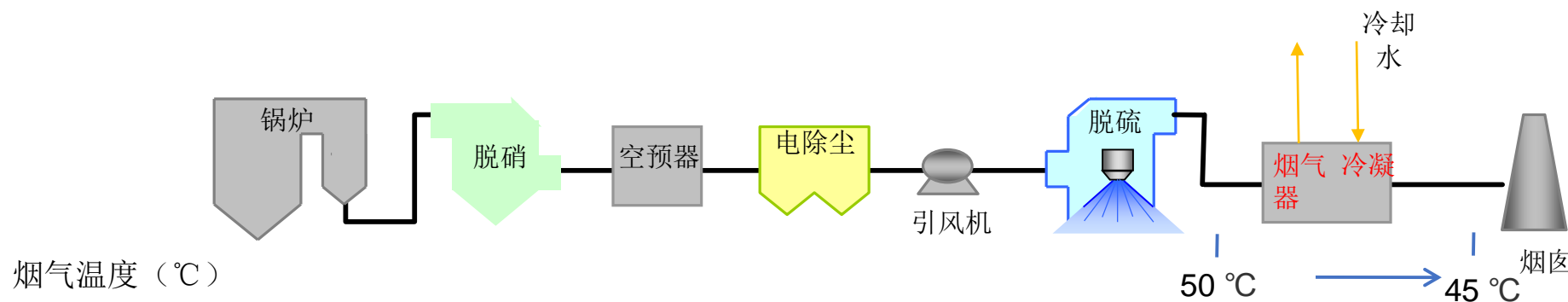
2、向烟气加热器中通入蒸汽迅速加热尾部烟气，但耗能较大。

设备特点：该套产品具有系统简易，效果明显的特点。系统若采用烟气冷却器回收热量，能耗较低主要是循环泵的电耗。难点在于由于地区、气候、烟囱高度差异，最终的排烟温度需要通过较为严谨的理论计算才能得出。在实际运行中，条件参数变化大，冬季工况下需要投入辅助蒸汽进一步提高排放烟气温度达到消除烟羽的效果。

(1) 直接加热型



(2) 快速冷凝型



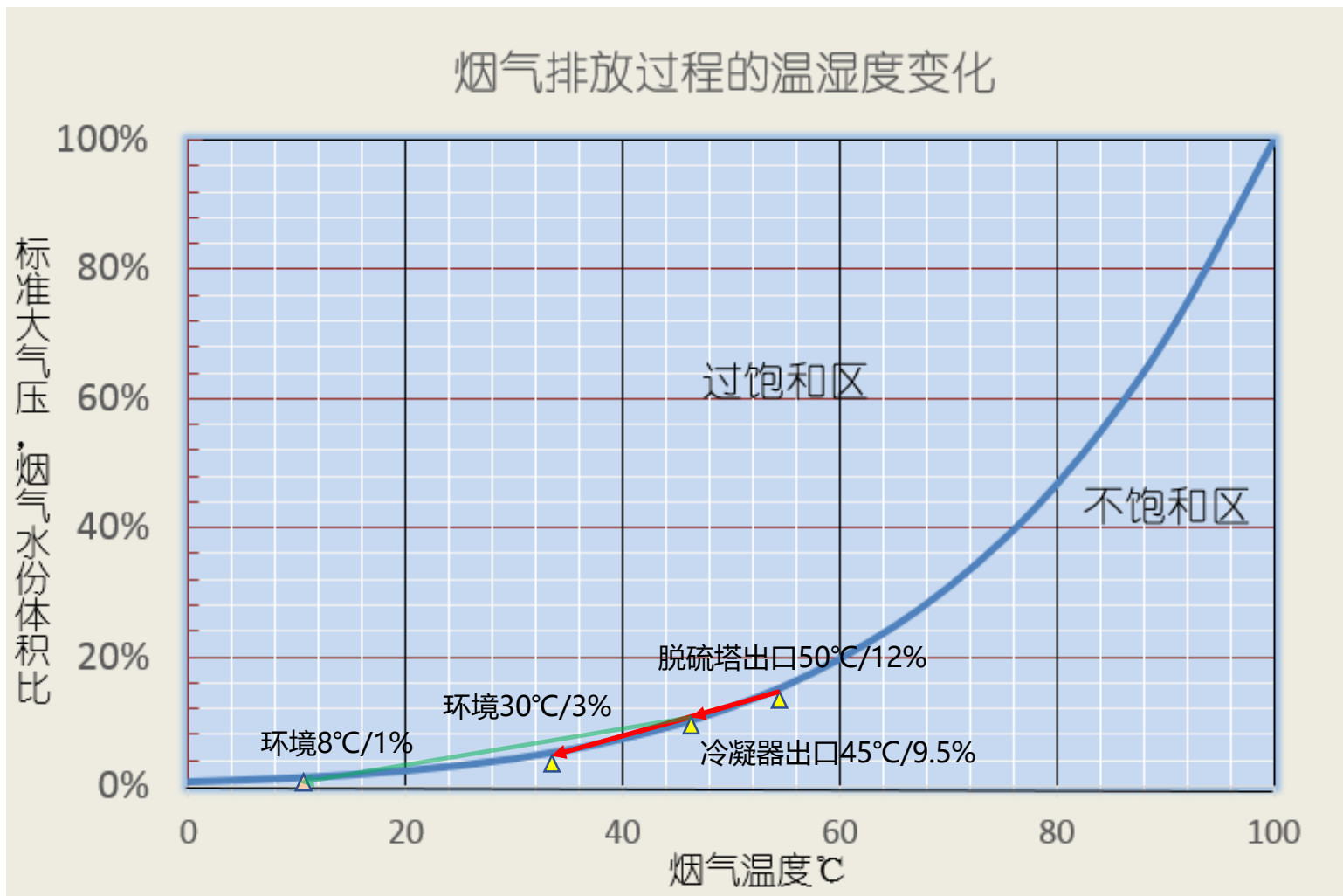
设备组成：烟气冷凝器、增压泵等。

降温热媒来源：1、电厂需加热常温除盐水

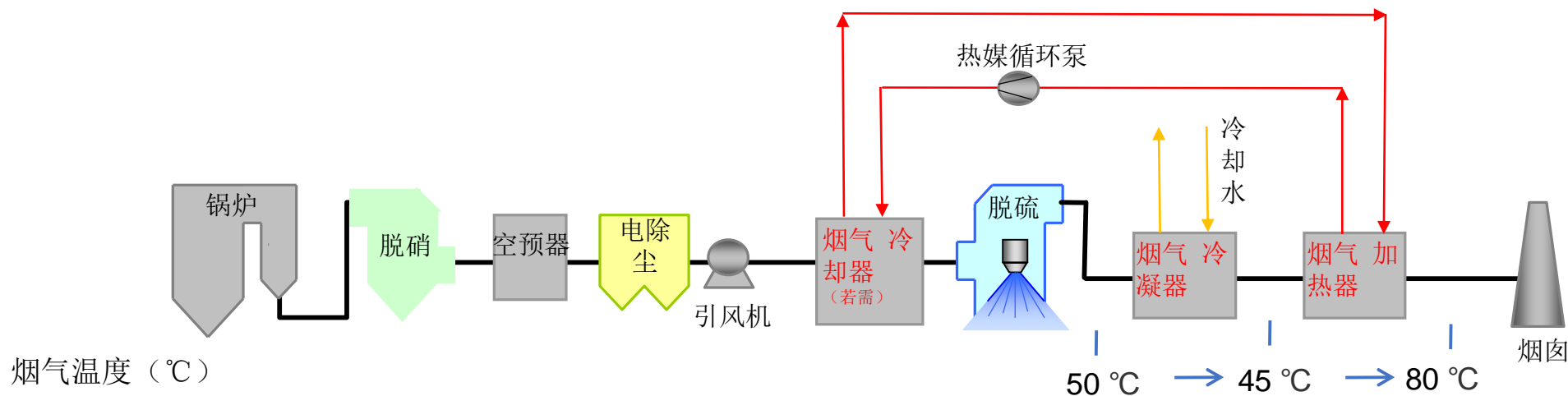
2、形成闭式循环，通过烟气冷凝器加热后的热媒与外界冷却水换热降温。

设备特点：该套产品通过烟气冷凝器，将烟气快速降低3-5°C，将饱和湿烟气中的水蒸汽析出，以到达减少排放烟气湿度的目的。析出的冷凝水通过冷凝器下部的漏斗回收，可以进行简单的水处理回收利用。该设备对本体及下游设备的材质要求较高，耐腐蚀性等级需求高。由于降温后仍为饱和湿烟气消除烟羽的效果不明显，但在冷凝过程中可以将气溶胶转化为雾滴收集。

(2) 快速冷凝型



(3) 冷凝升温型

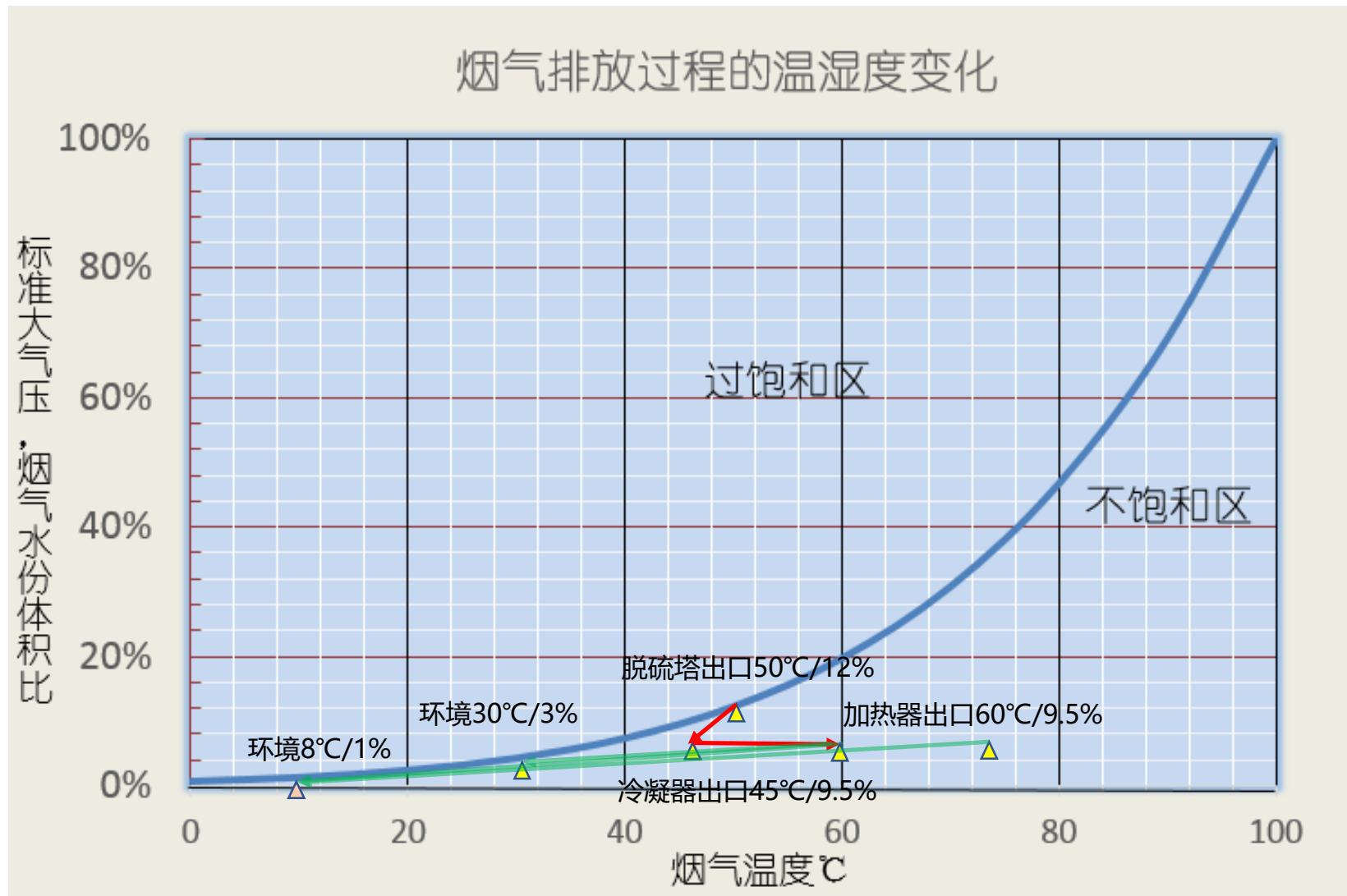


设备组成：烟气加热器、烟气冷凝器、烟气冷却器（若需）、循环泵等。

系统结构：先通过烟气冷凝器降低烟气温度，然后加热，降低烟气中的湿度又提高了烟气的温度。

设备特点：该套产品通过烟气冷凝器，烟气加热器的组合应用，改变决定烟羽的两个要素含湿量及温度，使消除白烟达到最佳的效果。烟气加热器无需将烟囱入口排烟温度提升至常规80°C，减轻了冬季工况对辅助蒸汽的需求。部分排烟温度较高的电厂还可以将冷却器、冷凝器回收的热量加热汽机凝结水进一步节能。

目前，国内大部分电厂都已经进行了mggh系统超净排放，但是由于回收热量有限、冬天气温寒冷等因素，消烟羽效果并不理想。该套产品尤其适用于此类电厂，仅需在原有的烟气加热器前设置一台烟气冷凝器就可以大幅度提高消烟羽效果。



增设烟气冷凝器的额外收益：

（一）回收大量凝结水

机组容量	烟气中凝结水理论回收量
300WM机组	20t/h（温降5℃）
600WM机组	50t/h（温降5℃）
1000WM机组	90t/h（温降5℃）

注：1、煤质不同回收水量也将大大不同

2、烟气冷凝技术是目前比较成熟的技术可以帮助电厂在采用空冷等一系列节水技术的基础上，进一步降低水耗指标。

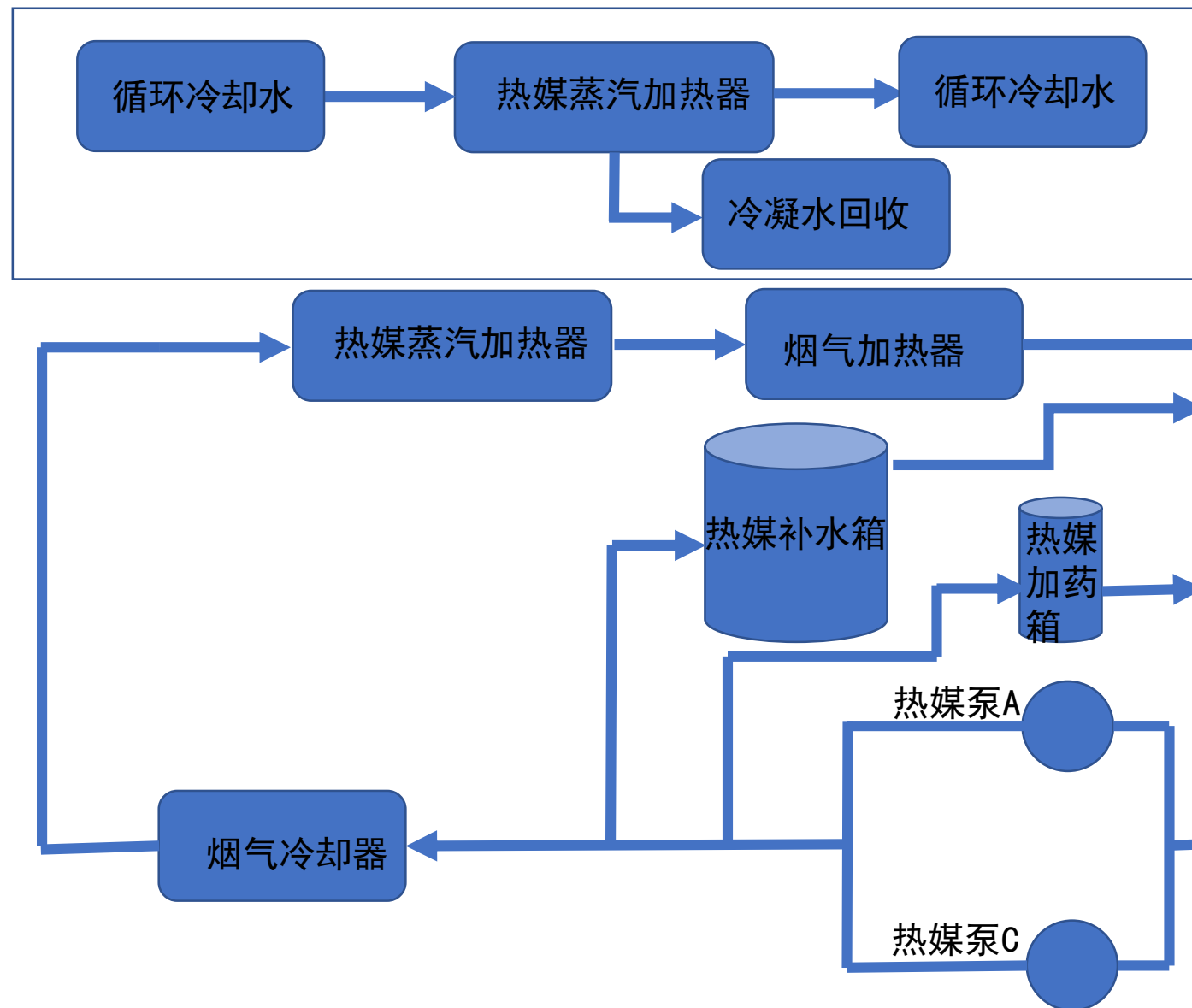
（二）降低粉尘含量及可溶性盐、有机物等

烟气冷凝过程为相变过程，在换热管表面会形成液膜夹带部分烟尘进入冷凝水回收系统，实现一定的降尘功能。

项目	单位	数量
PH		3.3
COD	mg/l	54.10
CL ⁻	mg/l	820.0
悬浮物	mg/l	33
电导率	μ s/cm	1300

凝结水回收水质分析

烟气换热器系统
烟气冷凝系统
热媒水系统
凝结水加热系统
热媒水加药系统
蒸汽吹灰系统
蒸汽加热系统



03 / “消烟羽” 技术

◆ 烟气换热器

换热器材质的选择

	烟气冷却器		烟气加热器			烟气冷凝器	
壳体	ND钢		316L			316L	
换热管	高温段	碳钢/ND钢/ 氟塑料	高温段	ND钢/316L	氟塑料	换热段	2205/氟塑料
	低温段		低温段	316L			
			裸管段	2205			

◆ 烟气换热器

换热器形式的选择

(一) 椭圆H型金属翅片管：

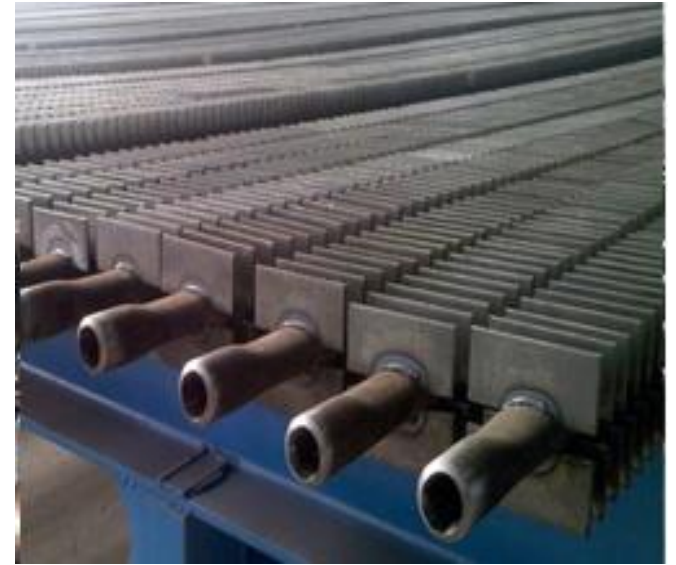
1. 椭圆管型设计减小了烟气的流动阻力，对于同样的换热量，与圆管相比，阻力可降低15%~30%，能满足风机裕量不足の場合，并能降低风机的长期运行电耗

2. 秉承圆管H形肋片结构优点，不易积灰结垢，可以保持换热器长期运行的传热性能

(二) 圆管螺旋金属翅片管：

1. 烟气在通过螺旋形肋片时具有较强的扰动，所以具有良好的传热性能

2. 公司引进日本IHI技术使圆管螺旋翅片结构更紧凑，排列更合理，换热性能最大化



◆ 烟气换热器

换热器形式的选择

(三) 氟塑料圆管：

1. 化学性能稳定，几乎对所有的化学品和溶剂呈惰性，且几乎没有一种溶剂或化合物可在 300°C 以下溶解它。
2. 有固体材料中最小的表面张力，不粘附任何物质；管壁表面光滑且有适度的柔性，不易结垢。后期检修易清洗。
3. 氟塑料换具有极强的热稳定性和热膨胀性，极耐老化，正常情况下可使用15~20年。
4. 密集的结构形式及超薄的壁厚使其拥有较高的换热性能。



烟气换热器的材质选择

- 脱硫塔前冷却器推荐金属管
- 脱硫塔后加热器推荐金属管
- 脱硫塔后高腐蚀区域可采用塑料管

烟气冷凝器的冷源选择

- 机组冷却塔冷却水
- 机组具有较大流量的除盐水
- 增设独立水冷却塔

项目	金属管材	塑料管材
耐磨性	良好	一般
耐腐蚀性	良好	更好
换热性能	良好	一般
设备重量	重	轻
设备造价	正常	高

03 /

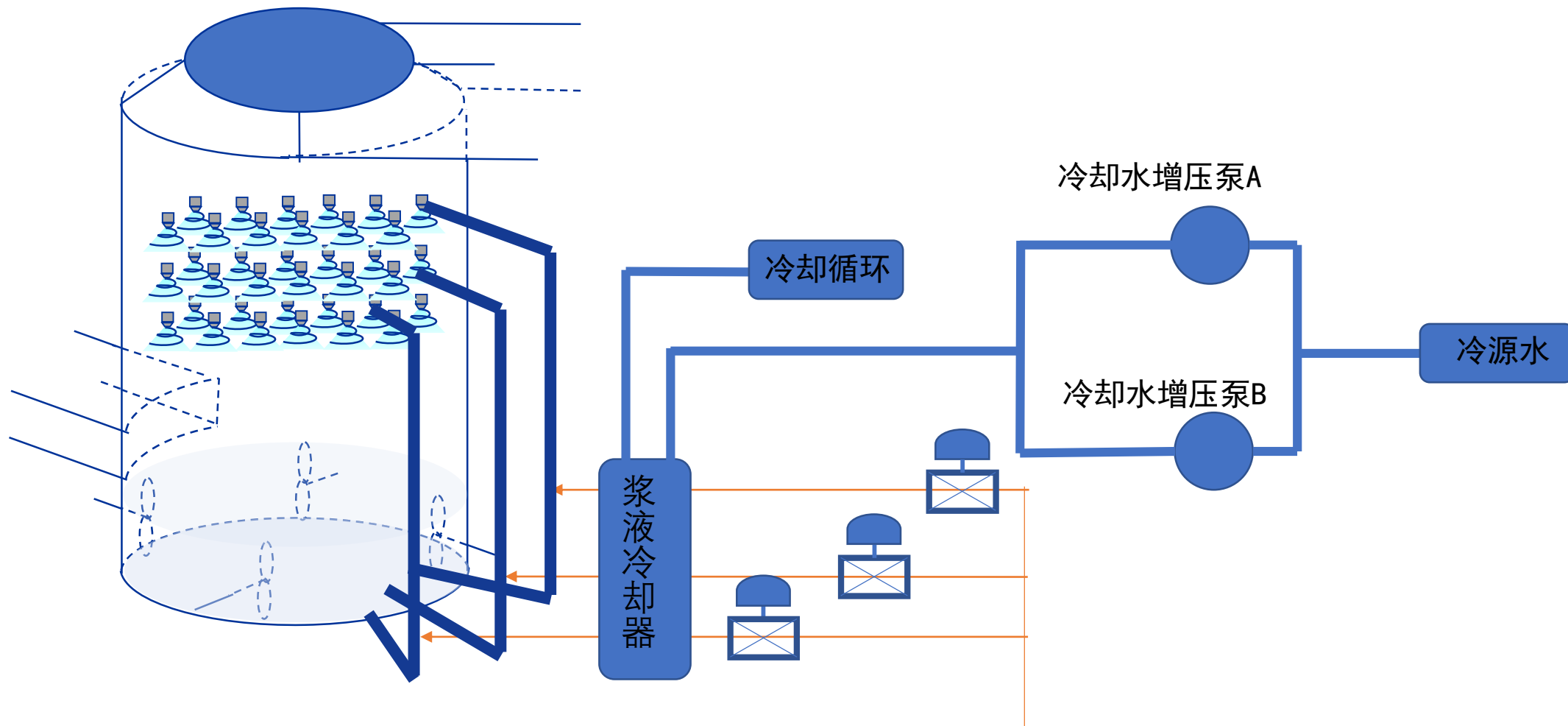
“消烟羽” 技术



浆液冷却技术

03 /

“消烟羽”技术



03 / “消烟羽” 技术

设备组成：浆液冷却器、增压泵、控制阀门等。

系统结构：从厂区内选择合适的水源进入换热器冷却器冷却脱硫喷射浆液，从而降低脱硫塔出口的饱和烟气温度的。

设备特点：

- 工程量小，仅需对脱硫浆液管道进行改造；
- 所需冷却水量小；
- 不增加烟气阻力；
- 系统运行稳定性较差；
- 影响脱硫塔系统水平衡，增加脱硫废水。



◆ 案例分析

	项目	单位	冬季	夏季
改造后	脱硫塔出口烟气流量	Nm ³ /h	86134.44	87341.19
	脱硫塔出口烟气原温度	C°	71.2	71.2
	脱硫塔出口烟气降温	C°	<5	<3
	减少排湿量	t/h	3.79	2.82
	冷却水流量	t/h	180.00	180.00
	冷却水来水温度	C°	25.00	32
	冷却水回水温度	C°	35.00	38.62
	脱硫浆液冷却负荷	MW	2.14	1.38

冷凝效果受季节影响

脱硫废水增加

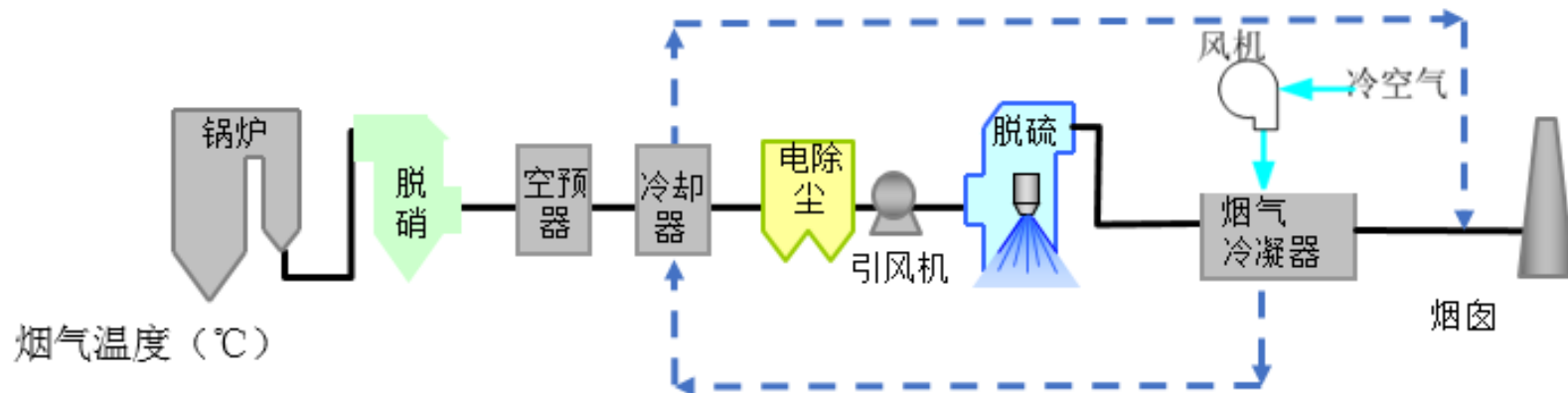
系统水平衡破坏

03 /

“消烟羽” 技术



空气冷凝技术



设备组成：空气冷凝器、引风机、烟气冷却器（若需）等。

系统结构：由风机抽取环境空气作为冷源进入空冷换热器将烟气冷凝。加热后的空气可以：

- ① 直接排放至大气
- ② 进入空预器后的烟气加热器加热后注入烟囱入口

设备特点：

- 采用空气冷凝烟气水蒸气，成本较低；
- 夏季环境温度较高时，冷凝效果影响较大；
- 冷凝用烟气量较大，不适合大型机组。

◆ 案例分析

	项目	单位	冬季	夏季
改造后	脱硫塔出口烟气流量	Nm ³ /h	225400	225400
	脱硫塔出口烟气原温度	C°	71.2	71.2
	脱硫塔出口烟气降温	C°	<2	<1.2
	减少排湿量	t/h	3.75	2.73
	冷却用空气流量	Nm ³ /h	138932	138932
	冷却水来水温度	C°	-5	15
	冷却水回水温度	C°	43	51
	脱硫浆液冷却负荷	MW	2.61	1.96

冷凝效果受季节影响

冷却用空气量大

05 / 上海电气“消烟羽”技术



工艺路线	氟塑料/不锈钢/MGGH加热方式	氟塑料凝水+MGGH加热	浆液冷却技术	空气加热再混合技术
优势	<ul style="list-style-type: none"> 消白烟 性能可靠，有大量业绩。 高排烟温度情况下还可实现烟气余热深度回收 	<ul style="list-style-type: none"> 消白烟 性能可靠 回收大量烟气冷凝水 可实现实现污染物联合脱除 	<ul style="list-style-type: none"> 系统相对简单 不停炉可实施大部分工 总 <p style="text-align: center; font-size: 2em; color: blue;">X 不推荐</p>	<ul style="list-style-type: none"> 冷却介质是空气 系统相对简单 <p style="text-align: center; font-size: 2em; color: blue;">X 不推荐</p>
劣势	<ul style="list-style-type: none"> 无法冷凝烟气水蒸气 无污染物联合脱除功能 无法满足天津、河北等地降温的要求 	<ul style="list-style-type: none"> 冷凝水需求量较大 冷凝效果受季节气候影响 	<ul style="list-style-type: none"> 脱硫 脱硫 高 <p style="text-align: center; font-size: 2em; color: blue;">X 不推荐</p>	<ul style="list-style-type: none"> 冷 大 效 <p style="text-align: center; font-size: 2em; color: blue;">X 不推荐</p>

Chapter 04

主要成功案例

04 / 主要成功案例

上海外高桥第二发电厂（直接加热型）

实际运行DCS参数：

2015年11月27日		单位	数值
负荷		MW	855
冷却器	流量	t/h	401
	进口烟气温度	℃	105.4
	出口烟气温度	℃	90
加热器	流量	t/h	1191
	进口烟气温度	℃	48.2
	出口烟气温度	℃	80
烟囱入口	粉尘	mg/Nm ³	1.2



04 / 主要成功案例

上海外高桥第二发电厂（直接加热型）

实际运行对比图：
改造前



单台机组改造后



工程整体改造后



Chapter 05

项目方案

07 / 项目方案



乌鲁木齐深处大陆腹地，是世界上离海洋最远的城市，属于中温带大陆干旱气候区。气候特点是：温差大，寒暑变化剧烈；降水少，且随高度垂直递增；冬季寒冷漫长，四季分配不均，冬季有逆温层出现。最热的是7、8月，平均气温 25.7°C ；最冷的是1月，平均气温 -15.2°C 。气象局环境温度如下：

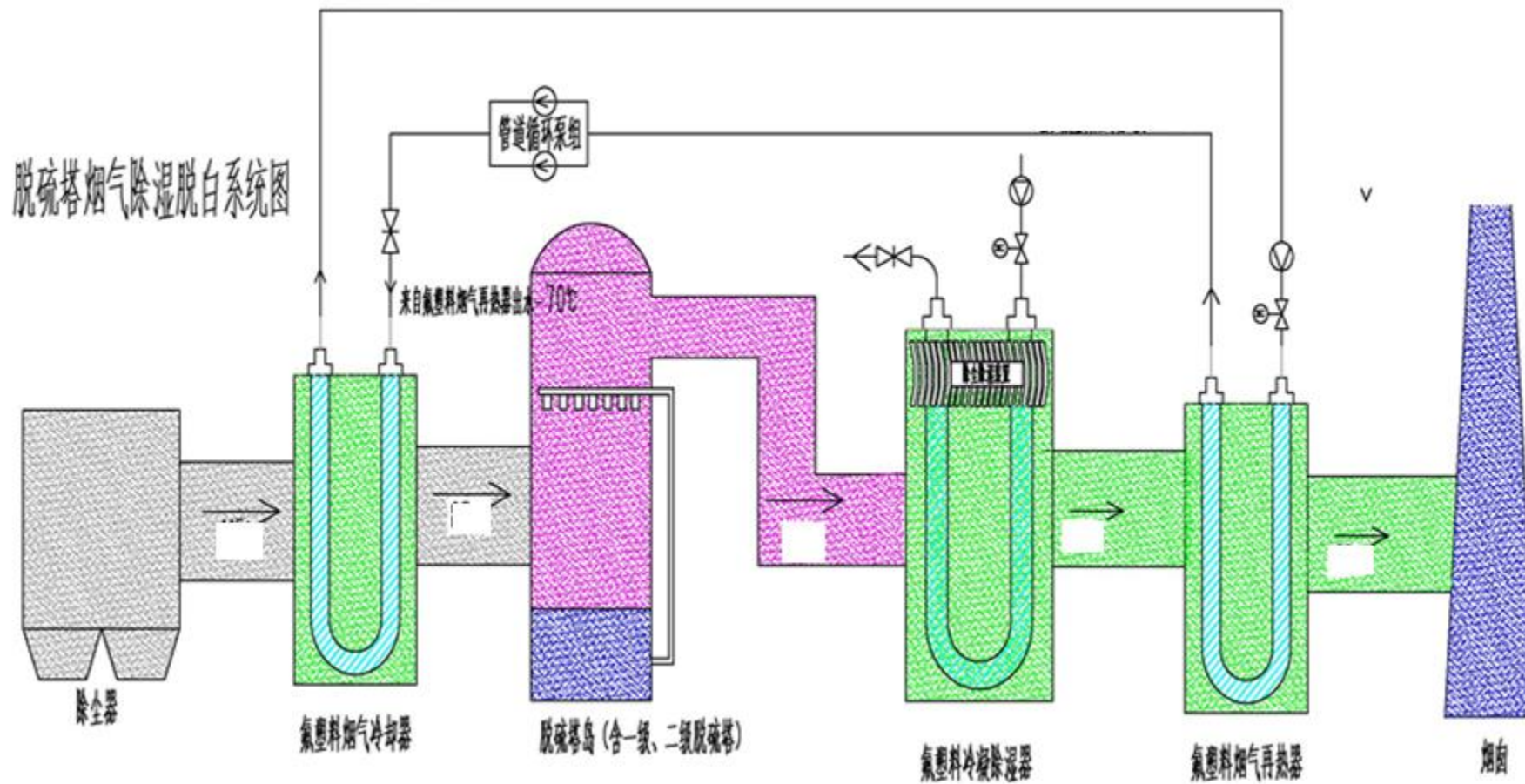
城市	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
乌鲁木齐	-8	-6	3	16	23	28	30	29	23	14	2	-6

根据理论计算，消除白烟方案如下：

季节	脱硫塔出口温度	冷凝降温至	消除白雨需加热温度至
4月至10月	50°C	48°C	75°C
	50°C	50°C	80°C
11月至次年3月	50°C	45°C	90°C
	50°C	40°C	85°C
环境温度 -15°C	50°C	40°C	120°C

05 / 项目方案

工艺路线的选择 (300WM为例)



05 /项目方案



◆ 极端工况

名称	单位	烟气冷却器	烟气冷凝器	烟气加热器
烟气流量	Nm ³ /h	1120000	1180000	1180000
进口烟气温度	C°	135	50	40
出口烟气温度	C°	90	40	120
工质入口温度	C°	70	5	130
出口工质温度	C°	103	28	70
工质流量	t/h	490	1000	490
烟气阻力	Pa	≤600	≤500	≤1400
工质阻力	Mpa	≤0.15	≤0.1	≤0.15
设备尺寸	M	10*9*5.4	10*12*3.5	10*10*9.5
换热面积	m ²	~16000	~9000	~35000
换热管材质		ND	氟塑料	不锈钢
设备总重量 (空重, 不含水)	t	320	100	650

- 烟气加热器设备质量大
- 烟气加热器设备体积大
- 蒸汽耗量27t/h
- 冷凝水增压泵功率160kw
- 循环水泵功率110kw
- 回收凝结水36t/h

05 /项目方案



◆ 极端工况采用冷风注入装置方案

名称	单位	烟气鼓风装置	烟气加热器
烟气流量	Nm ³ /h	1180000	1180000
进口烟气温度	C°	50	20
出口烟气温度	C°	20	90
空气入口温度	C°	-15	
空气注入流量	m ³ /h	800000	
空气占烟气比		85%	

- 烟气加热器热面相比可减小50%
- 蒸汽耗量5t/h
- 鼓风机电耗400kw
- 烟囱自拔力需要进一步核算

05 /项目方案



◆ 推荐设计温度

名称	单位	烟气冷却器	烟气冷凝器	烟气加热器
烟气流量	Nm ³ /h	1120000	1180000	1180000
进口烟气温度	C°	135	50	40
出口烟气温度	C°	90	40	85
工质入口温度	C°	70	5	105
出口工质温度	C°	103	28	70
工质流量	t/h	490	1000	490
烟气阻力	Pa	≤600	≤500	≤700
工质阻力	Mpa	≤0.15	≤0.1	≤0.15
设备尺寸	M	10*9*5.4	10*12*3.5	10*10*6.6
换热面积	m ²	~16000	~9000	~15000
换热管材质		ND	氟塑料	不锈钢
设备总重量 (空重, 不含水)	t	320	100	360

- 蒸汽耗量2t/h
- 冷凝水增压泵功率160kw
- 循环水泵功率110kw
- 冷凝水量36t/h

各工况换热器运行情况

季节	烟气冷却器状态	烟气冷凝器状态	烟气加热器状态	蒸汽加热器状态
4月至10月	投运	投运降温至48C°	投运	不投运
11月至次年3月	投运	投运至40C°	投运	1、2、12月投运

运行能耗

季节	系统循环泵	冷凝水增压泵 (若需)	冷凝水排水泵 (若需)	蒸汽耗量
4月至10月	110kw	160kw	11kw	/
11月至次年3月	110kw	160kw	11kw	2t/h

05 / 项目方案



◆ 初期投资

材质选型	烟气冷却器	烟气冷凝器	烟气加热器
	ND	氟塑料	2205/316L/ND

极端工况设计方案设备本体价格：3720万/台机组

推荐工况设计方案设备本体价格：2720万/台机组

◆ 运行成本（年运行5500小时） 单位：万元

方案	泵电耗	引风机电耗	蒸汽耗量	合计
极端工况设计方案	155	675	743	1573
推荐工况设计方案	155	485	55	695

项目所需解决的问题

- ▣ 冷凝器冷却源
- ▣ 冷凝水的利用
- ▣ 设备布置空间
- ▣ 边界参数的确定



THANK YOU

w w w . s h a n g h a i - e l e c t r i c . c o m