

# 除氧器节能型预热装置的研制

卢汉

广西中烟工业有限责任公司, 广西 南宁 530001

**摘 要 :** 锅炉常配备蒸汽空气预热装置, 该装置利用汽包及汽轮机抽出的蒸汽, 对一次及二次风进行加热。为提升机组能效, 关键在于减少蒸汽消耗或降低高参数蒸汽的依赖。空气预热器的汽水循环系统采用多级闪蒸技术, 通过逐级降低闪蒸汽压力, 实现热量的分段传递, 使得高参数蒸汽的使用比例得以缩减。本研究致力于开发一种除氧器节能型预热装置, 以解决现有除氧器在运行时温度波动大、能耗高的问题。该预热装置集成了高效的热回收与控制系统, 能够稳定除氧器温度, 同时显著提高能源利用效率。

**关 键 词 :** 除氧器; 节能型设备; 分段换热; 预热装置

## Development of Energy-Saving Preheating Device for Deaerator

Lu Han

Guangxi Tobacco Guangxi Industrial Co., Ltd. Nanning, Guangxi 530001

**Abstract :** Garbage incineration and alkali recovery boilers are often equipped with steam air preheating devices, which use steam extracted from the steam drum and turbine to heat the primary and secondary air. To improve the energy efficiency of the unit, the key is to reduce steam consumption or decrease dependence on high parameter steam. The steam water circulation system of the air preheater adopts multi-stage flash evaporation technology, which reduces the flash steam pressure step by step to achieve segmented heat transfer, reducing the proportion of high parameter steam usage. This study aims to develop an energy-saving preheating device for deaerators to solve the problems of large temperature fluctuations and high energy consumption during operation of existing deaerators. This preheating device integrates an efficient heat recovery and control system, which can stabilize the temperature of the deaerator and significantly improve energy utilization efficiency.

**Keywords :** deaerator; energy saving equipment; segmented heat exchange; preheating device

锅炉除氧器使用蒸汽进行加热除氧, 每月使用蒸汽量300多吨, 约占锅炉产汽量的10%, 运行中排放的温度120℃高达废汽1.0-1.5吨/h, 包含大量可以回收余热, 具有较高回收价值, 进行回收利用将有利于降低除氧器的蒸汽消耗量达到节能降耗目标<sup>[1]</sup>。本研究在锅炉除氧器购置安装一套蒸汽余热回收系统, 把高温废汽与低温除氧器进水引入余热回收装置进行热量交换, 低温水吸热后进入除氧器从而进入锅炉实现热能的回收, 以此来探究除氧器节能型预热装置研制的相关内容<sup>[2]</sup>。提出了一种创新的节能型预热装置设计方案, 该装置通过集成表面式换热器和智能反馈控制系统, 实现对除氧器废气热量的高效回收与再利用, 有效解决了除氧器温度波动和能耗高的问题, 为工业锅炉系统的节能降耗提供了新的解决方案<sup>[3]</sup>。

## 一、除氧器节能型预热装置抽汽

利用废蒸汽预热进入除氧器的水进行抽汽, 效果主要由蒸汽热源的特性决定。某锅炉的主蒸汽参数设定为4MPa、400℃, 而锅筒运行中实际压力为4.5MPa、温度为257℃, 汽轮机一级抽汽参数为1.2MPa、300℃, 其对应的饱和温度为188℃<sup>[4]</sup>。当废蒸汽加热“给水”从20℃开始被加热时, 首先利用汽轮机一级抽汽可将其温度提升至150℃至160℃之间, 随后采用锅筒的饱和蒸汽进行二次加热, 废蒸汽加热“给水”可进一步达到220℃至230℃<sup>[5]</sup>。对于高参数锅炉运行使用来说, 预热废蒸汽时, 蒸汽的选取有多种策略, 但核心目标在于最大化废蒸汽热量的利用, 并尽量减少高参数废蒸汽的消耗<sup>[6]</sup>。

## 二、除氧器节能型预热装置设计

### (一) 换热面积计算

本研究研制一种间壁式换热器, 废蒸汽加热预热器通管内蒸汽放热和管外废蒸汽加热“给水”吸热, 换热面积计算如下:

$$Q=K \cdot S \cdot \Delta T (1)$$

式子(1), 热负荷用 $Q$ 表示; 折算换热系数用 $K$ 表示; 换热面积用 $S$ 表示;  $\Delta T$ 为对数平均温差。在换热需求恒定的条件下, 若换热管构造维持原样, 则换热器 $S$ 与 $\Delta T$ 成反比。

### (二) 放热过程特点

蒸汽换热过程中, 显著特点是其潜热释放远大于显热传递, 导致废蒸汽加热“给水”预热器中的主要热交换阶段聚焦于蒸汽

于饱和温度点凝结为水的转变过程。

本文以300℃、1.2Mpa 汽机抽汽放热过程为例，蒸汽放热过程中焓值变化如表1所示。

表1 过热蒸汽放热转变为冷水焓值变化

	放热前	放热后	焓值
放热阶段1	过热蒸汽	饱和蒸汽	262KJ/kg
	300℃	188℃	
	3046KJ/kg	2784KJ/kg	
放热阶段2	饱和蒸汽	饱和水	1986KJ/kg
	188℃	188℃	
	2784KJ/kg	798KJ/kg	
放热阶段3	饱和水	过冷水	378KJ/kg
	188℃	100℃	
	798KJ/kg	420KJ/kg	

由表1可知，放热阶段1占热负荷的10%，放热阶段2占热负荷的75.8%，放热阶段3占热负荷的14.2%。

### (三) 换热管内系数

水蒸气在管道内部凝结时的换热效率极高，通常介于10000-20000W/m<sup>2</sup>·℃之间，而一旦蒸汽完全凝结成水，该换热系数会显著降低至800-2000W/m<sup>2</sup>·℃。值得注意的是，水蒸气在管内凝结过程中，虽释放大热量，但温度保持稳定，使得冷热两侧能维持较大的温差<sup>[7]</sup>。相比之下，若管道内为热水废蒸汽加热“给水”，随着热量的释放，热水温度持续下降，导致换热温差逐渐缩小<sup>[8]</sup>。因此，蒸汽因其高效的换热性能和在放热过程中保持的温差优势，成为一种优质的加热媒介<sup>[9]</sup>。

## 三、除氧器节能型预热装置设计效果分析

### (一) 目标值检查

除氧器节能型预热装置安装调试完成后，研究分别于2023年6月-8月对其效果进行检查。除氧器加装了节能型预热装置之后，6、7、8月除氧器温度Cpk分别为1.35、1.37、1.38，均达到目标值以上，均值约为1.37，系统运行稳定。

### (二) 设备运行检查

设备运行检查与安全检查结果如表3、表4所示。

表3 设备运行检查结果

月份	6月	7月	8月	柱状图
除氧器故障率 (%)	0	0	0	
故障率考核指标 (%)	≤ 0.3%			

表4 安全检查结果

月份	6月	7月	8月	柱状图
安全事故 (次)	0	0	0	
考核指标 (次)	0			

项目实施后，系统经长时间的运行表明，未对生产、安全、环境及设备的运行操作造成不良影响。

### (三) 效益分析

该系统投入使用后，根据能管系统以及《锅炉运行记录表》，对2023年6、7、8月除氧器温度过低时的恢复时间与同期2022年6、7、8月进行对比分析，从能管系统每月生产时间随机抽取10天记录除氧器恢复时间，结果如表5所示。

表5 除氧器温度恢复时间调查结果

项目	调查内容					
数据分析	随机记录30个除氧器温度恢复时间(2022年)					
	序号	恢复时间 6月 /min	序号	恢复时间 7月 /min	序号	恢复时间 8月 /min
	1	38.1	11	45.4	21	34.5
	2	38.2	12	38.2	22	36.1
	3	36.1	13	28.1	23	33.5
	4	27.6	14	41.8	24	33.1
	5	35.3	15	41.0	25	36.1
	6	40.9	16	31.8	26	37.5
	7	33.9	17	30.2	27	33.9
	8	35.9	18	28.6	28	31.7
	9	35.5	19	39.8	29	35.5
	10	35.3	20	41.1	30	39.4
	月平均	35.7		36.6		35.1
	总平均	35.8				
	随机记录30个除氧器温度恢复时间(2023年)					
	序号	恢复时间 6月 /min	序号	恢复时间 7月 /min	序号	恢复时间 8月 /min
	1	6.9	11	12.9	21	9.0
	2	8.5	12	8.6	22	7.3
	3	7.4	13	5.0	23	6.9
	4	8.0	14	9.5	24	7.6
5	8.9	15	8.8	25	7.9	
6	7.8	16	7.2	26	5.2	
7	8.1	17	5.1	27	7.1	
8	6.7	18	7.7	28	3.8	
9	5.8	19	8.8	29	5.1	
10	11.8	20	8.1	30	10.1	
月平均	8.0		8.2		7.0	
总平均	7.7					

由表可知，除氧器回热回收装置投入使用后，除氧器温度恢复时间极大的减少，活动后除氧器温度恢复时间由平均每次35.8分钟降低为7.7分钟，效率提升<sup>[10]</sup>。512.7%提升恢复温度效率 = (活动后工作效率 - 活动前工作效率) / 活动前工作效率 \* 100% = [工作量(W) / 活动后工作时间 - 工作量(W) / 活动前工作时间] / [工作量(W) / 活动前工作时间] \* 100% = (W/7.7 - W/35.8) / (W/35.8) \* 100% = 512.7%。

结合系统投入成本来看，该系统成本少于5万元，符合车间预算要求，具有良好的经济效益。投入成本如表6所示。

表6 系统投入成本

序号	除氧器节能型预热装置构成	数量	费用产生情况	新增费用(元)
1	膨胀节	2个	购买膨胀节	2000
2	电动阀	2个	购买电动阀	3000
3	温度传感器	2个	购买 Pt100温度传感器	2400
4	管道材料	10米	购买管道材料	3000
5	压力变送器	2个	购买 ZWP-L61-K 压力变送器	1000
6	可编程控制器	1套	购买 SIEMENS S7-300 PLC	5980
7	管壳式换热器	1套	购买换热器	30000
合计(元)			47380	

## 四、结论

除氧器节能型预热装置在实际应用中展现出显著的价值与深远的意义，其核心功能在于优化能源利用，提升系统效率。该装置通过回收并利用除氧过程中的废热，有效预热进入除氧器的废蒸汽加热“给水”，从而减少传统加热方式所需的能源消耗。这一创新设计不仅降低了运行成本，还显著提升了除氧器的除氧效率，确保了锅炉及供热系统的稳定运行。从环保角度来看，该预热装置的应用有助于减少温室气体排放，降低对环境的影响，符合当前绿色、低碳的发展理念，符合集体供热锅炉减排生产规划的需求。同时，其显著的节能效果也为工业领域实现可持续发展目标提供了有力支持，对于推动工业领域的节能减排与可持续发展具有重要意义。

## 参考文献

- [1] 全斌. 热力式除氧器蒸汽耗量影响因素与解决措施 [J]. 油气田环境保护, 2024, 34 (1): 15-18.
- [2] 王瑞, 徐丹. 关于新型节能蒸汽空气预热器汽水系统的研究 [J]. 锅炉制造, 2024, (1): 34-35+38.
- [3] Yang J, Yao S, Wang C, et al. Modeling and simulation of a new bubbling thermal deaerator [J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2024, 108 109482-109482.
- [4] 张赞流. 超临界机组除氧器排汽系统改造及效果分析 [J]. 重庆电力高等专科学校学报, 2023, 28 (4): 6-8.
- [5] 张明宝. 百万等级核电华龙一号压水堆机组单体式除氧器研制及应用. 黑龙江省, 哈尔滨锅炉厂有限责任公司, 2023-03-20.
- [6] Zhang H, Kong N, Song Y, et al. Study on the safety of a magnetic strainer at the deaerator outlet under two-phase and large-scale flow fields [J]. Chemical Engineering Research and Design, 2024, 205 802-821.
- [7] Mingming L, Yu Y, Shan Y, et al. A Numerical Study on Dehydrogenation of Liquid Steel Supersaturated With Hydrogen in a Vacuum Degasser (VD) [J]. Metallurgical and Materials Transactions, 2023, 54 (4): 1819-1830.
- [8] 蓝小波, 李亚鹏, 秦为军. 垃圾焚烧锅炉空气预热系统的改造 [J]. 能源研究与利用, 2020, (5): 45-46+55.
- [9] 李开盈, 邱磊, 董玉领, 等. 主蒸汽至除氧器系统供汽调节阀板簧失效原因分析 [J]. 设备管理与维修, 2022, (23): 92-94.
- [10] 宋前顺, 邵峰, 龚长金, 等. 干熄焦除氧器自动化配用低品位蒸汽实践 [J]. 燃料与化工, 2022, 53 (2): 11-12+16.