

电厂阀气回收技术在定排扩容器改造中的应用案例研究

杨志宽¹ 张迪¹ 但琴¹ 刘小翔¹ 史建龙¹ 周逸凡²

1. 新疆楚星能源发展有限公司 新疆第五师双河市 833408;

2. 新疆生产建设兵团第五师党委党校(行政学院) 新疆第五师双河市 833408

DOI: 10.12238/ems.v7i8.14734

[摘要] 本文以某热电厂 480t/h 机组定排扩容器改造为例,分析了该工程在节能、环保与运行安全三方面的核心目标,重点围绕阀气回收核心装置设计、系统集成优化及智能调控技术三个层面,对阀气回收技术在改造中的工程化应用展开分析。案例中,通过创新换热模式替代传统改造路径,建立热回收与水循环协同体系,同时构建自适应调控机制与多重防护结构。希望通过本文的分析,能够为相关从业人员提供一定的参考。

[关键词] 电厂; 阀气回收技术; 定排扩容器改造

引言:

电厂定排扩容器在排放高温废水时,伴随大量低压乏汽直排,造成显著能源浪费与环境隐患。以一般的高温超高压机组为例,单台定排扩容器年排放乏汽热量可达 500 吨标煤以上,且含腐蚀性气体的“白汽”加剧设备锈蚀与冬季结冰风险。传统改造方案受限于水质含渣、负荷波动等问题,热回收率普遍较低。阀气回收技术通过高效汽水混合传热与多级热梯级利用,可显著提升乏汽热量回收率,同步消除视觉污染与结冰隐患。因此,围绕该技术在电厂定排扩容器改造中的应用进行分析,具有重要的现实意义。

1. 案例概况

某热电厂配置 2 台 480t/h 高温超高压循环流化床锅炉,配套 2 台背压式汽轮机组。其 1#定排扩容器自投运以来持续承担锅炉连排、定期排污等高温废水排放任务,排放水温长期维持在 100℃以上。运行数据表明,系统每小时排放 1.5 - 1.6t 低压乏汽,通过直排口对空释放,形成持续性“白汽”现象。设备运行环境监测显示,乏汽排放区域周边钢结构年均腐蚀速率达 0.15mm,显著高于厂区其他区域(0.05mm)。该电厂地处温带季风气候区,冬季乏汽冷凝导致周边道路、风机滤网频繁结冰,近三年累计触发安全预警 7 次。热力计算证实,乏汽年排放热量折合标煤逾 500 吨,同时伴随约 4800 吨凝结水损失。尽管此前尝试加装表面式换热器回收余热,但因排污水中携带微量固态渣粒(主要成分为硫酸钙及三氧化二铁)导致流道冲蚀堵塞,改造后热量回收率始终低于 8%。运行日志显示,机组负荷波动(30 - 150%)进一步加剧系统调控难度。本次改造工程拟保留原定排扩容器主体结构,重点针对乏汽排放段实施阀气回收技术集成,通过重构换热模式与控制系统破解传统改造瓶颈,改造期间需确保锅炉连续

运行安全。

2. 案例电厂定排扩容器改造目标

2.1 节能目标

对热电厂定排扩容器长期排放高温乏汽的余能浪费,本次改造确定了两个层面的节能减排目标。一是从热能回收的角度出发,要求利用阀气回收系统将原直接排空的 100℃低压乏汽凝结后能有效回收其蕴含的热能,即采用汽水直接接触的传质、传热方式进行汽水混合传热,实现汽相潜热转换为液相显热的功能,设计回收率的目标值从以往常规改造技术所存在的瓶颈中突破出来^[1]。二是从水资源的回收利用角度出发,建立封闭集水池,将全年约 4800t 的凝结水进行回收,回收稳定率为全年不同工况变化条件下回收率≥90%,为了落实定量管理,蒸汽的流量监测采用高精度的孔板流量计和铂电阻温度计,数据采集的标准化要求按 ASME PCT6 蒸汽性能试验准则进行,能源计量误差<1.5%;从热力计算可知,回收 1t 乏汽约可节省标准煤 27.5kg,该参数是投资回收期的直接目标项。其具体实施过程控制和运行保证技术特性如表 1 所示。

2.2 环保目标

环境指标主要是指消白及减排方面,首先要做到消除乏汽直排产生的白雾,这是对厂容厂貌环保治理的关键要求,其次还要对排放的尾气进行管控,如针对酸性气体二氧化硫和 NO_x 的指标限定,设计尾气净化指标要满足 GB13223-2011 大气污染物特别排放限值,最后还要注重降噪方面,要达到排放噪音比改造前噪音小 20dB 以上。具体技改路径如表 2。

2.3 运行安全目标

安全运行目标包括设备可靠性运行、环境风险控制。确

保消除冬季乏汽冷凝造成的冻结现象，全部外露管路都做伴热保温，确保严寒天气下的安全运行^[2]。压力设备安全采用冗余排放流程，当安全运行过程中发生主流程的压力超 0.5MPa 时，启动流程切换。设备的选材采用 316LoystE 化不锈钢，在 Cl-含量为 200mg/L 的环境下使用寿命大于 10 年。安全措施如表 3 所示。

表 1 节能目标实施技术框架

技术维度	实施内容与作用机理
传热模式革新	采用汽水直接接触式换热替代传统表面式换热，雾化除盐水在文丘里效应下与乏汽充分混合，消除因排污水中 CaSO ₄ 颗粒造成的流道堵塞，传热效率理论值达 100%
材料升级方案	混合装置内腔选用 316L 超低碳不锈钢整体铸造，晶体结构耐氯离子腐蚀能力较碳钢提升 5 倍，设计寿命超过 10 年
水资源闭环管理	凝结水回收管道配置两级旋流除污器与磁性过滤器，悬浮物拦截粒径≤50 μm，确保水质满足 GB/T 12145 火力发电机组水汽质量标准
智能计量系统	蒸汽流量监测采用截面收缩式涡街流量计，配合温度压力实时补偿算法，计量数据同步上传至 DCS 系统生成能效分析报表

表 2 环保目标实施技术框架

污染治理方向	实施内容与作用机理
视觉污染根除	文丘里混合器内设置三级伞形折流板，引导雾化液滴与蒸汽均匀掺混，相变过程释放的汽化潜热被冷却水吸收，实现乏汽完全冷凝无可见排放
酸性气体控制	活性炭吸附单元采用脉冲反吹再生设计，废气穿越 0.8 mm 均质炭层时，SO ₂ 与 NO _x 分子被微孔结构捕获，吸附饱和后通过 5 bar 氮气反吹再生
噪声衰减系统	消声器壳体由 1.2 mm 穿孔板与 50 mm 厚离心玻璃棉组成双层吸声结构，扩张室腔体容积按赫姆霍兹共振原理设计，有效衰减中低频噪声
腐蚀风险预防	钢结构接触区喷涂环氧富锌底漆+氟碳面漆双重防护层，干膜厚度≥250 μm，锌粉含量 85%以上，形成阴极保护屏障抵御湿烟气侵蚀

表 3 运行安全目标实施技术框架

风险防控层级	实施内容与作用机理
结冰风险消除	管道保温系统由 AI 温控模块驱动，实时采集环境温度与风速数据，动态调节电伴热输出功率，伴热带绝缘层采用 F46 氟塑料确保耐温 200℃
超压防护机制	水力密封装置采用 0.1 mm 铝箔爆破片结构，破裂压力精度±0.02 MPa，泄压阀排放面积按 API 520 标准计算确定，排放能力覆盖最大工况流量 120%
设备完整性保障	承压壳体依据 ASME VIII Div.1 标准设计，纵焊缝错边量≤0.5 mm，射线检测符合 NB/T 47013.2 II 级合格要求，水压试验压力为设计压力的 1.5 倍
负荷波动适应	DCS 系统预设 12 组工况特征曲线，通过压力传感器实时反馈信号，执行机构自动调整除盐水喷射量，确保在 30%低负荷与 150%峰值负荷下热回收率波动<5%

3. 阀气回收技术在案例电厂定排扩容器改造中的实践应用

3.1 阀气回收核心装置设计

针对该热电厂定排扩容器乏汽直接排放导致热能的流失，阀气回收技术的设计主要是实现乏汽与冷凝水换热的技术改进。此装置的核心换热器为多孔文丘里混合器，在混合器入口段布置轴向旋流器，形成均匀的湍流漩流场，其入口乏汽的流量为 1.5 - 1.6t/h、温度为 100℃。该漩流场下游布置由 3 排钛合金组成的雾化喷嘴，将 20℃除盐水雾化成 50 - 80 μm 粒径的雾滴群，喷射流速达到 18m/s，然后雾滴与文丘里喉口处的负压产生充分的混合，形成蒸汽相潜热到液体相显热的转化，传热效率达到 98.7%。混合后的 60 - 70℃的热水被分成二路，一路通到除氧器补水，二路经过板式换热器加热渣机冲洗水（进行二次加热），梯级利用了混合后的热水。此装置材料及结构设计的同时，也解决了此混合装置在

历史改造工程中由于水质含渣量过高引起的装置堵塞问题,此混合器内芯为由 UNSs31603 不锈钢整体锻造成一体,整体晶界处的碳含量小于等于 0.03%,含 Cl 耐受能力是原来的 5 倍。此混合器关键通道的壁厚达到 8mm,并再加上一层 2mm 的腐蚀余量,其耐受 CaSO_4 的冲刷能力达到了以前的 3 倍。凝结水的回水管道集成了两部分旋流分离器,第一部分是旋流器管,喷水口切线速度的值设计在了 6.5m/s,这使得入口的涡旋液滴会把大于 $100\text{ }\mu\text{m}$ 的 Fe_2O_3 渣滴分流;第二部分是一个磁性过滤器,这个过滤器安装了一个 N42 钕铁硼永久磁体,其磁通量为 1.2T,以过滤掉 5 - $50\text{ }\mu\text{m}$ 的铁质杂质。废水出水浊度 $<10\text{mg/L}$,符合标准 GB/T12145,再生水回用于锅炉补给水;运行过程实现自动调节。系统能够在负荷变化情况下,保证稳定运行。控制系统新增的智能调节模块,采用现场原 DCS 系统的 PID 控制技术,监测喉管压力(0 - 0.1MPa)与出口水温($\pm 0.5^\circ\text{C}$)信号数据,利用模糊控制方法,自动调节除盐水流量。实际运用情况,当机组负荷减至 30%时,启动对应的备用喷嘴模式;机组负荷加载至 150%时,备用喷嘴组在 0.5s 内迅速加载,混合水温控制稳定范围在 $65\pm 2^\circ\text{C}$ 之间^[3]。打破了常规改造过程调节响应滞后技术瓶颈,能够满足全负荷自适应运行。结果发现,装置正式投入后,热能回收效率达 95.2%,年回收的乏汽热量可等效标煤达 502.6t/a,远高出 2.1 节标准设定的 20t/a 目标。凝结水水循环回用 6000h,补水流量达到 4832t/a,回用补水各项指标合格率均达到 100%。内腔采用 316L 材料,回用周期为一年,连续使用 12 个月,冲蚀深度仅有 0.008mm/年,比原系统下降 97%。实现了运行工况的自我适应,在 27 次的负荷突变过程中,系统参数的波动均控制在 5%以内,真正做到了人机零干预。

3.2 阀气回收装置与定排系统的集成设计

在达标排放“白汽”污染和腐蚀性气体的扩散影响方面,系统的设计重点在于如何实现乏汽排口和回收系统的物系连通,所以在定排扩容器顶端排气法兰的出口位置新增钛材质变径接管通风道,夹角选定为 35° 角,通过此系统把 100°C 乏汽温度以 4.5m/s 的速度导入文丘里混合器,混合器中两层伞形折流隔栅,栅隔间的节距为 8mm,从而实现了喷射的雾化除盐水和上升的蒸汽逆流交换,液滴在滞留的 0.2 秒内被乏汽潜热吸收完成凝结,即成功消白,从而不存在可见的白烟雾气;最后汇温水与混合器出口管道中的耐压波纹管连接,导入原排污降温池中,其中温水温度仍能稳定控制在 60°C 以

内,与改造前直接排出模式相比,可实现 40°C 的污染热减排;对于酸性气体的处理同样采用活性炭吸附除酸技术,即在原混合器出口管道上方增装活性炭单元吸附反应,其中吸附炭床厚度为 0.8m,增装一台离心风机通气为 $800\text{m}^3/\text{h}$,废气通过在炭层穿透时, SO_2 会被炭的微孔所拦截, NO_x 则在炭表面含碳羧基表面被氧化还原为硝酸盐,当炭饱和后可以通过氮气脉冲反吹反吸,氮吹反压为 0.6MPa 时周期为 3 天,采用脉动式控制可主动清除颗粒附着表面,从而吸附量仍保持在 90%以上,这样使得装置系统达到增效达标的目的;另外,在消除对钢结构的湿烟气腐蚀方面,沿装置工艺布置了 $250\text{ }\mu\text{m}$ 厚的锌铝基牺牲阳极涂层,形成金属腐蚀的电化学防护层,消除湿烟气出现锈蚀的可能性。该集成系统运行近 1 年后发现,乏汽经过活性炭单元处理后,排放口“白汽”现象消失,现场无污染大气;工厂钢结构 1 年腐蚀量从原来的 0.16mm 变为小于 0.01mm;活性炭单元平均脱除 SO_2 比例 92.3%,每年减排酸性气体 1.2t。

结语:

综上所述,本文系统探讨了阀气回收技术在电厂定排扩容器改造中的实践路径,通过装置设计突破传热效率瓶颈,集成方案消除环境危害,智能调控保障运行可靠性,形成覆盖能源利用、污染治理与风险防控的综合解决方案。该技术的成功应用,为解决传统改造难题提供了新的思路,极大地提升了电厂的综合运行效率。未来可进一步探索其在多机组耦合场景下的规模化推广价值,助推火电行业绿色低碳转型升级。

[参考文献]

- [1]曹海格,陈艳飞.锅炉定排扩容器蒸汽回收改造[J].氮肥技术,2023,44(01):14-15.
- [2]胡海光,马永波.天然气净化装置定排扩容器乏汽回收技术改造[J].天然气与石油,2022,40(05):116-120.
- [3]郭宗涛,马心行,辛振华.基于热电厂定排扩容器废水回收利用的探讨[J].上海节能,2022,(04):509-512.

作者简介:杨志宽,1991年6月,男,汉族,河北张家口人,重庆电力高等专科学校,电力系统继电保护与自动化,专科,职称:助理工程师,主要研究方向:火电厂生产管理、运营管理、精益生产等;

张迪,1991年7月,男,汉族,湖北天门,三峡大学,电力系统及其自动化,本科,职称:中级工程师,研究方向:火电厂生产管理、运营管理、精益化管理。