

凝汽器回弯水室分割增强抗压能力的理论与应用研究

郑雯

东方电气集团东方汽轮机有限公司, 四川 德阳 618000

[摘要]在电厂实际运行过程中, 热网回水的高压力对凝汽器水室的抗压性能提出了非常严苛的挑战。针对传统凝汽器回弯水室因尺寸过大而导致抗压能力不足的问题, 本研究提出了一种通过分割回弯水室以增强其抗压能力的技术方法。本论文系统地阐述了该方法在双流程、多流程凝汽器中的具体实施方式, 深入分析了其增强水室抗压能力的理论依据, 并探讨了该技术的实际应用价值。研究结果表明, 回弯水室分割技术可显著缩减水室尺寸, 提升抗压性能, 同时降低材料与施工成本, 为凝汽器的安全稳定运行提供有力技术支撑。

[关键词]凝汽器; 回弯水室; 分割技术; 抗压能力; 实际应用

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17676

中图分类号: TK264

文献标识码: A

Theoretical and Application Research on Segmenting and Enhancing Compressive Capacity of Condenser Bend Water Chamber

ZHENG Wen

Dongfang Electric Group Dongfang Steam Turbine Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618000, China

Abstract: In the actual operation of power plants, the high pressure of the return water from the heating network poses a very severe challenge to the compressive performance of the condenser water chamber. This study proposes a technical method to enhance the compressive strength of the traditional condenser's return water chamber by dividing it into sections, in response to the problem of insufficient compressive strength caused by its large size. This paper systematically elaborates on the specific implementation of this method in dual process and multi process condensers, analyzes in depth the theoretical basis for enhancing the pressure resistance of the water chamber, and explores the practical application value of this technology. The research results indicate that the technology of dividing the curved water chamber can significantly reduce the size of the water chamber, improve the compressive performance, and reduce material and construction costs, providing strong technical support for the safe and stable operation of the condenser.

Keywords: condenser; return bend water chamber; segmentation technology; stress resistance ability; practical application

引言

2022 年 8 月, 国家发改委、能源局调整“十四五”火电规划, 提出“三个八千万”目标, 煤电行业出现了爆发式的发展, 随之出现的是电厂对能源利用效率及设备运行安全性的要求日趋严苛。凝汽器作为电厂辅机系统的关键设备, 其运行状态直接影响电厂整体热效率的利用。为实现余热回收与经济效益提升, 部分电厂采用了在凝汽器水侧通入热网循环水的运行模式^[1]。然而, 由于热网回水通常压力较高, 但传统凝汽器的回弯水室因尺寸较大, 抗压能力相对薄弱, 在高压作用下易出现结构损坏等安全隐患, 成为严重威胁电厂稳定运行的安全隐患。

针对凝汽器水室抗压能力不足的问题, 已有相关研究提出诸如增加水室壁厚度、采用高强度材料等解决方案, 此类方法虽能解决强度问题, 但也会导致成本大幅攀升。因此, 探寻一种经济高效的凝汽器水室抗压能力增强技术方案具有重要的现实意义。本研究提出回弯水室分割的方法, 旨在通过优化水室结构, 在控制成本的前提下, 有效提升水室抗压能力, 为解决上述问题提供新思路。

1 凝汽器回弯水室分割技术的理论基础

1.1 水室结构与抗压能力的关联

依据力学原理, 容器的抗压能力与其尺寸存在密切关联。在材料与压力条件相同的情况下, 尺寸较小的容器通常具有更强的抗压性能。对于凝汽器的回弯水室而言, 其作为容纳流体的容器, 在承受内部流体压力时, 水室壁所受应力与水室容积存在一定关联。一般而言, 水室直径越大, 在相同压力作用下, 水室壁所受应力也就越大, 相应的水室抗压能力也就越小^[2]。

1.2 回弯水室分割的力学解析

回弯水室分割技术的核心在于将较大的回弯水室分割为 n 个较小的水室, 减小单个水室的尺寸, 从而降低水室壁所受应力, 增强其抗压能力。假设回弯水室原始直径为 D , 内部压力为 P , 水室壁厚度为 δ , 材料的许用应力为 $[\sigma]$ 。根据薄壁圆筒强度计算公式, 水室壁所受环向应力 $\sigma = PD/(2\delta)$ 。当将回弯水室分割为 n 个尺寸相同的小水室后, 每个小水室的直径变为 $d = D/\sqrt{n}$ (假设体积均匀分配), 此时每个小水室壁所受环向应力 $\sigma' = Pd/(2\delta) = PD/(2\delta\sqrt{n})$ 。显然, $\sigma' < \sigma$, 即分割后的水室壁

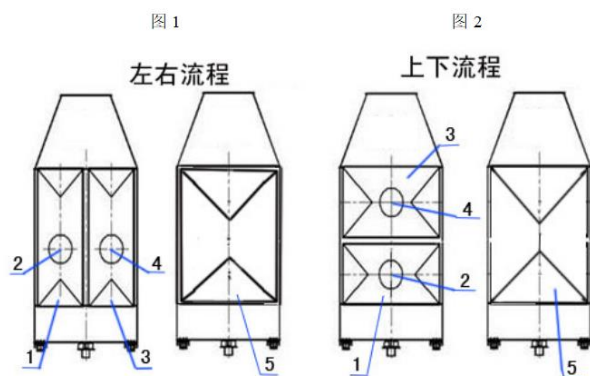
所受应力减小,抗压能力得以增强。

2 凝汽器回弯水室分割技术的具体应用

2.1 双流程凝汽器回弯水室两分割

双流程凝汽器是电厂实际运用中较为常见的类型,在其传统水室组合方式中,回弯水室(后水室)的尺寸约为进出水室(前水室)的两倍(如图1~2所示,图1为左右流程,图2为上下流程)。这种大尺寸的回弯水室在高压作用下,受力状况欠佳,抗压能力表现不好。

采用回弯水室分割的方法后,将回弯水室沿流体回弯流动方向进行分割,使其形成两个独立水室,且分割位置线与进出水室间隙所在直线垂直(见图3~4,图3为左右流程,图4为上下流程)。分割后,每个回弯水室所容纳的流体流量大致为总流量的一半,水室直径显著减小。依据前文的力学分析,水室壁所受应力随之降低,从而大幅增强回弯水室的抗压能力。



件1:进水水室,件2:进水口,件3:出水水室,件4:出水口,件5:回弯水室

图1 传统水室组合方式

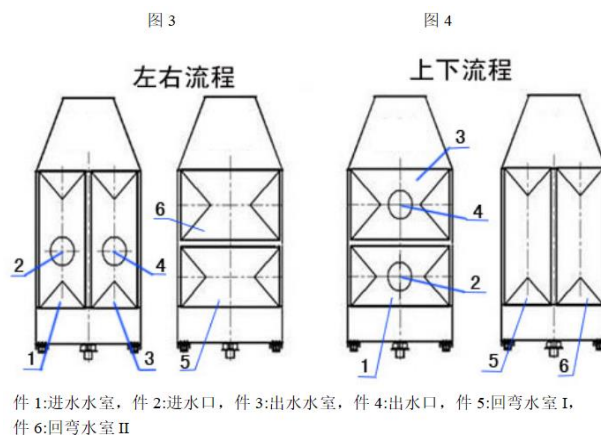


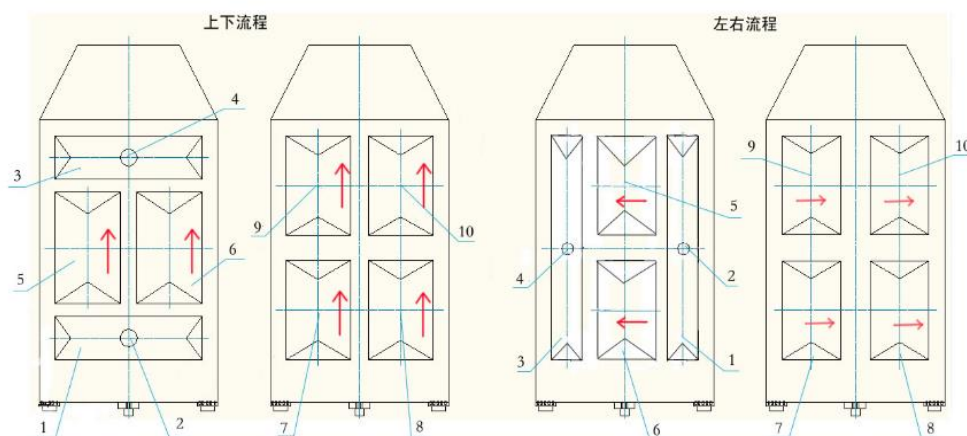
图2 双流程凝汽器回弯水室分割

2.2 多流程凝汽器回弯水室两分割

对于多流程凝汽器,如四流程凝汽器,同样可采用回弯水室分割技术。按照双流程凝汽器回弯水室分割原理,将回弯水室沿流体回弯流动方向进行分割(分割后的示例见图5~6,图5为左右四流程,图6为上下四流程)。通过合理分割,每个小回弯水室的尺寸减小,使其在承受热网回水高压时,能够保持良好的结构稳定性,有效提升多流程凝汽器整体的抗压性能。

2.3 回弯水室的多分割应用

除了将回弯水室分割为两个水室外,根据实际电厂运行需求与凝汽器运行条件,还可将回弯水室分割为多个(2~n个)水室。当回弯水室被分割为n个水室时,每个水室容纳的流体流量约为总流量的1/n,水室直径进一步减小。这种多分割方式能够更好地适应不同压力工况与流量需求,提高凝汽器实际应用的灵活性与适用性。



(箭头方向为水流方向)

件1:进水水室,件2:进水口,件3:出水水室,件4:出水口,件5:前回弯水室I,件6:前回弯水室II
件7:后回弯水室I,件8:后回弯水室II,件9:后回弯水室III,件10:后回弯水室IV

图3 四流程凝汽器回弯水室分割

在双流程与多流程凝汽器回弯水室分割的实际操作中,还需注重分割后水室与原有换热管组的适配性。由于回弯水室是凝汽器内流体转向的关键区域,分割后的小水室需精准对应换热管的排布间距,避免因水室分割导致流体在管内分配不均,影响换热效率。例如,在兴能一期古交项目的双流程凝汽器改造中,技术团队通过三维建模模拟流体流动轨迹,将分割后的水室进水口与换热管入口的对位偏差控制在 2mm 以内,确保每个小水室对应的换热管组都能获得均匀的水流分配,最终在提升抗压能力的同时,维持了凝汽器原有的换热效率,甚至因水流扰动减少,使热交换系数提升了 3%~5%。

对于多分割应用场景,还需结合凝汽器的整体结构强度进行优化。当回弯水室分割数量超过 3h,需在水室分隔板与壳体的连接部位增设加强肋板。以蒙能锡林浩特电厂的四流程凝汽器改造为例,其回弯水室采用了三分割设计,技术团队在分隔板与壳体焊接处加设了厚度为 8mm 的环形加强肋,通过有限元分析验证,该结构可使分隔板与壳体连接部位的应力集中现象降低 40%,进一步提升了水室整体的结构稳定性,有效避免了长期高压运行下分隔板与壳体连接处出现裂纹的风险。

3 技术优势与应用价值分析

3.1 技术优势

由于分割后的水室尺寸减小,流体在水室内的流动路径缩短,流动阻力降低。根据某电厂的运行数据统计,采用回弯水室分割技术后,凝汽器循环水泵的运行电流平均降低 6%~8%,按电厂年运行 7000h、工业用电单价 0.5 元/度计算,单台凝汽器每年可节约电费约 12~15 万元,为电厂带来了可观的节能收益。同时,流动阻力的降低还减少了流体对水室壁面的冲刷磨损,延长了水室的使用寿命,经测算,采用该技术的凝汽器水室维护周期可从原来的 3 年延长至 5 年,进一步降低了电厂的运维成本。

(1) 无需增设循环水连通管:与传统改进措施相比,本技术在提升水室抗压能力过程中,无需在回弯水室增设循环水连通管。此特点简化了凝汽器整体结构,避免了因增加管道可能产生的泄漏风险,同时降低了设备制造成本与后期维护风险点。

(2) 显著增强抗压能力:通过分割回弯水室,有效减小水室尺寸,依据力学原理,水室抗压能力得到显著提升。在相同压力条件下,分割后的水室能够更稳定地运行,降低了凝汽器水室结构损坏的风险性。

(3) 降低综合成本:由于水室尺寸减小,水室壁所受应力降低,因此可适当减薄水室壁厚度,减少材料用量,降低材料成本。同时,简化的结构使施工过程更简便,缩短制造和安装周期,进一步降低制造和安装成本。

3.2 应用价值

目前该技术已应用于兴能一期古交项目、包头铝业项

目、蒙能锡林浩特热电厂、兴能二期马兰 3#机等由我司供货的凝汽器设备,各电厂均反馈从投运至今,安全稳定,运行良好。

此外,该回弯水室分割技术不仅适用于凝汽器,对于其他类似凝汽器结构的换热器,在面临换热腔室抗压能力不足问题时,也具有重要借鉴意义与应用价值。其推广应用能够提高相关设备的运行安全性与经济性,为能源行业的可持续发展贡献力量。

4 具体实施要点

在实际应用回弯水室分割技术时,无论是双流程还是多流程凝汽器,均需遵循以下要点:

(1) 精准确定分割位置:严格按照流体回弯流动方向进行分割,确保分割位置线与进出水室间隙所在直线垂直(双流程情况下),以保障流体流动的流畅性及水室受力的均匀性。

(2) 保障分割后水室的密封性:分割过程中,需采用适宜的密封技术(科研用传统蜜蜂技术),确保各小水室之间及水室与其他部件之间的密封性能良好,防止流体泄漏。

(3) 严格遵循设计要求施工:安装过程中,需严格依照设计图纸确保水室位置准确及尺寸精度符合要求,以保障凝汽器运行的整体性能。

5 结论与展望

5.1 结论

本研究提出的凝汽器回弯水室分割技术,通过将回弯水室沿流体回弯流动方向分割为多个小水室,有效减小水室尺寸,降低水室壁所受应力,显著增强水室抗压能力。该技术无需增设循环水连通管,简化了结构,降低了成本,在双流程和多流程凝汽器设备中均具有良好应用效果。

5.2 展望

未来,可进一步深入研究回弯水室分割的最优数量与分割方式,结合数值模拟等技术手段,优化水室结构设计,以实现更优的抗压效果与流体流动性。同时,可以与电厂联动,加强该技术在实际工程中的应用验证,积累更多运行数据,为其大规模推广应用提供更坚实的基础。此外,探索该技术与其他增强抗压能力技术的结合应用,有望进一步提升凝汽器的综合性能。

[参考文献]

- [1]于丙洋.凝汽器内部流体运动状态分析[Z].[2024 年北京电机工程学会年度论文集],[2024-07]
- [2]轩福贞,官建国.基于损伤模式的压力容器设计原理[M].北京:科学出版社,2020.

作者简介:郑雯(1989.1—),女,所学专业:工业设计,当前就职单位:东方电气集团东方汽轮机有限公司,职称级别:工程师。