

某电厂高速混床布水装置损坏原因分析及解决对策

王磊, 石建龙, 孟维安, 贾俊

(深能保定发电有限公司, 河北保定 071000)

摘要 在一家电厂的凝结水精处理系统中, 高速混床的多孔板布水装置遭遇了分流问题, 这阻碍了系统达到预期的性能。分析指出, 这一问题是由于装置设计上的缺陷, 引起多孔板的变形或损毁。针对此问题, 西安热工研究院凝结水精处理技术研究所设计了一种新型的双层多孔板布水装置, 并利用流体力学的计算机模拟技术对设计参数进行了调整。这一改进的方案被应用于电厂的高速混床布水装置的技术改造项目中。改造完成后的结果显示, 新的双层多孔板布水装置具有较低的运行阻力和更加均匀的水流分布, 确保了高速混床水质稳定, 显著提高了周期制水量, 达到了节约用水和减少排放的效果。

关键词 凝结水精处理; 高速混床; 正向水锤; 布水装置; 双层多孔板

中图分类号: TM62

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)06-0046-03

在传统的火力发电站中, 水作为热力系统的核心介质, 对于大多数热能设备的冷却至关重要, 水和蒸汽的质量直接影响机组的长期稳定和安全运行^[1]。凝结水的精处理过程旨在从热力系统中清除腐蚀性物质、溶解性离子和其他杂质, 以提供更纯净的锅炉补给水。鉴于凝结水的输出量占锅炉补给水的90%至95%, 这个处理过程对于提高锅炉补给水和整个热力系统的蒸汽质量起着至关重要的作用。一个特定的电厂利用两个50%的前置过滤器和三个50%的高速混床, 采用高塔法再生工艺。高塔法再生系统由树脂分离塔、负离子塔、正离子塔、酸碱处理系统和压缩空气系统等组成。混床的设计为圆柱形, 直径2 264 mm, 壁厚32 mm, 设计压力为4.5 MPa, 设计温度为60 °C。这套系统存在一些问题, 如运行周期短、经济效益低和废水排放量大。如果这些问题不能及时解决, 凝结水中的杂质离子可能会渗漏到蒸汽水系统, 导致机组腐蚀、积盐、结垢等问题, 严重时甚至可能引发锅炉爆管或汽轮机叶片断裂等严重事故, 从而影响电厂的安全运行和经济效益。此外, 这些问题的修复和维护成本也将大大增加。因此, 迫切需要对凝结水精处理系统进行优化改造以解决这些问题, 对于确保机组的安全、稳定和经济运行至关重要^[2]。

1 某电厂精处理系统运行现状描述及原因分析

1.1 现状描述

高速混床作为中国发电行业的常见精处理工具, 自1980年代后期引进自西方工业国家后, 一直面临着

一系列挑战。特定的电厂在其凝结水精处理系统运行中遭遇了不尽如人意的效果, 某厂的周期制水量长期维持在5万吨以下, 并且存在树脂跑漏情况, 这主要体现在以下几个问题上: (1) 精处理系统在运行结束阶段容易发生腐蚀性离子的泄漏。这种泄漏会极大地提升机组遭受腐蚀、结垢和积盐的风险, 严重时可能导致锅炉管道爆裂或者汽轮机叶片断裂。对于超临界和超超临界机组, 由于对水蒸气质量要求极高, 这一问题表现得尤为明显^[3]; (2) 在运行过程中, 周期制水量不足、再生过程中消耗的酸碱和自用水量过多是突出的问题。具体来说, 由于混床内使用的多孔板拧水帽式布水装置均匀性不佳, 导致水流偏流现象严重, 直接影响了整体系统的制水效率。这不仅减少了周期制水量, 还迫使系统需要更频繁地进行再生操作。同时, 每次再生过程导致高盐废水的排放量大大增加, 对环境保护带来负面影响, 增加了处理高盐废水的难度和费用。为解决这些问题, 亟需针对混床布水装置进行技术改进, 提升其水流均匀性和整体性能; (3) 现有的多孔板拧水帽式配水系统在机组负荷波动时, 易因过大的受力而发生变形或损坏, 这会导致混床在运行中出现偏流现象。此外, 顶部的水帽无法有效拦截树脂, 容易造成堵塞, 从而加剧了混床偏流的严重性, 增加了运行阻力。

1.2 原因分析

1.2.1 水锤效应

水锤现象是由流体流动的急剧变化引起的压力波

动,通常发生在诸如凝结水泵、高速混床等设备启动、停止时。水锤现象不仅会对配水装置造成严重的冲击,还可能导致管道出现故障,影响整个水处理系统的安全运行和设备寿命。此外,频繁的水锤现象会增加维修和维护的成本,对系统的可靠性带来不利影响。因此,必须采取有效的防护措施来减轻水锤现象的冲击,确保系统的稳定运行。

在凝结水泵的出口压力突然上升时,流体动能的急剧转化为压力能,会产生正向水锤。这种压力波动会沿管道迅速传播,导致管道内部压力急剧上升,可能远远超过系统设计压力。如果在高速混床启动前未充分灌满水,或者启动时内外压力未达到平衡,也会触发类似的水锤现象。正向水锤的冲击力可能是配水系统正常运行时的两倍甚至更高,这种巨大的冲击力对配水系统的稳定性构成严重威胁,可能会导致管道变形、螺栓拉伸松动,甚至配水装置的破裂和损坏。

在变频操作的凝结水泵切换到工频时,由于流量和压力的突然变化,同样可能发生正向水锤。频繁的正向水锤不仅会导致配水系统的即时损伤,而且会对系统造成长期损害,逐渐削弱配水系统的结构强度,最终可能导致系统的崩溃。

逆向水锤则是在凝结水泵从工频切换到变频,或者在失电等突发事件导致泵停止工作时发生的。这时,高速混床入口处会瞬间失压,形成一个局部的真空区域,导致水和树脂被突然吸入混床内。如果配水装置已经因为长期受到正向水锤的影响而损坏,它可能无法承受逆向水锤的冲击。垮塌不仅会损坏配水装置本身,还会使树脂、螺栓和金属碎屑等杂物进入系统中污染水质,影响水处理效果,甚至可能导致更严重的设备故障和系统停机。为了防止水锤现象对配水系统造成损害,必须采取一系列预防措施。这包括对系统进行合理的设计,使用适当的防水锤装置,如缓闭阀门、空气室、蓄能器等。同时,操作人员应该严格遵守操作规程,确保系统启动和停止过程中的压力和流量变化平稳。定期的系统维护和检查也是必不可少的,以便及时发现和修复可能导致水锤的潜在问题,确保系统的安全稳定运行^[4]。

该厂由于凝结水泵及变频器选型不合理,工频与变频模式下泵出口压力相差较大,导致其在运行切换的过程中频繁发生水锤效应。

1.2.2 多孔板拧水帽式布水装置设计缺陷

配水系统中的配水帽是水处理和离子交换装备中不可或缺的组件,其主要职能是优化装备的水分布情

况,并减少流体穿越装备时的阻抗。配水帽以其结构直观、安装与维护便捷的特性而备受青睐。尽管配水帽的设计经历了多次迭代,但关于其性能优化的科研文献相对稀缺,导致设计进步与性能评估之间的研究存在断层。不合理的配水帽设计可能会引起装备的过度阻抗,未能达到预期的设计效,从而引发重复施工和资源浪费。当树脂破损时,它们会增加配水帽与树脂层间的阻抗。此外,现有研究文献通常仅限于对单一种类配水帽的探讨,尚未有文献综合分析不同配水帽在流体动力学表现及其在运行过程中对树脂流量和压力下降的影响。

就传统配水装置而言,其结构通常涵盖主管、挡板结合波纹板或多孔板的配水帽等多种形式。目前,最为常见的配置是采用穹顶形挡板与多孔板组合的配水帽,其间隙通常设置为 1 mm,超出了离子交换树脂的粒径。这样的设计在装备运行过程中可能导致树脂进入配水帽并逐渐堆积,增大系统的阻抗。同时,传统的配水装置采用多块板通过螺栓连接,并与高速混床的内壁紧密结合,占据了整个截面。当系统承受负荷波动时,配水装置面临的挑战尤为严峻。由于水流的动态压力和瞬间压力变化,配水装置发生不可逆的形变,这种形变不仅损害了水分布的均匀性,还削弱了装置本身的结构完整性和其抵抗冲击的能力。在日常的维护检查中,技术人员经常会发现,即便在水锤效应较弱或基本不存在的环境中,配水系统中的关键部件——多孔板,也会出现弯曲和变形的现象。这种变形可能导致树脂层表面倾斜,进而造成流偏和水分布不均匀,影响树脂的交换效率和混床的工作性能。在流体动力学中,流体的流动状态对阻力的影响具有显著差异。在层流状态下,流速对阻力的影响相对较小,流体之间的摩擦力主要是黏性力的作用,而在湍流状态下,流速与阻力之间呈现出二次方的关系,即随着流速的增加,阻力的增长速率会加快。因此,当水帽截面较小时,湍流状态下的流速增加将显著提升水的阻力,这将导致更大的能量消耗和可能的设备损坏;而在层流状态下,即便流速减少,对阻力的影响也不会太大。因此,为了确保配水装置能够在各种工况下稳定运行,需要对其设计和材料选择进行精心考量。合理的强度设计可以防止因负荷波动引起的结构变形,而高质量的材料可以提高装置的耐腐蚀性和耐磨性,从而延长其使用寿命。此外,通过对流体动力学的深入研究和模拟,可使水流在混床中的分布更加均匀,减少湍流带来的不利影响,提高水处理效率。这些措

施不仅能够提升配水装置的可靠性和耐久性，还能够保证水处理系统的整体性能，确保电力系统的稳定供电和高效运行。由西安热工研究院开发的双层多孔板式配水装置保持了高速混床内部的穹形挡板设计，并采用了无水帽的上下两层多孔板结构。两层板之间设置了缓冲距离，且每层由多个钢板拼接而成，使用了密封条来减少缝隙。两层板的接缝处垂直分布孔洞错位，有效地解决了原有装置中缝隙扩大的问题。

2 方案确定及实施效果分析

为了解决高速混床运行可靠性低的问题，西安热工研究院做了以下三方面研究：

1. 分析现有高速混床布水装置偏流的原因，确定传统的多孔板拧水帽式布水装置设计缺陷所导致的损坏问题为主要原因。

2. 提出了高速混床计算机流体力学模拟优化方法，确定评价指标和参数，解决高流速、高压等极端工况下高纯水处理难以在实验室进行动态模拟试验的技术难题。

3. 研究提出高速混床新型布水装置的技术方案，并利用仿真模拟方法对设计参数进行优化，开展工业试验，对技术方案进行验证和评价。

本文着重介绍了评估高速混床效能的基本技术，运用先进的计算流体动力学模拟技术来验证双层多孔板布水系统设计的有效性。通过模拟高速混床中的布水系统流场特征，并与现场实际运行效果进行比较，本文验证了模拟边界条件的准确性。在确认模拟条件的可靠性基础上，实现了双层多孔板布水系统的模拟。模拟结果引导了新型布水系统设计的优化，提出了评估高速混床布水效果的两个关键指标：布水均匀性指数和系统运行压差的判定标准，揭示了高速混床内流场分布的模式，并提出了一种新型的强制流体均匀分布技术，其布水均匀性指数达到了0.90以上，运行压差降至3 kPa以下，能够适应高于最大流量50%的冲击负载，克服了在高流速（100~120 m/h）条件下混床布水不均的技术挑战，实现了阳离子树脂的工作交换容量从800 mol/m³R提升至1 200 mol/m³R以上。

在比较其他布水系统时，双层多孔板式布水装置显示出其在提升高速混床处理能力方面的显著优势，实现了超过50%的周期制水量增加。该装置成功解决了由于瞬时流速超过200 m/h引起的“正向水锤”现象，从而避免了布水装置的变形和损坏，减少了因此而必须进行的开罐检修，有效延长了高速混床的维护周期。

为应对深度调峰电厂在最低负荷运行时高速混床流量显著下降的挑战，本研究提出了一种与中心母管系统配合使用的创新型双层多孔板布水装置设计，确保了在低流速（10~30 m/h）条件下仍能保持水流的均匀分布。

3 结论

火力发电厂作为现代工业的重要能源供应基地，各种核心设备不可避免地会出现磨损和老化现象，将严重影响发电效率和安全稳定性，进而导致停机维修的频繁发生和维护成本的增加。因此，对于这些关键设备的更新改进工作，是确保电厂长期稳定运行的必要措施^[5]。本研究针对火电厂中一个常见的难题——凝结水精处理系统中高速混床装置的多孔板式布水装置偏流问题进行了深入的研究。在多数电厂的实际运行中，布水装置的偏流现象普遍存在，这通常是由于多孔板在长期使用中发生变形或损坏造成的，而这背后往往是设计上的缺陷。因此，本研究提出了一种改进的双层多孔板式布水装置。该装置通过优化设计，使布水均匀性达到了0.85以上，同时压力损失也降低到了1.65 kPa，大大增强了系统的稳定性和可靠性。双层多孔板的设计不仅延长了设备的使用寿命，还降低了对维护人员的技术要求。新开发的双层多孔板式布水装置已经在多个火电厂的高速混床中得到应用，结果显示，该装置能有效地延长水处理周期，减少化学试剂的使用量，同时还减少了废水和废液的排放量，这对于促进环境保护具有重要意义。此外，新装置的使用还能显著降低运营成本，提高了整个电厂的经济效益。

参考文献：

- [1] 邓丽娥,何刚.基于凝结水精处理系统周期制水量下降的分析[J].东北电力技术,2020,41(08):47-49.
- [2] 韩隶传,汪德良.热力发电厂凝结水处理[M].北京:中国电力出版社,2010.
- [3] 田文华,周莉.凝结水精处理系统节水减排降耗关键技术[J].热力发电,2019,48(01):84-89.
- [4] 张广文,李鹏,田文华,等.直接空冷机组高pH下高混长期稳定运行技术[J].水处理技术,2018,44(07):123-125.
- [5] 李鹏,徐松泉,田文华,等.超临界直接空冷机组凝结水精处理运行优化[J].水处理技术,2014,40(07):121-123.