

锅炉水处理与烟气净化系统的协同优化与节能降耗

刘广缘

中山粤海能源有限公司 广东中山 528400

摘要: 随着环保要求的日益严格和能源成本的不断上升, 锅炉系统的节能降耗与环保减排成为工业领域关注的焦点。本文深入探讨锅炉水处理与烟气净化系统的协同优化策略, 分析两者在节能降耗方面的紧密联系及相互影响。通过对现有技术和实际案例的研究, 阐述协同优化在降低能源消耗、减少污染物排放以及提高系统整体运行效率等方面的重要作用, 旨在为工业锅炉的可持续发展提供理论支持和实践指导。

关键词: 锅炉水处理; 烟气净化系统; 协同优化; 节能降耗

1. 锅炉水处理与节能降耗

1.1 水质对锅炉运行的影响

①结垢问题: 水中的悬浮物、胶体、无机盐等杂质在受热或超过其饱和浓度时, 会沉降析出形成泥渣和水垢。水垢的导热系数极低, 如硅酸盐水垢的导热系数仅为钢铁的 $1/50 - 1/200$, 这会极大地影响锅炉的传热效率。据测定, 结有 1 毫米厚的水垢, 燃料浪费可达 10%。同时, 水垢还会影响锅炉水循环, 导致局部过热, 使受热面损坏, 降低锅炉出力, 增加清洗工作量。严重时, 甚至会堵塞炉管、水路, 引发停炉和锅炉爆炸等严重事故。例如, 在一些工业锅炉中, 由于长期使用未经处理的硬水, 导致炉管内结垢严重, 热阻增大, 管壁温度急剧升高, 最终使炉管鼓包、破裂, 造成了巨大的经济损失。②腐蚀问题: 水质不良会引起金属腐蚀, 主要包括溶解氧腐蚀、酸性腐蚀和苛性脆化等。溶解氧会与金属发生电化学反应, 在金属表面形成腐蚀产物; 酸性物质会与金属发生化学反应, 导致金属溶解; 苛性脆化则是在拉应力和浓苛性钠溶液的共同作用下, 使金属发生不规则破坏。金属腐蚀不仅会导致热水锅炉金属构件的损坏, 还会形成新的垢下腐蚀, 加速金属的损坏。例如, 某电厂的锅炉由于水中溶解氧含量过高, 导致省煤器管发生严重的氧腐蚀, 管壁变薄, 最终发生泄漏, 影响了机组的正常运行。

1.2 锅炉水处理现状分析

①水处理设备使用率低: 目前, 大部分锅炉未配置水处理设备或虽有配置但使用率不高。据统计, 我国工业锅炉水处理设备的投用率不足 50%。许多企业为了降低成本, 忽视了水处理设备的重要性, 导致锅炉用水未经有效处理,

直接影响了锅炉的运行效率和寿命。②水处理知识缺乏: 很多单位的水处理工作由司炉工兼任, 他们缺乏专业的水处理知识, 对水处理设备的性能、用法、用量等了解不足, 无法正确操作和维护水处理设备。这使得水处理效果不佳, 甚至可能对锅炉造成更大的损害。例如, 有些司炉工在添加水处理药剂时, 不按照规定的剂量和方法添加, 导致药剂失效或产生副作用。③蒸汽锅炉冷凝水回收率低: 目前我国工业锅炉冷凝水的回收率普遍较低, 主要原因包括锅炉设计安装时未考虑冷凝水回收, 以及一些企业虽有回收装置, 但由于凝结水杂质多、未采取相应的水处理措施。

1.3 加强锅炉水处理的措施

①提高冷凝水回收率: 企业应重视冷凝水回收工作, 在锅炉设计安装时充分考虑冷凝水回收装置的配置。对于已有的锅炉, 可通过技术改造增加冷凝水回收装置。同时, 针对冷凝水杂质多、水质不合格的问题, 采取相应的水处理措施, 如设置过滤器、除铁装置等, 确保冷凝水符合回收要求。此外, 还可采用闭式冷凝水回收系统, 减少冷凝水与空气的接触, 降低其含氧量和 pH 值, 防止回水系统腐蚀。②强化水质监测与管理: 加强水质自检工作, 水质化验项目、频次应符合相关规定。定期化验水处理设备进水和出水水质, 掌握水源变化情况, 及时调整水处理设备的运行参数, 确保检测结果的准确性。

2. 烟气净化系统与节能降耗

2.1 烟气污染物的危害

①二氧化硫 (SO_2): SO_2 是烟气中主要的污染物之一, 它具有刺激性气味, 会对人体呼吸系统造成损害, 引发咳嗽、

气喘、呼吸困难等疾病。同时， SO_2 排放到大气中会形成酸雨，对土壤、水体、建筑物等造成严重的腐蚀和破坏。例如，在一些工业城市，由于大量的 SO_2 排放，导致周边地区的土壤酸化，农作物减产，森林植被受损。②氮氧化物 (NO_x)： NO_x 主要包括一氧化氮 (NO) 和二氧化氮 (NO_2)，它们是形成光化学烟雾和酸雨的重要前体物。 NO_x 会刺激人体呼吸道，降低人体免疫力，增加患呼吸道疾病的风险。此外， NO_x 还会对大气臭氧层造成破坏，加剧全球气候变暖。③颗粒物：颗粒物包括烟尘、粉尘等，它们会对空气质量产生严重影响，降低大气能见度，引发雾霾天气。颗粒物可被人体吸入肺部，对人体健康造成危害，尤其是细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$)，能够深入人体呼吸系统，引发心血管疾病、肺癌等严重疾病。

2.2 常见烟气净化技术

2.2.1 脱硫技术

目前，常用的脱硫技术有石灰石-石膏法、氧化镁法、氨法等。石灰石-石膏法是应用最广泛的脱硫技术，其原理是利用石灰石浆液与烟气中的 SO_2 发生反应，生成亚硫酸钙，再经氧化生成硫酸钙（石膏）。该技术脱硫效率高，可达 95% 以上，但存在投资成本高、运行费用大、产生大量脱硫废渣等问题。氧化镁法脱硫是利用氧化镁浆液吸收 SO_2 ，生成亚硫酸镁和硫酸镁，经再生后可循环使用，该技术具有脱硫效率高、设备占地面积小、运行成本低等优点，但氧化镁的来源和价格会影响其应用。氨法脱硫是以氨水为吸收剂，与 SO_2 反应生成亚硫酸铵和硫酸铵，可作为化肥回收利用，该技术脱硫效率高，且副产品有一定的经济价值，但存在氨逃逸等问题。

2.2.2 脱硝技术

主要的脱硝技术有选择性催化还原法 (SCR)、选择性非催化还原法 (SNCR) 以及两者的联合工艺。SCR 技术是在催化剂的作用下，利用氨气等还原剂将 NO_x 还原为氮气和水，该技术脱硝效率高，可达 80% - 95%，但催化剂成本高，且存在氨逃逸和催化剂中毒等问题。SNCR 技术是在高温条件下，将还原剂（如尿素、氨水等）喷入烟气中，与 NO_x 发生还原反应，该技术不需要催化剂，投资成本低，但脱硝效率相对较低，一般为 30% - 70%。SCR - SNCR 联合工艺结合了两者的优点，可在不同的工况下实现高效脱硝。

2.2.3 除尘技术

常见的除尘技术有静电除尘、布袋除尘和电袋复合除

尘等。静电除尘是利用高压电场使颗粒物荷电，在电场力的作用下将颗粒物吸附到集尘板上，该技术除尘效率高，可达 99% 以上，处理风量大，但对细颗粒物的去除效果较差，且设备投资大。布袋除尘是利用过滤材料对烟气中的颗粒物进行过滤，该技术对细颗粒物的去除效果好，除尘效率可达 99.9% 以上，但滤袋需要定期更换，运行成本较高。电袋复合除尘则结合了静电除尘和布袋除尘的优点，先通过静电场使颗粒物荷电，再利用布袋进行过滤，可实现高效除尘。

2.3 烟气净化系统的节能降耗措施

2.3.1 优化设备选型与运行参数

根据锅炉的类型、规模、燃料种类以及烟气污染物的浓度和排放要求，合理选择烟气净化设备的类型和规格，确保设备在高效运行的同时，降低能耗。例如，在选择脱硫设备时，对于烟气流较大、 SO_2 浓度较高的锅炉，可选用大型的石灰石-石膏法脱硫设备，并通过优化塔内结构、气液比等参数，提高脱硫效率，降低浆液循环泵等设备的能耗。在脱硝系统中，根据烟气温度、 NO_x 浓度等因素，合理调整 SCR 或 SNCR 系统的运行参数，如喷氨量、反应温度等，在保证脱硝效率的前提下，减少氨气的消耗和能源浪费。

2.3.2 余热回收利用

锅炉烟气中含有大量的余热，回收利用这些余热可以提高能源利用效率，降低能源消耗。常见的余热回收方式有安装烟气余热回收装置，如热管式换热器、板式换热器等，将烟气中的热量传递给锅炉给水、凝结水或其他需要加热的介质，提高其温度，减少燃料的消耗。例如，某电厂在锅炉尾部安装了烟气余热回收装置，利用烟气余热加热凝结水，使凝结水温度提高了 30°C ，每年可节约标准煤数千吨。此外，还可以利用烟气余热进行发电，如采用有机朗肯循环 (ORC) 技术，将烟气余热转化为电能，实现余热的高效利用。

3. 锅炉水处理与烟气净化系统的协同优化

3.1 协同优化的理论基础

3.1.1 物质循环与能量耦合

锅炉水处理过程中产生的废水和废渣中含有一定的化学物质，如钙、镁、硫等，这些物质可以在烟气净化系统中得到合理利用。例如，在石灰石-石膏法脱硫中，脱硫废渣主要成分是硫酸钙，可作为建筑材料的原料；而在锅炉水处理中，通过离子交换树脂软化水产生的废再生液中含有钙、镁离子，可用于制备脱硫剂。同时，烟气净化系统中的余热

可以为锅炉水处理提供能量支持,如利用烟气余热对锅炉补给水进行预热,提高水处理效率,降低能源消耗。这种物质循环和能量耦合的关系为两者的协同优化提供了理论依据。

3.1.2 系统整体性能提升

通过协同优化锅炉水处理与烟气净化系统,可以实现系统整体性能的提升。一方面,良好的锅炉水处理可以保证锅炉的安全稳定运行,提高热效率,减少烟气中污染物的生成量,从而降低烟气净化系统的处理负荷和能耗。另一方面,高效的烟气净化系统可以减少污染物对锅炉设备的腐蚀和损害,延长锅炉的使用寿命,同时也为锅炉水处理创造更好的运行环境。例如,通过控制烟气中的 SO_2 和 NO_x 含量,可以减少其在锅炉水中的溶解,降低水的酸性,减轻对锅炉金属的腐蚀。因此,从系统整体的角度出发,协同优化两者可以实现资源的高效利用和系统性能的最大化。

3.2 协同优化的技术路径

3.2.1 一体化设计

在锅炉系统的设计阶段,将水处理系统和烟气净化系统进行一体化考虑,优化两者之间的连接和布局,实现物质和能量的高效传输和利用。例如,设计一种集成式的脱硫、脱硝、除尘和水处理装置,将烟气净化过程中的废水处理、废渣回收与锅炉水处理相结合,减少设备占地面积和投资成本。同时,通过合理设计管道系统,实现烟气余热向水处理系统的有效传递,如将烟气余热回收装置与锅炉补水箱相连,直接利用烟气余热加热补给水。

3.2.2 工艺协同改进

对锅炉水处理工艺和烟气净化工艺进行协同改进,提高系统的整体运行效率。例如,在锅炉水处理中采用反渗透(RO)和离子交换树脂相结合的工艺,可有效去除水中的盐分和杂质,提高水的纯度,减少对锅炉设备的损害;而在烟气净化系统中,采用循环流化床半干法脱硫脱硝一体化工艺,可在同一设备中同时实现脱硫和脱硝,提高反应效率,降低能耗。此外,还可以通过优化药剂的选择和使用,实

现两者的协同增效。如在锅炉水处理中添加的缓蚀剂和阻垢剂,应考虑其对烟气净化系统的影响,避免产生不良的化学反应;而在烟气净化中使用的脱硫剂和脱硝剂,也应考虑其对锅炉水质的影响,确保两者相互兼容。

3.2.3 数据共享与智能协同控制

建立锅炉水处理与烟气净化系统的数据共享平台,实时采集和传输两者的运行数据,如水质参数、烟气污染物浓度、设备运行状态等。通过大数据分析和人工智能技术,对这些数据进行综合处理和分析,实现两者的智能协同控制。例如,根据锅炉水质的变化情况,自动调整烟气净化系统的运行参数,以减少污染物对锅炉的影响;同时,根据烟气污染物的浓度和排放要求,自动调整锅炉水处理的工艺和药剂投加量,确保锅炉的安全稳定运行。此外,智能协同控制还可以实现设备的故障诊断和预警,及时发现和解决系统运行中的问题,提高系统的可靠性和稳定性。

4. 结语

锅炉水处理与烟气净化系统的协同优化是实现节能降耗和环保目标的有效途径。通过深入分析二者单独运行存在的问题,认识到协同优化在节能、降耗和环保方面的重要性,并采取技术改进、流程整合和智能化控制等策略与方法,可以实现资源的高效利用,降低运行成本,减少污染物排放,提升锅炉系统的整体性能和可持续发展能力。随着技术的不断进步和对环保要求的持续提高,锅炉水处理与烟气净化系统的协同优化将具有更广阔的应用前景和研究价值,为工业生产和能源领域的绿色发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 邓雅敏. 锅炉水处理系统腐蚀结垢风险预警程序的开发与应用[J]. 今日制造与升级, 2024,(10):133-135.
- [2] 盛强男. 锅炉水处理中存在的问题及解决措施[J]. 清洗世界, 2024,40(05):57-59.
- [3] 朱金辉,王聪,张宏敏. 锅炉水处理及节能降耗技术的应用与展望[J]. 化工管理, 2024,(23):72-74+105.