

化学水处理技术在垃圾焚烧电厂中的应用与优化研究

张 丽

广州环投增城环保能源有限公司 广东广州 511335

摘 要：垃圾焚烧发电是城市固废处理的关键方式，具有减量化、无害化和资源化优势。其中，锅炉补给水水质关乎发电系统运行稳定性、能源利用效率及环保指标。化学水处理技术是保障锅炉补给水质量的核心，能精准控制水中杂质、结垢及腐蚀性成分，确保锅炉高效运行、设备稳定服役和排放安全。本文围绕垃圾焚烧电厂水质特性，剖析化学水处理技术应用状况，探讨应用问题，并提出优化策略，旨在探寻兼顾经济成本与可靠性的改进方案，为行业优化升级提供理论支撑和实践指导。

关键词：化学水处理技术；垃圾焚烧电厂；应用现状；优化策略

城市化加速使城市生活垃圾产生量爆发式增长，妥善处理垃圾成为城市发展的紧迫问题。垃圾焚烧发电作为先进处理方式优势显著，能大幅减少垃圾体积、杀灭病原体，还可将化学能转化为电能实现资源再利用，逐渐成为城市固废处置主流。不过，垃圾焚烧电厂运行环境特殊，对化学水处理要求严格。化学水处理成效关乎锅炉安全稳定运行、设备寿命及电厂效益，水处理不当会引发锅炉结垢、腐蚀等问题，降低热效率、增加能耗，甚至引发安全事故和污染，故研究其应用与优化意义重大。

1. 垃圾焚烧电厂的水质特点与水处理需求

1.1 水源构成的特殊性

垃圾焚烧电厂用水需求复杂，主要有锅炉补给水和辅助系统用水。锅炉补给水对保障锅炉正常运行至关重要，用于补充蒸汽循环中损失的水分。其水源多样，城市自来水较常见，经处理可直接用，但易受城市供水系统因素影响；地下水水质相对稳定，不过可能含较多矿物质和微量元素；中水回用水是污水处理达标后的水，能实现资源再利用，但水质成分复杂。此外，垃圾焚烧工艺特殊，垃圾储坑渗滤液含大量有机物、悬浮物和微生物代谢产物等，一旦混入原水系统，会显著改变原水水质，进而大大增加水处理难度^[1]。

1.2 水质的具体特征

垃圾焚烧电厂水质特征复杂。其一，悬浮物与有机物含量高。垃圾储坑渗滤液可能混入原水，携带腐殖质等胶体物质，以微小颗粒存在，既影响水的清澈度，又易在管道和设备表面沉积，妨碍设备正常运行。其二，硬度与碱度波动

大。部分地区自来水或中水中钙、镁离子及碳酸氢根浓度不稳定，钙、镁离子浓缩后易在锅炉受热面形成水垢，降低热传递效率；碳酸氢根加热分解产生的二氧化碳，会增强水的酸性，加剧金属设备腐蚀^[2]。此外，还存在氯离子与重金属潜在风险，氯离子腐蚀性强，重金属离子有毒，会危害生态和人体健康。

1.3 水处理的核心目标

基于垃圾焚烧电厂复杂水质特点，化学水处理有多个核心目标。一是有效去除悬浮物与胶体杂质。这些杂质若沉积在管道和换热器表面，会造成局部过热，缩短设备寿命，甚至堵塞流道，影响系统运行。去除杂质可保证管道设备畅通，提升热传递效率。二是严格控制结垢与腐蚀。水中钙、镁离子及溶解氧是导致锅炉受热面结垢和金属腐蚀的主因，结垢会降低热效率、增加能耗，腐蚀会缩短设备寿命、提高维护成本。借助化学水处理技术，能降低有害物质含量，减少结垢与腐蚀。三是抑制微生物滋生。冷却水系统等易成微生物繁殖地，其滋生会产生生物黏泥，堵塞管道、加剧腐蚀，需采取杀菌抑菌措施保障系统运行。

2. 化学水处理技术的典型应用

2.1 预处理：去除大颗粒与胶体杂质

预处理是化学水处理的关键前端环节，能去除原水中的大颗粒物质、胶体及部分有机物，为后续处理工艺奠定良好基础。常见预处理工艺有三种：一是多介质过滤，这是常用预处理方法。它借助石英砂、无烟煤等不同粒径滤料层级过滤，去除水中较大悬浮颗粒。滤料孔隙结构不同，可有效

拦截悬浮物,降低水的浊度。其操作简单、成本较低,是基础预处理方式^[3]。二是活性炭吸附,利用活性炭多孔结构,吸附水中有机物、余氯等。活性炭比表面积大,能与有机物物理吸附,还可去除余氯,保护后续反渗透膜等设备,既能改善水的口感,又能提高水质。三是混凝沉淀,通过投加混凝剂,让细小胶体颗粒凝聚成大絮体,再经沉淀去除。它能有效降低水的浊度和有机物含量。

2.2 除盐处理:降低硬度与离子含量

除盐处理是化学水处理核心环节,旨在降低水中硬度与离子含量,满足锅炉补给水水质要求。主流工艺有离子交换法、反渗透技术和电去离子技术等^[4]。

离子交换法是传统成熟方法,通过阳、阴离子交换树脂串联组合,去除水中钙、镁等阳离子和硫酸根、氯离子等阴离子,将水电导率降至较低水平。它操作相对简单,但需定期再生树脂,消耗酸碱药剂。反渗透技术利用半透膜在压力下只让水分子通过的特性,截留大部分溶解盐类及有机物,反渗透膜选择性强,产水水质高、占地面积小,不过存在通量衰减快、浓水排放量大等问题。

电去离子技术结合离子交换与电渗析原理,在直流电场下连续再生树脂,无需化学药剂,产水水质更高且无需酸碱再生,适用于高水质要求的锅炉,但设备成本高、投资大。

2.3 后处理:调节 pH 与抑制腐蚀

除盐后的水离子含量虽低,但仍需后处理以满足锅炉运行特殊要求,主要包括调节 pH、控制溶解氧、抑制硅与铁含量。

调节 pH 方面,投加氨水或吗啉等有机碱,保持锅炉水弱碱性。在此环境下,金属表面会形成保护膜,防止金属腐蚀;若 pH 值过低,金属易发生酸性腐蚀,缩短设备寿命。

控制溶解氧时,采用热力除氧或化学除氧法。溶解氧是金属腐蚀的重要因素,会与铁反应生成铁锈。热力除氧利用蒸汽加热使水中氧气析出,化学除氧则投加化学药剂与氧气反应将其去除。

抑制硅与铁含量上,通过离子交换或膜过滤等方法进一步降低。硅酸盐高温下易形成硅酸凝胶附着受热面,影响传热;铁离子会加速腐蚀产物沉积、堵塞管道。控制二者含量可保证锅炉正常运行。

3. 化学水处理技术应用中存在的问题

3.1 预处理效果不稳定的问题

预处理效果容易受到多种因素的影响而不稳定。原水

水质的季节性波动是一个重要因素,例如在雨季,雨水会携带大量的泥沙、有机物等进入原水系统,导致浊度骤增。这种浊度的变化会影响过滤设备的过滤效果,使得预处理无法有效地去除水中的悬浮物和胶体杂质^[5]。

滤料老化也是影响预处理效果的关键因素之一。随着使用时间的增加,滤料的孔隙会被堵塞,过滤性能会逐渐下降。老化的滤料无法有效地拦截水中的杂质,导致预处理出水水质变差。这不仅会影响后续处理工艺的效果,还会增加后续设备的运行风险,如反渗透膜的污堵和腐蚀等。

3.2 除盐系统运行成本较高的问题

除盐系统的运行成本主要包括药剂消耗和设备更换等方面。离子交换树脂需频繁再生,这是因为随着处理水量的增加,树脂的交换能力会逐渐下降。为了恢复树脂的交换能力,需要定期用酸碱药剂对其进行再生处理。这不仅消耗大量的酸碱药剂,增加了运行成本,还产生了废酸碱液处理的问题。废酸碱液如果处理不当,会对环境造成污染。反渗透膜存在通量衰减快、使用寿命有限以及浓水排放量大等问题。在长期运行过程中,反渗透膜会受到水中杂质、微生物等因素的影响,导致膜的通量逐渐下降。为了保证产水水质和水量,需要定期更换反渗透膜,这增加了设备更换成本^[6]。

3.3 腐蚀与结垢风险控制的问题

锅炉受热面结垢会影响传热效率,导致局部过热甚至引发爆管等严重问题。水中的钙、镁离子在加热过程中会形成碳酸钙、氢氧化镁等水垢,这些水垢附着在锅炉受热面上,阻碍了热量的传递,使得受热面的温度升高。当温度超过金属材料的承受极限时,就会引发爆管事故,严重影响锅炉的安全运行。

腐蚀产物脱落会加剧下游管道堵塞。锅炉中的金属设备在与水接触的过程中会发生腐蚀,产生铁锈等腐蚀产物。这些腐蚀产物会随着水流进入下游管道,逐渐沉积在管道内,导致管道堵塞。管道堵塞会影响水的正常流动,降低锅炉的热效率,甚至可能导致系统故障。

4. 化学水处理技术的优化方向

4.1 预处理效果的优化

为了提高预处理效果的稳定性,可以采取一系列优化措施。增设自动反冲洗控制系统是一种有效的方法。该系统可以根据滤池进出口压差或定时程序自动清洗滤料。当滤池进出口压差达到一定值时,说明滤料表面已经积累了大量的杂质,需要进行反冲洗。自动反冲洗控制系统可以及时启动

反冲洗程序, 确保滤料的过滤性能始终处于良好状态。

采用超滤技术替代传统多介质过滤也是一种优化方向。超滤膜孔径更小, 可截留更小的胶体与细菌, 产水浊度更低。超滤技术能够有效地去除水中的微小颗粒和胶体物质, 减少后续膜污染风险。与传统的多介质过滤相比, 超滤技术具有更高的过滤精度和更好的水质保障能力^[7]。

定期检测预处理出水的 SDI 等指标, 动态调整混凝剂投加量。SDI (污染指数) 是衡量预处理出水水质的重要指标之一。通过定期检测 SDI, 可以及时了解预处理效果, 并根据检测结果动态调整混凝剂的投加量。这样可以保证预处理过程始终处于最佳状态, 有效地去除水中的杂质。

4.2 除盐系统运行成本的优化

对于除盐系统运行成本的优化, 可以从工艺改进和设备管理等方面入手。对于低参数锅炉, 采用“反渗透 + 钠离子交换”组合工艺是一种可行的方法。利用反渗透降低硬度后, 水的含盐量大幅降低, 此时仅需少量树脂处理残余离子, 从而减少酸碱用量。这种组合工艺既可以保证除盐效果, 又可以降低运行成本^[8]。

推广浓水回收技术也是优化除盐系统运行成本的重要措施。通过反渗透浓水二次软化后回用于冷却塔补水或绿化用水, 可以降低水资源浪费和浓水排放成本。浓水虽然含盐量较高, 但仍然具有一定的利用价值。通过适当的处理, 可以将浓水回收利用, 实现水资源的循环利用。

选用抗污染型反渗透膜, 并定期进行化学清洗, 延长膜的使用寿命, 降低设备更换成本。抗污染型反渗透膜具有更好的抗污染性能, 能够在较为复杂的水质条件下保持较高的通量和分离性能^[9]。定期进行化学清洗可以去除膜表面的污垢和杂质, 恢复膜的通量和性能, 延长膜的使用寿命, 从而降低设备更换成本。

4.3 腐蚀与结垢风险的协同控制

为了有效协同控制腐蚀与结垢风险, 需要采取综合的策略。精准加药是关键措施之一。根据水质分析结果动态调整阻垢剂与缓蚀剂的投加量, 避免药剂过量导致的二次污染。阻垢剂可以防止水中的钙、镁等离子形成水垢, 缓蚀剂可以保护金属设备免受腐蚀。

加强在线监测是实现协同控制的重要手段。安装电导率、pH、溶解氧及铁含量等在线传感器, 实时反馈水质变化并联动控制系统调整加药泵频率, 实现对水质的精准控

制。在线监测可以及时发现水质的变化情况, 通过控制系统自动调整加药泵的频率, 保证水质始终处于最佳状态^[10]。定期进行化学清洗, 如酸洗和碱洗等, 去除锅炉受热面的结垢和腐蚀产物, 恢复受热面清洁度, 保证锅炉的安全运行。

5. 结论与展望

化学水处理技术对垃圾焚烧电厂意义重大, 关乎运行安全、设备寿命及经济效益。该电厂水质特殊, 合理应用并优化预处理、除盐处理和后处理等技术, 可解决预处理效果波动、除盐成本高昂、腐蚀与结垢风险控制难等问题。

随着环保要求提升和技术进步, 化学水处理技术正朝着智能化、低碳化、资源化方向发展。智能化能实时监测水质并自动调控参数, 提升处理精准度与效率; 低碳化可减少药剂使用和废水排放, 降低环境影响; 资源化能回收浓水中的有用物质并回用于生产, 实现水资源循环利用。未来, 该技术将持续创新, 为垃圾焚烧发电行业可持续发展提供有力支撑, 助力提高运行效率、降低能耗污染, 实现经济、社会与环境的协调共进。

参考文献:

- [1] 王世忠. 电厂化学水处理技术探讨 [J]. 造纸装备及材料, 2023,52(06):179-181.
- [2] 王普军. 浅谈电厂化学水处理技术 [J]. 科技资讯, 2016,14(02):68-69.
- [3] 贾兰, 刘兴华, 刘鹏, 等. 电厂化学水处理系统现状及技术创新应用研究 [J]. 科技创新与应用, 2025,15(14):48-53.
- [4] 王亮. 浅析电厂化学水处理技术发展与应用 [J]. 山东工业技术, 2017,(09):12.
- [5] 罗雪明. 电厂化学水处理存在的问题及应对措施 [J]. 科技与创新, 2025,(10):160-163.
- [6] 陈建花. 关于电厂化学水处理中反渗透膜技术的应用探讨 [J]. 当代化工研究, 2021,(14):119-120.
- [7] 都琳. 电厂化学水处理工作中双膜工艺技术的应用实践浅析 [J]. 科技与企业, 2015,(22):102+104.
- [8] 苗润. 关于电厂化学水处理技术发展及应用研究 [J]. 当代化工研究, 2017,(06):49-50.
- [9] 黄燕. 电厂化学水处理技术发展特点与应用分析 [J]. 当代化工研究, 2016,(05):124-125.
- [10] 张妹英. 电厂化学水处理技术发展及应用探析 [J]. 化工管理, 2018,(20):142-143.