

电厂锅炉化学清洗废水处理及回收利用

汶虎云 杨超

西安协力动力科技有限公司 陕西 西安 710000

摘要：电厂锅炉化学清洗废水来源复杂，酸洗废水，具有较低pH值、高COD、多悬浮物及重金属超标等特性。碱洗废水具有高pH，高COD，高悬浮物的特点，针对此类废水，可采用中和处理、混凝沉淀及膜分离等技术进行处理。处理后废水可回用于电厂生产环节、制备工业用水及绿化灌溉等，实现水资源循环利用。未来发展方向包括研发新型处理药剂、优化组合工艺及引入智能化监控与管理系统，以提高处理效率和稳定性，降低处理成本，减少环境污染。这些措施对于节约水资源、保障电厂安全运行及促进可持续发展具有重要意义。

关键词：电厂锅炉；化学清洗；废水处理；回收利用

引言：电厂锅炉作为电力生产的核心设备，其化学清洗过程中产生的废水处理与回收利用问题日益受到关注。这些废水成分复杂，含有大量金属离子、有机物及悬浮物，若未经妥善处理直接排放，将对环境造成严重污染。同时，随着水资源的日益紧张，如何实现这些废水的有效回收利用，成为电力行业亟待解决的重要课题。本文旨在深入探讨电厂锅炉化学清洗废水的来源、特性、处理技术及其回收利用途径，并结合技术发展展望，提出高效、环保的废水处理与回收利用策略，以期为电力行业的可持续发展提供有力支持。通过本文的研究，我们期望能为电厂锅炉化学清洗废水的处理与回收利用提供新的思路和方法。

1 电厂锅炉化学清洗废水来源及特性

1.1 电厂锅炉化学清洗废水来源

电厂锅炉的化学清洗主要包括酸洗和碱洗两种方式。这两种清洗方式产生的废水在成分和性质上有着显著的差异。（1）酸洗废水：酸洗是电厂锅炉化学清洗中最为常见的一种方式。在酸洗过程中，通常使用盐酸、硫酸等强酸作为清洗剂，通过酸液与水垢中的金属离子发生化学反应，从而将其去除。然而，这一过程产生的废水却含有大量的金属离子，如钙、镁、铁等，这些金属离子是从水垢中溶出并随废水排出的。此外，废水中还含有未反应完全的残留酸液以及清洗过程中剥落的污垢颗粒，这些成分使得酸洗废水的成分复杂且处理难度增大。（2）碱洗废水：碱洗主要用于清除锅炉内部的油污等有机物。在碱洗过程中，通常使用氢氧化钠、碳酸钠等碱性物质或双氧水作为清洗剂，通过其与油污的皂化反应或氧化反应将其转化为可溶于水的物质，再通过冲洗去除。然而，这一过程产生的废水却含有高浓度的碱性物质，以及用于辅助清洗的表面活性剂。这些成分

不仅使得废水的pH值显著升高，还增加了废水的化学需氧量（COD）。此外，废水中还含有少量的悬浮杂质，如剥落的污垢颗粒和未完全反应的清洗剂残留等。

1.2 电厂锅炉化学清洗废水特性

电厂锅炉化学清洗废水在成分和性质上呈现出以下特点：（1）pH值偏差大：无论是酸洗废水还是碱洗废水，其pH值都与二类排放标准差别很大。酸洗废水通常呈强酸性，而碱洗废水则呈强碱性。这种极端的pH值不仅使得废水对环境的破坏力增大，还增加了废水处理的难度和成本。（2）化学需氧量（COD）高：电厂锅炉化学清洗废水中含有大量的有机物和无机物，这些成分使得废水的化学需氧量（COD）显著升高。高COD的废水在后续处理过程中需要消耗更多的氧化剂，从而增加了处理成本。（3）悬浮物多：废水中含有大量的悬浮物，如剥落的污垢颗粒、未完全反应的清洗剂残留等。这些悬浮物不仅增加了废水的浊度，还容易在后续处理过程中造成堵塞和磨损等问题。（4）重金属含量超标：酸洗废水中含有大量的金属离子，如钙、镁、铁等。这些金属离子在废水中以离子的形式存在，不仅增加了废水的毒性，还容易在后续处理过程中造成二次污染。特别是某些重金属离子，如铅、镉等，其含量往往超标，对环境和人体健康构成严重威胁^[1]。

2 电厂锅炉化学清洗废水处理技术

2.1 中和处理

中和处理是调节废水pH值的传统且有效的方法。针对电厂锅炉化学清洗产生的酸性废水，通过添加碱性药剂（如氢氧化钠、石灰乳等），促使废水中的酸性物质与碱性药剂发生中和反应，从而升高废水的pH值，直至接近中性范围。反之，对于碱性废水，则采用酸性药剂（如硫酸、盐酸等）进行中和，降低其pH值。中和处

理不仅能有效改善废水的酸碱度,减少其对环境的腐蚀性,还能为后续处理工艺创造有利条件。然而,中和处理过程中会产生大量污泥,主要由未完全反应的酸碱药剂、废水中的金属离子及沉淀物组成。这些污泥若未经妥善处理,不仅会造成二次污染,还会增加处理成本。因此,中和处理后的污泥需通过压滤、离心脱水等方式进行减量化处理,最终安全处置或资源化利用。

2.2 混凝沉淀

混凝沉淀技术是利用混凝剂(如聚合氯化铝、聚合硫酸铁等)的吸附、架桥、网捕等作用,将废水中的悬浮颗粒、胶体物质及部分溶解性物质聚集形成较大的絮体,再通过重力作用实现沉淀分离。在电厂锅炉化学清洗废水中,混凝剂能有效吸附金属离子、污垢颗粒及部分有机物,加速沉淀过程,从而显著降低废水的浊度、悬浮物含量及部分重金属离子浓度。混凝沉淀技术的关键在于混凝剂的选择与投加量控制。合适的混凝剂及投加量不仅能提高沉淀效率,还能减少污泥产生量。然而,该技术对溶解性有机物及小分子污染物的去除效果有限,需与其他处理工艺联合使用,以实现废水的全面净化。

2.3 膜分离技术

膜分离技术以其高效、无相变、占地面积小等优势,在电厂锅炉化学清洗废水处理中展现出广阔的应用前景。该技术主要包括微滤、超滤、纳滤和反渗透等多种类型,可根据废水成分及处理需求选择合适的膜类型。微滤和超滤主要依靠膜的筛分作用,去除废水中的悬浮物、胶体及大分子有机物,适用于废水的预处理阶段。纳滤和反渗透则能进一步去除废水中的重金属离子、小分子有机物及溶解性盐类,实现废水的深度净化。特别是反渗透膜,其孔径极小,能截留几乎所有离子和小分子物质,使处理后的水质接近纯水标准。然而,膜分离技术也面临一些挑战。首先,膜易受到污染,需定期清洗或更换,增加了运行维护成本。其次,膜分离设备的投资成本较高,对处理规模及水质要求较高。此外,膜分离过程中产生的浓水需妥善处理,避免造成二次污染^[2]。

3 电厂锅炉化学清洗废水回收利用途径

3.1 回用于电厂生产环节

电厂锅炉化学清洗废水经过适当处理后,其水质可满足电厂内部某些生产环节的低质用水需求,从而实现水资源的循环利用。具体而言,处理达标的废水可回用于电厂的除灰、除渣及脱硫脱销系统。在这些系统中,水主要承担输送灰渣、抑制扬尘及拌湿等功能,对水质

的要求相对较低。通过回收利用化学清洗废水,可以有效减少新鲜水资源的消耗,降低水资源的浪费。在回用过程中,需确保废水处理工艺的有效性,以去除废水中的悬浮物、重金属离子、有机物等有害成分,使其达到电厂生产环节的用水标准。同时,应建立完善的监测体系,定期对回用水的水质进行监测,确保水质稳定且符合使用要求。此外,还需关注回用水对电厂设备的影响,避免因水质问题导致的设备损坏或性能下降。

3.2 制备工业用水

通过进一步的深度处理,电厂锅炉化学清洗废水(主要为碱洗水)可转化为符合工业用水标准的水源。深度处理技术通常包括离子交换、反渗透、纳滤等高级处理工艺,这些工艺能够高效去除废水中的微量重金属离子、盐分、有机物等杂质,提升水质至工业用水级别。(1)处理后的废水可作为电厂循环冷却系统的补水、锅炉补给水的预处理水源等。循环冷却系统是电厂中耗水量最大的系统之一,使用处理后的废水作为补水,可显著降低电厂对外部优质水源的依赖,减少水资源的浪费。同时,将废水作为锅炉补给水的预处理水源,也可在保障锅炉安全稳定运行的同时,降低生产成本。(2)在制备工业用水的过程中,需根据废水的具体成分及处理需求,选择合适的深度处理工艺。同时,应关注处理过程中产生的副产物及能耗问题,采取节能降耗措施,提高处理效率。此外,还需建立完善的废水回用管理制度,确保废水回用的安全性与可持续性。

3.3 其他用途

除了回用于电厂生产环节和制备工业用水外,处理后的电厂锅炉化学清洗废水还可用于其他多种用途。例如,可用于厂区绿化灌溉。通过喷灌、滴灌等节水灌溉方式,将废水均匀施用于绿地,为植物生长提供必要的水分。这一做法不仅有助于实现水资源的综合利用,还能减少绿化用水对新鲜水资源的占用,降低水资源的浪费。在绿化灌溉过程中,需根据植物的生长需求及废水的处理效果,合理确定灌溉频率与灌溉量。同时,应关注灌溉废水对植物生长及土壤环境的影响,避免因水质问题导致的植物生长受阻或土壤污染。此外,还需建立完善的灌溉管理制度,确保灌溉活动的有序进行^[3]。

4 技术发展展望

随着电力行业的快速发展,电厂锅炉化学清洗废水的处理问题日益凸显。面对水资源短缺和环境保护的双重压力,研发更高效、环保的废水处理技术和优化现有处理工艺成为解决这一问题的关键。

4.1 新型处理药剂研发

在电厂锅炉化学清洗废水处理中,药剂的选择直接影响到处理效果和成本。当前,市场上常用的处理药剂虽在一定程度上能满足处理需求,但仍存在处理效率低、污泥产生量大、后续处理成本高等问题。因此,研发更高效、环保的新型处理药剂成为未来发展的必然趋势。(1)应致力于研发能在更广泛pH值范围内发挥作用的混凝剂。传统的混凝剂往往对特定pH值范围内的废水处理效果较好,但面对电厂锅炉化学清洗废水成分复杂、pH值波动大的特点,其处理效果往往受限。因此,研发一种能在不同pH值条件下均能有效去除悬浮物、胶体及部分溶解性污染物的混凝剂,将显著提高处理效率和稳定性。(2)开发可生物降解的中和药剂也是未来发展的重要方向。传统的中和药剂如氢氧化钠、石灰乳等,在处理过程中易产生大量污泥,增加后续处理难度和成本。而可生物降解的中和药剂则能在中和废水酸碱度的同时,被微生物分解利用,减少污泥产生量,降低后续处理成本。此外,这类药剂的使用还能减少对环境的二次污染,符合绿色、可持续发展理念。

4.2 组合工艺优化

电厂锅炉化学清洗废水成分复杂,单一处理技术往往难以达到理想的处理效果。因此,进一步探索和优化不同处理技术的组合工艺,成为提高处理效率和稳定性的关键。(1)生物处理技术与膜分离技术的结合是未来组合工艺优化的重要方向。生物处理技术能有效去除废水中的有机物,减轻膜污染,延长膜的使用寿命。同时,膜分离技术则能进一步去除废水中的重金属离子、小分子有机物及溶解性盐类,实现废水的深度净化。这种组合工艺既能发挥各自技术的优势,又能相互补充,提高整体处理效果。(2)还可以考虑将混凝沉淀、高级氧化等处理技术与其他新兴技术相结合,形成更加高效、稳定的废水处理工艺。通过优化组合工艺,不仅可以提高处理效率,还能降低处理成本,实现经济效益与环境效益的双赢。

4.3 智能化监控与管理

随着信息技术的快速发展,智能化监控与管理系

统在电厂锅炉化学清洗废水处理中的应用日益广泛。通过引入智能化系统,可以实时监测废水处理及回收利用过程中的各项参数,如水质指标、设备运行状态等,实现数据的实时采集、分析和预警。(1)智能化监控与管理系统的应用,不仅可以提高废水处理的自动化水平,降低人工操作成本,还能通过数据分析及时调整处理工艺参数,确保系统高效稳定运行。例如,当监测到废水中的某项污染物浓度超标时,系统可以自动调整混凝剂的投加量或增加处理时间,以提高处理效果。同时,智能化系统还能对设备运行状态进行实时监测,及时发现并处理设备故障,避免事故的发生。(2)智能化监控与管理系统还能为废水处理的优化提供数据支持。通过对历史数据的分析,可以找出处理过程中的瓶颈和不足之处,为后续的工艺优化提供科学依据^[4]。

结束语

综上所述,电厂锅炉化学清洗废水的处理与回收利用是一个复杂而系统的工程,涉及废水来源及特性的深入分析、高效处理技术的研发与应用,以及回收利用途径的多元化探索。随着技术的不断进步和环保意识的增强,未来电厂锅炉化学清洗废水的处理将更加高效、环保,回收利用途径也将更加广泛。通过新型处理药剂的研发、组合工艺的优化以及智能化监控与管理系统的引入,我们有理由相信,电厂锅炉化学清洗废水的处理问题将得到更加有效的解决,为实现水资源的可持续利用和电力行业的绿色发展贡献力量。这不仅是对当前环保政策的积极响应,更是对未来可持续发展的深远布局。

参考文献

- [1]权新发,郑海超,房磊.化学清洗废水燃烧在火力发电厂的应用[J].清洗世界,2021,37(12):7-8.
- [2]杨圣月,秦永忠.火电厂废水分级回收利用探索与实践[J].中国新技术新产品,2021,(23):125-127.
- [3]杨博.化学清洗污水处理技术的应用研究[J].清洗世界,2021,37(11):71-72.
- [4]赵旋戈,郑朋刚.发电厂锅炉化学清洗废水处理及回收利用探讨[J].山东工业技术,2019(5):194.