

电厂脱硫废水零排放处理技术的现状与发展趋势探讨

梁 宵

华电水务工程有限公司, 北京 100070

[摘要]随着环保法规日益严格,电厂脱硫废水零排放技术成为实现绿色发展的关键途径。文中系统分析了当前常用的化学沉淀、膜分离与热法浓缩等处理技术,探讨了零排放技术在实施过程中面临的成分复杂性、技术匹配与能效等关键问题。在此基础上,重点阐述了膜分离创新、化学物理联合处理和热法浓缩优化的最新发展方向。进一步从经济性、可持续性 & 政策驱动角度,综合评估了技术应用现状与前景,提出未来突破路径与挑战。

[关键词]电厂; 脱硫废水; 零排放技术; 环保; 技术创新

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17709

中图分类号: X703

文献标识码: A

Discussion on the Current Status and Development Trend of Zero Discharge Treatment Technology for Power Plant Desulfurization Wastewater

LIANG Xiao

Huadian Water Engineering Co., Ltd., Beijing, 100070, China

Abstract: With increasingly strict environmental regulations, zero discharge technology for desulfurization wastewater in power plants has become a key way to achieve green development. The article systematically analyzes the commonly used treatment technologies such as chemical precipitation, membrane separation, and thermal concentration, and explores the key issues faced by zero emission technology in the implementation process, such as component complexity, technical matching, and energy efficiency. On this basis, the latest development directions of membrane separation innovation, chemical and physical combined treatment, and thermal concentration optimization were emphasized. Further evaluated the current status and prospects of technological applications from the perspectives of economy, sustainability, and policy drivers, and proposed future breakthrough paths and challenges.

Keywords: power plant; desulfurization wastewater; zero emission technology; environment protection; technological innovation

引言

随着环保要求的提升,脱硫废水的处理成为电厂不可忽视的环保任务。零排放处理技术作为解决废水排放问题的有效途径,能够有效减少废水排放并实现资源回收。该技术不仅有助于满足日益严格的环保法规,还能推动电厂绿色可持续发展,具有重要的研究与应用价值。

1 电厂脱硫废水零排放处理技术的现状

1.1 目前常用的脱硫废水处理技术

目前电厂脱硫废水的零排放处理通常分为三个阶段:第一步是采用化学沉淀法,主要通过投加沉淀剂去除废水中的石膏、泥沙等悬浮固体,降低水中杂质含量,为后续浓缩处理创造条件;该方法工艺成熟、操作简便,但对溶解性强的污染物去除效果有限。第二步是浓缩处理,主要包括烟气余热浓缩、多效蒸发等方式,在当前实际工程应用中尤以多效蒸发处理能力、出水水质稳定。膜分离技术如反渗透也可用于部分预处理或浓缩环节,具备高效去除有机物和无机盐的能力,但受限于膜污染、运行成本等因素,目前尚未成为主流。第三步是结晶固化或回收资源,实现最终零排放目标,当前主要采用旁路烟道蒸发工艺,其中又分双流体雾化工艺和旋转雾化工艺。整体而言,当前脱硫废水零排放处理正朝着高效、集成与资源化方向发展。

1.2 零排放技术的实施现状

零排放技术的核心在于通过各种处理工艺实现废水的不向外排放,废水经处理后,所有水分要么被回收利用,要么转化为固体废物。其实现方式通常包括化学处理及浓缩蒸发等多种技术的组合应用。

目前,国内外许多电厂已逐步开始采用零排放技术。例如,美国部分电厂已实现脱硫废水的零排放,通过采用先进的反渗透膜系统与浓缩蒸发技术相结合,使废水处理后的水质达到可回收利用标准。在浓缩蒸发环节,常应用多效闪蒸(MED)、双流体旁路烟道(主烟道)蒸发系统、旋转雾化旁路烟道(主烟道)蒸发技术等,以实现能量的高效利用和废水的深度浓缩。

中国部分电厂也在积极试点并推进脱硫废水零排放技术,特别是在浓缩蒸发技术方面取得了显著进展。其中,多效闪蒸技术因能有效降低蒸发能耗而被广泛应用,双流体旁路烟道蒸发和旋转雾化旁路烟道蒸发技术则通过利用烟气余热直接蒸发废水,提高了整体系统的能效比和经济性。

然而,零排放技术的大规模推广仍面临诸多挑战,如技术投资成本高、工艺系统复杂、运行维护要求高等问题,亟需进一步的技术优化与成本控制措施来推动其更广泛应用。

1.3 技术的优势与局限

目前常用的脱硫废水处理技术各有优劣。化学沉淀法工艺简单、投资较低,适用于初步去除悬浮固体和部分重金属离子,但对溶解性污染物的去除效果有限。热法浓缩类技术,如多效蒸发(MED)和烟气余热浓缩,是目前零排放系统中的关键环节。多效蒸发能有效降低蒸发能耗,但是采用低温省煤气出水作为热源稳定性不如直接采用辅助蒸汽作为直接热源。烟气旁路直喷(如双流体雾化、旋转雾化)则充分利用锅炉烟气余热,具有煤耗低、系统集成度高等优势,越来越受到关注,但对烟气工况波动较敏感,运行调控复杂。膜分离技术如反渗透可在预处理和浓缩前段作为辅助手段使用,具有去除污染物效率高的特点,但膜污染与维护成本高问题仍未根本解决。总体来看,零排放技术的显著优势在于实现废水资源化利用,杜绝排放对生态的影响;然而,其高投资、高能耗、运行复杂和稳定性控制难等问题仍制约着其在电厂的大规模推广。尤其是电厂普遍关注的系统总能耗及单位水处理的煤耗差异,是决定技术选型与运行经济性的关键因素。

2 脱硫废水零排放技术的关键问题

2.1 废水成分的复杂性与处理难度

脱硫废水的成分复杂,主要包含氯化物、硫酸盐、重金属离子、有机物等。高浊度、高盐量是脱硫废水的主要水质特征,对环境和水质的危害较大。有机物若未经过有效去除,不断地富集会导水质恶化,高浓度的氯离子则会对处理设备的腐蚀问题带来较大的挑战,而硫酸钙则容易在设备表面结构,堵塞设备。处理这些成分的技术要求高,特别是对于高浓度溶解性盐类的去除,常规技术难以稳定地高效处理。此外,废水中的重金属离子如铅、汞等也会影响处理系统的稳定性和安全性,增加了处理难度。因此,脱硫废水处理技术需要具有较强的去除复杂污染物的能力,且要保证处理过程中的稳定性和高效性。

2.2 处理技术的选择与匹配

针对脱硫废水复杂的污染特性,合理选择和匹配处理技术尤为重要。反渗透技术适合对废水中大部分可溶性盐和有机物进行高效分离,但对进水水质要求较高,需配套高效的预处理系统;浓缩蒸发工艺如多效闪蒸、双流体旁路烟道蒸发、旋转雾化旁路烟道蒸发等技术,可有效实现废水的终端减量。不同处理技术的有机组合不仅关系到系统的能耗、投资成本,还直接影响到零排放目标的实现程度与经济性。因此,需根据废水水质特点、项目规模与回用水质标准,综合评估选定最优处理工艺路径。

2.3 零排放技术的能效与资源回收

零排放技术除了能适应机组负荷变化时仍能稳定运行外的一个关键问题是能效。零排放技术通常需要较高的能量消耗,尤其是在膜分离和浓缩蒸发等技术中,能效问题尤为突出。高能耗不仅增加了电厂的运营成本,还可能带来更大的环境负担。因此,提高零排放技术的能效,减少能耗,是当前技术发展的重要方向。与此同时,废水资源化处理的可

能性也成为零排放技术发展的重要课题。废水中的水分、热能、盐类物质以及在处理过程中设计加入能量回收等工艺可以提高整体资源的回用率。现阶段,一些技术如膜浓缩、蒸发结晶等已在部分电厂中得到应用,但在资源回收的效率和可行性方面仍面临许多挑战。未来,如何进一步提高资源回收率,降低处理成本,将是零排放技术进一步发展的关键。

3 脱硫废水零排放技术的创新与发展方向

3.1 膜分离技术创新助力脱硫废水高效处理

随着脱硫废水处理需求的不断增加,新型膜分离技术已经成为零排放技术中最重要的创新方向之一。高效反渗透膜的研究与应用是当前膜分离技术中的热点。新型反渗透膜材料具有更高的通量和更好的抗污染能力,能够有效提升脱硫废水中溶解性盐、重金属离子的去除效率,并提高水的回用率。同时,超滤、纳滤膜技术的创新发展为脱硫废水的处理提供了更多选择,类似陶瓷膜、管式膜等在膜的材质与形式上一步步的发展使得有希望在未来看到膜处理成为脱硫废水浓缩的主力方式。通过膜技术的不断创新,电厂脱硫废水处理系统的效率和经济性得到了显著提升。

3.2 化学与物理联合处理技术

化学与物理联合处理技术的应用已经成为解决脱硫废水零排放问题的关键路径之一。化学与物理联合处理技术的应用,能够充分发挥两种技术的互补优势。在这一过程中,化学沉淀法可用于去除废水中的大部分无机污染物,减少膜系统的负荷,而膜分离技术则可进一步精细化处理,提高水质的回用率。这种联合处理方式不仅提高了废水处理的效率,还降低了操作成本。此外,创新型催化剂与吸附材料的研发也为脱硫废水的处理提供了新的思路。催化剂可以加速有害物质的降解过程,吸附材料则能够有效去除水中的溶解性污染物,为废水的深度处理提供了新的技术手段。

3.3 热法浓缩技术优化推动资源化利用转型

热法浓缩技术在当前的脱硫废水零排放系统中越发变的不可替代,尤其是在高盐、高硬度废水的深度浓缩处理中表现突出。多效蒸发(MED)、机械蒸汽再压缩(MVR)等技术通过能量回收与多级效应设计,有效降低蒸发过程中的能源消耗,提升系统运行效率。近年来,随着烟气余热回收利用技术的成熟,双流体雾化旁路干燥、旋转雾化旁路干燥等方式实现了与锅炉系统的深度耦合,进一步优化了系统能耗结构。

此外,热法浓缩技术正向资源化利用方向拓展。通过结晶析出技术,可从高浓度母液中分离回收硫酸钙、氯化钠等副产物,既减少了废物排放量,也提升了系统的经济价值。结合自动化控制与智能调节系统,有助于提升运行稳定性,降低人工干预,实现热法浓缩系统的高效、安全、绿色运行。

4 脱硫废水零排放技术的经济性与可持续性分析

4.1 技术实施成本与运营维护成本

脱硫废水零排放技术的实施成本和运营维护成本是评估其经济性的关键因素。技术实施成本主要包括设备购置、安装调试、系统建设等初期投入。随着技术进步,尤

其是膜分离技术的普及,初期投资逐渐降低,但高效膜材料和设备的选择仍是成本的主要组成部分。运营维护成本则涉及系统运行中能源消耗、膜清洗、设备维修和更换等费用。尽管零排放技术能减少废水排放,提升水的回用率,但其能耗较高,尤其在膜分离和浓缩蒸发技术中,能源消耗问题尤为突出。经济性的评估标准不仅要考虑上述成本,还需要分析通过技术实施带来的水资源回收效益、污染物减排效益以及符合环保标准带来的政策支持。

4.2 技术的可持续性

零排放技术的可持续性分析涉及其对环境的长期影响和资源利用效率。长期来看,零排放技术能够有效减少污染物的外排,减少对生态环境的负面影响,符合绿色环保的发展理念。通过资源回收利用,零排放技术不仅能提高水的回用率,还能够回收废水中的热能和盐类物质,实现废水资源的最大化利用。然而,零排放技术的可持续性也面临一些挑战,例如其高能耗和复杂的运行管理问题,如何提高资源利用效率,降低能源消耗,是推动零排放技术可持续发展的关键。此外,零排放技术与可持续发展目标的契合也体现在其帮助电厂实现环保目标、推动绿色发展和节能减排方面。

4.3 政策与市场驱动

国家政策对零排放技术的支持是推动其应用和发展的重要因素。随着环保法规的日益严格,政府对废水处理技术的支持力度不断加大,通过政策补贴、技术研发支持和法律法规的约束,为电厂采用零排放技术提供了良好的外部环境。同时,国家对环保产业的鼓励政策推动了绿色技术的创新和应用,使得零排放技术逐步成为电厂可持续发展的必然选择。市场需求也推动了零排放技术的发展。随着全球环保意识的提高,电力行业对于环保技术的需求日益增长,推动了市场对零排放技术的投资和研发。同时,随着环保设施投资的增加,技术不断发展,零排放技术在市场中的应用范围也不断扩大,为未来的普及和应用奠定了基础。

5 未来展望与挑战

5.1 技术突破的需求

未来脱硫废水零排放技术的发展依赖于多个技术领域的突破。首先,膜分离技术需要进一步提高膜材料的抗污染能力和通量,以解决膜污染和处理效率问题。当前,高效膜材料的研发尚存在一些技术瓶颈,例如膜材料的耐久性和高成本问题,需要在材料科学和制造工艺方面取得突破。此外,膜分离技术的能耗较高,如何降低能耗并提高系统的能效是零排放技术面临的重要挑战。为了突破这些技术壁垒,可以探索新型多级膜处理系统或者采用更加高效的废水预处理技术来减少膜污染并提高处理效率。

5.2 跨领域合作与技术整合

电力、环保、化学等领域的合作将推动脱硫废水零排

放技术的创新与进步。跨领域合作有助于不同专业领域的技术优势互补,从而解决单一技术难以应对的复杂问题。例如,电力行业可以与环保领域合作,借助先进的水处理技术、监测技术和控制系统,提高废水处理的整体效率和可靠性。同时,化学工程领域的创新催化剂和吸附材料也能够与膜分离技术结合,实现更高效的污染物去除。技术整合与多元化应用的发展趋势将使零排放技术更加高效、低成本。未来,通过跨领域合作和技术整合,可以加速技术进步,提高脱硫废水零排放技术的应用效果。

5.3 政策与法规的完善

政策和法律法规对脱硫废水零排放技术的实施具有至关重要的引导作用。随着全球环保意识的提高,各国政府逐步加大了对环保技术的支持力度,出台了多项政策来鼓励电力行业采用更先进的废水处理技术。未来,政策的制定应进一步细化环保要求,明确零排放技术的技术标准和实施细则,以确保技术的有效应用。同时,政策和法规应对电力行业实施零排放技术提供财政补贴、税收优惠等支持,降低企业的经济负担。法规的完善将为零排放技术的广泛应用创造良好的市场环境。此外,未来政策的引导作用也在于激励企业加大研发投入,推动技术创新,从而实现废水处理的更高效、更环保目标。

6 结语

电厂脱硫废水零排放技术在环保要求日益严格的背景下,已成为电力行业实现可持续发展的关键技术。当前,膜分离、化学沉淀与浓缩蒸发技术处理等技术已广泛应用,但仍面临高能耗、成本和技术稳定性等挑战。未来,技术创新、跨领域合作和政策支持将推动零排放技术的发展,提升其经济性与可持续性。在全球环保压力下,推动零排放技术的应用,不仅符合环保要求,还助力电力行业实现绿色低碳转型,具有重要的社会和经济意义。

【参考文献】

- [1]吕武学,于燕飞,曲保忠,等.燃煤电厂脱硫废水零排放技术现状与发展[J].洁净煤技术,2020,26(4):11-20.
- [2]牛耀岚,胡伟,朱辉,等.燃煤电厂脱硫废水处理方法及零排放技术进展[J].长江大学学报(自然科学版),2019,16(10):72-78.
- [3]张建华,池毓菲,邹宜金,等.燃煤电厂脱硫废水处理技术工程应用现状与展望[J].工业水处理,2020,40(10):14-19.
- [4]胡大龙,余耀宏,于胜利,等.燃煤电厂脱硫废水处理技术现状与发展[J].工业水处理,2023,43(2):43-52.
- [5]郑观文,周永强,曹顺安.脱硫废水处理技术的现状与进展[J].广东化工,2023,50(6):93-96.

作者简介:梁宵(1991.5—),男,汉族,毕业学校:河北科技大学,现工作单位:华电水务工程有限公司。