

烟气净化系统中脱硫废水零排放设备技术探索与实践

余维豪

浙江伊布环保实业有限公司第一分公司 浙江 杭州 310000

摘要：随着环保法规的日益严格和可持续发展理念的深入人心，烟气净化系统中脱硫废水的零排放已成为火力发电等工业领域必须面对和解决的重要问题。本文深入探讨了烟气净化系统中脱硫废水零排放设备技术的现状、原理、技术路线，通过具体实践案例分析了不同技术的应用效果，并提出了未来技术发展的趋势和建议。旨在为相关领域的研究与实践提供全面、具体的参考和指导。

关键词：烟气净化系统；脱硫废水；零排放；蒸发结晶；烟道蒸发；MVR技术；实践案例

引言

烟气净化系统作为控制大气污染的关键手段，在火力发电等行业中扮演着重要角色。然而，烟气脱硫过程中产生的废水含有高浓度的硫酸盐、重金属、悬浮物及有机物等污染物，若未经处理直接排放，将对水体和土壤造成严重污染，威胁生态环境和人类健康。因此，实现脱硫废水的零排放已成为环保领域亟待解决的关键技术难题。

1 烟气净化系统中脱硫废水来源及水质特性

1.1 脱硫废水来源

脱硫废水主要产生于石灰石-石膏湿法脱硫系统这一关键环节。在脱硫工艺过程中，为了保持脱硫装置浆液循环系统的物质平衡，确保石膏产品的品质稳定，系统必须定期排放一定量的废水。这一操作旨在有效降低系统中氯离子、重金属等有害杂质的浓度，避免其对脱硫效率和设备造成不良影响。这部分被排放的废水，即为所称的脱硫废水。

1.2 水质特性

脱硫废水的水质具有显著的特点：盐分含量极高，呈现出弱酸性，因此具有较强的腐蚀性。同时，废水中悬浮物含量也很高，硬度大，容易在管道和设备表面结垢。此外，脱硫废水的成分相当复杂，主要污染物包括硫酸盐、氯离子以及汞、镉、铅等重金属离子，还有悬浮物和有机物等。这些污染物若未经处理直接排放，将对环境和人体健康构成严重威胁。

2 烟气净化系统中脱硫废水零排放设备技术原理及路线

2.1 蒸发结晶技术

蒸发结晶技术是一种通过物理方法将废水中的水分以蒸汽的形式去除，从而留下固体盐分和其他污染物的技术。这种技术不仅能够有效处理脱硫废水，还能实现

资源的回收利用，具有很高的环保和经济效益。

2.1.1 MVR技术

MVR（机械蒸汽再压缩）技术是一种高效节能的蒸发结晶技术。其核心原理在于利用蒸汽压缩机将低温蒸汽压缩升温后重新作为热源使用，从而形成蒸汽的循环利用。MVR系统主要由蒸汽压缩机、蒸发器、冷凝器、结晶器等设备组成。在MVR系统中，脱硫废水首先进入蒸发器，在热源的作用下开始蒸发。蒸发出的蒸汽被蒸汽压缩机吸入并压缩升温，然后再次进入蒸发器作为热源，形成闭合的循环回路。随着蒸发的进行，废水中的水分逐渐减少，盐分和其他污染物则逐渐浓缩^[1]。最终，在结晶器中，浓缩后的盐分达到饱和状态并结晶析出，从而实现废水的零排放。MVR技术的优点在于高效节能，通过蒸汽的循环利用，大大提高了蒸汽的利用率，降低了能耗。同时，该技术还具有设备紧凑、占地面积小、操作简便等优点。

2.1.2 MED技术

MED（多效蒸发）技术是一种通过多个蒸发器的串联实现高效蒸发操作的技术。在多效蒸发过程中，前效的二次蒸汽作为后效的热源，从而提高了生蒸汽的利用率。MED系统由多个蒸发器、冷凝器、结晶器等设备组成。脱硫废水首先进入第一效蒸发器，在热源的作用下开始蒸发。蒸发出的蒸汽进入第二效蒸发器作为热源，继续加热废水。依此类推，废水依次经过各个蒸发器，逐渐浓缩。最终，在结晶器中，浓缩后的盐分结晶析出，实现废水的零排放。MED技术的优点在于能够充分利用蒸汽的热能，提高蒸发效率。同时，该技术还具有设备稳定可靠、操作灵活等优点。然而，由于需要多个蒸发器串联工作，因此设备占地面积相对较大，投资成本也较高。

2.2 烟道蒸发技术

烟道蒸发技术是一种利用烟气余热将脱硫废水蒸发

的零排放技术。其基本原理是将废水通过旋转喷雾器/固定喷枪喷嘴雾化后喷入烟道中,利用烟气的高温将废水瞬间蒸发。烟道蒸发技术的优点在于无需额外的热源,能够充分利用烟气余热,降低能耗。同时,该技术还能够实现废水的即时处理,避免废水的积存和二次污染。此外,烟道蒸发技术还具有设备简单、操作方便等优点。然而,烟道蒸发技术也存在一些挑战。由于烟气中的成分复杂,可能会对蒸发过程中的废水产生一定的影响。因此,在选择烟道蒸发技术时,需要对烟气成分进行充分的分析和评估,以确保蒸发过程的顺利进行^[2]。同时,还需要注意旋转喷雾器/固定喷枪的选择和布置,以确保废水的均匀雾化和充分蒸发。烟道蒸发技术的关键设备包括旋转喷雾器/固定喷枪、雾化塔、烟道、除尘器等。旋转喷雾器/固定喷枪的设计直接影响到废水的雾化效果和蒸发效率。雾化塔、烟道的选择需要考虑到烟气的温度和流速,以确保废水能够充分蒸发。除尘器则用于捕集蒸发后产生的固体颗粒,防止其对环境造成二次污染。

3 实践案例:华能铜川照金煤电公司案例

3.1 项目背景

华能铜川照金煤电公司作为西北地区第一个实现全厂废水零排放改造的电力企业,积极响应国家环保政策,致力于降低废水排放,保护环境。该公司采用石灰石-石膏湿法脱硫技术,脱硫过程中产生的废水含有高浓度的硫酸盐、重金属等污染物,直接排放会对环境造成严重污染。因此,公司决定采用先进的脱硫废水零排放技术,实现废水的资源化利用。

3.2 技术方案

华能铜川照金煤电公司采用的脱硫废水零排放装置是华能集团公司第一套采用旋转雾化方案的高温烟气旁路蒸发装置。该装置的核心设备是高频旋转喷雾喷嘴,废水通过泵送往雾化器中的雾化盘,在高速旋转的作用下被甩成50-100微米的细小液滴。这些液滴与从锅炉单侧脱硝出口空气预热器前引出的一部分高温烟气接触,通过热交换作用迅速蒸发,废水中的盐类被干燥析出,混入原烟气的粉尘中,通过后续除尘器收集下来。废水蒸发后的水蒸气与烟气混合,从喷雾干燥塔下部引出,经电除尘收集后分散到灰中综合利用。

3.3 设备构成与参数

蒸发塔:采用单侧旁路烟气蒸发工艺,一炉一塔配置。蒸发塔总高34.4米,采用钢结构作为主体结构支撑。塔体总高27.2米,其中锥段8.8米,用于沉积的灰收集及形成有利于烟气回流的流场;直筒段12.5米,用于废水蒸发。

雾化器:采用美国KS原装进口雾化器,包括雾化器本体及运行操作系统。单台雾化器处理量为8立方米/小时,最高转速可达16000转/分钟,正常运转转速15000转/分钟。

烟气参数:在锅炉满负荷和75%负荷时,废水处理量最大能达到8立方米/小时。蒸发器入口温度为300摄氏度,蒸发器出口温度不低于150摄氏度,空预器出口混合温度116摄氏度。旁路烟道抽取烟气量为总烟气量的3.3%-4.5%。

3.4 实施效果

废水零排放:自2019年12月15日起,华能陕西铜川照金煤电公司#1、#2机组脱硫废水零排放系统相继投入应用,实现了废水的零排放,完全满足了排污许可证和环评的要求。

对锅炉效率的影响:#1机组脱硫废水蒸发塔投运对锅炉效率的影响为0.24%,对机组煤耗的影响为0.76克/千瓦时;#2机组脱硫废水蒸发塔投运对锅炉效率的影响为0.16%,对机组煤耗的影响为0.52克/千瓦时,均满足设计要求。

对粉煤灰成分的影响:喷水后#1/#2机组灰库飞灰样品氯含量为0.105%/0.128%,按40%比例掺入水泥中,最终水泥实际含氯量为0.042%/0.051%,小于国标对于粉煤灰硅酸盐水泥中含氯量不大于0.06%的指标要求。喷水后#1/#2机组灰库飞灰样品游离氧化钙含量为0.92%/0.67%,按40%比例掺入水泥中,最终水泥实际游离氧化钙含量为0.368%/0.268%,小于国标对于粉煤灰硅酸盐水泥中游离氧化钙含量不大于1%的指标要求。

烟气含湿量及烟温变化:不同负荷段试验工况下,于蒸发塔入、出口烟道测点,对烟气含湿量及烟温进行了测试。结果显示,高低负荷段喷水后烟气含湿量增加7.4%-11.2%。由于脱硫废水零排放系统蒸发塔抽取烟气量为锅炉总烟气量的4%,投运2年以来,未发现湿度对后续烟冷器、电除尘设备的影响,总体运行工况良好。

3.5 技术创新与示范意义

华能铜川照金煤电公司首次将旋转雾化器应用于600MW机组脱硫废水烟气蒸发装置中,实现了设备的应用创新。该技术方案不仅解决了脱硫废水的排放问题,还实现了废水的资源化利用,对同类型企业具有良好的示范引领作用。此外,公司通过采集数据建模优化烟气流场,确保装置的良好运行,进一步提升了系统的稳定性和可靠性。

4 技术挑战与解决方案

4.1 技术挑战

脱硫废水零排放技术在实际工业应用中,确实面临着一系列复杂且多维的挑战。这些挑战不仅关乎技术本身的成熟度,还涉及到经济、环境以及资源回收利用等多个层面。设备结垢与腐蚀是首要难题。脱硫废水中蕴含的高浓度盐分和多种腐蚀性物质,如同无形的“杀手”,对处理设备构成了严重威胁。这些物质在设备表面沉积形成垢层,不仅降低了传热效率,还可能引发设备腐蚀,进而缩短设备的使用寿命,增加维护成本。能耗成本也是不容忽视的问题。无论是蒸发结晶技术还是烟道蒸发技术,其运行过程都需要消耗大量的能源^[3]。在当前能源价格不断攀升的背景下,如何有效降低能耗成本,提高能源利用效率,成为了技术发展的关键所在。此外,盐品质也是技术优化的重要方向。结晶析出的盐分品质直接影响到其后续的市场价值和利用途径。如果盐品质不佳,将难以找到合适的回收利用方式,甚至可能成为新的环境负担。

4.2 解决方案

针对上述挑战,提出了一系列切实可行的解决方案。在设备选材方面,可以采用高效防腐材料和涂层技术。通过选用钛合金、不锈钢等耐腐蚀性能优异的材料,以及应用先进的防腐涂层,可以有效提高设备的抗腐蚀能力,延长设备的使用寿命。在系统设计方面,需要不断优化和完善。通过采用高效的蒸发器、冷凝器和结晶器等设备,以及优化系统流程和参数设置,可以提高系统的能效比和稳定性,降低能耗成本。预处理技术的加强也是关键一环。在废水进入蒸发结晶系统或烟道蒸发系统前,进行充分的预处理,如去除悬浮物、有机物等杂质,可以减轻后续设备的负担,提高处理效率。同时,还应积极回收和利用蒸汽的潜热。在蒸发结晶过程中,通过合理的热交换和热能回收技术,可以提高能源的利用率,降低能耗。最后,研发新型结晶技术也是提高盐品质的重要途径。如超声波结晶、电磁场结晶等新型技术,具有提高盐品品质和纯度的潜力,值得深入研究和探索。

5 未来发展趋势

未来,脱硫废水零排放技术将紧随时代步伐,朝着更为高效、环保、智能和资源化的方向迈进。高效节能

将成为技术发展的核心。面对能源价格的持续攀升和日益严格的环保要求,必须通过优化系统设计、采用更高效的蒸发和结晶设备,以及回收和利用废热等手段,来大幅降低能耗成本,提升系统的经济性。这不仅有助于降低企业的运营成本,也是响应全球节能减排号召的重要举措。抗结垢与腐蚀技术的研发将取得突破^[4]。针对脱硫废水高盐分、易腐蚀的特性,将致力于研发新型抗结垢与腐蚀材料和涂层,以提高设备的耐用性和可靠性。这将有效延长设备的使用寿命,减少维修和更换的频率,进一步降低企业的运营成本。智能化控制系统将被广泛引入。通过实现系统的自动监测、调节和控制,将能够大幅提高系统的运行稳定性和安全性,减少人为操作带来的误差和风险。资源化利用将成为新的发展方向。结晶析出的盐分和其他污染物,经过进一步加工和处理,有望实现其资源化利用,为环保产业带来新的经济增长点。

结语

烟气净化系统中脱硫废水零排放设备技术是实现环保目标和可持续发展的重要手段。通过蒸发结晶技术和烟道蒸发技术的应用,可以有效解决脱硫废水排放问题,降低环境污染风险。未来,需要继续加强技术研发和创新,突破技术瓶颈,推动行业向绿色低碳方向升级。同时,政府应加大政策支持和资金投入力度,鼓励企业采用先进的脱硫废水零排放技术,共同推动环保事业的发展。

参考文献

- [1]高丕强,杨驰,王兴文.活性焦烟气净化系统制酸废水零排放处理工艺研究[J].矿业工程,2020,18(03):57-58+61.
- [2]张俊飞.低温条件下同步脱硫脱硝焦炉烟气净化技术研究[J].山西化工,2024,44(10):262-263+285.
- [3]杜媛,李媛,杨超英,等.电石渣半干法脱硫+低温SCR脱硝工艺在火电厂烟气净化中的应用[J].广东化工,2020,47(03):153-155.
- [4]宋勇,胡瑜飞,黄炳光,等.钠法烟气净化一体化技术和离子液脱硫技术在脱硫行业中的应用[J].中国井矿盐,2019,50(03):13-15.