

# 湿法脱硫废水综合利用研究

吴欣 周永华 徐艇

浙江宜成环保设备有限公司 浙江 衢州 324400

**摘要:** 湿法脱硫废水成分复杂,综合利用意义重大。本文先分析废水水质特性,阐述预处理技术原理。接着探讨水资源回收、废水中资源回收、废水资源化转化等利用路径,介绍各路径关键技术与应用要点。随后剖析综合利用过程中的难点,提出对应解决思路。最后对湿法脱硫废水综合利用技术发展进行展望,推动该领域技术完善,实现环境与经济效益协同。

**关键词:** 湿法脱硫废水;水质特性;综合利用路径;关键技术;难点解决

引言:随着环保要求日益严格,湿法脱硫技术在工业领域广泛应用,但产生大量脱硫废水。这些废水若直接排放,会对环境造成严重污染,且浪费水资源与其中蕴含的有价值物质。对湿法脱硫废水进行综合利用,既能减少污染物排放,又能实现资源回收与再利用,符合可持续发展理念。因此,深入研究湿法脱硫废水综合利用技术,探索有效的利用路径与关键技术,具有重要的现实意义。

## 1 湿法脱硫废水水质特性与预处理技术

### 1.1 废水水质特性分析

湿法脱硫废水水质受脱硫工艺、燃煤品质及添加剂种类影响显著,所含离子以无机离子为主,涵盖钙离子、镁离子、氯离子、硫酸根离子等,部分废水还含有氟离子及微量重金属离子<sup>[1]</sup>。这些离子多以游离态形式存在于水体中,部分重金属离子会与水中其他组分结合形成络合态,增加后续处理难度。废水所含悬浮物主要来源于脱硫系统中的石膏细颗粒、燃煤飞灰等固态杂质,有机物则以低分子有机酸、脱硫添加剂残留为主,整体可生化性较差,难以通过生物降解方式去除。废水酸碱度呈现弱酸性特征,pH值通常处于4至6之间,这种酸性环境会增强水体腐蚀性,对处理设备造成潜在损害。浊度主要由悬浮颗粒及胶体物质引起,数值波动较大,直接影响水体透光性及后续处理工艺的效率。硬度主要由钙、镁离子贡献,高硬度特性易导致处理过程中形成硫酸钙、氟化钙等垢体,堵塞设备管路。废水稳定性较差,水质指标会随脱硫系统运行工况、燃煤组分变化而发生波动,运行负荷调整、石灰石品质差异均会导致离子浓度、悬浮物含量等指标出现动态变化。

### 1.2 废水预处理技术

预处理旨在去除水体中干扰后续工艺的杂质,调节水质参数,为后续深度处理及综合利用提供适宜条件。物

理预处理技术依托物理作用实现污染物分离,常见方式包括过滤、沉淀、离心分离等,通过截留、重力沉降或离心力作用,分离水体中悬浮颗粒、胶体等不溶性杂质,降低浊度并减少后续工艺的污染负荷,其核心原理是利用污染物与水的物理性质差异实现分离。化学预处理技术通过投加化学药剂引发化学反应,实现杂质去除与水质调节,中和处理可调节废水酸碱度,氧化还原处理能转化水体中有毒有害的离子形态,混凝处理则通过形成絮体沉淀,去除胶体及细小悬浮颗粒,反应过程遵循化学平衡原理,通过药剂与污染物的相互作用改变污染物存在形态,使其便于分离。物理化学预处理技术融合物理作用与化学作用的优势,通过吸附、絮凝等方式实现污染物去除,借助药剂吸附与物理分离的协同作用,进一步提升预处理效果,适配后续深度处理工艺的水质要求。

## 2 湿法脱硫废水综合利用路径

### 2.1 水资源回收利用路径

水资源回收利用是湿法脱硫废水资源化的重要方向,需依托废水处理水质指标,结合不同用水场景的实际需求设计专属路径。废水处理回用于工业生产的路径设计,需通过深度处理工艺去除水体中各类污染物,使水质指标符合工业用水相关标准<sup>[2]</sup>。优先考虑回用于脱硫系统自身补水,补充脱硫过程中蒸发损耗的水量,减少新鲜水取用,构建闭环循环利用体系。针对其他工业生产场景,需结合对应行业用水要求优化处理工艺,适配电力、化工等行业的冷却用水、冲洗用水等需求,通过水质深度调控实现水资源梯级利用,提升水资源利用效率。废水处理回用于其他场景的路径设计,需紧扣场景用水特性优化处理流程。园区绿化用水、道路清扫用水等非饮用类场景,经适度处理去除悬浮物、有害离子后便能满足使用要求,无需过度开展深度处理,有效降低处理成本。景观用水等场景,需重点控制水体浊度、色

度及有害离子含量,规避对周边生态环境产生不良影响,通过精准化处理工艺设计实现水资源多元化利用,进一步拓展水资源利用场景。

## 2.2 废水中资源回收利用路径

湿法脱硫废水中蕴含多种可回收资源,盐类资源回收路径需结合废水盐度特征及盐类组分科学设计。依托湿法脱硫废水高盐特性,采用蒸发浓缩、结晶分离等工艺手段,实现氯化钠、硫酸钠等盐类物质的分离回收。回收的盐类可依据纯度等级作为工业生产原料,实现盐类资源循环利用,减少盐类排放对周边环境的不利影响。回收过程中需合理优化工艺参数,杜绝杂质混入,提升盐类产品纯度,更好适配后续利用需求,保障回收资源的利用价值。废水中其他可利用物质的回收路径,需聚焦废水中微量有价值组分及各类有用物质。废水中含有的微量重金属离子,可通过吸附、离子交换等工艺实现分离回收,回收的重金属可开展资源化再生处理,应用于相关工业生产环节。废水中的石膏细颗粒经分离提纯处理后,可作为建筑材料原料,实现固体废弃物资源化利用。通过针对性工艺设计,最大化回收废水中可利用物质,进一步提升废水资源化综合价值。

## 2.3 废水资源化转化路径

废水资源化转化路径聚焦废水深度转化利用,废水转化为功能用水的路径需根据功能用水相关标准优化处理工艺。工业循环冷却水场景,需通过软化、杀菌等处理手段,降低水体硬度及微生物含量,规避设备结垢、腐蚀问题。冲洗用水场景,需重点去除悬浮物及有害杂质,保障用水安全。通过精准工艺调控,实现废水向不同功能用水转化,不断拓展水资源利用场景,提升废水资源化利用率。废水转化为其他可利用产品的路径,需结合废水组分特性进行多元化设计。将处理后的废水与其他原料合理搭配,可制备再生水基材料,应用于建筑、环保等多个领域。通过进一步深度处理,可将废水转化为灌溉用水,用于农田灌溉,需严格控制水质指标,确保符合灌溉用水相关标准。通过多维度转化设计,推动湿法脱硫废水资源化利用向多元化、高效化方向稳步发展。

# 3 湿法脱硫废水综合利用关键技术与应用要点

## 3.1 水资源回收关键技术

深度处理技术是水资源回收的核心支撑,技术要点集中在污染物深度去除与水质达标管控。依托膜分离、蒸发结晶、高级氧化等工艺,重点去除废水中残留的微量重金属、可溶性盐类及难降解有机物,确保处理后水质满足不同回用场景标准<sup>[3]</sup>。技术实施过程中需注重工艺参数优化,控制反应条件与药剂投加量,减少处理过程

中二次污染产生,提升处理效率的同时降低能耗,契合水资源回收的节能化需求,该技术要点源于工业废水深度处理领域的成熟研究与工程实践。水质调控技术的技术要点聚焦于回用水质的精准适配,根据不同回用场景的用水要求,针对性调节废水酸碱度、硬度、浊度等核心指标。通过中和、软化、吸附等手段,调整水质参数至适宜范围,避免回用过程中对设备产生腐蚀、结垢等不利影响,保障回用系统稳定运行。水质调控需依托实时水质监测数据,动态调整调控工艺,实现水质参数的精准控制,为水资源安全回用提供技术保障,其技术逻辑符合工业用水水质调控的通用原理与技术规范。

## 3.2 资源回收关键技术

盐类分离与提纯技术要点围绕高盐废水的盐类回收展开,结合废水盐组分特征,采用蒸发浓缩、冷却结晶、膜分离等组合工艺,实现盐类物质与水体的高效分离。技术实施需重点控制浓缩倍数与结晶条件,减少杂质夹带,提升回收盐类的纯度,满足工业原料使用要求。同时需优化工艺流程,降低结晶过程中的能耗与药剂消耗,提升盐类回收的经济性,相关技术要点参考高盐废水资源化处理的学术研究成果与工程应用经验。有用物质提取与富集技术要点针对废水中微量有价值组分设计,采用吸附、离子交换、螯合等工艺,实现重金属离子、微量贵金属等有用物质的高效提取与富集。技术核心在于筛选高效吸附剂与螯合剂,优化提取条件,提升有用物质的提取率,减少提取过程中有用物质的损耗。富集后的物质需经过进一步提纯处理,使其达到再生利用标准,实现有用物质的循环利用,技术设计遵循资源回收领域的物质分离与富集原理。

## 3.3 技术适配与操作要点

不同利用路径对应的技术适配要求,需结合路径自身水质需求与利用目标,选择匹配的处理技术与工艺组合。水资源回用路径需优先适配深度处理与水质调控技术,确保水质达标;资源回收路径需侧重盐类分离、有用物质提取技术的合理搭配,提升资源回收效率;资源化转化路径需结合转化目标,适配对应的深度处理与转化技术,保障转化产品质量。技术适配需兼顾处理效果与经济性,避免技术冗余或适配不足导致的资源浪费。技术应用中的核心操作要点集中在工艺参数控制、设备维护与水质监测。严格控制各处理单元的运行参数,确保工艺稳定发挥作用;定期对处理设备进行清洁与检修,避免设备堵塞、腐蚀影响处理效果;建立完善的水质监测体系,实时跟踪水质变化,及时调整工艺参数,规避处理不达标导致的回用风险或资源浪费。操作过程需遵循工

艺运行规范,保障技术应用的安全性与稳定性,贴合工业废水处理的实际操作准则。

#### 4 湿法脱硫废水综合利用的难点、解决思路与展望

##### 4.1 综合利用过程中的主要难点

预处理环节面临的技术阻碍集中在废水成分复杂性带来的处理局限,废水体系中多组分子相互作用,易形成难溶性沉淀附着于处理设备表面,导致处理效率下降且增加设备维护成本。同时废水水质波动较大,不同工况下污染物浓度差异显著,难以形成稳定适配的预处理工艺体系<sup>[4]</sup>。资源回收环节的技术阻碍体现在目标资源与杂质的分离难度较高,废水中盐类组分与微量重金属、有机物相互掺杂,常规分离技术难以实现目标资源的高效提纯,易造成资源回收纯度不足,影响回收资源的后续应用价值。利用路径落地环节的技术阻碍源于现有技术与实际应用场景的适配性不足,不同行业对废水处理水质、回收资源规格的要求存在差异,现有技术体系难以灵活匹配多样化应用需求,且技术应用过程中易出现能耗过高、流程繁琐等问题,限制路径的规模化落地。

##### 4.2 难点对应解决思路

针对预处理环节的技术阻碍,可通过优化预处理剂配比与投加方式,结合废水水质波动特征设计动态调节机制,减少难溶性沉淀的生成与附着,提升预处理工艺的稳定性与适配性。依托界面化学原理改进预处理工艺,强化杂质的凝聚与分离效果,降低水质波动对预处理效果的影响。针对资源回收环节的技术阻碍,可采用新型膜分离技术与吸附材料相结合的方式,精准分离目标资源与杂质,提升资源回收纯度。通过优化分离工艺参数,调控反应温度、压力等关键条件,强化目标资源的富集效果,降低回收过程中的资源损耗。针对路径落地环节的技术阻碍,可结合不同应用场景的需求,设计模块化、可组合的技术体系,提升技术应用的灵活性。通过工艺集成优化,简化处理流程、降低能耗,推动技术体系与实际应用场景的深度融合,突破规模化落地的技术瓶颈。

##### 4.3 研究与应用展望

湿法脱硫废水综合利用技术的发展将朝着高效化、低能耗、资源化方向推进,新型高效处理材料与工艺的研发的将成为重点方向,推动预处理与资源回收技术的协同优化。未来可拓展的综合利用路径将更加多元化,除传统水资源与盐类资源回收外,将进一步挖掘废水中稀有元素的回收价值,推动废水资源化利用向高附加值方向发展<sup>[5]</sup>。技术优化与升级的重点将集中在工艺集成创新与智能化控制方面,通过引入智能化监测与调控技术,实现废水处理与资源回收全流程的精准管控,提升技术应用的稳定性与经济性。同时,将加强多学科交叉融合,结合材料科学、环境工程、化学工程等多领域技术成果,推动湿法脱硫废水综合利用技术体系的不断完善,实现环境效益与经济效益的协同发展。

#### 结束语

湿法脱硫废水综合利用是解决废水污染与资源浪费问题的有效途径。通过对其水质特性与预处理技术的剖析,明确了废水处理的基础方向。多种综合利用路径与关键技术的探索,为废水资源化提供了可行方案。尽管综合利用过程存在预处理、资源回收、路径落地等难点,但通过优化预处理工艺、创新分离技术、设计模块化技术体系等解决思路,可逐步突破瓶颈。持续推动技术优化升级与多学科融合,能不断完善技术体系,提升综合利用水平。

#### 参考文献

- [1]王睿.烧结烟气湿法脱硫废水处理及资源化利用探讨[J].工业安全与环保,2021,57(11):103-106.
- [2]刘松秀.漂粉精二次母液用于锅炉烟气湿法脱硫综合治理的试验研究[J].山西化工,2025,45(8):123-127.
- [3]李乃霞,韩飞,刘翠甜.钙基脱硫灰在石灰石-石膏湿法脱硫系统中的应用[J].烧结球团,2024,49(1):113-118.
- [4]谢增孝,刘洋,丁钟宇,等.脱硫废水萃取脱氯工作原理与技术分析[J].热力发电,2021,50(2):104-109.
- [5]郭立杰,张金奎.燃煤电厂烟气脱硫技术简介[J].广东化工,2022,49(14):118-119.