

废硫酸资源化利用关键技术研究及市场发展前景

南树伦 刘长征 李洪健 杜金链 丁宝业 (山东鲁北企业集团总公司, 山东 滨州 251909)

摘要: 由于废硫酸含有多种重金属及其他有害物质, 如果大量废硫酸得不到合理处理或处置会对环境造成严重的污染。将废硫酸进行资源化利用制成再生产品, 不仅可以解决废硫酸污染问题, 还能够给企业带来较好的经济效益。本文从废硫酸资源化利用现状、废硫酸资源化利用关键技术研究、废硫酸资源化利用产品质量提升路径和废硫酸资源化利用产业市场发展前景等方面进行了论述, 旨在为企业开展废硫酸资源化利用提供思考和借鉴。

关键词: 废硫酸; 化工; 循环经济; 资源化利用; 市场前景

中图分类号: X781 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 010-0010-03

Research on Key Technologies for the Resource Utilization of Waste Sulfuric Acid and Market Development Prospects

Nan Shulun, Liu Changzheng, Li Hongjian, Du Jinlian, Ding Baoye (Shandong Lubei Enterprise Group Corporation, Binzhou Shandong 251909, China)

Abstract: Waste sulfuric acid contains various heavy metals and other harmful substances. If a large amount of waste sulfuric acid is not properly treated or disposed, it can cause serious environmental pollution. Recycling waste sulfuric acid into regenerated products can't only address the pollution problem but also bring considerable economic benefits to enterprises. Therefore, the resource utilization of waste sulfuric acid has been receiving increasing attention. This paper discusses the current status of waste sulfuric acid resource utilization, key technologies for its resource utilization, ways to improve the quality of recycled products, and the market development prospects of the waste sulfuric acid resource utilization industry, aiming to provide insights and references for enterprises to carry out waste sulfuric acid resource utilization.

Keywords: Waste sulfuric acid; chemical industry; circular economy; resource utilization; market prospects

我国是硫酸生产和消费大国, 随着硫酸消费量的不断增长, 国内工业废硫酸量也在逐年增加。据统计, 2016年时我国国内工业废硫酸产生量约12Mt, 2020年我国废硫酸产生量约40Mt。^[1-2] 废硫酸主要来源于有机物磺化、硝化、酯化、烷基化、催化和气体干燥及钛白粉生产、钢铁酸洗等生产环节。这些废硫酸不仅具有较强的腐蚀性, 容易对生态环境造成危害, 同时也是一种资源。

通过效地处理和资源化利用废硫酸, 将其可以制成化肥、再生硫酸、浓缩盐等多种再生产品, 不仅可以减少环境污染, 还能实现资源的循环利用, 具有重要的经济效益和社会、环境效益。

1 废硫酸资源化利用现状

近年来, 我国废硫酸资源化利用呈现多元化发展。在技术创新方面, 多种废硫酸资源化利用技术得到了成功应用。比如, 将硫酸含量较高、杂质较少的废硫酸进行蒸发浓缩, 去除其水分和杂质, 使硫酸浓度提高, 制成再生工业硫酸; 通过控制废硫酸的温度、浓度等条件, 使废硫酸中的杂质以结晶的形式析出, 从而实现硫酸的提纯; 通过将废硫酸与其他物质进行化学反应, 转化为肥料、颜料等化工产品。尤其是, 利

用废硫酸生产的肥料在农业领域得到了广泛应用。在市场需求方面, 随着我国环保要求的日益严格和循环经济理念的深入人心, 废硫酸资源化利用产品的市场需求不断增加。

虽然我国已经形成了一定的废硫酸资源化利用产业格局。但由于废硫酸来源于多个领域, 而且产生量巨大, 浓度不一, 所含杂质也不相同, 这给废硫酸资源化利用工作带来了困难。^[3] 并且, 处理废硫酸需要企业投入大量资金, 购置较为完备的废硫酸处理和利用设备设施, 部分中小企业由于资金、技术等方面的限制, 废硫酸资源化处理能力较弱, 无法达到规模化生产。在“十五五”期间, 随着我国“双碳”战略及循环经济发展战略的大力推进, 我国废硫酸资源化利用产业将会得到更好的发展。

2 废硫酸资源化利用关键技术研究

2.1 有机废硫酸炭化还原资源化利用关键技术

针对废硫酸易溶于水、含硫高、动态性稳定等特点, 以及高温操作难度大、硫酸分解物收集难、能耗高、回收率低等问题, 中国科学院过程工程研究所、山东鲁北化工股份有限公司、北京中富瑞科环保科技有限公司联合研发了有机废硫酸炭化还原资源化处理

技术。采用有机废硫酸炭化还原资源化利用技术,使有机杂质在硫酸的强氧化性和高温环境下发生炭化还原反应。该技术的工艺流程主要包括预处理、炭化还原反应和产物回收三个阶段。

其中,通过加热和控制反应条件,促使有机杂质炭化并与硫酸发生还原反应。经过炭化还原反应,有机物质中的氢、氧等元素以水的形式脱出,碳元素被保留下来并形成炭黑。炭黑与硫酸发生还原反应,将硫酸中的硫元素从高价态还原为低价态,生成二氧化硫气体。反应生成的二氧化硫气体经净化和冷却后,可用于制备硫酸或其他含硫化合物,实现资源的循环利用。

近年来,一大批致力于配套废硫酸资源化利用的环保装置企业也积极研发新装置,为废硫酸回收及资源化利用工作的开展提供了重要基础保障。废硫酸回收及资源化利用装置实景图如图1。



图1 废硫酸回收及资源化利用装置实景图

2.2 低浓度稀废硫酸再生制硫酸关键技术

采用低浓度稀废硫酸再生制硫酸关键技术,使低浓度稀废硫酸经过特殊工艺流程处理后重新获取浓硫酸投入生产使用,并最大程度上实现资源循环利用。^[4]目前,低浓度稀废硫酸再生制硫酸的关键技术主要包括高温裂解技术、浓缩结晶技术、催化氧化技术和化学转化技术等。

其中,高温裂解技术是将稀废硫酸在高温下进行裂解,使其分解为二氧化硫、氧气和水,然后将二氧化硫进一步氧化为三氧化硫,最后用水吸收三氧化硫得到质量较高的硫酸;浓缩结晶技术是通过蒸发、浓缩等方法将稀废硫酸中的水分去除,使硫酸浓度提高,然后通过结晶等方法将硫酸与杂质分离,从而得到再生硫酸;催化氧化技术是利用催化剂将稀废硫酸中的二氧化硫氧化为三氧化硫,然后用水吸收得到硫酸;化学转化技术通过简单化学反应将废稀硫酸转化为硫酸盐产品。^[5]

2.3 钛白粉废硫酸资源化利用制备污水处理剂关键技术

在钛白粉的生产过程中,会产生大量的废硫酸。将钛白粉副产废硫酸与含钛原料一步反应可生成含有硫酸、硫酸铁和硫酸钛的自拟合纳米催化污水处理剂。该处理剂用于芬顿法印染污水处理,可减少硫酸、硫酸亚铁和双氧水消耗。^[6]该技术通过一步反应,巧妙地利用了钛白粉副产废硫酸,将原本的废弃物转化为具有高附加值的产品。

其中,硫酸、硫酸铁和硫酸钛的组合在污水处理领域展现出了卓越的性能。硫酸在反应体系中可以调节溶液的酸碱度,为后续的污水处理反应创造适宜的环境;硫酸铁作为一种常见的絮凝剂和催化剂,能够促进污水中杂质的凝聚和沉淀;硫酸钛具有特殊的催化性能,能够加速化学反应的进行,提高污水处理的效率。

该污水处理剂的研制不仅实现了钛白粉副产废硫酸的资源化利用,还降低了企业生产成本,保护了生态环境。山东鲁北化工股份有限公司全资子公司山东金海钛业资源科技有限公司生产过程中产生的废硫酸与钛石膏等废弃物将用于硫磷科技磷石膏制硫酸联产水泥装置,实现废弃物的资源化利用,既降低了生产成本,又提高了废副物的资源化利用率,赢得了良好的市场口碑。

3 废硫酸资源化利用产品质量提升路径

3.1 加大质量管控力度

化工企业应构建覆盖全链条的质量监测与管理体系,聚焦废硫酸资源化利用产品,实现从原料入厂、中间过程到成品出厂的全过程动态监控。依托在线检测、批次抽检与关键参数预警机制,对硫酸浓度、杂质含量、重金属指标等核心质量参数实施实时跟踪与闭环管控。一旦发现异常,立即启动分级响应:对不合格半成品就地返工或隔离处置;对存在问题成品要追溯根源、精准归因,并同步优化工艺参数、强化员工操作规范或升级检测设备。所有整改措施须经验证闭环,确保整改实效。严格实行“不合格不放行”原则,杜绝缺陷产品流入下游供应链,切实保障客户生产稳定与用酸安全,维护行业绿色转型的公信力与可持续性。

3.2 提高员工专业技能水平

实现废硫酸高附加值资源化利用,关键在于构建高素质专业化人才队伍。该过程融合化学工程、环境科学、材料合成与过程控制等多学科知识,技术门槛高、安全环保要求严需要既懂工艺原理又精于工程实践的复合型高技能人才,承担技术研发、装备优化、质量管控与绿色生产管理等核心任务。

建议企业立足长远发展,通过采取以下措施提高员工专业技能水平:

一是健全内部培训体系,围绕废酸净化、有价值组分回收、再生酸品质提升等关键技术开展岗位实训;

二是精准引育并举,重点吸纳具有危废资源化或工业废酸处理经验的工程师和技术骨干;

三是深化产学研协同,联合高校及科研院所共建联合实验室、实习基地和中试平台,在项目攻关中锤炼队伍、转化成果、标准共建。唯有夯实人才根基,方能突破技术瓶颈,推动废硫酸从“环境负担”真正转变为“城市矿产”,支撑行业绿色低碳高质量发展。

3.3 加强与上下游企业的深度合作

废硫酸资源化利用企业通过与上游企业建立稳定协作机制,可精准获取成分明确、杂质可控的废酸原料,为差异化预处理与工艺优化提供基础,显著提升再生产品的质量一致性与稳定性;积极联络下游用户,则能实时掌握应用场景需求与使用反馈,动态调整纯度、浓度、金属离子含量等关键指标,确保再生酸或副产盐类产品精准适配终端工艺要求。

这种贯穿“原料—生产—应用”全链条的协同模式,不仅能够强化技术适配性与市场响应力,更能推动形成责任共担、标准共建、效益共享的产业生态,切实提升资源循环效率与环境经济双重效益,助力废硫酸资源化利用产业向规模化、标准化、高值化方向高质量发展

4 废硫酸资源化利用产业市场发展前景

废硫酸是工业生产过程中产生的危险废弃物。通过对废硫酸的高附加值资源化利用,不仅能够有效减少环境污染,还能够为企业创造显著的经济效益,是推动化工行业绿色转型的关键途径。^[7]随着国家环保监管持续加严、公众生态意识显著提升,工业废硫酸的资源化利用已从被动处置转向主动增值。近年来,国家和地方政府有关部门陆续出台了一系列鼓励资源循环利用和环境保护的政策法规政策,为废硫酸资源化利用产业提供了有力的政策支持。

近年来,通过采用高温裂解再生法、膜分离技术等先进技术,可以将废硫酸高效转化为再生硫酸、高纯度浓缩盐等高附加值产品。对产废企业而言,该路径不仅大幅减少危废产生量、降低废硫酸处置合规风险,更能通过副产品收益实现成本优化与可持续盈利;对下游用酸及化工企业,可以有效缓解对原生酸和基础化工原料的依赖,显著降低采购成本与供应链波动风险,使废硫酸从“处理负担”真正转变为“流动资源”,推动形成闭环低碳的产业新生态。此外,通过开展废硫酸资源化利用工作,可大幅削减废酸非法倾倒、

渗漏等环境风险,避免土壤酸化与水体污染,切实守护生态环境安全。

当前,政策支持体系日趋完善,技术成熟度稳步提高,再生产品市场接受度不断提升,废硫酸资源化已具备规模化、产业化基础,展现出强劲的经济价值、环境效益与广阔的发展前景。

5 结束语

企业通过有机废硫酸炭化还原资源化利用关键技术、低浓度稀废硫酸再生制硫酸关键技术和钛白粉废硫酸资源化利用制备污水处理剂关键技术等先进技术,可实现工业废硫酸的高附加值资源化利用,产生了良好的经济效益和社会、环保效益,也符合国家大力发展循环经济的发展理念。但是,受资金、技术等多方面因素影响,废硫酸资源化利用工作在未来发展过程中仍面临一些挑战。建议企业在开展废硫酸资源化利用工作时要充分考虑市场供求、资金投入等因素,确保能够实现预期效益。

参考文献:

- [1] 纪罗军.我国工业废硫酸资源化利用技术进展[J].硫酸工业,2017(03):4-10.
- [2] 纪罗军,赵红林,靳志超.从循环经济角度看工业废硫酸的资源化利用[J].硫酸工业,2021(10):1-6.
- [3] 张建明,王本建,闫永.高浓度废硫酸资源化利用方法[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(06):89-93.
- [4] 陈海洋.低浓度稀废硫酸再生制硫酸工艺分析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(01):141-143.
- [5] 龚家竹,吴宁兰,陆祥芳,邵国雄.钛白粉废硫酸回收利用技术研究进展[J].硫酸工业,2019(12):6-9.
- [6] 姚文金,薛河南,马航,等.废硫酸处理技术现状与进展[J].云南化工,2025,52(12):22-34.
- [7] 张婷婷.基于循环经济的化工固废资源化利用工艺研究[J].中国轮胎资源综合利用,2025(12):146-148.

作者简介:

南树伦(1973-),男,汉族,山东滨州人,专科,工程师,研究方向:化学工程、检验检测、新材料等。
刘长征(1988-),男,汉族,山东滨州人,本科,工程师,研究方向:化学工程、检验检测、新材料等。
李洪建(1986-),男,汉族,山东滨州人,本科,工程师,研究方向:化学工程、检验检测、新材料等。
杜金链(1981-),男,汉族,山东滨州人,本科,助理工程师,研究方向:化学工程、检验检测、新材料等。
丁宝业(1974-),男,汉族,山东滨州人,专科,助理工程师,研究方向:化学工程、检验检测、新材料等。