

引用格式:张江拓,岳龙,王博. 硫化氢合成工艺在铜冶炼行业污水处理中的实践与应用[J]. 有色设备,2025,39(3):99-105.

ZHANG Jiangtuo, YUE Long, WANG Bo. Application and practice of hydrogen sulfide synthesis process in wastewater treatment of copper smelting industry[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2025, 39(3):99-105.

硫化氢合成工艺在铜冶炼行业污水处理中的实践与应用

张江拓, 岳龙, 王博

(国投金城冶金有限责任公司, 河南灵宝 472500)

[摘要] 本文围绕硫化氢合成工艺在铜冶炼污水处理中的应用展开研究,通过对比分析多种硫化氢合成路线,传统污水处理方法如硫化钠/硫氢化钠硫化法、中和法及组合工艺存在的引入钠离子、产生大量废渣、处理成本高、水质不稳定等问题。本研究指出,甲醇-硫磺合成工艺在成本、产率和产物纯度方面优势明显。以某公司项目为例,该工艺能使铜冶炼污水中铜、砷离子去除率达99%以上,铅、锌离子等去除率超95%,污水达标回用,减少污染且每年可为企业节约污水处理费用约200万元。同时,本研究探讨了该工艺在实际应用中所面临反应温度、压力控制及原料配比和纯度要求等相关的问题,并据此提出应对策略。研究表明,该工艺在铜冶炼污水处理中效果显著,其未来发展将着重于催化剂研发和工艺自动化、智能化方向。

[关键词] 铜冶炼污水处理; 硫化氢合成工艺; 甲醇-硫磺合成法; 重金属离子去除; 工艺优化

[中图分类号] TF813 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2025)03-0099-07

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2025.03.011

0 引言

在铜冶炼行业中,废水处理一直是环保领域的重要课题之一。随着工业化进程的加速,铜冶炼产业规模不断扩大,导致废水产生量也日益增加。铜冶炼废水成分复杂,含有大量重金属离子,如铜、铅、锌、镉、砷等,以及硫酸、盐酸、氢氟酸等无机酸。若未经有效处理而直接排放,将对生态环境和人类健康构成严重的潜在风险。

传统的铜冶炼废水处理方法如硫化法、中和法等,虽在一定程度上能够去除污染物,但存在诸多弊端。例如,硫化法使用硫化钠/硫氢化钠,会引入大量钠离子,不利于废水后续回收利用,且产生的硫酸钠副产物处理成本高;中和法需消耗大量石灰等碱性物质,产生大量废渣,增加了废渣处理的难度和成本,还可能导致二次污染。

硫化氢作为一种重要的化学试剂,在铜冶炼废水处理中展现出独特优势,能与废水中的重金属离子发生反应,生成难溶性硫化物沉淀,从而实现重金

属的高效去除。在反应过程中不引入金属阳离子,避免了传统方法中因引入其他离子而带来的后续处理难题。高效的硫化氢合成工艺对于提升铜冶炼废水处理效果、降低处理成本、减少环境污染具有重要意义。

硫化氢合成工艺的优化与应用,能够提高铜冶炼废水处理的效率和质量,降低重金属离子的排放浓度,使其达到国家环保标准,进而减少对环境的污染,保护生态平衡。合理的硫化氢合成工艺可降低废水处理过程中的化学试剂消耗、能源消耗以及废渣产生量,从而降低企业的生产成本,提高其经济效益和市场竞争力。从长远来看,有助于推动铜冶炼行业的可持续发展,促进资源的循环利用,最终实现经济发展与环境保护的良性循环。

近年来,国内在该领域的研究也取得了显著进展。相关科研机构和企业针对传统硫化氢合成工艺的不足,进行了大量技术创新和改进。提出了一种新的硫化氢合成方法,通过优化反应条件和催化剂,提高了硫化氢的产率和纯度。

[收稿日期] 2025-01-16

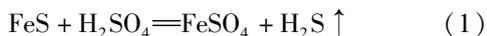
[第一作者] 张江拓(1987—),男,河南灵宝人,工程师,主要从事有色冶炼烟气污水处理及技术管理工作,现任国投金城冶金有限责任公司环保分厂副厂长。

1 硫化氢合成工艺概述

1.1 常见硫化氢合成工艺原理

1.1.1 硫化亚铁与稀硫酸反应法

硫化亚铁(FeS)与稀硫酸(H_2SO_4)在常温下发生复分解反应,是实验室制取硫化氢的常用方法。其反应原理为:



在该反应中,硫化亚铁中的硫离子(S^{2-})与稀硫酸中的氢离子(H^+)结合,生成硫化氢气体。

这种方法操作相对简单,反应条件温和,无需额外加热设备,在实验室环境中易于实现。由于硫化亚铁和稀硫酸的反应速率较快,便于快速制取少量硫化氢气体,以满足实验室的各种实验需求,如化学分析、物质性质研究等。但由于其原料成本较高,且产气率低,产气过程不易控制,大规模生产会导致成本大幅增加,且难以实现稳定、高效地生产,因此主要应用于实验室小规模制备。

1.1.2 硫磺与氢气合成法

硫磺(S)与氢气(H_2)合成硫化氢的反应方程式为:



在实际工业生产中,通常采用甲醇裂解制氢再与硫磺反应的工艺。甲醇(CH_3OH)在催化剂作用下裂解生成氢气和二氧化碳,反应方程式为:



生成的氢气再与硫磺蒸汽在高温、催化剂的条件下反应生成硫化氢。

这一工艺在工业大规模生产中具有显著优势。甲醇来源广泛,价格相对较为稳定且成本较低,能够为大规模生产提供充足的原料供应。通过对反应条件的精确控制,如温度、压力、催化剂等,可以实现较高的硫化氢产率和纯度。在 $470 \sim 480 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 0.8 MPa 的条件下进行反应,可得到纯度 99.5% 以上的硫化氢气体^[1]。该工艺的自动化程度较高,能够实现连续化生产,有效提高生产效率,降低人工成本,适用于工业大规模生产需求。

1.2 不同工艺的优缺点比较

1)在成本方面,硫化亚铁与稀硫酸反应法的原料硫化亚铁成本较高,且反应过程中原料利用率相对较低,导致大规模生产时成本高昂。硫磺与氢气合成法,由于甲醇来源广泛且价格相对较低,在大规

模生产中,通过优化工艺和提高原料利用率,可有效降低成本。

2)在安全性方面,硫化亚铁与稀硫酸反应法在实验室小规模操作时,相对容易控制反应条件,危险性较小。但在大规模生产时,由于反应速率较快且不易控制,可能会导致硫化氢气体泄漏,引发安全事故。硫磺与氢气合成法的反应过程相对较为复杂,涉及高温、高压等条件,对设备的要求较高。若设备出现故障或操作不当,容易引发爆炸、火灾等严重安全事故。但通过先进的自动化控制系统和严格的安全管理措施,可有效降低安全风险。

3)在产率方面,硫化亚铁与稀硫酸反应法的产气率较低,难以满足大规模工业生产对硫化氢气体的需求。硫磺与氢气合成法在优化的反应条件下,能够实现较高的产率,通过对反应温度、压力、催化剂等参数的精确调控,可使硫化氢的产率大幅提高,满足工业大规模生产的需求。

4)产物纯度,也是评估工艺优劣的重要指标。硫化亚铁与稀硫酸反应法制得的硫化氢气体中,通常含有较多杂质,如反应过程中可能会产生少量的二氧化硫等气体,需要进行复杂的净化处理才能得到高纯度的硫化氢气体。硫磺与氢气合成法在合适的反应条件下,可得到纯度较高的硫化氢气体^[2]。在 $470 \sim 480 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 0.8 MPa 的条件下进行反应,可得到纯度 99.5% 以上的硫化氢气体,减少了后续净化处理的成本和难度。

1.3 甲醇—硫磺合成硫化氢工艺

1.3.1 工艺主要单元

甲醇—硫磺合成硫化氢工艺是一种高效、环保的硫化氢生产方法,广泛应用于工业领域。该工艺主要包括甲醇储存、甲醇裂解、硫磺熔化、硫化氢合成、硫化氢净化、换热系统、安全防护系统等主要工艺单元。

1)在甲醇储存单元,甲醇通常被存储在专门设计的储罐中。这些储罐具备良好的密封性和耐腐蚀性,以确保甲醇的安全储存。为防止甲醇挥发和泄漏,储罐配备了先进的液位监测系统和压力控制系统,能够实时监测甲醇的存储状态,一旦出现异常情况,可及时采取措施进行处理。

2)甲醇裂解单元是将甲醇转化为氢气和一氧化碳的关键环节。在该单元中,甲醇与脱盐水按一定比例混合后,经换热器预热,再进入汽化塔进行汽

化^[3]。汽化后的甲醇蒸气与水蒸气在过热器中进一步过热,然后进入装有专用催化剂的转化器。在220~280℃的温度条件下,甲醇在催化剂的作用下发生裂解反应,生成氢气和一氧化碳。此反应过程中,催化剂的性能对反应的效率和产物的纯度起着至关重要的作用。优质的催化剂能够降低反应的活化能,提高反应速率,同时减少副反应的发生,从而提高氢气的产率和纯度。

3) 硫磺熔化单元的作用是将固体硫磺转化为液态硫磺,以便后续的反应能够顺利进行。固体硫磺通过输送设备进入熔硫槽,在熔硫槽中,利用蒸气或其他加热方式对硫磺进行加热,使其温度升高至熔点以上,从而熔化为液态硫磺。为确保硫磺的完全熔融,熔硫槽的温度需严格控制在120~140℃。同时,为防止硫磺在管道中结晶堵塞,伴热温度需高于硫磺熔融温度,以确保硫磺在输送过程中始终保持液态。

4) 硫化氢合成单元是整个工艺的核心部分。在该单元中,液态硫磺经液硫泵加压后,与甲醇裂解产生的以氢气为主的混合气体,依次进入硫化氢合成塔和硫化氢精制塔。在硫化氢合成塔内,氢气与硫磺蒸气在高温、高效催化剂的作用下发生反应,生成硫化氢气体。该反应为强放热反应,反应温度通常控制在420~490℃^[4]。在如此高的温度下,反应速率较快,但也对设备的耐高温性能提出了较高要求。为确保反应的稳定进行和设备的安全运行,合成塔内设有温度监测和控制系统,能够实时监测反应温度,并通过调节冷却介质的流量来控制温度在合适范围内。

5) 硫化氢净化单元的主要任务是去除硫化氢气体中的杂质,提高其纯度。从硫化氢合成塔出来的高温气体中,除了含有硫化氢气体外,还包含微量未反应的氢气、少量硫磺蒸气以及其他杂质。这些气体首先进入一级工艺换热器,通过与低温介质进行换热,回收部分热量,自身温度降低后进入二级工艺换热器,进一步对制氢原料进行预热。经过两次降温处理后,气体进入液硫捕集塔,在液硫捕集塔中,利用特殊的捕集装置,将气相中的液硫雾滴去除,以减少硫磺对后续设备的腐蚀和对产品质量的影响。最后,经过净化的气体进入产品气缓冲罐,进行缓冲和储存,以便后续的使用或进一步处理。

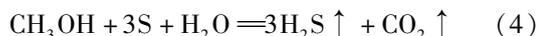
6) 换热系统在整个工艺中起着能量回收和利

用的重要作用。通过合理设计换热器的结构和流程,使高温气体与低温介质在换热器中进行热量交换,实现能量的梯级利用,降低了能源消耗,提高了工艺的整体效率。在一级工艺换热器中,高温的硫化氢合成气将热量传递给熔硫槽所需的加热介质,从而减少了熔硫过程中的蒸气消耗;在二级工艺换热器中,合成气继续将热量传递给制氢原料,提高了制氢原料的温度,降低了制氢过程中的能耗。

7) 安全防护系统是保障工艺安全运行的重要保障。该系统包括一系列的安全设备和措施,如安全阀、紧急切断阀、可燃气体报警器、有毒气体报警器等。安全阀能够在系统压力超过设定值时自动开启,释放压力,防止设备因超压而发生爆炸;紧急切断阀可在发生紧急情况时迅速切断物料供应,防止事故的扩大;可燃气体报警器和有毒气体报警器能够实时监测环境中的可燃气体和有毒气体浓度,一旦浓度超标,立即发出警报,提醒操作人员采取相应的措施^[5]。

1.3.2 反应机理

该工艺的总反应化学式为:



在实际反应过程中,首先是甲醇的裂解反应,其反应方程式为:



在220~280℃的条件下,甲醇在专用催化剂的作用下,分子中的化学键断裂,发生裂解反应,生成一氧化碳和氢气。这一反应是一个可逆反应,为了使反应向生成氢气的方向进行,需要控制合适的反应条件,如温度、压力和反应物的浓度等。较高的温度有利于提高反应速率,但过高的温度会导致催化剂失活,同时增加能源消耗。因此,需要通过试验和生产实践,确定最佳的反应温度范围。

随后,氢气与硫磺蒸气发生反应生成硫化氢,反应方程式为:



该反应同样是可逆反应,在高温下,氢气和硫磺蒸气的分子具有较高的能量,能够克服反应的活化能,发生化学反应生成硫化氢。氢气和硫磺蒸气的浓度、反应温度、压力等因素对反应的平衡和速率均有重要影响。提高氢气和硫磺蒸气的浓度,可以增加反应物分子之间的碰撞概率,从而提高反应速率。而反应温度的升高,虽然能加快反应速率,但会使反

应平衡向逆反应方向移动,降低硫化氢的产率。因此,需要在保证反应速率的前提下,选择合适的温度,以提高硫化氢的产率。

在硫化氢合成过程中,反应条件对产物的影响显著。温度方面,升高温度,反应速率加快,但平衡逆向移动,硫化氢产率可能降低。对于氢气与硫磺蒸气生成硫化氢的反应,温度过高会使硫化氢分解加剧,导致产率下降。因此,需要严格控制反应温度在合适的范围内,以确保较高的产率和反应速率。压力对反应的影响也不容忽视。增大压力,反应速率加快,且对于气体体积减小的反应,平衡会正向移动。在该工艺中,适当增加压力有利于提高硫化氢的产率,但过高的压力会对设备的耐压性能提出更高要求,增加设备投资和运行成本。因此,需要综合考虑设备成本和产率等因素,选择合适的压力。

催化剂在反应中起着至关重要的作用,能够降低反应的活化能,使反应在较低的温度下就能快速进行,从而提高反应效率。在甲醇裂解和硫化氢合成反应中,专用催化剂的使用大幅提高了反应速率,减少了反应时间,降低了能源消耗。同时,催化剂的选择性也很重要,其能够促进目标反应的进行,减少副反应的发生,从而提高产物的纯度。

1.3.3 工艺优势分析

甲醇—硫磺合成硫化氢工艺具有诸多优势。

1)从成本控制角度来看,甲醇来源广泛,价格相对稳定且较为低廉,能够为大规模生产提供充足且经济的原料供应。与其他一些硫化氢合成工艺相比,该工艺在原料成本方面具有明显的优势。某铜冶炼企业采用该工艺后,每年的原料采购成本相比之前采用的其他工艺降低了约 20%。通过优化工艺参数和设备运行,该工艺能够提高原料的利用率,减少浪费,进一步降低生产成本。在实际生产中,通过精确控制甲醇和硫磺的进料比例,以及优化反应条件,使原料的转化率得到了显著提高,减少了未反应原料的排放,降低了原料成本和后续处理成本。

2)在产物质量方面,该工艺在合适的反应条件下,能够得到纯度较高的硫化氢气体。在 470 ~ 480 °C、0.8 MPa 的条件下进行反应,可得到纯度 99.5% 以上的硫化氢气体。高纯度的硫化氢气体在铜冶炼废水处理等应用中,能够更有效地与重金属离子发生反应,生成难溶性硫化物沉淀,从而提高废水处理的效果。在处理含铜废水时,高纯度的硫化氢气体能

够使铜离子的去除率达到 99% 以上,大幅降低了废水中铜离子的浓度,使其达到废水回用的标准。

3)该工艺的自动化程度较高,能够实现连续化生产。通过先进的自动化控制系统,可以对各个工艺单元的运行参数进行实时监测和精确控制,如温度、压力、流量等。这不仅提高了生产效率,减少了人工操作带来的误差和安全风险,还降低了人工成本。某大型铜冶炼企业采用该工艺后,生产效率相比之前提高了 30%,人工成本降低了约 15%。自动化控制系统能够根据生产需求,自动调整设备的运行状态,实现生产过程的优化和稳定运行,提高了企业的经济效益和市场竞争能力。

2 硫化氢合成工艺在铜冶炼污水处理中的应用实例

2.1 项目背景

某企业在铜冶炼过程中,面临着严峻的污水处理挑战。传统污水处理方法难以满足日益严格的环保要求,且处理成本高昂。鉴于此,公司决定引入硫化氢合成工艺,以实现铜冶炼污水的高效处理,降低污染物排放,提高水资源的回用率,降低企业的污水处理成本,提升企业的经济效益和环境效益。

2.2 应用过程

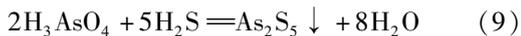
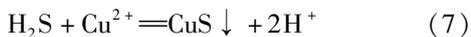
在该项目中,采用了甲醇—硫磺合成硫化氢工艺。甲醇首先被储存于专门设计的储罐中,通过输送泵送至甲醇缓冲罐,再与脱盐水按 1:1 的质量比在混配罐中混合均匀。混合液经计量泵加压后,进入换热器进行预热,从常温升温至 80 °C。随后,在汽化器中,由热导油提供热量,将混合液汽化为甲醇蒸气及水蒸气。

汽化后的混合蒸汽进入反应器,在 240 ~ 280 °C 的反应温度和约 1.1 MPa 的压力下,经催化剂作用,完成甲醇和水蒸气的转化重整反应,生成氢气和二氧化碳。反应器下部流出的高温转化气,先在换热器中与混配液初步冷却,再经水冷器进行二次冷却,使温度降至 40 °C 以下后进入气液分离器。在气液分离器中,转化气中的水和甲醇被分离,分离净化后的转化气体流入混合气缓冲罐。

固体硫磺进入熔硫槽,使用蒸气加热至熔融态,温度控制在 120 ~ 140 °C。熔融态的硫磺用液硫泵加压打入液硫蒸发器加热后,与经甲醇裂解产生的以氢气为主的混合气体,依次混合进入硫化氢合成

塔和硫化氢精制塔。在硫化氢合成塔内,氢气与硫磺蒸气在高效催化剂的作用下发生反应生成硫化氢气体,反应温度控制在 420 ~ 490 ℃。从硫化氢合成塔生产的高温气体包含硫化氢气体、微量未反应的氢气与少量硫磺蒸气,从塔底流出后,经一级工艺换热器取热,用于补充熔硫槽所需要的热量,并自身降温,接着进入二级工艺换热器对制氢原料进行预热,再次降温后进入液硫捕集塔,除去气相液硫雾滴,最后进入产品气缓冲罐。

在污水处理环节,将合成的硫化氢气体通入含重金属离子的污水中,硫化氢与重金属离子发生反应,生成难溶性硫化物沉淀^[6]。以铜砷离子为例,反应方程式为:



通过控制反应条件,如反应温度、pH 值、硫化氢通入量等,确保重金属离子的高效去除。反应后的污水进入沉淀池,使硫化物沉淀与水分离。沉淀后的上清液经过进一步处理后,可达到排放标准或回用标准。

2.3 污水处理效果与效益分析

经过硫化氢合成工艺处理后,公司的铜冶炼污水中重金属离子的去除效果显著。铜、砷离子的去除率可达 99% 以上,铅、锌等重金属离子的去除率也均在 95% 以上。处理后的污水中重金属离子浓度大幅降低,达到了废水回用的标准,有效减少了对环境的污染。

从环保效益来看,该工艺的应用减少了重金属污染物的排放,降低了对土壤、水体和生态系统的危害,保护了周边环境和生物多样性。由于减少了废渣的产生量,降低了废渣处理过程中对环境的潜在风险。在经济方面,该工艺的应用降低了企业的污水处理成本。与传统硫化氢钠处理法相比,由于不需要购买硫化氢钠等药剂,且减少了废渣处理成本,每年可为企业节省污水处理费用约 200 万元。通过提高水资源的回用率,减少了新鲜水资源的取用,进一步降低了企业的生产成本。

3 应用中的技术挑战与应对策略

3.1 反应温度与压力控制

在硫化氢合成过程中,反应温度与压力对合成

反应有着至关重要的影响^[7]。反应温度过高,虽然能加快反应速率,但会导致催化剂失活,降低硫化氢的产率。当温度超过 500 ℃ 时,催化剂的活性组分可能会发生烧结、团聚等现象,使其表面积减小,活性位点减少,从而降低催化活性。温度过高还会使硫化氢分解加剧,导致产率下降。温度过低,则反应速率缓慢,难以满足生产需求。某铜冶炼厂在生产过程中发现,当反应温度低于 400 ℃ 时,硫化氢的生成速率明显降低,导致生产效率大幅下降。

压力对反应的影响也不容忽视。压力过低,反应向生成硫化氢的方向进行的程度较小,产率降低。压力过高不仅对设备的耐压性能提出更高要求,增加设备投资和运行成本,还可能导致安全风险增加。若设备耐压不足,在高压操作条件下,存在发生爆炸等严重事故的潜在可能性。

为实现精准控制,可采用先进的自动化控制系统。通过安装高精度的温度传感器和压力传感器,实时监测反应温度和压力。当温度或压力偏离设定值时,系统自动调节加热或冷却装置的功率、气体流量等参数,以维持反应温度和压力的稳定。采用 PID 控制算法,能够根据温度和压力的偏差值,自动调整控制参数,从而实现对反应温度和压力的精确控制。

在设备选型方面,应选用具有良好耐压性能和温控性能的反应设备。反应釜采用高强度、耐腐蚀的材料制造,以确保其在高压、高温环境下能够安全稳定运行。同时,在配备先进的温控系统,如电加热、蒸汽加热或导热油加热系统,能够实现快速、准确地调节反应温度。

3.2 原料配比与纯度要求

原料配比和纯度是硫化氢合成的质量和效率的关键因素。

不同的原料配比会影响反应的进行程度和产物的纯度。在硫磺与氢气合成硫化氢的反应中,若氢气与硫磺的比例不当,会导致反应不完全,产生大量未反应的原料,从而降低产率。当氢气过量时,不仅会浪费原料,还可能在后续处理过程中带来安全隐患;硫磺过量则可能导致硫磺在设备和管道中沉积,影响设备的正常运行^[9-11]。

原料纯度也是影响合成效果的重要因素。若原料中含有杂质,可能会与催化剂发生反应,导致催化剂中毒,降低其活性。原料中的重金属杂质可能会

吸附在催化剂表面,占据活性位点,使催化剂无法正常发挥作用。杂质还可能参与副反应,降低硫化氢的纯度。某企业在使用纯度较低的硫磺原料时,发现合成的硫化氢气体中含有较多的二氧化硫等杂质,严重影响了产品质量。

为保证原料质量,应建立严格的原料采购标准和检验制度。在采购环节,要求供应商提供原料的纯度检测报告,确保原料符合生产要求。对采购的原料进行严格的抽样检验,采用化学分析、光谱分析等方法,检测原料的纯度和杂质含量。只有检验合格的原料才能投入生产^[12-15]。

在生产过程中,可通过优化原料预处理工艺,提高原料纯度。对硫磺进行熔化、过滤等处理,去除其中的固体杂质;对氢气进行净化、干燥处理,去除水分、二氧化碳等杂质。通过精确的计量设备,严格控制原料的配比,确保反应在最佳条件下进行。

4 结论与展望

本研究深入探讨了硫化氢合成工艺在铜冶炼行业污水处理中的应用。通过对常见硫化氢合成工艺原理的分析,明确了甲醇—硫磺合成硫化氢工艺在成本、产率、产物纯度等方面相较于其他工艺的显著优势。在铜冶炼污水来源及成分分析中,揭示了污酸废水及其他污水中复杂的重金属离子和酸类物质成分,以及传统污水处理方法如硫化钠/硫化氢钠硫化法、中和法及组合工艺存在的引入钠离子、产生大量废渣、处理成本高、水质不稳定等问题。

通过某公司实际案例,充分展示了硫化氢合成工艺在铜冶炼污水处理中的高效应用。硫化氢合成工艺能够将铜冶炼污水中的重金属离子高效去除,铜离子、砷离子去除率可达 99% 以上,铅离子、锌离子等重金属离子的去除率也均在 95% 以上,使处理后的污水水质明显改善,达到废水回用的目的,有效减少了对环境的污染。

未来,随着科技的不断进步和环保要求的持续提高,硫化氢合成工艺在铜冶炼行业污水处理中的应用将呈现出一系列新的发展趋势。在技术创新方面,催化剂的研发将成为重点方向。目前的催化剂虽能满足一定的生产需求,但仍有提升空间。科研人员也将致力于开发活性更高、选择性更强、稳定性更好的新型催化剂,以提高硫化氢的合成效率和纯度。通过纳米技术、新材料技术等手段,对催化剂的

微观结构进行优化,使其能够在更温和的反应条件下实现高效催化,降低反应温度和压力,减少能源消耗和设备投资。

在工艺优化方面,将进一步提高自动化和智能化水平。利用先进的传感器技术、自动化控制技术和大数据分析技术,实现对硫化氢合成过程的实时监测和精准控制。通过建立数学模型,对反应过程进行模拟和优化,提前预测可能出现的问题,并采取相应的措施进行预防 and 解决。这将有助于提高生产效率,减少生产成本,降低人工操作带来的误差和安全风险。

[参考文献]

- [1] 蒋晓云,王磊,易亚男. 硫化氢工业合成及在污酸净化中的应用[J]. 有色设备,2019(1):50-54.
- [2] 熊义期,李超,郭殿. 冶炼烟气制酸装置污酸硫化氢法除砷生产实践[J]. 硫酸工业,2020(11):41-43.
- [3] 杨青. 甲醇制氢在工业应用中的工艺改良研究[J]. 云南化工,2019,46(9):162-163.
- [4] 刘一鸣. 硫化氢气体在有色冶炼污酸治理中的应用前景[J]. 有色设备,2020(2):4-6,11.
- [5] 赵锡钦,祁旺,王金鑫. 可燃气体报警器的应用及常见故障处理[J]. 海峡科技与产业,2018(8):114-116.
- [6] 赵次娟,刘陈,刘锐利,等. 重金属污水处理技术研究进展[J]. 广东化工,2021,48(8):179-181.
- [7] 尚念刚,李天文,孙烈刚,等. 液体硫磺与氢气合成硫化氢新工艺[J]. 现代化工,2012,32(12):90-92.
- [8] 王春喜,张桂玲,汪烁. 智能制造用例及标准化需求研究[J]. 中国标准化,2018(17):96-99,105.
- [9] 冯芝勇,曹汝俊,邱远鹏,等. 降低冶炼废水 COD 的生产实践[J]. 中国有色冶金,2021,50(4):108-111.
- [10] 陈珑文,陈刚,蔡兵,等. 有色冶炼污酸治理中硫化氢气体制取工艺的选择研究[J]. 云南冶金,2024,53(3):84-88.
- [11] 李桂珍. 工业废水处理的沉淀工艺选择及建议[J]. 硫酸工业,2025(1):43-46.
- [12] 冯芝勇,邱远鹏,曹汝俊,等. 硫化沉砷-石膏中和工艺处理铜冶炼废酸污水的生产实践[J]. 中国有色冶金,2021,50(3):75-78.
- [13] 初长青,张桢楠,侯辉南,等. 硫化氢酸解法副产物硫酸钠废水蒸发结晶工艺优化改造[J]. 有色冶金节能,2022,38(2):53-57.
- [14] 纪罗军. 我国精细硫磷化工技术与市场综述(一)——硫化氢及硫黄衍生产品[J]. 硫酸工业,2025(1):1-9,15.
- [15] 解增光,吕勇,张玲. 电化学废水处理技术在冶炼废水中的应用[J]. 有色矿冶,2021,37(6):49-53.

Application and practice of hydrogen sulfide synthesis process in wastewater treatment of copper smelting industry

ZHANG Jiangtuo, YUE Long, WANG Bo

(State-owned Investment Jincheng Metallurgical Co. , Ltd. , Lingbao 472500 ,China)

Abstract: This paper investigates the application of hydrogen sulfide synthesis processes in copper smelting wastewater treatment. By comparing various hydrogen sulfide synthesis routes and traditional wastewater treatment methods such as sodium sulfide/sodium hydrosulfide sulfidation, neutralization, and combined processes, this study highlights the issues associated with the latter, including the introduction of sodium ions, the generation of large amounts of waste residue, high treatment costs, and unstable water quality. The research demonstrates that the methanol-sulfur synthesis process offers significant advantages in terms of cost, yield, and product purity. Taking a company's project as an example, this process can achieve a removal rate of over 99% for copper and arsenic ions in copper smelting wastewater, and over 95% for lead and zinc ions, enabling the treated wastewater to meet standards for reuse, reducing pollution and saving the company approximately 2 million yuan in wastewater treatment costs annually. Additionally, this study explores the challenges faced in practical applications, such as reaction temperature and pressure control, as well as requirements for raw material ratios and purity, and proposes corresponding strategies. The results indicate that the methanol-sulfur synthesis process is highly effective in copper smelting wastewater treatment, with future development focusing on catalyst research and the automation and intelligentization of the process.

Keywords: copper smelting wastewater treatment; hydrogen sulfide synthesis process; methanol-sulfur synthesis method; heavy metal ion removal; process optimization ▲

(上接第 90 页)

Application of low-temperature waste heat recovery technology in copper smelting sulfuric acid systems

YUE Long, ZHANG Jiangtuo, CHEN Rujia

(State-owned Investment Jincheng Metallurgical Co. , Ltd. , Lingbao 472500 ,China)

Abstract: To address the issues of low energy utilization efficiency and ineffective recovery of low-temperature waste heat in copper smelting acid production systems, this study proposes an optimized waste heat recovery process based on thermal exchange principles. Through the application of key equipment including steam generators and high-temperature absorption towers, the system achieves cascade utilization of waste heat. By replacing production water with desalinated water, the quality of sulfuric acid is significantly improved. After commissioning of the recovery unit at SDIC Jincheng Metallurgy, steam production reached 40 t/h with annual economic benefits of approximately 26 million yuan. The system demonstrates effective control of equipment corrosion while reducing circulating water power consumption by 560 kWh/h. The research provides technical references for energy conservation and emission reduction in the copper smelting industry.

Keywords: copper smelting; acid production process; low-grade waste heat recovery; energy optimization; steam turbine power generation; equipment corrosion control ▲