

硫酸法钛白粉工艺及设备优化实践

魏汉双

攀枝花市海峰鑫化工有限公司 四川 攀枝花 617000

摘要: 硫酸法钛白粉传统生产存在流程长、能耗高、污染大、产品质量不稳定等弊端。本文开展工艺及设备优化实践,在工艺上对酸解、水解、煅烧等环节的条件、设备、操作方式等进行改进;设备方面对酸解罐、水解反应器、回转窑等关键设备升级改造。优化后生产效率提升,产品质量稳定,生产成本与能耗降低,废物排放减少,实现绿色可持续发展。

关键词: 硫酸法;钛白粉工艺;设备优化实践

引言:硫酸法是钛白粉生产的主流工艺之一,在涂料、塑料等诸多领域应用广泛。然而,传统硫酸法钛白粉生产工艺存在流程繁琐、能耗居高不下、废物排放量大且对环境的影响显著等问题,同时设备腐蚀严重、产品质量不稳定等状况也制约着行业发展。在此背景下,开展硫酸法钛白粉工艺及设备优化实践迫在眉睫,对提升生产效率、降低环境负荷、推动行业可持续发展意义重大。

1 硫酸法钛白粉生产工艺概述

1.1 硫酸法钛白粉生产原理

(1) 钛铁矿与硫酸的反应机理:钛铁矿主要成分 FeTiO_3 与浓硫酸发生复分解反应,生成 $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$ 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 等可溶性硫酸盐,同时伴随杂质矿物的溶解,反应需控制适宜温度与酸矿比以提升钛转化率。(2) 钛液的制备与净化过程:酸解产物经水浸获得含钛粗液,通过加入絮凝剂沉降去除不溶性杂质,再经结晶分离去除硫酸亚铁,得到纯净的钛液。(3) 偏钛酸的生成与煅烧工艺:纯净钛液经水解反应生成偏钛酸沉淀,沉淀洗涤净化后,在高温下煅烧分解,去除水分与杂质,转化为二氧化钛(钛白粉)。

1.2 传统生产工艺流程

(1) 原料准备与预处理:钛铁矿经破碎、研磨至适宜粒度,去除矿石中的泥土、石块等杂质,提升原料纯度。(2) 酸解反应与钛液制备:预处理后的钛铁矿与浓硫酸在酸解罐中混合反应,反应完成后加水浸出,得到含钛粗液。(3) 沉降、过滤与结晶:粗钛液加入絮凝剂沉降,过滤除去固体杂质;过滤液经冷却结晶、离心分离,去除硫酸亚铁副产物。(4) 水解、洗涤与漂白:净化后的钛液在水解釜中进行水解生成偏钛酸,通过多次洗涤去除可溶性盐,再经漂白处理提升产品白度。(5) 煅烧与粉碎:漂白后的偏钛酸送入煅烧窑高温煅烧,得到钛白粉熟料,再经粉碎、分级,获得成品钛白粉^[1]。

1.3 传统工艺存在的问题

(1) 流程长、能耗高:从原料预处理到成品需十余道工序,尤其煅烧环节需高温环境,能耗占比高,生产周期长。(2) 废物及副产物多、环境污染大:生产过程中产生大量硫酸亚铁、酸性废水、废渣等,若处理不当易造成水体、土壤污染,环保压力大。(3) 设备腐蚀严重、维护成本高:浓硫酸及酸性介质对设备腐蚀性强,需采用特殊耐腐材料,设备损耗快,维护频次与成本居高不下。(4) 产品质量不稳定、生产效率低:传统工艺对反应条件控制精度较低,易导致产品粒度分布不均、白度波动;各环节衔接效率低,整体生产产能受限。

2 硫酸法钛白粉生产工艺优化实践

2.1 酸解工艺优化

酸解反应条件的优化:通过正交试验确定最优反应参数,将酸解温度精准控制在 $180\sim 200^\circ\text{C}$,避免温度过高导致硫酸分解损耗或过低影响反应速率;选用 $93\%\sim 98\%$ 的浓硫酸浓度,平衡反应活性与生产成本;调整酸钛摩尔比至 $3.5\sim 4.0$,提升钛铁矿转化率的同时减少废酸生成,较传统工艺钛转化率提升 $5\%\sim 8\%$ 。(2) 酸解设备的改进:目前更多传统硫酸法钛白企业开始逐步淘汰老式酸解锅,逐步更换为连续酸解工艺,不仅酸解率进一步提高,而且安全、环保、能耗都有很大的优势。(3) 废酸回用技术:采用膜分离与浓缩结晶组合工艺处理废酸,七水硫酸亚铁进一步得到回收,除杂质后将硫酸浓度提升至 90% 以上回用于酸解反应;建立废酸循环系统,实现废酸回收率达 85% 以上,不仅降低新鲜硫酸消耗量,还减少废酸排放对环境的压力。

2.2 水解工艺优化

(1) 水解反应条件的控制:采用精准温控系统将水解温度稳定在 $100\sim 105^\circ\text{C}$,通过自动酸碱调节装置控制反应体系pH值在 $2.0\sim 2.5$;根据钛液浓度动态调整搅拌速度

为60-80r/min,避免局部浓度过高导致结晶不均匀,提升水解产物粒径一致性。(2) 晶种制备与加入方式的优化:改进晶种制备工艺,采用低温熟化法制备高活性钛酸晶种,提升晶种诱导结晶效果;将传统一次性加入改为分阶段定量滴加,控制晶种加入速率为0.5-1.0L/min,确保水解反应平稳进行,减少副反应发生。(3) 水解产物的过滤与洗涤工艺改进:替换传统板框压滤机为陶瓷膜过滤设备,提升过滤精度与效率,过滤时间缩短30%以上;采用逆流洗涤工艺,用洗涤后期的稀溶液预处理滤饼,再用清水洗涤,减少洗涤用水量60%,同时提升杂质去除率^[2]。

2.3 煅烧工艺优化

(1) 煅烧温度与时间的控制:通过热重分析确定最优煅烧参数,将温度分段控制,预热段300-500°C、分解段800-900°C、晶化段1000-1100°C,总煅烧时间由传统的4-5h缩短至2-3h,在保证产品晶型完整的同时降低能耗。(2) 煅烧设备的改进:对回转窑进行结构优化,增设内置抄板提升物料翻动均匀度;更换高效低氮燃烧器,提升燃料燃烧效率;优化助燃风系统,采用变频调速控制风量,实现燃烧充分且温度稳定,减少局部过热或欠烧现象。(3) 煅烧尾气的处理与余热回收利用:煅烧尾气温度400°C左右,目前尾气物料回收采用选分除尘,除尘效果差物料损失严重;余热回用余热锅炉,但是利用效果差。目前部分厂家煅烧尾气使用高温袋滤器回收,不仅将尾气带走物料的完全回收,而且洁净的尾气热源可以作为回转窑二次风使用,也可以做为热源再次利用,天然气消耗做到了进一步利用。

2.4 其他工艺环节的优化

(1) 沉降与过滤工艺的改进:在沉降工序加入高效复合絮凝剂,提升杂质沉降速率,缩短沉降时间;将传统过滤设备升级为全自动厢式压滤机,实现过滤、卸渣自动化,提升生产效率,同时减少滤渣含水量。(2) 漂白与盐处理工艺的优化:优化漂白剂配方,采用双氧水与硫酸亚铁复合漂白体系,提升产品白度的同时减少漂白剂用量;盐处理环节精准控制磷酸、氧化锌等添加剂用量,根据产品用途调整处理参数,提升产品耐候性与分散性。(3) 粉碎与分级工艺的改进:选用气流粉碎机替代传统机械粉碎机,提升粉碎精度;搭配分级效率更高的涡轮式分级机,实现产品粒径精准控制,不合格品自动回流重粉碎,提升成品率与产品质量稳定性^[3]。

3 硫酸法钛白粉生产设备优化实践

3.1 酸解设备改进

(1) 酸解罐的防腐蚀设计与施工:针对浓硫酸强腐蚀性,采用“钛合金衬里+耐酸胶泥”复合防护结构,罐

体内壁喷砂除锈提升贴合度,经打压及耐腐蚀检测确保密封无渗漏;优化罐口密封,以氟橡胶垫替代传统橡胶垫,延长使用寿命,降低酸液泄漏风险。(2) 酸解罐的搅拌与加热系统改进:将单桨叶搅拌器升级为双层螺旋式,搭配变频电机动态调整转速,提升矿酸混合均匀度;加热系统改夹套为盘管式,增大换热面积,配套智能温控仪精准控温,避免硫酸因局部过热分解损耗。(3) 酸解尾气的处理与排放控制:新增全封闭收集罩,负压抽取尾气至处理系统;构建“水洗+碱洗”二级吸收塔,配套高效除雾器减少雾滴夹带,处理后SO₂排放浓度达标,降低周边环境污染。

3.2 水解与过滤设备改进

(1) 水解反应器的设计与优化:采用外夹套+内盘管双重加热结构,提升反应体系温度均匀性;内部增设导流板与挡板减少物料返混,优化进料口为切线式设计增强扰动,提升水解反应速率与产物均一性;配套在线pH监测与自动调节装置,实时把控反应酸碱度。(2) 过滤设备的选型与改进:淘汰传统板框压滤机,选用全自动隔膜压滤机,实现进料、过滤、压榨、卸渣全流程自动化,过滤效率提升40%以上;结晶分离环节采用卧螺离心机替代三足离心机,增强硫酸亚铁分离效果,减少钛液夹带,同时降低人工操作强度^[4]。(3) 过滤介质的优化与更换周期的控制:选用高强度聚四氟乙烯滤布替代传统棉织滤布,提升过滤精度与耐腐蚀性;结合在线压差监测系统,设定阈值提醒更换滤布,避免堵塞影响效率,将滤布更换周期从15天延长至30天,降低耗材损耗成本。

3.3 煅烧设备改进

(1) 回转窑的内衬材料与结构设计:选用高铝质耐火浇注料替代传统粘土砖,提升耐高温与耐磨性能,使用寿命延长至2年以上;采用整体浇注工艺减少砖缝,降低热损耗;窑体内壁增设抄板优化物料翻动效果,确保煅烧均匀,避免局部过烧或欠烧。(2) 燃烧器与助燃风系统的改进:更换为低氮高效燃烧器,采用分级燃烧技术降低NO_x生成量,燃烧效率提升至95%以上;助燃风系统增设空气预热器,利用尾气余热预热助燃风,降低能耗;配套变频风机实现风量精准调控,适配不同煅烧阶段需求。

3.4 其他设备改进

(1) 粉碎设备的选型与改进:根据产品粒度需求,选用气流粉碎机替代传统雷蒙磨,提升粉碎精度,产品粒径分布更均匀;配套涡轮式分级机实现不合格颗粒自动回流重粉碎,成品率提升至98%以上;优化粉碎机喷嘴结构,增强动能的同时降低能耗。(2) 输送与包装设备的

自动化升级：采用管链输送机替代皮带输送机，减少钛白粉粉尘飞扬；包装环节选用全自动定量包装机，配套称重反馈系统，包装误差控制在 $\pm 0.2\text{kg}$ 以内；新增自动码垛机器人，实现成品自动码垛、覆膜，人工成本降低25%。（3）生产线的整体布局与物流优化：结合生产流程重新规划设备布局，缩短物料输送距离，降低输送能耗；划分专用物料通道与检修通道，提升生产安全性；采用智能物流管理系统，实时监控物料存量，实现精准调配，避免物料积压或缺。

4 硫酸法钛白粉工艺及设备优化实践的效果评估

4.1 生产效率与产品质量的提升

（1）生产能力的提高与生产周期的缩短：通过各工艺环节优化及设备自动化升级，生产线单条产能提升25%以上。酸解、水解等核心工序反应时间缩短15%~30%，全生产周期从传统的72小时压缩至48小时以内，有效提升了产能利用率，满足市场规模化需求。（2）产品质量的稳定与提升：优化后产品核心指标显著改善，白度提升至95%以上，遮盖力提高10%~15%，光泽度控制精度提升，粒径分布更均匀。产品合格率达88%提升至98%以上，质量波动范围缩小，适配高端涂料、塑料等应用场景的能力增强。

4.2 生产成本与能耗的降低

（1）原料与能源的消耗降低：废酸回用技术使硫酸消耗量降低20%以上，钛铁矿转化率提升减少原料浪费；余热回收及设备节能改造实现综合能耗降低18%~22%，单位产品标煤消耗量减少0.3吨以上。（2）设备维护与运行成本的减少：防腐设备升级及结构改进使设备故障率降低60%，维护频次减少，年维护费用降低30%左右；自动化设备替代人工操作，减少人工成本约25%，同时降低人为操作失误损失。（3）废物处理与排放费用的降低：废物资源化利用及处理工艺优化，使废物处理量减少40%，危

废处置费用降低35%以上；循环水系统优化减少水资源消耗，进一步降低生产辅料成本。

4.3 环境保护与可持续发展的贡献

（1）废物及副产物的减少与资源化利用：硫酸亚铁副产物回收率提升至90%以上，可用于制备铁系颜料、化肥等；废渣经处理后用于建材原料，实现废物减量化、资源化，减少固废填埋压力。（2）尾气排放的达标与环境污染的降低：二级尾气处理系统使 SO_2 、 NO_x 等有害气体排放浓度远低于国标限值，粉尘排放浓度控制在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下；酸性废水经处理后达标排放，水体、土壤污染风险显著降低。（3）节能减排与绿色生产的实现：通过能耗降低及污染物减排，生产线碳排放强度降低20%以上，达到绿色工厂评价标准。形成“资源-生产-废物-再生资源”的循环模式，为行业可持续发展提供示范。

结束语

通过本次硫酸法钛白粉工艺及设备优化实践，在提升生产效能、保障产品质量方面成效显著。工艺优化使生产周期缩短、能耗降低，产品质量更趋稳定优质；设备改进增强了耐腐蚀性，减少故障与维护成本。同时，废物排放大幅减少，实现资源有效利用与环境友好生产。未来，将持续探索创新，进一步优化工艺设备，推动硫酸法钛白粉行业迈向更高水平。

参考文献

- [1]唐文骞.硫酸法钛白粉生产中工艺技术及设备的分析和评论[J].化工设计,2021,14(3):160-161.
- [2]龚家竹.硫酸法钛白生产酸解工艺技术的回顾与展望[J].无机盐工业,2022,46(7):71-74.
- [3]胡永强,史卫华,李实口.硫酸法钛白粉工艺及设备优化实践[J].低碳世界,2023(6):234-235.
- [4]刘宏,陈文娟,戴建军.钛白粉生产工艺优化与设备改进[J].无机盐工业,2023,45(9):37-39.