

电解铜硫酸雾治理技术概况及分析

李招弟

北方铜业股份有限公司, 中国·山西 运城 043700

摘要: 铜电解精炼生产过程会持续产生硫酸雾污染物, 无组织逸散不仅会造成车间设备被腐蚀、作业人员岗位职业健康条件恶化, 而且会引发厂界大气超标。随着国内有色金属冶炼行业环保标准的不断收紧, 电解车间硫酸雾的治理已经成为铜电解企业环保改造的重点内容。本文梳理了国内电解铜行业硫酸雾的产生特点, 总结分析了硫酸雾从源头抑制, 到密闭收集, 以及末端净化三类主要治理技术, 对比各类工艺的技术特点、适用条件, 剖析当前实际工程应用中存在的共性问题, 并对酸雾治理技术的发展方向进行探讨, 可为电解铜车间酸雾综合治理方案与工程设计提供参考。

关键词: 电解铜; 硫酸雾; 负压收集; 喷淋净化; 污染治理

Overview and analysis of sulfuric acid mist treatment technology for electrolytic copper

Li Zhaodi

Northern Copper Co., Ltd., China Shanxi Yuncheng 043700

Abstract: The production process of copper electrolytic refining will continue to produce sulfuric acid mist pollutants. The unorganized escape will not only cause the corrosion of workshop equipment, the deterioration of occupational health conditions of operators, but also cause the factory boundary atmosphere to exceed the standard. With the continuous tightening of environmental protection standards in the domestic non-ferrous metal smelting industry, the treatment of sulfuric acid mist in the electrolysis workshop has become the key content of environmental protection transformation of copper electrolysis enterprises. This paper summarizes the characteristics of sulfuric acid mist in the domestic electrolytic copper industry, summarizes and analyzes the three main treatment technologies of sulfuric acid mist from source suppression, closed collection, and end purification, compares the technical characteristics and applicable conditions of various processes, analyzes the common problems existing in the current practical engineering application, and discusses the development direction of acid mist treatment technology, which can provide reference for the comprehensive treatment scheme and engineering design of acid mist in the electrolytic copper workshop.

Keywords: Electrolytic copper; Sulfuric acid mist; Negative pressure collection; Spray purification; Pollution control

0 引言

在铜电解精炼工序中, 电解液温度一般维持在 60℃—65℃^[1], 电流密度通常为 200—250 A/m², 电解过程阳极析气扰动电解液液面, 大量微小硫酸液滴从电解槽液面逸出形成硫酸雾。早期多数铜冶炼电解车间仅依靠车间整体通风稀释酸雾, 无专门的废气收集净化系统, 硫酸雾以无组织形式扩散, 造成天车、槽体、电气设备严重腐蚀^[2], 缩短设备使用寿命; 车间岗位硫酸雾浓度超标, 通过呼吸道和皮肤接触人体, 威胁作业人员的职业健康^[3]; 酸雾扩散至厂界, 容易出现厂界无组织排放超标问题, 污染周边环境。

近年来, 环保相关法规、标准等相继实施, 对铜电解工段硫酸雾的有组织排放、厂界无组织监控及工作场所职业接触限值提出了更加严格的要求。国内各大铜冶炼企业陆续开展电解车间酸雾改造工程^[4-6], 逐步形成了“源头抑

雾—负压收集—末端净化”的组合治理理念。但不同企业建设条件、厂房结构、生产规模差异较大, 技术选择参差不齐, 部分改造项目出现收集效率不足、净化设备堵塞腐蚀^[7]、运行及维护成本过高等问题。因此系统地梳理国内现有酸雾治理技术, 分析各类技术优缺点, 对工程方案设计具有极大的现实意义。

1 铜电解硫酸雾的产生及排放

电解车间硫酸雾主要来源是电解槽槽面, 其次为电解液循环槽、高位槽、地坑、残极清洗区、阴极剥片机组等区域。酸雾包含粒径跨度较大的气溶胶液滴, 既有大粒径飞溅液滴, 也有难以捕集的亚微米级细酸雾颗粒。硫酸雾主要特点: (1) 无组织排放, 传统敞开式电解槽, 酸雾直接在车间内逸散, 废气量大、污染物浓度偏低; (2) 工况波动性强, 生产负荷 (包含: 电流密度、电解液温度及液

面波动等)变化会直接影响酸雾的产生量;(3)腐蚀性强,硫酸雾对碳钢、铁质材料腐蚀严重,管道、风机、净化设备选材均需考虑防腐;(4)污染物组分简单,以硫酸雾滴为主,伴随少量电解液夹带的重金属微粒。

传统治理主要依靠厂房整体通风,酸雾在车间内稀释但并未减少,无法从根本上解决厂界与职业健康问题,属于被动防控手段,不满足现行环保管理的要求。目前主流治理思路是源头管控,有组织地收集净化后排放。

2 国内主流酸雾治理技术概况

国内电解铜硫酸雾治理技术分为源头抑制、密闭负压收集、末端净化处理三大类,实际工程生产工况复杂,单一工艺很难把排放控制到位,实际应用中通常采用多种技术组合使用。

2.1 源头抑制技术

源头抑制是指在产污环节降低酸雾逸出量,从电解槽槽面减少酸雾生成。主要包括添加酸雾抑制剂、槽面物理覆盖、优化电解工艺参数^[8]三种方式。

(1) 添加酸雾抑制剂

酸雾抑制剂为高分子复配表面活性物质,加入电解液后,在电解液表面形成一层稳定泡沫/液膜,抑制气泡破裂造成的酸滴飞溅,减少槽面酸雾逸散量。在国内大型铜冶炼企业应用较为广泛。优点是无需改动厂房与槽体结构,投资低;可降低槽面酸雾 70% 以上,有效降低后续废气处理量。缺点是抑制剂持续消耗需增加成本;药剂选型不当会影响阴极铜析出质量和表面品质;且无法完全消除酸雾,不能单独作为环保达标的治理手段,还须配合收集净化系统共同使用。

(2) 槽面物理覆盖

采用防腐浮球、塑料覆盖膜等覆盖电解槽液面,阻挡酸雾向外逸散。优点是抑雾效果稳定,不影响电解液成分,不干扰生产。缺点是制约工人操作,出铜、装槽作业时需要移开覆盖材料,操作繁琐,自动化程度低;残极、阳极板挂耳处不能完全密封,仍会有部分酸雾溢出。

(3) 优化电解工艺参数

合理控制电解液的温度和电流密度,在满足正常生产的前提下适当降低电解液温度,控制合理电流密度,减少阳极析气强度,实现酸雾产生量的降低。该措施受产品产能约束,调整空间有限,只能作为辅助手段。

2.2 密闭与负压收集技术

密闭与负压收集是将敞开电解槽进行密闭改造,设置密闭罩、集气罩,依靠风机形成槽内负压,集中收集槽面

逸出的酸雾,实现无组织向有组织排放转换,收集系统的效率直接影响整体的治理效果。国内主要分为整体密闭罩、可移动式密闭罩、槽沿侧吸集气三种形式。

(1) 电解槽整体密闭罩

对电解槽上部设置全封闭罩体,并设置操作检修门,罩内维持 -20~-40Pa 负压,酸雾通过罩体接管汇入主管输送至净化设备。优点是收集效率高,收集率可达 90% 以上,适合新建的电解系统。缺点是对原有厂房改造难度大;罩体占用车间内空间,对天车吊运、出铜作业影响较大;罩体密封结构容易受现场生产作业碰撞损坏,后期维护检修工作量大。

(2) 可移动式密闭罩

罩体配套升降机构,出铜作业时抬起,生产运行时下降闭合密封。优点是兼顾了密闭收集与生产操作。缺点是设备结构复杂,投资较高;传动机构长期处在酸雾环境中,腐蚀故障风险高,设备防腐、维护管理要求高。

(3) 槽沿侧吸集气

不在槽面设置大体积罩体,只需在电解槽两侧槽沿布置集风口,依靠侧向抽风捕集酸雾。优点是不干涉天车作业,改造工程量小,适合老旧厂房改造。缺点是收集效率受风速、气流影响大,容易受车间穿堂风干扰,有部分酸雾逃逸,收集效率低于全密闭形式,需匹配更大的抽风量。

收集系统工程实践过程中常见问题(见表 1)。

表 1 收集系统工程实践过程中的常见问题

生产状况		造成的问题
负压不合理	负压过小	酸雾逃逸,收集不到位
	负压过大	电解液挥发、风机能耗大
选材防腐性能不足		管道、风机腐蚀漏风
系统风量与生产工况未联动		负荷变化时收集效果不稳定

2.3 末端净化处理技术

酸雾废气经过收集管道进入净化设备,国内电解铜酸雾末端净化工艺包括碱液喷淋洗涤、喷淋+丝网除雾、湿式电除雾等工艺。

(1) 碱液喷淋洗涤工艺

国内应用成熟工艺多选用填料塔或者旋流板塔,以氢氧化钠等碱性溶液作为吸收液,废气在喷淋塔内与碱液逆向接触,通过物理捕集与酸碱中和去除酸雾。优点是工艺成熟,造价适中,运行管理简单,适应性强;净化效率可达 90% 以上。缺点是对于亚微米级细酸雾去除能力有限;产生的中和废水需要配套废液处置系统;循环液存在结晶、填料堵塞等风险。

(2) 喷淋 + 多级除雾组合工艺

目前改造项目常用组合工艺多在喷淋塔后增设丝网除雾器、折流板除雾器,捕集喷淋后废气携带的二次液滴,降低出口的硫酸雾浓度。优点是在喷淋洗涤基础上降低出口液滴夹带量,设备简单。缺点是细小气溶胶颗粒去除仍无法去除;除雾元件易被盐结晶堵塞,需定期冲洗维护。

(3) 湿式电除雾(湿式电除尘)

利用高压电场使酸雾液滴荷电,在电场力作用下向极板聚集后捕集,对亚微米细酸雾具有良好的去除效果,多用于排放要求严苛的项目,常作为深度处理单元。优点是对微细酸雾处理能力突出,可实现较低浓度排放。缺点是设备投资高;电场对废气条件敏感;设备结构复杂,防腐及绝缘要求高,运行成本较高。

3 技术对比及存在的问题

3.1 不同技术综合对比

源头抑制技术能够减少酸雾产生,但不能单独实现废气达标排放,须和收集净化系统配套使用。密闭收集是酸雾治理的第一步,但老旧厂房改造受空间、天车工艺限制难做到完全密闭。末端净化工艺中,碱液喷淋 + 除雾组合工艺实用性最高,适合大多数企业;湿式电除雾适合超低排放要求的企业,但要考虑投资运维成本。

3.2 当前工程应用共性问题

(1) 重末端、轻收集。部分企业注重装配大型净化塔,但密闭集气改造不到位,致使一定量的酸雾未被收集,仍然存在无组织逸散情况,整体治理效果达不到预期。(2) 轻视防腐设计(或设施)。硫酸雾腐蚀性强,管道、风机、阀门、罩体防腐选材不当,易出现腐蚀漏风,致使系统负压失效。(3) 风量与负压匹配不合理。盲目加大抽风量,造成能耗上升、电解液挥发量增大;风量不足则负压不足,造成酸雾逃逸。(4) 运行维护不到位。喷淋塔填料、除雾器结晶堵塞未及时冲洗;抑制剂药剂管理不当影响阴极铜产品质量;密闭罩密封件损坏未及时更换。(5) 对职业健康和厂界无组织排放考虑不足,只关注排气筒出口气体是否达标,忽略车间岗位浓度、厂界监控点气体指标。

4 治理技术发展趋势

(1) 多技术组合使用成为主流。采用“抑制剂抑雾 + 合理密闭负压收集 + 喷淋洗涤 + 高效除雾”的综合治理工艺,不再依靠单一技术。(2) 密闭收集向老旧厂房改造方向靠拢。开发不干涉或少干涉天车作业的轻量化密闭、侧吸集气方案,降低老企业改造难度。(3) 智能化运行控制。结合系统风机风量、负压与生产负荷,进行联动变频调节

高效收集酸雾,降低系统能耗。(4) 重视资源回收利用。在治理污染的同时进行酸回收,减少药剂消耗与危废、废水产生,提高资源利用水平。(5) 同步优化多项指标。不仅考核排气筒的有组织排放浓度,同时将车间岗位职业接触限值、厂界无组织监控作为治理效果重要评价指标。

5 结语

国内电解铜硫酸雾治理已经形成源头抑制、密闭负压收集、末端净化的完整治理技术体系。源头抑制可降低酸雾产生量,密闭收集可实现无组织转有组织,喷淋洗涤及组合净化工艺是现阶段工程应用的主体。实际工程设计不能只重视末端净化设备的选型,应结合企业厂房现状、生产工艺条件,优先优化密闭收集系统,多种技术协同匹配,同时做好防腐、运维配套设计,兼顾环保达标、职业健康与生产操作需求。本文可为有色金属行业电解车间酸雾治理方案设计、工艺选型提供参考。

参考文献:

- [1] 环境保护部. 大气污染物综合排放标准:GB16297-1996[S].1996.
- [2] 李文宇,张登春,周勤文等. 电解车间酸雾收集方案的数值模拟[J]. 矿业工程研究,2017,32(4):61-65.DOI:10.13582/j.cnki.1674-5876.2017.04.013.
- [3] 罗正娟,张健榕,柳耀博等. 电解铜建设项目环境影响分析[J]. 黑龙江科技信息,2016(27):21-22.DOI:10.3969/j.issn.1673-1328.2016.27.014.
- [4] 陈颖. 大容量电解槽电解车间厂房通风结构形式的探讨[J]. 有色金属设计,2019,46(1):71-75.DOI:10.3969/j.issn.1004-2660.2019.01.015.
- [5] 戚永辉. 硫酸净化工序的技改措施和运行情况[J]. 中国金属通报,2025(1):192-194.DOI:10.3969/j.issn.1672-1667.2025.01.064.
- [6] 梁源,林凡,黄凤珍. 新一代铜电解液绿色净化新技术[J]. 有色金属(冶炼部分),2022(3):70-76.DOI:10.3969/j.issn.1007-7545.2022.03.012.
- [7] 罗红妍,严涵. WSA 制酸尾气的综合治理[J]. 燃料与化工,2024,55(5):52-54.
- [8] 张鹏飞. 铜电解精炼工艺分析[J]. 中国金属通报,2021(1):9-10. DOI:10.3969/j.issn.1672-1667.2021.01.005.

作者简介:李招弟(1995.08-),女,汉族,山西运城人,硕士,环保助理工程师,研究方向:主要从事环境保护、有色金属采选、冶炼方面的研究。