

# 炼金室废气高效治理技术及工程应用研究

郑革委, 徐福波

浙江省遂昌金矿有限公司, 浙江 丽水 323000

DOI:10.61369/ERA.2026020026

**摘要:** 为解决浙江省遂昌金矿炼金室原有废气处理设备简陋、收尘效率低致污染物超标问题, 保障员工健康与企业环保合规, 本研究以该炼金室废气处理工程为对象, 开展治理技术研究与应用。经现场调研确定“喷淋塔+高效除尘器+活性炭吸附箱”组合工艺, 优化设备布局与参数。工程结果显示, 改造后废气中铅、颗粒物等污染物排放达标, 工作场所铅浓度降至 $\leq 0.05\text{mg}/\text{m}^3$ , 规避罚款风险, 提升了效益, 该工艺可为同类企业提供参考。

**关键词:** 炼金室废气; 组合治理工艺; 重金属粉尘; VOCs; 达标排放

## Research on High Efficiency Treatment Technology and Engineering Application of Exhaust Gas in Alchemy Room

Zheng Gewei, Xu Fubo

Zhejiang Suichang Gold Mine Co., Ltd. Lishui, Zhejiang 323000

**Abstract:** To address the issue of excessive pollutants caused by the rudimentary waste gas treatment equipment and low dust collection efficiency in the smelting room of Suichang Gold Mine in Zhejiang Province, and to ensure the health of employees and the environmental compliance of the enterprise, this study takes the waste gas treatment project of this smelting room as the object and conducts research and application of treatment technologies. After on-site investigation, the combined process of "spray tower + high-efficiency dust collector + activated carbon adsorption box" was determined, and the equipment layout and parameters were optimized. The project results show that after the renovation, the emissions of pollutants such as lead and particulate matter in the exhaust gas meet the standards. The lead concentration in the workplace has dropped to  $\leq 0.05\text{mg}/\text{m}^3$ , avoiding the risk of fines and improving efficiency. This process can provide a reference for similar enterprises.

**Keywords:** exhaust gas from the alchemy room; combined governance process; heavy metal dust; VOCs; meet emission standards

## 引言

贵金属冶炼炼金过程中会产生含酸性废气、VOCs、重金属粉尘等复合废气, 成分复杂、毒性大且排放不稳定。铅对人体有害, 酸性废气腐蚀设备、污染环境, VOCs 危害生态和健康。遂昌金矿炼金室原有设备简陋, 收尘效率不到60%, 污染物超标, 面临处罚和健康威胁, 治理升级迫在眉睫。目前工业废气治理技术多样, 但是针对炼金室复合污染, 单一技术存在局限性。本研究根据废气排放特性以及企业实际情况, 经过多轮论证和比选, 制定出组合治理工艺, 并加以实践, 优化设计、布局, 实现废气净化, 为企业发展提供支持。本文论述治理工程各方面, 为同类企业提供借鉴。

## 一、工程概况与污染现状

### (一) 工程基本信息

本项目是遂昌金矿有限公司炼金室废气处理工程, 是响应环保政策、保障员工健康的重点技改项目, 2025年6月到2025年12月实施, 总投资180万元。目标是酸性废气、VOCs、重金属粉尘

达标排放, 符合相关标准; 建立高效易运维系统, 降低工作环境有害物质浓度, 控制工作场所铅浓度 $\leq 0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 。为了预防血铅超标等职业病, 企业依据《职业接触限值第1部分: 化学有害因素》做项目。

### (二) 原有污染现状

为了精准掌握炼金室废气污染情况、为治理方案提供依据,

作者简介:

郑革委 (1968.11-), 男, 浙江丽水人, 大专, 助理工程师, 研究方向: 采矿工程;  
徐福波 (1999.02-), 男, 浙江丽水人, 大学本科, 助理工程师, 研究方向: 机械工程。

项目组委托同创（浙江）检测有限责任公司（具备 CMA 资质）于 2025 年 4 月 15 日 - 2025 年 4 月 18 日开展专项检测，覆盖炼金室全生产时段，检测地点为杭州市萧山区中南高科钱江云谷 21-22 幢厂房内主要产污点位及周边环境。按照国家有关标准，用气相色谱法等专业方法，对废气中铅等关键污染物指标进行全面检测。结果显示熔炼炉、酸洗、焚烧炉等主要产污点位铅和颗粒物严重超标，熔炼炉废气进口 001 铅超标 5.08 倍、颗粒物超标 3.5 倍，是污染最严重区域，酸洗废气进口 002 颗粒物超标 2.32 倍，焚烧炉废气进口 003 铅超标 1.96 倍、颗粒物超标 2.97 倍，污染问题亟待解决。

同时，参照国家相关工业炉窑排放标准要求对检测数据全面研判，发现炼金室废气存在非甲烷总烃、二氧化硫等潜在超标风险。非甲烷总烃等有相应最高允许排放浓度，而原有处理系统仅能简单处理部分颗粒物，无法有效净化酸性气体等污染物，不能满足环保法规要求，还存在设备老化等问题，易引发环保事故，需全面升级改造。此外，超标废气无组织排放使炼金室工作环境恶劣，一线作业人员血铅超标风险高，违背企业安全生产和职业健康保护要求。

## 二、废气治理工艺方案设计

### （一）工艺路线选择

根据炼金室废气成分复杂、排放量大等特点，项目组按照源头控制、过程拦截、末端净化的原则进行多轮工艺方案论证。多次组织与多家废气治理设备厂家等专题会议，根据企业多方面因素，对各种可能的工艺路线进行全面的比较分析。初步筛选出 3 种备选工艺路线：方案一只能去除酸性气体，不能达标排放；方案二对粉尘和 VOCs 有一定效果，但对酸性气体去除能力不足，有火花放电风险，不适用于易燃易爆废气环境；方案三为“废气收集汇总 + 喷淋塔 + 高效除尘器 + 活性炭吸附箱”组合工艺，可以多级协同净化。经综合论证确定以方案三为治理工艺路线。主要净化逻辑是，先通过喷淋塔中和酸性气体并初步降温，再经过高效除尘器捕获重金属粉尘和颗粒物，最后用活性炭吸附箱深度吸附 VOCs，保证废气达标排放。<sup>[1]-[5]</sup>

### （二）核心设备参数设计

根据炼金室废气排放特性（设计风量 30000m<sup>3</sup>/h）、污染物浓度水平、治理目标要求，项目组对主要设备的规格型号、材质、运行参数等做了详细的设备参数设计，采用流体力学模拟、吸附动力学计算等技术手段，优化了主要设备的规格型号、材质、运行参数，保证设备的处理能力与治理效率相匹配，保证设备的稳定性、耐久性、经济性。具体设备配置及主要参数见表 2，各核心设备的选型设计均经过严格的技术论证，喷淋塔采用二循环设计，保证酸性气体去除效率，高效除尘器采用脉冲袋式，除尘效率高、运维方便，活性炭吸附箱采用碳钢防腐材质，适应复杂废气环境，配套风机风量、压力参数与系统阻力精准匹配，保证废气输送顺畅。

### （三）工艺优化要点

1. 废气收集优化：废气收集系统是治理基础，项目组采用“分区收集、统一汇总”思路，针对不同产污点位废气排放量和特

性，精准选用 Φ300、Φ600、Φ800 三种规格管道，实现精准捕获。熔炼炉和焚烧炉产污量大、浓度高，用大管径；酸洗点位产污量小，用 Φ300 管径。系统采用密闭负压收集，精准计算风机负压参数（-50~-80Pa），确保有害物质瞬间捕获，避免无组织扩散，提升收集效率。

2. 喷淋塔采用二循环喷淋，酸性气体去除效率高，废气净化效果好。第一循环为碱性喷淋段，添加 5%-8% 的氢氧化钠溶液，与废气充分反应，吸收分解、氧化有机化合物、VOCs 和酸性气体。第二循环在塔顶设清水喷淋段，中和残留的碱性物质，去除少量颗粒物。另外配备自动加药、液位控制系统，保证喷淋效果的稳定性。

3. 设备布局优化：为降低对企业生产秩序影响，项目组勘察布局。确定将设备安置于炼金室后方闲置空地，该区域远离核心生产区、交通便利。基建配合完成场地平整与基础施工，采用 C30 混凝土浇筑，厚度 ≥ 30cm。同时，优化排列布局，预留 ≥ 1.5m 检修通道，与原有生产通道保持 ≥ 3m 安全距离，避免影响生产。

## 三、工艺优化与实施效果

### （一）项目实施过程

项目实施以“科学规划、分步实施、质量管控、安全第一”为原则，分为三个阶段推进。第一阶段（2025 年 6 月至 8 月）：掌握污染现状、拟定方案。进行 2 个月的现场调研，掌握污染物排放的规律和特征，组织方案论证会，确定组合治理工艺，完成设备采购招标。第二阶段（2025 年 9 月 - 11 月）为设备安装调试及人员培训阶段。基建配合完成场地施工，专项团队按规范安装调试设备，控制管道连接和设备安装质量，调整进风口和负压参数。设备安装完毕后，工段长组织操作工培训 15 天。培训阶段开展三天专项技能培训，培训内容包括设备原理、操作流程、维护要点、故障排查和应急处置，采用理论讲解、实操演练、考核验收的方式，保证操作工掌握技能，具备独立操作和排查故障的能力，考核合格上岗。系统试运行和效果验证阶段（2025 年 12 月）：12 月炼金室废气处理系统试运行，项目组制订方案，确定监测指标、频次、方法及安全措施，安排专业人员 24 小时值守，实时监测运行参数、记录设备状态和污染物排放指标，每天形成报告并解决问题。后期委托同创（浙江）检测有限责任公司开展第三方检测，验证治理效果<sup>[6]-[10]</sup>。

### （二）治理效果验证

系统试运行稳定后，项目组委托有 CMA 资质的同创（浙江）检测有限责任公司按国家标准规范检测，检测点位在排气筒，指标涵盖关键污染物，每天检测 3 次、连续 3 天。结果显示，治理后废气污染物排放浓度达标，各污染物去除效率达设计要求，验证了组合治理工艺的高效稳定。

污染物项目	最高允许排放浓度	达标情况
非甲烷总烃	85mg/m <sup>3</sup>	120mg/m <sup>3</sup> 达标
铅	0.6mg/m <sup>3</sup>	1.0mg/m <sup>3</sup> 达标
二氧化硫	120mg/m <sup>3</sup>	200mg/m <sup>3</sup> 达标
氮氧化物	220mg/m <sup>3</sup>	300mg/m <sup>3</sup> 达标

污染物项目	最高允许排放浓度		达标情况
颗粒物	25mg/m <sup>3</sup>	30mg/m <sup>3</sup>	达标
氯化氢	75mg/m <sup>3</sup>	100mg/m <sup>3</sup>	达标

同时,项目组对炼金室主要操作岗位空气质量进行专项检测,检测指标含铅、颗粒物等有害物质浓度,检测方法符合 GBZ 2.1-2019 要求。结果显示,改造后炼金室空气环境质量根本改善,铅浓度降至 $\leq 0.05\text{mg}/\text{m}^3$ ,颗粒物浓度降至 $\leq 0.5\text{mg}/\text{m}^3$ ,均达职业接触限值。职业健康体检跟踪显示,改造后无新增血铅超标病例,原有偏高人员指标逐步正常,降低员工血铅超标风险,预防职业病,保障员工健康。此外,废气无组织排放问题解决,刺激性气味消除,工作环境舒适度提升,员工积极性和满意度提高。

### (三) 综合效益分析

#### 1. 环境效益

改造后的废气排放达标率为100%,由原来的被动治理变为现在的主动稳定达标。项目每年能削减铅、颗粒物、二氧化硫、氯化氢、非甲烷总烃等的排放,减轻对周围环境的污染,减小区域环境风险。治理系统稳定运行,防止环保投诉、污染事故的发生,改善周边生态环境质量,达到企业发展与生态保护双赢的效果。

#### 2. 健康效益

升级为密闭负压收集系统,切断污染物扩散途径,达到工作环境本质安全化的目的。改造后有害物质浓度均低于职业接触限值,预防职业病,降低员工健康风险。从长远看,消除健康风险可以减少缺勤率、提高生产效率、避免员工流失,增强企业凝聚力。同时

企业重视员工的健康,树立良好的社会形象,承担社会责任。

#### 3. 经济效益

项目经济效益分为直接效益和间接效益。从直接经济效益上看,系统稳定达标使企业摆脱环保督查的压力和罚款的风险,每年可以节省环保罚款10-50万元,减少设备腐蚀,每年节省维修费用5-8万元。间接经济效益方面,消除员工健康风险,防止未来连锁风险的发生,保证企业生产经营的稳定。企业环保技改达标可以提升竞争力、树立品牌形象,有利于争取合作项目、获得政策支持。项目总投资180万,直接经济效益的回报周期为3到5年,效益明显。

## 四、结论

本研究以浙江省遂昌金矿炼金室废气处理工程为对象,针对原有设备简陋、收尘效率低、污染物超标等问题进行研究和实践,该组合治理工艺适用于贵金属冶炼行业炼金室等场景,有推广价值。但研究有局限性,未深入探讨治理系统长期运行性能和运维成本优化。未来可开展工作:一是加强长期运行数据监测分析,优化参数,提升稳定性和效率,降低成本;二是探索智能化运维技术应用,开发监测与控制系统,提升智能化水平;三是研究余热回收技术集成应用,提升能源利用效率,推动绿色低碳发展。此外,可优化核心材料性能,开发环保材料,支撑废气治理技术升级。

## 参考文献

- [1] 张敏,李娟. 贵金属冶炼废气治理技术研究进展 [J]. 环境工程, 2023, 41(5): 67-73.
- [2] 王强. 工业废气组合治理工艺的应用与优化 [J]. 化工环保, 2022, 42(3): 305-310.
- [3] 李小红, 陈明. 脉冲袋式除尘器在重金属粉尘治理中的应用 [J]. 工业安全与环保, 2021, 47(8): 45-48.
- [4] 赵伟, 刘静. 活性炭吸附法处理 VOCs 废气的技术研究 [J]. 环境科学与技术, 2020, 43(10): 123-128.
- [5] 中华人民共和国生态环境部. GB 16297-1996 大气污染物综合排放标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [6] 王浩, 李娟, 张磊. 工业废气重金属减排技术突破与应用展望 [J]. 环境工程学报, 2025, 19(8): 2415-2423.
- [7] 刘明远, 陈晨, 赵伟. 黄金冶炼尾气过氧化氢同步脱硫脱硝-电除雾工艺工业应用 [J]. 有色金属工程, 2025, 15(10): 189-195.
- [8] 张国栋, 杨丽. 含砷金精矿焙烧废气“骤冷-干法脱砷-湿法脱硫”组合工艺实践 [J]. 矿产综合利用, 2025, 46(5): 112-118.
- [9] 马双忱, 马京香, 赵毅. 紫外/过氧化氢法同时脱硫脱硝的研究 [J]. 热能动力工程, 2009, 24(6): 792-795.
- [10] 张伟, 李立清, 吴才贵, 等. 萃取冶金挥发性有机废气处理技术发展和应用实践 [J]. 矿产综合利用, 2022, 43(5): 9-14. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6532.2022.05.002.