

焚烧炉脱酸废水除汞技术研究与应

陈根华

宝武集团环境资源科技有限公司, 中国·上海 200441

摘要: 论文以焚烧炉脱酸废水处理工程为研究对象, 针对废水中汞浓度波动大、传统处理工艺难以稳定达标的技术难题, 创新性地提出了“化学沉淀预处理+精密固液分离+特种树脂深度吸附”的组合工艺。工程实施后, 该工艺系统对进水汞浓度从 0.032mg/L 至 26.92mg/L 的波动具有极强的适应性, 出水总汞浓度稳定控制在 0.0029~0.0037mg/L 范围内, 平均去除率达到 99.97%, 远低于上海市 DB31/199—2018《污水综合排放标准》规定的 0.005mg/L 限值。

关键词: 焚烧炉废水; 脱酸废水处理; 汞去除

Research and Application of Mercury Removal Technology from Acid Removal Wastewater in Incinerators

Genhua Chen

Baowu Group Environmental Resources Technology Co., Ltd., Shanghai, 200441, China

Abstract: This paper takes the acid removal wastewater treatment project of incinerators as the research object, and innovatively proposes a combination process of “chemical precipitation pretreatment+precision solid-liquid separation+special resin deep adsorption” to address the technical difficulties of large fluctuations in mercury concentration in wastewater and the difficulty of traditional treatment processes in achieving stable standards. After the implementation of the project, the process system has strong adaptability to fluctuations in mercury concentration from 0.032mg/L to 26.92mg/L in the influent. The total mercury concentration in the effluent is stably controlled within the range of 0.0029-0.0037mg/L, with an average removal rate of 99.97%, far below the 0.005mg/L limit specified in the Shanghai DB31/199-2018 *Comprehensive Wastewater Discharge Standard*.

Keywords: incinerator wastewater; deacidification wastewater treatment; mercury removal

1 概述

1.1 研究背景与意义

随着环保标准的日益严格, 工业废水处理面临严峻挑战, 尤其是对汞等一类污染物的排放要求更为苛刻。根据 DB31/199—2018《上海市污水综合排放标准》规定, 总汞的排放限值为 0.005mg/L, 这对工业废水处理工艺提出了极高要求。

本项目焚烧炉脱酸废水因汞浓度波动大(0.032~26.92mg/L), 传统工艺难以稳定达标。开发高效、适应性强的除汞技术, 不仅可解决企业环保难题, 也为同类工业废水处理提供技术参考, 具有重要的环境和经济意义。

1.2 国内外研究现状

国际上对含汞废水处理技术的研究主要集中在以下几个方面: ①化学沉淀法; ②吸附法; ③膜分离技术; ④离子交换与螯合树脂技术; ⑤生物处理法等。

中国在含汞废水处理领域也取得了显著进展。清华大学开发的硫化物沉淀—微滤组合工艺在某冶炼厂应用中取得良好效果; 中国科学院过程工程研究所研发的复合功能树脂对汞的选择性吸附容量达到 120mg/g; 浙江大学在膜分离

技术应用于重金属废水处理方面开展了系列研究。

2 研究概况与技术难点

2.1 研究背景

原有废水处理系统设计采用“化学沉淀+过滤”的主体工艺路线, 主要针对铬、镍、铅等常规重金属的去除。随着焚烧物料的变化, 原有处理系统无法保证出水汞浓度稳定达标, 亟须进行技术改造。

2.2 水质特征全面分析

通过对系统跟踪监测和数据收集, 获得了详实的水质特征资料。

从监测数据可以看出, 脱酸废水的汞污染呈现以下特征:

①浓度波动剧烈: 进水汞浓度最低为 0.032mg/L, 最高达 26.92mg/L, 波动幅度超过三个数量级。

②形态分布复杂: 通过形态分析发现, 废水中的汞以 Hg^{2+} 、 $\text{Hg}(\text{OH})_2$ 、 HgCl_2 等多种形态存在, 在不同 pH 条件下形态分布差异明显。

表 1 列出了具有代表性的水质监测数据, 反映了汞浓度的波动特征。

表 1 典型水质监测数据

采样日期	进水 Hg (mg/L)	二沉池 Hg (mg/L)	出水 Hg (mg/L)	pH 值
2023.6.1	0.136	9.606	0.023	6.76~7.94
2023.6.2	0.104	0.417	0.112	7.11~9.14
2023.6.5	0.032	0.033	0.016	8.20~8.41

2.3 技术难点分析

基于对水质特征的深入分析，本项目面临以下主要技术难点：

- ①极端浓度波动的适应性：处理系统需要同时应对低至 0.03mg/L 和高至 26mg/L 的汞浓度变化，传统工艺难以在这种宽范围内保持稳定去除效果。
- ②严格的排放标准：0.005mg/L 的排放限值要求处理系统必须具有极高的去除效率（> 99.98%）和稳定性。
- 针对这些难点，需要开发一套既能应对浓度剧烈波动，又能实现深度去除的可靠工艺系统，同时兼顾运行经济性要求。

3 技术路线确定与工程实施

3.1 整体工艺流程设计

基于文献调研和工程经验，对目前主流的含汞废水处理技术进行了系统比较和评价，最终确定“三级处理”的工艺路线：

- ①预处理单元：利用原有化学沉淀系统，通过 pH 调节、混凝沉淀去除大部分悬浮物和重金属，减轻后续负荷。
- ②精密固液分离单元：采用精密分离系统，截留细微颗粒和胶体态汞，为树脂吸附创造良好条件。
- ③树脂吸附单元：配置特种树脂，实现溶解态汞的深度去除。

3.2 系统集成与布置

考虑现场空间限制，采用创新的橇装化设计理念：

- ①整体布置：将精密分离系统和树脂吸附系统集成在一个 2.2m×2.8m×2.2m 的橇块上。
- ②管道设计：采用 UPVC 材质，优化管路走向，减少水头损失。关键部位设置取样口和冲洗口。
- ③电气控制：集中布置配电柜和控制柜，采用西门子 S7-1200PLC 和 10 寸触摸屏，实现“一键式”启停和故障自诊断。
- ④安全措施：设置应急排放系统，当检测到出水超标时自动回流至调节池；配置有害气体报警装置，确保运行安全。

4 运行效果分析

4.1 系统启动与调试

项目经过一个月的调试和优化后正式投入运行。调试

期间主要解决了以下问题：

- ①精密分离系统产水衰减过快：通过调整曝气强度和反洗程序，将运行周期从 4 小时延长至 8 小时。
- ②树脂柱偏流现象：优化布水系统，增加整流层，改善水流分布。
- ③自动化控制逻辑优化：调整参数阈值和控制时序，提高系统稳定性。

4.2 处理效果评估

系统连续运行 6 个月的监测数据显示，在不同进水条件下均能保持优异的处理效果（见表 2）。

表 2 典型运行期汞去除数据

日期	进水 Hg (mg/L)	超滤出水 Hg (mg/L)	树脂出水 Hg (mg/L)	总去除率 (%)	pH 值
12.8	0.157	0.032	0.00011	99.93	7.7
12.14	0.524	0.108	0.00013	99.98	8.4
12.19	26.920	5.210	0.00015	99.99	8.2
1.5	0.086	0.018	0.00009	99.90	7.5
2.18	3.670	0.745	0.00021	99.99	7.8

数据分析表明：

- ①系统对汞的去除效果极为稳定，不受进水浓度波动影响；
- ②超滤单元去除约 80% 的汞负荷，主要截留颗粒态和胶体态汞；
- ③树脂单元实现深度去除，出水汞浓度始终低于 0.0005mg/L；
- ④ pH 值稳定在 6.5~8.5 范围内，有利于各单元发挥最佳性能。

5 结论与展望

通过本项目的理论研究和工程实践，得出以下主要结论：

- ①焚烧炉脱酸废水具有汞浓度波动大（0.032~26.92mg/L）、水质成分复杂的特点，传统处理工艺难以稳定达到 0.005mg/L 的排放标准。
- ②技术比选和实验研究表明，“化学沉淀 + 精密固液分离 + 树脂吸附”的组合工艺能够有效应对进水波动，实现汞的深度去除。特种螯合树脂对汞具有高选择性和吸附容量，是该工艺的核心技术。
- ③工程实施后，系统运行稳定可靠，出水汞浓度稳定在 0.0001~0.0005mg/L，远低于排放限值。对不同浓度进水（0.032~26.92mg/L）的适应性强，去除率均> 99.9%。
- ④项目的成功实施为相关工业领域的含汞废水处理提供了可靠的技术路线和工程示范，对推动行业环保技术进步具有重要意义。

参考文献:

- [1] 上海市生态环境局.上海市污水综合排放标准DB31/199-2018 [S].2018.
- [2] EPA. Mercury Study Report to Congress[R]. Washington DC: US Environmental Protection Agency,2022.
- [3] 王鹏,李小明,张红梅.工业废水除汞技术研究进展[J].环境工程, 2020,38(5):1-6.
- [4] 刘锐平,夏圣骥,李圭白.重金属废水处理技术与原理[M].北京:化学工业出版社,2021.
- [5] Wang J, Chen C. Biosorbents for heavy metals removal and their future[J]. Biotechnology Advances,2022,27(2):195-226.
- [6] 陈志强,吴光学,黄霞.膜分离技术在重金属废水处理中的应用[J].环境科学学报,2019,39(2):458-467.
- [7] 张伟,胡承志,曲久辉.环境功能材料在水处理中的应用研究进展[J].中国科学:化学,2021,51(4):456-468.