

污泥浓缩池改二级中和反应池的非标设计与实践

梁启瑜

深圳市中金岭南有色金属股份有限公司, 广东 深圳 518000

DOI:10.61369/ME.2026070002

摘 要： 污酸中和系统因单级反应池容积偏小, pH 值调控困难, 人工操作频繁。针对这一工程问题, 文章提出将厂内闲置的污泥浓缩池改造为二级中和反应池。改造工作不涉及新建池体, 仅对原有池体进行功能转换。池内增设搅拌设备, 配套加药管路与在线仪表, 构建两级串联的中和工艺。运行结果表明, 改造后出水 pH 稳定达标, 石灰乳用量减少, 系统自动化水平提升。该方案对同类处理系统的扩容改造有一定参考价值。

关 键 词： 污泥浓缩池; 二级中和; 非标设计; 污酸处理; pH 控制

Non Standard Design and Practice of Converting Sludge Concentration Tank into Secondary Neutralization Reaction Tank

Liang Qiyu

Shenzhen Zhongjin Lingnan Nonferrous Metals Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract： Due to the small volume of the single-stage reaction tank, pH regulation is difficult and manual operation is frequent in the acid neutralization system. In response to this engineering issue, the article proposes to transform the idle sludge concentration tank in the factory into a secondary neutralization reaction tank. The renovation work does not involve the construction of a new pool body, only the functional conversion of the original pool body. Add mixing equipment to the pool, along with dosing pipelines and online instruments, to construct a two-stage series neutralization process. The operation results show that after the transformation, the pH of the effluent is stable and meets the standard, the amount of lime milk used is reduced, and the level of system automation is improved. This plan has certain reference value for the expansion and renovation of similar processing systems.

Keywords： sludge concentration tank; secondary neutralization; non-standard design; acid pollution treatment; pH control

引言

污酸中和多采用石灰乳法。该法反应速度较快, 但重金属离子需在较高 pH 条件下才能形成稳定沉淀。传统单级中和在同一池内完成酸中和与 pH 精密调节, 容易造成局部过中和或混合不均, 出水的 pH 值时常波动。分步中和工艺能够提升药剂利用率与出水稳定性, 但已有应用多集中于新建项目。老旧厂区场地紧张, 投资有限, 如何利用闲置设备实现工艺升级, 可供参考的案例不多。文章以韶关冶炼厂为背景, 利用一座闲置的污泥浓缩池 (有效容积约 98 立方米), 将其改造为二级中和反应池。改造方案在现有场地内实施, 不新增占地。文中重点介绍设备选型、池体改造与安装施工等方面的做法。

一、项目概况

(一) 原有系统运行状况

原有中和反应池的有效容积约为 17 立方米, 容积偏小。污酸在池内停留时间不足, 反应尚未完全即进入后续沉淀工序。出水 pH 值不稳定, 操作人员需要频繁手动调整药剂投加量, 劳动强度大, 控制效果也不理想。pH 波动还会影响沉淀效果, 出水指标偶有超标风险。单靠操作层面的优化难以根本解决问题, 需要对中和工序进行系统性改造。

(二) 改造面临的制约条件

改造受到多方面条件限制。厂区场地狭窄, 不具备新建池体

的条件。若另选址建设, 投资和工期均难以承受。生产系统不能长时间停机, 施工需在有限的停机窗口内完成。污酸介质具有强腐蚀性, 设备与管材需具备耐蚀性能。石灰乳输送管路容易堵塞, 流量检测需考虑反冲洗措施。污酸中含有氟氯离子, 普通 pH 计在此类介质中损坏较快, 需选用专用型号。

(三) 改造目标

基于上述问题与制约, 改造工作确立以下目标: 利用现有闲置设施, 将污泥浓缩池改造为二级中和反应池, 在不新建池体的前提下扩大反应容积; 将原有的一步中和改为两级串联中和, 延长总反应时间; 配套自动控制系统, 实现 pH 与加药量的联动调节; 控制石灰乳用量, 避免过量投加增加后续处理负担。

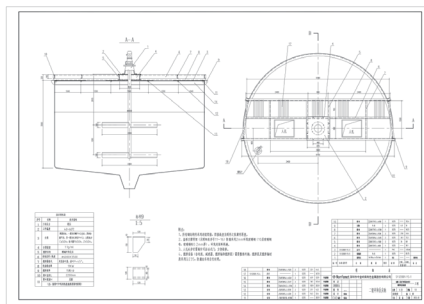
二、非标设计方案

（一）池体功能转换设计

闲置的污泥浓缩池为圆形钢混结构。池体内径为6米，池深3.5米，有效容积约为98立方米。改造中将原排泥系统调整用作反应出泥通道，原进液管改为二级反应进液管。

池内需要形成良好的混合流场，为此在池顶增设搅拌设备。搅拌机采用低速轴流式，由池顶的钢制支撑梁承载。支撑梁横跨池顶，采用型钢制作，两端与池壁预埋件焊接固定。该安装方式避免了在池壁上大量开孔，减少了对原有结构的削弱。

池顶加装封闭盖板。盖板由钢制骨架与PVC面板组成。骨架承受人员检修荷载，PVC面板起防腐和密封作用。盖板可防止酸性雾气逸散，并为pH计安装提供条件。盖板上预留搅拌机轴孔、仪表安装孔和检修人孔。



（二）分步中和工艺设计

改造后将中和反应分为两段进行。第一段在原中和池内完成，将污酸pH值提升至7至8，承担大部分酸的中和任务。中和后的污水经沉淀分离，上清液进入改造后的浓缩池，即二级反应池。在二级反应池内继续加石灰乳，将pH值提升至10至11，进一步去除重金属离子。

分步中和的优势体现在两个方面。其一，两级池体串联运行，总反应时间明显延长，反应更加充分。其二，各段pH控制目标不同，加药量可分别调节，避免单级过量投加，有利于节省石灰乳用量。

（三）设备选型与配置

搅拌设备是本次改造的核心装备。根据池体几何尺寸与介质特性，选型参数如下：电机额定功率11千瓦，输出转速每分钟15转。搅拌器采用双层折叶桨形式，折叶角度为45度。桨叶外径为2200毫米。叶轮直径与池径之比约为0.37，这一比例适用于低速混合搅拌工况。选用双层折叶桨的目的在于产生轴向流场，促进池内上下层介质的交换，使石灰乳均匀分散，同时防止固体颗粒在池底沉积。搅拌轴与桨叶选用Q235碳素钢制作。考虑到介质腐蚀性，防腐处理交由车间结合现场条件实施，在保证耐蚀要求的前提下兼顾了材料成本与加工便利性。

石灰乳输送泵选用耐腐蚀型，配变频器调节流量，可适应不同工况下的加药量变化。管路系统采用钢塑复合管，兼具钢管的机械强度与塑料管的耐腐蚀性能。石灰乳输送管路上设置冲洗接口，用于定期清理管内沉积物。管路的支撑间距控制在合理范围内，弯头处设固定支架。

仪表配置方面，一级反应池出口安装pH计，用于一级中和的反馈控制。二级反应池内安装另一台pH计，用于二级中和的反馈控制。所选pH计具备防氟、防氯、防结晶的性能，适应污酸介质的特殊工况。石灰乳输送管路上安装质量流量计，带反冲洗功能，防止石灰乳沉积堵塞测量元件。

（四）自动控制系统架构

控制系统在原有PLC基础上扩展。新增的电动阀、流量计、pH计等仪表信号接入PLC，通过编程实现连锁控制逻辑。一级中和控制回路以一级反应池出口pH为反馈信号，调节原有石灰乳泵的频率，使pH值稳定在7至8之间。二级中和控制回路以浓缩池内pH为反馈信号，调节新增石灰乳泵的频率，使pH值稳定在10至11之间。

控制逻辑中设有安全限值和报警功能。当pH值超出设定范围或流量异常时，系统发出声光报警，提醒操作人员介入。运行参数可在上位机监控画面上实时显示和记录，便于运行管理和数据追溯。

三、施工关键技术与实践

（一）施工组织与停机配合

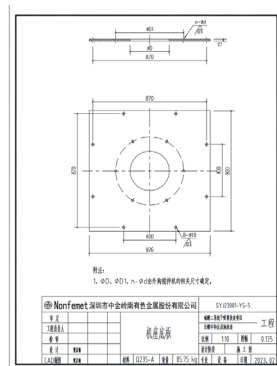
施工安排充分利用计划停机时段。停机前完成管路预制、支架制作、设备开箱检验以及搅拌机支撑梁基础预埋件的定位。管路按实测尺寸下料并编号。停机期间集中进行池体清理、搅拌机安装、盖板安装、管路碰头和电缆接线。清理作业安排在停机初期，管路碰头安排在后期，以缩短系统停运时间。各工序交叉推进，整体施工在计划停机窗口内完成，未影响生产恢复。

（二）浓缩池清理作业

浓缩池底部积存有高含水率的粘性污泥。清理前先排水并晾晒。人员进池作业时佩戴防毒面具和防护服，池口设专人监护。清理出的污泥泵送至压滤机脱水后外运。清理过程中发现池底局部有腐蚀减薄现象，经评估后采用耐酸胶泥修补找平。池壁附着的杂物一并清除，以保证搅拌形成的流场不受干扰。清理完成后检查验收，确认无杂物残留、无渗漏，方可进入下道工序。

（三）搅拌与加盖安装

搅拌机安装是改造施工的核心环节。池顶原为敞开式结构，需要先增设支撑梁作为搅拌机安装基础。支撑梁采用型钢焊接制作，横跨池顶，与池壁预埋件焊接固定。安装前校核支撑梁的水平度，确保安装面平整。



搅拌机通过法兰连接于支撑梁中心位置。安装过程中需校正垂直度与对中精度，防止运行中产生过大振动。

盖板安装紧随搅拌机之后进行。盖板按池顶尺寸分块制作，现场拼接。骨架由型钢组成，面板为 PVC 材料。盖板与池壁接缝处采用密封胶条封闭。盖板上各开孔位置需与搅拌机位置精确对应，避免安装偏差。钢制构件之间的连接采用连续焊缝，焊接高度取两连接件中较薄者的厚度。人孔处设置可活动式护栏门，方便检修人员进出。

（四）管路仪表安装

新增管路包括石灰乳输送管和二级反应进液管两部分。石灰乳管从制备槽经新增泵送至浓缩池，管路上依次设置电动阀和质量流量计。流量计安装在泵出口的直管段下游，以保证测量精度。管路支撑间距不超过3米，拐弯处增设固定支架。

pH 计分别安装于一级沉淀池溢流槽和二级反应池内。安装位置选在液下水流均匀的区域，避开搅拌机涡流影响区。信号线采用屏蔽电缆敷设，与动力电缆保持间距，以减少电磁干扰。

（五）系统联调与试运行

安装完成后进行系统联合调试。调试分两个阶段进行。单机调试阶段，逐一启动搅拌机、输送泵，检查转向、振动、温升等指标是否正常。电动阀进行开关操作试验，确认阀位反馈准确。仪表进行零点校准和量程标定，pH 计采用标准缓冲液对比校准。

联动调试阶段，向系统通入清水模拟运行。设定 pH 控制目标值，观察变频器响应和 pH 变化趋势，调整控制参数使系统稳定运行。模拟不同流量工况，检验控制系统在来水波动条件下的调节性能。联动调试合格后转入带负荷试运行，以实际污酸为介质连续运行72小时，考核各项指标是否达到设计要求。

四、运行效果与评价

（一）处理能力提升

改造后总反应容积由17立方米增至115立方米，增加近6倍。反应停留时间明显延长，出水 pH 稳定性得到改善。大容积池体缓冲了来水水量的波动，pH 变化幅度收窄，系统的抗冲击能力增强。实际运行中，在正常进水量波动范围内，出水 pH 始终在设定区间内，未出现大幅偏离。

（二）石灰乳用量变化

分步中和工艺对石灰乳用量产生了积极影响。运行数据显示，在相同出水水质条件下，石灰乳单耗较改造前下降约10%至15%。节约的原因在于分步投加的调节精度提高。一级中和将 pH 值控制在7至8之间，消耗了大部分石灰乳。二级中和再将 pH 值精确提升至10至11，避免了单级过量投加造成的浪费。同时，变频调节使泵送流量与实时需药量匹配，减少了不必要的电能消耗。

（三）出水水质与稳定性

出水水质的改善是改造最直接的成效。改造前，受反应时间和控制手段限制，出水 pH 波动范围较大。改造后，两级串联运行确保了反应充分，出水 pH 稳定控制在设计范围内，未再出现因中和不足导致的水质超标事件。中和反应时间的延长有助于重金属

离子形成氢氧化物沉淀，出水浊度和重金属含量均优于改造前，为后续处理工序提供了良好的进水条件。

（四）运行操作与维护

自动控制系统投用后，操作人员的劳动强度明显降低。操作人员无需频繁到现场调整加药阀门，主要在控制室通过上位机监看运行参数。日常巡检内容包括设备运行状态、管路有无泄漏、仪表显示是否正常等，工作环境较改造前有较大改善。维护方面，建立了石灰乳输送管路的定期冲洗制度，管路堵塞频次下降。质量流量计的反冲洗功能按设定周期自动执行，有效延长了连续运行时间。pH 计电极属于易损件，仍需定期更换，但更换周期在可接受范围内。

（五）改造经验总结

从工程设计角度而言，本次改造验证了利用闲置设施进行功能转换的可行性。污泥浓缩池从闲置状态转变为二级中和反应池，盘活了存量资产，也避免了新建池体带来的占地和投资问题。这种非标设计思路对于用地紧张和投资受限的改造项目有参考意义。

分步中和工艺体现了精细化控制的理念。单一反应过程拆分为两个阶段后，各阶段控制目标不同，加药策略不同，最终在反应充分性与药剂经济性之间取得了较好的平衡。自动控制系统将操作人员从重复性劳动中解放出来，使其转向更高层次的运行管理。

改造中也积累了一些需要注意的经验。池体改造前的清理和腐蚀检测不可忽视，池底腐蚀程度直接影响后续使用寿命。搅拌设备的选型需结合池体几何尺寸与介质性质综合确定，并非功率越大越好。仪表选型必须充分考虑介质特性，普通工业 pH 计难以胜任污酸条件下的长期测量。对这些细节的把握是改造成功的重要保障。

五、结束语

将闲置污泥浓缩池改造为二级中和反应池，是在场地和投资双重约束下的一项非标实践。该方案通过功能转换和分步中和，有效解决了处理能力不足和 pH 控制困难的问题。改造中形成的池体改造技术、设备选型与自动化方案，为同类污酸系统扩容提供了可参照的技术路线。实践证明，创造性利用现有设施可在有限条件下提升处理能力，这一思路在工业废水治理领域具有一定的推广价值。

参考文献

- [1] 朱应旭, 陶家荣, 仙仙果, 等. 湿法炼锌污酸处理中石膏渣减量化工艺探索 [J]. 绿色矿冶, 2024, 40(1): 44-48.
- [2] 同友, 陈国兰, 胡卫文, 等. 高砷污酸综合处理工艺及工业实践 [J]. 中国有色冶金, 2023, 52(6): 148-157.
- [3] 杨小兵, 詹传平. 酸性废水中和结晶工艺优化研究 [J]. 硫酸工业, 2023(6): 23-27, 35.
- [4] 陈胜. 湿法炼锌废电解液中和除镁的研究 [J]. 山西冶金, 2022(8): 8-9.
- [5] 郑丹, 张云龙, 李兴杰. 铜冶炼污酸污水处理工程案例 [J]. 有色冶金节能, 2020, 36(5): 60-66.
- [6] 李桂珍, 张变革, 刘祖鹏. 污酸处理新增精制石灰乳系统的改造实践 [J]. 硫磷设计与粉体工程, 2021(2): 8-10.
- [7] 张建萍. 锌冶炼厂污酸污水提标改造实践 [J]. 甘肃冶金, 2023, 45(2): 135-138.