

周旺. 尾矿综合处理厂水处理升级改造工程实例[J]. 净水技术, 2024, 43(7): 134-140.

ZHOU W. Example of water treatment upgrading and reconstruction project for tailings comprehensive treatment plant[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(7): 134-140.

尾矿综合处理厂水处理升级改造工程实例

周 旺*

(长沙华时捷环保科技发展股份有限公司, 湖南长沙 410000)

摘 要 云南某锌业有限公司采矿废水产生量大,出水铅、镉含量无法稳定达标,其治理和改造难度大。针对该厂废水的来源及特性,结合综合处理厂的处理工艺,在生产实践及技术改造过程中,构建形成了一套具有处理流程简单、自动化程度高的尾矿废水处理技术。根据雨量采用应急池、通过试验减少药剂种类、利用现有池体,对其进行改造,实现了水处理车间内处理废水量提高、处理成本下降。实际运行结果表明,废水中重金属污染物均优于执行标准《铅、锌工业污染物排放标准》(GB 25466—2010)的要求,此提标扩容改造工程保证了最终出水稳定达标。与之相关的先进技术及成功生产经验,可为类似尾矿废水处理提供借鉴和参考。

关键词 尾矿废水 提标扩容改造 药剂法 废水处理 铅锌矿

中图分类号: X703 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2024)07-0134-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.07.016

Example of Water Treatment Upgrading and Reconstruction Project for Tailings Comprehensive Treatment Plant

ZHOU Wang*

(Changsha Huashijie Environmental Protection Technology Development Co., Ltd., Changsha 410000, China)

Abstract A certain zinc industry limited company in Yunnan produces a large amount of mining wastewater, and the lead and cadmium content in the effluent cannot stably meet the standard. Its governance and transformation are difficult. Based on the source and characteristics of the wastewater from the plant, combined with the treatment process of the comprehensive treatment plant. In the process of production practice and technological transformation, a set of tailings wastewater treatment technology with simple treatment process and high degree of automation has been constructed. This includes using emergency pools based on rainfall, reducing the types of chemicals through experiments, and utilizing existing pool bodies to renovate them. It has achieved an increase in the amount of wastewater treatment in the water treatment workshop and a decrease in treatment costs. The actual operation results showed that the heavy metal pollutants in the wastewater are better than the requirements of the executive standard *Emission Standard of Pollutants for Lead and Zinc Industry* (GB 25466—2010). And this upgrading and expansion project ensured that the final effluent is stable and meets the standard. The advanced technology and successful production experience related to it can provide reference and reference for similar tailings wastewater treatment.

Keywords tailings wastewater upgrading and reconstruction chemical method wastewater treatment lead-zinc mine

铅锌矿作为重要的有色金属矿产资源,在开采

选矿过程中会产生大量的尾矿水,常含选矿药剂、细小悬浮物、矿物溶解的金属离子等污染物^[1]。有色金属矿石中矿物质的多样性决定了矿物加工废水中重金属离子的种类和相对较高的含量^[2]。工业产

[收稿日期] 2023-10-07

[通信作者] 周旺(1982—),男,工程师,研究方向为有色冶炼重金属废水处理研究, E-mail: zhouwang0431@163.com。

生的重金属对农业土壤和作物的污染被认为是严重的环境问题^[3]。重金属是不可生物降解的无机污染物,难以从废水中去除,废水中的重金属很容易积聚在土壤和水中^[4],进而通过生物积累影响人类健康^[5]。因此,处理尾矿废水对地区的环境保护和经济可持续性发展至关重要。

目前,尾矿废水处理技术主要有混凝沉淀法、吸附法、微生物处理法、中和沉淀法等^[6-8]。学者^[9]用萃取法成功在铝合金铬酸阳极氧化废水中回收了Cr(VI)。结构态亚铁具有优良的重金属去除能力,处理后出水重金属浓度低于相关标准限值的要求^[10]。也有学者^[11]采用液体CO₂软化/电化学氧化/超滤(UF)组合工艺,实现对钙离子、COD_{Cr}与悬浮物(SS)的高效去除,出水可直接回用至铅锌选矿生产工序。

云南某锌业有限公司的尾矿综合处理厂水车间由于处理水量增加、回用水质不达标等原因,需进行提标扩容改造。本文介绍了提标扩容改造的工艺流程,并给出了主要构筑物设计参数及工程运行效果。

1 工程概况

云南某锌业有限公司是集采、选、冶为一体的大型铅锌矿加工企业,加工过程中产生了大量的采矿废水。为达到当地环保要求,同时满足自身发展需要,于2012年建设1座尾矿综合处理厂,期间因企业选矿能力增加,于2014年扩容,处理规模达12 000 m³/d,出水水质达到《铅、锌工业污染物排放标准》(GB 25466—2010)中水污染物排放限值。选矿能力增加,导致处理和回用的水量增加,目前进入综合处理厂的水量已超过最初的设计规模,原有处理工艺已无法满足企业自身的发展需求。同时,还存在着现有工艺药剂投加种类多、处理成本较高,石灰加药系统自动化程度不高,中控系统配置落后,无法实时有效掌握水质情况等问题。根据矿区最新环评要求,在现有工艺下,出水的铅、镉含量无法稳定达标,故需要对该综合处理厂进行提标改造。

铅锌选矿废水成分极为复杂,除了含有Pb、Zn等重金属离子之外,还残留了大量的选矿药剂。对尾矿综合处理厂进水和尾矿库出水分别进行检测,经过进出水水质对比可知,处理重点为Zn、Pb、Cd及SS。原有工艺处理能力为12 000 m³/d,扩大生

产后处理能力为21 600 m³/d。根据最新要求,改造后综合处理厂的设计出水水质须达到GB 25466—2010中水污染物特别排放限值,具体设计进出水水质如表1所示。

表1 设计进出水水质
Tab. 1 Designed Water Quality of Influent and Effluent

项目	设计进水	设计出水
pH 值	6~9	6~9
Zn/(mg·L ⁻¹)	≤ 200	1.0
Pb/(mg·L ⁻¹)	≤ 50	0.2
Cd/(mg·L ⁻¹)	≤ 10	0.02
总 Cr/(mg·L ⁻¹)	≤ 1.5	1.5
Cu/(mg·L ⁻¹)	≤ 0.2	0.2
As/(mg·L ⁻¹)	≤ 0.1	0.1
SS/(mg·L ⁻¹)	≤ 50	10
COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	≤ 50	50
氨氮/(mg·L ⁻¹)	≤ 5	5

2 提标扩容改造方案

2.1 原有工艺及状况

改造前工艺流程为:生产废水→调节池→回用处理反应→吸附处理系统→回用污泥沉淀单元→催化氧化→pH 回调单元→深度处理沉淀→深度处理过滤→中和处理单元→达标排放。

原有工艺流程的主体工艺为药剂法,生产废水经接触吸附处理后,部分水回用,剩余废水经过催化氧化深度处理,过滤沉淀,达标排放。该工艺虽然能处理掉大部分污染物质,但随着处理水量增加和排放标准的提高,药剂投加量也随之增加。水车间使用的药剂有7种,分别为硫酸、DTCR(普通重金属捕捉剂)、PAM(聚丙烯酰胺,阳离子型高分子有机絮凝剂)、PAC(聚合氯化铝)、ACP(次氯酸钠水溶液)、Fe²⁺(催化氧化阶段投加硫酸亚铁盐,辅助混凝作用)、H₂O₂(氧化剂)。加药的溶药系统、管道系统、控制系统错综复杂,并且故障率高。当前药剂处理成本保守估计为0.7元/m³,相比于同类水质情况,处理成本偏高。且石灰采用人工投加的方式,严重影响职工的安全卫生,同时人工操作无法保证石灰浓度的精确控制。

2.2 改造技术路线

针对尾矿综合处理厂目前面临的水量增大、排

放标准提高、药剂种类多成本高、自动化程度低等情况,提出如下技术思路:

(1) 处理工艺路线基本保持不变,主体工艺仍为药剂法;

(2) 改造、新建或新增构筑物、设备和管道,将提高处理能力;

(3) 更换处理药剂,减少药剂种类,简化加药系统,提高加药系统和出水水质的稳定性,降低处理成本;

(4) 将现有人工石灰配置系统改造为自动石灰配置投加系统;

(5) 通过更换和改造中控系统,提高自控程度和美观性,适当超前的预留转型升级接口。

2.3 提标扩容改造方案

尾矿库的废水以现有方式进入综合处理厂的调节池或反应沉淀池(现有一段),调节池提升泵根据水量情况运行1台或2台。雨量特别大时,部分水先流入应急池,应急池出水溢流至调节池。需处理的总水量随后按比例进入一段、二段反应沉淀池进行处理(并联)。在反应沉淀池的第一格设有石灰加药点,将pH值调至7~8,与大部分重金属形成氢氧化物沉淀。在反应池的第二格设有HSJ-DEM药剂(一种新型重金属捕捉剂),在接触池中充分反应,用来去除低浓度的重金属。在反应池的第三格反应投加PAM,随后进入反应沉淀池的沉淀区进行固液分离。一段、二段反应沉淀池上清液分别进入现有的中间水池1、中间水池2。正常情况下中间水池1、2中的水直接进入中和反应池,对其进行pH实施监控,如pH值高于9,则在中和反应池中投加少量硫酸进行回调pH。中和反应池出水进入清水池随后外排。提标扩容改造工艺流程如图1所示。

3 主要处理构筑物和设备

3.1 利用旧单元

(1) 调节池。现有设计参数:设计规模为 $12\,000\text{ m}^3/\text{d}$,设计流量 $Q=500\text{ m}^3/\text{h}$,最大流量 $Q_{\max}=600\text{ m}^3/\text{h}$,停留时间为2 h,改造后设计参数: $Q=900\text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{\max}=1\,200\text{ m}^3/\text{h}$,停留时间为1 h。内设调节池提升泵1台, Q 为 $600\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为15 m,额定转速为1 450 r/min。

(2) 反应沉淀池(现有一段)。现有设计参数:设计规模为 $8\,400\text{ m}^3/\text{d}$, $Q=350\text{ m}^3/\text{h}$,沉淀池表面

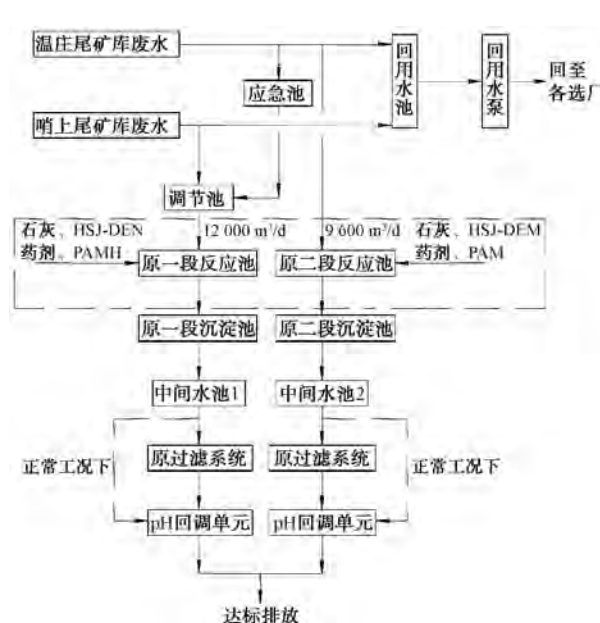


图1 提标扩容改造工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Upgrading and Expansion Project

水力负荷为 $0.7\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。改造后设计参数:设计规模为 $12\,000\text{ m}^3/\text{d}$ (与深度处理 $9\,600\text{ m}^3/\text{d}$ 并列,合计 $21\,600\text{ m}^3/\text{d}$), $Q=500\text{ m}^3/\text{h}$,沉淀池表面水力负荷为 $1\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

一段反应池有4座,尺寸为 $6\,000\text{ mm}\times6\,000\text{ mm}\times2\,500\text{ mm}$,单座有效容积 $V=75\text{ m}^3$ 。一段重力沉淀池有1座,尺寸为 $48\,000\text{ mm}\times12\,000\text{ mm}\times4\,800\text{ mm}$ 。一段接触池有3座,尺寸为 $10\,000\text{ mm}\times15\,000\text{ mm}\times4\,000\text{ mm}$ 。单座有效容积 $V=450\text{ m}^3$ 。内设反应搅拌机4台,单台功率为11 kW,转速为100 r/min;反应移动泵式排泥机1台,排泥能力为 $100\text{ m}^3/\text{h}$,可编程序控制器(PLC)控制。

(3) 反应沉淀池(现有深度处理段)。现有设计参数:设计规模为 $3\,600\text{ m}^3/\text{d}$, $Q=150\text{ m}^3/\text{h}$,沉淀池表面水力负荷为 $0.375\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。改造后设计参数:设计规模为 $9\,600\text{ m}^3/\text{d}$ (与现有1段 $12\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 并列,合计 $21\,600\text{ m}^3/\text{d}$), $Q=400\text{ m}^3/\text{h}$,沉淀池表面水力负荷为 $1\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

深度排放系统反应池有4座,尺寸为 $5\,000\text{ mm}\times5\,000\text{ mm}\times2\,500\text{ mm}$,单座有效容积 $V=45\text{ m}^3$ 。深度排放系统氧化池有1座,尺寸为 $10\,000\text{ mm}\times6\,000\text{ mm}\times3\,500\text{ mm}$ 。有效容积 $V=160\text{ m}^3$ 。深度处理沉淀池有1座,尺寸为 $40\,000\text{ mm}\times10\,000\text{ mm}\times4\,800\text{ mm}$ 。内设深度处理潜水搅拌机2台,功率为2.2 kW;深度排放反应池搅拌机4台,功率为7.5

kW, 转速为 100 r/min; 深度反应移动泵式排泥机 1 台, 排泥能力为 100 m³/h, PLC 控制。

(4) 中间水池 1。1 座, 现有设计参数: 设计规模为 8 400 m³/d, $Q = 350$ m³/h, 最小停留时间为 0.22 h。改造后设计参数: 设计规模为 12 000 m³/d, 设计 $Q = 500$ m³/h, 最小停留时间为 0.16 h。内设过滤泵 2 台, 流量为 400 m³/h, 扬程为 22 m, 功率为 45 kW。

(5) 中间水池 2。1 座, 现有设计参数: 设计规模为 3 600 m³/d, $Q = 150$ m³/h, 最小停留时间为 1.6 h。改造后设计参数: 设计规模为 9 600 m³/d, $Q = 400$ m³/h, 最小停留时间为 0.625 h。内设过滤泵 3 台, 其中 2 台 $Q = 350$ m³/h, 扬程为 22 m, 功率为 37 kW。另外 1 台 $Q = 400$ m³/h, 扬程为 22 m, 功率为 45 kW。

(6) 过滤系统。设计规模为 14 400 m³/d, $Q = 600$ m³/h。

回用系统过滤装置 6 套, 设计尺寸 $\Phi 2\,400\text{ mm} \times 3\,600\text{ mm}$, 处理能力 $Q_{\max} = 50$ m³/h。配有 2 台反洗泵, $Q = 100$ m³/h, 扬程为 32 m, 额定转速为 1 450 r/min, 功率为 30 kW。内设 6 台管道式过滤器流量计, $Q_{\max} = 60$ m³/h。

(7) 中和反应池。现有设计参数: 设计规模为 12 000 m³/d, $Q = 500$ m³/h。改造后设计参数: 设计规模为 21 600 m³/d, $Q = 900$ m³/h。共 6 座, 其中 2

座, 尺寸为 4 000 mm $\times$ 4 000 mm $\times$ 2 500 mm。另外 4 座, 尺寸为 7 500 mm $\times$ 5 000 mm $\times$ 2 600 mm。内设中和搅拌器 2 台, 功率为 5.5 kW, 转速为 100 r/min; 中和 pH 控制器 3 台, pH 值 = 1~14, 20~40 mA 输出, 在线监测。

(8) 污泥浓缩中转池 1 座, 设计 $Q = 240$ m³/h。内设污泥输送泵 2 台, $Q = 80$ m³/h, 扬程为 50 m, 功率为 55 kW。

(9) 清水池 1 座, 现有设计参数: 规模为 12 000 m³/d, $Q = 500$ m³/h。改造后设计参数: 规模为 21 600 m³/d, $Q = 900$ m³/h, 用于接收中和池出水。

(10) 回用水池 1 座, 南场采选厂 $Q = 150$ m³/h; 一选厂 $Q = 50$ m³/h; 二选厂 $Q = 280$ m³/h。南场采选厂回用泵 KQDL150-20 $\times$ 8-II, 2 台, $Q = 150$ m³/h, 扬程为 160 m, 功率为 90 kW。一选厂回用泵 QDL80-20 $\times$ 8/2-II, 2 台, $Q = 50$ m³/h, 扬程为 160 m, 功率为 37 kW。二选厂回用泵 KQDL200-30 $\times$ 4-II, 2 台, $Q = 280$ m³/h, 扬程为 120 m, 功率为 132 kW。

(11) 应急池。现有设计参数: 2 座, 设计规模为 14 400 m³/d, 设计 $Q = 600$ m³/h, 停留时间为 6.66 h。改造后设计参数: 2 座, 设计规模为 21 600 m³/d, 设计 $Q = 900$ m³/h, 停留时间为 4.44 h。

以上旧单元尺寸如表 2 所示。

表 2 构筑物尺寸
Tab. 2 Size of Structures

序号	名称	尺寸/(mm $\times$ mm $\times$ mm)	单位	数量	技术参数
1	调节池	22 000 $\times$ 14 000 $\times$ 3 900	座	1	有效容积: $V = 1\,000\text{ m}^3$
2	一段反应池	6 000 $\times$ 6 000 $\times$ 2 500	座	4	有效容积: $V = 75\text{ m}^3 \times 4$
3	一段重力沉淀池	48 000 $\times$ 12 000 $\times$ 4 800	座	1	/
4	一段接触池	10 000 $\times$ 15 000 $\times$ 4 000	座	3	有效容积: $V = 450\text{ m}^3 \times 3$
5	深度排放系统反应池	5 000 $\times$ 5 000 $\times$ 2 500	座	4	有效容积: $V = 45\text{ m}^3 \times 4$
6	深度排放系统氧化池	10 000 $\times$ 6 000 $\times$ 3 500	座	1	有效容积: $V = 160\text{ m}^3$
7	深度处理沉淀池	40 000 $\times$ 10 000 $\times$ 4 800	座	1	/
8	中间水池 1	/	座	1	有效容积: $V = 80\text{ m}^3$
9	中间水池 2	10 000 $\times$ 10 000 $\times$ 3 000	座	1	有效容积: $V = 250\text{ m}^3$
10	回用系统过滤装置	$\Phi 2\,400 \times 3\,600$	套	6	处理能力: $Q_{\max} = 50\text{ m}^3/\text{h}$
11	中和反应池	4 000 $\times$ 4 000 $\times$ 2 500	座	2	有效容积: $V = 35\text{ m}^3 \times 4$
12	中和反应池	7 500 $\times$ 5 000 $\times$ 2 600	座	4	/

(续表2)

序号	名称	尺寸/(mm×mm×mm)	单位	数量	技术参数
13	污泥浓缩中转池	6 000×6 000×4 000	座	1	有效容积: $V=100\text{ m}^3$
14	清水池	15 000×6 000×3 000	座	1	/
15	回用水池	15 000×16 000×2 500	座	1	/
16	应急池 1	22 000×18 000×5 000	座	1	容积: $1\,980\text{ m}^3$
17	应急池 2	24 100×21 000×5 000	座	1	容积: $2\,540\text{ m}^3$

3.2 新增与改造单元

(1)反应沉淀池:将石灰投加点由第三格反应池改至第一格反应池,将现有的混凝剂投加系统经改造后改成 HSJ-DEM 药剂加药系统。在前端投加石灰、HSJ-DEM 等药剂反应后,可使污水在沉淀区固液分离,上清液排入现有中间水池中,污泥排入污泥中转池。

(2)中间水池:增加超声波液位计 2 台,规格 0~4 m。该池体收集反应沉淀池上清液,出水排至中和池(正常工况下)或者经过滤泵提升至砂滤罐后再排入中和池(出水 SS 较高情况下)。

(3)加药系统:将原有的 7 种药剂更改为 4 种,即石灰投加量为 4.32 t/d, HSJ-DEM 加药量为 2.16~4.32 t/d, PAM 投加量为 0.216 t/d。硫酸投加量:正常工况下没有。新增石灰计量输送系统 1 套。将现有混凝剂投加系统改造后用于投加 HSJ-DEM 药剂、PAM 和硫酸,其余加药系统保留备用(正常工况下不使用)。石灰自动加药系统 1 套,料仓 50 m^3 ,溶药罐 5 m^3 。混凝剂配药池(改造后用于 HSJ-DEM 药剂投加)2 座,1 座尺寸为 $2\,000\text{ mm}\times 2\,000\text{ mm}\times 2\,000\text{ mm}$,另 1 座尺寸为 $3\,000\text{ mm}\times 3\,000\text{ mm}\times 2\,500\text{ mm}$,总有效容积为 22 m^3 。PAM 配加药池 1 座,尺寸为 $3\,000\text{ mm}\times 3\,000\text{ mm}\times 2\,500\text{ mm}$,有效容积为 20 m^3 。硫酸配加药池 1 座,尺寸为 $1\,500\text{ mm}\times 3\,000\text{ mm}\times 2\,500\text{ mm}$,有效容积 $V=7\text{ m}^3$ 。

(4)在线监测房:增加 Zn、Pb、Cd 在线监测设备,用于监测出水流量、pH、氨氮、 COD_{Cr} 、Zn、Pb、Cd 等指标。

(5)应急池:将现有的药品循环泵移至应急池(靠近调节池)作为出水提升泵。

3.3 自控系统总体设计

自控系统采用分布式计算机集散控制系统。由 PLC 及自动化仪表组成的检测控制系统——现场控制站,对污水处理工程各工艺过程进行分散控制;再

由通信系统和监控计算机组成的中央控制系统——中央控制室,对整个工程实行集中管理。控制站与中央控制室之间由工业以太环网进行数据通信。控制方式设计为就地手动控制、远程遥控控制、PLC 程序自动控制。

3.4 根据雨量处理废水

旱季期间需要处理达标排放的水量为 $9\,330\text{ m}^3/\text{d}$,现有处理系统可以满足要求,雨季期间需要处理达标排放的水量为 $17\,676\text{ m}^3/\text{d}$,现有处理系统不能满足要求。雨季雨水进入处理系统,导致需处理的水量增大,给处理系统带来的负荷增加。为改善雨量变化带来的废水处理量大,采用应急池截留雨水。雨量特别大时,部分水先流入应急池,应急池出水溢流至调节池,随后再进行处理。

4 工程设计特点

(1)改造方案充分利用了原有构筑物,在调节池、中间水池处减少停留时间,缩短了建设周期,最大限度节省了投资。原有废水 $12\,000\text{ m}^3/\text{d}$,扩大生产后处理能力为 $21\,600\text{ m}^3/\text{d}$,增加部分水量为雨季暴雨情况雨水水量,而正常生产情况下水质水量比较稳定且均值,缩短停留时间不会影响正常运行。

(2)更换处理药剂,达到处理效果的同时,减少药剂种类,节省投资。利用原有药剂投加系统进行改造,增加一套石灰自动加药系统,精细控制石灰投加量,从而精确控制处理废水中的 pH,有效保证重金属形成氢氧化物沉淀。再加入 HSJ-DEM 药剂,有效去除低浓度的重金属。

(3)提高自控程度,便于达标排放管理。增加污水在线监测设备,可以实时监控前端处理系统中的水质指标,根据其变化规律实时调整加药量,保证达标排放的要求下减少药剂投加量。其次,增加中控室模拟屏,优化 PLC 控制系统,实时调整因水质情况变化而需要改变的药剂投加量。

5 工程运行效果

该项目原水经石灰+HSJ-DEM 反应后,沉淀后再经砂滤处理,达标排放。废水中重金属污染物均优于执行标准 GB 25466—2010 的要求,达到了地表水环境质量标准Ⅲ类水质标准,Cd 出水指标大部分

能达到地表水环境质量标准Ⅲ类水质标准,其中 Zn 优于执行标准与地表水Ⅲ类水质标准 4~112 倍;Pb 优于执行标准 21.8~689 倍,优于地表水Ⅲ类水质标准 5.5~172 倍;Cd 优于执行标准 2.1~30 倍,如表 3 所示。

表 3 处理效果
Tab. 3 Treatment Effect

名称	药剂投加量/(g·L ⁻¹)		检测指标				
	石灰	HSJ-DEM	pH 值	Pb/(mg·L ⁻¹)	Zn/(mg·L ⁻¹)	Cu/(mg·L ⁻¹)	Cd/(mg·L ⁻¹)
改造前进水指标平均值	0	0	6.81	0.080 72	2.159 82	0.235 36	0.044 86
改造后进水指标平均值	0	0	7.21	0.073 89	3.654 95	0.229 59	0.038 64
改造前出水样	0	0	6.81	0.065 1	1.389 9	0.246 92	0.033 96
改造后出水-1	0.2	0.02	8.48	0.000 32	0.008 89	0.148 25	0.009 53
改造后出水-2	0.2	0.05	8.21	0.000 29	0.009 34	0.127 75	0.000 66
改造后出水-3	0.2	0.1	7.95	0.000 31	0.048 94	0.100 83	0.000 95
改造后出水-4	0.2	0.2	7.74	0.000 82	0.042 14	0.054 04	0.001 62
改造后出水-5	0.2	0.3	7.46	0.009 16	0.254 72	0.031 75	0.005 97
执行标准	/	/	6~9	0.2	1.0	0.1	0.02
地表水Ⅲ类标准	/	/	6~9	0.05	1.0	1.0	0.005

6 投资及运行成本

本工程改造后药剂运行成本为 0.450 5~0.675 8 元/m³。经过对比可以发现,每吨水药剂处理成本可降低 0.1 元左右。如按处理量为 21 600 m³/d 计算,则每年可节约药剂成本近百万元。正常运行情况下按照处理量为 18 000 m³/d,则每年大约可节约药剂成本 70 万元。

7 结语

在某尾矿综合处理厂水处理升级改造工艺设计中,针对废水特质和国家水污染物排放限值的要求,充分利用现有单元,在雨季时采用应急池。通过更换处理药剂、提升石灰加药系统自动化程度,不仅降低了药剂运行成本,还提高了员工工作时的健康卫生程度、降低了操作强度;通过改变停留时间或设计流量,巧妙地解决了水量增加的问题。废水处理工艺提标扩容后,提升了设备的使用性能和寿命、提高了系统的处理能力和自动化,降低了人工操作强度。与之相关的先进技术及成功生产经验,可为类似尾矿废水综合处理提供借鉴和参考。

参考文献

[1] 张作金,陈海彬,吴天来,等. 我国选矿废水处理研究进展

[J]. 矿产保护与利用, 2020, 40(1): 79-84.
ZHANG Z J, CHEN H B, WU T L, et al. Research progress in the treatment of mineral processing wastewater in China[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2020, 40 (1): 79-84.
[2] MENG S, WEN S, HAN G, et al. Wastewater treatment in mineral processing of non-ferrous metal resources: A review[J]. Mining & Minerals, 2022, 14 (5): 726. DOI: 10. 3390/ w14050726.
[3] SHRESTHA R, BAN S, DEVKOTA S, et al. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2021, 9(4): 105688. DOI: 10. 1016/ j. jece. 2021. 105688.
[4] HAIDER I, ALI M A, SANAUULLAH M, et al. Unlocking the secrets of soil microbes: How decades-long contamination and heavy metals accumulation from sewage water and industrial effluents shape soil biological health[J]. Chemosphere, 2023, 342: 140193. DOI: 10. 1016/ j. chemosphere. 2023. 140193.
[5] BISWAS A, KANON K F, RAHMAN M A, et al. Assessment of human health hazard associated with heavy metal accumulation in popular freshwater, coastal and marine fishes from south-west region, Bangladesh[J]. Heliyon, 2023, 9(10): e20514. DOI: 10. 1016/ j. heliyon. 2023. e20514.
[6] 许家杰,李长颖. 铅锌选矿废水处理及回用研究[J]. 中国金属通报, 2021(4): 219-220.
XU J J, LI C Y. Research on the treatment and reuse of lead zinc

- mineral processing wastewater[J]. China Metal Bulletin, 2021 (4): 219-220.
- [7] 胡尚军, 谢贤, 黎洁, 等. 选矿废水处理技术现状及展望[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(4): 43-49.
- HU S J, XIE X, LI J, et al. Current status and prospects of mineral processing wastewater treatment technology [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41 (4): 43-49.
- [8] 唐林茜, 张春华, 葛滢. 含锑废水处理技术研究进展[J]. 净水技术, 2022, 41(6): 15-23, 56.
- TANG L Q, ZHANG C H, GE Y. Research progress of technology for antimony removal in wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(6): 15-23, 56.
- [9] 魏剑波, 陈维芳, 谢海英, 等. 铝合金铬酸阳极氧化废水中六价铬萃取法回收利用可行性[J]. 净水技术, 2022, 41 (5): 85-90, 96.
- WEI J B, CHEN W F, XIE H Y, et al. Reuse feasibility of Cr(VI) recovery by extraction from aluminum alloy chromic acid anodizing wastewater[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(5): 85-90, 96.
- [10] 马灿明, 吴德礼, 李恩超, 等. 多羟基结构态亚铁处理含重金属废水的应用[J]. 净水技术, 2021, 40(3): 129-134.
- MA C M, WU D L, LI E C, et al. Application of ferrous polyhydroxide complex in heavy metal wastewater treatment[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(3): 129-134.
- [11] 张博, 黄辉, 钱佳, 等. 液体 CO₂ 软化/电化学氧化/UF 处理铅锌选矿废水[J]. 中国给水排水, 2023, 39(12): 145-148.
- ZHANG B, HUANG H, QIAN J, et al. Lead-zinc beneficiation wastewater treatment by liquid carbon dioxide softening/electrochemical oxidation/ultrafiltration process [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(12): 145-148.

(上接第 118 页)

- [3] 王阳, 张月, 王晓康, 等. 高排放标准下的改良 AAO+深度处理工程案例[J]. 中国给水排水, 2020, 36(18): 56-59.
- WANG Y, ZHANG Y, WANG X K, et al. Project case of modified AAO and advanced treatment process under high emission standards[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (18): 56-59.
- [4] 彭东升, 许洋, 张杨, 等. 深圳某低浓度进水污水处理厂的提标改造及其运行分析[J]. 水处理技术, 2022, 48(9): 142-145.
- PENG D S, XU Y, ZHANG Y, et al. Upgrading and reconstruction of a low concentration influent sewage treatment station in Shenzhen and its operational analysis[J]. Technology of Water Treatment, 2022, 48(9): 142-145.
- [5] 姜鸣, 石芳永, 顾雪峰, 等. 工业园区污水厂准Ⅳ类水质提标改造工程设计[J]. 中国给水排水, 2022, 38(2): 59-63.
- JIANG M, SHI F Y, GU X F, et al. Design of a wastewater treatment plant upgrading project in an industry park to meet quasi-IV surface water standard [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(2): 59-63.
- [6] 白鹤, 林亚凯, 张景隆, 等. PVDF 浸没式超滤膜市政污水再生处理运行研究[J]. 水处理技术, 2021, 47(9): 86-90, 96.
- BAI H, LIN Y K, ZHANG J L, et al. Study on the operation of PVDF submerged ultrafiltration membrane in municipal wastewater regeneration [J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(9): 86-90, 96.
- [7] 庄彦华, 唐燕华, 杨笑康, 等. 改进 UCT 工艺强化城镇污水脱氮除磷实例研究[J]. 水处理技术, 2023, 49(3): 102-108.
- ZHUANG Y H, TANG Y H, YANG X K, et al. Case study on strengthening nitrogen and phosphorus removal of urban sewage by the improved UCT process [J]. Technology of Water Treatment, 2023, 49(3): 102-108.
- [8] 都雪晨, 黄华玲, 靳斌斌, 等. MBBR 和 MBR 工艺在南方某用地受限污水处理厂扩建及提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(5): 164-171.
- DU X C, HUANG H L, JIN B B, et al. Application of MBBR and MBR processes in extension and upgrading project of a southern WWTP under limited land use[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(5): 164-171.
- [9] 郁达伟, 李亚明, 杨敏, 等. 大型再生水厂不同工艺的 COD、TN 和 TP 去除效果及其影响因素分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(11): 3558-3567.
- YU D W, LI Y M, YANG M, et al. Long-term performance variation of water pollutants removals in a megareclaimed water plant [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35 (11): 3558-3567.
- [10] 陈广. 城市污水处理系统运行品质提升思考与实践[J]. 净水技术, 2023, 42(5): 1-4.
- CHEN G. Thinking and practice on improving operation quality of urban wastewater treatment system [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(5): 1-4.