

某尾矿库淋溶液处理工艺试验研究

石亚男¹,陈国民^{2,3*}

(1. 凤城市水利局; 2. 东北大学冶金学院; 3. 辽宁天利金业有限责任公司)

摘要:为实现某尾矿库淋溶液达标回用,采用A/O与改进型SBR联合工艺进行处理。结合生物脱氮理论与功能菌驯化工作,通过工艺调试与系统优化,解决了二沉池跑泥、污泥解体等问题,实现了淋溶液中总氰化物、COD和氨氮的高效去除。结果表明,处理后出水中COD、氨氮和总氰化合物可以稳定达到DB 21/1627—2008《污水综合排放标准》要求,为黄金冶炼行业尾矿库淋溶液的达标处理及回用提供了技术参考。

关键词:尾矿库淋溶液;生物脱氮;A/O工艺;SBR工艺;工艺优化;COD;氨氮

中图分类号:TD926.5

文章编号:1001-1277(2025)08-0066-05

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20250813

引言

某黄金冶炼企业主要处理难选冶黄金资源,其尾矿库在雨季生产运行期间会产生淋溶液,含有少量的氰化物、硫氰酸盐及(类)铜、砷等重金属,直接排放会污染环境^[1-3],达标处理后可作为浇灌及降尘等用水。

目前,针对尾矿库淋溶液的处理工艺主要有化学法和生物法^[4-12]。相对于化学法,生物法具有运行成本低、自动化程度高等优势,但也存在一定弊端,例如:氰化物、硫氰酸盐及(类)铜、砷等重金属均对微生物具有很强的生物毒性,一旦这些有毒物质含量超出设计进水指标,不仅会导致出水水质超标,而且严重时还会影响微生物的正常生长^[3]。系统要求控制pH值为5~9,但当pH值低于7时,微生物的硝化作用受到抑制,影响氨氮去除效果;当pH值高于9时,微生物活性受到不可逆损伤,整个生物处理系统将崩溃^[4]。因此,需要在日常生产运行期间,对系统进水中的有害物质浓度进行实时监测,并及时调整,确保系统处于最佳运行状态。本文采用A/O(缺氧/好氧)与改进型SBR(序批式反应器)联合工艺进行尾矿库淋溶液处理,使污染物达到DB 21/1627—2008《污水综合排放标准》要求,实现循环利用。

1 试验部分

1.1 工艺流程

采用A/O与改进型SBR联合工艺(见图1)处理尾矿库淋溶液,主要设备包括调节池、水解酸化池、缺氧

池、好氧池、曝气池及沉淀池。

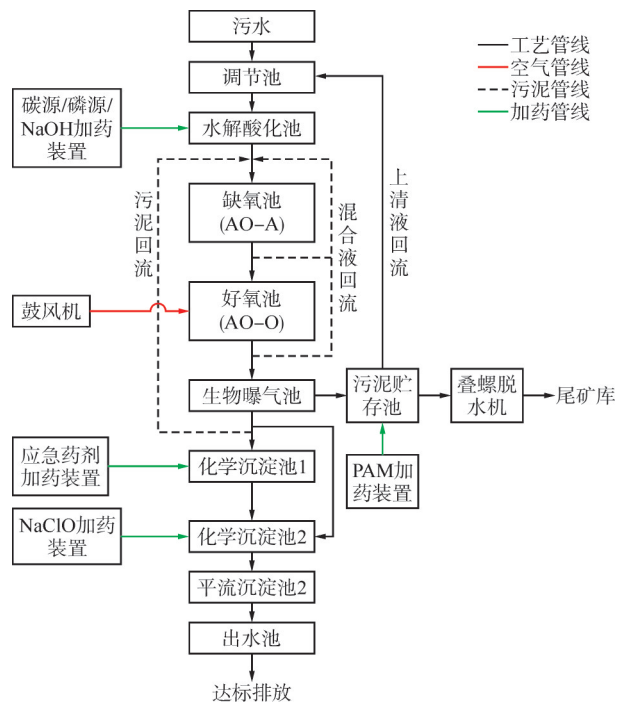


图1 尾矿库淋溶液联合处理工艺流程

Fig. 1 Process flow of tailings pond leachate treatment

调节池5.0 m×3.0 m×3.0 m,有效容积37.5 m³;缺氧池10.0 m×4.0 m×3.0 m,有效容积100 m³;好氧池10.0 m×5.0 m×3.0 m,有效容积125 m³。

1.2 淋溶液性质

尾矿库淋溶液pH值为7.57,其主要污染物组分分析结果见表1。

由表1可知:该尾矿库淋溶液含COD 513.2 mg/L,氨氮 55.80 mg/L,总氰化合物 0.828 mg/L,均超过

收稿日期:2025-03-11; 修回日期:2025-04-28

作者简介:石亚男(1984—),女,工程师,从事水的环保治理技术研究及水资源管理工作;E-mail:764005855@qq.com

*通信作者:陈国民(1984—),男,正高级工程师,从事黄金选冶工艺技术研究及生产管理工作;E-mail:achen2003@126.com

表 1 尾矿库淋溶液主要污染物组分分析结果

Table 1 Analysis results of main pollutant components in leachate from a tailings pond

污染物	$\rho/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
COD	513.2
氨氮	55.80
总氰化合物	0.828

注:COD为化学需氧量。

DB 21/1627—2008《污水综合排放标准》中污染物最高允许排放浓度(COD为50 mg/L,氨氮为8 mg/L(水温>12℃),总氰化合物为0.2 mg/L)。

1.3 功能菌驯化与调试

1)菌种:采用长春黄金研究院有限公司的降氰功能菌(CG301-JF)与尾矿库淋溶液富集菌混合培养。

2)驯化条件:控制溶解氧(DO)分别为缺氧池<0.5 mg/L,好氧池2~4 mg/L,pH值7.0~8.0, $m(\text{C}):m(\text{N}):m(\text{P})=100:5:1$ 。

3)监测指标:COD、氨氮、总氰化合物、混合液悬浮固体浓度(MLSS)等。

2 结果与讨论

2.1 连续进水模式调试

当生物系统中功能菌增殖完成后,污泥质量浓度稳定在1 000 mg/L左右。该系统进行正常连续进水负荷运行模式,按照50 m³/d处理规模进行淋溶液处理,其间仅用5%~25%氢氧化钠溶液控制系统内各反应池的pH,保证缺氧池pH值稳定在6.5~7.5,好氧池和曝气池pH值稳定在7.0~8.0。连续运行期间相关监测结果见表2。

由表2可知:受现场运行条件限制,相关工艺参数控制存在偏差。前期污泥质量浓度在900 mg/L左右时,淋溶液中微生物功能菌可正常处理COD、氨氮等污染物。但是,沉淀池2斜板沉淀装置未设置收泥斗及污泥在沉淀池2中停留时间过长等,出现跑泥、浮泥、污泥解体等现象(见图2),造成污泥质量浓度下降,后期淋溶液中COD、氨氮未达到DB 21/1627—2008《污水综合排放标准》中污染物最高允许排放浓度。

由于连续进水负荷运行过程中存在以上问题,综合现场条件及人员情况,采用序批式进水模式(SBR)代替连续式进水模式进行工艺运行调试,保证系统能够稳定运行,淋溶液中污染物满足排放要求。

2.2 序批式进水模式优化

按照生物系统设计指标、控制条件及现场实际情况,尾矿库淋溶液深度净化系统采用序批式进水模式。

表 2 连续进水9 d生物处理系统数据

Table 2 Biological treatment system data for 9 d of continuous water intake

		water intake			mg/L		
时间/d	监测点	COD	氨氮	总氰化合物	pH值	DO	MLSS
1	调节池	28.29	32.205	—	7.85	—	
	缺氧池	40.63	5.755	—	7.82	0.4	
	好氧池	34.61	3.250	—	7.84	2.2	
	曝气池	35.96	1.369	0.056	8.05	2.1	
2	缺氧池	39.13	10.01	—	6.84	0.5	
	好氧池	28.59	10.83	—	6.12	1.9	
	曝气池	37.62	6.50	0.028	6.18	2.0	
3	缺氧池	42.14	8.84	—	6.48	0.4	
	好氧池	54.18	9.49	—	6.93	1.2	
	曝气池	37.63	6.78	0.043	6.95	1.2	
4	调节池	358.2	55.8	—	7.40	—	
	缺氧池	43.64	12.085	—	6.79	0.5	
	好氧池	46.65	7.980	—	6.52	1.8	
	曝气池	45.15	5.10	0.051	6.41	1.7	
5	调节池	385.6	59.3	—	7.39	—	
	缺氧池	63.21	11.80	—	7.12	0.4	
	好氧池	48.63	5.96	—	7.51	2.1	
	曝气池	49.66	5.87	0.036	7.65	2.6	
6	调节池	403.3	55.80	—	7.24	—	
	缺氧池	42.14	26.445	—	6.68	0.4	
	好氧池	28.59	9.345	—	6.64	2.1	
	曝气池	45.15	4.985	0.032	6.57	1.8	
7	调节池	415.4	63.30	—	7.34	—	—
	缺氧池	55.68	34.20	—	6.90	0.4	734
	好氧池	45.15	13.935	—	6.95	1.8	799
	曝气池	39.13	6.80	0.043	6.63	1.7	865
8	调节池	454.0	58.25	—	7.35	—	—
	缺氧池	73.74	33.26	—	7.41	0.4	599
	好氧池	75.25	12.765	—	8.14	2.0	739
	曝气池	57.25	10.715	0.057	7.00	2.0	523
9	调节池	415.4	57	0.687	7.36	—	—
	缺氧池	117.4	36.11	—	7.17	0.5	579
	好氧池	75.25	21.00	—	7.89	1.9	767
	曝气池	63.21	14.5	0.027	7.00	1.9	513

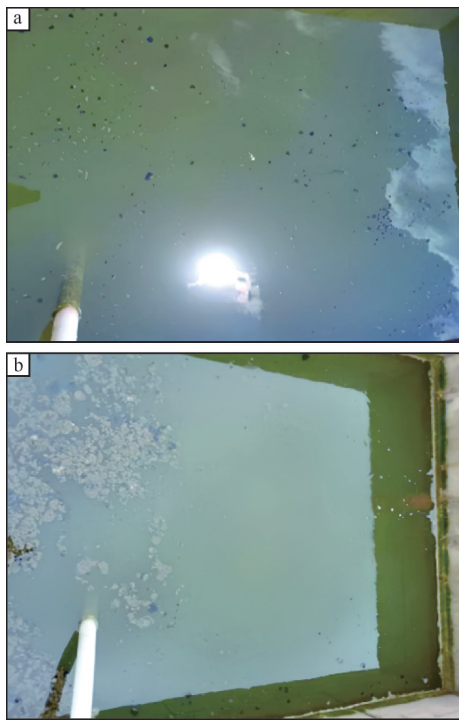


图2 沉淀池2浮泥情况

Fig. 2 Floating mud in Sedimentation Tank No. 2

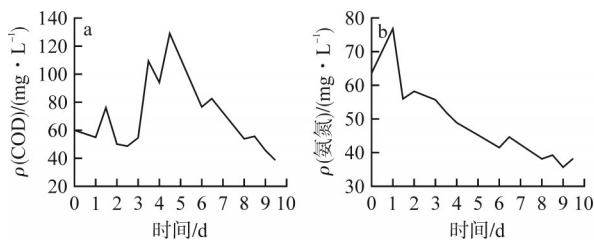


图3 第一批次运行试验缺氧池各水质指标变化情况

Fig. 3 Changes in water quality indicators of anoxic tanks in the first batch of operation test

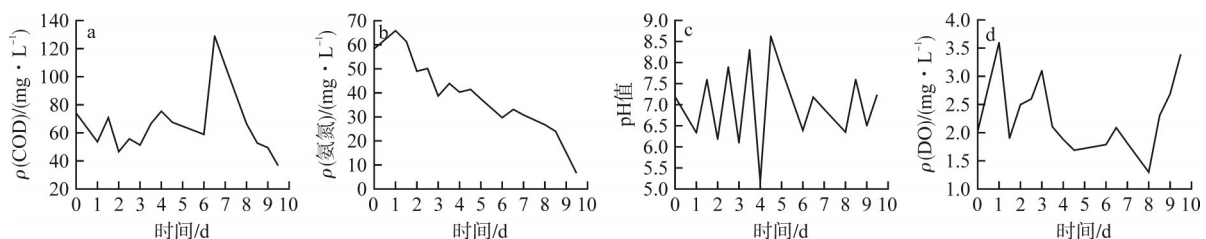


图4 第一批次运行试验好氧池各水质指标变化情况

Fig. 4 Changes in water quality indicators of aerobic tanks in the first batch of operation test

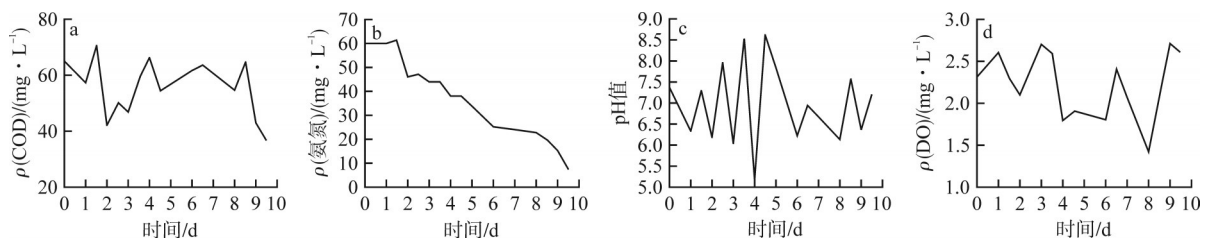


图5 第一批次运行试验曝气池各水质指标变化情况

Fig. 5 Changes in water quality indicators of the aeration basin in the first batch of operation test

COD经处理后,均满足设计出水要求。

针对氨氮的去除特征,缺氧池氨氮为35.56~76.90 mg/L,反应9 d后,缺氧池中氨氮降低至

2.2.1 第一批次运行试验

第一批次连续运行属于生物处理系统首次连续运行,经过9 d的连续运行后,好氧池和曝气池内水体目标污染物全部达标(见图3~5),总处理水量为270 m³,即30 m³/d。

连续运行期间,缺氧池pH值控制在6.21~8.21,溶解氧控制在0.4~0.8 mg/L;好氧池pH值控制在5.18~8.62,溶解氧控制在1.3~3.6 mg/L;曝气池pH值控制在5.19~8.56,溶解氧控制在1.4~2.7 mg/L。综上可知,连续运行期间由于现场调试条件受限,pH条件控制相对较差,但微生物整体生长环境良好,抗冲击能力较强。

针对COD的去除特征,缺氧池COD为38.26~129.40 mg/L,反应9 d后,缺氧池中COD降低至38.26 mg/L;好氧池COD为36.22~129.40 mg/L,平均值为63.48 mg/L,反应9 d后,好氧池中COD降低至36.22 mg/L;曝气池COD为36.22~70.73 mg/L,平均值为55.50 mg/L,反应9 d后,曝气池中COD降低至36.22 mg/L。综上可知,缺氧池、好氧池和曝气池中

35.56 mg/L,因为氨氮主要在好氧池和曝气池等有氧环境下去除,试验期间缺氧池氨氮浓度降低主要是由于曝气池中活性污泥浑浊液回流稀释;好氧池氨氮为

6.36~65.55 mg/L,平均值为38.81 mg/L,反应9 d后,氨氮降低至6.36 mg/L;曝气池氨氮为6.85~61.4 mg/L,平均值为36.70 mg/L,反应9 d后,氨氮降低至6.85 mg/L。综上可知,好氧池和曝气池中氨氮经处理后,浓度均满足设计出水要求。

运行期间,尾矿库淋溶液中总氰化合物质量浓度已低于设计出水要求(0.2 mg/L),因此未对其去除特

征进行考察。

2.2.2 第二批次运行试验

第一批次试验完成后,进行全生物处理系统换水,第二批次试验连续运行7 d,缺氧池、好氧池和曝气池内水体目标污染物均达标(见图6~8),总处理水量350 m³,即50 m³/d。

试验期间,缺氧池pH值控制在6.72~7.92,DO控

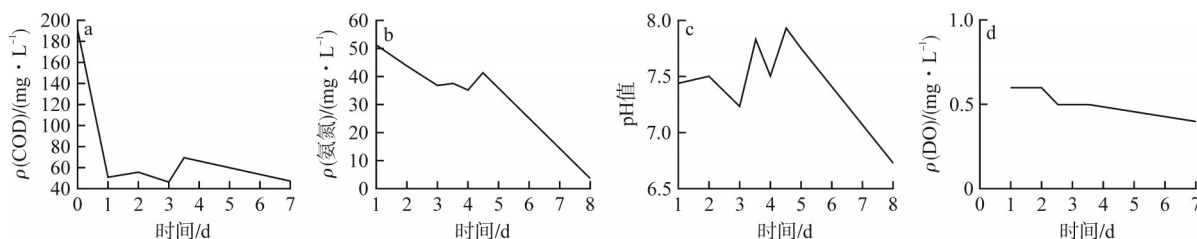


图6 第二批次运行试验缺氧池各水质指标变化情况

Fig. 6 Changes in water quality indicators in the anoxic tanks of the second batch of operation test

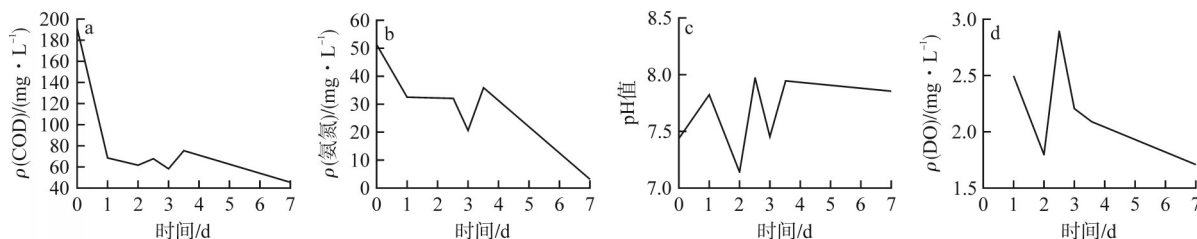


图7 第二批次运行试验好氧池各水质指标变化情况

Fig. 7 Changes in water quality indicators of aerobic tanks in the second batch of operation test

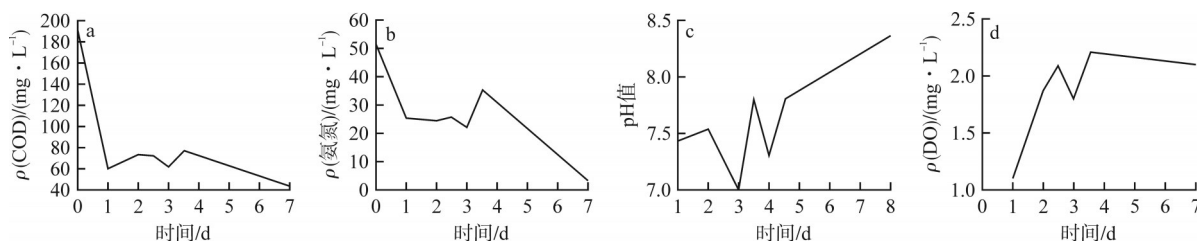


图8 第二批次运行试验曝气池各水质指标变化情况

Fig. 8 Changes in water quality indicators of the aeration basin in the second batch of operational tests

制在0.4~0.6 mg/L;好氧池pH值控制在7.14~7.97,DO控制在0.6~2.9 mg/L;曝气池pH值控制在7.00~8.35,DO控制在1.1~2.2 mg/L。综上可知,试验期间微生物生长环境整体良好,系统稳定运行。

针对COD的去除特征,缺氧池COD为46.65~69.23 mg/L,反应至7 d时,缺氧池中COD降低至46.65 mg/L;好氧池COD为45.68~75.25 mg/L,平均值为61.02 mg/L,反应至7 d时,好氧池中COD降低至45.68 mg/L;曝气池COD为44.18~76.75 mg/L,平均值为64.80 mg/L,反应至7 d时,曝气池中COD降低至44.18 mg/L。综上可知,缺氧池、好氧池和曝气池中COD经处理后均满足设计出水要求。

针对氨氮的去除特征,缺氧池氨氮为3.79~43.82 mg/L,反应7 d时,缺氧池中氨氮降低至3.79 mg/L;

好氧池氨氮为3.25~43.82 mg/L,平均值为28.80 mg/L,反应至7 d时,好氧池中氨氮降低至3.25 mg/L;曝气池氨氮为3.31~35.07 mg/L,平均值为22.53 mg/L,反应至7 d时,曝气池中氨氮降低至3.31 mg/L。综上可知,缺氧池、好氧池和曝气池中氨氮浓度经处理后均满足设计出水要求。

硝化速率指单位质量的活性污泥每天转化的氨氮量,其主要受活性污泥中硝化细菌占比、温度等因素影响,典型值为0.02 g NH₃-N/(g MLVSS·d)。生物硝化属低负荷工艺,污泥负荷(*F/M*)一般在0.05~0.15 kg COD/(kg MLVSS·d)。污泥负荷越低,硝化越充分,NH₃-N向NO₃-N转化的效率越高。第二批次试验期间,系统*F/M*稳定在0.08 kg COD/(kg MLVSS·d)左右,硝化速率约0.02 g NH₃-N/(g MLVSS·d),表明

整个生物处理系统功能菌驯化增殖完成,运行稳定。

综上,改进型SBR工艺通过调整进水方式等,有效控制污泥质量浓度为500~1 000 mg/L。优化后出水水质分析结果见表3。

表3 优化后出水水质分析结果

指标	optimization		mg/L
	进水	出水	
COD	513.2	31.60~49.66	≤50
氨氮	55.80	1.225~6.78	≤8(水温>12℃)
总氰化合物	0.828	0.026~0.046	≤0.2

注:1)DB 21/1627—2008《污水综合排放标准》。

3 结 论

1)针对某黄金冶炼企业尾矿库淋溶液污染物浓度超标问题,采用A/O与连续式进水模式处理过程中,沉淀池2斜板沉淀装置未设置收泥斗及污泥在沉淀池中停留时间过长,造成跑泥、浮泥及污泥解体现象发生。当污泥质量浓度降低至800 mg/L左右时,生物系统出水中COD、氨氮不达标,需对系统进行优化。

2)综合考虑现场工艺及实际情况,优化调整进水方式,将连续式进水改为序批式进水,保证生物系统在低污泥浓度下能够正常运行,处理后出水满足

DB 21/1627—2008《污水综合排放标准》要求。

[参 考 文 献]

[1] 刘海强,何金国,高文元,等.低浓度淋溶液含氰水处理试验研究[J].云南冶金,2024,53(1):66-69,79.

[2] 王莹,兰馨辉,高飞翔,等.某黄金矿山尾矿库淋溶液氨氮治理技术研究[J].黄金,2019,40(8):78-81.

[3] 孟凡钰,高飞翔,王荣群,等.OIP法处理某黄金矿山尾矿库淋溶液试验研究[J].黄金,2017,38(9):72-75.

[4] 马强,邱陆明,杨永哲,等.新型多级潮汐流人工湿地对黄金尾矿库闭库淋溶液中典型污染物的去除[J].水处理技术,2016,42(11):67-72.

[5] 费运良,兰馨辉,高飞翔,等.某黄金矿山低浓度含氰废水处理技术研究[J].黄金,2020,41(1):78-81.

[6] 张越.尾矿库淋溶机理及渗滤液处理措施[J].山西化工,2018,38(4):210-212.

[7] 杨涛.拉萨周边典型尾矿重金属淋溶特性及风险评价[D].拉萨:西藏大学,2022.

[8] 王敏.铅锌尾矿库重金属淋溶释放机理研究及其渗滤液治理方案设计[D].成都:成都理工大学,2006.

[9] 何明,闫永红,张炽辉.生物法处理重金属废水中氨氮的工艺设计与实践[J].给水排水,2025,61(1):77-83.

[10] 韩永群,田立国,张耀军,等.生物法处理金矿含氰废水同步收金技术研究与应用[J].有色金属(冶炼部分),2024(3):140-147.

[11] 王百祥.生物法处理模拟工业废水及其同步脱氮除硫机制研究[D].广州:华南理工大学,2023.

[12] 吴高宏.进化生物法处理典型有机物和氨氮混合废水的理论及应用研究[D].沈阳:东北大学,2018.

Experimental study on treatment process of leachate from a tailings pond

Shi Yanan¹, Chen Guomin^{2,3}

(1. Fengcheng Water Conservancy Bureau; 2. School of Metallurgy, Northeastern University;
3. Liaoning Tianli Gold Industry Co., Ltd.)

Abstract: To achieve standard-compliant reuse of leachate from a tailings pond, a combined process of A/O and modified SBR was adopted. Based on biological denitrification theory and acclimation of functional microorganisms, process commissioning and system optimization were carried out to address issues such as sludge washout and disintegration in Sedimentation Tank No.2. The combined system achieved efficient removal of total cyanide, COD, and ammonia nitrogen from the leachate. Results show that the effluent concentrations of COD, ammonia nitrogen, and total cyanide consistently met the requirements of DB 21/1627—2008 Integrated Wastewater Discharge Standard. This study provides technical reference for the compliant treatment and reuse of leachate from tailings ponds in the gold smelting industry.

Keywords: leachate from tailings pond; biological denitrification; A/O process; SBR process; process optimization; COD; ammonia nitrogen