doi: 10. 20239/j. issn. 1671-9492. 2026. 09. 012

联通式双砂仓选矿回水-尾砂系统改造及应用

刘　硕,杨福波,刘伟林,孙业友,齐卫东,宋国方
(铜陵有色股份天马山黄金矿业有限公司,安徽 铜陵 244000)

摘　要:选矿回水与尾砂处置是矿山充填系统绿色高效运行的重要环节。安徽某矿山充填系统原有独立双砂仓主要用于贮存选矿回水及选矿尾砂,实际生产中存在溢流水外排损失量大、耗电量高、沉砂流失突出等问题,进一步加重地表蓄水池调蓄负荷与井下排水压力。结合矿山现场生产实际与环保管控要求,在不改动砂仓主体结构基础上,对原有双砂仓实施联通改造,构建“四步循环作业”模式实现回水与尾砂协同调蓄贮存。生产统计数据来源于矿山现场生产台账,以200个生产工作日为统计周期,经济效益核算结果表明,改造前溢流外排量、沉砂损失量、溢流循环量、耗电量分别为165 400 m^3、17 700 t、114 600 m^3、30 672 kWh;改造后对应指标分别为21 000 m^3、2 300 t、259 000 m^3、4 680 kWh。系统正常运行年节约经济效益约183 388元,扣除改造首年管道及人工安装成本后仍可实现经济效益165 388元。该改造仅通过增设联通管路即可提升砂仓蓄水贮砂能力,减少尾砂随溢流流失,提高选矿回水内部循环利用率,缓解蓄水池及井下排水压力,为同类矿山充填系统选矿回水-尾砂协同处置提供可借鉴的工程实践案例。

关键词:充填系统;联通式双砂仓;选矿回水;选矿尾砂;循环利用;经济效益
中图分类号:TD926;TD853　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1671-9492(2026)09-0107-06

Reconstruction and Application of Connected Double Sand Silos for Beneficiation Recycle Water-Tailings System

Liu Shuo, Yang Fubo, Liu Weilin, Sun Yeyou, Qi Weidong, Song Guofang
(Tongling Nonferrous Share Tianmashan Gold Mining Co. , Ltd. , Tongling 244000, Anhui, China)

Abstract: Disposal of beneficiation recycle water and tailings is an important part for the green and efficient operation of mine filling systems. The original independent double sand silos in a mine of Anhui Province are adopted to store beneficiation recycle water and tailings. In practical production, there exist prominent problems including large overflow discharge loss, high power consumption and serious sediment loss, which further increase the regulation load of surface reservoirs and underground drainage pressure. According to on-site production conditions and environmental-protection requirements, the connection reconstruction of double sand silos was carried out without changing the main structure of silos, and a “four-step cyclic operation” mode was established to realize the coordinated storage and regulation of recycle water and tailings. Based on production accounts of the mine with a statistical period of 200 working-days, the economic evaluation shows that before reconstruction, the overflow discharge volume, sediment loss, overflow circulation volume and power consumption are 165 400 m^3, 17 700 t, 114 600 m^3, and 30 672 kWh, respectively; after reconstruction, the corresponding indexes are 21 000 m^3, 2 300 t, 259 000 m^3, and 4 680 kWh, respectively. The annual economic benefit under normal operation is about 183 388 CNY, and it still reaches 165 388 CNY after deducting pipeline and labor installation costs in the first reconstruction year. This simple reconstruction by adding connecting pipelines improves the water-sand storage capacity, reduces tailings loss with overflow and raises the internal recycling rate of beneficiation recycle water. It relieves the pressure of reservoirs and underground drainage, and provides referential engineering practice for coordinated disposal of beneficiation recycle water and tailings in similar mine filling systems.

Key words: filling system; connected double sand silos; beneficiation recycle water; beneficiation tailings; recycling utilization; economic benefit

收稿日期:2025-09-17
基金项目:国家重点研发计划项目(2024YFC3909601)
作者简介:刘　硕(1999—),男,山东菏泽人,硕士,助理工程师,主要从事矿山选矿、矿产综合利用等相关工作。

矿山企业在生产中会产生大量选矿废水，近年来，国家对环境保护重视程度日渐提高。适宜的选矿废水处理及应用方法，是矿山企业实现绿色可持续发展的重要考核标准之一[1]。针对选矿废水，目前我国主流的处理方法包括混凝沉淀法、吸附法、化学氧化法、化学沉淀法、生物降解法、联合工艺法等[2-4]。这些处理方法虽然能较好地净化水质，但存在运行不经济、处理周期长等固有弊端。

近年来，将矿山废水、矿山废料、胶凝材料等混合制备充填料进行井下充填的方法在众多矿山中应用越来越广泛。该方法实现了变废为宝，无需单独处理矿山废水及固废，实现了经济效益与环保要求的和谐统一[5-7]。安徽某矿山生产过程中会产生较大量的选矿作业水，经浓密机处理后，日均进入双砂仓的选矿生产作业水约1 000 m^3，日均处理选矿尾砂约1 500 t。为更好地处理选矿回水及尾砂，矿山采用井下充填系统，系统主要由贮存选矿尾砂的砂仓、水泥灰仓等设备构成。该充填系统将选矿回水、选矿尾砂、水泥及其他胶凝材料混合，制备充填料用于矿山井下充填，真正实现矿山选矿固废与废水资源化。

原有双砂仓相互独立运行，生产过程中回水分配不均，溢流水外排量大，伴随尾砂流失，造成资源浪费，同时增大蓄水池库容以及井下排水负荷。受矿山经济性要求以及固废、废水处理量大等因素影响，充填系统及设备仍需要进一步优化及改进。

本文介绍了安徽某矿山充填工区对砂仓开展的设备优化改造。改造后砂仓提高了溢流水回用率，减少充填尾砂损失，减轻蓄水池及矿山井下排水压力，对矿山绿色环保、节能降耗起到良好的示范作用。

1 充填系统优化方案概述

1.1 设备规格及砂仓简述

1.1.1 设备规格

改造所用砂仓为立式尾砂仓，主要用于贮存选矿回水及选矿尾砂，单仓有效容积800 m^3，仓体直径8 000 mm，直筒段高度15 m，锥底角55°，砂仓总高20.45 m。

1.1.2 砂仓简述

单砂仓结构见图1。由图1可以看出，雷达液位计发射微波信号，依靠微波往返传播时间，实现砂仓内部选矿回水液位的实时监测[8-9]。重锤料位计通过测试重锤匀速垂直下落，当重锤接触沉砂料面发生失重后输出传感信号，以此获取仓内尾砂沉砂料位[10-11]。

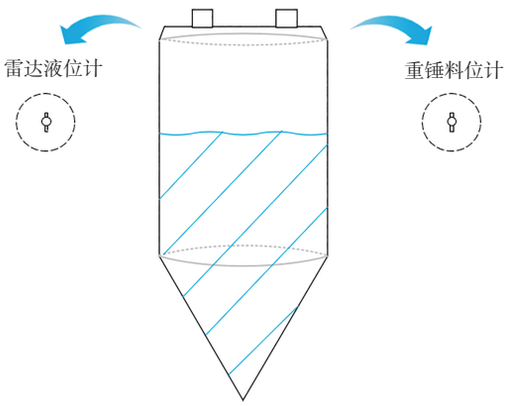


图1 单砂仓示意图

Fig. 1 Schematic diagram of single sand silo

单砂仓俯视图见图2。由图2可以看出，溢流渠为砂仓满仓工况下溢流水的流通通道，溢流渠上开设若干溢流孔洞，溢流水经孔洞及管道汇入下部蓄水池。该溢流结构可及时疏导仓内多余溢流水，避免砂仓超压爆裂，保障砂仓本体运行安全。

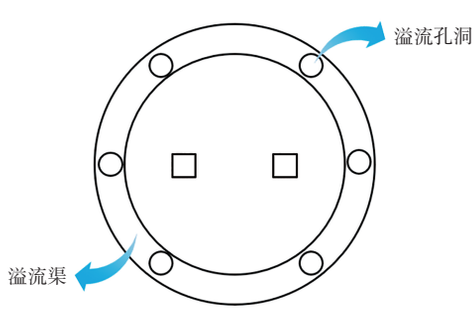


图2 单砂仓俯视图

Fig. 2 Top view of the single sand silo

1.2 优化方案

将原来独立的两个砂仓通过管道进行联通，使原来独立的两个砂仓能共同蓄水。砂仓改造前后对比见图3。

值得一提的是，矿山选矿回水给量多在一个砂仓蓄水量及两个砂仓蓄水量之间，即800～1 600 m^3。在两个砂仓独立时，1号砂仓或2号砂仓独立运行，由于选矿回水分配不均匀，常常有一个砂仓出现溢流的情况，这导致排水量较大，对矿山井下负担也会增加。改造后，联通的1号及2号砂仓可共同蓄水，当其中一个砂仓蓄满时，溢流水可通过联通管流入另一个砂仓。

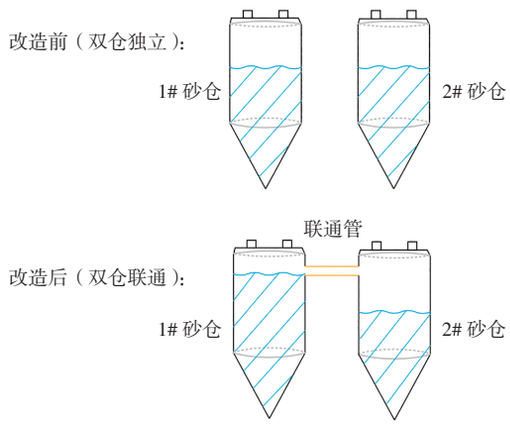


图 3　砂仓改造前后对比

Fig. 3　Comparison before and after the sand silo renovation

2　砂仓水四步循环作业及充填系统

2.1　砂仓水四步循环作业

双砂仓联通改造完成后，形成四步循环作业模式，完成选矿回水贮存缓冲全过程，作业流程见图 4。

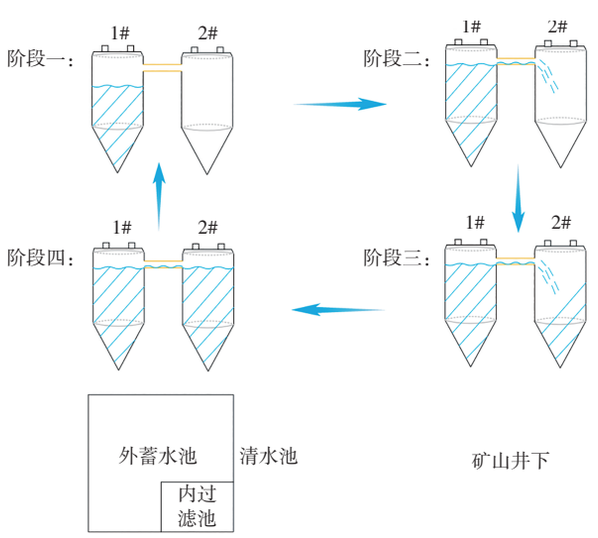


图 4　四步循环作业示意图

Fig. 4　Schematic diagram of the four-step cyclic operation

阶段一：1#砂仓进水，2#砂仓处于预备蓄水状态。选矿回水主要进入1#砂仓，仓内液位随来水量增加逐步抬升，直至液位到达联通管管口位置。

阶段二：1#砂仓液位上升至联通管位置，仓内多余溢流水通过联通管导入2#砂仓，由2#砂仓分担蓄水压力。矿山实际选矿回水来水量多处于800～1 600 m^3，该工况生产中较为常见。双砂仓未联通时，砂仓蓄满后溢流水直接外排，溢流水经泵输送至蓄水池或者井下，增加井下排水成本，同时加速设备、管道腐蚀。联通改造后，溢流水转至另一砂仓内部贮存，减少外排，降低井下蓄水压力。

阶段三：在阶段二基础上，1#砂仓继续接收选矿回水，溢流水不断向2#砂仓转输，双砂仓共同蓄水。双砂仓贮存的选矿回水大部分回用至选矿磨浮工段，相比阶段二，阶段三可贮存更多水量，选矿车间用水紧张时可提供水源保障。

阶段四：1#、2#砂仓均蓄满，蓄水系统达到平衡状态。结合蓄水池蓄存情况、选矿车间用水需求动态调节双砂仓放水闸阀；当蓄水池仍具备富余库容时，开启闸阀向蓄水池转输回水。砂仓蓄满时选矿车间往往用水缺口较大，磨浮工段缺少工艺用水，会对浮选作业及选矿生产指标造成不利影响。阶段四属于临时平衡工况，一般不会长时间维持，砂仓放水供水后系统重新回到阶段一循环。

双砂仓独立运行时，溢流外排会携带部分选矿尾砂，易造成排水管道堵塞、蓄水池积泥。联通改造后双仓缓冲作用使溢流频次下降，尾砂随溢流流失减少，减轻下游管路与蓄水池运行负担。

2.2　充填系统

充填系统的合理配置与稳定运行，是矿山固废、废水处置以及井下充填作业正常开展的重要保障[12-13]。安徽某矿山充填系统简图见图5，由图5可知，系统主要由砂仓、水泥灰仓、混料搅拌桶、蓄水池等单元组成。

联通后的双砂仓接收来自选矿车间300 t蓄水池输送的选矿回水与选矿尾砂，执行上述四步循环作业。砂仓配置造浆水、反冲水、清洗水三路管路；造浆水用于调节仓内尾砂浓度，反冲水扰动沉积尾砂，防止放砂管路堵塞，清洗水用于冲洗管道残留尾砂。当砂仓无法容纳多余选矿来水时，蓄水池起到缓冲蓄水作用，同时蓄水池也为砂仓提供造浆水、反冲水、清洗水工艺水源。

打开砂仓底部铸石球阀，仓内沉积沉砂在反冲水、清洗水作用下，经管道输送进入混料搅拌桶；放砂管路上设置浓度计、流量计分别监测沉砂浓度与流量，调节放砂阀控制沉砂给料量。水泥灰仓通过螺旋给料机向混料搅拌桶定量供给水泥胶凝材料，可根据现场工况调节给料速率。沉砂、水泥、调浆水以及胶凝材料在搅拌桶内充分混合，制备合格充填料，再经由充填泵输送至井下完成充填作业。充填料输送管路同样布置浓度计、流量计，实时监测充填料浓度与流量，充填阀控制充填料供给量。

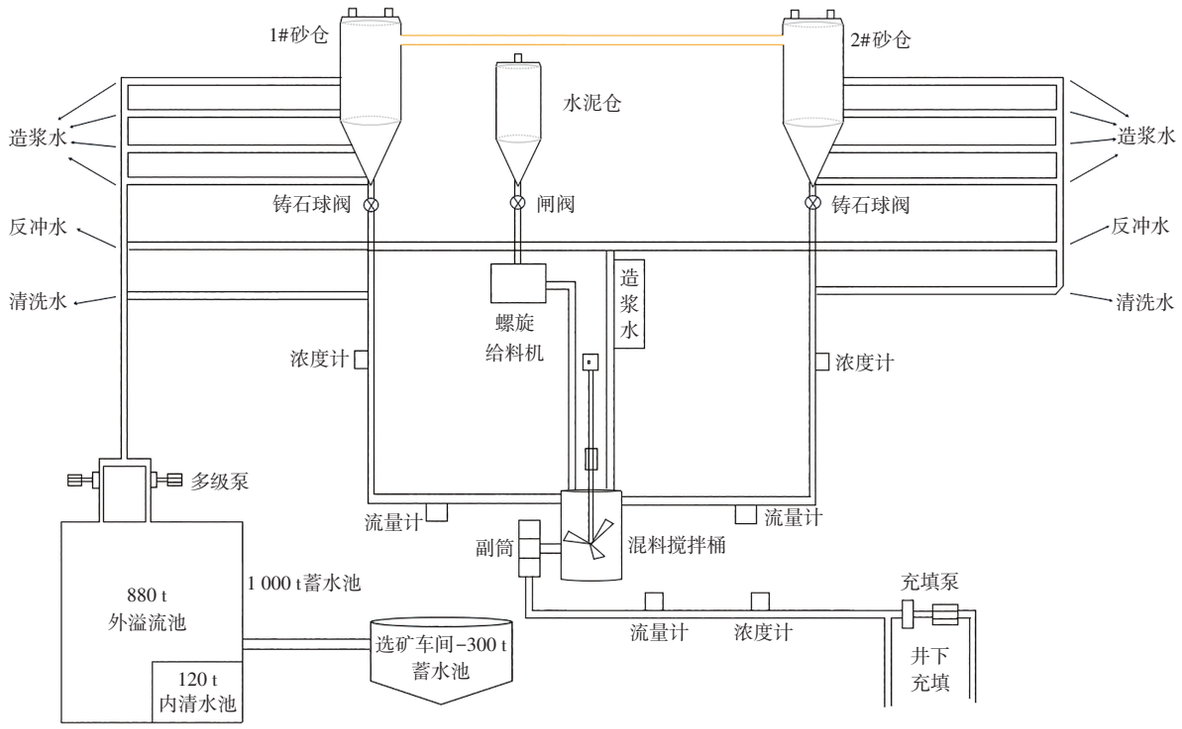


图5 充填系统作业简图

Fig. 5 Simple diagram of the filling system operation

3 经济效益分析

耗电量及耗水量是影响矿山经济效益的重要因素，优化能耗与水耗对矿山安全生产及经济效益具有重要意义[14-16]。以年作业时间200 d计算，改造前后生产统计数据来源于矿山现场生产台账及仪表记录。双砂仓改造前后溢流外排量、沉砂损失量、溢流循环量、电耗统计结果见图6。沉砂损失量依据溢流体积结合溢流尾砂浓度计算得到。

由图6(a)可知，联通改造后，溢流外排量与沉砂损失量均明显降低。改造前，年溢流水外排量为165 400 m^3，改造后降至21 000 m^3。溢流外排减少，溢流携带流失的选矿尾砂随之降低，改造前年沉砂损失量17 700 t，改造后降至2 300 t。尾砂流失量下降，增加充填可用尾砂量，同时满足绿色矿山管控要求。

溢流外排量减少，系统内部溢流循环量得到提升。由图6(b)可知，改造前溢流循环量为114 600 m^3，改造后溢流循环量达到259 000 m^3，循环溢流水供给选矿磨浮工段，保障选矿生产供水稳定。溢流水外排依靠泵组提升输送，外排规模降低直接减少泵类电能消耗。改造前年耗电量为30 672 kWh，改造后降至4 680 kWh，实现充填系统节能降耗。

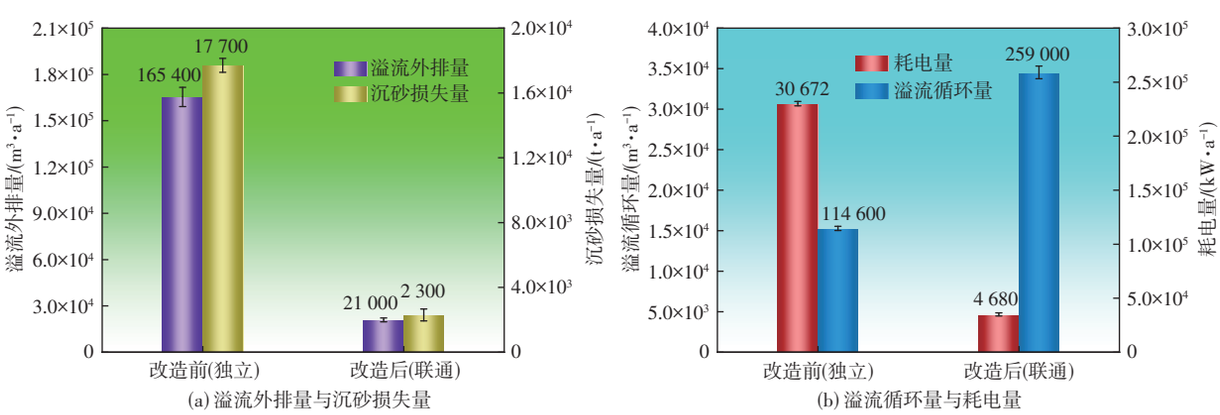


图6 砂仓联通改造前后主要生产指标对比

Fig. 6 Comparison of main production indexes before and after silo connection transformation

回水回用收益按照外排提升、井下排水处理折算成本进行核算；尼龙管单价600元/m，使用长度5 m；PE管单价100元/m，使用长度100 m；管道人工安装成本5 000元。经核算，年回水回用节约效益144 400元，年节电效益38 988元；管道材料总费用13 000元。系统稳定运行年节约经济效益约183 388元；改造第一年扣除管道材料及人工安装成本后，仍可实现经济效益165 388元。

4　结论

1）完成联通改造后的双砂仓采用四步循环作业开展生产运行。阶段一为1#砂仓进水抬升液位，2#砂仓处于预备蓄水状态；阶段一液位达到联通管位置后进入阶段二，1#砂仓多余溢流水通过联通管转输至2#砂仓；阶段三两仓接续协同蓄水，共同分担回水缓冲压力；阶段四双砂仓均达到满液位，结合蓄水池库容、选矿车间用水需求动态调节放水。该作业模式有效减少选矿回水与尾砂向外流失。

2）基于矿山200个生产工作日现场台账统计结果表明：改造前双砂仓溢流外排量、沉砂损失量、溢流循环量、耗电量分别为165 400 m^3、17 700 t、114 600 m^3、30 672 kWh；改造后对应指标为21 000 m^3、2 300 t、259 000 m^3、4 680 kWh。系统稳定运行年直接经济效益约183 388元，改造首年扣除管道材料及人工安装投入后，仍可实现经济效益165 388元。

3）本技改仅通过增设联通管路的简易改造，即可提升双砂仓蓄水贮砂能力，有利于保障选矿磨浮工段供水稳定，改善充填系统运行工况，降低蓄水池调蓄以及矿山井下排水压力，提升矿山综合效益。该改造可为同类矿山充填系统选矿回水-尾砂协同处置提供工程实践参考。

参考文献

[1] 许道刚，韩海生，孟祥松，等. 湖南柿竹园多金属矿选矿废水处理试验研究[J]. 有色金属(选矿部分)，2023(1)：51-56.
Xu Daogang，Han Haisheng，Meng Xiangsong，et al. Experimental study on treatment of mineral processing wastewater from Shizhuyuan polymetallic mine in Hunan[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)，2023(1)：51-56.

[2] 张小娟，孙水裕，杜青平，等. 含松醇油实际选矿废水的COD生物降解[J]. 环境工程学报，2013，7(11)：4241-4245.
Zhang Xiaojuan，Sun Shuiyu，Du Qingping，et al. COD bio-degradation of actual flotation wastewater containing pine oil[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering，2013，7(11)：4241-4245.

[3] 张鑫，刘思，王帅，等. Fenton氧化处理某多金属矿浮选废水试验研究[J]. 有色金属(选矿部分)，2025(3)：116-123.
Zhang Xin，Liu Si，Wang Shuai，et al. Experimental study on treatment of flotation wastewater from a polymetallic ore by Fenton oxidation[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)，2025(3)：116-123.

[4] Ma Hongyan，Jiang Chen，Zhu Xuan，et al. Interaction and selective treatment of lead-zinc flotation wastewater for wastewater recycling using electrocatalytic internal micro-electrolysis[J]. Journal of Cleaner Production，2024，468：142908. DOI：10.1016/j.jclepro.2024.142908.

[5] Xu Futong，Ren Zaixiang. Green mine research and evaluation based on using solid wastes in urbanization for mine filling[C]//IOP Conference Series：Earth and Environmental Science. IOP Publishing，2017，64(1)：012071. DOI：10.1088/1755-1315/64/1/012071.

[6] 曾鹏，曹蔚，赵奎，等. 选矿废水拌合尾砂胶结充填体强度演化规律及声发射特征[J]. 煤炭学报，2024，49(增刊1)：167-181.
Zeng Peng，Cao Wei，Zhao Kui，et al. Strength evolution and acoustic emission characteristics of cemented tailing filling body mixed with mineral processing wastewater[J]. Journal of China Coal Society，2024，49(S1)：167-181.

[7] 王浩，张吉雄，周楠，等. 高浓度尾砂胶结充填体力学及充填工艺参数研究[J]. 煤炭学报，2023，48(增刊2)：541-550.
Wang Hao，Zhang Jixiong，Zhou Nan，et al. Study on mechanics and filling process parameters of high-concentration tailings cemented backfill[J]. Journal of China Coal Society，2023，48(S2)：541-550.

[8] 冯锋. 浅谈雷达液位计故障处理与分析[J]. 石油化工自动化，2023，59(增刊1)：104-105.
Feng Feng. A brief discussion on fault handling and analysis of radar level gauges[J]. Automation in Petro-Chemical Industry，2023，59(S1)：104-105.

[9] 张超. 雷达液位计在液氨球罐中的应用研究[J]. 机械管理开发，2023，38(1)：295-296.
Zhang Chao. Application of radar level meter in liquid ammonia spherical tank[J]. Mechanical Management and Development，2023，38(1)：295-296.

[10] 赵群润，周军力，高燕. 重锤式料位计在粉状料仓的应用[J]. 山东化工，2021，50(10)：118-119.
Zhao Qunrun，Zhou Junli，Gao Yan. The application of

the heavy hammer type level gauge in powder silos[J]. Shandong Chemical Industry, 2021, 50(10): 118-119.

[11] 杨中兴. 重锤料位计原理及其固件程序设计[J]. 传感器世界, 2018, 24(5): 35-39.
Yang Zhongxing. Principle of heavy hammer level meter and its firmware program design[J]. Sensor World, 2018, 24(5): 35-39.

[12] 石教华, 毕成, 吴爱祥, 等. 自动化数字矿山膏体充填系统升级改造及应用[J]. 黄金, 2024, 45(8): 33-39, 45.
Shi Jiaohua, Bi Cheng, Wu Aixiang, et al. Upgrading and application of the automated digital mine paste filling system[J]. Gold, 2024, 45(8): 33-39, 45.

[13] 余健, 李辉, 李浩, 等. 谦比希铜矿主西矿体膏体充填系统技术改造[J]. 矿业研究与开发, 2023, 43(4): 18-22.
Yu Jian, Li Hui, Li Hao, et al. Technical transformation of paste filling system of main-western ore body in Chambishi copper mine[J]. Mining Research and Development, 2023, 43(4): 18-22.

[14] 高志勇, 连民杰. 六维矿山建设之效益可观[J]. 现代矿业, 2023, 39(2): 1-7.
Gao Zhiyong, Lian Minjie. The significant benefits of six-dimensional mines construction[J]. Modern Mining, 2023, 39(2): 1-7.

[15] 柳晓娟, 侯华丽, 武强, 等. 绿色矿山经济效益核算理论与实证: 以矿井充填开采技术为例[J]. 中国矿业, 2022, 31(9): 61-67.
Liu Xiaojuan, Hou Huali, Wu Qiang, et al. Theory and empirical study on green mine economic benefit accounting: taking the filling mining technology of coal mine as an example[J]. China Mining Magazine, 2022, 31(9): 61-67.

[16] 赵鸣, 刘建, 曹孟涛. 基于集成学习的矿山生产能耗异常预警模型[J]. 采矿与岩层控制工程学报, 2025, 7(2): 102-109.
Zhao Ming, Liu Jian, Cao Mengtao. Early-warning model for mine production energy consumption anomaly based on ensemble learning[J]. Journal of Mining and Strata Control Engineering, 2025, 7(2): 102-109.

(本文编辑 刘水红)