

某 6000 t/d 铜多金属选矿厂 I 段磨矿分级系统改进与实践

高天龙, 艾立胜

(凉山矿业股份有限公司, 四川 会理 615146)

摘要: 超低品铜多金属矿是国内铜矿石资源的重要组成部分, 该类型矿石自身赋存品位较低、回收难度较大, 同时选别工艺指标要求较高、生产成本较高。针对某超低品位铜多金属矿 6000 t/d 选矿厂 I 段磨矿分级系统运转率不足的问题, 通过系统性的工艺技术改造、设备技术改造、生产精准化管理等, I 段磨矿分级系统运转率由 90.29% 提高到 97.27%、提高近 7 个百分点; 选矿厂年处理量提高 15 万 t 以上, 有效回收铜金属 300 t/a、铁金属 8500 t/a、钼金属 15 t/a, 产生经济效益超过 2500 万元/a; 达到了提高磨矿技术指标同时增加生产效益的目的。

关键词: 超低品位; 铜多金属矿; 磨矿系统改进; 精准化管理; 提质增效

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.01.025

中图分类号: TD981 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 01-0179-05

在工业生产中, 磨矿分级是最常见的工作, 广泛的应用于几乎所有的选矿厂。从选矿工艺角度看, 磨矿分级作业是破碎作业的继续, 也是选别之前物料准备工作的重要组成部分, 磨矿作业所消耗的动力站选矿厂动力总消耗的 30% 以上, 磨矿作业在选矿工艺流程中占有重要的地位^[1]。因此, 提高磨矿系统运转率, 提高磨矿技术指标同时增加生产效益具有十分重要的意义。某 6000 t/d 选矿厂原料主要来源于四川某露天矿区采矿剥离产生的剔夹石及早期采矿丢弃的部分矿山废石。入选矿石品位铜 0.214%, 钴 0.01%, 钼 0.009%, 铁 11%, 为低于工业边界品位的铜多金属矿石, 为满足有价金属综合回收产品质量要求, 需要根据铜、钴、钼、铁四种元素其工艺矿物学性质^[2]的不同, 采用阶段磨矿阶段选别工艺。本文主要是针对 I 段磨矿分级系统的改进、实践、指标提高及生产效益提高进行论述。

1 选矿厂生产现状

某超低品位铜多金属矿选矿厂 I 段磨矿分级作业给矿产品粒度-12 mm, 采用 I 段磨矿一次分

级闭路流程, 选别作业要求磨矿细度为-0.074 mm 60%。选用 MQY3600 mm×6000 mm 溢流型球磨机配 ϕ 500 mm 水力旋流器组成闭路磨矿。该流程是目前国内外使用的常规流程, 流程相对简单, 适应性强, 生产稳定可靠, 可获得较细的磨矿产品。工艺流程见图 1 虚线框。

2 I 段磨矿分级系统在生产中存在问题

2.1 磨矿工艺流程中存在的主要问题

(1) 选矿厂生产中发现 I 段磨矿分级系统运转率 90% 左右, 持续低于同类选矿厂平均运转率 6~7 个百分点。

(2) 单一提高 I 段磨矿分级系统运转率, 不能保证磨矿产品细度及处理量等指标, 即不能保证球磨机处理能力达到设计要求的 125 t/h、磨矿细度小型连选实验^[3]要求 I 段磨矿产品细度-0.074 mm 60%。

2.2 分析影响 I 段磨矿分级系统运转率原因及解决方案

统计选矿厂历年运转情况, 包括运转率、各类停车原因及时间、计算停车时间算数平均数,

收稿日期: 2020-04-27; 改回日期: 2021-01-20

作者简介: 高天龙 (1985-), 男, 工程师, 选矿工艺、选矿药剂、矿山建设项目管理、矿山企业安全环保管理等。

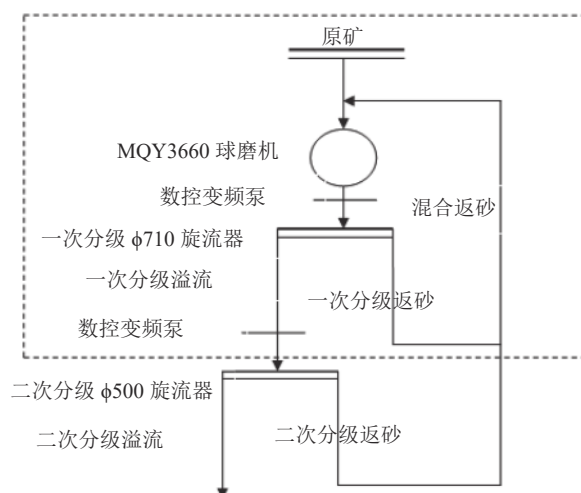


图1 一段磨矿二次分级工艺流程
虚线框为原磨矿分级工艺流程

Fig.1 Flow chart of secondary grading process for grinding

进一步计算停车时间占比，具体见表1。由表1看出，I段磨矿分级系统运转率不足，主要原因为无矿、无水、无电、尾矿输送故障、检修及其他6类；一般情况下，无矿、无水、无电及其他4类属于客观原因且不可克服，停车时间占比16%以下；尾矿输送故障及检修两类主观原因造成停车时间占比在84%以上，通过工艺技术改造、设备技术改造及生产精细化管理等，降低尾矿输送故障及检修停车时间，从而提高系统运转率，具有良好的工作前景。

针对I段磨矿分级系统产品细度及处理量等指标保持或提高，须通过磨矿工艺流程技术流程改造，钢球添加制度变更、生产精细化管理^[4-9]等，解决此方面的问题。

表1 选矿厂历年（2012~2018年度）运转情况统计

Table 1 Statistical table of the operation of the concentrator over the years (2012-2018)

磨矿机运转情况	单位	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	算术平均	各类停车时间比例/%	备注
运转率	%	90.29	91.77	92.27	93.80	94.21	95.89	97.27	93.64	-	
停车原因及时间	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
无矿	h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
无水	h	4.15	0.00	4.35	6.35	3.40	34.45	0.00	7.53	0.55	客观原因
无电	h	18.40	578.50	322.15	5.10	6.55	109.50	137.50	168.24	12.32	
尾矿输送	h	0.00	0.00	28.05	116.02	0.00	0.00	0.00	20.58	1.51	主观可改进
检修	h	1955.10	1285.00	1053.10	931.30	949.55	912.25	807.45	1127.68	82.55	
其他	h	45.50	43.10	16.35	34.55	54.30	37.05	63.30	42.02	3.08	客观原因
停产总时间	h	2023.15	1906.60	1424.00	1093.32	1013.80	1093.25	1008.25	1366.05	100.00	

3 I段磨矿分级系统在产中存在问题解决方案实施

3.1 I段磨矿分级工艺技术改造及生产效率提高

对选矿车间I段磨矿分级工艺流程的第一次技术改造是将分级设备 $\phi 500$ mm水力旋流器组4*4变为当时全国最大规格型号 $\phi 710$ mm水力旋流器组1*1；对I段磨矿分级工艺流程的第二次技术改造是改变磨矿分级工艺流程，同时完成设备变更，在不改变原有磨矿作业次数的基础上对一次分机溢流产品进行二次分级，提高磨矿细度。磨矿分级工艺以一次磨矿、两次分级形成闭路循环，均可根据生产需要独立使用或联合使用，从而达到在不降低磨矿处理量或新增磨矿设备的情况下达到适度提高磨矿细度的目的。I段磨矿第二次分级使用设备为第一次技改更换下来的 $\phi 500$ mm水力旋流器组4*4，增加二次分级给

矿设施设备如变频渣浆泵、泵池、管道等，其余设备不变更，具体流程见图1。由此形成I段磨矿二次分级工艺^[10-11]，磨矿细度由52%提高到60%，提高8个百分点，磨矿处理量达到125 t/h以上，保证细度及处理量等指标达到生产要求。

3.2 I段磨矿分级系统设备运转率提高

选矿厂I段磨矿分级系统正常生产中设备运转率为90.29%，生产技术考察得出结论设备运转率还有提升空间。分析原因可知I段磨矿工艺流程相关设备在生产过程中磨损严重，设备部件材质不符合要求，耐磨性不足，导致经常维修、检修或尾矿输送故障，影响生产效率。针对此类问题可更换为耐磨性更高的部件如耐磨陶瓷内衬管道及弯头、球磨机后端给料器改进、前段排矿口添加挡球格网等，使磨矿设备运转率大幅改善。

3.2.1 I段磨矿分级系统易磨损设备部位改造

针对I段磨矿分级系统相关设备磨损严重、

设备部件材质不符合要求、耐磨性不足等问题,更换为耐磨性更高的部件;如球磨机给矿皮带输送机下矿漏斗内部铺设球磨机检修更换下来的已经磨损但有回收再利用价值的锰钢衬板,提高下矿漏斗耐磨性及使用周期;矿浆输送管道及弯头均更换为内部有陶瓷耐磨层的钢管,防止管道及弯头磨穿后造成生产停车;分级设备水力旋流器内部部件及沉沙嘴更换为陶瓷耐磨部件,提高分级设备使用寿命及磨矿指标稳定性。

3.2.2 I段磨矿分级系统磨矿设备球磨机技术改造

(1) 球磨机衬板技术改进, I段磨矿分级系统磨矿设备 MQY3600 mm×6000 mm 溢流型球磨机,端盖衬板厚度 120 mm、筒体衬板厚度 100 mm,筒体衬板结构为梯形;正常生产发现以下问题:

a.球磨机筒体衬板使用周期为 8 个月,而端盖衬板使用周期为 10 个月,使用寿命不同步,球磨机衬板更换需要在停车状态下花费 72 h 以上;

b.球磨机筒体梯形结构衬板使用在矿量轻微波动时,磨矿介质钢球砸到梯形衬板上产生强烈冲击和很大的噪声,检查筒体衬板发现梯形面与钢球接触面磨损严重、生产统计发现磨矿介质钢耗增加、磨矿技术指标检测发现磨矿产品粒级分布及细度不符合生产要求;

c.衬板结构设计不合理,在筒体衬板与端盖衬板结合处有空档、球磨机正常生产中空档处矿浆形成涡流,对球磨机筒体冲刷磨损严重。

结合球磨机衬板做出如下改进: a.决定将球磨机筒体衬板形状由梯形改为波形^[12],提高磨矿产品质量、降低磨矿介质钢耗、减少衬板磨损及噪声等; b.减小端盖衬板半径,加长与端盖衬板接触处筒体衬板长度,安装衬板形成倒“L”结构,将原设计不合理的衬板安装空档封堵,同时衬板与球磨机筒体接触面加耐磨橡胶垫层,防止矿砂、矿浆等冲刷形成新的磨损点,提高球磨机筒体使用寿命; c.将端盖衬板厚度^[13]增加至 140 mm,将筒体衬板厚度增加至 120 mm,使筒体衬板及端盖衬板使用寿命同时达到 12 个月左右,由此球磨机衬板在年终检修期间一次更换,减少球磨机衬板更换时间,提高球磨机运转时间。

(2) 球磨机进料弯管技术改造, I段磨矿分级系统磨矿设备 MQY3600 mm×6000 mm 溢流型球磨机进料端弯管在正常生产中弯管最大弧度处磨损严重、容易磨穿,使用寿命 4 个月,每次更

换需停车 4 h 以上;通过对进料完成进行创新型设计^[14],即在弯头最大弧度处设计矿砂缓冲区,矿砂流经此区域不直接与进料弯头内表面接触从而延长使用寿命至 8 个月以上,每年节约成本 20 万以上。

(3) 球磨机出料口技术改造, I段磨矿分级系统磨矿设备 MQY3600 mm×6000 mm 溢流型球磨机出料口存在的主要问题是: a.出料端内部反螺旋结构受材质及参数影响,磨损严重,容易导致磨矿介质流出; b.受处理矿量、矿浆浓度等指标波动影响,容易使磨矿介质钢球随矿浆流出球磨机,造成的后果是矿浆输送设备渣浆泵叶轮、泵壳、矿浆管道、搅拌桶搅拌机叶轮等设备部件磨损严重,使用寿命缩短,影响正常生产,最严重的后果是渣浆泵叶轮高速运行中与钢球摩擦碰撞损坏无法使用、导致生产设备事故停车。

球磨机出料端技术改造: a.球磨机出料端内部反螺旋结构技术改造,将材质更换为球磨机筒体衬板相同材质的耐磨材料锰钢,将反螺旋螺纹增高 100 mm,提高反螺旋结构使用寿命,减少磨矿介质钢球流出; b.对出料端排矿口位置技术改造是添加耐磨材质锰钢格网,网孔为半圆弧形,网格宽度 15 mm 以下、长度 200~50 mm 不等;即将溢流型球磨机改为类格子型球磨机^[15-17],杜绝 12 mm 以上磨矿介质钢球流出,减少或杜绝相关设备及部件磨损甚至生产设备事故,延长相关设备使用寿命,从而提高磨矿分级系统运转率。

(4) I段磨矿分级系统其他技术改造: a.磨矿介质钢球由人工添加,添加平台设计不合理,钢球通过直径 150 mm 钢管改装、分段开孔而成的倾斜溜槽添加至皮带输送机后随矿砂一同进入球磨机内部,钢管溜槽直径小容易造成堵塞、部分钢球从钢管上部观察口飞出后掉入皮带走廊,平台至皮带走廊地面高 2 m 以上,极易造成物体打击或高空坠物安全事故; b. I段磨矿分级系统皮带输送机四周无安全防护装置,员工工作期间容易发展安全事故; c.球磨机给矿皮带输送机计量装置不准确,容易造成生产指标波动; d.本地区受气候影响,在雨季,球磨机给矿物料含水率升高,细粒级粉矿砂板结在运输皮带上,容易造成皮带打滑、跑偏及负荷加大等不正运行工况;在风季,球磨机给矿物料扬尘严重,影响厂区职工身体健康。

解决方案: a.对磨矿介质钢球添加平台及溜槽

重新设计,在平台四周添加高度 150 mm 围边,将钢管溜槽改为漏斗形装置、与球磨机给料下矿漏斗类似,前端设计为弯管形,弯管朝向与皮带输送机前进方向一致,有利于钢球添加时减速及杜绝钢球飞出造成安全事故;b.在皮带输送机两侧及尾轮实施物理隔离,即添加可拆卸的防护栏、防护罩^[18],杜绝皮带输送机安全事故;c.皮带输送机计量装置引进先进的电子计量装置,通过标准砝码校核后投入使用,减少指标波动;d.针对皮带粉矿板结情况,在皮带首轮、尾轮附近安装刮泥板,将细粒泥沙矿粉等集中回收,减少不良工况,提高设备使用效率;针对风季天磨矿作业给物料扬尘问题,延皮带走廊安装生产水管及喷淋系统洒水降尘,维护厂区职工身体健康。

4 结 论

(1) 在 I 段磨矿分级系统中,针对传统工艺出现的磨矿作业磨矿细度不足的创新性技术改造是在不改变原有磨矿作业次数的基础上对一次分机溢流产品进行二次分级,提高磨矿效率、提高磨矿细度,保证生产指标。

(2) 生产中 I 段磨矿分级系统正常运转率为 90.29%,针对 I 段磨矿工艺流程相关设备在生产过程中磨损严重,设备部件材质不符合要求,耐磨性不足,导致经常维修、检修,影响生产效率等问题,通过系统性技术改进,如引进及使用耐磨性更高的部件如耐磨陶瓷内衬管道及弯头、球磨机后端给料器创新型改进、前端排矿口添加挡球格网、球磨机衬板改进等,使磨矿设备运转率由 90.29% 提高到 97.27%,提高 7 个百分点,为生产指标完成提供坚实保障。

(3) 通过小改革、小发明降如钢球添加平台及溜槽重新设计,皮带输送机安装防护网、刮泥板、洒水降尘系统等,降低安全环保风险,保障员工身体健康,履行企业主体责任。

(4) I 段磨矿分级系统通过系统性的选矿工艺及设备技术改造,设备运转率提高;选矿厂年处理量提高 15 万 t,有效回收铜金属 300 t/a、铁金属 8500 t/a、钼金属 15 t/a,产生经济效益超过 2500 万元/a;达到了提高磨矿技术指标同时增加生产效益的目的,同时具有良好的社会效益,具有较强的可推广性。

参考文献:

- [1] 谢广元. 选矿学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2016: 81-101.
- [2] XIE G Y. Beneficiation [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2016: 81-101.
- [3] 周乐光. 工艺矿物学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007, 1: 223-241
- [4] ZHOU L G. Process mineralogy [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2007(1): 223-241.
- [5] 周强. 会理县马鞍山矿山废石综合利用有限责任公司矿山废石综合利用工程可行性研究报告 [R]. 昆明: 昆明有色设计研究院. 2006.10: 21-24.
- [6] ZHOU Q. Feasibility study report of mine waste rock comprehensive utilization project of Huili Maanping Mine waste rock comprehensive utilization Co., Ltd. Kunming: Kunming Nonferrous Design Institute.; 2006, 10: 21-24.
- [7] 蔡爽, 蔡威, 滕桂平, 等. 矿浆浓度及粒度组成对某锌浸出渣分离粒度及磨矿参数的影响 [J]. 矿产综合利用, 2018(4):46-49+36.
- [8] CAI S, CAI W, TENG G P, et al. Effect of slurry concentration and grain size composition on separation size and grinding parameters of a zinc leaching slag [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2018(4):46-49+36.
- [9] 李炼, 戴思行, 王飞洋, 等. 改善赤铁矿磨矿效果的试验研究 [J]. 矿产综合利用, 2019(1):61-65.
- [10] LI L, DAI S X, WANG F Y, et al. Experimental study on improving hematite grinding efficiency [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(1):61-65.
- [11] 郭运鑫, 肖庆飞, 黄胤淇, 等. 提高永平铜矿一段球磨磨矿效率的研究 [J]. 矿产综合利用, 2019(4):135-138.
- [12] GUO Y X, XIAO Q F, HUANG Y Q, et al. Study on improving the efficiency of ball grinding in the first section of Yongping copper mine [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(4):135-138.
- [13] 王晨晨, 黄朝德, 付金涛, 等. 青海某铅锌矿磨矿动力学试验研究 [J]. 矿产综合利用, 2020(1):59-61.
- [14] WANG C C, HUANG C D, FU J T, et al. Experimental study on grinding dynamics of a lead-zinc ore in Qinghai Province [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(1):59-61.
- [15] 王肖江, 肖庆飞, 沈传刚, 等. 武山铜矿磨矿介质与矿石力学性质匹配性研究 [J]. 矿产综合利用, 2016(4):56-60.
- [16] WANG X J, XIAO Q F, SHEN C G, et al. Study on the matching between grinding medium and mechanical properties of ore in Wushan copper mine [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2016(4):56-60.
- [17] 邓禾淼, 肖庆飞, 黄胤淇, 等. 优化介质制度提高中矿再磨

作业质量的试验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(6):37-40+32.

DENG H M, XIAO Q F, HUANG Y Q, et al. Experimental study on improving the quality of intermediate regrinding operation by optimizing medium system[J]. Multi-purpose Utilization of Mineral Resources, 2019(6):37-40+32.

[10] 高天龙, 韩江峰. 某超低品位铜多金属矿磨矿分级工艺改进与实践[J]. 矿冶, 2018(S2): 102-107.

GAO T L, HAN J F. Improvement and practice of grinding and classification process for an ultra-low grade copper polymetallic ore [J]. Mining and Metallurgy, 2018(S2): 102-107.

[11] 吴莉娟, 艾立胜, 董大刚, 等. 一种磨矿二次分级系统: CN205146435U [P]. 2016: 4-13.

WU L J, AI L S, DONG D G, et al. A grinding secondary classification system: CN205146435U [P]. 2016: 4-13.

[12] 王继生, 卢建坤, 马伟, 等. 衬板形状对大型球磨机磨矿效率的影响[J]. 矿山机械, 2013, 41(8):68-72.

WANG J S, LU J K, MA W, et al. Influence of lining plate shape on grinding efficiency of large ball mill[J]. Mining & Processing Equipment, 2013, 41(8):68-72.

[13] 田秋娟, 郝万军, 邓立营, 等. 衬板的设计参数对球磨机磨矿效果的影响[J]. 矿山机械, 2010, 38(9):73-76.

TIAN Q J, HAO W J, DENG L Y, et al. Influence of design parameters of lining plate on grinding effect of ball mill[J]. Mining & Processing Equipment, 2010, 38(9):73-76.

[14] 艾立胜, 吴莉娟, 董大刚, 等. 一种尾矿管道连接处用耐

磨设备: CN205155456U [P]. 2016-04-13.

AI L S, WU L J, DONG D G, et al. A Wear Resistant Equipment for Tailings Pipeline Connection: CN205155456U [P]. 2016-04-13.

[15] 许有国, 冯俊飞. 溢流型球磨机改造为格子型球磨机的应用实践[J]. 现代矿业, 2016, 32(10):202-203.

XU Y G, FENG J F. Application practice of transforming overflow type ball mill into lattice type ball mill[J]. Modern Mining, 2016, 32(10):202-203.

[16] 王东言, 刘涛. 溢流型球磨机改造为格子型球磨机的生产实践[J]. 现代矿业, 2013, 29(12):167.

WANG D Y, LIU T. Production practice of reforming overflow ball mill into grid ball mill[J]. Modern Mining, 2013, 29(12):167.

[17] 鄢富坤, 肖庆飞, 罗春梅. 现阶段我国磨矿设备的研究进展及发展方向[J]. 矿产综合利用, 2013(2):12-16.

YAN F K, XIAO Q F, LUO C M. Research progress and development direction of grinding equipment in China at present stage[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2013(2):12-16.

[18] 高天龙, 韩江峰. 某超贫铜多金属矿山依托管理提高本质安全实践[J]. 有色金属科学与工程, 2019, 10(4):100-105.

GAO T L, HAN J F. Practice of improving intrinsic safety of an ultra-poor copper-polymetallic mine relying on management[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2019, 10(4):100-105.

Improvement and Practice of Grinding System in Section I of a 6000 t/d Copper Polymetal Concentrator

Gao Tianlong, Ai Lisheng

(Liangshan Mining Co., Ltd, Huili, Sichuan, China)

Abstract: Ultra-low-grade copper polymetallic ore is an important component of domestic copper ore resources. This type of ore has a low storage grade and is difficult to recycle. Meanwhile, it requires higher processing index requirements and higher production costs. Aiming at the problem of insufficient operation rate of I-stage grinding classification system in 6000 t/d concentrator of an ultra-low grade copper polymetallic ore, the operation rate of I-stage grinding classification system was raised from 90.29% to 97.27% and increased by nearly 7 percentage points through systematic technological transformation, equipment technical transformation production precision management; The annual treatment capacity of the concentrator is increased by more than 150,000 tons, and the effective recovery of copper metal is 300 t/a, iron metal is 8500 t/a, molybdenum metal is 15 t/a, and the economic benefit is more than 25 million yuan/a. It achieves the aim of improving the technical index of grinding and increasing the efficiency of production.

Keywords: Ultra-low grade; copper polymetallic ore; improvement of grinding system; precise management; quality improvement and efficiency