

某铜渣选矿厂球磨机节能技改应用

华春林¹, 吕旭龙^{1,2}, 林巨龙¹, 曹彬章¹, 温志森¹, 迟晓鹏³

(1. 紫金铜业有限公司, 福建 上杭 364200; 2. 福建省铜绿色生产及伴生资源综合利用重点实验室, 福建 上杭 364200;
3. 福州大学紫金地质与矿业学院, 福建 福州 350108)

[摘要] 某铜渣选矿厂采用半自磨+球磨的磨矿工艺流程,球磨机采用中信重工的 $\phi 5.03 \times 7.5$ m溢流型球磨机,日常生产中球磨机的电耗占到全厂总电耗的40%以上。通过一系列的技改优化:磨机衬板优化改造、磨机电机更换改造、磨矿介质优化替代、一段溢流快速浮选技改,有效地降低了球磨机的吨矿电耗,磨机吨矿电耗从27.27 kW·h降低至20.71 kW·h,吨矿电耗下降6.56 kW·h。按年处理渣量75万t、电费0.55元/kW·h计算,一年可节约电量492万kW,电费约270.6万元,获得较好经济效益。

[关键词] 铜渣;溢流型球磨机;电耗

[中图分类号] TD453

[文献标志码] A

[文章编号] 1003-8884(2023)06-0071-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.06.014

0 引言

火法炼铜是我国产铜的主要方式^[1],其主要针对的是硫化铜矿。火法炼铜工艺中的熔炼、吹炼以及精炼都会产生铜渣^[2]。现实生产中,根据工艺的不同,人们将冶炼过程中产生的炉渣划分为闪速炉渣、转炉渣、反射炉渣、电炉渣等等^[3]。某铜渣选矿厂主要处理铜冶炼产生的闪速炉渣和转炉渣,是两种性质稳定的“人造矿石”^[4]。随着铜资源的日益枯竭,从铜冶炼炉渣中尽可能地回收铜、铁等有色金属成为了越来越多研究者的共识^[5-6]。目前,铜渣处理方法主要有选矿、火法贫化、湿法浸出三大类^[7]。渣选矿法是当前铜渣处理的主要方法,其不仅能耗低、效率高,而且后续可以利用磁选回收炉渣中的铁,提高资源综合回收。渣选矿法回收铜,可获

得20%以上的铜精,尾渣含铜量仅在0.2%~0.5%,回收率能够达到90%以上^[8]。

某铜渣选矿厂采用浮选法回收炉渣中的铜,年处理铜渣约75万t,该厂在破碎和磨矿流程中,破碎采用颚式破碎机一段开路流程,磨矿采用二段磨矿闭路流程,颚式破碎机破碎后的炉渣经 $\phi 5.03 \times 5.0$ m格子型半自磨机和 $\phi 5.03 \times 7.5$ m溢流型球磨机磨矿后,合格的粒级进行后续浮选作业。在实际生产过程中,两台磨机的电耗占选矿厂总电耗的近70%,特别是溢流型球磨机电耗占到选矿厂总电耗的40%以上。球磨机是固体物料细化制粉的重要设备^[9],广泛应用于矿山、冶金、水泥、建筑、国防工业等部门。随着国家提出的“双碳”要求,节能降耗成为发展主旋律,目前研究球磨机的节能降耗是一个热点问题^[10-11]。对于渣选矿厂降低球磨机电耗是实现该厂降本增效的重要措施。通过一系列的生产技改实践,有效地降低了本厂炉渣选矿生产中所用的球磨电耗,为国内同类型铜渣选矿厂球磨机降低电耗提供参考。

1 磨机的电耗降低

1.1 球磨机初始情况

中信重工 $\phi 5.03 \times 7.5$ m溢流型球磨机,主要进行二段磨矿,使得炉渣细度达到 $-45 \mu\text{m}$ 占80%以上。在未进行优化技改之前,球磨机筒体和进出料端使用高锰钢衬板,基本参数见表1;球磨机电机使

[收稿日期] 2023-10-26

[第一作者] 华春林(1987—),男,福建上杭人,工程师,大学本科,主要从事有色金属选矿研究与管理工,现任紫金铜业有限公司选矿厂厂长。

[通信作者] 吕旭龙(1992—),男,内蒙古鄂尔多斯人,工程师,硕士,主要从事有色金属选矿研究与生产工作,现任紫金铜业有限公司选矿厂副厂长。

[基金项目] 国家自然科学基金项目(52274349);福建省青年基金项目(2023J05024)

[引用格式] 华春林,吕旭龙,林巨龙,等.某铜渣选矿厂球磨机节能技改应用[J].有色设备,2023,37(6):71-75.

用 YRKS800-6 异步电机,基本参数见表 2;日常生产中球磨机添加 $\phi 50$ mm 的锻造钢球,钢球参数见表 3。在未进行技改优化之前,统计了球磨机吨矿平均电耗为 27.27 kW·h。

1.2 降低球磨机电耗的措施

球磨机的电耗占到选矿厂总电耗的 40% 以上,随着电价的不断上调,降低球磨机电耗对整个选矿厂生产成本意义重大,参考相关文献研究,从以下四

表 1 球磨机高锰钢衬板参数

项目	型号	数量/个	单个重量/kg	总重/t
筒体衬板	A 型	64	247	15.808
	B 型	224	245	54.880
端衬板	A 型	36	440	15.840
	B 型	36	414	14.904
	C 型	36	470	16.920

表 2 球磨机电机参数

项目	型号	额定功率/ kW	电源频率/ Hz	额定电流/ A	绝缘等级	防护等级	转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	冷却方式
参数	YRKS800-6	3 000	50	209	F	IP54	994	空-水冷

表 3 锻造钢球参数

项目	规格/mm	体积密度/ ($g \cdot \text{cm}^{-3}$)	球耗/($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)	硬度/HRC	每吨价格/元
锻造钢球	50	7.85	0.35	≥ 57	6 900

方面进行了优化技改,以降低球磨机的生产电耗。

1.2.1 更换球磨机衬板

球磨机通过电机带动筒体旋转,靠磨机内部研磨体冲击和磋磨做功,对物料进行研磨细化。因此,减轻筒体转动时的重量,可以减少能耗。球磨机衬板由原来沉重的锰钢衬板改为较轻的橡胶衬板,减轻了重量,达到了节电的效果。橡胶衬板参数如表 4,锰钢衬板和橡胶衬板使用数据对比见表 5。

表 4 球磨机橡胶衬板参数

项目	型号	数量/个	单个重量/kg	总重/t
筒体衬板	A 型	224	68	15.232
	B 型	224	21	4.704
端衬板	A 型	36	267	9.612
	B 型	36	110	3.960

由表 1、表 4、表 5 可知,球磨机衬板由锰钢改为橡胶后,球磨机筒体衬板的重量减少 50.752 t,前后端衬板重量减少 34.092 t,共减轻磨机重量 84.844 t。橡胶衬板质量轻,易安装,不需要特殊工具,比较

表 5 锰钢衬板和橡胶衬板使用数据对比

项目	锰钢衬板	橡胶衬板
使用周期/月	24	24
衬板总重量/t	118.352	33.508
磨矿细度($-45 \mu\text{m}$ 含量)/%	46~51	45~50
旋流器溢流细度($-45 \mu\text{m}$ 含量)/%	80~83	80~83
合计处理矿量/t	1 361 102.61	1 353 864.88
合计用电量/ $\text{kW} \cdot \text{h}$	37 117 268.22	34 632 648
球磨吨矿电单耗/ $\text{kW} \cdot \text{h}$	27.27	25.58

方便,降低了更换衬板的时间;同时在使用橡胶衬板后,大大减少了磨机运转时的噪音,改善了工作环境;在橡胶衬板使用的 2 年内,吨矿电耗由 27.27 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 降低至 25.58 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

1.2.2 更换球磨机主电机

球磨机主电机使用的是建厂时的 YRKS800-6 异步电机,使用年限较久,存在一定老化,导致效率下降,通过更换磨机电机,提高电机效率达到省电效果,新电机参数见表 6,新旧电机运行情况见表 7。

表 6 球磨机新电机参数

项目	型号	额定功率/ kW	电源频率/ Hz	额定电流/ A	绝缘等级	防护等级	转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	冷却方式
参数	YRKK800-6	3 150	50	220	F	IP54	990	空-空冷

表7 新旧电机运行情况对比表

项目	旧电机	新电机
定子温度/℃	100 ~ 101	86 ~ 94
运转电流/A	192 ~ 198	188 ~ 196
小时处理矿量/t	113 ~ 115	113 ~ 115
球磨吨矿电单耗/kW·h	25.47	24.68

由表7可知,在更换磨机衬板的基础上,更换新的电机后,球磨机吨矿电耗降低至24.68 kW·h,节电效果进一步提升。

表8 陶瓷球参数

项目	规格/mm	体积密度/(g·cm ⁻³)	球耗/(kg·t ⁻¹)	莫氏硬度	每吨价格/元
陶瓷球球	50	3.7	0.1	9	8 200

表9 不同配比陶瓷球使用对比表

配入质量比 (钢球:瓷球)	球磨机平均处理 矿量/(t·h ⁻¹)	球磨机吨矿 电耗/(kW·h)	球耗/ (kg·t ⁻¹)	磨矿细度 (-45 μm 含量)/%	旋流器溢流细度 (-45 μm 含量)/%	尾矿品位/ %
1:0	107.81	24.71	0.35	45 ~ 50	80 ~ 83	0.19 ~ 0.22
7:1	107.53	24.13	0.35	45 ~ 50	80 ~ 83	0.19 ~ 0.22
6:1	107.19	23.89	0.34	44 ~ 50	80 ~ 83	0.19 ~ 0.22
5:1	107.22	22.02	0.34	44 ~ 49	80 ~ 83	0.19 ~ 0.22
4:1	107.54	21.77	0.33	43 ~ 49	80 ~ 83	0.19 ~ 0.22
3:1	107.29	21.45	0.32	42 ~ 48	76 ~ 79	0.22 ~ 0.23
2:1	107.70	21.11	0.31	42 ~ 47	76 ~ 78	0.22 ~ 0.24
1:1	107.53	20.84	0.30	40 ~ 45	75 ~ 77	≥0.24

由表8可知,通过对球磨机磨矿介质进行优化替代,球磨机的电耗进一步降低。随着陶瓷球的配比不断加大,节电的效果更加明显,同时发现陶瓷球的添加并未影响球磨机的处理能力。但是在炉渣选矿中,有效的单体解离是浮选指标控制的关键,随着陶瓷球比例增大,球磨机磨矿效果变差,旋流器分级后的细度不能保证在-0.45 μm 含量占比80%以上,浮选后尾矿指标变差,浮选回收率降低。经过长时间生产实践探索,φ50 mm 锻造钢球和φ50 mm 陶瓷球质量配比控制在4:1,可以保证较好的选矿指标,同时实现球磨机电耗降低效率最大化,球磨机电耗降低至21.77 kW·h。

1.2.4 一段溢流快速浮选技改

某铜渣选厂技改前磨矿浮选流程如图1所示,炉渣进入半自磨机磨矿后,经直线振动筛筛分、

1.2.3 磨矿介质优化替代

在选矿中,通过介质研磨矿物,使矿物有效地单体解离是磨矿的主要作用。磨矿成本是选矿成本中主要部分之一,其主要是介质成本和能耗成本。大量研究发现,陶瓷球具有高硬度、耐磨、耐腐蚀、比重轻和抗冲击等特点,作为球磨机磨矿介质可以有效降低磨机电单耗。为了达到球磨机节电的效果,在原磨矿介质φ50 mm 锻造钢球中,配入φ50 mm 氧化铝陶瓷球。陶瓷球参数见表8,不同配入量使用效果见表9。

一段旋流器、二段旋流器分级后,二段旋流器溢流进入浮选作业,一段旋流器和二段旋流器沉砂进入球磨机再磨。二段旋流器溢流进入一段粗选作业、粗二作业,扫一作业、扫二作业,一段粗选作业泡沫直接出铜精矿,粗二、扫一、扫二泡沫作为中矿返回一段旋流器进行再次分级磨矿。

影响球磨机能耗的因素很多,处理矿量也是其中一个影响因素。在同等情况下,相对少的矿量进入磨机,对于减少电耗有一定积极意义。通过对原有工艺流程进行改造,在一段旋流器溢流处增设CLF-16粗粒级浮选机进行快速浮选,浮选泡沫直接作为精矿,浮选后尾矿进入二段旋流器进行分级,实现一些粗粒级矿物“早收多收”,同时减少粗粒级矿物进入球磨机,减轻球磨机负荷,从而达到节能降耗的目的,技改后工艺流程如图2。通过生产实践,

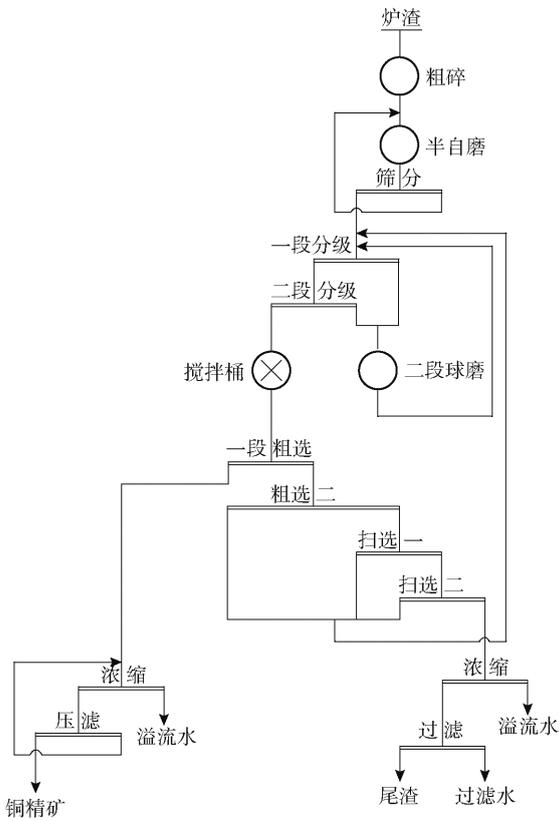


图1 技改前磨矿浮选工艺流程

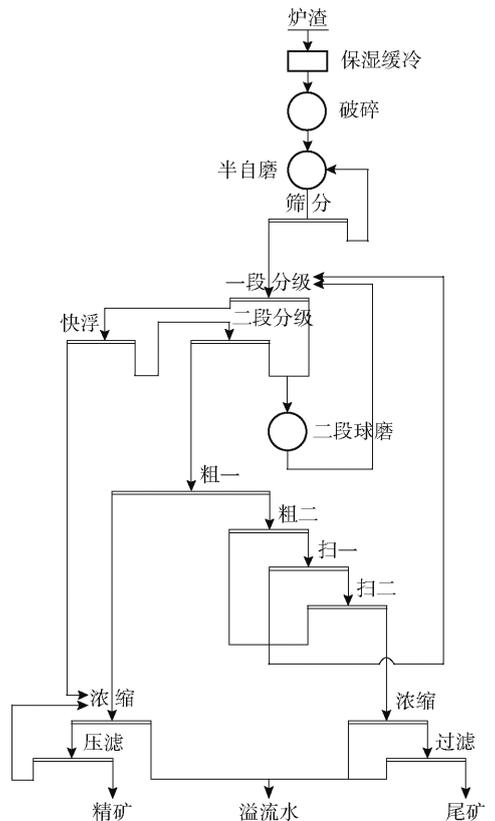


图2 技改后磨矿浮选工艺流程

技改后球磨机生产实际情况见表10。

表10 快速浮选技改前后球磨机运行情况

技改情况	球磨机平均处理矿量/(t·h ⁻¹)	球磨机吨矿电耗/(kW·h)	磨矿细度(-45 μm 含量)/%	浮选尾矿铜品位/%
技改前	107.29	21.83	43~49	0.19~0.22
技改后	107.37	20.71	45~49	0.19~0.21

由表9可知,通过对一段旋流器溢流快速浮选的技改,球磨机的电耗进一步较低,球磨机吨矿电耗由21.83 kW·h降低至20.71 kW·h,浮选尾矿铜品位降低0.01%。快速浮选机的投入使用,对于一些粗颗粒矿物提前进行了回收,一方面减少了进入球磨机的矿量,达到降低球磨机电耗的作用;另一方面也防止了矿物过磨的情况发生,从而有利于浮选回收有价金属。

1.3 目前球磨机运行情况

针对溢流型球磨机一系列的技改优化,球磨机的吨矿电耗由原来27.27 kW·h降低到20.71 kW·h,吨矿电耗下降6.56 kW·h,节电效果显著,按目前选矿厂年处理炉渣量75万吨、电费0.55元/kW·h计算,每年可节约电量492万kW·h,电费约270.6万元。并且球磨机各项指标并未发生明显改变,其他指标、能耗、检维修、作业环境等方面也有了一定改善。

表11 目前球磨机运行参数

处理矿量/(t·h ⁻¹)	磨矿介质(钢球:瓷球)	吨矿电耗/(kW·h)	球耗/(kg·t ⁻¹)	磨矿细度(-45 μm 含量)/%	二段旋流器溢流细度(-45 μm 含量)/%	尾矿品位/%
107	4:1	20.71	0.33	45~49	80~84	0.19~0.21

2 结论

1)将球磨机整体衬板由锰钢材质更换为橡胶材质,磨机整体重量大大减少,减少共计 84.844 t,磨机吨矿电耗由 27.27 kW·h 降低至 25.58 kW·h,吨矿电耗下降 1.69 kW·h。同时橡胶衬板耐磨、质量轻、有弹性,在维修安全、改善作业环境以及衬板能耗上发挥了积极作用。

2)球磨机电机的老化也是影响电耗的原因之一,通过置换能效更高的新电机,吨矿电耗可降低 0.79 kW·h,节电效果进一步提升。

3)使用陶瓷球对球磨机磨矿介质进行优化替代,按照 $\phi 50$ mm 锻造钢球和 $\phi 50$ mm 陶瓷球质量配比 4:1 替代使用,在保证现有的选矿指标下,球磨机电耗大幅降低至 21.77 kW·h,吨矿电耗下降 2.91 kW·h。

4)通过对一段旋流器溢流进行快速浮选技改,球磨机吨矿电耗降低 1.12 kW·h,进一步达到了节电的效果,同时也获得了较好的浮选指标。

5)综合衬板、电机、磨矿介质、工艺流程四方面的技改优化,选矿厂溢流型球磨机吨矿电耗下降了 6.56 kW·h,按目前选矿厂年处理炉渣量 75 万吨、电费 0.55 元/kW·h 计算,每年可节约电量 492 万 kW·h,电费约 270.6 万元,获得较好的经济效益。

[参考文献]

[1] 吕旭龙,许培燕,温志森,等.某铜渣选矿厂浮选药剂优

化试验研究[J].有色金属:选矿部分,2020(6):122-126.

[2] 陈淑萍,伍赠玲,蓝碧波,等.火法炼铜技术综述[J].铜业工程,2010(4):44-49.

[3] 吕旭龙,袁水平,印万忠,等.某铜冶炼企业冶炼炉渣配矿浮选试验研究[J].矿产综合利用,215(1):119-123.

[4] 郑锡联,林鸿汉.某铜冶炼渣选铜尾矿的综合利用研究[J].矿业研究与开发,2015(6):27-29.

[5] 李博,王华,胡建杭,等.从铜渣中回收有价金属技术的研究进展[J].矿冶,2009,18(1):44-48.

[6] 吕旭龙,袁水平,印万忠,等.某缓冷渣包中不同区域铜渣的浮选试验研究[J].矿业研究与开发,2018,38(6):79-84.

[7] 王鹏,高利坤,董方,等.铜冶炼渣浮选回收铜的研究现状[J].矿产综合利用,2017(1):16-20.

[8] 吕旭龙,袁水平,印万忠,等.某铜冶炼炉渣缓冷时间对浮选性能的影响[J].有色冶金设计与研究,2017,38(6):1-7.

[9] 张成梁,杨家芳,胡延安,等.我国球磨机节能降耗研究回顾与展望[C]//全国冶金自动化信息网,《冶金自动化》杂志社.全国冶金自动化信息网 2015 年会论文集.济南重工股份有限公司技术中心;山东大学;济南重工股份有限公司,2015:4.

[10] 汪钟全,丁万鑫,陈志强等.球磨机节能降耗的研究及应用[J].绿色环保建材,2019,(9):48.

[11] 邹毅仁,邓朝安,夏自发等.极硬矿石碎磨工艺探讨[J].中国矿山工程,2022,51(3):62-67.

Energy-saving technical transformation practice of ball mill in a copper slag ore-dressing plant

HUA Chunlin, LV Xulong, LIN Julong, CAO Binzhang, WEN Zhisen, CHI Xiaopeng

Abstract: A copper slag Ore-dressing Plant adopts the grinding process flow of semi-automatic grinding ball milling, and the ball mill adopts CITIC Heavy Industries $\phi 5.03 \times 7.5$ m overflow ball mill, the power consumption of ball mill in daily production accounts for more than 40% of the total power consumption of the whole plant. Through a series of technical transformation: optimization and transformation of mill liner, replacement and transformation of mill motor, optimization and replacement of grinding medium, and technical renovation of one stage overflow rapid flotation, the power consumption per ton of ball mill has been effectively reduced, the power consumption per ton of mill has been reduced from 27.27 kW·h to 20.71 kW·h, and the power consumption per ton of mill has been reduced by 6.56 kW·h. According to the calculation of 750 000 tons of slag treatment per year and 0.55 yuan/kW·h of electricity cost, 4.92 million kW·h of electricity can be saved per year, and the electricity cost is about 2.706 million yuan, obtaining good economic benefits.

Key words: copper slag; overflow ball mill; power consumption

