

铜渣选矿生产工艺流程优化

朱立 姜观辉 李娜 邢永毅 张琦福 刘铭杰

吕明贺 韦小弟 聂赞 郭玉文

(广西金川有色金属有限公司选矿厂, 广西防城港 538002)

[摘要] 某公司120万t/a铜渣选矿系统主要通过缓冷、破碎、磨矿、浮选、脱水等工序对闪速熔炼炉渣中铜金属进行回收,本文基于炉渣选矿安全生产、节能降耗、自动化技术应用等方面,重点阐述铜渣选矿生产工艺流程优化改进内容及取得效果。

[关键词] 铜渣选矿; 流程优化; 安全生产; 节能降耗; 自动化

[中图分类号] X758 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2097-2423(2023)06-0062-06

DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.06.012

0 前言

某公司采用双闪铜冶炼工艺,为实现闪速熔炼炉渣资源综合利用,配套建设了120万t/a铜渣选矿系统,渣选矿系统设计处理量为3822t/d,原矿铜品位2.1%,获得铜精矿品位25%,回收率86.76%^[1],每年可从闪速熔炼炉渣中回收铜金属约22kt/a^[2]。铜渣选矿系统自2013年建成投产以来,生产工艺流程运行基本稳定,提高了资源循环利用,减少冶炼渣堆放对环境造成的二次污染,具有良好的经济效益、社会效益和环境效益^[1]。随着选矿厂不断进行挖潜改造,目前渣选矿熔炼炉渣处理能

力已超过120万t/a,但各个工序实际生产过程中也出现较多生产安全隐患、人工劳动量大、设备耗能高等方面的问题,选矿厂基于炉渣选矿安全生产、节能降耗、自动化技术应用等方面,对渣缓冷工艺、破碎磨矿工艺、浮选药剂、脱水工艺等进行系统性优化改造。

1 熔炼渣性质

渣选矿系统所处理的原矿为闪速熔炼炉渣,其中有价铜金属含量为1.3%~1.5%,Fe和SiO₂合计占比大于69.5%(表1),原矿中主要矿物组成为铁橄榄石、钙铁辉石、磁铁矿^[3]。

表1 闪速熔炼渣化学成分分析

成分	Cu	Fe	S	As	SiO ₂	Al	Zn	MgO	CaO	其他/%
含量	1.3~1.5	41~42	0.40~0.45	0.38~0.42	28.5~29.5	2~2.5	1.45~1.55	1.3~1.5	2~3	>17.5

2 原有工艺流程

渣选矿系统设计采用自然冷却+喷淋冷却的缓冷工艺、移动式液压碎石机+颚式破碎机两段开路破碎、半自磨+球磨两段全闭路磨矿、两段粗选两段扫选两段精选+中矿再磨再选、精矿压滤脱水和尾

矿过滤脱水工艺流程。渣选矿系统根据厂址、厂房布置等分为供料工序、磨浮工序、脱水工序等,详细工艺流程如图1所示。

2.1 供料工序

供料工序主要包含渣缓冷和破碎两部分。工艺流程为:熔炼渣盛装入渣包后经渣包车运输至渣缓冷,冷却60~68h至渣包外壁测温55℃以下后,再由渣包车运输至倒渣口翻包;冷却炉渣中的大块物料采用移动式液压碎石机进行一次预破碎,使得物料粒度在500mm以下,再由铲车送入原料仓;原料仓设置格筛,粒度大于500mm的物料再由另外一台液压碎石机进行二次预破碎,直至保证入选物料

[收稿日期] 2023-07-13

[作者简介] 朱立(1997—),男,云南宣威人,本科,主要从事闪速熔炼炉渣资源综合利用研究工作。

[引用格式] 朱立,姜观辉,李娜,等.铜渣选矿生产工艺流程优化[J].绿色矿冶,2023,39(6):62-67.

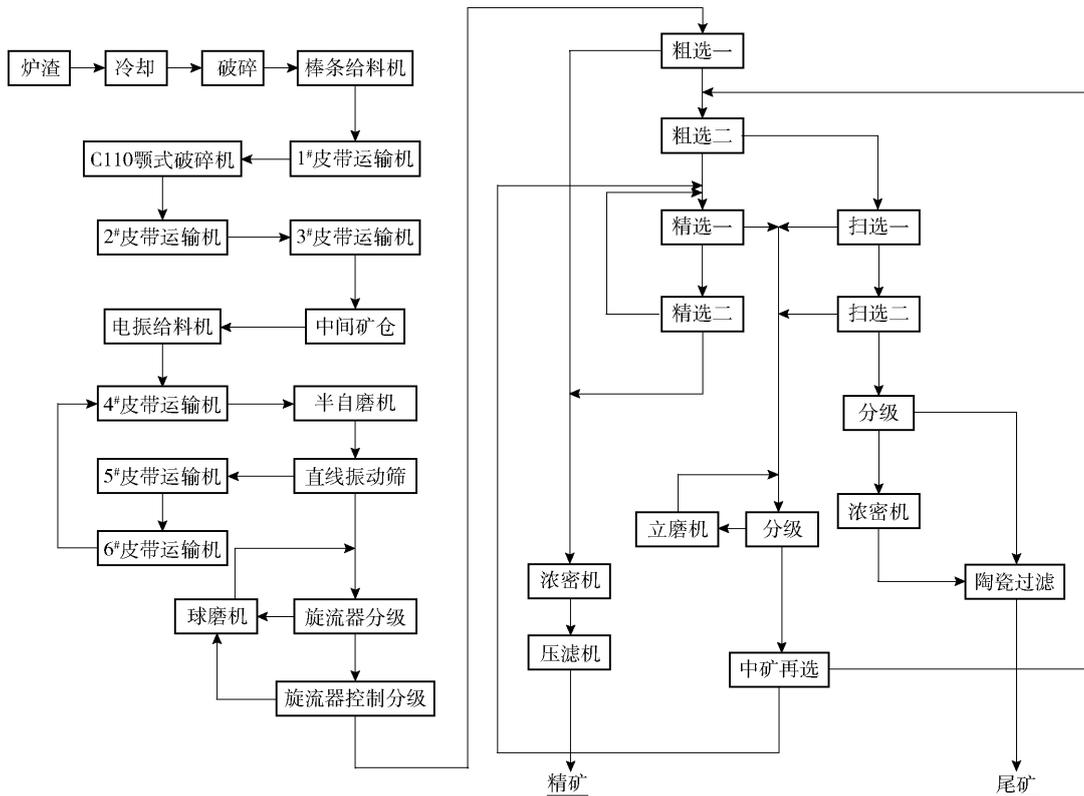


图 1 渣选矿系统流程图

粒度小于 500 mm;原料仓物料由棒条振动给料机给至 1# 胶带输送机上,再由 1# 胶带输送机给到颚式破碎机进行破碎,使产品粒度降至 200 mm 以下;破碎后的产品由 2# 胶带输送机送至粗矿仓。

2.2 磨浮工序

磨浮工序主要包含磨矿和浮选两部分。工艺流程为:粉矿仓内物料由振动给料机给入 4# 胶带输送机,送至 $\Phi 6.0\text{ m} \times 6.0\text{ m}$ 半自磨机进行磨矿;半自磨机排矿经 ZXK2460 直线振动筛筛分后,筛上产品由 5#、6# 皮带返回到 4# 皮带构成闭路磨矿,筛下产品和 $\Phi 5.5\text{ m} \times 9.5\text{ m}$ 球磨机排矿合并用渣浆泵扬送至一段旋流器进行分级,溢流通过渣浆泵扬送至两段旋流器进行控制分级,两段旋流器的沉砂都返回到球磨机构成闭路磨矿,二段旋流器溢流进入选别作业;溢流矿浆经搅拌后进行一次粗选,精矿作为最终产品进入浓密机进行浓密,尾矿进入二次粗选;二次粗选精矿进精选浮选柱,尾矿进二次开路扫选,扫选精矿和一次精选尾矿合并为中矿产品进立磨前分级,立磨后分级溢流进中矿再选作业,沉砂进立磨形成闭路磨矿;精选采用浮选柱,两次精选后的精矿为合格产品进精矿浓密机,二次精选尾矿返回到一次精选形成闭路;中矿再选作业精矿进入一次精选,

尾矿返回到二次粗选。

2.3 脱水工序

脱水工序主要包含泵房、精矿脱水、尾矿脱水三部分。工艺流程为:浮选精矿通过总精矿泵送至精矿浓密机,浓缩后的底流进入压滤机压滤,溢流作为工艺回水利用,压滤机滤液返回精矿浓密机,滤饼进入精矿仓;浮选尾矿通过渣浆泵扬送至尾矿分级旋流器分级,溢流进入尾矿浓密机,沉砂和尾矿浓密机底流合并使用陶瓷机进行过滤,滤液返回到尾矿浓密机,滤饼进入尾矿仓,尾矿浓密机溢流作为工艺回水利用。

3 生产工艺流程优化

自 2013 年投产以来,渣选系统运行基本稳定,但各个工序实际生产过程中也出现较多问题。

3.1 渣缓冷工艺存在问题及流程优化

3.1.1 间断喷淋工艺

自渣选矿系统投产以来,渣缓冷工序发生多起渣包放炮事故,通过对每次事故原因进行分析,发现放炮的主要时间段为自然缓冷(6~12 h)结束后开始喷淋的 2~3 h 内,推测原因:1)在缓冷喷淋过程中,由于矿石性质问题,部分渣包的熔炼渣仍在继续

反应,并产生大量 SO_2 气体,当炉渣内部压力达到表层结壳承受的极限时,表层结壳破裂发生一次轻微放炮,大量喷淋水进入热渣中瞬间产生大量水蒸气引起二次剧烈放炮;2)渣包内部水量较多,在喷淋过程中,喷淋水不断通过炉渣表层因热胀冷缩产生的缝隙进入炉渣内部,当炉渣内部水蒸气产生速度大于排气速度时,炉渣内部压力不断升高,达到一定程度时,炉渣表层急剧开裂,大量喷淋水进入热渣中瞬间产生大量水蒸气引起剧烈放炮。渣包放炮不仅破坏周边设施设备,损坏程度大,且直接威胁员工的生命安全。

在易发生放炮的时间段(开始喷淋 12 h)内,通过控制渣包表层的水量,避免熔炼渣因热胀冷缩瞬间开裂过大,减少与熔炼渣内部接触的水量,达到杜绝渣包放炮或减弱放炮威力的目的。将渣缓冷工艺由“自然缓冷(6~16 h)+连续喷淋(40~60 h)”优化为“自然缓冷(6~10 h)+间断喷淋(12 h)+连续喷淋(40~60 h)”,详细时间见表 2。通过缩短自然缓冷时间,将易发生爆炸的喷淋时间段的喷淋方式由连续喷淋改为间断喷淋,将间断喷淋期间渣包内部的水量控制在 0~5 cm 高度(水量约 0.03 m^3),避免在初始喷淋阶段 2~3 h 内大量水与热熔渣接触,降低渣包爆炸风险及影响范围,同时增加阀门开闭未到位报警程序,提高渣缓冷本质化安全水平。

表 2 渣缓冷间断喷淋制度

喷淋区	渣包位	自然 冷却/ h	间断喷淋冷却			连续 喷淋 冷却/h
			喷淋 总时 间/h	单次喷 淋时 间/min	间隔 时间/ min	
A	1~16	6	12	0.4	14	50
	17~40			0.2		
	41~48			0.3		
BC	1~16	6	12	0.7	14	50
	17~32			0.4		
	33~40			0.3		
DE	1~16	6	12	0.5	14	50
	17~32			0.4		
	33~40			0.3		
FG	1~16	6	12	0.2	14	50
	17~32			0.4		
	33~40			0.3		
H	1~16	6	12	0.2	14	50
	17~32			0.4		
	33~40			0.3		
	41~48			0.2		

3.1.2 渣缓冷产能提升

渣缓冷实际生产过程中,缓冷循环水的水质、水量、水温等对缓冷效果影响较大。随着水中盐类物质含量的上升,部分盐类物质在喷淋期间于渣包表

面析出形成隔热层,减弱渣缓冷效果,产生大量红心包及整包,导致热渣缓冷总时间需求增加,缓冷生产能力降低。

在渣缓冷场地一定情况下,通过渣包并排摆放方式增加渣缓冷包位数量,两排渣包间隔 $< 0.3 \text{ m}$,仅在 A 区新增 50 个并排包位后,渣缓冷产能即提升 12.5%,同时自然缓冷时间可进一步延长,改善铜矿物结晶效果,降低浮选尾矿含铜损失。

3.1.3 渣包无人测温技术应用

在自然缓冷+间断喷淋+连续喷淋冷却等缓冷喷淋作业完成后,需人工手持测温仪在距离渣包距离 3 m 内、表面干燥处进行测温,当渣包温度低于 $55 \text{ }^\circ\text{C}$,允许进行翻包作业,但由于渣包爆炸辐射范围的不可控性,对测温人员的人身安全存在严重威胁。

为此,通过在缓冷场地安装 1 台地面机器人,利用 AGV 小车平台搭载红外测温系统,采用激光+北斗/GPS 融合导航,安装自动充电房、无线基站,开发软件系统等内容,实现渣缓冷场中 400 个渣包无人测温 and 温度定时监控分析。

3.2 破碎磨矿工艺存在问题及流程优化

3.2.1 中间仓顶部皮带优化

中间矿仓顶部原设计配套 1 条水平可逆输送皮带,可实现正反转,其作用是将破碎产品运输至东、西侧两个中间矿仓,为磨浮系统连续稳定运行储备充足的原料。由于双仓间断上料导致输送皮带频繁正反转,故障率高、使用寿命短暂。

为此,自主设计 1 个分矿箱取代 3#可逆皮带,分矿箱同时配备远程自动倒仓功能,将原矿按需求输送到 1#和 2#中间矿仓(图 2),杜绝皮带物料洒落问题,改善现场作业环境,降低岗位劳动强度,节约成本。

3.2.2 磨矿筛下物料输送方式优化

半自磨机有 2 台直线振动筛,筛下泵池有 2 台筛下物料输送泵,由于物料仍为粗颗粒,对输送泵叶轮、泵包、管道、管道入口和出口短接磨损严重,检修频繁,检修时间长。为此,停用现有筛下物料泵池和 2 台渣浆泵,封闭直线振动筛底部,新增矿浆输送管道,将矿浆输送方式由泵输送改为自流输送,筛下矿浆可自流至一段给料泵池,缩短工艺流程,降低故障检修频次。

3.3 浮选液体药剂优化

选矿厂主要采用泡沫浮选法回收熔炼炉渣中的

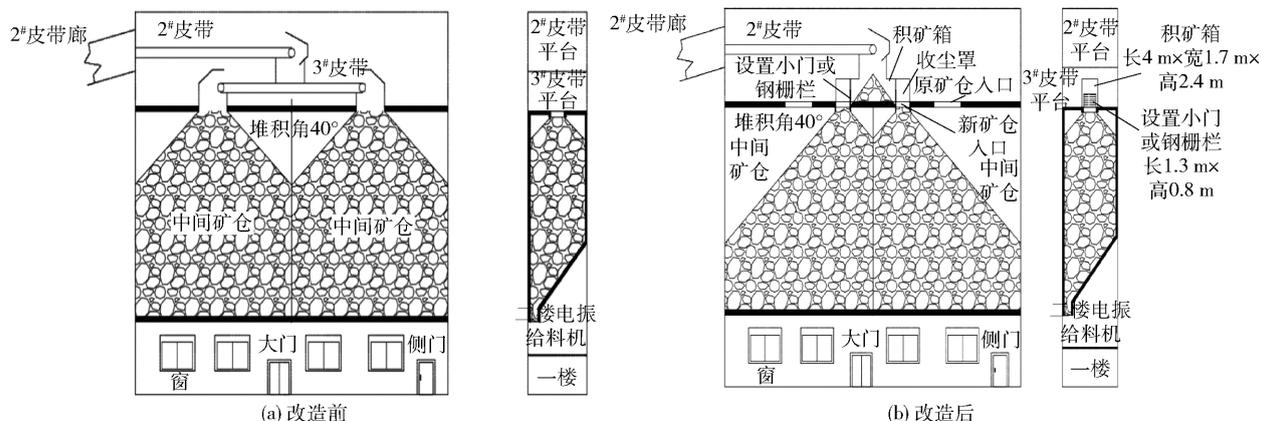


图2 中间仓改造前后对比

铜金属,考虑到炉渣中的铜金属元素富存形态除大部分硫化相铜外还含有少部分氧化相铜,且氧化相铜或表面被氧化的硫化相铜均不能被黄药捕收,因此选矿厂采用固体丁基黄药(捕收剂)+固体硫化钠(硫化剂、pH调整剂)+液体2#油(起泡剂)对炉渣中的铜金属进行浮选回收^[4]。固体药剂使用期间,常因受潮固化板结难以稀释配加。为此,采用液体黄药代替固体黄药,液体黄药采用70%丁基钠黄药(含量 $\geq 84.5\%$)+27%戊基钠黄药(含量 $\geq 82\%$)+3%稳定剂复配而成。液体黄药有效期4周,储存时间超过有效期后药效会逐步下降。

3.4 脱水工艺流程优化

3.4.1 浓密机地下泵房无人值守技术

渣选矿浓密机泵房为地下建筑,深13 m,内部空气流通不畅,作业环境潮湿、温度高,严重影响岗位身体健康安全,且泵房岗位为单人作业,作业量大(浓度测量16次/班、上下泵房巡检8次/班、底流量阀门开闭若干),作业安全风险高。

为解决地下泵房问题,研发底流泵房自动化控制操作系统:1)在精、尾矿浓密机底流泵出口各增加2台矿浆浓度在线分析仪,实现浓度在线监测,并与新增工艺回水补加水管和电磁阀连锁控制,调节矿浆输送浓度避免管道堵塞和设备过载;2)将底流竖管二道阀更换为电动调节阀,与底流泵池液位实现PID控制;3)增加底流泵电机、泵体一体化振动温度传感器及监控摄像头,对底流泵房底部设备运行情况进行在线监测。浓度检测结果见表3。

3.4.2 陶瓷过滤机酸洗流程优化

尾矿脱水系统使用的陶瓷过滤机在运行过程中受细颗粒物影响,陶瓷板微孔易堵塞产生结垢,脱

表3 浓度在线检测偏差对比

月份	现场实测浓度累计/%	浓度计显示浓度累计/%	信号值累计PPR	浓度偏差/ $\pm\%$
6月	57.76	57.61	2 136.49	1.183
7月	53.06	53.51	2 244.23	1.418
8月	45.04	44.59	2 293.00	0.450
9月	47.88	47.92	2 156.30	1.039

水效率低,陶瓷板使用寿命短。因此,陶瓷过滤机累计运行4~8 h后需采用硝酸对陶瓷板进行清洗。初始清洗流程如图3(a)所示。该流程主要存在浓硝酸辐射区域广、酸泵不上量、涉酸作业频繁(1.5 h/次)、散点灼烫次数多、硝酸稀释浓度不稳定及酸洗效果不佳等问题。

通过优化增加1套自动配酸统、供酸系统(主要包括:计量酸桶、反冲洗配酸箱、压缩空气搅拌、反冲洗泵),取消10台计量酸泵,采用“浓硝酸先稀释再分配后清洗”的新工艺代替“浓硝酸先分配再稀释后清洗”的旧工艺(图3(b)),缩小浓硝酸辐射区域,解决涉酸作业危险性高、计量酸泵检维修量大、稀硝酸浓度控制不稳定、酸洗效果不佳等问题。

3.4.3 陶瓷过滤机自动排液流程优化

陶瓷过滤机基于毛细微孔原理,以陶瓷板作为过滤介质,通过真空压差实现固液分离。作业过程中,陶瓷板内外真空压差通过真空泵抽滤实现,抽滤后的固体尾矿吸附于陶瓷板表面,滤液水则穿过陶瓷微孔进入滤液罐,再通过滤液泵强制将滤液抽出完成排液。因滤液罐内部为负压,需滤液泵强制抽水才能完成排液目的,导致陶瓷机排液流程长电能消耗高,且滤液泵检修维护工作量大、成本高。

应用自动排液工艺原理(阀门控制、重力和气

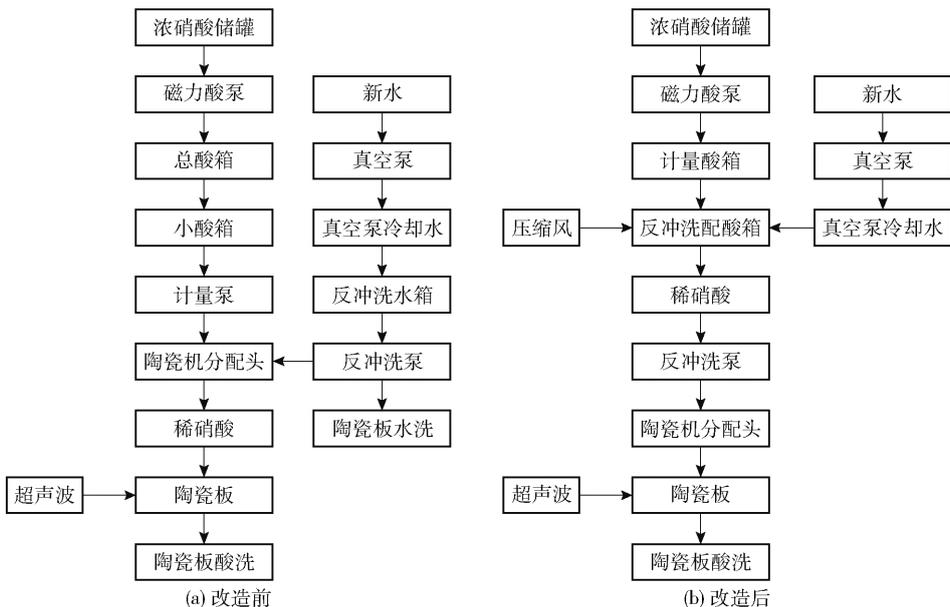


图3 陶瓷机酸洗流程改造前、后对比

压平衡原理如图4所示),对现有的10台陶瓷过滤机滤液罐进行改造,安装自动排液罐替代现有滤液泵+滤液罐的强制排液系统,取消陶瓷过滤机配备的10台7.5 kW的滤液泵,由强制排液改为自动排液,并增加远距离输送管道将滤液水自流输送至工艺回水泵池,缩短排液流程,降低陶瓷机排液系统运行能耗和检修成本。

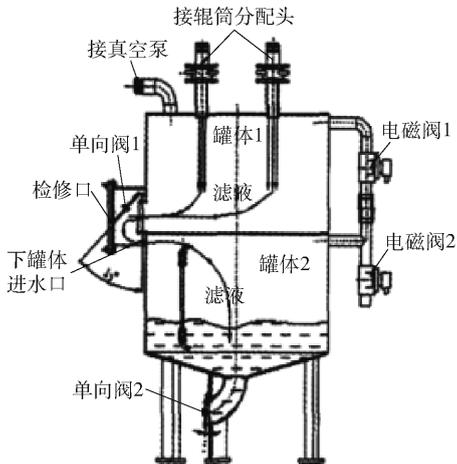


图4 自动排液滤罐原理图

3.4.4 尾矿装车远程确认系统应用

尾矿脱水作业完成后,由抓斗装车拉运至水泥厂作为铁质调整剂使用,抓斗装车作业中岗位与拉运司机间确认流程多(4次/车),耗时长装车效率低;同时抓斗装车超载、不足等重复装卸车频次高,排队车辆影响公司主干道正常通行。为此,设计增加1套拉运车辆信息远程确认系统(包含身份证自

助终端、信号控制器、进出口道闸、车检雷达、车辆识别摄像头)和1套抓斗称重系统(抓斗秤、显示器),建立岗位员工与车主沟通平台,解决装车人工确认流程复杂、装载量偏差大、重复装卸车等问题。

3.4.5 精矿压滤设备改型

原设计立式压滤机运行时间已达5年以上,故障率高、效能低,板框均出现不同程度变形、腐蚀、磨损,隔膜、挤压块、挤压嘴、管道、阀门、挤压水泵、嵌件等备件磨损速度加快,导致检修量和检修费用不断增加,生产能力降低,精矿水分高,影响冶炼厂配矿上料及综合成本升高。通过对比程控隔膜卧式压滤机(型号HAZGF200/1500-U)检修维护较为方便,设备维护成本低,能源消耗低,因此新增2台卧式压滤机,并将其作为主要脱水设备,有效降低精矿水份,提高精矿脱水生产能力,节约备件、材料、检修和能耗成本,降低岗位员工劳动强度。

3.4.6 尾矿细粒级物料处理

熔炼炉渣中的SiO₂、CaO、Al₂O₃、MgO含量剧增,经过磨矿系统后形成大量次生矿泥(细粒物料)堵塞陶瓷板微孔,导致尾矿中的粗颗粒物料也难以进行过滤,影响尾矿整体过滤效率。细粒级物料不进行絮凝处理难以直接通过陶瓷机进行过滤,通过溢流进入尾矿浓密机不断富集,导致尾矿脱水效率持续恶化,尾矿浓密机负荷增大,底流浓度成不断上涨趋势。

针对尾矿脱水运行中的存在问题,通过优化管路、增加底流泵池等方式形成开路,将目前尾矿底流

泵池溢流排至新增细粒级泵池,通过精矿底流泵(备用泵)及扬程管打至精矿一层新增搅拌槽,通过压滤机给料泵(备用泵)打至2#立式压滤机进行过

滤(图5),实现细粒级物料通过压滤机进行单独过滤,避免微粒矿泥在尾矿脱水系统内部不断循环富集。

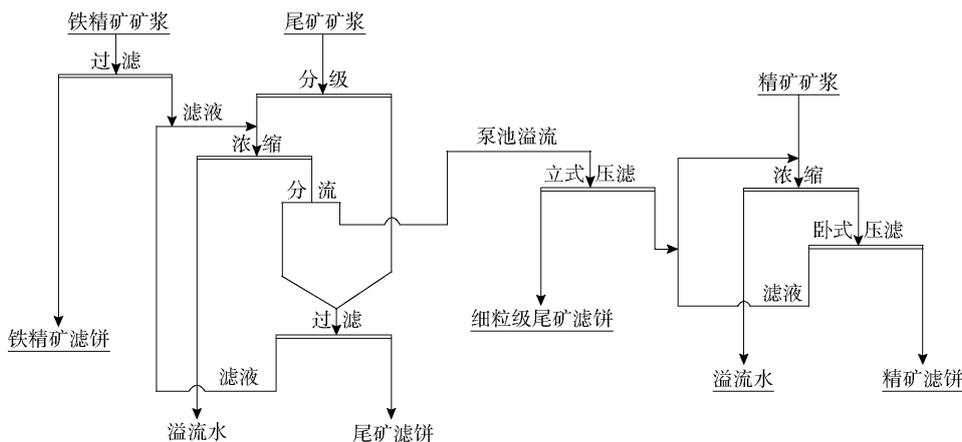


图5 精尾矿联合处理细粒级物料流程图

4 优化改进效果

针对热渣缓冷、破碎、磨矿、浮选、精尾矿脱水等工序的流程改进效果显著。

1)安全方面:实现浓硝酸散点灼烫次数为0,杜绝了药剂稀释风险,同时渣包放炮威力降低,仅表现为小型喷溅。

2)生产技术方面:实现陶瓷机过滤效果提升16.7%,尾矿抓斗装车效率提升20%,异常渣包数量管控<10个/月,精矿含水率<11%,尾矿含水率<8%。

3)自动化技术方面:实现了热包自动化测温、破碎流程远程切换、底流泵房无人化值守、陶瓷机自动排液、尾矿装车远程确认。

4)经济效益方面:流程改进后可节约能源等加工成本约283.67万元/a。

5 结束语

经过铜渣选矿工艺流程的一系列优化改进,提高缓冷场安全作业水平、自动化精细控制水平,减少点检、检修、维护工作量,降低岗位劳动强度,优化岗位工作环境,提高生产工艺管控水平,降低材料、备件、检修和能源等成本,为同行业工艺流程改进起到了良好示范作用。

[参考文献]

- [1] 杨继宁. 广西金川铜炉渣选矿生产工艺的探索与实践[J]. 有色冶金设计与研究, 2014, 35(6): 43-47.
- [2] 班允涛, 黄治亮. 广西金川铜炉渣选矿生产实践[J]. 有色冶金设计与研究, 2014, 35(6): 16-31.
- [3] 朱立, 杨继宁, 姜观辉. 闪速熔炼渣再选尾矿作水泥掺料应用研究[J]. 中国有色冶金, 2022, 51(3): 94-100.
- [4] 夏自发, 邹毅仁, 张晓刚, 等. 铜冶炼炉渣选矿的典型性分析[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(2): 5-8, 19.

Optimization of Copper Slag Beneficiation Process Flow

ZHU Li, JIANG Guanhui, LI Na, XING Yongyi, ZHANG Qifu, LIU Mingjie, LV Minghe, WEI Xiaodi, NIE Zan, GUO Yuwen

Abstract: The 1.2 million t/a copper slag beneficiation system in some company mainly recovers copper metal from flash smelting slag through slow cooling, crushing, grinding, flotation, dehydration and other processes. Based on the aspects of safe production, energy saving and consumption reduction, and automation technology application in slag beneficiation, this paper focused on the optimization and improvement of the production process of copper slag beneficiation and the results achieved.

Key words: copper slag beneficiation; process optimization; safe production; energy saving and consumption reduction; automation