

磁悬浮精选机应用于铜尾矿铁品提质研究

徐家林, 朱东方, 郑德亮

(沈阳隆基电磁科技股份有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

[摘要] 本文介绍了沈阳隆基电磁科技股份有限公司新一代全自动电磁重选设备,解决了老一代电磁重选设备在生产应用中存在的一些问题,并应用于铜尾矿中铁品位提质。应对一些铜矿尾矿中选铁工艺提品困难,替代浮选工艺提品。研发从实验室数据分析开始再到工业方案定制,再到投产工作期间的数据分析,证明了新一代全自动磁悬浮精选机的性能优越性和提品能力的可靠性。验证了磁重选产品继续进行精细分选的必要性。为国内外铜尾矿铁品提质开辟出一条新的路线。

[关键词] 铜尾矿铁品提质; 替代浮选; 全自动磁悬浮精选机; 设备自动化程度

[中图分类号] TD45; TD951

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2023)05-0071-05

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.05.013

0 引言

随着矿产资源的开发利用,原矿品位日趋降低,不仅大量的矿石需要经过选矿加工才能利用,而且在入选矿石中难选矿石越来越多;同时,冶炼对精矿质量的要求越来越严,要综合回收的元素越来越多。因此,选矿工程在资源开发利用中显示着愈来愈重要的作用。目前铜矿尾矿选铁厂为了应对环保压力和提效降本,开展浮选工艺替代改进的工艺研究工作。对于设备大型化的需求也是比较强烈。近几年沈阳隆基在电磁精选方面做出了很多技术瓶颈的突破和产品的研发应用。全自动磁悬浮精选机就是技术研发实力和生产制造能力的一种集中体现。在磁选精选除杂领域保持领先的技术水平和选别指标,设备大型化方面也做到了行业领先。此产品在替代浮选工艺方向实现成功应用,选矿指标稳定,得到业内好评。

1 某铜矿尾矿选铁

1.1 矿石性质和选厂介绍

某选厂为铜尾矿选铁选厂。日产铁精矿 3 800 t,粒度为 -325 目 84%,精矿品位 64% 以上。铜尾矿先经过一段磁选后进入旋流器进行分级,旋流器底流进入磨机再磨,溢流进入三段磁选后在经过两段浮选得到合格精矿。流程图见图 1。得到合格精矿的同时浮选尾矿品位太高,达到 50% 以上。

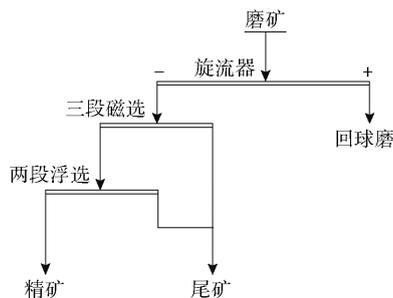


图 1

目前困扰选厂的问题是铜尾矿中铁的富集后精矿品位不足,且浮选的尾矿品位较高,影响选厂总体产率和回收率。另外再浮选过程中浮选药剂消耗成本太高,也不符合环境保护和绿色矿山国家政策方针的大方向,总体上影响了选厂综合的经济效益和建设绿色矿山发展的思路。三段磁选机的入选矿物的化学多元素分析见表 1。

[收稿日期] 2023-06-20

[第一作者] 徐家林(1973—),男,湖北钟祥人,中级工程师,大学本科,主要从事选矿工艺研究工作,现任沈阳隆基电磁科技股份有限公司副总经理。

[引用格式] 徐家林,朱东方,郑德亮.磁悬浮精选机应用于铜尾矿铁品提质研究[J].有色设备,2023,37(5):71-78.

表 1 化学多元素分析表

成分	TFe	TiO ₂	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	P
含量/%	60.33	1.18	0.748	0.652	8.68	3.13	0.042	0.023
成分	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	ZnO	Cr ₂ O ₃	NiO	V ₂ O ₅	CuO
含量/%	0.094	0.143	1.2	0.002	0.001	0.007	0.361	—

1.2 工艺改造方案

本次工业试验,将一个系列的所有三段磁选机的精矿引入 2.5 m × 2 m × 2 m 的矿浆池中。矿浆从三段磁选机自流到此矿浆池中,所以矿浆浓度为 40% 以上,浓度较高。首先进行调浓度,将矿浆池中的矿浆浓度调制 35% 后,通过渣浆泵将矿浆池内的矿浆输送到四台隆基 LJC-10000(选别筒直径 2 m)磁悬浮精选机进行分选,全自动磁悬浮精选机的精矿通过自流方式进入到主精泵池,经过渣浆泵的输送后到达过滤车间。尾矿自流到总尾矿溜槽中后直接排尾。设备设计每台入矿量为 40 t/h,波动系数 1.15,浓度 35%。隆基设备的实际入矿量已经超过 40 t/h 以上小于 50 t/h。隆基的实际耗水量估算约为 100 m³/h。本次参与工业试验的设备是公司具有自主知识产权的最新精选产品^[1-2]。

1.3 应用效果

替代浮选工艺后改造后,磨选车间的精矿质量大大提高,解决了困扰选厂多年的技术难题,减少了浮选机作业的环境问题,尾矿高的问题。没有浮选药剂的参与,节约运行成本。且设备在现场运行平稳,精矿指标稳定。尾矿指标达到直接抛尾的标准。

1.3.1 应用方案实施

工业试验工艺流程如图 2 所示,经过隆基和选厂技术人员的共同调试,并平稳运行后在 2023 年 3 月~5 月之间进行跟踪取样化验。在选厂技术人员的工艺流程考察后,得出已经达到预期的效果后设备投入到正式运行状态。

运行期间精矿的提高幅度超出前期实验室模拟实验指标,工业运行的精矿品位高于实验室精矿品位 1%,尾矿品位小于实验室精矿品位 10%。这也进一步证明了磁重选产品大型化的重要意义。设备型号的大型化有助于产品在工业运行中的指标与小型号产品相比较有一定的提升幅度,且平稳可靠运行。现场投入运行设备数量相对可以减少,利于现

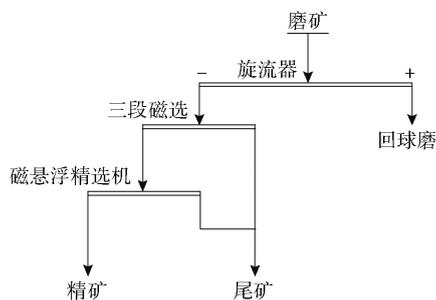


图 2 工业试验工艺流程图

场的运行管理和设备维护。特别是对于尾矿指标的控制能达到在最佳提品指标后精矿还有较高的 TFe 回收率,尾矿品位达到最低状态。

1.3.2 工艺指标考查

取样时间:2023 年 3 月到 5 月。

LJC-10000 弱磁细流精选机稳定运行后,现场取样和化验分析,计算产率和回收率,具体见表 2。

1.3.3 平均指标分析

根据以上试验数据分析,LJC-10000 磁悬浮精选机在两个月的运行时间中精矿品位平均提升幅度 3.15%。单台平均用水量 150 m³/h,单机耗电量 2 kW。精矿浓度稳定在 55%。尾矿矿浓度在 3% 和 5% 之间。实现了无人化自动控制运行。本次全自动磁悬浮精选机的应用达到了选厂预期的目的,精矿指标稳定在 64% 以上。LJC-10000 磁悬浮精选机现场应用期间,磨选系统的综合尾矿指标没有发生异常情况,磁悬浮精选机的尾矿全铁品位 10.56%,磁性铁含量 4.11%,选厂采用直接排尾的方式处理尾矿。总尾矿由尾矿回收流程进行回收处理,尾矿水汇集到浓缩池中,净化后的水回到选厂循环使用。

1.3.4 精矿化学多元素分析

LJC-10000 磁悬浮精选机现场应用期间,抽取一组精矿并进行化学多元素分析,具体数据见表 4。

根据表 1 的数据分析出原矿中含有的一些有害杂质元素,经过使用 LJC-10000 磁悬浮精选机后,不仅精矿品位得到一定幅度的提升,而且一些有害

表2 工艺指标考察表

时期	取样企业	原矿/%	精矿/%	尾矿(MFe)/%	提升幅度/%	产率/%	回收率/%
3月11日	隆基	63.45	66	14.7	2.55	95	98.85
3月12日	隆基	62.85	65.25	17.7	2.4	94.95	98.58
3月14日	隆基	63.6	65.85	9.75	2.25	95.989	99.39
3月18日	隆基	60.45	64.2	14.25(6.6)	3.75	92.49	98.23
3月19日	隆基	61.95	64.8	13.28(6.45)	2.85	94.5	98.81
3月20日	隆基	62.4	65.7	10.65(2.5)	3.3	94	98.98
4月2日	隆基	61.05	64.65	12(6.15)	3.6	93.2	98.66
4月3日	隆基	60.23	63.4	8.86	3.17	94.2	99.15
4月3日	隆基	58.95	63	6.75(2.1)	4.05	92.8	99.18
4月7日	隆基	60.23	64.65	15.08(5.7)	4.42	91.08	97.77
4月8日	隆基	61.5	63.3	13.43(6.15)	1.8	96.39	99.21
4月9日	隆基	59.25	62.4	14.14(7.35)	3.15	93.47	98.44
4月10日	隆基	61.2	63.9	14.18(7.2)	2.7	94.57	98.74
4月14日	隆基	62.48	64.95	12.15(4.8)	2.47	95.32	99.09
4月17日	隆基	60.75	63.3	9.6(0.75)	2.55	95.25	99.25
4月21日	隆基	63.6	65.4	8.85(3.45)	1.8	96.82	99.56
4月22日	隆基	63.3	65.25	10.65(3.75)	1.95	96.43	99.4
4月27日	隆基	61.35	63.75	7.95(2.7)	2.4	95.7	99.44
4月29日	隆基	60.08	64.58	7.95(3)	4.5	92.05	98.95
4月30日	隆基	57.83	61.95	7.5(3.6)	4.12	92.43	99.02
4月1日	隆基	61.95	64.13	7.8(3)	2.18	96.13	99.51
5月5日	隆基	60	62.85	6.75(3)	2.85	94.9	99.43
5月7日	隆基	58.43	63.38	6.75(2.55)	4.95	91.26	98.99
5月12日	隆基	60.75	64.8	7.05(1.95)	4.05	92.99	99.19

表3 第一阶段选别数据

原矿	精矿	尾矿 TFe/ %	尾矿 MFe/ %	提升 幅度/ %	产率/ %	回收 率/%
61.09	64.24	10.56	4.11	3.15	94.18	98.98

杂质元素也被有效降低。特别是 SiO_2 的含量降低明显。这样给后续钢厂的冶炼过程带来许多好处。可以降低冶炼能源,降低冶炼成本,减少废气排放,为国家环保事业做出一份贡献。

1.3.5 尾矿化学多元素分析

LJC-10000 磁悬浮精选机现场应用期间,抽取一组尾矿并进行化学多元素分析,具体数据如表5

所示。

根据表4的数据分析出尾矿中含有大量的有害杂质元素,经过使用 LJC-10000 磁悬浮精选机后,在保证精矿提高能力的前提下,尾矿中的全铁品位指标良好只有 7.24,有害元素的含量比较高,特别是 SiO_2 含量 52.76%。证明磁悬浮精选机可有效去除原矿中的硅含量。实现预期的提品降硅目标。

2 全自动磁悬浮精选机

2.1 研发思路

打破常规电磁精选产品的设计思路和技术瓶颈。以往是通过大量选别用水和一组磁场作用对矿

表 4 磨选系统处理能力考查分析

成分	TFe	TiO ₂	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	P
含量/%	63.38	1.196	0.558	0.567	6.23	2.348	0.032	0.015
成分	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	ZnO	Cr ₂ O ₃	NiO	V ₂ O ₅	CuO
含量/%	0.094	0.12	0.862	0.002	—	0.007	0.036	—

表 5 分选设备尾矿元素化验分析

成分	TFe	TiO ₂	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	P
含量/%	7.24	0.969	3.89	2.24	52.76	16.65	0.165	0.153
成分	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	ZnO	Cr ₂ O ₃	NiO	V ₂ O ₅	CuO
含量/%	0.076	0.12	0.862	0.002	—	0.007	0.036	—

物进行选别。但是水资源对于选矿厂来说是一种选矿成本的投入。不论是补加水还是循环用水都需要新的水资源的补充和泵类的电机功率损耗。另外一组磁场只对脉石和泥沙含量较多的磁性矿物起到选别作用。对于磁包裹和磁夹杂无法起到有效分离作用。目前国内铁矿资源变得越来越差,可选性也越来越差的情况,磁性矿物的嵌布粒度变的越来越细,被选矿物中连生体的含量越来越高。常规磁选机和电磁精选设备无法满足这种趋势的变化。铁矿的价格也维持在一个中低价位水平徘徊,铁矿选厂的生存空间变得紧缩和有限。为了降低选矿成本减小磨矿粒度,保持住或者提高精矿产品的产量。只能寻求在设备方面的研发来适应新形势下的变化。通过选矿设备的技术进步让磁性矿物的精选变成可能。

2.2 独特的结构设计和控制技术

2.2.1 精选机采用四周给矿设计

传统的磁重选设备是中心给矿。磁悬浮精选机是四周给矿结构,在设备上部配置有缓冲箱和给矿分配器,这样矿物容易进行分散的进入分选区域,让分选液面处于平稳的运行状态。

矿物进入到分选区域内通过磁场的作用实现了第一次发分选。第二次的分选是在设备选别区域对入矿水量进行分解,形成单体细水流体作用于被选别矿物。发挥每一个单体水分子的作用力,在设备选别区域的中上部通过流体力学的计算和仿真模拟工具模拟出流体运动轨迹的作用点。确定作用点后引入单体细水流体作用于此处,发挥单体水分子的作用力冲击被选矿物。选别的重点在于从被选矿物

的磁性矿物中释放出铁矿物与脉石的共生体,简称“连生体”。被选矿物本身会受到选别区域弱磁场的作用力保持平衡状态,在受到此冲击力后,磁性矿物与连生体的比磁化系数相差较小的特点,此处磁场较弱,连生体受到的平衡力小,针对此处的单体细水流体力较大,连生体很容易从被选矿物中分离出来。技术特点在于精确控制弱磁场对磁性矿物的作用力,防止在分离连生体的同时被一同分选出来,造成尾矿含量升高。内部结构见图 1。

2.2.2 恒流控制技术

全自动磁悬浮精选机属于低磁场电磁分选设备。在工作时的磁场较低,所以需要精准的控制磁场就尤为重要。精准控制磁场就需要通过精准控制产生磁场线圈的电流值。稳定恒定的直流电流值就变得十分重要了。此设备是通过引入恒流控制单元模块,通过实时监测目标励磁电流后实时调整交流侧的电压,通过实时调整电压的方法实现了精准控制励磁电流的目的。励磁电流稳定在小的波动范围后,设备的电磁磁场也就稳定在 5GS 以内。磁场稳定后可以稳定分选磁场,稳定矿物的吸附能力,稳定了尾矿指标,让设备处于长期稳定运行状态。

2.3 节水、节能优势

与传统电磁精选机相比较节水 30% 以上,每吨矿耗水量 2 m³。减少选厂补充水量,减小水泵功率,减小选矿成本。

1) 精选机的恒定磁场技术的引入,磁场得到精准控制,磁场变化幅度在 5GS 以内。通过磁场的精准控制将磁团聚打开释放其中的脉石和部分贫连生体。磁场的作用力可以减少水量参与的作用力,减

少水量的参与。

2) 细水流体技术将大水量分选变成细水流体分选。单体水分子作用于流体分选作用点上,各个击破磁性矿物与贫连生体的团聚区域。这样可以充分发挥单体水分子的作用力,提高水力效率实现节水目的。

3) 入矿水提取技术。一般入矿矿浆的浓度是40%左右,有些时候会30%。所以至少可以利用入矿矿浆中的50%的水量参与选别。通过特殊的内部结构设计让矿浆水进入到设备选别区域后与细水流体技术一同参与选别,提高溢流的流通能力。

内部结构图如图3所示。

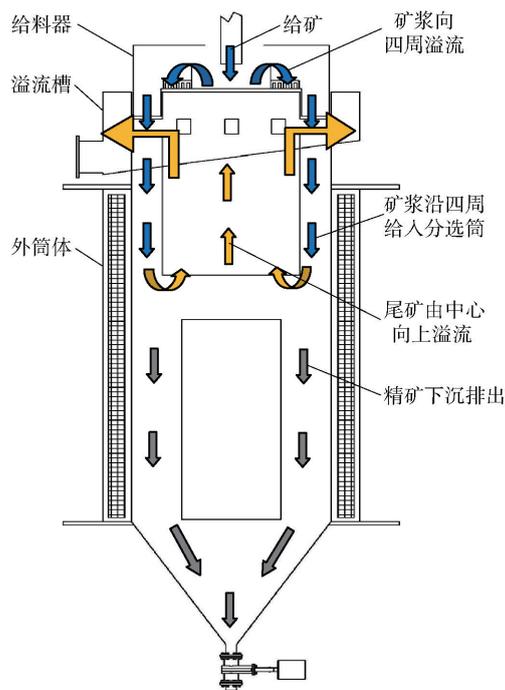


图3 内部结构图

2.4 电控系统

电控系统可分为变压器箱和主控制柜两部分组成。

2.4.1 变压器箱功能

隔离现场电网与设备控制系统的直接连接,避免当现场电网发生短路时,设备控制系统受到来自电网的大电流冲击。导致控制系统内部元器件烧损。另外降低设备励磁部分的供电电压。保护励磁线圈匝间绝缘,延长核心部件使用寿命,节约电能。

2.4.2 主控制柜功能

主控制柜磁悬浮精选机采用西门子最新一代PLC(可编程控制器)对设备的磁场、水量、排矿量,进行自动调节和智能控制,并实现设备运行过程中的参数自动寻优调整。西门子的HMI人机组态画面与现场和远程监控站点实现人性化的参数写入和监视,汇总反馈各部分传感器的数据和参数系统信号。传递情况如图4所示。

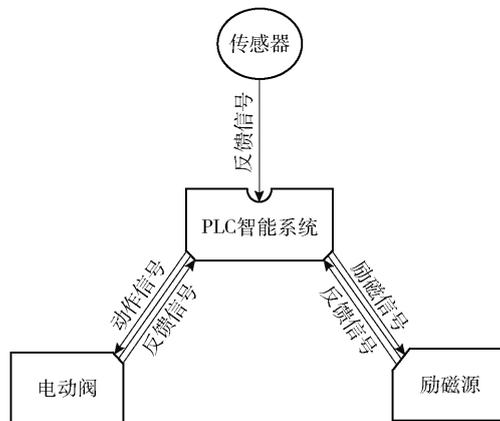


图4 系统信号传递过程图

3 总语

LJC-10000弱磁细流精选机可以解决铜尾矿中含铁矿物的分选,用于流程中的细磨细选工艺。保证回收率的同时替代浮选工艺提高精矿产品品位。产品节能减排,降低环境污染和成本投入。为铜尾矿铁品提质工艺开辟出一条新路。设备自动化程度较高,无人值守功能强大。特别是在精矿指标优越的情况下,尾矿指标还能进一步降低。本次弱磁细流精选机的应用达到了选厂预期的目的,精矿指标稳定在64%以上,尾矿全铁品位保持在10%,尾矿磁性铁含量保持在4%。在贫连生体夹杂严重的情况下也能实现精选分离。凸显了隆基在精选领域的研究成果显著。节水、节能、可以降低冶炼能源,降低冶炼成本,减少废气排放,为国家环保事业做出一份贡献。

[参考文献]

- [1] 选矿设计手册编委会. 选矿设计手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1999.
- [2] 廖常初. S7-1200PLC编程及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2021.

(下转第84页)

[参考文献]

[1] 弋东方. 电力工程电气设计手册(电气一次部分)[M]. 北京:中国电力出版社,2018.

[2] DL_T620—1997,交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].

Discussion on the Expansion Design of 66 kV Substation in Copper Smelting Enterprise

ZHU Shiwei

Abstract: Based on the actual situation of 66 kV substation in copper smelting enterprises, this paper discusses the substation expansion design scheme through theoretical analysis, scientific calculation and the current equipment level. The main contents of the discussion include: the site layout scheme of the extension part. The electrical parameters of three transformers in three operating modes are analyzed and compared to determine the main circuit switchgear and line configuration on the 66 kV side. 10 kV side copper tube bus load, dynamic stability and thermal stability check calculation; Secondary equipment configuration and main protection setting, lightning protection range calculation after lightning rod shift, etc. Practice has proved that the expanded substation runs well, meets the needs of enterprises and achieves the design purpose.

Key words: substation; expansion design; main loop; secondary equipment; lightning protection range



(上接第 75 页)

Research on the Application of Automatic Magnetic Flotation Separator in Improving the Quality for Copper Tailings

XU Jialin, ZHU Dongfang, ZHENG Deliang

Abstract: This article introduces the new generation fully automatic electromagnetic gravity separation equipment LONGi Magnet Co., Ltd. It solved some problems in the production application of the older one which is successfully applied to improve Fe grade in copper tailings. In response to the difficulty of extracting iron from some copper mine tailings through the iron separation process, it is necessary to replace the flotation process. The research and development process, from laboratory data analysis to industrial solution customization, to data analysis during production, has demonstrated the superior performance and reliability of the new generation fully automatic magnetic flotation separation. The necessity of continuing fine sorting of magnetic gravity separation products has been verified. A new route has been opened up for improving the quality of copper tailings and iron products both domestically and internationally.

Key words: copper tailings iron products quality improvement; replacement of flotation; fully automatic magnetic flotation separation; equipment automation level

