

光电智能分选技术在选矿领域的发展与应用

李彦鑫¹, 唐绍义², 刘晓明¹, 许彦¹, 曹义杰¹, 张鹏¹, 杨永军¹

(1. 内蒙古包钢低碳产业科技发展有限公司, 内蒙古 包头 014010;

2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司巴润矿业分公司, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 选矿装备的智能化特征日益鲜明, 而高效的智能化选矿装备技术升级是提高选矿效率的有效途径之一。文章系统介绍了光电智能分选技术在选矿领域的发展历程以及在多矿种分选中的应用进展, 介绍并分析了XRT智能分选机的工作原理和技术性能, 最后利用光电智能分选机对某铁矿含铁岩开展预选试验研究。结果表明, 在原矿粒级为10~100 mm、铁品位为16.49%的条件下, 可抛除铁品位为9.53%、产率为55.39%的尾矿, 获得铁品位为25.13%、铁回收率为67.98%的粗精矿, 达到试验预期指标, 为含铁岩的资源化利用和该设备的进一步推广应用提供科学依据。

关键词: 智能选矿; 光电分选技术; 含铁岩; 预选

中图分类号: TD923

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2024)06-0025-05

Development and Applications of Photoelectric Intelligent Sorting Technology in Field of Beneficiation

Li Yan-xin¹, Tang Shao-yi², Liu Xiao-ming¹, Xu Yan¹,
Cao Yi-jie¹, Zhang Peng¹, Yang Yong-jun¹

(1. Inner Mongolia Baotou Steel Low Carbon Industry Science and Technology Development Co., Ltd.,
Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;

2. Barun Mining Branch Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010,
Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The intellectual features of beneficiation equipment become increasingly prominent and efficient upgrading of intelligent beneficiation equipment technology is one of the effective ways to improve beneficiation efficiency. In this paper, it is systematically introduced the development process of photoelectric intelligent sorting technology in the field of beneficiation and its application progress in multi ore sorting. Moreover, it is introduced and analyzed the working principles and technical performances of XRT intelligent sorting machine. Finally, it is introduced the experimental study of pre-separation for iron bearing rock of an iron ore with photoelectric intelligent sorter. The results showed that the rough concentrate with the iron grade of 25.13% and recovery rate of iron of 67.98% could be obtained by discarding the tailings with the iron grade of 9.53% and productive rate of 55.39% under the condition of the raw ore with the particle size of 10~100 mm and iron grade of 16.49% so that the expected indicators could be achieved, which provides scientific basis for the resource utilization of iron bearing rock and the further popularization and applications of the equipment.

收稿日期: 2024-06-19

作者简介: 李彦鑫(1992-), 男, 内蒙古乌兰察布市人, 硕士, 工程师, 现从事选矿工艺及矿产综合利用研究工作。

Key words: intelligent beneficiation; photoelectric sorting technology; iron bearing rock; pre-separation

光电分选的概念最早于 20 世纪初提出,从第一台光电分选机问世,经过近一个世纪的发展与革新,光电智能分选设备正以其精度高、能耗低、模块化和集成扩展性强等优势在我国矿石预分选领域得到了广泛关注和应用。光电智能分选设备主要利用新一代传感技术对矿石进行初步预选,达到对有用矿物预富集的目的,而高分辨率的传感器还可使矿山开采边界品位下移,将矿山部分难以利用的矿产资源转为可开采储量^[1-2],提高矿山资源综合利用水平,进而延长矿山开采寿命。在“双碳”经济背景下,智能光电分选技术以其节能低碳、绿色高效的特点在助力人工智能选矿厂建设和矿山数字化转型中发挥关键作用。

本文介绍了光电智能分选技术在选矿领域的进展情况及智能分选设备的工作原理,并利用智能光电分选机对某铁矿的含铁围岩分选进行工业试验,试验结果为含铁围岩的资源化利用和该设备的进一步推广应用提供科学依据。

1 光电智能分选技术在选矿领域的发展与应用

1.1 光电智能分选技术在选矿领域发展历程

国外对光电分选技术在矿石分选领域的研究应用较我国起步早约 60 年,在 20 世纪初奥地利最先开始研制并使用光电分选机,但未能得到推广应用;直至 20 世纪 60 年代美国、英国、前苏联、加拿大等国先后研制出各种型号光电分选机用于金刚石、白云石、石灰石、石膏、菱镁矿及石英矿的分选,标志着光电分选技术在选矿领域的应用趋于成熟。随着 X 射线、红外线、激光等优质光源在分选设备的成功应

用,进一步推动了光电分选技术的发展。英国于 1968 年研制出 XR-21 型 X 射线光电分选机用于金刚石的分选,南非研发出 M 系列激光光电选矿机用于菱镁矿、钨矿的分选,前苏联于 1984 年—1995 年研发出 JIC 系列 X 射线分选机用于有色金属分选^[3]。我国也于 20 世纪 60 年代末开始进行光电选矿设备的研制,1966 年—1969 年江西有色冶金研究所研制成功 GS 型光电选矿机,并建成我国第一座光电选矿车间;1978 年江西冶金学院研制出 CGX-I 型磁-光分选机工业样机,并于同年投入下垄钨矿大平选厂使用^[4-5];1981 年 3 月由大吉山钨矿研发的 B650-I 型光电选矿机通过技术鉴定。新一代光电分选设备的更迭标志着光电分选技术在自动化选矿领域得到了全面应用。

进入 21 世纪,随着高精度透射探测传感、高分辨图像采集传输和 AI 人工智能算法等技术的集成,光电智能分选技术正在以系统化、智能化、数字化等特点在矿石分选领域发生颠覆性的变革,其分选应用实现在非金属矿、黑色金属矿、有色金属矿等多场景延伸。智能矿石分选设备国外具有代表性的研发制造企业有挪威 TOMRA 公司、德国 STEINERT 公司和波兰 COMEX 公司等,国内也涌现出诸如北京霍里思特科技有限公司、赣州好朋友科技有限公司和天津美腾科技股份有限公司等优秀企业^[6],其中北京霍里思特公司“光电智能分选技术”于 2022 年 5 月通过了中关村绿色矿山产业联盟组织的成果鉴定,认为该成果在选矿领域达到国际先进水平,具有重要的推广应用价值。光电智能分选技术在选矿领域的发展历程如图 1 所示。

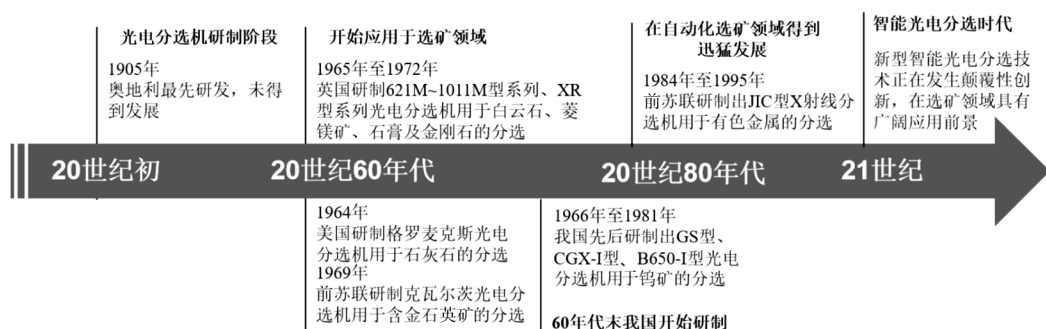


图 1 光电智能分选技术在选矿领域发展历程

1.2 光电智能分选技术在选矿领域应用进展

随着我国矿产资源开发规模的不断扩大,贫矿、难选矿石日益增多,导致矿石采选成本不断增加。而光电智能分选技术随着 AI 算法、大数据及人工智能技术的不断升级和普及,其以高效、精准的强大能

效在各种类型矿石分选中广泛应用,相较于传统工艺无需药剂和水资源的消耗,有效降低了选矿成本。大量实践证明,光电智能分选设备在选矿领域的不同应用场景中均取得较佳分选效果,关键选矿指标情况如表 1 所示。

表 1 光电智能分选技术在选矿领域应用情况

矿石类型	分选粒级 /mm	品位(质量分数)/%			尾矿产率 /%	精矿回收率 /%
		原矿	预选精矿	预选尾矿		
马来西亚石英矿(SO ₂)	15~25	79.45	97.89	11.96	21.46	96.77
江西某萤石矿(CaF ₂)	10~75	51.24	71.92	9.62	33.00	93.77
四川某磷矿(P ₂ O ₅)	10~30	19.52	23.69	8.74	28.64	86.60
甘肃某铁矿(Fe)	15~50	33.58	37.18	9.75	13.12	96.19
甘肃某铁矿,低品位难选矿(Fe)	15~100	23.82	26.44	11.26	17.28	91.83
江西某钨矿(WO ₃)	15~50	1.06	5.10	0.04	79.66	97.02
湖南某锑矿(Sb)	15~70	1.50	2.89	0.08	49.41	97.37
青海某铜矿(Cu)	8~75	1.19	1.93	0.05	38.22	98.27
江西某铀矿(U)	15~90	0.215	0.298	0.018	29.68	97.52
湖南某金矿(Au)	15~60	0.000 280	0.000 754	0.000 049	67.23	88.23
山东某煤矿(原煤)	50~200	排矸率 > 90%, 矸中带煤率 < 3%				

由表 1 可知,光电智能分选设备对入选矿石要求较高,在分选粒度方面存在一定局限性,其适宜的分选粒度在 10~200 mm 之间,而且不同粒度范围需严格匹配对应分选设备才能取得较好的分选效果。因此,需要进一步研发更加精细的探测器和识别算法,并配以高效执行机构降低矿石分选的粒度下限,同时研发矿石分选粒度区间宽泛、单机产量大的多功能一体化设备以满足生产需求。

2 XRT 智能分选机简介

2.1 XRT 智能分选机工作原理

XRT 智能分选技术实现了在超高速下对矿石外表和内部全结构特征的提取,在选矿领域具有显著技术优势。XRT 智能分选机主要由给料系统、运输系统、扫描检测系统和分选执行系统组成,其工作原理为利用待分选矿石、脉石密度的明显差异,首先取少量的矿石、脉石试样进行训练、测试及校正,利用其密度不同,X 射线透射矿石、脉石时吸收程度不

同,再通过相机采集传输,利用工业计算机成像,通过复杂算法计算识别后,根据不同图片灰度值进行深度学习并设立参数,建成模型。XRT 智能分选机在生产时,供料系统将矿石、脉石由皮带高速送入检测区,X 射线将对每颗矿石、脉石透射,相继经多通道、高清晰度相机进行信号采集并传输至工业计算机,通过复杂算法计算及图像处理,再和已建模型参数对比、识别,标记矿块位置信息,工业计算机相应会给脉石对应位置气阀发出指令,利用气动力分离脉石,达到抛废、富集的目的。

以 X104 智能分选机为例,工作原理简图如图 2 所示,矿块经振动给料机均匀给入运输皮带,当矿料进入扫描区,使用射线源发出的 X 射线对原矿进行扫描,同时由高性能探测器采集数据,通过 AI 智能算法识别矿石品位,并用气排枪以高速喷吹方式(上喷或下喷)将原矿分选为预选精矿、中矿和废石,实现预先抛废或废石提精^[7]。

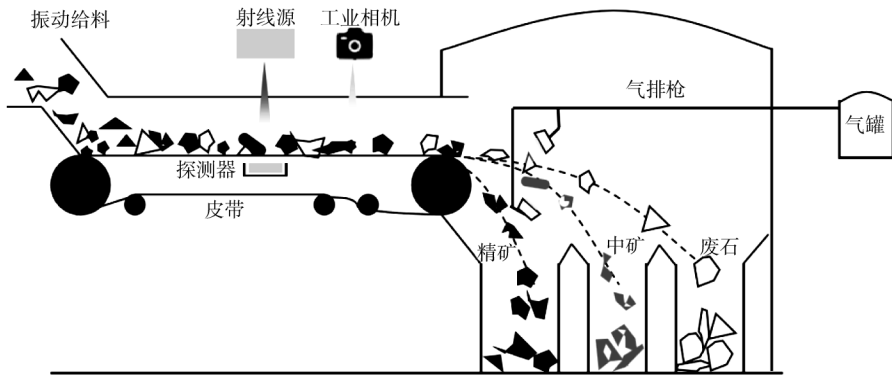


图 2 XRT 智能分选机工作原理简图

2.2 XRT 智能分选机技术性能分析

XRT 智能分选机具有以下技术特点:①X 射线透射技术对矿石具有穿透性检测能力,不受灰尘、含水量、表面污渍、形状和尺寸等因素制约,提高了检测的准确性^[8]。②无需对矿样进行特殊处理,有效提高检测效率,同时不会对矿样造成损伤。③作业过程无需用水,在高寒干旱地区极具适用性。④可对设备进行智能化远程监测、控制,可实现无人值守。⑤射线源为自屏蔽 III 类射线装置,符合国家公共安全等级辐射泄漏标准规定,无需另设屏蔽,运行更加可靠安全。

XRT 智能分选机也具有一定局限性:①当目标矿物与废石密度差异较小时,XRT 智能分选机容易出现误判,导致废石量增多。②对粗粒矿石的解离度有一定要求,需进一步破碎获得适宜入选粒度,确保最佳选别效果。③目前市面上大部分设备要求入选矿石粒径在 10 ~ 300 mm,对于较小粒径的矿石,分选精度较低^[9]。④对于组分复杂、多金属共伴生的矿石存在难以分辨的情况,在选矿过程中存在漏选、误选现象,选出的废石中夹带有价矿石。⑤ XRT 智能分选机较传统分选设备零件更为精密,设备价格高。⑥给矿物质流中的粒度分布、料层厚度对分选精度有较大影响,需增加筛分系统确保来料粒度均匀、料层厚度适宜。

针对设备的不足之处,需进一步优化高精度传感技术和核心算法,提高矿物辨识精度,同时充分利用物联网、大数据、远程通信等技术不断完善不同应用场景的数据库信息,确保工艺适应性和稳定性。采用多重检测手段并用和联合预选工艺以解决矿物成分复杂、矿石粒径限制等问题,使设备向多功能集成、全智能高效分选发展^[10]。

3 光电智能分选技术在某铁矿含铁岩分选的应用

由于某铁矿进入开采末期,铁矿石供应量减小,对矿山固废的处理和综合利用要求提到新的高度,为此,综合回收含铁岩中的铁资源意义重大。采用光电智能分选机对含铁岩开展工业试验研究。取代表性试样 2 000 kg,经检测分析,该试样铁品位为 16.72%、氧化亚铁含量为 7.84%,磁性率为 48.89%,属于磁性围岩。先将含铁岩矿样进行破碎筛分,分成 0 ~ 10 mm 与 10 ~ 100 mm 两个粒度,10 ~ 100 mm 粒度矿样利用光电智能分选机进行选别,0 ~ 10 mm 粒度矿样利用常规干式磁选机(永磁磁滑轮)进行选别,期望精矿铁品位达到 25% 以上,同时尾矿铁品位控制在 10% 左右。选矿试验结果及数质量流程图分别见表 2 及图 3。

表 2 含铁岩预选试验结果

干选机类型	分选粒级 /mm	品位(质量分数)/%			尾矿产率 /%	精矿回收率 /%
		原矿	预选精矿	预选尾矿		
常规干式磁选机(永磁磁滑轮)	0 ~ 10	16.30	25.44	9.04	55.73	69.09
智能光电分选机	10 ~ 100	16.49	25.13	9.53	55.39	67.98

由表2可知,10~100 mm 粒级磁性含铁岩通过光电智能分选机选别,在原矿铁品位为 16.49% 的条件下,可抛除 55.39% 的尾矿,尾矿铁品位为 9.53%,得到精矿铁品位为 25.13%、铁回收率为 67.98% 的选别指标;0~10 mm 粒级含铁岩采用干式弱磁选工艺选别,在原矿铁品位为 16.30% 的条件下,可抛除 55.73% 的尾矿,尾矿铁品位为 9.04%,得到精矿铁品位为 25.44%、铁回收率为 69.09% 的选别指标。不同粒度的两种预选方式选别指标相近且均达到预期目标,表明光电智能分选机在含铁岩预选中具有较佳效果,而且在保证选别指标合格前提下,光电智能分选机较常规干式磁选机可放宽入选粒度,进一步降低破碎能耗,降低选矿成本。

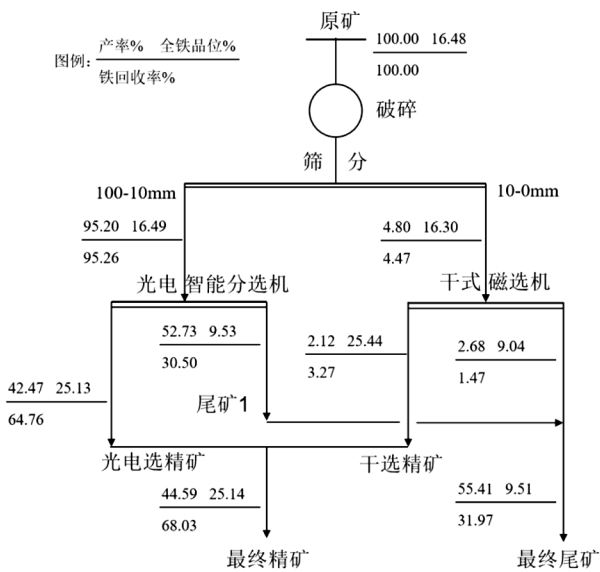


图3 含铁岩预选试验数质量流程图

综合两个粒级、两种选别工艺试验结果可得出,铁品位为 16.48% 的磁性含铁岩通过光电智能分选与干式磁选联合预选后,可得到最终预选精矿铁品位为 25.14%、产率为 44.59%、铁回收率为 68.03% 的选别指标,达到试验预期目标。

4 结论

(1) 光电智能分选技术经过一个多世纪的发展与革新,经实践证明在选矿领域有显著的技术优势,可广泛应用于选矿领域的不同场景,极具推广应用前景。但同时智能光电分选设备存在诸多局限性,应继续提高设备综合性能以保证在复杂工况条件下

的工艺适应性和稳定性,而多功能集成、全智能高效分选设备是未来重要的发展方向。

(2) 通过光电智能分选机对含铁岩预选试验研究,在原矿铁品位为 16.49%、粒级范围为 10~100 mm 的条件下,可抛除产率为 55.39%、铁品位为 9.53% 的尾矿,得到预选精矿铁品位为 25.13%、铁回收率为 67.98% 的选别指标,达到试验预期目标。

参 考 文 献

- [1] 朱金波,尹建强,杨晨光,等. 光电分选技术进展及其在磷矿选别中的应用与展望[J]. 洁净煤技术,2021,27(1):202-203.
- [2] Robben C, Condori P, Takala A. Sensor-based Ore Sorting at San Rafael Mine [C]//In Proceedings of the International Mineral Processing Conference: Moscow, Russia: 2018: 17-21.
- [3] 郑飞. 国外光电分选机的进展[J]. 有色金属(选矿部分),1980(2):38-43.
- [4] 范家豫,饶宇欢,余新阳,等. X射线矿石分选设备的发展及应用[J]. 中国钨业,2022,37(6):32-41.
- [5] 施逢年. CGX-I型磁-光分选机鉴定会[J]. 有色金属(选矿部分),1983(2):64.
- [6] 吴西顺,张伟,赵相宽,等. 基于传感器的矿石预富集技术发展新趋势[J]. 中国矿业,2022,31(6):10-15.
- [7] 黎多庆,秦昌静. 浙江某铅锌矿应用 XNDT-104 射线智能分选机抛废分选试验[J]. 现代矿业,2021,37(1):142-144.
- [8] 朱道瑶,梁殿印,史佩伟,等. 矿石拣选技术和设备的研究和进展[J]. 矿山机械,2016,44(7):5-10.
- [9] 耿志强,吴启明,江国华,等. XRT 智能预选技术在有色金属矿山中的应用进展[J]. 铜业工程,2023(5):119-122.
- [10] Luo X P, He K Z, Zhang Y, et al. A Review of Intelligent Ore Sorting Technology and Equipment Development [J]. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 2022,29(9):1647.