

X 射线分选技术在磷矿选矿中的应用研究

李艳¹, 余媛元², 童晓蕾³, 刘浩然¹, 魏祥松¹

(1. 中化地质矿山总局地质研究院, 北京 100101; 2. 西南化工研究设计院有限公司, 四川 成都 610200; 3. 北京霍里斯特科技有限公司, 北京 102600)

摘要: 本文介绍了磷矿选矿现状和问题, 介绍了 X 射线分选技术的原理及应用现状, 对其在磷矿中的应用进行了详细的介绍和数据分析。X 射线分选技术是无水分选, 工艺流程简单, 可解决因磷矿石品位低选矿比高, 重介质选矿介质消耗大, 造成传统选矿方法成本高, 同时对环境产生不良影响等问题。提出了提高磷矿 X 射线分选技术精准化的方法, 并对该技术在磷矿领域的应用前景进行了展望。

关键词: 磷块岩; X 射线分选; 磷矿选矿; 精准化分选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.02.018

中图分类号: TD913;TD97 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2023) 02-0100-06

中国磷矿资源丰富, 主要分布在云南、湖北、贵州、四川、湖南五省, 分布集中、富矿少, 贫矿多、易选矿少、难选矿多^[1]。按照地质成因分类, 磷矿石主要分为磷灰石矿、磷块岩矿和磷灰岩矿, 以沉积磷块岩为主, 在我国占 97% 以上。磷块岩矿特点矿层厚、品位较高、矿床规模较大, 但能直接利用的磷块岩不多, 大部分需要通过选矿后才能利用。

1 磷块岩矿石性质及选矿工艺特点

1.1 磷块岩矿石性质

磷块岩是海底形成的化学沉积岩, 我国磷块岩矿床主要是早寒武纪下统梅树村阶磷块岩矿床和晚震旦纪陡山沱组磷块岩矿床, 矿物与岩石组成较复杂。矿石性质主要有以下特点: ①矿石工业类型主要有硅质型磷块岩、钙质型磷块岩和硅(钙)-钙(硅)质型磷块岩, 后者占比 80% 左右, 磷块岩矿 P_2O_5 含量一般为 15%~25%, 含量大于 28% 的富矿只占 8%; ②矿石结构主要有泥晶结构、颗粒结构、生物结构、陆屑-胶结结构、结核状结构和交代结构, 矿石构造主要有条带状构造、条纹状构造、致密块状构造、互层状构造和叠层构造; ③磷块岩镜下呈凝胶状, 主要矿物为碳氟磷灰石, 俗称“胶磷矿”。脉石矿物一般为白云

石、方解石、石英、玉髓、粘土矿物以及有机质等; ④磷块岩具有多变性, 不同矿床, 不同矿区, 不同矿层, 甚至不同矿段的矿石中含磷矿物的化学组成, 可选性多不一致^[2]。

1.2 磷块岩传统选矿工艺

磷块岩中磷矿物嵌布较为分散, 磷矿物的多变性和共生碳酸盐脉石矿物(白云石和方解石)性质与其相近, 使该类矿石选矿难度较大, 工艺复杂。根据磷矿深加工对磷精矿和精矿中杂质含量的要求, 通常需要选矿方法富集含磷矿物, 降低有害杂质含量。磷块岩结晶颗粒极细, 杂质嵌布复杂, 获得高品位磷精矿对选矿工艺要求高。常规的选矿方法主要有正浮选, 正-反浮选, 反浮选, 双反浮选, 重介质选矿, 重介质-浮选联合选矿等。

浮选目前仍然是占主导地位的选别方法, 磷块岩浮选特点主要有: ①高能耗。磷块岩矿石矿物分散性和嵌布粒度细的特性, 要求入选粒度细才能达到矿物间的解离, 一般磨矿细度要求达到 -0.076 mm 含量大于 80% 甚至更细; ②高药耗。磷块岩浮选需要严格的药剂制度才能达到较理想的选矿指标, 包括药剂种类, 药剂用量, 添加地点, 添加顺序, 与矿浆搅拌时间等; ③针对硅(钙)-钙(硅)质型磷块岩^[3], 需要将磷矿物与

收稿日期: 2022-05-10

作者简介: 李艳(1982-), 女, 高级工程师, 主要从事选矿, 资源综合利用研究。

通信作者: 余媛元(1981-), 女, 工程师, 主要从事矿山技术及环境安全研究。

硅酸盐矿物和碳酸盐矿物分离才能获得合格精矿，浮选流程比较复杂。通常需要正-反浮选，双反浮选，中矿单独处理等方法。

在有些矿区如湖北宜昌，磷矿石结构构造主要呈条带状构造，磷矿条带宽，磷质条带与脉石条带容易分开，在较粗的破碎粒度条件下可实现磷块岩的单体解离，磷块岩集合体和脉石矿物集合体存在比重差，满足磷酸盐矿物和脉石矿物通过重介质选矿选别分离的条件。同时伴随重介质三产品旋流器的大型化、旋流器耐磨材料的改进，重介质分选设备分选精度的提高、重介质比重监测和控制技术的进步等工艺条件下，为磷矿重介质选矿实现工业化应用奠定了基础^[4]。通过直接采用重介质选矿或者重介质-反浮选联合流程处理，可获得较好的经济技术指标。目前宜昌矿区已经形成400多万吨重介质选矿处理能力，年处理量100万吨选厂有湖北宜化矿业花果山磷矿选厂和宜昌三宁矿业挑水河选厂，年处理量60万吨选厂有宜昌宝石山选厂、宜昌新磷选厂、宜昌中孚选厂和远安祥云选厂。

磷块岩类矿石选矿技术成熟，但是磷矿浮选高能耗、高药耗使得磷精矿成本过高，环境污染问题日趋凸显，选矿厂废水处理是矿山生产建设的重要课题^[5]，也是一大难题。随着各行业科技进步，新型选矿方法应用越来越多，X射线分选技术在许多矿种已成功实现工业化应用。

2 X射线分选技术工作原理

X射线分选技术模仿手选的动作，用机械和电的组合进行矿物分离的选矿方法。即在一般X光的照射下，利用不同矿物对X光的反射和透过程度的差异，通过光敏元件将X光的变化转变为电信号的变化，推动继电器执行机构动作，将矿物分离。以XNDT-104X射线智能机为例，其分选系统由传感系统、智能识别系统和分离系统构成^[6]。采用X光透射（传感系统）及电脑图像处理技术（智能识别系统）对矿物进行识别后，再采用高压喷吹装置（分离系统）进行分离。

2.1 工作原理

矿石经给料系统给入高速皮带，运行1~2 m调整至平稳状态，当矿石通过射线源正下方时，由高压激发的X射线照射，皮带上的矿石块会减弱射线强度，使穿透矿石的X射线因石块中所测元素含量的高低而产生不同程度的衰减。皮带下

方的探测器采集衰减强度数据信息，将其转化为光电数字信号传送给工控机。工控机中运行智能分选软件，对数据进行成像处理并进行分析识别，根据预先设定的分选参数，判别并标记矿石块为废石或高品位矿石，同时把已标记的矿石位置信息发送给喷吹控制单元。当矿石块飞离皮带经过气排枪时，气排枪的喷嘴精准地喷吹已标记的高品位矿石或废石，从而将废石块和高品位矿石进行分离。

2.2 X射线分选技术应用条件

X射线智能分选的矿石需要满足三个条件：①脉石矿物与有用矿物在X射线透视后具有光谱特异性，易于系统进行矿物识别；②所选矿石为块状、颗粒状，破碎筛分后能够得到适宜的矿石粒度，便于系统对矿物进行有效机械分离；③所选矿石矿化不均匀，入选的块状矿石间品位有较明显的差异。

2.3 X射线分选技术优点

X射线分选机处理矿石能力一般在60~80 t/h，技术优点主要有：①X射线透视，可精准探知矿石内部不同矿物对X光反射和透过程度的差异，达到精确分离；②矿石粒级要求宽，可根据矿石性质进行调整；③无水作业，可以满足缺水地区工业化生产，无需水处理装置；④可实现无人化机械作业，工作效率高。

3 X射线分选技术应用现状

X射线分选技术是在拣选、高能射线和电子计算机技术的应用结合下形成的研究方向^[7]，上世纪六十年代就成为苏联金刚石选矿厂的主要设备。X射线选矿分选机能分选各种类型的块状矿石和原料，能够将废石、夹石与矿石分离，或低品位矿石与高品位矿石分离^[8]。已成功应用于锡矿、钨矿、钼矿、金矿、煤矸石等矿石的预先抛尾处理，分选效果较好。

3.1 X射线智能分选技术在金属矿的应用

X射线智能分选技术目前主要应用于锑矿、铅锌矿、锡矿、铜矿、黑钨矿、金矿的预先抛废抛尾作业。从表1实例可以看出，这些矿石经过X射线分选后，可以抛除大量废石。锑矿、钨矿、锡矿、金矿石经分选后可以预先剔除70%~80%超低品位废石，同时极大提高入选品位。铜矿和铅锌矿也能预先抛除38%和52%的废石，入选品位提高约一倍。通过预先抛废，可以降低后

续的破碎、磨矿功耗，提高入选品位，降低药耗，提高磨浮车间处理能力。

表 1 X 射线智能分选机分选金属矿石实例
Table 1 X-ray intelligent separator separation of metal ore examples

矿石类型	粒度/mm	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
湖南锡矿山锑矿 (Sb)	15~100	粗精矿 ⁺	30.10	4.70		95.29	
		尾矿 ⁺	69.90	0.10		4.71	
		原矿 ⁺	100.00	1.49		100.00	
江西章源钨矿 (WO ₃)	15~50	粗精矿 ⁺	20.34	5.10		97.02	
		尾矿 ⁺	79.66	0.04		2.98	
		原矿 ⁺	100.00	1.06		100.00	
云南某锡矿 (Sn)	15~90	粗精矿 ⁺	29.84	0.60		96.23	
		尾矿 ⁺	70.16	0.01		3.77	
		原矿 ⁺	100.00	0.19		100.00	
湖南某金矿 (Au, g/t)	15~60	粗精矿 ⁺	33.12	7.54		88.40	
		尾矿 ⁺	66.88	0.49		11.60	
		原矿 ⁺	100.00	2.80		100.00	
青海某铜矿 (Cu)	8~75	粗精矿 ⁺	61.78	1.93		98.27	
		尾矿 ⁺	38.22	0.05		1.73	
		原矿 ⁺	100.00	1.19		100.00	
辽宁某铅锌矿	+8-75mm	粗精矿 ⁺	47.81	3.08	5.33	96.44	96.82
		尾矿 ⁺	52.19	0.10	0.16	3.56	3.18
		原矿 ⁺	100.00	1.53	2.63	100.00	100.00

3.2 X 射线智能分选技术在萤石矿的应用

江西某萤石矿属硅质萤石型，有用矿物为萤石，脉石矿物主要为石英和方解石，当原矿品位 CaF₂ 51.24%，经分选后粗精矿品位 CaF₂ 71.92%，可以预先抛除 33% 的尾矿。综合回收河北承德某萤石矿剥采废石，当原矿品位 CaF₂ 含量 17.40%，通过一次 X 射线分选，可获得萤石品位 CaF₂

30.07% 的粗精矿，回收率 80.21%。实验结果详见表 2。对于高质量的萤石矿，萤石块中杂质较少，通过 X 射线分选可以直接获得冶金用萤石块矿；对于目前不能直接利用的低品位萤石，通过 X 射线分选抛除大量脉石，提高萤石品位，达到浮选用萤石标准，可以将目前无法利用的萤石剥采废石和尾矿等固废综合利用。

表 2 X 射线智能分选技术分选萤石实例
Table 2 X-ray intelligent sorting technology of fluorite examples

矿石类型	分选粒度/mm	原矿		精矿指标/%		尾矿指标/%	
		品位/%	产率	品位	回收率	产率	回收率
江西某萤石矿	+10-75	51.24	67.00	71.92	93.77	33.00	6.23
承德萤石废石	+10-50	17.40	46.00	30.07	80.21	54.00	19.79

4 X 射线分选技术在磷矿中的应用

每一种不同的物质对每一个谱段的 X 光的衰减特性都为特异的，这种特异性既包括物质特异性，也包括光谱特异性。针对磷矿石，当 X 射线经过矿石时，矿石中不同矿物（主要为磷灰石、石英、玉髓、白云石）对 X 射线产生特异性衰减，从而使得 X 光探测器接收到的信号产生特异差。X 射线分选智能识别系统可为磷矿针对性设计 X 光机的能谱区间及 X 光探测器的敏感能谱采集区间，为智能识别系统深度学习提供对磷、硅、镁相对敏感的 X 光透视数据^[9]。

识别模型建立实验矿样为宜昌杉树垭磷矿石，实验设备为 XNDT-104 智能分选机。对不同

粒度下的矿石样本，综合优化模型，在保证磷矿石较好回收率的情况下最大化提高矿石分类准确率。磷矿石聚类训练效果见图 1，其中红色为磷矿石样本类训练后的识别结果，蓝色为脉石矿物样本类训练后的识别结果。可以看到基于经过设计后的 X 光系统，两类矿石在识别系统中具有较好的类间差异，可以实现有效区分。

4.1 选矿实例

(1) 案例一：四川某镁硅质磷块岩^[10]，有用矿物主要为胶态磷灰石，少量细晶磷灰石，脉石矿物主要为白云石、石英、玉髓、方解石、黄铁矿和炭质等。原矿中 P₂O₅ 19.52%，SiO₂ 21.43%，CaO 34.56%，MgO 4.87%。选矿粒度为-30+10 mm，

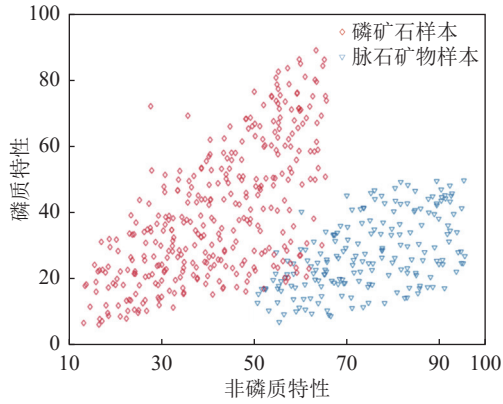


图 1 宜昌杉树桠磷矿石聚类训练效果

Fig.1 Effect of cluster training on phosphorus ore of Shanshuya in Yichang

通过一次 X 射线分选，抛除尾矿产率为 28.64%，品位 P_2O_5 8.74%，入浮原矿品位从 P_2O_5 19.52% 提高至 23.69%。X 射线分选-反浮选联合流程分选指标和正-反浮选工艺流程分选指标见表 3。正-反浮选精矿产率 51.62%，品位 P_2O_5 30.56%；X 射线分选-反浮选流程精矿产率 45.57%，品位 P_2O_5 34.58%。两个流程回收率基本一样，总体来看 X 射线分选-反浮选工艺流程指标更好。

(2) 案例二：沙特某海相沉积型磷矿^[11]，矿石矿物主要为非晶质胶磷矿和隐晶质磷灰石，脉石矿物以方解石为主，其次是石英、玉髓，含微量粘土矿物。入选粒级为 -25+9 mm，-60+25 mm，

表 4 宜昌磷矿原矿化学多项分析/%

Table 4 Chemical analysis of Yichang Phosphate

P_2O_5	MgO	SiO_2	CaO	CO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	F	K_2O	Na_2O
22.07	6.09	16.51	37.57	8.31	1.13	2.95	2.13	1.76	0.41

表 5 宜昌磷矿 X 射线分选实验结果

Table 5 X-ray separation test results of Yichang Phosphate

序号	粒级/mm	原矿品位/%	精矿指标					尾矿指标		
			产率/%	P_2O_5 品位/%	MgO含量/%	SiO_2 含量/%	回收率/%	产率/%	P_2O_5 品位/%	回收率/%
1	+8-50	19.95	58.20	27.85	2.79	10.19	81.23	41.80	8.96	18.77
2	+8-50	20.47	47.90	31.09	1.91	9.76	72.76	52.10	10.70	27.24
3	+8-25	21.89	58.37	29.71	2.43	10.17	79.22	41.63	10.93	27.06
4	+25-50	16.72	31.47	28.49	2.73	12.07	53.61	68.53	11.32	46.39

(4) 案例四：宜昌某下磷层磷块岩，条带状产出，上贫矿主要是钙镁质磷矿，平均品位 P_2O_5 20% 左右；中富矿为泥硅质磷矿和钙镁质磷矿两种，平均品位 P_2O_5 33% 左右；下贫矿以含碳的泥硅质磷矿为主，矿石平均品位 P_2O_5 16% 左右。实验矿样主要为上贫矿和下贫矿，品位 P_2O_5 从 16% 到 22% 之间，X 射线分选实验结果见表 6。

从表 6 来看，下磷层磷矿品位变化大，通过

表 3 对比实验结果

Table 3 Comparison test results

实验流程	精矿指标/%			尾矿指标/%		
	产率	品位	回收率	产率	品位	回收率
正-反浮选	51.62	30.56	80.61	48.38	7.84	19.39
X射线-反浮选	45.57	34.58	80.52	54.43	7.00	19.48

-80+60 mm，-100+80 mm 四个粒级，使用 XRF 光电选矿机分选后，获得混合精矿。当入选原矿品位 P_2O_5 13.45% 时，分选指标为精矿产率 78.18%，精矿品位 P_2O_5 15.37%，回收率 89.33%， SiO_2 含量从 14.37% 降至 1.44%；当入选原矿品位 P_2O_5 10.44% 时，分选指标为精矿产率 66.67%，精矿品位 P_2O_5 13.39%，回收率 85.49%， SiO_2 含量从 25.21% 降至 2.36%，除硅效果明显。

(3) 案例三：宜昌某钙质条带状磷矿，矿石中有益矿物为泥晶磷灰石（胶磷矿），脉石矿物主要是白云石、石英、玉髓和粘土矿物。磷酸盐矿物的空间分布多以条带状或纹层状形式分布；白云石主要以胶结物的形式分布于磷质砂屑的孔隙间，或成条带状分布，构成白云岩条带；石英和玉髓构成硅质条带，与白云岩和磷块岩互层分布。原矿多项分析结果见表 4，原矿经破碎后，筛除 -8 mm 细粒级矿石，对筛上矿物进行 X 射线选矿实验，通过一次 X 射线分选，精矿品位可达 P_2O_5 28% 以上，回收率 80% 左右。实验结果见表 5。

一次 X 射线分选后，精矿品位基本可以达到 P_2O_5 26%，回收率与原矿品位关系较大，基本在 75% 以上，尾矿指标 P_2O_5 含量在 10% 左右。

为分析 X 射线分选效果，对第 4 组选别实验的精矿（ P_2O_5 28.60%）和尾矿（ P_2O_5 10.60%）进行了筛分分析，结果见表 7。按照矿块中含磷矿物和脉石矿物比例进行人工手选分类，分选结果见表 8。

表 6 杉树垭磷矿 X 射线分选实验结果
Table 6 Results of X-ray separation test of Shanshuya phosphate

分选粒度/mm	原矿		精矿指标			尾矿指标	
	品位/%	产率/%	品位/%	回收率/%	产率/%	品位/%	回收率/%
-50+15	16.85	42.71	27.22	68.99	57.29	9.12	31.01
-25+15	17.78	52.28	25.64	75.39	47.72	9.17	24.61
-40+10	19.48	55.73	27.47	78.59	44.27	9.42	21.41
-50+10	20.54	55.22	28.60	76.89	44.78	10.60	23.11
-50+10	20.32	63.49	26.15	81.71	36.51	10.18	18.29
-50+10	21.89	58.36	29.71	79.21	41.64	10.93	20.79

表 7 杉树垭磷矿精矿、尾矿筛分分析结果
Table 7 Screening analysis results of Shanshuya phosphate concentrate and tailings

筛分粒度/mm	精矿筛析			尾矿筛析		
	产率/%	品位/%	回收率/%	产率/%	品位/%	回收率/%
-10	7.51	20.99	5.55	4.23	14.79	5.99
+10-20	18.26	29.35	18.87	14.99	9.74	13.98
+20-30	42.66	29.26	43.95	31.16	8.92	26.60
+30-40	19.17	27.90	18.83	24.73	13.48	31.91
+40-50	12.39	29.32	12.79	24.89	9.03	21.51
合计	100.00	28.40	100.00	100.00	10.45	100.00

表 8 杉树垭磷矿精矿、尾矿手选分析结果
Table 8 Results of manual separation analysis of Shanshuya phosphate concentrate and tailings

含磷矿物比例/%	精矿			尾矿		
	产率/%	品位/%	回收率/%	产率/%	品位/%	回收率/%
90	50.60	32.84	58.51	--	--	--
70	18.87	27.54	18.30	12.65	25.09	30.37
50	15.89	25.13	14.06	19.53	16.17	30.23
10	7.12	14.26	3.58	63.59	5.49	33.41
-10	7.51	20.99	5.55	4.23	14.79	5.99
合计	100.00	28.40	100.00	100.00	10.45	100.00

4.2 案例结果分析

从技术上说，X 射线分选技术应用于磷矿选矿是可行的，尤其针对条带状磷块岩，含磷矿物和脉石矿物分离效果好。

(1) 从案例一和案例二分析，X 射线分选技术除硅效果明显，X 射线分选-反浮选联合流程分选指标好。可以解决正-反浮选工艺复杂，工业化操作困难，药剂种类多，用量大，药成本高等问题。

(2) 针对条带状的磷块岩，X 射线分选技术适应性强。低品位磷矿和中低品位磷矿基本可以采用 X 射线分选技术获得 P₂O₅ 28% 左右的磷精矿，甚至可获得 P₂O₅ 31% 以上的磷精矿。

(3) 从案例三实验分析，分级选矿可以降低干扰，提高精矿品位。在相同的选别条件下，细粒级分选效果明显好于粗粒级分选效果；针对不同粒级矿石适当调整分选参数可获得更好的分选效果。

(4) 从案例四精矿、尾矿筛析数据分析，磷矿石分选适宜的粒级区间为+10-50 mm。从案例四人工手选结果分析，磷矿 X 射线精准化分选还有提升空间。精矿中含磷矿物 10% 左右的矿石产率 7.12%，品位 P₂O₅ 14.26%；尾矿中含磷矿物约 70% 的矿石产率 12.65%，品位 P₂O₅ 25.09%。对该部分

产品精准选别，可以提高精矿品位和回收率，提高分选效率。

5 结 论

(1) X 射线分选技术适用于磷矿石分选。针对条带状磷块岩，X 射线分选效果好，可以直接获得合格磷精矿；针对硅（钙）-钙（硅）质磷块岩，采用 X 射线-浮选联合工艺流程，预先抛除部分脉石矿物，减少入浮脉石，减少药剂用量，减少能耗，达到提质增效，降低精矿加工成本的目的。

(2) X 射线分选技术的应用，可以综合回收利用开采中的表外矿、堆存废矿等低品位磷矿石，达到矿山固废综合利用，扩大可利用磷矿资源量，节约土地资源等目的。

(3) 磷矿石 X 射线精准化分选技术还可以进一步提升。结合破碎实验研究和工艺矿物学研究，优化智能识别系统，减少分选干扰，提高精准分选效率。

(4) 目前 X 射线分选机多为两产品分选机，鉴于下游企业对磷精矿产品不同需求，可以考虑增加多产品 X 射线分选机，同时获得高品位磷精矿（P₂O₅ 30% 以上）和中等品位磷精矿（P₂O₅

26%左右),从而提高磷矿石回收率,节约资源,使磷矿石物尽其用。

参考文献:

- [1] 韩豫川,夏学惠,肖荣阁,等.中国磷矿床[M].北京:地质出版社,2012.
HAN Y C, XIA X H, XIAO R G, et al. China phosphorus deposit[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012.
- [2] 彭儒,罗廉明.磷矿选矿[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1992.
PENG R, LUO L M. Phosphate mine dressing[M]. Wuhan: Wuhan University of Surveying and Mapping Technology Publishing House, 1992.
- [3] 王涛,付磊,李宁.某硅钙质胶磷矿正反浮选实验研究[J].*矿产综合利用*, 2020(2):91-95.
WANG T, FU L, LI N. Study on direct-reverse flotation of a silica calcinate phosphate ore[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(2):91-95.
- [4] 汤优优,喻连香,陈雄.重介质选矿技术在处理有色金属矿和非金属矿的研究现状及展望[J].*矿产综合利用*, 2021(4):118-124.
TANG Y Y, YU L X, CHEN X. Research status and prospects of heavy medium beneficiation technology in treating non-ferrous and non-metallic ores[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(4):118-124.
- [5] 朱一民.2020年浮选药剂的进展[J].*矿产综合利用*, 2021(2):102-118.
ZHU Y M. Development of flotation reagent in 2020[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(2):102-118.
- [6] 孙照焱,蒋康生,尹华功,等.XNDT-104智能分选系统在闪星铋业的应用[J].*有色金属设计*, 2019, 46(3):128-131.
SUN Z Y, JIANG K S, YIN H G, et al. Application of XNDT-

- 104 intelligent sorting system in Shanxing Antimony Industry Co., Ltd.[J]. *Nonferrous Metal Design*, 2019, 46(3):128-131.
- [7] 韩跃新,王泽红,陈晓龙,等.X射线辐射分选技术及设备的发展与应用[J].*矿产综合利用*, 2013(6):11-14.
HAN Y X, WANG Z H, CHEN X L, et al. Development and application of X-ray radiation separation technology and equipment[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2013(6):11-14.
- [8] 印万忠,吴尧,等.X射线辐射分选原理及应用[J].*中国矿业*, 2011, 20(12):88-90.
YIN W Z, WU Y, et al. The theory and application of X-ray separation technology[J]. *China Mining Magazine*, 2011, 20(12):88-90.
- [9] 李宇新,童晓蕾,李艳,等.重介质选矿、X射线分选在宜昌磷矿各矿层选矿的工业应用对比[J].*化工矿产地质*, 2020, 42(1):77-82.
LI Y X, TONG X L, LI Y, et al. Comparison of the industrial application of heavy medium beneficiation and X-ray separation of mineral dressing in mineral layers of Yichang phosphate mine[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2020, 42(1):77-82.
- [10] 余新文,杨敏,毛素荣,等.X射线分选技术在磷矿石选矿中的应用[J].*化工矿物与加工*, 2020, 网络首发: 2020, network launch: 1-8.
YU X W, YANG M, MAO S R, et al. Research on application of X-ray separation technology in beneficiation of phosphate rock[J]. *Industrial Minerals & Processing*, 2020, network launch: 1-8.
- [11] 李宁,张树洪,彭桦,等.光电选矿在某磷矿中的应用实践及评价[J].*非金属矿*, 2018, 41(2):73-75.
LI N, ZHANG S H, PENG H, et al. Application practice and evaluation of photoelectric separation in a phosphate mining industry[J]. *Non-Metallic Mines*, 2018, 41(2):73-75.

Study on the Application of X - ray Separation Technology in Phosphate Mine Dressing

Li Yan¹, Yu Yuanyuan², Tong Xiaolei³, Liu Haoran¹, Wei Xiangsong¹

(1.Geological Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Beijing, China; 2.Southwest Research & Design Institute of the Chemical Industry, Chengdu, Sichuan, China; 3.Beijing Hollister Technology Co., Ltd., Beijing, China)

Abstract: This paper introduces the present situation and problems of phosphate mine dressing, introduces the principle and application status of X-ray separation technology, and gives a detailed introduction and data analysis of the application in phosphate mine dressing. X-ray separation technology is non-water separation and simple process, it can solve the problems such as high flotation ratio of low grade phosphate ore, high consumption of heavy medium, high cost and bad influence on environment. Proposes some methods to improve the precision of X-ray separation technology of phosphate rock, and prospects the application prospect of this technology of phosphate.

Keywords: Phosphorus rock; X-ray separation; Phosphorus mine dressing; Precision separation