

共生矿产与尾矿综合利用

大西沟菱铁矿全组分高效开发利用技术研究

李家林, 陈雯, 袁壮, 陈昌, 刘小银, 彭泽友

长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012

中图分类号: TD951.1; TD98 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2022)06-0045-07
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.06.006

摘要 陕西大西沟拥有我国最大的菱铁矿床, 现有焙烧工艺与尾矿处理面临着生产成本与环保的挑战。为提升矿山企业生命力, 实现“降本增效, 无尾矿山”的目标, 对大西沟菱铁矿展开系统性研究。研究结果表明, 试验矿石为低磷含硫含铜的磁铁矿-菱铁矿, 根据其性质制订了预选抛尾—干式磨矿—闪速磁化焙烧—选铁—综合回收铜与云母—尾矿建材化的全流程方案。原矿 TFe 品位仅为 19.91%, 铁品位较低, 这将大幅度增加后续处理成本。因此, 为降低后续处理成本, 矿石经磁选抛尾处理使得 TFe 品位达到 23.34%。以预选样品作为基准, 全流程可获得 TFe 品位 60.49%、铁回收率 83.81% 的铁精矿, 铜品位 17.54%、铜回收率 76.43% 的铜精矿, 含 K_2O 、 Al_2O_3 分别为 8.32%、25.36% 和回收率 30% 左右的云母精矿, 以及含 K_2O 、 Al_2O_3 分别为 6.06%、18.66% 和回收率 20% 以上的次级云母精矿等四类产品, 并且尾矿可作为建筑材料, 实现了矿石的全组分利用, 达到无尾矿山这一目标。

关键词 菱铁矿; 闪速磁化焙烧; 全组分利用; 无尾矿山

引言

钢铁是国民经济发展中不可缺少的结构性、功能性材料, 其中钢铁生产原料铁的消耗量约占金属总消耗量的 95% 左右^[1]。近年来, 我国进口铁矿石量超过 10 亿 t/a, 安全供给面临着“卡脖子”风险, 这严重影响了我国钢铁工业的可持续发展与国家资源安全。因此, 充分利用国内铁矿石资源, 对构建国家安全体系意义重大。而我国铁矿资源特点为“贫、细、杂、散”, 97% 的铁矿石需要选矿处理, 其中 200 多亿 t 的铁矿为复杂难选铁矿。为扩大国内铁矿资源供给, 减少对外依存, 保障国家资源安全可控, 应大力推进复杂难选铁矿的综合开发利用^[2]。其中陕西大西沟菱铁矿资源储量 3 亿多 t, 是迄今为止我国探明储量最大的菱铁矿矿床^[3], 因而, 其高效开发利用意义重大。但目前其回转窑磁化焙烧—单一选铁工业生产流程存在焙烧作业率低、焙烧能耗较高、生产成本低、资源综合利用率低等突出问题。针对上述问题, 长沙矿冶研究院提出了闪速磁化焙烧新工艺与全组分综合利用新思路, 来实现大西沟菱铁矿资源开发的降本增效与全组分高效开发利用。

闪速磁化焙烧新工艺是余永富院士于 2000 年首次提出, 2016 年成功应用于黄梅 60 万 t/a 菱(褐)铁矿闪速磁化焙烧—磁选产业化工程, 即取得了精矿 TFe 57.52%、铁回收率 90.24% 的先进工业生产指标, 铁精矿四元碱度 1.144, 品质与鞍本地区 66% 铁精矿相当, 原矿焙烧热耗 0.91 GJ/t^[4-5]。近期黄梅闪速磁化焙烧示范工程生产中, 更是取得了铁精矿品位约 56%、回收率 92.88%、原矿焙烧热耗 0.85 GJ/t 的优异指标。大西沟矿业有限公司目前采用的焙烧工艺为回转窑磁化焙烧工艺, 该工艺设备占地面积大, 结构复杂, 大型化较为困难, 以及待焙烧物料存在偏析, 导致焙烧作业率低、焙烧能耗较高(原矿焙烧热耗 0.98 GJ/t)、烟气碳排放量大、生产成本低、铁回收率偏低等突出问题。而闪速磁化焙烧工艺具有占地面积小、操作简单、易大型化、焙烧矿质量均匀等优点, 因此长沙矿冶研究院将采用此技术针对大西沟菱铁矿进行试验研究。

1 原矿性质

试验矿石为大西沟采出原矿, TFe 品位仅为 19.91%, 矿石 MLA 分析结果如表 1 所示, 可知矿石中铁矿物以菱铁矿为主, 其次为磁铁矿与少量假象赤铁矿; 铜

收稿日期: 2022-11-15

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2022YFC2904402)

作者简介: 李家林(1982—), 男, 江西南康人, 高级工程师, 硕士, 主要从事资源综合利用技术和装备研发。

通信作者: 陈雯(1965—), 女, 湖南长沙人, 博士, 教授, 博导, 主要从事铁矿石选冶研究。

矿物以黄铜矿为主,辉铜矿零星分布;其他金属硫化物还有黄铁矿;非金属矿物含量较高的是绢云母和石英。矿石为低磷含硫含铜的磁铁矿-菱铁矿矿石,且铁品位较低,这将大幅度增加后续处理成本。因此,为降低后续处理成本,试验前将对矿石进行强磁预选抛尾处理。后续试验将对磁选抛尾后矿样开展研究,抛尾后矿样化学多元素结果见表2,可知矿样中可供选矿回收的主要元素Fe品位为23.34%;Cu的含量为0.07%,铜可以作为综合回收的对象,同时非金属矿物云母也具有较高的回收价值。

表1 矿石中主要矿物的含量 /%
Table 1 Content of the main minerals in the ore

矿物	菱铁矿	磁铁矿	假象赤铁矿	黄铜矿	辉铜矿	黄铁矿	绢云母
含量	31.42	3.32	2.13	0.18	0.01	0.53	31.45
矿物	石英	重晶石	绿泥石	磷灰石	金红石	其他	
含量	28.83	0.30	0.81	0.27	0.22	0.53	

表2 抛尾后矿样的化学多元素分析结果 /%
Table 2 Chemical multi-element analysis results of tailings-discarding ore samples

成分	TFe	FeO	Fe ₂ O ₃	Cu	BaSO ₄	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MnO
含量	23.34	19.03	10.33	0.07	0.1	35.45	10.44	0.3	0.74
成分	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P	S	C	烧失量	碱性系数	
含量	1.7	0.084	3.6	0.057	0.41	3.02	13.14	0.04	

注:碱性系数为 $(CaO+MgO) / (SiO_2+Al_2O_3)$ 。

为明确矿石中铁与铜的赋存状态,对二者进行物相分析,其结果如表3、表4所示,可知铁主要赋存在碳酸盐中,分布率为55.31%,加上分布在磁铁矿和赤(褐)铁矿中的铁,合计分布率为89.80%,这是矿样分选铁的最大理论回收率。铜主要以原生硫化铜的形式存在,分布率为85.71%,加上次生硫化铜,合计分布率达95.71%,这即为铜矿物分选的最大理论回收率。

表3 预选抛尾后矿样中铁的化学物相分析结果 /%
Table 3 Chemical phase analysis results of iron in ore samples after tailings-discarding process

铁相	磁铁矿	赤(褐)铁矿	碳酸盐	硫化物	硅酸盐	合计
	中铁	中铁	中铁	中铁	中铁	
含量	1.79	6.26	12.91	0.05	2.33	23.34
分布率	7.67	26.82	55.31	0.22	9.98	100.00

表4 预选抛尾后矿样中铜的化学物相分析结果 /%
Table 4 Chemical phase analysis results of copper in ore samples after tailings-discarding process

铜相	原生硫化铜	次生硫化铜	自由氧化铜	结合氧化铜	合计
含量	0.06	0.007	0.002	0.001	0.07
分布率	85.71	10.00	2.86	1.43	100.00

2 试验研究

2.1 试验方案

大西沟菱铁矿公司矿石类型主要为菱(褐)铁矿,而磁化焙烧工艺是开发此类型矿石的最有效途径。其中闪速磁化焙烧具有焙烧能耗低、效率高等特点而被大家所青睐。因此,针对大西沟菱铁矿公司目前开发利用现状,长沙矿冶研究院制订了预选抛尾—干式磨矿—闪速磁化焙烧—选铁—综合回收铜与云母—尾矿建材化的全流程方案。

2.2 铁的回收

闪速磁化焙烧对矿样具有一定粒度要求,因此,利用干式制粉机进行制粉处理,获得-0.075 mm 粒度占比75%左右的粉末矿样。焙烧试验在中试闪速磁化焙烧装置(闪速磁化焙烧扩大试验装置,设计规模300 kg/h)中进行,给矿量140 kg/h,最佳焙烧温度为(750±25)°C,最佳CO体积浓度为(0.20±0.10)%,在此

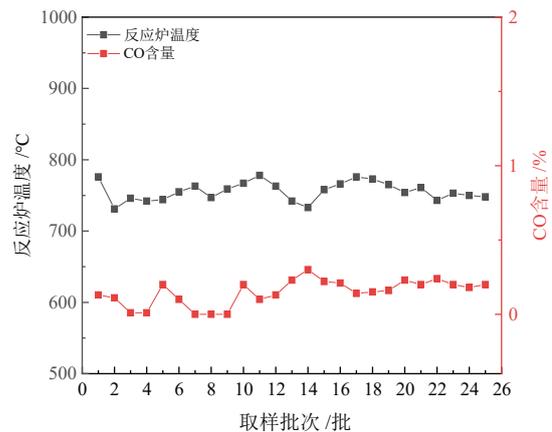


图1 扩大试验参数
Fig. 1 Parameters of pilot test

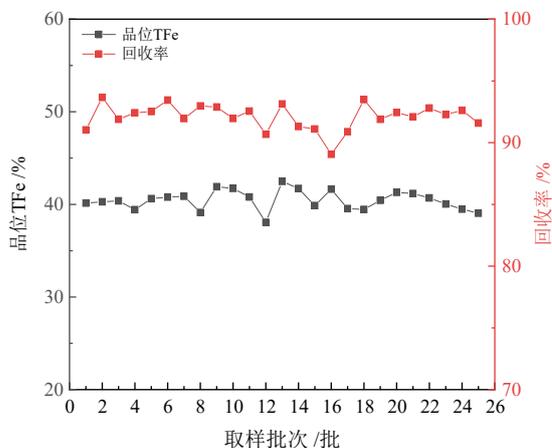


图2 焙烧矿弱磁选精矿指标
Fig. 2 Low intensity magnetic beneficiation concentrate index of roasting ore

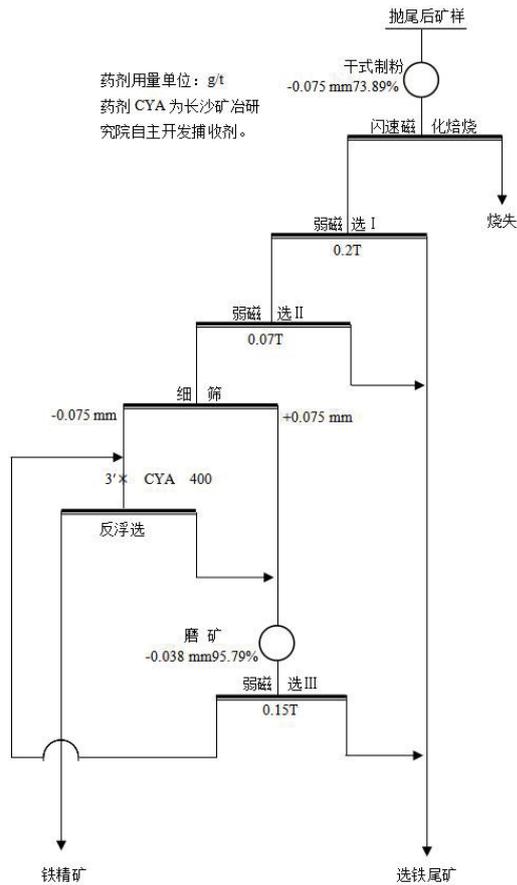


图 3 干式制粉—闪速焙烧—磨矿—弱磁选—细筛—浮选流程
Fig. 3 Flow chart of dry milling—flash roasting—grinding—low intensity magnetic separation—fine screen—flotation

条件下稳定投料 12 h, 取样间隔时间为 30 min, 并通过弱磁机(磁场强度 0.20 T)进行分选, 连续中试结果见图 1 与图 2, 可获得铁精矿 TFe 品位 40.44%、铁回收率 92.12% 的粗选试验指标, 且试验指标稳定。此弱磁选精矿经过细筛—反浮选—筛上再磨再选工艺的全流程试验(如图 3 所示), 最终可获得 TFe 品位 60.49%、回收率 83.81% 的铁精矿。

通过对比焙烧前后铁物相变化情况, 评估闪速磁化焙烧效果, 结果如表 5 所示。

表 5 样品的铁物相分析结果 /%
Table 5 Results of iron phase analysis of the sample

物相	原矿样		焙烧矿	
	铁含量	分布率	铁含量	分布率
磁铁矿中铁	1.79	7.67	18.49	70.68
游离氧化亚铁中铁	—	—	1.24	4.74
假象赤铁矿中铁	—	—	3.35	12.81
菱铁矿中铁	12.91	55.31	0.17	0.65
赤(褐)铁矿中铁	6.26	26.82	0.33	1.26
硫化物中铁	0.05	0.21	0.04	0.15
硅酸盐中铁	2.33	9.98	2.54	9.71
合计	23.34	100.00	26.16	100.00

根据表 5 数据推算, 菱铁矿、赤(褐)铁矿的磁铁矿转化率和焙烧矿样磁化率如下:

(1) 焙烧过程烧失:

$$100\% - \frac{23.34\%}{26.16\%} \times 100\% = 10.78\%$$

(2) 菱铁矿分解率:

$$\frac{12.91\% - 0.17\% \times (1 - 10.78\%)}{12.91\%} \times 100\% = 98.83\%$$

(3) 赤(褐)铁矿转化率:

$$\frac{6.26\% - 0.33\% \times (1 - 10.78\%)}{6.26\%} \times 100\% = 95.30\%$$

(4) 菱、赤(褐)铁矿磁化率:

$$\frac{(18.49\% + 3.35\%) \times (1 - 10.78\%) - 1.79\%}{6.26\% + 12.91\%} \times 100\% = 92.31\%$$

计算结果表明: (1) 焙烧过程中菱铁矿、赤(褐)铁矿的磁铁矿物相转化率高, 分别为 98.83% 和 95.30%, 菱铁矿在焙烧系统磁相转化率稍高于赤(褐)铁矿。(2) 菱铁矿、赤(褐)铁矿的整体磁化率为 92.31%, 表明闪速磁化焙烧效果良好。由于试验焙烧装置较小, 物料在焙烧系统的停留时间短, 菱铁矿分解产生的 FeO 部分未能完成第二步反应转化为 Fe₃O₄, 造成焙烧矿中存在少量游离 FeO; 同时, 在换热器中采用了冷却水间壁冷却和风冷强化焙烧矿的潜热回收, 造成焙烧矿中含有少量假象赤铁矿。因而, 焙烧过程的磁化率小于菱铁矿的分解率。预计在更大规模的闪速磁化焙烧设备上, 该现象会得到一定的改善, 并获得更优的指标。

2.3 铜和云母的综合回收

焙烧选铁尾矿作为铜和云母综合利用的给矿, 在选铁过程中, 尾矿里的含铜矿物、云母得到初步富集。其化学多元素与 X 衍射定量分析结果如表 6 和图 4 所示, 铜、硫物相分析结果如表 7 和表 8 所示。从表 6

表 6 选铁尾矿的化学多元素分析结果 /%
Table 6 Results of chemical multi-element analysis of iron tailings

成分	Cu	S	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	BaSO ₄
含量	0.101	0.57	5.20	61.45	16.65	1.70

成分	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	P ₂ O ₅
含量	0.65	0.42	0.98	0.24	5.86	0.17

表 7 选铁尾矿中铜的化学物相分析结果 /%

Table 7 Chemical phase analysis results of copper in iron tailings

铜相	次生硫化铜	原生硫化铜	自由氧化铜	结合氧化铜	合计
	中铜	中铜	中铜	中铜	
含量	0.096	0.000 8	0.002 4	0.001 8	0.101
分布率	95.05	0.79	2.38	1.78	100.00

表 8 选铁尾矿中硫的化学物相分析结果 /%

Table 8 Chemical phase analysis results of sulfur in iron tailings

硫相	硫化物中硫	硫酸盐中硫	单质硫中硫	合计
含量	0.37	0.19	0.02	0.58
分布率	63.79	32.76	3.45	100.00

和图 4 结果可知,选铁尾矿中可回收的主要成分为云母;其次为铜,含量为 0.101%;其余矿物量主要为石英与少量的磁铁矿。其中铜主要以次生硫化铜存在,次生硫化铜中铜分布率达 95.05%,这与原矿的铜矿物为原生硫化铜为主存在明显差别,其原因应为 750 °C 左右的高温焙烧,使铜矿物的结构发生改变;硫主要以硫化物形式存在,硫化物中硫分布率为 63.79%。

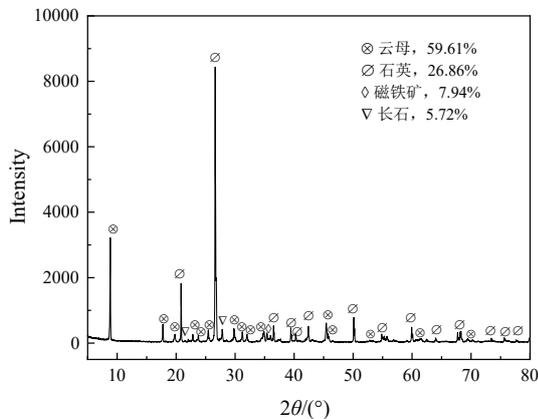


图 4 选铁尾矿 X 衍射定量分析结果

Fig. 4 X-diffraction quantitative analysis of iron tailings

根据选铁尾矿性质,综合考察了磁场、浮选药剂以及不同工艺流程对其有价成分富集的影响,最终确定选铜工艺为一粗一扫一二次精选—铜硫分离的浮选工艺流程(如图 5),闭路试验可获得铜品位为 17.54%、回收率为 76.43% 的铜精矿(含硫 24.76%)。对铜硫尾矿开展回收云母研究,确定工艺为一粗三精浮选工艺流程(如图 6),最终可获得 K₂O 及 Al₂O₃ 含量分别为 8.32%、25.36%,回收率 30% 左右的云母精矿;以及 K₂O、Al₂O₃ 分别为 6.06%、18.66%,回收率 20% 以上的次级云母精矿,铜精矿和云母精矿均达到可售卖产品级别,实现了矿产资源增值利用,试验结果较为理想

2.4 尾矿资源化利用

原料特性是尾矿资源化利用的关键因素。由于总尾矿(铜尾矿与云母尾矿合并)经过磁化焙烧高温作用,因此物料中反应生成大量的 2CaO·SiO₂ 等活性矿物组分,与建材原料存在一定相容性。同时,弱磁性铁氧化物转化为具有强磁性的磁铁矿,提高了铁回收率,进一步降低了总尾矿中铁含量。总尾矿多元素与 X 射线衍射分析结果分别见表 9 与图 7,可知此尾矿属于高硅低铁型尾矿,主要矿物成分为云母与石英。

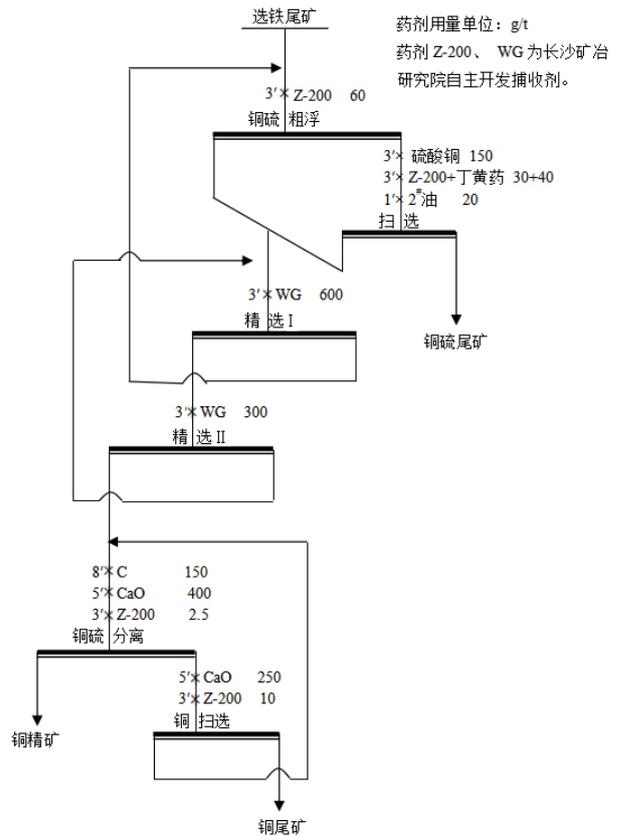


图 5 选铜工艺流程

Fig. 5 Flow chart of copper concentration

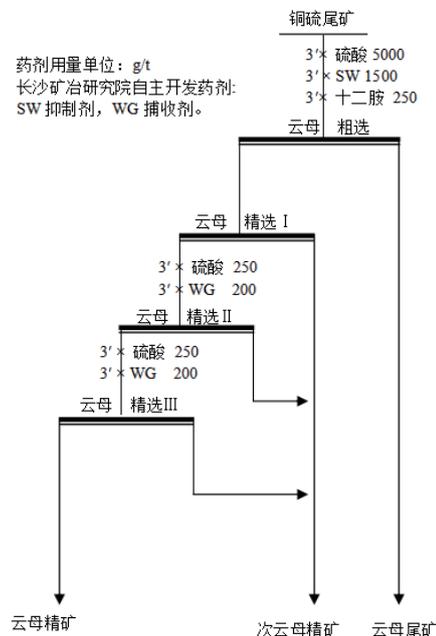


图 6 选云母工艺流程

Fig. 6 Flow chart of mica concentration

表 9 总尾矿化学成分分析 /%

Table 9 Chemical composition analysis of total tailings

成分	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P	S
含量	5.89	66.49	12.69	0.49	0.90	4.26	0.16	0.12	0.258

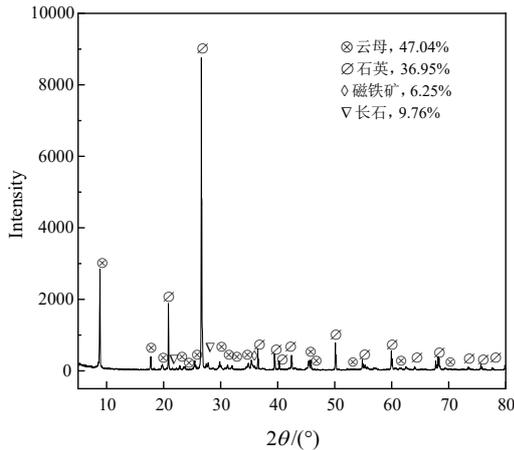


图 7 总尾矿 XRD 衍射分析

Fig. 7 XRD diffraction analysis of total tailings

(1)作为透水砖生产原料。已有研究表明,此类尾矿可代替水泥作为透水砖的生产原料,与未焙烧处理相比,焙烧后尾矿在制作透水砖方面性能更优,水泥替代量更大(提高了 10 百分点)^[6]。

(2)作为建筑用砖生产原料。建筑用砖成分含量(质量百分比)通常为: $\text{SiO}_2 > 65\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 15\%$ 、 $\text{MgO} < 5\%$ 、 $\text{SO}_2 < 4\%$ 、 Na_2O 、 $\text{K}_2\text{O} < 2.5\%$ ^[7], 试验产生的总尾矿成分较为符合建筑用砖的原料要求(仅 K_2O 含量超标,可配矿处理),且尾矿中铁以磁铁矿形式存在,少量磁铁矿在制作烧结砖过程中发生氧化反应放出热量,有利于降低烧结温度,其次氧化后的磁铁矿与天然赤铁矿在烧结过程中具有相同的作用,即都易于与烧结熔剂反应形成 SFCA(复合铁酸钙)^[8-9],更易于提高砖块强度。

(3)作为陶粒生产原料。由里列·威尔逊提出的一个以 SiO_2 - Al_2O_3 -熔剂氧化物为三元系统组成的相图和适合烧成陶粒的化学组成范围(如图 8 所示),他们认为虚线范围内的化学组成即 SiO_2 53%~79%、 Al_2O_3 12%~16%、熔剂氧化物 8%~24% 的范围内都能烧成

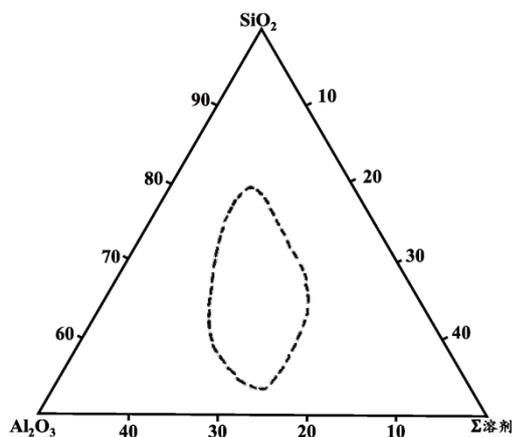


图 8 里列·威尔逊制陶粒原料化学成分范围

Fig. 8 Diagram of the chemical composition range of Liley Wilson ceramic pellet raw materials

具有膨胀性的陶粒^[10]。

(4)作为水泥生产原料。高硅型铁尾矿砂因自身强度较高,弥补了因结构劣化造成的力学性能损失。根据化学组成的特点,在制备水泥熟料的过程中本尾矿可代替原料中的黏土和铁粉,并且在制备水泥砂浆中可作为细骨料代替天然砂石^[11-12]。

2.5 推荐流程

大西沟菱铁矿石铁品位较低,为降低后续生产能耗,对矿石进行了磁选抛尾预处理。抛尾后矿样全流程数质量流程如图 9 所示。可知采用预选抛尾—干式磨矿—闪速磁化焙烧—选铁—综合回收铜与云母流程可获得高质量的铁、铜、云母等产品。

3 结论

为保障我国铁矿资源安全,提高资源利用率,做到应收尽收,实现无尾矿山这一目标,对大西沟菱铁矿开展了系统性研究,最终获得了较好的技术指标,实现了菱铁矿原矿全组分高效利用,并得出如下结论。

(1)大西沟菱铁矿属低磷含硫含铜的磁铁矿-菱铁矿矿石。TFe 品位仅为 19.91%,对矿石进行预处理(磁选抛尾)可获得 TFe 品位 23.34% 的试验矿样,预处理后矿样中碳酸盐中铁的分布率为占 55.31%,其次为磁铁矿和赤(褐)铁矿中的铁,合计为 89.80%;铜主要以原生硫化铜的形式存在,其次为次生硫化铜,合计分布率达 95.89%;有用非金属矿物主要为云母。

(2)闪速磁化焙烧技术在处理菱铁矿方面优势显著,菱铁矿、赤(褐)铁矿的磁化率为 92.31%,焙烧效果良好;给矿量约 140 kg/h 的扩大试验可获得指标优异且稳定的焙烧矿。通过磁化焙烧—弱磁选—细筛—反浮选—筛上再磨再选全流程工艺可获得 TFe 品位 60.49%、铁回收率 83.81% 的优良铁精矿指标。

(3)选铁后综合尾矿通过一粗一扫—二次精选—铜硫分离的浮选工艺,闭路试验可获得铜品位为 17.54%、铜回收率为 76.43% 的铜精矿。铜硫扫选尾矿通过一粗三精的浮选工艺流程可获得 K_2O 及 Al_2O_3 含量分别为 8.32%、25.36% 的云母精矿,精矿回收率在 30% 左右,以及 K_2O 及 Al_2O_3 含量分别为 6.06%、18.66% 的云母次级产品。

(4)总尾矿为高硅低铁型矿样,磁化焙烧使得尾矿活性显著提升,可更好地用作透水砖、建筑砖、陶粒、水泥生产原料,最终实现大西沟菱铁矿的全组分利用,不仅提高了矿石的综合价值,而且实现无尾矿山。

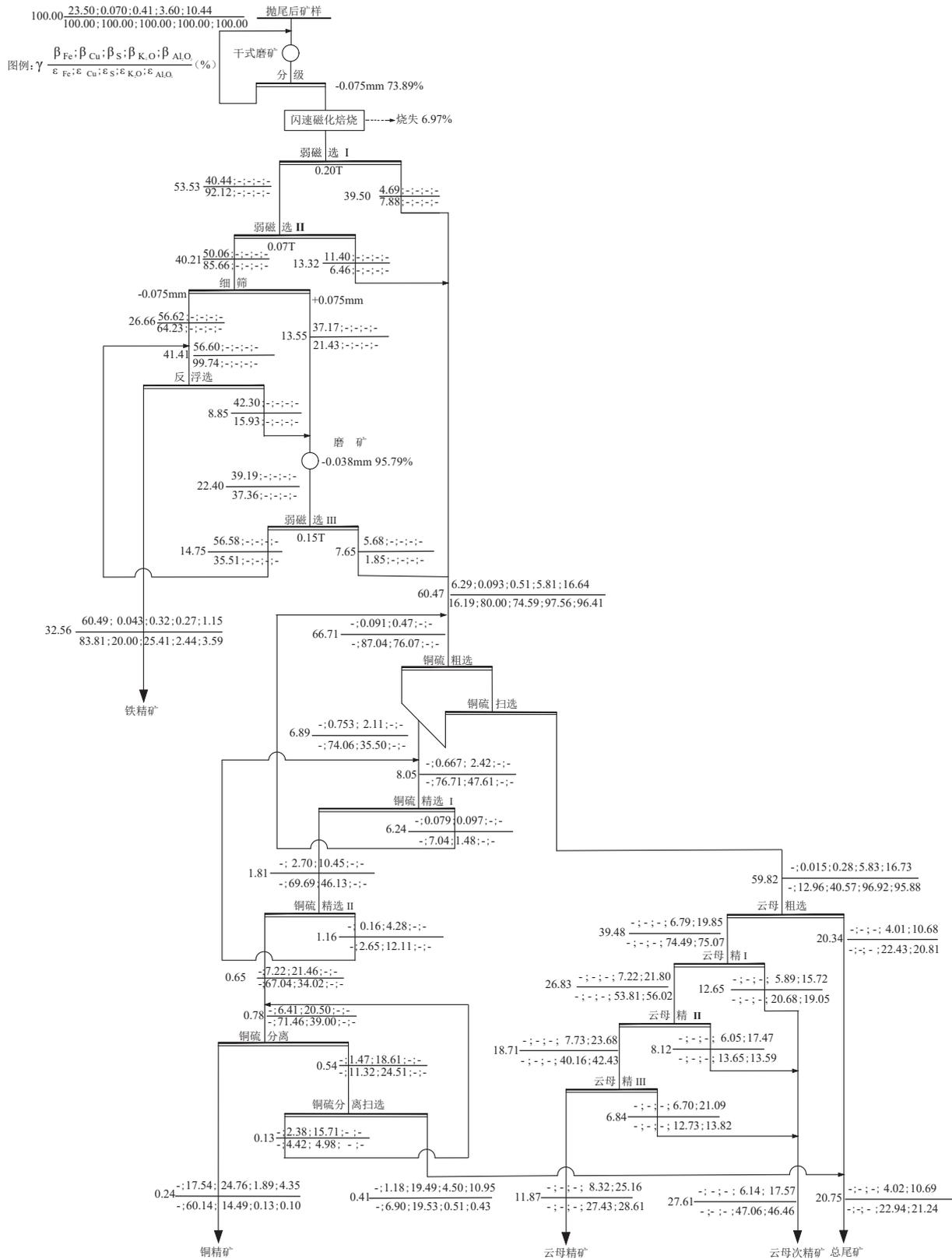


图 9 全流程数质量流程
Fig. 9 Quantity and quality flowsheet of the whole process

参考文献:

[1] 中国矿业氧吧之十一 金属矿产 铁矿[J]. 资源与人居环境, 2007(5): 21-26.
China mining oxygen bar No. 11 metal minerals iron ore[J]. Resources

and Human Settlement, 2007(5): 21-26.
[2] 陈雯, 张立刚. 复杂难选铁矿石选矿技术现状及发展趋势[J]. 有色金属(选矿部分), 2013(S1): 19-23.
CHEN W, ZHANG L G. Status quo and development trend of ore beneficiation technology for complex and difficult-to-do iron ore[J].

- Nonferrous Metals(Mineral Processing Part), 2013(S1): 19-23.
- [3] 王昆, 戴惠新. 菱铁矿选矿现状[J]. 矿产综合利用, 2012(1): 6-9.
WANG K, DAI H X. Comprehensive Utilization of Minerals, 2012(1): 6-9.
- [4] 刘小银, 余永富, 洪志刚, 等. 难选弱磁性铁矿石闪速(流态化)磁化焙烧成套技术开发与应用研究[J]. 矿冶工程, 2017, 37(2): 40-45.
LIU X Y, YU Y F, HONG Z G, et al. Development and application of lightning (fluidization) magnetization roasting technology for difficult-to-select weak magnetic iron ore[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2017, 37(2): 40-45.
- [5] 陈雯, 余永富, 冯志力, 等. 60万t/a难选菱(褐)铁矿闪速磁化焙烧成套技术与装备[J]. 金属矿山, 2017(3): 54-58.
CHEN W, YU Y F, FENG Z L, et al. 600 000 t/a technology and equipment for flash magnetization roasting of rhombus (brown) iron ore[J]. *Metal Mine*, 2017(3): 54-58.
- [6] 赵礼兵, 王帅, 梁艳涛, 等. 焙烧铁尾矿制备透水砖试验研究[J]. 金属矿山, 2020(7): 216-220.
ZHAO L B, WANG S, LIANG Y T, et al. Experimental study on preparation of permeable bricks from roasted iron tailings[J]. *Metal Mine*, 2020(7): 216-220.
- [7] 王梓. 铁尾矿陶粒及免烧砖的制备及性能[D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2021.
WANG Z. Preparation and properties of iron tailings ceramic grains and burning-free bricks[D]. Maanshan: Anhui University of Technology, 2021.
- [8] 周明顺, 王义栋, 赵东明, 等. 高配比磁铁矿烧结技术的研究进展[J]. 钢铁, 2020, 55(5): 1-9.
ZHOU M S, WANG Y D, ZHAO D M, et al. Research progress of sintering technology of high ratio magnetite concentrate[J]. *Iron and Steel*, 2020, 55(5): 1-9.
- [9] J. M. F CLOUT, J. R MANUEL. Fundamental investigations of differences in bonding mechanisms in iron ore sinter formed from magnetite concentrates and hematite ores[J]. *Powder Technology*, 2003, 130: 393.
- [10] 李世汭. 陶粒原料的分类及陶粒的膨胀机理[EB/OL]. (2017-08-03). <https://www.mining120.com/tech/show-htm-itemid-30576.html>.
LI S M. Classification of ceramic raw materials and expansion mechanism of ceramic grains[EB/OL]. (2017-08-03). <https://www.mining120.com/tech/show-htm-itemid-30576.html>.
- [11] 韩鹏. 高硅型铁尾矿对混凝土和易性及抗压强度影响试验研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2013.
HAN P. Experimental study on the effect of high silicon iron tailings on concrete workability and compressive strength[D]. Shenyang: Northeastern University, 2013.
- [12] 王英杰. 铁尾矿在建筑材料领域应用的研究进展[J]. 陶瓷, 2022(9): 9-13.
WANG Y J. Research progress on the application of iron tailings in the field of building materials[J]. *Ceramics*, 2022(9): 9-13.

Research on Efficient Development and Utilization Technology of All Components of Daxigou Siderite

LI Jialin, CHEN Wen, YUAN Zhuang, CHEN Chang, LIU Xiaoyin, PENG Zeyou

Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co., Ltd., Changsha 410012, China

Abstract: Daxigou, Shaanxi Province, has the largest siderite deposit in China, and the existing roasting process and tailings treatment were constantly facing the challenges of production cost and environmental protection. A systematic study was undertaken to enhance the vitality of mining enterprises and achieve the goal of "reducing costs and increasing efficiency, no tailings". The results showed that the test ore consisted of magnetite-siderite with sulfur, and copper, and low phosphorus. Based on the properties of the ore, a comprehensive process flow comprising of pre-selection tailing, dry milling, flash magnetization roasting, iron beneficiation, the recovery of copper and mica and tailings building materials was developed. The TFe grade of the raw ore was low, only 19.91%, which would significantly increase the cost of subsequent processing. Therefore, the ore was pretreated by magnetic separation to achieve a TFe grade of 23.34% and reduce the subsequent processing cost. Furthermore, through the whole process, the iron concentrate with TFe grade of 60.49%, iron recovery rate of 83.81% was obtained, along with the copper concentrate with a copper grade of 17.54% and copper recovery rate of 76.43%. Meanwhile, the mica concentrate was obtained, and its K_2O and Al_2O_3 contents were 8.32%, 25.36% and recovery rate was about 30% respectively. Additionally, the secondary mica concentrate contained K_2O and Al_2O_3 at 6.06% and 18.66%, respectively, with a recovery rate of more than 20%. Notably, the tailings could be repurposed as building materials. All component utilization of the ore and the goal of tailing-free mine would be achieved.

Keywords: siderite; flash magnetization roasting; utilization of all components; no tailings

引用格式: 李家林, 陈雯, 袁壮, 陈昌, 刘小银, 彭泽友. 大西沟菱铁矿全组分高效开发利用技术研究[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(6): 45-51.
LI Jialin, CHEN Wen, YUAN Zhuang, CHEN Chang, LIU Xiaoyin, PENG Zeyou. Research on efficient development and utilization technology of all components of Daxigou siderite[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2022, 42(6): 45-51.