生产技术

塞矿产品物化特性及其应用影响分析

曹 继 礼
（山钢集团塞拉利昂矿业有限公司，山东 济南 250101）

摘 要：塞拉利昂矿业公司一期产品主要为塞矿AI32并生产了少量的塞细粉，对这两种产品的铝含量、水分、粒度等物化特性进行了分析，针对塞矿AI32高铝低硅、水分高、粒度大的特性，探讨了对烧结和高炉冶炼的影响，给出了在生产应用过程中针对不利影响因素采取的应对措施。

关键词：塞矿AI32；塞细粉；化学成分；水分；粒度
中图分类号：TF041 **文献标识码**：A **文章编号**：1004-4620(2018)04-0001-04

1 前 言

中国钢铁产业对铁矿石有巨大需求，而四大矿山巨头约占市场份额80%以上，较高的垄断性极易使铁矿石达成易涨难跌的默契。山东钢铁集团为建立海外铁矿石基地，2012年参股非洲矿业有限公司25%的股权，2015年全资收购非洲矿业有限公司剩余股权，成立全资子公司山钢集团塞拉利昂矿业有限公司，主要产品为塞矿AI32，并生产了少量的塞细粉。塞矿矿山位于非洲塞拉利昂共和国中西部山区，是目前世界上规模最大的铁矿石项目（赤铁矿和磁铁矿）之一，矿租界面积约为227 km^2。矿体主要包括新比利、马兰帕、南巴拉和卡萨佛尼四大矿体。沿矿体走向的长度为21 km，宽度为6.8～9.8 km，矿体呈山包状，相对高度300～400 m，资源总量137亿t。矿山上层赤铁矿资源储量1.26亿t，达到直运矿标准，平均铁品位58.1%。目前一期项目开采的为上层赤铁矿，共生产了塞矿约4 800万t，主要产品为塞矿AI32。在开采的过程中，利用尾矿自然沉积的重力作用，剥离出了少量塞细粉，此产品的品质为塞矿二期选矿项目提供了借鉴意义。

本研究对塞矿AI32和塞细粉（作为技术储备）的物化特性、产品特点及其应用影响进行分析，以期为产品的生产应用提供指导。

2 塞矿AI32和塞细粉的物化特性

2.1 塞矿AI32

塞矿原产地年降雨量2 000～5 000 mm，导致矿石含水量大，矿石高铝，亲水性强。矿石水分若超过15%，远洋船不予运输。塞矿采用粉矿中配加一定量块矿的方式，降低水含量。生产的塞矿产品粒度大部分在32 mm以下，产品名称简称为塞矿AI32（All in 32 mm）。

2.1.1 化学成分

塞矿属于高Al低Si铁矿，S、P、As、K、Na、Pb、Zn、Cu等有害元素含量很低，化学成分见表1。

表1 塞矿AI32化学成分 %

TFe	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	S	P	Mn	As	TiO_2	K_2O	Na_2O	Pb	Zn	Cu	LOI
57.67	3.03	0.06	0.2	6.08	0.04	0.07	0.17	0.002	0.2	痕迹	痕迹	0.008	痕迹	痕迹	7.35

2.1.2 水分

自然界中Al_2O_3不是以单质的形式存在，而是以三水铝石、一水硬铝石等含水氧化铝矿物为主，化学式为$Al_2O_3 \cdot nH_2O$。塞矿为含赤铁矿和铝矿石等组成的多矿物混合物，是含有较高结晶水的赤铁矿。由于氧化铝的亲水性和塞拉利昂地区巨大的降雨量，导致塞矿水分较大。矿山通过封闭运输、料场覆盖篷布等措施，尽量减少下雨等外部环境因素的影响。每年5—10月为雨季，塞矿产品含水量约为14%；11月到次年4月为旱季，塞矿产品含水量约为13%。

2.1.3 粒度

塞矿AI32产品粒度较粗是为了满足含水量的要求。散装货物在远洋运输过程中，如果货物水分超过限值，则可能出现液化的状况，导致轮船倾覆，是非常大的安全隐患。通过分析，塞矿Al32水分≤15%，即满足海运对水分的要求，使得塞拉利昂成为了继澳大利亚和巴西之后第三个采用修订后的国际海事组织国际海上危险货物运输规则的国家。塞矿AI32粒度组成见表2。

表2 塞矿AI32粒度组成

粒度/mm	<0.15	>0.15，≤6.30	>31.50
比例/%	30（最多）	40（最少）	20（最少）

收稿日期：2018-03-06
作者简介：曹继礼，男，1984年生，2008年毕业于安徽工业大学冶金工程专业。现为山钢集团塞拉利昂矿业有限公司塞矿营销部业务经理，工程师，从事冶金工程技术工作。

2.2　塞细粉化学成分

在生产过程中，剥离的尾矿达不到产品质量要求，但是含铁品位依然在50%以上。剥离的尾矿堆积起来经过水分的冲刷，高品位的铁矿石出现了富集现象，依靠重力作用储存下来，此部分产品称为塞细粉。2016年塞细粉总产量约50万t，粒度介于粗粉与铁精粉之间，化学成分见表3。

表3　塞细粉化学成分　%

TFe	SiO_2	Al_2O_3	P	S	Ti	LOI	H_2O
61.25	2.93	3.61	0.06	0.03	0.15	4.84	11.84

塞细粉产量较小，但是一期铁矿项目开采完成后，即会进行二期选矿项目，此产品是矿山发展的一个方向，对于二期塞矿的开采使用具有重要参考意义。

3　塞矿AI32特性影响及应对措施

3.1　Al含量偏高的影响

1）对烧结生产的影响。烧结矿中含有一定量的Al_2O_3有利于四元系针状交织结构铁酸钙的形成，可以提高烧结矿强度；但Al_2O_3太高时，有利于玻璃质的形成，又对烧结矿的强度和低温还原粉化性能不利[1]。

2）对高炉透气性及脱硫能力的影响。高Al_2O_3炉渣的初渣堵塞炉料间的空隙，使料柱透气性变差，增加煤气通过时的阻力。同时，该炉渣在高炉内易在炉腹部位的炉墙结成炉瘤，引起炉料下降不顺，易形成崩料、悬料，破坏冶炼进程；由于高Al_2O_3炉渣过于黏稠，流动性差，不利于脱硫反应的扩散作用，脱硫效果变差。一般当Al_2O_3 > 18%时，炉渣的脱硫能力大大降低。

3）对高炉顺行度的影响。高炉炉渣中Al_2O_3含量在10% ~ 16%时，有利于提高炉渣的稳定性，但当Al_2O_3含量继续升高时，炉渣的稳定性变差。炉温不足，其流动性急剧变差，容易堵塞炉缸，不易从炉缸中流出，会引起炉墙粘结与炉缸堆积，使炉缸壁结厚，缩小炉缸的体积，造成高炉操作上的困难，严重时还会引起风口的大量烧坏。因此当炉温不足时，极易引起炉缸的渣铁堆积。

3.2　高铝烧结应对措施

3.2.1　与高Si低Al矿粉搭配使用

由于高炉入炉料主要为烧结矿，炉渣Al含量基本为烧结矿带入，所以控制高炉炉渣Al含量，关键点在于控制烧结矿Al含量。烧结中塞矿AI32与高Si低Al矿粉搭配使用，可以降低烧结矿Al含量，用大渣量来稀释高炉炉渣Al含量。控制烧结矿Al含量在2.5%以下，高炉炉渣Al含量在16%以下。

3.2.2　提高高炉鼓风动能

提高鼓风动能，主要目的是增加风量对炉缸的穿透能力[2]。提高动能的措施一是通过风口加衬套技术，在风口内部加陶瓷衬套，缩小风口进风面积；二是适当提高入炉风量；三是堵风口作业，在料面较深、顶温较低的方位，采取堵风口操作，进一步降低风口进风面积。

3.2.3　确定合理渣系和炉温

高炉顺行与炉渣的流动性密切相关，炉渣的流动性受多种因素影响，其中主要因素是炉渣温度和炉渣的化学成分。选择合理渣系，提高渣铁物理热，确保渣铁良好流动性，是高炉高铝冶炼的关键。

1）炉渣碱度的确定。实践证明，随Al_2O_3的量增加，炉渣矿相结构稍有变化，硅酸盐玻璃质的量明显增多。对于1 000 m^3的高炉正常炉温水平下，炉渣碱度控制在1.15左右，铁中S 0.02% ~ 0.03%，控制铁水Si含量下限在0.4%（铁水Si含量一定程度上反映了炉温水平），保证渣铁有良好的热量，此时渣铁具有良好的流动性。

2）提高高炉渣中MgO含量。提高渣中MgO含量可以提高炉渣的脱硫能力、降低炉渣黏度，是高Al_2O_3含量条件下保证高炉冶炼顺行的有效途径。炉渣处于镁蔷薇辉石区域时，炉渣的熔化温度低、稳定性好，此区域对应的（MgO）含量最低点为8%，渣中（MgO）含量理论控制范围应为8% ~ 12%。在1 000 m^3高炉高铝冶炼的条件下，控制炉渣MgO/Al_2O_3为0.5 ~ 0.6。

3）适宜的炉温。要保证渣铁有良好的流动性，必须有足够的物理热。对于1 000 m^3的高炉，渣铁物理热应控制在1 500 ℃左右[3]。渣铁物理热超过1 500 ℃后，黏度进一步降低，但炉温相对偏高，不利于降低燃耗。当渣温升至1 500 ℃时，炉渣黏度随渣中Al_2O_3含量的增加而升高的趋势放缓，即使Al_2O_3含量达到17%，仍可获得较低的炉渣黏度。

3.3　水分的影响

由于塞矿水分高达14%左右，暂不考虑国内北方冬季结冰问题，港口费、港建费和运输等费用全是以湿吨计算，所以为获得同等干吨的铁矿石，塞矿要花费更多。塞矿AI32除了水分贬值外，水分过大则主要导致装卸转运困难。使用塞矿的企业多处于焦炭、国内矿（低铝铁矿）具有相对优势的内陆地区，水分过大不利于装卸。

国内降雨量相对较少，塞矿AI32在港口卸船后，水分会有一定的蒸发。经过斗车倒垛、装车（包括汽运和火车），水分再次蒸发，运到厂内打堆后，水分可降低至11%以下，可基本消除糊堵漏斗、粘

仓、蓬仓等影响，使用过程不存在太大困难。

3.4　结晶水的影响

塞粉AI32产品有7.5%的烧损，其中绝大部分为结晶水。水分在烧结过程中主要有3个作用：分别是造球、传热和提高小球光洁度增大透气性，烧结所需要的水分一般为7.0%～7.5%，使用高烧损（结晶水）的矿料烧结时，可以适当降低烧结混匀料的配加水分，即低含量结晶水的混合料（结晶水＜5%）不会造成烧结固体燃料额外增加。

物理水100 ℃蒸发，结晶水900 ℃以上才蒸发，在烧结过程中结晶水具有同等性能的传热作用。传热水分是要大于混匀造球水分的。当含结晶水的矿料满足传热要求后，混合机只需加入满足造球的最小水量即可，烧结过程中可以满足传热速度与燃烧速度的匹配。含结晶水的塞矿AI32粒度偏大，透气性较好，与低烧损的高Si低Al铁矿粉混合使用后，有利于实现厚料层操作，进一步提高烧结矿各项指标。

3.5　粒度的影响及应对措施

塞矿AI32中含有15%的块矿，筛分后，粉矿烧结，块矿单独配加入炉，会增加一部分筛分费用。为避免筛分操作的难度和节省筛分费用，包括山钢自用的塞矿AI32，都是不筛分直接使用的，会带来一些使用过程成本升高的问题。

3.5.1　样品成分波动及应对措施

塞矿中的块矿在取制样时，很容易掺入混匀料和烧结矿样品中，造成烧结配加溶剂、高炉校核终渣碱度时判断失误，致使烧结矿成分和高炉波动，会带来燃耗成本升高、铁水质量波动等一系列成本增加的问题。

通过改进取制样方法，混匀料和烧结矿人工取制样时，只需仔细挑除块矿，成分即不会出现异常波动。因烧结矿中含有少量的块矿，高炉在校核终渣碱度时，适当上调修正值，也不会使高炉因碱度而波动。实践表明，直接使用塞矿AI32，高炉燃料比并没有因用了含极少量块矿的烧结矿而升高。

3.5.2　烧结燃耗、动力能源浪费及应对措施

块矿为直接入炉的炉料，不需要进入烧结工序。而塞矿AI32中的块矿基本上不参与烧结过程，经过料场、配料室、烧结机、筛分等一系列流程后，最终进入高炉冶炼。由于塞矿AI32为低品位的高铝矿，配加量一般在20%以下（混合料中的块矿含量在3%以下），而其中的块矿比例较小，实际上造成的影响也非常小。

3.5.3　返矿率升高及应对措施

理论上因块矿影响烧结液相发展，增加烧结返矿率。配加塞矿A32产品，当配比在10%以下时，基本觉察不到返矿率的变化，少量块矿影响铁酸钙液相形成、凝结的作用微乎其微，块矿影响返矿率主要为理论上有影响，实际作用远不如烧结布料、点火、挡板漏风、边缘效应、掉炉条风洞的影响。塞矿AI32配加量＞10%以后，可以通过工艺手段控制，主要方法为提高料温、低水低碳厚料层烧结、适当压料和适宜的燃料粒度等措施，返矿率一般可以控制在合理水平。

1）厚料层烧结。由于配加了塞矿AI32的混匀料粒度粗，料层透气性较好，烧结机负压低，垂直烧结速度过快，所以布料时适当增加料层厚度，对表面增加平料器配重，增加表面密实度，增强自动蓄热作用，达到节约燃料和提高成品率的目的。

2）提高料温。提高混合料温度有返矿预热、白灰消化预热、配加热水、混合机加蒸汽预热、小矿槽预热等多种方式，其中维持一定小矿槽料位加蒸汽的方式效果比较好，控制混合料温度为50～70 ℃，大大减弱了过湿层的影响，提高了透气性，降低烧结燃耗。生产过程中，应根据混合料料温和结晶水含量，在布料厚度等参数不变的情况下，选择合适的加水量，使传热速度匹配燃烧速度。

3）适宜的燃料粒度。燃料粒度过细会导致燃烧速度过快，高温保持时间短，液相不足，烧结矿强度差，成品率降低。为了提高炉渣镁铝比，烧结过程中配加了镁质溶剂，也需要提高烧结温度和高温保持时间来保证矿化反应完全，以形成足够的铁酸钙液相量。混匀料中配加了塞矿AI32，可以降低烧结燃料-3 mm粒度比例，放宽到65%～75%即可满足混匀料烧结的需求。

4　塞细粉的烧结特性

塞细粉Al含量已经在4%以下，品位接近主流矿粉，化学成分没有很突出的缺陷。烧结过程中主要为粒度偏细，适宜搭配一些低Al的粗粉使用，使混匀料达到合理的粒度组成。溶剂可以选择用一部分石灰石粉替代石灰，降低溶剂成本。石灰对粒度较细的全精粉或以精粉为主的矿料强化烧结的效果较好，对粗粉或塞细粉的强化烧结作用有限。烧结燃烧层温度可达1 300 ℃，在石灰石粉粒度合适的情况下，烧结矿化作用能够顺利进行，可以获得较好的使用效果。

5　结　语

通过对塞矿产品的物化特性分析，塞矿AI32产品具有较大的差异性，但其低硅高铝的特点，加

上有效合理的烧结冶炼方法，使之有一定的使用价值。作为山东钢铁集团的海外矿石基地，矿山得到了塞拉利昂共和国政府的大力支持，给予了包括公司所得税、产品和服务税、进口税等多项税收优惠，为塞拉利昂矿业有限公司进行后续的二期选矿项目（塞细粉）提供了良好的经营环境。矿山露天采矿，开采成本低，综合成本中主要为运输成本，可以以低廉的价格参与市场竞争，对降低铁水成本具有极大的促进作用，可以进一步探讨塞矿产品应用，充分发掘塞矿产品的利用价值。

参考文献：

[1] 周传典.高炉炼铁生产技术手册[M].北京：冶金工业出版社，2002.

[2] 张明，姬光刚，张均宾，等.莱钢1 000 m³高炉高铝矿冶炼实践[J].山东冶金，2013，35(4)：3-4，7.

[3] 田远峰，王丰巧，殷煜伟，等.莱钢1 080 m³高炉经济矿冶炼实践[J].山东冶金，2014，36(4)：48-49.

Analysis of Physicochemical Characteristics and Their Application Influence of Sierra Leone Mineral Products

CAO Jili

(Sierra Leone Mine Co., Ltd., Shandong Iron and Steel Group Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: The first stage products of Sierra Leone mining company are mainly Sierra Leone iron ore AI32 and a small amount of Sierra Leone iron ore fine powder. The physicochemical characteristics of these two products such as aluminum content, moisture content and particle size are analyzed. Aiming at the characteristics of high aluminum low silicon, high water content and large particle size of Sierra Leone iron ore AI32, the influence on sintering and blast furnace smelting are discussed, and the countermeasures on the adverse factors in the process of production and application are given.

Key words: Sierra Leone iron ore AI32; Sierra Leone iron ore fine powder; chemical component; moisture; particle size

《山东冶金》征稿简则

《山东冶金》杂志1979年创刊，以促进山东冶金工业技术创新和科技发展为宗旨，主要刊登地质水文、采选工艺、焦化、耐火、冶炼、轧钢、材料、理化检测、自动控制、冶金设备、经济与管理以及相关学科的科研成果，同时也报道有关学术动态和科技信息等。注重报道实施低成本战略、树立科学发展观、发展循环经济、清洁生产、绿色制造、安全环保、节能减排的先进成果和经验；注重报道构建和谐企业，资源节约型、环境友好型企业，资本运营、国企改制、增强企业可持续发展能力的先进经验和做法；注重报道对冶金工业技术改造、产品结构优化、装备结构调整、新产品开发、提高劳动生产率、信息化建设、走新型工业化道路等有实际指导意义的文章。热诚欢迎省内外相关大专院校、科研院所专家、学者及冶金工程技术和管理人员向本刊投稿。

投稿时请注意本刊如下要求：

1 文字简练，语句通顺，层次清楚，数据可靠，结论恰当，全文一般不超过6 000字；通过电子邮件投稿；请勿一稿多投，论文中请勿涉及保密内容；文稿的著作权属于作者，文责由作者自负，编辑部不承担连带责任；本刊已入编《中国学术期刊（光盘版）》，作者稿件一经录用，将同时被《中国学术期刊（光盘版）》和"中国期刊网"收录，如作者不同意收录，请在来稿时声明，否则将视为同意收录。

2 论文排列格式：题名→作者→单位→摘要→关键词→英文题名→作者汉语拼音名→单位英文名称→英文摘要→英文关键词→正文→参考文献→作者简介。

3 题名要求确切、简洁、鲜明、便于检索。一般不超过20个字。若文章内容是某项资金资助项目也请标出，如：*国家自然科学基金资助项目（59975054）等。

4 作者署名，同一单位不超过5人；2个以上单位的，每单位不超过3人，并在每个作者的右上角，按单位顺序标注"1"、"2"、"3"，每位作者之间加"，"。

5 作者单位，包含单位名称（全称）、地址和邮编。若作者出自多个单位，应分别列出，并按作者标注的顺序，分别在各自单位名称前加"1"、"2"、"3"，各作者单位之间加"；"。文末注明论文第一作者简介，包括：姓名，性别，出生年，毕业时间、院校、专业。现职务、职称，从事工作或研究方向等。注明通信地址、电话、Email等。

6 正文前应有200字左右的中文摘要，内容包括研究的目的、方法、结果和结论等，应尽量反映文章的主要信息，写成报道性短文；列出3～8个关键词。

7 英文题名以短语为主要形式，应少于10个实词；英文摘要与中文摘要对应，一般不超过150个实词；英文关键词应与中文关键词一一对应。

8 层次标题一般分3层，用阿拉伯数字连续编号，如"1"，"2.1"，"3.1.1"……，后空2格排标题；应简短明确，不易过长（一般不超过15个字）。也可不用3级标题，只写顺序号，如1)、2)、3)等。

9 文中的图表采用阿拉伯数字顺序编号，先见文，后见图表。图表题名应简明确切。表的结构要简洁，空白项为未测或无此项，"－"为未发现，"0"表示实测结果为0。图要精选，内容不得与文字或表格内容重复。尽量采用Auto CAD绘制或Excel图，可打开编辑。照片要求清晰、层次分明、反差适中；金相及TEM、SEM等照片应有放大倍数或比例尺。

10 使用国家法定计量单位及符号；名词术语应统一；一篇文章中一种符号只能代表一种含义，变量符号用斜体；正确标注所用符号的大小写、上下标。