

鄂西高磷鲕状赤铁矿工艺矿物学研究*

李英堂^{1,2}, 马驰^{1,2}, 卞孝东^{1,2}, 王守敬^{1,2}, 郭俊刚^{1,2}, 王盘喜^{1,2}

(1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所; 2. 国家非金属矿资源综合利用工程技术研究中心, 郑州, 450006)

摘要:详细总结了鄂西鲕状赤铁矿的工艺矿物学特征, 包括矿石的化学成分、矿物组成及含量、结构构造、嵌布特征和物理化学性质以及铁、磷等元素的赋存状态, 并对不同选矿方法的效果和可能存在的问题作了详细的论述, 查清了该矿难利用的原因, 为开发利用这种难利用矿石提供了科学依据。

关键词:鲕状赤铁矿; 工艺矿物学; 鄂西; 嵌布特征; 矿石性质

中图分类号: TD91; TD951.1 文献标识码: B 文章编号: 1001-0076(2010)04-0033-05

Research on Technological Mineralogy of High Phosphorus Oolitic Hematite in Western Hubei Province

Li Ying-tang, MA Chi, BIAN Xiao-dong, et al.

(Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: This paper summarized the characteristics of technological mineralogy of oolitic hematite in western Hubei province, including the chemical composition, mineral constituents and contents, construction and structure of ore, dissemination characteristics and physical chemical properties, as well as the occurrence states of Fe, P and other elements. The effects and possible problems of different beneficial processes methods were also discussed, and the reasons of difficult utilization were found out. The results of the study can provide a scientific reference for beneficiation-metallurgy technology of this iron ore.

Key words: oolitic hematite; technological mineralogy; western Hubei province; dissemination characteristics; ore properties

鲕状赤铁矿多形成大型沉积铁矿床, 如法国的洛林铁矿、美国的克林顿铁矿。在我国鲕状赤铁矿资源分布较广、储量大, 储量约占国内铁矿资源的1/9, 仅次于鞍山式红铁矿储量。在我国北方称鲕状赤铁矿为宣龙式铁矿(主要分布在冀北), 南方称宁乡式铁矿。我国中南五省鲕状赤铁矿储量约32.3亿吨, 鄂西地区该类矿石储量约20亿吨, 属于高磷鲕状赤铁矿, 是晚期泥盆世海相沉积铁矿床。较为著

名的是火烧坪和官店鲕状赤铁矿, 其中火烧坪鲕状赤铁矿是碱性高磷鲕状赤铁矿矿石, 而官店鲕状赤铁矿是酸性高磷鲕状赤铁矿矿石。

高磷鲕状赤铁矿属于难选矿石, 多家单位对其做了大量的研究工作, 如原冶金工业部长沙冶研研究院、中钢集团马鞍山矿山研究院、北京科技大学等科研院所。郑州矿产综合利用研究所对高磷鲕状赤铁矿矿石的物质组成和矿石的选、冶性质进行了较

* 收稿日期: 2010-04-08; 修回日期: 2010-07-19

基金项目: 地质大调查项目(编号: 1212010916004)

作者简介: 李英堂(1941-), 男, 河北阜城人, 研究员, 学士, 主要从事工艺矿物学研究。通讯作者: 马驰(1981-), 工程师, 硕士, 主要从事工艺矿物学研究, Email: machi-111@163.com。

详细的研究,对这类矿石的工业开发利用提出了不同的选、冶工艺路线。

1 鄂西火烧坪碱性高磷鲕状赤铁矿矿石

1.1 矿石的物质组成

1.1.1 矿石的化学成分

试验样品的化学多项分析见表1。

表1 矿石化学分析结果

成分	TFe	SFe	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
含量/%	38.55	38.11	45.28	4.31	9.27	3.75
成分	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	Na ₂ O	K ₂ O
含量/%	13.07	2.26	0.30	0.35	0.20	0.53
成分	P ₂ O ₅	S	V ₂ O ₅	Los	CO ₂	BaO
含量/%	2.29	0.05	0.06	12.82	10.74	0.02

$(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) = 1.18$,为自熔性矿石。

1.1.2 矿石的矿物成分

根据光薄片鉴定、化学成分和X射线衍射分析结果,矿石的主要矿物及含量见表2。

表2 矿石的主要矿物成分及含量

矿物	赤铁矿	绿泥石	伊利石	方解石
含量/%	46.9	6.2	8.7	11.9
矿物	白云石	石英	胶磷矿	黄铁矿
含量/%	10.5	6.7	5.6	0.1

注:伊利石含量中包括高岭石等其它粘土矿物。

1.1.3 矿石的结构构造

矿石为典型的鲕状构造。鲕粒之间以微晶质赤铁矿、隐晶质粘土矿物、自形白云石、他形方解石等作为胶结物。被胶结的除了赤铁矿鲕粒外,还有石英细砂—粉砂岩碎屑、棒状、块状胶磷矿。

1.2 矿石主要矿物的嵌布特征

表3 赤铁矿鲕粒的粒度统计结果

粒级 /mm	颗粒数 /个	分布率 /%	粒级 /mm	颗粒数 /个	分布率 /%
>1	6	0.15	0.2~0.15	233	5.63
1~0.6	155	3.75	0.15~0.1	77	1.86
0.6~0.4	1704	41.21	<0.15	28	0.68
0.4~0.3	1190	28.76	总计	4135	100
0.3~0.2	742	17.94			

鲕粒由赤铁矿环带、伊利石等粘土矿物环带、方解石环带及胶磷矿环带组成。其中以赤铁矿环带为主,其次是粘土矿物环带。赤铁矿鲕粒以椭圆状、园粒状为主,少数呈长扁豆状。赤铁矿鲕粒的粒度统计结果见表3。

细针状、纤维状赤铁矿小晶体长一般为1~3 μm、直径小于1 μm,少数赤铁矿晶体长可达6 μm。这些细针状、纤维状赤铁矿小晶体彼此交织成云絮状的集合体,这种云絮状小鳞片一般长7~14 μm、宽1~4 μm,构成了赤铁矿鲕粒的主要环带。赤铁矿环带宽(厚)一般为72~36 μm,少数宽环带可达180~140 μm,窄的小于10 μm。

粘土矿物环带主要由伊利石、绿泥石、玉髓以及胶磷矿质点组成,环带较细,仅几个微米宽。方解石环带由方解石组成,环带比较宽。胶磷矿环带由棒状胶磷矿组成,环带比较宽。

在赤铁矿环带中,云絮状小鳞片之间、交织嵌布的赤铁矿晶体间存在许多微小空隙,这些微小的空隙被伊利石、绿泥石、玉髓、胶磷矿等脉石矿物所充填。在粘土矿物环带中也分布有针状、纤维状赤铁矿。因此,赤铁矿环带只是赤铁矿含量相对多的环带,并非是由单一赤铁矿组成。

矿石中除赤铁矿鲕粒外,被胶结的颗粒还有两种,石英细砂—粉砂岩碎屑和棒状、块状胶磷矿,以石英细砂—粉砂岩屑为主。岩屑系基底式胶结,比较坚实,不易破碎。岩屑的粒度比较粗,82%在1~0.2 mm之间。块状胶磷矿的粒度有86%在0.6~0.1 mm之间;棒状胶磷矿的长度在1.5~0.2 mm之间,它们与赤铁矿鲕粒的粒度分布基本一致。

1.3 矿石工艺矿物学特性

(1)从矿石中要回收的赤铁矿结晶嵌布粒度非常细微,与主要脉石矿物伊利石、玉髓、绿泥石等嵌布紧密、复杂,采取机械破碎、磨矿工艺使赤铁矿与脉石矿物解离的难度非常大。尤其是嵌布在交织结构的针状、纤维状赤铁矿晶体间隙中的脉石矿物与赤铁矿,以及嵌布在脉石中的细微赤铁矿,其单体解离难度已超出目前选矿工艺中破碎、磨矿作业的极限。

(2)可以通过比较简单的选矿工艺流程,抛弃绝大部分石英细砂—粉砂岩屑和棒状、块状胶磷矿,获得赤铁矿鲕粒精矿。但是作为胶结物质的白云石和方解石也一起进入尾矿,破坏了矿石的自溶性。强磁选精矿

中的鲕粒化学分析结果为:TFe 52.60%、SiO₂ 8.11%、Al₂O₃ 5.17%、MgO 1.70%、CaO 3.78%、P₂O₅ 0.92%,其碱比 CaO/SiO₂ =0.47,为酸性。将赤铁矿鲕粒磨碎,挑出鲕粒碎屑(赤铁矿环带)进行化学分析:TFe 59.11%、SiO₂ 6.73%、MgO 0.86%、CaO 0.89%、Al₂O₃ 3.60%、P₂O₅ 0.87%,其碱比 CaO/SiO₂ =0.13,自熔性被进一步破坏。此外,作为胶结物的一部分微晶质的赤铁矿也进入尾矿,降低了铁的回收率。

(3)矿石中以胶磷矿形式存在的磷占98%以上,仅有1%左右的磷以离子吸附形式分布在赤铁矿表面。因此胶磷矿是选矿工艺降磷的重点对象。降磷的关键是除去嵌布在赤铁矿晶体间隙中的微小胶磷矿,以及嵌布在细窄的粘土矿物环带中的胶磷矿,它们很难与赤铁矿解离,因为细窄的粘土矿物环带与赤铁矿环带嵌布非常紧密。

将跳汰精矿细磨(磨矿粒度-0.066 mm占83.60%,鲕粒已破坏)后进行反浮选降磷,获得品位为55.62%的铁精矿,但其自然碱度降为0.18,严重破坏了矿石的自熔性。反浮选降磷的同时也大幅度降低了CaO和MgO的含量(CaO含量由7.44%降到1.11%、MgO由2.96%降至1.33%);而SiO₂和Al₂O₃反而增加了(SiO₂由7.79%增加到8.52%、Al₂O₃由4.67%增至5.40%)。这是由于较宽的方解石环带和胶磷矿环带已被解离分选到尾矿中,而细窄的粘土矿物环带仍然与赤铁矿环带紧密相连,嵌布在其中的微小胶磷矿质点仍在反浮选精矿中,磷含量(0.23%)仍超标。

综上所述,对于碱性高磷鲕状赤铁矿石,其选矿工艺矿物学特征决定了这种矿石比较合理的选冶加工工艺路线应当是采用简单的重选或强磁选抛除混入的围岩夹石,恢复矿石的地质品位,保持矿石的自熔性,全烧结入高炉炼铁后氧气底吹转炉炼钢,同时生产钢渣磷肥。这种选冶联合流程处理碱性高磷鲕状赤铁矿石,充分利用了矿石的自熔性,选矿工艺简单,最大限度地回收利用矿石中的铁和磷。

2 鄂西官店酸性高磷鲕状赤铁矿矿石

这种矿石储量约占鄂西高磷鲕状赤铁矿总储量的80%,其工业意义比碱性矿石大。

2.1 矿石的物质组成

2.1.1 矿石的化学成分

官店酸性高磷鲕状赤铁矿化学成分见表4。

表4 官店酸性高磷鲕状赤铁矿石化学分析结果

项目	TFe	SFe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
含量/%	43.04	42.62	2.67	58.57	16.67	6.84
项目	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S
含量/%	0.58	4.89	0.60	0.19	1.95	0.02
项目	CO ₂	H ₂ O ⁺	TiO ₂	V ₂ O ₅	Ga	
含量/%	1.46	3.14	0.23	0.07	0.001	

(CaO + MgO)/(SiO₂ + Al₂O₃) =0.23,为酸性矿石。

2.1.2 矿石的矿物组成及含量

矿石的主要矿物成分见表5。

表5 酸性高磷鲕状赤铁矿石矿物成分

矿物	赤铁矿	胶磷矿	方解石 白云石	绿泥石	伊利石	石英	合计
含量/%	61.6	5.3	2.9	6.9	9.7	12.2	98.6

注:①赤铁矿含量包括少量褐铁矿;②绿泥石含量包括鲕绿泥石和鳞绿泥石;③伊利石含量包括高岭石等粘土矿物。

2.2 主要矿物的嵌布特征

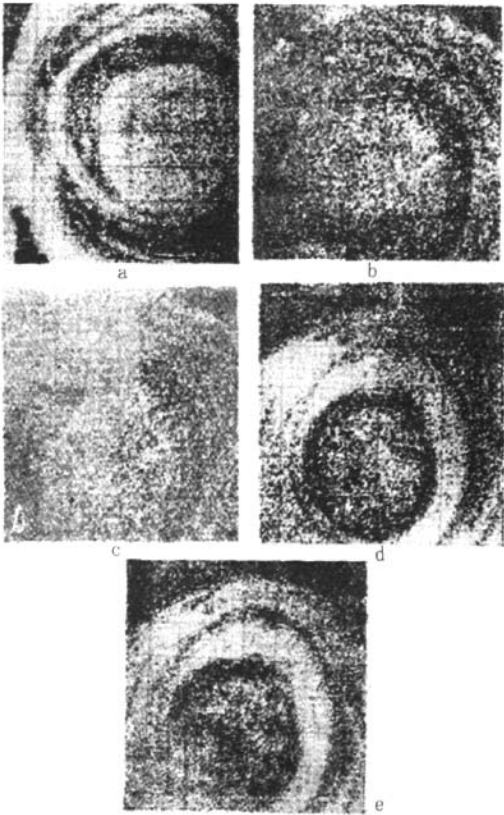


图1 电子探针多元素面扫描

矿石具有典型的鲕状结构(见图 1),赤铁矿与脉石矿物呈同心环带互层呈鲕状结构。细针状赤铁矿、粘土矿物、胶磷矿等在鲕粒中的嵌布特征与碱性矿石基本一致,缺少方解石环带。

图 1a 为电子探针扫描图,赤铁矿鲕粒扫描相。白点区域为铁元素的分布,黑色为脉石分布;图 1b 白点为硅元素分布,主要分布在赤铁矿晶体空隙间。图 1c 白点为铝元素分布,与图 1b 硅元素分布相符,显示出微小的粘土矿物在鲕粒中的分布;分布在交织嵌布赤铁矿晶体间隙中。图 1d 白点为钙元素分布,胶磷矿呈比较宽的环带,微小的胶磷矿质点分布在赤铁矿晶体间隙中;图 1e 白点为磷元素分布,与图 1d 中的钙元素的分布相对应。

细小的赤铁矿除形成鲕粒外,还与粘土矿物组成了矿石的胶结物。在被胶结的颗粒中,除了赤铁矿鲕粒外还有石英碎屑和碎屑状胶磷矿。赤铁矿鲕粒粒度统计结果见表 6。胶磷矿和石英碎屑的粒度主要分布在 0.8~0.2mm 区间,与赤铁矿鲕粒的粒度分布基本一致。因此,当绝大部分赤铁矿鲕粒被解离时,大部分石英碎屑、胶磷矿碎屑以及岩屑亦被解离。

表 6 赤铁矿鲕粒粒度统计结果

粒级 /mm	颗粒数 /个	分布率 /%	粒级 /mm	颗粒数 /个	分布率 /%
1~0.8	2	0.16	0.1~0.075	36	2.95
0.8~0.4	383	31.34	0.075~0.063	7	0.57
0.4~0.2	558	45.66	<0.063	1	0.08
0.2~0.1	235	19.23			

通过选矿工艺较易富集赤铁矿鲕粒作为精矿。重液选矿铁精矿中赤铁矿鲕粒化学分析结果见表 7。

表 7 赤铁矿鲕粒化学分析结果

项目	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
含量/%	75.90	1.23	7.03	4.30	4.40
项目	MgO	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	K ₂ O	
含量/%	0.55	3.07	2.85	0.29	

从表 7 可以看出:矿石中的铁和磷主要集中在赤铁矿鲕粒中。根据表 7 计算出赤铁矿鲕粒的矿物成分见表 8。

表 8 赤铁矿鲕粒的矿物成分

矿物	赤铁矿	胶磷矿	鲕绿泥石	粘土矿物	石英	合计
含量/%	75.9	8.2	5.4	9.3	1	99.8

注:石英中包括玉髓和蛋白石。

据统计,在赤铁矿鲕粒中 83% 的胶磷矿环带宽 < 0.02 mm,赤铁矿环带宽和鲕绿泥石—粘土矿物环带宽以 <0.02 mm 为主。当赤铁矿鲕粒被磨细到 ~20 μm 时,大部分胶磷矿环带、鲕绿泥石环带以及粘土矿物环带与赤铁矿环带解离。但嵌布在交织的细针状赤铁矿晶体间隙中的粘土矿物、胶磷矿,以及嵌布在粘土矿物间的赤铁矿很难解离。

2.3 不同选矿工艺效果探讨

马鞍山矿山研究院对原矿化学成分为 TFe 43.65%、SiO₂ 17.10%、Al₂O₃ 9.28%、MgO 0.59%、CaO 3.58%、S 0.048%、P 0.830%、K₂O 0.65% 的高磷鲕状赤铁矿石进行了较详细的常规选矿试验研究。采用强磁、反浮选或细磨、控制分散、选择性絮凝、反浮选工艺,均不能获得较为理想的选别指标。常规选矿试验结果表明,对于这种结晶粒度极其细微,与脉石矿物以及胶磷矿嵌布关系非常复杂、紧密的酸性高磷鲕状赤铁矿石采用常规选矿方法选别要获得合格的铁精矿尚有一些技术问题需要深入研究解决。

原地质部矿产综合利用研究所(现为国土资源部郑州矿产综合利用研究所)采用磁化焙烧—弱磁选工艺(已抛掉混入的围岩和夹石),磨矿细度~325 目占 90%,获得的铁精矿品位:TFe 60.42%、P 0.65%、CaO 2.06%、MgO 1.46%、SiO₂ 7.26%、Al₂O₃ 5.13%、烧失 3.81%,铁回收率 78.94%。虽然磷含量超标,所获得的铁精矿不合格。

马鞍山矿山研究院采用磁化焙烧—弱磁选工艺处理这种矿石也获得较好的铁精矿品位和较高的铁收率,但磷含量也超标。为了降磷采用稀硫酸或稀盐酸浸磁铁精矿,铁精矿中磷可降至 0.20% 以下,铁品位可提高到 60.50% 左右、铁回收率为 84.98%~81.84%。

采用深度还原钠化焙烧工艺,在焙烧过程中添加降磷还原剂,也可以获得较好的选别指标。但深度还原钠化焙烧过程中产生一定的腐蚀性气体,设备腐蚀相当严重,在目前技术条件下工业实施较为困难。

北京科技大学采用还原剂加脱磷剂进行磁化焙烧,获得较好的选别指标。但该工艺产品成本高,经济上是否可行尚需探讨。

加强新型降磷、降硅捕收剂研制,提高反浮选效果,是开发利用高磷鲕状赤铁矿的有效途径之一。

参考文献:

- [1] 鄂西火烧坪高磷鲕状赤铁矿矿石物质成分研究报告[R]. 地矿部矿产综合利用研究所,1978.
- [2] 鄂西官店高磷鲕状赤铁矿矿石物质成分研究报告[R]. 地矿部矿产综合利用研究所,1977.
- [3] 李英堂. 我国宁乡式鲕状赤铁矿矿石的工艺矿物学特征及其利用途径[J]. 矿产综合利用,1981,(Z1):34-46.
- [4] 程希翱. 鲕状铁选矿工艺矿物学研究[R]. 冶金工业

部长长沙冶冶研究院,1988.

- [5] 鲕状铁选矿工艺矿物学研究——鄂西长阳火烧坪铁选矿工艺矿物学[R]. 冶金工业部长沙冶冶研究院,1988.
- [6] 鄂西高磷铁矿资源调查研究报告[R]. 冶金工业部联合调查研究小组,1986.
- [7] 鄂西宁乡式鲕状高磷赤铁矿选矿工艺研究试验报告[R]. 中钢集团马鞍山矿山研究院、北京科技大学,2007.
- [8] 邹健. 我国铁矿资源开发利用现状与可持续供应[R]. 全国铁矿勘查研讨会交流材料汇编,2008.
- [9] 余永富. 我国铁选矿技术进步与发展前景[R]. 全国铁矿勘查研讨会交流材料汇编,2008.

山东新汶矿业集团长城公司矿井水治理获双赢

山东新汶矿业集团长城公司在矿井水治理中,树立“绿色发展”理念,引进先进科学技术和工艺,把矿井水治理与综合利用结合起来“一篮子”解决,不但有效地治理了隐患,也解决了生产生活用水问题,矿井水利用率达到了100%。该公司自2007年成立以来,仅节水一项创造价值2 000多万元。

长城公司地处内蒙古自治区鄂尔多斯市鄂托克前旗上海庙镇,矿井日涌水量4 500多立方米,是该矿井重大安全隐患之一。而同时,企业地理上属于温带大陆性气候区半干旱气候带,降水稀少,蒸发量大,特殊的地形、气候条件使得本区域淡水资源严重缺乏,造成生产生活严重困难。针对这种情况,长城公司自2007年建立之初就充分考虑矿井水的治理和综合利用问题,广泛调研取经,大胆探索研究,积极与科研院所合作,制订实施了科学合理的矿井水治理和综合利用方案。

在矿井水治理上,他们与中国矿业大学等院校合作,利用现代化的地测手段,科学检测矿井涌水量,优化设计方案,利用最先进的装备,完善排水系统,充分保障矿井排水能力,同时解决了含水层条件下近距离开采防治水等问题,有效地

克服了矿井水、老空水隐患,累计安全采煤350多万吨。

在矿井水利用上,他们与中煤环保有限公司合作,根据长城公司矿井实际排水量、水质情况及矿井生产用水、职工生活用水标准和需求量,在水处理的技术、设备、工艺等方面作出科学合理的选择,力求达到最佳效果。最终采用了“矿井水涡旋混凝低脉动处理技术”及“高密度迷宫斜板处理技术”,该技术将“涡旋混凝低脉动和高密度迷宫斜板沉淀”技术实现了高效率的组合,从而保证了高效率的除浊与高质量的供水。矿井水经过处理全部用于井下防尘、洗选厂生产、职工洗浴洗漱、矿区环境绿化等,仅绿化灌溉面积就达到30.5 hm²。矿内建立了面积200 m²、日供水能力180 m³的纯净水处理车间,满足了职工食堂使用和职工日常饮用,该公司矿井水处理总投资达到1 000多万元。

在“绿色发展”理念指引下,长城公司科学治理和综合利用矿井水,带来了安全、生产、效益的良性循环,累计安全产煤350多万吨、创造利润17 487万元、上缴税金6 903万元,达到污水零排放,改善生态面积30多公顷,实现了经济和社会效益的双赢。

欧阳宝塔,苏兴奎 供稿