

司家营铁矿 I 号矿体矿石工艺性质分析

韩秀丽^{1,2}, 刘晓民¹, 宋爱东³, 刘丽娜^{1,2}, 陈越³, 张庆峰⁴

(1. 河北联合大学矿业工程学院, 河北 唐山 063009;

2. 河北省矿业开发与安全技术实验室, 河北 唐山 063000;

3. 河北钢铁集团矿山设计院, 河北 唐山 063000;

4. 河北钢铁集团矿业公司司家营铁矿, 河北 唐山 063000)

摘要:司家营铁矿为冀东地区一特大型沉积变质型铁矿床,通过运用晶体光学、工艺矿物学等研究手段,对该矿床 I 号矿体矿石的矿物组成、工艺粒度及有用矿物的嵌布特征等进行系统研究。在此基础上,将矿石划分为易解离易选型、易解离难选型、难解离难选型三种嵌布类型,并分析了每种矿石的工艺性质及可磨性,预测了磨矿粒度、回收率等选矿指标,对指导配矿及优化选矿工艺流程具有指导意义。结果表明,矿物性质波动大、嵌布粒度不均匀、细粒级含量高是造成目前选矿指标不理想的重要原因。提高回收率的关键在于对难选难解离矿石的充分细磨,加强对细粒级铁矿物的回收,另外也要严格控制易泥化矿石的人选比例。

关键词:铁矿石;嵌布特征;工艺粒度;可磨性;

中图分类号:P575 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2012)04-0043-04

冀东—密云铁矿成矿区是仅次于鞍本地区的重要沉积变质型铁矿分布区,已探明的铁矿储量达 62.7 亿 t,占全国铁矿探明储量的 12.1%。司家营铁矿是位于该区一特大型沉积变质铁矿,资源储量达 23.1 亿 t,其上部主要为氧化矿,约 3.23 亿 t,下部逐步过渡为磁铁矿^[1-3]。矿区内矿体由于构造、古地形和岩浆岩脉侵入的影响,厚度变化较大,形态变化较复杂,沿走向和倾向均有突然尖灭,分枝复合和膨缩现象^[4]。由于目前采矿断面处于红矿和青矿的过渡阶段,矿石的性质变化较大,导致选矿指标不稳定,出现尾矿品位较高、金属综合回收率较低等问题。因此有必要对氧化矿矿石的矿物组成、嵌布特征、结构构造等工艺特性进行深入的分析,为合理、高效利用有限的铁矿资源提供理论依据。

1 矿床概况

司家营铁矿位于河北省滦县境内,为一特大型

沉积变质铁矿床,累计探明总资源储量 236171.2 万 t,矿石平均品位 TFe30.00%。矿区断裂构造较发育。断裂构造主要分布于北区及大贾庄矿体北部,多数对矿体有不同程度的破坏作用。矿区岩浆岩不发育,岩脉大多顺层产出,有的斜切矿体,破坏矿体的连续性^[5]。区内共有 8 个层状或似层状矿体。矿体内夹石较多,且具分支复合现象,实为矿带。矿体厚度变化较大,有明显的膨缩和分支复合现象,尾矿多分支尖灭。产状与围岩基本一致。I 号矿体为区内最大主矿体,约占总资源储量的 47.0%,位于矿区东侧,纵贯南北两区,长 8350m。

2 矿石类型及矿物嵌布特征

根据矿石的嵌布特征和可选性,将司家营氧化矿石分为三种基本类型:易解离易选型、易解离难选型、难解离难选型。每种矿石的具体特征见表 1。

收稿日期:2012-01-31;改回日期:

基金项目:河北省教育厅资助项目(ZH2011121)。

作者简介:韩秀丽(1966-),女,教授,硕士研究生导师,研究方向为工艺矿物学。

表 1 三种类型矿石嵌布特征

Table 1 Dissemination characteristics of the three types of ores

矿石类型	易解离易选型	易解离难选型	难解离难选型
矿物组成	以假象、半假象赤铁矿和磁铁矿为主,并含有赤铁矿和少量褐铁矿;脉石矿物主要为石英,见少量的黑云母、绿泥石、角闪石、长石等。	有用矿物主要为假象赤铁矿、磁铁矿和赤铁矿,褐铁矿含量较高;脉石矿物主要为石英、绿泥石、黑云母,并可见绿帘石、角闪石、绢云母、方解石、磷灰石等。	有用矿物主要为赤铁矿、假象赤铁矿、磁铁矿和少量褐铁矿。脉石矿物主要为石英,见少量方解石、黑云母、绿泥石、角闪石。偶见磷灰石、阳起石、石榴子石、萤石等。
结构构造	以条带和粗条带状构造为主,并伴有揉皱状构造,部分呈层纹状构造。铁矿物条带较粗,可达 0.5~4.0mm,有用矿物主要集中在条带内。以各种粒状结构、假象结构和交代结构为主。	以条带和条带状构造为主,部分矿石为层状和层纹状构造。有用矿物多为半自形-他形结构,石英主要呈各种粒状变晶结构。	以致密层纹状和条带状构造为主,部分矿石为浸染状构造。有用矿物多呈他形粒状结构,细粒级铁矿物主要以包裹体形式存在于石英内。部分假象赤铁矿因蚀变呈残余结构。
嵌布类型	脉石矿物与有用矿物多规则毗连,结合处较平直。	脉石矿物与有用矿物毗连镶嵌,部分样品中可见铁矿物在黑云母及其蚀变产物中析出。	有用矿物与脉石矿物犬牙交错,多不规则毗连镶嵌在一起。
工艺粒度	一般粒度 0.10~0.30mm,最大粒度可达 1.3mm。以中粒为主,细粒级含量较少。	铁矿物嵌布粒度一般为 0.05~0.20mm。石英嵌布粒度 0.04~0.20mm。	嵌布粒度一般小于 0.15mm, -0.04mm 级多以石英包裹体形式存在。
其他特征	矿石表面主要呈钢灰色和暗红褐色,比重较大。矿石从弱磁性到强磁性都有分布。	矿石主要呈青灰和深灰色,部分矿石因褐铁矿化呈黄褐或红褐色,少量矿石因含砂质层而呈土黄色,比重较小。矿石从无磁性到强磁性都有分布。	矿石表面主要呈深灰色和红褐色。少量矿石新鲜面可见溶蚀孔洞。矿石从无磁性到强磁性都有分布,以无磁性和弱磁性矿石为主。

3 工艺粒度分析

3.1 工艺粒度测定

运用过尺线法测量每种工艺类型矿石的嵌布粒度,目镜测微尺格值 $D=5.4\mu\text{m}$,测定结果见表 2、表 3 和表 4。为了直观地表示矿石中有用矿物的嵌布特点,根据各粒级的百分含量绘制成各粒级含量对比柱状图和粒度累积分布曲线,分别见图 1 和图 2。

表 2 易解离易选型矿石中铁矿物粒度分布

Table 1 Particle size distribution of iron in the easy liberation and easy beneficiation ores

刻度范围/D	粒级范围/ μm	比粒径/d	颗粒数 n	含量比 n*d	含量分布 n*d/%	累计含量 $\sum n*d/\%$
-128+64	-691.2+345.6	32	97	3104	34.78	34.78
-64+32	-345.6+172.8	16	219	3504	39.26	74.04
-32+16	-172.8+86.4	8	178	1424	15.96	90.00
-16+8	-86.4+43.2	4	143	572	6.41	96.41
-8+4	-43.2+21.6	2	114	228	2.55	98.96
-4+2	-21.6+10.80	1	64	64	0.72	99.68
-2+1	-10.8+5.40	0.5	57	28.5	0.32	100.00
合计			872	8924.5	100.00	

表 3 易解离难选型铁矿物粒度分布

Table 3 Particle size distribution of iron in the easy liberation and refractory beneficiation ores

刻度范围/D	粒级范围/ μm	比粒径/d	颗粒数 n	含量比 n*d	含量分布 n*d/%	累计含量 $\sum n*d/\%$
-128+64	-691.2+345.6	32	23	736	14.51	14.51
-64+32	-345.6+172.8	16	96	1536	30.27	44.78
-32+16	-172.8+86.4	8	164	1312	25.86	70.64
-16+8	-86.4+43.2	4	178	712	14.03	84.68
-8+4	-43.2+21.6	2	239	478	9.42	94.10
-4+2	-21.6+10.80	1	246	246	4.85	98.95
-2+1	-10.8+5.40	0.5	107	53.5	1.05	100.00
合计			1053	5073.5	100.00	

表 4 难解离难选型铁矿物粒度分布

Table 4 Particle size distribution of iron in the difficult liberation and refractory beneficiation ores

刻度范围/D	粒级范围/ μm	比粒径/d	颗粒数 n	含量比 n*d	含量分布 n*d/%	累计含量 $\sum n*d/\%$
-128+64	-691.2+345.6	32	21	672	13.54	13.54
-64+32	-345.6+172.8	16	77	1232	24.83	38.37
-32+16	-172.8+86.4	8	156	1248	25.15	63.52
-16+8	-86.4+43.2	4	188	752	15.16	78.68
-8+4	-43.2+21.6	2	297	594	11.97	90.65
-4+2	-21.6+10.80	1	351	351	7.07	97.72
-2+1	-10.8+5.40	0.5	226	113	2.28	100.00
合计			1316	4962	100.00	

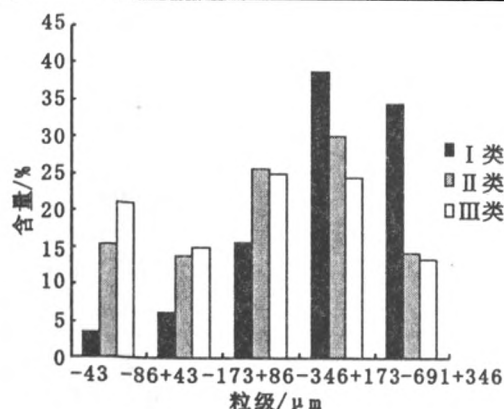


图1 三种工艺类型各粒级含量对比

Fig.1 Comparison of content of various grain sizes of the three types

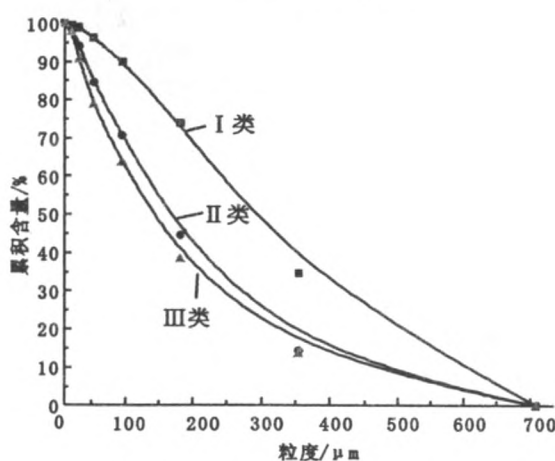


图2 有用矿物粒度累积含量分布曲线

Fig.2 Distribution curve of content of particle size accumulation of useful minerals

由图2可以看出, I类矿石(易解离易选型)属于偏粗粒不均匀型; II类矿石(易解离难选型)属于偏细粒不均匀型; III类矿石(难解离难选型)属于细粒不均匀型。根据样品分类统计, I类矿石约占分析样品的25.1%, II类占16.6%, III类占58.3%。近60%的矿石属于难选难解离型,这也可以解释为什么目前选矿指标不稳定,出现波动的重要原因。要想达到单体解离粒度85%, III类难解离难选型磨矿粒度必须小于0.065mm, II类易解离难选型磨矿粒度必须小于0.090mm,而I类易解离易选型磨矿粒度在0.175mm时即可达到85%单体解离要求。

3.2 工艺性质分析

从表2~4可以看出,三种类型矿石工艺粒度分布有较大差别。I类矿石嵌布粒度明显比其他两类粗, -691+86μm 中粗粒级累积含量达90.00%,粗

粒级691~346μm 含量达34.78%,很容易达到单体解离, -43μm 粒级含量仅占3.59%;对磨矿过程的不利影响可以忽略。该类矿石通过简单粗磨即可进行选别处理。磨矿时间不宜过长,简单一段磨矿即可,磨矿段数过多,容易造成过粉碎。

II类矿石-691+86μm 粒级累积含量70.64%, 691~346μm 粒级含量14.51%,明显低于I类矿石,但他们可磨性却很接近,主要是II类矿石含有一定量的绿泥石、黑云母、褐铁矿等硬度较小的矿物组分,使得矿石的三维应力降低,易于破碎。II类矿石虽然易磨,但属于细粒嵌布型,需细磨才能使铁矿物充分单体解离。而且其易泥化矿物组分如黑云母、绿泥石、褐铁矿等对后续的磁选、浮选会造成不利影响。细粒级和已泥化矿物含量过高,会严重恶化浮选过程,造成精矿品位低,尾矿品位偏高^[6-8]。在实际生产中应严格控这部分矿石的入选比例。

III类矿石-691+86μm 粒级累积含量63.52%, 691~346μm 粒级13.54%,而其组成矿物为赤铁矿和石英,有用矿物嵌布粒度细,矿物硬度相对较高,这是其可磨性低于前两类矿石的主要原因。另外-43μm 粒级含量21.32%,如果+43μm 粒级全部被回收,回收率仅为78.68%。实际磨矿中,为了使细粒嵌布铁矿石充分单体解离,需要将矿石磨得更细,已解离的铁矿物将不可避免的还要继续破碎, -43μm 粒级矿物实际上还要更多。III类矿石占司家营铁矿石含量的近60%,因此,提高铁矿石回收率的关键在于对细粒级矿石的回收。流程考察也证明,在丢失的有用矿物中,细粒级铁矿物占多数。

4 相对可磨度实验

表5 可磨度对比试验

Table 5 Comparison test of grindability

磨矿时间/min	3	7	11	15	18
I类矿石-200目/%	33.26	63.10	83.18	92.98	96.06
II类矿石-200目/%	30.74	62.72	82.66	93.02	96.08
III类矿石-200目/%	30.50	60.26	81.18	91.98	94.68

首先将三类不同类型的矿石样品用同样设备破碎至-2mm 以下,用100 目标标准筛筛除-0.15mm 粒级,各自混匀缩分出待磨矿样,每份0.8kg,加400mL 水,用同一球磨机(锥形250×90mm)进行不同时间的系列磨矿,将每一磨矿产品用200 目标标准筛检查细度,结果见表5,据此表数据绘制相对可磨度曲线,如图3。

由表5 和图3 可以看出,三种类型矿石的相对

可磨度差异,并不显著,I类和II类矿石的可磨度曲线几乎重合,说明两类矿石的可磨性几乎一样,III类矿石可磨性相对较差,但差异不显著,因为三类矿石都取自目前二采场露天矿工作面断面,同属于石英岩型贫铁矿,矿物组成大体相同,矿物的硬度差别较小,因此可磨性差别不明显。它们之间的差异性需通过进一步单体解离度试验来区别。

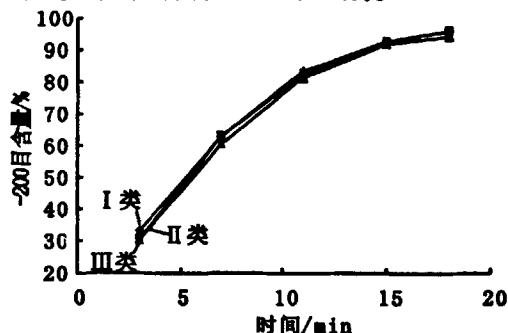


图3 三类矿石的相对可磨度曲线

Fig. 3 Relative grindability curve of the three types of ores

5 结 论

1. 司家营铁矿由于矿体产状变化大,导致矿石性质变化大。
2. 司家营I号矿体的矿石根据嵌布特征和可选

性可分为三种工艺类型:易选易解离型、易选难解离型、难选难解离型。司家营三种工艺类型矿石嵌布粒度变化较大。

3. 细粒级含量高是造成目前选矿指标不理想的重要原因,提高回收率的关键在于对难选难解离矿石的充分细磨,加强对细粒级铁矿物的回收。另外也要严格控制易泥化矿石的入选比例,降低其对选别系统的不利影响。

参考文献:

- [1] 河北省地质局第十五地质队. 河北省滦县司家营铁矿北区地质勘探总结报告[R]. 唐山:河北省地质局第十五地质队,1978.
- [2] 张永坤,田志云,等. 司家营铁矿整体开发方案优化研究[J]. 金属矿山,2009(11)增刊:32-35.
- [3] 田嘉印,刘保平,等. 我国红铁选矿高效节能技术及设备评述[J]. 金属矿山,2005(9):4-10.
- [4] 李欣. 司家营铁矿北区矿体地质与深部找矿的探讨[J]. 金属矿山,2009(6):113-116.
- [5] 河北省地质矿产开发局. 河北省地质矿产环境[M]. 北京:地质出版社,2006.
- [6] 白晓鸣. 司家营贫赤铁选矿试验研究[J]. 矿业工程,2004,2(6):25-28.
- [7] 吕建华,马晓雯. 矿石性质及改善选矿指标建议[J]. 矿业工程,2004,3(2):25-28.
- [8] 张洪恩. 红铁选矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1983.

Technological Property Analysis of Orebody I in Sijiaying Ore

HAN Xiu-li^{1,2}, LIU Xiao-min¹, SONG Ai-dong³, LIU Li-na^{1,2},
CHEN Yue³, ZHANG Qing-feng⁴

- (1. College of Mining Engineering, Hebei United University, Tangshan, Hebei, China;
2. Mining Development and Safety Technology Key Lab of Hebei Province, Tangshan, Hebei, China;
3. The Design Institute of Mines, Hebei Iron and Steel Group, Tangshan, Hebei, China;
4. Si Jiaying Iron Mine, Hebei Iron and Steel Group Mining Company, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: Sijiaying Iron Mine is one of the super large sedimentary-metamorphic iron ore deposit in Jidong areas. Substance compositions, technological granularity and embedded features of the ores in orebody I are systematically studied by crystal optical and mineralogical methods. On the basis of it, the ore can be classified into three types: easy to disintegrate and easy to selection, easy to disintegrate and hard to beneficiate and hard to disintegrate and hard to beneficiate. Meanwhile, the technological properties and grindability of each type are studied, the ore grinding, recovery and other indexes are calculated, which results have directive significance to ore blending and process optimization. The result showed that the variation of the mineral properties, the nonuniform grain size distributions, the high content of fine minerals are the main reasons making the technical indexes unsatisfactory. The key to improve the recovery is to make the refractory ore fine grinding, strengthen the recovery of fine iron minerals and strictly control the proportion of the ores easy to be slimed

Key words: Iron Ore; Dissemination characteristics; Technological granularity; Grindability; Sijiaying