

王崴平, 陈毓川. 基于 BIF 条带状铁建造矿化特征的国际铁矿石盈亏平衡运营成本定量研究[J]. 岩矿测试, 2017, 36(2): 187 - 195.

WANG Wei-ping, CHEN Yu-chuan. Quantitative Research for Global Iron Ore Breakeven Operating Cost Based on BIF-type Enriched Mineralization Characteristics[J]. Rock and Mineral Analysis, 2017, 36(2): 187 - 195.

【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2017.02.013】

基于 BIF 条带状铁建造矿化特征的国际铁矿石盈亏平衡运营成本定量研究

王崴平^{1,2}, 陈毓川¹

(1. 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
2. 中国地质科学院研究生部, 北京 100037)

摘要: 国内外铁矿石价格对标基准多采用离岸价或到岸价, 而非盈亏平衡运营成本, 难以揭示我国铁矿石所面对的真实市场承压价格。为了厘清国际一线生产商的铁矿石盈亏平衡运营成本价格, 本文对世界上最重要的条带状铁建造(BIF)矿产地——西澳哈默斯利盆地高品位赤铁矿矿床的矿化特征及代表性铁矿石产品展开系统研究, 同时引入巴西铁四角地区的铁英岩型赤铁矿矿石作为对照, 分析全球典型高品位赤铁矿矿石经济指标。结合前人研究成果, 将西澳哈默斯利盆地与 BIF 相关的高品位赤铁矿的富集矿化类型划分为假象赤铁矿-针铁矿、微板状赤铁矿与河道沉积型赤铁矿, 巴西铁四角主要为铁英岩型赤铁矿。上述各矿化类型对应的铁矿石产品的铁元素含量均高于 56%; 在杂质元素含量上, 假象赤铁矿-针铁矿的磷含量高, 微板状赤铁矿的磷、硫含量较高, 河道沉积型赤铁矿的磷、硫含量较低, 铁英岩型赤铁矿含锰。经定量估算, 西澳力拓、必和必拓、FMG 和巴西淡水河谷的铁矿石盈亏平衡运营成本价格分别为 34.66、36.76、47.35、38.07 美元/干吨, 可为中国海外权益铁矿项目开发提供运营成本的参考。

关键词: 条带状铁建造(BIF); 高品位赤铁矿; 假象赤铁矿-针铁矿; 微板状赤铁矿; 河道沉积型(CID型)赤铁矿; 盈亏平衡运营成本

中图分类号: P578.12 **文献标识码:** A

2013~2016年, 伴随铁矿石大宗商品价格的不断下探, 全球铁矿石市场进入供求关系倒转至供过于求的阶段, 全球铁矿石生产商进入明显的下行市场环境, 尽管国际铁矿石生产商有部分退出, 但主要承压方仍是中国的高成本铁矿项目, 这取决于国际主流铁矿石对中国铁矿石制造成本的巨大优势^[1-3]; 但国内外铁矿石价格对标基准往往是离岸价或到岸价^[4-5], 而非基于盈亏平衡运营成本价格, 难以揭示中国铁矿石所面临的真实市场承压价格。

国际上四大矿企(西澳力拓、必和必拓、FMG 和巴西淡水河谷)年报往往仅披露某个或某些铁矿石

项目的离岸价, 但对于四大矿企的盈亏平衡运营成本价格数据, 不论学界还是业界都鲜见披露。盘踞于西澳哈默斯利盆地、巴西铁四角与卡拉加斯的国际铁矿业界四大矿企的铁矿石资产均属于高品位赤铁矿项目^[6], 而四大矿企也凭借着铁矿石资产取得了优异的经营业绩。2017年2月23日淡水河谷公司发布了其2016财年净营业收入, 为293.63亿美元, 主要来源于铁矿石业务, 铁矿石粉矿+球团+原矿净营收达196.53亿美元, 占总净营收的66.93%, 其煤炭业务与基本金属(镍、铜、铂族金属、金、银)业务收入合占总净营收的23.76%(来源: 巴西淡水

收稿日期: 2017-02-21; 修回日期: 2017-03-07; 接受日期: 2017-03-25

基金项目: 中国矿产地质与成矿规律综合集成和服务(矿产地质志)项目(DD20160346)

作者简介: 王崴平, 博士, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: bruceminerals@qq.com.

河谷 2016 财年净营业收入数据)。

作者统计了 2015 年四大矿企的铁矿石生产现金成本价格^[1],为了进一步厘清四大矿企的铁矿石盈亏平衡运营成本价格,本文对西澳哈默斯利盆地高品位赤铁矿矿床的矿化特征及代表性铁矿石产品展开系统研究,主要讨论西澳哈默斯利盆地等区域成矿背景下的铁矿石产品质量特征,采用“离岸价+海运运费+铁矿石销售溢价/罚金”的方式定量计算了四大矿企铁矿石产品的盈亏平衡经营成本价格,由此得到的计量值可为中国海外权益矿开发提供运营成本参考。

1 西澳哈默斯利盆地富赤铁矿的成矿背景

大多数世界级高品位赤铁矿矿床的铁平均品位约 60%~67%^[6],赤铁矿生产成本普遍比磁铁矿低,其矿石产品类型主要为烧结粗粉、块矿和烧结精粉。高品位赤铁矿矿床主要产于西澳哈默斯利盆地、巴西铁四角与卡拉加斯、南非德兰士瓦盆地、印度 Noamundi 盆地等地区^[7]。矿化富集作用主要为硅质表生淋滤与磁铁矿的氧化^[8],Ohmoto^[9]给出了酸性热液环境下磁铁矿蚀变的化学方程式为: $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{磁铁矿}) + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{FeO}(\text{赤铁矿}) + \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ 。很多条带状铁建造(banded iron formation,简称 BIF)铁矿中铁质元素的矿化富集,都是在酸性反应环境中由 BIF 原岩中原生磁铁矿氧化造成的^[10]。

西澳哈默斯利盆地铁矿石主要赋存于新太古代马拉曼巴地层和古元古代布洛克曼地层中,两套地层在西澳哈默斯利盆地出露面积达 6 万平方公里^[11],矿产资源量总计大于 400 亿吨^[12-13]。按赋存层位,铁矿石被区分为“马拉曼巴矿石”(Marra Mamba Ore)和“布洛克曼矿石”(Brockman Ore),二者均发育于层状无燧石含铁建造中,经过深成热液

交代和表生残余富集,BIF 中的原生磁铁矿被氧化成赤铁矿;与此同时,含铁建造中的脉石矿物大部分被含水铁氧化物(特别是针铁矿)所交代。“马拉曼巴矿石”和“布洛克曼矿石”均适合于生产块矿,具有高还原性。与之类似的是,巴西铁四角和卡拉加斯地区所发育的铁英岩型矿石,产于氧化、变质、变形的 BIF 含铁建造中,以铁英岩为容矿围岩的富集铁矿化,经 BIF 原岩中脉石表生淋滤作用下的残余赤铁矿富集而成^[14-15];此外还有铁角砾岩型矿石,是一类胶结在一起的呈角砾状的假象赤铁矿-针铁矿矿物集合体,也被描述为松散的碎屑状矿石,其矿化成因主要为 BIF 中脉石矿物被针铁矿交代成因或表生风化成因^[15]。在南非德兰士瓦盆地与印度 Noamundi 盆地,BIF 型高品位赤铁矿的矿石矿物主要为赤铁矿、假象赤铁矿、针铁矿,有所区别的是南非德兰士瓦盆地更发育微板状赤铁矿亚型。

2 西澳哈默斯利盆地高品位赤铁矿的矿化特征

西澳哈默斯利盆地产出的高品位赤铁矿,其富集矿化类型主要包括假象赤铁矿-针铁矿矿石、微板状赤铁矿矿石与河道沉积型(以下简称 CID 型)赤铁矿矿石。不同的富集矿化类型具有各异的元素含量(表 1),直接决定了铁矿石产品的经济指标,并进一步影响到铁矿石生产商的盈亏平衡经营成本。

2.1 假象赤铁矿-针铁矿矿石

假象赤铁矿-针铁矿矿石,包括棕色、致密坚硬的富针铁矿矿石,与土黄色、易碎的富假象赤铁矿矿石。其组构特征是:一方面保留了 BIF 的条带状产出特征,另一方面是由于原始 BIF 层理中脉石矿物被交代分解、磁铁矿被蚀变氧化而导致假象赤铁矿的矿物富集。

表 1 国际铁矿石市场典型高品位赤铁矿矿石质量规格

Table 1 Quality specifications of high-grade hematite products within global iron ore markets

矿石产品	矿化类型	Fe 含量 (%)	Al ₂ O ₃ 含量 (%)	SiO ₂ 含量 (%)	S 含量 (%)	P 含量 (%)	H ₂ O 含量 (%)	Mn 含量 (%)
PB 块矿	马拉曼巴矿石和布洛克曼矿石	62.5	2	4.2	0.06	0.1	4	0
PB 粉矿	马拉曼巴矿石和布洛克曼矿石	61	3	4	0.06	0.15	8.5	0
Newman 块矿	微板状赤铁矿矿化	64	2	3	0.06	0.1	5	0
Newman 粉矿	微板状赤铁矿矿化	62.5	3	5	0.06	0.1	8.5	0
Vale 南部粉	铁英岩型赤铁矿矿化	63.5	1.5	5.5	0.03	0.05	8.5	0.3
Yandi 粉矿	CID 型赤铁矿矿化	58.5	2	6	0.02	0.05	9	0
FMG 火箭特粉	CID 型赤铁矿矿化	57.5	3	5	0.04	0.05	10	0
Robe River 粉矿	CID 型赤铁矿矿化	56.5	3	5	0.05	0.03	8	0

该类矿石被认为是BIF原岩经历了从中生代到第三纪的红土型风化作用所形成的,与风化剥蚀面关系密切。在马拉曼巴地层中该类矿石与风化剥蚀面显著相关,有的矿体甚至越过风化剥蚀面到地下250 m以深,因此假象赤铁矿-针铁矿矿化通常被认为是BIF经由表生淋滤作用-交代作用形成的^[16-18]。该类矿石最为显著的特征是假象赤铁矿组分,占到了矿石50%以上^[16],高于针铁矿组分。但是基本上看不到“微板状赤铁矿”,由于针铁矿中含有磷元素,因此这类矿石的磷含量较高,磷平均含量为0.07%~0.17%,有的高于0.17%^[18]。该类矿石广泛发育于西澳哈默斯利盆地、巴西铁四角、巴西卡拉加斯铁成矿省。在CID型矿石被大规模开发之前,西澳哈默斯利盆地开发的BIF后成富集矿产90%以上的矿石属于假象赤铁矿-针铁矿矿石^[13];而在巴西铁四角和卡拉加斯,在许多高品位赤铁矿矿床的表层,可发现厚度不超过30 m的针铁矿化的铁角砾岩表壳,实际上是胶结在一起的呈角砾状的假象赤铁矿-针铁矿矿物集合体。

2.2 微板状赤铁矿矿石

微板状赤铁矿矿石(Microplaty Hematite Ore),发育于西澳哈默斯利盆地Mt Tom Price矿床、Mt Whaleback(Newman)矿床、Paraburdoo矿床等,保存了完好的原生层理。相比于假象赤铁矿-针铁矿矿石,这类矿石磷含量较低,质量更为优良。通常认为,这类矿石是由磁铁矿或假象赤铁矿-针铁矿经过中高温变质交代作用形成的,其成矿作用主要发生于古元古代,其矿化成因是由埋藏压实引起的中高温变质与盆地热卤水交代作用^[18]。这一矿化类型也广泛发育于南非、巴西等地,在巴西铁四角地区,铁英岩型矿化主要属微板状赤铁矿矿化^[19],但铁英岩型矿化具有其特殊性,例如含有锰杂质等。

2.3 河道沉积型赤铁矿矿石

河道沉积型(Channel Iron Deposit,以下简称CID型)赤铁矿矿石,主要发育于盆地中部和东部的古河道中。在矿物组合与组构上,CID型赤铁矿矿石与上述的假象赤铁矿-针铁矿、微板状赤铁矿矿石的显著区别在于:CID型铁矿不具有BIF原岩构造层理特征,而呈明显的豆状构造、胶状结构;矿石矿物以赤铁矿为主,粒径为5 mm或略小,其外部被针铁矿或褐铁矿包围并与针铁矿或褐铁矿粘在一起,呈褐-黄色。CID型矿床通常在干枯的古河道中出现,古风化作用侵蚀原生BIF建造或铁矿矿体,并把侵蚀下来的矿石碎屑沉积在泄流的河道中,故

由此得名。CID矿床是西澳哈默斯利盆地特有的一种矿床类型,除苏丹^[20]外其他地区鲜有报道。江思宏等^[21]指出,CID型铁矿成因存有争议;吕丽娜等^[22]认为,CID型铁矿石是先前形成的BIF经侵蚀、搬运、沉积和埋藏作用而形成的;冯睿^[23]指出,BIF铁质组分为Yandi等CID型铁矿提供了物质来源。总体上来看,CID型铁矿是由接近地表的BIF层位在古河道中经化学富聚作用而形成的,通常认为这种化学富聚作用发生在第三纪中新世^[24-25]。

CID型赤铁矿矿石具豆状构造,起初被当作烧结原料,矿石矿物主要是赤铁矿、针铁矿,豆状铁矿石的精矿产品是赤铁矿-针铁矿粉矿,主要由豌豆状赤铁矿圆粒组成,粒径一般不大于5 mm,周围附着的针铁矿或褐铁矿将赤铁矿颗粒胶结在一起,针铁矿或褐铁矿由于含有结晶水,造成豆状铁矿石的烧损灼失量高达10%,也会造成铁矿石海运途中的质量差损,因此豆状铁矿石的原矿品位波动较大,但经过焙烧处理,高品位豆状铁矿石的Fe品位为57.0%~58.5%^[13]。

3 典型高品位赤铁矿矿石经济指标

不同矿化类型具有特征的铁矿石产品,因此铁矿石的经济指标研究可直接指示某矿化类型的经济意义,这也是从条带状铁建造成矿地质规律到矿产经济评价的一个过渡研究环节。西澳哈默斯利盆地主要产出“马拉曼巴矿石”和“布洛克曼矿石”、微板状赤铁矿矿石、CID型赤铁矿矿石等成熟铁矿石产品,以下引入巴西铁四角地区的铁英岩型赤铁矿矿石作为对照分析,系统阐述全球典型高品位赤铁矿矿石经济指标。

3.1 “马拉曼巴矿石”和“布洛克曼矿石”

西澳力拓官网显示,力拓对哈默斯利盆地所出产的“布洛克曼矿石”和“马拉曼巴矿石”进行混配处理,典型产品为皮尔巴拉混合矿,具体包括皮尔巴拉块矿(简称PB块矿)、皮尔巴拉粉矿(简称PB粉矿)。PB块矿的流通性强,大部分钢厂均使用;PB粉矿的流通性非常强,所有钢厂都使用,为“硬通货”。

3.2 微板状赤铁矿矿石

西澳必和必拓在哈默斯利盆地生产Newman块矿、Newman粉矿,可指示微板状赤铁矿的矿石产品质量。Newman块矿的品位较高,Newman粉矿在主流澳粉中的品位相对较高、结晶水少,二者烧结性能较好,在中国北方港口流通更好。

3.3 河道沉积型赤铁矿矿石

典型河道沉积型铁矿,包括力拓与必和必拓共同持有的扬迪矿床(Yandi)、罗布河矿床(Robe River)与FMG旗下的圣诞溪矿床(Christmans Creek)、所罗门枢纽矿床(Solomon Hub)等;代表性铁矿石产品为Yandi粉矿、Robe River粉矿和FMG火箭特粉(FMG Rocket Fines)。Yandi粉矿的铁品位典型值在58.5%以上,流通性强,大部分钢厂均使用,其结晶水高,在烧结过程中可将水分烧出以提高入炉铁品位至64%。Robe River粉矿市面流通量很少,磷含量很低,主要以长期协议价格销售至钢厂,因此港口库存低、现货价格高。FMG火箭特粉的铁品位保持在57%~58%,流通性好,在市场条件差时有1.5%~3.0%的销售折扣。

3.4 铁英岩型赤铁矿矿石

巴西淡水河谷在铁四角生产的粉矿简称Vale南部粉,具体包括中粗SSFT、SSFG(最后一位字母T、G代表装港港口名称,T代表巴西图巴朗港,G代表巴西古埃巴港);南部粉硅含量相对于北部粉低,市场接受度强。从西澳哈默斯利盆地与巴西铁四角代表性工业矿石质量来看,上述各矿化类型对应的铁矿石产品的铁元素含量均在56%以上,微板状赤铁矿的铁品位高、磷硫杂质含量较高,CID型赤铁矿矿石的铁品位较低、磷硫杂质含量较低,铁英岩型赤铁矿矿石中含有杂质锰(表1,图1)。从原生条带状铁建造到微板状赤铁矿、CID型赤铁矿和铁英岩型赤铁矿的演化过程,如图2所示,经历了深成、浅成及复合叠加成矿富集作用。

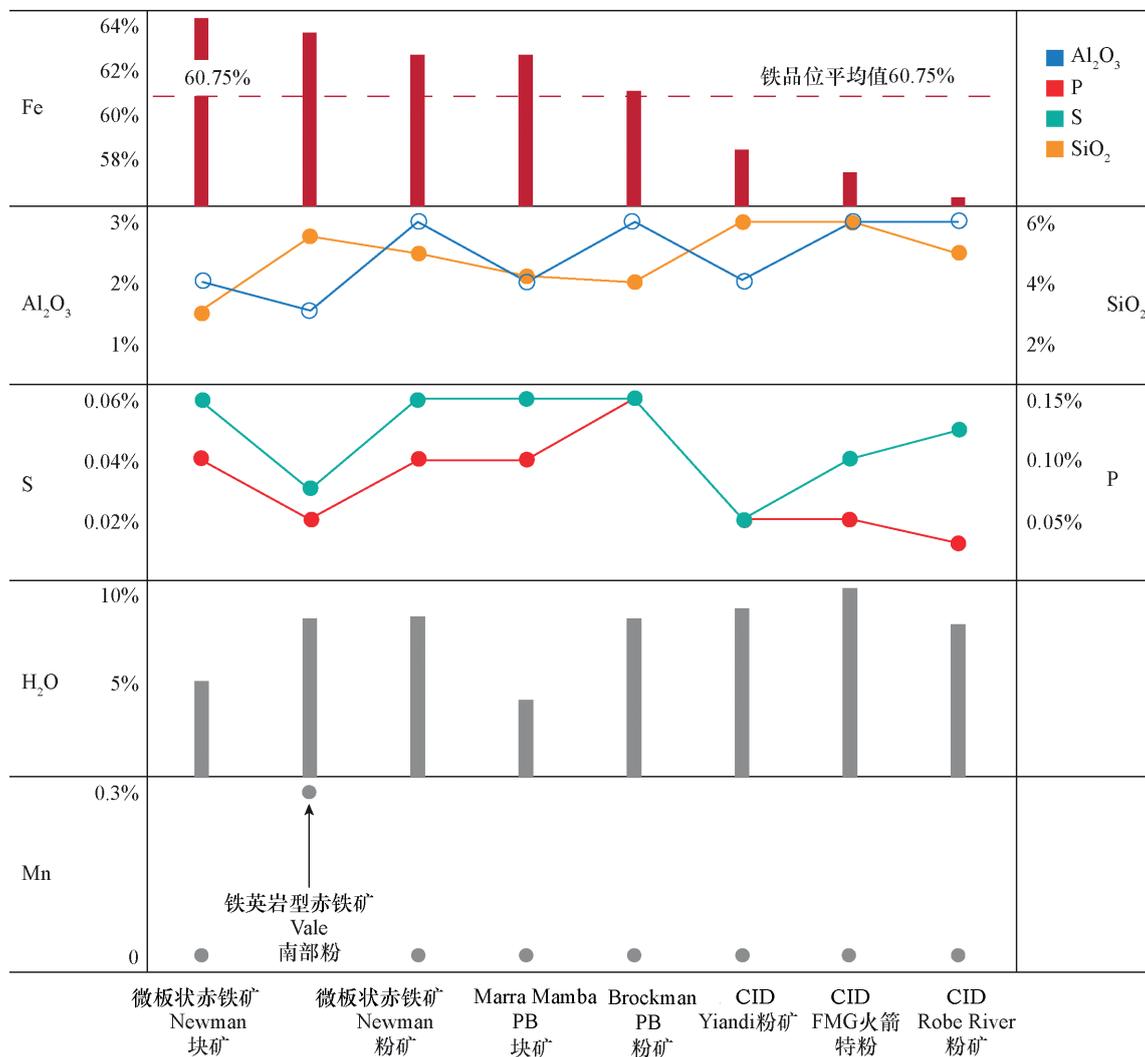


图1 西澳、巴西代表性赤铁矿工业矿石质量规格

Fig. 1 Quality specifications of typical industrial hematite ores in West Australia and Brazil

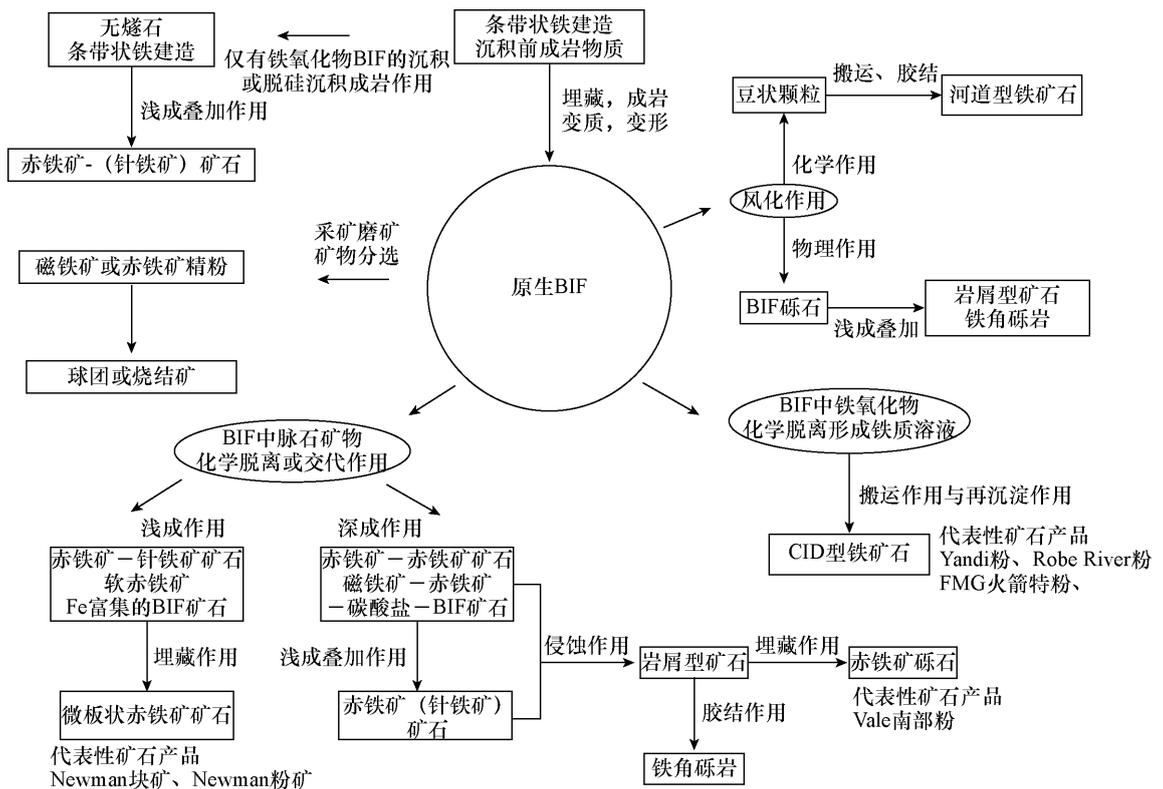


图2 BIF富集矿化工业矿石类型与演化过程(据 Dalstra, 2011^[26]修改)

Fig. 2 Industrial iron ores enriched from BIF and the corresponding evolution process (Modified from Dalstra, 2011^[26])

4 代表性生产商铁矿石盈亏平衡成本分析

4.1 四大矿企铁矿石盈亏平衡成本估算

本文作者根据美国标准普尔 SNL 矿业金属数据库提供的 2015 年全球海运铁矿石生产成本数据, 获得了四大矿企的 FOB(离岸价) 现金生产成本: 力拓铁矿石 FOB 现金生产成本为 30.16 美元/干吨; 必和必拓为 31.26 美元/干吨; FMG 的铁矿石 FOB 现金生产成本最高, 达到 37.35 美元/干吨^[1]; 淡水河谷为 30.57 美元/干吨。

四大矿企铁矿石产品的制造成本, 是在其铁矿石 FOB 现金生产成本价格的基础上, 结合铁矿石海运与销售成本, 包括海运运费、矿石品位-产品湿度-产品类型溢价或罚金等因素进行调价, 进而估算其盈亏平衡运营成本价格, 从而实现对四大矿企运营成本的定量研究, 实现对其盈亏平衡的动态掌握。

西澳铁矿石出口至中国的海运航线为澳洲西部港口至中国东部港口, 该航线的航程约为 4700 海里, 海运周期约为半个月, 通常采用 18 万吨级别的“好望角型”散货船运输; 巴西铁矿石出口至中国的海运航线为巴西东海岸港口→好望角海峡印度洋→马六甲海峡→中国南部港口, 全程约 1 万海里, 海运周期约 1 个月, 淡水河谷采用 40 万吨级散货船运输

铁矿石。对必和必拓和力拓的海运运费估价为 4.5 美元/干吨, 对 FMG 海运运费估价为 5 美元/干吨, 对淡水河谷的海运运费估价为 9.5 美元/干吨。关于矿石品位-产品湿度-产品类型溢价或罚金, 按照钢厂采购惯例估算, 矿石品位以 62% 为基准进行计算, 高于 62% 指向正向的品位溢价, 即正向的利润, 意味着矿石成本的下移; 产品湿度与产品块矿比例也是如此, 低湿度、高块矿比例意味着矿石成本的下移; 反之亦然。最终估算出来的四大矿企铁矿石的中国 CFR 价(装运港船上交货价): 西澳力拓为 34.66 美元/干吨、必和必拓为 36.76 美元/干吨、FMG 为 47.35 美元/干吨, 巴西淡水河谷则为 38.07 美元/干吨(表 2)。该价格揭示了四大矿企的制造成本, 代表了四大矿企的国际海运铁矿石盈亏平衡成本价格, 此估算值可为中国海外权益铁矿项目开发提供运营成本的参考。

4.2 四大矿企铁矿石对中国铁矿石制造成本价格优势

中国条带状铁建造只产出少量的富铁矿, 且以磁铁富矿为主^[27], 磁铁矿中磁性物成分全铁含量的测定能够反映矿石的可选性^[28], 大多数沉积变质型铁矿石需要经过复杂的磨矿、选别流程, 增加了铁矿

表2 四大矿企铁矿石盈亏平衡价格分析

Table 2 Breakeven point analysis of global iron ores by Rio Tinto, BHPB, Vale and FMG

计量科目	计量单位	力拓 (Rio Tinto)	必和必拓 (BHPB)	FMG	淡水河谷 (Vale)
FOB 价格	美元/千吨	30.16	31.26	37.35	30.57
海运运费	美元/千吨	4.5	4.5	5	9.5
铁矿石品位	%	60.60	60.60	58	66
品位调价(Fe 品位 62% 基准)	美元/千吨	1	1	3	-3
产品湿度	%	6.00	6.00	9.00	8.00
湿度调价	美元/千吨	1	1	2	2
产品类型块矿比例	%	26	22	-	20
块矿比例调价	美元/千吨	-2	-1	0	-1
中国 CFR 价(Fe 品位 62% 基准)	美元/千吨	34.66	36.76	47.35	38.07

石生产成本。我国鞍本、冀东、霍邱等地铁精粉的价格,需要结合考虑外矿的价格以及内陆运输费用、杂费等,不同区域的产品仍会表现出区域价格差别。以辽宁本溪地区为例,目前当地 65% 品位的铁精粉采购价在 450 元/千吨。

4.1 节中最终估算出来的四大矿企铁矿石的中国 CFR 价,按照人民币兑换美元汇率 6.8 计,力拓、必和必拓、FMG、淡水河谷铁矿石盈亏平衡运营成本价格优势分别为 214、200、128、191 元/千吨,平均值为 183 元/千吨,相对于中国国产铁矿石具有较大的价格优势,指示了中国国产铁矿石所面对的真实市场承压价格区间。

5 结论

本文以西澳哈默斯利盆地为研究对象,从条带状铁建造富集矿化特征入手,展开了对该地区不同矿化类型所对应铁矿石产品的经济指标研究,以此作为从条带状铁建造成矿地质规律到矿产经济评价的一个过渡研究环节,并进一步估算了国际主流生产商的铁矿石盈亏平衡运营成本,从而揭示了国际主流铁矿石与中国国产铁矿石的运营成本价差,相对于国际铁矿石的离岸价与到岸价,更准确地反映了中国国产铁矿石所面临的价格竞争压力。

2016 年,国际铁矿石的中国到岸价由 40 美元/千吨升高至 70 美元/千吨。2017 年,从需求端总体判断,随着中国钢铁行业产能结构调整的持续进行,对钢铁行业环保要求更加严格,钢铁行业去产能政策深入推进,铁矿石供应过剩局面依然存在;从供应端来看,2013~2015 年的铁矿石价格剧烈下行期间国内外高成本矿山项目的退出,导致铁矿石供应端进一步向以四大巨头为主的一线生产商靠拢;从贸易端来看,国际一线铁矿石生产商的铁矿石中国到

岸价具有明显的成本优势,未来铁矿石市场仍将为外矿所主导,如 2015 年中国铁矿石市场对外依存度已达到 85%^[1];从市场端来看,“一带一路”经济圈内基础设施投资需求巨大^[29],美国基础设施建设预期升温,为铁矿石价格周期性走强创造了市场环境。

此外,铁矿石大宗商品期货交易中的投机情绪拉动与投机资本拉升,也将对现货价格产生影响,投机情绪主要来自西澳力拓近来提出 PB 粉矿应按“普氏指数+溢价”的铁矿石定价方式来反馈铁矿石长协价格,市场因此对铁矿石看涨情绪抬高;投机资本拉涨效应则来源于钢铁、煤炭等领域资金的连带反馈,尤其是金融杠杆性资金的避险需求,从二级市场投资转移到了以钢铁原材料为主的大宗商品上。

综上,在对铁矿石的短期预测中,本文作者认为未来的一至两年,国际铁矿石的中国到岸价格的均值或将维持在 55~70 美元/千吨区间。

致谢: 本文铁矿石贸易数据,经与国际知名铁矿石贸易商、大宗商品研究所等交流汇总而来。感谢五矿发展、三菱商事、SNL Mining & Metals、美设国际海运、冶金规划研究院等公司和机构。

6 参考文献

- [1] 王崴平,陈毓川. 全球海运铁矿石市场承压解析与行业影响[J]. 国土资源科技管理, 2016, 33(3): 54-65. Wang W P, Chen Y C. Analysis of global seaborne iron ore market pressure and observation of its influence to iron ore sector [J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2016, 33(3): 54-65.
- [2] 张艳飞,陈其慎,于汶加,等. 2015—2040 年全球铁矿石供需趋势分析[J]. 资源科学, 2015, 37(5):

- 921-932.
- Zhang Y F, Chen Q S, Yu W J, et al. 2015—2040 global iron ore supply and demand trend analysis[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 921-932.
- [3] 政策压力增大或将对低品位铁矿石市场构成压制[J]. *现代矿业*, 2012(4): 12.
- Suppression for low-grade iron ore markets due to enlarged policy pressure[J]. *Modern Mining*, 2012(4): 12.
- [4] 田玉军, 朱吉双, 马国霞, 等. 国际铁矿石定价机制改变与我国铁矿石进口量变化的实证分析[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(9): 1490-1496.
- Tian Y J, Zhu J S, Ma G X, et al. Empirical analysis on impact of the new international pricing mechanism on iron ore imports of China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(9): 1490-1496.
- [5] 刘雅琪, 谢波. 基于改进加权移动平均法的铁矿石到岸价格预测[J]. *上海海事大学学报*, 2015, 36(2): 55-59.
- Liu Y Q, Xie B. Iron ore CIF price forecasting based on improved weighted moving average method[J]. *Journal of Shanghai Maritime University*, 2015, 36(2): 55-59.
- [6] Beukes N J, Gutzmer J, Mukhopadhyay J. The geology and genesis of high-grade hematite iron ore deposits[J]. *Applied Earth Sciences*, 2003, 112: 18-25.
- [7] Hagemann S G, Angerer T, Duuring P, et al. BIF-hosted iron mineral system: A review[J]. *Ore Geology Reviews*, 2016, 76: 317-359.
- [8] Hagemann S, Dalstra H I, Hodkiewicz P, et al. Recent advances in BIF-related iron ore models and exploration strategies [C]//*Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration (Milkereit B, eds)*. *Ore Deposits and Exploration Technology*, 2007: 811-821.
- [9] Ohmoto H. Nonredox transformations of magnetite-hematite in hydrothermal systems [J]. *Economic Geology*, 2003, 98(1): 157-161.
- [10] Thompson A. A Hydrothermal Model for Metasomatism of Neoproterozoic Algoma-type Banded Iron Formation to Massive Hematite Ore at the Soudan Mine, NE Minnesota [D]. Minnesota: University of Minnesota, 2015: 1-59.
- [11] Fowers C, Kepert D, Absalom M, et al. Discovery, Geology and Structural Setting of the Nyidinghu Iron Ore Deposit, Hamersley Province, Western Australia [C]//*Proceedings of Iron Ore Conference*. Perth: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2013: 81-90.
- [12] Morris R C, Kneeshaw M. Genesis modelling for the Hamersley BIF-hosted iron ores of Western Australia: A critical review[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2011, 58(5): 417-451.
- [13] 邹健. 世界铁矿矿情[M]. 北京: 中国冶金矿山企业协会, 2005: 1-758.
- Zou J. *World Iron Ore* [M]. Beijing: Metallurgical Mines Association of China, 2005: 1-758.
- [14] Dorr J V N. Physiographic, Stratigraphic, and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil [M]. US Geological Survey Professional Paper 641A, 1969: 1-110.
- [15] Spier C A, Oliveria S M, Rosière C A. Geology and geochemistry of the Águas Claras and Pico iron mines, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil [J]. *Mineralium Deposita*, 2003, 38: 751-774.
- [16] Clout J M F. Iron Formation-Hosted Iron Ores in the Hamersley Province of Western Australia [C]//*Proceedings of Iron Ore*. Fremantle: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2005: 9-19.
- [17] Morris R C. A textural and mineralogical study of the relationship of iron ore to banded iron formation in the Hamersley Iron Province of Western Australia [J]. *Economic Geology*, 1980, 75: 184-209.
- [18] Morris R C. Genesis of Iron Ore in Banded Iron-formation by Supergene and Super-gene-Metamorphic Processes—A Conceptual Model, in *Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits* [M]. Elsevier Press, 1985: 73-235.
- [19] César A C V, Ary B, Ramanaidou E R, et al. Microporosity of BIF hosted massive hematite ore, Iron Quadrangle, Brazil [J]. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2002, 74(1): 113-126.
- [20] 雷义均, 李勇, 姚华舟, 等. 苏丹东部地区BIF型铁矿和CID型铁矿的发现及其找矿意义[J]. *中国地质调查*, 2014, 1(1): 38-45.
- Lei Y J, Li Y, Yao H Z, et al. Discovery of BIF iron ores and CID iron ores in Eastern Sudan and its prospecting significance [J]. *Geological Survey of China*, 2014, 1(1): 38-45.
- [21] 江思宏, 梁清玲, 聂凤军, 等. 西澳皮尔巴拉地区鲸背山铁矿床地质特征与形成规律[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(5): 95-105.
- Jiang S H, Liang Q L, Nie F J, et al. Geological characteristics and metallogeny of the Mount Whaleback iron deposit in Pilbara region, Western Australia [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(5): 95-105.
- [22] 吕丽娜, 吴岑. 西澳大利亚州铁矿分布规律及矿床成因分析[J]. *中国煤炭地质*, 2013, 25(12): 106-111.
- Lü L N, Wu C. Iron ore deposit distribution and genetic

- analysis in Western Australia State [J]. Coal Geology of China, 2013, 25(12): 106 - 111.
- [23] 冯睿. 澳大利亚西北部皮尔巴拉地区 Yandi 河谷沉积型铁矿岩调研分析 [J]. 当代经济, 2016(3): 94 - 100.
Feng R. Investigation and analysis of Tiekuangyan in Yandi River Valley, Northwest Australia [J]. Contemporary Economics, 2016(3): 94 - 100.
- [24] Stone M S, George A D, Kneeshaw M, et al. Stratigraphy and sedimentary features of the Tertiary Yandi channel iron deposits, Hamersley Province, Western Australia [C]//Proceedings of Iron Ore Conference. Perth, 2002: 137 - 144.
- [25] Ramanaidou E R, Morris R C. Channel iron deposits (CID) of the Hamersley Province (Western Australia) [C]//Proceedings of Iron Ore Conference. Perth, 2007: 175 - 178.
- [26] Dalstra H J. From Banded Iron Formation to Iron Ore-Genetic Models and Their Application in Iron Ore Exploration in the Hamersley Province, Western Australia [C]//Proceedings of Iron Ore Conference. Perth, 2011: 73 - 82.
- [27] 李厚民, 张作衡. 中国铁矿资源特点和科学研究问题 [J]. 岩矿测试, 2013, 32(1): 128 - 130.
Li H M, Zhang Z H. Characteristics of iron ore resources and scientific research in China [J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32(1): 128 - 130.
- [28] 班俊生, 任金鑫, 刘桂珍, 等. 磁铁矿中磁性物成分的测定及可选性评价 [J]. 岩矿测试, 2013, 32(3): 469 - 473.
Ban J S, Ren J X, Liu G Z, et al. Determination of the magnetic material composition in magnetite ore and processability evaluation [J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32(3): 469 - 473.
- [29] 祝宪. 携手打造“一带一路”更深融入全球经济——“一带一路”沿线发展中国家的战略机遇 [J]. 中国发展观察, 2016(12): 14 - 15.
Zhu X. Hand in hand to build ‘the belt and road initiative’ deeper into global economy—Strategic opportunity of developing countries along ‘the belt and road initiative’ [J]. China Development Review, 2016(12): 14 - 15.

Quantitative Research for Global Iron Ore Breakeven Operating Cost Based on BIF-type Enriched Mineralization Characteristics

WANG Wei-ping^{1,2}, CHEN Yu-chuan¹

(1. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resources Assessment, Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Highlights

- BIF-enriched hematite mineralization types are featured in Martite-Goethite, Microplaty Hematite and CID-type hematite in Hamersley Basin, Western Australia.
- Global iron ore breakeven operating cost is based on FOB price, seaborne cost and product quality premium/penalty.
- Price discrepancy between global iron ore breakeven operating cost and China's domestic iron ore price reflects market pressure price faced by China's domestic iron ore more precisely.

Abstract: The benchmark comparative price between global seaborne iron ore and Chinese domestic iron ore is based on free on board (FOB) or cost, insurance and freight (CIF), resulting in imprecise market pressure price estimation for Chinese domestic iron ore, due to the lack of the breakeven operating cost. To clarify the quantitative data of breakeven operating cost of iron ore products by tier - 1 producers, systematic study has been carried out in terms of high-grade hematite enriched

mineralization characteristics and typical iron ore products by different enriched types from banded iron formation (BIF) in Hamersley Basin, Western Australia. At the same time, the itabirite-type hematite ore in Brazil is introduced as a control to analyze the economic indicators of typical high grade hematite ore. Based on the previous research results, the enriched mineralization types of high grade hematite associated with BIF in the Hamersley Basin, Western Australia, are classified into Martite-Goethite, Microplaty Hematite and channel iron deposit (CID) type hematite; and in the Iron Quadrangle, Brazil, they are mainly itabirite-type hematite. Brazilian iron is grouped into itabirite type hematite. The iron content of the iron ore products corresponding to each mineralization type is higher than 56%. On the impurity element content, the pseudo-hematite-goethite has high phosphorus content, whereas micro-plate hematite has high phosphorus and sulfur. The river sedimentary hematite has lower phosphorus and sulfur contents, whereas itabirite type hematite contains Mn. Representative global iron ore producers, including Rio Tinto, BHP Billiton, Fortescue Metals Group Ltd (FMG) and Vale, have reached the breakeven operating cost of 34.66, 36.76, 47.35 and 38.07 \$/dmt, respectively, which could offer the OPEX cost reference for development of Chinese overseas iron ore equity projects.

Key words: banded iron formation; high-grade hematite; martite-goethite ore; microplate hematite; channel iron deposit type hematite; breakeven operating cost

