

# 大崇铁金矿矿体分布特征及矿石加工 技术性能研究

储照波<sup>1</sup> 李令斌<sup>1</sup> 朱随洲<sup>1</sup> 熊燕娜<sup>2</sup> 王昌伟<sup>1</sup>

(1. 山东正元地质资源勘查有限责任公司 山东 淄博 255000;  
2. 生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心 北京 100012)

**摘要:** 基于大崇铁金矿区域地质概况,研究了矿体分布特征。根据铁金矿体和极化率异常宽度的对应关系,圈定为 2 个铁金矿带,推断断裂构造 1 条,走向北西、倾向北东;分析了矿石加工技术性能,确定以综合回收磁铁矿和金为目的,推荐矿山采用“阶段磨矿—弱磁—磁选柱流程”。研究表明矿山开采铁、金矿具有较好的经济效益。

**关键词:** 大崇铁金矿; 矿体分布; 矿石加工; 技术性能; 铁金矿

中图分类号: P618.5 文献标志码: A 文章编号: 1003-0506(2021)04-0091-09

## Research on ore body distribution characteristics and ore processing technology performance of Dachong Iron-gold Mine

Chu Zhaobo<sup>1</sup>, Li Lingbin<sup>1</sup>, Zhu Suizhou<sup>1</sup>, Xiong Yanna<sup>2</sup>, Wang Changwei<sup>1</sup>

(1. Shandong Zhengyuan Geological Resources Exploration Co., Ltd. Zibo 255000, China; 2. Soil and Agricultural and Rural Ecological Environment Supervision Technology Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Based on the regional geology of the Dachong Iron-gold Mine, the distribution characteristics of the ore body were studied. According to the corresponding relationship between the iron-gold ore body and the width of the polarizability anomaly, two iron-gold ore belts were delineated, and one fault structure was inferred, tend to the northeast; the performance of ore processing technology was analyzed, and the purpose of comprehensive recovery of magnetite and gold was determined. It was recommended that the mine adopt the "stage grinding-weak magnetic-magnetic separation column process". Research showed that mining iron and gold mines had good economic benefits.

**Key words:** Dachong Iron-gold Mine; ore body distribution; ore processing; technical performance; iron-gold mine

随着中国经济与全球经济的复苏,对铁矿石的需求日趋旺盛,市场价格逐步看好。目前国内 65% 铁精矿粉(干基)价格在 1 000 元/t 左右,比几年前之价格有所回落。但机遇与风险并存,机遇大于风险,所以,当前之形势为开发利用该区低品位铁矿提供了良好机遇。铁矿是钢铁工业的基本原料,广泛应用于国民经济的各个部门和日常生活的各个方面。近年来,不仅我国钢铁生产迅速增长,巴西和印度同样有很多的钢铁生产计划,前苏联的钢铁工业也在复苏。据澳大利亚矿石经济研究机构预测:全

球铁矿石需求量在 2009 年将达到 16 亿 t,即在 5 年内增长 3 亿 t,全球铁矿石需求的攀升带动了一大批铁矿山的新建和扩建以及低品位矿的开发利用。据有关资料,正在新建和扩建项目 22 个,总投资达到 144 亿美元,这些项目的总产能达 2 亿 t/a 以上。因此,国内外原材料的争夺将更加激烈,短期内全球铁矿石供给短缺情况仍无法解决。黄金是贵金属,是国际上的硬通货,起着“自由外汇”的作用,在珠宝首饰、陶瓷、镶牙、金笔等传统行业广泛运用,在电子、电气、宇航和国防尖端等工业中有特殊用途。

收稿日期: 2020-12-01; 责任编辑: 陈朋磊 DOI: 10.19389/j.cnki.1003-0506.2021.04.016

基金项目: 烟台市福山区铜矿王家庄矿区采空区物探测量报告(ZS12376)

作者简介: 储照波(1981—),男,陕西山阳人,高级工程师,硕士,研究方向为矿产地质勘查、水工环灾。

引用格式: 储照波,李令斌,朱随洲,等.大崇铁金矿矿体分布特征及矿石加工技术性能研究[J].能源与环保,2021,43(4):91-99.

Chu Zhaobo, Li Lingbin, Zhu Suizhou, et al. Research on ore body distribution characteristics and ore processing technology performance of Dachong Iron-gold Mine[J]. China Energy and Environmental Protection, 2021, 43(4): 91-99.

2010年中国黄金产量达到340.876 t,成为全球第一产金大国;2010年全球黄金制造业用金需求量为2 778.6 t,中国571.51 t,位居全球第2<sup>[1-5]</sup>。

## 1 区域地质概况

矿区区域构造位于越城岭背斜之紫云山复式背

斜西侧,区内出露地层主要有震旦系、寒武系、奥陶系、泥盆系、石炭系、下二叠统及第四系等。矿区东部、南部出露大片寒武系,中部为震旦系,西部出露泥盆系一下二叠统。湖南省新宁县大桥矿区大崇铁金矿区域地质如图1所示。

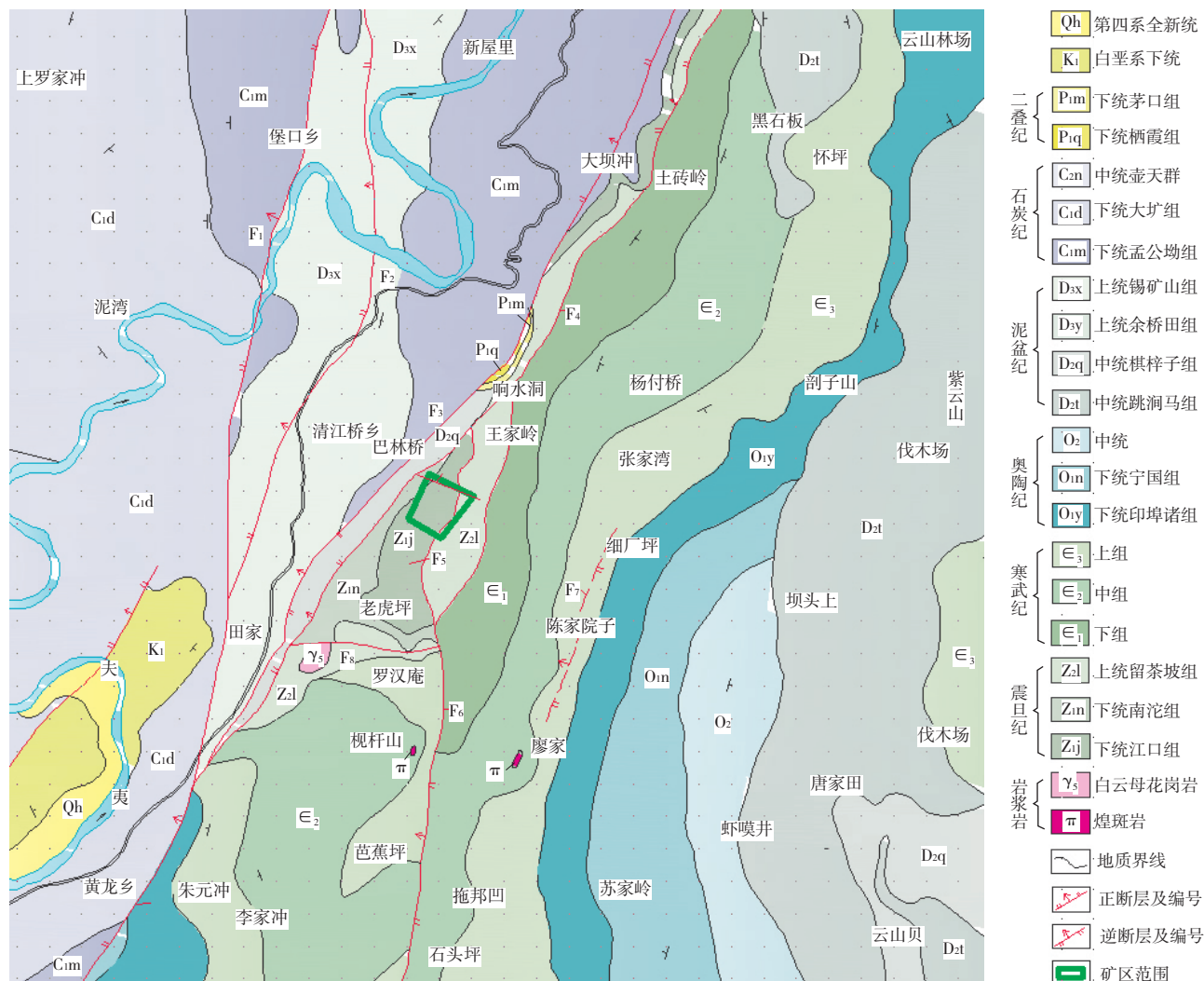


图1 湖南省新宁县大桥矿区大崇铁金矿区域地质

Fig. 1 Regional geology of Dachong Iron Gold Mine in Daqiao Mining Area, Xinning County, Hunan Province

区内断裂构造较发育,按其展布方向可分为北东向、北北东向及近东西向3组断层。①北东向断层:发育有 $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$ 等断层。其中 $F_4$ 断层规模大,走向 $20^\circ \sim 40^\circ$ ,倾向NW,倾角 $40^\circ \sim 65^\circ$ ,走向上呈舒缓波斜穿区域中部,造成大量地层缺失,致使泥盆纪地层直接覆于震旦纪之上,沿线岩石硅化、破碎强烈,角砾发育。该断层为逆断层,具多次活动的复活断裂特征,为该矿导矿构造。②北北东向断层:发育

有 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_6$ 、 $F_7$ 等断层,其中 $F_1$ 、 $F_2$ 断层规模较大,展布于区域中西部,走向 $5^\circ \sim 15^\circ$ ,倾向NW,倾角不明,波状延伸 $>1\ 000\text{ m}$ 。③近东西向断层:发育有 $F_8$ 、 $F_9$ 等断层,展布于区域中部,走向 $280^\circ \sim 290^\circ$ ,倾向南,倾角 $50^\circ$ 左右,规模较小,断层性质为平推断层,对矿层连续性有一定破坏作用。区内仅见田家白云母花岗岩体,分布于矿区南部3 km处,出露面积很小,侵入于震旦纪下统地层;另有云煌岩、石

英细脉、方解石脉等热液活动产物零星穿插于沉积岩层中。

## 2 矿山地质

### 2.1 地层

矿区出露的地层有震旦系下统江口组、南沱组,震旦系上统留茶坡组,寒武系,泥盆系中统棋梓桥组,石炭系下统孟公坳组及第四系等,主要为震旦系下统沉积变质岩系,为控矿岩层,现由老至新分述如下。

(1) 震旦系(Z)。①震旦系下统江口组( $Z_{1j}$ ):分布于矿区的中部,出露面积较大,为主要含矿地层,岩层走向 NE,倾向 NW,倾角  $20^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。该组总厚度  $>500$  m,按岩性分为 3 段:上段为绢云母板岩、砂质板岩;中段为含矿段,由含铁石英(碧玉)岩、含铁砂质板岩、薄层磁铁矿、绢云母板岩、绿泥石板岩、深灰绿色砂质板岩组成,该段厚度  $67 \sim 200$  m,平均厚  $130$  m;下段为含砾砂质板岩、含砾砂岩,该段厚度大于  $500$  m。②震旦系下统南沱组( $Z_{1n}$ ):分布于矿区西部江口组之上,与江口组呈整合接触,产状与江口组基本一致,其岩性上部为紫红色冰碛板岩,下部为黄褐色砂质板岩,厚  $32.26 \sim 83.54$  m。③震旦系上统留茶坡组( $Z_{2l}$ ):分布于矿区的东部,岩层走向 NE,倾向 NW,倾角  $50^{\circ}$  左右,岩性为厚层硅质岩和条带状燧石层,厚度  $73.56 \sim 126.68$  m,受断层影响地层倒转,分别与下统江口组和寒武纪地层呈断层接触。

(2) 寒武系( $\epsilon$ )。分布于矿区东南部,呈 NE 向展布,厚度  $>500$  m,由黑色炭质板岩、砂质板岩、细砂岩为主组成,底部夹有数层泥质条带灰岩,与下伏地层多呈断层接触。

(3) 泥盆系中统棋梓桥组( $D_{2q}$ )。分布于矿区西北部,呈 NE 向展布,矿区只见棋梓组下部地层,岩性为厚层状白云岩,厚度不详,岩层呈刀砍状构造发育,与下伏地层呈断层接触。

(4) 石炭系下统孟公坳组( $C_{1m}$ )。分布于矿区西北部,呈 NE 向展布,由厚层状灰岩、泥质灰岩、夹白云岩及粉砂岩组成,厚度  $>300$  m,与泥盆纪地层呈断层接触。

(5) 第四系(Q)。由残坡积、冲积物及腐殖土组成,厚  $0 \sim 20$  m。

### 2.2 地球物理特征

(1) 磁性特征。区内震旦系的泥质板岩和砂

岩、泥盆系的白云岩、寒武系的炭质板岩等一般无磁性,而产于震旦纪地层中的沉积变质铁矿石具有很强的磁性,其磁化率一般能达到  $5\,000 \times 10^{-6} \times 4\pi SI$  以上。因此,利用磁测方法了解磁铁矿的分布范围是可行的。

(2) 电性特征。区内金矿体与铁矿在空间分布上有相伴的特点,有的铁矿本身被黄铁矿化,其含金量品位达到了工业要求。

该区围岩的极化率均较低,为  $1\%$  左右,而磁铁矿具有较高的极化率,一般为  $8\%$  以上,金矿石一般表现为黄铁矿化,具有中等的极化率,一般在  $5\%$  以上(表 1)。可见铁金矿石的极化率远高于围岩,因此在区内寻找铁金矿并寻找其特征是可行的,但是也受一定的地形影响。

表 1 岩(矿)石电性参数统计  
Tab. 1 Statistics of electrical parameters  
of rock( mining)

名称	$Ha/\%$		$\rho a/(\Omega \cdot m)$		块数
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	
铁矿	8.27 ~ 16.67	13.66	1 770 ~ 6 330	4 325	3
金矿	4.97 ~ 8.33	6.84	5 538 ~ 17 637	8 387	3
围岩	0.40 ~ 1.60	1.00	171 ~ 4 858	2 308	4

1000 线激电联合剖面实验综合剖面如图 2 所示。

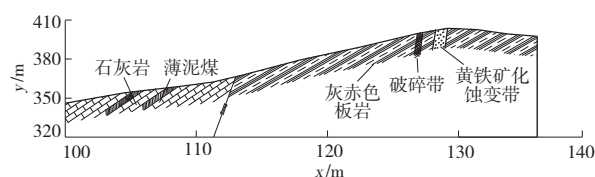


图 2 1000 线激电联合剖面实验综合剖面

Fig. 2 Comprehensive section of 1000-line  
IP joint section experiment

目的是了解各地层的极化率特征,该地质断面由西向东依次为泥盆纪中统的白云岩(局部夹薄煤层)、震旦纪板岩,白云岩板岩的极化率背景值一般在  $2\%$  左右,并且薄煤层和弱的矿化带不能引起激电异常。大的断裂带能引起低阻正交负异常,小的破碎带只表现为局部的低电阻。由铁矿为主的铁金矿带能引起明显的极化率异常,呈明显的反交点。从电阻率上看,围岩与铁、金矿石差别不大,均属于同一数量级,另外本区地形较为复杂,视电阻率受地形影响较大。因此,视电阻率不适宜于研究本区铁

金矿的特征,但是断裂构造由于含水多,与两侧岩石有较大的电阻率差异。因此,可以根据低阻带的特征寻找断裂构造。

### 3 矿体特征

#### 3.1 铁矿

大崇铁矿属于清江桥铁矿区的一部分,准采范围内共有Ⅰ、Ⅱ号2个矿体,原出露的Ⅴ、Ⅵ号矿体向深部延伸为此次核实的Ⅱ号矿体。井下+440~+620 m中段巷道工程揭露Ⅰ、Ⅱ号2个矿体,其中Ⅱ号矿体为主矿体,各矿体基本地质特征如下。

(1) Ⅰ号矿体。赋存于震旦系江口组灰绿色板岩中,矿体呈似层状、透镜状产出,走向长度约550 m,倾向延伸约240 m,矿体厚度9.84~61.7 m,平均厚度35.73 m,矿体厚度变化系数65%;倾向北西,倾角42°左右。TFe为15.08%~30.75%、平均品位21.42%,mFe为3.61%~4.26%、平均品位12.87%;矿体出露标高为+485~+620 m,矿体埋深60~240 m。

(2) Ⅱ号矿体。赋存于震旦系江口组灰绿色板岩中,矿体呈似层状、透镜状产出,走向控制长约750 m,倾向控制延伸约240 m,倾向北西,平均倾角43°,厚度13.53~93.0 m,平均厚度49.77 m,矿体厚度变化系数78%。TFe为11.99%~43.48%、平均品位22.28%,mFe为1.22%~29.20%、平均品位11.20%;矿体出露标高为+485~+620 m,矿体埋深60~240 m。

#### 3.2 金矿

共生金矿床,赋存于震旦系江口组含磁铁矿灰绿色板岩中的构造破碎带中,与铁的硫化物呈正相关性,绝大部分与磁铁矿共生,二者产状大致一样。此次工作圈定出金矿化带5个,即1号、2号、3号、4号、5号金矿化带,在矿化带中共圈出16个金矿体、10个伴生金矿块段,其中主要金矿体为1号矿带中的1-1号金矿体。各金矿带12线以北矿段产状较缓、平均倾角为35°,12线以南矿段产状较陡、平均倾角为65°。1号—5号金矿化带规模、形态、分布特征详见表2。

表2 金矿带规模、形态、分布特征

Tab. 2 Scale, shape and distribution characteristics of the gold ore belt

矿体编号	平面位置(部位)	控制标高范围/m	形状	走向长/m	倾向垂高/m	厚度/m	产状及开采情况
1号	11线—15线	+440~+650	透镜状	430	210	8.41	270°~290°∠36°~66°保有
2号	11线—15线	+440~+620	透镜状	430	180	4.74	270°~290°∠36°~63°保有
3号	9线—15线	+440~+620	透镜状	590	180	3.60	270°~290°∠34°~63°保有
4号	9线—15线	+440~+620	透镜状	590	180	3.82	270°~290°∠34°~65°保有
5号	9线—15线	+440~+620	透镜状	590	180	4.72	270°~290°∠35°~65°保有

(1) 1号矿带。原在矿区南部露天开采铁矿时发现1号矿带南浅部的1个金矿体,地表有BT01、BT11、BT21、MD1等4个工程揭露,经深部+440、+575、+620 m这3个中段10处工程揭露,发现本矿带中分布1-1号金矿体、(1-1)<sub>伴</sub>伴生金矿块段,两者分布范围基本一致,矿体长430 m,垂高210 m,分布在11线—15线,产出标高+440~+650 m。矿体规模较大,富集中心较集中,在Ⅰ号铁矿体构造破碎带中呈透镜状产出,延续性较好。矿化带中1-1号金矿体单工程平均Au品位1.54~5.11 g/t,矿体平均Au品位2.51 g/t,单工程厚度1.20~19.61 m,平均厚度9.80 m。1-1号金矿体为矿区中主要金矿体,矿石量1 362 765 t、Au金属量3 414 kg,分别占整个矿区工业金矿体矿石量的76%、Au金属量的59%。(1-1)<sub>伴</sub>伴生金矿块段单工程平均Au品位

0.17~0.66 g/t,块段平均Au品位0.39 g/t、TFe品位21.50%,单工程厚度1.08~32.40 m,平均厚度6.58 m。(1-1)<sub>伴</sub>伴生金矿块段,矿石量695 394 t、Au金属量270 kg,分别占整个矿区伴生金矿块段矿石量的18%、Au金属量的22%。该矿化带宽度为4.60~45.81 m,平均宽8.41 m,Au品位为0~12.5 g/t,平均品位1.79 g/t。该矿化带占全矿区工业金矿及伴生金矿矿石量的37%、Au金属量的52%,为矿区主要矿化带。

(2) 2号矿带。经深部+440、+575、+620 m这3个中段揭露,矿带长430 m,垂高180 m,产出标高+440~+620 m。矿体规模较小,富集中心较分散,在Ⅰ号铁矿体构造破碎带中呈透镜状产出,延续性较差。矿化带中金矿体2个即2-1、2-2号金矿体,伴生金矿块段3个即(2-1)<sub>伴</sub>、(2-2)<sub>伴</sub>、(2-3)<sub>伴</sub>块

段。其中 2-1、2-2 号 2 个金矿体均为单工程揭露, 2-1 号金矿体 Au 工程平均品位 11.59 g/t、工程见矿厚度 4.16 m, 由 +620 m 中段 15 线穿脉工程控制, 推测倾斜及走向长度 90 m; 2-2 号金矿体 Au 工程平均品位 5.11 g/t、工程见矿厚度 1.20 m, 由 485 中段 12 线穿脉工程控制, 推测倾斜及走向长度 90 m。伴生金矿块段单工程 Au 品位 0.10 ~ 0.60 g/t, 平均品位 0.39 g/t, 单工程厚度 1.13 ~ 17.48 m, 平均厚度 5.32 m。整个矿化带宽 1.13 ~ 21.64 m, 平均宽 4.74 m, Au 品位 0 ~ 15.44 g/t, 平均品位 1.43 g/t。

(3) 3 号矿带。经深部 +440、+575、+620 m 这 3 个中段揭露, 矿带长 590 m, 垂高 180 m, 产出标高 +440 ~ +620 m。矿化带规模较大, 富集中心较分散, 矿化带分布金矿体 5 个(3-1、3-2、3-3、3-4、3-5 号矿体) 伴生金块段 1 个即(3-1)<sub>伴</sub>块段。其中 3-1 和 3-2 矿体分布于绿泥石板岩构造破碎带中, 其余矿体(块段)分布在Ⅱ号铁矿体构造破碎带中, 均呈透镜状产出, 延续性较差。5 个金矿体均为单工程见矿。其中: 3-1 号金矿体 Au 工程平均品位 3.80 g/t、工程见矿厚度 1.72 m, 由 +620 m 中段 15 线穿脉工程控制, 分布于绿泥石板岩构造破碎带中, 推测倾斜及走向长度 90 m; 3-2 号金矿体 Au 工程平均品位 8.85 g/t、工程见矿厚度 4.71 m, 由 +620 m 中段 15 线穿脉工程控制, 分布于绿泥石板岩构造破碎带中, 推测倾斜及走向长度 90 m; 3-3 号金矿体 Au 工程平均品位为 12.25 g/t、工程见矿厚度 1.54 m, 由 +440 m 中段 15 线穿脉工程控制, 分布于Ⅱ号铁矿体构造破碎带中, 推测倾斜及走向长度 90 m; 3-4 号金矿体 Au 工程平均品位 7.45 g/t、工程见矿厚度 1.77 m, 由 +575 m 中段 13 线穿脉工程控制, 分布于Ⅱ号铁矿体构造破碎带中, 推测倾斜及走向长度 90 m; 3-5 号金矿体 Au 工程平均品位 5.35 g/t、工程见矿厚度 1.23 m, 由 +440 m 中段 12 线穿脉工程控制, 分布于Ⅱ号铁矿体构造破碎带中, 推测倾斜及走向长度 90 m。(3-1)<sub>伴</sub>伴生金块段单工程 Au 品位 0.10 ~ 0.57 g/t, 平均品位 0.28 g/t, 单工程厚度 1.18 ~ 9.87 m, 平均厚度 3.93 m。整个矿化带宽 1.18 ~ 12.5 m, 平均宽 3.60 m, Au 品位为 0 ~ 19.91 g/t, 平均品位 1.02 g/t。

(4) 4 号矿带。经深部 +440、+575、+620 m 等 3 个中段揭露, 矿体长 590 m, 垂高 180 m, 产出标高 +440 ~ +620 m。矿化带规模较大, 富集中心较分散, 矿化带分布金矿体 5 个(4-1、4-2、4-3、4-4、4-5

号矿体) 伴生(4-1)<sub>伴</sub>、(4-2)<sub>伴</sub> 2 个金块段。均赋存在Ⅱ号铁矿体构造破碎带中, 呈透镜状产出, 延续性较差。金矿体多为单工程见矿, 其中 4-1 号金矿体由 +575 m 中段 15 线穿脉、+440 m 中段 15 线穿脉两工程控制, Au 单工程品位 4.70 ~ 5.39 g/t、平均 4.93 g/t, 工程见矿厚度 0.82 ~ 1.83 m、平均 1.33 m, 矿体倾斜延伸 220 m、走向长 90 m; 4-2 号金矿体 Au 工程平均品位 2.30 g/t、工程见矿厚度 1.46 m, 由 +620 m 中段 15 线穿脉工程控制, 推测倾斜及走向长度为 90 m; 4-3 号金矿体 Au 工程平均品位 3.40 g/t、工程见矿厚度 1.75 m, 由 +575 m 中段 13 线穿脉工程控制, 推测倾斜及走向长度 90 m; 4-4 号金矿体 Au 工程平均品位 8.90 g/t、工程见矿厚度 1.23 m, 由 +440 m 中段 12 线穿脉工程控制, 推测倾斜及走向长度 90 m; 4-5 号金矿体 Au 工程平均品位 3.40 g/t、工程见矿厚度 4.48 m, 由 +485 m 中段 11A 线穿脉工程控制, 推测倾斜及走向长度 90 m。(4-1)<sub>伴</sub>伴生金块段分布于整个矿化带, 由 14 处坑道工程控制, 单工程 Au 品位 0.10 ~ 0.98 g/t, 平均品位 0.22 g/t, 单工程厚度 0.91 ~ 9.40 m, 平均厚度 4.13 m; (4-2)<sub>伴</sub>伴生金块段为单工程见矿, 平均品位 0.76 g/t, 厚度 6.57 m。整个矿化带宽 1.73 ~ 9.77 m, 平均宽 3.82 m, Au 品位 0 ~ 8.90 g/t, 平均品位 0.64 g/t。

(5) 5 号矿带。经深部 +440、+575、+620 m 等 3 个中段揭露, 矿体长 590 m, 垂高 180 m, 产出标高 +440 ~ +620 m。矿化带规模较大, 富集中心较分散, 矿化带分布金矿体 3 个(5-1、5-2、5-3 号) 伴生金块段 3 个即(5-1)<sub>伴</sub>、(5-2)<sub>伴</sub>、(5-3)<sub>伴</sub>块段。赋存在Ⅱ号铁矿体构造破碎带中, 呈透镜状产出, 延续性较差。金矿体多为单工程见矿, 其中: 5-1 号金矿体由 +620 m 中段 15 线穿脉、+575 m 中段 15 线坑内水平钻等 2 工程控制, Au 单工程品位为 1.17 ~ 10.18 g/t、平均 5.28 g/t, 工程见矿厚度 4.95 ~ 6.84 m、平均厚 5.88 m, 矿体倾斜延伸长 130 m、走向长 90 m; 5-2 号金矿体 Au 工程平均品位为 1.90 g/t、工程见矿厚度 7.75 m, 由 +440 m 中段 15 线坑内水平钻控制, 推测倾斜及走向长度 90 m; 5-3 号金矿体由 +575 m 中段 13 线穿脉、+440 m 中段 13 线穿脉 2 工程控制, Au 单工程品位 3.96 ~ 7.83 g/t、平均 6.68 g/t, 工程见矿厚度 1.41 ~ 3.23 m、平均 2.36 m, 矿体倾斜延伸 220 m、走向长 90 m。(5-1)<sub>伴</sub>伴生金块段由坑道及坑内钻等 12 处工程控制, 单工程



Au 品位 0.15 ~ 0.67 g/t ,平均品位 0.40 g/t ,单工程厚度 1.59 ~ 8.97 m ,平均 4.87 m; (5-2)<sub>伴</sub>、(5-3)<sub>伴</sub> 块段由 1-2 处工程揭露 ,平均 Au 品位为 0.14 ~ 0.69 g/t ,单工程厚度 1.59 ~ 4.95 m。整个矿化带宽

1.59 ~ 19.51 m ,平均宽 4.72 m ,Au 品位 0 ~ 24.42 g/t ,平均品位 1.05 g/t。  
金矿体特征见表 3。

表 3 金矿体特征  
Tab.3 Gold ore body characteristics

矿带	矿体	勘探线	( 倾斜/走向长度) /m	产状 ( 倾向/倾角) /( °)	矿体平均 厚度/m	Au 平均品位/ ( g·t <sup>-1</sup> )	赋存标高/m	备注
1	1-1	11—15	210/430	W-NW/36-66	9.80	2.51	+440 ~ +650	11 处工程见矿
2	2-1	15	90/90	NW/63	4.16	11.59	+575 ~ +660	单工程见矿
	2-2	12	90/90	W/36	1.20	5.11	+440 ~ +530	单工程见矿
3	3-1	15	90/90	NW/63	1.72	3.80	+575 ~ +660	单工程见矿
	3-2	15	90/90	NW/63	4.71	8.85	+575 ~ +660	单工程见矿
	3-3	15	90/90	NW/63	1.54	12.25	+400 ~ +485	单工程见矿
	3-4	13	90/90	NW/63	1.77	7.45	+530 ~ +620	单工程见矿
	3-5	12	90/90	W/38	1.23	5.35	+400 ~ +485	单工程见矿
4	4-1	15	220/90	NW/65	1.33	4.93	+400 ~ +620	2 处工程见矿
	4-2	15	90/90	NW/65	1.46	2.30	+575 ~ +660	单工程见矿
	4-3	15	90/90	NW/65	1.75	3.40	+530 ~ +620	单工程见矿
	4-4	12	90/90	W/38	1.23	8.90	+400 ~ +485	单工程见矿
	4-5	12	90/90	W/34	4.48	3.40	+440 ~ +530	单工程见矿
5	5-1	15	130/90	NW/65	5.88	5.28	+530 ~ +660	2 处工程见矿
	5-2	15	90/90	NW/65	7.75	1.90	+400 ~ +485	单工程见矿
	5-3	13	220/90	NW/65	2.36	6.68	+400 ~ +620	2 处工程见矿

3.3 生产勘查物探成果解释

(1) 磁法成果解释。M<sub>2</sub> 异常位于矿区南部的震旦纪地层中 ,异常分布于 M108 线到 M124 线的 144 号—155 号 ,面积约为 20 000 m<sup>2</sup> ,异常走向北东 ,椭圆形 ,长轴 180 m ,短轴 110 m ,为磁力低异常。异常有 2 个极值 ,分别为 -10 140 nT 和 -9 140 nT。在 M116 线和 M120 线的 143 号到 146 号点均见到铁矿层露头 ,推断该异常为 I 号铁矿体引起。根据磁异常衰减快的特点推断该矿体埋深不大 ,按半极值圈定矿体范围为 16 000 m<sup>2</sup>。且仅在 1 条测线上有反映 ,可以推测向南延伸不大 ,最大不超过 40 m。因为金矿石无磁性 ,根据磁异常圈定的铁矿范围仅是单纯的铁矿范围 ,与电法圈定铁矿范围有一定的差别。

(2) 电法成果解释。已知铁金矿体的电性异常特征: 因铁与金在空间位置上有相伴、相近的特点 ( 铁矿石本身含金) 。172 线联合剖面  $\eta_a$ 、 $\rho_a$  曲线与 5 号矿体的对应关系断面如图 3 所示 ( 实际位置前者偏北) 。由图 3 可知 ,极化率异常的范围与铁矿体的水平投影范围基本一致 ,图中以  $0.8\eta_a^A$  极大值和  $0.8\eta_a^B$  极大值确定的边界与矿体基本对应。实际情况由于地形和矿体的厚度不同等 ,一般取 0.7 ~

$0.8\eta_a$  极大值圈定矿体的水平边界。以极化率异常圈定的铁金矿范围是铁矿和金矿二者共同引起的 ,难以区分。因此 ,根据极化率异常指导铁矿勘探是可行的。

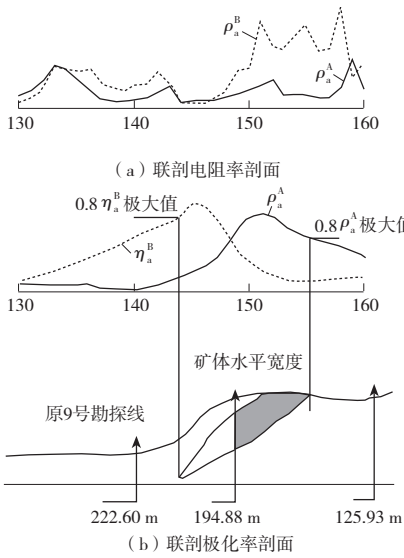


图 3 172 线联合剖面  $\eta_a$ 、 $\rho_a$  曲线与 5 号矿体的对应关系  
Fig.3 Correspondence between the  $\eta_a$  and  $\rho_a$  curves of the 172 joint section and the No.5 ore body

生产勘查物探极化率异常成果与地质推断的矿体有所区别。①根据铁金矿体和极化率异常的宽度的对应关系,圈定为 2 个铁金矿带,1 号矿带在测区中部,贯通南北,长 800 m,最宽 160 m,最窄处 60 m,走向由南向北,由北东转为北西;2 号矿带由一条剖面结合已知露头确定,长度 140 m,宽度 60 m,走向北偏东。②同时,此次工作推断断裂构造 1 条,走向北西,倾向北东,长度 594 m。断裂带经过 186/E124、184/E128、175/E132、169/E140、164/E148、

148/E156 均为正交点,为明显的低阻带反映。③从激发极化测深成果发现 1 号异常由多个矿层叠加组成,最小延深为 100 m,深度变化规律不明显,同时,认为 E180 线的激电异常主要与金矿化有关。

#### 4 矿石加工技术性能

2011 年 7 月完成了《巴凌冲铁金矿选矿试验研究报告》,其各方案的选矿实验室试验指标详见表 4。

表 4 新宁县巴凌冲铁金矿选矿流程试验结果

Tab. 4 Test results of the beneficiation process of Balingchong Iron Mine in Xinning County

方案 编号	工艺流程	精矿产 率/%	Fe/%		金精矿 含量/ ( $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ )	氰化 浸金浸 出率/%
			总精矿 品位	精矿 回收率		
1	连续磨矿—弱磁—磁选柱流程	13.24	65.57	45.19		
2	阶段磨矿(一段磨矿细度-0.075 mm55.17%)—弱磁—磁选柱流程	13.36	66.34	46.14		
3	阶段磨矿(一段磨矿细度-0.075 mm75.56%)—弱磁选—弱磁尾矿氰化浸金流程	13.17	65.19	44.69		76.47
4	阶段磨矿(一段磨矿细度-0.075 mm75.56%)—弱磁—磁选柱流程	13.03	65.31	44.30		
5	阶段磨矿—弱磁—强磁—强磁精矿+弱磁粗精矿再磨—絮凝脱泥—反浮选流程	16.06	65.20	54.14		
6	阶段磨矿—浮选富集硫金—氰化浸金流程	4.45			10.23	59.00

##### 4.1 矿石工艺学特征

(1) 矿物组成及含量。肉眼观察矿石微带绿色的灰黑色,呈不均匀的浸染状构造,部分呈条纹状或角砾状构造。矿石矿物较简单,金属矿物主要为磁铁矿(12.5%),次为赤铁矿(6.4%)、黄铁矿(3.2%),脉石矿物主要为石英(42.1%),次为绿泥石(24.9%)、铁白云石(5.8%)、绢云母(4.1%)、锆石、磷灰石、金红石、黝帘石等。

(2) 矿石化学成分。①矿石中可供选矿回收的元素主要是铁,但品位仅为 19.87%,金的含量为 0.51 g/t,可作为综合回收对象。矿石中  $\text{TFe}/\text{FeO}$  的比值为 2.23,碱性系数  $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) = 0.09$ 。②为达到富集铁矿物的目的,需要选矿排除脉石组分主要是  $\text{SiO}_2$ ,其次为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,有害杂质磷和硫的含量均明显偏高。③矿石中铁的赋存状态极为复杂,磁铁矿中的铁加上呈假象赤铁矿中的铁合计分布率为 45.04%,即为选矿采用单一弱磁选工艺分选矿石中铁矿物时铁的最大理论回收率(铁精矿产率 12.50%);呈赤(褐)铁矿产出的高价氧化铁分布率为 22.19%,显然需要采用强磁选工艺才能回收;而赋存在含铁硅酸盐类矿物中的铁分布率为 19.58%,则需要通过选矿排入尾矿。综述区内矿石属低磷高硫低品位的赤铁矿—磁铁矿混合型铁矿石。

(3) 主要矿物的产出形式。①磁铁矿( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ):选矿富集回收铁的主要目的矿物,一般呈自形、半自形等轴粒状,晶体内部普遍较为洁净,次生变化微弱。细粒磁铁矿粒度变化较大,个别粗者可至 0.8 mm 左右,一般 0.04~0.30 mm,常呈稠密—稀疏浸染状与脉石交生,少数则呈星散状产出或分布在赤铁矿中;微细粒磁铁矿粒度为 0.01~0.03 mm,部分甚至小于 0.005 mm,主要以稀疏浸染状的形式出现,晶粒之间互不相连,局部为稀疏浸染条带状。上述两者矿物含量比大致为 4:1,它们既可单独出现,也常见于同一矿块中。总之,矿石中磁铁矿分散程度高,极少聚集成集合体,这也是需要采用细磨(磨矿细度在 0.037~0.052 mm,矿石中 90% 以上的磁铁矿可得到解离)工艺才能获得较高品位铁精矿的主要原因。②赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ):自形、半自形板片状、针柱状或粒状,晶体粒度普遍在 0.01 mm 以下,部分甚至小于 0.002 mm。其晶体粒度较磁铁矿更加细小,虽然部分可聚形成团块状集合体,但绝大部分与脉石的镶嵌关系极为复杂。因此,认为矿石中赤铁矿的回收难度较大。③黄铁矿( $\text{FeS}_2$ ):自形、半自形粒状,一般颗粒较大,多呈星散浸染状或短脉状嵌布在脉石矿物中,与磁铁矿、赤铁矿的嵌连关系并不密切,因此,弱磁选铁精矿中硫将不会偏高。从理论上来说黄铁矿应是金的主要载体矿物,实际上

未发现金矿物分布。因此,矿石中金的赋存状态有待深入研究。④脉石矿物:矿石中脉石矿物主要是石英和绿泥石,次为铁白云石和绢云母。其中,石英多为不规则的微细粒状,部分因晚期热液活动的影响而重结晶形成梳状、条带状集合体;绿泥石分布广泛,常与石英混杂交生构成铁矿物的嵌布基底,较为富集的部位其体积含量可达80%左右;铁白云石分布不均匀,部分为细脉状沿裂隙穿插交代其他矿物,部分则呈细小的透镜状集合体与绿泥石交生;绢云母分布零星,常与绿泥石混杂交生。

#### 4.2 选矿试验及评价

通过详细的工艺矿物学研究、选矿工艺参数及流程结构的多次探索性试验研究后,确定以综合回收磁铁矿和金为目的,阶段磨矿—弱磁—磁选柱流程如图4所示。

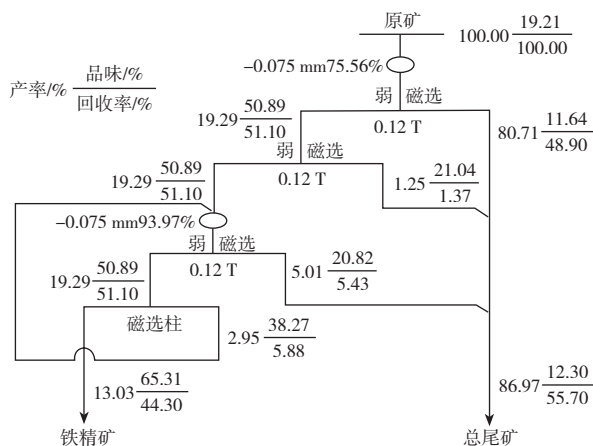


图4 阶段磨矿—弱磁—磁选柱流程

Fig. 4 Stage grinding-weak magnetic-magnetic separation process

试验原矿石 TFe 为 19.87%, 其中磁性铁为 8.34%, 赤褐铁为 4.41%, Au 为 0.51 g/t。试验药剂: NaOH(化学纯)、腐殖酸铵(工业品,水溶性腐殖酸 46.31%,水不溶物 10.57%,水分 15.46%,pH 值 8.0,粒度 50 目,速效氮 NC4.07%,有机质 62.34%)、水玻璃(工业品,模数 2.3,Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 含量 45.51%)、SD(工业级玉米淀粉)、CY-78(自制浮选捕收剂)、戊基黄药(纯度 90.3%)、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(分析纯)。采用阶段磨矿(一段细磨细度 -0.075 mm 为 55.17% 抛尾粗精矿再磨至 -0.075 mm 为 95.38%)—弱磁—磁选柱流程(图4),可获得产率为 13.03%、品位 TFe 为 65.31%、铁回收率 44.30% 的铁精矿。

如果考虑伴生金的综合回收利用,可在上述选矿流程中原矿一段磨矿细度 -0.075 mm 为 75.56% 时,采用浮选富集硫金—氰化浸金流程(图5)可获得产率 4.45%、含金 10.23 g/t、硫 43.00%,金回收率 87.53% 的富金产品,其尾矿弱磁选后,弱磁精矿再磨至 -0.075 mm 为 93.97%,采用弱磁—磁选柱再选—磁选柱中矿返回再磨的流程获得上述铁精矿产品。类比研究结果认为:每处理 1 t 原矿,只回收磁铁矿时效益达到 58.57 元;如果浮选回收硫金,潜在效益可达 128.9 元。说明该矿铁金矿石具有较好的加工技术性能。

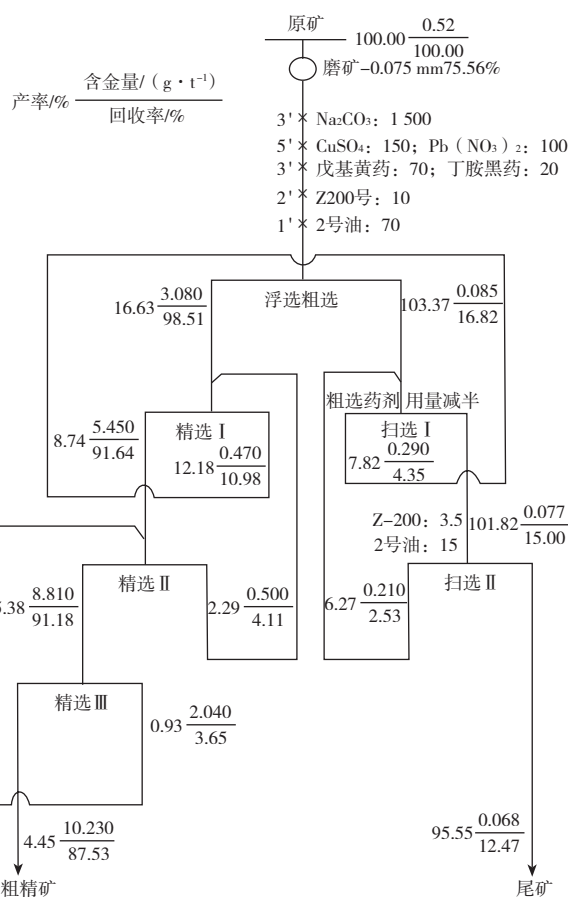


图5 浮选富集硫金—氰化浸金流程

Fig. 5 Flotation enrichment of sulphur gold-cyanide gold leaching process

#### 4.3 试验结果及建议

(1) 赤铁矿嵌布粒度极其细微,属于超细粒度,回收难度极大,且选流程复杂、成本高,可暂不考虑赤铁矿的回收问题。

(2) 通过多次探索性试验研究后,确定以综合回收磁铁矿和金为目的,推荐矿山采用“阶段磨矿



(一段细磨细度  $-0.075\text{ mm}$  为 55.17% 抛尾粗精矿再磨至  $-0.075\text{ mm}$  为 95.38%)—弱磁—磁选柱流程”。如果考虑伴生金的综合回收利用,可在上述选矿流程中原矿一段磨矿细度  $-0.075\text{ mm}$  为 75.56% 时,“采用浮选富集硫金—氰化浸金流程,其尾矿弱磁选后,弱磁精矿再磨至  $-0.075\text{ mm}$  为 93.97%,采用弱磁—磁选柱再选—磁选柱中矿返回再磨的流程”。如果金回收不具备市场条件,应预留场地,先建设回收磁铁矿的选矿工程。

(3) 原矿通过弱磁分选后的尾矿在细磨条件下(如  $-0.075\text{ mm}$  为 95%)采用氰化浸出,金的浸出率可达 76.47%;对浮选试验所得硫金精矿进行氰化浸出时金的浸出率可为 59.00%。

(4) 经选矿后初步估算,每处理 1 t 原矿,只回收磁铁矿时效益达到 58.57 元;如果浮选回收硫金,潜在效益可达 128.9 元,可进行生产性选矿试验。

#### 4.4 生产性选矿现状

矿山已建有选厂生产铁精矿,一期 1 台机组生产能力为 45 万 t/a 的铁矿选矿厂已按试验推荐流程进入正常生产状态,其各项指标均能达到预期目标。预计 2 台机组选矿生产能力可达到 70 万~100 万 t/a。

### 5 结语

矿山开采铁、金矿具有较好的经济效益,另金矿化带铁矿石中含有达伴生评价指标的有益组分 Au, Au 含量平均 0.33 g/t,据估算共伴生金 1 249 kg,潜

在经济价值可观,综合回收利用,能大大增加其经济效益。且产品销售渠道稳定,矿山保有储量丰富,具有较好的经济效益和发展远景,必能促进当地劳动就业和经济的发展。

#### 参考文献(References):

- [1] 张帆,田景春,张风平.四川省西昌市太和钒钛磁铁矿床地质特征及矿石加工技术性能[J].中国石油和化工标准与质量,2017(16):132-133.  
Zhang Fan, Tian Jingchun, Zhang Fengping. Geological characteristics and ore processing technical performance of Taihe vanadium-titanium magnetite deposit in Xichang, Sichuan[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality 2017(16):132-133.
- [2] 史文全.甘肃南部加甘滩金矿矿石加工技术性能研究[J].世界有色金属,2018(2):114-115.  
Shi Wenquan. Research on ore processing technology performance of Jiagantan Gold Mine in southern Gansu[J]. World Nonferrous Metals 2018(2):114-115.
- [3] 王贵仁,宋顺昌.西部某斑岩型铜钼矿加工技术性能研究[J].中国矿业,2009,18(1):91-94.  
Wang Guiren, Song Shunchang. Research on processing technology performance of a porphyry copper-molybdenum deposit[J]. China Mining Magazine 2009,18(1):91-94.
- [4] 付浩.矿石加工技术性能试验探究[J].世界有色金属,2017(17):242-243.  
Fu Hao. Research on performance test of ore processing technology[J]. World Nonferrous Metals 2017(17):242-243.
- [5] 付强,付强,李艳峰,等.江西利山金矿工艺矿物学研究[C]//全国矿产资源综合利用学术会议,中国有色金属学会,2013.

(上接第 90 页)

- [11] 张廷芬.矿床地质学及其对矿产勘探的影响[J].地质地球化学,1987(5):75.  
Zhang Tingfen. Mineral deposit geology and its influence on mineral exploration[J]. Earth and Environment 1987(5):75.
- [12] 裴文斌.塔山井田矿床水文地质特征分析[J].环球人文地理,2017(22):70.

- Pei Wenbin. Analysis on hydrogeological characteristics of Tashan Mine Field[J]. Cultural Geography 2017(22):70.
- [13] 吴鹏.浅析落函矿区地质构造的特征及矿床成因分析[J].现代经济信息,2016(24):336-338.  
Wu Peng. Analysis on the characteristics of geological structure in Luodang Mining Area and the cause of deposit[J]. Modern Economic Information 2016(24):336-338.