

新疆且日克其菱铁矿床地质特征

方怀宾 李春艳 裴中朝 李瑞强  
(河南省地质调查院 河南 郑州 450000)

【摘 要】且日克其菱铁矿床位于西昆仑金属成矿省布伦口-桑株塔格多金属成矿带西端,是一大型铁矿床。矿床赋存于下志留统温泉沟群(S<sub>1w</sub>)底部,矿体围岩主要为石英片岩、大理岩,矿体形态为透镜状、似层状,单个矿体长 180~325m,厚一般 10~70m,矿石矿物主要为菱铁矿,脉石矿物主要为石英、白云母、和铁白云石和少量黄铁矿和黄铜矿等。矿石平均品位为 TFe45.07%,属高炉富矿。(CaO + MgO)/(SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)比值平均 0.29,属酸性铁矿石。矿石主要呈粗粒自形-半自形结构、致密块状构造、条带状构造;矿石类型主要为块状矿石、其次为条带状矿石;矿床层控性明显,成因类型属于喷流沉积矿床(SEDEX)。

【关键词】且日克其;大型菱铁矿床;下志留统;温泉沟群;高炉富矿;喷流沉积

Geological Characteristics in Qirikeqi Siderite Deposit Xinjiang Province  
FANG Huai-bin LI Chun-yan PEI Zhong-chao LI Rui-qiang  
(Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou Henan, 450000)

【Abstract】Qirikeqi Siderite Deposit is located in the Bulunkou-Sangzhtutage polymetallic metallogenic belt, West Kunlun metallogenic province, Which is a large iron deposit. The deposit occurs in the low Silurian Wenquangou group (S<sub>1w</sub>). The mainly wall rocks are Quartz schist, Marble. The form of orebody is mainly lensed, strataed, The length of orebodies generally ranges from 180m to—325m, thickness in between 10~70m. The ore minerals are mainly siderite, Gangue minerals are mainly quartz, muscovite, dolomite and a small amount of pyrite and chalcopryite, etc. The average grade of the ore TFe45.07%, which belongs to high grade blast furnace. The average ratio of (CaO + MgO)/(SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) is 0.29, shows that it belongs to acid iron orebody. The automorphic, hypidiomorphic textures are the main ore textures, and the massive structure and zonal structure are the main ore structures. The main oretypes consist of massive ores, banded ores took the second place. It is characterized by stratabound. The genetic type belongs to sedimentary exhalative siderite deposit (SEDEX 型)。

【Key words】Qirikeqi; Large Siderite Deposit; Low Silurian; Wenquangou Group; High Grade Blast Furnace; Sedimentary Exhalative Deposit

且日克其菱铁矿床位于新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州阿克陶县布伦口乡,东经 74°57',北纬 38°32',为一大型铁矿床,其大地构造位置属于西昆仑造山带北缘。矿床位于西昆仑金属成矿省布伦口-桑株塔格多金属成矿带之木吉-布伦口成矿亚带的西端。布伦口-桑株塔格成矿带是我国西部重要的的铁铜金多金属成矿带,该成矿带已经发现大中型铁、铜、金矿床 30 余处<sup>Ⅲ</sup>。

1. 区域地质与矿区地质概况

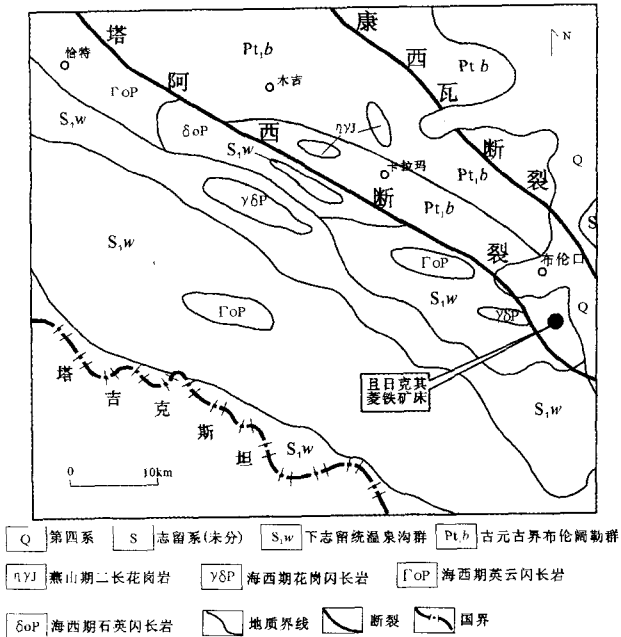


图 1 木吉-布伦口多金属成矿亚带区域地质略图  
Fig.1 Regional geological map of Muji-Bulunkou polymetallic metallogenic belt

区域地层主要有新太古界—古元古界布伦阔勒群(Pt<sub>1</sub>B)中深变质岩系、下志留统温泉沟群绿片岩相浅变质岩系。区域断裂主要为北西向康西瓦韧性剪切带和塔阿西脆韧性逆冲推覆型剪切带,两断裂构

造控制着区域地层的展布和岩浆活动;区域发育大型宽缓开阔复背斜;区域岩浆岩主要是海西期侵入岩(图 1)。

矿床赋存于温泉沟群(S<sub>1w</sub>)底部,严格受地层层位和岩性的控制,并与地层同步褶皱。温泉沟群在矿区内出露的主要岩性为黑云石英片岩、灰白—白色大理岩、灰黑色黑云母石英片岩夹黄褐色白云母片岩、灰色二云母石英片岩、灰白色白云母石英片岩,地层呈单斜构造产出,倾向 320°~350°,倾角为 30°~50°。矿区有石英闪长岩脉、斜长花岗岩伟晶岩脉、斜长花岗岩脉呈顺层或穿层贯入于变质岩及菱铁矿层中,但数量少,规模小,对矿体形态影响不大。

2. 矿体地质特征

矿区内已发现 3 个矿体,编号分别为 I、II 和 III 号,矿体形态为透镜状、似层状,矿体总体走向近 EW,倾向 N,倾角 30°~60°(图 2)。

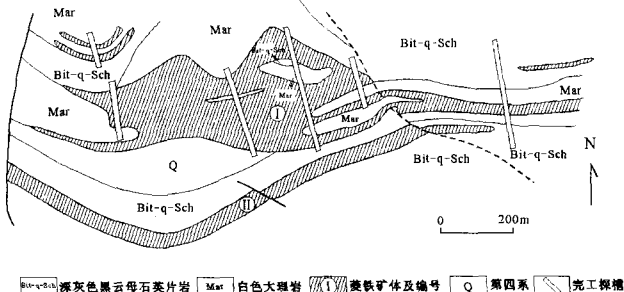


图 2 且日克其菱铁矿床地质及 I、II 号矿体略图  
(据克孜勒苏柯尔克孜自治州矿产资源开发管理局,1997,略有改动)  
Fig.2 Geological map of the siderite deposit and I, II ore bodies  
(Modified after Keerkezi Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, 1997)

2.1 I 号矿体特征

I 号矿体成似层状、透镜状,倾向 345~360°,倾角 40°~60°,矿体形态沿走向、倾向变化较大。矿体由 6 个沿走向断续延伸的小矿体组成,小矿体长度一般 180~325m,矿体总长断续延伸达 2500m,沿走向矿体形态变化较大。矿体厚度一般 10~70m,最厚处可达 200m,并向两边逐步变薄或分叉。矿体顶板为黑云母石英片岩和大理岩,底板主要为灰白色大理岩。

在 I 号矿体中部靠近下盘处有 20m 余厚的铜矿化带,黄铜矿呈

细脉状或浸染状交代菱铁矿,最高铜品位 0.1%,但矿化极不均匀。

### 2.2 II 号矿体特征

II 号矿体位于 I 号矿体南侧,矿体呈层状,由一个主矿体构成,分叉较少,长约 1500m,平均厚度 70m。矿体产状  $354^{\circ}\angle 52^{\circ}$ ,形态沿走向、倾向变化不大。围岩为深灰色黑云母石英片岩,矿体与围岩产状一致。

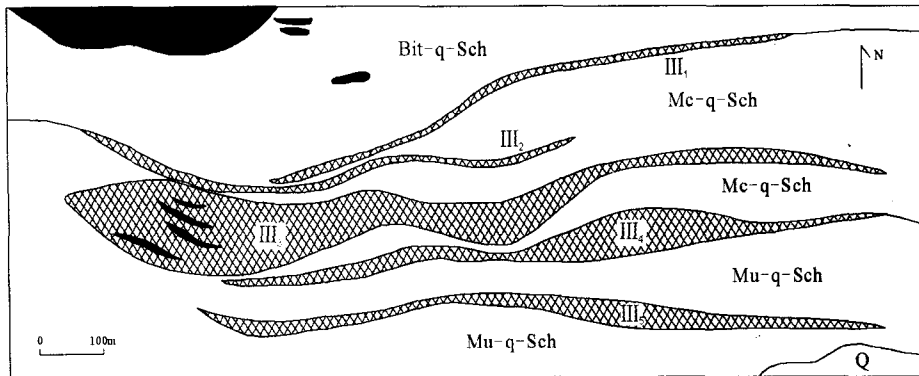


图3 且日克其菱铁矿床III矿体矿体形态平面图

(据新疆有色地质勘查局701队, 2007, 略有改动)

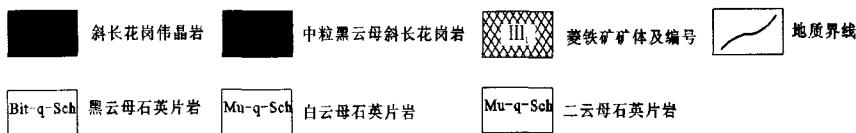


Fig.3 Geological map of the siderite deposit and III ore body

(Modified after Xinjiang Non-ferrous Metals Geological and Mineral Resources Bureau, 2007)

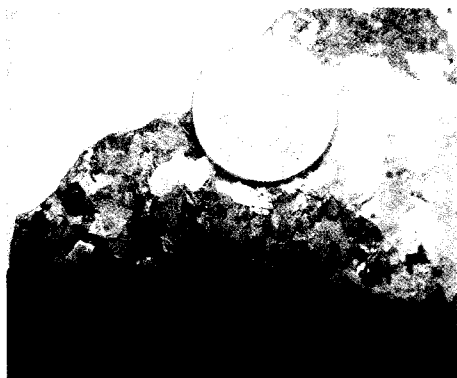


图 4 粗晶菱铁矿  
Fig.4 Phaneritic siderite

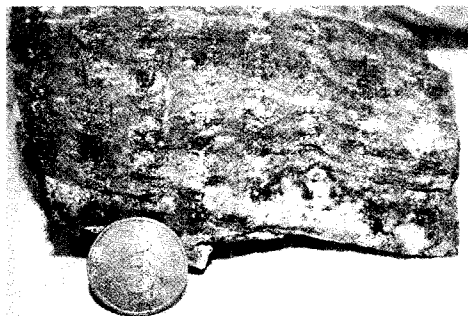


图 5 黄铁矿呈浸染状与石英和白云母构成的条带状矿石  
Fig.5 The banded Structure of siderite ore containing pyrite

### 2.3 III 号矿体特征

III 号矿体主要由规模较大的 5 条矿脉(编号为 III1、III2、III3、III4、III5)组成。矿体形态简单,呈透镜体状、似层状产于深灰色黑云母石英

片岩中。矿体总体走向近 EW,倾角  $30^{\circ}$ ,走向和倾向上呈现舒缓波状,矿脉与围岩产状一致(图 3)。

### 3. 矿石特征

#### 3.1 矿物成分

且日克其菱铁矿床矿石成分单一,主要矿石矿物为原生菱铁矿,含量占矿石总量的 70%±,部分在地表氧化后形成褐铁矿。脉石矿物主要

为石英(10~20%)、白云母(3~5%)和铁白云石,其次为少量黄铁矿和黄铜矿,偶见石墨、电气石、磷灰石等。

菱铁矿呈半自形-自形粒状结构,粒度变化较大。呈条带状、纹层状产出的菱铁矿粒度较细,一般 0.1~0.5mm,呈块状产出的菱铁矿石,粒度较粗,一般 0.5~1mm,最大 5mm(图 4)。有时菱铁矿包含石英、电气石等子矿物。

黄铜矿:他形粒状,粒度一般 0.1~0.5mm,呈细网脉状、浸染状在矿体的底部产出,地表氧化形成孔雀石。

黄铁矿:它形粒状,粒径一般 0.25mm 左右,主要呈浸染状分布(图 5),含量较少,仅在黄铁矿-白云母-石英条带中局部含量可达 7%。

#### 3.2 矿石的化学成分

本次研究在矿体不同位置采集了 5 件矿石样品,代表性较强,化学分析结果如表 1。据测定,单个样品最高铁品位( $w_B/\%$ )为 52.25%,最低为 30.85%,平均品位为 45.07%,属高炉富矿<sup>[2]</sup>。(CaO + MgO)/(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 为 0.24~0.42,平均 0.29,属于

酸性铁矿石<sup>[2]</sup>。

表 1 显示,矿石中有害元素 Cu 含量  $6.00\sim 570.44\times 10^{-6}$ ,Pb 含量  $5.00\sim 8.00\times 10^{-6}$ ,Zn 含量  $35.00\sim 60.00\times 10^{-6}$ ,有害杂质含量远远低于工业指标。

表 1 菱铁矿石化学成分

Table.1 Chemical composition of siderite ore

样品编号	矿石名称	$w_B/\%$				$w_B/10^{-6}$				
		FeO	MnO	CaO	MgO	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr
D190/1-(1)	块状菱铁矿	62.01	2.01	0.60	2.09	570.44	8.00	46.00	80.00	100.00
D190/1-(3)	块状菱铁矿	59.03	1.56	0.51	1.77	7.00	5.01	39.00	7.00	12.00
D193/1-(1)	块状菱铁矿	64.38	2.34	1.19	1.99	23.00	5.01	60.00	14.02	11.00
D190/2-(2)	块状菱铁矿	64.21	2.22	0.54	2.98	8.25	7.00	35.00	15.00	11.46
D193/2-(1)	块状菱铁矿	65.18	2.40	1.23	1.60	6.00	5.01	37.00	8.00	14.00

#### 3.3 矿石结构

矿石主要发育粗粒自形-半自形结构,一般 0.5~1mm,有时可达 5mm。其次发育细粒自形-半自形结构,大部分菱铁矿粒度较细,一般在 0.1~0.5mm。

#### 3.4 矿石构造

该矿床主要发育致密块状构造、条带状构造,其次为浸染状构造、网脉状构造。

块状构造:矿石呈块状,无定向分布,是矿石最典型的构造类型,矿石中普遍发育,尤其在矿体膨大部位。

条带状构造:菱铁矿和白云母、石英呈条带状交互产出,这种构造类型在矿体较薄的部位可见。

浸染状构造:黄铜矿、黄铁矿呈星点状分布于矿石中,可分为稀疏浸染状和稠密浸染状两种类型。该构造类型主要分布于矿体的下部。

网脉状构造:黄铜矿呈网脉状充填于菱铁矿石中。主要在矿体下部产出。

#### 3.5 矿石类型

且日克其菱铁矿石类型较简单。按照矿石构造可(下转第 33 页)

具有  $C^2$  连续的单值函数  $y_i=f(x_i)$  同时应满足  $f''(x)-\sigma^2 f(x)$  在相邻区间线性变化,其中:张力系数  $\sigma>0$ 。给定不同的张力系数,其拟合平滑程度不同,极限情况: $\sigma\rightarrow\infty$  等价于线性插值, $\sigma\rightarrow 0$  等价于三次样条插值。

$$f''(x)-\sigma^2 f(x)=[f''(x_i)-\sigma^2 y_i]\frac{x_{i+1}-x}{h_i}+[f''(x_{i+1})-\sigma^2 y_{i+1}]\frac{x-x_i}{h_i} \quad \dots\dots(4-6)$$

其中: $h_i=x_{i+1}-x_i$  ( $x_i\leq x\leq x_{i+1}$ )

解此二阶非齐次微分方程,整理后有关系: $f(x)=\frac{1}{\sigma^2 \sinh(\sigma h_i)}$

$$\left\{f''(x_i)\sinh\left[\sigma(x_{i+1}-x)-\sigma^2 y_i\right]+f''(x_{i+1})\sinh\left[\sigma(x-x_i)\right]\right\}+\left[y_i-\frac{f''(x_i)}{\sigma^2}\right]$$

$$\frac{x_{i+1}-x}{h_i}+\left[y_{i+1}-\frac{f''(x_{i+1})}{\sigma^2}\right]\frac{x-x_i}{h_i} \quad \dots\dots(4-7)$$

## 2.2 连续性方程

显然,以上张力样条函数只要能够确定二阶导数就可以获得拟合曲线的解析描述。如果将上式二阶求导,则可得到结点连续性方程:

$$a_i \frac{f''(x_{i-1})}{\sigma^2} + b_i \frac{f''(x_i)}{\sigma^2} + c_i \frac{f''(x_{i+1})}{\sigma^2} = d_i \quad \dots\dots(4-8)$$

其中:

$$a_i = \frac{1}{h_{i-1}} - \frac{\sigma}{\sinh(\sigma h_{i-1})}$$

$$b_i = \frac{\sigma \cosh(\sigma h_{i-1})}{\sinh(\sigma h_{i-1})} - \frac{1}{h_{i-1}} + \frac{\sigma \cosh(\sigma h_i)}{\sinh(\sigma h_i)} - \frac{1}{h_i}$$

$$c_i = \frac{1}{h_i} - \frac{\sigma}{\sinh(\sigma h_i)} \quad \dots\dots(4-9)$$

$$d_i = \frac{y_{i+1}-y_i}{h_i} - \frac{y_i-y_{i-1}}{h_{i-1}}$$

## 2.3 边界条件

显然曲线是否闭合具有不同的边界条件,通常称闭合为周期函数,反之为非周期函数。

不闭合时,给出端点的一阶导数做为边界条件得到连续性方程;闭合时选择首尾关系,连续性方程不变。具体边界条件公式这里不再详细说明。

## 2.4 解算矩阵

曲线闭合时的解算矩阵:

$$\begin{bmatrix} b_1 & c_1 & & & & \\ a_2 & b_2 & c_2 & & & \\ & a_3 & b_3 & c_3 & & \\ & & \dots & \dots & \dots & \\ & & & \dots & \dots & \\ & & & & a_{n-1} & b_{n-1} & c_{n-1} \\ c_n & & & & a_n & b_n & c_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ \dots \\ \dots \\ K_{n-1} \\ K_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \dots \\ \dots \\ d_{n-1} \\ d_n \end{bmatrix} \quad \dots\dots(4-10)$$

其中:待求解未知数  $K_i = \frac{f''(x_i)}{\sigma^2}$

如果曲线不闭合,则端点给定的条件方程系数不同,而  $a_1=c_n=0$ ,可以采用追赶法快速解算。相关文献中为计算介绍了给定“闭合曲线首尾端斜率相同”方式按不闭合解算闭合曲线的方法,即在实际尾点

添加首点的复制点,认定曲线不闭合再解算。此方法虽然简便但存在单点阻滞现象——首尾点只有一阶连续,明显不平滑。

根据解算结果可以得到每个结点之间的曲线插值函数,详细表述略。

## 2.5 参数模型

上述分析仅仅是平面单调曲线的结论,可称为一维张力样条曲线。对于测量绘图中的自然线状地物,需要二维甚至三维的曲线插值,采用相关文献提供的参量转换方法可以解决。

可以从工程应用角度出发,考虑三维曲线情况:使用结点之间的空间距离(弦长)做为参变量,则平面曲线方程为:

$$\begin{aligned} x &= x(s) \\ y &= y(s) \\ z &= z(s) \end{aligned} \quad \dots\dots(4-11)$$

然后分别列出连续性方程,继而求解出  $x''(s)/\sigma^2 \dots\dots y''(s)/\sigma^2 \dots\dots z''(s)/\sigma^2$ , 获得三维曲线的张力样条插值参数方程。

需要注意其中:

$$h_i = \sqrt{(x_{i+1}-x_i)^2 + (y_{i+1}-y_i)^2 + (z_{i+1}-z_i)^2} \quad \dots\dots(4-12)$$

$$s_i = \sum h_i \quad \dots\dots(4-13)$$

实际工程应用此方法可能会出现振荡问题,原因是结点间距离分布极端不均匀,采用同样的张力系数,解算方程的取舍精度对结果有一定影响,需要研究结点加权的张力样条插值。

采用张力样条平滑绘制的等高线:

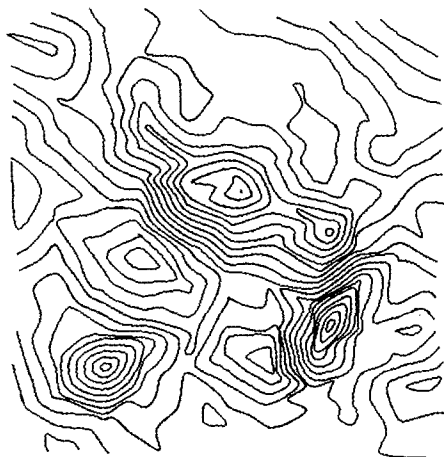


图3 张力样条平滑绘制的等高线

## 【参考文献】

- [1]郭仁忠.空间分析,武汉测绘科技大学出版社,1997.
- [2]孙立铸.计算机图形学,哈尔滨工业大学出版社,2000.
- [3]沈伟烈.计算机图形学教程,航空工业出版社,1995.
- [4]修文群,池天河.城市地理信息系统,北京希望电子出版社,1999

【责任编辑:王静】

(上接第13页)以划分为块状矿石、条带状矿石两种,前者品位最高,是主要的矿石类型;如果按照矿物成分,可以分出两种矿石类型:菱铁矿石及含黄铁矿(铜)矿菱铁矿石,以前者为主,后者数量较少。

## 4. 矿床成因分析

且日克其菱铁矿床的直接容矿主岩为下志留统温泉沟群的深灰色黑云母石英片岩、灰色二云母石英片岩、白云母石英片岩和灰白色大理岩;矿体呈层状、似层状、透镜状,整合产出并与地层同步褶皱,矿石具有块状构造和较为发育的条带状构造,沉积特征明显,矿床的层控性明显,成矿作用可能是在海底热液成矿系统中以喷流沉积方式进行的,即矿床成因类型属于喷流沉积矿床(SEDEX型)。

致谢:河南理工大学的司军军教授帮助修改论文并翻译英文摘

要,在此表示感谢!

## 【参考文献】

- [1]孙海田,李纯杰,吴海,等.西昆仑金属成矿省概论.北京:地质出版社,2003.
- [2]全国矿产储量委员会办公室.矿产工业要求参考手册.北京:地质出版社,1983.

作者简介:方怀宾(1969—),男,河南禹州人,工程师,主要从事区域地质调查研究工作。

※基金项目:国土资源大调查资助项目(1212010610310)。

【责任编辑:王静】