

地质·矿床

# 多宝山铜矿硫同位素空间分布特征

冯健行

(黑龙江省第五地质勘察院, 黑河 164300)

**[摘要]** 多宝山铜矿是一大型斑岩铜矿床。矿床位于大兴安岭隆起带与松辽沉降带的接合部位。矿区出露的地层主要是奥陶系中统多宝山组地层岩性主要为安山岩、凝灰岩、凝灰质砂岩、砂岩;侵入岩主要是华力西晚期花岗闪长斑岩和花岗闪长岩;围绕花岗闪长斑岩体具有蚀变分带现象,由内向外分为钾化带—绢云母化带—青磐岩化带,矿体多产于绢云母化带内;研究表明,多宝山铜矿形成于中低温条件下,矿体内金属硫化物具有分带性,由矿体中心向边缘依次是斑铜矿—黄铜矿—黄铁矿。文章对多宝山铜矿硫同位素空间分布特征以及与矿体富集部位的对应关系进行了分析,并解释了形成这一现象的原因。

**[关键词]** 铜矿 同位素 特征 多宝山

**[中图分类号]** P618.41 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2008)01-0046-04

多宝山铜矿是一大型斑岩铜矿床。其储量位居全国第三<sup>[1]</sup>,探明储量占全国铜储量的 35.12%<sup>[2]</sup>。由于这一原因,人们从许多方面对多宝山铜矿进行了研究和探讨。赵元艺等人用“1+n”次活动成矿模式对矿床形成过程进行了解释,并指出在铜矿周围多宝山组地层上存在着一个近 2000m 宽的铜的负异常带,形成这一负异常带的原因是由于多宝山组地层中的铜被迁移进入矿体内造成的,由此说明多宝山组地层是成矿物质的一个重要来源<sup>[1,3,4]</sup>;赵广江等人对氧同位素特征进行了分析,指出<sup>18</sup>O 由矿化中心向外逐渐降低的特征<sup>[5]</sup>;范正国等人分析了航空物探在多宝山铜矿上的应用效果,指出多宝山铜矿高精度航磁异常为弱正异常,伽玛能谱为高正异常的地球物理特征<sup>[6]</sup>。杜琦等人在十几年野外工作基础上对多宝山铜矿的成矿规律进行了系统研究和总结,并用抽排模式解释了矿床的形成过程<sup>[7]</sup>。文章对多宝山铜矿硫同位素空间分布特征以及与矿体富集部位的对应关系进行了分析,希望能为预测富矿部位提供一个新的参考依据。

## 1 地质概况

多宝山铜矿位于黑龙江省嫩江县境内,东经 125°47'13",北纬 50°14'28"。处于大兴安岭隆起带

与松辽沉降带的接合部位。

矿区出露的地层主要是奥陶系中统多宝山组和铜山组地层<sup>[8]</sup>(图 1),岩性为安山岩、凝灰岩、凝灰质砂岩、凝灰砂岩、砂岩等。

矿区所见侵入岩主要是华力西晚期花岗闪长斑岩和花岗闪长岩<sup>[8]</sup>。围绕着花岗闪长斑岩体形成蚀变分带,由斑岩体向外依次为钾化带、绢云母化带、青磐岩化带,矿体多产于绢云母化带内<sup>[7]</sup>。

矿区内发育一组北西向片理化带,所有矿体完全受片理化带控制,它既是矿液运移的通道,也是矿体赋存的空间。矿体多呈透镜状或条带状,产状 310°~330° 70°~80°,与片理化带产状一致。一般厚几米到几十米,最厚可达三四百米,延深一般四五百米,最深近一公里。但矿体厚大部位多在地表向下延深 100~400m 之间,这一深度也是矿体品位最高最富的部位。赋矿围岩主要为凝灰岩、凝灰砂岩和砂岩。

矿体内金属硫化物的分布具有明显的分带性,由矿体中心向边缘依次是以斑铜矿为主的金属硫化物—以黄铜矿为主的金属硫化物—以黄铁矿为主的金属硫化物。有资料表明,矿体中心的金属硫化物形成时间比矿体边缘的要早些;形成温度也略有差别,在矿区采取的包裹体样品分析结果表明,矿体中心金属硫化物的形成温度高于 300℃,矿体边缘则

**[收稿日期]** 2006-12-04; **[修订日期]** 2007-04-04。

**[作者简介]** 冯健行(1965年—),男,2006年毕业于吉林大学,获学士学位,工程师,现主要从事矿产地质勘查工作。

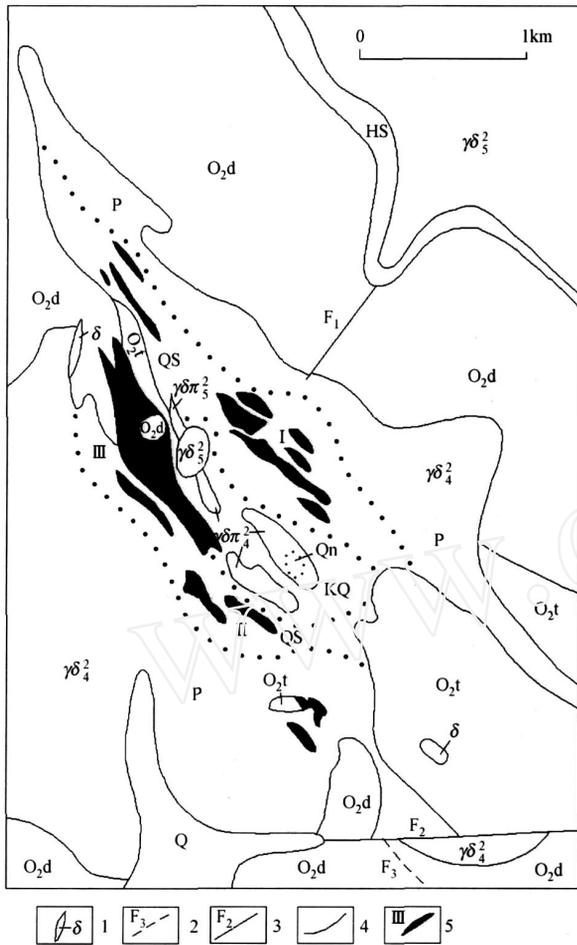


图 1 多宝山铜矿床地质略图  
(根据多宝山铜矿勘探报告,有改动)

Q—第四系; Q<sub>2d</sub>—中奥陶统多宝山组砂砾岩、凝灰岩、砂岩及凝灰砂岩; Q<sub>2t</sub>—中奥陶统铜山组凝灰岩、凝灰砂岩、砂砾岩;  $\delta_5^2$ —燕山早期花岗岩闪长岩及斜长花岗岩;  $\delta_4^2$ —华力西中期花岗岩闪长斑岩;  $\delta_4^2$ —华力西中期花岗岩闪长岩; HS—混染岩、角闪; Qn—强石英化; KQ—钾长石英化; QS—石英绢云母绿帘石绿泥石化; P—青磐岩化; I—闪长岩; 2—推测断层及编号; 3—实测断层及编号; 4—地质界线; 5—矿体及编号

在 200 左右 (根据《多宝山铜矿勘探报告》)。主要成矿活动发生在中温 - 中低温条件下<sup>[9]</sup>。

## 2 硫同位素空间分布特征

### 2.1 硫同位素组成

硫同位素样品的加工和单矿物分离以及测试由地科院矿床所完成 (1979 年), 单矿物纯度大于 98%, 粒度小于 0.5mm, 测试精度为  $\pm 0.5\%$ 。

通过对多宝山铜矿床内的 231 个硫同位素样品测试结果的统计分析表明, 黄铁矿变化范围 3.3% ~ 5.2%, 平均值 - 0.28‰, 黄铜矿变化范围

1.2‰ ~ - 4.2‰, 平均值 - 1.34‰, 斑铜矿变化范围 0.6‰ ~ - 3.5‰, 平均值 - 1.38‰ (表 1)。频数分布直方图呈塔式分布 (图 2)。由图 2 可以看出, 矿区  $^{34}\text{S}$  值总的变化范围小 (绝对值小于 8.5‰), 具有相对均一的特征。

表 1 多宝山铜矿床硫同位素组成表

测试矿物	样品数量	$^{34}\text{S}/\text{‰}$	
		变化范围	算术平均值
黄铁矿 (Py)	122	3.3 ~ - 5.2	- 0.28
黄铜矿 (Cp)	85	1.2 ~ - 4.2	- 1.34
斑铜矿 (Bn)	24	0.6 ~ - 3.5	- 1.38
Py + Cp + Bn	231	3.3 ~ - 5.2	- 0.77

地科院矿床所, 1979。

### 2.2 硫同位素的纵向变化特征

由于矿体的产状是倾斜的 (与片理化带产状一致), 说明成矿热液的活动并不是按垂直地表和平行地表的方向运移的, 而是沿片理化带由下向上侵入, 向片理化带两侧渗透和扩散。因此在进行硫同位素统计分析时, 考虑到矿体产状会更加符合实际情况。鉴于多宝山矿床矿体较多, 但硫同位素分布特征相近, 因此仅以 3 号矿体 (规模最大的矿体), 第 66 勘探线剖面 (品位最高、矿体最厚大部位) 为例进行统计分析 (图 3)。

首先在剖面上确定矿体中线, 以矿体中线与地表交点为零点, 沿矿体中线向下每间隔 50m 作为一个统计点, 统计结果见表 2。

表 2 硫同位素纵向变化统计表

米距	黄铁矿 $^{34}\text{S}/\text{‰}$	黄铜矿 $^{34}\text{S}/\text{‰}$	斑铜矿 $^{34}\text{S}/\text{‰}$
0	- 0.76 (3)		
50	1.1 (1)	- 1.5 (4)	
100	- 1.0 (1)	- 1.84 (1)	- 2.2 (1)
150	- 2.82 (3)	- 1.69 (4)	- 1.7 (1)
200		- 1.53 (2)	- 0.7 (1)
250		- 1.7 (1)	- 0.2 (1)
300		- 2.24 (2)	
350	- 1.39 (4)	- 2.65 (3)	- 0.75 (2)
550		- 1 (1)	
650			- 0.6 (1)
800	1.1 (1)	- 0.2 (1)	
850	0.53 (3)	- 0.7 (1)	- 0.6 (1)
合计	- 0.20	- 0.75	- 0.97

括号内数字为样品数。地科院矿床所, 1979。

虽然在有些统计点附近没有采取硫同位素样品, 无法得到统计结果, 从表 2 仍然可以看出, 由地表向下  $^{34}\text{S}$  值逐渐变小, 黄铁矿在 150m 处、黄铜矿

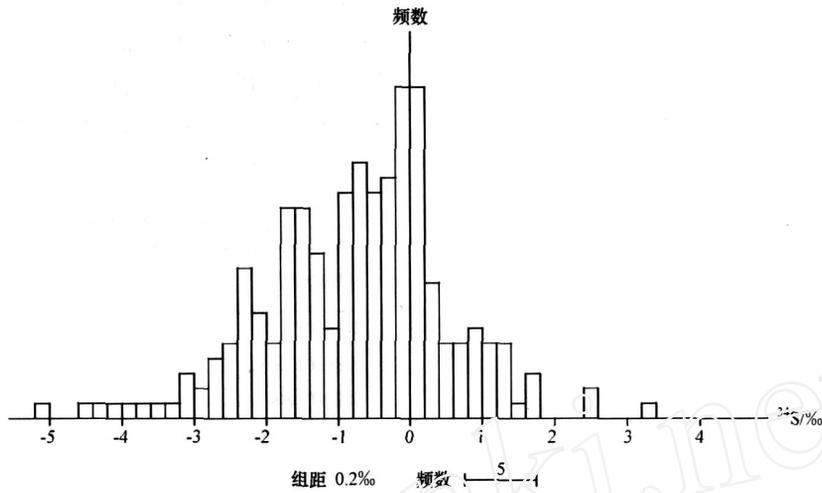


图 2 多宝山铜矿硫同位素组成直方图

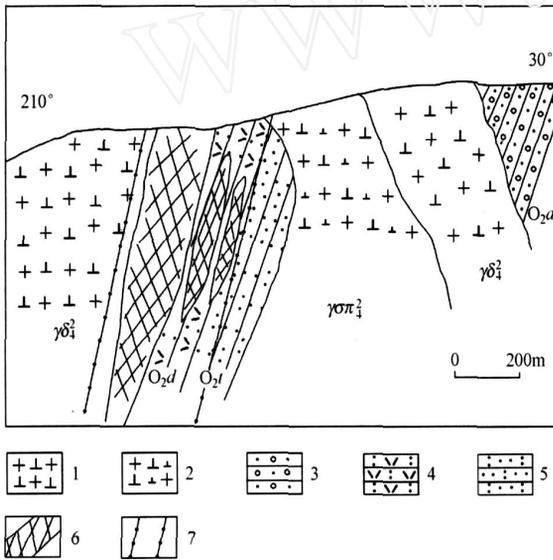


图 3 多宝山铜矿 66 勘探线剖面图

(根据多宝山铜矿勘探报告,有改动)

1—华力西中期花岗岩闪长岩;2—华力西中期花岗岩长斑岩;3—多宝山组砂砾岩;4—多宝山组凝灰岩;5—铜山组凝灰砂岩;6—矿体;7—同位素研究范围

在 350m 处,斑铜矿在 100m 处分别达到到最小值,向下又逐渐增大。虽然它们的最小值点深度不同,但都在 100~400m 范围内,这一范围正好与矿体厚大部位相吻合,向上、向下  $^{34}\text{S}$  值均增大。

### 2.3 硫同位素的横向变化特征

同样以矿体中线为标准,垂直中线分别向左右两侧以 50m 间距统计硫同位素的横向变化特征。中线向左之距离记为负(向矿体上盘方向),向右记为正(向矿体下盘方向),中线与地表交点定为零。统计结果见表 3。

表 3 硫同位素横向变化统计表

米距	黄铁矿 $^{34}\text{S}/\text{‰}$	黄铜矿 $^{34}\text{S}/\text{‰}$	斑铜矿 $^{34}\text{S}/\text{‰}$
-250	0.47 (9)		
-200	0.4 (5)	-1.23 (8)	
-150	-0.85 (2)		
-100	1.1 (1)	-1.62 (4)	-0.2 (1)
-50	-0.54 (5)	-1.2 (4)	-1.9 (2)
0	-0.1 (1)	-1.27 (2)	-0.83 (3)
50	-0.69 (1)	-1.8 (2)	-0.7 (1)
100	-1.22 (3)	-1.24 (2)	-1.3 (1)
150	-1.58 (2)	-3.08 (2)	
200	-1.32 (3)	-2.11 (1)	
250	-0.86 (3)	-1.92 (1)	
300	-0.9 (1)		
合计	-0.17	-0.60	-0.62

括号内数字为样品数。地科院矿床所,1979。

从统计结果看,斑铜矿  $^{34}\text{S}$  最小值基本在矿体中心部位,黄铁矿、黄铜矿  $^{34}\text{S}$  最小值略向矿体下盘偏移,但总体分布规律仍是在矿体中心  $^{34}\text{S}$  值小,绝大多数小于  $-1.0\text{‰}$ ,而向矿体两侧  $^{34}\text{S}$  值增大,一般都大于  $-0.5\text{‰}$ ,最高可达  $0.47\text{‰}$ 。即由矿体中心向两侧  $^{34}\text{S}$  值由低逐渐增高。

通过上述统计分析表明,多宝山铜矿的硫同位素组成虽然总体变化范围小,但空间分布仍具有一定规律,既以矿体品位最高、最厚大部位为中心( $^{34}\text{S}$  值最低),向四周  $^{34}\text{S}$  值逐渐增高。

根据硫同位素的这一变化特征,可以预测矿体富集部位。首先,在横向上  $^{34}\text{S}$  值由高降低的方向就是矿体逐渐富集的方向,  $^{34}\text{S}$  值降到最低点的位置既是矿体在横向上最富的部位,  $^{34}\text{S}$  值由最低点再次升高时,将逐渐远离富矿部位;然后,在纵向上  $^{34}\text{S}$  值由高降低的方向同样是矿体逐渐富集的方

向,  $^{34}\text{S}$  值降到最低点的位置既是矿体在纵向上最富的部位,二者交汇处就是矿体的富矿中心。利用这一规律,以及形成这一规律的原因(文章 2.4 节),并结合矿体内金属硫化物的分带性,可以进一步推断,无论在横向上还是在纵向上,斑铜矿含量由少变多的方向既是矿体逐渐富集的方向,斑铜矿含量达到最大值的部位既是矿体的富矿中心。对没有硫同位素分析结果的其它矿体,可以根据斑铜矿含量的变化预测矿体富集部位。

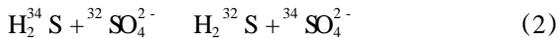
#### 2.4 解释与推断

Ohmoto 和 Rye (1979) 认为,在成矿热液中,当温度高于 400 时,主要的含硫化合物为  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{SO}_2$ ,在温度降到 350 以下时, $\text{SO}_2$  将发生水解,使下列反应:



向右边移动,这时热液中主要含硫原子团为  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ 。

在  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  同时存在的情况下,将发生下述同位素交换反应:



反应结果使  $^{34}\text{SO}_4^{2-}$  富集  $^{34}\text{S}$ , 而富  $^{32}\text{S}$  的  $\text{H}_2\text{S}$  首先形成硫化物沉淀下来,致使残余硫中富集  $^{34}\text{S}$ ,随着  $\text{H}_2\text{S}$  的凝聚,反应式 (2) 向左移动,使  $\text{SO}_4^{2-}$  中部分硫转为  $\text{H}_2\text{S}$ ,结果这时的  $\text{H}_2\text{S}$  比开始时那一部分富集  $^{34}\text{S}$ 。所以随着硫化物的沉淀,热液中残余硫将富集  $^{34}\text{S}$ ,相应形成的硫化物也越来越富集  $^{34}\text{S}$ 。

根据这一观点,结合多宝山铜矿地质特征,可以合理地解释硫同位素空间分布的原因。在成矿热液沿片理化带向上侵入的初期,由于热液温度要高一些(大于 300),这时热液中的硫离子主要是  $^{32}\text{S}$ ,这一阶段生成的以斑铜矿为主的金属硫化物因此富含  $^{32}\text{S}$  而贫  $^{34}\text{S}$ ,随着热液向两侧扩散,温度逐渐降低,成矿热液越来越富集  $^{34}\text{S}$ ,在温度降到 200 左右

时,生成了以黄铁矿为主的金属硫化物,这时的金属硫化物富  $^{34}\text{S}$  而贫  $^{32}\text{S}$ 。

即使在同一时期形成的不同金属硫化物,富集  $^{34}\text{S}$  的能力也是不同的。一般认为,金属—硫键越强的矿物越富集  $^{34}\text{S}$ 。因此,金属硫化物富集  $^{34}\text{S}$  的顺序为:黄铁矿 > 黄铜矿 > 斑铜矿<sup>[10, 11]</sup>。同时,在相同条件下,金属硫化物沉淀的先后顺序与金属活动性强弱有关,活动性弱的金属硫化物(斑铜矿)先沉淀下来,而活动性强的金属硫化物(黄铁矿)会随着成矿热液向四周的渗透和扩散迁移到远处(矿体边部)后沉淀下来,这样也会把  $^{34}\text{S}$  带向矿体边缘。笔者认为,正是上述原因(主要原因)使多宝山铜矿硫同位素形成了矿体中心  $^{34}\text{S}$  值低,向四周  $^{34}\text{S}$  值逐渐增高的分布特征。

#### [参考文献]

- [1] 赵元艺,马志红,仲崇学. 多宝山铜矿田 1.5 万水系沉积物地球化学背景研究 [J]. 黑龙江地质, 1995, 6(1): 11 - 16
- [2] 黄崇轲,等. 中国铜矿床 [M]. 北京:地质出版社, 2001.
- [3] 赵元艺,等. 多宝山铜矿稀土元素地球化学特征及多宝山铜矿成因模式 [J]. 吉林地质, 1995, 6(2) 5 - 9
- [4] 赵元艺,马志红. 多宝山斑岩铜矿床系统地球化学及找矿研究 [M]. 长春:吉林人民出版社, 1997.
- [5] 赵广江,等. 多宝山斑岩铜矿  $^{18}\text{O}$  特征及其地质意义 [J]. 黑龙江地质, 2002, 13(2): 7 - 12
- [6] 范正国,赵玉刚,卢建忠. 航空物探综合观测站测量在多宝山斑岩铜矿上的应用效果 [J]. 地质与勘探, 2004, 40(4): 60 - 63.
- [7] 杜琦,等. 多宝山斑岩铜矿床 [M]. 北京:地质出版社, 1988.
- [8] 黑龙江省地质局. 黑龙江省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1993.
- [9] 韩振新,等. 黑龙江省主要成矿带矿床成矿系列 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 1996.
- [10] 陈骏,王鹤年. 地球化学 [M]. 北京:科学出版社, 2004.
- [11] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用 [M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1985.

## DISTRIBUTION CHARACTER OF SULFUR ISOTOPE IN THE DUOBAOSHAN COPPER DEPOSIT

FENG Jian - xing

(No. 5 Institute for Geological Exploration of Heilongjiang Province, Heihe 164300)

**Abstract:** Duobaoshan Cu deposit is a big porphyry copper deposit, which is located in the bound of Daxin'anling uplift zone and Songliao subsidence zone. Outcrop strata are mainly middle Ordovician Duobaoshan formation. Intrusive rocks mainly include granodiorite porphyry and granodiorite in the late period of Variscan movement. Around granodiorite porphyry there exists wallrock alteration zonation, showing potassium alteration, sericitization and propylitization zonation from inner to outside. Ore bodies are most located in sericitization zone. It is shown that Duobaoshan Cu deposit was formed in a low temperature, in which metal sulfides have zonation as bornite, chalcopyrite and pyrite from the center to the edge. Based on sulfur isotope distribution character and homologous relationship with bonanza in Duobaoshan Cu deposit, some forming characters are analyzed.

**Key words:** Cu deposit, isotope, character, Duobaoshan