

黑龙江多宝山铜矿床地球化学找矿模型^{*}

赵元艺 马志红 冯本智

(长春地质学院地球科学系 130026)

摘要 区域铜的高背景带为矿床的区域地球化学找矿标志, 多宝山组一段为矿源层; 由矿带内→外有 Cu—Mo—Ag→Pb, Zn 的水平分带, 矿体轴向分带为: (上) Sb—As—Zn—Pb—Ag—Cu—Au—Mo—Bi—W (下), 属于正常序列; 根据该序列统计了矿体前缘、矿体头部、矿体中部及矿体尾部的单元素、元素对比值、元素累加后比值判别标志。并建立了区域、矿田及矿床的地球化学找矿层次模型 (M)。

关键词 铜矿床; 地球化学; 找矿标志; 找矿模型; 黑龙江; 多宝山

分类号 P618.41; P632.3; P632.1

1 矿床地质概况

多宝山铜矿床位于蒙古—鄂霍茨克古生代地槽系东部的大兴安岭隆起带与松辽沉降带的衔接部位, 窝里河大型背斜轴通过矿区, 嫩江大断裂从西侧通过。中奥陶统多宝山组 (O_2d) 为矿区主要赋矿地层, 其为一套由中酸性火山岩 (以安山岩为主) 所组成的火山—沉积建造, 平均含铜为 130×10^{-6} , 是矿田铜的矿源层。与多宝山矿床成矿关系密切的为华力西中期花岗闪长岩和花岗闪长斑岩组成的复式岩体, 出露面积 8 km^2 。成矿后有更长花岗岩侵入 (图1)。环绕花岗闪长斑岩形成了大致对称的环带状蚀变, 由内而外为: ①石英核, ②钾硅酸盐蚀变带, ③绢英岩化带, ④青盘岩化带^[1]。铜矿体主要赋存于绢英岩化带中。成矿之后有碳酸盐化蚀变呈带状沿北东向分布。矿体多呈透镜状, 呈雁行状排列, 分为4个矿带, 其中以③号矿带规模最大 (图1)。

2 矿床地球化学

2.1 1:20万区域水系沉积物和土壤铜的地球化学特征

在多宝山—罕达气一带的1:20万水系沉积物地球化学图上, 该矿床及其东南延长部分奥陶系分布区为铜的高背景场, 铜在 41×10^{-6} 以上的高含量范围是多宝山—铜山铜矿床。在1:20万土壤铜的地球化学图上, 多宝山矿床及其东南延长部分奥陶系也位于高背景场中。

2.2 1:5万矿田水系沉积物地球化学异常

矿田1:5万水系沉积物地球化学研究表明, 亲铜元素 Cu, Au, Ag, Sb, Zn 等的

1995年10月7日收稿, 1996年1月29日改回。

第一作者简介: 赵元艺, 男, 1966年生, 博士后, 矿床地球化学专业。

①国家计委科技找矿项目, 黑龙江多宝山铜矿田靶区优选 (85—地矿—04) 的部分研究成果。
?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.

高背景场总体上具有沿北西向弧形构造带展布的特征^①。多宝山移动标准化综合异常面积为 12km^2 , 形态为不规则状, 长轴走向 NE, 元素组合^②: $\text{Ag}^{29.5} - \text{Cu}^{24.0} - \text{Mo}^{22.5} - \text{Sb}^{15.5} - \text{Zn}^{14.0} - \text{Au}^{13.5} - \text{Mn}^{7.0} - \text{Hg}^{5.0} - \text{Ni}^{4.5} - \text{Pb}^{3.0} - \text{W}^{2.0} - \text{As}^{1.5}$, 可见该异常的 Ag, Cu, Mo, Au 含量均很高, 从其形态及结构简化图 (图 2) 可知, 该异常受北西、北东组构造控制。

2.3 矿床地表岩石地球化学异常特征

从图 3 可见, 铜异常形态明显受北西向构造带控制, 铜元素围绕着几个矿带形成比较宽阔的外带异常。铜中带异常分别由①号矿带和②、③、④号矿带引起。因此, 中带异常范围基本上是矿带的赋存部位和较强的矿化地段。从异常与蚀变的关系看, 铜中带异常主要分布在绢云母化带和钾化带内。铜异常内带基本上为矿体的赋存部位。

钼异常受构造控制比较明显, 与铜异常相似, 也是沿北西向构造带分布。钼外带异常基本上与绢云母化带范围相当, 中带异常范围基本上分布于矿体或矿带内。银异常呈椭圆形沿北西向构造带展布, 与铜、钼异常位置基本一致, 但异常值较低, 外带异常分布在绢英岩化带内。铅和锌异常在平面位置上基本一致, 主要分布于③号矿带两侧。

2.4 铅孔剖面地球化学异常

经对矿床地表及钻孔剖面地球化学的综合研究, 得出矿床原生晕的指示元素为 Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, As, Sb, Bi, W, K_2O , Na_2O , 并确定了各元素的背景上限及浓度分带^③。在此基础上研究 58 线 (图 1) 钻孔剖面地球化学异常 (图 4)。

2.4.1 指示元素地球化学异常 铜的外带范围较小, 主要分布于矿带上盘; 中带很不发育。内带范围较大, 与矿体基本一致。钼、金的外、中带范围都不大, 但内带异常与矿体一致。银的外带范围较大。钼、金、银 3 个元素的外、中带呈皮壳状紧紧包围着矿体, 它们和铜异常一起向深部有变大的趋势。

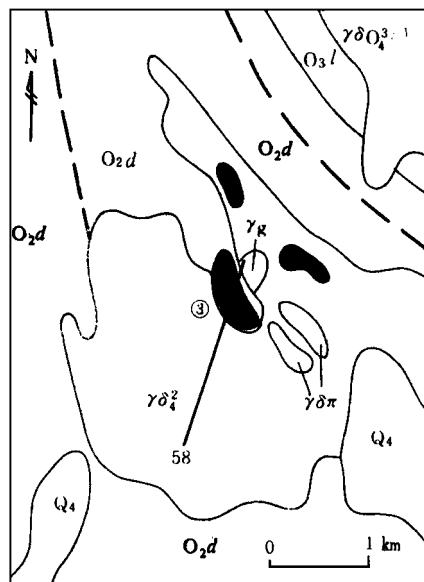


图 1 多宝山矿床地质简图
Fig. 1 Schematic geological map of the Duobaoshan copper deposit
Q4—第四系; O3l—裸河组; O2d—多宝山组; $\gamma\delta_4^2$ —花岗闪长岩; $\gamma\delta^2$ —花岗闪长斑岩; γO_4^{3-1} —斜长花岗岩; γg —更长花岗岩; ③—矿带编号; 58—剖面线位置及编号

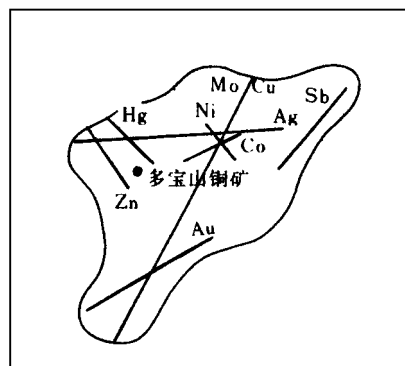


图 2 多宝山移动标准化综合异常及结构简化图^②

Fig. 2 Composite anomaly and its structure sketch

① 付丽. 黑龙江多宝山铜矿田 1: 5 万水系沉积物地球化学背景研究: [学位论文]. 长春地质学院, 1993

② 元素右上角数字为标准化面金属量^②.

③ 马志红, 赵元芝, 仲崇学. 黑龙江多宝山铜矿田靶区优选. 长春地质学院科研报告 (化探部分), 1995

铅和锌的外带异常范围比较大，中、内带异常范围较小，它们主要分布于矿体前缘。锑和砷的外带异常范围最大，其总体分布于矿体前缘，且与富矿体的距离比铅、锌异常大。

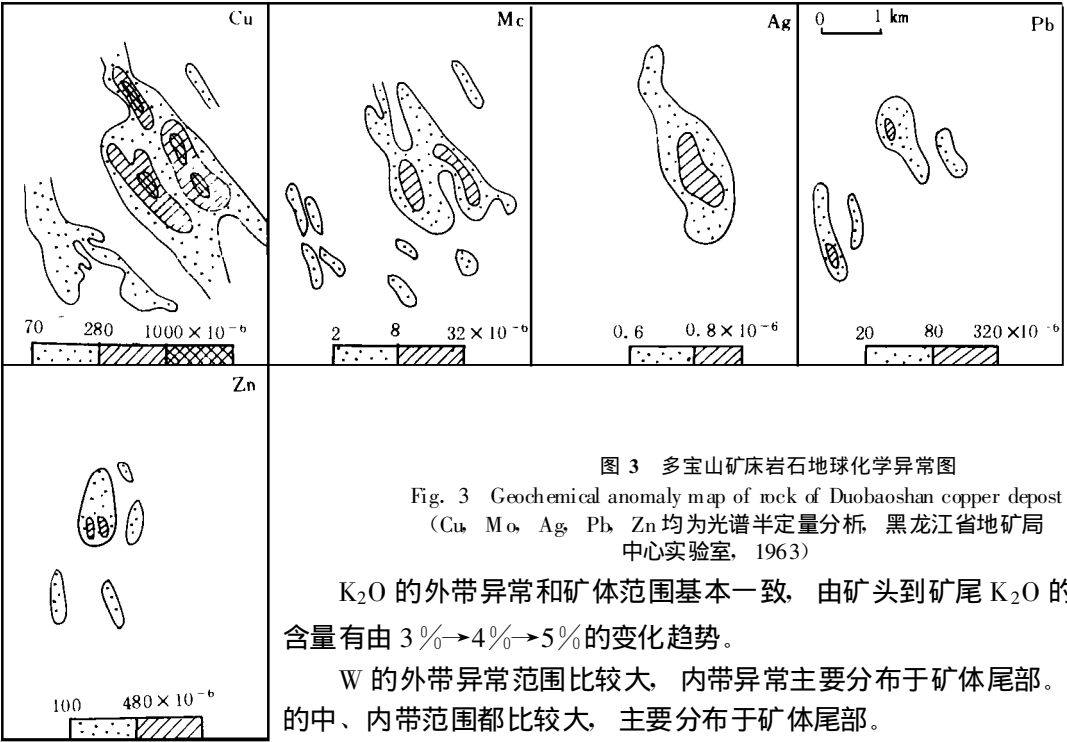


图 3 多宝山矿床岩石地球化学异常图
Fig. 3 Geochemical anomaly map of rock of Duobaoshan copper deposit
(Cu, Mo, Ag, Pb, Zn 均为光谱半定量分析, 黑龙江省地矿局
中心实验室, 1963)

K₂O 的外带异常和矿体范围基本一致，由矿头到矿尾 K₂O 的含量有由 3%→4%→5% 的变化趋势。

W 的外带异常范围比较大，内带异常主要分布于矿体尾部。Bi 的中、内带范围都比较大，主要分布于矿体尾部。

2.4.2 原生晕的轴向分带 用格氏法，对 58 线铅孔剖面计算出原生晕的轴向分带序列（由上→下）：Sb—As—Zn—Pb—Ag—Cu—Au—Mo—Bi—W，与典型热液矿床的轴向分带序列^[3]基本一致。因而可确定出 Sb, As 为远程指示元素，Pb, Zn 为近矿指示元素，Ag, Cu, Au, Mo 为矿体指示元素，Bi, W 为矿体尾部指示元素。

2.4.3 矿床剥蚀深度判别研究 （1）元素对比值：矿体不同部位元素对比值统计结果（表 1），Sb/Bi 在矿体前缘分别是矿体头部、中部和尾部的 28 238 和 1 429 倍。As/W 比值在矿体前缘为 49.88，在矿头、矿中和矿尾为 1.62~2.71 之间。Sb×10⁴/Cu 和 Pb×10³/Cu 在矿体前缘分别为 341 和 78，而矿体其它部位均小于 10.0。Zn/Mo, Pb/Mo。在矿体前缘最高，矿体中部最低。K₂O/Na₂O 在矿体前缘最小为 0.21，但在矿体其它部位都大于 1。Cu/W 比值在矿体中部最高，是其它部位的 17 倍以上。W/Au、W/Ag 比值以矿体尾部最大。由上可见，元素对比值 Sb/Bi, As/W, Sb×10⁴/Cu, Pb×10³/Cu, Zn/Mo, Pb/Mo, Cu/W, W/Au, W/Ag 及 K₂O/Na₂O 可作为判别矿体不同剥蚀深度的标志。矿体前缘：Sb/Bi, As/W, Sb×10⁴/Cu, Pb×10³/Cu, Zn/Mo, Pb/Mo；矿体中部：K₂O/Na₂O, Cu/W；矿体尾部：W/Au, W/Ag。

（2）元素累加后比值：由表 2 可见，(As+Sb)×10³/Cu 和 (Pb+Zn+Mn)/(Au+Ag) 在矿体前缘分别为 298.2 和 19.27，而在其它部位均小于 10。(W+Bi)×10²/(As+Sb) 在矿体尾部为 1010.8，而其它部位均小于 200.0；(W+Mo)/(Au+Ag) 在矿体尾部为 9.10，其它部位大致相等（2 左右）。

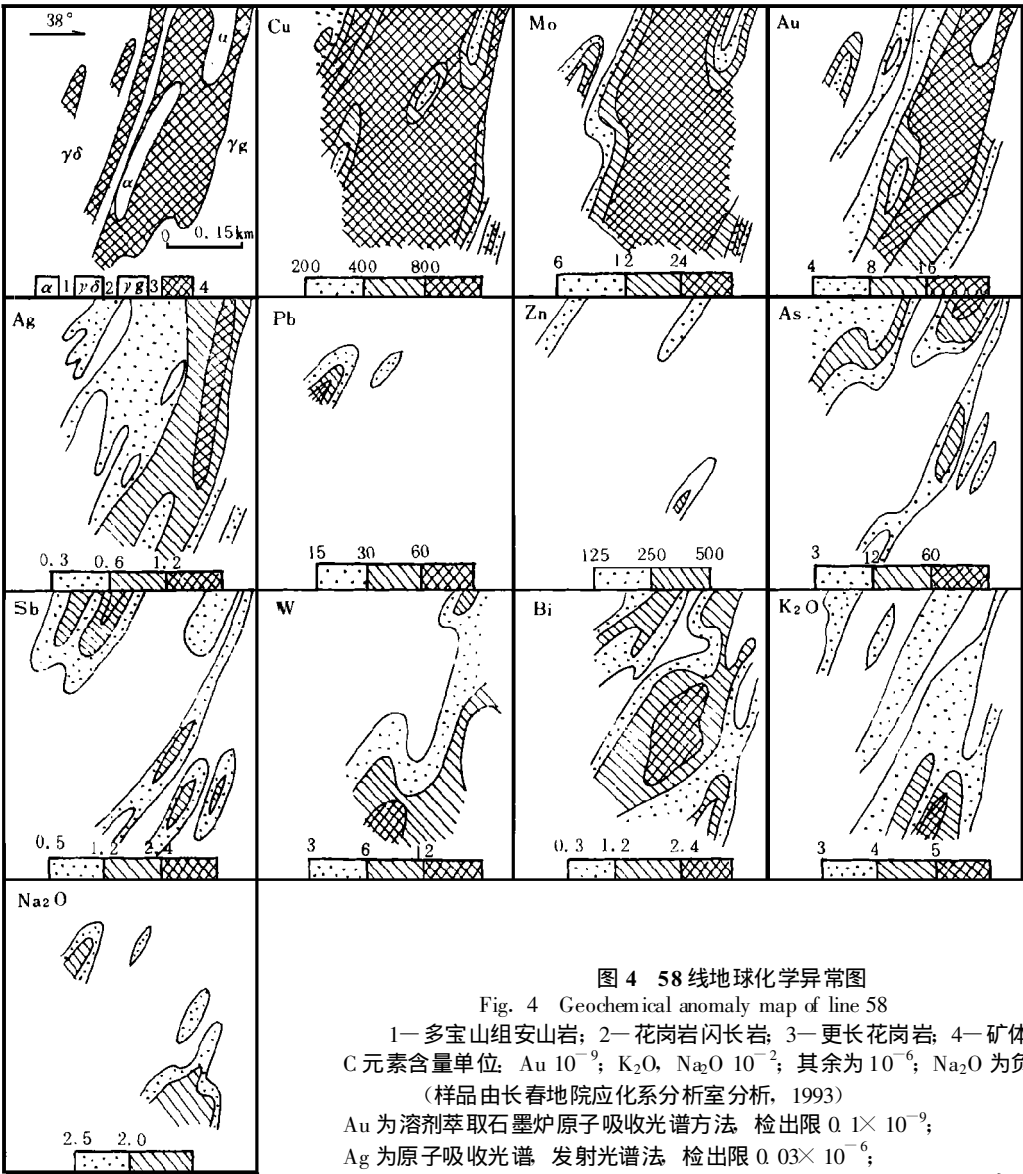


图 4 58 线地球化学异常图

Fig. 4 Geochemical anomaly map of line 58

1—多宝山组安山岩；2—花岗岩闪长岩；3—更长花岗岩；4—矿体
C 元素含量单位：Au 10^{-9} ；K₂O，Na₂O 10^{-2} ；其余为 10^{-6} ；Na₂O 为负异常。

（样品由长春地院应化系分析室分析，1993）

Au 为溶剂萃取石墨炉原子吸收光谱方法，检出限 0.1×10^{-9} ；

Ag 为原子吸收光谱，发射光谱法，检出限 0.03×10^{-6} ；

Cu，Pb，Zn 用原子吸收光谱法，检出限 $(0.3, 1.0, 0.3) \times 10^{-6}$ ；

As，Sb，Bi 为原子荧光光谱法，检出限 $(0.01, 0.02, 0.03) \times 10^{-6}$ ；

Mo，W 为极谱法，检出限 $(0.01, 0.02, 0.03) \times 10^{-6}$

因此，可以利用 $(As+Sb) \times 10^3 / Cu$ 和 $(Pb+Zn+Mn) / (Au+Ag)$ 确定矿体前缘，
利用 $(W+Bi) \times 10^2 / (As+Sb)$ 和 $(W+Mo) / (Au+Ag)$ 确定矿体尾部。

2.5 成矿地球化学模式

由矿床 58 线 1040 钻孔 39 个样品（包括地层、岩浆岩及其蚀变和矿体样品）31 个
氧化物和元素的 R 型因子分析结果（表 3）可知，当选择 6 个因子时，方差贡献累积百分比
已达 72.91%，因而这 6 个因子基本上能反映多宝山矿床所发生的主要地质事件。

表 1 元素对比值统计
Table 1 Ratios of two elements

矿体	Sb/ Bi	As/ W	Sb× 10 ⁴ / Cu	Pb× 10 ³ / Cu	Zn/ Mo	Pb/ Mo	K ₂ O/ Na ₂ O	Cu/ W	W/ Au	W/ Ag
前缘	14. 29	49. 88	341	78. 01	39	5. 9	0. 21	35. 2	1. 5	24
矿头	0. 54	1. 62	3. 71	7. 81	3. 4	1. 5	1. 80	34. 8	1. 1	19
矿中	0. 07	2. 71	2. 42	2. 66	1. 5	0. 2	3. 67	601	1. 2	17
矿尾	0. 01	2. 61	1. 66	4. 61	1. 8	0. 3	2. 72	30	3. 5	98

注: 元素含量单位同图 4、表 2 同。

表 2 元素累加比值
Table 1 Ratios of elements after plusing

矿体	$(As+Sb) \times 10^3 / Cu$	$(Pb+Zn+Mn) / (Au+Ag)(W+Bi) \times 10^2$	$(As+Sb) (W+Mo) / (Ag+Au)$	
前缘	298. 2	19. 27	3. 40	2. 10
矿头	5. 6	3. 40	56. 70	1. 67
矿中	1. 8	3. 56	159. 40	2. 21
矿尾	2. 5	4. 13	1010. 8	9. 80

F_1 因子代表多宝山矿床的主要成矿阶段, 其因子得分正值最大值都落在铜矿体上。 F_1 因子的主成分 Cu, Ag, Mo 是矿石的特征成分; K_2O 的存在表明钾化是促进铜成矿的主要因素之一; K_2O 和 Na_2O 呈负相关, 表明成矿过程中伴随着 K_2O 的带入和 Na_2O 的迁出。

表 3 R 型旋转因子分析结果
Table 3 The result of rotated factor analysis of R—model

因子	因子主要成分	方差贡献	方差贡献百分比	累计百分比
F_1	Cu—F—Ag—Mo— K_2O — Na ₂ O	6. 887	22. 22	22. 22
F_2	Co—FeO—V—MgO—MnO—Fe ₂ O ₃ —TiO ₃ —Al ₂ O ₃	6. 297	20. 22	42. 44
F_3	CaO —Ta—Al ₂ O ₃ —SiO ₂	3. 207	10. 35	52. 79
F_4	Bi — Sr — Ni — W —TiO ₂ —P ₂ O ₅	2. 600	8. 39	61. 17
F_5	Pb— Nb —Ba—Bi—Zn	2. 045	6. 59	67. 77
F_6	As—Mo—SiO ₂	1. 592	5. 14	72. 91

F_2 因子代表围岩的成岩作用, 其因子得分正值最大值基本上落在多宝山组 (O_2d) 样品上。

F_3 因子代表碳酸盐化作用, 其因子得分最小值既有落在矿石样品也有落在围岩样品上, 凡落在矿石样品上的铜含量都将明显增高, 落在围岩样品上铜含量无明显变化。表明碳酸盐化作用使铜更加富集。因子主成分表明, 碳酸盐化作用使 CaO 增高, Al_2O_3 , SiO_2 减少。

F_4 因子代表一期高温蚀变作用, 其因子得分负值最小值集中于 1040 钻孔的深部, 表明该期蚀变热液来自深部, 是由深→浅位移的。蚀变过程中伴随有 Bi, Sr, Ni, W 的带入和 TiO_2 , P_2O_5 的迁出。 F_5 因子代表一期铅锌矿化, 因子得分正值最大值集中于钻孔的深部和浅部, 表明该期铅、锌矿化发生于矿体边部。这和原生晕轴向分带序列中 Pb, Zn 为近矿指示元素是一致的。

F_6 因子代表一期钼的矿化作用, 其因子得分正值最大值落在矿体和围岩的接触带上, 该期钼矿化伴随着 SiO_2 的带入; F_1 因子(表 3)表示的钼矿化在矿体位置上, 伴随着 K_2O

的带入。可见钼矿化有 2 期 (F_1 、 F_6), 并且 2 期矿化的位置及伴生组分有差别。地质研究表明, F_6 因子钼矿化穿插黄铜矿, 是主矿化之后所形成。

④对 1040 钻孔上述样品和元素进行的点群分析与因子分析结果基本一致。多宝山矿床是在多宝山组 ($O_2 d$) 和花岗闪长岩形成的基础上进行的: (1) 铜的主成矿期伴随有 Mo, F, Ag, K_2O 的带入和 Na_2O 的迁出; (2) 一期铅锌矿化伴随着 Ba, Bi 的带入和 Nb 的迁出; (3) 高温热活动伴随有 Bi, Sr, Ni, W 的带入和 TiO_2 , P_2O_5 的迁出; (4) 一期小规模钼矿化作用伴随有 SiO_2 和 As 的带入; (5) 碳酸盐化作用伴随有 Ta, Al_2O_3 , SiO_2 的带出。

3 矿床地球化学找矿模型

3.1 区域地球化学及异常标志

3.1.1 区域地层地球化学标志 (x_1)^④ 多宝山矿床赋矿地层为多宝山组 ($O_2 d$), 其铜含量为 130×10^6 , 是地壳丰度 ($Cu = 56 \times 10^6$, 据黎彤, 1992) 的 2.32 倍。因而被看作是矿床成矿的矿源层。

3.1.2 1:20 万水系沉积物和土壤铜的地球化学标志 (x_2) 矿床在 1:20 万水系沉积物和土壤铜的地球化学图上均位于高背景场。

3.1.3 1:5 万水系沉积物地球化学及异常标志 (x_3) 在 1:5 万水系沉积物地球化学图上, 多宝山矿床位于 Cu, Au, Ag, Sb, Zn 等元素的北西向高背景场中。综合异常中 Ag, Cu, Mo, Au 均有较高的含量, 该异常受 NW 和 NE 组构造控制。

3.2 矿床地球化学异常标志

3.2.1 矿床地表地球化学异常标志 (x_4) Ag, Cu, Mo 的外带组合异常是蚀变带与矿化带的标志, 铜中带和钼中、外带异常为矿体赋存部位的标志。

3.2.2 矿床原生异常水平分带标志 (x_5) 在平面上由矿带向外出现 Ag, Cu, Mo \rightarrow Pb, Zn 的水平分带。据此可评价异常性质及确定矿体可能的赋存部位。

3.2.3 钻孔剖面地球化学异常标志 (x_6) 砷、锑离矿体最远为远程指示元素, 铅、锌为近矿指示元素, 钼、金、银的外、中带异常与铜的内带异常范围基本一致。可作为矿体赋存部位的标志。

3.2.4 原生晕轴向分带标志 (x_7) 分带序列 (由上 \rightarrow 下): Sb—As—Zn—Pb—Ag—Cu—Au—Mo—Bi—W, 因此 Sb, As, Pb, Zn 为矿上指示元素, Cu, Mo, Au, Ag 为矿体元素, Bi, W 为矿下元素。

3.2.5 矿床剥蚀深度判别标志 (x_8) $Sb/Bi > 1.2$, $As/W > 6.0$, $Sb \times 10^4/Cu > 7.0$, $Pb \times 10^3/Cu > 16.0$, $Zn/Mo > 7.0$, $Pb/Mo > 3.0$, $(As+Sb) \times 10^3/Cu > 11.0$, $(Pb+Zn+Mn)/(Au+Ag) > 8.0$ 为矿体前缘标志, $K_2O/Na_2O > 3.0$, $Cu/W > 70.0$ 为矿体中部标志, $W/Au > 3.0$, $W/Ag > 30.0$, $(W+Bi) \times 10^2/(As+Sb) > 300.0$, $(W+Mo) \times 10^2/(Au+Ag) > 4.0$ 为矿体尾部标志。

3.3 矿床地球化学找矿模型

地球化学找矿工作由不同阶段和层次构成, 各阶段各层次地球化学找矿中的评价也有

④找矿标志编号, 下同。

不同的信息标志。利用马斯洛的层次理论, 参考其表征方法, 提出多宝山铜矿床的地球化学找矿模型(M)如表 4 所示。

表 4 多宝山铜矿床地球化学找矿模型	
Table 4 Model of geochemical prospecting of Duobaoshan copper deposit	
矿床深部找矿信息需要 III	III(x_6, x_7, x_8)
矿床地表找矿信息需要 II	II (x_4, x_5)
区域找矿信息需要 I	I x_1, x_2, x_3
地球化学找矿层次模型 M	$M = F (I , II, III)$

参 考 文 献

1 杜 琦. 多宝山斑岩铜矿床. 北京: 地质出版社, 1988: 322~355

2 赵元艺 马志红, 仲崇学. 黑龙江多宝山铜矿田 1: 5 万水系沉积物地球化学异常特征研究. 地质找矿论丛 1994 (2): 75~83

3 Beus A A Grigorian S V Geochemical Exploration Methods For Mineral Deposits. Applies publishing LTD, Wilmette Illinois U. S. A. 1977. 50~80

GEOCHEMICAL EXPLORATION MODEL OF DUOBAOSHAN
COPPER DEPOSIT, HEILONGJIANG

Zhao Yuanyi Ma Zhihong Feng Bengzhi
(Changchun University of Earth Sciences)

Abstract The copper higher background zone and lower background zone are signs of regional geochemical exploration. Duobaoshan Group($O_2 d_1$) is the ore source bed. The horizontal zoning is, from its inner to outside, $Cu-Mo-Ag \rightarrow Pb-Zn$. And the axial zoning is, from the top to the bottom of ore body, $Sb \rightarrow As \rightarrow Zn \rightarrow Pb \rightarrow Ag \rightarrow Cu \rightarrow Mo \rightarrow Bi \rightarrow W$. It belongs to the ordinary succession. According to this succession, signs of different parts of ore bodies about single element, ratio of two elements ratio of elements after being plusing are given. The regional geochemical exploration level model of the ore field and the ore deposit has been set up.

Key words copper deposit; geochemistry; exploration signs; exploration model; Heilongjiang; Duobaoshan