

# 广东大宝山多金属矿的成矿模式

戴塔根<sup>1,2</sup>, 尹学朗<sup>1,2</sup>, 张德贤<sup>1,2</sup>

- (1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 湖南 长沙, 410083;
2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙, 410083)

**摘要:** 大宝山多金属矿床是南岭中段粤北中部多金属成矿区带上的重要矿床, 对其次英安斑岩体和花岗闪长斑岩体及地层围岩中矿化元素进行研究, 并研究其微量和稀土元素、硫同位素、铅同位素、O 和 H 和同位素、大宝山多金属矿床可能的形成过程, 建立该矿床的成矿模式。研究表明: 次英安斑岩体和花岗闪长斑岩体及地层围岩中矿化元素均为矿化元素的来源; 矽卡岩矿体的形成受花岗闪长斑岩体岩浆作用的影响较大, 似层状铜铅锌矿体主要源于当时的海底喷流热液, 薄层状菱铁矿体与东岗岭组地层有成因上的联系, 亦受斑岩体岩浆活动改造的影响; 似层状铜铅锌矿体的形成与海底火山-热液活动有关; 斑岩型和矽卡岩型矿体的硫主要来自与斑岩体相关的深部岩浆; 铅的来源较复杂, 但主要源于上地壳, 少量铅具深源特性; 斑岩型钨钼矿体和矽卡岩型钨钼矿体的成矿流体来自岩浆水与少量大气降水混合源; 似层状铜矿体与铅锌矿体的成矿流体来源不同, 薄层状菱铁矿体的成矿流体以海底喷气作用形成的热卤水为主。

**关键词:** 大宝山多金属矿床; 成矿物质; 稀土元素; 微量元素; 矿化元素; 流体; 成矿模式

中图分类号: P61

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2015)07-2693-08

## Ore-forming model of Dabaoshan poly-metal deposit in Guangdong Province

DAI Tagen<sup>1,2</sup>, YIN Xuelang<sup>1,2</sup>, ZHANG Dexian<sup>1,2</sup>

- (1. Key Laboratory of Nonferrous Metal Metallogenic Prediction of Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;
2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Dabaoshan Pb-Zn deposit, one of the important poly-metal deposits in North Guangdong Province, is situated in the central part of Nanling orogenic belt. The ore-forming model of Dabaoshan deposit was built based on the study of the formation process. The mineralization elements are intimately associated with secondary dacite-porphyry and granite-diorite-porphyry bodies. Characteristics of trace elements and REE show that skarn type orebody is closely related to granite-diorite-porphyry, but stratoid Cu-Pb-Zn is principally derived from sea floor fluid, and the layer siderite has close genetic relation to Dongganling formation and is overprinted by granite porphyry. Sulfur isotope's study shows that the sulfur of stratoid Cu-Cu-Zn comes from the sea floor hydrothermal system, and sulfur of porphyry and skarn type ore are chiefly originated from deep-seated magma sources, which is generated from porphyry. Lead isotope's study implies that lead is predominantly from upper crust but mixes with deep sources lead. The fluid of porphyry and skarn type orebody characterized by magmatic and minor meteoric waters is evidenced by hydrogen and oxygen isotopes.

收稿日期: 2014-07-12; 修回日期: 2014-09-22

基金项目(Foundation item): 大陆构造与动力学国家重点实验室开放基金资助项目(K201405) (Project(K201405) supported by the Open Foundation of State Key Laboratory of Continental Tectonics and Dynamics)

通信作者: 戴塔根, 博士, 教授, 从事找矿预测研究; E-mail: dtg@csu.edu.cn

The fluids of stratoid Cu orebody and lead-zinc orebody are derived from various sources, and the fluids of layer siderite orebody are predominated by hot brine formed by submarine exhalation.

**Key words:** Dabaoshan poly-metal deposit; ore-forming matters; rare earth element (REE); trace element; mineralization element; fluids; ore-forming model

大宝山多金属矿是南岭成矿带重要的多金属矿产基地,产于粤北裂陷盆地中泥盆统地层中。大宝山多金属矿区及其外围地质条件复杂,断裂构造发育,岩浆活动频繁,对成矿极有利。自 20 世纪 50 年代末始,多家地勘单位先后对矿区进行了勘查和研究,基本上查明了区内各类地质体的组成、构造及时空关系,对区内控矿地质构造、成矿物质与流体来源、矿床形成作用、成矿控矿规律等基础性问题有了一定了解和认识<sup>[1-9]</sup>,建立了成矿及找矿模式,但对该矿床成因及成矿规律等方面的认识仍存在多种观点,如有的认为该矿床是层控矿床<sup>[10-11]</sup>,有的认为与次火山岩-火山岩活动有关<sup>[12]</sup>,有的认为是火山块状硫化物矿床<sup>[13-15]</sup>、斑岩型矿床<sup>[7]</sup>、岩浆期后热液矿床<sup>[5]</sup>。本文作者认为大宝山不同矿种的成因不同,大宝山多金属矿床为不同成因类型矿体综合作用而形成的地质体,为此,通过研究大宝山多金属矿床成矿物质及成矿热液来源以及矿床形成过程探讨大宝山多金属矿床的形成过程和成矿模式。

## 1 地质背景

大宝山地区地处南岭纬向构造成矿带南部之粤北矿集区中心部位,曲仁构造盆地东南缘,北东向吴川—四会深大断裂带内的北江断裂与近东西向大东山—贵东构造岩浆岩带的交汇处。矿区出露的地层自下而上主要为寒武系八村群高滩组、中下泥盆统桂头群、中泥盆统东岗岭组、上泥盆统天字岭组、上泥盆统帽子峰组、下侏罗统金鸡组以及第四系。区内构造以断裂为主,褶皱不甚发育。从构造形迹的展布规律来看,以 NNW 和 NEE 向构造组最发育, NNE, NE 及 EW 向构造次之;而在形成时间上,以 EW 向构造组形成最早, NNE 向次之,两者均为成矿前构造, NNW 和 NEE 向构造组形成较晚,构造主要完成于燕山期。

大宝山多金属矿床是多期次多阶段多成矿作用共同作用的结果,矿床矿种多,矿体大,形态与成分复杂,主要包括斑岩型钨钼矿体、似层状铜铅锌矿体、薄层状菱铁矿体、风化淋滤型铁矿体及矽卡岩型钨钼

矿体等。其中斑岩型钨钼矿体主要产于大宝山及船肚花岗闪长斑岩体接触带附近,矿化与斑岩体外接触带的石英绢云母化密切相关,矿体分布受花岗闪长斑岩体控制,主要赋存于石英绢云母化带中,以花岗闪长斑岩体为中心呈同心环状分布。似层状铜铅锌矿体赋存在九曲岭—大宝山次英安斑岩体两侧东岗岭下亚组地层中,矿体多呈层状、似层状、透镜状,沿走向和倾向均可见明显的分枝复合特征。菱铁矿体规模较小且形态单一,空间上主要赋存于风化淋滤型褐铁矿体与似层状铜铅锌硫矿体间的东岗岭组上亚组火山碎屑岩、泥质粉砂岩、粉砂质页岩岩系组合中。矿体多为层状,似层状及透镜状,受层位控制明显,与顶底板围岩呈渐变过渡的整合接触关系。风化淋滤型铁矿体直接暴露于地表,由薄层状菱铁矿体及层状铜铅锌硫矿体经淋滤、胶体沉淀和表生交代等作用而形成。矿体多呈似层状、层状产出,产状与地层的一致。矽卡岩型钨钼矿体主要产于船肚花岗闪长斑岩体南缘与天子岭组灰岩接触交代形成的石榴石矽卡岩带中,矿体多呈透镜体、囊状和不规则状。

## 2 取样及测试

### 2.1 样品采集

前人对大宝山多金属矿区部分岩(矿)体进行了一些针对性的地球化学研究,但缺乏系统认识。在本次研究中,对大宝山多金属矿区及外围与成矿可能相关的地层、岩体及矿体进行了系统样品采集,选取未蚀变或极弱蚀变的代表性样品对其主量元素、微量元素、稀土元素及稳定 S 和 Pb 同位素进行补充性测试,并与前人工作进行对比,以期通过系统的地球化学研究分析,提高对矿区成矿物质与流体来源、控矿因素、矿床成因等的认识。

### 2.2 样品测试

采用 ME-XRF12s 荧光光谱仪,委托澳实分析检测(广州)有限公司对矿区 14 件样品(次英安斑岩 6 件、大宝山花岗闪长斑岩 6 件、船肚花岗闪长斑岩 2 件)的硅酸盐进行全分析;采用 ME-MS81 等离子质谱法,对采自矿区及外围的 21 件典型岩(矿)体样品微量元素

和稀土元素进行分析。

### 3 结果及分析

#### 3.1 成矿物质来源

##### 3.1.1 矿化元素特征对成矿物源的指示

前人<sup>[11, 16-19]</sup>针对矿区及其外围岩体、地层的含矿性进行了大量研究工作, 获得了很多分析结果, 故本研究中对矿区及其外围地体未进行矿化元素取样分析, 仅在对前人工作成果收集整理的基础上进行分析。

次英安斑岩体和花岗闪长斑岩体均具有较高的Cu, Mo, W, Sn和Bi等元素背景值, 如图1所示。从图1可见: 2类斑岩体的岩浆活动可为区内Cu, Mo, W, Sn和Bi等多金属矿化提供便利; W, Mo, Bi, Pb和Zn等元素在地层尤其是东岗岭组中明显富集, 高出克拉克值数10倍甚至近100倍, 表明地层围岩(尤其是泥盆系)可作为W, Mo, Bi, Pb和Zn等矿化元素尤其是Pb和Zn元素的重要来源之一。结合区域成矿地质条件, 大宝山多金属矿床中W和Mo矿体部分中W, Mo和Bi主要来自于次英安斑岩体和花岗

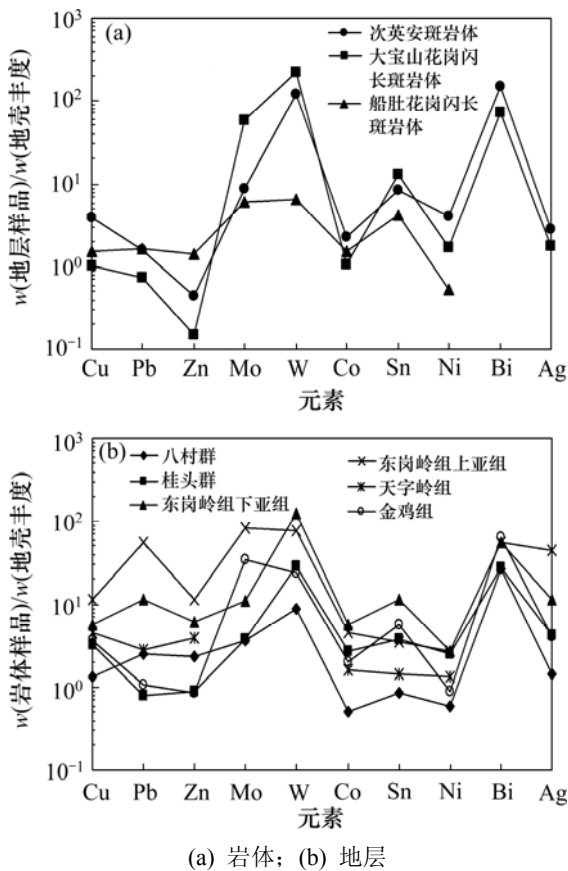


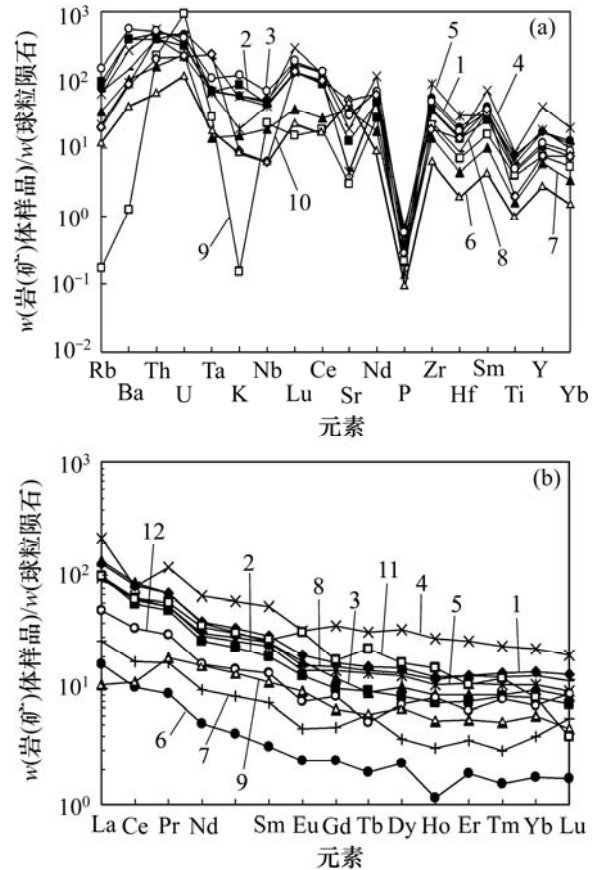
图1 岩体和地层中成矿元素富集程度

Fig. 1 Enrichment degree of ore-forming elements in intrusions and stratum

闪长斑岩体; 而东部及深部层状和块状硫化物矿体中的Cu, Pb和Zn等元素主要来源于东岗岭组地层, 且受后期燕山期2期岩浆活动的影响而局部富集了W, Sn, Mo和Bi等元素。

##### 3.1.2 微量元素和稀土元素特征对物源的指示

典型岩矿石的微量和稀土元素特征如图2所示。从图2可见: 矽卡岩钨钼矿体的微量元素与稀土元素标准化分布曲线形态均与斑岩体尤其是花岗闪长斑岩体的微量元素及稀土元素标准化分布曲线形态较相似, 都呈现强烈亏损大离子亲石元素Rb, K, Sr和高场强元素P, 弱亏损元素Ba, La, Hf和Ti, 富集元素Th, Nb, Ce, Nd, Zr, Sm和Y的特征和轻稀土富集, 轻、重稀土间具弱分馏特征, 说明矽卡岩钨钼矿体的形成受花岗闪长斑岩体岩浆作用的影响较大。似层状铜铅锌矿体的微量元素与东岗岭组灰岩的微量



(a) 微量元素蛛网图; (b) 稀土元素配分模式

1—次英安斑岩体; 2—大宝山花岗闪长斑岩体; 3—船肚花岗闪长斑岩体; 4—八村群; 5—桂头群; 6—东岗岭组; 7—天字岭组; 8—金鸡组; 9—夕卡岩钨钼矿体; 10—似层状铜铅锌矿体; 11—铅铅锌矿体; 12—薄层状菱铁矿体

图2 大宝山多金属矿岩体、地层及矿体微量元素蛛网图和稀土元素配分模式图

Fig. 2 Spider diagrams and REE patterns of intrusions, stratum and ores

元素相似,均以 Ta, La, Nd, Zr, Sm 和 Y 等元素富集, Rb, Nb, Sr, Hf 和 Ti 等元素亏损, P 元素强烈亏损和轻稀土富集,轻、重稀土间分馏明显,说明似层状铜铅锌矿体与东岗岭组灰岩具有成因上的联系,强烈亏损 P, Rb 和 Sr, 亏损 Hf 和 Ti 以及 Nd, Zr, Sm 和 Y 等富集说明东岗岭组地层中赋存的层状铜铅锌矿体受后期斑岩体岩浆活动的叠加改造影响;似层状铜铅锌矿体的稀土元素分布特征反映出该类矿体具有一定的海底火山喷流沉积特性,矿质、流体可能主要源于当时的海底喷流热液。

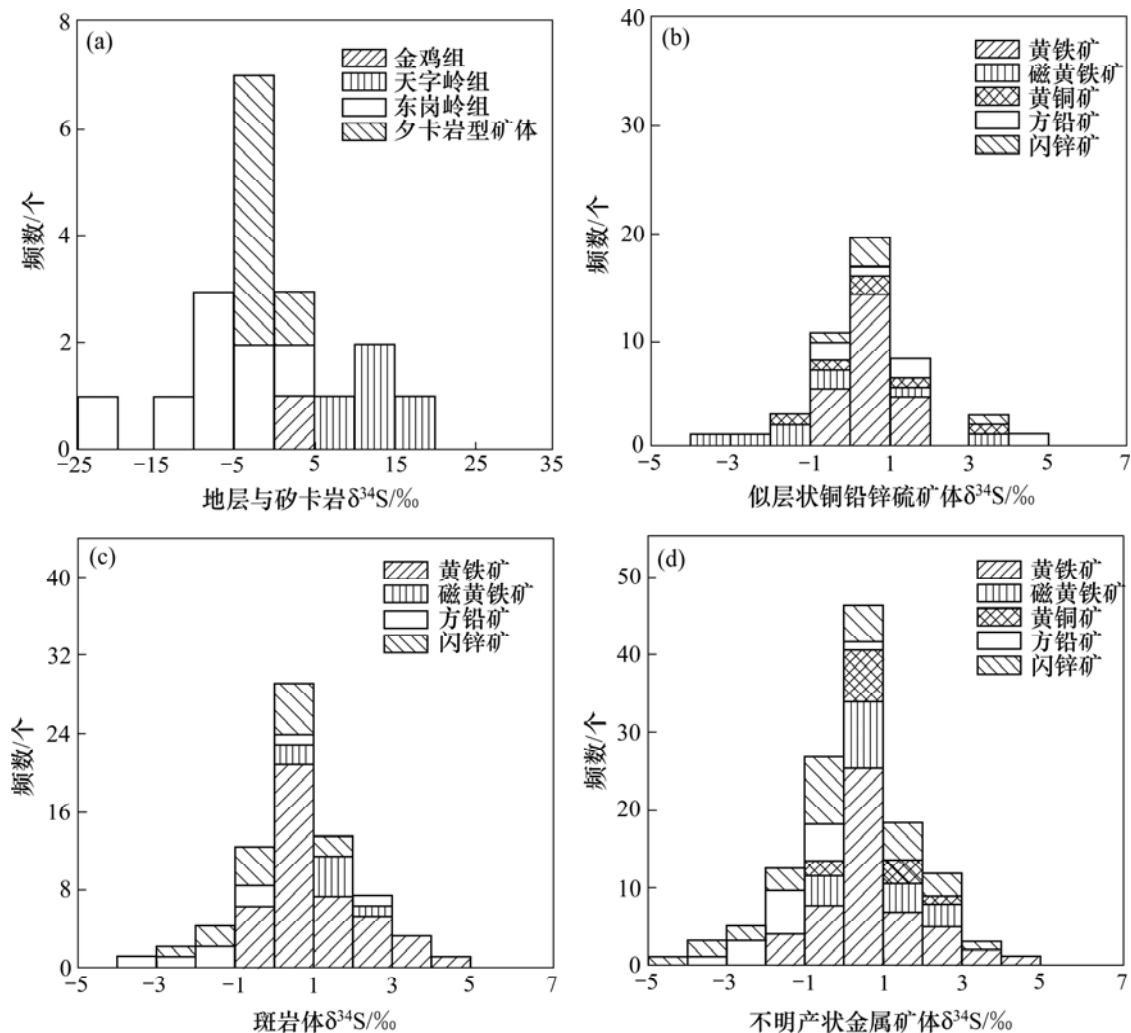
### 3.1.3 硫同位素对成矿物质来源的指示

285 件硫化物(其中, 273 件来自文献[19, 20], 12 件来自本次测试)的硫同位素研究结果表明: 尽管矿床中不同类型矿体及矿体内不同矿物的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$  较接近, 分布范围均较集中(主要集中于  $-2.00 \times 10^{-3} \sim 2.00 \times 10^{-3}$ ), 具显著的塔式分布规律, 见图 3, 反映了

矿区不同矿体间具有较一致的硫源, 且硫源较单一, 但是似层状铜铅锌矿体与斑岩型和矽卡岩型矿体具有不同硫化物形成机制; 似层状铜铅锌矿体成矿热液  $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}} \approx -0.86 \times 10^{-3}$ , 斑岩矿体成矿热液  $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}} \approx 1.16 \times 10^{-3}$ , 矽卡岩型矿体成矿热液  $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}} \approx 0.45 \times 10^{-3}$ , 因此, 其可能分别由不同时期的热液所形成; 似层状铜铅锌矿体成矿热液显示出以深源硫和生物源硫双重作用的特征, 说明该类矿体的形成可能与海底火山-热液活动有关; 斑岩型和矽卡岩型矿体成矿热液显示出岩浆硫的特性, 说明这 2 类矿体的硫可能主要来自于斑岩体相关的深部岩浆。

### 3.1.4 铅同位素对成矿物质来源的指示

对 104 件金属硫化物<sup>[8, 14, 16, 19, 21]</sup>铅同位素组成  $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ ,  $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  和  $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  进行分析( $w$  为质量分数), 发现除  $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  极差较大外, 其余极差值均在 2.59 之内, 反映其铅同位



(a) 地层与矽卡岩; (b) 似层状铜铅锌硫矿体; (c) 斑岩体; (d) 不明产状金属矿体

图 3 大宝山多金属矿区硫同位素组成直方图

Fig. 3 Histogram of sulfur isotopes composition of Dabaoshan poly-metal deposit

素组成有一定变化, 但相对稳定, 具有单阶段铅演化特性。 $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 与 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 关系曲线见图4。从图4可见: 矿物铅同位素投影点基本均落入正常铅分布范围内。

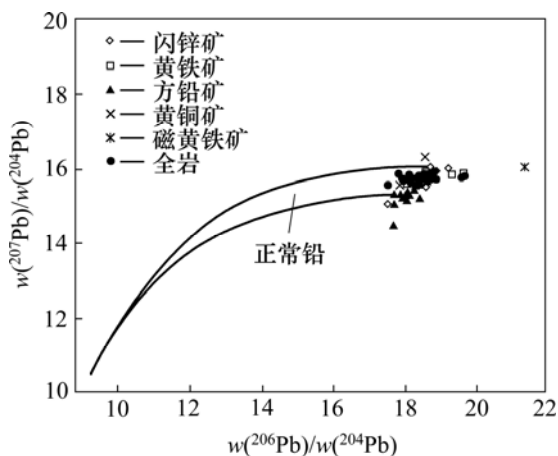


图4 大宝山多金属矿床铅同位素 $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 与 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 的关系

Fig. 4 Relationship between  $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  and  $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  of lead from Dabaoshan poly-metal deposit

矿床铅的来源较复杂, 但主要源于上地壳, 少量铅具深源特性, 且矿床铅受区域造山-岩浆活动影响明显。结合区域成矿地质条件, 在泥盆纪, 区域在加里东构造运动中形成壳体断裂, 局部仍不稳定而发生活化, 并可能伴随着海底火山活动的发生; 海底火山作用导致地幔物质上涌, 而与地壳物质发生混合, 甚至沿着断裂通道直接喷入海底, 从而将深源铅带入浅部<sup>[21]</sup>。

### 3.2 成矿流体来源

氢和氧同位素研究分析结果表明: 与花岗闪长斑岩体有关的成矿热液 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化范围为 $9.76 \times 10^{-3} \sim 10.27 \times 10^{-3}$ ,  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-56.10 \times 10^{-3}$ , 而与次英安斑岩体有关的成矿热液 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化范围为 $0.26 \times 10^{-3} \sim 7.51 \times 10^{-3}$ , 与表中斑岩体岩浆水(次英安斑岩与花岗闪长斑岩体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 分别为 $11.23 \times 10^{-3}$ 和 $9.76 \times 10^{-3} \sim 7.51 \times 10^{-3}$ ), 当时大气降水组成( $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-5 \times 10^{-3}$ 左右)<sup>[22]</sup>相比, 大体上反映与斑岩体有关矿体的成矿热液主要来自于与斑岩体相关的岩浆水, 可能有大气降水混入<sup>[22]</sup>。斑岩体侵入作用密切相关的斑岩型钨钼矿体和矽卡岩型钨钼矿体的成矿流体具有与斑岩体相关的岩浆水源或岩浆水与少量大气降水混合源特征; 似层状铜矿体与铅锌矿体的成矿流体不尽相同, 铜矿体的成矿流体主要为地下热卤水或热卤水与少量海水混合而成, 而铅锌矿体的成矿流体具“岩浆水”特征, 成

矿流体可能直接来自于海底火山气液, 或者来自于海底火山活动后期水岩较小时水岩交换作用产生的循环流体; 3件菱铁矿样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-6.02 \times 10^{-3} \sim 8.05 \times 10^{-3}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-4.65 \times 10^{-3} \sim 8.51 \times 10^{-3}$ , 表明薄层状菱铁矿体成矿流体与似层状铜矿体的成矿流体来源特征较相似, 以海底喷气作用形成的热卤水为主。

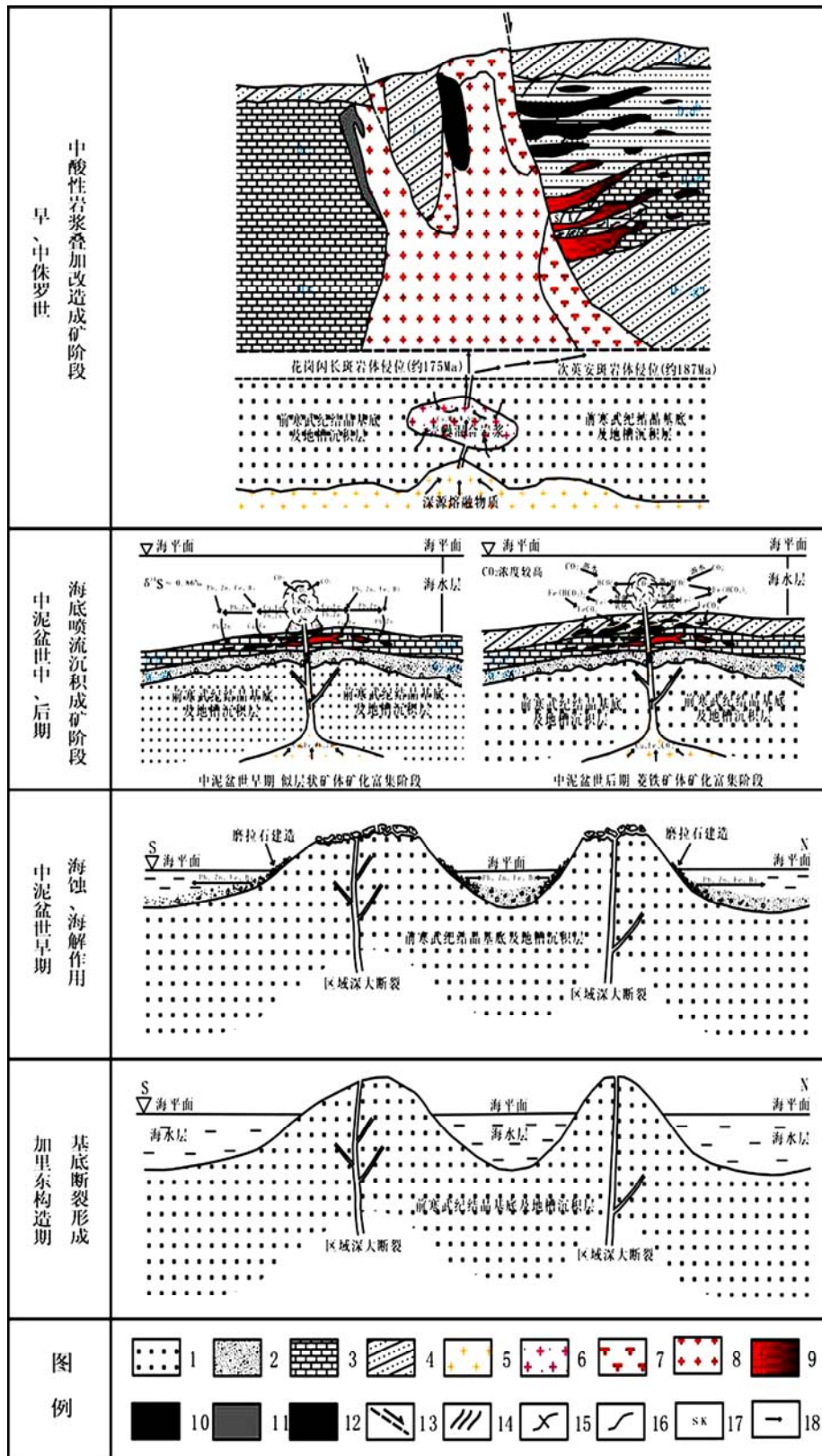
## 4 成矿模式讨论

大宝山多金属矿床经历了复杂的成矿过程。主要包括以下几个阶段。

1) 沉积阶段。古生代, 该区域处于华夏古陆边缘的断陷盆地内, 沉积了巨厚的(复理石)碎屑岩建造。在志留期末, 强烈的加里东运动使区域地槽构造层全面褶皱回返隆起成陆, 同时, 形成一系列以EW和NE向为主体的区域性深大断裂, 并伴随中酸性岩浆侵入, 这些深大断裂在随后很长的一段时间内持续活动, 为含矿流体的上升提供了通道。在中泥盆世早期, 本区在海侵作用下形成半局限浅海盆地, 雪山障地区水下隆起的海蚀作用和海解作用使得该区富集了大量的成矿元素<sup>[11]</sup>; 期间, 多期海底火山喷发和沿断裂上涌的海底热卤水带来了大量的成矿元素和有机质<sup>[11, 14-15]</sup>。

2) 成岩阶段。在成岩初期, 中低温、丰富硫源(高硫逸度 $f_{\text{S}_2}$ )和低氧逸度( $f_{\text{O}_2}$ )等综合环境下, 受成矿物质及温度控制, 形成的矿物组明显呈现分带, 且具同生沉积特征的多金属铜铅锌硫化物初始矿胚层或矿体, 作为东岗岭组下亚组的一部分沉积下来<sup>[13]</sup>。至中泥盆世后期, 一方面, 古海底火山喷发达到了短暂高潮, 喷发出大量富含铁质的火山碎屑物质及 $\text{CO}_2$ 喷气,  $\text{CO}_2$ 大量溶于水中, 促使铁质溶解形成可溶的 $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ; 另一方面, 随区域海侵进一步扩大, 区内藻类繁盛, 有机质富集, 致使环境Eh降低, 创造了利于 $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ 形成所需的条件; 在温度下降、压力降低以及其他物理和化学条件改变的情况下发生分解, 形成 $\text{FeCO}_3$ , 并与海相火山碎屑物质、泥砂质一同沉积, 形成与东岗岭组上亚组产状一致并有协调的褶曲同步特征的菱铁矿初始矿(胚)体<sup>[10, 19]</sup>。

3) 矿化和热液改造阶段。在晚泥盆世至燕山运动早期, 受区域构造运动, 产生了一系列NE和NNE向断裂及大宝山向斜, 同时可能伴随着强烈的层间破碎发生, 上覆地层产生的地温梯度及构造应力促使层间水和循环水升温, 形成高温卤水, 在一定程度上促使地层中的金属元素活化、迁移, 形成富金属的热液, 对早期形成的似层状铜铅锌和菱铁矿(胚)体进行了叠



1—古老结晶基底; 2—砂岩、砂砾岩; 3—灰岩; 4—页岩; 5—深源熔融物质; 6—壳幔混源岩浆; 7—次英安斑岩; 8—花岗闪长斑岩; 9—似层状多金属矿(红色端以铜铁为主, 紫色端以铅锌为主); 10—薄层菱铁矿; 11—矽卡岩型钨钼矿; 12—斑岩型钨钼矿; 13—断裂构造; 14—脉状铜铅锌矿体; 15—透闪-阳起石化; 16—硅化、绿泥石化; 17—矽卡岩化; 18—矿质、流体流动方向

图 5 大宝山多金属矿成矿模式图

Fig. 5 Ore-forming model of Dabaoshan poly-metal deposit

加改造<sup>[6, 10-11]</sup>。在燕山期, 区域在以近 EW 向压应力为主的构造应力场作用下, 形成了以基底块断为基础, 上、下同时扩展的块断体系。在早侏罗世中后期, 少量深源物质部分熔融, 沿区域构造软弱带上侵, 并导致构造软弱带两侧陆壳物质增温、软化而大面积重熔, 从而形成以陆壳重熔物质为主且具壳幔混合特性的中酸性斑岩岩浆体; 岩浆体沿区内 NNW 及 NE 向断裂构造减压上侵喷溢, 形成区内的次英安斑岩墙, 为区域带来了大量的 Cu, Mo 和 W 等成矿元素; 富含 Cu, Mo 和 W 等元素的岩浆热液, 在次英安斑岩体内、外接触带形成斑岩型和矽卡岩型钨、钼、铜矿, 同时, 沿围岩地层及早期形成的铜、铅、锌及菱铁矿(胚)体等的层间薄弱部位贯入<sup>[16, 19, 21]</sup>, 形成以脉状为主的钨、钼、铁铜矿体, 部分挥发分和热量可能使原矿(胚)体发生活化转移, 穿插层状矿体, 使得矿体再次富集。中侏罗世早期与次英安斑岩体具同源型, 但演化程度更高的中酸性岩浆再次受区内 NNW 及 NE 向断裂控制而上侵, 形成穿插于次英安斑岩体, 以岩珠状产出的浅成和超浅成的花岗闪长斑岩体, 一方面在花岗闪长斑岩体的内、外接触带形成大量的斑岩型和矽卡岩型钨、钼矿体<sup>[17, 23]</sup>; 另一方面, 同样对前面所形成的多金属矿体进行了叠加改造<sup>[8-9]</sup>。大宝山多金属矿床成矿过程如图 5 所示。

至此, 本区原生矿体的形成过程基本完成。

4) 表生氧化阶段。在随后的地质历史演化过程中, 原生矿体(铜铅锌硫多金属矿体、菱薄层状菱铁矿体) 受到剥蚀而露地表, 在地表或近地表条件下, 经风化淋滤形成以褐铁矿等为主的铁帽。

## 5 结论

1) 大宝山多金属矿床矿化在时间和空间分布上具有明显的分带规律, 矿化具有多期次多阶段性。

2) 大宝山多金属矿床中矿化元素来源广泛, 包括地层、次英安斑岩和花岗闪长斑岩。斑岩和矽卡岩矿体中的硫主要来自与斑岩相关的深部岩浆; 铅主要来源于上地壳, 成矿流体为岩浆水和大气降水的混合来源。似层状铜矿体和铅锌矿体的成矿物质来自于海底喷流, 而成矿流体来源明显不同。

3) 从整体来说, 大宝山多金属矿床为一沉积加后期岩浆热液改造的大型多金属矿床。

### 参考文献:

[1] YE Lin, LIU Tiegeng, YANG Yulong et al. Petrogenesis of

bismuth minerals in the Dabaoshan Pb-Zn polymetallic massive sulfide deposit, northern Guangdong Province, China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 82: 1-9.

- [2] LI Congying, ZHANG Hong, WANG Fangyue, et al. The formation of the Dabaoshan porphyry molybdenum deposit induced by slab rollback[J]. *Lithos*, 2012, 150: 101-110.
- [3] SUN Weidong, YANG Xiaoyong, FAN Weiming, et al. Mesozoic large scale magmatism and mineralization in South China: Preface[J]. *Lithos*, 2012, 150: 1-5.
- [4] WANG Fangyue, LIU Shengao, LI Shuguang, et al. Contrasting zircon Hf-O isotopes and trace elements between ore-bearing and ore-barren adakitic rocks in central-eastern China: Implications for genetic relation to Cu-Au mineralization[J]. *Lithos*, 2013, 156/157/158/159: 97-111.
- [5] 刘莎, 王春龙, 黄文婷, 等. 粤北大宝山斑岩钨钼矿床赋矿岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄与矿床形成动力学背景分析[J]. *大地构造与成矿学*, 2012, 36(3): 440-449.
- LIU Sha, WANG Chunlong, HUANG Wenting, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and dynamic background of the Dabaoshan porphyry associated with Mo-W mineralization in Northern Guangdong Province[J]. *Geotectonica Et Metallogenia*, 2012, 36(3): 440-449.
- [6] 王磊, 胡明安, 屈文俊, 等. 粤北大宝山多金属矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. *中国地质*, 2012, 39(1): 29-42.
- WANG Lei, HU Mingan, QU Wenjun, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb and molybdenite Re-Os dating of the Dabaoshan polymetallic deposit in northern Guangdong Province and its geological implications[J]. *Geology in China*, 2012, 39(1): 29-42.
- [7] 祝新友, 韦昌山, 王艳丽, 等. 广东大宝山钨钼多金属矿床成矿系统与找矿预测[J]. *矿产勘查*, 2011, 2(6): 661-668.
- ZHU Xinyou, WEI Changshan, WANG Yanli, et al. The metallogenic system and the prognosis, Dabaoshan Mo-Cu-Pb-Zn deposit, Guangdong Province[J]. *Mineral Exploration*, 2011, 2(6): 661-668.
- [8] 宋世明. 广东大降坪和大宝山硫化物矿床多元同位素与稀土元素地球化学示踪研究[D]. 南京: 南京大学地球科学与工程学院, 2011: 86-108.
- SONG Shiming. Tracer studies of isotopes and REE geochemistry of Jianping and Dabaoshan sulfides deposit in Guangdong Province[D]. Nanjing: Nanjing University. School of Science and Engineering, 2011: 86-108.
- [9] 王磊, 胡明安, 杨振, 等. 粤北大宝山矿区花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2010, 35(2): 175-185.
- WANG Lei, HU Mingan, YANG Zhen, et al. Geochronology and its geological implications of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of granodiorite porphyries in Dabaoshan Polymetallic Ore Deposit, North Guangdong Province[J]. *Earth Science (Journal*

- of China University of Geosciences), 2010, 35(2): 175–185.
- [10] 刘孝善, 周顺之. 广东大宝山中泥盆世火山岩与层状菱铁矿、多金属矿床成矿机制分析[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1985, 21(2): 348–360.
- LIU Xiaoshan, ZHOU Shunzhi. On the occurrence of middle ordovician volcanics and analysis of ore-forming mechanism of siderite poly-metallic ore deposit from Dabaoshan, Qujiang County, Guangdong Province[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 1985, 21(2): 348–360.
- [11] 邱世强. 关于大宝山层状多金属矿床成因的初步探讨[J]. 地质论评, 1981, 27(4): 333–340.
- QIU Shiqiang. A preliminary study on the genesis of the Dabaoshan stratiform polymetallic deposit[J]. Geological Review, 1981, 27(4): 333–340.
- [12] 古菊云, 吴琼英, 廖雪苹. 大宝山大陆次火山—火山活动和矿床成因的初步研究[J]. 地质与勘探, 1984, 20(3): 2–8.
- GU Juyun, WU Qiongying, LIAO Xueping. The preliminary study on the activities of volcanic-subvolcanic rocks and ore-forming genesis[J]. Geology and Prospecting, 1984, 20(3): 2–8.
- [13] 杨振强. 大宝山块状硫化物矿床成因: 泥盆纪海底热事件[J]. 华南地质与矿产, 1997, 2(1): 7–17.
- YANG Zhenqiang. Origin of the Dabaoshans massive sulfide deposit: Devonian sea-floor thermal events[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 1997, 2(1): 7–17.
- [14] 葛朝华, 韩发. 大宝山铁—多金属矿床的海相火山热液沉积成因特征[J]. 矿床地质, 1986, 5(1): 1–12.
- GE Chaohua, HAN Fa. Submarine volcanic hydrothermal sedimentary origin of the Dabaoshan iron and polymetallic sulfide deposit[J]. Mineral Deposits, 1986, 5(1): 1–12.
- [15] 姚德贤. 大宝山—海底火山沉积多金属矿床[J]. 中国地质, 1983, 10(7): 18–21.
- YAO Dexian. Dabaoshan-sea floor volcanic sedimentary poly-metal deposit[J]. Geology of China, 1983, 10(7): 18–21.
- [16] 罗年华. 广东大宝山多金属矿床地质地球化学特征及成因探讨[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1985, 5(2): 183–195.
- LUO Nianhua. The geological and geochemical features and the origin of Dabaoshan polymetallic deposit in Guangdong Province[J]. Journal of Guilin University of Technology, 1985, 5(2): 183–195.
- [17] 王磊. 粤北大宝山钨多金属矿床成矿模式与找矿前景研究[D]. 中国地质大学资源学院, 2010: 71–97.
- WANG Lei. The ore-forming model and prospect of Dabaoshan Mo poly-metal deposit of North of Guangdong Province[D]. China University of Geosciences. School of Resources, 2010: 71–97.
- [18] 迟清华, 鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 98–115.
- CHI Qinghua, YAN Mingcai. Manual of geochemical element abundance data[M]. Beijing: Geology Publishing House, 2007: 98–115.
- [19] 刘娟群, 杨世义, 张秀兰, 等. 粤北大宝山多金属矿床成因的初步探讨[J]. 地质学报, 1985, 61(1): 47–60.
- LIU Houqun, YANG Shiyi, ZHANG Xiulan, et al. A preliminary study on the genesis of the Dabaoshan polymetallic deposit in northern Guangdong Province[J]. Acta Geological Sinica, 1985, 61(1): 47–60.
- [20] 徐文炘, 李蘅, 陈民扬, 等. 广东大宝山多金属矿床成矿物质来源同位素证据[J]. 地球学报, 2008, 29(6): 684–690.
- XU Wenxin, LI Heng, CHEN Minyang, et al. Isotope evidence of material sources of the Dabaoshan polymetallic deposit[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29(6): 684–690.
- [21] 陈好寿. 粤北大宝山层状多金属矿床的铅、硫、氧同位素地球化学研究[J]. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊, 1985, 10: 111–124.
- CHEN Haoshou. Lead, S and O isotopes of Dabaoshan stratoid poly-metal deposit in North of Guangdong Province[J]. Bulletin Yichang Institute Geology Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 1985, 10: 111–124.
- [22] 张理刚. 中国东部地区现代和中生代大气降水氢氧同位素地球化学[C]// 国际交流地质学术论文集(3). 北京: 地质出版社, 1985: 169–180.
- ZHANG Ligang. H-O isotopes geochemistry of modern and mesozoic meteoric water of Eastern China[C]// Proceeding of International Geology Communication(3). Beijing: Geological Publishing House, 1985: 169–180.
- [23] 蔡锦辉, 刘家齐. 粤北大宝山多金属矿床矿物包裹体特征研究及应用[J]. 矿物岩石, 1993, 13(1): 33–40.
- CAI Jinhui, LIU Jiaqi. Research and its application on the inclusions characteristics in the Dabaoshan polymetallic deposit, northern Guangdong Province[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1993, 13(1): 33–40.

(编辑 陈灿华)