

八宝山金银矿床地质特征、成因及找矿规律

段生梅<sup>1</sup> 马鸿颖<sup>2</sup> 钟永生<sup>1</sup>

(1. 西部矿业集团有限公司锡铁山分公司,青海 西宁 816203;  
2. 青海省柴达木综合地质矿产勘查院,青海 格尔木 816099)

**摘 要** 以龙泉八宝山金银矿床为研究对象,在现场地质调查的基础上,结合同位素分析等室内试验,着重探讨了该矿床的矿化带构成,成矿温度以及找矿规律。结果表明:①该矿床大体可划分为 5 条主要矿化带,2 种矿化类型(蚀变岩型和石英脉型)和 5 个成矿阶段。②该矿床中石英斑岩含金量( $2.7\times10^{-9}$ )明显高于其他矿物,矿床矿化程度与地层关联度较低,矿化类型明显受构造控制。③通过研究该矿床的成矿温度、同位素组成、矿物标型以及其他特征,发现黄铁矿  $w(\text{Co})/w(\text{Ni})$  值大于 1,且 As 含量较高;闪锌矿为含铁闪锌矿,铁含量 3.4%~6.3%;方铅矿的热电系数为-369.2~619.2  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ;矿床主要矿化带的形成温度为 150~300  $^\circ\text{C}$ ;由此可知,该矿床为与燕山中晚期火山(岩浆)活动有关的中—低温次火山热液矿床。结合控矿因素认为找矿工作应在富钾的钙碱性系列中—酸性火山碎屑岩脉发育和断裂活动强烈的地区进行,重点找矿部位为石英斑岩出露地带,另外应注意多金属硫化物石英脉。

**关键词** 中—低温火山热液矿床 地质特征 矿床成因 找矿规律

中图分类号 TD166,P611 文献标志码 A 文章编号 1001-1250(2015)-07-091-05

Geological Characteristics, Genesis and Prospecting Regularity of Babaoshan Gold-Silver Deposit

Duan Shengmei<sup>1</sup> Ma Hongying<sup>2</sup> Zhong Yongsheng<sup>1</sup>

(1. Xitieshan Branch, Western Mining Group Co., Ltd., Xining 816203, China;  
2. Qaidam Comprehensive Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Qinghai Province, Golmud 816000, China)

**Abstract** In order to study the metallogenic regularity of the medium-low temperature volcanic hydrothermal deposit, taking the Babaoshan gold-silver deposit located in Longquan city, Zhejiang province as the research example, based on filed geological survey and isotope analysis method, the mineralization belts, ore-forming temperature and prospecting regularity of the Babaoshan gold-silver deposit are discussed emphatically. The results show that: ①the regional geological conditions of the Babaoshan gold-silver deposit can be divided into five main mineralized zones, two mineralization types (altered rock type and quartz vein type) and five mineralization stages; ②quartz porphyry gold content ( $2.7\times10^{-9}$ ) of the Babaoshan gold-silver deposit is significantly higher than other minerals, correlation between mineralization degree of the deposit and stratum is low, the mineralization types are controlled by tectonic obviously; ③by analyzing the metallogenic temperature, isotopic composition, typomorphic minerals and other characteristics, it is found that the  $w(\text{Co})/w(\text{Ni})$  value of pyrite is greater than 1, and As content is high; the sphalerite is iron sphalerite with iron content of about from 3.4% to 6.3%; the galena thermoelectric coefficient varies from -369.2  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  to 619.2  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ; the formation temperature of the main mineralization belts of deposits roughly from 100  $^\circ\text{C}$  to 300  $^\circ\text{C}$ ; therefore, the deposit is the medium-low temperature subvolcanic hydrothermal deposit that related to Yanshan period volcanic (magma). Combing with the ore-controlling factors, it is concluded that the prospecting work should be conducted in the area that the potassium-rich calcium alkali series medium-acid volcanic clastic dyke have strong development and the fault activities, and the key prospecting portion is quartz porphyry exposed area. In addition, the polymetallic sulfide quartz vein should also be paid attention.

**Keywords** Medium-low temperature volcanic hydrothermal deposit, Geological characteristics, Deposit genesis, Prospecting regularity

收稿日期 2015-04-25  
基金项目 国家自然科学基金项目(编号:41402066)。  
作者简介 段生梅(1981—)女,工程师。

八宝山金银矿床位于浙江省龙泉市查田县境内,1962 年在矿区附近发现重砂异常,继之发现老硐,从 20 世纪 80 年代开始对于该地区金矿矿床的勘探、开发和科研工作便陆续展开<sup>[1-3]</sup>。刘平<sup>[4]</sup>研究了八宝山金银矿床中黄铁矿、黄铜矿、自然银以及辉银矿的组成结构,分析了矿石的生成顺序和热液成分变化过程,结果表明该矿床形成年代较新;程青<sup>[5]</sup>研究八宝山金矿的成矿元素异常特征,建立了地球化学异常特征模型,讨论了矿区的矿床分带情况;叶杰等<sup>[6]</sup>利用物探及化探手段检测该矿区同位素特征及来源,推测其属于火山热液矿床。在现场地质勘探、同位素分析和地球化学测试的基础上,结合区域地质构造背景,深入分析了八宝山金银矿床的矿化带划分、形态特征、矿床成因,并对该类型矿床的找矿规律进行了讨论。

## 1 矿区地质概况

### 1.1 区域地质背景

浙江八宝山金银矿区在浙江省绍兴市境内,位于江绍大型深部断裂面以南、丽水—庆元断裂带以北;按照传统大地构造观点,矿区处于华南地槽系南岭地槽东南边缘部位;按照板块学说观点,区域位于加里东期古俯冲带附近。区域出露主要为前寒武系陈菜群变质岩、中下侏罗统含煤页砂岩及上侏罗统火山碎屑岩。区域构造以断裂为主,褶皱构造不发育。

### 1.2 地质条件

矿区出露地层主要为前寒武系陈菜群变质岩和上侏罗统火山碎屑岩,新老地层均呈 NE—SW 走向,与区域构造线方向一致。矿区内最大的断裂即 NE 向的  $F_8$  断裂位于 I<sup>#</sup> 矿化带下盘,长大于 2 000 m,宽 2~20 m 不等。总体产状:走向 50°,倾向 SE,倾角约 60°。断层带中见断层角砾岩,糜棱岩,局部有矿化。近 SN 向断裂分布于 8<sup>#</sup>~16<sup>#</sup> 线附近,走向 NW350°—NE20°,向 E 倾,倾角约 80°,延伸数十米至 300 m ( $F_3$ 、 $F_4$  断裂)。NW 向断裂倾向 NE50°~60°,倾角约 80°( $F_1$ 、 $F_8$  断裂)。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 矿化带划分及形态

该矿床在地表可见 5 条相互平行的呈 NE—SW 展布的矿化带,由北到南依次编号为 VI<sup>#</sup>、I<sup>#</sup>、II<sup>#</sup>、III<sup>#</sup>、IV<sup>#</sup>。另外,在 10<sup>#</sup> 勘探线附近有一近 SN 走向的矿化带,编号为 V<sup>#</sup>。该 6 条矿化带可分为 2 种矿化类型:① I<sup>#</sup>~VI<sup>#</sup> 矿化带属于蚀变岩型;② III<sup>#</sup>、V<sup>#</sup> 矿化带属于石英脉型。经钻孔揭露,深部变质岩中尚有

数条矿化带,但都比较窄小,矿化类型复杂,主要为硫化物脉型。

地表出露的各矿化带均呈脉状产出,在平面上,除 V<sup>#</sup> 矿化带外,其他矿化带相互间近乎平行,呈 NE 向展布。IV<sup>#</sup>、I<sup>#</sup>、II<sup>#</sup>、III<sup>#</sup> 矿化带倾向 SE,且 IV<sup>#</sup>、I<sup>#</sup>、II<sup>#</sup>、III<sup>#</sup> 矿化带倾角呈变大趋势,IV<sup>#</sup> 矿化带倾向 NW,倾角陡。钻孔和坑道揭露表明:I<sup>#</sup>、II<sup>#</sup> 矿化带向下迅速合二为一,在剖面上,NE 走向的矿化带呈扫帚状由地下向地表散开。在平面上,I<sup>#</sup>~IV<sup>#</sup> 矿化带呈向 SW 收敛,向 NE 散开的趋势,I<sup>#</sup>~IV<sup>#</sup> 矿化带中矿化程度依次减弱,钻孔揭露的变质岩中的矿化带呈脉状产出,倾向 SE,倾角陡。

### 2.2 矿化与地层、构造、侵入岩的关系

#### 2.2.1 矿化与地层的关系

矿区蚀变晶屑凝灰岩、蚀变岩屑凝灰岩及蚀变石英斑岩亦有矿化,而未蚀变的上述岩石却未见矿化,可见矿化主要与蚀变有关<sup>[7-8]</sup>,而与岩性关系不明显。变质岩中的矿化带主要产于黑云斜长片麻岩和蚀变闪长玢岩中,未蚀变的上述 2 种岩石均无矿化,但矿化带中的变粒岩、变质石英砂岩等亦矿化不佳,该类岩性控制表现的是岩石蚀变的难易程度,容易蚀变的岩石蚀变强,金矿化较好。

#### 2.2.2 矿化与构造的关系

岩浆岩中的 I<sup>#</sup>~IV<sup>#</sup> 矿化带均产于 NE 走向的  $F_6$  断裂所派生的“人”字型断裂中。V<sup>#</sup> 矿化带产于 SN 走向的断裂中。 $F_6$  断裂及其上、下盘附近的岩浆岩、变质岩中也有金矿化。品位较高的 I<sup>#</sup> 矿体的下部常可见角砾状矿石。变质岩中的矿化带亦呈脉状产出,其产状与片麻理方向不一致。矿化带的上述特征反映了断裂对矿化的明显控制作用。

#### 2.2.3 矿化与石英斑岩的关系

石英斑岩脉沿  $F_6$  断层断续分布。在 PD3<sup>#</sup>、PD4<sup>#</sup> 平硐及地表可见石英斑岩直接位于 I<sup>#</sup> 矿化带的下盘或在下盘附近,并且部分石英斑岩即 I<sup>#</sup> 矿化带的组成部分,其本身也有蚀变和矿化,含金 0.1~1.5 g/t。在矿区边缘部位的南源矿化点亦位于  $F_6$  断裂上,其主要矿化带——I<sup>#</sup> 矿化带也沿着石英斑岩脉的接触带展布。由矿区外围各种岩石的微量金分析结果(见表 1)可知,石英斑岩的含金量明显高于其他岩石。另外,蚀变闪长玢岩中也发现有矿化,而在岩浆岩中尚未发现。石英斑岩在空间上分布不均匀,受历史构造活动的影响,时空分布与矿化程度密切相关。

### 2.3 矿化阶段划分与矿化分带

根据交切关系、矿物成分、构造结构、金银含量

表 1 八宝山矿区外围各种岩石微量金分析结果

Table 1 Trace gold contents analysis results of all kinds of rocks in Babaoshan mining area

岩石类型	样品数/件	含量/(×10 <sup>-9</sup> )	均值/(×10 <sup>-9</sup> )
黑云斜长片麻岩	13	0.5~0.7	0.615
晶屑凝灰岩	6	0.4~1.0	4.200
熔结凝灰岩	5	0.4~0.5	0.450
闪长玢岩	2	3.5	
花岗斑岩	9	0.3~2.9	1.550
石英斑岩	8	1.0~6.0	2.700
霏细斑岩	4	0.4~0.9	0.725
霏细岩	3	0.4~0.6	0.500

等,可将本矿床的矿化作用划分为毒砂-黄铁矿化、黄铁矿-毒砂-金银矿-石英、黄铁矿-石英、多金属硫化物-自然银-螺状硫银矿及方解石等 5 个矿化阶段<sup>[9]</sup>。由矿体含金量(见表 2)可知,第 2 矿化阶段为该矿床最重要的成矿阶段,第 4 矿化阶段为该矿床较重要的矿化阶段,其他阶段成矿意义不大。

表 2 金银矿床矿体 Au、Ag 含量及 Au、Ag 含量比值

Table 2 Au、Ag contents and content ratio of Au and Ag in gold-silver deposit/(×10<sup>-9</sup>)

位置	Au 含量	Ag 含量	Au、Ag 含量比	备注
PD <sub>4</sub> <sup>#</sup> 主巷	16.95	57.94	0.293	深部
PD <sub>3</sub> <sup>#</sup> 主巷	7.50	35.48	0.211	浅部
TC <sub>1-1</sub> <sup>#</sup> 探槽	5.25	47.02	0.112	地表

虽然由于 V<sup>#</sup>矿化带拦腰切过 I<sup>#</sup>、II<sup>#</sup>矿化带,使得难以确定整个矿床的矿化分带,但将 2 个主要的成矿阶段(第 2、第 4 阶段)的产生分开来看,矿化具有一定的分带性。由第 2 矿化阶段的产物可知, I<sup>#</sup>~IV<sup>#</sup>矿化带中 Au、Ag 含量呈变小的趋势,且 Au、Ag 含量比值也有类似特征。就 I<sup>#</sup>、II<sup>#</sup>矿化带剖面而言,在剖面上由下至上,矿石中的 Au、Ag 含量逐渐降低, Au、Ag 含量比值呈变小的趋势,矿石矿物组合由金银矿-黄铁矿(PD4<sup>#</sup>平硐)变为金银矿-毒砂矿-黄铁矿(PD3<sup>#</sup>平硐),并且在 I<sup>#</sup>矿化带上可见金银矿-螺状硫银矿-黄铁矿(地表 TC2045<sup>#</sup>探槽)。变质岩中矿化带随着与岩浆岩中主要矿体距离的增大,Au、Ag 含量比值逐渐降低,Cu、Pb、Zn 含量升高(见表 3)。第 2 阶段产物的分带可能主要受成矿温度分带的控制。第 4 阶段的产物即 V<sup>#</sup>矿化带也有分带,主要表现为产于变质岩中的矿化带与产于岩浆岩中的矿化带差别较大,产于变质岩中矿化带的矿化程度较好,脉体较为完整,规模较大,矿石矿物组合较为复杂;而岩浆岩中矿化带的矿化程度较差,脉体不完整,规模小,矿石矿物种类少,除黄铁矿外,其他金属矿物较少见。

若考虑变质岩中矿体部位脉体较大,石英脉条带状构造发育,可以认为上述差异主要是由岩浆岩与变质岩中构造裂隙的差异所致。

表 3 变质岩矿体中各元素含量及 Au、Ag 含量比值

Table 3 Elements' contents and content ratio of Au and Ag of metamorphic orebody

钻孔编号	Au 含量/(×10 <sup>-9</sup> )	Ag 含量/(×10 <sup>-9</sup> )	Cu 含量/%	Pb 含量/%	Zn 含量/%	Au、Ag 含量比	距主矿体
ZK <sub>502</sub> <sup>#</sup>	0.251	4.42	0.004	0.008	0.02	0.056 8	近
ZK <sub>504</sub> <sup>#</sup>	0.274	28.48	0.022	0.140	0.21	0.009 6	较近
ZK <sub>506</sub> <sup>#</sup>	0.580	91.50	0.030	0.150	0.40	0.006 3	远

3 矿床成因

3.1 形成温度

3.1.1 均一温度

矿床石英的均一温度为 140~236℃,其中第 2 矿化阶段的石英均一温度较高,为 180~236℃,第 4 矿化阶段石英均一温度较低,为 140~203℃。第 4 矿化阶段产于变质岩中的石英均一温度较高,为 156~203℃,而产于岩浆岩中的石英均一温度较低,约 140℃,从另一方面印证了变质岩中的裂隙较大。

3.1.2 爆裂温度

矿床黄铁矿的爆裂温度为 190~320℃,大多为 280~300℃,与石英的爆裂温度(300℃)相近。第 2 矿化阶段黄铁矿的爆裂温度为 230~320℃,浅部温度较低,为 230~280℃,深部温度较高,为 280~310℃。第 4 矿化阶段的黄铁矿爆裂温度为 200~285℃,较岩浆岩中第 2 矿化阶段的黄铁矿低,这与上述矿化带的分带现象一致(见图 1)。第 4 矿化阶段的石英爆裂温度(300℃)较同阶段的黄铁矿高,这与显微镜下观察到的黄铁矿形成略晚于石英的现象基本吻合。

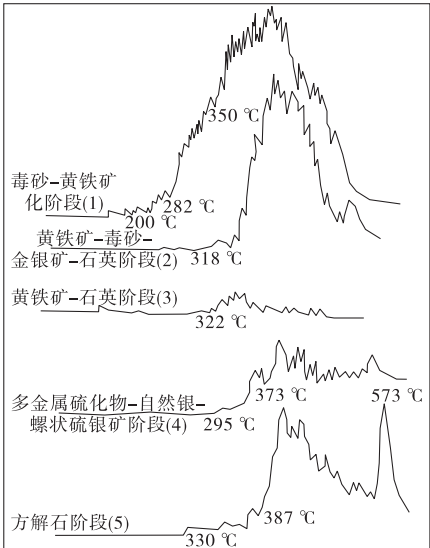


图 1 成矿阶段黄铁矿爆裂曲线

Fig. 1 Burst curve of Pyrite in mineralization stage



综上所述,矿床主要矿化带的形成温度一般为 150~300℃,大多为 200~250℃。第 4 矿化阶段的金银矿物可能主要在低于 200℃的环境下形成,可见该矿床为中—低温热液矿床。

3.2 同位素组成

3.2.1 硫同位素

矿床中黄铁矿、闪锌矿的硫同位素组成比较均一, $\delta^{34}\text{S}$  值为 +4.2‰~+6.0‰,平均为 +5.1‰,极差和标准差均小,分别为 1.8‰和 0.443‰,其中闪锌矿(3 组试样)的  $\delta^{34}\text{S}$  值为 +4.6‰~+5.1‰,平均为 4.8‰,黄铁矿(19 组试样)的  $\delta^{34}\text{S}$  值为 +4.2‰~+6.0‰,平均为 +5.2‰,塔式效应明显。矿床金银矿化物组合有石墨、方解石、绢云母及黄铁矿,未见磁铁矿,且成矿温度约 250℃,根据大本模式<sup>[10-11]</sup>,热液总硫的同位素组成与黄铁矿的硫同位素组成基本一致,大致为 5‰,为一低正值,与陨硫石接近。上述特征表明,硫来源于深部,并与岩浆作用有关。

3.2.2 铅同位素

矿床铅同位素组成稳定,矿化带中的方铅矿和黄铁矿单矿物样品的  $^{204}\text{Pb}$  含量为 1.340‰~1.371‰,  $^{206}\text{Pb}$  含量为 24.903‰~25.070‰,  $^{207}\text{Pb}$  含量为 21.070‰~21.403‰,  $^{208}\text{Pb}$  含量为 52.454‰~52.564‰,各同位素的极差均小于 0.2‰,  $w(\text{Th})/w(\text{U})$  值为 3.73~3.91,按单阶段正常铅计算出的年龄为 105.31~172.90 Ma。矿区内岩浆岩为一套岛弧带和大陆边缘造山带所特有的富钾的钙碱性系列中—酸性岩浆岩<sup>[12]</sup>,表面矿化带中铅的来源与形成岩浆岩的岩浆来源一致,金银矿化与岩浆(火山)作用有关<sup>[13]</sup>。

3.3 矿物标型特征

在矿区发现的金银独立矿物有银金矿,金银矿、自然银和螺状硫银矿,金银系列矿物的成色普遍较低,金银系列矿物中的 Au、Ag 含量不均匀,表明矿床为一年代较新、与火山热液有关的金银矿床<sup>[14-15]</sup>。矿床主要矿体部位的黄铁矿  $w(\text{Co})/w(\text{Ni})$  值大于 1,且 As 含量高,热电系数均为较高的正值,为中—低温岩浆热液形成的黄铁矿特征;矿床闪锌矿为含铁闪锌矿,Fe 含量为 3.4%~6.3%;方铅矿的热电系数为 -369.2~619.2  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。上述特征即为有中—低温岩浆热液形成的方铅矿、闪锌矿所具有的特征<sup>[15-16]</sup>。

3.4 矿床成因的其他证据

矿区赋矿围岩主要为上侏罗统岩浆岩,矿化明显晚于岩浆岩,形成时代较新,矿化带铅的单阶段模式年龄为 105.31~172.90 Ma,表明该矿床为燕山中晚期的产物。矿床沿南东方向穿过 I<sup>#</sup>~IV<sup>#</sup>矿化带的

剖面与前苏联中生代岩浆岩中次火山热液矿床的典型剖面<sup>[17]</sup>极为相似,表现为矿化带自深部向浅部呈扫帚状展开,在靠近主通道( $F_6$  断裂)的分支中矿化最好。矿体中 Au、Ag 含量变化较大,反映成矿条件变化较大。矿体与围岩之间虽然由于蚀变的影响,肉眼不易分辨其界限,但 Au、Ag 含量变化明显,矿体呈扁平袋状,品位向下急剧降低。上述特征为次火山热液金银矿床的特征<sup>[18]</sup>。

4 找矿方向

矿床的控矿因素主要为岩浆岩和构造,寻找该类次火山热液金银矿床应在富钾的钙碱性系列中—酸性火山碎屑岩及与其同源的富钾酸性强的超浅成岩脉发育和断裂活动强烈的地区进行。对于矿区及其外围,则应沿着  $F_6$  断裂和石英斑岩脉追索,寻找新的矿体。在  $F_6$  断裂附近,有石英斑岩出露的地带(如矿区 NE 边缘的南源矿化点)应是找矿的重点部位。

金银较早的矿化阶段一般以黄铁石英脉(蚀变岩)为主,而较晚的矿化阶段则以多金属硫化物石英脉为主,2 个矿化阶段的产物在同一个矿床中均占有重要地位。因此,除了注意寻找赋存于 NE 向断裂中的蚀变岩型金银矿化带外,还应重视寻找目前尚未予以重视的第 4 矿化阶段的产物,即近 SN 走向的多金属硫化物含金银石英脉。

5 结 语

在对八宝山金银矿床地质特征、矿床成因分析的基础上,着重探讨了找矿方向并给出了找矿的重点部位,对于深入研究该矿床的成矿规律以及开展找矿工作具有一定的参考价值。

参 考 文 献

[1] 林 兵. 浙江省诸暨至龙泉一带金矿床的铅同位素地球化学研究[J]. 地质科学, 1988(2): 128-136.  
Lin Bing. Geochemistry of the lead isotopes in the gold deposit zone from Zhuji to Longquan, Zhejiang Province[J]. Chinese Journal of Geology, 1988(2): 128-136.

[2] 王碧香, 张元奇, 杨崇辉, 等. 浙江中部火山岩地区金矿床流体包裹体的研究[J]. 矿物学报, 1991(4): 422-428.  
Wang Bixiang, Zhang Yuanqi, Yang Chonghui, et al. Fluid inclusion study of gold deposits hosted in volcanic rocks, Central Zhejiang Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1991(4): 422-428.

[3] 王碧香, 杨岳清, 史仁灯, 等. 中国火山岩地区金的成矿环境及分布规律[J]. 矿床地质, 1997, 16(1): 12-17.  
Wang Bixiang, Yang Yueqing, Shi Rendeng, et al. Geological setting and temporal-spatial distribution of gold deposits in volcanic terrains of China[J]. Mineral Deposits, 1997, 16(1): 12-17.

[4] 刘 平. 浙江八宝山金银矿床的某些矿石结构及其意义[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 1990(4): 407-412.  
Liu Ping. Babaoshan some ore structure and its significance of gold

- and silver deposits[J]. Earth Science:Journal of China University of Geosciences,1990(4):407-412.
- [5] 程 青. 八宝山金银矿床原生晕地球化学异常特征与找矿[J]. 西部探矿工程,2009(S):86-88.
- Cheng Qing. Babaoshan primary halos of gold and silver deposit geochemical anomaly characteristics and prospecting[J]. West-China Exploration Engineering,2009(S):86-88.
- [6] 叶 杰,王海旭,刘 平. 浙江龙泉八宝山金银矿物化探条件分析[J]. 矿床地质,2012,31(1):11-21.
- Ye Jie, Wang Haixu, Liu Ping. Analysis of Babaoshan gold and silver mineral geochemical condition[J]. Mineral Deposits,2012,31(1):11-21.
- [7] 辛 秀,王翠芝. 福建紫金山金铜矿明矾石的流体包裹体特征[J]. 现代地质,2014(1):42-50.
- Xin Xiu, Wang Cuizhi. Fluid inclusion characteristics of alunite in Zijinshan gold-copper deposit, Fujian Province[J]. Geoscience,2014(1):42-50.
- [8] 杜轶伦,曹 毅,李大鹏,等. 安徽铜陵志留系—三叠系地层层序地层和微量元素地球化学:对沉积环境的约束[J]. 现代地质,2014(2):281-291.
- Du Yilun, Cao Yi, Li Dapeng, et al. Sequence stratigraphy and trace element geochemistry of silurian to triassic strata Tongling, Anhui Province: constraints on their sedimentary environment[J]. Geoscience,2014(2):281-291.
- [10] 郝瑞霞,金成洙,关广岳. 王家崴子金矿床中矿物标型特征研究[J]. 地质与勘探,1998(3):23-27.
- Hao Ruixia, Jin Chengzhu, Guan Guangyue. Research on Waizi gold deposit in mineral typomorphic characteristics[J]. Geology and Exploration,1998(3):23-27.
- [11] Ohmoto H. Systematic of sulfur and carbon isotope in hydrothermal ore deposits[J]. Economic Geology,1972,67(1):551-578.
- [12] 徐晓春,尹 滔,楼金伟,等. 铜陵冬瓜山控矽卡岩型铜金矿床的成因机制:硫同位素制约[J]. 岩石学报,2010(9):2739-2750.
- Xu Xiaochun, Yin Tao, Lou Jinwei, et al. Origin of Dongguashan stratabound Cu-Ag skarn deposit in Tongling: restraints of sulfur isotope[J]. Acta Petrologica Sinica,2010(9):2739-2750.
- [13] 邱家骧. 火山岩成分与板块构造环境[J]. 地质科技情报,1983(1):6-16.
- Qiu Jiaxiang. Volcanic rock composition and plate tectonic environment[J]. Geological Information Science and Technology,1983(1):6-16.
- [14] 王成善,赵治超,程学儒,等. 边缘陆块型火山岩的建立与大陆边缘涌动构造[J]. 成都地质学院学报,1993(4):55-66.
- Wang Chengshan, Zhao Zhichao, Cheng Xueru. The establishment of the edge of continental volcanic rock type and surge of continental margin tectonic[J]. Journal of Chengdu University of Technology,1993(4):55-66.
- [15] 张 渊,孙丰月,彭晓蕾,等. 胶东西北部山上原家金矿金银矿物组合研究[J]. 黄金,2000(9):4-7.
- Zhang Yuan, Sun Fengyuan, Peng Xiaolei, et al. Research on features of Au-Ag mineral association in Shanshang Yuanjia gold deposit of East Shandong Province[J]. Gold,2000(9):4-7.
- [16] 刘瑞弟. 凡口铅锌矿的地质地球化学特征及成矿模式研究[D]. 湖南:中南大学,2002.
- Liu Ruidi. Research on Fankou Lead-zinc Mine Geological and Geochemical Characteristics and Metallogenic Model[D]. Changsha: Central South University,2002.
- [17] 徐国风. 河北某金矿床方铅矿研究[J]. 矿物岩石,1984(4):159-168.
- Xu Guofeng. Research on a certain gold deposit of galena in Hebei Province[J]. Journal of Mineralogy and Petrology,1984(4):159-168.
- [18] Von G K. Silver and mercury in single gold grains from Witwatersrand and Barberton, South Africa[J]. Mineralium Deposita,1983,18(9):529-534.

(责任编辑 王小兵)