

文章编号: 0258-7106(2007)01-0079-10

# 东疆卡拉塔格梅岭铜(金)矿床地质和流体包裹体特征及其与紫金山式铜金矿床的对比\*

缪宇<sup>1,2</sup>, 秦克章<sup>1</sup>, 许英霞<sup>1,2</sup>, 方同辉<sup>3</sup>, 丁奎首<sup>1</sup>, 徐兴旺<sup>1</sup>

(1 中国科学院矿产资源重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3 北京矿产地质研究院, 北京 100012)

**摘要** 卡拉塔格成矿带梅岭铜(金)矿床位于新疆吐哈盆地南缘的古生代隆起带中,在大地构造位置上处于大南湖—突苏泉晚古生代岛弧带北段的上叠火山盆地中。其成矿阶段形成的石英中的流体包裹体类型较为单一,多为气液两相包裹体,数量少,个体较小(3~10 μm),气相百分数小(4%~10%),零星随机分布。均一温度变于106.6~259.8℃,成矿流体盐度 $\alpha(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为0.18%~8.41%,成矿压力为3~16 MPa,估算的成矿深度为0.4~0.8 km。结合野外观察以及火山-次火山岩石组合、热液蚀变组合及矿石结构构造与矿化特点,提出梅岭铜(金)矿区为高硫化物浅成低温热液型与斑岩型铜金矿之间的过渡类型,相当于福建紫金山式或台湾金瓜石式。

**关键词** 地球化学, 流体包裹体, 高硫型浅成低温热液矿床, 梅岭 Cu-Au 矿床, 卡拉塔格成矿带, 东天山

中图分类号: P618.41; P618.51

文献标识码: A

## Geological and fluid inclusion characteristics of Meiling Cu-Au deposit in Kalatage ore belt, eastern Xinjiang, in comparison with typical Zijinshan-style HS-epithermal deposit

MIAO Yu<sup>1,2</sup>, QIN KeZhang<sup>1</sup>, XU YingXia<sup>1,2</sup>, FANG TongHui<sup>3</sup>, DING KuiShou<sup>1</sup>  
and XU XingWang<sup>1</sup>

(1 Key Lab of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China; 2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3 Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China)

### Abstract

Located in the Paleozoic uplift along the southern margin of Tu-Ha basin in eastern Xinjiang, the newly discovered Meiling Cu-Au deposit occurs in the superimposed Mesozoic volcanic basin upon the northern part of Late Paleozoic Dananhu-Tousuquan accretionary arc. The Meiling Cu-Au deposit is controlled by NWW-SN- and EW-trending faults and can be divided into three Cu-Au sub-zones. Host rocks are mainly rhyolitic-dacitic ignimbrite, whereas Cu-Au mineralization is closely related to quartz porphyry, rhyolitic porphyry and granitic porphyry. Ore-forming styles are dominantly veinlet-disseminations and veinlets, and occasionally stockworks. The mineral association consists of chalcopyrite, pyrite, bornite, chalcocite and sphalerite. Typical minerals are alunite and pyrophyllite. Hydrothermal alterations are mainly silicification, sericitization, alunite, pyrophyllitization, illitization, hydromuscovitization and chloritization. Fluid inclusions are very small (3~10 μm)

\* 本文得到国家自然科学基金项目(40672069)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-137)与国家“十五”科技攻关新疆305项目东天山东段铜矿专题(2003BA612A-06-07)的联合资助

第一作者简介 缪宇,女,1979年生,硕士研究生,从事矿床学研究。E-mail: miaoyu@mail.igcas.ac.cn

收稿日期 2006-07-31 改回日期 2006-12-12。李岩编辑。

and sparse, and gas to liquid ratios are 4%~10%. The homogenization temperatures fall in the range of 107~260°C, with the salinities from 0.2% to 8.4% [w(NaCl<sub>eq</sub>)], and the estimated pressure mainly from 3 to 16 MPa. Fluid inclusions and geological data suggest that the ore-forming process occurred in depths of 0.4~0.8 km. Based on field observation, volcanic sub-volcanic rock composition, hydrothermal alteration, ore structure and ore-forming characteristics, this paper holds that the Meiling Cu-Au deposit belongs to the transitional type from high-sulfidation epithermal deposit to porphyry Cu-Au deposit, corresponding to typical HS-epithermal deposits such as the Zijinshan Au-Cu deposit in Fujian and the Chinkuashih Au-Cu deposit in Taiwan.

**Key words:** geochemistry, fluid inclusion, high-sulfidation epithermal deposit, Meiling Cu-Au deposit, Kalatage ore belt, East Tianshan

随着东天山古生代大南湖岛弧带土屋—延东特大型斑岩铜矿带的查明,东天山地区与火山-次火山作用有关的铜金矿床的找矿远景也得到进一步重视。位于吐哈盆地南缘、距土屋—延东斑岩铜矿带仅70余公里的卡拉塔格铜金矿化区的发现(秦克章等,2001)和近年所取得的铜金找矿突破(方同辉等,2002),大大拓宽了大南湖—头苏泉晚古生代岛弧带斑岩铜矿-浅成低温热液金铜矿的找矿空间,对东天山地区取得进一步的找矿突破具有重要的现实意义(秦克章等,2003),位于红山矿区以东8 km的梅岭矿区2004年钻探发现厚大矿体是继红山矿区之后的又一重大发现。卡拉塔格地区泥盆系火山-侵入岩发育,有关的矿化和热液蚀变普遍,但由于艰苦恶劣的自然地理环境和不便的交通,其地质矿产研究程度还较低,对区内的铜、金矿化的特征、成因及矿化类型等,前人尚未做过系统的研究。

在前期工作的基础上,笔者近年连续在梅岭铜金矿化区进行了地质调查及系统采样,并对福建紫金山铜金矿床进行了考察,结合室内岩矿鉴定和流体包裹体测试,提出卡拉塔格梅岭Cu-Au矿床为高硫化物浅成低温热液型与斑岩型铜金矿之间的过渡

类型,相当于福建紫金山式或台湾金瓜石式,具有很好的找矿远景。

## 1 成矿地质背景

卡拉塔格铜金矿带位于新疆吐哈盆地南缘的古生代隆起带中,在大地构造位置上处于大南湖—头苏泉晚古生代岛弧带北段的上叠火山盆地中。卡拉塔格南东70 km即为土屋—延东铜矿带,后者位于大南湖—头苏泉晚古生代岛弧带的南段(图1)。

该区是一个与晚古生代-中生代陆相火山活动有关的金铜矿(化)区,火山盆地受NW向构造控制。其所在的大南湖—头苏泉火山-侵入岩带为一泥盆纪—石炭纪的多期增生岛弧带,位于康古尔断裂以北,至吐哈盆地南缘,其北界尚待确定。

区域地层建造为下泥盆统(也可能为奥陶-志留系)卡拉塔格组中基性火山岩-酸性火山碎屑岩建造,该组分布在海西期闪长岩-石英闪长岩-二长花岗岩复式侵入岩体的北侧。成矿期中酸性火山岩及次火山岩则形成于该复式侵入体之后,初步确定为中生代产物<sup>①</sup>。

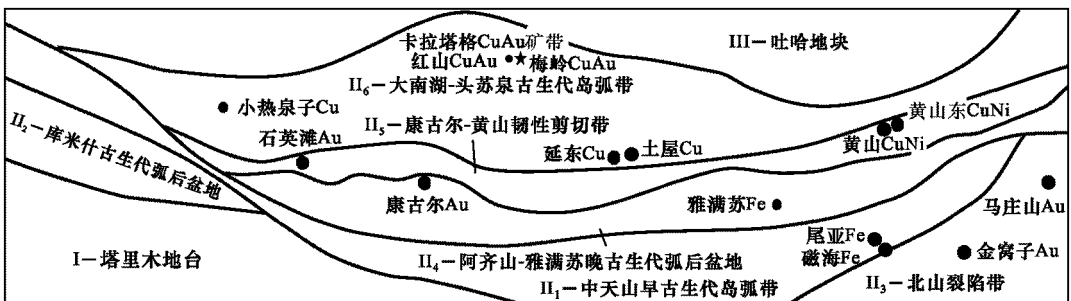


图1 东天山地区大地构造与成矿带地质略图(据秦克章等,2003)

Fig. 1 Geological sketch map of the tectonic and metallogenic belt in Eastern Tianshan

① 秦克章,等. 2005.《东天山东段大型铜矿床靶区优选与隐伏矿定位预测》研究报告. 中国科学院地质与地球物理研究所. 239页.

区内侵入岩以海西期中酸性侵入岩为主,呈小岩体或岩株产出,出露面积约60 km<sup>2</sup>。由早到晚依次为:闪长岩、石英闪长岩、二长花岗岩,属低钾钙系列。区内火山岩主要为早泥盆世与早二叠世火山活动的产物。下泥盆统卡拉塔格组火山岩以中酸性火山岩及粗火山碎屑岩为特征,岩石化学特征为钙-钙碱性岩石系列,成因上属于低钾拉斑玄武岩系列。下泥盆统大南湖组火山岩主要为火山碎屑岩和中基性火山熔岩,属钙碱性系列。早二叠世火山活动形成了一套中-基性火山岩。矿区南西侧约20 km发育有方山白垩系陆相火山岩(1:20万区测报告,1986),产状近水平的杏仁状玄武岩不整合覆在含硅化木的侏罗系砂岩之上。超覆在玄武岩之上的层状火山角砾岩向此侧过渡为火山集块岩,并在高岭土化硅化火山岩中发现以胆矾为主的氧化铜矿化,厚度达1.5 m。该地段白垩系火山岩中铜矿化现象的发现意味着卡拉塔格地区乃至东天山地区在晚古生代(白垩纪)仍有强烈的陆相火山-次火山活动及铜的成矿作用。

根据接触穿插关系及有无变形变质影响,将矿区范围内的火山-侵入作用分为4期:①深灰色、灰棕色浅变质玄武岩-安山岩-英安岩及其火山碎屑岩,相当于卡拉塔格组;②闪长玢岩、凝灰岩、凝灰质砂岩、板岩,相当于卡拉塔格组上部;③矿区南侧1~2 km外的石英闪长岩-黑云母花岗岩-二长花岗岩,笔者所测角闪石、黑云母K-Ar年龄在296~217 Ma,相当于晚石炭世末—三叠纪的产物<sup>①</sup>;④矿区蚀变矿化的流纹英安岩、熔岩、角砾凝灰岩及其次火山岩相石英斑岩、流纹斑岩、花岗斑岩,火山岩中含有花岗斑岩角砾,明显晚于第3期侵入岩,为中生代岩浆活动产物,初步定为侏罗纪—白垩纪。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 矿化体特征

梅岭铜金矿(化)区位于红山铜金矿区SEE 8 km处,为卡拉塔格地区所发现的2个铜金矿(化)区之一,即Ap7化探异常区,化探异常面积达14 km<sup>2</sup>,为一个受NWW向、SN向和近EW向3组断裂控制的菱形火山盆地。出露岩性主要为岩屑晶屑凝灰岩、凝灰质熔岩、安山岩、英安(玢)岩、流纹斑岩、石

英斑岩、花岗斑岩、闪长玢岩等。北京矿产地质研究院项目组根据地表蚀变矿化的分布范围,将Ap7异常矿化区分为西、东、北,即Ap7W(即梅岭矿区)、Ap7E和Ap7N三个矿化区,单个矿化区地表分布面积为1~3 km<sup>2</sup>(图2)。

Ap7W即狭义的梅岭铜金矿化带位于Ap7火山盆地的西北侧,地貌宽缓,局部为一酸性火山穹丘。岩屑化探扫面显示为Cu的高值异常区。Ap7W受F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>三组NWW向断裂控制,以F<sub>3</sub>断裂为界,将梅岭矿区分为南、北2条铜金矿化蚀变亚带。南蚀变亚带控制长度700 m,宽100 m,主要岩性为含黄钾铁矾的硅化石英斑岩及流纹斑岩,次为硅化-绢云母化-褐铁矿化-绿泥石化闪长玢岩。北蚀变带控制长度750 m,宽200~250 m,主要岩性为硅化-绢云母化-褐铁矿化-绿泥石化闪长玢岩,次为含黄钾铁矾的硅化石英斑岩。

地表圈定出3个蚀变闪长玢岩体,其中有2个较大的斑岩体分布在北蚀变带中,岩体发生强烈的硅化-绢云母化-褐铁矿化-绿泥石化。蚀变闪长玢岩体的 $w_{Cu}$ 为 $1\ 353 \times 10^{-6} \sim 4\ 000 \times 10^{-6}$ 、 $w_{Au}$ 为 $18 \times 10^{-9} \sim 255\ 110^{-9}$ 。在北矿化蚀变带中新发现10 m左右宽的金矿化体,刻槽样分析金品位0.34~3.03 g/t,平均1.08 g/t,含矿围岩为石英细网脉发育的石英斑岩和流纹斑岩。

Ap7E位于Ap7火山盆地的东北隅。以近东西向断裂和近南北向断裂为界线,北侧和东侧被凝灰熔岩和安山岩构成的高地所围绕。容矿岩石主体为一套完全未受变质作用影响的流纹英安岩及火山碎屑岩。本区NNW向的小断裂发育,这些小断裂基本上都属于近NS向断裂西侧的羽状断裂,它们几乎控制着本区所有的矿化蚀变。

Ap7N发育环形构造,在遥感影像图上清晰可辨。主要发育一套硅化-褐铁矿化-绢云母化-绿泥石化-粘土化蚀变,产有铜金和金矿体。该火山机构的南南部深部存在有极高化中低阻异常,显示有较好的找矿前景。

根据红山和梅岭铜金矿区含矿岩性及矿石类型,卡拉塔格地区铜金矿化体分为5类(见表1)。矿石类型以细脉状为主,少量浸染状,大多为黄铁矿-黄铜矿-石英细脉,偶见黄铜矿杏仁体。含矿围岩为火山角砾岩、石英斑岩、闪长玢岩、角砾英安岩、安山岩等。

① 秦克章,等. 2005.《东天山东段大型铜矿床靶区优选与隐伏矿定位预测》研究报告. 中国科学院地质与地球物理研究所. 239页.

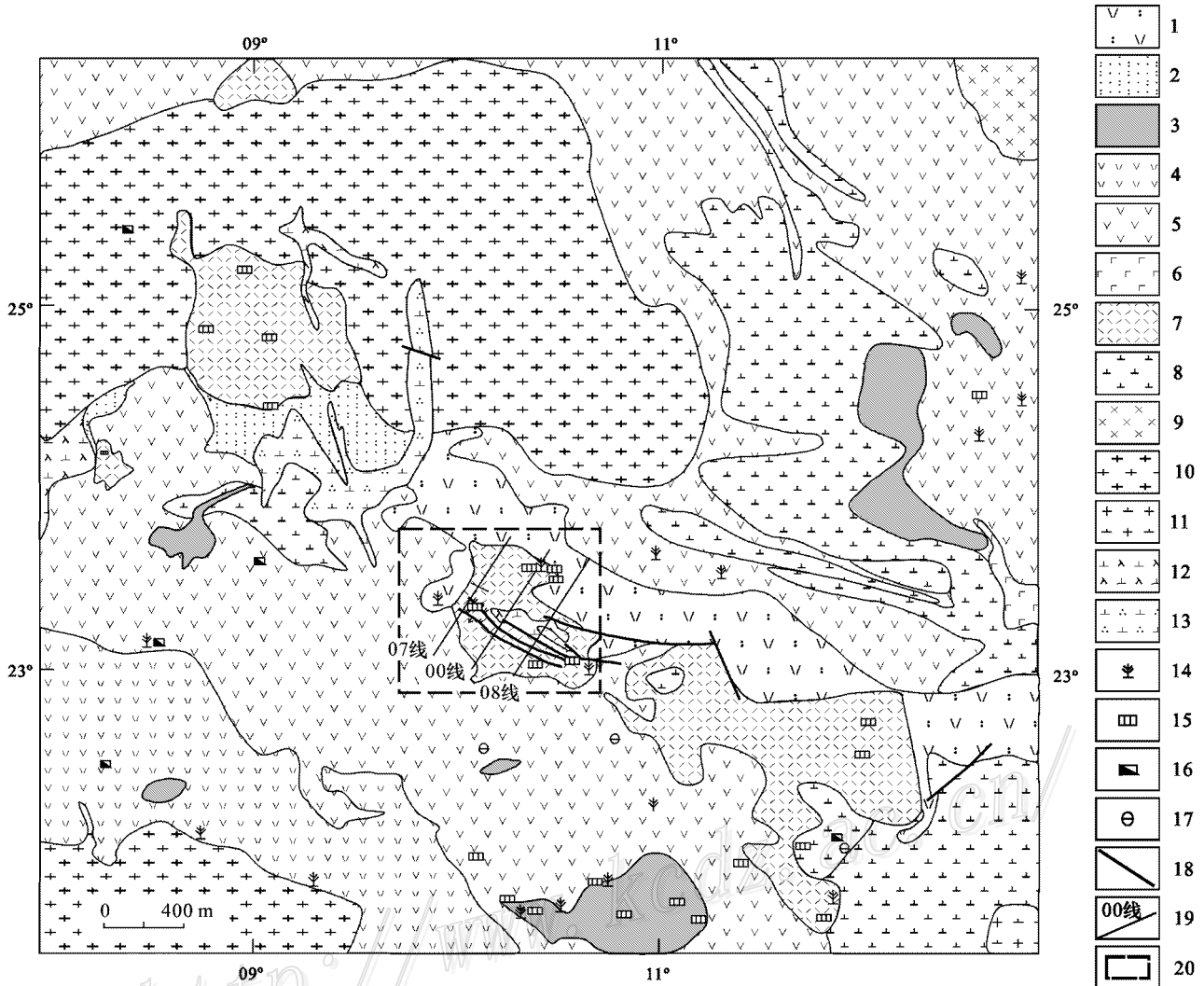


图2 新疆哈密市卡拉塔格 Ap7 区地质图(据方同辉等 2005<sup>①</sup>修改)

1—晶屑岩屑凝灰岩 2—英安质晶屑岩屑凝灰岩 3—流纹岩 4—英安岩 5—安山岩 6—安山质玄武岩 7—流纹斑岩 8—英安斑岩 9—辉长岩 10—花岗斑岩 11—花岗闪长岩 12—闪长玢岩 13—石英闪长玢岩 14—孔雀石化 15—黄铁矿化 16—褐铁矿化 17—绿帘石化；  
18—断层 19—勘查线位置及编号 20—梅岭矿区 1:2 000 地质填图范围

Fig. 2 Geological map of Ap7 area of Kalatage, Hami, Xinjiang (modified by Fang Tonghui, Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, 2005)

1—Crystal-lithoclast tuffaceous lava; 2—Dacitic crystal-lithoclast tuff; 3—Rhyolite; 4—Dacite; 5—Andesite; 6—Andesitic basalt; 7—Rhyolite porphyry; 8—Dacite porphyry; 9—Gabbro; 10—Granite porphyry; 11—Granodiorite; 12—Diorite porphyrite; 13—Quartz diorite porphyrite; 14—Malachite; 15—Pyritization; 16—Limonitization; 17—Epidotization; 18—Fault; 19—Exploration line and its serial number; 20—Boundary of 1:2 000 geological map of Meiling

## 2.2 围岩蚀变特征

梅岭矿区围岩蚀变强烈而广泛,主要为硅化、绢云母化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、叶腊石化、明矾石化、粘土化、青磐岩化。地表蚀变特征与红山矿区地

表蚀变特征类似,以酸性火山岩的酸淋滤带蚀变体(黄钾铁矾-明矾石-高岭土-石膏)和中酸性斑岩体的绢云母化-硅化为显著特征,远矿蚀变则以青磐岩化为标志。

① 方同辉等. 2005.《国土资源大调查项目 新疆哈密卡拉塔格地区铜金矿找矿评价》报告. 北京矿产地质研究院.

表 1 卡拉塔格地区铜金矿化体分类表

Table 1 Classification of copper and gold mineralized bodies in Kalatage area

| 矿化类型 | 矿种     | 赋矿岩性           | 矿石类型     |
|------|--------|----------------|----------|
| I    | Cu, Au | 闪长玢岩           | 浸染状-细脉状  |
| II   | Cu, Au | 火山角砾岩          | 细脉状-浸染状  |
| III  | Cu     | 流纹英安岩、安山岩      | 细脉状、杏仁体状 |
| IV   | Cu     | 玄武岩、安山质玄武岩     | 细脉状、杏仁体状 |
| V    | Au     | 流纹斑岩、石英斑岩、花岗斑岩 | 网脉状石英    |

Ap7W 区南部分布有大面积的安山岩,多发生绿泥石化-绿帘石化-碳酸盐化蚀变,有时见孔雀石化。安山岩常被零星冒尖的流纹岩“刺穿”,在其接触带上发生硅化、褐铁矿化和绿泥石化,有时还见有密集的石英脉。中北部的流纹岩区见角砾熔岩、流纹斑岩和石英斑岩、闪长玢岩,常发生强烈的硅化-黄铁矿化-黄钾铁矾化。流纹岩北侧紧邻安山质凝灰熔岩。

Ap7E 主要分布有流纹岩以及下伏的较老的安山岩和英安岩,流纹岩发生硅化-黄铁矿化-黄钾铁矾化-绢云母化-粘土化等蚀变,围岩遭受硅化、绿帘石化和绿泥石化等蚀变,大量的硫化物-石英脉穿插流纹岩和安山岩。边部及钻孔较下部见有早期弱变质的玄武岩、安山岩,在次火山岩-石英斑岩、流纹斑岩、花岗斑岩及闪长玢岩发育的地段,热液蚀变多呈面状且强度更大,表明矿化与最晚期的火山-次火山作用关系密切。

### 3 流体包裹体特征

#### 3.1 石英脉中流体包裹体特征

##### 3.1.1 样品描述

流体包裹体样品均采自梅岭(Ap7W)钻孔 ZK001 不同位置的含铜(金)石英脉中,伴生有大量的硫化物(主要是黄铁矿,黄铜矿次之),代表梅岭铜(金)矿形成的主要成矿阶段。

##### 3.1.2 包裹体总体特征

梅岭地区原生流体包裹体类型较为单一,多为气液两相包裹体,极个别气相包裹体,数量不多,个体较小,气液两相者气相百分数小,零星随机分布。由此可以排除沸腾作为矿质沉淀机理的可能性。

本次研究通过大量的显微镜下观察,从 17 个包裹体薄片选出 5 件共 125 个原生流体包裹体进行显微测温研究。这些包裹体多为气液两相包裹体,

呈不规则形、椭圆形、长条形或近圆形,直径 3~10  $\mu\text{m}$ ,多数 5~6  $\mu\text{m}$ ,气相百分数较小,多为 4%~10%,以无色透明者为主,少数为浅褐色或浅灰色,气体颜色较液体颜色深,气泡呈小黑点在液体中游走跳动,气液两相界线清晰(图 3)。

##### 3.1.3 流体包裹体测温

本次实验的冰点温度( $t_m$ )及均一温度( $t_h$ )均由 Linkam THMS-600 型冷热台(-180~0 $^{\circ}\text{C}$ ,测温精度为  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ; 0~+600 $^{\circ}\text{C}$ ,测温精度为  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,与 Leica 显微镜配套)测定,测试在中国科学院地质与地球物理研究所流体包裹体实验室完成。升温时观察气液两相的变化,当气泡剧烈跳动并由大变小接近消失时,将升温速率设定为 1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,以便记录准确的均一温度;冰点温度附近以 0.1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  速率进行反复验证。流体包裹体的盐度是根据包裹体冷冻回温后最后一块冰融化的温度(冰点),利用 Hall 等(1988)的方程计算得到,盐度换算所用公式为:

$$\text{盐度 } \omega(\text{NaCl}_{\text{eq}}) = 0.00 + 1.78t_m - 0.0442t_m^2 + 0.000557t_m^3$$

式中  $t_m$  代表冰点温度。

本次测验结果如下:125 个气液两相包裹体的均一温度变化于 107~260 $^{\circ}\text{C}$ ,主要集中在 120~220 $^{\circ}\text{C}$  之间(见图 4)。冰点值范围为 0~5.4 $^{\circ}\text{C}$ ,盐度  $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  为 0.2%~8.4%,大多 <5%,主要集中于 0~1%,平均值为 1.75%(见图 5)。利用气液两相包裹体,得出包裹体压力变化范围 3~16 MPa,压力值主要集中在 4~10 MPa(见图 6)。

从梅岭石英脉中流体包裹体的均一温度( $t_h$ )、盐度关系图(图 7)可看出,当流体盐度  $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  从 0.2%~8.4% 变化时,温度却只在有限的区间(107~260 $^{\circ}\text{C}$ ) 内变化。说明该区流体是与不同盐度的流体等温混合的结果(据卢焕章等,2004)。

#### 3.2 梅岭地区重晶石脉中流体包裹体特征

##### 3.2.1 重晶石脉的产出特征及其分布

重晶石主体位于 Ap7E 靠近热液蚀变的石英斑岩和花岗斑岩中,呈透镜状,长 3~5 m,宽 10~20 cm,产于粘土化-硅化-明矾石化的流纹英安质火山岩中。

##### 3.2.2 包裹体总体特征

从显微镜下观察,重晶石脉中的流体包裹体主要是气液两相包裹体,其次是液相包裹体。形态以椭圆形为主,次为长方形或负晶形,直径 3~20  $\mu\text{m}$ ,大多集中在 6~10  $\mu\text{m}$ ,气相百分数变化较大,从 2%~

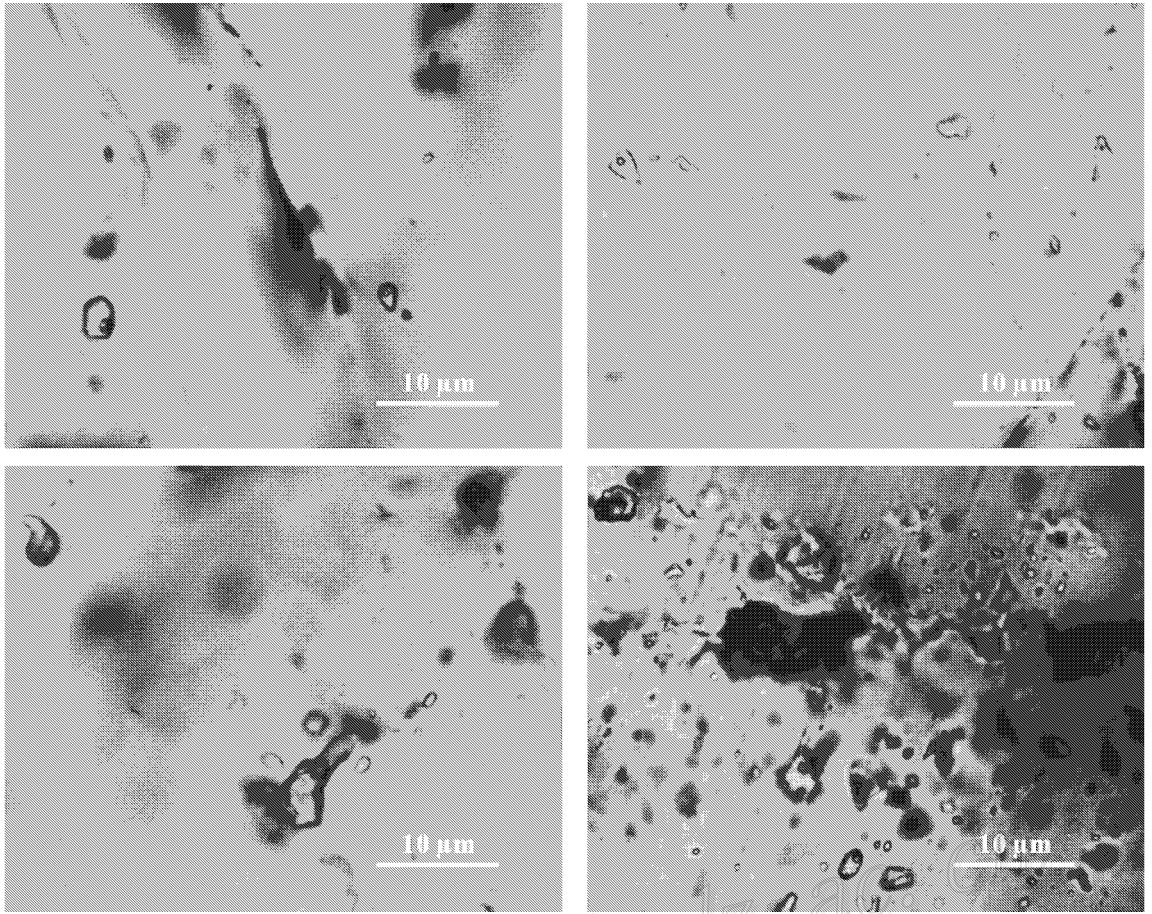


图3 梅岭矿区石英脉中的包裹体

Fig. 3 Fluid inclusion in quartz veins of the Meiling ore district

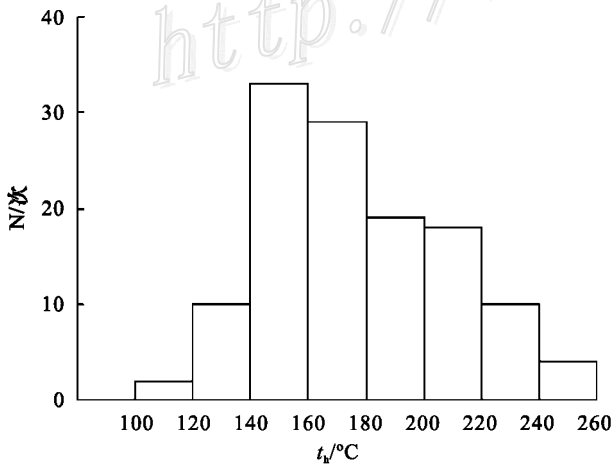


图4 梅岭矿区石英脉中流体包裹体均一温度直方图

Fig. 4 Histogram showing homogeneous temperature of fluid inclusions in quartz veins, Meiling Cu-Au district

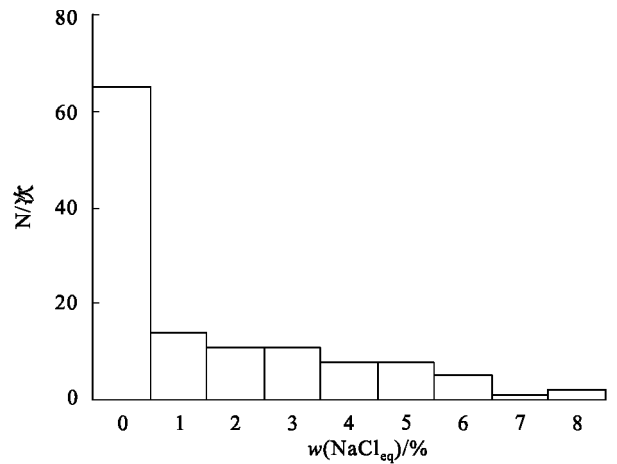


图5 梅岭矿区石英脉中流体包裹体盐度直方图

Fig. 5 Histogram showing salinity of fluid inclusions in quartz veins, Meiling Cu-Au district

40%均有,多为5%~15%,以无色透明者为主,少数为浅褐色或浅灰色,气体颜色较液体颜色深,气液两相界线清晰。

### 3.2.3 流体包裹体测温

(1) 流体包裹体以气液包裹体为最多,其次为液体包裹体。

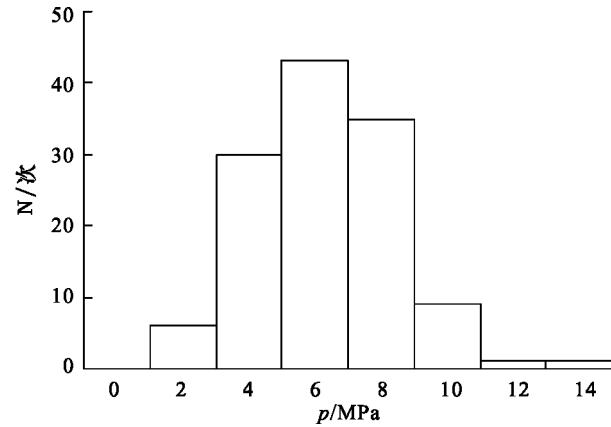


图6 梅岭矿区石英脉中流体包裹体压力直方图

Fig. 6 Histogram showing pressure of fluid inclusions in quartz veins, Meiling Cu-Au district

(2) 均一温度范围从 86~326℃, 分 3 期, I 期均一温度最高, 范围在 260~326℃, II 期均一温度在 150~230℃, III 期均一温度最低, 为 86~127℃。

(3) 纯液相流体包裹体均一温度较低, 一般 86~127℃, 气液包裹体温度较高, 一般为 195~326℃, 并且随气体含量比例的增加, 均一温度也升高;

(4) 成矿流体盐度范围较宽,  $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  从 0.71%~10.61%, 冰点较低, -5.4~0.1℃。

(5) 成矿压力约为 2~19 MPa, I 期成矿压力较高, 为 8~19 MPa, II 期成矿压力较低, 为 2~7 MPa, 估算成矿深度为 0.1~1.2 km。

对比石英脉和重晶石脉中的流体包裹体资料表明, 利用石英脉中的流体包裹体得到的均一温度比从重晶石中流体包裹体得到的均一温度低, 前者相当于后者 II 期的均一温度(150~230℃)。结合各自的产出环境和位置, 笔者发现, 产于  $A_{p7E}$  地表的重晶石脉中的流体包裹体所反映的成矿流体温度反而比产于  $A_{p7W}$  钻孔内石英脉中的要高, 据此, 笔者推测  $A_{p7E}$  比  $A_{p7W}$  更靠近斑岩体。

## 4 成矿深度测算

目前, 在成矿作用研究方面尚没有更好的地质压力计可用, 根据流体包裹体的显微测温资料求得的成矿压力可能误差较大, 有些在图上无法查得压力值, 获得的压力值只能作为参考, 根据这些压力值求得的成矿深度也只能是近似数据。

利用不同成矿阶段石英中流体包裹体的均一温

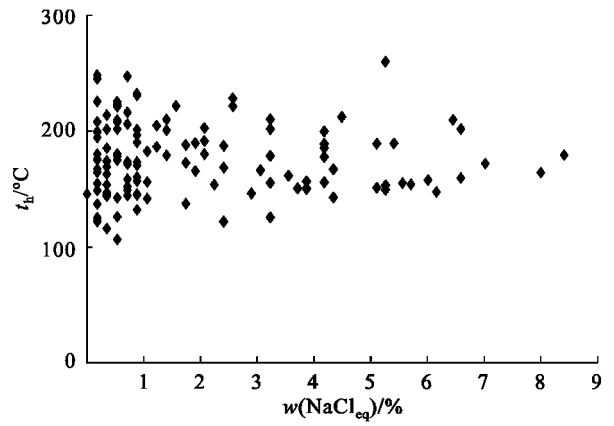


图7 梅岭矿区石英脉中流体包裹体均一温度-盐度关系图

Fig. 7 Relation between homogeneous temperature and salinity of fluid inclusions in quartz veins, Meiling Cu-Au district

度对成矿压力进行了大致估算, 梅岭金铜矿区的成矿压力为 3~16 MPa, 主要集中在 4~10 MPa, 平均成矿压力为 7.8 MPa, 如果按 0.026 GPa/km 的地压梯度(胡宝群等 2003)估算, 其相应的形成深度为 0.12~0.6 km。如果按黄铁矿绢英岩化蚀变发生的压力条件——0.015~0.020 GPa/km(范宏瑞等, 1997)和上述地压梯度(胡宝群等 2003)估算, 矿床形成深度应为 0.2~1.0 km。结合钻孔资料综合分析, 笔者认为区内金成矿作用发生的深度应主要在 0.4~0.8 km 左右, 相当于浅成低温热液金矿床的中部。

## 5 矿床成因类型探讨

### 5.1 矿化火山-次火山岩石组合特征

赋矿岩石主体为一套完全未受变质作用影响的流纹英安质火山岩及火山碎屑岩, 且浅表热泉型硅质岩十分发育, 边部及钻孔下部见有早期弱变质的玄武岩、安山岩, 在次火山岩-石英斑岩、流纹斑岩、花岗斑岩、闪长玢岩发育的地段, 热液蚀变多呈面状且强度更大, 表明矿化与最晚期的火山-次火山作用关系密切。

### 5.2 流体包裹体显示低温热液特征

石英脉和重晶石脉中的流体包裹体资料表明, 石英脉中流体包裹体的均一温度比重晶石中流体包裹体的均一温度低, 前者相当于后者 II 期的均一温度(150~230℃)。总的来讲, 梅岭地区流体包裹体资料表明, 其成矿深度浅(0.4~0.8 km), 成矿温度低(106.6~326℃), 成矿流体盐度低( $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  0.18%~10.61%)的显著特点, 与浅成低温热液矿床流体包裹体特征一致(表 2)。

表2 梅岭铜金矿化区与代表性高硫型浅成低温热液矿床特征对比

Table 2 Comparison of characteristics between the Meiling copper-gold mineralized district and typical HS-epithermal deposits

| 矿床特征      | 东天山梅岭                                   | 福建紫金山  | 台湾金瓜石                                   | 菲律宾勒班陀 Lepanto   | 高硫型矿床   |
|-----------|---|--|---|--|---|
| 成矿时代      | 中生代                                     | 白垩纪 110~95 Ma  | 更新世 0.8~1 Ma                            | 新第三纪 1.37 ~ 1.56 Ma  | 新生代为主   |
| 大地构造背景    | 陆相火山,晚古生代岛弧带上叠火山盆地                      | 陆相火山,陆内拉张断裂带   | 陆相火山,台湾火山岛弧                             | 海-陆交互相火山岩,岛弧带  | 汇聚板块边缘岛弧或张裂带  |
| 火山构造环境    | 中酸性火山穹丘                                 | 中心式火山根部  | 中心式火山群中岩穹或次火山岩                          | 火山口边缘断裂带   | 破火山口、中心式火山  |
| 控矿构造      | 受3组 NWW 向断裂控制,以中间断裂为界,分为南北两条铜金矿化蚀变亚带    | NE 和 NW 向断裂和裂隙带,矿化作用主要受燕山晚期 NW 向上杭一云霄深断裂控制           | SN 向东倾斜的正断层与钙质砂岩、碳质砂岩和页岩的交替层或页岩之下的砂岩交会处 | 主矿体受 NW 走向的高角度断层控制   | 火山中心和火山穹丘系统,与区域性断裂关系密切                                |
| 岩石系列组合    | 钙碱性岩石系列                                 | 钙碱系列中酸性侵入岩(花岗闪长岩-英安斑岩)                               | 钙碱性系列(花岗闪长岩-英安岩)                        | 钙碱性系列英安岩、石英闪长岩   | 钙碱性系列,中酸性火山-侵入杂岩                                      |
| 赋矿主岩      | 火山角砾岩、石英斑岩、闪长玢岩、角砾英安岩、安山岩               | 英安(玢)岩、热液角砾岩及下伏基底花岗岩                                 | 英安岩及下伏基底第三纪砂页岩                          | 英安岩及火山碎屑岩间的断层角砾带   | 火山岩或基底围岩  |
| 矿石矿物      | 黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿以及闪锌矿                    | 蓝辉铜矿、铜蓝、硫砷铜矿、黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿,以及方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、自然金等          | 黄铁矿、硫砷铜矿、脆硫锑铅矿、法马丁矿、自然金、银金矿             | 硫砷铜矿、黝铜矿、吕宋矿、黄铁矿、自然金、金碲化物  | 黄铁矿、硫砷铜矿、黄铜矿、砷黝铜矿、铜蓝、四方硫砷铜矿、金、碲化物                     |
| 特征蚀变矿物    | 明矾石、叶蜡石                                 | 明矾石  | 明矾石                                     | 明矾石  | 明矾石   |
| 围岩蚀变      | 硅化、绢云母化、黄铁矿绢英岩化、叶蜡石化、绿泥石化、明矾石化、粘土化、青磐岩化 | 石英-绢云母化、石英-迪开石化、石英-明矾石化、硅化                           | 硅化、重晶石化、粘土化、明矾石化、青磐岩化                   | 硅化、高岭石化及高级泥质蚀变,叶蜡石、硬水铝石和明矾石组合                                    | 硅化、明矾石化、高岭土化、迪开石化、叶蜡石化、硬水铝石、氯黄晶                       |
| 蚀变分带      | 较明显:硅化-绢云母化、硅化-绿泥石化、青磐岩化、硅化-明矾石-叶蜡石化带   | 垂直分带和水平分带均明显,自上而下、自内向外依次是:硅化、石英-明矾石化、石英-迪开石化、石英-绢云母化 | 分带不明显。黄铁矿化、硅化、重晶石化、粘土化、明矾石化,矿床上部常出现硅化帽  | 分带明显,并逐渐过渡到斑岩型蚀变:块状/多孔状石英、石英-明矾石、叶蜡石-硬水铝石±高岭石族、绿泥石±绢云母、钾硅酸盐、青磐岩化 | 从核心向外:残余石英或孔洞状石英、明矾石、叶蜡石、高岭石、伊利石和绿泥石                  |
| 矿化型式      | 以细脉-浸染状为主,局部偶见网脉状                       | 以脉状为主,热液角砾岩  | 以脉状和角砾岩岩筒为主                             | 脉状、稠密浸染状、角砾状   | 浸染状为主、网脉状、脉状、角砾岩等                                     |
| 成矿温度      | 107~260~326℃                            | 180~240~380℃   | 80~200℃, 178~241℃, 185~375℃             | 160~280℃   | 100~320℃(主要200~300℃)                                  |
| 成矿深度      | 115~1067 m,地质推断200~800 m                | 300~2400 m,地质推断1500 m                                | 2400~3500 m,地质推断1200 m                  | 1000 m   | 500~2400 m,一般300~600 m                                |
| 与斑岩铜矿伴生关系 | 尚未发现,深部有可能存在                            | 深部已发现斑岩铜矿  | 尚未发现,深部有可能存在                            | 矿区东侧深部见斑岩铜金矿   | 斑岩型矿床在有些矿床深部已发现                                       |
| 资料来源      | 本文;秦克章等,2001;方同辉等,2002                  | 张德全等,1991,2003;陶奎元,1997;高天均等,1999;王绍雄等,1999          | 陶奎元,1997;王绍雄等,1999                      | Hedenquist et al., 1996,1998                                     | Hedenquist et al., 1998等;应汉龙,1999;江思宏等,2004;冯娟萍等,2005 |



### 5.3 热液蚀变组合

梅岭矿区围岩蚀变强烈、广泛,主要为硅化、绢云母化、绿泥石化、叶蜡石化、明矾石化、青磐岩化。地表蚀变特征以酸性火山岩的酸淋滤带蚀变体(黄钾铁矾-明矾石-高岭土-石膏)和中性斑岩体的绢云母化-硅化为显著特征,远矿蚀变则以青磐岩化为标志。具备高硫化型浅成低温铜金矿床的蚀变特征。

### 5.4 矿石结构构造与矿化特点

矿体多为大脉状、脉状,受断裂破裂带和火山机构及次火山岩相控制,矿石结构构造多为细脉-浸染状,局部偶见网脉状。矿化组合为 Cu-Au 型,以 Cu 为主。

从现有的矿床特征(见表 2)来判断,梅岭 Cu-Au 矿床为高硫化物浅成低温型与斑岩型铜金矿之间的过渡类型,相当于福建紫金山式或台湾金瓜石式。相对于西侧的红山矿床,梅岭矿床剥蚀程度略高(但整体仍属中浅剥蚀程度),次火山-侵入岩相更发育,浅表见叶蜡石化、粘土化、明矾石化蚀变,而钻孔中深部主体为硅化、绢云母化、绿泥石化。有理由相信,其在过渡型中更偏向斑岩型铜金矿床一侧。

## 6 讨论和结论

随着在浅成低温热液型矿床深部发现大量的斑岩型矿化,或者在斑岩型矿床附近发现大量的浅成低温热液型矿床,斑岩型矿化和浅成低温热液型矿化之间的关系已日渐引起人们的高度重视(Qin et al., 1995; 1997; Hedenquist et al., 1998; 尹意求等, 2001; 张德全等, 2003; 2005; 申萍, 2004; 江思宏等, 2004; 繆宇等, 2006), 成为当前矿床学研究的一个热点。近年来有关文章大量发表, 研究趋势方兴未艾。作者们从不同的角度来探讨它们之间的转换关系, 但目前仍有许多问题尚不清楚。两者之间可以存在着一定的成因联系, 这个结论对勘查战略是有意义的。在发现有一种矿化类型的矿区中, 应当搜寻有适当空间关系的另一种矿化类型存在的证据。但是, 这种互补的矿化类型是否一定存在, 是受诸多因素的影响和控制的, 如地质和构造因素及地球化学演化等。它们之间的时空关系、结构体系及其之间的成岩、流体成矿演化过程, 以及它们之间的成矿年代序列、构造控制等方面的问题, 需要今后进一步加强研究。应从整个斑岩-次火山岩的岩浆-热液成矿系统角度来探讨斑岩型铜矿系统, 并建立指示标志, 引导勘查。

(1) 流体包裹体显微测温研究表明, 梅岭铜

(金) 矿区成矿温度低(107~326℃), 成矿流体盐度低( $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  0.18%~10.61%), 估算的成矿深度浅(0.4~0.8 km 左右), 属典型的高硫型浅成低温热液型矿床。

(2) 综合野外观察以及火山-次火山岩石组合、流体包裹体特征、热液蚀变组合及矿石结构构造与矿化特点, 梅岭铜(金)矿区的成矿类型为高硫化物浅成低温热液型与斑岩型铜金矿之间的过渡类型, 相当于福建紫金山式或台湾金瓜石式。

致谢 野外工作期间, 得到北京矿产地质研究院新疆卡拉塔格铜金矿项目组高军辉、王福田等同志的大力支持; 在测试过程中, 承蒙中国科学院地质与地球物理研究所王莉娟、谢奕汉研究员指导, 李金祥协助流体包裹体测试; 范宏瑞研究员指导成矿深度计算。承蒙范宏瑞研究员、申萍博士审阅初稿, 并提出宝贵意见。特此一并致谢!

### References

- Fan H R, Xie Y H and Wang Y L. 1997. Fluid inclusion evidences in the processes and environments of gold deposition[J]. J. Precious Metallic Geol., 6(3): 204~213 (in Chinese with English abstract).
- Fang T H, Qin K Z, Wang S L, Jiang F Z, Gan X P and Zhou Z J. 2002. Preliminary analysis on the geological background of Kalatage Cu-Au deposit, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 21(Supp.): 380~384 (in Chinese with English abstract).
- Feng J P and Wang J L. 2005. Study on fluid inclusions and discussion on gold mineralization styles of Axi, Jingxi-Yemend gold deposits in Western Tianshan, Xinjiang[J]. Northwestern Geol., 38(1): 31~36 (in Chinese with English abstract).
- Gao T J. 1999. Comparison of the Zijinshan copper-gold deposit and Circum-Pacific epithermal deposit[J]. Geol. Fujian, 8(4): 167~177 (in Chinese with English abstract).
- Hall D L, Sterner S M and Bodnar R J. 1988. Freezing point depression of NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O solutions[J]. Econ. Geol., 83: 197~202.
- Hedenquist J W, Izawa E, Antonio A Jr and Noel C W. 1996. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration[J]. The Society of Resource Geology.
- Hedenquist J W and Antonio A Jr. 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits Philippines[J]. Econ. Geol., 93(4): 373~404.
- Hu B Q, Wang F Z, Sun Z X, Liu C D and Bai L H. 2003. The pressure gradient of the lithosphere[J]. Earth Science Frontiers, 10(3): 129~133 (in Chinese with English abstract).
- Jiang S H, Nie F J, Zhang Y and Hu P. 2004. The latest advances in the research of epithermal deposit[J]. Earth Science Frontiers, 11

- (2): 401~408 (in Chinese with English abstract).
- Lu H Z, Fan H R, Ni P, Ou G X, Shen K and Zhang W H. 2004. Fluid inclusion [M]. Beijing: Science Press. 230~235, 269~274 (in Chinese).
- Miao Y, Qin K Z, Li J X and Li G M. 2006. HS-epithermal Au (Cu) and porphyry Cu mineralizations: Genetic linkage and mutual implication criteria [A]. In: Chen Y C, Mao J W and Xue C J, ed. Proceedings of 8th National Conference of Mineral Deposits, China [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 218~221 (in Chinese).
- Qin K Z, Wang Z T and Pan L J. 1995. Magmatism and metallogenic systematics of the Southern Ergun Mo, Cu, Pb, Zn and Ag belt, Inner Mongolia, China [J]. Resource Geology Special Issue, (18): 159~169.
- Qin K Z, Fang T H, Wang S L and Wang X D. 2001. Discovery of the Kalatage Cu-Au mineralized district and its prospecting potentiality, in the Paleozoic uplift at the south margin of the Tu-Ha basin [J]. Geology in China, 28(3): 16~23 (in Chinese with English abstract).
- Qin K Z, Sun S, Li J L, Fang T H, Wang S L and Liu W. 2002. Paleozoic epithermal Au and porphyry Cu deposits in North Xinjiang, China: Epochs, features, tectonic linkage and exploration significance [J]. Resource Geol., 52(4): 291~300.
- Qin K Z, Peng X M, San J Z, Xu X W, Fang T H, Wang S L and Yu H F. 2003. Types of major ore deposits, division of metallogenic belts in eastern Tianshan, and discrimination of potential prospects of Cu, Au, Ni mineralization [J]. Xinjiang Geol., 21(2): 143~150 (in Chinese with English abstract).
- Shen P. 2004. Metallogenesis and structure-fluid geochemistry in Sawuer gold belt, Xinjiang [Dissertation for doctor degree] [D]. Tutor: Shen Y C. Institute of Geology and Geophysics, CAS. 69~77 (in Chinese with English abstract).
- Tao K Y. 1997. Investigation report on Taiwan: Characteristics of Chinkuashih gold (copper) deposit, Taiwan and its comparisons with Zijinshan copper (gold) deposit, Fujian [J]. Volcanology & Mineral Resources. 18(4): 260~274 (in Chinese with English abstract).
- Wang S X. 1995. Comparison of the Zijinshan copper (gold) ores and the Jinguashi gold (copper) ores and its geological significance [J]. Geol. Fujian, 14(2): 85~94 (in Chinese with English abstract).
- Yin Y Q, Chen D J, Tang H S, Li J X, Hu X P and Guo Z L. 2001. A study on prospecting deep copper deposit for the Kuozhenkuola gold district in the Sawuershan, Xinjiang [J]. J. Guilin Institute of Technology, 21(2): 93~97 (in Chinese with English abstract).
- Ying H L. 1999. The global background of epithermal gold deposits [J]. J. Precious Metallic Geol., 8(4): 241~248 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Li D X, Zhao Y M, Cheng J H, Li Z L and Zhang K Y. 1991. The Zijinshan deposit: The first example of quartz-alunite type epithermal deposits in the continent of China [J]. Geol. Rev., 37(6): 481~491 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, She H Q, Li D X and Feng C Y. 2003. The porphyry-epithermal metallogenic system in the Zijinshan region, Fujian Province [J]. Acta Geologica Sinica, 77(2): 253~261 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Feng C Y, Li D X, Sheng H Q and Dong Y J. 2005. The evolution of ore-forming fluids in the porphyry-epithermal metallogenic system of Zijinshan area [J]. Acta Geoscientica Sinica, 26(2): 127~136 (in Chinese with English abstract).

### 附中文参考文献

- 范宏瑞, 谢奕汉, 王英兰. 1997. 流体包裹体与金矿床的成矿及勘探评价 [J]. 贵金属地质, (3): 204~213.
- 方同辉, 秦克章, 王书来, 姜福芝, 甘先平, 周志坚. 2002. 浅析卡拉塔格铜金矿成矿地质背景 [J]. 矿床地质, 21(增刊): 380~384.
- 冯娟萍, 王居里. 2005. 西天山阿希-京希-伊尔曼德金矿床成矿流体包裹体研究及矿化类型探讨 [J]. 西北地质, 38(1): 31~36.
- 高天均. 1999. 福建紫金山铜金矿床类型与环太平洋浅成低温矿床的比较 [J]. 福建地质, 18(4): 167~177.
- 胡宝群, 王方正, 孙占学, 刘成东, 白丽红. 2003. 岩石圈中的地压梯度 [J]. 地学前缘, 10(3): 129~133.
- 江思宏, 聂凤军, 张义, 胡朋. 2004. 浅成低温热液型金矿床研究最新进展 [J]. 地学前缘, 11(2): 401~408.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体 [M]. 北京: 科学出版社. 230~235, 269~274.
- 缪宇, 秦克章, 李金祥, 李光明. 2006. 高硫型浅成低温热液金(铜)矿与斑岩铜矿——成因联系与互为指示标志 [A]. 见: 陈毓川, 毛景文, 薛春纪, 主编. 第八届全国矿床会议论文集 [C]. 北京: 地质出版社. 218~221.
- 秦克章, 方同辉, 王书来, 王旭东. 2001. 吐哈盆地南缘古生代“天窗”卡拉塔格铜金矿化区的发现及其成矿潜力 [J]. 中国地质, 28(3): 16~23.
- 秦克章, 彭晓明, 三金柱, 徐兴旺, 方同辉, 王书来, 于海峰. 2003. 东天山主要矿床类型、成矿区带划分与成矿远景区优选 [J]. 新疆地质, 21(2): 143~150.
- 申萍. 2004. 新疆萨吾尔金矿带构造-流体地球化学及成矿作用 [博士论文] [D]. 导师: 沈远超. 中国科学院地质与地球物理研究所. 69~77.
- 陶奎元. 1997. 台湾金瓜石金铜矿床及其与福建紫金山铜金矿床的比较——赴台考察报告之一 [J]. 火山地质与矿产, 18(4): 481~491.
- 王绍雄. 1995. 福建紫金山铜(金)矿与台湾金瓜石金(铜)矿的对比及其意义 [J]. 福建地质, 14(2): 85~94.
- 尹意求, 陈大经, 唐红松, 李嘉兴, 胡兴坪, 郭正林. 2001. 新疆萨吾尔山阔尔真阔腊金矿区的深部找铜研究 [J]. 桂林工学院学报, 21(2): 93~97.
- 应汉龙. 1999. 浅成低温热液金矿床的全球背景 [J]. 贵金属地质, 8(4): 241~248.
- 张德全, 李大新, 赵一鸣, 陈景河, 李子林, 张克尧. 1991. 福建紫金山矿床——我国大陆首例石英-明矾石型浅成低温热液铜-金矿床 [J]. 地质论评, 37(6): 481~491.
- 张德全, 余宏全, 李大新, 丰成友. 2003. 紫金山地区的斑岩-浅成热液成矿系统 [J]. 地质学报, 77(2): 253~261.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 余宏全, 董英君. 2005. 紫金山地区的斑岩-浅成热液成矿系统的成矿流体演化 [J]. 地球学报, 26(2): 127~136.