

# 新疆东天山土屋斑岩铜矿床流体包裹体地球化学特征\*

刘敏 王志良\*\* 张作衡 陈伟十 杨丹

LIU Min, WANG ZhiLiang\*\*, ZHANG ZuoHeng, CHEN WeiShi and YANG Dan

中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037

MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2009-01-13 收稿, 2009-03-26 改回.

Liu M, Wang ZL, Zhang ZH, Chen WS and Yang D. 2009. Fluid inclusion geochemistry of Tuwu porphyry copper deposit, eastern Tianshan in Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6):1446-1455

**Abstract** Based on a systematical summing-up of the previous research on the geological characteristics and mineralization of Tuwu porphyry copper deposit, the authors carried out supplement measurements of hydrogen and oxygen isotopes, homogeneous and freezing temperatures analysis of fluid inclusions in quartz, gas and ion chromatographic analysis of quartz samples and analysis of REE in fluid inclusions of quartz. The results show that the homogenization temperatures of the fluid inclusions vary from 125 to 363°C, and mostly range from 140 to 200°C. The salinities of fluids range from 0.18% NaCl to 58.28% NaCl, and mostly range from 2% NaCl to 10% NaCl. The gas components of fluid inclusions are mainly H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>, and the liquid components of fluid inclusions are mainly Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>. The  $\sum$ REE of fluid inclusions range from  $8.07 \times 10^{-6}$  to  $12.15 \times 10^{-6}$ , the LREE/HREE ratios vary from 5.39 to 6.75, and  $\delta$ Eu ranging from 1.80 to 1.91. The ore fluid in the fluid inclusions display right-inclines chondrite-normalized REE distribution patterns and positive Eu and negative Ce anomaly. The  $\delta D_{V-SMOW}$  of the inclusions in quartz range from -70‰ to -66‰, and the  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  values of quartz range from 9.4‰ to 12.3‰. According to the calculated results the  $\delta^{18}O_{H_2O}$  range from -5.1‰ to -1.2‰. The results of ion chromatographic analysis showing that the ratio of F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup> range from 0.009 to 0.024, and that of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> range from 0.45 to 1.01. It is suggested that the ore-forming fluid was mainly derived from mixture fluid of meteoric water with magma water.

**Key words** Fluid inclusion; Geochemistry; Porphyry copper deposit; Tuwu

**摘要** 本文在系统总结前人关于土屋矿床地质特征及成矿作用的基础上,开展了氢氧同位素研究及石英流体包裹体均一法和冷冻法测温,并对石英样品进行了气相及离子色谱测量,对石英中流体包裹体中的稀土元素进行了测试。结果表明,流体包裹体均一温度变化于125~363°C,主要集中于140~200°C,盐度变化于0.18%~58.28% NaCl,主要集中于2%~10% NaCl。流体包裹体气相的主要成分为H<sub>2</sub>O和CO<sub>2</sub>,液相成分以Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>为主。石英流体包裹体中 $\sum$ REE为 $8.07 \times 10^{-6}$ ~ $12.15 \times 10^{-6}$ ,轻、重稀土之比值(LREE/HREE)变化于5.39~6.75, $\delta$ Eu为1.80~1.91。流体包裹体中稀土元素配分型式呈右倾型,并表现出Eu的正异常及Ce的负异常。石英中流体包裹体的 $\delta D_{V-SMOW}$ 值为-70‰~-66‰,石英的 $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ 为9.4‰~12.3‰,计算所得的 $\delta^{18}O_{*}$ 为-5.1‰~-1.2‰。根据离子色谱分析结果,F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>介于0.009~0.024之间,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup>介于0.45~1.01之间。综合以上流体包裹体的组成和特征,表明成矿流体可能主要来源于岩浆水和大气降水。

**关键词** 流体包裹体;地球化学;斑岩铜矿;土屋

中图法分类号 P618.41

\* 国家自然科学基金项目(40573028)、国家科技支撑重点项目(2006BAB07B08-01)以及地质调查项目(1212010561603-3和1212010634001)联合资助成果。

第一作者简介:刘敏,女,1983年生,硕士研究生,矿床地球化学专业,E-mail: liuminhello@163.com

\*\* 通讯作者:王志良,男,1964年生,博士,研究员,矿床学和构造地质学专业,E-mail: zlw0813@163.com

## 1 引言

土屋大型斑岩铜矿自1997年发现以来,先后吸引了大批学者的关注,并为新疆寻找斑岩铜矿提供了适用的找矿经验和模型,根据这一模型又相继在土屋西部的延东及东部发现了视厚度达数百米的铜矿化体,在赤湖铜矿西发现了灵龙铜矿,这些矿床(点)成矿地质条件、矿化类型与土屋斑岩铜矿床一致(王福同等,2001)。该矿床位于哈密市西南约120km处,地理坐标为东经 $92^{\circ}31'47''$ ,北纬 $42^{\circ}05'33''$ ,已控制铜资源量为204万吨(含土屋东)(刘德权等,2003),矿床规模为大型。前人研究重点主要在矿床地质特征及成矿作用(王福同等,2001;任秉琛等,2002;韩春明等,2002;李智明等,2006;王志良等,2006;吴兆宁等,2007a)、成矿背景及找矿模型(芮宗瑶等,2001,2002a;龙保林等,2001;秦克章等,2002;朱裕生等,2003)、成岩成矿时代(芮宗瑶等,2002b;侯广顺等,2005;陈富文等,2005;李文明等,2002)、成矿系列特征和区带划分(杨兴科等,1999,2000;毛景文等,2002;秦克章等,2003)、岩体特征及其与成矿作用的关系(张连昌等,2004;王强等,2006)、岩石地球化学特征(陈文明和曲晓明,2002;庄道泽,2003;吴兆宁等,2007b)等方面。对于流体方面,前人所做的工作相对较少且仅限于包裹体基础测温方面(芮宗瑶等,2002a;陈文明和曲晓明,2002),本文在总结前人研究成果的基础上,补充开展了流体包裹体的测温和石英中流体包裹体成分和稀土元素组成分析,利用流体包裹体中稀土元素特征并结合稳定同位素数据探讨了成矿物质来源及

流体成矿作用,为深入研究土屋斑岩铜矿的成矿机制提供了新的地球化学资料。

## 2 区域成矿地质背景

土屋-延东铜矿带产于塔里木板块活动陆缘的晚古生代增生岛弧带。南距康古尔塔格深大断裂2km,北距大草滩断裂4.6km(图1)。康古尔塔格断裂以北出露地层主要为石炭系企鹅山群和泥盆系大南湖组、头苏泉组。地层均由钙碱性岛弧型火山岩及内源碎屑岩组成,属准噶尔板块南缘增生扩张产物。其中与成矿有关的是企鹅山群,以中基性火山熔岩为主,夹有少量内源碎屑岩。康古尔塔格断裂以南出露地层主要为石炭系干墩岩组和梧桐窝子岩组,为一套富含蛇绿岩的深海复理石建造,后期叠加强烈的韧性剪切变形(王福同等,2001)。区内侵入岩广泛发育,岩石类型齐全,从正常系列的基性到酸性岩均有出露,以偏酸性深成侵入岩为主,形成于晚石炭世-早二叠世的浅成斜长花岗斑岩和闪长玢岩与铜矿化关系密切。

矿区出露的地层主要为下石炭统企鹅山群玄武岩、安山玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩、凝灰质砂岩和砾岩等。矿区出露的浅成、超浅成中酸性岩主要有闪长玢岩、斜长花岗斑岩、长石石英斑岩等,多呈岩株、岩枝和岩脉产出(吴兆宁等,2007b)。矿区构造总体为一轴向近EW向的复式背斜构造,近EW向断裂和破碎带发育,中基性火山岩、花岗闪长斑岩和矿体均呈EW向展布,说明近EW向线性构造对成岩成矿具有控制作用。矿区南侧3km处为大型康古尔-黄山韧性剪

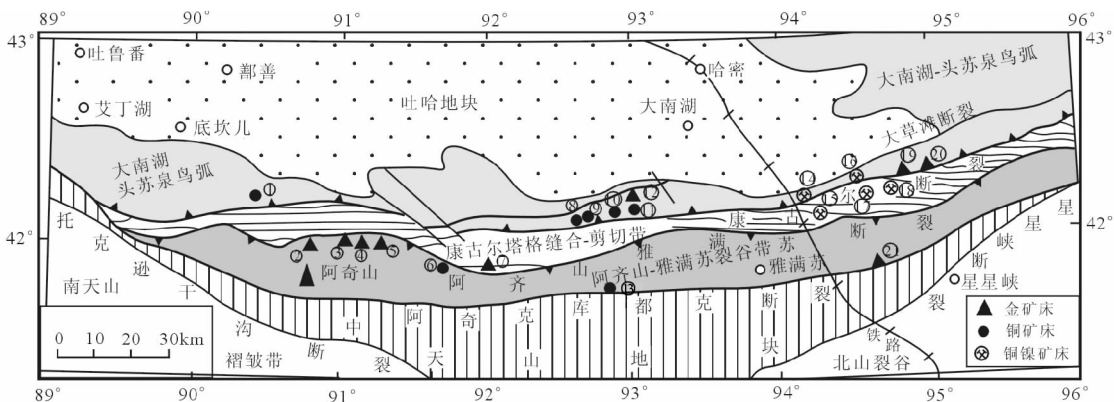


图1 东天山大地构造单元与铜金矿床分布图(据毛景文等,2002修改)

各矿床/点:1-小热泉子铜矿;2-石英滩金矿;3-康西金矿;4-康古尔金矿;5-马头滩金矿;6-维权金矿;7-夹白山金矿;8-延东铜矿;9-土屋铜矿;10-灵龙铜矿;11-赤湖铜矿;12-小红山金矿;13-路白山铜矿;14-土墩铜镍矿;15-二红洼铜镍矿;16-香山铜镍矿;17-黄山铜镍矿;18-黄山东铜镍矿;19-148金矿;20-梧桐窝子南金矿;21-白石沟金矿

Fig. 1 Tectonic units and distribution of gold and copper deposit in eastern Tianshan(modified from Mao *et al.*, 2002)

1-Xiaorequanzi copper deposit; 2-Shiyingtang gold deposit; 3-Kangxi gold deposit; 4-Kangur gold deposit; 5-Matoutan gold deposit; 6-Wei-quan gold deposit; 7-Jiabaishan gold deposit; 8-Yandong copper deposit; 9-Tuwu copper deposit; 10-Linglong copper deposit; 11-Chihu copper deposit; 12-Xiaohongshan gold deposit; 13-Lubaishan copper deposit; 14-Tudun copper-nickel deposit; 15-Erhongwa copper-nickel deposit; 16-Xiangshan copper-nickel deposit; 17-Huangshan copper-nickel deposit; 18-Huangshandong copper-nickel deposit; 19-148 gold deposit; 20-Wutongwozinan gold deposit; 21-Baishigou gold deposit

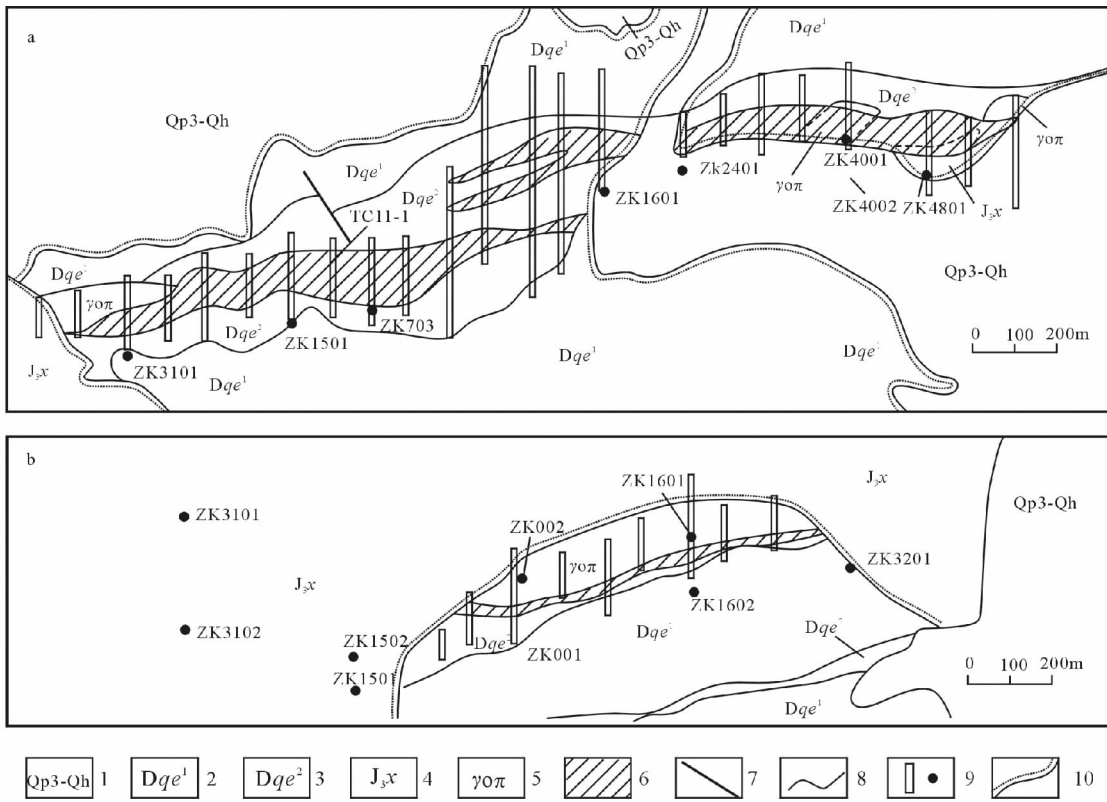


图2 土屋斑岩铜矿地质略图(据张连昌等,2004 修改)

1-上更新统-全新统;2-企鹅山群一段;3-企鹅山群二段;4-侏罗系煤系;5-斜长花岗斑岩;6-矿体;7-断层;8-地质界线;9-探槽及钻孔;10-不整合界线

Fig.2 Simplified geological map of the Tuwu porphyry copper deposit(modified from Zhang *et al.* , 2004)

1-Upper Pleistocene-Holocene Series; 2-the first member of Qieshan Group; 3-the second member of Qieshan Group; 4-Jurassic coal measures; 5-plagioclase granite porphyry; 6-ore body; 7-fault; 8-geological boundary; 9-trench and drilling; 10-unconformable boundary line

切带,其变形作用对矿区有轻微影响,部分岩石和矿石发生破碎和糜棱岩化(王志良等,2006)。

### 3 矿床地质特征

#### 3.1 矿体地质特征

土屋矿区由 I、II 号两个矿体组成,矿体与围岩并无自然边界,呈渐变关系。矿体呈厚板状、似层状(图 2)。土屋 I 号矿体基本上产于斜长花岗斑岩之中,以 0.2% 为 Cu 的边界品位圈定的矿化体长 1300m,宽约 8 ~ 87m,延深稳定,零勘探线已控制延深逾 500 m,矿体产状南倾,顶板倾角 60° ~ 65°,底板倾角 65° ~ 80°,向东有侧伏趋势。铜品位地表平均为 0.3%,钻孔平均品位为 0.35%;土屋东 II 号矿体位于 I 号矿体西段南侧,向西延伸,矿化见于玄武岩、玄武质凝灰岩及斜长花岗斑岩中,以 Cu 0.2% 为边界品位圈定的地表矿化体长 1400m,宽约 7.6 ~ 125m,以倾角 75° 南倾,已控制矿体延深 > 600m,富矿体最高品位 2.87%,平均品位为 1.03%。土屋铜矿 I、II 号矿体的空间展布上具有一定层位,层控性质明显(据陈富文等,2005)。

#### 3.2 含矿岩石

关于含矿主岩的性质,目前有各种不同的认识。王福同等(2001)和龙保林等(2001)认为主要为“闪长玢岩”,少数为“斜长花岗斑岩”,矿床属于“闪长岩模式”斑岩铜矿床;芮宗瑶等(2002a)认为铜矿体 90% 产在企鹅山群富钠质基性-中基性火山岩中,10% 产在“斜长花岗斑岩”中;而刘德权等(2003)则得出了完全不同的结论,认为含矿主岩多数为“斜长花岗斑岩”,少数为基性-中基性火山岩,但芮宗瑶等(2002a)和刘德权等(2003)均认为所谓“闪长玢岩”实际上为基性-中基性火山岩;刘德权等(2003)和张连昌等(2004)通过研究认为“斜长花岗斑岩”为埃达克(质)岩。

#### 3.3 矿石特征及成矿阶段划分

矿石结构为中-细粒半自形-他形粒状结构,矿石构造主要为细脉浸染状、细脉状和星点-稀疏浸染状。金属矿物以黄铜矿为主,次为黄铁矿和斑铜矿,并含少量辉铜矿、铜蓝矿、磁铁矿、赤铁矿及辉钼矿。黄铁矿主要发育在矿体顶底

板,与铜矿物成负相关关系,在主矿体中基本无黄铁矿存在。脉石矿物以石英、绢云母为主,其次为绿泥石、黑云母、绿帘石、阳起石、石膏、硬石膏、长石和碳酸盐矿物等。次生矿物有孔雀石、氯铜矿和褐铁矿等。含铜矿物主要为黄铜矿及斑铜矿,呈他形不规则状,粒径多在0.02~0.60mm之间,分布在石英脉中的石英间隙或石英与其它矿物粒间。自围岩向斜长花岗斑岩可明显地划分出3个蚀变带:即青磐岩化带、黑云母化带和石英-绢云母化带,有时叠加了碳酸盐化和石膏(硬石膏)化。而黑云母化带不是很典型,可以看成是青磐岩化带叠加在斑点黑云母角岩带的产物。矿体与石英-绢云母化带和黑云母化带一致(芮宗瑶等,2002a;李智明等,2006)。

矿石主要为原生矿石,矿石类型可划分为浸染状和细脉状两种,在斜长花岗斑岩中铜矿石以浸染状构造为主,在碎裂火山岩中以细脉浸染状为主。成矿具有多阶段性:第一期为黑云母-钾长石-钠长石化和矿化阶段;第二期为石英-硫化物细脉阶段;第三期为石英-辉钼矿阶段;第四期为硫酸盐-硫化物阶段;最后为碳酸盐-硫化物阶段(张连昌等,2004)。

本次研究所用的样品均采自土屋斑岩铜矿含硫化物石英脉及含石英浸染状富矿石,含硫化物石英脉宽1cm左右。

## 4 成矿流体特征

### 4.1 流体包裹体

本次研究共采集到土屋斑岩铜矿区样品25件,通过在手标本上挑选,共选出了12件透明矿物相对发育的样品制成包裹体光薄片,然后在显微镜下进行观察发现大部分样品中包裹体较发育,但由于个体较小,最终挑选出5件样品进行测试。5件样品中305-2、305-3、305-4及305-5为含矿石英脉,305-9为含石英浸染状富矿石。

#### 4.1.1 流体包裹体岩相学特征

本次所采样品中的包裹体较发育,但个体较小,主要为气液两相包裹体,偶见含子矿物三相包裹体,多相包裹体中子矿物体积占包裹体体积20%~30%,部分多相包裹体中含有非盐类子矿物,呈黑色小点,升温至500℃均无变化。包裹体多小于10 $\mu\text{m}$ ,长轴长一般5~9 $\mu\text{m}$ ,气相所占比例为5%~25%,多数为10%~20%,部分包裹体气相常温下跳动。包裹体一般呈孤立状、群状分布,形态以长条状、圆粒状及不规则状为主(如图3)。

#### 4.1.2 流体包裹体冷冻法及均一法测试方法及结果

流体包裹体的显微测温工作是在国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成的,测试所用仪器为英国产LINKAM THMSG600显微冷热台,测温范围为-198℃~600℃,误差为 $\pm 0.1$ ℃。实验过程中为防止包裹体在加热过程中爆裂,故先进行冷冻测温。再缓慢回温,并注意观察包裹体,当温度接近相变点时,则要适当的控制升温速度。进行均一温度测定时,对于气液两相包裹体,在升温过程中采

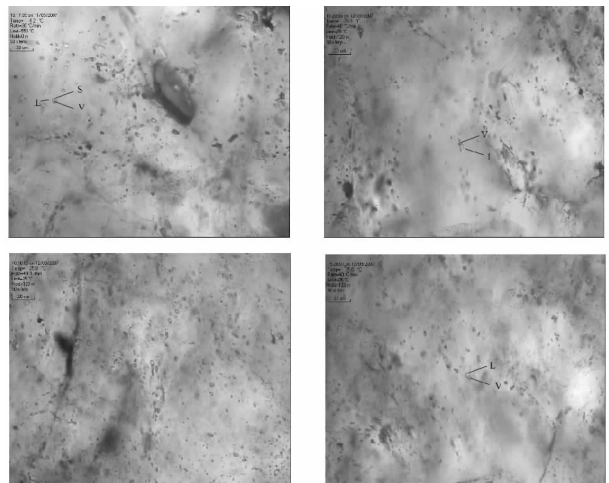


图3 土屋斑岩铜矿石石英中流体包裹体的显微照片

Fig. 3 Photomicrographs of fluid inclusions in quartz from the Tuwu porphyry copper deposit

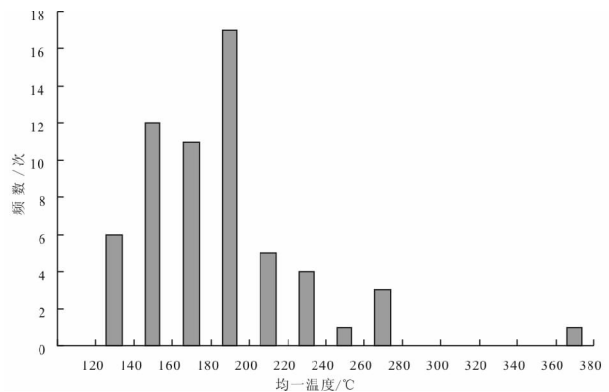


图4 土屋斑岩铜矿床均一温度直方图

Fig. 4 Histogram of homogenization temperatures for the fluid inclusions of Tuwu porphyry copper deposit

取先以10℃/min的速率加热,当气相接近消失时将升温速度控制在1℃/min,以便准确记录。对于含子晶包裹体升温过程中尤其要注意观察其气相和固相变化,当气相或子矿物快消失时,降低升温速度,并准确记录子晶熔化温度及均一温度。

流体包裹体的盐度是根据所测的冰点温度查冰点与盐度的换算表(Bodnar, 1993),得到流体包裹体的盐度值,而对于含盐子矿物包裹体,则要加热包裹体至子矿物消失,利用子矿物的熔化温度与盐度换算表(卢焕章等,2004)来得到包裹体的盐度值。

流体包裹体的测温结果列于表1。由表1及图4可以看出包裹体均一温度变化于125~363℃,主要集中于140~200℃,盐度变化于0.18%~15.37% NaCl,个别含子晶包裹体盐度可达58.28% NaCl,主要集中于2%~10% NaCl(图5),盐晶消失温度为307~489℃,均大于气泡消失温度,在实

表1 土屋矿床流体包裹体测温结果

Table 1 Microthermometric measurements of fluid inclusions from Tuwu ore deposit

样品号	样品名称	大小 ( $\mu\text{m}$ )	$\varphi_{\text{气}}$ (%)	冰点 ( $^{\circ}\text{C}$ )	子矿物熔化温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	盐度 (wt% NaCl)	均一温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
305-2	含矿石英脉	3~13	7~25	-11.4~-2.2		3.71~15.37(11)	125~195(10)
305-3	含矿石英脉	3~9	8~25	-5.6~-1.8	307~489(3)	3.06~58.28(16)	150~273(14)
305-4	含矿石英脉	4~9	5~25	-0.8~-2.2		1.4~3.71(10)	173~363(10)
305-5	含矿石英脉	4~14	7~15	-6.3~-1.5		2.57~9.6(14)	153~237(15)
305-9	含石英浸染状富矿石	4~8	7~25	-8.7~-0.1		0.18~12.51(9)	132~263(11)

表2 土屋斑岩铜矿石英中流体包裹体成分的气相色谱分析

Table 2 Analytical results of fluid inclusions in quartzes from the Tuwu porphyry copper deposit by gas chromatography

样品号	摩尔分数 $x_{\text{B}}/\%$							
	$\text{CH}_4$ ( $\times 10^{-4}\%$ )	$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4$ ( $\times 10^{-4}\%$ )	$\text{C}_2\text{H}_6$ ( $\times 10^{-4}\%$ )	$\text{CO}_2$ (%)	$\text{H}_2\text{O}$ (%)	$\text{O}_2$ (%)	$\text{N}_2$ (%)	CO (%)
305-1-1	72.291	37.597	4.090	1.629	94.750	0.346	3.264	微量
305-1-2	87.610	51.837	5.743	1.084	97.213	0.103	1.585	微量
305-1-3	94.797	58.793	4.373	1.002	97.722	0.064	1.196	微量
305-1-4	94.214	61.298	6.302	1.151	97.439	0.055	1.339	微量
305-1-5	194.497	99.650	9.413	1.797	94.658	0.156	3.055	0.304

样品号	摩尔分数 $x_{\text{B}}/\%$							
	$\text{CH}_4$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\text{C}_2\text{H}_6$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\text{CO}_2$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\text{H}_2\text{O}$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\text{O}_2$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\text{N}_2$ ( $\times 10^{-6}$ )	CO ( $\times 10^{-6}$ )
305-1-1	0.216	0.182	0.025	132.637	141.692	20.498	169.129	微量
305-1-2	0.277	0.268	0.036	95.071	135.795	6.545	88.464	微量
305-1-3	0.298	0.298	0.026	86.400	134.723	3.986	65.628	微量
305-1-4	0.305	0.323	0.036	101.408	127.785	3.516	75.076	微量
305-1-5	0.417	0.350	0.036	106.594	167.808	6.751	115.308	11.492

注:上表为气体相对含量,下表为绝对含量

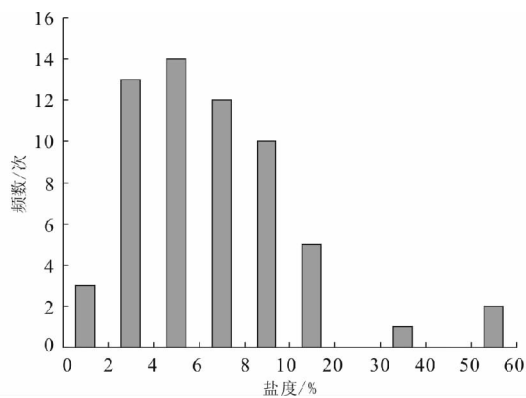


图5 土屋斑岩铜矿床盐度直方图

Fig. 5 Histograms of salinity for the fluid inclusions of Tuwu porphyry copper deposit

验过程中还观察到部分包裹体其子晶虽然在加热过程中形态发生变化,但直到包裹体爆裂仍未消失。经计算所得的包裹体密度为  $0.50 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$ 。

#### 4.1.3 流体包裹体成分

流体包裹体的气相及离子色谱分析是在国土资源部成

矿作用与资源评价重点实验室完成的,样品预处理为将石英样品装入烧杯,加入王水 30mL,去离子水 20mL,电热板  $80 \sim 100^{\circ}\text{C}$  保温 3h,其间勤于搅拌,倾去酸液,用去离子水洗涤样品,直到洗涤液电导与去离子水电导一致,用去离子水浸泡过夜,用定量滤纸过滤后将试样于  $90 \sim 95^{\circ}\text{C}$  烘干 4h,将样品干燥后备用。流体包裹体的气相成分分析采用加热爆裂法提取气体,其测试程序为:将处理过的样品约 0.1g 装入热爆裂炉样品管中,  $100^{\circ}\text{C}$  下加热 0.5h,在加热过程中吹扫 15min (以赶尽样品所吸附的少量水和空气),将样品管内空气赶尽,  $500^{\circ}\text{C}$  下加热 0.5h,使包裹体充分爆裂,爆裂出来的气体再经过 TCD 及 FID 检测。实验所用仪器为 GC2010 型气相色谱仪及 PIU-F 型热爆裂炉。流体包裹体的液相分析程序为称取适量样品于  $450 \sim 500^{\circ}\text{C}$  下加热 0.5h,使包裹体充分爆裂,冷却后将试样置于超声波清洗器中,数分钟后取出,将溶液倒入样品管,如此 4 次,制成大约 30mL 溶液,继续浸取 3 次,制成空白溶液,将已处理过的空白溶液及试样溶液按顺序排放样品架中则可进行测试(杨丹等,2007)。实验所用仪器为 Shimadzu HIC-SP Super 型离子色谱仪。

流体包裹体气相及离子色谱分析结果分别列于表 2 及表 3。由表 2 可看出,土屋斑岩铜矿内主成矿阶段石英脉中

表3 土屋斑岩铜矿石英中流体包裹体成分的离子色谱测定

Table 3 Analytical results of fluid inclusions in quartz from the Tuwu porphyry copper deposit by ion chromatography

样品号	$w_B / (\times 10^{-6})$										$w_{\text{总离子}}$ (%)
	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>2</sub> O (GC)	
305-1-1	0	16.582	0	1.310	91.411	0.173	13.313	3.668	16.860	141.692	50.3
305-1-2	0	10.795	0	0	69.112	0.133	10.784	0.572	13.330	135.795	43.5
305-1-3	0	10.116	0	0.660	74.547	0.056	7.643	0.671	18.698	134.723	45.5
305-1-4	0	8.404	0	0	71.658	0.033	6.539	0.555	18.084	127.785	45.2
305-1-5	0	9.468	3.562	0	62.758	0.035	7.300	0.434	17.424	167.808	37.6

表4 土屋斑岩型铜矿主成矿阶段石英中流体包裹体稀土元素组成 ( $\times 10^{-6}$ )Table 4 REE contents of fluid inclusions from quartz in the main mineralization stage of Tuwu porphyry copper deposit ( $\times 10^{-6}$ )

样品号	tw305-1	tw305-2	tw305-3	tw305-4	tw305-5
La	1.21	1.39	1.36	1.52	1.87
Ce	2.35	2.69	2.36	2.83	3.74
Pr	0.49	0.58	0.53	0.64	0.81
Nd	1.95	2.17	1.92	2.30	2.85
Sm	0.53	0.56	0.54	0.64	0.74
Eu	0.31	0.32	0.32	0.36	0.42
Gd	0.47	0.44	0.53	0.56	0.66
Tb	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09
Dy	0.34	0.30	0.34	0.38	0.48
Ho	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09
Er	0.15	0.15	0.16	0.18	0.21
Tm	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
Yb	0.11	0.10	0.10	0.12	0.14
Lu	0.015	0.013	0.015	0.016	0.02
LREE	6.84	7.71	7.03	8.29	10.43
HREE	1.225	1.143	1.305	1.426	1.72
$\Sigma$ REE	8.065	8.853	8.335	9.716	12.15
LREE/HREE	5.58	6.75	5.39	5.81	6.06
$\delta$ Eu	1.86	1.91	1.81	1.80	1.80

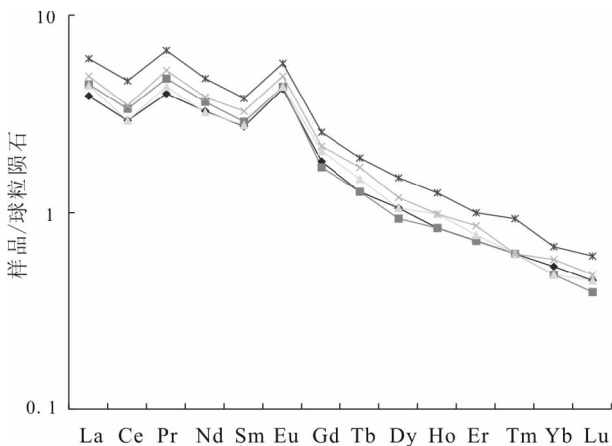


图6 土屋斑岩铜矿床石英中流体包裹体稀土元素配分模式

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of fluid inclusions in quartz of Tuwu porphyry copper deposit

流体包裹体气相成分主要以 H<sub>2</sub>O ( $127.785 \times 10^{-6} \sim 167.808 \times 10^{-6}$ ) 和 CO<sub>2</sub> ( $86.400 \times 10^{-6} \sim 132.637 \times 10^{-6}$ ) 为主,其次为 N<sub>2</sub> ( $65.628 \times 10^{-6} \sim 169.129 \times 10^{-6}$ ) 及 O<sub>2</sub> ( $3.516 \times 10^{-6} \sim 20.498 \times 10^{-6}$ ), 并含有少量的 CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 及微量 CO。由表3可看出包裹体液相中阳离子以 Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup> 为主,少数含有 K<sup>+</sup> 及 Mg<sup>2+</sup> 离子;阴离子主要有 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>, 阴阳离子含量基本呈正相关关系。根据气相色谱分析获得的单位质量样品中所爆裂包裹体的水量,可以换算出包裹体溶液中的离子浓度,计算结果显示,土屋斑岩铜矿包裹体溶液总离子浓度为 37.6% ~ 50.3%, 高于单个包裹体显微测温获得的盐度(0.18% ~ 58.28% NaCl)。

#### 4.2 流体包裹体稀土元素特征

石英流体包裹体中稀土元素分析在中国科学院地质与地球物理研究所完成,测试仪器为 Finnigan MAT 公司生产的 ELEMENT 型高分辨率等离子体质谱仪(ICP-MS)。所用样品均产自含矿石英脉。分析流程如下:把石英碎至 40 ~ 60 目粒度,在双目镜下仔细挑石英单矿物 1 ~ 2g (纯度 > 99%),用纯度高的 HNO<sub>3</sub> 热煮(150℃)6 ~ 10h,以溶解石英表面或裂隙中的杂质和去除石英中的次生包裹体;再用二次去离子水清洗数次,直至清洗液的电导率达到二次去离子水的电导率为止,然后烘干样品 12h。将处理好的样品放入充满氮气的 U 型石英管中,500 ~ 600℃ 高温下加热 15min,爆裂打开流体包裹体。待冷却后加入 3mL  $1 \times 10^{-9}$  Rh 的 5% HNO<sub>3</sub> 溶液,经过超声振荡 10min,离心分离提取包裹体中的流体,然后立即用 ICP-MS 测定稀土元素含量。

由稀土元素分析结果(表4)及稀土元素配分模式图(图6)可以看出,石英流体包裹体中的  $\Sigma$ REE 为  $8.065 \times 10^{-6} \sim 12.150 \times 10^{-6}$ , LREE/HREE 为 5.39 ~ 6.75,所测的五个样品中,均表现出右倾配分模式, $\delta$ Eu 为 1.80 ~ 1.91,表现出 Eu 的相对富集。表4中 REE 值是每克石英单矿物中所有包裹体中流体的 REE 值,由于没有获得每克石英单矿物中所有的流体的总量,表4中的 REE 不能换算为流体的 REE 真实浓度,所以其值相对很低。

#### 4.3 稳定同位素分析测试方法及结果

5 件氢氧同位素样品采自土屋矿区 305 号钻孔中,均为

含硫化物石英脉。在显微镜下挑选纯净石英,纯度要求在99%以上,氧同位素分析方法为BrF<sub>3</sub>法,首先将纯净的12mg石英样品与BrF<sub>3</sub>反应15h,萃取氧,分离出的氧进入CO<sub>2</sub>转化系统,温度为700℃,时间为12min,最后收集CO<sub>2</sub>。氢同位素分析采用爆裂法从石英包裹体中取水,其测试程序为:加热石英包裹体样品,使其爆裂释入挥发份,提取水蒸气,然后在400℃条件下使水与锌发生反应产生氢气,再用液氮冷冻后,收集到有活性炭的样品瓶中。稳定同位素测试是在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成的,所用仪器为Finningan MAT251EM型质谱仪。氢氧同位素采用的国际标准为V-SMOW,氢同位素的分析精度为±2‰,氧同位素的分析精度为±0.2‰。氢氧同位素样品测试结果列于表5。

由表5可以看出石英中的 $\delta D_{V-SMOW}$ 为-70‰~-66‰,极差4‰,平均-68.4‰。石英的 $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ 为9.4‰~12.3‰,极差为2.9‰,平均为10.9‰。利用实测的与同位素分析样品一致的石英包裹体的平均均一温度,采用同位素分馏方程 $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$  (Clayton *et al.*, 1972),计算出石英的 $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值为-5.1‰~-1.2‰。

表5 土屋斑岩铜矿床氢氧同位素测试结果

Table 5 Hydrogen and oxygen isotope date of the Tuwu porphyry copper deposit

样品号	$\delta D_{V-SMOW}$ (‰)	$\delta^{18}O_{V-SMOW}$ (‰)	$\delta^{18}O_{\text{水}}$ (‰)	$T_h$ (°C)
305-3-1	-66	9.4	-5.1	161.1
305-3-2	-68	12.3	-2.2	161.1
305-3-3	-69	10.8	-1.4	192.5
305-2-1	-69	11.0	-1.2	192.5
305-2-2	-70	10.9	-1.3	192.5

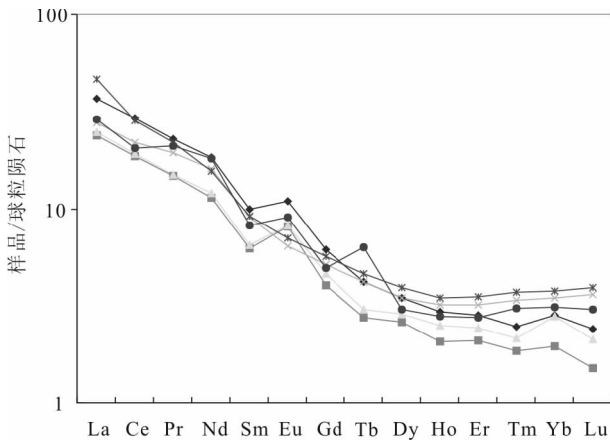


图7 土屋斑岩铜矿斜长花岗岩斑岩稀土元素配分模式(数据引自张连昌等,2004)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns for plagiogranite porphyry of Tuwu porphyry copper deposit (data after Zhang *et al.*, 2004)

## 5 讨论及结论

本次研究所获得的包裹体均一温度为125~363℃,主要集中于140~200℃,其中均一温度位于140~200℃之间的包裹体占所测温度的92%。不含子晶体盐度变化于0.18%~15.37% NaCl,盐晶消失温度为307~489℃,对应的盐度为38.71%~58.28% NaCl。含石英英脉及含石英浸染状富矿石所测均一温度及盐度范围基本一致。从图8可以看出包裹体盐度大致随均一温度升高而升高,单个包裹体显微测温获得的盐度(0.18%~58.28% NaCl)低于根据离子色谱分析结果所测定的包裹体中的离子浓度(37.6%~50.3%),这可能是由于非均匀捕获造成的。单个包裹体测温结果中不含有非均匀捕获晶体溶解对浓度的贡献,而离子色谱测定结果则含有这部分。包裹体测温过程中出现了部分包裹体其子晶直到包裹体爆裂也未消失,说明流体盐度较高,或者该“子矿物”并不是真正意义上的子矿物,包裹体所捕获的流体可能为非均匀体系。本文所得的单个包裹体测温结果与陈文明及曲晓明(2002)所测的均一温度接近(117~316℃)及盐度(0.68%~52.5% NaCl)相接近。陈文明及曲晓明(2002)根据校正得到石英斑晶的形成温度为317~548℃,而这一温度低于中酸性岩浆岩的固相线温度(650~925℃),所以他们认为是这些石英斑晶不是岩浆直接结晶的产物,而是流体作用的结果。芮宗瑶等(2002a)对铜矿石中石英、方解石和硬石膏所含的流体包裹体特征、均一温度和盐度等进行了研究和测试,流体包裹体主要类型为气液两相包裹体、含子晶多相包裹体和纯液相包裹体,均一温度为101~409℃,盐度为2.68%~33.70% NaCl,加之矿体主要产于富钠质火山岩,因此推测岩浆二次沸腾面还在深部。

关于该矿床成矿物质来源、成矿流体性质,目前所做的工作较少。芮宗瑶等(2002a)对铜矿石中石英、绢云母、绿帘石和绿泥石进行了氢氧同位素测试,但由于缺乏对应的流体包裹体均一温度值,不能把石英 $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ 值换算成 $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值,所以氢氧同位素数据不能在 $\delta D_{V-SMOW} - \delta^{18}O_{\text{水}}$ 图解中获得成矿流体的来源信息。本次研究我们结合包裹体测温结果,计算出了 $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值,并对氢氧同位素进行了投点,以探索流体来源,从 $\delta D_{V-SMOW} - \delta^{18}O_{\text{水}}$ 图解中可以看出其氢氧同位素远离变质水范围,并向岩浆水方向飘移,成矿流体为岩浆水与大气降水的混合。图9中可以看出所投点中一些点靠近雨水线附近,而另一些样品则稍远离雨水线,显示出“ $\delta^{18}O$ ”漂移的特征,这可能是由于自然界的岩石富含氧而极少含氢,通常的水-岩反应只能造成流体的氧同位素向富含 $^{18}O$ 的方向“漂移”,而氢同位素则基本保持不变。根据包裹体离子色谱分析液相中普遍含Na<sup>+</sup>,大部分不含K<sup>+</sup>,含K<sup>+</sup>离子的样品中,Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>远大于1,而岩浆热液流体中的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>一般小于1(Roedder, 1972)。F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>的摩尔比值普遍偏小,介于0.009~0.024之间,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/(F<sup>-</sup>+Cl<sup>-</sup>)的比值小于1,这样的

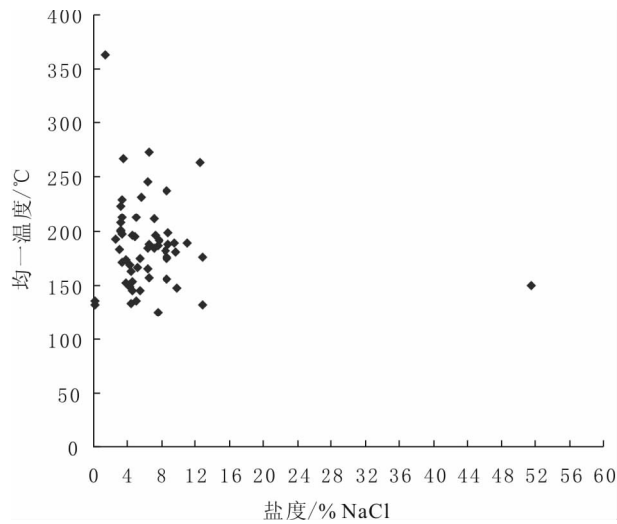


图8 流体包裹体均一温度与盐度关系图

Fig. 8 Diagram of homogenization temperature versus salinity of fluid inclusions

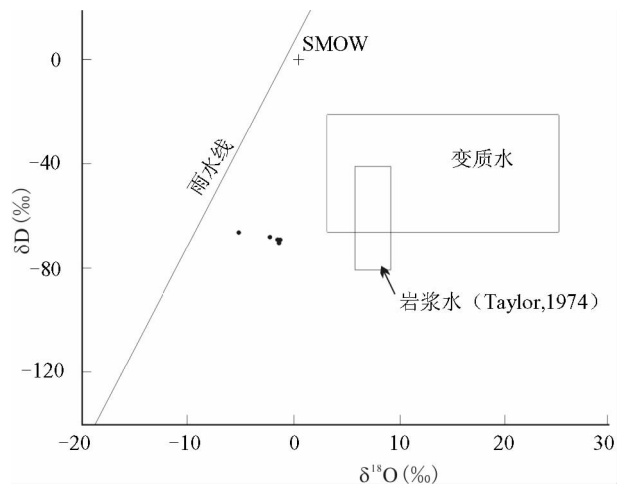
图9 土屋斑岩铜矿的  $\delta D-\delta^{18}O$  图解

Fig. 9  $\delta D-\delta^{18}O$  diagram of the Tuwu porphyry copper deposit

流体组成说明岩浆水在运移过程中受到了混染,结合所测的稳定同位素数据,  $\delta D_{V-SMOW}$  为  $-70\text{‰} \sim -66\text{‰}$ , 石英的  $\delta^{18}O_{\text{水}}$  值为  $-5.1\text{‰} \sim -1.2\text{‰}$ , 表明成矿流体主要来源于混合的岩浆水与大气降水。

土屋斑岩铜矿斜长花岗斑岩的稀土元素总量为  $36.03 \times 10^{-6} \sim 55.88 \times 10^{-6}$ , 稀土元素配分曲线属轻稀土富集型, 轻、重稀土之比值 (LREE/HREE) 变化于  $8.97 \sim 11.53$  之间, Eu 为明显的正异常,  $\delta Eu$  多介于  $1.37 \sim 1.58$ , 个别为  $0.90 \sim 0.96$  (张连昌等, 2004)。表 4 中流体包裹体中稀土元素总含量为  $8.07 \times 10^{-6} \sim 12.15 \times 10^{-6}$ , 其中轻稀土含量为  $6.84 \times 10^{-6} \sim 10.43 \times 10^{-6}$ , 重稀土含量为  $1.23 \times 10^{-6} \sim 1.72 \times$

$10^{-6}$ , 轻、重稀土之比值 (LREE/HREE) 变化于  $5.39 \sim 6.75$ ,  $\delta Eu$  为  $1.80 \sim 1.91$ 。流体包裹体稀土元素配分模式与斜长花岗斑岩总体上基本相似, 均为轻稀土中等富集, 分配曲线右倾。相比之下, 斜长花岗斑岩的 LREE/HREE 值稍大于成矿流体,  $\delta Eu$  值则小于成矿流体, 流体包裹体中均表现出 Eu 的正异常及 Ce 的负异常, 而斜长花岗斑岩中大部分表现出 Eu 的正异常, 但仅个别样品表现出了 Ce 的负异常。从图 6 及图 7 可以看出, 流体包裹体中稀土元素配分曲线基本一致, 而斜长花岗斑岩配分曲线个体差异较大, 说明石英硫化物脉形成于同一成矿阶段或具有相同的来源, 而斜长花岗斑岩可能是多期形成的或具有不同的成矿来源。成矿热液同时发育 Eu 的正异常及 Ce 的负异常说明矿石沉淀过程中较高温的热流体与少量的海水发生了对流混合。

吴兆宁等 (2007a) 用偏度 (Sk) 和峰度 (Ku) 对成矿物质 Cu、Au、Ag、Mo 等在矿体和不含矿岩体中的含量分布状态进行检验, 结果表明该矿床在漫长的形成过程中由来自洋壳重熔岩浆和复杂成因气液流体的矿质多次叠加而成。张连昌等 (2004) 认为本区具埃达克岩性质的斜长花岗斑岩可能具有不同源区并形成于不同的地质过程。陈文明及曲晓明 (2002) 根据校正的斜长花岗斑岩中石英斑晶的形成温度认为这些石英斑晶不是岩浆直接结晶的产物, 而是流体作用的结果。根据本次研究结果, 含石英英脉及含石英浸染状富矿石所测均一温度及盐度范围基本一致, 且与陈文明与曲晓明 (2002) 所测斜长花岗斑岩中均一温度及盐度基本一致。结合前人所测的 S 同位素数据, 芮宗瑶等 (2002a) 对土屋-延东铜矿床矿石中黄铜矿、黄铁矿进行了硫同位素测定,  $\delta^{34}S$  变化于  $-0.9\text{‰} \sim +1.3\text{‰}$  之间, 说明可能有岩浆成因的硫源, 其平均值为  $0.336\text{‰}$ , 与陨硫很接近, 反映了硫的深部来源特征, 说明成矿热液可能来源于深部。

张连昌等 (2004) 总结了前人所测的同位素年代学资料, 认为土屋含矿斜长花岗斑岩的成岩年龄为  $361 \sim 333\text{Ma}$  之间。芮宗瑶等 (2001) 获得了土屋铜矿区铜矿石中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为  $322.7 \pm 2.3\text{Ma}$ ; 张连昌等 (2004) 所测延东铜矿区铜矿石中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为  $343\text{Ma}$ , 这一年龄与秦克章等 (2002) 所测土屋-延东蚀变绢云母 K-Ar 年龄 ( $341.2 \pm 4.9\text{Ma}$ ) 和石英  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  年龄基本一致。张连昌等 (2004) 认为斑岩铜矿的成矿年龄在  $347 \sim 323\text{Ma}$  之间, 主成矿年龄为  $347 \sim 343\text{Ma}$  之间, 但矿化斑岩的围岩闪长玢岩时代一直存在泥盆纪 (芮宗瑶等, 2002b) 和石炭纪 (刘德权等, 2001) 之争。

任秉琛等 (2002) 认为土屋斑岩型铜矿岩浆活动和矿化可概括为四个阶段: 1) 海底热泉沸腾矿源层的形成; 2) 次火山相闪长玢岩热液叠加; 3) 超浅成斜长花岗斑岩热液叠加; 4) 富集成矿。刘德权等 (2003) 认为土屋斑岩铜矿产于罗塔格晚古生代造山带中, 成矿与晚石炭世早期汇聚阶段钙碱性火山-深成岩建造有关。赋矿岩体为斜长花岗斑岩及围岩 (玄武质火山岩、火山碎屑岩)。岩体就位及成矿均受线性构



造控制,致使矿体呈厚板状。吴兆宁等(2007b)等认为土屋斑岩铜矿成矿元素的来源与斑岩的形成及演化关系密切,可以认为斑岩在形成时已具有 Cu、Mo 等成矿元素的较高背景,这些元素主要集中于宿主矿物斜长石和黑云母中,随岩浆期后多成因复合来源热液作用,斑岩体发生蚀变,如绢英岩化、次生石英岩化、泥化等。使载体矿物中的 Cu、Au 等活化转移,在有利的构造和岩相部位沉淀富集。但要形成当今规模的土屋铜矿床,仅靠斑岩已有的成矿物质还不够,还应具有携矿热液的多期成矿叠加。

综合前人的研究认为土屋斑岩型铜矿该矿床成矿时代可能与“闪长玢岩”和“斜长花岗岩斑岩”的年龄相当或稍晚,应为泥盆纪-石炭纪,成矿时间较长。斜长花岗岩斑岩石英斑晶的流体包裹体与石英硫化物细脉中流体包裹体的岩相学特征、均一温度及盐度等基本相同,说明它们可能具有相同的来源,结合前人稳定同位素分析结果认为成矿流体主要来源于岩浆水与大气降水的混合。

**致谢** 在野外工作期间得到了新疆地勘局、国家 305 项目办公室和当地政府的大力支持与帮助。分析测试过程中得到了中国科学院地质与地球物理研究所朱和平研究员的大力帮助。就有关问题与王宝瑜高工、何国琦教授、成守德高工、芮宗瑶研究员、李锦轶研究员等进行了有益讨论。在论文成文过程中秦克章研究员给予了大量的帮助。在此笔者一并致以诚挚的谢意。

## References

Bodnar RJ. 1993. Revised equation and stable for determining the freezing point depression of  $H_2O$ -NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 683–684

Chen FW, Li HQ, Chen YC, Wang DH, Wang JL, Liu DQ, Tang YL and Zhou RH. 2005. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its geological significance of mineralization in Tuwu-Yandong porphyry copper mine, East Tianshan mountain. *Acta Geologica Sinica*, 79(2): 256–261 (in Chinese with English abstract)

Chen WM and Qu XM. 2002. Hostrocks of Tuwu-Yandong (porphyry) copper deposit in Tianshan mountains. *Mineral Deposits*, 21(4): 331–340 (in Chinese with English abstract)

Clayton RN, O'Neil JR and Mayeda TK. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water. *Geophys. Res.*, 77: 3057–3067

Han CM, Mao JW, Yang JM, Wang ZL and Cui B. 2002. Types of Late Palaeozoic endogenetic metal deposits and related geodynamical evolution in the East Tianshan. *Acta Geologica Sinica*, 76(2): 222–234 (in Chinese with English abstract)

Hou GS, Tang HF, Liu CQ and Wang YB. 2005. Geochronological and geochemical study on the wallrock of Tuwu-Yandong porphyry copper deposits, eastern Tianshan mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 21(6): 1729–1736 (in Chinese with English abstract)

Li WM, Ren BC, Yang XK, Li YZ and Chen Q. 2002. The inter in intermediate-acid intrusive magmatism and its geodynamic significance in eastern Tianshan region. *Northwestern Geology*, 35(4): 41–64 (in Chinese with English abstract)

Li ZM, Zhao RF, Huo RP and Wang QM. 2006. Geological characters of Tuwu-Yandong copper deposit in Xinjiang. *Geology and Prospecting*, 42(6): 1–4

Liu DQ, Chen YC, Wang DH, Tang YL, Zhou RH, Wang JL, Li HQ

and Chen FW. 2003. A discussion on problems related to mineralization of Tuwu-Yandong Cu-Mo ore field in Hami, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 22(4): 334–344 (in Chinese with English abstract)

Long BL, Xue YX, Feng J, Zhuang DZ, Jiang LF, Xiao, ZJ, Zhu YS, Xiao KY and Song GY. 2001. Prospecting model of the porphyry copper deposits of East Tianshan, Xinjiang. *Chinese Geology*, 28(5): 35–38 (in Chinese)

Lu HZ, Fan HR, Ni P, Ou GX, Shen K and Zhang WH. 2004. Fluid Inclusions. Beijing: Science Press, 205–226 (in Chinese)

Mao JW, Yang JM, Han CM and Wang ZL. 2002. Metallogenic systems of polymetallic copper and gold deposits and related metallogenic geodynamic model in eastern Tianshan, Xinjiang. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 27(4): 413–424 (in Chinese with English abstract)

Qin KZ, Fang TH, Wang SL, Zhu BQ, Feng YM, Yu HF and Xiu QY. 2002. Plate tectonics division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan mountains, NW-China. *Xinjiang Geology*, 20(4): 302–308 (in Chinese with English abstract)

Qin KZ, Peng XM, San, JZ, Xu XW, Fang TH, Wang SL and Yu HF. 2003. Types of major ore deposits, division of metallogenic belts in eastern Tianshan, and discrimination of potential prospects of Cu, Au, Ni mineralization. *Xinjiang Geology*, 21(2): 143–150 (in Chinese with English abstract)

Ren BC, Yang XK, Li WM, Li YZ and Wu JR. 2002. The mineralization geological characteristics and the deposit comparison of Tuwu largest type porphyry copper deposit in eastern Tianshan Mountain. *Northwestern Geology*, 35(3): 67–75 (in Chinese with English abstract)

Roedder E. 1972. Composition of fluid inclusions. U. S. Geol. Survey Pro. Paper, 440: 164

Rui ZY, Wang FT, Li HH, Dong LH, Wang L, Jiang LF, Liu YL, Wang LS and Chen WS. 2001. New progress of Tuwu potphyry copper deposit belt. *Chinese Geology*, 28(2): 11–16 (in Chinese)

Rui ZY, Liu YL, Wang LS and Wang YT. 2002a. The esatern Tianshan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework. *Acta Geologica Sinica*, 76(1): 83–94 (in Chinese with English abstract)

Rui ZY, Wang LS, Wang YT and Liu YL. 2002b. Discussion on metallogenic epoch of Tuwu and Yandong porphyry copper deposits in eastern Tianshan mountains, Xingjiang. *Mineral Deposits*, 21(1): 16–22 (in Chinese with English abstract)

Wang FT, Feng J, Hu JW, Wang L, Jiang LF and Zhang Z. 2001. The character of Tuwu porphyry copper deposit and the the significance of its being found, Xinjiang. *Chinese Geology*, 28(1): 36–39 (in Chinese)

Wang Q, Zhao ZH, Xu JF, Wyman DA, Xiong XL, Zi F and Bai ZH. 2006. Carboniferous adakite-high-Mg andesite-Nb-enriched basaltic rock suites in the northern Tianshan area: Implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asia Orogenic Belt and Cu-Au mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 11–30 (in Chinese with English abstract)

Wang ZL, Mao JW, Zhang ZH, Zuo GC and Wang LS. 2006. Geology, time-space distribution and metallogenic geodynamic evolution of porphyry copper (molybdenum) deposits in the Tianshan Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 944–955 (in Chinese with English abstract)

Wu ZN, Huang JH, Yusupuaili, Muhtar Z, Yang XR, Dilixiati and Han WQ. 2007a. Paleogeographic environment for reserving and forming of Tuwu copper deposit in eastern Tianshan Mountains, Xingjiang. *Arid Land Geography*, 30(2): 189–195

Wu ZN, Huang JH, Yusufuaili, Qi R, Muhtar Z, Yang XR, Dilixiati and Han WQ. 2007b. Certain geochemical characteristics for copper metallogenesis in Tuwu, Xinjiang. *Xinjiang geology*, 25(2): 160–163 (in Chinese with English abstract)

Yang D, Xu WY, Cui YH, Chen WS and Lian Y. 2007. Determination of gaseous components in fluid inclusion samples by two-dimensional gas chromatography. *Rock and Mineral Analysis*, 26(6): 451–454 (in Chinese with English abstract)

- Yang XK, Cheng HB, Ji JS and Luo GC. 1999. Analysis on gold and copper ore-forming system with collision orogeny of eastern Tianshan. *Geotectonica et Metallogenia*, 23(4): 315-322 (in Chinese with English abstract)
- Yang XK, Cheng HB, Ji JS, Luo GC and Tao HX. 2000. Analysis on gold and copper ore-forming setting with ore-forming system of eastern Tianshan. *Journal of Xi'an Engineering University*, 22(2): 7-14 (in Chinese with English abstract)
- Zhang LC, Qin KZ, Ying JF, Xia B and Shu JS. 2004. The relationship between ore-forming processes and adakitic rock in Tuwu-Yandong porphyry copper metallogenic belt, eastern Tianshan mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 259-268 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YS, Wang FT, Long BL, Xue YX, Xiao KY, Feng J, Zhuang DZ and Liang LF. 2003. Polygenic information prospecting model for Tuwu-Yandong porphyry Cu-Mo deposits. *Mineral Deposits*, 22(3): 287-294 (in Chinese with English abstract)
- Zhuang DZ. 2003. The geochemical characteristics and anomaly verification methods of Tuwu and Yandong copper-deposits in the eastern Tianshan mountains, Xinjiang. *Geology and Prospecting*, 39(5): 67-71 (in Chinese with English abstract)
- 附中文参考文献**
- 陈富文, 李华芹, 陈毓川, 王登红, 王金良, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 2005. 东天山土屋-延东斑岩铜矿田成岩时代精确测定及其地质意义. *地质学报*, 79(2): 256-261
- 陈文明, 曲晓明. 2002. 论东天山土屋-延东(斑岩)铜矿的容矿岩. *矿床地质*, 21(4): 331-340
- 韩春明, 毛景文, 杨建民, 王志良, 崔彬. 2002. 东天山晚古生代内生金属矿床类型和成矿作用的动力学演化规律. *地质学报*, 76(2): 222-234
- 侯广顺, 唐红峰, 刘从强, 王彦斌. 2005. 东天山土屋-延东斑岩铜矿围岩的同位素年代和地球化学研究. *岩石学报*, 21(6): 1729-1736
- 李文明, 任秉琛, 杨兴科, 李有柱, 陈强. 2002. 东天山中酸性侵入岩浆作用及其地球动力学意义. *西北地质*, 35(4): 41-64
- 李智明, 赵仁夫, 霍瑞平, 王庆明. 2006. 新疆土屋-延东铜矿田地质特征. *地质与勘探*, 42(6): 1-4
- 刘德权, 陈毓川, 王登红, 唐延龄, 周汝洪, 王金良, 李华芹, 陈富文. 2003. 土屋-延东铜矿田与成矿有关问题的讨论. *矿床地质*, 22(4): 334-344
- 龙保林, 薛迎喜, 冯京, 庄道泽, 姜立丰, 肖志坚, 朱裕生, 肖克炎, 宋国耀. 2001. 新疆东天山斑岩铜矿的找矿模型试探. *中国地质*, 28(5): 35-38
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社, 205-226
- 毛景文, 杨建民, 韩春明, 王志良. 2002. 东天山铜金多金属矿床成矿系统和成矿地球动力学模型. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(4): 413-424
- 秦克章, 方同辉, 王书来, 朱宝清, 冯益民, 于海峰, 修群业. 2002. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究. *新疆地质*, 20(4): 302-308
- 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. *新疆地质*, 21(2): 143-150
- 任秉琛, 杨兴科, 李文明, 李有柱, 邹介人. 2002. 东天山土屋特大型斑岩铜矿成矿地质特征与矿床对比. *西北地质*, 35(3): 67-75
- 芮宗瑶, 王福同, 李恒海, 董连慧, 王磊, 姜立丰, 刘玉琳, 王龙生, 陈伟十. 2001. 新疆东天山斑岩铜矿带的新进展. *中国地质*, 28(2): 11-16
- 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 王义天. 2002a. 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局. *地质学报*, 76(1): 83-94
- 芮宗瑶, 王龙生, 王义天, 刘玉琳. 2002b. 东天山土屋和延东斑岩铜矿床时代讨论. *矿床地质*, 21(1): 16-22
- 王福同, 冯京, 胡建卫, 王磊, 姜立丰, 张征. 2001. 新疆土屋大型斑岩铜矿床特征及发现意义. *中国地质*, 28(1): 36-39
- 王强, 赵振华, 许继峰, Derek A WYMAN, 熊小林, 资峰, 白正华. 2006. 天山北部石英纪埃达克岩-高镁安山岩-富Nb岛弧玄武岩: 对中亚造山显生宙地壳增生与铜金成矿的意义. *岩石学报*, 22(1): 11-30
- 王志良, 毛景文, 张作衡, 左国朝, 王龙生. 2006. 新疆天山斑岩铜矿地质特征、时空分布及其成矿地球动力学演化. *地质学报*, 80(7): 944-955
- 吴兆宁, 黄建华, 王素甫艾力, 木合塔尔. 扎日, 杨向荣, 迪力夏提, 韩文清. 2007a. 新疆东天山土屋铜矿床形成和保存的古地理环境. *干旱区地理*, 30(2): 189-195
- 吴兆宁, 黄建华, 王素甫艾力, 戚冉, 木合塔尔. 扎日, 杨向荣, 迪力夏提, 韩文清. 2007b. 新疆土屋铜矿床某些成矿地球化学特征探讨. *新疆地质*, 25(2): 160-163
- 杨丹, 徐文艺, 崔艳合, 陈伟十, 连玉. 2007. 二维气相色谱法测定流体包裹体中气相成分. *岩矿测试*, 26(6): 451-454
- 杨兴科, 程宏宾, 姬金生, 陈强, 罗桂昌. 1999. 东天山碰撞造山与金铜成矿系统分析. *大地构造与成矿学*, 23(4): 315-322
- 杨兴科, 程宏宾, 姬金生, 罗桂昌, 陶洪祥. 2000. 东天山金铜成矿背景与成矿系统分析. *西安工程学院学报*, 22(2): 7-14
- 张连昌, 秦克章, 英基丰, 夏斌, 舒建生. 2004. 东天山土屋-延东斑岩铜矿带埃达克岩及其与成矿作用的关系. *岩石学报*, 29(2): 259-268
- 朱裕生, 王福同, 龙宝林, 薛迎喜, 肖克炎, 冯京, 庄道泽, 姜立丰. 2003. 土屋-延东斑岩型铜(钼)矿床多源信息找矿模型. *矿床地质*, 22(3): 287-294
- 庄道泽. 2003. 新疆东天山地区土屋-延东铜矿地球化学特征与异常查证方法. *地质与勘探*, 39(5): 67-71