

# 甘肃龙尾沟斑岩型铜(钨)矿床成矿特征及形成环境

贾群子<sup>1</sup>, 马云海<sup>2</sup>, 全守村<sup>1</sup>, 王建军<sup>2</sup>, 肖朝阳<sup>1</sup>, 李金超<sup>1</sup>

1. 西安地质矿产研究所, 西安 710054; 2. 甘肃省地质调查院, 兰州 730000

**摘要:**龙尾沟铜(钨)矿床是祁连山地区新近发现的一处斑岩型矿床, 其评价及研究对祁连山地区铜矿勘查具有重要的指导和借鉴作用。本文通过对含矿斑岩年代学及地球化学、矿体产出特征及矿石物质组成、围岩蚀变等进行了系统研究, 结果表明, 花岗闪长斑岩形成年龄为 358.7 Ma; 矿体呈似层状、透镜状和脉状产出, 主要产于高钾碱性系列斑岩体内, 并受近南北向构造控制; 矿石矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、白钨矿, 呈细脉—浸染状、浸染状产出; 矿化以富铜、钨、金贫钼为特征; 与成矿关系密切的围岩蚀变主要为绢英岩化, 次为钾硅酸盐化和硅化; 矿床成矿时代为海西早期, 形成于陆内造山伸展环境。从成矿背景分析认为祁连山地区陆内造山环境所形成的斑岩型铜矿具有良好的找矿前景。

**关键词:**斑岩型铜(钨)矿床; 成矿特征; 形成环境; 龙尾沟; 欧龙布鲁克

**中图分类号:** P618.41; P618.67 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2012)06-0599-07

## Geological Characteristics and Metallogenic Environment of the Longweigou Porphyry Copper(tungsten) Deposit, Gansu

JIA Qun-zi<sup>1</sup>, MA Yun-hai<sup>2</sup>, QUAN Shou-cun<sup>1</sup>, WANG Jian-jun<sup>2</sup>, XIAO Chao-yang<sup>1</sup>, LI Jin-chao<sup>1</sup>

1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China;

2. Gansu Geological Survey Institute, Lanzhou 730000, China

**Abstract:** The Longweigou porphyry copper(tungsten) deposit, a newly found deposit, lies in the Oulongbuluke uplift belt of the Qilian orogenic belt. The evaluation and research of the Longweigou copper(tungsten) ore deposit will present important guidance and reference for copper exploration in the Qilian Mountain area. The chronology and the geochemistry of the ore-bearing porphyry deposit were studied and the occurrence features of the deposit, the components of gold mineral and the alteration of the wall rock were investigated. Results showed that the formation age of the granodiorite porphyry is 358.7Ma; and that the ore-body, which has occurrences of stratiform or lenticular or vein, occurs mainly in the high potassium alkali series porphyry and is controlled by NS structures; and that chalcopyrite, pyrite, pyrrhotite, and scheelite are main ore minerals, which have veinlet-disseminated and disseminated structures; and that mineralization is characterized by enriching copper, tungsten and gold and depleting molybdenum; and that the mineralization related wall-rock alterations are mainly sericitization and secondly potassium-silicate alteration and silicification; and that the metallogenic epoch is the early Variscan and the deposit was formed in the inner-continental orogenic extension setting. On the basis of the above finds, we believe that the porphyry copper deposit, which formed the intra-continent orogeny of the Qilian area, has excellent prospecting potential.

**Key words:** porphyry copper tungsten deposit; geological characteristics; metallogenic environment; Longweigou; Oulongbuluke

收稿日期: 2011-11-14 收到, 2012-02-08 改回

基金项目: 青藏高原地质矿产调查与评价专项(1212011121205); 国土资源大调查项目(200420190002)

第一作者简介: 贾群子(1962—), 男, 研究员, 研究方向: 矿床学和区域成矿规律. E-mail: xajqunzi@126.com.

甘肃龙尾沟(又称化石沟)铜(钨)矿床是祁连山地区新近发现的一处中型斑岩矿床。矿床位于甘肃省阿克塞县南部,柴达木盆地北缘西北部,西南距冷湖镇 42 km,地处祁连造山带欧龙布鲁克隆起带内<sup>[1]</sup>。该矿床由原国土资源部地球物理地球化学勘查研究所于 1998 年发现,并进行了地表地质和硃探工作<sup>[2,3]</sup>。2003 年以来,甘肃省地勘局第四地质矿产勘查院和甘肃省地质调查院对该矿床开展了普查评价和深部钻探验证工作,证实地表矿体向深部延伸,具有良好的找矿前景<sup>[4]</sup>。龙尾沟铜(钨)矿床的评价及研究,对祁连山地区铜矿勘查具有重要的指导和借鉴作用。本文在前人工作的基础上,依据近几年工作中取得的新资料,研究该矿床的成矿特征及成矿时代,探讨其形成环境。

## 1 矿区地质

### 1.1 地层

矿区出露地层主要为古元古界达肯大坂岩群第三岩组( $Pt_1D_3$ ),次为上泥盆统牦牛山组( $D_3m$ )及第四系(Q)(图 1)。

达肯大坂岩群第三岩组为一套中深变质岩系,主要分布在矿区西侧,呈近南北向展布。由于加里东期、海西期侵入岩侵位吞蚀,在矿区北部多呈残留体;东部与牦牛山组、海西期侵入岩为断层接触。岩石变形强烈,主要岩性为含石榴子石黑云斜长片麻岩、绢云石英片岩、绿泥石英片岩和大理岩等,含矿斑岩体侵入其中。

达肯大坂岩群 W 平均含量为  $2.15 \times 10^{-6}$ , Au 为  $0.98 \times 10^{-9}$ , Mo 为  $1.66 \times 10^{-6}$ , Cu 为  $31.09 \times 10^{-6}$ <sup>[5]</sup>, W 和 Au 高于地壳克拉克值, Mo 与地壳克拉克值接近, Cu 低于地壳克拉克值。

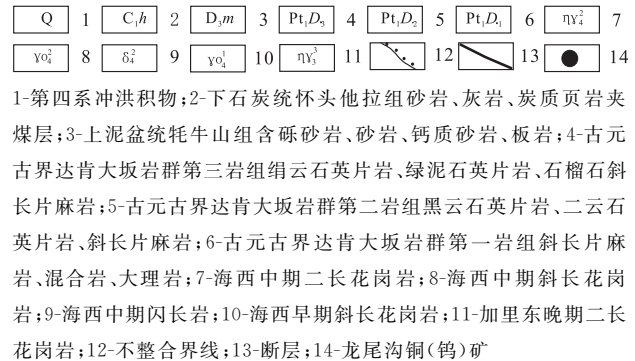
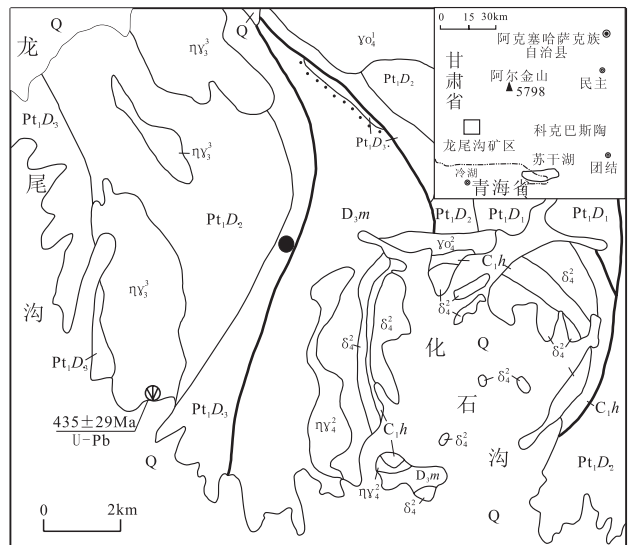
上泥盆统牦牛山组主要分布于矿区东侧,近南北向贯穿矿区,与西侧达肯大坂岩群为断层接触。该组由灰黑色泥质板岩、长石石英砂岩、含砾砂岩夹粉砂质板岩组成,水平层理和交错层理发育,具有下粗上细正旋回沉积序列。该地层中未见矿化。

第四系主要分布在矿区南、北两端沟谷,最宽处大于 2 km,由冲洪积、残坡积成因的松散的砂、砾土、亚粘土组成。

### 1.2 岩浆活动

矿区侵入岩发育,侵入时代主要为海西期,其次是加里东期。岩体受断裂控制明显,呈南北向弧形展布。

加里东期辉长岩和闪长岩在矿区广泛出露,侵入于达肯大坂岩群第三岩组( $Pt_1D_3$ )中,又被海西



1-Quaternary wash-pluvial material; 2-sandstone, limestone and carbonaceous shale of Huaitoutala Formation in Lower Carboniferous; 3-pebbled sandstone, sandstone, calcareous sandstone and slate of Maoniushan Formation in Upper Devonian; 4-sericite-quartz-schist, chlorite-quartz-schist, garnet-plagioclase gneiss in the third formation of Dakendaban Group in Lower Proterozoic; 5-biotite-quartz schist, manganese quartz-dolomite, plagioclase gneiss in the second formation of Dakendaban Group in Lower Proterozoic; 6-lagioclase gneiss, migmatite, marble in the first formation of Dakendaban Group in Lower Proterozoic; 7-adamellite in Middle Variscan; 8-plagioclase granite in Middle Variscan; 9-diorite in Middle Variscan; 10-plagioclase granite in Early Variscan; 11-adamellite in Late Caledonian; 12-unconformity bounded stratigraphic; 13-fault; 14-Longweigou porphyry copper tungsten deposit

图 1 龙尾沟地区区域地质简图

Fig. 1 Sketch geological map of the Longweigou area

期闪长岩、斜长花岗岩侵入吞蚀,多呈残留体。侵入体呈小岩株状、脉状产出,近南北向弧形展布。

海西期岩体岩性复杂。海西早期,主要为石英闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩以及花岗闪长斑岩等,呈小岩株状和脉状产出,严格受弧形断层控制,近南北向展布,其长轴方向与地层走向一致。石英闪长岩侵入于达肯大坂岩群第三岩组中;花岗闪长岩和斜长花岗岩侵入于达肯大坂岩群第三岩组和石

英闪长岩中;花岗闪长斑岩侵入于斜长花岗岩和达肯大坂岩群第三岩组中。花岗闪长斑岩和斜长花岗岩在绢英岩化、硅化强烈地段出现铜矿化、白钨矿化,是龙尾沟铜(钨)矿床的主要含矿围岩。

### 1.3 断裂构造

龙尾沟铜(钨)矿床位于化石沟环形构造西北部,区内断裂构造发育,主断裂南段为北北东向,中段转向近南北,北段拐向北北西,倾向西,倾角 $65^{\circ}\sim 72^{\circ}$ ,构成向东凸起的弧形构造,这是矿区内含铜斑岩的主要控岩构造。派生的次级断裂总体倾向东,倾角 $70^{\circ}\sim 83^{\circ}$ ,控制了矿体的展布。主断裂及派生的次一级断裂带内地层和岩石由于受到多次构造变动,产生不同程度的碎裂、糜棱岩化和片理化,为岩浆活动和热液活动提供了有利的地质构造条件。

## 2 含矿斑岩

含矿斑岩呈不规则状和脉状侵入于达肯大坂岩群第三岩组( $Pt_1D_3$ )和斜长花岗岩中,面积为 $300\sim 17\ 000\ m^2$ 不等,产状陡立,受断裂带控制,呈北北东向展布。

### 2.1 岩石学特征

含矿斑岩呈灰-灰白色,块状构造,斑状结构、似斑状结构、碎斑结构,并见片理化。斑晶主要由斜长石、石英及少量的钾长石组成,并有拉长和波状消光现象。基质为花岗结构和显微粒状结构。依据矿物

组成可划分为花岗闪长斑岩和斜长花岗斑岩。花岗闪长斑岩主要由斜长石( $49\%\sim 54\%$ )、石英( $25\%\sim 27\%$ )、钾长石( $15\%\sim 20\%$ )和黑云母( $3\%\sim 5\%$ )等矿物组成;斜长花岗斑岩主要由斜长石( $55\%\sim 57\%$ )、石英( $37\%\sim 39\%$ )、钾长石( $1\%\sim 3\%$ )和黑云母( $1\%\sim 3\%$ )等矿物组成。副矿物主要有磷灰石、榍石、锆石等。主要蚀变有斜长石的绢云母化和黑云母的绿泥石化等。这两种岩石与安国英等<sup>[3]</sup>描述的花岗斑岩相当。前者属于内部相,后者属于边缘相,与多宝山含铜斑岩相似<sup>[6]</sup>。

### 2.2 岩石地球化学特征

斑岩岩石化学成分(表1)  $SiO_2$   $65.47\%\sim 71.93\%$ ,  $Al_2O_3$   $12.85\%\sim 17.21\%$ ,  $Na_2O+K_2O$   $6.27\%\sim 9.43\%$ ,  $K_2O/Na_2O$  近于1。A/CNK 值为 $0.87\sim 1.81$ ,平均1.17。 $\sigma$ 值 $1.75\sim 3.23$ ,平均2.38,属钙碱性系列过铝质岩石。在 $SiO_2-K_2O$ 图上(图2),龙尾沟斑岩体显示高钾钙碱性系列和钾玄岩系列的特点,与冈底斯斑岩铜矿<sup>[7]</sup>、阳储岭<sup>[8]</sup>和莲花山斑岩钨矿<sup>[9]</sup>的含矿斑岩相似。

本次研究亦对花岗闪长斑岩和矿石进行了稀土元素分析(表2)。所得花岗闪长斑岩 $\Sigma REE$ 为 $(153.68\sim 212.45)\times 10^{-6}$ , $(La/Yb)_N$ 为 $12.17\sim 15.40$ ,属轻稀土富集型(图3),与阳储岭含矿斑岩的稀土配分模式相似<sup>[8]</sup>。 $\delta Eu$ 为 $0.48\sim 0.55$ ,Eu强烈亏损,反映岩石结晶分异程度较高。黄铜矿化

表1 岩石化学成分分析结果表

Table 1 Chemical contents of the ore-bearing porphyrie in the Longweigou ore area

	$w_B(\%)$						
样号	LWD-5/1TW	LWG-10B-1	R1	R2	R3	R4	R5
岩石类型	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩
$SiO_2$	71.93	71.50	68.30	71.11	66.44	65.47	70.49
$TiO_2$	0.25	0.22	0.37	0.05	0.08	0.65	0.18
$Al_2O_3$	13.88	13.11	15.5	13.49	17.21	14.42	12.85
$Fe_2O_3$	0.71	0.55	2.25	1.43	2.59	4.92	2.25
FeO	1.46	1.60	1.05	0.58	0.54	2.90	0.76
MnO	0.03	0.03					
MgO	0.58	0.69	0.88	0.35	0.68	1.96	0.53
CaO	1.49	1.25	0.53	1.53	0.49	1.46	1.16
$Na_2O$	3.97	4.31	3.20	5.18	2.45	3.97	4.24
$K_2O$	4.35	4.18	4.52	3.21	4.23	2.30	5.19
$P_2O_5$	0.05	0.04	0.12	0.03	0.026	0.036	0.03
S	0.06	0.08					
$CO_2$	0.77	1.06					
$H_2O^+$	0.73	0.57					
$H_2O^-$	0.06	0.08					
Cu	0.02	0.03					
Mo	0.0003	0.0004					
$WO_3$	0.003	0.009					
总计	100.343	99.3094	96.72	96.96	94.736	98.086	97.68

注:LWD-5/1TW 和 LWG-10B-1 为本文分析结果,其余据文献[4];分析方法: X 荧光光谱;测试者:西安地质调查中心;空白表示没有数据

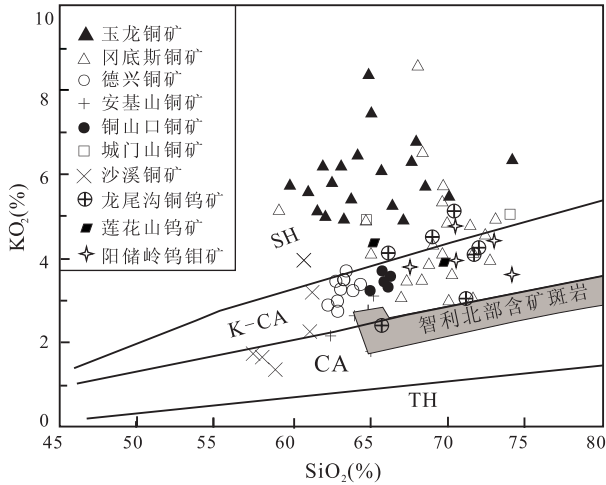


图2 中国主要斑岩铜矿和钨矿含矿斑岩  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  图解(据文献[7])

Fig. 2 The  $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{SiO}_2$  plot of the ore-bearing porphyries of major porphyry copper and tungsten deposits in China(after ref. [7])

斜长花岗岩以弱的 Eu 异常( $\delta\text{Eu}$  为 0.89)而与花岗闪长斑岩相区别。细脉浸染状铜矿石稀土配分模式与花岗闪长斑岩相似, $\delta\text{Eu}$  为 0.41,反映出二者成因上的密切联系。

本次研究获得花岗闪长斑岩的  $\delta^{18}\text{O}$  为 11.85‰,

表2 龙尾沟斑岩体稀土元素组成

Table 2 Contents of REEs in the ore-bearing porphyries in the Longweigou ore area

序号	样号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	$\Sigma\text{REE}$
1	LWD-5/1TW	花岗闪长斑岩	53.0	94.4	10.1	33.7	5.1	0.78	4.57	0.68	3.98	0.77	2.36	0.33	2.32	0.36	212.45
2	LWG-10-1	花岗闪长斑岩	40.6	63.2	7.4	24.2	3.9	0.68	3.55	0.58	3.63	0.74	2.26	0.33	2.25	0.36	153.68
3	B11	细脉浸染状黄铜矿矿石	59.8	122.8	15.5	59.2	10.2	1.28	8.32	1.43	9.07	1.84	5.35	0.71	4.71	0.72	300.93
4	LWG-10-2	黄铜矿化斜长花岗岩	38.1	71.4	7.8	27.5	4.0	1.12	3.53	0.52	3.18	0.59	1.82	0.27	1.75	0.29	161.87

分析方法:等离子质谱;测试单位:西安地质调查中心

### 2.3 斑岩形成时代

对于该斑岩的形成时代,多认为属海西中晚期<sup>[3,4]</sup>。笔者对斑岩体锆石 U-Pb 年龄进行了研究。样品采自矿区中部的花岗闪长斑岩(LWD-5/1TW),灰白色、块状构造,斑状结构,由斜长石(50%)、石英(25%)、钾长石(20%)、黑云母(3%)及少量电气石、硫化物等组成,岩石绢云母化、硅化、绿泥石化蚀变较弱。测定结果见表3和图4。所作的五组锆石 U-Pb 年龄测定数据中心均落在谐和曲线上。其中5号数据点年龄偏老,可能为继承性锆石。1、2、3和4号点年龄较一致,并且三种表面年龄变化在实验误差范围内,以这4个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值  $358.7 \pm 3.8$  Ma 作为锆石的生成年龄是比较精确可靠的,侵位时代相当于晚泥盆世。岩体为海西早期的产物。

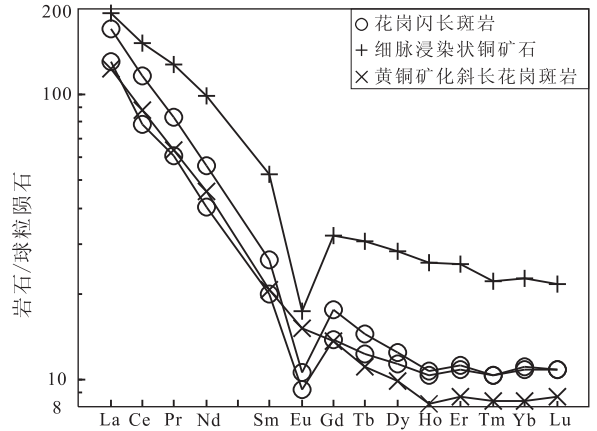


图3 龙尾沟斑岩体稀土配分模式

Fig. 3 The chondrite-normalized REE patterns for ore-bearing porphyries of the Longweigou mine area

$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  分别为 3.014 和 0.73185(国土资源部中南矿产资源监督检测中心测试)。按岩体生成年龄 358.7 Ma(见下文)计算出岩体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初始比为 0.71677。斑岩岩体具有高  $\delta^{18}\text{O}$  和中铈特点。花岗闪长斑岩初始铈高于上地幔平均值(0.7037),低于地壳平均增长值(0.719)<sup>[10]</sup>,推测是下地壳岩浆在上升过程中受到上地壳物质的混染所形成。

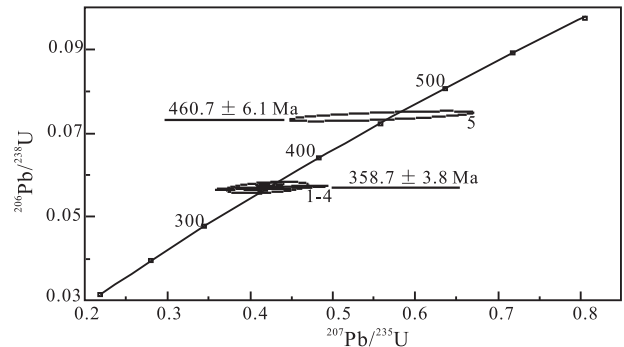


图4 龙尾沟花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 同位素年龄谐和图  
Fig. 4 U-Pb concordant diagram of zircons from granodiorite porphyry in the Longweigou ore area

## 3 矿床地质

### 3.1 矿体形态及产状

龙尾沟矿体主要产于花岗闪长斑岩、斜长花岗

表 3 龙尾沟花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 同位素年龄测试结果

Table 3 The zircon U-Pb data for granodiorite porphyry from the Longweigou ore area

点号	锆石特征	质量/ $\mu\text{g}$	U/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Pb/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	普通铅含量/ $\text{ng}$	同位素原子比率 <sup>①</sup>					表面年龄/Ma		
						$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
1	近无色透明颗粒状	50	627	41	0.042	1573	0.2229	0.05692 (33)	0.4072 (402)	0.05188 (485)	356.9	346.8	280.2
2	近无色透明颗粒状	50	645	61	0.660	132	0.2218	0.05701 (37)	0.4428 (420)	0.05633 (503)	357.4	372.2	465.4
3	近无色透明颗粒状	50	648	53	0.360	204	0.2172	0.05702 (110)	0.4207 (416)	0.05350 (492)	357.5	356.5	350.2
4	近无色透明短柱状	50	729	47	0.037	2402	0.2118	0.05775 (27)	0.4238 (139)	0.05323 (164)	361.9	358.8	338.6
5	近无色透明短柱状	50	409	53	0.690	114	0.2146	0.07407 (99)	0.5589 (916)	0.05472 (848)	460.7	450.8	400.8

注:① $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  已对实验空白( $\text{Pb}=0.050\text{ ng}$ ,  $\text{U}=0.002\text{ ng}$ )及稀释剂作了校正,其它比率中的铅同位素均为放射成因铅同位素;括号内的数字为  $2\sigma$  绝对误差,例如:0.05692(33)表示  $0.05692\pm 0.00033(2\sigma)$ 。测试者:天津地质矿产研究所耿建珍

斑岩中(图 5)。矿体受龙尾沟-化石沟近南北向弧形断裂和片理化带控制,形成断续长达 14 km、宽 100~200 m 的矿化带,其北部矿化较弱,南部较强。

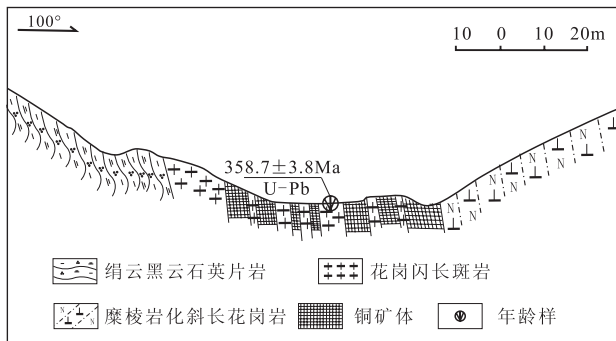


图 5 龙尾沟矿床剖面图

Fig. 5 Geological section of the Longweigou deposit

区内目前共圈定矿体 31 个,其中铜矿体 26 个,铜钨矿体 3 个,铜金矿体 1 个,金矿体 1 个。矿体呈层状、透镜状和脉状产出,局部地段有膨胀收缩和分枝复合现象,矿体产状与围岩基本一致。矿体在南段倾向北西,中、北段矿体东倾,倾角  $57^\circ\sim 90^\circ$ 。规模大小不等,铜矿体长度一般 50~500 m,最长达 1440 m,平均厚度 0.45~4.19 m,最厚 5.71 m。最大铜矿体为 12 号矿体,长 1440 m,厚 0.79~6.36 m,平均 2.40 m。铜钨矿体长 50~255 m,平均厚 2.35~4.02 m;铜金矿体长 195 m,厚 1.80 m;金矿体长 110 m,厚 1.15 m。

铜矿体 Cu 平均品位为 0.21%~2.75%,单样最高达 7.05%;铜钨矿体 Cu 品位为 0.56%~1.19%, $\text{WO}_3$  为 0.086%~0.168%,单样最高可达 0.192%;铜金矿体 Cu 品位为 0.27%,Au 为  $(0.2\sim 3)\times 10^{-6}$ ,平均  $1.1\times 10^{-6}$ 。金矿体呈石英脉产出,Au 品位  $1.9\times 10^{-6}$ 。全区平均 Cu 0.70%。矿体中

钨含量低( $<0.006\%$ )。

### 3.2 矿石矿物和矿石结构

矿石中金属矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、白钨矿,其次为磁铁矿、斑铜矿及微量黝铜矿、白铁矿、闪锌矿(铁含量为 8.61%,为含铁闪锌矿)、方铅矿、毒砂和赤铁矿等。地表硫化物被氧化为孔雀石、蓝铜矿、铜蓝、褐铁矿、黄钾铁矾等。硫化物主要呈细脉-浸染状分布。白钨矿呈星点状和浸染状产于斑岩体中,与阳储岭斑岩型钨钼矿床中白钨矿的主要产出形式相似<sup>[8]</sup>。白钨矿分布不均匀,与黄铜矿、黄铁矿等伴生,硫化物细脉常切穿白钨矿,其形成略早于硫化物,与广西王社铜钨矿床中白钨矿以含钨石英脉产出不同<sup>[11]</sup>。脉石矿物以斜长石、石英、绢云母为主,次为钾长石、黑云母、白云母、绿泥石、方解石、帘石和微量电气石、磷灰石、楣石等。

矿石主要为半自形-他形晶粒状、胶状和交代结构,其中以半自形-他形晶粒状结构为主。矿石呈浸染状、细脉状、细脉-浸染状及团块状构造等,其中以细脉-浸染状构造为主。

矿石中磁黄铁矿、黄铜矿和黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  分别为 1.74‰、4.75‰和 4.88‰(国土资源部中南矿产资源监督检测中心测试),平均 3.79‰,与马拉松多、玉龙等斑岩铜矿<sup>[12]</sup>及阳储岭斑岩钨矿<sup>[8]</sup>、莲花山<sup>[9]</sup>相似,推测矿石硫主要来源于斑岩或深部岩浆房。

### 3.3 热液蚀变

矿区内的蚀变主要发育在花岗闪长斑岩和斜长花岗岩中,受构造压碎带控制,为不均匀的面型蚀变,通常蚀变越强,矿化越好。蚀变规模一般为长数十米至两百余米,宽数十厘米至十余米。蚀变类型主要为绢云岩化,其次为钾硅酸盐化和硅化等。

#### 3.3.1 绢英岩化 绢英岩化是区内分布最广的

蚀变,主要发育在花岗闪长斑岩和斜长花岗斑岩中。蚀变矿物组合为绢云母+石英+绿泥石+黄铁矿+方解石(电气石、榍石)。绢云母和石英等交代斜长石或呈细脉状产出,并发生片理化。蚀变弱的保留原岩结构和残余的斜长石,蚀变强的原岩结构和矿物消失,形成绢云岩。该蚀变岩含丰富的金属硫化物,是区内重要找矿标志之一。

3.3.2 钾硅酸盐化 主要发育在花岗闪长斑岩中。钾硅酸盐化蚀变包括黑云母化和钾长石化,它们的特征矿物组合为钾长石+黑云母+石英+绢云母。黑云母化主要沿裂隙呈脉状分布,也可见交代钾长石,呈细鳞片集合体产出,大部分黑云母化已发生绿泥石化,并有铁质析出。钾长石化主要以钾长石-石英细脉产出,部分交代斜长石,并伴有石英形成。该蚀变岩中矿化较弱。

3.3.3 硅化 常与绢英岩化和钾硅酸盐化相伴产出。部分呈团块、条带,局部为硅化岩。其晶形呈它形粒状、锯齿状镶嵌、亚颗粒镶嵌分布于岩石裂隙中,石英重结晶明显,具次生加大现象,硅化与铜矿化密切,且蚀变强处铜矿化亦相对强。

## 4 矿床形成环境

龙尾沟铜(钨)矿床位于欧龙布鲁克隆起带的西部。该隆起带为祁连、柴北缘早古生代洋/海盆之间的前寒武纪古陆块<sup>[13]</sup>,经历了古元古代古陆块形成阶段、中元古代陆内沉降阶段、中-新元古代 Rodinia 超大陆汇聚阶段、南华纪-震旦纪 Rodinia 超大陆裂解阶段、早古生代陆块俯冲与折返阶段、晚古生代-中生代陆内造山阶段和中新生代高原隆升阶段等 7 个阶段<sup>[14]</sup>。区域上出露的加里东期二长花岗岩、花岗闪长岩为早古生代碰撞造山作用的产物。志留纪末的祁连运动使祁连山地区包括柴北缘地区普遍缺失早、中泥盆世沉积建造记录,表明当时处于山体隆升夷平阶段<sup>[15]</sup>,柴北缘及祁连山转变为大陆环境,形成统一的古大陆,进入陆内造山阶段,海西期中酸性侵入岩为陆内造山作用的产物。晚泥盆世时期,进入了一个新的演化时期<sup>[14]</sup>,柴达木盆地周缘及邻区普遍发育由下部红色磨拉石和上部板内裂解型偏碱性陆相火山岩组成的牦牛山组,即此时区域已由挤压转向滑塌、拉伸、岩石减薄的陆内造山过程。与此同时,由于滑塌、拉伸,引起地壳部分熔融,形成晚泥盆世中酸性岩体包括龙尾沟含矿斑岩体的侵位。世界上许多古老的造山带在滑塌拉伸同时也有花岗质岩浆侵入作用<sup>[16]</sup>,我国冈底斯斑岩成矿带的含铜钾质斑岩为后碰撞伸展环境下的产物<sup>[7]</sup>。

龙尾沟铜(钨)矿床的形成可概括为:晚泥盆世时,欧龙布鲁克地块由于滑塌、拉伸,引起地壳部分熔融,形成斑岩体。岩体定位后,深部岩浆房分异出的富含 Cu 等成矿元素和挥发组分的岩浆热液沿控岩构造裂隙带上升,在上升过程中与地下水对流循环,从达肯大坂岩群中萃取金属 W、Au 等元素,导致 W、Au 等成矿元素含量增高,成矿热液向近地表迁移,在斑岩体及接触带构造裂隙中或构造薄弱部位交代围岩而成矿。

## 5 结 论

(1)龙尾沟铜(钨)矿床是与晚泥盆世花岗闪长斑岩有关的斑岩型铜(钨)矿床。围岩蚀变主要为绢英岩化,次为钾硅酸盐化和硅化。矿体呈细脉-浸染状主要产于斑岩体内,并受断裂构造控制。矿化以富铜、钨、金及贫钼为特征。

(2)矿床形成于陆内造山拉伸环境。斑岩体具有高钾钙碱性系列和钾玄岩系列的特点,是华力西期陆内造山期(后碰撞)拉伸背景下地壳部分熔融的产物。

(3)祁连山地区陆内造山环境所形成的斑岩型铜矿具有良好的找矿前景。区内南部陆内造山环境斑岩型铜矿除上述与海西期斑岩有关的龙尾沟铜(钨)矿床外,还有与印支期浅成侵入岩浆活动有关的小赛什腾山斑岩型铜(钨)矿床<sup>[17]</sup>,显示出较大的找矿潜力;北部的北祁连、中祁连和南祁连目前尚未发现陆内造山环境的斑岩铜矿床,但华力西期和印支期中酸性岩浆活动发育<sup>[18]</sup>,且与该区有相似的地质演化历史,具有形成陆内造山期斑岩铜矿的地质前提与条件,有良好的找矿前景,应关注此类矿床的调查评价和研究工作。

## 参考文献 (References):

- [1] 贾群子,杨钟堂,肖朝阳,全守村,邹湘华,李宝强. 祁连成矿带成矿规律和找矿方向[J]. 西北地质, 2006, 39(2): 96-113.  
Jia Qunzi, Yang Zhongtang, Xiao Chaoyang, Quan Shoucun, Zou Xianghua, Li Baoqiang. Metallogenic characteristics and prospecting Target in the Qilian metallogenic zone[J]. North-western Geology, 2006, 39(2): 96-113. (in Chinese with English abstract)
- [2] 徐善法,张汉成,陈建平. 青海龙尾沟铜、金矿床地质特征、矿床成因及成矿远景分析[J]. 地质与勘探, 2004, 40(2): 12-17.  
Xu Shanfa, Zhang Hancheng, Chen Jianping. Geologic characteristic, genesis and perspective analysis of Longweigou porphyry copper and gold deposit, Qinghai Province[J]. Geology

- and Prospecting, 2004, 40(2): 12—17. (in Chinese with English abstract)
- [3] 安国英, 张汉成, 徐善法, 叶树民. 青海龙尾沟铜金矿床含矿斑岩脉地质与地球化学特征及研究意义[J]. 物探与化探, 2005, 29(6): 497—502.  
An Guoying, Zhang Hancheng, Xu Shanfa, Ye shumín. Geological and geochemical characteristics of the Longweigou porphyry copper-gold deposit in Qinghai Province[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2005, 29(6): 497—502. (in Chinese with English abstract)
- [4] 杨树清. 甘肃省化石沟铜矿床地质特征[J]. 甘肃科技, 2009, 25(17): 47—49.  
Yang Shuqing. Geologic characteristic of Huashigou copper deposit, Guansu Province[J]. Gansu Science and Technology, 2009, 25(17): 47—49. (in Chinese)
- [5] 甘肃省地质调查院. 甘肃省阿克塞县当金山一带铜多金属矿评价成果报告[R]. 2006.  
Gansu Geological Survey Institute. The achievement report of assessment on Cu polymetallic deposits in Dangjinshan area, Akesai County, Guansu Province[R], 2006. (in Chinese)
- [6] 杜琦, 马晓阳, 韩成满, 姜喜荣. 斑岩铜矿成因探讨[M]. 北京: 地质出版社, 2008.  
Du Qi, Ma Xiaoyang, Han Chenghan, Jiang Xirong. Discussing on the genesis of porphyry deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008. (in Chinese)
- [7] 侯增谦, 潘小菲, 杨志明, 曲晓明. 初论大陆环境斑岩铜矿[J]. 现代地质, 2007, 21(2): 332—351.  
Hou Zengqian, Pan Xiaofei, Yang Zhiming, Qu Xiaoming. Porphyry Cu-(Mo-Au) deposits on related to oceanic-slab subduction: Examples from Chinese porphyry deposits in continental Settings[J]. Geoscience, 2007, 21: 332—351. (in Chinese with English abstract)
- [8] 迟实福, 姬金生. 阳储岭斑岩型钨铜矿床含矿斑岩及矿化特征[J]. 长春地质学院学报, 1985, 15(1): 37—58.  
Chi Shifu, Ji Jinsheng. Characteristics of ore-bearing rocks and distributed rule of mineralization of the Yangchuling porphyry-type W-Mo deposit, Jiangxi Province [J]. Journal of Changchun College of Geology, 1985, 15(1): 37—58. (in Chinese with English abstract)
- [9] 谭运金. 广东莲花山斑岩钨矿床地质地球化学特征及矿床成因[J]. 地球化学, 1983, 16(2): 121—132.  
Tan Yunjin. Geological-geochemical characteristics of Lianhuashan porphyry tungsten deposit and its origin [J]. Geochimica, 1983, 16(2): 121—132. (in Chinese with English abstract)
- [10] Faure G, Powell J L. Strontium isotope geology[M]. New York: Springer-Verlag, 1972: 188.
- [11] 蒯志永, 王登红, 李水如. 广西王社铜钨矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2008, 82(11): 1565—1571.  
Lin Zhiyong, Wang Denghong, Li Shuiru. Re-Os isotopic age of molybdenite from the Wangshe copper-tungsten deposit in Guangxi Province and their implications[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(11): 1565—1571. (in Chinese with English abstract)
- [12] 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 徐珏, 张洪涛. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1984.  
Rui Zongyao, Huang Chongke, Qi Guoming, Xu Jue, Zhang Hongtao. Porphyry copper(molybdenum) deposits of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984. (in Chinese)
- [13] 张德全, 王富春, 余宏全, 丰成友, 李大新, 李进文. 柴北缘-东昆仑地区造山型金矿床的三级控矿构造系统[J]. 中国地质, 2007, 34(1): 92—100.  
Zhang Dequan, Wang Fuchun, She Hongquan, Feng Chengyou, Li Daxin, Li Jinwen. Three-order ore-controlling structural system of orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin-east Kunlun region [J]. Geology in China, 2007, 34(1): 92—100. (in Chinese with English abstract)
- [14] 郝国杰, 陆松年, 王惠初, 辛后田, 李怀坤. 柴达木盆地北缘前泥盆纪构造格架及欧龙布鲁克古陆块地质演化[J]. 地学前缘, 2008, 11(3): 115—122.  
Hao Guojie, Lu Songnian, Wang Huichu, Xin Houtian, Li huikun. The pre-devonian tectonic framework in the northern margin of Qaidam Basin and geological evolution of Olongbuluk palaeo-block[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 11(3): 115—122. (in Chinese with English abstract)
- [15] 辛后田, 王惠初, 周世军. 柴北缘的大地构造演化及其地质事件群[J]. 地质调查与研究, 2006, 29(4): 311—320.  
Xin Houtian, Wang Huichu, Zhou Shijun. Geological events and tectonic evolution of the north margin of the Qaidam Basin [J]. Geological Survey and Research, 2006, 29(4): 311—320. (in Chinese with English abstract)
- [16] 吴才来, 郜源红, 吴锁平, Joseph L, Wooden, Frank K, Mazadab, Chris Mattinson. 柴北缘西段花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其岩石地球化学特征[J]. 中国科学(D), 2008, 38(8): 930—949.  
Wu Cailai, Gao Yuanhong, Wu Suoping, Joseph L, Wooden, Frank K, Mazadab, Chris Mattinson. Zircon shrimp dating and geochemical characteristics of granite from the Western Qaidam [J]. Science in China (D), 2008, 38(8): 930—949. (in Chinese)
- [17] 李大新, 张德全, 崔艳合, 丰成友. 小赛什腾山斑岩铜(钼)矿床根部带的特征[J]. 地球学报, 2003, 24(3): 211—218.  
Li Daxing, Zhang Dequan, Cui Yanhe, Feng Chengyou. The root part of the Xiaosaishitengshan porphyry Cu(Mo) deposit [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, 24(3): 211—218. (in Chinese with English abstract)
- [18] 贾群子, 杨忠堂, 肖朝阳, 全守村, 邹湘华. 祁连山铜金钨铅锌矿床成矿规律和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 2007.  
Jia Qunzi, Yang Zhongtang, Xiao Chaoyang, Quan Shoucun, Zou Xianghua. The metallogenic regularity and metallogenic prognosis of the copper, gold, Tungsten, lead, zinc deposits in Qilian Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007. (in Chinese)