

# 西藏驱龙铜矿西部斑岩与成矿关系的厘定： 对矿床未来勘探方向的重要启示\*

杨志明<sup>1</sup>, 侯增谦<sup>1</sup>, 夏代详<sup>2</sup>, 宋玉财<sup>1</sup>, 李政<sup>3</sup>

(1 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2 西藏中胜矿业有限公司, 西藏 拉萨 850000;  
3 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083)

**摘要** 对正在勘查中的西藏驱龙斑岩铜矿床,任何关于基础矿床地质认识上的改变,都可能会引发勘查方向上的重大变动。驱龙铜矿的勘探工作是围绕矿区内出露的几套斑岩体进行的。然而,野外调查发现,矿区西部斑岩体(指原Ⅱ、Ⅲ及Ⅳ号斑岩)却表现出与东部斑岩体(原Ⅰ号斑岩)截然不同的蚀变、矿化及岩石学特征:西部斑岩蚀变以石英-绢云母化为主,局部可见青磐岩化,矿化主要为黄铁矿化,黄铜矿很少,通常产于斑岩铜矿外围的黄铁矿脉发育。这些特征均表明,西部斑岩整体处于斑岩矿化系统的绢英岩化带,局部甚至处于青磐岩化蚀变带内,并非像东部斑岩(出现以斑岩体为中心、呈同心环状分带的蚀变及矿化系统)一样。西部斑岩还发生了明显的韧性变形,经历了比东部斑岩更为复杂的地质演化过程,其形成时间明显早于东部斑岩。因此,推断西部斑岩对成矿的贡献不大。为证实野外观察的正确性,作者对西部斑岩开展了详细的岩石学、岩石地球化学及年代学研究,结果显示,西部斑岩为高钾钙碱性系列,具有明显的Eu负异常,富集大离子亲石元素,亏损高场强元素,但不亏损Ta,其锆石U-Pb SHRIMP年龄为(182.3±1.5)Ma,为早侏罗世的产物,明显不同于形成于中新世的东部斑岩。因此,驱龙铜矿床未来的勘探工程布置方案更加清晰,应紧紧围绕东部斑岩所形成的矿化系统进行。由于西部斑岩出露面积较大,与叶巴组火山岩一样,仅为围岩,并没有形成自己的蚀变与矿化系统,建议不要对该斑岩布置太多的勘查工程。在矿床勘探过程中,详细的野外观察,辅以适当的科学分析手段,往往能够避免投入过多无谓的勘查工程,减少浪费。

**关键词** 地质学;西部斑岩;U-Pb SHRIMP定年;斑岩铜矿;驱龙;冈底斯;西藏

中图分类号:P618.41 文献标识码:A

## Relationship between Western Porphyry and mineralization in Qulong copper deposit of Tibet and its enlightenment to further exploration

YANG ZhiMing<sup>1</sup>, HOU ZengQian<sup>1</sup>, XIA DaiXiang<sup>2</sup>, SONG YuCai<sup>1</sup> and Li Zheng<sup>3</sup>

(1 Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China; 2 Xizang Zhongsheng Mineral Resources Company, Lhasa 850000, Tibet, China; 3 Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

### Abstract

Any change in basic geological knowledge of the Qulong giant porphyry copper deposit, the most important and exploring deposit in the Gandise Porphyry Copper Belt (GPCB), will result in change of exploration plan. In the past, the western (the original II, III and IV porphyries) and the eastern (the original I porphyry) porphyries were both considered to have been formed in Eocene and related to Cu-Mo mineralization. However, based on careful field observation, the authors found that the two kinds of porphyries have different alteration, mineralization and petrologic characteristics. Mineralization in the Western Porphyry, characterized by abundant

\* 本文受国家自然科学基金重点基金(编号:40730419)和国家基础研究规划973项目(批准号:2002CB412600)的联合资助

第一作者简介:杨志明,男,1978年生,博士研究生,主要从事矿床学研究,E-mail:zm.yang@hotmail.com

收稿日期:2007-11-29;改回日期:2008-01-03。张绮玲编辑。

pyrite veins and quartz-sericite alteration (with minor local epidote alteration), is obviously controlled by fractures. Sulfide veins in them are typical D type veins at all exposed levels, and usually have sericite alteration halos. Concentric alteration-mineralization systems usually developed in porphyries related to mineralization were not found at the Western Porphyry. In addition, ductile deformation was developed in the Western Porphyry but not seen in the Eastern Porphyry, indicating a more complex evolutionary process of the Western Porphyry. It is thus inferred that the Western Porphyry probably has an older crystallization age than the Eastern Porphyry, and it only served as wall rock during the formation of the ore deposit. To testify the inference, the authors carried out detailed petrological, rock geochemical and radioactive age studies of the Western Porphyry. The analytical results indicate that the Western Porphyry has high  $K_2O$  content and Aluminum Saturation Index (ASI, 1.6~2.8), belonging to the strongly peraluminous and high K calc-alkaline series, and is rich in LILE and depleted in HSFE, with enriched light-REE. Zircons from a sample of the porphyry were selected and dated by SHRIMP and, as a result, an age of  $(182.3 \pm 1.5)$  Ma was obtained. In contrast to the Eastern Porphyry, the Western Porphyry is not depleted in Ta and has strong negative Eu anomalies and obviously older age, indicating that the Western Porphyry was probably formed by crust melting in early Jurassic. The authors thus hold that further exploration should focus on the Eastern Porphyry instead of the Western Porphyry, which is only the wall rock. It is also thought that detailed observation in the field by means of suitable scientific analysis can avoid unnecessary exploratory investment.

**Key words:** geology, Western Porphyry, U-Pb SHRIMP dating, porphyry copper deposit, Qulong, Gandise, Tibet

西藏驱龙斑岩铜矿床,作为中国近几年找矿勘探的一个重要突破,已引起了社会各界的广泛关注。尽管目前探明其金属量已达 7.1 Mt,成为国内最大的斑岩铜矿床,但是对它的地质勘探工作仍在进行之中。因此,任何关于驱龙矿床基础地质研究成果可能都会引起勘查工程布置方案的变动。对驱龙铜矿的勘探一直是围绕矿区内出露的几套斑岩体进行的。勘查结果显示,工业矿体主要位于东部斑岩体(原 I 号斑岩)周围及其东部地区(见杨志明等, 2008a),显然矿体与东部斑岩关系密切;而出露面积较大的西部斑岩(指原 II、III 及 IV 号斑岩)却表现出较弱的矿化。长期以来,一直认为驱龙矿区内出露的这些斑岩体均形成于中新世,并且 I、II 号斑岩体深部可能连在一起(郑有业等, 2004)。那么,为什么同时期侵位的斑岩却表现出如此差异的含矿性?西部斑岩为中新世侵位的非含矿斑岩还是另有成因?矿区的几个斑岩体之间关系到底如何?在对驱龙铜矿的地质勘探如火如荼进行之时,及时回答上述问题,不仅可以建立区分含矿与非含矿斑岩的标准,查明斑岩含矿与否的原因,具有重要的科学意义;同时,对于孕育快速有效的勘探思路,节省大量的勘探工程及费用,亦具有重要的实际意义。鉴于前人已

对东部斑岩做了大量的工作(参考杨志明等, 2008a)笔者本次主要侧重于工作程度较低的西部斑岩展开,详细的野外地质调查发现,西部斑岩体不仅表现出与东部斑岩体截然不同的蚀变与矿化特征,同时还表现出不同的岩相学及变形特征,表明两者可能经历了不同的地质演化历史,为两套不同的斑岩;东部斑岩与矿化关系密切,西部斑岩与矿化关系不大。为验证野外观察的正确性,笔者采集了大量西部斑岩样品,拟通过详细的岩石地球化学及年代学的研究,进一步厘定西部斑岩的成因及其与东部斑岩之间的关系,以期解决驱龙铜矿区出露的各斑岩体对成矿的贡献及其在未来勘探中的地位等一系列事关驱龙未来勘探方向的重要地质问题。

## 1 地质背景简介

驱龙矿床位于冈底斯斑岩铜矿带的东段,产于拉萨地体南缘的火山-岩浆弧中(图 1A)。区内自晚三叠世从印度板块分离以来(Yin et al., 2000),相继经历了侏罗纪岛弧造山、白垩纪陆缘弧叠加、古近纪碰撞造山、新近纪岩浆-变形等构造-岩浆事件,形成了现今厚达 70~80 km 的巨厚地壳和长达 1 500 km

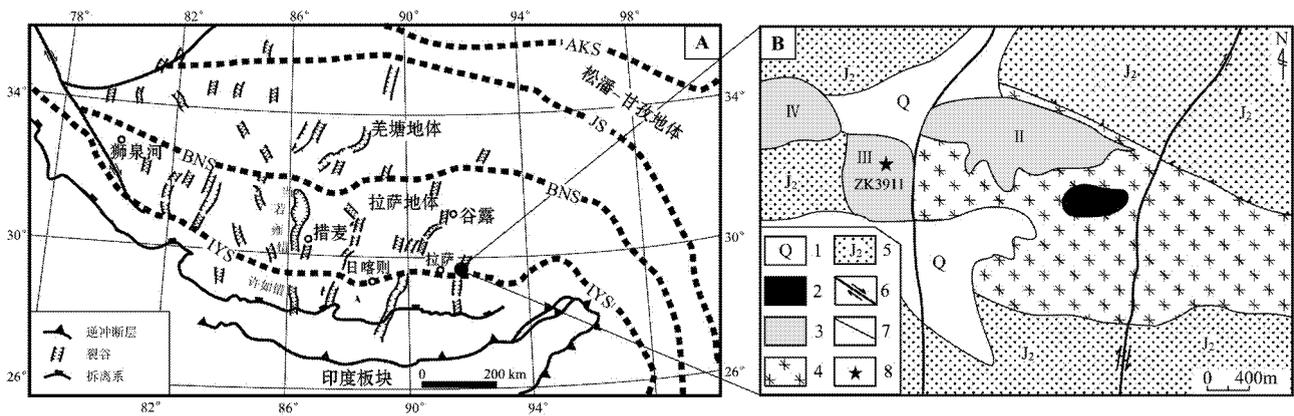


图1 驱龙铜矿产出的大地构造位置(A, 据 Hou et al., 2004b 修改)及矿床地质简图(B, 据杨志明等 2006 修改)  
A. AKS—阿尼玛卿-昆仑缝合带; JS—金沙江缝合带; BNS—班公湖-怒江缝合带; IYS—印度河-雅鲁藏布江缝合带; B. 1—第四系 2—东部主成矿二长花岗斑岩; 3—西部与成矿关系不大的花岗斑岩; 4—荣木错拉二长花岗岩-花岗闪长岩复式岩体; 5—叶巴组地层; 6—走滑断层; 7—未知性质断层; 8—年代学研究样品位置。图中的 II、III、IV 为原斑岩体编号

Fig. 1 Tectonic location (A, after Hou et al., 2004b) and simplified geological map (B, after Yang et al., 2006) of the Qulong porphyry copper deposit

AKS—Ayimaqin-Kunlun-Mutuztagh suture; JS—Jinsha suture; BNS—Bangong-Nuijiang suture; IYS—Indus-Yarlung Zangbo suture; 1—Quaternary; 2—Eastern porphyry related to mineralization; 3—Western granite porphyries unrelated to mineralization; 4—Rongmucuola pluton; 5—Ye-ba Formation; 6—Strike-slip fault; 7—Fault with unknown characteristics; 8—Sample location for age dating

的冈底斯岩浆带(侯增谦等, 2005)。驱龙矿区主要由近 EW 向产出的中侏罗统的叶巴组火山岩及中新世荣木错拉复式岩体组成, 两者构成了矿区的主体(图 1B; 杨志明等, 2008b)。已有的地质填图表明, 矿区内还发育其他 2 套岩浆系统, 即中侏罗世花岗闪长岩, 以及与成矿有关的中新世的二长花岗斑岩。有人认为西部斑岩(原 II、III 及 IV 号斑岩)及东部斑岩(原 I 号斑岩)均侵位到中新世荣木错拉复式岩体之中, 明显也为中新世的产物(图 1B; 参考郑有业等 2004)。矿区构造研究程度整体较低, 控岩构造目前尚不清楚, 关于驱龙铜矿更为详细的矿区及矿床地质描述请参考杨志明等(2008a)一文, 在此不再重复。

## 2 野外地质观察

西部斑岩出露面积较大, 3 个斑岩体的面积近  $1.5 \text{ km}^2$ (图 1B); 与东部斑岩相比, 西部斑岩的岩石颜色发白, 暗色矿物明显减少(图 2A—2E)。其斑晶主要以石英(5%~10%)、钾长石(8%~10%)为主, 斑晶总量约为 15%~20%; 基质为长英质, 以石英、钾长石为主, 黑云母很少(<2%)。石英斑晶以聚斑为主, 由多个小的石英颗粒组合而成; 长石斑晶为半自形, 多发生了泥化及石英-绢云母化。由于裸露于

地表的该套斑岩遭受强烈风化, 长石斑晶变得非常模糊, 容易误认为石英斑岩。观察发现该套斑岩呈明显的韧性变形, 其斑晶多已发生碎裂, 斑晶常具棱角状, 并且常定向排列(图 2A), 有时可见明显的拉长现象(图 2B、2C)。不同于东部斑岩, 该斑岩中的斑晶分布均匀, 无任何定向排列特征, 且长石斑晶多呈港湾状(图 2F), 形成后明显又经历了熔体和(或)流体的交代。另外, 最重要的是, 尽管西部斑岩出露面积较大, 但笔者针对 II、III、IV 号斑岩体开展的详细野外横剖面填图, 并未发现围绕该斑岩呈环带状分布的蚀变组合, 也未见到高温蚀变组合(如钾硅酸岩化), 岩石蚀变主要以石英-绢云母化为主, 见有少量泥化, 钻孔 ZK1513(位于原 II 号斑岩体中)和钻孔 ZK3911(位于原 III 号斑岩体中)揭示出斑岩体深部也未出现高温钾硅酸岩化蚀变, 也是以石英+绢云母±绿泥石(?)为主。矿化以黄铁矿化为主, 铜矿化较弱, 且黄铁矿主要以 D 脉(图 2D, 主要由硫化物组成, 含少量黄铁矿, 脉两侧具有绢云母晕, 一般形成于斑岩岩浆演化晚期阶段; 参考 Gustafson et al., 1975)的形式产出, 有时也可在西部斑岩内见到团块状的绿帘石化(图 2E)。而东部斑岩体内则可见弥漫状、细脉状黑云母、钾长石等含钾矿物组成的钾硅酸岩化, 同时发现了岩浆出溶的可靠记录——单向固结结构(Unidirectional Solidification Texture, UST;

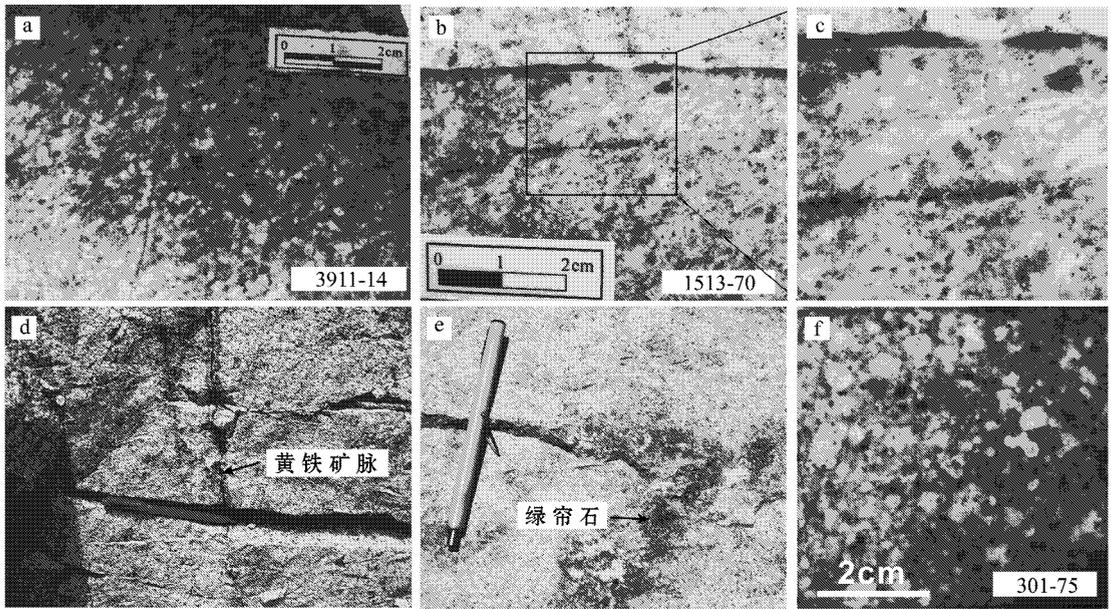


图 2 驱龙铜矿西部斑岩及东部斑岩野外及手标本照片

- a. 图所示样品采自原 III 号斑岩,长石斑晶具有明显的定向排列特征,且长石斑晶多具棱角状; b 和 c. 图所示样品采自原 II 号斑岩,斑晶特征同原 III 号斑岩,但见有一被拉长的长石斑晶; d. 野外照片,显示原 II 斑岩的矿化及蚀变特征,以石英+黄铁矿 D 脉的发育为特征; e. 原 IV 号斑岩,发现的绿帘石化,表明该区已处于青磐岩化带内,为野外照片; f. 与成矿有关的东部斑岩,即原 I 号斑岩体

Fig. 2 Field and hand specimen photos of the Western Porphyry and the Eastern Porphyry

- a. from III porphyry stock, feldspar phenocrysts show obvious oriented arrangement and polyspinal deformity. b and c. from II porphyry stock, feldspar phenocrysts show similar characteristics to III porphyry stock, but a distinct elongated phenocryst can be seen. d. from II porphyry stock, mineralization is characterized by abundant mineralization and alteration consisting of quartz + pyrite D veins. e. from IV porphyry stock, clots of epidote alteration are developed, indicating a propylitization zone. f. Eastern Porphyry, which is related to mineralization and is the original I porphyry

杨志明等, 2008b), 以及形成于斑岩成矿早期阶段的大量 A 脉(脉体不规则, 两壁不清晰, 无对称, 形成时岩体尚未完全固结, 参考 Gustafson et al., 1975) 表明东部斑岩内发育高温的蚀变及最早期脉体类型组合, 为蚀变及流体活动的中心。这些野外观察表明, 与东部斑岩相比, 西部斑岩不仅具有不同的蚀变、矿化及脉体类型, 同时还具有不同的岩石学及变形特征, 并未出现类似东部斑岩的蚀变系统, 另外, 其较低的暗色矿物含量也表明其岩浆很干(Burnham, 1979), 不可能形成太大范围的蚀变与矿化。结合其具有明显的韧性变形, 经历了比东部斑岩更为复杂的演化过程, 因此推测西部斑岩形成可能早于东部斑岩, 与矿区的 Cu、Mo 矿化关系不大。

### 3 岩石地球化学分析

为验证野外观察, 查明西部斑岩的确切成因, 本次针对该套斑岩进行了大量的岩石地球化学分析。由于该斑岩发生了不同程度的石英-绢云母化, 样品

主要为弱蚀变或无蚀变的斑岩。分析结果表明, 西部斑岩  $\text{SiO}_2$  含量变化于 75.3%~82% 之间(表 1), 平均为 79%;  $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  为 6.8%~8.6%, 平均为 7.5%;  $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$  变化于 0.8~2.1, 平均为 1.4, 为高钾钙碱性-钾玄岩系列(图 3);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 10%~12.4%, 平均为 11.3%, 铝饱和指数  $A/CNK$  值 [ $x(\text{Al}_2\text{O}_3)/x(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  的摩尔比值] 介于 1.6~2.8 之间, 为强过铝质(由于采自 II、III、IV 号斑岩体的样品均表现出类似的地球化学特征, 故没有加以区分介绍, 下同)。

西部斑岩稀土元素总量  $\sum \text{REE}$  为  $44 \times 10^{-6} \sim 116 \times 10^{-6}$ , 平均为  $71 \times 10^{-6}$  ( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub> 为 7.2~13.7, 轻稀土元素相对富集(La 含量为球粒陨石的 36.5~95.5 倍, 平均为 57.7 倍), 重稀土元素相对轻稀土元素亏损(Yb 含量为球粒陨石的 2.7~8.8 倍, 平均为 6.2 倍);  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  为 0.08~0.4, 平均为 0.25, Eu 负异常非常明显(图 4A)。在微量元素蛛网图中(图 4B), 西部斑岩明显富集大离子亲石元素(LILE) K、Rb、Ba, 但 Sr 却轻度亏损, 相对亏损高场

表 1 驱龙铜矿西部斑岩的主量元素和微量元素组成

Table 1 Major elements and trace elements analyses of the Qulong Western Porphyry

	QL01-39	QL01-40	QL01-47	QL01-48	QL01-52	QL01-58	QL05-21	1513-58	3911-90	3911-93
	$\alpha(B)\%$									
Na <sub>2</sub> O	3.35	4.26	3.11	2.70	2.44	1.29	3.41	3.73	2.80	2.59
MgO	0.20	0.35	0.10	0.17	0.25	0.13	0.30	0.15	0.24	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.4	13.9	10.6	10.4	11.7	10.0	11.5	11.4	12.3	11.5
SiO <sub>2</sub>	74.1	75.3	82.0	82.0	79.3	81.4	79.0	79.9	76.5	77.8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
K <sub>2</sub> O	6.51	3.60	4.06	4.33	4.83	6.28	3.37	3.33	5.77	5.42
CaO	0.30	1.01	0.37	0.27	0.14	0.09	0.97	0.41	0.58	0.63
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.29	0.17	0.16	0.18	0.19	0.14	0.19	0.16	0.16
MnO	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.03	0.07	0.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.92	1.59	0.62	0.62	1.23	0.82	0.91	1.09	1.05	1.01
烧失量	0.75	0.82	0.28	0.69	1.10	0.52	1.25	0.74	0.77	0.94
总和	101.0	101.2	101.4	101.4	101.2	100.8	101.0	101.0	100.2	100.4
A/CNK*	2.45	1.61	1.88	2.15	2.79	4.45	1.60	1.70	2.23	2.18
	$\alpha(B)10^{-6}$									
Be	1.22	1.36	0.85	0.89	1.16	0.74	1.03	1.16	1.00	1.13
Sc	4.34	4.68	2.01	3.03	3.28	2.76	3.12	2.35	3.90	3.51
V	43.9	26.8	12.05	16.7	25.6	13.3	8.49	14.4	17.6	12.7
Cr	7.29	8.39	7.05	11.4	10.8	11.4	4.52	5.11	8.87	12.1
Co	1.37	1.61	1.08	1.23	2.18	1.34	1.21	1.83	1.81	1.81
Ni	3.69	5.08	3.81	5.22	4.93	6.71	4.22	3.61	5.57	8.59
Zn	17.4	25.3	13.63	7.15	9.55	8.49	41.4	22.2	24.4	22.2
Ga	12.3	11.0	5.46	7.27	9.35	5.97	7.99	7.54	8.2	8.43
Rb	95.3	56.0	54.0	73.9	102	111	84.1	62.9	116	113
Sr	185	296	114	126	155	198	106	155	125	139
Y	6.69	5.04	3.14	5.11	11.4	6.39	13.3	6.99	12.6	12.4
Zr	158	121	73.4	98.7	104	90.9	64.9	89.1	114	84.3
Nb	6.65	6.70	5.59	5.20	6.35	6.92	7.1	4.41	7.10	7.25
Mo	1.52	1.57	4.64	2.09	7.48	11.4	10.7	2.88	8.03	59.0
Ba	1083	1158	578	1127	1083	2060	1214	1043	2325	1597
Hf	4.05	.22	2.17	2.71	2.92	2.63	2.13	2.47	3.31	2.57
Ta	0.64	0.63	0.55	0.51	0.67	0.71	0.67	0.51	0.75	0.75
Pb	34.1	40.4	35.5	26.3	35.6	41.8	25.3	37.0	12.8	17.9
Th	9.65	8.27	3.43	3.20	6.24	5.33	11.9	6.04	9.68	9.08
U	1.92	2.46	1.06	0.81	1.21	1.23	2.91	1.68	1.87	2.28
Cu	186	122	84.0	131	255	1676	180	1644	658	834
La	18.4	13.9	11.3	11.9	20.8	14.3	21.9	13.6	29.6	25.2
Ce	24.9	23.0	19.6	22.9	35.0	26.2	38.0	25.1	51.3	43.7
Pr	2.21	2.28	1.98	2.49	3.79	3.01	3.95	2.58	5.03	4.54
Nd	7.22	7.32	6.37	8.23	12.5	9.86	13.1	8.73	16.3	14.8
Sm	1.32	1.20	0.99	1.41	2.19	1.69	2.33	1.55	2.70	2.54
Eu	0.14	0.09	0.13	0.15	0.19	<0.05	0.09	0.15	0.40	0.35
Gd	1.58	1.45	1.27	1.63	2.61	1.95	2.71	1.76	3.47	3.11
Tb	0.19	0.15	0.11	0.18	0.35	0.20	0.35	0.21	0.38	0.38
Dy	1.21	0.90	0.63	1.02	2.26	1.33	2.28	1.36	2.36	2.35
Ho	0.26	0.20	0.13	0.21	0.48	0.27	0.48	0.28	0.49	0.49
Er	0.75	0.65	0.41	0.64	1.34	0.81	1.38	0.82	1.41	1.44
Tm	0.14	0.12	0.07	0.11	0.24	0.14	0.25	0.15	0.25	0.25
Yb	1.06	0.99	0.56	0.88	1.73	1.07	1.79	1.05	1.84	1.82
Lu	0.18	0.18	0.10	0.15	0.28	0.19	0.29	0.17	0.30	0.29

注:主、微量元素含量分析在国家地质测试中心完成,测试人为王淑贤副研究员。主量元素的分析是在荷兰帕纳科公司Axios波长色散X射线荧光光谱仪(XRF)上完成,分析精度好于5%,微量元素的分析则在ICP-MS上完成,分析精度好于10%。\*单位为1。

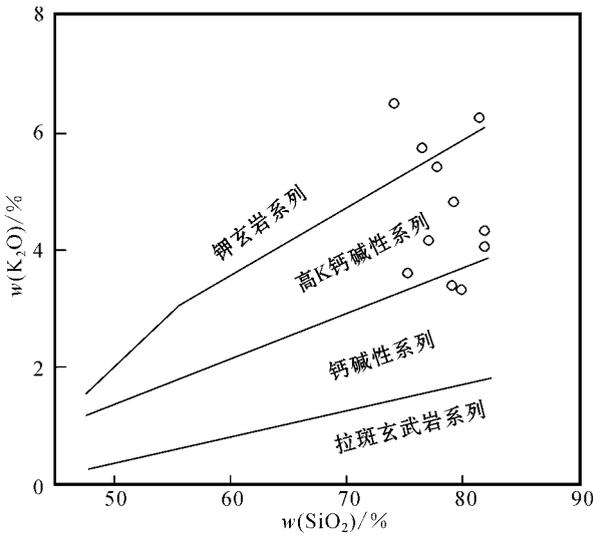


图 3 驱龙铜矿床西部斑岩 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解

Fig. 3 Plots of K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> for Qulong Western Porphyry

强元素 (HFSE) Nb、Ti、P, 但 Ta 却轻度富集, 显著不同于东部斑岩 (图 4B)。Nb、Ta、Ti 等 HFSE 元素的亏损表明岩浆的源区曾经历了板片释放流体的交代 (Miller et al., 1999; Wang et al., 2001; Hou et al., 2004; 杨志明等, 2008c), 而西部斑岩并没表现出与俯冲有关岩浆的特点, 表明其源区可能并没经历板片释放流体的交代。且其 Sr/Ba 比值介于 0.08 ~ 0.26 之间, 平均为 0.13; 而典型的藏南 I 型花岗岩

相对富集 Sr, Sr/Ba 比值一般大于 0.5; S 型花岗岩相对富集 Ba, Sr/Ba 比值一般小于 0.5 (刘振声等, 1994)。西部斑岩具有 S 型花岗岩的特征。

### 4 年代学研究

笔者还选取了 3911-13 (位于钻孔 3911 深部 13 m 处) 样品进行了年代学研究, 以查明西部斑岩到底是与东部斑岩同期侵位形成的无矿斑岩, 还是另有成因。锆石的分选采用常规重-磁选方法, 最后在双目镜下挑取出锆石。分选出来的锆石多为无色透明, 长柱状自形晶体, 少量发生了碎裂, 晶体形态及大小较为一致, 长宽比多介于 2~3 之间。锆石的制靶、光学显微镜照相、阴极发光图像分析 (CL) 及 U、Th 及 Pb 同位素组成分析均在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心完成。所用标准锆石为 TEMORA (年龄为 417 Ma), 在进行 U、Th 及 Pb 同位素组成分析之前, 仔细对比锆石透射光、反射光及阴极发光图像, 确定测试位置, 尽量避免裂纹及包体。同位素分析所用仪器为 SHRIMP II, 其束斑直径约为 25 μm, 详细的实验流程和原理参考 Compston 等 (1984)、Williams (1992) 和宋彪等 (2002)。数据处理同 Williams (1998), 采用实测 <sup>204</sup>Pb 校正锆石中的普通铅。单个数据点的误差均为 1σ, 采用年

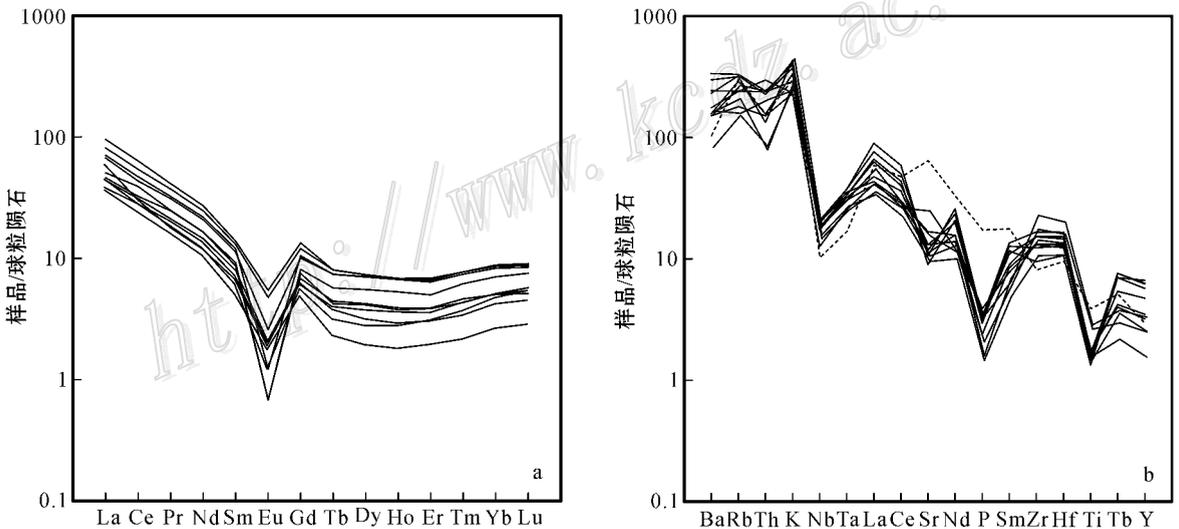


图 4 驱龙铜矿床西部斑岩稀土元素配分模式 (a) 及微量元素蛛网图 (b)

图 B 中虚线为与成矿有关的东部斑岩

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns (a) and trace element spidergrams (b) for Qulong Western Porphyry (normalized data from Sun et al., 1989)

龄为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,其加权平均值为95%的置信度。

阴极发光结果显示,样品3911-13中的锆石具有清楚的振荡环带结构(图5),其Th/U比值均大于0.6,属典型的岩浆锆石。样品3911-13的14个测点中(表2,图5),Th的变化范围为 $79 \times 10^{-6} \sim 282 \times 10^{-6}$ ,U的变化范围为 $119 \times 10^{-6} \sim 354 \times 10^{-6}$ ;测点的表面年龄范围在 $(171.1 \pm 2.7) \sim (186.8 \pm 1.9)$  Ma之间。除一个点的表面年龄较小,为 $(171.1 \pm 2.7)$  Ma外,其余年龄均集中于 $(177.1 \pm 2.7) \sim (186.8 \pm 1.9)$  Ma区间内。较小的年龄可能因测试误差所致,也可能为后期火山-岩浆活动的记录。剔除该点后, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(182.3 \pm 1.5)$  Ma ( $N=13$ ),MSWD=1.4,为岩浆的结晶年龄。

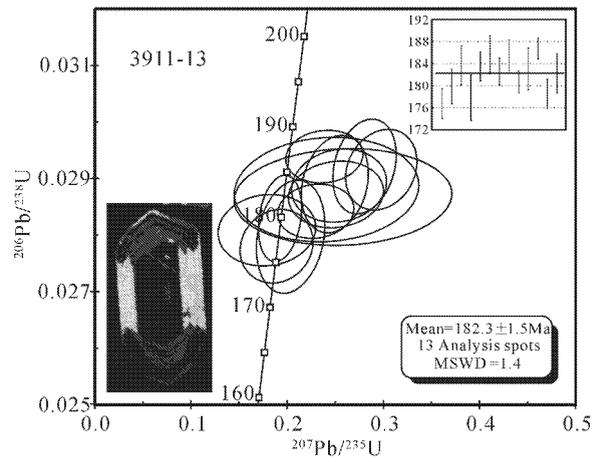


图5 驱龙铜矿西部斑岩的U-Pb协和年龄

Fig. 5 U-Pb zircon concordia plots for Qulong Western Porphyry

表2 驱龙铜矿西部斑岩锆石SHRIMP U-Pb年龄分析结果

Table 2 SHRIMP U-Pb dating data of zircon from Qulong Western Porphyry

点位	$\omega_{\text{B}}/10^{-6}$			$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	± %	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	± %	误差校正	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄
	U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$							
3911-13-1.1	157	101	3.82	0.67	0.190	13	0.02785	1.5	0.115	$177.1 \pm 2.7$
3911-13-2.1	240	151	5.87	0.65	0.193	7.7	0.02831	1.8	0.232	$179.9 \pm 3.2$
3911-13-3.1	177	128	4.45	0.75	0.250	9.2	0.02893	2.0	0.213	$183.8 \pm 3.6$
3911-13-4.1	175	130	4.28	0.77	0.204	12	0.02801	2.3	0.204	$178.1 \pm 4.1$
3911-13-5.1	173	123	4.04	0.74	0.239	12	0.02690	1.6	0.133	$171.1 \pm 2.7$
3911-13-6.1	225	188	5.67	0.86	0.254	13	0.02891	1.4	0.112	$183.7 \pm 2.7$
3911-13-7.1	180	137	4.55	0.79	0.281	7.7	0.02923	1.9	0.244	$185.8 \pm 3.5$
3911-13-8.1	217	155	5.41	0.74	0.251	13	0.02874	1.3	0.103	$182.7 \pm 2.4$
3911-13-9.1	149	110	3.75	0.76	0.298	8.2	0.02917	1.6	0.196	$185.4 \pm 2.9$
3911-13-10.1	276	183	6.83	0.69	0.230	11	0.02845	1.1	0.096	$180.8 \pm 2.0$
3911-13-11.1	134	81	3.44	0.63	0.242	26	0.02889	2.0	0.077	$183.6 \pm 3.8$
3911-13-12.1	354	282	9.03	0.82	0.239	11	0.02941	1.0	0.093	$186.8 \pm 1.9$
3911-13-13.1	191	155	4.75	0.84	0.180	19	0.02816	1.4	0.078	$179.0 \pm 2.6$
3911-13-14.1	119	79	3.05	0.68	0.259	29	0.02876	1.9	0.066	$182.8 \pm 3.5$

## 5 岩石成因探讨

目前虽然实施了大量的勘探工程,但在西部斑岩与叶巴组一段晶屑凝灰岩之间没有看到任何的穿插现象。最近,对驱龙北部叶巴组英安岩定年结果[( $181.7 \pm 5.2$ ) Ma, 耿全如等, 2006]表明,叶巴组英安岩与西部斑岩的形成时代一致,因此,可以断定西部斑岩或者在叶巴组火山岩形成期间侵位形成,或者它本身即为叶巴组火山岩的一部分。西部斑岩与叶巴组火山岩都具有大离子亲石元素(LILE)富集、高场强元素(HFSE)亏损的特点。但两者最大的差

别在于:叶巴组火山岩亏损的高场强元素包括Nb、Ta、Ti及R(耿全如等, 2005),显示出与俯冲有关的岩浆特点(Miller et al., 1999; Wang et al., 2001; 侯增谦等, 2004a; Hou et al., 2004; 杨志明等, 2008c),而西部斑岩亏损的高场强元素仅为Nb、Ti、P,缺少元素Ta,并没有显示出与俯冲有关的典型岩浆的特点。另外,叶巴组火山岩,无论其酸性程度大小,Eu未出现负异常(耿全如等, 2005; 董彦辉等, 2006),而西部斑岩却表现为非常明显的Eu负异常,结合岩石Sr/Ba比值较小的特点,推测其可能为S型花岗岩。当然,这需要Sr-Nd-Pb同位素数据的进一步证明。

## 6 对矿床勘探的启示

驱龙铜矿早期的矿产地质工作应追溯到 1986~1988 年间,当时西藏地矿局区调大队在开展 1:20 万拉萨幅水系沉积物测量工作时,发现了驱龙铜多金属异常(杨志明等,2008a)。不过,驱龙铜矿真正的勘探突破始于 2002。2002~2005 年,成都矿产地质研究所开展的雅鲁藏布江成矿区重大找矿疑难问题研究,初步研究了矿床成矿地质条件及成矿规律。2004 年,西藏地勘局第二地质大队对驱龙铜矿的普查,确定其为大型矿床规模(Cu 资源量为 1.1 Mt,郑有业等,2004)。2006~2007 年间,西藏中胜矿业有限公司对驱龙铜矿的详查确定其规模达超大型(Cu 资源量 7.1 Mt,杨志明等,2008a)。驱龙矿床中已控制的工业矿体主要位于东部斑岩周围及东部地区,围绕矿区西部斑岩布置的大量勘探工程并没有取得很好的探矿效果。东、西部的斑岩产生如此差异的矿化效果,针对西部斑岩矿化系统所进行的勘查工程是否要继续进行?这些事关驱龙铜矿的未来勘探方向、同时急需解决的问题摆在人们面前。本次研究结果表明,具有韧性变形的西部斑岩与驱龙主成矿斑岩——东部斑岩(年龄  $17.7 \pm 0.3$ )Ma,杨志明等,2008a)为两套不同的斑岩系统,两者对于驱龙斑岩铜矿成矿的贡献不同,东部斑岩引起了驱龙中新世的 Cu、Mo 矿化事件,而西部斑岩,尽管其出露面积较大,仅为含矿围岩而已。因此,对驱龙铜矿床未来的勘探方向更加清晰,应取消针对西部斑岩矿化系统的探矿工作,只围绕东部斑岩的矿化系统进行。

综合以上内容可以发现,详细的野外观察对笔者认识西部斑岩与驱龙铜钼矿化的关系极为重要,它是笔者决定针对西部斑岩开展岩石地球化学及年代学研究的前提及基础。关于西部斑岩对驱龙铜矿成矿贡献的评价过程,不仅表明该套斑岩与驱龙中新世成矿无直接关系的事实,而且告诉人们,在勘查过程中,详细的野外调研,辅以适当的科学分析手段,往往能够避免我们在勘探过程中投入过多无谓的勘查工程,减少浪费。这更为重要。

致谢 野外工作中得到了西藏中胜矿业公司总经理王平先生及公司地质部各位专家的大力支持与帮助,西藏地调院潘凤维教授级高级工程师为作者野外考察提供了很多便利。岩石常量、微量元素

分析在中国测试中心完成,感谢王淑贤老师加班测试样品;锆石 U-Pb SHRIMP 分析在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心完成,感谢张维博士、宋彪老师给予的帮助。对审阅了初稿并提出大量建设性意见的人,在此深表感谢。

## References

- Burnham C W. 1979. Magmas and hydrothermal fluid[A]. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*[M]. 2nd ed. New York: Wiley. 71~136.
- Compton W, Williams I S and Mayer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass resolution ion microprobe[J]. *J. Geophys. Res.*, 89: 525~534.
- Dong Y H, Xu J F, Zeng Q G, Mao G Z and Li J. 2006. Is there a Neo-Tethys' subduction record earlier than arc volcanic rocks in the Sangri group[J]? *Acta Petrologica Sinica*, 22: 661~668(in Chinese with English abstract).
- Geng Q R, Pan G T, Jin Z M, Wang L Q, Zhu D C and Liao Z L. 2005. Geochemistry and Genesis of the Yeba Volcanic Rocks in the Gangdise Magmatic Arc, Tibet[J]. *Earth Science*, 30: 747~760 (in Chinese with English abstract).
- Geng Q R, Pan G T, Wang L Q, Zhu D C and Liao Z L. 2006. Isotopic geochronology of the volcanic rocks from the Yeba Formation in the Gangdise zone, Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26: 1~7(in Chinese with English abstract).
- Gustafson L B, and Hunt J P. 1975. The porphyry copper deposits at El Salvador, Child[J]. *Econ. Geol.*, 70: 857~912.
- Hou Z Q, Zhong D L and Deng W M. 2004a. A tectonic model for porphyry copper-molybdenum-gold metallogenic belts on the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geology in China*, 31: 1~16(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, Rui Z Y and Mo X X. 2004b. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 220: 139~155.
- Hou Z Q, Meng X J, Qu X M and Gao Y F. 2005. Copper ore potential of adakitic intrusives in Gangdise porphyry copper belt: Constrains from rock phase and deep process[J]. *Mineral Deposits*, 24: 108~121(in Chinese with English abstract).
- Liu Z S and Wang J M. 1994. Geology and geochemistry of granites on southern Qinghai-Xizang (Tibet) plateau[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press. 65~71.
- Miller C, Schuster R, Klotzli U, Frank W and Purtscher F. 1999. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis[J]. *Jour. Petrol.*, 40: 1399~1424.

- Song B, Zhang Y H, Wan Y S and Jian P. 2002. Shrimp sampling, dating and issue on its relation [J]. Geological Review, 48 (Supp. ): 26~30 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process [J]. Geological Society of London Special Publication, 42: 313~345.
- Wang J H, Yin A, Harrison T M, et al. 2001. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 199: 123~133.
- Williams I S. 1992. Some observations on the use of zircon U-Pb geochronology in the study of granite rocks [J]. Trans. R. Soc. Edinburgh-Earth Sci., 83: 447~458.
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe [A]. In: Mckibben M A, Shanks W C and Ridley W L, eds. Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes [J]. Review in Economic Geology, 7: 1~35.
- Yang Z M, Hou Z Q, Xia D X, Li Z Q, Song Y C and Pan F C. 2008a. Qulong giant porphyry copper deposit: Geology and alteration [J]. Mineral Deposits, 27(2) (in press).
- Yang Z M, Hou Z Q, Li Z Q, Song Y C and Xie Y L. 2008b. Direct record of the primary fluid exsolving from magma: Evidence from the Unidirectional Solidification Texture (UST) finding at Qulong porphyry copper deposit in GPCH [J]. Chinese Science Bulletin (in review).
- Yang Z M, Hou Z Q, Yang Z S, Wang S X, Wang G R, Tian S H, Wen D Y, Wang Z L and Liu Y C. 2008c. Genesis of porphyries and tectonic controls on the Narigongma porphyry Mo (-Cu) deposit, southern Qinghai [J]. Acta Petrologica Sinica (in press).
- Zheng Y Y, Xue Y X, Cheng L J, Fang Z H and Gao S B. 2004. Finding, characteristics and significances of Qulong superlarge porphyry copper (molybdenum) deposit, Tibet [J]. Earth Science, 29(1): 103~108 (in Chinese with English abstract).
- 董彦辉, 许继峰, 曾庆高, 王强, 毛国政, 李杰. 2006. 存在比桑日群弧火山岩更早的新特提斯洋俯冲记录吗 [J]? 岩石学报, 22: 661~668.
- 耿全如, 潘桂棠, 金振民, 王立全, 朱弟成, 廖忠礼. 2005. 西藏冈底斯带叶巴组火山岩地球化学及成因 [J]. 地球科学, 30: 747~760.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 朱弟成, 廖忠礼. 2006. 西藏冈底斯带叶巴组火山岩同位素地质年代 [J]. 沉积与特提斯地质, 26: 1~7.
- 侯增谦, 孟祥金, 曲晓明, 高永丰. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿型: 源岩相变及深部过程约束 [J]. 矿床地质, 24: 108~121.
- 侯增谦, 钟大赉, 邓万明. 2004a. 青藏高原东缘斑岩铜钼金成矿带的构造模式 [J]. 中国地质, 31: 1~16.
- 刘振声, 王洁明. 1994. 青藏高原南部花岗岩地质地球化学特征 [M]. 成都: 四川科技出版社. 65~71.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 Shrimp 样品制靶、年龄测定及有关现象讨论 [J]. 地质论评, 48(增刊): 26~30.
- 杨志明, 侯增谦, 夏代详, 李振清, 宋玉财, 潘凤雏. 2008a. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床: 地质与蚀变 [J]. 矿床地质 27(2) (出版中).
- 杨志明, 侯增谦, 李振清, 宋玉财, 谢玉玲. 2008b. 西藏驱龙斑岩铜钼矿床中 UST 石英的发现: 初始岩浆流体的直接记录 [J]. 科学通报 (审稿中).
- 杨志明, 侯增谦, 杨竹森, 王淑贤, 王贵仁, 田世洪, 温德银, 王召林, 刘英超. 2008c. 青海纳日贡玛斑岩钼(铜)矿床: 岩石成因及构造控制 [J]. 岩石学报 (出版中).
- 郑有业, 薛迎喜, 程力军, 樊子琿, 高顺宝. 2004. 西藏驱龙超大型斑岩钼(铜)矿床: 发现、特征及意义 [J]. 地球科学, 29: 103~108.

#### 附中文参考文献

<http://www.kcdz.com/>