

## 西藏驱龙斑岩铜矿含矿斑岩的年代学与地球化学\*

王亮亮 莫宣学\*\* 李冰 董国臣 赵志丹

WANG LiangLiang, MO XuanXue\*\*, LI Bing, DONG GuoChen and ZHAO ZhiDan

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. School of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2005-02-01 收稿, 2006-03-25 改回.

Wang LL, Mo XX, Li B, Dong GC and Zhao ZD. 2006. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyry in Qulong Cu (Mo) ore deposit, Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4):1001-1008

**Abstract** The discovery and further study of the Gangdese porphyry copper ore deposit belt in Lhasa block, Tibetan plateau, is one of the most attractive findings in the ore exploration in Tibet in the past 5 years. It has potential of being a giant copper and polymetallic ore-forming belt in the future. Study on the belt is still under going now. Qulong porphyry Cu (Mo) ore deposit is located in eastern part of the belt and only a small amount works has been performed. This mostly attributes to its inconvenient condition for field work in Qulong region. New geochemical studies and isotopic dating results on the ore-bearing granodiorites were presented in this paper. On the basis of detailed field work and geochemical study, SHRIMP zircon U-Pb method and Re-Os dating of molybdenites method were used for determining the rock-forming and ore-forming ages. Analysis of two SHRIMP zircon U-Pb ages ( $16.35 \pm 0.40\text{Ma}$  and  $16.38 \pm 0.46\text{Ma}$ ) and four Re-Os model age of molybdenites ( $15.82\text{--}16.85\text{Ma}$ ) sampled in the drilling core of ZK003 in Qulong ore deposit were carried out. Data in this paper are very close to the other published data, further supporting the conclusion that the rock-forming and ore-forming processes are continuously in Qulong ore deposit, which lasting for a short period of less than approximately 1Ma. The time for ore-forming in Gangdese porphyry copper ore deposit belt range from 12 to 17Ma, lasting for about 5Ma.

**Key words** Tibet, Gangdese porphyry copper ore deposit belt, Qulong Cu (Mo) porphyry ore deposit, SHRIMP zircon U-Pb dating, Re-Os isotope age

**摘要** 驱龙斑岩铜(钼)矿是冈底斯斑岩成矿带上的重要矿床之一,由于其被发现较晚、海拔高、工作条件差,总体研究程度较低。本文通过野外工作和对岩心样品分析,在岩石学和地球化学研究基础上,采用离子探针(SHRIMP)锆石 U-Pb 方法和辉钼矿 Re-Os 方法研究了驱龙矿区的成矿和成岩年龄。选择两种方法测定了驱龙斑岩铜矿黑云母花岗闪长岩成岩与成矿年龄,其中两个样品的 SHRIMP 锆石 U-Pb 谐和年龄分别为  $16.35 \pm 0.40\text{Ma}$  和  $16.38 \pm 0.46\text{Ma}$ ; 4 个样品中辉钼矿的 Re-Os 模式年龄为  $15.82\text{--}16.85\text{Ma}$ 。获得的结果与已有定年结果一致。综合分析表明,驱龙矿床的成岩与成矿作用是一个连续的岩浆作用过程,整个冈底斯斑岩成矿带成矿时间介于  $12\text{--}17\text{Ma}$ ,成矿时间持续大约 5Ma。

**关键词** 西藏; 冈底斯斑岩铜矿带; 驱龙斑岩铜(钼)矿; 锆石 SHRIMP U-Pb 定年; Re-Os 同位素年龄

**中图法分类号** P588.13; P597.3; P618.41

西藏冈底斯带斑岩铜矿带的发现和深入研究是西藏找矿工作取得的重要进展,目前已经确定了甲马、驱龙、冲江、厅宫等斑岩铜矿床属于大型以上规模的矿床(李光明等, 2004; 郑有业, 2004; 侯增谦, 2003),冈底斯成矿带是一条资

\* 国家重点基础研究发展规划项目(编号: 2002CB412603)、国家自然科学基金(40473020, 40103003, 40503005, 40572048)、国土资源部青藏专项计划(200101020401)、中国地调局综合研究项目资助。

第一作者简介: 王亮亮, 男, 1977 年生, 博士研究生, 岩石学专业, E-mail: wangll@263.net

\*\* 通讯作者: 莫宣学, E-mail: moxx@cugb.edu.cn

源潜力巨大的铜多金属成矿带(曲晓明等, 2001; 侯增谦等, 2001, 2003; 李光明等, 2002; 郑有业等, 2002; 王全海等, 2002)。对这套含矿斑岩的详细研究揭示它们属于埃达克质岩石, 这对于揭示印度与亚洲两个大陆碰撞之后的陆内造山过程中的深部作用具有重要意义(曲晓明等, 2002a, 2003, Chung *et al.*, 2003; Hou *et al.*, 2004; 侯增谦等, 2005)。

驱龙斑岩铜(钼)矿是冈底斯斑岩成矿带上的重要矿床之一, 近年来已经取得一些研究结果, 但是由于驱龙斑岩铜(钼)矿发现较晚、海拔高、工作条件差, 地表难于采集新鲜岩石, 主要依靠钻孔岩心来揭示矿床特征, 总体研究程度较低。本文通过野外工作和对岩石样品分析, 在岩石学和地球化学研究基础上, 采用离子探针(SHRIMP)锆石 U-Pb 方法和辉钼矿 Re-Os 方法研究了驱龙矿区的成矿和成岩年龄, 为冈底斯斑岩带提供了新资料。

## 1 地质背景

西藏冈底斯斑岩铜矿带位于拉萨地块南缘, 是拉萨地块中部东西延长大约 350 km 的一条中新世构造-岩浆-成矿带

(侯增谦等, 2005)。该带从西部的日喀则北部的谢通门向东到拉萨以东的墨竹工卡地区, 典型矿床包括洞嘎、冲江、厅宫、南木、拉抗俄、甲马、驱龙等, 成矿带与发育在冈底斯带南部的与特提斯洋俯冲有关的岩基重叠出现, 但是形成时代明显晚于冈底斯岩基的时代 47~53 Ma (Mo *et al.*, 2005; Dong *et al.*, 2005)。赋矿岩石为斑岩, 其中成矿前斑岩的成岩时代为早于 17 Ma, 岩石主要为花岗闪长岩; 成矿期斑岩时代为 14.5~17.6 Ma, 岩性为二长花岗斑岩和石英二长斑岩; 成矿后斑岩的时代为 11.2 Ma, 岩石为花岗斑岩(侯增谦等, 2005)。

驱龙斑岩铜(钼)矿床处于上述的东西向成矿带的东端, 位于西藏墨竹工卡县甲马乡境内, 向西距拉萨市约 84 km (图 1)。矿区在区域构造背景上处于冈底斯构造-岩浆带东段陆缘岩浆弧中拉萨-日多弧内局限盆地的南部边缘。矿区构造比较简单, 从北到南发育多条近东西向破碎带, 倾向南, 倾角 65°~80°, 带内充填碎裂状斑岩与透镜状石英脉, 石英脉宽度多小于 0.5 m。矿区出露地层主要为中侏罗统叶巴组 and 古近系林子宗火山岩。叶巴组为一套酸性熔岩及火山碎屑岩类结晶灰岩、绢云母石英片岩, 古近系林子宗火山岩不整合在叶巴组之上, 由英安岩、安山玢岩和流纹玢岩等组

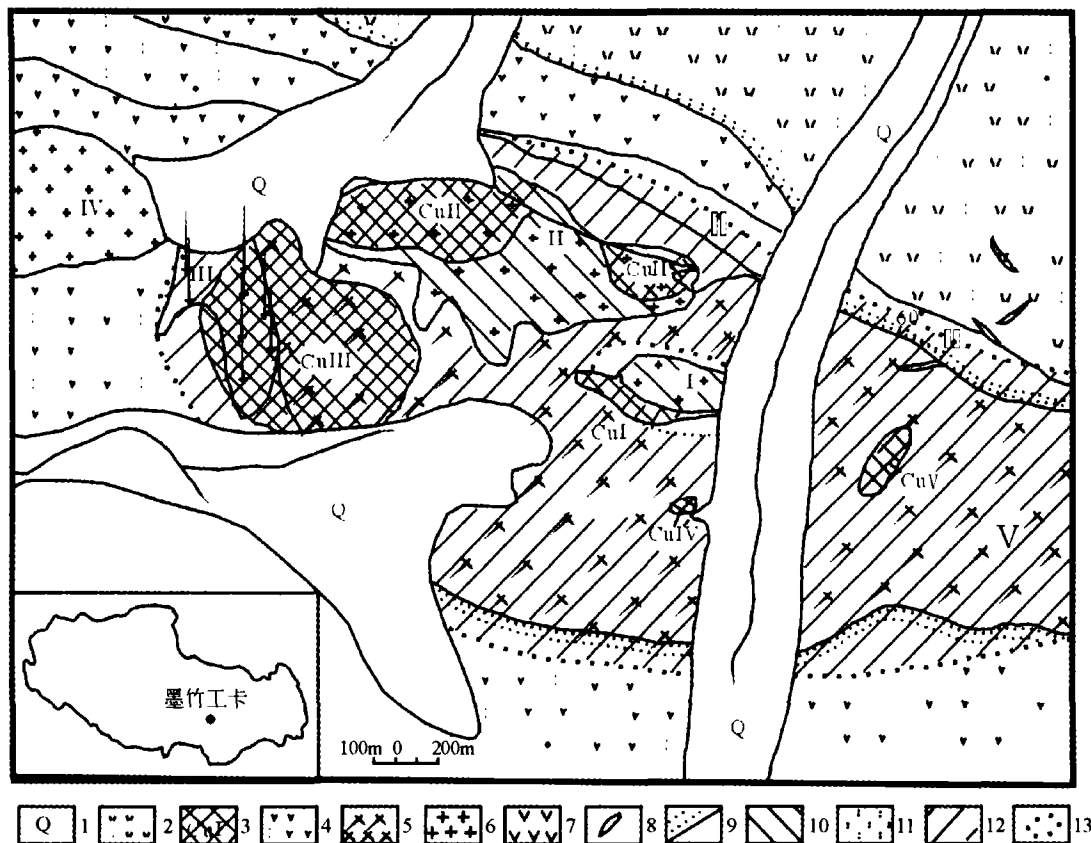


图 1 西藏墨竹工卡县驱龙铜(钼)矿床地质简图(修自郑有业等, 2004)

1-第四系; 2-流纹质凝灰岩; 3-铜矿化范围及矿化体编号; 4-含火山角砾安山质凝灰岩; 5-黑云母二长花岗岩; 6-石英斑岩、二长花岗斑岩; 7-纹斑岩; 8-脉岩类; 9-角岩化; 10-黄铁绢英岩化; 11-高岭土化; 12-青磐岩化; 13-蚀变界线。CuI, CuII, CuIII, CuIV 和 CuV 分别表示矿区圈定的 5 个斑岩 Cu 矿体

Fig. 1 Geological sketch map of Qulong Cu (Mo) deposit, Tibet (after Zheng *et al.*, 2004)

成。林子宗火山岩总体上为钙碱性系列,区域上该火山岩形成时代为 48 ~ 65Ma ( Mo *et al.* , 2005; Dong *et al.* , 2005 )。目前驱龙矿区共发现 4 个斑岩体及 5 个矿化体,其中 I、II、III 号斑岩体含矿。含矿斑岩呈复式岩体位于叶巴组火山岩中,呈岩株状产出,岩性为黑云母花岗斑岩和石英二长花岗斑岩。矿区围岩蚀变强烈,蚀变作用由含矿斑岩体向外表现为钾化 + 绢英岩化 + 硬石膏化,到粘土化绢英岩化 + 硬石膏化 + 青盘岩化,再到外部的青盘岩化,形成了以含矿斑岩体为中心的环带状蚀变特征。本文获得的样品取自于 3 号钻孔 ( ZK003 ) 的岩心。

2 样品和测试方法

本文选取驱龙 II 号斑岩体 ZK003 钻孔,对蚀变较轻的 4 个石英二长斑岩样品进行了元素地球化学分析、对样品 ZK003-584 和 ZK003-565 进行离子探针 ( SHRIMP ) 锆石 U-Pb 方法定年、对 ZK003 钻孔岩心和附近的样品中 4 个辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素定年。其中主量和微量元素测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室分别采用 XRF 和 ICP-MS 方法测定。锆石采用常规方法挑选。SHRIMP 锆石 U-Pb 分析在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成,有关分析流程和原理见简平等 ( 2003 ) 的描述。Re-Os 测试在国家地质实验中心完成,见杜安道等 ( 1994 ) 和侯增谦等 ( 2003 ) 对分离和测试方法的详细描述。

3 结果

3.1 岩石学和地球化学

岩石呈灰白色,斑状结构。斑晶以斜长石为主,含少量黑云母。基质为斜长石、钾长石、石英和磁铁矿组成。斑晶含量约占 50%。其中斜长石呈聚片双晶或者环带结构,黑云母具有多色性,石英主要在基质中,他形粒状。整个岩石已因蚀变而导致表面模糊,蚀变矿物主要为绢云母。对 ZK003 钻孔 4 个岩石样品的元素分析见表 1。在侵入岩全碱-硅 ( TAS ) 图解中 4 个样品投点主要落在花岗闪长岩和石英闪长岩区 ( 图 2a ),根据岩石化学组成计算的 CIPW 标准石英、斜长石和钾长石含量投点落入 QAP 三角图解的花岗闪长岩和石英二长闪长岩区 ( 图 2b ),且处于分界线附近,将这 4 个样品统称为黑云母花岗闪长岩。岩石 SiO<sub>2</sub> 为 62.86% ~ 64.57%, K<sub>2</sub>O 为 2.13% ~ 3.43%, Na<sub>2</sub>O 为 4.17% ~ 5.11%, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 为 0.4 ~ 0.8, 岩石属于高钾钙碱性系列岩石。

岩石轻稀土元素富集,不显示 Eu 异常,微量元素明显具有强不相容元素 Rb、Ba、U、Th 的富集和 Nb、Ta、Ti 的负异常,呈现了岛弧岩浆作用的印记 ( 图 2c, d )。与冈底斯成矿带同时代的其他矿区含矿斑岩一样,岩石显示了埃达克岩的亲性和 ( 图 2e )。

表 1 驱龙 Cu 矿石英二长斑岩常量元素 ( wt% ) 和微量元素 ( × 10<sup>-6</sup> ) 成分

Table 1 Major ( wt% ) and trace ( 10<sup>-6</sup> ) elements compositions of the rocks from Qulong

	ZK003-370	ZK003-472	ZK003-565	ZK003-584
SiO <sub>2</sub>	62.86	64.57	63.55	64.44
TiO <sub>2</sub>	0.49	0.45	0.52	0.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.01	16.01	16.3	15.26
TF <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.03	3.05	3.48	2.53
MnO	0.02	0.02	0.03	0.02
MgO	1.65	1.59	1.68	1.55
CaO	3.92	3.59	4.07	3.73
Na <sub>2</sub> O	5.11	4.6	4.83	4.17
K <sub>2</sub> O	2.18	2.54	2.13	3.43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2	0.2	0.22	0.2
LOI	1.33	1.04	0.97	2.9
TOTAL	96.8	97.66	97.78	98.69
Be	1.75	1.56	1.90	1.51
Sc	5.16	5.17	5.44	4.87
V	82.96	79.72	84.03	78.68
Cr	11.12	9.69	17.88	12.18
Co	162	153	102	84.49
Ni	12.66	12.33	13.74	12.41
Cu	1118	1790	686	3219
Zn	32.24	49.65	70.74	73.70
Ga	18.92	19.32	19.20	17.27
Rb	76.47	84.93	76.09	96.22
Sr	1055	1040	1066	954
Y	7.88	7.53	7.57	7.10
Zr	77.39	80.83	42.25	36.17
Nb	3.65	3.26	3.76	3.41
Cs	3.58	5.94	4.59	6.17
Ba	562	640	493	706
Hf	2.20	2.22	1.36	1.08
Ta	0.41	0.44	0.43	0.35
Pb	26.93	19.22	20.42	29.10
Th	6.48	5.40	7.44	4.78
U	2.19	1.87	2.76	1.96
La	22.71	19.60	21.50	19.13
Ce	46.41	39.98	42.02	38.57
Pr	5.80	5.01	5.02	4.69
Nd	23.01	20.29	20.59	19.10
Sm	3.87	3.54	3.61	3.31
Eu	0.90	0.92	0.94	0.85
Gd	2.53	2.32	2.40	2.20
Tb	0.31	0.29	0.30	0.28
Dy	1.50	1.44	1.47	1.37
Ho	0.27	0.26	0.26	0.24
Er	0.66	0.63	0.65	0.61
Tm	0.10	0.09	0.09	0.09
Yb	0.64	0.60	0.60	0.55
Lu	0.10	0.09	0.09	0.08

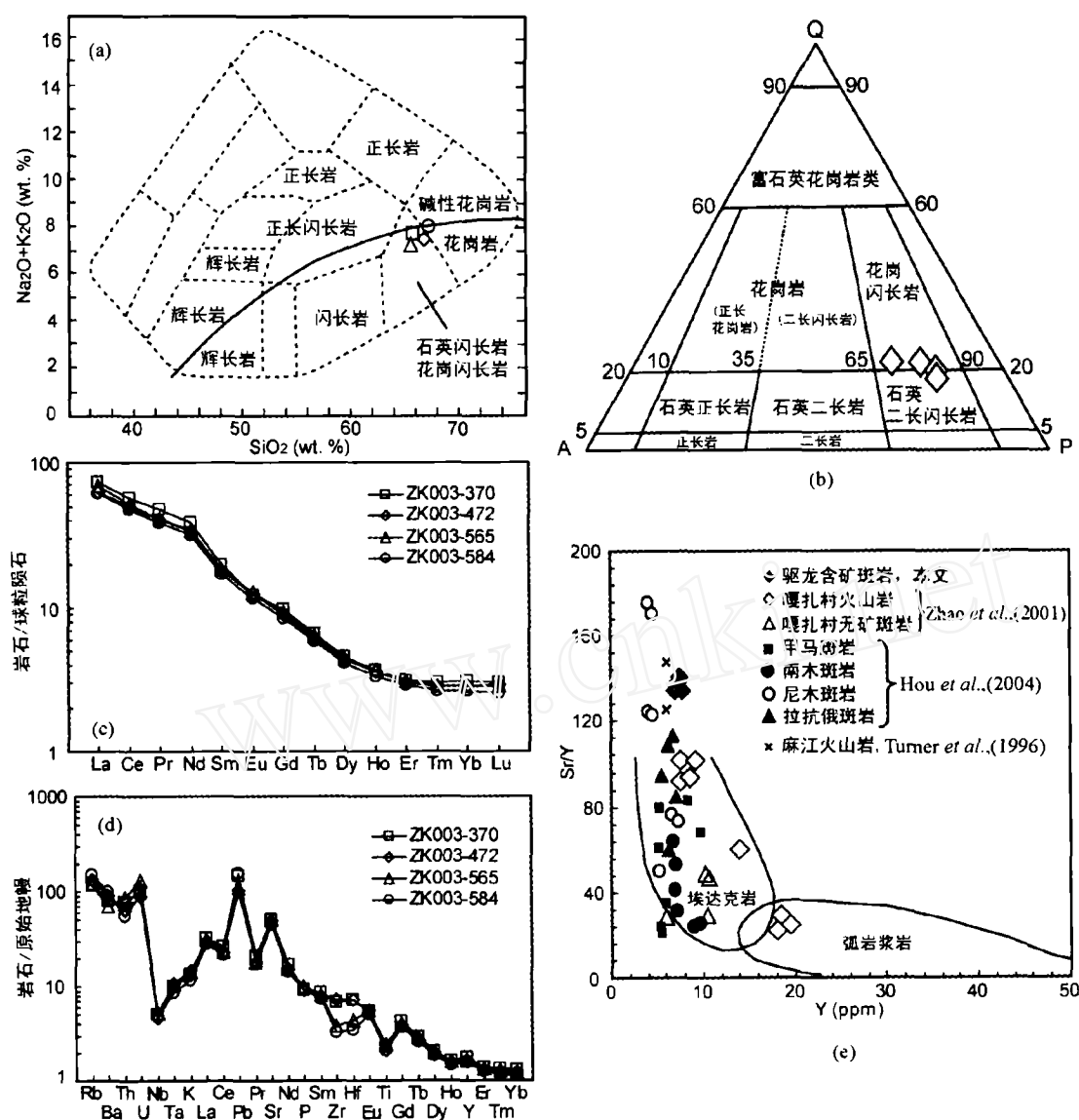


图2 驱龙斑岩的 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ - $\text{SiO}_2$ 分类图(a)、花岗岩分类的QAP图解(b)、球粒陨石标准化的稀土元素成分图(c)、原始地幔标准化的微量元素图(d)和用于区分埃达克岩与弧岩浆岩的Sr/Y-Y图(e)。球粒陨石和原始地幔标准化值分别根据Boynton (1984)和Sun and McDonough (1989)。a的原图引自Wilson (2001), b的原图引自Le Maitre (2002), e的原图引自Hou *et al.* (2004)

Fig. 2  $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ - $\text{SiO}_2$  plots (a), QAP plot (b), chondrite-normalized REE (c), primitive mantle normalized trace elements (d) and Sr/Y-Y plots (e) of the Qulong samples

### 3.2 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

对两个样品 (ZK003-584 和 ZK003-565) 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析数据见表 2, 其年龄谱和图见图 3。样品 ZK003-584 分析结果除一个点外, 其余 13 个点得到样品平均年龄为  $16.35 \pm 0.40\text{Ma}$ 。样品 ZK003-565 分析结果除两个点外, 其余 13 个点的平均年龄为  $16.38 \pm 0.46\text{Ma}$ 。这两个样品的结果与 Hou *et al.* (2004) 在 ZK001 钻孔附近获取的石英二长花岗斑岩相同方法测定的  $17.58 \pm 0.74\text{Ma}$  基本一致。

### 3.3 Re-Os 同位素年龄

驱龙铜矿 ZK003 钻孔的岩心和附近样品中的辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测定结果见表 3。4 个样品获得的 Re-Os 模式年龄为  $15.82 \sim 16.85\text{Ma}$ , 这与先期对矿区内 ZK001 钻孔中辉钼矿测定的 Re-Os 等时线年龄  $15.75 \sim 16.74\text{Ma}$  (李光明等, 2003; 孟祥金, 2004) 和辉钼矿石英脉模式年龄  $15.36\text{Ma}$  (郑有业等, 2004) 十分一致, 也与李光明等 (2004) 获得的钾长石 K-Ar 年龄  $15.77 \pm 0.45\text{Ma}$  (代表矿区钾化的时代) 比较一致 (表 4)。由此可见, 取自驱龙矿区不同钻孔 ZK001 和 ZK003 的样品得出的成矿时代是十分一致的, 介于  $15.36 \sim 16.85\text{Ma}$  之间。

表 2 驱龙斑岩铜矿样品 ZK003-584 和 ZK003-565 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析数据

Table 2 SHRIMP zircon U-Pb data of samples ZK003-584 and ZK003-565 from Qulong ore deposit

Labels	U( × 10 <sup>-6</sup> )	Th( × 10 <sup>-6</sup> )	Th/U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U 年龄
ZK003-584.1	260	138	0.53	0.00244 ± 10	0.01240 ± 361	0.03691 ± 1030	15.7 ± 0.8
ZK003-584.2	546	302	0.55	0.00260 ± 20	0.02030 ± 313	0.05653 ± 739	16.8 ± 1.1
ZK003-584.3	229	83	0.37	0.00250 ± 10	0.01830 ± 423	0.05302 ± 1151	16.1 ± 0.9
ZK003-584.4	337	121	0.36	0.00239 ± 20	0.01020 ± 572	0.03092 ± 1675	15.4 ± 1.4
ZK003-584.5	220	114	0.52	0.00281 ± 30	0.02160 ± 1071	0.05571 ± 2631	18.1 ± 1.9
ZK003-584.6	378	176	0.47	0.00240 ± 20	0.01450 ± 667	0.04368 ± 1955	15.5 ± 1.1
ZK003-584.8	263	146	0.55	0.00257 ± 20	0.02530 ± 1008	0.07124 ± 2745	16.6 ± 1.1
ZK003-584.9	264	137	0.52	0.00252 ± 20	0.00950 ± 912	0.02724 ± 2588	16.2 ± 1.2
ZK003-584.10	658	437	0.66	0.00242 ± 20	0.01660 ± 368	0.04962 ± 1005	15.6 ± 1.1
ZK003-584.11	372	221	0.59	0.00306 ± 20	0.01710 ± 788	0.04048 ± 1833	19.7 ± 1.0
ZK003-584.12	203	119	0.58	0.00264 ± 30	0.02010 ± 1359	0.05511 ± 3630	17.0 ± 1.6
ZK003-584.13	326	177	0.54	0.00254 ± 20	0.01700 ± 752	0.04865 ± 2072	16.4 ± 1.2
ZK003-584.14	525	374	0.71	0.00248 ± 10	0.02200 ± 311	0.05420 ± 861	16.0 ± 0.9
ZK003-565.1	317	137	0.43	0.00245 ± 20	0.00880 ± 532	0.02585 ± 1538	15.8 ± 1.1
ZK003-565.2	1336	880	0.51	0.00676 ± 40	0.04950 ± 446	0.05318 ± 352	43.4 ± 2.3
ZK003-565.3	313	195	0.62	0.00238 ± 20	0.01700 ± 548	0.05188 ± 1561	15.3 ± 1.3
ZK003-565.4	395	177	0.45	0.00252 ± 20	0.02520 ± 1189	0.07251 ± 3309	16.2 ± 1.2
ZK003-565.5	198	58	0.29	0.00256 ± 30	0.01770 ± 531	0.05023 ± 1353	16.5 ± 1.7
ZK003-565.6	216	90	0.42	0.00264 ± 20	0.01430 ± 749	0.03931 ± 1933	17.0 ± 1.5
ZK003-565.7	361	129	0.36	0.00242 ± 20	0.02320 ± 558	0.06947 ± 1542	15.6 ± 1.1
ZK003-565.8	429	184	0.43	0.00229 ± 20	0.01580 ± 387	0.05024 ± 1128	14.7 ± 1.1
ZK003-565.9	340	171	0.5	0.00242 ± 20	0.01810 ± 799	0.05415 ± 2317	15.6 ± 1.1
ZK003-565.10	515	171	0.33	0.00259 ± 20	0.02610 ± 504	0.07309 ± 1294	16.7 ± 1.0
ZK003-565.11	435	152	0.35	0.01840 ± 110	0.23760 ± 1669	0.09362 ± 243	117.6 ± 7.2
ZK003-565.12	143	54	0.38	0.00246 ± 30	0.01720 ± 1362	0.05082 ± 3886	15.9 ± 2.0
ZK003-565.13	324	132	0.41	0.00239 ± 20	0.01490 ± 1058	0.04521 ± 3156	15.4 ± 1.2
ZK003-565.14	291	112	0.39	0.00245 ± 20	0.01810 ± 1198	0.05350 ± 3483	15.8 ± 1.0
ZK003-565.15	431	110	0.25	0.00276 ± 40	0.00870 ± 2681	0.02296 ± 7010	17.7 ± 2.4

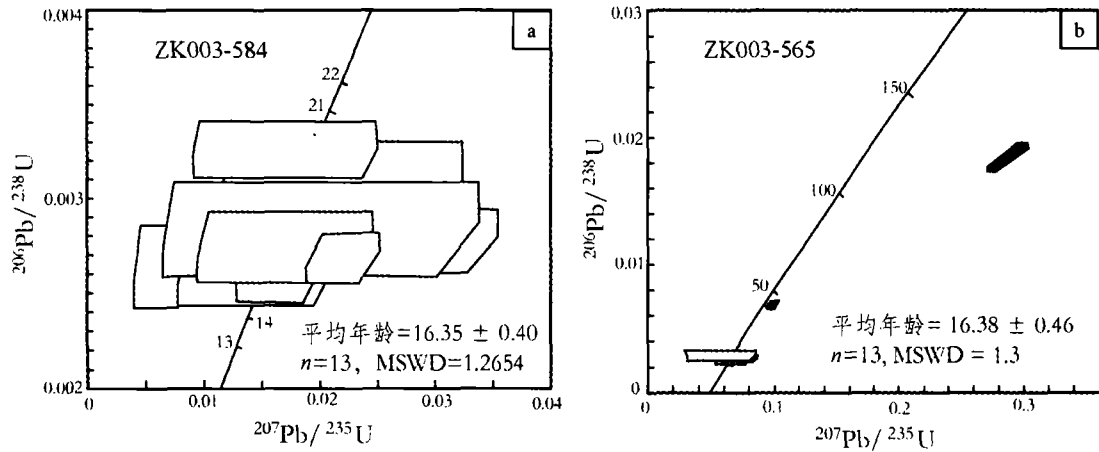


图 3 驱龙斑岩铜矿锆石 U-Pb 年龄谐和图  
Fig. 3 Zircon U-Pb concordian diagrams of Qulong samples

表3 驱龙斑岩铜矿中辉钼矿的 Re-Os 同位素分析结果

Table 3 Re-Os dating results of molybdenite in Qulong ore deposit

样品号	样重(g)	Re( $\times 10^{-6}$ )	Os( $\times 10^{-6}$ )	$^{187}\text{Re}$ ( $\times 10^{-6}$ )	$^{187}\text{Os}$ ( $\times 10^{-6}$ )	模式年龄(Ma)
ZK003-111	0.00481	262857 $\pm$ 1962	2.252 $\pm$ 0.092	165221 $\pm$ 1233	44.07 $\pm$ 0.35	16.01 $\pm$ 0.19
ZK003-179	0.00308	383903 $\pm$ 2886	1.060 $\pm$ 0.031	241306 $\pm$ 1814	67.77 $\pm$ 0.51	16.85 $\pm$ 0.19
ZK003-184	0.00390	407042 $\pm$ 3407	0.116 $\pm$ 0.048	255851 $\pm$ 2142	67.43 $\pm$ 0.49	15.82 $\pm$ 0.19
ZK003-184	0.00347	398471 $\pm$ 3125	0.212 $\pm$ 0.027	250463 $\pm$ 1964	66.67 $\pm$ 0.50	15.98 $\pm$ 0.19

## 4 讨论

在本文测试结果基础上,本文总结了近年来驱龙铜(钼)矿床以及区域上整个冈底斯成矿带的年龄测试数据。现有数据表明,驱龙铜矿含矿斑岩锆石 U-Pb 年龄为 16.35 ~ 17.58 Ma,辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄为 15.36 ~ 16.85 Ma,这两组年龄在误差范围比较接近,成岩成矿的时代都大约持续 1 Ma。若以前者代表含矿斑岩的成岩时代,后者代表成矿

时代,则前者略早于后者,同时考虑到含矿斑岩中锆石的封闭温度高,而辉钼矿的形成处于岩浆作用的晚期低温阶段,因此从驱龙矿床来看,成岩与成矿作用是一个连续的岩浆作用过程。

从整个冈底斯斑岩成矿带看(表4),各个矿床的成矿时代略有差异,冲江矿区的成矿时代为 12.2 ~ 15.6 Ma,拉抗俄为 12.0 ~ 13.6 Ma,甲马为 12.3 ~ 13.2 Ma,南木为 13.6 ~ 14.9 Ma,帮浦为 13.3 ~ 16.5 Ma。因此冈底斯斑岩铜(钼)矿带成矿时间介于 12 ~ 17 Ma。

表4 西藏冈底斯斑岩矿床的同位素年龄

Table 4 Summary of the dating results of porphyry ore deposits in Gangdese, Tibet

序号	地点	岩石类型	测定方法	测定矿物	年龄范围(Ma)	样品数量	数据来源
	驱龙	黑云母花岗岩	SHRIMP U-Pb	锆石	16.35 ~ 16.38	2	本文
	驱龙	斑岩中辉钼矿	Re-Os	辉钼矿模式年龄	15.82 ~ 16.85	3	本文
	驱龙	辉钼矿石英脉	Re-Os	辉钼矿	15.36	3	郑有业等(2004)
	驱龙	二长花岗斑岩	SHRIMP U-Pb	锆石	17.58	1	Hou <i>et al.</i> (2004)
	驱龙	石英二长花岗斑岩	K-Ar	钾长石	15.77	1	李光明等(2004)
	驱龙	石英二长花岗斑岩	Re-Os	辉钼矿(等时线)	15.75 ~ 16.23 15.99	4	李光明等(2003)
	驱龙	花岗斑岩及二长花岗斑岩	Re-Os	辉钼矿(等时线)	15.99 ~ 16.74 16.41	6	孟祥金(2004)
	厅官	二长花岗斑岩	K-Ar	钾长石	12.9 ~ 16.5	2	李光明等(2003)
	冲江	二长花岗斑岩	K-Ar	钾长石	12.2	1	李光明等(2003)
	冲江	二长花岗斑岩等	Re-Os	辉钼矿(等时线)	13.5 ~ 14.3 14.76	6	侯增谦等(2003)
	冲江	二长花岗斑岩等	Ar-Ar	斜长石和黑云母	12.22 ~ 13.5	2	曲晓明等(2003)
	冲江	二长花岗斑岩	SHRIMP U-Pb	锆石	14.54 ~ 15.60	2	Hou <i>et al.</i> (2004)
	冲江	石英二长斑岩	SHRIMP U-Pb	锆石	12.9	1	林武(2004)
	拉抗俄	二长花岗斑岩	K-Ar	钾长石	12.0 ~ 12.9	2	李光明等(2003)
	拉抗俄	二长花岗斑岩	Re-Os	辉钼矿	13.5 ~ 13.6	2	侯增谦等(2003)
	拉抗俄	二长花岗斑岩	Ar-Ar	斜长石和黑云母	12.5 ~ 13.42	2	曲晓明等(2003)
	甲马	二长花岗斑岩	Ar-Ar	钾长石	12.32	1	孟祥金(2004)
	甲马	斑岩	Re-Os	辉钼矿	15.18		芮宗瑶等(2004)
	达布	二长花岗斑岩	K-Ar	钾长石	15.4	1	李光明等(2003)
	南木	斑岩中辉钼矿	Re-Os	辉钼矿	14.7 ~ 14.9	5	侯增谦等(2003)
	南木	斑岩中辉钼矿	Ar-Ar	钾长石	13.6	1	孟祥金(2004)
	帮浦	多种岩性	Re-Os	辉钼矿(等时线)	14.30 ~ 14.75 15.32	5	孟祥金(2003)
	帮浦	斑岩	Ar-Ar	钾长石	16.52	1	孟祥金(2003)

## 5 结论

(1) 选择两种方法测定了驱龙斑岩铜矿黑云母花岗闪长岩成岩与成矿年龄, 其中两个样品 (ZK003-584 和 ZK003-565) 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 谐和年龄分别为  $16.35 \pm 0.40\text{Ma}$  和  $16.38 \pm 0.46\text{Ma}$ ; 4 个样品中辉钼矿的 Re-Os 模式年龄为 15.82-16.85Ma。

(2) 本文结果与已有定年结果一致表明, 驱龙矿床的成岩与成矿作用是一个连续的岩浆作用过程。整个冈底斯斑岩成矿带, 尽管各个矿床成矿时代略有差异, 但成矿时间介于 12~17Ma, 整个矿带成矿时间持续大约 5Ma。

**致谢** 野外工作中得到中国地质大学(武汉)郑有业教授、西藏地质二队刘德华工程师等同志的帮助, 特致谢忱。

## References

- Boynton WV. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P (ed.). Rare earth element geochemistry. Elsevier, 63-114
- Chung SL, Liu D, Ji J, *et al.* 2003. Adakites from continental collision zones: melting of thickened lower crust beneath southern Tibet. *Geology*, 31: 1021-1024
- Dong G, Mo X, Zhao Z, *et al.* 2005. Geochronologic constraints by SHRIMP II zircon U-Pb dating on magma underplating in the Gangdise belt following India-Eurasia collision. *Acta Geologica Sinica*, 79(6): 787-794
- Du A, He H and Yin W. 1994. Study on the method of measuring the Re-Os isotopic geological dating of molybdenite. *Acta Geologica Sinica*, 68: 339-346
- Hou Z, Mo X, Qu X, *et al.* 2005. Copper ore potential of a adakitic intrusives in Gangdise porphyry copper belt: Constraints from rock phase and deep melting process. *Mineral Deposits*, 24(2): 108-121 (in Chinese, with English abstract)
- Hou Z, Qu X, Huang W, *et al.* 2001. The Gangdise porphyry copper belt: the second significant porphyry copper belt in Tibetan plateau. *Geology in China*, 28(10): 27-29 (in Chinese with English abstract)
- Hou Z, Qu X, Wang S, *et al.* 2003. Re-Os age for molybdenites from the Gangdise porphyry copper belt in the Tibetan plateau: implication to mineralization duration and geodynamic setting. *Science in China*, 33(7): 609-618 (in Chinese)
- Hou ZQ, Gao YF, Qu XM, *et al.* 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 220: 139-155
- Jian P, Liu D, Zhang Q, *et al.* 2003. SHRIMP dating of ophiolite and leucocratic rocks within ophiolite. *Earth Science Frontiers* (Chinese University of Geosciences, Beijing), 10(4): 439-456 (in Chinese with English abstract)
- Le Maitre (ed). 2002. *Igneous Rocks: A classification and Glossary of Terms* (2nd edition). Cambridge University Press
- Li G and Rui Z. 2004. Diagenetic and mineralization ages for the porphyry copper deposits in the Gangdise metallogenic belt, southern Xizang. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2): 165-170 (in Chinese with English abstract)
- Li G, Pan G, Wang G, *et al.* 2002. Distribution of the copper resources and its future ore deposits exploration. *Mineral and Petrology*, 22(2): 30-34
- Li G, Yang J and Ding J. 2003. New advances in mineral exploration in Yarlung Zangbo metallogenic province, Tibet. *Geological Bulletin of China*, 22(9): 699-703 (in Chinese with English abstract)
- Lin W, Liang H, Zhang Y, *et al.* 2004. Geochimistry and SHRIMP U-Pb zircon age of the Chongjiang ore-bearing porphyry in the Gengdese porphyry copper belt. *Geochimica*, 33(6): 585-591 (in Chinese with English abstract)
- Meng X, Hou Z, Gao Y, *et al.* 2003. Development of porphyry copper-molybdenum-lead-zinc ore-forming system in east Gangdese belt, Tibet: Evidence from Re-Os age of molybdenite in Bangpu copper polymetallic deposit. *Mineral Deposits*, 22(3): 246-252 (in Chinese with English abstract)
- Meng X. 2004. Study on the Miocene porphyry copper mineralization in the Tibetan collisional organic belt. Chinese Academy of Geological Sciences, Ph.D thesis (in Chinese with English abstract)
- Mo X, Dong G, Zhao Z, *et al.* 2005. Timing of magma mixing in the Gangdise magmatic belt during the India-Asia collision: Zircon SHRIMP U-Pb dating. *Acta Geologica Sinica*, 79(1): 66-76
- Qu X, Hou Z and Huang W. 2001. Is the Gangdese porphyry copper belt the Yulong porphyry copper belt in Tibetan plateau? *Mineral Deposits*, 20(4): 355-366 (in Chinese with English abstract)
- Qu X, Hou Z, Li Y, *et al.* 2002. Ore-bearing adakite was found in Gangdese collisional orogenic belt. *Mineral Deposits*, 21(Supp): 215-218 (in Chinese with English abstract)
- Qu X, Hou Z, Li Y, *et al.* 2003. Ages of porphyries from the Gangdese porphyry Cu belt in south Tibet and implication to geodynamic setting. *Acta Geol. Sin.*, 77(2): 245-252 (in Chinese with English abstract)
- Qu X, Hou Z, Li Y. 2002. Implications of S and Pb isotopic compositions of the Gangdise porphyry copper belt for the ore-forming material source and material recycling within the orogenic belt. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 768-776 (in Chinese with English abstract)
- Rui Z, Li G, Zhang L, *et al.* 2004. The response of porphyry copper deposits to important geological events in Xizang. *Earth Science Frontiers* (Chinese University of Geosciences, Beijing), 11(1): 145-152 (in Chinese with English abstract)
- Sun S-s, McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD. and Norry MJ (eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society London. Special Publications, 42: 313-345
- Wang Q, Wang B, Li J *et al.* 2002. Basic features and ore prospect evaluation of the Gangdise island arc, Tibet, and its copper polymetallic ore belt. *Geological Bulletin of China*, 21(1): 35-40 (in Chinese with English abstract)
- Wilson M. 2001. *Igneous Petrogenesis*. Kluwer Academic Publishers, London
- Zhao Z, Mo X, Zhang S *et al.* 2001. Post-collisional magmatism in Wuyu basin, central Tibet: evidence for recycling of subducted Tethyan oceanic crust. *Science in China (Series D)*, 44(Supp.): 27-34
- Zheng Y, Wang B, Fan Z *et al.* 2002. Analysis of tectonic evolution in the eastern section of the Gangdise Mountain Tibet and the metallogenic potentialities of copper gold polymetal. *Geological Science and Technology Information*, 21(2): 55-60 (in Chinese with English abstract)
- Zheng Y, Xue Y, Cheng L, *et al.* 2004. Finding, characteristics and significances of Qulong superlarge porphyry copper (molybdenum) deposit, Tibet. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 29(1): 103-108 (in Chinese with English abstract)

## 附中文参考文献

- 杜安道, 何红廖, 殷万宁等. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究. *地质学报*, 68: 339-346
- 侯增谦, 孟祥金, 曲晓明等. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克岩

- 质斑岩含矿性: 源岩相变及深部过程约束. 矿床地质, 24(2): 108-121
- 侯增谦, 曲晓明, 黄卫等. 2001. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带. 中国地质, 28(10): 27-40
- 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤等. 2003. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄: 成矿作用时限和动力学背景应用. 中国科学(D 辑), 33(7): 609-618
- 简平, 刘教一, 张旗等. 2003. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年. 地学前缘, 10(4): 439-456
- 李光明, 潘桂棠, 王高明等. 2002. 西藏铜矿资源的分布规律与找矿前景初探. 矿物岩石, 22(2): 30-34
- 李光明, 芮宗瑶. 2004. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成岩成矿年龄. 大地构造与成矿学, 28(2): 165-170
- 李光明, 杨家瑞, 丁俊. 2003. 西藏雅鲁藏布江成矿区矿产资源评价新进展. 地质通报, 22(9): 699-703
- 林武, 梁华英, 张玉泉等. 2004. 冈底斯铜矿带冲江含矿斑岩的岩石化学及锆石 SHRIMP 年龄特征. 地球化学, 33(6): 585-591
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰等. 2003. 西藏冈底斯东段斑岩铜铅锌成矿系统的发育时限: 帮浦铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及成矿学意义. 矿床地质, 22(3): 246-252
- 孟祥金. 2004. 西藏碰撞造山带冈底斯中新世斑岩铜矿成矿作用研究. 中国地质科学院博士论文
- 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿(化)带: 西藏第二条“玉龙”铜矿带? 矿床地质, 20(4): 355-366.
- 曲晓明, 侯增谦, 李佑国等. 2002a. 冈底斯碰撞造山带发现含矿埃达克岩. 矿床地质, 21(增刊): 215-218
- 曲晓明, 侯增谦, 李佑国等. 2002b. S、P 同位素对冈底斯斑岩铜矿带成矿物质来源和造山带物质循环的指示. 地质通报, 21(11): 768-776
- 曲晓明, 侯增谦, 李振清等. 2003. 冈底斯铜矿带含矿斑岩的年龄及地质意义. 地质学报, 77(2): 245-252.
- 芮宗瑶, 李光明, 张立生等. 2004. 西藏斑岩铜矿对重大地质事件的响应. 地学前缘, 11(1): 145-152
- 王全海, 王保生, 李金高等. 2002. 西藏冈底斯岛弧及其铜多金属矿带的基本特征与远景评估. 地质通报, 21(1): 35-40
- 郑有业, 王保生, 樊子琛等. 2002. 西藏冈底斯东段构造演化及铜金多金属成矿潜力分析. 地质科学情报, 21(2): 55-60
- 郑有业, 薛洪喜, 程力军等. 2004. 西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床: 发现、特征及意义. 地球科学, 29(1): 103-108