

SHRIMP 锆石年代学对西藏玉龙斑岩铜矿成矿年龄的制约*

郭利果^{1,2} 刘玉平¹ 徐伟^{1,2} 张兴春¹ 秦克章³ 李铁胜³ 石玉若⁴

GUO LiGuo^{1,2}, LIU YuPing¹, XU Wei^{1,2}, ZHANG XingChun¹, QIN KeZhang³, LI TieSheng³ and SHI YuRuo⁴

1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学重点实验室, 贵阳 550002

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039

3. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

4. 中国地质科学院北京离子探针中心, 北京 100037

1. Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

4. Beijing SHRIMP Center, Chinese Academy of Geology, Beijing 100037, China

2005-12-20 收稿, 2006-02-24 改回。

Guo LG, Liu YP, Xu W, Zhang XC, Qin KZ, Li TS and Shi YR. 2006. Constraints to the mineralization age of the Yulong porphyry copper deposit from SHRIMP U-Pb zircon data in Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 21(4):1009-1016

Abstract The SHRIMP U-Pb data has shown that the intruding process of the Yulong pluton was lasted at least 2.6Ma. There were two large intruding episodes, the age of $43.6 \pm 0.8\text{Ma}$ for the pre-mineralisation quartz-feldspars porphyry and the age of $41.0 \pm 1.0\text{Ma}$ for the ore-hosted biotite-feldspars porphyry. The main mineralization age of the Yulong porphyry copper deposit was around 40Ma. It is believed that long and episodic magmatism, and acute changes of temperature and pressure during ore-forming process, were the important cause of forming the super-large Yulong porphyry copper deposit. The Yulong porphyry copper deposit, like as the Neozoic porphyry copper deposit in the Jinshajiang-Honghe metallogenic belt, is result of the first large-scale stress release after the main collision between Indian plate and Eurasia plate at 45Ma.

Key words SHRIMP U-Pb age, Zircon, Porphyry copper deposit, Yulong, Tibet

摘要 锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果表明, 玉龙岩体侵入时限至少为 2.6Ma, 其中成矿前石英二长斑岩的年龄为 $43.6 \pm 0.8\text{Ma}$, 成矿期黑云母二长花岗斑岩的年龄为 $41.0\text{Ma} \pm 1.0\text{Ma}$, 代表了两幕较大的岩浆活动。玉龙斑岩铜矿主体成矿年龄约为 40Ma, 长时限多期幕式岩浆侵入和成矿期物理化学条件的剧变, 是形成玉龙超大型斑岩铜矿的主要原因。玉龙斑岩铜矿与金沙江-红河成矿带众多新生代斑岩铜矿一样, 属于印度-亚欧大陆 45Ma 陆陆主体碰撞之后第一次大规模应力释放的产物。

关键词 SHRIMP 年龄; 锆石; 斑岩铜矿; 玉龙; 西藏

中图分类号 P597.3; P618.41

玉龙铜矿位于西藏东部江达县玉龙乡, 川藏公路以北 8km 处, 铜金属远景储量达 650 万吨, 是玉龙铜矿田最大的斑岩铜矿床, 也是我国最大的斑岩铜矿之一。构造位置上位于金沙江-红河断裂带北段西侧, 金沙江古缝合带的上盘

(图 1)。

自 1978 年玉龙铜矿进行详查评价以来, 众多学者对玉龙斑岩铜矿做了大量的定年工作, 由于技术条件所限, 采用的方法多为 Rb-Sr、K-Ar 法, 测得的年龄变化范围很大, 可达

* 国家重点基础研究发展规划项目(编号 2002CB412601)和中国科学院矿床地球化学重点实验室联合资助。

第一作者简介: 郭利果, 男, 1981 年生, 硕士研究生, 从事矿床地球化学、有机地球化学、构造地质学研究, E-mail: ligo2000@163.com

通讯作者: 刘玉平, 男, 1971 年生, 副研究员, 从事矿床地球化学、构造地质学研究, E-mail: yuping71liu@sohu.com; liuyuping@vip.gyig.ac.cn

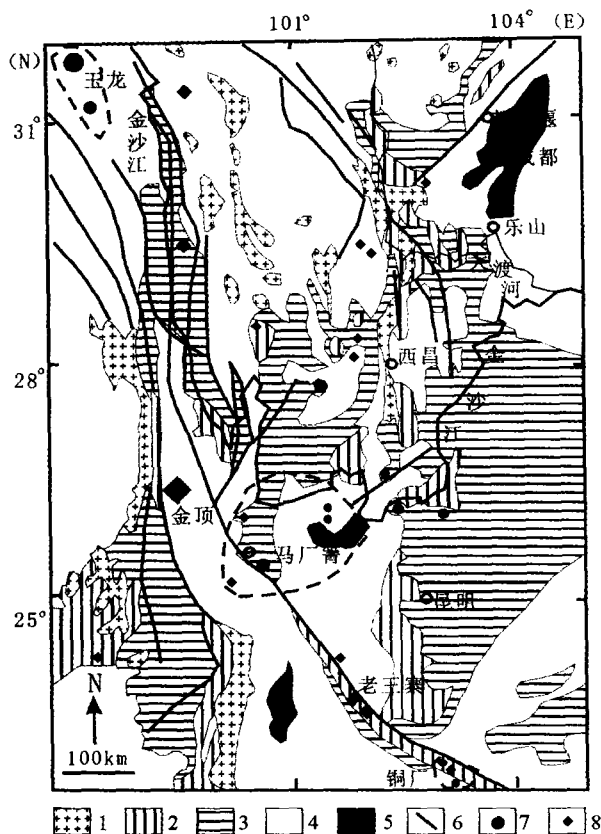


图1 金沙江-红河成矿带地质简图(据王登红等,2004,已简化)

1-岩浆岩;2-变质岩;3-古生界;4-中生界;5-新生界;6-主要断裂带;7-铜矿床;8-其它矿床

Fig.1 Simplified geological map of Jinshajiang-Honghe metallogenic belt

16.9~57.9Ma(马鸿文,1990;唐仁鲤,罗怀松,1995;朱训等,1999)。近年来随着定年技术的不断进步,使精确测定成岩和成矿年龄成为可能。目前,一些学者利用单颗粒锆石 U-Pb、SHRIMP 锆石 U-Pb、辉钼矿 Re-Os、Ar-Ar 法对玉龙斑岩铜矿带、乃至金沙江-红河成矿带一些斑岩铜矿床进行了精确定年(表1,杜安道等,1994;唐仁鲤,罗怀松,1995;梁华英,2002;梁华英等,2002,2004;Hou et al,2003;王登红等,2004;彭建堂等,2005),为进一步约束印度大陆与亚欧大陆主碰撞带及其周缘地壳增厚阶段的成矿响应提供了重要的依据。

本文利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年技术,对玉龙含矿斑岩体及成矿前岩体侵位年龄进行了精确测定,从而约束和限制玉龙铜矿床的成矿年龄,并结合玉龙铜矿田其它矿床、金沙江-红河成矿带的一些铜矿的成矿年龄,揭示主碰撞带地壳增厚阶段的成矿作用。

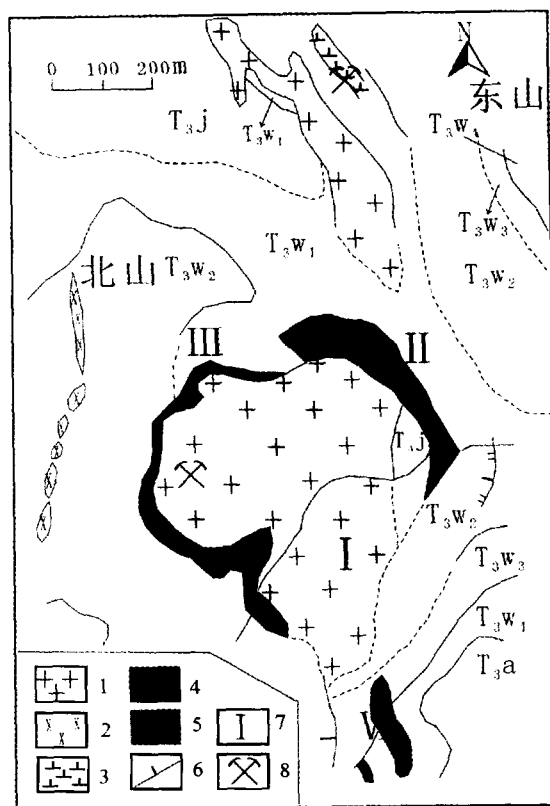


图2 玉龙斑岩铜矿矿区地质图(杨善清,1978)^①

T3a-上三叠统阿堵拉组; T3W4-上三叠统王卡组第四段; T3W4-王卡组第三段; T3W4-王卡组第二段; T3W4-王卡组第一段; T3j-上三叠统甲丕拉组; 1-黑云母二长花岗斑岩; 2-钠长斑岩脉; 3-石英二长斑岩; 4-块状铜矿体; 5-矿化体; 6-断层; 7-矿体编号; 8-采样点

Fig.2 Geological map of Yulong porphyry copper deposit in Tibet

1 斑岩岩相学及成矿特征

玉龙矿区位于青泥洞-海通复背斜的西翼,恒星措-甘龙拉短轴背斜的轴部向南倾斜部位。矿区出露地层主要为中-上三叠统波里拉组(图2中王卡组)浅海相灰岩夹砂岩;次为中-上三叠统甲丕拉组陆相红碎屑岩和阿堵拉组海相砂页岩。矿区出露岩体主要为玉龙复式岩体,平面上似梨形岩株状产于矿区中部,岩体面积0.64km²;其次石英二长斑岩脉主要出露于矿区东北部,钠长斑岩脉主要出露于矿区西部(图2)。

玉龙复式岩体,主要岩石类型为黑云母二长花岗斑岩,其次为花岗闪长斑岩、碱长花岗斑岩、石英二长斑岩。上述岩石呈浅灰到浅紫红色,具有典型的斑岩结构。斑晶含量

① 杨善清等. 西藏江达县玉龙铜矿矿区详查地质报告,1978.

表1 金沙江-红河成矿带新生代斑岩铜矿矿区成岩成矿年龄

Table 1 The mineralization and diagenesis ages of Neozoic porphyry copper deposits in Jinshajiang-Honghe metallogenic belt

省区	产地	样品位置	岩石	试样	方法	年龄(Ma)	资料来源
西藏	玉龙矿田	马拉松多	斑岩铜钼矿	辉钼矿	Re-Os	35.4, 35.9, 36.2	唐仁鲤, 罗怀松(1995)
西藏	玉龙矿田	马拉松多	斑岩铜钼矿	辉钼矿	Re-Os	35.8	杜安道等(1994)
西藏	玉龙矿田	马拉松多	赋矿斑岩体	锆石	U-Pb	37.1 ± 0.2	梁华英(2002a)
西藏	玉龙矿田	玉龙	二长花岗斑岩	锆石	U-Pb	40.9	马鸿文(1990)
西藏	玉龙矿田	玉龙	斑岩铜钼矿石	辉钼矿	Re-Os	40.1 ± 1.8	Hou <i>et al.</i> (2003)
西藏	玉龙矿田	玉龙	赋矿斑岩体	锆石	单颗粒 U-Pb	40.9 ± 0.1	梁华英(2002a)
西藏	玉龙矿田	扎拉尕	赋矿斑岩体	锆石	单颗粒 U-Pb	38.5 ± 0.2	
西藏	玉龙矿田	莽总	赋矿斑岩体	锆石	单颗粒 U-Pb	37.6 ± 0.2	
西藏	玉龙矿田	多霞松多	赋矿斑岩体	锆石	单颗粒 U-Pb	37.5 ± 0.2	
云南	祥云	马厂箐	斑岩型铜钼矿	辉钼矿	Re-Os	33.9 ± 1.1	王登红等(2004)
云南	祥云	马厂箐	角闪正长岩(无矿化)	锆石	SHRIMP U-Pb	35.6 ± 0.4	梁华英等(2004)
云南	祥云	马厂箐	二长花岗岩(矿化)	锆石	SHRIMP U-Pb	35.0 ± 0.2	
云南	祥云	马厂箐	新鲜斑岩	石英	Ar-Ar	34.1 ± 0.2, 35.8 ± 0.2 37.7 ± 0.5, 40.5 ± 0.4	彭建堂等(2005)
云南	金平	铜厂	斑岩型铜钼矿石	辉钼矿	Re-Os	34.4 ± 0.5	王登红等(2004)
云南	金平	铜厂	早期细粒正长岩	锆石	U-Pb	36	
云南	金平	铜厂	后期斑状石英正长岩	锆石	U-Pb	34.6	梁华英等(2002b)

约占40%(体积比),粒径变化较大(主要为5~10mm,最大达5~7cm)。斑晶矿物种类较复杂,主要有斜长石、角闪石、黑云母、碱性长石、石英等,以及少量的辉石。斜长石斑晶发育典型的正向分带,部分石英斑晶具有加大边结构、并含有熔融包裹体,辉石斑晶普遍具有熔蚀结构,指示它们为早期结晶矿物(唐仁鲤,罗怀松,1995)。基质主要由碱性长石、斜长石、石英、角闪石和黑云母等矿物组成。副矿物种类丰富,主要包括磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石、褐帘石和金红石。此外,还发现了铬尖晶石和铬铁矿等超基性岩的特征矿物,表明该复式岩体与地幔具有一定的成因关系(马鸿文,1990)。

铜矿化主要与黑云母二长花岗斑岩有关,具有斑岩体内细脉浸染状矿化和接触带夕卡岩-角岩型矿化的复合成矿特征。铜矿化具有明显的典型中心式对称型蚀变特征,即以岩体为中心,由内向外分带:内带为钾化、硅化、绢云母化、粘土化;中带为夕卡岩化、大理岩化或角岩化、粘土化、青磐岩化、(强)硅化、绢云母化;外带为结晶灰岩或角岩化、青磐岩化;过渡到正常岩类,为灰岩或砂岩等。

2 样品与分析方法

本文两个样品采自玉龙斑岩铜矿,其中,样品YL025采自1号探槽为网脉状硅化黑云母二长斑岩型铜矿石;样品YL051为石英二长斑岩(图2)。

将野外所采样品破碎为颗粒样品,采用常规重-磁选方法,除去长石、石英、云母等轻比重矿物和磁铁矿、磁黄铁矿等磁性矿物,最后在双目镜下挑取出较多的锆石。这些锆石以自形为主,大多数呈短柱状,少量为长柱状、粒状及碎屑状,无色一淡玫瑰色,透明度高,表面光滑,明显的金刚光泽等特征。

锆石的制靶、光学显微镜照相和同位素测试在中国地质科学院北京离子探针中心完成,阴极发光(CL)图像分析在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针实验室完成。将样品中的几类锆石和标准锆石TEMORA(年龄为417Ma)在玻璃板上用环氧树脂固定,抛光到暴露出锆石的中心面,用反射光和透射光照相,然后镀金,用阴极发光(CL)照相,以检查锆石的内部结构。根据锆石光学图像和CL图像,避开裂纹和包裹体,确定合适的测点位置。同位素分析所用仪器为SHRIMP II,详细的实验流程和原理参考Compston *et al.*, (1984)、Williams(1992)和宋彪等(2002)。测试时所用的标准锆石为SL13(572Ma, $U = 238 \times 10^{-6}$)和TEMORA,前者用于标定U、Th和Pb的含量,后者用于校正年龄。束斑直径约为25 μ m。数据处理同Williams(1998),采用实测 ^{206}Pb 校正锆石中的普通铅。单个数据点的误差均为1 σ ,采用年龄为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,其加权平均值为95%的置信度。

3 分析结果

CL分析显示样品YL025和YL051锆石颗粒均具有典型

表2 西藏玉龙斑岩铜矿锆石 SHRIMP U-Pb 定年数据

Table 2 SHRIMP zircon U-Pb dating of Yulong Porphyry Copper Deposit in Tibet

测点号	$^{206}\text{Pb}_c$	U	Th	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	相对 误差
	(%)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)		($\times 10^{-6}$)	年龄(Ma)	年龄(Ma)	^{235}U		^{238}U		
YL025-58	2.87	1116	239	0.22	6.11	40.4 ± 1.1	59.3 ± 3.4	0.0529	5.7	0.00629	2.8	0.486
YL025-51	2.45	1838	704	0.40	9.94	40.0 ± 1.1	47.3 ± 6.2	0.0435	15	0.00622	2.8	0.188
YL025-47	0.57	1991	816	0.42	11.2	41.6 ± 1.1	37.6 ± 5.9	0.0378	17	0.00648	2.8	0.159
YL025-43	1.26	1233	734	0.61	6.47	38.2 ± 1.2	32.5 ± 5.5	0.0393	22	0.00594	3.1	0.141
YL025-40	0.06	1156	2047	1.83	6.41	39.7 ± 1.3	35.5 ± 3.7	0.038	35	0.00619	3.4	0.098
YL025-38	4.61	736	538	0.76	4.62	45.4 ± 1.5	50.2 ± 7.0	0.079	19	0.00707	3.3	0.176
YL025-36	21.05	147	112	0.78	1.12	48.1 ± 4.8	71 ± 37	0.085	85	0.00749	9.9	0.117
YL025-37	1.70	2095	810	0.40	12.0	42.4 ± 1.5	44.3 ± 3.5	0.0437	11	0.00659	3.6	0.334
YL025-32	13.02	188	274	1.50	1.20	39.6 ± 3.4	34 ± 14	0.021	270	0.00616	8.7	0.032
YL025-28	3.12	1312	580	0.46	7.80	43.7 ± 3.7	52.7 ± 8.2	0.051	20	0.00681	8.4	0.417
YL025-12	4.10	1783	660	0.38	11.0	44.9 ± 1.5	56.9 ± 7.2	0.0583	12	0.00699	3.3	0.282
YL025-10	6.35	556	498	0.93	3.20	38.6 ± 3.0	28 ± 11	0.023	120	0.00601	7.8	0.066
YL051-22	0.00	902	507	0.58	5.23	43.3 ± 1.3	49.8 ± 3.4	0.0473	9.1	0.00665	3.1	0.338
YL051-19	0.57	1163	293	0.26	6.79	43.4 ± 1.3	45.0 ± 3.9	0.0447	4.7	0.00675	3.0	0.648
YL051-1	0.00	461	354	0.79	2.55	41.3 ± 1.4	40.7 ± 2.0	0.0492	6.2	0.00645	3.3	0.533
YL051-2	--	1668	517	0.32	9.58	43.1 ± 1.3	50.4 ± 2.9	0.0452	4.2	0.00666	3.0	0.713
YL051-23	0.10	2190	808	0.38	12.7	43.4 ± 1.3	44.0 ± 1.9	0.0464	3.9	0.00676	3.0	0.767
YL051-10	0.13	2378	987	0.43	14.5	45.5 ± 1.3	48.4 ± 1.9	0.0443	4.5	0.00704	3.0	0.660
YL051-8	0.23	1958	718	0.38	11.7	44.6 ± 1.3	45.3 ± 2.3	0.0489	4.0	0.00694	3.0	0.746
YL051-6	0.00	489	285	0.60	2.77	42.4 ± 1.4	52.5 ± 2.7	0.0412	9.1	0.00644	3.3	0.362
YL051-13	2.10	600	356	0.61	3.19	39.0 ± 1.3	38.3 ± 2.7	0.0404	10	0.00608	3.3	0.317
YL051-17	3.03	515	456	0.92	2.92	41.1 ± 1.4	41.2 ± 4.0	0.0321	9.3	0.00639	3.3	0.356
YL051-18	0.00	1608	447	0.29	9.77	45.4 ± 1.4	51.0 ± 2.1	0.0443	5.0	0.00703	3.0	0.606
YL051-21	0.38	1666	514	0.32	10.00	44.8 ± 1.4	43.8 ± 2.8	0.0508	4.2	0.00698	3.2	0.762
YL051-24	0.51	2018	739	0.38	12.0	44.3 ± 1.3	43.8 ± 2.0	0.0448	4.0	0.00690	3.0	0.750

的振荡环带结构,符合岩浆锆石的特征(图3,4;吴元保和郑永飞,2004)。少数颗粒内部还可见大小不等的继承核,如YL051-18, YL025-28等。

样品YL025的12个测点中(表2,图3),Th的含量变化范围为 $112 \times 10^{-6} \sim 2047 \times 10^{-6}$,U的含量变化范围为 $147 \times 10^{-6} \sim 2095 \times 10^{-6}$,Th/U比值变化范围为0.22~1.83;测点的表面年龄范围在 $38.2 \pm 1.2 \sim 48.1 \pm 4.8\text{Ma}$ 之间。样品YL025的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $41.0 \pm 1.0\text{Ma}$ ($N=12$),MSWD=1.50(图5),该年龄反映了成矿期斑岩体侵入定位时锆石的结晶年龄。

样品YL051的13个测点中(表1,图4),Th的含量变化范围为 $285 \times 10^{-6} \sim 987 \times 10^{-6}$,U的含量变化范围为 $461 \times$

$10^{-6} \sim 2378 \times 10^{-6}$,Th/U比值变化范围为0.26~0.92;测点的表面年龄范围在 $39.0 \pm 1.3 \sim 45.3 \pm 1.3\text{Ma}$ 之间。除测点YL051-13外,YL051 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $43.6 \pm 0.8\text{Ma}$ ($N=12$),MSWD=1.09(图6),该年龄反映了成矿前斑岩体侵入定位时锆石的结晶年龄。

值得指出的是由于没有合适的新生代标准锆石,测试中采用TEMORA锆石(年龄为417Ma)作为标样。对于新生代锆石而言,由于U、Th衰变产生的放射性成因Pb含量较低,造成 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 等比值误差较大,由此而来的表面年龄误差也较大。因此,本文测定的样品YL051部分测点偏离了谐和线,YL025样品有些测点的误差相对较大。



图3 样品 YL025 中锆石的阴极发光图像及测点年龄

Fig. 3 CL images of zircons from the sample YL025

4 讨论

4.1 对玉龙岩体侵入时限和成矿时代的制约

精确厘定成矿岩体的形成时代,对于正确认识斑岩铜矿成矿作用具有重要的意义。就本文所测定的两个样品来看,玉龙复式岩体的侵入是一个长期的过程,从成矿前石英二长斑岩(43.6 ± 0.8 Ma),到成矿期黑云母二长花岗岩(41.0

± 1.0 Ma),至少经历了大约 2.6 Ma。其中,成矿期黑云母二长花岗岩的年龄为 41.0 ± 1.0 Ma,与马鸿文(1990)和梁华英(2002a)报道的年龄值一致,这也从一个方面表明了本文测定结果是可信的。

锆石的封闭温度高达 900℃,其年龄基本代表了岩浆形成的年龄,但在如此高的温度下不大可能有金属硫化物形成。斑岩铜矿最主要的矿石矿物是铜、铁、钼等金属的硫化物,成矿温度一般在 400℃ 左右,因而一般用斑岩铜矿中辉钼

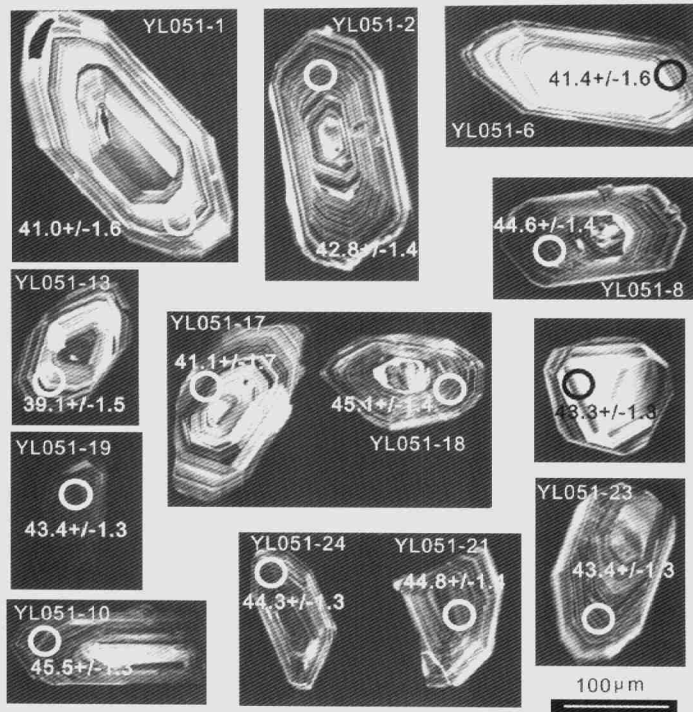


图4 样品 YL051 的锆石阴极发光图像及测点年龄

Fig. 4 CL images of zircons from the sample YL051

矿的 Re-Os 年龄作为成矿年龄。Hou *et al.* (2003) 报道了辉钼矿 Re-Os 年龄为 40.1 ± 1.8 Ma, 与成矿期斑岩的侵入年龄存在约 1 Ma 的时差, 表明从岩浆形成到成矿热液活动, 经历了一个快速的降温降压过程。大规模的铜矿化, 正是由于物理化学条件的剧变而形成的。此外, 金沙江-红河成矿带的其它斑岩铜矿的研究中亦已证实(表 1), 对于新生代成矿小岩体来说, 其降温速率可能要远远大于那些较大的岩体, 其成矿时间与岩体主侵入时期差在 2 Ma 以内。综合来看, 玉龙斑岩铜矿的最终大规模成矿应该小于 41 Ma, 即成矿期斑岩侵入之后, 大约为 40 Ma, 略早于马拉松多、马厂箐、金平铜厂等同处在金沙江-红河成矿带的斑岩铜矿床(图 1)。

就玉龙斑岩铜矿来说, 玉龙复式岩体侵入过程中大约 2.6 Ma 的间隔期可能造成岩浆房成矿元素的不断富集, 而成矿期岩浆的侵入在从地幔带来成矿元素的同时(张玉泉等,

1995, 1998; 芮宗瑶等, 2004a), 也使成矿元素部分或全部活化, 并在侵入高潮过后由于物理化学条件的剧变而大规模成矿。我们认为, 借鉴构造-热年代学的研究思路(王瑜, 2004), 进一步开展系统的成矿作用年代学研究, 将有助于深入认识成矿过程。

4.2 玉龙斑岩铜矿 SHRIMP 锆石年代学的区域地质意义

赵文津等(2001年)在研究喜马拉雅及雅鲁藏布江缝合带深部结构及构造时认为, 在大约 120 Ma 时, 印度大陆与亚欧大陆发生“B”型俯冲, 加速了新特提斯洋的消亡; 大约在 65 Ma 时, 新特提斯洋消亡, 印度板块带着新特提斯洋壳向冈底斯-念唐古拉板片发生“A”型俯冲; 印-亚板块在 45 Ma 达到主体碰撞的高峰(Patriat *et al.*, 1984), 而这一陆-陆碰撞效应, 导致雅鲁藏布江缝合带的关闭, 青藏高原隆起。而在

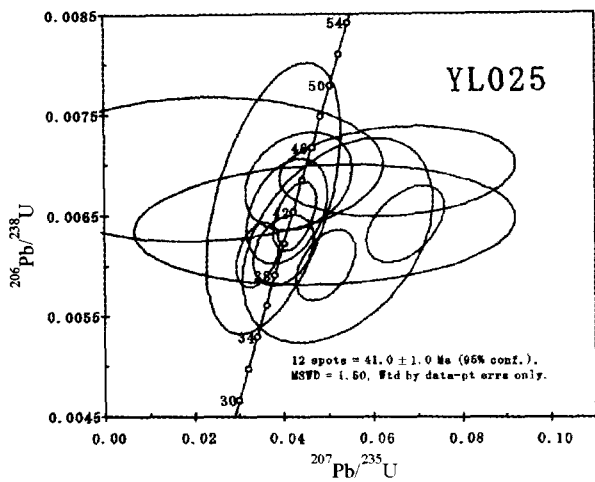


图5 样品 YL025 的锆石 SHRIMP 数据的 U-Pb 谐和图解
Fig.5 The U-Pb concord figures of the SHRIMP data of zircons from Sample YL025

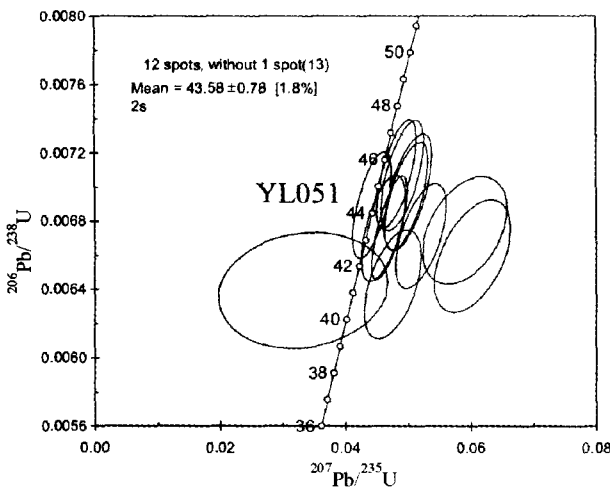


图6 样品 YL051 的锆石 SHRIMP 数据的 U-Pb 谐和图解
Fig.6 The U-Pb concord figures of the SHRIMP data of zircons from Sample YL051.

青藏高原东南缘,在碰撞过程中,由于在东北方向受到塔里木、柴达木和康滇古陆古老基底的阻挡(Dewey *et al.*, 1988),导致了长达数千公里的金沙江-红河走滑拉分带的形成(张玉泉,谢应雯,1997)。在青藏高原主体碰撞高峰之后,伴随着第一幕大规模的应力释放(芮宗瑶等,2004b),下插的印度板块由于高温高压变质而密度增大,发生了板片的断离,导致幔源岩浆沿上浮亚洲板块之深大断裂形成较大规模的侵入,在金沙江-红河成矿带形成一系列的与斑岩铜矿有关的岩体。而玉龙斑岩铜矿 SHRIMP 年代学显示,玉龙岩体在 43.6Ma 和 41Ma 是两幕侵入高潮,恰恰对应于这次应力释放,而正是这两次侵入及其其后 1~2Ma 的大规模成矿作用,才形成超大型的玉龙斑岩铜矿。芮宗瑶等(2003, 2004b) 认

为玉龙斑岩铜矿带成矿年龄恰好对应于在大西洋新生代底栖有孔虫氧同位素变化曲线中的第一个拐点处,其对应年龄在 40~35Ma,并认定 40~35Ma 为喜马拉雅运动的第一次加速。就金沙江-红河成矿带的斑岩铜矿带来说,其斑岩铜矿成矿年龄几乎均在 40~35Ma 的范围内(表 1),与全球气候变化一样,均为这次应力释放的产物,并且似乎有证据表明,西藏玉龙、云南马厂箐、金平铜厂(图 1)等现今相隔近千公里的三个矿区,在 40~35Ma 时可能是集中在一起的(Tapponnier *et al.*, 1990; Leloup *et al.*, 1995; 王登红, 2004)。

5 结论

玉龙复式岩体的侵入时限至少为 2.6Ma,其中成矿前石英二长斑岩的年龄为 43.6 ± 0.8Ma,成矿期黑云母二长花岗岩的年龄为 41.0Ma ± 1.0Ma,代表了两幕较大的岩浆活动。比斑岩铜矿主体成矿期大约早 1Ma,因此大规模铜矿化可能与物理化学条件的剧变有关,是 45Ma 陆陆主体碰撞之后第一次应力释放的产物。

致谢 在野外工作期间,得到西藏地质调查院黄卫高级工程师,西藏第六地质大队严刚工程师的大力帮助;在 SHRIMP 分析过程中得到国土资源部北京离子中心刘敦一、陶华、杨之清、张玉海、万渝生等老师的指教和帮助;CL 图像分析得到了中国科学院徐平、毛谦和马玉光老师的帮助。在此一并表示感谢!最后特别感谢中国地质大学(北京)张招崇、赵志丹老师,他们对本文初稿提出了宝贵修改意见,使笔者能够尽快完成此文。

References

- Compton W, Williams IS and Mayer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe. *J. Geophys. Res.*, 89: B525 - 534
- Dewey JF, Shackleton RM, Chang CF, *et al.* 1988. The tectonic evolution of the Tibetan plateau. *Phi. Trans. R. Soc. Lond.*, A327: 379 - 413
- Du AD, He HL, Yin WN, *et al.* 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites. *Acta Geologica Sinica*, 68: 339 - 346 (in Chinese with English abstract)
- Leloup PH, Lacassin R, Tapponnier P, *et al.* 1995. The Ailao Shan-Red River Shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina. *Tectonophysics*, 251: 3 - 84
- Liang HY. 2002a. New advances in study of porphyry copper diagenetic metallogenetic process in the southeastern margin of Qinghai Xizang (Tibet) plateau. *Mineral Deposits*, 21 (4): 365 (in Chinese with English abstract)
- Liang HY, Campbell IH, Xie YW, *et al.* 2002b. Zircon age dated by ELA-ICP-MS for ore-bearing porphyry in Jinping Tongchang Mineral Deposits, 21 (Supp.): 421 - 422 (in Chinese with English abstract)
- Liang HY, Xie YW, Zhang YQ, *et al.* 2004. Constraints to the mineralization of the copper deposits from forming and evolution of kalium-rich alkali rock at Machangqing copper deposit. *Progress In Nature Science*, 14(1): 116 - 119 (in Chinese with English abstract)
- Ma HW. 1990. Petrology and mineralization of granites in Yulong porphyry

- copper belt, Tibet. Wuhan: China University of Geosciences Press, 157 (in Chinese with English abstract)
- Peng JT, Bi XW, Hu RZ, *et al.* 2005. Determination of ore and rock forming time of the Machangqing porphyry Cu (Mo) deposit, western Yunnan province. *Acta Mineralogica Sinica*, 25 (1): 69 - 74 (in Chinese with English abstract)
- Rui ZY, Hou ZQ, Qu XM, *et al.* 2003. Metallogenetic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai Tibet plateau. *Mineral Deposits*, 22 (3): 217 - 225 (in Chinese with English abstract)
- Rui ZY, Zhang LS, Chen ZY, *et al.* 2004b. Approach source rock or source region of porphyry copper deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 20 (2): 229 - 238 (in Chinese with English abstract)
- Rui ZY, Li GM, Zhang LS, *et al.* 2004. The response of porphyry copper deposits to important geological events in Xizang. *Earth Science Frontiers*, 11 (1): 145 - 152 (in Chinese with English abstract)
- Song B, Zhang YH, Wan YS, *et al.* 2002. Shrimp sampling, dating and issue on its relation. *Geological Review*, 48 (Supp.): 26 - 30 (in Chinese with English abstract)
- Tang RL and Luo HS. 1995. The geology of Yulong porphyry copper (molybdenum) ore belt, Xizang (Tibet). Beijing: Geological Publishing House, 320 (in Chinese with English abstract)
- Tapponnier P, Lacassin R, Leloup PH, *et al.* 1990. The Ailao Shan/Red River metamorphic belt Tertiary left-lateral shear between Indochina and South China. *Nature*, 343: 431 - 437
- Philippe P and Jose A. 1984. India-Eurasia Collision chronology has implications for crustal shortening and driving mechanism of plate. *Nature*, 311 (18): 615 - 621
- Wang DH, Qu WJ, Li ZW, *et al.* 2004. The metallogenic concentrated epoch of the Porphyry Copper (molybdenum) deposits in Jinshajiang-Honghe metallogenic belt; Re-Os isotope dating. *Science in China (series D)*, 34 (4): 345 - 349 (in Chinese)
- Wu YB, Zheng YF. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49 (16): 1589 - 1604 (in Chinese)
- Zhu X. 1999. China mining (volume 2), Metal mineral products. Beijing: Science Press, 202 - 204 (in Chinese)
- Wang Y. 2004. Some thoughts on tectono-thermochronology. *Earth Science Frontiers*, 11 (4): 435 - 443 (in Chinese with English abstract)
- Williams IS. 1992. Some observations on the use of zircon U-Pb geochronology in the study of granite rocks. *Trans. R. Soc. Edinburgh-Earth Sci.*, 83: 447 - 458
- Williams IS. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: Mckibben MA, Shanks WC and Ridley WI (eds). *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. Review of Economic Geology*, 7: 1 - 35
- Hou ZQ, Ma HW, Zaw K, *et al.* 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: produced by large-scale strike-slip faulting at Eastern Tibet. *Economic Geology*, 98: 125 - 145
- Zhao WJ. 2001. Project Indepth Team. Deep tectonic and structure of the Himalayas and Yarlung suture. Beijing: Geological Publishing House, 369 (in Chinese)
- Zhang YQ, Xie YW, *et al.* 1997. Geochemistry of granate in Hengduan mountain area. Beijing: Science Press, 1995, 176 - 177
- Zhang YQ and Xie YW. 1997. Geochronology and Sr, Nd isotopic compositions of alkali-rich intrusive rocks in Ailaoshan-Jinshajiang. *Science in China (series D)*, 27 (4): 289 - 293 (in Chinese)
- Zhang YQ, Xie YW, Qiu HN, *et al.* 1998. Shoshonitic series: Sr, Nd and Pb isotopic compositions of ore-bearing porphyry by for Yulong copper ore belt in the eastern Xizang (Tibet). *Scientia Geologica Sinica*, 33 (3): 359 - 366 (in Chinese).

附中文参考文献

- 杜安道, 何红廖, 殷万宁等. 1994. 辉钼矿的铷-锶同位素地质年龄的测定方法研究. *地质学报*, 68: 339 - 346
- 梁华英, 谢应雯, 张玉泉等. 2004. 富钾碱性岩体形成演化对铜矿成矿制约: 以马厂箐铜矿为例. *自然科学进展*, 14 (1): 116 - 119
- 梁华英. 2002a. 青藏高原东南缘斑岩铜矿成矿研究取得新进展. *矿床地质*, 21 (4): 365
- 马鸿文. 1990. 藏东玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿. 北京: 中国地质大学出版社, 157
- 彭建堂, 毕献武, 胡瑞忠等. 2005. 滇西马厂箐斑岩铜(钼)矿床成矿成矿时限的厘定. *矿物学报*, 25 (1): 69 - 74
- 梁华英, Campbell IH, 谢应雯等. 2002b. 金平铜矿矿床赋矿岩体锆石 ELA-ICP-MS 定年. *矿床地质*, 21 (增刊): 421 - 422
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明等. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升. *矿床地质*, 22 (3): 217 - 225
- 芮宗瑶, 张立生, 陈振宇等. 2004a. 斑岩铜矿的源岩或源区探讨. *岩石学报*, 20 (2): 229 - 238
- 芮宗瑶, 李光明, 张立生等. 2004b. 西藏斑岩铜矿对重大地质事件的响应. *地学前缘*, 11 (1): 145 - 152
- 宋彪, 张玉海, 万俞生等. 2002. 锆石 Shrimp 样品制靶、年龄测定及有关现象讨论. *地质论评*, 48 (增刊): 26 - 30
- 唐仁鲤, 罗怀松. 1995. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质. 北京: 地质出版社, 320
- 王登红, 屈文俊, 李志伟等. 2004. 金沙江-红河成矿带斑岩铜钼矿的成矿集中期: Re-Os 同位素定年. *中国科学 (D 辑)*, 34 (4): 345 - 349
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. *科学通报*, 49 (16): 1589 - 1604
- 王瑜. 2004. 构造热年代学——发展与思考. *地学前缘*, 11 (4): 435 - 443
- 朱训主编. 1999. 中国矿情 (第二卷), 金属矿产. 北京: 科学出版社, 202 - 204
- 赵文津, Indepth 项目组. 2001. 喜马拉雅山及雅鲁藏布江缝合带深部结构和构造研究. 北京: 地质出版社, 339
- 张玉泉, 谢应雯等. 1995. 横断山区花岗岩类地球化学. 北京: 科学出版社, 176 - 177
- 张玉泉, 谢应雯. 1997. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Sr, Nd 同位素组成. *中国科学 (D 辑)*, 27 (4): 289 - 293
- 张玉泉, 谢应雯, 邱华宁等. 1998. 钾玄岩系列: 藏东玉龙铜矿带含矿斑岩 Sr, Nd, Pb 同位素组成. *地质科学*, 33 (3): 359 - 366