

文章编号: 0258-7106 (2003) 03-0217-09

冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升*

芮宗瑶¹ 侯增谦¹ 曲晓明¹ 张立生² 王龙生¹ 刘玉琳³

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082;

3 北京大学地质系, 北京 100871)

摘 要 通过离子探针、K-Ar 法和 Re-Os 法测得冈底斯斑岩铜矿带的成矿年龄。冈底斯斑岩铜矿带中驱龙石英二长花岗斑岩的 SHRIMP 年龄为 (17.58 ± 0.74) Ma, 冲江二长花岗斑岩的 SHRIMP 年龄为 (15.60 ± 0.52) Ma, 冲江闪长玢岩的 SHRIMP 年龄为 (14.54 ± 0.65) Ma。驱龙和冲江含矿斑岩钾长石的 K-Ar 年龄分别为 (16.43 ± 0.31) Ma 和 (15.77 ± 0.45) Ma, 矿石中辉钼矿的 Re-Os 年龄分别为 (15.99 ± 0.32) Ma 和 (14.85 ± 0.69) Ma。因此驱龙和冲江斑岩铜矿的成矿年龄约束于 (17.58 ± 0.74) Ma ~ (14.85 ± 0.69) Ma 之间。驱龙石英二长花岗斑岩为强矿化岩石, 冲江二长花岗斑岩为中等矿化岩石, 冲江闪长玢岩为未矿化岩石, 三者的年龄依次变小, 放射性元素 ^{206}Pb 、U 和 Th 含量则依次增高。这表明随着壳源物质混合的增强, 铜矿化渐弱。立足于大西洋底栖有孔虫氧同位素变化和印度洋北部海底沉积扇的沉积速率变化来看青藏高原隆升, 认为玉龙矿带和冈底斯矿带斑岩铜矿是在青藏高原两次最明显的地壳运动中形成的。

关键词 地球化学 SHRIMP 年龄 钾长石钾氩年龄 辉钼矿 铼钼年龄 青藏高原隆升

中图分类号: P618.41; P597

文献标识码: A

上世纪, 虽然我国地质学家根据冈底斯火山岩进行讨论。

浆弧位于雅鲁藏布江缝合带的上盘, 推测冈底斯可能为很有找矿潜力的斑岩铜矿带(芮宗瑶等, 1984), 但是对冈底斯斑岩铜矿的了解甚少。1980 年芮宗瑶、黄崇轲和张洪涛首次对厅宫斑岩铜矿进行了考察, 了解到布达拉宫绿色彩绘的颜料即来自厅宫的氧化带, 因此加强了对冈底斯斑岩铜矿前景的认识。

近年来, 中国地质调查局实施了对西部矿产资源的大调查, 冈底斯斑岩铜矿的研究因此得到支持。先后在东起甲马和驱龙, 西到洞嘎, 长 400 km、南北宽 50 km 的冈底斯狭长地带开展了大地调和地质找矿工作, 一些地表富矿得到了开采和揭露, 冈底斯夕卡岩型-斑岩型多金属-铜(钼)-金矿带的前景也初露端倪(芮宗瑶等, 2002; 侯增谦等, 2003)。笔者最近对冈底斯斑岩铜矿带的驱龙和冲江矿床(图 1)进行了年代学研究, 发现玉龙和冈底斯斑岩铜矿带的成矿时代与青藏高原的构造-岩石圈事件喜马拉雅运动正好吻合, 本文将对这次年代学研究获得的资料及其对于冈底斯铜矿带成矿和青藏高原隆升的意义

1 含矿斑岩和无矿斑岩的 SHRIMP 年龄

QZK001 锆石样品采自驱龙 001 孔开孔部位的含矿石英二长花岗斑岩; CZK051-26 锆石样品采自冲江 051 孔距孔口深 26 m 处的含矿二长花岗斑岩; CZK051-470 锆石样品采自冲江 051 孔距孔口深 470 m 处的未矿化闪长玢岩。QZK001、CZK051-26 和 CZK051-470 样品分别代表强矿化的斑岩、中等强度矿化的斑岩和未矿化的斑岩。

上述 3 件样品分别用中国地质科学院地质研究所的 SHRIMP-RG 测定。含矿斑岩的 SHRIMP 测试结果如表 1 和图 2、3。

研究者在锆石分离过程中尽量避免污染; 在锆石的粘贴、环氧树脂的配制和灌注, 样品的打磨和抛光, 样品靶的显微照相和样品靶的清洗及镀金等程序中要求标准化, 在开启仪器、质量峰校正和锆石测

* 本文得到国土资源部大地调项目(1999 10200246)和国家重点基础研究发展规划(2002CB4126010)项目的资助

第一作者简介 芮宗瑶, 男, 1935 年生, 研究员, 从事金属矿床及矿床地球化学研究。

收稿日期 2003-05-14; 改回日期 2003-06-20。张绮玲编辑。

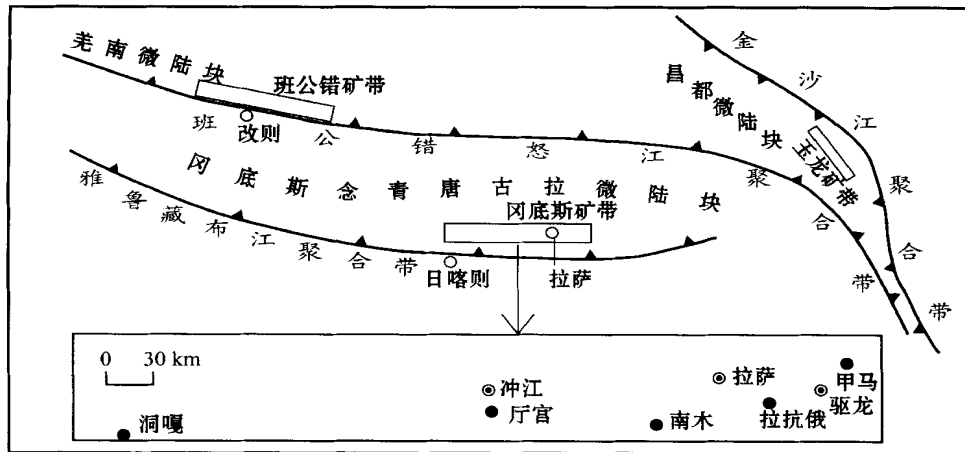


图 1 驱龙和冲江斑岩铜矿地理位置和构造背景

Fig.1 Geographical position and geotectonic setting for the Qulong and the Chongjiang porphyry copper deposits

表 1 西藏冈底斯驱龙和冲江斑岩铜矿中的锆石 SHRIMP 测试结果

Table 1 SHRIMP U-Pb dating data of zircon from porphyry in the Qulong and the Chongjiang porphyry copper deposits in the Gangdese porphyry copper belts, Tibet

样品编号	w_B			$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}/\text{Ma}$	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}} \pm \%$	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}} \pm \%$	误差校正
	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$						
驱龙									
Q001-1.1	4.69	2088	1174	0.58	5.54	18.95 ± 0.32	0.0201 16	0.002944 1.7	0.103
Q001-2.1	53.50	128	85	0.69	0.430	11.7 ± 3.7		0.00182 31	
Q001-3.1	14.31	379	263	0.72	0.988	16.7 ± 1.2		0.00260 7.2	
Q001-4.1	17.05	509	241	0.49	1.26	15.32 ± 0.72		0.00238 4.7	
Q001-5.1	9.97	468	223	0.49	1.26	18.17 ± 0.79	0.026 48	0.00282 4.4	0.091
Q001-6.1	6.34	770	1028	1.38	1.89	17.26 ± 0.45		0.002681 2.6	
Q001-8.1	4.25	427	620	1.50	1.01	16.96 ± 0.44	0.0134 40	0.002635 2.6	0.066
Q001-7.1	19.65	312	170	0.56	0.816	15.7 ± 1.5		0.00244 9.3	
Q001-9.1	15.67	532	855	1.66	1.34	15.91 ± 0.76		0.00247 4.8	
Q001-10.1	19.16	297	155	0.54	0.869	17.1 ± 1.2		0.00266 7.0	
Q001-11.1	25.81	203	76	0.38	0.617	16.9 ± 1.7		0.00262 10	
Q001-12.1	15.36	262	303	1.19	0.743	18.0 ± 1.0	0.062 25	0.00279 5.8	0.233
Q001-12.2	6.30	763	1377	1.87	1.88	17.33 ± 0.54	0.316 27	0.002692 3.1	0.118
冲江									
C051-26-1.1	17.44	438	331	0.78	1.01	14.3 ± 1.0		0.00223 7.0	
C051-26-2.1	5.39	505	523	1.07	1.25	17.62 ± 0.66	0.042 25	0.00274 3.7	0.151
C051-26-3.1	16.03	448	331	0.76	1.09	15.34 ± 0.85		0.00238 5.5	
C051-26-4.1	51.20	1718	2430	1.46	20.2	42.9 ± 3.4	0.457 11	0.00667 7.9	0.697
C051-26-5.1	8.92	840	1519	1.87	1.86	15.12 ± 0.45	0.171 43	0.002347 3.0	0.067
C051-26-6.1	17.65	253	153	0.63	0.607	14.80 ± 0.84	0.035 38	0.00230 5.7	0.149
C051-26-7.1	6.39	974	1110	1.18	2.16	15.54 ± 0.46	0.212 31	0.002414 3.0	0.094
C051-26-8.1	10.47	605	640	1.03	1.33	15.79 ± 0.63	0.0164 61	0.002297 4.3	0.070
C051-26-9.1	20.75	592	439	0.77	1.43	14.38 ± 0.86		0.00223 6.0	
C051-26-10.1	6.70	718	1090	1.57	1.70	16.51 ± 0.48	0.0307 25	0.002565 2.9	0.115
C051-26-11.1	19.21	491	409	0.86	1.17	14.42 ± 0.89		0.00224 6.2	
C051-26-12.1	24.39	455	368	0.83	1.05	13.05 ± 0.97	-0.024 83	0.00203 7.4	0.090
C051-26-13.1	5.48	643	734	1.18	1.43	15.74 ± 0.44	0.0267 25	0.002445 2.8	0.111
C051-26-14.1	8.51	484	311	0.66	1.08	15.36 ± 0.54	0.0217 37	0.002386 3.5	0.096
C051-26-15.1	8.17	554	542	1.01	1.33	16.55 ± 0.67		0.00257 4.1	

测试者:中国地质科学院地质研究所宋彪和北京大学地质系刘玉琳;误差为 1σ ; Pb_c 和 Pb^* 分别为普通铅和放射性铅。

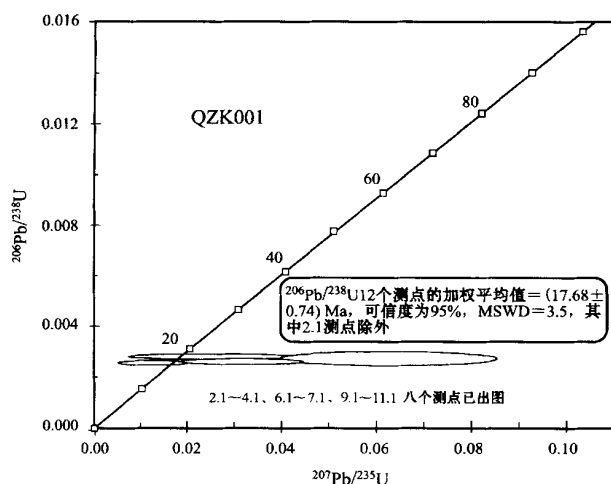


图 2 驱龙斑岩铜矿石英二长花岗斑岩的 SHRIMP 年龄

Fig. 2 SHRIMP U-Pb age of zircon from quartz monzonite granite porphyry in the Qulong porphyry copper deposit

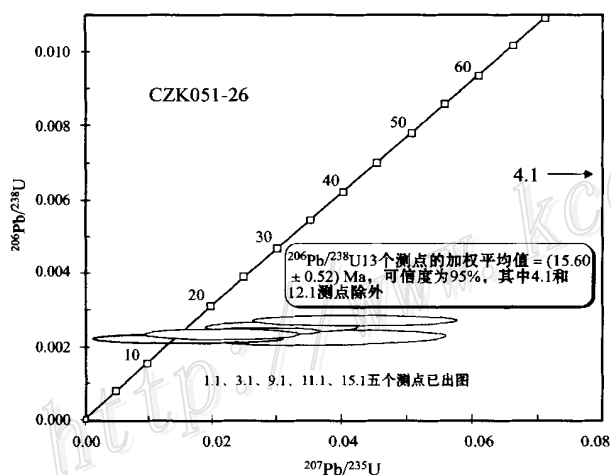


图 3 冲江斑岩铜矿二长花岗斑岩的 SHRIMP 年龄

Fig. 3 SHRIMP U-Pb age of zircon from monzonite granite porphyry in the Chongjiang porphyry copper deposit

定等过程中均操作规范,使其得到理想的结果。

如图 2 所示,驱龙石英二长花岗斑岩的 SHRIMP 年龄,除 2.1 数值偏小外,其他 12 个数值变化于 (15.32 ± 0.72) Ma $\sim$ (18.95 ± 0.32) Ma, 12 个点的加权平均值为 (17.58 ± 0.74) Ma。

图 3 表示冲江二长花岗斑岩的 SHRIMP 年龄,除 4.1 的年龄偏大 $[(42.9 \pm 3.4)$ Ma] 和 12.1 的年龄偏小 $[(13.05 \pm 0.97)$ Ma] 外,其他 13 个点变化于 (14.38 ± 0.86) Ma $\sim$ (17.62 ± 0.66) Ma, 加权平均值为 (15.60 ± 0.52) Ma。

冲江斑岩铜矿的闪长玢岩 SHRIMP 年龄有三

组(表 2、图 4):第一组为 (31.00 ± 0.72) Ma $\sim$ (41.6 ± 1.2) Ma, 接近新特提斯洋的封闭年龄(50 Ma)(周详等, 1984);第二组为 (18.38 ± 0.79) Ma $\sim$ (23.2 ± 3.3) Ma, 接近冈底斯花岗岩基快速冷却、冈底斯地壳显著加厚和冈底斯造山带快速隆升的年龄(21 Ma)(Harrison, 1995; Yin et al., 1994; Copeland et al., 1995);第三组为 (13.02 ± 0.54) Ma $\sim$ (16.84 ± 0.41) Ma, 共有 16 个测点, 加权平均值为 (14.54 ± 0.65) Ma, 代表脉岩侵位年龄, 该年龄值与冈底斯造山带在东西向伸展构造带动下, 产生一系列近南北向裂谷的时间(20 ~ 14 Ma) 很接近(Harrison et al., 1995; Coleman et al., 1995)。

2 钾硅酸盐蚀变年龄

驱龙和冲江含矿斑岩及邻近围岩中的钾硅酸盐蚀变非常明显, 含矿斑岩中随处可见新鲜的钾长石和高镁黑云母与其他热液蚀变矿物共生。含矿斑岩的 $w(K_2O)$ 达 4.17% ~ 6.15%, 即钾硅酸盐蚀变使 K_2O 富集了 1/3 ~ 1 倍之多。

驱龙 001 孔 226 m 处石英二长花岗斑岩中钾长石的 K-Ar 表观年龄为 (15.77 ± 0.45) Ma, 冲江 121 孔 56 m 处二长花岗斑岩中钾长石的 K-Ar 表观年龄为 (16.43 ± 0.31) Ma(表 3)。

由于钾长石已普遍受到钾硅酸盐蚀变的影响, 因此很有可能导致钾含量增加而使年龄值增大, 本文钾长石的 K-Ar 年龄仅供参考。

3 辉钼矿年龄

驱龙斑岩铜矿 4 件辉钼矿样品中 1 件取自 1-1 号探槽, 其余 3 件分别取自 001 孔的 80 m、175 m 和 306 m 处。辉钼矿纯度均达 95% 以上, Re-Os 的模式年龄为 (15.75 ± 0.42) Ma $\sim$ (16.23 ± 0.90) Ma(表 4), 等时线年龄为 (15.99 ± 0.32) Ma(图 5)。

冲江斑岩铜矿 5 件辉钼矿样品, 其中 2 件取自平洞 - 2 m 处, 2 件取自 121 孔 56 m 和 123 m 处, 1 件取自 051 孔 248 m 处。其模式年龄变化于 (14.45 ± 0.38) Ma $\sim$ (15.68 ± 0.28) Ma, 等时线年龄为 (14.85 ± 0.69) Ma(表 4 和图 6)。

4 含矿斑岩与非含矿斑岩的 SHRIMP 测试结果对比

驱龙石英二长花岗斑岩为强矿化岩石, 冲江二

表 2 西藏冈底斯斑岩铜矿带冲江斑岩铜矿的闪长玢岩(脉岩)中锆石的 SHRI MP 测试结果

Table 2 SHRI MP U-Pb dating data of zircon from diorite porphyrite at the Chongjiang porphyry copper deposit in the Gangdese porphyry copper belts, Tibet

样品编号	w_B			$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{/10^{-6}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}/\text{Ma}$	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}} \pm \%$		$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}} \pm \%$		误差校正
	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$								
C051-470-1.1	0.76	3050	1411	0.48	12.7	31.00 ± 0.72	0.327	5.4	0.00482	2.3	0.433
C051-470-2.1	0.92	4365	9351	2.21	9.90	16.84 ± 0.41	0.01748	5.4	0.002616	2.4	0.442
C051-470-3.1	0.00	1018	807	0.82	2.03	14.91 ± 0.49	0.0275	9.0	0.002315	3.3	0.366
C051-470-4.1	6.98	786	395	0.52	1.47	13.02 ± 0.54	0.0212	31	0.002022	4.2	0.135
C051-470-5.1	27.45	374	165	0.46	1.60	23.2 ± 3.3	0.207	28	0.00360	14	0.505
C051-470-6.1	0.00	266	215	0.83	0.653	18.38 ± 0.79	0.0688	8.1	0.00286	4.3	0.531
C051-470-7.1	3.90	981	1072	1.13	1.84	13.49 ± 0.44	0.0160	25	0.002095	2.8	0.131
C051-470-8.1	2.46	486	800	1.70	2.77	41.6 ± 1.2	0.0518	12	0.00647	2.8	0.231
C051-470-9.1	3.61	869	939	1.12	1.84	15.33 ± 0.63	0.0184	22	0.002381	4.1	0.187

测试说明同表 1。

表 3 驱龙和冲江含矿斑岩钾长石 K-Ar 年龄

Table 3 K-Ar dating data of K-feldspar from ore-bearing porphyry rock in the Qulong and the Chongjiang porphyry copper deposits

样品号	样品名称	$w_K/\%$	样品重量/g	放射成因 ^{40}Ar		$^{38}\text{Ar}/10^{-11}\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$	$^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	表观年龄/Ma
				$10^{-10}\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$	$\%$				
CZK121-56	钾长石	6.85	0.0472	1.961	72.48	2.3930	0.5338 ± 0.0073	1830.9 ± 9.4	16.43 ± 0.31
QZK001-226	钾长石	4.69	0.0461	1.288	93.40	2.3928	0.2659 ± 0.0071	9336.9 ± 62.7	15.77 ± 0.45

注:1.北京大学地质系同位素实验室刘玉琳、苗国均和黄玉玲测定;2.衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}/\text{a}$, $^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4}$;3.误差为 2σ 。

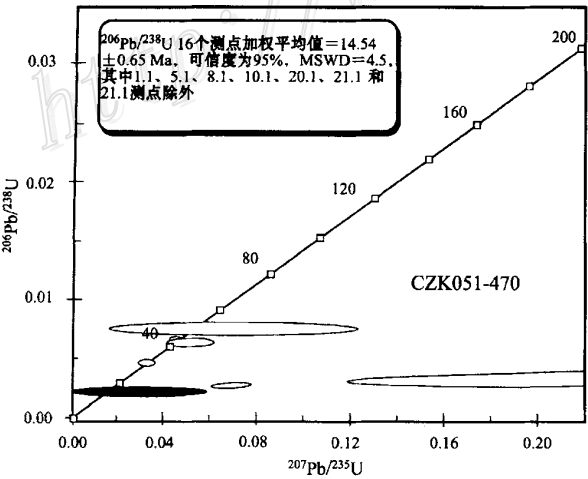


图 4 冲江斑岩铜矿闪长玢岩的 SHRI MP 年龄
Fig.4 SHRI MP U-Pb age of zircon from diorite porphyrite in the Chongjiang porphyry copper deposit

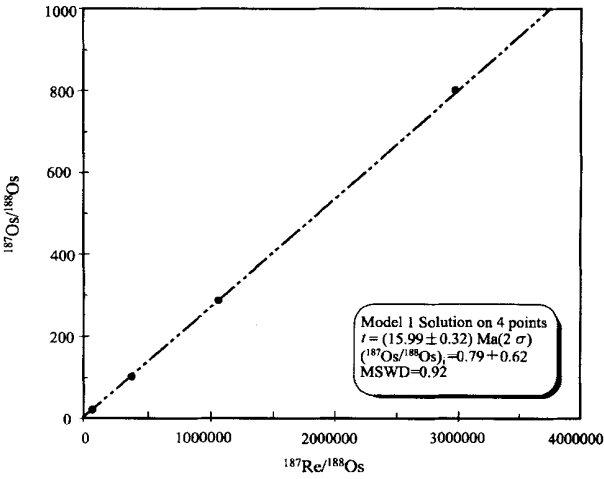


图 5 驱龙斑岩铜矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄
Fig.5 Re-Os age isochron line of molybdenite from the Qulong porphyry copper deposit

表 4 驱龙斑岩铜矿和冲江斑岩铜矿中辉钼矿的 Re-Os 测定值和模式年龄

Table 4 Re-Os dating data of molybdenite from Cu-Mo ores in the Qulong and Chongjiang porphyry copper deposit

样品编号	样重/ mg	w_B			$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$	$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ 误差	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 误差	模式年龄 / Ma
		Re/($\mu\text{g/g}$)	总 Os/(ng/ g)	$^{187}\text{Re}/(\mu\text{g/g})$					
驱龙									
QTCI-1	52.47	136.7 $\pm$ 3.1	23.47 $\pm$ 0.23	85.90 $\pm$ 1.99	2.97E + 06	1.24E + 05	8.05E + 02	2.92E + 01	16.23 $\pm$ 0.90
QZK001-80	32.22	41.64 $\pm$ 0.55	7.45 $\pm$ 0.07	26.18 $\pm$ 0.34	3.73E + 05	7.29E + 03	9.86E + 01	1.74E + 00	15.75 $\pm$ 0.42
QZK001-175	11.76	16.44 $\pm$ 0.14	4.22 $\pm$ 0.06	10.33 $\pm$ 0.09	5.87E + 04	1.73E + 03	1.65E + 01	5.4E - 01	16.03 $\pm$ 0.71
QZK00-306	6.58	303.1 $\pm$ 3.1	52.11 $\pm$ 0.64	190.5 $\pm$ 1.9	1.07E + 06	9.38E + 04	2.86E + 02	2.51E + 01	15.96 $\pm$ 1.98
冲江									
C 平 2-1	9.03	206.4 $\pm$ 1.8	34.09 $\pm$ 0.30	129.8 $\pm$ 1.13	5.98E + 05	2.51E + 04	1.50E + 02	6.27E + 00	15.11 $\pm$ 0.90
C 平 2-2	9.20	185.4 $\pm$ 1.5	29.45 $\pm$ 0.25	116.6 $\pm$ 0.98	8.44E + 05	6.83E + 04	2.06E + 02	1.66E + 01	14.71 $\pm$ 1.68
CZK1 21-56	9.06	205.9 $\pm$ 1.9	36.30 $\pm$ 0.27	129.4 $\pm$ 1.21	1.63E + 05	3.05E + 03	3.83E + 01	6.89E - 01	14.45 $\pm$ 0.38
CZK1 21-123	9.44	192.5 $\pm$ 1.8	33.62 $\pm$ 0.24	121.0 $\pm$ 1.12	1.76E + 05	3.02E + 03	4.15E + 01	6.78E - 01	14.47 $\pm$ 0.34
CZK051-248	16.61	111.8 $\pm$ 1.0	28.06 $\pm$ 0.19	70.25 $\pm$ 0.63	4.70E + 04	6.02E + 02	1.13E + 01	1.37E - 01	15.68 $\pm$ 0.28

注: 国家地质测试中心杜安道、屈文俊和杨刚测试; ^{187}Re 衰变常数 $\lambda = 1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ 。

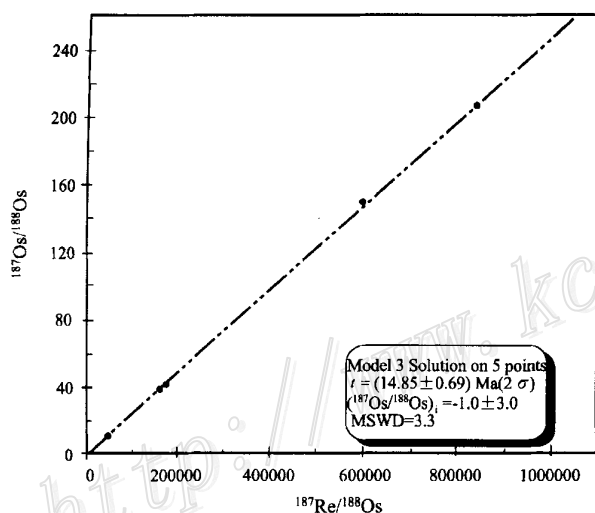


图 6 冲江斑岩铜矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄

Fig. 6 Re-Os age isochron line of molybdenite from the Chongjiang porphyry copper deposit

长花岗斑岩为中等强度矿化岩石, 冲江闪长玢岩为无矿岩石。比较这三种岩石的年龄和放射性 ^{206}Pb 、U、Th 含量(表 5), 可以看出, 从强矿化岩石到中等矿化岩石再到无矿岩石, 有两种趋势: ① 年龄依次变小, 驱龙石英二长花岗斑岩为(17.58 $\pm$ 0.74) Ma, 冲江二长花岗斑岩为(15.60 $\pm$ 0.52) Ma, 冲江闪长玢岩为(14.54 $\pm$ 0.65) Ma; ② 放射性元素 ^{206}Pb 、U 和 Th 含量依次增高, 增高值达 1 倍至 6 倍(表 5)。

锆石中的铀、钍含量与硅酸盐熔体中铀、钍含量有关。也就是说, 驱龙斑岩铜矿硅酸盐熔体中铀和钍含量低, 冲江斑岩铜矿硅酸盐熔体中铀和

钍含量高, 而冲江不含矿的硅酸盐熔体铀和钍含量最高。由于地壳中酸性岩石中铀和钍含量比球粒陨石的高 2~3 个数量级, 因而推测冲江斑岩铜矿受地壳物质混染程度比驱龙的强, 而冲江无矿闪长玢岩可能受地壳物质混染程度更强。

5 青藏高原隆升与斑岩铜矿

李廷栋(1995) 将青藏高原隆升分为 3 个阶段: 俯冲碰撞隆升阶段, 发生于晚白垩世、古新世和始新世, 时间为 35.40 Ma 前; 汇聚挤压隆升阶段, 发生于渐新世和中新世, 时间为 35.4~5.20 Ma; 均衡调整隆升阶段, 发生于上新世、更新世和全新世, 时间为 5.20 Ma 以后。并将喜马拉雅运动划分为 3 个幕, 其时间分别为 35.40 Ma、5.2 Ma 和 1.6 Ma。作者综合考虑了各种因素(周祥等, 1984; 崔作舟等, 1992; 崔军文等, 1992; 刘增乾等, 1990), 确定在 35 Ma 前, 青藏地区曾有抬升, 但高度十分有限, 总的高度在 2 000 m 以下, 因为棕榈和榕树化石表明当时为湿热气候条件。35~3.4 Ma 期间, 青藏高原曾两度隆升, 但随后山麓被剥蚀夷平, 总高度在 2 000~150 m 之间, 高山栎、杜鹃、云杉和三趾马等化石的发现证明了这一点(潘保田等, 1998)。3.4 Ma 以后, 青藏高原整体快速隆升(潘保田等, 1998), 海拔达 4 000~5 000 m, 最高山峰达 8 848 m。

中外研究者(Coleman et al., 1995; Searle, 1995; Klootwijk et al., 1985; Turner et al., 1993; Harrison et al., 1992; 1995; Molnar et al., 1993;

表 5 驱龙与冲江含矿斑岩与非含矿斑岩的 SHRIMP 测试结果对比

Table 5 SHRIMP U-Pb dating data of zircon from ore-bearing porphyry and barren porphyry in the Qulong and the Chongjiang copper deposits

	Q001(13)	C051-26(15)	C051-470(9)
矿区	驱龙	冲江	冲江
岩石名称	石英二长花岗斑岩	二长花岗斑岩	闪长玢岩
含矿性	含矿性好	含矿性较好	基本不含矿
$^{206}\text{Pb}_c$ 的变化范围/ %	4.25 ~ 53.50	5.39 ~ 51.20	0.00 ~ 27.45
$^{206}\text{Pb}_c$ 的平均值/ %	16.31	15.11	5.18
$^{206}\text{Pb}^*$ 的变化范围/ 10^{-6}	0.430 ~ 5.54	0.607 ~ 20.2	0.653 ~ 12.7
$^{206}\text{Pb}^*$ 的平均值/ 10^{-6}	1.43	2.58	3.87
U 的变化范围/ 10^{-6}	128 ~ 2088	438 ~ 1718	266 ~ 4365
U 的平均值/ 10^{-6}	549.08	647.87	1355
Th 的变化范围/ 10^{-6}	76 ~ 1377	153 ~ 2430	165 ~ 9351
Th 的平均值/ 10^{-6}	505.38	726.27	~ 1684
$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 的变化范围	0.38 ~ 1.87	0.63 ~ 1.87	0.46 ~ 2.21
$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 的平均值	0.927	1.044	1.03
年龄/ Ma	17.58 $\pm$ 0.74	15.60 $\pm$ 0.52	14.54 $\pm$ 0.65

注:括号中数字为样品数; Pb_c 和 Pb^* 分别为普通铅和放射性铅。

Patriat et al., 1984; Prell et al., 1992; Quade et al., 1989; 李廷栋, 1995) 讨论青藏高原隆升主要是从青藏地质构造演化出发的, 未跳出青藏高原本身这个圈子。笔者认为既然青藏高原为世界的屋脊, 它的变化影响世界的气候, 那就应该放眼全球来观察青藏高原的隆升和斑岩铜矿的形成。Miller 等 (1987) 及潘保田等 (1998) 根据大西洋有孔虫氧同位素变化与青藏高原大气候的关系划分了三次构造运动: 冈底斯运动 (40 ~ 35 Ma)、喜马拉雅运动 (18 ~ 13 Ma) 和青藏运动 (3.4 Ma A 幕、2.5 Ma B 幕和 1.7 Ma C 幕) (潘保田等, 1998; Quade et al., 1989); 并划分了两次夷平面, 即 P1 形成于 35.3 ~ 14.6 Ma, P2 形成于 13.5 ~ 3.6 Ma (潘保田等, 1998)。如前所述, 冈底斯矿带含矿斑岩的 SHRIMP 年龄分别为 (17.58 $\pm$ 0.74) Ma (驱龙) 和 (15.60 $\pm$ 0.52) Ma (冲江), 而玉龙矿带含矿斑岩的 SHRIMP 年龄为 (40.9 $\pm$ 0.1) Ma (玉龙)、(38.5 $\pm$ 0.2) Ma (扎那杂)、(37.6 $\pm$ 0.2) Ma (莽总)、(37.5 $\pm$ 0.2) Ma (多霞松多)、(37.1 $\pm$ 0.2) Ma (马拉松多) 和 (35.0 $\pm$ 0.2) Ma (马厂箐) (梁华英, 2002)。

图 7 为大西洋底栖的有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ -年龄图解, 将冈底斯矿带和玉龙矿带的年龄投在图中可以清楚地看出, 玉龙斑岩铜矿带和冈底斯斑岩铜矿带分别形成在冈底斯运动和喜马拉雅运动期间。

图 8 是印度洋的孟加拉湾和阿拉伯湾的沉积速率-时间图解。从图中可以清楚地看出, 在 12 Ma 之

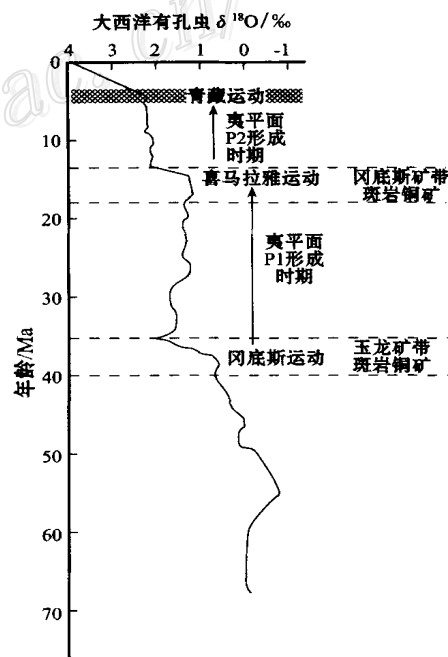


图 7 大西洋新生代底栖有孔虫氧同位素变化曲线图 (根据 Miller et al., 1987; 潘保田等, 1998 原图修改)

Fig. 7 $\delta^{18}\text{O}$ -age diagram of Cenozoic foraminifera at the bottom of the Atlantic Ocean (Modified from Miller et al., 1987 and Pan et al., 1998)

前青藏高原隆升和剥蚀程度是有限的, 因为 12 Ma 之前孟加拉湾和阿拉伯湾海底沉积扇的沉积物通量虽然逐渐加大, 但总的沉积物通量是不大的 (Rea, 1992)。而 12 Ma 以后, 孟加拉湾和阿拉伯湾海底沉积

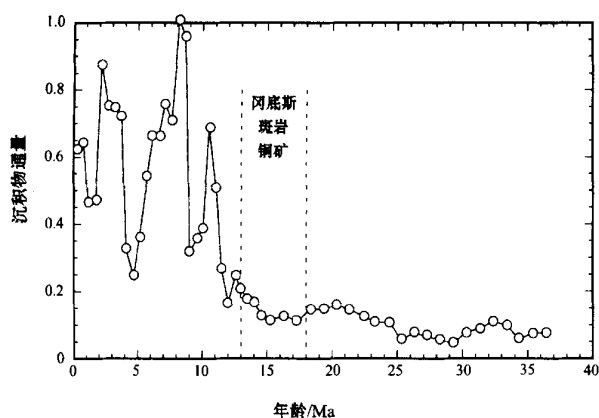


图8 印度洋北部海底沉积扇的沉积速率-时间图解
(根据 Rea, 1992; 潘保田等, 1998 原图修改)

Fig. 8 Sedimentation rate-age diagram for submarine
sediments on sedimentary fans in the North Indian Ocean
(Modified from Rea, 1992 and Pan et al., 1998)

扇加快沉积。推测喜马拉雅山在 9 ~ 6 Ma 和 4 ~ 2 Ma 时有过两次最强烈的隆升和剥蚀, 在 12 ~ 11 Ma 和 1 Ma 时有过两次次级隆升和剥蚀(潘保田等, 1998)。需要说明的是, Rea(1992)在编制图 8 的过程中, 已考虑沉积部位的差异, 不同岩性沉积物的压实作用具有不同的压实效应, 造成两个沉积扇的不同部位的钻孔时间-深度关系有较大的差异。Rea(1992)通过计算沉积通量成功地排除了上述因素的影响, 从而得到 36 Ma 以来印度洋北部陆地沉积物输入的平均状况的演化历史。冈底斯矿带斑岩铜矿形成时代投影于 18 ~ 13 Ma, 正好与隆升加速的时间相吻合。这说明冈底斯矿带斑岩铜矿的形成反映了构造-岩石圈事件, 特别是深部地质过程。

结 论

(1) 由大西洋新生代底栖有孔虫氧同位素变化描述的青藏高原的冈底斯运动和喜马拉雅运动相对应的玉龙矿带和冈底斯矿带斑岩铜矿成矿稍稍滞后, 大约滞后 2 ~ 6 Ma。滞后的原因在于深部地质过程需要有一个发动时间, 例如部分熔融作用和岩浆上升时间等。

(2) 主要依据地质构造描述的喜马拉雅运动 I 幕、II 幕和 III 幕发生的时间分别为 35.4 Ma、5.2 Ma 和 1.6 Ma(李廷栋, 1995)。而发生在 17 ~ 15 Ma 的喜马拉雅运动(图 7)被忽略了, 但这次构造运动却十分重要, 主要表现在: ① 它是 P1 夷平面与 P2 夷平

面的分界线; ② 冈底斯矿带形成于此时期; ③ 它是冰盖与无冰盖的分界线; ④ 它是印度洋北部海底沉积扇加速沉积的起始点; ⑤ 藏南大规模冲断、推覆和滑脱由此开始, MCT(主中央逆冲断裂)和 MBT(主边界逆冲断裂)(侯增谦等, 2003)等相继活动, 冈底斯斑岩和藏南淡色花岗岩相继侵位, 冈底斯钙碱性钾玄质火山岩喷发等。

(3) 玉龙矿带斑岩铜矿形成于 40 ~ 35 Ma, 冈底斯矿带斑岩铜矿形成于 18 ~ 13 Ma, 这两个矿带的成矿作用分别与冈底斯运动和喜马拉雅运动有关。

(4) 从强矿化斑岩到中等矿化斑岩再到无矿斑岩, 放射性强度逐渐增强, 说明斑岩成矿作用随着陆壳物质混染程度的增强而减弱了。

References

- Coleman M and Hodges K. 1995. Evidence for Tibetan plateau uplift before 14 Ma ago from a new minimum age for east-west extension [J]. *Nature*, 374: 49 ~ 52.
- Cui Z Z, Yin Z X, Gao E Y, et al. 1992. Velocity structure and deep-seated structure of Qinghai-Xizang (Tibet) plateau [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 112 (in Chinese with English abstract).
- Cui J W, Zhu H, Wu C D, et al. 1992. Deformation and dynamics of the lithosphere in Qinghai-Xizang (Tibet) plateau [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 165 (in Chinese with English abstract).
- Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. 1992. Raising Tibet [J]. *Science*, 255: 1663 ~ 1670.
- Harrison T M, Copeland P and Kidd W S F. 1995. Activation of the wuyangtanghla shear zone: implication for uplift of the southern plateau [J]. *Tectonics*, 14: 656 ~ 676.
- Hou Z Q, Mo X T, Gao Y F, et al. 2003. Adakite, a possible host rock for porphyry copper deposits: case studies of porphyry copper belts in Tibetan plateau and in Northern Chile [J]. *Mineral Deposits*, 23(1): 1 ~ 12 (in Chinese with English abstract).
- Klootwijk C T, Conaghan P J and Powell C M. 1985. The Himalayan arc: large-scale continental subduction oroclinal bending and back-arc spreading [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 75: 167 ~ 183.
- Liang H Y. 2002. New advances in the research on diagenetic mineralization of porphyry copper deposits in east-south margin of the Qinghai-Xizang plateau [J]. *Mineral Deposits*, 21(4): 365 (in Chinese).
- Li T D. 1995. The uplifting process and mechanism of the Qinghai-Tibet plateau [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 34(1): 1 ~ 9 (in Chinese with English abstract).
- Liu Z G, Xu X, Pan G T, et al. 1990. Tectonics, geological evolution and genetic mechanism of Qinghai-Xizang plateau [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 174 (in Chinese with English abstract).
- Miller K G, Faribanks K G and Mountain G S. 1987. Tertiary oxygen isotope synthesis, sea level history and Continental margin erosion

- [J]. *Paleocanog*, 2(1): 1~19.
- Molnar P, England P and Martinod J. 1993. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan plateau and the Indian monsoon develop[J]. *Rev. Geophys.*, 34:357~396.
- Pan B T, Fan X M, Li J J, et al. 1998. Uplift and environmental changes of the Qinghai-Xizang(Tibetan) plateau during the late Cenozoic period[A]. In: Shi Y F, Li J J and Li B Y eds. *Uplift and environmental changes of Qinghai-Xizang(Tibetan) plateau in the late Cenozoic* [C]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. 1~463(in Chinese).
- Patriat P and Achche J. 1984. India-Eurasia collision chronology has implications for crustal shorting and driving mechanism of plate[J]. *Nature*, 311: 615~621.
- Prell W L and Kutzbach J E. 1992. Sensitivity of the Indian Monsoon to forcing parameters and implications for its evolution[J]. *Nature*, 360: 647~652.
- Quade J, Corling T E and Bownan J R. 1989. Development of Asian Monsoon revealed by marked ecological shift during the latest Miocene in Northern Pakistan[J]. *Nature*, 342:163~166.
- Qu X M, Hou Z Q and Huang W. 2001. Is Gangdese porphyry copper belt the second "Yulong" copper belt[J]? *Mineral Deposits*, 20(4): 355~366(in Chinese with English abstract).
- Rea D K. 1992. Delivery of Himalayan sediment to the Northern Indian Ocean and its relation to global climate, sea level, uplift and seawater strontium[J]. *Geophys. Monogr.*, 70:389~402.
- Rui Z Y, Huang C K, Qi G M, et al. 1984. Porphyry copper(molybdenum) deposits of China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~350(in Chinese).
- Rui Z Y, Li G M, Wang L S, et al. 2002. Porphyry copper deposits in Tibet[J]. *Tibet Geology*, 21(2):3~12(in Chinese with English abstract).
- Searle M. 1995. The rise and fall of Tibet[J]. *Nature*, 374:17~18.
- Turner S, Hawkesworth C, Liu J, et al. 1993. Timing of Tibetan uplift constrained by analysis of volcanic rocks[J]. *Nature*, 364:50~54.
- Yin A, Harrison T M, Ryerson F J, et al. 1994. Tertiary structural evolution of the Gangdes thrust system, southeastern Tibet[J]. *J. Geophys. Res.*, 99(18): 175~201.
- Zhou X, Cao Y G, Zhu M Y, et al. 1984. Plate tectonic-lithofacies map of Xizang(Tibet), China(1:1500000)[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~158(in Chinese).

附中文参考文献

- 崔作舟, 尹周勋, 高恩元, 等. 1992. 青藏高原速度结构和深部构造[M]. 北京: 地质出版社. 1~112.
- 崔军文, 朱红, 武长得, 等. 1992. 青藏高原岩石圈变形及其动力学[M]. 北京: 地质出版社. 1~165.
- 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 等. 2003. 埃达克岩: 斑岩铜矿一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜为例[J]. *矿床地质*, 22(1): 1~12.
- 梁华英. 2002. 青藏高原东南缘斑岩铜矿成岩成矿研究取得新进展[J]. *矿床地质*, 21(4): 365.
- 李廷栋. 1995. 青藏高原隆升的过程和机制[J]. *地球学报*, 34(1): 1~9.
- 刘增乾, 徐宪, 潘桂棠, 等. 1990. 青藏高原大地构造与形成演化[M]. 北京: 地质出版社. 1~174.
- 潘保田, 方小敏, 李吉均, 等. 1998. 晚新生代青藏高原隆升与环境变化[A]. 施雅风, 李吉均, 李炳元主编, 青藏高原晚新生代隆升与环境变化[C]. 广州: 广东科技出版社. 1~463.
- 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿(化)带: 西藏第二系玉龙铜矿带[J]? *矿床地质*, 20(4): 355~366.
- 芮宗瑶, 黄崇钊, 齐国明, 等. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京: 地质出版社. 1~350.
- 芮宗瑶, 李光明, 王龙生, 等. 2002. 西藏斑岩铜矿[J]. *西藏地质*, 21(1): 3~12.
- 周详, 曹佑功, 朱明玉, 等. 1984. 西藏板块-建造图(1:1500000)[M]. 北京: 地质出版社. 1~158.

Metallogenetic Epoch of Gangdese Porphyry Copper Belt and Uplift of Qinghai-Tibet Plateau

Rui Zongyao¹, Hou Zengqian¹, Qu Xiaoming¹, Zhang Lisheng², Wang Longsheng¹ and Liu Yulin³

(1. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2. Chendu Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Chengdu 610082, Sichuan, China; 3. Department of Geology, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract

Zircon samples from the Qulong quartz monzogranite porphyry in the Gangdese porphyry copper belt, from the Chongjiang monzogranite porphyry and from the Chongjiang diorite porphyrite give SHRIMP U-Pb ages of (17.58 ± 0.74) Ma, (15.60 ± 0.52) Ma and (14.54 ± 0.65) Ma, respectively. K-Ar ages for K-feldspathic alteration of the mineralized porphyry in the Qulong porphyry copper deposit and in the Chongjiang porphyry de-

posit are (16.43 ± 0.31) Ma and (15.77 ± 0.45) Ma, respectively, while Re-Os ages for molybdenite from ores of these two deposits are (15.99 ± 0.32) Ma and (14.85 ± 0.69) Ma, respectively. Thus the metallogenic ages for the Qulong and the Chongjiang porphyry copper deposits are constrained between (17.58 ± 0.74) Ma and (14.85 ± 0.69) Ma. From strongly mineralized Qulong quartz monzogranite porphyry through intermediately mineralized Chongjiang monzogranite porphyry to barren Chongjiang diorite porphyrite, the SHRIMP U-Pb ages of zircon become younger and younger, and the radiating ^{206}Pb , U and Th contents grow higher and higher. This suggests that the intensity of mineralization decreases with the mixture of crust material. Variations in $\delta^{18}\text{O}$ values of foraminifera at the bottom of the Atlantic Ocean and in sedimentation rate on submarine sedimentary fans in the north Indian Ocean indicate that mineralizations in the Yulong and the Gangdese porphyry copper belts were related respectively to the Gangdise and the Himalayan movements. The SHRIMP U-Pb ages of zircon from host rocks in the Yulong porphyry copper belt vary from (40.9 ± 0.1) Ma to (35.0 ± 0.52) Ma, while the SHRIMP U-Pb ages of zircon from host rocks in the Gangdese porphyry copper belts range between (17.58 ± 0.74) Ma and (15.60 ± 0.52) Ma.

Key words: geochemistry, SHRIMP U-Pb age, K-Ar age of K-feldspar, Re-Os age of molybdenite, uplift of the Qinghai-Tibet Plateau

(上接第 263 页)(Continued from p. 263)

deposit is a by-product of Zhongchuan granite which provided heat source and main partial water source for Au mineralization, that the solution was in return heated by deep granite and circulated in Devonian sediments to form ore-forming solution. In structure, F_1 acted as a passage conduit through which ore-forming solution entered such ore-hosting structures as F_3 and F_{12} for the deposition of Au.

Key words: geochemistry, Qinling orogenic belt, Liba large-size gold deposit, geochronology, stable isotope