

文章编号: 0258-7106(2009)06-0785-8

藏西班公湖斑岩铜矿带成矿斑岩地球化学及 Pb、Sr、Nd 同位素特征*

辛洪波¹, 曲晓明¹, 王瑞江¹, 刘鸿飞², 赵元艺¹, 黄 玮²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 西藏自治区地质调查院, 西藏 拉萨 850000)

摘 要 对班公湖铜矿带 2 个具有代表性的斑岩铜矿床——多不杂铜矿床和尕尔穷铜矿床进行了详细的岩石地球化学和 Pb、Sr、Nd 同位素特征研究表明, 与冈底斯铜矿带相比, 该铜矿带含矿斑岩大离子不相容元素的富集程度相对减弱, 而高场强元素和重稀土元素的亏损程度明显减轻, 轻、重稀土元素的分馏程度减弱, 且具有 Eu 的弱正异常, 岩石在氧化性上更强一些; 从 Pb、Sr、Nd 同位素特征来看, 班公湖铜矿带含矿斑岩更富含放射性成因铅, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值明显降低, 其源区更接近印度洋沉积物区域, 表明该铜矿带含矿斑岩的岩浆源区更浅, 有更多的地壳物质加入, 班公湖铜矿带含矿斑岩形成的构造环境属于活动大陆边缘区域, 而冈底斯铜矿带明显偏离了活动大陆边缘区域, 表明班公湖斑岩铜矿带形成于碰撞后地壳隆升阶段, 而冈底斯铜矿带则形成于碰撞后地壳伸展阶段。

关键词 地球化学 构造环境 Pb、Sr、Nd 同位素 班公湖铜矿带

中图分类号: P618.41

文献标志码: A

Geochemistry and Pb, Sr, Nd isotopic features of ore-bearing porphyries in Bangong Lake porphyry copper belt, western Tibet

XIN HongBo¹, QU XiaoMing¹, WANG RuiJiang¹, LIU HongFei², ZHAO YuanYi¹ and HUANG Wei²

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Tibet Institute of Geological Survey, Lhasa 850000, Tibet, China)

Abstract

Detailed geochemical and Pb, Sr, Nd isotopic researches on the Duobuza copper deposit and the Garqiong copper deposit were conducted in the Bangong Lake copper belt. The result shows that, compared with the porphyries of the Gandese copper belt, the ore-bearing porphyries of the Bangong Lake copper belt are weaker in the enrichment of large ion lithophile elements (LILE) and are also weaker in the depletion of high-field strength elements and high rare elements, thus having weak positive Eu anomaly. Viewed from Pb, Sr, Nd isotopic features, the ore-bearing porphyries are characterized by the enrichment of radiogenic Pb, the obviously low ratios of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, and the source nearer to the Indian Ocean sedimentary area, indicating that the magma source of the ore-bearing porphyries is much shallower, with the mixture of more crustal materials. The forming tectonic environment of the ore-bearing porphyries in the Bangong Lake copper belt belonged to the active continental ridge, whereas that in the Gandese copper belt was far away from the active continental ridge. The Bangong Lake porphyry copper belt was formed in a post-collisional crustal up-lift stage, whereas the Gandise porphyry

* 本文得到“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB0105A05)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(K2007-1-11)和中国地质调查局地质调查工作项目(1212010818097)的联合资助

第一作者简介 辛洪波,男,1977年生,博士,副研究员,主要从事金属矿床地质方面的研究。Email: xhbwyg@sina.com

收稿日期 2009-07-02; 改回日期 2009-08-10。李德先编辑。

copper belt in a stage of post-collisional crustal extensional collapse when the crust rose to the maximum height.

Key words: geochemistry, tectonic environment, Pb, Sr, Nd isotopic features, Bangong Lake copper belt

近年来,在西部大开发工作的推动下,西藏地质找矿工作取得了令人鼓舞的成绩,继在藏东及藏南相继发现玉龙斑岩铜矿带和冈底斯铜矿带之后,在西藏西部的班公湖一带又发现了几个大型的斑岩铜矿床及一系列的矿点和矿化点(李光明等,2006),大有东西成带的趋势(被称之为班公湖斑岩铜矿带)。与玉龙铜矿带和冈底斯铜矿带相比,班公湖斑岩铜矿带的交通、气候等环境更加恶劣,地质条件更为复杂,野外工作条件较差,因此研究工作相对滞后,有许多地质问题亟待解决。本文拟从多不杂及尕尔穷2个斑岩铜矿床的含矿斑岩入手,运用岩石地球化学及Pb、Sr、Nd同位素等手段,探讨该成矿带斑岩铜矿床的成矿构造环境及成矿潜力,以期今后的地质找矿工作提供一定的帮助。

1 区域地质背景

班公湖斑岩铜矿带位于班公湖-怒江缝合带西段的班公湖一带(图1)。初步勘探表明,多不杂矿区

铜资源量达200多万吨,伴生金,是一处大型斑岩型铜金矿床(曲晓明等,2006);尕尔穷矿区主要由斑岩与围岩接触带上的矽卡岩型铜矿体组成,为斑岩-矽卡岩型矿床,铜储量已接近中型。多不杂矿床位于班公湖-怒江缝合带北侧(余宏全等,2009),尕尔穷矿床位于该缝合带南侧。

班公湖-怒江缝合带横贯青藏高原,东西延伸约2000 km,南北两侧分别为拉萨地块和羌塘地块。班公湖-怒江缝合带主要由规模巨大的蛇绿岩套及混杂岩带构成,南北宽度变化较大,一般为几十公里,在狮泉河和安多两地南北宽达200余公里,因此有人提出该缝合带是由多条洋内俯冲带复合而成的观点(Srimal,1986;Matte et al.,1996)。蛇绿岩套构造侵位于缝合带中,呈近东西向带状断续展布。

断裂构造主要表现为一系列近东西走向的北倾逆断层,构造体系属壳-幔型聚敛体系中的班公湖-怒江缝合聚敛系,其展布范围涉及冈底斯地块北缘,主要逆冲断层显示由北向南的逆冲性质。沿缝合带有

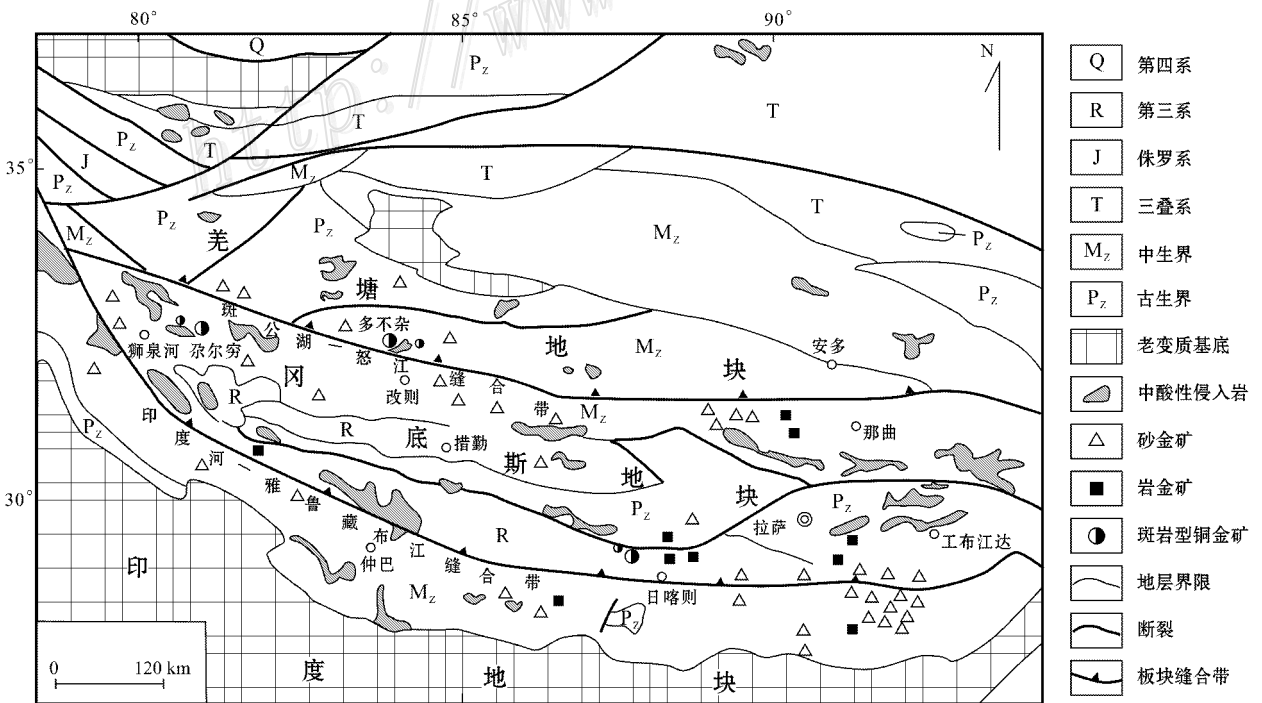


图1 藏西地区构造格架图(据西藏地质矿产局,2000修改)

Fig. 1 Tectonic framework map of western Tibet(modified after Tibet Bureau of Geology and Mineral Resources,2000)

大量的燕山晚期 I 型或 S 型花岗岩岩基或岩株分布 构成中酸性侵入岩带。在这些中酸性岩体中 部分属花岗岩岩体 其中有的为含铜斑岩体 形成斑岩型铜矿。

2 含矿斑岩特征

多不杂矿区含矿斑岩全岩矿化,岩体具斑状结构 块状构造。斑晶有斜长石、钾长石、石英、黑云母 大小在 0.5~4 mm 之间,含量约占岩石体积的 35%~40% 基质有石英、斜长石、黑云母,副矿物为磷灰石、锆石、金红石、磁铁矿、黄铁矿等,呈显微半自形粒状结构,粒径一般在 0.05~0.2 mm 之间。岩石蚀变比较强烈,包括粘土化、绢英岩化、绿泥石化及碳酸盐化等。粘土化主要在斜长石和钾长石表面交代分布 绢云母化除了交代斜长石外,亦可与硅化石英一起充填裂隙 绿泥石化则主要交代黑云母,同时有较多的 Ti 析出,生成柱粒状金红石。矿物组成主要为石英(20%~25%)、斜长石(50%~55%)、钾长石(10%~15%) 岩性为花岗闪长斑岩。

尕尔穷矿区含矿岩体呈深灰色,斑状结构,块状构造 斑晶中缺少石英和钾长石,而由斜长石、角闪石和黑云母组成,含量约占岩石体积的 30% 基质结晶程度差,呈隐晶质或显微半自形粒状结构,组成矿物包括斜长石、石英、角闪石、黑云母,副矿物为锆石、磷灰石、褐帘石、磁铁矿等。岩石蚀变强烈,包括黑云母化、阳起石化、硅化、钠长石化及碳酸盐化。斜长石呈板状,表面较清洁,聚片双晶发育,常见环带构造;角闪石基本被细片状钾化黑云母和阳起石集合体交代,只保留其外形,同时有较多的次生磁铁矿生成。钠长石化呈糖粒状集合体局部交代角闪石和斜长石斑晶。从含量上看,岩石以斜长石为主

(60%~65%),其次有石英(10%~15%)、角闪石(5%~10%)、黑云母(5%~10%)及隐晶质(5%~10%) 岩性为石英闪长玢岩。

3 岩石地球化学特征

多不杂矿区和尕尔穷矿区的含矿斑岩都经历了比较强的蚀变作用 笔者结合显微镜下岩相学特征,尽量选取蚀变较轻的样品,从中选取了 6 件样品(多不杂矿区 3 件,样品号为 Zk1-06、Zk2-11、Zk2-13;尕尔穷矿区 3 件,样品号为 GR-08、GR-11、GR-12)进行岩石的常量元素、微量元素和稀土元素含量分析(分析结果见表 1 和表 2)。样品分析在北京核工业地质分析研究中心完成。常量元素用 PHILLIPS PW-2404 型 X-荧光光谱仪分析完成,精度好于 1%;微量元素和稀土元素用 ICP-MS 法测定,仪器型号为 ELEMENT-2 质谱仪,分析精度好于 2%,分析流程见相关文献(Qu et al., 2004)。

3.1 常量元素

从 2 个矿区的分析结果来看(表 1)班公湖斑岩铜矿带的含矿斑岩 SiO₂ 含量主要为 63.57%~66.29%,平均为 65.03%;Al₂O₃ 含量为 13.01%~16.56%,平均为 15.44%;2 个矿区的 K₂O 和 Na₂O 含量差异比较明显:多不杂矿区的 K₂O 含量在 4.82%~5.78%之间,平均为 5.35%;Na₂O 的含量在 1.48%~1.92%之间,平均为 1.75%;尕尔穷矿区的 K₂O 含量在 3.42%~3.63%之间,平均为 3.55%;Na₂O 的含量在 3.64%~4.21%之间,平均为 3.93% 2 个矿区的 CaO 含量也存在差异:多不杂矿区 CaO 含量集中在 1.62%~2.83%之间,而尕尔穷矿区 CaO 含量集中在 3.17%~3.84%之间。多不杂矿区比尕尔穷矿区明显富 K 而贫 Na、Ca,在

表 1 班公湖斑岩铜矿带含矿斑岩常量元素分析结果(w_B/%)

Table 1 Major element content of ore-bearing porphyries in the Bangong Lake porphyry copper belt(w_B/%)

矿区及样品号	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	烧失量	总量
多不杂矿区													
Zk1-06	13.01	66.29	1.62	4.82	0.33	2.46	3.83	1.77	1.84	0.05	0.11	3.04	99.16
Zk2-11	15.37	66.10	2.20	5.78	0.31	0.42	1.92	1.46	1.92	0.12	0.11	3.56	99.26
Zk2-13	16.14	63.57	2.83	5.44	0.34	0.53	1.93	1.60	1.48	0.23	0.12	5.00	99.21
尕尔穷矿区													
GR-08	15.86	65.25	3.73	3.59	0.57	3.70	1.16	1.14	3.63	0.06	0.25	0.88	99.82
GR-11	15.68	64.10	3.17	3.42	0.64	4.57	1.41	1.78	4.21	0.06	0.28	0.28	99.60
GR-12	16.56	64.85	3.84	3.63	0.56	3.23	0.89	0.92	3.94	0.04	0.27	1.16	99.88

表 2 班公湖斑岩铜矿带含矿斑岩微量元素分析结果($w_B/10^{-6}$)Table 2 Trace element content of ore-bearing porphyries in the Bangong Lake porphyry copper belt($w_B/10^{-6}$)

矿区及样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
多不杂矿区												
Zk1-06	5.12	9.12	1.12	4.68	0.98	0.34	1.05	0.15	0.97	0.20	0.64	0.10
Zk2-11	13.20	21.30	2.40	9.06	1.74	0.69	1.79	0.24	1.49	0.30	0.88	0.15
Zk2-13	14.80	23.10	2.61	9.78	1.77	0.65	1.89	0.26	1.58	0.34	0.98	0.18
尕尔穷矿区												
GR-08	29.5	51.8	5.98	21.2	3.67	1.25	3.33	0.55	2.62	0.61	1.32	0.26
GR-11	34.0	62.2	7.59	27.2	4.82	1.52	3.88	0.59	2.76	0.60	1.28	0.22
GR-12	35.7	62.9	7.42	26.2	4.95	1.67	4.19	0.69	3.24	0.74	1.68	0.29
矿区及样品号	Yb	Lu	Y	Be	Sc	Ti	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn
多不杂矿区												
Zk1-06	0.54	0.09	5.81	0.96	6.94	1729	78.4	3.54	5.93	8.89	2737	42.5
Zk2-11	0.95	0.17	8.38	0.91	7.03	1803	51.3	2.34	4.98	7.82	1262	39.4
Zk2-13	0.99	0.18	9.25	0.88	8.05	1908	65.1	3.52	4.45	9.86	1879	43.1
尕尔穷矿区												
GR-08	1.62	0.24	13.9	2.04	9.05	3575	84.4	18.7	8.91	4.02	9.17	45.6
GR-11	1.42	0.20	12.3	1.86	9.23	3822	92.8	19.5	9.32	3.30	8.39	51.4
GR-12	1.79	0.27	17.5	1.99	9.56	3566	103.0	21.3	5.14	3.33	10.50	92.0
矿区及样品号	Ga	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Ba	Hf	Ta	Pb	Th	U
多不杂矿区												
Zk1-06	13.8	123	209	32.4	7.80	1.06	432	0.75	0.47	13.9	4.90	0.39
Zk2-11	12.3	152	315	51.9	8.36	2.16	787	1.40	0.67	18.5	7.52	1.21
Zk2-13	13.2	165	231	44.3	8.29	16.90	685	1.08	0.61	18.8	7.52	1.21
尕尔穷矿区												
GR-08	17.5	92.9	548	129	9.89	0.30	605	3.68	0.83	13.8	10.6	2.09
GR-11	16.7	64.5	499	129	9.46	0.18	614	3.95	0.82	16.8	10.4	1.68
GR-12	18.0	78.0	549	133	10.30	0.61	668	3.69	0.86	21.9	10.7	2.00

SiO₂-K₂O 图解(图 2a)上,多不杂矿区的含矿斑岩位于钾玄岩区,尕尔穷矿区的含矿斑岩则位于高钾钙碱性岩区。与冈底斯斑岩铜矿带的含矿斑岩相比, SiO₂ 含量相对偏低。在 R₁-R₂ 图解上(图 2b),班公湖多不杂矿区主要位于同碰撞阶段,尕尔穷矿区则位于碰撞后地壳隆升阶段,而冈底斯铜矿带主要位于晚造山阶段(曲晓明等, 2001)。

3.2 微量元素

从班公湖斑岩铜矿带含矿斑岩的微量元素蛛网图(图 3)可以看出,含矿斑岩明显富集 Rb、K、Pb、Sr 等大离子不相容元素,亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素。与冈底斯铜矿带含矿斑岩的分布型式基本一致,都体现了岛弧岩浆作用的特点。不同之处在于,相对于冈底斯铜矿带含矿斑岩,班公湖铜矿带含矿斑岩大离子不相容元素的富集程度相对减弱,而高场强元素的亏损程度明显减轻,说明两者在岩浆源区上存在差异,班公湖含矿斑岩的岩浆源区可能更浅一些。

3.3 稀土元素

从班公湖斑岩铜矿带含矿斑岩的稀土元素配分曲线(图 4)可以看出,与冈底斯铜矿带相比,该成矿带含矿斑岩的轻重稀土元素分馏程度明显减轻,重稀土元素部分趋于平缓。此外,冈底斯斑岩铜矿带的含矿斑岩一般具有弱的 Eu 负异常或无异常,而从多不杂矿区和尕尔穷矿区来看,该铜矿带的含矿斑岩具有弱的 Eu 正异常,说明两者在岩浆形成的氧化还原条件上存在差异,班公湖斑岩铜矿带的氧化性更强一些。

4 Pb、Sr、Nd 同位素特征

对上述 6 件斑岩样品同时进行了 Pb、Sr、Nd 同位素分析。

Pb 同位素分析在核工业地质研究院分析测试研究中心完成,所用仪器为 MAT-261 型质谱仪。样品用三酸(HF + H₂SO₄ + HCl)分解后再用离子交换

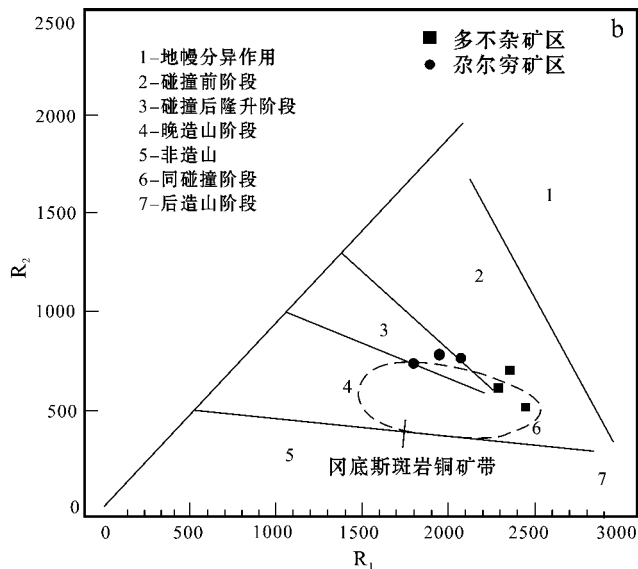
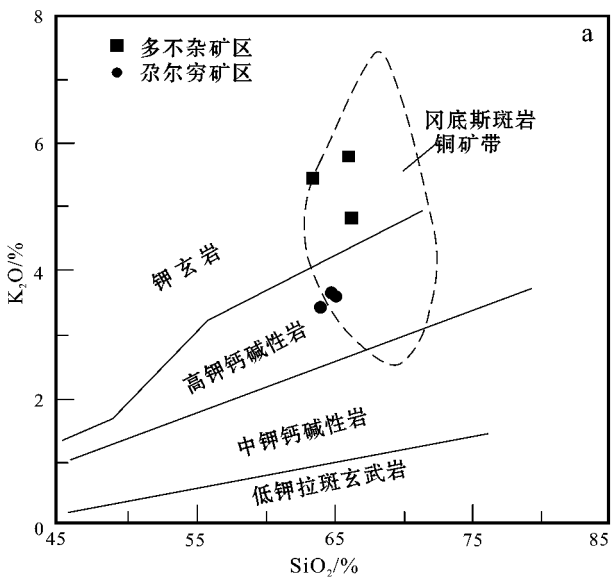


图 2 含矿斑岩 SiO₂-K₂O 图解 (a) 和 R₁-R₂ 图解 (b)

Fig. 2 SiO₂-K₂O diagram (a) and R₁-R₂ diagram (b) of ore-bearing porphyries

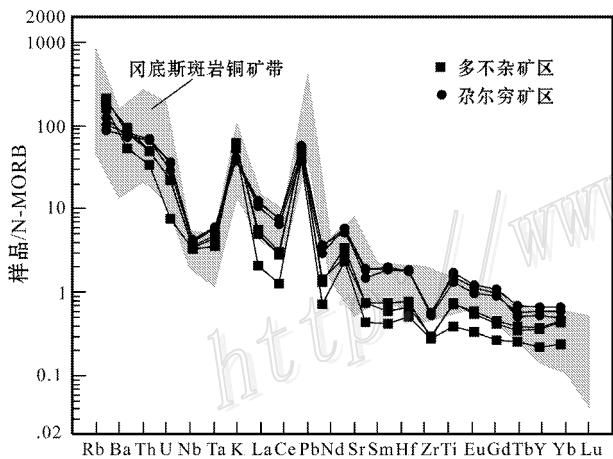


图 3 含矿斑岩的微量元素蛛网图

Fig. 3 Trace element spidergram of the ore-bearing porphyries

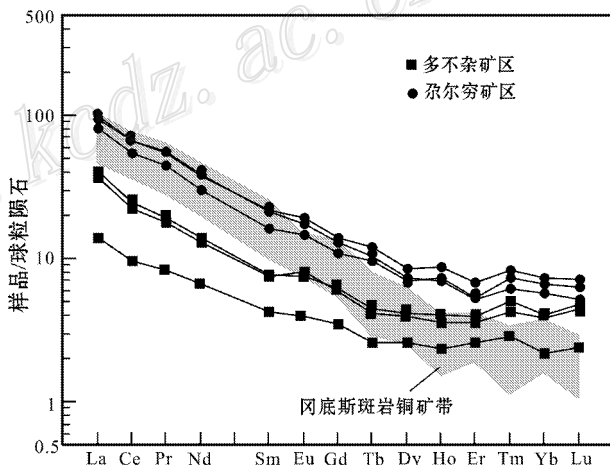


图 4 含矿斑岩稀土元素球粒陨石标准化图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of the ore-bearing porphyries

树脂分离出铅, 蒸干后进行同位素测定, 分析精度为: 对 1 μg 铅含量 $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} < 0.05\%$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} < 0.005\%$ 。对国际标样 NBS981 的测试结果, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 为 2.162189, 误差为 0.0027%; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 为 0.913626, 误差为 0.0059%; $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 为 0.059201, 误差为 0.0015%。

Nd 和 Sr 同位素分析在中国地质科学院地质研究所同位素实验室完成, 所用仪器为 MAT-261 固体同位素质谱仪。样品(200 目粉末)先用 HF + HNO₃ 完全融解, 蒸干后再用 HCl 融解。样品中的 Nd、Sr

采用常规的离子交换技术分离。Nd 同位素测定用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ 进行质量分馏校正, 标样 J.M.Nd₂O₃ 测定结果, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 为 0.511125 ± 8 (2σ), 标样 GBW04419 测定结果, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 为 0.512725 ± 10 (2σ)。Sm、Nd 流程空白为 5×10^{-11} g。Sr 同位素测定用 $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8.37521$ 进行质量分馏校正, 标样 NBS987 SrCO₃ 测定结果, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为 0.71025 (2σ), Rb、Sr 流程空白为 $10^{-9} \sim 10^{-11}$ g。

2 个矿区的 Pb、Sr、Nd 同位素分析结果见表 3。

表3 班公湖斑岩铜矿带含矿斑岩 Pb、Sr、Nd 同位素组成

Table 3 Pb, Sr, Nd isotope composition of ore-bearing porphyries in the Bangong Lake porphyry copper belt

矿区及样品号	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	
多不杂矿区						
Zk1-06	18.514 ± 0.009	15.534 ± 0.007	38.554 ± 0.018	1.7030	0.709466	
Zk2-11	18.611 ± 0.008	15.585 ± 0.007	38.689 ± 0.018	1.3963	0.708952	
Zk2-13	18.631 ± 0.012	15.601 ± 0.010	38.770 ± 0.025	2.0672	0.710382	
尕尔穷矿区						
GR-08	18.652 ± 0.006	15.627 ± 0.005	38.958 ± 0.013	0.4904	0.705256	
GR-11	18.537 ± 0.011	15.537 ± 0.009	38.692 ± 0.023	0.3739	0.705218	
GR-12	18.902 ± 0.044	15.858 ± 0.037	39.485 ± 0.092	0.4110	0.70528	
矿区及样品号	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	t/Ma	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	I_{sr}	$(\text{Nd})_{\text{DM}}$
多不杂矿区						
Zk1-06	0.127	0.512445	127	-2.65	0.70639	1073
Zk2-11	0.116	0.512465	127	-2.09	0.70643	933
Zk2-13	0.110	0.512442	127	-2.44	0.70665	915
尕尔穷矿区						
GR-08	0.105	0.512628	112	1.10	0.70448	634
GR-11	0.107	0.512616	112	0.83	0.70462	661
GR-12	0.114	0.512688	112	2.14	0.70463	602

注 2 个矿区含矿斑岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值按球粒陨石库 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512638$ 和 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1967$ 计算, t 分别取 127 Ma 和 112 Ma (曲晓明, 2006); $(\text{Nd})_{\text{DM}}$ 按亏损地幔 ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.513114$ 和 ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.2220$ 计算。

4.1 Pb 同位素

班公湖斑岩铜矿带含矿斑岩的 Pb 同位素组成变化不大, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值分别为 18.514~18.902, 15.534~15.858, 38.485~38.958 (表 3)。在 Zartman 等 (1981) 的 Pb 构造模式图上, 其铅同位素组成位于下地壳铅和造山带铅之间, 其演化趋势与冈底斯铜矿带的含矿斑岩完全

一致, 只是略向右上方平移 (图 5), 说明该铜矿带含矿斑岩的 Pb 物质来源与冈底斯铜矿带含矿斑岩一样, 都是地幔铅与下地壳铅混合的结果, 前者比后者更富含放射性成因铅。

4.2 Sr、Nd 同位素

班公湖斑岩铜矿带 2 个矿区含矿斑岩的 Sr、Nd 同位素组成具有较大的差异, 多不杂矿区的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

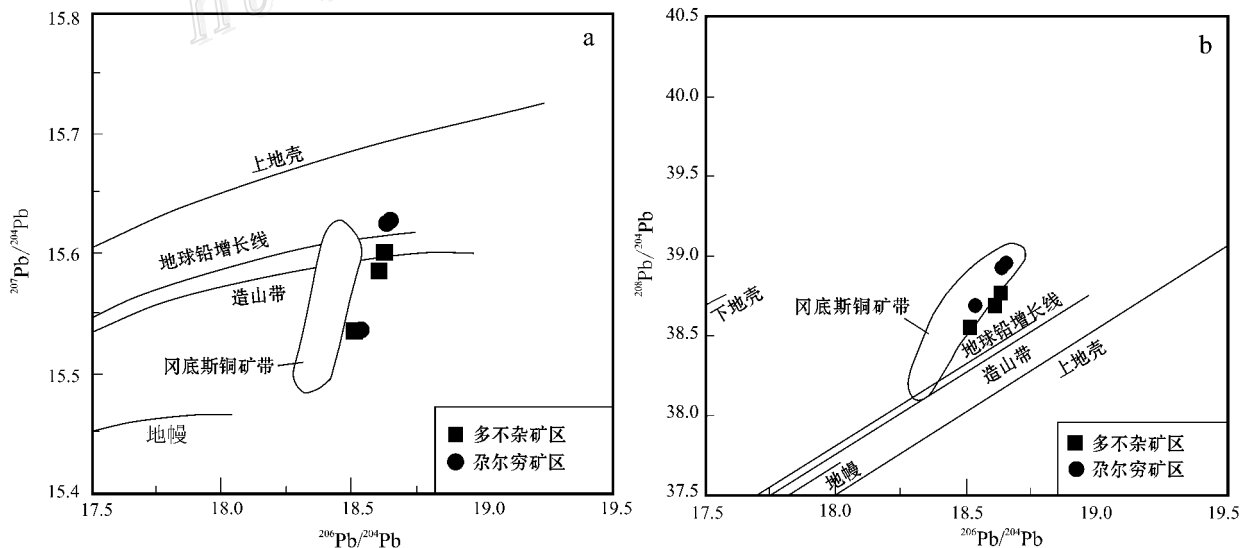
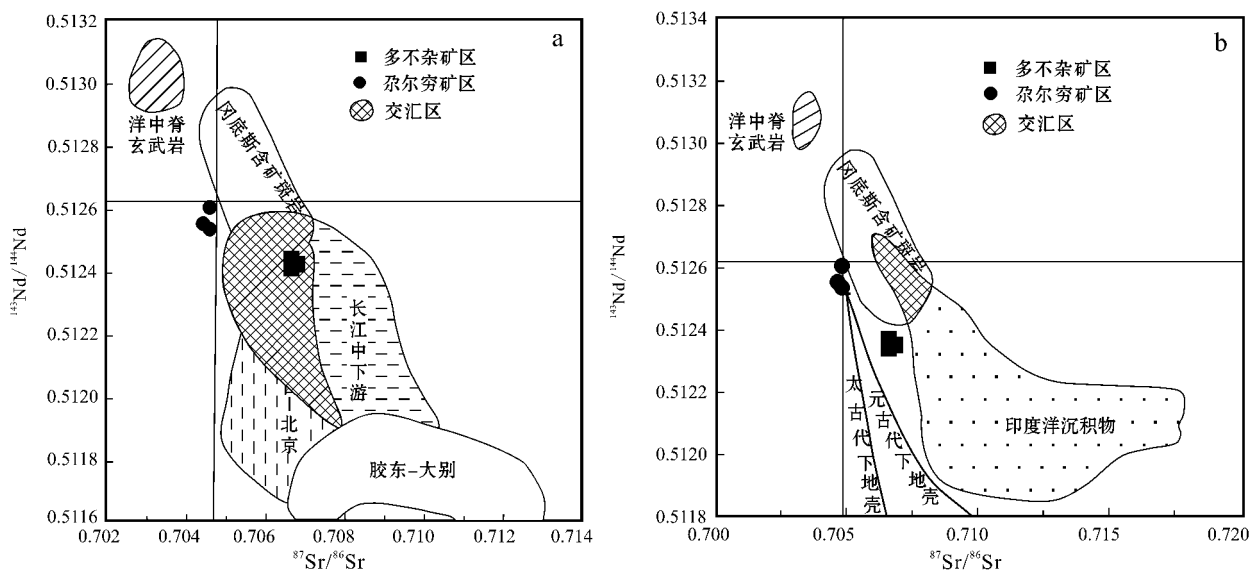


图5 班公湖斑岩铜矿带含矿斑岩 Pb 同位素构造模式图

Fig. 5 Plumbotectonic framework diagrams of ore-bearing porphyries in the Bangong Lake porphyry copper belt

图 6 班公湖斑岩铜矿带含矿斑岩 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 图解Fig. 6 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diagrams of ore-bearing porphyries in the Bangong Lake porphyry copper belt

比值为 0.708952~0.710382, 平均为 0.7096, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值为 0.512442~0.512465, 平均为 0.512451, I_{Sr} 比值为 0.70639~0.70665, 平均为 0.70649; 尕尔穷矿区的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 0.705218~0.705280, 平均为 0.705251, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值为 0.5126162~0.512688, 平均为 0.512644, I_{Sr} 比值为 0.70448~0.70463, 平均为 0.704575。多不杂矿区与尕尔穷矿区相比, 前者明显富 Sr 而贫 Nd, 两者在 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 图上(图 6), 形成明显的负相关关系, 其趋势与冈底斯斑岩铜矿带基本一致, 略向左下偏移, 更接近于印度洋沉积物区域, 数值点均落于 MORB 和印度洋沉积物之间。

5 成矿构造环境

众所周知, 西藏地区存在 2 条东西向展布的大型缝合带——雅鲁藏布江缝合带和班公湖-怒江缝合带, 围绕这 2 条缝合带产出 2 条斑岩铜矿带——冈底斯斑岩铜矿带和班公湖斑岩铜矿带。据前人研究资料, 冈底斯斑岩铜矿带形成于雅鲁藏布江洋盆闭合之后约 40 Ma, 是在造山带的碰撞后地壳伸展环境中形成的(曲晓明等, 2001; 2003)。而班公湖斑岩铜矿带的成矿环境与冈底斯铜矿带存在较大的差异, 从含矿斑岩的地球化学特征来看, 班公湖斑岩铜矿带的含矿斑岩趋向于形成在碰撞后地壳隆升阶

段(图 2b), 该铜矿带含矿斑岩大离子不相容元素的富集程度相对减弱, 而高场强元素和重稀土元素的亏损程度明显减轻, 轻、重稀土元素的分馏程度减弱, 且具有 Eu 的弱正异常, 岩石形成环境更偏氧化性一些, 这些都表明班公湖铜矿带含矿斑岩的岩浆源区较之冈底斯铜矿带要更浅一些, 有更多地壳物质的加入; 从 Pb、Sr、Nd 同位素特征来看, 班公湖铜矿带含矿斑岩更富含放射性成因铅(图 5), $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 含量明显降低, 其源区更接近印度洋沉积物区域(图 6), 这进一步佐证了该铜矿带含矿斑岩的岩浆源区更浅, 有更多的地壳物质的加入。在 Y+Nb-Rb 图解上(图 7a), 该铜矿带含矿斑岩均落入火山弧花岗岩区域, 而在反映造山带源区的 Ta/Yb-Th/Yb 图解上(图 7b), 班公湖铜矿带含矿斑岩均落入活动大陆边缘区域, 而冈底斯铜矿带明显偏离了活动大陆边缘区域, 表明班公湖斑岩铜矿带形成于碰撞后地壳隆升阶段, 而冈底斯铜矿带则形成于碰撞后地壳伸展阶段。

6 结论

(1) 与冈底斯斑岩铜矿带的含矿斑岩相比, 班公湖斑岩铜矿带含矿斑岩大离子不相容元素的富集程度减弱, 而高场强元素和重稀土元素的亏损程度明显减轻, 轻、重稀土元素的分馏程度减弱, 且具有

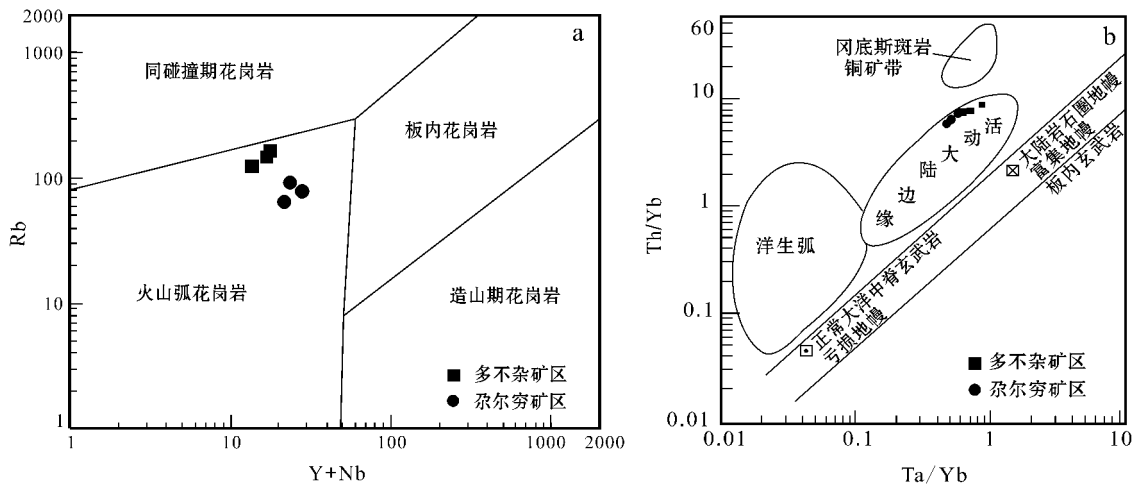


图7 班公湖铜矿带含矿斑岩 Y + Nb-Rb 图解 (a) 和 Ta/Yb-Th/Yb 图解 (b)

Fig. 7 Y + Nb-Rb diagram (a) and Ta/Yb-Th/Yb diagram (b) of ore-bearing porphyries in the Bangong Lake copper belt

Eu 的弱正异常, 岩石形成环境更偏氧化性一些, 说明含矿岩浆形成深度较冈底斯铜矿带要浅。

(2) 班公湖铜矿带含矿斑岩更富含放射性成因铅, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 含量明显降低, 其源区更接近于印度洋沉积物区域, 进一步佐证了该铜矿带含矿斑岩的岩浆源区更浅, 有更多的地壳物质的加入。

(3) 班公湖铜矿带和冈底斯铜矿虽然都形成于缝合带闭合后的碰撞后阶段, 但后者形成于碰撞隆升后的地壳伸展塌陷阶段, 而前者形成于地壳隆升阶段。

References

- Li G M, Li J X, Qin K Z, Zhang T P and Xiao B. 2006. Preliminary study on alteration and mineralization features and high-oxidated ore-forming fluids at Duobuza super-large Au-rich porphyry Cu deposit, western Tibet [J]. *Mineral Deposits*, 25 (supp.), 411-414 (in Chinese with English abstract).
- Matte P P, Tapponnier P, Armand N, Bourjot L, Arauc J P, Vidal P, Liu Q, Pan Y S and Wang Y. 1996. Tectonics of western Tibet, between Tarim and the Indus [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 142: 311-330.
- Qu X M and Xin H B. 2006. Ages and tectonic environment of the Bangong Co porphyry copper belt in western Tibet, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 25 (7): 792-799 (in Chinese with English abstract).
- 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): 355-365 (in Chinese with English abstract).
- Qu X M, Hou Z Q and Li Y G. 2004. Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper

belt, southern Tibetan plateau [J]. *Lithos*, 74: 131-148.

- Qu X M, Hou Z Q and Li Z Q. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the ore-bearing porphyries of the Gangdese porphyry copper belt and their geological significances [J]. *Acta Geologica Sinica*, 77 (2): 245-252 (in Chinese with English abstract).
- She H Q, Li J W, Ma J F, Li G W, Zhang D Q, Feng C Y, Qu W J and Pan G T. 2009. Molybdenite Re-Os and SHRIMP zircon U-Pb dating of Duobuza porphyry copper deposit in Tibet and its geological implications [J]. *Mineral Deposits*, 28 (6): 737-746.
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Dumbotectonics: the model [J]. *Tectonophysics*, 75: 135-162.
- Srimal N. 1986. India-Asia collision: Implications from the geology of the eastern Karakoram [J]. *Geology*, 14: 523-527.
- Tibet Bureau of Geology and Mineral Resources. 2000. Regional geology of Tibet [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).

附中文参考文献

- 李光明, 李金祥, 秦克章, 张天平, 肖波. 2006. 西藏多不杂超大型富金斑岩铜矿的蚀变-矿化特征及高氧化成矿流体研究 [J]. *矿床地质* 25 (增刊): 411-414.
- 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯铜矿(化)带: 西藏的第二条“玉龙”铜矿带 [J]. *矿床地质* 20 (4): 355-365.
- 曲晓明, 侯增谦, 李振清. 2003. 冈底斯铜矿带含矿斑岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及地质意义 [J]. *地质学报*, 77 (2): 245-252.
- 曲晓明, 辛洪波. 2006. 西藏班公湖斑岩铜矿带的形成时代与成矿构造环境 [J]. *地质通报* 25 (7): 792-799.
- 余宏全, 李进文, 马东方, 李光明, 张德全, 丰成友, 屈文俊, 潘桂棠. 2009. 西藏多不杂斑岩铜矿床辉钼矿 Re-Os 和锆石 U-Pb SHRIMP 测年及地质意义 [J]. *矿床地质* 28 (6): 737-746.
- 西藏地质矿产局. 2000. 西藏自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社.