www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

扬子地台西缘富碱斑岩的岩石地球化学特征及找矿前景

张道红¹⁾,张学书¹⁾,杨 艳²⁾,严 健¹⁾,杨 平³⁾

1)云南省有色地质局,云南昆明 650051;
 2)云南省地质调查局,云南昆明 650051;
 3)云南省有色地质局地质研究所,云南昆明 650216

摘 要: 扬子地台西缘富碱斑岩带以往只有为数不多的中-小型斑岩铜钼矿和中-大型铅矿床, 近年发现了较 多的大、中、小型金(银)矿床, 预示该区有较好的找矿前景。本文系统收集和分析前人研究成果, 总结归纳 该区带富碱斑岩的岩石学、岩石化学、岩石蚀变、稀土元素配分、包裹体地球化学、稳定同位素及含矿与 非含矿富碱斑岩区别等特征, 认为该区带富碱斑岩主要由富碱花岗斑岩类和碱性正长斑岩类组成, 为喜马 拉雅早中期的浅成-超浅成侵入体, 岩石的 Si₂O 含量偏低, 富碱高钾, 与澳大利亚 "A"型花岗岩相似; 岩体 间稀土总量、轻重稀土元素比值及 δEu 值基本近似, 稀土元素组成模式曲线均为向右陡倾斜的平滑曲线, 显 示成岩成矿物质来源于上地幔与下地壳, 两类富碱斑岩的岩浆演化和成因具有同一性。通常在岩体规模较 小、形态复杂、碱质相应偏低, 富含 Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag 等矿化元素和 Li、Rb、Cs 等稀土碱金属 元素, 蚀变类型多、蚀变较强、分带好, 稀土元素(ΣREE)总量偏高的岩体中, 有望找到大型的 Cu、Mo、Pb、 Zn、Au、Ag 矿床。

关键词:斑岩型铜钼金矿;富碱斑岩;岩石学及地球化学特征;杨子地台西缘

中图分类号: P588.12; P594.1 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.s1.26

Petrogeochemical Characteristics and Ore-hunting Prospect of Alkali-rich Porphyries on the Western Margin of the Yangtze Platform

ZHANG Dao-hong¹), ZHANG Xue-shu¹), YANG Yan²), YAN Jian¹), YANG Ping³)

Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming, Yunnan 650051;
 Yunnan Bureau of Geological Survey, Kunming, Yunnan 650051;
 Institute of Geology, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming, Yunnan 650216

Abstract: Along the alkali-rich porphyry belt on the western margin of the Yangtze platform, only a few medium-small size porphyry Cu-Mo deposits and medium-large size Pb deposits were previously found; nevertheless, quite a number of large, medium and small size Au (Ag) deposits have been discovered in recent years, which implies fairly good prospect in search for mineral deposits. The authors systematically collected and analyzed the achievements obtained by previous researchers, summed up such characteristics of alkali-rich porphyries in this area as petrology, petrochemistry, rock alteration, REE partitioning, inclusion geochemistry, stable isotopes and the difference between ore-bearing porphyries and barren ones. On such a basis, the authors hold that that the alkali-rich porphyries in this belt are composed mainly of alkali-rich granite porphyries and alkaline orthophyre, and belong to hypabyssal-ultrahypabyssal intrusive bodies of early-middle Himalayan period. The rocks have somewhat lower Si₂O content and rich alkali and high potassium, similar to things of "A" type granites in Australia. The intrusive bodies have basically similar REE total content, LREE/HREE ratios and δEu values, and their REE pattern curves are all steeply right-oblique smooth curves, suggesting that the rock-forming

第一作者简介: 张道红, 女, 1961年生。教授级高级工程师。主要从事矿产地质勘查工作。E-mail: Zdh78026@sina.com。

本文由云南省三年地质找矿行动计划专项经费项目(编号: 20090681)资助。

收稿日期: 2013-04-24; 改回日期: 2013-05-07。责任编辑: 闫立娟。

and ore-forming materials were derived from the upper mantle and the lower crust; in addition, the magmatic evolution and genesis of the two types of alkali-rich porphyries show identity. Generally speaking, large size Cu, Mo, Pb, Zn, Au and Ag deposits are likely to be found in the intrusive bodies characterized by comparatively small size, complex shape, somewhat lower alkali, richness of ore-forming elements such as Cu, Mo, Pb, Zn, Au ang Ag and REE alkaline metallic elements like Li, Rb and Cs, varied alteration types, strong alteration, obvious zoning and somewhat higher REE total content(ΣREE).

Key words: porphyry Cu-Mo-Au deposit; alkali-rich porphyry; petrology and geochemistry; western margin of the Yangtze platform

扬子地台西缘富碱斑岩带主要指涂光志先生所 提出的富碱侵入岩带的南段(云南部分),分布于澜 沧江断裂以东,沿红河—金沙江断裂及其两侧呈北 西向展布,总体属特提斯—喜马拉雅成矿域三江成 矿带。南起云南金平,向北西沿红河断裂、哀牢山 断裂,经点苍山、剑川、石鼓进入四川,在云南境内 长超过 800 m,宽约 40~60 km。在该富碱斑岩带上, 构造岩浆作用强烈,成矿条件有利(张金学等,2013; 徐金祥等,2013;程迁群等,2013),分布有几十个与 富碱斑岩有关的中-小型铜钼矿床(如祥云马厂箐、 金平铜厂、长安冲)、大-中型铅矿床(北衙、姚安) 和金(银)矿床(北衙、祥云金厂箐、姚安干沟、姚安 老街子),以及较多的小型金矿和矿点(丽江桃花、剑 川老君山、姚安文化村、元阳哈播、金平干沟冲— 银厂坪子)。

1 富碱斑岩的分布及时代

富碱斑岩从南到北断续出露的主要有金平铜厂 角闪正长斑岩、元阳哈播石英正长斑岩、姚安老街 子和白马苴花岗正长斑岩、巍山大莲花册花岗斑岩、 永平卓潘碱性斑岩及宾川小龙潭花岗斑岩、祥云马 厂箐花岗斑岩、鹤庆北衙石英正长斑岩群、松桂正 长斑岩、马头湾花岗斑岩、剑川老君山正长斑岩、 华坪铜厂箐花岗斑岩、维西鲁甸石英正长斑岩等近 百余处(图 1)。

经收集统计前人在该区对 17 个岩体 33 件同位 素地质年龄样品测定结果(李光斗等, 2010)显示, 富 碱斑岩的同位素地质年龄为 33~50 Ma, 相当于喜马 拉雅早中期的产物; 且富碱花岗斑岩侵入的时间大 致为 46~50 Ma, 碱性正长斑岩类(正长岩、正长斑岩) 侵入的时代大致为 30~40 Ma, 即正长斑岩类侵入的 时间稍晚于花岗斑岩类侵入的时间。

2 岩石学特征

该区富碱斑岩体一般规模较小(从<1 km² 到数 平方千米),常密集成带出现,岩性主要为中酸性-



图 1 富碱斑岩分布图 (岩石部分据云南省地质矿产局, 1990)

Fig. 1 Distribution of alkali-rich porphyry

(rock part after Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province, 1990)

构造单元: I₁-扬子准地台; I₂-华南褶皱系; I₃-松潘—甘孜褶皱系; I₄-昌都—思茅褶皱系;

深断裂: F₁-澜沧江; F₂-金沙江—哀牢山—藤条河; F₃-红河; F₄-小 金河; F₅-程海; F₆-绿汁江; F₇-小江; F₈-弥勒—师宗

tectonic unit: I₁- Yangtze paraplatform; I₂- south China fold system; I₃- Songpan–Ganzi fold system; I₄- Changdu–Ganzi fold system; deep fault: F₁-Lancang river; F₂-Jinsha river–Ailaoshan–Tengtiao river; F₃-red river; F₄-Xiaojin river; F₅-Cheng lake; F₆-lüzhi river; F₇-Xiao river; F₈-Mile–Shizong

酸性、中性-基性、偏碱-碱性,产出特征从超浅成-浅成,少部分为中深成,前者多见于北部及中部, 后者则以南部的金平、绿春为多,均具有多期次侵 入的复式岩体特征,主要可分为富碱花岗斑岩类(小 龙潭、马厂箐等)及偏基偏碱性的正长(二长)斑岩类 (姚安老街子、金平铜厂、卓潘等)。 富碱斑岩的矿物成份比较相似,主要矿物多呈 斑晶和基质产出。富碱花岗斑岩的主要矿物成分由 钾长石(35%~45%)、石英(35%)、斜长石(15%)、角 闪石+黑云母(10%±)组成,副矿物属磁铁矿-锆石-独 居石型。碱性正长(二长)斑岩的主要矿物成分为钾 长石(50%以下),其次为斜长石(15~25%)、石英 (15%±)及少量角闪石(5%~10%)和黑云母(<5%),副 矿物以磁铁矿、榍石、锆石、磷灰石为主,部分矿 化岩体含较高的褐帘石、辉铜矿和方铅矿等。

富碱花岗斑岩中钾长石(Or)的成分为 84%~95%;斜长石的An为25%±,属更长石,有序 度为50%。碱性正长斑岩中钾长石(Or)的成分为 43%~70%;斜长石的An为20%~40%,有序度为 39.6%~59.6%;黑云母绝大部分属镁质黑云母。可见 富碱斑岩中钾长石和斜长石的成分及斜长石的有序 度相类似,说明富碱花岗斑岩和碱性正长斑岩是同 一地质条件下的不同产物,系处于浅成-超浅成环境 (陈光远等,1987;胡祥昭,1996);镁质黑云母说明 岩浆分异演化的程度不高(王德滋等,1985)。

3 岩石化学特征

本区富碱斑岩的化学成分及参数见表 1。从表 中可得出:

(1)富碱花岗斑岩的 SiO₂ 含量介于 67.05%~ 71.62%之间, 平均为 69.28%, 低于中国花岗岩和世 界花岗岩的平均值, 也低于华南富碱花岗岩的平均 值; 碱性正长斑岩的 SiO₂含量介于 59.78%~65.88% 之间, 平均为 63.83%, 略高于中国正长岩的平均 值。本区富碱花岗斑岩 SiO₂ 偏低、碱性正长斑岩 SiO₂ 偏高的特征反映二者是在同一构造环境、同一 成因条件下形成。

(2)富碱斑岩的里特曼(A.Rittmann)指数介于 3.3~6.5 之间,仅有一个岩体为 6.63,按李石等在里 特曼指数基础上提出的划分标准(σ <3.3 钙碱性, σ =3.3~6.5 弱碱性, σ >6.5 强碱性),本区岩石皆属弱 碱性岩石,而非强碱性岩石。

(3)将本区富碱斑岩的 SiO₂ 与用赖特(Wright)方 法计算的碱度率(A·R)值投影在赖特设计的图中, 其 投影点均落于碱(性)质岩石范围内, 其中富碱花岗 斑岩绝大多数投影点落在碱质区的上方, 而正长斑 岩相反, 说明富碱花岗斑岩比正长斑岩偏酸性(图 2)。





表 1 扬子地台西缘富碱斑岩化学成分及参数表 Table 1 Chemical composition and parameters of alkali-rich porphyries on the western margin of the Yangtze platform

		-		-					•			0		0	-	
	样		主要化学成分(%)									参数				
岩石名称	数	SiO ₂	${ m TiO_2}$	Al_2O_3	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P_2O_5	H_2O+	K ₂ O+ Na ₂ O	K ₂ O/ Na ₂ O	A·R
富碱花岗班岩	27	69.28	0.21	14.79	1.18	1.19	0.19	0.89	0.89	6.38	3.58	0.1	0.91	9.95	1.90	4.31
正长斑岩	35	63.83	0.34	15.01	1.82	1.93	0.07	1.76	2.75	5.61	3.44	0.28	0.41	9.05	1.63	3.03
华南富碱花岗岩	36	76.30	0.15	12.15	0.89	0.76	0.05	0.17	0.39	4.49	4.11	0.01		8.60	1.09	4.73
中国花岗岩平均值	221	71.27	0.25	14.25	1.24	1.62	0.08	0.80	1.62	4.03	3.79	0.16	0.56	7.82	1.06	2.94
世界花岗岩平均 值		71.30	0.31	14.32	1.21	1.64	0.05	0.71	1.84	4.07	3.68	0.12	0.64	7.75	1.10	2.84
中国正长岩平均 值		63.30	0.57	17.52	2.79	1.15	0.29	0.86	1.43	7.48	4.07	0.13	0.41	11.55	1.83	4.12
世界碱性正长岩 平均值		61.86	0.58	16.91	2.32	2.63	0.11	0.96	2.54	5.91	5.46	0.19	0.53	11.37	1.08	3.81
澳大利亚 A 型花 岗岩		73.81	0.26	12.4	1.24	1.58	0.06	0.20	0.75	4.65	4.07	0.04		8.72	1.14	4.94

注: 据李光斗等, 2010。

(4)富碱花岗斑岩和碱性正长斑岩均具有富碱 高钾的特点。富碱花岗斑岩 K₂O+Na₂O 值介于 8.77%~10.28%之间,平均值为 9.81%,K₂O>Na₂O, K₂O/Na₂O 值介于 1.28~2.07 之间,平均为 1.72;碱 性正长斑岩 K₂O+Na₂O 值介于 8.02%~10.55%之间, 平均值为 9.05%,K₂O>Na₂O,K₂O/Na₂O 值介于 1.08~2.43 之间,平均为 1.63。全区富碱斑岩的 K₂O+Na₂O 值平均为 9.48%,K₂O>Na₂O,K₂O/Na₂O 值平均为 1.68,充分显示出富碱高钾的特点(表 2)。

(5)富碱斑岩的岩石化学成分特征与澳大利亚 A 型花岗岩的岩石化学成分极为相似,只有 SiO₂偏低, 这可能系岩浆分异作用程度不够所致。将本区富碱 斑岩的 K₂O 及 Na₂O 的质量百分含量投影在怀特 (White)等给出的花岗岩 K₂O-Na₂O 图解中,绝大多 数落在 A 型花岗岩范围内(图 3)。

4 岩石蚀变特征

本区富碱斑岩除少数几个岩体外,均表现为蚀 变较弱,分带普遍不明显,规律性不强等特点。几个 代表性岩体的蚀变特征见表 3。

5 岩石的稀土元素配分

本区富碱斑岩的稀土元素含量特征见表 4。从

表中数据特征可得出:

(1)富碱斑岩的稀土元素总量(ΣREE)、轻重稀土 元素比值(ΣLREE/ΣHREE)、δEu 值等基本相似,表 明本区富碱斑岩具有相同的物质来源、相同的演化 特征及相同的成因。

(2)富碱花岗斑岩类的稀土总量偏低(ΣREE 平均
 151.18×10⁻⁶),其平均富集系数为 0.52,低于华南碱
 性花岗岩(272.3,涂光炽等,1984)。正长斑岩类的稀



图 3 富碱斑岩 K₂O-Na₂O 图解 Fig. 3 K₂O-Na₂O diagram of alkali-rich porphyry

表	2	富	碱I	斑岩	φĸ	K ₂ 0、	N	a_2O	含量	t(%	6)J	と其	比值	1	
 •	T 7	\mathbf{a}	ът	0											

		Table 2	K_2O, N	a ₂ O content and	d ratios of	alkali-rich porph	yry		
岩石类型	样品数 -	K ₂ O	Na ₂ O)	Na ₂ O+ K	2O	K ₂ O/ Na ₂ O	Na ₂ O
		变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均
富碱花岗斑岩	35	4.92~8.67	6.20	2.82~4.33	3.61	8.77~10.28	9.81	1.28~2.07	1.72
正长斑岩	35	4.21~6.53	5.61	2.54~4.65	3.44	8.02~10.55	9.05	1.08~2.43	1.63
全带平均	70	4.21~8.69	5.91	2.54~4.65	3.53	8.02~10.55	9.48	1.08~2.43	1.68

注: 据李光斗等, 2010。

Table 3

Alteration characteristics of	f representative rock	bodies of alkali-rich	prophyry
-------------------------------	-----------------------	-----------------------	----------

岩体名称	岩性组合	岩浆活动	蚀变作用	蚀变分带	矿化
小龙潭岩体	石英二长斑岩 正长斑岩 花岗斑岩	复式杂岩体	岩体具硅化、钾化、绿泥石化、 绢云母化; 围岩具角岩化	不明显	铜、钼、铅、锌
马厂箐岩体	花岗正长斑岩 富碱花岗斑岩 各种脉岩	复式杂岩体	岩体具硅化、钾化、绢云母化、 钠长石化、绿泥石化; 围岩具矽卡岩化	明显,内向外为强硅化 带-硅化钾长石化带-硅 化绢云母化带-绿泥石 碳酸盐化带	铜、钼
姚安岩体	花岗正长斑岩 石英正长斑岩	复式富碱斑岩体	岩体具绢云母化、泥化、重晶石 化、黄铁矿化、镜铁矿化、碳酸 盐化、萤石化; 围岩具角岩化	不明显	银、铅、锌、金、 银
金平铜厂岩 体	花岗正长斑岩 石英正长斑 花岗斑岩	复式杂岩体	岩体具黄铁矿化、钾化、硅化、 绿泥石化、钠长石化; 围岩具砂卡岩化	不明显	铜、铁、钼

地球学报

表 4 扬子地台西缘富碱斑岩稀土含量特征表

Table 4	REE content characteristics of alkali-rich porphyries on the western margin of Yangtze platform								
岩石类型	统计方式	ΣREE/10 ⁻⁶	$\Sigma Ce/\Sigma Y$	δEu	备注				
富碱花岗斑岩	范围	90.19~293.42	3.38~13.43	0.74~0.95	6 个岩体亚均				
	平均	151.18	8.19	0.87	0144729				
碱性正长斑岩	范围	380.5~865.11	3.88~18.25	0.70~0.83	10 个岩体亚均				
	平均	590.85	11.24	0.78	10个石体平均				

注: 据李光斗等, 2010。





土元素总量较高(ΣREE 平均 590.85×10⁻⁶),其中姚安 老街子花岗正长斑岩的ΣREE 高达 1833.63×10⁻⁶,主 要系碱性岩石本身的高含量,还有其副矿物中稀土 元素高度富集的褐帘石等矿物所致。

(3)富碱斑岩以富集轻稀土元素为特征。富碱花 岗斑岩类的ΣCe/ΣY介于 3.38~13.43 之间,平均 8.19; 正长斑岩类的ΣCe/ΣY介于 3.88~18.25 之间,平均 11.24。

(4)在 La/Sm-La 的图解投影中(图 4),本区富碱 斑岩的投影点均位于部分熔融线附近,说明富碱斑 岩系深部(地幔)的部分熔融所形成的岩浆上升侵入 形成。

本区富碱斑岩(富碱花岗斑岩、碱性正长斑岩) 的稀土元素组成模式曲线均为向右陡倾倾斜的平滑 曲线(图 5, Eu 1),反映其岩浆物质可能来自上 地幔,体现其成因及物质来源的一致性(高振敏, 1987)。

6 稳定同位素特征

富碱斑岩的锶同位素从 10 个岩体 13 件样品的 测定结果显示,⁸⁷Sr / ⁸⁶Sr 初始值最高 O.7098(老君 山),最低 O.7064(玉召块),平均 0.7073,数据分布 较集中。投影于花岗岩⁸⁷Sr / ⁸⁶Sr 初始值与年龄关系 图解上,投影点均落于玄武岩源区以上、大陆壳增 长线以下区域,靠近玄武岩源区一侧(图 6),说明该 富碱斑岩既含地幔组分,也含地壳组分。一般认为 该类岩石系由幔源岩浆在上侵过程中混入较多的硅



图 5 富碱斑岩部分体岩石稀土分布型式 (据谭雪春等, 1991) Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of some alkali-rich porphyries(after Tan et al., 1991)

铝质组分形成,或者是地壳下部硅铝质物质经部分 熔融形成的。结合本区的具体情况,笔者认为本区 这两种情况均可能存在。

富碱斑岩中长石和矿石中的 Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴为 18.094~18.715, Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁴为 15.365~15.676、Pb²⁰⁸/ Pb²⁰⁴为 38.420~39.692, 投影于 Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁴-Pb²⁰⁶/ Pb²⁰⁴、Pb²⁰⁸/Pb²⁰⁴-Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴图解上(图 7),均居于单 阶段演化曲线上或其两侧,表征富碱斑岩中长石铅



图 6 花岗岩 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始值与年龄关系图 Fig. 6 The relationship between ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr initial values and ages of granites



Fig. 7 $208Pb/204Pb\-206Pb/204Pb\ diagram\ (A)$ and $207Pb/204Pb\-207Pb/204Pb\ diagram\ (B)$

及矿石铅具单阶段演化特点,亦即正常铅;投影于 在不同地质环境中铅同位素平均演化曲线图解(图 8) 上,绝大多数居于地幔铅与造山带铅平均演化线之 间及其两侧,说明富碱斑岩体具混合源铅和地幔铅 的特点,反映本区成岩物质来源于上地幔或下部地





売(彭省临, 1994)。

富碱斑岩的 δ³⁴S 为 0.32‰~2.73‰, 以重硫型为 主, 接近陨石硫同位素组成, 说明富碱斑岩中硫同 位素系未发生明显同位素分馏效应的原生硫, 反映 富碱斑岩的物源具有深源性。此外, 在单一岩体或 矿体中, 含矿的矽卡岩和角岩中的硫同位素组成与 岩体或矿体的硫同位素组成一致, 说明与富碱斑岩 有关的硫同位素组成, 不受围岩的时代或岩性制约, 而与富碱斑岩中的硫化物具有同源性。

7 包裹体地球化学特征

富碱斑岩中的包裹体大致有两大类,即玻璃质 熔融包裹体和结晶质熔融包裹体,以前者较为常见, 后者不多见。玻璃质熔融包裹体的相组合有:玻璃 相、玻璃相+气相、玻璃相+气相+雏晶、玻璃相+气 相+子矿物相。结晶质熔融包裹体的相组合有:结晶 质+玻璃相+气相。

玻璃相: 主要为无色透明, 其中玻璃质均有程 度不等的脱玻化, 有的已出现雏晶。

气相: 主要为黑色、深黑色, 其呈不规则状及椭 园状, 气相包裹体一般占 3%~5%, 多者可达 5%以 上(如小龙潭; 何明勤等, 2004)。

结晶相及子矿物相:主要为无色透明,折光率

大于主矿物,子矿物已具矿物结晶之外型,主要成 分有长石、石英、云母等,有时有少量萤石、硫化 物及其它盐类,所占面积 5%~20%不等,子矿物石 英、长石、云母多在均一化前消失,说明它们系岩 浆熔融体自身析出物(陶正章,1981)。

包裹体初熔温度多在 560°~650°, 玻璃质熔融 包体均一化温度 750°~840°, 其中以 780°~820°之间 较集中, 均一相为硅酸盐熔融体。

8 含矿富碱斑岩的主要特征

扬子地台西缘富碱斑岩带中有大小岩体近百余 处,其中矿化岩体只有一部分,与非矿岩体比,含 矿富碱斑岩具有下列特征。

(1)均属复式侵入体。这是判别本区富碱斑岩是 否含矿的一个重要条件。与矿化有关的富碱斑岩体, 特别是能形成工业矿床的富碱斑岩体都是复式侵入 体,如马厂箐、小龙潭、姚安、金平铜厂—长安冲。 单一岩体即使其它条件很有利,也很难形成具一定 规模的工业矿床。

(2)产状以小岩株为主。含矿富碱斑岩体的产状 以小岩株为主,其次为岩脉及岩墙,出露面积多为 0.1 km²以下和 0.2~1.6 km²之间,很少有大于 10 km² 的大岩株及岩床。含矿富碱斑岩体多为长椭圆形, 岩体边界弯曲多变,两端多分支,形态复杂,但岩体形态越复杂,矿化越好,岩体形态简单者,则矿 化不好或不含矿。

(3)具有明显的岩石化学特征。岩石化学特征是 判断富碱斑岩含矿性的一个行之有效的方法之一。 本区含矿富碱斑岩的岩石化学综合特征列于表 5 中。从表中可见,含矿富碱斑岩与非含矿富碱斑岩 在 Na₂O、K₂O、CaO、MgO 的含量上有明显区别。

(4)微量元素含量普遍偏高。本区含矿富碱斑岩 的微量元素含量特征列于表 6 中。其中 Cu、Pb、Zn、 W、Mo、Ag 成矿元素含量普遍高于维诺格拉多夫 值 5~10 倍,说明含矿岩体具有成矿的物质基础。

(5)稀土元素总量(ΣREE)较非含矿富碱斑岩高。 在含矿岩体中,一般与成矿元素最密切的那一阶段 或期次侵位的岩体,其稀土总量往往较高。而且在 多旋回或多阶段与矿化有关的岩体中,一般随时代 变新,其稀土丰度均有逐渐增大的趋势,这与前人 关于"华南大多数矿化花岗岩的稀土总量偏高"的 结论是一致的。

(6)蚀变较强类型多。岩体的蚀变类型多,蚀变 强烈,蚀变分带好,则矿化好,能形成工业矿床,如 马厂箐等。反之,蚀变种类少,蚀变强度弱,分带不 好或者无分带现象,则属无矿岩体。

Table 5	Comprehensive pet	rehensive petrochemical table of ore-bearing alkali-rich porphyry						
	统计方式	含铜(钼)矿岩群	含铅(金)矿岩群	非矿岩群				
	平均	3.36	2.52	4.21				
Na ₂ O/%	范围	2.79~3.85	1.25~2.82	2.20~5.65				
	平均	4.20	6.83	5.19				
K ₂ O/%	范围	2.79~4.93	6.21~8.01	3.61~6.52				
	平均	2.31	1.33	2.53				
CaU/%	范围	1.15~3.42	0.67~2.06	0.51~4.86				
	平均	1.44	0.89	1.10				
MgO/%	范围	0.8~2.15	0.24~1.39	0.31~2.68				
	平均	14.66	15.43	15.76				
Al ₂ O ₃ /%	范围	13.38~15.14	15.08~16.30	14.23~17.15				
	平均	1.30	2.83	2.30				
Fe ₂ O ₃ /FeO	范围	0.62~1.90	2.50~3.50	0.90~4.80				
	平均	9.81	9.34					
$\pm \eta \langle (K_2 0 + N a_2 0) / \%$	范围	8.02~11.27	7.54~10.83					
碱度率[(Al ₂ O ₃ +CaO+K ₂ O+Na ₂ 0))/ 平均	3.	77					
(Al ₂ O ₃ -CaO-K ₂ O-Na ₂ 0)]	范围	2.33	~6.35					
钙、硅相关指数		0.05~0.17(绝大多	多数为 0.08~0.11)					

表 5 含矿富碱斑岩岩石化学综合表 le 5 Comprehensive petrochemical table of ore-bearing alkali-rich porn

注: 据西南有色地质勘查局, 1995。

Table 0 Trace elements and parameters of ore-bearing arkan-rich porphyry									
	含矿富碱斑	岩	世界花岗岩	世界正长岩					
元 素	范 围	平 均 值	平均值	平均值					
Cu/10 ⁻⁶	10~174	100	20	0.5					
Pb/10 ⁻⁶	10~144	100	20	12					
Zn/10 ⁻⁶	80~152	120	60	130					
W/10 ⁻⁶	0~50	15	1.5	1.3					
Mo/10 ⁻⁶	1~86	10	1.0	0.6					
Ag/10 ⁻⁶	0~10	5	0.05	0.011					
K/Rb	161.9~296	231.6	167	436					
Rb/Sr	0.26~4.33	1.73	0.67	0.55					
Cr/10 ⁻⁶	7~9	8	25	2					
Co/10 ⁻⁶	8~11	9.5	5	1					
Ni/10 ⁻⁶	10~13	11.5	3	4					
Nb/10 ⁻⁶	9~11	10	20	35					
Ta/10 ⁻⁶	0.9~1.5	1.2	3.5	13					

表 6 含矿富碱斑岩微量元素及参数表 Trace elements and parameters of one bearing alkali-rich parabyry

注: 据李光斗等, 2010。

9 结论

扬子地台西缘富碱斑岩带主要由富碱花岗斑岩 类和碱性正长斑岩类组成,属喜马拉雅早中期的中 酸性-酸性、浅成-超浅成侵入岩系。岩石的 Si₂O 含 量偏低,富碱高钾,与澳大利亚"A"型花岗岩相似。 除少数几个岩体外,均表现为蚀变较弱、分带普遍 不明显、规律性不强等特点。岩体间稀土总量、轻 重稀土元素比值及 δEu 值基本近似,稀土元素组成 模式曲线均为向右陡倾斜的平滑曲线,显示成岩成 矿物质来源于上地幔与下地壳,两类富碱斑岩的岩 浆演化和成因具有同一性,岩石的稳定同位素特征 也进一步佐证了这一结论。

Table 6

该富碱斑岩与矿化关系密切,通常在岩体规模 较小、形态复杂、碱质相应偏低,富含Cu、Mo、Pb、 Zn、Au、Ag等矿化元素和Li、Rb、Cs等稀土碱金 属元素,蚀变类型多、蚀变较强、分带好,稀土元素 (ΣREE)总量偏高的岩体中,有望找到大型的Cu、 Mo、Pb、Zn、Au、Ag矿床。

参考文献:

- 陈光远,孙岱生,殷辉安. 1987. 成因矿物学与找矿矿物学[M]. 重庆:重庆出版社: 555-649.
- 程迁群,汤俊,何灿,刘传高.2013. 云南金平新安里镍矿矿床 地质特征[J]. 地球学报,34(s1):71-75.
- 高振敏. 1987. 我国云南与巴西若干碱性侵入岩的稀土元素地球 化学初步研究[J]. 矿物岩石, 7(3): 69-76.
- 何明勤,杨世瑜,陈昌勇.2004. 滇西小龙潭—马厂箐地区铜多 金属矿床地质地球化学及成因研究[M].北京:地质出版社:

1-145.

- 胡祥昭. 1996. 扬子地台西缘富碱斑岩特征与成矿专属性[J]. 中 南工业大学学报, 27(2): 129-131.
- 李光斗,念红,张道红,王峰,孙德瑜,严健.2010. 扬子地台西 缘富碱斑岩铜金多金属矿床成矿条件及找矿前景[M]. 地质 出版社:28-65.
- 彭省临. 1994. 多因复成矿床铅同位素多元混合模式及其应用[J]. 矿冶工程,(增3):11-17.
- 谭雪春,尤卫东. 1991. 滇西主要有色金属矿床区域成矿地质背 景[J]. 云南地质, 10(1): 11-42.
- 陶正章. 1981. 地球化学找矿[M]. 北京: 地质出版社: 1-183.
- 涂光志,张玉泉,赵振华.1984.华南两个富碱侵入岩带的初步 研究[A].//徐克勤,涂光炽.花岗岩地质和成矿关系:国际 花岗岩学术讨论会论文集[C].南京:江苏科学技术出版社: 21-37.
- 王德滋, 彭亚明, 袁朴. 1985. 福建魁歧花岗岩的岩石学和地球 化学特征及成因探讨[J]. 地球化学, (3): 197-205.
- 西南有色地质勘查局. 1995. 扬子地台西缘富碱斑岩铜多金属矿床 成矿条件及找矿前景[R].昆明: 云南省有色地质局: 1-273.
- 徐金祥, 陈春. 2013. 金平地区超基性岩铜镍矿床成矿作用类型 及找矿方向[J]. 地球学报, 34(s1): 101-107.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质 出版社.
- 张金学,刘利超,陈梁,郭桂林,罗洪昌,戚林坤. 2013. 宾川小 龙潭斑岩铜钼矿找矿新思路的讨论及前景分析[J]. 地球学 报,34(s1):95-100.

References:

Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1990. Regional Geology of Yunnan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

- CHEN Guang-yuan, SUN Dai-sheng, YIN Hui-an. 1987. Genetic Mineralogy and prospecting mineralogy[M]. Chongqing: Chongqing publishing house: 555-649(in Chinese with English abstract).
- CHENG Qian-qun, TANG Jun, HE Can, LIU Chuan-gao. 2013. Geological Characteristics of the Xin'anli Nickel Deposit in Jinping Area, Yunnan Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(s1): 71-75(in Chinese with English abstract).
- GAO Zhen-min. 1987. A preliminary study on ree geochemistry of some alkaline intrusive rocks in China and Brazil[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 7(3): 69-76(in Chinese with English abstract).
- HE Ming-qin, YANG Shi-yu, CHEN Chang-yong. 2004. Geological, geochemical and genesis of copper polymetallic deposit in Xiaolongtan-Machangjing area, west Yunnan[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-145(in Chinese).
- HU Xiang-zhao. 1996. Yangize Platfrom West Ernmargin's alkal-rich porphyry[J]. J. Cent. South Univ. technol., 27(2): 129-131(in Chinese with English abstract).
- LI Guang-dou, NIAN Hong, ZHANG Dao-hong, WANG Feng, SUN De-yu, YAN Jian. 2010. Metallogenic Condition and Prospecting Potential of the Western Margin of Yangtze Platform Alkali Rich Porphyry Cu-Au Polymetallic Ore Deposit[M]. Beijing: Geological Publishing House: 28-65(in Chinese).
- PENG Xing-lin. 1994. The mixed model and its application of Polygenetic compound deposit lead Isotope[J]. Mining and Metallurgical Engineering, (s3): 11-17(in Chinese).
- TAN Xue-chun, YOU Wei-dong. 1991. Regionally Metallogenic Geological Setting of Major Non-ferrous Metal Deposits in

Western Yunnan[J]. Yunnan Geology, 10(1): 11-42(in Chinese with English abstract).

- TAO Zheng-zhang. 1981. Geochemical prospecting[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-183(in Chinese).
- TU Guang-zhi, ZHANG Yu-quan, ZHAO Zhen-hua. 1984. An Initial Research on the two alkali rich intrusive rock belt of south China[A]. //XU Ke-qin, TU Guang-zhi. The relationship between geology and mineralization of granite: International Symposium on granite[C]. Jiangsu Nanjing: Technology and Science Publishing House: 21-37(in Chinese with English abstract).
- WANG De-zi, PENG Ya-ming, YUAN Pu. 1987. Petrology, Geochemistry and Genesis of Kuiqi Granite Batholith[J]. Geochimica, (3): 197-205(in Chinese with English abstract).
- XU Jin-xiang, CHEN Chun. 2013. Metallogenic Types and Ore-prospecting Orientations of Ultrabasic Rock Copper-nickel Deposits in Jinping Area[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(s1): 101-107(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Xue-jin, LIU Li-chao, CHEN Liang, GUO Gui-lin, LUO Hong-chang, QI Lin-kun. 2013. The Discussion and Prospective Analysis of the Ore-searching New Train of Thought for the Xiaolongtan Poyphyry Cu-Mo Deposit in Binchuan[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(s1): 95-100(in Chinese with English abstract).
- Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau. 1995. Metallogenic conditions and prospecting potential of Yangize Platfrom West Ernmargin's alkal-rich porphyry copper polymetallic deposit[R]. Kunming: Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau: 1-273(in Chinese).