西范坪斑岩铜矿床成矿流体来源研究

——黑云母矿物化学研究启示*

Sources of ore-forming fluids in the Xifanping porphyry copper deposit: Enlightenment from the study of biotite mineral chemistry

毕献武[1]，魏文凤[1,2]，胡瑞忠[1]，彭建堂[1]，吴开兴[1,2]，李鸿莉[1,2]

（1 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室，贵州 贵阳 550002；
2 中国科学院研究生院，北京 100082）

BI XianWu[1], WEI WenFeng[1,2], HU RuiZhong[1], PENG JianTang[1], WU KaiXing[1,2] and LI HongLi[1,2]

(1 State Key Laboratory of Mineral Deposit Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, Guizhou, China;
2 Graduate School, CAS, Beijing 100082, China)

摘 要 文章报道了西范坪斑岩铜矿床原生和热液黑云母的矿物化学研究结果。通过对西范坪黑云母石英二长斑岩成岩过程中岩浆挥发性组分演化特征的研究，进一步揭示出富碱侵入岩成岩与西范坪斑岩铜矿床成矿之间具有密切的成因联系，即成矿流体来源于富碱侵入岩成岩过程中分异出流体。

关键词 黑云母；矿物化学；挥发份特征；成矿流体来源；西范坪斑岩铜矿床

富碱侵入岩是一组产于特定构造环境、具有特殊性质的岩石类型，与钙碱性岩石相比，具有较高的碱含量〔w（K_2O）+w（Na_2O）>8%〕。这类岩石主要包括碱性花岗岩，也包括高碱含量的碱长花岗岩等，常产于裂谷、地堑、地幔上拱带的拉张条件下，是上地幔物质部分熔融产生的岩浆上侵并同化部分地壳物质的产物，与通常认为的 A 型花岗岩类相当（涂光炽等，1984；涂光炽，1989）。以往认为，这类岩石主要是在非造山的环境下以干熔融为主，是一类相对贫水的岩石（Collins et al., 1982；Christiansen et al., 1983; Clemens et al., 1986），成岩过程中难以分异出成矿流体。因此，与钙碱性岩浆岩相比，对富碱侵入岩与成矿关系的研究长期以来没有得到足够的重视。但是，近年来随着在澳大利亚、巴布亚新几内亚、尼日利亚、巴西、美国、加拿大、阿拉伯地盾区以及我国新疆、河北、江苏、湖南和西南“三江”地区一些富碱侵入岩中大量矿床的发现，有关富碱侵入岩及其与成矿关系的研究，受到了国内外学者的广泛关注并取得重要进展。研究发现与钙碱性岩石类似，在特定环境下富碱侵入岩成岩过程中也能分异出流体（Kinget al.，1997；Hu et al.，1998；Dall’Agnol et al.，1999； Muller et al.，2002；Kelley et al.，2002；Maughan et al.，2002；Bi et al.，2002，2004；王汝成等，2000）。

四川省盐源县西范坪斑岩铜矿床位于扬子地台西缘，成矿岩体属于哀牢山—金沙江喜马拉雅期富碱侵入岩的组成部分（张玉泉等，1987）。已有研究表明，西范坪斑岩铜矿床为岩浆热液矿床，即成矿流体来源于富碱侵入岩成岩过程中分异出流体（王奖臻等，2001，2002a）。作为与富碱侵入岩有关的铜和金成矿专属性研究系列之一，本文运用矿物化学的方法，采用电子探针技术分析了西范坪成矿岩体原生和热液黑云母的成分，通过对富碱侵入岩成岩过程中岩浆挥发性组分的演化特征的研究，揭示出西范坪斑岩铜矿床成矿流体的可能来源，进而探讨富碱侵入岩成岩与铜成矿之间存在的可能联系。

*本项研究由国家自然科学基金（40373020）、中国科学院西部之光项目、中国科学院百人计划项目资助

1 地质背景简述

四川省盐源县西范坪斑岩铜矿床位于扬子地台西缘，盐源—丽江拗陷带北部。矿床成矿母岩为黑云母石英二长斑岩，侵入在角岩化的三叠—二叠系碎屑岩中，矿床产于岩体内和岩体与围岩的接触带上。岩体最大出露面积为1.5 km^2，一般小于0.5 km^2。斑岩中斑晶矿物主要为中酸性斜长石、钾长石、黑云母和角闪石，基质为隐晶质，副矿物为榍石、锆石、磷灰石。岩石地球化学特征表明：西范坪黑云母石英二长斑岩的SiO_2含量（w_B，下同）变化范围为62.70%～65.01%，平均含量为64.37%，全碱（K_2O+Na_2O）含量变化范围为8.28%～9.72%，平均全碱含量为8.94%（王奖臻等，2002b），相对于正常的世界花岗岩（K_2O+Na_2O=7.75%，邱家骧，1985）和我国花岗岩类岩石（K_2O+Na_2O=7.82%，冶金工业部地质研究所，1984）的平均成分，该岩体的碱含量明显偏高，在Na_2O+K_2O-SiO_2图解（图略）中，样品点均落入碱性系列岩区。该岩体不含标准矿物Lc（白榴石）、Ne（霞石），与实际矿物中未出现副长石类和碱性镁铁矿物是一致的，表明其不属于传统上认为的含碱性暗色矿物的碱性岩类。黑云母石英二长斑岩I_{Sr}值为0.70532～0.70556，ε_{Nd}值为-4.1～-4.2。在Nd-Sr同位素相关图上（图略），数据点落入第四象限，与前人测定的哀牢山—金沙江岩带内其他岩体的Sr、Nd同位素组成（张玉泉等，1997；邓万明等，1998）有类似的变化趋势，接近EMⅡ地幔端元。K-Ar年龄测定表明，黑云母石英二长斑岩的侵位时代为45 Ma左右，属喜山期岩浆活动的产物（陈培荣等，1997）。

矿化岩体黑云母石英二长斑岩蚀变强烈，矿化蚀变主要包括钾硅酸盐化和阳起石化。钾硅酸盐化以形成细脉状黑云母和钾长石为特征，伴随大量黄铜矿和斑铜矿沉淀（王奖臻等，2001）。

2 矿物化学

2.1 分析方法

黑云母化学成分分析是在中科院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室采用日本岛津公司生产的 EPMA-1600 型电子探针分析获得，分析测试条件为：加速电压 25 kv、束流 10.0 nA,束斑直径 10.0 μm。黑云母样品选自黑云母石英二长斑岩中的原生黑云母和钾硅酸盐化带内细脉状热液成因的黑云母。黑云母中的 Fe^{3+}和 Fe^{2+}含量采用林文蔚（1994）的待定矿物化学式阳离子数法确定。

2.2 分析结果

原生黑云母和热液黑云母的主元素和挥发性组分电子探针分析结果和参数计算列于表1。结果表明，西范坪二长斑岩黑云母的Mg/（Fe^{2+}＋Mg）的变化范围为0.61～0.85，平均为0.74。将样品点投影在金云母-铁云母-铁叶云母-镁叶云母图解中，岩体中的黑云母为金云母。原生黑云母的Cl/F比值变化范围为0.019～0.004，从黑云母矿物颗粒中心向外Cl/F比值由0.01降至0.004。热液黑云母Cl/F比值变化范围为23.77～10.85。

3 讨 论

已有研究表明，在岩浆冷却结晶过程中氯的流体/熔体分配系数约为40～66，大量的氯将进入流体相。原生黑云母的Cl/F比值变化范围为0.019～0.004，从黑云母矿物颗粒中心向外Cl/F比值由0.01降至0.004，反映在岩浆结晶过程中有大量氯由岩浆进入了流体相（Dilles，1987）。西范坪斑岩铜矿床脉石矿物石英中的流体包裹体成分分析结果表明，热液中气相成分主要是CO_2和H_2S，液相成分中阳离子以Na^+、K^+为主。阴离子以Cl^-和HCO_3^-为主，F^-含量低，Cl/F比值为35.75～9.8。成矿流体是一种富含铜的H_2O-NaCl体系，具有高温、高盐度和沸腾的特征。氧、硫、铅同位素组成显示成矿流体来自深源岩浆（陈培荣等，1997）。钾

http://www.kcdz.ac.cn/

硅酸盐化带热液黑云母Cl/F比值变化范围为24.72～10.70，与西范坪斑岩铜矿床脉石矿物石英中的流体包裹体Cl/F比值变化特征类似，表明蚀变流体与成矿流体具有类似的特征。因此可以推测，导致本区黑云母石英二长斑岩钾硅酸盐化的热液即为成矿流体，来源于黑云母石英二长斑岩成岩过程中分异的富氯的岩浆流体。

表 1　黑云母电子探针分析及参数计算（w_B/%）

矿物名称	样品号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	K_2O	F	Cl	总和	Fe/FeMg	Mg/FeMg
原生黑云母	xfp-6-1a	42.9	1.47	11.16	7.54	0.03	21.6	9.56	6.55	0.07	100.94	0.16	0.84
	xfp-6-1c	40.9	1.45	11.73	7.99	0.03	21.65	9.78	6.90	0.03	100.5	0.17	0.83
	xfp-6-1d	43.8	1.02	12.46	7.19	0.04	20.42	9.56	5.86	0.11	100.41	0.16	0.84
	xfp-6-1e	42.4	1.47	12.90	8.23	0.04	20.64	9.77	6.08	0.09	101.59	0.18	0.82
热液成因黑云母	xfp-6-4a	42.0	1.69	11.84	9.63	0.02	20.21	9.83	0.27	2.93	98.43	0.21	0.79
	xfp-6-4b	42.3	1.87	11.32	9.34	0.02	20.36	9.56	0.19	2.97	97.97	0.20	0.80
	xfp-6-4c	43.5	1.66	11.75	8.34	0.03	19.90	9.11	0.13	3.09	97.55	0.19	0.81

参　考　文　献

陈培荣, 徐士进, 王汝成, 陈小明, 沈渭洲, 倪　培. 1997. 四川盐源西范坪斑岩铜矿富铜流体物理化学特征和成因. 地球化学, 5.

邓万明, 等. 1998. 滇西新生代富碱斑岩的岩石学特征与成因. 地质科学. 33(4): 412~425.

涂光炽, 等. 1984 华南两个富碱侵入岩带的初步研究: 花岗岩地质与成矿关系, 江苏: 江苏科学出版社. 21~37.

涂光炽. 1989. 关于富碱侵入岩. 矿产与地质, 13(3): 1~4.

王奖臻, 胡瑞忠, 李泽琴, 孙　燕. 2001. 西范坪铜矿成矿作用初步研究——兼论还原硫对斑岩铜矿成矿的制约. 矿物岩石地球化学通报, 3.

王奖臻, 李朝阳, 孙　燕, 李泽琴. 2002a. 四川盐源西范坪斑岩铜矿的钾长环斑结构及其意义. 成都理工学院学报, 4.

王奖臻, 胡瑞忠, 孙　燕, 陆　彦, 李泽琴. 2002b. 西范坪斑岩铜矿钾硅酸盐化作用的地球化学研究. 矿物岩石, 3.

王汝成, 等. 2000. A 型花岗岩中存在流体的分异聚集: 副矿物研究的证据. 科学通报(录用待刊).

张玉泉, 等. 1987. 哀牢山－金沙江富碱侵入岩及其与裂谷构造关系初步研究. 岩石学报, (1): 17~25.

张玉泉, 等. 1997. 哀牢山—金沙江富碱侵入岩年代学和Nd, Sr同位素特征. 中国科学(D辑), 27: 289~293.

Bi X W, et al. 2002. REE composition of primary and altered feldspar from the mineralized alteration zone of alkali-rich intrusive rocks, western Yunnan Province, China. Ore Geol. Rev., 19: 69~78.

Bi X W, et al. 2004. Trace element and isotope evidence for the evolution of ore-forming fluid of Yao'an gold deposit, Yunnan Province, China. Mineralium Deposita, 37(3): 378~392.

Christiansen E H, et al. 1983. Petrogenesis of topaz rhyolites from the western United States, Contrib. Mineral. Petrol., 83: 16~30.

Clemens H, et al. 1986. Origin of an A~type granite: Experimental constraints. American Mineralogist, 71: 317~324.

Collins W J, et al. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to south-eastern Australia. Contrib. Mineral. Petrol., 80: 189~200.

Dall'Agnol R, et al. 1999. An experimental study of a lower proterozoic A-type granite from the eastern Amazonian Craton, Brazil. J. Petrol., 40(11): 1673~1698.

Dilles J H. 1987. Petrology of the Yerington batholith, Nevada: Evidence for evolution of porphyry copper ore fluids. Econ. Geol., 82: 1750~1789.

Hu R Z, et al. 1998. Helium and argon isotope systematics in fluid inclusions of Machangqing copper deposit in west Yunnan Province, China. Chem.Geol., 146: 55~63.

Kelley K D and Ludington S. 2002. Cripple Creek and other alkaline-related gold deposits in the southern Rocky Mountains, USA: Influence of regional tectonics. Mineralium Deposita, 37: 38~60.

http://www.kcdz.ac.cn/

King P L. et al. 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan fold belt, Southeastern Australia, J. Petrology, 38: 371~391.

Maughan D T, et al. 2002. Contributions from mafic alkaline magmas to the Bingham porphyry Cu-Au-Mo deposit, Utah, USA. Mineralium Deposita, 37: 14~37.

Müller D, et al. 2002. The transition from porphyry- to epithermal- style gold mineralization at Ladolam, Lihir Island, Papua New Guinea: A reconnaissance study. Mineralium Deposita, 37: 61~74.

http://www.kcdz.ac.cn/