

文章编号:0258-7106 (2009) 01-0185-10

云南剑川金河岩体中地幔流体交代特征 及其成矿意义*

刘显凡^{1,2}, 赵甫峰¹, 陶 专¹, 宋祥峰¹, 蔡永文¹, 蔡飞跃¹

(1 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059;

2 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要 云南剑川金河岩体中的硅化霓辉正长斑岩含有较多的镁铁-超镁铁质深源岩石包体。岩相学研究表明, 伴随交代蚀变, 其主岩和各类包体岩石中普遍发育沿矿物粒间和矿物晶体裂隙或解理纹贯入或穿插的呈网状和细脉浸染状分布的黑色不透明物质。对该物质进行了电子探针及扫描电镜和能谱分析, 发现其组成以微晶硅酸盐矿物为主, 含少量微晶石英, 尤其是含有微晶地幔标型矿物——含钛磁铁矿(或镜铁矿)和含铬自然铁; 后两者与硅酸盐矿物构成超显微熔离结构交生。研究认为, 这种物质组成和特征, 是具超临界和熔浆性质的地幔流体的微观表现, 其活动所引发的交代蚀变表现为硅化、钠化及深源包体中的暗色矿物由辉石→角闪石→黑云母的退变序列。这一地幔流体作用微观踪迹的揭示, 对于分析和论证滇西地区新生代多金属成矿的深部地质作用规律具有重要的理论和现实意义。

关键词 地质学; 黑色不透明微晶固体; 地幔标型矿物; 地幔流体作用; 金河岩体; 剑川; 云南

中图分类号: P618.31 **文献标志码**: A

Mantle fluid metasomatism in Jinhe intrusive body of Jianchuan, Yunnan Province, and its ore-forming implication

LIU XianFan^{1, 2}, ZHAO FuFeng¹, TAO Zhuan¹, SONG XiangFeng¹, CAI YongWen¹ and CAI FeiYue¹

(1 Institute of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract

There exist quite a few deep xenoliths in silicified aegirine syenite porphyry within Jinhe intrusive body of Jianchuan, western Yunnan Province. Petrographic researches show that black opaque materials are widely distributed reticulately along intergranular cracks of minerals, crystal fissures and cleavages in association with metasomatic alteration in mafic-ultramafic xenoliths and their host rocks. These black opaque materials were tested by electron microprobe analysis, SEM and energy spectrum analysis. The authors found that they are mainly composed of microcrystalline silicates together with minor quartz and, especially, Ti-magnetite (specularite) and Cr-ferrite that serve as typomorphic minerals of the mantle. Both ferruginous minerals and microcrystalline silicates show characteristics of liquation in the back-scattered electron image. It is concluded that the compositions and characteristics of the materials are

* 本文得到国家自然科学基金项目(批准号:40773031)、中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题基金项目(GPMR200705)和成都理工大学矿物学岩石学矿床学国家重点(培育)学科建设项目的联合资助

第一作者简介 刘显凡,男,1957年生,博士,教授,博士生导师,主要从事矿物学岩石学和矿床地球化学研究。Email:liuxianfan@cdut.cn
收稿日期 2008-11-06; 改回日期 2009-01-12。许德焕编辑。

microscopic reflection of supercritical and molten-lava mantle fluids. The metasomatic alteration caused by mantle fluids finds expression in silication, soda metasomatism and retrograde reaction in order of pyroxene \rightarrow amphibole \rightarrow biotite in dark minerals of deep xenoliths. The conclusions drawn by the authors have theoretical and practical significance for the study of the regularity governing the deep geological process of polymetallic mineralization.

Key words: geology, black opaque microcrystalline solid, mantle typomorphic minerals, mantle fluid process, Jinhe intrusive body, Jianchuan, Yunnan

滇西的富碱斑岩及其中的岩石包体沿金沙江缝合带两侧分布,出露在与红河-哀牢山大型左旋走滑剪切带伴生的古近纪小型拉分盆地中,分属剑川-石头、北衙-六合、大理-宾川 3 个富碱斑岩群(图 1)。剑川金河岩体属剑川-石头斑岩群中的 3 号岩体,其地理坐标为北纬 $26^{\circ}35'15.5''$,东经 $99^{\circ}53'03.2''$ 。

该区带自晚新生代以来,受印度-亚欧板块碰撞和与此相伴的青藏高原整体快速抬升的影响,断裂

明显由挤压转为拉张,出现断陷盆地,显示具裂谷特点的台缘拗陷,伴随地幔上拱和岩浆喷发,尤其是富碱岩浆和地幔交代流体沿深大断裂带上侵,由此发生构造-岩浆活动及深部地质作用过程,为在缝合带两侧及该区带广泛发育富碱侵入岩和其中的来源深浅不同的各类岩石包体,及与其有关的多金属矿床的形成提供了有利的地质-构造背景条件。

对该区富碱侵入岩及岩石包体的研究已有相当基础,公认富碱侵入岩成岩物质的来源与地幔源区有关(邓万明等,1998;Liu et al.,1999;毕献武等,2005;彭建堂等,2005;赵欣等,2004),并且,对该区主岩及岩石包体的岩相学和矿物学研究也积累了较丰富的资料(赵欣等,2003;刘显凡等,2006a;2007;宋祥峰等,2006;2007),但对其成岩过程中和成岩后遭受的流体作用是岩浆流体,还是地幔流体,抑或壳幔混染流体的分析和认识则存在差异或争议,分歧的根源在于对改造过程中流体的性质和来源的判定。本文在已有研究的基础上,通过对滇西剑川金河岩体中深源包体的岩相学、岩石化学、电子探针和扫描电镜研究,进一步发现和确认,其主岩和包体岩石中的流体交代作用与岩石中普遍发育的黑色不透明物质密切相关,尤其是在黑色不透明物质中发现了微晶地幔标型矿物——含钛磁铁矿(或镜铁矿)和含铬自然铁,而且,这两者与硅酸盐矿物构成超显微熔离结构交生。这一地幔来源微观踪迹的揭示,对于分析和论证滇西地区新生代多金属成矿的深部地质作用规律具有重要的理论和现实意义。

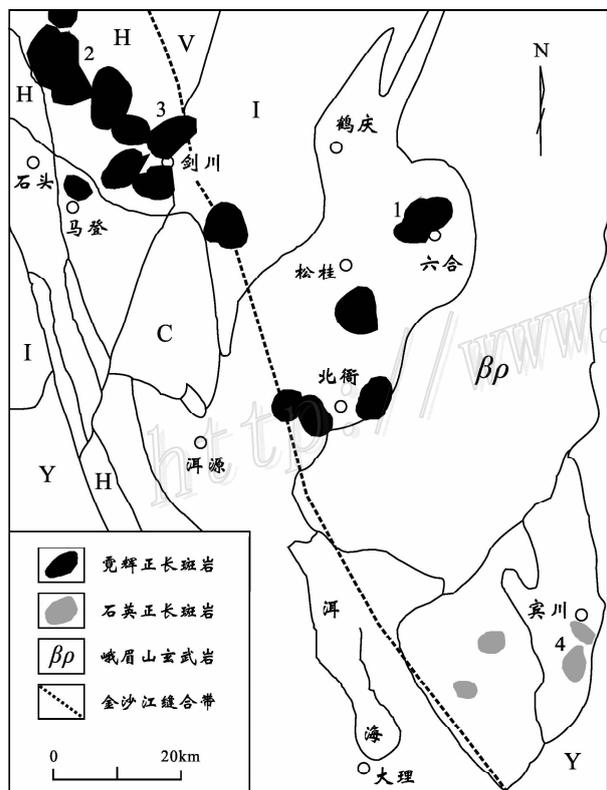


图 1 滇西地区地质略图(据魏启荣等,2004)

H—喜马拉雅期构造层;Y—燕山期构造层;I—印支期构造层;
V—华力西期构造层;C—加里东期构造层

Fig. 1 Geological sketch map of Western Yunnan
(from Wei et al., 2004)

H—Himalayan structural layer; Y—Yanshan structural layer; I—Indosinian structural layer; V—Variscan structural layer; C—Caledonian structural layer

1 金河岩体主岩及包体岩石的岩相学和岩石化学特征

金河岩体位于滇西剑川县以北 3~8 km 的永榜村至金河村的公路边。其主岩的岩石类型主要为硅化霓辉正长斑岩,侵位在与大型左旋走滑剪切带伴生的古近纪小型拉分盆地中,属新生代成岩无疑。

岩石具似斑状结构,似斑晶约占 40%,由钾长石(20%)、霓辉石(10%)、斜长石(约 5%)和石英(约 5%)组成,偶见黑云母和白云母,其霓辉石的化学成分见表 1;似基质约占 60%,具细粒结构,主要由长石和部分碱性暗色矿物及少量硅化石英组成。其主岩的化学成分如表 1 所示。

金河岩体中,含有较多来源深浅不同的岩石包体,以深源暗色岩包体居多,分布不均,大小不一,大者直径数十厘米,小者 1~2 cm,以后者居多,外形多呈浑圆状、椭圆状,部分为棱角状,与主岩(硅化霓辉正长斑岩)接触界线清楚,但有一定程度的穿插、混染(图 2a)。值得注意的是,主岩一侧往往无烘烤冷凝固边,而包体岩石一侧则发育有不明显的细而窄的细粒淬火边(图 2b),同时可见硅化石英细脉穿切淬火边贯入包体岩石中。这可能暗示该岩石包体被捕虏时,富碱岩浆与岩石包体发生淬火,从而形成有一定混染的细粒淬火边。

该岩体中深源暗色岩包体的岩石类型主要有,蚀变石榴辉石岩、蚀变橄榄辉长岩、蚀变黑云辉长岩和蚀变角闪辉石岩等。经显微镜鉴定并配合电子探针分析,可见如下矿物组成:紫苏辉石、透辉石、富钠钾长石、基性斜长石、镁黑云母等。该岩体中代表性深源包体的岩石和矿物的化学成分如表 1 所列。

由表 1 所列数据并结合相应的岩相学特征,可看出如下规律:

(1)主岩较包体岩石更富 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 和 K_2O ,而包体岩石则更富 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 和 CaO ,表明两者的岩浆性质和起源有所差异。

(2)主岩和包体岩石与对应的标准岩石相比, SiO_2 明显增高。其他组分表现为:主岩中变化小,基本相似,而包体岩石中, TiO_2 和 CaO 及 TFe 较低, MgO 和 K_2O 增高。包体岩石与原始地幔岩和交代地幔岩相比, SiO_2 、 Na_2O 和 K_2O 含量明显增高, TFe 有所降低, TiO_2 、 CaO 和 MgO 含量居于两者之间,其中 TiO_2 和 CaO 低于交代地幔岩,而 MgO 高于交代地幔岩; Al_2O_3 与交代地幔岩相当, P_2O_5 与原始地幔岩相似。这些数据特征表明,源自地幔的岩石包体在被富碱岩浆捕虏和运移过程中,伴随成岩作用而遭受到富碱硅质流体的交代改造,该流体相对富镁且具深源性质。由此也印证了图 2b 中所显示的硅化石英细脉穿切淬火边贯入包体岩石的现象。

(3)富碱硅质流体对主岩和包体岩石的交代改造主要表现在以下方面:①主岩中发育霓辉石似斑

晶(图 2c)和富钠钾长石(表 1)及具卡氏双晶假像的硅化石英似斑晶(图 2d)。②不仅在宏观手标本上可见硅化石英脉穿切包体岩石(图 3b),在微观上也见硅化石英细脉穿切淬火边贯入包体岩石中(图 2b);此外,伴随硅化蚀变,在蚀变黑云辉长岩包体中可见辉石被角闪石交代(图 3a)。③在其他类型的包体岩石中,如角闪石岩和石英砂岩包体中,发育有显微硅化石英脉,在变粒岩包体中,可见斜长石被硅化交代而成石英后仍保留聚片双晶假像(宋祥峰等,2006)。这些现象表明,富碱硅质流体的交代作用伴随幔源岩浆由深至浅运移以及成岩的全过程。④值得注意的是,伴随形成霓辉石并使辉石被角闪石交代的碱质流体的活动,发育有呈细脉浸染状分布的黑色不透明物质(图 2c 和图 3a)。以前,将这种黑色不透明物质作为碳质、铁质或一般的金属矿物浸染而未加重视。本文利用电子探针和电子显微镜对这种透光显微镜下不透光和矿相显微镜下不反光的黑色不透明物质进行了分析和研究,得到了新的发现和认识。

2 主岩和包体岩石中黑色不透明物质的成分分析

表 2 列出了穿插于主岩和包体岩石中主要造岩矿物粒间、裂隙和解理缝中的黑色不透明物质的电子探针分析数据。图 3c 和图 3d 为角闪黑云辉石岩包体中黑色不透明物质的扫描电镜背散射电子图,图中测点的能谱半定量分析数据列于表 3。

由图 2c、3a、3c 及表 2 和表 3 可以看出如下特征和规律:

(1)图 2c 和图 3a 中的显微特征代表该岩体主岩和深源包体内黑色不透明物质的基本物相特征,即在透光显微镜下呈黑色不透明的物质,在岩石中沿矿物粒间、解理缝或裂隙呈网状和细脉状分布,经电子探针分析,其成分为石英和硅酸盐矿物的微晶固体(表 2 中测点 1~3)。

(2)尤其值得注意的是,表 2 中测点 4 和 5 的分析数据显示,超镁铁质深源包体角闪黑云辉石岩内黑色不透明物质的氧化物总量显著超过 100%,且其主要组分为 FeO 和 Cr_2O_3 。这种在定量分析前提下出现总量异常的情况,表明其物质组成中存在 Fe 与 Cr 相结合的单质成分互化物,经换算, $\text{Fe}+\text{Cr}$ 原子总量的百分数分别为 96.77% 和 84.42%(表 2),由此推断,该微晶矿物应为含铬自然铁。

表1 金河岩体中主岩及包体岩石和主要矿物的化学成分及相关对比数据

Table 1 Chemical components of host rocks, xenoliths and minerals from Jinhe intrusive body

岩石或矿物	w(B)/%													数据来源	测试方法		
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₂	MnO	H ₂ O ⁺			烧失量	总量
硅化霓辉正长斑岩	68.10	0.40	14.75	1.31	1.39	0.92	2.27	4.85	4.44	0.16	0.01		0.73	1.40	100.73	本文	化学
霓辉正长斑岩	60.97	0.48	16.85	2.98	1.95	1.39	2.98	5.04	4.97				0.48		98.09	武汉地质学院 岩石教研室,1980	化学
蚀变橄辉长岩	54.12	0.57	10.58	4.03	3.71	13.78	6.89	2.20	2.05	0.13	0.08		1.31	1.54	100.99	本文	化学
橄辉长岩	48.70	2.38	12.90	15.20	15.20	5.66	9.38	3.40	0.20	0.30		1.96	0.19		100.27	武汉地质学院 岩石教研室,1980	?
原始地幔岩	43.02	0.12	2.43	2.42	7.57	39.06	3.04	0.51	0.23	0.10		0.11	0.79	0.62	100.02	邓晋福等,1980	化学
交代地幔岩	39.24	2.98	10.50	3.93	6.66	11.82	14.65	1.79	1.11	0.95		0.29	1.34	4.51	99.77	徐学义等,1997	化学
霓辉石	49.18	1.03	5.99	15.72	0.30	13.11	11.64	1.98	0.58			0.63			99.86	本文	电子探针
富钠钾长石	65.32	0.06	19.19	0.30	18.83	0.01	1.43	5.38	8.02	0.01		0.01			99.73	本文	电子探针
紫苏辉石	52.57	0.05	0.72	18.83	26.23	0.82	0.82	0.04	0.01	Cr ₂ O ₃ :0.06		0.06			99.39	本文	电子探针
透辉石	51.36	0.47	1.34	7.64	15.05	22.49	0.63	0.02	0.02	Cr ₂ O ₃ :0.08		0.08			99.16	本文	电子探针

注:①原始地幔岩为尖晶石二辉橄辉岩,数据为15个样品平均值;②交代地幔岩为金云角闪辉石岩,数据为5个样品平均值;③霓辉石为硅化霓辉正长斑岩中的似斑晶,数据为3个测点平均值;④富钠钾长石为硅化霓辉正长斑岩中的似斑晶,数据为5个测点平均值;⑤紫苏辉石为蚀变黑云辉长岩中的组成矿物,数据为2个测点平均值;⑥透辉石为蚀变黑云辉长岩中的组成矿物,数据为5个测点平均值;⑦本文数据中的化学分析由四川省地勘局华阳地矿检测中心完成,主要分析方法为原子吸收法、重量法、比色法、容量法,分析误差≤1%,测试仪器为GGX-6E原子吸收光谱仪;⑧电子探针分析由中国地质大学(武汉)电子探针室郑署完成。

表2 金河岩体中黑色不透明物质的电子探针分析数据

Table 2 Electron microprobe data of black opaque materials from Jinhe intrusive body

测点	编号	岩性	w(B)/%													鉴定结果
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	总量			
1	JCYB01-3-5	角闪黑云辉石岩	37.97	3.38	12.92	6.03	0.04	21.90	0.01	0.43	12.94	1.01	96.63	似镁黑云母		
2	JCYB01-2-8	蚀变黑云辉长岩	91.89	0.05	4.16	0.13	0.00	0.05	0.23	1.26	2.25	—	100.02	石英		
3	JCYB01-2-7	蚀变黑云辉长岩	51.31	0.34	1.50	8.64	0.52	14.42	22.13	0.78	0.01	0.01	99.66	似单斜辉石		
4	JCYB01-3-12	角闪黑云辉石岩	1.05	0.05	0.10	99.97	0.96	0.02	0.11	—	0.26	27.86	130.38			
	Fe、Cr单成分计算					77.71						27.86	19.06	96.77	含铬自然铁	
5	JCYB01-3-13	角闪黑云辉石岩	3.80	0.17	0.78	87.07	0.70	0.16	0.49	0.08	1.25	24.47	118.97			
	Fe、Cr单成分计算					67.68						16.74	84.42	含铬自然铁		
6	JCYB01-2-10	蚀变黑云辉长岩	0.27	9.77	1.18	81.41	0.52	0.85	—	0.02	—	0.21	94.23			
	Fe ₂ O ₃ 成分计算					90.48						100.25	100.25	含钛镜铁矿		
7	JCYB01-4-5	蚀变橄辉长岩	0.03	4.99	0.57	81.63	1.05	2.15	—	0.03	0.01	0.17	90.63			
	Fe ₂ O ₃ 成分计算					90.72						95.71	95.71	含钛镜铁矿		
8	JCYB01-4-3	蚀变橄辉长岩	0.08	4.81	1.10	81.26	1.04	1.81	—	0.01	0.00	0.12	90.23			
	Fe ₂ O ₃ 成分计算					90.31						95.12	95.12	含钛镜铁矿		

测试仪器:JXA-8100电子探针仪;测试条件:电压15kV,电流2×10⁻⁸A,电子探针束斑直径约1μm,分析精度0.0n%;测试单位及测试者:中国地质大学(武汉)电子探针室郑署。

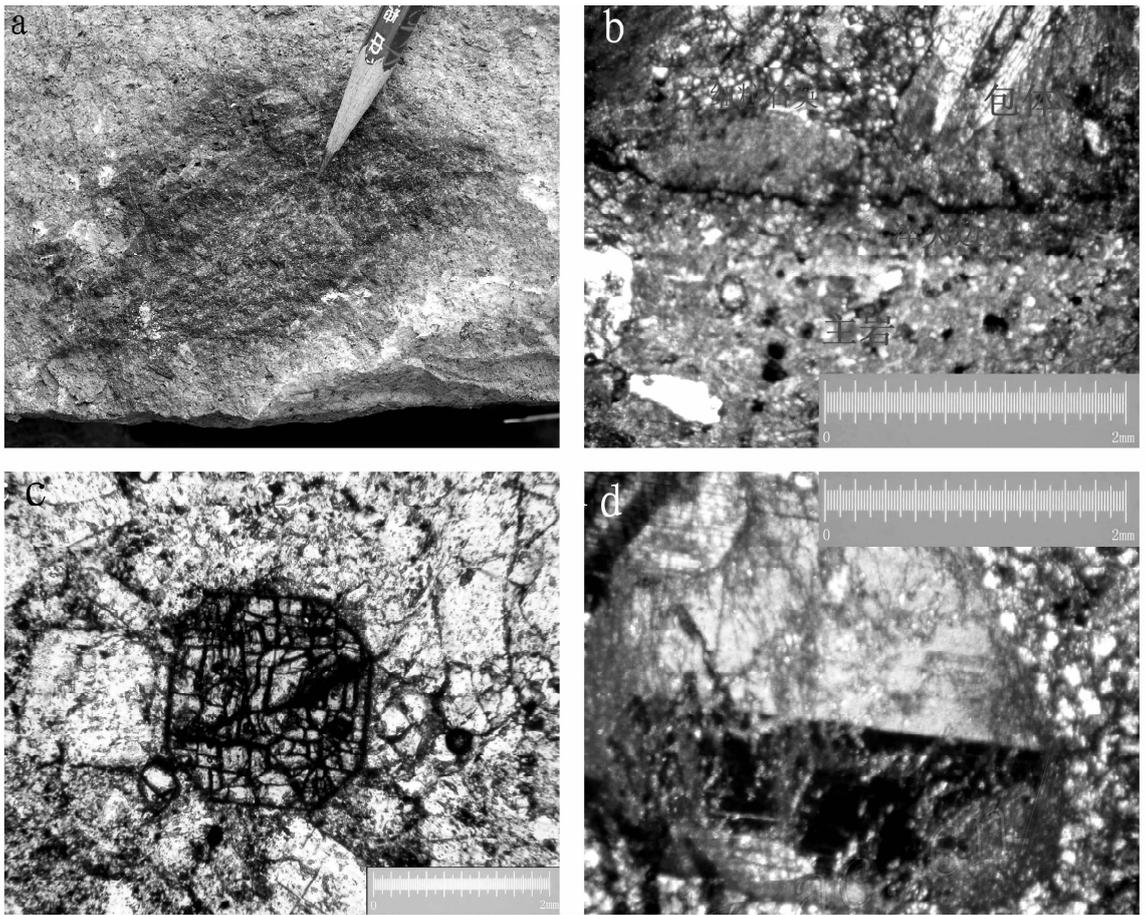


图 2 金河岩体主岩和包体岩石的显微照片和标本照片

a. 霓辉正长斑岩中的暗色岩包体,包体与主岩界线呈穿插混染关系(野外照片);b. 霓辉正长斑岩中的蚀变黑云辉长岩包体,包体与主岩间发育有不明显的细而窄的细粒淬火边,同时可见硅化石英细脉穿切淬火边贯入包体岩石中;c. 霓辉正长斑岩中的霓辉石似斑晶,霓辉石中沿解理缝充填了黑色不透明物质;d. 霓辉正长斑岩中具卡氏双晶假象的硅化石英似斑晶

Fig. 2 Microphotograph and sample photo of host rocks and xenoliths from Jinhe intrusive body

a. Whinstone xenolith in aegirine syenite porphyry, with the boundary between host rock and xenolith assuming continuation and interpenetration (field photo); b. Metamorphic biotite gabbro xenolith in aegirine syenite prophyry, with a microscopic reaction rim between host rock and xenolith and showed the injection of microscopic fines silicized quartz veins through chilled contact rim in xenolith; c. Phenocryst of aegirine in aegirine syenite prophyry, with cleavage cracks of aegirine full of black opaque materials; d. Orthoclase feldspar phenocrysts in aegirine syenite prophyry, which were silicified to quartz, with the preservation of the pseudomorphic Carlsbad twin

表 3 金河岩体内角闪黑云辉石岩包体中黑色不透明物质的能谱分析数据

Table 3 Energy spectrum analyses of black opaque materials in hornblende biotite pyroxenite xenolith from Jinhe intrusive body

测点号	ω(B) / %							总量 / %	鉴定结果	备注
	O	Mg	Al	Fe	Si	Ca	Na			
测点 8	34.67	2.00	1.88	61.44				99.99	镜铁矿	图 2g
测点 9	40.40	2.55	3.53	53.51				99.99	镜铁矿	图 2h
测点 10	52.60		13.50		23.16	6.52	4.22	100.00	基性斜长石	图 2h

测试仪器:电镜型号 日立 S-4800 型(冷场发射电子显微镜);能谱仪型号 牛津能谱 150 型,能谱探针束斑直径 4~10 μm,测试精度为半定量;测试单位及测试者:国土资源部成都地质矿产研究所分析测试中心电镜能谱室徐金莎。

(3)表 2 中测点 6、7 和 8 的数据显示,黑色不透明物质的组成中还含有金属矿物的微晶固体,经电子探针定量分析,其(FeO+Ti₂O)含量达到和接近

90%,按原子量和质量分数将 FeO 按 Fe₂O₃ 作成分换算,其(Fe₂O₃+Ti₂O)的质量分数接近 100%,由此推断,该微晶矿物应为含钛镜铁矿。

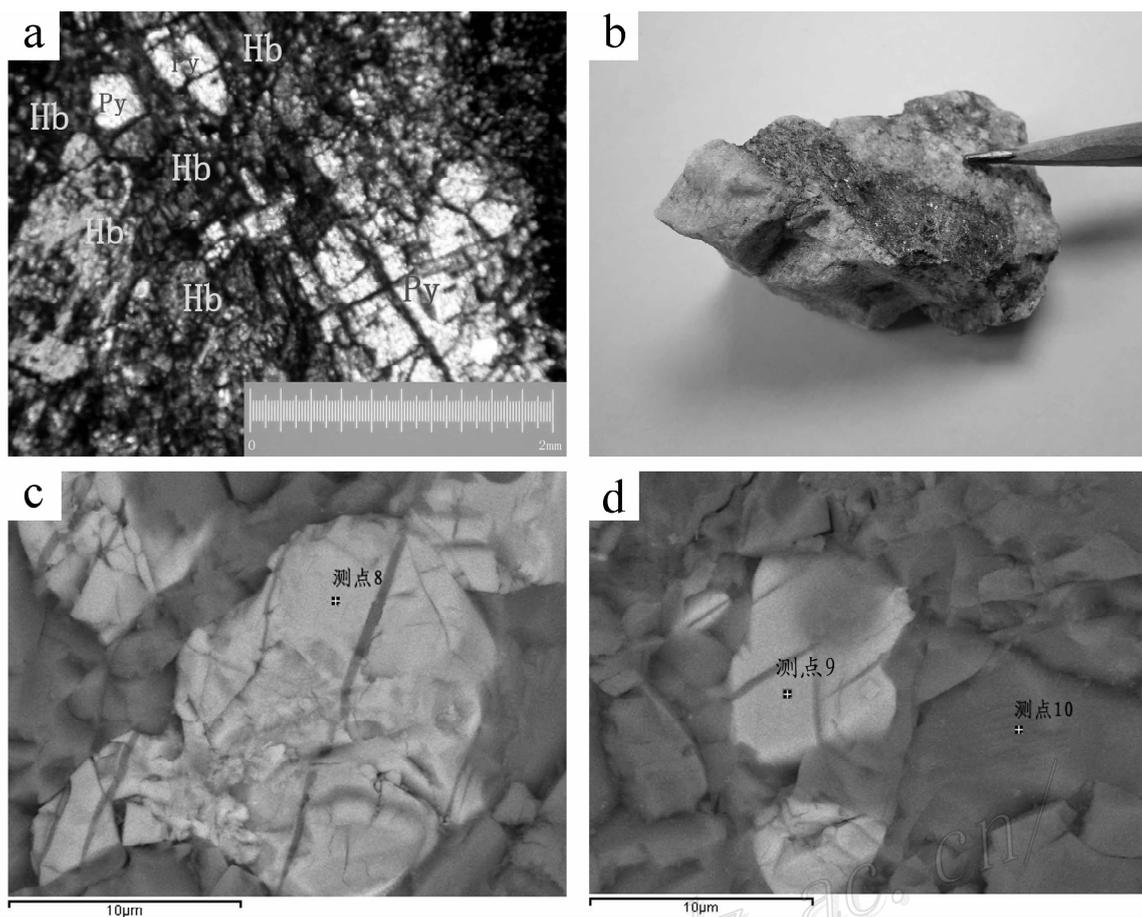


图3 金河岩体主岩和包体岩石的显微照片和标本照片

a. 蚀变黑云辉长岩包体中的辉石(Py)被角闪石(Hb)交代,并发育呈细脉浸染状分布的黑色不透明物质; b. 蚀变黑云辉长岩手标本,可见硅化石英脉穿插其中; c. 角闪黑云辉石岩包体中的磁铁矿(镜铁矿),与硅酸盐交生构成熔离结构(电镜图片 jeyb01-3-1); d. 角闪黑云辉石岩包体中的磁铁矿(镜铁矿),与硅酸盐交生构成熔离结构(电镜图片 jeyb01-3-2)

Fig. 3 Microphotograph and sample photo of host rocks and xenoliths from Jinhe intrusive body

a. Amphibole (Hb) replacing pyroxene (Py), and black opaque materials existent as disseminated replacement in metamorphic biotite gabbro; b. Hand specimen of metamorphic pyroxenite, showing the injection of silicified quartz veins; c. Magnetite (specularite) and silicate intergrowth assuming unmixing texture in amphibole biotite pyroxenite (SEM photo jeyb01-3-1); d. Magnetite (specularite) and silicate intergrowth assuming unmixing texture in amphibole biotite pyroxenite (SEM photo jeyb01-3-2)

(4)图3d和3c是角闪黑云辉石岩包体中黑色不透明物质的扫描电镜背散射电子图,图中显示出两部分:浅灰色部分为组分的原子量较高的微晶矿物,暗灰色部分为组分的原子量较低微晶矿物。能谱探针分析(表3)表明,浅灰色部分(测点8、9)应为铁的氧化物,结合表2中含钛镜铁矿的确定,该铁的氧化物相应可推定为镜铁矿;暗色部分(测点10)为基性斜长石。这两部分矿物呈熔离交生关系。由此表明,岩石中普遍发育的黑色不透明物质是以石英和硅酸盐矿物为主且含有熔离分溶的镜铁矿、含钛镜铁矿和含铬自然铁的微晶固体。

(5)尽管表3中的数据仅具半定量性质,但其所反映出的成分种类和数据特征,与电子探针定量分析数据具有对应性。因此,通过能谱分析测定,证明

了在电子探针定量分析中明显不足100%的数据(如表2的测点1)并无重要成分的丢失,只是因为测不出H原子而缺少水的质量分数。表2中测点6、7和8的总量不足,是因实际为 Fe_2O_3 的物质按FeO表示而产生质量分数缺额所致。而表2中测点4和5的总量超额,则是由于实际为Fe与Cr组成的单质互化物按氧化物表示而产生质量分数增额所致。

(6)通过对各类蚀变深源包体的显微镜下系统鉴定显示出,其矿物组合总体上表现为暗色矿物的退变系列组合,即:辉石(单斜辉石为主,有少量斜方辉石)→角闪石(如图3a,辉石被角闪石交代)→黑云母。这种退变普遍伴随黑色不透明物质的贯入(图3a),同时,导致硅化蚀变(如图2d和3b所显示的硅化蚀变)。因此,岩体中所发生的暗色矿物退变和硅

化,均源自黑色不透明物质对主岩和包体岩石的交代作用。

3 关于黑色不透明物质性质的讨论

3.1 晶质、隐晶质或非晶质固体?

金河岩体的主岩和包体岩石中,普遍发育沿矿物粒间、矿物裂隙和解理纹贯入或穿插的物质,在透光显微镜下,呈黑色不透明状,可能有 4 种情况,即黑色玻璃质、碳质、金属矿物或晶质矿物,其粒径小于 0.01 mm (10 μm)。经扫描电镜观察和能谱测定,其背散射电子图(图 3c 和 3d)显示,该黑色不透明物质的成分以硅酸盐矿物为主,部分为石英和磁铁矿(或镜铁矿),其粒径普遍小于 10 μm ,一般为 5 μm 左右,可见晶体形态。因此,该黑色不透明物质在透光显微镜下呈隐晶质,在电子显微镜下呈微晶(晶质)固体,可排除其为黑色玻璃质和碳质固体的性质。

3.2 熔浆流体或热液流体?

前已述及,黑色不透明物质呈网脉状和细脉浸染状,该特征本身即表明是一种成岩后流体作用的结果,据以下分析、讨论,可认为这种流体不同于一般的热液流体:

(1)从成分看,这种流体含有硅酸盐、石英和磁铁矿,而不是一般所谓的热卤水。

(2)热液流体作用于晶质矿物,表现为原矿物直接被交代成新的晶质矿物,并不出现隐晶或非晶质固相。

(3)隐晶或非晶质固相一般出现在熔浆流体快速过冷凝的条件下。

(4)图 3c 和 3d 显示出,镜铁矿与硅酸盐矿物之间呈熔离交生关系,这种现象类似于 Bea 等(2001)所研究的碱性熔浆在冷却过程中发生的熔离。

因此,金河岩体中呈网状和细脉浸染状的黑色不透明物质,应是熔浆流体在交代主岩和包体岩石的过程中由过冷却作用所形成的隐晶-非晶质固体。

3.3 地幔流体或岩浆流体?

一般所说的岩浆流体是岩浆和岩浆期后热液的总称。岩浆具有自身结晶成岩的性能,而岩浆期后热液则是岩浆结晶成岩过程中分离出来的热液流体。本文所定义的熔浆流体,比较接近或符合地幔流体的基本属性,主要有以下两方面依据和分析讨论:

(1)目前对地幔流体的倾向性认识可归纳为:它是由富含地球内部原始气体元素(如³He、³⁶Ar等)和挥发分(如地幔CO₂、陨石S、深源H₂O等)等组分组成的具高温、高密度的超临界性质的富碱(如K、Na、Li等)硅酸盐熔体,可溶解和携带大量的常量元素、微量元素和成矿元素(Shmulovich et al., 1995; 曹荣龙等, 1995; 孙丰月等, 1995; 刘丛强等, 2001)。Schrauder 等(1994)通过实验研究表明,地幔流体介质具有多样性,既可以是熔体(如碳酸岩熔浆),也可以是富水的流体,因此,地幔流体交代作用多与地幔岩浆作用有密切联系。金河岩体的主岩即为源自富集地幔的富碱岩浆的成岩产物(邓万明等, 1998; Liu et al., 1999),该富碱岩浆在上侵运移过程中,俘虏不同深度的其他成分的熔浆或岩石包体,而地幔流体则伴随其结晶成岩过程交代及浸染主岩和包体岩石。

(2)如表 2 所示,在黑色不透明物质的组成中测得含钛镜铁矿和含铬自然铁,这两者被认为是典型的地幔标型矿物,主要有以下几点分析讨论:

① 自然铁最早发现于金刚石中的包裹体,后来,在华北地台的金伯利岩中直接发现了自然铁单质矿物(赵磊等, 1993)。而自然铁也是被公认为形成于还原条件或缺氧环境,加上 Cr 作为地幔标型元素,因此,含铬自然铁可作为地幔物质的标型矿物。

② 虽然镜铁矿是一种铁的氧化物,但除了可能是形成于变质作用的云母赤铁矿外,主要形成于内生热液流体作用。而且,多由在相对还原条件下形成的磁铁矿转化而来,结合其与含铬自然铁共生的客观实际,表明镜铁矿应是由含钛磁铁矿在地幔流体由还原向氧化演变的过程中转化而成。当流体由强还原性向相对氧化性转变时,将降低原流体中还原性矿物的溶解度而促使其沉淀晶出(梁华英等, 2004)。

③ 已有成熟研究公认,磁铁矿形成于内生还原条件,且 Ti 是典型的地幔标型元素,因而,含钛磁铁矿(或镜铁矿)的出现也是地幔源的主要标志。

④ 含铬自然铁、含钛磁铁矿和镜铁矿的出现,结合与之共生的主体硅酸盐,表明黑色不透明物质的属性为富铁微晶硅酸盐地幔熔体。

⑤ 赵磊等(1993)研究了产于金伯利岩内的自然铁,他们根据 Si-Fe 二元相图确定该矿物的结晶温度为 1 528 $^{\circ}\text{C}$ 。若该相图也适用于富铁硅酸盐熔体,参照张兆忠(1981)研究该区碱性岩中环带状正长石

的实验相图,则本文所研究的黑色不透明物质中自然铁的结晶温度应高于霓辉正长斑岩的成岩温度。这表明,当形成主岩的富碱岩浆达到固结成岩的温度条件时,对于富碱硅酸盐熔体则构成快速过冷凝条件而形成了电子显微镜级的微晶固体,在此快速凝固的过程中,对主岩和各类包体岩石产生了不同程度的浸染和交代。

3.4 地幔流体交代作用的成矿意义

已有的研究(Liu et al., 2000)发现,在六合霓辉正长斑岩中产出的钠长石化云母石榴辉石岩包体内,发育有呈网状和细脉浸染状贯入的富钠微晶玻璃体,其成分为富 Na 和 Fe 的微晶硅酸盐,其 SiO_2 含量显著高于该类包体全岩的 SiO_2 含量,这表明其遭受来自与富碱熔浆同源的地幔流体的贯入交代。新近的研究(刘显凡等, 2007)又进一步发现,在所含包体岩石中产出的黑色微晶富铁硅酸盐熔融包体,其组成矿物中含有特征地幔矿物——自然铁、磷灰石和锆石。此外,在滇西玉龙县小桥头岩体的硅化霓辉正长斑岩及岩石包体中,也普遍发育沿矿物粒间和晶体裂隙或解理纹贯入或穿插的黑色不透明物质(宋祥峰等, 2007),其成分和性质均类似于金河岩体中发育的富铁或富钠甚至富硅的微晶硅酸盐玻璃体,反映出这种地幔流体活动的普遍性和广泛性。

尤其值得重视的是,在新生代成矿的金顶超大型铅锌矿床的砂岩型和角砾岩型矿石中,铅锌成矿物质主要以微晶硫化物(方铅矿和闪锌矿)和微晶碳酸盐(菱锌矿)的形式赋存于黑色不透明的胶结物中(刘显凡等, 2006b),该胶结物的成分以碳酸盐为主,包括微晶方解石、白云石、菱铁矿和菱锌矿。初步研究(刘显凡等, 2006b)认为,这种黑色不透明胶结物是,由来自地幔的不均匀混溶有硫化物的碳酸盐流体,于成矿作用过程中在过冷凝条件下形成的电子显微镜级微晶固体。这种电子显微镜级的黑色不透明微晶固体与本研究区内富碱侵入岩及包体岩石中普遍发育的黑色不透明物质具有相似性。它们之间有何联系?本研究认为,本区不同岩体和矿床中的地幔流体活动的背景是一致的,但地幔流体在运移过程中,伴随流体去气和交代浸染而使流体自身成分发生分异和混染,导致产于不同岩体及地层内的矿床在物质成分和交代特征上出现一定差异。因此,可以认为,金顶矿床矿石中的黑色不透明的硫化物和微晶碳酸盐的混合物是该区广泛发育的具超临界和熔浆性质的地幔流体,在运移过程中发生去气

的分离流体携带了地幔源或沿途萃取的成矿物质,远离富碱岩浆进入地层岩石中进行交代成矿的产物。由此可见,对富碱斑岩及其岩石包体中普遍发育的黑色不透明物质的深入研究,有可能更深刻地揭示该区生成富碱斑岩及与其相关的多金属矿床的深部地质过程的地球化学背景。

4 结 论

依据金河岩体主岩和包体岩石中沿矿物粒间、矿物晶体裂隙或解理纹贯入或穿插的黑色不透明物质及与此相关的交代蚀变的特征,结合其岩相学以及电子探针和扫描电镜分析,表明蚀变深源包体中所发育的暗色矿物的退变顺序为:辉石→角闪石→黑云母,并伴生硅化和钠化,以及呈网状和细脉浸染状贯入的黑色不透明物质。这种在透光显微镜下呈黑色不透明的物质,其矿物组成以微晶硅酸盐为主,含少量微晶石英,尤其是产出具地幔标型的微晶含钛磁铁矿、镜铁矿和含铬自然铁;其铁矿物与硅酸盐矿物形成了熔离结构共生;结合隐晶与非晶、熔体与热液、地幔流体与岩浆流体行为特征差异等分析后认为,这种物质活动不是一般的地壳热液卤水所为,而是具超临界和熔浆性质的地幔流体的微观表现。这一地幔流体作用微观踪迹的揭示,对于分析和论证滇西地区新生代多金属成矿的深部地质作用规律具有重要的理论和现实意义。

志 谢 本研究工作得到中国地质大学(武汉)电子探针实验室郑署高级工程师和成都地质矿产研究所电镜能谱实验室徐金沙高级工程师的热情帮助和指导;在本文成文过程中,笔者曾与沈敢富研究员进行了讨论,受益匪浅。在此表示衷心感谢!

References

- Bea F, Arzamastsev A and Montero P. 2001. Anomalous alkaline rocks of Soustov, Kola; Evidence of mantle-derived metasomatic fluids affecting crustal materials [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 140(5): 554-566.
- Bi X W, Hu R Z, Peng J T, Wu K X, Su W C and Zhan X Z. 2005. Geochemical characteristics of the Yao'an and Machangqing alkaline-rich intrusions [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 113-124 (in Chinese with English abstract).
- Deng J F, E M L and Lu F X. 1980. Temperature and pressure account of the xenoliths in alkali basalt in some area of East China [J].

- Geological Review, 26(2): 112-120 (in Chinese with English abstract).
- Deng W M, Huang X and Zhong D L. 1998. The alkali-rich porphyries of the northern of Jinshajiang River in Western Yunnan and its relationship with intraplate deformation[J]. Science in China (Series D), 28(2): 111-117 (in Chinese).
- Cao R L and Zhu S H. 1995. The mantle fluid and metallogeny[J]. Advance in Earth Sciences, 10(4): 324-329 (in Chinese with English abstract).
- Coltorti M, Beccalova L and Bonadiman C. 2004. Amphibole genesis via metasomatic reaction with clinopyroxene in mantle xenoliths from Victoria Land, Antarctica[J]. Lithos, 75 (1-2): 115-139.
- Liang H Y, Xie Y W, Zhang Y Q and Ian Campbell. 2004. The tonstraints of formation and evolution of K-rich alkaline rock to copper ore-forming: Examply of MCQ copper deposit [J]. Advance in Natural Science, 14 (1): 116-120 (in Chinese).
- Liu C Q, Huang Z L and Li H P. 2001. The geofluid in the mantle and its role in ore-forming processes[J]. Earth Science Frontiers, 8(4): 231-243 (in Chinese with English abstract).
- Liu X F, Zhan X Z, Gao Z M, Liu J J, Li C Y and Su W C. 1999. Deep Xenoliths in alkalic porphyry, Liuhe, Yunnan, and implications to petrogenesis of porphyry and associated mineralizations[J]. Science in China(Series D) (English edition), 42(6): 627-635.
- Liu X F, Zhan X Z, Gao Z M, Liu J J, Li C Y and Su W C. 2000. Na-rich microlite-glass in deep xenoliths, Liuhe, Yunnan; discovery and implications[J]. Journal of Geodynamics, 29: 141-147.
- Liu X F, Song X F, Lu Q X, Tao Z and Long X R. 2006a. Mantle fluids action in the processes of petrogenesis of alkalic porphyry and associated mineralizations, Western Yunnan [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 36(4): 503-510 (in Chinese with English abstract).
- Liu X F, Tao Z, Lu Q X, Song X F and Long X R. 2006b. An approach to mantle fluid mineralization in the superlarge Jinding Pb-Zn deposit, Yunnan Province[J]. Mineral Deposits, 25 (Supp.): 79-82 (in Chinese).
- Liu X F, Lu Q X, Song X F, Tao Z and Long X R. 2007. Special xenoliths in the aegirine syenite porphyry, Liuhe, Yunnan; Discovery and implications[J]. Acta Mineralogica Sinica, 27(3-4): 249-254 (in Chinese with English abstract).
- Peng J T, Bi X W, Hu R Z, Wu K X and Sang H Q. 2005. Determination of ore and rock-forming time of the Machangqing porphyry Cu(Mo) deposit, western Yunnan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 25(1): 69-74 (in Chinese with English abstract).
- Petrology Teaching and Research Section of Wuhan College of Geosciences. 1980. Magmatic rock petrology[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Schrauder M and Navon O. 1994. Hydrous and carbonatitic mantle fluids in fibrous diamonds from Jwaneng, Botswana[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 58(2): 761-770.
- Shmulovich K I, Yardley W D and Conchar G G. 1995. Fluids in the crust[M]. Moscow: Chapman and Hall Press.
- Song X F, Liu X F, Tao Z, Lu Q X and Long X R. 2006. The characteristics of the mantle fluid metasomatism of the alkali-rich porphyries and its xenoliths in western Yunnan [J]. Journal of Petrology and Mineralogy, 26(4): 19-25 (in Chinese with English abstract).
- Song X F, Liu X F, Tao Z, Lu Q X and Long X R. 2007. Mantle fluid metasomatism; Evidence from alkali syenite and its deep xenoliths [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 26(1): 310-314 (in Chinese with English abstract).
- Sun F Y and Shi Z L. 1995. On the mantle-derived C-H-O fluid system and its significace to some geologic processes within continental plate [J]. Earth Science Frontiers, 2(1-2): 167-174 (in Chinese with English abstract).
- Wei Q R and Wang J H. 2004. Study on petrology and mineralogy of mafic deep-derived enclaves in Liuhe-Xiangduo area, Eastern Tibet [J]. Mineral Petrol., 24(1): 17-28 (in Chinese with English abstract).
- Xu X Y and Huang Y H. 1997. Phlogopite amphibole pyroxenite xenoliths in Langao, Shanxi Province; Evidences for mantle metasomatism[J]. Acta Petrologica Sinica, 13(1): 1-13 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Z. 1981. The zonal texture of orthoclase in alkaline rock from Yao'an County, Yunnan Province[J]. Chinese Journal of Geology, 16(2): 171-175 (in Chinese with English abstract).
- Zhao L, Lu F X, Ren Y X, Zheng J P and Zhang H F. 1993. The recent discovery of several minerals in kimberlites of the North China Platform and its significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 12(3): 284-288 (in Chinese with English abstract).
- Zhao X, Mo X X, Yu X H, Zhang J and Lü B X. 2003. Mineralogical characteristics and petrogenesis of deep-derived Cenozoic syenite-porphyry in Liuhe, western Yunnan Province [J]. Earth Science Frontiers, 10(3): 93-104 (in Chinese with English abstract).
- Zhao X, Yu X H, Mo X X, Zhang J and Lü B X. 2004. Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic alkali-rich porphyries and xenoliths hosted in western Yunnan Province[J]. Geoscience, 18(2): 217-228 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 毕献武, 胡瑞忠, 彭建堂, 吴开兴, 苏文超, 战新志. 2005. 姚安和马厂箐富碱侵入岩体的地球化学特征[J]. 岩石学报, 21(1): 113-124.
- 邓晋福, 鄂莫岚, 路凤香. 1980. 中国东部某些地区碱性玄武岩中包体的温度、压力的计算[J]. 地质论评, 26(2): 112-120.
- 邓万明, 黄 萱, 钟大赉. 1998. 滇西金沙江带北段的富碱斑岩及其与板内变形的关系[J]. 中国科学(D辑), 28(2): 111-117.
- 曹荣龙, 朱寿华. 1995. 地幔流体与成矿作用[J]. 地球科学进展, 10(4): 324-329.
- 梁华英, 谢应雯, 张玉泉, Ian Campbell. 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[J]. 自然科学进展, 14(1): 116-120.

- 刘丛强, 黄智龙, 李和平. 2001. 地幔流体及其成矿作用[J]. 地学前缘, 8(4): 231-243.
- 刘显凡, 宋祥峰, 卢秋霞, 陶专, 龙训荣. 2006a. 地幔流体在滇西富碱斑岩成岩成矿过程中的作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 36(4): 503-510.
- 刘显凡, 陶专, 卢秋霞, 宋祥峰, 龙训荣. 2006b. 云南金顶超大型铅锌矿床地幔流体成矿作用探讨[J]. 矿床地质, 25(增刊): 79-82.
- 刘显凡, 卢秋霞, 宋祥峰, 陶专, 龙训荣. 2007. 云南六合霓辉正长斑岩中特殊包体岩石的发现及其意义[J]. 矿物学报, 27(3-4): 249-254.
- 彭建堂, 毕献武, 胡瑞忠, 吴开兴, 桑海清. 2005. 滇西马厂箐斑岩铜(钼)床成岩成矿时限厘定[J]. 矿物学报, 25(1): 69-74.
- 宋祥峰, 刘显凡, 陶专, 卢秋霞, 龙训荣. 2006. 滇西富碱斑岩及其包体岩石的地幔流体交代作用特征[J]. 岩石矿物, 26(4): 19-25.
- 宋祥峰, 刘显凡, 陶专, 卢秋霞, 龙训荣. 2007. 地幔流体的交代作用——来自碱性正长岩及其深源岩石包体的证据[J]. 岩石矿物学杂志, 26(1): 310-314.
- 孙丰月, 石准立. 1995. 试论幔源 C-H-O 流体与大陆板内某些地质作用[J]. 地学前缘, 2(1-2): 167-174.
- 魏启荣, 王江海. 2004. 青藏东缘六合-香多镁铁质深源包体的岩石学和矿物学研究[J]. 矿物岩石, 24(1): 17-28.
- 武汉地质学院岩石教研室. 1980. 岩浆岩岩石学[M]. 北京:地质出版社.
- 徐学义, 黄月华. 1997. 岚皋金云角闪辉石岩类捕虏体:地幔交代作用的证据[J]. 岩石学报, 13(1): 1-13.
- 张兆忠. 1981. 云南姚安碱性岩中环带状正长石[J]. 地质科学, 16(2): 171-175.
- 赵磊, 路凤香, 任迎新, 郑建平, 张宏福. 1993. 在金伯岩中新发现的几种矿物及其意义[J]. 岩石矿物学杂志, 12(3): 284-288.
- 赵欣, 莫宣学, 喻学惠, 张瑾, 吕伯西. 2003. 滇西六合地区新生代正长斑岩中深源包体的矿物学特征与成因意义[J]. 地学前缘, 10(3): 93-104.
- 赵欣, 喻学惠, 莫宣学, 张瑾, 吕伯西. 2004. 滇西新生代富碱斑岩及其深源包体的岩石学和地球化学特征[J]. 现代地质, 18(2): 217-228.

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