

云南大坪金矿区煌斑岩的地球化学特征及成因探讨

王治华 郭晓东 葛良胜 陈祥 徐涛 范俊杰

(武警黄金地质研究所, 河北廊坊 065000)

摘要: 大坪金矿区闪长岩体中发育多条煌斑岩脉, 并且多伴随石英脉出现。在岩石化学组成上, SiO_2 含量为 44.86%~54.10%、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 在 0.56~2.09 之间, 属钾玄质系列, 岩石富集大离子亲石元素(Sr、U、Rb 和 Ba)和轻稀土元素(LREE), 相对亏损高场强元素(Ta、Nb 和 Ti), 且 Ta、Nb 和 Ti 具“TNT”负异常, δEu 值为 0.72~1.36, 负 Eu 异常不明显, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值范围为 0.7066~0.7074, 均值 0.7071, 高于原始地幔现代值 0.7045; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值范围为 0.5124~0.5125, 均值 0.5124, 低于原始地幔现代值 0.512638; ϵ_{Nd} 值范围为 -2.5~-4.2, 均值 -3.98。Nb/Ta 比值为 48.96~82.58(平均 62.99), 远高于原始地幔值的 17.5 ± 2.0 ; Zr/Hf 比值为 20.45~47.53(平均 39.57), 略高于原始地幔值的 36.27 ± 2.0 ; Nb/Ta 和 Zr/Hf 都远大于陆壳值 11 和 33。表明煌斑岩源区可能来自早期俯冲洋壳或造山带根部拆沉组脱水形成富集流体在地幔源区发生交代作用形成的富集地幔, 岩浆在上升侵位过程中受到地壳物质的混染较弱, 形成于碰撞后的板内构造环境。

关键词: 煌斑岩, 富集地幔, 地球化学, 俯冲作用, 大坪金矿

中图分类号: P588.13; P59

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)04-0355-12

Geochemical characteristics and genesis of lamprophyre in the Daping gold ore district, Yunnan Province

WANG Zhi-hua, GUO Xiao-dong, GE Liang-sheng, CHEN Xiang, XU Tao and FAN Jun-jie
(Institute of Gold Geology, Chinese Armed Police Force; Langfang 065000, China)

Abstract: Quite a few lamprophyre dikes are developed in the Daping gold ore district, mostly associated with quartz veins. Petrochemically, SiO_2 content, MgO content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratios are 44.86%~54.10%, 5.84%~13.52% and 0.56~2.09, respectively, suggesting a shoshonite series; rocks of the lamprophyre dikes are enriched with large-ion lithophile elements (Sr, U, Rb, Ba) and LREE and depleted in high-field-strength elements (Ta, Nb, Ti), assume “TNT” negative anomalies of Ta, Nb and Ti, and have δEu values of 0.72~1.36, with indistinct negative Eu anomalies; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios are in the range of 0.7066~0.7074 (0.7071 on average), higher than the modern value of original mantle (0.7045); $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios are 0.5124~0.5125 (averagely 0.5124), lower than the modern value of original mantle (0.512638); ϵ_{Nd} values range from -2.5 to -4.6 (averaging -3.98). Nb/Ta ratios vary in the range of 48.96~82.58 (averaging 62.99), much higher than the value of original mantle (17.5 ± 2.0); Zr/Hf ratios are in the range of 20.45~47.53 (averaging 39.57), slightly higher than the value of original mantle (36.27 ± 2.0); Nb/Ta and Zr/Hf ratios are much higher than the values of the continental crust (11 and 33), respectively. It is thus thought that the source rock of the lamprophyre is an early subducting oceanic crust or an enriched mantle which might have been metasomatized by the enriched fluids released from the dehydration of the root matter in the orogenic belt. The magma was

收稿日期: 2009-11-15; 修订日期: 2010-02-24

基金项目: 973 国家重点基础研究发展计划(2009CB421008), 武警黄金指挥部专项基金(HJ09-03)

作者简介: 王治华(1978-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事金矿地质研究工作, E-mail: zhihuawang686@sina.com

formed in a post-collision intraplate environment and was mixed with small amounts of crustal matter as it intruded upward. Whether in time, space or mechanism, the lamprophyre dikes in the Daping ore district must have had a close genetic relationship with big tectonic events in the Jingshajiang-Ailaoshan tectonic belt.

Key words: lamprophyre; enriched mantle; geochemistry; subduction; Daping gold deposit

煌斑岩与金矿的密切共生关系以及煌斑岩的特殊产出构造环境,越来越受到国内外研究者的关注(Rock and Groves, 1988a, 1988b; Bergman *et al.*, 1988; Sheppard and Taylor, 1992; Sun and Higgins, 1996; 黄智龙等, 1999a; 周辉等, 2000; Schandl and Gorton, 2000; 谢桂青等, 2001; 刘燊等, 2005; 刘畅等, 2006; 张保民等, 2007; 柴凤梅等, 2007),对煌斑岩的成因认识也从花岗质岩浆后期结晶分异的思维框架转为壳幔相互作用和深部地幔部分熔融,从而使煌斑岩成为能够反映深部构造-岩浆作用和源区地球化学性质及成矿作用的一种研究介质。大坪金矿床是著名的金沙江-哀牢山构造带上继墨江金厂、镇源老王寨之后发现的又一重要的金矿床,矿床位于云南省元阳县大坪乡境内,矿区面积约 60 km²。自发现以来就引起了地质学者极大的关注,前人分别对矿床的地质特征、成矿流体、成矿时代和矿床成因等方面进行了系统研究(韩润生等, 1997; 应汉龙, 1998; 毕献武等, 1999; 熊德信等, 2006a, 2006b, 2007; 孙晓明等, 2007a, 2007b)。然而,前人对矿区出露的煌斑岩脉一般仅做过地质特征的简单描述,至今没人对煌斑岩脉的地质地球化学特征进行系统研究。金志升等(1997)认为三江地区富碱侵入岩和煌斑岩很可能是地幔拉张条件下同源岩浆活动的产物。黄智龙等(1999b)通过对云南老王寨金矿区煌斑岩的 Sr, Nd 同位素和 NH₄⁺ 地球化学研究认为,老王寨金矿区煌斑岩可能不是“基性岩浆陆壳混染”的产物,而是富集地幔源区部分熔融的结果。管涛等(2003, 2004)认为白马寨镍矿区煌斑岩来源于交代富集地幔,板块俯冲(印度板块向欧亚板块俯冲)过程中富含 ALK、LREE 及不相容元素的海底沉积物被带入地幔脱水形成的流体是引起本区地幔交代作用的主要因素。

本文主要通过对大坪矿区煌斑岩的岩石学、微量、稀土元素和同位素地球化学特征的系统研究,来探讨大坪矿区煌斑岩的源区特征和相关的壳幔作用过程,进而了解煌斑岩的地球化学特征对金沙江-哀牢山构造带的大地构造演化所蕴含的意义。

1 地质概况及岩石学特征

大坪金矿区大地构造位置位于扬子地块西缘的金平断块上,或称为金平滑移体(王臣兴, 2002)。该区位于金沙江-哀牢山构造带的南部,以金平为中心,东西两侧分别受哀牢山断裂及其南部分支藤条江断裂所限,北西交汇于元阳县南部的攀枝花一带,大致呈一楔形区,哀牢山深浅变质带分别位于其东西两侧(图 1)。区内除发育北西向断裂外,北东向断裂也较发育,两者相互作用和加强,造成岩浆活动和成矿活动成面型展开,极大地丰富了断块内活动的内涵,形成“遍地是金”的特征。

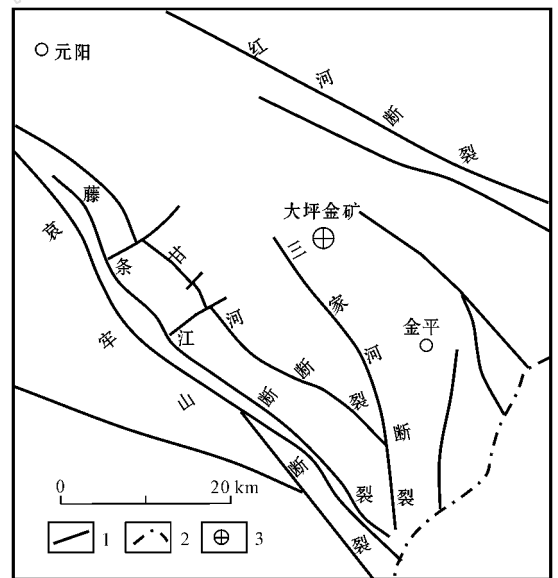


图 1 大坪金矿区构造格架图

Fig. 1 Structural framework of the Daping ore district

1—断裂; 2—国界; 3—金矿床

1—fault; 2—national boundaries; 3—gold deposit

矿区主体被桃家寨海西期闪长岩体占据(徐研非, 1989; 葛良胜等, 2007)。周围零星出露奥陶系、志留系、泥盆系地层,是一套碎屑沉积岩及碳酸盐岩。元古界哀牢山群片麻岩、变粒岩出露于矿区之北。矿区断裂构造以北西向为主,其次为近南北向

和北东向。矿区内断裂主要有三家河断裂、金子河断裂和小寨-金平断裂(图2)。

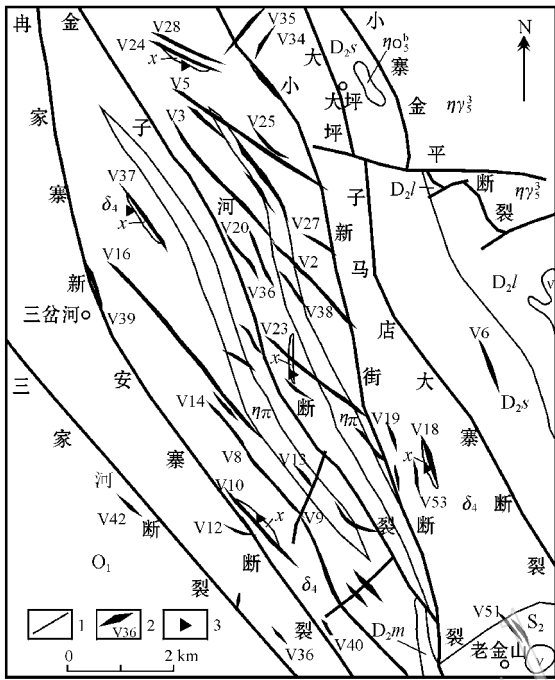


图2 大坪金矿区地质略图

Fig. 2 Sketch geological map of the Daping ore district
 1—断裂或推测断裂;2—矿脉及编号;3—采样位置; D_{2l} —中泥盆统老井寨组; D_{2s} —中泥盆统宋家寨组; D_{2m} —中泥盆统马鹿洞组; S_2 —中志留统; O_1 —下奥陶统; $\eta\gamma_3^a$ —二长花岗岩; $\eta\pi$ —二长斑岩脉; $\eta\delta_4^b$ —石英二长岩脉; δ_4 —闪长岩; ν —辉绿岩体或岩脉; χ —煌斑岩脉
 1—fault or inferred fault;2—ore vein and its serial number;3—sampling point; D_{2l} —Middle Devonian Laojingzai Formation; D_{2s} —Middle Devonian Songjiazai Formation; D_{2m} —Middle Devonian Maludong Formation; S_2 —Middle Silurian; O_1 —Lower Ordovician; $\eta\gamma_3^a$ —monzogranite; $\eta\pi$ —monzonite porphyry dike; $\eta\delta_4^b$ —quartz monzonite; δ_4 —gabbro; ν —diabase rock body or dike; χ —lamprophyre

矿区煌斑岩脉主要有两期,早期的常伴随石英脉出现,位于石英脉的旁侧,二者平行展布,这些煌斑岩脉通常均遭受片理化作用,片理发育,其中矿物大多数蚀变为绿泥石和绢云母等。后期煌斑岩脉则经常切断含矿的石英脉。脉宽数十厘米至几米,呈脉状、透镜状、不规则状。这些煌斑岩脉与石英脉走向大致相同或小角度斜交,但一般倾向相反。该期煌斑岩脉一般不具片理化现象。

煌斑岩脉呈黑灰、灰黄、暗绿色等,均具有典型的斑状结构,块状或片状构造。斑晶主要有金云母(15%~25%)、透辉石(5%~15%)、透长石(5%~10%)等,基质主要由辉石微晶(30%~40%)、细粒

透长石(5%~10%)、金云母(10%~15%)、不透明金属矿物及隐晶质组成,副矿物有磁铁矿、锆石和磷灰石等。金云母斑晶多呈长条状、六方片状,少数被溶蚀而成浑圆状,颜色环带明显,多数具有暗化边,个别较大者呈残缕结构,透辉石斑晶多呈较自形短柱状,个别呈现中心颜色浅而边部颜色深的颜色环带,透长石斑晶呈长板状组成的放射状嵌晶,少数呈“玫瑰花形”、“扇形”充填于基质中。岩石普遍遭受不同程度的蚀变,其中主要暗色矿物(辉石、金云母)全部或部分由蛇纹石、绿泥石、绢云母以及碳酸盐和石英等次生矿物替代,浅色矿物(透长石)也部分被高岭石、绢云母等矿物交代。

根据岩石矿物组合特点,其岩石类型主要可划分为云煌岩和云斜煌岩。煌斑岩中金元素的丰度为 40×10^{-9} ,早期受到蚀变的煌斑岩类金含量略高一些,均低于全球煌斑岩金含量的平均值(91×10^{-9}) (Rock and Groves, 1988b)。由于矿脉形成前后均有煌斑岩脉的产出,因此煌斑岩与金成矿的关系尚不很明确。

2 采样及分析方法

分析样品采自大坪金矿区的煌斑岩脉见图2,样品编号为DB1、DB2、DB3、DB4、DB5。样品手标本虽然较新鲜,但是镜下观察来看,岩石普遍遭受不同程度的蚀变。

主量元素在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所采用熔片法X-射线荧光光谱(XRF)、容量法(VOL)、重量法(GR)和电位法分析;微量和稀土元素在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所采用等离子体质谱法(ICP-MS)或压片法X-射线荧光光谱(XRF)分析;Sr、Nd同位素在中国地质科学院地质研究所同位素实验室由唐索寒分析,其中,Sr同位素、Rb-Sr和Sm-Nd含量分析仪器为MAT262固体同位素质谱计;Nd同位素分析仪器为Nu Plasam HR MC-ICP-MS(Nu Instruments)。

3 地球化学特征

3.1 主量元素特征

从表1可以看出,大坪矿区煌斑岩 SiO_2 为44.86%~54.10%,大多数样品 $SiO_2 < 52\%$,只有2个样品 $SiO_2 > 52\%$,属中基性岩类。相比哀牢山成矿带上的白马寨(管涛等,2003)和老王寨(黄智龙等,

表 1 大坪金矿区煌斑岩岩石化学成分表

 $w_B/\%$

Table 1 Chemical composition of lamprophyre in the Daping gold ore district

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂
DB1	54.10	0.59	12.58	1.16	4.70	0.12	6.36	6.26	3.20	4.79	0.52	0.82	4.20
DB2	45.07	0.78	12.44	11.84	1.14	0.30	13.52	7.51	1.77	1.00	0.05	3.90	0.27
DB41	48.61	0.73	12.55	1.23	5.15	0.12	8.70	6.62	4.72	3.85	0.60	1.60	4.83
DB42	48.78	0.74	12.16	1.52	5.23	0.13	9.93	6.98	2.47	4.11	0.59	2.05	5.08
DB43	48.47	0.74	11.89	1.21	5.31	0.12	10.48	7.11	2.28	4.31	0.56	1.64	5.32
Yb-21*	52.56	0.55	11.39	0.63	5.59	0.15	8.79	6.47	3.00	4.05	0.46	1.56	
Yb-13*	49.81	0.62	11.31	0.81	5.98	0.13	11.85	6.68	2.20	4.59	0.52	1.96	
3-1-1*	44.86	1.77	16.16	2.62	6.69	0.18	5.84	9.01	3.30	4.15	0.90	3.20	
白马寨煌斑岩	47.94~55.88	0.25~0.68	10.52~14.92	1.12~2.78	1.95~3.85	0.04~0.23	4.47~10.29	4.95~7.92	1.86~3.21	4.29~5.96	0.35~0.62	0.00~0.55	5.73~9.95
老王寨煌斑岩	48.07~56.64	0.58~1.15	10.52~15.53	1.05~4.99	3.13~5.69	0.11~0.31	6.10~12.12	5.88~9.81	1.01~2.82	2.78~6.80	0.46~0.82		

注:带*号的数据引自葛良胜等(2004)^①;白马寨煌斑岩(管涛等,2003);老王寨煌斑岩(黄智龙等,1996),其余的为本文数据。

1996)煌斑岩 SiO₂ 分别为 47.94% ~ 55.88% 和 48.07% ~ 56.64%, 本区煌斑岩的 SiO₂ 稍微偏低,但都属于中基性岩类。MgO 为 5.84% ~ 13.52%, 均值为 9.43%, 与白马寨和老王寨煌斑岩 MgO 分别为 4.47% ~ 10.29% 和 6.10% ~ 12.12% 相比,本区煌斑岩 MgO 含量相对较高。Na₂O 在 1.77% ~ 4.72% 之间;K₂O 在 1.00% ~ 4.79% 之间;K₂O/Na₂O 在 0.56 ~ 2.09 之间。与白马寨和老王寨煌斑岩 K₂O/Na₂O 分别为 1.66 ~ 2.64 和 1.25 ~ 6.73 相比,本区煌斑岩 K₂O/Na₂O 相对较低。在 K₂O - Na₂O 图解(图 3)中,大坪矿区的煌斑岩样品的投点几乎都落在钾玄质系列,只有 1 个样品的投点落在超钾质系列,且岩石 K₂O 含量与 Na₂O 含量间不具相关性,表明富钾是岩石本身固有的特征,而白马寨和老王寨煌斑岩的投点大部分都落在超钾质系列。

3.2 过渡族元素特征

从表 2 中可见,大坪矿区煌斑岩过渡族元素 Sc、Ti 和 V 的含量相对稳定,其他过渡族元素 Cr、Mn、Co、Ni、Cu 和 Zn 的含量变化较大,尤其是 Cr 和 Ni 含量范围分别为 $133.7 \times 10^{-6} \sim 542.90 \times 10^{-6}$ 和 $30.69 \times 10^{-6} \sim 250.10 \times 10^{-6}$ 。从以原始地幔标准化的过渡族元素蛛网图(图 4)中可见,本区煌斑岩微量元素 Ti、Mn、Cu 和 Zn 等则有轻微富集,而 Cr 和 Ni 则亏损明显。从曲线的形状看,均呈大致相同的“W”形,相容元素 Cr、Ni 处于低谷。从晶体场的相关理论出发,一般认为由地幔部分熔融形成的岩浆

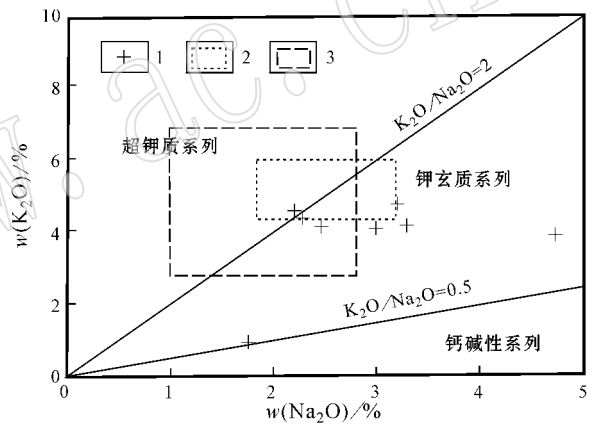
图 3 煌斑岩的 K₂O - Na₂O 图解

Fig. 3 K₂O - Na₂O diagram for lamprophyre
1—大坪矿区煌斑岩;2—白马寨煌斑岩;3—老王寨煌斑岩
1—lamprophyre in the Daping ore district;2—lamprophyre in Baimazhai;3—lamprophyre in Laowangzhai

相对于地幔矿物而言,由于 Cr³⁺、Ni²⁺ 具有较大的八面体择位能力更倾向于保存在后者中,因此前者就会贫 Cr 和 Ni(葛良胜等,2003)。同时据不同源区岩石的分配曲线特征看,地幔岩石的分配曲线趋于平缓,而经地幔派生的岩石则趋于 W 型。对比本区煌斑岩过渡族元素的配分曲线图,可以认为其源区具有经地幔派生岩浆的特征。

3.3 不相容元素特征

除样品 DB2 的不相容元素含量与其他样品相比具有较大的差距外,矿区煌斑岩的不相容元素含量

表 2 大坪金矿区煌斑岩微量元素含量表

$w_B/10^{-6}$

Table 2 Trace element composition of lamprophyre in the Daping gold ore district

样号	As	Ba	Be	Bi	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	Sr	Nb	Zn
DB1	0.65	904.89	5.68	0.19	25.25	191.50	7.33	46.42	15.79	3.10	507.90	8.52	71.05
DB2	1.01	334.39	0.63	0.07	75.84	133.70	0.56	47.49	15.47	1.63	114.00	1.22	170.15
DB41	2.86	898.21	4.18	0.16	30.01	458.50	11.09	42.05	14.60	4.60	1 032.60	12.27	80.36
DB42	1.37	888.34	4.17	0.07	33.86	498.10	12.39	47.34	14.49	5.15	1 011.30	12.33	80.38
DB43	1.19	1 681.48	4.34	0.12	36.83	542.90	13.07	28.98	14.90	4.44	1 700.80	12.44	84.16
样号	Ta	Mn	Sn	U	Sc	Rb	Li	Ni	Pb	Th	Ti	Zr	V
DB1	0.55	914.08	1.98	3.61	17.93	204.30	14.32	30.69	34.97	11.53	3 705.56	147.33	87.57
DB2	0.12	2 530.90	0.70	0.26	24.59	29.50	11.50	151.30	6.50	1.00	4 580.72	33.33	114.03
DB41	0.74	815.63	2.57	2.27	16.22	198.30	19.60	166.90	18.42	9.04	4 616.72	214.29	96.18
DB42	0.76	846.94	3.58	2.14	17.97	210.40	21.92	213.40	17.34	8.80	4 573.08	197.52	97.76
DB43	0.73	806.48	3.28	2.16	18.61	208.30	22.07	250.10	19.59	8.81	4 781.34	199.43	96.29

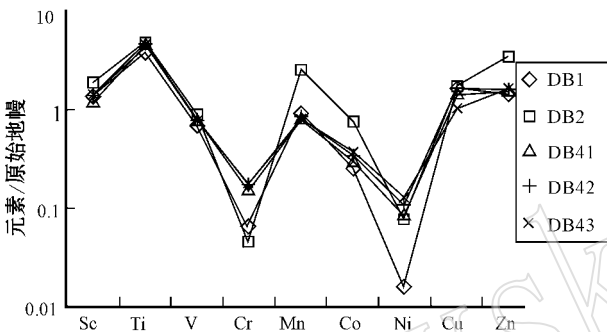


图 4 大坪矿区煌斑岩过渡族元素蛛网图 (原始地幔值引自 Taylor 和 McLennan, 1985)

Fig. 4 Spidergram of transitional elements for lamprophyre in the Daping gold ore district (primitive mantle values after Taylor and McLennan, 1985)

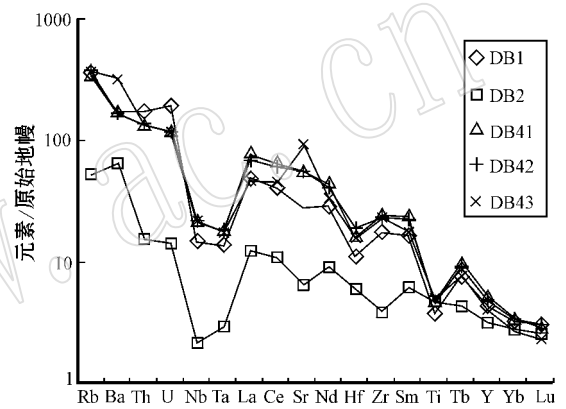


图 5 大坪矿区煌斑岩不相容元素蛛网图 (原始地幔值引自 Taylor 和 McLennan, 1985)

Fig. 5 Spidergram of incompatible elements for lamprophyre in the Daping gold ore district (primitive mantle values after Taylor and McLennan, 1985)

的变化范围较小,特别是大离子亲石元素 LILE (Sr、U、Rb 和 Ba) 和高场强元素 HESE (Th、Ta、Nb、Zr 和 Hf) 含量都比较稳定。从不相容元素的蛛网图 (图 5) 可以看出,矿区煌斑岩的微量元素变化特征相对于原始地幔,明显富集 Rb、U、Sr 和 Ba 等大离子亲石元素,而相对亏损 Ta、Nb 和 Ti 等高场强元素,且 Ta、Nb 和 Ti 具“TNT”负异常,显示出俯冲带幔源岩石的成分。

3.4 稀土元素

从稀土元素组成表和特征参数表 (表 3、表 4) 中,本区煌斑岩 Σ REE 为 $56.77 \times 10^{-6} \sim 252.86 \times 10^{-6}$; LREE 为 $37.95 \times 10^{-6} \sim 218.17 \times 10^{-6}$; HREE 为 $7.98 \times 10^{-6} \sim 17.82 \times 10^{-6}$; LR/HR 为 4.76~13.36,其值变化范围都较大,表明矿区煌斑岩具强烈分异。 δEu 值为 0.72~1.32,负 Eu 异常不明显。邓晋福等 (1996) 根据岩石相平衡理论,进一步论证了中酸性火成岩的成因,并指出在正常陆壳

厚度或加厚陆壳的中上部,陆壳岩石局部熔融产生的是具有负 Eu 异常的花岗岩 (流纹岩) 岩浆,而在加厚的陆壳底部 (深度大于 50~60 km),陆壳岩石局部熔融产生的是粗面岩 (正长岩) 岩浆。矿区煌斑岩不具有或仅具有弱的负 Eu 异常,因此可以排除研究区的煌斑岩起源于正常厚度的陆壳内或双倍陆壳中、上部的可能。

大坪矿区煌斑岩的稀土配分模式图表现为左高右低的较平滑曲线 (图 6),表明稀土元素发生了分馏,轻稀土富集,重稀土亏损,且轻微的 Eu 负异常。通过对部分熔融作用和结晶分离作用形成的岩浆岩的稀土研究,发现部分熔融作用形成的岩浆岩 La/Sm 比值随 La 含量的增高而增大,而结晶分离作用形成的岩浆岩,当 La 含量增高时,La/Sm 比值基本保持不变,因此通过 La/Sm 和 La 的直角坐标图,可

表3 大坪矿区煌斑岩稀土元素结果表

 $w_B/10^{-6}$

Table 3 REE composition of lamprophyre in the Daping gold ore district

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
DB1	27.08	59.87	7.46	30.97	5.92	1.58	5.11	0.67	3.33	0.54	1.37	0.21	1.23	0.18	14.83
DB2	7.00	15.74	2.17	9.91	2.15	0.98	2.38	0.38	2.24	0.42	1.15	0.18	1.08	0.15	10.84
DB41	44.80	100.17	12.29	49.96	8.65	2.30	7.03	0.90	4.27	0.70	1.70	0.23	1.33	0.17	18.36
DB42	38.98	88.74	11.09	45.30	8.00	2.00	6.40	0.81	4.11	0.67	1.57	0.22	1.29	0.17	16.71
DB43	26.28	65.84	8.45	35.74	6.25	1.59	5.11	0.67	3.26	0.52	1.24	0.17	0.99	0.13	13.75
Yb-21*	23.30	46.80	5.00	23.60	5.10	1.30	5.80	0.61	3.38	0.70	1.89	0.27	1.64	0.20	17.60
D-11*	39.10	72.80	9.70	39.30	7.90	1.90	7.20	0.87	4.54	0.77	2.24	0.35	1.65	0.20	20.81
D-3*	32.20	32.80	8.10	32.40	6.60	1.50	5.90	0.63	3.97	0.79	2.12	0.28	1.60	0.25	18.36

注:带*号的数据引自葛良胜等(2004)^①;其余为本文数据。

表4 大坪金矿区煌斑岩稀土元素成因参数表

Table 4 Genetic parameters of REE for lamprophyre in the Daping gold ore district

样号	Σ REE	LREE	HREE	LR/HR	δ Eu	δ Ce	La/Sm	La/Yb	Ce/Yb	Eu/Sm	Sm/Nd
DB1	160.35	132.88	12.64	10.51	0.86	1.00	4.57	22.02	48.67	0.27	0.19
DB2	56.77	37.95	7.98	4.76	1.32	0.97	3.26	6.48	14.57	0.46	0.22
DB41	252.86	218.17	16.33	13.36	0.88	1.01	5.18	33.68	75.32	0.27	0.17
DB42	226.06	194.11	15.24	12.74	0.83	1.01	4.87	30.22	68.79	0.25	0.18
DB43	169.99	144.15	12.09	11.92	0.84	1.06	4.20	26.55	66.51	0.25	0.17
Yb-21*	137.19	105.10	14.49	7.25	0.73	1.00	4.57	14.21	28.54	0.25	0.22
D-11*	209.33	170.70	17.82	9.58	0.76	0.88	4.95	23.70	44.12	0.24	0.20
D-3*	147.50	113.60	15.54	7.31	0.72	0.48	4.88	20.13	20.50	0.23	0.20

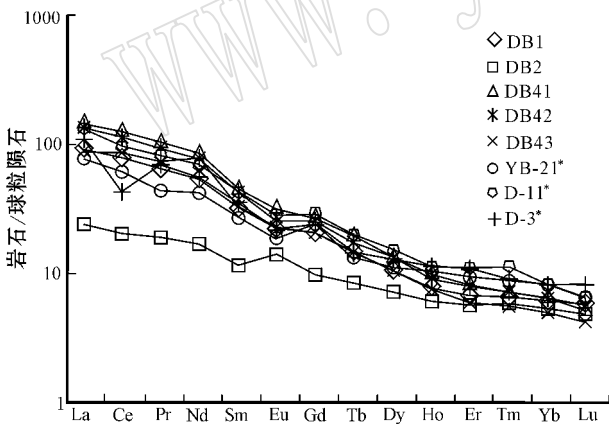
注:带*号的数据引自葛良胜等(2004)^①;其余为本文数据。

图6 大坪矿区煌斑岩稀土元素配分模式图

Fig. 6 Model map of REE distribution for lamprophyre in the Daping gold ore district

获得部分熔融和分离结晶两个模型(申屠保湧, 1995)。本文对大坪矿区煌斑岩的8个样品作La-La/Sm图解(图7),其投影点主要呈倾斜分布的趋势,这表明本区的煌斑岩主要是由同一源区经过不同的部分熔融程度而形成的。

3.5 Sr、Nd同位素

Sr、Nd同位素分析结果见表5。从表5可以看出,大坪煌斑岩Sr、Nd同位素组成相对稳定。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值范围为0.7066~0.7074,均值0.7071,高于原始地幔现代值0.7045(DePaolo and Wasserburg, 1979); $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值范围为0.5124~0.5125,均值0.5124,低于原始地幔现代值0.512638(Wasserburg, 1981); ϵ_{Nd} 值范围为-2.5~-4.6,均值-3.98。 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 值为0.1188~0.1240,均值0.1199,高于地壳的平均 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 值0.118(Jahn and Condie, 1995)。在Nd、Sr同位素图解中(图8)上,数据点均落入第四象限,暗示本区煌斑岩来源于交代富集地幔。

从图7中还可看出,本区煌斑岩的Sr、Nd同位素组成在国外同类型岩石变化范围之内(如美国Navajo云煌岩(Alibert *et al.*, 1986))。同时还可以看出,本区煌斑岩Sr、Nd同位素组成与哀牢山断裂带其他地区岩浆岩相似,且均落在腾冲第三纪火山岩(朱炳泉等, 1983)和哀牢山断裂带富碱侵入岩(朱

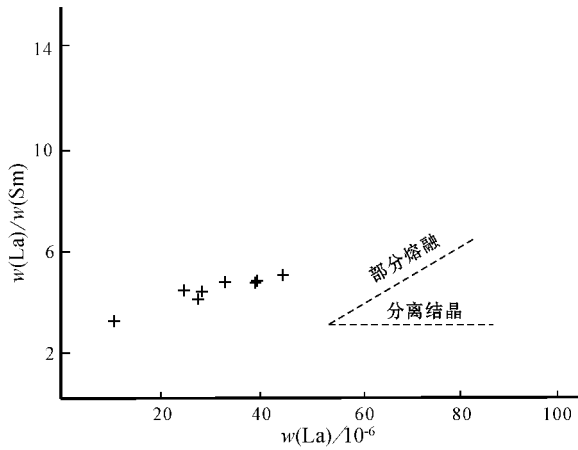


图 7 大坪矿区煌斑岩的 La/Sm - La 图解

Fig. 7 La/Sm - La diagram for lamprophyre in the Daping gold ore district

炳泉等,1992;张玉泉等,1997;邓万明等,1998)的 Sr, Nd 同位素组成范围内。由此可见,哀牢山断裂带煌斑岩及其他富钾火山岩、富碱侵入岩相对高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、低 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值是一种普遍特征,反映在来源上有共同特点。

4 讨论

4.1 源区特征

从前面的分析可以看出,大坪矿区煌斑岩在稀土、微量元素和 Sr, Nd 同位素组成上独具特色,揭示其源区既不是典型的原始地幔,也不是来自于地壳物质的重熔,反映了煌斑岩源区的复杂性。

本区煌斑岩具有低 SiO_2 和高 Mg 的主量元素特

表 5 大坪矿区煌斑岩 Sr-Nd 同位素组成表

Table 5 Sr-Nd isotope composition for lamprophyre in the Daping gold ore district

样号	Rb/ 10^{-6}	Sr/ 10^{-6}	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sm/ 10^{-6}	Nd/ 10^{-6}	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$
DB1	191.7	470.9	1.178	0.707 237	5.113	26.02	0.118 9	0.512 422	-4.2
DB2	216.6	434.7	1.442	0.707 416	5.357	26.13	0.124 0	0.512 426	-4.1
DB3	207.1	581.4	1.030	0.707 294	5.322	27.10	0.118 8	0.512 404	-4.6
DB4	210.3	458.1	1.328	0.707 359	5.248	26.70	0.118 9	0.512 408	-4.5
DB5	127.4	337.5	1.092	0.706 588	5.658	28.77	0.119 0	0.512 509	-2.5

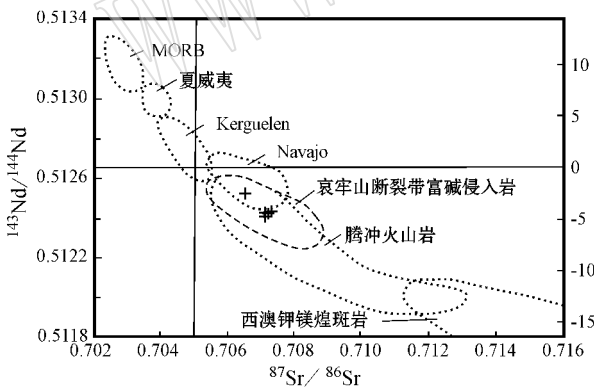


图 8 大坪金矿区煌斑岩的 Nd-Sr 同位素图解

Fig. 8 Diagram of Sr-Nd isotope composition for lamprophyre in the Daping gold ore district

MORB 夏威夷和 Kerguelen 数据据 White 和 Hofmann(1982); Navajo 云煌岩数据据 Alibert 等(1986); 腾冲第三纪火山岩数据据朱炳泉等(1983); 西澳钾镁煌斑岩数据据 Fraser(1986)

MORB, Hawaii and Kerguelen data after White and Hofmann (1982); Navajo minette data after Alibert *et al.* (1986); data of Tertiary volcanic rocks in Tengchong after Zhu Bingquan *et al.* (1983); data of lamproite in Western Australian after Fraser(1986)

征,比较接近幔源原生岩浆(Langmuir *et al.*, 1978)。稀土总量变化较大,稀土配分模式图表现为左高右低的较平滑曲线,且具有轻微的 Eu 负异常,这种曲线与典型的地壳 REE“V”字形配分模式截然不同,与 I 型花岗岩配分曲线相似,表明煌斑岩的物源既有来自上地幔,又有来自地壳的成分。煌斑岩的微量元素相对于原始地幔,它们明显富集 Rb、Sr、U 和 Ba 等大离子亲石元素,而相对亏损 Ta、Nb 和 Ti 等高场强元素,显示出俯冲带幔源岩石的成分特点。煌斑岩的相对较高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值和低 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值,显示其源区本身就经历了一定程度的 LREE 和不相容元素的富集过程,具有壳幔混合的特征。

Nb 和 Ta, Zr 和 Hf 这两对元素由于具有相近的离子半径和电负性(Jochum *et al.*, 1989)而具有相似的地球化学性质,因此 Nb/Ta 和 Zr/Hf 值很难随着分离结晶和部分熔融等岩浆过程改变,可以反映源区的性质。本区煌斑岩 Nb/Ta 比值为 48.96 ~ 82.58(平均 62.99),远高于原始地幔值的 17.5 ± 2.0 (Weaver, 1991); Zr/Hf 比值为 20.45 ~ 47.53(平

均 39.57), 略高于原始地幔值的 36.27 ± 2.0 (Weaver, 1991), 两个值都而远大于陆壳值 11 和 33 (Taylor and McLennan, 1985) 对于 Zr/Hf 值来说, 通常认为偏高的 Zr/Hf 值同小体积的碳酸盐流体交代富集过程有关 (Dupuy *et al.*, 1992; Rudnick *et al.*, 1993; Furman and Craham, 1999)。本区煌斑岩观察到的 Nb/Ta 和 Zr/Hf 值反映出的是受到富集流体交代的地幔源区的特点。

一般认为能够引起原始地幔的交代富集事件主要有三种作用方式: 一是深部地幔上升流体交代作用 (Meen *et al.*, 1989); 二是地幔小比例部分熔融形成地幔成分变化 (Roden and Murthy, 1985; Arai and Takahashi, 1989; Schiano *et al.*, 1992); 三是俯冲板块富含碱质、轻稀土及不相容元素的洋壳被带入地幔脱水形成深部地幔交代作用以及地壳或岩石圈物质混入 (Holm and Munksgaard, 1982; Ujike, 1988; Fabries *et al.*, 1989; Maury *et al.*, 1992)。正如 Rock (1990) 提到的“煌斑岩不相容元素特有的 Ta-Nb-Ti 负异常分配模式可作为俯冲环境的判别标志”本区煌斑岩 Ta-Nb-Ti 的亏损模式, 和前边提到的“偏高的 Zr/Hf 值同小体积的碳酸盐等流体交代富集过程有关”吻合, 共同印证了: 早期的俯冲带组分或岩石圈底部拆沉物质脱水产生富集 LILE 而亏损 HFSE 的流体, 富集流体交代岩石圈地幔, 部分熔融形成了煌斑岩母岩浆。在 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 1000/\text{Sr}$ 图解 (图 9) 中, 随着样品 Sr 含量的变化, 煌斑岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值基本不变, 指示岩浆上侵过程中地壳物质混染作用不明显。这表明, 大坪矿区煌斑岩 Sr、Nd 同位素的特征应代表其源区 Sr、Nd 同位素的特征。同样也证明了, 本区煌斑岩所具有的壳幔混合特征, 应主

要是其源区由俯冲到地幔的俯冲带组分脱水形成的富集流体交代岩石圈地幔的结果。综上所述, 本区煌斑岩样品的地球化学特征主要反映的是富集流体交代岩石圈地幔的煌斑岩母岩浆的特征, 地壳的影响并不是主导因素。

4.2 成岩构造环境

煌斑岩作为岩石圈地幔部分熔融的产物, 而岩脉侵入可作为中上部地壳伸展作用的标志, 它们的组合对于该区构造演化的解释具有重要意义。在煌斑岩的构造环境判别图解 (图 10) 中, 本区煌斑岩在图解上的投影点绝大多数位于板内碱性玄武岩区域, 表明煌斑岩可能形成于板内构造环境。

根据本区的构造演化史 (张连生等, 1996; 李兴振等, 1998; 张志斌等, 2005), 本区区域上在晚二叠世结束了金沙江-哀牢山特提斯的演化过程, 开始进入陆内俯冲造山阶段。自中三叠世拉丁期开始, 陆内俯冲作用所导致的地块碰撞, 结束了以下冲作用为主的造山前期阶段, 转入了以逆冲推覆作用为主的造山抬升阶段——造山主期。自古近纪开始, 喜马拉雅阶段的造山作用影响云南全境, 在 65~41 Ma 时, 印度大陆与欧亚大陆发生大规模碰撞之后, 三江地区进入陆内碰撞造山阶段, 相继经历了晚碰撞 (40~26 Ma) 和后碰撞 (25~0 Ma) (侯增谦等, 2006a)。始于 40 Ma 的晚碰撞造山作用, 发生于印-亚大陆的持续会聚和南北挤压背景之下, 以大陆内部地体 (陆块) 间的相对运动, 即陆内俯冲和逆冲-推覆-走滑活动为特征 (侯增谦等, 2006b, 2007)。大坪矿区煌斑岩的形成时代为 30~34 Ma (Wang *et al.*, 2001), 为喜马拉雅晚期岩浆活动的产物。由此可见, 受喜马拉雅运动影响而侵位的煌斑岩浆活动在时间、空间和机制上与哀牢山地区新生代的构造背景一致, 应产于造山后期或晚期的构造环境中, 即碰撞后的板内构造环境。

4.3 煌斑岩的成因机制

煌斑岩的源区具有交代富集地幔的地球化学特征, 主要是由俯冲到地幔的俯冲带组分脱水形成的富集流体交代岩石圈地幔的结果。

本区在晚二叠世-早三叠世 (250~220 Ma 左右) 结束了金沙江-哀牢山特提斯的演化过程, 开始进入陆内俯冲造山阶段。在洋壳消减过程中, 必然有拆沉的俯冲岩石圈在下降到一定深度的时候, 脱水形成高度富集大离子亲石元素 (LILE) 和轻稀土 (LREE) 而强烈亏损高场强元素 (HFSE) 的流体, 这

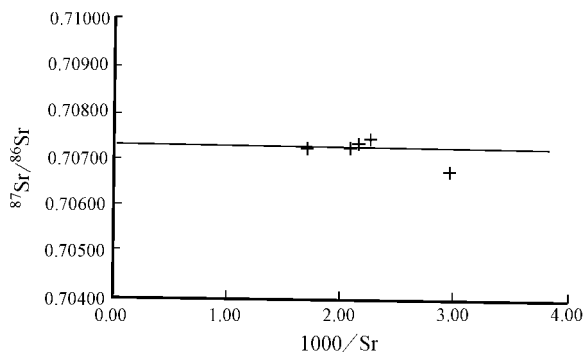


图 9 大坪矿区煌斑岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 1000/\text{Sr}$ 图解

Fig. 9 Diagram of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 1000/\text{Sr}$ for lamprophyre in the Daping gold ore district

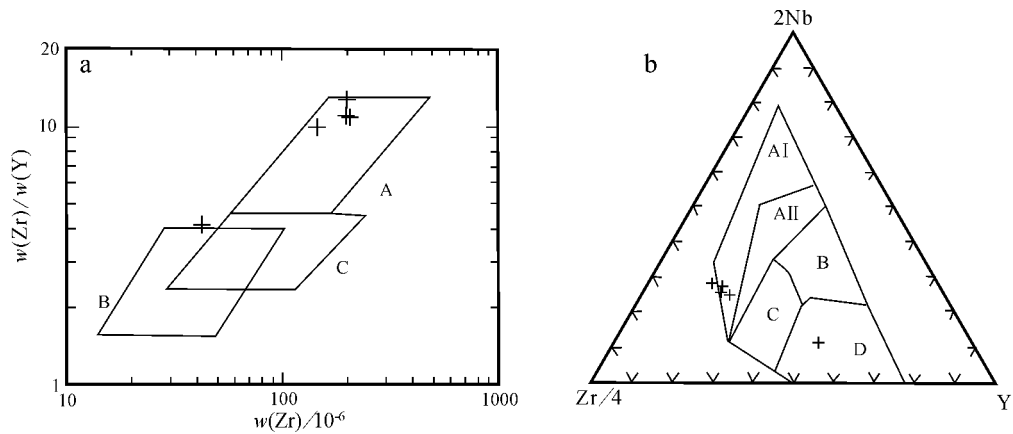


图 10 大坪矿区煌斑岩的构造环境判别图

Fig. 10 Structural discrimination diagram for lamprophyre in the Daping gold ore district

a: 据 Pearce 和 Norry(1979), A, B 和 C 分别代表 WPB, IAB 和 MORB; b: 据 Meschede(1986), AI + AII, AII + C, B 和 D 分别代表 WPAI (板内碱性玄武岩), WPTI (板内拉斑玄武岩), P-MORB 和 N-MORB

a after Pearce and Norry(1979), A, B and C represent WPB, IAB and MORB, respectively; b after Meschede(1986),

AI + AII, AII + C, B and D represent WPAI (intraplate alkaline basalt), WPTI (intraplate tholeiite), P-MORB and N-MORB, respectively

些上升的富集流体交代岩石圈地幔,引起壳幔物质发生混合,形成煌斑岩母岩浆。早第三纪(60~40 Ma左右),印度大陆与欧亚大陆发生碰撞,造成三江地区地壳和岩石圈缩短,形成不同方向的走滑断裂组合,其中包括了沿着金沙江-哀牢山洋的地方逐步形成的左行走滑断裂带以及一系列新生代走滑拉分盆地,由于盆地下陷和地幔上拱诱发了“煌斑岩母岩浆”在走滑断裂带有利部位上侵和喷发。同时,交代富集地幔源区的煌斑岩脉在本区的出现,标志着在喜马拉雅中晚期区域上构造运动是一个地壳持续减薄的过程,并且在伸展拉张的不同阶段,表现出不同的壳幔关系。因此大坪矿区煌斑岩脉的形成无论在时间、空间和机制上都与这些大的构造事件有着密切的耦合关系。

5 结论

(1) 研究区内煌斑岩以钾质系列为主,形成时代为 30~34 Ma,为喜马拉雅中晚期岩浆作用的产物。

(2) 煌斑岩的稀土、微量元素和 Sr、Nd 同位素特征显示其源区具有交代富集地幔的地球化学特征。交代富集地幔主要是由俯冲到地幔的俯冲带组分脱水形成的富集流体交代岩石圈地幔的结果。

(3) 交代富集地幔源区的煌斑岩脉在本区的出

现,标志着哀牢山构造带第三纪大地构造运动,是一个地壳持续减薄的过程,并且在伸展拉张的不同阶段,表现出不同的壳幔关系。大坪矿区煌斑岩脉的形成无论在时间、空间和机制上都与金沙江-哀牢山构造带大的构造事件有着密切的耦合关系。

References

- Alibert C, Michard A and Albaredo F. 1986. Isotope and trace element geochemistry of Colorado Plateau volcanics[J]. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 50: 2735~2750.
- Arai S and Takahashi N. 1989. Formation and compositional variation of phlogopites in the Horoman peridotite complex, Hokkaido, Northern Japan: implication for origin and fractionation of metasomatic fluids in the upper mantle[J]. *Contributions to Mineralogy Petrology*, 101(2): 165~175.
- Bergman S C, Dunn D P and Krol L G. 1988. Rock and mineral chemistry of the Linhaisai Minette, Central Kalimantan, Indonesia, and the origin of Borneo diamonds[J]. *Can. Mineral.*, 26(1): 23~43.
- Bi Xianwu and Hu Ruizhong. 1999. Mineralizer source and its constraints on gold mineralization of the Daping gold deposit, Yunnan [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 119(1): 28~33 (in Chinese with English abstract).
- Chai Fengmei, Parat Abdulkadir, Zhang Zhaochong, et al. 2007. Geochemistry of the Lamprophyre Dykes in the SW Margin of the Tarim Block and Their Source Region [J]. *Geological Review*, 53(1): 11~21 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, et al. 1996. Continental Root-plume Tectonics of China-Key to Continental Dynamics [M]. Bei-

- jing : Geological Publishing House , 1 ~ 110 (in Chinese with English abstract) .
- Deng Wanming , Huang Xuan and Zhong Dalai . 1998 . Petrological characteristics and genesis of cenozoic alkali-rich porphyry in West Yunnan , China [J] . *Scientia Geologica Sinica* , 33 (4) : 412 ~ 423 (in Chinese with English abstract) .
- DePaolo D J and Wasserburg G J . 1979 . Inferences about magma sources and mantle structure from variations of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ [J] . *Geophy Res Lett.* , 3 : 743 ~ 746 .
- Dupuy C , Liotard J M and Dostal . 1992 . Zr/Hf fractionation in intraplate basaltic rocks : carbonate metasomatism in the mantle source Geochim [J] . *Cosmochim. Acta* , 56 (6) : 2 417 ~ 2 423 .
- Fabries J , Bodinier J L , Dupuy L , et al . 1989 . Evidence for modal metasomatism in the orogenic sipnel Ihercolite body from Caussou (Northeastern Pyrenees , France) [J] . *Journal of Petrology* , 30 (1) : 199 ~ 228 .
- Fraser K J . 1986 . Sr, Nd and Pb isotope and minor element geochemistry of lamproites and kimberlites [J] . *Earth Planet. Sci. Lett.* , 76 : 57 ~ 70 .
- Furman T and Graham D . 1999 . Erosion of lithospheric mantle beneath the East African Rift system : geochemical evidence from the Kivu volcanic province [J] . *Lithos* , 48 (1 ~ 4) : 23 ~ 262 .
- Ge Liangsheng , Deng Jun , Yang Liqiang , et al . 2007 . Geology and geochemistry of Daping Super-Largegold-Polymetallic deposit in Yunnan Province , China [J] . *Geology and Prospecting* , 43 (3) : 17 ~ 24 (in Chinese with English abstract) .
- Ge Liangsheng , Zou Yilin , Li Zhenhua , et al . 2003 . Geochemistry and Genetic discussion of the granite in Bengnazangbu and Jiagang Area , Tibet [J] . *J Mineral Petrol.* , 23 (2) : 55 ~ 61 (in Chinese with English abstract) .
- Guan Tao , Huang Zhilong , Xie Lihua , et al . 2003 . Geochemistry of lamprophyres in Baimazhai nickel deposit , Yunnan province I . Major and trace elements [J] . *Acta Mineralogica Sinica* , 23 (3) : 278 ~ 288 (in Chinese with English abstract) .
- Guan Tao , Huang Zhilong , Xie Lihua , et al . 2004 . Geochemistry of lamprophyres in Baimazhai nickel deposit Yunnan Province II . Characteristics of Mantle source region [J] . *Acta Mineralogica Sinica* , 24 (1) : 14 ~ 18 (in Chinese with English abstract) .
- Holm P M and Munksgaard N C . 1982 . Evidence for mantle metasomatism : an oxygen and strontium isotope study of the Vulsinian District , Central Italy [J] . *Earth and Planetary Science Letters* , 60 (3) : 376 ~ 388 .
- Hou Zengqian , Mo Xuanxue , Yang Zhiming , et al . 2006a . Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau : Tectonic setting , tempo-spatial distribution and ore deposit type [J] . *Geology in China* , 33 (2) : 340 ~ 351 (in Chinese with English abstract) .
- Hou Zengqian , Pan Guitang , Wang Anjian , et al . 2006b . Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt : II . Mineralization in late collisional transformation setting [J] . *Mineral Deposits* , 25 (5) : 521 ~ 543 (in Chinese with English abstract) .
- Hou Zengqian , Pan Xiaofei , Yang Zhiming , et al . 2007 . Preliminary study on continental porphyry copper deposit [J] . *Modern Geology* , 21 (2) : 332 ~ 348 (in Chinese with English abstract) .
- Huang Zhilong , Liu Congqiang , Zhu Chengming , et al . 1999 . The Origin of Lamprophyres in the Laowangzhai Gold Field , Yunnan Province and their Relations with Gold Mineralization [M] . Beijing : Geological Publishing House , 30 ~ 191 (in Chinese with English abstract) .
- Huang Zhilong , Liu Congqiang , Xiao Huayun , et al . 1999 . Geochemistry evidence of Sr , Nd isotopes and NH_4^+ about lamprophyre come from enriched mantle source in Laowangzhai gold mining area , Yunnan [J] . *Progress in Natural Science* , 9 (12 , supplementary issue) : 1 291 ~ 1 297 (in Chinese with English abstract) .
- Huang Zhilong and Wang Liankui . 1996 . The petrochemistry of lamprophyres in Laowangzhai Gold orefeld , Yunnan [J] . *Geochimica* , 25 (3) : 255 ~ 263 (in Chinese with English abstract) .
- Jahn B M and Condie K C . 1995 . Evolution of the Kaapvaal eraton as viewed from geochemical and Sm-Nd isotopic analyses of intracratonic pelites [J] . *Geochim. Cosmochim. Acta* , 59 : 2 239 ~ 2 258 .
- Jin Zhisheng , Huang Zhilong and Zhu Chengming . 1997 . Consanguinity of Alkaline Intrusions and Lamprophyres of Sanjiang District , Yunnan Province [J] . *Bulletin of Mineralogy , Petrology and Geochemistry* , 16 (4) : 222 ~ 224 (in Chinese with English abstract) .
- Jochum K P , McDonough W F , Palme H , et al . 1989 . Compositional constraints on the continental lithospheric mantle from trace elements in spinel peridotite xenoliths [J] . *Nature* , 340 (6 234) : 544 ~ 550 .
- Langmuir C H , Vocke R D , Hanson G N , et al . 1978 . A general mixing equation with applications to Icelandic basalts [J] . *Earth and Planetary Science Letters* , 37 (3) : 380 ~ 392 .
- Liu Chang , Zhao Zehui and Guo Shaojie . 2006 . Chronology and geochemistry of lamprophyre dykes from Beishan area , Gansu province and implications for the crust-mantle interaction [J] . *Acta Petrologica Sinica* , 22 (5) : 1 294 ~ 1 306 (in Chinese with English abstract) .
- Liu Shen , Hu Ruizhong , Zhao Junhong , et al . 2005 . Geochemical characteristics and petrogenetic investigation of the Late Mesozoic lamprophyres of Jiaobei , Shandong province [J] . *Acta Petrologica Sinica* , 21 (3) : 947 ~ 958 (in Chinese with English abstract) .
- Li Xingzhen , Du Dexun and Wang Yizhao . 1998 . The basin-range transition and mineralization : examples from the Qamdo-Simao Basin and Jinshajiang-Ailaoshan orogenic belt in southwestern China [J] . *Tethyan Geology* , 22 : 1 ~ 16 (in Chinese with English abstract) .
- Maury R C , Defant M J and Joron J L . 1992 . Metasomatism of the subarc mantle inferred from trace elements in Philippine xenoliths [J] . *Nature* , 360 (6 405) : 661 ~ 663 .
- Meen J K , Eggler D H and A year J C . 1989 . Experimental evidence for very low solubility of rare-earth elements in CO_2 -rich fluids at mantle condition [J] . *Nature* , 340 (6 231) : 301 ~ 303 .
- Meschede M . 1986 . A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with Nb-Zr-Y diagram [J] . *Chem. Geol.* , 56 : 207 ~ 211 .
- Pearce J A and Norry M J . 1979 . Petrogenetic implications of Ti , Zr , Y and Nb variations in volcanic rocks [J] . *Contrib. Mineral Petrol.* , 69 : 33 ~ 47 .
- Rock N M S . 1990 . Lamprophyres [J] . Glasgow . Blackie , 23 ~ 65 .
- Rock N M S and Groves D I . 1988a . Do lamprophyres carry gold as well as diamond ? [J] . *Nature* , 332 : 253 ~ 255 .

- Rock N M S and Groves D I. 1988b. Can lamprophyres resolve the genetic controversy over mesothermal gold deposits? [J]. *Geology*, 16: 538~541.
- Roden M F and Murthy V K. 1985. Mantle metasomatism [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 13: 269~296.
- Rudnick R L, McDonough W F and Chapell B W. 1993. Carbonate metasomatism in the northern Tanzanian mantle: petrographic and geochemical characteristics [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 114(4): 463~475.
- Schandl E S and Gorton M P. 2000. Sb-enriched ultramafic lamprophyre in the Homlo Au-Mo deposits of the Superior province, Canada: Evidence for post-Archean Sb mobility [J]. *European Jour. Mineral.*, 12(3): 625~637.
- Schiano P, Clocchiatti R and Joron J L. 1992. Melt and fluid inclusions in basalts and xenoliths from Tahaa Island, Society Archipelago: evidence for a metasomatized upper mantle [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 111(1): 69~82.
- Shentu baoyong. 1995. Geochemistry of REE from the Granitoids in Eastern Tibet [J]. *Tethyan Geology*, 19: 90~105 (in Chinese with English abstract).
- Sheppard S and Taylor W R. 1992. Barium and LREE-rich olivine-mica-lamprophyres with affinities to lamproites, Mt. Bundey, Northern Territory, Australia [J]. *Lithos*, 28(3~6): 303~325.
- Sun S S and Higgins N C. 1996. Neodymium and strontium isotope study of the Blue Tier batholith, NE Tasmania, and its bearing on the origin of tin-bearing alkali feldspar granites [J]. *Ore Geol. Rev.*, 10(3~6): 339~365.
- Sun Xiaoming, Shi Guiyong, Xiong Dexin, et al. 2007a. Platinum Group Elements Geochemistry and Re-Os Isotopic Compositions of Daping Gold Deposit in Ailaoshan Gold Belt, Yunnan Province, China and Their Metallogenic Implications [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(3): 394~404 (in Chinese with English abstract).
- Sun Xiaoming, Xiong Dexin, Shi Guiyong, et al. 2007b. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating of Gold Deposit Hosted in the Daping Ductile Shear Zone in the Ailaoshan Gold Belt, Yunnan Province, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(1): 88~92 (in Chinese with English abstract).
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. London: Blackwell, 57~72.
- Ujike O. 1988. Probable mineralogical control on the mantle metasomatic fluid composition beneath the Northeast Japan arc [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(8): 2037~2046.
- Wang Chenxing. 2000. On the Jinping fault block and its mineral resources [J]. *Yunnan Geology*, 21(3): 256~265 (in Chinese with English abstract).
- Wang J H, Qi L, Yin A, et al. 2001. Emplacement age and PGE geochemistry of lamprophyres in the Laowangzhai gold deposit, Yunnan, SW China [J]. *Science in China (Series D)*, 44(Sup.): 146~154.
- Wasserburg G J, Jacobsen S B, DePaolo D J, et al. 1981. Precise determination of Sm/Nd ratios, Sm and Nd isotopic abundances in standard solutions [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45: 2311~2323.
- Weaver B L. 1991. The origin of ocean island basalt end member compositions: trace element and isotopic constraints [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 104(2~4): 381~397.
- White W M and Hofmann A W. 1982. Sr and Nd isotope geochemistry of oceanic basalts and mantle evolution [J]. *Nature*, 296: 821~825.
- Xie Guiqing, Peng Jiantang, Hu Ruizhong, et al. 2001. Geochemical characteristics of lamprophyres in the Xikuangshan antimony ore deposits, Hunan province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(4): 629~636 (in Chinese with English abstract).
- Xiong Dexin, Sun Xiaoming, Shi Guiyong, et al. 2006a. Trace elements, REE and Nd-Sr isotopic compositions in scheelites and their significances for the mineralization in Daping gold mine in Yunnan province, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 733~741 (in Chinese with English abstract).
- Xiong Dexin, Sun Xiaoming, Zhai Wei, et al. 2006b. Graphite inclusions with high crystallinity in the auriferous quartz veins from Daping gold deposit in Yunnan Province, China: evidence for involvement of metamorphic fluid from granulite-facies lower crust in the mineralization [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1448~1456 (in Chinese with English abstract).
- Xiong Dexin, Sun Xiaoming, Zhai Wei, et al. 2007. CO₂-Rich Fluid Inclusions in Auriferous Quartz Veins from the Daping Ductile Shear Zone Hosted Gold Deposit in Yunnan Province, China, and Its Implications for Gold Mineralization [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(5): 640~652 (in Chinese with English abstract).
- Xu Yanfei. 1989. Geologic characteristics of quartz veins in Daping, Yuanyang [J]. *Yunnan Geology*, 10(2): 171~177 (in Chinese with English abstract).
- Ying Hanlong. 1998. The geochemistry characteristics of wallrock alteration and isotope of Daping gold deposit [J]. *Gold Science and Technology*, 6(4): 14~23 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Baomin, Zhang Xiaoli and Ye Delong. 2007. Hydrogen and Oxygen Isotopic of Pyroxenes from Mantle-Derived Megacryst and Xenolith of the Kimberlitic Lamprophyre Pipe in Lujing, Anyuan, Jiangxi Province [J]. *Geological Science and Technology Information*, 26(1): 19~22 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Liansheng and Zhong Dalai. 1996. The red river strike-slip shear zone and Cenozoic tectonics of East Asia Continent [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 31(4): 327~340 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuquan, Xie Yingwen and Tu Guangzhi. 1997. The chronology and Nd, Sr isotopes characteristics of alkaline-rich intrusions in Ailaoshan-Junshajiang [J]. *Chinese Sciences (D Series)*, 27: 289~293 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhibin, Liu Fagang and Bao Jiafeng. 2005. The structural evolution of Ailaoshan Orogen [J]. *Yunnan Geology*, 24(2): 137~141 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Hui and Li Jiliang. 2000. Age and geochemical features of lamprophyres in Kuda, Western Kunlun [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(3): 380~384 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan and Mao Cunxiao. 1983. Eastern collisional boundary between India and Europe-Asian plates-study of the Nd-Sr isotopes and trace elements of Tengchong volcanics [J]. *Geochemistry*, 1(1): 1~14 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan, Zhang Yuquan and Xie Yingwen. 1992. Isotope characteristics of Cenozoic potassic volcanic rocks from Haidong, Yunnan,

and their implications for subcontinental mantle evolution in south-western China[J]. *Cochimica*, 21(3): 201~212 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 毕献武, 胡瑞忠. 1999. 云南大坪金矿床矿化剂来源及其对金成矿的制约[J]. *矿物学报*, 19(1): 28~33.
- 柴凤梅, 帕拉提·阿布都卡迪尔, 张招崇, 等. 2007. 塔里木板块西南缘钾质煌斑岩地球化学及源区特征[J]. *地质论评*, 53(1): 11~21.
- 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 1996. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社: 1~110.
- 邓万明, 黄萱, 钟大赉. 1998. 滇西新生代富碱斑岩的岩石学特征与成因[J]. *地质科学*, 33(4): 412~425.
- 葛良胜, 邓军, 杨立强, 等. 2007. 云南大坪超大型金多金属矿床地质地球化学特征[J]. *地质与勘探*, 43(3): 17~24.
- 葛良胜, 邹依林, 李振华, 等. 2003. 西藏崩纳藏布和甲岗雪山地区花岗岩的地球化学特征及成因初探[J]. *矿物岩石*, 23(2): 55~61.
- 管涛, 黄智龙, 谢力华, 等. 2003. 云南白马寨镍矿区煌斑岩地球化学 I. 主要元素和微量元素[J]. *矿物学报*, 23(3): 278~288.
- 管涛, 黄智龙, 谢力华, 等. 2004. 云南白马寨镍矿区煌斑岩地球化学 II. 地幔源区特征[J]. *矿物学报*, 24(1): 14~18.
- 韩润生, 金世昌, 雷丽. 1997. 云南元阳大坪改造型金矿床的成矿热液系统地球化学[J]. *矿物学报*, 17(3): 337~344.
- 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 等. 2006b. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(5): 521~543.
- 侯增谦, 潘小菲, 杨志明, 等. 2007. 初论大陆环境斑岩铜矿[J]. *现代地质*, 21(2): 332~348.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 等. 2006a. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. *中国地质*, 33(2): 340~351.
- 黄智龙, 刘丛强, 朱成明, 等. 1999a. 云南老王寨金矿区煌斑岩成因及其与金矿化的关系[M]. 北京: 地质出版社, 30~191.
- 黄智龙, 刘丛强, 肖化云, 等. 1999b. 云南老王寨金矿区煌斑岩富集地幔源区的 Sr, Nd 同位素和 NH_4^+ 地球化学证据[J]. *自然科学进展*, 9(12, 增刊): 1291~1297.
- 黄智龙, 王联魁. 1996. 云南老王寨金矿区煌斑岩的地球化学[J]. *地球化学*, 25(3): 255~263.
- 金志升, 黄智龙, 朱成明. 1997. 云南三江地区富碱侵入岩与煌斑岩的同源性[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 16(4): 222~224.
- 李兴振, 杜德勋, 王义昭. 1998. 盆山转换及其成矿作用——以昌都-思茅盆地和金沙江-哀牢山带为例[J]. *特提斯地质*, 22: 1~16.
- 刘畅, 赵泽辉, 郭召杰. 2006. 甘肃北山地区煌斑岩的年代学和地

- 球化学及其壳幔作用过程讨论[J]. *岩石学报*, 22(5): 1294~1306.
- 刘燊, 胡瑞忠, 赵军红, 等. 2005. 胶北晚中生代煌斑岩的岩石地球化学特征及其成因[J]. *岩石学报*, 21(3): 947~958.
- 申屠保湧. 1995. 藏东花岗岩类稀土元素地球化学特征[J]. *特提斯地质*, 19: 90~105.
- 孙晓明, 石贵勇, 熊德信, 等. 2007a. 云南哀牢山金矿带大坪金矿铂族元素(PGE)和 Re-Os 同位素地球化学及其矿床成因意义[J]. *地质学报*, 81(3): 394~404.
- 孙晓明, 熊德信, 石贵勇, 等. 2007b. 云南哀牢山金矿带大坪韧性剪切带型金矿 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年[J]. *地质学报*, 81(1): 88~92.
- 王臣兴. 2000. 金坪断块及其矿产[J]. *云南地质*, 21(3): 256~265.
- 谢桂青, 彭建堂, 胡瑞忠, 等. 2001. 湖南锡矿山锑矿区煌斑岩的地球化学特征[J]. *岩石学报*, 17(4): 629~636.
- 熊德信, 孙晓明, 石贵勇, 等. 2006a. 云南大坪金矿白钨矿微量元素、稀土元素和 Sr-Nd 同位素组成特征及其意义[J]. *岩石学报*, 22(3): 733~741.
- 熊德信, 孙晓明, 翟伟, 等. 2006b. 云南大坪金矿含金石英脉中高结晶度石墨包裹体: 下地壳麻粒岩相变质流体参与成矿的证据[J]. *地质学报*, 80(9): 1448~1456.
- 熊德信, 孙晓明, 翟伟, 等. 2007. 云南大坪韧性剪切带型金矿富 CO_2 流体包裹体及其成矿意义[J]. *地质学报*, 8(15): 640~652.
- 徐研非. 1989. 元阳大坪石英脉型金矿床地质特征[J]. *云南地质*, 10(2): 171~177.
- 应汉龙. 1998. 云南大坪金矿床围岩蚀变和同位素地球化学特征[J]. *黄金科学技术*, 4(4): 14~23.
- 张保民, 张晓黎, 叶德隆. 2007. 江西安远路逢金伯利质煌斑岩筒辉石巨晶和包体中辉石的氢氧同位素[J]. *地质科技情报*, 26(1): 19~22.
- 张连生, 钟大赉. 1996. 从红河剪切带走滑运动看东亚大陆新生代构造[J]. *地质科学*, 31(4): 327~340.
- 张玉泉, 谢应雯, 涂光炽. 1997. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征[J]. *中国科学(D辑)*, 27: 289~293.
- 张志斌, 刘发刚, 包佳凤. 2005. 哀牢山造山带构造演化[J]. *云南地质*, 24(2): 137~141.
- 周辉, 李继亮. 2000. 西昆仑库地煌斑岩的年代学及地球化学特征[J]. *岩石学报*, 16(3): 380~384.
- 朱炳泉, 毛存孝. 1983. 印度与欧亚板块东部碰撞边界-腾冲火山岩的 Nd-Sr 同位素与微量元素研究[J]. *地球化学*, (1): 1~14.
- 朱炳泉, 张玉泉, 谢应雯. 1992. 滇西洱海东第三纪超钾质火成岩系的 Nd-Sr-Pb 同位素特征与西南大陆地幔演化[J]. *地球化学*, (3): 201~212.