

西藏古堆地区煌斑岩地球化学特征及其构造意义

袁 和¹ 罗先熔¹ 李武毅² 陈 武²

(1. 桂林理工大学地球科学学院/广西隐伏金属矿产勘查重点实验室/隐伏矿床预测研究所, 广西桂林 541004;

2. 武警黄金第十一支队, 西藏拉萨 850000)

[摘 要] 近些年许多学者对煌斑岩的研究较多, 但对藏南地区的煌斑岩研究甚少。本文通过对藏南古堆地区煌斑岩进行了主量元素、稀土及微量元素的研究, 以便了解藏南古堆地区的构造演化环境。结果表明: 煌斑岩中 SiO_2 含量为 32.99% ~ 52.62%, 平均值 41.39%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 0.01 ~ 2.31, 平均值为 0.73, 为碱性玄武岩系列。岩石地球化学特征表明: 以富集大离子亲石元素(如 K、Ba), 高场强元素相对亏损(如 Ta、Zr) 为特征, 但高场强元素 Nb 相对富集。煌斑岩的成因具有幔源特征, 是在新特提斯洋形成后经扩张, 在岩石圈拉张伸展的动力学构造背景下, 致使岩石圈减薄、地幔物质上涌, 并遭受地壳物质混染而形成的。

[关键词] 煌斑岩 岩石地球化学特征 构造环境 古堆 西藏

[中图分类号] P588.12; P595 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2017)02-10

DOI:10.13712/j.cnki.dzykt.2017.02.009

Yuan He Luo Xian-rong Li Wu-yi Chen Wu. Geochemical characteristics and tectonic significance of lamprophyre in the Gudui area of Tibet [J]. *Geology and Exploration* 2017 53(2): 0300-0309.

在藏南地区广泛分布着辉长岩、辉绿岩、花岗岩等基性-酸性岩浆岩。近些年一些学者对藏南地区的基性-酸性岩浆岩及其形成的地球动力学背景进行了大量的研究, 对藏南洛扎、扎西、哲古地区的基性岩墙群的研究认为, 基性岩墙群是在拉张背景下岩石圈伸展减薄、软流圈持续上涌的地球动力学背景下产生的(童劲松等, 2007; 杨超等, 2014; 任冲等, 2015)。聂凤军等(2006)和高利娥等(2009; 2013)对藏南邛多江地区的酸性花岗岩的研究认为, 花岗岩是在伸展构造作用过程中岩浆活动的产物, 并且发生了部分熔融。

藏南古堆地区分布着呈脉状产出的基性-超基性岩类, Jiang *et al.* (2006) 通过对藏南地区基性岩的侵位时代进行了精确限定, 测年结果表明基性岩类的侵位时间为 135 Ma 左右, 形成时代为早白垩世。在这一时期, 古堆-隆子断裂带已经形成, 并开始强烈活动, 深部地幔岩浆上涌, 此时大量基性岩类呈脉状沿古堆-隆子断裂带附近侵入。

近些年, 由于多数学者对藏南地区的辉长岩、辉绿岩及花岗岩的研究较多, 但对煌斑岩的研究较少。

因此, 本文通过对藏南古堆地区煌斑岩的岩石学、岩石地球化学及其成因进行了探讨性研究, 并尝试对该区在早白垩世时期的大陆动力学背景进行初步的探讨, 同时也为研究该区基性岩脉的形成环境提供了依据。

1 地质概况及岩石学特征

研究区处于特提斯-喜马拉雅构造域喜马拉雅板片的中段, 区域内大规模近 EW 向逆冲-推覆断裂和近 SN 向张裂构造均较为发育, 主要有藏南拆离系(STDS)、近 EW 向拉孜-邛多江、绒布、洛扎断裂以及近 SN 向断裂构造(图 1)。其中近 SN 向张性断裂切割近 EW 向断裂构造, 同时, 为岩浆和含矿流体上涌提供了有利的通道。

区域内出露的地层有中生代-新生代沉积岩、火山碎屑岩, 而中生代地层在区域内最为发育, 岩石类型有泥质粉砂岩、石英砂岩、灰岩、炭质页岩及板岩。火山岩和侵入岩较为发育, 基性脉岩出露广泛, 钟华明等(2004)和潘桂棠等(2004)认为这些基性岩的侵入主要与新特提斯洋晚期洋盆扩张有关。

[收稿日期] 2016-11-24; [修改日期] 2016-12-25; [责任编辑] 衣俊杰。

[基金项目] 中国地质调查局西藏古堆地区金锑多金属矿产远景调查(编号: 1212011121236) 资助。

[第一作者] 袁 和(1985 年-) 男, 硕士研究生, 现主要从事矿产勘查及地球电化学研究工作。E-mail: yuanhe1985@126.com。

区域内变质核杂岩较发育,其中邛多江变质核杂岩由倾日、仲格耐、达拉3个核杂岩体组成。核杂岩是由伸展构造及由下盘片岩、片麻岩和上盘地层基底岩或表壳岩层组成的岩石组合而构成的,其核部为浅色花岗岩。国外学者(Harrison *et al.*, 1995; Murphy *et al.*, 1999)认为花岗岩的侵入与藏南拆离系的伸展减压而引起中上地壳部分熔融有关。在岩体的周围常分布着糜棱岩化片麻岩、千枚岩以及古生代地层。花岗岩与周围的片麻岩往往构成了区域穹隆构造。核杂岩最上面的覆盖是浅变质或未变质的中生代北喜马拉雅沉积岩系(张进江 2007)。

研究区内的煌斑岩主要发育于古堆-隆子逆冲推覆构造带附近,以脉状侵入于侏罗-三叠纪地层之中,脉宽十余厘米至数米不等,长数米至数百米。由于受到区域构造作用的影响,局部地段的煌斑岩发生了强烈的褶皱变形(图1)。

研究区内煌斑岩为云斜煌岩,野外观察呈灰色、浅灰绿色,风化后则呈黄褐色。岩石疏松,多具斑状结构,块状构造。斑晶由斜长石、黑云母组成,基质主要为黑云母、斜长石以及少量他形石英;副矿物常见的有磁铁矿、褐铁矿等。显微镜下斑晶主要为斜长石、黑云母,其中斜长石为无色细板条状,黑云母

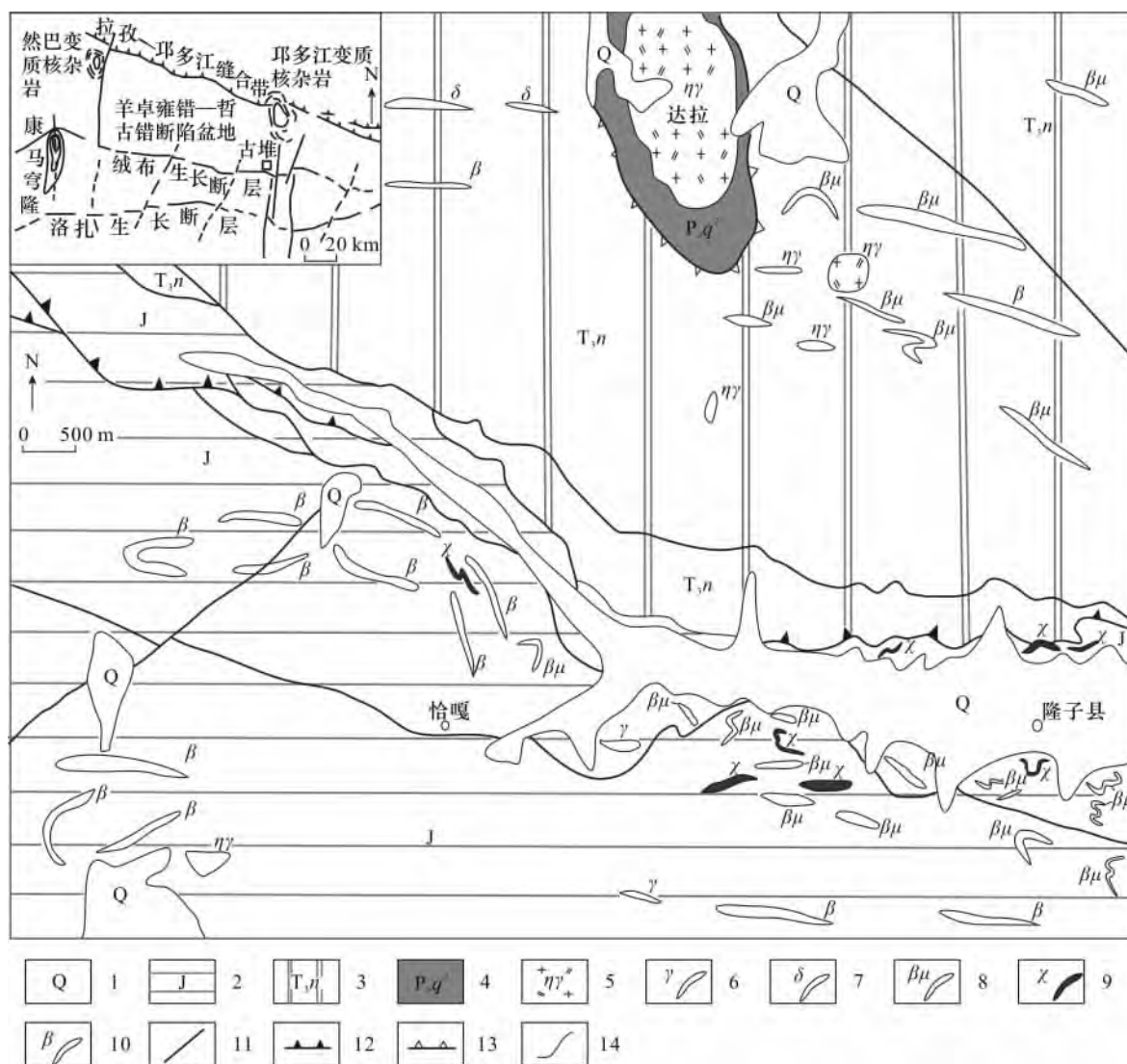


图1 古堆地区煌斑岩分布图

Fig.1 Lamprophyre distribution in the Gudui area of Tibet

- 1 - 第四系; 2 - 侏罗系; 3 - 三叠系涅如组; 4 - 古生界; 5 - 黑云母二长花岗岩; 6 - 花岗岩; 7 - 闪长岩; 8 - 辉绿岩、辉长岩; 9 - 煌斑岩;
10 - 火山岩; 11 - 断层; 12 - 逆冲推覆断层; 13 - 拆离断层; 14 - 地质界线
1 - Quaternary; 2 - Jurassic; 3 - Triassic Nieru Formation; 4 - Palaeozoic; 5 - biotite monzonitic granite; 6 - granite; 7 - diorite; 8 - diabase and gabbro; 9 - lamprophyre; 10 - volcanic rock; 11 - fault; 12 - thrust nappe fault; 13 - detachment fault; 14 - geological boundary

呈自形-半自形,少量石英呈它形粒状分布,不透明钛铁质等呈它形粒状。岩石的主要蚀变为绿泥石

化,可能为黑云母蚀变而成。

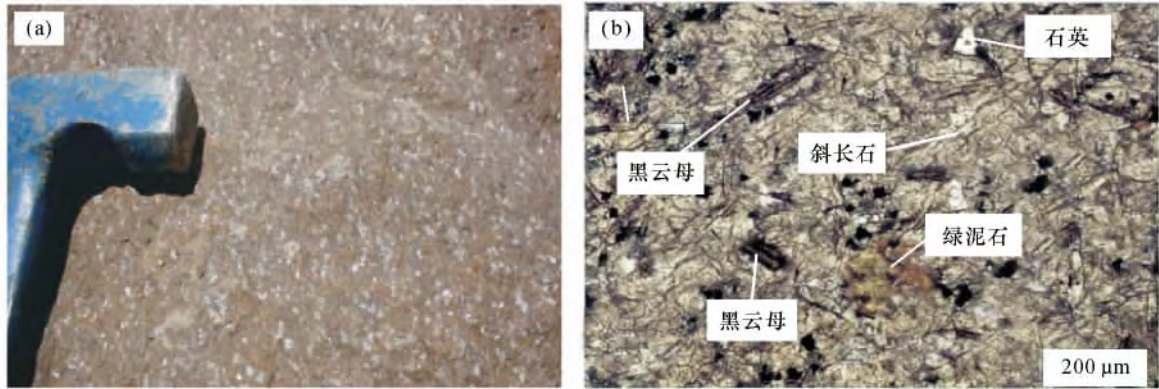


图2 煌斑岩样品手标本(a)及显微镜下(b)照片

Fig.2 Hand specimens(a) and microscope (b) photographs of lamprophyre

2 样品分析方法

在研究区内共采集了8件样品,并进行了全岩地球化学分析,其中稀土、微量元素由国土资源部长沙矿产资源监督检测中心测试完成。测试方法:稀土元素(La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y)和微量元素(Cr、Ni、Co、V、Rb、Sr、Ba、Sc、Nb、Ta、Li、Zr、Hf、U、Th、W、Sn、Cu、Pb、Zn、Au)采用等离子质谱法测试,执行标准为T0223-2001;主量元素分析由武警黄金十一支队实验室测试完成,测试方法:主量元素(SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MnO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 FeO 、 P_2O_5 、 $\text{Mg}^\#$ 、LOI)采用X荧光光谱仪2100测试,并执行JY/T 016-1996标准。

3 分析结果

3.1 岩石类型

煌斑岩是最易蚀变的岩石类型之一(鹿坤等,2009),由于煌斑岩极易蚀变而导致烧失量(LOI)普遍偏高,区内烧失量在12.99%~21.53%之间。在利用岩石化学特征来探讨煌斑岩的岩石类型、成因等之前,为了消除蚀变对原有成分的影响,对样品的主量元素分析结果进行归一化处理(表1),下面的讨论均按照归一化后的成分进行。

经归一化处理后的煌斑岩 SiO_2 含量为32.99%~52.62%,平均值41.39%,总体属于基性-超基性岩范畴。据图3显示,有6件落入碱性玄武岩区域,其余2件落入碧玄岩靠近碱性玄武岩区域,说明该区煌斑岩为碱性玄武岩系列。

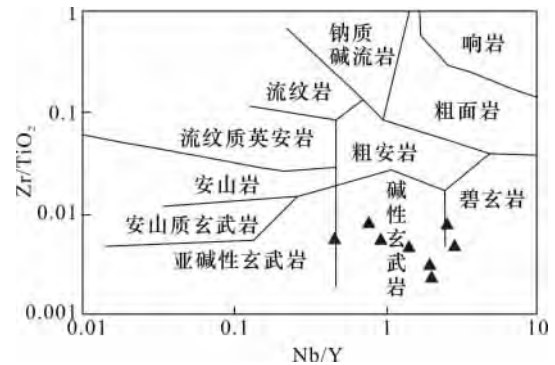


图3 古堆地区煌斑岩 $\text{Zr}/\text{TiO}_2 - \text{Nb}/\text{Y}$ 图解

Fig.3 $\text{Zr}/\text{TiO}_2 - \text{Nb}/\text{Y}$ diagram of lamprophyre in the Gudui area

3.2 主量元素

岩石中 SiO_2 含量较低,平均值41.39%, K_2O 含量为0.02%~1.02%,平均值0.31%; Na_2O 含量为0.06%~2.51%,平均值0.88%; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为0.17%~2.60%,平均值1.19%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为0.01~2.31,表明煌斑岩具有低钾特征。

$\text{Mg}^\#$ 值变化范围较大,为40.53~76.44,属于演化岩浆。在 MgO 对主量元素的Harker图解中(图4), Al_2O_3 、 SiO_2 与 MgO 间存在较弱的负相关关系,而 TFeO 、 Ti_2O 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 P_2O_5 与 MgO 的相关性不明显,显示煌斑岩的分离结晶作用较弱。

3.3 稀土元素和微量元素

据稀土元素含量特征(表2)及图5a显示, ΣREE 为 $(178.80 \sim 489.72) \times 10^{-6}$,数值变化范围较大,其中 ΣLREE 为 $(152.55 \sim 468.46) \times 10^{-6}$,

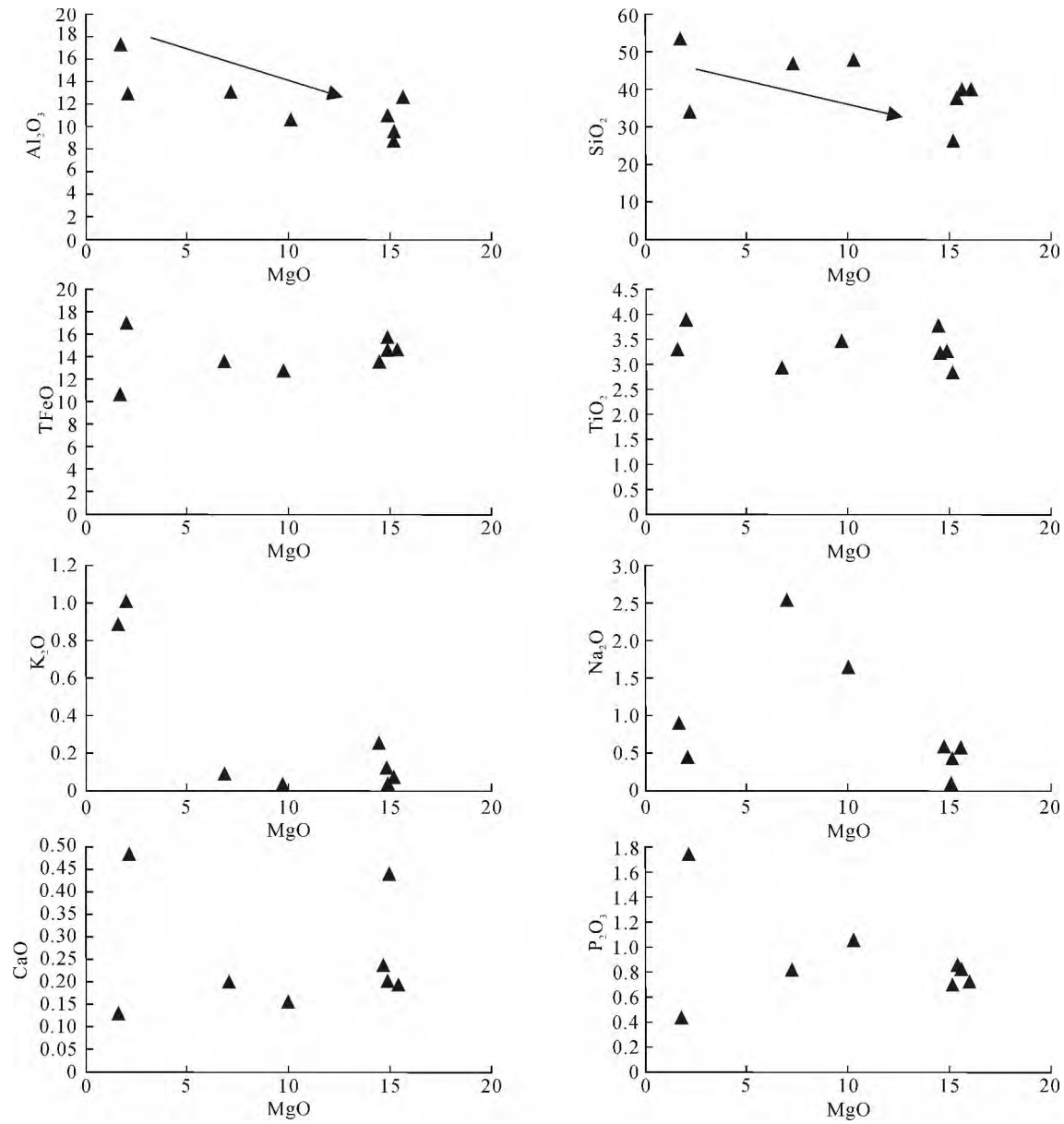


图 4 古堆地区煌斑岩主量元素 Harker 图解

Fig. 4 Harker diagrams of main elements of lamprophyre in the Gudui area

表 1 古堆地区煌斑岩主量元素(%) 分析结果表

Table 1 Analysis results of main elements(%) of lamprophyre from the Gudui area

样品号	13HB - 19	D5032HB - Q1	D5122HB - Q1	D5576HB - Q1	DA1HB - Q1	DA2HB - Q1	DA3HB - Q1	DA4HB - Q1
SiO ₂	45.79	32.99	52.62	38.56	38.52	38.86	46.85	36.9
Al ₂ O ₃	12.86	12.91	17.4	12.74	8.93	9.21	10.44	10.72
TiO ₂	2.98	3.95	3.36	2.86	3.34	3.31	3.52	3.82
CaO	13.54	26.72	11.64	13.73	17.46	15.79	13.16	17.86
MgO	7.08	2.09	1.67	15.6	15.19	15.17	10.06	14.86
MnO	0.2	0.48	0.13	0.19	0.44	0.2	0.15	0.23
K ₂ O	0.09	1.02	0.89	0.06	0.11	0.02	0.02	0.25
Na ₂ O	2.51	0.44	0.88	0.53	0.06	0.42	1.62	0.56

续表 1

Continued Table 1

样品号	13HB - 19	D5032HB - Q1	D5122HB - Q1	D5576HB - Q1	DA1HB - Q1	DA2HB - Q1	DA3HB - Q1	DA4HB - Q1
Fe ₂ O ₃	4.78	17.06	8.52	6.88	4.53	5.44	4.59	3.34
FeO	9.39	0.64	2.45	8.15	10.63	10.76	8.57	10.79
P ₂ O ₅	0.79	1.7	0.43	0.7	0.79	0.8	1.02	0.67
LOI	13.43	21.53	12.99	20.74	19.75	19.77	16.37	21.08
Mg [#]	42.99	76.44	40.53	65.68	58.84	58.5	54.01	57.94
Σ	98.65	100.68	99.36	99.65	100.28	99.85	100.43	100.06
Na ₂ O + K ₂ O	2.6	1.47	1.77	0.6	0.17	0.45	1.64	0.81
K ₂ O/Na ₂ O	0.04	2.31	1.01	0.12	1.8	0.06	0.01	0.45

ΣHREE 为 $(17.65 \sim 37.19) \times 10^{-6}$, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 为 $5.81 \sim 22.03$ (La/Yb)_N 为 $13.16 \sim 122.72$, 表明轻稀土相对富集, 重稀土相对亏损, 配分模式呈轻稀土富集的右倾型。 δEu 为 $0.74 \sim 1.02$, 在球粒陨石标准化图上, Eu 异常不太明显, 暗示在岩浆演化过程中没有太多斜长石的分离结晶。弱 Ce 负异常的出现, 可能是由于地壳物质的混入或高氧化条件或存在俯冲流体交代作用, 还有一种可能是继承了源区的固有特征等因素, 但从岩石化学分析结果看, 多数样品的 Fe_2O_3 含量明显高于 FeO 含量, 显示地幔

源区氧逸度较高, 可见负 Ce 异常可能与高的氧化条件有关系。

图 5b 显示, 样品相对富集大离子亲石元素 (如 K 、 Ba), 高场强元素相对亏损 (如 Ta 、 Zr), 但高场强元素 Nb 相对富集。

在成矿元素中, Au 含量变化范围为 $(0.38 \sim 12.65) \times 10^{-9}$, 除有 3 件样品含量相对较低外, 其余大部分样品 Au 含量均较高, 显示了研究区具有相对较高的地球化学背景值, 这可能为后期 Au 异常的出现提供了部分成矿物质。

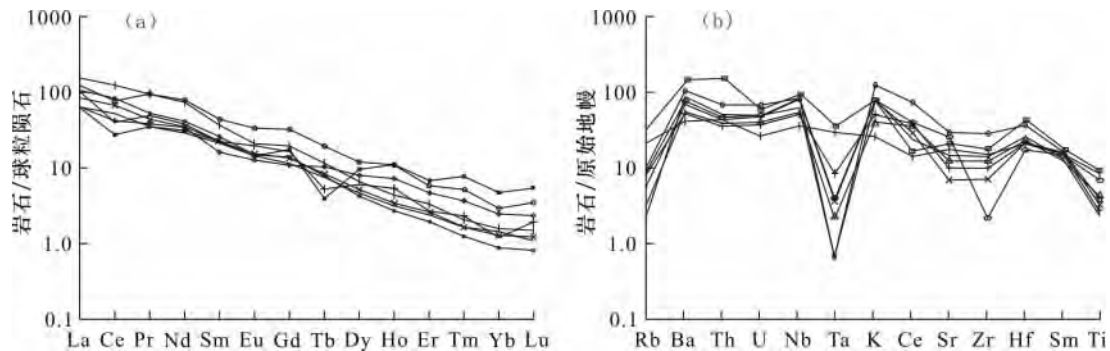


图 5 煌斑岩稀土元素配分曲线 (a) 和微量元素蛛网图 (b)

Fig. 5 Rare earth element distribution curves (a) and trace element spider diagram (b) of lamprophyre

表 2 古堆地区煌斑岩稀土元素 (10^{-6}) 分析结果表Table 2 Analysis results of rare earth elements (10^{-6}) of lamprophyre from the Gudui area

样品号	13HB - 19	D5032HB - Q1	D5122HB - Q1	D5576HB - Q1	DA1HB - Q1	DA2HB - Q1	DA3HB - Q1	DA4HB - Q1
La	44.29	82.24	42.2	67.86	57.38	73.12	105.5	42.3
Ce	75.13	137.88	47.99	70.71	120.2	148.49	218.84	92.06
Pr	10.44	26.02	9.45	13.04	12.1	14.54	26.05	9.56
Nd	44.58	105.4	40.94	52.02	47	55	98.07	39.05
Sm	7.11	19.7	9.51	9.67	10.53	11.42	16.46	9.39
Eu	2.17	5.62	2.46	3.25	2.54	2.47	3.54	2.47
Gd	6.48	19.7	10.25	9.64	7.77	8.1	11.76	6.8
Tb	1.12	2.11	0.42	0.56	0.89	0.85	1.25	0.81

续表 2

Continued Table 2

样品号	13HB - 19	D5032HB - Q1	D5122HB - Q1	D5576HB - Q1	DA1HB - Q1	DA2HB - Q1	DA3HB - Q1	DA4HB - Q1
Dy	6	8.71	7.27	4.41	3.7	3.18	4.9	3.44
Ho	1.17	1.83	1.8	0.86	0.55	0.44	0.71	0.51
Er	2.26	2.79	3.26	1.29	1.23	0.94	1.61	1.14
Tm	0.27	0.39	0.56	0.17	0.12	0.09	0.15	0.12
Yb	1.24	1.4	2.3	0.59	0.62	0.43	0.77	0.71
Lu	0.17	0.25	0.39	0.14	0.09	0.06	0.11	0.08
Y	30.03	39.54	39.38	18.92	15.16	10.23	16.99	12.29
Σ REE	202.43	414.08	178.8	234.2	264.7	319.12	489.72	208.44
LREE/HREE	9.82	10.13	5.81	12.27	16.69	21.67	22.03	14.31
(La/Yb) _N	25.53	42.07	13.16	82.21	66.88	122.72	97.8	42.83
δEu	0.96	0.86	0.76	1.02	0.82	0.75	0.74	0.9

$\delta Eu = 2 * Eu_N / (Sm_N + Gd_N)$; (La/Yb)_N 为球粒陨石标准化后的比值。

表 3 煌斑岩微量元素(10^{-6} , Au 为 10^{-9}) 分析结果表

Table 3 Analysis results of lamprophyre microelements (10^{-6} , Au is 10^{-9})

样品号	13HB - 19	D5032HB - Q1	D5122HB - Q1	D5576HB - Q1	DA1HB - Q1	DA2HB - Q1	DA3HB - Q1	DA4HB - Q1
Cr	374.8	299	41.4	489.9	648.2	681.5	457.9	651.8
Ni	108.7	179	25.4	306.8	305.2	342.2	290.2	349.7
Co	52.3	70.8	39	77.1	65.4	71.3	60.2	60.8
V	356.5	276.3	246.9	231.9	319	311.6	183	239.7
Rb	4.1	65.44	62.08	18.48	9.2	0.32	0.97	8.63
Sr	777.2	336.7	302.7	813.4	640.2	490.3	1573.6	885.9
Ba	52.6	234.9	161.4	21.2	39	15.5	60.5	70.6
Sc	23.7	23.8	24.5	21.3	21.2	15.8	18	20.3
Nb	25.3	42.9	19.2	29.7	34.4	34.7	48.7	26.9
Ta	2.39	3.93	1.49	2.28	3.25	2.24	3.52	2.13
Li	90.3	147.7	115.9	33.5	52.7	55.3	265.5	133.9
Zr	272	238.8	194.5	136.7	77.2	166.5	323.7	114.4
Hf	0.65	5.64	4.71	3.9	2.17	4.33	8.54	2.97
U	0.81	3.46	0.96	0.92	0.93	1.09	1.4	0.76
Th	4.41	12.91	3.54	6.43	6.11	7.64	9.27	4.56
W	3.02	9.1	8.57	1.88	2521	87.05	22.04	6.82
Sn	1.63	6.38	3.97	4.32	2.36	1.96	4.11	1.46
Cu	101.1	86.5	11.7	67.9	315.8	77.2	55.1	39.1
Pb	6.07	22.19	9.46	6	42.59	19.3	165.05	23.21
Zn	113	142.5	114.8	99.4	76.6	66.8	155.9	82.4
Au	0.56	0.38	1.33	0.85	10.97	2.39	12.65	3.24

4 讨论

4.1 岩浆起源

区内煌斑岩总体富 TiO_2 , 平均含量为 3.39% ,

远大于一般地壳岩石和它们熔融体的 TiO_2 含量平均值 0.72% (Rudinick *et al.* 2003) ; 同时 , 样品 Zr/Ba 为 1.02 ~ 10.75 , 平均值为 4.19 , 远大于 0.2 , 暗示煌斑岩可能起源于软流圈地幔 (Ormerod *et al.* ,

1988) ,另据 $Zr/Nb - Y/Nb$ 图解(图 6) 说明 ,煌斑岩起源于富集地幔 ,但个别样品中 Rb/Sr 比值极低 (<0.01) ,显示了亏损地幔的地球化学性质。

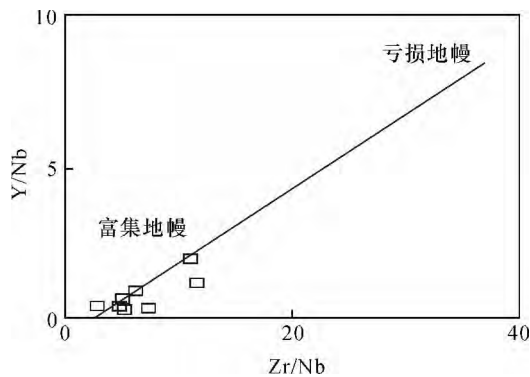


图 6 煌斑岩 $Zr/Nb - Y/Nb$ 图解

Fig. 6 $Zr/Nb - Y/Nb$ diagram of lamprophyre

这种富集地幔特征 ,是否是岩浆在上侵过程中受到地壳物质一定程度的混染 ,从以下三个方面加以判断:

(1) 区内煌斑岩中的 SiO_2 平均含量为 41.39% ,分异程度不高 , Th/Ta 为 1.84 ~ 3.41 ,远小于地壳值 10 左右 ,而接近原始地幔的 2.3 , Zr/Hf 比值除 13HB - 19 样品外均在 35.05 ~ 42.34 范围内 ,平均值为 38.44 ,在误差范围内与原始地幔值 36.27 ± 2.0 相一致 ,而远大于地壳值 11 (Weaver, 1991) 。因此研究区煌斑岩脉的产生与软流圈地幔活动关系密切。

(2) 国外学者(Lassiter *et al.* 2000) 认为来自深层地幔物质的岩浆具有低的 La/Ta 比值(一般为 8 ~ 15) ,岩石圈地幔的混染会导致该比值迅速增加 (大于 25) ,而 La/Sm 比值变化不大 ,岩浆受到地壳物质混染以后 ,其比值迅速升高到 5 以上。研究区内煌斑岩中的 $La/Ta = 17.65 \sim 32.67$, $La/Sm = 4.17 \sim 7.02$,具有幔源的特征 ,也说明了岩浆受到了地壳物质的混染。

(3) 区内的煌斑岩具有大离子亲石元素(如 K、Ba) 及轻稀土元素(LREE) 相对富集 ,高场强元素(如 Ta、Zr) 相对亏损的特征。这些特征可能是由岩浆上升过程中遭受强烈的地壳物质混染引起 ,也可能是由岩浆源区存在 ,因俯冲作用进入地幔的洋壳物质所致。但一般与俯冲作用相关的高场强元素具有典型的 Ta、Nb、Ti 相对亏损 ,即“TNT”负异常的特征(曹华文等 2013) ,而研究区内煌斑岩 Nb 相对富集 ,不具备俯冲作用产生的“TNT”负异常特征 ,因此

煌斑岩是岩浆上升过程中遭受强烈的地壳物质混染引起。

根据上述三点表明 ,研究区内煌斑岩来自幔源 ,并在上侵过程中受到了地壳物质的混染 ,岩浆的这种混合染化作用是壳幔相互作用的一种重要表现形式(张广宁等 2015) 。目前 ,煌斑岩的幔源加地壳混染成因模式也正逐渐被大多数学者所公认(季海章等 1992; 申玉科等 2005) 。

4.2 构造环境

国外学者(Rock *et al.* ,1988) 认为煌斑岩来源于深部地幔; 国内学者对煌斑岩的形成构造环境总体认为: (1) 煌斑岩来源于地球深部的下地壳或者地幔; (2) 煌斑岩的出现代表了岩石圈伸展的环境(谢桂青等 2001; 李献华等 2002; 姜耀辉等 2005; 刘燊等 2005; 刘畅等 2006) 。但部分学者认为煌斑岩是在洋壳俯冲构造环境下形成的。目前由于对煌斑岩形成的构造环境存在争议 ,而古堆地区的煌斑岩是形成于何种构造环境 ,主要从以下几点论述:

(1) Nb、Zr、Ti、Y 等高场强元素的活动性弱(崔方磊等 2015) ,在岩浆演化过程中能保持一定的稳定性 ,并且 Zr、Y 等元素的含量受地壳物质的混染影响不大(汪晓伟等 2015) ,因此利用这些元素可判断岩浆岩的构造环境。据构造判别图解(图 7) 显示 ,样品基本落在板内碱性玄武岩和板内玄武岩区域。另据 $Zr/Y - Zr/10 \times 10^{-6}$ 构造判别图解(图 8) 显示 ,样品基本落在板内玄武岩区域及其附近。表明煌斑岩形成于板内环境 ,这与钟华明等(2004) 的研究结果一致。

(2) 通过青藏高原 1: 25 万区域地质调查及研究成果表明(任纪舜等 2004; 廖启林等 2004) ,新特提斯洋是在晚侏罗世 - 早白垩世发生大规模的扩张 ,造成喜马拉雅地区被动大陆边缘的岩石圈处于伸展、减薄、软流圈持续上涌的构造环境 ,从而使基性岩浆广泛侵入和喷出。

(3) “拆沉”这一术语已被广泛使用 ,可用于解释任何形式的岩石圈减薄事件 ,针对 STDS 构造体系 ,国外学者(Nelson, 1996) 认为大陆碰撞、汇聚会导致地壳增厚 ,形成了放射热积累并有大量流体加入 ,同时岩石圈地幔拉伸、减薄致使地幔物质上升。因此 ,研究区内发生的拆沉作用可能引起板内岩石圈拉伸、减薄 ,引发地幔物质的上侵 ,并使岩石圈温度升高 ,导致地壳物质发生熔融 ,在地壳浅部形成基性、酸性等岩石 ,同时在上侵过程中携带大量的成矿物质 ,为矿床的形成提供了有利的条件(彭聪等 2000; 306

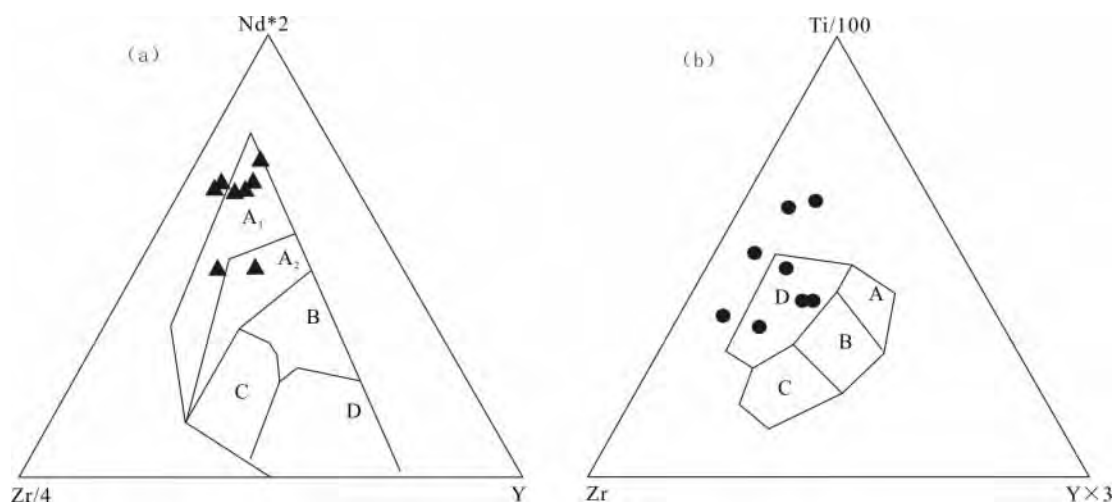
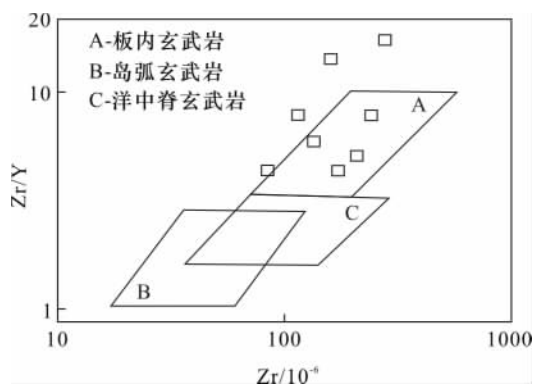


图7 古堆地区煌斑岩 Nd-Zr-Y 图解 (a) 和 Ti-Zr-Y 图解 (b)

Fig. 7 Nd-Zr-Y (a) and Ti-Zr-Y (b) diagrams of lamprophyre from the Gudui area

- (a) $A_1 + A_2$ - 板内碱性玄武岩; $A_2 + C$ - 板内拉斑玄武岩; B - P 型 MORB; D - N 型 MORB; C + D - 火山弧玄武岩;
 (b) A - 岛弧拉斑玄武岩; B - MOBR、岛弧拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩; C - 钙碱性玄武岩; D - 板内玄武岩
 (a) $A_1 + A_2$ - intra plate alkaline basalt; $A_2 + C$ - plate tholeiite; B - P MORB; D - N MORB; C + D - volcano arc basalt;
 (b) A - island arc tholeiite; B - MOBR, tholeiitic and calc alkaline basalts; C - calc alkaline basalts; D - intraplate basalt

图8 古堆地区煌斑岩 Zr/Y - Zr/10⁻⁶图解Fig. 8 Zr/Y - Zr/10⁻⁶ diagram of lamprophyre from the Gudui area

邓晋福等 2008) ,如藏南扎西康锌多金属矿的成矿物质便来源于地幔。

(4) 区内煌斑岩中 K/Ti 均值为 0.08% ,Ti 含量高(TiO_2 均 $>1.5\%$) ,这与板内低 K/Ti - 高 Ti 的岩石特征相似 ,而明显不同于俯冲交代的高 K/Ti - 低 Ti 的岩石类型 (Rogers, 1992)。

根据已有的研究表明煌斑岩一般均形成于岩石圈伸展的构造背景 (Blizest, 1996; Liegeois, 1998; Faure 2001) 。另据 Zr/Ba 比值介于 1.02 ~ 10.75 ,远大于 0.2 ,表明基性岩可能来源于软流圈地幔 ,由于岩石圈的伸展、减薄 ,导致软流圈地幔物质上涌。

综上所述 ,古堆地区的煌斑岩与洛扎、扎西、哲古等地区基性岩墙群的构造环境相一致 ,均在岩石圈伸展的构造环境下形成的。

5 结论

(1) 古堆地区煌斑岩具有低硅 (SiO_2 含量 32.99% ~ 52.62% ,平均值 41.39%) ,低钾 (K_2O/Na_2O 为 0.01 ~ 2.31 ,平均值为 0.73) 的特征 ,属于碱性玄武岩系列 ,其大离子亲石元素、轻稀土元素相对富集 ,高场强元素亏损。

(2) 煌斑岩是在新特提斯洋形成后经扩张 ,岩石圈拉张伸展的动力学构造背景下 ,致使岩石圈地幔减薄、地幔物质上涌 ,并遭受地壳物质混染而成。

[References]

- Blizest Toft J. 1996. Precambrian alkaline magmatism [J]. Lithos, 37: 97 - 111
 Cao Hua-wen, Zhang Shou-ting, Wang Chang-ming, Song Xin, Lin Jin-zhan, Li Dong. 2013. Geochemical characteristics and genesis of lamprophyres in Gejiu tin deposit, Yunnan Province, China [J]. Geochimical, 42(4): 340 - 351 (in Chinese)
 Cui Fang-lei, Wang Xiao-wei, Ma Zhong-ping, Sun Ji-ming, Zhu Xiao-hui. 2015. Comparison of genesis of devonian volcanic rocks in the Bogda and Harlik areas and its tectonic implications [J]. Geology and Exploration, 51(3): 519 - 533 (in Chinese with English abstract)
 Deng Ji-fu, Teng Ji-wen, Peng Cong, Hong Da-wei, Qiu Rui-zhao. 2008. Geophysical field characteristics and deep geology and prospecting in China [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 - 200 (in Chinese)

- nese)
- Faure G. 2001. Origin of igneous rocks [M]. New York: Springer - Verlag Berlin Heidelberg: 1 - 117
- Gao Li-e ,Zeng Ling-sen ,Liu Jing ,Xie Ke-jia. 2009. Early Oligocene Na - rich peraluminous leucogranites in the Yardoi gneiss dome ,south-ern Tibet: Formation mechanism and tectonic implication [J]. Acta Petrologica Sinica 25(9) : 2289 - 2302(in Chinese with English ab-stract)
- Gao Li-e ,Zeng Ling-sen ,Wang Li ,Hou Ke-jun ,Guo Chun-li ,Tang Suo-han. 2013. Age and formation mechanism of the Malashan high - Ca two - mica granite within the northern Himalayan gneiss domes , southern Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica 29(6) : 1995 - 2012(in Chinese)
- Harrison T M ,Mc Keegan K D ,Le Fort P. 1995. Detection of inherited monazite in the Manaslu leucogranite by $^{208}\text{Pb}^{232}\text{Th}$ ion microprobe dating: Crystallization age and tectonic significance [J]. Earth and Planetary Science Letters 133: 271 - 282
- Jiang Si-hong ,Nie Feng-jun ,Hu Peng ,Liu Yan. 2006. An important spreading event of the Neo - Tethys ocean during late Jurassic and early Cretaceous: evidence from the zircon U - Pb SHRIMP dating on the diabase in Nagarze ,southern Tibet [J]. Acta Geologica Sinica , 80: 522 - 527
- Ji Hai-zhang ,Zhao Yi-ying ,Lu Bing ,Chen Dian-zhao. 1992. On the rela-tion of lamprophyre to gold ore in the Jiaodong area [J]. Geology and Prospecting 28(2) : 15 - 18(in Chinese)
- Jiang Yao-hui ,Jiang Shao-yong ,Zhao Kui-dong ,Ni Pei ,Ling Hong-fei , Liu Guo-yi. 2005. SHRIMP Zircon U - Pb age of the Lamprophyre in Liaodong Peninsula and its restriction to the start of lithospheric thinning in eastern China [J]. Chinese Science Bulletin 50(19) : 2161 - 2168(in Chinese)
- Lu Kun ,Feng Zuo-hai ,Hou Du-jie ,Li Xiao-feng. 2009. Geochemistry and origin of Lamprophyre in the northeast of Guangxi [J]. Geology and Prospecting 45(2) : 8 - 13(in Chinese)
- Lassiter J C ,Depaolo D J. 2000. Plume lithosphere interaction in the gen-eration of continental and oceanic flood basalts: Chemical and isotop-ic constrains. In large igneous provinces: Continental ,oceanic and planetary flood volcanism [J]. American Geophysical Union Mono-graph 100: 335 - 355
- Li Xian-hua ,Zhou Han-wen ,Wei Gang-jian ,Liu Ying ,Zhong Sun-sen , Luo Qing-hua ,Li Ji-yu. 2002. Geochemistry and Sr - Nd isotopes of Cenozoic ultrapotassic lamprophyres in western Yunnan: Constraints on the composition of sub - continental lithospheric mantle [J]. Geo-chemistry 31(2) : 26 - 34(in Chinese)
- Liu Chang ,Zhao Ze-hui ,Guo Zhao-jie. 2006. Chronology and geochemis-try of lamprophyre dykes from Beishan area ,Gansu province and im-plications for the crust - mantle interaction [J]. Acta Petrologica Sin-ica , 22(5) : 1294 - 1306(in Chinese)
- Liu Shen ,Hu Rui-zhong ,Zhao Jun-hong ,Feng Cai-xia ,Zhong Hong ,Cao Jian-jin ,Shi Dan-ni. 2005. Geochemical characteristics and petroge-netic investigation of the late Mesozoic lamprophyres of Jiaobei , Shandong province [J]. Acta Petrologica Sinica 21(3) : 947 - 958 (in Chinese)
- Liao Qi-lin ,Wu Xin-min ,Weng ,Zhi-hua ,Zhu Bo-wan ,Pan Yong-min , Chen Bao. 2004. Achievement and progress of regional geological survey in Himalayan zone [J]. Geological Bulletin of China ,23(1) : 27 - 39(in Chinese)
- Liegeois J R. 1998. Contrasting origin of post - collisional high - K calcal-kaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline graزلitoids: the use of sliding normalization [J]. Lithos ,45: 11 - 26
- Murphy M A ,Harrison T M. 1999. The relationship between leucogranites and the south Tibetan detachment system ,Rongbuk Valley ,southern Tibet [J]. Geology 27: 831 - 834
- Nie Feng-jun ,Hu Peng ,Jiang Si-hong ,Liu Yan. 2006. $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ isotope age dating on biotite samlies of two monzogranite bodies occurring in the Qiongdoujiang area ,southern Tibet and their geological signifi-cances [J]. Acta Petrologica Sinica 22(11) : 2704 - 2714(in Chi-nese with English abstract)
- Nelson K D ,Zhao W J ,Brown L D. 1996. Project molten middle crust be-neath southern Tibet: Synthesis of project in - depth results [J]. Sci-ence 274: 1684 - 1696
- Ormerod D S ,Hawkesworth C J ,Rogers N W. 1988. Tectonic and magmat-ic transitions in the western Great Basin [J]. Nature 333 (6171 - 6172) : 349 - 353
- Pan Gui-tang ,Wang Li-quan ,Zhu Di-cheng. 2004. Thoughts on some im-portant scientific problems in regional geological survey of the Qing-hai - Tibet plateau [J]. Geological Bulletin of China 23(1) : 12 - 19 (in Chinese)
- Peng Cong ,Gao Rui. 2000. Study of the structure and its lariat ion of the lithosphere/asthenosphere in China and adjacent sea area [M]. Bei-jing: Seismological Press: 1 - 120(in Chinese)
- Rudinick R L ,Gao S. 2003. Composition of the continental crust. treatise on Geochemistry ,Volume 3 [M]. Oxford: Elsevier Pergamon: 1 - 64
- Rock N M S ,Groves D I. 1988. Can lamprophyres resolves the genetic controversy over mesothermal gold despoil? [J]. Geology ,16: 538 - 541
- Ren Ji-shun ,Xiao Li-wei. 2004. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai - Tibet Plateau by 1: 250000 geological mapping [J]. Geological Bulletin of China 23(1) : 1 - 11(in Chinese with English abstract)
- Rogers N W. 1992. Potassic magmatism as a key to trace - element en-richment processes in the upper mantle [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Reseach 50: 85 - 99
- Shen Yu-ke ,Deng Jun ,Xu Ye-bing. 2005. Geological significance of lam-prophyre during gold mineralization in the Linglong ore field [J]. Ge-ology and Exploration 41(3) : 45 - 49(in Chinese)
- Tong Jin-song ,Liu Jun ,Zhong Hua-ming ,Xia Jun ,Lu Ru-kui ,Li Yun-huai. 2007. Zircon U - Pb dating and geochemistry of mafic dike swarms in the Lhozag area ,southern Tibet ,China and their tectonic implications [J]. Geological Bulletin of China 26(12) : 1654 - 1664 (in Chinese)
- Weaver B L. 1991. The origin of ocean island basalt end - member compo-sitions: trace element and isotopic constraints [J]. Earth and Planeta-ry Science Letters 104: 381 - 397
- Wang Xiao-wei ,Xu Xue-yi ,Ma Zhong-ping ,Chen Jun-lu ,Cui Fang-lei , Zhu Xiao-hui ,Sun Ji-ming. 2015. Geochemistry and tectonic setting of the early Carboniferous volcanic rocks in the eastern section of the Bogda orogenic belt in Xinjiang [J]. Geology and Exploration 51(1) : 108 - 122(in Chinese with English abstract)
- Xie Gui-qing ,Peng Jian-tang ,Hu Rui-zhong ,Jia Da-cheng. 2001. Geoche-mical characteristics of lamprophyres in the Xikuangshan antlmony ore deposits ,Hunan province [J]. Acta Ptorlogica Sinica ,17(4) : 629 - 636(in Chinese with English abstract)
- Yang Chao ,Tang Ju-xing ,Zheng Wen-bao ,Lin Bin ,Wang Li-qiang ,Duan Ji-lin ,Kang Hao-rao. 2012. Study on zircon U - Pb geochronology

- and petrogeochemistry of diabase in Zhaxikang Zn – polymetallic deposit, southern Tibet [J]. *Nonferrous Metals*, 66 (5): 30 – 37 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Jin-jiang. 2007. A review on the extensional structures in the northern Himalaya and southern Tibet [J]. *Geological Bulletin of China*, 26 (6): 639 – 649 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Jin-jiang, Guo Lei, Zhang Bo. 2007. Structure and kinematics of the Yalaxiangbo dome in the northern Himalayan dome belt, China [J]. *Chinese Journal of Geology* 42 (1): 16 – 30 (in Chinese with English abstract)
- Zhong Hua-ming, Xia Jun, Tong Jin-song, Lu Ru-kui, Li Yun-huai, Xu Sheng-fa. 2004. New results and major progress in regional geological survey of the Lhozag county sheet [J]. *Geological Bulletin of China*, 23 (5 – 6): 451 – 457 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Guang-ning, Deng Jun, Ye Jin-hua, Sun Nuo, He Wen-yan, Liu Jiang-tao, Gao Xue. 2015. Magma mixing in the Machangjing copper – bearing alkali – rich porphyry of western Yunnan: Evidence of petrology and geochemistry [J]. *Geology and Exploration* 51 (4): 599 – 609 (in Chinese with English abstract)
- [附中文参考文献]
- 曹华文, 张寿庭, 王长明, 宋 欣, 林进展, 李 冬. 2013. 云南个旧煌斑岩脉地球化学特征及其地质意义 [J]. *地球化学* 42 (4): 340 – 351
- 邓晋福, 滕吉文, 彭 聪, 洪大卫, 邱瑞照. 2008. 中国地球物理场特征及深部地质与找矿 [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 200
- 高利娥, 曾令森, 刘 静, 谢克家. 2009. 藏南也拉香波早渐新世富钠过铝质淡色花岗岩的成因机制及其构造动力学意义 [J]. *岩石学报* 25 (9): 2289 – 2302
- 高利娥, 曾令森, 王 莉, 侯可军, 郭春丽, 唐索寒. 2013. 藏南马山高钙二云母花岗岩的年代学特征及其形成机制 [J]. *岩石学报*, 29 (6): 1995 – 2012
- 季海章, 赵懿英, 卢 冰, 陈殿照. 1992. 胶东地区煌斑岩与金矿关系初探 [J]. *地质与勘探* 28 (2): 15 – 18
- 姜耀辉, 蒋少涌, 赵葵东, 倪 培, 凌洪飞, 刘郭一. 2005. 辽东半岛煌斑岩 SHRIMP 锆石 U – Pb 年龄及其对中国东部岩石圈减薄开始时间的制约 [J]. *科学通报* 50 (19): 2161 – 2168
- 鹿 坤, 冯佐海, 侯读杰, 李晓峰. 2009. 桂东北煌斑岩地球化学特征及其成因研究 [J]. *地质与勘探* 45 (2): 8 – 13
- 李献华, 周汉文, 韦刚健, 刘 颖, 钟孙霖, 罗清华, 李奇峨. 2002. 滇西新生代超钾质煌斑岩的元素和 Sr – Nd 同位素特征及其对岩石圈地幔组成的制约 [J]. *地球化学* 31 (2): 26 – 34
- 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 荣, 胡瑞忠, 赵军红, 冯彩霞, 钟 宏, 曹建劲, 史丹妮. 2005. 胶北晚中生代煌斑岩的岩石地球化学特征及其成因研究 [J]. *岩石学报* 21 (3): 947 – 958
- 廖启林, 吴新民, 翁志华, 朱伯万, 潘永敏, 陈 宝. 2004. 喜马拉雅带区域地质调查成果与进展 [J]. *地质通报* 23 (1): 27 – 39
- 聂凤军, 胡 朋, 江思宏, 刘 妍. 2006. 藏南邱多江地区二长花岗岩 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 22 (11): 2704 – 2714
- 潘桂棠, 王立全, 朱弟成. 2004. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考 [J]. *地质通报*, 23 (1): 12 – 19
- 彭 聪, 高 锐. 2000. 中国大陆及临近海域岩石圈/软流圈结构横向变化研究 [M]. 北京: 地震出版社: 1 – 120
- 任纪舜, 肖黎薇. 2004. 1: 25 万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱 [J]. *地质通报* 23 (1): 1 – 11
- 申玉科, 邓 军, 徐叶兵. 2005. 煌斑岩在玲珑金矿田形成过程中的地质意义 [J]. *地质与勘探* 41 (3): 45 – 49
- 童劲松, 刘 俊, 钟华明, 夏 军, 鲁如魁, 李运怀. 2007. 藏南洛扎地区基性岩墙群锆石 U – Pb 定年、地球化学特征及构造意义 [J]. *地质通报* 26 (12): 1654 – 1664
- 汪晓伟, 徐学义, 马中平, 陈隽璐, 崔方磊, 朱小辉, 孙吉明. 2015. 博格达造山带东段早石炭世火山岩地球化学特征及构造属性 [J]. *地质与勘探* 51 (1): 108 – 122
- 谢桂青, 彭建堂, 胡瑞忠, 贾大成. 2001. 湖南锡矿山锑矿矿区煌斑岩的地球化学特征 [J]. *岩石学报*, 17 (4): 629 – 636
- 杨 超, 唐菊兴, 郑文宝, 林 彬, 王立强, 段吉琳, 康浩然. 2014. 藏南扎西康锌多金属矿床辉绿岩锆石 U – Pb 年代学、岩石地球化学特征研究 [J]. *有色金属* 66 (5): 30 – 37
- 张进江. 2007. 北喜马拉雅及藏南伸展构造综述 [J]. *地质通报* 26 (6): 639 – 649
- 张进江, 郭 磊, 张 波. 2007. 北喜马拉雅弯隆带雅拉香波弯隆的构造组成和运动学特征 [J]. *地质科学* 42 (1): 16 – 30
- 钟华明, 夏 军, 童劲松, 鲁如魁, 李运怀, 徐生发. 2004. 洛扎县幅地质调查新成果及主要进展 [J]. *地质通报* 23 (5 – 6): 451 – 45
- 张广宁, 邓军, 叶锦华, 孙 诺, 和文言, 刘江涛, 高 雪. 2015. 滇西马厂复式岩体岩浆混合作用: 岩石学与地球化学证据 [J]. *地质与勘探* 51 (4): 599 – 609

Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Lamprophyre in the Gudui Area of Tibet

YUAN He¹, LUO Xian-rong¹, LI Wu-yi², CHEN Wu²

- (1. Guangxi Scientific Experiment Center of Mining, Metallurgy and Environment / Guangxi Key laboratory of Hidden Metallic Ore Deposits Exploration/Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004;
2. The 11th Gold Detachment of Chinese Armed Police Force Lhasa, Tibet 850000)

Abstract: In recent years, many scholars have studied lamprophyre, while little attention has focused on this rock in southern Tibet. This article presents a study of the lamprophyre from the Gudui area of southern Tibet on its main elements, rare earth and trace elements in the south Tibetan to further understand the tectonic evolution of the environment there. The results show that the content of SiO_2 in the lamprophyre is 32.99% ~ 52.62%, 41.39% on average; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ is 0.01 ~ 2.31, with average 0.73, representing an alkali basalt series. Rock geochemical characteristics show enrichment in large ion lithophile elements (such as K, Ba), relative loss of high field strength elements (such as Ta, Zr), and the high field strength element Nb is relatively rich. Mantle source characterizes the genesis of the lamprophyre, which was formed in the Neo – Tethys after the extension of the lithosphere, which made the lithospheric thinning, mantle material upwell, and crustal material contamination.

Key words: lamprophyre, rock geochemical characteristics, tectonic environment, Gudui, Tibet