# 拉萨地块南木林盆地北缘中新世高锶低钇岩浆作用: 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素和地球化学特征

付燕刚<sup>1)</sup>, 胡古月<sup>1)</sup>, 高一鸣<sup>1)</sup>, 杨宗耀<sup>2)</sup>, 林彬<sup>1)</sup>

中国地质科学院矿产资源研究所,国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京,100037;
 2)成都理工大学地球科学学院,成都,610059

**内容提要:**拉萨地块南木林盆地北缘的林子宗群火山岩地层侵位有大量的花岗斑岩岩株和岩脉,空间分布上与南北向正断层的次级断裂相一致。本次研究对南木林盆地北缘的花岗斑岩进行了系统的元素地球化学,LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学和 Lu-Hf 同位素测试。数据结果表明:花岗斑岩具有高硅(68.31% ~ 71.34%)、高钾(4.52% ~ 4.96%)、高(La/Yb)<sub>N</sub>(21.59 ~ 36.81)、Sr/Y(Sr/Y = 15.59 ~ 38.10)等特征,富集大离子亲石元素(LILE),亏损高场强元素(HFSE);花岗斑岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 12.2 ±0.1Ma,  $\varepsilon_{\rm Hf}(t)$ 值为 -0.6 ~ +4.0。拉萨地块南木林盆地北缘花岗斑岩岩石学、地球化学特征显示其为新生下地壳部分熔融产物,且源区残留了石榴子石、金红石、角闪石,无斜长石残留,在岩浆上侵过程中,发生了碱性长石的分离结晶作用。花岗斑岩侵位于中新世,与区内南北向裂谷发育时代一致,成分上类似于拉萨地块南部同时期发育的高锶低钇斑岩、钾质岩,同为印度一欧亚大陆碰撞后东西向伸展背景产物。

关键词:南木林盆地;拉萨地块;花岗斑岩,高锶低钇斑岩;中新世;伸展背景

自从印度、欧亚板块在45~65Ma碰撞以来(莫 宣学等,2003;莫宣学,2011),碰撞后岩浆活动广泛 分布于青藏高原之上,包括钾质一超钾质火山岩、高 锶低钇斑岩、钾质钙碱性花岗岩、淡色花岗岩(侯增 谦等,2006),其中研究最多的钾质一超钾质火山 岩、高锶低钇斑岩为拉萨地块碰撞后岩浆主体(莫 宣学,2011)。

高锶低钇斑岩(部分文献称为埃达克岩、埃达 克质岩),主要分布在拉萨地块南部东西两侧:其西 侧成岩年龄介于12~25Ma,高峰期为~17Ma;东侧 工布江达以西年龄介于12~19,高峰期为~16 Ma, 并与冈底斯中新世斑岩铜矿有密切关系(曾忠诚 等,2016)。此外,高锶低钇斑岩还存在于工布江达 以东南迦巴瓦地区(图1a)。

学术界对拉萨地块南部中新世高锶低钇斑岩岩 浆源区存在不同的看法:主要包括新生下地壳部分 熔融(Hou Zengqian et al., 2004;Guo Zhengfu et al., 2007;Li Jingxiang et al., 2011)、俯冲印度陆壳部分 熔融(Xu Wangchun et al., 2010)、残留新特提斯洋 壳板片部分熔融(Qu Xiaoming et al., 2004)、交代 地幔楔部分熔融(Gao Yongfei et al., 2007)等几种 观点。本人在南木林盆地北缘,申扎一定结裂谷的 次级断裂带中,发现有大量的中新世高锶低钇斑岩 岩株或岩脉侵位于林子宗群火山岩地层之中,在野 外采集了大量此类花岗斑岩岩石样品,进行了岩石 地球化学,锆石 U-Pb 年代学和 Lu-Hf 同位素测试。 拟通过对花岗斑岩岩石成因及构造背景的详细分 析,理清该类岩浆的源区特征。

### 1 地质背景和采样

拉萨地块南以印度河一雅鲁藏布缝合带 (IYSZ)、北以班公湖—怒江缝合带为界,东西长约 2000km,南北宽100~300km,是青藏高原最重要的 一条构造岩浆岩带(莫宣学,2011)。研究区位于拉 萨地块南部(图1a),出露地层包括二叠系昂杰组 (P<sub>1</sub>a)、下拉组(P<sub>2</sub>x),与上覆的新生代林子宗火山 岩呈断层接触(图1b)。昂杰组主要为变质粉砂岩、 粉砂质板岩、砂板岩,局部夹灰岩;下拉组以结晶灰

注:本文为地调项目(编号:12120114068401)、公益性行业专项(编号:201511022-02)的成果。

收稿日期:2016-05-11;改回日期:2017-03-21;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.03.008

作者简介:付燕刚,男,1988年生。博士研究生。矿产普查与勘探专业,Email: 819144330@qq.com。通讯作者:胡古月,男,1985年生。博士,副研究员。主要从事同位素地球化学和分析化学研究。Email:wanghuguyue@126.com。

岩为主,局部夹板岩;林子宗群火山岩主要为中酸性 火山熔岩、火山碎屑岩及凝灰岩(李光明等,2010; 张小强,2013;纪现华,2013)。其中典中组火山岩中 赋存有纳如松多和斯弄多隐爆角砾岩型、热液脉型 Ag—Pb—Zn 矿床(刘英超等,2015;唐菊兴等, 2016)。

研究区侵入岩主要为零星出露的花岗斑岩、二 长花岗斑岩、石英斑岩,其侵位年龄与林子宗群火山 岩相近(杨勇,2010;张小强,2013;纪现华,2013), 其岩石学、地球化学特征类似于冈底斯北带砂卡岩 型铅锌矿成矿岩体(高一鸣等,2011;付强,2013;张 小强,2013;纪现华,2013)。

研究区构造以发育逆冲推覆构造、南北向裂谷 (图1c,图2a、b)为特征:南倾逆冲推覆构造横穿研 究区,将二叠系板岩、灰岩向北推覆在林子宗群火山 岩之上(王明等,2010;孙骥,2013;张小强,2013;纪 现华,2013),锆石 U-Pb 测年获得该套火山岩年龄 为~62Ma,限定逆冲推覆构造晚于 62Ma,另外,研 充区纳如松多细斑花岗斑岩(锆石 U-Pb 年龄为 62.5Ma)与推覆而来灰岩的接触带发育砂卡岩型矿 化(纪现华,2013),限定其推覆时代应早于该细粒 花岗斑岩侵位时代,即 62.5Ma,因此,该逆冲推覆构 造发育时代应为~62Ma,与王明等(2010)的研究结 果一致,为主碰撞期挤压背景产物;南北向裂谷,一 般认为与碰撞伸展背景有关,主体形成于中新世 (Yin An and Harrison, 2000;侯增谦等,2006;潘桂 棠等,2006;许志琴等,2011),可能与本文所测得~ 12Ma 花岗斑岩有成因联系。研究区南北向裂谷切 割逆冲推覆构造,也证明其形成的先后顺序(图 2a、 b)。



图 1(a)拉萨地块中新世高锶低钇斑岩分布简图(修改自 Xu Wangchun et al., 2010);(b)南木林盆地北缘地质简图 Fig. 1 (a) Spatial distribution of Miocene adakitic porphyry in Lhasa block (Modified from Xu Wangchun et al., 2010); (b) Geological sketch map of the northern margin of Nanmulin basin

BNSZ—班公湖—怒江缝合带;IYSZ—印度河—雅鲁藏布江缝合带;MBT—主边界逆冲断裂

BNSZ-Bangong Lake-Nujiang River suture zone; IYZS-Indus River-Yarlung River suture zone; MBT-Main Bounded Fault

本次研究共采集了 11 件样品(TD008-1~11), 采样位置 N30°00'57"; E88°38'28"(图 1c、2a、3a)。 TD008-1 用于挑选锆石进行 LA-ICP-MS 定年及原位 Lu-Hf 同位素分析, TD008-2~11 用于岩石地球化学 测试。样品为花岗斑岩, 侵入流纹质角砾凝灰岩中 (图 3a), 呈灰白色、斑状结构、块状构造, 斑晶含量 达到 35%, 主要由石英、斜长石、钾长石和黑云母组 成(图 3b、c、d), 其中石英斑晶主要呈粗粒方形至浑 圆状, 粒径 2~8 mm, 含量约 15% 左右; 斜长石斑晶 呈柱状、板状、长条状, 灰白色, 粒径 5~10 mm, 含量 约 10% 左右; 钾长石斑晶呈短柱状, 肉红色, 粒径 8 ~15 mm, 含量约 10% 左右; 黑云母斑晶呈长条状、 柱状, 粒径 2~3 mm, 含量为 3%; 基质主要为石英、 斜长石、黑云母及磁铁矿。

#### 2.1 全岩主量和微量元素分析

岩石主量和微量元素分别在北京核工业地质分 析研究中心和国家地质实验测试中心测定,常量元 素的测定采用 X-射线荧光光谱法(XRF):首先称取 0.6g样品,然后加入适量硼酸高温熔融成玻璃片, 最后在 X 荧光光谱仪(3080E)上采用外标法测定氧 化物含量,相对误差小于 1%。微量元素测定采用 ICP-MS 法:首先称取 40 mg 样品和国家标准 (GRS1、GRS2、GRS3)用酸溶法制成溶液,然后在等 离子质谱(X-series)上进行测定,其精度为:元素含 量大于 10×10<sup>-6</sup>的相对误差小于 5%,而元素含量 小于 10×10<sup>-6</sup>的相对误差小于 10%。常、微量元素 分析结果见表 1。

# 2.2 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

### 及原位 Lu-Hf 同位素

花岗斑岩(TD008-1) 锆石分选由河北省地质测



图 2 拉萨地块南木林盆地北缘逆冲推覆构造(逆冲断层)与南北向裂谷(正断层) (a) Google earth 卫星照片;(b) 野外拍摄照片

Fig. 2 Photograph of the thrust fault and the north-south rift valley in the northern margin of Nanmulin basin, Lhasa block

(a) From Google earth satellite; (b) shooting picture in the field

## 2 分析方法



图 3 拉萨地块南木林盆地北缘花岗斑岩手标本、显微镜下照片:(a)花岗斑岩侵入火山岩中;(b)花岗斑岩手标本照片; (c)花岗斑岩镜下照片(单偏光);(d)花岗斑岩镜下照片(正交偏光)

Fig. 3 The photographs and microphotos of the granitic porphyry in the northern margin of Nanmulin basin, Lhasa block: (a) The outcrop of the granite porphyry; (b) hand specimen of the granite porphyry; (c) the microphoto of the granite porphyry(-); (d) The microphoto of the granite porphyry(+)

γπ-花岗斑岩;Q-石英;Pl-斜长石;Bt-黑云母;Mag-磁铁矿 γπ-granite porphyry;Q-quartz;Pl-Plagioclase;Bt-biotite;Mag-magnetite

绘院岩矿实验测试中心完成,将挑选出的锆石粘贴 制成环氧树脂样品靶,经过打磨抛光使锆石露出中 心后进行透射光、反射光和阴极发光(CL)显微照 相,阴极发光显微照相在北京中兴美科科技有限公 司采用扫描电镜完成,加速电压为15kV。锆石 U-Pb 同位素定年在中国地质大学地质过程与矿产资 源国家重点实验室利用 LA-MC-ICP-MS 分析完成。 激光剥蚀系统为 GeoLas 2005,电感耦合等离子质谱 (ICP-MS)为 Agilent 7500a 激光束斑直径为 32 μm,载气为 He,气流速度为 270 mL/min,工作电压 为 27.1 kV,激光能量密度为 29 J/cm<sup>2</sup>,详细的仪器 操作 过 程 和 定 年 数 据 处 理 方 法 见 文 献 (Liu Yongshen et al.,2008,2010)。实验过程采用 NIST 610 GJ-1 和 91500 内标控制的方法,每隔 5 个数据 点分别用两个 91500 标样校正,采用软件 ICP MS DataCal7.4 对分析数据进行离线处理(Liu Yongshen et al.,2008,2010),以Si29 作为内标校正 锆石微量元素,采用(Andersen,2002)进行普通铅校 正,锆石 U-Pb 年龄谐和图的绘制和 MSWD 的计算 均采用 Isoplot /Exver3(Ludwig,2003)。测试结果见 表 2 和表 3。

锆石 Lu-Hf 同位素分析在西北大学大陆动力学 国家重点实验室进行,测定仪器为 Nu Plasma HR (Wrexham, UK)多接收电感耦合等离子体质谱仪

647

	1	1	1	1				1	1	
样品编号	TD008-3	TD008-4	TD008-5	TD008-6	TD008-7	TD008-8	TD008-9	TD008-10	TD008-11	TD008-12
$SiO_2$	70.43	70.98	71.34	68.31	70.03	69.88	70.03	70.16	69.60	69.91
$Al_2O_3$	14.64	14.63	14.80	14.45	14.71	14.41	14.65	14.77	14.91	14.52
$TFe_2O_3$	2.03	2.11	2.03	2.01	1.98	2.03	2.13	2.04	2.06	2.10
MgO	0.62	0.63	0.61	0.61	0.60	0.63	0.61	0.61	0.60	0.62
CaO	1.55	1.37	0.99	3.01	1.79	2.21	1.84	1.49	1.78	1.98
$Na_2O$	2.68	2.87	3.11	2.63	2.76	2.82	2.86	2.61	2.78	2.87
K20	4.69	4.71	4.75	4.52	4.87	4.52	4.65	4.96	4.92	4.69
MnO	0.04	0.04	0.03	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05
TiO <sub>2</sub>	0.35	0.36	0.35	0.36	0.35	0.35	0.36	0.35	0.34	0.35
$P_2O_5$	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.14	0.16	0.13	0.13	0.13
烧失	2.75	2.15	1.76	3.84	2.73	2.92	2.65	2.82	2.74	2.68
总量	102.86	102.99	102.90	102.88	102.95	102.88	103.12	102.98	103.02	102.96
$K_2O + Na_2O$	7.37	7.58	7.86	7.15	7.63	7.34	7.51	7.57	7.70	7.56
A/CNK	1.19	1.19	1.23	0.98	1.12	1.06	1.12	1.19	1.13	1.08
TFeO/MgO	2.95	3.01	2.99	2.95	2.97	2.92	3.13	3.01	3.11	3.05
Li	103.16	104.02	99.53	117.09	102.13	103.35	103.89	104.10	91.83	88.56
Be	4.45	4.76	4.65	5.16	4.69	4.37	4.64	4.57	4.49	3.98
$\mathbf{Sc}$	1.71	1.48	1.21	2.48	2.17	1.79	2.41	1.48	1.77	1.61
V	29.62	30.96	30.49	32.98	29.54	29.78	32.06	28.86	30.98	26.70
Cr	9.72	6.99	6.89	6.48	6.16	5.60	6.56	5.78	5.59	6.60
Mn	319.55	299.63	265.63	516.80	351.23	348.58	410.62	305.07	456.07	375.54
Со	3.62	3.86	3.56	4.09	3.56	3.73	3.93	3.45	4.47	3.59
Ni	4.38	3.03	2.76	3.61	2.89	2.81	3.14	2.76	2.95	2.73
Cu	90.73	50.28	83.73	64.01	88.09	37.71	31.92	102.94	26.22	62.93
Zn	62.68	67.14	59.72	68.76	62.84	64.68	66.12	57.91	67.40	56.86
Ga	21.02	21.57	20.62	23.37	21.20	20.54	21.52	20.80	21.87	19.15
Ge(72)	5.49	5.73	5.57	6.12	5.75	5.09	5.78	5.44	5.73	5.13
Ge(74)	1.28	1.28	1.24	1.39	1.48	1.23	1.29	1.28	1.30	1.20
Rb	221.88	219.62	219.72	228.16	233.51	240.13	221.33	229.00	226.26	192.70
Sr	130.72	115.52	101.49	306.33	158.33	209.32	185.14	123.82	195.53	165.76
Y	6.66	6.34	6.51	8.31	6.90	5.49	7.64	6.34	7.76	6.95
Zr	222.83	220.88	238.42	285.30	239.94	228.72	246.57	215.74	223.52	208.01
Nb	11.56	11.65	11.39	13.28	11.66	11.99	12.38	11.05	11.48	10.82
In	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03
Sn	2.28	2.30	2.06	2.46	2.12	2.22	2.38	1.99	5.06	2.02
$\mathbf{Sb}$	0.46	0.52	0.40	0.56	0.43	0.38	0.68	0.50	0.72	0.40
Cs	17.98	20.89	18.12	15.74	18.46	15.74	17.22	18.54	17.63	13.32
Ba	566.19	574.39	688.32	703.98	670.72	544.61	656.10	743.06	826.74	584.53
La	26.99	27.18	24.15	35.43	26.67	16.78	30.56	26.10	32.47	26.44
Ce	30.48	24.48	18.06	70.17	25.30	20.04	33.56	24.76	59.06	29.50
Pr	6.00	5.84	5.37	7.63	5.58	3.26	6.63	5.94	6.95	5.78
Nd	19.93	20.78	19.12	20.71	19.71	11.76	22.32	20.85	21.11	20.42
Sm	3.52	3.36	3.18	4.29	3.25	2.08	3.77	3.50	4.19	3.34
Eu	0.77	0.76	0.73	0.93	0.77	0.54	0.84	0.80	0.95	0.74
$\operatorname{Gd}$	2.89	2.74	2.46	3.87	2.63	1.78	3.12	2.67	3.49	2.77
Tb	0.30	0.29	0.28	0.40	0.28	0.20	0.33	0.29	0.35	0.31
Dy	1.34	1.22	1.14	1.73	1.29	0.90	1.39	1.28	1.47	1.36
Но	0.22	0.21	0.19	0.28	0.22	0.17	0.24	0.21	0.25	0.23
Er	0.70	0.66	0.60	0.90	0.71	0.54	0.74	0.65	0.75	0.74
Tm	0.09	0.08	0.08	0.11	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10
Yb	0.63	0.60	0.55	0.81	0.69	0.56	0.64	0.60	0.63	0.68
Lu	0.09	0.09	0.08	0.12	0.11	0.08	0.10	0.09	0.09	0.10

		-								-
样品编号	TD008-3	TD008-4	TD008-5	TD008-6	TD008-7	TD008-8	TD008-9	TD008-10	TD008-11	TD008-12
Hf	4.65	4.82	5.01	6.03	5.05	4.87	5.14	4.59	4.78	4.42
Та	2.28	2.25	2.22	2.61	2.32	2.35	2.35	2.20	2.32	2.11
W	6.04	4.92	6.64	5.44	6.22	4.50	3.19	7.01	4.09	3.56
Tl	1.75	1.82	1.72	1.88	1.86	1.73	1.77	1.88	1.89	1.58
Pb	45.06	47.04	40.54	51.18	45.41	44.66	42.75	42.13	45.86	39.46
Bi	0.23	0.25	0.16	0.15	0.15	0.27	0.53	0.12	0.32	0.28
Th	28.05	27.25	23.35	41.35	27.33	22.10	32.60	26.55	33.29	28.17
U	6.82	6.86	6.75	6.79	6.37	5.28	7.29	7.01	7.50	6.06
La/Sm	7.66	8.09	7.59	8.26	8.20	8.05	8.10	7.46	7.74	7.91
Nb/Ta	5.07	5.17	5.13	5.09	5.03	5.10	5.27	5.02	4.95	5.14
Rb/Sr	1.70	1.90	2.16	0.74	1.47	1.15	1.20	1.85	1.16	1.16
Sr/Y	19.62	18.22	15.59	36.85	22.96	38.10	24.23	19.53	25.21	23.86
$(La/Yb)_N$	30.94	32.69	31.49	31.49	27.89	21.59	34.31	31.21	36.81	28.02
T <sub>Zr</sub> (℃)	830.10	829.17	839.40	830.57	830.64	820.23	832.68	826.99	824.30	813.31

注:主、微量元素分析分别在北京核工业地质分析研究中心和国家地质实验测试中心完成(2015),分析方法和误差见正文。



图 4 拉萨地块南木林盆地北缘花岗斑岩的岩石系列判别图解:(a) SiO<sub>2</sub>—Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 图解; (b) AR—SiO<sub>2</sub>图解;(c) SiO<sub>2</sub>—K<sub>2</sub>O 图解;(d) A/CNK—A/NK 图解

Fig. 4 Classification diagrams of the granite porphyry in the northern margin of Nanmulin basin, Lhasa block: (a)  $SiO_2$ —

Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O diagram; (b) AR-SiO<sub>2</sub> diagram; (c) SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O diagram; (d) A/CNK-A/NK diagram

(MC-ICP-MS)。激光剥蚀系统为德国 Microlas 公司 生产的 Geolas 200M,该系统由德国 Lambda Physikk 公司的 ComPex 102 Excime 激光器(工作物 ArF,波 长 193nm)与 MicroLas 公司的光学系统组成。分析 结果见表4。

### 3 数据和结果

### 3.1 元素地球化学特征

主量元素方面(表 1),花岗斑岩 SiO<sub>2</sub>含量为 68.31%~71.34%(平均70.07%), $K_2O + Na_2O$ 含量为7.15%~7.86%(平均7.53%)。鉴于肉眼镜 下矿物含量估算误差(邓晋福等,2015a),本次研究 采用 Middlemost (1994)的侵入岩岩石类型划分方 案(图 4a),获得样品主体为花岗斑岩。在 AR— SiO<sub>2</sub>图解上,高硅(68.31%~71.34%)花岗斑岩样 品显示为碱性系列(图 4b)。在 SiO<sub>2</sub>— $K_2O$  图解显 示为高钾钙碱性、钾玄质岩石(图 4c)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量 为14.41%~14.91%(平均14.65%),铝饱和指数 A/CNK 值介于 0.98~1.23 之间(平均1.13),主体 为偏铝质、弱过铝质岩石(图 4d); MgO 含量为 0.60%~0.63%(平均0.62%)。

微量元素原始地幔蛛网图显示(图 5a),花岗斑 岩明显富集大离子亲石元素(LILE) K、Rb、Th、U 等;亏损高场强元素(HFSE) Ta、Nb、Ti、P 等。 $\Sigma$ REE 为 58.77 × 10<sup>-6</sup> ~ 147.37 × 10<sup>-6</sup>,平均值 96.82 × 10<sup>-6</sup>;  $\Sigma$  LREE/  $\Sigma$  HREE 比值(12.62 ~ 17.50,平均 14.41)和 La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>比值(21.59~
36.81,平均 30.64)均较高,显示轻稀土元素相对富集,重稀土元素相对亏损,稀土元素的球粒陨石标准化配分模式呈右倾型(图 5b);δEu 为 0.69~0.83(平均 0.75),具有弱的负铕异常;δCe 为 0.37~
1.00(平均为 0.60),具有弱的负铈异常。

649

### 3.2 锆石 LA-ICP MS U-Pb 测年结果

花岗斑岩锆石阴极发光图像显示大多数锆石为 长柱状自形晶体,少量发生了碎裂,晶体形态及大小 较为一致,长度约100 µm,宽度约50~90 µm,长宽 比1~2,具明显的岩浆振荡环带结构(图6)。锆石 具稀土元素总量较高(∑REE 为 348 × 10<sup>-6</sup> ~ 1144 ×10<sup>-6</sup>)(表3)、Th/U比值(0.47~2.01)较高、Eu 明显负异常、Ce 明显正异常、重稀土内部分馏明显 等特征(图7b),这些特征均显示其为典型的岩浆锆 石(吴元保,郑永飞,2004;雷玮琰等,2013)。样品 TD008-1 的 16 个测点中(表 3),测点 6、11、13、14、 15、16的U、Th含量相对较少,其中6、11、14、16对 应的锆石核部发白,与边部界线清晰(图6),<sup>206</sup>Pb/ <sup>238</sup>U年龄为50~43Ma,结合Lu-Hf同位素测试结果 (ε<sub>щ</sub>(t) = 1.9~11.3),与同时期冈底斯岩基中报道 的锆石  $\varepsilon_{\rm Hf}(t)$  值相同(Ji Weiqiang et al., 2009), 判 断为捕获锆石。样品 16 个测点中,7 号点位于捕获 型锆石核部与新生岩浆锆石交界处,其余15个点 中,11个点的测试年龄为12.23±0.12Ma(图7a), 其余4个捕获锆石年龄为~43Ma(图6)。



图 5 拉萨地块南木林盆地北缘花岗斑岩的稀土元素配分模式(a)和微量元素标准化图解(b) (原始地幔标准化数据引自 Sun and Mcdonough, 1989; 球粒陨石标准化数据引自 Boynton, 1984)

Fig. 5 Primitive mantle normalized trace elements diagram (a) and chondrite-normalized REE distribution pattern (b) of the granite porphyry in the northern margin of Nanmulin basin in Lhasa block (chondrite and primitive mantle values are from Boynton (1984) and Sun and McDonough (1989), respectively)

	比談	合量(×1	0 - 0				瓦位漾	對比值					同位素年	龄(Ma)			
测点号	Ē	Ē	-	Th/U	$n(^{207}\mathrm{Pb})/$	$n(^{206}\mathrm{Pb})$	$n(^{207}\mathrm{Pb})/$	$n(^{235}{\rm Pb})$	$n(^{236}{\rm Pb})_{\prime}$	/n( <sup>2:8</sup> Pb)	$n(^{207}{ m Pb})/n$	$n(^{205}{\rm Pb})$	$n(^{207}\mathrm{Pb})/n$	$n(^{235}\mathrm{Pb})$	$n(\frac{206}{2}\mathrm{Pb})/n$	( <sup>238</sup> Pb)	谐和度
	2		-		测值	١a	测值	١a	测位	1 a	测位	١a	道住	١œ	测位	lσ	(%)
1	4.10	975	1942	0.50	0.0493	0.0054	0.0117	0.0010	0.0018	0.0000	165	302	11.8	1.0	11.5	0.3	97%
0	5.53	3379	1679	2.01	0.0476	0.0068	0.0125	0.0014	0.0020	0.0001	79.7	311	12.7	1.4	12.7	0.4	<i>3</i> 666
ŝ	4.41	1530	1793	0.85	0.0469	0.0059	0.0119	0.0012	0.0019	0.0001	42.7	274	12.0	1.2	11.9	0.3	%66
4	2.41	1015	923	1.10	0.0523	0.0091	0.0120	0.0016	0.0019	0.0001	302	352	12.1	1.7	12.1	0.4	266
S	2.4	1295	707	1.83	0.0492	0.0101	0.0136	0.0016	0.0022	0.0001	167	409	13.7	1.6	13.9	0.7	98%
9	3.24	246	351	0.70	0.0469	0.0063	0.0444	0.0054	0.0069	0.0002	42.7	296	44.14	5.21	44.53	1.24	%66
7	2.56	209	243	0.86	0.0533	0.0081	0.0519	0.0065	0.0079	0.0002	343	315	51.4	6.3	50.8	1.5	98%
∞	6.34	1547	2391	0.65	0.0490	0.0063	0.0128	0.0014	0.0020	0.0001	146	274	13.0	1.4	12.7	0.4	368%
6	6.20	2033	2635	0.77	0.0508	0.0058	0.0122	0.0012	0.0018	0.0000	232	241	12.3	1.2	11.8	0.3	95%
0.	4.23	1073	1689	0.64	0.0501	0.0068	0.0129	0.0014	0.0020	0.0001	211	276	13.0	1.4	13.0	0.4	<i>%</i> 66
:1	2.42	168	262	0.64	0.0470	0.0068	0.0458	0.0040	0.0071	0.0003	55.7	306	45.4	3.9	45.8	1.6	<i>%</i> 66
5	2.61	515	976	0.53	0.0495	0.0099	0.0139	0.0018	0.0021	0.0001	172	411	14.0	1.8	13.6	0.6	979%
ņ	6.54	2333	2607	0.90	0.0475	0.0082	0.0119	0.0019	0.0019	0.0001	76.0	367	12.0	1.9	12.1	0. 4	266
4.	12.00	696	1482	0.47	0.0475	0.0036	0.0439	0.0029	0.0068	0.0001	72.3	183	43.6	2.8	43.4	0.8	<i>3</i> %66
ŝ	0.58	288	197	1.46	0.0405	0.0265	0.0129	0.0059	0.0019	0.0002	165	312	13.0	5.9	12.2	1.2	94%
<u>;</u> 6	8.13	713	1005	0.71	0.0464	0.0040	0.0418	0.0032	0.0065	0.0001	20.5	193	41.61	3.12	41.87	0.96	99 <i>%</i>

0.028237.  $n(^{176}Lu)/$ 0.013295 ~  $n(^{177}\text{Hf})$ 值为0.000488 ~ 0.001244,测 试点的 n (<sup>176</sup> Lu)/n (<sup>177</sup> Hf) 值小于 0.002, 锆石在形成后基本没有放射性成 因 Hf 的积累。分析结果分为两类:其中 捕获锆石  $(n = 4) \varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为 +1.9 ~ +11.3(平均值为+5.4),亏损地幔二 阶段模式年龄为391~997Ma(平均值为 771Ma);中新世岩浆锆石(n = 11) $\varepsilon_{\text{H}}$ (t) 值为 -0.6 ~ +4(平均值为 +1.5), 暗示源区具壳幔混合特征,且幔源成分 (或新生下地壳成分)相对较多,亏损地 幔二阶段模式年龄为835~1126Ma(平 均为996Ma)。

锆石原位 Lu-Hf 同位素测年结果

锆石 n (<sup>176</sup> Yb)/n (<sup>177</sup> Hf) 值为

### 4 讨论

3.3

### 4.1 岩石成因

本文获得的花岗斑岩样品矿物组 合为:石英+钾长石+斜长石+黑云 母, 具高的 SiO, 含量(68.31%~ 71.34%)、全碱含量(K<sub>2</sub>0 + Na<sub>2</sub>0 = 7.15% ~ 7.86%)、A/CNK 值(0.98 ~ 1.23)和较高的 FeO \* / MgO 比值(2.92 ~3.13),这些特征表明花岗斑岩可能 经历了结晶分异过程(Wu Fuyuan et al., 2003;朱弟成等, 2009; Wang Qing et al., 2015),在La-(La/Sm)图中也反 映出其结晶分离趋势(图 8a)。Sr-Ba 图解可以较好地反映主要矿物结晶分 离产生的微量元素变化(Li Xianhua et al., 2007),图 8b 中显示花岗斑岩主要 经历了碱性长石的分离结晶作用,该矿 物的结晶分离会将熔体中 Sr、Eu、Ba 元 素带走,并以类质同像代替 K 的形式赋 存于矿物晶格,导致结晶分异后的样品 出现 Eu 负异常(图 5b)、Ba、Sr 含量降 低(图 5a)(即 Sr/Y 值较低)。

LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年获 得花岗斑岩的年龄为 12.23 ±0.12Ma, 与拉萨地块南部中新世高锶低钇斑岩 同期 (Chung Sunlin et al., 2003; Hou Zengqian et al., 2004; Ji Weiqiang et

Table 2 Zircon LA-ICP MS U-Pb dating of the granite porphyry

表 2 花岗斑岩 TA-ICP MS 锆石 U-Pb 年龄分析结果

### 表 2 花岗斑岩 LA-ICP MS 锆石 U-Pb 年龄分析结果

Table 2 Zircon LA-ICP MS U-Pb dating of the granite porphyry

	元素	含量( ×1	0 -6 )				同位素	素比值					同位素年	龄(Ma)		$n(^{238} \mathrm{Ph})$	
测点号	DI	T	T	Th/U	n( <sup>207</sup> Pb)/	⟨ <i>n</i> ( <sup>206</sup> Pb)	n( <sup>207</sup> Pb)/	∕n( <sup>235</sup> Pb)	n( <sup>206</sup> Pb)	∕n( <sup>238</sup> Pb)	n( <sup>207</sup> Pb)	$/n(^{206} \text{Pb})$	n( <sup>207</sup> Pb)/	<i>n</i> ( <sup>235</sup> Pb)	n( <sup>206</sup> Pb)/	n( <sup>238</sup> Pb)	谐和度
	Pb	In			测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	(%)
1	4.10	975	1942	0.50	0.0493	0.0054	0.0117	0.0010	0.0018	0.0000	165	302	11.8	1.0	11.5	0.3	97%
2	5.53	3379	1679	2.01	0.0476	0.0068	0.0125	0.0014	0.0020	0.0001	79.7	311	12.7	1.4	12.7	0.4	99%
3	4.41	1530	1793	0.85	0.0469	0.0059	0.0119	0.0012	0.0019	0.0001	42.7	274	12.0	1.2	11.9	0.3	99%
4	2.41	1015	923	1.10	0.0523	0.0091	0.0120	0.0016	0.0019	0.0001	302	352	12.1	1.7	12.1	0.4	99%
5	2.44	1295	707	1.83	0.0492	0.0101	0.0136	0.0016	0.0022	0.0001	167	409	13.7	1.6	13.9	0.7	98%
6	3.24	246	351	0.70	0.0469	0.0063	0.0444	0.0054	0.0069	0.0002	42.7	296	44.14	5.21	44.53	1.24	99%
7	2.56	209	243	0.86	0.0533	0.0081	0.0519	0.0065	0.0079	0.0002	343	315	51.4	6.3	50.8	1.5	98%
8	6.34	1547	2391	0.65	0.0490	0.0063	0.0128	0.0014	0.0020	0.0001	146	274	13.0	1.4	12.7	0.4	98%
9	6.20	2033	2635	0.77	0.0508	0.0058	0.0122	0.0012	0.0018	0.0000	232	241	12.3	1.2	11.8	0.3	95%
10	4.23	1073	1689	0.64	0.0501	0.0068	0.0129	0.0014	0.0020	0.0001	211	276	13.0	1.4	13.0	0.4	99%
11	2.42	168	262	0.64	0.0470	0.0068	0.0458	0.0040	0.0071	0.0003	55.7	306	45.4	3.9	45.8	1.6	99%
12	2.61	515	976	0.53	0.0495	0.0099	0.0139	0.0018	0.0021	0.0001	172	411	14.0	1.8	13.6	0.6	97%
13	6.54	2333	2607	0.90	0.0475	0.0082	0.0119	0.0019	0.0019	0.0001	76.0	367	12.0	1.9	12.1	0.4	99%
14	12.00	696	1482	0.47	0.0475	0.0036	0.0439	0.0029	0.0068	0.0001	72.3	183	43.6	2.8	43.4	0.8	99%
15	0.58	288	197	1.46	0.0405	0.0265	0.0129	0.0059	0.0019	0.0002	165	312	13.0	5.9	12.2	1.2	94%
16	8.13	713	1005	0.71	0.0464	0.0040	0.0418	0.0032	0.0065	0.0001	20.5	193	41.61	3.12	41.87	0.96	99%



图 6 拉萨地块南木林盆地北缘花岗斑岩锆石阴极发光图像及 U-Pb、Lu-Hf 测点 Fig. 6 CL images and analyse points of the zircons of the granite porphyry in the northern margin of Nanmulin basin, Lhasa block

al., 2009; Xu Wangchun et al., 2010; 胡永斌, 2015)。花岗斑岩地球化学特征[如:高 Sr/Y,相似 的稀土、微量元素配分曲线(图5),正的锆石  $\varepsilon_{\rm Hf}(t)$ 值(图9)]相似于高锶低钇斑岩,与高锶低钇斑岩相 比,花岗斑岩具有相对低的 Sr、Ba 含量且 Eu 呈现弱 负异常,我们认为该花岗斑岩是由高锶低钇斑岩岩 浆通过碱性长石的分离结晶作用形成,这样就可以 合理解释上述差异。对拉萨地块高锶低钇斑岩岩浆 源区,目前有以下几种观点:① 俯冲的新特提斯洋 壳的 部分 熔融 并 与上 覆 地 幔 楔 相 互 作 用(Qu

Xiaoming et al., 2004);② 加厚并拆沉的拉萨地块 下地壳的部分熔融(Chung Sunlin et al., 2003);③ 新生下地壳的部分熔融(Hou Zengqian et al., 2004; Guo Zhengfu et al., 2007;Li Jingxiang et al., 2011); ④ 被板片来源熔体所交代的上地幔的部分熔融 (Gao Yongfei et al., 2007);⑤ 俯冲的印度大陆地 壳的部分熔融(Xu Wangchun et al., 2010)。样品 低 MgO (0.6% ~0.61%)、Cr(5.59×10<sup>-6</sup>~9.72×  $10^{-6}$ )、Ni(2.73×10<sup>-6</sup>~4.38×10<sup>-6</sup>)等特征,暗示 源区未曾经历过地幔楔的混染,更不可能是交代

651



图 7 拉萨地块南木林盆地北缘花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)及锆石稀土元素配分模式图(b) (球粒陨石标准化数据引自 Boynton, 1984)

Fig. 7 U-Pb concordia diagrams of zircons (a) and its chondrite-normalized REE distribution pattern (b) from the granite porphyry in the northern margin of Nanmulin basin, Lhasa block (chondrite value is from Boynton, 1984)

2017 年

					able 3	REE of	zircon f	rom the	granite	e porphy	ry				
测点	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16
La	0.19	0.17	7.23	0.01	6.25	0.01	0.11	0.16	1.76	0.46	0.35	0.01	0.02	1.84	0.01
Ce	26.10	88.90	90.42	41.23	81.10	18.78	47.13	70.35	47.62	23.18	77.97	62.81	25.86	44.19	58.89
Pr	0.09	0.32	1.68	0.17	1.92	0.06	0.11	0.15	0.59	0.15	0.17	0.03	0.25	0.54	0.09
Nd	1.19	4.36	8.86	2.55	11.67	1.06	1.78	2.77	3.30	0.76	4.12	1.23	2.91	3.62	1.04
$\mathbf{Sm}$	1.50	4.89	6.37	4.82	9.37	2.78	3.31	5.63	2.77	0.86	6.45	3.09	6.29	3.07	2.65
Eu	0.54	1.58	1.71	1.66	3.09	0.67	0.97	1.46	0.91	0.17	1.72	0.41	1.50	1.14	0.55
Gd	7.32	17.79	26.92	23.72	36.58	13.59	12.64	26.31	11.99	7.21	19.68	17.23	19.86	12.62	16.11
Tb	2.37	4.12	7.61	6.65	9.66	5.54	3.64	8.00	3.50	2.80	5.57	7.27	5.86	4.32	6.09
Dy	28.71	41.24	80.88	68.10	93.93	68.64	38.48	90.17	41.21	37.88	63.07	95.71	52.82	48.51	80.53
Ho	11.32	13.61	30.62	23.67	30.66	30.26	15.54	35.56	15.91	16.59	23.01	42.35	17.93	19.29	33.82
Er	59.03	59.87	137.15	101.07	123.78	149.44	77.89	167.20	77.07	90.75	101.43	216.77	79.64	88.15	175.49
Tm	14.04	12.72	29.85	20.63	24.51	32.95	18.83	38.52	18.45	22.10	22.34	51.63	16.31	20.10	41.57
Yb	157.14	125.97	303.67	191.30	218.36	338.48	210.72	399.51	204.67	232.43	249.71	534.62	157.12	207.63	457.45
Lu	38.57	28.78	66.46	40.45	41.08	72.16	50.14	92.29	49.90	51.50	57.01	110.71	33.02	46.35	105.13
Y	393.76	465.31	944.72	688.63	907.61	889.14	543.17	1129.30	538.88	542.21	730.80	1374.28	551.27	604.09	1094.57
$\Sigma$ REE	348.10	404.31	799.43	526.04	691.96	734.43	481.30	938.07	479.66	486.84	632.60	1143.9	419.38	501.37	979.39
δEu	0.41	0.46	0.34	0.39	0.44	0.28	0.40	0.31	0.41	0.15	0.43	0.14	0.37	0.48	0.20
δCe	48.24	71.11	6.14	73.77	5.68	89.28	91.91	104.60	11.40	21.28	78.69	544.29	30.77	10.71	205.32
Th	974.97	3379.3	1530.5	1014.9	1295.5	246.05	1547.3	2033.5	1072.9	168.38	2333.2	695.56	287.86	593.20	712.95
U	1941.8	1679.1	1793.3	922.53	707.25	350.86	2391.2	2634.8	1688.6	262.16	2606.6	1482.2	196.70	742.39	1004.6
Th/U	0.50	2.01	0.85	1.10	1.83	0.70	0.65	0.77	0.64	0.64	0.90	0.47	1.46	0.80	0.71

表 3 花岗斑岩锆石 REE 分析结果 Sable 3 REE of zircon from the granite porphy

地幔楔的部分熔融。样品锆石  $\varepsilon_{\rm Hf}(t)$ 值介于 -0.6 ~+4,暗示其可能为新生下地壳的部分熔融所形 成,此外,样品捕获锆石(U-Pb 年龄:40~50Ma) $\varepsilon_{\rm Hf}$ (t)值较高(+1.9~+11.3),可能为捕获的源区锆 石。曲晓明等(2010)根据高锶低钇斑岩中继承锆 石 U-Pb SHRIMP 年龄集中在(55 ±10)Ma 范围内的 事实,及拉萨地块南部存在的陆一陆碰撞期间大规 模的玄武质岩浆底侵(莫宣学等,2003)现象,提出 了含矿斑岩是印度与亚洲大陆碰撞期间,底侵于下 地壳底部的基性岩在晚中新世部分熔融的产物,与 本文所得到的结果一致。因此,花岗斑岩来源于新 生下地壳,不同于源区为年轻(<25Ma)洋壳板片的 经典高锶低钇中酸性岩(Defant and Drummond, 1990;邓晋福等,2015b)。



图 8 拉萨地块南木林盆地北缘花岗斑岩 La—(La/Sm)图解(a)与 Sr—Ba 图解(b)(底图据 Li Xianhua et al., 2007) Fig. 8 La—(La/Sm) diagram (a) and Sr—Ba diagram (b) of the granite porphyry in the northern margin of Nanmulin basin, Lhasa block (base map from Li Xianhua et al., 2007)

			Table		n isotope ua	tu or the g	ante porphyr	3			
占모	年龄	<i>n</i> ( <sup>176</sup> Lu)	<i>n</i> ( <sup>176</sup> Yb)	n( <sup>176</sup> Hf)/	′n( <sup>177</sup> Hf)	s(0)	$\left[\frac{n(^{176}\mathrm{Hf})}{1}\right]$	s(t)	$T_{\rm DM1}$	$T_{\rm DM2}$	f
尽う	(Ma)	n ( <sup>177</sup> Hf)	n ( <sup>177</sup> Hf)	测值	2σ	e <sub>Hf</sub> (0)	$\left[ n \left( {}^{177}  \mathrm{Hf} \right) \right]_t$	$c_{\rm Hf}(t)$	(Ma)	(Ma)	J Lu∕ Hf
1	11.5	0.00058095	0.01401206	0.28283016	0.000007	396688.1	0.282830	2.3	591	944	-0.98
2	12.7	0.00083542	0.02239810	0.28287789	0.000008	439125.1	0.282878	4.0	528	836	-0.97
3	11.9	0.00082263	0.02005192	0.28274920	0.000006	410833.7	0.282749	-0.6	709	1126	-0.98
4	12.1	0.00074733	0.01879764	0.28286653	0.000009	417906.6	0.282866	3.6	542	862	-0.98
5	13.9	0.00061525	0.01661038	0.28280907	0.000006	481562.1	0.282809	1.6	621	990	-0.98
6	44.5	0.00072232	0.01854261	0.28289934	0.000007	1563706.0	0.282899	5.5	496	768	-0.98
8	12.7	0.00102971	0.02708492	0.28276182	0.000009	439125.1	0.282762	-0.1	695	1097	-0.97
9	11.8	0.00054751	0.01372509	0.28281628	0.000007	407297.3	0.282816	1.8	610	975	-0.98
10	13.0	0.00096463	0.02240395	0.28281602	0.000008	449734.3	0.282816	1.8	617	975	-0.97
11	45.8	0.00079994	0.01799830	0.28279746	0.000007	1609679.5	0.282797	1.9	640	997	-0.98
12	13.6	0.00063817	0.01657177	0.28276586	0.000007	470952.9	0.282766	0.1	682	1088	-0.98
13	12.1	0.00076281	0.01865590	0.28275607	0.000007	417906.6	0.282756	-0.3	698	1110	-0.98
14	43.4	0.00048792	0.01329492	0.28282873	0.000007	1524805.4	0.282828	2.9	592	928	-0.99
15	12.2	0.00103119	0.02528919	0.28282607	0.000007	421443.0	0.282826	2.2	604	953	-0.97
16	41.9	0.00124369	0.0282369	0.28306710	0.000010	1471759.2	0.283066	11.3	263	391	-0.96

表 4 花岗斑岩锆石 Lu – Hf 同位素数据 Table 4 Zircons Hf isotope data of the granite porphyr

注:参数计算方法同黄道袤等,2016。



图 9 拉萨地块南木林盆地北缘花岗斑岩锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ —(U-Pb 年龄)图解(文献数据来自 Hou Zengqian et al., 2015)

Fig. 9 Zircon  $\varepsilon_{\rm Hf}(t)$ —(U-Pb age) diagram of the granite porphyry in the northern margin of Nanmulin basin, Lhasa block (date from Hou Zengqian et al., 2015)

拉萨地块中新世高锶低钇斑岩形成之前存在加 厚的地壳(>50km)(Chung Sunlin et al., 2003;Hou Zengqian et al., 2004;Guo Zhengfu et al., 2007),花 岗斑岩锆石 Zr 饱和温度(计算方法参考 Watson and Harrison, 1983)为828℃,在高压实验相图中位于石 榴子石、金红石、角闪石稳定,而斜长石消失的区域。 因此,花岗斑岩样品轻重稀土元素的分馏(La/Yb)<sub>N</sub> = 21.59 ~ 36.81)可能是由于源区石榴子石的残 留;相比于中新世高锶低钇斑岩,花岗斑岩 Sr/Y 值 (15.59 ~38.10)相对较低,可能是高锶低钇斑岩岩 浆经过碱性长石分离结晶的结果。Nb、Ta、Ti 的负 异常(图 5a)则可解释为源区金红石、角闪石的残 留。此外,Nb、Ta 在地质作用过程中很难分离,但角 闪石的残留会导致 Nb/Ta 值降低(Tiepolo et al., 2000),样品 Nb/Ta = 4.95 ~ 5.27 较低,低于洋中脊 玄武岩(17)、大陆地壳(12~13)和下地壳(~8)的 Nb/Ta 平均值(Rudnick and Gao Shan, 2003),因此 源区残留角闪石可能是导致 Nb/Ta 值偏低的原因。

653

综上所述,南木林盆地北部花岗斑岩由新生下 地壳部分熔融形成,其源区残留了石榴子石、金红 石、角闪石,无斜长石残留,在岩浆上侵过程中,发生 了碱性长石的分离结晶作用。

#### 4.2 构造背景

本文利用 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年获得 南木林盆地北缘花岗斑岩侵位年龄为~12Ma(图 7a),与拉萨地块中新世高锶低钇斑岩、钾质一超钾 质火山岩、过铝花岗岩同期(图11)。一般认为:这 些中新世岩浆岩是在后碰撞高原岩石圈减薄、软流 圈上涌导致地壳东西向伸展的背景下形成的。





The grey rectangular area is the temperature and pressure condition of the simulated granite porphyry source region. The dashed line is the mineral occurrence and disappearance curve under anhydrous conditions (base map from Xiong Xiaolin et al., 2005)





Fig. 11 Ages of the Cenozoic magmatism and tectonic events in Lhasa block and adjacent areas (modified from Zhao Zhidan et al. , 2006)

本文获得中新世花岗斑岩为碱性侵入岩(图 4b),Ta—Yb 投图结果显示其为同碰撞花岗岩(图 12)。Harris 等(1986)把碱性侵入岩类称为后碰撞 环境(Post-collosion)产物; Liegeois (1998)和 Sylvester (1998)则把 Pearce 等(1984)的同碰撞花 岗岩类的过铝质花岗岩(本文花岗斑岩 A/CNK 约 为1.13)称为后碰撞(Post-collosion)花岗岩类。此 外,区内南北向裂谷和正断层的大量发育(图2)耦 合于印度—欧亚大陆碰撞后东西向伸展背景。



图 12 拉萨地块南木林盆地北缘花岗斑岩构造 环境判别图解(据 Pearce et al., 1984)

Fig. 12 Yb—Ta diagram for the granite porphyry in the northern margin of Nanmulin basin in Lhasa block (base map from Pearce et al., 1984)

### 4.3 拉萨地块中新世岩浆活动之间的关系

花岗斑岩位于南木林一乌郁盆地中,盆地内出 露有同时代的钾质一超钾质火山岩、高锶低钇斑岩 (赵志丹等,2001; Spicer et al.,2003; Williams et al.,2004;Guo Zhengfu et al.,2007, Chung Sunlin et al.,2009)。其中源于加厚下地壳来源的钾质岩 (刘栋等,2011;Liu Dong et al.,2014)、钾质高锶低 钇中酸性岩(aidakite)(Chung Sunlin et al.,2003; Hou Zengqian et al.,2004;Guo Zhengfu et al.,2007) 与本文花岗斑岩产出背景(碰撞伸展背景)、地球化 学性质(高K、Sr/Y值)相似。在全岩 Sr、Nd,锆石 Hf 同位素图解上,呈现连续过渡趋势(图13),证明 其源区成分的渐变特征,随着靠近拉萨地块古老结 晶基地(Zhu et al.,2011;2013),其同位素呈现富 集特征,表明相同构造背景中,源区成分(壳幔比 例)的变化所导致的同位素特征变化。

### 5 结论

拉萨地块南木林盆地北缘花岗斑岩岩石学、地 球化学特征显示其为新生下地壳部分熔融产物,且



图 13(a) 拉萨地块中新世高锶低钇中酸性岩  $\varepsilon_{Nd}(t) - [n({}^{87}Sr)/n({}^{87}Sr)]$ ,图解;(b) 拉萨地块中新世高锶低钇中酸性岩  $\varepsilon_{Hf}(t) - (U-Pb$  年龄) 图解(数据引自 Liu Dong et al., 2014; Hou Zengqian et al., 2015; 胡永斌, 2015)

Fig. 13 (a)  $\varepsilon_{\rm Nd}(t) - [n(^{87}{\rm Sr})/n(^{87}{\rm Sr})]_i$  isotope diagram for Miocene adakitic rocks in Lhasa block; (b) plots of  $\varepsilon_{\rm Hf}(t) - (U-{\rm Pb} \ {\rm age})$  for Miocene adakitic rocks in Lhasa block (date from Liu Dong et al., 2014; Hou Zengqian et al., 2015; Hu Yongbing, 2015&)

源区残留了石榴子石、金红石、角闪石,无斜长石残 留,在岩浆上侵过程中,发生了碱性长石的分离结晶 作用。

花岗斑岩侵位于中新世,与区内南北向裂谷发 育时代一致,成分上类似于拉萨地块南部同时期发 育的高锶低钇斑岩、钾质岩,同为印度一欧亚大陆碰 撞后东西向伸展背景产物。

#### 参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

- 邓晋福,刘翠,冯艳芳,肖庆辉,狄永军,苏尚国,赵国春,段培新,戴 蒙. 2015a.关于火成岩常用图解的正确使用:讨论与建议. 地质 论评, 61(4):717~734.
- 邓晋福,冯艳芳,狄永军,刘翠,肖庆辉,苏尚国,赵国春,孟斐,马帅, 姚图. 2015b. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质论评, 61(3):473~484.
- 付强. 2013.西藏冈底斯北部砂卡岩型铁(铜)矿床成矿作用研究.导师:侯增谦.北京:中国地质大学(北京)硕士学位论文:1~119.
- 高一鸣,陈毓川,王成辉,侯可军. 2011. 亚贵拉一沙让一洞中拉矿 集区中新生代岩浆岩 Hf 同位素特征与岩浆源区示踪. 矿床地 质,30(2):279~291.
- 侯增谦,由晓明,杨竹森,孟祥金,李振清,杨志明,郑绵平,郑有 业. 2006. 青藏高原碰撞造山带;Ⅲ. 后碰撞伸展成矿作用. 矿 床地质, 25(06): 629~651.
- 胡永斌. 2015. 冈底斯斑岩铜矿带埃达克岩成因及成矿启示. 导师: 孙卫东. 广州:中国科学院研究生院(广州地球化学研究所)博

士学位论文:1~263.

- 黄道袤,万渝生,张德会,董春艳,赵元艺. 2016. 华北克拉通南缘下 汤地区古元古代构造热事件——地球化学特征、锆石 SHRIMP U-Pb 定年和 Hf 同位素研究. 地质论评, 62(6):1439~1461.
- 纪现华. 2013. 西藏纳如松多铅锌矿床地质地球化学特征与成因机 制研究. 导师:杨竹森. 北京:中国地质大学(北京)硕士学位论 文:1~128.
- 雷玮琰,施光海,刘迎新. 2013. 不同成因锆石的微量元素特征研究 进展. 地学前缘, 20(4): 273~284.
- 李光明,刘波,董随亮,张丽. 2010. 冈底斯成矿带中段铜铁铅锌矿 集区的叠合成矿作用及意义——以斯弄多铅锌矿床为例. 长 春: S1, 217~218.
- 刘英超,纪现华,侯增谦,田世洪,李振清,赵晓燕,周金胜,马旺,杨竹森. 2015. 一个与岩浆作用有关的独立铅锌成矿系统的建 立——以西藏纳如松多铅锌矿床为例. 岩石矿物学杂志, 34 (4):539~556.
- 刘栋,赵志丹,朱弟成,王青,隋清霖,刘勇胜. 2011. 青藏高原拉 萨地块西部雄巴盆地后碰撞钾质一超钾质火山岩年代学与地球 化学. 岩石学报,27(7), 2045~2059.
- 莫宣学,赵志丹,邓晋福,董国臣,周肃,郭铁鹰,张双全,王亮亮. 2003. 印度一亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应. 地学前 缘,10(3):135~148.
- 莫宣学. 2011. 岩浆作用与青藏高原演化. 高校地质学报, 17(3): 351~367.
- 潘桂棠,莫宣学,侯增谦,朱弟成,王立全,李光明,赵志丹,耿全如,廖 忠礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化. 岩石学报, 22 (3): 521~533.
- 曲晓明,江军华,辛洪波,陈华. 2010.西藏冈底斯造山带几乎同时 形成的两套埃达克岩为什么一套含矿一套不含矿?矿床地质, 29(3):381~394.
- 孙骥. 2013. 冈底斯中段纳如松多铅锌矿床成因研究. 导师:魏启

荣. 武汉:中国地质大学(武汉)硕士学位论文:1~110.

- 唐菊兴,丁帅,孟展,胡古月,高一鸣,谢富伟,李壮,袁梅,杨宗 耀,陈国荣,李于海,杨洪钰,付燕刚. 2016. 西藏林子宗群火 山岩中首次发现低硫化型浅成低温热液型矿床:以斯弄多银多 金属矿为例. 地球学报,37(4):461~470.
- 王明,李才,董永胜,江万,解超明,吴彦旺. 2010. 西藏谢通门斯弄 多地区新生代逆冲推覆构造的基本特征. 地质通报, 29(12): 1851~1856.
- 吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释 的制约. 科学通报, (16): 1589~1604.
- 许志琴,杨经绥,李海兵,嵇少丞,张泽明,刘焰. 2011. 印度一亚洲 碰撞大地构造. 地质学报, 85(1):1~33.
- 杨勇. 2010. 西藏纳如松多银铅锌矿床地球化学特征研究.导师:罗泰义.广州:中国科学院研究生院(广州地球化学研究所)博士学位论文:1~134.
- 张小强. 2013. 西藏则学地区林子宗群火山岩岩石成因及其与成矿 关系的研究.导师:魏启荣.武汉:中国地质大学(武汉)硕士学 位论文:1~118.
- 赵志丹, 莫宣学, 张双全, 郭铁鹰, 周肃, 董国臣. 2001. 西藏中部 乌郁盆地碰撞后岩浆作用——特提斯洋壳俯冲再循环的证据. 中国科学:(S1), 20~26.
- 赵志丹,莫宣学, Nomade Sebastien, Renne Paul R.,周肃,董国臣,王 亮亮,朱弟成,廖忠礼. 2006. 青藏高原拉萨地块碰撞后超钾质 岩石的时空分布及其意义. 岩石学报, 22(4):787~794.
- 曾忠诚,刘德民,王明志,译仁扎西,尼玛次仁,张若愚,陈宁,朱伟鹏. 2016. 西藏冈底斯东段驱龙一甲马地区构造一岩浆演化与成 矿地质论评,62(3):663~678.
- 朱弟成,莫宣学,王立全,赵志丹,牛耀龄,周长勇,杨岳衡. 2009. 西 藏冈底斯东部察隅高分异 I 型花岗岩的成因:锆石 U-Pb 年代 学、地球化学和 Sr—Nd—Hf 同位素约束. 中国科学(D 辑:地球 科学),(07):833~848.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U Pb analyses that do not report <sup>204</sup> Pb. Chemical Geology, 192(1): 59 ~ 79.
- Chung Sunlin, Liu Dunyi, Ji Jianqing, Chu Meifei, Lee Haoyang, Wen Dajen, Lo Chinghua, Lee Tungyi, Qian Qing, Zhang Qi. 2003. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet. Geology, 31(11): 1021 ~ 1024.
- Chung Sunlin, Chu Meifei, Ji Jianqing, O'Reilly, Suzanne Y, Pearson N J, Liu Dunyi, Lee Tungyi, Lo Chinghua. 2009. The nature and timing of crustal thickening in Southern Tibet: Geochemical and zircon Hf isotopic constraints from postcollisional adakites. Tectonophysics, 477(1~2): 36~48.
- Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magma by melting of young subducted lithosphere. Nature, 347:662 ~665.
- Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongjun, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015a&. On the Correct Application in the Common Igneous Petrological Diagrams: Discussion and Suggestion. Geological Review, 61(4): 717~734.
- Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015b&. Magmatic Arc and Ocean—Continent Transition: Discussion. Geological Review, 61(3):473 ~ 484.
- Fu Qiang. 2013&. Mineralization of skarn Fe(Cu) deposits in the north Gangdese belt, Tibet. Tutor: Hou Zengqian. Beijing: China University of Geosciences(Beijing) Master's Thesis: 1~119.
- Gao Yiming, Chen Yuchuan, Wang Chenghui, Hou Kejun. 2011&.

Zircon Hf isotopic characteristics and constraints on petrogenesis of Mesozoic—Cenozoic magmatic rocks in Nyainqentanglha region, Tibet. Mineral Deposits,  $30(2): 279 \sim 291$ .

- Gao Yongfei, Hou Zengqian, Kamber B S, Wei Ruihua, Meng Xiangjin, Zhao Rongsheng. 2007. Adakite-like porphyries from the southern Tibetan continental collision zones: evidence for slab melt metasomatism. Contributions to Mineralogy and Petrology, 153(1): 105 ~ 120.
- Guo Zhengfu, Wilson M, Liu J Q. 2007. Post-collisional adakites in south Tibet: Products of partial melting of subduction-modified lower crust. Lithos, 96(1~2): 205~224.
- Harris N B, Pearce J A, Tindle A G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. The Geological Society of London Special Publications, 19(1), 67~81.
- Hou Zengqian, Gao Yongfei, Qu Xiaoming, Rui Zongyao, Mo Xuanxue. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east—west extension in southern Tibet. Earth and Planetary Science Letters, 220(1~2): 139~155.
- Hou Zengqian, Duan Lianfeng, Lu Yongjun, Zheng Yuanchuan, Yang Zhusen, Wang Baodi, Pei Y R, Zhao Zhidan, Mccuaig, Campbell T. 2015. Lithospheric Architecture of the Lhasa Terrane and Its Control on Ore Deposits in the Himalayan—Tibetan Orogen. Economic Geology, 110: 1541 ~ 1575.
- Hou Zengqian, You Xiaoming, Yang Zhusen, Meng Xiangjin, Li Zhenqing, Yang Zhiming, Zheng Mianping, Zheng Youye. 2006 &. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting. Mineral Deposits, 25(06): 629 ~ 651.
- Hu Yongbing. 2015. Petrogenesis and Metallogenetic Implications of Aadakites in the Gangdese Porphyry Copper Belt. Tutor: Sun Weidong. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences Ph. D. Thesis: 1~263.
- Huang Daomao, Wan Yusheng, Zhang Dehui, Dong Chunyan, Zhao Yuanyi. 2016 &. Paleoproterozoic Tectono -Thermal Events in the Xiatang Area, Lushan County, Southern Margin of the North China Craton — Evidence from Geochemical Features, Zircon SHRIMP Dating and Hf Isotopic Analysis. Geological Review, 62(6):1439 ~1461.
- Ji Weiqiang, Wu Fuyuan, Chung Sunlin, Li Jinxiang, Liu Chuanzhou. 2009. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic constraints on petrogenesis of the Gangdese batholith, southern Tibet. Chemical Geology, 262(3): 229 ~ 245.
- Ji Xianhua. 2013&. Study on Geology, Geochemistry and Genesis of Narusongduo lead—zinc deposit, Tibet. Tutor: Yang Zhusen. Beijing: China university of geosciences (Beijing) Master's Thesis: 1 ~128.
- Lei Weiyan, Shi Guanghai, Liu Yingxin. 2013&. Research progress on trace element characteristics of zircons of different origins. Earth Science Frontiers, 20(4): 273 ~ 284.
- Li Jinxiang, Qin Kezhang, Li Guangming, Xiao Bo, Chen Lei, Zhao Junxing. 2011. Post-collisional ore-bearing adaktic porphyries from Gangdese porphyry copper belt, southern Tibet: Melting of thickened juvenile arc lower crust. Lithos, 126(3~4): 265~277.
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Li Wuxian, Liu Ying, Yuan Chao, Wei Gangjian, Qi Changshi. 2007. U-Pb zircon, geochemical and Sr— Nd—Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I- and Atype granites from central Guangdong, SE China: A major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab?. Lithos, 96

 $(1 \sim 2): 186 \sim 204.$ 

- Liégeois J P. 1998. Some words on the post-collisional magmatism. Lithos, 45, 15 ~ 18.
- Liu Dong, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Wang Qing, Sui Qinglin, Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Mo Xuanxue. 2011&. The petrogenesis of postcollisional potassic—ultrapotassic rocks in Xungba basin, western Lhasa terrane: Constraints from zircon U-Pb geochronology and geochemistry. Acta Petrologica Sinica, 27(7), 2045 ~ 2059.
- Liu Dong, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Niu Yaoling, Depaolo D J, Harrison T M, Mo Xuanxue, Dong Guochen, Zhou Su, Sun Chengguang, Zhang Zhaochong, Liu Junlai. 2014. Postcollisional potassic and ultrapotassic rocks in southern Tibet: Mantle and crustal origins in response to India—Asia collision and convergence. Geochimica et Cosmochimica Acta, 143: 207 ~ 231.
- Liu Yingchao, Ji Xianhua, Hou Zengqian, Tian Shihong, Li Zhenqing, Zhao Xiaoyan, Zhou Jinsheng, Ma Wang, Yang Zhusen. 2015 &. The establishment of an independent Pb—Zn mineralization system related to magmatism: A case study of the Narusongduo Pb—Zn deposit in Tibet. Acta Petrologica et Mineralogica, 34(4): 539 ~ 556.
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing. 2010. Continental and Oceanic Crust Recyclinginduced Melt—Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons from Mantle Xenoliths. Journal Of Petrology, 51 (1 ~ 2): 537 ~ 571.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Detlef Gunther, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. Chemical Geology, 257(1~2): 34~43.
- Middlemost E A. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. Earth-Science Reviews, 37(3):215 ~ 224.
- Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Deng Jinfu, Dong Guochen, Zhou Su, Guo Tieying, Zhang Shuangquan, Wang Liangliang. 2003 &. Response of Volcanism to the India—Asia collision. Earth Science Frontiers, 10(3): 135~148.
- Mo Xuanxue. 2011 &. Magmatism and Evolution of the Tibetan Plateau. Geological Journal of China Universities, 17(3): 351 ~ 367.
- Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, Zhu Dicheng, Wang Liquan, Li Guangming, Zhao Zhidan, Geng Quanru, Liao Zhongli. 2006&. Spatial— temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 521 ~533.
- Pearce J A, Harris N B, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25(4):956 ~983.
- Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Li Youguo. 2004. Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau. Lithos, 74 (3~4): 131~148.
- Qu Xiaoming, Jiang Junhua, Xin Hongbo, Chen Hua. 2010&. A study of two groups of adakite almost simulteneously formed in Gangdese collisional orogen, Tibet: Why does one group contain copper mineralization and the other not?. Mineral Deposits, 29(3): 381 ~ 394.
- Rudnick R L, Gao Shan. 2003. Composition of the continental crust. Treatise on geochemistry, 3:1 ~64.
- Spicer R A, Harris N B, Widdowson M, Herman A B, Guo S, Valdes P J, Kelley S P. 2003. Constant elevation of southern Tibet over the

past 15 million years. Nature, 421(6923):622~624.

- Sun Ji. 2013 &. The genetic study of Narusongduo lead zinc ore deposit in middle Gangdese belt, Tibet. Tutor: Wei Qirong. Wuhan: China University of Geosciences Master's Thesis: 1~110.
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. Lithos, 45(1): 29 ~44.
- Tang Juxing, Ding Shuai, Meng Zhan, Hu Guyue, Xie Fuwei, Li Zhuang, Yuan Mei, Yang Zongyao, Chen Guorong, Li Yuhai, Yang Hongyu. 2016&. The first discovery of the low sulfidation epithermal deposit in linzizong volcanics, Tibet: the Sinongduo Ag polymetallic deposit example. Acta Geoscientica Sinica. 37 (4): 461~470.
- Tiepolo M, Vannucci R, Oberti R, Foley S, Bottazzi P, Zanetti A. 2000. Nb and Ta incorporation and fractionation in titanian pargasite and kaersutite: crystal—chemical constraints and implications for natural systems. Earth and Planetary Science Letters, 176(2):185 ~201.
- Wang Ming, Li Cai, Dong Yongsheng, Jiang Wan, Xie Chaoming, Wu Yanwang. 2010&. Cenozoic thrusting nappe structure in the Si Nongduo area, Xie Tongmen, Tibet, China. Geological Bulletin of China, 29(12): 1851 ~ 1856.
- Wang Qing, Zhu Dicheng, Cawood P A, Zhao Zhidan, Liu Shengao, Chung Sunling, Zhang Liangliang, Liu Dong, Zheng Yuanchuan, Dai Jingen. 2015. Eocene magmatic processes and crustal thickening in southern Tibet: Insights from strongly fractionated ca. 43Ma granites in the western Gangdese Batholith. Lithos, 239:128 ~141.
- Watson E B, Harrison T. 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. Earth and Planetary Science Letters, 64:295 ~ 304
- Williams H M, Turner S P, Pearce J A, Kelley S P, Harris N B W. 2004. Nature of the source regions for post-collisional, potassic magmatism in southern and northern Tibet from geochemical variations and inverse trace element modelling. Journal of Petrology, 45(3):555 ~ 607.
- Wu Fuyuan, Jahn Borming, Wilde S A, Lo Chinghua, Yui Tzenfu, Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou. 2003. Highly fractionated I-type granites in NE China (I): geochronology and petrogenesis. Lithos, 66(3~4):241~273.
- Xiong Xiaolin, Adam J, Green T H. 2005. Rutile stability and rutile/ melt HFSE partitioning during partial melting of hydrous basalt: Implications for TTG genesis. Chemical Geology, 218(3~4):339 ~359.
- Xu Wangchun, Zhang Hongfei, Guo Liang, Yuan Honglin. 2010. Miocene high Sr/Y magmatism, south Tibet: Product of partial melting of subducted Indian continental crust and its tectonic implication. Lithos, 114(3~4):293~306.
- Xu Zhiqing, Yang Jingsui, Li Haibing, Ji Shaocheng, Zhang Zeming, Liu Yan. 2011&. On the Tectonics of the India—Asia Collision. Acta Geologica Sinica, 85(1): 1~33.
- Yang Yong. 2013 &. The geochemistry study of Narusongduo Ag—Pb— Zn ore deposit in Tibet. Tutor: Luo Taiyi. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences Ph. D. Thesis: 1 ~ 134.
- Yin An, Harrison T M. 2000. Geological evolution of the Himalayan— Tibetan orogen. Annual Reviews of Earth and Planet Science Letter, 28: 211 ~ 280.
- Zhang Xiaoqiang. 2013 &. Petrogenesis of Linzizong Group Volcanic

Rocks in Zexue Area, Tibet and its Relation to Mineralization. Tutor: Wei Qirong. Wuhan: China University of Geosciences Master s Thesis: 1~118.

- Zhao Zhidan, Mo Xuanxue, Nomade Sebastien, Renne Paul R, Zhou Su, Dong Guochen, Wang Liangliang, Zhu Dicheng, Liao Zhongli. 2006 &. Post-collisional ultrapotassic rocks in Lhasa Block, Tibetan Plateau: Spatial and temporal distribution and its implications. Acta Petrologica Sinica, 22(4): 787 ~794.
- Zeng Zhongcheng, Liu Deming, Wang Mingzhi, Zerenzaxi, Nimaciren, Zhang Ruoyu, Cheng Ning, Zhu Weipeng. 2016&. Tectonic— Magmatic Evolution and Mineralization of the Qulong—Jiama Areas in Eastern Section of Gangdese Mountains, Xizang (Tibet). Geological Review, 62(3):663~678.

Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Wang Liqiang, Zhao Zhidan, Niu Yaoling,

Zhou Changyong, Yang Yueheng. 2009 &. Petrogenesis of highly fractionated I-type granites in the Chayu area of eastern Gangdese, Tibet: Constraints from zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr—Nd—Hf isotopes. Science China Series D——Earth Science, (07): 833 ~ 848.

- Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, Niu Yaoling, Mo Xuanxue, Chung Sunlin, Hou Zengqian, Wang Liquan, Wu Fuyuan. 2011. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth. Earth and Planetary Science Letters, 301 (1 ~ 2): 241 ~ 255.
- Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, Niu Yaoling, Dilek Yildirim, Ho, Zengqian, Mo Xuanxue. 2013. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau. Gondwana Research, 23 (4): 1429 ~ 1454.

# Miocene Adakitic Magmatism Located at the Northern Part of Nanmuling Basin in Lhasa Block: Zircon U-Pb Age, Hf Isotope and Geochemical Characteristic

FU Yangang<sup>1</sup>), HU Guyue<sup>1</sup>), GAO Yiming<sup>1</sup>), YANG Zongyao<sup>2</sup>), LIN Bin<sup>1</sup>)

1) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;

2) College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059

Abstract: There are plenty of granite porphyry stocks and dikes, spatially coincide with the secondary faults associated with the NS - striking normal faults, intruded into the Linzizong volcanic suits located in the northern margin of the Nanmuling basin, Lhasa block. This paper carried out detailed field investigation, zircon LA - ICP - MS U - Pb dating, Lu-Hf isotope and element geochemical research for the granite porphyry. The results show that the granite porphyry are high silicon alkaline series, with SiO<sub>2</sub> = 68.31% ~ 71.34%, K<sub>2</sub>O = 4.52% ~ 4.96%, K/Na = 1.53 ~ 1.9, and Al index (A/CNK) = 0.98 ~ 1.23. The granite porphyry is characterized by high LILE and low HFSE contents, in addition, it has high (La/Yb)<sub>N</sub> (21.59 ~ 36.81) and Sr/Y (Sr/Y = 15.59 ~ 38.10) values. Zircon LA - ICP - MS U - Pb age of the granite porphyry is 12.23  $\pm$  0.12 Ma and  $\varepsilon_{\rm Hf}$  (*t*) values is -0.6 ~ +4.0. Petrological and geochemical characteristics indicate the granite porphyry was originated from the partial melting of juvenile lower crust, and garnet—rutile—hornblende remains in source area, with the fractional crystallization of alkali feldspar during the invasion. The granite porphyry formed in Miocene, consistent with the deveopment of North—South striking ridge, and its composition similar to high-strontium low-yttrium porphyry and the potassic rocks in the southern part of the Lhasa block, which is formed associated with an extension setting during the collision of India—Eurasia.

Keywords: Nanmulin basin; Lhasa Block; granite porphyry, adakitic porphyry; Miocene; extension setting Acknowledgements: This work was sponsored by Public Science and Technology Research funds Projects (No. 201511022 - 02) and Geological Survey Project of China Geological Survey (No. 12120114068401).

First author: FU Yangang, male, born in 1988, Ph. D Candidate. Mainly engaged in mineral resource prospecting and exploration. Address: No. 26, Baiwanzhuang Street, Xicheng District, Beijing, 100037. Email: 819144330@ qq. com

Corresponding author: HU Guyue, male, born in 1985, Ph. D. Mainly engaged in research of isotope geochemistry and analytical chemistry. Address: No. 26, Baiwanzhuang Street, Xicheng District, Beijing, 100037. Email: wanghuguyue@126.com

Manuscript received on: 2016-05-11; Accepted on: 2017-03-21; Edited by: ZHANG Yuxu. **Doi**: 10.16509/j.georeview.2017.03.008