

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^{*}

赵志丹^{1,2} 莫宣学^{1,2**} Sebastien NOMADE³ Paul R RENNE³ 周肃^{1,4} 董国臣^{1,2} 王亮亮^{1,2} 朱弟成⁵ 廖忠礼⁵
ZHAO ZhiDan^{1,2}, MO XuanXue^{1,2**}, Sebastien NOMADE³, Paul R RENNE³, ZHOU Su¹, DONG GuoChen^{1,2}, WANG LiangLiang^{1,2}, ZHU DiCheng⁵ and LIAO ZhongLi⁵

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100063

3. 伯克利年代学中心, 加利福尼亚伯克利 CA 94709, 美国

4. 中国地质大学地学实验中心, 北京 100083

5. 成都地质矿产研究所, 成都 610082

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. School of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. Berkeley Geochronology Center, Berkeley, CA 94709, USA

4. Geological Analysis Center, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

5. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, China

2005-12-01 收稿, 2006-03-20 改回.

Zhao ZD, Mo XX, Nomade S, Renne PR, Zhou S, Dong GC, Wang LL, Zhu DC and Liao ZL. 2006. Post-collisional ultrapotassic rocks in Lhasa Block, Tibetan Plateau: Spatial and temporal distribution and its' implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4):787-794

Abstract Study of the postcollisional volcanics in Lhasa block in southern Tibet is one of the most important progresses in the Tibetan plateau in the past 10 years. This paper presents new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating results on biotites and sanidines of the ultrapotassic rocks from Dangrengcuo and Xurucuo areas in central Lhasa block. The Dangrengcuo trachyte yields a biotite isochron age of $13.2 \pm 0.3\text{Ma}$, and three sanidine isochron ages of $13.0 \pm 0.3\text{Ma}$, $13.7 \pm 0.3\text{Ma}$ and $13.0 \pm 0.3\text{Ma}$, respectively. The pyroxene trachyte of Xurucuo volcanics yields a biotite isochron age of $11.2 \pm 0.3\text{Ma}$. The distribution feature of the ultrapotassic and potassic rocks in Lhasa block is discussed based on our Ar-Ar data, plus other literature ages. The ultrapotassic rocks erupted during the time between 25Ma and 8Ma ago. They are spatially limited to the west of Longitude E87 degree. These rocks erupted tectonically related strongly to the N-S trending normal faults system, Cenozoic basins or N-S trending lakes. Their ages overlapped the time spans of the extension-related N-S trending normal faults system, mafic dike intrusive, adakitic intrusive and other tectonic events, which suggests that a lithospheric delamination in southern Tibet should have played an important role for all these united processes. The ultrapotassic magmatism occurred synchronously both in Lhasa and Qiangtang blocks implies that they should have similar lithospheric structure and composition beneath these two tectonic units.

Key words Ar-Ar dating, Dangrengcuo, Xurucuo, Ultrapotassic rock, Lhasa block, Tibet

摘要 对西藏拉萨地块超钾质岩石的研究是近10年来青藏高原研究的重要进展之一。本文对西藏拉萨地块中部当若雍错和许如错地区的超钾质火山岩进行了透长石和黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年。当若雍错粗面岩的黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄为 $13.2 \pm 0.3\text{Ma}$, 3个透长石的等时线年龄分别为 $13.0 \pm 0.3\text{Ma}$ 、 $13.7 \pm 0.3\text{Ma}$ 和 $13.0 \pm 0.3\text{Ma}$; 许如错辉石粗面岩黑云母的

* 国家重点基础研究发展规划项目(编号:2002CB412603)、国家自然科学基金(40473020, 40103003, 40503005, 40572048)、国土资源部青藏专项计划(200101020401)、中国科学院广州地球化学研究所同位素开放实验室基金、中国地质调查局综合研究项目和中国国家留学基金资助。

第一作者简介: 赵志丹, 男, 1968年出生, 博士, 教授, 岩石学和地球化学专业, E-mail: zdzhao@cugb.edu.cn

** 通讯作者: 莫宣学, E-mail: moxx@cugb.edu.cn

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄为 $11.2 \pm 0.3\text{Ma}$ 。结合已有研究结果,探讨了拉萨地块碰撞后钾质和超钾质岩石的分布特征。超钾质岩石产于大约东经 87° 以西的地区,岩石年龄介于 $8 \sim 25\text{Ma}$ 之间,而钾质岩石则在东部和西部都有产出,时代为 $9 \sim 24\text{Ma}$ 。超钾质和钾质岩石在野外产出的构造背景上,显示了与南北向裂谷、新生代盆地、南北延长的湖泊等分布的密切关系。拉萨地块碰撞后岩浆作用的时间与裂谷发育、岩脉侵入、埃达克岩形成等岩浆-构造事件的时间相互重叠不是偶然的,预示着可能存在一个深部岩石圈演化的统一事件,而最为可能的是高原南部岩石圈地幔的减薄作用。超钾质岩浆作用在拉萨地块与羌塘地区同时发育表明拉萨地块与藏北在构造和岩石圈演化方面具有一致性。

关键词 Ar-Ar 定年; 当若雍错; 许如错; 超钾质岩石; 拉萨地块; 青藏高原

中图分类号 P588.14; P597.3

超钾质 (Ultrapotassic) 岩石是广义的钾质火山岩中的一个类型, Foley *et al.* (1987) 依据全岩化学成分, 将超钾质岩石定义为, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 2$, $\text{K}_2\text{O} > 3\%$, $\text{MgO} > 3\%$, 并进一步划分为 3 种主要类型 (钾镁煌斑岩类、钾霞橄黄长岩和造山带超钾质岩石), 这类岩石最主要的特征是斑晶除了橄榄石外, 出现富钾矿物白榴石、白云母等。在火山岩分类的全碱-二氧化硅 (TAS) 图解中, 超钾质岩石主要设点在上部区域内, 岩石类型包括粗面岩、粗安岩、玄武粗安岩、响岩、碱玄质响岩、响岩质碱玄岩、碧玄岩等。超钾质岩石在前寒武纪 (Corriveau, 1990; Da Silva Filho, 1993) 至今都有分布, 其中年轻的超钾质岩石 ($< 60\text{Ma}$) 可以产出在 5 种构造环境中, 包括大陆弧、后碰撞弧、初始洋弧、晚期洋弧和板内, 这些环境中除了板内环境的地质演化时期内没有明显的俯冲事件外, 其余都与俯冲作用有关。产出在大陆弧构造环境的分布较广, 典型的如太平洋板块与南美板块边界的安第斯地区、与北美板块边界的北美洲科迪勒拉地区, 非洲板块与欧亚板块边界的欧洲南部滨地中海地区 (如希腊爱琴岛和意大利罗马岩省); 后碰撞弧的典型岩石在阿尔卑斯的不同地段均有产出 (Müller and Groves, 2000)。在我国青藏高原, 近年来发现了大量的超钾质岩石, 从大地构造背景看应属于后碰撞弧, 即特提斯洋壳完全俯冲消减完毕、印度与亚洲大陆碰撞之后的构造环境 (赵志丹等, 2003)。

印度与亚洲大陆发生碰撞之后, 在青藏高原内部及其周边地区广泛发育碰撞后岩浆作用, 形成了大量钾质和超钾质火山岩, 其中在高原北部地区的羌塘、可可西里和昆仑带以及高原东缘发现与研究得较多 (例如, Coulon *et al.*, 1986; Arnund *et al.*, 1992; Turner *et al.*, 1993, 1996; Chung *et al.*, 1998; 邓万明, 1998; 丁林等, 1999; Wang *et al.*, 2001), 并积累了一定数量的资料, 但是在高原南部的拉萨地块, 钾质和超钾质岩石的研究长期以来一直限于少数地区, 如拉萨西北部的麻江和羊应火山岩 (Coulon *et al.*, 1986; Turner *et al.*, 1996; 李家振等, 1992), 直到 1999 年以来才陆续增加了新的发现与研究结果 (Miller *et al.*, 1999; Williams *et al.*, 2001, 2004; Zhao *et al.*, 2001; 马润则等, 2002; 廖思平等, 2002; Chung *et al.*, 2003; Hou *et al.*, 2004; Nomade *et al.*, 2004), 这为深入研究拉萨地块碰撞后岩浆作用的总体分布特征奠定了基础。拉萨地块中部南北向当若雍错-许如错裂谷内发育了超钾质火山岩, 本文对这套火山岩进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定

年, 并在综合分析拉萨地块碰撞后超钾质岩浆作用的时空分布特征基础上, 探讨了超钾质岩石对高原演化的意义。

1 地质背景与样品特征

1.1 地质背景

当若雍错和许如错这两个湖泊位于拉萨地块中部的南北向裂谷中。根据最近 1:25 万区域地质填图结果^①, 当若雍错-许如错地区属于南北向地堑。地堑以当雄-文部活动断裂和脚相给活动断裂为边界, 由当穹错、当若雍错和许如错断陷盆地组成。断陷盆地两侧断块山地发育, 地堑两侧边界断裂活动, 形成的断层崖、断层三角面规模大, 构造痕迹保存完好。区内现代湖泊发育, 其中当若雍错总面积约 816km^2 , 湖泊呈长条形, 长轴呈北北东向并与活动断裂带走向一致。测区中新世以来的火山-侵入活动主要见于当若雍错两侧的亚前、米巴勒、仅仟等地, 总体呈南北向串珠状展布, 岩性有白榴石响岩、碱玄岩、粗安岩、碱性粗面岩、安山岩、凝灰岩等。厚度大于 800m 。火山喷发以喷溢、爆发作用为主。早期为粗面质-碱玄质岩浆的喷溢和侵入, 晚期为碱质岩浆的喷溢和爆发。形成穹状火山、岩流、岩钟、岩舌等火山构造及山岳、穹丘等火山地貌。后期沿南北向断裂有花岗斑岩侵入 (图 1)。

1.2 岩相学特征

在当若雍错湖的西南岸采集了 4 个样品用于定年, 采样地点为当若雍错西岸岗索北东凹口 ($\text{N}30^\circ 56.568'$, $\text{E}86^\circ 23.504'$)。其中样品 DR01-01 为辉石粗面岩, 呈斑状结构, 斑晶占岩石总体约 33%, 斑晶矿物为正长石 (15%)、透辉石 (8%)、黑云母 (8%) 和磷灰石 (2%)。其中正长石呈半自形-自形宽板状, 直径 $2 \sim 5\text{mm}$, 发育卡式双晶, 略有高岭土化; 透辉石为半自形, 直径 $0.5 \sim 1\text{mm}$, 无色-淡绿色, 干涉色二级蓝绿, 大部分辉石不同程度出现碳酸盐化; 黑云母具浅黄-红褐色多色性, 直径 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$; 磷灰石为自形柱状, 约为 $0.2\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 。基质含量约 67%, 具有微晶结构, 主要矿物为正长石 (59%)、透辉石 (5%)、磁铁矿 (2%)、钠

^① 中华人民共和国区域地质调查报告, 1:250000, 措麦区幅 (H45C002002) 和邦多区幅 (H45C001002)。

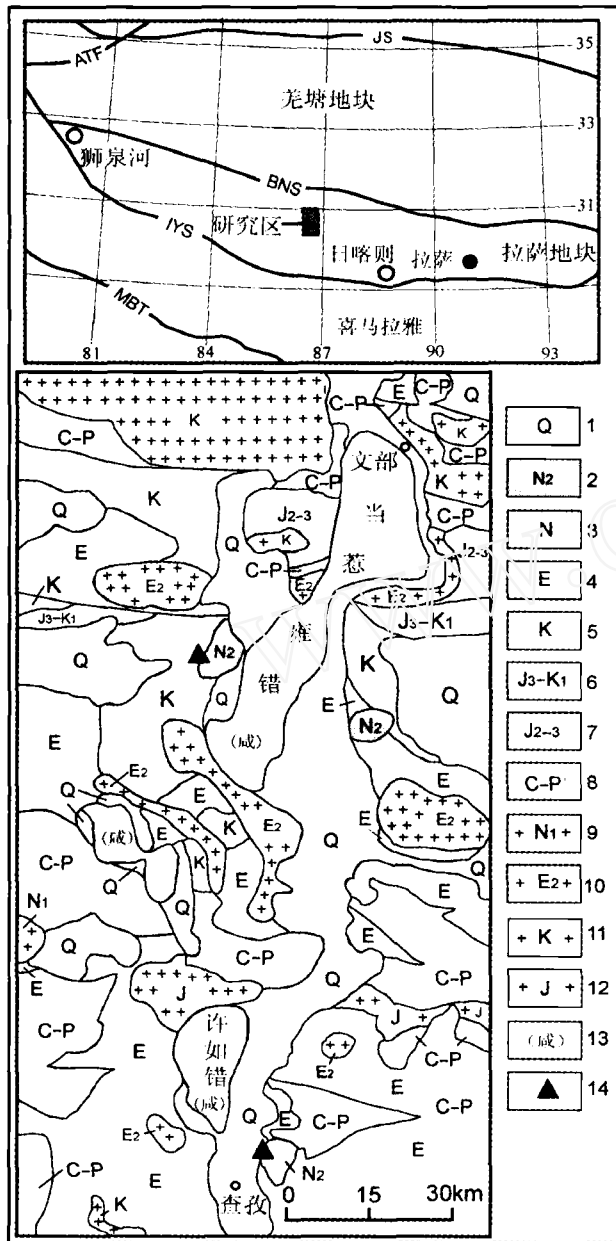


图1 西藏当若雍错和许如错地区地质简图(根据潘桂棠和丁俊, 2004 改绘)

1-第四系沉积物;2-上新统火山岩;3-新近系沉积岩;4-古近系沉积岩;5-白垩系沉积岩;6-上侏罗—下白垩统;7-中—上侏罗统;8-石炭—二叠系沉积岩;9-中新统花岗岩;10-始新统花岗岩;11-白垩系花岗岩;12-侏罗系花岗岩;13-盐湖;14-采样位置。MBT-主边界断裂;IYS-印度河-雅鲁藏布缝合带;BNS-班公湖-怒江缝合带;ATF-阿尔金断裂带;JS-金沙江缝合带。

Fig. 1 Geological map of Dangre Yongcuo and Xurucuo area in central Lhasa block, Tibet. Modified from Pan and Ding(2004)

铁闪石(1%),粒度为0.01~0.05mm。样品 DR01-02 与样品 DR01-01 特征相似,为辉石粗面岩,岩石中可见杏仁体,成分为沸石。DR03 为黑云母粗面岩,岩石为斑状结构,基质具粗面结构,斑晶含量为45%,斑晶矿物为正长石(23%)、黑云

母(15%)、透辉石(5%)和磷灰石(2%),岩石中也可见杏仁体。样品 DR04 为辉石粗面岩,斑状结构,基质为粗面结构,其他特征与样品 DR01-01 相似。

在许如错地区选择样品 XR01-03 用于定年,采样地点为许如错南东端(N30°4.295', E86°30.777')。岩石为辉石粗面岩,呈斑状结构。斑晶占岩石总体约35%,斑晶矿物为钛辉石(23%)和黑云母(12%)。其中钛辉石半自形短柱状,具有无色—浅绿褐色的多色性,二级黄绿干涉色,发育环带构造;黑云母呈无色—红褐色多色性,大部分黑云母已经氧化成黑色,仅具有黑云母晶形假象。基质具粗面结构,主要矿物为正长石、钛辉石和磁铁矿。

2 实验与测试方法

透长石(125~300μm)和黑云母(150~200μm)用手工方法挑选。将20mg透长石和50粒黑云母分别置于5个铝盘中,在美国俄勒冈州立大学 TRIGA 反应堆 CLICIT 装置中照射2.5h。照射后用单颗粒透长石或5~7粒黑云母用聚焦的CO₂激光去气,整个测定在美国伯克利年代学中心 MAP215C 质谱仪上完成,具体方法见 Renne *et al.* (1998)。每2~3步测定一次流程空白,⁴⁰Ar 为(1.0±0.2)×10⁻¹⁶moles,³⁹Ar 为(6.0±2.5)×10⁻¹⁸moles,³⁸Ar 为(1±1.0)×10⁻¹⁸moles,³⁷Ar 为(5.0±0.5)×10⁻¹⁸moles,³⁶Ar 为(7.0±1.7)×10⁻¹⁹moles。照射参数(J)用 Fish Canyon 透长石(FCs; 28.02Ma, Renne *et al.*, 1998)测定,在每个铝盘中测定4个位置。根据 Steiger and Jäger(1977)总衰变常数计算 J 值(误差均为2σ)为0.000515±0.0000031。

3 结果

当若雍错和许如错火山岩矿物 Ar-Ar 年龄谱图和等时线图见图2(限于篇幅,原始数据没有列出,可以向作者索取),年龄结果列于表1中。当若雍错火山岩的形成时代为介于13.0±0.3Ma和13.7±0.3Ma之间,许如错火山岩的形成时间为11.2±0.3Ma。

样品 DR01-01 和样品 XR03-01 的黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄谱中,第一部分的10%显示了不谐和的年龄,年龄数值较大。选择样品平坦的坪部分(分别相当于两个样品³⁹Ar 释放量的94%和90%)给出的坪年龄分别为13.4±0.2Ma和11.5±0.2(图2a和e)。等时线图显示样品的⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始值(313±12和315±16)仅仅略高于现今大气值,表明在这两个样品中存在过剩的⁴⁰Ar。两个样品的坪年龄与等时线年龄差别不大(表1),但等时线年龄(13.2±0.3Ma和11.2±0.3Ma)是更为客观的年龄值。

3个透长石样品 DR01-02、DR03 和 DR04 显示了很平坦的年龄谱,仅在第一段显示出略高的年龄值(图2b,c和d),

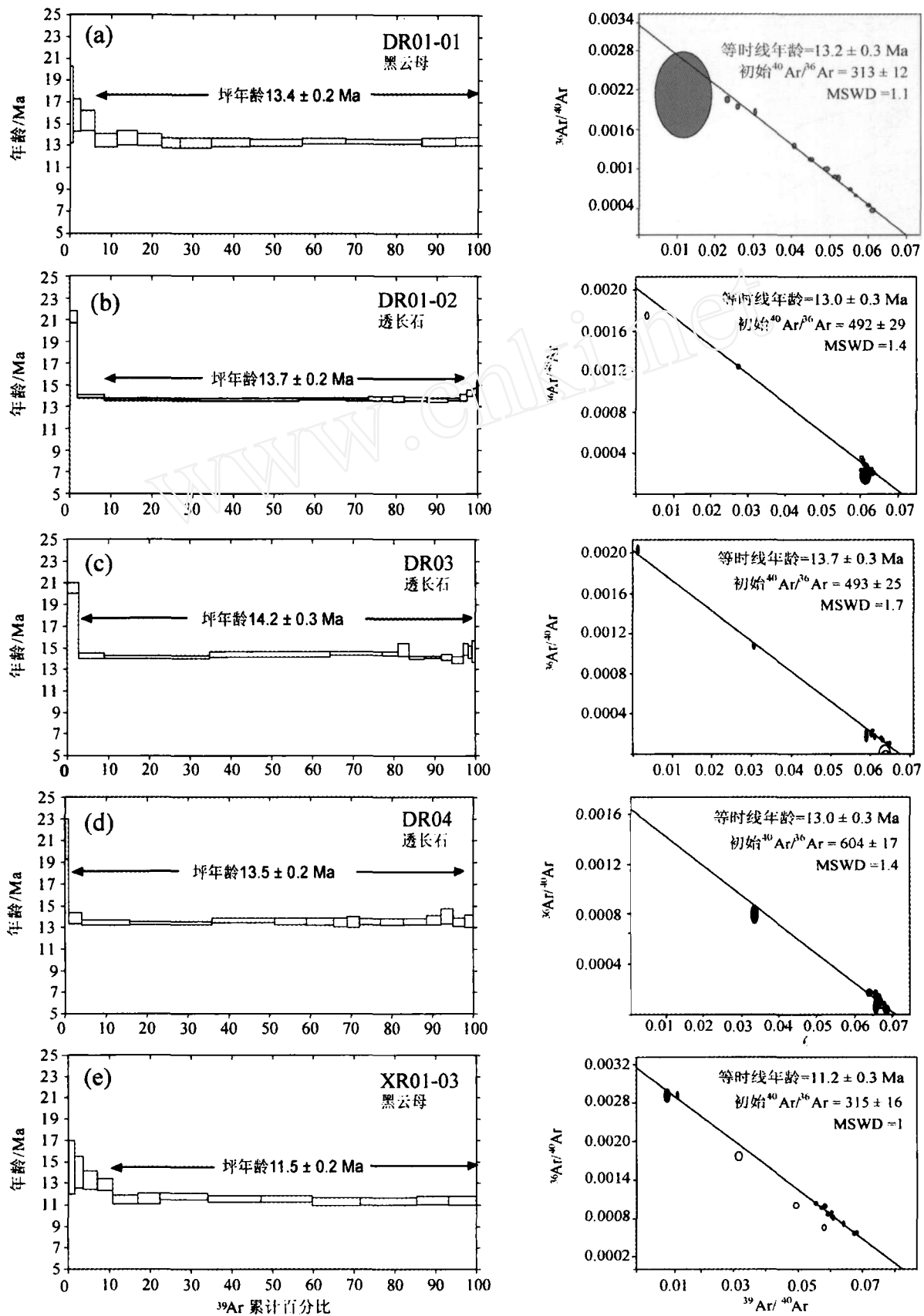
图2 当若雍错和许如错火山岩黑云母和透长石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱和等时线图

Fig. 2 Ar-Ar dating spectra and isochron ages of boitite and sanidine of the volcanic rocks from Dangreiyongcuo and Xurucuo area

表 1 西藏当若雍错和许如错超钾质火山岩⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄

Table 1 ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of the Dangreyongcuo and Xurucuo ultrapotassic volcanics

样品号	地 点	岩 性	矿 物	坪年龄 (±2σ) (Ma)	等时线年龄 (±2σ) (Ma)	初始 ⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar (±2σ)	MSWD
DR01-01	当若雍错	Py-T	Bi	13.4±0.2	13.2±0.3	313±12	1.1
DR01-02	当若雍错	Py-T	Sa	13.7±0.2	13.0±0.3	492±29	1.4
DR03	当若雍错	Bi-T	Sa	14.2±0.3	13.7±0.3	493±25	1.7
DR04	当若雍错	Py-T	Sa	13.5±0.2	13.0±0.3	604±17	1.4
XR01-03	许如错	Py-T	Bi	11.5±0.2	11.2±0.3	315±16	1

Py-T 为辉石粗面岩; Bi-T 为黑云母粗面岩; Bi 为黑云母; Sa 为透长石

得到的 3 个坪年龄介于 14.2±0.2Ma 到 13.5±0.2Ma 之间。在上述的 2 个黑云母样品中等时线显示了圈闭的⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始值高于现今大气值,表明样品是存在⁴⁰Ar 过剩的,因此 3 个透长石也选取其等时线年龄(13.0±0.3Ma,13.7±0.3Ma 和 13.0±0.3Ma)作为岩石形成的年龄。

4 讨论

4.1 拉萨地块碰撞后钾质-超钾质岩石的分布特征

本文测定结果与拉萨地块其他已经发表的钾质超钾质岩石的产出位置和年龄结果都汇总于图 3 和表 2 中。近年来在拉萨地块发现的碰撞后钾质-超钾质岩石,尽管出露面

积和总体积不大,但是这些新发现,足以改变我们原来对青藏高原碰撞后岩浆作用时间与空间分布规律的认识。原来认为碰撞后岩浆作用在高原腹地(不包括高原东部地区)主要集中于青藏高原北部的羌塘、可可西里和昆仑地区,而在南部的拉萨地块仅在个别地点零星出露。现有的结果则表明,自阿里地区狮泉河向东,经过雄巴-邦巴地区(出露面积超过 2000km²,Miller *et al.*, 1999)、扎布耶茶卡盐湖东岸(超过 400km²,马润泽等,2002)、当若雍错和许如错(约 150km²,廖思平等,2002),到日喀则以西 Pabbai Zong 的超钾质脉岩(Williams *et al.*, 2002),再到南木林县乌郁盆地、羊应地热田等等这些地点,在东西跨度超过 1000km 的空间内,碰撞后钾质-超钾质岩石的分布是十分广泛的。这类岩石多是从原

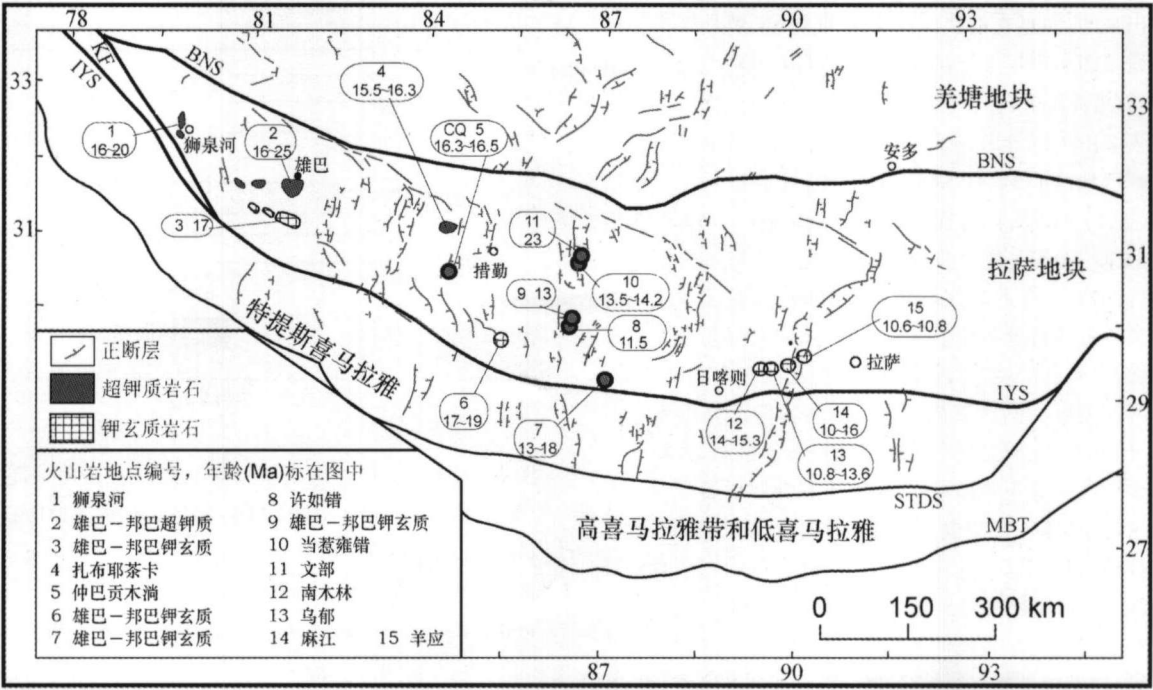


图 3 青藏高原拉萨地块碰撞后钾质和超钾质岩石分布图(南北向裂谷根据 Blisniuk *et al.* (2001); 火山岩位置和年龄数据来源见表 2,图中地点编号与表 2 中一致,英文缩写与图 1 索引图一致)

Fig. 3 Distribution of the post-collisional potassic and ultrapotassic volcanics in Lhasa block, southern Tibet(N-S trending normal faults after Blisniuk *et al.* (2001). See Table 2 for data sources. Locality, age, and No. of the rocks are as that in Table 2. Abbreviation are as that in Fig. 1)

表2 拉萨地块碰撞后钾质超钾质岩石年龄汇总表

Table 2 Summary of the dating results of ultrapotassic and potassic rocks in Lhasa block, southern Tibet

序号	地点	岩石类型	定年方法	矿物/全岩	年龄范围(Ma)	样品数量	来源
1	阿里狮泉河	粗面岩,流纹岩	Ar-Ar	单矿物	16~20	3	Turner <i>et al.</i> (1996)
1	阿里狮泉河	粗安岩	Ar-Ar	金云母	21.2~24	3	Williams <i>et al.</i> (2004)
2	雄巴-邦巴地区	超钾质,钾质	Ar-Ar, Rb-Sr	多种单矿物,全岩	18~25	6	Miller <i>et al.</i> (1999)
3	雄巴-邦巴地区	钙碱性	Ar-Ar, Rb-Sr	多种单矿物,全岩	16~17	11	Miller <i>et al.</i> (1999)
4	扎布耶茶卡东岸	粗安岩	Ar-Ar	正长石和黑云母	16.07~16.23	6	Nomade <i>et al.</i> (2004)
4	措勤布嘎寺	超钾质,粗安岩	K-Ar	全岩	15.8~15.9	2	马润则等(2002)
4	措勤布嘎寺	超钾质,粗安岩	Ar-Ar	全岩	15.53	1	陈建林等(2006)
5	仲巴县贡木淌	超钾质岩石	Ar-Ar	全岩	16.3~16.5	2	周肃(2005,未刊资料)
6	昂仁打加错	英安岩	Ar-Ar	角闪石和全岩	17~19	2	Williams <i>et al.</i> (2001)
7	Pabbai Zong	响岩质碱玄岩	Ar-Ar	金云母和黑云母	13~18	4	Williams <i>et al.</i> (2001)
8	许如错	粗面岩	Ar-Ar	黑云母	11.2	1	本文
9	查孜	粗面岩,粗安岩等	Ar-Ar	金云母	8.2~13.3	3	Ding <i>et al.</i> (2003)
10	尼玛当若雍错	粗面岩	Ar-Ar	黑云母和透长石	13.0~13.7	4	本文
10	尼玛当若雍错	超钾质,白榴石响岩	K-Ar	全岩	12.6	1	廖思平等(2002)
11	文部	粗面岩和响岩	Ar-Ar	透长石	23	2	Ding <i>et al.</i> (2003)
12	南木林	英安岩	Ar-Ar	透长石和金云母	14.03~15.10	4	Spicer <i>et al.</i> (2003)
13	南木林乌郁盆地	粗面岩,粗安岩等	Ar-Ar	透长石,黑云母	12.00~13.63	5	周肃(2002)
13	南木林乌郁盆地	花岗斑岩	Ar-Ar	钾长石	10.84	1	周肃(2002)
14	尼木麻江	安山岩,粗面岩等	Ar-Ar	钾长石,斜长石等	10.1~15.8	5	Coulon <i>et al.</i> (1986)
15	当雄羊应地热田	流纹岩	Ar-Ar	透长石和黑云母	10.65~10.92	3	Nomade <i>et al.</i> (2004)
15	当雄羊应地热田	粗面岩,流纹岩	K-Ar	全岩	9.05~10.83	6	周肃等(2004)

来划为林子宗群(或者与林子宗群时代相当的火山岩地层)中识别出来的,而且在产出空间上有重叠,未来几年更为详细的地质填图与定年工作,可能在拉萨地块识别出更多的碰撞后钾质-超钾质岩石。

从表2中可以看出,从阿里狮泉河和冈仁波齐峰北部的雄巴和邦巴地区的18~25Ma,到扎布耶茶卡盐湖与当若雍错地区的12~16Ma,再到日喀则-拉萨地区麻江、乌郁和羊应地热田的10~16Ma,岩浆作用的时代似乎具有由西向东逐渐变年轻的特点,东西时代差异约为8Ma。从拉萨地块超钾质和钾质岩石各自分布特征来看,超钾质岩石分布在大致东经87度线以西的区域,而钾质岩石则广泛分布在东起拉萨、西到狮泉河的更大的区域内;与拉萨地块南部靠近雅鲁藏布江缝合带的冈底斯岩基明显受到缝合带的控制、大致平行于缝合带东西向分布明显不同,超钾质和钾质岩石不显示东西向分带性,具体表现为既有产出在拉萨地块南部的,也有产出在拉萨地块北部靠近班公湖-怒江缝合带的。从野外产状看,钾质-超钾质岩石明显与高原南北向正断层(或称为南北向裂谷、地堑、东西向伸展构造,例如当若雍错和许如错地堑、羊应南北向地堑)、或者与南北向延长的湖泊(如扎布耶茶卡、当若雍错和许如错地区)、新生代盆地(南木林和乌郁盆地)关系极为密切,在时间上看,钾质和超钾质岩石的年龄与拉萨地块伸展构造的发育时间是有重叠的,表明它们可能具有成因的关联(图4)。

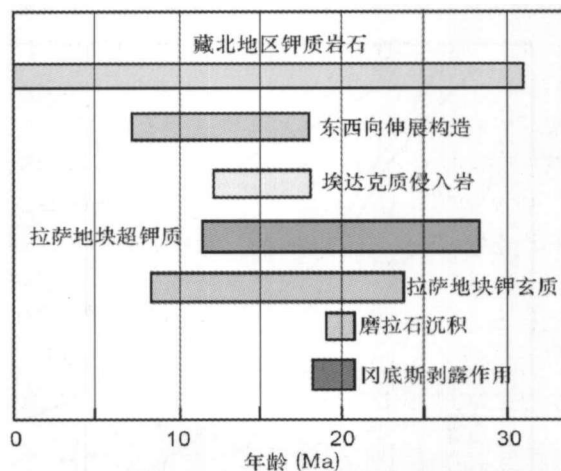


图4 青藏高原拉萨地块新生代主要岩浆-构造事件序列 (根据本文, Williams *et al.* (2001) 和 Hou *et al.* (2004) 综合)
Fig. 4 Ages of the Cenozoic magmatism and tectonic events in Lhasa block and adjacent areas. Summarized from this work, Williams *et al.* (2001) and Hou *et al.* (2004)

4.2 拉萨地块与高原北部钾质-超钾质岩石的关系

相近的岩石类型在羌塘地块和拉萨地块近乎同时出现,例如藏北改则地区鱼鳞山组火山岩中超钾质岩石的年龄为18~30Ma (Ding, 1999, 2000)、23~28Ma (李才等, 2002), 与

拉萨地块西部狮泉河与雄巴地区钾质超钾质岩石年龄 18 ~ 25Ma (Turner *et al.*, 1996; Miller *et al.*, 1999; Williams *et al.*, 2004) 和扎布耶茶卡、文部地区的超钾质岩石 16 ~ 23Ma (马润则等, 2002; Ding *et al.*, 2003; Nomade *et al.*, 2004) 处于相同的时间范围内。相同类型的岩浆作用在相同的时间内发生, 说明这些岩石具有相同或者相近的成因机制、构造环境以及岩浆的源区物质组成, 这正如藏北与藏南地区南北向裂谷构造发育的一致性 (Yin *et al.*, 1999), 钾质超钾质岩石的地球化学性质也支持这种一致性 (Ding *et al.*, 2003)。从拉萨地块与羌塘地块的关系来看, 地表所见的班公-怒江缝合带只是古缝合带, 在发生大陆碰撞之后, 该缝合带已经不是阻隔两个构造单元的巨大界限。

4.3 超钾质岩石与高原构造演化的关系

拉萨地块如此众多的碰撞后钾质超钾质岩石出露地点, 为深入研究钾质超钾质岩石的岩石学、地球化学和成因, 进而揭示拉萨地块在大陆碰撞之后的深部作用过程、深部结构以及印度板块沿着雅鲁藏布江缝合带向北的俯冲规模提供了可能 (赵志丹等, 2003)。前面述及, 拉萨地块的碰撞后钾质超钾质岩石大都与南北向构造有密切的联系。南北向裂谷 (或东西向伸展构造) 被认为是大陆碰撞之后地壳加厚、高原大规模隆升并达到相当高度之后发生重力垮塌, 进而出现东西向伸展构造的主要标志 (Molnar and Tapponnier, 1978), 或者代表了岩石圈地幔减薄之后高原快速隆升的结果 (England and Houseman, 1989)。尤其在后者的模型中, 钾质超钾质岩石被作为指示岩石圈地幔减薄的标志, 因此也成为探讨高原何时开始达到最大高度, 并形成亚洲季风进而影响全球气候变化的一个主要指标 (Chung *et al.*, 1998; Miller *et al.*, 1999; Williams *et al.*, 2001)。如果这个标志正确, 由拉萨地块最早的超钾质岩石年龄为 25Ma, 则可以推知高原南部隆升达到最大高度的时间应提前到 25Ma 之前。但是, 也有人认为这些南北向裂谷中发育的正断层未必与高原隆升有关, 如 McCaffery and Nabelek (1998) 认为藏南和特提斯喜马拉雅的裂谷形成是由印度岩石圈向北大规模俯冲到藏南之下部, 拖拉导致地壳上部产生的; 而 Yin *et al.* (1999) 则从更大范围内考虑, 认为藏北和藏南地区都发育的裂谷与整个东亚地区的大面积的区域性应力状态有关。因此, 碰撞后岩浆作用与裂谷发育之间是否互为因果关系, 或者相互没有联系, 是目前尚未确定的问题。我们倾向于认为, 拉萨地块的碰撞后钾质和超钾质岩浆作用发育时间与裂谷形成时间、岩脉侵入时间、埃达克岩形成时间等一系列构造-岩浆作用时间的相互重叠不是偶然的 (图 4), 这预示着可能存在一个深部岩石圈演化的统一事件, 而最为可能的模式是高原南部岩石圈地幔的减薄作用。

致谢 野外工作中得到江西省地质调查院谢国刚等同志的帮助, 特致谢忱。

References

- Amund NO, Vidal Ph, Tapponnier P, *et al.* 1992. The high K₂O volcanism of northwestern Tibet: Geochemistry and tectonic implications. *Earth Planet Sci Lett*, 111: 351–367
- Blisniuk PM, Hacker BR, Glodny J, *et al.* 2002. Normal faulting in central Tibet since at least 13.5 Myr ago. *Nature*, 412: 628–632
- Chen JL, XU JF, Kang ZQ, *et al.* 2006. Origin of the Miocene Bugasi Group volcanic rocks in the Cuoqin County, Western Tibetan Plateau. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 585–594
- Chung S, Liu D, Ji J, *et al.* 2003. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet. *Geology*, 31(11): 1021–1024
- Chung SL, Lo CH, Lee TY, *et al.* 1998. Diachronous uplift of the Tibetan plateau starting 40 Myr ago. *Nature*, 394: 769–773
- Cornueau L. 1990. Proterozoic subduction and terrane amalgamation in the southwestern Grenville province, Canada: Evidence from ultrapotassic to shoshonitic plutonism. *Geology*, 15: 614–617
- Coulon C, Maluski H, Bollinger C, *et al.* 1986. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet: ³⁹Ar-⁴⁰Ar dating, petrological characteristics and geodynamical significance. *Earth Planet Sci. Lett.*, 79: 281–302
- Da Silva Filho AF, Guimaraes IP and Thompson R N. 1993. Shoshonitic and ultrapotassic-proterozoic intrusive suites in the Cachoeirinha-Salgueiro belt, NE Brazil: A transition from collisional to post-collisional Magmatism. *Precambrian Research*, 62(3): 323–342
- Deng W. 1998. Cenozoic intraplate volcanic rocks in the northern Qinghai-Xizang Plateau. Beijing, Geological Publishing House (in Chinese, with English Abstract)
- Ding L, Kapp P, Zhong D, *et al.* 2003. Cenozoic volcanism in Tibet: Evidence for a transition from oceanic to continental subduction. *Journal of Petrology*, 44(10): 1833–1865
- Ding L, Zhang JJ, Zhou Y, *et al.* 1999. Tectonic implication on the lithosphere evolution of the Tibetan Plateau: Petrology and geochemistry of sodic and ultrapotassic volcanism in Northern Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 408–421 (in Chinese, with English Abstract)
- Ding L, Zhou Y, Zhang JJ, *et al.*, 2000. Geologic relationships and Geochronology of the Cenozoic volcanoes and interbedded weathering crusts of Yulin-shan in Qiangtang, North Tibet. *China Science Bulletin*, 45(24): 2214–2221
- England P and Houseman G. 1989. Extension during continental convergence, with application to the Tibetan Plateau. *J Geophys Res*, 94: 17561–69
- Foley SF, Venturelli G, Green DH, *et al.* 1987. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification and constraints for petrogenetic models. *Earth-Science Review*, 24: 81–134
- Hou ZQ, Gao YF, Qu XM, *et al.* 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 220: 139–155
- Li C, Zhu ZY, Chi YG. 2002. Isotope chronology of volcanic rocks in the Yulinshan formation in the Gerze area, northern Tibet. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 732–734 (in Chinese, with English Abstract)
- Li JZ, Zhang YY and Luo HY. 1992. A research on petrological characters and genesis of the Cenozoic volcanic rocks in the Yangying village geothermal field, Dangxiang, Tibet, China. *Geoscience-Journal of graduate School of China University of Geosciences*, 6(1): 96–109 (in Chinese, with English Abstract)
- Liao SP, Chen ZH, Luo X, *et al.* 2002. Discovery of leucite phonolite in the Tangra Yumco area, Tibet and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 735–738 (in Chinese, with English Abstract)
- Ma RZ, Liu DZ, Tao XF, *et al.* 2002. Discovery of Tertiary potassium-rich magmatic rocks in the Cogen area, Tibet. *Geological Bulletin of*

- China, 21(11): 728–731 (in Chinese, with English Abstract)
- McCaffery R and Nabelek J. 1998. Role of oblique convergence in the active deformation of the Himalaya and southern Tibet plateau. *Geology*, 26: 691–694
- Miller C, Schuster R, Klotzli U, *et al.* 1999. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis. *J Petrol*, 40(9): 1399–1424
- Molnar P and Tapponnier P. 1978. Active tectonics of Tibet. *J. Geophys. Res.*, 85: 5361–5375
- Müller D and Groves DL. 2000. Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization. Springer, 252
- Nomade S, Renne PR, Mo X, *et al.* 2004. Miocene volcanism in the Lhasa block, Tibet: spatial trends and geodynamic implications. *Earth Planet Science Letters*, 221: 227–243
- Pan GT and Ding J (eds). 2004. Geological map of Qinghai-Xizang (Tibet) plateau and adjacent areas (1:1500000). Chengdu Cartographic Publishing House
- Renne PR, Swisher CC, Deino AL, *et al.* 1998. Intercalibration of standards, absolute ages and uncertainties in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating. *Chemical Geology*, 145: 117–152
- Spicer RA, Harris NBW, Widdowson M, *et al.* 2003. Constant elevation of southern Tibet over the past 15 million years. *Nature*, 421: 622–624
- Steiger RH and Jäger E. 1977. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 36: 359–362
- Turner S, Arnaud N, Liu J, *et al.* 1996. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. *J. Petrol.*, 37(1): 45–71
- Turner S, Hawkesworth C, Liu J, *et al.* 1993. Timing of Tibetan uplift constrained by analysis of volcanic rocks. *Nature*, 364: 50–53
- Wang JH, Yin A, Harrison TM, *et al.* 2001. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone. *Earth Planet Sci. Lett.*, 188: 123–133
- Williams H, Turner S, Kelley S, *et al.* 2001. Age and composition of dikes in Southern Tibet: New constraints on the timing of east-west extension and its relationship to postcollisional volcanism. *Geology*, 29: 339–342
- Williams HM, Turner SP, Pearce JA, *et al.* 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
- Yin A, Kapp P A, Murphy M A, *et al.* 1999. Significant late Neogene east-west extension in northern Tibet. *Geology*, 27: 787–790
- Zhao Z, Mo X, Zhang S, *et al.* 2001. Post-collisional magmatism in Wuyu basin, central Tibet: Evidence for recycling of subducted Tethyan oceanic crust. *Science in China (Series D)*, 44 (Supp.): 27–34
- Zhao ZD, Mo XX, Luo ZH, *et al.*, 2003. Subduction of India beneath Tibet: Magmatism evidence. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 149–157 (in Chinese with English abstract)
- Zhou S. 2002. Study on the geochronology of pivotal regions of Gangdese magmatic and Yarlung Zangpo ophiolite belts, Tibet. Ph. D Dissertation, China University of Geosciences, Beijing (in Chinese, with English Abstract)

附中文参考文献

- 陈建林, 许继军, 康志强等. 2006. 青藏高原西部措勤县中新世布嘎寺组钾质火山岩成因. *岩石学报*, 22(3): 585–594
- 邓万明. 1998. 青藏高原北部新生代板内火山岩. 北京: 地质出版社, 1–160
- 丁林, 张进江, 周勇等. 1999. 藏北超钾质及钠质火山岩的岩石学与地球化学特征: 高原岩石圈演化的记录. *岩石学报*, 15(3): 408–421
- 李才, 朱志勇, 迟效国. 2002. 藏北改则地区鱼鳞山组火山岩同位素年代学. *地质通报*, 21(11): 732–734
- 李家振, 张有瑜, 骆红羿. 1992. 西藏当雄羊应乡地热田新生代火山岩特征及其成因探讨. *现代地质*, 6(1): 96–109
- 廖思平, 陈振华, 罗小川等. 2002. 西藏当雄雍错地区白榴石响岩的发现及地质意义. *地质通报*, 21(11): 735–738
- 马润则, 刘登忠, 陶晓凤等. 2002. 西藏措勤地区发现第三纪富钾岩浆岩. *地质通报*, 21(11): 728–731
- 潘桂棠和丁俊(主编). 2004. 青藏高原及邻区地质图(1:1500000), 成都: 成都地图出版社
- 赵志丹, 莫宣学, 罗照华等. 2003. 印度-亚洲俯冲带结构——岩浆作用证据. *地学前缘*, 10(3): 149–157
- 周肃, 莫宣学, 赵志丹等. 2004. 西藏南部羊应乡后碰撞火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义. *自然科学进展*, 14(12): 1411–1418
- 周肃. 2002. 西藏冈底斯岩浆岩带及雅鲁藏布蛇绿岩带关键地段同位素年代学研究. 博士论文, 中国地质大学, 北京, 1–69