

藏南南木林县多角花岗闪长岩锆石U-Pb定年及其地质意义

刘心路^{1,2} 李佰广³ 王永超^{4,5} 舒楚天² 李自安⁶

1. 矿物与成矿重点实验室 中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640

2. 中国科学院大学 北京 100049

3. 黑龙江省大庆市大庆油田有限责任公司第二采油厂 大庆 163000

4. 黑龙江省致密油和泥岩油成藏研究重点实验室 大庆 163000

5. 中国石油大庆油田勘探开发研究院 大庆 163000

6. 中山大学海洋学院 广州 510006

摘要: 冈底斯带岩浆岩作为地球深部的“探针”,记录了从新特提斯洋俯冲到印度—欧亚板块碰撞整个过程的信息,因此研究这些岩浆岩对帮助我们理解青藏高原的形成与演化具有重要意义。位于冈底斯中段的南木林县多角花岗闪长岩,前人对其年代学研究差距较大,从34.6Ma(K-Ar法)到18Ma(锆石全溶U-Pb定年法),因此本文利用SHRIMP对这一花岗闪长岩的锆石开展原位定年,获得其侵位结晶年龄为49.0Ma,属于同碰撞期岩浆岩。同时,结合前人报道的约50Ma的板片断离事件,本文认为多角花岗闪长岩形成于相同的地球动力学背景。

关键词: 青藏高原; 冈底斯; 花岗闪长岩; U-Pb定年

Zircon U-Pb Dating and Geological implications for the Granodiorites from the Duojiang Region in Nanmulin County, South Tibet

Liu Xin-lu^{1,2}, Li Bai-guang³, Wang Yong-chao^{4,5}, Shu Chu-tian², Li Zi-an⁶

1. Key Lab of Mineral and Mineralization, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. No.2 Oil Production Plant of Daqing Oilfield Co., Ltd. of Heilongjiang Province, Daqing 163000, China;

4. HeiLongJiang Provincial Key Laboratory of Tight Oil and Shale Oil Accumulation, Daqing 163000, China;

5. Research Institute of Exploration & Development, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing 163000, China;

6. School of Marine sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China

Abstract: As the probe of the deep earth, the Gangdese intrusive rocks recorded the information of the subduction of the Neo-Tethyan slab as well as the Indo-Asia collision. Therefore, doing research on these rocks would help us to build a better understanding of the evolution of the Tibet plateau. However, the previous geochronological studies in terms of different methods K-Ar geochronology and zircon solution dating method on the Duojiang granodiorite in Nanmulin county, south Tibet, showed distinct ages, ranging from 34.6 Ma to 18 Ma, which hindered the further research. Consequently, we conducted zircon SHRIMP U-Pb dating on the Duojiang granodiorite in this paper and obtain an age of 49.0 Ma, indicating that these rocks were formed during syn-collisional period. In addition, based on the previous studies that indicated a slab breakoff event at ca. 50 Ma, we infer that the genesis of the Duojiang granodiorite are relevant to this geodynamic process.

Key words: Tibet Plateau; Gangdese belt; Granodiorite; U-Pb dating

作者简介:刘心路(1993~),男,硕士研究生在读,学生;主要从事油气勘探与开发的数值模拟;硕士与博士均在中国科学院广州地球化学研究所就读。

表1 多角花岗闪长岩锆石 SHRIMP 定年数据

测点	Pbmg/g	Thmg/g	Umg/g	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1s	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s	年龄(²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U)	1s
75-118-01	4	1112	170	6.54	0.4467	0.0369	0.4777	0.0335	0.0081	0.0003	52.1	1.8
75-118-02	1	60	68	0.89	0.1112	0.0317	0.0754	0.0184	0.0073	0.0005	46.7	3.3
75-118-03	1	75	84	0.89	0.0564	0.0147	0.0596	0.0157	0.0078	0.0003	50.2	1.9
75-118-04	1	105	103	1.02	0.1015	0.0127	0.1026	0.0112	0.0082	0.0003	52.7	2.1
75-118-05	1	83	83	1	0.0570	0.0130	0.0658	0.0158	0.0080	0.0004	51.3	2.5
75-118-06	2	154	184	0.84	0.0676	0.0119	0.0652	0.0084	0.0077	0.0003	49.7	1.7
75-118-07	1	101	120	0.84	0.1056	0.0260	0.0931	0.0231	0.0065	0.0003	41.8	2.1
75-118-08	1	82	116	0.71	0.1130	0.0198	0.1035	0.0161	0.0068	0.0004	43.7	2.5
75-118-09	1	91	92	0.99	0.0588	0.0160	0.0626	0.0147	0.0074	0.0003	47.6	2.1
75-118-10	1	95	95	0.99	0.0894	0.0160	0.0948	0.0167	0.0074	0.0003	47.3	2.2
75-118-11	1	78	95	0.82	0.0715	0.0117	0.0787	0.0123	0.0080	0.0003	51.3	2.0

1. 引言

位于我国西南地区的青藏高原平均海拔超过4000m,被誉为“世界屋脊”。由于青藏高原是显生宙印度板块与欧亚板块碰撞形成,并且青藏高原的隆升影响了整个亚洲的季风环流,所以对青藏高原的研究备受国内外学者的关注^[1-2]。青藏高原也因此成了研究陆陆碰撞的天然实验室。同时,青藏高原是我国岩浆岩最发育的地区之一,岩浆岩的出露面积占全区10%以上,达 $30 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[3]。这些岩浆岩是大地构造演化的记录,也是地球深部的“探针”^[3]。而在青藏高原南部绵延1600km的冈底斯岩浆岩带记录了新特提斯洋俯冲和印度—欧亚板块碰撞的信息^[4],因而对冈底斯的岩浆岩展开研究有助于我们理解青藏高原—喜马拉雅造山带的形成演化过程以及花岗岩与地壳的形成演化的关系。本文对冈底斯带中部南木林县多角花岗闪长岩开展了SHRIMP锆石U-Pb定年,并对花岗闪长岩的成因及其地质意义进行了探讨。

2. 地质背景与岩石特征

青藏高原自北向南依次划分为松潘—甘孜地块、羌塘地块和拉萨地块^[2]。根据沉积岩、断层和蛇绿岩的分布,拉萨地块又被划分为北拉萨、中拉萨和南拉萨次级地体(图1a)^[5]。岩浆岩在整个拉萨地体上都有分布,其中侵入岩被称为冈底斯岩浆岩带,喷出岩主要为林子宗火山岩^[6](图1b)。

多角花岗闪长岩出露于日喀则地区南木林县南部的多角乡,位于冈底斯岩浆岩带中部(图1b)。研究区出露大面积的侵入岩,有闪长岩、花岗闪长岩、石英二长岩和石英正长岩等。区内出露的地层主要有白垩系下统桑日群比马组(K_{1b})和楚木龙组(K_{1c})的砂岩、粉砂岩,白垩系上统设兴组(K_{2s})粉砂岩与生物碎屑灰岩,日喀则群昂仁组(K_{2a})的砂页岩、泥岩和砾岩。其中昂仁组是日喀则弧前盆地沉积地层的一部分^[7],以及古近纪林子宗火山岩系的典中组(E_{1d})中酸性火山岩(图1c)。本文采集了多角乡出露的花岗闪长岩(75-118)开展年代学研究(图1c)。该样品呈灰白色,具有中粒等粒结构,主要由斜长石、钾长石、石英、角闪石和黑云

母等组成,副矿物有锆石、磷灰石和钛铁矿。花岗闪长岩的主量元素组成为:SiO₂:60.50 wt%, TiO₂:0.70 wt%, Al₂O₃:17.15 wt%, Fe₂O₃:3.83 wt%, FeO:3.59 wt%, MnO:0.13 wt%, MgO:2.67 wt%, CaO:4.64 wt%, Na₂O:4.04 wt%, K₂O:2.60 wt%, P₂O₅:0.18 wt%,烧失量:0.34 wt%。

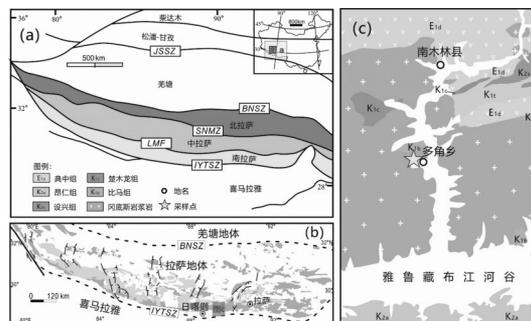


图1. (a)青藏高原构造格局,修改自文献^[5];其中JSSZ表示金沙江缝合带,BNSZ表示班公—怒江缝合带,SNMZ表示狮泉河—纳木错混杂带,LMF表示洛巴堆—米拉山断层,IYTSZ表示印度河—雅鲁藏布江缝合带;(b)拉萨地体的岩浆岩分布,修改自文献^[6];(c)多角乡—南木林县地质简图

3. 锆石U-Pb年龄

3.1 锆石分选

本文研究的样品为中酸性岩石,具有较多的锆石,因此,我们选取0.5kg左右的新鲜岩石样品进行锆石分选。具体操作流程同参考文献^[9]。首先把0.5kg左右的样品破碎成约1cm³的小块,放入直径为20cm的不锈钢钵中,在XZW100型振动磨样机中研磨3s~5s后取出。此过程反复进行直到样品全部通过0.3mm的孔径筛,洗去粉尘,用铝制淘沙盘富集重矿物,再通过磁选和电磁选,将剩余非电磁部分再淘洗获得锆石精矿,最后在双目镜下挑选出用于定年的锆石。

3.2 分析方法和精度

锆石SHRIMP分析在北京离子探针中心SHRIMP II上完成。在上机测试前,将挑选出来的锆石粘在环氧树脂圆盘上,固定制成样品靶,并对其抛光,磨至约一半,使锆石内部暴露。锆石靶制作完成后,首先对靶上锆石在光学

显微镜下进行透反射照相,然后再喷碳,对其进行阴极发光(CL)照相,以揭示锆石的形态学、裂隙、内部包裹体和内部结构,为选点做准备。擦掉锆石靶碳粉后镀金即可进行SHRIMP U-Pb同位素测定。详细的实验流程和数据处理参考文献^[10],应用实测²⁰⁴Pb校正锆石中的普通铅。单个数据点的误差均为 1σ ,由于样品较年轻,采用年龄为²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄,其加权平均值为95%的置信度。

3.3 分析结果

南木林县多角花岗闪长岩锆石U-Pb同位素分析结果见表1。从阴极发光(CL)图像(图2)所显示的锆石特征,花岗闪长岩中锆石大多数呈灰色自形一半自形粒状,直径介于80 μm ~300 μm 之间,少数为短柱状。这些锆石具有明显的岩浆韵律环带或扇状结构,指示其岩浆成因^[11-12]。在前述的认识基础上,本文对多角花岗闪长岩中11个锆石颗粒进行了原位U-Pb同位素与微量元素分析,结果见表1。这些锆石的Th的含量为60 $\mu\text{g/g}$ ~1112 $\mu\text{g/g}$,U的含量为68 $\mu\text{g/g}$ ~184 $\mu\text{g/g}$,相应的Th/U比值0.71~6.54,同样指示它们为岩浆成因锆石^[11]。11个岩浆型锆石的测定点位于谐和线上或稍偏谐和线的右侧,它们的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄主要集中在52Ma~41Ma之间(表1),分布于谐和线周围,其加权平均年龄为49.0Ma \pm 2.3Ma(MSWD=10.6,N=11)(图3)。

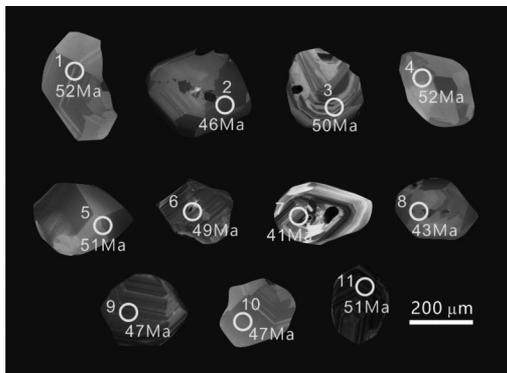


图2 多角花岗闪长岩锆石CL图及测点位置

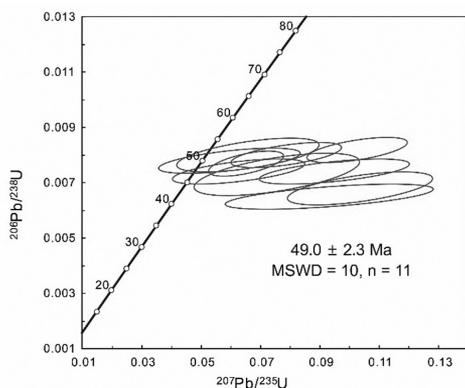


图3 多角花岗闪长岩锆石SHRIMP U-Pb谐和图

4. 讨论

4.1 岩体时代

冈底斯岩浆岩带(又称为冈底斯岩基)记录了新特提斯洋俯冲到印度—亚洲板块碰撞的整个过程的信息^[4,13-14],其年代学研究可以追溯到开始于20世纪70年代中国科学院组织的西藏自治区科学考察。在这次考察中,张玉泉等(1981)^[15]利用K-Ar法对于本文研究的西藏自治区南木林县多角地区花岗闪长岩进行年龄测定,得到的年龄为34.6Ma,而陈毓蔚和许荣华(1981)^[16]利用锆石全溶U-Pb定年法得到的年龄是18Ma。近年来,南木林县花岗质岩石研究表明,这些侵入岩的年龄从40Ma变化到93Ma^[17-19]。本文利用SHRIMP测定南木林多角地区花岗闪长岩锆石U-Pb年龄为49.0Ma \pm 2.3Ma,结合CL揭示的自形岩浆锆石特征和这些锆石的高Th/U比值,认为这一年龄代表岩体的结晶年龄。因而,其形成于喜马拉雅期,相当于古近纪始新世早期。

4.2 岩石成因与动力学背景

冈底斯带岩浆岩的形成与新特提斯洋的俯冲及随后的印度大陆与亚洲大陆的碰撞密切相关^[4,13]。在过去几十年的研究中,通过古地磁学、沉积学、变质岩石学、火成岩石学和构造地质学方法对印度与亚洲大陆的碰撞时间基本限定在65Ma~50Ma之间^[20]。基于这一时间节点,冈底斯带岩浆岩可以划分为碰撞前岩浆岩(205Ma~65Ma)、同碰撞岩浆岩(65Ma~40Ma)和后碰撞岩浆岩(33Ma~13Ma)^[4,6]。而本文研究的多角花岗闪长岩形成年龄为49Ma,属于同碰撞期花岗岩。此外,冈底斯带同碰撞期花岗岩的一个重要的特征是具有大量的暗色镁铁质微粒包体^[6,21]。本文研究的多角乡到南木林县一带其他花岗岩中,也报道有很多暗色包体,指示这些岩石形成于岩浆混合作用^[18,22-23]。根据多角花岗闪长岩的主量元素计算的ANK值为1.81,ACNK值为0.96(小于1.1),属于典型的I型准铝质花岗岩类。同时,其Mg#值(Mg#=mol Mg/(Mg+Fe)),其中Fe为全Fe较高,为0.57,指示有较大的地幔物质贡献。因此,本文认为,类似于其他冈底斯同碰撞岩浆岩,多角花岗闪长岩很可能由地幔岩浆与壳源岩浆混合形成。

前人对冈底斯岩浆岩带的岩浆岩年龄进行统计发现,年龄频数在50Ma左右达到一个峰值(图4a),并且这个时期的岩浆岩形成温度较高,因而认为与碰撞后的新特提斯洋板片的断离过程有关^[4,23-26]。多角花岗闪长岩的年龄恰好与这一峰值年龄相近,所以其也形成于板片断离的动力学背景。

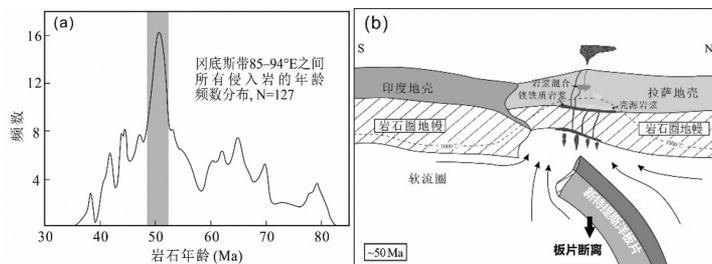


图4 (a)冈底斯岩浆岩带的岩浆岩年龄分布,修改自文献^[25];
(b)多角花岗岩闪长岩形成时的地球动力学背景,修改自文献^[23]

5. 结论

(1)冈底斯岩浆岩带中部南木林多角地区花岗闪长岩的结晶年龄为 $49.0\text{Ma} \pm 2.3\text{Ma}$,属于喜马拉雅期花岗岩;(2)多角花岗闪长岩很可能是由地幔岩浆与壳源岩浆混合形成,受控于新特提斯大洋板片断离的动力学背景。

致谢:北京离子探针中心的刘敦一、万渝生、王彦斌等研究员,协助U-Pb年龄测定并提出许多宝贵的意见,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] An Z, Kutzbach J E, Prell W L, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya - Tibetan plateau since Late Miocene times [J]. Nature, 2001, 411: 62-66.
- [2] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, 28: 211-280.
- [3] 莫宣学. 岩浆作用与青藏高原演化[J]. 高校地质学报, 2011, 17(3): 351-367.
- [4] 纪伟强, 吴福元, 鍾孙霖, 等. 西藏自治区南部冈底斯岩基花岗岩时代与岩石成因[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2009, 39(7): 849-871.
- [5] Zhu D-C, Zhao Z D, Niu Y, et al. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2011, 301: 241-255.
- [6] 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等. 西藏自治区冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 281-290.
- [7] Wu F-Y, Ji W-Q, Liu C.-Z, et al. Detrital zircon U - Pb and Hf isotopic data from the Xigaze fore-arc basin: Constraints on Transhimalayan magmatic evolution in southern Tibet[J]. Chemical Geology, 2010, 271: 13-25.
- [8] Guo Z, Wilson M, Zhang M, et al. Post-collisional Ultrapotassic Mafic Magmatism in South Tibet: Products of Partial Melting of Pyroxenite in the Mantle Wedge Induced by Roll-back and Delamination of the Subducted Indian Continental Lithosphere Slab[J]. Journal of Petrology, 2015, 56: 1365-1406.
- [9] 张玉泉, 夏斌, 梁华英, 等. 云南大平康棱岩化碱性花岗岩的锆石特征及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 378-384.
- [10] 刘敦一, 简平. 大别山双河硬玉石英岩的超高压变质和退变质事件——SHRIMP测年的证据[J]. 地质学报, 2004, 78(2): 211-217.
- [11] Hoskin P W, Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[J]. Reviews in mineralogy and geochemistry, 2003, 53: 27-62.
- [12] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [13] Hou Z, Duan L, Lu Y. Lithospheric Architecture of the Lhasa Terrane and Its Control on Ore Deposits in the Himalayan-Tibetan Orogen[J]. Economic Geology, 2015, 110: 1541-1575.
- [14] 舒楚天, 龙晓平, 王强, 等. 藏南早侏罗世新特提斯洋俯冲过程中壳幔混合作用:来自日喀则东嘎闪长质岩体的证据[J]. 地球化学, 2018, 47(5): 478-490.
- [15] 张玉泉, 戴撞谟, 洪阿实. 西藏自治区高原南部花岗岩类同位素地质年代学[J]. 地球化学, 1981(1): 8-18.
- [16] 陈毓蔚, 许荣华. 西藏自治区南部中酸性岩中锆石铀-铅计时讨论[J]. 地球化学, 1981(2): 128-135.
- [17] Wen D, Liu D, Chung S, et al. Zircon SHRIMP U - Pb ages of the Gangdese Batholith and implications for Neotethyan subduction in southern Tibet[J]. Chemical Geology, 2008, 252: 191-201.
- [18] 徐旺春. 西藏自治区冈底斯花岗岩类锆石U-Pb年龄和Hf同位素组成的空间变化及其地质意义[D]. 中国地质大学(武汉), 2010: 1-172.
- [19] 叶丽娟, 赵志丹, 刘栋, 等. 西藏自治区南木林晚白垩世辉绿岩与花岗质脉岩成因及其揭示的伸展背景[J]. 岩石学报, 2015, 31(05): 1298-1312.
- [20] 朱弟成, 王青, 赵志丹. 岩浆岩定量限定陆-陆碰撞时间和过程的方法和实例[J]. 中国科学:地球科学, 2017, 47(6): 657-673.
- [21] 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 等. 冈底斯岩浆带中段岩浆混合作用:来自花岗杂岩的证据[J]. 岩石学报, 2006, 022(4): 835-844.
- [22] Ma X, Meert J G, Xu Z, et al. Evidence of magma mixing identified in the Early Eocene Caina pluton from the Gangdese Batholith, southern Tibet[J]. Lithos, 2017, 278-281: 126-139.
- [23] Shu C, Long X, Yin C, et al. Continental crust growth induced by slab breakoff in collisional orogens: Evidence from the Eocene Gangdese granitoids and their mafic enclaves, South Tibet[J]. Gondwana Research, 2018, 64: 35-49.
- [24] Wang R, Richards J P, Hou Z, et al. Zircon U - Pb age and Sr - Nd - Hf - O isotope geochemistry of the Paleocene - Eocene igneous rocks in western Gangdese: Evidence for the timing of Neotethyan slab breakoff[J]. Lithos, 2015, 224-225: 179-194.
- [25] Zhu D-C, Wang Q, Zhao Z, et al. Magmatic record of India-Asia collision[J]. Scientific reports, 2015, 5: 1-8.
- [26] 舒楚天. 冈底斯岩基记录的壳幔混合作用及对大陆地壳生长的启示[D]. 中国科学院大学(中国科学院广州地球化学研究所), 2018: 1-130.