

# 青藏高原羌塘中部蜈蚣山花岗片麻岩锆石 U-Pb 定年——泛非与印支事件的年代学记录

胡培远<sup>1</sup> 李 才<sup>1</sup> 苏 犁<sup>2</sup> 李春斌<sup>1</sup> 于 红<sup>2</sup>

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

**摘要:**羌塘盆地位于青藏高原北部,是研究青藏高原古特提斯洋演化及冈瓦纳大陆与欧亚大陆界线的关键区域,其基底的时代和性质直接决定了羌南—保山板块的大地构造属性和冈瓦纳大陆的范围。笔者通过对羌塘中部蜈蚣山花岗片麻岩捕虏体的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年,确定该花岗片麻岩形成于晚三叠世(209.1±2.8 Ma),是冈瓦纳大陆与欧亚大陆汇聚事件的物质记录,与羌塘中部已有的研究结果相一致;同时还在花岗片麻岩中发现了冈瓦纳大陆泛非运动晚期(464.5±4.8 Ma)的年龄记录,是羌塘地区首次发现泛非运动的物质记录,并且该年龄可以与滇西怒江、保山以及印度板块内部和喜马拉雅造山带中发育的大量早古生代花岗质岩石相对比,表明羌南—保山板块与印度大陆具有很好的亲缘性。以上研究成果为探讨羌塘地区的基底属性和确定冈瓦纳大陆与欧亚大陆碰撞的时限提供了新的证据。

**关键词:**青藏高原;羌塘;花岗片麻岩;锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年;泛非运动;

**中图分类号:** P588.34<sup>+</sup>5; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)04-1050-12

羌塘盆地位于青藏高原北部,夹持于班公湖—怒江缝合带和西金乌兰—金沙江缝合带之间,并且由龙木错—双湖—澜沧江缝合带分割为羌北—昌都板块和羌南—保山板块,是研究青藏高原古特提斯洋演化以及冈瓦纳大陆与欧亚大陆界线的关键区域<sup>[1]</sup>。近年来,有关龙木错—双湖—澜沧江缝合带上蛇绿岩的研究进展迅速,一系列早古生代和晚古生代蛇绿岩的发现为古特提斯洋盆的演化时限提供了很好的约束<sup>[2-7]</sup>,但是羌塘地区基底的问题一直悬而未决,存在较大的争议<sup>[8-13]</sup>。羌塘地区是否存在古老基底以及基底的时代和性质直接决定了羌南—保山板块的大地构造属性和冈瓦纳大陆的范围。

羌塘地区是否存在古老片麻岩是解决羌塘“古老基底”问题的关键。2009年笔者在蜈蚣山地区的本松错复合岩基中首次发现了花岗片麻岩的捕虏

体。本文在野外工作的基础上,对该花岗片麻岩捕虏体进行锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年研究,并探讨其构造意义,为确定羌塘盆地的基底及其构造属性提供新的证据。

## 1 地质背景

研究区位于羌塘中部玛依岗日地区,构造上处于龙木错—双湖缝合带的南侧<sup>[14]</sup>。区内出露的地层主要有上石炭统—下二叠统展金岩群(C<sub>2</sub>P<sub>1z</sub>)、下二叠统曲地组(P<sub>1q</sub>)、古近系康托组(E<sub>3k</sub>)和第四系(Q)等(图 1)。

对于该区的花岗岩较系统的研究始于 2005—2007 年开展的 1:25 万玛依岗日幅区域地质调查工作。研究区内出露的花岗岩面积较大,其中本松错复合岩基的面积超过 1 800 km<sup>2</sup>,是羌塘中部地区最大的花岗岩岩基<sup>[15]</sup>。依据前人的研究成果,本松错复合

收稿日期:2010-05-21;改回日期:2010-07-19

基金项目:国家自然科学基金项目(40872146;40672187)与中国地质调查局地质大调查项目(1212010818015)资助。

作者简介:胡培远,男,1987年生,硕士生,构造地质学专业;E-mail:azure\_jlu@126.com。

通讯作者:李才,男,1953年生,教授,博士生导师,从事青藏高原大地构造与区域地质研究;E-mail:licai010@126.com。

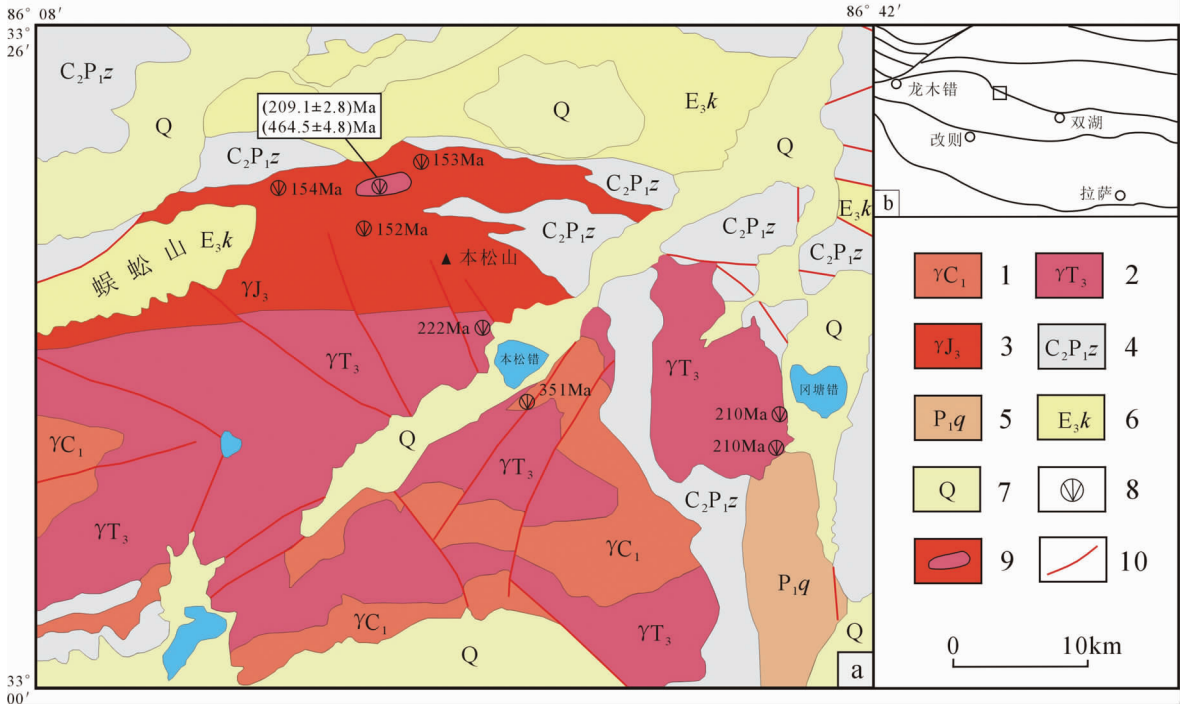


图 1 羌塘中部蜈蚣山地区地质简图(a)及其构造位置(b)(据文献[15]修改)

1—早石炭世花岗岩;2—晚三叠世花岗岩;3—晚侏罗世花岗岩;4—上石炭统—下二叠统展金岩群;5—下二叠统曲地组;6—古近系康托组;7—第四系(Q);8—同位素测年样品采样点;9—晚三叠世花岗片麻岩捕虏体;10—断层;  
 Fig.1 Geological sketch map(a)and tectonic location(b)of Wugong Mountain area in central Qiangtang  
 1—Early Carboniferous granites;2—Late Triassic granites;3—Late Jurassic granites;4—Upper Carboniferous—lower Permian Zhanjin Group ;5—Lower Permian Qudi Formation;6—Paleocene Kangtuo Formation;  
 7—Quaternary ;8—Isotopic sampling site;9—Late Triassic granitic gneiss inclusion;10—Fault;

岩基是中酸性岩浆多期侵入的产物, 主要可分为 3 期: 早石炭世(351 Ma)、晚三叠世(210~225 Ma)和晚侏罗世(152~154 Ma)。该岩基侵入于上石炭统—下二叠统展金岩群(C<sub>2</sub>P<sub>1z</sub>), 其上被古近系康托组(E<sub>3k</sub>)不整合覆盖, 且不同期次的花岗岩之间为侵入或断层接触关系<sup>[15]</sup>。

本文所研究的花岗片麻岩捕虏体零星分布于本松错复合岩基的北部蜈蚣山地区, 围岩主要为燕山期花岗岩。燕山期花岗岩岩体出露面积较小, 未发生明显的变质变形作用, 并且从岩体的外围到核部, 岩石的矿物成分和粒度呈现有规律的渐变趋势: 依次为粗粒二长花岗岩、中粒二长花岗岩、中粒花岗闪长岩、细粒花岗闪长岩, 总体表现为岩浆岩的酸性程度逐渐变低、粒度逐渐变细的特点。此外, 在燕山期花岗岩中还可可见大量围岩——展金岩群的片岩、石英岩和大理岩等大小不等的捕虏体。

## 2 样品特征

花岗片麻岩捕虏体呈灰白色, 片麻状构造, 似斑状花岗结构, 与围岩燕山期二长花岗岩的界线不明显(图 2), 主要组成矿物有斜长石(35%~45%)、钾长石(30%~40%)、石英(25%~30%)和黑云母(10%~15%), 含少量白云母(2%~5%), 岩性为黑云母二长花岗片麻岩(图 3)。长石由中粒不规则状斑晶和相对较细的基质组成, 具有不同程度的钠黝帘石化和绢云母化; 石英呈不规则粒状, 主要分布于基质中; 白云母和黑云母呈半自形片状, 不连续、相对定向地分布于基质中; 副矿物粒度小, 包括锆石、榍石、磷灰石和磁铁矿等, 多呈星点状分布于粒间或矿物包裹体中。主量元素地球化学分析表明, 花岗片麻岩的 SiO<sub>2</sub> 含量为 68.43%, TiO<sub>2</sub> 为 0.55%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 13.44%, TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 4.23%, MgO 为 1.91%, CaO 为 1.39%, (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)



图 2 花岗片麻岩捕虏体露头照片

Fig.2 Field characteristics of granite gneiss inclusions

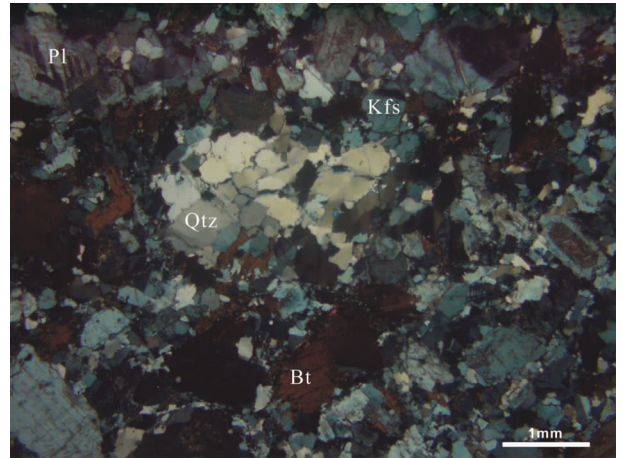


图 3 花岗片麻岩捕虏体镜下照片

Qtz—石英;Kfs—钾长石;Pl—斜长石;Bt—黑云母  
Fig.3 Photomicrographs of granite gneiss inclusions  
Qtz—Quartz;Kfs—K-feldspar;Pl—Plagioclase;Bt—Biotite

为 8.02%, $K_2O > Na_2O$ , $A/CNK$  为 1.06, 具有过铝质花岗岩的特征。

### 3 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究

为了精确地确定蜈蚣山花岗片麻岩捕虏体中锆石的形成年龄和成因类型,采用 LA-ICP-MS 法对花岗片麻岩捕虏体中的锆石进行了 U-Pb 同位素年龄测试,采集年龄样品的地理坐标为: $N33^{\circ}18'16''$ , $E86^{\circ}35'33''$ 。

#### 3.1 分析方法

锆石的分选在河北省区域地质调查院完成,采用常规的重液和磁选方法进行分选,最后在双目显微镜下挑纯。样品靶的制备在中国地质科学院地质研究所完成,制成的样品靶直径为 25 mm。样品靶打磨时,需要将大多数锆石颗粒中心部位暴露出来,然后抛光,待下一步的工作。锆石的阴极荧光图像分析在北京大学物理学院电镜室的阴极荧光分析系统(FEI 公司生产的 Quatan 200F 型场发射环境扫描电镜+Gatan 公司 Mono CL3 阴极荧光谱仪)上完成,分析方法和条件见参考文献[16]。

锆石 U-Th-Pb 年龄分析在中国地质大学地质实验中心元素地球化学研究室完成,分析仪器为由美国 New Wave Research Inc. 公司生产的 193 nm 激光剥蚀进样系统(UP 193SS)和美国 AGILENT 科技有限公司生产的 Agilent 7500a 型四级杆等离子体质谱仪联合构成的激光等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)。本次分析 193 nm 激光器工作频率为 10 Hz,剥

蚀物质载气为高纯度 He 气,流量为 0.7 L/min;Angilent 等离子质谱仪工作条件:冷却气(Ar)流量 1.13 L/min;测试点束斑直径为 36 mm,剥蚀采样时间为 45 s。元素含量以国际标样 NIST612 为外部标准,Si 为内部标准计算;锆石 U-Pb 年龄用澳大利亚 Glitter4.4 数据处理软件计算获得,分析及计算选用的外部标准锆石为国际标准锆石 91500,单个数据点误差均为  $1\sigma$ ,加权平均值误差为  $2\sigma$ ,平均年龄值选用  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄。

#### 3.2 分析结果

花岗片麻岩捕虏体样品中锆石多呈长柱状,粒度为 150~300  $\mu\text{m}$ 。锆石的阴极发光 CL 图像(图 4)显示其内部结构比较复杂,大致可以分为 2 类:第一类锆石占大部分,锆石晶型较完好、内部具有典型的核-幔结构,其中大多数锆石核部为均匀的亮色残核,内部分区不明显,少数锆石核部呈现同心环带结构,为原岩残留的锆石(图 4-a、b、c),其中极少数锆石甚至还可见核-幔-边结构,即在核部还可见一个更小的“核”(图 4-b),应该是更古老原岩的残留锆石,符合深熔-变质锆石的特征 [17,18];而外层为暗色的的增生边,宽度介于 10~50  $\mu\text{m}$ ,内部分带不明显,与核部有明显的界线,有的可见幔部锆石切割核部锆石的环带(图 4-c),符合变质重结晶锆石的特征[17,18]。第二类锆石数量较少,锆石没有核-幔结构,晶型较差,其 CL 特征与第一类锆石的外部增生边相似(图 4-d),为变质作用过程中新生成的锆石颗粒。

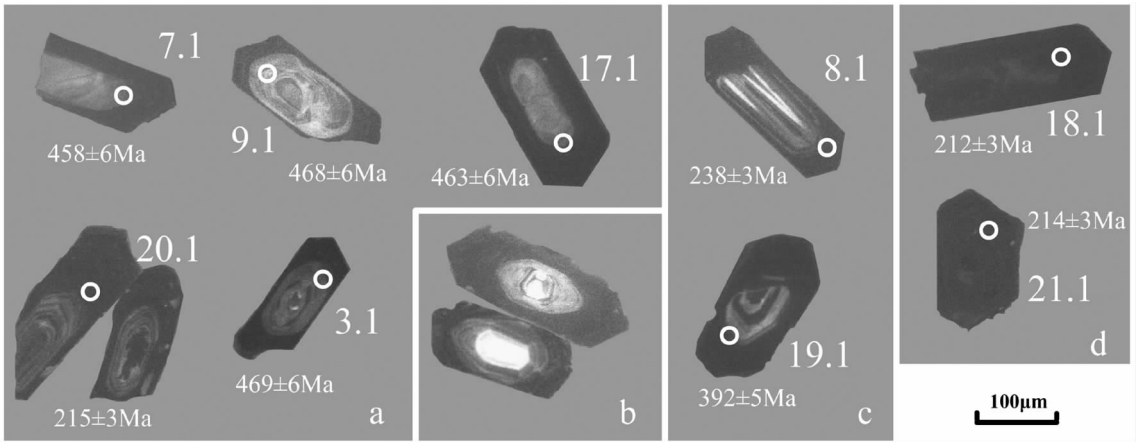


图 4 花岗片麻岩捕虏体中典型锆石的 CL 照片和  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄  
Fig.4 CL images and  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages of typical zircons in granite gneiss inclusions

锆石的 U-Pb 分析共测试了 25 个点(表 1),其中有 3 个点(8.1、12.1 和 15.1)明显发生了较强的放射性 Pb 丢失,因而未参与计算。依据年龄的不同可以明显的把锆石分为 3 组(图 5-a):第一组共有 14 个测点,其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 186~228 Ma,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  和  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和性较好,谐和年龄为(209.1±2.8)Ma(图 5-b);从 CL 图像上观察,这些测点均位于第一类锆石的幔部和第二类锆石上。第二组共有 6 个测点,其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 462~475 Ma,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  和  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和性很好,谐和年龄为(464.5±4.8)Ma(图 5-c);从 CL 图像上观察,这些测点均位于第一类锆石的核部。第三组只有 2 个测点(19.1、25.1),其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分别为 311 Ma 和 405 Ma, 介于以上两组年龄之间,但是位于不一致线上或其附近;从 CL 图像上观察,这两个测点均位于第一类锆石的核部与幔部的边界上,可能代表了混合年龄。

### 3.3 锆石年代学分析

锆石的稀土元素组成(表 2)及其球粒陨石标准化图解(图 6)显示:第一组锆石中稀土元素的总量为  $853 \times 10^{-6} \sim 2494 \times 10^{-6}$ , 平均值为  $1500 \times 10^{-6}$ , 具有较强、且变化范围大的 Ce 正异常 ( $\delta \text{Ce} = 3.87 \sim 173.69$ , 平均值为 47.23) 和较弱的 Eu 负异常 ( $\delta \text{Eu} = 0.23 \sim 0.33$ , 平均值为 0.27); 而第二组锆石的稀土元素的总量为  $408 \times 10^{-6} \sim 3200 \times 10^{-6}$ , 平均值为  $1478 \times 10^{-6}$ , 具有较弱的 Ce 正异常 ( $\delta \text{Ce} = 1.57 \sim 8.26$ , 平均值为 4.17) 和较强的 Eu 负异常 ( $\delta \text{Eu} = 0.01 \sim 0.13$ , 平均值为 0.04)。总体来说,第一组锆石更富集轻稀土

元素,两组锆石不同程度的 Ce 正异常和 Eu 负异常说明其形成的条件不同;由于锆石的重稀土元素并无明显亏损,说明变质作用中并无大量能富集重稀土元素的石榴子石产生<sup>[19]</sup>,这也从手标本和薄片的观察中得到证实,所以岩石并未经过榴辉岩相变质作用。

锆石的微量元素组成表明(表 1,表 2),第一组锆石具有相对较高的 Th、U 含量及 Th/U 比值 ( $\text{Th} = 249 \times 10^{-6} \sim 971 \times 10^{-6}$ ,  $\text{U} = 690 \times 10^{-6} \sim 4525 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Th}/\text{U} = 0.14 \sim 0.62$ ), 并且 Nb、Ta 含量和 Nb/Ta 比值较高且变化较大 ( $\text{Nb} = 2.12 \times 10^{-6} \sim 27.88 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Ta} = 1.61 \times 10^{-6} \sim 16.53 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Nb}/\text{Ta} = 0.84 \sim 6.48$ ); 第二组锆石具有较低的 Th、U 含量及 Th/U 比值 ( $\text{Th} = 38 \times 10^{-6} \sim 87 \times 10^{-6}$ ,  $\text{U} = 317 \times 10^{-6} \sim 693 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Th}/\text{U} = 0.07 \sim 0.18$ ), 并且除了 9 号点 ( $\text{Nb} = 24.22 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Ta} = 1.45 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Nb}/\text{Ta} = 16.70$ ) 外,其他锆石点均具有较低的 Nb、Ta 含量和 Nb/Ta 比值 ( $\text{Nb} = 0.74 \times 10^{-6} \sim 1.50 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Ta} = 0.64 \times 10^{-6} \sim 1.31 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Nb}/\text{Ta} = 1.15 \sim 1.70$ ), 符合深熔变质锆石的特征;锆石的幔部与核部相比, Hf 元素含量相差不大, Th/U 比值增大,与典型变质重结晶锆石相反<sup>[20]</sup>,说明幔部不是或不仅是形成于变质重结晶作用。

根据锆石的上述特征,笔者倾向于认为第一组锆石的年龄(209.1±2.8Ma)代表了花岗片麻岩的形成时代,虽然在 CL 图像上有变质重结晶锆石的特征,但是锆石的微量元素成分特征并不支持这一结论,因此其形成过程可能比较复杂,需要进一步研究

表 1 花岗岩捕虏体中锆石 LA-ICP-MS U-Pb-Th 分析结果  
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb-Th data for zircons from granite gneiss inclusions

点号	Th/ $10^{-6}$	U/ $10^{-6}$	Pb/ $10^{-6}$	Th/U	$^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$	同位素比值			表面年龄/Ma		
						$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
1.1	391	2408	84	0.16	6.15	0.0506±0.0014	0.2372±0.0060	0.0340±0.0004	223±67	216±5	215±3
2.1	38	560	41	0.07	14.45	0.0566±0.0014	0.5788±0.0142	0.0742±0.0001	476±31	464±9	461±6
3.1	65	517	40	0.13	7.9	0.0574±0.0017	0.5969±0.0158	0.0754±0.0001	508±66	475±10	469±6
4.1	341	2476	83	0.14	7.26	0.0506±0.0014	0.2300±0.0057	0.0330±0.0004	222±66	210±5	209±3
5.1	52	559	42	0.09	10.62	0.0571±0.0013	0.5904±0.0142	0.0750±0.0001	496±30	471±9	466±6
6.1	609	1583	57	0.38	2.6	0.0509±0.0012	0.2316±0.0055	0.0330±0.0004	236±32	212±5	209±3
7.1	87	693	52	0.13	7.95	0.0567±0.0013	0.5759±0.0134	0.0737±0.0001	479±29	462±9	458±6
8.1	1583	2873	136	0.55	1.81	0.0913±0.0034	0.4743±0.0164	0.0377±0.0005	1453±73	394±11	238±3
9.1	84	545	42	0.16	6.43	0.0566±0.0017	0.5880±0.0163	0.0753±0.0001	477±69	470±10	468±6
10.1	1173	5566	286	0.21	4.74	0.0461±0.0035	0.2010±0.0148	0.0317±0.0004	—	186±13	201±3
11.1	551	3435	117	0.16	6.22	0.0519±0.0015	0.2361±0.0061	0.0330±0.0004	280±67	215±5	209±3
12.1	1085	2545	164	0.43	2.34	0.0606±0.0085	0.2564±0.0356	0.0307±0.0005	625±316	232±29	195±3
13.1	971	1571	58	0.62	1.62	0.0559±0.0025	0.2439±0.0104	0.0316±0.0004	449±102	222±8	201±3
14.1	551	3544	121	0.16	6.43	0.0503±0.0015	0.2279±0.0060	0.0328±0.0004	211±69	208±5	208±3
15.1	326	561	22	0.58	1.72	0.0630±0.0034	0.2872±0.0148	0.0331±0.0005	709±117	256±12	210±3
16.1	249	690	24	0.36	2.77	0.0520±0.0014	0.2375±0.0064	0.0331±0.0005	285±37	216±5	210±3
17.1	58	317	24	0.18	5.44	0.0566±0.0019	0.5806±0.0196	0.0744±0.0011	477±49	465±13	463±6
18.1	671	2766	97	0.24	4.12	0.0528±0.0016	0.2434±0.0066	0.0334±0.0004	321±70	221±5	212±3
19.1	447	2232	156	0.2	4.99	0.0566±0.0020	0.4901±0.0159	0.0628±0.0008	477±79	405±11	392±5
20.1	335	1027	37	0.33	3.06	0.0508±0.0012	0.2368±0.0058	0.0339±0.0005	229±33	216±5	215±3
21.1	423	2287	85	0.18	5.41	0.0509±0.0019	0.2372±0.0080	0.0338±0.0005	235±86	216±7	214±3
22.1	779	4525	148	0.17	5.81	0.0505±0.0014	0.2217±0.0056	0.0318±0.0004	220±67	203±5	202±3
23.1	360	932	35	0.39	2.59	0.0544±0.0022	0.2520±0.0098	0.0336±0.0005	387±94	228±8	213±3
24.1	533	2254	77	0.24	4.22	0.0523±0.0011	0.2381±0.0052	0.0330±0.0004	298±27	217±4	210±3
25.1	216	1031	48	0.21	4.76	0.0581±0.0013	0.3580±0.0082	0.0447±0.0006	533±28	311±6	282±4

注:由北京地质大学实验中心(2009年)测定。

表 2 花岗片麻岩捕虏体中锆石的微量元素组成  
Table 2 Trace elements compositions of zircons from the granitic gneiss inclusions

点号	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta
1.1	2.3	1470.98	10.08	0.07	13.34	0.06	0.8	2.49	0.52	19.53	9.13	129.46	52.03	243.95	63.21	766.13	143.25	10275.21	10.26
2.1	4.59	858.87	0.74	0.02	0.29	0.02	0.61	3.56	0.05	24.79	11.3	118.6	27.82	77.58	12.96	113.45	17.48	11628.26	0.64
3.1	30.11	1355.43	1.19	0.12	0.79	0.07	1.18	5.18	0.09	33.15	14.58	158.23	48.39	185.23	41.01	441.23	78.2	10129.35	0.7
4.1	1.65	1361.96	8.88	0.06	1.1.8	0.08	0.67	2.52	0.5	17.34	8.42	122.19	48.24	232.26	59.38	706.67	134.27	11835.36	10.51
5.1	10.65	1078.3	0.93	0.03	0.44	0.03	0.9	4.09	0.09	26.65	11.49	124.33	38.29	147.37	32.66	346.02	59.3	10885.86	0.68
6.1	2.8	1373.66	9.06	0.06	22.26	0.12	1.87	4.2	0.93	24.37	10.03	128.43	48.31	223.53	55.41	681.17	132.33	10641.92	4.8
7.1	6.5	3604.56	1.5	0.01	0.74	0.03	0.98	4.85	0.05	39.61	21.75	324.92	129.18	613.18	146.3	1629.3	289.97	11347.02	1.31
8.1	174.88	6648.02	425.15	25.83	126.04	22.64	131.51	119.4	20.4	245.28	87.18	890.34	241.51	912.03	205.1	2181.2	358.81	12292.04	251.9
9.1	6.73	1747.13	24.22	0.36	2.47	0.38	3.24	7.07	0.69	35.2	14.42	182.49	66.04	287.85	70.63	798.4	147.95	11054.02	1.45
10.1	33.58	4187.14	176.89	12.64	84.74	10.31	65.44	57.51	11.53	137.89	51.07	533.3	161.58	643.89	152.6	1717.2	300.87	12442.24	21.81
11.1	5.29	1741.8	23.22	0.72	19.59	0.66	4.4	6.05	1.31	27.38	12.86	166.48	63.23	283.23	72.35	842.19	157.56	11447.72	1.491
12.1	55.28	2958.25	137.2	7.65	71.57	7.2	42.45	42.38	6.37	90.24	3.36	358.01	108	438.95	106.5	1230.7	219.42	10070.2	23.62
13.1	62.44	2152.47	27.88	0.44	34.11	0.66	6.62	11.32	2.52	48.16	18.37	219	79.36	351.24	84.56	994.03	188.91	9099.73	4.3
14.1	2.51	1702.71	15.01	1.95	25.56	0.98	5.78	4.98	0.91	25.48	11.69	159.22	61.06	278.69	70.52	825.52	153.06	11461.24	14.38
15.1	12.06	1231.21	31.2	0.27	13.07	0.3	3.03	6.3	1.36	26.4	9.94	124.21	44.53	204.28	51.68	600.89	117.75	9762.86	3.04
16.1	3.57	1029.34	2.12	0.05	11.84	0.06	1.18	3.71	0.78	18.85	7.52	94.3	36.52	168.48	44.29	535.35	110.15	10072.97	1.61
17.1	8.8	2171.9	1.18	0.02	0.88	0.05	1.02	4.33	0.11	30.84	15.5	205.57	80.64	350.27	81.27	909.33	165.27	11591.92	0.72
18.1	5.46	2288.74	27.65	0.26	39.36	0.29	2.89	6.12	1.34	35.48	16.02	212.65	84.52	378.89	96.01	1101.7	211.61	11343.17	13.01
19.1	3.73	1505.87	19.79	5.87	38.3	2.38	13.87	8.66	1.28	25.67	10.29	130.08	51.37	243.64	65.83	863.92	200.57	14165.58	8.88
20.1	2.42	853.25	3.54	0.02	13.07	0.03	0.78	2.28	0.52	14.62	5.98	78.04	30.54	141.27	36.85	441.39	87.99	10432.84	3.06
21.1	6.13	1839.28	24.29	0.64	15.93	0.51	4.36	6.08	1.3	28.41	13.04	175.17	66.18	307.98	76.49	888.01	167.04	11650.84	10.84
22.1	2.99	2570.79	16.42	0.03	27.71	0.05	0.95	4.45	0.91	32.48	16.34	235.3	92.63	425.52	110.9	1302.9	244.62	11692.8	16.53
23.1	4.81	987.83	9.67	0.94	16.38	1.04	7.47	8.8	1.48	24.72	8.96	103.37	35.11	152.46	38.12	448.03	86.31	10135.12	2.95
24.1	5.99	1558.16	12.39	0.05	15.08	0.1	1.19	3.33	0.67	22.97	10.47	149.46	56.65	257.99	64.11	733.65	139.37	10603.55	7.37
25.1	10.32	2835.35	10.6	0.13	5.33	0.22	3.44	9.75	0.3	57.63	24.62	293.65	102.38	422.08	95.55	996.69	177.39	11873.06	6.33

注:由北京地质大学地学实验中心(2009年)测定;元素含量单位为 $10^{-6}$ 。

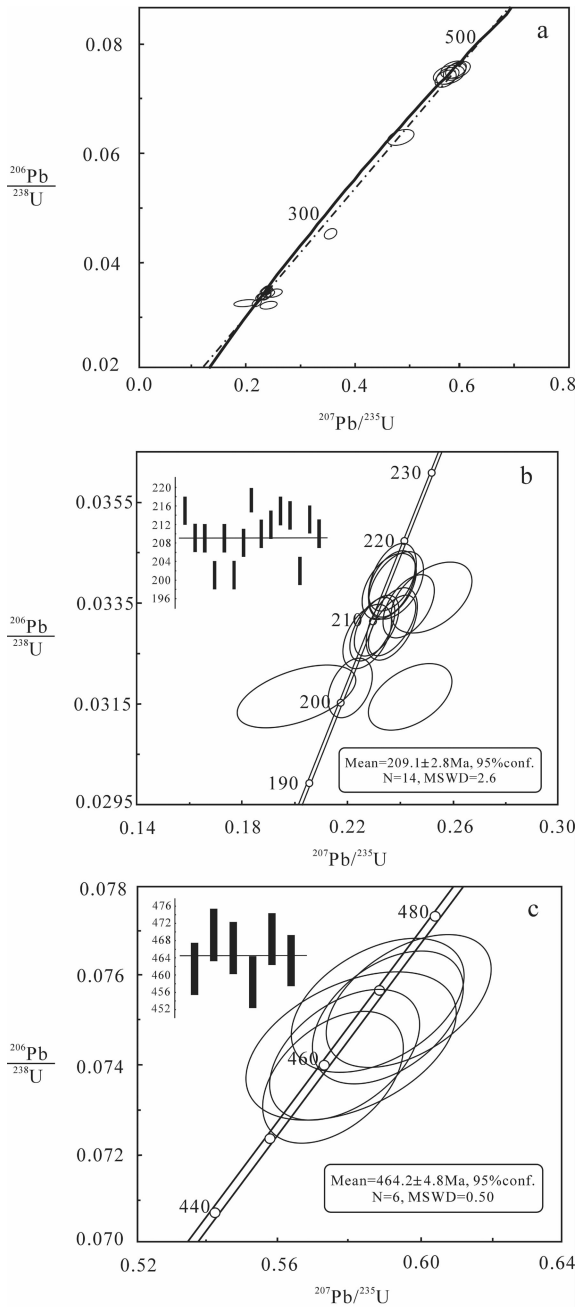


图5 花岗片麻岩捕虏体中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和图  
Fig.5 LA-ICP-MS U-Pb zircon concordia diagram of granite gneiss inclusions

来确定。而第二组锆石则是花岗片麻岩形成时捕获的年龄较老的锆石，其成因类型应该为深熔变质锆石，其年龄(464.5±4.8)Ma 代表核部锆石发生深熔变质作用的年代；其中少部分核-幔-边结构的锆石仍可见发生深熔作用时原岩的锆石作为核部而残留下来，但是由于并没有测点位于核-幔-边结构的锆

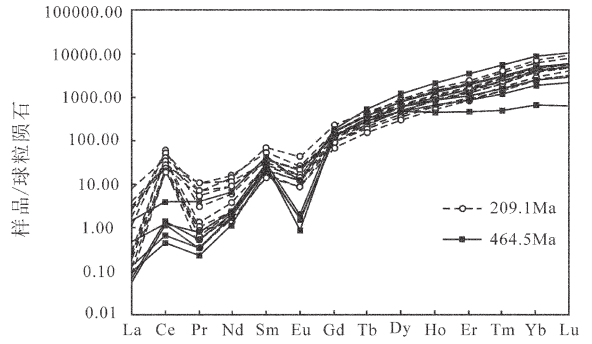


图6 花岗片麻岩捕虏体中锆石的 REE 球粒陨石标准化曲线  
Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns of zircons in granite gneiss inclusions

石的核部，因而无法获得花岗片麻岩捕虏体的源岩的形成时代。

综上所述，花岗片麻岩捕虏体形成年龄为(209.1±2.8) Ma，时代为晚三叠世，并且保留了(464.5±4.8) Ma 的古老年龄，是泛非造山活动末期的年龄记录。

## 4 讨论

### 4.1 蜈蚣山花岗片麻岩捕虏体与羌南基底

虽然中国扬子板块具有大量新元古代(760~850 Ma)的花岗岩，但 450~550 Ma 的花岗岩不发育，没有泛非运动的记录<sup>[21-23]</sup>。冈瓦纳大陆是在新元古代末至古生代初由统一的东冈瓦纳和西冈瓦纳几个大陆块体经过泛非造山运动而联合组成的超级大陆<sup>[24]</sup>，普遍发育泛非期的岩浆记录。近几年来，保山、怒江、八宿地区<sup>[25-26]</sup>和喜马拉雅地区<sup>[27-28]</sup>发现了大量 470~530 Ma 的早古生代花岗岩，研究表明它们是冈瓦纳大陆北缘泛非运动岩浆活动的产物，说明西藏南部确实存在泛非事件。地质填图资料也证实班公湖—怒江缝合带以南的基底是泛非基底<sup>[29-33]</sup>。

蜈蚣山花岗片麻岩捕虏体中发现了(464.5±4.8) Ma 的古老年龄，与冈瓦纳大陆泛非运动晚期的年龄接近，是羌塘地区首次发现泛非运动的年龄记录，并且这一年龄可以与印度板块内部及喜马拉雅造山带中发育大量同时代的花岗质岩石<sup>[25,34-35]</sup>相对比，由此可以推测羌南—保山板块也在泛非事件的影响范围内。翟庆国等(翟庆国面告)最近在羌塘中部戈木日以西地区识别出中奥陶世片麻状花岗岩，获得

(464±4) Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄;Liu Shen 等对云南西部腾冲—保山板块的 A 型花岗岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年研究,获得了(499±5)Ma 和(502±5) Ma 的年龄<sup>[36]</sup>,均与蜈蚣山花岗岩片麻岩捕虏体中发现的泛非运动晚期年龄基本一致。

近几年的研究工作表明,羌塘南北地层沉积建造、地层序列和生物组合差别较大,羌北—昌都板块具有明显的扬子板块的特征,与羌南—保山板块分属不同的系统<sup>[1,37-39]</sup>;同时也发现羌塘中部地区沿龙木错—双湖一线出露有蓝片岩<sup>[40-57]</sup>、榴辉岩<sup>[51]</sup>和典型的蛇绿岩<sup>[2-7]</sup>,进一步证明了羌塘中部地区存在一条板块缝合带——龙木错—双湖板块缝合带。综上所述,羌南—保山板块的基底与印度板块之间有良好的亲缘性,是从冈瓦纳大陆分离出来的地块,冈瓦纳大陆的范围应当可以限制在龙木错—双湖板块缝合带以南。

#### 4.2 蜈蚣山花岗岩片麻岩捕虏体与冈瓦纳大陆与欧亚大陆汇聚事件

羌塘中部的高压变质带是研究程度较高的一条高压变质带,早在 1915 年 Hening 就报道果干加年山存在蓝片岩<sup>[40]</sup>。近年来的研究成果表明,羌塘高压变质带是冈瓦纳大陆与欧亚大陆汇聚事件的重要记录<sup>[41-57]</sup>。在 2004 年西藏 1:25 万区域地质调查的过程中,李才等在羌塘中部的片石山地区发现了榴辉岩<sup>[52]</sup>,虽然其分布面积很小,仅限于片石山东西约 40 km 的范围内,但是在随后的 1:5 万区域地质调查中,蜈蚣山东北部、冈玛错地区以及果干加年山的高压变质带中也陆续发现了榴辉岩。对片石山榴辉岩的研究分析表明,其变质峰期年龄为 243 Ma 左右<sup>[53]</sup>,折返年龄为 220 Ma 左右<sup>[54,55]</sup>。董永胜等<sup>[56]</sup>和张修政等<sup>[57]</sup>分别对榴辉岩的围岩石榴子石白云母片岩和硬玉石榴子石二云母片岩进行了研究分析,认为榴辉岩的围岩至少经历了两期变质作用,并且主期蓝片岩相高压变质作用的年代为 218 Ma 左右,与区域上蓝片岩的形成及榴辉岩的蓝片岩相退变质作用的年代大体一致。

此外,在果干加年山还发现了一个重要的不整合面,未变质的沉积岩以角度不整合覆盖于蛇绿混杂岩之上,上覆地层底部流纹岩夹层的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(214±4) Ma<sup>[58]</sup>,为沉积盖层提供了可靠的年龄依据;不整合面之下强烈变形的阳起片岩(变质玄武岩)中阳起石的 Ar-Ar 年龄为

(219.7±6.5) Ma<sup>[58-59]</sup>;这两个年龄很好地限制了该角度不整合的时限,说明羌塘地区冈瓦纳板块与扬子板块在晚三叠世诺利期(Norian stage)以前实现了闭合,在 6~8 Ma 的时间内完成了从高压变质的峰期到折返至地表并接受沉积的过程。

花岗岩片麻岩捕虏体中锆石获得 (209.1±2.8) Ma 年龄值代表了花岗岩片麻岩捕虏体的形成年龄,与果干加年山地区的已获得的大量印支期年龄相一致。Paul Kapp<sup>[60]</sup>曾报道过研究区内冈塘错花岗岩体的年龄为 210 Ma(图 1),时代也为晚三叠世,应当与本文研究的花岗片麻岩捕虏体属同一期岩浆活动的产物。黄小鹏等<sup>[15]</sup>对冈塘错花岗岩体进行了地球化学研究,认为其成因类型为同碰撞花岗岩,是冈瓦纳大陆与欧亚大陆碰撞事件的物质记录。综合以上研究成果,笔者认为花岗岩片麻岩捕虏体是印支期冈瓦纳大陆与欧亚大陆碰撞闭合时的产物,这一年龄为冈瓦纳大陆与欧亚大陆碰撞的演化时限提供了进一步的约束。

## 5 结 论

蜈蚣山花岗岩片麻岩捕虏体的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究表明:

(1)花岗岩片麻岩捕虏体形成于(209.1±2.8) Ma,是印支期冈瓦纳大陆与欧亚大陆碰撞事件的物质记录,为冈瓦纳大陆与欧亚大陆碰撞的演化时限提供了进一步的约束。

(2)在花岗岩片麻岩中发现了(464.5±4.8) Ma 的古老年龄,与冈瓦纳大陆泛非运动晚期的年龄接近,是羌塘地区首次发现泛非运动的年龄记录,表明羌南—保山板块与印度大陆具有很好的亲缘性,为龙木错—双湖板块缝合带作为冈瓦纳大陆的北界提供了新的证据。

(3)花岗岩片麻岩捕虏体中锆石结构复杂,可能不只是记录了本文讨论的两期构造活动,需要进一步的研究分析。

#### 参考文献(References):

- [1] 李才. 青藏高原龙木错—双湖板块缝合带研究二十年 [J]. 地质论评, 2008, 54(1):105-119.  
Li Cai. A review on 20 years' study of the Longmu Co—Shuanghu—Lancang river suture zone in Qinghai - Xizang (Tibet) plateau [J]. Geological Review, 2008, 54 (1):105-119 (in Chinese with English abstract).



- [2] 翟庆国, 李才, 程立人, 等. 西藏羌塘角木日地区二叠纪蛇绿岩地质特征及构造意义[J]. 地质通报, 2004, 23(12):22-24.  
Zhai Qingguo, Li Cai, Cheng Liren, et al. Geological features of Permian ophiolite in the Jiaomuri area, Qiangtang, Tibet, and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(12): 22-24(in Chinese with English abstract).
- [3] 翟庆国, 李才, 程立人, 等. 西藏羌塘中部角木日地区二叠纪玄武岩的地球化学特征及其构造意义 [J]. 地质通报, 2006, 25(12): 1419-1427.  
Zhai Qingguo, Li Cai, Cheng Liren, et al. Geochemistry of Permian basalt in the Jiaomuri area, central Qiangtang, Tibet, China, and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(12): 1419-1427(in Chinese with English abstract).
- [4] Zhai Qingguo, Li Cai, Huang Xiaopeng. The fragment of Paleo-Tethys ophiolite from central Qiangtang, Tibet—geochemical evidence of metabasites in Guogangjianan [J]. Science in China (Series D), 2007, 50(9):1302-1309.
- [5] 吴彦旺, 李才, 董永胜, 等. 藏北羌塘中部桃形湖早古生代蛇绿岩的岩石学特征[J]. 地质通报, 2009, 28(9):1290-1296.  
Wu Yanwang, Li Cai, Dong Yongsheng, et al. Petrological characteristics of Taoxinghu early Paleozoic ophiolite in central Qiangtang, northern Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(9):1290-1296(in Chinese with English abstract).
- [6] 胡培远, 李才, 李林庆, 等. 藏北羌塘中部早古生代蛇绿岩堆晶岩中斜长花岗岩的地球化学特征[J]. 地质通报, 2009, 28(9):1297-1308.  
Hu Peiyuan, Li Cai, Li Linqing, et al. Geochemical characteristics of Early Palaeozoic plagioclase granite from ophiolitic cumulate in central Qiangtang, northern Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(9):1297-1308(in Chinese with English abstract).
- [7] 王立全, 潘桂棠, 李才, 等. 藏北羌塘中部果干加年山早古生代堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——兼论原古特提斯洋的演化[J]. 地质通报, 2008, 27(12):2045-2056.  
Wang Liquan, Pan Guitang, Li Cai, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of Eopaleozoic cumulate in Guogangjianan Mt. from central Qiangtang area of northern Tibet—considering the evolvement of Proto-and Paleo-Tethys[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(12):2045-2056(in Chinese with English abstract).
- [8] 王国芝, 王成善. 西藏羌塘基底变质岩系的解体和时代厘定[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(增刊):77-82.  
Wang Guozhi, Wang Chengshan. Age determinations and disintegration of the basement metamorphic rock series in central Qiangtang, Tibet[J]. Science in China (Series D), 2001, 31(Supp.): 77-82(in Chinese).
- [9] 李才. 羌塘基底质疑[J]. 地质论评, 2003, 49(1):5-9.  
Li Cai. Question about the basement of the Qiangtang Micro-plate [J]. Geological Review, 2003, 49 (1):5-9 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李才, 黄小鹏, 翟庆国, 等. 龙木错-双湖-吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界[J]. 地学前缘, 2006, 13(4):136-147.  
Li Cai, Huang Xiaopeng, Zhai Qingguo, et al. The Longmu Co-Shuanghu -Jitang plate suture and the northern boundary of Gondwanaland in the Qinghai-Tibet plateau [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(4):136-147(in Chinese with English abstract).
- [11] 李才, 程立人, 张以春, 等. 西藏羌塘南部发现奥陶纪—泥盆纪地层[J]. 地质通报, 2004, 23(5/6):602-604.  
Li Cai, Cheng Liren, Zhang Yichun, et al. Discovery of Ordovician-Devonian strata in the south of the Qiangtang area, Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(5/6):602-604(in Chinese with English abstract).
- [12] 程立人, 陈寿铭, 张以春, 等. 藏北羌塘南部发现早古生代地层及意义[J]. 地球科学, 2007, 32(1):59-62.  
Cheng Liren, Chen Shouming, Zhang Yichun, et al. Discovery of early Paleozoic strata in south of Qiangtang, northern Tibet and its significance [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2007, 32(1):59-62(in Chinese with English abstract).
- [13] Pullen A, Kapp P, Gehrels G E, et al. Triassic continental subduction in central Tibet and Mediterranean-style closure of the Paleo-Tethys Ocean[J]. Geology, 2008, 36:351-354.
- [14] 李才, 程立人, 胡克, 等. 西藏龙木错-双湖古特提斯缝合带研究 [M]. 北京:地质出版社, 1995:1-95.  
Li Cai, Cheng Liren, Hu Ke, et al. Study of Longmu Co-Shuanghu Paleo-tethys Suture Zone in Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995:1-95 (in Chinese).
- [15] 黄小鹏, 李才, 翟庆国. 西藏羌塘中部玛依岗日地区印支期花岗岩的地球化学特征及其形成环境 [J]. 地质通报, 2007, 12(12): 1646-1653.  
Huang XiaoPeng, Li Cai, Zhai Qingguo, et al. Geochemistry and tectonic settings of Indosinian granites in the Mayè Kangri area, central Qiangtang, Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 12(12):1646-1653(in Chinese with English abstract).
- [16] 陈莉, 徐军, 苏犁. 场发射环境扫描电子显微镜上阴极荧光谱仪特点及其在锆石研究中的应用[J]. 自然科学进展, 2005, 15(11): 1403-1408.  
Chen Li, Xu Jun, Su Li. Characteristics of microspectrofluorimeter at STEM and it geological applications on zircon study [J]. Natural Science Evolvement, 2005, 15(11):1403-1408(in Chinese).
- [17] 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, 16(8):1589-1604.  
Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genesis of zircon and its constraint interpretation of U-Pb age [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(15):1544-1569(in Chinese).
- [18] 李长民. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J]. 地质调查与研究, 2009, 3(9):161-173.  
Li Changmin. A review on the minerageny and situ microanalytical dating techniques of zircons [J]. Geological Survey and Research, 2009, 3(9):161-173(in Chinese with English abstract).
- [19] 简平, 程裕淇, 刘敦一. 变质锆石成因的岩相学研究——高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据[J]. 地学前缘, 2001, 3(9):183-191.

- Jian Ping, Cheng Yuqi, Liu Dunyi. Petrographical study of metamorphic zircon: Basic rolls in interpretation of U-Pb age of high grade metamorphic rocks [J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 3 (9):183-191(in Chinese with English abstract).
- [20] 陈道公, 李彬贤, 夏群科, 等. 变质岩中锆石 U-Pb 计时问题评述——兼论大别造山带锆石定年[J]. *岩石学报*, 2001, 17(1):129-138.
- Chen Daogong, Li Binxian, Xia Qunke, et al. An evaluation of zircon U-Pb dating for metamorphic rocks and comments on zircon ages of Dabie orogen [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17 (1):129-138(in Chinese with English abstract).
- [21] Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge W, et al. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca.825 Ma? [J]. *Precambrian Res.*, 2003, 122:45-83.
- [22] Li Zhengxiang, Li Xianhua, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia [J]. *Precambrian Res.*, 2003, 122:85-109.
- [23] 郑永飞. 华南新元古代岩浆活动记录 [J]. *科学通报*, 2003, 48 (16):1705-1720.
- Zheng Yongfei. Records of Neoproterozoic magmatic activities in southern China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(16):1705-1720(in Chinese).
- [24] 陆松年. 从罗迪尼亚到冈瓦纳超大陆——对新元古代超大陆研究几个问题的思考[J]. *地质前缘*, 2001, 4(10):441-448.
- Lu Songnian. From Rodinia to Gondwanaland supercontinents——Thinking about problems of researching Neoproterozoic supercontinents[J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 4(10):441-448(in Chinese with English abstract).
- [25] DeCelles P G, Gehrels G E, Quade J, et al. Tectonic implications of U-Pb zircon ages of the Himalayan Orogenic Belt in Nepal[J]. *Science*, 2000, 288:497-499.
- [26] 宋述光, 季建清, 魏春景, 等. 滇西北怒江早古生代片麻状花岗岩的确定及其构造意义[J]. *科学通报*, 2007, 52(8):927-930.
- Song Shuguang, Ji Jianqing, Wei Chunjing, et al. Determination of early Paleozoic gneissic granites in the Nu River area, northwestern Yunnan and its tectonic significances [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(8):927-930(in Chinese).
- [27] Cawood P A, Johnson M R W, Nemchin A A. Early Palaeozoic orogenesis along the Indian margin of Gondwana: Tectonic response to Gondwana assembly [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2007, 255: 70-84.
- [28] 许志琴, 杨经绥, 梁凤华, 等. 喜马拉雅地体的泛非—早古生代造山事件年龄记录[J]. *岩石学报*, 2005, 21(1):1-12.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Liang Fenghua, et al. Pan-African and Early Paleozoic orogenic events in the Himalaya terrane: Inference from SHRIMP U-Pb zircon ages[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(1):1-12(in Chinese with English abstract).
- [29] 李才, 谢尧武, 沙绍礼, 等. 藏东八宿地区泛非期花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. *地质通报*, 2008, 1(1):64-68.
- Li Cai, Xie Yaowu, Sha Shaoli, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Pan-African granite in Baxoi County, eastern Tibet, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27 (1):64-68 (in Chinese with English abstract).
- [30] 潘桂棠, 朱第成, 王立全, 等. 班公湖-怒江缝合带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据[J]. *地质前缘*, 2004, 11(4):371-382.
- Pan Guitang, Zhu Dicheng, Wang Liquan, et al. Bangong Lake-Nu River suture zone—the northern boundary of Gondwanaland: Evidence from geology and geophysics [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(4):371-382(in Chinese with English abstract).
- [31] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. *地质通报*, 2002, 21(11):701-707.
- Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Liquan, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(11): 701-707(in Chinese with English abstract).
- [32] 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京:地质出版社, 1997:121-128.
- Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xingzhen, et al. Revolution of east-Tethys Geology Tectonics [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1997:121-128(in Chinese).
- [33] 潘桂棠, 王立全, 朱第成. 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*, 2004, 23(1):12-19.
- Pan Guitang, Wang Liquan, Zhu Dicheng. Thoughts on some important scientific problems in regional geological survey of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23 (1):12-19(in Chinese with English abstract).
- [34] Gehrels G E, DeCelles P G, Martin A, et al. Initiation of the Himalayan Orogen as an Early Paleozoic Thin-skinned Thrust Belt [J]. *Gas Today*, 2003, 13(9):4-9.
- [35] Yin A. Cenozoic tectonic evolution of the Himalayan orogen as constrained by along-strike variation of structural geometry, exhumation history, and foreland sedimentation [J]. *Earth Science Review*, 2006, 76:1-131.
- [36] Shen Liu, Ruizhong Hu, Shan Gao, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the age and origin of Early Palaeozoic I-type granite from the Tengchong-Baoshan Block, Western Yunnan Province, SW China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 5(4):168-182.
- [37] 吴瑞忠, 胡承祖, 王成善, 等. 藏北羌塘地区地层系统 [C]//青藏高原地质文集(9). 北京:地质出版社, 1986:1-32.
- Wu Ruizhong, Hu Chengzu, Wang Chengshan, et al. Stratum system of northern Tibet [C]//Qinghai-Tibet Plateau Geology Corpus (9). Beijing: Geological Publishing House, 1986:1-32(in Chinese).
- [38] 吴瑞忠. 藏北双湖查桑地区中泥盆统的发现及其地质意义[C]//青藏高原地质文集(9). 北京:地质出版社, 1986:33-40.
- Wu Ruizhong. Discovery of middle Devonian series Shuanghu-Chasang area in northern Tibet and its geological significance[C]//

- Qinghai-Tibet Plateau Geology Corpus (9). Beijing: Geological Publishing House, 1986, 33-40(in Chinese).
- [39] 李星学, 姚兆奇, 朱家楠, 等. 西藏北部双湖地区晚二叠世植物群[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 1-16.  
Li Xing Xue, Yao Zhaoqi, Zhu Jianan, et al. Flora of Late Permian Epoch at Shuanghu Area in Northern Tibet [M]. Beijing: Science Press, 1982: 1-16(in Chinese).
- [40] Hening A. Eur Petrographic and Geologie Von Sudwest Tibet[C] //Hedin S. Southern Tibet. Stockholm: Noratet, 1915: 5-220.
- [41] Li Cai. The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age and its significance of the crossite from the blueschist in the Mid-Qiangtang area, Tibet[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(1): 88.
- [42] 胡克, 李才, 程立人, 等. 西藏冈玛错-双湖蓝片岩带及其构造意义[J]. 长春地质学院学报, 1995, 23(3): 268-274.  
Hu Ke, Li Cai, Cheng Liren, et al. Tectonic significance of blueschist belt in Gangmacuo-Shuanghu area, Tibet [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1995, 23 (3): 268-274(in Chinese).
- [43] 李才, 李永铁, 林源贤, 等. 西藏双湖地区蓝片岩原岩 Sm-Nd 同位素定年[J]. 中国地质, 2002, 29(4): 355-359.  
Li Cai, Li Yongtie, Lin Yuanxian, et al. Sm-Nd dating of the protolith of blueschist in the Shuanghu area, Tibet [J]. Geology in China, 2002, 29(4): 355-359(in Chinese).
- [44] Bao Peisheng, Xiao Xuchang, Wang Jun, et al. Studies on the blueschist belt in the Shuanghu region, central northern Tibet and its tectonic implications[J]. Continental Dynamics, 1999, 4(2): 51-64.
- [45] Kapp P, Yin An, Manning C E. U-Pb geochronology of the Qiangtang metamorphic belt: Implications for crustal structure of northern Tibet [J]. Eos (Transactions, American Geophysical Union), 1999, 80: 975.
- [46] Kapp P, Yin An, Manning C E, et al. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet[J]. Geology, 2000, 28(1): 19-22.
- [47] 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 藏北羌塘中部冈玛日-桃形错蓝片岩的发现[J]. 地质科学, 2000, 35(2): 227-32.  
Deng Xiguang, Ding Lin, Liu Xiaohan, et al. Discovery of blueschists in Gangmari-Taoping Co area, central Qiang-tang, northern Tibet[J]. Scientia Geologica Sinica, 2000, 35(2): 227-232 (in Chinese).
- [48] 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 青藏高原羌塘中部冈玛日地区蓝闪石片岩及其  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代学[J]. 科学通报, 2000, 45(21): 2322-2326.  
Deng Xiguang, Ding Lin, Liu Xiaohan, et al. Petrology and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic ages of blueschists in Gangmar, central Qiangtang, Tibet [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45 (21): 2322-2326(in Chinese).
- [49] 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 青藏高原羌塘中部蓝片岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 2002, 18(4): 517-525.  
Deng Xiguang, Ding Lin, Liu Xiaohan, et al. Geochemical characteristics of the blueschists and its tectonic significance in the central Qiangtang area, Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18 (4): 517-525(in Chinese with English abstract).
- [50] Xia Bangdong, Li Cai, Ye Hefei. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in the Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet: Comment[J]. Geology, 2001, 29(7): 633-634.
- [51] 李才. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. 长春地质学院学报, 1987, 17(2): 155-166.  
Li Cai. Longmu Co-Shuanghu-Lancang river suture zone and northern boundary of Gondwana in Carboniferous-Permian [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1987, 17(2): 155-166(in Chinese).
- [52] Li Cai, Zhai Qingguo, Dong Yongsheng, et al. Discovery of eclogite and its significance from the Qiangtang area, central Tibet [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(9): 1095-1100.
- [53] 翟庆国, 李才, 董永胜, 等. 西藏羌塘中部荣玛地区蓝片岩岩石学、矿物学和 Ar-Ar 年代学[J]. 岩石学报, 2009, 25(9): 2281-2288.  
Zhai Qingguo, Li Cai, Dong Yongsheng, et al. Petrology, mineralogy and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  chronology for Rongma blueschist from central Qiangtang, northern Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(9): 2281-2288(in Chinese with English abstract).
- [54] 李才, 翟庆国, 陈文, 等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩 Ar-Ar 定年[J]. 岩石学报, 2006, 22(12): 2843-2849.  
Li Cai, Zhai Qingguo, Chen Wen, et al. Retrograde metamorphism and tectonic emplacement of high pressure metamorphic belt in central Qiangtang Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(12): 2843-2849(in Chinese with English abstract).
- [55] Li Cai, Zhai Qingguo, Dong Yongsheng, et al. High-Pressure eclogite-blueschist metamorphic belt and closure of paleo-Tethys Ocean in Central Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Earth Science, 2009, 20(2): 27-37.
- [56] 董永胜, 张修政, 施建荣, 等. 藏北羌塘中部高压变质带中石榴子石白云母片岩的岩石学和变质特征 [J]. 地质通报, 2009, 28 (9): 1201-1206.  
Dong Yongsheng, Zhang Xiuzheng, Shi Jianrong, et al. Petrology and metamorphism of garnet-muscovite schist from high pressure metamorphic belt in central Qiangtang, northern Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(9): 1201-1206(in Chinese with English abstract).
- [57] 张修政, 董永胜, 施建荣, 等. 羌塘中部龙木错-双湖缝合带中硬玉石榴石二云母片岩的成因及意义 [J]. 地学前缘, 2010, 1(1): 93-103.  
Zhang Xiuzheng, Dong Yongsheng, Shi Jianrong, et al. Formation and significance of jadeite-garnet-mica schist newly discovered in Longmu Co-Shuanghu suture zone, central Qiangtang [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 1 (1): 93-103 (in Chinese with English abstract).
- [58] 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 青藏高原羌塘中部果干加年山上三叠统望湖岭组的建立及意义 [J]. 地质通报, 2007, 26 (8): 1003-1008.

Li Cai, Zhai Qingguo, Dong Yongsheng, et al. Establishment of the Upper Triassic Wanghuling Formation at Guoganjianian Mountain, central Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau, and its significance [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (8): 1003-1008 (in Chinese with English abstract).

[59] 李才, 翟庆国, 陈文. 青藏高原龙木错-双湖板块缝合带闭合的沉积学证据——来自果干加年山蛇绿岩与流纹岩 Ar-Ar 和 SHRIMP 年龄制约 [J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 911-918.

Li Cai, Zhai Qingguo, Chenwen. Geochronology evidence of the closure of Longmu Co-Shuanghu suture, Qinghai-Tibet plateau: Ar-Ar and zircon SHRIMP geochronology from ophiolite and rhyolite in Guoganjianian [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(5): 911-918 (in Chinese with English abstract).

[60] Kapp P, Yin An, Manning C E, et al. Tectonic evolution of the early Mesozoic blueschist-bearing Qiangtang metamorphic belt, central Tibet [J]. Tectonics, 2003, 22(4): 1043-1053.

## Zircon U-Pb dating of granitic gneiss in Wugong Mountain area, central Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau: age records of Pan-African movement and Indo-China movement

HU Pei-yuan<sup>1</sup>, LI Cai<sup>1</sup>, SU Li<sup>2</sup>, LI Chun-bin<sup>1</sup>, YU Hong<sup>2</sup>

(1. College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Qiangtang basin located in northern Tibetan plateau is a key area in studying the evolution of the Paleo-Tethys Ocean and the boundary of Gondwana and Eurasia, and the age and properties of its basement directly determine the tectonic attribute of southern Qiangtang plate and the range of Gondwana. In this paper, LA-ICP-MS U-Pb dating was carried out for zircons from granitic gneiss inclusions (xenoliths) in Wugong Mountain area, central Qiangtang. The dating results show that granitic gneiss inclusions were formed in late Triassic ( $209.1 \pm 2.8$  Ma). This age is consistent with the existing research results of the convergence events of Gondwana and Eurasia in central Qiangtang, so the granitic gneiss inclusions are material records of the convergence events of Gondwana and Eurasia. Moreover, the dating results also indicate that granitic gneiss inclusions contain a age record of the end of Pan-African period ( $464.5 \pm 4.8$  Ma), which is the first age of Pan-African movement found in Qiangtang area, and this age can be compared with ages of large amounts of early Paleozoic granitic rocks in Nujiang area and Baoshan area in western Yunnan, internal Indian plate and Himalayan orogenic belt, suggesting that southern Qiangtang plate has good affinity to Indian plate. All the results obtained by the authors can provide fresh evidence for the study of the properties of Qiangtang basement and the age of the convergence events of Gondwana and Eurasia.

**Key words:** Tibetan plateau; Qiangtang; granitic gneiss; zircon LA-ICP-MS U-Pb dating; Pan-African orogeny;

**About the first author:** HU Pei-yuan, male, born in 1987, master candidate, engages in the study of tectonics of Qinghai-Tibet Plateau; E-mail: azure\_jlu@126.com.