



移动阅读

陆露, 钱程, 赵珍, 等, 2023. 西藏聂荣微陆块变质基底新元古代—侏罗纪构造—岩浆事件: 来自 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年的启示[J]. 沉积与特提斯地质, 43(4): 734–746. doi: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2021.08010

LU L, QIAN C, ZHAO Z, et al., 2023. Neoproterozoic-Jurassic Tectonic-Magmatic Events of the Metamorphic Basement in the Nyainrong Microcontinent of Tibet: Implications from Zircon LA-ICP-MS Geochronology[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 43(4): 734–746. doi: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2021.08010

西藏聂荣微陆块变质基底新元古代—侏罗纪构造—岩浆事件: 来自 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年的启示

陆露^{1,2}, 钱程³, 赵珍⁴, 吴珍汉⁴

(1. 沈阳师范大学古生物学院, 辽宁 沈阳 110034; 2. 自然资源部东北亚古生物演化重点实验室, 辽宁 沈阳 110034; 3. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110000; 4. 中国地质科学院, 北京 100037)

摘要: 本文选择聂荣微陆块变质基底中正片麻岩进行了详细的年代学研究, 通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年获得的年龄结果分别为 502.8±1.2 Ma、532.7±3.4 Ma、833.2±2.8 Ma、734.8±3.3 Ma、495.3±1.7 Ma、496.6±2.0 Ma、495.1±1.2 Ma、803.8±2.8 Ma、811.7±2.8 Ma。综合上述片麻岩锆石 U-Pb 测年数据结果发现, 聂荣微陆块变质基底中正片麻岩的锆石 U-Pb 年龄大致可以分为三组: 830~730 Ma、580~470 Ma、185~160 Ma, 说明聂荣微陆块变质基底从新元古代—侏罗纪经历了三期构造—岩浆事件, 这三期构造事件分别发生于新元古代早期、新元古代晚期—早古生代、早—中侏罗世。综合前人研究结果, 认为聂荣微陆块存在新元古代的基底, 并经历了罗迪尼亚超大陆的裂解, 于新元古代晚期—早古生代时期发生了泛非—早古生代构造事件, 到了侏罗纪, 受班公湖—怒江洋壳俯冲和大洋关闭的影响, 变质基底发生了早—中侏罗世的岩浆作用和变质作用。

关键词: 聂荣微陆块; 正片麻岩; 锆石 U-Pb 年龄; 新元古代—侏罗纪; 青藏高原

中图分类号: P597.3

文献标识码: A

Neoproterozoic-Jurassic Tectonic-Magmatic Events of the Metamorphic Basement in the Nyainrong Microcontinent of Tibet: Implications from Zircon LA-ICP-MS Geochronology

LU Lu^{1,2}, QIAN Cheng³, ZHAO Zhen⁴, WU Zhenhan⁴

(1. Paleontological College of Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China; 2. Key Laboratory of Evolution of Past Life in Northeast Asia, Ministry of Natural Resources, Shenyang 110034, China; 3. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110000, China; 4. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: In order to further research the Nyainrong microcontinent and the regional geological conditions of the Tibet Plateau, this paper systematically studied the geochronology of orthogneisses from the Nyainrong microcontinent in Tibet. We obtained the zircon U-Pb ages of nine samples by LA-ICP-MS, which were 502.8±1.2 Ma, 532.7±3.4 Ma, 833.2±2.8 Ma, 734.8±3.3 Ma, 495.3±1.7 Ma,

收稿日期: 2021-04-25; 改回日期: 2021-08-26; 责任编辑: 黄春梅

作者简介: 陆露(1985—), 女, 讲师, 主要从事青藏高原区域地质调查及大陆动力学研究工作。E-mail: yangchunyoulu@163.com

资助项目: 中国地质调查局项目“羌塘盆地隆鄂尼—鄂斯玛地区油气地质构造调查”(DD20160161); 辽宁省教育厅项目“西藏聂荣微陆块片麻岩年代格架重建”(LQN201915); 沈阳师范大学博士引进人才科技项目启动基金项目“西藏聂荣微陆块侏罗纪花岗岩类研究”(BS201705)

496.6±2.0 Ma, 495.1±1.2 Ma, 803.8±2.8 Ma, 811.7±2.8 Ma. To analyze these age results, we could divide these ages into three groups: 830-730 Ma, 580-470 Ma, 185-160 Ma. It concludes that the metamorphic basement of Nyainrong microcontinent underwent three tectonic-magmatic events which occurred in the early Neoproterozoic, the late Neoproterozoic to the early Paleozoic, and the early-middle Jurassic. Combined with previous studies, it suggests that the Nyainrong microcontinent has Neoproterozoic basement and occurred the breakup of the Rodinia Supercontinent. The metamorphic basement underwent Pan-African and early Paleozoic tectonic events. Then it underwent early-middle Jurassic magmatic-metamorphic events which were related to the Bangong-Nuijiang suture zone subduction and closure.

Key words: Nyainrong microcontinent; orthogneisses; zircon U-Pb age; Neoproterozoic-Jurassic; Tibet Plateau

0 引言

青藏高原是地球表面面积最大、时代最新、海拔最高的大陆高原,其地质构造演化复杂,从北向南横亘着五条大的缝合带(吴珍汉等, 2003),班公湖—怒江缝合带是其中之一。呈 EW 向展布的班公湖—怒江缝合带内除了出露复理石、蛇绿岩套以及混杂岩之外(张玉修, 2007),在其中段还夹持着微陆块——聂荣微陆块。前人已经对缝合带内出露的蛇绿岩及混杂岩等做了大量的研究,并取得了大量的研究成果(Wang et al., 2008; Shi et al., 2008, 2012; 鲍佩声等, 2007; 叶培盛等, 2004; 夏斌等, 2008; 樊帅权等, 2010),但是对该缝合带的一些重要地质问题(如:俯冲方向、闭合时限等)仍存在较大争议。

前人对聂荣微陆块的地质研究主要集中于其上出露的片麻岩,部分学者对该陆块内出露的正片麻岩中的锆石进行了大量的 U-Pb 定年研究,识别出了新元古代早期(843~820 Ma, 解超明等, 2014)和寒武纪—奥陶纪(530~420 Ma, Xu et al., 1985; 488.0±4.2 Ma, 540~460 Ma, Guynn et al., 2012; 507 Ma, 王明等, 2012)的岩浆事件年龄,同时还得到了一些中生代变质构造事件的年龄信息(Xu et al., 1985; 张晓冉等, 2010; 解超明, 2013),但是,对聂荣微陆块变质基底中识别出的这些年龄事件的解释存在较大争议,如解超明等(2010)认为寒武纪—奥陶纪代表了片麻岩原岩结晶年龄,其形成与泛非运动有关;而王明等(2012)则认为这一年龄信息反映了泛非事件之后的另外一次构造热事件影响的存在;Guynn et al.(2012)提出这一岩浆事件是由于古特提斯洋沿冈瓦纳大陆边缘俯冲造成的或是冈瓦纳大陆边缘的板块汇聚作用造成的(DeCellers et al., 2000; Gehrels et al., 2003),可能是

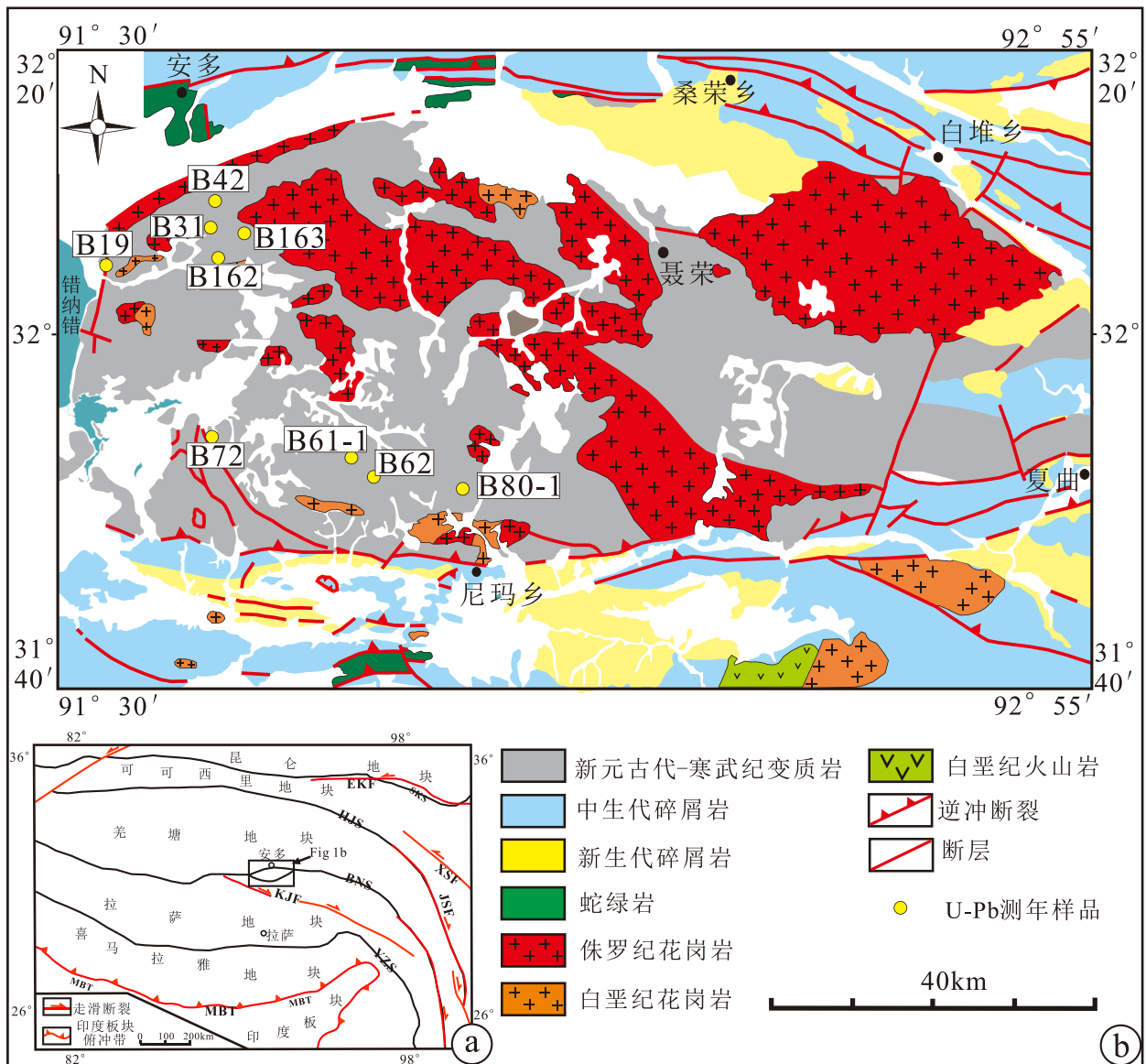
对伴随冈瓦纳大陆的汇聚导致的板块重组的响应(Boger and Miller, 2004; Cawood et al., 2007)。由于聂荣微陆块交通、自然条件相对恶劣,因此对研究区变质基底的构造演化过程等问题的研究相对薄弱,缺乏足够的年代学数据,制约了对聂荣微陆块演化过程及班公湖—怒江缝合带构造演化历史的深刻认识。此外,聂荣微陆块位于拉萨地体和羌塘地体之间,具有特殊位置,因此加强该区地质研究工作对于解决拉萨及羌塘等地体起源和演化问题的争议也具有重要意义。

鉴于此,本文在野外调查研究的基础上,选择聂荣微陆块内的正片麻岩进行详细的年代学研究,结合区域地质资料,梳理聂荣微陆块变质基底的构造-岩浆事件演化格架,从而为聂荣微陆块以及班公湖—怒江缝合带地质构造演化过程提供更多的证据。

1 地质背景

聂荣微陆块地处青藏高原中部,呈透镜体状,夹持于班公湖—怒江缝合带中部(图 1a),研究区以北是由古老的变质基底和中新生代的海相碳酸盐、碎屑岩及火山岩组成的羌塘地块(黄继钧, 2001),以南是由前寒武纪的变质基底、古生代—中生代沉积岩和中新生代的岩浆岩组成的拉萨地块(潘桂棠等, 2006)。绵延 1 200 km 的班公湖—怒江缝合带以改则、丁青为界,分为西、中、东三段,中段以出露侏罗—白垩纪的蛇绿岩,中生代的碎屑岩、碳酸盐岩及少量的火山岩为主(白志达等, 2005)。

聂荣微陆块内出露的地层主要有老的变质岩、中生代中酸性侵入岩以及新生代碎屑岩,变质岩主要由花岗质片麻岩、斜长角闪片麻岩、花岗闪长质片麻岩、片岩、变粒岩、石英岩、大理岩等组成,其中,片麻岩主要分布于安多以北到那曲以南之间的



MBT—主边界断裂；YZS—雅鲁藏布江缝合带；BNS—班公湖—怒江缝合带；HJS—可可西里—金沙江缝合带；SKS—昆南缝合带；KJF—喀喇昆仑—嘉黎断裂；JSF—金沙江断裂；XSF—鲜水河断裂；EKF—东昆仑断裂。

图1 青藏高原地质简图(a)(据吴珍汉等, 2009 修改)和聂荣微陆块地质简图(b)(据 1:25 万安多幅地质图和 1:25 万那曲幅地质图修编)

Fig. 1 Geological sketch map of the Tibet Plateau (a)(modified from Wu et al., 2009) and the geological map of Nyainrong microcontinent(b)(modified from the 1:250,000 scale geological maps from Amdo and Nagqu)

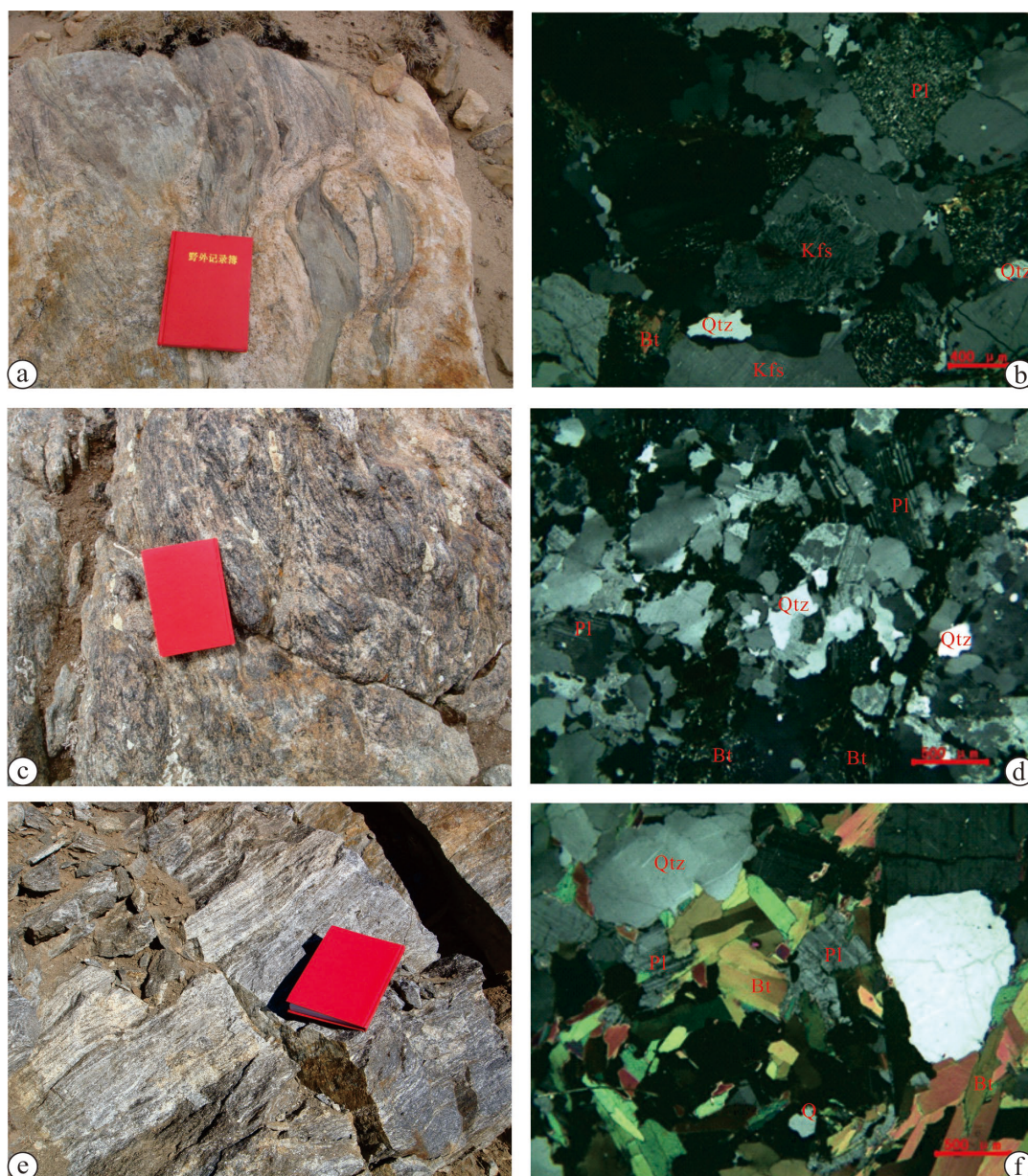
错那错、拉塞、拉拢多、不加根、安多县牧场、扎玛区一带(图 1b)。

2 样品岩相学特征

在研究区最常见和出露地表最多的片麻岩多为花岗质片麻岩和黑云斜长片麻岩,本文年代学研究样品主要来自安多以北、那曲以南地区,具体采样位置如图 2 所示。在研究区,共取得年代学样品 9 件,岩性多为花岗质片麻岩和黑云斜长片麻岩,

样品的具体经纬度坐标及岩性特征详见表 1。

花岗质片麻岩野外风化颜色为浅肉红色(图 2a),片麻状构造,变晶结构,暗色矿物与长英质矿物集合体发生拉伸定向间隔排列组成条带状的片麻理,可见拉伸变形的暗色矿物集合体(或透镜体)(图 2a)以及后期侵入的肉红色中粗粒钾长花岗岩脉,岩石的主要组成矿物为石英、斜长石、钾长石、黑云母(图 2b),显微镜下,石英呈它形粒状,大小为 0.2~0.8 mm,含量为 25%~30%;钾长石为半自形



a. 呈浅肉红色的花岗质片麻岩, 其中可见暗色矿物透镜体状条带; b. 花岗质片麻岩显微镜下特征; c. 呈灰黑色的黑云斜长片麻岩; d. 黑云斜长片麻岩显微镜下特征; e. 呈灰白色的英云闪长质片麻岩; f. 英云闪长质片麻岩显微镜下特征; Qtz—石英; Pl—斜长石; Kfs—钾长石; Bt—黑云母。

图 2 聂荣微陆块片麻岩的野外照片及显微镜照片

Fig. 2 Field photographs and micrographs of gneisses from Nyainrong block

或它形结构, 大小为 1~3 mm, 含量为 45%~50%, 可见格子双晶, 常见蠕英结构; 斜长石为半自形或它形, 大小为 0.1~1 mm, 含量为 20%~25%, 可见聚片双晶和绢云母化; 黑云母呈片状或粒状结构, 大小为 0.2~0.8 mm, 含量为 5%~10%, 局部可见绿泥石化, 部分集合体具有微弱的定向。

黑云斜长片麻岩野外风化颜色多为灰黑色

(图 2c), 且片麻理变形褶皱程度较花岗质片麻岩更强, 片麻状构造, 变晶结构, 岩石的主要组成矿物为石英、黑云母、斜长石(图 2d), 显微镜下, 黑云母呈片状, 颗粒大小为 0.5~1 mm, 含量为 20%~25%, 被绿泥石化交代; 斜长石呈板状, 大小为 0.5~1.5 mm, 含量为 45%~55%, 可见绢云母化, 聚片双晶发育; 石英呈粒状, 大小为 0.3~1 mm, 含量为 10%~15%。

表 1 年龄样品属性一览表
Table 1 The list of age samples from the basement of Nyainrong block

样品号	经纬度坐标	岩石名称
B19	91°33'44.3"E, 32°05'01.7"N	花岗质片麻岩
B31	91°42'26.3"E, 32°07'18.7"N	花岗质片麻岩
B42	91°43'12.1"E, 32°08'41.0"N	黑云斜长片麻岩
B61-1	91°50'17.2"E, 31°49'56.5"N	花岗质片麻岩
B62	91°51'08.9"E, 31°49'28.6"N	花岗质片麻岩
B72	91°41'59.0"E, 31°53'04.5"N	黑云斜长片麻岩
B80-1	92°03'58.5"E, 31°47'41.0"N	花岗质片麻岩
B162	91°41'48.8"E, 32°06'05.0"N	花岗质片麻岩
B163	91°42'40.4"E, 32°07'25.3"N	英云闪长质片麻岩

黑云斜长片麻岩中同样可见呈透镜体状的暗色矿物集合体、拉伸变形的暗色矿物集合体条带、暗色矿物包体以及后期肉红色花岗质岩脉。

英云闪长质片麻岩野外风化颜色为灰白色(图 2e), 片麻状构造, 变晶结构, 暗色矿物与长英质矿物集合体发生拉伸定向间隔排列, 组成条带状的片麻理(图 2e), 其主要组成矿物为石英、斜长石、黑云母(图 2f), 显微镜下, 石英呈它形粒状, 波状消光, 粒度大小不等, 粒度一般为 0.6~1.5 mm, 含量为 20%~25%, 略定向分布; 斜长石聚片双晶发育, 粒度多数为 0.6~1.5 mm, 半自形板柱状结构, 含量为 30%~35%。黑云母呈片状, 褐色, 粒度大小为 0.3~1.5 mm, 含量为 30%~35%, 集合体呈条带状分布。

3 分析方法

9 件定年样品送至河北省廊坊市地源矿物测试分选技术服务有限公司进行锆石颗粒挑选, 每件样品用浮选和电磁选的方法选出 150~500 粒锆石, 在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒用于年龄测定。锆石样品制靶和阴极发光照相由中国地质科学院完成, 将样品锆石在玻璃板上用环氧树脂固定、抛光, 然后进行透射光、反射光和阴极发光照相以确定单颗粒锆石的晶体形态和内部结构。锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质科学院矿产资源研究所的 LA-ICP-MS 上完成。激光剥蚀系统为配备有 193 nm ArF 准分子激光器的 GeoLas2005。ICP-MS 为日本 Agilent 公司生产的 Agilent 7500a。应用澳大利亚国家地质标准局锆石 TEM(417 Ma) 进行元素分馏校正, 应用标准锆石 91 500(1062.4

Ma) 标定样品的 U、Th、Pb 含量。根据实测的 ^{204}Pb 进行普通 Pb 校正。年龄计算和图解使用 ISOPLOT3.0(Ludwig, 2001) 程序。测试分析结果见附表 1*。

4 分析结果与解释

4.1 锆石形态

研究区片麻岩各样品中的锆石大小不一, 一般在 80~200 μm , 多为中、长柱状晶体, 少数为椭圆状晶体, 自形程度较好, CL 图像上显示多为灰黑色或灰白色, 均发育清晰可见的细密或宽的韵律环带结构(图 3), Th/U 比值变化范围在 0.61~3.93 之间, 部分锆石内部可见继承核, 个别锆石边部发育变质增生边(图 3d、h、i)。

4.2 测试数据结果分析

(1) B19(花岗质片麻岩): 对样品中 21 颗锆石的 30 个测点进行了 U-Pb 同位素定年, 测试结果(附表 1)显示, 除 8、9、15、28、30 号测点外, 其余的 25 个测点位于谐和曲线上或邻近谐和曲线(图 4a), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 495.1 $\pm$ 6.3 Ma 与 506.5 $\pm$ 2.4 Ma 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 502.8 $\pm$ 1.2 Ma, 代表了花岗质片麻岩原岩形成于中寒武世。9 号测点的 Th/U 含量为 0.04, 显示了变质成因的特点, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 178.4 $\pm$ 0.9 Ma, CL 图像上也显示 9 号测点位于锆石边部的变质新生边, 因此 9 号测点的年龄可能代表了花岗质片麻岩后期发生变质作用的年龄。8、28、30 号测的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄分别为 193.0 $\pm$ 1.4 Ma、446.0 $\pm$ 4.3 Ma 和 441.2 $\pm$ 4.1 Ma, Th/U 含量和锆石阴极发光图像均显示为岩浆锆石的特点, 可能分别代

*数据资料联系编辑部或者登录本刊网站 <https://www.cjyttdz.com.cn> 获取。



图3 聂荣微陆块片麻岩锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images of the gneisses from Nyainrong block

表了花岗质片麻岩后期经历岩浆作用的时间, 15号测点锆石存在明显的 Pb 丢失。

(2) B31(花岗质片麻岩): 选择样品中 19 颗锆石的 20 个测点进行了 U-Pb 同位素定年, 测试结果(附表 1)显示, 10 个测点位于谐和曲线或邻近谐和曲线(图 4-b), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 527.6±23.4 Ma 与 539.4±3.1 Ma 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 532.7±3.4 Ma, 代表了花岗质片麻岩原岩形成于早寒武世。9 和 20 号测点锆石的 Th/U 分别为 0.03 和 0.02(均<0.1), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄分别为 201.7±5.1 Ma 和 188.3±1.7 Ma, CL 图像显示为变质增生边的特点, 因此它们的年龄可

能代表了花岗质片麻岩后期经历变质作用的时间。

(3) B42(黑云斜长片麻岩): 选择样品中具有代表性的 22 颗锆石的 23 个测点进行了 U-Pb 同位素定年, 测试结果(附表 1)显示, 15 个测点位于谐和曲线或邻近谐和曲线(图 4c-1), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 830.3±17.1 Ma 与 837.7±10.2 Ma 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 833.2±2.8 Ma, 代表了原岩形成于新元古代; 另外有 6 个测点也位于谐和曲线或邻近谐和曲线(图 4c-2), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 762.5±4.4 Ma 与 768.4±4.0 Ma 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 766.3±3.7 Ma。

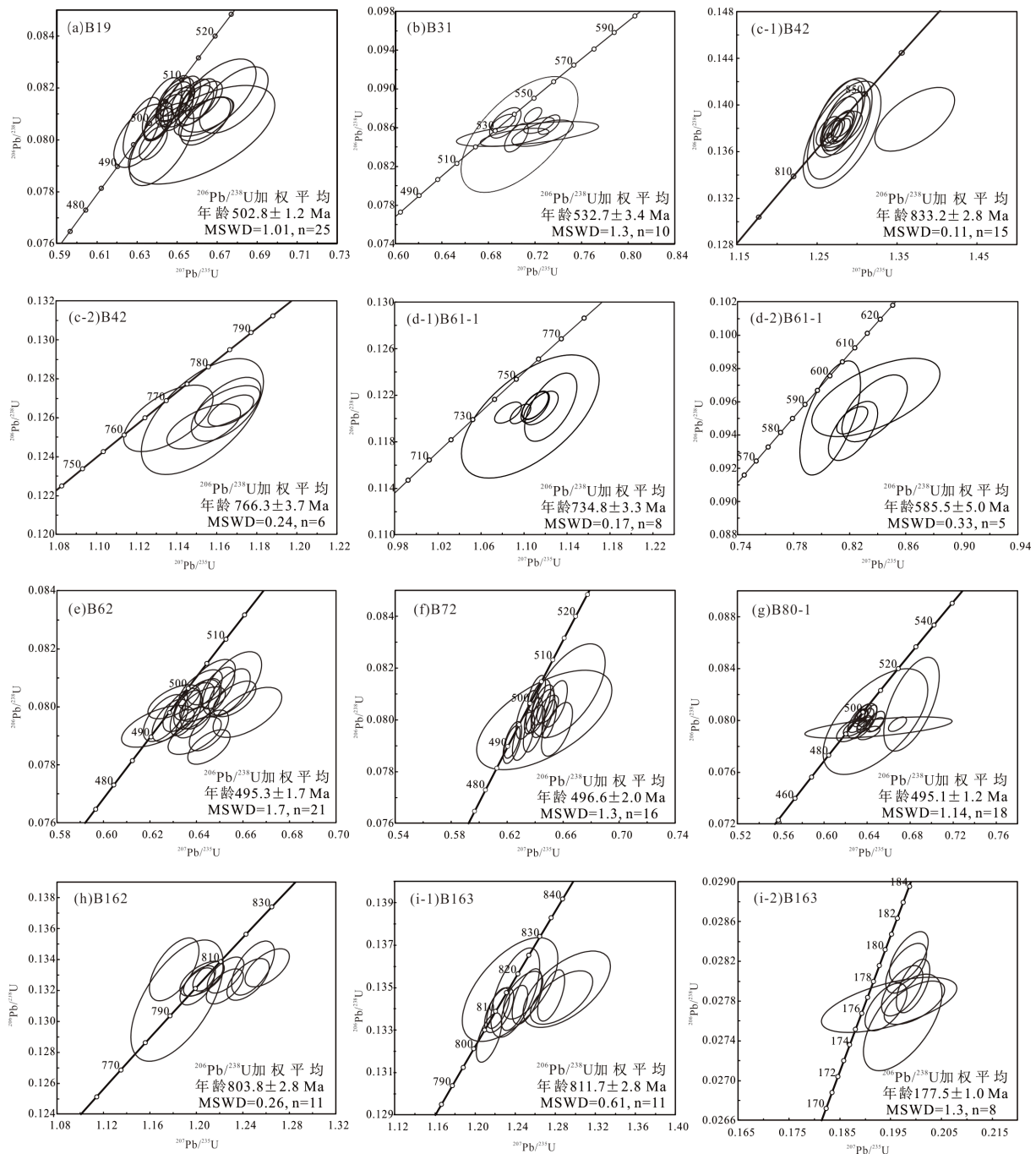


图4 聂荣微陆块片麻岩锆石 U-Pb 年龄谐和图解

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagrams of gneisses from Nyainrong block

(4) B61-1(花岗质片麻岩): 对该岩石样品的 18 颗锆石的 20 个测点进行了 U-Pb 同位素定年, 测试结果(附表 1)显示, 8 个测点位于谐和曲线或邻近谐和曲线(图 4d-1), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的表面年龄在 731.7 ± 20.1 Ma 与 727.2 ± 4.6 Ma 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 734.8 ± 3.3 Ma, 代表了花岗质片麻岩原岩形成于新元古代。另外有 5 个测点也位于谐和曲线或邻近协和曲线(图 4d-

2), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 580.6 ± 6.9 Ma 与 592.5 ± 9.1 Ma 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 585.5 ± 5.0 Ma, 代表了花岗质片麻岩原岩形成之后经历的一期岩浆活动。

(5) B62(花岗质片麻岩): 使用 LA-MC-ICP-MS 测年方法对该岩石样品的 23 颗锆石的 23 个测点进行了 U-Pb 同位素定年, 测试结果(附表 1)显示, 除了 17、23 号测点外, 其余 21 个测点皆在谐和

曲线上或邻近谐和曲线(图 4e), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 $487.8\pm 2.4\text{ Ma}$ 与 $501.2\pm 3.1\text{ Ma}$ 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $495.3\pm 1.7\text{ Ma}$, 代表了原岩锆石形成于晚寒武世。23 号测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 $180.2\pm 2.0\text{ Ma}$, 其 Th/U 比值和锆石阴极发光图像均显示了锆石为变质成因, 因此这一年龄可能代表了花岗质片麻岩后期经历的变质作用。17 号锆石显示了明显的 Pb 丢失特征。

(6)B72(花岗质片麻岩): 选择具有代表性的 21 颗锆石进行了分析, 共测试了 24 个测点, 测试结果见附表 1, 从数据结果可见, 16 个测点位于谐和曲线上或邻近谐和曲线(图 4f), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 $490.9\pm 3.2\text{ Ma}$ 与 $502.9\pm 7.1\text{ Ma}$ 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $496.6\pm 2.0\text{ Ma}$, 代表了片麻岩原岩中锆石形成于晚寒武世。

(7)B80-1(花岗质片麻岩): 对该岩石样品的 21 颗锆石的 24 个测点进行了锆石 U-Pb 同位素定年, 数据结果见附表 1。数据显示, 18 个测点皆位于谐和曲线上或邻近协和曲线(图 4g), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 $490.3\pm 4.4\text{ Ma}$ 与 $503.6\pm 14.3\text{ Ma}$ 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $495.1\pm 1.2\text{ Ma}$, 代表了其原岩形成于晚寒武世。样品中 1 号测点为继承锆石, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 $1815.2\pm 4.7\text{ Ma}$, 记录了原岩形成过程中捕获围岩的年龄信息。

(8)B162(花岗质片麻岩): 选择样品中的 19 颗锆石的 20 个测点进行了锆石 U-Pb 同位素定年, 数

据结果见附表 1。锆石 U-Pb 同位素年龄中 11 个测点皆在谐和曲线上或邻近谐和曲线(图 4h), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 $795.6\pm 14.8\text{ Ma}$ 与 $807.6\pm 6.6\text{ Ma}$ 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $803.8\pm 2.8\text{ Ma}$, 代表了片麻岩原岩中锆石的结晶年龄, 说明其原岩形成于新元古代。其中 18 号测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的表面年龄为 $173.9\pm 1.7\text{ Ma}$, 代表发生变质作用的年龄。

(9)B163(英云闪长质片麻岩): 对该样品中的 17 颗锆石的 25 个测点进行了锆石 U-Pb 同位素定年, 数据结果见附表 1。根据分析可以把结果分为两组: 一组中 11 个测点位于谐和曲线上或邻近谐和曲线(图 4i-1), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 $803.0\pm 4.3\text{ Ma}$ 与 $816.0\pm 6.7\text{ Ma}$ 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $811.7\pm 2.8\text{ Ma}$, 代表了片麻岩原岩中锆石的结晶年龄, 说明其原岩形成于新元古代; 另一组中 8 个测点在谐和曲线上或邻近谐和曲线(图 4i-2), 这组锆石 CL 图像显示其发育细密的环带结构, 为岩浆成因锆石, 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在 $174.4\pm 0.9\text{ Ma}$ 与 $179.5\pm 1.1\text{ Ma}$ 之间, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $177.5\pm 1.0\text{ Ma}$, 代表了片麻岩后期发生的一期岩浆活动事件, 其形成于早侏罗世。样品中 2 号和 3 号测点为继承锆石, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄分别为 $1759.8\pm 10.0\text{ Ma}$ 和 $1247.1\pm 9.2\text{ Ma}$, 记录了原岩形成过程中捕获围岩的年龄信息。

综合上述片麻岩锆石 U-Pb 测年数据结果发现, 聂荣微陆块片麻岩的锆石 U-Pb 年龄大致可以分为

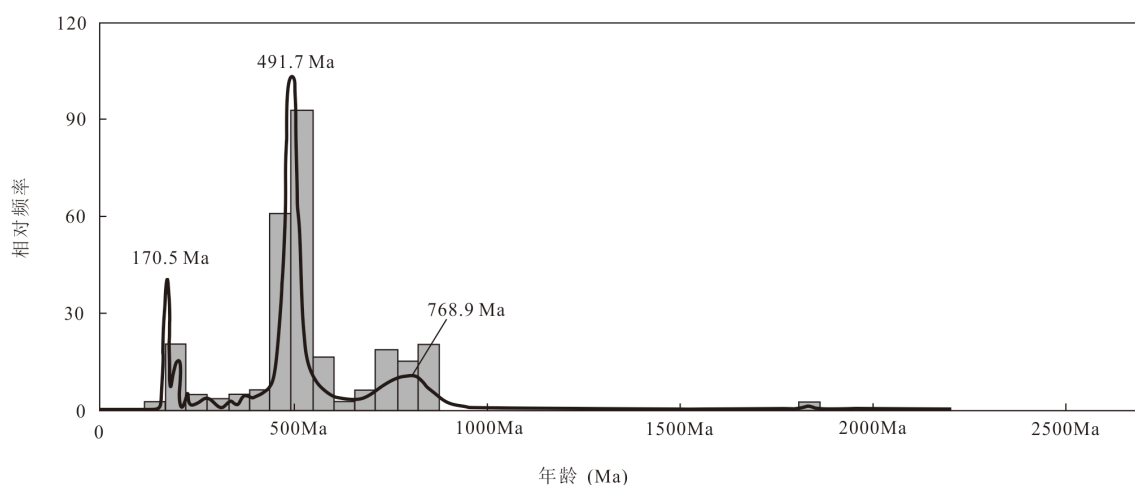


图 5 聂荣微陆块片麻岩样品锆石 U-Pb 年龄频率直方图

Fig. 5 The frequency histogram of zircon U-Pb dating of gneisses from Nyainrong block

三组: 830~730 Ma、580~470 Ma、185~160 Ma, 在片麻岩锆石 U-Pb 频率分布图(图 5)中出现了三个年龄峰值, 分别为 768.9 Ma、491.7 Ma、170.5 Ma, 上述分析表明, 聂荣微陆块变质基底经历了三期不同的岩浆-构造事件, 这三期岩浆-构造事件分别发生于新元古代早期、新元古代晚期—早古生代、早—中侏罗世。

5 讨论

5.1 聂荣微陆块变质基底形成时代的讨论

本文通过对聂荣微陆块内正片麻岩的锆石 U-Pb 定年, 获得了 811.7 ± 2.8 Ma(样品 B163)、 803.8 ± 2.8 Ma(样品 B162)、 766.3 ± 3.7 Ma 和 833.2 ± 2.8 (样品 B42) Ma、 734.8 ± 3.3 Ma(样品 B61-1)五个年龄, 锆石 CL 图像及其 Th/U 比值显示, 这些锆石为岩浆成因, 代表了岩浆结晶年龄, 表明聂荣微陆块存在新元古代早期的岩浆事件。王明等(2012)在聂荣微陆块的花岗质片麻岩中也获得了 819.6 ± 5.2 Ma 的年龄; Guynn et al.(2012)对安多地区正片麻岩进行了锆石 U-Pb 年代学测试, 同样获得了 920~820 Ma 的一组年龄, 并提出这组年龄为青藏高原中部最年轻的基底年龄。这些已有的测年数据表明聂荣微陆块普遍发育新元古代早期的岩浆活动。

研究表明, 罗迪尼亚超大陆在大约 720 Ma 左右发生了裂解并形成了多个陆块(陆松年等, 2004), Acharyn et al.(2000)指出, 青藏高原作为罗迪尼亚超大陆的一部分, 其古地理位置与印度大陆和澳大利亚大陆相邻。本文通过对聂荣微陆块内正片麻岩锆石进行 U-Pb 测年, 获得了从 766.3 ± 3.7 Ma 到 833.2 ± 2.8 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据。其中, 9 个样品的锆石 U-Pb 数据存在一个 830~730 Ma 的年龄组, 这些年龄与罗迪尼亚超大陆裂解的时限基本一致, 代表了罗迪尼亚超大陆裂解事件的岩浆记录。辜平等(2012)、解明超等(2014)认为聂荣微陆块上发育的新元古代岩浆事件是罗迪尼亚超大陆裂解初期的产物; 许志琴等(2005)在对喜马拉雅地区变质基底的年代学研究中获得了 869~835 Ma 的年龄, 并指出喜马拉雅地体属于罗迪尼亚大陆的一部分; 另外, 在拉萨地块内出露的念青唐古拉群的变质岩系中也获得了 748 ± 8 Ma 和 787 ± 9 Ma 的年龄(胡道功等, 2003), 说明罗迪尼亚大陆的裂解事件在青藏高原的影响较为广泛。因此, 聂荣微陆块在新

元古代时期经历了罗迪尼亚超大陆的裂解。

5.2 聂荣微陆块泛非—早古生代构造事件的讨论

研究表明, 泛非运动主要指发生于冈瓦纳大陆内部陆块之间的一系列碰撞造山运动, 时限在 570~520 Ma(Meert et al., 2003; Cawood and Buchan, 2007), 其影响的范围相当广, 青藏高原也是受泛非事件影响的地区之一(许志琴等, 2005)。研究资料表明, 喜马拉雅地区(529~512 Ma, 许志琴等, 2005)、拉萨地块(550 Ma, Kapp et al., 2005)、藏东八宿地区(526~519 Ma, 李才等, 2008)广泛存在泛非运动的岩浆记录。本次研究中, 获得了 532.7 ± 3.4 Ma(样品 B31)的锆石 U-Pb 年龄, 同时研究区 9 个正片麻岩锆石 U-Pb 样品中存在 580~520 Ma 之间的年龄组, 白志达等(2005)在聂荣微陆块内的变质岩系中获得了 515 ± 14 Ma 的年龄, 这些年龄数据刚好与泛非造山运动的时间相吻合, 表明聂荣微陆块存在泛非事件的记录, 属于冈瓦纳大陆的一部分。

通过对聂荣微陆块内正片麻岩锆石 U-Pb 定年, 同时也获得了 502.8 ± 1.2 Ma(样品 B19)、 495.3 ± 1.7 Ma(样品 B62)、 496.6 ± 2.0 Ma(样品 B72)、 495.1 ± 1.2 Ma(样品 B80-1)的锆石 U-Pb 年龄数据, 其形成时代为中寒武世—早奥陶世, 表明聂荣微陆块在早古生代存在一期岩浆活动。解超明等(2010)、Guynn et al.(2012)均在该地区的正片麻岩锆石 U-Pb 定年研究中获得早奥陶世的结晶年龄。

在青藏高原喜马拉雅地区、拉萨地体、羌塘地体、滇西地区, 同样识别出了 500~460 Ma 的年龄事件(Kapp et al., 2000; 宋述光等, 2007; 胡培远等, 2010; 王晓先等, 2011; Pullen et al., 2011; Guynn et al., 2012; Zhu et al., 2012; 朱弟成等, 2012; 董美玲等, 2012; 李再会等, 2012; 刘琦胜等, 2012), 这些年龄明显小于冈瓦纳大陆形成时限的年代数据, 以往大多数学者解释为泛非造山运动的岩浆记录。Cawood et al.(2007)指出, 在东、西冈瓦纳拼合之后, 原特提斯洋沿冈瓦纳大陆边缘发生新的俯冲, 或以亚洲微陆块为代表的喜马拉雅地块、拉萨和羌塘地体的碰撞增生, 形成了安第斯型的造山带。除此之外, 岩浆作用、变质变形作用和地层学等资料显示, 印度大陆北缘存在古生代早期的岩浆事件, 并指出这期岩浆事件可能与原特提斯洋壳的俯冲作用有关(Cawood et al., 2007)。最新研究资料表明, 在沿着冈瓦纳大陆北部边缘的土耳其、伊朗地区同样存在寒武纪—奥陶纪的年龄记录(Gessner et

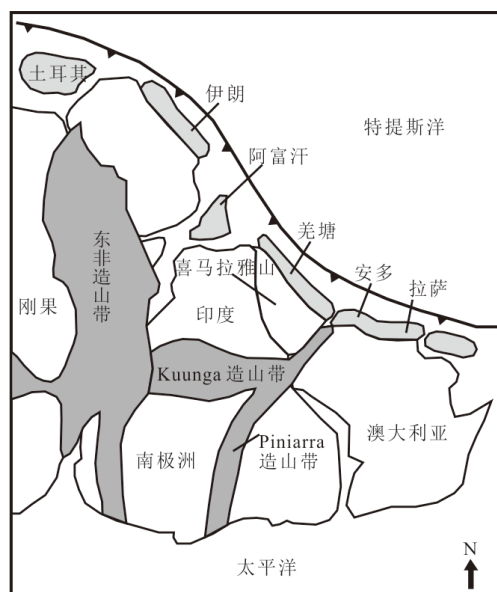


图6 古特提斯大洋边缘印度—澳大利亚古地理位置重建图(根据 Cawood et al., 2007; Zhu et al., 2012 修改)

Fig. 6 Reconstruction of the India-Australia proto-Tethyan margin (modified from Cawood et al., 2007; Zhu et al., 2012)

al., 2004; Cawood et al., 2007; Hassanzadeh et al., 2008; Guynn et al., 2012; Zhu et al., 2012), 在冈瓦纳大陆形成后, 北部的原特提斯洋向南俯冲, 在冈瓦纳大陆的边缘部分形成了一系列安第斯型的岩浆弧。

本文获得的中寒武—早奥陶世锆石 U-Pb 年龄明显小于泛非造山事件的时代, 与安第斯型岩浆弧的形成时间相吻合。前人的研究指出, 聂荣微陆块在早古生代同拉萨地块、羌塘地块一起位于冈瓦纳大陆的北部边缘(图6), 另外, 作者对研究区早古生代正片麻岩所进行的地球化学分析结果表明, 该原岩属于过铝质钙碱性的 S 型花岗岩, 属于碰撞型花岗岩(Lu et al., 2014)。前人研究提出, 在安第斯型造山作用过程中, 印度大陆的北缘存在寒武纪—奥陶纪的岩浆弧、区域变形、地壳熔融及 S 型花岗岩浆活动(Zhu et al., 2012; 张泽明等, 2008), 综上所述, 岩浆事件时间、研究区所处的构造地理位置以及地球化学特征表明聂荣微陆块变质基底经历的早古生代岩浆事件与原特提斯洋壳向冈瓦纳大陆北部边缘的俯冲与造山作用有关。

5.3 聂荣微陆块早—中侏罗世岩浆活动与变质作用的讨论

研究区 9 个正片麻岩测年样品中普遍存在

185~160 Ma 的年龄, 在锆石年龄频率分布直方图中(图5), 其峰值年龄为 170.5 Ma, 在 185~160 Ma 范围内的年龄数据锆石分为两种: 一种为变质成因锆石, 其 Th/U 变化范围在 0.01~0.07, 均小于 0.1, 且在 CL 图像中边部可见新生变质增生边; 另一类为岩浆成因锆石, 其 Th/U 变化范围在 0.12~4.63, 且发育细密的震荡环带, 表明聂荣微陆块在 185~160 Ma 存在岩浆活动和变质作用。Guynn et al. (2006) 在聂荣微陆块内获得了 185~170 Ma 的锆石 U-Pb 年龄和 165 Ma 的 Ar-Ar 年龄, 并指出这些年龄代表了侏罗纪的岩浆活动和变质作用发生的时限, 最新研究表明, Xie et al. (2014) 在聂荣微陆块正片麻岩中获得了 176~166 Ma 的 Ar-Ar 年龄, 提出聂荣微陆块存在侏罗纪的变质作用。

研究认为, 班公湖—怒江缝合带发生俯冲、闭合的时限大致为早侏罗世—早白垩世(Yin and Harrison, 2000; 潘桂棠等, 2004; 陈国荣等, 2004; 邱瑞照等, 2004; 莫宣学等, 2005; 陈玉禄等, 2006; 田海燕等, 2011), 这与聂荣微陆块 185~160 Ma 的岩浆活动和变质事件年龄基本一致, 另外, 张修政等(2010)在聂荣微陆块内发现了高压麻粒岩, 通过详细的岩石学、矿物学及变质作用研究, 确定了高压麻粒岩形成的温度及压力范围, 并指出其为班公湖—怒江缝合带闭合的产物。因此, 可以推断研究区侏罗纪岩浆事件和变质作用与班公湖—怒江洋盆的俯冲、闭合存在成因上的联系。

6 结论

(1) 通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 获得了聂荣微陆块变质基底中正片麻岩的年龄, 其结果分别为 502.8 ± 1.2 Ma、 532.7 ± 3.4 Ma、 833.2 ± 2.8 Ma、 734.8 ± 3.3 Ma、 495.3 ± 1.7 Ma、 496.6 ± 2.0 Ma、 495.1 ± 1.2 Ma、 803.8 ± 2.8 Ma、 811.7 ± 2.8 Ma。

(2) 综合上述片麻岩锆石 U-Pb 测年数据结果发现, 聂荣微陆块变质基底从新元古代—侏罗纪经历了三期构造—岩浆事件, 这三期构造事件分别发生于新元古代早期、新元古代晚期—早古生代、早—中侏罗世。

(3) 综合分析研究区区域资料, 认为聂荣微陆块存在新元古代的基底, 并经历了罗迪尼亚超大陆的裂解, 于新元古代晚期—早古生代时期发生了泛非—早古生代构造事件, 到了侏罗纪, 受班公湖—怒

江洋壳俯冲、闭合的影响,变质基底发生了早—中侏罗世岩浆和变质作用。

References

- Acharyn S K, 2000. Break up of Australia-India-Madagascar block, opening of the Indian Ocean and continental accretion in Southeast Asia with special reference to the characteristics of the peri-Indian collision zones[J]. *Gondwana Research*, 3 (4) : 425 – 443 .
- Bai Z D, Xu D B, Zhang X J, et al., 2005. Report of regional geological survey of Amdo County, Xizang 1 : 250 000 (R) .
- Bao P S, Xiao X C, Su L, et al., 2007. Tectonic environment of the ophiolite in Dongco, Xizang Province: Constraints of petrology, geochemistry and chronology[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 37 (3) : 298 – 307 (in Chinese with English abstract).
- Boger S D, Miller J M, 2004. Terminal suturing of Gondwana and the onset of the Ross–Delamerian Orogeny: the cause and effect of an Early Cambrian reconfiguration of plate motions[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 219: 35 – 48 .
- Cawood P A, Buchan C, 2007. Linking accretionary orogenesis with supercontinent assembly[J]. *Earth Science Reviews*, 82(3-4): 217 – 256.
- Cawood P A, Johnson M R W, Nemchin A A, 2007. Early Palaeozoic orogenesis along the Indian margin of Gondwana: Tectonic response to Gondwana assembly[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 255 (1): 70 – 84 .
- Chen F R, Liu H F, Jiang G W, et al., 2004. Discovery of the Shamuluo Formation in the central segment of the Bangong Co-Nujiang River suture zone, Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 23 (2) : 193 – 194 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y L, Zhang K Z, Yang Z M, et al., 2006. Discovery of a complete ophiolite section in the Jueweng area, Nagqu County, in the central segment of the Bangong Co-Nujiang junction zone, Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geological Bulletin of China*, (6) : 694 – 699 (in Chinese with English abstract).
- DeCellers P G, Gehrels G E, Quad J, et al., 2000. Tectonic implications of U-Pb zircon ages of the Hialayan orogenic belt in Nepal[J]. *Science*, 288: 47 – 499 .
- Dong M L, Dong G C, Mo X X, et al., 2012. Geochronology and geochemistry of the Early Palaeozoic granitoids in Baoshan block, western Yunnan and their implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (5) : 1453 – 1464.
- Gehrels G E, DeCellers P G, Martin A, et al., 2003. Initiation of the Himalayan orogen as an early Paleozoic thin-skinned thrust belt[J]. *GSA Today*, 13 (9): 4 – 9 .
- Gessner K, Collins A S, Ring U, et al., 2004. Structural and thermal history of poly-orogenic basement: U – Pb geochronology of granitoid rocks in the southern Menderes Massif, Western Turkey [J]. *Journal of the Geological Society*, 161 (1): 93 – 101.
- Gu P Y, Li R S, He S P, et al., 2012. The amphibolite from Nyainrong Rock Group in northern Nagqu: geological records of break-up of the supercontinent Rodinia[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31 (2) : 145 – 154 (in Chinese with English abstract).
- Guynn J H, Kapp P, Pullen A, et al., 2006. Tibetan basement rocks near Amdo reveal “missing” Mesozoic tectonism along the Bangong suture, central Tibet[J]. *Geology*, 34 (6) : 505 – 508 .
- Guynn J, Kapp P, Gehrels G E, et al., 2012. U-Pb geochronology of basement rocks in central Tibet and paleogeographic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 43 (1): 23 – 50 .
- Hassanzadeh J, Stockli D F, Horton B K, et al., 2010. U-Pb zircon geochronology of late Neoproterozoic-Early Cambrian granitoids in Iran: Implications for paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement[J]. *Tectonophysics*, 451 (1-4): 71 – 96 .
- Hu D G, Wu Z H, Ye P S, et al., 2003. SHRIMP U-Pb age of zircon from dioritic gneiss in the Nyainqentanglha Mountains, Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 22 (11-12) : 936 – 940.
- Hu P Y, Li C, Su L, et al., 2010. 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[J]. *Geology in China*, 37 (4) : 1050 – 1059 (in Chinese with English abstract).
- Huang J J, 2001. Tectonic characteristics and evolution of the Qiangtang basin[J]. *Regional Geology of China*, 20 (2) : 178 – 180 (in Chinese with English abstract).
- Kapp J L D, Harrison T M, Kapp P, et al., 2005. Nyainqentanglha Shan: A window into the tectonic, thermal, and geochemical evolution of the Lhasa block, southern Tibet [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110 (8): 1 – 23 .
- Kapp P, Yin A, Manning C E, et al., 2000. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in the Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet[J]. *Geology*, 28 (1): 19 – 22 .
- Li C, Xie Y W, Sha S L, et al., 2008. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Pan-African granite in Baxoi County, eastern Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 27 (1) : 64 – 68 (in Chinese with English abstract).
- Li Z H, Lin S L, Cong F, et al., 2012. U-Pb ages of zircon from metamorphic rocks of the Gaoligongshan Group in western Yunnan and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (5) : 1529 – 1541.
- Liu Q S, Ye P S, Wu Z H. 2012. SHRIMP zircon U-Pb dating and petrogeochemistry of Ordovician granite bodies in the southern segment of Gaoligong Mountain, western Yunnan Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 31 (Z1) : 250 – 257.
- Lu L, Wu Z H, Zhao Z, et al., 2014. Zircon SHRIMP U-Pb Dating, Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Granitic Gneisses in Amdo, Tibet[J]. *Journal of Earth Science*, 25 (3) : 473 – 485.
- Lu S N, Li H K, Chen Z H, et al., 2004. Relationship between Neoproterozoic cratons of China and The Rodinia[J]. *Earth Science Frontiers*, 11 (2) : 515 – 523 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R, 2001. *Squid 1.02: A User’s Manual*. Berkeley Geochronology Centre[J]. Special Publication, 2: 19.
- Merritt J, 2003. A synopsis of events related to the assembly of eastern

- Gondwana[J]. *Tectonophysics*, 362 (1): 1 – 40.
- Mo X X, Dong G C, Zhao Z D, et al., 2005. Spatial and Temporal Distribution and Characteristics of Granitoids in the Gangdese, Tibet and Implication for Crustal Growth and Evolution[J]. *Geological Journal of China Universities*, 11 (3) : 281 – 290 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Mo X X, Hou Z Q, et al., 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and Its evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (3) : 521 – 533 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Wang L Q, Zhu D C. 2004. Thoughts on some important scientific problems in regional geological survey of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geological Bulletin of China*, 23 (1) : 12 – 19.
- Fan S Q, Shi R D, Ding L, et al., 2010. Geochemical characteristics and zircon U-Pb age of the plagiogranite in Gaize ophiolite of central Tibet and their tectonic significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29 (5) : 467 – 478 (in Chinese with English abstract).
- Pullen A, Kapp P, Gehrels G E, et al., 2011. Metamorphic rocks in central Tibet: lateral variations and implications for crustal structure[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 123: 585 – 600.
- Qiu R Z, Zhou S, Deng J F, et al., 2004. Dating of gabbro in the Shemalagou ophiolite in the western segment of the Bangong Co-Nujiang ophiolite belt, Tibet-with a discussion of the age of the Bangong Co-Nujiang ophiolite belt[J]. *Geology in China*, 31 (3) : 262 – 268 (in Chinese with English abstract).
- Shi R D, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al., 2012. Melt/mantle mixing produces podiform chromite deposits in ophiolites: Implications of Re-Os systematics in the Dongqiao Neo-tethyan ophiolite, northern Tibet[J]. *Gondwana Research*, 21 (1): 194 – 206.
- Shi R D, Yang J S, Xu Z Q., 2008. The Bangong Lake ophiolite (NW Tibet) and its bearing on the tectonic evolution of the Bangong-Nujiang suture zone[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32 (5-6): 438 – 457.
- Song S G, Ji J Q, Wei C J, et al., 2007. Identification and tectonic significance of the early Paleozoic gneiss granites in Nujiang, northwest Yunnan [J]. 52 (8) : 927 – 930.
- Tian H Y, Li C, Xiao C T, et al., 2011. The Closed Time of Tectonic Evolution of Middle Bangong-Nujiang Suture[J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 8 (7) : 18 – 20 (in Chinese with English abstract).
- Wang M, Li C, Xie M C, et al., 2012. LA-ICP-MS U-Pb dating of zircon from granitic gneiss of the Nierong microcontinent: The discovery of the Neoproterozoic basement rock and its significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (12) : 4101 – 4108 (in Chinese with English abstract).
- Wang W L, Aitchison J C, Lo C H, et al., 2008. Geochemistry and geochronology of the amphibolite blocks in ophiolitic mélanges along Bangong-Nujiang suture, central Tibet[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33 (1-2): 122 – 138.
- Wang X X, Zhang J J, Yang X Y, et al., 2011. Zircon SHRIMP U-Pb ages, Hf isotopic features and their geological significance of the Greater Himalayan Crystalline Complex augen gneiss in Gyirong Area, south Tibet[J]. *Earth Science Frontiers*, 18 (2) : 127 – 139 (in Chinese with English abstract).
- Wu Z H, Wu Z H, Hu D G, et al., 2009. Cenozoic tectonic evolution and uplift of Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 297 (in Chinese).
- Wu Z H, Ye P S, Hu D G, et al., 2003. Thrust System of the North Lhasa Block[J]. *Geological Review*, 49 (1) : 74 – 80 (in Chinese with English abstract).
- Xia B, Xu L F, Wei Z Q, et al., 2008. SHRIMP Zircon Dating of Gabbro from the Dongqiao Ophiolite in Tibet and Its Geological Implications[J]. *Acta Geological Sinica*, 82 (4) : 528 – 531 (in Chinese with English abstract).
- Xie C M, Li C, Wu Y W, et al., 2014. ⁴⁰Ar/³⁹Ar Thermochronology Constraints on Jurassic Tectonothermal Event of Nyainrong Microcontinent[J]. *Journal of Earth Science*, 25 (1) : 98 – 108.
- Xie M C, 2013. Tectonic evolution of the Nyainrong microcontinent, Tibet-constraints from geochronology and geochemistry[D]. Doctoral dissertation of Jilin University, 23 – 34.
- Xie M C, Li C, Su L, et al., 2014. Pan-African and early Paleozoic tectonothermal events in the Nyainrong microcontinent: Constraints from geochronology and geochemistry[J]. *Science China: Earth Sciences*, 44 (03) : 414 – 428 (in Chinese with English abstract).
- Xie M C, Li C, Su L, et al., 2010. LA-ICP-MSU-Pb dating of zircon from granite-gneiss in the Amdo area, northern Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 29 (12) : 1737 – 1744 (in Chinese with English abstract).
- Xu R H, Scharea U, Allgre C J, 1985. Magmatism and metamorphism in the Lhasa block (Tibet) : a geochronological study[J]. *Journal of Geology*, 93: 41 – 57.
- Xu Z Q, Yang J S, Liang F H, et al., 2005. Pan-African and Early Paleozoic orogenic events in the Himalaya terrane: Inference SHIMP U-Pb zircon ages[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (1) : 1 – 12 (in Chinese with English abstract).
- Ye P S, Wu Z H, Hu D G, et al., 2004. Geochemical characteristics and tectonic setting of ophiolite of Dongqiao, Tibet[J]. *Geoscience*, 18 (3) : 309 – 315 (in Chinese with English abstract).
- Yin A, Harrison T M, 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28: 211 – 280.
- Zhang X R, Shi R D, Huang Q S, et al., 2010. Finding of high-pressure mafic granulites in the Amdo basement, central Tibet[J]. *Chinese Science Bulletin*, 55 (27-28) : 2702 – 2711 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X Z, Dong Y S, Xie M C, et al., 2010. Identification and significance of high-pressure granulite in Anduo area, Tibet Plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26 (7) : 2106 – 2112 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y X, 2007. Tectonic evolution of the middle section of Bangong Lake - Nujiang suture belt[D]. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 23.

- Zhang Z M, Wang J L, Shen K, et al., 2008. Paleozoic circum-Gondwana orogens: Petrology and geochronology of the Namche Barwa Complex in the eastern Himalayan syntaxis, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (7): 1627–1637 (in Chinese with English abstract).
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al., 2012. Cambrian bimodal volcanism in the Lhasa Terrane, southern Tibet: Record of an early Paleozoic Andean-type magmatic arc in the Australian proto-Tethyan margin[J]. *Chemical Geology*, 328: 290–308.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al., 2012. Origin and Paleozoic Tectonic Evolution of the Lhasa Terrane[J]. *Geological Journal of China Universities*, 18 (1): 1–15 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 白志达, 徐德斌, 张绪教, 等, 2005. 西藏安多县幅 1:25 万区域地质调查报告 (R).
- 鲍佩生, 肖序常, 苏犁, 等, 2007. 西藏洞错蛇绿岩的构造环境: 岩石学、地球化学和年代学制约[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 37 (3): 298–307.
- 陈国荣, 刘鸿飞, 蒋光武, 等, 2004. 西藏班公湖-怒江结合带中段沙木罗组的发现[J]. *地质通报*, 23 (2): 193–194.
- 陈玉禄, 张宽忠, 杨志民, 等, 2006. 青藏高原班公湖-怒江结合带中段那曲县觉翁地区发现完整的蛇绿岩剖面[J]. *地质通报*, (6): 694–699.
- 董美玲, 董国臣, 莫宣学, 等, 2012. 滇西保山地块早古生代花岗岩类的年代学、地球化学及意义[J]. *岩石学报*, 28 (5): 1453–1464.
- 辜平阳, 李荣社, 何世平, 等, 2012. 西藏那曲县北聂荣微地块聂荣岩群中斜长角闪岩: Rodinia 超大陆裂解的地质纪录[J]. *岩石矿物学杂志*, 31 (2): 145–154.
- 胡道功, 吴珍汉, 叶培盛, 等, 2003. 西藏念青唐古拉山冈长质片麻岩锆石 U-Pb 年龄[J]. *地质通报*, 22 (11-12): 936–940.
- 胡培远, 李才, 苏黎, 等, 2010. 青藏高原羌塘中部蜈蚣山花岗岩片麻岩锆石 U-Pb 定年-泛非与印支事件的年代学记录[J]. *中国地质*, 37 (4): 1050–1059.
- 黄继钧, 2001. 藏北羌塘盆地构造特征及演化[J]. *中国区域地质*, 20 (2): 178–180.
- 李才, 谢尧武, 沙绍礼, 等, 2008. 藏东八宿地区泛非期花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. *地质通报*, 27 (1): 64–68.
- 李再会, 林仕良, 丛峰, 等, 2012. 滇西高黎贡山群变质岩的锆石年龄及其构造意义[J]. *岩石学报*, 28 (5): 1529–1541.
- 刘琦胜, 叶培盛, 吴中海, 2012. 滇西高黎贡山南段奥陶纪花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年和地球化学特征[J]. *地质通报*, 31 (Z1): 250–257.
- 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 等, 2004. 新元古时期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系[J]. *地学前缘*, 11 (2): 515–523.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等, 2005. 西藏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*, 11 (3): 281–290.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等, 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. *岩石学报*, 22 (3): 521–533.
- 潘桂棠, 王立全, 朱弟成, 2004. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考[J]. *地质通报*, 23 (1): 12–19.
- 樊帅权, 史仁灯, 丁林, 等, 2010. 西藏改则蛇绿岩中斜长花岗岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 29 (5): 467–478.
- 邱瑞照, 周肃, 邓晋福, 等, 2004. 西藏班公湖-怒江西段舍马拉沟蛇绿岩中辉长岩年龄测定——兼论班公湖-怒江蛇绿岩带形成时代[J]. *中国地质*, 31 (3): 262–268.
- 宋述光, 季建清, 魏春景, 等, 2007. 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*, 52 (8): 927–930.
- 田海艳, 李超, 肖传桃, 等, 2011. 班公怒江缝合带中段闭合时间探讨[J]. *长江大学学报 (自然科学版)*, 8 (7): 18–20.
- 王明, 李才, 谢明超, 等, 2012. 聂荣微陆块花岗岩片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年——新元古代基底岩石的发现及其意义[J]. *岩石学报*, 28 (12): 4101–4108.
- 王晓先, 张进江, 杨雄英, 等, 2011. 藏南吉隆地区早古生代大喜马拉雅片麻岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. *地学前缘*, 18 (2): 127–139.
- 吴珍汉, 吴中海, 胡道功, 等, 2009. 青藏高原新生代构造演化与隆升过程[M]. 北京: 地质出版社, 1–297.
- 吴珍汉, 叶培盛, 胡道功, 等, 2003. 拉萨地块北部逆冲推覆构造系统[J]. *地质论评*, 49 (1): 74–80.
- 夏斌, 徐力峰, 韦振权, 等, 2008. 西藏东巧蛇绿岩中辉长岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. *地质学报*, 82 (4): 528–531.
- 解超明, 2013. 青藏高原聂荣微陆块构造演化——年代学与地球化学制约[D]. 吉林大学博士学位论文, 23–34.
- 解超明, 李才, 苏犁, 等, 2014. 藏北聂荣微陆块泛非-早古生代构造热事件: 年代学与地球化学制约[J]. *中国科学: 地球科学*, 44 (03): 414–428.
- 解超明, 李才, 苏黎, 等, 2010. 藏北安多地区花岗岩片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年[J]. *地质通报*, 29 (12): 1737–1744.
- 许志琴, 杨经绥, 梁凤华, 等, 2005. 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*, 21 (1): 1–12.
- 叶培盛, 吴珍汉, 胡道功, 等, 2004. 西藏东巧蛇绿岩的地球化学特征及其形成的构造环境[J]. *现代地质*, 18 (3): 309–315.
- 张晓冉, 史仁灯, 黄启帅, 等, 2010. 青藏高原安多高压基性麻粒岩的发现及其地质意义[J]. *科学通报*, 55 (27-28): 2702–2711.
- 张修政, 董永胜, 谢超明, 等, 2010. 安多地区高压麻粒岩的发现及其意义[J]. *岩石学报*, 26 (7): 2106–2112.
- 张玉修, 2007. 班公湖-怒江缝合带中段西段构造演化[D]. 中国科学院研究生院, 23.
- 张泽明, 王金丽, 沈昆, 等, 2008. 环东冈瓦纳大陆周缘的古生代造山作用: 东喜马拉雅构造结南迦巴瓦岩群的岩石学和年代学证据[J]. *岩石学报*, 24 (7): 1627–1637.
- 朱弟成, 赵志丹, 牛耀龄, 等, 2012. 拉萨地体的起源和古生代构造演化[J]. *高校地质学报*, 18 (1): 1–15.