

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

青藏高原东缘构造演化的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学框架

闫全人^{1,2)}, 王宗起¹⁾, 刘树文³⁾, 石玉若²⁾, 李秋根¹⁾, 闫臻¹⁾, 王涛¹⁾, 王建国⁴⁾, 张德会⁴⁾, 张宏远¹⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 北京离子探针中心, 100037

3) 北京大学地球与空间科学学院, 100871; 4) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083

内容提要:青藏高原东缘一直被普遍认为是一个吸收印度—欧亚大陆碰撞变形的调节带。本文所获得的最新 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果显示: 青藏高原东缘具有更加复杂的地质历史。测年结果表明, 高原东缘最古老的前寒武纪结晶基底形成于古元古代(2401~1912 Ma)。这一古老基底首先受到中元古代构造热事件(1361~1040 Ma)的影响, 随后受到新元古代与弧岩浆活动有关构造热事件(791~817 Ma)的强烈改造。松潘—甘孜复理石杂岩的基底是亲洋壳型的, 形成于晚新元古代的大陆裂解作用(681~655 Ma)。高原东缘的前寒武纪微地块可能是由这次裂解作用从扬子或青藏地块拉裂出去形成的。这些微陆块先增生拼贴于东冈瓦纳大陆, 然后又从中裂离, 并最终卷入高原东缘的特提斯构造演化过程中。伴随东冈瓦纳大陆裂解, 高原东缘古特提斯洋于石炭纪至二叠纪早期拉开(328~292 Ma), 经早中生代弧-陆碰撞作用闭合(224~213 Ma)。中侏罗世这一地区发育显著的构造岩浆活动(175 Ma), 但其动力学背景仍不十分清楚。晚白垩世岩浆活动(97 Ma)可能是印度板块初始俯冲阶段的产物。新生代岩浆作用(18 Ma)与陆-陆碰撞导致的大规模走滑断层作用所引起的同熔作用有关。

关键词: 青藏高原东缘; SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学框架; 地质历史

作为扬子地块与青藏高原的过渡带, 青藏高原东缘一直被普遍认为是一个吸收新生代印度—欧亚大陆碰撞变形的调节带。另外, 作为一个包括元古宙至第四纪岩浆岩的火成岩省, 青藏高原东缘也因其复杂地质历史而备受瞩目(李兴振等, 1991; 郝子文, 1997; 路远发等, 2000; 莫玄学等, 2001; 张鸿翔等, 2001; 骆耀南等, 2002)。除晚古生代—早中生代与古特提斯演化相关的一小段地质历史(如, 黄汲清等, 1987; 钟大赉, 1998; 冯庆来等, 1999; 张旗等, 1999; Wang et al., 2000; 简平等, 2003; 闫全人等, 2005; Yan et al., 2005)以及新生代与陆-陆碰撞有关的大规模断层倾滑、走滑作用以及同熔作用(Tapponnier et al., 1982; Dewey et al., 1989; Leloup et al., 1995; Roger et al., 1995; Raschbacher et al., 1996; Arne et al., 1997; 王宗秀等, 1997; Yin et al., 2000; 张岳桥等, 2004)已被较清晰和肯定地解析外, 与高原中、西部及扬子地块相比, 可以约束高原东缘构造演化的同位素年代学数据极少。具体地, 一是对高原东缘前

寒武纪构造热事件的了解仍然缺乏扎实可靠的年代学证据。其次, 最近的完成的青藏高原1/25万区域地质调查成果显示: 泛非事件广泛存在于高原内部及其周缘(韩芳林等, 2004; 李江等, 2004; 刘文灿等, 2004; 王永和等, 2004; 郑来林等, 2004), 但是, 高原东缘从泛非事件到古特提斯这一时期的地质历史仍不清楚。另外, 高原东缘从中生代初期古特提斯最后闭合消亡到新生代陆-陆碰撞期间的构造过程也是非常模糊的。因此, 通过系统的 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年代学研究, 我们比较详细地建立了高原东缘构造演化的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学框架, 这为深入了解青藏高原东缘从元古宙到新生代复杂地质构造演化历史、以及为深入研究高原东缘对陆-陆碰撞的响应, 提供了丰富可靠的同位素年代学依据。

1 地质背景与样品采集

青藏高原东缘位于中国西南四川、云南、西藏自治区三省区交界地区。大地构造上, 是青藏高原与扬

注: 本文为“973”计划项目(编号 2002CB412608)、国家自然科学基金项目(编号 40472119、40172071)、国土资源部“百人计划”项目以及中国地质调查局项目(编号 200313000057)资助的成果。

收稿日期: 2006-07-11; 改回日期: 2006-08-07; 责任编辑: 周健。

作者简介: 闫全人, 男, 研究员。主要从事造山带与盆地研究工作。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街26号, 中国地质科学院地质研究所; 电话: 010-68999685; Email: qryan@cags.net.cn。

子地块西缘的过渡地带。地质组成上,青藏高原东缘含有许多不同时代、不同构造性质和不同物质组成的各类地质体,如构造混杂带或蛇绿混杂带、岛弧与弧合盆地、复理石杂岩以及前寒武纪基底块体(图1)。具体地,青藏高原东缘地区发育四条蛇绿混杂带:甘孜—理塘蛇绿混杂带、金沙江—哀牢山蛇绿混杂带、澜沧江—孟连—昌宁蛇绿混杂带及丁青—八宿蛇绿混杂带,与之构造耦合的分别是义敦岛弧与弧后盆、江达—维西岛弧与弧后盆地、妥坝—南佐—云县—景洪弧以及左贡—路西弧。蛇绿混杂带与岛弧构造组合间夹有一系列微陆块或前寒武纪地块。如此地质表象暗含着以下重要科学问题:蛇绿混杂带所代表的洋盆是何时扩张形成的?微陆块是何时从何处拉裂出来的?洋盆扩张与微陆块裂离的关系?洋盆何时俯冲闭合并经弧—陆碰撞与陆块焊合的?

扬子地块西缘则主要由花岗片麻岩质前寒武纪变质基底组成,以高绿片岩相—角闪岩相变质作用为主。这些前寒武纪变质基底被古生界沉积岩不整合覆盖,其中含有少量二叠纪火山岩。大量中—新生深成岩侵入其中(四川省地质矿产局,1991)。最新SHRIMP测年数据表明,前人所认为的扬子地块西缘太古宙—古元古代结晶基底(四川省地质矿产局,1991)实际上是变质的新元古代与弧有关的岩浆岩(Zhou et al., 2002a, b; Yan et al., 2004)。这期弧岩浆作用可能捕获、改造并重建了古元古代—中元古代的基底成分(1000~1750 Ma, SHRIMP)(Li et al., 2002)。为精确测定高原东缘前寒武纪岩活动的时代,我们于康定附近一个规模较大的前人所谓的太古宙结晶基底块体采集了一件英云闪长岩样品,在丹巴附近采集了二件闪长岩样品,进行前寒武纪年代学研究。

松潘—甘孜地块,或松潘—甘孜造山带(许志琴等,1992),是一个区域性大断裂所围限的三角形块体,以发育巨厚三叠系复理石为典型特征。尽管对松潘—甘孜复理石杂岩的成因及构造环境的研究观点纷呈(Sengor, 1984; Sengor, 1987; Zhou et al., 1993; Gu, 1994; Burchfiel et al., 1995; Hsu et al., 1995; Chang, 2000; Harrowfield et al., 2000; Li et al., 2000; Yin et al., 2000; Ingersoll et al., 2003; 徐强等, 2003; 杨宗让, 2002; Weislogel et al., 2006),但是,迄今为止尚无可靠同位素年代数据和地球化学数据可以约束其基底地质时代和构造属性。在松潘—甘孜地块内部除出露有大量中—新生侵入岩外,还见有少量海相熔岩沿鲜水河左行走滑断层断

续出露。以前的工作认为这些被剪切变形的熔岩是与峨眉山二叠纪大陆裂谷玄武岩同期同成因的(四川省地质矿产局, 1991),但缺乏确凿证据。通过野外详细调查,我们推测其可能为松潘—甘孜地块的基底组成部分,经断层作用出露于地表,并在道孚附近采集了一件枕状熔岩样品进行年代学和地球化学研究。折多山岩体侵入松潘—甘孜杂岩中,我们对此也进行了年代学测试,以精确厘定新生代与断层走滑活动有关的同熔岩浆活动的时限。

甘孜—理塘蛇绿混杂带西起玉树,经玉隆、甘孜、理塘至木里,为一条向北东方向凸出的弧形构造带,长约700 km,宽5~20 km。该带西南侧为义敦岛弧地体,东北侧为松潘—甘孜地块。甘孜—理塘蛇绿混杂带内含代表洋壳残片的超镁铁/镁铁质岩体和岩墙、含放射虫硅质岩,与由构造作用和滑塌作用所形成的构造岩块/片相混杂,并以外来构造体的形式裹于浊积岩基质中。超镁铁质/镁铁质岩体、岩墙及各种堆晶岩出露规模较小,沿断裂带呈串珠状产出。枕状玄武岩和硅质岩相对分布较广(张之蒙等, 1979; 四川省地质矿产局, 1991; Chang, 2000)。黄汲清等(1987)认为甘孜—理塘蛇绿混杂带是玉树—金沙江蛇绿混杂带的一条分支。莫玄学等(2001)认为其是一条古特提斯的分支,并将其命名为甘孜—理塘特提斯。甘孜县城南七公里水电站附近出露一规模相比较大的蛇绿岩块,从其中采集一件辉长岩样品进行锆石年代测试。另外,在甘孜—理塘带中段理塘附近,出露有规模较小的铁镁质岩块,从中采集一件变玄武岩样品进行年代测试,与七公里水电站蛇绿岩对比。

义敦岛弧组合由一个三叠纪岩浆弧和弧后盆地构成(四川省地质矿产局, 1991; 侯增谦, 1991; 侯增谦等, 1995; Chang, 2000; 莫玄学等, 2001; 侯增谦等, 2003)。前者主要由火山岩组成,含少量富含火山质的沉积岩,发育规模较大的中生代侵入岩体。后者则以富含火山质的沉积岩为主,其中发以及大量侵入岩体,并含有少量铁镁质/超铁镁质岩块、玻安岩(谭劲等, 1997)和次火山岩。本文对义敦岛弧和弧后盆的6件样品进行年代学测试。

中咱地块出露的基底主要是震旦纪变质岩,被早古生代沉积和少量二叠纪火山岩不整合覆盖(云南省地质矿产局, 1990; 四川省地质矿产局, 1991; 西藏地质矿产局, 1993)。金沙江—哀牢山构造混杂带被认为是古特提斯的主体,最初由黄汲清等(1987)定名为龙木错—玉树缝合带。研究表明,金沙江—哀

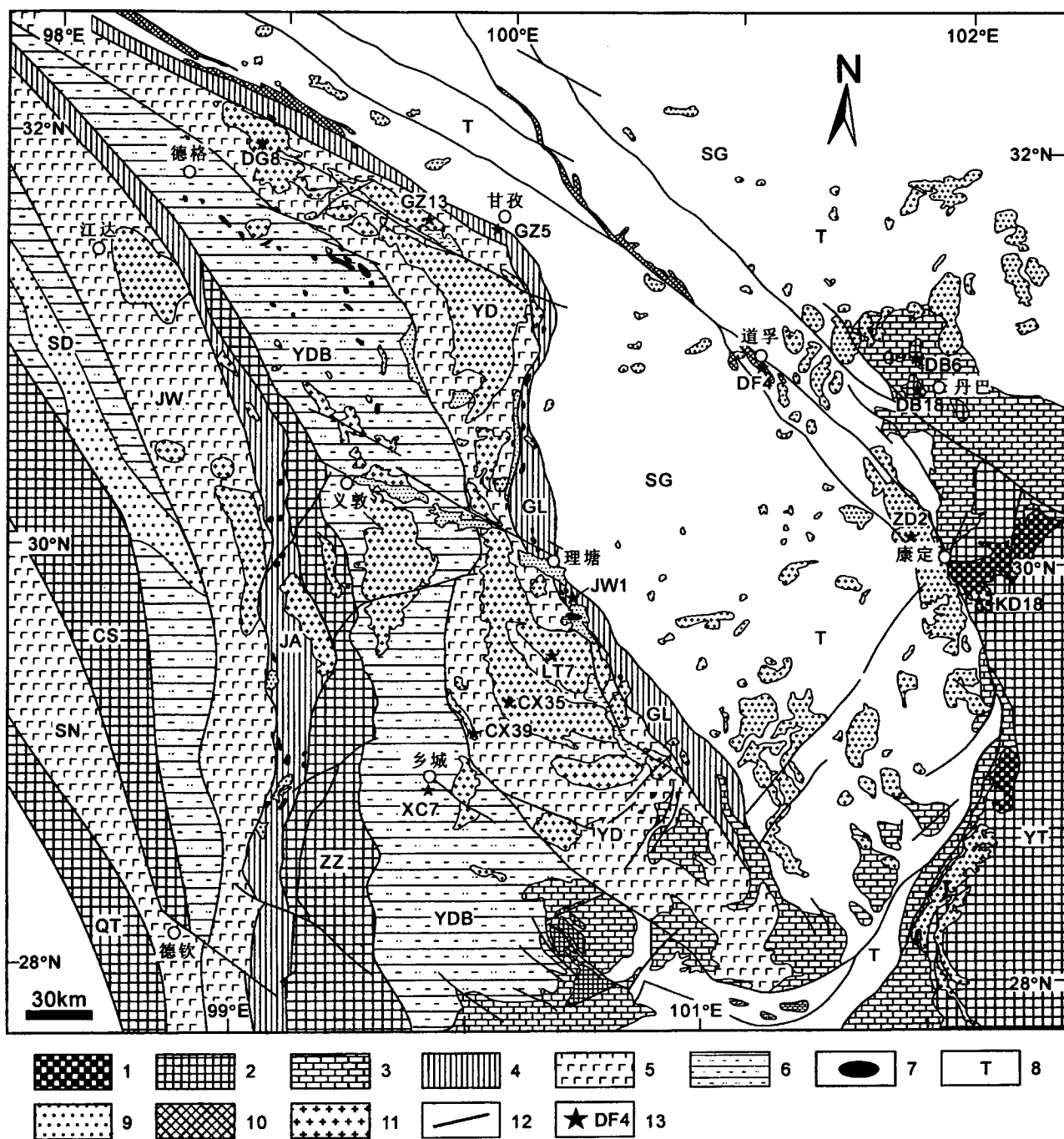


图1 青藏高原东缘(局部)地质构造简图

(据四川省地质矿产局, 1991; 西藏自治区地质矿产局, 1993; 云南省地质矿产局, 1991等简化)

Fig. 1 Sketch map showing the geology and structure of the Eastern Margin of the Tibetan Plateau

(simplified after BGMRSiP, 1991; BGMRXZ, 1993; BGMRY, 1991)

YT—扬子地块; SG—松潘—甘孜地块; ZZ—中咱地块; CS—昌都—思茅地块; QT—羌塘地块; GL—甘孜—理塘蛇绿混杂带; JA—金沙江—哀牢山蛇绿混杂带; YD—义敦岛弧; YDB—义敦弧后盆地; JW—江达—维西岛弧; SD—申达弧后盆地; SN—妥左—南坝岛弧; 1—太古宙结晶基底(?); 2—元古宙变质基底; 3—古生代沉积岩; 4—构造混杂带; 5—中生代弧体; 6—中生代弧后盆地; 7—铁镁质/超铁镁质岩块; 8—三叠纪复理石; 9—始新世沉积岩; 10—枕状熔岩; 11—侵入岩; 12—断层; 13—样点及编号

YT—Yangtze block; SG—Songpan—Ganze block; ZZ—Zhongza block; CS—Changdu—Simao block; QT—Qiangtang block; GL—Ganze—Litang mélangé; JA—Jinshajiang—Ailaoshan mélangé; YD—Yidun arc; YDB—Yidun Back-arc basin; JW—Jomda—Weixi arc; SD—Shengda back-arc basin; SN—Suizuo—Nanba arc; 1—Archean basement rock (?); 2—Proterozoic basement rock; 3—Paleozoic sedimentary rock; 4—tectonic mélangé; 5—Mesozoic arc massif; 6—Mesozoic back-arc basin; 7—mafic/ultramafic block; 8—Triassic flysch rock; 9—Eogene sedimentary rock; 10—pillow lava; 11—plutonic rock; 12—fault; 13—sample location

牢山特提斯洋的扩张主要发生于石炭纪—早二叠世期间(328~285 Ma)(张旗等,1992;Wang et al.,2000;简平等,2003),其初始扩张可能开始于中泥盆世(352~375 Ma)(冯庆来等,1999;简平等,2003)。该蛇绿混杂带西侧的江达—维西弧和申达弧后盆地起源于金沙江—哀牢山特提斯洋的向西俯冲(王立全等,2000)。

走滑断层以及逆冲推覆褶皱构造是高原东缘地区主要的构造及变形形式,小型第三纪拉分盆地沿走滑断层分布。

2 方法和结果

本文锆石 U-Pb 测年在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心的 SHRIMP II 上采用标准测定程序进行。应用澳大利亚国家地调局标准锆石 TEM 进行元素间的分馏校正,并应用澳大利亚国立大学地学院标准锆石 SL13(572 Ma, $U=238 \mu\text{g/g}$) 标定样品的 U, Th 及 Pb 含量。数据处理采用 PRAWN 软件。普通 Pb 由实测 ^{204}Pb 及 Cumming-Richard 模式铅成分校正。所有测点的误差均为 1σ , 所采用的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄具 95% 的置信度。SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果见图 2。

3 结果讨论

SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果表明,青藏高原东缘具有复杂的地质历史(图 2)。

扬子西缘高绿片岩相—角闪岩相变质的片麻状花岗岩以前被认为是太古宙结晶基底(四川省地质矿产局,1991)。然而,本文对康定岩浆杂岩和丹巴穹隆状岩浆岩的 SHRIMP 年龄分析表明,以前所谓的扬子西缘太古宙结晶基底实际上是新元古代岩浆作用的产物(791 ± 10 和 817 ± 13 Ma),与扬子北缘和西缘新元古代弧岩浆岩的时代一致(Zhou et al.,2002a, b; Yan et al.,2004)。其中,在丹巴岩浆岩样品所获得的 890 Ma 年龄值与扬子西北缘黄水河群(四川省地质矿产局,1991)变火山岩的时代一致(876 ± 17 Ma, SHRIMP)(Yan et al.,2004)。本文认为,该年龄可能代表了扬子西缘新元古代与弧有关的初始岩浆活动时代。考虑到扬子西缘南部存在古元古代—中元古代的基底(1700~1000 Ma, SHRIMP)(Li et al.,2002),以及扬子地块内太古宙—中元古代的结晶基底—崆岭高级变质地体(2508~1466 Ma)(高山等,2001),本文分析认为:扬子西缘基底形成于古元古代,不存在所谓太古代结晶基

底,并被新元古代与弧有关的岩浆活动强烈地改造。

1:25 万地质调查发现的证据表明,青藏高原南北两侧最古老的基底同样形成于古元古代,可能与印度板块和塔里木地块具有强烈的亲缘性。同时,地质调查也发现:这些古元古代基底经历了格林维尔造山运动和新元古代弧岩浆活动等构造热事件的作用。但是,扬子地块与青藏高原在前寒武纪时期的相互关系的仍然不清楚。

本文对丹巴岩浆岩的 SHRIMP 年代学研究表明,扬子地块西缘发育一次晚新元古代的构造热事件(681 ± 20 Ma),未见前人有过类似报道。最近于扬子地块北缘碧口地体中发现的铁镁质岩墙群揭示,扬子地块北缘晚新元古代发育一次显著的大陆裂解事件($689\sim 660$ Ma, SHRIMP 和角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$)(Yan et al.,2004)。在扬子地块北缘,同样的大陆裂解作用还表现在武当地体中(周鼎武等,2000)。而在扬子地块西缘龙门山褶皱带,侵入于彭灌和宝兴岩浆杂岩中的煌斑岩脉($636\sim 773$ Ma, 黑云母和角闪石 K-Ar)(陈笃宗,1995)可能是晚新元古代扬子西缘大陆裂解作用的产物。通过区域对比分析,我们认为本文获得的 SHRIMP 锆石年龄(681 ± 20 Ma)是残存在青藏高原东缘的与晚新元古代裂谷作用有关的岩浆活动的记录。

详细野外地质调查揭示,松潘—甘孜地块内出露的枕状熔岩块主要沿鲜水河断续分布,并因断层活动而发生强烈的剪切变形变质。我们推测这些变形变质的熔岩块体可能是由鲜水河断裂的构造剥蚀作用从深部带地表的。地球化学分析表明,这些熔岩块体具有 E-MORB 型地球化学特征,暗示至少是部分松潘—甘孜地块的基底是亲洋壳型的,与前人的推测(如 Sengor,1984; Sengor,1987; Hsu et al.,1995; Ingersoll et al.,2003)一致。特别是,该套枕状熔岩的 SHRIMP 年龄(655 ± 10 Ma)表明松潘—甘孜地块亲洋壳型基底形成于晚新元古代,是裂谷作用的产物。或可说,青藏高原东缘发育一期晚新元古代松潘—甘孜洋。这与前文所述的扬子地块北缘和西缘的晚新元古代裂谷作用时代(陈笃宗,1995; Zhou et al.,2000; Yan et al.,2004)一致,在误差范围内也与青藏高原北缘代表裂谷作用的碱性花岗岩的年代(683 ± 75 Ma, U-Pb)(张振福等,2004)一致。

晚新元古代松潘—甘孜洋是否在泛非运动期间随着冈瓦纳大陆北缘裂谷的闭合(Ren et al.,1999)而完全关闭,并不清楚。区域上,考虑到松潘—甘孜地块东缘和北缘发育大量晚新元古代—早古生代被

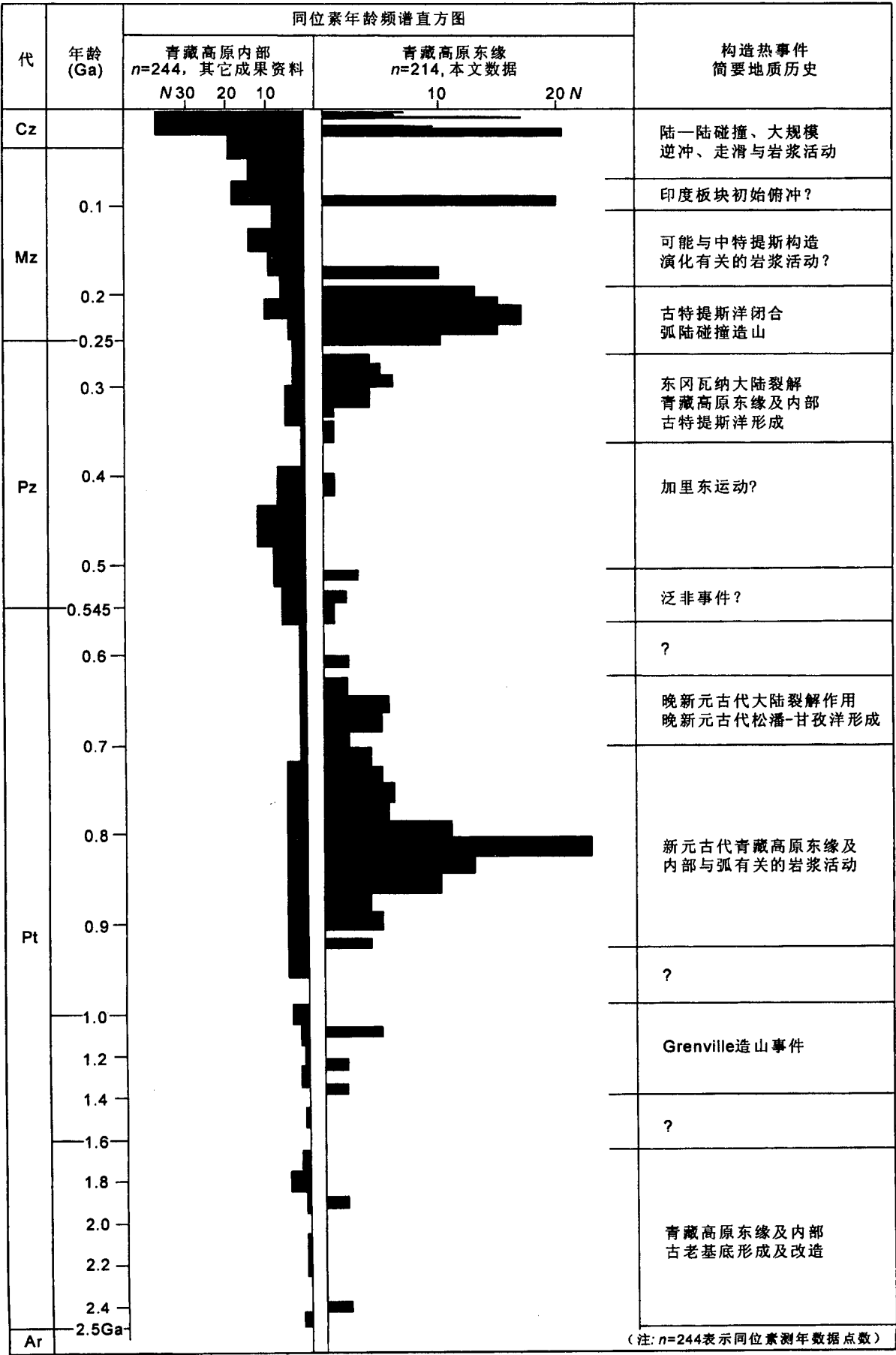


图 2 青藏高原东缘构造演化同位素年代格架

Fig. 2 Chronological log showing the complex geology of the Eastern Margin of the Tibetan Plateau

动陆缘沉积岩(四川地质矿产局,1991),我们推断最有可能的是:松潘—甘孜洋在晚新元古代至早古生代期间可能一直维持的残余洋盆状态。另外,松潘—甘孜洋是否一直持续到三叠纪义敦弧陆碰撞也不清楚。但是,枕状熔岩中捕获锆石或锆石捕晶给定的 SHRIMP 年龄(831 ± 27 Ma)暗示松潘—甘孜洋可能是在扬子地块或青藏高原前寒武纪基底上拉张而成的。同时,枕状熔岩中所包含的锆石 U-Pb 不谐和年龄(456 ± 20 , 207 ± 8 和 111 ± 6 Ma)表明松潘—甘孜地块基底经历了古生代—中生代的多次构造热事件影响。

本文获得的 SHRIMP 年代数据(551 ± 14 和 534 ± 21 Ma)为青藏高原东缘存在泛非事件提供了重要年代线索。青藏高原内部及其周边,与泛非事有关有岩浆作用被解译为是冈瓦纳大陆北缘裂谷关闭的产物(Ren et al., 1999)。最近完成的1:25万青藏高原区域地质大调查结果表明,泛非事件主要发育在高原南北两侧的昆仑造山带和喜马拉雅造山带,年龄跨度为 $502 \pm 9 \sim 566 \pm 14$ Ma(韩芳林等,2004;李江等,2004;刘文灿等,2004;郑来林等,2004)。这表明泛非事件期间青藏高原与北侧塔里木块和南侧印度板块曾发生过相互汇聚、碰撞作用。从现资料分析,不像高原内部,迄今为止高原东缘早古生代构造运动的构造热事件记录非常少,暗示高原东缘自晚新元古代松潘—甘孜洋形成至早古生代可能一直处于构造相对稳定的环境,由此推断晚新元古代松潘—甘孜洋可能一直持续古生代。

研究表明,青藏高原东缘古特提斯的张开源于东冈瓦纳大陆的裂解(Ren et al., 1999;朱同兴等,2002)。古地磁迹移曲线(林金录,1987;张世红等,2001)和 SHRIMP 测年结果(简平等,2003)揭示:东冈瓦纳大陆裂解可能早在中泥盆世($352 \sim 375$ Ma)就已开始。新的同位素年代学和古生物年代学证据表明,青藏高原内部的古特提斯洋在石炭纪一早二叠世就已打开(黎敦朋等,2004;刘文灿等,2004;朱杰等,2004;朱同兴等,2004;朱迎堂等,2004;伊海生等,2004),初始裂解作用可能始于泥盆纪($389 \sim 405$ Ma)(黎敦朋等,2004)。本文对甘孜七公里水电站蛇绿岩辉长岩的 SHRIMP 测年结果表明,甘孜—理塘特提斯洋打开时间为 292 ± 4 Ma,这一结果与金沙江—哀牢山特提斯洋盆的扩张时间(285 ± 6 Ma)(Wang et al., 2000;简平等,2003)一致。因此,我们认为青藏高原东缘特提斯洋扩张的峰期时代为石炭纪至二叠纪初期。

但有趣的是,对位于理塘附近甘孜—理塘带中铁镁质岩(变玄武岩)块的 SHRIMP 测年结果给出了一个较宽的从元古宙到中生代的年龄范围。主群锆石的谐和年龄为 1040 ± 19 Ma,反映了高原东缘存在一次格林维尔期的构造热事件。地质调查发现,在高原内部及扬子地块西缘地区同样的热事件记录也广泛存($1000 \sim 1209$ Ma)(Li et al., 2002;柏道远等,2004;李江等,2004;刘文灿等,2004;马华东等,2004;王国灿等,2004)。其中较老的谐和年龄(1361 ± 42 Ma)可能该次热事件捕获的更古老岩石的记录。结合不谐和年龄 2401 ± 39 和 1912 ± 55 Ma 综合分析,伴随甘孜—理塘特提斯俯冲闭合,古元古代的基底成分很显然地卷入到甘孜—理塘带中。区域上,新近的地质调查发现,古—中元古代基底($2.5 \sim 1.0$ Ga)普遍存在于高原内部(柏道远等,2004;李德威等,2004;李江等,2004;刘文灿等,2004;马华东等,2004;王国灿等,2004)、扬子地块西缘(1750 Ma)(Li et al., 2002)以及扬子地块内部($2508 \sim 1466$ Ma)(高山等,2001)。然而,这些卷入到甘孜—理塘带中的古老地壳块体从青藏高原还是从扬子地块拉裂出来的,并不清楚。再者,该变铁镁质岩 SHRIMP 测年结果所得的不谐和年龄(846 ± 33 和 827 ± 26 Ma)暗示这些卷入到甘孜—理塘带中的古元古代基底块体经受了时代上与扬子西缘和北缘新元古代弧岩浆活动相同的构造热事件的作用。另外的不谐和年龄值(674 ± 36 , 534 ± 21 , 211 ± 12 和 157 ± 12 Ma)则显然记录了这些卷入到甘孜—理塘带中的古元古代基底块体经历了晚新元古代裂解作用、泛非事件以及中生代与弧有关的构造热事件。分析这些古老基底块体是经晚新元古代与松潘—甘孜洋扩张有关的裂解作用($689 \sim 655$ Ma)从青藏高原或从扬子地块拉裂出来的。

SHRIMP 年代学研究结果表明,早中生代义敦岛弧岩浆活动峰期为 224 ± 3 Ma 至 213 ± 3 Ma。对闪长玢岩的年龄结果表明义敦弧后盆地扩张时代与弧岩浆活动时代一致,为 222 ± 3 Ma。这些年龄记录了早中生代与高原东缘古特提斯洋俯冲闭合有关的造山作用。与古特提斯造山作用有关有构造热事件在高原内部也非常普遍,主要沿羌塘地块北缘和拉萨地块南缘发育(韩芳林等,2004;王国灿等,2004;谢国刚等,2004;张振利等,2004;郑来林等,2004;朱迎堂等,2004)。由此,本文分析认为青藏高原东缘及其内部都经历晚古生代至早中生代期间的古特提斯构造演化。

高原东缘还广泛发育中生代中、晚期(即侏罗纪—早白垩世)的侵入岩。本文获得的两个沿义敦岛弧发育的侵入岩的 SHRIMP 测年结果分别为 175 ± 4 Ma 和 97 ± 2 Ma。同时代构造岩浆活动在高原内部异常显示著,而且主要沿拉萨地块南缘的冈底斯带集中分布(陈国荣等,2004;胡敬仁等,2004;卢书伟等,2004;吴珍汉等,2004;曲永贵等,2004;王国灿等,2004;谢国刚等,2004;张振利等,2004;张振富等,2004;郑来林等,2004;钟明华等,2004)。这些最新研究成果表明,青藏高东缘及其内部在古特提斯洋闭合到印度大陆与欧亚大陆碰撞前这一时期内还经历了较为复杂地质过程。

传统上,人们普遍认为印欧大陆初始碰撞发生于 70 Ma 左右,即晚白垩世 Maastrichtia 期前后,更老的碰撞记录可能被印度大陆大规模俯冲湮没掉了(Yin et al., 2000)。然而,也有一些研究成果暗示:印度大陆的俯冲最初可能发生于晚白垩世早期阶段,80 Ma 左右(Shi et al., 1996; Murphy et al., 1997)。特别是,新近完成的地质调查成果表明,高原内部沿冈底斯带发育大量晚白垩世岩浆岩,时代集中于 107~83 Ma 间(江元生等,2004;李才等,2004;卢书伟等,2004;谢国刚等,2004;郑来林等,2004)。由此分析判断:印度大陆初始俯冲可能发生于晚白垩世早期。本文所获得的雀儿山岩体的 SHRIMP 年龄为 97 ± 2 Ma,可能是印度大陆初始俯冲作用在高原东缘的记录。

从所周知,新生代是印度大陆与欧亚大陆发生强烈碰撞作用的时期。高原内部以强烈挤压和广泛发育岩浆活动为主。最近研究表明,高原内部与陆陆碰撞有关的岩浆作用主要沿冈底斯带发育(柏道远等,2004;江元生等,2004;刘文灿等,2004;李才等,2004;李德威等,2004;卢书伟等,2004;马华东等,2004;吴珍汉等,2004;谢国刚等,2004;伊海生等,2004;张振福等,2004;郑来林等,2004;钟华明等,2004;朱迎堂等,2004)。显然,黄汲清等(1987)所定义的中特提斯与新特提斯在空间上完全叠合的,而非如其所认为的中(生代)特提斯沿班公湖—怒江构造带发育、新(生代)特提斯沿雅鲁藏布江构造带发育。青藏高原东缘在这一时期被普遍认为是一个吸收新生代印度—欧亚大陆碰撞变形的调节带。高原东缘的这种调节作用是通过大规模断层走滑和断块逃逸作用实现的(Tapponnier et al., 1982; Dewey et al., 1989; Leloup et al., 1995; Raschbacher et al., 1996; Arne et al., 1997; Yin et al., 2000)。同时前人

研究认为,青藏高原东缘新生陆—陆碰撞期间大规模断裂走滑作用还引起广泛的地壳同熔作用,形成大量同熔花岗岩(Roger et al., 1995; 王宗秀等, 1997; 张岳桥等, 2004)。本文对折多山花岗岩的 SHRIMP 测年结果表明,高原东缘同熔作用主要发生于 18 ± 0.3 Ma 左右,与大规断裂走滑活动年代(24~11 Ma)(Leloup et al., 1995)一致。独居石电子探针 Th-U-Pb 化学法测年表明:折多山花岗岩的独居石年龄集中于 46 ± 4 、 29 ± 5 、 17 ± 3 和 12 ± 1 Ma(刘树文等, 2006)。刘树等认为:后两个年龄与折多山花岗岩浆结晶和鲜水河断裂活动事件有关,是地块逃逸引起的断裂走滑活动的时代。前两个年龄是继承了变质事件产生的独居石,可能是 46~18 Ma 间的发生在高原东缘的高压事件。

4 结论

本文系统的 SHRIMP 测年结果表明青藏高原东缘具有复杂的地质历史。最古老的基底形成于古元古代,但被后期构造热事件所改造,特别是受到了新元古代与弧有关的构造热事件的强烈作用。松潘—甘孜地块的基底是亲洋壳型的,是晚新元古代青藏高原或扬子地块西缘前寒武纪大陆裂解作用的产物。随着东冈瓦纳大陆的裂解,高原东缘古特提斯洋于石炭纪至二叠纪早期形成,随着三叠纪弧陆碰撞造山作用而最终闭合,并在高原东缘形成了几套弧组合地体。侏罗纪—早白垩世强烈而广泛的构造岩浆活动表明:青藏高原东缘及其内部在陆—陆碰撞以前还存在非常显著的构造事件,相当于早燕山运动和晚燕山运动早期,印度大陆的初始俯冲或与欧亚大陆的初始碰撞作用发生于晚白垩世初期。新生代,高原东缘岩浆活动则主要与由陆—陆碰撞引起的大规模断裂走滑和断块逃逸有关的地壳同熔作用。

本文所建立的高原东缘的构造演化的年代学框架清楚地显示:卷入到高原东缘中的前寒武纪块体可能是从扬子地块西缘或青藏高原前寒武纪基底中拉裂出来的,这次大陆裂解作用形成了晚新元古代松潘—甘孜洋。这些前寒武纪基底块体先增生拼贴于冈瓦纳大陆,然后又从其中支解分离出来,并最终卷入到向高原东缘古特提斯的构造演化过程中。尽管有初步年代线索,但是形成于晚新元古代大陆裂解作用的松潘—甘孜洋是否在泛非期间完全闭合、还是一直呈现为残余洋盆状态而持续到三叠纪,仍然是一个谜。为更深入理解高原东缘复杂的地质历史,

特别是泛非事件对松潘—甘孜地块以及青藏高原东缘的影响,需进行更多更深入的研究工。

致谢:感谢杨之青、张玉海、陶华等在实验过程的帮助。衷心感谢潘原明和牛宝贵等对本文提出的建设性修改意见。

参 考 文 献

- 四川省地质矿产局. 1991. 四川省区域地质志. 北京:地质出版社, 1~730.
- 西藏自治区地质矿产局. 1993. 西藏自治区区域地质志. 北京:地质出版社, 1~707.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京:地质出版社, 1~728.
- 柏道远, 贾宝华, 孟德保, 邓瑞林, 张朝阳, 马铁球, 陈必河, 刘伟. 2004. 且末县一级电站幅、银石山幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 564~569.
- 陈笃宗. 1995. 龙门山地区(北、中段)前震旦系火山成矿系及矿床成因探讨. 四川地质学报, 15(2): 113~122.
- 陈国荣, 陈玉禄, 张宽忠, 赵守仁, 刘保民. 2004. 班戈县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 520~523.
- 冯庆来, 葛孟春, 谢德凡, 马振东, 江元生. 1999. 滇西北金沙江带被动陆缘地层层序和构造演化. 地球科学—中国地质大学学报, 24(6): 553~557.
- 高山, Yumin Qiu, 凌文黎, Neal J. McNughton, David I. Groves. 崆岭高级变质体地单颗粒锆石 SHRIMP-Pb 年代学研究—扬子克拉通 > 3.2Ga 陆壳物质的发现. 中国科学 D 辑, 31(1): 27~35.
- 韩芳林, 崔建堂, 计文化, 郝俊武, 孟勇. 2004. 于田县幅、伯力克幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 555~559.
- 郝子文. 1997. 青藏高原前寒武纪岩石地层划分、对比—兼论“三江”构造带基底特征. 四川地质学报, 17(2): 84~91.
- 侯增谦, 杨岳清, 王海平, 曲晓明, 吕庆田, 黄典豪, 吴宣志, 余金杰, 唐绍华, 赵金花. 2003. 三江义敦岛弧碰撞造山过程与成矿系统. 北京:地质出版社, 1~345.
- 侯增谦, 侯立伟, 叶同庆, 刘福祿, 唐国光. 1995. 三江地区义敦岛弧构造岩浆演化与火成因场块状硫化物矿床. 北京:地震出版社, 1~218.
- 侯增谦. 1991. “三江”地区义敦岛弧构造—岩浆演化特征. 青藏高原地质文集(21). 北京:地质出版社, 153~165.
- 胡敬仁, 孙中良, 陈国结, 尼采, 夏抱本, 刘鸿飞, 万永文, 蒋光武, 范跃春. 2004. 日喀则市幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 463~470.
- 黄汲清, 陈炳蔚. 1987. 中国及邻区特提斯演化. 北京:地质出版社, 1~78.
- 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 2003. 滇西吉岔阿拉斯加型辉长岩 SHRIMP 测年:早二叠世俯冲事件的证据. 地质学报, 78(2): 166~170.
- 江元生, 周幼云, 王明光, 彭波, 徐天德. 2004. 措勤区幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 511~515.
- 李才, 程立人, 王天武, 武世忠, 张予杰, 翟庆国. 2004. 申扎县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 479~483.
- 黎敦朋, 李新林, 周小康, 王向利, 戴新宇, 杜少喜, 王欣欣. 2004. 阿牙克库木湖幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 591~594.
- 李江, 覃小锋, 陆济璞, 许华, 周府生, 李乾, 胡贵昂, 周秋娥. 2004. 瓦石峡幅、阿尔金山幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 579~584.
- 李德威, 张雄华, 廖群安, 袁晏明, 易顺华, 曹树钊, 谢德凡, 刘德民. 2004. 定结县幅、陈塘区幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 438~443.
- 李兴振, 刘增乾, 潘桂棠, 罗建宁, 王剑, 郑来林. 1991. 西南三江地区大地构造单元划分用地史演化. 中国地质科学院成都地质矿产研究所所刊, (13): 1~20.
- 林金录. 1987. 中国古地磁数据表. 地质科学, (2): 183~187.
- 刘树文, 王宗起, 闫全人, 李秋根, 张德惠, 王建国. 2006. 折多山花岗岩时代、成因及其动力学意义. 岩石学报, 22(2): 343~352.
- 刘文灿, 万晓樵, 梁定益, 李国彪, 周志广, 高德臻, 张祥信. 2004. 江孜县幅、亚东县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 444~450.
- 卢书炜, 张良, 杜凤军, 张彦启, 任建德, 刘品德. 2004. 尼玛区幅、热布喀幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 517~519.
- 路远发, 战明国, 陈开旭. 2000. 金沙江构造带嘎嘎雪山岩群玄武岩铀-铅同位素年龄. 中国区域地质, 19(2): 155~158.
- 骆耀南, 俞如龙. 2002. 西南三江地区造山演化过程及成矿时空分布. 地球学报, 23(5): 417~422.
- 马华东, 杨子江, 魏新昌, 李咸阳. 2004. 木孜塔格幅、鲸鱼湖幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 570~578.
- 莫宣学, 邓晋福, 董方测, 喻学惠, 王勇, 周肃, 杨伟光. 2001. 西南三江造山带火山岩-构造组合及其意义. 高校地质学报, 7(2): 121~138.
- 谭劲, 赵珊茸, 莫宣学, 邓晋福. 1997. 岩浆不混溶对岩石成分和结构的控制—川西乡城地区玻镁安山岩成岩特征探讨. 地球科学—中国地质大学学报, 22(2): 165~170.
- 曲永贵, 王永胜, 张树岐, 王忠恒, 吕鹏, 段建祥. 2004. 多巴区幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 492~497.
- 王国灿, 贾春兴, 朱云海, 向树元, 林启祥, 王青海, 安守文, 朱耀生. 2004. 阿拉克湖幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 549~563.
- 王立全, 潘桂棠, 李定谋, 须同瑞. 2000. 江达—维西陆缘火山弧的形成演化及成矿作用, 沉积地质与特提斯地质, 20(2): 2~17.
- 王永和, 校培喜, 张汉文, 孙南一, 李建星. 2004. 苏吾什杰幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 549~563.
- 王宗秀, 许志琴, 杨天南. 1997. 折多山花岗岩的成因和构造环境. 成都理工学院学报, 24(1): 48~55.
- 吴珍汉, 孟宪刚, 胡道功, 江万, 叶培盛, 朱大岗, 刘琦胜, 杨欣德, 邵兆刚, 吴中海. 2004. 当雄县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 484~491.
- 谢国刚, 邹爱建, 袁建芽, 李晓勇, 廖思平, 唐峰林, 黄传冠, 陈振华, 徐祖丰. 2004. 邦多区幅、措麦区幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 498~505.
- 徐强, 潘桂棠, 江新胜. 2003. 松潘—甘孜带:是弧前增生还是弧后消减? 矿物岩石, 23(2): 27~31.
- 闫全人, 王宗起, 刘树文, 李秋根, 张宏远, 王涛, 刘敦一, 石玉若, 简平, 王建国, 张德会, 赵建. 2005. 西南三江特提斯洋扩张与晚古生代东冈瓦纳裂解:来自甘孜蛇绿岩辉长岩的 SHRIMP 年代学证据. 科学通报, 50(2): 158~166.
- 杨宗让. 2002. 川西松潘—甘孜弧前盆地的形成与演化. 沉积地质与特提斯地质, 22(3): 53~59.
- 姚华舟, 段其发, 牛志军, 王建雄, 白云山, 甘金木, 魏君奇, 曾波

- 夫. 2004. 赤布张错幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 530~537.
- 伊海生, 林金辉, 黄继钧, 赵兵, 李葆华, 时志强. 2004. 乌兰乌拉湖幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 525~529.
- 张鸿翔, 刘丛强, 徐志方, 黄智龙. 扬子板块西缘早元古代俯冲体系的地球化学证据——有关变基性岩的微量元素地球化学研究. 2001. 矿物学报, 21(2): 231~238.
- 张旗, 钱青, 王焰, 徐平, 韩松, 贾秀琴. 1999. 扬子地块西南缘晚古生代基性岩浆岩的性质与古特提斯洋的演化. 岩石学报, 15(4): 576~583.
- 张旗, 张魁武, 李达周. 1992. 横断山地区铁镁—超铁镁质岩石, 北京: 科学出版社, 1~216.
- 张世红, 朱鸿, 孟小红. 2001. 扬子地块泥盆纪—石炭纪古地磁新结果及其古地理意义. 地质学报, 75(3): 303~313.
- 张岳桥, 陈文, 杨农. 2004. 川西鲜水河断裂带晚新生代剪切变形 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年及其构造意义, 中国科学 D 辑, 34(7): 613~621.
- 张之孟, 金蒙. 1979. 川西南乡城—得荣地区的两种混杂岩及其构造意义. 地质科学, (3): 205~213.
- 张振利, 田立富, 范永贵, 李广栋, 魏文通, 郭金城, 孙肖, 刘洪章. 2004. 萨嘎县幅、桑桑区幅、吉隆县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 427~432.
- 张振福, 魏荣珠, 王权, 王致山, 武俊高, 董挨管, 段春森, 魏云峰, 杨五宝. 2004. 叶亦克幅、黑石北湖幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 595~601.
- 郑来林, 廖光宇, 耿全如, 董翰, 孙志民, 楼雄英, 李生. 2004. 墨脱县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 458~461.
- 钟华明, 夏军, 童劲松, 鲁如魁, 李运怀, 徐生发. 2004. 洛扎县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 451~457.
- 钟大赉. 1998. 川滇西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社, 1~231.
- 朱杰, 刘早学, 杜远生, 田望学, 李金平, 王昌平. 2004. 拉孜县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 471~473.
- 朱同兴, 潘桂棠, 冯心涛, 邹光富, 李建忠. 2002. 藏南喜马拉雅北坡色龙地区二叠系基性火山岩的发现及其构造意义. 地质通报, 21(11): 717~722.
- 朱同兴, 周铭魁, 邹光富, 李建忠, 冯心涛, 庄忠海, 贾保江. 2004. 聂拉木县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 433~437.
- 朱迎堂, 郭通珍, 彭伟, 杨延兴, 陈海清, 史连昌, 王永文, 保光普, 陈建, 韩海臣. 2004. 可可西里湖幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5~6): 543~547.
- 周鼎武, 张成立, 刘良, 王居里, 王焰, 刘金平. 2000. 秦岭造山带及相邻地块元古代基性岩墙群研究综述及相关问题探讨. 岩石学报, 16(1): 22~28.
- Amy L Weislogel, Stephan A Graham, Edmund Z Chang, Hengshu Yang. 2006. Detrital zircon provenance of the Late Triassic Songpan—Ganzi complex: Sedimentary record of collision of the North and South China blocks. *Geology*, 34(2): 97~100.
- Arne D, Worley B, Wilson C, Chen S, Foster D, Luo Z, Liu S, Dirks P. 1997. Differential exhumation in response to episodic thrusting along the eastern margin of the Tibetan Plateau. *Tectonophysics*, 280: 239~256.
- Burchfiel B C, Chen Z, Liu Y, Royden L H. 1995. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, central China. *International Geology Review*, 37: 661~735.
- Chang E Z. 2000. Geology and tectonics of the Songpan—Ganze fold belt, southwestern China. *International Geology Review*, 42: 813~831.
- Dewey J F, Cande S, Pitman W C. 1989. Tectonic evolution of the India/Eurasia collision zone. *Eclogae Geol. Helv.*, 82: 717~734.
- Gu X X. 1994. Geochemical characteristics of the Triassic Tethys turbidites in northwestern Sichuan, China, Implications for provenance and interpretation of the tectonic setting. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58: 4615~4631.
- Harrowfield M J, Wilson C J L. 2000. Triassic orogenesis in southwest China, The structural origins of the northeast Tintan plateau. *Earth Science Frontiers*, 7: 293.
- Hsu K, Pan G, Sengor A M C. 1995. Tectonic evolution of the Tibetan Plateau, A working hypothesis based on the Archipelago model of orogenesis. *International Geology Review*, 37: 473~508.
- Huang M, Buick I S, Hou L. 2003. Tectonometamorphic Evolution of the Eastern Tibet Plateau, Evidence from the Central Songpan—Ganze Orogenic Belt, Western China. *Journal of Petrology*, 44: 55~278.
- Ingersoll R V, Dickinson W R, Graham S A. 2003. Remnant-ocean submarine fans; largest sedimentary systems on Earth. *Special Paper—Geological Society of America*, 370: 191~208.
- Leloup H, Lacassin R, Tapponnier R, Zhong D, Liu X, Zhang L, Jin S. 1995. Kinematics of Tertiary left-lateral shearing at the lithospheric scale in the Ailaoshan—Red River shear zone (Yunnan, China). *Tectonophysics*, 251: 3~84.
- Li Z, Cheng M, Guan S. 2000. Discussion on relationship between western margin of Yangtze block and southwestern Sanjiang region in the Proterozoic. *Earth Science Frontiers*, 7: 317~318.
- Li Z X, Li X H, Zhou H, Kinny P D. 2002. Grenvillian continental collision in South China, new SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia. *Geology*, 30: 163~166.
- Murphy M A, Yin A, Harrison T M, Durr S B, Chen Z, Ryerson F J, Kidd W S F, Wang X, Zhou X. 1997. Significant crustal shortening in south—central Tibet Prior to the Indo—Asian collision. *Geology*, 25: 719~722.
- Raschbacher L, Frisch W, Chen C, Pan G. 1996. Cenozoic deformation, rotation, and stress patterns in eastern Tibet and western Sichuan, China. In: Harrison T M. (Ed.), *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge University Press, 227~249.
- Ren J, Wang Z, Chen B, Jiang C, Niu N, Li J, Xie G, He Z, Liu Z. 1999. The tectonics of China from a global view. Beijing, Geological Publishing House, 1~32.
- Roger F, Malavieille J, Leloup P H. 2004. Timing of granite emplacement and cooling in the Songpan—Garze Fold Belt (eastern Tibetan Plateau) with tectonic implications. *Journal of Asian earth Sciences*, 22: 465~481.
- Roger F, Calassou S, Lancelot J, Malavieille J, Mattauer M, Xu Z Q, Hao Z W, Hou L W. 1995. The presently active sinistral Xianshui He strike-slip fault (XSH) is a lithospheric scale strike-slip fault in the eastern. *Earth and Planetary Science Letters*, 130: 201~216.
- Sengor A M C. 1984. The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia. *Geol. Soc. Am. Special Paper*, 195: 1~

- 82.
- Sengor A M C. 1987. Tectonics of the Tethysides, Orogenic collision development in a collisional setting. *Annual Review of Earth and Planet Sciences*, 15: 213~224.
- Shi X, Yin J, Jia C. 1996. Mesozoic to Cenozoic sequence stratigraphy and sea-level changes in the northern Himalaya, south Tibet, China. *Newsl. Stratigr.*, 33: 15~61.
- Tapponnier R, Peltzer G, Le Dain A Y, Armijo R, Cobbold P. 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia, New insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, 10: 611~616.
- Wang X, Metcalfe I, Jian P, He L, Wang C. 2000. The Jinshajiang—Ailaoshan suture zone, China. tectonostratigraphy, age and evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18: 675~690.
- Yan Q R, Wang Z Q, Liu S W, Li Q G, Zhang H Y, Wang T, Liu D Y, Shi Y R, Jian P, Wang J G, Zhang D H, Zhao J. 2005. Opening of the Tethys in southwest China and its significance to the breakup of East Gondwanaland in late Paleozoic: Evidence from SHRIMP U-Pb zircon analyses for the Garzê ophiolite block. *Chinese Science Bulletin*, 50: 256~264.
- Yan Q, Hanson A D, Wang Z, Druschke P A, Yan Z, Wang T, Liu D, Song B, Jian P, Zhou H, Jiang C. 2004. Neoproterozoic subduction and rifting on the northern margin of the Yangtze Plate, China, Implications for Rodinia reconstruction. *International Geology Review*, 46: 817~832.
- Yin A, Mark H T. 2000. Geologic evolution of the Himalayan—Tibetan orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28: 211~280.
- Zhou D, Graham S A. 1993. Songpan—Ganzi Triassic flysch complex as a remnant ocean basin along diachronous Qinling collisional orogen, central China. *Abstracts with Programs—Geological Society of America*, 25: 118.
- Zhou M F, Kennedy A K, Sun M, Malpas J, Leshner C M. 2002a. Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the northern margin of South China: Implications for the accretion of Rodinia. *Journal of Geology*, 110: 611~618.
- Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, Li Y, Ding J. 2002b. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 196: 51~67.

Eastern Margin of the Tibetan Plateau: A Window to Probe the Complex Geological History from the Proterozoic to the Cenozoic Revealed by SHRIMP Analyses

YAN Quanren ^{1, 2)}, WANG Zongqi ¹⁾, LIU Shuwen ³⁾, SHI Yuruo ²⁾, LI Qiugeng ¹⁾

YAN Zhen ¹⁾, WANG Tao ¹⁾, WANG Jianguo ⁴⁾, ZHANG Dehui ⁴⁾, ZHANG Hongyun ¹⁾

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*; 2) *Beijing SHRIMP Center, CAGS, Beijing, 100037*; 3) *School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing, China 100871*

4) *Chinese University of Geosciences, Beijing, China 100083*

Abstract

The eastern margin of the Tibetan plateau (EMTP) has been traditionally considered as an adjustment for absorbing the deformation caused by India—Asia collision. However, SHRIMP analyses showed that the EMTP has a complex geologic history. The oldest Precambrian basement in the EMTP formed in the Paleoproterozoic (2401~1912 Ma), was affected first by Mesoproterozoic tectonothermal events (1361~1040 Ma) and then by the strongly arc-related magmatic events in the Neoproterozoic (791~817 Ma). The basement of the Songpan—Ganzi block is of affinity with oceanic crust derived from the Neoproterozoic rifting (681~655 Ma), and by which the Precambrian blocks in the EMTP might be split off from the basement of the Yangtze block and / or the Tibetan plateau. Those blocks assembled with and then were disintegrated from the east Gondwanaland and finally involved in the Tethys evolution in the EMTP. Tethys in eastern Tibet opened in the Carboniferous to the early Permian (328~292 Ma) followed with breakup of the east Gondwanaland, and then closed in the early Mesozoic by arc-continent collision (224~213 Ma). Significant magmatism occurred in the middle Jurassic (175 Ma) in this area, but its dynamics still remains unclear. The timing of magmatism at the beginning of the late Cretaceous (97 Ma) might represent the initial subduction of India. Cenozoic magmatism in the EMTP (18 Ma) was related to syntaxis caused by large-scale strike-slip faulting.

Key words: SHRIMP analyses; complex geology; eastern margin of the Tibetan plateau