

西藏冈底斯当惹雍错—许如错南北向地堑的特征及成因

曹圣华^{1,2}, 李德威^{3*}, 余忠珍², 徐祖丰², 唐峰林²

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 江西省地质调查研究院, 江西南昌 330030

3. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

摘要: 当惹雍错—许如错南北向地堑位于青藏高原冈底斯中部, 由一组南北向高角度正断层与夹其中间的当穹错、当惹雍错、许如错等3个湖泊盆地构成。地堑发育于中新世晚期, 一直活动到全新世。沿着地堑边缘分布中新世碱性火山岩。石榴石响岩的K-Ar年龄为12.6 Ma, 其岩石化学特征显示出陆内伸展构造环境。地堑内部发育晚更新世至全新世的湖相沉积物。当惹雍错—许如错地堑是在青藏高原板内构造隆升过程中, 层流加厚的下地壳热垫作用导致上地壳发生伸展作用, 随着青藏高原地壳物质的东流, 南北向伸展作用转向东西向伸展作用, 形成近南北走向的地堑。

关键词: 南北向地堑; 构造地质; 晚新生代; 当惹雍错—许如错; 青藏高原。

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2009)06-0914-07

收稿日期: 2008-09-12

Characteristics and Mechanism of the Dangra Yun Co and Xuru Co NS-Trending Graben in the Gangdese, Tibet

CAO Sheng-hua^{1,2}, LI De-wei^{3*}, YU Zhong-zhen², XU Zu-feng², TANG Feng-lin²

1. Faculty of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Jiangxi Institute of Geological Survey, Jiangxi 330030, China

3. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The Dangra Yun Co and Xuru Co NS-trending graben located at central section of the Gangdese, is controlled by NS-trending high-angle normal faults and consists of the Dangqung Co, Dangra Yun Co and Xuru Co. Miocene alkali volcanic rock distributed along the graben indicates an intraplate extensional tectonic environment by its petrochemical and geochemical analyses. A 12.6 Ma age is determined for leucite phonolite by the K-Ar method, and it is found that graben occurred at the late time of Miocene (about 13 Ma), and remained active until Holocene. There are Middle Pliocene to Holocene lacustrine deposits in the graben. The Dangra Yun Co and Xuru Co graben, as well as other NS-trending grabens, is the results of extension of upper crust driven by the thermal underplating of the lower crust flowing and thickening. S-N extension became E-W extension with the change of flow direction in the lower crust.

Key words: NS-trending graben; structural geology; Late Cenozoic; Dangra Yun Co and Xuru Co; the Qinghai-Tibet plateau.

南北向地堑是青藏高原地壳晚新生代最显著的构造形式之一, 记录了高原隆升的大量信息。近20年来, 不同学者从不同角度对青藏高原伸展构造作了大量的研究, 发现了近东西走向多种类型的伸展构造和近南北向伸展构造(Burg and Chen, 1984;

Armijo *et al.*, 1986; Burchfiel *et al.*, 1992; 李德威, 1992, 2003; Blisniuk *et al.*, 2001; 李德威等, 2003; 张进江和丁林, 2003; 李才等, 2005; 李亚林等, 2005)。近南北走向的地堑主要集中在青藏高原南部, 从东到西有谷露—羊八井地堑、申扎—定结地

基金项目: 国家重大基础研究前期研究专项(No. 2005CCA05600); 国家自然科学基金项目(No. 40572113); 中国地质调查局项目(No. 20001300000141)。

作者简介: 曹圣华(1967—), 男, 高级工程师, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事区域地质、矿产调查及研究工作。

* 通讯作者: 李德威, E-mail: dewei89@sina.com

堑、当惹雍错—许如错地堑及扎布耶茶卡—塔若错—杰萨错—佩枯错地堑等, 它们切割和改造了近东西向伸展构造, 呈现有规律的组合, 近等间距分布, 向喜马拉雅弧顶收敛。

一般认为, 青藏高原是由南北向的板块汇聚、碰撞造山作用形成的。在这种挤压背景下, 如何形成广泛发育的伸展构造, 本身就是当代构造地质学和大地构造学中一个十分重要的科学问题, 同时涉及如下科学问题: 新生代青藏高原垂向上是整体伸展还是上地壳伸展、下地壳挤压? 横向上是整体挤压还是内部伸展、边缘挤压? 为什么出现近东西向和近南北向两组近直交的伸展构造体系? 为什么从南北向伸展转向东西向伸展? 厚壳伸展构造的形成机制是重力垮塌、通道流动(channel flow)、拆沉作用、楔状挤出、水平挤压应力的变形分解还是层流加厚下地壳的热垫作用? 为什么伸展构造控制岩浆活动、地震活动、成矿作用和热水活动? 南北向地堑的东西向伸展作用对青藏高原隆升高度、幅度、速率及地壳厚度变化有什么影响?

本文在详细的野外地质调查的基础上, 结合室内研究, 论述冈底斯中段当惹雍错—许如错新近纪—第四纪南北向地堑的沉积作用、火山岩浆活动、构造变形和形成时代, 并从大陆动力学的角度探讨南北向地堑的形成机制。

1 青藏高原南部不同方向的伸展构造

青藏高原板内伸展构造按其延伸方向可分为两类, 即近 EW 走向的伸展构造和近 SN 走向的伸展构造(图 1a)。近 EW 走向伸展构造有多种类型, 高角度正断层和大型低角度正断层有规律地组合。在青藏高原南部有藏南拆离系(Burg and Chen, 1984; Burchfiel *et al.*, 1992; 李德威, 1992)、高喜马拉雅变质核杂岩、拉轨岗日链状热隆伸展—变质核杂岩带、雅鲁藏布江地堑等伸展构造型式(李德威, 1992)。其形成时代为中新世早期, 峰期年龄在 20~15 Ma, 与喜马拉雅造山带南缘逆冲断层系同步发展。

EW 向伸展则形成走向近 SN 的地堑。SN 向地堑发育于北喜马拉雅、冈底斯和南羌塘, 从东向西主要有 NE-SW 向墨竹工卡—曲水地堑、NNE-SSW 向谷露—羊八井地堑、近 SN 向申扎—一定结地堑和当惹雍错—许如错地堑、NNW-SSE 向扎布耶茶卡—塔若错—杰萨错—佩枯错地堑、NW-SE 向革吉—

拉昂错—普兰地堑、仓木错—森里错地堑和阿果错—当却藏布地堑。SN 向伸展构造具有以下特点: (1)地貌上表现为走向近 SN 的负地形带, 受高角度边界正断层控制, 延伸长度数百公里, 宽度一般为数百公里, 深度为数十到数百米, 狭长的地堑切割了 EW 走向的山系; (2)地堑对高原现代湖泊和水系展布具有显著控制作用; (3)构成不同级次、不同方向的地堑组合, 谷露—羊八井、申扎—一定结、当惹雍错—许如错、扎布耶茶卡—塔若错—杰萨错—佩枯错等主地堑的等间距分布, 距离约 200 km, 所有的地堑都向喜马拉雅弧顶收敛, 向北撒开; (4)地堑带是青藏高原浅源地震和热泉集中分布的地带; (5)内部发育第四系沉积, 有些地堑出现新近纪火山—岩浆岩, 如当惹雍错—许如错地堑中发育白榴石响岩; (6)形成时代主要为晚中新世以后, 切割、改造了近 EW 走向的伸展构造。

2 当惹雍错—许如错地堑的地质特征

2.1 地堑的基本特征

当惹雍错—许如错 SN 向地堑主体由当穹错、当惹雍错和许如错 3 个湖泊盆地构成, 向南与北喜马拉雅的定日地堑相接, 向北延至以北羌塘中北部绒马地区(张进江和丁林, 2003), 全长约 700 km, 当穹错—当惹雍错—许如错处于整个地堑系的中段, 发育最完整, 结构最典型, 在本研究区内长约 190 km, 东西的宽度较大变化, 在 6.25~25.0 km 之间(图 1)。

区域上以元古界念青唐古拉岩群片岩、片麻岩和混合岩为基底。研究区自下而上主要出露了上古生界石炭—二叠系盖层, 为较稳定的浅海碳酸盐岩及碎屑岩建造; 中生界侏罗—白垩系以夹有中基性火山岩的海陆交互沉积为主; 新生代岩浆活动和火山作用强烈, 由林子宗群火山岩系和喜山期岩浆岩构成了冈底斯火山—岩浆弧带的主体; 中新世碱性火山岩出露在地堑两侧, 更新世和全新世沉积物分布在地堑内部。

2.2 地堑的沉积特征

地堑内以第四纪河湖相沉积物为主, 从两侧向中心, 地层由老至新; 由磨拉石堆积至湖积至现代湖积、辫状河流沉积演化, 显示了其从拉张形成至现代沉积不断萎缩的过程(徐祖丰等, 2006)。许如错东侧第四系沉积物剖面自下而上为(图 2):

(1)中更新世湖相沉积层; 构成 VI—VI 级阶地,

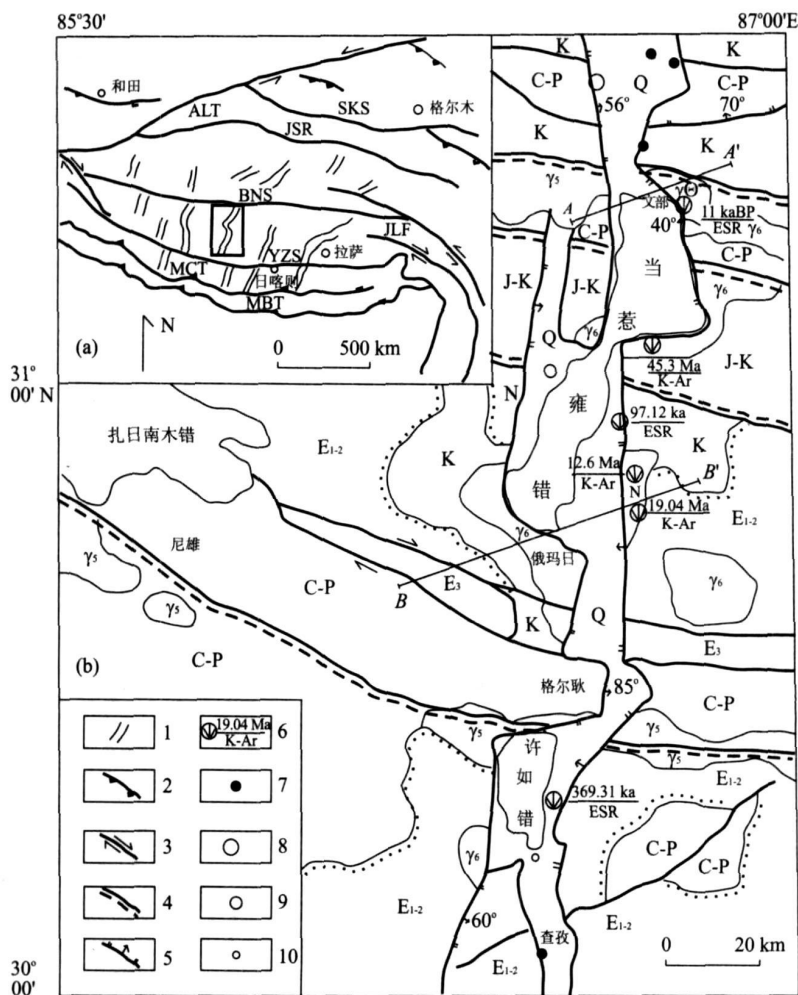


图 1 西藏冈底斯中部当惹雍错—许如错南北向地堑略图

Fig. 1 The geological map of Dangra Yun Co and Xuru Co NS-trending graben

1. 地堑; 2. 逆冲断裂; 3. 走滑断裂; 4. 韧性剪切带; 5. 正断层; 6. 同位素年龄值; 7. $M_s = 6.7 \sim 6.9$ 级地震震中; 8. $M_s = 5.7 \sim 5.9$ 级地震震中; 9. $M_s = 4.7 \sim 4.9$ 级地震震中; 10. 温泉或热泉; Q. 第四系; N. 中新世碱性火山岩; E_{1-2} . 林子宗群火山岩系; K-J. 侏罗—白垩系碎屑岩、碳酸盐岩夹火山岩; C-P. 石炭—二叠系; γ_5 . 燕山期二长花岗岩; γ_6 . 燕山期花岗闪长岩; ALT. 阿尔金断裂; SKS. 昆仑断裂; JSR. 金沙江缝合带; JLF. 鲜水河断裂; BNS. 班公湖—怒江缝合带; YZS. 雅鲁藏布江缝合带; MCT. 主中央逆冲断裂带; MBT. 主边界逆冲断裂带(图 1a 引自李亚林等, 2005)

分别高出湖面 110 m 和 127 m。堆积物主要由砾石组成, 夹有少量的砂层或透镜状砂体, 分层性较明显, 层面向湖心倾斜, 倾角为 $25^\circ \sim 30^\circ$, 厚 4~5 m。

(2)晚更新世湖积层: 厚约 32 m, 堆积物主要由滨湖相砂层、砾石层组成, 构成 III—V 级湖积阶地, 分别高出湖面 42 m、61 m 和 90 m。

(3)全新世湖积层总厚度 > 5 m, 发育两级阶地, 其中 II 级阶地高出湖面约 31 m, 由砂砾石组成。I 级阶地高出湖面约 5 m, 由砂层、砂砾层组成。

据前人资料, 当穹错—当惹雍错—许如错活动带内有 2 处 6.0~6.9 级地震, 5 处 4.7~5.9 级地震(西藏自治区地质矿产局区域地质调查大队,

1983.1 : 100 万区域地质调查报告(日喀则幅 H-45、亚东幅 G-45)); 在格尔耿、查孜等地还有地热、温泉显示, 反映了本区自中更新世以来新构造运动有不断加剧的趋势。

2.3 地堑的火山岩特征

当惹雍错—许如错地堑内晚新生代岩浆活动强烈, 形成了 SN 向火山喷发带, 由中新世鱼鳞山组碱性火山岩构成。火山岩岩石类型有白榴石碱玄质响岩、含霓辉石粗面岩、含方沸石白榴石碱性粗面岩、白榴石橄榄石玄粗岩(钾玄岩)、碱玄岩、粗安岩、安山岩、流纹质晶屑凝灰岩、粗面质角砾岩、粗面质玻屑凝灰岩等, 形成岩相以喷溢相为主, 其次为爆发

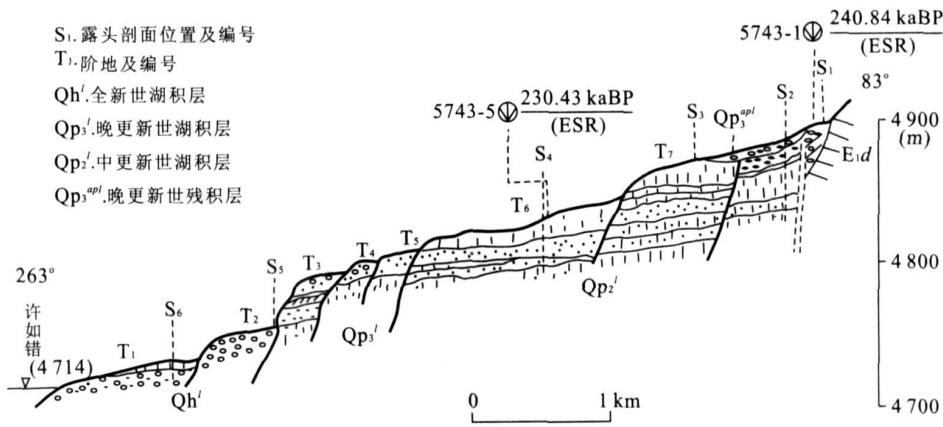


图 2 许如错东堂波第四纪中更新世—全新世湖积物实测地层剖面

Fig. 2 Stratigraphic section of the Middle Pleistocene on the east of Xuru Co

相. 火山岩呈似层状分布. 获得白榴石响岩的 K-Ar 年龄为 12.6 Ma.

当惹雍错—许如错伸展构造体系中出露的中新世碱性钾质火山岩是青藏高原南部板内构造隆升的重要标志之一. 岩石化学 SiO_2 含量为 46.48% ~ 56.76%, 平均为 55.3%; Na_2O 含量为 2.20% ~ 3.96%, 平均为 2.96%; K_2O 含量为 2.30% ~ 8.23%, 平均为 5.65; K_2O/Na_2O 值为 0.71 ~ 4.74, 平均为 2.09. 岩石里特曼指数 δ 大于 4, 为 6.55 ~ 8.68. 在 SiO_2-K_2O 相关图解中显示属钾玄岩系列. 稀土总量为 $(103.62 \sim 848.74) \times 10^{-6}$, 平均为 522.8×10^{-6} , 轻重稀土比值为 2.57 ~ 22.05, 平均为 11.29, $(Ce/Yb)_N$ 值为 2.95 ~ 84.28, α_{Eu} 值为 0.60 ~ 0.97. 其稀土配分曲线形式呈右倾型, Eu 轻度亏损. 岩石化学图解亦显示出板内环境特征(廖思平等, 2002). 岩石化学特征反映当惹雍错—许如错地堑内碱性火山岩和侵入岩的形成与新特提斯古俯冲带无直接联系, 岩浆主要来源于下地壳, 岩浆活动受新近纪南北向活动断裂控制. 其机理大致为, 青藏高原南部地壳显著加厚改变了地壳热结构和热状态, 致使地壳深部岩石热软化和部分熔融, 地壳深部低密度物质上升导致上地壳伸展裂陷, 活动的张性断层系统有利于火山岩浆活动. 因此, 地堑两侧碱性火山岩可能是中新世地堑形成初期伸展构造作用的产物.

3 伸展构造的几何学和运动学分析

当惹雍错—许如错地堑两侧近 SN 向断块山和断裂均很发育, 它们共同构成了本区对称一半对称

型地堑剖面(图 3).

3.1 几何学特征

在 EW 向伸展构造作用下形成的 SN 向地堑, 在其形成过程中, 明显受基底 EW 向区域性继承断裂的控制, 形成隆拗相间的构造格局. 地堑两侧的岩体、地层构造线基本上可以拼接(图 3). 地堑亦具有明显的对称双断结构, 地堑两侧的高角度正断层相向倾斜, 不同地段形成的地堑剖面、构造地貌略有差异, 当惹雍错南端地堑两侧台阶状正断层发育(图 3b).

当惹雍错—许如错地堑北段正断层切割侏罗—白垩纪地层和燕山期花岗岩. 地貌以当惹雍错北东部的文部断块山为代表: 平均海拔 5 800 m, 相对高度 $> 1 000$ m; 山体走向近 SN, EW 坡宽度极不对称, 东坡与西坡比约 1 : 4. 西坡的坡度角达 $35^\circ \sim 45^\circ$, 多发育断层崖、断层三角面, 山边线明显, 湖岸线狭窄; 东坡和缓, 坡度仅 $5^\circ \sim 8^\circ$ 左右, 山地与盆地间无明显界线.

南段林子宗群火山岩系和喜山期岩浆岩被正断层切割成掀斜断块, 中新世鱼鳞山组碱性火山岩沿南北向断裂喷发不整合于掀斜断块之上. 地貌以地堑西侧的俄玛日—格尔耿地垒山为代表: 山体走向近南北, 长约 60 km, 海拔一般为 6 000 m, 最高 6 466 m(俄玛日). 山体东西基本对称, 均为近 SN 向活动断裂所限. 东坡新断裂活动较强烈, 断面呈阶地状, 发育断层崖、断层三角面, 局部露头可见断裂面; 盆地面较低(4 590 m), 与山顶高差为 1 400 ~ 1 700 m; 盆地宽且堆积物厚度大. 西坡断裂活动迹象明显, 由其控制的洪积扇发育, 盆地面高于东侧近百米, 与山顶高差为 1 300 ~ 1 500 m.

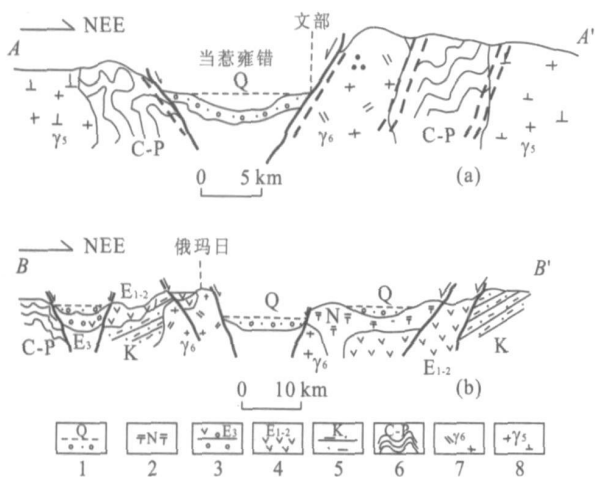


图 3 当惹雍错—许如错地堑剖面(位置见图 1)

Fig. 3 Structural section of Dangra Yun Co and Xuru Co graben

- 1. 第四纪中更新世—全新世湖积层; 2. 中新世碱性火山岩; 3. 渐新世沉积—火山岩系; 4. 林子宗群火山岩系; 5. 白垩系碎屑岩; 6. 石炭—二叠系浅变质岩系; 7. 燕山期花岗岩; 8. 喜山期花岗岩

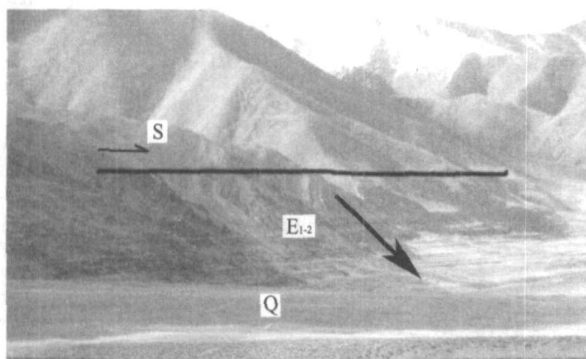


图 4 当惹雍错东岸断层崖和断层三角面

Fig. 4 Fault scarps and triangular facets on the eastern Dangra Yun Co

3.2 南北向断裂运动学特征

当惹雍错—许如错地堑为伸展体制下在正断层基础上发展演化形成, 且正断层形成演化贯穿于地堑演化的全过程. 本区东西两侧南北向正断裂发育, 形迹清晰(图 4), 由不同走向段落组成, 整体形态呈“之”字形, 剖面产状和构造组合表明, SN 走向伸展构造为典型的伸展断层. 现以地堑东缘断裂为例将其运动学特点叙述如下.

当惹雍错—许如错地堑东缘断裂呈 SN 向展布于当雄、文部、查孜一线, 断裂面向西倾斜, 倾角约 $40^{\circ} \sim 85^{\circ}$, 断裂剖面表现为正断层性质. 该断裂在文部一带发育清晰的断层三角面, 断裂下盘的花岗岩已强烈硅化, 形成具硅化隐晶结构的灰白色硅化岩, 仅见局部残留原岩, 残留部分已变成不规则团状白

云母、绢云母集合体. 硅化石英形成于两个阶段, 早阶段石英为犬齿状, 颗粒粗大, 长径 $3 \sim 6 \text{ mm}$; 晚阶段石英为碎裂重结晶产物, 属早阶段石英破碎重结晶而成(约占 10%), 犬齿状结构, 无定向构造. 硅化岩在地貌上呈 NW—SE 向延伸, 于山嘴处形成断层三角面, 表面光滑. 断裂附近基岩见发育两期节理, 早期为二组非透入性节理面平直, 将岩石切割成菱形块体. 晚期为透入性共轭剪切节理, 产状分别为 $25^{\circ} \angle 60^{\circ}$ 、 $360^{\circ} \angle 60^{\circ}$.

断层上盘为第四纪湖积砾石层, 受后期构造影响, 靠近基岩约 5 m 附近的砾石层沿断层三角面往下滑塌(垂直落差约 20 m), 砾石碎裂, 呈棱角—尖棱角状. 测得断层三角面总体产状为 $\text{SW}240^{\circ} \angle 60^{\circ}$, 断层三角面上常见磨光镜面、擦痕和阶步, 擦痕侧伏角近 90° , 显示正断层性质. 垂直位移量一般为数百米, 地堑强烈活动部位可达公里级.

4 地堑的形成时代与成因

4.1 地堑的形成时代

当惹雍错—许如错地堑的边界断层均为脆性断层, 而很新的脆性构造岩难以定年, 笔者对当惹雍错—许如错地堑中沉积物和火山岩进行定年, 其结果和其他相关地堑的年龄资料见表 1. 近南北向地堑的活动时间对于认识青藏高原的形成和演化具有重要意义. 近年来不同学者用不同方法对青藏高原近南北向地堑的活动时间进行了研究, 得到的年代学数据一般在 $14.0 \sim 1.5 \text{ Ma}$ 之间(Blisniuk *et al.*, 2001; 吴珍汉等, 2002; 李亚林等, 2005). 由于近 SN 走向的地堑普遍切割了近 EW 走向的伸展构造形迹, 青藏高原近 SN 走向的伸展构造应当晚于近 EW 走向的伸展构造. 综合分析地质学和年代学资料, 初步认为, 近 SN 走向的地堑最初发育于 $13 \sim 12 \text{ Ma}$, 可能在 $8 \sim 7 \text{ Ma}$ 形成地堑结构, 更新世全面发展, 地堑陷盆地广泛接受沉积, 全新世继续强烈活动.

4.2 地堑的形成机制

青藏高原近 SN 向伸展构造在冈底斯最发育, 延伸到北喜马拉雅山和南羌塘, 向弧形喜马拉雅山系的弧顶收敛, 以地壳浅层次高角度脆性正断层组合为主, 影响到地壳深部的热活动, 局部出现板内伸展环境的碱性钾质火山岩, 切割了所有的特提斯构造形迹, 改造了青藏高原南部中新世早期形成的近东西向伸展构造, 这些现象用板块俯冲和碰撞的模

表 1 青藏高原地堑沉积物与断层年代学数据

Table 1 The sedimentary and faults ages of grabens in the Qinghai-Tibet plateau

分布位置	测试对象	测试方法	年龄值	资料来源
当惹雍错—许如错地堑	全新世沉积物	铀系等时线	11.4 ± 1.2 kaBP	本次研究
	中更新世沉积物	铀系等时线	369.31 kaBP	
查藏错—申扎裂陷带	石榴石碱玄质响岩	K-Ar 法	12.6 Ma	李才等, 2005
	沉积物	铀系等时线	130.0 kaBP	
羊八井地堑	断隆带花岗岩	热年代学	8.0 ~ 6.8 Ma	吴珍汉等, 2002
	断层带方解石脉	ESR	1.5 ~ 1.9 Ma	
双湖地堑	断层带内热液云母	Rb-Sr 法	13.5 Ma	Blisniuk <i>et al.</i> , 2001
温泉地堑	断层带方解石脉	ESR	9.3 ~ 3.7 Ma	李亚林等, 2005

式都无法解释。

对于近 SN 向地堑及其伸展构造的成因, 不同学者提出了多种不同的模式, 主要有重力垮塌、拆沉作用通道流动(channel flow)及楔状挤出、SN 向水平挤压下的变形分解和层流加厚下地壳热垫作用(李德威和庄育勋, 2006)。青藏高原腹部在中新世早期广泛存在超级古大湖, 青藏高原北部、中部和南部都存在中新世晚期三趾马动物群化石, 说明青藏高原强烈整体隆升和地壳加厚发生在中新世以后, 3.6 Ma 的青藏运动具有重要贡献。那么在重力作用下发生伸展垮塌为什么出现在地壳大规模加厚之前, 为什么有 EW 向和 SN 向的垮塌? 重力垮塌的持续时间为什么这么长? 拆沉模型实际上是地壳深部的重力不稳定性导致的重力垮塌, 很难理解地壳真正的加厚作用还没开始怎么就已经发生了拆沉作用, 地球物理资料上也找不到下地壳物质通过哪个断离面掉到地幔深处, 中新世以来的拆沉作用没有造成地壳减薄反而加厚, 岩浆以壳源为主而不是幔源为主。南北向挤压作用力的边界在哪里? 挤压作用的时间与地堑伸展的时间如何配套? 至于通道流动(channel flow)及楔状挤出模式, 是解释平行喜马拉雅造山带的逆冲断层和拆离断层的, 没有涉及到近南北向地堑。

青藏高原板内伸展构造可能是层流加厚的下地壳热垫作用的产物(李德威, 1995, 2003)。在印度洋板块作用的背景下, 中新世早期恒河盆地中央部位的莫霍面受地幔上隆的影响而上凸, 地壳底部因底侵作用而发生壳幔反应和部分熔融, 引起下地壳物质软化, 并沿着向喜马拉雅倾斜的莫霍面向北流动。低粘度热软化物质持续流向青藏高原, 下地壳巨量增厚, 发生部分熔融, 与埃达质花岗岩浆上升有关的热垫作用向上顶托中上地壳, 诱发垂向主应力, 导致中、上地壳热隆伸展, 派生近南北向水平应力, 形成

近 EW 走向的低角度伸展构造系统(如变质核杂岩和拆离断层)和高角度伸展构造系统(如裂陷盆地、堑垒构造组合、裂陷湖盆等), 与此同时, 造山带核部地壳深源物质的大量注入加大了盆山之间的地势差, 导致盆山过渡带在山体侧向扩展和挤压背景下形成叠瓦状倾向腹陆式逆冲断层, 形成中上地壳尺度的伸缩转换。到中新世晚期, 青藏高原下地壳物质聚集到一定程度, 从青藏高原以南流入的物源导致隆升加厚的地壳向北边和东部推进, 由于北边和东部有已冷却硬化的塔里木盆地和四川盆地的阻挡, 青藏高原大部分剩余物质通过三大盆地之间的 3 个构造结向外流散, 另一部分通过盆山过渡带的逆冲断层和褶皱吸收, 地势低的四川盆地是青藏高原物质东流场所, 在后缘发生近 SN 走向的伸展构造, 加上东、西构造结地壳物质流散的共同作用, 在青藏高原中南部产生向喜马拉雅山弧顶收敛、向北发散的扇状地堑组合。

5 讨论与结论

(1) 当惹雍错—许如错 SN 向地堑位于青藏高原冈底斯山脉中段, 由一组近 SN 向正断层阶梯状断陷及其中间的 3 个湖泊盆地构成, 以边界为高角度正断层、内部发育第四系沉积并出现新近纪火山—岩浆岩(如石榴石响岩)为特征。

(2) SN 向地堑的分布范围、形成时代与形成机制长期以来一直是青藏高原研究的热点问题, 过去的研究重点是羊八井—亚东地堑、定结—申扎地堑和温泉地堑等; 而位于青藏高原中西部的当惹雍错—许如错、聂拉木—隆格尔等地堑则研究程度偏低。笔者初步认为, 本地堑内中新世碱性火山—岩浆活动受 SN 向伸展断裂控制, 地堑形成时代可能要早于其东部的地堑(13 ~ 7 Ma); 地堑是青藏高原近

SN 向挤压应力的变形分解产生的 EW 向伸展构造作用的产物,其地球动力学背景可能是在青藏高原晚新生代的板内隆升过程中,由下地壳层流热垫作用引起盆山作用和圈层耦合背景下形成的,与青藏高原隆升的大陆动力学过程密切相关。

References

- Armijo, R., Mercier, P., Tapponnier, J. L., et al., 1986. Quaternary extension in southern Tibet: Field observations and tectonic implications. *J. Geophys. Res.*, 91 (B14): 13803—13872.
- Blisniuk, P. M., Hacker, B. R., Glodny, J., et al., 2001. Normal faulting in central Tibet since at least 13.5 Myr ago. *Nature*, 412(6847): 628—632.
- Burchfiel, B. C., Chen, Z. L., Hodges, K. V., et al., 1992. The South Tibetan detachment system, Himalayan orogen: Extension contemporaneous with and parallel to shortening in a collisional mountain belt. *Geological Society of America, Special paper*, 1—51.
- Burg, J. P., Chen, G. M., 1984. Tectonics and structural zonation of southern Tibet, China. *Nature*, 311(5983): 219—223.
- Li, C., Zhai, Q. G., Xu, F., et al., 2005. Kinematics of the active north-south-trending Chazang Co-Xainza tectonic belt, Xizang (Tibet). *Geological Review*, 51(4): 353—359 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 1992. On tectonic asymmetrical evolution of the Himalayan orogenic belt. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 17(5): 539—545 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 1995. On continental tectonics and its dynamics. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 20(1): 19—26 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 2003. A new model for uplifting mechanism of Qinghai-Tibet plateau. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(6): 593—600 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., Liu, D. M., Liao, Q. A., et al., 2003. Definition and significance of the Lhagoi Kangri metamorphic core complexes in Sa'gya, southern Tibet. *Geological Bulletin of China*, 22(5): 303—307 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., Zhuang, Y. X., 2006. Scientific problems of continental dynamics in the Qinghai-Tibet plateau. *Geological Science and Technology Information*, 25(2): 1—10, 18 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. L., Wang, C. S., Yi, H. S., et al., 2005. A discussion on several problems regarding to the Cenozoic grabens in the Qinghai-Tibet plateau. *Geological Review*, 51(5): 493—501 (in Chinese with English abstract).
- Liao, S. P., Chen, Z. H., Luo, X. C., et al., 2002. Discovery of leucite phonolite in the Tangra Yumco area, Tibet and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 735—738 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Z. H., Jiang, W., Wu, Z. H., et al., 2002. Dating of typical basin and range tectonic in central Tibetan plateau. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(4): 289—294 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. F., Liu, X. Y., Luo, X. C., et al., 2006. Basic characteristic of the Neogene—Quaternary graben in the Tangqung Co Xuru Co area, Gangdise, Qinghai-Tibet plateau. *Geological Bulletin of China*, 25(7): 822—826 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. J., Ding, L., 2003. East-west extension in Tibetan plateau and its significance to tectonic evolution. *Chinese Journal of Geology*, 38(2): 179—189 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 李才, 翟庆国, 徐锋, 等, 2005. 西藏查藏错—申扎南北向活动构造带运动学特点. *地质论评*, 51(4): 353—359.
- 李德威, 1992. 喜马拉雅造山带的构造不对称演化. *地球科学——中国地质大学学报*, 17(5): 539—545.
- 李德威, 1995. 再论大陆构造与动力学. *地球科学——中国地质大学学报*, 20(1): 19—26.
- 李德威, 2003. 青藏高原隆升机制新模式. *地球科学——中国地质大学学报*, 28(6): 593—600.
- 李德威, 刘德民, 廖群安, 等, 2003. 藏南萨迦拉轨岗日变质核杂岩的厘定及其成因. *地质通报*, 22(5): 303—307.
- 李德威, 庄育勋, 2006. 青藏高原大陆动力学的科学问题. *地质科技情报*, 25(2): 1—10, 18.
- 李亚林, 王成善, 伊海生, 等, 2005. 青藏高原新生代地堑构造研究中几个问题的讨论. *地质论评*, 51(5): 493—501.
- 廖思平, 陈振华, 罗小川, 等, 2002. 西藏当惹雍错地区白榴石响岩的发现及地质意义. *地质通报*, 21(11): 735—738.
- 吴珍汉, 江万, 吴中海, 等, 2002. 青藏高原腹地典型盆—山构造形成时代. *地球学报*, 23(4): 289—294.
- 徐祖丰, 刘细元, 罗小川, 等, 2006. 青藏高原冈底斯当穹错—许如错一带新近纪—第四纪地堑的基本特征. *地质通报*, 25(7): 822—826.
- 张进江, 丁林, 2003. 青藏高原东西向伸展及其地质意义. *地质科学*, 38(2): 179—189.