

贝加尔裂谷带中部的新构造特征 及其成因分析^①

黄周传, 邹付戈, 盛玲, 朱国荣, 张庆龙

(南京大学地球科学系, 江苏南京 210093)

摘要:位于贝加尔裂谷带中部的滨奥里洪地区主要包括 3 个大地构造单元:西部滨海山脉、滨奥里洪高原和小海地堑。笔者着重对该地区中新世以来的新构造活动特征,特别是对第四纪夷平面的变化、断层的发育、河流的变迁、河流阶地的发育等进行了研究,表明该地区在中新世以来具有强烈的拉张运动与升降运动特征,是贝加尔裂谷带新构造运动表现最强烈的地区。新生代贝加尔裂谷带的发育受印度板块—欧亚板块碰撞、西太平洋俯冲引起弧后扩张作用的影响;中部滨奥里洪地区受到 NW—SE 向拉张作用,发育了强烈的新构造。

关键词:发育机制;新构造运动;滨奥里洪地区;贝加尔裂谷带;俄罗斯

中图分类号:P546

文献标识码:A

贝加尔裂谷带(图 1)位于亚洲的中部,地处北纬 50°~58°,东经 100°~120°之间。裂谷带全长 1600 多 km,宽 60~250 km。裂谷带区域构造涉及西伯利亚板块(Sibarian)、外贝加尔(Transbaikial)板块和东萨彦(East Sayan)、蒙古(Mongolia)微板块,主要沿西伯利亚板块与外贝加尔板块交界处延伸^[1-2]。贝加尔裂谷与东非裂谷、莱茵河裂谷和美国西部盆岭省齐名,均是大陆岩石圈重要的引张构造部位,处于“威尔逊旋回”萌芽阶段^[1],地壳及岩石圈减薄,地表张裂,形成大规模地堑,同时沿断裂带有火山活动。

滨奥里洪地区(Olchon Region)位于贝加尔湖中部西岸,南起巴布里介依卡村(БУГУЗЬЛЕЙКА),向北延伸直至东北方向的科学院山脊(Academician Ridge),由西部滨海山脉(Primorsky ridge)、滨奥里洪高原(Olchon Plateau)和小海地堑(Maloye More)三个构造—地貌单元组成(图 2),这三个构造单元间分别以滨海断裂(Primorsky Fault)和小海断裂(Maloye More Fault)为界。

研究区出露的岩石多为太古代和元古代的片岩、片麻岩、大理岩等变质岩类。太古代岩石多遭受了角闪岩相至麻粒岩相的深变质作用。元古代岩石主要分布在滨海山脉,遭受绿片岩相变质作用,并发现有糜棱岩。

① 收稿日期:2007-04-02

第一作者简介:黄周传(1982~),男,硕士研究生,构造地质学。

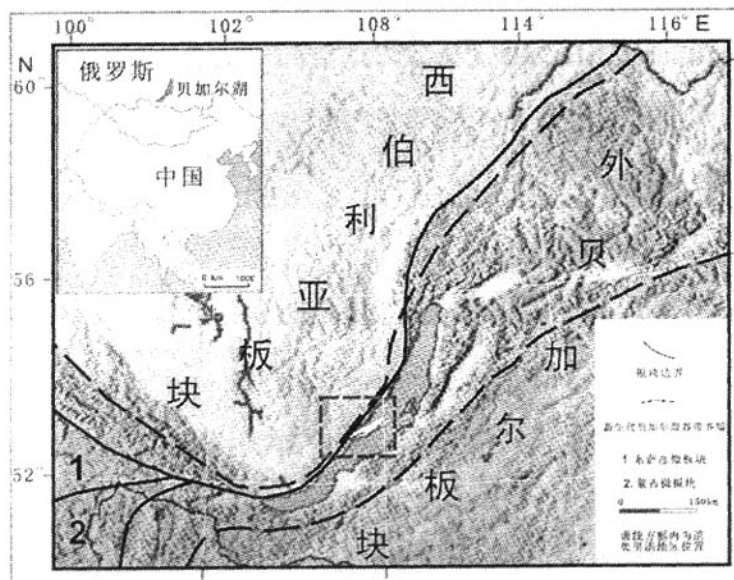


图1 贝加尔裂谷带的大地构造位置及区域构造概要(据文献^[1-2]修改)

Fig.1 Location of Baikal Rift Zone and its structure (after references^[1-2])

1 滨奥里洪地区新构造运动特征

滨奥里洪地区是贝加尔湖地区新构造特征最显著的地区。新生代以来,滨奥里洪地区在白垩纪—古近纪夷平面的基础上,发育了一系列特征明显的新构造。

1.1 白垩纪—古近纪夷平面

白垩纪—古近纪的风化壳在整个滨奥里洪地区都有出露。现今保存的古风化壳有线状和面状两种形式,线状风化壳常沿断裂分布。风化壳包括有含铁锰结核风化壳、含高岭土风化壳、含蒙脱石风化壳及钙质风化壳。

渐新世开始,发育裂谷作用。由于强烈的构造升降,夷平面发生了变形,有的已埋入盆地的后期沉积之下,有的则抬升到高山上。

滨奥里洪高原海拔 600 m 左右,白垩纪时夷平面化。滨海山脉平均海拔高度 1 200 ~ 1 300 m,长 400 km,东南陡,西北缓。分水岭宽达 45 ~ 60 km,表明滨海山脉分水岭应是白垩纪—古近纪夷平面。在白垩纪时期,滨海山脉与滨奥里洪高原处于同一夷平面。自 35 万年前新构造运动开始以后,它隆升了最大 1 000 m 的高度,隆升速度达到 2 ~ 3 mm/a。

1.2 滨奥里洪地区的断裂

作为贝加尔湖地区新构造运动最显著的地段,滨奥里洪地区断裂活动强烈。以滨海断裂和奥里洪断裂为主的 NE 向延伸的断裂带和以萨尔玛断裂为主的 NW 向延伸的断裂带组成了滨奥里洪地区的断裂系统(图 2)。总体看来,NE 向延伸的断裂同新生代贝加尔裂谷发育的方向是一致的,是控制裂谷带发育的主要断裂;而 NW 向断裂相对规模较小。

1.2.1 滨海断裂

滨海断裂为西伯利亚板块与外贝加尔板块碰撞时形成的断裂。它南起布谷里杰亦卡(图 2),向 NE 延伸到莎尔特莱角(Shartla Cape),呈 NE-SW 走向,倾向 SE。根据地震剖面

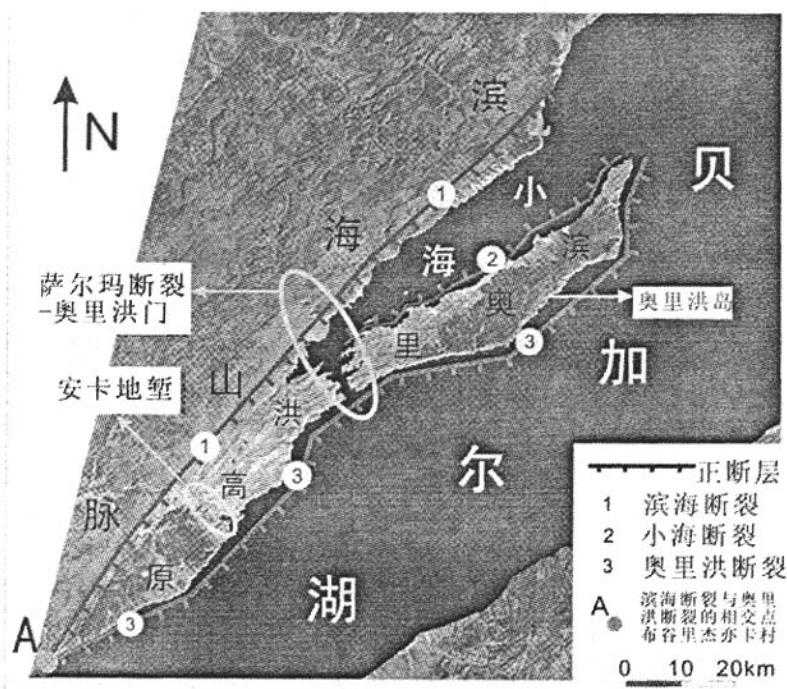


图 2 滨奥利洪地区的断裂分布

Fig. 2 Fault distribution of the Olchon Region

资料,多个叠瓦式断层倾角随深度变小,并汇聚于同一滑脱面,显示铲式断裂特征。该断裂早期(早古生代)为逆冲断层,新生代沿袭活化形成正断层。

滨海断裂平面上由一系列羽状排列的断裂组成。自西南端朝东北方向,断距不断增大,断裂活动的起始年龄也随之趋老。其 SW 端断距仅几十米,向 NE 方向延伸其断距可达数千千米(表 1)。

表 1 滨海断裂断距及宽度

Table 1 Fault displacement and width of Primorsky Fault

方向	SW - - NE				
垂直断距(m)	0 ~ 200	500 ~ 800	1000 ~ 1110	1500	2000
断裂带宽度(m)	2000	4000	9000	9000 ~ 25000	25000 ~ 30000
时代	全新世	晚更新世	中晚更新世	更新世	中新世

作为滨海山脉与奥利洪高原和小海地堑的分界断裂,滨海断裂在地貌上表现明显。由于滨海山脉的快速隆起,滨海断裂表现为高角度正断层,断层三角面非常明显,而且断裂两侧常常伴生雁行排列的羽状断裂,从而使断层三角面也表现为羽状排列形式。同时由于山势较陡,山脉遭受剥蚀作用,剥蚀物堆积在山前断阶成为坡积物。断阶在卫星地图上清晰可见,而且一直沿着滨海断裂分布。

仔细观察萨尔玛河(Sarma River)的河口冲积扇,我们发现,河道相对于冲积扇是不断向右移动的。因此滨海断裂有左行走滑性质,从而使得新的冲积物堆积在老的冲积物左侧。

此外,滨海山脉 1 200 ~ 1 300 m 的高度上还发育了鲜明的石头河、洪积相及深切河谷。在滨海山脉下部台阶状断阶上发育了河床裂点、瀑布等年轻的地貌形态。山麓前堆积了 50

~150 m 宽的第四纪冲积物及洪积物,这均表明本区存在强烈的新构造活动。

1.2.2 奥里洪断裂(Olchon Fault)

奥里洪断裂长 800 km,从贝加尔 SW 端一直延伸到科学院山脊(Academician Ridge),是贝加尔南北盆地中较重要的断裂。它与滨海断裂相交于布谷里杰亦卡村(БУГУЭБЛЕЙКА)。奥里洪断裂为一铲式断裂,断距约 1 000 m,最大可达 2 500 m,它与滨海断裂在深部汇聚于同一拆离面。作为整个滨奥里洪地区的东南边界,该断裂在奥里洪岛东岸表现为近于直立的断层三角面山。

1.2.3 小海地堑(Maloye More Basin)

小海地堑宽 15 ~ 20 km,是贝加尔裂谷带年轻的地堑,发育受到滨海断裂及奥里洪岛西北岸小海断裂的控制。小海东岸即奥里洪岛西北岸可见清晰的断层三角面山。更新世以来,在滨海山脉隆升过程中,滨海断裂发育,并与奥里洪断裂共同形成了底部拆离面。由于受到 SE 方向的引张力作用,奥里洪岛所在的滨海断裂上盘(SE 盘)向 SE 方向滑动,致使岩层不断下陷,形成一系列断裂,呈台阶状,即小海断裂。滨海山脉与奥里洪岛之间则形成了小海地堑,奥里洪岛因此成为次级“地垒”。因为滨海断裂东北端断距不断增大,所以小海断裂同样表现为雁行断裂。

1.2.4 萨尔玛断裂(Sarma Fault)

萨尔玛断裂是本区主要的 NW 向断裂,它与滨海断裂大致垂直,并切断了滨海山脉。在卫星地图上,我们发现,萨尔玛河道是沿着一组“X”节理不断向上追踪的。由此可以推断,萨尔玛河是沿着先前节理的构造破碎带发育的。由于滨海山脉的隆升,滨海山脉、奥里洪高原和小海地堑水面的高差不断加大,萨尔玛河不断溯源侵蚀,河谷下切,才形成了今天看到的峻峭的萨尔玛峡谷。萨尔玛峡谷很可能一直向 SE 延伸,并分隔了奥里洪岛(Olchon Island),即形成了奥里洪门(Olchon Gate)。

1.2.5 安卡地堑(Oka graben)

安卡河(Oka River)河口宽阔,呈喇叭状,被称为年轻的地堑。地堑两侧均为正断层,可见明显的断层三角面山。地堑下陷的速度为 5 ~ 7 mm/a,而贝加尔湖水以 5 ~ 7 mm/a 的速度向内陆推进,表明这里的新构造运动异常活跃。

同萨尔玛断裂一样,安卡河河谷也是沿一组追踪“X”节理发育的,而且这组节理被滨海断裂切断。这不得不令我们相信,萨尔玛裂谷(奥里洪门)与安卡地堑具有相同的发育过程和构造特征。可以预言,安卡地堑将有可能遵循奥里洪门的道路发展,成为第二个“奥里洪门”。

1.3 贝加尔湖出水河流的变迁

贝加尔湖有 330 多条河流补给湖水,而据历史记载外流河却仅有一个。35 ~ 55 万年前,贝加尔湖一直从曼祖尔卡河(Manzurka River)流向北冰洋,后来由于更新世滨海山脉的隆起,切断了这条通道。滨海山脉以西河段继续流向北冰洋,而东段则成为贝加尔湖的新补给河。此后直至 15 万年前,贝加尔湖又在西南端找到新的出口—伊尔库特河(Irkut River),贝加尔湖水通过它汇入叶尼塞河(Yenisey River),流入北冰洋。由于东萨彦山脉(East Sayan Mountain)的隆起,伊尔库特河也被切断。600 年前,贝加尔湖最终找到了今天的出口安加拉河(Angara River),贝加尔湖水又得以流向北冰洋。

1.4 曼祖尔卡古河床

曼祖尔卡古河床是曼祖尔卡河在35~55万年前沉积形成的,厚约100~150 m,据此计算平均沉积速率为0.5~0.75 mm/a。

河床剖面为河漫滩的二元相结构,发育有斜层理,颗粒由砂、砾组成,砾石颗粒大小、成分不一,最底部为河漫滩相的细砂砾,越往上颗粒度越大,说明构造运动越来越强烈。剖面中斜层理指示当时水流方向为NW向,反映当时贝加尔湖水流出的方向。

曼祖尔卡河古河床的剖面可以代表整个贝加尔区域的演化史。剖面最底部没有从北贝加尔带来的沉积物,说明了原来贝加尔湖并没有连在一起,而是分成南、北贝加尔两个湖。从剖面中下部开始出现北贝加尔湖的沉积物,说明这时南北贝加尔已经连通在一起了。

2 贝加尔湖滨奥里洪地区新构造活动成因探讨

2.1 贝加尔裂谷带的发育过程

晚元古代,西伯利亚板块与外贝加尔板块开始相向运动,于早古生代发生碰撞,导致外贝加尔板块逆冲于西伯利亚板块之上,产生大规模的逆掩断层及一系列叠瓦状断层。在这两个板块间形成宽约60 km的碰撞带,断裂构造发育,是新生代发生裂谷作用的良好场所^[1,2]。

白垩纪—古近世期间,贝加尔地区处于构造平静阶段,整个地区形成统一的风化壳。

自更新世以来,随着印度—亚洲大陆的持续碰撞,其影响逐渐到达2 000 km以外的贝加尔地区^[4~5]。同时,来自西太平洋地区弧后扩张的远程效应,对贝加尔地区的新生代裂谷作用的发生,同样有综合影响^[6,7]。笔者认为,这两种作用产生持续的NE向斜向挤压力,造成NW—SE向的张应力,同时地幔物质上涌^[6],从而引起了贝加尔裂谷带的发育。

2.2 贝加尔裂谷带的深部特征

近年来,国际地质学界在贝加尔裂谷地区进行了大量的地球物理测量及相关研究,取得了丰硕的成果,这些对于解释贝加尔裂谷带的发展演化过程及深部动力学机制提供了重要的证据^[9~12]。

贝加尔裂谷带的地壳厚度为35 km,这比其两侧的西伯利亚板块(40 km)及外贝加尔板块(45 km)都要薄^[13]。重力异常研究表明^[12,14],在贝加尔裂谷带存在着普遍的布格重力负异常带,负异常值一般为-140~-180 mGal,远低于两侧的西伯利亚板块和外贝加尔板块。在地震层析成像上,裂谷带上表现为巨大的P波波速负异常^[15]。这些均显示在贝加尔裂谷带存在着大规模的地幔热物质上涌,导致了贝加尔裂谷带大规模新构造运动^[16~18]。

天然地震接收函数计算表明^[17],在整个贝加尔及其邻区的地壳中广泛存在着壳内低速层,它在裂谷带内分布在5~10 km深度范围内。前已述及,滨海断裂与奥里洪断裂以铲式断裂向下汇聚于同一拆离面,笔者认为低速层的存在为新生代贝加尔裂谷带的发育提供了一个有利的滑动面,起着重要的作用。

Gao et al.^[19]利用天然地震剪切波研究贝加尔裂谷带地下的各向异性表明,贝加尔裂谷带剪切波(SKS)快波的方向为NW—SE向。它反映了贝加尔裂谷带上地幔的流动方向也为SE向。这与地表GPS监测的地壳运动方向是一致的^[20],说明了贝加尔裂谷带浅部和深部地质构造的一致性。

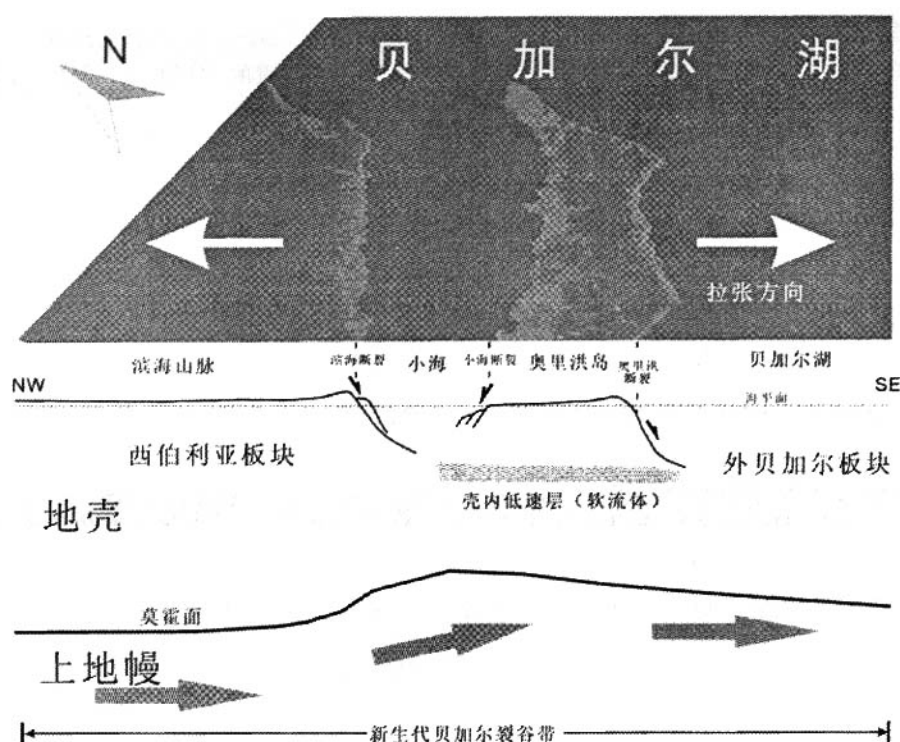


图3 滨奥里洪地区的深部构造及新构造发育机制(据文献^[19,20]修改)

Fig.3 Deep structure of the Olchon Region and its neotectonic mechanism (After references^[21,22])

2.3 滨奥里洪地区的新构造发育机制

滨奥里洪地区位于贝加尔裂谷带中部,它的新构造活动是贝加尔裂谷带发育过程的重要表现,受到贝加尔裂谷带区域应力场及深部构造的制约。

首先,贝加尔裂谷带上地幔上涌及地壳内存在低速层,这为滨奥里洪地区的新构造运动提供了良好的基础。

其次,滨奥里洪地区受到 NW - SE 向张力的作用,并且贝加尔裂谷带底部的岩石圈地幔流体由西伯利亚地台向 SE 方向外贝加尔板块流动。由于西伯利亚板块是稳定的地台,这种作用并不明显;而南东侧的外贝加尔板块相对软弱,在 SE 向张力的作用下,很容易产生滑移。滨海断裂及奥里洪断裂的铲式断裂就是在这样的背景下形成的。作为断层上盘的奥里洪岛因此与大陆分离。而在断裂上盘的后缘,由于重力势的作用形成台阶状正断层,即小海断裂。同时,在滨海断裂和小海断裂间则形成了地堑,贝加尔湖水涌入形成了小海。由于滨海断裂是具有右旋作用的正断层。这样,便在此前形成的北西向的薄弱地带(萨尔玛河,安卡河)形成张力,导致了萨尔玛断裂—奥里洪门和安卡地堑的发育。

3 结论

(1)白垩纪—古近纪以来,在贝加尔湖滨奥里洪地区,以滨海断裂和奥里洪断裂为主的 NE 向断裂及其派生断裂十分发育;同时伴随了大规模的地面升降运动,破坏了白垩纪—古近纪形成的风化壳,形成新生代地堑;这种强烈而频繁的升降活动致使贝加尔湖水河流多次

被切断而寻找新的出水口。

(1) 贝加尔裂谷带的发育是印度—亚洲大陆碰撞与西太平洋地区的弧后扩张之远程效应共同作用的结果。裂谷带中部的滨奥里洪地区,产生了NW—SE向的拉引作用,同时由于在深部存在大规模的低速层,从而发育了大规模的新构造运动。

本文研究过程中得到俄罗斯伊尔库茨克国立技术大学 Lobaskaya 教授、中国地质大学杨巍然教授、王小龙教授、南京大学朱文斌教授、徐士银博士及四川地质调查院侯立玮老师、俞如龙老师的支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢!

参考文献

- [1] 杨巍然,孙继源,纪克诚,等. 大陆裂谷对比—汾渭裂谷系与贝加尔裂谷系例析[M]. 北京:中国地质大学出版社, 1995.
- [2] 杨巍然,隋志龙, Mats V D. 俄罗斯贝加尔湖区伸展构造及与中国东部伸展构造对比[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 45-49.
- [3] Mats V D, Khlystov O M, Batist M D, et al. Evolution of the Academician Ridge Accommodation Zone in the central part of the Baikal Rift, from high-resolution reflection seismic profiling and geological field investigations [J]. Int J Earth Sci., 2000, 89: 229-250.
- [4] Logatchev N A, Florentsov N A. The Baikal system of rift valleys [J]. Tectonophysics, 1978, 45: 1-13.
- [5] Molnar P, Tapponnier. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision [J]. Science, 1975, 189: 419-426.
- [6] 滕吉文, 张中杰. 东亚大陆伸展和裂谷作用与动力学[J]. 地球物理学报, 1997, 12(2): 1-29.
- [7] 任金卫, 马宗晋. 东亚地区现代地壳运动特征与构造变形[J]. 地学前缘(中国地质大学, 北京), 2003, 10(特刊): 58-65.
- [8] Emmerson B, Jackson J, McKenzie D, et al. Seismicity, structure and rheology of the Lithosphere in the Lake Baikal region[J]. Geophys. J. Int., 2006, 167: 1233-1272.
- [9] Petit C, Koulakov I, Deverchere J. Velocity structure around the Baikal rift zone from teleseismic and local earthquake traveltimes and geodynamic implications [J]. Tectonophysics, 1998, 296: 125-144.
- [10] Gao S S, Liu K H, Davis P M, et al. Evidence for small-scale mantle convection in the upper mantle beneath of Baikal rift zone[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(B4): 2194-2206.
- [11] Huysmans R S, Podladchikov, Cloetingh S. Transition from passive to active rifting: Relative importance of asthenospheric doming and passive extension of the lithosphere [J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(B6): 11271-11291.
- [12] Tiber C, Diamante M, Deverchere J, et al. Deep structure of the Baikal rift zone revealed by joint inversion of gravity and seismology[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(B3): 2133-2148.
- [13] Gao S S, Liu K H, Chen C. Significant crustal thinning beneath the Baikal rift zone: New constraints from receiver function analysis[J]. Geophysical Research Letters, 2006, 31: L20610.
- [14] Petit C, Deverchere J, Calais E, et al. Topography, geoid and gravity anomalies in Western Mongolia. Earth Planet [J]. Sci. Lett. 2002, 197: 133-149.
- [15] Zhao D P, Lei J S, Inoue T, et al. Deep structure and origin of the Baikal rift zone [J]. Earth and Planetary Science letters, 2006, 243: 681-691.
- [16] Popov A M, Kiselev A I, Mordvinova V V. Geodynamical interpretation of crustal upper mantle electrical conductivity anomalies in Sayan-Baikal province[J]. Earth Planets Space, 1999, 51: 1079-1089.
- [17] Zorin Y A, Mordvinova V V, Turutanov E K, et al. Low seismic velocity layers in the Earth's crust beneath Eastern Siberia (Russia) and Central Mongolia: receiver function data and their possible geological implication [J]. Tectonophysics, 2002, 359: 307-327.
- [18] Zorin Y A, Turutanov E K, Kozhevnikov V M. Mantle Plumes beneath the Baikal Rift Zone and Adjacent Areas; Geo-

- physical Evidence [J]. *Doklady Earth Sciences*, 2003, 393A(9): 1302-1304.
- [19] Gao S S, Davis P M, Liu H, et al. Seismic Anisotropy and Mantle Flow beneath the Baikal Rift Zone [J]. *Nature*, 1994, 371:149-151.
- [20] 孟国杰,申旭辉,伍吉仓,等. GPS 揭示的贝加尔湖地区现今地壳形变特征[J]. *大地测量与地球动力学*, 2006, 26(1):15-20.
- [21] Brink U S, Taylor M H. Crustal structure of central Lake Baikal: Insights into intercontinental rifting [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107(B7):1029-1044.
- [22] Lebedev S, Meier T, Hirts R D. Asthenospheric flow and origin of volcanism in the Baikal Rift area[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 249: 415-424.

Neotectonic features and its formation mechanism in the central part of Baikal Rift Zone, Russia

HUANG Zhou-chuan, ZOU Fu-ge, SHENG Ling, ZHU Guo-rong, ZHANG Qing-long
(*Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China*)

Abstract

The Olchon Region, which is located in the central part of Baikal Rift Zone, includes three main tectonic units: Primorsky ridge, Maloye More Basin and Olchon Plateau from west to east. This paper describes the features of geotectonic activities in the Olchon Region since Miocene, such as change of Quaternary plantation surface, developments of faults, evolution of the rivers, and formation of river terrance. The study result shows that the Olchon Region has experienced both strong extension and vertical motion since Miocene. The development of Baikal Rift Zone in Cenozoic was controlled by both the India-Eurasia collision and back-arc spreading caused by Pacific Plate's subduction to Eurasian Plate. The Olchon Region experienced strong NW-SE extension and intensive geotectonic movement.

Key words: neotectonics; formation mechanism; Olchon Region; Baikal Rift Zone; Russia