

# 贝加尔裂陷新构造特征

易 明 初

(中国地质科学院地质力学研究所)

**摘 要** 贝加尔裂谷系的断裂发育阶段和沉积作用过程基本一致,除沉积作用前的前裂谷断裂已经活化外,整个裂谷系的发育及演化过程大体可划分为两个阶段,即始新世中晚期—上新世早期( $E_2^3-N_1^1$ )的开始阶段和上新世中晚期—第四纪( $N_2^3-Q$ )的主要阶段。前者属塑性形变,地形反差小,断裂活动弱;后者属脆性形变,地形反差大,断裂活动强。

贝加尔裂谷拗陷是贝加尔裂谷系中发育最早、规模最大的水下拗陷,新构造运动表现明显,升降幅度自西南向东北增大。区内及其四周断块山体及盆地多显示了自西向东翘起的特点。夷平面及冲、洪积扇发生大量拱曲和拗曲。各方向断裂力学属性组合特征,反映了 NE—SW 向的挤压构造应力场。

**关键词** 贝加尔 裂谷系 新构造 拱曲

## 1 贝加尔裂谷系发育概况

贝加尔裂谷系自西向北东方向延伸,共有 13 个大型裂谷盆地。如果除去西端近 SN 向的布辛戈尔—比林、达克哈特、库苏古尔 3 个盆地( $N_2^3-Q$ )和 1 个小型科瓦托戈尔—蒙迪盆地( $N_1^2-N_1^1$ )外,其余 9 个裂谷盆地在构造发育过程中的相互关系更为密切(图 1)。

据前人研究成果(H. A. 罗戈切夫, 1978—1985—1993; С. И. 舍尔曼, 1977—1978—1984)<sup>[1-4]</sup>,在九大裂谷的形成及演化中,前期的断裂发育阶段和沉积作用过程不相吻合,随后步调基本统一。

断裂发育阶段前期,如古新世时期,贝加尔裂谷带中的深大断裂和巨型断裂虽已活化,但裂谷并未形成,相应的沉积作用并未发生(表 1)。实际上裂谷的形成是在始新世—早上新世之间漫长而微弱的地壳运动阶段,这个阶段称为裂谷开始阶段,形成以粘土岩、粉砂岩、砂岩、凝灰岩、灰岩、泥灰岩和硅藻土为主的细粒层,地势高差微小,沉积厚度 1000—4000m 不等,平均沉积速率为 0.025—0.10mm/a。而在上新世中晚期到第四纪断裂发育的主要阶段,地壳运动强烈,断裂的升降运动显著,地形反差极大,从而产生粗粒碎屑堆积层,总厚度一般为 1000—1200m。如果以 4Ma 计算,沉积速率为 0.25—0.3mm/a,与开始阶段比较,自然也是沉积作用的主要阶段。因此,断裂发育的开始阶段和主要阶段,也是沉积作用的开始阶段和主要阶段,即使按前人资料<sup>[4-9]</sup>,在贝加尔和通卡两个地区出现白垩纪—古新世沉积,但两者总体基本吻合。两个时期沉积总厚度,除南、北贝加尔裂谷拗陷区达到 4000—6000 余米外,其余盆地多在

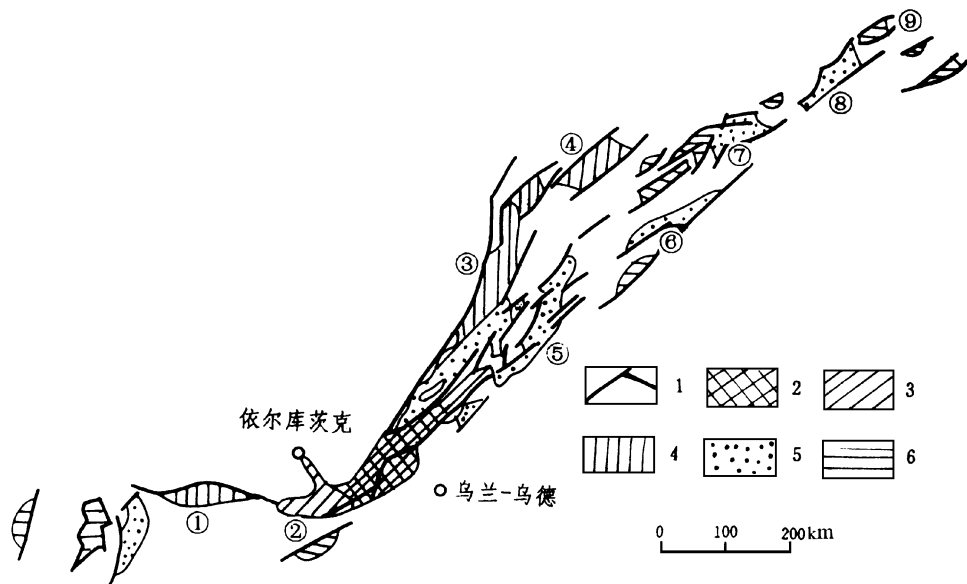


图 1 贝加尔裂谷系从南贝加尔盆地向两侧发展演化图 (据 N. A. 罗戈切夫, 1993)

Fig. 1 Evolution of the Baikal rift system from south Baikal to its bothsides

- 1.主要断裂; 2.晚白垩纪(?)—古新世; 3.古新世—始新世; 4.渐新世—中新世早期; 5.中新世—上新世早期; 6.上新世中晚期—第四纪 ① 通卡盆地; ② 南贝加尔拗陷; ③ 北贝加尔拗陷; ④ 上安加拉盆地; ⑤ 巴尔古津盆地; ⑥ 齐帕 邦特盆地; ⑦ 穆亚盆地; ⑧ 查拉盆地 ⑨ 托卡盆地

表 1 贝加尔裂谷带断裂发育的主要阶段

Table 1 Sketch showing main stages of fault development in Baikal rift system

| 发育阶段   | 时 代      | 断 裂 发 育 的 动 力 学 特 征  |
|--------|----------|--|
| 前裂谷阶段  |          | 主萨彦、通金、滨海、巴尔古津、科达尔及其他类型的深大断裂和巨型断裂的形成和发育。叶洛欣、萨尔明等类型的横向断裂的稀疏网络                   |
|        | 古新世?     | 深大断裂和巨型断裂活化  |
| 裂谷开始阶段 | 始新世—渐新世  | NE向深大断裂和巨型断裂活化, 形成 NE向正断层, 穹窿顶部裂隙增高  |
|        | 中新世—早上新世 | 裂谷中所有的断裂都活化并加长。形成横向正断层和正平移断层, 出现斜向(近 SN, 近 EW)断裂。裂谷中心部位的破碎程度增高                 |
| 裂谷主要阶段 | 中上新世—全新世 | 沿断裂运动、活化, 并在穹窿两翼形成逆掩断层和逆断层。裂谷带中心部位的总破碎程度增高。沿深大断裂和巨型断裂出现平移分量。沿裂谷带轴部产生贝加尔—察尔巨型断裂 |
| 裂谷结束阶段 |          | 构造作用的强度衰减, 沿大断裂可能仍有运动  |

据С.И. 谢尔曼, 1977

如单纯从裂谷系中 9大裂谷盆地的形成和沉积作用来看,总的特点是以形成最早的南贝加尔水下裂谷拗陷为中心,各自向西和向东北逐渐发展变质,具有相似的对称性

南贝加尔裂谷拗陷沉积总厚度可达 6006m(据 H. A. 罗戈切夫, 1985), 形成于古新世—始新世中晚期 ( $E_1 - E_2^{2-3}$ ), 为最早的裂谷拗陷。向西依次为渐新世—早中新世 ( $E_3 - N_1^1$ ) 的通卡裂谷盆地、晚中新世—早上新世 ( $N_2^1 - N_2^2$ ) 的科瓦托戈尔—蒙迪裂谷盆地和上新世—第四纪 ( $N_2 - Q$ ) 的库苏古尔裂谷盆地等; 向北东依次为渐新世—早中新世 ( $E_3 - N_1^1$ ) 的北贝加尔裂谷拗陷、中新世 ( $N_1$ ) 的巴尔古津和上安加拉裂谷盆地、晚中新世—早上新世 ( $N_2^1 - N_2^2$ ) 的齐帕—邦特和穆亚裂谷盆地、上新世—第四纪 ( $N_2 - Q$ ) 的查拉和托卡裂谷盆地。

由此可见, 贝加尔裂谷系的形成和演化, 可划分出两个大的构造阶段, 即古新世或始新世中晚期—上新世早期 ( $E_1$  或  $E_2^{2-3} - N_1^1$ ) 和上新世中晚期—第四纪 ( $N_2^{2-3} - Q$ ) 两个阶段。前一阶段, 断裂活动微弱, 地形反差极小, 沉积粒度细, 沉积速率较低; 后一阶段, 断裂活动强度大, 升降幅度大, 地形反差大, 沉积粒度粗, 沉积厚度大, 沉积速率是前者的 3—10 倍。若以南贝加尔裂谷拗陷为例, 假定湖滨山体隆起幅度为  $2500m^{[5]}$  (其中减去湖面标高 456m), 水深 1637m, 沉积总厚度 6006m, 三者之和 9687m, 这就是 50Ma (指  $E_2^{2-3}$ ) 以来最大的升降总幅度, 平均升降速率为  $0.19mm/a$ 。

## 2 贝加尔裂陷新构造运动特征

由南、北贝加尔裂谷拗陷组成的贝加尔裂陷是上述裂谷系中最大的水下拗陷, 平均水深 730m, 水量  $23 \times 10^6 m^3$ , 长 636km, 宽 80—25km, 总面积为  $31500 km^2$  (引自贝加尔湖滨旅游图说明), 湖面标高 456m, 最深低于海平面 1165m, 为驰名世界的最深淡水湖, 也是裂谷系中形成最早、发育最全、活动构造最典型的地区。

贝加尔水下裂谷拗陷并非一个凹陷区。由于受后期 ( $N_2^{2-3} - Q$ ) 强烈地壳运动影响, 在 Ольхон 岛 ( $75 \times 15 km^2$ ) 与 Святой 半岛 ( $55 \times 20 km^2$ ) 一线, 形成  $N 50^\circ E$  左右的水下新隆起 (Акадетический ХР.), 将其分为北贝加尔裂谷凹陷 (最大水深 920m, 平均水深 600—800m) 和南贝加尔裂谷凹陷 (最大水深 1637m)。其中南贝加尔裂谷凹陷又被色楞格河河口地段  $E_1 - E_2$  时期 NE 向次级隆起所隔开, 导致南贝加尔裂谷凹陷南侧水深 1416m, 北侧仍保持水深 1637m, 于是, 整个贝加尔裂陷区出现 3 个沉降中心。

贝加尔水下裂陷最早始于晚白垩纪 (?)—古新世<sup>[9]</sup>, 但主要是从中新世开始。晚白垩统一古新统极薄<sup>[7, 8]</sup>, 图 2 下面 3 个剖面, 底部最老地层时代为中新世—上新世中期, 未见始新统一渐新统。由此可见, 老第三纪时期的沉积极薄, 只是在上新世以后, 新地层才覆盖了整个贝加尔裂谷区, 在地表及湖滨山体中新构造运动特征尤为显著。

### 2.1 升降运动

**2.1.1 间歇性上升运动** 此种运动以夷平面成层性为主要标志。向贝加尔湖四周远眺, 湖滨山体两级山顶面保存很好, 极少破坏, 宽广平坦的山顶面呈明显的阶梯, 山顶面高度因地制宜。如安加拉河口北东和南西两侧, 出现海拔 900m 和 700m 两级山顶面, 即夷平面。其中, 第 1 级夷平面 (900m) 广泛分布在贝加尔湖南端山区, 为元古界和古生界地层的剥蚀面; 第 2 级夷平面 (700m) 主要分布在安加拉河口两侧, 为侏罗系地层剥蚀区。

贝加尔湖中部 Ольхон 岛地带, 沿湖西岸大断层 (或称滨海断裂) 湖滨山脉, 可见两级夷平面。第 1 级夷平面标高 1600—1700m 左右, 山顶面保存较好, 与第 2 级夷平面之间出现明显阶梯。第 2 级夷平面标高 1000—1200m, 顶面平坦而宽阔, 极少破坏, 仅在其后缘出现断层崖。

由此往北, 两级夷平面出露标高相应抬高, 第 1 级夷平面标高达 2000m 以上。因此, 冰川

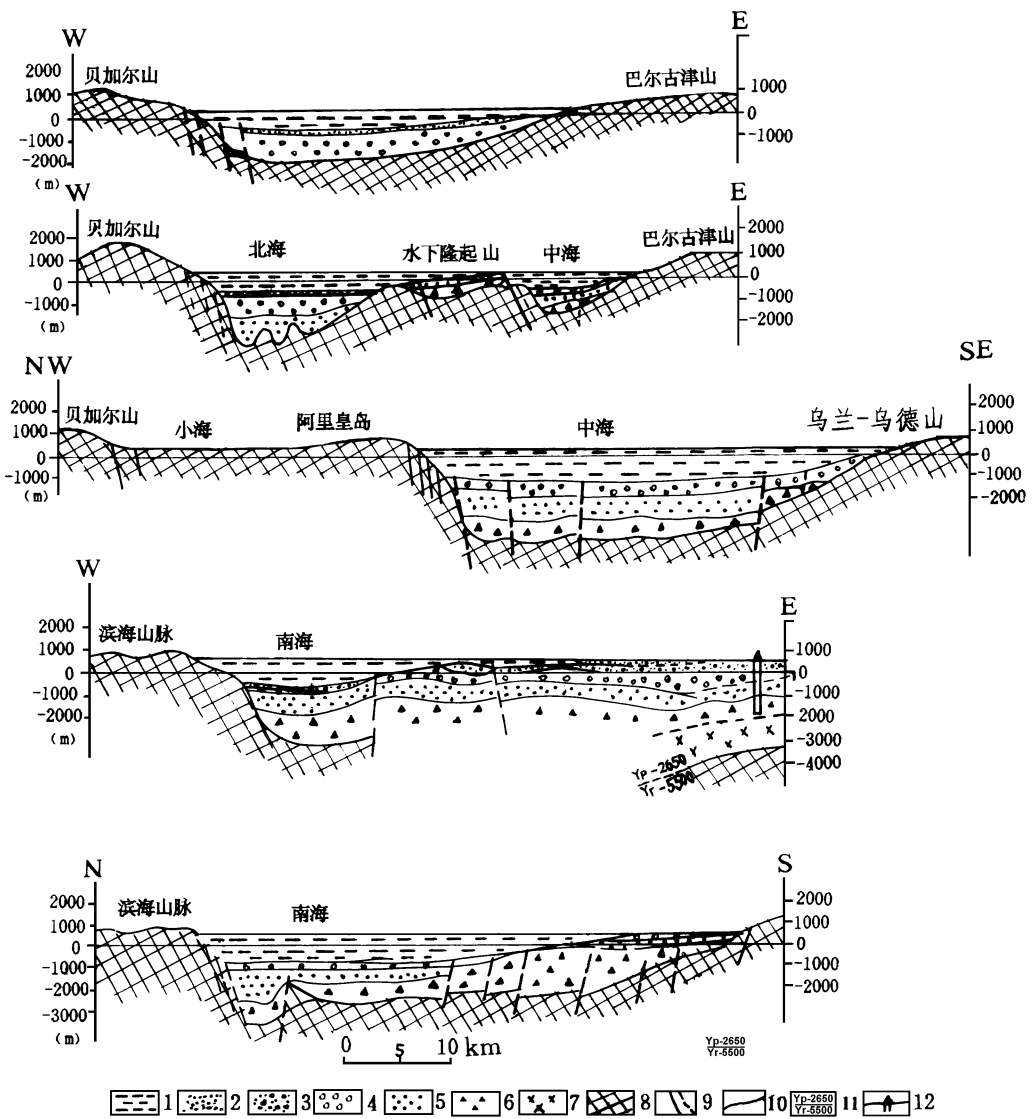


图 2 贝加尔裂陷区地质剖面略图 (据 E П. Василъев ДР., 1989)

Fig. 2 Sketch geological profile of Baikal fault depression region

1. 水层; 2. 中、上更新统; 3. 第四系 (未分); 4. 下更新统; 5. 上新统中、上部; 6. 中新统—上新统中、下部; 7. 侏罗系;  
8. 前寒武系; 9. 断裂; 10. 按 НСГ 划分的界线; 11. 按 МОВ划分的界线 ( $Y_p$  层速度;  $Y_r$  边界速度); 12. 钻孔

(包括古冰川和现代冰川)活动遗迹广布,夷平面多受冰川的刨蚀,顶面遭受破坏,但从远处眺望,依然保存较好。

贝加尔湖东岸山区,由于早期山体的抬升,受大小河流的切割,山顶面连续性较差。

本区由于升降运动而形成的夷平面,总的趋势是由南西向北东逐步抬升或呈翘起之势,两级夷平面形成时期,与该裂谷系的形成和演化的两个阶段基本吻合,可与我国华北地区相对比。

贝加尔裂陷区阶地类型分湖成阶地和河流阶地。湖成阶地在裂陷区的北段 байкалъков 港

村可见 4级:

第 1级: 主要为砂层及小砾石层沉积, 层面斜向湖心, 倾角为  $10^{\circ}-15^{\circ}$ , 垂直节理发育, 节理走向  $320^{\circ}$ , 标高  $7-8\text{m}$

第 2级: 主要沉积砾石层, 阶地宽广而平坦。标高  $15-20\text{m}$

第 3级: 属基座阶地或侵蚀阶地, 阶面有零星砾石, 保存较好。标高  $40\text{m}$  左右。

第 4级: 为波状起伏的基岩面, 阶面遭受较强烈的剥蚀, 未见砾石保存。标高  $80\text{m}$  左右。

此外, 本区河流阶地和洪积阶地也较发育。如北贝加尔斯克城及东岸的大片河口地区 (如 Томпуба 河口, Шевнакаба 河口及 Танхой 地区等) 都有河流及冲积、洪积混合型阶地, 一般可见 2级或 3级, 以堆积类型为主。阶地高度分别为  $7\text{m}$ 、 $15-20\text{m}$  和  $40\text{m}$ 。第 4级阶地属何类型不清楚。

2.1.2 沉降运动 第四纪晚期在贝加爾湖湖岸和湖滩地区, 沉降运动造成的天然微型地貌和湖岸类型很典型。在支流河口的湖滩当中, 由于河水失去下切的侵蚀能力, 形成大小不等、深度各异的储水坑。在东部的 Святой 半岛西岸和 Ольхон 岛东岸等地的湖岸河口低平浅沟也很发育。此外, 在河口地区出现大量山体低缓的凹状湖岸, 湖水向河谷内陆伸展, 失去流动能力和下切能力, 由此造成贝加爾湖东岸的曲折, 港湾集中。

## 2.2 形变作用

### 2.2.1 断裂作用

(1) NE向断裂。以贝加爾湖西岸中段的滨海 (Приморский) 断裂带为代表。该断裂带有数条相互平行的断裂, 可见极为清楚的陡峭的断层崖、断沟和断谷。新构造期多次强烈活动, 在断层两盘造成差异显著的升降阶梯, 导致第 2级夷平面多次解体, 顶面极少被破坏。断裂造成多级台阶, 在贝加爾湖南端的安加拉河西部也有显示。因此, 不同高度的多级台阶, 至少在部分地区是同级夷平面解体的产物, 阶面形成时期也应相同。

在 Ольхон 岛小海西南的 Сахио Пра 村附近地层剖面中, 断层产状为  $50^{\circ}-70^{\circ}/SE \angle 75^{\circ}-85^{\circ}$ , 中生代时期断面呈反扭挤压状态, 显然与我国新华夏系构造应力场相吻合。新构造期断裂复活, 造成分散的石墨又重新聚集于活动裂隙中, 形成条带状黑色墨线, 并见张性断层崖。此外, 在贝加爾湖岸的前苏联科学院物理研究所工作站附近, 可见风化壳中有  $NE50^{\circ}$  和  $70^{\circ}$  的两条张性断裂, 断裂上盘下滑  $30\text{cm}$ , 并有明显的牵引现象。沿贝加爾断裂还见到张性地裂缝和低温温泉。说明 NE向断裂在新构造期和近期的活动性。

类似的例子在本区随处可见, 总之, NE向断裂对现今地貌起重要的控制作用。由于新构造期断裂活动造成的强烈抬升, 出现高大平直的断层崖, 山体、湖盆或盆地等各个块体由西向东逐渐翘起, 出现相应的沉降中心, 造成贝加爾裂谷和巴尔古津裂谷呈典型的箕状盆地类型。

(2) NW向断裂。NW向断裂常出现在 NE向主断裂的两侧及其附近, 安加拉断裂即是贝加爾湖区规模最大的 NW向断裂之一。该断裂向南东延伸跨过湖区进入 Танхой 地区。NW向断裂还以 NW向峡谷形式出现, 如 Салма 河峡谷正受该方向断裂控制。此外, 在贝加爾湖岸基岩陡壁上还可见到走向  $340^{\circ}$  具有相当规模的张性裂隙, 呈锯齿状, 内有新鲜的泥质物填充, 显示了断裂的近期活动性。此种裂隙可能是贝加爾断裂北段 NNW向断裂近期活动所致。

2.2.2 地形变作用 地形变作用是指原始正常的夷平面、阶地面、冲洪积扇或锥体等地貌形态, 在不均一的地壳升降运动的作用下, 改变了原有的地貌形态所产生的拱曲、拗曲和其他变形现象。这种现象在强烈上升运动的贝加爾湖西岸地区最为显著。

(1) Ольхон 岛峡口形变区。该区受到滨海断裂强烈升降差异影响, 使河口成为相对沉降中

心,造成同级冲洪积扇顶面和夷平面向下凹陷,而南北两侧扇顶面相应向上拱曲,互呈类似背斜、向斜、背斜形态的形变区。隆起中心高 100m 左右,长达 10km 以上,特别是河口北侧拱曲最为典型。由于受滨海断裂带的多次活动的影响,形成了多达 4 层平行断裂的阶梯状拱曲形变层,其中最低层和第 3 层拱曲最为明显,而第 2 层以上多半是同级夷平面解体而成。由于 4 个层次形变形态上下吻合(或平行),整个构造形变期理应归属于低层顶面形成期或其后。

在北段西岸 Котельниковский 与 Байкальсков 之间的 30km 内,也因沿岸断层差异性活动使同级夷平面解体,形成以 1647 高地为隆起中心的拱曲形变,约高出湖面 300 余米。

除此之外,在西岸还出现一些反向的拗曲形变。如 2055 高地附近的 Кочерикова 地区的北部,有由一系列冲洪积扇顶端的连线呈拗曲形态就是典型实例。

贝加尔湖西岸 NE 向断裂带及其附近出现的一系列拱曲和拗曲形变,除与该区地壳运动所造成的断层滑动速率大小差异有关外,还可能与 NE-SW 向水平挤压应力作用有关。

拱曲形变还表现在贝加尔湖东西两岸山顶面的高度变化上。如湖东岸的哈马尔—达班山脉和乌兰乌德山,自南向北山顶面标高为 1600m、1800m、2033m、1800m 和 1500m,最高点 2033m 在 Тулка 河口东侧,可能是拱曲形变的顶部。同样,西部的贝加尔山脉自南向北,山顶面标高为 2055m、1900m、2200m、2588m、2193m 和 2067m,形成一个拱曲形态,而 2588m 为拱曲顶点。上述古老山顶面因长期剥蚀和形变作用,现今呈现的只是支离破碎的山顶面残体。

除上述而外,穹窿状隆起也很典型,如乌兰乌德山以最高点 2033m 的 Хулка 山为隆起中心,周围有 10 条左右小溪呈放射状流向各方,呈现穹窿状隆起形态。

以上地形变类型反映了垂直升降运动的差异性,但断裂活动也起一定作用,而且断裂构造所造成的地貌形态也相当典型。

### 2.3 周缘山块断裂构造地貌形变

前述断裂作用仅限于贝加尔裂陷和湖缘局部地区。地形变作用虽涉及到部分山区,但只局限在整体形变上。下面着重就断裂构造作用将周缘山体切割成块状的地貌形变分区进行简述。

**2.3.1 贝加尔湖东部地区** 东部主要有哈马尔—达班山脉和乌兰乌德山两大山体,2600m 左右制高点多分布在巴尔古津裂谷盆地的东西两侧,而大小山脉走向均受 NE 或 NEE 向断裂控制,呈斜列式展布,巴尔古津裂谷盆地受巴尔古津山脉与依卡特山脉夹持。盆地西缘受巴尔古津断裂控制,边界平直,断崖发育,地势陡峭,山体高度多在 2600m 以上,使盆地西侧块体自西向东强烈翘起,裂谷盆地西侧也因山缘强烈翘起而大幅度沉降,形成西沉东翘的箕状盆地,使西侧沉降中心的新生代沉积厚度达 2000m 以上。相反,在盆地东缘山体中有数条与西侧 NE 向断裂斜交的 NEE 向断裂,分别由东向西插入盆内,造成东缘边界犬牙交错。因此,根据现今大量平行水系穿过巴尔古津断裂呈顺扭的同步弯曲特征判断,盆地东缘 NEE 向次级断裂处于拉张状态,造成盆地不均匀陷落。

**2.3.2 贝加尔湖西部地区** 贝加尔裂陷西侧山块,同样具有东侧巴尔古津地块自西向东翘起的构造地貌形态。前已述及,贝加尔裂陷西侧边界平直高大的断层崖,分别是贝加尔主断裂和滨海主断裂活动的结果,也正因为这组断裂的强烈上升运动,促使断陷两侧山块自西向东强烈翘起,特别在贝加尔山脉中段,现今已翘起在雪线以上。

**2.3.3 贝加尔湖北部地区** 贝加尔裂陷北端有 Оки ера 上安加拉两个裂谷盆地,其边界均受 NE 向断裂控制,且与山体走向一致。特别是西北缘断裂控制的边界平直,陡崖更为发育,穿越该断裂的水系均呈顺扭同步弯曲,断块山体同样具有自西向东翘起的断块构造地貌形态特征。

**2.3.4 贝加尔湖南部地区** 通卡裂谷盆地位于贝加尔裂谷系的西南地区,近 EW 向展布。盆

地南缘受近 EW 向断裂控制,断层崖发育;北缘主要受 NW 向的东萨彦岭断裂带控制,同时还控制水系的流向。又因断裂大幅度的反扭作用,使水系同步发生大幅度扭曲,扭曲幅度自东向西变小,在贝加尔湖南口处,依尔库茨克河扭曲长度达 15km。因此,通卡盆地处于两种构造系统综合作用下,使新生代以来更加强烈活动,不仅沉积厚 2000m 左右的地层,火山喷发也时有发生。据测定,在  $1.023 \pm 0.029 \text{Ma}^{\text{①}}$  还有一次喷发,与我国大同金山火山喷发年代相当。

综上所述,贝加尔裂陷及其周围山区,自新生代以来,NE-NNE 向断裂为顺扭张性;EW 向断裂为张性兼反扭;而 NW-NNW 向断裂,据贝加尔湖西岸夷平面,冲洪积扇的大量拱曲、拗曲,以及 Танхой 地区新第三纪-第四纪地层中的 NNW 向形变作用等,显示压性兼反扭性质。由此说明,构造特征反映了新生代以来,该区处于 NE 向或 NEE 向至 SW 向或 SWW 向的挤压应力作用之下,这与整个贝加尔裂谷系构造应力场基本一致。

## 参 考 文 献

- 1 Logatchev N A and Florensov N A, Baikal rift system. Tectonophysics, 1978, 45, 1- 13.
- 2 Щерман С И. Тектоника и Сейсмичность Континентальных и Фовых зон Изы "Наука", 1978, 7- 18.
- 3 Щерман С И, Физические закономерности развития разломов земной коры. Издательство «Наука» Сибирское Отделение. 1977.
- 4 Щерман С И, и др. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Неотектоника, Издательство «наука». 1984, 29- 33.
- 5 Ловчев Н А, и др. 1:250000 Карта Неотектоники Прибайкалья и Забайкалья. 1982.
- 6 Sherman S I, Faults and tectonic stresses in the baikal rift zone. Tectonophysics, 1992, 208, 297- 307.
- 7 Щерман С И, и др. Поля Напряжений земной коры Новосибирск «наука», 1989, 114- 122.
- 8 Васильев Е П, и др. Структура и развитие Байкальской зоны. Geologica et Mineralogica 9, 5, Sofia Oct. 1989, 15- 24.
- 9 Logatchev N A. History and geodynamics of the Lake Baikal rift in the context of Eastern rift system: a review- Bull centres Rech, Explor- prod, Elf Aquitaine, 1993, 17, 2. 353- 370.

① 据中国科学院地质所 Ar-Ar 测年实验室。

# ON THE CHARACTERISTICS OF NEOTECTONIC ACTIVITIES IN BAIKAL RIFT SYSTEM

Yi Mingchu

(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

**Abstract** The history of faulting of the Baikal rift system is essentially coincident with the associated sedimentary processes. The evolution of the rift system can be broadly divided into two stages: Primary stage ranging in age from middle-late Eocene to early Pliocene ( $E_2^3 - N_1^1$ ) and main stage from middle-late Pliocene to Quaternary ( $N_2^{2-3} - Q$ ). The former is characterized by plastic deformation with no significant relief and weak fault activity, while the latter by brittle deformation with sharp relief and strong fault activity.

The Baikal depression is the earliest and the largest underwater depression of the Baikal rift system, where occurred notable neotectonic activities with a vertical movement from southwest to north-east. There are indications of a broad tilting from the west to the east in the area and the surrounding block mountains and basins. There have occurred bending and doming of a large number of planation surfaces and alluvial-pluvial fans. The combination of different trend and mechanical properties suggests a NE-SW compression.

**Key words** Baikal, rift system, Neotectonics, bending

## 作者简介

易明初,男,1936年生,1965年长春地质学院新构造运动学研究生毕业,研究员。长期从事新构造、活动构造及区域地壳稳定性研究。通讯地址:北京市海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081