

西藏北部双湖地堑构造与新生代伸展作用*

李亚林 王成善 伊海生 邓 斌

(成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059)

刘池洋 杨兴科 赖绍聪 方维萱

(西北大学地质学系, 西安 710069)

摘要 以双湖地堑为代表, 羌塘地体内最新构造表现为东西向伸展作用下产生的南北向地堑构造, 双湖地堑由一系列近于平行的北东至北北东向正断层组成. 断层几何学、运动学及断陷盆地内沉积作用研究表明, 断层活动具明显阶段性, 其早期活动始于上新世, 并造成上新统与下覆双湖组 and 上覆第四系间不整合接触. 第四纪以来断层运动速率显著增大, 是断层强烈活动期. 地堑构造是青藏高原隆升后重力作用的结果, 预示高原腹地正在进行的伸展塌陷作用.

关键词 羌塘地体 双湖 地堑 伸展作用

自从 Molnar 等人^[1]提出青藏高原最新构造表现为东西向伸展作用以来, 对青藏高原伸展构造的研究受到了地质学家的广泛关注, 尤其对班公-怒江缝合带以南的伸展变形作了大量研究, 就伸展作用的成因及动力学机制提出了多种解释^[1-9]. 然而, 对藏北地区研究相对较少^[10,11],

对藏北伸展作用的时限、量级以及成因仍存在较大分歧. 本文对双湖地堑构造性质、断层组合方式、位移量和位移速率进行了研究, 认为双湖地堑为区域近东西向伸展作用下形成的不对称地堑构造, 断层活动始于晚第三纪, 并对上新世-第四纪沉积有明显的控制作用. 藏北、藏南地区晚第三纪以来东西向伸展地堑构造不但结构相似, 而且成因相同, 共同构成青藏高原新生代地堑构造体系(图 1), 它们是高原隆升达到最大高度之后重力作用的结果.

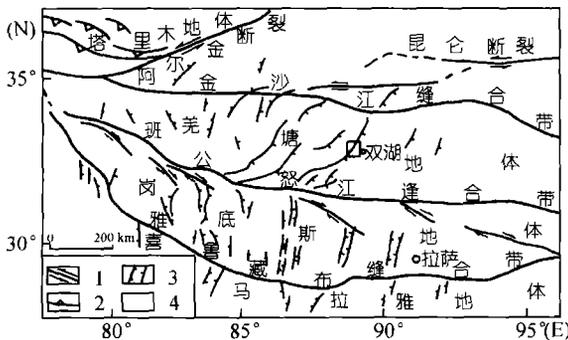


图 1 青藏高原新生代地堑构造展布图

1. 走滑断层; 2. 逆冲断层; 3. 正断层及地堑; 4. 研究区

1 地质概况

双湖地区位于羌塘地体中部, 处于前三叠系变质岩系组成的中央隆起带与中-新生代凹陷盆地的转换部位(图 2). 前三叠系(AnT)位于研究区西部, 包括前泥盆系结晶基底和晚古生代褶

2001-02-12 收稿, 2001-07-17 收修改稿

* 国家重点基础研究发展规划(G1998040800)和国土资源部“青藏高原重点沉积盆地油气资源潜力分析”资助项目

皱基底. 结晶基底主要由深变质的片麻岩、片岩、角闪岩等组成, 褶皱基底由晚古生代变质玄武岩、变质砂岩组成. 区内中生代盖层主要为三叠系西雅尔岗组(T_{3x}), 与基底岩系以拆离断层接触, 主要由中厚层灰岩、生物碎屑灰岩及礁灰岩和岩屑砂岩组成. 白垩系-第三系包括阿布山(K_2a)-双湖组(N_{1s})^[12], 为一套受同沉积断裂控制的红色内陆盆地河、湖相砂砾岩, 不整合于三叠系及基底变质岩系之上, 而上新世-第四系沉积主要分布于地堑断陷盆地内(图 2).

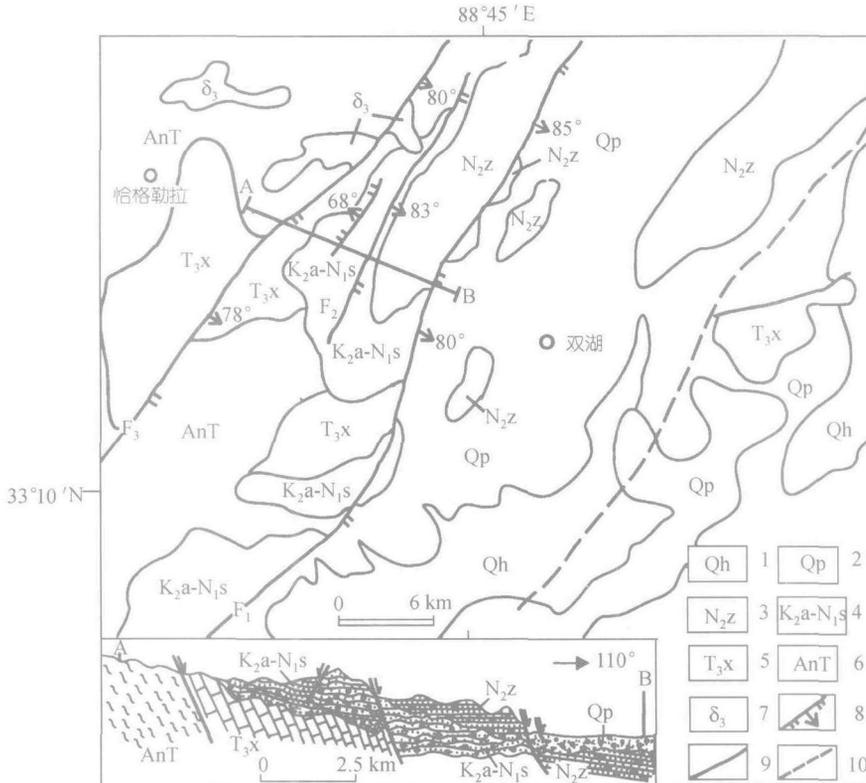


图 2 双湖地区地质简图

1. 全新统; 2. 更新统; 3. 振泉湖组; 4. 阿布山组-双湖组; 5. 西雅尔岗组; 6. 前三叠系; 7. 花岗闪长岩; 8. 正断层; 9. 断层; 10. 遥感解译正断层. A-B: 剖面位置; F₁: 布石-包布断层; F₂: 巴布-岗纳断层; F₃: 晒日作断层

2 地堑构造基本特征

在遥感影像及地貌图上双湖地堑表现为长约 50 km, 宽 10 km, 北东至北北东向展布的地堑式断陷构造. 断陷构造由两侧断隆带、正断层系和中部断陷盆地构成. 断隆带海拔高度一般大于 5000 m, 主要由前三叠系西雅尔岗组、阿布山-双湖组组成; 断陷盆地海拔 4500~4800 m, 主要为上新世-第四系沉积, 同时发育与断陷构造走向一致的北东至北北东向湖泊(如: 才多茶卡), 双湖地堑正断层系主要在断陷盆地西侧发育, 而东部发育较差, 总体构成不对称地堑构造.

2.1 断陷盆地沉积作用

双湖断陷盆地内沉积地层由上新统和第四系两部分组成. 上新统是本次研究中在本区新厘定的地层单元, 其下部与上部分别与双湖组(N_{1s})及上覆第四系(Qp)角度不整合接触(图 3(a)),

区域对比表明其沉积组合以不含膏盐层以区别于上新统喷呐湖组(N_{2s})。但其岩石组合和时代完全可与双湖北西振泉湖一带振泉湖组(N_{2z})对比,其中产丰富的上新世乔木花粉、介形虫,地层接触关系和地层对比表明其时代应属上新统,故将其暂定名为振泉湖组。区内振泉湖组分布于盆地北东和北西部,在北西部呈宽 3~4 km 的带状展布于巴布-岗纳断层和布石-包布断层之间,主要由固结-半固结的砾岩、含砾砂岩及砂岩组成,层理清晰。在双湖-恰格勒拉剖面出露厚度 15~20 m,与双湖组断层接触。

第四系是组成断陷盆地的主体,包括更新统(Qp)和全新统(Qh),更新统构成山前台地或垄岗状低丘,堆积物由沙砾石组成,略显层理,剖面上可见微角度不整合于上新世振泉湖组之上(图 3(a))。全新统分布于断陷盆地中部,地貌上呈比较平缓的台地,为河流冲积、洪积、风积等组成的沙砾松散堆积。

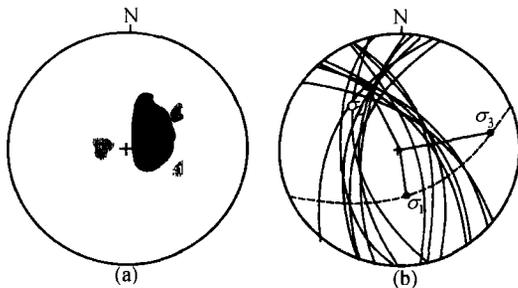


图 3 双湖地堑擦痕构造及应力场特征
(a) 全区擦痕构造优势方位; (b) 共轭节理及反映出的地堑应力场

2.2 正断层特征

正断层在断陷盆地西侧特别发育,表现为一系列近于平行的高角度正断层,地貌上表现为陡坎、陡崖,并明显造成地层错断。详细的路线地质剖面研究以及遥感影像分析发现,双湖地堑正断层系主要由 3 条主要正断层以及伴生的许多次级正断层构成,3 条主干正断层由西向东分别为晒日作断层(F₃)、巴布-岗纳断层(F₂)和布石-包布断层(F₁)(图 2)。

晒日作断层。主要发育于前三叠系变质岩及三叠系灰岩中,断层带宽 20~50 m,走向 30°~45°,断面倾向南东,倾角 60°~83°,断层造成两侧地层及燕山期花岗闪长岩明显错断。

巴布-岗纳断层。由主断层和一系列次级平行排列正断层组成,断层走向北东 30°~40°,断面产状: 105°~120°∠64°~78°,断层沿双湖组与振泉湖组边界发育,控制了上新世振泉湖组沉积,并造成阿布山组-双湖组地层明显错断,同时,在主断层西侧发育倾向相反的正断层与主断层构成小型地垒构造。

布石-包布断层。断层在中部近南北走向,北部和南部走向北东,且走滑分量较大,断面倾角 72°~85°。地貌上断层表现为高差 100~360 m 的陡坎,北部构成上新世二级阶地与第四系沉积的边界断层,并由于掀斜作用造成上新世振泉湖组沉积与上覆第四系微角度不整合。另外研究发现在布石-包布以东第四系沉积中发育一些北东至北北东向隆起,这些隆起主要由上新世振泉湖组组成,与两侧第四系正断层接触(图 2),但倾向相反,具有共轭特点,为断陷盆地中的断隆带。

3 断层运动学及应力场特征

双湖地堑正断层系运动学标志发育,主要表现为擦痕构造,通过对主要正断层运动学数据大量统计分析发现,擦痕产状在断层不同部位变化较大,主要为北东至东西向(图 3(a)),倾角一般大于 50°(图 3(a))。巴布-岗纳断层在北部擦痕优势方位为 60°~32°∠85°~50°(16 组),在断层南部产状为 93°~40°∠87°~44°(18 组)。布石-包布断层擦痕优势方位由南而北分别为:

47°~84°/85°~60° (23组)、75°~112°/86°~70° (19组)和38°~77°/52°~83° (16组)。全区擦痕优势方位为106°~57°/85°~56° (图3(a))。擦痕构造宏观及投影资料反映出双湖断层系主导以正断层为主, 但伴有明显的走滑分量, 而且同一断层不同地段断层走滑分量差异显著, 其中晒日作断层走滑特征最为明显, 造成燕山期花岗闪长岩发生3~4 km位移(图2)。同时投影图中出现倾向北西的擦痕构造, 代表了地堑系中反倾正断层运动方向。

双湖地堑构造正断层系中次级共轭正断层和节理构造非常发育, 共轭正断层及节理优势产状为: 273°~290°/50°~72°和40°~80°/56°~76°; 同时考虑到正断层掀斜作用, 根据野外观察及掀斜作用造成微角度不整合对应力场校正, 得出双湖地堑应力场大小和方位(图3(b))。从图3(b)中可以看出其最大主应力(σ_1)近于垂直, 最小主应力(σ_3)近东西向, 且近于水平, 表现出东西向的伸展作用, 地堑应力场特征与双湖组褶皱反映出的应力场差异显著, 而且上新世振泉湖组未发生褶皱变形, 因此推测挤压与伸展变形应力体制转化阶段应在中新世末-上新世初。

4 断层时代及运动速率

尽管尚未获得双湖地堑准确的年代数据, 但可以通过沉积作用分析双湖地堑构造形成时代。断陷盆地中最老沉积地层的时代一般代表了断陷构造的初始形成时代。研究表明, 双湖地堑式断陷盆地中的最老地层为上新统振泉湖组, 沉积物主要来源于阿布山组和双湖组砂岩, 同时正断层系明显造成双湖组地层错断, 并叠加于双湖组东西向褶皱和逆断层之上, 因而地堑系初始活动时代应始于上新世, 这一结论与An等人^[11]所得结论一致。另外从断层对沉积的控制作用表明断层活动具有明显阶段性, 进一步可分为两期, 早期活动始于上新世, 以F₃和F₂为代表, 断层不但切割了双湖组构造线, 而且控制了上新世沉积, 晚期第四纪以来以布石-包布断层为代表, 对第四纪沉积有明显控制作用, 并造成上新世与第四纪间阶地地貌特征。

利用GPS对不同断层两侧地层绝对高度系统测量, 确定其现今相对高差, 同时考虑剥蚀和沉积效应, 利用藏北地区新生代剥蚀速率^[13]对所测值进行校正, 得出不同正断层或不同位置断层及正断层运动速率见表1。从表1看出第四纪布石-包布断层运动速率(0.26~0.18 mm/a)远大于早期断层平均速率(0.16~0.11 mm/a), 表明第四纪以来断层处于强烈活动期。

表1 双湖地堑正断层断距及运动速率

断层	观测位置		断层产状	断距/m		运动速率 /mm·a ⁻¹
	点号	坐标		测量值	校正值	
布石-包布断层	D001	N33°12'46"	115°/80°	321	401	0.26
		E88°46'48"				
	D009	N33°11'65"	110°/65°	218	298	
		E88°44'32"				
D011	N33°10'78"	115°/70°	232	312	0.20	
	E88°46'55"					
D003	N33°14'36"	112°/78°	551	751	0.16	
	E88°40'47"					
巴布-岗纳断层	D006	N33°13'90"	95°/85°	418	618	0.11
		E88°40'50"				
	D007	N33°11'93"	120°/76°	492	692	
		E88°40'56"				

5 结论与讨论

(i) 双湖地堑构造主要由北东至北北东走向、断面向东陡倾的一系列阶梯状左行正断层和断陷盆地组成, 地堑活动始于上新世, 断陷盆地主要为上新世和第四纪沉积, 二者角度不整合接触。

(ii) 双湖地堑正断层活动周期性显著, 地层单元间接触关系及变形样式的差异性, 反映出双湖地区新生代构造演化经历了 3 个阶段: (1) 上新世前挤压-缩短变形阶段, 以 K_2a-N_1s 普遍发生南北向褶皱和冲断作用为代表; (2) 上新世初构造体制转换阶段, 正断层系对上新世沉积的控制作用以及振泉湖组与双湖组变形样式差异性, 表明羌塘地区挤压-伸展构造体制转换时代为中新世末-上新世初; (3) 上新世-第四纪重力作用下伸展变形阶段。

(iii) 双湖地堑的结构特征、变形样式与藏南地堑系相似^[14~16], 其时代多在 8~5 Ma^[3,15], 且其时代和变形样式明显区别于早期挤压收缩机制下的低角度拆离构造^[17], 表明地堑构造发生于高原南北向短缩增厚之后。同时在这一时期阿拉伯海的上涌流大大增强, 印度洋季风出现以及波特瓦尔高原气候在此时发生明显变迁等^[18,19]。各种迹象表明青藏高原在此时已达最大高度, 因此地堑构造是高原隆升达最大高度之后重力作用的结果, 预示高原腹地内的重力塌陷作用。

(iv) 尽管藏北、藏南地堑系在成因和结构上存在一定相似性, 但二者在空间展布和时代上表现出一定差异。藏南地堑时代多为 8~5 Ma^[3,15], 而藏北地堑形成时代为上新世, 这种差异与藏南地区渐新世-中新世火山作用强烈, 藏北地区中新世强烈相关, 表明地堑构造发育可能受深部动力学机制制约。同时藏南地区由于受东、西构造结的限制, 伸展空间受到制约, 地堑构造主体近北东向展布, 而羌塘地体受两侧缝合带晚期走滑作用的影响和调节转换, 地堑构造总体北东至北北东向展布, 与藏南地堑系沿班公-怒江走滑断裂带呈镜像对称。

参 考 文 献

- 1 Molnar P, Tapponnier P. Active tectonics of Tibet. *Journal of Geophysical Research*, 1978, 83: 5361~5375
- 2 Armijo R, Tapponnier P, Mercier J P, et al. Quaternary extension in southern Tibet. *Journal of Geophysical Research*, 1986, 91: 13803~13872
- 3 Harrison T M, Copeland P K W. Raising Tibet. *Science*, 1992, 255: 1663~1670
- 4 Klootwijk C T, Conaghan P J, Powell C M. The Himalayan arc: Large-scale continental subduction, oroclinal bending and backarc spreading. *Earth and Planetary Science Letters*, 1985, 75: 316~319
- 5 Mccaffery R, Nabelek J. Role of oblique convergence in the active deformation of the Himalayas and southern Tibet plateau. *Geology*, 1998, 26(7): 690~694
- 6 Seeber L, Pecher A. Strain partitioning along the Himalayan arc and the Nanga Parbat antiform. *Geology*, 1998, 26(9): 791~794
- 7 Carmala N G, David L D, Jay Q, et al. High times on the Tibetan Plateau: paleo-elevation of the Thakkhola graben. *Nepal Geology*, 2000, 28(4): 339~342
- 8 Coleman M, Hodges K. Evidence for Tibetan uplift before 14 Myr ago from a new minimum age for east-west extension. *Nature*, 1995, 374: 49~52
- 9 Alsdorf D, Brown L, Nelson K D, et al. Crustal deformation of the Lhasa terrane, Tibet plateau from Project INDEPTH deep seismic reflection profiles. *Tectonics*, 1998, 17(4): 501~519
- 10 Peter M B, Rick R, Brand H, et al. Late Neogene extension in the Shuang Hu graben, central Tibet. *Terra Nostra*, 1999, 2: 15

- 11 An Y, Paul A K, Michael A M, et al. Significant late Neogene east-west extension in northern Tibet. *Geology*, 1999, 27(9): 787~790
- 12 吴瑞忠、陈德全、王成善, 等. 藏北羌塘地区地层系统. 见: 青藏高原地质文集(9). 北京: 地质出版社, 1986. 1~33
- 13 Yi H S, Wang C S, Liu S. Sedimentary record of plantation surface in HohXil region of Northern Tibet plateau. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(4): 1~8
- 14 Louis M J, Rolando A, Tapponnier P. Changes from late Tertiary compression to quaternary extension in southern Tibet during the India-Asia collision. *Tectonics*, 1987, 6(3): 275~304
- 15 Colchen M. The Thakkhola-Mustang graben in Nepal and the late Cenozoic extension in the Higher Himalayas. *Journal of Asia Earth Sciences*, 1999, 7(5-6): 683~702
- 16 韩同林. 西藏的活动构造——中华人民共和国地质矿产部地质专报. 北京: 地质出版社, 1987. 17~60
- 17 张进江, 丁林, 钟大赅, 等. 喜马拉雅平行于造山带伸展是跨塌的标志还是挤压隆升过程的产物? *科学通报*, 1999, 44(19): 2031~2036
- 18 Kroom D, Steens T N F, Troelstra S R. Onset of monsoonal related upwelling in the western Arabian Sea. *Proc ODP Sci Results*, 1991, 17: 257~263
- 19 Quad J C T E, Bowman J R. Development of Asian monsoon revealed by marked ecological shift during the Lasted Miocene in north Pakistan. *Nature*, 1989, 342: 163~166