

青藏高原班公错的湖盆成因及构造演化

刘芳晓^{1,2}, 刘德民^{3*}, 李德威³, 周涛³, 杜承宸³

1. 中国地质大学地质调查研究院, 湖北武汉 430074

2. 中国煤炭科工集团西安研究院, 陕西西安 710000

3. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

摘要: 依据河湖相沉积物的沉积特征、沉积年龄和分布规律, 结合 ETM+ 构造和第四系沉积地层的遥感解译, 对班公错湖盆的成因和构造演化特征进行系统的剖析。从地形地貌、沉积建造和构造上分析, 推断班公错湖盆为构造成因的拉分断陷湖盆。根据湖盆周边的断层活动特征和湖盆的沉积响应, 将班公错湖盆的演化分为 4 个阶段, 依次为湖盆打开的幼年期(晚于早中新世)、湖盆扩展的青年期(早于 8.1 ± 1 Ma)、湖盆急剧扩展伴随湖盆中心南移的壮年期(晚于 0.94 Ma)和湖盆不对称萎缩的老年期(晚于 0.23 Ma)。

关键词: 青藏高原; 班公错湖; 湖盆成因; 湖盆演化; 构造。

中图分类号: P539.2

文章编号: 1000-2383(2013)04-0745-10

收稿日期: 2012-12-04

Causes and Tectonic Evolution of Bangong Lake Basin

LIU Fang-xiao^{1,2}, LIU De-min^{3*}, LI De-wei³, ZHOU Tao³, DU Cheng-chen³

1. Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Xi'an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group Corp, Xi'an 710000, China

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

Abstract: Causes and tectonic evolution of Bangong lake basin are studied based on the results of geological survey, fluvial sedimentary natures, the age of deposition and its distribution law, referring to ETM+ remote sensing interpretation about tectonics and Quaternary sedimentary strata. Analysis of topography, sedimentary and tectonics indicates that Bangong lake basin is a pull-apart faulted basin; according to activity characteristics of the faults around the lake basin and sedimentary response, the evolution of lake basin is divided into four stages: infancy of lake basin open (later than the early Miocene), adolescence of basin expansion (8.1 ± 1 Ma), maturity of rapid expansion of the lake basin with lake basin center moving south (later than 0.94 Ma) and gerontic age of lake basin asymmetric atrophy (later than 0.23 Ma).

Key words: Qinghai-Tibet plateau; Bangong lake; causes of lake basin; evolution of lake basin; tectonics.

班公错, 又名错木昂拉仁波, 地处西藏日土县境内, 西段伸入克什米尔境内。该湖盆形状狭长, 两端宽大, 湖面平均海拔高度 4 241 m, 总面积 604 km², 其中 413 km² 在我国境内。构造上, 班公错湖盆区位于班公湖—怒江蛇绿混杂带西段, 北侧是羌塘地块, 南侧是冈底斯地块(江军华等, 2011)。本区位于喀喇昆仑大型右行走滑断层和喜马拉雅西构造结以东

(图 1), 对于研究高原隆升等新构造运动具有一定意义。

近年来, 国内学者施雅风、郑绵平、李吉均、郑喜玉等, 先后对青藏高原湖泊进行过调查和研究, 出版过大量论著(郑绵平等, 1983; 郭铁鹰等, 1991; 施雅风等, 1999)。李炳元(2000)提出了青藏高原 40~28/25 ka BP 时期为“泛湖期”和“大湖期”的观点, 认

基金项目: 中国地质调查局“西藏卜垄等四幅 1:5 万区调”(No. 1212011121246); 国家自然科学基金面上项目“青藏高原南部中新世下地壳的流动方向”(No. 41172188); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(No. 2011019016); 中煤科工集团西安研究院自筹资金科技创新项目(No. 2013XAYQN006)。

作者简介: 刘芳晓(1986—), 男, 硕士研究生, 构造地质学专业, 主要从事构造地貌和新构造运动方面的研究。E-mail: lfx207@126.com

* **通讯作者:** 刘德民, E-mail: 5guc@163.com

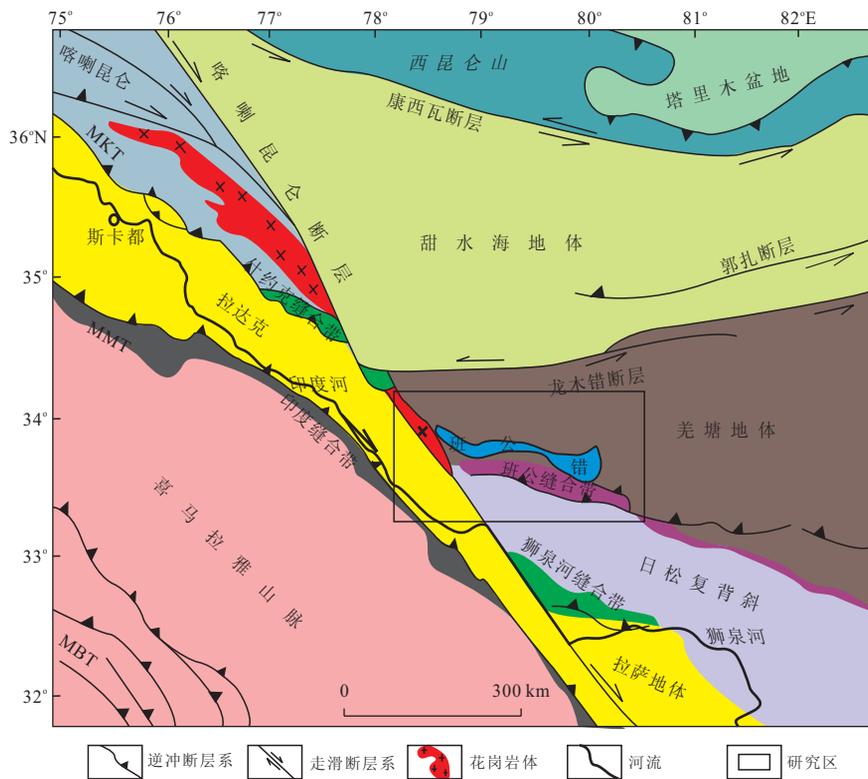


图1 青藏高原西缘构造简图

Fig. 1 Generalized structural map of the west margin of the Tibetan plateau

为藏北现存的湖泊古大湖时期湖盆之间以河道相连,水面比现在大几倍甚至数十倍;Jia *et al.* (2001) 通过对比班公错及青藏高原其他典型湖泊的沉积特征,给出 40~28 ka BP、19~15 ka BP、13~11 ka BP 和 9.0~5.0 ka BP 四个泛湖期;朱大岗等(2001, 2003)根据纳木错周边拔湖高 139.2 m 的高位湖相沉积以及其与久如错、申错的分水谷地的湖相沉积和那曲南部、安多西部等地高位湖相沉积,结合室内遥感解译,提出青藏高原腹地晚更新世“古羌塘湖”的概念。

本文的研究对象班公错由于地处我国西部边境偏远地区,国内外专家对其开展的研究工作尚浅.中国科学院青藏高原综合科学考察队(1984a, 1984b)曾抵达该地区并对班公错湖盆形态特征、水系和水量、水温状况以及湖水的化学性质等做了较为全面的研究;国外学者 Van Campo *et al.* (1996)和 Fan *et al.* (1996)对班公错湖盆第四纪以来的环境演变进行过深入的探讨;Jason *et al.* (2010)对班公错的进排水系统以及水文地质状况给出全面的分析.而从构造的角度去探讨其湖盆成因演化的研究工作非常薄弱,唯有陈兆恩和林秋燕(1993)通过对青藏高原各类湖泊涨缩的新构造特征的研究,指出班公错

是一个新生代拉分湖盆,但深入工作亟待完善。

班公错湖盆作为青藏高原典型的构造湖盆,其成因和构造演化的探讨对于整个高原的构造湖盆以及高原内部新生代盆地成因演化的研究具有指导意义,同时对研究青藏高原西缘晚新生代以来构造活动、地貌演化和环境演变具有指示意义.本文将依据野外地质调查事实和室内样品测年数据,结合遥感地质解译,从湖盆周边断层结构变形特征的分析 and 湖盆周边第四系沉积分布特征以及湖相沉积阶地的对比研究的角度系统,简析班公错湖盆的成因进而探讨其构造演化特征。

1 研究方法

1.1 野外地质测量

本次野外工作采用的是路线穿越或追踪和实地地质剖面测量相结合的方法.针对班公错湖盆周边的断层,进行仔细的追踪与系统测量,确定各断裂发育规模、延伸及运动学特点,搞清晰裂带的结构,识别断层岩的类型,通过各种运动学标志(如阶步、擦痕、断层透镜体、错断地貌错移方向等)鉴别断裂的性质、产状,通过野外观察各活动断裂带的叠加、分

枝、继承、利用、交切关系,划分新构造运动的期次和类型以及新构造运动形迹的形成条件和运动学特征(孔金龙,2011);针对班公错周边的湖相阶地,选择地表露头连续、层序完整、地质构造简单、接触关系清晰的地段实行1:500大比例尺剖面测量,确定各阶地的野外形态、结构、分布状态、级次、纵剖面参数(拔河高度与相对高度)、形成时代以及沉积物分选、磨圆、碎屑成分等特征。

1.2 遥感解译

由于遥感技术具有覆盖范围广、获取情报速度快、受地面障碍限制小等特点,为大尺度的地质构造、地貌研究提供了很好的依据,而学者们利用此项新技术为构造地貌学做出了越来越多的贡献,逐步形成了遥感地质学这一学科。本文主要是利用ETM+遥感影像根据色调、色彩和纹理等直接标志以及水系、地貌和植被等间接标志解译班公错湖盆周边第四系沉积层以及线性构造。

1.3 电子自旋共振(ESR)测年

电子自旋共振(electron spin resonance, ESR)测年方法自20世纪80年代开始,许多学者用其测定沉积物胶结年龄和断层面石英结晶年龄,并取得可喜的成果。目前,该技术被认为是相对成熟的地质测年技术,解决了一系列的地质事件测年问题。本文野外采集的第四系湖积物的沉积年龄以及断层面石

英年龄的结果是委托成都理工大学应用核技术研究所采用德国ER-200D-SRC型电子自旋共振仪进行测试得到的。具体测试结果如表1、表2。

2 湖盆周边断层结构变形特征

根据遥感解译发现区内断层走向分为近EW、NW、NE和NNE向4组(图2)。其中近EW向一组为区内主干断裂,以逆冲断层为主,而近湖盆断层表现为正断层的性质,NW向断层为喀喇昆仑断层及其一系列次级断层,该组断层具有右旋走滑的性质,而NE向和NNE向断层则以正断层为主。

2.1 NW向右行走滑断层

NW向断层为喀喇昆仑断层及其一系列次级断层,该组断层具有右行走滑的性质,早期蛇绿混杂岩带被右行错断,控制新生代以来的地貌、沉积物厚度、岩性、岩相等,还控制着水系发育及地震分布,表现出新生代的的活动特征。区域上,班公湖东西两侧分别以乌奖—盐湖区断裂带和喀喇昆仑断裂带为界,两条断裂带都是北西向右行走滑断裂。乌奖—盐湖区断裂带展布于研究区扎普南、摆淌、麦克尔、乌奖、界哥拉、巴尔琴等地,多处被第四系掩盖。断裂带规模大,由数条断层组成,具分枝复合现象,断续延长约120 km,宽数十米至上百米不等。断层总体呈北西走向,倾向 $210^{\circ}\sim 220^{\circ}$,倾角 $55^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。

野外区域地质调查发现,在研究区还存在一些次级的北西向右行走滑断层(图3a)。断裂带一般宽约几米到几十米,倾向 $220^{\circ}\sim 230^{\circ}$,倾角 $55^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。断裂带存在的证据及变形特征有:(1)断裂通过的地方基本上是冲沟和鞍部等,在地形上表现为典型的负地貌;(2)断裂带左右两侧地层的产状发生明显变化;(3)断裂带内产出大量石英脉,石英脉上见有铁染、磨光镜面、擦痕和阶步等构造标志;(4)断裂带内岩石破碎明显,可见断层角砾岩;(5)在断裂带旁,常见砂板岩形成了牵引褶皱。根据擦痕、阶步和牵引褶皱等特征可以清楚地判断断层运动性质为右行走滑正断层。

2.2 NE、NNE和近EW向正断层

班公错以近东西向呈长条哑铃状展布,湖盆东西两侧分别以北西向右行走滑断层为界,而狭长的南北两边界则主要以一些近EW向(图3b)、NE向(图3c)和NNE向的正断层控制。

该类型断层在湖盆周边常见,在地貌上多与断层所处湖盆边界走向一致,断层面呈铲式倾向湖内,

表1 砾岩胶结物 ESR 测年数据

Table 1 ESR dating data of conglomerate cements

样品编号	古剂量(Gy)	年剂量(mGy)	年龄(Ma)
DP685-1 砾岩中碳酸钙	799.9	2.206	36.3±3.6
DP685-2 砾岩中碳酸钙	2300.0	3.164	94.0±9.0
DP721-1 亚砂土中碳酸钙	989.5	4.154	23.8±2.3
DP721-2 砾岩中碳酸钙	1320.5	3.898	33.9±4.0
DP721-3 砾岩中碳酸钙	3021.1	3.872	78.0±8.0

表2 断层面石英热活化 ESR 测年数据

Table 2 ESR dating data of quartz on fault plane

样品编号	顺磁中心浓度(10^{15} Sp/g)	铀当量含量(μ g/g)	年龄(Ma)
S3323-2 石英	0.031	0.929	6.7±6.0
S2616-1 石英	0.083	2.048	8.1±1.0

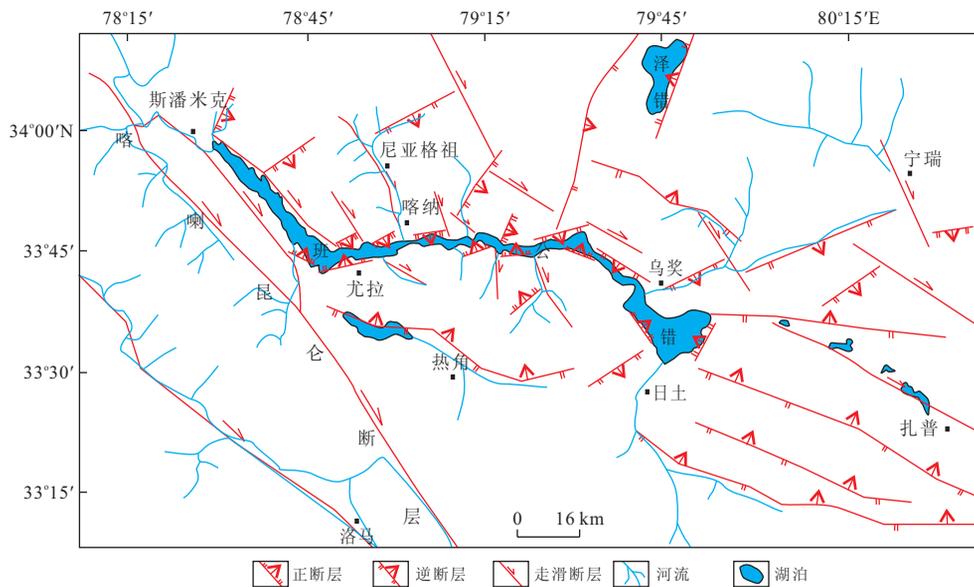


图 2 班公错湖盆周边线性构造遥感解译(遥感数据为时相为 2006 年 9 月 23 日空间分辨率 15 m 的 ETM+)

Fig. 2 Remote sensing interpretation image showin linear structure in the surrounding area of Bangong lake (the remote sensing data(ETM+) index; time is September 23,2006, spatial resolution is 15 m)

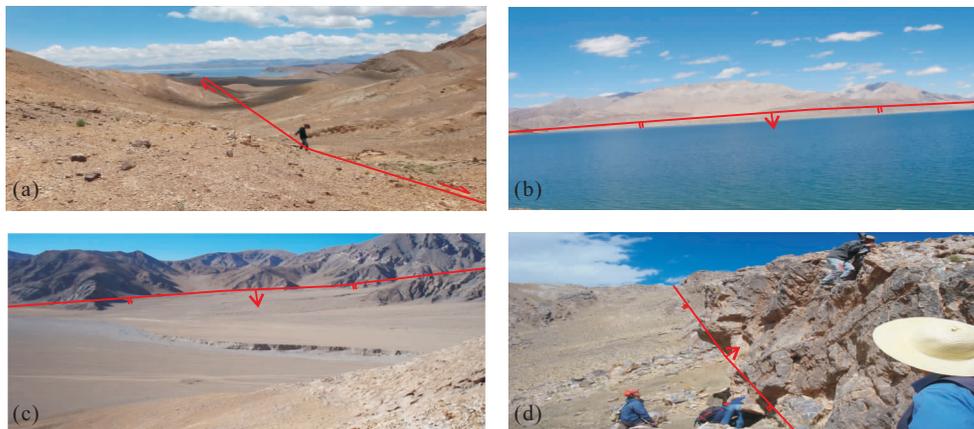


图 3 湖盆周边断层发育类型

Fig. 3 Accumulation types of faults surrounding area of Bangong lake in the study area

a. 湖盆南侧 NW 向右行走滑断层(镜向 340°); b. 湖盆北岸近 EW 向正断层(镜向 10°); c. 乌浆西 NE 向正断层(镜向 310°); d. 日土西近 EW 向逆断层(镜向 260°)

倾角多在 50°~75°。断层面上铁染、磨光镜面、硅化薄膜、擦痕和阶步明显,擦痕和阶步可指示断层性质为正断层。在正断层作用下,在湖盆周边常形成一些地堑,地堑规模从几十米到几千米不等,断层断距从几米到几十米不等,地堑延伸方向与湖盆边界走向近一致。局部露头可见该组断层切割过早期的 NWW 向逆断层。

2.3 NWW 向逆断层

NWW 向断裂作为区内主干断裂,隶属于班公湖—怒江冲断系,经历多期的俯冲、碰撞等构造作

用,与整体构造线及蛇绿混杂带走向近一致的 NWW(近东西)向逆冲型断层在带内相当发育(图 3d),具有发育程度高、规模大、生成时期早、多次复活并长期活动的特点,切割燕山晚期侵入体,被全新世冲洪积物不同程度覆盖,同时晚新生代以来断层活动导致区内湖泊的串珠状分布和泉眼的线性展布。在组合形式上主要表现为一系列近东西向的断面北倾的逆断层群,呈叠瓦状排列,断层面在平面上呈舒缓波状,断层面倾角一般在 30°~60°。沿断裂带挤压片理、透镜体、碎裂岩比较发育。

蛇绿混杂岩带内不同岩石类型和不同岩片之间、蛇绿混杂岩与地层之间以及不同地层之间基本都是以此类型断层为接触边界. 蛇绿混杂岩带内不同岩石类型和不同岩片之间主要断层标志:(1)岩性发生突变;(2)不同岩性接触界线处擦痕、构造角砾岩、片理化等明显;(3)通常较小的岩片以无根断片的形式覆盖在较大的岩片之上,断片通常呈透镜体、长条形,长轴的方向与断层方向和整体构造线的走向近一致. 蛇绿混杂岩与地层之间通常表现为时代较老的地层逆冲推覆在蛇绿岩岩片之上,逆冲断层带内经常超基性岩—基性岩构造侵入到地层之中,片理化带明显,构造角砾岩、碎裂岩发育,并且角砾呈透镜状定向排列,带内形成石英脉,石英脉上擦痕、阶步明显. 不同地层之间多表现为老地层覆盖在新地层之上;地貌上,通常为冲沟等典型的负地貌,构造上,片理化带、断层角砾岩、石英脉、擦痕和阶步等常见,产状上,两套地层之间经常有明显的不同.

其中断层切割的年轻地层是晚侏罗世—早白垩世沙木罗组(J_3K_1s),主要表现为沙木罗组二段($J_3K_1s^2$)的灰—深灰色厚层—块状含角砾微晶生物屑砂屑灰岩以飞来峰的形式逆冲推覆在蛇绿岩岩片之上,断层带内片理化、构造透镜体、构造角砾岩、碎裂岩及石英脉常见.

3 湖盆周边河湖相沉积特征

3.1 湖盆周边第四系沉积分布特征

研究区第四纪沉积物主要包括更新统湖积层以及全新统湖积层和冲洪积层. 结合野外地质调查,对研究区 ETM+ 遥感影像第四纪沉积层分布解译结果显示:更新统和全新统湖积层主要分布在湖盆的四周,全新统冲洪积层沿河流、沟谷以及山间盆地带状或裙状展布,其线性展布特征受断层控制作用明显,且由于岩性的东西差异(西部岩浆岩居多)以及更新世以来高原的脉动隆升,班公湖西部剥蚀作用更为显著.

野外调查发现,更新世湖积层主要分布于班公错湖盆的北岸,南岸相对较少,尤以乌奖一带出露最好. 湖积层多呈条带状沿湖泊展布,构成湖盆 III-V 级基座阶地,局部可见最大厚度超过 50 m,拔湖高度近 100 m,沉积物岩性为一套复成分砾岩,半固结状态,砾石成分见有灰岩、砂岩、板岩和超基性岩等,砾石磨圆度除板岩片状,其他成分砾石呈圆—次圆状. 全新世湖积层主要分布于班公错南北两岸以及古湖区,多环绕现代湖分布,常形成同心环状湖积层,构成 I-III 级阶地,一般高出湖面 0~30 m,沉积物岩性多以浅色(灰白、灰黄)调的细砾石层、含细砾—粉砂土层、含粉砂粘土层和钙质粘土层为主,

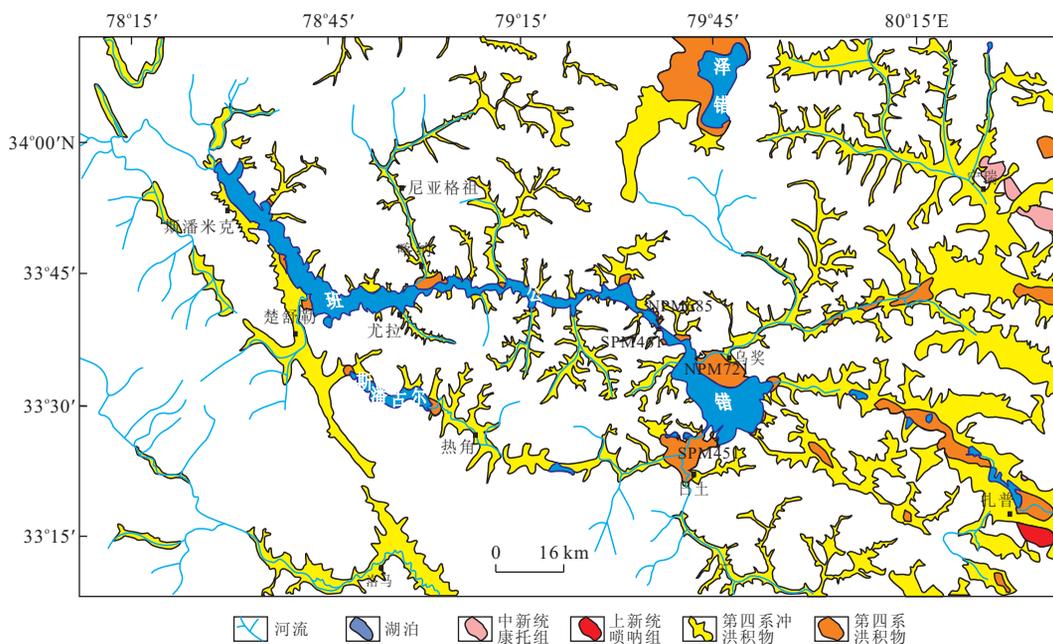


图 4 班公错周边地区晚新生代沉积地层遥感解译(遥感数据为时相为 2006 年 9 月 23 日空间分辨率 15 m 的 ETM+)

Fig. 4 Remote sensing interpretation image showing Late Cenozoic sedimentary strata in the surrounding area of Bangong lake (the remote sensing data(ETM+) index: time is September 23, 2006, spatial resolution is 15 m)

表 3 班公错南北两侧阶地分布和沉积特征对比

Table 3 Comparison of both the north Bangong lake lacustrine terraces and the south ones distribution and sedimentary characteristics

剖面号	阶地级数	阶地类型	沉积特征	拔湖高度(m)	测年数据
NPM685	I 级	内叠阶地	二元结构,底部为一套细粒砾石层,砾石成分以砂岩和灰岩为主,顶部为一厚度 35.1 cm 的粘土层.	3.27	
	II 级	基座阶地	砾石层为主,砾径由底到顶变粗,砾石成分以灰岩为主,少量板岩、砂岩和脉石英,磨圆次圆,无定向,中间夹有两层厚度 5~8 cm 的粘土层.	14.03	
	III 级	基座阶地	基座剥露地表为一套砂板岩夹灰岩,阶地堆积层为一大套巨厚砾石层,砾石磨圆度较好呈圆一次圆,胶结呈半固结—固结状态,砾石砾径整体偏大,集中在 5~15 cm,定向性比较差.	84.10	36.3±3.6 万年 (69 m)ESR 94.0±9.0 万年 (84 m)ESR
NPM721	I 级	内叠阶地	二元结构特征明显,底部为一套细粒砾石层,松散,砾石成分以灰岩和砂岩为主,磨圆中等,中间层为一套厚度 21.5 cm 的灰黄色亚粘土层,并见有植物根系,顶层为一套厚度 16.4 cm 的灰白色粘土层,含有细砂透镜体,见有大量的植物根系.	21.95	
	II 级	未见底	可见部分大概可以分为 4 层,由底部到顶部依次为:15.3 cm 的灰色砾石层、9.5 cm 的灰白色粘土层、14.6 cm 的灰色细砂层、17.6 cm 的松散细粒砾石层和 45.0 cm 的松散中粗粒砾石层.	23.65	
	III 级	基座阶地	主体为一套砾石层,细砂粘土胶结,底部为一套磨圆分选相对较好的细粒砾石层,砾石略有定向,扁平面的产状为 $195^{\circ}\angle 23^{\circ}$,中间砾径逐渐增大,发育一套厚度 13.6 cm 的巨砾砾石层,该层砾石砾径主要集中在 8~15 cm,向顶部砾石砾径逐渐降低,最顶部为一套厚度 45 cm 中粗粒砾石层—细粒砾石层—粘土层的粒序沉积.	65.91	23.8±2.3 万年(ESR)
	IV 级	基座阶地	由底部到顶部砾石砾径由粗到细的灰褐色砾石层,亚砂土和粘土胶结,砾石磨圆呈次圆,砾径集中在 3~8 cm,胶结呈半固结状态,最顶层砾石含量有所降低,不足 50%.	78.28	33.9±4.0 万年(ESR)
	V 级	基座阶地	主体为一套厚层灰褐色砾石层,砾石砾径 80%集中在 3~5 cm,少数超过 10 cm,胶结呈半固结状态,分选磨圆较好,砾石成分以灰岩为主,偶见砂岩和脉石英等.	93.74	78.0±8.0 万年(ESR)
SPM461	I 级	内叠阶地	二元结构,砾石层与粘土层互层,底部为一套砾石层,中间夹有两层厚度 15 cm 左右的粘土层,顶部同样为一套砾石层,砾石层中充填有细砂和粘土,磨圆中等.	4.90	
	II 级	内叠阶地	主体为一套砾石层,砾石层中砾石成分以砂岩、板岩和脉石英为主,中细粒,松散胶结,中间夹有一层厚度 8.4 cm 的粘土层.	21.56	
	III 级	基座阶地	中细粒灰色砾石层,胶结松散,砾石成分 95%为砂岩,少量的脉石英,磨圆呈次圆一次棱角,分选中等,定向性比较差.	23.83	
SPM451	I 级	内叠阶地	二元结构,砾石层夹亚砂土层和亚砂土透镜体,底部和顶部都为是一套中粗粒砾石层,砾石磨圆分选中等,扁平面定向性不明确,砾石成分以砂岩和板岩为主,偶见脉石英,局部夹有亚砂土透镜体,中间分别夹有厚度 0.89 m、0.12 m 和 0.1 m 的三层灰黄色亚砂土层.	9.02	

砾石成分与班公错支流上游岩性或更新世湖积层岩性一致,可见厚度大于 10 m. 全新世冲洪积层分布广泛,是至今仍在不断堆积的主要成因类型之一,主要发育于班公错支流的中上游及现代山间盆地之中,且多呈条带状或裙状展布于山体坡脚、山间谷地、山间低洼地带,形成山麓倾斜平原. 受后期冰川融水和降水的剥蚀作用,冲洪积层表面发育树枝状冲沟,局部冲沟深至基岩. 通过冲沟陡坎可以发现冲

洪积层堆积物以灰—灰黄色、灰褐色为主,主要由砾石层、砂砾石层、砂层及亚砂土层等组成,胶结相对比较松散. 砾石成分与物源区岩性紧密相关,不同地段成分、厚度均差别较大,厚度大于 2 m,最大可见厚度大于 20 m,一般不整合覆于基岩或早期堆积物之上,亦见其与全新世湖积层呈相变过渡关系.

3.2 湖相阶地沉积特征

湖相阶地的形成受基准面变化、气候条件、构造

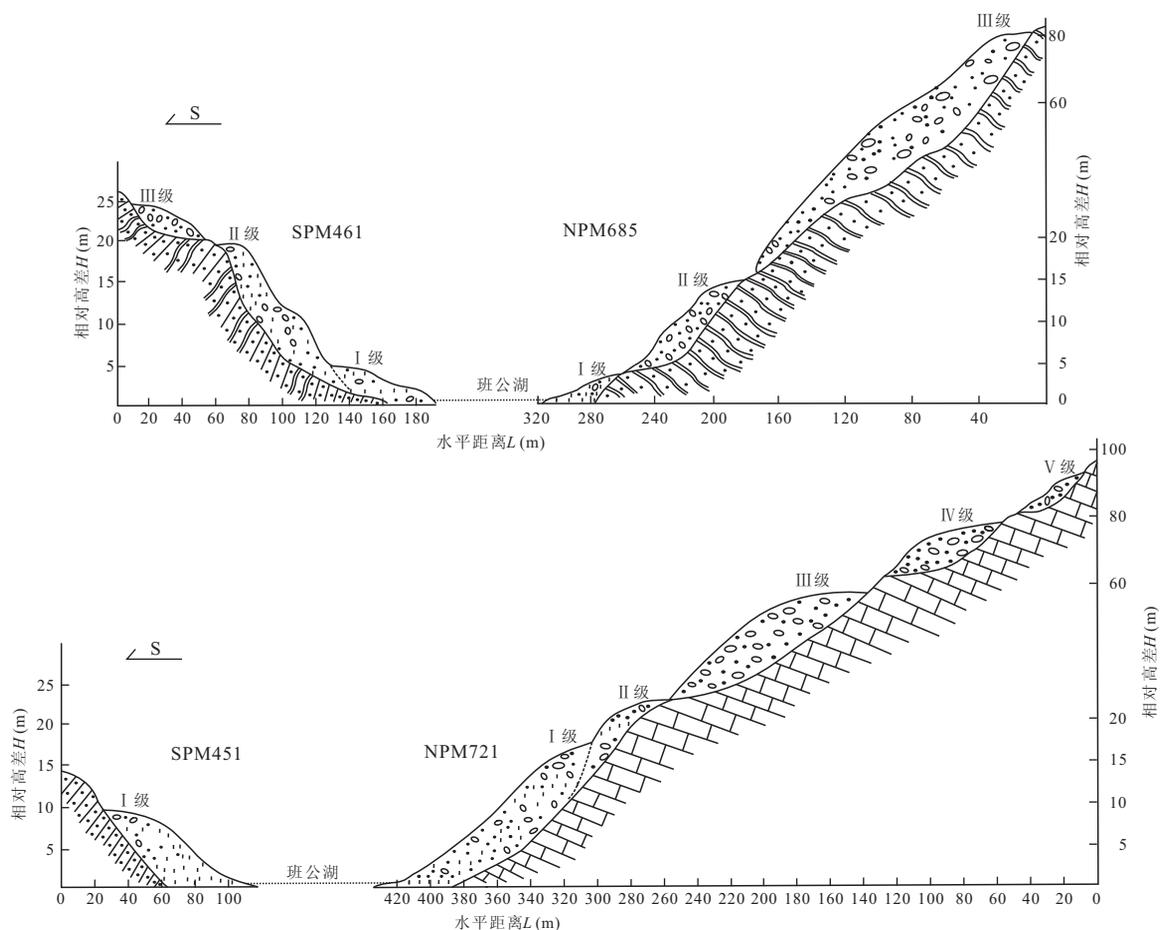


图5 班公错南北两侧湖相阶地剖面

Fig. 5 Profiles of both the north Bangong lake lacustrine terraces and the south ones

活动等因素的控制和影响 (Reneau, 2000). 气候变化所形成的阶地以堆积阶地为主, 一般阶地之间级差比较小, 且在湖盆的两侧基本对称分布, 而构造活动形成的阶地由于构造活动的间歇性特点, 阶地的类型具有多样性, 但是以基座阶地为主. 班公错湖盆区南北两侧的湖相阶地一级阶地以内叠阶地为主, 气候变化占主导, 二级以上阶地均为基座阶地, 构造活动因素占主导, 可以间接反映湖盆周边的构造抬升. 野外测制多条湖相阶地剖面 (图 4 和图 5), 总结发现班公错南北两侧阶地发育类型和沉积特征具有明显的差异 (表 3). 班公错南岸多数只发育一级阶地, 少数发育三级阶地, 且一、二级阶地类型多数为内叠阶地. 它们都有一个共同特点, 即阶面垂直高度比较均匀, 一般一级阶地高度 4~10 m, 二级阶地 10~18 m, 三级阶地不超过 3 m. 一级阶地二元结构特征明显, 多为灰白色粘土层或灰黄色亚砂土层与砾石层互层, 胶结较差; 二级阶地沉积物为中细粒砾石层, 砾石含量超过 40%, 亚砂土和粘土胶结, 局部发育亚砂土压扁层, 砾石成分以砂岩和基性岩

为主; 三级阶地沉积物为中粗粒砾石层, 砾石成分同样以砂岩和基性岩为主, 偶见脉石英, 砾石含量近 60%, 松散一半固结胶结, 混杂堆积, 磨圆呈次圆一次棱角状, 最高拔湖高度不超过 25 m. 而班公错北岸多发育三、四级阶地, 局部见有五级阶地. 阶地类型除一级阶地为内叠阶地外, 二级以上阶地多数为基座阶地. 一级阶地二元结构特征明显, 灰白色粘土层中夹有小规模细粒砾石层透镜体, 植物根系胶结其中, 并见有现代螺化石; 二级阶地呈现中细粒砾石层与亚砂土层互层, 多旋回沉积的特征, 其中亚砂土层相对较薄, 最厚不超过 30 cm; 三级阶地以中粗粒砾石层为主, 可见夹有亚砂土层的压扁层, 厚度 2~10 cm. 班公错的最高湖相阶地为拔湖高度 80~100 m 的砾岩层, 总厚度超过 60 m, 侵蚀不整合于 T_3R^1 的砂板岩之上, 砾石层砾石胶结呈半固结—固结状态, 砾石磨圆度较好, 呈圆一次圆, 砾石成分底部以灰岩为主, 顶部以灰岩和砂岩为主, 砾石砾径相对较大, 最大可见超过 30 cm, 主要集中在 5~10 cm, 定向性比较差. 笔者分别于拔湖高度 69 m、

84 m 采取砾岩样, ESR 测年结果分别为 36.3 ± 3.6 万年、 94.0 ± 9.0 万年。

4 班公错湖盆的成因简析

班公错湖盆走向近 EW, 中间窄两端膨大, 形如“哑铃”, 南北两侧山体陡峻, 地貌上指示湖盆的构造成因, 周边活动断层以 NW 向右行走滑断层和 NE 正断层为主, 构造上指示湖盆的拉分特征 (Rahe *et al.*, 1998). 湖盆南北两侧发育多级阶地, 其中北侧见有拔湖高度近百米的湖相阶地, 沉积上指示湖盆的断陷盆地特征. 从地形地貌、沉积建造和构造上分析, 推断班公错湖盆为一构造拉分断陷复合湖盆, 其扩张受 NW 和 NE 两组多条断层的控制, 萎缩受湖盆周边及内部山体抬升的限制。

5 班公错的湖盆演化

根据湖盆周边的断层活动特征和湖盆演化的沉积响应特征笔者将班公错湖盆的演化分为 4 个阶段, 依次为湖盆打开的幼年期、湖盆膨胀的青年期、湖盆急剧膨胀伴随湖盆中心南移的壮年期和湖盆不对称萎缩的老年期 (图 6)。

幼年期湖盆打开的初始时间与喀喇昆仑断层的最早活动时代密切相关, 喀喇昆仑断层的最初活动时间国内外学者不同的方法取得异样的结果, Matte *et al.* (1996) 认为自 11 Ma 以来喀喇昆仑断层即发生了右行剪切; Searle and Phillips (2007) 根据同构造花岗岩 SHRIMP U-Pb 年龄认为该断裂最早活动时代为 18.0 ± 0.6 Ma; Murphy *et al.* (2000) 认为断裂活动时间为 13 Ma; Lacassin *et al.* (2004) 获得断层带糜棱化片麻岩的年龄为 23~25 Ma, 并认为该年龄是断裂最早活动时代; Phillips *et al.* (2004) 根据喀喇昆仑断裂带的韧性剪切带的同构造淡色花岗岩岩脉的年龄推断其最早活动时代为 15.68 ± 0.52 Ma 至 13.73 ± 0.28 Ma, 李海兵等 (2006) 将喀喇昆仑断层生长演化予以分段, 认为约 20~18 Ma 断层由南东扩展至班公山区域, 并形成了同构造淡色花岗岩 (班公山花岗岩). 求同存异, 喀喇昆仑断层于班公错西缘的最早活动时代应该是在中新世, 由此可以推断班公错湖盆的最初打开的位置应该位于现代湖盆的西缘, 靠近喀喇昆仑断层带, 打开时间也应该在中新世之后. 同时, 通过湖盆南北

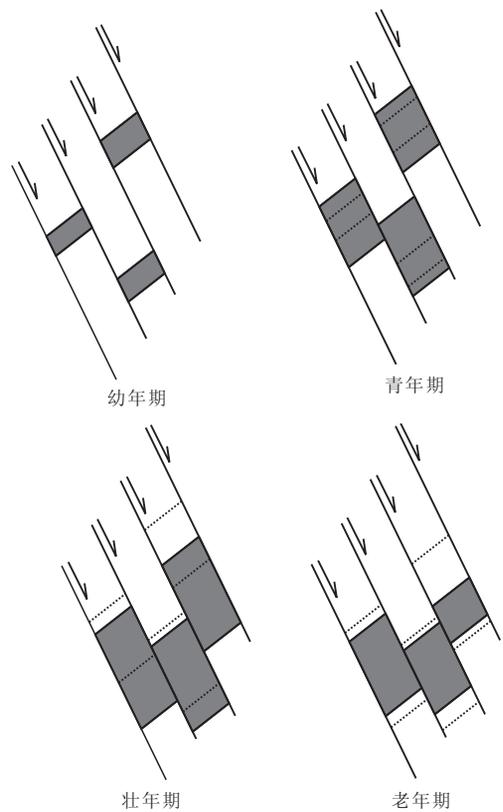


图 6 班公错湖盆演化示意

Fig. 6 Schematic diagram of the evolution of Bangong lake basin
虚线为早期湖盆边界, 实线为当前湖盆边界

两侧相同沉积相牛堡组 (E_{1-2n}) 地层的类比, 可以明确指示湖盆打开时代最早也应该晚于渐新世。

受喀喇昆仑大型右行走滑断层的影响, 多条 NW 向断层活化呈现右行走滑特征, 与此同时产生大量的 NE 向正断层, 剧烈的断层活动导致断层面上石英快速结晶生长, 伴随着 NW 向断层系的持续右行走滑以及 NE 向正断层的持续活动, 湖盆进一步扩张并且逐渐连为一体, 根据两组断层面石英的 ESR 年龄推断湖盆演化进入青年期的时间应早于 8.1 ± 1.0 Ma。

湖盆演化进入壮年期的标志为湖盆南北两侧的湖积阶地的类型和沉积特征差异显著, 班公错北岸拔湖高度超过 60 m 的湖相砾石层在班公错南岸并没有出露, 而且南岸的一、二级阶地类型多数为内叠阶地. 分析原因, 0.94 Ma 左右, 班公错湖盆的中心开始南移, 伴随着湖盆的持续扩张, 将南岸的沉积砾石层剥蚀覆盖, 一直持续到 0.23 Ma 左右, 因此班公错南岸的湖相阶地多数为内叠阶地, 出露的早期阶地已经被剥蚀和覆盖。

根据拔湖高度 65.91 m 阶地的沉积年龄 $23.8 \pm$

2.3 万年推断,0.23 Ma 左右伊始,湖盆膨胀的空间受到限制,同时拔湖高度低于 25 m 的湖相阶地,湖盆南北两侧均有发育,虽然阶地绝对高度不高,但是其对称而不连续的基座阶地特点已经间接指示班公错湖盆的不对称萎缩退化。

6 结论

班公错湖盆作为青藏高原西缘典型的构造湖盆,从地貌形态、湖盆周边沉积特征以及断层展布和活动特征,认为是拉分断陷盆地,同时根据湖盆周边的断层活动特征和湖盆演化的沉积响应特征将班公错湖盆的演化分为 4 个阶段。

依据前人研究喀喇昆仑断层靠近班公错西缘的最早活动时间约束湖盆打开幼年期的时代应该晚于中新世(约 13~23 Ma);根据湖盆周边 NW 向右行走滑断层断层面石英的结晶析出时间约束湖盆快速膨胀的青年期应该不晚于 8.1 ± 1.0 Ma;根据班公错南北两侧拔湖高度高于 60 m 湖相阶地的分布和沉积差异特征,将湖盆扩张伴随湖盆中心南移的壮年期约束在 0.94 Ma 左右;依据班公错南北两侧具有对称性但不连续的拔湖高度低于 25 m 湖相阶地的类型和沉积特征推断出班公错湖盆 0.23 Ma 以后开始产生不对称的萎缩退化,进入了湖盆演化的老年期。

需要指出的是,班公错湖盆演化过程与青藏高原西构造结重要调整走滑带的喀喇昆仑断层及其次级断层的活动息息相关,湖盆的每个演化阶段对应着该断裂系的活动期次,因此计算班公错及其周边一系列的拉分盆地特定时段的拉分量对于推断喀喇昆仑断裂系某一时段活动特征和位移速率具有很好的辅助指示意义。

致谢:张俊花、高成、秦雅东、李华亮等人参加了野外剖面的测制并给予有益的建议,在此表示感谢,同时感谢审稿专家对本文提出的宝贵意见。

References

Chen, Z. E., Lin, Q. Y., 1993. Significance of Neotectonic Movement of Lake Extension and Shrinkage in Qinghai-Tibet Plateau. *Earthquake*, 1: 31–52 (in Chinese with English abstract).

Chinese Academy of Sciences Qinghai-Tibetan Plateau Comprehensive Scientific Survey Team, 1984a. Rivers and lakes of Tibet. Science Press, Beijing (in Chinese).

Chinese Academy of Sciences Qinghai-Tibetan Plateau Comprehensive Scientific Survey Team, 1984b. Quaternary Geology of Tibet. Science Press, Beijing (in Chinese).

Dortch, J. M., Owen, L. A., Caffee, M. W., et al., 2011. Catastrophic Partial Drainage of Pangong Tso, Northern India and Tibet. *Geomorphology*, 125(1): 109–121. doi:10.1016/j.geomorph.2010.08.017

Fan, H., Gasse, F., Huc, A., et al., 1996. Holocene Environmental Changes in Bangong Co Basin (Western Tibet). Part 3: Biogenic Remains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 120(1–2): 65–78. doi:10.1016/0031-0182(95)00034-8

Guo, T. Y., Liang, D. Y., Zhang, Y. Z., et al., 1991. Geology of Ngari Tibet (Xizang). China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).

Jason, M. D., Lewis, A. O., Marc, W. C., et al., 2011. Catastrophic Partial Drainage of Pangong Tso, Northern India and Tibet. *Geomorphology*, 125: 109–121. doi:10.1016/j.geomorph.2010.08.017

Jia, Y. L., Shi, Y. F., Wang, S. M., et al., 2001. Lake-Expanding Events in the Tibetan Plateau since 40 ka BP. *Science in China (Series D): Earth Sciences*, 44(1): 301–315. doi:10.1007/BF02912000

Jiang, J. H., Wang, R. J., Qu, X. M., et al., 2011. Crustal Extension of the Bangong Lake Arc Zone, Western Tibetan Plateau, after the Closure of the Tethys Oceanic Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 36(6): 1021–1032 (in Chinese with English abstract). doi:10.3799/dqkx.2011.101

Lacassin, R., Valli, F., Arnaud, N., et al., 2004. Large-Scale Geometry, Offset and Kinematic Evolution of the Karakorum Fault, Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 219(3–4): 255–269. doi:10.1016/S0012-821X(04)00006-8

Li, B. Y., 2000. The Last Greatest Lakes on the Xizang (Tibetan) Plateau. *Acta Geographica Sinica*, 55(2): 174–182 (in Chinese with English abstract).

Li, H. B., Franck, V., Xu, Z. Q., et al., 2006. Deformation and Tectonic Evolution of the Karakorum Fault, Western Tibet. *Geology in China*, 33(2): 239–255 (in Chinese with English abstract).

Matte, P., Tapponnier, P., Arnaud, N., et al., 1996. Tectonics of Western Tibet, between the Tarim and the Indus. *Earth and Planetary Science Letters*, 142(3–4): 311–330. doi:10.1016/S0012-821X(04)00006-8

Murphy, M. A., Yin, A., Kapp, P., et al., 2000. Southward Propagation of the Karakoram Fault System, Southwest Tibet: Timing and Magnitude of Slip. *Geology*, 28(5):

- 451—454. doi: 10. 1130/0091—7613(2000)28<451: SPOTKF>2. 0. CO;2
- Phillips, R. J. , Parrish, R. R. , Searle, M. P. , 2004. Age Constraints on Ductile Deformation and Long-Term Slip Rates along the Karakoram Fault Zone, Ladakh. *Earth and Planetary Science Letters*, 226(3): 305—319. doi: 10. 1016/j. epsl. 2004. 07. 037
- Rahe, B. , Ferrill, D. A. , Morris, A. P. , 1998. Physical Analog Modeling of Pull-Apart Basin Evolution. *Tectonophysics*, 285(1—2): 21—40. doi:10. 1016/S0040—1951(97) 00193—5
- Reneau, S. L. , 2000. Stream Incision and Terrace Development in Frijoles Canyon, Bandelier National Monument, New Mexico, and the Influence of Lithology and Climate. *Geomorphology*, 32(1—2): 171—193. doi:10. 1016/S0169—555X. 99. 00094—X
- Searle, M. P. , Phillips, R. J. , 2007. Relationships between Right-Lateral Shear along the Karakoram Fault and Metamorphism, Magmatism, Exhumation and Uplift: Evidence from the K2-Gasherbrum-Pangong Ranges, North Pakistan and Ladakh. *Journal of the Geological Society*, 164 (2): 439 — 450. doi: 10. 1144/0016 — 76492006—072
- Shi, Y. F. , Li, J. J. , Li, B. Y. , et al. , 1999. Uplift of the Qinghai-Tibet Plateau and East Asia Environmental Change during Late Cenozoic. *Acta Geographica Sinica*, 54(1): 10—21(in Chinese with English abstract).
- Sun, J. L. , Zhang, Y. F. , Xu, H. L. , et al. , 2011. Cenozoic Tectonics and Basin Evolution in the Southwestern Nansha Sea Area. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(5): 956—966(in Chinese with English abstract). doi: 10. 3799/dqkx. 2011. 101
- Van Campo, E. , Cour, P. , Hang, S. , 1996. Holocene Environmental Changes in Bangong Co Basin (Western Tibet). Part 2: The Pollen Record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 120 (1—2): 49 — 63. doi:10. 1016/0031—0182(95)00033—X
- Zheng, M. P. , Liu, W. G. , Xiang, J. , et al. , 1983. On Saline Lakes in Tibet, China. *Acta Geologica Sinica*, 2: 184—194 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. G. , Meng, X. G. , Zhao, X. T. , et al. , 2001. Nam Tso Lacustrine Sediments and the Ancient Big Lake in Northern Tibet Plateau. *Acta Geoscientia Sinica*, 22 (1): 149—155(in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. G. , Zhao, X. T. , Meng, X. G. , et al. , 2001. On the Quaternary Lacustrine Deposits and the Lacustrine Landform of Nam Co, Xizang (Tibet). *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 33(2): 156—162 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈兆恩, 林秋燕, 1993. 青藏高原湖泊涨缩的新构造运动意义. *地震*, 1: 31—52.
- 郭铁鹰, 梁定益, 张宜智, 等, 1991. 西藏阿里地质. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 江军华, 王瑞江, 曲晓明, 等, 2011. 青藏高原西部班公湖岛弧带特提斯洋盆闭合后的地壳伸展作用. *地球科学——中国地质大学学报*, 36(6): 1021—1032.
- 李炳元, 2000. 青藏高原大湖期. *地理学报*, 55(2): 174—182.
- 李海兵, Franck Valli, 许志琴, 等, 2006. 喀喇昆仑断裂的变形特征及构造演化. *中国地质*, 33(2): 239—255.
- 施雅风, 李吉均, 李炳元, 等, 1999. 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化. *地理学报*, 54(1): 10—21.
- 孙金龙, 张云帆, 徐辉龙, 等, 2011. 南沙西南海域新生代构造活动特征与盆地演化. *地球科学——中国地质大学学报*, 36(5): 956—966.
- 郑绵平, 刘文高, 向军, 等, 1983. 论西藏的盐湖. *地质学报*, (2): 184—194.
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1984a. 西藏河流与湖泊. 北京: 科学出版社.
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1984b. 西藏第四纪地质. 北京: 科学出版社.
- 朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等, 2001. 纳木错湖相沉积与藏北高原古大湖. *地球学报*, 22(2): 149—155.
- 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等, 2003. 西藏纳木错第四纪湖泊沉积与湖成地貌——兼论藏北高原古大湖问题. *吉林大学学报(地球科学版)*, 33(2): 156—162.