

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

## 西藏班戈错近50年来的湖面变化

赵元艺<sup>1)</sup>, 赵希涛<sup>2,3)</sup>, 郑绵平<sup>1,2)</sup>, 李文智<sup>1,2)</sup>, 曹建科<sup>2)</sup>, 李明惠<sup>1,2)</sup>

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 2) 中国地质科学院盐湖资源与环境开放研究实验室, 北京, 100037; 3) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029

**内容提要:** 本文根据大量地形图、遥感图像或遥感数据、连续29个月的水位观测记录、三次水深测量和2003年5月26日的湖水位高程测量等资料, 勾绘了班戈错近50年来的湖岸线变迁和湖面高程变化曲线图。研究表明, 自1959年至2003年9月的近50年间班戈错湖面总体上升, 但其间经历了先降后升再略有下降的过程, 即自1959年至1973年或稍晚, 班戈错一直收缩、湖面下降了0.25 m; 自1973年或稍晚至2001年秋, 湖面总体上升, 其幅度可达1.75 m; 其后, 湖面又略有下降。班戈错湖面变化的原因难以用其面积较小的流域本身的气温与降水的变化来解释, 只能归结为与其有水力联系的母湖色林错流域自1973年起气温的持续上升所引起的主要补给河流扎加藏布源区唐古拉山与巴汝藏布和申扎藏布源区申扎杰岗山的现代冰川的融水释放水量增大使色林错水位上升, 因色林错与班戈错之间有一定的水力联系而引起班戈错水位上升。

**关键词:** 1959~2003 AD; 湖面变化; 西藏班戈错

藏北高原作为我国旱寒中心, 海拔高达4500~5000 m, 但地势相对平坦, 其上湖泊(主要为咸水湖或盐湖、干盐湖)密布, 是我国湖泊分布密度最大的地区之一。其周围有冈底斯、念青唐古拉、唐古拉、可可西里和昆仑等高大山脉横亘, 其上有大量的现代冰川分布。这些高山冰川带同时也是高降水带, 并且山地越高, 冰川面积越大(沈永平等, 2004)。而高原内部湖泊的湖面变化是气候变化最为敏感的标志之一。但由于该地区为全球人烟最为稀少和交通十分不便的地区之一, 缺乏湖面变化的长期连续观测记录。因此, 选择湖面变化明显的典型湖泊, 查明其近几十年来的湖面变化规律和原因, 对探讨相关地区的气候变化有重要意义。

本文的研究对象班戈错位于西藏那曲地区班戈县城西北75 km处, 湖面海拔约4520 m, 是西藏第二大湖泊——色林错的东部“分蘖湖”, 与色林错之间隔以第四纪不同时期从南、北两个方向伸向湖中的大沙嘴, 因湖面间歇性下降而逐渐与色林错分开。李爽等(1995)、杨日红等(2003)和吕鹏等(2003)曾利用遥感资料讨论过纳木错、色林错和班戈错等湖泊的湖面变化及其原因。

在1969年12月航摄、1972年5~6月调绘、1976年

出版的汤女淌和硼砂厂两幅1:10万地形图上, 咸水湖班戈错面积约为56 km<sup>2</sup>, 湖面海拔不到4520 m等高线, 但缺乏湖面高程的具体注记; 在其东北部为一与其以小沟相连的面积约为30 km<sup>2</sup>的干盐湖; 在此干盐湖之东, 还有一个面积约为5 km<sup>2</sup>的小咸水湖夏穷错。郑绵平等(1989)将班戈错、干盐湖和夏穷错分别称为班戈Ⅲ湖、班戈Ⅱ湖和班戈Ⅰ湖。因班戈Ⅰ湖即夏穷错面积较小, 并与班戈Ⅱ湖、Ⅲ湖不连通, 故本文所指班戈错仅为班戈Ⅱ湖与Ⅲ湖。

班戈错属于南羌塘高原亚寒带半干旱气候区, 气候较为寒冷、干旱。据观测, 该区2001年6月至2002年5月的年均气温为0.1℃, 年降水量为263.9 mm, 年蒸发量为1928.1 mm, 年日照时数为2727.6 h, 旬平均风速为0.5~5 m/s(赵元艺等, 2004)。由安多和那曲至阿里的简易公路在班戈错东北汇合, 故该湖交通尚算方便。

### 1 资料

#### 1.1 1:10万航测地形图

涉及到班戈Ⅲ湖和Ⅱ湖的1:100000地形图共两幅, 即汤女淌幅和硼砂厂幅。这两幅地形图航摄于1969年12月, 分别调绘于1972年5月和6月, 出版于

注: 本文为中国地质调查局地质调查项目(编号 200010000003、20313000065)及国家自然科学基金重点项目(编号 49833010)资助成果。  
收稿日期: 2006-01-16; 改回日期: 2006-02-15; 责任编辑: 周健。

作者简介: 赵元艺, 男, 1966年生, 研究员, 矿床学专业。Email: yuanyizhao2@sina.com.cn。

1976年,其等高线间距为20 m。笔者所进行的湖泊涨缩和湖面变化研究均以此二图为底图。该图表示了当时班戈错即班戈Ⅲ湖的范围,东西方向为 $89^{\circ}26.07'E\sim 89^{\circ}31.32'E$ ,南北方向为 $31^{\circ}40.52'N\sim 31^{\circ}45.93'N$ ,湖面面积约为 $56\text{ km}^2$ ,水边线紧贴4520 m等高线,而低于该等高线,可惜缺乏湖面高程的注记。位于班戈Ⅲ湖东北方向的班戈Ⅱ湖是干盐湖,湖盆面积略小于Ⅲ湖,其湖边高程点的注记多为4523 m。经调查,Ⅱ湖西岸的4590.1 m三角点水泥桩迄今仍保存着,为本文测量现今湖面高程提供了基础。

### 1.2 1:5万地面测绘地形图

1963年10月,西藏地质局藏北地质队以1959年在班戈错区所测1:100000地形图为主,并参考1956年西藏地质局821队1:50000地形地质图,合编了班戈错硼矿矿区1:50000第四纪地形地质图(程果拟编)。因此,这张1:50000地形图所体现的班戈错范围应定为1959年。该图的等高线间距为5 m,但加密了湖边的等高线,间距可达1 m。该图表示了当时班戈Ⅲ湖的范围,东西方向为 $89^{\circ}25.77'E\sim 89^{\circ}32.41'E$ ,南北方向为 $31^{\circ}40.55'N\sim 31^{\circ}46.04'N$ ,湖面面积约为 $60\text{ km}^2$ ,略大于1969年12月航测的1:10万地形图。湖面高程近4333 m等高线(不知为何种高程系)。除班戈Ⅲ湖东岸卡挖藏布河口三角洲地区和东南岸坡度较缓外,其他岸段的4333 m、4334 m和4335 m三条等高线均较密集。班戈Ⅱ湖也是干湖,其东南角4333 m、4334 m和4335 m等高线距离较大,也为一条间歇性小河的河口三角洲位置,其余岸段这三条等高线的距离较小。这些均表明,为硼矿开采服务而进行的地形测量是相当精确的,也为本文的研究提供了良好的基础。

### 1.3 航摄图片资料

李爽等(1995)利用1986年6月航摄的1:4万假彩色红外片,与1970年1月(应为1969年12月,本文注)航摄的1:6万黑白片进行对比,并分别标绘在前述的

1:10万地形图上进行量算,发现色林错东北湖泊群中有9个面积小于 $1\text{ km}^2$ 的湖泊完全干涸了,其余20个湖泊均有不同程度的缩小,缩小幅度在 $8\%\sim 75\%$ 之间。可惜的是,该文未提供班戈错的有关图件,笔者曾简单浏览过1969年12月所摄航片,但未能取得这些航片进行详细分析。

### 1.4 卫星遥感资料

杨日红等(2003)利用收集到的1972年10月2日的MSS遥感图像、1992年9月23日TM遥感数据和1999年9月19日ETM<sup>+</sup>遥感数据,计算出这三年色林错的湖泊面积的最大值分别为 $1707\text{ km}^2$ 、 $1790.51\text{ km}^2$ 和 $1823.24\text{ km}^2$ 。他们在讨论色林错的同时,也表示了其东部分蘖湖班戈错这三天和1973年6月10日的4张遥感图像。吕鹏等(2003)则利用了2001年1月的遥感图像与1970年的航空照片的对比来论证色林错30年来湖泊的扩张。

本文依照上述遥感图像与收集到的1976年12月19日与1977年3月18日的遥感图片(中国科学院地理研究所1980年6月编制,1:500000)及中国科学院遥感研究所石军梅所提供的1983年7月12日的遥感图片,将不同时期的湖泊范围表示在同一张平面图上(图1),并且量算了上述日期班戈错的湖泊面积(表1)。1959年和1969年两年的地面与航空测量所测1:5万与1:10万地形图的湖泊范围和湖泊面积量计算结果也分别表示于图1和表1。

由图1可以看出,1972年10月2日,班戈错湖泊范围已比1969年大为减少,为 $9.7\text{ km}^2$ ;1973年6月10日,班戈错湖泊范围仅剩 $3.5\text{ km}^2$ ;而在1976年12月19日,班戈错湖面已扩大到 $28.6\text{ km}^2$ ,至1977年3月18日,湖面又缩小为 $16.6\text{ km}^2$ 。此后,湖面明显扩大,到1983年7月12日,班戈错已完全是另一种景象:不仅Ⅲ湖已比1963年和1969年面积明显加大,Ⅱ湖也开始积水,湖面面积已达 $83.8\text{ km}^2$ 。到了1992年9月23日,班戈Ⅱ湖已充满了水,湖泊总面积可达 $128.1$

表1 不同时期班戈错的湖泊面积与湖面高程

Table 1 Lake areas and elevations of Bankog Co in different years

日期	面积( $\text{km}^2$ )	高程(m)	日期	面积( $\text{km}^2$ )	高程(m)
1959年	66.2	4520.76	1983年7月12日	83.8	4521.01
1969年12月	56.7	4520.61	1992年9月23日	128.1	4521.81
1972年10月2日	9.7	4520.41	1999年9月19日	131.4	4521.86
1973年6月10日	3.5	4520.36	2001年8月10~11日	167.2	4522.11
1976年12月19日	28.6	4520.56	2003年5月25/26日		4521.58
1977年3月18日	16.6	4520.51	2003年9月10日		4522.01

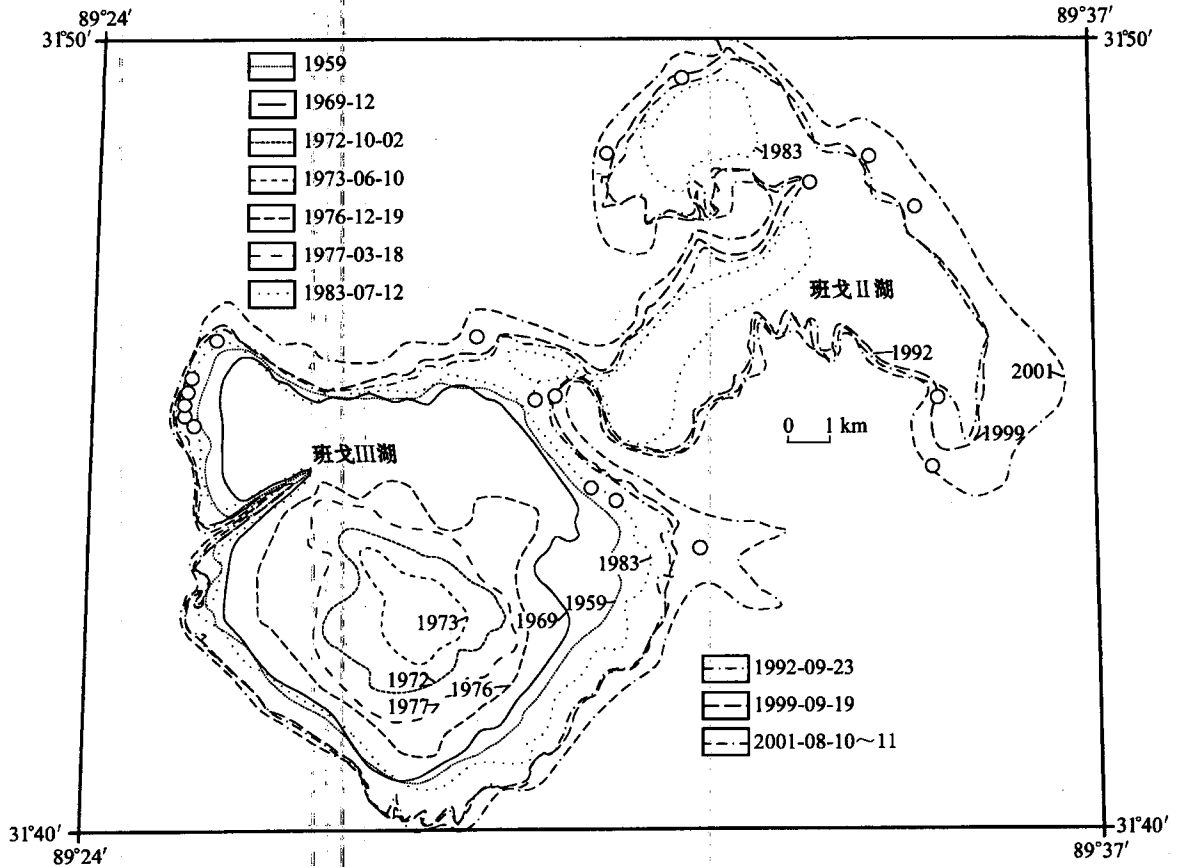


图1 不同时期班戈错的湖泊范围

Fig. 1 Lakesides of Bankog Co in different years

- 2003年湖岸线GPS测量点
- GPS point of lakeside in 2003

km<sup>2</sup>。1999年9月19日,班戈错水域面积又有所扩大,可达131.4 km<sup>2</sup>。2001年1月,班戈错水域面积进一步扩大,但吕鹏等(2003)未提供具体数据,本文也未收集到有关图片。

### 1.5 现代湖岸线GPS定位

在2003年5月~9月间,本文利用GPS记录了班戈Ⅱ、Ⅲ湖若干岸线点的位置,并将其标绘于图1上。可以看出,2003年5~9月的湖泊范围相对于2001年有所缩小。

### 1.6 湖面高程的水准测量

2003年5月26日,本文根据班戈Ⅲ湖以北、班戈Ⅱ湖以西的4590.1 m三角点(GPS座标为31°47.211'N,89°30.344'E)(见图3),使用苏州一光仪器有限公司生产的NAL132型自动安平水准仪(其技术标准为每千米往返高差中数标准偏差为±1.0 mm,使用前经检测,其误差为1.9 mm/30 m,小于2.0 mm/30 m的标准,符合仪器使用要求),测得班

戈错湖面高程为4521.58 m。由于该三角点的高程仅精确到分米,而且我们测量起终点的累计长度达1.8 km,故多次观测的积累误差也可达到分米级。因此,本文认为,2003年5月26日班戈错湖面高程实测数据虽为4521.58 m,但其高程应理解为4521.6±0.2 m。

### 1.7 水位观测

利用班戈错资源环境试验观测站,本文自2001年5月至2003年9月,分别对班戈Ⅱ、Ⅲ湖水位进行了连续29个月的观测。每月观测两次,为10日前后和25日前后。因这两个湖已连为一体,因而该观测结果可以看成是对班戈错设立了两个标尺的观测结果。将二者计算结果进行平均,即为班戈错湖面的相对高度。由于已测得2003年5月26日的湖面高程为4521.58 m,则可将上述相对水位变化曲线换算为水位的高程变化曲线(图2)。由图2可以看出,班戈错湖水位具有0.22~0.47m的年变化,以2001年8月

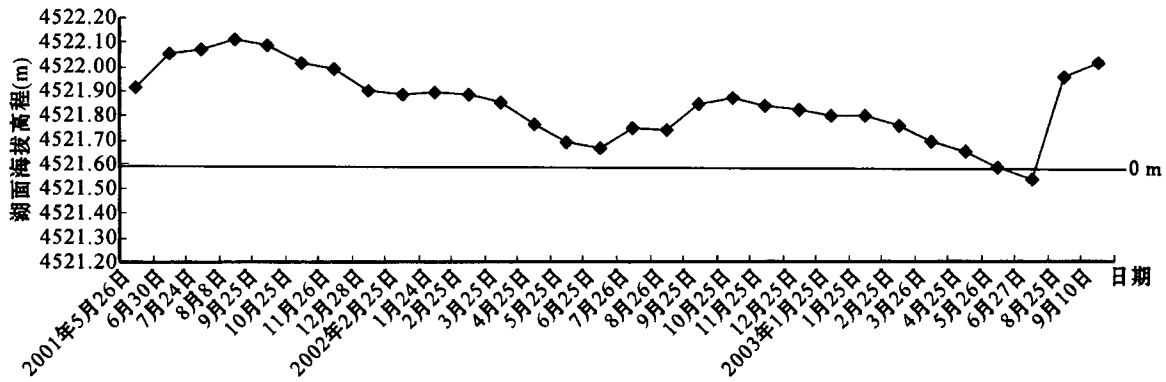


图2 班戈错水位变化曲线(2001-05~2003-09)

Fig. 2 Fluctuation curve of lake level for Bankog Co during 2001.05~2003.09

为最高,可达4522.11 m,但自2001年至2003年,水位总体上有0.10(丰水期)~0.38 m(枯水期)的下降。

## 2 湖面变化过程

### 2.1 湖泊涨缩过程

从前述地面测绘、航摄与遥感资料与记录中可以看出,如以1969年12月航摄、1976年出版的1:10万地形图为准,将1959年、1972年、1973年、1976年、1977年、1983年、1992年、1999年和2001年等年的湖泊范围标绘在同一平面图(图1)上,可清楚地看出,从1959年至1977年,班戈错的面积经历了一个由减小到增大的过程,但始终没有超出班戈Ⅲ湖的范围。班戈Ⅱ湖则一直是干湖盆。而从1983年(或更早的时间)起,班戈错开始明显扩张:不仅Ⅲ湖面积比1959年和1969年大,而且Ⅱ湖已开始充水。这种扩张可能一直持续到2001年8月中旬。而到2003年9月,已较2001年8月有所退缩。

### 2.2 湖泊涨缩与湖面变化

湖泊涨缩与湖面变化原则上呈正相关关系,即湖泊范围扩大,湖面上升;反之,则湖面下降。然而,由于湖盆地形的不规则性,而难以建立起二者之间精确的行之有效的数学关系。这给没有长期连续水位观测的湖泊带来很大的困扰。尤为可惜的是,在上述两幅有关班戈错的1:10万地形图中,既没有湖面高程的注记,且等高线间距又稀达20 m,更谈不上湖底的地形了。这为推断班戈错近几十年来的湖面变化带来了很大的不便。幸好,本文在2001年5月~2003年9月间,不仅在该湖进行了连续水位观测,还进行了三次水深测量,又于2003年5月26日对Ⅲ湖水

位进行了水准测量,从而为定量恢复湖面变化奠定了基础。

### 2.3 由等深线图推断有关年份的湖面高程

为了查明班戈错表面湖水水深等特征,笔者曾在2001年8月(丰水期)、2002年1月(枯水期)和7月(丰水期),利用汤女淌幅和硼砂厂幅1:10万地形图中的2km×2km网,以班戈Ⅲ湖北岸的冷拉个弄巴为基点,向南和向东各以班戈Ⅲ湖和Ⅱ湖控制剖面中的网格点为水深测量点,用直径约4 cm的木棒垂直插入水底,记下水面在木棒的位置,然后用钢卷尺准确量出木棒上水面以下的长度即为水深,测量精度为±1 cm。本文测量了9条东西向和10条南北向剖面共39个点的水深及其GPS坐标。因水深很浅,故可以勾绘出等高线密度较大的等深线图。兹以2001年8月10~11日的水深测量结果作为代表,勾绘出其等深线图(图3)。

由图3可以看出,班戈Ⅲ湖是一个近于圆形的浅碟形洼地,它被从硼砂厂西的一条向西北方向延伸的沙嘴——舍觉嘎波而与Ⅱ湖分开。班戈Ⅱ湖也是一个被一条由西向东延伸的沙嘴分隔为两部分的浅碟形洼地。由于水深很小、坡度很缓,故浅碟形洼地底部湖面微小的变化都能在平面图上表现出来。有趣的是,冷拉个弄巴既是2001年8月水深测量的基点,又恰好是2003年5月26日湖面高程测量的终点。

比较图3和图1中不同时间的湖岸线轮廓,并与图2中的水位观测记录对比,可以获得如下不同时间的湖面高度:

(1) 2001年8月10~11日班戈错的水面面积约为167.2 km<sup>2</sup>,是历年来最大的(表1),其湖面高度也是最大的(图2)。



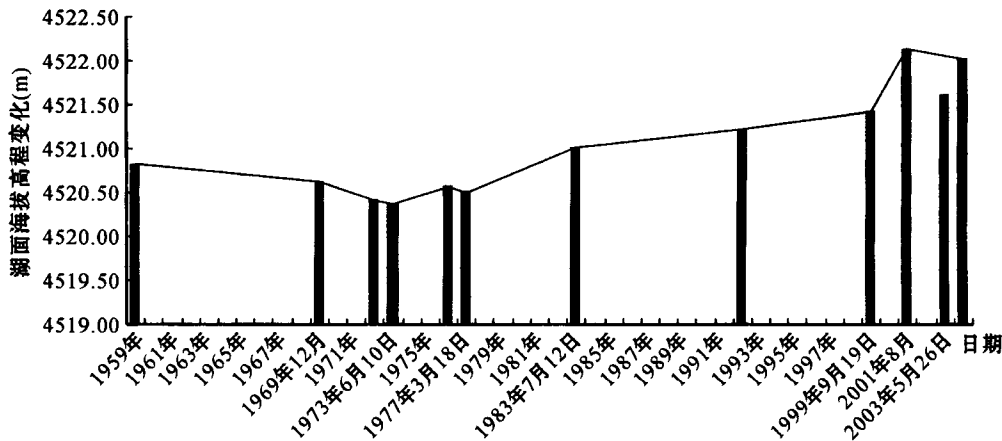


图4 班戈错近50年来的湖面变化曲线

Fig. 4 Curve of denivellation for Bankog Co over last near 50 years

的若干特定日期的湖面高程一并列表1。

#### 2.4 湖面变化曲线

以年代为横坐标,高程为纵坐标,将上述测量与推论的班戈错湖面高程点相连在一起,即可获得自1959年至2003年9月共44年的班戈错湖面变化曲线(图4),其中2001年5月至2003年9月有每月两次的较连续观测记录。必须说明的是,该曲线的高程虽用毫米表达,但应理解为其误差范围约在0.2 m左右,但最大误差不会超过0.5 m。

#### 2.5 湖面变化过程

班戈错40多年来的湖面变化具有从下降到上升再转为下降的过程(图4),即自1959年起,湖面缓慢下降,一直持续1973年或稍晚;自1973年或稍晚开始,湖面开始缓慢上升,这次湖面上升一直持续到2001年8月达到最高位,然后在波动中稍有下降。因此,班戈错40多年来的湖面变化,可概括为“先降后升再稍降,但总体上升”。这一结论与前人的看法有所不同,主要是由于所讨论的时段不同所致:李爽等(1995)认为纳木错和色林错东北部小湖湖泊范围缩小和湖面下降,所讨论的时段分别为1970年至1988年或1986年,相当于我们所讨论的班戈错湖面下降段和部分上升段;杨日红等(2003)认为色林错湖面上升所讨论的时段为1972年至1999年间,仅利用了1972年、1992年和1999年等三年的资料,忽略了1972年之前和1973年与1992年之间的资料;同样,吕鹏等(2003)认为色林错湖面上升仅利用了1969年12月的航片和2001年1月美国陆地卫星(Landsat)假彩色合成卫片图像。笔者相信,随着更多资料的收集,将会得到更加详细和更加确切的湖面变化曲线与过程。

### 3 湖面变化原因

湖面变化的原因不外乎人为因素与自然因素两个方面。对于需灌溉的农业区,湖面下降多为过度使用湖水所致。但在人烟稀少并以牧业为主的藏北高原,人为因素当属次要原因而自然因素应为主要原因,因而湖面变化可直接用来推测气候的冷暖与干湿变化。如青海湖近30年来湖面平均每年下降10.2 cm,被认为主要是由于气候的长期变化和短期波动所致(周陆生等,1992)。新疆的艾比湖、艾丁湖、博斯腾湖、赛里木湖与哈拉湖水位上升则是由于中国西北气候由暖干向暖湿转型时,湖泊的水源区冰川融水和(或)汇水河流域内降水增加所致(施雅风,2002;施雅风等,2002,2003)。

对于班戈错现代湖面变化的原因,前人给予了不同的解释:李爽等(1995)利用所收集到的当雄、班戈等县自1963/1966年到1991年的气象资料,认为纳木错和色林错地区的气候年际之间虽有变化,但总的趋势是变干、变暖;杨日红等(2003)认为色林错湖面扩大是由于温室效应使其水源区冰雪、冰川融化和冻土软化释放水进入所致。同时,他们也强调了青藏高原隆升和新构造运动使高原南北向缩短所起的作用,尤其是设想班戈错1998年来湖水为相对上升10余米,湖底上升会超过30 m;吕鹏等(2003)也将色林错、班戈错湖盆水域面积的急剧扩大,归因于青藏高原隆升过程中差异性升降及气候环境因素,但对后一因素未加讨论。

内陆湖泊未受人为因素影响的天然湖面变化,是湖面降水、湖面蒸发和入湖径流三者之间消长的

结果。本文认为,青藏高原的整体隆升是不可能造成其上的内陆湖泊范围和湖面高度的变化,而差异性新构造运动则应表现为湖泊沉积的构造变动和保存部位的差异,至于湖底的升降也不可能在短短几十年的时间内使班戈错这样的小湖、浅湖的水体和湖面高度发生明显的变化。因此,我们只能从气候与环境因素来考虑问题。

根据气象资料(Zheng Mianping et al., 2004),班戈县的年均气温在1958年至1973年间变化于 $-3.8 \sim -1.1^{\circ}\text{C}$ 之间,自1973起年均气温总体呈上升趋势,变化于 $-2.1 \sim 0.7^{\circ}\text{C}$ 之间,而年降水量则在170 mm与410 mm之间,只有1980年接近470 mm,其年平均降水量只有366.3 mm,而多年平均蒸发量为2014.3 mm,是降水量的5.8倍(李爽等,1995)。据笔者一年的气象观测资料(赵元艺等,2004),班戈错在2001年6月至2002年5月的气象参数与20世纪80年代的情况没有多大的变化。由于班戈错的径流补给源仅为卡控藏布一条河,其流域面积仅 $1950 \text{ km}^2$ (图5),该河源自其南部的朗钦山(海拔5506 m,无永久积雪),故其水位由下降转为上升,并非冰川融水增

加所致,也非大气降水增加所致。因此,要解释湖面的变化必须将班戈错和与其相邻的母湖色林错联系起来一并考虑,鉴于二者之间在全新世初之前是一个湖泊,现在虽相距8 km,但分隔它们的主要是由砂质沉积物所组成的沙嘴,该砂质沉积物透水速度快,使二者之间有“藕断丝连”(郑绵平等,1989)的关系。因此,将班戈错与色林错的湖面变化一并考虑是有充分依据的。

根据1969年12月航摄、1976年出版的有关色林错的多幅1:10万地形图,和1972年、1976年、1992年及1999年等年的遥感照片,我们认为,近40年来色林错的湖水位变化,既包括20世纪60~70年代的下降,也包括80年代以来的明显上升,且整体上21世纪初要比20世纪60年代末有明显上升的过程。概而言之,近40年来色林错的湖面变化特征也与班戈错一样,为先降后升、总体上升。这从1976年12月19日的遥感图像上可以明显地看出:色林错东北部的泻湖浆东如瑞的面积已比1969年航摄的1:10万地形图大大缩小,其西北面的沙嘴和西南面的沙嘴已经相连成为沙坝,而使其变为色林错的一个“分蘖湖”,且其西南

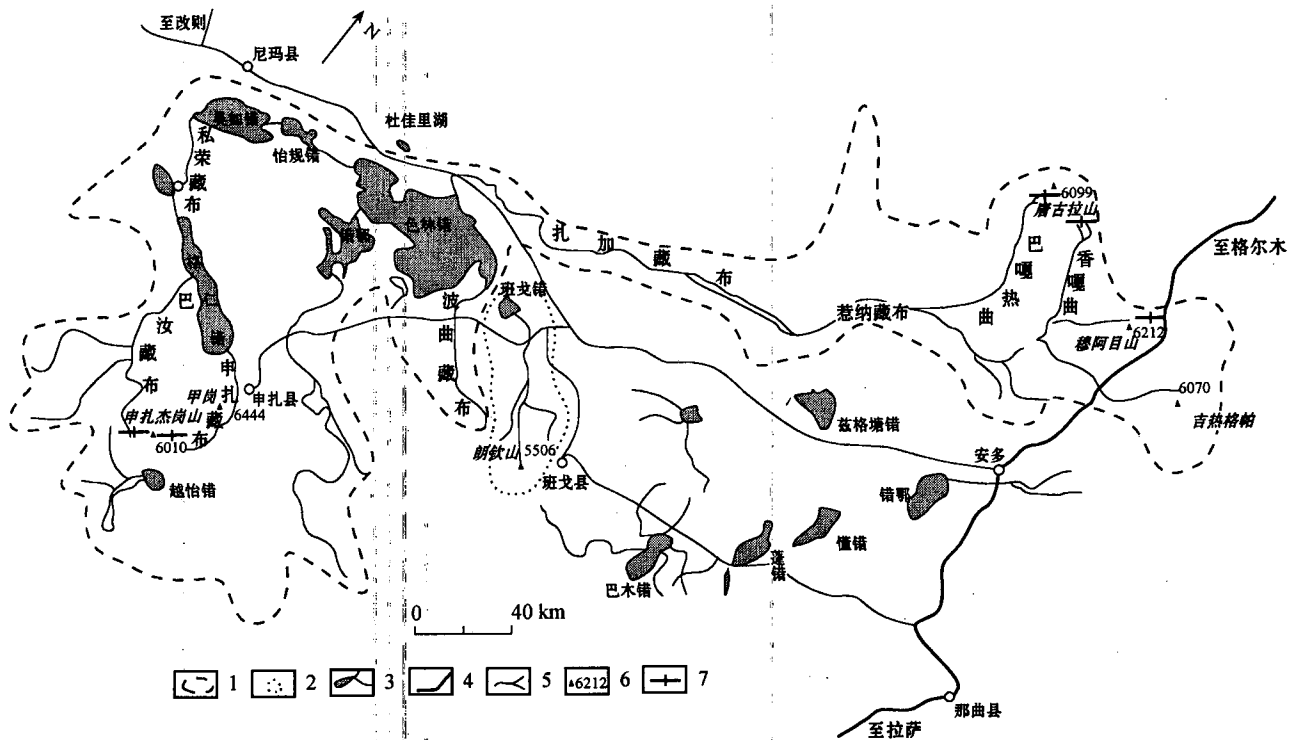


图5 班戈错与色林错流域范围示意图(据关志华等,1984,改绘)

Fig. 5 Sketch map of drainage area for Bankog Co and Silin Co (modified from Guan Zhihua et al., 1984)  
 1—色林错流域范围;2—班戈错流域范围;3—河流与湖泊;4—青藏公路;5—那曲—阿里公路;6—主要山峰及高程(m);7—现代冰川  
 1—Drainage area of Silin Co; 2—drainage area of Bankog Co; 3—river and lake; 4—Qinghai and Xizang(Tibet) way;  
 5—Nagqu—Ali way; 6—major mountain peak and elevation (m); 7—modern glacier

面的沙嘴外,又形成了一条新的沙嘴。这一结论也得到笔者2003年5~7月对其东岸与东南岸的调查的证实。据笔者观察,色林错东北部的泻湖浆东如瑞面积已较1969年航摄的1:10万地形图上的更大,其西北面的沙嘴仅剩很窄的一条,其西南面的沙嘴仅剩原来的一条,1976年出露的外面一条沙嘴已被湖水淹没。色林错东南岸1:10万地形图上的沙坝昌舍岗拉及其上的4 536.2 m三角点,现今已沦入湖中距2003年5~7月的岸边约1.8 km的位置。如将色林错湖面变化的过程与其邻近的班戈县气象资料对比,可知降水并非湖面涨缩变化的主要原因,而最可能的原因是自1973年起的持续升温所引起的扎加藏布流域(面积45 530 km<sup>2</sup>;图5)(关志华等,1984)北部永久冻土区冻土融化释放水与源头地区唐古拉山现代冰川的融水量增大所致。但是,冻土融水增大对于湖泊水位上升的贡献不是非常清楚,例如与扎加藏布源区相近的长江黄河源区的湖泊水域周围有大量的冻土分布,冻土中的融水不但未使水域扩大,反而2000年比1986年退缩了7.5%(王根绪等,2004)。另外,班戈错—色林错湖区海拔为4520~4536 m,其现今的年均气温仅0.1℃(赵元艺等,2004),而扎加藏布流域地区的海拔比这更高。据樊溶河等(1982)的研究结果,在海拔4500 m、年均温-0.3℃的条件下,多年冻土是不可能完全消融的。因此有关河流流域的冻土释放水对色林错湖面上升的贡献是可以忽略不计的。色林错湖面上升的唯一可信的因素是扎加藏布、巴汝藏布和申扎藏布等河流源头地区现代冰川的融水量增大(图5)。

全球气候变暖是众所周知的事实,我国自20世纪60年代至今的气候变化特点是,60年代末至70年代初达到降温的极点,70年代气候暖,80年代较70年代更暖,而90年代是20世纪气候最暖阶段(蒲健辰等,2002)。在此全球气候变暖的背景下,与扎加藏布源头地区现代冰川位置邻近的长江源头格拉丹冬地区的冰川有退有进,但最大退缩速度(姜古迪如南侧冰川为41.5 m/a)大于最大前进速度(5K451F12冰川为21.9 m/a),并且其现代冰川2000年比1969年面积缩小了1.7%(鲁安新等,2002);而黄河源头阿尼玛卿山现代冰川自1966年至2000年的面积缩小了17.3%(杨建平等,2003)。由于色林错的流域既包括扎加藏布的唐古拉山区的冰川,亦包括巴汝藏布与申扎藏布的申扎杰岗山的冰川,故可选择格拉丹冬与阿尼玛卿山的冰川面积缩小率的平均值(9.5%)为色林错流域的冰川面积缩小率。另外,色林错流域

有现代冰川642条,总面积为593.09 km<sup>2</sup>(施雅风,2005),故按色林错流域的冰川面积缩小率和乌鲁木齐1号冰川的厚度变薄量(在1962年至2001年间变薄了11.2 m,宋华龙等,2005),可初步计算出由1966年至2004年由冰川融水汇入到色林错(面积1623 km<sup>2</sup>)的水量为 $0.63 \times 10^9$  m<sup>3</sup>,与此相应色林错的水位上升量为39 cm。据色林错东南岸1:10万地形图上的4536.2 m三角点已被湖水淹没估算,色林错的湖面海拔高程现已至少达4530 m,而班戈错在近50年中的湖面海拔最高为2001年8月的4522.11 m(表1),即色林错比班戈错的湖面高差至少达7.89 m,据此可计算出色林错湖水比班戈错湖水有高达 $12.81 \times 10^9$  T的势能。这种情况必然使色林错的湖水向低处渗流,而班戈错是色林错周围海拔最低的湖泊,因此可推断班戈错的水位上升是由于母湖色林错的水位上升所引起的,其开始时间也在1973年。据现有的遥感照片,可以判断班戈错湖面由降转升发生于1973年,色林错湖面由降转升也发生于1973年。这一湖面升降的转折与我国气候由20世纪60年代末至70年代初的降温及其后的升温(蒲健辰等,2002)的转折是一致的。

**致谢:**中国科学院遥感所石军梅和国土资源部航遥中心杨日红同志分别提供了1983年与1992年、1999年遥感资料,丁玉霞同志扫描处理班戈错不同时段的湖边线,成文后杨谦高级工程师审阅并提出了宝贵意见,特此致谢。

## 参 考 文 献

- 樊溶河,姚尚生. 1982. 青南藏北高原多年冻土的形成及发展趋势探讨. 冰川冻土, 4(1): 45~64.
- 关志华,陈传友,区裕雄,等. 1984. 青藏高原科学考察丛书: 西藏河流与湖泊. 北京: 科学出版社, 1~182.
- 李爽,连石柱,金燕海. 1995. 基于遥感的藏北湖泊变化与气候关系的探讨. 见: 中国科学院遥感应用研究所编. 遥感科学新进展. 北京: 科学出版社, 238~245.
- 鲁安新,姚檀栋,刘时银,等. 2002. 青藏高原格拉丹冬地区冰川变化的遥感监测. 冰川冻土, 24(5): 559~562.
- 吕鹏,曲永贵,李庆武,等. 2003. 藏北色林错、班戈湖盆扩张及现代裂陷活动. 吉林地质, 22(2): 15~19.
- 蒲健辰,姚檀栋,王宁练,等. 2002. 普若岗日冰原及其小冰期以来的冰川变化. 冰川冻土, 24(1): 87~92.
- 沈永平,梁红. 2004. 高山冰川区大降水带的成因探讨. 冰川冻土, 26(6): 806~809.
- 施雅风. 2002. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估. 北京: 气象出版社, 1~124.
- 施雅风. 2005. 简明中国冰川目录. 上海科学普及出版社, 1~991.
- 施雅风,沈永平,胡汝骥. 2002. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨. 冰川冻土, 24(3): 219~226.
- 施雅风,沈永平,李栋樑,等. 2003. 中国西北气候由暖干向暖湿转型



- 的特征和趋势探讨. 第四纪研究, 23(2): 152~164.
- 宋华龙, 施雅风. 2005. 冰川退缩有利于径流和水资源增加. 科学时报, 6月15日第1版.
- 王根绪, 丁永健, 王健, 等. 2004. 近15年来长江黄河源区的土地覆被变化. 地理学报, 59(2): 163~173.
- 杨建平, 丁永健, 刘时银, 等. 2003. 长江黄河源区冰川变化对河川径流的影响. 自然资源学报, 18(5): 595~602.
- 杨日红, 于学政, 李玉龙. 2003. 西藏色林错湖面增长遥感信息动态分析. 国土资源遥感, (2): 65.
- 赵元艺, 郑绵平, 蔡新功, 等. 2004. 青藏铁路Ⅱ期工程西藏段西侧现代湖泊资源与环境. 地质通报, 23(7): 680~685.
- 郑绵平, 向军, 魏新俊, 等. 1989. 青藏高原盐湖. 北京科学技术出版社, 112~191.
- 周陆生, 杨卫东. 1992. 青海湖流域近六百年来气候变化与湖水下降原因. 湖泊科学, (3): 25~31.
- Zheng Mianping, Qi Wen, Jiang Xianfeng et al., 2004, Trend of salt lake changes in the background of global warming and tactics for adaptation to the changes. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 795~807.

## The Denivellation of Bankog Co in the Past 50 Years, Tibet

ZHAO Yuanyi<sup>1)</sup>, ZHAO Xitao<sup>2,3)</sup>, ZHENG Mianping<sup>1,2)</sup>, LI Wenzhi<sup>1,2)</sup>, CAO Jianke<sup>2)</sup>, LI Minghui<sup>1,2)</sup>

1) *Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037*

2) *Open Laboratory of Saline Lake Resources and Environment, CAGS, Beijing, 100037*

3) *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Beijing, 100029*

### Abstract

According to the relief maps, air-screened, remote sensing photos, continuous observation and survey of 29 months, three measurements of the lake depth, as well as data of the lake elevation in May 26, 2003, this paper presents a sketch map of the level variation of Bankog Co in the past 50 years. It shows that the lake level has a rise trend in general from 1959 to September, 2003. However, it underwent a procedure of descent, ascent, and slight descent, namely, from 1963 to 1973 or late, Bankog Co continued to contract and the lake level had a 0.25 m—full, from 1973 or late to late 2001, the lake level generally rose with an extent of 1.75 m. Subsequently, the level slightly descended. It is difficult to explain the variation of Bankog Co's water level with its air temperature and small drainage area. The reasons are mainly ascribed to the water level variation of Silin Co, to which Bankog Co connects. With continuous rise of air temperature from 1973, the water amount of melted ice from the Mts. Tanggula (source of the Za'gya Zangbo River) and the Mts. Xianzajegang (source of the Bairo Zangbo and Xianza Zangbo Rivers) modern glacier, the main water source for Silin Co, has increased. Bankog Co has hydraulic relation with Silin Co, which leads to the denivellation of Bankog Co.

**Key words:** 1959~2003 AD; denivellation; Tibetan Bankog Co