

西藏当惹雍错和扎日南木错现代湖泊基本特征*

王君波, 彭萍, 马庆峰, 朱立平

(中国科学院青藏高原研究所, 青藏高原环境变化与地表过程重点实验室, 北京 100085)

摘要: 湖泊现代特征的调查和对比研究是湖泊学和古湖泊学研究工作的基础, 青藏高原大部分湖泊目前仍缺少详细的基本特征考察资料. 基于 2009 年 9 月实地考察, 本文报道藏北高原腹地的两个内陆封闭大湖——扎日南木错和当惹雍错的水深分布和现代湖水基本特征. 测深结果显示扎日南木错大部分湖区水下地形较为平坦, 最大水深为 71.55m; 当惹雍错实测最大水深为 214.48m, 是青藏高原上已知最深的湖泊, 也是我国已知的第二深水湖. 湖水理化性质显示在垂直方向上两湖都呈现明显的分层结构, 温跃层的温度梯度分别为 1.1°C/m 和 0.57°C/m, 当惹雍错底层水温最低仅为 1.6°C; 两湖表水层的电导率分别高达 18500 μ S/cm 和 12900 μ S/cm; 两湖表水层 pH 都超过 10, 而底层水的 pH 都降低到 5 左右, 上下层湖水显示了不同的酸碱性质. 湖水电导率和溶解氧在温跃层都具有同步跃变特征, 反映了温度对湖水性质的影响.

关键词: 水深测量; 理化性质; 当惹雍错; 扎日南木错; 青藏高原

Modern limnological features of Tangra Yumco and Zhari Namco, Tibetan Plateau

WANG Junbo, PENG Ping, MA Qingfeng & ZHU Liping

(Key Laboratory of Tibetan Environment Changes and Land Surface Processes (TEL), Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, P. R. China)

Abstract: Investigation and comparative study of modern limnological features of lakes is a basal work of limnological and paleolimnological study, most lakes on Tibetan Plateau are now still lack of basic information. Tangra Yumco and Zhari Namco are two big inland close lakes which located in North-Tibet Plateau. Based on field investigation conducted in September, 2009, we present water depth distribution and modern physicochemical features of the two lakes. Bathymetric survey show that most areas of Zhari Namco are relatively flat with the deepest area of 71.55m, and the deepest water depth of Tangra Yumco is 214.48m, thus being the deepest lake on Tibetan Plateau ever known, also the second deepest lake in China. Lake water show clear stratification of both lakes, temperature gradients of thermocline are 1.1°C/m and 0.57°C/m in Zhari Namco and Tangra Yumco, respectively, and the lowest temperature is 1.6°C which is recorded in hypolimnion in Tangra Yumco. Conductivity in epilimnion of both lakes is 18500 μ S/cm and 12900 μ S/cm, respectively. Lake water pH exceeds 10 in epilimnion while decreasing to about 5 in hypolimnion of both lakes, showing different acidic and alkaline characteristics. Both conductivity and dissolved oxygen show synchronous abrupt changes in thermocline, indicating the influence of water temperature on physico-chemical characteristics of lake water.

Keywords: Bathymetric survey; physico-chemical features; Tangra Yumco; Zhari Namco; Tibetan Plateau

青藏高原地区是地球上海拔最高、数量最多、面积最大的高原湖群区^[1], 是进行湖泊学和古湖泊学研究的重要区域. 西藏大部分湖泊迄今为止仍缺乏详细的考察资料, 1973-1976 年中国科学院青藏高原综合科学考察队进行的湖泊考察并于 1984 年出版的《西藏河流与湖泊》目前仍是西藏大部分湖泊的重要参考资料^[2], 《中国湖泊志》所记载的西藏湖泊资料也大多来源于那次科学考察. 近年来, 研究者对西藏不同地区的部分湖泊进行了初步考察^[3-9], 报道了一些湖泊的基本特征, 为西藏的湖泊研究提供了参考资料.

位于藏北内陆湖区的扎日南木错和当惹雍错是西藏较大的湖泊, 从面积来看, 这两个湖仅次于纳木错和色林错, 位居西藏第三大湖和第四大湖^[1]. 当惹雍错地理位置为 86°23'-86°49'E 和 30°45'-31°22'N, 湖面海拔 4528m, 湖水面积约为 835.3km², 补给系数为 9.8; 扎日南木错地理位置介于 85°20'-85°54'E 和 30°44'-31°05'N, 湖面海拔 4613m, 湖水面积约为 996.9km², 湖泊补给系数为 15.5^[1]. 基于 2009 年 9 月 5

* 国家重点基础研究发展规划项目(2005CB422002)和国家自然科学基金项目(40701194, 40871099)联合资助. 2010-05-07 收稿; 2010-05-20 收修改稿. 王君波, 男, 1977 年生, 博士, 副研究员; E-mail: wangjb@itpcas.ac.cn.

日—9月18日的实地考察资料,我们简要报道这两个湖的水深分布及现代湖水基本理化特征.

1 方法

湖泊测深利用广州中海达测绘仪器有限公司生产的 HD-27 数字单频测深仪(外接同步 HD8500 型 GPS 接收器)进行,仪器记录的水深和地理位置的精度分别为 0.01m 和 0.001s,声速设定为 1460m/s.

湖水理化性质测量利用美国哈西公司生产的 Hydrolab DS5 型多参数水质监测仪,该仪器可同时测量温度、pH、电导率(EC)、溶解氧(DO)、环境光(又称为光合有效辐射 PAR)等参数以及水深.在扎日南木错不同湖区共测量了 7 个水质剖面,测量剖面的深度为 9.6-48.6m;在当惹雍错北部湖区的 10 个点位进行了水质剖面测量,测点水深为 17-125m,由于仪器数据线长度限制,现场实测剖面最深为 91.4m.

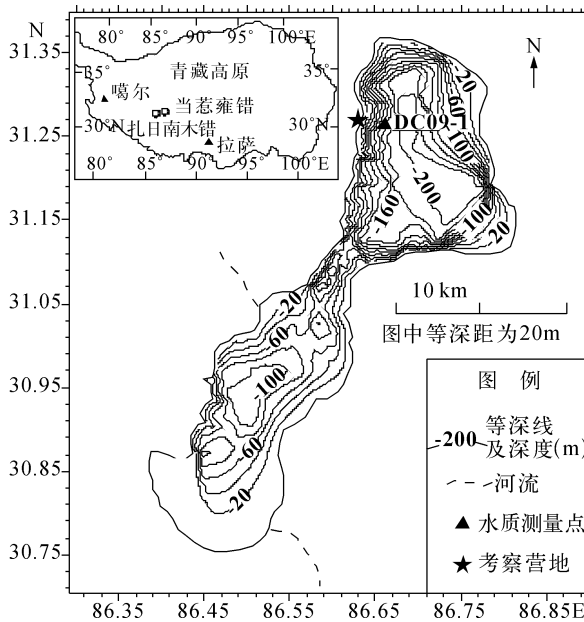


图1 当惹雍错等深线图及水质测量点位置

Fig.1 Isobath of Tangra Yumco and water quality survey site

2 结果

2.1 水深分布

当惹雍错南北狭长,以中间最窄处为界线可以将湖泊分为南北两部分.北部湖区为整个湖泊的深水部分(图1),四周湖岸坡度较大,中央湖区水深超过200m,实测最大水深为214.48m;中间最窄处湖区水深也超过100m,南部湖区的最南部地形较缓,中间只有小部分湖区水深超过100m,实测最深处为110m.

扎日南木错的最深处位于东部的中央湖区(图2),实测最深点为71.55m.中心深水区南部还有一个小的沉积盆地,水深也超过50m,中部湖区的偏南岸也有一个超过50m水深的沉积中心.整个湖泊南岸水下坡度较大,而北部地区特别是西北部坡度较小,具有水下冲积扇的地形特点,反映了受主要补给河流的影响较大.

2.2 湖水理化性质

在扎日南木错所测的7个剖面中,有5个实测水深超过30m的剖面中各参数都显示了较为相似的变化趋势,扎日南木错 ZC09-1 剖

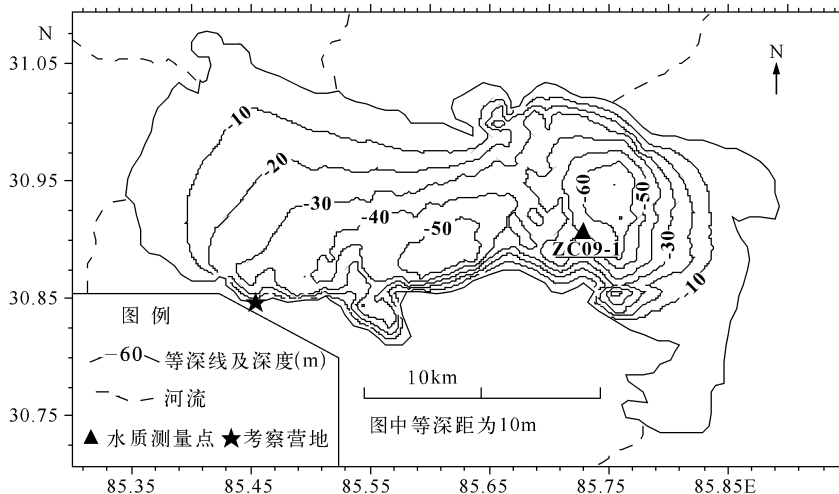


图2 扎日南木错等深线图及水质测量点位置

Fig.2 Isobath of Zhari Namco and water quality survey site

面是最深的(图 3a). 5 个剖面都显示了如 ZC09-1 所示的显著的分层特征, 其中温跃层的起始深度从 18.5 - 23.7m 不等. 以 ZC09-1 剖面为例(测量时间为 2009 年 9 月 16 日中午 12:30), 表层水温约为 13.4℃, 整个表水层温度都非常稳定, 在 23.7m 处水温快速下降, 整个温跃层的温度梯度为 1.1℃/m, 至最深 48.6m 处温度下降为 3.3℃. pH 变化范围为 10.6 - 5.3, 基本上呈整体降低的趋势, 但在到达最低值后又有小幅增大的趋势. 电导率的变化趋势与温度较为相似, 在表水层稳定在 18500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 在温跃层快速降低至约 17800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 然后随深度增加又缓慢升高. DO 在表水层稳定在 10.3mg/L, 在温跃层增加到约 13.4mg/L, 之后又缓慢降低. PAR 在表层较高, 至约 30m 水深处基本上接近 0, 30m 水层内其衰减系数为 0.14 m^{-1} .

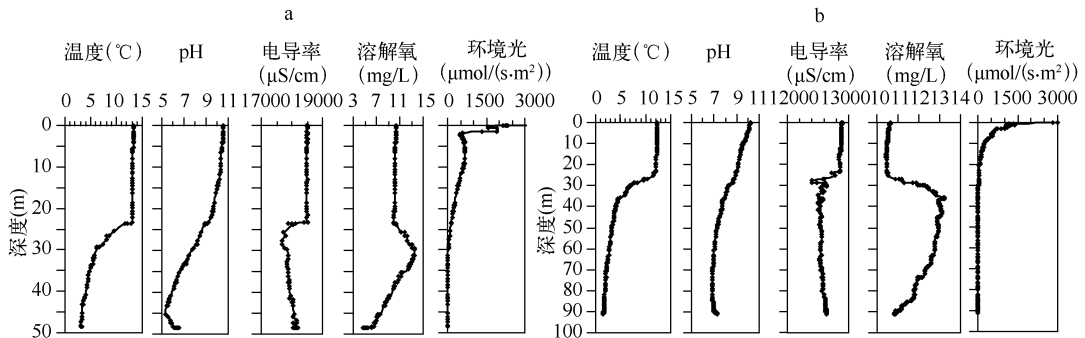


图 3 扎日南木错(a: ZC09-1)和当惹雍错(b: DC09-1)典型水质剖面

Fig. 3 Typical limnological profiles in Zhari Namco (a: ZC09-1) and Tangra Yumco (b: DC09-1)

当惹雍错的水质剖面也都显示了明显的分层变化, 其中温跃层的起始深度为 20.4 - 26.7m. 以图 3b 中的 DC09-1 剖面为例(测量时间为 2009 年 9 月 6 日上午 11:30), 表层水温约为 12.3℃, 在约 24.2m 处迅速下降, 温度梯度为 0.57℃/m, 至约 40m 深度温度降为 4℃, 之后继续缓慢下降至底层约 90m 深度处温度为 1.6℃. pH 变化范围为 10.2 - 6.9, 整体上呈降低趋势, 底层的反向增加趋势不明显. EC 在表水层约为 12900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 在温跃层快速下降至 12400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 之后基本上稳定在 12600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. DO 在表水层约为 10.6mg/L, 在温跃层最高增加至 13.2mg/L, 之后又缓慢降低. PAR 显示 30m 水层内的衰减系数为 0.16 m^{-1} .

3 讨论与结论

当惹雍错位于藏北高原当穹错-许如错南北向地堑内^[10], 是一个构造断陷湖, 水深分布也反映了其断陷湖盆的特点. 作为西藏第一大湖的纳木错最大水深为 98.85m, 而当惹雍错的实测最大水深超过 210m, 超过纳木错水深的两倍, 成为目前已知青藏高原最深的湖泊. 据《中国湖泊志》记载^[1], 目前已知我国最深的湖泊是位于吉林省的火山口湖——长白山天池, 最深处为 373.0m, 紧随其后的是位于新疆自治区的喀纳斯湖和云南省的抚仙湖, 最大水深分别为 188.5m 和 155.0m. 当惹雍错的实测最大水深仅次于长白山天池, 因而成为我国第二深水湖, 后者为中朝两国界湖, 因此位于青藏高原的当惹雍错可以称为面积全部位于我国境内的目前已知第一深水湖.

从两湖的湖水理化性质来看, 高电导率(高盐度或者高矿化度)是其显著的特征, 其中扎日南木错的电导率约是纳木错的 10 倍, 而当惹雍错是纳木错的约 7 倍左右, 两湖都是咸水湖. 一方面主要与该地区的干旱气候与强烈的蒸发有关; 另一方面, 作为封闭湖泊, 高盐度的特征也可能说明其湖盆形成的历史比纳木错更古老. 两个湖的 pH 在表水层都超过了 10, 说明湖水呈较强的碱性, 但随着水深增加 pH 表现出较大幅度的降低, 实测两湖的最低 pH 都在 5 左右(当惹雍错 DC09-6 剖面在 74m 深处 pH 为 4.97, 是实测最低值), 说明底层湖水呈酸性, pH 的垂直变化幅度超过 5, 致使上下层湖水的酸碱性质完全不同. 造成这种现象的原因可能与湖水中的不同种类的离子浓度有关, 上层湖水由于水生生物的光合作用而消耗掉大量的 CO_2 从而使湖水 pH 升高, 而下层湖水由于较低的温度和较高的压力使水中溶解了较多的 CO_2 且缺乏生物作用的消耗从而使湖水 pH 显著降低, 这仍需要进一步地对水化学分析资料进行研究. 1976 年所测的扎日南木错和当惹雍错的表层水 pH 分别为 9.6 和 9.12^[1], 可见三十多年来湖水 pH 呈增加的趋势.

一般淡水湖中呈正温层分布的湖水底层温度为 4℃ 左右, 这是因为在此温度下水的密度最大, 因而水层

最稳定,作为微咸水湖的纳木错的水温剖面显示了这一特征^[8]. 扎日南木错底层水温为 3.3℃,而当惹雍错底层的最低水温为 1.6℃,两个湖的湖水也都呈现非常稳定的正温层分布,说明在高盐度的咸水湖中深水湖区底层湖水的稳定温度更低,前人考察资料显示盐度更高的达则错其底层水温甚至低于 1.0℃^[2]. 扎日南木错和当惹雍错湖水温跃层的水温变化趋势与青藏高原上其他湖泊如纳木错、色林错、玛旁雍错、羊卓雍错、班公错、达则错等极为相似^[2],反映了这些湖泊相似的热力学特征.

扎日南木错和当惹雍错的水质剖面除了显示明显的温跃层外,其化学性质 pH、EC 和 DO 也显示了与温跃层类似的变化,特别是 EC 和 DO 具有化跃层的性质,因而具备了半混合型湖泊的某些特征^[5,11-12],如在化跃层下面盐度(EC)的增加以及溶解氧的减少等(图 3). 然而与已被证实为青藏高原上目前已知唯一的半混合型湖泊——兹格塘错的特征相比,扎日南木错和当惹雍错的盐度(EC)和溶解氧随深度的变化又有不同之处,如半混合型湖泊的盐度在化跃层随深度增加而增加且湖水密度也因温度的降低而增加,因而保证了化跃层的稳定性;而半混合型湖泊的溶解氧更具有独特的变化趋势,即在化跃层下面急剧减少甚至接近于零,从而形成了具有厌氧状态的永滞层,这也是半混合型湖泊的典型特征之一^[5].

扎日南木错和当惹雍错的 EC 在温跃层处具有急剧降低的跃变特征,而底部虽有增加但并未达到比上部更高的水平;溶解氧在温跃层具有单向快速的增加趋势,达到最高值后随深度的增加而降低,但在所测剖面的底部其溶解氧仍然较为丰富,如扎日南木错底部的溶解氧饱和度为 50%左右,而当惹雍错底部的溶解氧饱和度甚至仍大于 100%,处于过饱和状态,这与半混合型湖泊溶解氧快速降低并形成底部厌氧层的特征颇为不同. 扎日南木错和当惹雍错的湖水理化性质垂向变化特征与纳木错极为相似^[8],说明它们具有相似的湖水性质变化的机制. 扎日南木错和当惹雍错剖面中 EC 和 DO 的跃变与温跃层完全同步,显示了温度对湖水化学性质的控制作用. 然而,本文中测量并未到达湖底层,因而关于两湖的湖水理化性质特别是底层水的变化特征有待于进一步的考察资料分析和验证.

从湖水的光学性质来看,扎日南木错和当惹雍错表层 30m 环境光的衰减系数为 0.14m^{-1} 和 0.16m^{-1} ,作为对比,纳木错和藏南普莫雍错的这一数值分别为 0.12m^{-1} ^[9] 和 0.15m^{-1} ^[7],可见各湖之间差距不大,说明水中溶解离子浓度的大小对于可见光的穿透能力影响不大.

作为藏北高原腹地的两个内陆封闭大湖,扎日南木错和当惹雍错无论在水深分布还是湖水理化性质方面都显示了一些显著的特征,具有开展综合湖泊学和古湖泊学研究的较好的潜力.

致谢:作者感谢参加 2009 年中国科学院青藏高原研究所和德国耶拿大学地理系联合组织的当惹雍错和扎日南木错野外考察的所有人员;野外考察过程中得到了当地政府相关部门的协助和支持. 审稿人对稿件提出了非常有益的修改意见,在此一并表示感谢.

5 参考文献

- [1] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998: 1-580.
- [2] 关志华, 陈传友, 区裕雄等. 西藏河流与湖泊. 北京: 科学出版社, 1984: 1-238.
- [3] 李世杰, 郑本兴, 焦克勤. 西昆仑山区湖泊初探. 海洋与湖沼, 1993, 24(1): 37-44.
- [4] 李世杰, 李万春, 夏威夷等. 青藏高原现代湖泊变化与考察初步报告. 湖泊科学, 1998, 10(4): 95-96.
- [5] 李万春, 李世杰, 尹宇等. 青藏高原腹地半混合型湖泊的发现及其意义. 中国科学(D辑), 2001, 30(增刊): 269-272.
- [6] 陈毅峰, 陈自明, 何德奎等. 藏北色林错流域的水文特征. 湖泊科学, 2001, 13(1): 21-28.
- [7] Mitamura O, Seike Y, Kondo K et al. First investigation of ultraoligotrophic alpine Lake Puma Yumco in the pre-Himalaya, China. *Limnology*, 2003, 4: 167-175.
- [8] 王君波, 朱立平, Gerhard Daut 等. 西藏纳木错水深分布及现代湖沼学特征初步分析. 湖泊科学, 2009, 21(1): 129-135.
- [9] Wang JB, Zhu LP, Daut G et al. Investigation of bathymetry and water quality of Lake Nam Co, the largest lake on the central Tibetan Plateau, China. *Limnology*, 2009, 10: 149-158.
- [10] 曹圣华, 李德威, 余忠珍等. 西藏冈底斯当惹雍错—许如错南北向地堑的特征及成因. 地球科学——中国地质大学学报, 2009, 34(6): 914-920.
- [11] Hutchinson GE. A treatise on Limnology. Volume 1: Geography, Physics, and Chemistry. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1957: 426-540, 575-652.
- [12] Wetzel RG. *Limnology*, 2nd edition. Fort Worth: Saunders College Publishing, 1983: 11-12, 73-96.