

纳木错流域冰川和湖泊变化对气候变化的响应

陈 锋¹, 康世昌^{1, 2}, 张拥军¹, 游庆龙¹

(1. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085

2. 中国科学院冰冻圈科学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 利用纳木错流域及其周边地区气象资料、地形图、遥感资料以及野外实地观测资料, 对该流域过去 37 年来气候变化特征以及冰川、湖泊变化过程进行了分析。结果表明, 自 1970 年以来, 纳木错区域气温上升趋势明显, 其中冬季升温幅度高于夏季; 降水量变化冬、夏两季均呈增加趋势, 但冬季增加量不显著。在整体升温的背景下, 纳木错流域冰川整体呈退缩趋势。1970~2007 年间, 流域内冰川面积减少 37.1 km², 占流域冰川面积的 18.2%, 年变化率为 -1.0 km²/a。流域内扎当冰川和拉弄冰川末端 GPS 观测表明, 1970~2008 年间冰川末端分别退缩 381.8 m 和 489.5 m, 年均退缩量为 10.3 m 和 13.4 m。1970~2007 年间, 纳木错湖面积增加了 72.6 km², 增加速率为 2.0 km²/a。1970~1991 年、1991~2000 年和 2000~2007 年三个阶段的年增加速率不断增大, 分别为 1.1、2.8、3.4 km²/a。湖泊水位在夏季升高非常显著, 与湖泊面积的扩张是一致的。

关键词: 气候变化; 冰川; 湖泊; 纳木错流域

中图分类号: P461 P931

文献标识码: A

近百余年来, 全球平均气温呈上升趋势, 尤其 20 世纪以来, 增温显著^[1]。在全球升温的背景下, 中国西部大部分冰川处于退缩状态^[2-5]。对于青藏高原封闭的湖泊流域, 冰川变化直接影响着流域内水量平衡和水分循环, 特别是湖泊面积的变化。将流域内冰川、湖泊作为一个整体, 研究其变化以及对气候变化的响应, 是评价区域气候变化对区域影响的重要方向。纳木错流域是一个封闭的内陆流域, 流域内分布着大量的现代冰川以及西藏第一大咸水湖——纳木错。该流域受人类活动影响较小, 是进行气候变化及其对区域影响研究的理想地点。

由于纳木错流域气候资料监测时间较短, 仅在纳木错站建立后有 3 a 的观测资料。本研究拟选取纳木错流域周边的班戈、那曲、申扎和当雄 4 个站点的气象资料来明晰该区域的气候变化特征。同时, 本文利用流域内 1970 年航测地形图与各类遥感影像资料, 分析了近 37 a 来流域内冰川和湖泊的变化

状况。另外, 选取流域内连续观测的扎当冰川, 对其进行了雷达测厚及末端位置变化 GPS 测量。

1 研究区概况

纳木错是西藏最大的湖泊, 纳木错流域地理范围为 29°56′16.38″~31°07′35.61″N, 89°21′27.00″~91°23′39.16″E, 位于藏北高原东南部(图 1), 流域总面积为 10 680.4 km²。流域东南侧为高耸的念青唐古拉山脉西段, 山地冰川发育, 是青藏高原现代冰川作用中心之一^[6]。纳木错流域处于亚寒带季风半干旱气候区和藏北高原草原区的东南边缘地带, 对区域气候变化较为敏感, 流域内雨、旱季分明, 每年的 6~10 月是流域的季风期, 受西南季风带来的印度洋暖湿气流的影响, 气候温暖湿润; 11 月至翌年 5 月属于旱季, 主要受西风环流的控制, 寒冷而干燥。根据中国科学院纳木错多圈层综合观测研究站

收稿日期 (Received date): 2009-03-17; 改回日期 (Accepted): 2009-06-11。

基金项目 (Foundation item): 本研究由科技部基础性工作专项 (2006FY110200) 和国家重点基础研究发展计划项目 (2005CB422004) 共同资助。

[Supported by Special Basic Research Funds of the Ministry of Science and Technology (2006FY110200) and National Basic Research Program of China (2005CB422004).]

作者简介 (Biography): 陈锋 (1980-), 男, 山东日照人, 在读博士生, 从事冰雪遥感研究。[Chen Feng (1980-), Male, Rizhao Shandong Province, PH.D. Major in the application of Remote Sensing in Cryosphere.] Tel: 13811562251, E-mail: chf918@ipc.ac.cn

(以下简称纳木错站)的观测记录,该流域全年平均气温和相对湿度分别为 0℃和 52.4%,季风期日最高气温 > 12℃,且平均相对湿度大约为 67%,旱季日最低气温低于 - 2℃,且平均相对湿度大约为 45

%,年平均风速为 4 m/s,大风日数为 53 d,全年盛行风在东南至西风之间,其出现频率之和为 67%,季风期以南风为主,旱季盛行西西北风^[7]。

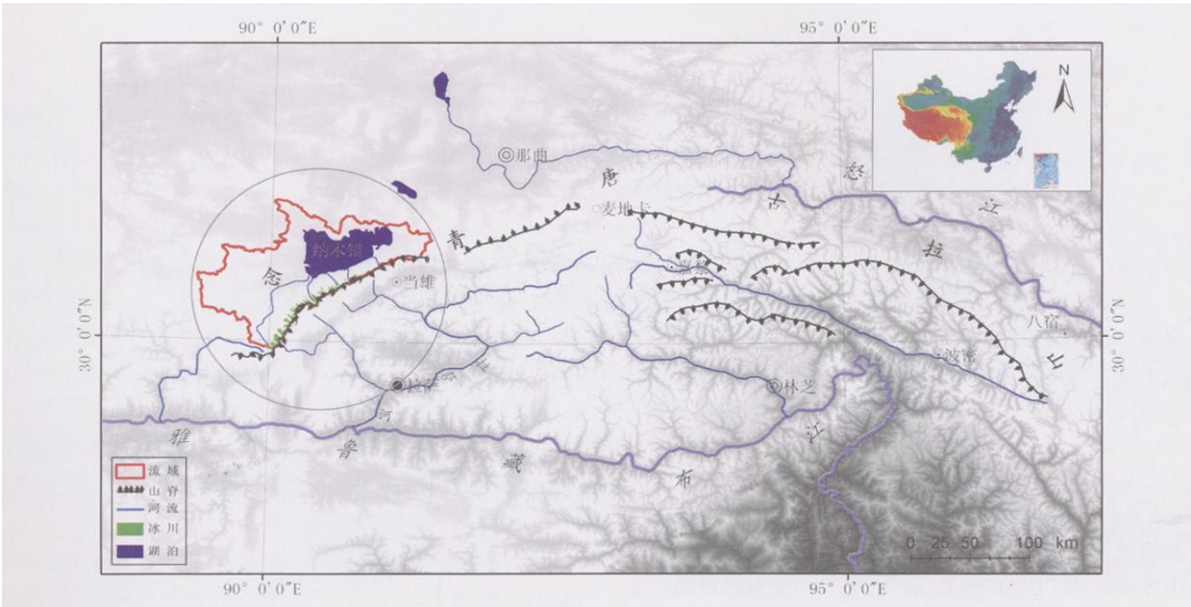


图 1 纳木错流域位置示意图

Fig. 1 The location map of the Nam Co Basin

2 资料与方法

2.1 数据源

气象资料为纳木错观测站 2006 - 01 ~ 2007 - 12 的 2 a 实测气象数据和纳木错周边地区的班戈、那曲、申扎和当雄四个气象站点的气温、降水、气压及相对湿度等参数。地形图数据为 1970 年航测地形图。卫星遥感资料为 1991 年 TM 影像,2000 年 ETM 影像和 2007 年 ASTER 影像资料。其中,1991 年 TM 影像和 2000 年 ETM 影像为来源于 Global Land Cover Facility (GLCF),并经过正射纠正 (UTM, WGS84) (表 1)。

表 1 使用的遥感数据

Table 1 Remote sensing data used

Sensor	Date	Spatial resolution	Spectral information	Accuracy
Landsat 5 TM	14 Sep 1991	30 m	Multispectral	< 30 m
Landsat 7 ETM +	19 Dec 2000	30 m	Multispectral	< 30 m
Terra ASTER	18 Oct 2007	15 m	Multispectral	< 15 m

2.2 数据分析与处理

全流域数字高程模型 (DEM) 的获取与精度评价。将流域 1: 10 万地形图作为底图扫描输入计算机,利用 ArcGIS 软件进行配准和矢量化,建立空间拓扑关系,分别生成等高线、高程点等图层。对等高线和高程点图层进行高程赋值,然后采用三角形不规则网,即 TIN (Triangulated Irregular Network) 方法,将生成的等高线图层转化成 TIN 数据结构,利用高程点图层对 TIN 进行编辑修改,然后将 TIN 数据进行重采样转换为 Raster 数据格式,生成 20 m 地表分辨率 DEM (GRID)。评价方法是以 1: 10 万地形图为准,随机选取 200 个高程点进行同名点高程差异计算,结果显示提取的 DEM 最大高程误差为 37 m 和 - 60 m,平均高程误差为 - 7.8 m,标准偏差是 13.3 m,均方根误差 (RMSE) 为 15.4 m。利用 Toutin and Cheng^[8]提供的方法,借助 PCIGematica V9.0 遥感影像处理软件,以地形图作为地面控制,对 2007 年 ASTER 卫星影像的同轨立体像对进行绝对 DEM 提取,并对存在明显虚假相关像元形成的伪高程进行修正。结合地面实测 GPS 点和从 1: 10 万地形图相对稳定区域选取的控制点对研究区提取的 DEM

进行精度评价, 结果表明平均高程误差为 10.8 m。

2007 年 ASTER 遥感影像的正射校正是利用提取的 DEM 进行。正射校正误差控制在一个象元以内。与 1991 年和 2000 年遥感影像的几何校正误差控制在半个象元以内, RMSE X 方向残差为 5.7 m, Y 方向残差 7.9 m, 总均方根误差 9.74 m。最后将所有影像与 1970 年地形图进行配准。

2.3 研究方法

对于 2007 年冰川范围的提取, 根据 Wessels 等^[9]提出的冰川双重提取法, 首先利用水界面(雪、冰和水)和非水界面在绿波段(0.56 μm)和近红外波段(0.81 μm)具有相反的反射值, 通过两个波段的减值运算, 将两个界面划分, 并进一步获得二值图像 M(0/1)。利用冰川在近红外波段具有高反射值而在短波红外波段具有很低的反射值, 对两个波段进行比值运算, 运算公式为: $Glacier = \frac{Band3N}{Band4}$ 。通过选取合适的能够较好的将冰川与雪区分开的阈值, 并进一步得到二值图像 R(0/1), 这是冰川遥感提取方法中目前最为常用的方法^[10-12]。该方法不仅能够增强冰川特征, 而且能够消除太阳

高度角以及地形带来的影响。最后对两个二值图像进行逻辑运算, 得出冰川范围分布图。

对于遥感影像上湖泊的提取方法, 目前较为成熟和实用。利用 Huggel 等^[13]提出的归一化水分指数 (NDWI) 能够准确的识别湖泊范围。ASTER 遥感影像的 NDWI 运算公式为: $NDWI = \frac{[Band3N - Band1]}{[Band3N + Band1]}$ 。

冰川末端变化的测量是通过 GPS 测量与 1970 年地形图进行对比。GPS 采用 South 灵锐 S82 型, 测量方式为静态测量, 为保证数据的精确性, 每间隔半小时读取一次测量数据。

3 结果与讨论

3.1 气候变化

通过对纳木错站 2005-12~2007-12 的 2 a 的实测气象资料与班戈、那曲、申扎和当雄四个站点的气温、降水、气压及相对湿度等参数的月平均值相关分析(图 2)发现: 气温和气压具有较好的相关, 而相对湿度和降水量的相关性相对较差, 但季节变化

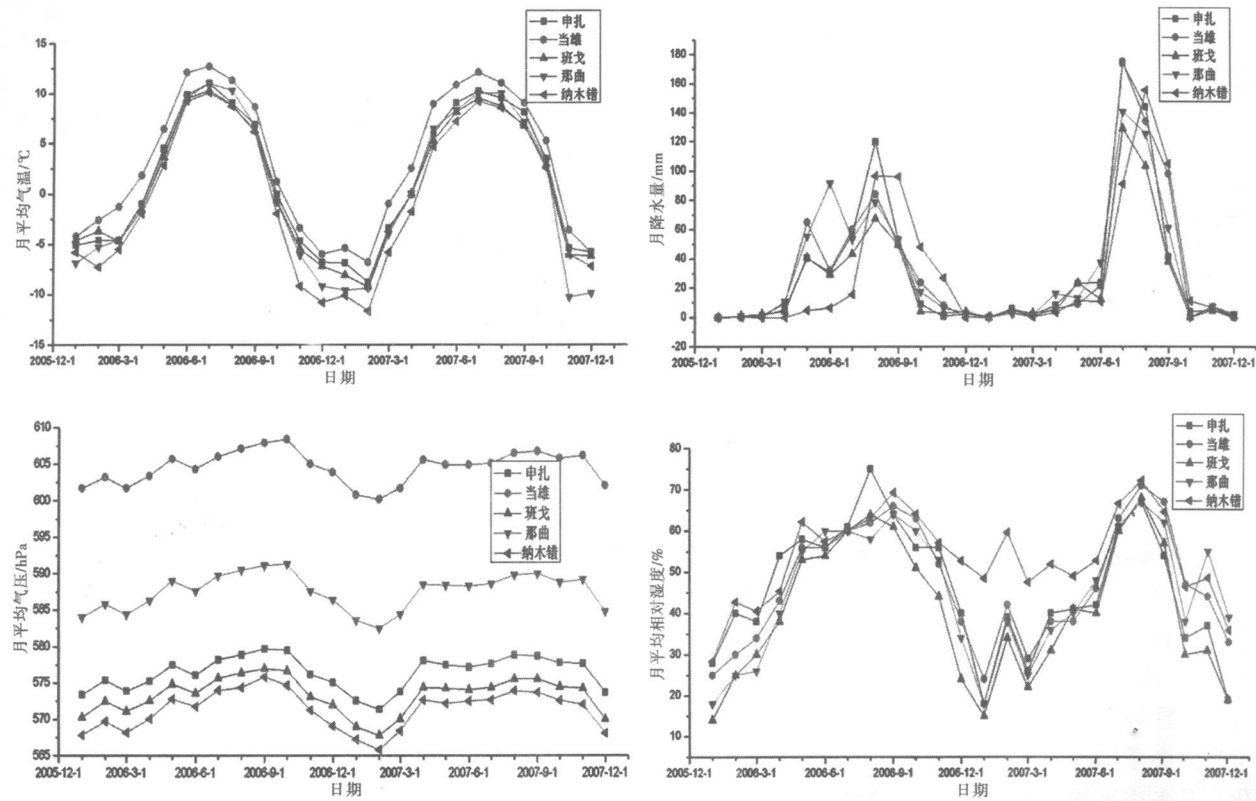


图 2 2005-12~2007-12 五个气象站点气象要素月平均值对比

Fig. 2 Comparison among monthly meteorological elements for five meteorological stations from Dec. 2005 to Dec. 2007

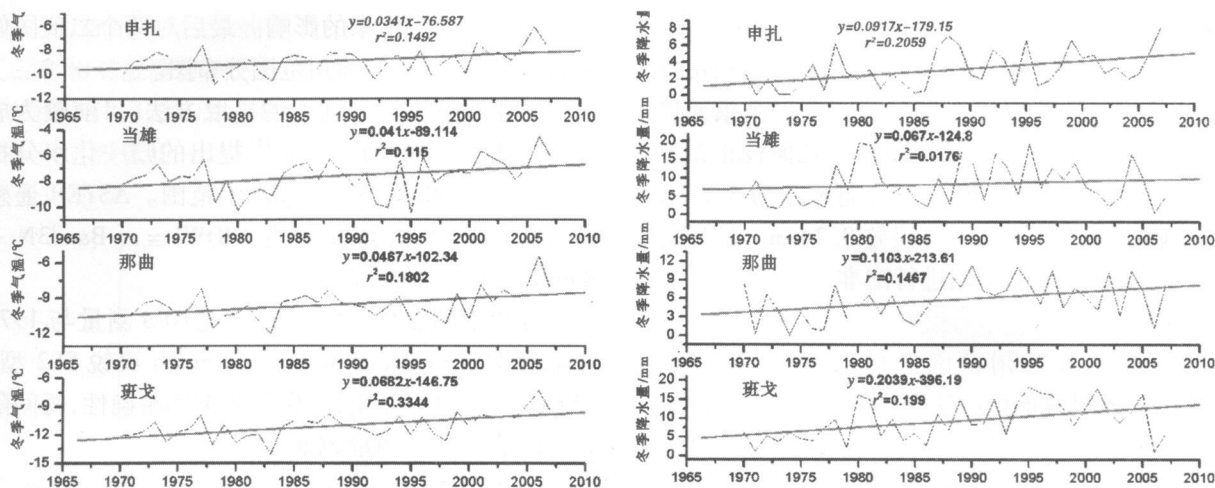


图3 纳木错流域邻近四个气象站点冬季平均气温和降水量的年际变化

Fig. 3 Variations of annual temperature and precipitation in winter season for the four meteorological stations adjacent to the Nam Co Basin

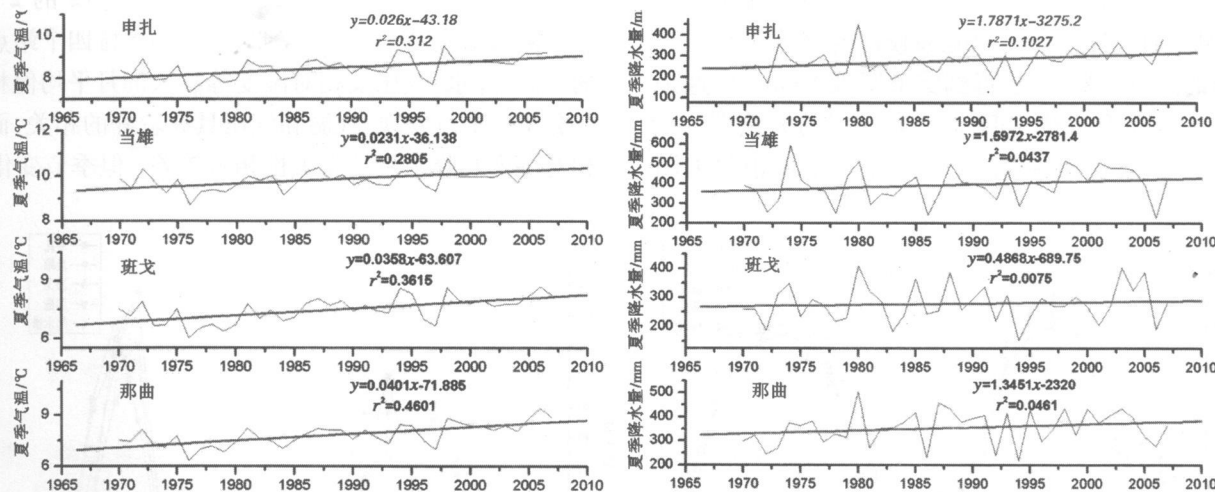


图4 纳木错流域邻近四个气象站点夏季平均气温和降水量的年际变化

Fig. 4 Variations of annual temperature and precipitation in summer season for the four meteorological stations adjacent to the Nam Co Basin

的趋势是一致的。由此,可以利用该四个站点的长期观测值来分析纳木错流域自 1970 年以来的气候变化特征。

气温和降水不仅是气候变化研究中两个最主要的因子,而且对冰川和湖泊变化研究而言有着重要的意义。我们对班戈、那曲、申扎和当雄四个气象站点的气温、降水自 1970 年以来的变化趋势进行了分析(图 3 图 4)。图 3 给出了班戈、那曲、申扎与当雄四个站点冬季(12 月, 1 月, 2 月)气温和降水的年际变化。从冬季平均气温线性变化曲线看,冬季气温呈上升趋势,升温趋势比较明显,其倾向值为 $0.34 \sim 0.68^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ 。其中班戈气象站冬季气候倾向

率为 $0.68^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,远远大于我国近 50 年来 $0.3^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ 的递增速率^[14]。而冬季降水量虽然也呈增加趋势,但增加量并不显著。图 4 给出的四站夏季(6~9 月)气温和降水分析表明,夏季气温和降水量也呈上升趋势,气温倾向率为 $0.23 \sim 0.40^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,低于冬季气温增长幅度。

3.2 冰川变化

3.2.1 流域内整体的冰川面积变化

自 1970~2007 年间,纳木错流域冰川整体呈退缩趋势,面积减少 37.1 km^2 ,占流域冰川总面积的 18.2% ,年变化率为 $-1\text{ km}^2/\text{a}$ (表 2)。上官冬辉等^[15]对念青唐古拉山脉西段的冰川自 1970~2000

年的面积变化进行了分析,发现念青唐古拉山脉西北坡冰川面积减少 16.3 km² (6.9%)。而吴艳红等^[16]给出了 1970~2007 年纳木错流域内冰川面积的变化结果是减少了 25.74 km², 占流域冰川总面积的 15.36%。不同的卫星资料可能造成了这种差异。冰川遥感提取对于卫星资料依赖性较高, 卫星资料获取时段, 目标地区云量及雪的覆盖度对冰川面积的提取具有较大影响。冰川遥感面积提取的理想时段一般为消融期末, 该时间段内积雪影响较小, 有利于准确提取冰川范围。

表 2 1970~2007 年间纳木错流域冰川面积变化
Table 2 Glacier area change in the Nam Co Basin from 1970 to 2007

年代	冰川面积 (km ²)	变化面积 (km ²)	面积变化比 (%)	年变化率 (km ² /a)
1970	203.3	-	-	-
2007	166.2	37.1	18.2	-1.0

3.2.2 流域内典型冰川变化

本研究选取扎当冰川和拉弄冰川作为纳木错流域的典型冰川。扎当冰川末端较宽, 形状呈宽舌状, 而拉弄冰川具有长而窄的冰舌区。扎当冰川到目前为止, 已经有了 3 a 的连续观测资料, 包括气象、水文和冰川变化监测等。扎当冰川 1970 年地形图面积为 2.4 km², 2007 年通过遥感影像提取的冰川面积为 2.0 km², 面积减少 0.4 km² (18.2%)。对扎当冰川和拉弄冰川末端 GPS 监测显示, 自 1970~2008 年, 总退缩长度为 381.8 m 和 489.5 m, 年均退缩长度为 10.3 m/a 和 13.4 m/a 这与康世昌等^[16]研究了扎当和拉弄冰川末端在 1970~2007 年间的年退缩率 (分别为 10.3 m/a 和 13.2 m/a) 基本一致。

从 2007 年 ASTER 立体像对提取的 DEM 上生成间隔为 20 m 的等高线^[18-19]与 1970 年 DEM 进行减值计算, 得出扎当冰川高程变化图 (图 5), 并利用 Kriging 插值法^[13]计算整个冰川表面的平均厚度变化。结果显示, 扎当冰川自 1970~2007 年间, 厚度平均减薄 -11.2 m。该冰川的物质平衡观测资料表明, 近年来冰川消融强烈^[20]。

3.3 湖泊变化

利用 1970 年、1991 年、2000 年和 2007 年四期图形资料对纳木错湖的面积变化 (图 6) 进行了分析 (表 3)。1970~2007 年期间, 纳木错湖面积增加了 72.6 km², 年增加速率 2.0 km²/a。其中 1970~1991

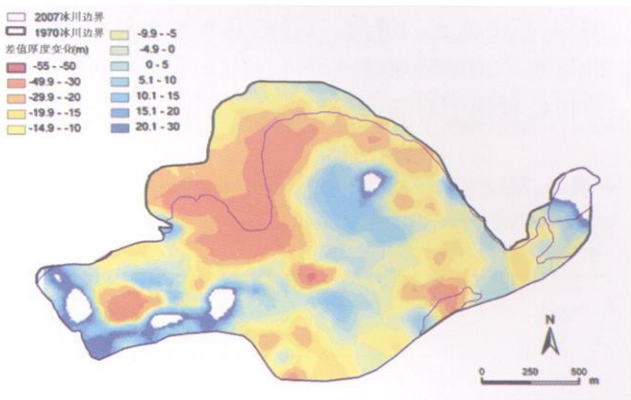


图 5 1970~2007 年间扎当冰川厚度变化
Fig 5 Changes in thickness of Zhadang glacier from 1970 to 2007

年、1991~2000 年和 2000~2007 年三个阶段的年增加速率不断增大, 分别为 1.1、2.8、3.4 km²/a。根据鲁安新等^[21]利用遥感卫星资料给出的纳木错湖 1970~2000 年面积变化表明, 自 1970~2000 年期间, 纳木错湖年变化率为 1.36 km²/a。而吴艳红等^[16]给出的同期结果为 1.27 km²/a。三组数据差异原因在于 1970 年湖泊面积的提取与计算上。根据关志华等^[22]公布的数据, 1970 年纳木错湖面积为 1920 km², 本文的结果更接近该数据。

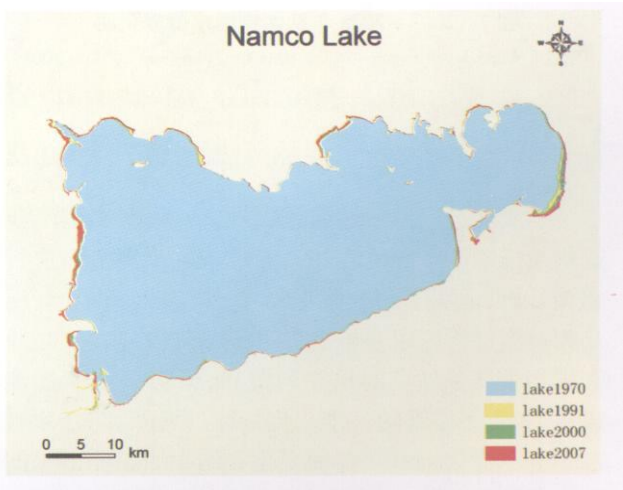


图 6 1970~2007 年间纳木错湖泊面积变化
Fig 6 Surface area changes in the Nam Co Lake from 1970 to 2007

根据纳木错站对湖泊水位的观测, 在 2007 年夏季升高 0.42 m, 而从 2008-05 至 8 月底则升高了 0.71 m (图 7)。此外, 2005 年和 2006 年夏季纳木错湖水位分别升高了 0.55 m 和 0.39 m。纳木错水位的升高与湖泊面积的扩张是一致的, 这也表明在全球变暖背景下, 纳木错水量处于正平衡, 冰川消融

加剧、高山冻土的退化、以及近几年降水量的增加可能导致了纳木错水量的增加。未来的工作将进一步分析各种因子对湖泊水量的贡献率。

表 3 纳木错湖泊面积自 1970~ 2007 年四个时期的变化

Table 2 The Nam Co Lake area change in the four periods from 1970 to 2007

年份	面积 (km^2)	间隔时间 (a)	变化面积 (km^2)	年变化率 (km^2/a)
1970	1 928.2	-	-	-
1991	1 952.2	21	24.0	1.1
2000	1 977.1	9	24.9	2.8
2007	2 000.8	7	23.7	3.4

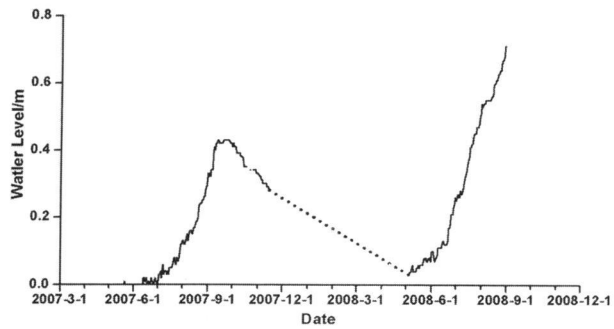


图 7 2007~ 2008 年纳木错湖水水位变化图

Fig 7 Water level changes in the Nam Co Lake from 2007 to 2008

4 结论

本文通过纳木错综合观测站 2 a 短期实测气象资料与周围四个邻近气象站点的长期观测资料进行相关分析,证明了四个气象站点在气温、降水、气压及相对湿度等气象参数在纳木错流域的代表性,并利用四个气象站点的长序列资料,分析了纳木错流域自 1970 年以来的气候变化特征。另外,综合冰川末端进退变化,面积、体积变化和纳木错湖泊面积的变化等研究了纳木错流域对气候变化的响应情况。自 1970 年以来,纳木错流域气温上升趋势明显,冬季升温幅度高于夏季;降水量变化冬夏两季均呈增加趋势,但冬季增加量不显著。1970~ 2007 年,纳木错流域冰川整体呈退缩趋势,面积减少 37.1 km^2 ,占流域冰川面积的 18.2%,年变化率为 $-1.0 \text{ km}^2/\text{a}$ 。通过冰川物质平衡的遥感监测表明,1970~ 2007 年间,扎当冰川厚度平均减薄 11.2 m。扎当冰川和拉弄冰川末端 GPS 观测显示,1970~ 2008 年

间,总退缩长度为 381.8 m 和 489.5 m,年均退缩长度为 10.3 m/a 和 13.4 m/a 。1970~ 2007 年间,纳木错湖面积增加了 72.6 km^2 ,年增加速率 $2.0 \text{ km}^2/\text{a}$ 。1970~ 1991 年、1991~ 2000 年和 2000~ 2007 年三个阶段的年增加速率不断增大,分别为 1.1、2.8、 $3.4 \text{ km}^2/\text{a}$ 。而观测的湖泊水位在夏季升高约 0.73 m。总之,纳木错区域升温显著,流域内冰川萎缩,而纳木错湖处于不断的扩张状态。

致谢:野外工作得到了中国科学院寒区与旱区研究所张通、孙维君等的大力支持与帮助,在此表示感谢!

参考文献 (References)

[1] PCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007

[2] Yao Tandong, Wang Youqing, Liu Shiying, et al. Recent glacial retreat in High Asia in China and its impact on water resource in Northwest China [J]. *Science in China D*, 2004, 47(12), 1065~ 1075

[3] Ding Yongjian, Liu Shiying, Li Jing, et al. The retreat of glaciers in response to recent climate warming in western China [J]. *Annals of Glaciology*, 2006, 43, 97~ 105

[4] Liu Shiying, Ding Yongjian, Shanguan Donghui, et al. Glaciers in response to recent climate warming in western China [J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(5), 762~ 771 [刘时银, 丁永建, 李晶, 等. 中国西部冰河对近期气候变暖的响应 [J]. 第四纪研究, 2006, 26(5): 762~ 771]

[5] Pu Jianchen, Yao Tandong, Wang Ninglian, et al. Fluctuations of the glaciers on the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau during the past century [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 20(4): 408~ 412 [蒲健辰, 姚檀栋, 王宁练, 等. 近百年来青藏高原冰川的进退变化 [J]. 冰川冻土, 2004, 20(4): 408~ 412]

[6] Zhu Dagan, Meng Xiangang. On the Quaternary Environmental Evolution of the Nam Co Area, Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 172~ 175 [朱大岗, 孟宪刚. 西藏纳木错地区第四纪环境演变 [M]. 北京: 地质出版社, 2004: 172~ 175]

[7] You Qinglong, Kang Shichang, Li Chaoli, et al. Variation features of meteorological elements at Namco Station, Tibetan Plateau [J]. *Meteorological Monthly*, 2007, 33(3): 54~ 60 [游庆龙, 康世昌, 李潮流, 等. 青藏高原纳木错气象要素变化特征 [J]. 气象, 2007, 33(3): 54~ 60]

[8] Toutin T., Cheng P. DEM generation with ASTER stereo data [J]. *Earth Observation Magazine*, 2001, 10(6): 10~ 13

[9] Weseloh R. L., J. S. Kargel and H. H. Kieffer. ASTER measurement of supraglacial lakes in the Mount Everest region of the Himalaya [J]. *Annals of Glaciology*, 2002, 34, 399~ 408

[10] Bayr K. J., Hall D. K., Kovalick W. M. Observations on glaciers in the eastern Austrian Alps using satellite data [J]. *Internat-*

- tional *Journal of Remote Sensing*, 1994, 15: 1733~1742
- [11] Jacobs J D., Simms E L., Simms A. Recession of the southern part of Barnes Ice Cap, Baffin Island, Canada, between 1961 and 1993, determined from digital mapping of Landsat TM [J]. *Journal of Glaciology*, 1997, 43: 98~102
- [12] Paul F., A. Kääb M. Maisch, *et al* The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory. I Methods [J]. *Annals of Glaciology*, 2002, 34: 355~361
- [13] Huggel C. Periglaziale Seen in Luft- und Satellitenbild [M]. Diplomarbeit Geographische Institut Universität Zürich, Zürich, 1998
- [14] Ding Y hui, Dai Xiaosu. Temperature variation in China during the last 100 years [J]. *Metereology*, 1994, 20(12): 19~26 [丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来来的温度变化 [J], 气象, 1994, 20(12): 19~26]
- [15] Shang Guangdonghui, Liu Shiyin, Ding Liangfu, *et al* Variation of Glaciers in the Western Nyaingqentanglha Range of Tibetan Plateau during 1970~2000 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, 30(2): 204~210 [上官冬辉, 刘时银, 丁良福, 等. 1970~2000年念青唐古拉山脉西段冰川变化 [J]. 冰川冻土, 2008, 30(2): 204~210]
- [16] Wu Yanhong, Zhu Liping, Ye Qinghua, *et al* The response of lake glacier area change to climate variations in Nam Co Basin, central Tibetan Plateau, during the last three decades [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(3): 301~311 [吴艳红, 朱立平, 叶庆华, 等. 纳木错流域近 30年来湖泊-冰川变化对气候的响应 [J]. 地理学报, 2007, 62(3): 301~311]
- [17] Kang Shichang, Chen Feng, Ye Qinghua, *et al* Glacier retreating dramatically on the Mt Nyainqentanglha during the last 40 years [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(6): 869~873 [康世昌, 陈锋, 叶庆华, 等. 1970~2007年西藏念青唐古拉峰南、北坡冰川显著退缩 [J]. 冰川冻土, 2007, 29(6): 869~873]
- [18] Kääb A. Monitoring high-mountain terrain deformation from air and space borne optical data. Examples using digital aerial imagery and ASTER data [J]. *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens.*, 2002, 57(1-2): 39~52
- [19] Kääb A. Glacier Volume Changes using ASTER Optical Stereo A Test Study in Eastern Svalbard [J]. *IEEE International*, 2007, 9: 3994~3996
- [20] Zhou Guangpeng, Yao Tandong, Kang Shichang, *et al* Mass Balance of the Zhadang Glacier in the Central Tibetan Plateau. [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009(3): 360~365 [周广鹏, 姚檀栋, 康世昌, 等. 青藏高原中部扎当冰川物质平衡研究 [J]. 冰川冻土, 2009, 29(3): 360~365]
- [21] Lu Anxin, Yao Tandong, Wang Lihong, *et al* Study on the fluctuations of typical glaciers and lakes in the Tibetan Plateau using remote sensing [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27(6): 783~792 [鲁安新, 姚檀栋, 王丽红, 等. 青藏高原典型冰川和湖泊变化遥感研究 [J]. 冰川冻土, 2005, 27(6): 783~792]
- [22] Guan Zhihua, Chen Chuanyou, Qu Yuxiong, *et al* Rivers and Lakes in Tibet [M]. Beijing Science Press 1984: 176~182 [关志华, 陈传友, 区裕雄, 等. 西藏河流与湖泊 [M]. 北京: 科学出版社, 1984: 176~182]

Glaciers and Lake Change in Response to Climate Change in the Nam Co Basin, Tibet

CHEN Feng¹, KANG Shichang^{1,2}, ZHANG Yongjun¹, YOU Qinglong¹

(¹ Institute of Tibetan Plateau Research, CAS, Beijing 100085, China;

² State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, CAREER/CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract Meteorological data, topographic maps, remotely sensed data and field observation data of the Nam Co Basin were used to analyze the characteristics of climate change, glacier and lake variations during the past 37 years. The results showed that the annual temperature rose distinctly while the annual precipitation had an indistinctive increase for the basin since 1970. The magnitude of warming in winter was much higher than in summer. Affected by the climate warming, the glaciers in the Nam Co Basin were undergoing an overall shrinkage. During the 1970 to 2007, the glacier area reduced 37.1 km², accounted for 18.2% of the whole glacier area in the Nam Co Basin. The annual glacier change ratio is -1.0 km²/a. The GPS surveying results showed that the terminals of Zhandang glacier and Lanong glacier had retreated 381.8 m and 489.5 m with the annual change ratio of 10.3 m/a and 13.4 m/a respectively. At the same time, the area of the Nam Co Lake increased 72.6 km² with an annual increase rate of 2.0 km²/a. During the three period 1970~1991, 1991~2000 and 2000~2007, the annual increase rate has been growing. The water level of the Nam Co Lake has a notable increase in summer season which is coincident with the expanding of lake area.

Key words climate change, glacier, lake, the Nam Co Basin, Tibet