

# 青藏高原纳木错气象要素变化特征

游庆龙<sup>1</sup> 康世昌<sup>1,2</sup> 李潮流<sup>1</sup> 李茂善<sup>2</sup> 刘景时<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 青藏高原研究所纳木错综合观测研究站,北京 100085;  
2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所)

**提 要:** 依据中国科学院纳木错综合观测研究站设立的自动气象站和气象塔观测 ( $30^{\circ}46.44'N, 90^{\circ}59.31'E, 4730\text{ m a. s. l.}$ ) 资料,初步分析了 2005 年 7 月 14 日至 2006 年 7 月 13 日一年的气温、气压、相对湿度、降水和风等气象要素的季节和日变化特征。结果表明:纳木错站年平均气温为  $0^{\circ}\text{C}$ ,最冷月为 12 月,最热月为 7 月;全年降水量为 281.8mm,多集中在 5—10 月;年平均相对湿度为 52.6%,雨季和干季分明,全年夜雨率为 78.6%;年平均气压值为 571.2 hPa,9 月最大,1 月最小;年平均风速为  $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,1 月风速最大为  $6.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,上午风弱、午后风强;全年大风日数为 53 天,1 月大风日数占全年的 36%;全年盛行风处在东南至西风( $135^{\circ}\sim 270^{\circ}$ )之间,夏季有明显的湖陆风。

**关键词:** 纳木错 气象要素 季节变化 日变化

## Variation Features of Meteorological Elements at Namco Station, Tibetan Plateau

You Qinglong<sup>1</sup> Kang Shichang<sup>1,2</sup> Li Chaoliu<sup>1</sup> Li Maoshan<sup>2</sup> Liu Jingshi<sup>1</sup>

(1. Namco Comprehensive Observation and Research Station, Institute of Tibetan Plateau, CAS, Beijing 100085;  
2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou)

**Abstract:** According to the climatic data from an automatic weather station (AWS) and the meteorological tower at Namco Station ( $30^{\circ}46.44'N, 90^{\circ}59.31'E, 4730\text{ m asl.}$ ) during July 14, 2005 to July 13, 2006, seasonal and diurnal variations of air temperature, air pressure, relative humidity, precipitation, wind speed and wind direction were analyzed. Some preliminary knowledges on climatic features of this area were obtained: The average annual temperature is  $0^{\circ}\text{C}$ , the minimum temperature appears in December and the maximum temperature in July. The annual rainfall is

基金项目: 中国科学院“百人计划”; 国家自然科学基金项目(40401054; 40121101); 国家科技部“973”项目(2005CB422004); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-339)

收稿日期: 2006 年 12 月 6 日; 修定稿日期: 2007 年 1 月 22 日

281.8 mm, mainly taking place from May to October. The average annual relative humidity is 52.6%, and the wet and dry seasons are distinct, the precipitation happening at night (20:00—8:00) accounts for 78.6% of the total. The average annual air pressure is 571.2 hPa, the minimum pressure occurs in January and the maximum pressure in September; Mean annual wind speed is  $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , the maximum wind speed occurs in January ( $6.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), there are strong winds in the afternoon and weak winds in the morning. The annual gale days are 53 d, and 36% of it happens in January. The dominant wind direction is from SE to S ( $135^\circ$ — $270^\circ$ ), wind cycle between the land and lake area is remarkable in summer.

**Key Words:** Namco Station meteorological element seasonal variation diurnal variation

## 引言

在全球变暖的背景下,青藏高原地区的气候变化研究引起了不少学者的关注。白虎志等<sup>[1]</sup>利用中国710个站的气温和降水资料,分析了青藏高原的气候特征及与中国区域气候异常的联系。建军等<sup>[2]</sup>研究了30年来青藏高原年平均0cm地温的时空分布特征。对西藏年温度变化的特征<sup>[3]</sup>以及对藏南的泽当<sup>[4]</sup>和日喀则地区<sup>[5]</sup>的气候变化进行了分析,毛飞等<sup>[6]</sup>对藏北那曲地区1961—2000年的日照时数和风速的地理分布及变化规律进行了总结。但由于高原中部环境严酷,气象观测站稀少,人们对高原中部的气候特征及其影响了解很少<sup>[7]</sup>。

纳木错位于藏北高原东南部,念青唐古拉山北麓,介于北纬 $30^\circ 30'$ — $30^\circ 55'$ ,东经 $90^\circ 16'$ — $91^\circ 03'$ 之间。湖面海拔4718m,总面积为 $1982 \text{ km}^2$ <sup>[8]</sup>,是我国的第二大咸水湖,也是世界上海拔最高的大湖<sup>[9]</sup>。纳木错流域位于羌塘寒冷半干旱高原季风气候区和藏北高原草原区的东南边缘,流域内冰川、湖泊、冻土、植被等各种自然要素共存,对区域气候环境变化十分敏感,但由于自然条件严酷,各种环境要素的定位长期监测一直是空白,气象资料更是如此。中国科学院青藏高原研究所纳木错综合观测研究站(简称纳木错站,北纬

$30^\circ 46.44'$ ,东经 $90^\circ 59.31'$ ,4730 m a. s. l.)位于纳木错东南岸(图1),于2005年6月份开始进行台站建设和科研观测,8月正式投入运行。本文初步分析了纳木错站一年的气象要素变化特征,为进一步研究该地区环境现代过程打下基础。

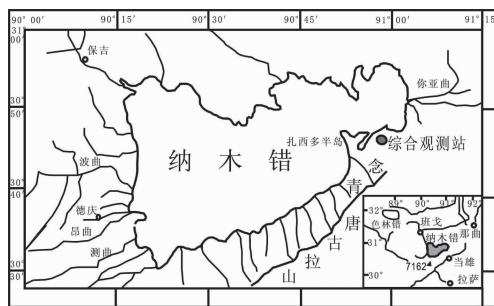


图1 纳木错综合观测研究站位置示意图

## 1 资料

采用纳木错站2005年7月14日至9月14日自动气象站(Campbell公司生产)和2005年9月15日至2006年7月13日气象塔(荷兰Vaisala公司生产)的气温、湿度、气压、降水、风等气象要素数据。自动气象站和气象塔都设立在纳木错站观测场内,相隔约4m,气象塔架设好后拆迁掉。自动气象站记录方式为每30分钟记录一次数据,此自动气象站有2个温湿计,1个风向风速计,分别距地面高度为1.6m和2.4m,分析中选取了距地

面高度为 1.6m 的气象数据。气象塔共分为五层记录数据,每隔 10 分钟自动记录一次数据,只选取了距地面高度为 1.5m 层的各项气象要素进行分析。将观测期间每 30 分钟和 10 分钟的各项气象要素数据按其时刻顺序计算日平均值,自动气象站 1.6m 和气象塔 1.5m 有重复记录的 6 天数据间只有细微的差别,不影响对气候特征的分析。本文中的时间均为北京时间,纳木错站地方时比北京时间晚约 1 小时 56 分钟。

## 2 结果与分析

### 2.1 季节变化特征

#### 2.1.1 气温

从表 1 可以看出:碾平均气温为 0℃,气

温年较差为 18.5℃,年平均日较差为 8.9℃。12 月为最冷月,最暖月为 7 月。月平均最高、最低气温与平均气温的季节变化一致。10 月气温月较差(一月中日平均气温的最高值与最低值之差)最大,8 月气温月较差最小,气温月较差夏季低于冬季。气温季节变化中升温幅度最大发生在 5—6 月,平均气温升高 6.4℃;降温过程最大波动出现于 10—11 月,平均气温下降 8.1℃。年内极端最高与最低气温分别为 20.6℃和 -26.4℃,分别出现于 7 月 10 日和 2 月 11 日。全年日平均气温在 0℃以上的天数有 173 天。全年月平均气温只有 5—9 月高于 0℃,故可将 5—9 月划成暖季,其它季节划成冷季,从表 1 中气温月较差也可以看出:暖季气温波动幅度小,冷季幅度明显要大。

表 1 纳木错站各月气温季节变化特征(单位:℃)

年/月	月平均气温	平均最高气温	平均最低气温	平均气温日较差	气温月较差
2005/7 中下旬	9.0	13.8	5.0	8.8	15.7
2005/8	8.8	13.2	4.7	8.6	16.1
2005/9	6.9	12.4	1.9	10.5	19.3
2005/10	-0.1	6.4	-5.1	11.5	33.9
2005/11	-8.2	0.3	-17.2	17.5	25.7
2005/12	-9.0	-1.1	-17.3	16.2	27.3
2006/1	-5.8	0.9	-13.2	14.1	26.8
2006/2	-7.3	0.8	-16.1	16.9	32.5
2006/3	-5.5	0.9	-12.5	13.5	24.8
2006/4	-2.0	4.0	-8.8	12.8	24.1
2006/5	2.8	8.6	-2.9	11.5	23.2
2006/6	9.2	15.3	3.5	11.8	20.2
2006/7 上旬	10.0	15.7	5.1	10.6	19.9
平均	0.0	6.4	-6.4	12.8	23.8

#### 2.1.2 相对湿度与降水

从图 2(a)可以看出相对湿度最低值在 1 月(28.4%),最高值在 8 月(75.2%)。平均相对湿度为 52.6%。青藏高原上的降水大多是对流性降水,80%~90%的降水量在夏半年<sup>[10]</sup>。纳木错站夏半年降水占全年降水总量的 97.5%,且雨季和干季分明。年降水

日数为 98 天,7、8 月份降水日达 24 天和 25 天。10 月上旬后降水基本结束,与高原冷高压建立时间一致<sup>[11]</sup>。年降水量为 281.8mm,年降水强度(年降水量除以年降水日数)为 2.9mm/雨日。

图 2(a)显示了纳木错站各月降水的日变化情况。把北京时 20 时到次日 8 时降雨

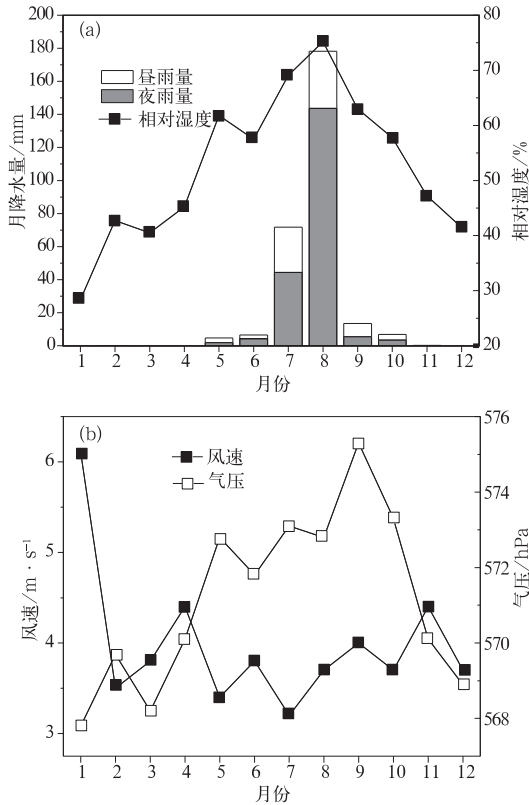


图 2 纳木错站降水量和相对湿度(a)、  
气压和风速(b)的月变化

作为夜雨,8时至20时降雨为昼雨,用  $R_y$  表示夜雨率( $R_y = \text{夜雨量} / \text{降雨总量}$ )<sup>[10]</sup>。纳木错站  $R_y$  全年为 78.6%,  $R_y$  随月份而变化,月降水量越大,  $R_y$  越大,8月份共降水 178.2mm,占全年降水量的 63%,夜雨量为 143.6mm,  $R_y$  为 81%,可见纳木错站是明显的夜雨区,在雨季更是如此。原因如下:一是由于白天辐射强烈、云层吸热蒸发、云不容易旺盛发展,而夜间云顶辐射冷却较强,会使云中不稳定度增加而形成降水,使得夜雨多于昼雨<sup>[11]</sup>;二是纳木错站水汽丰富,温度露点差较小,而夜间温度降低很快,空气很易达到饱和,造成夜雨偏多。

### 2.1.3 气压

青藏高原上空冬季为冷高压,夏季为热低压,那么地面则应具有相反的气压场季节

变化<sup>[12]</sup>。从图 2(b)中可以看出,纳木错站地面气压冬季低夏季高。年平均气压值为 571.2hPa,最高值和次高值分别出现于 9 月(575.3hPa)和 10 月(573.3hPa),最低值和次低值分别出现于 1 月(567.8hPa)和 3 月(568.2hPa),这种气压年变化形式属于典型的高原型。

### 2.1.4 风速风向

从图 2(b)月平均风速变化中看出月平均最高值出现在 1 月为  $6.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,最低值出现在 7 月为  $3.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,年变幅达  $2.9\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。年平均风速为  $4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。表 2 为纳木错站大风日数及盛行风向季节变化,通过表中数据可以得出:全年盛行风在东南至西风( $135^\circ \sim 270^\circ$ )之间,其间出现频率之和为 67%。1—5 月的盛行风向连续不变,都以西西南为主,6—10 月盛行风多以南和南东南风为主,表现了该区域夏季受西南季风的影响;到了 11—12 月,盛行风向在东南风至西风之间来回变动,这与该地区地形以及冬季受西风急流的影响有关。瞬时风速大于等于  $17.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (8 级)为大风,出现一次记为一个大风日,纳木错站全年大风(风速大于等于  $17.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )日数为 53 天,1 月大风日数最多为 19 天。冬春大风日多,夏秋两季少。

表 2 纳木错站大风日数及盛行风向季节变化

年/月	大风日数(天)	盛行风		次盛行风	
		风向	频率(%)	风向	频率(%)
2005/7 中下旬	0	S	11	SSE	10
2005/8	0	S	14	SSW	9
2005/9	0	SSE	23	S	18
2005/10	1	S	17	SSE	13
2005/11	10	SE	14	ESE、W	13
2005/12	5	S、SSW	13	ESE、WSW	11
2006/1	19	WSW	29	W	19
2006/2	5	WSW	18	SW	14
2006/3	6	WSW	23	W	11
2006/4	4	WSW	18	SW、W	11
2006/5	2	WSW	14	WNW、NW	9
2006/6	1	SSE	17	S	12
2006/7 上旬	0	WSW	10	SSE、SW、WNW	9

## 2.2 日变化特征

各气象要素的日变化过程,除具有其自身的周期性外,还和每天的天气状况如云量、

降水量等因素有关。本文对12月(冬季)和6月(夏季)各气象要素日变化过程进行了分析(图3)。

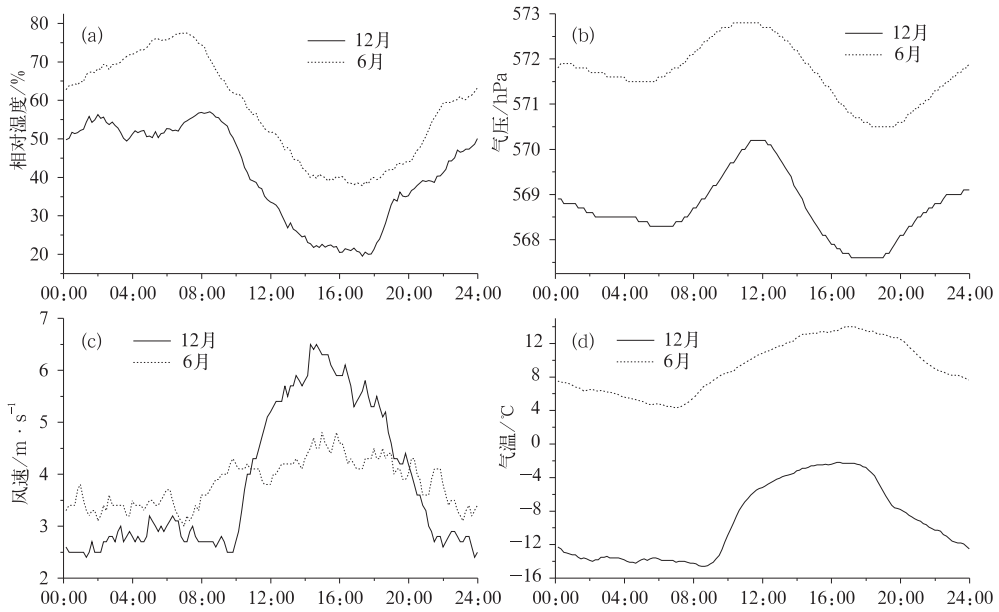


图3 纳木错站各气象要素平均日变化过程

### 2.2.1 气温

12月和6月的平均日变化过程趋势一致但并不同步,升温快降温慢。6月最低气温出现在7:00左右,比12月份早一个半小时。12月和6月的平均气温日较差分别为 $16.2^{\circ}\text{C}$ 和 $11.8^{\circ}\text{C}$ ,日平均气温波动程度比较大,体现了青藏高原独有的气候特征,但同高原其它区域相比日较差较小,特别是夏季,主要是因为纳木错湖水对气温的调节,白天因地面水分蒸发消耗大量热量增温不高,而夜间天空常有云层,空气水汽充足,地面辐射小,因此降温少,夜间暖白昼凉,日较差较小。

### 2.2.2 相对湿度

相对湿度的日变化主要决定于气温。从图中可以看出,相对湿度的日变化与气温日变化相反,最大值出现在清晨,主要是因为清晨温度最低,风速也比较小,大气层结相对稳定,乱流较弱;最小值出现在午后17点左右,

此时气温高,风速大,大气层结不稳定,乱流强。12月份最低值出现在17:30左右,最高值出现时间约在1:30和8:00左右,其间出现一个小小的低谷,原因还有待于进一步研究;6月份出现最低值后又有一个由干变湿的过程,这是由于高原夏季加热作用造成的白天向高原内部辐合的大型谷风所引起的<sup>[11]</sup>。

### 2.2.3 气压

12月和6月地面气压日变化呈双峰双谷型。凌晨0:00前后和中午12:00左右是气压的两个高值区,日落前后气压最低,日出前的6:00—7:00形成另一个低谷。12月平均气压为 $568.9\text{hPa}$ ,最高气压为 $570.2\text{hPa}$ ,出现在11:30,最低气压值为 $567.6\text{hPa}$ ,出现在18:30;6月份平均气压为 $571.8\text{hPa}$ ,最高气压为 $572.8\text{hPa}$ ,最低气压为 $570.5\text{hPa}$ ,最高气压和最低气压出现的时间跟12月份一致。

### 2.2.4 风速、风向

地面风速日变化过程十分明显。上午风速较低,下午较强,尤其在午后 14 点左右风速达到最大,夜间因空气层结稳定,风速小变化比较平稳。12 月风速日变化的振幅比 6 月份强烈,最大值为  $6.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,出现在 14:30 左右,这主要是因为高原冬季西风急流强劲,午后地面增热旺盛,空气对流强烈,高空动量下传最多。

图 4 是纳木错站春季(3 月)、夏季(6 月)、秋季(9 月)和冬季(12 月)风向的百分频率图,分成白天(09:00—17:00)和夜间(23:00—07:00)两个时段进行统计。从图中可以看出,夏季风向存在明显的日变化,白天以西北风为主,晚上以南东南风为主,这种明

显的风向日变化表明纳木错站夏季(6 月)湖陆风现象明显。冬季(12 月)白天以西西南风为主,晚上以东东南和东南风为主,冬季月平均气温在  $0^{\circ}\text{C}$  以下,湖面封冻,湖的周围都被冰雪覆盖,下垫面性质比较一致,湖陆风不明显。而湖陆风在青海湖环湖地带常年盛行<sup>[13]</sup>。春季(3 月)白天以西西南和西风为主,其所占风向频率分别为 42%和 17%,而晚上以南和南西南风为主,其它各风向出现频率比较接近。秋季(9 月)白天风向主要在南东南到西风之间来回变动,而晚上主要是南东南和南风为主。可见春季、秋季白天和晚上风向不但受念青唐古拉山脉西南—东北的地形影响,而且与区域环流形式也有关。

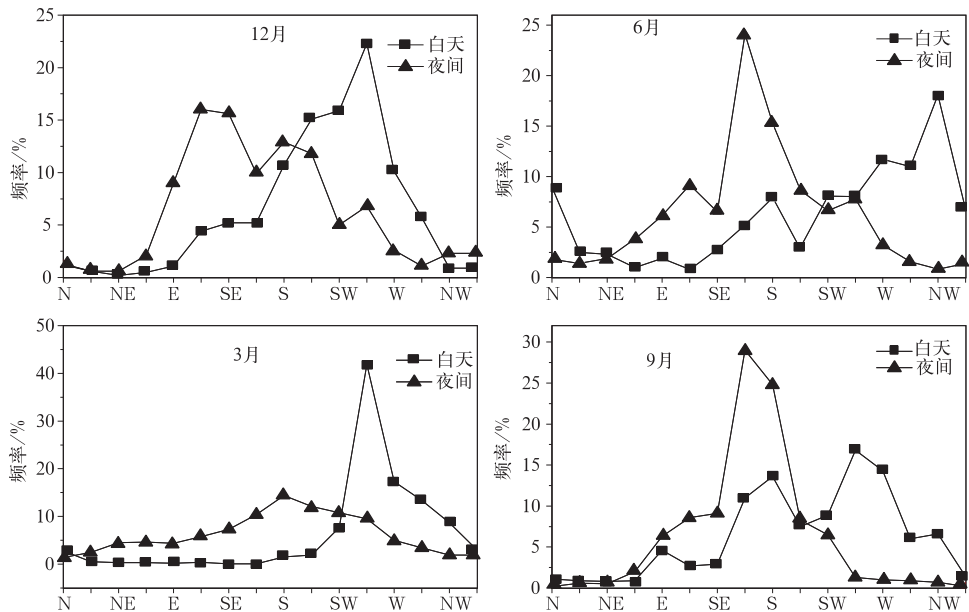


图 4 纳木错风向分布频率

### 3 讨论和结论

利用国家气候中心提供的 1990—2005 年拉萨、当雄、班戈和那曲等站的气温、相对湿度等气象数据,得到了四站各气象要素的年平均值,并与纳木错站进行了对比(表 3),

可以看出:纳木错站年降水量和年平均气压最低;年平均气温、相对湿度和风速高于东南部的拉萨和当雄;与西北部的班戈相比,年平均气温和相对湿度较高,风速较为接近;年平均气温和风速高于东北部的那曲,相对湿度较低;这表明纳木错站的气候处于由东南部的高寒半湿润向西北部的高寒半干旱过渡地带。

表 3 纳木错站及周边气象站气象要素的年平均值

站名	东经	北纬	海拔/m	气温/℃	相对湿度/%	降水量/mm	气压/hPa	风速/m·s <sup>-1</sup>
拉萨	91°08′	29°40′	3649	8.5	44.1	491.3	652.7	1.7
当雄	91°06′	30°29′	4200	1.9	46.3	512.5	604.5	2
班戈	90°01′	31°22′	4700	-3.9	47.1	338	573.1	4
那曲	92°04′	31°29′	4507	-6.4	56.3	463.5	587.3	2.4
纳木错站	90°59.31′	30°46.44′	4730	0	52.6	281.8	571.2	4

纳木错站由于湖泊水体的存在,形成了其异于周围陆地的局地性气候。通过对纳木错站 2005 年 7 月 14 日至 2006 年 7 月 13 日的气象资料分析,可以得出以下结论:

(1) 月平均气温全年只有 5—9 月在 0℃ 以上,5—9 月划为暖季,其余为冷季。最热月为 7 月,最冷月为 12 月,年平均温为 0℃,年较差为 18.5℃。年内极端最高与最低气温分别为 20.6℃ 和 -26.4℃。气温全年变化为典型的单峰单谷型。

(2) 年降水量为 281.8mm,降水强度为 2.9mm/雨日。降水量集中出现在 5—10 月份,雨季和干季分明。全年夜雨率为 78.6%。年平均相对湿度为 52.6%。相对湿度日变化为单峰单谷型,最大值出现在清晨,最小值出现在午后 17 点左右。

(3) 地面年平均气压值为 571.2 hPa,最高值出现在 9—10 月,最低值出现在 1—3 月。气压年变化形式属于典型的高原型。地面气压季节变化与地面气温和相对湿度大致相同。地面气压的日变化呈双峰双谷型。

(4) 年平均风速为 4m·s<sup>-1</sup>,最高值出现在 1 月为 6.1m·s<sup>-1</sup>,最低值出现在 7 月为 3.2m·s<sup>-1</sup>。冬季风速较大,夏季较小。全年大风日数为 53 天,1 月大风日数占全年的 36%。风速的日变化强烈,上午风速较小,下午风速较大,在 14:00 点左右风速达到最大,夜间因空气层结稳定,风速小,变化比较平稳。

(5) 全年盛行风在东南至西风(135°~270°)之间,其间出现频率之和为 67%。夏季以南风为主,冬季盛行西东西风。纳木错

站夏季(6 月)的湖陆风比较明显,夜间吹陆风,以南东南风为主,白天吹湖风,以西北风为主。其它季节湖陆风不明显。

**致谢:**感谢田克明、张强弓、卢巍等架设自动气象站并提供部分气象资料,同时感谢纳木错综合观测研究站全体人员。

### 参考文献

- [1] 白虎志,董文杰,马振锋. 青藏高原及邻近地区的气候特征[J]. 高原气象,2004,23(6):890-897.
- [2] 建军,余锦华,达琼. 近 30 年青藏高原年平均 0cm 地温的分布和变化特征[J]. 气象,2006,32(2):64-69.
- [3] 张顺利. 西藏 30 年温度变化的气候特征[J]. 气象,1997,23(2):21-24.
- [4] 陈克东,建军. 近 40 年泽当气候变化初探[J]. 气象,2000,26(1):51-55.
- [5] 顿珠次仁,石运强. 西藏日喀则地区气候变化分析[J]. 气象,2000,26(1):46-50.
- [6] 毛飞,卢志光,郑凌云,等. 近 40 年那曲地区日照时数和风速变化特征[J]. 气象,2006,32(9):77-83.
- [7] 周明煜,徐祥德,卞林根,等. 青藏高原大气边界观测分析与动力学研究[M]. 北京:气象出版社,2000:1-55.
- [8] 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.
- [9] 青藏高原科学考查丛书. 西藏河流与湖泊[M]. 北京:科学出版社,1984:176-182.
- [10] 章基嘉,朱抱真,朱福康,等. 青藏高原气象学进展[M]. 北京:科学出版社,1988:194-207.
- [11] 巩远发,卢建龙. 1993 年夏季风期间青藏高原上降水变化特征[J]. 成都气象学院学报,1996,11(3):141-147.
- [12] 姚檀栋等著. 青藏高原中部冰冻圈动态特征[M]. 北京:地质出版社,2002:70-73.
- [13] 戴加洗主编. 青藏高原气候[M]. 北京:气象出版社,1990:57-114.