

珠穆朗玛峰北坡冰川表面不同季节气象特征分析

杨兴国¹, 群 觉², 刘宏谊¹, 王遂缠³

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 西藏自治区气象局监测网络处, 西藏 拉萨 850000; 3. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 在极端高海拔地区获取定点的气象观测资料对于研究山地冰川与气候变化的关系极为重要。2005 年 5 月 1 日 ~ 7 月 22 日 (春末夏初) 和 2007 年 10 月 2 日 ~ 2008 年 1 月 19 日 (秋冬) 在珠峰地区海拔 6 560 m 的东绒布冰川积累区进行了包括气温、湿度、风向风速和气压在内的气象要素观测。对观测资料的分析表明, 气温和湿度与附近较低海拔定日气象站的变化趋势基本一致, 证明了在极端环境下获得的气象观测资料的合理性。春末夏初月平均气温从 5 月的 - 11.3 上升到 7 月的 - 3.4, 秋冬季月平均气温则从 10 月的 - 11.3 下降到次年 1 月的 - 19.0。在春末夏初受印度季风影响, 湿度呈持续增加趋势, 月平均湿度混合比从 5 月的 1.4 g/kg 增加到 7 月的 5.4 g/kg; 而在西风环流控制下的秋冬季湿度呈缓慢降低, 月平均湿度混合比从 10 月的 1.4 g/kg 降低到次年 1 月的 0.5 g/kg。春末夏初主要以阴天为主, 秋冬季则是晴天占据主导地位。西风环流控制时东绒布冰川盛行西北风, 风速较大, 极端最大风速可达 35 m/s。而受印度季风影响时东绒布冰川以南风为主, 风速相对较小。

关键词: 珠穆朗玛峰; 冰川; 气象特征

中图分类号: P412.4

文献标识码: A

引 言

素有世界“第三极”之称的珠穆朗玛峰 (简称“珠峰”), 海拔 8 844.43 m, 它位于青藏高原南部边缘喜马拉雅山脉中段, 与洛子峰 (8 501 m)、玛卡露峰 (8 475 m)、卓奥友峰 (8 157 m) 以及临近数十座 7 000 m 以上的高峰组成了世界上最雄伟的高山区。山峰以南地区主要受印度季风影响, 以北则主要受大陆性气候控制。由于其独特的自然地理条件、举世无双的高度、脆弱而敏感的环境使其成为气候变化和环境变迁的敏感区^[1]。同时也为现代冰川发育提供了十分有利的条件, 使其成为低纬度地区一个巨大的现代冰川作用中心, 冰川面积 1 600 km², 占整个珠峰地区面积的 32%^[2]。从 20 世纪 50 年代开始针对气象、冰川、水文、地质、地貌、古生物和动植物等分别于 1959 ~ 1960、1966 ~ 1968 和 1975 年进行了 3 次大规模珠峰综合科学考察^[3-4]。之后随着全球变化研究的兴起, 20 世纪 90 年代在珠峰南坡 5 050 m 开展了包括地球科学和环境科学等在

内的“金字塔”研究计划^[5], 1998 年在海拔 7 986 m 进行了近 4 个月的气象观测试验研究^[6], 2008 年 5 月又在海拔 8 000 m 安装了包括测量空气温湿度、风向风速、气压、总辐射和紫外辐射的自动气象站, 旨在进行包括气候变化等内容研究。在北坡通过分析钻取的冰芯, 重建了该地区近 200 a 的气候记录, 发现了 5 次冷期和 5 次暖期^[7]; 通过重复测量冰川末端的变化, 得出自 20 世纪 60 年代以来绒布冰川平均退缩速度为 5.5 ~ 8.7 m/a^[8-9]。但是在冰川表面开展的综合气象观测研究相对较少。本文主要利用 2005 年 5 月 1 日 ~ 7 月 22 日 (简称“春末夏初”) 和 2007 年 10 月 2 日 ~ 2008 年 1 月 19 日 (简称“秋冬”) 在珠峰地区东绒布冰川开展的综合气象观测试验资料, 分析 2 个不同季节冰川积累区的气象要素变化特征。

1 试验方案

试验区选择在珠峰东侧东绒布冰川。该冰川属于复式山谷冰川, 其上线、末端和雪线高度分别为

收稿日期: 2008 - 08 - 29; 改回日期: 2008 - 09 - 19

基金项目: 财政部 科技部公益类行业专项 (GYH200706005) 资助

作者简介: 杨兴国 (1967 -), 男, 甘肃民乐人, 硕士, 研究员, 主要从事寒区旱区陆面过程试验研究。E-mail: yxg_yjz@sina.com

7 600 m、5 520 m 和 6 200 m,长度 14 km,面积 48 45 km²。观测点设在冰川积累区比较平坦的若普拉垭口(28°01'N, 86°57'E,海拔 6 560 m)(图 1)。南北方向比较开阔,海拔高度自观测点开始向南、北 2 边逐渐降低;北坡坡度较缓,而南边坡度比较陡峭,东面山峰相对较低。

2005 年春末夏初首先进行的试验中观测要素包括空气温湿度、风向风速、气压等。其中空气温湿度测量采用 HMP45C 传感器,外面安装有防辐射罩,采用自然通风;风向风速测量采用 YOUNG-05103 传感器;传感器安装高度为 1.5 m。气压传感器采用 PTB210,安装在距地面 0.5 m 的数据采集箱中。所有传感器都被集成在型号为 CR1000 的数据采集器中,设备各项性能见表 1。1 min 获得一组数据,每 10 min 输出 1 次平均值。观测所需要的能量来自于通过太阳能电池板转化的太阳能。

在对仪器设备进一步完善后,于 2007 年又实施了秋冬试验。观测方案与春末夏初完全相同。根据以前对绒布冰川积累区积雪厚度的初步概算^[3-4],将温湿度和风向风速传感器的安装高度调整为 2 m,以确保在降雪时传感器不被积雪掩埋。

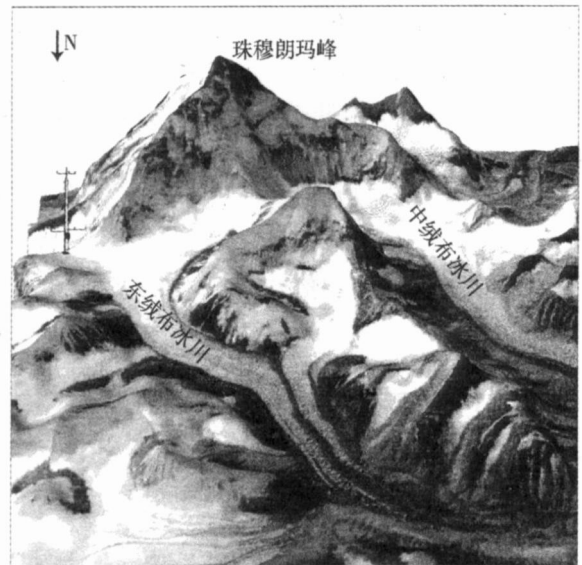


图 1 珠穆朗玛峰东绒布冰川积累区自动气象站安装位置示意图

Fig 1 Location of automatic weather station on the accumulation area of the East Rongbuk Glacier in the Mt Qomolangna (Mt Everest) region

表 1 各类传感器及数据采集器的性能及主要技术参数

Tab 1 List of equipment sensors and their specifications

要素	传感器型号	主要技术参数
温度 /	HMP45D	测量精度: ± 0.2 ; 测量范围: $-40 \sim 60$
湿度 / %	HMP45D	测量精度: $\pm 2\%$ RH; 测量范围: $0.8\% \sim 100\%$
风速 / $m \cdot s^{-1}$	YOUNG 05103	测量精度: $\pm 0.3 m \cdot s^{-1}$; 测量范围: $0 \sim 100 m \cdot s^{-1}$
风向 / °	YOUNG 05103	测量精度: ± 3 ; 测量范围: $0 \sim 355$ °
气压 / hPa	PTB210	测量精度: ± 0.35 Pa; 测量范围: $50 \sim 1\,100$ hPa
数据采集器	CR1000	16个单端模拟输入,内存: 2 MB

2次观测同时进行了辐射观测。为了保证观测资料的可靠性,所有传感器在试验前均经过了鉴定。春末夏初试验由于持续降雪导致太阳能供应不足而使自动气象站于 2005 年 7 月 22 日停止运行,共有 83 d 资料;在 5 月每周对设备进行 1 次检查,其后为无人值守。秋冬试验全程为无人自动运行,2008 年 1 月 19 日以后观测数据出现异常,部分传感器停止运行,共取得 110 d 的观测数据。2008 年 4 月现场检查发现造成自动站出现异常的原因是由于冬天风速过大,风向风速传感器和温湿度传感器受损,导致观测记录不连续。

为了便于同附近定日气象站(28°38'N, 87°05'

E)观测结果进行比较,文中同时将空气相对湿度转换为混合比(g/kg)。定日县境群山,属于喜马拉雅山系,境内 8 000 m 以上山峰有 4 座,属于高原温带半干旱季风气候区。此外需要特别说明的是 2005 年 7 月的月平均值指 1~22 日的平均值,而 2008 年 1 月平均值的计算只有 1~19 日的资料。由于冰川表面积雪的缘故,传感器距离地面的高度可能会有所变化。

2 分析结果

已有研究表明 6 月中旬以前珠峰地区主要受西风环流控制,其后到 9 月末主要受印度季风影

响^[10-12]。在春末夏初东绒布冰川平均风速、气温、空气湿度混合比和气压值分别为 4.0 m/s、6.7、3.5 g/kg和 458.7 hPa。而在秋冬季由于受西风环流的影响,再加之太阳辐射的逐渐减弱,与春末夏初相比,除风速明显增大外,气温、空气湿度和气压均相对较低,对应值分别为 10.1

m/s、14.7、0.7 g/kg和 455.1 hPa,详细数据参见表 2。

如果以短波辐射日变化曲线为光滑抛物线时以晴天计^[13],春末夏初试验期晴天只有 12 d,占试验期的 14%,而在秋冬试验期晴天长达 69 d,占试验期的 63%。

表 2 珠峰东绒布冰川垭口基本气象要素月平均、日平均最大和最小值

Tab 2 Monthly mean and extreme daily mean meteorological values on the East Rongbuk Glacier in the Mt. Qomolangma region

气象要素	2005年					2007~2008年					
	5月	6月	7月	最大	最小	10月	11月	12月	1月	最大	最小
风速/(m/s)	6.9	2.9	2.2	16.1	1.1	7.1	8.2	14.9	14.2	22.2	1.1
主导风向	NW	SSE, NW	SSE	- - -	- - -	WNW	WNW	NW	NW	- - -	- - -
温度/	-11.3	-5.5	-3.4	-1.8	-14.5	-11.3	-16.2	-16.7	-19.0	-6.7	-23.0
混合比/(g/kg)	1.4	3.6	5.4	8.3	0.2	1.4	0.6	0.4	0.5	5.0	0.1

2.1 温度

春末夏初伴随着辐射的逐渐加强,气温在波动中逐步升高;观测期间极端最低和最高温度分别为 -19.2 和 6.7,气温平均日较差为 8.8。由于秋冬季太阳直射点的逐渐南移,气温一直处于下降趋势;极端最低和最高温度分别为 -27.6 和 0.8,气温平均日较差为 6.4,比春末夏初的日较差低 2.4 (图 2)。

与相距最近的定日气象站(28°38'N, 87°05'E, 海拔 4301 m)同期日平均气温比较表明,虽然无论是春末夏初还是秋冬季,其变化趋势均与定日气象站基本一致(图 2),但是由于其极高的海拔和冰雪面较高的反射率,温度明显低于定日气象站。春末夏初和秋冬季平均温度比定日站对应值(9.9、-0.5)分别偏低 16.9 和 14.9。

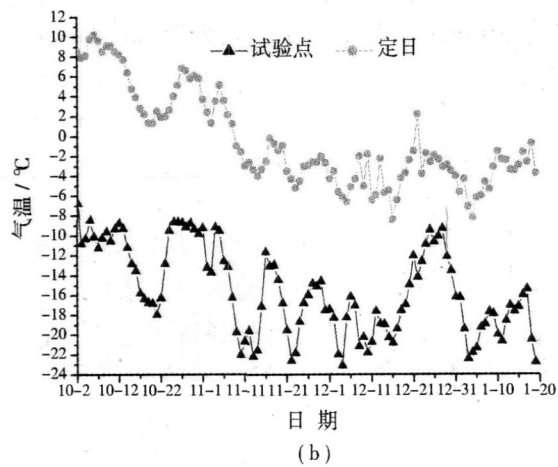
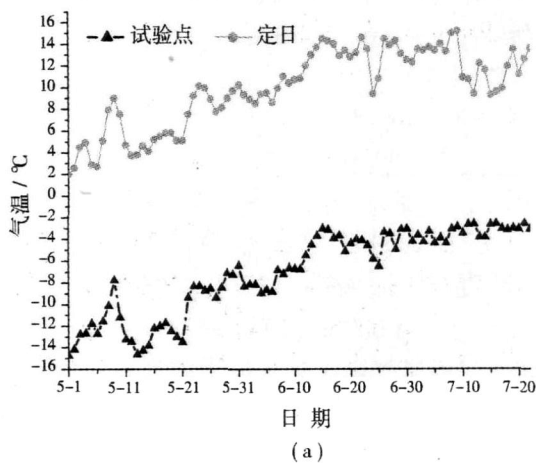


图 2 不同季节日平均温度随时间变化(a:春末夏初 b:秋冬)

Fig 2 Temporal variation of daily mean air temperature in different seasons (a: late spring and early summer; b: fall and winter)

2.2 湿度

春末夏初湿度呈持续增加趋势。湿度混合比从

5月的 1.4 g/kg增加到 7月的 5.4 g/kg,尤其是 6月中旬以后湿度明显增加,其主要原因是印度季风

爆发以后影响所致^[14]。而在秋冬季,除 10 月中旬以前空气湿度相对较大外,其后湿度基本变化不大,呈缓慢下降趋势。10 月湿度混合比为 1.4 g/kg,其余各月混合比均小于 1.0 g/kg。与定日气象站的同期湿度相比,变化趋势也基本同步(图 3)。但是东绒布冰川的湿度混合比明显小于定日站。春末夏初

平均值比定日同期值(5.3 g/kg)小 1.8 g/kg,而秋冬季两者平均混合比分别是 0.7 g/kg 和 1.7 g/kg,相差 1.0 g/kg。但是由于东绒布冰川温度较低,其相对湿度却明显高于定日站。春末夏初和秋冬季平均相对湿度比同期定日气象站分别高 18% 和 10%。

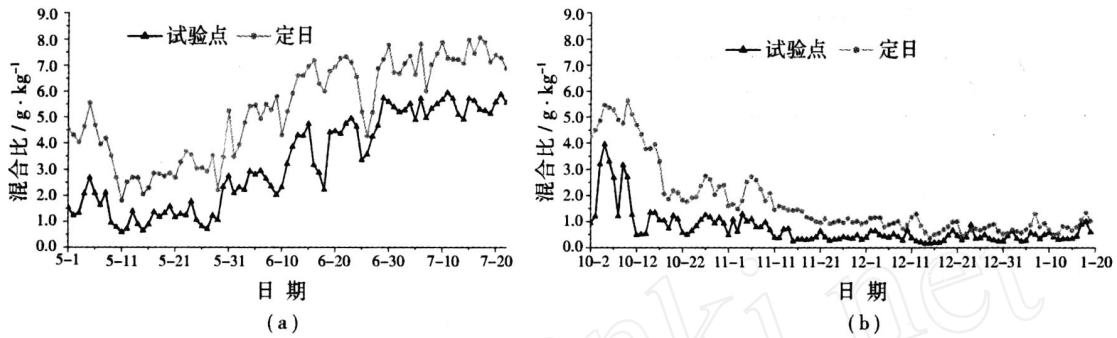


图 3 不同季节日平均相对湿度随时间变化 (a:春末夏初; b:秋冬)

Fig 3 Temporal variation of daily mean relative humidity in different seasons (a: late spring and early summer; b: fall and winter)

2.3 风向风速

由于珠峰地区极其复杂的地形和特殊下垫面造成了其独特的风向风速变化特点。春末夏初风速从 5 月中旬开始逐渐减小,日平均最大和最小风速分别是 16.1 m/s 和 1.0 m/s(图 4a)。5 ~ 6 月中旬以前主要以北风或西北风为主,频率是 52.8%; 其后则以南风或偏南风为主,频率为 32.3%。5 月 11 日中午 10 min 平均极端最大风速达到 22.3 m/s,

风向为西北风。分析表明其原因是当天珠峰地区受柴达木地区低涡东移影响,槽区附近气压梯度加大,造成全天风速均比较大(图 5)。

而秋冬季风速在波动中持续上升,而且明显大于春末夏初。日平均最大和最小风速分别是 22.2 m/s 和 1.2 m/s(图 4b); 风向基本以西北风为主,频率高达 82.4%。10 min 平均极端最大风速高达 34.9 m/s,出现时间恰好是自动气象站停止工作的

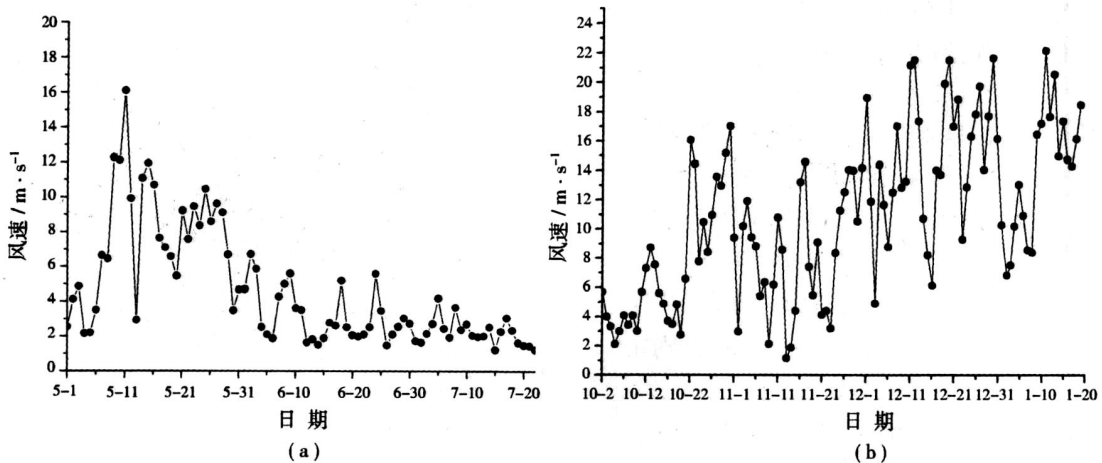


图 4 不同季节日平均风速随时间变化 (a:春末夏初 b:秋冬)

Fig 4 Temporal variation of daily mean wind speed in different seasons (a: late spring and early summer; b: fall and winter)

时间,既 2008年 1月 19日下午。当天全天均吹西北风,日平均风速达到 18.6 m/s (图 5)。持续的大风也导致传感器被损坏,使自动气象站停止工作。造成当天大风天气主要是西风带急流系统影响了珠峰地区,而位于里海东侧的低涡系统又促使北方冷空气不断向该地区输送,导致风速进一步加剧。

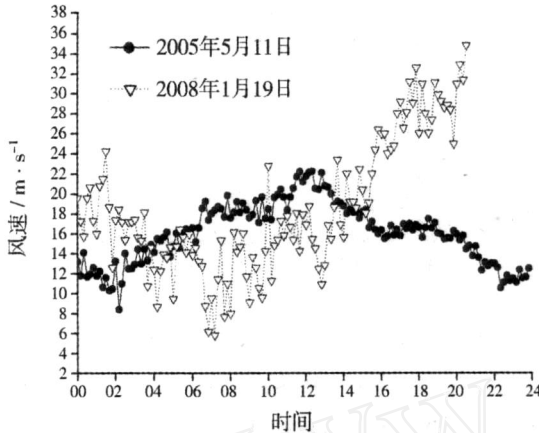


图 5 最大风速日变化特征

Fig 5 Daily cycle of maximum wind speed

以往观测表明,位于本次观测点以北直线距离仅 10 km 的绒布寺 ($28^{\circ}08' \text{ N}$, $86^{\circ}51' \text{ E}$,海拔 5207 m)风向主要是以偏南风为主,频率为 50% ,偏北风频率只有 25% ^[4]。这一特点与绒布冰川的风向分布有较大差别。

分析认为,每年除 $6\sim 9$ 月以外,珠峰地区主要受西风环流影响,高空盛行西北风;进入 6 月随着高原感热作用加强,西风环流减弱,再加之印度季风爆发,导致该地区南风或偏南风频率的增加,尤其到 7 月西风带的影响基本消失,珠峰地区盛行南风或偏南风^[10,14]。处在 2 座山峰之间的东绒布冰川垭口由于海拔较高,导致其风向分布与大气环流背景基本相同,既当珠峰地区在西风环流控制之下时,东绒布冰川吹西北风;而印度季风影响时主要以南风为主。此外,由于受西风环流控制时观测点南部没有大地形遮挡,因此风速相对较大;其后随着西风环流的逐渐消退和印度季风的增强,再加之观测点北部章子峰的遮挡作用,导致其风速逐渐减小,这一特点与采用高空探测资料分析的结果相一致^[4]。而绒布寺由于海拔相对较低,东西两边均为相对高度超过 1000 m 的山峰,南部海拔较高处的峡谷分布有东、西和中绒布冰川,其余部分下垫面主要是冰碛物和岩石覆盖。因此其风向主要受下垫面和地形因

素控制,常年盛行以南风或偏南风为主的冰川风^[3,15]。

3 结 论

2005年 5月 1日~7月 22日和 2007年 10月 2日~2008年 1月 19日在珠峰地区东绒布冰川积累区进行了包括空气温湿度、风向风速和气压在内的气象观测试验。在对上述要素进行分析后得出如下结论:

(1)气温和湿度与附近较低海拔定日气象站的变化趋势基本一致。一方面证明了在极端环境下获得的气象观测资料的合理性,同时也表明珠峰北坡地区基本与定日受相同天气系统的影响;

(2)春末夏初月平均气温从 5月的 -11.3 上升到 7月的 -3.4 ,平均日较差为 8.8 ;秋冬季月平均气温则从 10月的 -11.3 下降到次年 1月的 -19.0 ,气温平均日较差为 6.4 ;

(3)在春末夏初受印度季风影响,湿度呈持续增加趋势,月平均混合比从 5月的 1.4 g/kg 增加到 7月的 5.4 g/kg ;而秋冬季在 10月中旬以后湿度变化不大,月平均混合比从 10月的 1.4 g/kg 降低到次年 1月的 0.5 g/kg 。春末夏初主要以阴天为主,而在秋冬季则是晴天占据主导地位;

(4)受大气环流背景和地形综合影响,西风环流控制时东绒布冰川盛行西北风,风速较大;当大尺度天气系统影响珠峰地区时,与特定的地形条件结合,会加强风速,极端最大风速可达 35 m/s ,相当于 12级飓风。而受印度季风影响时东绒布冰川以南风为主,受下风向地形的影响,风速相对较小。

参考文献:

- [1] Liu X, Chen B. Climatic warming in the Tibetan plateau during recent decades[J]. *Int J Climatol*, 2000, 20: 1729 - 1742
- [2] 施雅风主编. 中国冰川编目 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] 珠穆朗玛峰地区科学考察报告 (1966 - 1968)——气象与太阳辐射 [M]. 北京: 科学出版社, 1975. 21 - 36
- [4] 珠穆朗玛峰地区科学考察报告 (1975)——气象与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1980. 4 - 51.
- [5] Bertolani L, Bolasina M. Recent biennial variability of meteorological features in the eastern Highland Himalayas[J]. *Geophys Res Lett*, 2000, 27: 2185 - 2188
- [6] Moore GW K, John L S. High Himalayan meteorology: weather at the South Col of Mount Everest[J]. *Geophys Res Lett*, 2004, 31, L18109, doi: 10.1029/2004GL020621.
- [7] Kang S, Qin D, Paul A M, et al. Recent 200a climate records in the far East Rongbuk ice core, Mt Qomolangma (Mt Everest),

- Himalayas[J]. *J Glaciology and Geocryology*, 2000, 22 (3): 211 - 317.
- [8] Qin D, Paul A Mayewski, Cameron P Wake, et al. Evidence for recent climate change from ice core in the Himalaya[J]. *Ann Glaciol*, 2002, 31: 153 - 158.
- [9] Ren J, Qin D, Kang S. The glacier change and characteristics of warm and arid climate in the middle of Himalayas[J]. *Chinese Sci Bull*, 2004, 48 (23): 2478 - 2482.
- [10] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学 [M]. 北京: 科学出版社, 1979. 10 - 201.
- [11] 白虎志, 谢金南, 李栋梁. 近 40 年青藏高原季风变化的主要特征 [J]. 高原气象, 2001, 20 (1): 23 - 27.
- [12] 张东启, 秦大河, 侯书贵, 等. 东绒布冰芯净积累量与印度夏季风降水的关系 [J]. *冰川冻土*, 2004, 26 (2): 129 - 134.
- [13] 杨兴国, 马鹏里, 王润元, 等. 陇中黄土高原夏季地表辐射特征分析 [J]. *中国沙漠*, 2005, 25 (1): 55 - 62.
- [14] Southwest Monsoon 2005 $\frac{3}{4}$ mid seasonal review, Southwest Monsoon - 2007: an overview. <http://www.indemet.in>
- [15] Han Z, Libo Z, Shupo M, et al. Local wind system in the Rongbuk Valley on the northern slope of Mt Everest[J]. *Geophys Res Lett*, 2008, 35, L13813, doi: 10.1029/2008GL033466.

Meteorological Characteristics of the East Rongbuk Glacier, Mt Qomolangma

YANG Xingguo¹, QUN Jue², LIU Hongyi¹, WANG Suichan³

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. Xizang Autonomous Regional Meteorological Bureau, Lhasa 850000, China; 3. Lanzhou Central Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Ground - based meteorological observation is essential for understanding the relationship between alpine glacier and climate change, especially in remote regions where in - situ measurements are extremely limited. The meteorological factors, including air temperature, wind speed and direction, atmospheric water content, were measured over the accumulation area on the East Rongbuk Glacier, Mt Qomolangma (the Mt Everest) at elevation of 6 560 m. Measurements were conducted using an automatic weather station (AWS) from May 1 to July 22, 2005 (spring - summer period) and from October 2, 2007 to January 19, 2008 (autumn - winter period). The variational trend of air temperature and atmospheric water content were nearly similar at both the measurement site and Dingri meteorological station by analyzing the observations, and this result testifies the rationality of the observed data on the extremely difficult conditions. Mean monthly air temperature ranged from -11.3 in May to -3.4 in July, 2005 and from -11.3 in October, 2007 to -19.0 in January, 2008 at the AWS site on the East Rongbuk Glacier in the Mt Qomolangma region. Near - surface the mixing ratio of water vapour increased from 1.4 g/kg in May to 5.4 g/kg in July of 2005 after onset of the Indian monsoon, while it decreased very slowly from 1.4 g/kg in October of 2007 to 0.5 g/kg in January of 2008 when the westerlies was dominated in the region. Surface wind characteristics were strongly controlled by two major synoptic circulation regimes: the Indian monsoon regime in summer and the westerlies in winter. At the AWS site on the East Rongbuk Glacier, north or northwest winds prevailed and mean monthly wind speed ranged from 7.1 m/s in October, 2007 to 14.2 m/s in January, 2008 with the extreme value up to 35 m/s. South or southeast winds predominated after the onset of the southwesterly Indian monsoon with relatively low wind speed in summer, ranging from 6.9 m/s⁻¹ in May to 2.2 m/s⁻¹ in July, 2005.

Key words: Mt Qomolangma; glacier; meteorological characteristic