

文章编号: 1000-0534(2007)06-1141-05

# 中国科学院珠穆朗玛峰大气与环境 综合观测研究站: 一个新的研究喜马拉雅山区地气相互作用过程的综合基地

马耀明

(中国科学院 青藏高原研究所, 北京 100085)

**摘 要:** 喜马拉雅山区的高海拔冰雪覆盖使主山体两侧形成下泄流, 而在强太阳辐射的加热作用下, 无冰雪覆盖的周边山体形成山谷风环流。上述两者叠加形成地气间的强烈交换过程。这种交换过程使得地面的物质和能量与北半球自由大气相联系, 将青藏高原置于全球变化的背景中。在本文中作者介绍了中国科学院珠穆朗玛峰大气与环境综合观测研究站的建站背景及其研究喜马拉雅山地气相互作用过程中的作用, 同时介绍了台站建设及其在该地区地气相互作用研究中所取得的初步研究成果。

**关键词:** 珠穆朗玛峰北坡; 地气相互作用; 综合观测

**中图分类号:** P411 **文献标识码:** A

## 1 引言

喜马拉雅山脉长 2500 km, 高 6000 m, 总面积达  $40 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占青藏高原总面积的六分之一, 是高原隆升和大型山地的典型代表, 同时也是青藏高原特殊大气过程集中表现的典型区域。喜马拉雅山区的高海拔导致该地区与自由对流层大气最为接近, 使得该地区成为地气间物质能量交换的理想区域; 强烈的地面—对流层大气间的物质及能量交换使得该地区成为监测北半球大气环境的最佳地点。喜马拉雅山复杂的地形和强烈的太阳辐射形成了该地区独特的大气环流系统以及气候和环境特征, 成为山地大气科学和环境科学研究的实验室。

然而, 由于交通不便和工作条件恶劣, 在喜马拉雅山区进行的大气观测研究为数不多。1970 年代, 我国科学工作者在第一次青藏高原大气科学实验时期, 曾对珠穆朗玛峰(下称“珠峰”)北坡为代表的喜马拉雅山区大气一般气象特征进行了观测研究<sup>[1-2]</sup>。之后, 在喜马拉雅山区也曾进行过一些涉及大气环流系统、大气边界层及大气环境过程的观

测研究<sup>[3-10]</sup>。在喜马拉雅山区还有一些常规气象观测站点, 对常规气象要素进行观测, 例如, 风、温、湿等。但是, 以科学考察形式进行的观测时间短, 不能全面了解该地区不同季节和长期的大气及环境变化过程, 其研究目标也有片面性; 常规气象站的观测在观测要素、密度等方面又不能满足科学研究的需要。1990 年代意大利科学家在珠峰南坡启动“金字塔”(Pyramid)计划, 已经进行了十多年的大气和环境过程监测研究<sup>[11]</sup>。但由于珠峰南、北坡存在显著的地理和环境特征差异, 珠峰南坡的研究结果并不能代表整个珠峰地区的特征。所以从这一点来说, 在珠峰北坡建立大气和环境过程观测站可以与 Pyramid 站进行对比研究, 从而进一步认识喜马拉雅山区在全球变化中的作用。

综上所述, 在以珠峰北坡为代表的喜马拉雅山区建立大气和环境综合观测研究站, 对于全面准确地认识喜马拉雅山地区的地气相互作用规律, 进而更加清楚地认识该地区及青藏高原在全球变化中的作用和对全球变化的响应都具有重要科学意义。

收稿日期: 2007-10-26

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-231); 国家重点基础研究发展规划项目(2005CB422003); 国家自然科学基金项目(40520140126); 国家自然科学基金委重点项目(40533018)共同资助

作者简介: 马耀明(1964—), 男, 山西夏县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事大气边界层观测试验和卫星遥感应用研究

E-mail: ymma@itpcas.ac.cn

2 珠峰大气与环境综合观测研究站简介

2005 年 9 月底建成的中国科学院珠峰大气与环境综合观测研究站(“珠峰站”)位于  $28^{\circ}21'54''N$ ,  $86^{\circ}56'53''E$ , 海拔高度 4276 m, 在西藏自治区定日县的扎西宗乡, 距珠峰登山大本营 30 km 左右, 距定日县城约 80 km, 距拉萨约 650 km。珠峰站包括观测场和生活区两个区域, 总面积为 2 hm<sup>2</sup>, 为高山戈壁荒漠下垫面。现已建成 115 m<sup>2</sup> 的活动房和观测场地, 配有太阳能供电系统及野外交通工具。

珠峰站建设的长远目标是, 把该站建成不仅是特殊环境与灾害国家野外观测站, 而且是正确认识喜马拉雅山区大气过程和地表过程本身以及其对我

国、东亚乃至全球天气气候影响和反馈效应的观测研究基地。

珠峰站现有的用于地气相互作用研究的固定观测仪器及其功能如图 1 所示: (1)从芬兰 Vaisala 公司购进的 40 大气边界层塔站观测系统(MILOS520, 含土壤观测系统), 用于近地面(0~40 m)大气层结构和能量物质交换观测研究。该系统适于在气温为  $-50^{\circ}C \sim +50^{\circ}C$  和相对湿度为 95% 的环境条件下工作。此系统为常规连续观测, 每 30 min 取一组数据, 一天(24 h)产生一个文件, 约 130KB。包括: 20, 10, 4, 2 及 1 m 的风向风速、气温和相对湿度观测, 1 m 处的短波向下辐射通量和长波向上辐射通量观测, 降雨量、气压和红外温度观测, 地下两层土壤热通量( $-10\text{ cm}$ ,  $-20\text{ cm}$ )

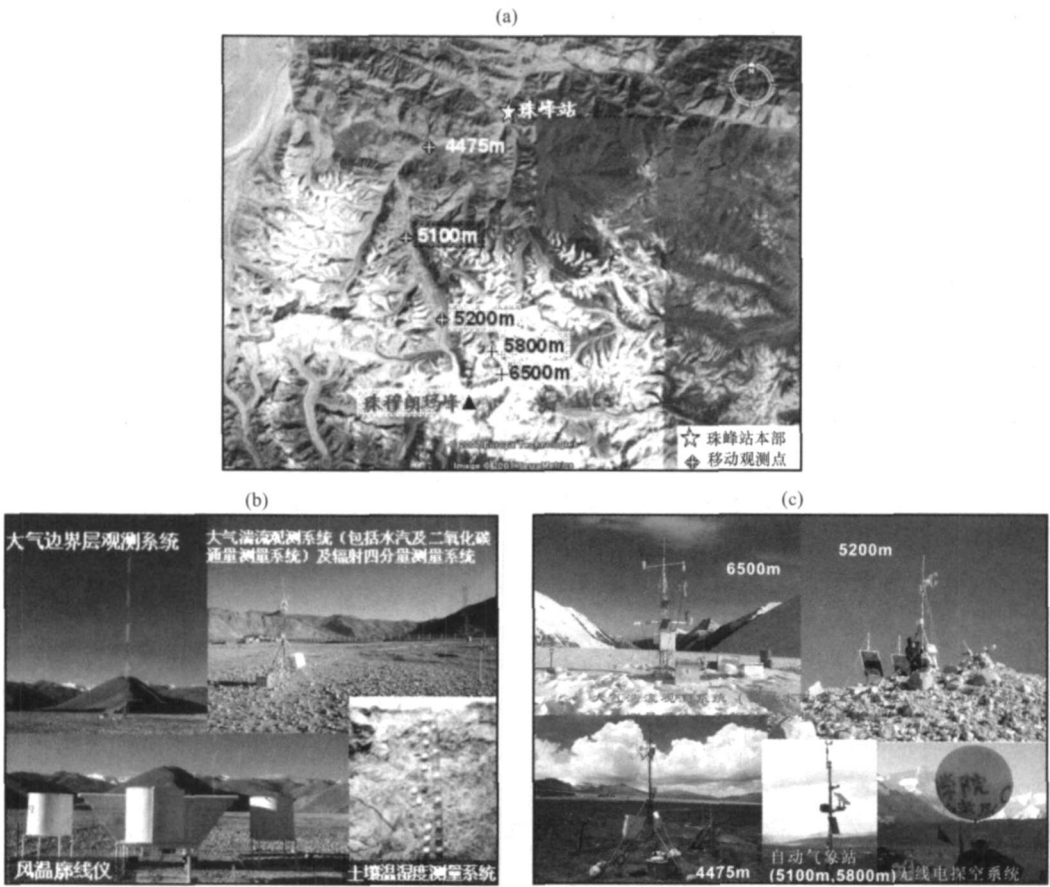


图 1 珠峰站及其周围的仪器分布  
(a) 珠峰站本部及其周围仪器分布, (b) 珠峰站本部设置的观测仪器, (c) 珠峰站周围的移动观测仪器  
Fig. 1 The stations and sites layout and the instruments in the Atmopshereic and Environmental Comprehensive Observation and Research Station on the Mt. Qomolangma Chinese Academy of Sciences (AECORSQ, CAS). (a) The station and sites layout on and around the AECORSQ, CAS, (b) the instruments on the AECORSQ, CAS, (c) the instruments around the AECORSQ, CAS

观测及地下 5 层的土壤温湿度(—10 cm, —20 cm, —40 cm, —80 cm, —160 cm)观测; (2)从美国 Campbell 公司购进的一套涡动协方差大气湍流观测系统由 CR5000 数据采集器和 CSAT3 超声风速仪、LI7500 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪及 4 分量辐射观测系统等组成。用于对珠穆朗玛峰地区的近地层大气湍流交换过程进行观测。此系统为常规连续观测, 每 30 min 取一组数据(湍流脉动量除外, 其每秒钟取 10 个数据), 一天(24 h)产生一个文件, 约 35MB。包括: 3 m 处的三维风速( $u$ ,  $v$ ,  $w$ )及温度脉动量、水汽及 CO<sub>2</sub> 脉动量, 120 cm 处的向上、向下短波辐射及向上、向下的长波辐射通量和地下 5 cm 的土壤热通量; (3)从芬兰 Vaisala 公司购进 1 套风温廓线仪(LAP-3000, 含 RASS), 用于精确测量低层大气(80~5000 m)风温垂直廓线。该系统适于在气温为—50℃~+50℃和相对湿度为 95% 的环境条件下工作。此系统只在加强观测期进行连续观测, 每 30 min 取一组数据, 每天数据量约 3MB, 包括水平风速、垂直风速和 3 个径向多普勒速度的垂直分布, 虚温和垂直速度的垂直分布等。

珠峰站现有的地气相互作用研究的移动观测仪器及其功能如下(见图 1): (1)从美国 Campbell 公司购进的 3 套涡动协方差大气湍流观测系统由 CR5000 数据采集器和 CSAT3 超声风速仪、LI7500 的 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 分析仪及 4 分量辐射观测系统等组成。用于对珠穆朗玛峰地区不同高度处(6500 m, 5200 m 和 4475 m)的近地层大气湍流交换过程进行观测。其观测项目与珠峰站所设置的固定大气湍流观测系统相同; (2)从芬兰 Vaisala 公司购进 1 套无线电探空仪(MW21 DigiCORA III), 用于观测地面至 30 km 高空的大气温度、压力、湿度和风的垂直分布。该系统适于在气温为—50℃~+50℃和相对湿度为 95% 的环境条件工作。此系统只在加强观测期进行观测, 每天一般取 4 组数据, 每天数据量约 1MB; (3)从芬兰 Vaisala 公司购进 2 套自动气象站(MILOS500), 用于观测珠峰地区不同高度处(5100 m 和 5800 m)的近地面大气温度、压力、湿度、风速、风向、地表温度、太阳总辐射、降雨量及地下 20 cm 的土壤温、湿度。该系统适于在气温为—50℃~+50℃的环境条件工作。此系统为常规连续观测, 每 30 min 取一组数据, 一天(24 h)产生一个文件, 约 50KB。

### 3 初步分析结果

在建设珠峰站过程的两年多的时间内, 中国科

学院青藏高原研究所及中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的科研人员利用珠峰站及其周围设置的地气相互作用观测仪器, 对观测得到的资料做了大量的分析工作, 并取得了一些初步的研究成果。

#### 3.1 珠峰地区大气边界层结构及环流特征

利用无线电探空仪和风温廓线仪的资料, 分析了珠峰地区的大气边界层结构及珠峰北坡地区的大气环流特征, 所得结果有: (1)珠峰地区大气边界层高度的日变化明显, 珠峰地区由于冰川风的存在影响了大气边界层的结构, 但珠峰地区 3~5 月份大气边界层的最高高度可达 3900 m 左右<sup>[12]</sup>。(2)珠峰北坡地区 3~5 月份 3000 m 以下的比湿廓线的日变化明显, 而且在近地层有逆湿现象存在<sup>[12]</sup>。(3)珠峰地区近地层的环流受该地区冰川风的影响较大, 其影响主要出现在的 15:00~21:00(北京时间), 其高度影响范围约为 700 m, 水平影响范围开始可达 25 km<sup>[12-14]</sup>。

#### 3.2 珠峰地区基本气象要素和土壤温、湿度特征

过去由于条件限制, 对珠峰北坡地区的基本气象要素和土壤温、湿度特征的连续观测研究不是很多, 这里利用珠峰站的大气边界层塔和设在 4475 m 高度处的一套涡动协方差测量移动观测系统(见图 1)的观测资料, 分析了珠峰地区基本气象要素和土壤温、湿度特征的日变化及季节变化特征, 结果表明: (1)珠峰地区气温日变化趋势较为一致, 具有明显的单峰单谷型特征。季风爆发前、季风中后期, 日最高气温, 最低气温以及日平均气温经历了一个由低到高再到低的过程, 而气温日较差则经历了一个从高到低再到高的过程。气温月变化明显, 12 月最冷, 月平均气温最低为—11℃, 6, 7 月最热, 月平均气温最高为 18.8℃。相对湿度的日平均变化趋势基本和气温变化趋势相反<sup>[15-16]</sup>。(2)季风爆发前后, 珠峰北坡地区气压日变化基本呈现两个高峰和两个低谷的交替分布特征。日出前分别出现一个气压极大值和气压极小值, 日出后到日落前出现一天中的气压最大值和最小值。季风爆发前、季风期间及季风过后的气压日均值降低的较大<sup>[15]</sup>。(3)该地区风速的日变化呈现单峰型特征, 风速一般在午后突然增大。季风爆发前后, 近地层风速经历了一个由高到低再到高的变化过程。受西南季风、冰川风和其反方向谷风的影响, 观测点的主导风向为东北风和西南风。季风爆发后, 西南风取代东北风占据主要地位。风速在一年中存在两个极大值中心, 分别出现在 12 月和 7 月。7 月存在风速极

大值是当地盛行冰川风造成的<sup>[15-16]</sup>。(4)一年中珠峰站各层土壤温度存在明显的正弦变化,最小值在12月,最大值在6、7月。冬季只在浅层0~40 cm冻结,40 cm以下不冻结,而且冻结时间较短<sup>[16]</sup>。(5)珠峰站地下20 cm处土壤含水量在全年中较大,8月份土壤含水量平均值最大,12月土壤含水量平均值最小<sup>[16]</sup>。

### 3.3 珠峰北坡近地层湍流及地气间能量交换特征

利用珠峰站的大气边界层塔和设在4475 m与5200 m高度处的2套涡动协方差测量移动观测系统的资料,分析了珠峰北坡近地层大气湍流及地气间能量交换特征,所得的初步研究结果如下:(1)珠峰北坡无量纲化风脉动各分量方差符合 Monin—Obukhov 相似理论的“1/3”定律,且其最佳通用相似函数  $\varphi_u(z/L)$ ,  $\varphi_v(z/L)$  和  $\varphi_w(z/L)$  都可以拟合得到。珠峰地区水平方向大气湍流受到大范围水平流场的影响,  $\sigma_u/u^*$  和  $\sigma_v/u^*$  的离散度均比较大。另外,由于观测场地周围复杂的地形条件和珠峰地区典型山谷风的影响,使得大气湍流垂直方向上的湍流强度  $\sigma_w/u^*$  离散度增大<sup>[17-18]</sup>。在不稳定情况下,无量纲温度和湿度方差与静力学稳定度关系基本满足—1/3 次方相似定律,最佳通用相似函数  $\varphi_T(z/L)$  和  $\varphi_q(z/L)$  可以拟合得到,在稳定条件下( $z/L > 0$ ),虽然观测到较大的离散度,但可以看到  $\sigma_T/|T^*|$  和  $\sigma_q/|q^*|$  随着稳定度的增大而下降,以后渐趋于常数,但它们之间没有明显的普适函数关系<sup>[17-18]</sup>。(2)珠峰北坡地区的太阳辐射加热(包括向下的总辐射和净辐射)明显比其它地区强<sup>[12, 15, 17-20]</sup>。基本试验站观测到的感热通量、潜热通量和地表向下的热通量三者很难与净辐射通量平衡,估计是观测仪器的测量误差和珠峰地区存在的平流作用及复杂的近地层环流的影响所致<sup>[17-18]</sup>。曲宗站季风开始前,地面感热大于潜热,季风爆发后,则潜热大于感热<sup>[12, 15, 17-19]</sup>。但由于珠峰基本站地表属于河滩地,没有明显的湿地特征,致使珠峰站地表全年以感热为主<sup>[20]</sup>。(3)珠峰地区波文比的季节变化规律很明显,高原季风期,波文比显著减小,而进入秋冬季节以后,波文比又显著上升<sup>[17]</sup>。(4)珠峰地区地表反射率具有明显的“U”型日变化特征,受季节变化和季风的影响,从2005年4月至2006年3月,地表反射率也经历了一个从高到低再到高的变化过程<sup>[17, 19]</sup>。(5)珠峰北坡地区地面为强热源,夜晚为弱冷源,而日平均仍为强热源,即早上日出后地面加热场逐渐加强,在中午

14:00 左右加热强度最大,而后逐渐减弱,傍晚日落以后地面就转换成冷源<sup>[17-18]</sup>。

## 4 结语

中国科学院珠峰大气与环境综合观测研究站的建立,可以较为全面地认识喜马拉雅山地区的地气相互作用,进而更加清楚地认识该地区及青藏高原在全球变化中的作用和对全球变化的响应。本文利用珠峰站及其周围移动观测点的观测资料,分析得到了珠峰北坡地区的基本气象要素、土壤温、湿度、大气边界层结构、近地层大气环流、大气湍流以及地气间能量交换等特征规律。

以上这些结果虽然为在这一地区进行地表特征参数和能量通量以及近地层的各个参数的卫星遥感参数化和数值模拟提供了事实依据,并提供了检验卫星遥感参数化和数值模拟结果的“真值”。但是要想从观测的角度上去认识珠峰地区地气相互作用,还有艰难而漫长的路。

致谢:非常感谢中国科学院珠峰大气与环境综合观测研究站的刘新副研究员、周晓平副站长及其他工作人员在条件十分艰苦的条件下的辛勤工作。

## 参考文献

- [1] 叶笃正, 高由禧等编著. 青藏高原气象学[M]. 北京: 气象出版社, 1979
- [2] 高登义, 冯雪华, 张江援. 珠穆朗玛峰北坡的冰川风[R]. 珠穆朗玛峰科学考察报告. 气象与环境(分册). 北京: 科学出版社, 1975: 34—51
- [3] 高登义. 珠穆朗玛峰绒布河谷的冰川风[J]. 冰川冻土, 1985, 7(3): 249—256
- [4] 陶诗言, 陈联寿, 徐祥德, 等. 第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展(一)[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 1—3, 48
- [5] 周立波, 邹捍. 科学考察手记—珠峰环境监测[J]. 气象知识, 2000, 4: 9—11
- [6] 刘宇. 检测珠峰[J]. 大自然探索, 2001, 11: 53—56
- [7] 张仁健, 邹捍, 王明星, 等. 珠穆朗玛大气气溶胶元素成分的检测与分析[J]. 高原气象, 2001, 20(3): 234—238
- [8] 高登义, 邹捍, 周立波, 等. 中国山地气象研究进展[J]. 大气科学, 2003, 27(4): 567—590
- [9] 林伟立, 朱彤, 唐孝炎, 等. 珠穆朗玛峰地区大气示踪剂 Be-7 的观测[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2003, 39(4): 462—466.
- [10] 刘宇, 周立波, 邹捍, 等. 青藏高原珠峰地区绒布河谷大气近地层观测研究[J]. 高原气象, 2004, 23(4): 512—518
- [11] Vuillemoz E, L Bertolani, C Smiraglia, et al. SHARE—Asia 自动气象站网络, 喜马拉雅山—喀喇昆仑山地区气候研究的

一个必要组成部分[J]. 地球科学进展, 2006, 21(12): 1244—1253

[12] 李茂善, 戴有学, 马耀明, 等. 珠峰地区大气边界层结构及近地层能量交换分析[J]. 高原气象, 2006, 25(5): 807—813

[13] 孙方林, 马耀明, 马伟强, 等. 珠峰地区大气边界层结构的一次观测研究[J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1014—1019

[14] Sun F L, Y M Ma, M Sh Li, et al. Boundary layer effects above a Himalayan valley near Mount Everest[J]. Geophys Res Lett, 2007, 34, L08808, doi: 10.1029/2007GL029484

[15] 仲雷, 马耀明, 苏中波, 等. 雨季前后珠峰地区近地层气象要素、辐射及能量平衡分量变化特征[J]. 高原气象, 2007, 26(6): 1269—1275

[16] 李茂善, 马耀明, Hirohiko Ishikawa, 等. 珠穆朗玛峰北坡地区近地层及土壤微气象要素分析[J]. 高原气象, 2007, 26(6): 1263—1268

[17] 仲雷, 马耀明, 苏中波, 等. 珠峰北坡地区近地层大气湍流与地气能量交换特征[J]. 地球科学进展, 2006, 21(12): 1293—1303

[18] 仲雷, 马耀明, 李茂善. 珠穆朗玛峰绒布河谷近地层大气湍流及能量输送特征分析[J]. 大气科学, 2007, 31(1): 48—56

[19] 李茂善, 马耀明, 仲雷, 等. 珠峰和曲宗站 2005 年 4、5 月近地层辐射收支初步分析[J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1008—1013

[20] 马伟强, 戴有学, 马耀明, 等. 珠峰北坡地区地表辐射和能量季节变化的初步分析[J]. 高原气象, 2007, 26(6): 1237—1243

An Introduction to Atmospheric and Environmental Comprehensive  
Observation and Research Station on Mt. Qomolangma,  
Chinese Academy of Sciences(AECORSQ, CAS):  
A New Base for the Study of Atmosphere-Land Interaction over the Himalaya Area

MA Yao-ming  
(Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract:** The mountains of Himalayas are the important channels for the mass exchange between surface layer of Northern Hemisphere and troposphere atmosphere. The mountains relate surface layer atmosphere over the Tibetan Plateau and the above free atmosphere through many atmospheric circulation systems including mountain-valley wind and glacier wind etc. Mt. Qomolangma is the highest peak in the world, and its nearby region is a representative case of mountains of Himalayas. Firstly the back ground of the establishment of the Atmospheric and Environmental Comprehensive Observation and Research Station on Mt. Qomolangma, Chinese Academy of Sciences (AECORSQ, CAS) and the role of the station in the study of the atmosphere-land interaction over Himalayas area was introduced in this paper. Then the preliminary observational analysis results, such as the characteristics of air temperature, pressure, air humidity, wind speed and wind direction, the structure of the Atmospheric Boundary Layer (ABL), the atmospheric turbulent characteristics and the energy exchange between the land surface and surface layer atmosphere, were shown. The instruments layout of the AECORSQ, CAS was also given here.

**Key words:** On the northern slope of Mt. Qomolangma; Atmosphere-land interaction; Comprehensive observation