

DOI: 10.3969/j.issn.1673-6141.2011.01.008

## 合肥对流层风场风廓线雷达测量与分析

翁宁泉<sup>1</sup>, 张彩云<sup>1</sup>, 董德保<sup>2</sup>, 孙刚<sup>1</sup>, 朱庚华<sup>1</sup>, 肖黎明<sup>1</sup>, 刘庆<sup>1</sup>, 高慧<sup>1</sup>

(1 中国科学院安徽光学精密机械研究所中国科学院大气成分与光学重点实验室, 安徽 合肥 230031;

2 安徽省气象局大气探测技术保障中心, 安徽 合肥 230031)

**摘 要:** 大气风场是研究气溶胶输送与复合过程以及时空分布变化研究的一个重要方面, 也是天气分析和天气预报中的一个重要参数。采用对流层风廓线雷达, 连续测量了合肥地区的对流层大气风场。统计了 2009 年合肥地区风场变化, 得到了一些统计结果: 边界层 (2 km 以下) 风速基本小于 5 m/s, 风向变化复杂, 不同季节风向略有不同; 对流层风速多在 5~25 m/s 之间, 以西北偏西风为主导风向, 年最大风速超过 60 m/s。还以 2008 年梅雨季节风场探测资料为例, 分析了梅雨期中不同高度的风场演变过程。

**关键词:** 风场; 风廓线雷达; 梅雨季节; 统计分析

中图分类号: P412.16

文献标识码: A

文献编号: 1673-6141(2011)01-0051-08

## Measurement of Wind Field by Wind Profiler Radar in Hefei

WENG Ning-quan<sup>1</sup>, ZHANG Cai-yun<sup>1</sup>, DONG De-bao<sup>2</sup>, SUN Gang<sup>1</sup>, ZHU Geng-hua<sup>1</sup>,  
XIAO Li-ming<sup>1</sup>, LIU Qing<sup>1</sup>, GAO Hui<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Atmospheric Composition and Optical Radiation, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031;

2 Ensuring Center of Atmospheric Sounding Technology, Anhui Meteorological Bureau, Hefei 230031, China)

**Abstract:** Atmospheric wind field is an important side in researching the process of aerosol transportation and compounding, and the diversification of aerosol space-time distribution. It is also an essential parameter of the synoptic analysis and weather forecast. The structure and theory of sounding system of wind field — wind profiler radar was introduced. From analyzing the data in plum rain season, the evolving of wind field in one synoptic process was observed. And from the statistics of wind field in 2009, Hefei, it can be concluded the following points. In the boundary layer (under 2 km), the wind velocity was below 5 m/s, and the wind direction was complex and had some diversity in different seasons. In the troposphere, the wind velocity was generally between 5 m/s and 25 m/s, and the predominant wind direction was west wind. The maximum wind velocity had exceeded 60 m/s.

**Key words:** wind field; wind profiler radar; plum rain season; statistics

收稿日期: 2010-11-17

基金项目: 科技部科技基础性工作专项 (2007FY110700) 资助

E-mail: wnq@aiofm.ac.cn

## 1 引言

高空风是天气系统中非常重要的因素,它不但对大气物质、能量的输送起着重要作用,影响这天气系统本身的运动变化,也是大气中各种微粒和污染成分输送的重要因素。因此对高空风的认识,是研究大气运动、大气环境等不可缺少的。随着高空风场测量手段的逐步发展,已经从过去的气球搭载探空仪方法,发展到微波风廓线雷达等遥感手段。

风廓线雷达是对大气进行探测的一种新型遥感设备。它的出现弥补了利用跟踪气球测风的时间分辨率低、不能连续观测等缺陷,较好地解决了放球测风所存在的问题<sup>[1]</sup>,提供中小尺度时空加密的气象资料。这对高空风场的探测与研究带来了一次新的技术革命。美国海洋大气管理局(NOAA)率先于1986年在美国中部布设包括31部风廓线雷达的观测网,并在1992年最终完成了NPN(NOAA Profiler Network, NOAA风廓线网),日本、欧洲也已部署了风廓线雷达网,为天气预报等提供了高密度、高分辨率的风场数据。

合肥地处中纬度江淮地区腹地,受季风气候影响显著,天气、气候复杂多变,这些变化往往会带来一些灾害性天气。因此江淮地区的天气变化特征受到了较为广泛的关注。中国长江中下游地区等地,第年6月中下旬至7月上半月之间会出现持续天阴有雨的自然气候,这段时间通常被称为“梅雨季节”。梅雨季节的天气气候特征,关系到江淮地区初夏灾害性发生概率,并可影响到更大范围的气候变化。以往梅雨季节的分析,重点是大范围天气形势分析和水汽、温度变化特征或大范围风场变化分析。但通过单站高时空分辨率的风廓线雷达数据分析,也可反映出梅雨季节的风场特征,并对未来进一步的分析、研究乃至预报提供参考。

## 2 设备与测量情况

风廓线雷达主要利用大气湍流造成的折

射率分布不均匀对电磁波的散射作用进行大气风场等要素的探测<sup>[2]</sup>,本文采用的风廓线雷达是Airda16000对流层风廓线雷达(简称Airda16000)。采用五波束相控阵天线,形成五个方向的波束<sup>[3]</sup>,如图1所示。

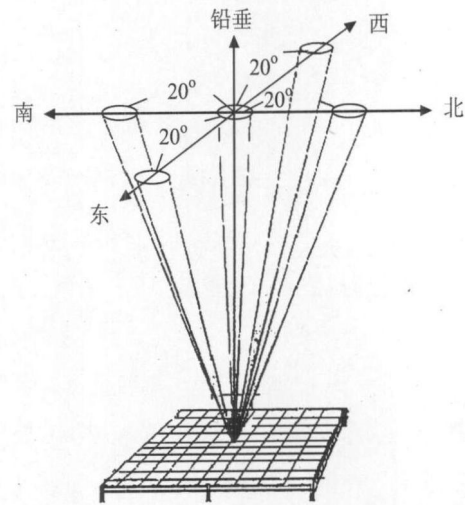


图1 五波束风廓线雷达波束指向示意图

Fig.1 Five beams of wind profiler

Airda16000主要技术参数如表1所示。

表1 Airda16000风廓线雷达主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of Airda16000 wind profiler radar

Parameter	Specifications
frequency/MHZ	450
peak power of transmitter/W	1600×16
gate number	14/54
number of coherent integration	86/50
pulse width	5/27
beam width/°	3
range resolution/m	150/275

雷达从2007年至今常年连续正常运行,除正常的检修检测外,年有效天数可达300天以上,可得到24h连续的对流层风廓线数据。其中2009年有效观测时间较为完整,可作为数据源进行季

节变化初步分析。

### 3 数据分析

#### 3.1 2009 年合肥风场统计

通过对该年测量数据的分析, 得到了合肥地区风场的统计信息。

##### 3.1.1 合肥低空、高空风场统计

为简便统一, 可将数据按高度分为两段, 2 km 以下为对流层低层, 主要是大气边界层, 2~10 km 以上为对流层高层, 主要是不受地表影响的自由大气。图 2 和图 3 分别为春夏秋冬四个季节边界层及对流层风速和风向的概率统计分布图。图中深色柱状图代表边界层风速和风向的概率分布, 浅

色柱状图则代表对流层风速和风向的概率分布, 横坐标分别为风速大小和风向指向, 纵坐标均为百分比。

从图 2 中可以很明显地看出, 无论哪个季节, 低层的风速远远小于高层, 大多集中于 5 m/s 以下, 其中尤以冬季风速偏小, 5 m/s 以下的风速占到了 90% 以上。而高层风速则分布较宽, 多集中在 5~25 m/s 之间, 春季更有 50 m/s 以上的风速。从图 3 的风向概率统计图中可以看出, 边界层主导风向不太明显, 这主要是由于低层风向变化较大。但四个季节低层风向也有差异, 春季东南 - 东北风出现概率较大, 而秋季反而以东南 - 东北风出现概率最小, 秋季则以西南 - 西风为主, 冬

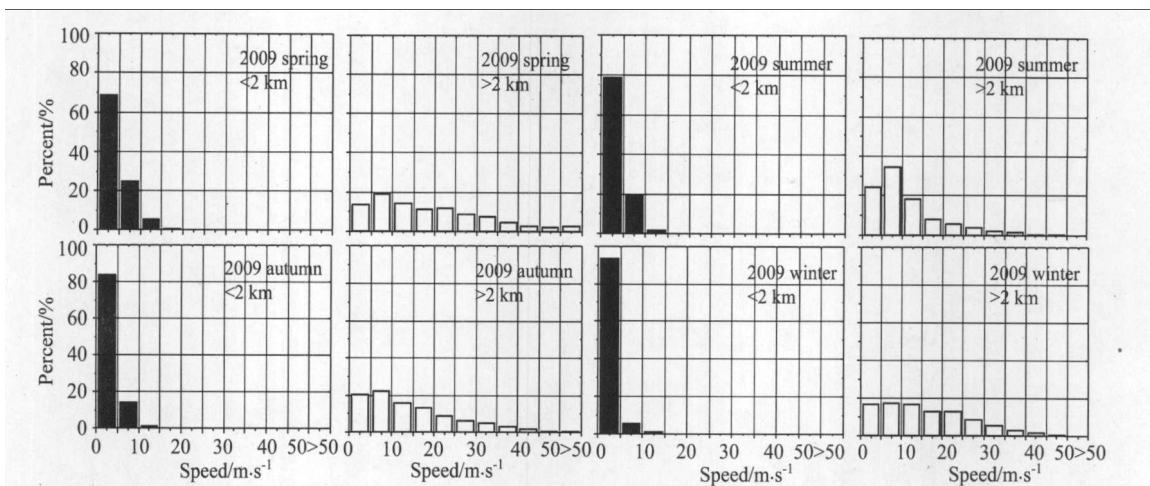


图 2 2009 年四季低空、高空风速概率统计图

Fig.2 Statistic graphs of wind velocity in low and high altitude in four seasons of 2009

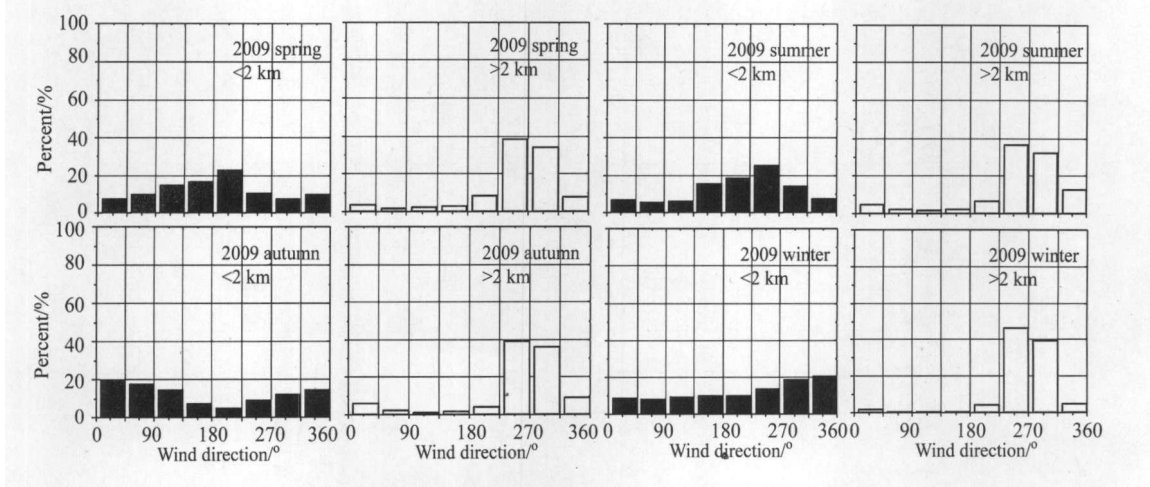


图 3 2009 年四季低空、高空风向概率统计图

Fig.3 Statistic graphs of wind direction in low and high altitude in four seasons of 2009

季风向多为西风至西北风；高空则四季无明显差异，均以西南风-西北风为主。

图4为全年风速和风向的概率分布图。左边为风速，右边为风向。可以看出，全年的风速概率图与图2四个季节的概率图形类似，低空以小风速为主，多低于5 m/s，高空则多集中在5~25 m/s。全年风向概率统计与四季的对比中，高层全年风向多集中在西南至西北风，而低层的统计则几乎各个方向概率相当，掩盖了不同季节低空风向的差异。

### 3.1.2 2009 年间风场平均状态

为了对 2009 年全年合肥地区风场的变化特

征有完整的认识，对该年风速、风向有效数据进行统计分析。图5为2009年风速的平均值廓线及主导风向廓线。左图为风速平均值廓线以及该年风速最大值和最小值廓线。横坐标为风速，纵坐标为高度。右图黑点为主导风向廓线，横坐标为风向，纵坐标为高度。从左图中可以看出，2009年风速平均值在30 m/s以下，一开始随高度增加逐渐增加，8 km达到极值，之后随高度增加开始减小；2009年风速最大值超过了60 m/s。从右图中可以看出，合肥地区对流层风场的主导风向为西风，边界层无主导风向。

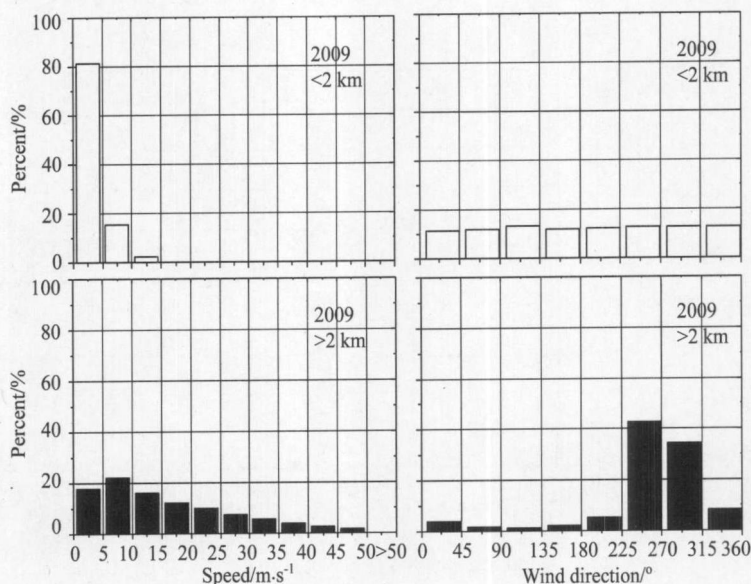


图4 2009 年低高空风速、风向概率统计图

Fig.4 Statistic graphs of wind direction in low and high altitude in 2009

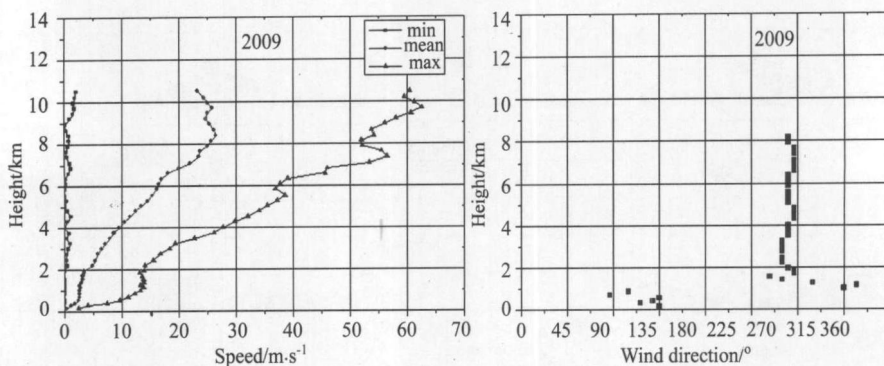


图5 2009 年风速平均值廓线和主导风向廓线

Fig.5 Profilers of average wind velocity and predominant wind direction in 2009

图 6 为 2009 年四个不同高度 (8150 m, 5050 m, 3000 m 和 1000 m) 风向的概率统计图。其中圆的弧度代表风场的方向, 半径的大小代表风在不同方向出现的概率。从这四幅图对比中可以看出, 1000 m 处基本无主导风向; 3000 m 偏向  $225^{\circ} \sim 315^{\circ}$ , 即西南 - 西北风; 5050 m 更是集中指向西南 - 西北风; 8150 m 概率轮廓更加集中在  $270^{\circ}$  附近。这风向随着这四个典型高度的演变可以很好的说明了随着高度增加, 合肥地区风场

由无主导风向到以西风的过程。

### 3.2 2008 年梅雨季节风场测量

通常, 每年 6 月中旬至 7 月上旬在该地区出现连阴天气, 即所谓梅雨季节。2008 年夏季在合肥地区进行综合观测实验, 时间为 6 月 16 日 ~ 27 日, 正处于梅雨季节。测量期间, 雷达工作基本正常, 仅在 17~18 日雷达制冷冷设备空调出现故障, 进行检修关机一段时间, 总体上获取了较完整的大气风场数据。

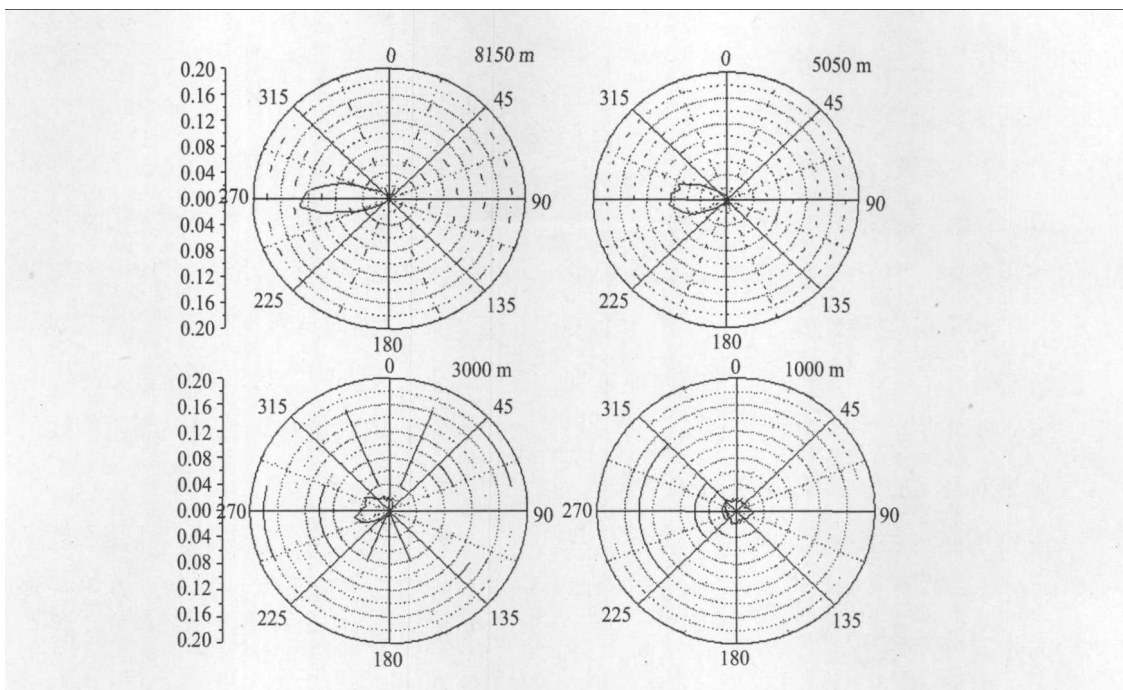


图 6 2009 年不同高度风向分布图

Fig.6 Distribution map of wind direction at different height in 2009

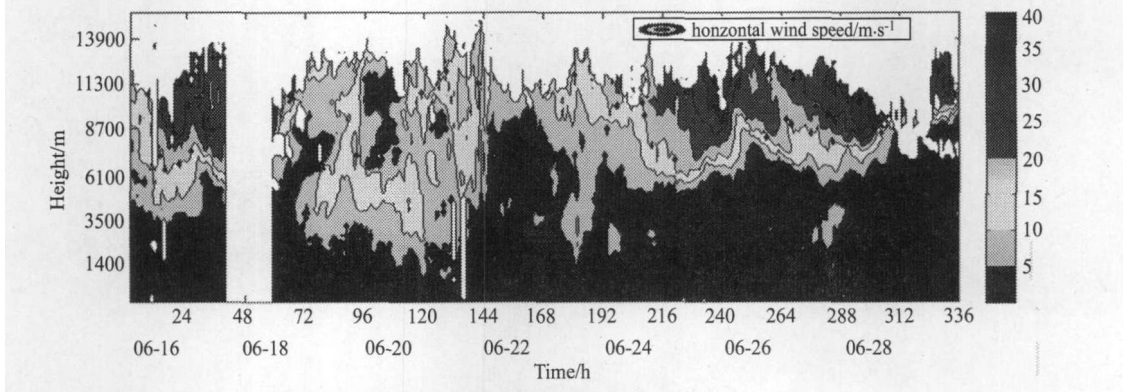


图 7 2008 年 6 月 16 日 -27 日风速的时空演变图

Fig.7 Time-space transformation of wind velocity from 16 to 27, June, 2008

图 7 和图 8 分别为该段时间风廓线雷达测量得到的风速和风向随时间和高度的灰度图, 图中横坐标表示时间, 纵坐标表示高度, 图 7 颜色深浅表示风速大小, 图 8 表示风向指向。其中 0° 代表北风, 以此类推。从图 7、8 可以看出, 在低层 (2 km 以下) 风速基本小于 5 m/s, 主导风向以西风为主, 与合肥地区夏季受到从寒带南下的冷空气影响相关, 推知可能受到从热带海洋北上的暖湿空气影响, 24 日之后 6 km 以下风速小于 5 m/s; 而风向在 24 日之后 4 km 以下为东风为主导风向, 而在其之上风向突变为西南偏西风, 出现较大的风切变, 在该地区正好与从南下的冷空气相遇, 冷暖空气相遇, 交界处形成锋面 (即 24 日到 28 日 3.5 km 高度左右风向出现的突变现象)。在冷暖空气相遇时, 两股气团势均力敌, 各不相让, 处于拉锯状态<sup>[4]</sup>, 且移动速度不大, 基本小于 5 m/s, 致使这条锋面及其降水带一段时间内特别稳定, 从而带来持续的阴雨天气。

大气风场随高度的增加有显著的变化, 同时, 随着天气条件不同, 大气风场垂直分布有很大的变化。即使在同一天中, 由于测量时间不同, 大气风速风向的垂直分布也会出现差异。图 9 和图 10 是实验期间 6 月 16 日 ~6 月 27 日每天 24 h 不同

时刻风速风向随高度变化曲线和分布图, 横坐标分别为风速大小和风向指向, 纵坐标则均表示高度。在图 9 的风速随高度变化曲线中, 不同颜色的曲线代表一天中不同的时刻, 因此数据以 1 小时作平均, 每天有 24 条风速随高度变化曲线; 同样, 在图 10 中, 不同灰度的点代表一天中不同时刻的风向, 从图中可以清楚地看出一天中不同高度风速和风向的分布。

从图中可以看出实验期间风速随高度的强弱变化, 总的趋势是随高度的增加风速增强, 期间伴有随机的波动。同时也可以更为清晰的看出该段时间内出现了一个较为明显的天气过程, 并可看到其演变。图 9 中显示, 24 日开始 3~5 km 处出现了风速减小后又逐渐增大的现象, 这种情况一直持续到整个实验结束。图 10 中也可以看出, 在 24 日之前主导风向为西风, 之后在 4 km 处风向发生突变, 高空仍以西风为主, 低空则由西风转为东北风之后转为东风。由此导致了接下来的阴雨天气。

梅雨季节一个典型特点就是连续多天的阴雨天气, 该次实验有幸捕捉到了该季一次典型的天气过程, 并观测到了风场的演变过程。

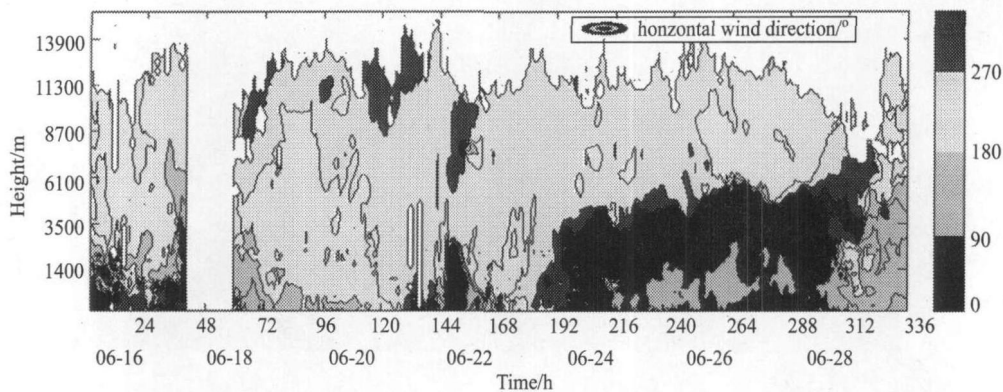


图 8 2008 年 6 月 16 日 -27 日风向的时空演变图

Fig.8 Time-space transformation of wind direction from 16 to 27, June, 2008

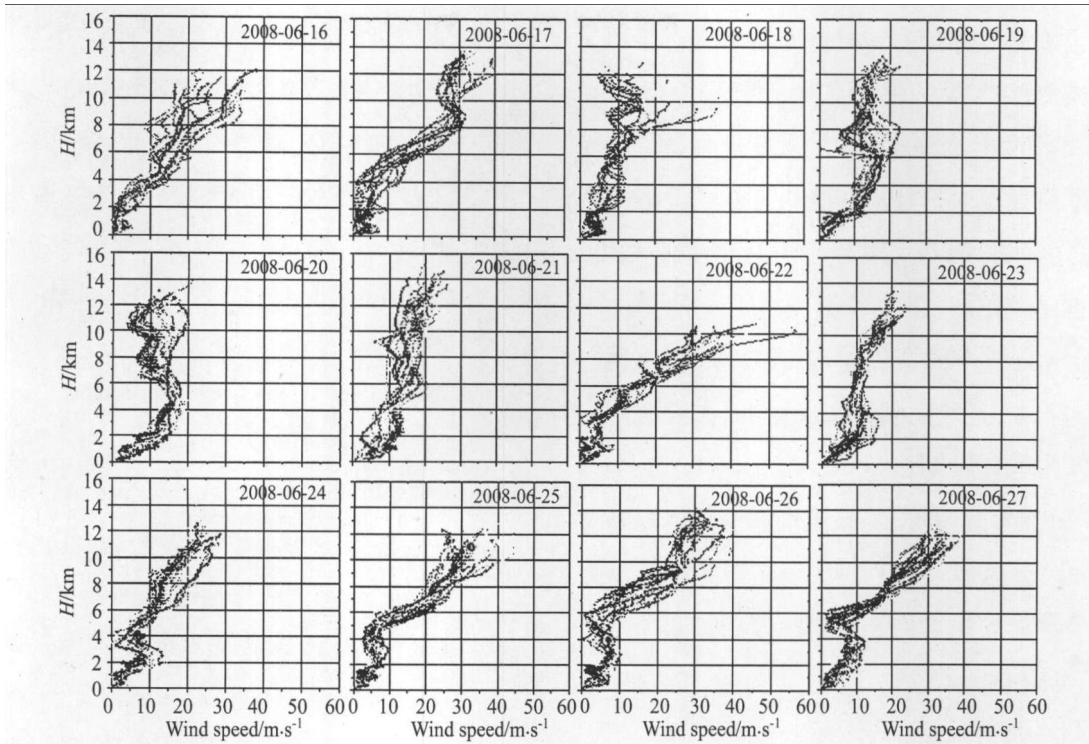


图 9 2008 年 6 月 16 日 -27 日风速随高度廓线

Fig.9 Height profiler of wind velocity from 16 to 27, June, 2008

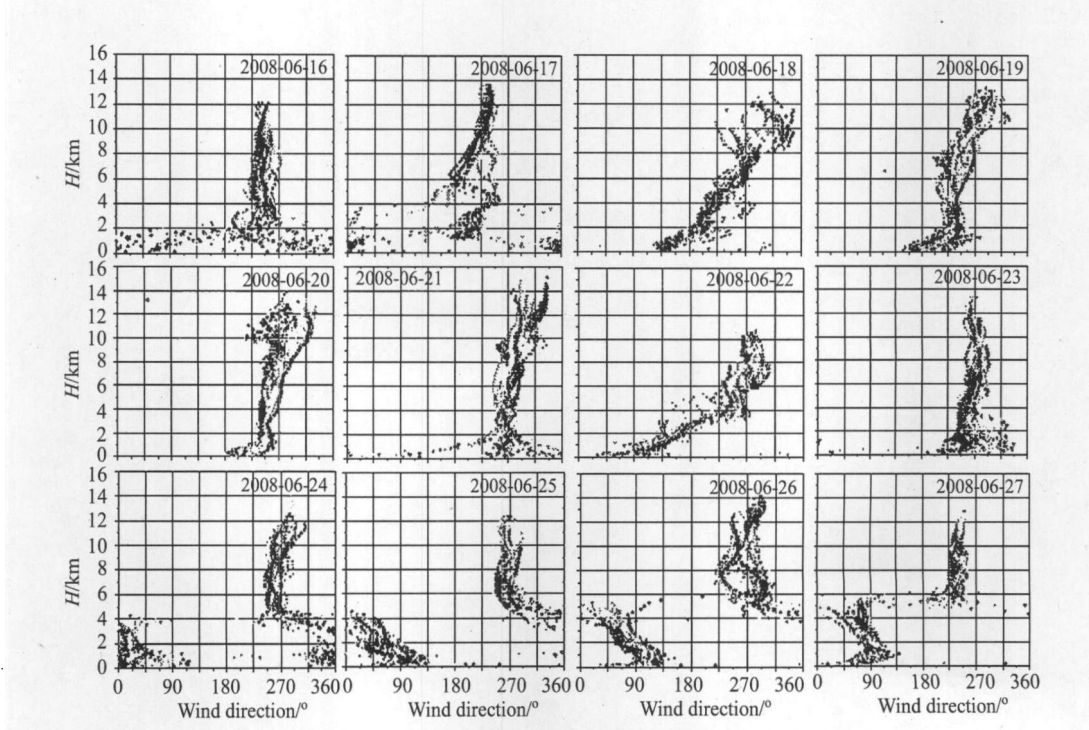


图 10 2008 年 6 月 16-27 日期间风向随高度廓线

Fig.10 Height profiler of wind direction from 16 to 27, June, 2008

### 4 结 论

文章对合肥地区梅雨季节一次典型的天气过

程进行了分析, 捕捉到了该天气过程风场的演变。同时对合肥地区风场进行了长期连续测量, 得到

了大量丰富的风场信息。根据上述研究可以得出合肥地区 2009 年风场的时空演变特征。

(1) 2009 年合肥地区大气风场变化显著, 2 km 高度以下风速较小, 且风向变化复杂, 没有一个主导风向, 而在 2 km 高度以上风速相对较大, 以西风为主导风向。

(2) 风场的季节变化非常明显。夏季风速较小, 冬季较大, 且低空风向复杂, 没有主导风向, 高空西风为主导风向。

(3) 梅雨季节期间, 单站风廓线有较明显的变化, 如能结合降水量进行进一步的分析, 可以为梅雨季节分析预报提供一种新的方法。

#### 参考文献:

- [1] Huang Changcheng, Tian Wenbin, Qi Rundong, et al. UHF band wind profiler radar in China [J]. *Missiles and Spacecraft*, 1990, (4):41-45.

黄长城, 田文彬, 齐润东等, 我国研制的 UHF 多普勒测风雷达世界导弹与航天 1990, (4): 41-45.

- [2] He Ping. *Phase-Array Wind Profiler* [M]. Beijing: Chinese Meteorological Press, 2006: 3-90(in Chinese).

何平. 相控阵风廓线雷达 [M]. 北京: 气象出版社, 2006: 3-90.

- [3] Beijing Airda Electronic Equipment Ltd. Technical Specification of Airda16000 Tropospheric Wind Profiler [Z]. 2006: 6-10(in Chinese).

北京爱尔达电子设备有限公司. Airda16000 型对流层风廓线仪技术说明书 [Z]. 2006: 6-10.

- [4] Hu Yamin, Ding Yihui, Liao Fei. A study of updated definition and climatological characters of meiyu season in the Yangtze-Huaihe region [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2008, **32**(1): 101-112(in Chinese).

胡娅敏, 丁一汇, 廖菲. 江淮地区梅雨的新定义及其气候特征 [J]. *大气科学*, 2008, **32**(1): 101-112.

**作者简介:** 翁宁泉 (1966-), 男, 研究员, 1989 年毕业于中国科技大学地球空间科学系大气物理专业, 现任职于安徽光机所大气光学重点实验室。多年从事大气湍流、大气边界层以及整层大气中的大气湍流实验和理论研究, 开展了微波雷达、声雷达等多种测量大气光学湍流方法的探索。参加并完成了国家 863 计划等多项重大课题的任务。