

文章编号:1001-8166(2009)09-1001-08

# 多通道地基微波辐射计在 0713 号“韦帕”台风 登陆前后探测性能及特征分析\*

赵兵科<sup>1</sup>, 邵德民<sup>1</sup>, 鲁小琴<sup>1</sup>, 徐同<sup>1</sup>, 翁永元<sup>2</sup>

(1. 中国气象局上海台风研究所, 中国气象局台风预报技术重点开放实验室, 上海 200030;

2. 上海市宝山区气象局, 上海 201900)

**摘要:**利用上海市气象局 2007 年 9 月进行的“韦帕”台风探测试验资料和地面常规观测资料, 对多通道地基微波辐射计在 0713 号“韦帕”台风登陆前后探测性能及特征进行了分析。结果表明: 多通道地基微波辐射计探测的温度和相对湿度趋势与 GPS 探空得到的基本一致, 尽管二者之间存在一些小的差异, 但也表明了微波辐射计对台风具有一定的探测能力。0713 号“韦帕”台风登陆前后温度和水汽密度场上, 甚短生命史的冷暖气柱和高水汽密度柱十分活跃, 体现了“韦帕”台风登陆前后的阵性特征。

**关键词:**超强台风“韦帕”; 微波辐射计; 水汽密度

**中图分类号:** P458.1<sup>+</sup>24 **文献标志码:** A

## 1 引言

微波辐射计是一种被动式的微波遥感仪器。它所探测的是人们肉眼看不见的大气微波辐射信息。微波辐射计通过接收来自大气的一定波段的微波辐射, 来探测大气温度、相对湿度、水汽、液态水的垂直廓线。当微波辐射计的天线主波束指向大气目标时, 天线接收到目标辐射、目标散射和传播介质辐射等辐射能量信号。天线接收的信号经过放大、滤波、检波和再放大后, 以电压的形式给出。对微波辐射计的输出电压进行温度绝对定标后, 即可建立输出电压与所观测目标亮度温度的关系, 也就可以确定所观测目标的亮度温度。该亮度温度值就包含了辐射体和传播介质的一些物理信息, 通过反演就可以了解被探测目标的一些物理特性。由于微波辐射计接收的是被测目标自身辐射的微波频段的电磁能量, 它所提供的关于目标特性的信息与可见光、红外遥感和主动微波遥感不同。由于被测目标自身所辐

射的微波频段的电磁能量是非相干的极其微弱的信号, 这种信号的功率比辐射计本身的噪声功率还要小得多, 所以微波辐射计实质上是一种高灵敏度的接收机。微波辐射计是进行对大气探测不可缺少的重要的工具, 在微波遥感器中占有重要地位, 越来越受到人们重视。

美国 Radiometric Corporation 公司生产的 MP-3000 型微波辐射计是目前国际上较先进的多通道微波辐射计, 该型号的微波辐射计具有 51 ~ 59 GHz 和 22 ~ 30 GHz 二重波段, 共计 35 个通道, 可用于对大气温度、相对湿度、水汽和液态水含量的探测, 探测高度从地面开始至 10 km 高空。它的探测原理是通过测量氧气在 60 GHz 附近的辐射强度或亮度温度得出温度分布(图 1)。谱线峰值中心位置由于不透明性很强, 所有信号均仅仅来源于天线上方附近; 在此峰值中心两侧的频率位置吸收减弱, 辐射计则会“看”得远一些。从此峰值向谱线两侧下方扫描, 仪器则可通过此方法获得高度信息。在任意高度上

\* 收稿日期: 2009-02-04; 修回日期: 2009-07-16.

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目“华东登陆台风强度变化机理的研究及其预报技术探索”(编号: 40645025) 资助.

作者简介: 赵兵科(1964-), 男, 陕西眉县人, 博士, 主要从事天气、气候动力学研究. E-mail: zhaobk@mail.typhoon.gov.cn

的氧气发射电磁波都与当地的温度和氧气密度分布呈正比,因此可以得到温度剖面。而通过观测来自于水汽线压力增宽的辐射的强度和形状的信息,可以得到水汽廓线。22 GHz 附近适合进行相对潮湿地区的地基廓线反演。在反演过程中运用神经网络方法进行反演得出廓线,神经网络是运用 Stuttgart Neural Network Simulator(斯图加特神经网络模拟器)和探空廓线的历史资料得出的。标准后向传播(back-propagation)算法用于同化,标准前馈网络用于廓线的得出。廓线 0~500 m 高度上每 50 m 输出一个数据,500 m~2 km 高度上每 100 m 输出一个数据,2~10 km 每 250 m 输出一个数据,共 58 个反演层。

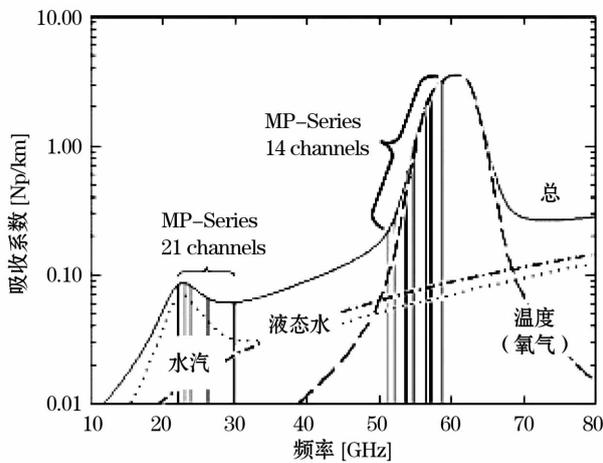


图 1 大气吸收光谱 MP-3000 微波辐射计观测通道  
(源自 MP-3000 手册)

Fig. 1 The atmospheric absorption spectrum and MP-3000 observation channels (origin MP-3000 Manual)

2007 年 9 月上海市气象局在华东进行了 0713 号“韦帕”登陆台风外场探测试验,在这次试验中首次使用 MP-3000 多通道微波辐射计,主要目的是为了揭示台风在登陆前后温度、相对湿度和水汽的廓线变化情况。众所周知,探空站的探空观测一般每天仅为 2 次(北京时间 08 时和 20 时),在台风登陆期间也最多加密到 4 次,间隔长达 6 小时,而且每获得一次对流层温度、湿度廓线也需要 30 分钟左右,另外,由于气球不断移动,得到的廓线严格来说也不是探测点上的。而台风系统内的变化可以说瞬息万变,如果有一种设备能进行连续观测,那么对揭示台风系统变化无疑是有助的。恰好 MP-3000 多通道微波辐射计就具有这样的功能,每获得一次廓线的时间间隔仅不到 1 分钟,而且获得的资料是探测点

上空一个锥体的平均。目前,中国香港气象台的 Chan 等<sup>[1~3]</sup>做了一系列微波辐射计的研究工作,尤其通过微波辐射计资料对 2004 年大屿山的焚风进行了研究,结果表明在焚风发生时,小小的大屿山两边温差和相对湿度差分别达到 5℃ 和 20%;国际上已有较多的气象研究者从事地基微波遥感的研究和应用工作<sup>[4~18]</sup>,如 Ware 等<sup>[17]</sup>对微波辐射计资料和探空资料进行了对比,结果指出在数值预报中,微波辐射计资料与探空资料具有同等的准确性;Knupp 等<sup>[7]</sup>对比微波辐射计资料和探空资料,结果表明温度误差小于 2℃,水汽密度小于 1.5 g/m<sup>3</sup>,进一步指出微波辐射计对中-γ 尺度天气系统的热力结构有较好的监测作用。然而,国内气象部门利用微波辐射计探测大气和相关的研究工作刚刚开始,尤其是涉及到利用微波辐射计研究台风的工作还未曾看到。该设备在台风探测中能否使用,即该设备在台风登陆前后观测的性能如何?这是本文分析和研究的目的。本文通过与试验点同时释放的探空资料进行对比分析,在此基础上,进一步分析了微波辐射计所获得的台风登陆前后的一些特征。

## 2 “韦帕”超强台风概况

2007 年第 13 号台风“韦帕”于 9 月 15 日 15 时(北京时,下同)在西北太平洋 130°E 以东、15°N 以南洋面形成,随后一路向西北方向移动,强度逐渐加强。17 日 02 时强度达到台风级别,17 日 20 时达到强台风级别,18 日 05 时强度达到了超强台风级别,18 日 20 时位于台湾北边的东海南部海域,强度由超强台风减为强台风。于 9 月 19 日 02 时 30 分在浙江省苍南县霞关镇登陆,登陆时中心附近最大风力 14 级(45 m/s),为强台风。登陆后强度迅速减弱,19 日 11 时减弱为热带风暴,20 日停编。“韦帕”具有发展迅速、强度强、范围大、路径西折、风大雨强等特点,另外作者本人也经历了“韦帕”台风登陆的现场,感受到“韦帕”台风在登陆前后阵性变化特征显著。台风“韦帕”是 2007 年登陆我国大陆最强的台风,与 2005 年台风麦莎、2004 年台风云娜的强度相当;但是“韦帕”造成的损失较轻,无论是死亡人数,还是经济损失都比“麦莎”和“云娜”少,尤其是死亡人数远低于“云娜”。但也对华东较大范围造成了较大影响,福建和浙江的东部沿海、上海等地出现了 8~11 级、阵风 13~15 级的大风;台湾、福建、浙江、上海、安徽、江苏、山东等 11 个省(市)出现了暴雨或大暴雨(图 2)。“韦帕”造成浙江、江

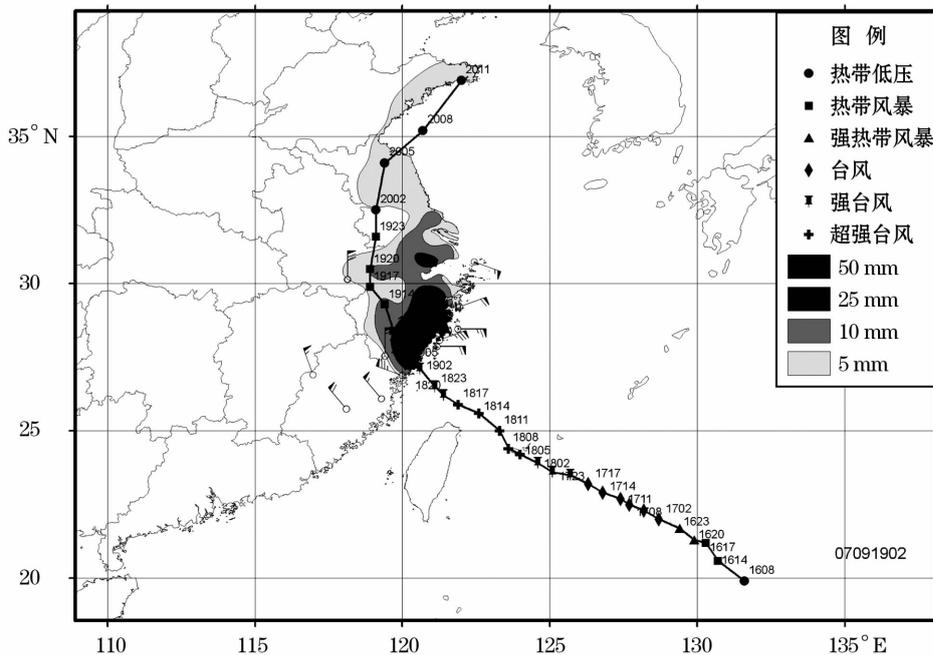


图2 超强台风“韦帕”登陆前(2007年9月19日02时前)6小时降水量(阴影)和极大风速风向及该台风中国最佳路径和强度变化

Fig. 2 Six hours accumulative rainfall (shaded), maximum wind, best route over China and strength change of 0713 super typhoon “WIPHA” before its landfall (before 2'oclock on September 19, 2007)

苏、福建、山东、安徽、上海6省(市)遭受不同程度灾害,直接经济损失79.7亿元。

### 3 “韦帕”台风探测试验

在“韦帕”台风位于台湾东部海域的时候,上海市气象局就预测该台风将在福建北部到浙江中南部登陆,并决定对“韦帕”进行“追风”试验,也就是利用上海市局的追风探测车进行现场探测。“追风”组在17日下午接到出发命令后,经过连续6个小时的长途跋涉,于夜间到达“韦帕”台风登陆点北边象山观测目的地(距“韦帕”台风登陆点200 km左右),位于图2大暴雨北缘的海边附近。在台风登陆前后共成功施放了10个GPS探空气球,平均3小时间隔一次;传回80多小时的现场实景资料;通过超声风温仪、移动自动气象站和风廓线仪获得了试验期间较完整的边界层和地面台风个例资料;并在华东地区第一次通过微波辐射计获得“韦帕”台风登陆前后对流层温度、相对湿度、水汽和液态水资料。

### 4 与探空的比较

图3为“韦帕”台风登陆前微波辐射计和GPS

探空温度廓线和偏差与标准差。由温度廓线图可以看出,微波辐射计获得的和GPS探空得到的温度趋势基本一致。进一步从两者的偏差来看,从地面到对流层顶标准差都小于 $2^{\circ}\text{C}$ ,微波辐射计探测的结果从底层到高层依次呈现偏暖—偏冷—偏暖—偏冷—偏暖的特征,尤其从850~500 hPa呈现较厚层次的偏暖探测特征。

由相对湿度廓线图可知,微波辐射计获得的和GPS探空的得到的相对湿度趋势也基本一致,但微波辐射计的比较光滑,GPS探空的抖动较多,这可能与两者的探测方式不同有关,微波辐射计是一个锥体的平均,而GPS探空仅是气球所到之处的探测结果。从两者的偏差可以看出,从地面到对流层顶绝大高度的标准差都小于20%,但在3500 m附近和对流层顶超过20%;微波辐射计探测的结果具有底层偏干高层偏湿,这种下干上湿的探测结果与一些研究者<sup>[4,5]</sup>的结果刚好相反。

以上分析可以得出,尽管微波辐射计探测和GPS探空探测结果之间存在一定的差异,但对温度和相对湿度探测的廓线趋势是一致的,由此表明微波辐射计在台风监测中具有一定的探测能力。

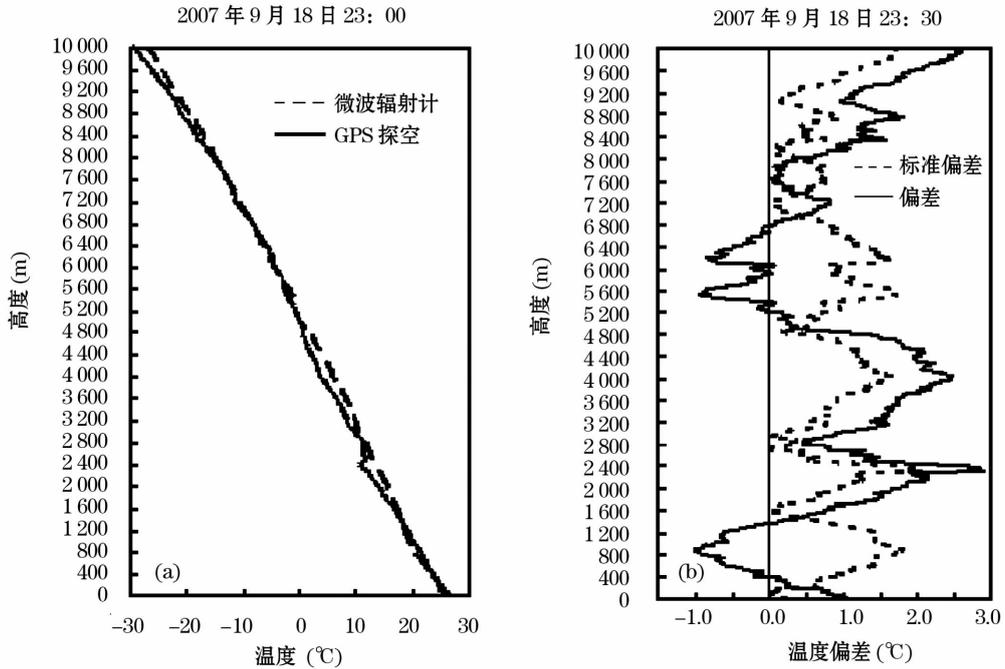


图 3 “韦帕”台风登陆前 (2007 年 9 月 18 日 23:30 BJ) 微波辐射计和 GPS 探空温度廓线和偏差与标准差  
 Fig.3 The biases, standard deviations and temperature profiles from the radiometer and the GPS radiosonde before typhoon “WIPHA” landfall at 23:30 BJ, September 18,2007

(a) 廓线; (b) 偏差和标准差

(a) Temperature profiles; (b) Biases and standard deviations

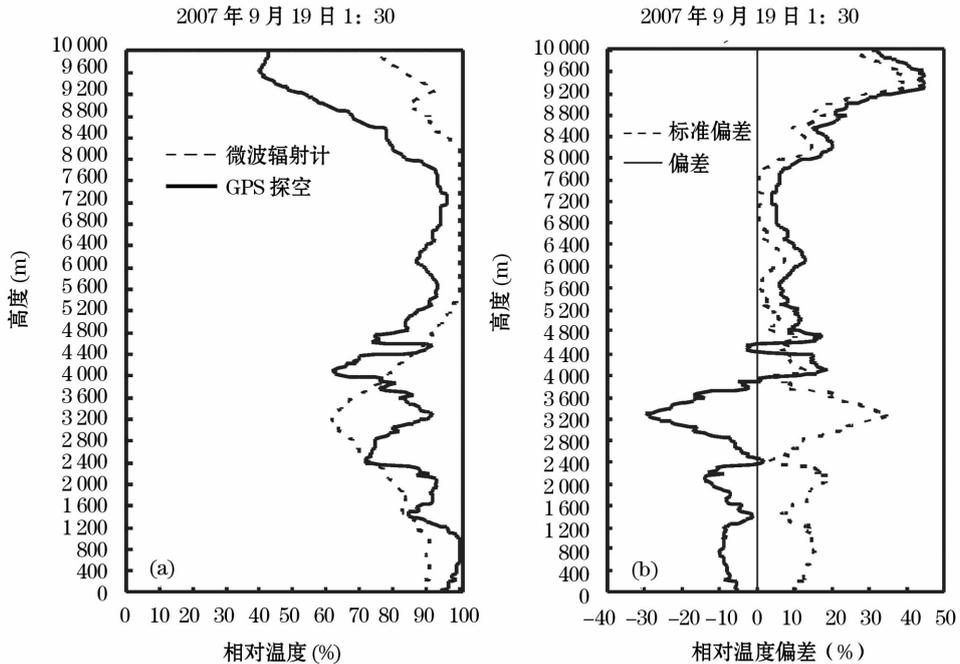


图 4 “韦帕”台风登陆前 (2007 年 9 月 19 日 1:30 BJ) 微波辐射计和 GPS 探空相对湿度廓线和偏差与标准差  
 Fig.4 The biases, standard deviations and relative humidity profiles from the radiometer and the GPS radiosonde before typhoon “WIPHA” landfall at 1:30 BJ, September 19,2007

(a) 廓线; (b) 偏差和标准差

(a) Relative humidity profiles; (b) Biases and standard deviations

### 5 台风登陆前后的水汽变化特征

图5为微波辐射计在浙江象山探测到的超强台风“韦帕”登陆前后(2007年9月19日)温度和水汽密度高度—时间剖面,由此图可以发现在“韦帕”台风登陆前后,位于登陆点东北偏北侧200 km左右的象山台风试验观测点温度和水汽密度随时间有明显的变化特征,在台风登陆前后各有两次显著变化过程。温度场上在台风登陆前半小时内和登陆后1.5小时内各出现了两次4 km以下为暖的气柱,而4 km以上为冷的气柱,暖中心位于1 km左右,冷中心主要在对流层高层,可以看到下暖而上冷非常对应,时间生命史大约在15~30分钟。尤以登陆后的第二次的生命史较长,约30分钟,且也比登陆前出现的间隔略长一些;在水汽密度场上对应为5 km以下的高水汽密度柱。温度场和水汽场上这种特征可能是台风登陆前后阵性变化的一种表现手段,几位作者也在现场体验了“韦帕”台风登陆前后降雨

和阵风变化的特点。是否在台风登陆前后,温度场和水汽密度场上都是这种变化特征,有待更多的台风观测资料来证实;这种高水汽密度柱的空间范围到底有多大以及在常规天气观测能否体现出来,这些问题都是有待下一步要研究的问题。

为了进一步揭示“韦帕”台风登陆前后的温度和水汽特征,图6给出了“韦帕”台风登陆前、登陆时和登陆后温度及水汽密度廓线,由此图可以看出,台风登陆前后温度及水汽密度廓线有一个明显变化过程,温度的变化主要表现在边界层,台风登陆前1 km以下边界层温度随高度递增,而在台风登陆时这种特征不明显,基本上是随高度递减的,台风登陆以后1 km以下边界层温度又基本恢复到登陆前的特征;水汽密度场上主要表现为1~5 km水汽密度在登陆时明显减弱。温度和水汽场在台风登陆前后的这种表现特征可能与边界层混合等因素有关。有待进一步分析和研究。

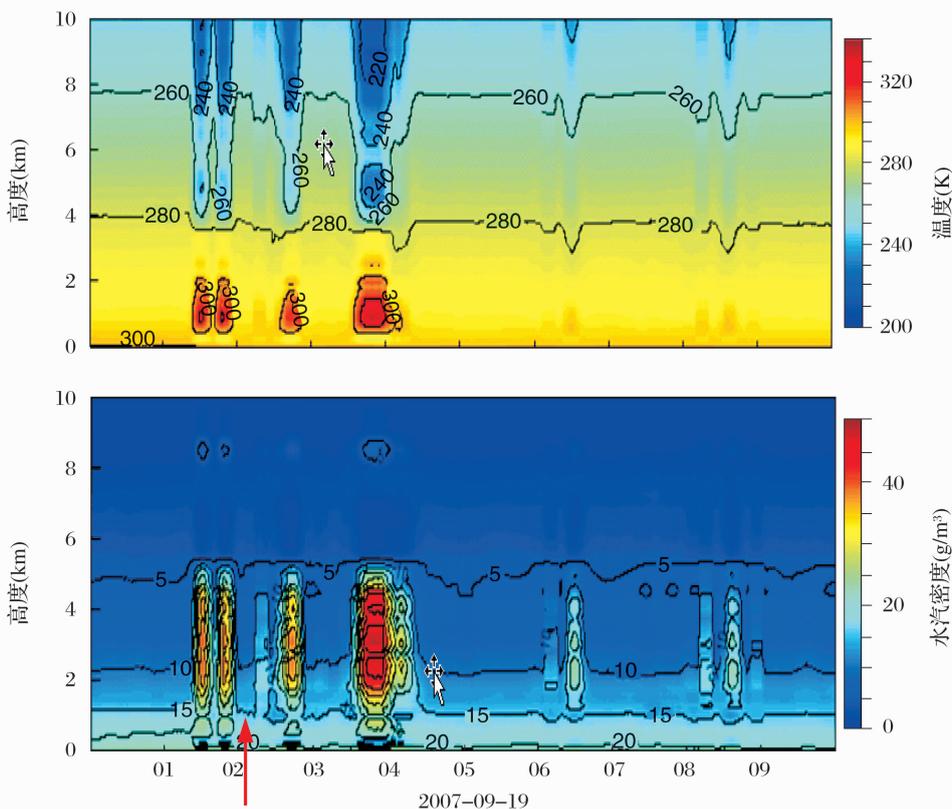


图5 微波辐射计在浙江象山探测到的超强台风“韦帕”登陆前后(2007年9月19日)温度和水汽密度高度—时间剖面。

Fig. 5 Height-time section for temperature and vapor density detected by microwave radiation profiler at Xiangshan mountain in Zhejiang Province before and after “WIPHA” landfall (September 19, 2007)

纵坐标为高度(km),横坐标为北京时间(h),红箭头为登陆时间标志

Y-axis represents height (km) and X-axis means Beijing time (h). Red arrow is the symbol of landing time

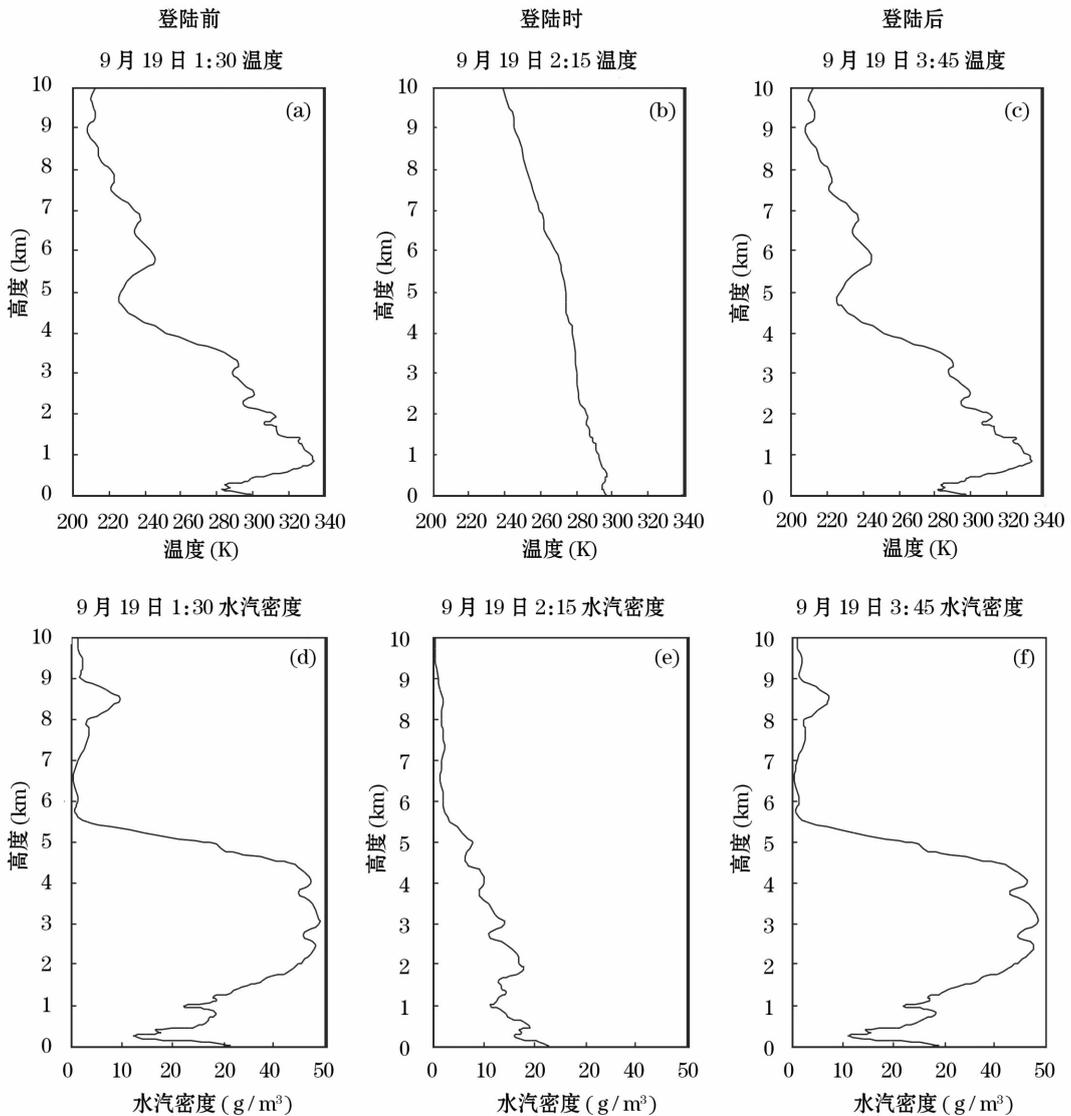


图 6 微波辐射计在浙江象山探测到的超强台风“韦帕”登陆前、登陆时和登陆后温度和水汽密度廓线

Fig. 6 Height-time section for temperature and vapor density detected by microwave radiation profiler at Xiang Shan mountain in Zhejiang Province before and after “WIPHA” landfall (September 19, 2007)

(a) 和 (d) 为登陆前; (b) 和 (e) 为登陆时; (c) 和 (f) 为登陆后

Y-axis represents height (km) and X-axis means Beijing time (h). Red arrow is the symbol of landing time. (a) and (d) before landfall;

(b) and (e) landing time; (c) and (f) after landfall

## 6 结 论

本文对多通道地基微波辐射计在 0713 号“韦帕”台风登陆前后探测性能及特征进行了分析。结果表明:与 GPS 探空对比来看,多通道地基微波辐射计对温度和相对湿度具有一定的探测能力,探测的趋势两种设备基本一致。然而,也发现二者之间存在一定的差异:

(1) 微波辐射计温度探测结果从底层到高层依次呈现偏暖—偏冷—偏暖—偏冷—偏暖的特征。

(2) 微波辐射计相对湿度探测结果具有低层偏干高层偏湿特征。

尽管存在以上的差异,但是从以上分析可以看到,微波辐射计在台风监测中是可用的,而且微波辐射计能提供台风登陆前后一个连续很有用的信息,尤其是可以得到台风登陆前后温度和水汽密度随时间随高度变化较丰富的信息,这可能对于研究台风内部结构和机理十分有助。这仅仅是一个初步的分析,有待更多的分析和研究,尤其是从定量角度研究台风登陆前后水汽的变化,揭示台风系统中中小尺

度的热力细微结构。关于微波辐射计获得的可降水量与观测站降水之间的对比分析将另文分析。

2007年的“追风”试验仅仅是华东登陆台风探测试验的开端,但这在华东登陆台风科考领域却迈出了具有探索性的第一步,尤其是微波辐射计等先进设备的应用,对台风研究自有其不可低估的认识和科研价值。相信通过更多个例的探测试验和更多点上微波辐射计的应用,台风系统内部水汽分布特征将得到更好地揭示。

## 参考文献 (References):

- [1] Chan P W, Yeung K K. Experimental extension of the measurement range of a boundary layer wind profiler to about 9 km [C] // American Meteorological Society. 12th Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation, 2003.
- [2] Chan P W. Measurement of eddy dissipation rate by a mini-sodar for aviation application: Comparison with tower measurement [C] // American Meteorological Society. 11th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology Massachusetts. USA, 2004.
- [3] Chan P W, Tam C M. Performance and application of a multi-wavelength, ground-based microwave radiometer in rain nowcasting [C] // American Meteorological Society. 9th Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface. San Diego, USA, 2005.
- [4] Han Y, Westwater E. Analysis and improvement of tipping calibration for ground-based microwave radiometers [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, 38:1 260-1 276.
- [5] Hewison T, Gaffard C, Nash J. Monitoring inversions from ground-based remote sensing instruments during temperature, humidity, and cloud profiling campaign (TUC) [C] // Preprints, 8th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications. 2004.
- [6] Hill G. Analysis of supercooled liquid water measurements using microwave radiometer and vibrating wire devices [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1996, 11:1 242-1 252.
- [7] Knupp K. Mobile Integrated Profiling System (MIPS) observations of boundary layer and water vapor variations around boundaries and storms [C] // American Meteorological Society. 12th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation. Long Beach, California; 10 ~ 13 February, 2003.
- [8] Liljegren J. Observations of integrated water vapor and cloud liquid water at SHEBA [C] // Department of Energy, Washington D C. 9th Atmospheric Radiation Measurement Program Science Team Meeting. Texas, San Antonio, 22 ~ 26 March, 1999.
- [9] Liljegren J, Clothiaux E, Mace G, et al. A new retrieval for cloud liquid water path using a ground-based microwave radiometer and measurements of cloud temperature [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106:14 485-14 500.
- [10] Liljegren J, Clothiaux E, Kato S, et al. Initial evaluation of profiles of temperature, water vapor and cloud liquid water from a new microwave profiling radiometer [C] // American Meteorological Society. 5th American Meteorological Society (AMS) Symposium on Integrated Observing Systems. Boston, Massachusetts, 14 ~ 19 January 2001.
- [11] Liljegren J, Lesht B, Kato S, et al. Clothiaux, Initial evaluation of profiles of temperature, water vapor, and cloud liquid water from a new microwave profiling radiometer [C] // Department of Energy, Wasting D C. 11th Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Program Science Team Meeting. Georgia: Atlanta 19-23 March, 2001.
- [12] Solheim F, Godwin J. Passive ground-based remote sensing of atmospheric temperature, water vapor, and cloud liquid profiles by a frequency synthesized microwave radiometer [J]. *Meteorologische Zeitschrift*, 1998, 7:370-376.
- [13] Solheim F, Godwin J, Ware R. Microwave radiometer for passively and remotely measuring atmospheric temperature, water vapor, and cloud liquid water profiles [C] // Final Contract Report DAAL01-96-2009. White Sands Missile Range, White Sands, 1996.
- [14] Solheim F, Godwin J, Westwater E, et al. Radiometric profiling of temperature, water vapor, and liquid water using various inversion methods [J]. *Radio Science*, 1998, 33:393-404.
- [15] Stankov B, Gossard E, Weber B, et al. Humidity gradient profiles from wind profiling radars using the NOAA/ETL Advance Signal Processing System (SPS) [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2003, 20:3-22.
- [16] Vandenbergh F, Ware R. Four-dimensional variational assimilation of ground-based microwave observations during a winter fog event [C] // International Workshop on GPS Meteorology. International Symposium on Atmospheric Sensing with GPS. Tsukuba, Japan, 14-17 January, 2003.
- [17] Ware R, Alber C, Rocken C, et al. Sensing integrated water vapor along GPS ray paths [J]. *Geophysical Research Letters*, 1997, 24:417-420.
- [18] Ware R R, Carpenter J G Idner, Liljegren J, et al. A multi-channel radiometric profiler of temperature, humidity and cloud liquid [J]. *Radio Science*, 2003, 38:8 032-8 079.

# Performance and Characteristics Analysis of a Multi-wavelength, Ground-based Microwave Radiometer before and after 0713 Typhoon “Wipha” Landfall

ZHAO Bingke<sup>1</sup>, SHAO Demin<sup>1</sup>, LU Xiaoqin<sup>1</sup>, XU Tong<sup>1</sup>, WENG Yongyuan<sup>2</sup>

(1. *Laboratory of Typhoon Forecast Technique, Shanghai Typhoon Institute of CMA, Shanghai 200030, China;*

2. *Shanghai BaoShan District Meteorological Bureau, Shanghai 200030, China*)

**Abstract:** Using typhoon “Weipa” exploring experiment data and the basic observations during September, 2007 from Shanghai Meteorological Bureau, detection performances of multi-channel ground-based microwave radiometer and the relative characteristics of No. 0713 typhoon Weipa before and after its landing are investigated. Results suggest that trends of temperature as well as relative humidity before and after Weipa landing detected by multi-channel ground-based microwave radiometer are in substantial agreement with those from GPS sounding if minor differences between them are neglected, which proves that microwave radiometer has the ability of typhoon detection. In addition, features of sudden outbursts of Weipa landing are detected by microwave radiometer with active shot-lived cold or warm atmospheric column on temperature field and atmospheric column with high water vapor density on vapor field during the landing of Weipa.

**Key words:** Super strong typhoon “Wipha”; Microwave radiometer; Vapor density.

## 2009 年第 10 期要目

|                                        |                             |
|----------------------------------------|-----------------------------|
| 高亚洲冰川系统物质平衡特征及其对全球变化响应研究进展与展望·····     | 谢自楚, 周宰根, 李巧媛, 王淑红          |
| 卫星遥感探测大气 CO <sub>2</sub> 浓度研究最新进展····· | 石广玉, 戴铁, 徐娜                 |
| 干旱区陆面过程和大气边界层研究进展·····                 | 张强, 王胜, 张杰, 王润元, 刘宏宜, 李岩瑛   |
| 地震海洋学研究进展·····                         | 胡毅, 刘怀山, 陈坚, 许江             |
| 钙锰矿的研究进展·····                          | 崔浩杰, 冯雄汉, 刘凡, 谭文峰, 邱国红, 陈秀华 |