

王志春, 植石群, 丁凌云, 等. 2013. 华南沿海地区车载风廓线雷达资料的分析和应用 [J]. 气候与环境研究, 18 (2): 195–202, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11089. Wang Zhichun, Zhi Shiqun, Ding Lingyun, et al. 2013. Analysis and application of data obtained by wind profiler radar on the coast of South China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (2): 195–202.

华南沿海地区车载风廓线雷达资料的 分析与应用

王志春¹ 植石群¹ 丁凌云² 刘尉¹ 黄俊¹

¹ 广东省气候中心, 广州 510080

² 中山大学化学与化学工程学院, 广州 510275

摘 要 对系统风较小时车载风廓线雷达探测资料与气球探空资料进行了对比, 发现二者一致性较好, 并应用车载风廓线雷达探测资料分析了探测期间惠来海陆风的空间结构和时间演替规律。同时分析了车载风廓线雷达探测到的“灿都”台风资料, 结果表明车载风廓线雷达对台风外围下沉气流区高空风的三维结构有较强的探测能力, 能有效地探测到台风登陆过程中地面到高空的水平风切变和垂直气流切变过程, 有助于提高沿海地区防台风抗台风能力。

关键词 风廓线雷达 风切变 海陆风 台风

文章编号 1006-9585 (2013) 02-0195-08

中图分类号 P457.6

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11089

Analysis and Application of Data Obtained by Wind Profiler Radar on the Coast of South China

WANG Zhichun¹, ZHI Shiqun¹, DING Lingyun², LIU Wei¹, and HUANG Jun¹

¹ Climatic Center of Guangdong Province, Guangzhou 510080

² School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275

Abstract A comparison of data detected by wind profiler and balloon-mounted radars revealed no significant differences between the two types under conditions of weak wind power. The variation rules of space and time were studied by using the data of wind profiler radar at the seaside of Huilai. The results show that the wind profiler radar has stronger detecting capability on the vertical structure of three-dimensional winds and can detect sea-land breeze vertical shear in real time. Such data could be used to analyze the rules of pollutant diffusion and migration in coastal areas. In addition, data obtained by the wind profiler radar was studied to determine the rule of periphery wind shear of Typhoon Chanthu. The results show that the wind profiler radar also has stronger detecting capability on the typhoon peripheral sinking airflow area of high-altitude wind in a three-dimensional wind vertical structure. Moreover, this type of radar can detect the rules of typhoon space shear in real time to improve the efficiency of the typhoon prevention in coastal areas.

Keywords Wind profiler radar, Wind shear, Sea-land breeze, Typhoon

收稿日期 2011-06-16 收到, 2012-12-07 收到修定稿

资助项目 广东省气候中心业务科研课题 QH201201

作者简介 王志春, 男, 1979 年出生, 硕士, 工程师, 主要从事气候资源开发工作。E-mail: wangzhichun@gmcc.gov.cn

1 引言

风廓线雷达作为新一代的遥感测风系统,可连续探测到监测站上空不同间距的高空风场资料,能较好地弥补地面气象站和太空卫星监测的不足,目前利用风廓线雷达资料对边界层风切变规律的研究较多(阮征等,2002;张勇等,2004;刘吉等,2007;谢付莹等,2010),风廓线雷达在监测大气污染、中小尺度天气现象、提高气象预报准确率等方面发挥重要作用。王欣等(2005)利用风廓线雷达资料进行了合肥“973 暴雨野外试验”的研究,杨梅等(2006)利用南昌雷达站风廓线雷达资料与探空资料进行比较发现二者风速风向有较好的一致性,董保举等(2009)对高原地区风廓线雷达资料的探测能力和有效性进行了评估,认为在边界层高度风廓线雷达具有较高的数据获取率和较强的探测能力。本文结合广东沿海海陆风的空间演变过程和登陆台风持续观测过程的车载风廓线雷达探测资料,主要研究了华南沿海地区车载风廓线雷达探测资料与同步小球探测资料、气象塔梯度风资料的对比,利用车载风廓线雷达资料分析探测期间海陆风出现的时段及发生发展的规律,台风“灿都”登陆前后车载风廓线雷达探测高度范围内风速风向的切变规律,有助于分析污染物的扩散迁移规律和提高沿海地区防台风能力。

2 对比试验分析

2.1 系统风较小时车载风廓线雷达与小球探测资料的对比

Arida Q3000 型车载风廓线雷达(工作参数见表 1)探测和小球测风的对比采用的探测点为广东省惠来县隆江镇($22^{\circ}58'N$, $116^{\circ}10'E$),东面濒临南海约 3 km,探测时间段为 2008 年 7 月 27 日至 8 月 11 日共 15 d,其中包括 12 d 的每天 06:00(北京时间,下同)、08:00、11:00、14:00、17:00、20:00 共 6 次定时探测资料和 3 d 的每天 02:00、06:00、08:00、11:00、14:00、17:00、20:00、23:00 共 8 次加密定时探测资料(总共 96 次),其中车载风廓线雷达探测高度为 50~3450 m、高度分辨率为 50 m。测风经纬仪在观测前后都经过了严格的标定,小球探空气球升速控制在约 100 m min^{-1} ,测风读数间隔

为 30 s,用矢量法计算气球高度和风向、风速。为方便分析,将小球测风资料平均处理到 50 m 的分辨率。受能见度影响小球测风大多只测到边界层 1600 m 以内的风资料,为了便于比较只取 50~1600 m 高度范围内车载风廓线雷达与小球测风同步探测资料对比,以相同观测时段的气球探空风速或风向为自变量,车载风廓线雷达探测风速或者风向为因变量(对比结果见表 2)。由表 2 可知,在离地 1600 m 高度范围内车载风廓线雷达与气球探空在不同大气稳定度条件下风速和风向相关性均在 0.651 以上,其中风向相关性好于风速相关性,中性大气风速风向相关性好于不稳定大气和稳定大气环境,系统风较小时车载风廓线雷达与小球探测资料的对比结果与孙旭映等(2008)得到的结论具有一致性。

为了与探空资料进行比较,本研究挑选了 2008 年 7 月 30 日系统风较小时稳定、中性和不稳定大气条件下的风廓线车载数据接近探空时刻的 10 min 平均水平风速、风向数据,比较结果如图 1 所示。从图 1 可以看出 06:00、08:00 和 14:00 系统风较小时探空风速风向廓线与车载风廓线雷达风速风向廓线变化趋势具有较好的一致性,其中风向相关性要略好于风速相关性。

表1 Arida Q3000型车载风廓线雷达工作参数

Table 1 Working parameters of Arida Q3000 vehicle wind profiler radar

频率 (MHz)	功率 (W)	水平风速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	探测范 围 (m)	高度分辨 率 (m)	风速分辨率 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
1290	1500	0~60	50~3450	50	0.1

表2 车载风廓线雷达与气球探空风速风向的相关分析

Table 2 Correlation analyses of wind profiler radar and balloon detection wind

		相关系				
		样本总数	数均值	标准误差	方程系数	截距
不稳定大气	风速	23	0.651	0.435	0.789	0.474
	风向	23	0.736	1.498	0.786	5.765
中性大气	风速	49	0.843	0.429	0.803	0.218
	风向	49	0.841	1.367	0.791	4.989
稳定大气	风速	24	0.715	0.378	0.778	0.687
	风向	24	0.820	1.923	0.735	7.436

2.2 系统风较大时车载风廓线雷达与气象塔资料的对比

为了便于比较大风条件(风速大于 6 级)下车载风廓线雷达测风的准确度,本研究采用 2010 年

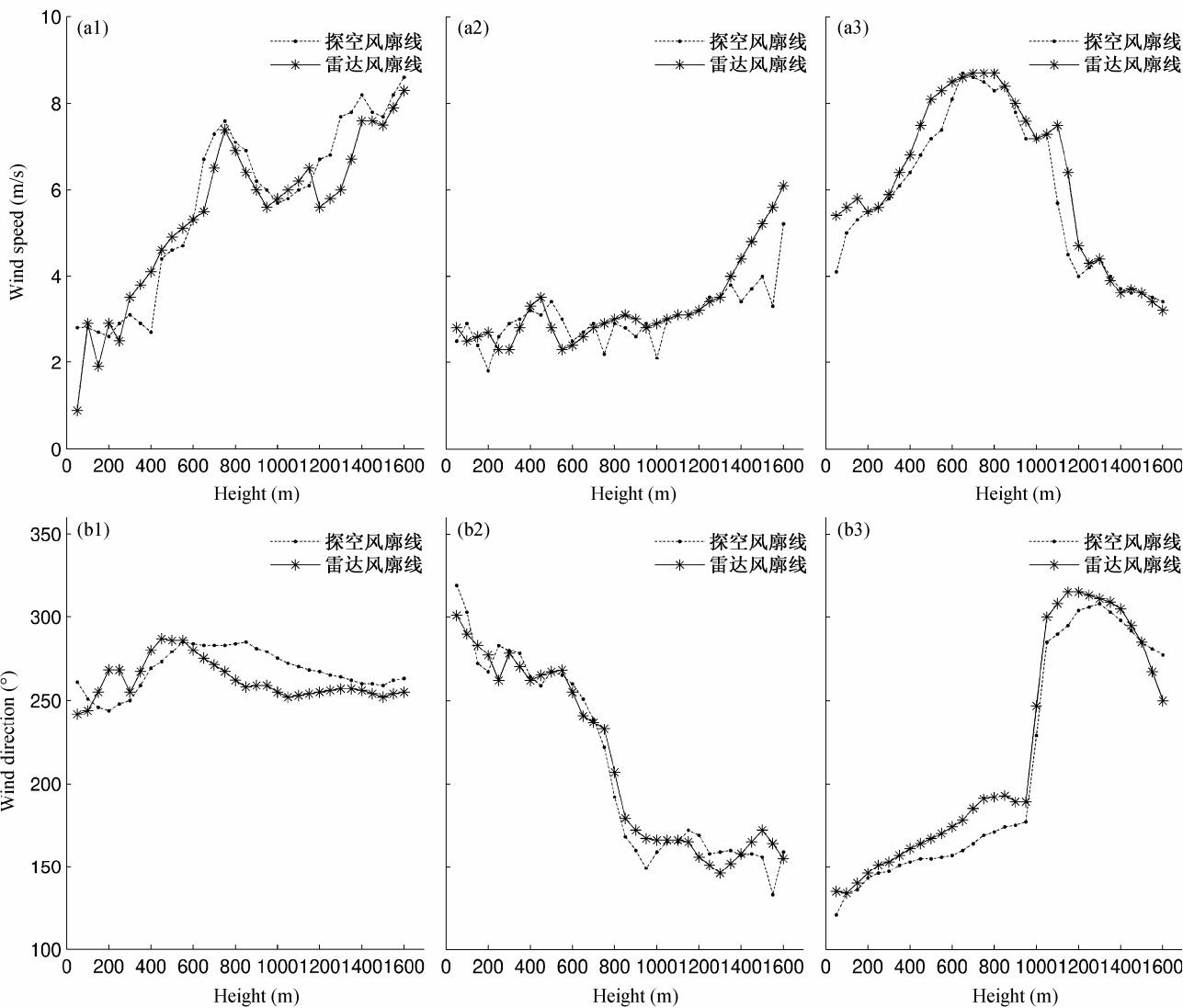


图1 2008年7月30日系统风较小时车载风廓线雷达与气球探空风廓线对比：(a1, a2, a3) 风速廓线；(b1, b2, b3) 风向廓线
Fig. 1 Comparison of wind profiles from the wind profiler radar and balloon detection on 30 Jul 2008: (a1, a2, a3) Wind speed profile; (b1, b2, b3) wind direction profile

第3号台风“灿都”登陆前车载风廓线雷达与气象梯度塔同步10 min 平均风实测资料对比,梯度风观测仪器采用EL15-1A型风速传感器和EL15-2D型风向传感器。台风常伴随大雨和风暴潮,100 m 高能详查梯度塔气象仪器常常出现记录仪死机或者断电的现象,测得的数据较少,仅列出大风条件下2010年7月21日21:30至23:50车载风廓线雷达与气象塔50 m和100 m梯度风10 min 平均风速相关分析,以相同观测时段的梯度塔风速或风向为自变量,车载风廓线雷达探测风速或风向为因变量,计算(均值)结果见表3和图2。

从表3和图2上可以看出,在大风条件下车载风廓线雷达与相应高度的气象塔50 m和100 m 风速风向变化规律比较一致,但车载风廓线雷达测得

表3 车载风廓线雷达与EL测风仪10 min 风速风向的相关分析

		样本总数	相关系数	标准误差	方程系数	截距
50 m	风速	15	0.635	0.405	0.678	1.104
	风向	15	0.778	1.508	0.627	15.288
100 m	风速	15	0.688	0.435	0.924	0.474
	风向	15	0.793	2.536	0.680	15.390

的风速总体比气象塔梯度风偏小。这可能由于车载风廓线雷达受地物杂波和台风登陆过程强降水的影响,从地面至100 m 范围内车载风廓线雷达探测的风速、风向与梯度塔测得风速、风向值有一定的偏差。

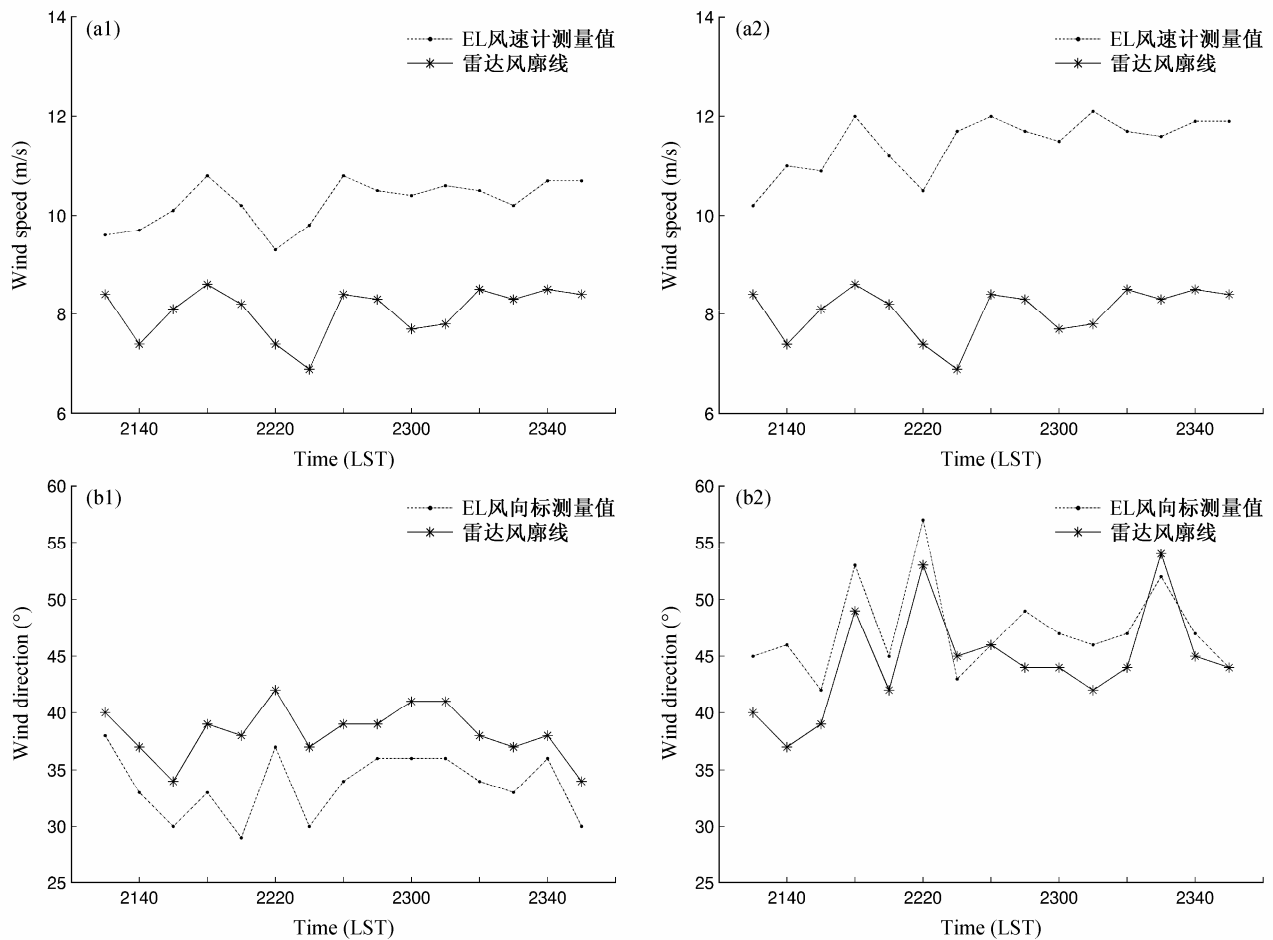


图2 2010年7月21日系统风较大时车载风廓线雷达与EL测风仪风廓线对比:(a1, a2)风速廓线;(b1, b2)风向廓线

Fig. 2 Comparison of wind profiles from the wind profiler radar and EL anemometer with stronger wind speed on 21 Jul 2010: (a1, a2) Wind speed profile; (b1, b2) wind direction profile

3 车载风廓线雷达资料的应用

3.1 车载风廓线雷达在海陆风分析中的应用

海陆风是中低纬度地区海陆边界层中最常见的地方性环流,海陆风对华南沿海地区污染物的扩散、迁移和转化起着重要作用。为了分析车载风廓线雷达探测期间惠来上空典型的海陆风垂直分布和时间变化的规律,依据何平(2006)的连续性检验方法订正车载风廓线雷达资料中偏差较大或缺测的数据,在计算过程中,分别对车载风廓线雷达获得的水平风分解为东西分量和南北分量,用MATLAB绘制成风矢量图(见图3a)。

惠来7月地面受高压脊和高空偏北气流控制,长时间以晴好天气为主,2008年7月27日出现了1次典型的海陆风环流发展过程。从惠来水平风廓线和垂直气流廓线(见图3a和3b)分析,惠来06:00

大气呈现稳定状态下,地面至400 m高度范围内为西南风,受下垫面影响,低空风随高度增大逐渐变大,但在450 m高度附近风速较小,在450 m高度附近存在明显水平风切变,而无明显的垂直气流,说明这一层是海陆风的高度分界线,500 m以上高度逐渐转变为东南风为主。06:00至11:00在太阳辐射作用下陆地升温快,地面盛行西北风的高度从06:00的450 m降低至13:00的300 m,水平风切变高度也由06:00的500 m降低至13:00的300 m高度附近,说明06:00至13:00地面盛行明显的陆风,高空则盛行典型的东南季风,在300 m高度附近存在明显的水平风切变;16:00开始地面至700 m高度范围内形成由海洋吹向陆地的偏南风,而在800~1200 m高空则以偏东风为主;从16:00至18:00海陆温差进一步加大,地面至风切变的高度由16:00的100 m增大到18:00的250 m高度,由于7月惠来盛行东南季风,在16:00的150 m增大

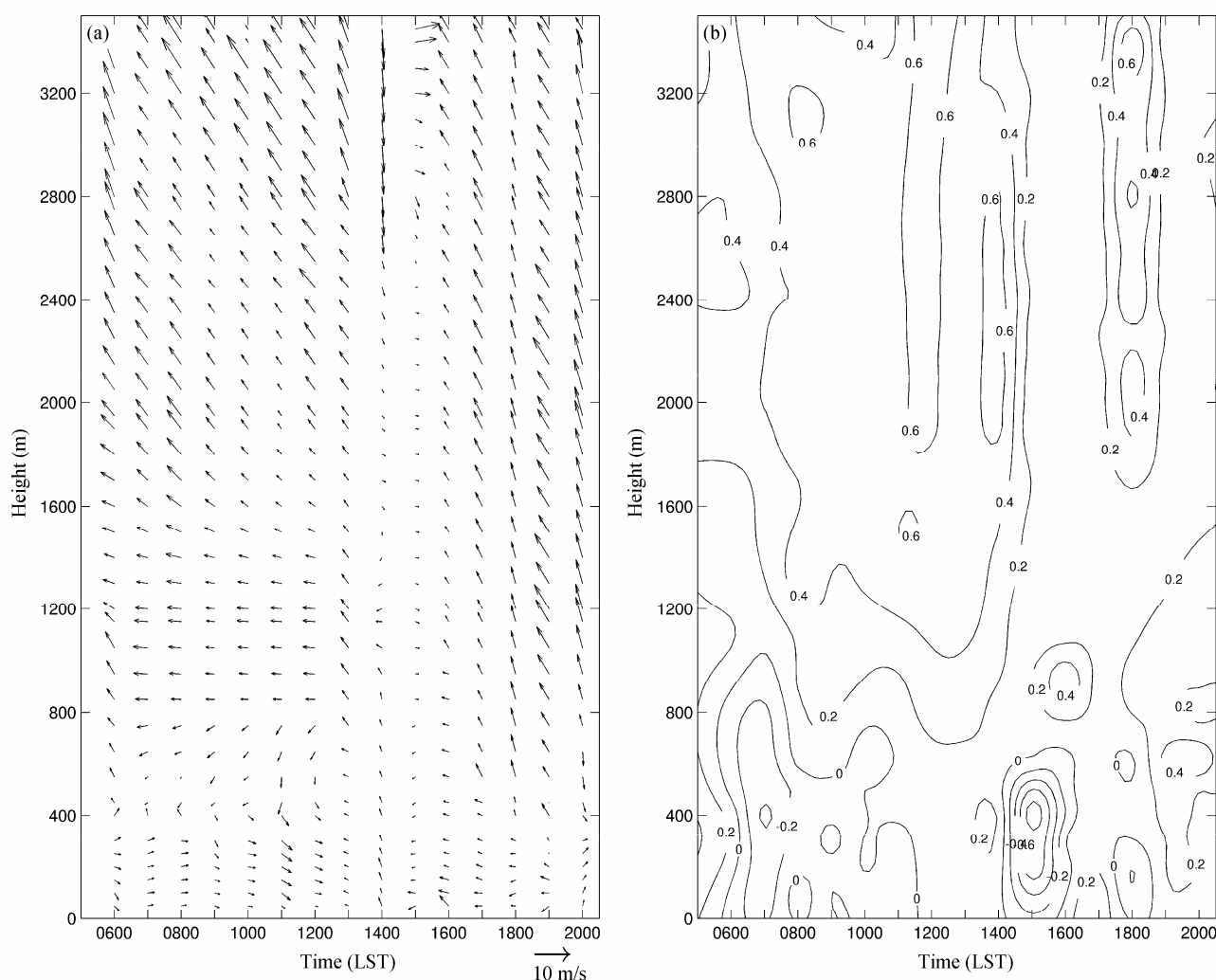


图3 海陆风廓线变化：(a) 水平风矢量时间—高度剖面；(b) 垂直气流时间—高度剖面（单位： $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ）

Fig. 3 Variations of sea-land breeze profile: (a) Horizontal wind vector time-height profile; (b) vertical wind time-height profile (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

到 18:00 的 300 m 以上高度则以东南季风为主。

通过对惠来上空典型海陆风过程分析：在晴朗、小风的气象条件下，车载风廓线雷达能明显地观测到向岸风和离岸风的变化规律，06:00 至 11:00 地面主要以陆风为主，陆风厚度从 06:00 的 400 m 逐渐发展到 11:00 的 350 m，50 m 高度的陆风从 06:00 的 $2.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 逐渐减小到 11:00 的 $1.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，12:00 是海陆风转换的过渡时段，海陆风转换期间的平均风速很小，50 m 高度风速仅为 $1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。13:00 至 18:00 地面以海风为主，海风厚度从 13:00 的 700 m 增大到 16:00 的 900 m，随着海风的减弱，到 18:00 海风厚度减小到 500 m；风速也由 13:00 的 $1.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 增大到 16:00 的 $4.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，随着时间推移风速减小到 18:00 的 $1.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，19:00 以后地面主要以陆风为主，陆风厚度 300 m，这些分析结果与辛跳儿等（2009）的结论一致。通过车载风廓线雷达

垂直气流等值线分析发现在海陆风的发展变化过程中，气流在垂直方向上存在弱的上升和下沉运动，15:00 的 300 m 以下存在较强的下沉气流，这与地面温度接近日最高温度有关，700~1600 m 存在较弱的上升气流。

3.2 车载风廓线雷达在台风天气中的应用

广东濒临南海，在每年的夏秋季节，都会受到热带气旋的袭击（任国玉等，2010），研究表明平均每年 3~4 个登陆广东的热带气旋（王同美等，2003）。热带气旋登陆后对建筑物的影响与风的垂直切变有关。南海台风从生成、发展到登陆过程具有运动路径复杂多变的特点（陈见等，2007；徐明等，2009），由于台风登陆点和路径具有很强的随机性，要获取其中心附近的强风数据并不容易（宋丽莉等，2010），而车载风廓线雷达具有灵活机动的特点，可以弥补固定台站的不足，为台风登陆点、

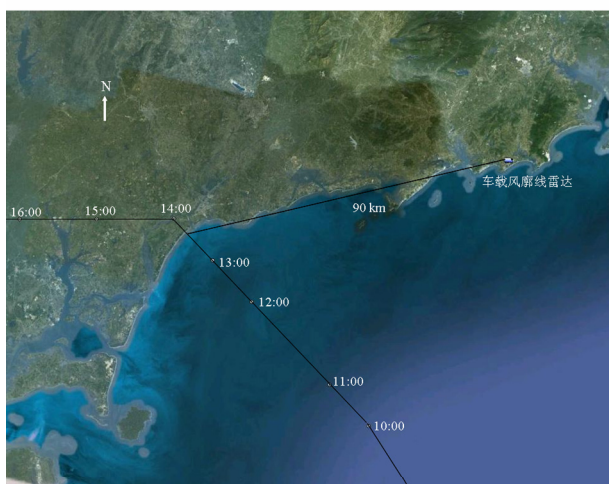


图4 2010年7月22日台风“灿都”路径以及台风中心相对于车载风廓线雷达的位置

Fig. 4 Track of Typhoon Chanthu and the location of typhoon center according to the wind profiler radar on 22 Jul 2010

台风强度及移动方向预报提供及时有效的分析数据。

2010年第3号台风“灿都”于2010年7月22日13:45在广东吴川市吴阳镇沿海地区登陆,登陆时中心最低气压970 hPa,中心附近最大风力12级。车载风廓线雷达距离登陆点东北方向约90 km的阳西县上洋镇(见图4)。台风过境前后连续8 h内边界层水平风廓线变化规律(见图5a):“灿都”登陆吴川前后8 h内阳西近地层(50~400 m)地面风向变化规律为东南偏东—东—东南—西北—东南,其中11:00台风中心距离车载风廓线雷达最近,此时车载风廓线雷达靠近台风眼,风向与处于台风云墙区风速较大的10:00和12:00明显不同,此时风速小,风向几乎相反,这与北半球台风逆时针旋转的事实是一致的(刘尉等,2009)。在400 m高

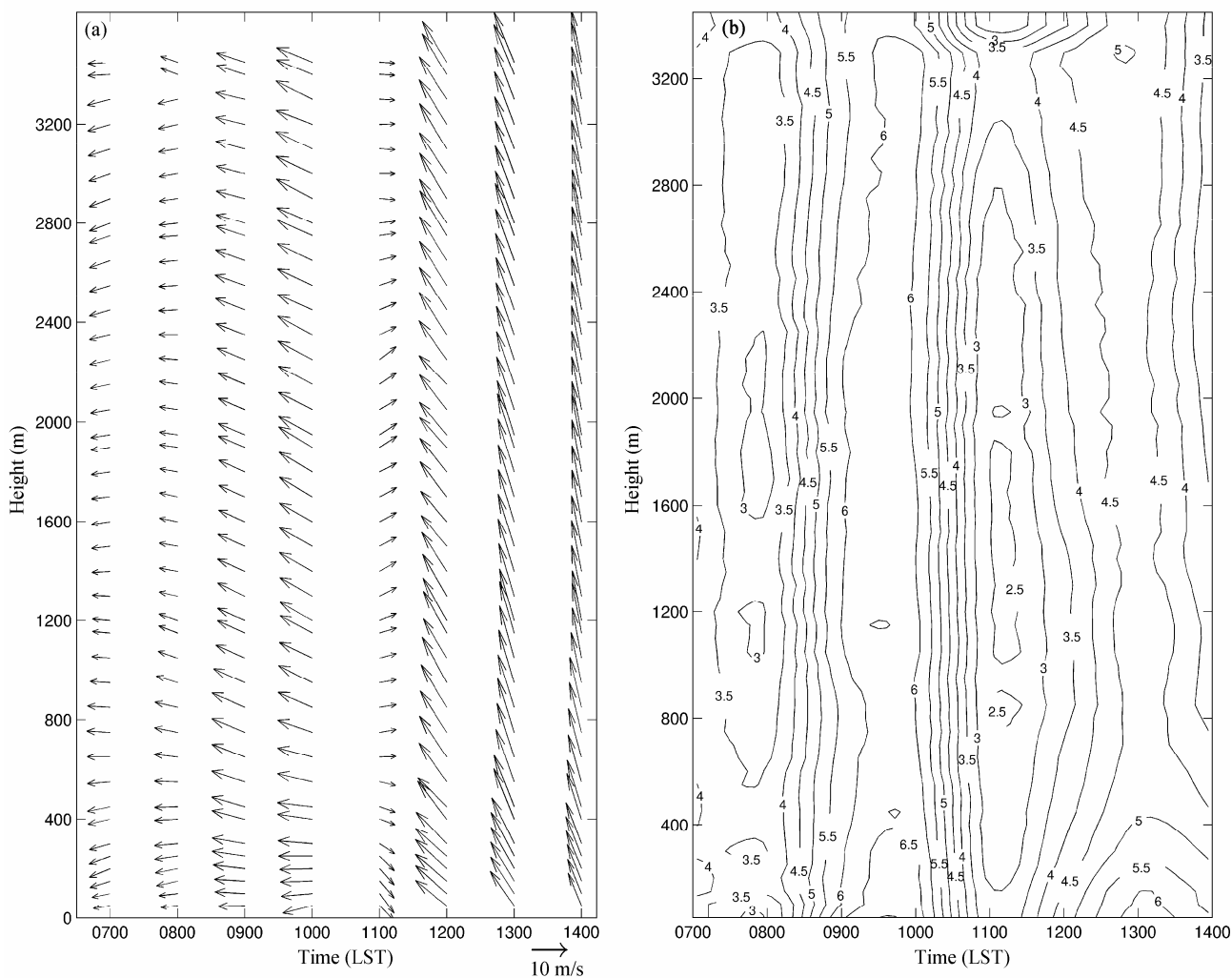


图5 2010年7月22日07:00至14:00台风“灿都”外围风廓线:(a)水平风矢量时间—高度剖面;(b)垂直气流时间—高度剖面

Fig. 5 Periphery wind profile of Typhoon Chanthu during 0700 LST–1400 LST on 22 Jul 2010: (a) Horizontal wind vector time–height profile; (b) vertical wind time–height profile

度附近不同时间段上下两层风由于受下垫面影响存在较为明显的风向切变。400 m 以上高空风向变化规律大体上与 400 m 以下风向变化规律相同, 高空风受下垫面影响较小, 各高度风向之间不存在明显的切变。台风“灿都”外围观测的垂直气流廓线(见图 5b)显示, 观测期间上洋镇车载风廓线雷达探测点距离台风登陆点吴阳镇东北方约 90 km 处, 整个探测时段内基本上处于台风外围下沉气流区, 下沉气流速度在 $2.5 \sim 6.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内, 下沉气流随探测时间发生变化, 从 07:00 开始下沉气流逐渐增大, 到了 10:00 后出现极大值 $6.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 在 11:00 附近出现极小值 $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 然后随着时间推移下沉气流又逐渐增大。这主要是台风在 11:00 前后距离车载风廓线雷达的观测地点最近, 这时观测点可能贴近台风云墙区, 水平风较小, 垂直气流也较小, 而在 10:00 和 12:00 观测点可能已处在台风的外围大风区, 水平风和垂直气流均较大。

4 小结

综上所述, 可以得到以下结论:

(1) 惠来车载风廓线雷达资料分析表明, 惠来海风比陆风厚度大, 陆风最大厚度为 400 m、出现在 06:00, 海风最大厚度为 900 m、出现在 16:00; 陆风风速比海风风速要小, 陆风最小风速为 $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、出现在 09:00, 海风最小风速为 $2.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、出现在 15:00。

(2) 车载风廓线雷达具有较高的时间和空间分辨率, 通过分析台风“灿都”登陆过程水平风和垂直气流廓线, 可连续监测与台风有关的高空水平风切变和垂直气流切变的发生和发展变化特征, 从而提高华南沿海地区防灾减灾能力。

参考文献 (References)

- 陈见, 罗建英, 廖胜石. 2007. 台风“派比安”分析 [J]. 气象研究与应用, 28 (2): 1–6. Chen Jian, Luo Jianying, Liao Shengshi. 2007. Causality analysis on "Prapiroon" typhoon [J]. Journal of Meteorological Research and Application (in Chinese), 28 (2): 1–6.
- 董保举, 张晔, 徐安伦. 2009. 高原地区风廓线雷达资料评估 [J]. 气象科技, 37 (5): 580–583. Dong Baoju, Zhang Ye, Xu Anlun. 2009. Assessment of wind profiler radar data in plateau area [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 37 (5): 580–583.
- 何平. 2006. 相控阵风廓线雷达 [M]. 北京: 气象出版社, 64–103. He Ping. 2006. Phased Array Wind Profiler Radar [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 64–103.
- 刘吉, 范绍佳, 方杏芹, 等. 2007. 风廓线雷达研究现状与应用初探 [J]. 热带气象学报, 23 (6): 693–697. Liu Ji, Fan Shaojia, Fang Xingqin, et al. 2007. Review of a study on wind profiler system and its applications [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 23 (6): 693–697.
- 刘尉, 吴艳标, 王志春. 2009. 强热带风暴“北冕”登陆前后的风场变化 [J]. 广东气象, 31 (3): 10–12. Liu Wei, Wu Yanbiao, Wang Zhichun. 2009. The wind field transition during the land falling of severe tropical storm Kammuri [J]. Guangdong Meteorology (in Chinese), 31 (3): 10–12.
- 任国玉, 封国林, 严中伟. 2010. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望 [J]. 气候与环境研究, 15 (4): 337–353. Ren Guoyu, Feng Guolin, Yan Zhongwei. 2010. Progresses in observation studies of climate extremes and changes in mainland China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (4): 337–353.
- 阮征, 葛润生, 吴志根. 2002. 风廓线仪探测降水云体结构方法的研究 [J]. 应用气象学报, 13 (3): 330–338. Ruan Zheng, Ge Runsheng, Wu Zhigen. 2001. Method for detecting rain cloud structure with wind profilers [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 13 (3): 330–338.
- 宋丽莉, 庞加斌, 蒋承霖, 等. 2010. 澳门友谊大桥“鹦鹉”台风的湍流特性实测和分析 [J]. 中国科学 (技术科学), 40 (12): 1409–1419. Song Lili, Pang Jiabin, Jiang Chenglin, et al. 2010. Field measurement and analysis of turbulence coherence for Typhoon Nuri at Macao Friendship Bridge [J]. Science China Technological Sciences, 53 (10): 2647–2657.
- 孙旭映, 韩晖, 段海霞, 等. 2008. 风廓线仪与气球测风资料的对比分析 [J]. 干旱气象, 26 (3): 48–52. Sun Xuying, Han Hui, Duan Haixia, et al. 2008. Comparative analysis on wind data from atmospheric wind profiler and balloon sounding [J]. Arid Meteorology (in Chinese), 26 (3): 48–52.
- 王同美, 温之平, 李彦, 等. 2003. 登陆广东热带气旋统计及个例的对比分析 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 42 (5): 97–100. Wang Tongmei, Wen Zhiping, Li Yan, et al. 2003. Comparative analysis of the duration reason of tropical cyclones landing on Guangdong [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni (in Chinese), 42 (5): 97–100.
- 王欣, 卞林根, 彭浩, 等. 2005. 大气风廓线仪系统探测试验与应用 [J]. 应用气象学报, 16 (5): 693–697. Wang Xin, Bian Linggen, Peng Hao, et al. 2005. The atmospheric wind profiler and radio acoustic sounding system with its applications [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 16 (5): 693–697.
- 谢付莹, 王自发, 王喜全. 2010. 2008年奥运会期间北京地区PM10污染天气形势和气象条件特征研究 [J]. 气候与环境研究, 15 (5): 584–594. Xie Fuying, Wang Zifa, Wang Xiquan. 2010. A study of the characteristics of the synoptic situations and meteorological conditions in PM10 air pollution episodes of Beijing during the 2008 Olympic Games period [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (5): 584–594.
- 辛跳儿, 贺千山, 魏海茹, 等. 2009. 上海世博园上空边界层风垂直变化观测研究 [J]. 高原气象, 28 (1): 127–135. Xin Tiaor, He Qianshan, Wei Hairu, et al. 2009. Observation and study of wind velocity variation with altitude over the EXPOL, Shanghai [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 28 (1): 127–135.
- 徐明, 余锦华, 赖安伟, 等. 2009. 环境风垂直切变与登陆台风强度变化

- 关系的统计分析 [J]. 暴雨灾害, 28 (4): 339–344. Xu Ming, Yu Jinhua, Lai Anwei, et al. 2009. A statistical analysis on the relations between effect of wind vertical shear and landing typhoons intensity [J]. *Torrential Rain and Disasters* (in Chinese), 28 (4): 339–344.
- 杨梅, 李玉林, 单九生, 等. 2006. 新一代雷达风廓线与探空风廓线资料相关分析 [J]. 气象, 32 (6): 20–24. Yang Mei, Li Yulin, Shan Jiusheng, et al. 2006. Correlation analysis between new generation radar wind profile data and sounding data [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 32 (6): 20–24.
- 张勇, 王欣, 徐祥德, 等. 2004. 大气廓线综合探测系统及其应用技术 [J]. 气象科技, 32 (4): 263–267. Zhang Yong, Wang Xin, Xu Xiangde, et al. 2004. Atmospheric profile synthesis detecting system and its application [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 32 (4): 263–267.