

刘晨,毛文茜,樊旭,等. 山地丘陵地区 ST 风廓线雷达的探测性能评估[J]. 干旱气象, 2018, 36(2): 326-330. [LIU Chen, MAO Wenqian, FAN Xu, et al. Assessment of Detection Performance of ST Wind Profile Radar in Mountainous and Hilly Area[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(2): 326-330], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-02-0326

## 山地丘陵地区 ST 风廓线雷达的探测性能评估

刘晨<sup>1,2</sup>, 毛文茜<sup>1</sup>, 樊旭<sup>1</sup>, 冷文楠<sup>1</sup>, 张文煜<sup>1</sup>

(1. 兰州大学半干旱气候变化教育部重点实验室, 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国人民解放军 94608 部队, 江苏 南京 211500)

**摘要:**利用淮南 2015 年 3 月至 2016 年 2 月 ST 风廓线雷达探测资料,从雷达运行模式和不同高度数据获取率的年、季、日变化角度,对该型号雷达在山地丘陵地区的探测能力进行评估。结果表明:山地丘陵地区,ST 风廓线雷达能够获得高时空分辨率的探测资料,雷达正常工作时间占比为 85.6%。雷达的探测能力在边界层和对流层中层明显高于对流层高层,年平均有效探测高度约 14.0 km,占雷达最大探测量程的 67%。可能受大气湿度、温度影响,探测能力在 5—8 月和 12 月对流层低层变低。受大气湍流影响,探测能力综合表现为夏季较高,春季次之,秋、冬季依次降低的季节差异,以及正午较低、凌晨较高的日变化特征。

**关键词:**山地丘陵;风廓线雷达;数据获取率;探测能力;评估

**文章编号:**1006-7639(2018)02-0326-05 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-02-0326

**中图分类号:**P412.25

**文献标志码:**A

### 引言

风廓线雷达作为一种新型无球高空气象遥感探测设备,可以连续提供大气水平风场、垂直气流等要素随高度和时间变化的观测数据<sup>[1]</sup>。近年来,风廓线雷达布点日趋广泛,全国已业务使用的超过 42 部,其中北京、上海、广东地区较密集,江苏、福建、新疆等地相对较少<sup>[2]</sup>。作为常规探空观测的重要补充,风廓线雷达在灾害性天气监测<sup>[3]</sup>、数值天气预报<sup>[4-6]</sup>及其他气象业务<sup>[7]</sup>中得到广泛应用。

风廓线雷达是通过接收大气湍流不均匀分布产生的散射回波及回波的多普勒频移信息,得到风场数据。观测中,由于散射回波信号较弱,易受地物杂波、天气背景场等干扰,使风廓线雷达的实际探测能力发生改变<sup>[8]</sup>。目前,应用的风廓线雷达型号较多。胡明宝等<sup>[9]</sup>分析了边界层风廓线雷达在南京的观测数据,发现有效探测高度在 2.0 km 左右,约为雷达最大探测量程的 55%,且 1 月、2 月和 12 月相对较低;对流层风廓线雷达的有效探测高度在 12.0 km 左右,可达雷达最大探测量程的 70% 以上,且各月没有明显变化。高祝宇等<sup>[10]</sup>对广东风廓线

雷达网 10 部雷达进行评估,指出在稳定大气条件下,边界层(LC)、对流层 II 型(PB)、对流层 I 型(PA)雷达的有效探测高度分别为 3.0、6.0、10.0 km,约为最大探测量程的 50%、57%、60%。董保举等<sup>[11]</sup>分析了 WPRLQ-7 风廓线雷达在云南大理的观测数据,发现有效探测高度在 2.0~3.0 km 之间,低于最大探测量程的 40%,雨季后高空大气折射率较大,探测高度明显升高。汪学渊等<sup>[12]</sup>分析了 CFL-03 风廓线雷达在福建永安的观测数据,发现有效探测高度约 3.0 km,可达最大探测量程的 50% 以上,夏季由于折射率脉动大,探测高度高于冬季。陈浩君等<sup>[13]</sup>分析了 TWP3 风廓线雷达在上海的观测数据,发现有效探测高度约 3.0 km,可达最大探测量程的 60%,冬季 2.0 km 高度以上湍流较弱,探测高度急剧减小。

对于不同型号的风廓线雷达,系统参数是决定其有效探测高度的直接原因,而探测环境是产生探测高度差异的直接原因,这两者共同影响风廓线雷达的实际探测能力。通常,采用数据获取率,即一定探测时间内,各个高度层上的探测数据通过质量控

收稿日期:2017-06-26;改回日期:2018-02-27

基金项目:国家自然科学基金项目(41741023,41630421)资助

作者简介:刘晨(1991—),女,硕士研究生,主要从事预报技术方面的研究. E-mail:liuch2015@lzu.edu.cn.

制的样本与总样本的百分比,来反映风廓线雷达的探测能力<sup>[11]</sup>。将探测高度内数据获取率不低于80%定义为有效探测高度<sup>[9]</sup>。中电集团14所研制的ST对流层风廓线雷达,理论探测高度大于20 km,布点于中国科学院大气物理研究所淮南气候环境综合观测试验站(HCEO),其实际探测能力如何?探测环境影响程度多大?对此需要开展深入探讨,以期为后续风廓线雷达资料的应用提供参考。

## 1 仪器及资料

ST风廓线雷达工作频率为46.5 MHz,采用相控阵天线构成13×13的平面阵列,其中有源天线单元144个,且各接一个T/R组件,用来完成电磁波的发射和接收。该雷达通过调整各阵列天线单元的相位,使其发射波束保持一定相位差,进行东、西、南、北、中的转向,从而实现1个垂直波束、4个倾斜波束(天顶角15°、方位角90°)的5波束探测方式。雷达探测采用低层300 m、高层1 200 m的高度分辨率模式,保证低空较高高度分辨率的同时,还能够达到较高的探测高度。

选取2015年3月至2016年2月中国科学院大气物理研究所淮南气候环境综合观测试验站ST风廓线雷达探测资料。该雷达位于淮南市东北部的上窑国家森林公园西北侧的山腰平台上,周围以山地丘陵为主,山峦较多,森林覆盖率大。观测期间,ST风廓线雷达的探测高度范围内,共有44层探测资料,最低150 m,最高21 km;探测资料的时间分辨率为30 min,主要有水平风向、风速以及垂直气流径向速度。

## 2 结果分析

### 2.1 风廓线雷达的运行情况

观测期间,ST风廓线雷达正常工作时间占比为85.6%,各月均有探测样本缺失,其中2015年7、8月缺失较多,实际探测率不足70%,同年3月、9—11月的实际探测率不超过85%,而次年2月低于80%(图1)。探测样本缺失主要是由于森林公园供电不稳或观测场停电以及雷达硬件维修等原因造成。总体来看,ST风廓线雷达在观测期间运行稳定,正常工作时间占比较高。

### 2.2 风廓线雷达的数据获取率特征

统计2015年3月至2016年2月期间淮南站ST风廓线雷达各高度层的平均数据获取率(图2)。可以看出,从0.15 km探测高度开始,数据获取率因地物杂波影响的减小而逐渐升高,在1.0 km左右处

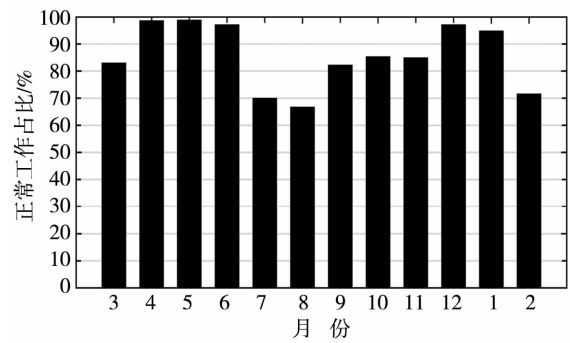


图1 淮南站 ST 风廓线雷达 2015 年 3 月至 2016 年 2 月正常工作占比的月分布

Fig. 1 The monthly distribution of normal operation rate from ST wind profile radar (WPR) in Huainan station from March 2015 to February 2016

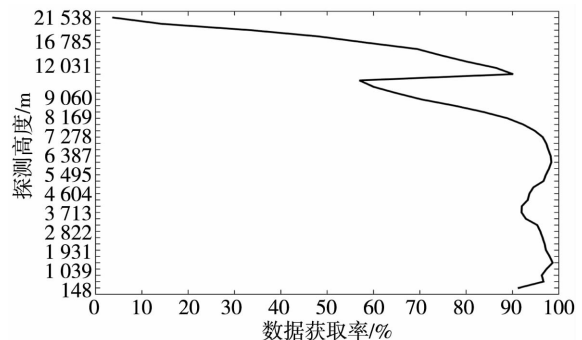


图2 2015 年 3 月至 2016 年 2 月淮南站 ST 风廓线雷达各高度层的平均数据获取率

Fig. 2 The average data availability rate on different heights from ST WPR in Huainan station from March 2015 to February 2016

达到极大值,数据获取率接近100%;向上到8.0 km高度范围内,数据获取率均高于90%,其中极小值出现在3.7 km左右,极大值在6.0 km左右,变化幅度低于10%;8.0~10.0 km高度内,是雷达高、低探测模式转换区间,数据获取率随高度变化幅度可达30%以上,10.0 km处转为高探测模式,数据获取率接近90%,该区间的观测数据使用时需加以考虑;10.0 km高度以上,数据获取率随高度增加逐渐减小,到15.0 km左右处降为70%左右,之后减小速度加快,到20.0 km左右处仅有15%。上述结果表明,ST风廓线雷达在边界层内以及对流层中层的探测能力高于对流层高层,年平均有效探测高度约14.0 km,占理论探测高度的67%,可以满足实际工作需求。

图3是观测期间ST风廓线雷达各高度层各月数据获取率。可以看出,各月雷达数据获取率垂直分布特征以8月中旬为界分为两个阶段。前一时段18.0 km以下,出现2个低值区,低层出现在5—8月

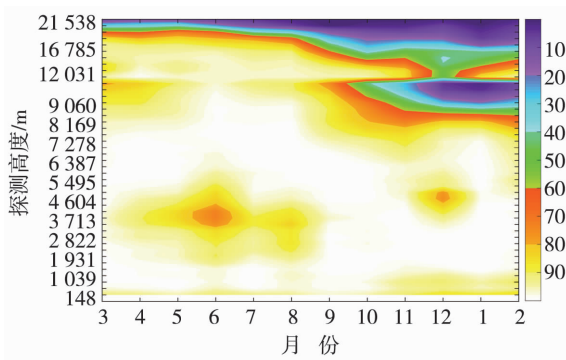


图3 2015年3月至2016年2月淮南  
ST风廓线雷达各高度层  
各月数据获取率(单位:%)

Fig. 3 The monthly average data availability rate  
on different heights from ST WPR in Huainan  
station from March 2015 to February 2016 (Unit:%)

3.0~6.0 km 范围内,数据获取率介于70%~90%,其中低值中心出现在6月,中心高度约3.7 km,厚度约1.0 km,数据获取率为70%~80%;高层出现在3—5月9.0~10.0 km 高度范围内,数据获取率介于82%~90%。前一时段18.0 km 以上,数据获取率锐减,到达探测顶部趋于2%。后一时段,7.5 km 以下,也出现2个低值区,其中近地层1.0 km 以下10月中旬至次年2月期间有一低值区,其数据获取率介于85%~96%,而另一低值区出现在12月、

中心高度约4.5 km 且厚度约1.0 km,其数据获取率为76%~90%;8.8~9.9 km 高度数据获取率持续低于40%,且在9.9 km 高度左右形成清晰的低值上界;10.0 km 以上,数据获取率变率太大,无法满足工作需要。

初步分析,雷达各月数据获取率呈现明显低值区的原因可能是淮南地区4月降水开始增多,降水形成主要集中在对流层低层,约3.7 km 处;随着雨季进程,5月末至6月中旬降水显著增多、增强,进入7月后逐渐减弱,到9月转为晴朗天气。同样,12月的情况符合冬季降水特点,降水形成高度较高,约4.5 km 左右。另外,造成数据获取率低值范围的原因主要是雷达探测中低、高模式发射的电磁波波形和功率不同,在模式衔接的转换高度处产生数据缺失。这种数据缺失会因大气湿度较大,雷达接收的信号转变为湿空气在极化状况下多级振荡产生散射而减小<sup>[12]</sup>。相比于其他型号雷达,该雷达在秋、冬季节因探测模式转换出现的数据缺失偏大<sup>[9-11]</sup>。

ST风廓线雷达探测基础是大气湍流运动不均匀造成对雷达电磁波的散射。为进一步探讨该雷达的实际探测能力与探测环境变化的关系,按照春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)和冬季(12月至次年2月),对其数据获取率进行统计分析。图4是ST风廓线雷达不同季节各高度层上的

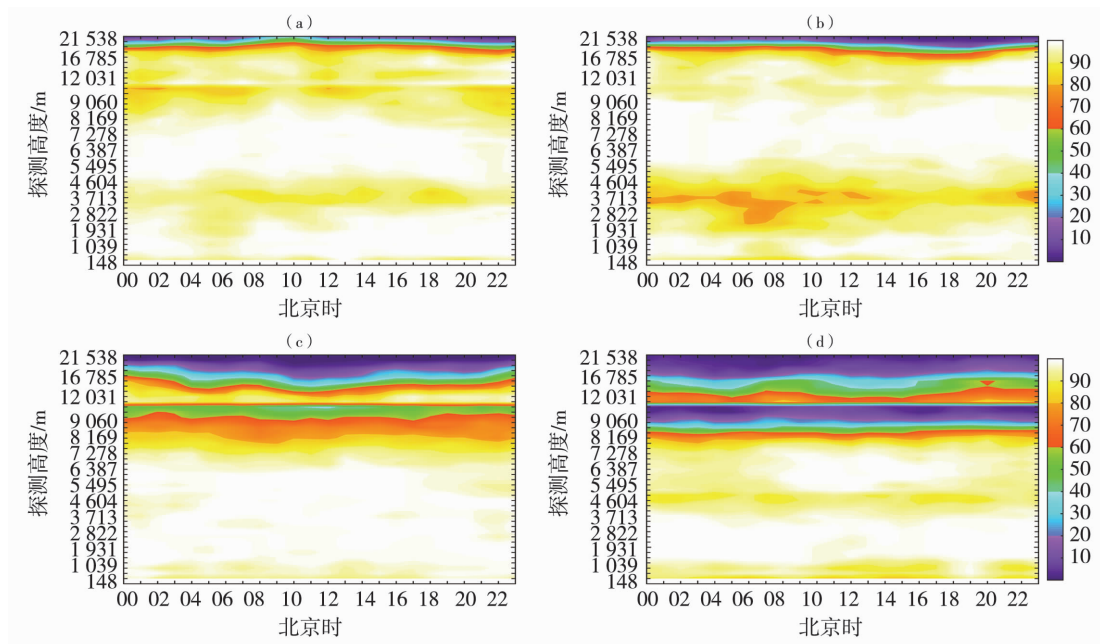


图4 淮南站 ST风廓线雷达不同季节各高度的逐时数据获取率(单位:%)

(a)春季;(b)夏季;(c)秋季;(d)冬季

Fig. 4 The hourly average data availability rate on different heights  
from ST WPR in Huainan station in four seasons (Unit:%)

(a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter

逐时数据获取率,发现随着季节变化,雷达的探测能力存在差异。就有效探测高度而言,春季较高,平均约18.0 km,最高出现在10:00(北京时,下同)前后近19.0 km,最低出现在12:00前后约15.5 km,但8.5~9.9 km之间探测能力有所降低,获取率接近80%;夏季有效探测高度平均约17.0 km,最高在00:00前后为18.0 km,最低在11:00前后约15.5 km;秋季有效探测高度平均约13.0 km,且变化幅度较大,最高出现在00:00前后达15.5 km,最低在11:00前后约11.0 km;冬季有效探测高度最低,探测模式转换使数据严重缺失,无法完整获取有效探测高度信息,根据变化趋势大致认为最高出现在20:00前后,接近11.0 km,最低在12:00前后。

综上所述,ST风廓线雷达的探测能力随着季节变化而变化,夏季较高,春季次之,秋、冬季较低,且正午较低,凌晨较高。淮南为山地丘陵地区,对流层湍流活动较强,其明显的季节变化导致雷达探测能力存在季节差异;同时,由于昼夜湍流波动幅度的差异,导致探测高度存在日变化特征。

### 3 结 论

(1)针对山地丘陵地区,ST风廓线雷达能够获得高时空分辨率的探测资料,全年正常工作时间占比较高,为85.6%,且探测能力边界层和对流层中层高于对流层高层,年平均有效探测高度约14.0 km,占最大探测量程的67%。

(2)ST风廓线雷达的探测能力可能受大气湿度、温度的影响,在5—8月和12月对流层低层的探测能力较低,数据获取率为70%~90%;在10月至次年2月模式转换高度(8.8~9.9 km)处数据严重缺失,获取率不足40%。

(3)ST风廓线雷达的探测能力与大气湍流的强

弱及其波动幅度有关,探测能力具有明显的季节、日变化特征。其中,夏季较高,春季次之,秋、冬季依次降低;正午较低,凌晨较高。

致谢:感谢中国科学院大气物理研究所淮南气候环境综合观测试验站提供ST风廓线雷达观测资料。

#### 参考文献:

- [1] 胡明宝,李妙英. 风廓线雷达的发展与现状[J]. 气象科学, 2010,30(5):724-729.
- [2] 董丽萍,吴蕾,王令,等. 风廓线雷达组网资料初步对比分析[J]. 气象,2014,40(9):1145-1151.
- [3] 施红蓉,李峰,吴蕾,等. 风廓线雷达对降水相态变化的观测分析[J]. 气象,2014,40(10):1259-1265.
- [4] ISHIHARA M, KATO Y, ABO T, et al. Characteristics and performance of the operational wind profiler network of the Japan Meteorological Agency[J]. Journal of Meteorological Society of Japan, 2006,84(6):1085-1096.
- [5] GIANGRANDE S E, COLLIS S, STRAKA J, et al. A summary of convective-core vertical velocity properties using ARM UHF wind profilers in Oklahoma[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2013,52:2278-2295.
- [6] 张旭斌,万齐林,薛纪善,等. 风廓线雷达资料质量控制及其同化应用[J]. 气象学报,2015,73(1):159-176.
- [7] 曲巧娜,盛春岩,孙青,等. 风廓线雷达与L波段探空雷达测风资料的对比[J]. 干旱气象,2016,34(6):1078-1086.
- [8] 胡明宝,张鹏. 风廓线雷达测量性能分析[J]. 气象科技,2011,39(3):315-319.
- [9] 胡明宝,郑国光,肖文建. 风廓线雷达数据获取率的统计分析[J]. 现代雷达,2008,30(10):14-16.
- [10] 高祝宇,阮征,魏鸣,等. 风廓线雷达数据质量影响因子及处理算法[J]. 应用气象学报,2016,27(2):148-159.
- [11] 董保举,张晔,徐安伦. 高原地区风廓线雷达资料评估[J]. 气象科技,2009,37(5):580-583.
- [12] 汪学渊,汪波,文明章,等. 丘陵地区边界层风廓线雷达数据统计特性分析[J]. 气象科学,2015,35(3):328-333.
- [13] 陈浩君,黄兴友,王亚东,等. 上海TWP3型边界层风廓线雷达探测性能评估[J]. 气象科技,2015,43(3):355-360.

## Assessment of Detection Performance of ST Wind Profile Radar in Mountainous and Hilly Area

LIU Chen<sup>1,2</sup>, MAO Wenqian<sup>1</sup>, FAN Xu<sup>1</sup>, LENG Wenman<sup>1</sup>, ZHANG Wenyu<sup>1</sup>

(1. *Key Laboratory for Semi - Arid Climate Change of the Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*; 2. *Unit No. 94608 of PLA, Nanjing 211500, China*)

**Abstract:** Based on the detection data of ST wind profile radar in Huainan from March 2015 to February 2016, the detection capability of ST radar was evaluated in mountainous and hilly area by considering the operation pattern of radar and annual, seasonal and diurnal changes of data availability rate on different heights. The results show that ST wind profile radar could obtain detection data with high spatio - temporal resolution in mountainous and hilly area, the actual data availability rate was 85.6%. The detection capability of ST radar in the boundary layer and middle level of troposphere was higher than that in upper level of troposphere, and the annual average effective detecting height was about 14.0 km, which accounted for 67% of theoretical height. The data availability rate was lower in lower layer of troposphere from May to August and December due to the probable effects of air temperature and humidity. Furthermore, the detection capability affected by atmosphere turbulence presented significant seasonal and diurnal changes, it was higher in summer, then in spring, and lowest in winter, and it was lower at noon and higher before dawn.

**Key words:** mountainous and hilly area; wind profile radar; data availability rate; detection ability; assessment