

# 台风过境前后武夷山风廓线雷达数据集（2016–2020） 的研发与特征分析

廖 廓<sup>1</sup>, 黄鑫毅<sup>2</sup>, 陈耀亮<sup>2\*</sup>

1. 福建省灾害天气重点实验室, 福州 350008; 2. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007

**摘 要:** 高时空分辨率的风廓线雷达数据是进行实时监测、分析大气三维风场状况的重要手段。它在预测中小尺度天气系统的演变中发挥着重大作用, 对突破局部灾害性天气预报瓶颈具有重要意义, 是气象工作中保障生命安全、生产发展、生活富裕、生态良好的强力支撑。2021年《全国风廓线雷达站网布局方案》提出了加密建设风廓线雷达的需求, 风廓线雷达数据已成为气象研究的重要基础数据。本文介绍了《台风过境前后武夷山风廓线雷达数据集（2016–2020）》的生产过程和数据结果。该数据集包括2016年14号台风莫兰蒂、2017年9号台风纳沙和10号台风海棠以及2019年9号台风利奇马过境前后武夷山风廓线雷达测站实时采样高度上的产品数据, 包括水平风向、水平风速和垂直风速, 观测间隔为6 min, 一次观测结果的产品数据存储为一个.txt文本文件, 共11,856个文本文件, 数据量为7.45 MB（压缩后）。

**关键词:** 风廓线; 雷达; 台风; 武夷山; 2016–2020

**DOI:** <https://doi.org/10.3974/geodp.2021.03.12>

**CSTR:** <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2021.03.12>

## 数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2021.07.05.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2021.07.05.V1>.

## 1 前言

风廓线雷达作为一种新型高空探测遥感技术, 可在无人值守情况下进行连续观测。它可以获取高时空分辨率的大气三维风场数据, 能够实时探测数百米乃至数千米垂直高度上水平风向、水平风速、垂直风速、大气折射率结构常数等气象要素的变化<sup>[1–4]</sup>。这些数据对于中小尺度上进行天气实时监测、分析风的垂直切变、急流、对流特征, 反映、预测天气状况; 模拟、预警气象灾害具有重要作用。

我国的风廓线雷达技术始于上世纪八十年代末<sup>[5]</sup>。截至2020年, 我国共建有126部风廓线雷达站, 风廓线雷达技术已趋于成熟并已初步建成了风廓线雷达站网。2021年1月5

收稿日期: 2021-07-27; 修订日期: 2021-09-19; 出版日期: 2021-09-30

基金项目: 福建省气象局（2020KX03）

\*通讯作者: 陈耀亮 AAP-3042-2020, 福建师范大学地理科学学院, [chenyl@fjnu.edu.cn](mailto:chenyl@fjnu.edu.cn)

数据引用方式: [1] 廖廓, 黄鑫毅, 陈耀亮. 台风过境前后武夷山风廓线雷达数据集（2016–2020）的研发与特征分析[J]. 全球变化数据学报, 2021, 5(3): 346–353. <https://doi.org/10.3974/geodp.2021.03.12>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2021.03.12>.

[2] 廖廓, 李恺霖, 党皓飞等. 台风过境前后武夷山风廓线雷达数据集（2016–2020）[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. <https://doi.org/10.3974/geodb.2021.07.05.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2021.07.05.V1>.

日《全国风廓线雷达站网布局方案》通过专家论证。它表明风廓线雷达数据的应用将逐步深入发展，为保障农业生产、预测航空飞行条件、制定灾害决策方案等提供重要依据。

中国东南沿海地区夏秋季节台风灾害频发，武夷山地处中国东南部，受台风灾害影响频繁。武夷山风廓线雷达测站于 2013 年布设，是福建省较早进行风廓线雷达观测的站点之一。2016–2020 年，共有 4 次台风对武夷山造成影响，分别是 2016 年 14 号台风莫兰蒂，2017 年 9 号台风纳沙和 10 台风海棠以及 2019 年 9 号台风利奇马。台风过境前后风廓线雷达数据反映着台风的三维风场变化，对于了解台风的天气过程，揭示其风场结构，指示未来转向特征，预测短时强降水等方面具有极大的研究与应用意义。

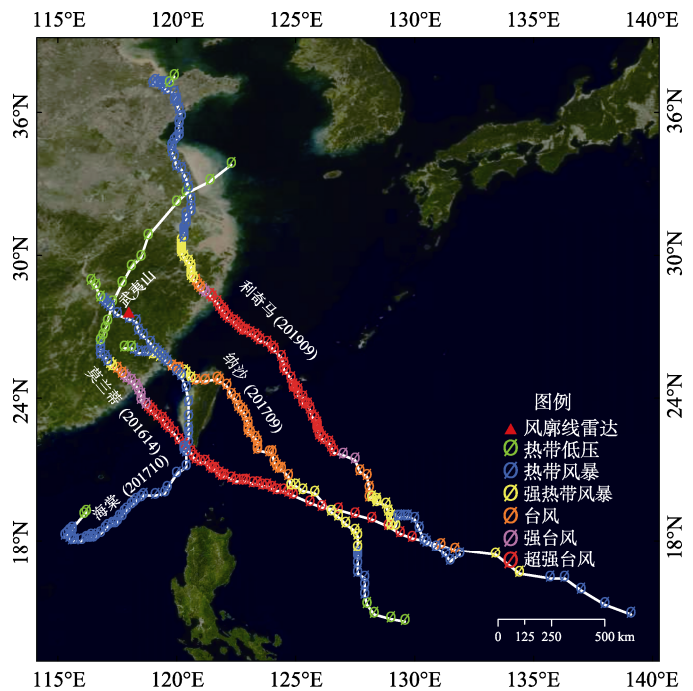


图 1 台风“莫兰蒂”、“纳沙”、“海棠”和“利奇马”的移动路径图

2 数据集元数据简介

《台风过境前后武夷山风廓线雷达数据集（2016–2020）》<sup>[6]</sup>的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

3 数据研发方法

数据研发过程分为两个步骤：收集风廓线雷达实时观测数据和利用观测数据进行风速风向计算。

观测数据来源于 CFL-03 型边界层风廓线雷达实时观测得到 2016–2020 年影响武夷山的台风登陆中国大陆前后 5 天（世界时）的 5 个波束径向速度（东、西、南、北、中）数据，利用 5 个波束径向速度计算出每个高度层上的风速、风向数据，进而得到《台风过境

前后武夷山风廓线雷达数据集（2016–2020）》。计算方法如下<sup>[4,8,9]</sup>。

表 1 《台风过境前后武夷山风廓线雷达数据集（2016–2020）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	台风过境前后武夷山风廓线雷达数据集（2016–2020）
数据集短名	WindProfile_MtWuyi
作者信息	廖廓 AAS-4210-2021, 福建省灾害天气重点实验室, liaokuo78@163.com 黄鑫毅, 福建师范大学地理科学学院, hxy1050250101@163.com 陈耀亮 AAP-3042-2020, 福建师范大学地理科学学院, chenyl@fjnu.edu.cn
地理区域	武夷山
数据年代	2016–2020
时间分辨率	6 min
空间分辨率	起始探测高度：60 m；终止探测高度 7,080 m； 600 m 高度之下的垂直分辨率为 60 m，之上的垂直分辨率为 120 m
数据格式	.txt
数据量	7.45 MB（压缩后）
数据集组成	数据压缩在 WindProfile_MtWuyi.rar 文件包中，其中包括 2016 年 14 号台风莫兰蒂（3,906 个数据文件），2017 年年 9 号台风纳沙和 10 号台风海棠（4,261 个数据文件），2019 年 9 号台风利奇马（3,689 个数据文件）过境前后武夷山风廓线雷达观测产品数据。总计 11,856 个数据文件
基金项目	福建省气象局（2020KX03）
数据计算环境	MATLAB 软件处理实时观测数据
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 <a href="http://www.geodoi.ac.cn">http://www.geodoi.ac.cn</a>
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据集和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 <sup>[7]</sup>
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

（1）计算水平风分量。假设朝向雷达的径向风为正，则东西水平风分量上西风为正，南北水平风分量上南风为正。

$$u_e = -V_{re} \times \csc\theta + V_{rz} \times \cot\theta \tag{1}$$

$$u_w = V_{rw} \times \csc\theta - V_{rz} \times \cot\theta \tag{2}$$

$$u_s = V_{rs} \times \csc\theta - V_{rz} \times \cot\theta \tag{3}$$

$$u_n = -V_{rn} \times \csc\theta + V_{rz} \times \cot\theta \tag{4}$$

式中， $\theta$  为倾斜波束天顶角， $V_{rz}$ 、 $V_{re}$ 、 $V_{rw}$ 、 $V_{rs}$ 、 $V_{rn}$  分别代表中、东、西、南、北波束的径向速度， $u_e$ 、 $u_w$ 、 $u_s$ 、 $u_n$  分别为东、西、南、北波束的水平风分量。

（2）计算风场的三维分量的水平分量  $u$ 、 $v$  和垂直分量  $w$ 。 $w$  即为垂直风速。

$$u = 0.5 \times (u_e + u_w) \quad (5)$$

$$v = 0.5 \times (u_n + u_s) \quad (6)$$

$$w = V_{tz} \quad (7)$$

（3）计算水平风速和水平风向。

$$V = \sqrt{u \times u + v \times v} \quad (8)$$

$$\alpha = \operatorname{atan} \frac{u}{v} \quad (9)$$

$$\varnothing = \pi + \alpha \quad (10)$$

式中， $V$  为风速， $\varnothing$  为风向。

## 4 数据结果

### 4.1 数据集组成

《台风过境前后武夷山风廓线雷达数据集（2016–2020）》由三个数据文件夹组成，每个年份的观测产品数据存储一个文件夹，分别存放 2016 年 14 号台风莫兰蒂、2017 年 9 号台风纳沙和 10 号台风海棠以及 2019 年 9 号台风利奇马过境前后武夷山风廓线雷达测站实时采样高度上的产品数据。

数据观测以每 6 分钟为一次观测间隔，以台风登陆中国大陆前后 5 天（世界时）为观测时段。台风莫兰蒂于 2016 年 9 月 15 日登陆，则对应文件夹内产品数据时间跨度为 2016 年 9 月 10 日至 2016 年 9 月 20 日，累计共 3,906 个.txt 观测数据产品文件。对应地，另外两个文件夹分别存放 2017 年 7 月 25 日至 2017 年 8 月 5 日，共 4,261 个.txt 台风纳沙和海棠的观测数据产品文件；2019 年 8 月 5 日至 2019 年 8 月 15 日，共 3,689 个.txt 台风利奇马的观测数据产品文件。

### 4.2 数据说明

风廓线雷达实时采样高度上的产品数据文件包括两部分内容，一部分是参考信息即测站基本参数；另一部分是产品数据实体部分，即每个采样高度上所获得的数据，包括采样高度、水平风向、水平风速、垂直风速、水平方向可信度、垂直方向可信度和大气折射率结构常数。

由一次探测生产的产品数据保存成一个.txt 文件。记录内每组间用 1 个半角空格分隔，缺测组用该组对应的额定长度个“/”表示；各组探测数据（字母数据除外）长度小于额定长度的，整数部分高位补 0，小数部分低位补 0；符号位正号用 0 表示，负号用“-”（减号）表示。每条记录尾用回车换行“<CR><LF>”结束。

文件的命名为：Z\_RADR\_I\_IIiii\_yyyyMMddhhmmss\_P\_WPRD\_雷达型号\_产品标识.TXT，其中 yyyyMMddhhmmss 代表观测时间，观测时间用世界时表示。下面给出具体文件进行说明，以“Z\_RADA\_I\_58730\_20160910160101\_P\_WPRD\_LC\_ROBS.TXT”为例。



Z 表示国内交换文件; RADR 表示雷达资料; I 后面的 Iiii 表示区站号。如 58730 表示武夷山站区站号; 20160910160101 表示在世界时 2016 年 09 月 10 日 16 时 01 分 01 秒进行观测; P 表示产品数据; WPRD 表示风廓线雷达资料; LC 表示雷达型号, 表示此雷达为 L 波段的边界层风廓线雷达; ROBS 为产品标识, 表示实时的采样高度上的产品数据文件。

本数据采用的风廓线雷达产品来自 CFL-03 型边界层风廓线雷达, 为中国气象局入网的定型产品, 技术成熟规范。

```
WNDOOBS 01.20
58730 0117.9850 027.6167 00224.2 LC 20160910160101
ROBS
00060 000.0 008.3 -000.1 100 100 4.4e-019
00120 357.3 008.3 0000.0 100 100 4.4e-019
00180 351.4 006.6 0000.0 100 100 4.4e-019
00240 283.7 009.1 -000.0 100 100 4.4e-019
00300 020.0 002.3 0000.1 100 100 4.4e-019
00360 026.6 002.6 0000.2 100 100 4.4e-019
00420 035.0 002.4 0000.3 100 100 4.4e-019
00480 068.2 002.1 0000.4 100 100 4.4e-019
00540 090.0 002.2 0000.5 100 100 4.4e-019
00600 095.2 002.2 0004.5 100 100 4.4e-019
00720 104.9 003.1 0004.4 100 100 4.4e-019
```

图 2 风廓线雷达数据产品截取

第一行 WNDOOBS 01.20 表示关键字和文件版本号。

第二行表示站点、雷达和观测时间。58730 表示风廓线雷达站名, 0117.9850 表示经度, 单位为度, 027.6167 表示纬度, 单位为度, 00224.2 表示观测场海拔高度, 单位为 m。

第三行 ROBS 表示观测数据开始标志。

第四行的每个数字分别表示采样高度 (单位: m); 水平风向 (单位: 度); 水平风速 (单位: m/s); 垂直风速 (单位: m/s), 向上为正, 向下为负; 水平方向可信度; 垂直方向可信度; 大气折射率结构常数。

4.3 数据结果

201614 号台风“莫兰蒂”于 2016 年 9 月 10 日 14 时生成, 15 日 3 时 5 分在厦门翔安沿海登陆, 登陆级别为强台风级; 15 日 23 时进入江西, 17 日 2 时中央气象台对其停止编号。从图 3(a)可知在 11 日 4,000 m 以上的高空风场风向以西南风为主, 测站位于台风西北侧, 台风尚未对武夷山的高空风场产生影响; 5-10 时, 风向随着高度顺转, 为暖平流, 同时高层风风速增强, 有利于能量累积; 从 10 时开始, 出现明显风切变特征, 低层风向转为东北风, 在 11 时, 低层东北风厚度扩大, 1,500 m 处风速增加, 暖空气抬升, 引发短时强降水, 当地降雨实况为 10-12 时累计降雨量达 32.3 mm, 说明风廓线雷达数据对于短时突发强降水具有明显特征, 能够为相关部门及时做出预警提供依据。从图 3(b)可知在 15 日 1,000 m 以上的风速越来越强, 说明台风越来越接近测站; 1,000 m 以上风向由偏东风逐渐向南风变化, 在 9 时后风向开始变化为东南风, 19 时基本已转变为南风, 对应台风实际移动路径来看, 台风 13 时后转向偏北, 风廓线雷达数据对于台风转向变化具有一

定指示作用。

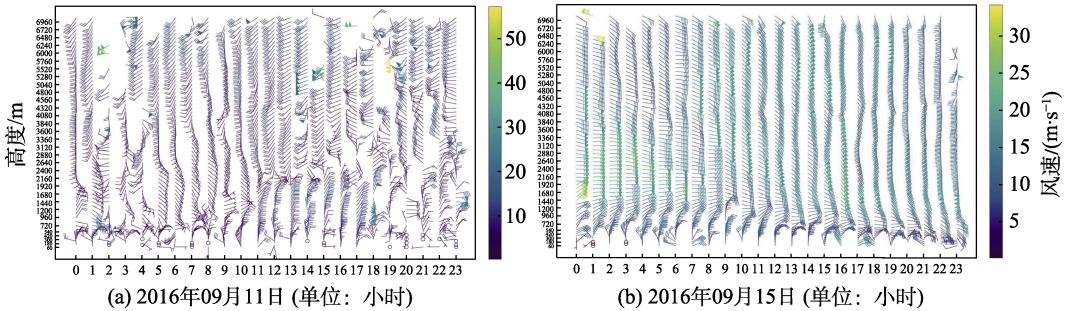


图 3 台风 1614 莫兰蒂登陆前和登陆时逐小时风羽图

201709 号台风“纳沙”于 2017 年 7 月 21 日生成，29 日 19 时 40 分在台湾宜兰东部沿海登陆；30 日 6 时登陆福清市，登陆级别为台风级，30 日 20 时中央气象台对其停止编号。201710 号台风“海棠”于 2017 年 7 月 26 日生成，30 日 17 时 30 分在台湾屏东沿海登陆；31 日 2 时 50 分登陆福清市，登陆级别为热带风暴级，8 月 1 日 8 时中央气象台对其停止编号。“海棠”与“纳沙”创立有记载以来首次 24 小时内先后登陆同一县的记录，同时二者发生双台风效应，“海棠”合并“纳沙”环流于 7 月 31 日 16 时进入江西。从图 4(a)可知 7 月 27 日下层风场比较混乱且风切变不明显，不利于降水，当地降雨实况为该日累计降雨量 0 mm；1,500m 以上以偏东风为主。从图 4(b)可知，由于站点在台风登陆方向西北侧，风向以偏东风为主；近地面切变明显，有利于降水发生发展；台风“纳沙”于 6 时登陆，随后中高层风速逐渐加大，风速出现脉动特征。

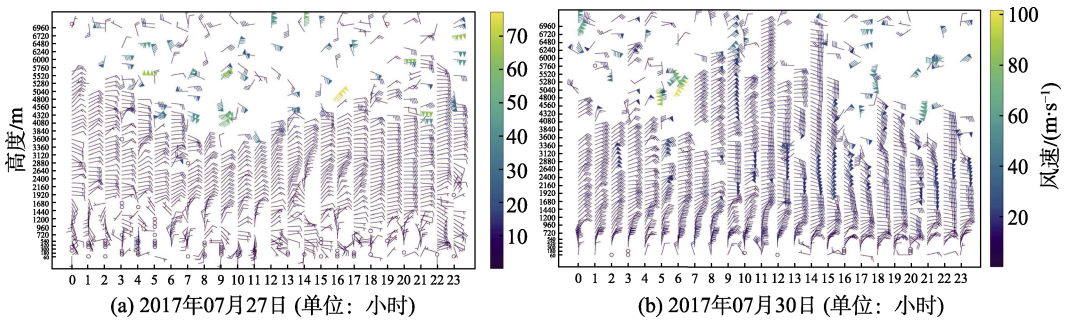


图 4 台风 1709 纳沙登陆前和登陆时逐小时风羽图

201909 号台风“利奇马”于 2019 年 8 月 4 日生成，10 日 1 时 45 分在浙江温岭沿海登陆，登陆级别为超强台风级，8 月 11 日 20 点 50 分在山东青岛黄岛区沿海再次登陆，8 月 13 日 14 时中央气象台对其停止编号。图 5(a)可知风向较为散乱，低层风扰动明显，中高层以偏东风向为主。图 5(b)可知，由于站点在台风西南侧，风向明显体现出了台风西南侧偏西风的特征；低层伴随着明显的风切变；18 时出现明显风向辐合，有利于降水发生。

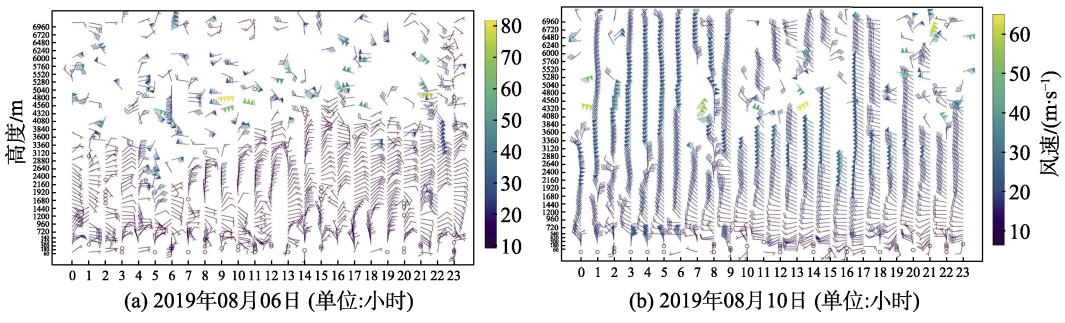


图 5 台风 1909 利奇马登陆前和登陆时逐小时风羽图

### 4.3 数据结果验证

基于该数据集处理方式绘制成的逐小时风羽图与福建省气象信息中心风廓线雷达数据综合处理系统（WPRIS）的风羽图进行对比，除色标和对微风的处理不同外（本文中微风为“圈”，系统中微风为“杆”），其余部分二者相同，可判断利用原始数据生产得到的该产品数据集《台风过境前后武夷山风廓线雷达数据集（2016–2020）》无误。

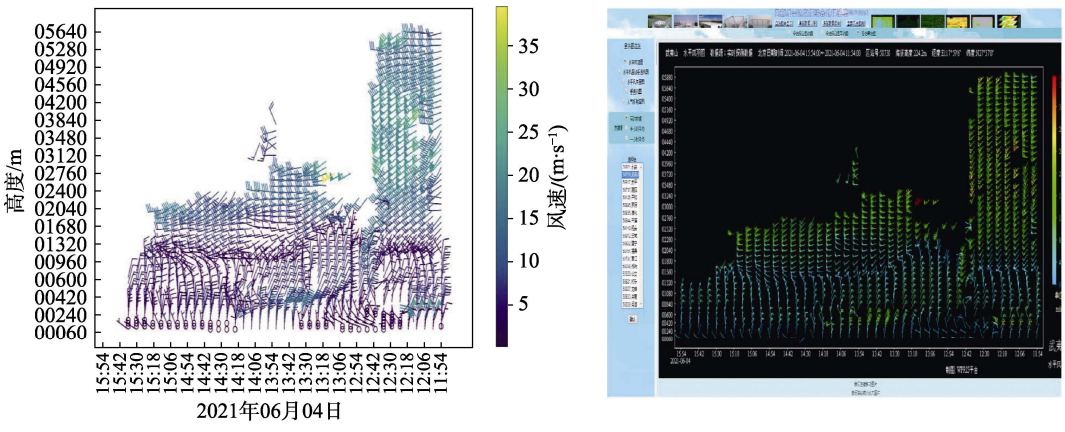


图 6 数据集处理方式产生的数据与综合数据处理系统关联图（左为数据集，右为系统生成文件）

## 5 讨论和总结

风廓线雷达数据提供了高时空分辨率的三维风场数据，风羽图的水平风向变化指示着台风与监测站点相对位置的改变，同时有学者指出风羽图大风区下沉现象与台风转向具有一定指示作用<sup>[10]</sup>。因此，可以利用风廓线雷达风场信息，结合监测站点位置，判断台风的相对位置，实时提供台风移动路径，同时模拟台风的路径转向变化。除水平风向外，也可以通过风廓线雷达提供的详细水平风速数据预测未来的台风风速变化，为防范台风引起的狂风灾害提供重要参考依据。对于降水来说，利用风廓线雷达资料可以有效探测台风强降水和局地强降水发生前后的风向风速变化<sup>[11]</sup>，2016 年 9 月 11 日的强降水属于局地强降水，从风羽图中可以判别其具有明显的空气交汇及风切变特征，低层风速的迅速加大时段与强降水出现的时段一致<sup>[12]</sup>；研究指出垂直风速变化与降水强度具有对应关系<sup>[13]</sup>，垂直风速反

映着对流的强度, 台风强降水伴随着明显的水汽辐合上升运动, 垂直速度大值区具有明显随时间从低层到高层的上升趋势, 表明水汽在不断聚集上升, 而低层垂直速度并不强盛, 说明水汽在高空积累<sup>[11]</sup>, 这将造成之后的一段时间内出现明显的强降水, 而上升运动减弱时间对应于降水停止时间。因此, 利用风廓线雷达数据提供的水平风向、水平风速和垂直风速数据, 可以为当地突发强降水和台风强降水的持续时间、降水强度的监测和预警提供重要参考。

**作者分工:** 廖廓对数据集的开发做了总体设计并处理了数据; 陈耀亮设计了数据算法; 黄鑫毅进行了数据验证; 廖廓和陈耀亮撰写了数据论文等。

**利益冲突声明:** 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 严嘉明, 赵兵科, 张帅等. 边界层风廓线雷达对登陆台风观测适用性评估[J]. 应用气象学报, 2021, 32(3): 332–346.
- [3] 毛文茜, 王潇雅, 黄颖等. 风廓线雷达资料在淮河流域暴雪中的应用[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2021, 57(2): 263–269.
- [4] 涂治招, 汪学渊, 江彩英等. 不同季节天气条件下风廓线雷达测风精度分析[J]. 气象与环境科学, 2020, 43(2): 100–108.
- [5] 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.
- [6] 廖廓, 李恺霖, 党皓飞等. 台风过境前后武夷山风廓线雷达数据集(2016–2020)[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. <https://doi.org/10.3974/geodb.2021.07.05.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2021.07.05.V1>.
- [7] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017年更新).
- [8] 林晓萌, 尉英华, 陈宏等. 降水时风廓线雷达风场反演效果评估[J]. 应用气象学报, 2020, 31(3): 361–372.
- [9] 胡明宝. 风廓线雷达数据处理与应用研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [10] 郑浩阳, 涂建文, 詹棠等. “韦森特”台风的路径和强度分析[J]. 广东气象, 2014, 36(1): 12–19.
- [11] 刘蕾, 周先春, 李鸾等. 风廓线雷达在两类强降水过程中的监测分析[A]//创新驱动发展 提高气象灾害防御能力——S2灾害天气监测、分析与预报[C]. 中国气象学会, 2013: 10.
- [12] 王文波, 杨可栋, 李晓利等. “麦德姆”台风过程中冷空气活动分析及风廓线雷达资料的应用[J]. 山东气象, 2015, 35(4): 1–5.
- [13] 施晨晓, 戴丽琼, 程洪涛等. 风廓线雷达资料在台风“电母”影响过程中的应用[J]. 广东气象, 2019, 41(5): 27–30.