

文章编号:1673-8411 (2019) 04-0028-05

台风“山竹”登陆前后广东沿海珠三角机场阵风预报方法研究

谢文锋, 王刚, 张有洋

(民航中南空管局气象中心, 广州 510405)

摘要: 利用 WRF 模式对 1822 号台风“山竹”的登陆过程进行数值模拟试验, 分析台风产生的大风特征, 比较不同的阵风参数化方法在机场大风预报中的效果, 结果表明: (1) 试验基本模拟出了台风的路径和强度变化过程, 模拟的珠三角机场平均风速大小和变化趋势与观测非常接近。 (2) 地面最大风速区出现在距离台风中心大约 50–100 km 的位置上, 垂直方向上风速从低层到高层逐渐减小, 湍流动能的大值区集中在 1.5 km 以下的边界层内。 (3) 台风登陆过程中广州、深圳和珠海机场的平均阵风因子分别为 1.45、1.51 和 1.46, 且随着平均风速的增大, 阵风因子有减小的趋势。 (4) 基于湍流动能的阵风参数化方案在珠三角机场阵风预报中效果最好, 平均预报误差只有 3.9 m/s, 可以考虑应用到台风天气过程中机场阵风的业务预报。

关键词: 台风; 阵风; 湍流动能; 边界层; 数值模拟; 广东沿海

中图分类号: P458.1+24

文献标识码: A

Gust forecast methods in the Pearl River Delta airports along the east of Guangdong Province before and after typhoon Mangkhut landing

Xie Wenfeng, Wang Gang, Zhang Youyang

(Meteorological Center of Middle South Regional Air Traffic Management Bureau of CAAC, Guangzhou Guangdong 510405)

Abstract: The landing process of typhoon Mangkhut in 2018 was simulated by using WRF model. The characteristics of typhoon gale were analyzed and the effects of different gust parameterization methods in airport gale forecasting were compared. The results showed that (1) the test basically simulated the path and intensity change process of typhoon, and the simulated average wind speed and change trend of Pearl River Delta airports were very close to the observation. (2) The maximum wind speed on the ground occurred at the position of about 50–100 km away from the typhoon center. In the vertical direction, the wind speed gradually decreased from the low level to the high level, and the large value area of turbulent kinetic energy was concentrated in the boundary layer below 1.5 km. (3) During the landing process of typhoon, the average gust factors of Guangzhou, Shenzhen and Zhuhai airports were 1.45, 1.51 and 1.46, respectively. With the increase of the average wind speed, the gust factors tended to decrease. (4) The gust parameterization scheme based on turbulence kinetic energy had the best effect in the gust forecast of the airports in the Pearl River Delta. The average forecast error was only 3.9 m/s. It can be considered to apply to the operational forecast of airport gusts during typhoon weather.

Key words: typhoon; gust; turbulence kinetic energy; boundary layer; numerical simulation

引言

阵风通常指瞬间的极大风速, 在航空气象例行天气报告中, 阵风定义为两分钟或十分钟内瞬间风

速大于或等于平均风速 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时的最大值, 是机场预报的基本要素之一。相比于平均风速, 阵风由于能量大、突发性强, 常常造成巨大的人员伤亡和财产损失^[1,2]。影响阵风形成的因素较多, 如平均风速的

收稿日期: 2019-05-03

作者简介: 谢文锋(1988-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事航空气象预报工作。E-mail: victory_xie@126.com

大小、湍流强度、大气稳定度、云中的下曳气流、下垫面粗糙度等等^[3,4]。国内外有许多关于阵风预报方法的研究, 主要包括统计预报法和物理建模法。统计方法使用大量的观测资料, 通过回归方程寻找阵风和各气象要素场之间的关系。周福等^[3]通过聚类分析, 利用海拔高度和平均风速对阵风系数进行预报。胡波^[4]利用 BP 人工神经网络方法根据边界层要素选取不同的因子组合对阵风进行循环预报, 找出最佳因子组合, 取得了不错的效果。物理建模法根据阵风的形成原理构建参数化方案, 相比之下更有助于理解阵风的产生机制。Brasseur^[5]建立了一个基于边界层高层的粒子能量下传引发阵风的预报方法。Schreur et al^[6]认为阵风的产生与大气湍流直接相关, 可以根据边界层的湍流特征建立参数化方案。

目前国内在阵风预报方面的研究开展还比较少, 在众多方法中, 由于设计原理的不同, 预报结果常有很大差异, 有必要评估各种方法在不同类型天气过程中的适用性^[7]。因此, 本文通过 WRF 模式对台风“山竹”登陆华南的过程进行数值模拟试验, 分析台风产生的大风特征, 比较不同参数化方法在阵风预报中的效果, 希望找到适合台风天气特点的阵风预报方案。

1 台风“山竹”过程概况

台风“山竹”2018 年 9 月 7 日 20 时在西北太平洋生成, 进而向西北方向移动, 16 日 17 时以强台风级在广东江门台山沿海地区登陆, 17 日在广西减弱并停止编报(图 1)。“山竹”是 2018 年登陆我国的最强台风, 香港、澳门、深圳、珠海普遍出现平均风 13~14 级, 阵风 16~17 级。广州、深圳、珠海机场都出现了长时间的大风天气, 造成了大量航班的取消和延

误。广州机场 16 日 12 时至 17 日 08 时所有航班取消, 深圳机场 16 日 00 时至 17 日 08 时所有航班取消, 珠海机场 16 日 00 时至 24 时所有航班取消。降雨主要集中在台风前进方向的右侧, 珠江三角洲和粤西、粤东沿海市县出现了暴雨到大暴雨局地特大暴雨天气(图 1)。

2 模拟试验的设计

使用 WRFV4.0 版本, 试验采用 Mercator 地图投影的三重双向嵌套网格(图 2), 分辨率为 9km、3km 和 1km, 垂直方向设置 51 层。区域的中心位于(23°N, 113°E), 三个模拟区域均采用 MYNN 行星边界层方案及 RRTM 长波和 Dudhia 短波辐射参数化方案。在模拟区域 d01 采用 KF 积云对流参数化方案和 WSM6 云微物理方案, 而在 d02 和 d03 的高分辨率网格中, 不采用积云对流参数化方案, 只选用 WSM6 云微物理方案。初始场资料选用 GDAS/NCEP 的 6 小时一次 0.25°×0.25°分辨率的再分析资料。d01 和 d02 的模拟时间均从 2018 年 9 月 15 日 08 时到 17 日 20 时(本文均使用北京时间), 共积分 60h, d03 区域则从 9 月 15 日 20 时到 17 日 20 时, 积分 48h。

为了比较不同阵风方案在台风天气中的预报效果, 设计了五组比较试验。第一种方案(本文简称 friction)认为阵风主要和近地面层的摩擦速度 u_* 有关, 摩擦速度是气流内部摩擦力和摩擦力做功的度量, 表征了由于地面粗糙效应而引起的水平动量在垂直方向的损失^[8]。欧洲数值预报中心采用的就是这种方案:

$$G = U_{10m} + C \times u_* \quad (1)$$

其中 U_{10m} 为 10m 平均风速, C 为根据统计结果得出的常数系数, 一般取值 7.71。

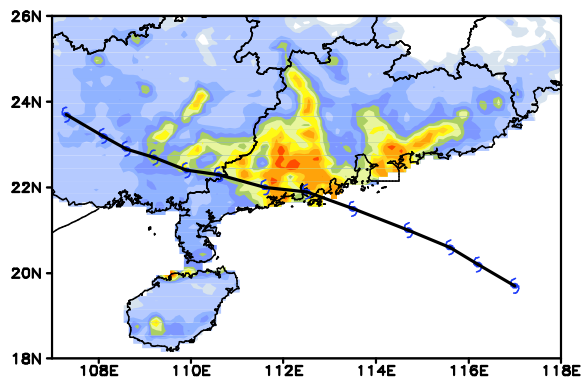


图 1 2018 年 9 月 16 日 02 时至 17 日 14 时的
台风路径和累积降雨量
(自动站与 CMORPH 融合降水产品, 单位: mm)



图 2 数值模拟的三重嵌套区域

第二种方案(简称 pblh)认为地面阵风是由边界层顶的动量混合下传而形成,美国基于 WRF 模式的业务系统中常采用这种方案:

$$G=U_{10m}+(U_{BL_top}-U_{10m})(1.0-MIN(0.5,Z_{BL_top}/2000)) \quad (2)$$

其中 U_{BL_top} 为边界层顶的风速, Z_{BL_top} 为边界层的高度。

第三种方案(简称 tke)认为湍流动能代表了瞬时风场相对于平均风场的偏差,阵风和大气边界层的湍流直接相关^[6,7],MYNN 边界层方案中增加了边界层湍流动能的预报方程,可直接输出湍流动能^[9,10]:

$$G=U_{10m}+3\sqrt{TKE} \quad (3)$$

其中 TKE 为边界层平均湍流动能。

第四种方案(简称 factor)使用阵风因子来计算阵风,简单地认为阵风和平均风速之间具有简单的线性关系:

$$G=K \times U_{10m} \quad (4)$$

其中 K 为阵风系数。

第五种方案是在第一种方案的基础上,同时考虑深对流过程对阵风的影响,使用低层的垂直风切

变来参数化对流阵风^[11](简称 conv):

$$G=U_{10m}+C \times u_* + \alpha \times \max(0, U_{850}-U_{950}) \quad (5)$$

其中 α 为可调混合参数,本文取值 0.6, U_{850} 和 U_{950} 分别为 850hPa 和 950hPa 的风速。

3 数值模拟结果分析

3.1 路径和强度变化

图 3 (a) 是 9 月 15 日 20 时至 17 日 14 日 d02 区域模拟的台风路径与实况的比较。可以看到,试验基本模拟出了台风向西北方向移动的过程,但路径整体偏西,登陆时间比实况偏晚了大约 3h。试验基本模拟出了台风强度在登陆以前基本维持和登陆以后逐渐减弱的过程,其中模拟的最低海平面气压在 16 日 14 时以前比实况偏高,14 时后偏低,平均误差为 14.5hPa(图 3b)。模拟的地面最大风速在 16 日 17 时之前比实况偏小,在 16 日 17 时至 17 日 14 时之间非常接近,平均误差为 $5.4m \cdot s^{-1}$ (图 3c)。总体而言,模拟的台风强度与实况相差不大,在登陆之前略偏弱。

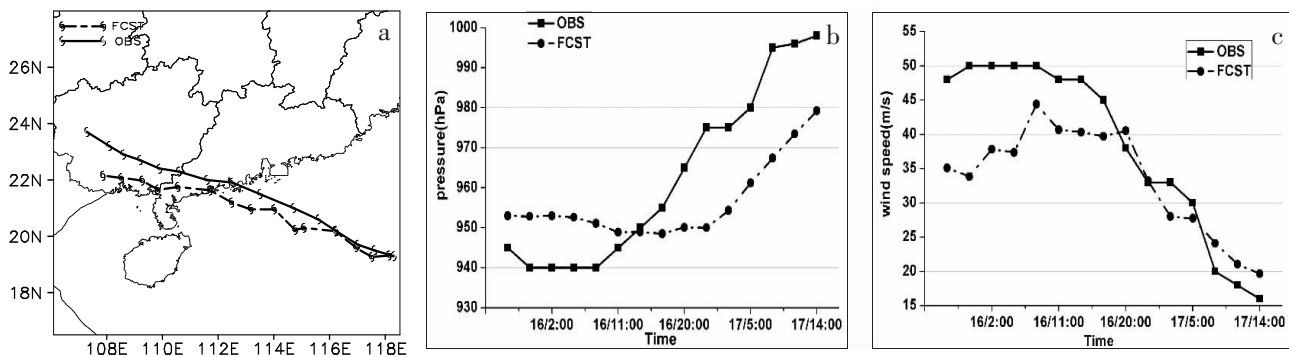


图 3 9 月 15 日 20 时至 17 日 14 日实况和模拟的台风路径图(a)、台风最低海平面气压(b,单位:hPa)和最大地面风速(c,单位:m/s),时间间隔 3h

3.2 台风过程风场特征分析

图 4(a)是 16 日 17 时模拟的地面 10m 风场,可以看到风速从台风中心向外是一个先增大后减小的分布形态,最大风速区出现在距离台风中心大约 50–100km 的位置上。珠海机场离大风区最近因而风速最大,广州和深圳机场受外围的东北气流影响。沿着 16 日 17 时台风中心作南北方向水平风速和湍流动能的垂直剖面(图 4b),发现在台风环流中最大风速区出现在近地面附近,风速从低层到高层是一个减小的过程。湍流动能的大值区主要集中在 1.5km 以下的边界层内,且不一定风速大的区域湍流动能

就大,大值区出现在 $22^{\circ}N \sim 23.5^{\circ}N$ 的陆地区域,这可能与陆地的下垫面粗糙度更大有关。

图 5(a)、(b)和(c)分别是广州、深圳和珠海机场 9 月 15 日 20 时至 17 日 20 日模拟的平均风速及机场自动观测站探测的平均风速和阵风的大小,模拟的机场风速由离机场最近的四个格点经双线性插值到机场位置后获得。可以看到,整体而言 3 个机场观测和模拟的平均风速变化趋势非常相似,都是一个先增大后减小的过程,开始减弱的时间都是在台风登陆的时间附近。整个模拟时段的平均误差分别为 $2.1m \cdot s^{-1}$ 、 $2.0m \cdot s^{-1}$ 和 $3m \cdot s^{-1}$,深圳机场的模拟效

果最好, 说明高分辨率的 WRF 模式有较好的直接预报平均风速的能力。广州机场观测的最大平均风速是 $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 出现在台风登陆前 2h, 模拟的最大平均风速是 $14.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 比实况偏小, 出现时间也比观测晚两个小时, 这可能与模拟的台风登陆时间偏晚有关。深圳机场的观测最大平均风速是 $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 模拟的是 $18.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 两者非常接近。珠海机场的观测最大平均风速是 $25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 模拟的是 $31\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 比实况偏大。由于模式直接输出的风速大小是模拟时间步长和空间格点的平均, 相比于实况的阵风大小都明显偏小, 其发生的原理也与阵风不同, 因此不适合直接用于做阵风的预报。

图 5(d) 是广州、深圳和珠海机场在这次台风过程中的实况阵风因子, 本文将阵风因子定义为持续

3s 的最大风速与 10min 平均风速的比值, 它与大气稳定性、下垫面类型、湍流强度等因素有关^[12]。从图中可以看到 3 个机场的阵风因子范围在 1.3–1.7 之间, 广州机场的平均阵风因子是 1.45, 深圳机场是 1.51, 珠海机场是 1.46, 比较试验中的方案四(factor)将使用此平均阵风因子。整体而言随着平均风速的增大, 阵风因子有减小的趋势。Tyner et al^[13]分析了多个影响美国东海岸的台风个例, 计算出的平均阵风因子也在 1.5 左右。

3.3 阵风预报算法与实况的比较分析

对广州机场而言, friction、pblh 和 conv 方案明显过度预估了机场阵风的大小, 最大阵风偏大较多。Tke 和 faction 方案模拟的阵风大小和变化趋势与实况比较接近。对深圳机场的阵风模拟, 除了 pblh 方

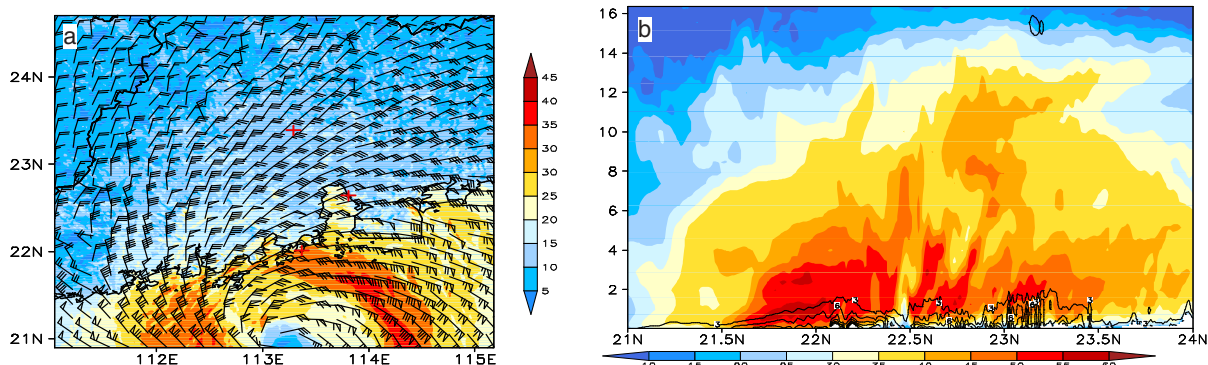


图 4 9月16日17时模拟的地面10m风场(a, 填色区为风速大小, 单位 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), b, 沿台风中心南北向的水平风速大小(填色区)和湍流动能(等值线)的垂直剖面

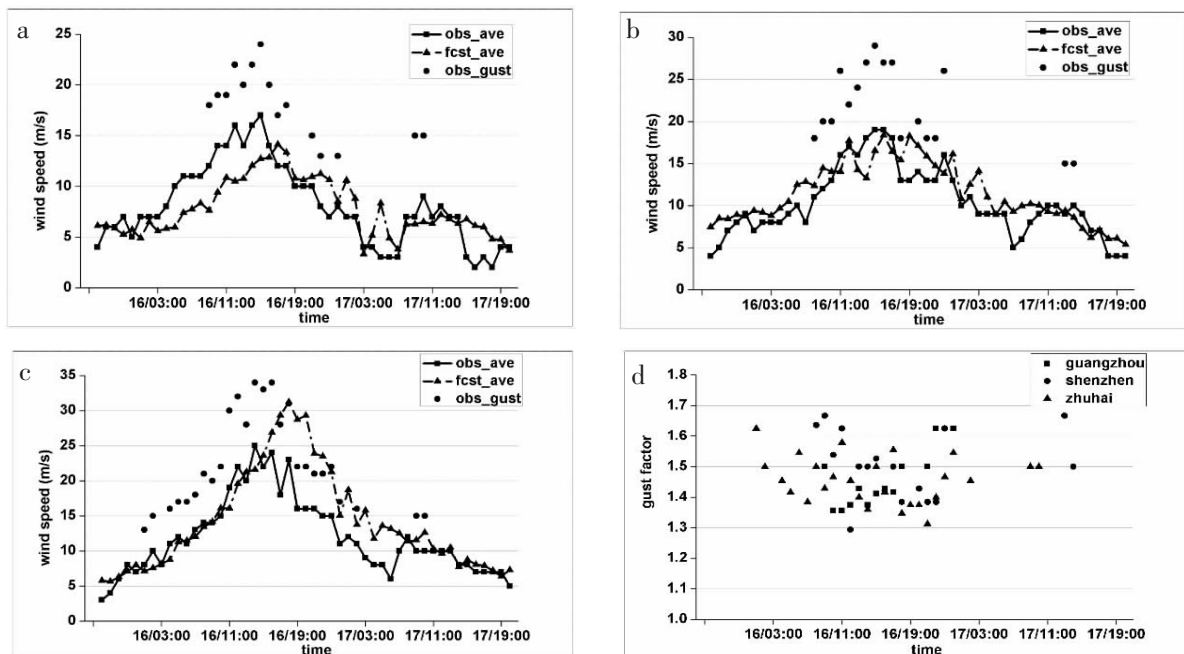


图 5 9月15日20时至17日20时观测和模拟的机场平均风速及实况阵风(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 时间间隔 1h)
(a)广州机场、(b)深圳机场、(c)珠海机场; (d)广州、深圳和珠海机场的阵风因子

案模拟明显偏大以外,其他4种方案模拟结果相差不大,与实况比较接近,平均误差都在 $3.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。5种方案模拟的珠海机场的阵风相比实况偏大较多,这可能和珠海机场的平均风速模拟偏大有关。

比较5种方案对阵风的预报效果(表1),选取模拟时段内实况出现了阵风的时刻求平均误差,总体而言 tke 方案对三个机场的模拟误差都最小,效果最好,总平均预报误差为 $3.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;其次是 factor 方案,平均误差 $4.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;pblh 和 conv 方案误差最大。可见,主要考虑边界层湍流动能的 tke 方案最适合预报台风天气过程中产生的地面阵风大小,物理过程也最清晰。许多观测研究也表明湍流强度与台风过程中的阵风因子有很好的对应关系^[14,15]。conv 方案在这次过程表现相对较差,说明台风过程产生的阵风主要与自身的动量有关,和对流的直接关系不大,在台风外围没有降水的时候机场实况也出现了较大阵风也说明了这点。pblh 方案的效果不好可能是因为该方案描述的物理过程不太适合台风天气的特点。

表1 珠三角机场阵风预报的平均误差大小(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

机场	friction	pblh	tke	factor	conv
广州	4.4	7.0	3.2	3.7	8.2
深圳	3.5	6.5	3.4	3.5	3.6
珠海	7.9	8.3	5.1	6.0	9.7
总平均	5.3	7.3	3.9	4.4	7.2

4 结论

利用 WRF 中尺度模式对 1822 号台风“山竹”的登陆过程进行数值模拟试验,比较分析不同的阵风参数化方法在机场大风预报中的效果,主要结论如下:

(1) 试验基本模拟出了台风的路径和强度变化过程,模拟的珠三角机场平均风速大小和变化趋势与观测非常接近。

(2) 台风地面最大风速区出现在距离台风中心大约 50–100km 的位置上,垂直方向上风速从低层到高层逐渐减小,湍流动能的大值区集中在 1.5km 以下的边界层内。

(3) 台风登陆过程中广州、深圳和珠海机场的平均阵风因子分别为 1.45、1.51 和 1.46,且随着平均风速的增大,阵风因子有减小的趋势。

(4) 基于湍流动能的阵风参数化方案在珠三角

机场阵风预报中效果最好,平均预报误差只有 3.9m/s ,可以考虑应用到以后台风天气过程机场阵风的业务预报中。

本文仅针对台风个例进行了分析,所得结论未必具有普适性,后续还需要更多台风个例的验证,增加结论的可靠性。

参考文献:

- [1] 洪展,胡勇林,梁毅进.强台风“黑格比”造成桂东南大风浅析[J].气象研究与应用,2012,33(1):13–15.
- [2] 潘杰丽,张雪波,潘静,等.1213号台风“启德”造成的大风及强降水浅析[J].气象研究与应用,2012,33(S2):40–41.
- [3] 周福,蒋璐璐,涂小萍,等.浙江省几种灾害性大风近地面阵风系数特征[J].应用气象学报,2017,28(1):119–128.
- [4] 胡波.阵风因子与大气边界层要素的关系及预报试验[J].气象科技,2019,47(2):282–288.
- [5] Brasseur,O.Development and application of a physical approach to estimating wind gusts [J]. Monthly Weather Review, 2001, 129(1):5–25.
- [6] Schreur, B. W. and Geertsema, G.Theory for a TKE based parameterization of wind gusts, HIRLAM newsletter, Cite-seer, 2008,54:177–188.
- [7] Kurbatova, Maria & Rubinstein, Konstantin &Gubenko, Inna &Kurbatov,Grigory. Comparison of seven wind gust parameterizations over the European part of Russia.Advances in Science and Research,2018,15:251–255.
- [8] 李亚春,武金岗,谢志清,等.不同强风样本湍流特性参数的计算分析[J].应用气象学报,2008,19(1):28–33.
- [9] Mellor,G. and Yamada,T. Developmentof a turbulence closure model for geophysical fluid problems.Rev.Geophys. Space Phys,1982,20:851–875.
- [10] Nakanishi M, Niino H. Development of an improved turbulence closure model for the atmospheric boundary layer[J]. J. Meteor. Soc. Japan,2009,87(5):895–912.
- [11] Parametrization of convective gusts. Meteorology section of ECMWF Newsletter, No. 119 – Spring 2009, pp: 15–18.
- [12] 黄世成,周嘉陵,王咏青,等.两次台风过程近地层湍流度和阵风因子分析[J].气象科学,2009, 29(4):454–460.
- [13] Tyner B,Aiyyer A,Blaes J,et al. An examination of wind decay,sustained wind Speed forecasts,and gust gactors for recent tropical cyclones in the Mid-Atlantic region of the United States[J]. Weather and Forecasting,2015,30(1):153–176.
- [14] 李波,张星灿,杨庆山,等.台风“苏力”近地风场脉动特性实测研究[J].建筑结构学报,2015,36(4):99–104.
- [15] 肖辉,万齐林,刘显通,等.台风“妮妲”(1604)登陆期间近地层风特性分析[J].山东气象,2017,47(2):32–50.