

杨正卿, 刘聪, 银燕. 苏通大桥桥位江面风速的数值试验. 气象科学, 2010, 30 (2): 193-201. Yang Zhengqing, Liu Cong, Yin Yan Numerical experiment of the wind velocity over Sutong highway bridge. Scientia Meteorologica Sinica, 2010, 30 (2): 193-201.

苏通大桥桥位江面风速的数值试验

杨正卿¹ 刘聪² 银燕¹

(1 南京信息工程大学 大气物理学院, 南京 210044) (2 江苏省气象台, 南京 210008)

摘要 用 WRF 中尺度模式对苏通大桥桥位江面的风速进行了数值模拟。在修改了模式自带的静态地形数据后模拟效果较修改前有所改善。并发现在对天气系统有较准确模拟的情况下模式对桥位江面最大风速的模拟也较为精确, 反之结果相差较多。挑选了其中两个个例并使用修改过静态地形数据的模式分别对地形和一些物理方案作敏感性试验, 发现各种因素对模拟结果都有着不同程度的影响, 起决定性作用的是水陆分布; 在没有强对流天气系统的情况下各种微物理参数化方案对模拟结果均不产生明显影响; 模拟时需加入长短波辐射参数化和边界层参数化方案, 并且其中 YSU 边界层参数化方案的模拟结果最为理想。在缺乏江面风观测数据的时段里模式对江面风速的模拟结果具有一定的参考价值。

关键词 风速 公路大桥 敏感性试验

分类号 P425.65 **文献标识码** A

Numerical experiment of the wind velocity over Sutong highway bridge

Yang Zhengqing¹ Liu Cong² Yin Yan¹

(1 School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

(2 Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008, China)

Abstract The wind velocity over Sutong highway bridge was simulated using the mesoscale model WRF in this paper. The initial static data used by the model was modified to improve the results of simulation of wind velocity over Sutong highway bridge. While the weather systems were simulated well and truly by the model, the maximum wind velocity over Sutong highway bridge could also be simulated accurately. Two examples were chosen to conduct sensitivity experiments and we have found that it is the water-land distribution that plays a crucial role to form the unique wind velocity distribution in this region. When there is no severe convection weather system, none of the microphysics parameterization processes has obvious effect on the simulation results. Long wave and short wave radiation parameterization and the boundary layer parameterization must be used when simulating the wind velocity, while the YSU boundary layer parameterization was the best for the simulation of the wind velocity over Sutong highway bridge.

Key words Wind velocity Highway bridge Sensitivity experiment

收稿日期: 2008-11-17; 修改稿日期: 2009-01-15

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAG04B00)

第一作者简介: 杨正卿 (1984-), 男, 江苏无锡, 硕士生, 主要从事中尺度数值模拟研究。young_skyfighter@gmail.com

通讯作者: 银燕, 教授, yinyan@nuist.edu.cn

引言

对宽阔水面风况的研究对提高江面风预报能力,减少风致海难事件,指导各类项目建设具有积极意义^[1]。我国的大跨桥梁建设发展迅猛,多种桥梁的跨径指标已经步入世界先进行列。现代大型桥梁的特点是大、轻、柔,对风的作用更为敏感,风荷载极有可能成为支配性荷载^[2]。我国是受强台风和强烈季节风经常侵袭的国家,为了防止像历史上苏格兰的泰(Tay)桥和美国塔科马(Tacoma)悬索桥那样的风毁事故重演,工程设计时必须考虑桥位水域的风况。桥面高度处风速的估计要科学、合理、客观,风速估计过高会造成逾亿元的损失,估计过低使工程风险增大,甚至造成不堪设想的后果^[3]。

张忠义等^[4-5]通过对桥位风速的观测,与邻近气象站的资料进行对比统计分析发现南京长江二桥桥位与小教场气象站的风速存在正相关。

苏通大桥桥位江面开阔,临近长江入海口,该处风力大、风期长、风况较为复杂。由于近地层的风受地理及地表状况的影响很大,桥位邻近气象站的风资料不能完全代表桥位风况,仅仅根据邻近气象站数据推算大桥的设计风速^[6-7]是欠科学的^[3],同时,采用根据气象站资料绘制的风压图用内插方法^[8-9]外推设计风速,因其分辨率粗糙,可能与桥位实际存在较大的差异,达不到苏通大桥的抗风设计要求^[3]。为此,2000年3月至2003年2月间,刘聪等^[3]在长江南通段(苏通大桥桥位附近)江面、江岸建立地面风观测站及80 m高的风梯度观测塔,开展了为期3年的与当地气象站风的同步观测。并用统计的方法得出了江面风速与南通、常熟两个地面测站风速的相关关系式,发现线性相关显著^[1]。桥位

风速具有较强的局地性,受特殊地理环境影响,风速明显大于气象站,在偏东及偏西北方向上尤其明显。江面平均风速为气象站的2倍左右。

这些研究对现行大跨径桥梁抗风设计风参数计算与采用中存在的问题,从统计学的角度,揭示出桥位风速的一些观测事实。但这些研究主要基于统计学理论,对桥位不同以往观测结论的事实形成的原因并不明了,重现期风速计算所依赖的桥位极值风速序列能否通过数值模拟方法得以重构?诸多研究表明^[10],数值模拟方法对较大格距的风场具有较好的重现能力,但对大桥建设所需的宽阔水面较小格距风的模拟重现效果如何?本文将针对上述问题,利用工程化试验所得到的桥位及气象站同步观测数据^[1,3],使用中尺度模式对苏通大桥桥位江面的风速进行数值模拟,并通过适当修改模式参数,开展敏感性试验,研究各种因素对模拟结果的影响程度,试图通过分析提高模式的模拟能力,为今后的数值方法重构桥位极值风速序列提供参考。

1 模式简介

WRF(The Weather Research and Forecasting)模式系统是由美国研究、业务及大学的科学家共同参与开发研究的新一代中尺度预报模式和同化系统^[11],集成了迄今为止在中尺度方面的研究成果,对中尺度对流系统、气象要素等的模拟和实时预报性能较好^[12-17]。

表1给出了WRF V2.1.2物理方案的各种不同选择,它们来自MM5、Eta和RUC。

2 观测资料

2.1 观测站位置

刘聪等^[1,3]于2000年2月对长江南通段进行了

表1 WRF物理方案

Table 1 Physical options in WRF

微物理	积云对流	短波辐射	长波辐射	扰动	边界层	地面层	陆面模式
Kessler	Kain-Fritsch	Dudhia	RR TM	预报 TKE	YSU	Monin-Obukhov	热扩散
Lin	Betts-Miller-Janjic	Goddard	GFDL	Smagorinsky	MYJ	NCEP	RUC
WSM3	Grell-Devenyi	GFDL		稳定扩散	NCEP		NOAH
WSM5	Arakawa-Schubert				MRF		
Ferrier							
WSM6							
Thompson							
NCEP3							
NCEP5							

实地勘察,选定风速同步观测站点,测站建设及仪器安装符合有关规范。各测站位置分别为:

(1) 江面风测站位于通常汽渡与海仓汽渡之间的江面上,在苏通大桥桥位上游约 700 m 处。仪器安装在一固定高度的平台上,平台面积约 9 m^2 ,四周均为水面,风传感器高度为海拔 14.8 m (吴淞口),距平均水面 12.06 m。测站经纬度分别为 $31^\circ 46' 213 \text{ N}$ 和 $120^\circ 58' 247 \text{ E}$ 。

(2) 江岸风测站位于江面站东约 300 m 的南岸江滩上,为风梯度观测站,塔高 80 m,测站位于 $(31^\circ 45.566 \text{ N}, 120^\circ 58.822 \text{ E})$ 。风传感器安装在距塔身 4 m 的伸臂前端,安装高度分别为距地 10 m, 30 m, 50 m, 70 m, 80 m。

(3) 邻近气象站的风观测仪器安装在南通市、常熟市气象站内,安装位置与相应站的业务风观测仪器相同。南通市、常熟市气象站经纬度分别为 $(31^\circ 59 \text{ N}, 120^\circ 53 \text{ E})$ 和 $(31^\circ 41 \text{ N}, 120^\circ 46 \text{ E})$ 。

2.2 观测仪器

江面、江岸、南通市、常熟市各测站的测风仪器均采用准入气象业务系列的 EN₂型自动测风仪。该风仪主要指标为:

风速: $0 \sim 99.0 \text{ m/s}$,精度: 0.1 m/s ;风向: $0 \sim 360^\circ$,分辨率: 3° ;时钟日误差: $\pm 3 \text{ s/d}$ 。

2.3 同步观测时间和内容

同步观测时间: 2000年3月1日至2003年2月28日。

观测内容:逐日 24次正点 10 min 平均风速及风向;逐日 10 min 平均最大风速及风向、风时;逐日极大风速及风向、风时。

按照有关规定^[7,18-19],桥梁工程设计基本风速为工程处距地面 10 m 高度不同重现期的最大 10 min 平均风速。本文以江面风测站测得的距水面 12.06 m 的风速值按指数律推求得的距水面 10 m 高处的风速值作为苏通大桥桥位江面风速观测值。指数律由江岸风梯度观测塔观测所得数据进行拟合,得到的指数值为 0.118,相关系数为 0.966^[3]。

3 数值模拟

3.1 使用模式自带地形数据的模拟试验

模拟方案:模式模拟,中心经纬度为 31.817 N , 120.983 E ,东西向取 81 个格点,南北向取 61 个格点,水平格距为 2.5 km。垂直方向为 坐标,取 31 层,模式顶气压为 50 hPa。时间积分步长为 15 s。初始气象资料采用的是 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$; 6 h 一次全球

分析资料。初始静态地形数据为模式自带的美国地质勘探局 (USGS) 的全球 30 秒地形高度数据, 30 秒顶部和底部土壤类型数据, 30 秒土地使用类型数据, 1 度土壤温度数据、植被覆盖数据和反照率数据等。微物理方案采用 Lin 等的方案 (水物质包括水汽、雨、雪、云水、冰和冰雹 6 种), 除此之外, 本次模拟中还采用了 RRTM 长波辐射方案、Dudhia 短波辐射方案、Monin-Obukhov 近地面层方案、NOAH 陆面过程方案、YSU 边界层参数化方案等, 模拟中未采用积云对流参数化方案。

模拟时间为 2000 年 3 月至 2001 年 2 月期间各月桥位处距水面 10 m 高度出现当月最大整点 10 min 平均风速的当天和前一天 (世界时, 下同)。1 h 输出一次模拟结果。由于初始资料的限制, 模拟了 10 个个例的桥位江面 10 m 高处风速值, 10 m 高风速模拟值由模式后处理系统的内部函数直接自行插值得到。由于有的个例分析资料有缺失, 所以其中有两个个例未能模拟满 48 h。由表 2 的模拟结果可见, 大多数模拟值已经与实际值接近, 总体风向基本一致, 但风速偏小, 个别个例与实际值有较大出入。

3.2 修改模式静态地形和水陆分布后的模拟实验

图 1 (a, b) 给出了模式自带的苏通大桥桥位附近地形高度和水陆分布情况, 与卫星拍摄的实际情况 (图 1e) 比较可发现, 模式自带的地形高度数据对桥位附近 (图中长江上的竖线处即为桥位) 到长江入海处一段的描绘过于粗糙且与实际不符, 即实际地形高度应该自西向东逐渐递减为 0, 但模式自带的地形数据使这一段长江成了几个坑状地形。最重要的是模式自带的水陆分布很不准确, 桥位处江面实际宽约 7 km (图 1e), 而模式自带地形江面在此处仅宽不到 3 km (图 1b), 这些差异都会对桥位江面风速的模拟结果产生影响。另外, 桥位以东的一个江上小岛已经与北岸连为一体, 亦需修改。修改后的模式地形数据见图 1c, d 所示, 其中从桥位附近到长江入海处的地形高度已经由西到东平滑过渡到 0, 桥位附近江面宽度也扩至实际宽度, 并使江上小岛与北岸连接。由于定义下垫面的变量有很多, 分别为 USGS 提供的土地分类情况、水体 陆面标志、主导土地使用种类、标准数字高程地面高度、平均地形高度、陆地最大雪面反照率、顶层主导土壤类型数据、底层主导土壤类型数据、24 种土地使用分类、16 种顶层土壤类型分类、16 种底层土壤类型分类、12

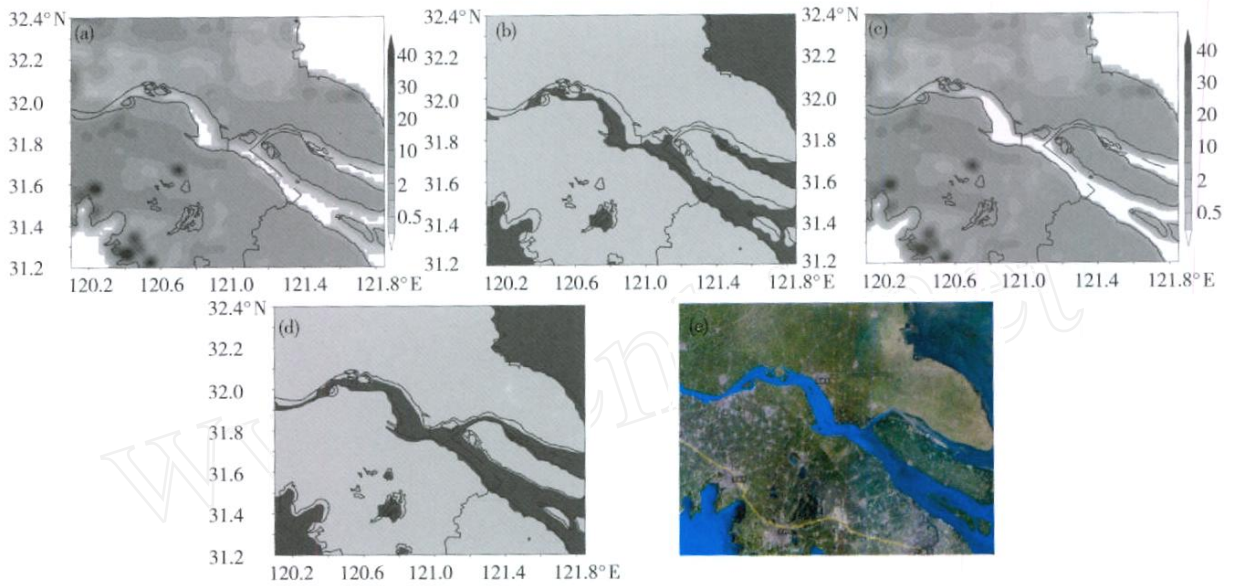


图 1 模式地形高度 (m)和水陆分布修改前后的比较

(a)模式自带地形高度;(b)模式自带水陆分布;(c)修改后的地形高度;(d)修改后的水陆分布;(e)实际情况

Fig 1 The comparisons of the terrain height (unit m) and land-water distribution before and after modification (a) the original terrain height; (b) the original land-water distribution; (c) the modified terrain height; (d) the modified land-water distribution; (e) the real photo

个月的陆地植被分类、年平均土壤温度、12个月的气候学反照率、地形分类指数、年最大植被分类和年最小植被分类等,所以,一旦水陆分布改变,所有从陆地改为水体的格点的各相关变量的值均要由原先定义陆地特征的变量值修改为定义水体特征的变量值,反之亦然。图中某些区域模式静态数据与地图底图不相吻合是由于在此次模拟试验中模式采用的地图投影计算方法与绘图软件存在差异所致。修改了模式静态地形和水陆分布数据后,气象要素方便插值到新的静态数据场中来作数值模拟试验。

表 2 给出了在其他条件不变的情况下,修改地形数据前后桥位江面最大风速模拟结果的比较。从该表可发现,与实测值比较,除了 2000年 3月的个例,其他各个个例的模拟效果均较修改前有不同程度的改善,所以,总体上修改后的模式模拟效果要更好,说明对于苏通长江公路大桥桥位江面风速的模拟,将模式自带地形数据修改成更符合实际情况的数据是有必要的。另外也注意到,模式对桥位风速的模拟总体上较实际值偏小,并以 2000年 3、6、7和 8月这 4个个例最为显著,模拟的最大风速值比实

表 2 修改模式自带地形数据修改前后桥位江面最大风速模拟结果比较

Table 2 The comparison of the simulated maximum wind velocity at the bridge location before and after modifying the static data in the model

模拟时间	修改前		修改后		实际	
	模拟最大风速 / (m · s ⁻¹)	风向	模拟最大风速 / (m · s ⁻¹)	风向	最大风速 / (m · s ⁻¹)	风向
2000-03-27T00—29T00	10.1	NNW	10	NNW	13.4	NW
2000-04-09T00—11T00	12.8	N	13.5	N	13.1	N
2000-05-14T00—16T00	10.1	E	10.2	E	10.5	E
2000-06-07T00—09T00	8.2	WNW	8.5	WNW	11.7	NW
2000-07-09T00—11T00	9	E	9	E	12.2	NW
2000-08-30T00—09-01T00	10.1	N	11.1	N	14.3	NW
2000-09-12T00—13T06	14.4	NNE	14	NNE	14.1	NNE
2000-10-11T00—13T00	12	NNE	12.3	NNE	12.7	NNE
2001-01-27T00—29T00	11.9	NW	12	NW	12.2	NW
2001-02-12T00—13T00	11.9	ENE	12.1	ENE	12.9	ENE

际值小约 22% ~ 27%。

对比模式模拟的桥位江面最大风速及南通、常熟、海门三个邻近气象站的最大风速和实际观测值(图 2a, b),可见模式基本上模拟出了桥位风速大于三个邻近气象站风速的情况。从模拟结果上来看,模拟的桥位风速与周边三个气象站的风速呈明显的正相关。刘聪等^[1,3]通过对桥位和气象站风速 3 a 不间断同步观测,并对全部样本作统计分析后发现江面和南通、常熟两个气象站的日最大风速具有显著的线性相关,相关系数均在 0.7 以上。本文的模拟结果与刘聪等的统计分析结论一致。对于这十个个例,实际桥位江面最大风速平均值为 12.7 m/s,三个邻近气象站最大风速平均值分别为:南通 7.8 m/s、常熟 7.9 m/s 和海门 9.3 m/s,而模拟的桥位江面最大风速为 11.3 m/s、南通 9 m/s、常熟 9.3 m/s、海门 9.5 m/s。实际南通、常熟和海门最大风速的平均值分别比桥位小 38.6%、37.8% 和 26.8%;而模拟的南通、常熟和海门最大风速的平均值分别比桥位的模拟值小 20%、17.7% 和 15.9%,可见模拟的桥位江面风速与邻近气象站风速的差值比实际情况要

小。近地面风速与地理环境及地面粗糙度有关,水面摩擦系数小于地面,水面上的风速大于地面风速,水面越宽(长),造成的增风效果越明显,这是风速与地理条件的一般规律,可见模式对该区域江面的增风效果模拟得还不够。

桥位最大风速的模拟结果(图 2c)能大致反映这十个月桥位最大风速的变化趋势,除 2000 年 3、6、7 和 8 月 4 个个例模拟值与实际值有 22% ~ 27% 偏差,其余 6 个个例都取得了较理想的模拟效果。从对于南通、常熟和海门最大风速的模拟(图 2d, e, f)可以看出,三个气象站的模拟值总体上均比实际值略大,这是由于气象站位于城市中,模式对三个气象站的局地地面粗糙度没有足够精确的描述造成的,但模拟值仍能一定程度上反映三个气象站的最大风速在这十个月的变化趋势。

分析桥位江面最大风速的模拟值与实际值的偏差(图 2c)发现,2000 年 3、6、7 和 8 月的个例模拟值与实际值偏差较大,另外由表 2 亦可看出,对于风速模拟效果不理想的这 4 个个例,模式对风向的模拟也不准确,而对于风速模拟效果较好的个例,模式模

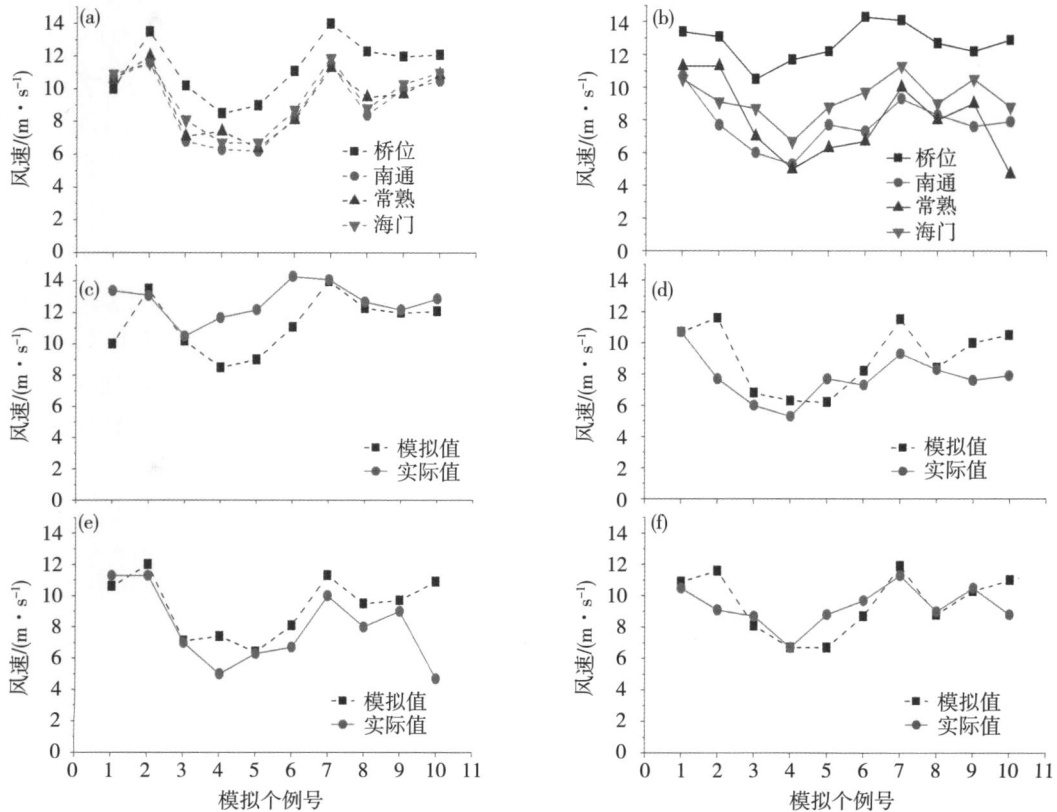


图 2 桥位江面和三个邻近气象站最大风速模拟结果与实际值的比较

(a)模拟风速;(b)实际风速;(c)桥位江面风速;(d)南通江面风速;(e)常熟江面风速;(f)海门江面风速

Fig 2 The comparisons between the simulated wind velocity at the bridge location and three weather stations nearby and the real value: (a) the simulated wind velocity; (b) the real wind velocity; (c) wind velocity at the bridge location; (d) wind velocity at Nantong weather station; (e) wind velocity at Changshu weather station; (f) wind velocity at Haimeng weather station

拟的风向也与实际风向比较一致。查阅历史资料发现,在这四个个例的模拟时段里,桥位附近均有 10~20 mm 的降水,而模式在这四个时段在桥位附近区域均只模拟出了 5 mm 以下的降水。因此可以认为模式对这四个个例的最大风速模拟效果不理想是由于对当时的天气系统模拟不够准确和充分造成的,由此看来,模式对降水系统模拟的误差影响了对风场模拟的准确性。

从 10 个个例模拟的整体效果来看,模式对苏通大桥桥位风速的模拟结果具有一定的参考价值,特别是在天气系统模拟较好的情况下,模式模拟的最大风速值与实际值的偏差最大不超过 6.2%。所以如果模式对天气系统有了准确的模拟,那么它模拟的桥位江面最大风速值是可信的,可以作为缺乏江面风观测数据的时段里桥位江面风速的参考值。在模式未能对降水天气系统进行准确模拟的情况下,其对于和强对流天气相联系的瞬时强风的模拟也就不够准确和充分,因而在本文的试验中模拟的桥位最大风速要比实际值小 25% 左右,由这个规律也可粗略地推算实际桥位江面最大风速值可能的范围。注意到对天气系统模拟不够准确的 4 个个例中有 3 个个例是在夏季,北半球中纬度地区夏季大气不稳定性大、对流活跃、可预报性较冬季差^[20],模式出现漏报的可能性也比较大。另外,提供给模式的初始场相对被模拟对象过于粗糙,而由于计算机能力的限制需要考虑到效率问题,所以模拟区域不宜取得太大,区域覆盖的 NCEP 全球分析资料格点数较少,这也是导致一些个例模拟结果不理想的原因之一。

3.3 敏感性试验

3.3.1 水平格距的敏感性试验

在选定上述模拟方案中的水平格距之前,我们以 2000 年 3 月的个例在其他方案不变的情况下分别对 10、5、2.5、1 km 和嵌套 500 m 的水平格距作了比较试验。除嵌套 500 m 格距的方案外,模拟区域均为中心经纬度为 (31.817°N, 120.983°E)、东西向 200 km、南北向 150 km)。嵌套 500 m 格距方案是以 2.5 km 格距方案的模拟区域 (中心经纬度 31.817°N, 120.983°E, 东西向 81 个格点,南北向 61 个格点) 为母网格;与母区域同中心、同格点数、格距 500 m 的区域为子网格。

表 3 给出了各种格距方案的模拟结果比较。可以看出,取 10 km 的格距时风速的模拟结果偏小,这是由于模式的格点值是对物理量在网格空间范围和积分步长时间范围内的平均,格距取得越大,对物理

量的描述就越粗糙,在模拟区域内物理量的峰值就越小,所以此处模拟的最大风速比其他以较细格距模拟出的风速值要小。当格距小于 5 km 时,模拟结果对格距就没有了明显的敏感性,这是由于在本次模拟中受初始分析资料分辨率和模式中静态地形数据精度的限制,当格距小到一定程度时就无法通过缩小格距来提高模拟精度了。所以,考虑到效率与效果兼顾,最终选取了 2.5 km 的水平格距。

表 3 选取不同格距时模式对 2000 年 3 月桥位江面最大风速的模拟结果比较 (m/s)

Table 3 The comparison of the simulated maximum wind velocity (unit: m/s) at the bridge location in the case of March, 2000 by using different grid distances

水平格距	10 km	5 km	2.5 km	1 km	嵌套 500 m
模拟风速值 / (m/s)	9.9	10.1	10.1	10.1	10.1

为了研究各种参数化方案以及其他物理过程对苏通大桥桥位江面风速模拟效果的影响,选取两个对桥位江面最大风速和天气系统均模拟较好的个例分别就地形、水陆差异、微物理参数化方案和边界层参数化方案等作敏感性试验。选取的个例为 2000 年 4 月 9 日 0 时—11 日 0 时和 2000 年 10 月 11 日 0 时—13 日 0 时,使用的是修改过初始静态地形数据的模式。

3.3.2 地形和水陆差异敏感性试验

为了了解地形高度对模拟结果的影响,我们将模拟区域的地形高度消减为 0。我们也将模式区域的下垫面全部设为水体来考察水陆分布对风场的影响。图 3a、b、c 分别给出了将地形高度削减为 0 后、模式区域下垫面全部为水体、以及未进行上述改变时模式模拟的 2000 年 4 月 9 日 0 时—11 日 0 时之间桥位江面最大风速出现时风场的分布。比较图 3a 和 c 可见,模拟区域内的风速分布并无明显变化,模式仍然模拟出了该区域风速分布的特点,即水体上方的风速要明显大于陆地上的风速;区域内风速大小的区分分界线与太湖的湖岸、长江的江岸和海岸线精确一致,同时,海面上的风速又大于长江和太湖上的风速。这是由于水面的粗糙度和摩擦系数比陆地要小得多,在宽阔无阻挡海面上风的增速效应比在江上和湖面上能更直接地表现出来,这也解释了在江面较宽阔的地方风速也相对更大。而将模拟区域全部改为水体后图 3b,模拟的风速的分布明显改变,整个大范围都成了风速的大值区,风速值也比实际值大得多。

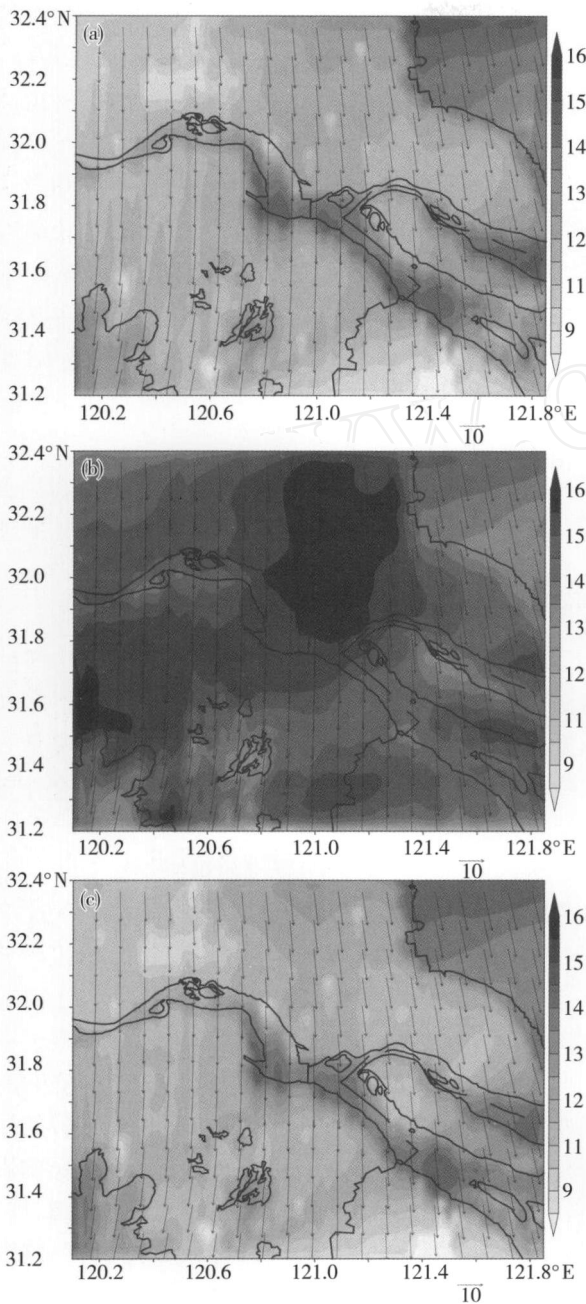


图3 2000年4月9日0时—11日0时模拟的最大风速出现时风场分布(单位:m/s)

(a) 0地形高度; (b) 全部为水体; (c) 原始地形

Fig 3 The simulated wind field (unit m/s) when the maximum simulated wind velocity appeared in the case of Apr 9—11, 2000

(a) zero terrain height; (b) all the domain is water; (c) the original terrain and land-water distribution

对2000年10月11日0时—13日0时个例的模拟也有类似的结果(图略)。可见,造成苏通大桥附近区域独特风速分布的决定性原因是水陆差异,在地势平坦且海拔很低的长江三角洲地区,风速模拟的结果对地形高度敏感性较弱。

3.3.3 微物理参数化方案敏感性试验

宏观动力学为云和降水的微物理过程提供了背

景条件,它对云质粒的浓度、初始谱及物理性质具有决定性的影响,同时云微物理过程对宏观动力作用也有强烈的反馈机制,云和降水质粒的增长、演变伴随产生相变潜热和水分输送,作为一种热源和热汇,强烈影响云体内外的空气运动,另外,降水质粒的蒸发和拖曳作用亦可以影响流场,甚至诱发下沉运动,促进云体消散。为了研究微物理过程对模拟桥位江面风速的影响,这里做了风速模拟结果对微物理参数化方案的敏感性试验。

表4为其他参数化方案不变,而采用不同微物理参数化方案时对上述两个个例最大风速的模拟结果。可以看出,采用不同的微物理参数化方案引起的桥位江面最大风速模拟结果的变化范围在5%以内,可见在模拟区域不存在强烈对流天气系统的条件下,微物理参数化方案对模拟桥位风速的影响不显著。采用Lin的方案模拟出的风速值相对最大。

表4 两个个例使用各种微物理参数化方案的模拟结果比较(单位:m/s)

Table 4 The comparison of the simulated wind velocity (unit m/s) by using different microphysics schemes in the two cases

	2000-04-09T00—11T00	2000-10-11T00—13T00
不使用微物理参数化	13.2	11.8
Kessler	13.3	11.7
Lin	13.5	12.3
WSM3	13	12
WSM5	13.3	12.1
Ferrier	13.3	12
WSM6	13.5	12.1
Thompson	13.5	12
NCEP3	13	12.1
NCEP5	13.3	12.1
实际值	13.1	12.7

3.3.4 边界层参数化方案敏感性试验

行星边界层是对流层下部直接受下垫面影响的大气层,是大气中重要的能量源和动量汇,其中的湍流垂直交换十分显著,主要物理过程包括:动量输送、热量输送、水汽输送、摩擦和地形影响等。它对于地气之间的动量、热量和水汽的交换具有十分重要的作用,因此在模式中对于边界层的描述是非常重要的。模拟试验^[21-23]表明,中尺度模式对边界层过程很敏感,首先是底层受到的影响较大,然后通过湍流、扩散及平流等过程影响更高层及更大范围的大气。WRF中的MRF方案和YSU方案均采用K闭合方法,MYJ方案采用的是湍流动能(TKE)闭合

方案,该方案用 TKE的预测量来定义扩散系数,这样就必须增加 TKE的预报方程。为了研究边界层物理过程对模拟桥位江面风速的影响,这里做了风速模拟结果对边界层参数化方案的敏感性试验。

表 5 为以上两个个例其他参数化方案不变,而采用不同边界层参数化方案时对上述两个个例桥位江面最大风速的模拟结果。分析发现,若不采用边界层参数化方案,模式模拟的整个区域的风速分布类似于把模拟区域全部改为水体的模拟结果,整个模拟区域呈现大范围的风速大值,未能模拟出水陆差异对风速分布的显著影响。MYJ 方案模拟出的风速值要略小于 YSU 方案和 MRF 方案模拟的结果。相对来说,YSU 方案和 MRF 方案模拟的结果都较为接近实际值且彼此的差异很小。参考南通,常熟和海门三个邻近气象站的实测数据,YSU 边界层参数化方案对整个区域的风场分布模拟较 MRF 方案更接近实际情况。

表 5 两个个例使用各种边界层参数化方案的模拟结果比较(单位:m/s)

Table 5 The comparison of the simulated wind velocity (unit m/s) by using different boundary layer schemes in the two cases

	无边界层 参数化方案	YSU 方案	MYJ 方案	MRF 方案	实际值
2000-04-09T00—11T00	16.3	13.5	12.3	13.7	13.1
2000-10-11T00—13T00	16	12.3	11.3	12.8	12.7

4 小结与讨论

4.1 小结

本文利用工程化试验所得到的桥位及气象站同步观测数据,使用中尺度模式对苏通大桥桥位江面的风速进行了数值模拟,并通过适当修改模式参数,开展敏感性试验。经数值模拟和敏感性试验可以看出:

(1)修改模式自带的的海陆分布等初始静态数据使之更符合实际情况后,模式对苏通大桥桥位江面 10m 高处最大风速的模拟效果有所改善。

(2)经过 10 个个例的模拟,模式模拟出了桥位附近区域水面风速大于陆地上风速的特点,可认为模式对苏通大桥桥位风速的模拟结果具有一定的参考价值,模式在天气较好的情况下模拟的最大风速值已较为精确,与实际值的偏差较小。在模式未能对降水天气系统有准确模拟的情况下模拟的桥位最

大风速比实际值明显要小。

(3)通过地形高度和水陆差异的敏感性试验,发现造成苏通大桥附近区域独特风速分布的主要原因是水陆差异,在地势平坦且海拔很低的长江三角洲地区,风速模拟的结果对地形高度敏感性较弱。

(4)通过微物理参数化方案和边界层参数化方案的敏感性试验,发现在没有强对流的天气条件下桥位最大风速的模拟结果对微物理参数化过程敏感性较弱;采用 MYJ 边界层方案的风速模拟结果略偏小,采用 YSU 边界层参数化的模拟结果最接近实际值。

(5)不同格距对模拟结果的影响敏感性试验表明,格距小至 5 km 后,模拟效果差异并不显著,采用嵌套方案对改善模拟结果作用不大。

4.2 讨论

从分析看,对于模拟苏通大桥桥位江面这样的宽阔水面最大风速值,修改模式自带的的海陆分布等初始静态数据使之更符合实际情况是有必要的,因为造成苏通大桥附近区域独特风速分布的决定性原因是水陆差异。

模式对苏通大桥桥位风速的模拟结果具有一定的参考价值,在模式对天气系统模拟较好的情况下模拟的最大风速值已较为精确,所以如果模式对天气系统有了准确的模拟,那么它模拟的桥位江面最大风速值是可信的,可以作为缺乏江面风观测数据的时段里桥位风速的参考值。在模式未能对当时的降水天气系统有准确和充分模拟的情况下模拟的桥位最大风速要比实际值小 25% 左右,由这个规律也可粗略地推算实际桥位最大风速值可能的范围。同时,注意到对天气系统模拟不够准确的四个个例中有三个个例是在夏季,北半球中纬度地区夏季大气可预报性较冬季差,模式出现漏报的可能性也增大了。另外,提供给模式的初始场相对被模拟对象过于粗糙,而由于计算机能力的限制需要考虑到效率问题,所以模拟区域不宜取得太大,区域覆盖的 NCEP 全球分析资料格点数较少,这也是导致一些个例模拟结果不理想的原因之一。

参考文献

- [1] 刘聪,黄世成,严迎春.长江南通段江面风的观测分析.自然灾害学报,2005,14(4):1-7.
- [2] 鲍卫刚.《公路桥梁抗风设计指南》介绍.公路,1997,(1):22-28.
- [3] 刘聪,黄世成,朱安祥,等.苏通长江公路大桥设计风速的计算

- 与分析. 应用气象学报, 2006, 17(1): 44-51.
- [4] 张忠义,刘聪,居为民. 南京长江第二大桥桥位风速观测及设计风速的计算. 气象科学, 2000, 20(2): 200-205.
- [5] 胡文辉,阮静. 润扬长江公路大桥桥位风速观测及设计风速计算. 公共交通科技, 2004, 21(2): 41-44.
- [6] 陈正洪,向玉春,杨宏青,等. 深圳湾公路大桥设计风速的推算. 应用气象学报, 2004, 15(2): 226-233.
- [7] 陈正洪,杨宏青,向玉春,等. 武汉阳逻长江公路大桥设计风速值的研究. 自然灾害学报, 2003, 12(4): 160-169.
- [8] 张相庭. 工程抗风设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998: 1-44, 185-208.
- [9] 中国建筑科学研究院. 建筑结构荷载规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002: 24-27, 70-116.
- [10] 苑海燕,杜继稳,侯建忠,等. “神舟六号”飞船着陆时段主着陆场区风场的数值模拟. 气象科学, 2008, 28(1): 56-61.
- [11] 章国才. 美国 WRF 模式的进展和应用前景. 气象, 2005, 30(12): 27-31.
- [12] 崔粉娥,王咏青,李勋. 2005年7月1-2日山西大暴雨中排熵指数的诊断分析. 南京气象学院学报, 2007, 30(6): 247-255.
- [13] 熊秋芬,胡江林,张耀存. 梅雨锋暴雨数值模拟中地形的作用. 气象科学, 2007, 27(6): 295-301.
- [14] 崔宜少,张丰启,李建华,等. 2005年山东半岛连续三次冷流暴雪过程的分析. 气象科学, 2008, 28(4): 395-401.
- [15] 宋巧云,魏凤英,许晨海. 淮河流域暴雨过程的数值模拟和诊断分析. 南京气象学院学报, 2006, 29(3): 342-347.
- [16] 沈新勇,明杰,方珂. 台风涡旋系统的波动性质及其数值模拟. 气象科学, 2007, 27(2): 770-781.
- [17] 王珏,沈新勇,寿绍文,等. 06·6福建大暴雨的数值模拟及复杂地形影响试验. 南京气象学院学报, 2008, 31(4): 546-554.
- [18] 项海帆,林志兴,鲍卫刚,等. 公路桥梁抗风设计指南. 北京: 人民交通出版社, 1996: 1-24; 68-88.
- [19] 中国建筑科学研究院. 建筑结构荷载规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002: 24-27; 70-116.
- [20] Eugenia Kalnay. Atmospheric modeling, data assimilation and predictability. Cambridge University Press, 2002: 22-25.
- [21] Giorgi F, Bates G T. Development of a second generation regional climate model (RegCM2), Part I: Boundary layer and radiative process. Mon Wea Rev., 1993, 121(10): 2794-2813.
- [22] Xu Liren, Zhao Ming. The influence of boundary layer parameterization schemes on mesoscale heavy rain system. Adv Atmos Sci, 2000, 17(3): 458-472.
- [23] Garratt J R. Sensitivity of climate simulations to land-surface and atmospheric boundary layer treatments-A review. J. Climate, 1993, 6(3): 419-449.