

海岛测站大风资料代表性的数值模型分析*

高山红 吴增茂

(青岛海洋大学物理海洋研究所, 青岛 266003)

提 要

对大风情形下实际海岛的风场结构进行数值模拟, 结果表明海岛测风明显受海岛地形的影响. 通常运用对数或指数风廓线公式, 对海岛测风资料作简单高度换算以得到海面 10 m 风速的订正方法一般是不合理的. 通过海岛测站观测值与模拟值的对比分析, 说明借助数值模拟寻求测风资料订正方法的必要性与可能性.

关键词: 海岛 风场结构 数值模拟 测风资料订正

引 言

海上测风资料获取困难, 为了将近岸陆地测风资料运用到海面, 许多研究者努力寻求两者之间的关系^[1~4]. 但受具体天气状况及离岸远近等诸多因素的影响^[2], 从这些关系所得到的不同季节的平均结果偏差较大, 运用范围和对象受到限制.

海岛测风资料具有年代久、定点性好、持续性长及质量高等优点, 但往往不能代表海面 10 m 处的风. 在资料使用中, 要么不加订正, 要么只是运用对数或指数风廓线公式作简单高度换算. 然而, 不同的天气状况、海岛的形状与大小以及海岛测站的拔海高度与位置共同决定了此订正绝不是一个简单的高度换算问题, 而是一个复杂的动力学问题.

本文利用数值模式来研究渤海海峡中的砣矶岛(38°10'N 120°46'E)与南长山岛(37°55'N 120°46'E)地形对其测站测风的影响^[5], 然后探讨对海岛测风资料的订正方法, 即寻求测站风速与海面 10 m 处风速的关系.

1 数值模式

1.1 模式的选择

采用追随地形坐标系下原始三维、流体静力的 Pielke 模式, 该模式模拟过崎岖地形上的强迫气流等^[6]. 本文研究对象属于中小尺度, 采用流体非静力模式可能更好. 但在大

* 国家“九五”重点科技攻关专题(96-922-03-03)及山东省自然科学基金(Y-97e03080)项目资助.

1998-04-10 收到, 1998-12-03 收到修改稿.

风情形下,只考虑地形机械作用而忽略热力作用,层结近似中性而忽略浮力,气压扰动主要为由于地形起伏而产生的动压扰动^[7].针对这种地形机械作用引起的非静力效应,Pielke(1972)^[8]提出一种非流体静力残差结合流体静力方程的准非流体静力方法来计算非流体静力气压梯度力,从而避免增加一个预报方程.Song等(1985)^[9]比较了几种残差方法,发现Pielke的残差方法对中性层结下的气压扰动给出了最精确的近似,并稍作改进.Jerome和Eugene(1988)^[7]引进Song等的残差方法,建立准非流体静力与流体静力的有限元模式对中性层结下起伏小地形上风速分布进行模拟,发现两者得到的解并没有质的区别,只是在数值上有很小的差异.

1.2 对模式的修正

为了更准确地计算海岛较陡地形处的气压,对Pielke模式原方程的水平动量方程与垂直静力方程加以修正,得到控制方程:

$$\frac{d\tilde{u}}{dt} = -\theta \frac{\partial p_{Ex}}{\partial X} + g \frac{(\sigma - s)}{s} \frac{\partial z_G}{\partial x} + \theta \frac{(\sigma - s)^2}{s^2} \frac{\partial z_G}{\partial x} \left[\frac{\partial z_G}{\partial x} \frac{\partial p_{Ex}}{\partial X} + \frac{\partial z_G}{\partial y} \frac{\partial p_{Ex}}{\partial Y} \right] + \tilde{f}_v \quad (1)$$

$$\frac{d\tilde{v}}{dt} = -\theta \frac{\partial p_{Ex}}{\partial Y} + g \frac{(\sigma - s)}{s} \frac{\partial z_G}{\partial y} + \theta \frac{(\sigma - s)^2}{s^2} \frac{\partial z_G}{\partial y} \left[\frac{\partial z_G}{\partial x} \frac{\partial p_{Ex}}{\partial X} + \frac{\partial z_G}{\partial y} \frac{\partial p_{Ex}}{\partial Y} \right] - \tilde{f}_u \quad (2)$$

$$\frac{\partial p_{Ex}}{\partial \sigma} = -\frac{g}{\theta} \frac{(s - z_G)}{s} + \frac{(s - \sigma)(s - z_G)}{s^2} \left[\frac{\partial z_G}{\partial x} \frac{\partial p_{Ex}}{\partial X} + \frac{\partial z_G}{\partial y} \frac{\partial p_{Ex}}{\partial Y} \right] \quad (3)$$

其中,引进追随地形坐标 $X = x, Y = y, \sigma = s \frac{z - z_G}{s - z_G}$, z_G 是地形高度, s 是模式顶高度; p_{Ex} 为无因次气压,即 Exner 函数; \tilde{u}, \tilde{v} 是追随地形坐标系下的水平速度.

式(1)、(2)右边第三项与式(3)右边第二项就是原Pielke模式所舍弃的所谓“小量项”,实际上是气压梯度项的一部分,在此称为地形非静力项.假定 $\frac{\partial z_G}{\partial x} = \frac{\partial z_G}{\partial y}, \frac{\partial p_{Ex}}{\partial X} = \frac{\partial p_{Ex}}{\partial Y}$, 则此项约是其它项的 $2\left(\frac{\partial z_G}{\partial x}\right)^2$ 倍.当倾角 $> 15^\circ, 2\left(\frac{\partial z_G}{\partial x}\right)^2 > 2 \times (0.27)^2 > 0.14$, 地形非静力项与其他项相比至少为一阶小量,不可舍弃.用叠代法求解式(3),由 $\frac{\partial p_{Ex}}{\partial \sigma} = -\frac{g}{\theta} \frac{(s - z_G)}{s}$ 给出 p_{Ex} 的初值.

水平与垂直方向都采用伸展网格.垂直分23层,模式顶取6000 m.水平面上,中央海岛地形区采用等距网格,离开此区域后用伸展网格.水平区域大约为 $70 \text{ km} \times 70 \text{ km}$,格点数为 81×81 .地形引入采用所谓“地壳运动法”^[10].假定初值场水平均一,只在垂直方向上有梯度,用一维动力初值化给出模式域的初始风场.

2 海岛风场结构模拟与结果分析

2.1 海岛风场结构模拟

砣矶岛、南长山岛大风多是受到黄、渤海大风天气过程的控制,多发频率风向为西北、北和东北,所以这些风向的大风个例是本文的研究对象.砣矶岛上大于等于8级大风日数多年平均为110.6天;南长山岛为66.6天^[5].图1利用1981年10~11月的逐时观测资

料¹⁾,将砣矶岛测站所有风速值 ≥ 13.0 m/s 的大风资料(共 34 次)加以平均,同时也将南长山岛、威海、烟台、成山头、海洋岛、大连、12 号平台、羊角沟、龙口等站相应时次的资料分别加以平均,绘出风速等值线分布.砣矶岛与南长山岛大风情况可略见一斑,它们的风速明显强于其它测站.

挑选两次较持续稳定的大风个例,即 1981 年 10 月 13 日 08:00(北京时,下同)NNE 大风与 10 月 23 日 20:00 NW 大风对砣矶岛与南长山岛的风场结构进行模拟,积分到稳定状

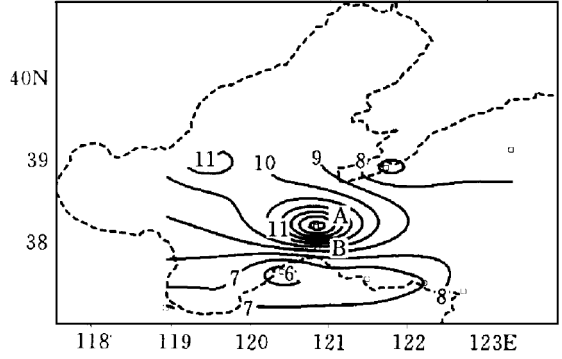


图 1 砣矶岛(A)与南长山岛(B)1981 年 10~11 月大风情况(风速单位 $m \cdot s^{-1}$)

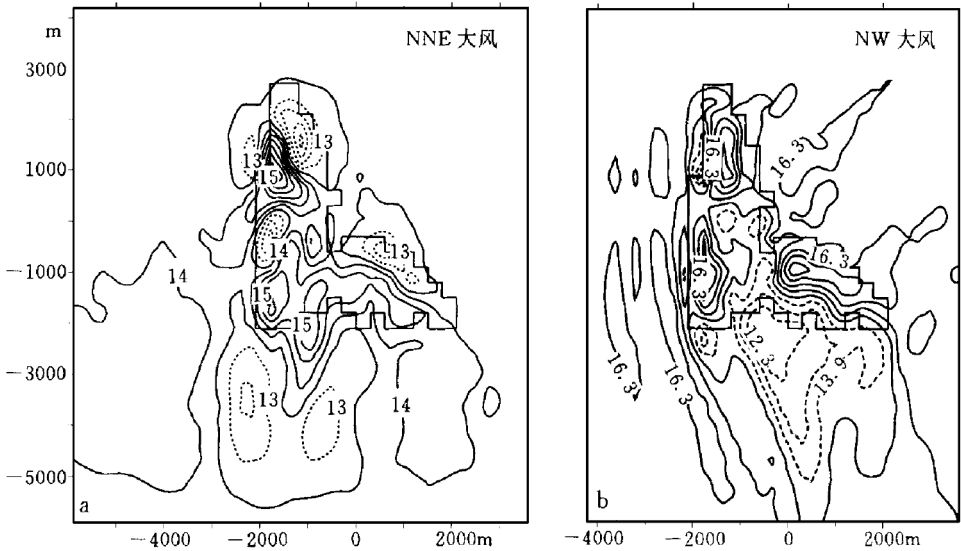


图 2 砣矶岛模拟的大风风场结构图($\sigma=10$ m 风速等值线分布;

横、纵坐标分别为 W-E 和 S-N 方向上的距离;不规则折线方框表示海岛轮廓,风速单位: $m \cdot s^{-1}$)

态.图 2 给出砣矶岛模拟的风场结构.从图 2a 和 2b 中,看到岛峰的迎风面气流明显地被阻挡及岛峰后面形成背风区域(虚线所示).图 2a 中一个显著的特点是岛南部两个岛峰之间的低凹处,体现出“狭管效应”;风速值($15 m \cdot s^{-1}$)达到西面高地形的风速值,甚至超过东面岛峰的风速值.然而此低凹处在图 2b 中却是小风速值,这是西北、西部高地形的阻挡

1) 探空资料、海岛站观测资料分别取自中央气象局提供的“中国高空气象记录月报”、黄渤海海区气象联防技术组编的“黄、渤海海区对比观测资料”(1979~1981).

造成的;南长山岛地形同样表现出气流在高大形的迎风面被阻挡,在其后形成背风区域的特性(图略)。

结果表明:数值模拟可以较清晰地勾画砵矶岛与南长山岛之类小岛的大风风场结构。

2.2 测站大风观测值与模拟值的对比分析

砵矶岛地形西高东低,测站在东南,其测风受NW大风影响;而南长山岛的测站在岛西面的一个尖角上,西北走向的高地形在测站以东,其测风受NE大风影响。图3给出了不同风向砵矶岛测站(海拔68m)与南长山岛测站(海拔40m)的平均风速比值玫瑰图。由图3可见,NE大风时,砵矶岛的风速是南长山岛的1.71倍,而NW大风时却为0.75倍,这显然是地形对测站测风影响的结果。

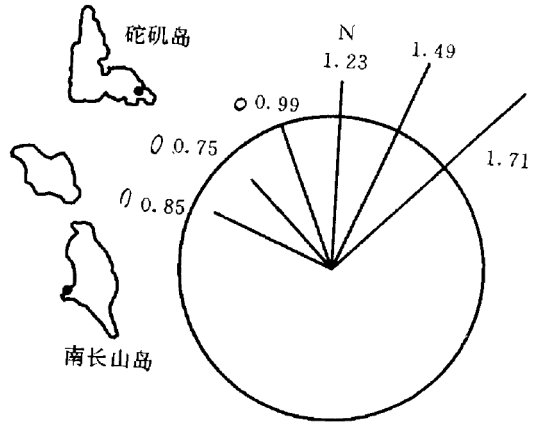


图3 砵矶岛与南长山岛平均风速比值玫瑰图

用对数风廓线公式: $u_{10} = u_z$

$\frac{\ln 10 - \ln z_0}{\ln z - \ln z_0}$ (z_0 取 $0.003 \text{ m}^{[11]}$) 和指数

风廓线公式 $u_{10} = u_z(10/z)^p$ (p 取 $1/11^{[12]}$), 可将测站风速换算成海面10m风速. 给出前面两次大风个例的测站模拟值, 并将测站每3小时定时观测值与逐时观测值的平均值利用上述公式换算到海面10m, 结果如表1.

表1 砵矶岛和南长山岛1981年10月13日和23日两次大风的风速模拟值与观测值比较 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

	风向	测站观测值			测站模拟值	平均值换算到海面10m		海面10m模拟值
		定时	逐时	平均值		对数换算	指数换算	
砵矶岛	NNE	13.4	16.0	14.7	14.3	11.7	12.2	13.7
	NW	16.5	17.0	16.8	16.2	13.4	13.9	15.6
南长山岛	NNE	13.0	11.3	12.2	13.3	10.2	10.5	13.6
	NW	18.0	18.0	18.0	17.2	15.0	15.6	15.7

如表1所示,模拟值与观测值较为接近. 南长山岛测站海拔低于砵矶岛测站, NNE大风时其风速值小于砵矶岛站, 但NW大风时, 其风速值竟高出砵矶岛, 此模拟结果与图3所示统计结果一致. 当地形阻挡较弱时(如NE风下的砵矶岛测站、NW风下的南长山岛测站)海面10m风速模拟值与换算值较为接近(如NW大风时, 南长山岛海面10m高度风速模拟值为 $15.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 而指数换算值为 $15.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$); 当地形阻挡强烈时, 两者相差较大, 尤其对于NE风下的南长山岛测站, 模拟值与对数换算值竟差 $3.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 还会出现测站风速小于海面10m处风速模拟值(如NNE下南长山岛站, 测站模拟值 $13.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 小于海面10m处模拟值 $13.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). 为进一步说明这种大风资料订正方法的可行性, 又进行了两组大风个例实验(1980年4月6日08:00 NNW与4月19日20:00 WNW大风个例), 结果如表2.

由表 2 可见,两测站模拟值与观测值较为接近,最大差值为 $1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,同表 1 的分析一样,可以看出地形对测站测风的影响及进行数值订正的必要性。

表 2 砣矶岛和南长山岛 1980 年 4 月 6 日和 19 日两次大风的风速模拟值与观测值比较 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

	风向	测站观测值			测站 模拟值	平均值换算到海面 10 m		海面 10 m 模拟值
		定时	逐时	平均值		对数换算	指数换算	
砣矶岛	NNE	9.5	12.5	11.0	12.8	8.8	9.1	12.1
	WNW	11.5	11.0	11.3	11.0	9.0	9.3	10.3
南长山岛	NNE	13.0	12.7	12.9	13.0	10.7	11.1	12.1
	WNW	11.0	10.0	10.5	12.2	8.8	9.1	10.3

3 结 语

上述结果说明:测站测风受地形影响明显时,如果用对数或指数风廓线公式进行高度换算获取海面 10 m 处风速值,会造成很大误差.因此利用数值模式进行订正显得十分必要.对一个具体海岛来说,首先分不同大风方向(譬如砣矶岛可分 NW 与 NE 向),然后对多次大风个例用数值方法求出测站与海面 10 m 处模拟值,最后给出测站观测值与海面 10 m 模拟值之间的某种统计关系.从模拟风场结构的合理和测站模拟值与观测值较为相符可以推断这种订正是可行的.若通过海面实测资料与海岛测风资料直接的对比分析,求得的订正效果可能最佳,但是极难得到大风情形下海面实测风资料.

本文通过数值模拟得到大风情形下实际海岛较为合理的风场结构,并给出了测站与海面 10 m 处的模拟值,且测站模拟值与观测值较为一致.本文的数值模拟黄、渤海大风在渤海海峡可能造成的“狭管效应”,有待进一步研究.

参 考 文 献

- 辛宝恒. 黄海渤海大风概论. 北京:气象出版社,1991. 18~34.
- 徐天真,方俊雄,张淮. 近岸陆地与海面风速关系分析研究. 海洋与湖沼,1992,23(47):356~361.
- 井传才. 青岛近海海陆大风对比分析. 黄渤海海洋,1995,13(4):18~21.
- 张正,徐天真,方俊雄,等. 埭岛海域风况观测与分析. 黄渤海海洋,1994,12(1):9~18.
- 山东省科学技术委员会编. 山东省海岛志. 济南:山东科学技术出版社,1995. 205.
- Mahrer and Pielke R A. A test of an upstream spline interpolation technique for the advective terms in a numerical mesoscale model. *Mon. Wea. Rev.*, 1978,106: 1758.
- Jerome D F and Eugene S T. Evaluation of an alternative method for numerically modeling nonhydrostatic flows over irregular terrain. *Bound. Layer Meteor.*, 1988, 44: 181~206.
- Pielke R A. Comparison of Hydrostatic and an Anelastic Dry Shallow Primitive Equation on Model. NOAA Tech. Memo., 1972, ERL OD-13. 47.
- Song J L, Relke R A, Segal M, et al. A method to determine non-hydrostatic effects within subdomains in a meso-scale model. *J. Atmos. Sci.*, 1985, 42: 2110~2120.
- Pielke R A. 中尺度气象模拟. 见:张杏珍,杨长新译. 北京:气象出版社,1990. 117~125, 160~165.
- Panofsky H A and Dutton J A. Atmospheric turbulence. New York: John Wiley & Sons, 1984. 122~123.
- 张淮水,刘安国,宋珊,等. 海面风的特征分析. 青岛海洋大学学报,1989,19(2):6~12.

NUMERICAL SIMULATION ON THE REPRESENTATIVENESS OF ISLAND WIND OBSERVATIONS

Gao Shanhong Wu Zengmao

(Institute of Physical Oceanography, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003)

Abstract

The numerical simulations on wind field structure of two real islands under strong wind conditions are made. The results show that the island topography has obvious effects on island wind observations, it is unreasonable to make the altitude reduction in order to obtain the wind data at 10 m above sea level by exponential or logarithmic profile formula. The simulated values are compared to the island wind observations, from which it is shown that there is necessity and possibility to seek for an approach to correct island strong wind data with numerical simulation.

Key words: Island Wind field structure Numerical simulation Wind observation correction