

## 船舶风力观测资料对风场动力和热力订正的检验

褚晓春<sup>1</sup>, 陈信雄<sup>1</sup>, 周 庆<sup>1</sup>, 朱持则<sup>2</sup>

(1. 中国卫星海上测控部气象室, 江苏 江阴 214431; 2. 浙江省气象科学研究所, 浙江 杭州, 310017)

**摘 要:** 利用某系列船2000~2007年秋冬季(11月~翌年3月)在东海北部海区的气象观测资料, 来检验Hsu等(1981)动力计算模式和辛宝恒等(1987)的热力订正方法, 并利用某系列船实际观测资料确定出该海区的计算参数。结果表明利用Hsu动力模式作基础再加上热力订正的办法, 由陆上资料可以较好地推算海上风速, 有一定的实际应用价值。

**关键词:** 东海北部; 动力; 热力; 订正; 检验

**中图分类号:** P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2010)05-0040-04

### 1 引言

前期的研究和观测均表明, 在行星边界层内由于海陆下垫面不同会造成海陆风的明显差异。这种差异一方面是由于海陆下垫面不同的粗糙度对风场产生动力作用, 同时也由于下垫面不同的热力性质而造成。对于下垫面粗糙度不同而造成的动力影响Hsu<sup>[1]</sup>(1981)曾进行过研究, 并得到了适用于不同季节、海区和风向的动力推算模式, 其结果与平均气候观测比值有较好的吻合, 但没有考虑到海陆下垫面热力作用。辛宝恒等<sup>[2]</sup>(1987)在Hsu动力模式的基础上, 将热力性质差异形成的不同温度层结, 对风场产生的热力影响作了进一步的研究, 指出在弱风条件下热力作用的重要性, 并模拟出了不同季节、风向条件下渤海区海陆风比值的显著日变化趋势, 与实际值更加逼近。

### 2 资料与统计分析

本文使用2000~2007年每年的秋冬季(11月~翌年3月), 某系列船在东海北部海区的气象观测资料, 每组观测数据包括风向、风速、气温、露点、海平面气压等15个项目, 及其相应时次嵊泗

站的资料。以嵊泗站(30.73°N, 122.45°E, 79.6 m)周围100 km范围内(31.8°~29.7°N, 121.4°~123.7°E)的海域作为对比样本挑选区域, 海区取样精确到0.1个经纬度(见图1); 采用同时刻的观测资料作为一个对比样本, 若同一时刻有多条船观测时也另建一对样本, 共获得301个对比样本。为了统一对比海平面10 m高度的风, 对测站和船舶的观测记录都采用对数公式进行了高度订正, 来分别代表陆地和海上的风速。

海上的观测重心(平均经纬度)距离嵊泗站不到50 km, 所以具有较好的代表性。但是获得嵊泗站的最大风速为12.1 m/s(6级风), 船舶观测的最大风速为17.3 m/s(刚够8级风), 这个采样是东海北部在弱风条件下的随机抽样。从统计的结果看(见表1), 测站的平均风速比船舶的要小2 m/s左右。而且测站无论是风速极值、平均风速和均方差上都明显比船舶小, U风的方差贡献比V风大好多。

因为测站观测是空间固定的, 而船舶观测是空间游动的。表2得出两者的比值为1.67, 绝对差值为3.61 m/s; 进一步分析两者的差别发现, 造成海陆风速的差异绝大部分是由东西风分量引起的, 而南北风分量几乎可以忽略海陆间的差异;

表1 船舶与嵊泗的风速统计表

名称	最小 风速 (m/s)	最大 风速 (m/s)	平均 风速 (m/s)	均方差	最小 U风 (m/s)	最大 U风 (m/s)	U风 均方差	最小 V风 (m/s)	最大 V风 (m/s)	V风 均方差
嵊泗	1.1	12.1	5.53	2.48	-9.6	6.2	1.37	-11.2	4.9	0.66
船舶	0.0	17.3	7.68	3.57	-12.8	12.8	3.20	-17.3	9.0	1.83

表2 船舶与嵊泗的风速比值、差值表

项目	相关系数 R	≤2(m/s) 比例	≤4(m/s) 比例	比值	平均比值	绝对差值 (m/s)	差值合计
风速	19.17%	36.2%	60.8%	1.39	1.67	3.61	2.14
U	-7.47%	52.5%	78.1%		1.67	2.56	1.18
V	-8.69%	80.7%	90.4%		0.37	0.95	0.65

注: 相关系数R代表嵊泗站和同时刻船舶观测的风速相关; 比例代表风速 ≤2(m/s) 和 ≤4(m/s) 的样本比例; 比值代表船舶和嵊泗站平均风速的比值; 平均比值代表船舶与同时刻嵊泗站观测风速比值的平均值; 绝对差值代表船舶与同时刻嵊泗站观测风速差值的平均; 差值合计代表船舶和嵊泗站平均风速的差值。

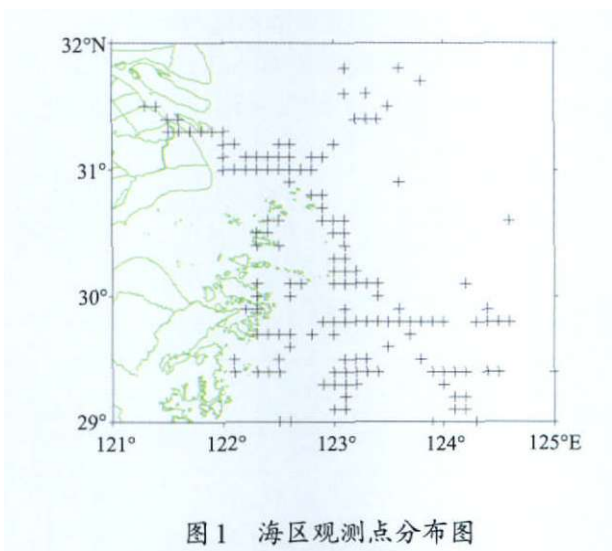


图1 海区观测点分布图

东海北部海陆下垫面分布的不同是明显东西向的。所以我们有必要对此海区的风速进行订正。

### 3 海陆风速比值的动力推算

按照Hsu<sup>[1]</sup>的动力推算模式, 在不考虑海陆下垫面的热力影响时, 可以写为:

$$\left(\frac{U_{\text{海}}}{U_{\text{陆}}}\right)_{\text{动力}} = \left(\frac{H_{\text{海}}C_{D\text{陆}}}{H_{\text{陆}}C_{D\text{海}}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式(1)中  $U_{\text{海}}$ 、 $U_{\text{陆}}$  分别为海上和陆地站的风速。  $H_{\text{海}}$ 、 $H_{\text{陆}}$  分别为海上和陆地行星边界层的高

度。  $C_{D\text{海}}$ 、 $C_{D\text{陆}}$  分别为海洋和陆地的阻力系数。  $H$  采用 Sethraman<sup>[3]</sup> 的实验结果:  $H_{\text{海}}=620\text{ m}$ ;  $H_{\text{陆}}=1014\text{ m}$ ; 根据 Rayor 的  $C_{D\text{陆}}=0.0075$ ;  $C_{D\text{海}}$  采用 Amorocho 和 Devries<sup>[4]</sup> 提供的相关方程:

$$C_{D\text{海}} = \frac{0.0015}{1 + \exp\left(\frac{12.5 - aU_{\text{陆}}}{1.56}\right)} + b \quad (2)$$

式中常数 12.5 m/s 为所取海上样本的平均状态,  $a$  为平均海陆风速比, 一般取  $a$  为 1.60,  $b$  为 0.00104。那么(1)、(2)式可改写为:

$$(U_{\text{海}})_{\text{动力}} = \left(\frac{620 - 0.0075}{1014}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot C_{D\text{海}}^{\frac{1}{2}} \cdot U_{\text{嵊泗}} \quad (3)$$

辛宝恒<sup>[2]</sup>根据(3)式推算渤海区海陆风速比值与实测值有相当好的吻合。为了(3)式能适用于东海北部海区的特定条件, 需要对(2)式的常数  $b$  进行重新确定, 我们把嵊泗站与船的风速平均比值 1.67, 平均风速 5.53 m/s、7.68 m/s 作为初始条件分别代入到(2)式, 得出常数  $b$  的值为  $1.277818 \times 10^{-3}$ 。

由此我们得到嵊泗与船的  $C_{D\text{海}}$ :

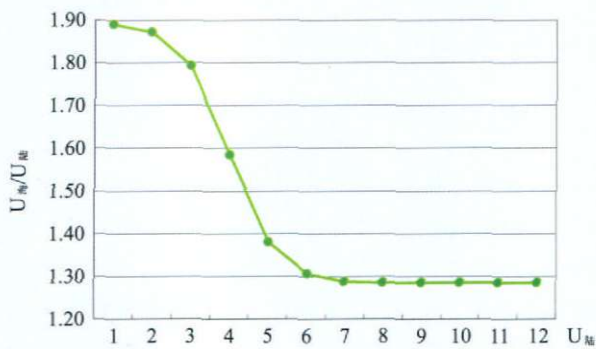
$$C_{D\text{海}} = \frac{0.0015}{1 + \exp\left(\frac{7.68 - 1.67U_{\text{嵊泗}}}{1.56}\right)} + 1.277818 \times 10^{-3} \quad (4)$$

根据(3)、(4)式我们可以由嵎泗1~12 m/s风速时推算出海面船的风速与比值,表3和图2分别显示出东海区在弱风速下海陆动力订正的变化结果和廓线:

表3 嵎泗与某系列船的比值与推算风速

陆地风速(m/s) 嵎泗站	$(U_{海}/U_{陆})_{动}$ U船舶/U嵎泗	海面风速(m/s) 某系列船	统计模型 线性推算
1	1.89	1.89	6.42
2	1.87	3.75	6.70
3	1.79	5.38	6.98
4	1.59	6.34	7.25
5	1.38	6.90	7.53
6	1.31	7.83	7.80
7	1.29	9.02	8.08
8	1.29	10.28	8.36
9	1.29	11.57	8.63
10	1.28	12.85	8.91
11	1.28	14.13	9.18
12	1.28	15.42	9.46

表3还给出了由测站线性推算船舶( $Y=6.1487+0.2758x$ ,  $x$ 为嵎泗站风速、 $Y$ 为海面船舶观测风速)的结果,动力模型推算的海面风速明显比统计模型要合理。



海陆弱风速下比值轮廓线

图2 嵎泗与某系列船的比值分布

由图2可看出,动力模型的推算廓线随风速而变化,当比值( $U_{海}/U_{陆})_{动}$ 在嵎泗站风小时较大,而在嵎泗站风大时较小。体现了下垫面粗糙度在不同风速时的作用。

## 4 海陆风比值日变化订正

根据“东海区海陆大风对比试验”<sup>[6]</sup>的研究和文献[7],东海北部区域海面风速日变化和季节变化在同一量级。为了更好地了解嵎泗站风速日变化的情况,表4给出了2000~2007年嵎泗站秋冬季平均风速的日变化情况。虽然嵎泗站是离大陆较远的海岛站,但风速日变化也体现出大陆站的特征,即午后最大凌晨最小(见图3),平均有0.53 m/s的幅度。

表4 嵎泗站秋冬季平均风速日分布

	02	05	08	11	14	17	20	23
嵎泗	6.71	6.61	6.86	6.83	7.14	7.03	6.96	6.97

为了估算海陆热力性质差异对海陆风速日变化、差值的影响,我们对海陆风速差值( $\Delta U_{海}$ )进行统计分析。和气温直接建立( $\Delta U_{海})_{热} = a + b\Delta t$ 的统计回归方程,其中 $\Delta t = T_{海} - T_{陆}$ ,即海陆温差。

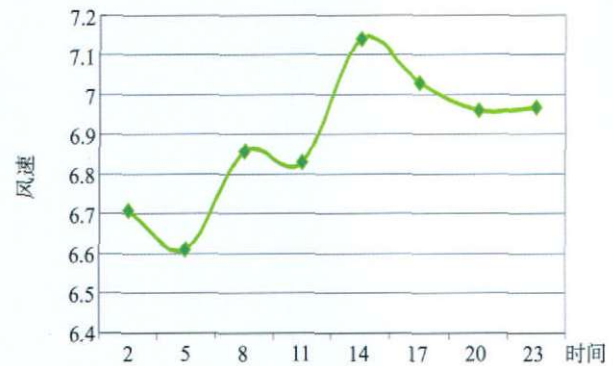


图3 嵎泗站风速日变化图

然后把热力订正加入到动力订正的(3)中去,最后推算出总的海面船舶观测风速为 $U_{总}$ ,  $U_{总} = (U_{海})_{动} + (\Delta U_{海})_{热}$ 。

## 5 推算结果分析

表5给出了实测资料统计和根据上述( $\Delta U_{海})_{热}$ 、 $U_{总}$ 的推算关系式计算的结果,可以看出,在东海北部秋冬季的夜间海陆温差还是较明显。动力推算的比值稳定在1.33左右,热力推算的比值日变化幅度大,且和风速日变化反向。

表5 嵊泗站的热力订正实测比值表

时次	样本数	海陆温差 $\Delta t$	海陆风速差 $(\Delta U_{海/热})$	热力比值	动力比值	总值	实测比值
02	13	1.25	2.8082	0.523	1.340	1.863	1.7637
08	53	0.79	1.7792	0.323	1.330	1.653	1.5852
14	55	0.35	1.6759	0.310	1.338	1.648	1.6026
20	34	1.43	1.5154	0.267	1.319	1.586	1.4904

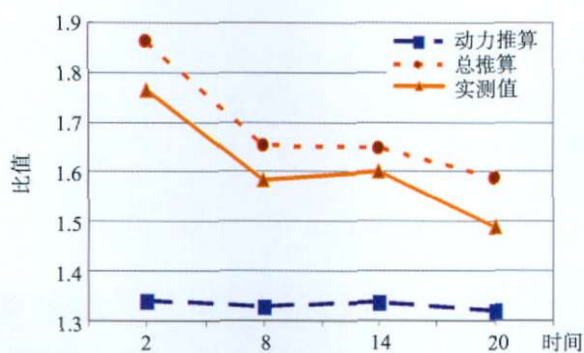


图4 嵊泗站动力热力推算与实测比值图

图4给出嵊泗站与海面船舶观测的动力比值、总值和实测比值的效果,由图4可以明显看出,动力推算没有表现出明显的日变化,总推算由于考虑了热力影响,准确度大大提高,特别在演变趋势上吻合的相当好,数值要比实测值偏大0.1左右。

## 6 讨论

通过上述计算和分析我们可以得出以下几点初步结论:

(1) 在弱风条件下,采用经典的动力推算模型,采用行星边界层的高度( $H$ )、阻力系数( $C_D$ )等参数的经验值,海陆风速的比值随风速增大而减小,取得比统计模型更好的效果;

(2) 考虑下垫面的动力和热力性质的差异,通过岛屿测站的风力温度资料来推算海上风速,

不但在比值的数值上较为接近,而且日变化趋势和实际情况相吻合,所以具有一定的实际应用价值;

(3) 由于使用的资料和时间都较短,没有取得大风样本,动力和热力模式推算时假定样本是处于同一天气系统中,所以用嵊泗站与某系列船海面观测资料对风场所做的检验还有一定的误差,需进一步研究。

### 参考文献:

- [1] Hsu S A. Models for estimating offshore winds from onshore meteorological measurements[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1981, 20(3): 341-351.
- [2] 辛宝恒, 刘红, 马建铭. 渤海近海风场的一种近似推算模式[J]. 气象学报, 1987, 45(2): 195-201.
- [3] SethuRaman S, Raynor G S. Comparison of Mean Wind Speeds and Turbulence at a Coastal Site and an Offshore Location[J]. Journal of Applied Meteorology, 1980, 19(1): 15-21.
- [4] Amorochio J, Devries J. A new evaluation of the wind stress coefficient over water surfaces[J]. J Geophys Res, 1980, 85: 433-442.
- [5] 郭进修, 郭大敏. 我国北部海区海陆大风的对比分析[J]. 气象, 1982, (5): 30-33.
- [6] 东海区海陆大风对比试验课题组. 东海区海陆大风对比试验[M]. 气象出版社, 1992.
- [7] 徐家良. 长江口外海上风速的近似推算模式[J]. 东海海洋, 1992, 10(3): 1-8.