

## 渤海近海风场的一种近似推算模式\*

辛宝恒 刘 红 马建铭

(天津市气象科学研究所)

### 提 要

本文给出了一种利用陆地站测风推算近海风场的模式,并与实测资料进行了比较。使用塘沽站代表沿岸陆地站,渤海 7 号观测平台代表近海站。

对于所给出的近似模式,我们采用分两步逼近的作法。首先,以 Hsu<sup>[1,2]</sup> (1981) 的动力推算模式为基值;其次,用最小二乘法模拟出不同季节、风向向下由于海陆下垫面热力性质差异风速订正值。最后,基值与热力订正值的叠加而得到总推算值。结果表明,推算总值与实测值的比较有相当好的吻合,较单一的动力推算值有较大的改进。在海上经常缺乏资料的情况下,本文给出的推算模式具有一定的实际意义。

### 一、引 言

在行星边界层内,考虑到风场掠过海岸线时,不仅由于海陆下垫面粗糙度不同对风场产生不同的动力影响,而且也会由于海陆下垫面热力性质差异形成的不同温度层结对风场产生的不同热力影响。资料分析表明,对风场的这种热力影响不仅表现在季节变化上,而其日变化效应更为显著。本文试图研究一种在既考虑动力(地表粗糙度)又考虑热力(地表热力状况)影响情况下由塘沽站测风推算其东南大约 50 余公里渤海 7 号平台处风场的近似模式。所使用的资料为 1976—1984 年共 9 年的春、秋、冬资料。

在仅考虑下垫面对风场的动力影响时,我们使用了 Hsu 的推算模式,并对该模式进行了一些调整和改进。在只考虑下垫面热力性质对风场产生的影响时,对资料处理采取了一种统计分析方法。分别求出不同季节和风向上海陆风速差值的距平值,然后使距平值与海陆温差各自建立统计相关方程。采用距平分析处理基于以下的考虑:一般把地形或海陆下垫面粗糙度产生的动力影响可视为固定的扰动因素,而把海陆下垫面热力状况差异形成的不同温度层结对海陆风速差值的影响视为是随季节特别是日变化而变化的。一般,海陆下垫面热力性质差异的日变化效应昼夜是相反的。因而对某一季节、某一风向下的海陆风速差值的多年平均值可望大致能消除日变化影响而仍保留住下垫面的动力影响和平均的季节热力影响。反过来,该季节和风向条件下各自风速差值与该季节多年平均值的距平值可视为日变化影响所致。实际上,经过以上这种动力和热力订正以后的推算总值对实测值有着相当好的吻合。在不同季节(春、秋、冬)和风向(NW, NE)条件下,能大致模拟出海陆风速比值的显著的日变化趋势。

\* 本文于 1984 年 12 月 19 日收到,1986 年 1 月 10 日收到修改稿。

## 二、海陆风速比值的动力估算

在不考虑海陆下垫面热力性质影响时,本文所使用的动力模式主要是由 Hsu<sup>[1]</sup>(1981)按照 Mahrt<sup>[3]</sup>(1976)对行星边界层内参考层的考虑而给出的下式,

$$\left(\frac{U_{海}}{U_{陆}}\right)_{动} = \left[\frac{H_{海}C_{D陆}}{H_{陆}C_{D海}}\right]^{1/2} \quad (1)$$

式中  $U_{海}$  和  $U_{陆}$  分别为海上和沿岸陆地站的风速。 $H_{海}$  和  $H_{陆}$  分别为海上和陆地上行星边界层的高度。 $C_{D海}$  和  $C_{D陆}$  分别为海洋和陆地的阻力系数。在参考文献[2]中对上式的由来曾作过详述。

结合(1)式, Hsu 曾选用 SethRaman 和 Raynor<sup>[4]</sup>(1980)通过资料实验而得到的平均  $H_{海}=620\text{ m}$ ,  $H_{陆}=1014\text{ m}$  和  $C_{D陆}=0.0075$  的参考数据以及 Amorocho 和 DeVries<sup>[5]</sup>(1980)所提供的相关方程,

$$C_{D海}=0.0015\left[1+\exp\left(-\frac{U_{海}-12.5}{1.56}\right)\right]^{-1}+b \quad (2)$$

为使(1)式适用于美国国家海洋大气管理局(NOAA)在加利福尼亚所有浮标站与沿岸陆地站平均风速比  $U_{海}/U_{陆}=1.60$  的结果, Hsu 把(2)式改写为,

$$C_{D海}=0.0015\left[1+\exp\left(-\frac{U_{海}-12.5}{1.56}\right)\right]^{-1}+1.04\times 10^{-3} \quad (3)$$

我们通过分析发现(在 Hsu 的原文中没有交待),(3)式中的 0.00104 是在平均的  $U_{海}/U_{陆}=1.60$  和  $U_{海}=12.5\text{ m/s}$  条件下确定出的,选取  $12.5\text{ m/s}$  作为初始条件,这大致反映了为所取  $U_{海}$  样本的平均值状态。显然,当  $U_{海}=1.6U_{陆}$  取不同数值(或  $U_{陆}$  取不同数值) ( $U_{海}/U_{陆}$ )<sub>动</sub> 可按下式变化。

$$\left(\frac{U_{海}}{U_{陆}}\right)_{动} = \left(\frac{620\times 0.0075}{1014}\right)^{1/2} C_{D海}^{-1/2} \quad (4)$$

Hsu 根据(4)式推算的海陆风速比值与平均气候的观测比值有相当好的吻合。

为使(1)式能适用于渤海西部海岸这一特定地区和不同季节(春、秋、冬)、不同风向(NW, NE)这一特定条件,需要对(1)式右边各项参数进行重新确定。但由于受到探测资料的限制我们只对  $H_{陆}$  和  $C_{D海}$  通过资料试验进行重新确定和调整,继续沿用文献[4]中的  $H_{海}=620\text{ m}$ ,  $C_{D陆}=0.0075$  的假定。

为了获取  $H_{陆}$ , 我们荣幸使用了塘沽、静海、宝坻三站 1984 年秋、冬季中尺度观测试验期间连续每小时一次的小球测风资料,并以三站的平均  $H_{陆}=963\text{ m}$  作为渤海西海岸平均行星边界层高度。显然,该值较文献[4]中所给出的数值要低一些。

为使(2)式  $C_{D海}$  表达式也适于我们的假设条件,需要对(2)式进行调整和改进。事实上,在文献[6]中通过对 1976—1984 年塘沽站测风( $U_{塘}$ )和渤海 7 号平台测风( $U_7$ )的对比分析发现,不同季节(春、秋、冬)和不同风向(NW, NE)下  $U_7/U_{塘}$  的比值是不尽相同的,对 NW 风来说,其海陆风速比值春季为 1.18、秋季和冬季均为 1.44。对 NE 风来说,各季为 1.23。为此,我们把以上不同比值和  $U_{海}=12.5\text{ m/s}$  作为初始条件分别代入到(2)式也各自确定出其不同海陆风速比值下的常数  $b$  值。此时,(2)式可分别改写为:

$$\begin{cases} C_{D海} = 0.0015 \left[ 1 + \exp \left( -\frac{1.44 U_{海} - 12.5}{1.56} \right) \right]^{-1} + 1.579 \times 10^{-3} \\ C_{D海} = 0.0015 \left[ 1 + \exp \left( -\frac{1.23 U_{海} - 12.5}{1.56} \right) \right]^{-1} + 2.442 \times 10^{-3} \\ C_{D海} = 0.0015 \left[ 1 + \exp \left( -\frac{1.18 U_{海} - 12.5}{1.56} \right) \right]^{-1} + 2.718 \times 10^{-3} \end{cases} \quad (2')$$

我们把以上已知的各项参数和重新调整的  $C_{D海}$  (2') 式分别代入到 (1) 式, 可得:

$$\left( \frac{U_{海}}{U_{陆}} \right)_{动} = \left( \frac{620 \times 0.0075}{963} \right)^{1/2} C_{D海}^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

(5) 式就是我们适用于不同季节海陆风速比值下的动力推算模式。

我们通过实际资料检验证实, 对  $C_{D海}$  进行以上调整是十分必要的。如果把不同的海陆风速比值分别应用于未经调整的  $C_{D海}$  (3) 式时, 其相应的  $C_{D海}$  随  $U_{陆}$  的变化结果列于表 1 中。

表 1

$C_{D海} \times 10^{-3} \backslash U_{陆} (m/s)$	3	5	7	9	11	13	15	17	19
$U_{海}/U_{陆}$									
1.60	1.05	1.12	1.49	2.20	2.49	2.53	2.54	2.54	2.54
1.44	1.05	1.09	1.30	1.90	2.38	2.57	2.54	2.54	2.54
1.28	1.05	1.07	1.18	1.56	2.14	2.44	2.52	2.54	2.54
1.23	1.05	1.07	1.15	1.47	2.03	2.40	2.51	2.53	2.54
1.18	1.04	1.06	1.14	1.32	1.90	2.33	2.49	2.53	2.54

由表 1 可以看出, 不同的平均比值下得出的  $C_{D海}$  变化在数值上与比值为 1.60 的情况是十分逼近的, 特别是当  $U_{陆}$  较小和较大时更是如此。显然, 用表 1 中所列  $C_{D海}$  值代入到 (5) 式推算的  $(U_{海}/U_{陆})_{动}$  的变化也必然是十分接近的。这是与实际情况不符的。其主要原因是由于 (3) 式最后的一项常数  $1.04 \times 10^{-3}$  只适于比值为 1.60 情况, 而且在表达式 (3) 中当  $U_{陆}$  较小时该常数值起决定性作用, 当  $U_{陆}$  值较大时, 该常数值又是可忽略的小项。

图 1 和表 2 给出了根据 (5) 式推算的  $(U_{海}/U_{陆})_{动}$  的变化廓线和结果:

由图 1 可看出,  $(U_{海}/U_{陆})_{动}$  在陆地站风 ( $U_{陆}$ ) 小时较大, 而在陆地风大时较小。特别是对秋、冬季的 NW 风来说, 由于其季节的海陆风速平均比值较大 (1.44),  $(U_{海}/U_{陆})_{动}$  增大的更为显著, 这是与实际的季节平均海陆风速比值  $(U_{海}/U_{陆})_{实}$  变化趋势相一致的。在 Hsu 的工作中, 也曾着重强调过这个事实。因而我们认为, 利用 (5) 式的动力推算结果作为向实际过程的海陆风速比值的的第一步逼近是有一定理论依据的。应当指出的是, (5) 式结果与季节平均比值随  $U_{海}$  变化趋势的吻合并不意味着能与实际过程比值的吻合, 因为实际过程的海陆风速比值日变化要比其季节变化更显著地多, 因而为了逼近该实际过程, 还必须进行由于日变化所导致的风速订正值的估算作为向实际过程的第二步逼近。

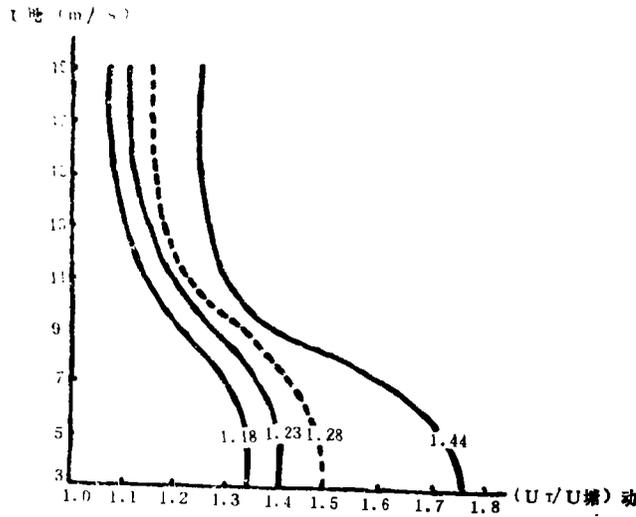


图 1

(廓线中的数字为不同季节和风向下的 $U_7/U_{地动}$ 的平均比值, 1.18 (春, NW), 1.23 (春、秋、冬, NE), 1.44 (秋、冬, NW), 1.28 (平均))

表 2

$U_{地动}(m/s)$	NW				NE	
	春(1.18)		秋冬(1.44)		春、秋、冬(1.23)	
	$(U_7/U_{地动})_{动}$	$(U_7)_{动}(m/s)$	$(U_7/U_{地动})_{动}$	$(U_7)_{动}(m/s)$	$(U_7/U_{地动})_{动}$	$(U_7)_{动}(m/s)$
3	1.33	3.99	1.75	5.25	1.40	4.20
4	1.33	5.32	1.74	6.96	1.40	5.60
5	1.33	6.65	1.73	8.65	1.40	7.00
6	1.32	7.92	1.69	10.14	1.39	8.34
7	1.31	9.17	1.62	11.34	1.37	9.59
8	1.29	10.32	1.52	12.16	1.34	10.72
9	1.26	11.34	1.41	12.69	1.30	11.70
10	1.21	12.10	1.33	13.30	1.24	12.40
11	1.16	12.76	1.29	14.19	1.19	13.09
12	1.12	13.44	1.27	15.24	1.15	13.80
13	1.10	14.30	1.26	16.38	1.13	14.69
14	1.08	15.13	1.25	17.50	1.12	15.68
15	1.08	16.20	1.25	18.75	1.11	16.65
16	1.07	17.12	1.25	20.00	1.11	17.76
17	1.07	18.19	1.25	21.25	1.11	18.87
18	1.07	19.26	1.25	22.50	1.11	19.98
19	1.07	20.33	1.25	23.75	1.11	21.09

表 3

风向 \ $U_7/U_{地动}$	时次				
	02	08	14	20	平均
N-WNW	1.85	1.64	0.97	1.52	1.59
E-ESE	1.34	1.42	0.98	1.11	1.21

表 4

季节	时次	NW	NE
		$(\Delta U_7)_{热}$	$(\Delta U_7)_{热}$
春	02	$-1.87 + 1.23 \Delta t$	$-0.78 - 0.85 \Delta t$
	08	$0.14 + 1.63 \Delta t$	$-0.29 + 0.04 \Delta t$
	14	$-3.25 + 0.16 \Delta t$	$-1.55 - 0.47 \Delta t$
	20	$-0.03 + 0.65 \Delta t$	$1.19 + 0.83 \Delta t$
秋	02	$3.65 - 0.02 \Delta t$	$0.27 - 0.19 \Delta t$
	08	$0.50 + 1.20 \Delta t$	$-0.65 + 0.17 \Delta t$
	14	$-0.51 + 1.88 \Delta t$	$-0.46 + 0.03 \Delta t$
	20	$-3.90 + 5.44 \Delta t$	$0.69 - 0.11 \Delta t$
冬	02	$0.52 + 0.65 \Delta t$	$-1.03 - 0.15 \Delta t$
	08	$0.76 + 1.43 \Delta t$	$1.77 - 0.55 \Delta t$
	14	$-0.91 + 1.07 \Delta t$	$0.44 + 0.09 \Delta t$
	20	$0.72 + 0.98 \Delta t$	$1.50 - 0.14 \Delta t$

### 三、海陆风速比值日变化热力订正值估算

通过对 1976—1984 年的资料分析,在表 3 中给出了  $U_7/U_{塘}$  的平均日变化比值。

由表 3 可知, NW 风比值的日变化振幅明显大于 NE 风的日变化振幅,在 02~08 时都达到最大,而在 14 时均达到最小(略小于 1)。注意到这是多年平均状况。对某一过程而言,其比值的日变化可能会更大。

在此,为了估算由于海陆热力性质差异的日变化对海陆风速差值的影响,我们对海陆风速差值进行了距平分析处理。在计算距平时,分别使用了 1976—1984 年不同季节(春、秋、冬)和不同风向(NW、NE)多年平均的海陆风速差值作为平均值,即

$$\Delta \bar{U} = (\bar{U}_7 - \bar{U}_{塘}) \quad (6)$$

然后,使每次实际的海陆风速差值  $\Delta U = U_7 - U_{塘}$  再与  $\Delta \bar{U}$  作距平分析,即

$$(\Delta U_7)_{热} = \Delta U - \Delta \bar{U} \quad (7)$$

用最小二乘法对(7)式的  $(\Delta U_7)_{热}$  与海陆温差  $\Delta t = t_7 - t_{塘}$  各自建立统计相关方程并列于表 4 中。

于是,根据实时资料由表 2 和表 4 估算出某一时刻、某一风向下渤海近海处的风场,即

$$U_{总} = (U_7)_{动} + (\Delta U_7)_{热} \quad (8)$$

(8)式右边第一项  $(U_7)_{动}$  是根据(5)式只考虑动力影响推算的渤海 7 号平台处的风,第二项  $(\Delta U_7)_{热}$  是由于海陆下垫面日变化热力性质差异所形成的不同温度层结对渤海 7 号平台风力的订正值。

(8) 式就是我们根据塘沽站测风推算 7 号平台处风力的一种近似表达式。

### 四、推算结果分析比较

为了便于与(5)式动力推算结果比较,总推算结果(8)式仍以比值形式给出,即

$$\frac{(U_7)_{总}}{U_{塘}} = \frac{(U_7)_{动}}{U_{塘}} + \frac{(\Delta U_7)_{热}}{U_{塘}} \quad (9)$$

图 2 和图 3 分别给出了不同季节 NW 风和 NE 风总推算比值  $(U_7)_{总}/U_{塘}$ 、动力比值  $(U_7)_{动}/U_{塘}$  以及实测风速比值  $(U_7/U_{塘})_{实}$  的比较廓线。

由图 2 可明显看出,总推算比值和实际观测的平均比值日变化趋势有着相当好的吻合。而动力推算比值没有表现出明显的日变化趋势,大致处于前两者比值的平均状态。以上这些也正是我们所期望达到的。

由图 3 可以看出,对 NE 风来说,总推算比值与实际观测比值的日变化趋势也具有有一定程度的吻合。但其日变化振幅小,规律性也差。这可能是由于与 NE 风比值本身日变化振幅较小和两个对比测站的相对位置以及方向等不够适宜所致。

图 4 分别给出了以上两种推算结果平均均方差的比较廓线。

可以看出,无论对 NW 风或 NE 风,  $\bar{\sigma}_{总}$  都小于  $\bar{\sigma}_{动}$ 。而 NW 风这一特点表现的更为显著。这一再表明,应用于(9)式的推算结果较单一的动力推算(5)式结果有着明显地改进,能够大致模拟出海陆风速比值的显著日变化趋势。通过实测资料检验,如以  $\pm 2.5 \text{ m/s}$  的误差范围,平均可达到 65% 以上的准确度。

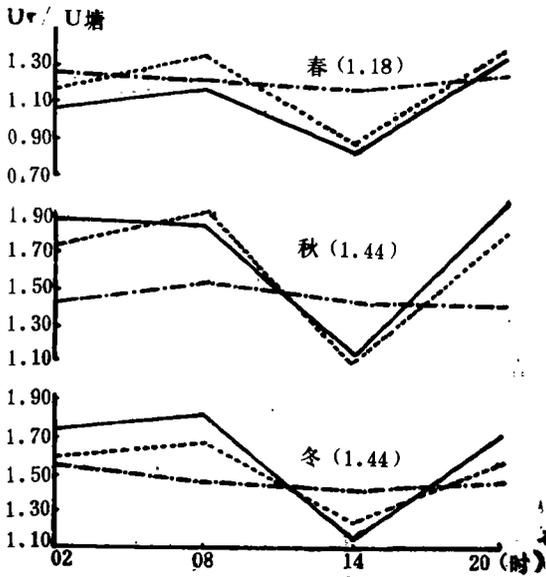


图 2

(实线为 $(U_r)$ 总/ $U_{海}$ , 点线为 $(U_r)$ 实/ $U_{海}$ , 点划线为 $(U_r)$ 差/ $U_{海}$ ; 图中括号内数字为海陆风速的季节平均比值)

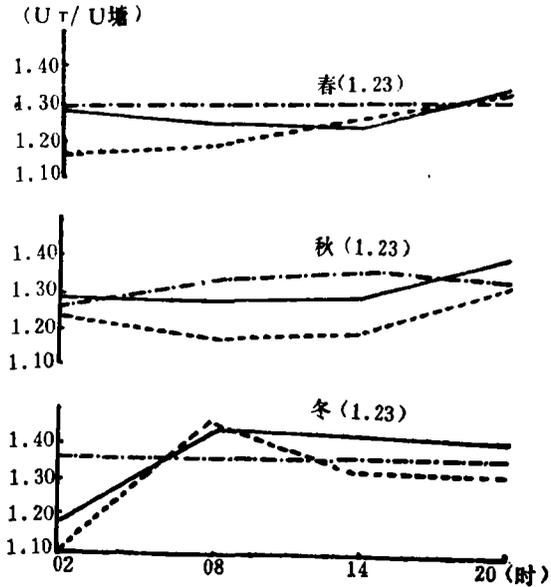


图 3

(说明同图 2)

### 五、讨论

由于实际过程的复杂性,再加之没有考虑两站处于天气系统不同部位对风力产生的影响等,尽管我们采取了分两步(动力和热力)逼近的作法,(8)式或(9)式仍然是一种近似地推算模式。同时,利用(1)式在进行动力推算过程中,虽然我们通过实测资料对 $C_{D海}$ 和 $H_{陆}$ 进行了重新调整和确定,但这种调整和确定仍属半经验性的。实际上, $H_{海}$ 、 $H_{陆}$ 、 $C_{D海}$ 和 $C_{D陆}$ 这些参数不仅受海陆下垫面粗糙度的影响,而且也受海陆热力差异、层结稳定度以及地转风速等共同影响而随时在变化的。

在对风速进行海陆下垫面日变化热力差异订正值估算时,采用了一种简单的统计相关,仍有一些离散度较大的情况未能得到解决。

应当指出,我们的推算模式(9)虽然仍不够完善,但较 Hsu 的推算模式(1)有了显著地改进。由于在 Hsu 的推算模式基础上又进行了热力订正值的估算,(9)式可以模拟出不同季节、风向下海陆风速比值显著地日变化趋势,并富有一定的实际预报意义。可以根据事先列出的不同季节、风向和风速下的(5)式推算结果(表 2),再用实时资料代入相应的

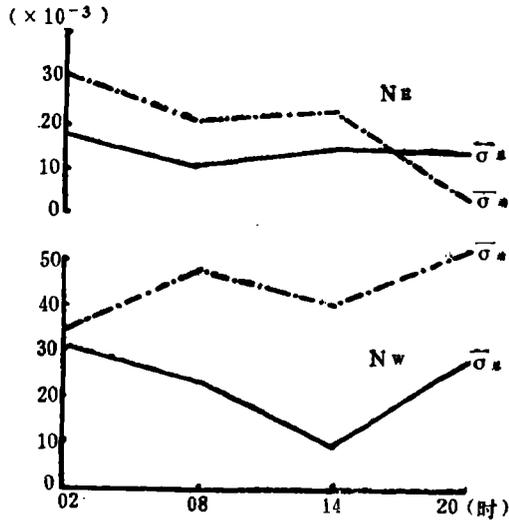


图 4

相关方程(表 4)算出对风力的热力订正值,然后叠加就可导出总的推算结果。

不过,(9)式右边的第二项对近海风力的订正值已转嫁到对海陆温差的估算上来了。我们知道,海上气温的变化一般较风场等要素变化规律性要强,海上气温的日较差也较小,容易根据季节、日变化及沿岸陆地站资料和实时演变等而加预测估算。当然,对海上气温的预测如何进一步作到客观化、量化、还有待进一步研究。

### 参 考 文 献

- [1] Hsu, S. A., Models for estimating offshore winds from onshore meteorological measurements, *Boundary-Layer Meteorology*, 20, 341—351, 1981.
- [2] 辛宝恒, 近年来国外有关冬季海上大风的一些研究,《气象科技》, 1982 年第 5 期。
- [3] Mahrt, L., and D. H. Lenschow, Growth dynamics of the convectively mixed layer, *J. Atmos. Sci.*, 33, 41—51, 1976.
- [4] SethuRaman, S., and G. S. Raynor, Comparison of mean wind speeds and turbulence at a coastal site and offshore location, *J. Appl. Meteorol.*, 19, 15—21, 1980.
- [5] Amorocho, J., and J. J. DeVries, A new evaluation of the wind stress coefficient over water surface, *J. Geophys. Res.* 85, 433—442, 1980.
- [6] 郭大敏, 渤海大风海陆对比分析, 中国气象学会 60 周年年会交流资料。

## AN APPROXIMATE MODEL FOR ESTIMATING OFFSHORE WINDS OF THE BOHAI

Xin Baoheng Liu Hong Ma Jianming

(*Meteorological Research Institute in Tian Jin*)

### Abstract

Selecting Tanggu station as an onshore station represents onshore and platform as an offshore station. An approximate model for estimating offshore winds from onshore meteorological measurements have been developed and verified by available data sets.

We adopted three steps to approach this approximate model. First, by using the Hsu's dynamic model we get the basic value. Next, using the least square method to determine the correction of the wind velocity by considering under the thermal contrast of the land and sea. Finally, by adding the basic value and the correction value we get the total estimating value. The result shows that the total estimating values fit well with the observed data.