

一种船载海面通量观测的校正方法*

钱莉英 周乐义 周晓平

(中国科学院大气物理研究所 北京 100029)

提要 设计了一种用滤波法校正船载超声测风测温仪数据、计算海-气通量交换的方法。对1988,1989两年西太平洋海域考察期间超声测风测温仪的实测资料作了订正,订正了船体运动、特别是摇摆运动对风速的影响,用涡旋相关法计算了海面边界层的感热通量、动量通量、阻力系数和稳定度值。分析了海面上通量、阻力系数随大气状况的变化规律。计算结果表明,海面上的通量、阻力系数与水平风速和稳定度之间存在着合理的有规律的关系,证明这种方法对处理船载超声资料是可用的。

关键词 超声测风测温仪,滤波,海气通量交换

由于种种原因,海面以下直接观测通量是十分困难的,因此就转为研究海面以上大气边界层的湍流特性,从而获得这些通量。“七·五”计划期间西太平洋考察的超声观测就是为这一目的而设的。

海上超声观测系统包括超声测风测温仪^[1]、陀螺仪、加速度仪,其中陀螺仪用来测船体运动的三个方向的角度,加速度仪测船体运动的加速度。海上超声观测的困难在于船体运动的影响,并且由于船体影响的复杂性,这种影响很难消除。从理论上来说^[2]:

$$\bar{V}_i = T\bar{V}_s + \bar{\Omega} \times T\bar{R} + \bar{V}_c$$

式中 \bar{V}_i 为自然界风速, \bar{V}_s 为超声观测值, \bar{V}_c 为船体位移速度, T 为从船体坐标系(以船头方向为 Y 方向,船体重心为坐标原点)到参考坐标系(以平均流方向为 X 方向,船体静止时的重心为坐标原点)的坐标转换因子, $\bar{\Omega}$ 为船体运动产生的角速度, \bar{R} 为超声仪相对于船体重心的位置。但在实际计算中发现,船体影响只能得到部分订正,原因主要有:(1)加速度仪有零点漂移,经过积分,产生误差;(2)船体重心经常变化,这种变化没能记录下来,计算时没有考虑这种变化,也会带来误差。

由于最终目的是要计算海气的通量交换。作者介绍一种用滤波法消除船体影响,从另一

角度来计算通量的方法。

1 方法

中国科学院西太平洋考察的超声观测从1985~1989年在中国科学院南海海洋研究所的“实验”三号船上共进行了5a,观测的海域范围在 $110^\circ \sim 150^\circ \text{E}$, $5^\circ \text{S} \sim 25^\circ \text{N}$ 之间,本文所用的是1988,1989两年的资料。

用谱来体现船体运动的影响是很理想的,因为船体运动有一定的频率范围,船体运动对谱的影响必定在某个频率范围内,谱又具有在特定频率带的统计估计与其他频率带的估计无关的优点^[3]。图1是1988年10月21日的一个样本的风速和温度的功率谱,在无因次频率0.3~0.9之间, U 谱和 W 谱有明显的能量跳跃,而船体摇摆的周期一般在2~8s之间,利用已知的风速值,计算出船体摇摆的无因次频率,发现这个频段正好是图中惯性区跳跃的频段,由此可见,船体运动给风速谱带进了许多虚假的能量,必须对船体运动进行订正,才能进行正确的通量计算。另外安置超声探头的伸臂的高频振荡也

* 大气物理所超生组的全体同志,不断改善观测仪器,使取得的资料更可靠,谨此表示感谢。

收稿日期 1992年6月21日

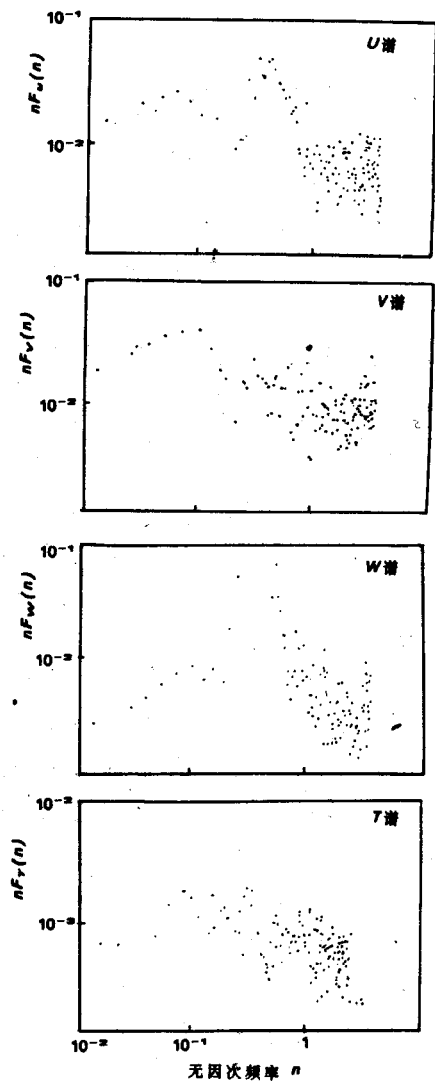


图1 U, V, W, T 的功率谱

Fig. 1 The non-dimensional power spectrum of U, V, W, T

样本数 $N=1024$; 采样间隔 $\Delta T=0.3$ s/次; n 为无因次频率; $F_U(n)$; $F_V(n)$; $F_W(n)$; $F_T(n)$ 为无因次功率谱不可避免地会给超声观测带来误差, 这一点从谱图中也可以清楚地看到, 即在谱的高频段能量也偏高。

国内外海面边界层的一些研究表明, 海面谱和陆面谱谱形没有本质的区别, 惯性区仍满足 $-2/3$ 次律^[4,5]。从图1的功率谱可以看出, 在惯性区的低频段有一部分没有受船体运动的影响。因此可以直接从谱的角度出发, 用滤波法消

除船体运动的影响。滤波目的是要以船体影响的起始频率为截止频率, 保留不受船体运动影响的那部分惯性区, 并且使保留下来的惯性区尽可能小地受滤波的影响而满足 $-2/3$ 次律。经过反复试验, 发现用以二项式系数为权重的不等权滑动平均滤波法是比较理想的。仍以1988

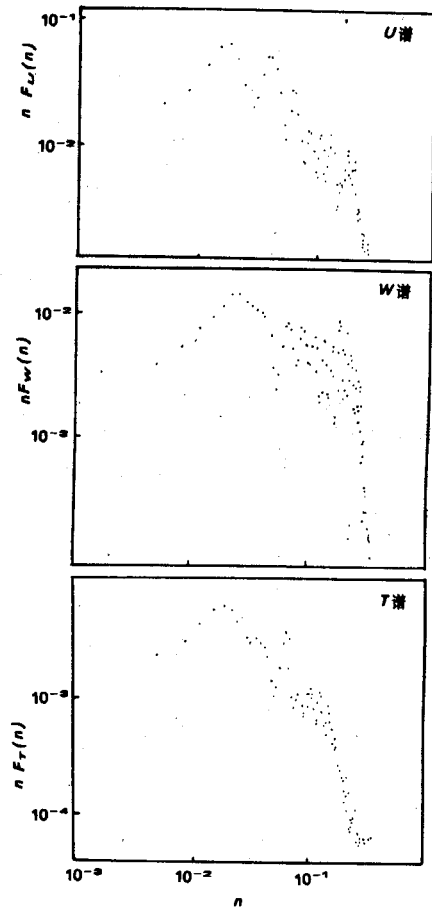


图2 经过8点分组平均、5点不等权滑动平均后所得的功率谱

Fig. 2 The non-dimensional power spectrum after block mean of 8 samples, non-equal weighting factor running mean of 5 samples

年10月21日的样本来讨论这一方法。

作不等权滑动滤波后, 波谱将发生振幅变化, 振幅响应函数是滑动点数、频率和采样间隔的函数, 据此可以大致推算所需的滑动点数。在实际计算中由于采样间隔较小 (0.3s/次), 截止

频率较低(约0.3),所需要的滑动点数将很大。为了便于实际计算,可以先对数据作分组平均,增大取样间隔,截去一部分最终要被截去的高频谱。具体作几点分组平均,几点滑动平均需经反复试验才能确定。图2是对数据作8点分组平均、5点不等权滑动平均后所得的功率谱。为了作比较,给出经过10点分组平均、5点不等权滑动平均后所得的功率谱(图3)。这样,低频率部分受到了较大的影响,惯性区过陡,出现不符合 $-2/3$ 次律的倾向,原始数据经过滤波后用涡旋

相关法求出相应的通量值。

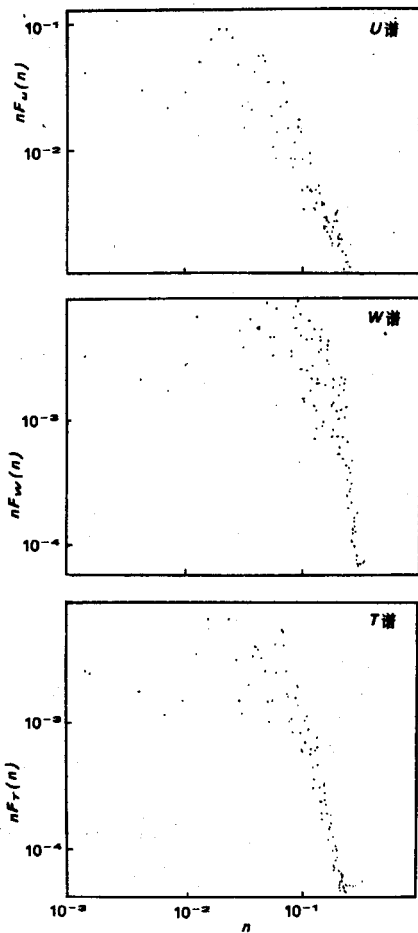


图3. 经过10点分组平均、5点不等权滑动平均后所得的功率谱
Fig. 3 The non-dimensional power spectrum after block mean of 10 samples, non-equal weighting factor running mean of 5 samples

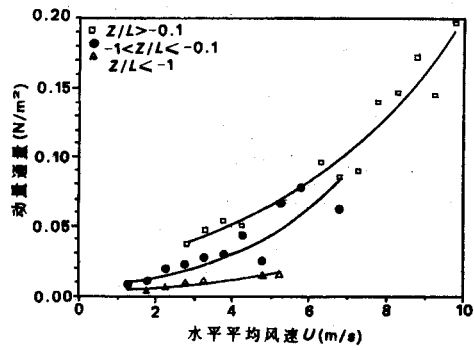


图4 动量和通量随风速和稳定度的变化规律
Fig. 4 The variation rule of momentum flux with the mean horizontal wind speed and the degree of stability

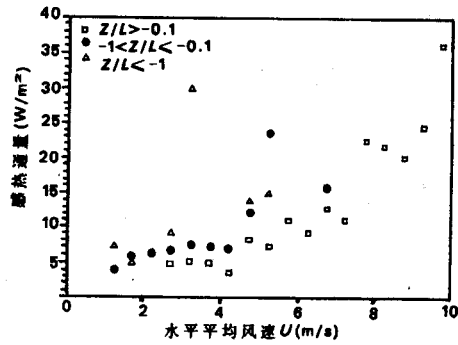


图5 感热通量随风速和稳定度变化的规律
Fig. 5 The variation rule of sensible heat flux with the mean horizontal wind speed and the degree of stability

McBEAN(1972)给出了在均一地形上,大气处于不稳定、中性和稳定三种状态下由于高频和低频的截止而损失的通量百分比^[6],只要已知稳定度和截止频率值,就可以查出与之对应的所损失的通量百分比。利用这一方法,订正由于高频截止而损失的能量 R 。

$$\text{动量通量} \quad F_m = -\rho \overline{u'w'} + R$$

$$\text{感热通量} \quad F_h = \rho C_p \overline{w'T'} + R$$

$$\text{阻力系数} \quad C_D = \overline{u'^2} / U^2 = F_m / \rho U^2$$

$$\text{稳定度参数} \quad Z/L = \frac{kgT_* Z}{Tu_*^2}$$

$$= -\frac{kg\rho^{1/2}}{C_p T} \cdot \frac{F_h}{F_m^{3/2}}$$

其中, $\rho=0.29\text{mg/m}^3$; $C_p=930\text{ J/kg}\cdot\text{deg}$, F_m

的单位为 N/m^2 , F_h 的单位为 W/m^2 。

表1 计算结果(1989年10月24~25日)

Tab. 1 Some results of Oct. 24, 1989. and Oct. 25, 1989

日期	时间 (时:分)	水平风速 (m/s)	动量通量 (N/m^2)	感热通量 (W/m^2)	阻力系数 ($\times 10^{-3}$)	稳定度
24	15:05	3.66	0.031	4.11	1.8	-0.10
24	15:47	3.29	0.024	5.87	1.7	-0.21
24	17:37	3.96	0.048	5.35	2.4	-0.07
24	18:19	3.83	0.027	6.25	1.4	-0.19
24	19:22	3.91	0.025	4.57	1.2	-0.16
24	20:04	4.04	0.040	5.96	1.9	-0.10
24	20:50	3.95	0.028	5.13	1.4	-0.14
24	21:32	3.75	0.026	4.81	1.4	-0.15
24	23:16	3.24	0.013	3.46	0.9	-0.32
25	00:11	2.30	0.029	5.75	2.5	-0.15
25	02:14	3.68	0.018	3.97	1.0	-0.22
25	03:09	3.67	0.021	3.87	1.2	-0.16
25	06:15	5.76	0.056	6.82	1.3	-0.07
25	06:57	5.25	0.046	3.48	1.3	-0.05
25	09:04	5.02	0.071	5.62	2.2	-0.04
25	10:05	3.97	0.040	8.63	2.0	-0.14

注:所列时间为起始时间; U 为超声探头处的水平平均风速。

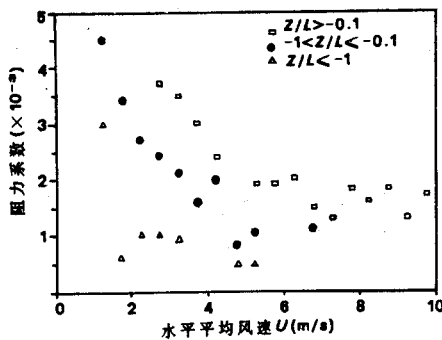


图6 阻力系数随风速和稳定度的变化规律

Fig. 6 The variation rule of drag coefficient with the mean horizontal wind speed and the degree of stability

2 结果与分析

表1给出了1989年10月24日和10月25日的部分计算结果。计算通量所用的平均时间为42min。计算结果表明海面边界层通常处于湍流不稳定状态和近中性状态;动量是由大气向海洋传播的;感热通量是由海洋向大气传播。

由于水平平均风速和稳定度参数直接反映了大气边界层湍流运动的状态和性质,所以分别分析了感热通量、动量通量、阻力系数这3个

量与水平平均风速和稳定度参数之间的关系。见图4,5,6。

通过分析得到:(1) 动量通量随风速的增大而增加,随不稳定的增加而减少。用指数函数拟合 $F_m \sim U$ 之间的关系,得到在 $Z/L > -0.1$, $-1 < Z/L \leq -0.1$, $Z/L \leq -1$ 这三类稳定度下,其拟合曲线方程分别为: $F_m = 0.021e^{0.225U}$; $F_m = 0.007e^{0.577U}$; $F_m = 0.003e^{0.34U}$ 。(2) 感热通量随不稳定度的增大而增加;当稳定度 $Z/L > -0.1$ 时,感热通量随风速的增大而增加;在 $-1 < Z/L \leq -0.1$ 和 $Z/L \leq -1$ 这两类稳定度下,感热通量随风速的增大而增加,并且随着不稳定度的增加,在很不稳定而风速较小时感热通量继续增加。(3) 阻力系数随不稳定度的增大而减小,且有较大幅度的减小;小风时,阻力系数较大,并且随风速的增大而减小,当风速较大时 ($U > 4\text{m/s}$),阻力系数趋于常数,这与 Fujitani (1981) 的结果非常吻合^[7]。在 $Z/L > -0.1$, $-1 < Z/L \leq -0.1$, $Z/L \leq -1$ 这三类稳定度下,阻力系数的常数值分别为 $C_D = 1.71 \times 10^{-3}$, $C_D = 1.16 \times 10^{-3}$, $C_D = 0.78 \times 10^{-3}$ 。因此,在海面边界层的研究工作中,不能在任何情况下都取某个固定的 C_D 值,而应该视稳定度类型的不同而取不同的 C_D 值。

参考文献

- [1] 周乐义等, 1983. 中国科学院大气物理研究所集刊第11号. 科学出版社, 50~59.
- [2] Fujitani, T., 1985. *Papers in Meteorology and Geophysics* 36 (3):157-170.
- [3] Panofsky, H. A. and J. Dutton, 1984. *Atmospheric Turbulence (Models and methods for engineering applications)*, 187-203.
- [4] Pond, S., G. T. Phelps, J. E. Paquin, G. McBEAN and R. W. Stewart, 1971. *Journal of the Atmospheric Sciences* 28: 901-928.
- [5] Smith, S. D. and R. J. Anderson, 1984. *Journal of Geophysical Research* 89(C2): 2 029-2 040.
- [6] McBEAN, G. A., 1972. *Journal of Applied Meteorology* 11: 1 078-1 084.
- [7] Fujitani, T., 1981. *Papers in Meteorology and Geophysics*, 32: 119-134.

A CORRECT METHOD OF AIR-SEA FLUXES INTERCHANGE MEASURED ON BOARD WITH ULTRASONIC ANEMOMETER/THERMOMETER

Qian Liying, Zhou Leyi and Zhou Xiaoping

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Received: Jun. 21, 1992

Key Words: Ultrasonic anemometer/thermometer, Filtering, Air-sea fluxes interchange, Correct

Abstract

A correct estimation method of heat and momentum fluxes at the interface between air and sea by filtering is introduced in this paper. We corrected the data measured on ship with ultrasonic anemometer/thermometer at West Pacific Ocean during the seventh five-year program, abated the impact of ship-body motion, especially the rolling movement on wind data, and calculated the sensible heat flux, momentum flux, drag coefficient, and stability parameter in the over sea boundary layer with eddy correlation method, analysed the variation regularity of fluxed and drag coefficient with the atmospheric condition. The conclusion is that there are reasonable and regular relations between fluxed, drag coefficient and horizontal wind component, stability condition in the over sea boundary layer, which indicates that this correct estimation method is useful for correction of turbulent wind contaminated by irregular motion of ship.