

辽东湾东海岸近地层特性探讨

杨洪斌 马雁军 赵国珍

(辽宁省气象科学研究所, 沈阳 110015)

摘要 采用离岸 800 m 高 100 m 的气象铁塔观测所得的资料, 利用粗糙度、阻力系数及幂指数公式, 计算了辽东湾东海岸地区的粗糙度、阻力系数及风指数。结果表明: 在向岸气流条件下, 粗糙度值较大, 可达 0.18 m, 阻力系数最大值也可达 0.025; 在离岸气流条件下, 粗糙度、阻力系数值较小。相同稳定度条件下, 风指数值随着风速增大而减小。

关键词: 粗糙度; 阻力系数; 风指数; 辽东湾

1 引言

边界层最下部的几十米到一百米范围通常定义为近地面层。在该层内大气运动呈明显的湍流状态, 铅直方向的湍流量 (如动量通量、热量通量及水汽通量) 可近似作为常量。研究近地层的主要目的是为了获得便于使用的近地层特征参数表达式。由于近地层与人类的生产、生命活动关系非常密切, 因此, 研究其特征具有十分重要的意义。

2 仪器设备与资料

本文所用资料取自辽宁省瓦房店市东岗乡小孙屯境内的 100 m 气象塔 (距离海岸约 800 m)。该地区地形较为平坦, 坡度为 2%。气象塔为高 100 m 的拉线铁塔, 三角形塔身宽 1.0 m, 悬臂长 1.5 m。根据实验需要在 5、10、15、25、50、75、100 m 七个高度安装测量仪器。五层测温探头分别安装在 10、25、50、75、100 m, 五层风向探头分别安装在 10、25、50、75、100 m, 七层风速探头分别安装在 5、10、15、25、50、75、100 m。另外, 在 10、75 m 高度分别安装了三轴风速仪。

本实验采用广州中山大学生产的 ZDQ 系列大气环境测量系统进行气象塔的梯度观测及湍流量测量。

3 近地层参数

近地层中不同风结构和湍流强度可用摩擦速度 u_* 、热通量 $\overline{w'\theta'}$ 、莫宁-奥布霍夫长度 L 、粗糙度 z_0 及阻力系数 C_D 来表述。

本研究中, 利用表面切应力与摩擦速度之间的关系式

$$\tau = -\rho \overline{w'u'} = \rho u_*^2 \quad (1)$$

来求取摩擦速度 u_* , 其中 u' 和 w' 分别表示水平和垂直方向的风速脉动值, ρ 为空气密度。

z_0 可根据下式间接求得:

$$u = \frac{u_*}{k} [\ln(z/z_0) - \psi(z/L)], \quad (2)$$

其中, $\psi(z/L)$ 为层结订正函数, 是 z/L 的函数, L 是莫宁-奥布霍夫长度:

$$L = -u_*^3 T / g k \overline{w'\theta'}, \quad (3)$$

其中, T 是平均温度, g 是重力加速度, k 是卡曼常数, $\overline{w'\theta'}$ 是热通量, θ' 是温度脉动值。

$\psi(z/L)$ 的计算公式为^[1]

$$\psi(z/L) = 2 \ln[(1+x)/2] \ln[(1+x^2)/2] - 2 \arctan x + (\pi/2), \quad (4)$$

其中, $x = (1 - 15z/L)^{1/4}$ 。另外, 由 (2) 式可得:

$$z_0 = z \exp \left\{ - \left[\frac{ku}{u_*} + \psi(z/L) \right] \right\}, \quad (5)$$

这里用 10 m 高度处的资料计算得到的 u_* 和 z/L 来求取 z_0 。

阻力系数采用下式计算:

$$C_D = 2[u_*(z)/\bar{u}(z)]^2 \quad (6)$$

其中, $\bar{u}$ 为平均风速。近地层大气垂直风廓线可采用简单指数律^[2]:

$$\bar{u} = \bar{u}_1 (z/z_1)^\alpha, \quad (7)$$

其中, $\bar{u}_1$ 为 z_1 高度上的平均风速, α 为稳定度参数。

4 计算结果

为了求取 z_0 , 需要得到 $\overline{u'w'}$ 和 $\overline{w'\theta'}$ 。

采用 10 m 高度的三轴风速仪测得的各时刻 (每秒一个数据, 连续采样 1 800 s) 风速瞬时值 u 和 w , 首先计算其平均风速值 $\bar{u}$ 和 $\bar{w}$, 再用关系式 $u' = u - \bar{u}$ 和 $w' = w - \bar{w}$, 求得各时刻风速脉动值 u' 和 w' , 然后就可求得 $\overline{u'w'}$ 。

考虑到 10 m 处的位温 θ 和 T 近似相等, 我们可以用 T 代替 θ , 用 T' 代替 θ' 。在计算 $\overline{w'\theta'}$ 时, 采用 10 m 高度的各时刻 (每秒一个数据, 连续采样 1 800 s) 温度瞬时值 T , 首先计算其平均温度 $\bar{T}$, 再用关系式 $T' = T - \bar{T}$ 求得各时刻温度脉动值 T' , 然后用 T' 代替 θ' , 就可求得 $\overline{w'\theta'}$ 。

4.1 z_0 特征

按照一般规律, 流体流经不同的下垫面, 其流体动力学特征也不相同。本文利用 (5) 式及 10 m 高处的资料计算了粗糙度 z_0 随时间的变化, 计算结果列于表 1。

由表 1 可见, 1993 年 7 月 23 日 (向岸气流) 的 z_0 值较大 (最大为 0.18 m); 1993

表 1 粗糙度随时间的变化 m

时 间	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
1993-01-14	0.05	0.09	0.12	0.11	0.13	0.12	0.11	0.07
1993-07-23	0.10	0.1	0.18	0.17	0.18	0.16	0.15	0.13

年 1 月 14 日 (离岸气流) 的 z_0 值较小 (均小于 0.13 m)。造成这种差别的原因是向岸气流到达铁塔所经历的下垫面较离岸气流所经历的下垫面更为粗糙。

4.2 阻力系数 C_D

阻力系数是流体力学和动力气象学广泛使用的一个重要参数, 是高度 z 和粗糙度 z_0 的函数。本文利用 (6) 式及 10 m 高度处的资料计算了阻力系数 C_D 随时间的变化, 结果列于表 2。

表 2 阻力系数 C_D 随时间的变化

时 间	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
1993-01-14	0.007	0.009	0.010	0.011	0.010	0.009	0.010	0.008
1993-07-23	0.009	0.014	0.019	0.025	0.021	0.023	0.020	0.018

由表 2 可见, 1993 年 7 月 23 日 (向岸气流) 的 C_D 值较大 (最大为 0.025); 1993 年 1 月 14 日 (离岸气流) 的 C_D 值较小 (均小于 0.011)。

4.3 不同稳定度下的 α 值

不同类型的大气层结对污染物浓度的分布具有不同的作用, 而表征大气层结状况的常用参数就是大气稳定度。为了使风廓线具有代表性, 且计算结果可靠, 本文采用距铁塔 500 m 远的温蛇子海洋气象站的太阳辐射资料及铁塔 10 m 高的风速 u_{10} 资料, 按 Pasquill 大气稳定度分类法, 将大气分为不稳定 (A、B、C 类)、中性 (D 类) 和稳定 (E、F 类) 三个等级; 同时, 把 u_{10} 分成 ≤ 2.0 m/s、2.1~5.0 m/s、5.1~10.0 m/s 和 > 10.0 m/s 四个等级, 其划分标准见表 3。

表 3 Pasquill 方法稳定度划分标准

u_{10} ($m \cdot s^{-1}$)	白天太阳辐射 $R_d / 4.18 \times 10^4 J / (m^2 \cdot h)$				夜间净辐射 $R_n / 4.18 \times 10^4 J / (m^2 \cdot h)$		
	$R_d \geq 50$	$50 > R_d \geq 25$	$25 > R_d \geq 12.5$	$12.5 > R_d$	$R_n > -1.8$	$-1.8 \geq R_n > -3.6$	$R_n \geq -3.6$
$u_{10} \leq 2.0$	A	A-B	B	D	D		
$2.0 < u_{10} \leq 5.0$	B	B-C	C	D	D	D	E
$5.0 < u_{10} \leq 10.0$	C	D	D	D	D	D	D
$u_{10} > 10.0$	D	D	D	D	D	D	D

表 4 为按此法分组计算出的 α 值。由表 4 可见: 稳定度条件相同时, α 值随风速的增大而减小。这是由于随着风速的加大, 机械湍流加强, 使得高层动量向下传递, 从而导致了上下层风速差异减小; 在同一风速等级情况下, α 值随着大气稳定程度的增加而增大。因为, 随着稳定程度的增加, 大气上下层动量交换作用减弱, 从而使得风速的垂直梯度加大。

表 4 不同稳定度、不同风速等级的 α 值

$u_{10} / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	0.0~2.0	2.1~5.0	5.1~10.0	>10.0
不稳定	0.28	0.09		
中性	0.29	0.15	0.13	0.10
稳定	0.36	0.18		

5 结论

(1) 在向岸气流条件下, z_0 值较大 (最大为 0.18 m); 在离岸气流条件下, z_0 值较小 (小于 0.13 m)。

(2) 在向岸气流条件下, 阻力系数最大值可达 0.025; 在离岸气流条件下, 阻力系数最大值仅为 0.011。这说明不同风向条件下近地层参数值存在一定差别, 而造成这种差别的原因是向岸气流到达铁塔所经历的下垫面较离岸气流所经历的下垫面更粗糙。

(3) 稳定度条件相同时, α 值随风速的增大而减小; 在同一风速等级情况下, α 值随着大气稳定度的加大而增大。

参 考 文 献

- 1 Radhika R. et al., Variability of surface roughness and turbulence intensities at a coastal site in India, *Boundary-Layer Meteorology*, 1994, 70, 385~400.
- 2 李宗恺, 空气污染气象学原理及应用, 北京: 气象出版社, 1985, 82~85.

An Approach to the Features of Surface Layer in Liaodong Gulf

Yang Hongbin, Ma Yanjun and Zhao Guozhen

(Institute of Meteorological Science, Liaoning Province, Shenyang 110015)

Abstract The surface roughness, drag coefficient and wind index are calculated with the data obtained from tower-based sensors located about 800 m from the coast. The results show that the roughness can be 0.18 m in the on-shore wind, while it is smaller in the off-shore wind; the drag coefficient can be 0.025 in the on-shore wind, while it is smaller in the off-shore wind. In addition, under the same stability, wind index decreases with the wind speed.

Key words: surface roughness; drag coefficient; wind index; Liaodong Gulf