

广州市近地层大气的湍流 微结构和谱特征*

徐玉貌 周朝辅 李振华 李宗恺

(南京大学大气科学系, 南京 210008)

提 要

本文利用 UVW 脉动风速仪资料分析了广州市区近地层大气的湍流强度、相关系数、尺度和速度谱, 并获得了不同稳定度条件下的速度谱模式。结果表明, 城市近地层大气湍流在惯性副区接近局地各向同性, 速度谱符合 Kolmogorov 相似理论; 气流方向上下垫面粗糙度的增加, 使沿海城市近地层大气湍流能量(特别是铅直方向)比平坦、均匀下垫面上的增加。

关键词: 湍流强度; 速度谱; 局地各向同性; 相似理论。

一、引 言

很多气象研究和应用与边界层、特别是近地层大气的湍流脉动密切相关。例如, 污染物的扩散受水平和铅直方向风速脉动强度的控制; 飞机的飞行及导弹等飞行器的轨道会受到湍流脉动的干扰; 塔、桥梁和高层建筑的破坏不仅受强的平均风影响, 而且还依赖于脉动风的强度。

近几十年来, 国外已对大气湍流结构作了大量研究, 文献 [1]—[3] 作了系统总结。中国科学院大气物理研究所对北京城郊气象塔资料进行了风、温脉动结构的研究^[4-5]; 姚增权等^[6]分析了盆地中近山平原近地层风速谱特征; Panofsky 等人^[7]研究了复杂地形上的风速谱, 然而对大城市中心大气湍流微结构的了解还很少。Högström 等人^[8]探讨了近中性层结下城市大气中湍流的局地相似性。本文将通过广州市中心 35m 高度上的 UVW 风速仪资料分析来了解我国南部沿海城市大气的湍流微结构, 检验 Kolmogorov 相似理论在城市近地层大气中的适用性。

二、观测资料及计算方法

1988 年 6 月 25 日至 7 月 15 日, 我们在广州市中心环境监测中心站楼顶(高 28m) 7m 高的小塔上架设 UVW 风速表^[9]进行风向风速的脉动观测。该风速表能自动采集不同采样长度和采样间隔的 UVW 瞬时风向风速, 并将原始数据和经实时处理的初步计算结果存盘或打印。本文选用的采样间隔为 1 秒钟, 采样时段为 30 分钟, 因此高频折迭频率为 0.5Hz。

1991 年 7 月 26 日收到, 12 月 20 日收到修改稿。

* 本研究系国家自然科学基金资助项目。

资料处理前,首先对原始资料进行粗选,剔除数据明显不合理的那些样本,然后对数据进行坐标转换,使 x 轴指向平均风方向,并用二次曲线拟合消除大尺度运动的脉动影响^[3];采用 Blackmeu-Tukly 首先提出的根据相关系数求湍流功率谱的方法计算湍谱。

广州南邻南海,位于珠江口入口处,是我国南部沿海大城市,市区人口稠密,多高层建筑,因此,下垫面情况复杂,自南向北的高度抬升较大,建筑物平均高度约 15m,近地面零位移厚度 d 等于 10m,粗糙度 z_0 平均为 1m。

试验期间,在监测站还进行了双经纬仪测风、低空探空测温和大气稳定度观测,稳定度的分类采用理查孙数 Ri ,并取临界值等于 ± 0.25 ,即 $Ri > 0.25$ 为稳定, $-0.25 < Ri < 0.25$ 为中性, $Ri < -0.25$ 为不稳定,在谱分析中还根据 R_i 计算了 z/L 。

三、湍流强度

由于试验初期(6月25日至30日)和后期(7月10日至15日)为多云、降水天气,本文仅对7月1日至9日观测到的54个样本的平均风速、湍强、时间和空间尺度进行统计分析,结果列于表1。

表1 不同层结下的湍流特征参数(7月1日—7月9日)

层结(样本数)			稳定(16)	中性(19)	不稳定(19)
平均风速(m/s)			2.15	2.10	1.94
湍	$\frac{\sigma_i}{\bar{u}}$	I_u	0.35	0.39	0.55
		I_r	0.28	0.32	0.53
		I_w	0.26	0.30	0.39
强	$\frac{\sigma_i}{u_*}$	σ_u/u_*	2.51	2.32	3.25
		σ_v/u_*	2.26	1.89	2.98
		σ_w/u_*	1.67	1.47	2.25
湍	时间尺度(s)	$L_t(x)$	22.35	25.06	29.89
		$L_t(y)$	16.41	18.29	33.04
		$L_t(z)$	5.82	8.16	11.12
尺	空间尺度(m)	$L(x)$	53.87	51.13	52.99
		$L(y)$	30.17	29.59	64.41
		$L(z)$	2.66	3.84	6.17

湍流强度用 σ_i/\bar{u} 和 σ_i/u_* 两种形式来表示,其中, $i=u, v, w$, σ_i 表示 u, v, w 方向的脉动速度标准差; \bar{u} 为平均风速,以平均风向为 x 轴; $u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} = \sqrt{-\overline{u'w'}}$, 为局地摩擦速度。

由表1可以看出以下几点:

(1) 无论用哪种形式表示湍强, 在同一稳定度下都是纵向大于横向, 横向又大于铅直向, 这与其它研究者的观测结果相符。

(2) 湍强的大小, 当用 $I_i = \sigma_i / \bar{u}$ 表示湍强时, 其变化范围为 0.26—0.55. 这与美国中部草原观测到的 I_u, I_v, I_w (为 0.18, 0.10, 0.06) 和江苏仪证得到的 I_u 和 I_v (为 0.12—0.26) 相比, 由于广州市中心下垫面粗糙度比那两地大, 因此湍强较大. 对 σ_i / u_* ($i = u, v, w$), 中性层下的平均值分别为 2.32, 1.89, 1.47. 文献 [3] 给出平坦地形上这三个量的平均值为 2.39, 1.92, 1.25; 文献 [8] 得出瑞典乌普萨拉市中心相应的平均值为 2.48, 2.2 和 1.46. 比较这些结果发现, 本文的 σ_u / u_* 和 σ_v / u_* 比他们的略小一点, 而 σ_w / u_* 值则城市比平坦地面上大. 这可能是由于城市下垫面不均匀性使铅直方向脉动速度增大所造成。

(3) 湍强与稳定度的关系

根据 Monin-Obukhov 相似理论, σ_i / u_* (其中 $i = u, v, w$) 是 Z/L 的函数. Panofsky 等人^[3] 和 Merry 等人^[10] 获得并推荐陆地 σ_w / u_* 的形式如下:

$$\frac{\sigma_w}{u_*} = 1.25 \left(1 - 3 \frac{Z}{L} \right)^{1/3} \quad Z/L \leq 0, \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_w}{u_*} = 1.3 \left(\varphi_m - 2.5 \frac{Z}{L} \right)^{1/3}, \quad (2)$$

式中 φ_m 为风速的无量纲梯度函数 (也称通用函数). Panofsky 等人还给出水平方向的湍流强度 σ_u / u_* , σ_v / u_* 与 Z/L 的关系:

$$\frac{\sigma_u}{u_*} \sim \frac{\sigma_v}{u_*} = 2.3 \left(1 - 0.22 \frac{Z}{L} \right)^{1/3}. \quad (3)$$

我们对 σ_w / u_* , σ_u / u_* 与 Z/L 进行拟合得出

$$\frac{\sigma_w}{u_*} = \begin{cases} 1.4 \left(1 - 2 \frac{Z}{L} \right)^{1/3} & \frac{Z}{L} \leq 0, \\ 1.4 \left(\varphi_m - 1.25 \frac{Z}{L} \right)^{1/3} & \frac{Z}{L} \geq 0, \end{cases} \quad (4)$$

$$\frac{\sigma_u}{u_*} = 2.35 \left(1 - 0.3 \frac{Z}{L} \right)^{1/3}. \quad (5)$$

图 1 一并绘制了(1)—(5)式给出的曲线. 曲线(2)中的 φ_m 为

$$\varphi_m = \left(1 - 16 \frac{Z}{L} \right)^{-1/4} \quad Z/L \leq 0,$$

$$\varphi_m = 1 + 5 \frac{Z}{L} \quad Z/L \geq 0.$$

曲线(4)中的 $\varphi_m = 1 + 4 \frac{Z}{L}$. 可见, 本文得到的 σ_i / u_* 与 Z/L 之间符合相似理论导出的 1/3 次方律, 而且与 Panofsky, Merry 等人的结果相当一致。

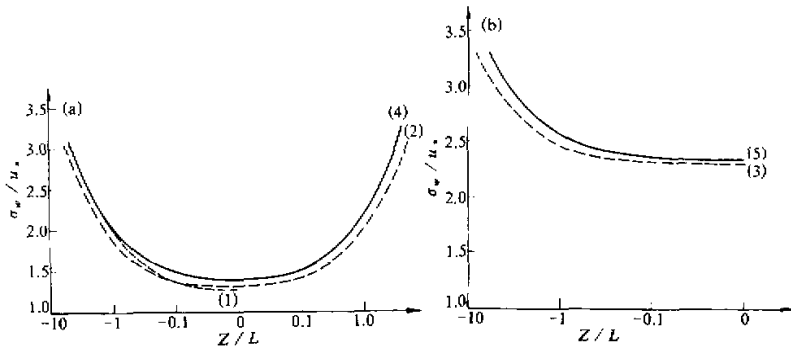


图1 σ_w/u_* , σ_v/u_* 与 Z/L 的关系

四、相关和尺度

1. 相关

在统计理论中, 相关用来表示两脉动速度之间的相互关系, 分欧拉时间相关和空间相关, 以及拉格朗日时间相关. 这里利用单点资料分析 u, v, w 三个方向的欧拉时间相关 $R_u(t), R_v(t)$ 和 $R_w(t)$.

图 2 (a) — (c) 是典型稳定、中性和不稳定条件下的相关图, 实线、虚线、点划线分别表示 $R_u(t), R_v(t)$ 和 $R_w(t)$, 由图可以看出:

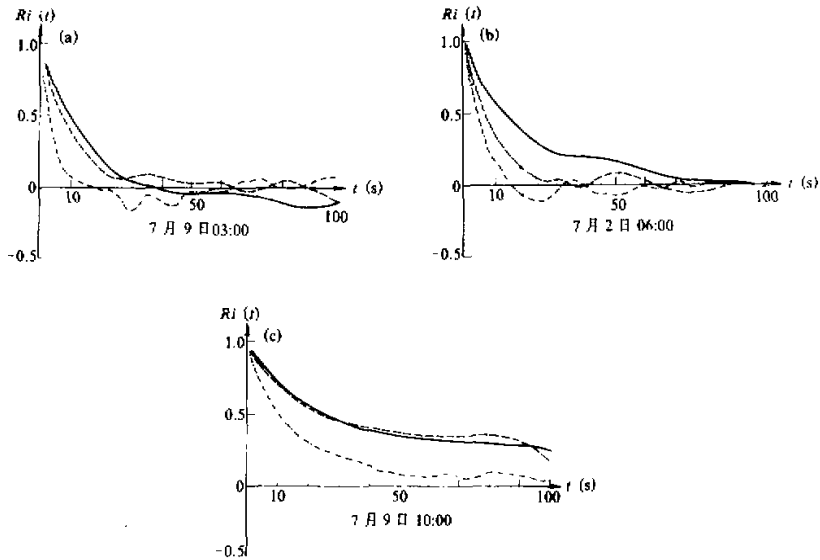


图2 相关系数 $Ri(t)$ 随时间 t 的变化

(1) 三个方向的相关系数随时间递减的速率都随不稳定度的增加而变得缓慢;

(2) 在同一稳定度下, $R_u(t)$ 和 $R_v(t)$ 总大于 $R_w(t)$, 但随着不稳定度的增加, $R_u(t)$ 和 $R_w(t)$ 随 t 下降的速率将比 $R_v(t)$ 下降得慢.

2. 湍流尺度

将相关系数 $R_u(t)$, $R_v(t)$ 和 $R_w(t)$ 对时间积分得相应的时间尺度 $L_t(x)$, $L_t(y)$, $L_t(z)$. 当满足泰勒假设 ($x = \bar{u}t$) 时, 欧拉空间相关与时间相关相等. 这时水平方向的空间尺度与时间尺度之间的关系为

$$\begin{aligned} L_x &= \bar{u} L_t(x), \\ L_y &= \bar{u} L_t(y). \end{aligned}$$

设铅直方向的平均风速 $\bar{w} = 0$, 取铅直向湍流空间尺度为

$$L_z = \overline{|w'|} \cdot L_t(z).$$

由表 1 可以看出:

(1) 在中性和稳定层结下, 湍流的时间和空间尺度纵向大于横向, 横向又大于铅直向; 层结不稳定时, 横向尺度甚至超过纵向, 但铅直向尺度仍然比水平方向小一个量级.

(2) 三个方向的时间尺度以及 $L_t(z)$ 与 $L_t(x)$ 之比值都随不稳定度的增加而增大; 铅直向空间尺度亦随不稳定度的增加而增大. 这表明, 湍流在空间是一个扁椭球体, 其铅直轴随不稳定度的增加明显增长.

五、湍流速度谱

根据 Kolmogorov 相似理论, 在惯性副区, 风速谱 (以纵向为例) 密度 $S(n)$ 可表示成下面的形式:

$$S(n) = \alpha \left(\frac{2\pi}{\bar{u}} \right)^{-2/3} \varepsilon^{2/3} n^{-5/3}, \quad (6)$$

式中 α 为普适常数, ε 为湍能耗散率, n 为频率 (Hz).

两边乘以 n , (1) 式变成

$$n S(n) = \alpha \varepsilon^{2/3} \left(\frac{\bar{u}}{2\pi} \right)^{2/3} n^{-2/3}. \quad (7)$$

用 u^2 归一化得

$$\frac{n S(n)}{u^2} = \frac{\alpha}{(2\pi K)^{2/3}} \times \left(\frac{K \varepsilon z}{u^3} \right)^{2/3} \times \left(\frac{nz}{\bar{u}} \right)^{-2/3}. \quad (8)$$

式中 $K \varepsilon z / u^3 = \varphi_\varepsilon$ 是无因次湍流能量耗散率, $nz / \bar{u} = f$ 是无因次频率, 即

$$\frac{n S(n)}{u^2 \varphi_\varepsilon^{2/3}} \propto f^{-2/3}.$$

这就是湍谱的“-2/3”次方规律.

1. 谱分布

图 3 是计算得出的谱分布个例, 由图表明:

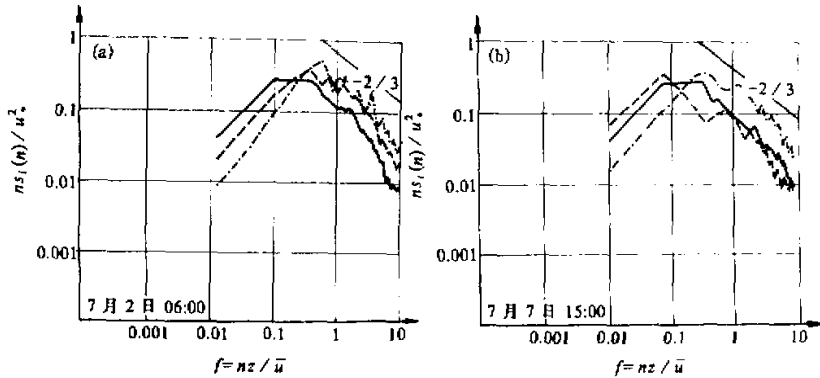


图3 归一化三维风速谱实例

(a) 中性层结下的风速谱, (b) 横向和铅直向双峰谱分布. 实线、虚线和点划线表示纵向、横向和铅直向速度谱

(1) 在惯性副区(f 约为0.5—10)谱能与频率之间符合“ $-2/3$ ”次律. 这种关系不仅中性层结符合, 非中性层结时也符合. 这与1968年美国 Kansas 观测得出的结论相一致.

(2) 在同一稳定度条件下, 铅直向速度谱峰值对应的频率 f_{wm} 比水平向湍谱峰值对应的频率 f_{um} 和 f_{vm} 要高. 根据统计, f_{vm} 又比 f_{um} 大. 对54个样本统计得出不稳定条件下水平风速谱峰值对应的频率(n_{um} , n_{vm})平均为0.005—0.0085Hz, 中性时为0.006—0.011Hz, 稳定时0.011—0.02Hz; 与此相应铅直风速谱的 n_{wm} 分别为0.015Hz、0.023Hz和0.037Hz. 与国内外一些结果^[2,6]相比, 不稳定和中性时的 n_{um} , n_{vm} , n_{wm} 略高一些. 这可能与我们的采样时间短、观测到的低频湍流少有关.

有时谱分布在第一个峰值右面(其频率较第一个峰值高)会出现第二个峰值, 一般第二个峰值比第一个小, 而且横向和铅直向速度谱(图3(b))出现这种情况较多.

表2指出, 中性和稳定层结下出现双峰的比例较不稳定时高. 这反映复杂、粗糙的城市下垫面机械作用有时能使湍流能谱在含能区与惯性副区之间出现第二峰值. 而且这种机械作用在中性层结为最强. 此外, 还发现纵向谱双峰都出现在大风速条件下, 这与大风能增强机械作用有关. 由于样本太少, 还有待于今后研究.

2. 谱模式

为了定量地反映湍谱的一般特征, 许多气象学家已由实测资料研究得出不同稳定度条件下湍流速度谱和温度谱的经验公式—谱模式^[11-14].

(1) 中性层结

对中性大气(8)式中的 $\varphi_e=1$, 速度谱与频率 f 的关系可表示为:

$$\frac{nS_i(n)}{u^2} = \frac{C_1 f}{(c_2 + c_3 f)^{5/3}} \quad (i=u, v), \quad (9a)$$

表 2 第二峰值频率(Hz)及其出现的比例

层 结	稳 定				中 性				不 稳 定					
	时 间	\bar{u}	n_{um}	n_{vm}	n_{wm}	时 间	\bar{u}	n_{um}	n_{vm}	n_{wm}	时 间	\bar{u}	n_{um}	n_{vm}
7月1日 0:00	1.72			0.08	7月1日 10:05	1.63		0.035	0.05	7月1日 15:00	1.90			0.045
7月1日 06:00	1.55		0.07		7月2日 07:50	1.78			0.05	7月3日 12:00	1.81			0.1
7月2日 03:00	2.44	0.055			7月3日 09:55	1.34		0.09	0.06	7月4日 15:00	3.36	0.045		
7月3日 03:00	1.66			0.06	7月3日 19:27	3.85	0.045	0.09	0.055	7月5日 10:00	2.98			0.075
7月4日 03:00	2.02			0.09	7月4日 10:00	2.69			0.045	7月7日 15:01	2.14		0.045	
7月7日 19:40	2.32			0.055	7月5日 03:00	2.02			0.1					
					7月5日 07:53	1.90			0.07					
					7月6日 18:25	1.92		0.04						
n_{im}		0.055	0.07	0.071			0.045	0.063	0.061			0.045	0.045	0.073
出现比例		1/16	1/16	4/16			1/19	4/19	7/19			1/19	1/19	3/19

$$\frac{n S_w(n)}{u^2} = \frac{c_1 f}{[c_2 + c_3 (f)^{5/3}]}, \quad (9b)$$

式中 c_1, c_2, c_3 为常数, 不同的人用不同的资料将得出不同的 c_i 值(表 3). 本文拟合得出的中性谱模式分布如图 4 所示.

表 3 中性大气谱模式(公式(9))中的常数 c_i 值

c_i 速度分量	本 文			文 献 [11]			文 献 [13]		
	c_1	c_2	c_3	c_1	c_2	c_3	c_1	c_2	c_3
u	105	1.52	22.4	105	1	33	105	0.44	33
v	17	0.83	6.4	17	1	9.5	17	0.38	9.5
w	2	0.39	2.6	2	1	5.3	2	0.44	5.3

由图 4 可以看到: (1)纵向谱的低频段比 Teunissen, kaimal 和 Höglström 的都低(以下简称 T, K, H 模式), 不过与 H 模式很接近, 高频部分明显高于 K, T, H 模式; (2)铅直向与横向速度谱与 K, T, H 模式相比, 谱曲线在高频和低频端普遍上抬. 这种谱分布特征可以从广州的地形和气流之间的配置关系来解释. 文献 [7] 研究了地形变化对速度谱的影响, 结果指出, 气流流过复杂地形时, 由于湍流高频和低频成分的响应速率不同, 导致速度谱形状的调节和平衡. 当沿下风方向地面粗糙度增加时(如从水面

到陆面, 从平地到坡地或山地), 纵向谱只在高频端能迅速调节到与新下垫面平衡的状态(高频端谱密度增加), 而低频部分仍保留原地形上的性质而不受影响; 铅直速度谱由于低频成分少而趋于局地地形的平衡之中; 横向谱情况间于纵向和铅直谱之间. K 和 T 模式分别为理想的平坦地和农庄植被地, 在气流行径上没有地形变化, H 模式为内陆城市, 有地形抬升, 但无水陆差别. 广州试验期间盛行东南偏南风(本文分析样本已将个别偏北风剔除), 气流由海面经珠江口来到广州市中心, 既有海陆差异, 又有地形抬升, 从而形成图 4 所示的谱分布.

(2)非中性层结

非中性时(8)式中的 φ_c 是 $\frac{Z}{L}$ 的函数. 文献 [11] 由 Kansas 实验给出 φ 的表达式如下:

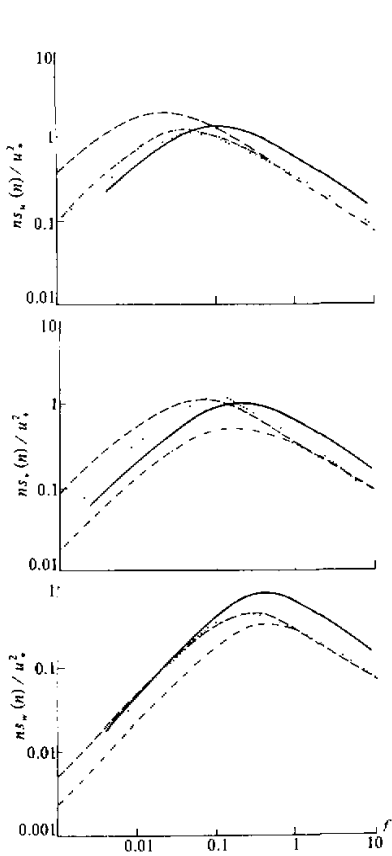


图4 中性大气风速谱模式
实线、点划线、虚线和点线分别为本文、文献[8]、文献 [11] 和文献 [13] 近中性模式

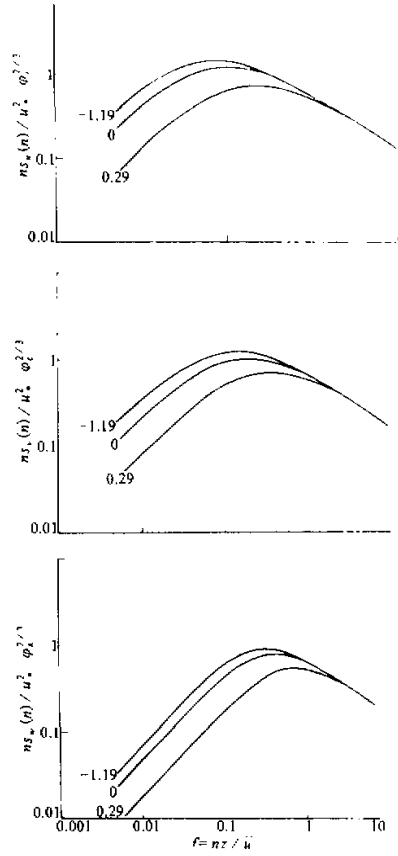


图5 不同稳定度条件下的归一化速度谱
曲线所注数字为Z/L值

$$\left. \begin{aligned} \varphi_e^{2/3} &= 1 + 0.5 \left| \frac{Z}{L} \right|^{2/3} & -2 \leq \frac{Z}{L} \leq 0 \\ \varphi_e^{2/3} &= 1 + 0.25 \left| \frac{Z}{L} \right|^{3/5} & 0 \leq \frac{Z}{L} \leq +2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

并指出，在用 $u^2 \varphi_e^{2/3}$ 归一化的谱分布图上，低频段各曲线按不同的 Z/L 值互相分开，随着频率的增加这些曲线都汇合于高频端。本文图 5 所示的谱曲线就具有这样的特征。图 5 中的 $\varphi_e^{2/3}$ 为

$$\varphi_e^{2/3} = \begin{cases} 1 + 0.41 \left| \frac{Z}{L} \right|^{2/3} & Z/L \leq 0 \\ 1 + 1.39 \left| \frac{Z}{L} \right|^{3/5} & Z/L \geq 0 \end{cases} \quad (11)$$

是根据中性谱(取 $\varphi_e^{2/3} = 1$)资料代入(8)式求出 α ，然后由 α 和不同 Z/L 下的谱 $nS(n)/u^2$

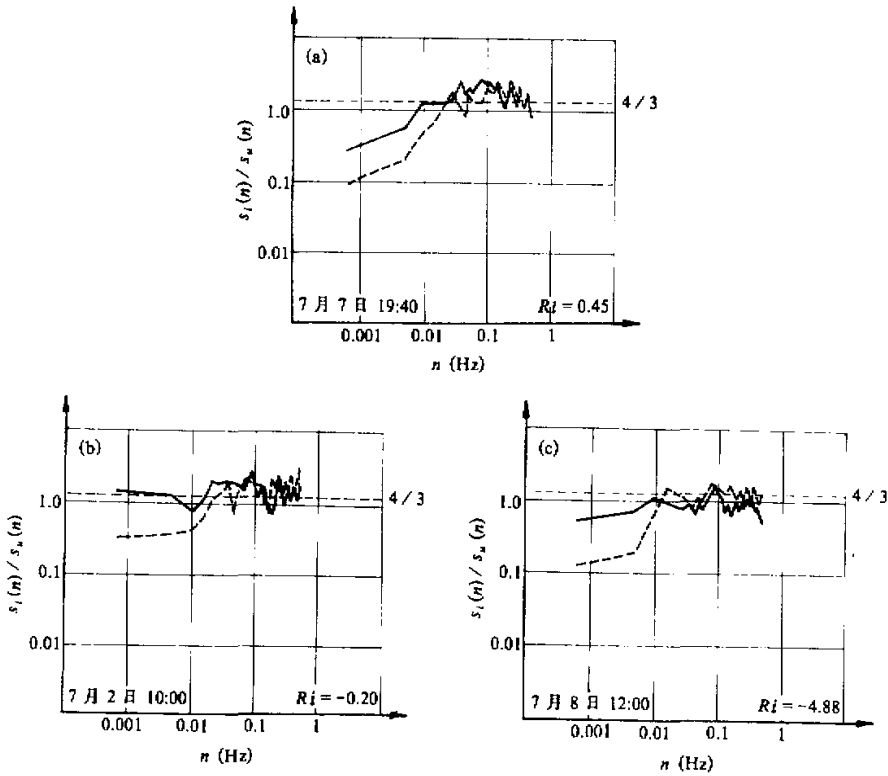


图 6 谱的比值 $S_i(n)/S_u(n)$
实线为 $S_e(n)/S_u(n)$, 虚线为 $S_w(n)/S_u(n)$

代入(8)式计算不同 Z/L 的 $\varphi_z^{2/3}$, 最后对 $\varphi_z^{2/3}$, Z/L 进行拟合而得。图中自上而下的三条曲线对应的 Z/L (平均值)分别为 -1.19 , 0 和 0.29 。

3. 谱的比值

在理论上, 各向同性湍流速度谱的比值 $S_w(n)/S_u(n)$ 和 $S_v(n)/S_u(n)$ 在惯性副区等于 $4/3$ 。Kansas 实验指出, 除了最稳定情况($Z/L > 1.0$)外, 谱的比值很接近 $4/3$, 在 $f=4$ 时 $S_w(n)/S_u(n)=1.33$, $S_v(n)/S_u(n)=1.28$ 。文献[11]介绍 Eidsvik 和 Panofsky 给出非均匀地面上 $S_w(n)/S_u(n)$ 值在 $f > 1.0$ 时达 $4/3$ 。北京城郊气象塔也观测到 $S_w(n)/S_u(n)$ 值在高频端接近 $4/3$ 。我们发现, 在所观测到的各种大气层结下, 在惯性副区有 $S_w(n)/S_u(n) \simeq 4/3$, $1 < S_v(n)/S_u(n) < 4/3$ (图6)。这表明在下垫面不均匀的城市近地层湍流也可能满足局地各向同性。

4. 误差分析

文献[15]指出, Gill-UVW 风速计测量的湍谱与超声风速仪测量的湍谱相比, 由于余弦误差使前者在 $n > 0.3\text{Hz}$ 的高频部分湍能比后者有所降低。这在我们的分析中也被发现。如图3所示, 能谱曲线在高频端($n > 0.3\text{Hz}$, 大约相当于 $f > 5$)偏离 $-2/3$ 次律而向下倾斜, 这种偏离以横向谱最明显。这也许是使 $S_v(n)/S_u(n) < 4/3$ 的原因之一。

六、结 论

通过以上分析可以看出, 广州市区近地层大气湍流结构和速度谱基本上满足局地相似理论, 但与那些平坦、均匀以及粗糙度变化较小的下垫面相比仍然存在某些差别。具体表现如下:

(1) 湍流 σ_i/u_i ($i=u, v, w$) 与稳定度之间存在 $1/3$ 次方律, 但在中性条件下 σ_i/u_i 值比平坦地面上的大。

(2) 在惯性副区, 纵向、横向和铅直向速度谱在三种稳定度层结下都符合“ $-2/3$ ”次律, 而且同一速度分量的谱曲线在低频段按稳定度分开, 在高频段汇合成一组曲线族, 这与平坦地形上得出的结果一致。

(3) 在惯性副区铅直向与纵向速度谱之比值近似等于 $4/3$, 湍流接近局地各向同性。

(4) 由于气流所经之处下垫面粗糙度的增加, 使中性条件下的纵向速度谱高频端和整个铅直速度谱能量比上游平坦下垫面上的有明显增加。

参 考 文 献

- [1] Lumley, J. L. and H. A. Panofsky, 1964, *The Structure of Atmospheric Turbulence*, Interscience Publishers, New York, 239 pp.
- [2] Haugen, D. A. (Ed.), 1973, *Workshop on Micrometeorology*, The Amer. Meteor. Soc., Boston, 392 PP.
- [3] Panofsky, H. A. and J. A. Dutton, 1984, *Atmospheric Turbulence: Models and Methods for Engineering Applications*, Wiley-Interscience, New York, 397 pp.
- [4] 叶卓佳、朱翠娟、李兴生、周明煜, 1983, 强雷雨云边界层小尺度结构和谱特征, 大气科学, 7(2)

- 162—169.
- [5] 王立治、章小平、王晓曦、李德新、张 越, 1985, 城郊大气近地面层湍流特征的初步研究, *大气科学*, 9(1), 11—18.
- [6] 姚增权、刘思桐、邱 欣, 1989, 盆地中近山平原近地层风速谱特征, *大气科学*, 13(4), 474—479.
- [7] Panofsky, H. A., Larko, D., Lipschutz, R. and Stone, G., 1982, Spectra of velocity components over complex terrain, *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 108, 215—230.
- [8] Högström, U., Bergström, H. and Alexandersson, H., 1982, Turbulence characteristics in a near neutrally stratified urban atmosphere, *Boundary-Layer Meteor.*, 23(4), 449—472.
- [9] 李振华、周朝辅、朱 明、吴建新, 1987, UVW 风速表的数据采集处理系统, *气象科学*, No. 4, 109—116.
- [10] Merry, M. and Pansky, H. A., 1976, Statistics of Vertical motion over land and water, *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 102(431), 255—263.
- [11] Kaimal, J. C., Wyngaard, J. C., Izumi, Y. and Cote, O. R., 1972, Spectral characteristics of surface-layer turbulence, *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 98, 563—589.
- [12] Kaimal, J. C., 1978, Horizontal velocity spectra in an unstable surface layer, *J. Atmos. Sci.*, 35(1), 18—24.
- [13] Teunissen, H. W., 1980, Structure of mean winds and turbulence in the planetary boundary layer over rural terrain, *Boundary Layer Meteor.*, 19(2), 187—221.
- [14] Højstrup, J., 1982, Velocity spectra in the unstable planetary layer, *J. Atmos. Sci.*, 39(10), 2239—2248.
- [15] Horst, T. W., 1973, Correction for response errors in a three-component propeller anemometer, *J. Appl. Meteor.*, 12(4), 716—725.

Microstructure and Spectral Characteristics of Turbulence in the Surface-Layer Atmosphere over Guangzhou

Xu Yumao, Zhou Chaofu, Li Zhenhua and Li Zongkai

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008)

Abstract

The intensities, correlation coefficients, scales and spectra of velocity components of turbulence in the atmospheric surface-layer in the city of Guangzhou are studied using data from an UVW anemometer. The models of velocity spectra in different stratified atmosphere are also approached. The results show that in the urban surface-layer, the turbulent behaviour is nearly consistent with the laws of local isotropy in the inertial subrange, the velocity spectra conform to Kolmogorov's similarity theory. The turbulent energy (especially for the vertical wind component) in the coastal city surface-layer, because of the increase of the surface roughness in the wind direction, is larger than that over flat and homogeneous terrain.

Key words: Turbulence intensity; Velocity spectra; Local isotropy; Similarity theory.