

# 南沙海域近海层大气湍流 结构及输送特征研究\*

马耀明 王介民 刘 巍 张庆荣 麦波强

(中国科学院兰州高原大气物理研究所, 兰州 730000)

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

**摘 要** 本文根据南沙群岛渚碧礁的一次大气湍流观测资料, 分析研究南沙海域的湍流热通量输送、方差相似性、风速各分量谱、温度谱及各湍流通量协谱等大气湍流结构和输送特征, 并与陆地下垫面上的结果作了比较, 得到了一些有关南沙海域大气湍流输送及湍流结构的新认识。

**关键词** 南沙海域 湍流通量 湍流结构 方差相似性 湍流谱及协谱

## 1 引言

近海层大气湍流交换过程历来是海气相互作用研究中的重要课题之一, 而海洋与大气之间的动量、能量和物质的湍流交换与近海层的大气湍流结构有密切的关系。所以国际上一些较大的海气交换过程实验, 如 BOMEX (巴巴多斯海洋和气象实验)、ATEX (大西洋季风实验) 和 TOGA (热带海洋和全球大气的海洋与大气相互关系的调查计划) 等都曾把大气湍流结构的观测研究作为其主要内容之一<sup>[1~3]</sup>。

南沙群岛及其邻近海域面积约 70 多万平方公里, 地理位置十分重要。然而对这一海域海气相互作用规律, 尤其是对近海层大气湍流结构及输送特征的研究尚属空白。基于此原因, 作为“八五”国家科技攻关课题“南沙群岛及其邻近海区综合考察”的一部分, 我们于 1994 年 9 月 18 日至 9 月 30 日在南沙群岛的渚碧礁利用先进的湍流观测仪器进行了近海层的大气湍流观测研究。本文就是根据这次观测的资料, 对南沙海域有关的湍流热通量、方差相似性、湍谱及协谱的特征进行分析研究, 以了解该海域近海层的大气湍流结构及输送特征。

## 2 实验概况、观测仪器及资料的采集与处理方法

### 2.1 实验概况

本次实验在南沙群岛的渚碧礁(114°04'E, 10°52'N)上进行, 下垫面为平坦海面, 基本代表了南沙群岛及其附近海域大面积海洋下垫面的特性。实验期间该海域的主导方向为西南风; 日平均气温约 28.5°C 且日较差较小( $\pm 1.5^\circ\text{C}$ ); 相对湿度较大 ( $H_r \approx$

1995-11-07 收到, 1996-03-25 收到修改稿

\* 本文是“八五”国家科技攻关课题“南沙群岛及其邻近海域海洋大气物理场分析及应用”的研究成果

80%)。观测仪器架设在诸碧礁的水泥平台上(平台直径 20 m),仪器观测高度为 6.9 m,水泥平台距海平面的高度约 2.5 m。为了尽可能地避免水泥平台对湍流测量的影响,仪器尽量靠近平台边缘架设(距边缘约 2 m)。

## 2.2 观测仪器、观测资料的采集与处理

本次实验采用了适合涡旋相关计算的湍流观测仪器——超声风温仪和红外湿度计。王介民等对此系统的工作原理作了介绍<sup>[4]</sup>。本次观测实验的数据采集由一台 Toshiba 笔记本计算机完成,它体积小、携带方便、操作简单。湍流观测中采样频率为 10 Hz,采样时间每次 30 min。每次采样从北京时整点前 15 min 开始到正点后 15 min 结束,每 2 小时采集一次,一天中可采集到 12 个时次的资料。每次采集完毕,原始数据存入软盘,并且可以实时完成对该时次数据的涡旋相关计算,输出风、温、湿的各种统计量、稳定度参数及有关湍流流量,便于现场检查和分析测量结果,确保观测数据的准确性。

湍流统计特征量的计算是由原始资料的时间序列经过去趋势、坐标旋转等处理后计算出风速( $u, v, w$ )、温度( $T$ )和湿度( $q$ )的平均值、方差、协方差、近海层特征尺度( $u_*, T_*$ 和 $q_*$ )、稳定度参数( $Z/L$ ,  $Z$ 为观测高度,  $L$ 为 Monin-Obukhov 长度)、感热通量( $H_s$ )和潜热通量( $E_{lat}$ )等。各主要量的计算公式如下:

$$\text{感热通量} \quad H_s = \rho C_{pd} \overline{w' T'}, \quad (1)$$

$$\text{潜热通量} \quad E_{lat} = \lambda \rho \overline{w' q'}, \quad (2)$$

$$\text{稳定度参数} \quad Z/L = -Z g k \overline{w' T'_v} / (u_*^2 T_v), \quad (3)$$

其中,  $\lambda$  为水的汽化潜热,  $T_v$  为虚温,  $T'_v$  为虚温脉动量, 其他为一般常用符号。

风速各分量和气温的功率谱以及动量通量、感热通量和潜热通量的协谱计算主要基于 1024 个数据点,用快速傅里叶变换(FFT)进行。对于 30 min 运行的时间序列,大约可分成 18 个 1024 数据段,每段分别计算粗谱,再经三角滤波及对数分段平均,并将 18 段作总体平均,得到该时次高频段的谱(频率  $f \approx 0.01 \sim 5$  Hz, 约 23 个谱点)。为了得到该时次测量低频段(频率  $f \approx 0.0006 \sim 0.3$  Hz)的谱值,需将原始序列每 18 个预先平均,得到一个新的 1024 序列。类似以上的分析,并将所得的结果与高频段的谱值合并,即得到全部频率范围的谱。这样处理所得高低频段谱的频率相同部分的谱值重合很好<sup>[4]</sup>。

## 3 结果分析

### 3.1 南沙海域近海层湍流热通量输送

图 1 是实验期间 9 月 19 日零时到 22 日 24 时连续 4 天感热和潜热通量的日变化特征。从图中可以看出:①南沙海域上空的感热在一天当中无论白天还是晚上都毫无例外地由海洋向大气输送(正值)。且日变化不明显。这是由于这一海区上空气温梯度日变化不明显所致。②潜热通量无论白天还是晚上也总是由海洋向大气输送(正值),从而使该海区上空水汽通量较大。潜热通量日较差虽不明显,但仍表现出白天大于夜间的特点,且中午时刻(北京时 13 时)最大。③在该海域向大气输送的热量中水汽蒸发潜热输送占主导地位,感热输送不到潜热输送的 10%。

3.2 无量纲化方差的相似性分析

3.2.1 无量纲化风脉动分量方差的相似性

若 $\sigma_u$ 、 $\sigma_v$ 和 $\sigma_w$ 分别为风脉动的顺风(纵向)、横风(横向)和垂直分量的标准差,则据 Monin-Obukhov 相似理论, $\sigma_u/u_*$ 、 $\sigma_v/u_*$ 和 $\sigma_w/u_*$ 都应是和稳定度参数 $Z/L$ 有关的通用相似函数。在近中性条件下( $Z/L \approx 0$ ),近地层湍流主要由机械生成,各相似函数分别为常数(设为 $A$ 、 $B$ 、 $C$ )。对这次实验的 $Z/L = -0.09 \sim -0.01$ 共 49 个近中性时次, $A$ 、 $B$ 和 $C$ 的均值列在表 1 中。表中同时列出了两个参考结果。被广为引用的 Panofsky<sup>[5]</sup>的均值是对近 10 个平坦地形下的实测结果的简单平均。兰州代表典型的山谷城市<sup>[6]</sup>。该城市市区处在狭长的河谷盆地中,长约 35 km,宽约 2~6 km。南北两山沟壑纵横,山顶与谷地相对高度达 300~600 m。实验场地选在市中心一块 100 m×150 m 的平坦空地上,南面有高约 15 m 的五层楼房,东面(主导方向)近百米内以平房为主。湍流观测仪器采用架设在 6.5 m 杆上的超声风温仪。

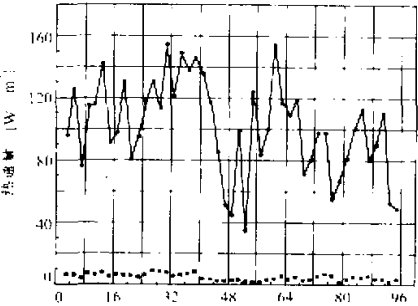


图 1 湍流热通量的日变化  
■:  $H_z$ ; •:  $E_{in}$

表 1 近中性条件下无量纲化风速分量方差

	南沙海域	Panofsky	兰州
$\sigma_u/u_* = \varphi_u(Z/L) = A$	$2.32 \pm 0.15$	$2.39 \pm 0.03$	$2.36 \pm 0.04$
$\sigma_v/u_* = \varphi_v(Z/L) = B$	$1.76 \pm 0.16$	$1.92 \pm 0.05$	$2.40 \pm 0.08$
$\sigma_w/u_* = \varphi_w(Z/L) = C$	$1.20 \pm 0.05$	$1.25 \pm 0.03$	$1.31 \pm 0.02$

从表 1 中可以看出,南沙海域的有关值与 Panofsky 和兰州的值相比, $\sigma_u/u_*$ 、 $\sigma_w/u_*$ 的差别较小,但对 $\sigma_v/u_*$ 而言,南沙海域的值与 Panofsky 的值较接近,而与兰州的值差别却很明显。这是因为前两者下垫面地形接近,而后两者地形差别明显所致。下节的谱分析结果也证明了以上的结论。

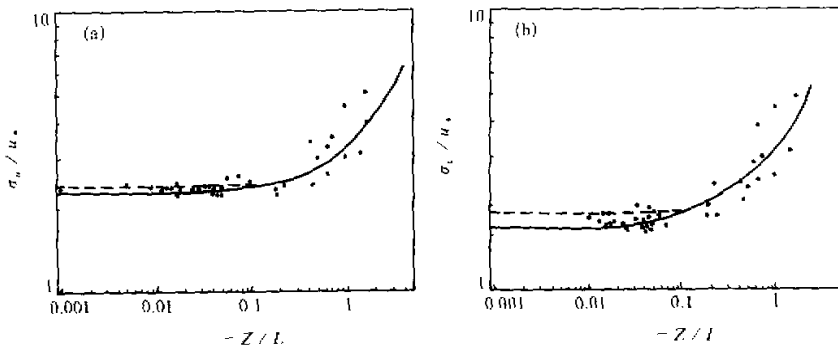
图 2 是此次实验中水平风速方差 $\sigma_u/u_*$ 、 $\sigma_v/u_*$ 随稳定度参数 $Z/L$ 的变化。图中同时给出了 Panofsky 等的结果<sup>[5]</sup>。在近中性条件下,数据点粗略地展示为一常值,且此常值与 Panofsky 的结果基本接近。在强不稳定条件下,水平风速方差 $\sigma_u/u_*$ 和 $\sigma_v/u_*$ 的分布粗略地符合“1/3”定律,相似函数分别为

$$\varphi_u(Z/L) = \sigma_u/u_* = 3.50(-Z/L)^{1/3}, \quad (Z/L \leq -0.30) \tag{4}$$

$$\varphi_v(Z/L) = \sigma_v/u_* = 3.36(-Z/L)^{1/3}, \quad (Z/L \leq -0.30) \tag{5}$$

大量的陆面过程实验表明无量纲垂直风速方差的相似性较好。Wang 和 Mitsuta<sup>[7]</sup>在戈壁下垫面上得出了如下的垂直风速方差相似函数

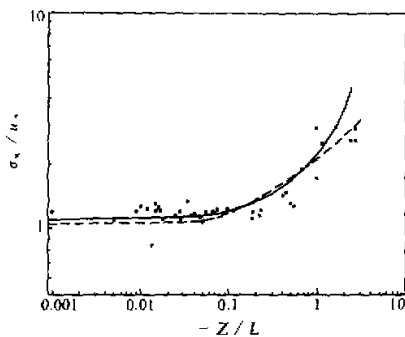
$$\varphi_w(Z/L) = \sigma_w/u_* = \begin{cases} 1.90(-Z/L)^{1/3}, & (Z/L \leq -0.35) \\ 1.14(1 - 1.5Z/L)^{1/3}, & (0.35 < Z/L \leq 0) \\ 1.14(1 + 0.6Z/L)^{1/3}, & (0 < Z/L) \end{cases} \tag{6}$$

图2 水平风速方差 $\sigma_u/u_*$ 、 $\sigma_v/u_*$ 相对于稳定度的变化

--- Panofsky

图3是南沙海域的无量纲化垂直风速方差 $\sigma_w/u_*$ 随稳定度参数 $Z/L$ 的变化关系。图中同时也给出了Wang和Mitsuta<sup>[7]</sup>的结果。由图可见无量纲化垂直风速方差的相似性较好。拟合得到最佳相似函数为

$$\varphi_w(Z/L) = \sigma_w/u_* = \begin{cases} 2.14(-Z/L)^{1/3}, & (-6.0 \leq Z/L \leq -0.20) \\ 1.20(1 - 2.6Z/L)^{1/3}, & (-0.20 < Z/L < 0) \end{cases} \quad (7)$$

图3 垂直风速方差 $\sigma_w/u_*$ 相对于稳定度的变化

--- Wang和Mitsuta

可见南沙海域的垂直风速方差在不稳定及中性条件下 $(-6.0 \leq Z/L < 0)$ 与Wang和Mitsuta<sup>[7]</sup>的结果相近。表1说明地形起伏及下垫面物理特性差异对垂直风速的统计特征影响较小。下节的湍谱分析也表明,垂直速度谱可以很快地调节到局地地形。

### 3.2.2 无量纲化温度方差 $\sigma_T/|T_*|$ 和湿度方差 $\sigma_q/|q_*|$ 的相似性

利用湍流统计特征量资料分析了无量纲化温度方差 $\sigma_T/|T_*|$ 和湿度方差 $\sigma_q/|q_*|$ 的相似性。同时与Wang和Mitsuta<sup>[8]</sup>的结果作了比较。温度方差分布有以下特点:

①近中性及不稳定条件下,南沙海域的 $\sigma_T/|T_*|$ 与绿洲下垫面上有相同的趋势,但此海域 $\sigma_T/|T_*|$ 的最佳相似函数不能得出。②不稳定度增加、热力湍流活动加强,空气间热交换加快,气温脉动则变小,即 $\sigma_T$ 变小,而近地层近似为常通量层即 $T_*$ 随高度几乎不变,所以随着不稳定度增加 $\sigma_T/|T_*|$ 减小。③南沙海域的 $\sigma_T/|T_*|$ 比绿洲上空大,这是由两处下垫面差异所致。

湿度方差分布有如下的特点:在近中性及不稳定条件下南沙海域的 $\sigma_q/|q_*|$ 与绿洲下垫面上有相同的趋势,但南沙海域 $\sigma_q/|q_*|$ 的最佳相似函数象 $\sigma_T/|T_*|$ 一样不能得到。且南沙海域的 $\sigma_q/|q_*|$ 都比绿洲上空大。

### 3.3 南沙海域湍流谱及协谱特征

#### 3.3.1 速度谱与温度谱

根据 Kolmogorov 理论, 湍流的热力和动力生成主要发生在靠近谱峰的低频区域。低频湍流所含的能量逐级向较高频率的湍流传递, 直至最后完全被分子热耗散。高频部分存在一段惯性副区, 在此惯性副区内能量在逐级传递过程中不发生耗散, 且湍流能谱遵从  $-5/3$  定律, 以速度分量  $u$  为例, 有

$$S_u(K_1) = \alpha_u \varepsilon^{2/3} K_1^{-5/3}, \quad (8)$$

或

$$nS_u(n) = \alpha_u \varepsilon^{2/3} n^{-2/3}, \quad (9)$$

其中  $K_1$  为一维波数,  $n$  为自然频率,  $S_u(K_1)$  或  $S_u(n)$  为  $u$  分量能谱密度,  $\alpha_u$  为 Kolmogorov 常数,  $\varepsilon$  为湍流动能耗散率。同样温度谱  $S_T(n)$  也遵循  $-5/3$  次幂定律, 表达式为

$$nS_T(n) = \alpha_T \varepsilon^{-1/3} N n^{-2/3}, \quad (10)$$

式中  $\alpha_T$  为温度谱的 Kolmogorov 常数,  $N$  为温度脉动耗散率。用特征参数  $u_*$  和  $T_*$  无量纲化后(9)、(10)式分别改写成

$$nS_u(n)/u_*^2 = [\alpha_1 / (2\pi K)^{2/3}] \varphi_\varepsilon^{2/3} f^{-2/3}, \quad (11)$$

$$nS_T(n)/T_*^2 = [\alpha_T / (2\pi K)^{2/3}] \varphi_N \varphi_\varepsilon^{-1/3} f^{-2/3}, \quad (12)$$

其中  $K$  为卡曼常数,  $f = nZ/u$  为无量纲约化频率,  $\alpha_1$  为 Kolmogorov 常数,  $\varphi_\varepsilon$  为无量纲湍能耗散率,  $\varphi_N$  为无量纲热力耗散率。据 Kaimal 等的结果<sup>[9]</sup>知(11)、(12)式中的  $\varphi_\varepsilon$  和  $\varphi_N$  在近中性( $Z/L > 0$ )条件下均为常数, 所以风速各分量谱和温度谱依以上的方法归一化后在惯性副区应汇合成斜率为  $-2/3$  的一条直线, 以  $u$  谱为例即表示成

$$nS_u(n)/u_*^2 = a f^{-2/3}, \quad (13)$$

其中  $a$  为常数。该式表示归一化后谱在惯性副区只跟频率  $f$  有关, 而与稳定度参数  $Z/L$  无关。

本文选取 7 个近中性时次的资料( $Z/L = -0.012 \sim -0.017$ )作出了平均的风速各分量( $u, v, w$ )和温度( $T$ )谱分布(图 4), 各图中的纵坐标用以上的方法归一化。作为比较, 各谱图中同时画出了近中性情况下 Kansas 实验(典型的平坦草原下垫面)的结果。

图 4 显示出南沙海域的湍流谱分布有以下的特点: ①各种谱在惯性副区汇合成斜率为  $-2/3$  的一条直线, 这与以上的理论分析及许多实验的结果<sup>[6,7]</sup>相一致。②  $w$  谱具有典型的分布形式, 与 Kansas 的结果相比有很好的一致性, 这也与前面方差的分析结论相一致, 表明下垫面的条件对垂直速度谱的影响不明显。 $w$  谱的峰值频率  $f_m \approx 0.6$ , 相当于峰值波长即垂直方向的主导涡旋尺度  $l_m$  约为 15 m ( $l_m = Z/f_m$ ), 说明垂直方向上湍流主要是尺度较小、频率较高的湍流起作用。③  $u$  谱的分布有不同于典型情况的特征。 $f < 0.04$  的低频部分所含的能量明显偏高, 且有双峰现象出现。第一峰值出现在  $f_m = 0.04$  附近, 相当于  $u$  方向上的主导涡旋尺度约为 225 m, 第二峰值能量更高,

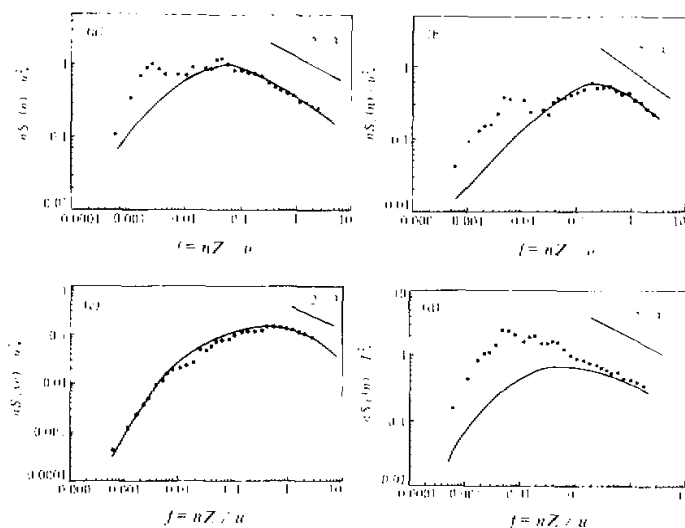


图4 平均的风速各分量及温度谱的分布

(a)  $u$  谱; (b)  $v$  谱; (c)  $w$  谱; (d)  $T$  谱。实线为 Kaimal 的结果

$f_m \approx 0.003$ , 相当于主导涡旋尺度约为 3000 m, 这一点说明  $u$  方向上主要是数百米到数公里的涡流对湍流起作用。④横向速度  $v$  谱的低频部分所含能量与典型情况相比明显偏高。一明显的峰值频率  $f \approx 0.2$ , 相当于  $v$  方向上的主导涡流尺度约为 45 m, 即  $v$  方向上数十米的涡流对湍流的作用显著; 另一峰值约在  $f_m = 0.005$  处。⑤作为标量的温度谱与 Kansas 实验的结果的形状差异很明显, 峰值频率  $f_m \approx 0.005$ 。这是由海面上空特殊的温度层结所决定的。

### 3.3.2 动量、感热及潜热通量的协谱

海面上近地层风速垂直分量与水平分量及温度、湿度等变量的协谱研究, 有助于了解海面上有关输送的涡旋尺度分配情况及各通量的输送效率, 进而有助于确定各湍流通量测量中所需要的频率响应和平均时间。

据 Kolmogorov 理论, 动量、感热及潜热通量的协谱用特征参数  $u_*$  和  $T_*$  无因次化后有<sup>[9]</sup>

$$-nS_{u_n}(n)/u_*^2 = [\alpha_{u_n}/(2\pi K)^{4/3}]G(Z/L)f^{-4/3}, \quad (14)$$

$$nS_{wT}(n)/u_* T_* = [\alpha_{wT}/(2\pi K)^{4/3}]H(Z/L)f^{-4/3}. \quad (15)$$

仿感热通量协谱, 这里给出潜热通量协谱用湿度特征量  $q_*$  无因次化后的表达式

$$nS_{wq}(n)/u_* q_* = [\alpha_{wq}/(2\pi K)^{4/3}]Q(Z/L)f^{-4/3}. \quad (16)$$

以上 3 式中的  $\alpha_{u_n}$ 、 $\alpha_{wT}$  和  $\alpha_{wq}$  均是 Komogorov 常数,  $G(Z/L)$ 、 $H(Z/L)$  和  $Q(Z/L)$  为通用函数。据 Kaimal 的结果<sup>[9]</sup>知  $G(Z/L)$  和  $H(Z/L)$  在近中性 ( $Z/L \rightarrow 0$ ) 时均为常数, 如假设  $Q(Z/L)$  在近中性时也为常数, 则动量、感热和潜热通量的协谱在近中性条

件下, 按以上的方法归一化后, 在惯性副区汇合成斜率为  $-4/3$  的一条直线。以动量通量协谱为例即表示成

$$-nS_{uw}(n)/u_*^2 = bf^{-4/3}. \quad (17)$$

其中  $b$  为常数。此式表示归一化后的协谱在惯性副区只跟频率  $f$  有关, 而与稳定度参数  $Z/L$  无关。

图 5 是本次实验中得到的近中性条件下 ( $Z/L = -0.012 \sim -0.017$ ) 平均的动量、感热及潜热通量的协谱分布。从此图中可看出南沙海域的湍流通量协谱有以下的特点: ①与前面的单个参量的功率谱相比其高频和低频两端的衰落都明显加快。高频端出现明显的惯性副区特征, 斜率很接近理论值 ( $-4/3$ )。②动量、感热及潜热通量协谱的峰值频率  $f_m$  都在 0.05 附近, 没有明显的差异, 这与 Panofsky 等的结果<sup>[5]</sup>一致。③动量通量协谱与 Kansas 及 BOMEX<sup>[1]</sup>的结果一致, 这是因为南沙海域及巴巴多斯海域的下垫面与 Kansas 一样为平坦均匀的下垫面; 而感热通量的协谱却是南沙海域与 Kansas 实验存在明显的差异, 这是因为南沙海域海表与表层附近的大气温差很小, 而 Kansas 实验则不然。④不论是高频区还是低频区, 在近中性条件下, 南沙海域的动量输送效率与感热输送效率差别不大。而潜热输送效率却明显大于感热输送效率, 两者相差近一个量级, 这与前节湍流通量的分析结果相一致。

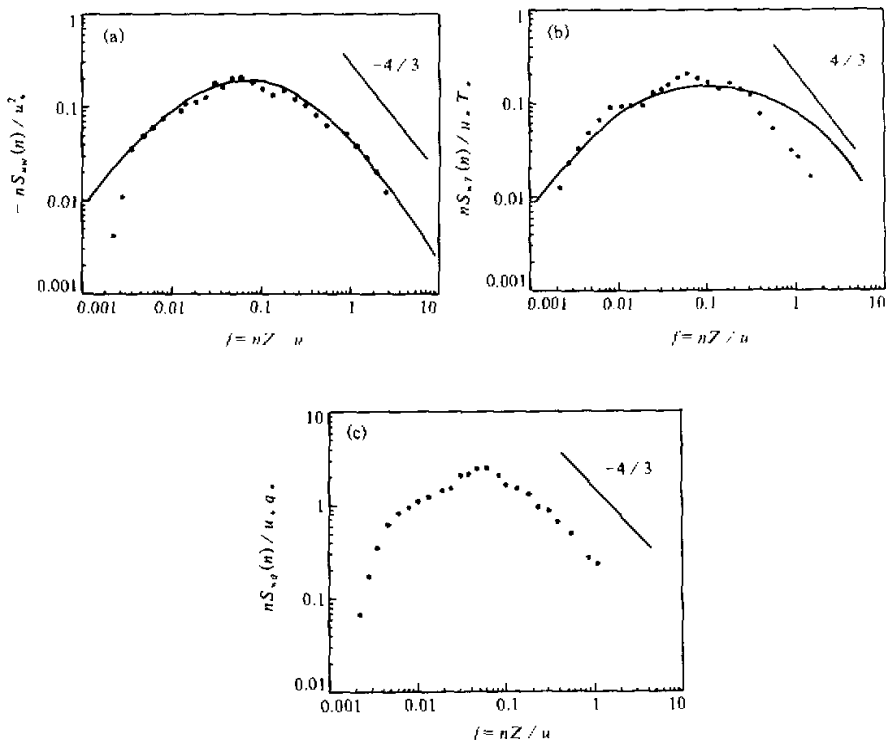


图 5 平均的动量、感热及潜热通量的协谱分布

(a) 动量协谱; (b) 感热通量协谱; (c) 潜热通量协谱。实线为 Kaimal 的结果

## 4 结论

(1) 南沙海域无论白天还是晚上, 感热和潜热通量都是由海洋向大气输送。潜热输送占主导地位, 感热输送不到潜热输送的 10%。

(2) 南沙海域无量纲化垂直速度方差符合 Monin-Obukhov 相似理论的“1/3”定律, 并得到了通用相似函数  $\varphi_w$ , 且与陆地上的研究成果差别很小, 说明近海(地)层下垫面的特性对垂直速度方差的影响很微弱。无量纲化纵向和横向速度方差在不稳定条件下近似满足 Monin-Obukhov 相似理论的“1/3”定律, 并拟合得到了通用相似函数  $\varphi_u$  和  $\varphi_v$ , 在近中性条件下近似为常数, 这一常数与典型平坦下垫面上的值相近。无量纲化温度方差和湿度方差尽管比陆地上的绿洲下垫面上的实验结果大, 但却有相似的变化趋势, 而同时南沙海域的点比较离散, 难以拟合得到通用相似函数  $\varphi_T$  和  $\varphi_q$ 。

(3) 南沙海区的风速各分量谱及温度谱在惯性副区符合理论上的-2/3 次幂规律。除垂直速度谱符合一般的特征外, 纵向和横向速度谱在低频段的能量明显较高, 并伴有双峰现象出现。垂直方向上主要是小尺度的高频涡旋起作用, 纵向上主要是数百米到数千米的涡旋起作用, 而在横向上却是数十米到数千米的涡旋起作用。温度谱与陆地典型下垫面上的实验结果有明显的差异。

(4) 南沙海区动量、感热及潜热通量的协谱在惯性副区很接近理论上的-4/3 次幂规律, 且这三种协谱的峰值频率很接近。动量通量协谱与其他海面及陆面实验结果一致, 而感热通量协谱与典型的情况相比, 在惯性副区有明显的差异。不论是低频区还是高频区, 在近中性条件下, 潜热通量输送效率明显地大于感热通量输送效率, 两者相差近一个量级。

致谢: 中国科学院兰州高原大气物理研究所的贾立和祁永强参与了湍流资料的处理工作, 特此致谢。

## 参 考 文 献

- 1 Pond, S., G. T. Phelps, J. E. Paquin, G. Mobeian and R. W. Stewart, 1971, Mesurement of the turbulent fluxes of momentum, moisture and sensible heat over the ocean, *J. Atmos. Sci.*, **28**, 901~917.
- 2 Dunkel, M., L. Hasse, L. Krugermeyer, D. Schrieffer and J. Wucknitz, 1974, Turbutent fluxes of momentum, heat and water vapor in the atmospheric surface layer at sea during ATEX, *Boundary-Layer Meteorology*, **6**, 81~106.
- 3 曲绍厚, 1988, 西太平洋热带海域动量、感热和潜热等湍流通量的观测研究, *气象学报*, **46**(4), 452~461.
- 4 王介民、崔铁民、玉川一郎、光田宁, 1992, 一种湍流数据采集与实时处理系统, *高原气象*, **11**(4), 451~458.
- 5 Panofsky, H. A. and J. A. Dutton, 1984, *Atmospheric Turbulence*, John Wiley and Sons, New York.
- 6 Wang, J., 1992, Turbulence characteristics in an urban atmosphere of complex terrain, *Atmospheric Environment*, **26A**(15), 2714~2717.
- 7 Wang, J. and Y. Mitsuta, 1991, An observation study of turbulent structure and transfer characteristics in Heihe Gobi area, *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**(5), 587~593.
- 8 Wang, J. and Y. Mitsuta, 1991, An observation study of turbulent structure and transfer characteristics in Heihe oasis, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**(6), 1147~1154.
- 9 Kaimal, J. C., J. C. Wyngaard, Y. Izumi and Q. R. Cote, 1972, Spectral characteristics of surface-layer turbu-

lence, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **98**, 563~589.

## **The Study of the Characteristics of Both the Atmospheric Turbulence Structure and the Transfer in the Lower Layer of the Atmosphere above the Nansha Islands Area**

Ma Yaoming, Wang Jiemin, Liu Wei

(Lanzhou Institute of Plateau Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Zhang Qingrong and Mai Boqiang

(South China Sea Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301)

**Abstract** With the data observed in Nansha Islands, the characteristics of the both transfer and atmospheric turbulence structure of some physical parameters in the boundary layer are analyzed in this paper. These parameters include heat fluxes, variation similarity, wind spectrum ( $u$ ,  $v$ ,  $w$ ), temperature spectrum and cospectrum of different turbulent fluxes in the Nansha Islands area. Furthermore, these analyzed results are compared with the results in the land surface and some new ideas about the characteristics of the atmospheric turbulence structure and transfer in the Nansha Sea region are obtained.

**Key words** Nansha Islands    turbulence flux    turbulence structure    variation similarity  
spectrum and cospectrum