

相对日射资料的谱分析

徐金宝

(北京大学环境科学中心,北京 100871)

提 要

采用文献[1]所述的相对日射计,将它测得晴天连续日变化资料;用谱的统计方法,来分析研究大气边界层中湍流活动。

对1980年1月14和15日两天资料,用两种取样时段(总记录时间),分别进行谱的统计分析。结论:整个白天(8小时)和2小时内确有不同频率或周期的波动;以低频部分贡献最大(2/3总能量),其次高频部分一般为几分钟周期亦很明显。因而作者设想把它作为研究大气边界层中湍流活动的一种探测工具,用它能测得水平尺度为100—1000m量级的大气介质密度“非均匀”的湍流。对于边界层湍流结构,污染物扩散等问题的研究将发挥它的作用。

关键词: 相对日射 湍流 谱分析

引 言

研究大气湍流运动的测量工作早已开展。但是探测工具至今尚未普及;而且通常为空间某高度的湍谱测量。诸如,用DISA热线微风仪,在某一观测点能测量得到间隔时间极短的风速涨落值。这些起伏的振幅和频率都不相同,并以随机的方式出现。很自然,统计的方法,将被用来阐明表征这些起伏量结构的规律。

我们用相对日射计所测的资料,从原始记录曲线(图1)能清楚地看出存在着许多“彼此叠加”的涨落现象。

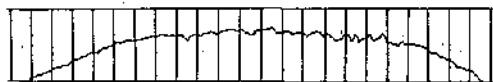


图1 相对日射计原始记录(1980.1.15)

本文设想和尝试用统计方法,得到这些起伏量结构的规律。

1 测量和统计原理

1.1 测量原理

用相对日射计测量太阳直接辐射强度 S ,它是一种光电型日射仪器,仪器感应面内的表面有一星盘状的温差电堆^[2],测量它以获得温差电动势大小来计算 S 的强弱。

倘若边界层内大气介质的密度,由于加进不同数量的气溶胶粒子而成为水平不均匀时,随着大气运动而输送,经过仪器的测量视程,由于介质密度的非均匀性,必定引起对太阳直接辐射的衰减时强时弱,从而使测量到的温差电动势也随之涨落。

1.2 统计原理

关于处理类似大气湍流测量中所遇到的时间序列的富氏变换,Panofsky(1954年)和Jons(1957年)曾提出^[3]用于分析电信号中的噪声问题的方法,并具有很好的实用价值。

我们所采用的具体方法,按文献[4]所述的谱分析进行计算。

它的原始公式为:

$$P_K(A) = 4 \times \Delta t \sum_{l=0}^M L_l(A, A) \cdot \cos \frac{Kl\pi}{M} \cdot D_l \cdot \delta_l \quad (1)$$

式中, $P_K(A)$ 为序列计算谱密度(经过后延窗函数修正), $K=0, 1, 2, \dots, M$; Δt 为 A 序列取样时间的间隔; I 为后延系数, $I=0, 1, 2, \dots, M$, M 为最大后延数; $L_I(A, A)$ 为自身协方差, 或自身后延相关; D_I 为后延窗函数, 可用 $D_I = \cos^2 \frac{I\pi}{2M}$; δ_I 为后延宽度。

关于气象要素时间序列分析, 愈来愈多地使用谱分析工具。所谓谱分析, 是把不同频率的振动, 按其方差贡献大小进行分解, 从而研究在序列中哪一种频率占优势。我们所研究的是太阳直接辐射能量涨落的分布, 即根据不同谐波频率的贡献大小进行分解, 进而来探讨城市污染物所造成边界层内大气介质密度“非均匀度”及其运动的规律。

2 资料来源、统计方法及结果

2.1 资料来源

采用文献[1]所述的相对日射计, 从它测得晴天连续日变化资料中选择了1980年1月14日和15日两例。天气条件均为晴空无云, 除08时有烟外, 其它时间能见度较好(7级

以上); 但是地面风有明显差别, 14日为偏北风风速较大, 而15日为偏南风风速中等。温度和风的层结分别用图2a、b表示。从图2a、b可见, 14日和15日13时, 低层大气存在不稳定区, 其它时间均为稳定区。

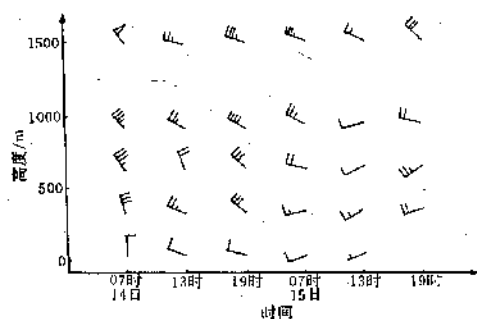


图2b 风随高度变化(1980年1月14日、15日)

2.2 统计方法

在统计过程中, 考虑一日内不同时刻大气稳定度状况不尽一致, 因而将 A 序列总数 N 分别取 1024 和将 1024 分成 4 个 256, 即整个白天作为一个序列和把白天分成 4 个序列进行统计。为了使谱具有窄带分辨率, 必须考虑测量仪器和记录器的时间常数 ($2s$), 及记录器的最小分辨率。我们选择了取样时间间隔 Δt 为 30s, 进而选择适当的最大后延数 M , $M=100$ 和 $M=31$ 两种。

这样它的频带宽度 $\Delta\omega$, 除首尾 $1/4 \cdot M \cdot \Delta t$ 以外, 其它各个 $\Delta\omega$ 均用 $1/2 \cdot M \cdot \Delta t$ 。因而, 它们的频带范围为:

$$9 \times 10^{-5} - 1.658 \times 10^{-2} \text{ 周/秒};$$

$$2.69 \times 10^{-4} - 1.64 \times 10^{-2} \text{ 周/秒}。$$

在 $0 - 1/2 \cdot \Delta t$ 频带范围内每隔 $1/2 \cdot M \cdot \Delta t$ 可计算得到一个谱值, 这样应共有 $M+1$ 个谱值(101 和 31 个)。

2.3 计算结果

利用公式(1)计算所得结果点绘在双对数纸上(见图3—6)。图中, 纵坐标为谱密度 $P_K/mv^2 \cdot s$; 横坐标为谱波的振动频率 $\omega_K/\text{周} \cdot \text{秒}^{-1}$ 。

2.3.1 整个白天作一个序列的统计结果

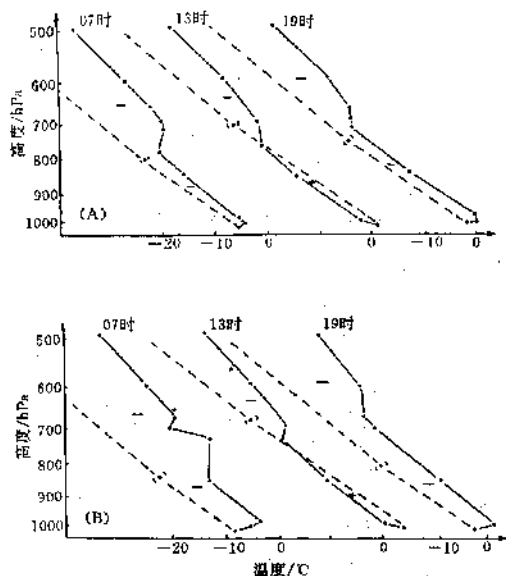


图2a 1980年1月14日(A)、15日(B)温度随高度的变化

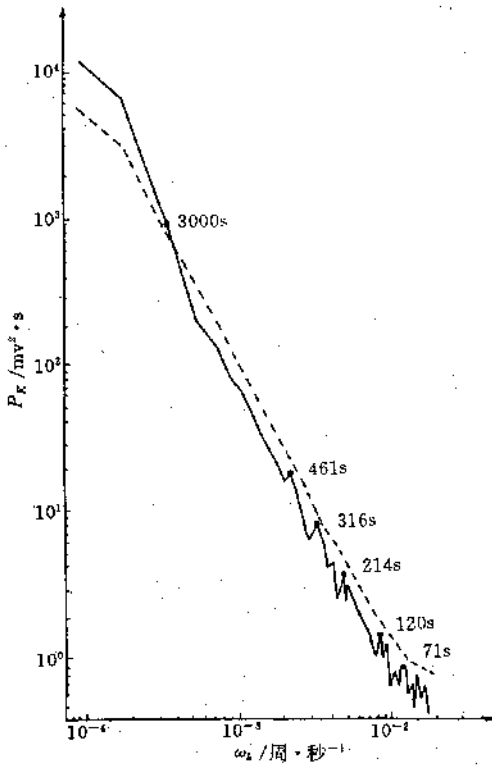


图3 相对日射计记录谱分析图(1980.1.14)
实线:计算值;断线:显著性检验值,置信度为5%

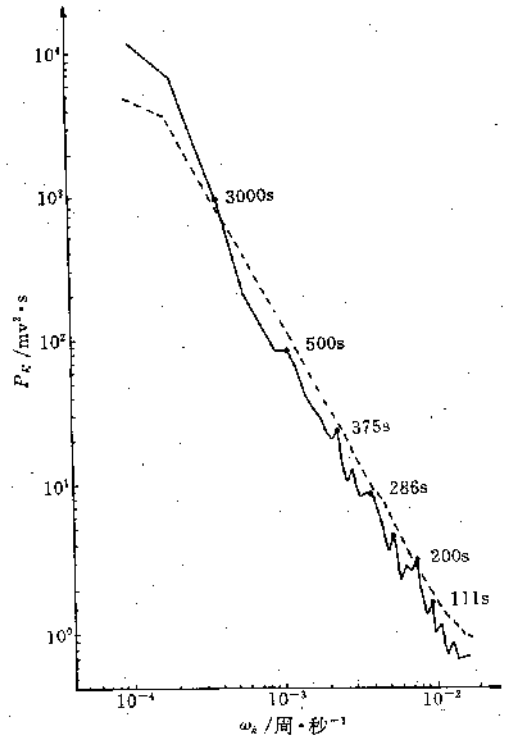


图4 相对日射计记录谱分析图(1980.1.15)
实线:计算值;断线:显著性检验值,置信度为5%

从图3、4看出:

(1)该谱周期为3000秒以上远超过5%信度界限,那末从谱的连续性分析,周期在3000秒以上。

(2)两例中仅有15日(图4)出现一次周期为143秒超过5%的信度界限;其它还出现多个以几分钟为周期波动的峰值,虽未达到检验信度界限,仍然很明显。我们认为几分

钟以内的短周期确实存在。

(3)将图3、4的纵、横坐标值(y 和 x 值)以 $y = ax^b$ 表示,用最小二乘法回归出两天不同频率范围内谱函数的斜率(b)及相关系数(r),并求得两天斜率的相对变化 $R = (b_{14} - b_{15}) / b_{14}$,其结果列表1。

2.3.2 一日内(白天)分4个时段为序列的统计结果

表1 谱函数斜率表

	1980.1.14		1980.1.15		R
	b	r	b	r	
6000—1000s(6组数)	-2.619	0.991	-2.636	0.991	-6%
1000—120s(45组数)	-1.921	0.992	-1.806	0.991	+6%

为了便于将一日内4个时段(序列)计算出的谱函数进行比较,图5、6省略了显著性检验函数曲线。从图5、6可以分析出,谱的振幅,早晚时段大,中午前后小;不同峰值的频率,中午前后时段为高,早晚为低。

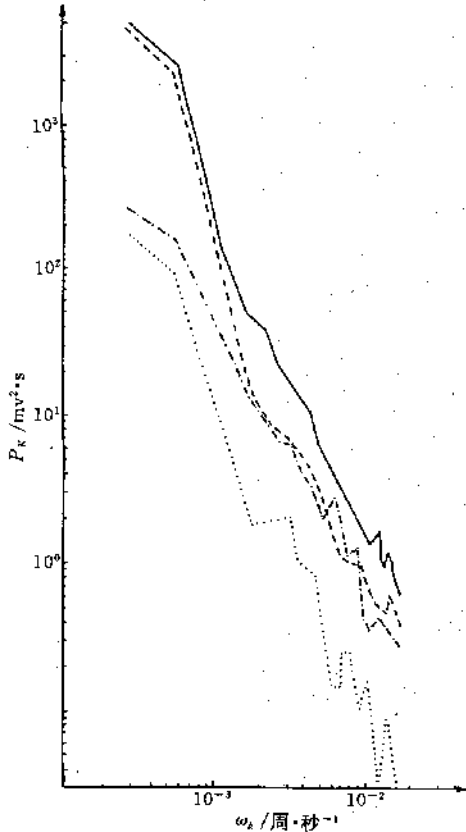


图5 相对日射计记录谱分析图(1980.1.14)
 实线:8时—10时08分代表日出后
 点划线:10时09分—12时16分代表午前
 虚线:12时17分—14时24分代表午后
 断线:14时25分—16时33分代表日落前

间) t_k 与低层大气某高度间的平均风速 \bar{u} 计算出涡的尺度,即 $dL_k = \bar{u}dt_k$ 。

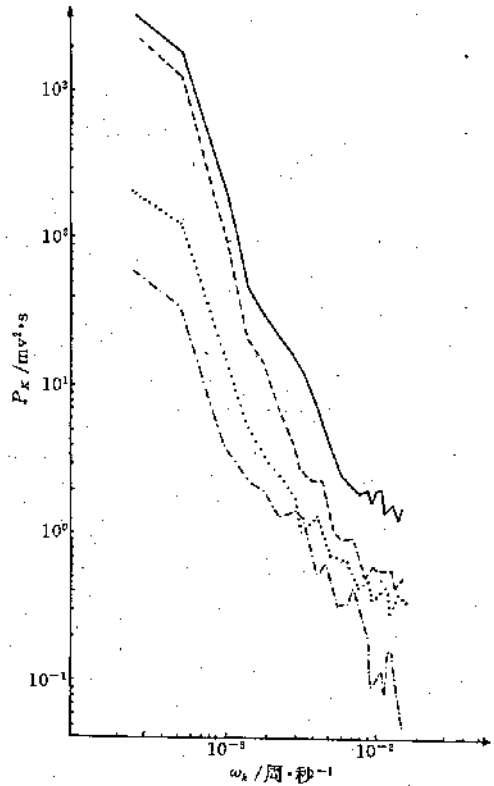


图6 相对日射计记录谱分析图(1980.1.15)
 说明同图5。

虽然气溶胶粒子空间分布的资料甚少,但是可以肯定说,它在近地面低层大气里的贡献起重要作用。因而,可用地面至300m高度的平均风速 $\bar{u}/m \cdot s^{-1}$ 并从图3、4中所显出的峰值(t_k)来计算涡的尺度,其结果列入表2。

3 结果分析

从测量原理来说,相对日射计观测得的温差电动势涨落量反映了大气运动输送过程中介质密度是“非均匀”的输送。

如果我们将经过相对日射计视程范围的大气介质密度“非均匀”,看作是边界层中风对尺度不同的含气溶胶的大涡输送的结果,根据“冰冻湍流”假设,可从谱函数中出现的峰值,该值的频率(时间)称为特征频率(时

表2 大涡尺度计算

1980.1.14		1980.1.15	
t_k/s	L/km	t_k/s	L/km
$\geq 3000^*$	21.00	$\geq 3000^*$	12.00
461	3.27	500	2.00
316	2.21	375	1.50
214	1.50	286	1.14
120	0.84	200	0.84
71	0.50	143*	0.57
		≤ 110	0.44

注:14日、15日 \bar{u} 值分别为 $7.0m \cdot s^{-1}$ 和 $4.0m \cdot s^{-1}$;

*为超出检验信度界限者

由表 2 进一步说明大气中确实存在着各种不同尺度的“非均匀”的涡,大气中湍流运动是由大大小小的湍涡所构成。一个个介质密度“非均匀”的涡,正是这些湍涡运动而扩散或稀释。

国外许多实验指出:自由大气中惯性区最大湍涡波长通常是 10^2-10^3m 量级。从表 2 来分析,我们计算出涡的尺度正是这个量级。

在 14 和 15 日相对日射值分时段的谱分布线上(图 5、6),可以看到明显的峰值。这些峰值反映了日射值变化的频率分布。

根据表 2,这些峰值也可以看成是气溶胶粒子含量不同的湍涡的波数分布。这些峰值在日出后首先出现在高频端,在以后的时段中,这些峰值又相继在低频部分出现。向低频移动的顺序是:日出、日落前、午后和午前(具体时间见图 5 说明)。如将 4 个时段粗略地按稳定度分类,可以看出,最大涡的尺度(最低频峰值)随不稳定度的增大而增加。

对流边界层的结构研究表明,在对流边界层建立初期,由于地面受热不均匀,会产生由上升热空气构成的热羽。这些热羽由于辐合抬升会使地表附近的污浊空气带至边界层的中下层,热羽的水平尺度和垂直尺度大约都在百米的量级。当入射太阳光穿过这些含气溶胶粒子较多的热羽,日射计的记录值会

明显减小。这反映了对流边界层初期,当对流进一步发展,上升区扩大合并,成为热泡,热泡的尺度可达 10^3m ,垂直范围可伸展侵入对流边界层顶部的逆温层中,热泡可使污浊空气扩展至整个边界层。而在热泡之间则是自由大气下沉至边界层中的清洁空气。热泡活动所形成的大涡尺度随参数 $Z_i/|L|$ 变化(Z_i 是边界层高度, L 为沃巴可夫-蒙宁长度),而 $Z_i/|L|$ 的数值的大小正反映对流边界层发展、成熟以至衰退的过程,正如图 5、6 中 4 个时段所反映的状态。

4 结语

从相对日射计探测中,我们观测到城市上空经常存在着大气介质密度非均匀的涡,具有一定的尺度并随着大气运动移动。这种现象是城市上空污染物的输送、扩散,它对大气边界层湍流结构、污染物扩散等研究将会发挥作用。

由于探测手段单一,尚未与其它仪器同时观测分析,有待进一步完善。

参考文献

- 1 徐金宝,太阳辐射连续日变化和城市空气污染,气象,1981,3,11-18.
- 2 康德拉捷夫,太阳辐射能,北京:科学出版社.
- 3 F. Pasquill, D. Sc. Atmospheric Diffusion, 1962, 19-21.
- 4 北方灾害天气科研协作组,北方中期天气预报研究文集,1978年7月,40.

Spectral Analysis of Insolation

Xu Jinbao

(Center of Environmental Science, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

The insolameter recommended in literature [1] was used to measure the data of consecutive luminar variation in clear days, then the data was analysed by spectral statistics to study the activities of the eddies in the boundary layer.

The data of the insolametry in Jan. 14th and 15th two clear days was analysed by spectral statistics based on two different kinds of sampling periods (Total recording time), it was concluded that there were fluctuations with different frequency or different period in the whole daytime (eight hours) and two hours period, and the lower frequency partion contributed most to the total energy (almost 2/3), the higher frequency partion also has characteristic period at a few minutes. So the auther assumed the insolameter as a tool to survey the activities of the boundary layer eddies. It can survey the atmosphere media density non-well distributed eddies with horizontal spatial size of 100-1000m. It can also be used in the studies such as the structure of boundry layer eddies, the diffusion of pollutants etc.

Key Words: relative insolation eddy spectral analysis