

跃变型扩散的实验研究

张靄琛 刘树华

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

叶文虎

(北京大学环境科学中心, 北京 100871)

提 要

本文为一次沿海岸边翻越二维山丘的扩散实验。结果表明：在一定条件下，假若两层空气的湍流强度和尺度的比值不大，当烟羽从上层侵入到下层较强混合气层时，不一定产生熏烟型扩散，仅表现为扩散参数在一定水平距离上的跃变。本文同时介绍了两组风洞实验的结果，其目的在于说明扩散参数跃变存在的事实。

关键词： 熏烟型扩散；跃变型扩散；过山气流；扩散参数；扩散实验风洞模拟；下垫面粗糙度跃变。

一、 引 言

平原地区大气扩散规律的研究^[1]常用的烟羽浓度正态分布模式^[2,3]已有了系统的成果。

近20年来，复杂下垫面的边界层结构及其扩散规律的研究受到了许多研究者的关注，其中包括：(1) 气流路径上发生下垫面粗糙度的跃变；(2) 气流路径上发生下垫面温度的跃变；(3) 翻越起伏地形。

在上述情况下，都有可能发生某种次生边界层，并发生在其下层气流扩散能力显著高于上层的情况。当次生层为一倾斜交界面时，原先位于弱扩散气层内的烟羽水平进入下层时，就可导致“熏烟型扩散”。

其中备受人们关注的两种情况是水域岸边向岸流形成的热内边界层，以及过山气流下风向的“空腔区”。

本文所介绍的内容为1976年锦州湾的一次大气扩散现场实验结果。作者观测到在过山气流尾流区内所发生的扩散参数跃变的现象。尽管在尾流区内的扩散能力高于其上层未受扰动的气层，但并未发生熏烟型扩散。

1992年2月27日收到，7月1日收到修改稿。

二、实验简介

实验场地位于一个突出于海面的狭长半岛上, 在风向偏东北或西南时, 气流均来自海面, 随即翻越一个略有起伏的二维山丘, 而后又流向背风坡后的海面, 山丘的海拔高度为 60—80m, 图 1 为地形简图。

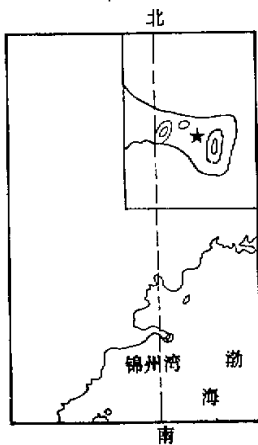


图 1 锦州湾实验场地地形简图
图中星号为铁塔位置

仪器安装在一个 100m 高的气象铁塔上, 塔基海拔 67m。根据估算, 此伸入海面的小山丘平均高度可取 67m, 跨度为 400m, 其形态因子为 3.0。

塔上安装有旁热式热线风速计和热敏电阻温度计 8 套, 用以测量风速和温度廓线; 另外在 15.6m 和 95.6m 高处各装有一台双向风标。塔顶 102m 高处的平台则用作人工烟羽的释放。

室内模拟实验的风洞为直流吹出式, 工作段长 5.5m, 宽 1.5m, 高 1.0m。工作段前端安装有 1/4 椭圆发生器, 人工产生平板中性边界层。实验时采用 Nemoto^[4] 建议的湍流雷诺数相似准则, 模型缩比均取为 1/1000。

三、实验结果及分析

1. 风速和温度分布

本实验点的地形非常特殊, 为一个自西北向东南伸入海中的狭长半岛, 盛行气流为偏西南风, 其次为偏东北风。根据铁塔温度梯度观测结果, 近地面层内基本上处于一个 0.4K/100m 的稳定气层中, 而在西南风的条件下, 风速可达 10m/s 或更高, 因而可以认为是一个稳定气层翻越二维山丘的流场特征。

风速廓线的分布特征为一个等风速层将过山气流分隔为上、下两层, 等风速层的顶位于距山顶 40m 的高处, 其结果与 Jackson 和 Hunt^[5] 的理论分析结果, 以及与 Bradley^[6] 在澳大利亚堪培拉黑山的观测结果相似。因而可以认为横越山丘的气流在 40m 以上没有受到扰动而引起畸变。

2. 烟云照相

铁塔顶端释放的人工烟羽可以持续稳定排放达 20min, 使用立体和平面照象两种方法得到多组烟羽轮廓图, 按 Slade^[7] 推荐的方法计算出各个距离上的 σ_y 和 σ_z 值。图 2a 和 2b 分别给出各种天气类型 (Pasquill-Gifford 分类) 下 σ_z 和 σ_y 随扩散距离的变化曲线。

由图可见, σ_z 在一定距离上存在明显的跃变: 以 D 类天气表现最为显著, 跃变距

离在 550—750m 处, σ_z 值在该处的跃变比值为 1.67; C 类天气跃变距离较近, 在 130—210m 之间, 跃变比值为 1.38; 而 E 类天气只有部分例子发生了跃变。

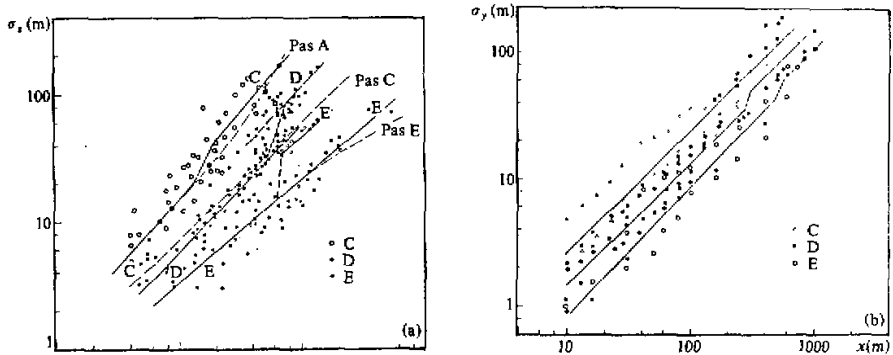


图 2 C、D 和 E 类天气条件现场扩散参数曲线

(a) $\sigma_z \sim x$; (b) $\sigma_y \sim x$

图中虚线为 Gifford^[3] 综合的扩散参数曲线

总的说来, 本次的实验结果均高出同类天气 Gifford 的推荐值。

σ_y 随 x 变化曲线不太明显。

产生 σ_z 跃变表明, 烟羽在此距离附近逐渐横穿过某一交界面, 进入了一个扩散能力较强的气层。根据本实验的具体地形条件, 作者认为其烟羽定是进入了山丘背风坡的尾流区, 由于海面气层相对稳定, 因而只表现为扩散参数的跃变。

3. 风洞模拟实验的结果

本文所用的环境风洞只能模拟中性大气层结的条件, 而现场的情况则是本底气流为稳定大气边界层, 因而作者把进行模拟的目的放在是否在一定条件下存在跃变型扩散的发生?

第一组模拟实验将现场进行 1/1000 的缩比制成模型, 人工释放的烟羽在风洞中仍放置于原铁塔高度和位置, 以同样的照相方法计算出相应的 σ_z 和 σ_y 随距离变化曲线 (图 3a 和 3b)。

第二组模拟实验将模型烟囱抬高 12cm (相当于原型烟囱提高了 120m), 并将烟囱向西南上风向平移了 40cm (相当于原型 400m)。经过调整烟囱位置后烟羽扩散参数 σ_z 随 x 的变化如图 3c。

对比图 3a、3b 和 3c, 可以看到 3a 和 3b 在 400—600m 处, 扩散参数曲线有明显转折, 在此距离处, 以一个较大的斜率随距离而变化。

图 3c 的情况则与上述情况有显著的不同, 其变化特征接近于现场的跃变型模式。

第三组实验的目的在于考察气流从相对光滑过渡到粗糙下垫面时, 由于动力内边界层的形成, 其内边界层中的气流应具有较强的湍流扩散能力, 当烟羽横穿内边界层顶进入, 是否将发生跃变型或湍烟型扩散。

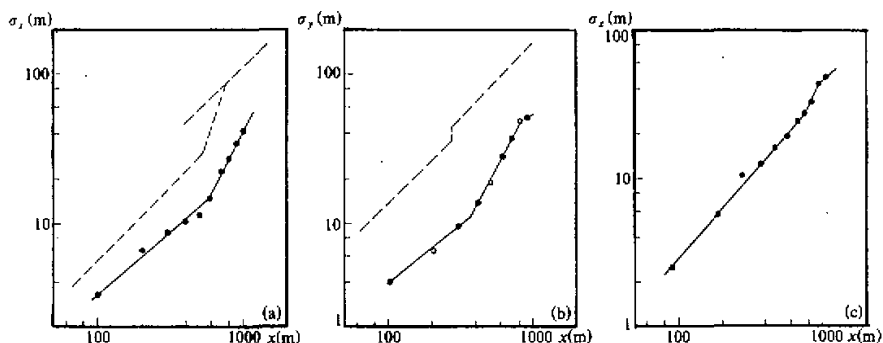


图3 风洞模型实验扩散参数的实验结果

(a) $\sigma_z \sim x$; (b) $\sigma_y \sim x$; (c) 排放源移至海岸边, 排放高度增加了12cm时的 $\sigma_z \sim x$

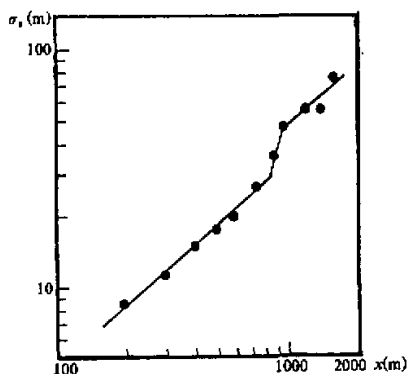


图4 烟羽扩散参数 σ_z 在内边界层中发生跃变的情况

根据实验安排, 上游光滑表面粗糙度 $z_0 = 0.4\text{mm}$; 下游铺设了粗糙元, 使其 z_0 值达到 4mm . 根据对数风速廓线

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{k} \ln \frac{z}{z_0},$$

其中 $\bar{u}$ 为平均风速; u_* 为摩擦速度; k 为卡门常数, 取值 0.40. 根据上式的推算, 内边界层顶上、下 u_* 的比值为 1.71, 它们相当于湍流脉动方差的比值.

实验中, 在下垫面的跃变处, 在不同高度释放了人工烟羽, 观察到烟羽在各个距离处均产生了烟羽扩散的跃变. 图4给出排放高度在 20cm 处, σ_z 随 x 变化的情况. 烟羽在 0.9m 处 (相当于原型 900m 处) 产生跃变.

四、结果的讨论

本文所述的实验表明, 如果一个倾斜的界面将两种具有扩散能力差别的气层隔开, 并且保持其下层的扩散能力高于上层, 当烟羽由上游扩散能力较弱的气层随风平移横穿界面时, 烟羽的扩散参数将产生跃变, 这种情况将有别于熏烟型扩散. 作者认为熏烟型扩散只是跃变型的一种特例, 它只能发生在某些特定条件下:

- (1) 上、下气层的扩散能力有较大的差别;
- (2) 上层空气较为稳定, 而下层空气极不稳定, 因而上层空气对烟羽的向上扩散存在较强的压制作用;
- (3) 下层空气的湍流积分尺度与交界面的厚度量级相当.

唯一出现熏烟型扩散的例子为图3a 和 3b. 可以推断, 当时的烟羽可能进入山丘背风坡的空腔区. 而当烟囱高度提高了 12cm 之后, 烟羽的扩散则只进入了山丘背风坡的尾流区, 并只表现为跃变型扩散.

然而, 现场的实验结果均只表现为跃变型扩散. 作者认为: 其原因可归结为现场的本底气流为稳定层结. 因而它将对空腔区涡旋生成起到抑制作用. 关于这一点, 作者在北京西北郊的一次背风坡流场观测中得到充分的验证.

致谢: 本文的成果是作者多年工作积累的材料, 在此对协助过研究工作的铁学熙, 侯广祥, 谢淑环和庞岩等同志表示感谢.

参 考 文 献

- [1] Pasquill, F. and F. B. Smith, 1983, *Atmospheric diffusion*, 3rd. Edition, Ellis Horwood Ltd., 1—437.
- [2] Pasquill, F., 1961, The estimation of the dispersion of windborne material, *Meteorol. Mag.*, 90, 33—49.
- [3] Gifford, F. A., 1976, Turbulent diffusion typing schemes——A review, *Nucl. Saf.*, 17, 68—86.
- [4] Nemoto, S., 1961, Similarity between natural wind in the atmosphere and model wind in a wind tunnel——modeling criteria for a local wind, *Papers Meteorol. and Geop.*, 12, 30—52.
- [5] Jackson, P. S. and J. C. R. Hunt, 1975, Turbulent wind flow over a low hill, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 101, 925—955.
- [6] Bradley, E. F., 1980, An experimental study of the profiles of wind speed, shearing stress and turbulence at the crest of a large hill, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 106, 101—123.
- [7] Slade, D. H., 1979, 气象学和原子能(中译本), 原子能出版社, 92—96.
- [8] 大气试验技术小组, 1976, 大气试验总结, 原子能参考资料编辑组, 4—18.

Experimental Study of Atmospheric Diffusion of the Jumping Model

Zhang Aichen Liu Shuhua

(Dept. of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Ye Wenhua

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

Abstract

The diffusion experiment over a low two-dimensional hill near the coast line has been shown under certain conditions, if the ratio of turbulence intensity to it's scale is not large enough between two neighboring layers, fumigation will not occur when the upward plume penetrates down into the lower layer where the strong mixing exists. It only displays a jumping of the curves of σ_z and σ_y at certain distance. The paper also introduces the results from two sets of wind tunnel experiments as comparison to demonstrate the above conclusion.

Key Words: Fumigation diffusion model; Jumping diffusion model; Over hill flow; Diffusion parameter; Wind-tunnel simulation of diffusion experiment; Surface roughness Jumping.