

- [4] 日本特许公报, 123,092(1975), 130,694(1975), 161,458 (1975).
 [5] Brit. Patent, 1,430,015 (1976), 1,398,893 (1975).
 [6] 日本特许公报, 112, 895 (1974).
 [7] Ger. Offen., 2,454,846(1976), 2,546,489(1976).

- [8] U. S. Patent, 3,785,998 (1974), 3,554,929 (1971), 3,987,155 (1976), 3,920,583 (1975), 3,518,206 (1970), 3,789,022 (1974).
 [9] Brit. Patent, 1,402,206 (1975).
 [10] 日本特许公报, 99, 338 (1980).

关于高架源浮升烟流扩散参数的探讨*

苗 曼 倩

(南京大学气象系)

本文根据徐州电厂大气扩散试验, 对用同步立体摄影资料计算扩散参数的分析方法与结果进行讨论, 为寻求高架源浮升烟流扩散参数估算模式提供依据。

一、根据高架源烟流廓线 计算扩散参数的方法

对烟流进行连续照相的方法至今仍是研究大气扩散的一个常用的间接的方法。这种方法特别适合于热力稳定的大气。

在徐州电厂的扩散试验中, 采用了同步立体摄影方法获得了烟流的瞬时立体照片, 经处理得到垂直方向烟流可见边缘廓线图。每一次采样 20 分钟, 共摄得 17 张图片称为一组。从所获得的资料看, 烟流多半带有明显的波动弯曲。小于烟云特征尺度的高频湍涡往往使烟流体积膨胀, 造成烟粒相对其中心(它是不断移动着的)的扩散, 称之为相对扩散。这就使整个烟流发生摆动而呈波状弯曲。因此在离源某个距离上物质相对于固定坐标的总的扩散应当是以上两部分扩散之和, 可以用下式^[1]表示:

$$\sigma^2 = \sigma_c^2 + \sigma_r^2 \quad (1)$$

式中 σ_c 是烟云中心分布方差, σ_r^2 是烟粒子相对于移动着的烟流中心分布的方差。(1)式与离源的距离无关。当然这里将不考虑在决定 σ_c 和 σ_r 时所引起的误差。

计算相对扩散所用的方法是由 Roberts^[2] 提出的。Sutton^[3]、Frenhiel 和 Katz^[4] 等都采用过此法。Gifford^[13] 提出, 只要假设粒子是正态分布, 从烟流的照像上计算物质相对于随时间而变化的烟流中心的标准差是可能的。

本文假定在烟流内垂直于烟气移动方向的粒子浓度分布呈正态分布, 则有:

$$x_{(y,z)} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (2)$$

按照 Roberts 的另一假定: 烟云的可见边缘可以代表沿视线烟粒子的常数阈密度, 由 (2) 式可推得:

$$\begin{cases} \sigma_z^2 = Z_c^2 \left[\ln \frac{e Z_m^2}{\sigma_z^2} \right]^{-1} \\ \sigma_y^2 = Y_c^2 \left[\ln \frac{e Y_m^2}{\sigma_y^2} \right]^{-1} \end{cases} \quad (3)$$

式中 Z_m (或 Y_m) 是垂直 (或水平) 方向烟云廓线的最大半宽度; Z_c (或 Y_c) 是离源某距离处的烟云的半宽度。这样, 只要从烟流廓线测量出 Z_c (或 Y_c) 和 Z_m (或 Y_m) 就可以根据 (3) 式得到扩散标准差 σ_z (或 σ_y) 值。计算过程中 (3) 式可以改写为:

$$\ln P = aP \quad (4)$$

* 本文资料是由徐州电厂烟气测试协作组获得, 其中立体摄影及内业处理是由长办航测队和电力部十一局承担。

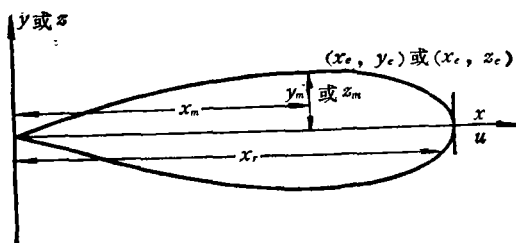


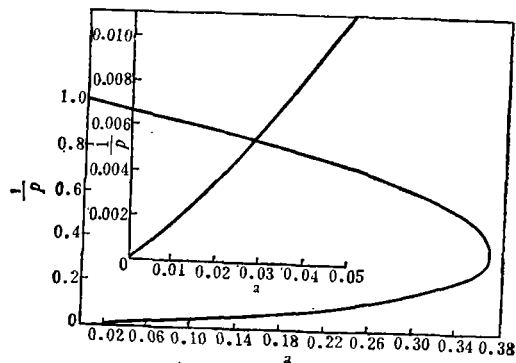
图 1 在烟云分析中采用的各个量的意义

对于 (3) 式第一式则令

$$P = eZ_m^2/\sigma_z^2; \quad a = Z_e^2/eZ_m^2.$$

图 2 是超越方程 (4) 的图解。

我们选取徐州电厂试验中两台机组运行期间 24 组立体摄影资料。这 24 组资料源的条件相同，大气状况均是中性，风速均 > 6 米/秒，风向是东或东北东风。

图 2 方程式 $\ln P = aP$ 的曲线图

坐标的选取以烟囱口为原点，水平平均风方向为 x 轴， x 轴即是烟流中心的平衡位置。前面已提到由于烟流中心偏离平衡位置，所以须把指定的若干个距离上的烟流中

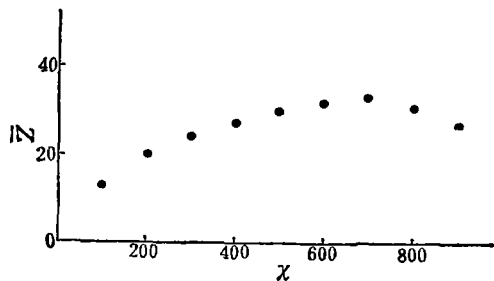
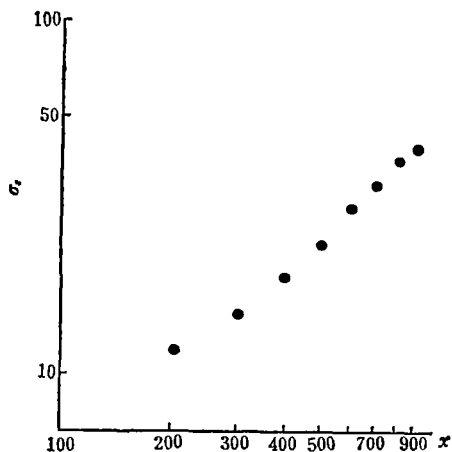


图 3 平均可见边缘廓线(第 121 组)

心投影到 x 轴上，然后测出每组 (17 张照片) 在各个距离的烟流半宽度的平均值，作为 20 分钟的平均烟流的可见边缘廓线 (见图 3)。然后利用 (3) 式和图 2 可以计算出 20 分钟平均的 σ_{xr} 随 x 的变化曲线 (见图 4)。图 4 是第 121 组的一个个例，它是根据图 3 廓线计算得到的 σ_{xr} 曲线。

图 4 20 分钟平均的 $\sigma_{xr}-x$ 的曲线(第 121 组)

烟流中心分布标准差 σ_{zc} 的计算可以运用下列的简单公式：

$$\sigma_{zc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n z_i^2}{n}} \quad (6)$$

式中 z_i 是第 i 根瞬时烟流中心离 x 的平均位置 (在本文所取的坐标中 z 的平均值为 0) 的偏离。为了避免由于 20 分钟内烟流太少而引起的不确定性，我们规定 n 必须大于 5。(6) 式计算得到的是某距离上一次采样中心分布标准差。

二、结果分析

徐州电厂是燃煤的火电厂，座落在丘陵的边缘，它的西部和北部主要是小山丘，相对高度不超过 100 米，最近的山与烟囱间距为 800 米，因此不仅要考虑地形的影响，而且要注意到地面粗糙度较大。电厂烟囱的几何高

度为 180 米,平均有效源高为 290 米,烟气温度比环境温度约高 80℃,故释放的烟流为高架源热浮升烟流。

本试验的稳定度分类是用位温梯度并参考了 Turner 分类及平均风速大小^[6]规定:

- (1) $\frac{\Delta Q}{\Delta z} \leq \pm 0.2^\circ/100$ 米及 $\bar{u} \geq 6.0$ 米/秒为中性; (2) $\frac{\Delta Q}{\Delta z} \leq \pm 0.2^\circ/100$ 米及 $\bar{u} \leq 6.0$ 米/秒为弱不稳定; (3) $\frac{\Delta Q}{\Delta z} > +0.2^\circ/100$ 米为稳定层结。

中性条件选用 24 组、弱不稳定条件选用 6 组资料,这两类情况的资料中已剔除了有地形影响的资料。而稳定条件选用了 11 组资料但未剔掉受地形影响的资料,因此稳定条件所得的实测值要偏大些。

将选定资料,运用上述方法进行计算,得到了每组的 σ_{xr} 和 σ_{xc} 值,再利用 (1) 式求取每组在各距离上的 σ_x 值,然后对相同层结条件的样本求平均,其结果分别用图 5、图 6 和图 7 表示。

图 5、6、7 中的实线是表示勃里格斯 (Briggs) 插值公式的计算值^[7]。表 1 中列出了 Briggs 的插值公式。他综合了其他作者的研究结果,其中包括代表浮升烟流特征的美国 TVA 的研究结果。于 1973 年推导出一系列计算 σ 的插值公式,这一系列公式是对

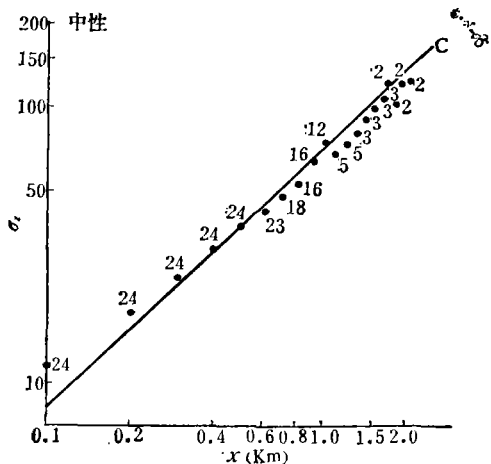


图 5 中性层结 σ_x - x 曲线

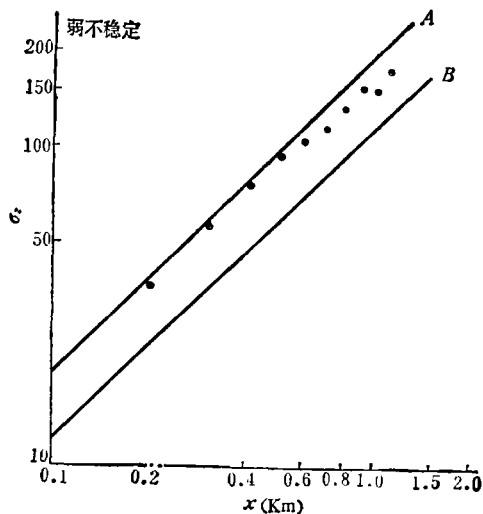


图 6 弱不稳定层结 σ_x - x 曲线

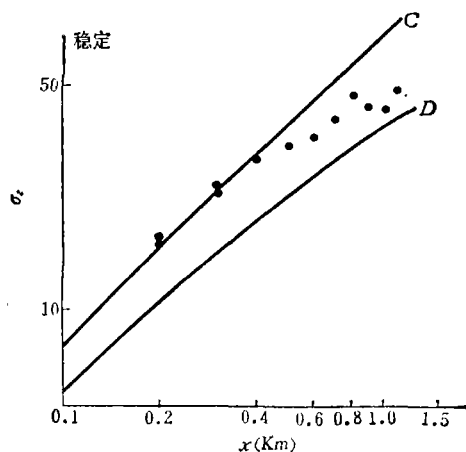


图 7 稳定层结 σ_x - x 曲线

Pasquill-Gifford (P-G) 模式的修正,旨在计算 10 公里以内地面浓度值。他所用的稳定度分类级别仍使用 P-G 的级别。

从图 5、6、7 中可见中性时,本次试验结果在扩散级别上比 P-G 高一级;弱不稳定时高一级到一级半;稳定时约高一级。图 5 表明: $x > 400$ 米的实测值与 Briggs C 级的计算值很一致。图 6 表明当稳定度为弱不稳定时,实测值界于 A、B 级计算值之间而逐渐与之平行。图 7 是稳定情况下的实测值,在 C 级和 D 级计算值间,而向 D 级逼近。

表 1 计算 σ_y 和 σ_z 的 Briggs 插值公式
($10^2 < x < 10^4$ 米)

帕斯廓尔级别	σ_y (米)	σ_z (米)
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$

徐州电厂的扩散级别比平坦地区 P-G 级别高的原因,一方面由于下垫面粗糙度较大,使机械湍流增强而导致铅直扩散的加大,另一方面与源的高度亦有关系。Högström 曾提出在离源距离较大处 σ_z 比 σ_y 大得多。根据我们的实验,在较大距离处, σ_{zc} 并不比 σ_{yr} 大。原因是我们得到的是垂直向扩散,虽

表 2 中性层结平均的 σ_{zc} 、 σ_{yr} 和 σ_z 的个例

距离 (m)	σ_{yr} (m)	σ_{zc} (m)	σ_z (m)
500	27.0	23.0	37.7
1000	65.3	37.1	75.1
1500	86.0	48.0	99.0

然高架源离地面已有一定的距离,但还受到地面的一定程度的限制。因此垂直向的湍谱远没有水平横向的谱分布宽。水平向湍流尺度可以在 1 厘米到 2500 公里,烟云相对扩散是高频小尺度湍流的贡献;中心的偏移是低频大尺度湍流的贡献,但是至今缺乏定量的联系,不过可以断定湍谱的宽窄一定会影响后者的扩散性状。

为了便于比较,在图 8 中,除表明本次试验的实测值(中性)外,还表明美国 TVA 试验结果(中性)^[8]、以及美国 BNL 试验曲线(中性)^[9]。图中实线仍代表 Briggs 的计算值。由图可见,在离源距离 600 米之内浮升烟流的扩散与被动(即非浮升)烟流的扩散有区别。所谓浮升烟流就是指烟气温度高于周围环境

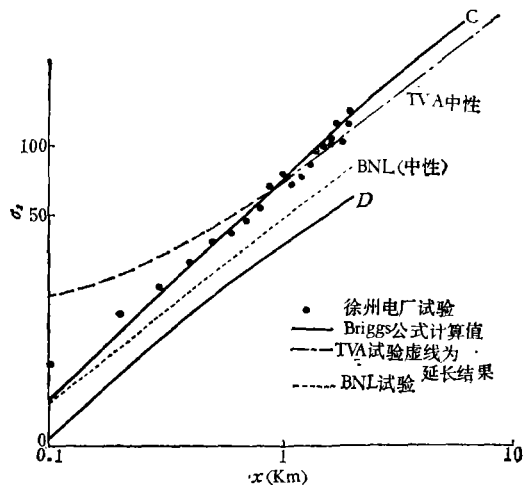


图 8 实测值与几种模式的比较

温度,这样烟流因浮力而上升,与平均风向形成切变而引起自身湍流,同时烟流与周围空气的夹卷效应使相对扩散增大了,因此浮升烟流在初始阶段的扩散比非浮升烟流大。

我们的实测值与 TVA 曲线比较,基本一致,曲线的斜率比 TVA 略大些而与 Briggs C 级接近。600 米之前的初始阶段 TVA 的 σ_z 值(该曲线 1 公里之内是延伸的非实测结果)比徐州电厂的 σ_z 大些。TVA 曲线总结了 20 年若干电厂的观测资料,其源强平均比徐州电厂略强些,源的几何高度在 75 米—245 米范围,有效源高达 150 米—600 米范围,而徐州电厂的有效源高平均为 290 米。因此,除了大气稳定度外,源的强度、烟气温度等原因均构成 σ_z 的初始阶段增长的不一致。

当 $x > 1$ 公里时,Briggs 插值公式的计算值与本结果和 TVA 曲线都很一致。但在 1 公里之内,则计算值偏低。Briggs 公式虽然综合考虑了代表浮升烟流特点的 TVA 研究结果,但公式形式较简单,未能反映出近源处浮升烟流的十分复杂的特点。因此,如果目的是为了计算高架源的地面浓度值,Briggs 公式则可以给出较为满意的结果。

图 8 中的 BNL 曲线是依据 108 米高烟囱释放示踪粒子的非浮升烟流的试验资料得

到的。试验现场的地面粗糙度为 1 米。徐州电厂和 TVA 试验的 σ_z 值均比 BNL 大。

三、讨 论

1. 扩散参数 σ_z 不仅是大气稳定度状况的函数，而且还是源高的函数。在浮升烟流初始阶段还与源的强度、烟气温度等因素有关。烟气的热浮升作用在近源处十分明显。

2. Briggs 插值公式可以用来计算高架源浮升烟流的地面浓度值。由于它所采用的扩散级别仍是 P-G 的级别，所以需根据具体情况加以修正。如徐州电厂的下垫面状况，扩散级别须提高一级至一级半。而另一种看法如 S. Yoshida^[10] 认为，不管地表边界层(0—50 米)稳定度级别如何，高烟囱扩散都趋于中性。本实验结果与此看法尚不符。所以对于高架源、稳定度级别如何确定，本身就是一个研究课题。

3. 本结果与代表浮升烟流的 TVA 的结果及 Briggs 插值公式计算值较接近。

4. 在确定 σ_{xz} 中可能出现的误差时，我们是用烟流的平均可见边缘线来代替等积分浓度阈值线。等积分浓度阈值线在照片上就

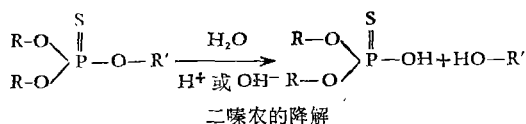
是等黑度线。边缘线并不是等黑度线。为了避免误差，采用同样稳定度的样本取平均，以消除部分影响。

参 考 文 献

- [1] Högström, An Experimental Study on Atmospheric Diffusion, *Tellus* 16(2), (1964).
- [2] Roberts, O. F. T., The Theoretical Scattering of Smoke in a Turbulent Atmosphere, *Proc. Roy. Soc. (London)* 104, (1923).
- [3] Sutton, O. G., A Theory of Eddy Diffusion in the Atmosphere, *Proc. Roy. Soc. (London)* 135, (1932).
- [4] Frenhiel, F. N. and Katz, I., Studies of Small-Scale Turbulent Diffusion in the Atmosphere, *J. Meteorol.*, 13(4), (1956).
- [5] Gifford, F. A., Relative Atmospheric Diffusion of Smoke Puffs, *J. Meteorol* 14(5), (1957).
- [6] 南京大学气象系湍流组 环境科学学报 1, (1981).
- [7] Briggs, G. A., USAEC Report ATDL-106, 1973.
- [8] Montgomery, J. *Air. Poll. Control. Ass.*, 23 (395), (1973).
- [9] Smith, M. E. Ed., Recommended Guide for the Prediction Society of the Dispersion of Airborne Effluents, 1st ed. A. S. M. E. 1968.
- [10] Yoshida, S., A Model of the Boundary Layer for the Prediction of Atmospheric Pollution, Symposium on Atmosphere Diffusion and Air Pollution 180, 1974.

(上接第72页)

较少的。



总之，土壤的理化性质如土壤有机质含量、粘粒含量、土壤 pH、温度、水分等都能影响到土壤对农药的吸收。一般而言，有机质含量、粘粒含量愈多，对有机磷农药吸收量愈高。同时，土壤微生物、土壤理化性质(土壤温度、湿度、酸碱度、空气等)也影响到农药的降解。土壤的理化性质是可以通过管理来调节的，因此农药的吸附与降解，人们也可以通过土壤管理进行调节与控制。

主要参考文献

- [1] Adams, R. S. Jr., *Res. Rev.* 47, 1—54 (1973).
- [2] Burns, R. G., *Soil Biochemistry*, 4, 103—141 (1975).
- [3] Drüger, G., *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 30, 1 (1977).
- [4] Kaufman, D. D., *Pesticides in Soil and Water*, pp. 133—180. (1974).
- [5] Kilgore, W. W. and M. Y. Li., *Insecticide Biochemistry and Physiology*, pp. 669—731, (1976).
- [6] Maenamara, G. and S. J. Toth, *Soil Sci.*, 109 (4), 234—240 (1970).
- [7] Sethunathan, N., *J. Agr. Fd. Chem.*, 21(4), 602 (1973).
- [8] Shahamat, U. K. *Pesticide in the Soil Environment* pp. 120—140, (1980).
- [9] 高濒麟, 植物防疫 30 (8), 302—306 (1976).
- [10] 宫本纯之 防虫科学 第 36 卷 189—219, (1971).
- [11] 施国涵, 中国环境科学, 1, 66, (1982)