

基于欧拉观测的大气扩散参数计算方法

刘遵永^{1,2} 陈义珍² 刘厚凤¹ 王策² 王振奎²

(1. 山东师范大学人口资源与环境学院, 山东 济南 250014; 2. 中国环境科学研究院城市与区域大气环境研究基地, 北京 100012)

摘要:利用超声风速仪对吉林省敦化市大石头镇进行了夏、冬季各10 d的观测。根据大气湍流扩散参数统计理论,利用欧拉观测的风速资料求解正态扩散模式中的大气扩散参数。结果表明:2005年夏季和2007年冬季B—F类稳定度的 σ_y 和 σ_z 均呈减小趋势,横轴y方向的总体扩散水平大于垂直方向z轴的总体扩散水平。夏季的 σ_y 在B—D类明显高于冬季的 σ_y ,且随着水平距离的增加更为明显;E—F类,夏季的 σ_y 在 $x=100$ m处,略低于冬季,但随着水平距离的增加,夏季的 σ_y 比冬季的 σ_y 增加更快;夏季的 σ_z 在B—F类均高于冬季的 σ_z ,且随着水平距离的增加更为明显。该计算方法具有可操作性和实用性,可作为研究该地区大气湍流扩散规律和污染模式选取参数的依据。

关键词:欧拉观测;大气;扩散参数;计算方法

中图分类号:X169 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-503X(2008)02-0014-04

1 引言

大气扩散参数是估算污染物地面浓度的重要参数^[1],在各类大气扩散模式计算中起着十分重要的作用^[2]。通过研究大气扩散参数来研究大气扩散规律是一种很重要的方法^[3]。帕斯奎尔和吉福德在大量扩散试验的数据和理论分析的基础上,总结出每一种稳定度级别的扩散参数随距离变化的经验曲线(P—G扩散曲线),解决了扩散参数的取值问题。

P—G曲线是根据美国大草原计划中地面源的实验结果总结出来的,其中1 km以外的曲线是外推的结果,此外它也未考虑地面粗糙度对扩散的影响,因而不适用于城市和山区。虽然经过了改进,但在较重大的课题中一般采用实测的气象观测资料来确定该地区的大气扩散参数。

欧拉观测的大气扩散参数计算方法在大气扩散理论分析中主要采用2种方法。其一为湍谱方法^[4],该方法要求瞬时风速仪采样频率能反映出湍谱惯性次区,每个速度(或温度)分量每秒不少于3个数据,持续采样时间为60 min,才能满足湍谱分析所需要的数据量。另一种方法为 σ_θ 和 σ_ϕ 法^[5],该方法中的普适函数是由Irwin等汇总若干扩散试验资料得出的经验表达值近似关系。这2种方法受风速仪采样率和数据量以及普适函数选取是否合理的限制^[6]。

战后日军遗弃在中国吉林敦化市的化学武器对该地区的环境造成隐患。日本专家经多次试验,准备建立销毁厂,采用高温销毁技术清除埋藏在该地

区的化学武器。本文以此课题为依托,试图从湍流扩散的统计理论出发,讨论利用欧拉观测的风速资料求解正态扩散模式中大气扩散参数的计算方法,并通过计算方法的实现设计和实例计算,求得敦化市大石头镇各稳定度下的大气扩散参数,为该地区大气扩散规律研究和污染模式建立提供实验基础和依据。

2 观测方案设计

观测仪器为中国科学院大气物理研究所研发的超声风速温度仪。该仪器用2个超声脉冲相对传输的时间差测风速,能测出实际风速在空间的三维瞬时风速分量(风的横向、纵向和垂直三维分量)。其安装高度为距地面10 m,主要由探头和计算机接收系统组成。超声风速仪的观测频率为20次/s,选样时间为30 min。超声风速仪通过对风三维向量精确的观测,能够准确反映大气湍流瞬时的扩散状况,并且能通过计算机记录大量的观测数据,其中数据量和采样频率均有较大的改进。

观测地点位于吉林省敦化市大石头镇(43°17'12"N,128°30'24"E)。海拔高度为536 m。观测地点为平原地形,5 km外为小丘陵地带。观测时间为2005年8月25日—9月13日和2007年3月20—29日。

3 大气扩散参数计算理论方法

使用超声风速温度仪观测取得风的三维向量,利用计算机编程来实现多数据的处理工作^[6]。

收稿日期:2008-03-05;修订日期:2008-03-21。

作者简介:刘遵永,男,1981年生,硕士研究生,主要从事大气污染气象学研究。

3.1 转换坐标轴

根据 h-p(Hay and Pasquill)假设,用欧拉法替代拉格朗日法计算扩散参数,(采样时间) $\lambda \geq 5T$ (最大平均时间)。当采样时间为 100 min 时,可取 20 min (1 200 s \times 20=24 000 组)数据为处理对象,利用公式对分量数据按主导风向坐标化^[7]。见图 1。

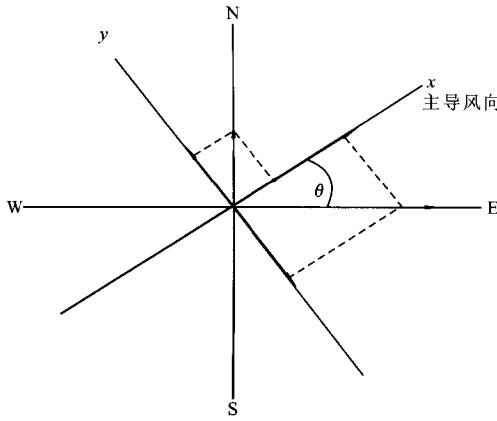


图 1 实测数据合成主导风向示意

主导风向与正东的夹角公式:

当 $\sum_{i=1}^n U_i > 0$ 时:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n U_i}\right) \quad (1)$$

当 $\sum_{i=1}^n U_i < 0$ 时:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n U_i}\right) + \pi \quad (2)$$

然后按照主导风向(设为 x 轴)建立新的坐标体系转换公式:

$$U_{si} = U_i \cos\theta + V_i \sin\theta \quad (x \text{ 轴分量}) \quad (3)$$

$$V_{si} = V_i \cos\theta - U_i \sin\theta \quad (y \text{ 轴分量}) \quad (4)$$

3.2 去除野点

运用滑动平均法检验数据。每组数与其前 5 个数和后 5 个数滑动平均。 $\bar{X}_i = \frac{1}{11} \sum_{m=i-5}^{i+5} X_m$, 计算涨落方差为 $\sigma_i^2 = \frac{1}{11} \sum_{m=i-5}^{i+5} (X_m - \bar{X}_i)^2$ 。当 $X_i \in (\bar{X}_i \pm 5\sigma_i)$ 为正常数据,否则视为野点,剔除后用 X_{i-1} 代替。此法的缺陷:前后的 5 个数据不能处理,野点连续分布,处理效果会降低^[8-10]。通过计算机对数据进行计算和整理,按照滑动平均法验证去掉野点^[11]。由于监测原始数据所占计算机空间较大,处理数据文档难度较大,故将原始数据进行分割,每 30 min 数据作为一个单位进行处理。经过筛选,2005 年数据为 209 组,2007 年数据为 425 组。

3.3 计算标准方差

分别取 1、2、 \dots 、1 800 s 为时段,计算 \bar{X}_i 、 \bar{V}_i 和 \bar{W}_i ($i=1,2,\dots,1\ 200$)。然后,计算方差:

水平标准方差:

$$\sigma_v^2 = (1/n) \cdot \sum_{m=1}^n (V_m - \bar{V}_i)^2 \quad (5)$$

垂直标准方差:

$$\sigma_w^2 = (1/n) \cdot \sum_{m=1}^n (W_m - \bar{W}_i)^2 \quad (6)$$

$(n=1,2,3,\dots,1\ 800)$

3.4 计算主导风扩散距离

由于 $X = \bar{U} \cdot T$, $T = \beta \cdot t$, 所以只要求出欧拉与拉格朗日的时间尺度比 β , 就能计算出主导风向风的扩散距离^[12]。按照经验公式的算法比较简单, $\beta = c \cdot \bar{u} / \sigma_v$, ($c=0.6$)^[13]。将中间过程省去,可以得到主导风的扩散距离公式:

$$X = 0.6 \cdot t \cdot \bar{u}^{-2} / \sigma_v \quad (7)$$

3.5 计算扩散参数

根据以下方程来确定扩散参数^[14]:

$$f_y(X) = f_z(X) = (1 + 0.030\ 8X^{0.4548})^{-1} \quad (X \leq 10^4 \text{ m}) \quad (8)$$

$$f_y(X) = f_z(X) = 0.333(10000/X)^{0.5} \quad (X > 10^4 \text{ m}) \quad (9)$$

$$\sigma_y = \sigma_v T f_y(T) \quad (10)$$

$$\sigma_z = \sigma_w T f_z(T) \quad (11)$$

3.6 数据拟合

根据筛选数据进行公式拟合 ($y = ax^b$, $z = cx^d$), 得出数据拟合系数 a 、 b 、 c 和 d 。利用以前统计的稳定度类别,标注每个时间段的稳定度。将同类稳定度的扩散方程的系数进行平均求值,计算结果见表 1 和表 2。同时利用 Excel 软件进行绘图,制作出不同时段扩散参数与下风向距离的坐标图,见图 2—图 5。

表 1 2005 年夏季观测期扩散参数

稳定度	组数	a	b	c	d
B	16	0.6684	0.8981	0.6331	0.8048
C	38	0.5177	0.8778	0.5393	0.7786
D	93	0.3010	0.8618	0.3845	0.7655
E	23	0.2463	0.8223	0.3588	0.7143
F	39	0.2497	0.7635	0.2832	0.7589

表 2 2007 年冬季观测期扩散参数

稳定度	组数	a	b	c	d
B	22	0.6975	0.8346	0.4997	0.7659
C	35	0.5131	0.7872	0.4472	0.7256
D	215	0.3805	0.7733	0.4109	0.7248
E	28	0.3651	0.7743	0.3904	0.7295
F	125	0.2688	0.7805	0.3702	0.7040

4 结论与讨论

(1) 超声风速仪对风瞬时向量观测精确,并且能通过计算机记录大量的观测数据。对于数据量和采

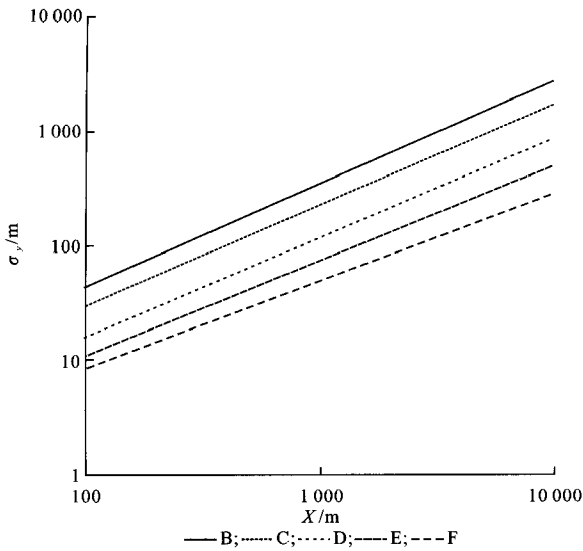


图2 2005年大石头镇夏季观测期水平扩散参数

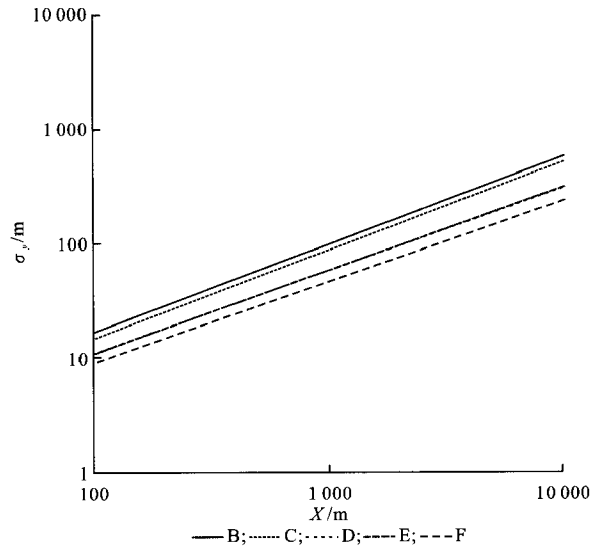


图5 2007年大石头镇冬季观测期垂直扩散参数

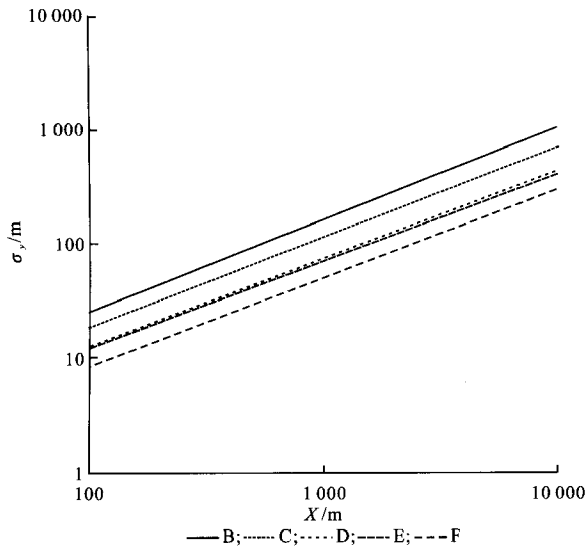


图3 2005年大石头镇夏季观测期垂直扩散参数

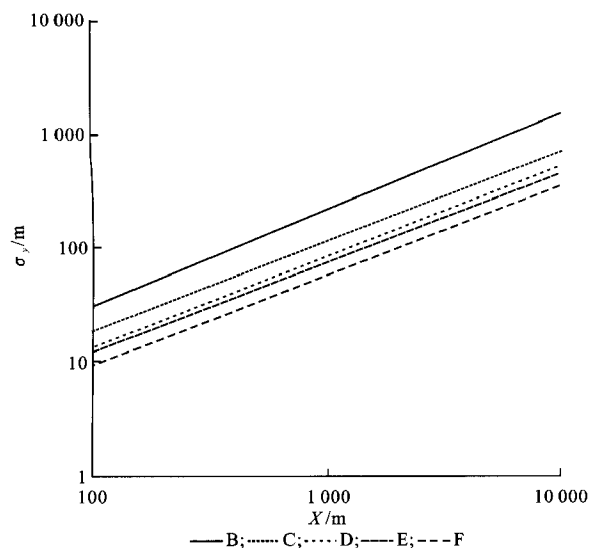


图4 2007年大石头镇冬季观测期水平扩散参数

样频率都有很大的改进。

(2)2005年夏季和2007年冬季B—F类稳定度的 σ_y 和 σ_z 均呈减小趋势,这与大气扩散理论相符合。 σ_y 下风向随距离的变化比 σ_z 明显,说明横轴 y 方向的总体扩散水平大于垂直方向 z 轴的总体扩散水平。由于两季D类和F类稳定度统计的数据最多,其可信性也相对较高。

(3)夏季与冬季相比,夏季的 σ_y 在B—D类明显高于冬季的 σ_y ,且随着水平距离的增加更明显;E—F类,夏季 σ_y 在 $x=100$ m处,略低于冬季,但随着水平距离的增加,夏季 σ_y 比冬季的 σ_y 增加更快。夏季 σ_z 在B—F类均高于冬季的 σ_z ,且随着水平距离的增加更为明显。说明该地区夏季扩散水平高于冬季,这与当地的实际情况相符。

(4)利用观测的三维风速资料可求解正态扩散模式中大气扩散参数。该方法计算结果与国标中的扩散参数相比, σ_y 和 σ_z 在数值上和随水平距离增加的变化趋势上均比较相似,证明该方法具有可操作性和实用性,可作为大气扩散规律和污染模式建立中有关参数选取的依据。

参考文献

- [1] 赵蔚.南票地区大气扩散参数实测计算[J].气象与环境学报,2006,22(3):33-34.
- [2] 杨洪斌,张云海,马雁军.朝阳地区大气扩散参数计算分析[J].环境保护科学,2006,32(1):5-6.
- [3] Ramachandran R,Prakash J W J,Gupta K S,et al. Variability of surface roughness and turbulence intensities at coastal site in India[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1994,70(4):385-400.
- [4] 国家环境保护局.中华人民共和国环境保护行业标准

- HJ/T2.1-2.3-93 环境影响评价技术导则[S]. 北京:中国环境科学出版社,1994.
- [5] Hanna S R, Briggs G A, Hosker R P. Handbook on atmospheric diffusion[M]. Technical Information Center US Department of Energy, 1982.
- [6] 陈义珍, 柴发合. 欧拉观测的大气扩散参数计算方法探析及应用[J]. 上海环境科学, 1997, 11(5):17-19.
- [7] 蒋玮楣, 曹文俊, 蒋瑞宾. 空气污染气象学教程[M]. 北京:北京气象出版社, 1985.
- [8] 王存忠, 曹文俊. 天津市郊大气边界层湍流谱特征分析[J]. 气象学报, 1994, 52(4):484-491.
- [9] Roth M, Oke T R, Steyn D G. Velocity and temperature spectra and cospectra in an unstable suburban atmosphere[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1989, 47(1/2/3/4): 309-320.
- [10] Kaimal J C, Wyngaard J C, Izumi Y, et al. Spectral characteristics of surface layer turbulence[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1972, 98(417): 563-589.
- [11] 裴益轩, 郭民. 滑动平均法的基本原理及应用[J]. 火炮发射与控制学报, 2000, 11(6):21-23.
- [12] 苑敬仪, 陈家宜. 火电厂工程环境影响评价研究[M]. 南京:南京大学出版社, 1989:87-95.
- [13] 陈长和. 复杂地形大气边界层和大气扩散的研究[M]. 北京:气象出版社, 1993.
- [14] 唐永鑫, 曾星舟. 大气环境学[M]. 广州:中山大学出版社, 1988:125-126.

Estimating atmospheric diffusion parameters based on Eulerian observation

LIU Zun-yong^{1,2} CHEN Yi-zhen² LIU Hou-feng¹ WANG Ce² WANG Zhen-kui²

(1. School of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China;

2. Innovation Base of Urban & Regional Atmospheric Environmental Research, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Wind speed was observed in summer (from August 25 to September 13, 2005) and in winter (March 20—29, 2007) with ultrasonic anemometer in Dashitou town, Dunhua city, Jilin province. Based on the statistical theory of turbulent diffusion parameters, the atmosphere diffusion parameters of normal diffusion model were calculated by Eulerian observation. The results indicate that σ_y value and σ_z value under different atmospheric stabilities (B, C, D, E and F types) decrease in the summer of 2005 and in the winter of 2007. The total diffusion level of transverse y -axis is higher than that of vertical z -axis. σ_y values under B, C and D types in summer are higher than those in winter, which becomes obvious with the increase of horizontal distances. σ_y values in summer are less than those in winter when x equals 100 m. Compared with σ_y values in winter, σ_y values in summer increase rapidly with the increase of horizontal distance for E stability and F stability. σ_z values under B, C, D, E and F stabilities in summer are higher than those in winter, which become obvious with the increase of horizontal distances. This method is feasible and practical. And it can be used as a parameter selection reference of atmospheric turbulence diffusion rule and pollution model in this area.

Key words: Eulerian observation; Atmosphere; Diffusion parameter; Computational method