

城市区粗糙度 z_0 对大气扩散参数影响的研究

铁 学 熙

(天津市气象科学研究所)

摘 要

本文介绍了城市区粗糙度 z_0 对大气扩散参数 σ 影响的研究,给出了城市粗糙度 z_0 的计算公式,同时,从对 σ 扩增的想法出发,研究确定了当粗糙度 z_0 增加时, σ 的扩增系数 η 在不同稳定度的计算方法。最后给出了用扩增系数 η 计算的 σ 值,计算值与实测值比较一致。这可以用已知平原区的 σ 值,推算出城市地区的 σ 值,因此在大气扩散计算中是有实用价值的。

一、序 言

目前,在大气扩散公式中的大气扩散参数往往由 Pasquill-Gifford 所给出的 σ_x 、 σ_y 曲线中查找^[1]。但这只是平原区的测定结果,并不适用于城市区域。测定在城市区的 σ 曲线,要消耗很大的人力、物力及时间。这对于某些急迫的大气污染浓度计算工作往往是办不到的。因此,有人曾经采用稳定度提级的方法去解决。但这既不客观、又不能解决各不同城市间的差别情况。本文试图从定量计算的方法加以解决 σ 的扩增问题。

由于城市区粗糙度 z_0 增大导致近地层湍流扩散加强,使得城市区中 σ 值普遍比平原区 σ 值大。各种实验证明:当 z_0 增大时, σ 值出现系统增高的情况(见图 1)。因此,在研究城市区中 z_0 对于 σ 的影响时,首先要计算出城市区下垫面情况的 z_0 值,即提出 z_0 的计算公式,然后再确定出 z_0 与 σ 之间的关系,进而便可提出在城市区粗糙度的 σ 扩增系数 η 的计算公式。这样,根据已知的平原区的 P—G 曲线,便可用扩增系数 η 定量计算各不同城市粗糙度 z_0 的 σ 值,也很容易地确定本城市区的 σ 曲线。

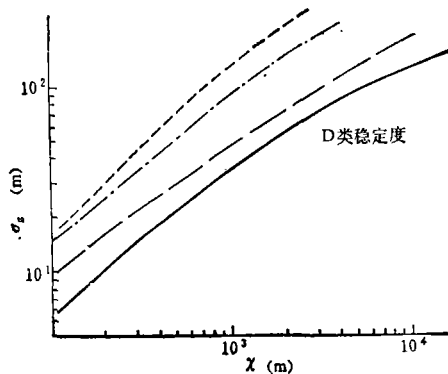


图 1 对各种不同粗糙度 z_0 在中性层结下 σ_x 的测定结果

—— 天津地区测定 $z_0 = 250\text{cm}$
 - · - · - Karlsruhe 给出 $z_0 = 110\text{cm}$
 ——— Smith 给出 $z_0 = 100\text{cm}$
 ——— Briggs 给出 $z_0 = 3-30\text{cm}$

二、粗糙度 z_0 对 σ 影响的分析

摩擦速度 u_f 反映了近地层中大气湍流的运动状况,与大气扩散参数 σ 有着一定的关系。根据相似理论的分析,在中性层结下,有如下关系:

$$\frac{\sigma_x}{x} = Au_f \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_y}{y} = Bu_f \quad (2)$$

式中, $t = \frac{x}{u}$ 为扩散时间;

σ_y, σ_z 为大气垂直及水平扩散参数。

在近地层, 在做了常通量层的假设之后, 中性层结的 u_f 可表示为:

$$u_f = \frac{\bar{u}}{\ln \frac{z}{z_0}} K \quad (3)$$

式中, K = 卡门常数, 一般取 0.4。

将(3)式代入(1)式后并做一些适当的变换, 则:

$$\sigma_z = A' x \frac{1}{\lg z - \lg z_0} \quad (4)$$

由此可知, σ_z 为 z_0 的增函数, 即 z_0 值越大, σ_z 值就越大。如果将 z_0 看做为参变量, 并令 z_{01} 为平原区的粗糙度值, z_{02} 为城市区的粗糙度值, 则:

$$\eta_0 = \frac{\sigma_{z_2}}{\sigma_{z_1}} = \frac{\lg z - \lg z_{01}}{\lg z - \lg z_{02}} \quad (5)$$

式中 η_0 为中性层结下, 当粗糙度自平原区 z_{01} 变到城市区 z_{02} 时所得 σ_z 的扩增系数。

再根据 Deacon 提供的层结订正函数, 我们可得到在非中性层结下扩散参数 σ_z 的扩增系数为:

$$\eta(z, z_0, R_i) = \frac{\lg z - \lg z_{01}}{\lg z - \lg z_{02}} \cdot \left(\frac{z_{01}}{z_{02}} \right)^{\beta-1} \quad (6)$$

同理, σ_y 的扩增系数也可得到同样的结果。式中 β 值为稳定度的函数。根据 Deacon 的观测, 其结果参见图 2^[3]。因此, 我们对不同稳定度下的 β 值分别取如下数值。

表 1 不同稳定度条件下的 β 值

巴斯尔大气稳定度分类	B	C	D	E
β 值	1.15	1.10	1.00	0.90

由式(6)可看出, 当 $\beta = 1.00$ 时, 式(6)变成式(5), 因此, η 可表示为 z, z_{01}, z_{02} 及大气稳定度的函数。

由表 2 我们可看出: (1) η 值为高度 z 的减函数, 在一定的高度上 η 值几乎不随高

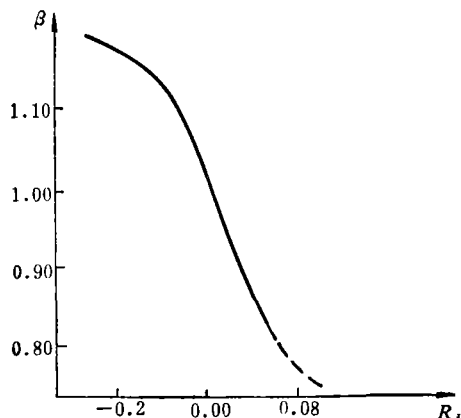


图 2 Deacon 给出的不同稳定度下的 β 值

表 2 $\eta(z, z_{01}, z_{02}, R_i)$ 在各不同参数下的取值

高度 z (厘米)	z_{01} (厘米)	z_{02} (厘米)	B 类稳定度 η	C 类稳定度 η	D 类稳定度 η	E 类稳定度 η
5000	3	100	1.12	1.34	1.90	2.70
5000	3	150	1.19	1.43	2.12	3.14
5000	3	200	1.24	1.53	2.31	3.51
5000	3	250	1.27	1.59	2.48	3.87
5000	5	100	1.12	1.31	1.77	2.39
5000	5	150	1.19	1.39	1.97	2.78
5000	5	200	1.24	1.49	2.15	3.12
5000	5	250	1.27	1.55	2.30	3.40
5000	10	100	1.13	1.17	1.59	2.00
5000	10	150	1.17	1.34	1.77	2.32
5000	10	200	1.22	1.43	1.93	2.61
5000	10	250	1.28	1.50	2.07	2.86
10000	3	100	1.04	1.27	1.76	2.50
10000	3	150	1.08	1.29	1.93	2.86
10000	3	200	1.11	1.37	2.07	3.15
10000	3	250	1.13	1.42	2.20	3.43
10000	5	100	1.04	1.22	1.65	2.23
10000	5	150	1.09	1.28	1.81	2.55
10000	5	200	1.12	1.34	1.94	2.81
10000	5	250	1.13	1.39	2.06	3.03
10000	10	100	1.06	1.19	1.50	1.89
10000	10	150	1.08	1.24	1.64	2.15
10000	10	200	1.12	1.31	1.77	2.39
10000	10	250	1.15	1.36	1.87	2.58

度而变化; (2) η 值为 z_{01} 的减函数, 为 z_{02} 的增函数; (3) 层结订正系数 $\left(\frac{z_{01}}{z_{02}} \right)^{\beta-1}$ 随大气层结稳定性的增强而增加, 即在稳定层结下的 η 值最大。

三、城市区中 z_0 的计算方法

因为要考虑城市下垫面对 σ 的影响, 首先则应计算出所查地区的 z_0 值. 根据实验资料, 我们提出了一个用于在城市区计算 z_0 的公式:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{H}_i a_i}{2 \sum_{i=1}^n a_i} \quad (7)$$

式中 a_i 为垂直于风向的侧向宽度; $\bar{H}_i$ 为侧向宽度内下垫面的平均垂直高度. $\bar{H}_i$ 的具体选择如下:

高大建筑	$\bar{H} = 15-20$ 米
三层楼房	$\bar{H} = 10$ 米
二层楼房	$\bar{H} = 5-7$ 米
平房	$\bar{H} = 3-4$ 米
城市楼间道路	$\bar{H} = 1$ 米
水陆夹间地带	$\bar{H} = 0.1$ 米
稻田	$\bar{H} = 0.2$ 米
密树区	$\bar{H} = 1.5$ 米

进一步考虑的问题是计算 $\bar{H}_i$ 、 a_i 的区域问题, 即 $\bar{H}_i$ 、 a_i 的计算区域必须是此观测点上风向的一影响区域. 此影响区域的考虑如下.

Taylor 等人^[4] 曾假定, 当下垫面的粗糙度自 z_{01} 变至 z_{02} 时, 在其交界处的下风区逐渐次生出一个新的边界层. 基于上述假设, Peterson^[5] 用有限差分法解“运动方程、连续方程及湍流方程”, 得到了次生边界层高度 $\delta(x)$ 的变化曲线(见图 3)^[4].

从图 3 可看出, 次生边界层高度 $\delta(x)$ 为粗糙度变化程度 $\frac{z_{02}}{z_{01}}$ 及水平距离 x 的函数, 即

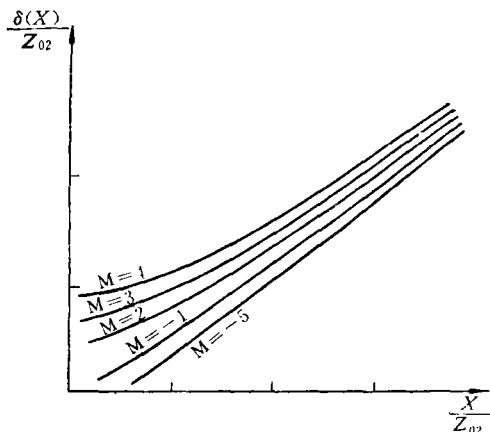


图 3 变换不同粗糙度 z_{02} 所得到的边界层高度 $\delta(x)$
($M = \ln \frac{z_{01}}{z_{02}}$, 当 $M > 0$ 时, 为自粗糙地面到光滑地面
 $M < 0$ 表示自光滑地面到粗糙地面)

可认为不同高度的 δ 值是由上风区不同范围所造成的结果. 对于影响到某一高度 δ 的上风区域, 我们暂称为影响区域, 并从影响区选出 $\bar{H}_i$ 、 a_i 值进行计算.

Pasquill^[6] 曾由实验证明, 由一高点源排放时, 对下风向造成一扩散区, 并且可以把这一扩散区看做一动量影响区, 此动量区对上风向次生边界层高度 δ 的影响可由点源对于下风扩散区进行模拟. 如果我们考虑地面几十米至一百米左右的边界层高度, 其与上风向的距离分别为 1 公里, 2 公里, 3 公里. 每 10 公里长、1 公里宽的区域为某点的影响区域, 并从详细的地图上找出影响区内的 $\bar{H}_i$ 、 a_i 值代入(7)式, 即可计算出 z_0 值. 据此, 我们划分了八个风向夹角, 并按其下垫面的情况计算了 z_0 值, 其计算结果见表 3.

由表 3 可知, 该城区与郊区下垫面粗糙度差别明显. 对于这个选定的计算点, 因上风方向不同而使 z_0 值有较大的差异, 如果改变计算点, 其各方位的 z_0 值也应有所变化.

表 3 z_0 的 计 算 值

风向 z_0	城 市 区 下 垫 面						城 郊 区 下 垫 面		
	NNE	ENE	ESE	WNW	NNW	平均	SSE	SSW	平均
厘米	423	184	297	154	200	252	45	29	37

但作为粗略的计算应用, 不考虑计算点和风向带来的差异, 近似取市区的平均值 250 厘米做为整个市区的粗糙度。

四、实测 σ_z 值与用扩增方法计算的 σ_z 值的比较

根据 Miller 提供的资料^[2]及天津市地区用照像法确定的 σ_z 资料, 以及 P—G 曲线给出的平原区的 σ_z 资料^[3], 计算由实测而得的 η 值($\eta = \sigma_{z_2}/\sigma_{z_1}$), 并与用式(6)计算的 η 值进行了比较, 结果可看出, 计算所得的 η 值与

实测的 η 值一般还比较接近, 对 $z_0 = 100$ 厘米的地区, E 类偏差较大。对该市区 $z_0 = 250$ 厘米, 则 B 类及 C 类偏差较大。从总的趋势看, z_0 值增大时 η 值也相应增大, 这是符合实际情况的。

我们又进一步以由 P—G 曲线给出的值为 $\sigma_{z_{01}}$, 然后通过式(7) $\sigma_{z_{02}} = \eta \sigma_{z_{01}}$ 计算出各种不同粗糙度下的 σ_z 值, 并与实测的 σ_z 值进行比较(见表 4)。可看出, σ_z 的实测值与计算值还是比较吻合的, 但计算值略低。

表 4 用扩增系数 η 计算的 σ_z 值与实测值的比较

水平距离 σ_z (m)		50 m	100 m	200 m	500 m	水平距离 σ_z (m)		50 m	100 m	200 m	500 m		
												稳定度	稳定度
B	$z_{02} = 100$ cm	计算	6	12	24	60	D	$z_{02} = 100$ cm	计算	5	9	16	34
		实测	10	18	31	62			实测	6	9	15	30
	$z_{02} = 250$ cm	计算	7	14	27	69		$z_{02} = 250$ cm	计算	6	12	21	45
		实测	10	21	44	120			实测	7	15	30	70
C	$z_{02} = 100$ cm	计算	5	10	19	43	E	$z_{02} = 100$ cm	计算	5	9	17	34
		实测	8	13	22	43			实测	3	6	9	17
	$z_{02} = 250$ cm	计算	6	12	22	51		$z_{02} = 250$ cm	计算	7	14	24	48
		实测	8	18	36	87			实测	5	10	22	53

注: z_{01} 均取 3cm。由于使用照像法一般在 1000 米以内有效, 取值到 $x = 500$ 米, 其余没有列在表内。

参 考 文 献

- [1] D. D. 特纳尔 大气扩散估计手册。
[2] Miller, C. W., *Atmospheric Environment*, 12, 1359(1978)。

- [3] Sutton, O. G., 微气象学, 高等教育出版社, 1959。
[4] Taylor, P. A., *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 95, 77 (1969)。
[5] E. W. Peterson, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 95, 561 (1969)。
[6] Pasquill, F., *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 98, 469 (1972)。
[7] D. H. 斯莱德, 气象学与原子能, 原子能出版社。

中国科学院第二次京津渤区域环境科研工作会议在京召开

中国科学院于 1981 年 2 月 16—23 日在北京召开了第二次京津渤区域环境科研工作会议。科学院副秘书长、院环委会主任李苏到会作报告, 国环办副主任陈西平, 院环委会副主任马世骏、郭方, 国家科委、天津市、北京市、河北省有关部门及院属有关所 80 多人出席会议。会议检查了去年的科研计划执行情况, 27 人在会上作了汇报。根据该项目区域环境研究的要求, 去年完成了全区域尘暴、飘尘、二氧化硫、农药、重金属、氯化物的分布, 降水的酸度、土壤背景值、水污染特征、污灌区评价等工作, 部分地区的植被、多环芳烃的分布、硫酸盐气溶胶形成模式、污水库自净能力及遥感试验的研究, 渤海湾 COD 消长规律、污染物容量研究, 中关村水质、噪声、绿化和流行病学调查, 蓟运河求治理方案探讨等工作, 为防治这些污染提供了依据。会议修订了科研协作计划, 要求进一步加强系统分析和综合研究, 为京津渤区域的综合防治和环境设计做出贡献。

(袁清林 供稿)