

# 南京大厂地区二氧化硫浓度的常年分布\*

沈觉成

## 提 要

本文利用作者修正的大气扩散模式,计算了南京市大厂地区SO<sub>2</sub>浓度的常年分布,为城镇总体规划提供了一定的依据;同时表明,此法要比仅用气候资料如风频、污染系数等进行总体规划有更大的优越性。

## 一、问题的提出

城镇总体规划要考虑的因素甚多,如土地利用、交通运输、供水排水等。但从防止和减少空气污染角度来看,主要是考虑工业区特别是废气排放量大、毒性大的工厂的设置问题,然后再考虑居民区、商业区和绿化区的配置。

以往,许多城市规划者通常用风玫瑰图和污染系数玫瑰图,将工业区布置在最多风向的下风方向或污染系数小的方向。这种方法的优点是简单,作为粗略规划有一定的参考价值,但是它无法给出污染区的范围及其各种不同污染源对某一特定区域尤其是重污染区的贡献程度,而这恰恰是污染控制及城镇总体规划所必须的。最可靠的方法是根据较长期观测的浓度分布来作总体规划,但是我国浓度监测刚刚开始,从技术条件、经济效益来看,要进行长期的连续性监测是比较困难的。尽管人们已经开始利用一些短期监测资料按某些气象条件(风频、不同大气稳定度级别出现的频率等)来估计长期平均浓度,但仍存在一定的问题。

本文试图根据污染源的源强和气候资料,利用修正了的连续点源长期平均浓度计算模式来估计一个地区的SO<sub>2</sub>浓度的长年分布,並由此做出大厂地区的总体规划。

## 二、计算模式

在欧拉坐标系中,取烟云中心轴为x方向即平均风向,y为横截风向剖面内某一点到x轴的水平距离,z取铅直向上。利用下列三点假设:

(一)湍流场均匀、定常;

\*气候专业(78级)程炳炎同学参加了本文的部分工作

(二) 污染物在大气中输送时满足连续性条件;

(三) 污染物的浓度在横截风向的剖面内呈正态分布。

容易导出单个高架连续点源下风方的地面浓度计算式<sup>[1]</sup>

$$\bar{q} = \frac{\bar{Q}}{\pi u s_y s_z} \exp \left[ - \left( \frac{y^2}{2s_y^2} + \frac{h^2}{2s_z^2} \right) \right] \quad (1)$$

式中  $\bar{q}$  为地面平均浓度(克/米<sup>3</sup>);  $\bar{Q}$  为平均源强(克/秒);  $h$  为有效源高(米);  $\bar{u}$  为源高处的平均风速(米/秒);  $s_y$ (米)、 $s_z$ (米)分别为  $y$  向和  $z$  向污染质点的标准差, 即侧向扩散参数和铅直向扩散参数。

(1)式仅适用于短时间(几十分钟)的扩散计算, 对于长时期的平均浓度, 我们取污染源为圆心, 任意长度为半径画一地平圆, 并将其划分成  $n$  个相等的扇形。假定当风向由源中心指向某一扇形区时, 污染物都集中在该区内, 并可认为该扇形区中  $y$  向的浓度为均匀分布。则离源中心距离为  $x$  处的弧线上任意点的长期平均浓度计算式为

$$\begin{aligned} \bar{q}_i &= \frac{f_i}{2\pi x} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\bar{Q}}{\pi u_i s_y s_z} \exp \left[ - \left( \frac{y^2}{2s_y^2} + \frac{h_i^2}{2s_z^2} \right) \right] dy \\ &= \frac{n f_i \bar{Q}}{\sqrt{2} \pi^{3/2} u_i s_z x} \exp \left( - \frac{h_i^2}{2s_z^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

上式即为有风时的长期平均浓度计算式。式中  $n$  为风向方位数,  $\frac{2\pi x}{n}$  即为扇形区内离源  $x$  处的弧长;  $f_i$ 、 $\bar{u}_i$ 、 $h_i$  分别为某  $i$  扇形区内的风向频率、平均风速和有效源高。若风向取16个方位, 则上式可简化为

$$\bar{q}_i = \frac{2.032 f_i \bar{Q}}{u_i s_z x} \exp \left( - \frac{h_i^2}{2s_z^2} \right) \quad (3)$$

(3)式即为通常的长期平均浓度计算式, 但是, 我们认为对一定地点的长期平均浓度, 除了考虑有风时的污染影响外, 还应包括静风时的影响。考虑到气象资料整编中的风频关系

$$\sum_{i=1}^{16} f_i + f_0 = 100\%$$

式中  $f_0$  为静风频率。所谓静风并不是风速均为零, 它包含了从零到风速仪的起动风速

(约 1.5 米/秒)之间的各种可能风速。从气候角度上考虑, 我们可以把静风时的风速当作 0.75 米/秒来处理。静风时风向不定, 各风向的频率可以认为是相同的。因此, 在静风条件下, 离源中心任意距离为半径的圆周上的浓度亦为均匀分布。由(2)式容易得到静风时的平均浓度计算式

$$\bar{q}_0 = \frac{f_0 \bar{Q}}{\sqrt{2} \pi^{3/2} u_0 s_z x} \exp\left(-\frac{h_0^2}{2s_z^2}\right) \quad (4)$$

式中带下标“0”的符号为静风时的物理量。当  $u_0$  取 0.75 米/秒时, (4) 式可简化为

$$\bar{q}_0 = \frac{0.168 f_0 \bar{Q}}{s_z x} \exp\left(-\frac{h_0^2}{2s_z^2}\right) \quad (5)$$

综合(3)式和(5)式, 最终可得包括静风影响时的长期平均浓度计算模式

$$\bar{q}_{1,i} = \bar{q}_i + \bar{q}_0 = \frac{\bar{Q}}{s_z x} \left[ 0.168 f_0 \exp\left(-\frac{h_0^2}{2s_z^2}\right) + \frac{2.032 f_i}{u_i} \exp\left(-\frac{h_i^2}{2s_z^2}\right) \right] \quad (6)$$

式中  $\bar{q}_{1,i}$  为单个高架连续点源在某  $i$  扇形区内地面长期平均浓度。在米、克、秒制中,  $\bar{q}_{1,i}$  的单位为克/米<sup>3</sup>。关于  $\bar{Q}$ 、 $\bar{u}$ 、 $h$ 、 $s_z$  的取值将于下节讨论。

对于地面源, (6) 式可写为

$$\bar{q}_{1,i} = \frac{\bar{Q}}{s_z x} \left( 0.168 f_0 + \frac{2.032 f_i}{u_i} \right) \quad (7)$$

(6)式和(7)式即为我们修正的大气扩散模式, 可用它们来计算单个连续点源的年、季平均浓度。由于某一地点的污染通常受到多个源的共同影响, 因此, 首先必须用(6)式分别计算各污染源的浓度场, 由此得到各个源在某一点的浓度, 然后, 按一定方位进行叠加, 叠加时对高架源还需考虑风向随高度的变化, 因为这种变化直接影响污染物在大气中的输送路径。根据文献[2], 大厂地区风向随高度变化有明显的右偏规律, 右偏方位的频率随相对高差(两个高度之差)的增大而增加。据1979年1月风向偏转情况统计, 219.3米高度处的风向与31米处相比, 右偏1至2个方位(以16风方位计算)的百分频率达69%, 不偏和左偏百分率分别只有5%和6%。结合大厂地区的源高情况, 我们规定当有效源高大于100米时, 将(6)式计算的地面浓度值按风向右转一个方位进行叠加。

### 三、资料处理

在利用(6)式计算时尚需求得 $\bar{Q}$ 、 $f$ 、 $\bar{u}$ 、 $s_z$ 、 $h$ 等值。有了这些参数,就可以算得离源一定距离 $x$ 处的 $\bar{q}_{1,i}$ 了。

#### (一)平均源强

由于大厂地区的空气污染物主要是由煤燃烧引起的二氧化硫。排放量较大的单位有南京热电厂、南京钢铁厂和南京化学工业公司。这三个单位的二氧化硫废气年排放量占全区的96~97%。本文所考虑的就是这三个单位的9个连续排放源(详见表1)。另外,在按(6)式计算时,把一些相距很近(约距几十米的点源)且高度相当的若干个点源作为1个点源来处理。

表1 污染源的有关参数

源属单位		源序	源高 (米)	排烟速度 (米/秒)	烟囱口 内直径 (米)	烟气温度 (°C)	SO <sub>2</sub> 平均 源强(克/秒)
热 电 厂		1	80	19.0	5.3	120	983.5
		2	120	18.0	5.0	90	1036.1
南 化	氮 肥 厂	3	62	12.7	2.0	35	20.6
	磷 肥 厂	4	62	10.0	2.0	35	39.4
	催化剂三车间	5	20				10.3
南	烧 结	6	60				105.2
钢	焦 化	7	40(3座) 30(1座)				38.8
高	炼 铁	8	45 50				59.0
炉	炼 钢	9	45(3座)				14.0

#### (二)气象资料

本文所用的风资料是根据邻近大厂区的六合县气象站(1961~1980)20年资料统计所得。

(6)式中的平均风速 $\bar{u}$ 一般取烟囱高度处的值。据文献[2],大厂地区风速随高度

变化有如下关系

$$u_z = u_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^r \quad (8)$$

式中 $u_z$ 为任意高度 $z$ 处的风速； $u_1$ 为 $z_1$ 高度处的风速； $p$ 为与大气层结和下垫面粗糙度有关的经验系数，我们取常年大气层结为中性， $p$ 值为0.3035。由此按(8)式可得到各风向各高度上的年平均风速(表略)。

另外，在热排放率计算中须知烟囱高度处周围大气的温度，我们按六合县气象站气温用干绝热递减率推算得到。

### (三) $s_z$ 的取值

扩散参数 $s_z$ 的确定比较困难，在仅有常规气象资料的情况下，常用帕斯圭尔(F. Pasquill)扩散曲线图查得。该法仅适用于平坦开阔地区，对于城市或下垫面粗糙的地方，应用帕氏大气稳定度分类法所得的 $s_z$ 往往偏低。根据文献[3]和国内一些单位的经验表明，一般可将稳定度级别向不稳定方向提高1级左右。对于常年情况通常取D级。基于大厂地区地形略有起伏(相对高差约30~40米左右)，计算时采用C级来查取 $s_z$ 。

### (四)有效源高的估计

所谓有效源高( $h_i$ )，即为烟气的实际排放高度，它等于烟囱高度( $h_0$ )与烟气抬升高度( $\Delta h_i$ )之和

$$h_i = h_0 + \Delta h_i \quad (9)$$

目前，国内外对 $\Delta h_i$ 的估计方法很多，但大多为半经验、半理论公式，给实际应用上带来一定的困难。为此，我们采用几个公式计算并与中性大气时的实测结果比较，从而估计 $\Delta h_i$ 的大致范围。

对于热电厂两个高烟囱，热排放率( $Q_h$ )较大，烟体的浮力抬升作用强。我们分别用摩塞斯(H. Moses)公式和量纲分析公式计算，与观测结果相比摩塞斯公式较好。摩塞斯公式为

$$\Delta h_i = (C_1 w d + C_2 \sqrt{Q_h}) / \bar{u}_i \quad (10)$$

式中 $w$ 为烟气出口速度(米/秒)； $Q_h$ 为热施放率(卡/秒)； $d$ 为烟囱口内直径(米)； $C_1$ 、 $C_2$ 为与稳定度有关的参数，中性时分别为0.40和0.17，计算结果见表2。

对于南化的两个源(3、4)，属低热源排放，我们用霍兰德(J. Z. Holland)公式计算<sup>[4]</sup>

$$\Delta h_i = (1.5 w d + 4.1 \times 10^{-5} Q_h) / \bar{u}_i \quad (11)$$

式中符号意义同前。

近几年国内外应用霍兰德公式表明，计算值比实测值小2~3倍。静风时的抬升高度

表 2 各个源的抬升高度 ( $\Delta h_i$ )。单位: 米

源序	风 向																
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
1	96	102	102	105	99	95	105	122	122	112	109	102	95	83	85	87	477
2	67	71	71	73	69	65	73	85	85	78	75	71	65	58	59	61	332
3	22	23	23	23	22	23	23	26	26	24	24	23	21	19	20	20	72
4	19	20	20	21	20	19	21	23	23	21	21	20	19	17	17	18	65
5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	45
6	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	70
7	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	60
8	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	65
9	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	65

也按上法计算得到。其余的5个源，由于源资料不全，无法计算，我们仅根据污染源的物理性质作经验估计。因此在表2中没有考虑各风向下的风速影响。

## 四、结果分析

按(6)式分别计算各个源的地面浓度，再根据我们规定的叠加原则，在一个坐标系中将9个源的浓度场对大厂地区各点进行求和，然后分析等值线，最终便得到全区二氧化硫浓度的常年分布图(见图1)。

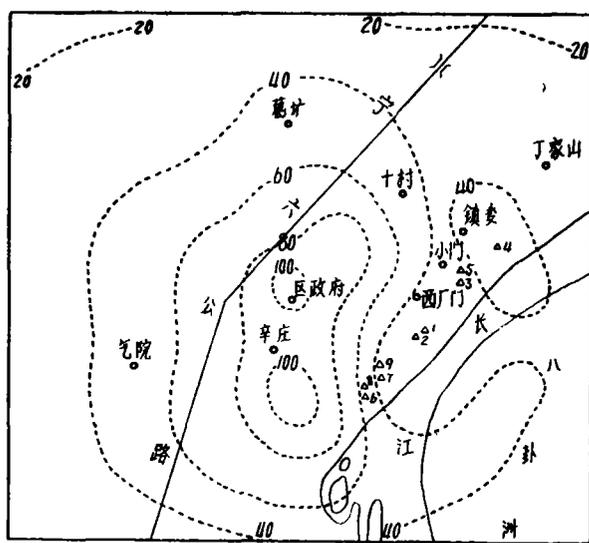


图1 南京大厂地区二氧化硫年平均浓度分布图。  
单位： $10^{-3}$ 毫克/米<sup>3</sup>；△为污染源位置；虚线为等浓度线

从图上可以看出，以热电厂的1、2号源为中心，它的西侧有两个高值区，一个在区政府，另一个在辛庄南侧。高值区离热电厂约2~3公里。另外在热电厂东北还有一个高值区，但比前者小的多。

有限的实测二氧化硫浓度资料表明，我们的计算结果接近实测值。污染气体浓度的年变化规律通常秋季接近年平均值。根据南化公司监测站于1981年秋季，在大厂镇人委附近4个采样点共54个二氧化硫浓度实测值的平均为0.042毫克/米<sup>3</sup>；据本文二十年气象资料及污染源的有关参数计算得的浓度值为0.043毫克/米<sup>3</sup>。在十村附近，南化监测站9年观测共318个样本，实测二氧化硫的年平均值为0.041毫克/米<sup>3</sup>，本文的计算值为0.053毫克/米<sup>3</sup>。

从城市规划和污染角度出发，还应知道各接收点的二氧化硫污染是由那些单位(或污染源)造成。表3列出了各个源对若干接收点的二氧化硫的贡献。由表可以看出，处于

表 3 各源对若干接收点的二氧化硫年平均浓度的贡献。浓度单位： $10^{-3}$ 毫克/米<sup>3</sup>

接收地点	单 位		小 计	百 分 数 (%)	单 位			小 计	百 分 数 (%)	单 位			小 计	百 分 数 (%)	合 计	离 电 厂 距 离 (公里)	
	南 京 热 电 厂				南 化 公 司					南 京 钢 铁 厂							
	源 序	序 号			3	4	5			6	7	8					9
西 厂 门	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	2.8	11.4	18.1	49	2.8	9.0	2.9	3.8	18.5	51	36.6	0.7
小 门	1.8	1.0	2.8	7	3.5	6.1	15.2	24.8	62	1.7	6.8	2.4	1.2	12.1	31	39.7	1.1
区 政 府	40.0	32.9	72.9	73	1.0	0.9	0.8	2.7	3	10.3	6.1	6.8	1.5	24.7	24	100.3	2.2
十 村	19.3	16.6	35.9	68	2.8	4.0	3.6	10.4	20	2.1	1.3	2.2	0.7	6.3	12	52.6	2.5
丁 家 山	12.6	11.1	23.7	61	2.8	5.7	2.2	10.7	28	1.3	1.2	0.5	1.5	4.5	11	38.9	3.5
葛 塘	23.9	21.3	45.2	85	1.3	2.3	0.7	4.3	8	1.9	1.2	0.3	0.4	3.8	7	53.3	4.3
南京气象学院	17.9	16.4	34.3	70	0.3	0.3	1.5	2.1	4	8.5	2.2	1.1	0.6	12.4	26	48.8	5.0

大厂镇中心的西厂门,由于邻近的电厂为高架源排放,因此不受热电厂的影响,而南钢和南化在该点的二氧化硫浓度贡献分别为 $18.5 \times 10^{-3}$ 毫克/米<sup>3</sup>和 $18.1 \times 10^{-3}$ 毫克/米<sup>3</sup>,均占西厂门总污染量的一半左右。区府政的浓度值为 $100.3 \times 10^{-3}$ 毫克/米,其中热电厂的贡献为73%,南钢为24%,南化为3%。在重要居民区十村附近的二氧化硫污染同样以热电厂为主,其次是南化,而南钢的影响略小些。在离电厂两公里以远的地区,热电厂的二氧化硫污染均占首位。

## 五、小 结

(一)在城镇规划中,利用本文提出的修正模式(6)计算长期平均浓度,从理论上和实际上均是可行的,它比仅用气候资料进行总体规划有更大的优越性。

(二)二氧化硫重污染区是以区政府、辛庄为中心的20平方公里范围。因此,拟应将居民区、商业区布置在全区的东北部,或放在八卦洲。至少不宜放在重污染区内,在此地区宜种植南北走向的林带或绿化区。工厂不宜在附近兴建和发展。

(三)全区的二氧化硫污染,在大厂镇附近主要受南钢、南化的影响,而在离电厂两公里以远的地区,以南京热电厂的影响为主。因此要减轻二氧化硫的污染,应对热电厂的废气排放进行治理或控制。

(四)本文污染源的资料未包括无组织排放和面源(如商业、民用燃烧等),计算值可能略有偏低。但与工业污染源相比,其量甚小,对全区的总体规划并无影响。

本文得到翁笃鸣副教授、朱瑞兆副研究员的指正;南京大厂区环保局、南化公司、南钢和南京热电厂的环保部门提供了污染源和监测资料,在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- [1] D.H. 斯莱德著,张永兴等译,气象学与可能性,原子能出版社,91,1979。
- [2] 南京气象学院等,南京300米塔层风分析,南京气象学院学报,1981,1。
- [3] E. Runca, Validation and physical parametrization of a Gaussian Climatological Model Applied to a Complex site, *Atm. Env.* Vol. 16, No. 2, 1982.
- [4] John H. Scinfeld, *Air Pollution*, 513, 1975.