

面源计算模式的一些改进和应用

刘海月

(河北省气象科学研究所)

提 要

本文对有面源高度的 ATDL 模式进行了一些改进,按照气象学定义的风向夹角确定面源计算区域,使计算区域的选取意义更为明确。应用改进后的模式对唐山市的大气环境质量现状进行了计算,计算结果与实际情况基本符合,数据离差在二倍范围以内,相关系数在 0.70 以上。

一、引言

我国城市中的大气污染除大的点源排放以外,大多数为中小排放源,这部分排放源,虽然排放量相对较小,但排放点数量多,分布面广,排放高度低,对城市的大气污染的作用也是不能忽视的;因此,解决好面源排放的计算也是非常重要的问题之一。

目前城市大气质量评价和预测模式很多,应用比较广泛的面源模式为吉福德-汉纳^[1]提出的大气湍流与扩散实验室模式(简称 ATDL 模式)。这个模式的主要缺点之一,是假定面源高度为零。这与实际情况不符,使计算值偏高;沮铁林等^[2]和李滇林等^[3]考虑面源高度的影响,提出了手算面源模式和有面源高度的 ATDL 模式,使面源模式的计算工作向前推进了一步。但大气污染物的扩散浓度不仅受面源高度的影响,而且还与计算点上风方各面源网格的源强值有关。在实际计算中,不同面源网格的源强值有时存在很大差异,选择不同计算区域往往会得出不同的计算结果。因此,有必要对吉福德-汉纳面源模式计算区域的选取进行一些讨论。基于此目的,本文对有面源高度的 ATDL 模式的计算区域进行了改进,并用改进后的模式对唐山市的大气污染物的扩散进行了计算和分析。

二、城市概况与资料来源

唐山市位于京津两大城市的东部,是河北省的重工业城市之一,该市地势比较平坦,市区南北长约 14km,东西长约 10km,评价区网格划分为 1km×1km 正方形网格 72 个。

本文所用资料系 1984 年 1 月和 7 月两次

(每次观测 10 天)地面观测和低空大气探测实验资料,实验中使用 TK-II 型低空探空仪进行温度观测,利用双经纬仪测风;应用平面照相法和超声风温仪确定大气垂直扩散参数 σ_z 和水平扩散参数 σ_y 。在大气探测的同时,还进行了大气污染物浓度同步监测,取得了 10 个监测点的污染物浓度数据;对污染源的分布和排放情况进行了调查统计,获得了各个污染源大气污染物排放数据。

三、大气污染物面源扩散模式

把面源看作无限个小点源的组合,考虑上风方每个小点源对计算点的贡献,可在点源高斯公式的基础上对 x 、 y 进行积分,则有

$$C(x, y, 0) = \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{Q_j}{\pi \bar{u} \sigma_y \sigma_z} \exp \left[- \left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] dx dy \quad (1)$$

引入吉福德提出的窄烟云假设,则面源源强仅为 x 的函数,有面源高度的 ATDL 模式可表示为

$$C(x, 0) = \left(\frac{2}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{\bar{u}} \left\{ Q_0 \int_0^{L/2} \frac{1}{ax^b} \exp \left[- \frac{H^2}{2a^2x^{2b}} \right] dx + \sum_{j=1}^N Q_j \int_{(j-\frac{1}{2})L}^{(j+\frac{1}{2})L} \frac{1}{ax^b} \exp \right.$$

• 本文插图由杨会芹同志绘制。

$$\left[-\frac{H^2}{2a^2x^{2b}} \right] dx \quad (2)$$

令:

$$D_0 = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \int_0^{L/2} \frac{1}{ax^b} \exp \left[-\frac{H^2}{2a^2x^{2b}} \right] dx \quad (3)$$

$$D_j = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \int_{(j-\frac{1}{2})L}^{(j+\frac{1}{2})L} \frac{1}{ax^b} \exp \left[-\frac{H^2}{2a^2x^{2b}} \right] dx \quad (4)$$

则(2)式变为

$$C(x, 0) = \frac{1}{\bar{u}} \left[D_0 Q_0 + \sum_{j=1}^N D_j Q_j \right] \quad (5)$$

式中, $C(x, 0)$: 计算点地面浓度值 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$), Q_0 : 计算点所在网格的源强值 ($\text{mg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$); \bar{u} : 实测平均风速值 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); j : 计算点上风方的网格数; Q_j : 计算点上风方第 j 号网格的源强值 ($\text{mg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$); L : 面源网格尺度, $L=1000\text{m}$; H : 面源高度, 根据唐山市的实际情况, 我们把面源分为三个高度组, 数据见表1。

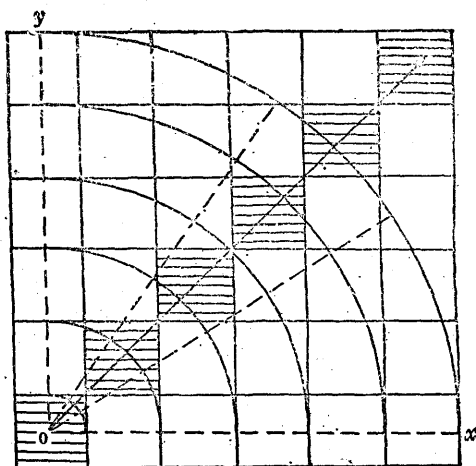
表1 面源高度分类表

项目	面源名称		
	居民面源	公共福利面源	工业面源
高度范围(m)	0-9	10-19	>19
平均高度(m)	5	15	35

D_0 、 D_j : 各面源网格的扩散系数, 它们是网格尺度、大气稳定性和面源高度的函数。

a 、 b : 大气扩散参数 σ_z 的待定系数。

根据(3)、(4)、(5)式, 采用吉福德-汉纳提出的计算区域(附图中画横线的面源网格), 若 D_0 、 D_j 和 Q_0 、 Q_j 已知, 即可计算出计算点的浓度值。从附图可以看出, 吉福德-汉纳给出的计算区域与实际情况有一定的差异, 因为气象上定义的风向为 22.5° 范围, 在计算某一风向造成的地面浓度时, 必须考虑计算点上风方 22.5° 范围内所有污染源对计算点的贡献。在计算中, 我们对吉福德-汉纳给出的计算区域进行修正, 假设污染源在本网格内分布均匀, 风向网格



附图 面源计算区域示意图

(附图中两虚线所夹部分环状网格)上的源强值 Q_j 修正为

$$Q_j = \sum_{i=1}^N Q_i \cdot S_{ij} / S \quad (6)$$

式中, Q_i : 某面源网格内(附图中正方形网格)的平均源强值 ($\text{mg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$); S_{ij} : 某风向范围内, 第 i 个面源网格落入第 j 个风向网格内的面积数值; S : 面源网格面积, $S=1\text{km}^2$ 。

在 $j=0$ 时, 取 Q_0 为计算网格源强的 $1/16$; 在得出风向网格上的平均源强值 Q_0 、 Q_j 以后, 乘以各风向网格上的扩散系数 D_0 、 D_j , 累加即得计算点某风向上的浓度值。

在计算中, 除了计算每一瞬时污染浓度外, 还需计算长期的年、季平均浓度值; 求长期平均浓度时, 将风向划分为 17 个方位(16 个方位加静风), 风速划分为 7 个等级(见表2), 稳定度划分为 B、C、D、E 四个级别, 由气象资料统计得出风向、风速、稳定度联合频率 f , 则长期平均浓度公式可表示为

$$\bar{C} = \sum_{i=1}^{17} \sum_{m=1}^4 \sum_{k=1}^7 \frac{f_{imk}}{\bar{u}_{ik}} \left[D_0 Q_0 + \sum_{j=1}^N D_j Q_j \right] \quad (7)$$

式中, \bar{u}_{ik} : 风向类别为 i 、风速类别为 k 的平均风速值 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

表2 风速分级表

等级	1	2	3	4	5	6	7
风速范围 (m·s ⁻¹)	静风	0.3—1.0	1.3—2.0	2.3—4.0	4.3—6.0	6.3—10.0	>10.0
平均风速 (m·s ⁻¹)	0.4	0.8	1.7	3.2	5.2	8.2	12.0

四、计算结果与分析

应用上文中介绍的公式，分别计算了唐山市1984年大气探测实验期间（1月5日到14日；7月1日到10日）大气污染物的瞬时浓度和日平均浓度，选择比较完整的资料（冬季10天，夏季7天）进行统计平均，得出大气污染物采暖季和非采暖季的日平均浓

度值。然后与当时的监测平均值进行对比（见表3），由表3中可以看出，计算值与监测值比较接近，误差在二倍范围以内；表中还给出了计算值与监测值之间的相关系数，其数值全部在0.70以上。由此看来，本文采用的计算模式和计算结果基本上能够代表唐山市的实际情况。

表3 大气污染物日平均浓度计算值与实测值比较表

污染物类别	监测点位置 平均浓度 (mg·m ⁻³)	果	赵	新	机	傅	西	化	西	二	轧	相关系数
		园	庄	市区	场 路口	家 屯	山 口	研	窑	中	钢厂	
SO ₂	采暖季实测值	0.021	0.089	0.094	0.078	0.047	0.076	0.140	0.107	0.110	0.222	0.82
	计算值	0.025	0.056	0.106	0.080	0.040	0.114	0.167	0.101	0.187	0.181	
	非采暖季实测值	0.017	0.027	0.022	0.030	0.019	缺测	0.031	0.058	0.041	0.107	0.75
	计算值	0.016	0.018	0.029	0.049	0.026	/	0.043	0.069	0.044	0.061	
NO _x	采暖季实测值	0.039	0.068	0.092	0.087	0.069	0.104	0.153	0.118	0.116	0.142	0.91
	计算值	0.037	0.064	0.106	0.090	0.069	0.134	0.132	0.120	0.151	0.182	
	非采暖季实测值	0.024	0.041	0.066	0.045	0.025	0.053	0.024	0.047	0.043	0.123	0.70
	计算值	0.017	0.026	0.041	0.066	0.035	0.043	0.038	0.058	0.069	0.082	
CO	采暖季实测值	0.851	1.450	1.638	2.555	1.076	2.850	3.347	1.861	2.623	2.616	0.79
	计算值	0.757	2.255	2.531	1.845	0.989	2.785	2.813	1.996	2.830	2.284	
	非采暖季实测值	0.800	0.775	1.333	2.461	1.380	1.314	1.514	1.457	1.657	1.700	0.80
	计算值	0.788	1.066	1.106	1.783	0.976	1.121	1.221	1.700	1.363	1.366	

五、几点结论和意见

1. 采用有面源高度的 ATDL 模式进行计算，对计算区域进行改进，其方法是可行的，计算结果与实测值比较接近，误差在二倍范围以内，相关系数全部在0.70以上。

2. 计算的瞬时浓度值与监测值还不能完全相符，原因是监测浓度值受多种因素的影响，在同样的风速、稳定度等气象条件下，监测浓度可以有很大差别，这些有待于以后的研究来解决。

参考文献

(1) Stven. R. Hanna. et. al, Handbook on atmospheric diffusion, TIC. U. S. Department of Energy. 1982.
 (2) 俎铁林、徐大海，面源模式，中国环境科学，1981，第4期。
 (3) 李滇林、陈荣庭，有面源高度的 ATDL 模式，中国环境科学，1983，第6期。
 (4) D. Bruce. Turner, A diffusion model for urban area, J. Appl. Meteor. Vol. 3. No. 1, 1964, 83—91.
 (5) Erich. Weber, Air Pollution assessment methodology and modeling, 1982.

Some Improvements and applications of the plane source computational model

Liu Haiyue

(Meteorological institute of Hebei Province)

Abstract

This paper presents the improvement of the ATDL model with the height of plane source. Plane source computational area has been determined according to the meteorological definition of wind angle, in order to make the selective meaning of the computational area clear. The author has calculated the quality of the atmospheric environment of Tangshan City using the improved model and find that the results is basically conformed to reality. The data deviation is with in the limits of two times, and the correlation coefficient is above 0.70.