

文章编号:1671-6833(2004)01-0098-04

乡镇工业区大气中颗粒物总量控制研究

何争光¹, 曹书霞², 谢丽娜³, 崔福德⁴

(1. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州大学化学系, 河南 郑州 450052; 3. 郑州市环境监测总站, 河南 郑州 450007; 4. 新密市环境监测站, 河南 新密 452370)

摘要: 将 A-P 值法应用于乡镇工业比较发达的新密市区域内大气中可吸入颗粒 PM_{10} 和总悬浮颗粒 TSP 的总量控制研究中. 结果表明, 该方法对大气中颗粒物总量的模拟计算能得到较好的结果, 与城区连续两年的环境监测数据有较好的一致性; 城区附近区域的现状排放量已超过总量控制限值, 而城区以外的多数区域现状大气中的 PM_{10} 尚有较大的环境容量.

关键词: 黑箱模式; 环境容量; 可吸入颗粒物; TSP; 总量控制

中图分类号: X 513

文献标识码: A

0 引言

近年来, 我国对大气污染物的控制已逐步从浓度控制过渡到总量控制. 总量控制是在确定了某区域的空气质量执行标准后, 运用适当的数学模式进行模拟计算, 得到该区域大气污染物的排放限量, 然后将需要削减的量优化分配到排污源, 从而来确保控制区内大气环境质量满足相应的环境目标值^[1,2]. 在总量控制中, 如何计算出区域空气中主要污染物的环境容量和如何对环境容量进行合理地分配是总量控制的核心内容, 这样, 不但可以使污染源控制更加具体化, 而且, 也保证了控制区环境质量的达标. 谷清^[3]认为区域大气总量控制方法和污染源条件、地形条件和气象条件等有密切关系. 总量控制通常有线性规划法和 A-P 值法, 李凤娟^[4]将线性规划法应用于大气污染总量控制取得较好效果. A-P 值法应用于大气污染总量控制对于宏观控制更具有指导意义, 不仅能迅速估算出给定控制地区的污染物的允许排放总量, 而且能对点源进行具体控制^[5]. 但是, 由于区域环境条件、气象条件等不同, 方法的应用也有区别. 总量控制方法目前主要应用于气体污染物的控制, 对可吸入颗粒物(PM_{10})和总悬浮颗粒(TSP)的控制则尚在探索之中. 新密市丰富的煤炭和矿产资源使以水泥为主要产品的建材业和耐火材料业蓬勃发展, 因此, 燃烧产生的 PM_{10}

和 TSP 对空气质量的影响直接影响了人们的健康^[6], 成为当地的主要环境课题之一. 本研究的主要内容是尝试将 A 值法总量控制原理应用于乡镇工业发达地区来计算区域大气中 PM_{10} 和 TSP 的环境容量, 按 P 值法将需要削减的量优化分配到污染源, 对当地 PM_{10} 和 TSP 的环境容量以及点源排放量的控制做出科学的结论.

1 A-P 值法的数学模式

1.1 黑箱模式 A 值法

在污染源较多、分布相对比较均匀或者系统内部信息难以准确得到的乡镇区域, 运用黑箱模式可以方便地预测和推算区域空气中污染物的平均浓度. 该模式将区域空间看作是由一个和多个箱组成, 箱底和箱顶分别为区域的下垫面和混合层顶, 四周由区域的范围确定, 并假定: 在一个箱内, 将所有污染源视为面源, 且源强是一个常数; 污染物进入箱内后, 在铅直方向上均匀分布.

该市乡镇企业较多, 据统计, 烟囱总数有 932 个, 其中 30 m 以下的占 73.6%, 40 m 以下的占 95.7%, 以乡镇为一个黑箱时, 污染源分布相对比较均匀, 且排放源的高度有限, 适合运用黑箱模式.

在长时间平衡的单箱模型中, 考虑到干、湿沉降及化学衰变后, 箱中的平均浓度 C 可用下式表达:

收稿日期: 2003-10-03; **修订日期:** 2003-12-10

作者简介: 何争光 (1963-), 男, 河南省孟州市人, 郑州大学副教授, 上海交通大学博士研究生, 主要从事大气污染控制工程方面的研究.

$$C=\frac{uC_b+\Delta xq_a/H}{u+(u_d+W_rR+H/T_c)\Delta X/H}\tag{1}$$

式中： C 为箱内大气污染物平均浓度； q_a 为污染物在单位面积上、单位时间内的排放量； u 为平均风速； H_i 为污染物可达到的高度（用混合层高度代替）； C_b 为由上风向进入该箱内的大气污染物的本底浓度； u_d 为干沉积速度； R 为降水率； $W_r=u_w/R$ 为清洗比； u_w 为湿沉积速度； ΔX 为箱内顺风长度； T_c 为污染物半衰期。

当认为 C_b 近似等于零，污染物的半衰期足够大时，则式（1）变为

$$q_s=CuH_i/\Delta x+(u_d+W_rR)C\tag{2}$$

式中： q_s 为允许排放率密度； Δx 为区域面积 S 的等效直径。

$$\Delta x=\sqrt[3]{S/\pi}\tag{3}$$

若以 T 为计算周期，则计算周期内污染物的允许排放总量为

$$Q_a=q_sST\tag{4}$$

（1）由于 PM_{10} 沉降性很差，具有气态特性，其干沉积速度和湿沉积速度远小于通风稀释作用，因此，式（2）所有沉积项可以忽略，当 C 用环境空气质量标准值 C_s 代替，并换算单位后得年排放量（ $10^4t\ a^{-1}$ ）为

$$Q_a=1.5768\times10^{-3}\pi^{1/2}uH_iC_sS^{1/2}\tag{5}$$

（2）对于 TSP 来讲，干湿沉降（ u_d+W_rR ）已成为不可忽视的重要因子，则式（2）可以表达成

$$q_s=C_{sm}uH_i/\Delta x+(u_d+W_rR)C_{sm}\tag{6}$$

式中： C_{sm} 为箱中悬浮物的平均浓度。

由于大气中的颗粒物不仅来源于烟囱的排放，还来源于地面的扬尘，而地面扬尘又来源于裸土扬尘和二次扬尘，即下式成立：

$$C_{sm}=(1-F)C_{su}\tag{7}$$
$$F=C_f/C_{su}$$

式中： C_{su} 为大气总颗粒物的浓度； F 为扬尘百分率； C_f 为扬尘浓度。

考虑到绿化等因素，且取 C_{su} 为大气环境目标值 C_s ，经推导可得

$$q=[0.886S^{-0.5}uH+(u_d+w_rR)](1-F_e)rC_s\tag{8}$$

式中： F_e 为指裸土扬尘百分率； r 为裸露土地面积与控制区总面积之比。

再根据式（4）计算全年排放量。

（3）设乡镇面积为 S_i ，排放量为 Q_{ai} ，则有

$$Q_{ai}=AC_sS_i/S^{1/2}\tag{9}$$

在夜间大气温度层结稳定时，高架源对地面

影响不大，但低架源能产生严重污染，低架源允许排放量 Q_{hi} 为

$$Q_{hi}=BC_sS_i/S^{1/2}\tag{10}$$

式中： B 为低架源总量控制系数，为垂直扩散参数与平均风速的函数。GB/T 13201—91 中规定 $\alpha=B/A$ ，则 $Q_{hi}=\alpha Q_{ai}\cdot Q_b=\alpha Q_a$ ，河南地区 $\alpha=0.15$ 。

1.2 P 值法原理

在总量控制 A 值法中只规定了各区域总允许排放量而无法确定每个源的允许排放量，而 P 值法是根据某一烟囱高度来控制其排放量，但无法控制烟囱数量和区域排放总量。为了将 A 值法和 P 值法结合起来，需要考虑中架点源和低架点源对功能区大气环境的影响，并做区域性调整。

$$q_{pi}=\beta_i\beta_i\cdot P\cdot C_{si}\cdot H_e^2\cdot 10^{-3}\tag{11}$$

式中： q_{pi} 为点源允许排放限率； β 为全控制区总的调整系数， $\beta=(Q_a-Q_b)/(Q_m+Q_h)$ ； Q_a ， Q_b ， Q_m ， Q_h 分别代表年排放总量、低架点源年排放量、中架点源年排放量、高架点源年排放总量； β_i 为 i 功能区的点源调整系数， $\beta_i=(Q_{ai}-Q_{hi})/Q_{mi}$ ； P 为点源控制系数，河南取 120~180； C_{si} 为大气环境标准日均浓度限值； H_e 为烟囱有效高度。

1.3 混合层高度计算

混合层高度按照“制定地方大气污染物排放标准的技术方法”（GB/T 13201—91）中附录 E 进行计算。

2 结果与讨论

2.1 混合层高度

该市地理纬度为 34.3° ，则地转参数 $f=8.22\times10^{-5}$ ，年平均风速 $2.8\ m\ s^{-1}$ 时混合层高度计算结果见表 2。

表 2 不同稳定度的混合层高度及其出现频率

Tab. 2 The heights of mixed layer and the frequencies of stability degree on conditions of different stability

项目	稳定度					
	A	B	C	D	E	F
混合层高/m	—	2 044.8	1 397.8	648.8	306.4	129.2
年均频率/%	0.2	10.8	10.9	35.9	23.5	18.7

说明：在其它风速时的混合层厚度和不同季节时稳定度出现的频率未列入表中。

按照表 2 计算，全年平均风速为 $2.8\ m\ s^{-1}$ 时，年平均混合层厚度为 702 m。混合层的厚度和稳定度、风速有直接关系，在一定范围内混合层的厚度随风速增加而增加，因此，风速大时大气处于

不稳定状态,对大气污染的自然净化有利.该市属季风气候,平均风速偏小;年平均风速为常风和小风的概率占 76.1%,对污染扩散不利.稳定度为 D、E、F 类的出现频率占全年的 78.1%,占冬季的 88.8%,常年天气以稳定为主,不太利于煤烟型污染的扩散.

2.2 全市区域内PM₁₀总量控制结果

依据黑箱模式计算出的PM₁₀总量控制结果列于表 3,由此可知:

(1) 除 4 号区域外其它区域都远小于总量控制目标,表明该市大气中PM₁₀还有很大的剩余容量,这无疑有利于工业的持续发展.

(2) 4 号区域由于是城市所在地,人口集中、工业比较发达,污染物排放量也较大,不仅总量上需要削减,而且低架源排放量也需要削减.若按年平均浓度 ($C_s=0.10\text{ mg}\cdot\text{Nm}^{-3}$) 控制空气质量,需要削减可吸入颗粒物排放总量的 51.2%;若按日平均浓度 ($C_s=0.15\text{ mg}\cdot\text{Nm}^{-3}$) 来控制,则可吸入颗粒物需削减 26.8%.

(3) 除 1,4,5 号区域外,其它区域的PM₁₀现状排放量均不超过限排量的 15%.因此,对这些区域目前已不必控制其低架源的排放总量;PM₁₀总量未超标区域目前仍应按照点源浓度排放标准进行控制.

表 3 PM₁₀总量控制计算结果

Tab. 3 The results of calculation of total amount control of PM ₁₀							
区域 乡镇	1	2	3	4	5	6	7
现状排放量/(t a ⁻¹)	7 018.5	347.3	705.8	23 484.8	2 994.2	668.6	41.1
限排量*/(t a ⁻¹)	11 799.5	14 402.3	10 411.3	11 452.5	10 931.9	10 411.3	16 831.7
削减率*/%	0.0	0.0	0.0	51.2	0.0	0.0	0.0
低架源限排量*/(t a ⁻¹)	1 769.9	2 160.3	1 561.7	1 717.9	1 639.8	1 561.7	2 524.8
限排量**/(t a ⁻¹)	17 699.3	21 603.5	15 616.9	17 178.8	16 397.9	15 616.9	25 292.6
削减率**/%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
低架源限排量**/(t a ⁻¹)	2 654.9	3 240.5	2 342.5	2 576.8	2 459.7	2 342.5	3 793.9
区 域 乡镇	8	9	10	11	12	13	合 计
现状排放量/(t a ⁻¹)	437.8	731.1	72.4	224.2	3 943.1	42.1	40 711
限排量*/(t a ⁻¹)	10 931.9	13 014.2	15 443.5	10 203.1	11 105.4	17 699.2	164 638
削减率*/%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
低架源限排量*/(t a ⁻¹)	1 639.8	1 952.1	2 316.5	1 530.5	1 665.8	2 654.9	24 695.7
限排量**/(t a ⁻¹)	16 397.8	19 521.3	23 165.2	15 304.7	16 658.1	26 548.8	247 002
削减率**/%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
低架源限排量**/(t a ⁻¹)	2 459.7	2 928.2	3 474.8	2 295.7	2 498.7	3 982.3	37 050

说明: * 指按环境空气质量标准(GB—3059—1996) 中年平均浓度限值控制; ** 指按日平均浓度限值控制.

2.3 区域 4 内PM₁₀和TSP 的 A—P 值总量控制

2.3.1 PM₁₀的 A—P 值法控制

区域 4 内烟囱高度情况统计见表 4.按照 A—P 法计算的结果,除了三家较大型企业外其余均能满足 P 值法的要求,即其实际排放量小于按 P 值法计算出来的允许排放速率,因此,这些企业不需要削减实际排放率.其它三家企业的除尘装置正常运行后,其净化效率将超过 0%,因此,有望满足总量控制要求.A—P 值法控制结果见表 5.

表 4 燃烧排放源高度统计

Tab. 4 Statistics of the height of stacks			
烟囱高度/m	30~35	40~45	70~80
数目/个	23	9	4

表 5 A—P 值法控制时的PM₁₀排放率计算结果

Tab. 5 The calculation results of discharge rate of PM ₁₀				
企业 编号	实排量 /(t h ⁻¹)	允许排放量 /(t h ⁻¹)	削减量 /(t h ⁻¹)	削减率 /%
1	2.084 0	0.176 0	1.908	91.5
2	0.043 5	0.036 5	0.007	16.1
3	0.808 0	0.230 0	0.578	71.5

说明:其它 31 家企业的实际排放率小于 P 值计算的允许值,削减率为零,不再列入表内.

2.3.2 区域 4 内TSP 的总量控制与实际监测结果

区域 4 内TSP 的总量控制结果列于表 6,实际监测结果列于图 1.图 1 是工业最发达的城区内 3 个监测地点、连续两年共 6 次的TSP 监测数据月日平均值.其年平均值为 0.42 mg·Nm⁻³,高于空气质量二级标准中的日平均值(0.30 mg·Nm⁻³) 40%.而

点源现状实际排放总量比按此二级日平均值计算出的总量值高 27%，考虑到接近于地面的空气中颗粒物实际浓度较高，而总量控制是假定在混合层中均匀混合等因素，因此，可以近似认为实际监测和总量控制计算得到的结果是基本一致的。

表 6 区域 4 内 TSP 的总量控制结果
Tab. 6 The results of total amounts of TSP in area No. 4

项 目	实际排放量 /(t a ⁻¹)	允许排放量 /(t a ⁻¹)	削减率 /%	剩余容量 /(t a ⁻¹)
年均标准	85 334.5	44 534	47.8	0
日均标准	85 334.5	66 801	21.7	0

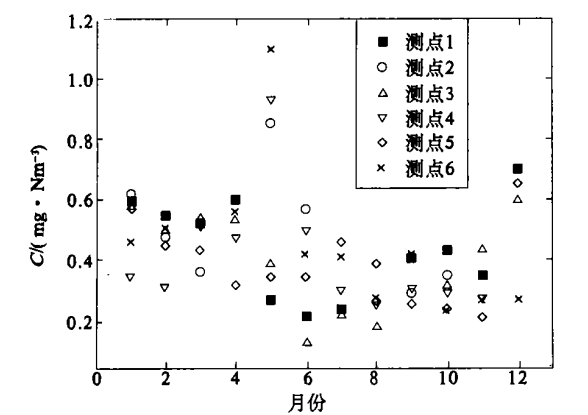


图 1 城区三个监测点连续两年的监测结果
Fig. 1 The monitoring results at three places
in city zone during two consecutive years

3 结论

以空气质量二级标准环境目标,运用 A 值

法对新密市各区域内大气中PM₁₀、用 A—P 值法对城区内的 TSP 和 PM₁₀的环境容量以及点源控制进行了模拟计算. 结果表明,A—P 值法应用于大气中可吸入颗粒物和 TSP 的模拟计算能得到较好的结果,城区的监测结果与计算值有较好的一致性;该市除城区和另外两个乡镇外多数乡镇大气中 PM₁₀目前仍有很大的剩余容量,今后新建的工业企业应避开城区工业密集区向这些区域发展;城区的 PM₁₀和 TSP 的现状排放总量都已超过总量控制的限度,因此,应对几家企业进行重点治理,对市区内低架源的排放也要进行控制.

参考文献:

[1] 石晓枫,卢 力. 大气环境容量的分配与污染物总量控制方法的研究[J]. 环境工程, 2000, 18(1) : 50~53.
[2] 徐芙蓉,施介宽. 大气污染物排放总量控制中环境质量保证率的探讨[J]. 上海环境科学, 2002, 21(10) : 610~613.
[3] 谷 清. 中国区域大气总量控制基准和方法[J]. 中国环境科学, 2000, 20(增刊) : 25~28.
[4] 李凤娟. 线性规划在大气污染总量控制中的应用研究[J]. 内蒙古环境保护, 2002, 14(3) : 45~46.
[5] 范绍佳,黄志兴,刘佳玲. 大气污染物排放总量控制 A—P 值法及其应用[J]. 中国环境科学, 1994, 14(6) : 408~410.
[6] 周书凯,朱静媛,程学敏,等. 生活炉灶所致室内空气污染对人体健康的影响[J]. 郑州大学学报(医学版), 2003, 38(4) : 589~590.

Study on Total Amount Control of TSP and PM₁₀ in the Air over Some Rural Industry Area

HE Zheng —guang¹, CAO Shu —xia², XIE Li —na³, CUI Fu —de⁴
(1. College of Environmental & Hydraulic Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China ; 2. Department of Chemistry, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China ; 3. Zhengzhou Environmental Monitoring Station, Zhengzhou 450007, China ; 4. Xinmi Environmental Monitoring Station, Xinmi 452370, China)

Abstract : The principal of A—P method is applied to the study of total amount control of PM₁₀ and TSP in one rural area. The result shows that this method leads to better results, and is consistent with the results of monitoring during two consecutive years. There is no capacity in the air over the city ozone to accept PM₁₀, but there is more capacity over other areas.

Key words : model of black box ; environmental capacity ; PM₁₀ ; TSP ; total amount control