

社区大气污染物排放总量控制研究^{*}

李 达 蒋家文 陈波洋 钱 枫

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037, E-mail: Lida@public.gb.com.cn)

摘要 为了寻求社区大气污染物排放总量控制的方法和可行途径, 在污染源调查的基础上, 以城市多源大气扩散模式(ISCST)为建模工具, 采用以“总量控制线性方程组”作为约束条件的线性规划方法, 对控制北京市西城区大气污染物排放总量达到环境目标的几种方案作了分析, 如燃烧优质煤和天然气等。同时, 给出了总量控制管理信息系统的结构图和功能图。

关键词 总量控制, 稀释流量, 环境目标, 方案对策, 地理信息系统。

Study on the Total Emission Control of Atmospheric Pollutants in Urban District^{*}

Li Da Jiang Jiawen Chen Boyang Qian Feng

(Beijing Municipal Research Academy of Environmental Protection, Beijing 100037,

China E-mail: Lida@public.gb.com.cn)

Abstract In order to find a method and a feasible approach to the control of the total emission atmospheric pollutant in urban district, a variety of atmospheric pollution sources was investigated and a large amount of data relating to the causes of pollution in urban district was studied. Based on the investigations and studies, a method, atmospheric pollution linear program control method which employs the pluralistic atmospheric pollution dispersion pattern (ISCST) was established and “Total Emission Control Linear Equations” was applied as the binding conditions. By using this method, authors analyzed several pollution-reducing schemes to control the total emission of atmospheric pollutants in Xi Cheng District of Beijing in order to reach the national environmental quality standards. These scenarios include using high quality coal and nature gas etc. The structure and function diagrams of the information management system for the total emission control of atmospheric pollutants were also illustrated.

Keywords total emission control, dispersion factor, environmental quality goal, pollution-reducing schemes, Geographical Information System.

1 污染源调查

1.1 基本原则

污染源调查的基本原则是围绕总量控制进行核实、分类、归纳整理各类污染源及与污染源有关的各种信息。

(1) 数据必须真实、可靠。

(2) 收集、整理的污染源及与此有关的数据, 必须是今后正常工作可获得的、可更新的, 以保证污染源数据库是“活”库。

(3) 污染源位置地理坐标的确定, 采用北京市标准地图坐标系, 每个污染源都有相应的地理编号, 以确定地理位置, 精度为 200m ×

200m。

(4) 污染源分 6 类: 烟囱高度小于等于 35m 的采暖锅炉、烟囱高度大于 35m 的采暖锅炉、烟囱高度小于等于 35m 的工业锅炉、烟囱高度大于 35m 的工业锅炉、茶浴炉和小煤炉。

污染源调查的方法是采用基础数据核对验证和必要数据现场调查相结合, 科研人员和行政管理人员相结合的方法。经检验证明, 污染源基础数据是翔实的。

^{*} 国家“九五”重点科技攻关项目(The National Key Science and Technology Project during the Ninth Five-year Plan Period): 98-920-04-11

李达: 女, 52, 高级工程师

收稿日期: 1998-11-17

1.2 主要内容

对西城区 3913 个单位, 近 20 万个炉窑灶的有关信息, 逐个的核实、筛选和补充, 其主要内容如下:

- (1) 申报单位名称、单位代码、单位地址、所属街道、地理位置、行业分类、法定代表联系人、联系电话等与污染源有关的各类企业概况的信息.
- (2) 锅炉型号、能源结构、燃烧方式、用途、燃料年耗量等.
- (3) 烟囱的高度、直径、运行时间以及各种排放特性参数.
- (4) 治理措施、除尘器的型号等.

1.3 污染源数据库

①《排放污染物申报登记表(简表)》中有关部分内容为基础建立污染源基础数据库, 有企业概况库、锅炉库和茶浴炉、大灶库. ②在运转中由基础数据库派生而成的一系列应用数据库, 其又由 6 个部分组成: 污染源统计分析库部分、单纯形法优化和分配排放量库部分、申报单位的污染源排放量按平均环境浓度贡献排序库部分、总量控制下环境影响评价库部分、方案库部分、采用方案后的环境质量库部分, 各个部分又由若干个数据库组成.

污染源数据库由 45 个库组成, 共有 300 多万个数据. 无论是基础数据库, 还是应用数据

库, 都是动态的, 可以更新的“活库”; 这样保证了系统的生命力.

1.4 污染源现状分析^[1]

- (1) 西城区 1995 年污染源汇总分析;
- (2) 1995 年西城区各街道污染源统计分析;
- (3) 1995 年西城区各类源统计分析;
- (4) SO₂ 排放量排队分析;
- (5) 烟尘排放量排队分析;
- (6) 按 SO₂ 浓度贡献排队分析;
- (7) 按烟尘浓度贡献排队分析;
- (8) 燃料结构的现状分析和评价;
- (9) 治理装置的现状分析和评价;
- (10) 锅炉型号的现状分析和评价.

表 1 是 1995 年西城区各类源统计表. 从表 1 中可以看出, 每年西城区的耗煤量主要用于采暖, 采暖锅炉总用煤量为 28.68 万 t, 约占全年耗煤总量的 49.1%, 因此具有很强的季节性. 其中以烟囱高度小于 35m 的采暖锅炉为主, 年耗煤量约 23.45 万 t, 约占全年耗煤总量的 40.15%, SO₂ 和烟尘的排放量也是最大, 约占全年 SO₂ 和烟尘排放量的 56.49% 和 62.89%. 由于这类污染源排放高度低, 不利于进行扩散, 这是西城区 SO₂、烟尘严重污染的重要原因.

表 1 1995 年西城区各类源统计

源类名称	烟囱高度 /m	烟囱个数 /个	占总量 / %	燃料年耗量 × 10 ⁴ /t	占总量 / %	SO ₂ 排放量 /t	占总量 / %	尘排放量 /t	占总量 / %
采暖锅炉	≤ 35	1555	29.46	23.45	40.15	3565.68	56.49	1329.25	62.89
	> 35 ≤ 60	57	1.08	5.23	8.95	807.26	12.79	289.22	13.68
工业锅炉	≤ 35	63	1.19	2.33	3.99	353.84	5.61	139.17	6.58
	≥ 35 ≤ 60	11	0.21	2.03	3.48	312.77	4.96	127.55	6.03
茶浴大灶		2591	49.09	7.41	12.69	807.12	12.79	183.62	8.69
小煤炉		823	15.59	17.96	30.74	465.13	7.37	44.90	2.12

2 总量控制方法

采用有界技术的方法, 求出以“总量控制线性方程”作为约束条件的有界变量线性规划的最优解, 即在建立排放量与环境质量关系下, 求出在某一环境目标值下, 西城区 1km × 1km 网

格上 SO₂ 和烟尘的最大允许排放量. 这就将对区域总量控制转化为对该区域内每一个网格的总量控制, 然后再将这个量分摊到每一个具体污染源, 也就是总量控制最终是对每一个具体污染源排放量的控制.

2.1 西城区的网格划分和编码

西城区的坐标系统与网格划分, 共有 40 个 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的网格, 各网格的编码如图 1 所示.

			H ₄	H ₅	
			G ₄	G ₅	G ₆
F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆
D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	
B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆
A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆

图 1 西城区网格划分及编码

2.2 线性规划的方法^[2]

线性规划方法, 引进了优化思想, 可以用来计算最大允许排放量. $\text{MAX}(\sum_{i=1}^{240} Q_{iX})$ 为目标函数, 满足约束条件:

$$\begin{bmatrix} 1/V_{11} & 1/V_{21} & 1/V_{31} & \dots & 1/V_{2401} \\ 1/V_{12} & 1/V_{22} & 1/V_{32} & \dots & 1/V_{2402} \\ 1/V_{13} & 1/V_{23} & 1/V_{33} & \dots & 1/V_{2403} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/V_{140} & 1/V_{240} & 1/V_{340} & \dots & 1/V_{24040} \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{1X} \\ Q_{2X} \\ Q_{3X} \\ \dots \\ Q_{4X} \\ Q_{5X} \\ Q_{6X} \\ Q_{7X} \\ \dots \\ Q_{240X} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_{40} \\ Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ \dots \\ Q_{240} \end{bmatrix}$$

约束条件中有 280 个方程, 240 个变量 ($Q_{1X}, Q_{2X}, \dots, Q_{240X}$). 每行代表一个监控点, 共 40 个监控点. 每列代表一个污染源, 共 240 个污染源(40 个网格, 每个网格上有 6 类源).

2.3 约束条件中的系数——稀释系数的确定

$1/V_{11}, \dots, 1/V_{24040}$ 为稀释系数, V 称为稀释流量. 它有明确的物理意义, 它包含了各种风速、风向、稳定度、逆温层等因素的影响, 一旦这些因素确定后, 则可视为该社区的常数. 它是通过以 ISCST2 作为工具, 将输入的污染排放源强和输出的环境浓度之比, 定义得到的. 它具有以下特性:

(1) 内禀的时间属性, V 表示该污染物稀释流量的月平均值.

(2) 固有的空间属性, 同一源到不同的监控点, 稀释流量 V 不同; 不同源到同一监控点, 稀释流量 V 也不同.

(3) 气象数据的综合性, 在这一个月里, 全部 720 组逐时风向、风速、温度、大气稳定性和混合层高度数据的综合作用, 都体现在 V 的数值之中了. 所以, 它是描述该月污染气象场特征的综合参数.

采用 1991-01 稀释流量矩阵 V , 作为西城区大气总量控制线性模型的系数矩阵. 由于一年之中, 它是污染气象条件最恶劣的月份. 实施污染控制后, 若该月的环境浓度能达标, 其它月份的环境质量将更易达标. 而且, 在 1991、1993、1994、1995 这 4 年的月平均稀释流量中, 以 1991-01 的值最小. 如果用该月的稀释矩阵 V 计算月平均环境浓度, 则是这 4 年中最大的月平均环境浓度. 说明该稀释矩阵用于西城区的大气排放总量控制, 大致能抗拒 4 年一遇的恶劣气象条件, 这也解决了总量控制线性模型的概率保证问题.

2.4 约束条件中的常数

约束条件中的常数由 2 部分构成: 环境目标值 ($C_1, C_2, \dots, C_{40}$) 和 1995 年主控污染物的排放量 ($Q_1, Q_2, \dots, Q_{240}$).

根据国家环保局 1993-09-18 发布的《环境影响评价技术导则》中推荐的插值方法, 得到了 SO_2 和 TSP 的月平均浓度标准, 作为西城区总量控制的、以国家标准为依据的大气质量目标值 ($\text{SO}_2: 94\mu\text{g}/\text{m}^3, \text{TSP}: 238\mu\text{g}/\text{m}^3$).

对于西城区各环境质量监控点, 具体的环境社区目标值是:

社区目标值 = 大气质量目标值 $\times$ 本区责任系数
式中的本区责任系数, 是本区污染源在环境总浓度中的贡献系数.

2.5 分配“允许排放量”

采用线性规划的优化技术, 计算出了达到一定环境质量目标值的最大允许排放量. 并且按 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的网格, 给出了各类污染源的允许排放量. 现要将它们分配给网格中的每一个具体污染源, 采用 2 种分配方法:

(1) 与原排放量成正比的分配方法, 就是某网格现有各污染源, 按照该污染源原排放量在本网格总排放量中所占的比例, 对本网格允许

排放总量进行瓜分. 原来排放量多的多分, 原少排者少分;

(2) 与烟囱高度平方成正比的分配方法, 即按现有各污染源烟囱高度的平方在本网格所有烟囱高度的平方和之中所占的比例, 对本网格“允许排放量”进行再分配. 因此, 烟囱高者多分, 烟囱矮者少分, 是一种更为合理的分配方法.

2. 6 削减量和削减率

计算出每一个具体污染源在达到一定环境质量目标值下的 SO_2 和烟尘的“允许排放量”, 以及每一个具体污染源 1995 年 SO_2 和烟尘的实际排放量后, 它们之差就是该源的达标削减量, 也就可得到相应的削减率.

3 削减方案和费用效果分析^[4]

3. 1 综合整治方案

(1) 采用低硫、低灰分的优质煤后的结果和分析 在系统的应用软件中, 哪一个街区采用低硫、低灰分的优质煤是任意的, 可以根据实际管理的需要, 选择一个或多个街区. 为了说明问题, 在此仅选择全西城区和 2 个街区采用低硫、低灰分的优质煤, 其结果见表 2.

表 2 采用低硫、低灰分的优质煤结果/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$					
污染物	街区	排放量 ¹⁾	排放量 ²⁾	削减量	增加经费 / 万元
SO_2	全区	2896	6312	3416	- 2012
	2 个街区	5630		682	- 377
烟尘	全区	776	2113	1337	- 2012
	2 个街区	1847		366	- 377

1) 采用优质煤后 2) 未采用优质煤

由表 2 可见, 采用优质煤后 SO_2 和烟尘年排放量分别由 6312t 和 2313t, 减少到 2896t 和 776t, 它们的年削减量分别是 3416t 和 1337t, 而环境质量达到国家二级标准时西城区 SO_2 和烟尘的年最大允许排放量分别是 2015t 和 778t. 由此可见, 如果全西城区都采用该种煤, 排放量基本上能控制在大气环境质量达到国家二级标准时的最大允许排放量的水平上. 从治理经费预算的角度来看, 节省了 2012 万元(目前预算低硫、低灰分的优质煤比普通煤价格

低), 经济效益也是很可观的.

表 2 也说明, 如果仅是在 2 个街区采用该优质煤, 虽从治理经费预算来看, 节省了 377 万元, 但对治理大气污染还是不够的.

(2) 天然气工程结果预测 通天然气后 SO_2 和烟尘排放量及经费预算的增加值(仅考虑到原来在该区域内燃煤费用与通天然气后燃气费用的差, 未考虑到铺设管道设备的费用等)详见表 3.

表 3 规划无煤区方案结果预测 ¹⁾ / $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$						
项目	SO_2			烟尘		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
Q_1	5871	5431	4936	1957	1800	1624
Q_2		6321			2113	
Q_3	441	881	1376	156	313	489
F/ 万元	40	80	125	40	80	125

1) Q_1 为用天然气后全区年排放量, Q_2 为未用天然气时全区年排放量, Q_3 为全区年削减量, F 为增加费用预算.

由表 3 可见, 在规划无煤区内通天然气后, 从 1998 年开始全区 SO_2 和烟尘的年排放量在逐步减少, 但到 2000 年天然气增加到 2500 万 m^3 时, 年削减量离实现环境质量标准达到国家二级标准时的控制还相差一段距离. 从增加经费预算的角度来看, 到 2000 年时, 在规划无煤区内, 由燃煤改为使用天然气后, 增加经费(未考虑到铺设天然气管道等所需的费用) 125 万元. 由此可见, 引入“陕甘宁天然气”, 虽然在使用燃料方面增加的费用不大, 但从总量控制的角度来看, 只能作为分期实施方案的一个部分, 就是到了 2000 年西城区天然气增加到 2500 万 m^3 时, 也还需要配合采用其它的削减措施.

3. 2 分散改造

- (1) 单管除尘器改装为多管旋风式除尘器.
- (2) 单管除尘器改装为脱硫除尘器.
- (3) 单管除尘器改装为多管旋风式除尘器的同时小锅炉和茶浴炉、大灶烧散煤的改为烧型煤.
- (4) 单管除尘器改装为脱硫除尘器的同时小锅炉和茶浴炉、大灶烧散煤的改为烧型煤.
- (5) 小锅炉和茶浴炉、大灶烧散煤的改为烧型煤.

由计算机模拟计算在 2 个街区采用上述 5

种方案的结果,包括环境的和经济的计算,其中 准下的削减量、经济费用及对全西城区的影响
包括每个具体源的排放量、在 3 个环境质量标 等详见表 4。

表 4 在 2 个街区采用削减方案后全区的年排放量比较¹⁾/t·a⁻¹

项目	方案 1		方案 2		方案 3		方案 4		方案 5		综合方案	
	SO ₂	TSP	SO ₂	TSP	SO ₂	TSP	SO ₂	TSP	SO ₂	TSP	SO ₂	TSP
Q ₁	6312	1976	5955	1976	6283	1964	5926	1964	6283	2101	5590	1844
Q ₂	6312	2113	6312	2113	6312	2113	6312	2113	6312	2113	6312	2113
Q ₃	0	137	357	137	29	149	386	149	29	12	722	769
F/万元	336		730		387		781		57		580	

1) Q₁ 为在 2 个街区采用削减方案后全区的年排放量, Q₂ 为 1995 年全区年排放量, Q₃ 为全区年削减量, F 为增加费用预算。

从表 4 中可以看出,虽然方案 5 增加的费用最小 57 万元,但 SO₂ 和烟尘削减量都比较小,分别为 29t 和 12t,因为此方案针对的不是主要污染源,主要污染源是采暖锅炉.因此,单独采用方案 5 是没有实际意义的.方案 5 和方案 1 结合就是方案 3,方案 5 和方案 2 结合就是方案 4,结合后的方案 3 和方案 4,比单一方案 1 和方案 2 增加的经费不多,污染物的削减量都有相应的提高,方案 4 比方案 3 增加的费用要高出 1 倍左右,但它对 SO₂ 有良好的削减作用.从表 3 中可以看出,在 2 个街区采用综合方案后,SO₂ 和烟尘年削减量就分别达到 722t 和 269t,若全西城区都采用这类的综合方案,SO₂ 和烟尘年削减量有望达到 3000t 和 1000t 左右.有望达国家二级标准.

4 总量控制管理信息系统

本系统是以当今先进的 GIS 地理信息系统 ArcView 3. 0a 以及空间分析模块和性能高、兼容性强的 Delphi 为软件开发平台.该系统是定量分析,空间分析和系统分析相结合的专业地理信息系统.它将大气污染空间模拟和污染物总量控制管理融为一体,为实际管理服务.系统的整体结构如图 2 所示.系统功能如图 3 所示.

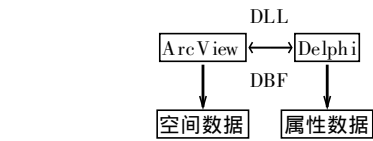


图 2 系统整体结构

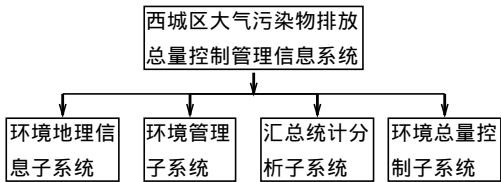


图 3 系统功能分析

5 小结

《社区大气污染物排放总量控制研究与示范》课题摸索出了一套适合于我国国情的总量控制方法,为总量控制如何具体实施这个关键性问题,提出了一套新的、切实可行的面向市场的有效措施并作了示范,同时研制了相应的软件.

参 考 文 献

1 赵德山. 城市大气污染总量控制典型范例. 北京: 中国环境科学出版社, 1993. 66 ~ 84.
2 袁忠良. 运筹学应用程序集. 北京: 清华大学出版社, 1989. 9 ~ 10.
3 张兰生. 实用环境经济学. 北京: 清华大学出版社, 1992. 199 ~ 202.