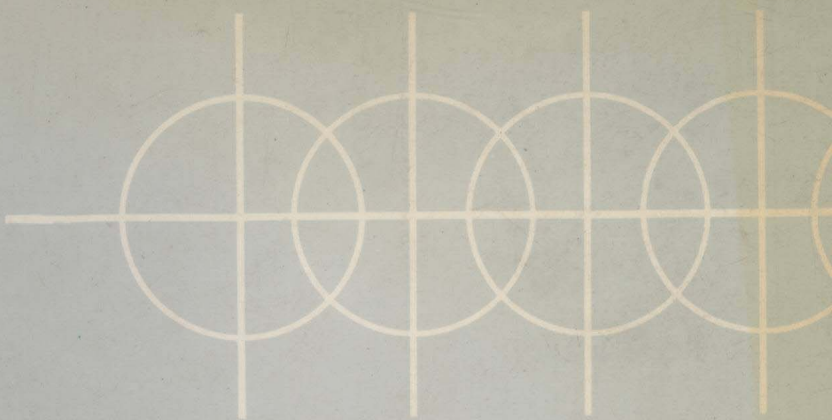


主 编:唐永銓

副主编:刘攸弘 陈新庚



广州汽车尾气污染的 动态规律及对策研究

中山大学出版

中国环境科学出版社
北京 100029



广州汽车尾气污染的 动态规律及对策研究

中国环境科学出版社

广州市汽车尾气污染的 动态规律及对策研究

主 编 唐永塞

副主编 刘攸弘 陈新庚

中山大学出版社

**广州市汽车尾气污染的
动态规律及对策研究**

主编 唐永奎

副主编 刘攸弘 陈新庚

(内部发行)

中山大学出版社出版发行

韶关新华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 26.75印张 65万字

1992年10月第1版 1992年10月第1次印刷

印数: 1000册

登记证号(粤)第11号

ISBN7-306-00570-7

X·8 定价: 20.00元

广州市汽车尾气污染的动态规律及对策研究

(75—60—02—02—05)

课题负责人：唐永奎 刘攸弘 陈新庚

气候顾问：黄伟峰

本课题下设子课题：

一、广州市城市高层建筑街道风温场结构的研究

(75—60—02—02—05—01)

承担单位：中山大学大气科学系

课题组组长：张振华

课题组成员：谭冠日 沈雪苹 胡正林 邹长庚 伍培明 范绍佳

参加观测人员：石小勇 罗志高 陈广文 罗小芬 祝薇 鲍若峪 赵星平

朱冠友 刘黎明

参加计算和分析的学生：肖苑雯 张 达 黄军锋 梅传义 罗坚 冯滨 王文兴

二、广州市汽车尾气污染源特征分析研究

(75—60—02—02—05—02)

承担单位：广州市环境保护监测中心站

课题组长：刘攸弘 曾家源

课题组成员：林 健 封业和 陈小军 张培坚 冯 滨

三、广州市汽车尾气主要污染物分布及其影响范围

(75—60—02—02—05—03)

承担单位：广州市环境保护监测中心站

课题组长：黎宪纲

课题组成员：黎宪纲 林耀光 黄清风 梁金全 曾燕君

参加本课题工作成员：

谭 晶	黄祖照	张淑娟	李 穗	胡兆昌	简肇阳	刘永祥
黄澄秋	李友琼	周 敏	曾家元	李清华	陈锐坤	陈美娥
麦秀贞	徐忠田	武静姪	张炳兴	于 涛	陈爱萍	陈家汉
邢 琪	林 健	范向东	颜丽英	钟煦坛	唐小玲	郑小玲
张小雯	陈家骥	封业和	李拥宪	林晓东	李 玲	陈雪华
邹师蓓	饶穗成	谢卓华	何坤志	陆春霞	冼彤云	赵汝浓
陈小军	谢 媚	黄锦辉				

四、广州市城市街道尾气扩散模式的研究

(75—60—02—02—05—04)

承担单位：中山大学环境科学研究所、中山大学地理系

课题组长：唐永盛

课题组成员：覃有钧 余冠明 曾星舟

参加工作研究生：杨 飞 耿振杰 刘金富

五、广州市城市高层建筑对汽车尾气扩散的风洞模拟实验研究

(75—60—02—02—05—05)

承担单位：中国环境科学研究院大气所

六、广州市汽车尾气污染防治对策和规划的研究

(75—60—02—02—05—06)

课题组长：陈新庚 张淑娟

课题组成员：陈新庚 张淑娟

参加工作研究生：杨 飞 麦洁华

七、广州市汽车尾气污染治理方法和管理措施的研究

(75—60—02—02—05—07)

承担单位：广州市环境保护监测中心站

课题组长员：李清华

课题组成员：曾家源 林 健 封业和 冯 滨 刘攸弘 陈小军 张培坚

目 录

第一部分 总 论

第一章 绪论	(3)
一、国内外街道大气中汽车尾气研究的动态	(3)
二、研究的技术路线、方法和内容	(7)
三、现场实测、研究过程和基本结论	(8)
四、机动车尾气防治对策研究	(12)
第二章 影响城市汽车尾气及其光化学产物输送和扩散的气象因素	(15)
一、大尺度和中尺度环流	(15)
二、小尺度涡旋	(16)
三、“热岛”效应和城市风	(21)
第三章 机动车尾气排放及其计算方法	(23)
一、机动车尾气组成成分	(23)
二、影响机动车尾气排放的主要因素	(29)
三、机动车污染物排放量计算方法	(33)
四、机动车污染物排放量及其分布	(39)
第四章 尾气污染物浓度分布规律和主要污染类型	(48)
一、城区大气环境质量的变化	(48)
二、尾气污染物在城市大气中的分布特征	(52)
三、城区主要交通路口尾气污染物浓度状况	(61)
四、城区道路网大气中尾气污染物浓度变化特征	(70)
五、城区尾气污染物形成的大气环境质量类型	(92)
第五章 尾气污染物光化学反应及其产物	(99)
一、广州市及其附近地区大气中臭氧的本底状况	(99)
二、强氧化剂形成的条件	(101)
三、强氧化剂形成的光化学过程	(102)
四、臭氧和甲醛	(104)
五、强氧化剂预测模式的分析	(109)
第六章 机动车尾气污染物迁移扩散模式的分析和研究	(120)
一、建立尾气污染物迁移扩散模式须具备的条件	(120)
二、尾气污染物在街道网中迁移扩散的模拟	(126)
三、峡谷型街道扩散模式	(129)
四、高架路扩散模式	(139)
五、高层建筑间宽街扩散模拟	(149)
六、开阔道路和广场尾气扩散模拟	(156)

第七章 机动车尾气及其光化学产物对人体健康和生态系统的影响	(160)
一、尾气和强氧化剂的危害性	(160)
二、一氧化碳的毒理及其危害	(160)
三、氮氧化化合物的毒理及其危害	(163)
四、碳氢化合物的毒理及其危害	(164)
五、铅尘的毒理及其危害	(169)
六、醛的毒理及其危害	(174)
七、臭氧等强氧化剂的毒理及其危害	(175)
第八章 机动车尾气污染防治规划及其对策	(179)
一、尾气污染引起的环境问题的分析	(179)
二、制定尾气污染综合防治规划的目的和基本原则与方法	(181)
三、大气环境质量区和大气环境容量	(182)
四、网络理论和车流量的调节	(198)
五、尾气污染综合防治的战略设想	(201)
第九章 尾气污染的管理、控制及污染物大气环境质量基准的探讨	(207)
一、尾气污染的管理	(207)
二、尾气污染的控制	(210)
三、尾气污染物大气环境质量基准的探讨	(215)

第二部分 分 论

第十章 广州市城市高层建筑街道风温场研究	(225)
一、数据获取方法	(225)
二、街谷平均风速场, 湍流场及其天气条件	(227)
三、街谷垂直涡旋的形态及其形成条件	(231)
四、由风速廓线推求街谷中的垂直速度	(232)
五、街谷垂直涡旋的数值模拟	(233)
六、街道温度场特征分析	(235)
七、小结	(244)
第十一章 广州市汽车尾气污染源特征分析研究	(246)
一、研究背景	(246)
二、调查与试验方法	(246)
三、城区车流动态分析	(248)
四、道路车辆行驶工况	(251)
五、排放系数分析	(252)
六、城区机动车尾气污染贡献	(255)
七、机动车尾气对道路环境影响分析	(258)
八、2000年城区机动车尾气污染预测	(262)
九、减少机动车尾气污染的对策	(262)
十、结论	(263)
第十二章 广州市汽车尾气主要污染物的分布特征及其影响空间	(265)
一、汽车尾气污染基本状况	(265)

二、汽车尾气浓度分布	(272)
三、尾气污染物与其主要影响因素之间相关分析	(297)
四、汽车尾气浓度与影响因子的相关关系	(302)
五、汽车尾气污染物光化学作用产物	(304)
六、汽车尾气对大气污染的“贡献”	(306)
第十三章 广州市汽车尾气扩散模式研究	(311)
一、汽车尾气扩散模式的发展和评价	(311)
二、街道汽车尾气污染源源强的计算	(312)
三、街道峡谷内的大气流场和湍流场	(321)
四、汽车尾气扩散模式的建立	(329)
第十四章 广州市峡谷型街道汽车尾气扩散的研究	(338)
一、大气扩散参数的比较	(338)
二、峡谷型街道内的流场、浓度场和交换率的数值模拟	(345)
三、小结	(363)
第十五章 广州市机动车尾气污染防治对策和规划的研究	(367)
一、广州市尾气污染的严重性	(367)
二、形成城区尾气污染的主要原因	(372)
三、对城区尾气污染综合防治的意见	(374)
第十六章 广州市机动车尾气监控与管理	(378)
一、尾气监控与管理的重要意义	(378)
二、城区机动车行驶工况调查	(380)
三、机动车尾气污染物排放系数的测定	(388)
四、机动车排污监控管理系统	(413)

第一部分

总论

第一章 绪 论

中国国家环境保护办公室于1981年曾下达《(81)国环办字165号文》，要求在广东省深圳经济特区开展环境现状调查。1981~1982年调查过程中已发现汽车尾气及其光化学产物为深圳经济特区大气中的主要污染物。1984年国家环保局曾下达“深圳特区区域环境影响评价及环境规划”研究课题，更明确肯定汽车尾气污染已成为深圳特区大气环境突出问题。特区中片不少地点 NO_x 和 O_3 浓度超过国家大气环境质量二级标准。自1980年实行对外开放以来，沿海地带城市和深圳经济特区相似，由于经济迅速发展，机动车数量急剧增多，汽车尾气在城市大气环境中均成为引人注意的问题。在第七个五年计划国家重点攻关科研课题中，将《广州市汽车尾气污染的动态规律及对策研究》列为《大气环境容量研究》的第4级课题。这是完全必要和及时的。

本课题研究范围主要是广州市旧城区，即包括越秀、东山、海珠和荔湾区，扩大到天河区。据1988年统计资料，旧城区面积 54.4km^2 ，占全市总面积0.73%；人口255万人，占全市人口45.13%。近十年来随着广州市经济迅速发展，机动车数量急剧增多。1980年全市约5万辆，1987年近24万辆，平均每年递增24.85%。1988年又增至28.9万辆，其中市区22.1万辆，占76.47%，郊区6.8万辆，占23.53%。因此，城市大气中 NO_x 和CO逐年上升。1981年 NO_x 年平均浓度为 $0.037\text{mg}/\text{m}^3$ ，1987年为 $0.11\text{mg}/\text{m}^3$ ，已超过国家环境质量二级标准(以下简称大气二级标准)。广州市环境保护监测中心站位于越秀区中部的吉祥路，亦为城区中心，1987年年日均值为 $0.497\text{mg}/\text{m}^3$ ，超过大气二级标准3.97倍。市区交通枢纽1988年月平均浓度均超过大气二级标准。4月和5月月平均浓度均超过 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1981~1984年CO年日平均浓度以(20~30)%的速度递增。15个主要交通干道白天平均浓度几乎全部超标，每小时峰值为4~ $16.55\text{mg}/\text{m}^3$ 。中山路5个路口平均浓度为 $11.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，超过大气二级标准1.94倍，东风路5个路口为 $9.46\text{mg}/\text{m}^3$ ，超过大气二级标准1.4倍。

上述情况充分反映广州市旧城区街道大气的突出环境问题是汽车尾气污染，污染程度逐年加重。

一、国内外街道大气中汽车尾气研究的动态

为了弄清广州市汽车尾气动态规律和探求其解决的途径。须首先查阅国内外有关这方

面的研究。

汽车尾气及其形成的光化学产物是世界各国城市大气中普遍的和突出的环境问题。着重从五个方面进行研究：汽车尾气在街道大气中的运动规律及其模拟；汽车尾气的光化学过程及其模拟；建筑物的类型及其布局对汽车尾气扩散的影响；街道网络和汽车分流状况对汽车尾气变化和分布的影响；汽车燃料、燃烧装置和净化器的研究。

(一) 汽车尾气在街道大气中的运动规律及其模拟的研究

1. 流场

由于城市建筑物密集，街道纵横交错，道路介乎建筑物之间，整个城市结构引起大、中尺度气流发生复杂变化，并在街道内形成特殊小尺度和微尺度气流。它们左右着汽车尾气在街道大气中的迁移扩散。

美国、日本和英国等拥有全世界汽车总数的一半，自60年代以来，发现街道中CO和NO_x不断上升，特别自美国洛杉矶出现光化学烟雾以来，认为汽车是城市大气污染的主要来源。因此，对汽车尾气扩散进行了广泛研究。

哈利特斯基(Halitsky, J.)于1963年研究了单一建筑物周围流场模式，认为在建筑物下风存在尾流区，在空腔内有逆环流和小涡旋。70年代德里瓦斯(Drivas, P. J.)等的研究更明确指出空腔内逆环流存在于下风距离，约为建筑物高度的3倍。尾流中环流速度为楼顶主导风的0.1~0.3倍。伍(Woo, H. G.)等于70年代末利用风洞模拟各种类型建筑物周围流场，提出三维流场的特征。当建筑物宽度(W)与高度(H)之比近乎1时，主流接触建筑物而产生的涡旋高度约在 $0.5\sim 0.8H$ 之间，视风速廓线而异，一般为 $0.75H$ 。 $0.6H$ 为常见观测值。

亚苏基(Yasuski, O. 1982)等利用超声风速仪测量了空腔区内湍流强度和谱密度。其湍流强度比自由流的湍流强度大2~3倍，谱密度峰值频率也相应增大。其积分尺度 $L_c \approx 1.5\sim 2H$ ，恰好相当于空腔长度尺度。

根据国外和香港的风洞实验，高层建筑使城市边界层流场复杂化，出现尾流和急流。

1984年中山大学研究生金均对广东省深圳市高层建筑间的峡谷型街道流场进行了数值模拟，认为当来风风向与街道走向垂直时，在峡谷型街道背风面出现螺旋形涡流，地面风向与来风风向相反。

中国气象科学研究院俎铁林等于1985年对北京东西走向街道流场进行过研究。当楼顶风速接近或大于1 m/s时，峡谷型街道内可形成一稳定原生涡；风速小于0.6 m/s时，原生涡消失。

2. 浓度场

一座建筑物对汽车尾气弥散的影响，国际上在风洞中曾进行过许多实验。认为建筑物附近地面浓度 $\bar{C}$ 可以下列模式计算：

$$\bar{C} = Q / K A \bar{u} \quad (1-1)$$

式中, A 为建筑物前面的投影面积, $\bar{u}$ 为平均风速, K 为经验常数, 它是建筑物的几何形状和风向的函数。立方体建筑 $K = 1$; 圆柱形建筑物 $K = 0.6$ 。风向与建筑物所成的交角, 对建筑物附近浓度影响很大, 交角由 0 变为 45° , 浓度增加 5 倍。由于风斜交, 在尖角附近形成涡旋, 尾流区变窄, 浓度增高, 在此情况下, K 为 $0.17 \sim 0.25$ 。在建筑物尾流区下游浓度 $\bar{C}$, 按下模式计算:

$$\bar{C} = \frac{Q}{u} (\pi \sigma_y \sigma_z + K' A)^{-1} \quad (1-2)$$

式中, K' 为经验常数, 如 $K = 1$, $K' = 0.5$ 。 σ_y 为烟气横向分布的标准离差, σ_z 为烟气垂向分布的标准离差。在离建筑物很远的下游, 由于 $K' A \ll \pi \sigma_y \sigma_z$ 。其浓度可按高斯模式计算。

根据荷兰 TNO-阿佩尔多恩(TNO-Apeldoorn)的风洞实验结果, 认为式(1-1)是可用的。对 4 个横截面形状不同的最高 40m 的建筑群, 风向与建筑物交角 θ 为 0 时, K 最小值为 1.1, 平均值为 1.5; θ 为 45° 时, K 最小值为 0.25, 平均值为 0.5。许多尖角最高 35m 的形状很复杂的建筑, K 值在 0.35 至 1.0 之间, 平均值为 0.5。正方形建筑群, 其中有一内庭, θ 为 45° 时, K 平均值为 0.5; θ 为 0 时, 有时内庭为 0.5, 此可能由于四周空气进入, 难以混合。对一座有内庭简单高层建筑实验, K 平均值为 0.5, 但在两点测得很高浓度的地方, K 值为 0.05。高 55 米的正方形建筑, θ 为 0 时, K 为 1; θ 为 45° 时, K 为 0.25。根据许多实测资料, 利用式(1-1)时, K 值一般采用 2 为宜; 求最大浓度 K 取 0.2。

世界各国在 70 年代以前修建的街道, 几乎均属“峡谷型”。经实测和 SF_6 示踪试验, 汽车尾气浓度在“峡谷型”街道中呈偏态分布, 街中心线浓度最高, 两侧低, 一般背风侧高于迎风侧, 街道中尾气平均浓度 $\bar{C}$ 按下模式计算:

$$\bar{C} = \frac{K Q_l}{2(u + 0.5)} \left(\frac{1}{L_0} + \frac{1}{W} \right) \quad (1-3)$$

式中, K 为无量纲的经验常数, 约为 7; Q_l 为线源 ($\text{mg}/\text{m} \cdot \text{s}$), $\bar{u}$ 为街道上计算点附近平均风速, L_0 为汽车宽度, 一般取 2m, W 为街道宽。

美国环保局(EPA)采用的汽车污染物扩散模式, 包括以下几种:

① 平行风模式

$$C_p = \frac{\sqrt{\frac{2}{\pi}} Q_l W \cos^2 \theta}{\sigma_y \sigma_z u} \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (1-4)$$

式中, C_p 为平行风弥散形成污染物在街道内浓度, θ 为风向与街道交角, y 为测点至街道边之间距离与初始弥散参数之和, z 为街道同一水平高度, σ_y 为水平弥散参数, σ_z 为垂直弥散参数, 其他符号与式(1-3)同。

② 风正交模式

$$C_n = \frac{\sqrt{\frac{2}{\pi}} Q_l \sin^2 \theta}{\sigma_z u} \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (1-5)$$

式中 C_n 为正交弥散浓度。

③ 非正交模式

$$C_0 = C_p + C_n$$

C_0 为 θ 不等于零时的总浓度。

据美国某些城市实测和风洞实验,发现 θ 为零时,峡谷型街道下风向有污染物堆积现象; θ 为 45° 时,稀释效果最佳; θ 为 30° 时,背风侧CO浓度为迎风侧浓度的2~3倍。

(二) 汽车尾气在街道大气中发生的光化学作用及其模拟

自60年代以来,美国和日本等国对城市汽车尾气发生的光化学作用进行过细致的研究。由于此反应复杂,到目前为止,还没有弄得更清楚。已认识到在对流层中进行光化学反应是在可见光作用下进行,形成强氧化剂如臭氧(O_3)、过氧硝酸酯(PAN)和醛等。在一定气象条件下,强氧化剂形成速率和形成量是低层大气中非甲烷烃和氮氧化物浓度的函数。汽车尾气发生光化学作用是从二氧化氮(NO_2)开始,白天 NO_2 的最大浓度与早上NO的初始浓度有关,因此,许多烟雾模拟实验表明, O_3 最高浓度与NO初始浓度大约成正比,即前者为后者的0.3~0.7倍。

强氧化剂形成后沿着盛行风向向下游输送,其最高浓度常出现在离城较远的地方。

依照上述研究成果,对强氧化剂的形成和输送常采用化学和物理两个模式进行模拟。

(三) 建筑物的类型和布局对汽车尾气扩散的影响

自从第二次世界大战以后,各国经济迅速发展,人口更加向城市集中。城市交通日趋紧张,环境污染特别突出,各国城市建设者,深切感到旧城市结构和布局已不适应新的要求。70年代以来,城市建筑物向塔式高层建筑群发展,其间留有一定空间。城市结构中出现新的格局,如香港的沙田区和中国深圳经济特区的建筑群等。塔式高层建筑群之间好象深陷的峡谷,出现急流,有利汽车尾气扩散。

(四) 街道网络和汽车分流状况对汽车尾气变化和分布的影响

一个城市内的街道相互沟通,构成一道路网。街道交会点为交通路口。行驶在街道上的汽车,其尾气会向其他街道扩散,特别是交通路口为尾气集中和分散点,常出现最高浓度。上述模拟一座建筑物周围或一条街道内汽车尾气浓度的分布,只粗略说明其状况。目前国际上尚没有对全城街道网中汽车尾气的扩散进行模拟,其实利用网络理论可突破此问题。网络理论也用于城市街道网的规划和垃圾收集等。

(五) 燃烧装置和净化器的研究

汽车尾气中不少部分是燃烧不完全产物,如碳氢化合物和一氧化碳。据估计以这种情况排出的汽油占汽车汽油用量的(10~15)%。改善燃烧装置,是减少汽车尾气中污染物排放量的重要措施,例如日本本田技研社研制成复合涡流控制燃烧发动机(CVCC)和美国福特公司研制的程序化燃烧过程发动机(PROCO),加强了燃烧过程,大大减少了碳氢化合物和一氧化碳的排放量。不过要达到完全燃烧有很大困难,只能希望接近完全燃烧,因此,汽车排出的尾气中仍含有各种污染物。

70年代中期以后出产的汽车带有净化装置。一般净化器为氧化催化转化器,促使CO转化为CO₂,碳氢化合物转化为CO₂和H₂O,但不能净化NO_x。净化NO_x须还原催化转化器,使NO_x还原为N₂排出。这类净化器还存在许多技术问题,尚未装车使用。

二、研究的技术路线、方法和内容

(一) 技术路线

1. 按实事求是的精神,弄清广州市城区汽车尾气的现状及其问题的症结所在

(1) 全面系统收集本研究课题的有关历史资料,如广州市街道网络,街道长度和宽度、两旁建筑物高度,机动车(包括汽车、摩托车)现有数与近10年增加数量,城区车在各街道行驶线路和速度、车流量和尾气排放量,外来车数量和行驶路线,历年市区和城区气象资料,历年城区大气环境中主要污染物浓度及监测数据等。

(2) 对城区街道网和不同类型的有一定代表性的街道进行流场、温度场和浓度场的监测,记录各种机动车的车流量。

2. 利用先进科学理论和技术阐明汽车尾气在街道中弥散规律并进行模拟;预测其可能变化的趋势并计算街道大气环境容量

广州市是对外开放的城市,本课题是“七·五”攻关课题,要求能解决当前较重要的环境问题,成果能达到国际上较高水平并希望达到先进水平。

本项研究要求利用湍流理论研究街道内流场和浓度场并进行数值模拟;采用图论、组合论、网络理论及网络优化理论等分析城区机动车分流并计算各街道大气环境容量。

3. 紧密结合广州市的实际,开拓中国式环境保护道路

根据广州市经济发展的当前水平和第八个五年计划和城市建设总体规划、特别是其中的交通规划,研究控制机动车尾气的对策和拟定城区街道网大气环境规划。

(二) 研究方法

1. 综合法

始终贯彻系统论、控制论和信息论的理论和方法。要求对收集的历史资料进行系统分析,尽可能作统计处理,找出机动车尾气排放量与浓度变化和分布及其受影响的因素之间的内在联系。

城区街道网和不同类型街道大气流场(平均流场和湍流场)、温度场和浓度场的监测与机动车车流量的计数同步进行。

2. 模拟法

由于历史资料和现场实测有某些局限性,采用数值模拟和风洞模拟,以求找出城区机动车尾气变化和分布带有普遍性和特殊性的规律。

3. 网络法和网络优化法

由于机动车尾气经过交叉路口或立交桥在各街道间相互扩散,要弄清各街道和街道网大气环境容量须采用网络法。

在大气环境容量研究的基础上,制定大气环境规划,须采用网络优化法。

(三) 研究内容

本课题分下列子课题进行研究:

- ① 城市高层建筑街道风、温度场的研究。
- ② 汽车尾气污染源的特征分析的研究。
- ③ 汽车尾气中的主要污染物的分布及其影响范围、光化学污染的研究。
- ④ 城市街道汽车尾气扩散模式的研究。
- ⑤ 城市高层建筑对汽车尾气扩散的风洞模拟实验研究。
- ⑥ 汽车尾气污染防治对策和规划的研究。
- ⑦ 汽车尾气污染治理方法和管理措施的研究。

三、现场实测、研究过程和基本结论

(一) 现场实测

根据上述研究的技术路线,进行了下列现场实测: