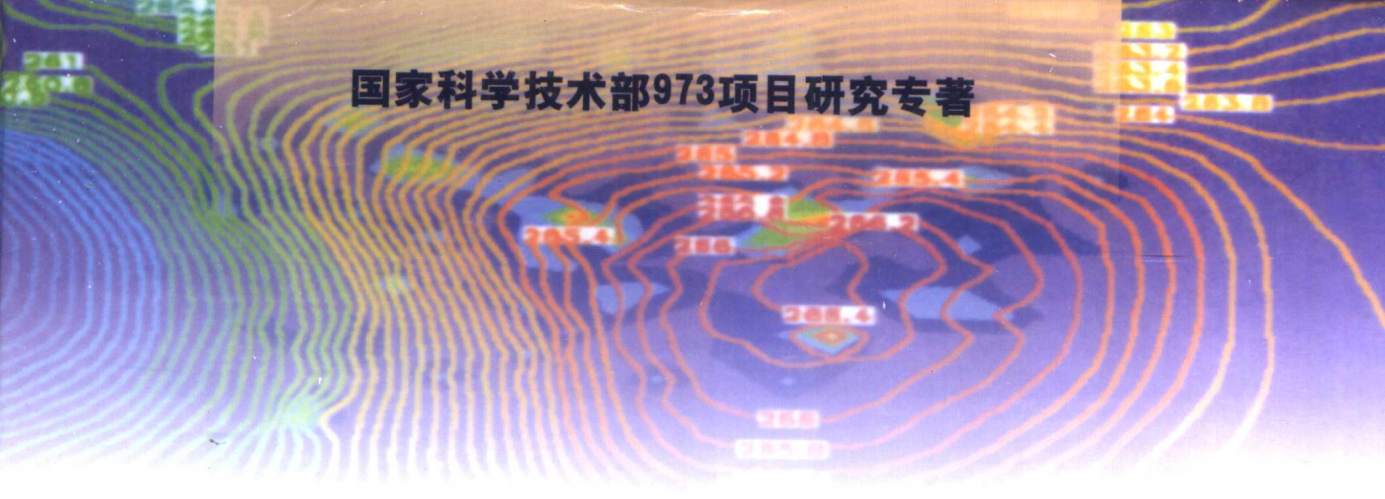




国家科学技术部973项目研究专著

城市大气环境观测工程 技术与原理

徐祥德 卞林根 丁国安 等著



气象出版社

国家科学技术部 973 项目研究专著

城市大气环境观测工程技术与原理

徐祥德 卞林根 丁国安 等著

气象出版社

内 容 简 介

《城市大气环境观测工程技术与原理》一书是国家重点基础研究发展规划项目“首都北京及周边地区大气、水、土环境污染机理与调控原理”的系统性研究成果。本书共分八章,涵盖以下内容:北京城市大气环境现场观测试验工程设计,城市边界层大气动力结构模型,城市边界层空气污染三维结构,城市空气污染与环境大气边界层结构,北京城市及周边地区大气污染过程点-面相关特征,沙尘暴动力学特征,城市大气环境多尺度动力过程模拟试验、城市空气污染数值预报。

本书可供从事大气科学、环境科学理论研究人员以及大气污染、环境保护、城市气象等专业技术人员阅读,可供与大气环境相关学科领域的科研和教学人员参阅,也可作为有关专业博士、硕士研究生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

城市大气环境观测工程技术与原理/徐祥德等著.

北京:气象出版社,2003.9 ISBN 7-5029-3630-0

I. 城… II. 徐… III. ①空气污染监测 IV. X831

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 079298 号

CHENGSHI DAQI HUANJING GUANCE GONGCHENG JISHU YU YUANLI

城市大气环境观测工程技术与原理

徐祥德 卞林根 丁国安 等著

责任编辑:俞卫平 张婉佩 终审:周诗健

封面设计:王伟 责任技编:吴庭芳 责任校对:吴庭芳

气象出版社出版

(北京海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcbs@263.net

北京金瀑印刷有限责任公司印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

2003 年 9 月第一版 2003 年 9 月第一次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16.125 字数:412 千字

印数:1~1000 册

ISBN 7-5029-3630-0/P·1287

定价:50.00 元

科学顾问:周秀骥 唐孝炎 李泽椿

著作主笔:徐祥德 卞林根 丁国安

合著成员: 颜 鹏 郝吉明 毛节泰 徐大海 杨东贞 桑建国
陆龙骅 王继志 邱金桓 徐 敏 沈元芳 刘玉洁
张光智 房小怡 高志球 于淑秋 解以扬 郑向东
孟昭阳 张玉香 佟 华 徐怀刚 朱 蓉 刘 煜
张 蔷 王淑英 周 丽 杨玉华

参加编写人员: R. Draxler 吴 晔 逮昌贵 程彦杰 于海青
杨元琴 傅立新 林学椿 孙敏峰 胡秀清
赵淑艳 金永利 张小玲 邓北胜 周小刚
黄 健 李成才 张军华 蒋维楣 季崇萍
刘辉志 王保民 况 石 王 欣 周朝东

序

展望 21 世纪,城市环境气象研究必将为中国气象事业的发展带来新的机遇。与时俱进,拓展气象业务和服务领域是新世纪气象科技不断适应经济社会发展需求的重要任务之一。

当今世界城市人口“爆炸式”膨胀,城市环境日趋恶化,已成为危及社会发展及人类生存空间的严峻问题。上个世纪出现的八大环境公害事件,绝大多数发生在人口稠密的城市。预计本世纪初城市人口将达到全球总人口的 50% 左右,甚至可猛增至 60%~70%。因而,城市环境问题已成为科学界和各国政府十分关注的热点问题。为了揭示城市环境的现状,世界各国围绕城市大气环境问题,开展了很多的现场试验研究。20 世纪 90 年代以来世界气象组织(WMO)在城市气象学和环境研究领域又开辟了新的研究项目(GURME)。北京城市现场观测试验已列入 WMO 世界气象组织第 II、V 区协城市环境工作组会议 GURME 的首批示范项目。

随着我国国民经济的飞速发展,我们更清醒地认识到我国已面临着城市化环境问题严重挑战。我国政府历来十分重视环境问题,下达了很多的政策法规,强调在发展经济的同时要充分注意环境保护。特别对于首都北京的环境给予了极大关注。1999 年底国家科学技术部将“首都北京及周边地区大气、水、土壤环境污染机理与调控原理”研究项目正式列入“国家重点基础研究发展规划”,该项目分为大气和水、土两部分研究,分别由中国气象局和中国国土资源部执行。目前项目已完成前两年的科研任务,取得了阶段性成果。

《城市大气环境观测工程技术与原理》一书,以项目第一阶段试验研究为主线,系统地阐述了北京城市边界层大气物理、大气化学三维结构的现场观测试验研究的综合成果。面对北京这类大城市大气环境的复杂特征,该书详述了采用当前国内外先进仪器设备包括卫星、雷达等遥感探测工具,对北京城市大气环境进行现场观测试验的科学途径及大气物理-化学实施综合观测工程的设计思路,系统地揭示了北京城市边界层大气动力结构与参数特征,探讨了城市边界层空气污染的三维结构及其与大气边界层特征的相关关系,并采用点-面结合观测系统设计思路,初步揭示了城市及周边大气污染时空演变特征。本书的特色是将观测分析研究所获取的动力-化学结构模型与理论有机结合,探

讨城市环境观测、预测、预警与评估系统的新技术与新方法,为进一步建立与发展城市大气环境预报业务化系统奠定了重要的科学基础。该书的出版对今后城市环境研究领域的发展以及大气、水、土等环境领域的多学科的交叉研究是一种有创新意义的尝试,为城市环境理论向实际应用的转化提供了新的范例。

我相信随着该项目研究的进一步深入开展,将会取得更多更好的成果,为实现“新北京、新奥运”,还北京蓝天、碧水的长远环境目标做出新贡献。

秦大河
2003.元.3.

前 言

伴随经济发展而来的一系列全球和区域气候环境问题如酸雨、温室气体、臭氧、气溶胶等对于人类生存环境造成了极大的影响。城市化是伴随区域经济发展产生的局地环境污染重要背景问题。由于城市人口急剧膨胀,城市现代化高速发展,预计本世纪初城市人口将集中全球总人口的 50%~70% 左右。面对城市环境恶化的严峻形势,尤其城市化所造成的大气污染趋于严重问题,需予以极大的关注,以保护城市居民的生存环境,保持经济的可持续发展。

我国同样也面临着城市化加速所伴随的环境问题。特别是一些超级大城市的环境污染已成为制约可持续发展的“瓶颈”。我国政府历来十分重视我国城市发展过程中的环境问题,很多政策法规都强调经济发展的同时要注意环境保护,尤其对于我国政治、经济、文化中心——首都北京的环境,给予了极大的关注。1999 年国家科学技术部将“首都北京及周边地区大气、水、土壤环境污染机理与调控原理”项目正式列入“国家重点基础研究发展规划”,该项目分为大气和水、土两部分研究,分别由中国气象科学研究院和中国地质科学研究院负责执行。由中国气象科学研究院承担的大气分项目的工作分两个阶段进行:第一阶段以观测试验工程实施与研究为主,重点进行北京冬季城市边界层大气物理-化学三维结构的现场试验研究,观测工程简称为 BECAPEX (Beijing City Air Pollution Observation Field Experiment)。该试验以揭示北京冬季城市边界层大气物理-化学三维结构特征和变化规律为主攻目标,并在此现场试验基础上开展污染机理研究,包括研制多尺度、多种用途大气动力-化学耦合数值模式;第二阶段开展综合的业务预报系统和预警系统研制工作,并提出北京及周边地区大气污染调控方案和防治对策。现已按照项目的要求完成了第一阶段的研究工作。在首都北京及周边地区第一次集中采用了国内外先进的边界层大气物理-化学综合探测系统,于 2001~2002 年实施了多次现场综合观测试验。通过城市大尺度范围的现场科学试验,获取了北京城市大气边界层大气动力-化学过程三维结构特征的科学数据,尤其发现了城市建筑群冠层空气污染“同步”演变特征等时空变化规律,为认识城市大气污染多尺度动力-化学过程结构特征与调控原理初步建立了重要的理论与技术发展基

础。本书是一部描述城市环境大气动力-化学过程及理论模型探索性的专著,主要反映了 BECAPEX 城市大气环境观测试验工程所获取的初步研究成果。

城市环境科学属于大气动力学、大气物理学与大气化学等交叉领域的研究,亦是一门实验性很强的应用基础理论。本书的结构体现了项目有关北京大气环境现场科学试验工程的设计思路,系统地阐述了北京城市大气边界层动力学特征,揭示了城市环境领域交叉学科研究的复杂性特点,本书试图将大气动力学、大气物理与化学理论及学术思路紧密结合,将实验科学与理论模型的学术观点相互渗透;既体现城市环境现场观测试验工程的应用性,又强调实验科学的理论性。本书研究成果强调了城市环境科学应用研究中大气动力学与其他不同学科研究成果应用转化及其优势互补的研究途径。本书的出版为城市环境科学领域中理论发展及其应用研究作了一次有开拓和探索意义的尝试。本书写作的目的在于把城市环境现场科学试验工程所获取综合研究成果奉献给读者,希望作者与读者能在学术思路与应用理论方面互相启发、相互交流,共同促进城市环境科学领域理论与实践认识的进一步深化。

本书由徐祥德、卞林根、丁国安策划、统稿,全书共分八章。第一章:徐祥德、卞林根、丁国安撰稿;第二章:卞林根、徐祥德、张光智、高志球、陆龙骅、王继志撰稿;第三章:丁国安、徐祥德、郝吉明、杨东贞、于淑秋、郑向东、张薏、孟昭阳、张玉香、邱金桓、周丽撰稿;第四章:丁国安、徐祥德、王继志、张薏、郑向东、王淑英、徐怀刚撰稿;第五章:徐祥德、丁国安、毛节泰、颜鹏、杨东贞撰稿;第六章:徐祥德、卞林根、颜鹏、杨东贞撰稿;第七章:徐祥德、桑建国、王继志、佟华、房小怡、沈元芳、刘煜撰稿;第八章:徐大海、朱蓉撰稿。本书由徐祥德、卞林根、丁国安、于淑秋具体组织实施,滑桃负责编辑过程绘图等技术工作,王继志对本书出版做了很多核对工作。本书完成过程承蒙周秀骥、唐孝炎、李泽椿、任阵海院士等专家学者的各方面支持和指导,在此一并谨致谢意。

因本书涉及到的学科领域广泛,资料繁多,错误之处难免,诚望读者不吝赐教。

作 者

2003 年 6 月

目 录

序

前言

第一章 北京城市大气环境现场观测试验工程设计(BECAPEX)	(1)
§ 1.1 城市大气环境三维立体观测试验工程设计	(3)
§ 1.2 城市大气边界层观测试验	(5)
§ 1.3 城市边界层大气化学观测试验	(7)
§ 1.4 点-面结合的综合观测系统	(9)
参考文献	(10)
第二章 城市边界层大气动力结构模型	(11)
§ 2.1 城市热岛气候特征	(11)
§ 2.2 北京城、郊区辐射观测和辐射参数化	(19)
§ 2.3 城市近地层动力特征	(28)
§ 2.4 城市下垫面空气动力学参数的估算	(37)
§ 2.5 城市大气边界层动力结构	(43)
参考文献	(54)
第三章 城市边界层空气污染三维结构	(56)
§ 3.1 城市大气污染时空分布特征	(56)
§ 3.2 城市机动车排放污染特征	(63)
§ 3.3 城市边界层大气污染特征	(70)
§ 3.4 城市大气污染浓度垂直分布特点	(83)
§ 3.5 城市边界层大气 O_3 垂直分布	(85)
§ 3.6 冬季城市边界层大气气溶胶物理化学特征及其源分析	(89)
§ 3.7 北京地区大气气溶胶光学特性	(98)
§ 3.8 城市边界层气溶胶垂直分布特征	(104)
§ 3.9 城市“空气穹隆”大气污染空间结构特征模型	(104)
参考文献	(105)
第四章 城市空气污染与大气边界层结构特征	(108)
§ 4.1 北京地区 SO_2 和 NO_x 垂直分布特征	(108)
§ 4.2 北京地区大气结构演变与空气污染过程	(112)
§ 4.3 城市 O_3 垂直结构与大气环境动力特征	(114)
§ 4.4 北京地区 PM_{10} 浓度时空变化的气候特征	(117)
§ 4.5 城市雾与大气环境相关特征	(123)
参考文献	(137)

第五章 北京城市及周边地区大气污染过程点-面相关特征	(139)
§ 5.1 北京地区 SO ₂ 的周边影响问题	(139)
§ 5.2 北京地区 MODIS 卫星遥感气溶胶光学厚度分布特征	(146)
§ 5.3 城市大气污染点-面结合时空变化	(153)
参考文献	(158)
第六章 沙尘暴动力学特征	(160)
§ 6.1 沙尘暴动力学分析	(160)
§ 6.2 沙尘暴动力结构及其输送轨迹	(164)
§ 6.3 北京地区沙尘暴气溶胶特征	(169)
参考文献	(175)
第七章 城市大气环境多尺度动力过程模拟试验	(177)
§ 7.1 山谷风特征及其形成机理	(179)
§ 7.2 城市热岛模拟试验	(183)
§ 7.3 城市大气环境边界层街区尺度特征数值试验	(195)
§ 7.4 城市街谷尺度特征数值模拟	(202)
§ 7.5 北京交通环境污染诊断模拟	(210)
§ 7.6 紫外线预报模式	(215)
§ 7.7 城市雾过程数值模拟	(221)
§ 7.8 BECAPEX 大气污染过程空气质量模式(CMAQ)应用试验	(229)
参考文献	(235)
第八章 城市空气污染数值预报系统(CAPPS)	(238)
§ 8.1 国内外情况	(238)
§ 8.2 国家气象中心多城市污染指数数值预报业务系统	(239)
§ 8.3 试验预报结果及检验	(241)
§ 8.4 CAPPS 存在的问题和改进方向	(245)
§ 8.5 结论	(245)
参考文献	(246)

第一章 北京城市大气环境现场观测试验工程设计(BECAPEX)

进入 20 世纪,特别是二战以后,工业、交通和都市化迅猛发展。随着工业布局集中,在迅速兴起的城市化过程中,环境污染日益加重。从 30 年代到 60 年代,一些工业发达国家,先后发生了 8 起著名的公害事件(比利时马斯河谷烟雾事件;美国多诺拉烟雾事件;英国伦敦烟雾事件;美国洛杉矶光化学烟雾事件;日本水俣事件;日本富山事件;日本四日市事件;日本米糠油事件)^[1]。这些公害事件中很多是大气污染造成的。其原因除了城市污染源(点源、面源、线源)大量的空气污染物排入大气外,城市边界层特殊的大气动力结构及异常天气条件,例如小风或静风、逆温等气象条件致使空气污染物在城市近地面大量堆积,从而造成对人体健康的严重危害。

人类生存环境与大气边界层息息相关。由于 20 世纪以来,工业、交通发展,尤其城市化进程加剧,城市边界层特征变得日趋复杂。由于影响因素诸多,动力、化学过程耦合机理难以认识。为了保护人类生存环境,建立城市环境良性循环结构,进而调控城市大气污染状况。对城市边界层动力特征、大气化学成分及其相互耦合机理研究已成涉及社会、经济发展的重大需求的课题。有关城市边界层中大气动力结构和大气化学过程的时空分布问题的探讨,中国环境科学研究院、中国科学院大气物理研究所、北京大学、清华大学、兰州大学、南京大学、北京市环保局、北京市气象局以及中国气象科学研究院等研究与业务部门有不少专家、学者就此领域已做过很有意义的开创性工作。本章仅例举两个近年开展的国家重点项目,例如 1998~2003 年在国家自然科学重大基金支持下,周秀骥主持实施了长江三角洲地区区域环境、生态及其气候综合研究科学试验。该科学试验首次研究了经济发达区域大气-生态系统与人类活动相互影响问题;揭露大气-生态系统中物理、化学过程相互作用机制;评估区域大气-生态系统未来变化趋势。完成了系列创新成果:发现长江三角洲自 1980 年以来明显变暖而邻近地区仍为变冷趋势,揭示了经济发达区域各个城市群构成的“大热岛”热力效应。成功使用 Landsta5TM 卫星资料监测大气污染的技术方法,建立了长江三角洲高分辨率区域 SO_2 、 NO_x 、 CO 、 HC 等痕量气体排放清单数据库,并预测未来 30 年排放变化。观测试验揭示了太湖地区 94 种植物异戊二稀排放通量,臭氧和前体物痕量气体时空变化规律,并研究分析了稻田热量、水汽、 CO_2 、 N_2O 和 VOC 垂直输送通量时空演变特征。发展建立了长江三角洲经济区高分辨率(5 km×5 km 经纬度)气候-环境-陆面过程耦合动力学数值模式,研究长江三角洲地区气候与环境变化相互影响作用,以及大气臭氧浓度变化对水稻、小麦、部分蔬菜和树苗生物量及品质影响,及其影响机制;做出了长江三角洲地区大气臭氧和二氧化硫对农作物损失和典型农业生态系统生态的风险评估。利用观测资料,验证并改进了农田生物地球化学模型(DNDC),开展了数值模拟试验;在长江三角洲地区农田 CH_4 和 N_2O 的排放变化规律、影响排放的主要因子、排放调控原理与对策等方面研究,取得了新进展。该项目成果对类似长江三角洲经济发达区域的环境、生态及其气候影响研究领域具有重要学术与应用价值。

在科技部的支持和领导下,由江小珂领导的项目专家组主持,唐孝炎、郝吉明、虞统等人承担的“北京市大气污染控制对策研究”项目,自2000年至2001年开展了两年的研究,取得了一系列的创新成果。项目在系统分析基于10年气象资料和大气环境质量监测数据的基础上,采用典型天气条件下强化监测的方法,研究北京市大气污染状况和成因;通过收集、监测和分析各类排放源 NO_x 、 SO_2 、 CO 、 VOCs 、 TSP 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放特征和排放因子,建立主要大气污染物的源清单;通过建立大气 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 源排放化学特征谱和不同季节大气 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的化学成分分析,并应用多种国际上先进的空气质量模式和将受体模式、扩散模式和源清单相结合的方法,确定了北京市大气中的 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 来源及其贡献率;研究了北京复合型大气污染条件下 SO_2 、 NO_x 、 VOCs 、颗粒物等物质之间的相互作用和耦合机制及在此条件下 O_3 的生成机理和周边地区的相对影响,以及石景山地区风场及其垂直分布和大气污染物的扩散规律。通过评估北京市现有大气质量监测网络的代表性,对网络扩建方案进行了优化设计;通过建立重污染日的判别指标体系和建立定性定量方法的大气重污染日污染物的统计预报模式、数值预报模式,研究了大气重污染日预警系统。通过研究各种能源供应潜力及其费用,分析现已确定的与能源利用有关的各种污染防治措施、各种车辆污染控制措施、各种工业污染防治措施、工业无组织排放控制措施的环境效益与控制费用;基于环境与控制费用的综合分析,提出北京市能源利用和流动源、工业污染源、无组织排放源控制的多种方案。根据大气污染控制目标,研究大气污染综合防治措施和对策,提出了2002年和2008年北京市大气污染综合防治的各种方案及推荐方案。该项目在城市大气污染控制对策研究方面做出了具有重要学术与应用意义的成果。

城市周边大地形是形成城市环境污染物扩散“瓶颈”的影响因素,例如,兰州市地形与兰州市可持续发展及其环境影响问题亦是当地讨论城市发展的关键“热点”;徐祥德^[2]研究城市环境大气污染动力模型指出北京市处于北面倚山,南部平原的“马蹄型”山谷地带。对于北京城市建筑群的发展,加之目前北京市多圈环城高速公路两边高楼林立的建筑布局,在不同的气象背景下,这些局地城市建筑群空间结构与大地形因子亦是影响城市空气污染扩散效应的重要因素。图1.1a^[2]表明,1959~1980年北京以西北风及偏南风为主导风向(黑色箭头),在近20年(1981~1998年)已转变为偏北风及偏西南风两类主导风向(白色箭头)。由此可见,当地季节性盛行风(称高频风向)与郊区或周边工业排放源布局两因素的配置,加上不同气象背景城市周边及市区类似向南开口的“马蹄型”地形或城市建筑群(图1.1b)的复杂的多尺度特征动力效应将显著影响北京城区大气污染时空分布。上述地理、气候以及城市发展格局等诸多方面的综合影响,可能会导致北京地区空气污染时空分布以与主导风相关的扩散特征、以及“迁移”或“堆积”、“转化”等影响效应。为进一步揭示城市“空气穹隆”(俗称“大锅盖”)的动力、化学过程时空变化规律,有必要根据区域气候特征、城市建筑群布局及周边大地形特征进行合理、科学的设计,提出一个可描述城市边界层大气动力特征、化学成分及其相互作用的三维立体结构的现场观测试验工程方案。本书将较系统地阐述北京城市大气污染现场科学试验,即简称BECAPEX(Beijing City Air Pollution Observation Field Experiment),通过上述城市边界层大气动力和化学过程三维结构综合观测工程的实施,以揭示北京地区空气污染“大锅盖”动力结构及其污染物分布变化规律。另一方面,对于城市大气污染多尺度交互作用及其周边影响等

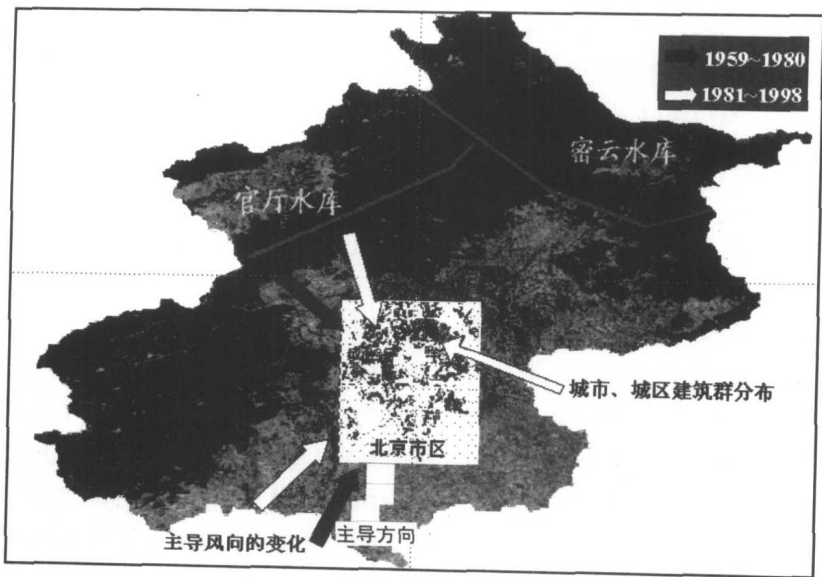


图 1.1a 北京城市建筑群、周边大地形与主导风向的配置关系示意图
(中心部位白色框内阴影处为城市建筑群分布,中心部位框外阴影为北京周边山脉分布)

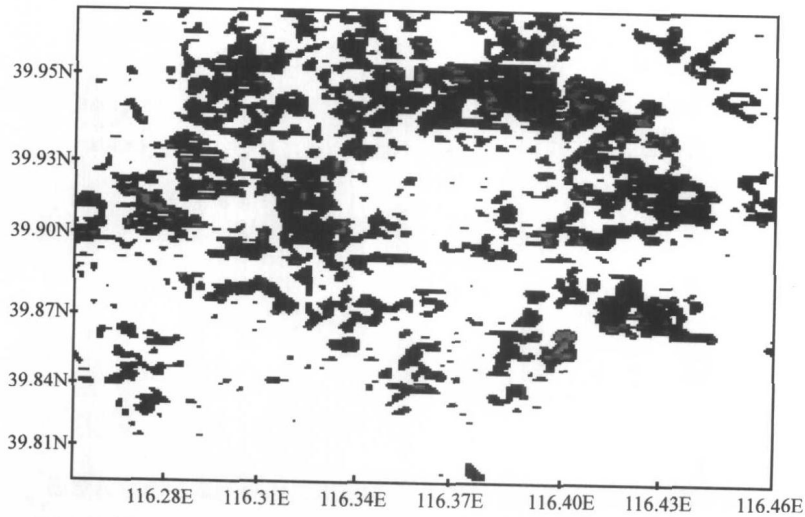


图 1.1b 北京市区城市建筑群分布图(分辨率:200 m×200 m)

复杂问题,我们采取“点-面结合”的方法,将城市区域边界层动力-化学过程地面观测网与卫星遥感监测系统相结合,以便综合分析城市大气环境污染的局地变化及其周边影响效应。

§ 1.1 城市大气环境三维立体观测试验工程设计

城市的最大特点是有高耸的建筑群落,有些城市常常是依山或傍水。城市建筑群与城区周边山体对空气污染的动力扩散等效应是形成某些城市大气环境污染时空分布特征的重要背

景。城市的出现和扩大,城市密集建筑群、街区道路的纵横水泥路、高架桥等取代了自然地表,城市上空环流在楼群林立的环境中形成“树冠”动力效应。它使街区地表风场改变,建筑群及街道可导致湍流加强,形成显著的局地“狭管动力效应”,水泥路代替地表绿地形成城市“干岛”及“热岛”环境,改变局地动力、热力结构及其特定的污染动力扩散条件。

城市大气边界层动力和热力结构是研究城市环境污染问题的基础。当然,边界层大气运动遵循质量、动量、能量、水物质守恒以及其他气体或气溶胶等物质守恒的控制方程组。城市边界层下垫面水泥道路、不同高度建筑群顶水泥表面或陆面异常下垫面特征形成的感热、潜热输送及其能量、水分循环均与郊区自然状况存在很大的差异。在市区中,由于建筑群和街道的巨大热容量,以及交通运输所释放的热量和空间加热作用,致使混合层热力结构呈显著的日变化特征^[3]。城市边界层逆温层类似“大锅盖”效应,城市大气由于局地“热岛效应”会形成低层四周向内的辐合流场,构成中心区上升运动“热岛强迫环流”偏差场。若多个发展城市相对集中,可能还会构成城市群及其相对强度不同的多个中尺度热岛强迫环流;随着城市发展,下垫面湍流、热力结构变化及其城市周边环型路两侧建筑群(如北京三环、二环路等)的相对“闭合筒壁”效应,有可能使城市边界层结构及其污染物分布特征越来越复杂。

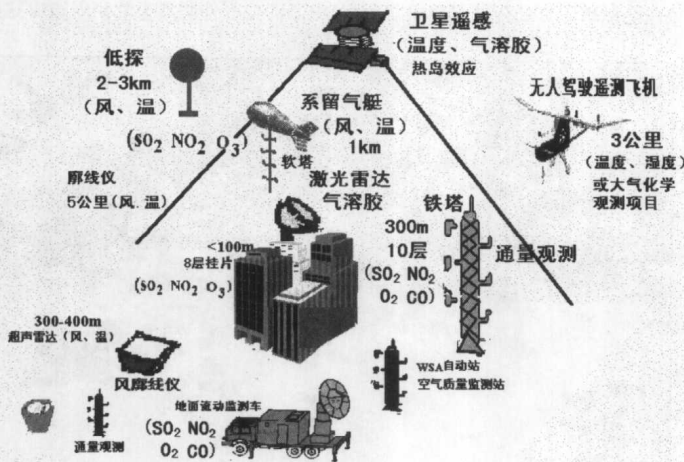


图 1.2 城市大气边界层动力-化学三维立体观测试验设计示意图

2001~2002 年期间本项目在北京城区及近郊区进行了大气边界层和空气污染现场观测试验,第一次在城市大范围区域集中采用了国内外先进的边界层综合观测系统,其中包括自动化程度和精度较高的各类边界层探测仪器。试验采用了大气廓线仪、声雷达、激光雷达、系留气艇、超声风温仪、近地层微气象梯度观测系统;不同楼层上的大气污染物自动观测仪器、325 m 铁塔上的 10 层污染成分及 3 层气溶胶观测,还结合卫星遥感观测资料。试验目的在于获得北京大气边界层和大气化学过程的三维立体图像(图 1.2),在此基础上获得包括城市热岛、城市风、城市羽流、街道环流等不同尺度的边界层三维大气动力-化学结构模型。为城市大气环境预警系统实施和调控原理的研究提供科学依据和奠定理论基础。

§ 1.2 城市大气边界层观测试验

大气边界层野外试验始终是城市大气环境研究领域的重要组成部分。1953 年在美国内布拉斯加州进行的大平原野外湍流计划,1967 年澳大利亚进行的孟加拉(WANGARA)试验,以及 1979 年美国在俄克拉何马州进行的强风暴和中尺度试验(SESAME)。80 年代起也进行了为数众多的试验计划,如 1984 年在美国科罗拉多州进行的凤凰二号计划(Phonix-II),1983 年在美国俄克拉何马州进行的边界层试验(BLX83)等。1998 年在我国青藏高原大气科学试验(TIPEX)中也将高原大气边界层结构作为一个重要的研究目标。在该项试验中其设立了四个大气边界层综合观测基地,使用了自动化程度和精度较高的边界层探测仪器。通过试验和研究加深理解了高原边界层陆-气相互作用的物理过程及其对中国及东亚区域灾害性天气发生、发展的作用机理。

本项目针对北京城市边界层特点,设计合理的城市大气边界层观测试验方案,利用国内外先进的探测技术,结合北京城区常规地面气象观测网与车载移动监测工具,建立北京城区边界层科学试验观测网,以获取阶段试验与连续的边界层观测资料。

BECAPEX 试验地面气象监测系统以现有的北京市气象局自动气象监测网、中国科学院大气物理研究所边界层铁塔观测基地,及中国气象局南郊基地为基础监测系统,适当增加城市地面观测点以及采用流动边界层监测手段为补充,对大气边界层的三维结构过程进行连续的观测。

探测试验包括系留气艇、超声风温仪、声雷达、RASS 和大气廓线仪、车载移动监测以及卫星遥感监测系统,并利用边界层高塔和高层建筑安装超声风温仪等仪器进行连续观测。通过上述大气边界层综合探测试验,揭示城市边界层垂直剖面动力、热力结构,研究城市采暖季节和非采暖季节,不同气象条件因素影响下“空气穹隆”形成过程(包括水平和垂直方向),城市“空气穹隆”下风羽状流等扩散效应。试验利用先进的资料同化技术,对获取的城区大气边界层资料进行参数化分析处理,为城市边界层模式提供各种可能的背景参数和初始场。

试验分别在北京城区具有不同代表性下垫面特征的北沙滩(北郊四环路北面)、建国门、白石桥、古观象台、方庄、南郊、石景山区、朝阳祁家豁子和金盏乡等 7 个观测点上开展了大气探测(图 1.3)^[2]。其中前 4 个南北剖面上的观测点采用系留气艇探测大气结构,后 3 个其中 1 个观测点利用 325 m 塔进行 15 个层次的风、温廓线梯度观测(祁家豁子),2 个城郊观测点(金盏乡和石景山区福田村)分别采用大气廓线仪系统;白石桥测点还采用声雷达探测风和温度廓线。

北沙滩观测点设在草地上,东西向较为开阔,朝北方向 60~70 m 有 5~8 层的建筑物。建国门、白石桥和方庄观测点周围楼群林立,水泥下垫面,南郊观测点周围相对比较开阔,北面有 3 层楼房,裸土下垫面。

观测试验采用的系留气艇探测系统均为美国大气公司(Air)生产。仪器温、湿度传感器为热敏电阻,风传感器为三杯风速计和悬浮磁罗盘,气压传感器为空盒式气压计。所有传感器的信号由挂在气艇下面的探测器发射,并由地面接收机接收,同时由计算机控制采集数据。北沙滩和建国门观测点用的系留气艇探测系统是 TS-3A 型,采样频率为 20 s。方庄和南郊观测点

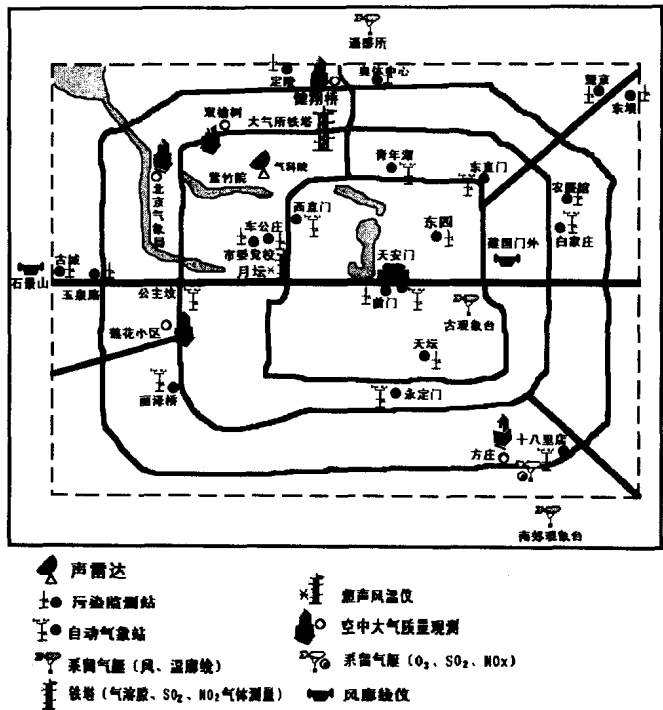


图 1.3 城市边界层空气污染特征观测布点图

分别用的是 TS-5A 和 TS-2A 型,采样频率分别为 3.79 s 和 10 s。为了统一观测精度,4 套观测系统同时在中国气象局计量站分别进行了干、湿温度,风速和气压的标定和校准。该探测系统虽然观测精度较高,但在风速大于 10 m/s 天气条件下难以进行探测。观测试验每天观测 8 次,统一观测时间为 02、05、08、11、14、17、20、23 时。2 个试验周期 4 个观测点一共进行了 283 次大气廓线探测。梯度观测系统、大气廓线仪和声雷达探测均为自动连续采样系统,取得了 2 个试验阶段的每小时的连续资料。观测资料清单如表 1.1。

表 1.1 北京市城市环境资料库说明

观测仪器	观测地点	开始时间	结束时间
超声	月坛	2001 年 1 月 19 日	2001 年 4 月 14 日
	大气所**	2001 年 2 月 20 日	2001 年 3 月 2 日
大气廓线仪	金盏乡	2001 年 1 月 6 日	2001 年 1 月 14 日
		2001 年 2 月 21 日	2001 年 2 月 28 日
辐射	北沙滩	2001 年 1 月 4 日	2001 年 1 月 13 日
		2001 年 1 月 17 日	2001 年 3 月 28 日
	气科院*	2001 年 5 月 19 日	2001 年 10 月 24 日
		2001 年 10 月 30 日	2002 年 1 月
	南苑	2001 年 2 月 15 日	2001 年 4 月 27 日
		2001 年 5 月 18 日	2002 年 1 月

(续表)

观测仪器	观测地点	开始时间	结束时间
声雷达	石景山	2001 年 1 月 5 日	2001 年 1 月 13 日
		2001 年 2 月 21 日	2001 年 3 月 1 日
梯度	大气所铁塔**	2001 年 1 月 9 日	2001 年 1 月 16 日
		2001 年 2 月 20 日	2001 年 3 月 2 日
系留汽艇	白石桥	2001 年 1 月 5 日	2001 年 1 月 13 日
		2001 年 2 月 21 日	2001 年 2 月 28 日
	北沙滩	2001 年 1 月 5 日	2001 年 1 月 12 日
		2001 年 2 月 21 日	2002 年 2 月 28 日
	昌平定陵	2001 年 9 月 7 日	2001 年 9 月 12 日
	方庄	2001 年 1 月 5 日	2001 年 1 月 13 日
		2001 年 2 月 21 日	2001 年 2 月 28 日
	南苑	2001 年 1 月 5 日	2001 年 1 月 12 日
		2001 年 2 月 21 日	2001 年 3 月 1 日

* 中国气象科学研究院, ** 中国科学院大气物理研究所

§ 1.3 城市边界层大气化学观测试验

与大气边界层动力结构一样,边界层大气化学三维结构特征也是城市大气环境研究的另一个重要对象。据不完全统计,在上一世纪最后 10 年仅就边界层臭氧问题开展的科学试验在北美就有 20 项,欧洲 10 项,亚洲 1 项。但是边界层大气化学成分综合探测受到很多条件的制约,其中主要是受观测技术手段的制约,因此城市边界层大气环境现场观测试验有关空气质量的大气化学成分探测往往是一个相对薄弱的环节。

城市边界层空气质量是影响城市居民身体健康以及保持经济持续发展的重要因素之一。尽管人类主要生存环境是在近地面层,但是从工厂及交通等污染源向大气排放出的空气污染物将在城市边界层扩散、“堆积”、稀释和沉降,要深入了解其中的大气物理化学过程就十分需要知道城市边界层中空气污染物空间分布规律。此外,随着城市的发展,人们居住和工作的空间也在逐渐从地面向空中发展,因此也涉及空气污染物垂直分布的影响问题。目前,国外在研究城市环境方面比较多的还是城市边界层湍流结构,大气污染物稀释扩散规律,城市热岛和城市风的研究。有关城市空气污染的研究课题,主要仍局限于地面空气污染结合边界层特点进行监测。在垂直剖面观测方面,有的利用气溶胶激光雷达研究气溶胶粒度谱垂直剖面,而使用系留气球方式测量 NO_2 、 O_3 和 HC 垂直剖面也报道较少。然而由于边界层空气污染物垂直分布探测手段十分有限,加之城市地区由于楼房等高层建筑物的存在给垂直剖面的观测带来很大难度。特别像北京这种特大城市,又是经济、政治、文化中心,空中探测受到各种限制,观测点位选择也受到很多制约。此外,城市面积又非常大,很难从部分测点的观测结果推论整个城市的状况,因此给这项工作又增添了一定难度。

城市边界层大气化学垂直剖面观测,国外也开展不多,主要受制于探测手段。由于无法将大量污染观测仪器直接置于铁塔高处进行观测,系留气艇也没有合适的传感器能够探测 SO_2 ,