

大气污染预报研究取得新进展

胡 非^{*}

郭亚曦

(大气物理研究所 LAPC 北京 100029) (中国科学院资环局 北京 100864)

关 键 词 大气环境, 大气污染预报, 研究成果

1 引言

中国科学院“九五”重大项目“大气污染预测的理论和方法研究”系由中国科学院大气物理研究所负责的一项前瞻性应用基础研究和社会公益性研究项目, 参加本项目研究的单位还有中国科学院寒区旱区环境与工程研究所(原兰州高原大气物理研究所)和中国科学技术大学。本项目的科学目标是在深入认识大气污染扩散等过程的规律的基础上, 运用国际上先进的数值预报方法预测污染物浓度的时空分布, 就象预报天气一样预报空气污染。研究内容主要包括大气污染动力学、大气污染的气象条件、大气污染预测模式和大气污染预测试验。

本项目研究工作的关键问题和难点是污染物输送扩散过程中所发生的非线性物理、化学过程; 造成严重大气污染的气象条件; 高分辨率的中尺度气象模式和大气边界层模式; 科学性和实用性有机结合的城市和区域尺度大气污染浓度预报模式。具体预报对象是二氧化硫(SO_2)、氮氧化物(NO_x)、总悬浮颗粒物(TSP)以及臭氧(O_3)、一氧化碳(CO)等, 预报时效以短期(24—48 小时)为主。

两年多来, 本项目不仅在大气污染预测理论上取得了较大进展, 而且已率先在国内研制出一套城市和区域大气污染预报模式系统。为验证和改善预报理论及模式, 提高模式的可信度, 积累实践经验, 该项目从开始就坚持了边研究边进行预报试验的技术路线。利用研制的模式系统与国家环境监测总站和北京、天津及沈阳的有关部门合作, 成功地进行了实际的大气污染预报, 并获准在电视、电话等媒体上公布, 社会反映良好, 特别是沈阳区域气象中心利用本项目研制的预报模式开通污染预报“121”电话服务后, 还取得了一定的经济效益。目前本项目正在与南京市和广州市商讨签订开展大气污染预报合作的协议, 并获得了研究所知识创新工程项目的进一步支持。

2 具体研究内容和研究成果

以下分四个方面介绍本项目的主要研究内容和阶段性成果, 其中许多实验研究和数值模

^{*} 大气物理研究所研究员
收稿日期: 1999 年 12 月 19 日

拟结果在国内都是首次得到的,有些还达到了国际先进水平。

2.1 大气污染动力学研究

建立了一个气相化学与液相化学相结合的箱体模式,重点研究云层及云中微结构对 O_3 的影响。模拟结果表明,云对 O_3 浓度影响的相对重要性分别为:云层的辐射效应占 34.1%,液相化学效应占 18.6%,吸收效应占 3.3%。

建立了一个具有国际水平云物理模式与云化学模式相结合的三维云物理化学模式,研究了云对 SO_2 、 NO_x 和 O_3 等化学物种的纯动力学输送作用。发现由于云中垂直气流的作用,既可使高浓度的平流层 O_3 向下输送到对流层,甚至近地层,也可使近地层高浓度的 NO_x 和 SO_2 向上输送到对流层上部乃至平流层。

深入开展了东亚地区春季沙尘气溶胶对硫化物输送和沉降影响的研究。结果表明, SO_2 和 SO_4^{2-} 的大值区主要出现在我国东部地区,在模拟时段内,日本地区火山源的排放对该地区大气中 S 分布的贡献达 10%—30%,与当时飞机的观测结果相吻合。同时还分析研究了模拟区内 SO_2 和 SO_4^{2-} 的收支情况,指出在 S 的总排放量中,从东边界面流出去的输送通量最大,主要出现在 30° — $40^\circ N$ 带的 2Km—6Km 高度上,这与该地区最大人为排放源所在地相一致。

仔细分析了控制大气中污染物输送方程的动力学特性以及相关的各种物理化学过程的相对重要性。引入了表征动力、物理和化学过程重要性的 6 个特征参数,并选择硫元素作为分析的例子,讨论了 3 个汇机制化学转换、干沉降和湿清除在大气污染过程中的相对重要性。分析结果表明,对于硫组分来说,气相化学反应的作用一般小于干湿沉降的作用,其中干沉降的作用在很大程度上依赖于大气污染模式最低层厚度的取值。同时,根据大气污染方程特征项量级的分析,得到了控制大气污染物输送的零级近似和一级近似方程。

2.2 大气污染的气象条件研究

利用中尺度区域模式重点模拟了大气边界层上部的动力学过程,发现在白天,边界层上部存在水平尺度为 2—3Km 的环流,它们可能是晴空边界层内物质向自由大气输送的一种重要过程。

在北京大学和大气物理研究所 325 米气象铁塔院内进行了两次边界层实验观测,重点是研究城市冠层中湍流通量与扩散参数的统计特征。结果发现,城市冠层中湍流运动的各种统计特征量与平坦下垫面条件下边界层湍流运动相比,有不同的地方,也有相似的地方。无论白天还是夜晚,垂直方向的湍流强度和湍流脉动风速标准差均小于水平方向的,水平方向的相应湍流特征量则总是接近相等;城市冠层中湍流脉动强度和标准差几乎均大于平坦下垫面边界层的。当平均风速 $U \geq 1m/s$ 时的湍流统计特征量与 $U < 1m/s$ 时的有所不同。

在 325 米高气象塔上进行了不同季节污染物浓度与气象条件的同步观测。其中对 1997 年 10 月底观测到的一次冷锋过程大气边界层内 O_3 及 NO_x 浓度资料的分析发现:北京近郊大气边界中下层存在着明显的由上至下的 O_3 浓度梯度, O_3 的垂直输送与风速和温度梯度密切相关。冷锋天气过程有利于高层 O_3 向低层输送,使 O_3 浓度垂直梯度明显减小,使 NO_x 浓度显著降低。同时还证实了城市下游地区存在较高浓度的 O_3 分布区。

2.3 大气污染预报模式系统的研制

中 α 尺度污染气象预报模式:选用我国自行研制的 Eta 模式及美国的 APRS 模式,将美国 NCAR 和 NCEP 的格点资料和非格点资料通过客观分析,直接输入模式作为初始场及边界条

件。应用 Eta 模式对天津的实例进行了模拟, 模式运行正常, 计算稳定; 运用 APRS 模式对包括复杂地形的多种情况进行实例模拟和数值试验, 该模式在边界层内保持了相当高的分辨率, 并能抓住包括雨区在内的基本气象特征。

中尺度 β 污染气象模式: 完成了由流体静力过程向非静力过程的转变, 提高了模式在水平和垂直方向的分辨率和计算的稳定性。

大气边界层模式: 建立了一个在垂直方向具有高分辨能力的先进的三维大气边界层模式, 该模式是在大气边界层物理和大气化学国家重点实验室科研人员多年工作积累的基础上开发研制的, 目前已经在理想地形条件下调试成功, 下一步目标是选择有观测资料可比的实际下垫面进行模拟和改进, 并耦合到实际的大气污染预报模式中去。

城市尺度大气污染浓度预报模式: 已基本完成模式的研制工作并投入实用。

区域尺度大气污染浓度预报模式: 该模式已经完成并进行了预报试验, 模式框图如图 1。

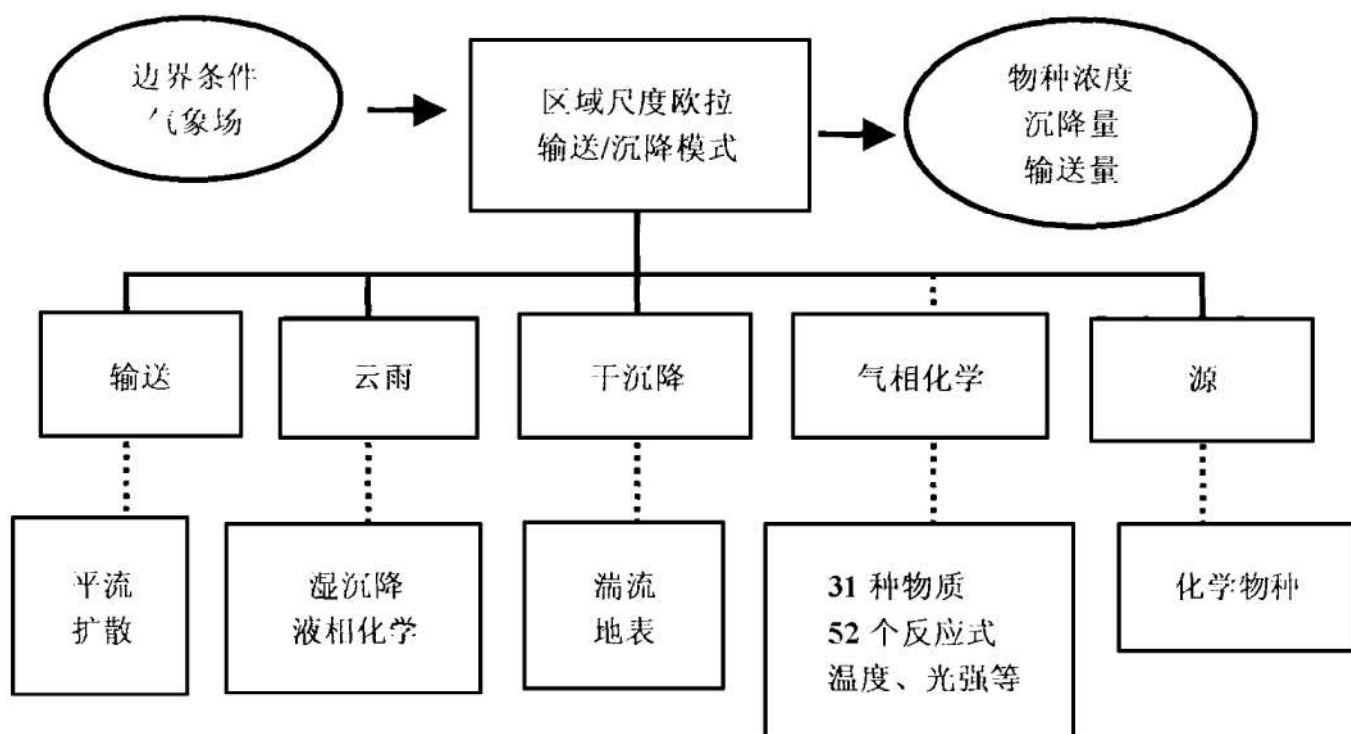


图 1 区域大气污染预报模式框图

2.4 大气污染预测试验研究

1998 年至今, 利用项目研制的城市大气污染预报系统与国家环境监测总站、天津市气象局和天津市环境保护局合作, 对天津市的大气污染物浓度进行了预报试验, 取得了较好的效果, 获得国家环境保护总局和天津市有关部门的高度评价。表 1 给出了 1999 年 1 月份中 3 天的预报结果; 进行这次预报试验的目的有四个: (1) 了解进行城市污染预报的程序和积累开展城市污染预报的经验。这里包括气象资料的获取、污染源的调查和分类、城市地形和下垫面的确定、预报效果的评价等; (2) 测试我们目前所有模式的性能和模式改进后的效果。参加试验的模式有中 α 尺度气象模式、中 β 尺度气象模式和城市尺度大气污染预测模式; (3) 发现模式的不足之处, 为模式的改进寻找依据; (4) 开创我国城市污染数值预报的先例, 培养从事城市污染预报的地方人才, 推动中国科学院的理论成果向应用转化。

从 1998 年开始, 该项目与国家环境监测总站和沈阳区域气象中心合作, 完成了在沈阳开展城市和城市群大气污染预报业务的大量准备工作。在这项工作中, 我们提供了中 β 尺度气象模式和城市尺度大气污染预测模式, 并对沈阳区域气象中心的有关人员在气象资料、污染源资料及污染源分类、地形和下垫面参数的整理及模式的运行方面进行了指导。对包括沈阳市在内的辽宁省 14 个城市进行实际的大气污染预报试验, 并在电视上发布预报结果和开通“121”污染预报电话, 取得了良好的社会效果和一定的经济效益。

利用项目研制的区域污染模式于 1998 年 10 月 24—25 日进行了东亚区域预报试验(其中 22 日、23 日有冷空气过境), 预报时效为 24—48 小时, 输出 6 小时一次的 SO_2 、 NO_x 、 O_3 。此外, 从 1998 年 4 月—1999 年 8 月, 对一周来的北京地区空气污染状况作回顾和展望分析, 并于每个周末在电台中播出, 与空气质量周报符合较好, 受到北京市民的欢迎, 收到了很好的社会效果。

此外, 还结合上述预报试验研制了一套污染预报演示系统。

表 1 天津市实测与预报的日平均浓度的比较: (实测值/ 预报值)

污染物	SO_2		NO_x		TSP	
站点	市区	河北区	市区	河北区	市区	河北区
1 月 1 日	0. 803	2. 78	1. 382	0. 81	3. 83	2. 72
1 月 3 日	0. 844	1. 229	0. 66	1. 78	3. 35	3. 11
1 月 5 日	2. 414	2. 05	1. 37	1. 71	3. 54	2. 48
1 月 8 日	1. 619	2. 648	1. 09	1. 42	3. 01	2. 7
1 月 10 日	1. 385	1. 612	0. 83	0. 97	2. 09	2. 29
1 月 12 日	0. 786	1. 702	0. 72	0. 72	1. 27	1. 58

3 结语

经过全体科研人员的努力, 本项目取得了很好的阶段性成果, 在 1998 年中国科学院主持对本项目中期评估验收时, 得到了专家的高度评价。到目前为止, 本项目共发表研究论文 40 余篇, 出版专著 3 部, 毕业博士生 6 名、硕士生 3 名, 参加国内外学术交流 30 多人(次)(包括出国访问合作和学术会议, 其中大会报告 2 次)。研制出大气污染预报模式系统和演示系统一套。

特别需要指出的是, 本项目在执行过程中, 获得了如何及时将科研成果推向国家推向社会应用的宝贵经验, 培养了一批优秀的大气环境研究青年人才。下一步将继续围绕项目既定的具体目标开展更加深入的研究工作, 将有关的理论和实验研究新成果在国际上发表。不断完善预报模式系统, 扩大成果推广范围, 争取在更多的大城市开展实际的大气污染预报, 为我国大气污染业务化预报和大气污染控制做出贡献。