

广东省空气质量预报系统

吴 兑^{1,2} 邓雪娇¹ 林爱兰¹ 谷德军¹ 梁建茵¹

(1 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州 510080;

2 中山大学环境科学与工程学院大气科学系, 广州 510275)

摘要 文章介绍了广东省气象系统开展空气质量预报的概况, 包括使用的预报工具, 其预报能力与业务运行的预报质量分析, 以及进一步提高预报水平的一些设想。

关键词 广东 空气质量预报 预报方法 检验

引言

美国、德国、荷兰、瑞典等一些工业发达国家, 已采用先进的包括边界层气象资料库在内的大气质量实时动态监测系统, 以利于开展空气污染浓度预报和空气污染潜势预报, 为当地政府提供依据, 对可能出现的空气污染, 提前采取措施。如通知工厂限产、控制车辆行驶数量, 让人们减少户外活动等。在西欧用“国际网络”的形式预报空气污染也已经起步, 并且正在日趋完善。各国在空气污染预报中按本地区具体情况确定项目, 以二氧化硫、二氧化氮、 PM_{10} 、臭氧、一氧化碳为主, 同时监视灾害性的大面积酸雨、光化学烟雾事件的发生。

美国从 20 世纪 70 年代就开始做空气污染潜势预报。美国国家气象局根据天气预报的风、湿度及天气状况、大气稳定度、混合层高度等气象因子, 用数值预报模式, 对污染源强进行未来 24h 的扩散计算, 从而做出空气污染预报。

日本为了加强防治日趋严重的汽车尾气污染, 从 1988 年 12 月开始对东京、大阪等城市大气中的氮氧化物进行污染预报。在每天上午的新闻节目中发布前一天的污染状况和当天的空气污染预报。如果污染超过“警戒线”, 城市大气自动监测系统便通过媒体, 向社会发布“空气污染警报”, 呼吁社会合作, 政府重视, 民众采取自我保护措施。

在韩国、墨西哥等国以及我国的香港和台湾等地区也相继开展了这项工作。

随着社会、经济的发展, 公共的环保意识不断提高, 对大气污染状况和空气质量水平日益关注。1997 年 1 月 21 日, 国务院环委会会议决定: 从 1997 年 6 月 5 日起, 在北京、上海、天津、沈阳、西安、广州、武汉、重庆、南京、杭州、大连、厦门、珠海等 13 个城市实行空气质量周报制度(在电视、报纸媒体向公众公布), 把 13 个城市的空气污染指数、重点污染源以及对公众健康影响等项目列表呈报。从 2000 年 6 月 5 日起, 全国 42 个城市每天公布空气质量日报, 由中央电视台每天向公众公布。从 2001 年 6 月 5 日起, 国家环保总局与中国气象局联合制作全国 47 个城市未来 24h 的空气质量预报, 同时公布当天的空气质量日报, 由中央电视台每天向公众公布。实际上, 1997 年以来, 国内许多大中城市的环境气象服务蓬勃发展, 特别是空气污染预报的开展引人关注。上海、广州、北京、天津、沈阳、重庆、南昌等城市先后开展了空气污染气象条件或污染浓度预报, 并通过媒体向公众发布^[1]。

空气污染预报的发展可以简略地概括为: 20 世纪 60 年代初, 开始出现的区域尺度空气污染气象条件预报(也称空气污染潜势预报), 主要预报可能导致空气污染的特殊天气形势和气象状况; 自 60 年代末逐渐开展空气污染浓度的条件方法预报; 几乎与

统计预报方法同时出现了空气污染浓度预报的半经验数值模型,如基于质量守恒定律的箱模型以及基于湍流扩散统计理论的高斯模型、萨顿模型;自70年代后期迅速发展起来的基于大气物理-化学过程耦合的动力学数值模型,随着大气化学分析以及技术及计算机技术的快速发展,该方法日渐成为大气污染预报的主要手段。

空气污染浓度预报研究发展到今天,出现的预报模型数量不少,包括高斯烟羽模型及其各种补充形式,若干个三维的数值动力模型,还包括许许多多的相似性模型和统计学模型。然而,各种模型中都存在着预报的不确定性。这种不确定性归纳为:①资料误差。包括仪器自身误差,以及仪器安排位置的不良代表性影响;②大气过程的内在随机性。在大气运动变化过程中,湍流作用会使得即使在中尺度平坦区域内不同点上测得的平均风速、风向产生随机的变异性。有资料表明,风速的这种变异性约为 1 m/s 。对其它重要参数如风向、温度、湍流能量,以及污染物浓度等都需要作出变异性估计;③数值模式的随机性。首先是模型预报结果同实测结果含义上有着内在的固有差异。三维数值模式预报值是表示由格点边长所围成体元的整体平均值,而观测值表示的是在单点上的一定时间内的实测平均值。因此,从严格的可比性讲,应该在一个体元范围内完成大量的类似实验,并且还应对结果进行平均。另一方面,动力学模型及化学机制模型同真实大气间总会存在着某种程度上的差异,尤其是复杂污染化学过程描述的不完备,这些必然会造成预报结果同真实大气间的偏差;④污染源排放强度及源参数的不确定性。事实上,除排放源本身的不确定性发生变化外,各种类型污染源的排放强度还会不同程度地随着天气变化及人们活动的变更而产生变化,这些变化有很强的随机性,是各类污染源的固有特性。污染源排放强度的随机变化必然会大大地增加大气质量预报难度和预报结果的离散性^[1]。

1 广东省空气质量预报系统

采用自行研制的统计(含动态统计)方法,以及原本所自主开发的烟团模式、引进的平流扩散箱格模式等多种模式制作空气质量预报。目前统计方法中有3个模型:①基于报文资料的动态统计模型(PRESS方法);②基于热带海洋气象研究所中尺度

气象模式预报产品的动力释用模型(属PP方法);③基于热带海洋气象研究所中尺度气象模式预报产品的动力释用动态模型(属MOS方法)。另外,完成了烟团模式、平流扩散箱格模式与高分辨率热带中尺度模式的连接,在模式开发及模式本地化方面具有独特之处,实现了日常业务运行,模式预报产品具有一定的预报指导作用,经过近两年的业务应用以及效果检验,这些方法应用效果良好。

1.1 预报方法

1.1.1 广州热带海洋气象研究所天气学分型知识库

通过对各种天气类型和地面污染物浓度作统计分析,得出该天气类型有利于或不利于污染物的稀释、扩散和清除,便于和气象台的业务预报相结合,是空气污染气象条件预报的经典方法之一。广州热带海洋气象研究所在已完成的广东省科委自然科学基金课题“珠江三角洲城市群污染潜势与污染指数预报方法研究”中已有一定的科研成果,是制作广东省空气污染气象条件预报的基本专家知识库。

1.1.2 广州热带海洋气象研究所统计预报方法

用可能对污染物浓度有影响的诸多气象要素和地面污染物浓度作多元回归,从而得出地面污染浓度预报的统计关系式。本方法的早期思路也是“珠江三角洲城市群污染潜势与污染指数预报方法研究”课题的成果之一,已有很好的基础,但由于污染浓度监测资料的稀少和不连续性(没有自动监测站以前,环境监测部门每季只有5天监测),对有些地方的统计回归效果不显著。现在污染物监测资料已能够准实时获取,经过一段时间的优化判别,完全可以作为空气预报的主要方法之一。

广州热带海洋气象研究所新开发研制的基于报文资料的动态统计模型(PRESS)^[2],可以对目标城市每个空气质量观测点的 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 浓度以及空气质量指数进行24h预报。所用预报因子为目标城市地面气象观测站观测得到的02:00、08:00、14:00、20:00(北京时)气温、相对湿度、气压、降水量、风速资料。目前使用的预测方法为PRESS方法,并研制了操作方便的模式软件,模型系统包括资料的获取和整理、预报、结果的显示输出等,自动化程度较高,可以方便地逐日逐时加入污染物浓度监测资料和常规气象资料,选择统计资料序列长度,快速计算次日的空气质量。预测系统由VB6.0和FORTRAN语言混合编程。

自行研制的基于高分辨率热带有限区中尺度气象模式预报产品的动力释用模型(属 APIPP 方法),以气象观测历史资料(包括气压、气温、湿度、风速、云量等)及前一天的空气污染指数监测值为预报因子变量,以相应时段的空气污染指数监测历史资料为预报变量,建立回归方程。业务预报过程中,将高分辨率热带有限区中尺度气象模式的预报产品作为预报因子,应用已建立的回归预报方程则可作出空气污染指数预报。预报广州、深圳、珠海、汕头、湛江 5 个城市未来一天空气污染指数。

自行研制的基于高分辨率热带有限区中尺度气象模式预报产品的动力释用动态模型(属 API-MOS 方法),在每天的业务预报过程中,以过去若干天(如预报日期之前 N 天)高分辨率热带有限区中尺度预报模式的预报产品及前一天的空气污染指数监测值为预报因子变量,以相应时段的空气污染指数监测历史资料为预报变量,使用逐步回归统计方法建立回归方程。将当天高分辨率热带有限区中尺度预报模式的预报产品作为预报因子,代入回归方程则可作出空气污染指数预报。预报广州、深圳、珠海、汕头、湛江 5 个城市未来一天,各种污染物的浓度及指数值,并确定空气污染指数及主要污染物。

1.1.3 广州热带海洋气象研究所烟团模式

基于分解与合并技术的高斯烟团模式(PUFF)是广州热带海洋气象研究所过去自主开发的空气质量预报工具,利用 Sykes(1992)引入的高斯烟团的一般二阶矩表示式,克服了传统烟团模式的缺点,重点采用烟团分解与合并的处理方法,同时考虑大气中的清除过程,模拟污染物的长期浓度变化。并与广州热带海洋气象研究所业务数值预报模式(GZTM)所提供的华南地区细网格三维数字化流场相结合,先计算 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 等各自的地面浓度日变化,通过求平均得到每种污染物的日均浓度,从而得到每种污染物的污染指数 API,最后再计算出污染综合指数 API,从而对珠江三角洲地区的污染综合指数作出预报。该模式尤其适用于复杂下垫面流场,在边界层研究与空气质量预报方面有先进性。以新版 RMS 模式作气象要素场预报,模式输出场包括分层的边界层物理量。以该模式为基础开展空气质量预报在广州热带海洋气象研究所业务运行已将近两年^[3]。

1.1.4 中国气象科学研究院平流扩散箱格模式

从中国气象科学研究院引进的平流扩散箱格模式(CAPPS)进行污染潜势指数预报和污染指数预报。该模式以新版 MM4 作气象要素场预报,有完善的后处理软件,已在全国二十多个省市的空气污染气象条件预报中得到推广应用。引进该模式对加快开展广东省的空气污染气象条件预报业务是很有必要的。在得到前一天空气污染物浓度监测资料的情况下,该模式也可以进行空气质量预报^[4]。该模式设计了一种箱格模型用于计算大气通风扩散稀释和干湿沉降总能力的平均值。该模式空气污染潜势预报所使用的 PPI 指数与源强和初始浓度场的关联不大,但能很好地反映实际气象条件下的通风稀释和干、湿沉降清除大气污染物的总能力,同经典的空气污染潜势预报方法相比,结构严谨、物理意义更清晰明确。其 API 预报公式和方法对源强和浓度监测的要求灵活,既可以用源强进行预报也可以用浓度监测数据进行预报,或同时用两者进行预报。要提高预报准确率,首先要提高气象场,特别是风场的预报效果。还应该在模式中加入一些重要的化学过程。当然,在进行臭氧预报时必须考虑化学反应过程和太阳辐射强度预报模式的引入。

另外,还试用了美国国家大气海洋局使用的空气质量业务模式,混合单粒子拉格朗日积分轨迹(HYSPLIT4)模式。几种预报方法对机时与输入资料的要求见表 1。

方法	CPU 时间 / min	输入资料			
		气象场	常规预报 气象因子	污染源	环境监测 因子
烟团模式	240	需要	需要	需要	可不需要
CAPPS	20	需要	需要	不需要	需要
HYSPLIT4	180	需要	需要	需要	可不需要
统计模型	1	不需要	需要	不需要	需要

1.2 预报流程

广东省空气质量预报流程大致包括资料采集与传输、资料预处理、运行预报工具、发布指导预报、预报会商、预报结果上传等几个步骤,如图 1 所示。表 2 列出了广东省空气质量预报产品发布的基本情况。

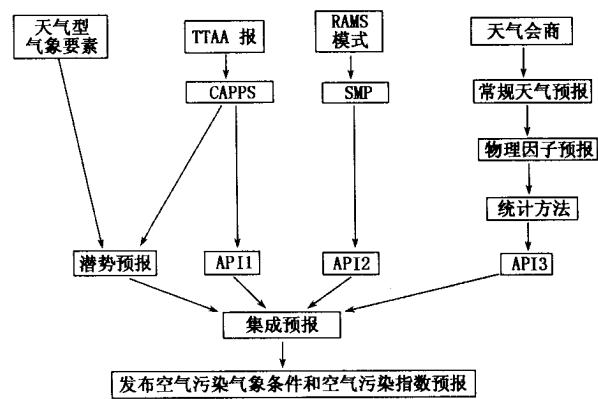


图 1 广东省空气质量预报流程图

(图中 TTAA 报指业务探空报资料, RAMS 模式指 RAMS 气象模式, CAPPs 指平流扩散箱格模式, SMP 指烟团模式, API1、API2、API3 分别指平流扩散箱格模式、烟团模式和统计方法得到的空气污染指数预报值)

表 2 广东省空气质量预报产品发布情况

时间	发布媒体
1998 年 10 月	开始在羊城晚报发布
1999 年 7 月	开始在广州有线电视台发布
1999 年 10 月	开始在深圳电视台发布
2000 年 9 月	开始在广州电视台发布
2000 年 9 月	开始在广东电视台发布
2000 年 7 月	开始在广东省气象局局域网发布
2000 年 7 月	开始在广东气象公众网发布
2000 年 7 月	开始在广东省政府网发布
2000 年 7 月	开始在 121 声讯台、广播电台、广州日报发布

1.3 预报效果评价

图 2、图 3 分别是 2000 年 10 月和 2001 年 2 月空气质量预报与实测指数的对比,表 3、表 4 是按照中国气象局下发的气办函[2001]33 号文关于《气象部门城市空气质量预报质量考核和管理暂行办法》中的有关规定进行预报质量评分的结果。

根据以上检验方法,2001 年空气质量的预报准确率见表 3,总体来看,预报效果较好,平均得分最低的广州为 80.9,远高于考核的合格分 60 分;从各市来看,对湛江的预报准确率最高,达 90.9,与其空气质量持续性较好直接有关。

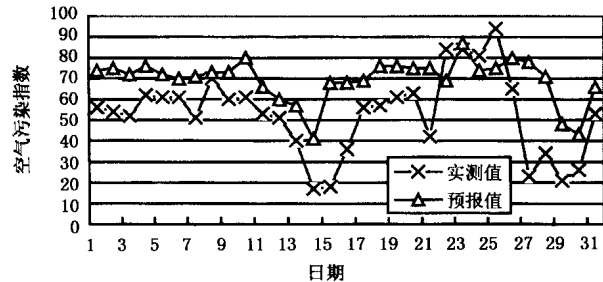


图 2 2000 年 10 月空气质量预报值与实测值的对比

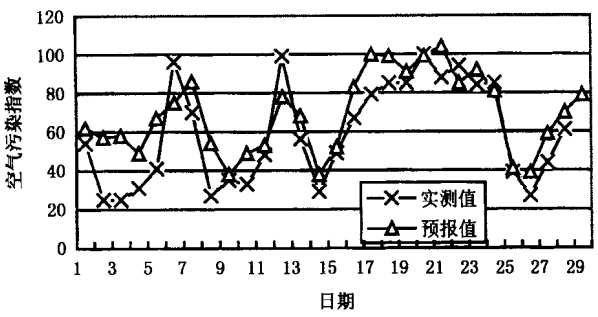


图 3 2001 年 2 月空气质量预报值与实测值对比

表 3 2001 年各市空气质量预报评分

	广州	深圳	珠海	汕头	湛江
1 月	78.6				
2 月	75.7				
3 月	78.5				
4 月	72.9				
5 月	81.9	78.6	80.9		
6 月	80.2	86.3	88.8	81.4	90.3
7 月	86.4	87.0	85.4	88.5	91.4
8 月	85.1	85.9	81.9	85.1	92.4
9 月	86.9	87.6	83.5	86.6	94.8
10 月	86.6	86.0	84.6	86.1	90.8
11 月	77.8	87.5	82.2	87.3	84.3
12 月	79.9	81.5	80.9	83.0	92.0
年平均	80.9	85.1	83.5	85.4	90.9

表 4 为高浓度空气污染日的预报能力评分,除广州外其它各市都没有出现高浓度空气污染日,也没有空报现象。从表中可见,对高浓度空气污染日的预报能力较差,广州年平均预报得分仅 6.3,一方面是高浓度空气污染日是小概率事件,一年仅出现 10 余天,有较大的预报难度;另一方面也反映了现有的大部分预报方法对高浓度空气污染事件这类极端情况的预报能力较差,迫切需要改进。

表 4 2001 年各市高浓度污染预报能力评分

	广州	深圳	珠海	汕头	湛江
1 月	0.0				
2 月	0.0				
3 月	0.0				
4 月	0.0				
5 月	0.0	- 1	- 1		
6 月	- 1.0	- 1	- 1	- 1	- 1
7 月	- 1.0	- 1	- 1	- 1	- 1
8 月	0.0	- 1	- 1	- 1	- 1
9 月	- 1.0	- 1	- 1	- 1	- 1
10 月	- 1.0	- 1	- 1	- 1	- 1
11 月	50.0	- 1	- 1	- 1	- 1
12 月	0.0	- 1	- 1	- 1	- 1
年平均	6.3	- 1	- 1	- 1	- 1

注:“- 1”表示该月实况和预报皆没有出现高浓度空气污染日

另外,从图2、图3与表3、表4来看,API指数预报发布值与实测值比较接近,突出的问题是极值的预报能力较差,即空气质量很好与很差时,预报结果与实测值误差比平时要大;空气质量出现转折趋势时,预报趋势有滞后现象。

2 今后设想

目前全国的空气质量预报业务和预报方法尚处于起步的初级阶段,虽然从多种中、高级杂志中发表有大量的理论性强、有一定深度的空气质量模式预报文章,但多数为理想场试验、个例分析、机理性敏感试验等工作,业务应用尚有不少实际问题需要探讨,加之空气污染复杂的物理、化学过程机理研究仍处于探索之中,尤其是在华南地区,地处低纬,紫外线辐射强烈,城市光化学污染问题尤其突出;珠江三角洲城市群的空气污染类型,在我国率先从二氧化硫污染转向汽车尾气光化学污染占一定份额的复合型污染,在城市高密度人群中二次污染物的危害性已引起足够的重视,公众尤其关注空气污染浓度剧变以及持续高浓度污染的敏感时期,诸多疑难问题的存在使得空气质量预报成为任重道远的科学问题。在调研及普查全国的面向公众服务的空气质量预报业务中发现,全国空气质量预报已呈蓬勃发展之势,预报方法也是多种多样,但有如下关键的基础性工作没有深入开展:

(1)耦合多种污染物的污染特征分析研究工作缺乏深入,造成在业务预报工作中对于污染浓度剧变以及持续高浓度污染的预报能力尤其薄弱。例如广州市2001年度的高浓度污染预报准确率仅为百

分制的6.3分,预报准确率近乎零。

(2)新型的现代化的探测资料仍没有同化进入常规的业务预报方法之中,使得不管是业务统计预报方法还是业务模式预报方法,仍处于利用常规资料的“经典化、常规化”的旧框架之中。充分利用新建立的高时空分辨率(珠江三角洲几公里至20km空间分辨率,10min至1h时间分辨率)的200多个自动站网资料,黄埔气象铁塔资料(风向、风速7层,温度、湿度4层),耦合常规天气形势资料(500hPa、850hPa、地面形势)等资料,重点分析空气污染浓度剧变以及持续高浓度污染时期的低空污染气象特征以及相应的天气形势,因为目前业务值班可参考的气象场资料除天气预报资料(含各种气象预报模式产品)外,表征低空扩散输送能力的本区域的准实时资料首推地面自动站网以及铁塔梯度资料,因此分析低空气象要素的变化与污染物浓度的变化关系就显得十分必要。

广州热带海洋气象研究所目前已经起步研制基于气象模式输出物理量与边界层特征量分布的空气质量预报动态统计预报方案,开发研制相关的预报软件,相信将会有效地提高空气质量预报水平。

参考文献

- 1 吴兑,邓雪娇.环境气象学与特种气象预报.北京:气象出版社,2001.315-350
- 2 姚棣荣,俞善贤.基于PRESS准则选取预报因子的逐步算法.大气科学,1992,16(2):129-135
- 3 谷德军,吴艳标,江奕光,等.珠江三角洲城市群污染综合指数预报的模式方法.热带气象学报,1999,15(2):128-136
- 4 徐大海,朱蓉.大气平流扩散的箱格预报模型与污染潜势指数预报.应用气象学报,2000,11(1):1-12

Introduction to Forecast System of Air Quality in Guangdong Province

Wu Dui^{1,2)} Deng Xuejiao¹⁾ Lin Ailan¹⁾ Gu Dejun¹⁾ Liang Jianyin¹⁾

(1 Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080; 2 Department of Atmospheric Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: A brief introduction is made to the air quality forecasting in the Guangdong Meteorological Bureau, including forecast tools and their forecast capabilities, the analysis of operational forecast quality, as well as some tentative plans for improving the forecast level.

Key words: Guangdong, air quality forecast, forecast method, test