

· 环境预警 ·

# 江苏省空气质量预报与实测结果比对研究

陆维青, 江峰琴, 刘丽霞, 王爱平

(江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210036)

**摘要:**选取2015年1—8月江苏地区NAQPMS、CMAQ、CAMx、WRF-Chem 4个模式预报结果与实测值进行比对分析,结果表明,标准化分数偏差(MFB)为 $-0.0665 \sim 0.2011$ ,标准化分数误差(MFE)最大值为0.3818,均在理想范围内,其中CAMx预报效果相对较好,WRF-Chem有一定误差。4个模式相比,NAQPMS对于 $PM_{10}$ 的模拟性能较好,各模式对 $PM_{2.5}$ 模拟性能相近,CMAQ和CAMx对 $O_3$ 模拟较好,WRF-Chem对CO模拟较好,各模式对 $SO_2$ 和 $NO_2$ 的模拟都需进一步优化。

**关键词:**江苏;空气质量;数值预报;模式检验

中图分类号:X520

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2017)01-0010-05

## Comparative Study between Air Quality Forecast and Actual Measurement in Jiangsu Province

LU Wei-qing, JIANG Feng-qin, LIU Li-xia, WANG Ai-ping

(Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

**Abstract:** In this study, we compared the results from 4 model forecasts, including NAQPMS, CMAQ, CAMx, and WRF-Chem, from January to August in 2015 in Jiangsu area with actual observation data. It was found that the mean fractional bias was between  $-0.0665$  and  $0.2011$  and the maximum value of mean fractional error was  $0.3818$ . Both of them were in the ideal range. Of the four forecast models, CAMx predicted relatively better, and WRF-Chem was somewhat erroneous in the prediction. NAQPMS simulated better for  $PM_{10}$ , all of the four models simulated similar for  $PM_{2.5}$ , CMAQ and CAMx simulated better for  $O_3$ , and WRF-Chem simulated better for CO. These forecasting models need further optimization for the simulation of  $SO_2$  and  $NO_2$ .

**Key words:** Jiangsu; Air quality; Numerical forecast; Model test

近年来,我国多地出现大范围、长时间重污染天气,对大气能见度、交通运输和公众健康等造成显著的负面影响,其中京津冀、长三角、珠三角区域尤为突出<sup>[1]</sup>。江苏省大气环境形势十分严峻,2013年,共出现典型重污染天气8次,13个设区市均先后出现严重污染天气(空气质量指数 $>300$ ),重污染天气时常发生,给居民健康和正常生产生活带来了不利影响。

广州、北京、沈阳和上海等地区和城市已先后实现了空气质量数值预报的业务运行并对外发布预报预警信息<sup>[2]</sup>。研究高效的空气质量预报系统,不仅能为公众出行提供指导,还可为职能部门防控重污染天气提供相应技术支持。现选取江苏地区预报结果与空气质量实测值进行比对分析,以期了解江苏空气质量预报的准确性。

## 1 数据来源及模式设置

### 1.1 空气质量实测数据

实测数据来自江苏省13个设区市的72个国家控点,地理位置为东经 $116^{\circ}21' \sim 121^{\circ}56'$ ,北纬 $30^{\circ}45' \sim 35^{\circ}08'$ 。13个设区市分别有4~9个站点,站点位于各设区市建成区内,并相对均匀分布。

选取 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、CO、 $O_3$ 、 $PM_{10}$ 和 $PM_{2.5}$ 共6项污染物参与评价,监测方法、分析方法、数据统计等严格执行《环境空气质量标准》(GB 3095—2012),空气质量评价按照《环境空气质量指数(AQI)技术规范》(HJ 633—2012)执行,选取逐日实测数据进行比对分析。

收稿日期:2016-03-23;修订日期:2016-08-31

基金项目:江苏省环境监测科研基金资助项目(1202;1306)

作者简介:陆维青(1989—),女,助理工程师,本科,从事环境监测工作。

### 1.2 空气质量预报数据

利用大气模型、数据库技术、并行计算技术、WebGIS技术和高效网络传输技术,实现对环境空气质量的高精度数值预报和污染物来源解析,形成预报结论,系统的总体架构包括应用规范层、硬件支撑层、数据管理层、模式计算层、应用支撑层、应用逻辑层和应用展现层<sup>[3]</sup>。

模式预报系统已运行有4种模式:包括中国科学院大气物理所NAQPMS模式,其基于一个三维欧拉硫化物输送模式自主发展的多尺度多物种模拟系统,详细考虑了污染物的传输、扩散、化学转化和干湿沉降等过程<sup>[4]</sup>;美国环保署(EPA)Models-3/CMAQ模式,全面考虑光化学氧化剂、颗粒物、酸沉降等污染问题,将不同动力尺度间的相互作用和不同污染物之间的相互作用纳入方法中;美国Environ公司CAMx模式,采用将处理后的气象场提供给化学传输模式和逐时网格排放数据作为输入进入模式的方法,融入许多空气质量模式的先进技术,如双向嵌套技术、次网格PIG技术、化学机理编译器和快速化学数值解法等;以及由美国国家气

候中心预报系统实验室(FSL)开发,气象模式(WRF)和化学模式(CHEM)在线完全耦合的WRF-Chem模式<sup>[5-7]</sup>,完全耦合可避免物理量在不同模式系统间转换而产生误差。

模式中心经纬度112°E 36°N,覆盖中国、长三角地区、江苏省三重嵌套预报模拟区域,水平分辨率27 km-9 km-3 km,垂直方向采用地形追随坐标系,垂直不均匀分为20层。排放清单参考MEIC区域清单耦合江苏省本地清单,清单处理流程包括污染源分类、排放量核算、清单结果校核等,与环境统计数据体系高效整合的同时,按照采集数据的更新状况,实现排放清单结果的动态更新,为模式提供更准确的数据。

排放清单系统直接生成各种模式需要的高精度网格化数据,分别提供3个嵌套下网格化数据,数据格点大小与模式区域设置一致。模式参数方案设置地形和土地利用资料来自MODIS数据,全球气象预报资料使用GFS(0.25°),气象模式采用WRF V3.5.1,其他参数方案设置各有不同,见表1。

表1 模式参数方案设置

模式	平流输送	干沉降	湿沉降	气相化学	液相化学	气溶胶化学
NAQPMS	Walcek 方案	Wesely 阻力模型	湿沉降算法(基于 RADM 模式)	CBMZ 机制	RADM 酸沉降模型	气溶胶微物理过程、沙尘气溶胶与人为气溶胶的相互作用
CMAQ	Bott 方案	RADM 模型 + Pleim - Xiu 陆面模型	痕量气体与冷凝水混合的物理化学过程	CB05 机制	RADM 酸沉降模型	不同模态粒径气溶胶生成云凝结核过程
CAMx	Bott 方案	Wesely 阻力模型	洗脱过程	CB05 机制	RADM 酸沉降模型	有机物二次形成颗粒物、气溶胶生成、扩散、洗脱和粒径转化过程
WRF - Chem	Monotonic 方案	Wesely 阻力模型	Easter 方案	CBMZ 机制		无机气溶胶模块采用 MOSA-IC 分档气溶胶方案,有机气溶胶采用 VBS 机制

目前4种模式中,NAQPMS和WRF-Chem成功实现了包括多尺度、多过程在线、全耦合数值模拟,可同时计算出多个区域的结果。模式均采用相同模拟区域嵌套网格设置,模拟区域拟设置三重嵌套网格。第一区域(D1)选取中国,水平分辨率为27 km;第二区域(D2)选取长三角地区,水平分辨率为9 km;第三区域(D3)选取江苏省,水平分辨率为3 km。取最内层嵌套D3区域逐小时预报结果与实测值进行比对,定量评估4种模式对每日江苏省和13个设区市空气质量指数(AQI)、6项污染物浓度变化趋势的预报能力,总结各模式模拟结果

特点和规律,为模式进一步优化调试和空气质量业务预报提供量化订正依据。

### 2 研究方法

4个模式预报时间为前一日20:00,D1、D2区域预报时长为未来172 h,D3为未来100 h。通过比较预报值与实测值随时间变化趋势的相似程度,评估各模式对污染物浓度整体变化趋势的预测能力和对污染累积、清除过程的预测能力;通过衡量预报值与实测值的偏离来评估模式结果的稳定性及可信度。相关评估参数有:

相关系数( $R$ ),  $R$  反映预报值与实测值随时间变化趋势的相似程度, 与时间序列变化趋势结合, 绝对值越大, 相关程度越高。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (C_m - \overline{C_m})(C_o - \overline{C_o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (C_m - \overline{C_m})^2 \sum_{i=1}^N (C_o - \overline{C_o})^2}}$$

平均偏差(MB)和平均误差(ME), MB 和 ME 衡量预报值与实测值的偏差程度, 其绝对值越小表明模拟效果越好。

$$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_m - C_o),$$

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |C_m - C_o|$$

标准化分数偏差(MFB)和标准化分数误差(MFE), MFB 和 MFE 衡量预报值与实测值的偏离, MFB 衡量预报值与实测平均浓度的分数偏差, MFE

衡量预报值与实测值平均绝对误差量。BOY-LAN<sup>[8-10]</sup> 等人以 MFB 和 MFE 为评价量, 拟定了模式预报的合理范围  $-0.6 \leq MFB \leq 0.6$ ,  $MFE \leq 0.75$ , 理想水平范围  $-0.3 \leq MFB \leq 0.3$ ,  $MFE \leq 0.5$ 。

$$MFB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(C_m - C_o)}{(C_o + C_m/2)},$$

$$MFE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|C_m - C_o|}{(C_o + C_m/2)}$$

式中:  $C_m$ ——预报值;

$C_o$ ——实测值;

$N$ ——参与比对的有效样本数<sup>[6-7]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 总体预报效果评估

江苏省1、4、7月AQI实况与模式预报的相关系数( $R$ )、平均偏差(MB)、平均误差(ME)、标准化分数偏差(MFB)和标准化分数误差(MFE)见表2。

表2 江苏省1、4、7月AQI实况与模式预报的相关系数( $R$ )、平均偏差(MB)、平均误差(ME)、标准化分数偏差(MFB)和标准化分数误差(MFE)

月份	模式	$R$	MB	ME	MFB	MFE
1月	NAQPMS	0.656 0	5.744 9	52.873 7	-0.025 5	0.261 2
	CMAQ	0.536 9	-10.114 4	45.542 8	-0.023 3	0.209 3
	CAM <sub>x</sub>	0.595 4	-4.046 5	45.113 7	-0.018 4	0.203 9
	WRF - Chem	0.412 1	6.924 5	60.963 1	0.042 3	0.291 5
4月	NAQPMS	0.160 1	-1.308 4	41.423 1	0.011 0	0.253 1
	CMAQ	0.249 1	-15.520 6	31.209 5	-0.066 5	0.187 9
	CAM <sub>x</sub>	0.386 5	-12.915 6	29.822 5	-0.058 5	0.180 2
	WRF - Chem	0.267 9	-4.855 9	45.627 3	-0.048 3	0.273 1
7月	NAQPMS	0.326 3	15.762 8	38.196 5	0.201 1	0.336 8
	CMAQ	0.400 1	10.650 8	32.509 7	0.179 2	0.301 3
	CAM <sub>x</sub>	0.421 6	10.947 8	32.606 9	0.179 4	0.301 8
	WRF - Chem	0.196 8	10.815 0	42.772 6	0.166 7	0.381 8

从相关性和误差2个方面来看, 1月份相关性最好, 4月份相关性最差。而4月份模式预报误差却小于1月份, 说明4月份虽对空气质量大致范围把握较好, 但日变化走势模拟失准, 对污染物浓度峰谷值预测能力不够。这是因为4月份空气质量一般在良—轻度污染之间, 相对较好, 重污染较难出现, 但受北方沙尘影响的情况较多。

各模式在各月份相对于实况的偏差有规律性, 1月份NAQPMS与WRF - Chem均有高估, 而CMAQ和CAM<sub>x</sub>低估; 该月份NAQPMS相关性最好, CAM<sub>x</sub>的模拟效果较其他2种模式更好。4月

份4个模式均有低估, 可能为对沙尘的模拟失准导致。7月份4个模式整体高估, 较其他2个月而言预报效果相差小。

标准化分数偏差(MFB)为-0.066 5~0.201 1, 标准化分数误差(MFE)最大值为0.381 8, 4个模式中只有4月CMAQ的MFB略超出合理范围, 可认为其对江苏省1、4、7月份未来24hAQI的预报效果均较为理想, 能整体把握空气质量的变化趋势。

#### 3.2 分等级预报效果评估

从分等级AQI预报偏差看, 在空气质量为优良的情况下, 4种模式均出现不同程度的高估现

象;随着空气污染等级增加,模式预报逐渐变为低估;在空气污染等级较高的重度污染或严重污染时,低估达1~2个污染等级,偏差最为明显,需进

一步调整改进。

图1(a)(b)(c)为江苏省1、4、7月AQI的模式预报与实况偏差。

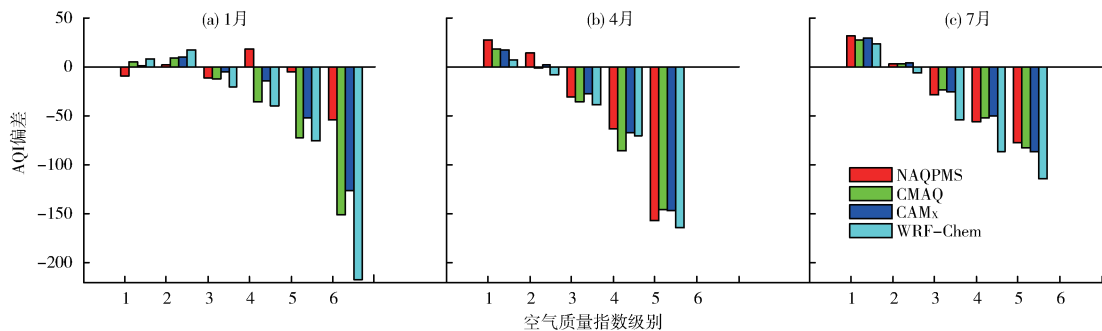


图1 江苏省1、4、7月AQI的模式预报与实况偏差

### 3.3 13个设区市1—8月AQI预报效果评估

江苏省13个设区市1—8月AQI模式预报偏差分布见图2(a)(b)(c)(d)。

4个模式对于13个设区市1—8月AQI预报偏差分布有一致性,CAMx预报效果相对较好,

WRF-Chem有一定误差。因模式调整,2月数据误差较大,不作参考。4—5月整体低估,淮安市最为明显,低估接近1个污染等级。1、3、6—8月对于宿迁、镇江、盐城、淮安、连云港有低估现象,除镇江外,均为苏北城市,其他城市均为高估。

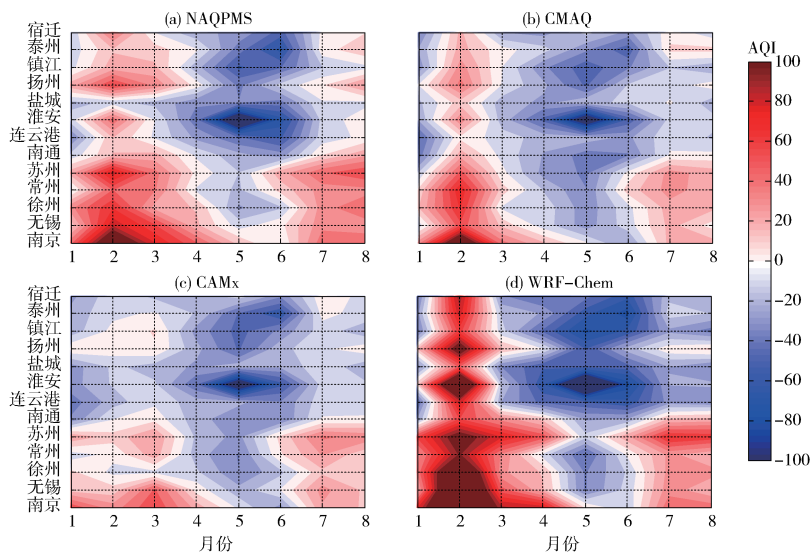


图2 江苏省13个设区市1—8月AQI模式预报偏差分布

### 3.4 主要污染物预报效果评估

模式采取算术平均、权重因子、偏差订正、多元回归和神经网络等多种方法计算得出各项污染物浓度集合预报值。对于6项污染物分指数IAQI的模拟,4个模式的预报效果具有一致性,其中CMAQ和CAMx尤为相似,见图3(a)(b)(c)(d)(e)(f)。模式对于不同污染物的模拟结果,吻合

程度仍有一定差异。

4个模式对于首要污染物占比较高的PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>的模拟性能基本在理想范围内。各模式在PM<sub>2.5</sub>的模拟中优劣性并不突出,峰值的捕捉仍需要进一步优化。从误差大小和相关性看,NAQPMS对PM<sub>10</sub>的模拟效果最好,PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>在冬、春季的预报准确率高于夏季,可能因为模式对

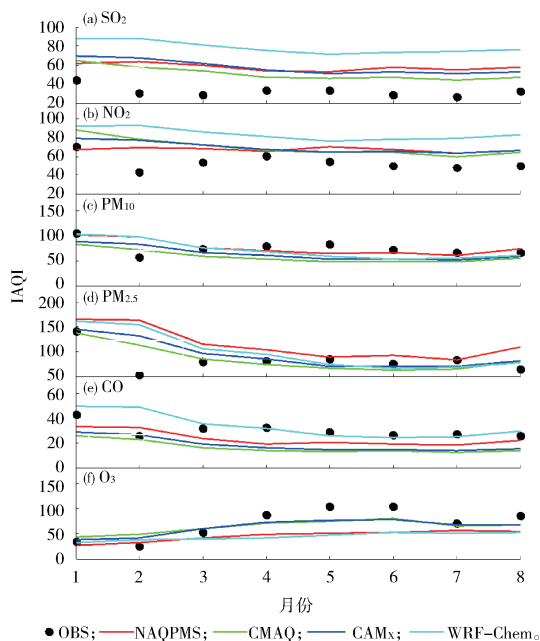


图3 江苏省平均6类IAQI的实况与模式预报月变化

地面局地湍流模拟能力较弱,对夏季小范围的短时间强对流天气预报相对困难;O<sub>3</sub>的模拟性能以CMAQ和CAMx最好,各模式在5、6月份的峰值期均有明显低估;虽然SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO在首要污染物中比重较小,但均作为化学成分参与一系列复杂的相互作用关系,如在NO<sub>x</sub>较高的情况下,CO氧化产生的自由基会促进O<sub>3</sub>的生成,它们均与二次气溶胶的形成有关,可能影响细粒子浓度,WRF-Chem对CO的模拟效果最好,各模式对SO<sub>2</sub>和NO<sub>2</sub>的模拟均明显高估,还需继续改进和完善。

#### 4 结论

模式总体标准化分数偏差(MFB)在-0.066 5~0.201 1之间,标准化分数误差(MFE)最大值为0.381 8,均在理想范围内,说明模式能够整体把握空气质量的变化趋势,并且较好地模拟出主要污染物的日变化趋势。

· 简讯 ·

### 江苏省发布2项地方环保标准

为促进江苏省化学工业和家具制造业生产工艺和污染治理技术的进步,加强挥发性有机物的排放管理,江苏省环保厅组织制定了《化学工业挥发性有机物排放标准》和《表面涂装(家具制造业)挥发性有机物排放标准》。以上2项标准已由江苏省人民政府批准,江苏省环境保护厅和江苏省质量技术监督局发布,于2017年2月1日开始实施。标准实施后,预计江苏省家具制造业挥发性有机物年减排量可达3.64万t,对控制臭氧与灰霾污染具有较大意义。

1、4、7三月的结果相比,4月相关性最差,可能原因是春季受北方沙尘影响较多。空气质量较好时,4种模式均出现不同程度高估,随着污染等级增加,逐渐转为低估;较高的空气污染等级(5级重度污染或6级严重污染)时,低估达1~2个污染等级。

4个模式对于13个设区市预报偏差的分布有一致性,CAMx预报效果相对较好,WRF-Chem需进一步优化。NAQPMS对于PM<sub>10</sub>的模拟性能较好,PM<sub>2.5</sub>各模式较相近,CMAQ和CAMx对O<sub>3</sub>模拟较好,WRF-Chem对CO模拟较好,各模式对SO<sub>2</sub>和NO<sub>2</sub>的模拟都需进一步优化。

#### [参考文献]

- [1] 王晓彦,刘冰,李健军,等. 区域环境空气质量预报的一般方法和基本原则[J]. 中国环境监测, 2012(1):139-143.
- [2] 王茜,伏晴艳,陆涛,等. 数值模式在上海市空气质量预报中的应用研究[C]//中国环境科学学会论文集. 北京: 中国环境科学学会, 2009:1006-1011.
- [3] 江峰琴,杨雪,王晨波,等. 江苏省区域空气质量多模式预报预警系统研究与设计[J]. 环境监控与预警, 2015,7(2):8-11.
- [4] 朱莉莉,晏平仲,王自发,等. 江苏省省级区域空气质量数值预报模式效果评估[J]. 中国环境监测, 2015(2):22-28.
- [5] 王自发,吴其重, ALEX G,等. 北京空气质量多模式集成预报系统的建立及初步应用[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2009,1(1):19-26.
- [6] 解淑艳,刘冰,李健军. 全国环境空气质量数值预报预警系统建立探析[J]. 环境监控与预警, 2013,5(4):5-7,25.
- [7] 马欣,陈东升,高庆先,等. 应用WRF-chem模式模拟京津冀地区气溶胶污染对夏季气象条件的影响[J]. 资源科学, 2012(8):28-35.
- [8] BOYLAN J W, RUSSELL A G. PM and light extinction model performance metrics, goals, and criteria for three-dimensional air quality models[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(26):4946-4959.
- [9] PAY M T, PIOT M. A full year evaluation of the CALIOPE-EU air quality modeling system over Europe for 2004[J]. Atmospheric Research, 2010, 44(27):3322-3342.
- [10] CHEMEL C, SOKHI R S. Evaluation of a CMAQ simulation at high resolution over the UK for the calendar year 2003[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(24):2927-2939.