

几种空气质量预报方法对冬季预报效果的评估与对比

王厚俊,程滢,吴莹

(江苏省泰州环境监测中心,江苏 泰州 225300)

摘要:基于2016年冬季泰州市环境空气质量自动监测数据,定量评估NAQPMS模式、CMAQ模式和人工订正对污染物质量浓度和空气质量等级的预报效果。结果表明,模式预报和人工订正对各污染物预报的相关系数由高到低排列为 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、 SO_2 、 O_3-8h ,颗粒物预报效果最好。除 O_3-8h 外,NAQPMS对各项污染物预报的相关系数 R 为0.47~0.82,CMAQ为0.75~0.81,人工订正为0.43~0.78,3种预报方式均能准确反映污染物浓度的变化趋势;模式预报、人工订正对 O_3-8h 预报相关系数均 <0.4 。在发生颗粒物污染过程时,人工订正结果相对更为准确。NAQPMS、CMAQ和人工订正对空气质量等级24h预报准确率分别为38.9%、41.1%和35.6%,NAQPMS对优类别的预判准确率较高,CMAQ、人工订正对良类别的预判准确率较高。对比不同时效的预报效果,24h预报时效的准确率高于48和72h。提出,城市空气质量预报可采用集合预报方式,综合1~2种运行较稳定的主流预报模式预报结果,预报员对模式模拟结果进行人工修订,提高预报准确率。

关键词:空气质量预报;效果评估;模式预报;人工订正;准确率;泰州;冬季

中图分类号:X823

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2018)05-0036-05

The Evaluation and Comparison of Several Methods for Air Quality Forecasting in Winter

WANG Hou-jun, CHEN Ying, WU Ying

(Jiangsu Taizhou Environmental Monitoring Center, Taizhou, Jiangsu 225300, China)

Abstract: The forecasting effects of the pollutants concentration and the air quality grade by NAQPMS model, CMAQ model and artificial correction were quantitative evaluated, respectively, based on the automatic monitoring data of environmental air quality in the winter of 2016 in Taizhou. The results showed that the correlation coefficient of forecasting for each pollutant order from high to low were: $PM_{2.5}$ and PM_{10} , SO_2 , NO_2 , O_3-8h , whether if by the model prediction or by artificial correction. The forecast effect of particulate matter was the best. Except for O_3-8h , the correlation coefficient between the predicted concentrations and the measured concentrations of pollutants was in 0.47~0.82 by NAQPMS, while the correlation coefficient was in 0.75~0.81 by CMAQ and the correlation coefficient was in 0.43~0.78 by artificial correction. The variation trend of pollutants concentration could be well reflected through all of the three prediction methods. The correlation coefficient for O_3-8h were less than 0.4 by model prediction and by artificial correction. When the particulate pollutions happened, the artificial correction results were more accurate. The 24 h prediction accuracy of NAQPMS, CMAQ and artificial correction for air quality grade was 38.9%, 41.1% and 35.6%, respectively. NAQPMS performs better on excellent level, CMAQ and artificial correction perform better on good level. Compared with the forecast effect of different aging time, the accuracy of the forecast of 24 h was higher than 48 and 72 h. The accuracy of city air quality forecast can be improved by ensemble forecast method, as comprehensive 1~2 kinds of mainstream model prediction results with steady running, and forecasters make artificial revision to the model simulation results.

Key words: Air quality forecast; Evaluation; Model forecast; Artificial correction; Accuracy; Taizhou; Winter

在推进生态文明建设的大背景下,环保日渐受到公众关注,2013年1月发生的全国大范围雾霾污染事件^[1]更是引发了社会大讨论,环境治理面临巨大压力与严峻挑战。频繁发生的大气污染事

收稿日期:2018-03-20;修订日期:2018-04-08

基金项目:泰州市科技支撑计划(社会发展)基金资助项目(TS201501;TS201709);泰州市软科学研究基金资助项目(RM201418)

作者简介:王厚俊(1965—),男,工程师,本科,从事环境监测工作。

件推动了环境空气质量预报工作的开展,2013年国务院印发的《大气污染防治行动计划》(国发[2013]37号)要求加强研究灰霾成因,加紧建设空气质量预报预警体系,提升空气质量监测预警能力^[2]。开展环境空气质量预报工作是保障及时妥善应对重污染天气的重要技术手段,对区域大气污染联合减排也具有指导意义。

泰州地处长三角北翼,近几年随着减排措施的实施,城市空气质量尽管得到一定程度改善,但仍不容乐观。有研究指出^[3-4],内因外因共同作用是导致泰州冬季出现颗粒物爆发式增长现象的重要因素。城市产业结构偏重是内因,电力、化工等重污染行业仍占有相当比重,能源消费一直以煤为主,扬尘、机动车污染等“城市病”存在加重趋势,经济增速放缓致使经济转型步伐放慢,大气污染排放总量高位削减,超过环境容量;除此之外,秸秆焚烧、烟花爆竹燃放等也对城市空气质量形成负面效应^[5-6]。

不利的气象条件和污染气团扩散迁移是外因,泰州冬季盛行东北气流,极易受北方污染气团影响,加之不利气象条件而出现重污染天气^[7-8]。开展城市空气质量预报是抑制严峻大气污染形势的有效手段。

目前应用范围较广的环境空气质量预报方法有统计预报法、数值预报法和集合预报法。统计预报法适用于短期预报^[9],对重污染天气的预报准确率较低;数值预报在技术和硬件设施上投入较大,对区域性长期预报有一定优势;集合预报同时运行多个空气质量模式,准确率较高。数值模式预报也是现今很多城市开展预报工作选择的主要预报手段^[10-11],国际主流预报模式为美国环保署研发的第三代空气质量预报和评估系统(Models-3)空气质量模式(Congestion Mitigation and Air Quality, CMAQ),国内应用较多的模式为中科院大气物理研究所研发的嵌套网格空气质量模式系统(Nested Air Quality Prediction Model System, NAQPMS)空气质量模式^[12]。

现基于2016年冬季泰州市环境空气质量自动监测数据,分析NAQPMS模式、CMAQ模式和人工订正3种预报方式得出的预报数据,定量评估3种预报方式的预报效果,查找目前预报工作中存在的问题并提出建议,以期在城市空气质量预报工作的发展提供经验借鉴。

1 研究方法

1.1 研究时段

研究时段为2016年12月1日—2017年2月28日。

1.2 监测数据

PM_{2.5}、PM₁₀、O₃、NO₂和SO₂监测数据,来源于泰州4个市环境空气质量自动监测国控站点数据。

1.3 空气质量等级评价

依据《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633—2012)^[13]。

1.4 预报方法

NAQPMS模式、CMAQ模式和人工订正3种。

(1) 模式预报:NAQPMS和CMAQ 2套模式预报结果时间分辨率均为1 h,提供未来5 d的空气质量预报。

(2) 人工订正:预报员研判天气形势图,分析未来72 h大气扩散条件,结合空气质量实况,与气象部门会商,根据会商意见对模式预报结果进行人工订正。

1.5 预报评估方法

采用相关系数(R)、标准化平均偏差(NMB)和标准化平均误差(NME)作为评价依据来评估预报结果。 R 用于衡量预报值与监测值变化趋势的相关程度,NMB和NME用于衡量预报值与监测值差异大小。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$$

$$NMB = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{\sum_{i=1}^N O_i}$$

$$NME = \frac{\sum_{i=1}^N |P_i - O_i|}{\sum_{i=1}^N O_i} \times 100\%$$

式中: P_i ——第*i*天的预报值,μg/m³;

\bar{P} ——评估时段内所有预报值的平均值,μg/m³;

O_i ——第*i*天的实际监测值,μg/m³;

\bar{O} ——所有监测值的平均值,μg/m³;

N ——评价时段的总天数。

根据文献 [14], SO_2 、 NO_2 、 $\text{O}_3 - 8\text{h}$ 和 $\text{PM}_{2.5}$ 4 种不同污染物预报准确性的评价标准如下:

SO_2 : $-40\% < \text{NMB} < 50\%$, $\text{NME} < 80\%$, $R > 0.3$; NO_2 : $-40\% < \text{NMB} < 50\%$, $\text{NME} < 80\%$, $R > 0.3$; $\text{O}_3 - 8\text{h}$: $-15\% < \text{NMB} < 15\%$, $\text{NME} < 35\%$, $R > 0.4$; $\text{PM}_{2.5}$: $-50\% < \text{NMB} < 80\%$, $\text{NME} < 150\%$, $R > 0.3$ 。

参照文献 [15 - 16], 城市预报 AQI 设定变化幅度, 若实际监测 AQI 落入范围内, 则认定 AQI 预报等级准确。预报 AQI 为优良时, 变化幅度设为 10; 预报 AQI 为轻度污染和中度污染时, 变化幅度设为 15; 预报 AQI 为重度污染和严重污染时, 变化幅度设为 25。

2 预报结果评估

2.1 污染物质量浓度

污染物质量浓度模式 24 h 时效预报、人工订正与监测值对比见图 1(a)(b)(c)(d)(e)。由图 1 可见, 3 种预报方式对 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 的预报准

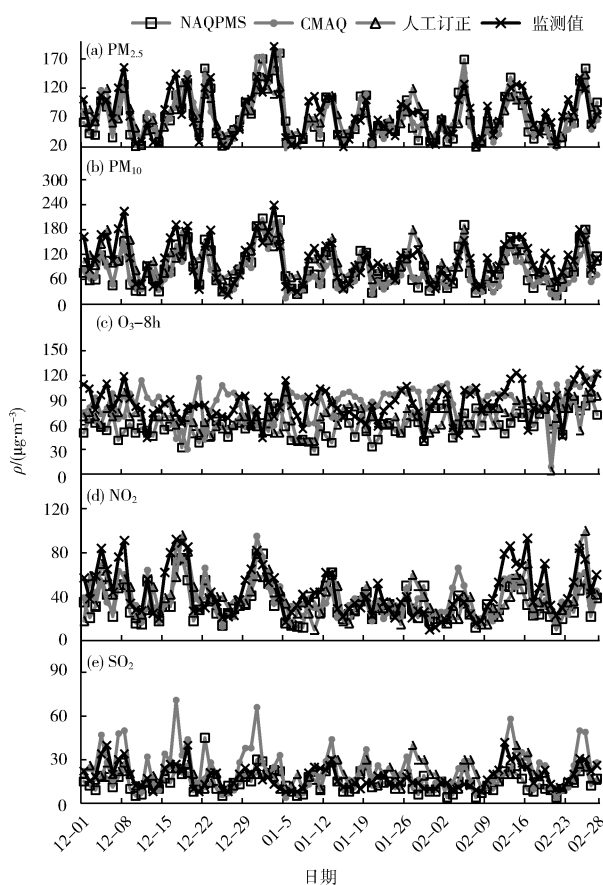


图 1 污染物质量浓度模式 24 h 时效预报、人工订正与监测值对比

确率较高, 预报值的变化趋势与实际监测值基本一致; 而 $\text{O}_3 - 8\text{h}$ 和 SO_2 预报准确率较低, 预报结果与实际监测值差异较大, 对 $\text{O}_3 - 8\text{h}$ 的预报尤其显著。NAQPMS 模式对 SO_2 的预报结果偏低, CMAQ 模式对 $\text{O}_3 - 8\text{h}$ 、 SO_2 的预报值偏高。对于 12 月 15—19 日的颗粒物污染过程, 模式预报和人工订正均能大致预测出颗粒物变化趋势, 但预测结果偏低; 而 1 月 9—13 日的污染过程, 3 种预报方式均未能准确预报, 但人工订正结果与实际监测差异最小。整体看来, 在发生颗粒物污染过程时, 人工订正结果相对更加准确。

按照各项污染物指标, 分别对模式预报和人工订正结果进行效果评估, 见表 1。由表 1 可见, 3 种预报方式对各污染物预报的相关系数由高到低排列均为 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、 SO_2 、 $\text{O}_3 - 8\text{h}$, 颗粒物的预报效果较好。

除 $\text{O}_3 - 8\text{h}$ 外, NAQPMS 对各项污染物预报的 R 为 0.47 ~ 0.82, CMAQ 为 0.75 ~ 0.81, 人工订正为 0.43 ~ 0.78, 3 种预报方式均能准确反映污染物浓度的变化趋势。

对于 $\text{O}_3 - 8\text{h}$, 模式预报、人工订正的 R 均 < 0.4 , 质量浓度趋势预报效果不理想。NAQPMS 模式对 $\text{O}_3 - 8\text{h}$ 预报的 NMB 为 -29% , 人工订正对 $\text{O}_3 - 8\text{h}$ 预报的 NMB 为 -20% , 均超出《环境空气质量模型遴选工作指南(试行)》中 NMB 范围标准, 表明 NAQPMS 对 SO_2 、 $\text{O}_3 - 8\text{h}$ 的预报明显偏低, 人工订正对 $\text{O}_3 - 8\text{h}$ 的预报结果也偏低。除 $\text{O}_3 - 8\text{h}$ 外的其他指标, 人工订正后的 NMB 均 $<$ NAQPMS 模式和 CMAQ 模式; 人工订正的 NME 基本介于 2 种模式之间。

结合 R 、NMB 和 NME 3 项评估指标得出, NAQPMS 对 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 变化趋势预报优于其他预报方式, CMAQ 对 NO_2 、 SO_2 变化趋势预报稍好, 而对于污染物浓度、人工订正结果更接近监测值。

2.2 AQI 预报

按照不同预报时效, 分别统计 2016 年冬季 NAQPMS 模式、CMAQ 模式和人工订正的日 AQI 值, 评估 3 种预报方式对 AQI 的预报效果, 见图 2。

由图 2 可见, 评价时段覆盖 2016 年冬季, 空气质量达到轻度污染频率较高, 部分时段出现重度污染。3 种预报方式对 AQI 变化趋势的预测与实况整体较为接近。

表 1 预报效果评估

预报指标	NAQPMS			CMAQ			人工订正		
	R	NMB/%	NME/%	R	NMB/%	NME/%	R	NMB/%	NME/%
PM _{2.5}	0.82	-8	24	0.81	-7	26	0.78	-4	26
PM ₁₀	0.77	-19	28	0.78	-29	34	0.75	0	25
O ₃ -8h	0.30	-29	31	0.32	3	22	0.35	-20	25
NO ₂	0.74	-25	31	0.75	-14	28	0.62	-12	33
SO ₂	0.47	-18	36	0.75	30	41	0.43	6	33

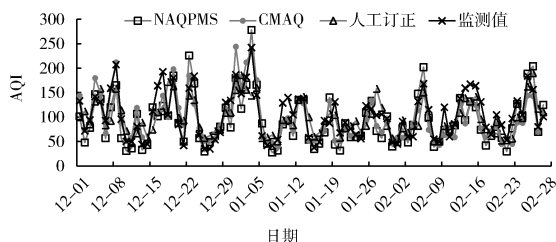


图 2 24 h 预报时效 AQI 日变化

12 月 7—8 日的重污染过程, CMAQ 模式 24 h 时效 AQI 预报值基本准确, NAQPMS 和人工订正结果偏低。12 月 15—19 日的一次污染过程, 3 种预报方式虽然基本都能预测出污染物浓度的变化趋势, 但是存在预报偏低现象, 12 月 16—17 日空气质量达到中度污染, 而 NAQPMS、CMAQ 和人工均预测为轻度污染, 且 AQI 预报值与监测值相差较大。2016 年 12 月 29 日—2017 年 1 月 5 日和

2017 年 2 月 22—28 日的污染过程基本能准确预测, 但 AQI 预报值与监测值还存在差距, 需进一步提高预报精确性和准确率。

按照不同预报时效统计 NAQPMS、CMAQ 和人工订正的空气质量等级准确率, 见表 2。NAQPMS、CMAQ 和人工订正 24 h 预报准确率分别为 38.9%、41.1% 和 35.6%。空气质量类别预报评估结果表明, NAQPMS 对空气质量为优类别的预报效果较好, 准确率高于对其他类别的预报准确率; CMAQ 对优、良、重度污染类别的预报效果较好; 人工订正对良类别的预报准确率高高于对其他类别的预报准确率。

对比 3 种预报方式的 24 h 预报效果, NAQPMS 对优、轻度污染、中度污染类别的预报准确率高于 CMAQ 和人工订正, CMAQ、人工订正对良类别的预报准确率高于 NAQPMS, 对重度污染类别的预报 CMAQ 效果最好。

表 2 不同预报时效空气质量等级预报准确天数统计

预报时效	预报方式	空气质量类别/d						总计/d	准确率/%
		优	良	轻度	中度	重度	严重		
24 h	NAQPMS	9	11	11	4	0	0	35	38.9
	CMAQ	8	15	9	3	2	0	37	41.1
	人工订正	4	15	10	3	0	0	32	35.6
48 h	NAQPMS	8	9	8	4	1	0	30	33.3
	CMAQ	6	10	7	3	0	0	26	28.9
	人工订正	4	12	9	2	0	0	27	30.0
72 h	NAQPMS	10	11	8	2	0	0	31	34.4
	CMAQ	6	13	9	4	0	0	32	35.6
	人工订正	5	13	7	3	0	0	28	31.1
实测		14	32	28	14	2	0	90	

NAQPMS、CMAQ 和人工订正均为 24 h 预报准确率最高, 72 h 预报准确率比 48 h 预报稍高。除优和重度污染类别外, NAQPMS 模式 24 h 预报准确率高于其他预报时效; NAQPMS 对优、良 2 个类别的 72 h 预报准确率高于 48 h 预报时效, 而 48 h 预报对中度污染、重度污染类别模拟更准确。除中

度污染类别外, CMAQ 模式 24 h 预报准确率均高于其他预报时效, 而 72 h 预报对中度污染类别的预报准确率稍高一些。

人工订正对良、轻度污染、中度污染 3 个类别的 24 h 预报准确率高于其他预报时效, 72 h 预报对优类别的判断相对准确。总体看来, 24 h 预报

时效的预报结果更有指导意义。

模式预报应提高对气象场的模拟,综合考虑高湿度、小风等天气要素改善污染气团传输的作用^[17]。1 月 18 日泰州受偏北气流影响,NAQPMS 和 CMAQ 预报日 AQI 值为 133 ~ 140,预报结果偏高,当日 AQI 监测值为 88,雨水清除作用减轻了污染程度。

此外,一些突发事件引发的空气质量污染,如秸秆焚烧、烟花爆竹燃放、沙尘天气等,由于其发生的不确定性也会影响预报的准确率,亟须提高对此类事件影响空气质量的预报能力。

3 结论

(1) NAQPMS、CMAQ 和人工订正对 PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂的预报效果较好;3 种预报方式对 SO₂ 预报值变化趋势与监测值一致,预报值偏高;O₃ - 8h 预报效果较差。

(2) NAQPMS 对 PM_{2.5}、PM₁₀变化趋势预报优于其他预报方式,CMAQ 对 NO₂、SO₂变化趋势预报效果稍好,人工订正对污染物浓度的预报结果更接近监测值。

(3) NAQPMS、CMAQ 和人工订正空气质量等级 24 h 预报准确率分别为 38.9%、41.1% 和 35.6%,3 种预报方式均表现为 24 h 预报准确率最高,72 h 预报准确率比 48 h 预报稍高。NAQPMS 对优、轻度污染、中度污染类别的预判准确率较高,CMAQ、人工订正对良类别的预判准确率高于 NAQPMS,对重度污染类别的预判 CMAQ 效果最好。

4 建议

(1) 更新数值模式所需的大气污染物排放清单。近几年环保减排力度较大,但是污染源排放清单编制工作相对落后,有些城市在进行数值模式预报时仍使用 3 年前(甚至更久)的污染源排放清单,严重影响了模式预报结果。

(2) 加强人才培养。中小城市预报工作开展时间较短,多数预报员均为兼职,缺乏气象知识,预报技术有待提高。省级预报部门可在全省范围内组织对预报员进行专项培训,提供其交流学习平台,同时引进气象专家,跟班学习,提高预报水平。

(3) 模式预报的准确率建立在气象条件预报

准确率的基础之上,当气象预报与实际情况出现偏差时,可根据实际气象条件对预报结果人工修正。

(4) 定期开展预报效果回顾,评估模式预报效果,及时发现并改进预报误差;同时对预报队伍开展评价考核制度,采用订正效率等指标量化考核预报员的预报准确率,辅以激励机制,提升预报能力。

[参考文献]

- [1] 孟晓艳,余予,张志富,等. 2013 年 1 月京津冀地区强雾霾频发成因初探[J]. 环境科学与技术,2014,37(1):190-194.
- [2] 国务院. 国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知[EB/OL]. (2013-09-10)[2018-03-20]. http://www.mep.gov.cn/gzfw_13107/zcfg/hjjzc/gjfbdjzcx/hjczcc/201606/t20160623_355606.shtml.
- [3] 吴莹,陈诚,王磊,等. 泰州市冬季空气质量变化特征[J]. 环境监测与预警,2015,7(6):47-50.
- [4] 赵利. 泰州特殊时段大气颗粒物浓度变化特征分析[J]. 污染防治技术,2017,30(4):56-58,69.
- [5] 朱彬,苏继锋,韩志伟,等. 秸秆焚烧导致南京及周边地区一次严重空气污染过程的分析[J]. 中国环境科学,2010,30(5):585-592.
- [6] 潘本锋,李莉娜. 春节期间燃放烟花爆竹对我国城市空气质量影响分析[J]. 环境工程,2016,34(1):74-77,30.
- [7] 钱俊龙,刘端阳,曹璐,等. 冷空气过程对江苏持续性霾的影响研究[J]. 环境科学学报,2018(1):1-14.
- [8] 郑炜,田鹏飞,周彬,等. 泰州地区一次连续重度霾天气特征分析[J]. 科技创新导报,2014,11(29):113-116.
- [9] 王淑莹,许荣,尹翠芳,等. 基于 OPAQ 的城市空气质量预报系统研究[J]. 中国环境监测,2016,32(3):13-20.
- [10] 王茜,伏晴艳,王自发,等. 集合数值预报系统在上海市空气质量预测预报中的应用研究[J]. 环境监测与预警,2010,2(4):1-6,11.
- [11] 徐文帅,李云婷,吴其重,等. AQI 标准下北京市空气质量数值预报系统及其在重大活动保障中的应用[J]. 中国环境监测,2016,32(2):11-19.
- [12] 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,2015,31(2):17-23.
- [13] 环境保护部. 环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行):HJ 633—2012[S]. 北京:中国环境科学出版社,2012.
- [14] 中国环境监测总站. 环境空气质量预报预警方法技术指南[M]. 北京:中国环境科学出版社,2014.
- [15] 王晓彦,陈佳,朱莉莉,等. 城市环境空气质量指数范围预报方法初探[J]. 中国环境监测,2015,31(6):139-142.
- [16] 马琳,魏巍,张稳定,等. 2016 年秋季新乡市空气质量模式预报效果评估[J]. 中国环境监测,2017,33(5):89-94.
- [17] 沈毅. 南京大气污染特征及空气质量预报研究[D]. 南京:南京大学,2011.