环境空气质量评价方法改进研究

潘碧灵^{1,2}, 周国治^{3*}, 尤翔宇⁴, 李蔚⁵, 潘海婷³

(1. 中南大学商学院, 湖南长沙 410083; 2. 湖南省生态环境厅, 湖南长沙 410019; 3. 湖南省生态环境监测中心, 湖南长沙 410019; 4. 湖南省环境保护科学研究院, 湖南长沙 410014; 5. 湖南省气象台, 湖南长沙 410118)

【摘要】 通过系统调研对比国内外环境空气质量评价标准, 本文对2013—2018年全国主要城市的空气PM_{2.5}浓度及气象数据进行分析, 得到如下结论: 采用环境空气中污染物浓度三年滑动均值作为空气质量评价标准是国际通行做法; 2013—2018年我国大部分城市PM_{2.5}浓度受气象等相关因素影响, 年均值波动较大, 采用PM_{2.5}浓度三年滑动均值变化曲线更为平滑, 且采用前两年及当年的年均值进行计算更切合实际需求; 采用EMI指数法量化分析气象因素对环境空气质量的影响, 表明大气污染气象条件的年际变化具有波动性且各重点区域变化趋势也有所不同。建议引进三年滑动均值作为PM_{2.5}长期变化的考核依据之一, 使空气质量评价考核方式更为公平合理。

【关键词】 空气质量; 评价; 滑动平均; EMI指数

【中图分类号】 X820.2; X823

【文献标识码】 A

【文章编号】 1674-6252 (2020) 04-0013-07

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.04.013

引言

环境空气中污染物的浓度变化与气象条件密切相关, 不同的气象条件, 污染物水平输送和垂直扩散差异较大^[1], 而受全球范围大气环流影响, 相邻两年气象条件经常存在较大差异^[2]。2019年1—11月, 全国337个地级及以上城市平均优良天数比例为82.5%, 同比下降1.9个百分点。空气质量下降的原因是复杂多样的, 既有气象因素的影响, 也有部分地区减排力度减弱的影响; 既有常规污染源管控不到位的影响, 也有生活源、移动源等管控难度大的压力^[3]。而且大气污染防治工作不是短期就能取得成效的, 能源结构优化、产业结构调整、生产工艺改造等往往需要较长时间, 工作效果难以通过年均值体现。为此, 欧美等发达国家大都引入了三年滑动均值作为评价指标评价环境空气改善情况^[4-9]。

三年滑动均值是指连续三个自然年环境空气污染物年均浓度的算术平均值, 采用三年滑动均值评价空气质量最早由美国提出, 并被美国、加拿大、欧盟等应用于空气质量达标评价^[10]。在达标统计方面, 美国大气环境质量评价方法要求PM_{2.5}年均浓度采用年均值的三年平均, 日均浓度采用年第98百分位数的三年平均, 以表征空气质量长期、稳定的达标状态^[11,12]。

《北京市2019年国民经济和社会发展规划》^[13]报

告中明确提出“细颗粒物年均浓度和三年滑动平均浓度要力争持续下降”, 北京市在全国范围内率先使用“PM_{2.5}三年滑动均值”作为年度考核目标, 在年度考核时加入“三年滑动均值”的考核目标, 弱化气象因素年际间的波动影响, 突出体现人为努力对空气质量改善的贡献, 更能客观评价大气污染防治工作成果, 更好地反映污染治理带来的环境效益。

1 国内外环境空气质量评价标准

1.1 国内外环境空气质量指数计算方法与分级体系

环境空气质量指数 (Air Quality Index, AQI) 是将空气质量监测结果转换成无量纲的指数, 根据指数大小对空气质量状况进行等级划分。我国和美国、英国、欧盟等都建立了空气质量指数计算方法与分级体系, 但名称和计算方法并不完全一致^[14]。

国际上常用的空气质量指数主要分为两种类型, 一种是我国和美国、英国等使用的空气质量指数, 另一种是加拿大等使用的空气质量健康指数。另外, 德国、日本等直接发布污染物的浓度值^[15]。我国于2012年3月发布新空气质量评价标准, 监测的污染物包括二氧化硫 (SO₂)、二氧化氮 (NO₂)、可吸入颗粒物 (PM₁₀)、细颗粒物 (PM_{2.5})、一氧化碳 (CO) 和臭氧 (O₃), AQI将这6项污染物用统一的评价标准呈现出来。

作者简介: 潘碧灵 (1964—) 男, 博士研究生, 主要从事环境管理、自然资源管理、旅游管理、工商管理和管理工程研究, E-mail: panbiling63@163.com。

*** 责任作者:** 周国治 (1982—) 男, 工程师, 主要从事大气环境监测与研究, E-mail: 277599663@qq.com。

从变化趋势来看,空气质量指数的指标项目呈逐渐增多的趋势,但各国的指标数量、指标项目及取值时间并不完全相同。美国等越来越注重气态污染物短期急性效应的评价,如美国近几年增加或修订了SO₂-1h和NO₂-1h指标,用于保护人群免受短期高浓度SO₂和NO₂暴露的风险;日本将光化学氧化剂、非甲烷总烃纳入指标,有利于及时进行光化学污染预警^[16]。

1.2 国内外环境空气颗粒物浓度限值及评价方法

世界卫生组织于2005年发布了《关于颗粒物、臭氧、二氧化氮和二氧化硫的空气质量准则》,确定了PM_{2.5}的3个过渡时期目标值,年均值分别为35 μg/m³、25 μg/m³和15 μg/m³,同时规定空气质量准则值对应的PM_{2.5}年均值为10 μg/m³^[17]。

我国以24h浓度限值计算颗粒物分指数,采用过渡时期1阶段的目标。我国与美国AQI分级浓度限值相比存在较大差距,尤其是在AQI < 150范围内的PM_{2.5}-24h均值相差超过一倍,如AQI为50时,我国的PM_{2.5}日均浓度为35 μg/m³,而美国仅为12 μg/m³。

2008年欧盟发布的《关于欧洲空气质量及清洁空气法令》中规定了PM_{2.5}的目标浓度限值、暴露浓度限值和削减目标值,提出了PM_{2.5}三年滑动平均的评价标准,平均暴露指标应基于在整个成员国领土内区域和集聚区的城市背景位置的测量结果,所有采样点连续三个年份的平均浓度^[6]。

1.3 国内外环境空气质量达标统计要求

美国在《清洁空气法案》中规定,各州应依据环境空气质量标准划分达标区、未达标区等,并制定达标区的空气质量标准,维持州实施计划和未达标区空气质量改善的州实施计划,要求各州按照计划在规定的时间内达标或达标区的环境空气质量不能恶化。而且在进行达标评价时,区域内某项污染物的达标是指该区域污染最高的点须达标,而在进行变化趋势分析时则会使用监测点位的平均浓度^[4]。

欧盟按照空气质量标准划分为达标区、警报区以及介于达标与警报之间的地区。对于达标区,不要求制定详细的计划;而对于警报限值以上的地区,要求成员国制定详细的计划,采取各种措施在规定时间内达标。空气质量评价同样采用单因子评价法,以污染最严重的点位代表该区域的空气质量,同时考虑污染物是否在允许超标的小时数或天数内^[6]。

不同国家和地区对环境空气质量标准的达标统计要求即时间标准有明显差异,我国未设置任何达标的

统计要求,而美国、欧盟等在其环境空气质量标准中几乎对每项污染物都规定了达标的统计要求^[15,16]。

2 不同空气质量评价方法对比

2.1 三年滑动均值分析

2.1.1 研究对象、因子和方法

综合考虑监测数据的延续性、监测城市的代表性,本研究选取自2013年开始监测空气质量6项参数的74个城市作为研究对象。

PM_{2.5}是制约我国当前环境空气质量达标最重要的因素,以PM_{2.5}的滑动均值变化情况进行评估。

滑动均值的计算一种是采用前两年及当年的年均值进行算术平均,另一种是采用当年及前后一年的年均值进行算术平均。

2.1.2 前两年及当年滑动均值分析

在PM_{2.5}改善明显的情况下,该方法三年滑动均值会高于当年的年均值,在改善幅度减小的情况下,三年滑动均值会逐渐接近年均值,可以直观辨识空气质量改善幅度。2015—2018年全国74个城市三年滑动均值分别高于当年年均值4~9 μg/m³。

由于大部分城市近年来污染物浓度连续下降,所以三年滑动均值也呈下降趋势,且三年滑动均值相对于年均值下降幅度更平滑。2016—2018年分别有7个、15个、5个城市PM_{2.5}年均值出现反弹,其中西安市2016年、2017年连续两年上升。经过三年滑动均值计算后,年际变化出现反弹的城市大幅减少,2016—2018年出现反弹城市的每年仅有1个,详见表1。

2.1.3 当年及前后一年滑动均值分析

当年及前后一年计算的三年滑动均值与当年的年均值数据比较接近。2014—2017年全国74个城市三年滑动均值与当年年均值差异在±1 μg/m³内。三年滑动均值改善幅度与年均值改善幅度也基本一致。

与前两年及当年滑动相比,三年滑动均值下降趋势更均匀平滑。2015—2017年分别有5个、7个、15个城市PM_{2.5}年均值有所反弹,其中拉萨、乌鲁木齐2个城市2015年、2016年连续2年上升,西安市2016年、2017年连续2年上升。而经过三年滑动均值后,2015—2017年出现反弹的每年仅有1个城市,详见表2。

2.1.4 年均值与滑动均值差异分析

大部分城市的三年滑动均值与年均值差异较小,在变化趋势上出现明显差异的主要有西安、太原、石家庄、拉萨、乌鲁木齐。其中,拉萨、乌鲁木齐PM_{2.5}

表1 部分城市PM_{2.5}当年年均值与前两年及当年滑动均值对比情况

城市名称	年均值 / (μg/m ³)						三年滑动均值 / (μg/m ³)				年均值下降率			三年滑动均值下降率		
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
邯郸	139	115	91	82	86	69	115	96	86	79	-9.89%	4.88%	-19.77%	-16.52%	-10.42%	-8.14%
石家庄	154	124	89	99	86	72	122	104	91	86	11.24%	-13.13%	-16.28%	-14.75%	-12.50%	-5.49%
太原	81	72	62	66	66	59	72	67	65	64	6.45%	0	-10.61%	-6.94%	-2.99%	-1.54%
常州	72	67	59	53	48	53	66	60	53	51	-10.17%	-9.43%	10.42%	-9.09%	-11.67%	-3.77%
南京	78	74	57	48	40	43	70	60	48	44	-15.79%	-16.67%	7.50%	-14.29%	-20.00%	-8.33%
南通	72	62	58	46	39	41	64	55	48	42	-20.69%	-15.22%	5.13%	-14.06%	-12.73%	-12.50%
徐州	77	67	65	60	68	62	70	64	64	63	-7.69%	13.33%	-8.82%	-8.57%	0	-1.56%
扬州	70	65	55	51	54	49	63	57	53	51	-7.27%	5.88%	-9.26%	-9.52%	-7.02%	-3.77%
镇江	72	68	59	50	55	54	66	59	55	53	-15.25%	10.00%	-1.82%	-10.61%	-6.78%	-3.64%
东莞	47	45	36	35	37	36	43	39	36	36	-2.78%	5.71%	-2.70%	-9.30%	-7.69%	0
佛山	52	45	39	38	40	35	45	41	39	38	-2.56%	5.26%	-12.50%	-8.89%	-4.88%	-2.56%
惠州	38	35	27	27	29	28	33	30	28	28	0	7.41%	-3.45%	-9.09%	-6.67%	0
江门	51	44	34	34	37	31	43	37	35	34	0	8.82%	-16.22%	-13.95%	-5.41%	-2.86%
深圳	40	34	30	27	28	26	35	30	28	27	-10.00%	3.70%	-7.14%	-14.29%	-6.67%	-3.57%
肇庆	54	52	39	37	41	39	48	43	39	39	-5.13%	10.81%	-4.88%	-10.42%	-9.30%	0
中山	48	38	33	30	33	30	40	34	32	31	-9.09%	10.00%	-9.09%	-15.00%	-5.88%	-3.13%
珠海	38	34	31	26	30	27	34	30	29	28	-16.13%	15.38%	-10.00%	-11.76%	-3.33%	-3.45%
哈尔滨	81	72	70	52	58	39	74	65	60	50	-25.71%	11.54%	-32.76%	-12.16%	-7.69%	-16.67%
呼和浩特	57	46	43	41	43	36	49	43	42	40	-4.65%	4.88%	-16.28%	-12.24%	-2.33%	-4.76%
昆明	42	35	30	28	28	30	36	31	29	29	-6.67%	0	7.14%	-13.89%	-6.45%	0
拉萨	26	25	26	28	20	20	26	26	25	23	7.69%	-28.57%	0	0	-3.85%	-8.00%
兰州	67	61	52	54	49	47	60	56	52	50	3.85%	-9.26%	-4.08%	-6.67%	-7.14%	-3.85%
乌鲁木齐	88	61	66	74	70	54	72	67	70	66	12.12%	-5.41%	-22.86%	-6.94%	4.48%	-5.71%
西安	105	77	58	71	76	61	80	69	68	69	22.41%	7.04%	-19.74%	-13.75%	-1.45%	1.47%
西宁	70	63	49	49	34	46	61	54	44	43	0	-30.61%	35.29%	-11.48%	-18.52%	-2.27%
银川	51	53	51	56	48	38	52	53	52	47	9.80%	-14.29%	-20.83%	1.92%	-1.89%	-9.62%
全国74个城市	72	64	55	50	47	42	64	56	51	46	-9.69%	-5.75%	-10.50%	-11.59%	-9.94%	-8.56%

年均值出现连续两年上升,而滑动均值仅出现1年上升;太原、石家庄PM_{2.5}年均值出现1次反弹,而滑动均值连续下降且数据相差较大。年均值出现反弹的主要原因是降水较少,不能有效清除空气中的污染物,相反水蒸气会提供大气中气溶胶反应所需的凝结核,加速PM_{2.5}等颗粒物的生成,导致污染加剧。

2.2 EMI 减排效果分析

2.2.1 研究对象、因子和应用方法

PM_{2.5}气象条件评估指数(EMI)是用来定量分析气象条件对污染物浓度变化影响程度以及减排调控实际效果的无量纲数值,它能够反映气象条件所导致的PM_{2.5}浓度变化^[18],也能反演污染物排放量的变化。其定义如下:

EMI为地面1500m高度气柱内PM_{2.5}平均浓度与参考浓度的比值,无量纲。即

$$EMI=C/C_0 \quad (1)$$

式中,C为气柱内(地面至1500m高空)PM_{2.5}平均浓度;C₀是根据环境空气质量指数技术规定(HJ633-2012)中PM_{2.5}浓度优等级的上限值(35μg/m³)。

EMI的应用主要如下:

首先假设气象因素和污染物排放量的贡献对实际浓度成正比,以及它们相互之间的变量是能够分离的,从而可以得出以下两个关系式:

时段a的污染物排放量在时段b的气象条件下生成的PM_{2.5}在环境空气中的模拟浓度等于时段a环境空气中PM_{2.5}的实测浓度除以时段a的EMI和时段b的EMI_b的比值即:

$$O_{ab}=O_a/(EMI_a/EMI_b) \quad (2)$$

其中,O_{ab}为时段a的污染物排放量在时段b的气象条件下生成的PM_{2.5}在环境空气中的模拟浓度;O_a是时段a环境空气中PM_{2.5}的实测浓度;EMI_b为时段b的PM_{2.5}气象条件评估指数;EMI_a为时段a的PM_{2.5}气象条件评估指数。

表2 部分城市PM_{2.5}当年年均值与当年及前后一年滑动均值对比情况

城市名称	年均值 / (μg/m ³)						三年滑动均值 / (μg/m ³)				年均值下降率			三年滑动均值下降率		
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
邯郸	139	115	91	82	86	69	115	96	86	79	-20.87%	-9.89%	4.88%	-16.52%	-10.42%	-8.14%
济南	110	87	90	76	65	53	96	84	77	65	3.45%	-15.56%	-14.47%	-12.50%	-8.33%	-15.58%
石家庄	154	124	89	99	86	72	122	104	91	86	-28.23%	11.24%	-13.13%	-14.75%	-12.50%	-5.49%
太原	81	72	62	66	66	59	72	67	65	64	-13.89%	6.45%	0.00%	-6.94%	-2.99%	-1.54%
郑州	108	88	96	78	66	63	97	87	80	69	9.09%	-18.75%	-15.38%	-10.31%	-8.05%	-13.75%
上海	62	52	53	45	39	36	56	50	46	40	1.92%	-15.09%	-13.33%	-10.71%	-8.00%	-13.04%
徐州	77	67	65	60	68	62	70	64	64	63	-2.99%	-7.69%	13.33%	-8.57%	0.00%	-1.56%
扬州	70	65	55	51	54	49	63	57	53	51	-15.38%	-7.27%	5.88%	-9.52%	-7.02%	-3.77%
镇江	72	68	59	50	55	54	66	59	55	53	-13.24%	-15.25%	10.00%	-10.61%	-6.78%	-3.64%
东莞	47	45	36	35	37	36	43	39	36	36	-20.00%	-2.78%	5.71%	-9.30%	-7.69%	0.00%
佛山	52	45	39	38	40	35	45	41	39	38	-13.33%	-2.56%	5.26%	-8.89%	-4.88%	-2.56%
惠州	38	35	27	27	29	28	33	30	28	28	-22.86%	0.00%	7.41%	-9.09%	-6.67%	0.00%
江门	51	44	34	34	37	31	43	37	35	34	-22.73%	0.00%	8.82%	-13.95%	-5.41%	-2.86%
深圳	40	34	30	27	28	26	35	30	28	27	-11.76%	-10.00%	3.70%	-14.29%	-6.67%	-3.57%
肇庆	54	52	39	37	41	39	48	43	39	39	-25.00%	-5.13%	10.81%	-10.42%	-9.30%	0.00%
中山	48	38	33	30	33	30	40	34	32	31	-13.16%	-9.09%	10.00%	-15.00%	-5.88%	-3.13%
珠海	38	34	31	26	30	27	34	30	29	28	-8.82%	-16.13%	15.38%	-11.76%	-3.33%	-3.45%
哈尔滨	81	72	70	52	58	39	74	65	60	50	-2.78%	-25.71%	11.54%	-12.16%	-7.69%	-16.67%
呼和浩特	57	46	43	41	43	36	49	43	42	40	-6.52%	-4.65%	4.88%	-12.24%	-2.33%	-4.76%
拉萨	26	25	26	28	20	20	26	26	25	23	4.00%	7.69%	-28.57%	0.00%	-3.85%	-8.00%
兰州	67	61	52	54	49	47	60	56	52	50	-14.75%	3.85%	-9.26%	-6.67%	-7.14%	-3.85%
乌鲁木齐	88	61	66	74	70	54	72	67	70	66	8.20%	12.12%	-5.41%	-6.94%	4.48%	-5.71%
西安	105	77	58	71	76	61	80	69	68	69	-24.68%	22.41%	7.04%	-13.75%	-1.45%	1.47%
银川	51	53	51	56	48	38	52	53	52	47	-3.77%	9.80%	-14.29%	1.92%	-1.89%	-9.62%
全国74个城市	72	64	55	50	47	42	64	56	51	46	-13.12%	-5.75%	-10.50%	-11.59%	-9.94%	-8.56%

同时，还能得出在时段 a 的污染物排放量在时段 b 的气象条件下的生成的 PM_{2.5} 在环境空气中的模拟浓度和时段 b 的环境空气中 PM_{2.5} 的实测浓度的比值等于时段 a 和时段 b 的污染物排放量比值，即：

$$O_{ab}/O_b=S_a/S_b \quad (3)$$

其中，O_b 是时段 b 环境空气中 PM_{2.5} 的实测浓度；S_a 为时段 a 的污染物排放量；S_b 为时段 b 的污染物排放量。

通过以上分析可以得气象条件变化率，即

$$RATE_w=(EMI_a-EMI_b)/EMI_b \times 100\% \quad (4)$$

环境空气中 PM_{2.5} 浓度的变化率：

$$RATE_o=(O_a-O_b)/O_b \times 100\% \quad (5)$$

污染物排放量变化率为：

$$RATE_s=(S_a-S_b)/S_b \times 100\% \quad (6)$$

同时结合式 (1)、式 (2) 可以进一步得出：

$$RATE_s=[(O_a/O_b)/(EMI_a/EMI_b)-1] \times 100\% \quad (7)$$

现在以全国 74 个城市为对象，2013 年的年值为对比标准，开展气象条件变化率和排放变化率研究。

本研究用中国气象局数值计算系统模拟计算得出

EMI 值，分析得到 2013—2018 年定量的气象条件变化率。其排放源使用中国气象局雾—霾数值预报业务系统的排放源 (2015 年)，背景气象场选用 T639 分析场，并用地面、探空站点资料同化。

以 74 个城市作为研究对象，2013 年为初始标准，开展气象条件变化率和排放变化率研究。通过 EMI 评估方法分析去除气象因子影响后 PM_{2.5} 的年度变化情况。

2.2.2 EMI 分析结果

气象条件的变化对 PM_{2.5} 浓度有一定的影响^[9]，EMI 计算结果详见表 3，结果表明近六年来 74 个城市平均气象条件影响波动范围为 -0.28%~3.56%，波动幅度达 3.84%。

根据表 3 的排放变化率评估数据，2018 年较 2013 年，保定、廊坊、石家庄、邢台、湖州、金华、南昌、衢州、哈尔滨、长春等减少达到 50% 以上；徐州、东莞、惠州、肇庆、拉萨、兰州低于 25%；省会城市南昌减少最多达 55.07%，太原减少最少为 29.14%。2018 年与 2015 年相比，省会城市长春、哈

表3 部分城市EMI计算结果

城市名称	EMI 年均值						气象条件变化率 (以 2013 年为基准)					污染物排放变化率 (以 2013 年为基准)				
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
保定	2.65	2.71	2.72	2.67	2.64	2.74	2.25%	2.31%	0.59%	-0.47%	3.37%	-6.55%	-22.53%	-31.52%	-37.48%	-51.99%
北京	2.16	2.41	2.34	2.23	2.18	2.24	11.63%	8.46%	3.23%	1.28%	3.66%	-13.44%	-16.09%	-20.54%	-35.65%	-44.72%
济南	3.62	3.70	3.71	3.53	3.60	3.42	2.09%	2.35%	-2.40%	-0.47%	-5.58%	-22.52%	-20.06%	-29.21%	-40.63%	-48.97%
廊坊	2.97	3.10	3.11	2.97	2.91	2.95	4.06%	4.40%	-0.19%	-2.10%	-0.79%	-12.63%	-25.98%	-39.89%	-44.28%	-52.35%
石家庄	3.93	3.86	3.89	3.90	3.80	3.82	-1.83%	-0.98%	-0.72%	-3.31%	-2.78%	-17.98%	-41.64%	-35.25%	-42.24%	-51.91%
太原	1.74	1.82	1.89	1.79	1.79	1.79	4.62%	8.61%	2.78%	2.76%	2.80%	-15.04%	-29.53%	-20.72%	-20.71%	-29.14%
邢台	4.13	3.94	3.99	4.01	3.92	3.86	-4.61%	-3.47%	-2.89%	-5.13%	-6.72%	-14.83%	-34.61%	-44.01%	-47.30%	-53.77%
郑州	4.37	4.24	4.32	4.18	4.19	4.40	-3.01%	-1.12%	-4.18%	-3.96%	0.72%	-15.99%	-10.10%	-24.63%	-36.37%	-42.08%
湖州	3.02	3.32	3.21	3.05	3.06	3.26	9.83%	6.13%	1.04%	1.35%	8.06%	-21.25%	-31.24%	-38.48%	-44.00%	-54.98%
金华	2.42	2.59	2.60	2.43	2.45	2.50	6.89%	7.36%	0.39%	1.19%	3.37%	-14.46%	-28.15%	-34.54%	-40.71%	-53.01%
南昌	3.10	3.20	3.10	3.00	3.00	3.00	3.23%	0.00%	-3.23%	-3.23%	-3.23%	-26.99%	-37.68%	-35.60%	-38.60%	-55.07%
衢州	2.18	2.37	2.38	2.22	2.23	2.25	8.55%	9.24%	1.51%	2.18%	3.15%	-22.78%	-42.11%	-39.15%	-39.55%	-52.95%
上海	2.47	2.33	2.50	2.41	2.47	2.37	-5.96%	1.04%	-2.47%	-0.24%	-4.27%	-10.81%	-15.40%	-25.58%	-36.94%	-39.34%
徐州	3.11	3.12	3.13	3.04	3.04	3.06	0.44%	0.48%	-2.33%	-2.37%	-1.68%	-13.37%	-15.99%	-20.22%	-9.55%	-18.10%
盐城	2.03	1.98	1.98	2.11	2.06	2.02	-2.10%	-2.42%	3.89%	1.47%	-0.50%	-8.85%	-22.75%	-36.32%	-34.80%	-33.51%
东莞	1.59	1.65	1.52	1.53	1.66	1.57	3.74%	-4.02%	-3.95%	4.55%	-1.44%	-7.71%	-20.20%	-22.47%	-24.71%	-22.29%
广州	1.69	1.80	1.62	1.62	1.74	1.65	6.15%	-4.50%	-4.54%	2.92%	-2.48%	-12.91%	-22.95%	-28.85%	-35.84%	-32.28%
惠州	1.32	1.39	1.26	1.27	1.37	1.27	5.24%	-4.11%	-3.58%	3.94%	-3.78%	-12.48%	-25.90%	-26.31%	-26.58%	-23.42%
深圳	1.38	1.43	1.34	1.33	1.45	1.42	3.79%	-3.15%	-3.52%	5.32%	2.77%	-18.11%	-22.56%	-30.04%	-33.54%	-36.75%
肇庆	1.60	1.65	1.52	1.58	1.66	1.53	3.11%	-4.94%	-0.79%	4.22%	-4.23%	-6.61%	-24.03%	-30.94%	-27.15%	-24.59%
成都	2.51	2.59	2.68	2.58	2.57	2.33	2.96%	6.73%	2.56%	2.30%	-7.35%	-22.10%	-37.54%	-36.01%	-42.98%	-42.66%
贵阳	1.60	1.70	1.70	1.60	1.70	1.60	6.25%	6.25%	0.00%	6.25%	0.00%	-14.76%	-30.74%	-30.19%	-43.17%	-39.62%
哈尔滨	1.30	1.40	1.40	1.30	1.20	1.30	7.69%	7.69%	0.00%	-7.69%	0.00%	-17.46%	-19.75%	-35.80%	-22.43%	-51.85%
昆明	1.60	1.70	1.70	1.70	1.60	1.70	6.25%	6.25%	6.25%	0.00%	6.25%	-21.57%	-32.77%	-37.25%	-33.33%	-32.77%
拉萨	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-3.85%	0.00%	7.69%	-23.08%	-23.08%
兰州	1.40	1.30	1.40	1.30	1.40	1.30	-7.14%	0.00%	-7.14%	0.00%	-7.14%	-1.95%	-22.39%	-13.20%	-26.87%	-24.45%
沈阳	2.30	2.60	2.40	2.30	2.30	2.20	13.04%	4.35%	0.00%	0.00%	-4.35%	-16.07%	-11.54%	-30.77%	-35.90%	-45.05%
乌鲁木齐	1.40	1.20	1.10	1.20	1.10	1.20	-14.29%	-21.43%	-14.29%	-21.43%	-14.29%	-19.13%	-4.55%	-1.89%	1.24%	-28.41%
西安	3.10	3.20	3.10	3.20	3.10	3.00	3.23%	0.00%	3.23%	0.00%	-3.23%	-28.96%	-44.76%	-34.49%	-27.62%	-39.97%
长春	1.70	1.80	1.70	1.70	1.70	1.60	5.88%	0.00%	0.00%	0.00%	-5.88%	-12.02%	-9.59%	-36.99%	-36.99%	-51.97%
全国 74 个城市	2.27	2.36	2.33	2.27	2.28	2.27	3.56%	2.54%	-0.28%	0.24%	-0.17%	-14.17%	-25.51%	-30.36%	-34.88%	-41.57%

尔滨、沈阳和郑州下降幅度达到 30% 以上，西安和太原较 2015 年出现不同幅度的增长，一线城市中广州下降幅度最低为 9.33%，北京改善幅度最大，达 28.63%。但 2015 年以来大部分城市排放下降幅度有所减缓，一些城市个别年份甚至出现反弹的情况。2013—2018 年 74 个城市的排放率模拟评估分析表明，41 个城市出现过排放较上年增长的情况，其中，太原、盐城、肇庆、昆明、拉萨和西安出现连续两年排放增长，乌鲁木齐出现连续三年排放增长，兰州、贵阳和成都也都出现过两年以上的排放反弹。

2.3 EMI 指数与滑动均值比较分析

滑动均值及 EMI 指数分析表明，两种方法均能一

定程度弱化气象条件年际间的波动影响，客观反映大气污染防治的工作成效，突出体现人为努力对空气质量改善的贡献，更好地反映空气质量变化趋势。

对比两种不同的计算方式，滑动均值计算方式有以下特点：

(1) 国际通行做法，适用性广。该方法是美国、欧盟等西方国家的通行做法，技术标准相对成熟，也便于与主要国家进行横向比较。

(2) 计算简便。虽然滑动均值有不同计算方式，但是需要计算的数据相对于 EMI 指数法来说较少，且计算简便。

(3) 相对于 EMI 指数法来说，滑动均值难以直观

表述气象条件对环境空气的影响程度。

EMI 指数法有以下特点:

(1) 能直观表示气象条件对环境空气质量的影响。EMI 指数通过对各气象条件的模拟,能直观量化评估气象条件对空气质量的影响程度。

(2) EMI 指数计算较为复杂,需要使用大量的气象数据,且通过复杂的计算才能进行得到。

(3) EMI 是数值模拟的结果,有一定的误差和不确定性。

3 结论与建议

3.1 结论

(1) 气象条件与空气质量密切相关,气象条件的定性定量分析表明大气污染气象条件的年际变化具有一定的波动,且各重点区域变化趋势也不相同^[20]。

(2) 2013—2018 年全国主要地区及城市 $PM_{2.5}$ 浓度的统计分析表明大部分城市 $PM_{2.5}$ 受气象等相关因素影响,年均浓度波动较大。

(3) 对全国 74 个城市 $PM_{2.5}$ 浓度三年滑动均值计算表明,滑动均值比年均值下降曲线更为平滑,消除了锯齿状下降的情况。

(4) 采用 EMI 指数分析法,可以量化表示气象因素对环境空气质量的影响,但计算相对复杂。

(5) 采用前两年及当年的年均值作为当年的三年滑动均值更切合实际考核需求。

3.2 建议

(1) $PM_{2.5}$ 浓度较高、污染物浓度下降快的地区,三年滑动均值大于当年均值;但 $PM_{2.5}$ 浓度较低、下降相对较慢的区域,三年滑动均值与当年均值较为接近。随着大气污染治理的深入,主要大气污染物浓度下降幅度呈缩小趋势,在短期内受气象影响甚至会出现波动、反复,但长期看总体呈改善趋势。因此,建议在 $PM_{2.5}$ 浓度达标后,引进三年滑动均值作为 $PM_{2.5}$ 长期变化的考核依据之一,空气质量评价考核方式更为公平合理。

(2) 虽然美国、欧盟等已经将三年滑动均值作为空气质量评价的方法应用多年,北京也于 2019 年开始将 $PM_{2.5}$ 三年滑动均值列为考核指标,但要将其作为标准评价方法仍有许多技术问题需要进一步研究,如评价因子的选取($PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 O_3 等)、评价浓度的选取(年均值还是日均值的百分位数)、评价点位的选取(城市均值还是最大点位浓度值)等,建议针

对上述问题开展系统性研究,为后续将三年滑动均值作为考核指标提供工作基础。

(3) 我国幅员辽阔,不同区域的空气质量和污染特征差异较大,目前仅有北京市开展了 $PM_{2.5}$ 三年滑动均值作为考核指标的探索,对于其他区域,在达标阶段、污染物类型、污染物浓度分布区间等方面存在较大差异,建议针对不同的区域选择典型城市开展评价试点,为后续推广应用提供工作积累。

参考文献

- [1] 王晓云,潘莉卿,吕伟林,等.北京城区春季空气污染物垂直分布与气象条件观测分析[J].中国环境监测,2001,17(2):11-18.
- [2] 孙劭,李多,刘绿柳,等.2016 年全球重大天气气候事件及其成因[J].气象,2017,43(4):477-485.
- [3] 陈玮.基于灰色聚类与模糊综合评判的空气质量评价[D].上海:华东师范大学.
- [4] United States Environmental Protection Agency. Prevention of air pollution emergency episodes[EB/OL].(2010-07-01).<https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2010-title40-vol2/xml/CFR-2010-title40-vol2-part51-subpartH.xml>.
- [5] Department for Environment, Food and Rural Affairs. The air quality strategy for England, Scotland, Wales and Northern Ireland - volume 1[J]. Environment, 2007.
- [6] WILDE M. The new directive on ambient air quality and cleaner air for Europe[J]. Environmental law review, 2010, 12(4):282-290.
- [7] Ministry of the Environment, Government of Japan. Environmental quality standards in Japan—air quality[EB/OL].(2019-09-09).<http://www.env.go.jp/en/air/qaq/qaq.html>.
- [8] LEE J Y, JO W K, CHUN H H. Long-Term Trends in Visibility and Its Relationship with Mortality, Air-Quality Index, and Meteorological Factors in Selected Areas of Korea[J]. Aerosol & Air Quality Research, 2015, 15(2):673-681.
- [9] Department of the Environment, Australia. National environment protection (Ambient Air Quality) measure[EB/OL].(2016-02-25).<https://www.legislation.gov.au/Details/F2016C00215>.
- [10] 柴发合,王晓,罗宏,等.美国与欧盟关于 $PM_{2.5}$ 和臭氧的监管政策述评[J].环境工程技术学报,2013,3(1):46-52.
- [11] 王帅,杜丽,王瑞斌,等.国内外环境空气质量指数分析和比较[J].中国环境监测,2013,29(6):58-65.
- [12] 汪小勇,万玉秋,姜文.美国跨界大气环境监管经验对中国的借鉴[J].中国人口·资源与环境,2012,22(3):118-123.
- [13] 北京市人民政府办公厅.关于印发《北京市污染防治攻坚战 2019 年行动计划》的通知[EB/OL].(2019-02-13).http://www.beijing.gov.cn/zhengce/zfwj/zfwj2016/bgtwj/201905/t20190522_61852.html.
- [14] 潘本锋,李莉娜.环境空气质量指数计算方法与分级方案比较[J].中国环境监测,2016,32(1):13-17.
- [15] 王帅,杜丽,王瑞斌,等.国内外环境空气质量指数分析和比较[J].中国环境监测,2013,29(6):58-65.

- [16] 潘本锋, 李莉娜. 环境空气质量指数计算方法与分级方案比较 [J]. 中国环境监测, 2016, 32(1): 13-17.
- [17] 世界卫生组织. 世卫组织关于颗粒物、臭氧、二氧化氮和二氧化硫的空气质量准则 [EB/OL]. (2006-01-01). https://www.who.int/publications/list/who_sde_phe_oe_h_06_02/zh/.
- [18] 刘洪利, 龚山陵, 何建军, 等. 环境气象评估指数 EMI 原理及应用 [C]. 中国气象学会. 第 35 届中国气象学会年会 S12 大气成分与天气、气候变化与环境影响暨环境气象预报及影响评估. 中国气象学会: 中国气象学会, 2018:371-374.
- [19] 江琪, 王飞, 张恒德, 等. 北京市 PM_{2.5} 和反应性气体浓度的变化特征及其与气象条件的关系 [J]. 中国环境科学, 2017, 37(3): 829-837.
- [20] 赵娜, 马翠平, 李洋, 等. 河北重度污染天气分型及其气象条件特征 [J]. 干旱气象, 2017, 35(5): 839-846, 856-856.

Research on the Improvement of Ambient Air Quality Evaluation Method

PAN Biling^{1,2}, ZHOU Guozhi^{3*}, YOU Xiangyu⁴, LI Wei⁵, PAN Haiting³

(1.School of Business, Central South University, Changsha 410083, China; 2.Ecology and Environment Department of Hunan, Changsha 410019, China; 3.Hunan Provincial Eco-Environment Monitoring Center, Changsha 410019, China; 4.Hunan Research Academy of Environmental Science, Changsha 410014, China; 5.Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410118, China)

Abstract: The ambient air quality evaluation standards at home and abroad were surveyed and compared systematically, and then the air PM_{2.5} concentration and meteorological data of major cities in China from 2013 to 2018 were analyzed in this paper. The results showed that the three-year sliding average of pollutants is used as the air quality evaluation standard, which is a common international practice. From 2013 to 2018, the PM_{2.5} concentration in most cities of China was affected by meteorological and other related factors, and its annual average value fluctuated greatly. The three-year sliding average change curve of PM_{2.5} concentration was smoother. The calculation adopting the average value of the previous two years and the year were more in line with actual needs. The EMI index method was used to quantify the impact of meteorological factors on the ambient air quality, which showed that the inter-annual changes of atmospheric pollution meteorological conditions were volatile and the trends in different key areas were different. It was suggested that the introduction of three-year sliding average as one of the assessment basis for PM_{2.5}'s long-term changes, will make the air quality assessment and assessment method more fair and reasonable.

Keywords: air quality; evaluation; sliding average; EMI index