

算术平均法、百分位数法和滑动平均法空气质量评价对比分析及其揭示的信息

韦正峥, 黄炳昭, 蒋玉丹, 郭云, 王敏

(生态环境部环境与经济政策研究中心, 北京 100029)

【摘要】综合采用算术平均法、百分位数法和滑动平均法对空气质量进行评价对比分析, 可以更加全面、客观、精细、准确地描述空气质量状况, 发现其内在规律, 揭示不同城市的问题。对比分析发现, 全国 169 个城市空气质量改善程度用算术均值与百分位数测算存在一定差异, 并进一步反映出 2017 年空气质量改善主要归功于污染较为严重天气的减少, 2018 年主要归功于空气质量良好及轻度污染天气的增加。169 个城市 $PM_{2.5}$ 浓度的中位数与算术均值之间具有较好的线性关系且越来越强, 反映出重污染天气控制取得成效。各区域和城市百分位数同比变化情况反映了大气污染防治不同阶段的工作重点及成效不同: 京津冀及周边“2+26”个城市 2017 年空气质量改善以降低污染天气为主, 2018 年以增加优良天气为主; 珠三角地区和长三角地区都是以增加空气质量为良的天气为主。3 年滑动均值比年均值曲线下降更为平缓, 更能准确反映污染治理成效。建议深入研究空气质量信息, 采用多种评价方法科学、客观、全面地评价污染治理情况。

【关键词】空气质量; 算术平均法; 百分位数法; 滑动平均法

中图分类号: X21 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2020)02-0123-11 DOI: 10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202002123

目前, 我国《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)及《环境空气质量评价技术规范(试行)》(HJ 663—2013)中确定污染物的年均浓度、季均浓度、月均浓度和日均浓度主要采用算术均值及第 95 百分位数或第 98 百分位数来评价, 臭氧(O_3)浓度采用第 90 百分位数以及 8 小时滑动均值。本研究通过对比分析算术平均法、百分位数法和滑动平均法等评价空气质量的差异, 探索全面、真实、准确的空气质量评价方法, 为制定污染防治政策提供依据。

1 评价方法

算术平均法是统计学中最基本、最常用的一种方法, 一般通过将城市空气质量监测中的小时、日均、年均等数据简单加和求平均数, 直观、简明地评价空气质量改善效果。若仅用一个指标进行评价, 目前还难以找到替代算术均值的表征手段。对一个城市的空气质量进行评价采用算术平均法是基本合适的, 然而算术均值容易受到极端值影响, 客观来看表征信息不一定全面。

百分位数法是将样本数据从小到大排序后计算相应的累计百分位, 某一百分位所对应数据的值就被称为这一百分位的百分位数。同一城市污染物浓度日均值的统计分布规律相对稳定, 百分位数受数据缺失影响小, 较少受到极端值的影响。百分位数法可以在算术平均法的基础上进一步分析高、中、低浓度分布的变化规律, 全

面准确地评价空气质量特征, 为精准治污提供依据。

滑动平均法是通过选取不同的时间间隔, 从时间数列的第一项数值开始, 按不同周期求序时平均数, 得出一个由滑动均值构成的新的时间序列。考虑到气象条件(风速、温度、湿度)及生活方式(工作日及上下班高峰期)等因素对空气质量存在一定影响, 滑动平均法能在一定程度上剔除短期或长期的波动因素对污染物浓度变化的影响, 使污染物变化趋势更为直观。

如果算术平均法相当于“点”, 那么滑动平均法就相当于“线”, 百分位数法就相当于“面”。通常, 在空气污染程度相对较低的城市, 当空气质量相对稳定、没有极端天气事件频发时, 这三种方法评价空气质量变化趋势的结果较为相似; 而在污染事件频发、正在大力治污的城市, 这三种方法的评价结果往往存在差异, 甚至相反。各地区污染结构不同, 简单使用算术平均法来评价全国和重点区域空气质量变化, 掩盖了被评价区域的实际污染水平。将“点”扩充为“线”和“面”对于全面、真实、准确地评价空气质量变化至关重要。

2 发达国家和地区空气质量评价方法

美国、加拿大及欧盟普遍采用百分位数法及滑动平均法评价空气质量长期及短期变化趋势(见表 1), 澳大利亚、日本、韩国、印度、中国香港等国家和地区较少采用滑动平均法评价空气质量。

加拿大和美国的计算方式基本一致,在评价 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 及 O_3 年度变化时均使用 3 年滑动均值。1987 年,考虑到气象变化的随机性,美国在制定 PM_{10} 标准时提出用连续 3 年的算术均值作为年平均值的方案^[1],认为采用 3 年平均值具有更大的稳定性,可以促进国家制定更加稳定的实施方案。美国环保局官员表示,《清洁空气法案》在国会讨论时,考虑到政策的连贯性及实施效果,并且美国总统一届任期为 4 年,所以确定 3 年为滑动均值计算周期。

欧盟评价 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 变化情况时采用 3 年滑动均

值,并制定 $\text{PM}_{2.5}$ 的平均暴露指标 (Average Exposure Indicator, AEI) 用以评价人口聚集区人群暴露情况,包括暴露浓度限值及暴露降低目标。1991 年,欧盟理事会关于“对环境有关的某些指令的实施报告进行标准化和合理化”(Council Directive 91/692/EEC) 中规定^[2],“各成员国应每隔 3 年以部门报告的形式向委员会提交关于本指令执行情况的资料,其中也应包括其他有关的共同体指令”。所以欧盟在评价 O_3 时采用了 3 年滑动平均法,而后在 $\text{PM}_{2.5}$ 指标建立时延续了 3 年滑动均值。

表 1 欧美等国家和地区空气质量标准限值及其评价方法

污染物	欧盟 ^[3]	美国 ^[4]	加拿大 ^[5]
SO_2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb	ppb
1 小时均值	350—每年不超过 24 次	75—每年“日最大 1 小时浓度”的第 99 百分位数, 3 年滑动均值 (2010 年)	70—每年“日最大 1 小时浓度”的第 99 百分位数, 3 年滑动均值 (2020 年)
3 小时均值	—	0.5ppm—每年不超过 1 次	—
24 小时均值	125—每年不超过 3 次	—	—
年均值	—	—	5—全年 1 小时浓度的算术均值
NO_2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb	ppb
1 小时均值	200—每年不超过 8 次	100—每年“日最大 1 小时浓度”的第 98 百分位数, 3 年滑动均值 (2010 年)	60—每年“日最大 1 小时浓度”的第 98 百分位数, 3 年滑动均值 (2020 年)
年均值	40	53	17—全年 1 小时浓度的算术均值
$\text{PM}_{2.5}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
24 小时均值	—	35—每年 24 小时均值的第 98 百分位数, 3 年滑动均值 (1997 年)	27—每年 24 小时均值的第 98 百分位数, 3 年滑动均值 (2015 年)
年均值	25—目标值;	12/15—每年日均值的平均, 3 年滑动均值 (2012 年)	8.8—每年日均值的平均, 3 年滑动均值 (2015 年)
暴露浓度指标 (AEI)	20 (暴露浓度限值)—3 年滑动均值; 18 (暴露降低目标)—3 年滑动均值, 尽可能在 2020 年达到 (2008 年)	—	—
PM_{10}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	—
24 小时均值	50—1 年不超过 35 次	150—24 小时均值平均每年不超过 1 次, 3 年滑动均值 (1987 年)	—
年均值	40	—	—
Pb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	—
年均值	0.5—受数十年工业活动污染的地点可为 1	—	—
季均值	—	0.15—3 月滑动均值 (2008 年)	—
O_3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	ppb
8 小时均值	120—每年日最大 8 小时均值不超过 25 天, 3 年滑动均值 (2010 年)	0.07—每年第 4 高的日最大 8 小时滑动均值, 3 年滑动均值 (2015 年)	62—每年第 4 高的日最大 8 小时滑动均值, 3 年滑动均值 (2015 年)
1 小时均值	—	—	—
CO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	—
8 小时均值	10000—日最大 8 小时均值	9—每年不超过 1 次	—
1 小时均值	—	35—每年不超过 1 次	—

3 全国重点城市空气质量

3.1 重点城市空气质量总体变化趋势

2016—2018年,全国空气污染治理成效显著。从单一 $\text{PM}_{2.5}$ 指标百分位评价结果(见图1)来看,全国338个城市日均 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度^①总体呈偏态分布,并呈现3个特征。

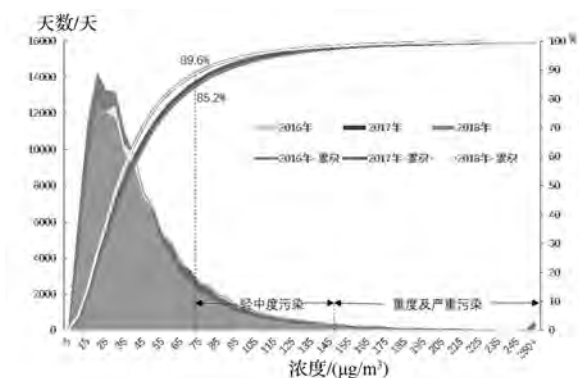


图1 2016—2018年全国338个重点城市 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值分布图

(1)百分位浓度向左稳定移动。波峰浓度均位于 $15\sim 20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间,并呈现向左移动的改善趋势,尤其是 $25\sim 55\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间的天数增加幅度最大,表明空气治理效果稳定向好。

(2)达标曲线向上抬升改善。 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度达到《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)二级标准 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的天数从2016年的85.2%升高到2018年的89.6%(该指标高于采用多指标评价得出的全国2018年79.3%的优良天数比例)。同时, $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度达到环境空气质量二级标准 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的城市占比从2016年的28%提升到2018年的45%。

(3)重度及严重污染天气减少。超过标准2倍以上的重度及严重污染天气所占的比例减少,从2016年的2.5%降低到2018年的1.6%,表明重污染天气发生的频次降低。

3.2 算术均值与百分位数比较

在空气质量监测实施阶段,我国空气质量评价城市先后从74个城市(包括京津冀、长三角、珠三角区域及直辖市、省会城市和计划单列市等)扩大到169个地级及以上城市,再到现在的338个地级及以上城市。从算术均值来看(见表2),三个阶段城市空气质量改善程度较为一致,2017年同比均改善5%,2018年同比均改善

8%~10%,并且 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度总体呈现“169城市>74城市>338城市”的趋势。由于样本量越大模型越稳定,338个城市的算术均值与百分位数的改善程度较为一致,169个城市及74个城市的算术均值与百分位数的变化程度存在较大差异。338个城市更代表全国整体水平,但169个城市更能反映污染严重区域存在的问题。

污染物浓度通常呈偏态分布,考虑到同一城市污染物浓度日均值的统计分布规律相对稳定,百分位数浓度受数据缺失影响小,较少受到极端异常值的影响,因而其对整体浓度分布有较好的表征能力。

以169个城市为例,探索采用百分位数法来评价全国空气质量变化趋势,研究在算术均值评价结果基础上进一步进行不同百分位评价。不同年度间空气质量改善的主要贡献因素如下:

(1)2017年,全国169个城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度算术均值下降5%,第50百分位数(即“中位数”)未下降。但是,第90百分位数降幅约为算术均值的1.4倍,表明2017年空气质量改善主要是由于减少了污染较为严重的天气。

(2)2018年,全国169个城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度第50百分位数及第75百分位数下降幅度均为12%,略高于算术均值下降幅度,空气质量优的第10百分位数及第25百分位数下降幅度为6%~7%,表明2018年空气质量改善主要归功于增加了空气质量良及轻度污染的天气,各项污染防治措施明显提高了空气质量改善的稳定性。

3.3 算术均值与3年滑动均值比较

气象条件对年度之间大气状况的影响可能达到上下10%左右,利用滑动平均法能在一定程度上弱化气象条件年际间的波动影响。考虑到 $\text{PM}_{2.5}$ 监测时间较短, PM_{10} 监测时间较长,因而后者更能反映其长期变化趋势。本研究分析了 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的3年滑动均值及年均值的差异。

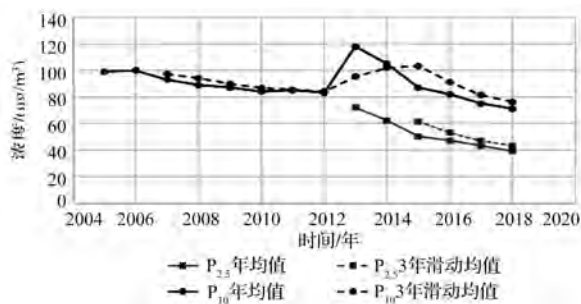
研究表明(见图2):(1)2013年以来,全国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度年均值及3年滑动均值呈下降趋势,2018年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度年均值比2015年下降22%,3年滑动均值下降30%。(2)全国 PM_{10} 浓度总体呈下降趋势,在2013年有较大波动,这可能是实施新的空气质量标准以后统计口径变化等因素所导致。(3)2018年 PM_{10} 浓度年均值比2007年下降24%,3年滑动均值下降22%。3年滑动均值比年均值曲线下更为平缓,更能反映污染长期变化趋势。

^①2018年8月,生态环境部发布《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)修改单,将污染物浓度由标准状态(温度为273 K,压力为101.325 kPa时的状态)修改为参比状态(气态污染物监测数据是25℃、1个大气压状态下的数据,颗粒物及其组分监测采用实况状态),并且自2018年9月1日起实施。本研究将2018年9月1日后参比状态数据根据所在城市的温度及气压统一调整为标准状态数据。

表2 2016—2018年全国重点区域及城市PM_{2.5}浓度变化单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

评价区域	年份	算术均值	百分位数					
			10%	25%	50%	75%	90%	95%
338 城市	2016	46	15	22	36	57	89	117
	2017	44	14	21	34	55	85	112
	2018	41	13	20	32	50	77	101
	2017 较 2016 变化(%)	-5	-7	-5	-6	-4	-4	-4
	2018 较 2017 变化(%)	-8	-7	-5	-6	-10	-9	-10
169 城市	2016	56	19	28	43	69	106	136
	2017	53	18	27	43	66	99	129
	2018	48	17	25	38	58	90	118
	2017 较 2016 变化(%)	-5	-5	-4	0	-4	-7	-5
	2018 较 2017 变化(%)	-10	-6	-7	-12	-12	-9	-9
74 城市	2016	50	16	24	38	61	96	125
	2017	47	15	23	37	58	88	116
	2018	43	15	22	34	52	81	109
	2017 较 2016 变化(%)	-5	-6	-4	-3	-5	-8	-7
	2018 较 2017 变化(%)	-10	0	-4	-8	-10	-8	-7

注: 2017 年较 2016 年变化(%) = (2017 年值 - 2016 年值) / 2016 年值 × 100; 2018 年较 2017 年变化(%) = (2018 年值 - 2017 年值) / 2017 年值 × 100。



注: 数据来源于环境状况公报

图2 全国重点城市颗粒物年均值及3年滑动均值变化趋势

4 重点区域城市空气质量

4.1 重点区域总体情况

由于各个区域的发展程度、气象条件、地理位置及污染治理力度等方面不尽相同,因而空气质量有较大差异。2016—2018年,PM_{2.5}浓度总体呈现“京津冀大气污染传输通道城市(‘2+26’城市)>汾渭平原>长三角地区>珠三角地区”的趋势(见表3),与当前发布的空气质量状况较为一致。由于四大重点区域所包含的城市数量不同,所以PM_{2.5}浓度分布图的波峰浓度高度及面积大小也不同。将2018年频数最高的天数统一调整为100天进行归一化处理,曲线总体呈现“2+26”城市、汾渭平原、长三角地区、珠三角地区向左偏移的趋势,与总体情况一致(见图3)。

PM_{2.5}年均浓度达到国家一级标准($35\mu\text{g}/\text{m}^3$)的城市从2016—2017年的8%~9%提升到2018年的16%,主要分布在珠三角地区及长三角地区,“2+26”城市及汾渭

平原无一城市达标(见图4),蓝天保卫战任重道远。

采用不同评价方法对比来看(见图4),全国重点城市PM_{2.5}浓度的中位数与算术均值之间具有较好的线性关系,且越来越强,这可能与重污染天气越来越少有关。以各区域算术均值对应的百分位来看,2018年“2+26”城市、汾渭平原、长三角地区的算术均值均位于第65百分位数,珠三角的算术均值位于第60百分位数,更接近中位数,表明汾渭平原、京津冀及周边地区、长三角地区受重污染天气影响相对较大,珠三角受重污染天气影响较小。

4.2 算术均值与百分位数

京津冀地区自2013年以来被列为大气污染防治重点区域,2017年重点区域扩大为“2+26”城市。2016—2018年,“2+26”城市PM_{2.5}波峰浓度位于35~40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间,明显呈现向左向上移动的趋势,表明空气质量持续改善,PM_{2.5}浓度逐年降低(见图5)。近年来,“2+26”城市先后采取了重污染天气限产停产、煤改气改电、“小散乱污”清理取缔等措施。2017年,第75百分位数及第90百分位数下降幅度最大,表明空气质量改善以降低污染天气为主。2018年,第10百分位数及第25百分位数下降幅度最大,表明空气质量改善以增加优良天气为主(见表3)。

汾渭平原2017年PM_{2.5}浓度不降反升,浓度分布呈现向右移动的不利态势。自2018年起,汾渭平原被纳入大气污染防治重点区域,污染治理成效明显,空气质量有较大幅度改善,PM_{2.5}浓度分布呈现向左向上移动的趋势(见图5),算术均值和百分位数差别较大,第95百分位数及中位数下降幅度最大,表明重污染天气及空气质量为良的天气改善明显(见表3)。

表 3 2016—2018 年全国重点区域及城市 PM_{2.5} 浓度变化

单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

重点区域	年份	算术均值	百分位数					
			10%	25%	50%	75%	90%	95%
“2+26” 城市	2016	77	26	38	59	96	147	187
	2017	70	28	39	56	83	131	173
	2018	61	24	33	49	74	116	151
	2017 较 2016 变化(%)	-9	8	3	-5	-14	-11	-7
	2018 较 2017 变化(%)	-12	-16	-14	-13	-11	-11	-13
汾渭平原	2016	67	23	32	49	82	135	179
	2017	68	25	35	52	80	128	175
	2018	60	23	32	46	74	115	145
	2017 较 2016 变化(%)	1	9	9	6	-2	-5	-2
	2018 较 2017 变化(%)	-12	-8	-9	-12	-8	-10	-18
长三角	2016	49	18	26	40	62	92	115
	2017	49	18	26	42	63	90	110
	2018	45	17	24	36	54	83	111
	2017 较 2016 变化(%)	1	0	0	5	2	-2	-4
	2018 较 2017 变化(%)	-8	-8	-8	-14	-14	-8	1
珠三角	2016	32	13	19	28	41	57	68
	2017	35	13	19	30	46	62	73
	2018	32	14	19	28	40	53	66
	2017 较 2016 变化(%)	7	0	0	7	12	9	7
	2018 较 2017 变化(%)	-7	8	0	-7	-13	-15	-10

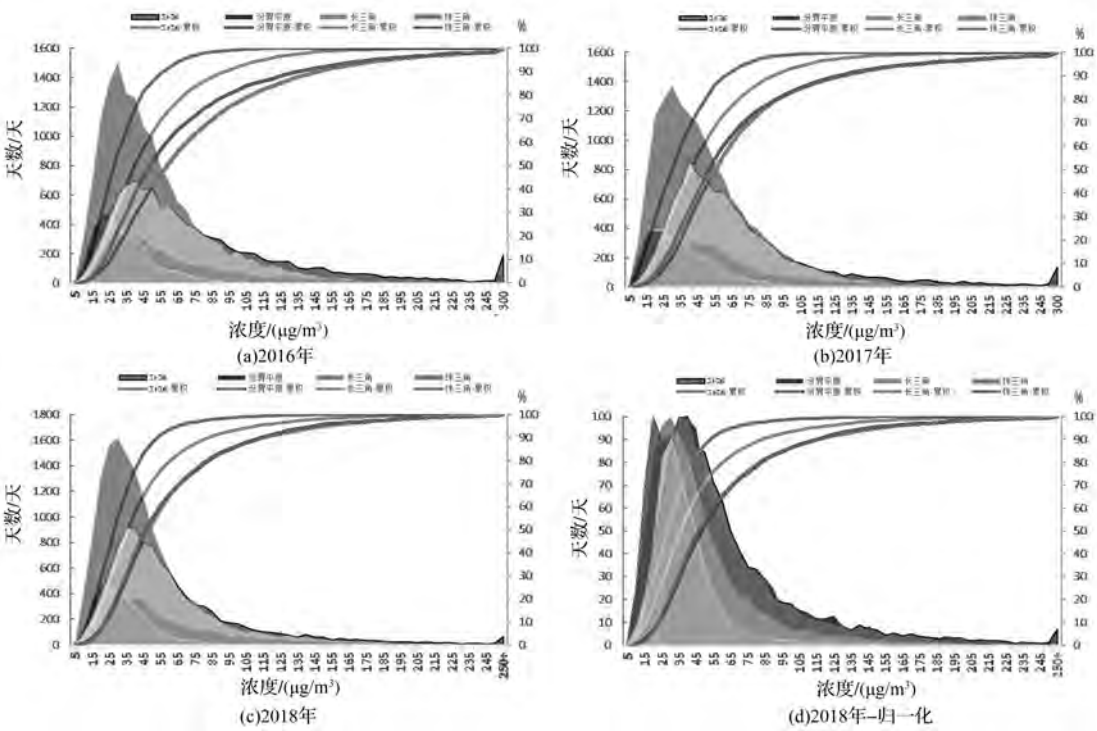


图 3 2016—2018 年全国重点区域 PM_{2.5} 日均浓度分布图

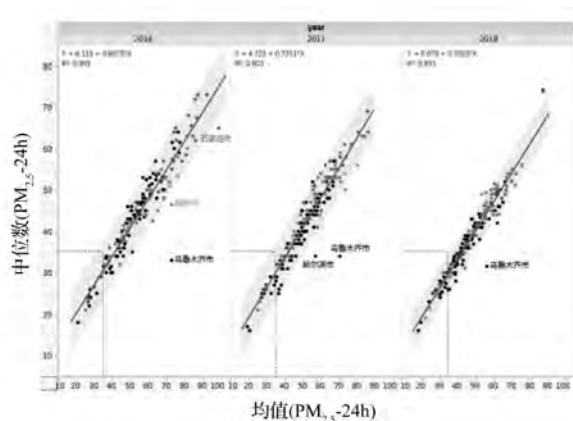


图4 全国169重点城市PM_{2.5}年均浓度与中位数相关性分析

珠三角地区和长三角地区空气质量相对较好,PM_{2.5}波峰浓度范围为15~25μg/m³(见图5)。2017年两个区域均有不同程度的恶化;2018年改善明显,珠三角地区主要是第75百分位数及第90百分位数有明显变化,长三角地区主要是第50百分位数及第75百分位数有明显变化。但从数值上来看,二者均集中在PM_{2.5}浓度为35~53μg/m³的范围内,即这两个区域空气质量为良的天气不够稳定,容易反复(见表3)。

以上四个区域的算术均值和百分位数反映了空气污染治理在不同阶段的工作重点及成效不同。降低重污染天气是较容易做到也是成效最为显著的,降低轻、中度污染天气相对困难。当空气质量评价指标中的污染物浓度降低到50μg/m³以下后,也就是以优良天气为主时,减排的边际效应下降,并且容易受气象条件的影响,空气质量易反复,污染减排难度加大。

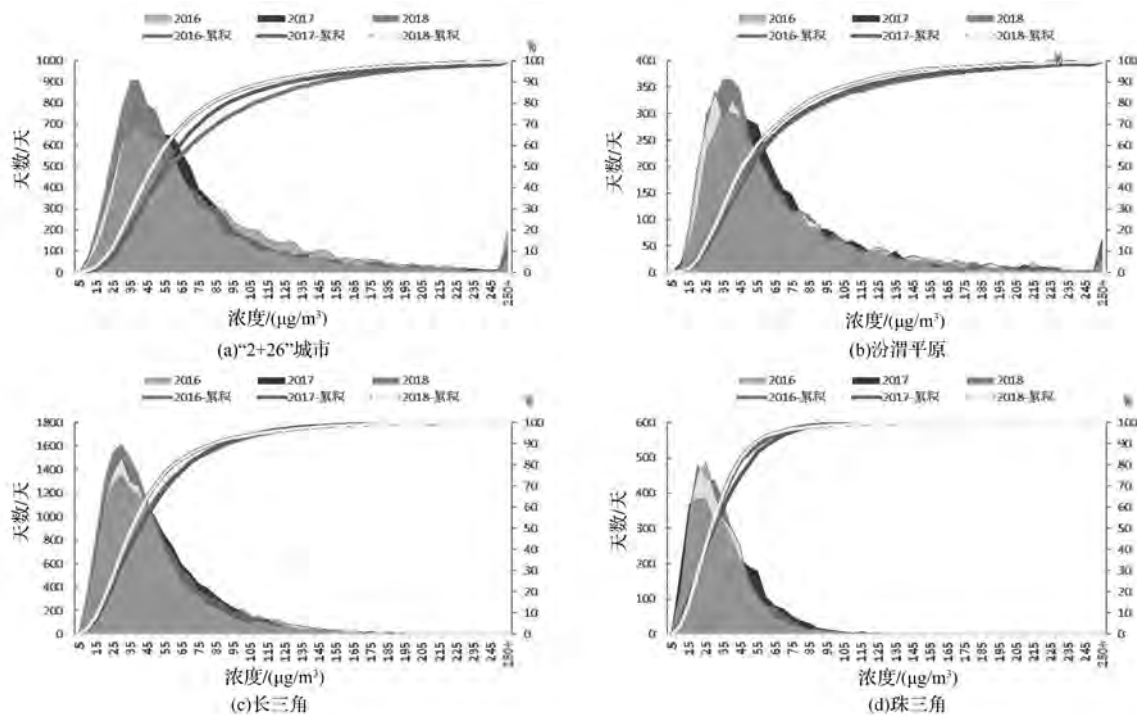
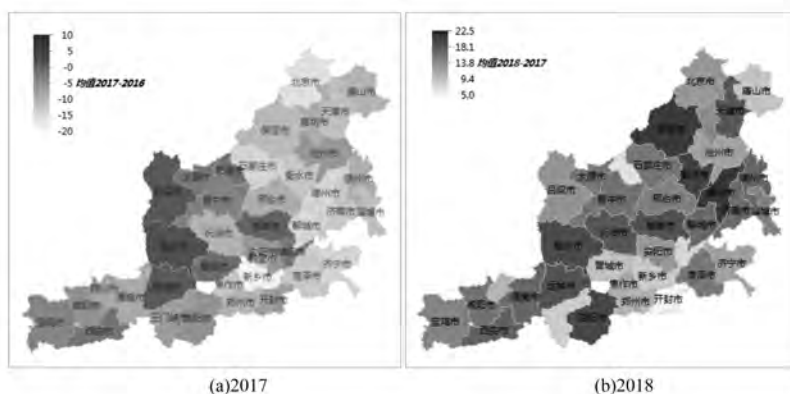
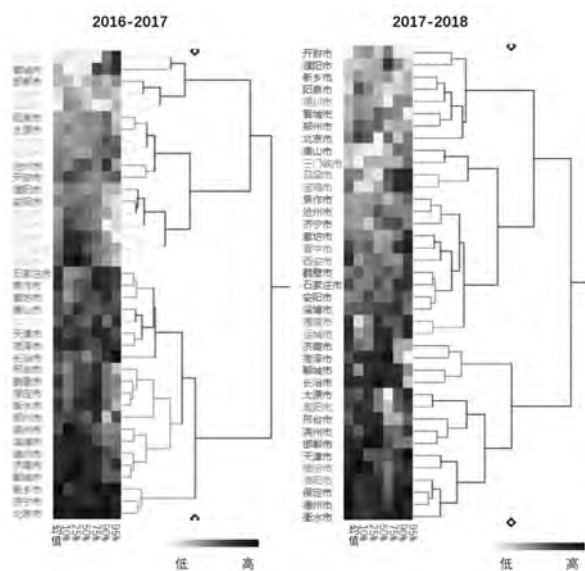


图5 全国重点区域及城市PM_{2.5}日均浓度分布图

4.3 重点区域聚类分析

以算术平均法评价区域内不同城市空气质量状况将会不可避免地出现“被平均”现象,或许会掩盖不同城市面临的问题。对“2+26”城市及汾渭平原各城市PM_{2.5}年均浓度变化程度分析发现,与上文研究结果一致,2018年改善程度优于2017年,“2+26”城市的改善幅度优于汾渭平原的改善幅度,其中河北总体改善幅度最高,河南总体改善幅度最低。2017年,北京、新乡及济宁等城市改善幅度最高,山西的吕梁、临汾、运城3市改善幅度最低;2018年,德州、保定、衡水等城市改善幅度最高,开封、阳泉、濮阳等城市改善幅度最低(见图6)。

对“2+26”城市及汾渭平原各城市PM_{2.5}年均浓度及百分位数变化进行聚类分析发现,2017年,北京、新乡等城市各类别空气质量均明显改善,济南、聊城、德州、淄博、菏泽、济宁等城市空气质量改善是以增加优、良及轻度污染天气为主,石家庄、长治、铜川等城市空气质量改善是以降低重污染天气为主。2018年,衡水、德州、保定等城市污染物浓度年均值及百分位数均有较大程度的降低,运城、渭南、晋中、廊坊、宝鸡、吕梁等城市空气质量改善主要归功于减少了中、重度污染天气,长治、聊城、菏泽等城市空气质量改善是以控制轻度污染天气为主(见图7)。


 图6 “2+26”城市及汾渭平原城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度变化(%)

 图7 “2+26”城市及汾渭平原城市 $PM_{2.5}$ 浓度变化聚类图

各城市 $PM_{2.5}$ 浓度年均值及中位数总体变化趋势一致。2017年大部分城市算术均值及中位数同时好转或

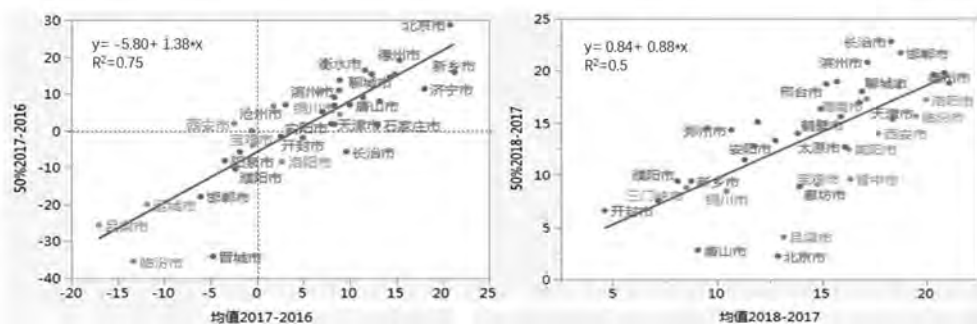
恶化, 部分城市变化趋势不一致。例如, 西安市算术均值恶化, 中位数好转; 开封、洛阳、长治3市算术均值好转, 中位数恶化; 临汾、晋城等城市偏离直线以下较远, 需要注意甄别数据的可靠性。2018年各城市算术均值及中位数均下降, 但是北京、唐山、吕梁等城市偏离直线以下较远, 均值降低的幅度远高于中位数降低的幅度(见图8)。

5 典型城市案例

5.1 北京市

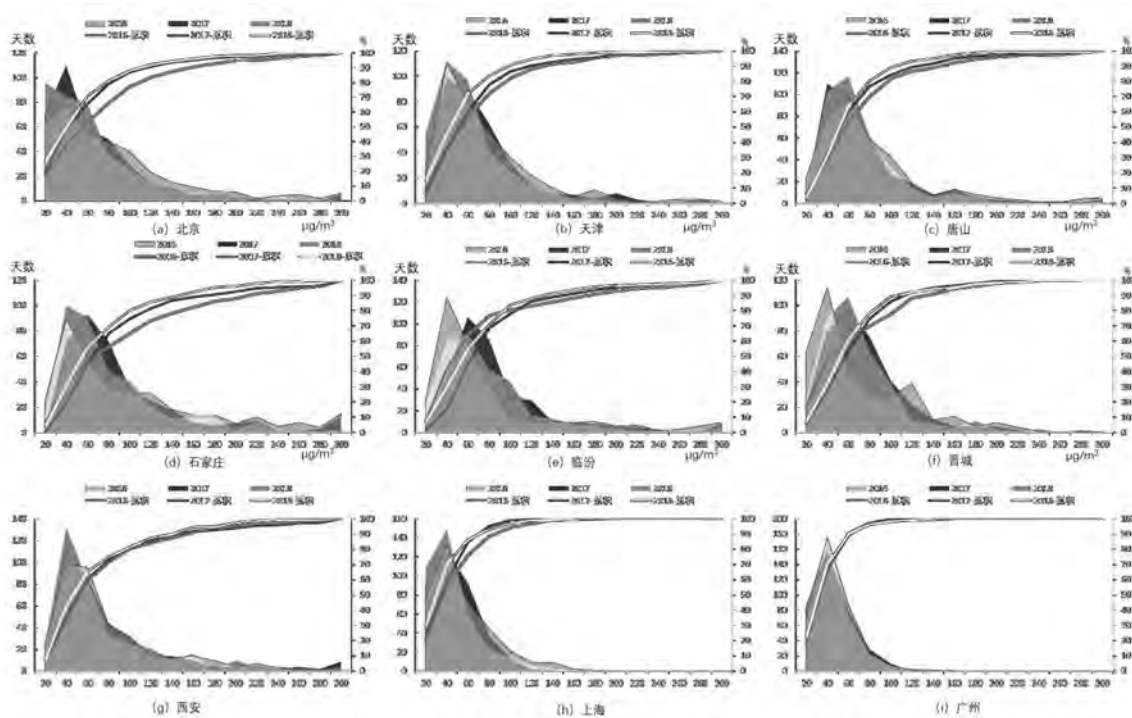
最近三年, 北京市空气污染治理成效显著, $PM_{2.5}$ 浓度总体向左移动, 无论是算术均值还是百分位数均有明显降低, 2017年改善程度好于2018年(见图9)。

2017年, 空气质量改善以减少污染天气为主, 优良天气改善有限。2018年, $PM_{2.5}$ 浓度的算术均值与百分位数变化差异较大, 中位数不降反升1%, 表明空气质量良好及轻度污染天气改善程度较小。 $PM_{2.5}$ 浓度峰值从 $20 \sim 40 \mu g/m^3$ 降低到 $20 \mu g/m^3$ 以下, 第10百分位数降低幅度约为算术均值的1.8倍, 表明优等天气改善幅度较为明显(见表4)。未来北京市空气质量改善的空间主要是增加优良天气, 在消灭了重污染天气的后攻坚时期, 空气污染治理将面临严峻挑战。



注: 1. 横坐标分别为: 2017-2016 均值变化率/%和2018-2017 均值变化率/%, 计算公式为: (上年值-当年值)/上年值 $\times 100$;
2. 纵坐标分别为: 2017-2016 变化率/%和2018-2017 变化率/%, 计算公式为: (上年值-当年值)/上年值 $\times 100$ 。

 图8 “2+26”城市及汾渭平原城市 $PM_{2.5}$ 浓度变化相关性分析

图9 2016—2018年全国重点城市PM_{2.5}日均值分布图表4 2016—2018年北京市PM_{2.5}浓度值单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

年份	算术均值	百分位数					
		10%	25%	50%	75%	90%	95%
2016	73	15	28	58	98	157	211
2017	58	13	23	41	73	113	162
2018	51	10	19	42	65	109	145
2017较2016变化(%)	-21	-10	-18	-29	-25	-28	-23
2018较2017变化(%)	-11	-23	-17	1	-11	-4	-10

2019年2月20日,北京市发布《北京市污染防治攻坚战2019年行动计划》,为了中和气象因素的影响,将“细颗粒物(PM_{2.5})3年滑动平均浓度”首次纳入空气质量年度治理目标。分析可见,2013年以来,北京市PM_{2.5}浓度年均值及3年滑动均值总体呈下降趋势,与2015年相比,2018年年均值下降37%,3年滑动均值下降29%。分析近20年来北京市PM₁₀浓度变化趋势可见,年均值和3年滑动均值下降幅度较为一致,分别为53%及50%(见图10)。3年滑动均值曲线更为平缓,更能反映污染物浓度的下降趋势。

5.2 天津市

天津市近三年空气质量有较大改善,2018年改善程度好于2017年(见图9)。2017年,天津市PM_{2.5}浓度的第75百分位数下降幅度大于算术均值,空气质量改善是以降低轻、中度污染天气为主,中位数改善程度仅为算术均值的1/4。2018年,PM_{2.5}浓度的算术均值与百分位数变化差异较大,第10百分位数及第95百分

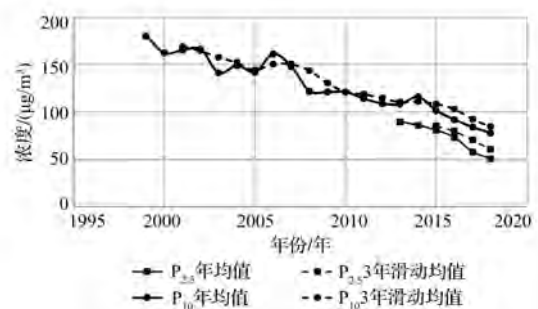


图10 北京市颗粒物年均值及3年滑动均值变化趋势

位数降低幅度分别为算术均值的2倍和1.7倍,表明好天气和重污染天气均在大幅增加(见表5)。这说明天津市空气质量改善进程仍处于持续攻坚期,空气质量变化对气象条件、减排力度、管理水平等因素依然较为敏感。

表 5 2016—2018 年天津 PM_{2.5} 浓度值

 单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

年份	算术均值	百分位数					
		10%	25%	50%	75%	90%	95%
2016	69	24	35	53	85	127	176
2017	63	23	33	52	76	116	175
2018	52	15	27	44	65	97	125
2017 较 2016 变化(%)	-8	-6	-6	-2	-11	-9	-1
2018 较 2017 变化(%)	-17	-34	-18	-15	-14	-17	-29

2013 年以来, 天津市 PM_{2.5} 浓度年均值及 3 年滑动均值均呈下降趋势, 2018 年 PM_{2.5} 浓度年均值比 2015 年下降 26%, 3 年滑动均值下降 27%。天津市 PM₁₀ 浓度在 2013 年有较大波动, 总体呈下降趋势。与 2007 年相比, 2018 年 PM₁₀ 年均值下降 30%, 3 年滑动均值下降 28%(见图 11)。

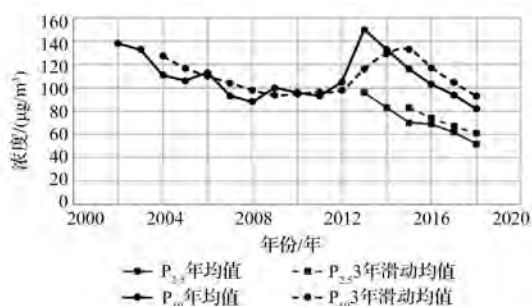


图 11 天津市颗粒物年均值及 3 年滑动均值变化趋势图

5.3 上海市

2016—2018 年, 上海市 PM_{2.5} 波峰浓度一直在 20~40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 范围内(见图 9), 其中 2017 年降低幅度大于 2018 年, 2017 年第 90 百分位数及第 95 百分位数降低幅度较大, 空气质量改善以降低污染天气为主, 2018 年空气质量改善以增加优良天气为主(见表 6)。

5.4 广州市

广州市 PM_{2.5} 浓度算术均值较为稳定, 总体变化不大。但是百分位数波动较大, 2017 年优等天气大幅减少, 2018 年空气质量为良的天气大幅减少(见表 7)。

5.5 其他城市

2016—2018 年, 唐山市 PM_{2.5} 浓度波峰从 40~60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降低到 20~40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (见图 9), 第 90 百分位数及第 95 百分位数降低幅度较大, 空气质量改善以降低中、重度污染天气为主(见表 8)。

 表 6 2016—2018 年上海市 PM_{2.5} 浓度值

 单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

年份	算术均值	百分位数					
		10%	25%	50%	75%	90%	95%
2016	45	16	23	36	59	85	105
2017	39	16	21	33	50	68	81
2018	36	13	19	29	45	70	86
2017 较 2016 变化(%)	-14	-3	-11	-8	-15	-20	-23
2018 较 2017 变化(%)	-7	-19	-9	-12	-10	3	7

 表 7 2016—2018 年广州市 PM_{2.5} 浓度值

 单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

年份	算术均值	百分位数					
		10%	25%	50%	75%	90%	95%
2016	36	17	23	32	45	60	73
2017	35	15	21	32	47	62	72
2018	35	16	21	31	42	60	76
2017 较 2016 变化(%)	-1	-12	-9	2	3	3	-1
2018 较 2017 变化(%)	0	8	0	-3	-9	-3	6

石家庄市 2017 年低、中百分位数大幅上升, 空气质量改善主要是降低了污染天气, 2018 年各类型空气质量改善总体较为一致(见表 8)。

西安市 2017 年空气质量下降, 2018 年空气质量改善, 主要归因于减少重污染天气、增加空气质量为良的

天气(见表 8)。

需要注意的是, 2016 年晋城市 PM_{2.5} 浓度分布不是一条抛物线, 中间有明显的下降, 分布不太符合常理(见图 9)。2017 年晋城市 PM_{2.5} 浓度的算术均值同比上升 5%, 第 10 百分位数、第 25 百分位数及第 50 百分位

数大幅上升,第75百分位数、第90百分位数及第95百分位数大幅改善(见表8)。总体来看,2018年同比数据变化较为合理,2017年与2016年相比数据变化不太合理,需要进行深入分析。

表8 2016—2018年典型城市PM_{2.5}浓度值单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

重点区域	年份	算术均值	百分位数					
			10%	25%	50%	75%	90%	95%
唐山	2016	74	25	38	57	88	149	184
	2017	67	27	36	53	78	123	164
	2018	61	26	36	52	74	105	143
	2017较2016变化(%)	-10	8	-5	-7	-11	-18	-11
	2018较2017变化(%)	-9	-5	0	-3	-5	-14	-12
石家庄	2016	99	23	35	65	128	211	269
	2017	86	32	43	64	101	178	224
	2018	72	27	37	54	90	145	179
	2017较2016变化(%)	-13	39	23	-2	-21	-16	-17
	2018较2017变化(%)	-16	-16	-14	-16	-11	-19	-20
西安	2016	72	23	33	51	86	151	200
	2017	73	24	33	50	86	145	218
	2018	63	23	30	44	81	137	183
	2017较2016变化(%)	2	4	1	-2	0	-4	9
	2018较2017变化(%)	-14	-6	-11	-12	-5	-6	-16
晋城	2016	62	15	24	43	94	131	167
	2017	65	26	39	57	81	112	142
	2018	62	24	37	51	77	105	161
	2017较2016变化(%)	5	73	63	34	-14	-15	-15
	2018较2017变化(%)	-5	-6	-6	-11	-5	-6	13
临汾	2016	73	22	32	47	76	178	241
	2017	83	35	48	63	92	148	204
	2018	70	24	37	55	86	133	169
	2017较2016变化(%)	13	59	50	35	21	-17	-15
	2018较2017变化(%)	-15	-32	-23	-13	-6	-10	-17

从“2+26”城市及汾渭平原典型城市案例分析结果来看,不同城市空气质量变化模式不同,相同的算术均值对应的百分位数浓度值下降各不相同,相应的控制策略实际上也有所不同。另外,从百分位数的分布规律也可以看出数据的合理性。

6 总体结论与建议

采用算术平均法评价空气质量变化情况基本合适,但表征信息不一定全面。评价区域及城市空气质量要尽量深入挖掘数据信息,科学、客观、全面地评价污染治理情况,以便找准治理方向。建议:

(1)滑动平均法在一定程度上可以剔除气象条件等因素对空气质量变化的影响,建议“十四五”时期采用3年滑动均值评价长期空气质量变化趋势,并将该指标纳入年度考核指标。同时,也可以考虑以人口加权的方式评价污染治理成效,但需开展大量测试性研究,科学化各因素的不确定性。

(2)各地区在开展空气质量分析评价及发布报告时,在继续发布城市空气质量监测数据算术均值的同时,辅助评价不同百分位数情况,全面、客观、精细、准确地描述空气质量状况,采取有针对性的精准控制措施;

(3)尽可能淡化用区域内不同城市年均值的算术均值代表区域内整体改善效果的评价方法,对区域内城市进行针对性分析,重点分析不同城市的具体问题。

参考文献:

- [1] United States Environmental Protection Agency. Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter [Z]. 52 Federal Register 24634-24715, 1987.
- [2] European Communities. Standardizing and rationalizing reports on the implementation of certain Directives relating to the environment [Z]. Council Directive 91/692/EEC of 23, 1991.
- [3] European Commission. Air Quality standards [O/L]. (2019-04-15). <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>.
- [4] United States Environmental Protection Agency. NAAQS Table [O/L]. (2019-04-15). <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>.
- [5] Canadian Council of Ministers of the Environment. CAAQS Management Levels [O/L]. (2019-04-15). <http://airquality-qualitedelair.ccm.ca/en/>.

Comparative analysis of air quality evaluation by arithmetic method, percentile method and moving average method and the information it reveals

WEI Zhengzheng, HUANG Bingzhao, JIANG Yudan, GUO Yun, WANG Min

(Policy Research Center for Environment and Economy, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100029, China)

Abstract: Analyzing and assessing air quality by utilizing arithmetic method, percentile method and moving average method can describe air quality condition in a more comprehensive, objective, and precise way, and reveal air pollution situation for different cities. Arithmetic method and percentile method will lead to different results in evaluating air quality improvement of 169 cities, which reflects that air quality improvement in 2017 is mainly attributed to the decrease in days of severe pollution and air quality improvement in 2018 is mainly attributed to the increase in days of fine condition and slight pollution. There is a good linear relationship between median and arithmetic mean of $PM_{2.5}$ concentration for 169 cities, and it is getting stronger, which indicates that heavy pollution control has made progress. The percentile changes compared to that of the past years reflect different work priorities and achievement for different stages of air pollution prevention and control. The “2+26” cities in Beijing-Tianjin-Hebei and its surrounding areas mainly reduced days of severe pollution in 2017, but switched to increase days of good and fine air quality in 2018. The Pearl River Delta region and the Yangtze River Delta region are both dominated by increasing days of fine air quality. The 3-year moving mean curve is flatter than the annual mean curve, and it can reflect the pollution control achievement more precisely. It is suggested to deep dive into air quality data and information, and utilize multiple evaluation methods to characterize pollution control progress.

Keywords: air quality; arithmetic method; percentile method; moving average method

生态环境部环境与经济政策研究中心组织召开 2019 年度“海洋生态环境政策规划研究与法律法规修订” 项目对外委托课题中期推进会暨《海洋环境保护法》修订专题研讨会

2020 年 3 月 19 日-20 日,生态环境部环境与经济政策研究中心法治体制部(以下简称政研中心法治部)组织召开 2019 年度“海洋生态环境政策规划研究与法律法规修订”项目中期推进会暨《海洋环境保护法》修订专题研讨会。会议以网络视频形式进行。生态环境部海洋生态环境司综合处相关负责人,政研中心副主任田春秀、课题组及相关人员出席会议。北京大学资源能源与环境法研究中心主任汪劲教授,武汉大学环境法研究所所长秦天宝教授,浙江工商大学蓝色文明与绿色法制研究中心主任徐祥民教授,浙江大学环境法中心执行主任巩固教授,中国海洋大学法政学院马英杰教授,大连海事大学李天生教授、阎铁毅教授,中国海洋石油集团法律部法规处处长阮晏子,中国太平洋学会副秘书长郁志荣研究员担任中期检查评审专家并参与研讨。

会上,厦门大学、上海海洋大学、中国海洋大学、政研中心法治部有关课题组成员分别围绕《海洋生态环境保护》违法处罚力度和处罚方式、海洋生态环境保护涉海相关部门协作机制与地方政府责任、海洋生态环境保护法律体系及重点领域法律问题、地方海洋环境保护立法评估研究等内容进行了重点汇报。

专家们研讨热烈,围绕课题组汇报的研究成果对现行《海洋环境保护法》行政处罚条款的处罚方式和处罚力度进行了分析和评价。同时,与会专家从违法处罚方式的创新、违法处罚额度的设定等方面对《海洋环境保护法》提出行政处罚条款的修法建议;从沿海省份机构改革前后海洋环境保护监督管理体制、执法机制变化情况着手,从职权划分的角度对涉海机构协作机制、地方政府职责进行明确;梳理海洋环境保护法律的渊源体系和法律规范体系,从生态环境保护的角度,针对目前存在的较为突出的海洋环境问题提出立法建议;结合现实的管理问题和环境污染问题,探索地方海洋生态环境保护立法中存在的亮点与创新。

此次中期推进会暨《海洋环境保护法》修订专题研讨会的召开,为下一步海洋环境保护法修订研究工作提出了建设性意见,开阔了研究思路。政研中心课题组及对外委托合作单位将进一步聚焦现有突出的海洋环境污染与生态保护方面的重点问题,做好相关立法论证技术支持工作。

(生态环境部环境与经济政策研究中心 供稿)