

我国空气质量的时空变化及其城市群分布特征

——兼论“十三五”时期以来我国空气污染治理成效

张欢 吴瑛祖 梅煜臻 成金华 郑锦航*

摘要: 聚焦大气污染防治的重点时段、空间和重点地区,本文探索了2015—2021年全国、七大地理区域、省域、城市群及重点城市环境空气质量的时空变化,论述了我国“十三五”时期以来空气污染治理成效。研究发现:“十三五”时期以来我国大气环境质量取得了显著性、全局性改变;“十三五”时期以来我国呈现大气环境质量时空格局相对稳定且持续改善的过程;19个重点城市群空气质量总体呈现动态改善情景特征,东部城市群AQI高于西部城市群,北方城市群AQI高于南方城市群,并呈现以京津冀及周边地区为重心的城市群“连片化”分布特征。优化提升类城市群的空气质量改善幅度总体上依次高于发展壮大类城市群和培育发展类城市群,太原市、石家庄市、开封市、郑州市、济南市、西安市、天津市等中心城市大气污染依然严重。本文建议“十四五”时期我国深入大气污染防治攻坚战,应聚焦华北、西北、华中、华东地区冬春季大气污染防治,以87个环境空气PM_{2.5}浓度监测值超二级浓度限值的城市为重点,以京津冀及周边地区、汾渭平原、东北地区、天山北坡等区域的城市群为攻坚目标,强化太原市、石家庄市、开封市、郑州市、济南市、西安市和天津市等中心城市大气污染防治,引领全国空气质量的深入改善。

关键词: 空气质量;时空变化;蓝天保卫战;城市群;空气污染治理

一、引言

2013年我国遭遇了严重的雾霾污染,也在这一年我国开启了认识最深、力度最大、举措最实、推进最快、成效最显著,可谓史无前例的“蓝天保卫战”。据2021年9月15日生态环境部

*张欢,中国地质大学(武汉)经济管理学院,邮政编码:430078,电子信箱:zhanghuan2002@cug.edu.cn;吴瑛祖,中国地质大学(武汉)经济管理学院,邮政编码:430078,电子信箱:1347572353@qq.com;梅煜臻,中国地质大学(武汉)经济管理学院,邮政编码:430078,电子信箱:956487163@qq.com;成金华,中国地质大学(武汉)经济管理学院,邮政编码:430078,电子信箱:chengjinhua100@126.com;郑锦航,中国地质大学(武汉)经济管理学院,邮政编码:430078,电子信箱:1729692908@qq.com。

本文系国家社科基金项目“城市群强化多种空气污染物协同控制和区域协同治理的体系与政策研究”(21BJY118)的阶段性成果。感谢匿名审稿人提出的宝贵意见。文责自负。

部长黄润秋在“中国这十年”系列主题新闻发布会之“贯彻新发展理念,建设人与自然和谐共生的美丽中国”中介绍,“我国PM_{2.5}平均浓度从2015年的46μg/m³降到了2020年的33μg/m³和2021年的30μg/m³,历史性地达到了世卫组织第一阶段过渡值;2021年空气优良天数比率提高到87.5%,成为世界上空气质量改善最快的国家”。但我国重点地区、重点领域大气污染问题仍然突出,京津冀及周边等区域PM_{2.5}浓度仍处于高位,秋冬季重污染天气依然高发、频发^①,空气质量离发达国家水平还有较大差距。2022年11月生态环境部等15部门联合印发《深入打好重污染天气消除、臭氧污染防治和柴油货车污染治理攻坚战行动方案》,其中明确到2025年基本消除全国重度及以上污染天气。当前我国“蓝天保卫战”的结构性和根源性、趋势性压力依然突出,面临着气象条件相对不利和多种空气污染排放规模依然较大的双重压力。2022年党的二十大强调深入推进污染防治要坚持精准治污、科学治污、依法治污。2023年7月习近平总书记在全国生态环境保护大会上指出,要以高品质生态环境支撑高质量发展,加快推进人与自然和谐共生的现代化。精准、科学把握我国大气污染的问题包括时间、区域、对象、措施等,是我国深入开展污染防治行动的基本依据。

大气污染具有时段性和区域性特征,学者们从全国、城市、省域、城市群等尺度对我国大气污染的重点时段、重点区域及时空格局展开了广泛研究。在全国层面,肖悦等(2017)综合运用层次聚类法和重心迁移等模型对近10年来空气质量变化进行跟踪,得出我国空气质量逐年好转和存在“北重南轻、东重西轻”的空间分布格局;张向敏等(2020)基于统计分析与时空自相关等方法研究,得出全国及陆地表层系统九大区域空气质量指数存在“U”型季节变化特征和“L”型月际变化特征;许燕婷等(2019)基于2014—2016年空气质量指数(AQI)指标研究,认为我国空气质量存在华北、华中与新疆南部地区城市的“热点区”和华南地区沿海城市的“冷点区”。在省域尺度,何振芳等(2021)指出河北省AQI总体呈现逐年减少的趋势,大气污染主要发生在中西部和南部,尤以邯郸、邢台与石家庄等地最为严重;刘杰等(2023)研究认为山东省AQI和空气污染物浓度具有明显的月、季和年际变化特征及地区性差异,鲁东地区空气质量明显优于鲁西地区。在城市单元,刘保献等(2023)研究认为2018—2020年北京市PM_{2.5}存在南高北低的空间分布特征,但南北差异逐年减小,区域浓度趋于均一化;白煜等(2023)分析得出上海市2019年空气质量总体属Ⅱ级良,首要污染物为PM_{2.5}、O₃和NO₂;杨丹丹等(2021)运用区域大气环境模型RegAEMS与数学规划模型研究临汾市大气PM_{2.5}污染,得出临汾市利用空气质量模式与多目标遗传算法的PM_{2.5}最优控制策略。在时空格局方面,刘媛等(2023)基于2003—2016年地级市大气PM_{2.5}质量浓度栅格数据研究,得出我国PM_{2.5}污染在时序演化上呈“M”型波动态势,在空间分布上以胡焕庸线为界呈现出“东高西低”集聚型格局,

^①资料来源:https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk03/202211/t20221116_1005042.html。

符建华和周方召(2020)认为我国区域间空气质量水平差异明显,南部沿海地区空气质量普遍较好,北方内陆地区空气质量整体较差,刘华军和杜广杰(2016)基于161个城市AQI及6种分项污染物的实证研究,得出我国城市大气污染存在显著的空间非均衡及地理集聚特征。这些研究为我国多尺度开展大气污染防治提供了重要依据。

密集的城市分布和连片的城镇地区减少了稀释污染物的缓冲空间,污染在城市间及城区内相互传输、互相影响的作用加大,使得城市群连片大气污染和中心城市密集大气污染尤为突出。围绕我国城市群大气污染,王振波等(2019)学者运用GIS空间分析和空间面板杜宾模型探究,发现我国19个城市群的 $PM_{2.5}$ 浓度以胡焕庸线为界呈现东高西低的格局,城市群间空间差异性显著且不断扩大;万庆等(2022)运用Dagum基尼系数、变异系数和收敛模型等方法研究得出我国城市群空气质量在波动反复中趋于改善,呈现出“南优北劣”的空间分异特征。京津冀城市群是我国大气污染严重区和重点治理区,刘海猛等(2018)运用空间自相关分析和空间计量模型定量论述了京津冀城市群2000—2014年 $PM_{2.5}$ 浓度整体呈上升趋势,季节上呈秋冬高、春夏低,空间上呈东南高、西北低的特点。程钰等(2019)认为京津冀及周边地区“2+26”城市空气质量趋于改善,空间趋势上呈现显著的空间异质性。学者们也对长三角城市群(Ye & Ou, 2019)及其它区域(Li et al., 2019)展开了细致研究。这些研究为我国统筹京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原等重点区域大气污染防治工作提供了依据。

不同空间尺度存在相互影响和互相关联,大气污染治理需在多尺度区域和多级政府间协作展开,以上研究中学者们限于全国、七大地理区域、省域、城市和城市群中的一个或两个尺度对我国大气污染的时间、区域、对象展开研究,缺乏对这五个尺度的全面系统研究。本研究将探索全国、七大地理区域、省域、城市群及重点城市环境空气质量的时空变化,论述“十三五”时期以来我国空气污染治理成效,可作为“十四五”时期我国在重点时段、空间和重点区域精准、科学、深入开展污染防治行动的决策依据。

二、数据与方法

(一)数据来源与区域划分

各城市大气污染监测采用严谨的评估框架是科学评估空气质量改善的依据。生态环境部2020年发布的《“十四五”国家空气、地表水环境质量监测网设置方案》提出对339个地级及以上城市(含直辖市、地级市、地区、自治州和盟)1734个监测点位数量进行空气质量监测。本研究中的全国空气质量数据来源于各年的《中国生态环境状况公报》;文中使用的环境空气质量指数(AQI)数据来源于中华人民共和国生态环境部公布的2015年12月—2021年12月的全国各城市空气质量在线监测平台数据;省级大气质量数据来源于2015—2021年各省市自治区的《生态环境状况公报》;城市空气质量优良和污染天数比例以及 $PM_{2.5}$ 年均浓度来自

2015—2021年各城市的《生态环境状况公报》，部分数据补充自生态环境部公布的官方文件。行政区划数据来自1:400万国家基础地理信息数据库。

当前,我国经济发展的空间结构正在发生深刻变化,中心城市和城市群已成为承载发展要素的主要空间形式(习近平,2019),持续改善中心城市和城市群大气环境质量是提质中心城市和城市群开拓高质量发展的重点任务。为适应我国城镇化进入后期阶段的城市群化和中心城市化发展趋势,我国政府积极构建以中心城市和城市群为引领的现代化城镇体系。中共中央和国务院2021年发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》列出了19个城市群,包括京津冀、长三角、珠三角、长江中游以及成渝城市群等优化提升的五大国家级城市群;山东半岛、中原、关中平原、粤闽浙沿海以及北部湾等发展壮大五大区域级城市群;哈长、辽中南、山西中部、黔中、滇中、呼包鄂榆、兰西、宁夏沿黄以及天山北坡等培育发展的九大地区级城市群。本研究中的城市群范围均采纳方创琳(2020)界定的现状范围,并跟踪各城市群发展规划进行更新,中心城市范围依据国家信息中心《城市群中心城市营商环境研究2019》对中心城市的划分,结合各城市“十四五”发展规划,选取37个中心城市,如表1所示。

表1 我国“十四五”时期城市群“优化提升、发展壮大、培育发展”战略一览表

城市群战略	城市群名称	中心城市
优化提升	京津冀、长三角、珠三角、长江中游、成渝	北京、天津、石家庄、上海、南京、杭州、合肥、广州、深圳、成都、重庆、武汉、长沙、南昌
发展壮大	山东半岛、中原、关中平原、粤闽浙沿海、北部湾	济南、青岛、福州、厦门、郑州、开封、洛阳、西安、南宁、海口
培育发展	哈长、辽中南、山西中部、黔中、滇中、呼包鄂榆、兰西、宁夏沿黄、天山北坡	哈尔滨、长春、沈阳、大连、太原、贵阳、昆明、呼和浩特、包头、兰州、西宁、银川、乌鲁木齐

(二)空气质量等级标准划分

严谨的评估框架是科学评估空气质量改善的前提。原环保部2012年发布和2016年实施的《环境空气质量指数(AQI)技术规定》(HJ 633—2012)规范了我国环境空气质量指数日报和实时报工作,设定了空气质量指数(AQI)一级限值和二级限值分别为50和100,AQI处于0~50和51~100区间相对应的空气质量类别为优和良。结合我国环境空气质量现状和万庆等(2022)的分类标准,深化各项污染物的生态环境效应及其对人体健康的影响及指标改善的差异,将AQI分级深化为4类:设定环境空气质量指数低于一级限值为超低值(≤ 50),高于二级限值为超标值(> 100),将介于一级限值和二级限值区间值分为低值(50~80)和高值(80~100),以评价各区域环境空气质量改善情况,本文中各地理区域AQI数据为各地区中省份AQI数值算术平均,各城市群AQI数据为各城市群内地级及以上城市AQI数值的算术平均值。

PM_{2.5}浓度是环境空气质量监测指标,也是雾霾污染评价的关键指标。《环境空气质量标

准》(GB 3095—2012)中对年平均、24小时平均和月平均等术语进行定义,其中,年平均是指一个日历年内各日平均浓度的算术平均值,24小时平均是指一个自然日24小时平均浓度的算术平均值,也称为日平均。本文采用PM_{2.5}年平均浓度一级浓度限值15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和二级浓度限值35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 对PM_{2.5}浓度水平进行评价,自然保护区、风景名胜区和其他需要特殊保护的区域要求环境空气PM_{2.5}浓度达标一级浓度限值,居住区、商业交通居民混合区、文化区、工业区和农村地区要求环境空气PM_{2.5}浓度达标二级浓度限值。各城市颁布的空气质量相关指标,如空气质量优良天数比例、PM_{2.5}浓度值等按照该标准所规定的指标进行发布,并成为我国各地区大气质量控制与改善的对标依据。面对我国突出的大气环境问题,结合我国环境空气中PM_{2.5}浓度现状,采取五分法区分年度环境空气PM_{2.5}浓度达标和超二级标准现状,可以更准确地反映空气质量的细微变化,以评估和监控各区域环境空气PM_{2.5}年均浓度单元达标和超标情况,及时发现和解决环境问题,制定更加有效的环境保护措施,同时为推动我国环境空气质量标准与要求更为严格的全球空气质量指导值接轨提供科学依据。文中设定环境空气PM_{2.5}浓度低于一级浓度限值为超低值($\leq 15\mu\text{g}/\text{m}^3$),高于二级浓度限值为超标值(35 $\mu\text{g}/\text{m}^3\sim 70\mu\text{g}/\text{m}^3$)和超标1倍值($>70\mu\text{g}/\text{m}^3$),将介于一级浓度限值和二级浓度限值区间值分为低值(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3\sim 25\mu\text{g}/\text{m}^3$)和高值(25 $\mu\text{g}/\text{m}^3\sim 35\mu\text{g}/\text{m}^3$),以评价各区域环境空气PM_{2.5}浓度单元达标和超标情况。一般认为,24小时环境空气PM_{2.5}浓度平均值为75~115、115~150、150~250、大于250及以上为达到轻度污染、中度污染、重度污染和严重污染。对于年度环境空气PM_{2.5}浓度,本文将年度环境空气PM_{2.5}浓度超标二级浓度限值1倍值($>70\mu\text{g}/\text{m}^3$)的地区视为重度污染区域,考虑到数据的可得性,暂未选取西藏自治区、台湾省、香港特别行政区与澳门特别行政区的PM_{2.5}浓度数据。

三、结果与分析

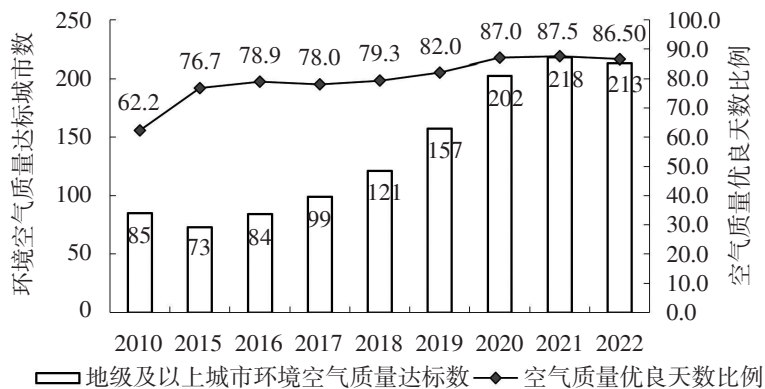
(一)“十三五”时期以来我国大气污染治理的总体成效

1. 治理体制机制不断完善,空气质量稳步提升

坚持以习近平生态文明思想作为我国生态文明建设和生态环境保护工作的根本遵循和行动指南。“十三五”时期以来,我国修订了《中华人民共和国环境保护法》(2014年)、《中华人民共和国大气污染防治法》(2018年),出台了《“十三五”生态环境保护规划》(2016年)、《“十三五”节能减排综合工作方案》(2017年),颁布实施了《打赢蓝天保卫战三年行动计划》(2018年)和《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》(2021年)、《深入打好重污染天气消除、臭氧污染防治和柴油货车污染治理攻坚战行动方案》(2022年),建立和实施了生态文明目标评价考核和责任追究、中央生态环境保护督察、排污许可、生态环境损害赔偿等一系列制度,深入推进生态保护红线监管工作的同时持续整治“散乱污”企业,深化生态环境保护综合行政执法改革,“党政同责、一岗双责”领导机制真正实现了从“破冰”到落地见效,为我国“蓝天保卫战百

米冲刺”式求变提供了强有力的思想、法律、体制、组织、作风支撑。

“十一五”期间的2013年,我国遭遇了大范围、严重的雾霾污染,这一年我国发布了《大气污染防治行动计划》,开启了“蓝天保卫战”。“十二五”期间,2015年我国空气质量平均优良天数占比从2010年的62.2%上升到的76.7%,但地级及以上城市环境空气质量达标城市数从85个减少到73个,仅有21.9%的城市环境空气质量达标(如图1所示),大气污染形势十分严峻。“十三五”时期我国全面开展污染防治攻坚战,将着力解决雾霾等突出环境问题作为加快生态文明体制改革、建设美丽中国的重点,聚焦燃煤、工业、机动车、生活和农业等其他大气污染源,各个地区、部门紧密协作,大力调整优化能源结构、产业结构、交通运输结构、城市环境治理结构、秸秆综合处置等的生态环境保护工作都取得积极进展,大气环境质量取得了显著性、全局性改变。如图1所示,“十三五”时期我国空气质量优良天数比例与地级及以上城市环境空气质量达标数稳定上升、齐头并进。2015年地级及以上城市环境空气质量达标数和空气质量优良天数比例分别仅为73个和76.7%。到2021年,我国地级及以上城市环境空气质量达标城市数增加至218个,超过60%的城市环境空气质量达标,比2015年增加了145个;2022年虽较2021年减少了5个达标城市,但较2015年仍增加了140个。“十三五”时期,我国空气质量优良天数比例在2017年小幅下降,2018年恢复上升态势,2020年达到87.0%,超过了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》中空气质量约束性指标确定的2020年地级及以上城市空气质量优良天数比率目标值80%,2021年该比率进一步上升至87.5%,2022年虽下降了1个百分点,但较2015年仍有大幅提升。



注:2010年空气环境质量评价范围为我国113个重点城市,监测指标为重点城市空气质量好于二级标准的天数超过292天的比例(%),“十二五”期间,空气环境质量评价范围增加到333个全国地级及以上城市。

图1 “十二五”以来我国地级及以上城市环境空气质量达标及空气质量优良天数情况

2. 城市PM_{2.5}浓度取得全局性、显著性改善

为响应2013年国务院发布的《大气污染防治行动计划》,原环保部对我国74个重点城市的空气质量进行实时监测,2018年为传导治污压力、促进协同治理,生态环境部将重点监测城

市范围扩大至168个。2015年,我国有154个城市的PM_{2.5}年均浓度监测值超二级浓度限值,其中有38个城市监测值超二级浓度限值1倍(认为呈重污染情形的年度特征),分别占168个重点监测城市的91.67%和22.62%。PM_{2.5}年均浓度监测值介于一级浓度限值和二级浓度限值区间的高值和低值城市分别有12个和2个,没有低于一级浓度限值的城市。到2021年,PM_{2.5}年均浓度监测值超二级浓度限值的城市下降到87个,没有监测值超二级浓度限值1倍,即没有呈重污染情形的年度特征城市;监测值介于一级浓度限值和二级浓度限值区间的高值和低值的城市分别有57个和21个,有3个城市环境空气PM_{2.5}年均浓度监测值低于一级浓度限值。按照前文的分类,降档城市数量依次为38、65、11和2个^①,比例达到69.05%,这说明我国城市雾霾治理取得了全局性和显著性改善。

各城市来看,2015年,PM_{2.5}年均浓度监测值为超二级标准1倍的38个城市中包括京津冀城市群的保定(106 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、邢台(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和衡水市(99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),山东省的德州(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、聊城(98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和菏泽市(94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)等及华中地区河南省的郑州(96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、新乡(94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和安阳市(92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)等,这些城市多为相互毗邻,在华北、华中地区和山东半岛等区域连片分布。到2021年,上述城市PM_{2.5}浓度监测值呈现显著下降特征,其中山东省和河北省的大气污染严重城市PM_{2.5}治理成效尤为显著,2021年的PM_{2.5}年均浓度监测值后3个城市分别为山西的临汾市(53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、河南的濮阳市(51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和鹤壁市(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。2021年PM_{2.5}年均监测浓度低于一级浓度限值的3个城市分别为拉萨市(10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、海口市(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和舟山市(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),其他南部沿海地区、西南地区和青藏高原地区的城市PM_{2.5}年均浓度监测值也多处于低值区域。“十四五”时期深入推进大气污染防治攻坚战,应以87个环境空气PM_{2.5}年均浓度监测值超二级浓度限值的城市为重点,这87个城市分布在京津冀及周边地区、汾渭平原地区、山东省和河南省等区域。

3. 国家中心城市空气质量均取得改善

2010年国家住房和城乡建设部发布的《全国城镇体系规划纲要(2010—2020年)》提出建设五大国家中心城市(北京、天津、上海、广州、重庆),2016年至2018年,国家发展和改革委员会及住房和城乡建设部先后发函支持成都、武汉、郑州、西安建设国家中心城市。深圳市2022年经济总量和人口规模分别为3.24万亿元和1766.18万人,是粤港澳大湾区的核心引擎和全球海洋中心城市,同北京、上海、广州一起被认为是我国一线城市,本研究将深圳市列入国家中心城市展开研究。表2报告了我国10个国家中心城市2015、2020与2021年空气质量优良天数比例。“十三五”时期以来10个国家中心城市空气质量均取得改善,其中武汉、郑州、北

^①2021年城市PM_{2.5}监测值低于一级浓度限值的城市有3个,分别是拉萨市、海口市和舟山市,其中拉萨市和海口市城市PM_{2.5}监测值分别从2015年的25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降到2021年的10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,从低值档降到超低值档,舟山市城市PM_{2.5}监测值从2015年的29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降到2021年的15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,从高值档降到超低值档。

京、成都、上海和重庆的空气质量优良天数比例提升幅度高于全国平均改善水平,低于全国平均改善水平的依次为天津、广州、深圳和西安,仅有西安市空气质量优良天数比例有小幅下降。2021年成都、天津、上海、北京和郑州市继续保持改善趋势,2021年西安市空气质量优良天数比例上升到72.6%,较2020年和2015年分别提升了6.3%和5.5%。

各中心城市的发展水平和规模、地理气候条件等空气质量影响因素存在差异,其空气质量及改善水平亦有所不同。“十三五”时期以来,深圳市空气质量优良天数比例处于96%~97%的高水平;上海市空气质量优良天数比例从2015年的70.7%提高至2021年的91.8%,大幅提高了29.8%;重庆市和广州市空气质量优良天数比例在2020年较2015年分别提高了13.8%和5.7%,但均在2021年有小幅下降,呈现先上升后下降的变化特征;成都市持续加大大气环境治理力度,从2015年空气质量优良天数比例未达60%到2021年占比达到81.9%;武汉市空气质量优良天数比例提升幅度较大,2020年比2015年大幅提高了60.5%,2021年比2020年下降了6.2%,空气质量有回弹风险。需要指出的是,成都、武汉、北京、郑州、天津和西安市2021年的空气质量优良天数比例离《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中空气质量约束性指标确定的地级及以上城市空气质量优良天数比率目标值87.5%仍有大幅改善空间。“十四五”时期深入大气污染防治攻坚战,应持续推进郑州、天津、西安、北京、武汉和成都这六个未达到87.5%规划目标城市的大气环境治理,继续巩固深圳市和上海市空气质量治理成效。

表2 国家中心城市2015、2020和2021年空气优良天数比例

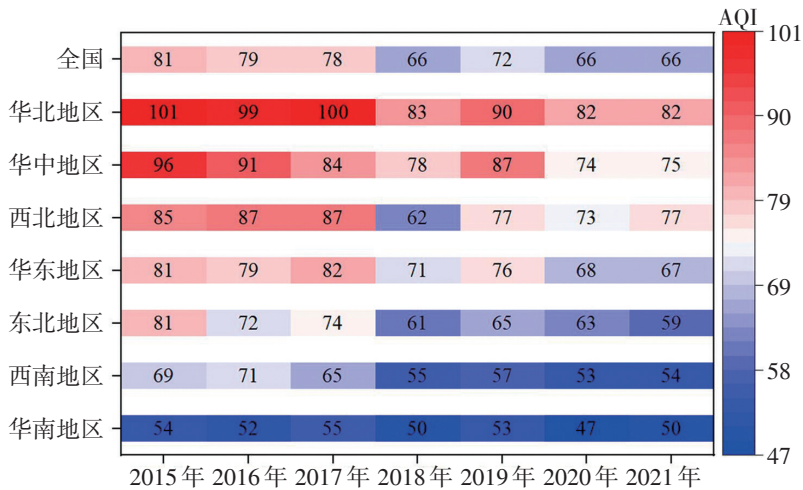
城市名称	2015年	2020年		2021年	
	空气质量优良天数占比(%)	空气质量优良天数占比(%)	较2015年变化比例(%)	空气质量优良天数占比(%)	较2020年变化比例(%)
全国	76.7	87.0	13.4	87.5	0.6
深圳市	96.3	97.0	0.7	96.2	-0.8
上海市	70.7	87.2	23.3	91.8	5.3
重庆市	80.0	91.0	13.8	89.3	-1.9
广州市	85.5	90.4	5.7	88.5	-2.1
成都市	58.6	76.5	30.5	81.9	7.1
武汉市	52.6	84.4	60.5	79.2	-6.2
北京市	51.0	75.4	47.8	78.9	4.6
西安市	68.8	68.3	-0.7	72.6	6.3
天津市	60.3	66.9	10.9	72.3	8.1
郑州市	37.8	62.8	66.1	64.9	3.3

注:城市排名按照2021年空气质量优良天数占比数值大小排列。

(二)“十三五”时期以来我国区域环境空气质量时空变化特征

1. 七大地理区域环境空气质量时间变化特征

(1)年平均空气质量指数(AQI)呈现波动改善趋势。将全国按照地理、气候、经济和行政管理因素划分为七大地理区,图2报告了全国及七大区域2015—2021年AQI年均值变化。“十三五”时期,2015年全国AQI年均值处于一级限值和二级限值区间的高值区(81),到2021年降至一级限值和二级限值区间的低值区(66)。七大地理区域AQI值均呈现不同程度的改善,西南(23.19%)、华中(22.92%)、东北(22.22%)和华北(18.81%)地区改善幅度高于全国平均改善水平(18.52%),低于全国平均改善水平的依次为华东(16.05%)、西北(14.12%)和华南(12.96%)地区。



注:我国按照自然地理分类标准通常划分为东北地区(黑龙江省、吉林省、辽宁省),华北地区(北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区),华中地区(河南省、湖南省、湖北省),华东地区(山东省、江苏省、安徽省、上海市、浙江省、江西省、福建省、台湾省),华南地区(广东省、广西壮族自治区、海南省、香港特别行政区、澳门特别行政区),西北地区(陕西省、甘肃省、宁夏回族自治区、青海省、新疆维吾尔自治区)和西南地区(四川省、贵州省、云南省、重庆市、西藏自治区)。

图2 全国及七大区域2015—2021年AQI年均值变化

我国七大地理区域的经济社会功能布局和地理气候等存在差异,空气质量及大气污染治理成效也存在差别。华北地区2015年的AQI(101)超过二级,2021年降低至82,仍处于AQI高值区,该区空气质量与该区钢铁及焦化等产业集中,煤炭利用规模较大相关;西北地区AQI年均值从2015年的85下降至2021年的77,从高值区降至低值区,该地区是我国煤炭、焦化等产业基地,高煤污染加之气候与地形地貌影响,沙尘暴频发,其大气污染防治依然严峻;华中地区2015年AQI年均值(96)处于高值区,2021年AQI年均值(75)降至低值区,该地区经济社会发展对重化工产业的依赖程度较高,大气污染治理压力较大;华东地区经济社会发展水平

较高、自然环境条件优越,其AQI年均值从2015年的81降低至2021年的67,其密集的城镇产生的城市污染形成了大气污染治理的长期约束,近年来臭氧污染形势严峻,环境空气质量仍有进一步改善空间;东北地区2015年AQI值为81,2021年降至59即低值区,空气质量治理成效显著,该地区空气质量受冬春季低温、冬季大规模燃煤和春季秸秆焚烧影响较大;西南地区“十三五”时期均处于AQI低值区,2015年和2021年的AQI年均值分别为69和54,空气质量维持相对稳定的水平;华南地区区域大气扩散条件较好,空气质量进一步改善,AQI年均值从2015年的54降至2021年的50,达到一级。各地理区“十三五”以来空气质量变化与张向敏等(2020)、李喜妍等(2022)的研究结论基本一致。“十四五”时期深入大气污染防治应重点加强华北、西北、华中、华东地区的大气污染监测与防治,持续推进东北和西南地区的空气质量提升行动,继续保持华南地区的空气质量良好水平。

(2)AQI月际变化呈“U”型和年际下行的改善趋势以及冬春季总体高于夏秋季的季节特征。图3报告了2015、2018、2021年全国及七大区域AQI月际变化。全国AQI月际变化呈现“U”型,表现出1—9月总体下降和9—12月总体上升的月度变化,冬春季AQI值总体高于夏秋季的季节特征。冬春季大规模燃煤扩大了大气污染物排放,加之低温更易发生大气污染,而夏秋季的降水量和地面植被的高密度以及大气中的太阳辐射引起的大气对流使得污染物扩散,因此冬春季大气污染较夏秋季更甚。赵艳艳等(2021)指出当气温高于15℃时,部分大气污染物如PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂和O₃随着气温升高而浓度降低,而CO和SO₂在气温高于10℃时就体现下降特征。如图3所示,全国AQI月际值除了2015年的1月和12月高于二级限值外,均介于二级和一级限值区间。大部分地理区域2021年AQI月际变化线低于2018年和2015年线,这表明AQI月际值呈年际下行的改善趋势,但也有部分月度有所反弹。例如华北地区和西北地区2021年3月份空气质量发生极大变动,AQI值“爆表”,分别达到133和127,这是因为2021年3月14日至15日晨,受冷空气影响,新疆南疆盆地西部、甘肃中西部、内蒙古及山西北部、河北北部等地出现扬沙或浮尘,部分地区出现近10年强度最大、范围最广的沙尘暴。

各地理区来看,华北地区AQI值月际间波动较大,大多在二级限值上下变动,离一级限值有较大差距,2015年12月该地区AQI甚至达到155的超高值,其大气污染形势最为突出;华中地区2015、2018、2021年1月的AQI值均超过二级限值,2018年和2021年6月份的空气质量下行;西北地区AQI值全年相对较高,大多介于70~100区间,该地区2021年1—11月的各月AQI值均要高于2018年;华东地区AQI月际间变化幅度较小,除了2015年1月和12月超过二级限值外,大多介于60~80区间,夏季改善程度显微,华东地区是我国臭氧污染的集中区,该地区夏季臭氧污染加重,降低了大气污染改善效果;东北地区AQI月际值大多介于50~70区间,其中2018年和2021年的8—10月均达到一级限值以下;西南地区和华南地区AQI值变化幅度较小且空气质量相对较好,月际AQI值大多介于40~60区间,尤其是夏秋季扩散条件有利时,

6—9月达到一级限值以下。“十四五”时期深入大气污染防治应重点关注华北、华中和西北地区的冬春季重污染天气消除,重视华东地区夏季臭氧污染治理,持续巩固西南和华南地区良好空气质量治理成效。

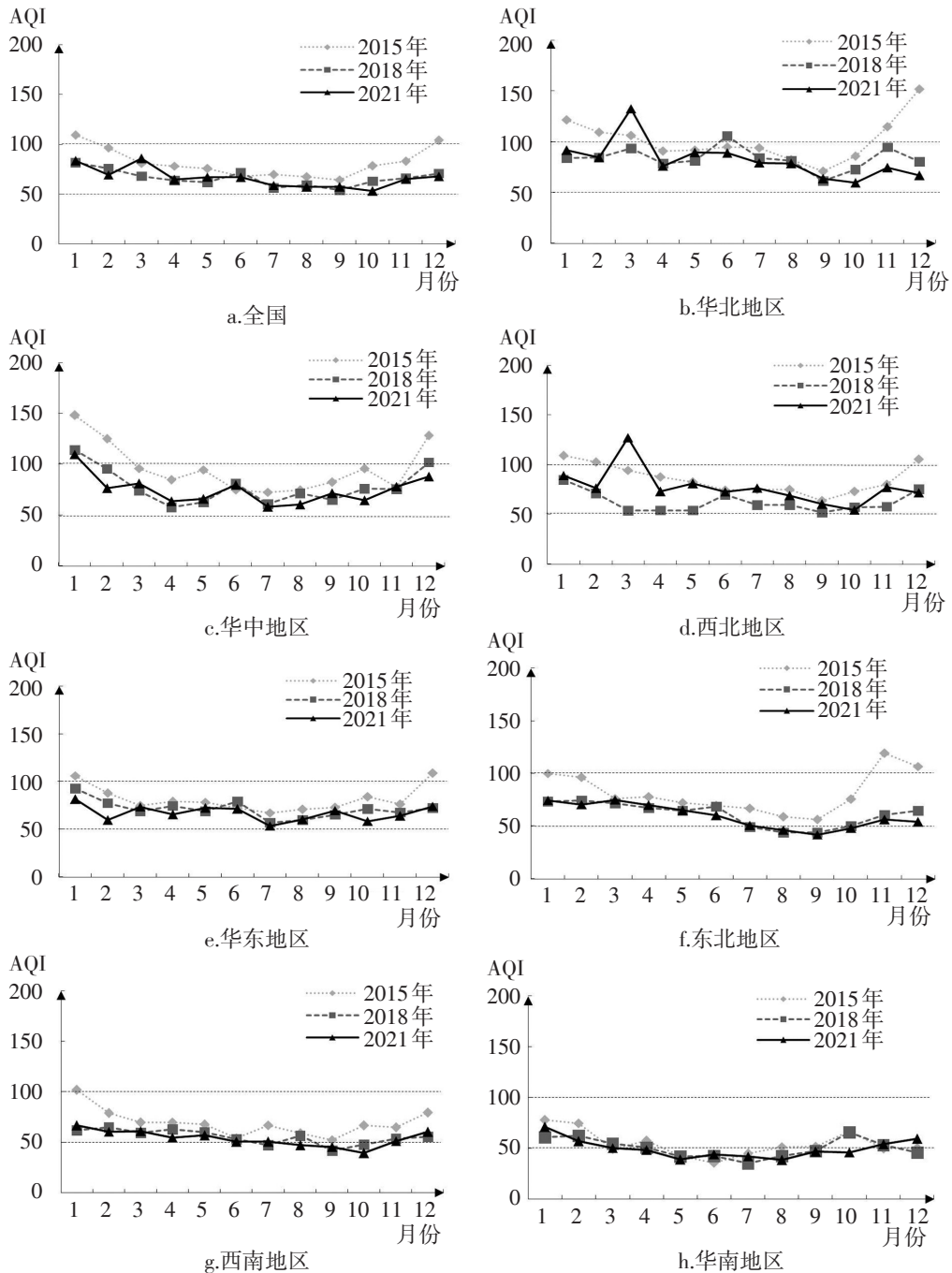


图3 2015、2018、2021年全国及七大区域AQI月际变化

2. 省域单元环境空气质量空间分布特征

2015年,我国省域PM_{2.5}年均浓度监测值超标1倍区域有北京市(81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、河南省(80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和山东省(76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),且其环境空气质量污染天数占比较大,分别占到了全年天数的49.0%、49.5%和41.2%,仅有福建省(13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、海南省(20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、云南省(28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、贵州省(32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和广东省(34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)PM_{2.5}年均浓度监测值低于二级浓度限值,且这五个省份空气质量优良天数比例均超过90%,其余省份均为PM_{2.5}年均浓度监测值高于二级标准的超标区域(西藏数据缺少)。2021年北京市(33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、河南省(45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和山东省(39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)均降档至PM_{2.5}年均浓度高值区,且其环境空气质量污染天数比例均降至30%以下,青海省(21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、云南省(22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、广东省(22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、贵州省(23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、甘肃省(23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、浙江省(24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和内蒙古自治区(23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)PM_{2.5}浓度降至低值区,海南省(13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)降至超低值区,且西藏自治区(99.8%)、福建省(99.7%)和海南省(99.4%)空气质量优良天数比例均超过99%,说明省域单元环境空气质量取得了全局性改善。

比较可以发现,“十三五”时期我国省域空气质量呈现以华北地区为高值区、向华中地区及沿海城市区域扩散的空间分布趋势,尤其是所属京津冀及周边地区及汾渭平原的省市自治区空气污染天数占比以及首要污染物PM_{2.5}的年平均浓度较高。“十三五”时期,我国省域空气质量优良天数比例显著提高,所有省域均达70%以上,省域尺度已基本消除年度PM_{2.5}浓度呈重污染情形,超标区范围大幅减少,2021年超二级标准的有河南省(45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、天津市(39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、河北省(39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、山西省(39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、山东省(39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和陕西省(36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),低值区范围逐渐扩大,南部沿海地区的浙江省、广东省和西南地区的云南省和贵州省及西北地区的内蒙古自治区、甘肃省和青海省环境空气质量较好,这与符建华和周方召(2020)得出的结论基本一致:我国区域间空气质量水平差异明显,南部沿海空气质量普遍好于北方内陆地区,同时PM_{2.5}污染物浓度对衡量空气质量较为重要。向堃和宋德勇(2015)对中国省域PM_{2.5}污染进行研究发发现河北省能源消耗量巨大,而在空间溢出效应的影响下,以京津冀为首的华北地区的省份也面临突出的PM_{2.5}污染,环境空气较好的省市自治区如广东省、福建省、云南省、贵州省和海南省均位于我国南部,也与本文研究结论基本一致。

(三)“十三五”时期以来我国空气质量的城市群分布特征

1. 中国城市群空气质量的总体空间分布特征

我国大气污染具有较复杂的形势,呈现出区域化的特点,由于产业分布、能源结构、人口与城镇密度和地形地势等因素的不同,不同城市群的空气污染来源也不同,各城市群空气污染程度也有所不同。当前,城市群在担当全面建设社会主义现代化高质量发展动力源的同时,也是我国“污染群”和大气污染防治的重点区(刘凯等,2020)。从我国2015、2018、2021年19个城市群年均AQI空间格局来看,城市群环境空气质量以胡焕庸线为界,东部城市群AQI

高于西部城市群,北方城市群AQI高于南方城市群,以京津冀及周边地区为重心的城市群“连片化”分布特征明显。这与郭一鸣等(2019)研究认为我国城市群2015—2017年年均AQI空间上呈“北高南低”格局,分布形态较为稳定,城市群内部空气质量趋于均衡,且不同类型城市群空气质量指数差距缩小的结论一致。

各年份来看,2015年,我国19个城市群AQI超高值区有京津冀城市群、山东半岛以及中原城市群,超过国家二级限值,天山北坡、宁夏沿黄、辽中南、关中平原、山西中部和长江中游等11个北部和中部城市群也处于AQI高值区;2018年,我国19个城市群AQI年均值均达到二级限值,且均比2015年有较大改善,其中,宁夏沿黄(92降至59)和兰西城市群(84降至56)空气质量治理效果显著,改善幅度分别达到35.69%和33.42%,中原、京津冀、山东半岛与山西中部城市群仍处于AQI大气污染治理压力较大的高值区;2021年,宁夏沿黄、天山北坡、呼包鄂榆和关中平原城市群大气污染反弹,从AQI低值区进入高值区,西北地区的城市群空气质量有所恶化。总体来说,我国19个城市群可明显提取出AQI值分布的高值中心,即由京津冀、山东半岛、晋中和中原城市群组成的华北地区城市群,其分别跟工业化和城镇化发展速度过快、以煤炭为主的能源结构、以重化工业为主的产业结构等因素有密切关系。由天山北坡、宁夏沿黄和呼包鄂榆城市群组成的西北地区城市群空气质量近年来发生较大波动,这与不利的气候条件以及地形地势有关。“十四五”时期深入大气污染防治,应重点推动京津冀及周边地区、汾渭平原等区域城市群大气污染防治工作,同时加强对天山北坡、东北地区等区域大气污染防治协作工作的指导。另外,滇中、黔中、北部湾及粤闽浙沿海城市群AQI年均值常年较低,空气质量较好,接下来应积极发挥带动作用,促进我国城市群空气质量协同向好发展。

2. 优化提升的五大国家级城市群空气质量变化特征

京津冀、长三角、珠三角、长江中游、成渝五大国家级城市群是我国打造世界一流城市群,显著提升经济实力和国际影响力的城市群。表3报告了我国优化提升的五大国家级城市群2015—2021年AQI年均值。“十三五”时期我国优化提升的五大国家级城市群大气污染防治取得显著改善,其2021年AQI年均值较2015年分别下降了25.00%(京津冀)、20.00%(长三角)、1.64%(珠三角)、19.28%(成渝)和18.29%(长江中游)。其中,京津冀城市群治理成效最为显著,但仍然是2021年五大优化提升类城市群中AQI值(87)最高的城市群。长三角、成渝、长江中游城市群2021年空气质量水平与改善幅度非常接近,空气治理成效明显;珠三角城市群空气质量保持较好,AQI年均值维持在60左右。

中心城市是城市群大气污染的极值区,其污染治理效果显著,并通过溢出效应等引领了城市群整体的治理水平。京津冀城市群中,北京市、天津市和石家庄市2021年AQI较2015年分别改善36.89%、17.48%和20.97%,成效显著,但其2021年的AQI年均值仍然高达77、85和98,大气污染仍突出;长三角城市群中,上海市2021年AQI值(64)低于城市群均值(68),改善

幅度达到28.09%，南京市和合肥市2021年AQI值分别为73和70，大气污染均较城市群突出；珠三角城市群中，深圳市空气质量较好，也是优化提升类城市群中唯一一个AQI值(50)达到二级限值的城市，广州市“十三五”时期AQI值保持在60~70区间；成渝城市群中，成都市和重庆市AQI年均值分别从2015年的100和81降至2021年的74和62，治理成效显著，但仍有改善空间；长江中游城市群中，2021年武汉市AQI值(77)和长沙市(76)“十三五”时期治理成效可观，大气污染问题仍存在改善空间。“十四五”时期深入大气污染防治，需以京津冀城市群为大气污染防治重点区域，强化北京市、石家庄市、天津市、武汉市、长沙市、南京市、成都市等中心城市大气污染防治，引领城市群空气质量的深入改善。

表3 优化提升的五大国家级城市群及城市AQI年均值

城市群	中心城市	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2021年基于2015年的变动幅度
京津冀	均值	116	111	111	94	99	90	87	-25.00%
	北京	122	113	102	87	87	79	77	-36.89%
	天津	103	104	108	92	100	90	85	-17.48%
	石家庄	124	136	134	112	114	103	98	-20.97%
长三角	均值	85	81	84	74	78	69	68	-20.00%
	上海	89	81	84	70	73	68	64	-28.09%
	南京	95	90	87	78	85	73	73	-23.16%
	杭州	87	86	85	76	80	68	68	-21.84%
	合肥	91	89	95	79	86	71	70	-23.08%
珠三角	均值	61	63	68	62	67	55	60	-1.64%
	广州	68	70	76	70	74	64	65	-4.41%
	深圳	53	55	56	51	58	47	50	-5.66%
成渝	均值	83	85	83	68	69	66	67	-19.28%
	成都	100	101	99	79	77	76	74	-26.00%
	重庆	81	81	81	69	72	67	62	-23.46%
长江中游	均值	82	79	79	69	76	65	67	-18.29%
	武汉	103	93	89	79	88	72	77	-25.24%
	长沙	87	83	85	76	83	71	76	-12.64%
	南昌	69	74	76	63	71	65	65	-5.80%
五大城市群	均值	85	84	85	73	78	69	70	-17.65%

3. 发展壮大的五大区域级城市群空气质量变化特征

发展壮大的五大区域级城市群是我国强化产业集聚和转型升级，增强人口承载能力的重点发展的城市群。表4报告了我国发展壮大的五大区域级城市群2015—2021年AQI年均值。总体来看，我国发展壮大的五大区域级城市群间空气质量差异较大，北部的中原城市群、山东半岛城市群和关中平原城市群AQI年均值较高，南部沿海的粤闽浙沿海、北部湾城市群

的AQI年均值相对较低,这些城市群的空气质量变化受其相邻优化提升城市群的影响较大。“十三五”期间,京津冀城市群周边的山东半岛城市群和中原城市群的AQI值及其变化幅度十分相近,分别从2015年的113和100改善到2021年的89和92,变化幅度分别为21.24%和16.36%,粤闽浙沿海城市群和北部湾城市群空气质量状况也与周边的珠三角城市群相似,2021年北部湾(51)和粤闽浙沿海(55)城市群的AQI值接近一级限值(50),改善幅度分别为5.17%和8.93%。关中平原城市群大气污染突出且改善幅度较小,AQI值从2015年的88下降到2021年的83,改善幅度仅为5.68%,总体状况仍在低水平徘徊。单杰等(2021)研究认为关中平原臭氧污染较严重,且陕晋甘三地重复、多头和立法等现实问题是制约当前关中平原城市群大气污染治理的主要障碍。

“十三五”时期以来,发展壮大的五大区域级城市群中,部分城市呈现AQI年均值与改善幅度均高于城市群均值的“双高”特征,如山东半岛城市群的济南市和中原城市群的郑州市。中原城市群的开封市和洛阳市大气污染突出且改善效果甚微,整体降低了城市群大气污染质量;厦门市和南宁市AQI值处于二级限值附近;海口市和福州市空气质量较好,2021年AQI值分别为43和46,达到二级限值以下。“十四五”时期深入大气污染防治,应加强中原、关中平原、山东半岛城市群大气污染防治,强化济南、开封、郑州及西安市等城市大气污染防治,持续巩固海口市、福州市、厦门市和南宁市空气污染治理成效。

表4 发展壮大的五大区域级城市群及城市AQI年均值

城市群名称	中心城市	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2021年基于2015年的变动幅度
山东半岛	均值	113	105	102	89	100	89	89	-21.24%
	济南	128	117	111	97	107	97	96	-25.00%
	青岛	86	79	82	69	80	70	73	-15.12%
粤闽浙沿海	均值	58	57	62	57	58	54	55	-5.17%
	福州	56	55	60	56	55	51	46	-17.86%
	厦门	50	52	53	50	54	50	52	4.00%
中原	均值	110	109	102	95	106	94	92	-16.36%
	郑州	135	121	97	96	112	99	96	-28.89%
	开封	107	109	92	97	110	99	98	-8.41%
	洛阳	105	121	101	90	113	93	93	-11.43%
关中平原	均值	88	99	103	80	91	81	83	-5.68%
	西安	96	116	124	96	105	92	91	-5.21%
北部湾	均值	56	54	56	51	53	47	51	-8.93%
	南宁	64	59	58	54	55	50	54	-15.63%
	海口	43	43	44	39	47	43	43	0.00%
五大城市群	均值	85	85	85	74	82	73	74	-12.94%

4.培育发展的九大地区级城市群空气质量变化特征

培育发展的九大地区级城市群是我国增强区域发展动能,加强对周边的支撑和带动能力的城市群。表5报告了我国培育发展的九大地区级城市群2015—2021年AQI年均值。总体来看,我国培育发展的九大地区级城市群空气质量治理成效大有差异,哈长和辽中南城市群在大气污染治理方面表现出色,宁夏沿黄和呼包鄂榆城市群AQI值有所下降,改善幅度较低,环境空气仍有改善潜力,而山西中部城市群偏离了培育发展类城市群AQI值总体下降趋势,2021年其AQI值较2015年出现正增长,防治效果微弱,大气污染治理压力较大。山西中部、宁夏沿黄、天山北坡以及呼包鄂榆城市群均处于AQI高值区,环境空气质量突出,而九大城市群中仅有滇中城市群AQI年均值低于国家一级限值,处于较低水平且保持稳定。

表5 培育发展的九大地区级城市群及城市AQI年均值

城市群名称	中心城市	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2021年基于2015年的变动幅度
哈长	均值	84	72	76	60	67	66	59	-29.76%
	哈尔滨	101	79	91	69	74	77	68	-32.67%
	长春	101	81	83	59	71	73	61	-39.60%
辽中南	均值	92	82	80	69	76	72	68	-26.09%
	沈阳	110	91	91	72	81	78	70	-36.36%
	大连	87	78	74	64	73	65	66	-24.14%
山西中部	均值	87	95	108	86	95	88	93	6.90%
	太原	93	103	115	96	104	98	101	8.60%
黔中	均值	55	56	54	47	47	45	51	-7.27%
	贵阳	60	62	55	49	50	51	73	21.67%
滇中	均值	51	54	53	46	52	46	48	-5.88%
	昆明	54	55	56	49	55	49	50	-7.41%
呼包鄂榆	均值	84	81	85	65	79	79	83	-1.19%
	呼和浩特	86	84	90	65	81	84	80	-6.98%
	包头	92	89	88	65	80	84	84	-8.70%
兰西	均值	84	81	80	56	69	66	70	-16.67%
	兰州	88	100	103	70	82	78	87	-1.14%
	西宁	83	86	85	62	70	69	77	-7.23%
宁夏沿黄	均值	92	92	94	59	80	81	91	-1.09%
	银川	88	96	99	64	76	81	86	-2.27%
天山北坡	均值	93	103	100	71	91	86	86	-7.53%
	乌鲁木齐	105	110	109	86	92	89	84	-20.00%
九大城市群	均值	80	80	81	62	73	70	72	-10.00%

培育发展的九大地区级城市群中,部分城市也存在AQI年均值与改善幅度均高于城市群均值的“双高”特征,如哈长城市群的长春市和哈尔滨市、辽中南城市群的沈阳市和呼包鄂榆

城市群的包头市等,这些中心城市的AQI值高于城市群平均值,且变化幅度较大,还有部分中心城市脱离了整体变化趋势,空气质量有所恶化,如山西中部的太原市以及黔中城市群的贵阳市,空气质量变化趋势偏离程度较大,且这两个城市均为省会城市。“十四五”时期深入大气污染防治,需加强山西中部城市群大气污染的关注和防治力度以扭转其污染加重趋势,重点发挥滇中、黔中等空气优良城市群的带动作用,加强对太原、贵阳和兰州市等中心城市大气污染防治。

总体来看,我国培育发展类城市群大气污染改善幅度依次小于优化提升类城市群和发展壮大类城市群,这与该类城市群经济社会发展相对滞后相关,培育发展类城市群在应对大气污染治理中更易被经济社会发展目标所制约。此外,比较表3—5,三大类19个城市群2018年AQI年均值相对2017年明显下降,2019年又反弹上升。2018年我国“蓝天拼图”出炉,集中火力向污染宣战,是环境保护力度空前的一年,而AQI出现动态波动的变化特征也正好说明大气污染具有反复性与长期性。

四、结论与建议

第一,“十三五”时期以来,我国大气污染防治攻坚战从“坚决打好”向“深入打好”迈进,环境空气质量取得了取得显著性、全局性改变。地级及以上城市空气质量达标城市数量不断增加,从2015年的73个增加至2022年的213个;空气质量优良天数比例从2015年的76.7%上升到2020年的87.0%,超过了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》中空气质量约束性指标确定的2020年地级及以上城市空气质量优良天数比率目标值80%,2021年该比率进一步上升至87.5%;168个重点监测城市PM_{2.5}污染物治理成效显著,PM_{2.5}年均浓度监测值超二级浓度限值(35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)的城市数从154个减少到87个,低于一级浓度限值(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)的城市数从0个增加至3个;10个国家中心城市空气质量均取得改善,其中北京、郑州和武汉市治理成效尤为显著,2021年空气质量优良天数比例分别较2015年改善了27.9、27.1和26.6个百分点。“十四五”时期我国深入大气污染防治攻坚战,应以87个环境空气PM_{2.5}年均浓度监测值超二级浓度限值的城市为重点,继续推进郑州、天津、西安、北京、武汉、成都等国家中心城市大气污染防治。同时“十四五”时期要加大对重点城市大气污染防治和监测力度,充分发挥其辐射引领作用,依据城市独特的地理特征、经济社会发展水平、大气污染程度等,实施差异化控制,制定针对性的治理策略。此外,我国环境空气质量与世界卫生组织2021年最新修正规定的全球空气质量指导值相比仍有很大治理空间,因此接下来的大气污染治理也需要创新打法,制定层次更深、领域更宽、要求更高的防治目标与治理措施,相关部门还应加强生态环境标准管理,建立生态环境基准数据库,组织实施国家环境健康管理试点。

第二,“十三五”时期以来我国呈现大气环境质量时空格局相对稳定且持续改善的空间过

程:空气质量 AQI 月际变化呈“U”型和年际下行的改善趋势,冬春季 AQI 值总体高于夏秋季的季节特征。七大地理区域空气质量改善幅度依次为西南、华中、东北、华北、华东、西北和华南,大气污染突出区域集中在华北、华中和西北地区。省域空气质量优良天数显著提高,2021 年达到 70%以上,省域尺度已基本消除年度 PM_{2.5}浓度呈重污染情形,河南省、天津市、河北省、山西省和山东省等北方省域空气污染天数比例及 PM_{2.5}年平均浓度依然较高。“十四五”时期我国深入大气污染防治攻坚战,应聚焦华北、西北、华中、华东地区冬春季大气污染防治,聚焦燃煤、工业、机动车、生活和农业等其他大气污染源,继续在能源结构、产业结构、交通运输结构、城市环境治理结构、秸秆综合处置等的生态环境保护工作方面发力,推进天津市、河北省、山西省、山东省和陕西省等 PM_{2.5}的年平均浓度超二级标准省域的大气污染防治。同时,应在污染严重地区建立专项组织机构,制定出区域差异化的协同污染防治策略,加强重污染天气的绩效分级和差异化管控。

第三,我国 19 个重点城市群空气质量总体呈现动态改善情景特征,空间上表现出以胡焕庸线为界,东部城市群 AQI 高于西部城市群,北方城市群 AQI 高于南方城市群,以京津冀及周边地区为重心的城市群“连片化”分布特征。优化提升的五大国家级城市群中京津冀、长三角、珠三角、成渝、长江中游 AQI 降幅分别达到 25.00%、20.00%、1.64%、19.28%、18.29%,京津冀城市群仍然是优化提升的五大国家级城市群中大气污染最为突出城市群,北京、石家庄和天津市空气质量存在较大改善空间;发展壮大的五大区域级城市群中处于北部的山东半岛、中原和关中平原城市群大气污染较南部沿海的粤闽浙沿海与北部湾城市群突出,开封、郑州和济南等重点城市空气质量仍有较大改善潜力;培育发展的九大地区级城市群空气质量相对较好,但山西中部城市群及其重点城市太原市存在未改善现象。“十四五”时期深入大气污染防治,应以京津冀及周边地区、汾渭平原、东北地区、天山北坡等城市群为攻坚目标,强化太原市、石家庄市、开封市、郑州市、济南市、西安市和天津市等中心城市大气污染防治,引领全国空气质量的深入改善。同时,“十四五”时期我国的大气污染治理工作不能仅着眼于单个行政单元开展,应该积极推进以城市群区域作为基本主体空间单元,增强区域发展的平衡性与协调性,鼓励有条件地区发挥更大的带动作用,注重多污染物协同治理和区域联防联控,持续发挥中心城市对于城市群大气污染治理的引领作用,并依据不同中心城市地理特征、社会经济发展水平、大气污染程度的区别,实施差异化的控制要求,制定有针对性的防治策略。

参考文献:

- [1] 程钰,刘婷婷,赵云璐,等. 京津冀及周边地区“2+26”城市空气质量时空演变与经济社会驱动机理[J]. 经济地理,2019,39(10):183-192.
- [2] 白煜,王晶,徐茜,等. 2019年上海市空气质量特征研究[J]. 环境科学与技术,2023,46(02):18-24.

- [3] 方创琳. 中国城市群地图集[M]. 北京:科学出版社, 2020.
- [4] 符建华,周方召. 中国省域空气质量测度及影响因素分析[J]. 城市问题, 2020, (05):20-27.
- [5] 郭一鸣,蔺雪芹,边宇. 中国城市群空气质量时空演化特征及其影响因素[J]. 生态经济, 2019, 35(11):167-175.
- [6] 何振芳,郭庆春,刘加珍,等. 河北省大气污染时空变化特征及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2021, 36(02):411-419.
- [7] 刘保献,李倩,孙瑞雯,等. 2018~2020年北京市大气PM_{2.5}污染特征及改善原因[J]. 环境科学, 2023, 44(05):2409-2420.
- [8] 刘华军,杜广杰. 中国城市大气污染的空间格局与分布动态演进——基于161个城市AQI及6种分项污染物的实证[J]. 经济地理, 2016, 36(10):33-38.
- [9] 刘海猛,方创琳,黄解军,等. 京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析[J]. 地理学报, 2018, 73(01):177-191.
- [10] 刘媛,张蕾,陈娱,等. 2003-2016年中国PM_{2.5}质量浓度时空格局演变及影响因素解析[J]. 地理科学, 2023, 43(01):152-162.
- [11] 刘凯,吴怡,王晓瑜,等. 中国城市群空间结构对大气污染的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(10):28-35.
- [12] 刘杰,王明飞,邓建明,等. 山东省AQI、颗粒物和臭氧时空演化特征及关键影响因素识别分析[J]. 环境科学研究, 2023, 36(02):273-284.
- [13] 李喜妍,蔺雪芹,王岱. 中国城市空气质量的时空演化特征及影响因素[J]. 西安理工大学学报, 2022, 38(4):487-499.
- [14] 单杰. 关中原城市群大气污染治理协同立法研究[J]. 西安建筑科技大学学报(社会科学版), 2021, 40(05):68-74.
- [15] 王振波,梁龙武,王旭静. 中国城市群地区PM_{2.5}时空演变格局及其影响因素[J]. 地理学报, 2019, 74(12):2614-2630.
- [16] 万庆,罗翔,潘方杰,金贵. 中国城市群空气质量时空演化及收敛趋势[J]. 地理科学, 2022, 42(11):1943-1953.
- [17] 习近平. 推动形成优势互补高质量发展的区域经济布局[J]. 求是, 2019, (24):4-9.
- [18] 肖悦,田永中,许文轩,等. 近10年中国空气质量时空分布特征[J]. 生态环境学报, 2017, 26(02):243-252.
- [19] 许燕婷,刘兴诏,王振波. 基于AQI指数的中国城市空气质量时空分布特征[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2019, 37(01):187-196.
- [20] 向堃,宋德勇. 中国省域PM_{2.5}污染的空间实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(09):153-159.
- [21] 杨丹丹,王体健,李树,等. 基于空气质量模式和数学规划模型的城市PM_{2.5}达标策略——以临汾为例[J]. 中国环境科学, 2021, 41(08):3493-3501.
- [22] 张向敏,罗桑,李星明,等. 中国空气质量时空变化特征[J]. 地理科学, 2020, 40(02):190-199.
- [23] 赵艳艳,张晓平,陈明星,等. 中国城市空气质量的区域差异及归因分析[J]. 地理学报, 2021, 76(11):2814-2829.
- [24] Li, X. L., X. M. Hu, S. Y. Shi, et al. Spatiotemporal Variations and Regional Transport of Air Pollutants in Two Urban Agglomerations in Northeast China Plain[J]. Chinese Geographical Science, 2019, 29(06): 917-933.
- [25] Ye, L. and X. J. Ou. Spatial-Temporal Analysis of Daily Air Quality Index in the Yangtze River Delta Region of China During 2014 and 2016[J]. Chinese Geographical Science, 2019, 29(03): 382-393.

The Spatial–Temporal Changes of Air Quality and Distribution Characteristics of Urban Agglomerations in China: The Study on the Effectiveness of Air Pollution Control in China since the 13th Five–Year Plan Period

Zhang Huan, Wu Yingzu, Mei Yuzhen, Cheng Jinhua, Zheng Jinhang

(School of Economics and Management, China University of Geosciences)

Abstract: Focusing on the key time, space and key areas for air pollution prevention and control, this paper explores the spatial and temporal changes of air quality in the country, seven geographic regions, provinces, urban agglomerations and key cities from 2015–2021, and discusses the effectiveness of air pollution control in China since the 13th Five–Year Plan period. This study finds that: China's air quality has made significant and global changes since the 13th Five–Year Plan period. Since the 13th Five–Year Plan period, China has shown a relatively stable process of spatial and temporal pattern of air quality, and continued improvement. The overall air quality of 19 urban agglomerations shows the characteristics of dynamic improvement situation. The AQI of the eastern urban agglomerations is higher than that of the western urban agglomerations, and the AQI of the northern urban agglomerations is higher than that of the urban agglomerations, and the distribution of the urban agglomerations is "contiguous" with Beijing, Tianjin, Hebei and surrounding areas as the center of gravity. The air quality improvement rate of the upgrading urban agglomerations is generally higher than the developing urban agglomerations and the fostering urban agglomerations, the air pollution in central cities such as Taiyuan, Shijiazhuang, Kaifeng, Zhengzhou, Jinan, Xi'an and Tianjin is still serious. The study suggests that to lead the country's air quality deep improvement, the 14th Five–Year Plan air pollution prevention and control campaign should focus on the prevention and control of winter and spring air pollution in North China, Northwest China, Central China and East China, with a focus on 87 cities with PM_{2.5} concentration monitoring values exceeding secondary concentration limits, with Beijing–Tianjin–Hebei and surrounding areas, the Fenwei Plain, the northeast region, the northern slope of the Tianshan Mountains and other regions of the urban agglomerations as the target of the attack, strengthen the city of Taiyuan, Shijiazhuang, Kaifeng, Zhengzhou, Jinan, Xi'an and Tianjin and other central cities of air pollution prevention.

Keywords: Air Quality; Temporal–Spatial Changes; Blue Sky Defense Battle; Urban Agglomerations; Air Pollution Control

JEL Classification: X515

(责任编辑:朱静静)