

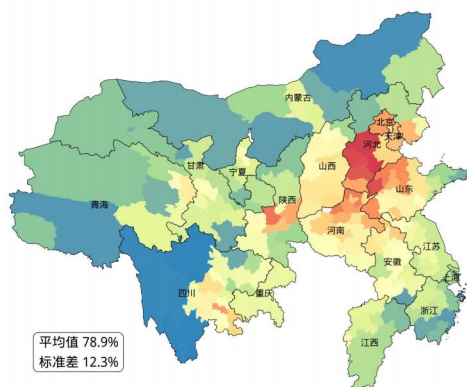
空气质量评估报告（十三）

“4+173”城市 2013-2025 年空气质量评估

为了蓝天
让我们用数据解读污染

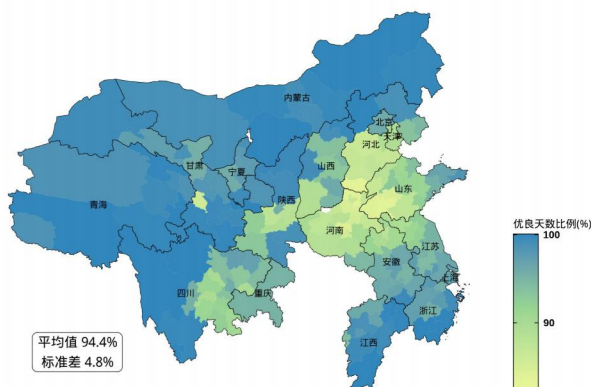
2016年城市PM_{2.5}优良天数比例地图

(以 75 微克/立方米为“良”的上界)



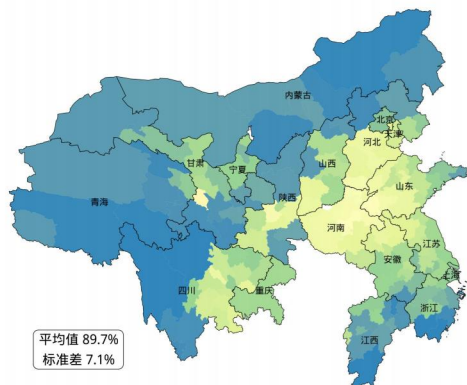
2025年城市PM_{2.5}优良天数比例地图

(以 75 微克/立方米为“良”的上界)



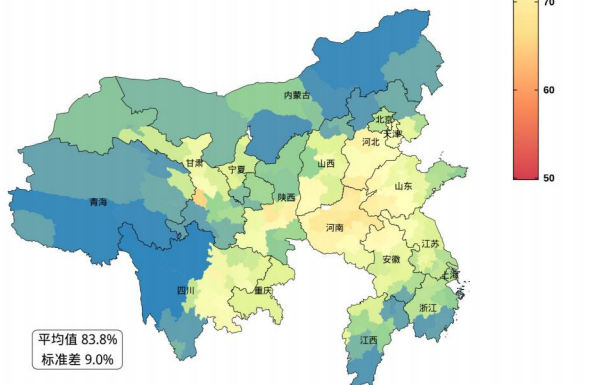
2025年城市PM_{2.5}优良天数比例地图

(以 60 微克/立方米为“良”的上界)



2025年城市PM_{2.5}优良天数比例地图

(以 50 微克/立方米为“良”的上界)



清华大学数据科学交叉研究院

北京大学统计科学中心

西南财经大学统计交叉创新研究院

江西财经大学统计与数据科学学院

二零二六年四月

前言

这是本环境统计团队完成的第十三份空气质量评估报告，也标志着我们对中国重点区域的空气质量追踪评估进入第十一个年头。本报告基于 R 语言和 Python 自动化生成主体内容。其通过学习包括我们已发布的空气质量报告文本、历年空气污染物调整浓度数据、监测点数据，采用固定与动态阈值判断、显著性检验等统计方法，自动化输出图像和文本，最后通过固定的 LaTeX 模板整合生成报告。部分内容通过大语言模型进行润色，在确保报告结果的准确性和唯一性的基础上增强语言表达的多样性。

已发布的系列报告中，报告一 [1] 分析了北京城区 2010 至 2014 年基于单站点（美国大使馆）的 $PM_{2.5}$ 污染状况；报告二 [2] 分析了中国五城市 2013 至 2015 年 $PM_{2.5}$ 浓度的变化趋势，对比了美国使领馆和相邻国控站点两个数据源的数据质量和一致性；报告三 [3] 集中研究了北京市全部（36 个）空气质量监测站点 2013 至 2016 年的空气质量变化情况，量化了 APEC 会议、大阅兵和冬季供暖期间所采取的污染管控措施对空气质量的影响，并且将纳入分析的污染物从 $PM_{2.5}$ 增加到常规的六种污染物；报告四 [4] 分析了京津冀地区 13 个城市 73 个国控站点 2013 年至 2017 年 5 月六种常规污染物的变化趋势；报告五 [5] 综合评估了“2+31”城市（比“2+26”多 5 个城市）172 个国控站点 2013 至 2017 年的状态和变化趋势；报告六 [6] 综合评估了“2+43”城市（增加汾渭平原 11 市和延安市）247 个国控站点 2013 至 2018 年的状态和变化趋势；报告七 [7] 综合评估了“2+66”城市（补齐山东、河南、山西、陕西余下的城市）354 个国控站点 2013 至 2019 年的状态和变化趋势，并对新冠肺炎的影响进行了评估。报告八 [8] 综合评估了“3+95”城市（增加上海、安徽、江苏全部地级及以上共 30 个城市）520 个国控站点 2013 至 2020 年的状态和变化趋势。报告九 [9] 综合评估了“3+99”城市（增加内蒙古呼和浩特、包头、鄂尔多斯和乌兰察布共 4 个城市）548 个国控站点 2013 至 2021 年的状态和变化趋势。报告十 [10] 综合评估了“3+110”城市（增加江西省 11 个城市）620 个国控站点 2013 至 2022 年的状态和变化趋势。报告十一 [11] 综合评估了“3+130”城市（增加宁夏 5 市、浙江 11 市和内蒙古赤峰、锡林郭勒、巴彦淖尔和阿拉善 4 个城市）873 个国控站点 2013 至 2023 年的状态和变化趋势，比较了空气污染相对疫情前（2019 年）水平的变化。报告十二 [12] 综合评估了“4+151”城市（增加重庆和四川 21 市）977 个国控站点 2013 至 2024 年的状态和变化趋势，评估了“十四五”空气质量目标的完成情况。

本报告在上一份报告基础上增加青海和甘肃省的 22 个城市，这使得评估城市的总数为 177，统称“4+173”城市。报告将基于上述十四省四市“4+173”城市近 13 年的气象和污染数据，给出六种常规空气污染物的变化趋势和最近一年污染程度的评估。

感兴趣的读者可以参考目录，根据需求选择阅读的章节，亦可直接阅读第 6 章查看主要结论与建议。

为了方便各级环保部门和公众获取报告的评估结果，我们上线了空气质量评估平台 (<http://songxichen.com/AQAssess/#/home>)，将自 2013 年起各市经过气象调整和原始空气污染物浓度给出时间序列的可视化，并进行城市间的横向、纵向比较和分析。用户可以提出申请生成适合于自己省市的评估报告。

目录

1 背景介绍	1
2 采用数据说明	2
3 六种常规空气污染物评估	5
3.1 PM _{2.5}	5
3.1.1 PM _{2.5} 季度评估	5
3.1.2 PM _{2.5} 年度评估：年度变化趋势与城市相对排名	19
3.1.3 PM _{2.5} 极端污染（90% 分位数）	20
3.2 PM ₁₀	21
3.2.1 PM ₁₀ 季度评估	21
3.2.2 PM ₁₀ 年度评估：年度变化趋势与城市相对排名	32
3.2.3 PM _{10-2.5} 的浓度	33
3.3 二氧化硫	34
3.3.1 二氧化硫季度评估	34
3.3.2 二氧化硫年度评估：年度变化趋势与城市相对排名	47
3.4 一氧化碳	48
3.4.1 一氧化碳季度评估	49
3.4.2 一氧化碳年度评估：年度变化趋势与城市相对排名	59
3.5 二氧化氮	60
3.5.1 二氧化氮季度评估	70
3.5.2 二氧化氮年度评估：年度变化趋势与城市相对排名	71
3.6 八小时臭氧	72
3.6.1 八小时臭氧季度评估	73
3.6.2 八小时臭氧年度评估：年度变化趋势与城市相对排名	86
3.6.3 八小时臭氧极端污染（90% 分位数）	87
4 六种常规空气污染物综合评价	88
5 人努力-天帮忙指数	104
5.1 PM _{2.5} 的“人努力-天帮忙”情况	104

5.1.1	2025 年 PM _{2.5} 的“人努力”情况	104
5.1.2	2025 年 PM _{2.5} 的“天帮忙”情况	107
5.2	O ₃ 的“人努力-天帮忙”情况	108
5.2.1	2025 年 O ₃ 的“人努力”情况	108
5.2.2	2025 年 O ₃ 的“天帮忙”情况	111
6	主要结论与建议	112
6.1	“十四五”空气质量显著改善，臭氧基本持平	112
6.2	PM _{2.5} 治理带动 PM ₁₀ 浓度下降，粗细颗粒物改善不同步	114
6.3	2025 年细颗粒物持续改善，二氧化硫和一氧化碳改善趋缓	115
6.4	后疫情时期臭氧浓度首次大范围下降，但春季污染压力上升	118
6.5	秋季 PM _{2.5} 与春季臭氧极端污染上升，极端污染防控需超越季节惯性	120
6.6	新标准下 PM _{2.5} 优良率保持较高水平，高优良率地区具备提标缓冲空间	122

1 背景介绍

2013年9月，国务院发布《大气污染防治行动计划》[13]（简称“国十条”），对京津冀及周边地区（称“2+26”城市）大气污染治理提出要求。2018年6月，在生态环境部印发的《2018-2019年蓝天保卫战重点区域强化督查方案》[14]，汾渭平原地区首次被提及。2020年2月，生态环境部印发《2020年挥发性有机物治理攻坚方案》[15]，重点强调了苏皖鲁豫交界地区和长三角地区的臭氧防治任务。2021年11月，国务院印发《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》[16]，明确了“十四五”期间细颗粒物与臭氧污染治理的任务：在2025年地级及以上城市细颗粒物（PM_{2.5}）浓度下降10%，空气质量优良天数比率达到87.5%；全国重度及以上污染天数控制在1%以内；挥发性有机物与氮氧化物的排放量下降至少10%，臭氧浓度增长趋势得到有效遏制。2023年11月，国务院印发《空气质量持续改善行动计划》[17]，将全国大气污染防治重点城市总数调整为82个（本次报告已全部覆盖）。

2026年2月，生态环境部正式发布《环境空气质量标准》（GB3095—2026）。此次修订是继2012年版本后时隔14年的重大调整，核心在于收严细颗粒物（PM_{2.5}）及其前体物的浓度限值：将PM_{2.5}年均浓度二级限值由35微克/立方米调整为25微克/立方米，一级限值调整为10微克/立方米；同步收严了PM₁₀、二氧化硫（SO₂）和二氧化氮（NO₂）的浓度限值，总体与世界卫生组织最新版《全球空气质量指南》第二阶段过渡值相当。为稳妥推进标准实施，新标准设置了五年过渡期（2026年3月至2030年12月），过渡期内执行PM_{2.5}年均浓度30微克/立方米的阶段性目标，为结构调整和源头治理预留时间与空间。在标准修订的同时，生态环境部同步推进配套技术规范与行业排放标准的更新。新标准发布次日，生态环境部印发《环境空气质量指数（AQI）技术规定》（HJ633—2026）和《环境空气质量评价技术规范》（HJ663—2026），更新了空气质量指数分指数对应的PM_{2.5}和PM₁₀浓度限值，增加了多项目日综合达标率（达标天数）计算方法，引入三年滑动平均评价方法。此次标准限值的收严与评价方法的更新，进一步强化了空气质量目标与人群健康保护的关联性，使评价结果更真实地反映长期暴露风险与治理成效，为推动空气质量持续改善提供了更科学的标尺。

本次报告中，我们继续沿用《行动计划》划定的大气污染防治重点区域（参看第二章数据说明）。在空气质量报告（十二）覆盖的“4+151”城市基础上，进一步扩展研究范围，新增青海省的西宁、海东、海北、黄南、海南、果洛、玉树、海西，以及甘肃省的兰州、嘉峪关、金昌、白银、天水、武威、张掖、平凉、酒泉、庆阳、定西、陇南、临夏、甘南，共计22个城市。此外，参照《环境空气质量标准》（GB3095—2026），将PM_{2.5}的超标标准由报告（十二）的35微克/立方米调整为30微克/立方米，将PM₁₀的超标标准调整为60微克/立方米，同我国目前使用的国家二级标准的过渡阶段浓度限值相衔接。

2 采用数据说明

自 2013 年 1 月 1 日起,我国开始运行大气污染监测网络,实时监测六种常规污染物 (PM_{2.5}、PM₁₀、二氧化硫 (SO₂)、二氧化氮 (NO₂)、一氧化碳 (CO) 和臭氧 (O₃)) 的浓度。本报告所使用的小时频率空气污染物数据来自于生态环境部的国控空气质量监测站点,共包含 14 省 4 市 (即河北、河南、山东、山西、陕西、四川、安徽、江苏、江西、浙江、内蒙古、宁夏、甘肃、青海,以及北京、天津、上海、重庆市) 共“4+173”个地级及以上城市辖区内 1053 个国控空气质量监测站点,不包含省控站点、对照点和地级市代管县级市国控点。以城市为单位统计,研究区域涵盖全国约 59.4% 的人口。自 2024 年开始,本团队发布系列报告按照 2023 年国务院发布的《空气质量持续改善行动计划》将研究区域城市重新进行划分,分为三大大气污染防治重点区域——京津冀及周边“2+36”城市 (用红色标记)、汾渭平原 (含 2 省 13 地级市,用橙色标记)、长三角地区 (含 4 省 31 地级及以上市,用紫色标记),以及区域内其他城市 (用灰色标记)。与报告 (十) 相比,京津冀及周边“2+26”城市调整为“2+36”城市;苏皖鲁豫交界地区不再单独分类,其中重点城市分别划归“2+36”城市和长三角地区 (山东枣庄、东营、潍坊、泰安、日照和临沂,河南平顶山、许昌、漯河、商丘和周口调整到“2+36”城市;安徽淮北、阜阳、宿州、亳州,江苏徐州、连云港、宿迁调整到长三角地区;河南南阳、信阳、驻马店,山东青岛调整到“其他城市”);汾渭平原仅包含山西和陕西两省;区域内所有非重点城市统一标记为“其他城市”。

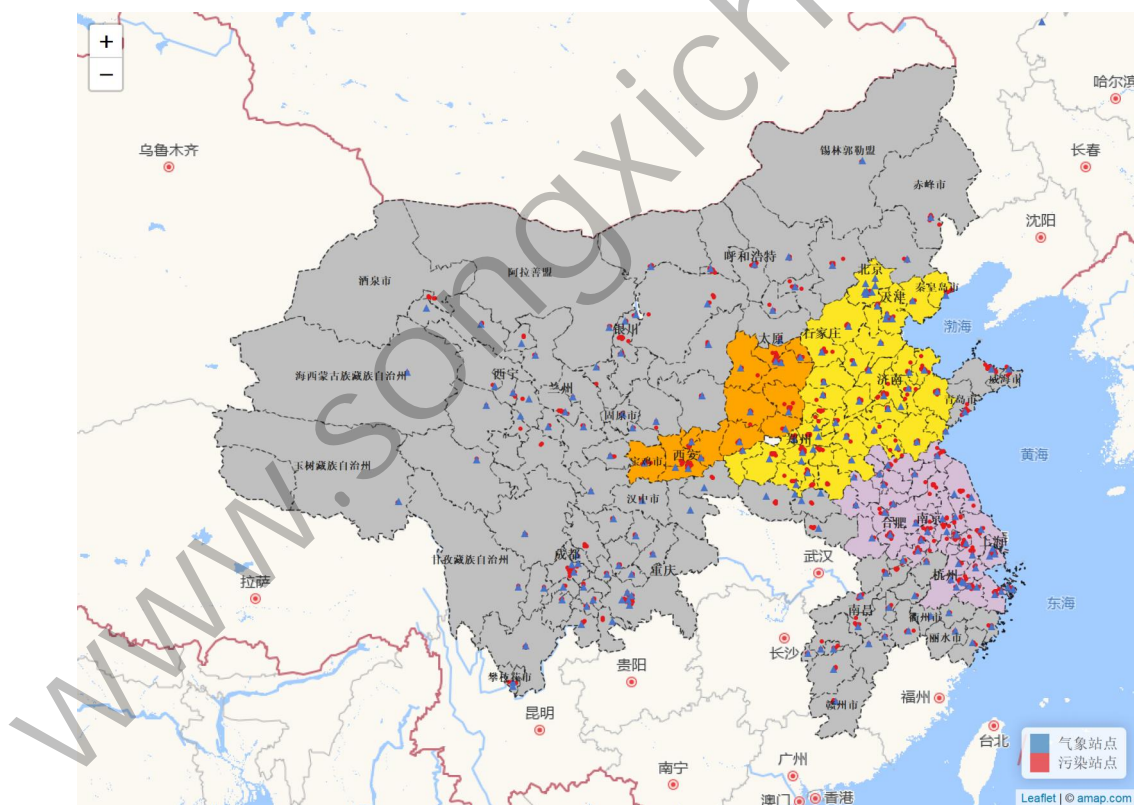


图 1: “4+173”城市区划及其站点分布 (●代表空气质量监测站点, △代表气象站点) (图中黄色区域为京津冀及周边地区, 橙色区域为汾渭平原, 紫色区域为长三角地区, 灰色区域为“其他城市”)

按照省市口径统计, 纳入报告评估范围的地级及以上城市清单及监测站点数量如下:

- 北京市：11 个国控空气质量监测站
- 天津市：15 个国控空气质量监测站
- 上海市：9 个国控空气质量监测站
- 重庆市：20 个国控空气质量监测站
- 河北省：11 个地级市 (石家庄、唐山、秦皇岛、邯郸、邢台、保定、沧州、廊坊、衡水、张家口、承德) 共 61 个国控空气质量监测站
- 河南省：17 个地级市 (郑州、开封、洛阳、平顶山、安阳、鹤壁、新乡、焦作、濮阳、许昌、漯河、三门峡、商丘、周口、南阳、信阳、驻马店) 共 106 个国控空气质量监测站
- 山东省：16 个地级市 (济南 (含莱芜)、淄博、枣庄、东营、潍坊、济宁、泰安、日照、临沂、德州、聊城、滨州、菏泽、青岛、烟台、威海) 共 120 个国控空气质量监测站
- 山西省：11 个地级市 (太原、阳泉、长治、晋城、晋中、运城、临汾、吕梁、大同、朔州、忻州) 共 79 个国控空气质量监测站
- 陕西省：10 个地级市 (西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南、延安、汉中、榆林、安康、商洛) 共 45 个国控空气质量监测站
- 四川省：21 个地级市 (成都、自贡、攀枝花、泸州、德阳、绵阳、广元、遂宁、内江、乐山、南充、眉山、宜宾、广安、达州、雅安、巴中、资阳、阿坝、甘孜、凉山) 共 108 个国控空气质量监测站
- 安徽省：16 个地级市 (合肥、芜湖、蚌埠、淮南、马鞍山、淮北、滁州、阜阳、宿州、六安、亳州、铜陵、安庆、黄山、池州、宣城) 共 93 个国控空气质量监测站
- 江苏省：13 个地级市 (南京、无锡、徐州、常州、苏州、南通、连云港、淮安、盐城、扬州、镇江、泰州、宿迁) 共 114 个国控空气质量监测站
- 江西省：11 个地级市 (南昌、景德镇、萍乡、九江、新余、鹰潭、赣州、吉安、宜春、抚州、上饶) 共 72 个国控空气质量监测站
- 浙江省：11 个地级市 (嘉兴、宁波、杭州、湖州、绍兴、舟山、丽水、台州、温州、衢州、金华) 共 57 个国控空气质量监测站
- 内蒙古自治区：8 个地级行政单位 (呼和浩特、包头、赤峰、鄂尔多斯、巴彦淖尔、乌兰察布、锡林郭勒、阿拉善盟) 共 42 个国控空气质量监测站
- 宁夏回族自治区：5 个地级市 (银川、石嘴山、吴忠、固原、中卫) 共 25 个国控空气质量监测站
- 甘肃省：14 个地级市 (临夏、甘南、兰州、嘉峪关、天水、定西、平凉、庆阳、张掖、武威、白银、酒泉、金昌、陇南) 共 61 个国控空气质量监测站

- 青海省：8 个地级市（果洛、海东、海北、海南、海西、玉树、西宁、黄南）共 15 个国控空气质量监测站

本报告给出调整气象的空气质量评估结果，用统计学方法剔除气象因素的影响，得到可比的污染（参看第三章介绍）。气象数据方面，河北、河南、山东、山西、陕西、四川、安徽、江苏、江西、浙江、内蒙古、宁夏、甘肃和青海 14 省 173 个地级市的气象数据主要来源于对应城市的气象站点；北京市的气象数据来源于朝阳、海淀、丰台、昌平、顺义、怀柔 and 石景山共 7 个气象站点；天津市中心城区的气象数据来源于西青、北辰和东丽共 3 个气象站点；上海市的气象数据来源于上海、浦东和宝山共 3 个气象站点；重庆市的气象数据来自北碚、渝北、璧山、沙坪坝、巴南共 5 个气象站点。我们将空气质量站点与最近的气象站点进行匹配。图 1 给出上述区域内纳入评估的 1053 个污染物监测站点和与之相匹配的 199 个气象站点的位置。

本报告选取的总时间区间为 2013 年 3 月到 2026 年 2 月。由于空气质量新标准按照“三步走”实施方案分阶段开展监测，研究能获取到城市空气质量监测数据的时间起点不完全一致，我们对各市的评估以各市实际开展监测的时间为准。本团队发布系列报告使用的“年”并非自然年，而是一年的 3 月份到下一年 2 月份的“季节年”，涵盖一个完整的四季。我们的空气质量评估以季节为基本时间单元，其中春季是 3 月到 5 月，夏季是 6 月到 8 月，秋季是 9 月到 11 月，冬季是 12 月到次年 2 月。

3 六种常规空气污染物评估

为了客观和公平地评价空气质量，我们需要剔除气象因素对空气质量数据的影响，以得到背景排放的度量。本报告沿用前十份报告所使用的统计学气象调整方法，剔除气象因素的影响，得到可比的污染指标。具体而言，我们以 2013-2018 年各年气象交集确定每个气象变量的取值范围，并在此范围下以 2011 年 3 月-2021 年 2 月累计十年气象构造平均气象分布，计算各年污染物在此平均气象分布下的浓度。我们之所以采用这十年的气象数据，是为了构造稳定的基准气象条件，同时确保不同年间相似气象条件时间占比不会过少。我们在此基准气象条件下计算“4+173”个城市各季度污染物的平均值浓度，并对其进行比较和分析。关于气象调整的统计学原理，读者可以参看本团队发表的论文 [18-22]。

由于春季期间沙尘天气会造成 PM_{10} 浓度的急剧上升，导致这一指标的高估，空气质量评估中通常会将这一时段剔除。本报告沿用了报告（十）所用的本团队提出的沙尘过程检测和追踪程序 [23]。该方法基于“4+173”城市及周边甘肃、辽宁和内蒙其余城市地面站点的六种污染物浓度小时数据，基于 PM_{10} 浓度变化及与其他三种人为污染物 CO 、 NO_2 和 SO_2 的协方差矩阵，辅以 PM_{10} 同其他污染物的相关性变化，检测沙尘过程时间和空间变化点，并将对应时段六个污染物浓度予以去除。

本次报告重点分析 2019 年及以后的空气质量变化趋势。对于 2013 年起，六项污染物经气象调整后的浓度演变，读者可通过本团队开发的空气质量评估平台 (<http://songxichen.com/AQAssess/#/home>) 自行查询。

3.1 $PM_{2.5}$

$PM_{2.5}$ 是指悬浮在空气中空气动力学当量直径小于或等于 2.5 微米的颗粒物，又称细颗粒物。直径为 0.5-5 微米的粒子可直接到达肺泡内，并进入血液通往全身。大量流行病学研究发现颗粒物浓度和发病率及死亡率有明显联系，其中与心肺疾病的相关性更为明显。我国目前的 $PM_{2.5}$ 平均浓度标准如表 1 所示。

表 1: $PM_{2.5}$ 浓度限值 (GB 3095—2026)

污染物项目	平均时间	过渡阶段限值		浓度限值		单位
		一级	二级	一级	二级	
$PM_{2.5}$	年平均	15	30	10	25	微克/立方米
	24 小时平均	35	60	25	50	

3.1.1 $PM_{2.5}$ 季度评估

一般来讲， $PM_{2.5}$ 浓度在冬季最高，春秋两季次之，夏季最低。华北地区 $PM_{2.5}$ 浓度在秋季普遍高于春季，而江淮流域在春季普遍高于秋季。

2019 年春季“4+173”城市 $PM_{2.5}$ 浓度均值 (标准误差) 为 39.1(0.9) 微克/立方米，2025 年下降至 34(0.6) 微克/立方米，累计降幅 13%；年均下降 0.9 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 33.5(0.7)

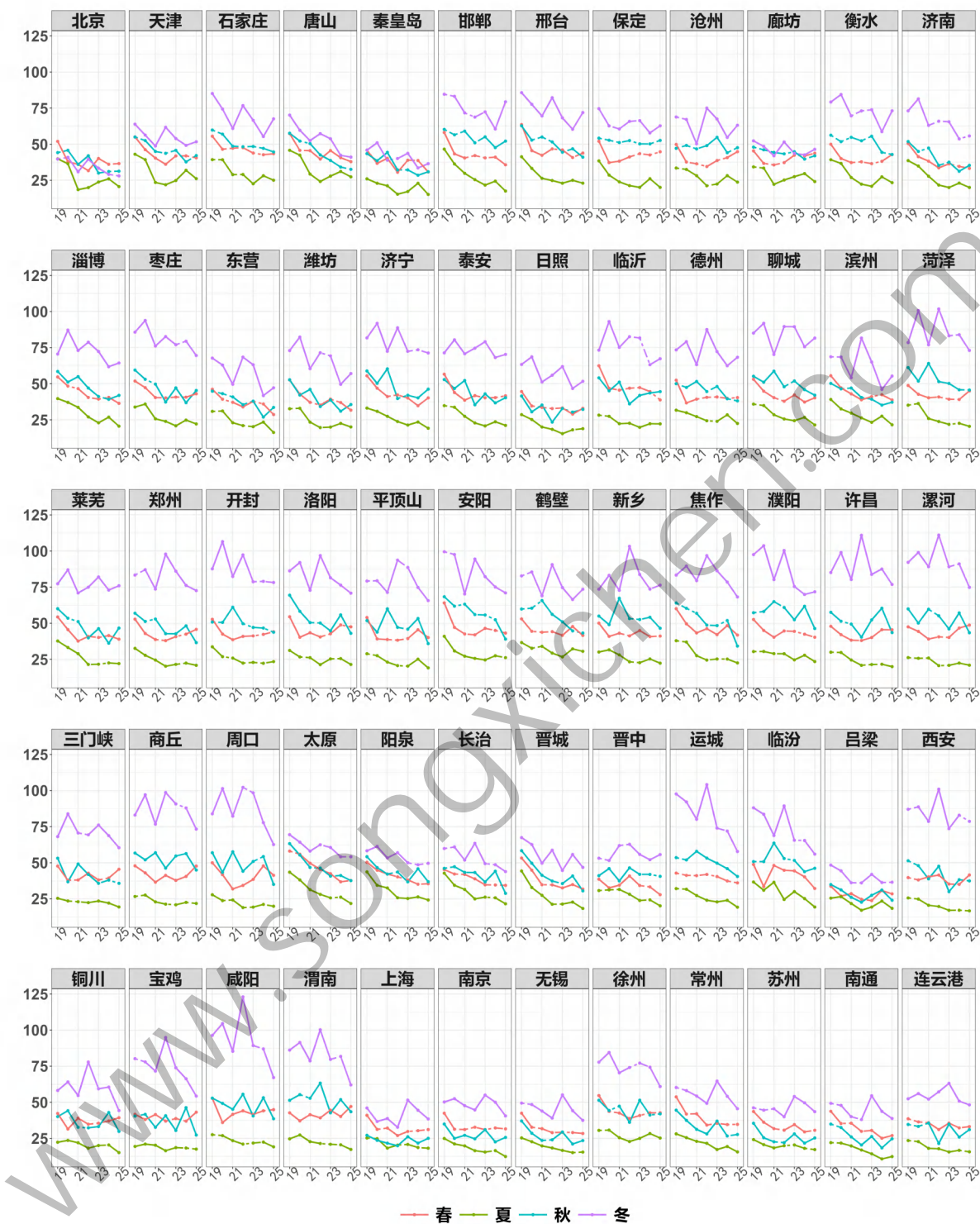


图 2: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM_{2.5} 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

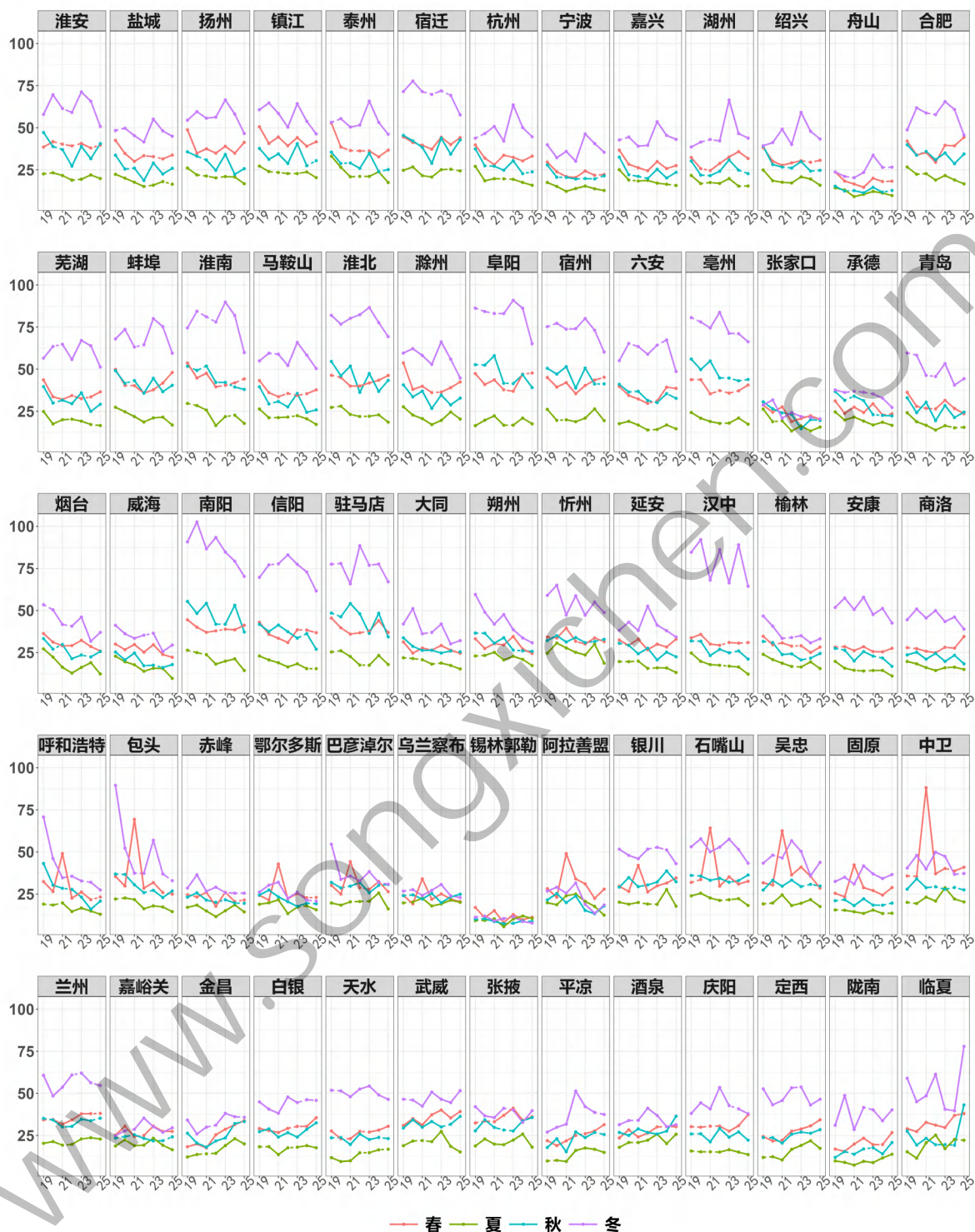


图 3: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM_{2.5} 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

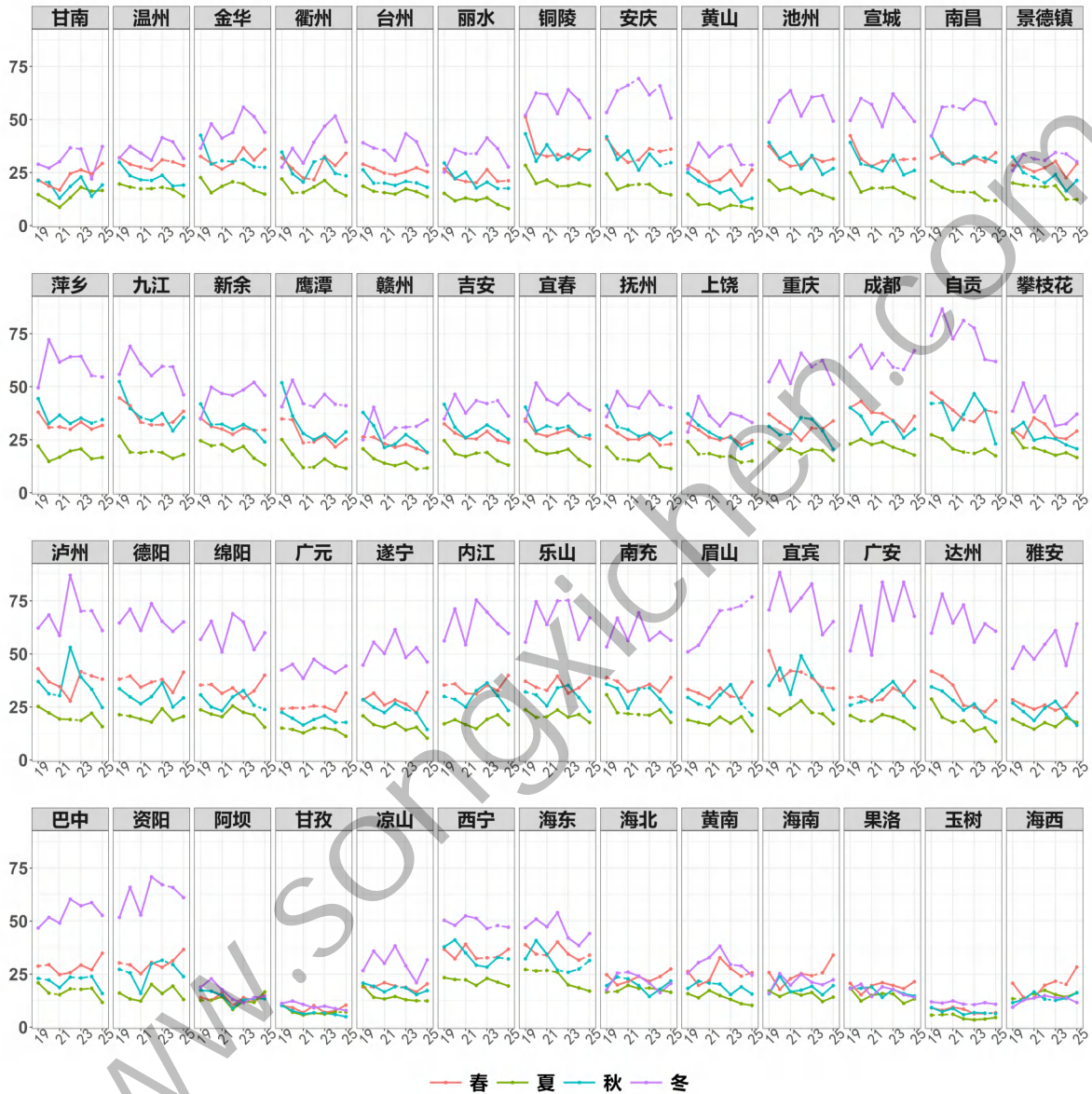


图 4: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM_{2.5} 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

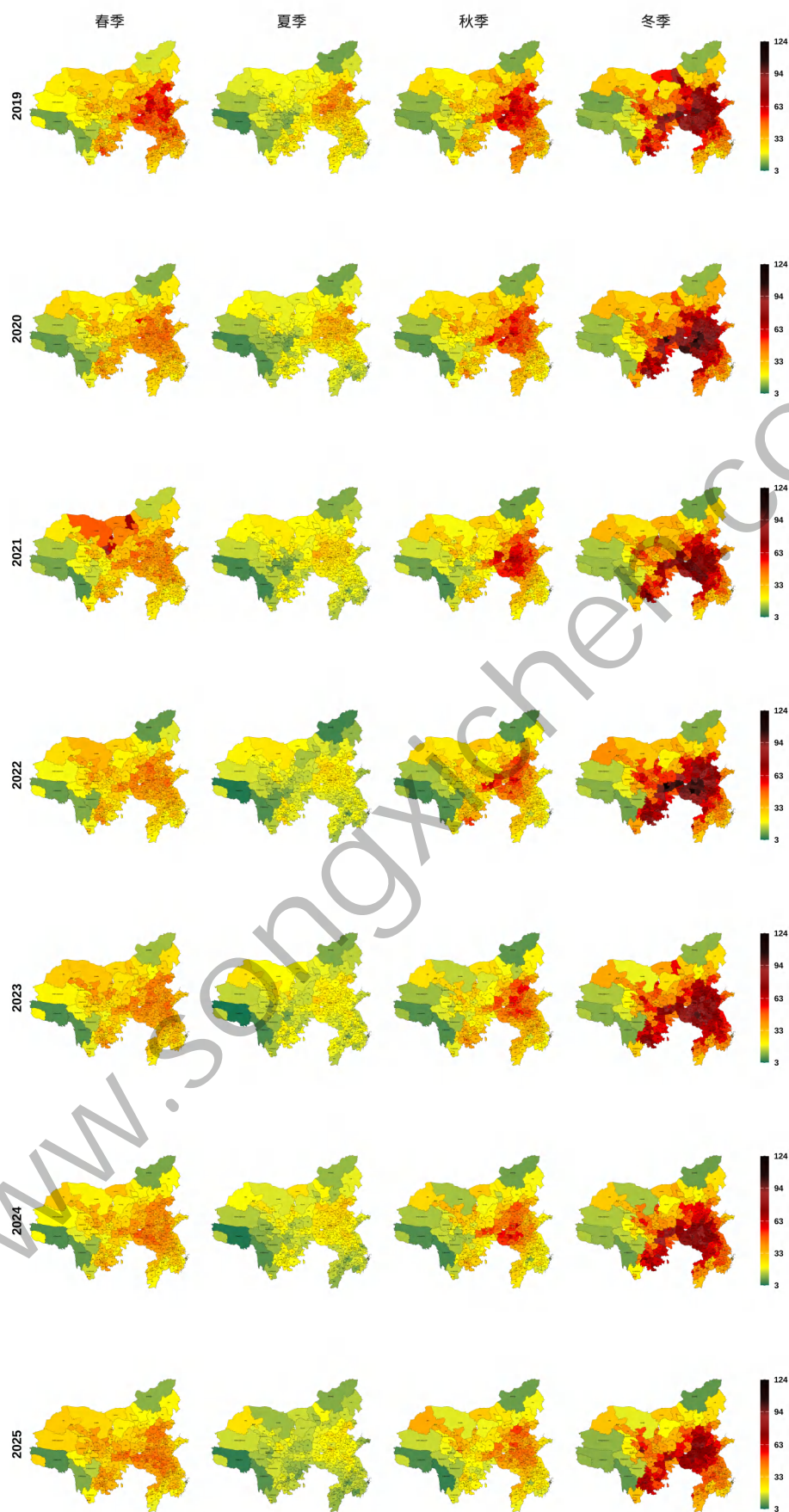


图 5: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM_{2.5} 季节平均浓度 (微克/立方米)

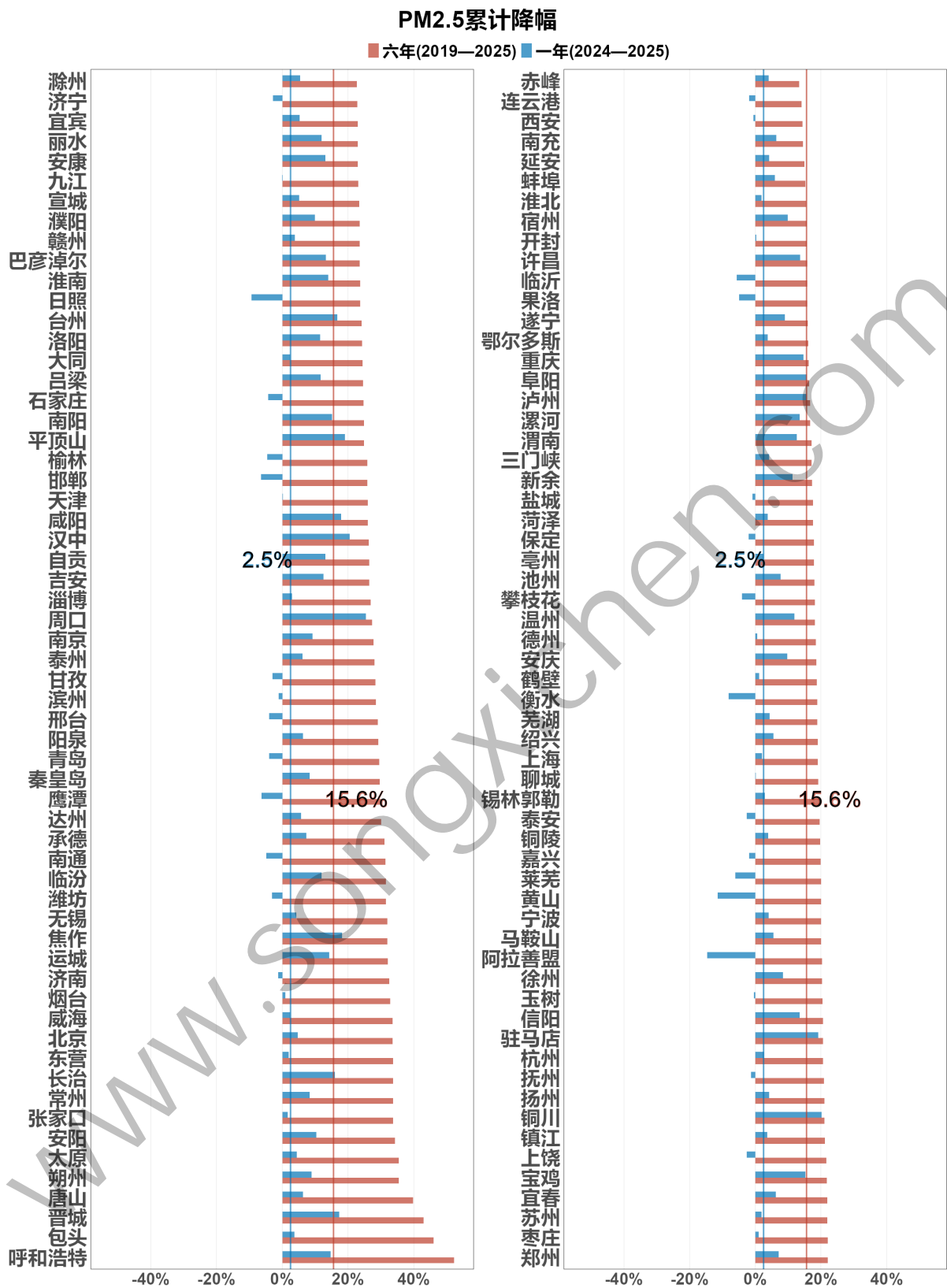


图 6: “4+173”城市气象调整后 PM_{2.5} 浓度过去一年 (蓝色)、六年 (红色) 的累计降幅, 蓝色和红色竖线分别代表 “4+173” 城市的一年和六年平均降幅 (注: 负数代表平均浓度相对升高)

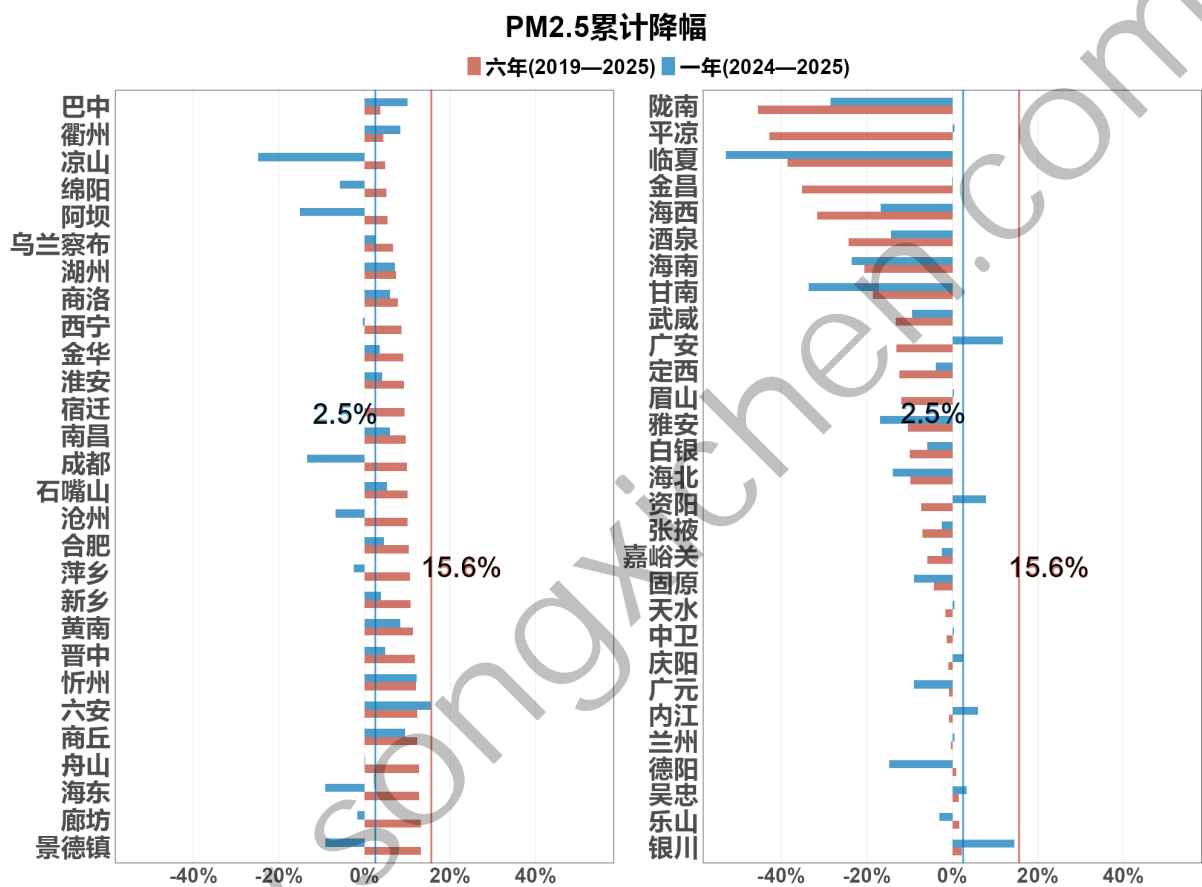


图 7: “4+173” 城市气象调整后 PM_{2.5} 浓度过去一年 (蓝色)、六年 (红色) 的累计降幅, 蓝色和红色竖线分别代表 “4+173” 城市的一年和六年平均降幅 (注: 负数代表平均浓度相对升高)

	56.2	56.6	52.0	52.6	47.5	47.6	47.4	1 开封
	58.1	55.7	53.1	55.1	48.5	47.8	47.2	2 鹤壁
	56.4	54.8	53.5	56.9	49.0	54.3	47.0	3 漯河
	53.6	54.9	48.3	51.9	51.0	51.9	47.0	4 商丘
	52.2	51.2	52.8	55.2	51.0	48.4	46.6	5 新乡
	55.1	55.5	48.1	52.5	49.4	53.8	46.4	6 许昌
	57.3	55.6	49.5	50.2	52.0	46.4	46.3	7 聊城
	62.4	54.8	50.3	46.8	47.4	43.4	46.2	8 邯郸
	55.9	57.9	51.8	54.5	48.6	47.8	46.1	9 菏泽
	57.4	54.8	47.2	44.3	47.5	43.3	45.9	10 莱芜
	54.5	53.1	48.6	47.0	47.7	43.4	45.9	11 临沂
	60.3	54.3	48.2	52.2	48.6	51.6	45.7	12 洛阳
	56.2	53.2	47.2	46.4	46.7	42.1	45.6	13 衡水
	59.4	59.3	53.6	58.7	49.2	50.5	45.5	14 濮阳
	32.7	25.8	31.3	34.3	26.7	29.6	45.3	15 临夏
	59.9	54.3	46.4	50.4	45.4	43.3	45.2	16 石家庄
	54.8	45.3	43.5	45.2	45.0	44.2	45.1	17 保定
	57.7	57.5	48.0	46.0	46.4	45.5	45.0	18 枣庄
	68.2	59.3	50.8	54.5	52.3	50.0	44.9	19 安阳
	63.3	52.3	48.3	51.3	45.4	43.2	44.9	20 邢台
	49.8	46.6	40.4	44.9	45.8	41.9	44.8	21 沧州
	52.5	48.9	48.7	45.1	49.5	45.2	44.3	22 淮北
	57.3	55.0	50.3	48.6	44.0	43.0	44.2	23 济宁
	56.4	52.3	47.5	49.7	47.8	47.3	43.9	24 郑州
	50.9	49.9	44.6	52.4	39.0	43.3	43.6	25 西安
	53.9	51.2	47.3	43.7	45.8	42.2	43.3	26 泰安
	53.6	50.8	46.4	42.9	48.6	46.6	42.7	27 徐州
	51.2	52.8	48.9	56.0	47.0	48.6	42.5	28 渭南
	57.4	54.2	48.9	60.9	48.3	51.7	42.4	29 咸阳
	51.9	48.3	45.3	49.3	46.3	42.6	42.3	30 德州
	50.6	49.3	51.7	44.8	46.5	50.2	42.3	31 阜阳
	46.5	47.0	42.7	39.1	46.3	42.2	42.2	32 宿迁
	51.1	48.1	45.9	45.9	42.4	43.0	42.0	33 亳州
	61.3	59.1	51.8	54.1	50.5	51.0	41.7	34 焦作
	49.2	45.8	46.8	41.7	48.0	46.0	41.5	35 宿州
	48.6	45.0	42.1	38.6	45.8	43.8	41.2	36 蚌埠
	55.8	55.9	52.0	48.3	43.9	42.1	40.8	37 淄博
	54.3	54.0	50.4	47.8	46.4	48.1	40.8	38 南阳
	48.6	45.5	45.2	44.1	43.4	42.1	40.3	39 三门峡
	53.5	47.5	48.3	49.9	48.5	49.7	40.2	40 平顶山
	54.2	48.6	39.4	40.9	41.6	40.2	40.1	41 天津
	52.4	51.7	51.5	44.0	48.5	46.4	39.9	42 淮南
	54.7	52.6	49.0	49.9	51.8	53.3	39.7	43 周口
	45.0	41.2	36.0	39.3	39.6	38.4	39.1	44 廊坊
	39.4	40.3	35.3	39.5	40.9	34.0	39.1	45 德阳
	49.2	47.5	44.7	47.7	42.1	48.3	39.1	46 驻马店
	56.1	49.7	54.3	52.9	47.9	43.7	38.4	47 临汾
	56.5	54.3	51.6	55.8	46.8	44.8	38.4	48 运城
	53.4	48.6	43.5	46.8	42.2	37.8	38.2	49 滨州
	58.6	53.4	46.5	45.6	42.4	39.6	37.8	50 太原
	41.5	43.3	40.1	36.1	42.5	39.3	37.7	51 淮安
	41.8	43.5	36.7	40.0	37.1	33.2	37.7	52 成都
	37.6	34.6	33.6	36.3	39.3	37.9	37.7	53 兰州
	33.2	32.4	33.2	38.8	38.5	37.2	37.1	54 眉山
	51.6	46.8	42.6	41.6	37.5	39.0	36.5	55 阳泉
	37.1	39.9	35.6	43.0	40.5	35.4	36.5	56 乐山
	53.5	50.7	44.1	39.2	39.9	35.7	36.1	57 济南
	52.8	50.1	41.7	40.1	41.8	35.0	36.1	58 潍坊
	40.9	40.3	41.3	44.6	39.0	37.9	36.1	59 晋中
	31.9	37.1	30.9	41.7	39.2	40.9	36.1	60 广安
	45.4	44.7	41.5	47.3	40.4	42.0	35.6	61 宝鸡
	31.4	34.2	31.4	35.7	36.0	32.5	35.6	62 武威
	39.3	37.9	38.2	34.3	40.4	36.9	35.2	63 合肥
	44.4	42.8	42.9	42.0	42.0	40.8	35.2	64 信阳
	45.4	39.1	38.9	33.1	39.2	37.0	35.1	65 滁州
	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	

图 8: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM_{2.5} 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀 “2+36” 城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
	43.7	36.7	38.5	34.0	37.0	36.5	35.1	66 铜陵
	47.7	49.4	40.5	43.0	44.1	40.4	35.1	67 自贡
	45.4	47.6	41.9	48.7	46.0	36.9	35.0	68 宜宾
	41.8	39.7	35.7	46.7	42.4	41.3	34.9	69 泸州
	34.6	38.7	31.8	38.5	40.1	37.1	34.9	70 内江
	36.6	36.9	31.5	39.5	37.4	32.9	34.8	71 绵阳
	57.7	50.0	44.4	40.9	41.5	37.0	34.7	72 唐山
	44.0	40.1	40.2	35.3	42.9	36.0	34.7	73 镇江
	44.9	42.2	37.1	35.2	37.0	34.5	34.5	74 九江
	38.5	37.6	36.5	36.6	38.4	33.5	34.4	75 萍乡
	44.5	39.7	35.0	32.6	35.8	31.0	33.9	76 日照
	39.7	40.0	33.7	39.5	36.8	36.2	33.9	77 南充
	37.1	36.0	37.2	33.1	32.7	33.7	33.9	78 西宁
	38.3	38.8	37.3	33.4	34.9	39.7	33.6	79 六安
	31.4	33.6	26.6	37.9	35.7	36.5	33.6	80 资阳
	41.1	36.1	37.0	34.9	38.6	34.8	33.3	81 芜湖
	37.5	41.1	36.5	37.4	33.0	37.6	33.0	82 忻州
	29.9	28.9	25.7	30.3	29.2	31.0	32.9	83 白银
	41.0	36.5	36.1	34.2	39.5	34.6	32.7	84 马鞍山
	40.1	36.4	37.5	36.5	37.7	36.2	32.7	85 安庆
	41.2	37.4	36.3	34.0	40.2	34.0	32.6	86 扬州
	36.2	38.1	42.5	34.5	36.6	34.4	32.6	87 石嘴山
	29.4	29.7	26.1	30.6	31.9	27.8	32.4	88 雅安
	30.2	31.8	29.6	31.5	32.8	31.6	32.4	89 张掖
	43.8	44.9	34.8	40.0	34.8	40.5	32.2	90 汉中
	40.7	40.8	37.1	40.8	37.0	40.2	32.1	91 铜川
	48.5	46.2	42.2	42.6	36.8	38.3	32.1	92 长治
	37.3	37.1	35.4	31.9	37.3	31.4	32.0	93 连云港
	55.8	47.5	38.3	38.0	33.6	38.6	31.9	94 晋城
	32.6	32.1	34.3	31.9	33.4	37.3	31.9	95 银川
	28.2	25.2	24.7	30.8	32.2	30.5	31.6	96 定西
	36.3	38.2	35.6	36.7	30.6	29.0	31.6	97 海东
	31.0	34.2	45.0	34.3	36.0	31.6	31.5	98 中卫
	47.4	44.1	37.6	39.7	39.8	32.0	31.4	99 东营
	43.6	37.3	34.2	33.7	39.5	33.4	31.4	100 泰州
	34.3	35.2	32.6	32.4	34.9	33.0	31.0	101 南昌
	46.7	40.7	37.7	33.3	38.6	33.7	30.9	102 常州
	24.9	27.0	27.0	29.1	29.6	27.0	30.9	103 酒泉
	22.7	20.0	19.9	23.2	27.3	30.7	30.7	104 金昌
	33.5	30.4	29.2	31.0	35.8	31.7	30.5	105 金华
	36.7	32.5	29.7	27.2	33.2	30.0	30.3	106 盐城
	36.1	35.7	32.4	36.0	36.3	35.4	30.2	107 重庆
	36.7	34.7	36.0	30.5	35.6	32.5	30.0	108 池州
	30.4	32.8	40.8	36.1	35.1	31.0	29.9	109 吴忠
	39.0	34.0	32.6	30.1	36.0	31.5	29.9	110 宣城
	37.0	31.1	31.4	30.0	36.4	30.1	29.3	111 杭州
	37.4	31.7	29.6	28.1	34.3	29.7	29.2	112 苏州
	28.7	26.9	25.2	30.1	29.7	29.4	29.2	113 天水
	43.9	40.3	30.4	33.3	31.8	30.6	29.1	114 北京
	29.9	29.9	27.0	31.9	31.9	32.0	28.8	115 巴中
	41.2	42.6	36.4	35.2	30.1	30.6	28.8	116 达州
	35.3	29.5	30.2	28.1	35.0	30.3	28.6	117 绍兴
	40.3	37.3	36.2	29.6	33.0	30.9	28.4	118 秦皇岛
	30.7	26.5	26.7	28.0	37.4	30.6	28.4	119 湖州
	34.8	29.1	27.7	25.0	32.1	28.8	28.2	120 上海
	34.1	33.8	33.0	30.8	33.3	31.8	28.2	121 新余
	27.5	28.9	26.9	32.1	27.7	28.4	27.7	122 庆阳
	29.0	25.8	22.0	27.3	33.1	30.3	27.7	123 衢州
	38.1	32.5	31.4	29.6	33.2	30.3	27.6	124 南京
	34.2	28.4	26.2	25.6	31.5	26.9	27.4	125 嘉兴
	19.2	20.5	19.6	29.9	27.4	27.5	27.3	126 平凉
	35.6	32.3	28.2	25.1	28.1	30.4	26.9	127 吕梁
	38.2	32.3	30.0	26.3	32.4	25.9	26.9	128 青岛
	29.0	30.5	27.1	28.4	26.9	28.4	26.7	129 商洛
	38.1	35.5	26.4	25.4	29.3	25.0	26.6	130 鹰潭

图 9: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM_{2.5} 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
	38.6	33.1	29.8	27.6	32.6	27.4	26.2	131 无锡
	26.0	25.9	23.1	26.8	26.2	24.0	26.2	132 广元
	34.1	26.4	32.5	28.5	28.2	30.0	26.0	133 巴彦淖尔
	33.3	32.2	30.1	29.8	32.1	27.8	26.0	134 宜春
	31.6	33.1	29.9	30.9	25.2	24.8	25.9	135 攀枝花
	37.5	34.4	30.3	26.3	31.4	24.5	25.7	136 南通
	32.5	30.8	27.9	26.7	30.4	25.4	25.7	137 抚州
	30.6	32.1	28.5	33.4	28.2	28.2	25.7	138 遂宁
	30.3	30.4	28.9	30.6	27.0	26.9	25.7	139 延安
	21.5	19.5	17.1	23.2	25.8	19.1	25.5	140 甘南
	17.4	22.2	17.4	22.9	21.6	19.7	25.4	141 陇南
	34.3	30.6	26.7	26.0	25.3	24.3	25.4	142 榆林
	37.6	32.8	29.2	26.0	29.5	25.5	25.2	143 烟台
	46.0	35.3	39.7	27.0	33.5	25.8	24.8	144 包头
	23.6	23.8	26.4	26.6	24.5	22.6	24.7	145 固原
	38.1	34.1	32.0	32.9	30.6	27.0	24.6	146 朔州
	31.8	32.1	27.8	31.5	27.6	28.2	24.5	147 安康
	33.4	31.0	26.6	29.0	30.5	28.0	24.5	148 吉安
	32.3	31.5	27.8	27.0	28.7	25.0	24.4	149 大同
	23.1	26.2	24.3	25.7	26.5	23.8	24.4	150 嘉峪关
	30.7	31.3	27.4	24.8	26.8	23.4	24.0	151 上饶
	26.7	26.3	24.5	24.1	26.9	21.2	23.2	152 景德镇
	28.3	27.0	25.2	23.9	28.5	26.3	23.2	153 温州
	28.7	22.9	22.4	21.0	26.4	23.9	22.9	154 宁波
	18.7	20.4	19.0	20.7	20.3	18.3	22.5	155 海南
	32.5	27.8	29.9	27.7	26.1	24.1	22.4	156 承德
	23.7	22.9	25.7	23.1	23.7	22.7	22.1	157 乌兰察布
	19.6	21.5	22.5	21.5	18.8	18.9	21.6	158 海北
	28.2	24.9	24.0	22.1	26.7	25.7	21.4	159 台州
	27.5	28.6	21.1	22.0	23.9	21.8	21.0	160 赣州
	21.5	22.0	20.3	22.8	19.8	16.4	20.4	161 凉山
	23.3	25.9	22.2	19.6	22.1	21.1	20.2	162 赤峰
	29.9	25.8	26.5	22.9	24.9	20.3	19.8	163 威海
	41.3	30.3	32.9	25.1	24.7	23.1	19.7	164 呼和浩特
	23.4	24.7	29.9	19.6	21.5	20.4	19.6	165 鄂尔多斯
	24.1	24.0	29.6	28.6	21.5	16.7	19.2	166 阿拉善盟
	21.5	21.5	23.2	26.5	21.4	20.8	19.0	167 黄南
	23.7	23.8	20.4	20.4	22.6	17.0	18.9	168 黄山
	28.5	25.3	22.9	19.9	18.3	19.2	18.9	169 张家口
	24.1	22.9	23.2	20.9	25.3	21.1	18.6	170 丽水
	13.8	13.3	15.0	16.3	15.9	15.5	18.1	171 海西
	19.3	16.2	14.7	14.9	20.1	16.8	16.8	172 舟山
	18.9	16.6	17.0	17.5	17.7	15.1	15.9	173 果洛
	15.8	16.3	15.8	10.2	12.7	12.9	14.9	174 阿坝
	11.9	10.6	10.8	7.9	10.5	9.8	9.6	175 锡林郭勒
	10.6	9.1	7.4	8.2	7.4	7.4	7.6	176 甘孜
	9.0	8.1	9.2	7.3	6.8	7.1	7.2	177 玉树

图 10: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM_{2.5} 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀 “2+36” 城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

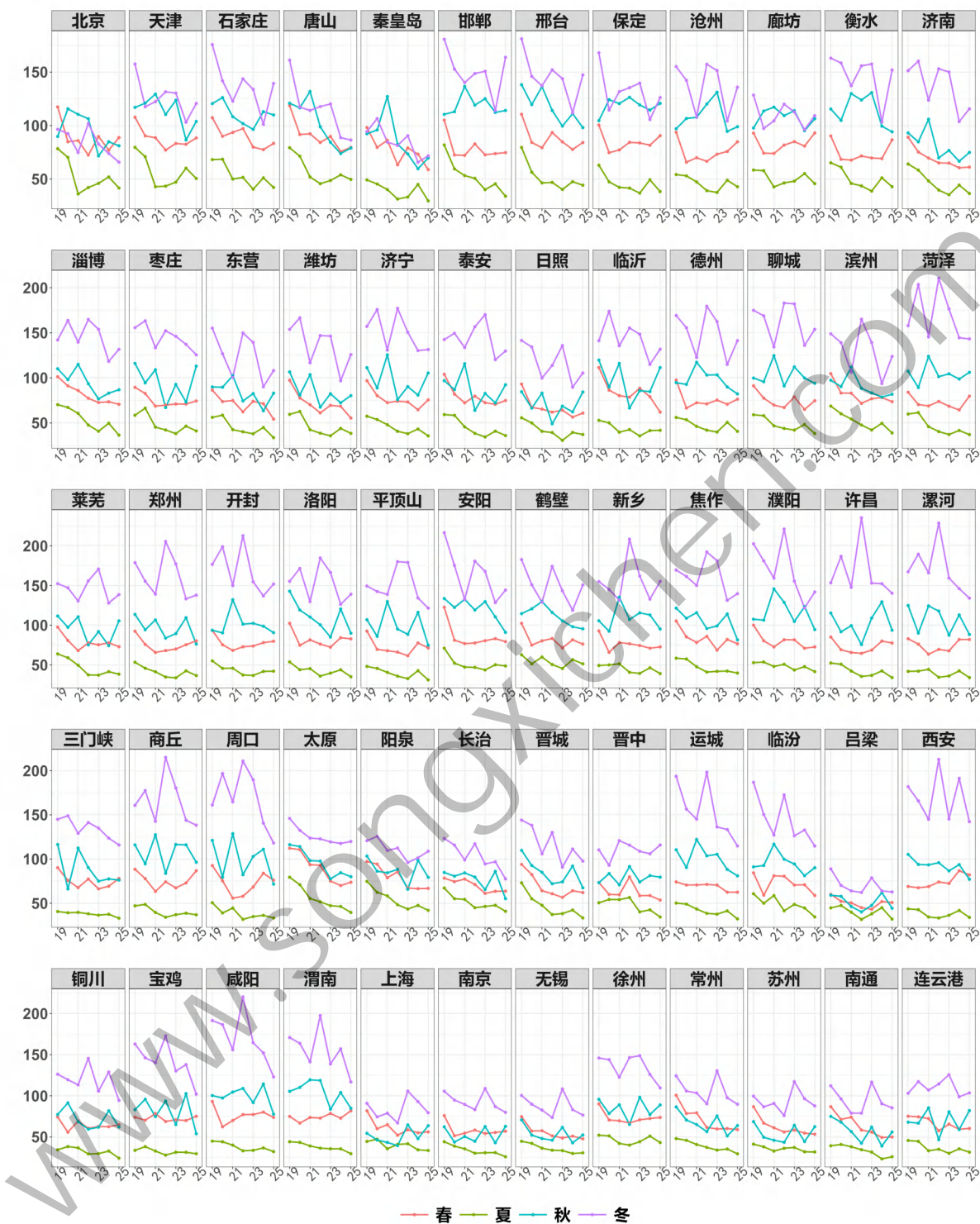


图 11: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM_{2.5} 季节 90% 分位数浓度 (微克/立方米) 变化序列图

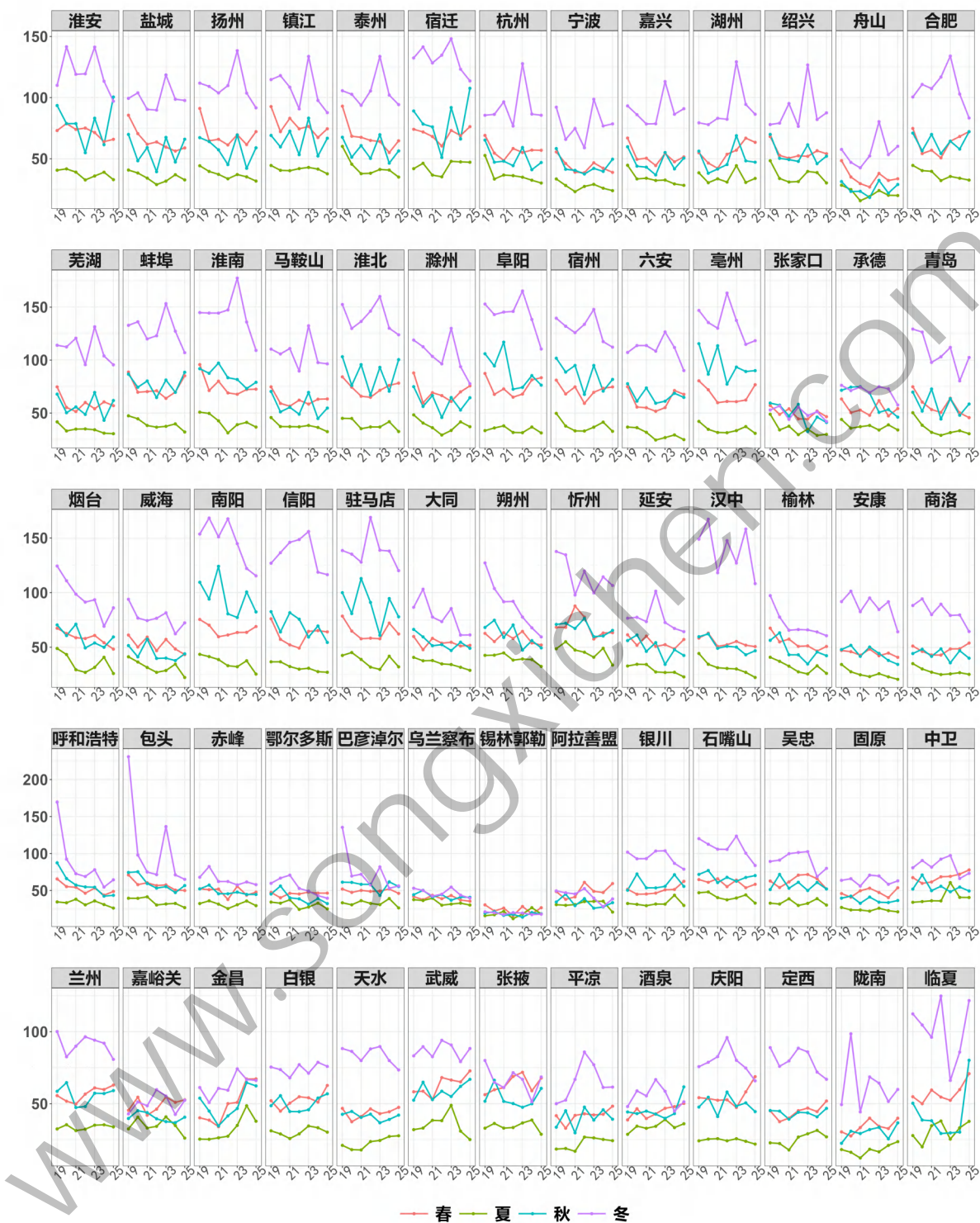


图 12: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM_{2.5} 季节 90% 分位数浓度 (微克/立方米) 变化序列图

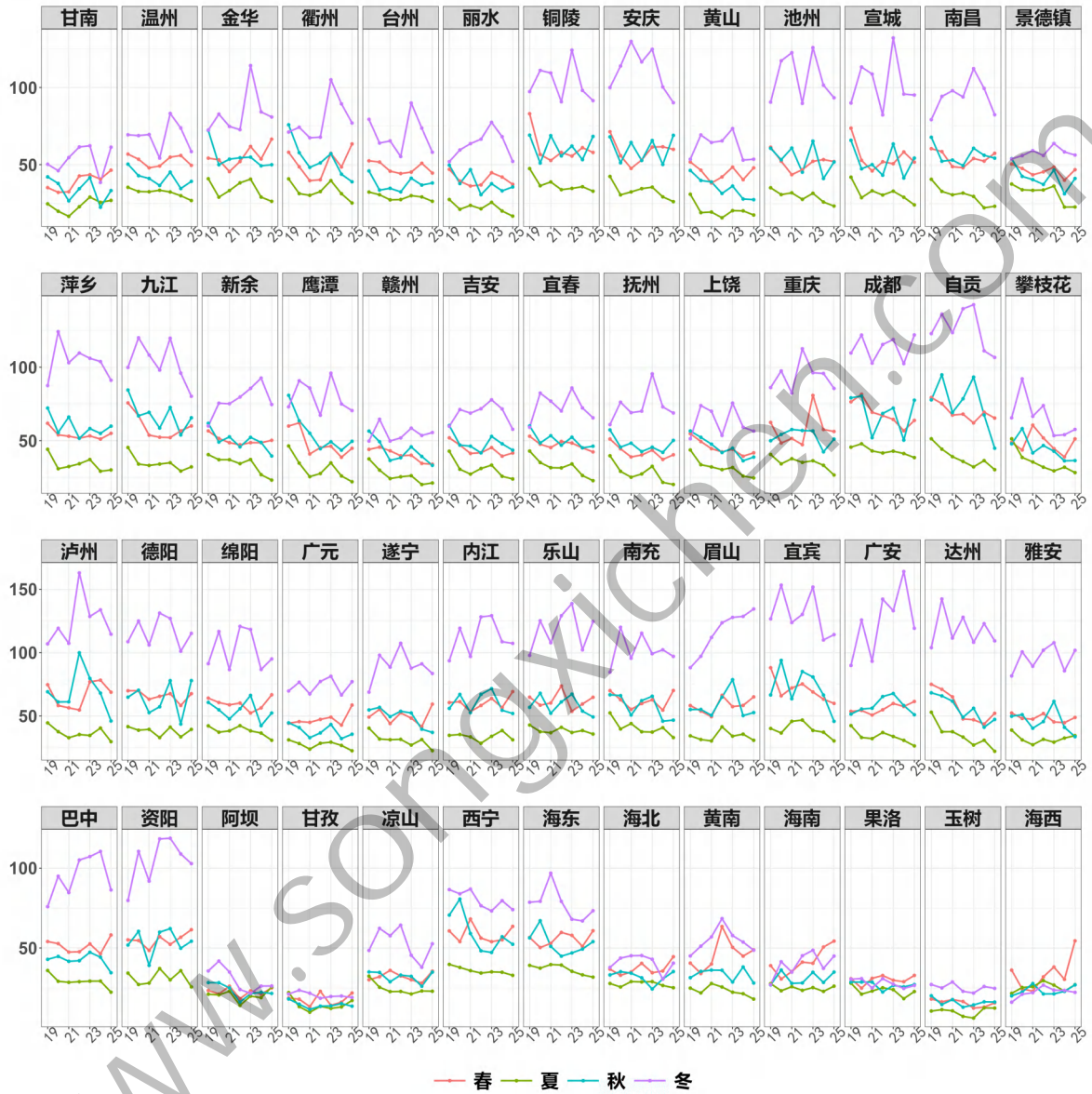


图 13: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM_{2.5} 季节 90% 分位数浓度 (微克/立方米) 变化序列图

微克/立方米相比, 上升 0.5(0.4) 微克/立方米; 与 2024 年浓度均值 32.5(0.6) 微克/立方米相比, 上升 1.5(0.3) 微克/立方米, 升幅 4.6%。

与 2024 年春季相比, “4+173” 城市中, 有 32 个城市 PM_{2.5} 浓度均值显著下降, 占比 18.1%, 降幅平均值为 11.4%; 有 81 个城市 PM_{2.5} 浓度均值显著上升, 占比 45.8%, 升幅平均值为 16.6%。2025 年春季, 漯河平均浓度最高, 为 48.7 微克/立方米; 玉树平均浓度最低, 为 6.8 微克/立方米。有 125 个城市平均浓度超过国家年平均浓度二级标准。东营为本季度 PM_{2.5} 同比改善幅度最大城市, 平均浓度相比 2024 年同期的 36 微克/立方米下降 20.4%; 此外还有 2 个城市降幅超过 20%, 分别为秦皇岛、临汾。遂宁为浓度同比升幅最大城市, 平均浓度相比去年同期的 22.4 微克/立方米上升 42.5%; 此外还有 20 个城市升幅超过 20%, 均为非重点城市。PM_{2.5} 浓度显著上升城市主要集中于四川、安徽、甘肃, 分别有 18、8、8 个城市浓度上升。

2019 年夏季 “4+173” 城市 PM_{2.5} 浓度均值 (标准误差) 为 25.1(0.6) 微克/立方米, 2025 年下降至 17.1(0.3) 微克/立方米, 累计降幅 31.9%; 年均下降 1.3 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 22.6(0.5) 微克/立方米相比, 下降 5.5(0.4) 微克/立方米; 与 2024 年浓度均值 19.8(0.4) 微克/立方米相比, 下降 2.7(0.2) 微克/立方米, 降幅 13.6%。

与 2024 年夏季相比, “4+173” 城市中, 有 135 个城市 PM_{2.5} 浓度均值显著下降, 占比 76.3%, 降幅平均值为 17.7%; 有 11 个城市 PM_{2.5} 浓度均值显著上升, 占比 6.2%, 升幅平均值为 19.3%。2025 年夏季, 鹤壁平均浓度最高, 为 30.5 微克/立方米, 是唯一夏季平均浓度超过国家年平均浓度二级标准的城市; 玉树平均浓度最低, 为 4.6 微克/立方米。达州为本季度 PM_{2.5} 同比改善幅度最大城市, 平均浓度相比 2024 年同期的 15.1 微克/立方米下降 41.9%。重点区域中, 有 17 个城市浓度降幅超过 20%, 包括京津冀及周边地区的 9 个城市 (秦皇岛、东营、邯郸、平顶山、淄博、保定、滨州、德州、北京), 汾渭平原的铜川、临汾、吕梁, 长三角地区的 5 个城市 (泰州、宿州、南京、蚌埠、淮南)。阿坝为浓度同比升幅最大城市, 平均浓度相比去年同期的 11.7 微克/立方米上升 42.2%; 其次是酒泉, 升幅 27.6%。PM_{2.5} 浓度显著上升城市主要集中于青海, 有 4 个城市浓度上升。

2019 年秋季 “4+173” 城市 PM_{2.5} 浓度均值 (标准误差) 为 39(1) 微克/立方米, 2025 年下降至 29.8(0.7) 微克/立方米, 累计降幅 23.6%; 年均下降 1.5 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 35.2(0.9) 微克/立方米相比, 下降 5.4(0.5) 微克/立方米; 与 2024 年浓度均值 30.9(0.9) 微克/立方米相比, 下降 1.1(0.5) 微克/立方米, 降幅 3.6%。

与 2024 年秋季相比, “4+173” 城市中, 有 55 个城市 PM_{2.5} 浓度均值显著下降, 占比 31.1%, 降幅平均值为 21.9%; 有 57 个城市 PM_{2.5} 浓度均值显著上升, 占比 32.2%, 升幅平均值为 19.8%。2025 年秋季, 保定平均浓度最高, 为 52.6 微克/立方米; 甘孜平均浓度最低, 为 5 微克/立方米。有 80 个城市平均浓度超过国家年平均浓度二级标准。自贡为本季度 PM_{2.5} 同比改善幅度最大城市, 平均浓度相比 2024 年同期的 39.1 微克/立方米下降 41%。重点区域中, 有 16 个城市浓度降幅超过 20%, 包括京津冀及周边地区的 10 个城市 (周口、焦作、平顶山、许昌、安阳、濮阳、郑州、漯河、洛阳、商丘), 汾渭平原的 6 个城市 (宝鸡、长治、铜川、咸阳、晋城、吕梁)。临夏为浓度同比升幅最大城市, 平均浓度相比去年同期的 19.2 微克/立方米上升 124.7%。重点区域中, 有 7 个城市浓度升幅超过 20%, 包括京津冀及周边地区的枣庄、东营、莱芜, 长三角地区的合肥、宿迁、淮安、南通。PM_{2.5} 浓度显著上升城市主要集中于

山东、江苏、安徽，分别有 12、9、8 个城市浓度上升。

2019 年冬季“4+173”城市 $PM_{2.5}$ 浓度均值（标准误差）为 55.2(1.6) 微克/立方米，2025 年下降至 48.8(1.3) 微克/立方米，累计降幅 11.6%；年均下降 1.1 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 59.4(1.7) 微克/立方米相比，下降 10.6(0.8) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 51.7(1.4) 微克/立方米相比，下降 2.9(0.6) 微克/立方米，降幅 5.6%。

与 2024 年冬季相比，“4+173”城市中，有 96 个城市 $PM_{2.5}$ 浓度均值显著下降，占比 54.2%，降幅平均值为 14.6%；有 49 个城市 $PM_{2.5}$ 浓度均值显著上升，占比 27.7%，升幅平均值为 17.5%。2025 年冬季，聊城平均浓度最高，为 81.6 微克/立方米；锡林郭勒平均浓度最低，为 7.8 微克/立方米。有 154 个城市平均浓度超过国家年平均浓度二级标准。六安为本季度 $PM_{2.5}$ 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 67.3 微克/立方米下降 27.8%。重点区域中，有 10 个城市浓度降幅超过 20%，包括汾渭平原的铜川、渭南、咸阳，长三角地区的 7 个城市（六安、淮南、合肥、阜阳、淮安、蚌埠、滁州）。临夏为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 39.7 微克/立方米上升 96.4%。重点区域中，有 4 个城市浓度升幅超过 20%，均位于京津冀及周边地区，包括滨州、石家庄、衡水、邯郸。 $PM_{2.5}$ 浓度显著上升城市主要集中于山东、四川、河北，分别有 11、10、8 个城市浓度上升。

3.1.2 $PM_{2.5}$ 年度评估：年度变化趋势与城市相对排名

2019 年“4+173”城市 $PM_{2.5}$ 浓度均值（标准误差）为 39.6(0.9) 微克/立方米，2025 年下降至 32.4(0.7) 微克/立方米，累计降幅 18.2%；年均下降 1.2 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 37.7(0.9) 微克/立方米相比，下降 5.3(0.4) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 33.7(0.7) 微克/立方米相比，下降 1.3(0.3) 微克/立方米。

2025 年，京津冀及周边“2+36”城市是 $PM_{2.5}$ 平均浓度最高的重点地区，浓度均值为 42(0.8) 微克/立方米，比 2024 年的 43.6(1) 微克/立方米下降 1.6(0.6) 微克/立方米，比 2020 年的 51.4(0.9) 微克/立方米下降 9.4(0.6) 微克/立方米，比 2019 年的 54.7(0.9) 微克/立方米下降 12.7(0.7) 微克/立方米。汾渭平原 $PM_{2.5}$ 浓度均值为 36.5(1.3) 微克/立方米，比 2024 年的 41.4(1.5) 微克/立方米下降 4.9(0.8) 微克/立方米，比 2020 年的 47.1(1.8) 微克/立方米下降 10.6(1.1) 微克/立方米，比 2019 年的 49.9(2) 微克/立方米下降 13.4(1.6) 微克/立方米。长三角地区 $PM_{2.5}$ 浓度均值为 33.1(1.2) 微克/立方米，比 2024 年的 35(1.4) 微克/立方米下降 1.9(0.4) 微克/立方米，比 2020 年的 37.4(1.5) 微克/立方米下降 4.3(0.5) 微克/立方米，比 2019 年的 41(1.4) 微克/立方米下降 7.9(0.6) 微克/立方米。“其他城市” $PM_{2.5}$ 浓度均值为 27.7(0.7) 微克/立方米，比 2024 年的 28.2(0.8) 微克/立方米下降 0.5(0.4) 微克/立方米，比 2020 年的 30.7(0.9) 微克/立方米下降 3(0.5) 微克/立方米，比 2019 年的 31.5(0.9) 微克/立方米下降 3.8(0.6) 微克/立方米。

2025 年“4+173”城市中， $PM_{2.5}$ 年均浓度超过 30 微克/立方米的城市有 107 个，比 2024 年减少 9 个。其中，京津冀及周边“2+36”城市有 37 个，比 2024 年减少 2 个；汾渭平原有 12 个，比 2024 年减少 1 个；长三角地区有 20 个，比 2024 年减少 3 个；“其他城市”有 38 个，比 2024 年减少 3 个。年均浓度低于 25 微克/立方米的城市有 34 个，比 2024 年增加 1 个。其中，长三角地区有 2 个（宁波、舟山），比 2024 年减少 1 个；“其他城市”有 32 个，比 2024 年增加 2 个。

根据图 6、图 7，相比 2019 年，2025 年“4+173”城市中，有 152 个城市年均 $PM_{2.5}$ 浓度呈现不同

程度下降,有 25 个城市年均 $PM_{2.5}$ 浓度上升。 $PM_{2.5}$ 六年累计降幅的城市均值为 15.6% (1.2%)。有 18 个城市改善较大,累计降幅超过均值 +1 个标准差 (32%),包括京津冀及周边“2+36”城市的 6 个城市(唐山、安阳、东营、北京、济南、焦作),汾渭平原的晋城、太原、长治、运城,长三角地区的常州、无锡。从城市 $PM_{2.5}$ 降幅排名来看,北京、天津、山西、山东 $PM_{2.5}$ 治理效果相对较好。

相比 2024 年,“4+173”城市中,有 119 个城市年均 $PM_{2.5}$ 浓度下降,有 58 个城市年均 $PM_{2.5}$ 浓度上升。 $PM_{2.5}$ 浓度降幅的城市均值为 2.4% (0.8%)。从城市 $PM_{2.5}$ 浓度降幅排名来看,重庆、河南、山西、陕西 $PM_{2.5}$ 治理效果相对较好。

根据图 8、图 9、图 10,2025 年“4+173”城市中, $PM_{2.5}$ 年均浓度最高的城市为开封(47.4 微克/立方米)、鹤壁(47.2 微克/立方米)、漯河(47 微克/立方米)。浓度最高的 10 个城市包括河南的 6 个城市(开封、鹤壁、漯河、商丘、新乡、许昌),山东的 3 个城市(聊城、菏泽、莱芜),河北邯郸;其中漯河已连续 5 年在列,商丘和许昌已连续 3 年在列。

3.1.3 $PM_{2.5}$ 极端污染 (90% 分位数)

我们以按季度计算的 $PM_{2.5}$ 90% 分位数浓度的全年最大值作为极端污染的衡量指标。按照国家标准, $PM_{2.5}$ 年 95% 分位数应当低于 60 微克/立方米,以达到日尺度人群健康保护的需求。我们以 $PM_{2.5}$ 浓度最高的季节 90% 分位数统计,较国家标准略微严格,但对大多数城市而言,仍较 WHO 提出的年 99% 分位数达标的要求更宽松。2025 年,有 159 个城市的 $PM_{2.5}$ 90% 分位数浓度最大值产生在冬季;有 15 个城市的 $PM_{2.5}$ 90% 分位数浓度最大值产生在春季,包括京津冀及周边“2+36”城市的北京和 14 个非重点城市(鄂尔多斯、锡林郭勒、阿拉善盟、甘孜、中卫、张家口、嘉峪关、庆阳、金昌、果洛、海北、海南、海西、黄南);有 3 个城市的 $PM_{2.5}$ 90% 分位数浓度最大值产生在秋季,包括长三角地区的淮安和非重点城市乌兰察布、酒泉。

2019 年“4+173”城市 $PM_{2.5}$ 90% 分位数浓度值(标准误差)为 109.6(3.3) 微克/立方米,2025 年下降至 93(2.3) 微克/立方米,年均下降 2.8 微克/立方米。与 2020 年 90% 分位数浓度值 109.5(3) 微克/立方米相比,下降 16.5(1.4) 微克/立方米;与 2024 年 90% 分位数浓度值 94.3(2.4) 微克/立方米相比下降 1.3(1.2) 微克/立方米。

在区域和城市尺度, $PM_{2.5}$ 90% 分位数浓度最高的城市为邯郸(163.8 微克/立方米)、新乡(155.3 微克/立方米)、聊城(153.9 微克/立方米)。浓度最高的 30 个城市中,菏泽和西安已连续 2 年在列;商丘、聊城和菏泽已连续 3 年在列。河南和山东为本年度 $PM_{2.5}$ 极端污染较严重省份,分别有 11、10 个城市进入浓度最高的 30 个城市榜单。 $PM_{2.5}$ 90% 分位数浓度最低的城市为甘孜(21.8 微克/立方米)、玉树(24.7 微克/立方米)、阿坝(26.2 微克/立方米)。浓度最低的 30 个城市中,舟山为重点城市,极端污染状况控制得相对较好。内蒙古、四川、江西、浙江和青海为本年度 $PM_{2.5}$ 极端污染相对较轻省份,分别有 6、4、4、4、6 个城市进入浓度最低的 30 个城市榜单。

“4+173”城市有 97 个城市 $PM_{2.5}$ 年 90% 分位数降幅超过 1%,占比 54.8%,降幅平均值为 11.5%;汉中为 $PM_{2.5}$ 极端污染改善幅度最大城市,90% 分位数浓度下降 31.6%。有 70 个城市升幅超过 1%,占比 39.5%,升幅平均值为 16.9%;海西为升幅最大城市,90% 分位数浓度上升 79.3%。山东和四川为 $PM_{2.5}$ 浓度上升较明显的省份,分别有 15、12 个城市浓度上升。平均升幅为 17.2%、13.6%。重点城市中,京

津冀及周边“2+36”城市的东营、德州、石家庄、鹤壁、潍坊、沧州、邢台、滨州、邯郸和衡水升幅超过 20%，需重点关注。汾渭平原的铜川、宝鸡、西安和渭南，长三角地区的阜阳降幅超过 20%，改善较为明显。

2025 年“4+173”城市中 PM_{2.5} 年 90% 分位数低于 60 微克/立方米的城市有 29 个，占比 16%。包括陇南、朔州、阿拉善盟、温州、台州、赤峰、吉安、攀枝花、承德、上饶、景德镇、巴彦淖尔、赣州、海西、海南、黄山、嘉峪关、凉山、丽水、黄南、张家口、鄂尔多斯、海北、乌兰察布、果洛、锡林郭勒、阿坝、玉树、甘孜，均属于非重点城市。以上达标城市中，内蒙古乌兰察布、鄂尔多斯、锡林郭勒、阿拉善盟，四川凉山、攀枝花、甘孜、阿坝，江西赣州，河北张家口，甘肃嘉峪关，青海果洛、海北、海南、海西、玉树、黄南已连续 3 年达标。

3.2 PM₁₀

PM₁₀ 是指悬浮在空气中空气动力学当量直径小于或等于 10 微米的颗粒物，又称可吸入颗粒物。在 2013 年之前，PM₁₀ 是我国使用的主要空气质量指标，用于计算城市的蓝天天数。2013 年 PM_{2.5} 取代 PM₁₀ 成为大气污染的主要指标。2014 年及以后，PM₁₀ 缺失比例有所下降。PM₁₀ 数据缺失高的一个原因是 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 数值可能会发生“倒挂”，即 PM₁₀ 的观测值低于 PM_{2.5} 的观测值。因为 PM_{2.5} 是 PM₁₀ 的重要组成部分，PM₁₀ 的浓度值应该大于 PM_{2.5}，但实际观测中由于观测误差可能出现倒挂现象。一种处理数据倒挂的方法是用 PM_{2.5} 的观测浓度对 PM₁₀ 的缺失进行插补，这样做会低估 PM₁₀ 浓度，但比直接将倒挂的 PM₁₀ 观测设为缺失的计算误差小。另一种方法是对 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 关系进行建模，以推算缺失的 PM₁₀ 水平。本报告将使用前一种方法。

我国目前的 PM₁₀ 平均浓度标准如表 2 所示。美国环境保护署关于 PM₁₀ 的一、二级标准均是 24 小时平均浓度 150 微克/立方米，但其明确规定 3 年内平均每年不达标的次数不能超过一次，这实际上是非常严格的标准。

下方多个图分别展示了“4+173”城市 PM₁₀ 经气象调整的季节平均浓度时间序列图、季节平均浓度地图。根据上述图表，我们可以总结出 PM₁₀ 浓度如下几个特征：

表 2: PM₁₀ 浓度限值 (GB 3095—2026)

污染物项目	平均时间	过渡阶段限值		浓度限值		单位
		一级	二级	一级	二级	
PM ₁₀	年平均	40	60	20	50	微克/立方米
	24 小时平均	50	120	50	100	

3.2.1 PM₁₀ 季度评估

2019 年春季“4+173”城市 PM₁₀ 浓度均值 (标准误差) 为 80.8(1.8) 微克/立方米，2025 年下降至 73.4(1.5) 微克/立方米，累计降幅 9.2%；年均下降 1.2 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 71(1.5)

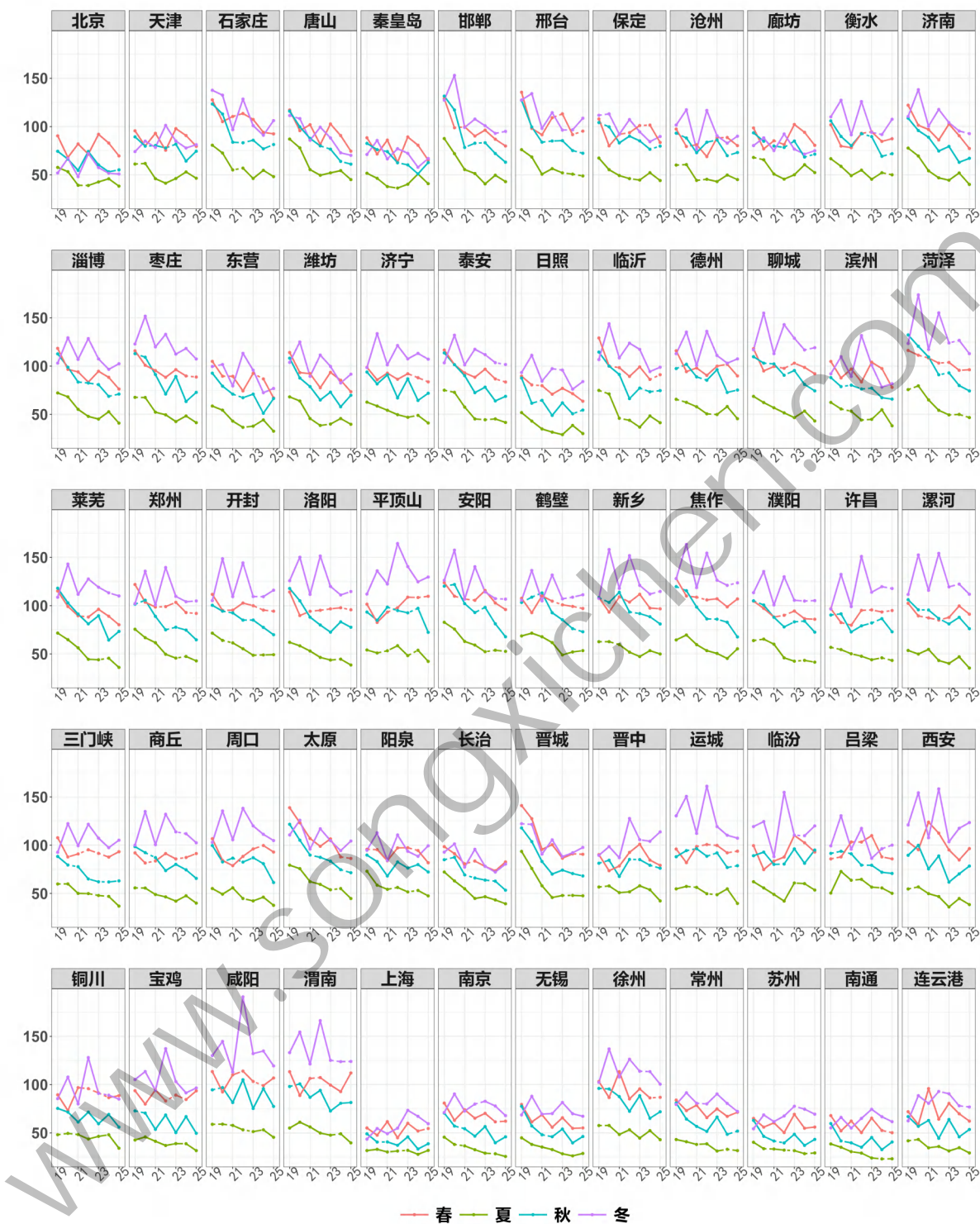


图 14: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM₁₀ 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

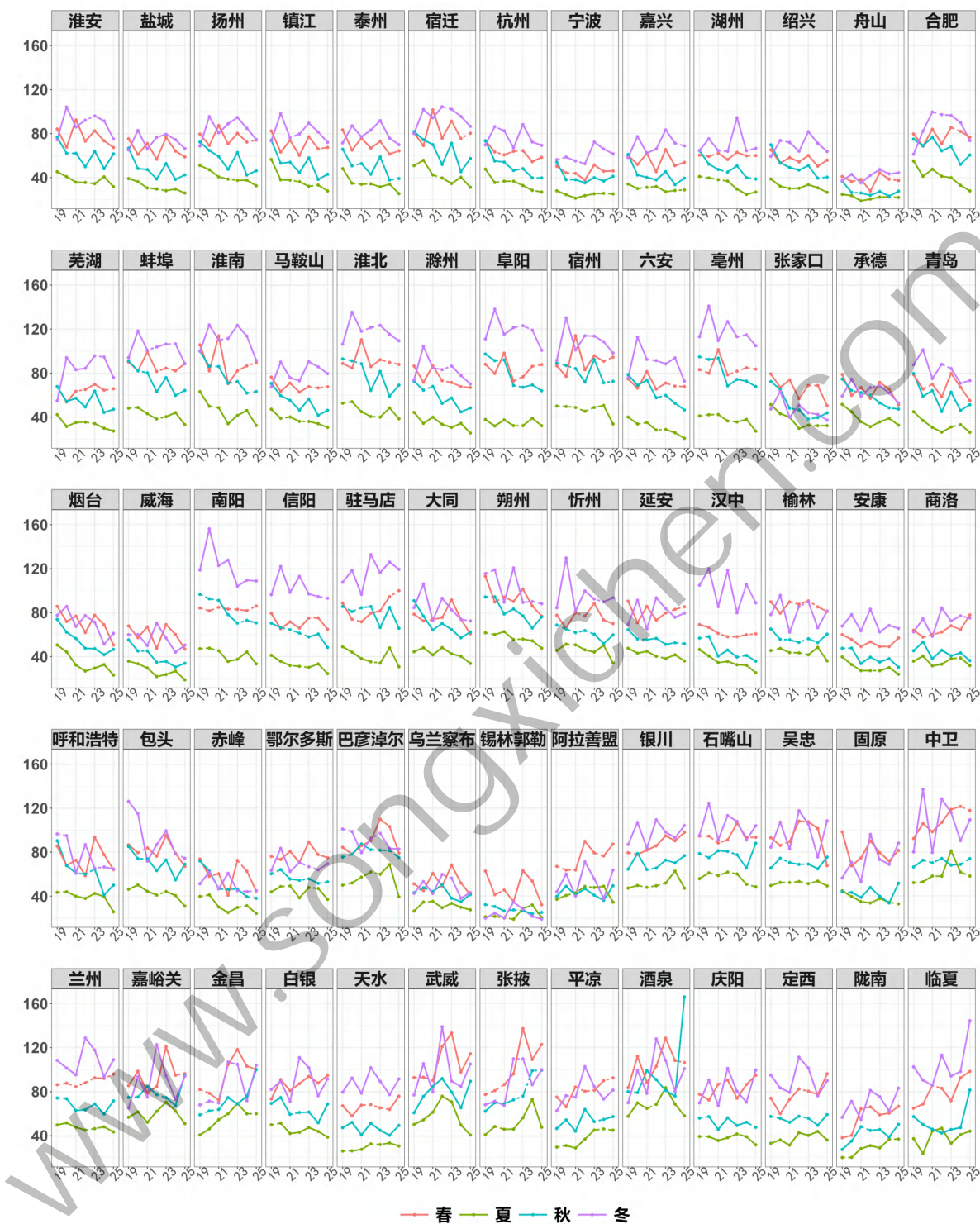


图 15: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM₁₀ 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

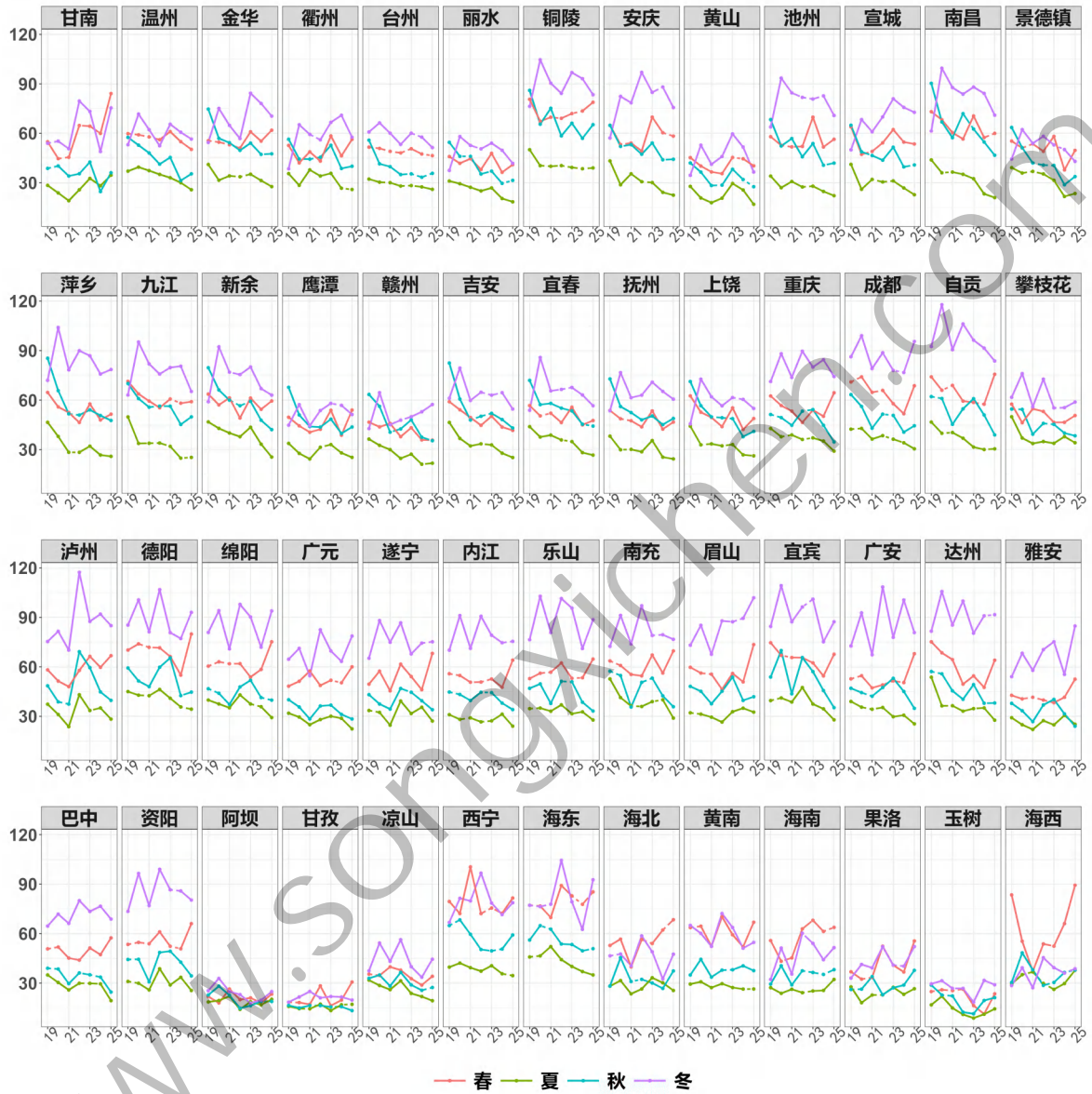


图 16: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM₁₀ 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

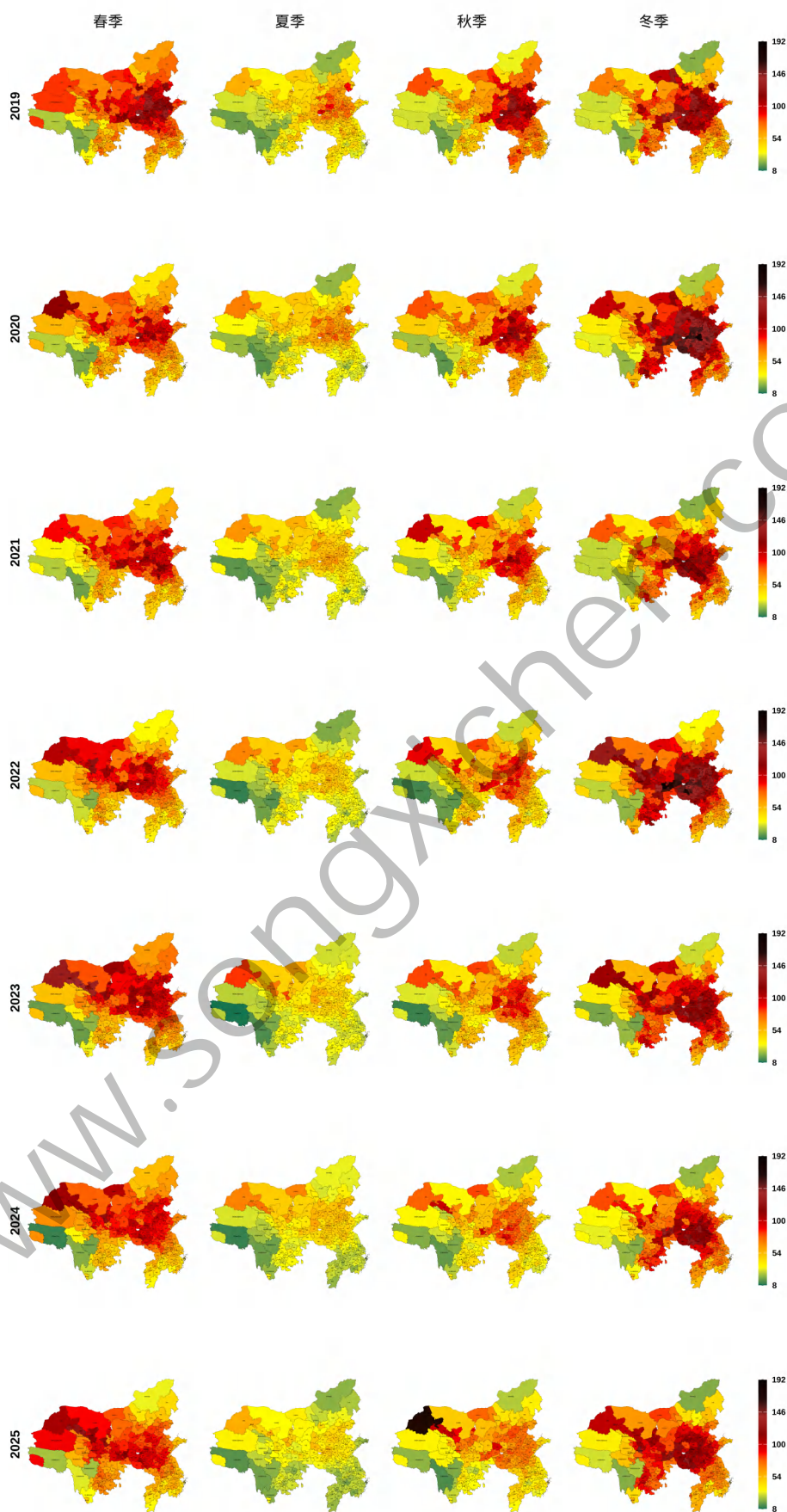


图 17: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM₁₀ 季节平均浓度 (微克/立方米)

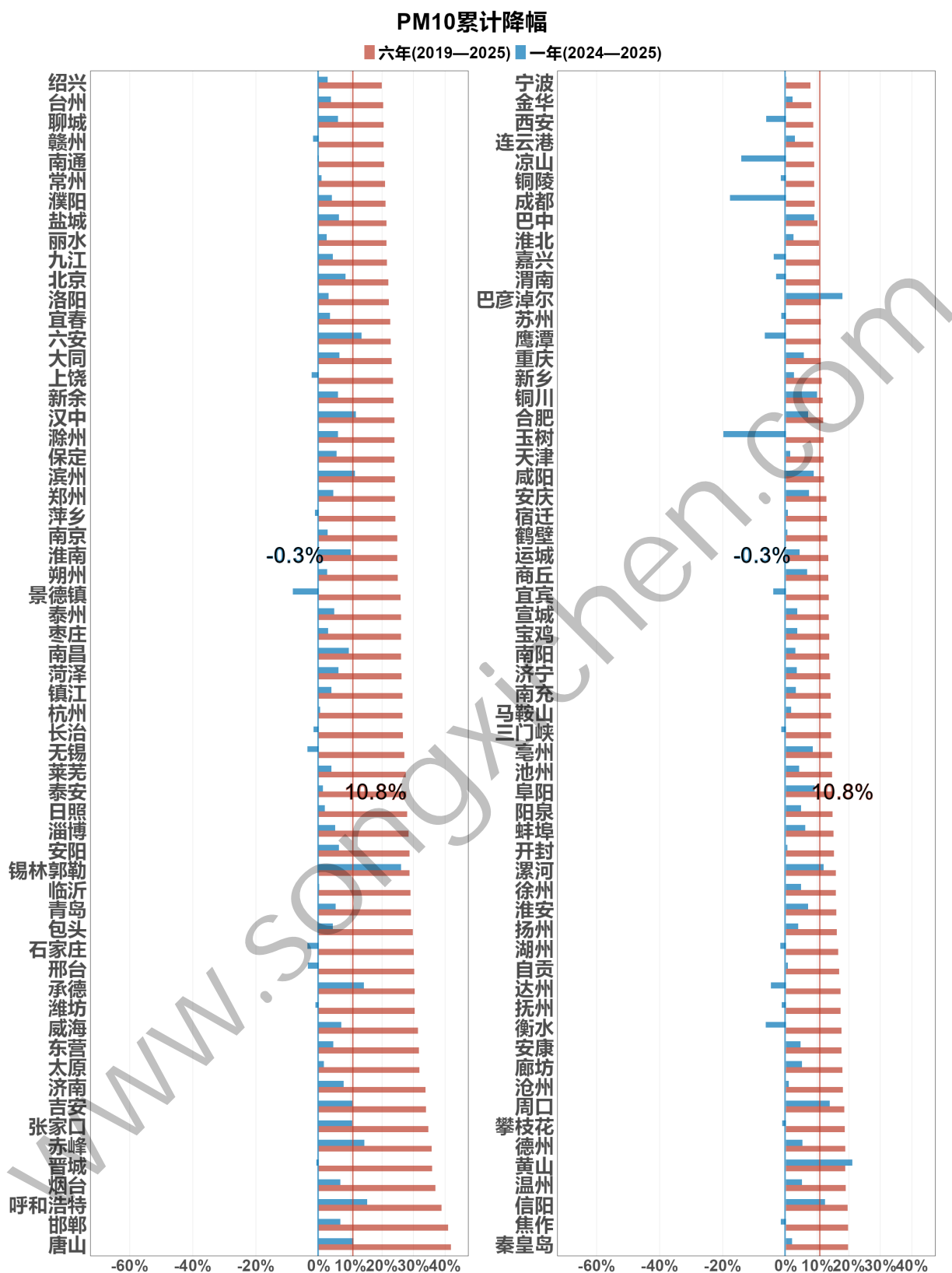


图 18: “4+173”城市气象调整后 PM₁₀ 浓度过去一年（蓝色）、六年（红色）的累计降幅，蓝色和红色竖线分别代表“4+173”城市的一年和六年平均降幅（注：负数代表平均浓度相对升高）

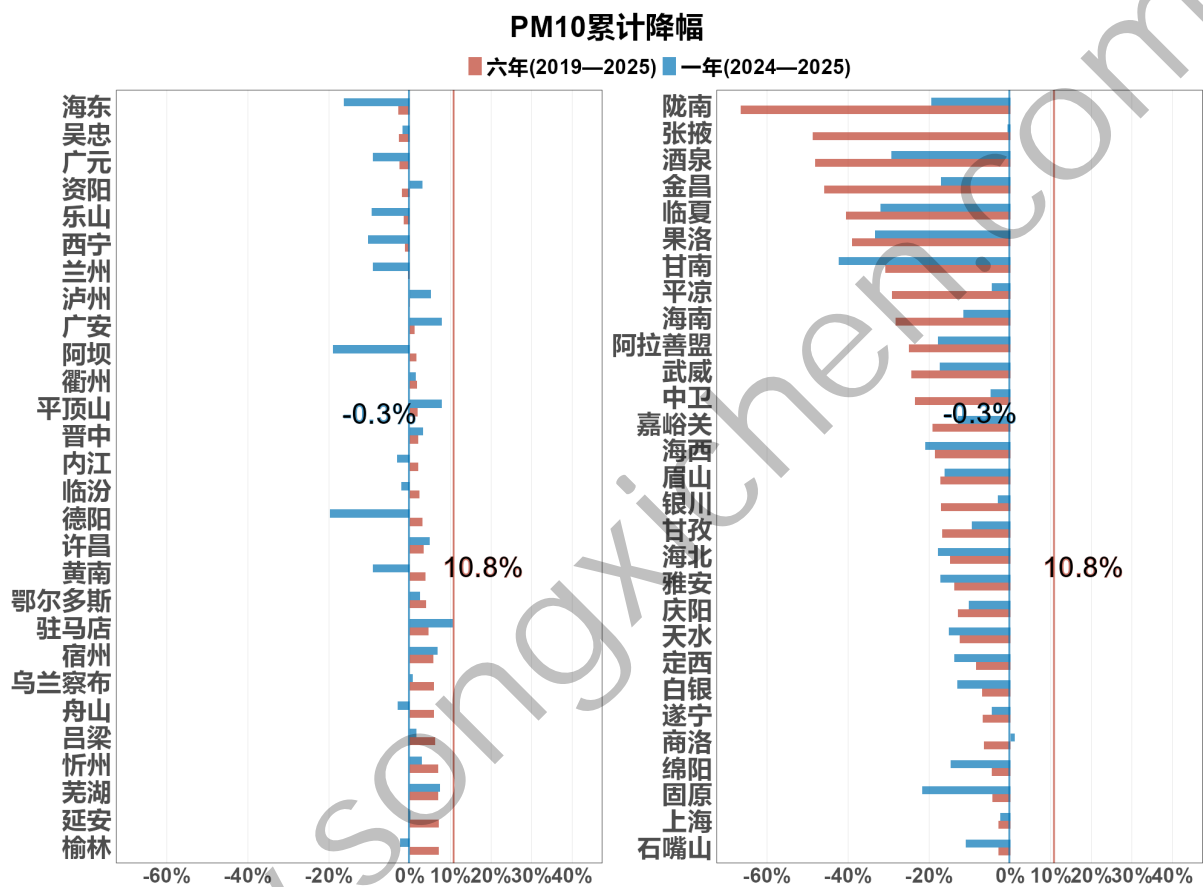


图 19: “4+173”城市气象调整后 PM₁₀ 浓度过去一年（蓝色）、六年（红色）的累计降幅，蓝色和红色竖线分别代表“4+173”城市的一年和六年平均降幅（注：负数代表平均浓度相对升高）

	72.8	90.1	82.7	97.6	100.5	83.4	107.9	1 酒泉
	62.2	67.6	67.2	81.2	94.8	91.9	92.5	2 张掖
	65.6	58.3	65.4	71.3	61.2	69.8	92.1	3 临夏
	62.4	64.7	65.1	86.6	90.3	77.8	91.1	4 金昌
	92.5	86.9	75.1	91.2	94.4	88.4	90.3	5 临汾
	72.8	92.2	76.7	92.0	96.1	85.7	90.0	6 中卫
	100.0	101.3	92.8	104.4	86.3	86.6	89.3	7 渭南
	90.2	88.6	91.8	103.9	97.5	96.0	88.5	8 平顶山
	110.0	114.6	96.4	100.0	92.5	87.0	88.4	9 焦作
	70.3	82.2	79.0	107.0	93.4	74.4	87.4	10 武威
	99.3	98.3	90.6	115.8	90.6	95.8	87.3	11 咸阳
	96.7	104.3	100.1	100.2	92.9	87.8	85.6	12 新乡
	92.1	101.5	89.2	101.6	74.1	79.3	84.2	13 西安
	70.5	82.3	72.8	86.7	90.0	74.4	84.1	14 嘉峪关
	96.3	102.4	99.0	97.7	85.5	84.0	83.7	15 鹤壁
	81.1	88.8	79.9	86.7	88.0	75.2	83.5	16 石嘴山
	111.9	121.3	100.0	100.9	92.6	88.0	82.5	17 菏泽
	97.2	100.5	89.6	96.8	85.8	82.8	82.3	18 开封
	103.3	103.8	92.9	95.7	93.5	87.5	82.2	19 聊城
	85.1	90.2	75.4	93.2	83.9	86.4	82.2	20 许昌
	117.4	105.8	86.5	95.6	85.1	79.2	82.1	21 石家庄
	104.9	100.8	86.7	93.2	83.2	84.2	81.6	22 洛阳
	69.6	78.4	69.5	77.6	79.4	79.1	81.5	23 银川
	116.6	100.1	81.0	91.3	86.8	78.6	81.3	24 邢台
	113.3	116.2	94.6	99.5	95.1	86.2	80.8	25 安阳
	79.7	78.6	72.6	81.4	81.4	73.3	80.1	26 兰州
	92.3	96.0	90.9	100.0	89.9	83.5	79.8	27 运城
	98.0	98.5	86.4	90.6	89.3	83.9	79.5	28 德州
	96.1	88.9	74.8	91.6	80.9	74.5	79.2	29 衡水
	82.7	79.3	72.7	83.3	74.7	88.3	79.0	30 驻马店
	93.4	96.9	88.3	92.2	82.1	89.2	78.6	31 漯河
	79.4	78.5	70.9	89.2	87.4	80.4	77.8	32 晋中
	104.8	107.3	89.7	85.5	85.1	79.9	77.6	33 枣庄
	81.7	96.2	88.5	91.1	83.0	77.9	76.7	34 吕梁
	112.6	107.4	88.7	90.6	87.1	77.9	76.7	35 太原
	96.7	99.6	84.2	85.9	81.4	79.6	76.3	36 濮阳
	85.2	91.3	90.5	78.1	84.3	78.1	76.2	37 淮北
	100.3	102.9	87.4	90.8	84.1	79.7	76.0	38 郑州
	118.6	107.1	81.8	80.4	74.2	75.4	76.0	39 晋城
	88.4	89.9	84.8	81.1	83.3	78.6	75.9	40 济宁
	89.9	94.2	89.4	84.3	85.7	79.3	75.6	41 徐州
	106.3	103.8	86.1	80.8	82.6	75.6	75.5	42 临沂
	73.2	80.1	73.9	87.0	83.4	73.9	75.3	43 吴忠
	88.3	87.4	72.6	86.6	79.7	79.0	75.2	44 阳泉
	103.4	102.4	87.2	85.3	87.2	78.0	74.9	45 莱芜
	86.5	91.0	80.0	85.8	80.4	80.3	74.8	46 商丘
	79.3	85.9	87.0	78.5	87.6	80.3	74.8	47 宿州
	86.7	94.5	86.0	81.2	73.7	77.1	74.7	48 南阳
	87.1	87.3	79.5	82.9	77.2	73.4	74.6	49 三门峡
	97.8	87.1	79.1	84.3	81.4	78.7	74.3	50 保定
	91.1	87.9	81.7	88.4	86.3	86.1	74.1	51 周口
	102.2	102.0	85.5	80.9	82.8	74.9	73.9	52 泰安
	68.7	76.6	63.4	75.6	76.1	64.9	73.4	53 白银
	101.6	98.2	84.9	85.6	82.0	76.6	72.7	54 淄博
	96.2	90.8	81.3	87.4	81.0	74.2	72.2	55 朔州
	88.1	86.4	68.7	78.7	77.0	72.8	72.1	56 沧州
	83.5	85.3	85.7	73.8	74.8	78.4	71.2	57 阜阳
	83.1	88.9	86.7	77.6	76.2	77.6	70.9	58 亳州
	80.1	76.6	74.5	74.0	77.7	71.5	70.5	59 天津
	64.9	58.8	59.0	73.5	69.5	61.8	70.3	60 定西
	118.9	110.3	83.2	83.0	80.3	75.4	70.2	61 邯郸
	85.1	78.9	72.8	74.4	78.5	73.6	69.8	62 廊坊
	104.8	101.3	85.1	81.4	82.7	75.2	69.3	63 济南
	92.2	85.5	89.6	71.7	79.9	77.0	69.2	64 淮南
	77.7	76.8	77.6	81.8	87.2	84.2	69.1	65 巴彦淖尔
	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	

图 20: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM₁₀ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

	53.5	57.0	58.1	71.0	66.0	66.0	69.1	66 平凉
	98.6	92.5	76.5	73.1	76.6	67.9	68.7	67 潍坊
	80.8	82.8	80.9	71.6	76.8	73.1	68.6	68 蚌埠
	60.7	64.9	58.9	71.5	61.3	62.1	68.5	69 庆阳
	78.7	77.5	70.9	81.5	70.4	70.5	67.9	70 宝鸡
	73.3	69.5	68.8	63.1	68.6	65.5	66.6	71 铜陵
	86.9	83.0	79.9	83.9	81.8	74.5	66.0	72 滨州
	74.7	75.5	71.7	84.8	72.1	73.2	66.0	73 铜川
	64.1	66.1	65.6	72.9	63.9	56.7	65.9	74 海东
	69.7	69.6	62.8	67.4	69.6	63.2	64.8	75 榆林
	69.1	78.1	68.5	71.6	71.3	66.3	64.4	76 忻州
	87.1	85.7	70.5	72.5	66.6	62.8	63.9	77 长治
	73.4	75.3	77.1	68.0	74.8	64.2	63.9	78 宿迁
	61.0	55.3	50.5	67.0	57.6	52.3	63.7	79 固原
	62.7	66.0	69.8	64.1	61.0	57.5	63.5	80 西宁
	68.0	65.4	62.8	65.9	63.2	63.3	63.2	81 延安
	65.0	67.2	60.9	71.1	63.4	52.6	63.0	82 德阳
	107.9	95.4	82.7	77.6	79.9	70.5	62.7	83 唐山
	53.3	54.5	47.6	51.5	57.5	53.7	62.5	84 眉山
	55.0	57.1	53.7	63.5	57.9	53.7	61.9	85 天水
	89.0	81.2	70.7	72.8	74.2	63.6	60.7	86 东营
	86.1	79.7	68.5	66.8	77.9	63.2	60.4	87 包头
	65.7	68.0	55.8	61.1	55.7	50.8	59.8	88 成都
	67.7	65.3	76.9	68.5	72.5	64.3	59.7	89 合肥
	57.0	59.7	51.3	62.6	58.3	51.9	59.6	90 绵阳
	35.6	41.7	48.9	55.8	52.2	49.6	59.3	91 陇南
	73.5	69.9	66.1	59.7	65.6	60.1	59.0	92 秦皇岛
	70.1	68.7	69.1	62.7	69.3	63.5	59.0	93 淮安
	47.0	53.4	47.0	64.2	55.9	49.9	58.8	94 阿拉善盟
	61.0	67.4	62.0	58.5	64.9	60.1	58.6	95 鄂尔多斯
	80.6	74.1	65.9	62.2	66.0	59.2	58.0	96 日照
	71.8	72.4	66.7	67.9	65.1	66.0	57.7	97 信阳
	44.0	41.0	37.4	51.4	53.2	40.5	57.6	98 甘南
	74.6	75.9	63.1	71.8	70.3	61.3	57.4	99 大同
	68.8	71.2	61.3	64.3	61.8	57.5	57.2	100 自贡
	67.9	69.1	67.0	61.4	68.8	59.3	56.9	101 扬州
	71.9	67.5	63.6	59.1	65.7	57.3	56.8	102 常州
	65.3	63.0	60.5	54.5	62.6	57.0	56.0	103 马鞍山
	60.8	61.9	68.5	59.4	66.6	57.1	55.5	104 连云港
	66.9	66.6	57.9	55.7	54.7	52.9	55.4	105 达州
	51.9	56.5	47.1	56.4	54.9	56.0	55.3	106 商洛
	54.9	50.7	44.8	71.9	61.7	57.9	54.9	107 泸州
	63.1	71.8	58.8	68.7	64.5	52.5	54.5	108 宜宾
	58.1	58.4	59.7	58.6	65.8	58.3	54.0	109 芜湖
	52.7	60.9	52.1	63.0	57.8	49.0	53.6	110 乐山
	68.6	63.7	56.0	64.2	63.2	58.4	53.5	111 北京
	61.5	62.0	50.3	59.5	59.6	54.5	52.8	112 南充
	69.3	68.7	69.8	60.5	61.5	56.1	52.7	113 滁州
	69.3	71.3	55.4	64.5	52.6	59.7	52.7	114 汉中
	71.5	63.2	60.5	55.2	64.2	54.8	52.6	115 镇江
	52.9	56.8	47.8	60.1	53.0	56.7	52.3	116 广安
	67.3	70.5	70.6	60.7	62.0	60.1	51.9	117 六安
	56.4	54.6	51.6	47.8	58.6	53.0	51.9	118 金华
	50.6	56.4	46.9	61.8	54.3	53.2	51.6	119 资阳
	72.7	65.6	59.9	54.5	64.4	54.3	51.4	120 青岛
	47.9	53.8	44.9	58.6	49.6	48.9	51.1	121 遂宁
	43.0	44.5	34.8	39.4	37.1	42.1	50.9	122 海西
	67.1	65.9	52.7	53.9	57.7	50.3	50.9	123 萍乡
	56.9	58.0	52.7	56.4	56.3	53.6	50.6	124 重庆
	67.1	62.2	59.4	56.1	59.7	51.9	50.4	125 南京
	57.5	54.1	55.3	56.1	59.7	54.2	50.2	126 安庆
	63.6	63.4	57.7	55.4	57.2	52.2	49.8	127 九江
	67.2	59.4	59.9	56.8	63.8	52.3	49.7	128 泰州
	67.2	67.7	60.5	61.9	63.4	54.9	49.7	129 南昌
	55.7	51.2	49.3	47.4	56.8	48.8	49.5	130 苏州
	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	

图 21: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM₁₀ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

67.7	61.2	55.5	51.2	57.4	47.7	49.4	131 无锡
50.4	54.3	47.6	53.2	50.8	47.9	49.4	132 内江
66.1	60.1	58.5	53.5	58.4	48.8	48.6	133 杭州
61.6	57.1	53.8	50.4	59.2	51.6	48.4	134 盐城
79.0	68.7	58.7	60.9	66.5	57.0	48.3	135 呼和浩特
57.6	56.6	53.0	50.5	59.4	47.2	48.1	136 湖州
56.1	56.4	56.0	51.8	58.1	50.0	47.8	137 池州
53.4	50.4	48.9	45.3	55.4	46.0	47.7	138 嘉兴
62.3	64.6	59.6	54.8	61.0	50.6	47.5	139 新余
55.0	47.6	47.1	49.6	56.5	49.2	47.5	140 宣城
46.2	46.9	41.3	48.9	47.1	43.4	47.4	141 广元
58.3	53.1	52.4	48.9	56.6	48.0	46.7	142 绍兴
40.9	41.8	37.1	43.6	44.6	39.8	46.6	143 雅安
36.2	39.7	34.0	46.2	45.9	41.6	46.4	144 海南
48.2	50.0	41.4	52.5	47.1	42.5	46.4	145 黄南
44.9	44.0	45.5	42.1	52.8	45.1	46.2	146 上海
66.0	60.8	56.0	53.7	57.1	53.7	46.0	147 承德
55.9	53.4	45.9	51.6	45.2	44.9	45.5	148 攀枝花
71.9	66.0	58.3	53.4	56.5	48.7	45.4	149 烟台
54.5	52.8	47.9	45.9	52.5	44.6	45.1	150 抚州
45.8	45.1	47.6	44.7	53.4	45.7	45.0	151 衢州
38.9	45.3	33.7	43.4	41.6	37.9	44.7	152 海北
53.8	53.6	43.4	50.9	43.5	46.4	44.3	153 安康
55.4	48.8	46.9	44.9	52.3	43.8	43.9	154 南通
56.6	57.8	53.6	51.0	52.9	45.4	43.8	155 宜春
47.2	41.4	39.6	37.4	47.3	43.6	43.5	156 宁波
49.0	45.1	38.3	42.7	48.3	40.8	43.5	157 鹰潭
30.9	29.5	32.3	37.5	34.1	32.2	43.0	158 果洛
55.9	53.7	48.7	45.5	49.7	41.8	42.7	159 上饶
47.3	48.1	41.7	47.5	47.4	46.8	42.5	160 巴中
51.9	55.8	51.4	46.3	51.3	44.3	42.0	161 温州
62.3	57.7	47.3	48.3	49.5	46.0	41.1	162 吉安
62.6	59.7	50.4	46.0	45.9	45.7	40.9	163 张家口
50.1	47.3	44.8	41.1	43.6	41.5	39.9	164 台州
40.8	45.1	45.7	47.1	49.1	38.7	38.5	165 乌兰察布
59.2	56.0	46.0	43.2	48.4	44.4	38.0	166 赤峰
54.7	49.0	48.0	43.7	46.4	40.4	37.6	167 威海
47.3	49.2	40.4	38.2	42.1	36.8	37.5	168 赣州
50.6	50.1	46.6	45.9	45.8	34.6	37.5	169 景德镇
42.3	43.8	42.7	37.3	41.5	34.0	33.2	170 丽水
34.9	32.3	29.6	28.6	35.3	31.9	32.8	171 舟山
34.4	38.1	34.3	40.5	31.3	27.4	31.3	172 凉山
37.4	37.6	31.0	32.7	43.2	38.5	30.4	173 黄山
34.1	29.5	28.1	29.1	36.6	32.9	24.3	174 锡林郭勒
25.0	25.5	22.3	19.1	13.8	18.4	22.0	175 玉树
22.2	24.6	24.0	17.9	18.5	18.3	21.8	176 阿坝
17.3	17.3	18.2	20.8	16.8	18.5	20.2	177 甘孜
2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	

图 22: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 PM₁₀ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

微克/立方米相比, 上升 2.4(1) 微克/立方米; 与 2024 年浓度均值 72.2(1.6) 微克/立方米相比, 上升 1.2(0.8) 微克/立方米, 升幅 1.7%。

与 2024 年春季相比, “4+173” 城市中, 有 45 个城市 PM_{10} 浓度均值显著下降, 占比 25.4%, 降幅平均值为 15.2%; 有 65 个城市 PM_{10} 浓度均值显著上升, 占比 36.7%, 升幅平均值为 21.7%。2025 年春季, 张掖平均浓度最高, 为 122.9 微克/立方米; 阿坝平均浓度最低, 为 23.3 微克/立方米。有 131 个城市平均浓度超过国家年平均浓度二级标准。锡林郭勒为本季度 PM_{10} 同比改善幅度最大城市, 平均浓度相比 2024 年同期的 53.8 微克/立方米下降 40.1%。重点区域中, 有 2 个城市浓度降幅超过 20%, 均位于京津冀及周边地区, 包括东营、滨州。玉树为浓度同比升幅最大城市, 平均浓度相比去年同期的 11.2 微克/立方米上升 109%。重点区域中, 有 1 个城市浓度升幅超过 20%, 为汾渭平原的渭南。 PM_{10} 浓度显著上升城市主要集中于四川、甘肃、江西, 分别有 21、9、7 个城市浓度上升。

2019 年夏季 “4+173” 城市 PM_{10} 浓度均值 (标准误差) 为 48.2(1.1) 微克/立方米, 2025 年下降至 34.1(0.7) 微克/立方米, 累计降幅 29.3%; 年均下降 2.4 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 45.1(1.1) 微克/立方米相比, 下降 11(0.7) 微克/立方米; 与 2024 年浓度均值 39.7(0.9) 微克/立方米相比, 下降 5.6(0.4) 微克/立方米, 降幅 14.1%。

与 2024 年夏季相比, “4+173” 城市中, 有 132 个城市 PM_{10} 浓度均值显著下降, 占比 74.6%, 降幅平均值为 18.1%; 有 11 个城市 PM_{10} 浓度均值显著上升, 占比 6.2%, 升幅平均值为 18.4%。2025 年夏季, 金昌平均浓度最高, 为 60 微克/立方米, 是唯一一夏季平均浓度超过国家年平均浓度二级标准的城市; 玉树平均浓度最低, 为 14.4 微克/立方米。巴彦淖尔为本季度 PM_{10} 同比改善幅度最大城市, 平均浓度相比 2024 年同期的 68.7 微克/立方米下降 42.6%。重点区域中, 有 22 个城市浓度降幅超过 20%, 包括京津冀及周边地区的 10 个城市 (滨州、东营、漯河、济南、淄博、日照、德州、平顶山、三门峡、莱芜), 汾渭平原的铜川、运城、晋中, 长三角地区的 9 个城市 (宿州、淮南、亳州、滁州、泰州、蚌埠、宿迁、淮安、淮北)。玉树为浓度同比升幅最大城市, 平均浓度相比去年同期的 11.1 微克/立方米上升 29.1%。重点区域中, 有 1 个城市浓度升幅超过 20%, 为京津冀及周边地区的焦作。 PM_{10} 浓度显著上升城市主要集中于青海, 有 4 个城市浓度上升。

2019 年秋季 “4+173” 城市 PM_{10} 浓度均值 (标准误差) 为 74(1.9) 微克/立方米, 2025 年下降至 55.5(1.5) 微克/立方米, 累计降幅 25%; 年均下降 3.1 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 68(1.7) 微克/立方米相比, 下降 12.5(1.2) 微克/立方米; 与 2024 年浓度均值 53.7(1.4) 微克/立方米相比, 上升 1.8(0.8) 微克/立方米, 升幅 3.4%。

与 2024 年秋季相比, “4+173” 城市中, 有 48 个城市 PM_{10} 浓度均值显著下降, 占比 27.1%, 降幅平均值为 14.9%; 有 71 个城市 PM_{10} 浓度均值显著上升, 占比 40.1%, 升幅平均值为 20.6%。2025 年秋季, 酒泉平均浓度最高, 为 166.2 微克/立方米; 甘孜平均浓度最低, 为 13.3 微克/立方米。有 76 个城市平均浓度超过国家年平均浓度二级标准。巴中为本季度 PM_{10} 同比改善幅度最大城市, 平均浓度相比 2024 年同期的 33.6 微克/立方米下降 26.9%。重点区域中, 有 3 个城市浓度降幅超过 20%, 包括京津冀及周边地区的平顶山、周口, 汾渭平原的宝鸡。酒泉为浓度同比升幅最大城市, 平均浓度相比去年同期的 76 微克/立方米上升 118.8%。重点区域中, 有 6 个城市浓度升幅超过 20%, 包括京津冀及周边地区的潍坊、秦皇岛、东营, 长三角地区的南通、宿迁、淮安。 PM_{10} 浓度显著上升城市主要集中于江苏、甘

肃、山东，分别有 11、11、10 个城市浓度上升。

2019 年冬季“4+173”城市 PM₁₀ 浓度均值（标准误差）为 80(2) 微克/立方米，2025 年上升至 82.5(1.8) 微克/立方米，累计升幅 3.1%；年均上升 0.4 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 98.8(2.4) 微克/立方米相比，下降 16.3(1.3) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 80.9(1.8) 微克/立方米相比，上升 1.6(0.9) 微克/立方米，升幅 2%。

与 2024 年冬季相比，“4+173”城市中，有 71 个城市 PM₁₀ 浓度均值显著下降，占比 40.1%，降幅平均值为 10.9%；有 71 个城市 PM₁₀ 浓度均值显著上升，占比 40.1%，升幅平均值为 18.7%。2025 年冬季，临夏平均浓度最高，为 144.6 微克/立方米；锡林郭勒平均浓度最低，为 19.1 微克/立方米。有 147 个城市平均浓度超过国家年平均浓度二级标准。黄山为本季度 PM₁₀ 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 51.6 微克/立方米下降 29.2%；其次是六安，降幅 22.5%。阿拉善盟为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 37.9 微克/立方米上升 68.3%；此外还有 23 个城市升幅超过 20%，均为非重点城市。PM₁₀ 浓度显著上升城市主要集中于甘肃、四川、山东，分别有 14、11、9 个城市浓度上升。

3.2.2 PM₁₀ 年度评估：年度变化趋势与城市相对排名

2019 年“4+173”城市 PM₁₀ 浓度均值（标准误差）为 70.8(1.6) 微克/立方米，2025 年下降至 61.4(1.2) 微克/立方米，累计降幅 13.3%；年均下降 1.6 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 70.7(1.6) 微克/立方米相比，下降 9.3(0.9) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 61.6(1.3) 微克/立方米相比，下降 0.2(0.4) 微克/立方米。

2025 年，汾渭平原是 PM₁₀ 平均浓度最高的重点地区，浓度均值为 77.8(2.4) 微克/立方米，比 2024 年的 79.3(2.3) 微克/立方米下降 1.5(1.1) 微克/立方米，比 2020 年的 92.3(3.1) 微克/立方米下降 14.5(2.8) 微克/立方米，比 2019 年的 92.1(3.6) 微克/立方米下降 14.3(3.4) 微克/立方米。京津冀及周边“2+36”城市 PM₁₀ 浓度均值为 74.9(1.3) 微克/立方米，比 2024 年的 77.9(1.4) 微克/立方米下降 3(0.6) 微克/立方米，比 2020 年的 95(2) 微克/立方米下降 20.1(1.5) 微克/立方米，比 2019 年的 96.9(1.9) 微克/立方米下降 22(1.7) 微克/立方米。长三角地区 PM₁₀ 浓度均值为 55.8(1.9) 微克/立方米，比 2024 年的 58.1(2.3) 微克/立方米下降 2.3(0.5) 微克/立方米，比 2020 年的 65.3(2.7) 微克/立方米下降 9.5(1) 微克/立方米，比 2019 年的 66.9(2.3) 微克/立方米下降 11.1(1) 微克/立方米。“其他城市”PM₁₀ 浓度均值为 55.4(1.7) 微克/立方米，比 2024 年的 53.6(1.5) 微克/立方米上升 1.8(0.7) 微克/立方米，比 2020 年的 59.5(1.6) 微克/立方米下降 4.1(1.1) 微克/立方米，比 2019 年的 58.2(1.5) 微克/立方米下降 2.8(1.3) 微克/立方米。

2025 年“4+173”城市中，PM₁₀ 年均浓度超过 60 微克/立方米的的城市有 87 个，比 2024 年减少 1 个。其中，京津冀及周边“2+36”城市有 36 个，比 2024 年减少 1 个；汾渭平原原有 13 个，与 2024 年持平；长三角地区有 8 个，比 2024 年减少 3 个；“其他城市”有 30 个，比 2024 年增加 3 个。年均浓度低于 50 微克/立方米的的城市有 50 个，比 2024 年增加 1 个。其中，长三角地区有 12 个，比 2024 年增加 2 个；“其他城市”有 38 个，比 2024 年减少 1 个。

根据图 18、图 19，相比 2019 年，2025 年“4+173”城市中，有 140 个城市年均 PM₁₀ 浓度呈现不同程度下降，有 37 个城市年均 PM₁₀ 浓度上升。PM₁₀ 六年累计降幅的城市均值为 10.7% (1.4%)。有

16个城市累计降幅超过30%，包括京津冀及周边“2+36”城市的7个城市（唐山、邯郸、济南、东营、潍坊、邢台、石家庄），汾渭平原的晋城、太原。从城市PM₁₀降幅排名来看，山东、河北、江西、北京PM₁₀治理效果相对较好。

相比2024年，“4+173”城市中，有107个城市年均PM₁₀浓度下降，有70个城市年均PM₁₀浓度上升。PM₁₀浓度升幅的城市均值为0.3%（0.8%）。从城市PM₁₀浓度降幅排名来看，北京、安徽、重庆、内蒙古PM₁₀治理效果相对较好。

根据图20、图21、图22，2025年“4+173”城市中，PM₁₀年均浓度最高的城市为酒泉（107.9微克/立方米）、张掖（92.5微克/立方米）、临夏（92.1微克/立方米）。浓度最高的10个城市包括甘肃的5个城市（酒泉、张掖、临夏、金昌、武威），河南的2个城市（平顶山、焦作），宁夏中卫，山西临汾，陕西渭南；其中平顶山已连续5年在列，张掖和临汾已连续3年在列。

3.2.3 PM_{10-2.5} 的浓度

2019年“4+173”城市PM_{10-2.5}浓度均值（标准误差）为31.1(0.9)微克/立方米，2025年下降至29(0.9)微克/立方米，累计降幅6.8%；年均下降0.4微克/立方米。与2020年浓度均值33.1(0.9)微克/立方米相比，下降4.1(0.6)微克/立方米；与2024年浓度均值27.9(0.8)微克/立方米相比，上升1.1(0.3)微克/立方米。

2025年，汾渭平原是PM_{10-2.5}平均浓度最高的重点地区，浓度均值为41.3(1.7)微克/立方米，比2024年的37.9(1.8)微克/立方米上升3.4(0.9)微克/立方米，比2020年的45.1(2.7)微克/立方米下降3.8(2.4)微克/立方米，比2019年的42.1(2.4)微克/立方米下降0.8(2.4)微克/立方米。京津冀及周边“2+36”城市PM_{10-2.5}浓度均值为32.9(0.8)微克/立方米，比2024年的34.3(0.6)微克/立方米下降1.4(0.6)微克/立方米，比2020年的43.6(1.4)微克/立方米下降10.7(1.3)微克/立方米，比2019年的42.1(1.3)微克/立方米下降9.2(1.4)微克/立方米。“其他城市”PM_{10-2.5}浓度均值为27.7(1.4)微克/立方米，比2024年的25.4(1.2)微克/立方米上升2.3(0.5)微克/立方米，比2020年的28.7(1.2)微克/立方米下降1(0.7)微克/立方米，比2019年的26.8(1)微克/立方米上升0.9(0.9)微克/立方米。长三角地区PM_{10-2.5}浓度均值为22.7(0.9)微克/立方米，比2024年的23.2(1)微克/立方米下降0.5(0.4)微克/立方米，比2020年的27.9(1.4)微克/立方米下降5.2(0.8)微克/立方米，比2019年的25.9(1.2)微克/立方米下降3.2(0.8)微克/立方米。

2025年“4+173”城市中，PM_{10-2.5}年均浓度超过30微克/立方米的城市有78个，比2024年增加3个。其中，京津冀及周边“2+36”城市有29个，比2024年减少5个；汾渭平原原有13个，比2024年增加2个；长三角地区有3个（宿州、徐州、淮北），比2024年减少2个；“其他城市”有33个，比2024年增加8个。年均浓度低于25微克/立方米的城市有79个，比2024年增加1个。其中，京津冀及周边“2+36”城市有3个（北京、日照、邯郸），比2024年增加3个；长三角地区有23个，比2024年增加2个；“其他城市”有53个，比2024年减少4个。

根据图23、图24，相比2019年，2025年“4+173”城市中，有109个城市年均PM_{10-2.5}浓度呈现不同程度下降，有68个城市年均PM_{10-2.5}浓度上升。PM_{10-2.5}六年累计降幅的城市均值为3.2%（2.2%）。有20个城市累计降幅超过均值+1个标准差（33%），包括京津冀及周边“2+36”城市的9个城市（邯

郸、唐山、莱芜、泰安、临沂、石家庄、济南、菏泽、日照), 长三角地区的六安、镇江、杭州。从城市 $PM_{10-2.5}$ 降幅排名来看, 河北、山东、江西、江苏 $PM_{10-2.5}$ 治理效果相对较好。

相比 2024 年, “4+173” 城市中, 有 70 个城市年均 $PM_{10-2.5}$ 浓度下降, 有 107 个城市年均 $PM_{10-2.5}$ 浓度上升。 $PM_{10-2.5}$ 浓度升幅的城市均值为 4.6% (1.2%)。从城市 $PM_{10-2.5}$ 浓度降幅排名来看, 北京、山东、河北、内蒙古 $PM_{10-2.5}$ 治理效果相对较好。

3.3 二氧化硫

二氧化硫 (SO_2) 是一种无色、有刺激性气味的气体, 一般认为无毒或者毒性不大, 但是二氧化硫在大气中易被氧化形成 SO_3 , 再与水分子结合生成硫酸分子, 经过均相或非均相成核作用, 形成硫酸气溶胶, 并同时发生化学反应生成硫酸盐。硫酸和硫酸盐可形成硫酸烟雾和酸性降水, 造成较大的危害。二氧化硫之所以被认为是重要的大气污染物, 原因就在于它参与了硫酸烟雾和酸雨的形成 [20]。大气中二氧化硫半数由人为源产生。人为源中, 燃煤约占排放的 60%, 尤其是高硫煤的燃烧, 是大气中二氧化硫的主要来源。其次, 燃油、工业排放也有一定贡献。

在“十一五计划”(2006-2010 年) 期间, 我国已将二氧化硫的总量减排任务单独列出。2013 年 9 月, 国务院印发的“国十条”明确提出“加快推进集中供热、“煤改气”、“煤改电”工程建设”、“加快重点行业脱硫、脱硝、除尘改造工程建设”。2014 年以来, 我国在北方地区全面实施散煤综合治理, 推进冬季清洁取暖。2015 年, 我国对燃煤机组全面实施超低排放和节能改造, 以降低发电煤耗和污染排放。这些均是降低大气中二氧化硫浓度的重要举措。

中国目前二氧化硫浓度的限值标准如表 3。美国环境保护署关于二氧化硫浓度的限值标准为: 一级标准为 1 小时平均浓度 75ppb (约为 197 微克/立方米), 其标准实施形式为三年间小时浓度的 99% 分位数平均值不能超过该浓度限值, 二级标准为 3 小时平均浓度 0.5ppm (约为 1310 微克/立方米), 要求每年超过此浓度限值的次数不能多于一次。

下方多个图分别展示了“4+173”市二氧化硫经气象调整的季节平均浓度时间序列图、季节平均浓度地图。根据上述图表, 我们可以总结出二氧化硫浓度有如下几个特征:

表 3: 二氧化硫浓度限值 (GB 3095—2026)

污染物项目	平均时间	过渡阶段限值		浓度限值		单位
		一级	二级	一级	二级	
二氧化硫	年平均	20	60	20	20	微克/立方米
	24 小时平均	50	150	50	50	
	1 小时平均	150	500	150	150	

3.3.1 二氧化硫季度评估

2019 年春季“4+173”城市 SO_2 浓度均值 (标准误差) 为 12.4(0.4) 微克/立方米, 2025 年下降至 8.1(0.3) 微克/立方米, 累计降幅 34.7%; 年均下降 0.7 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 10.9(0.3)

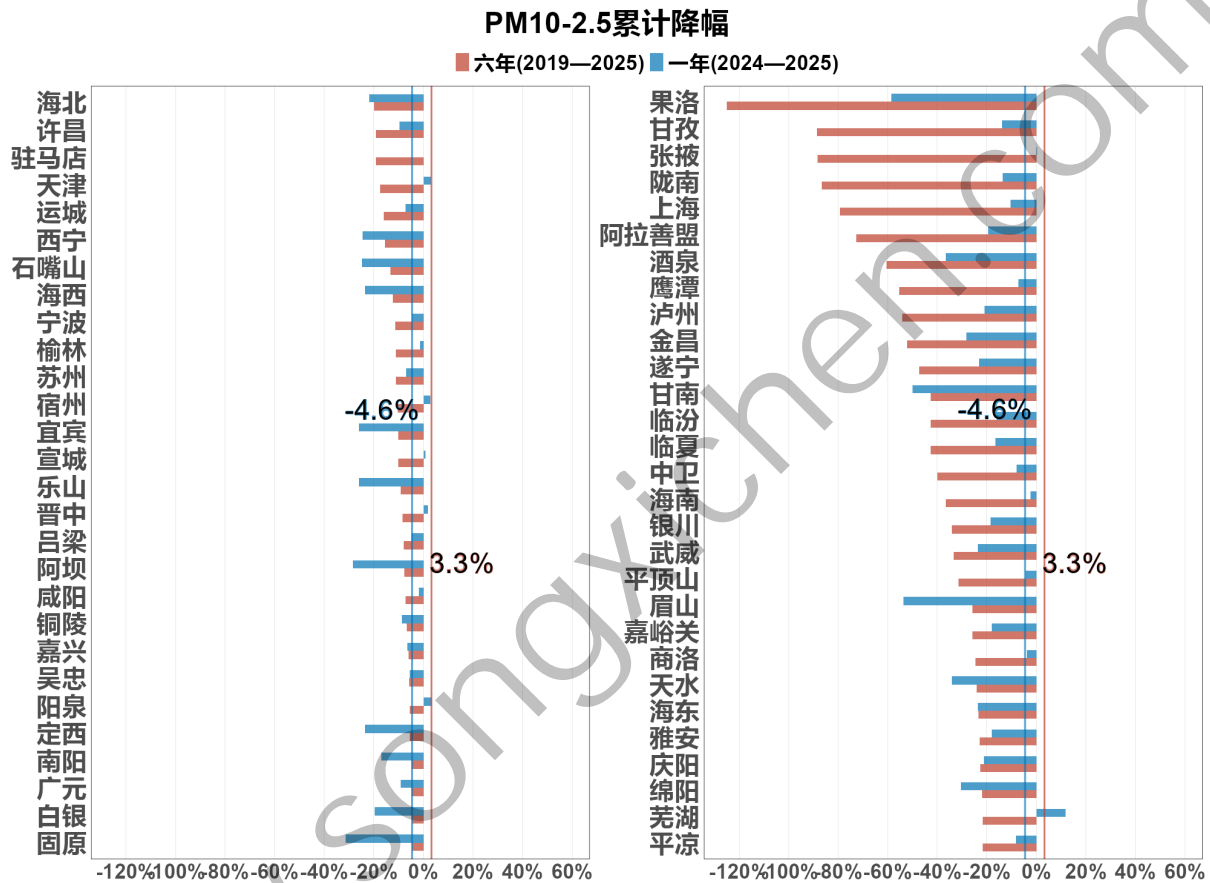


图 24: “4+173”城市气象调整后 PM_{10-2.5} 浓度过去一年 (蓝色)、六年 (红色) 的累计降幅, 蓝色和红色竖线分别代表“4+173”城市的一年和六年平均降幅 (注: 负数代表平均浓度相对升高)

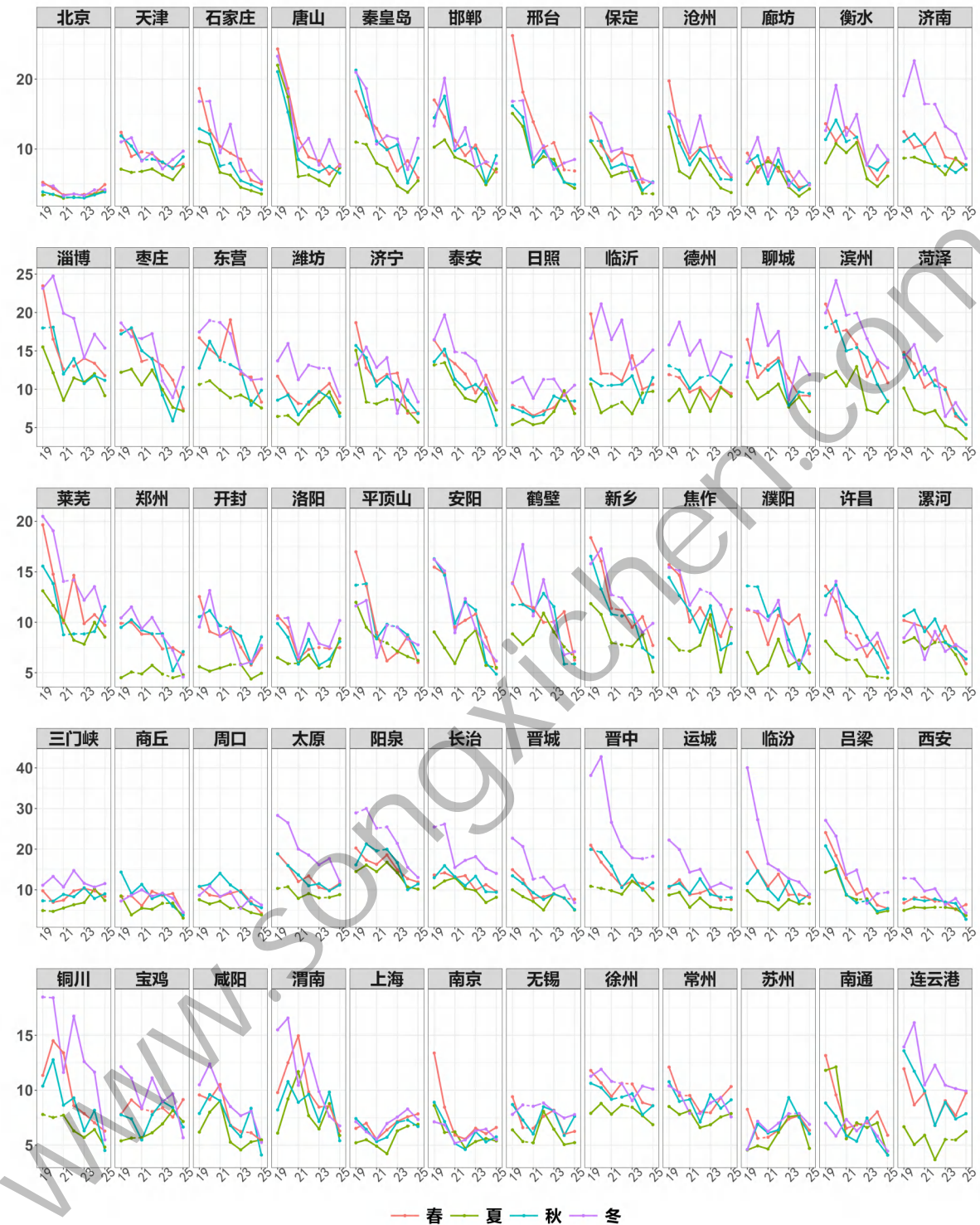


图 25: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 SO₂ 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

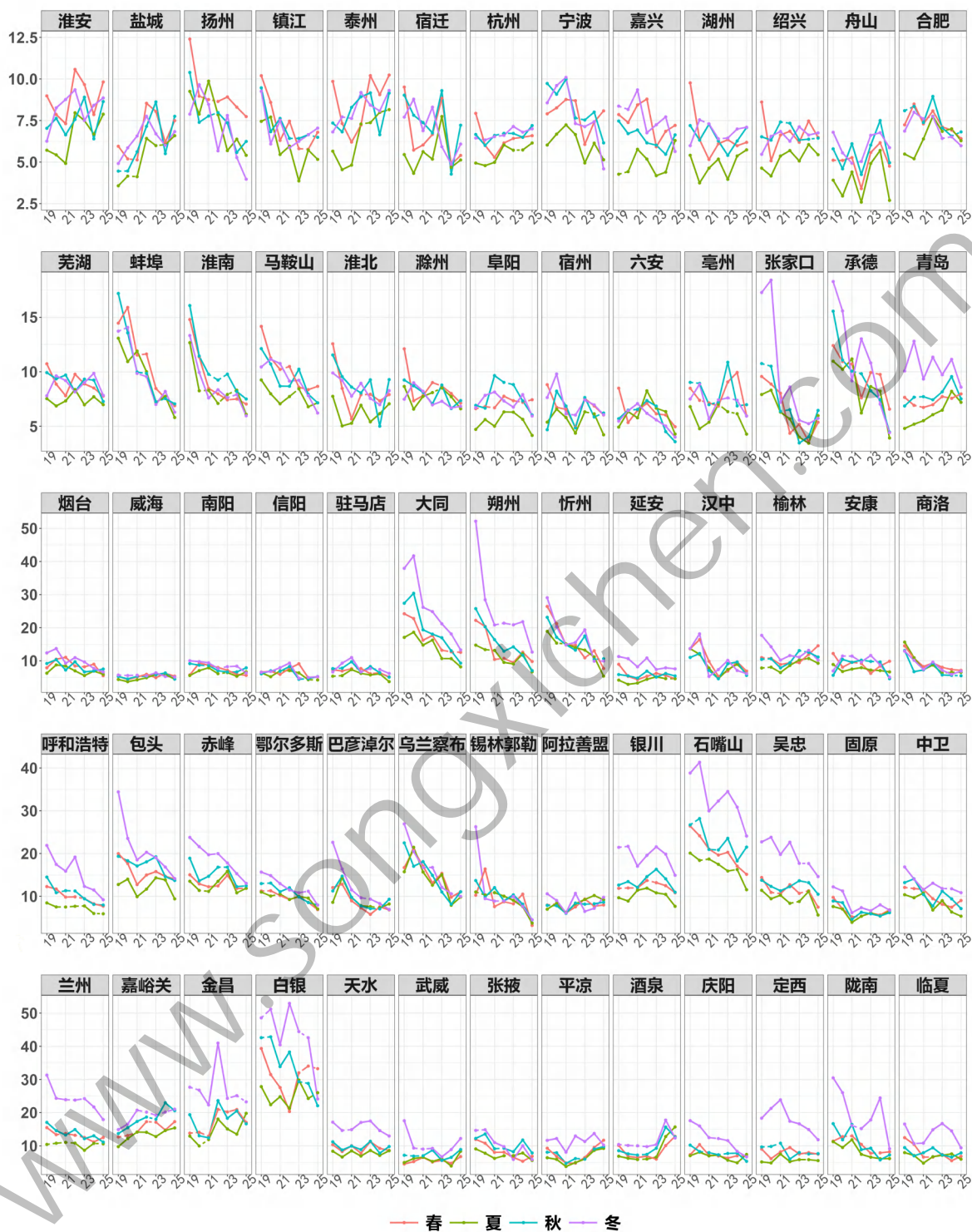


图 26: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 SO₂ 季节平均浓度（微克/立方米）变化序列图，图中实线（虚线）代表在 5% 统计学显著水平比上一年有（无）显著的增加或减少

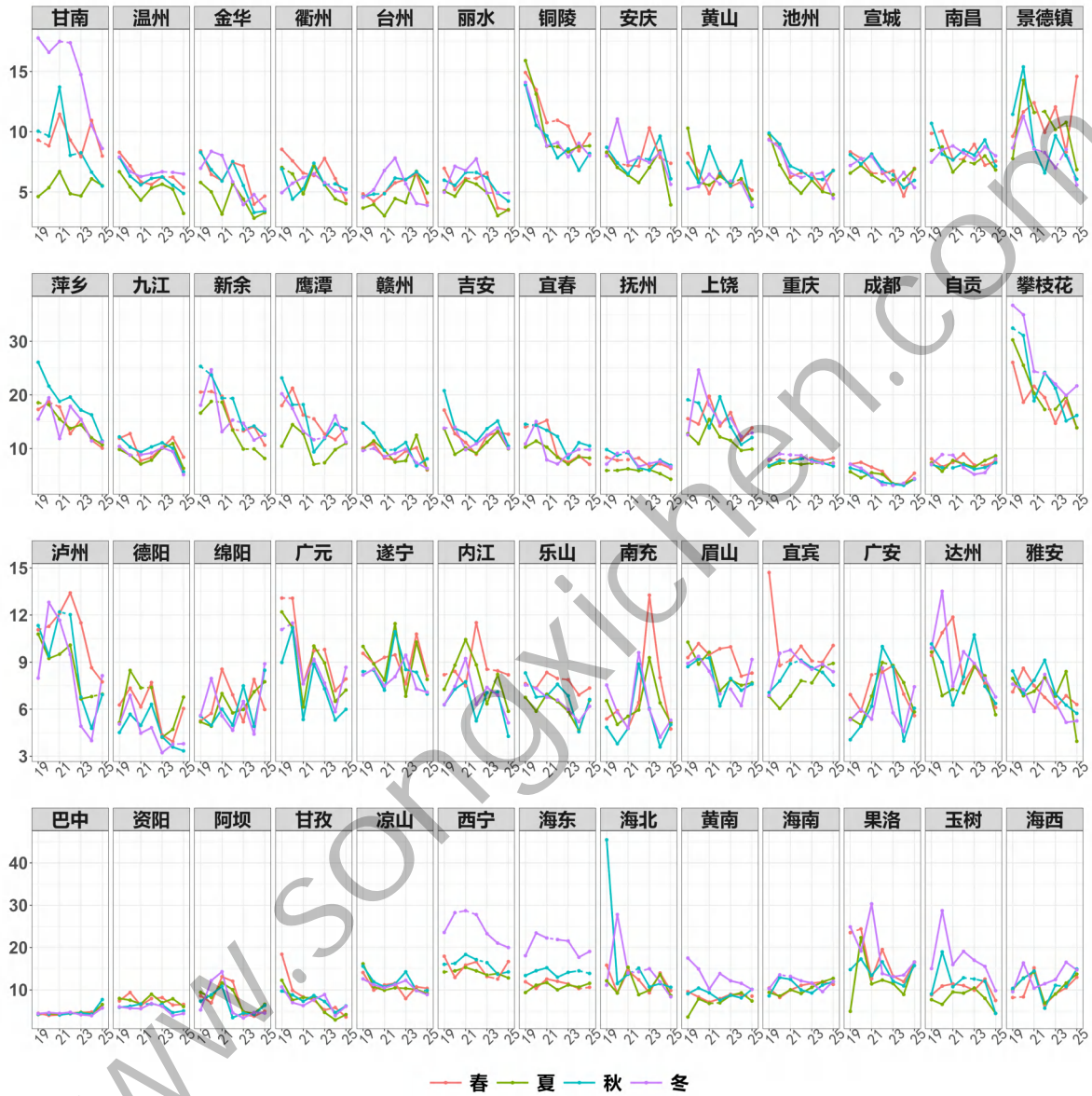


图 27: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 SO₂ 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

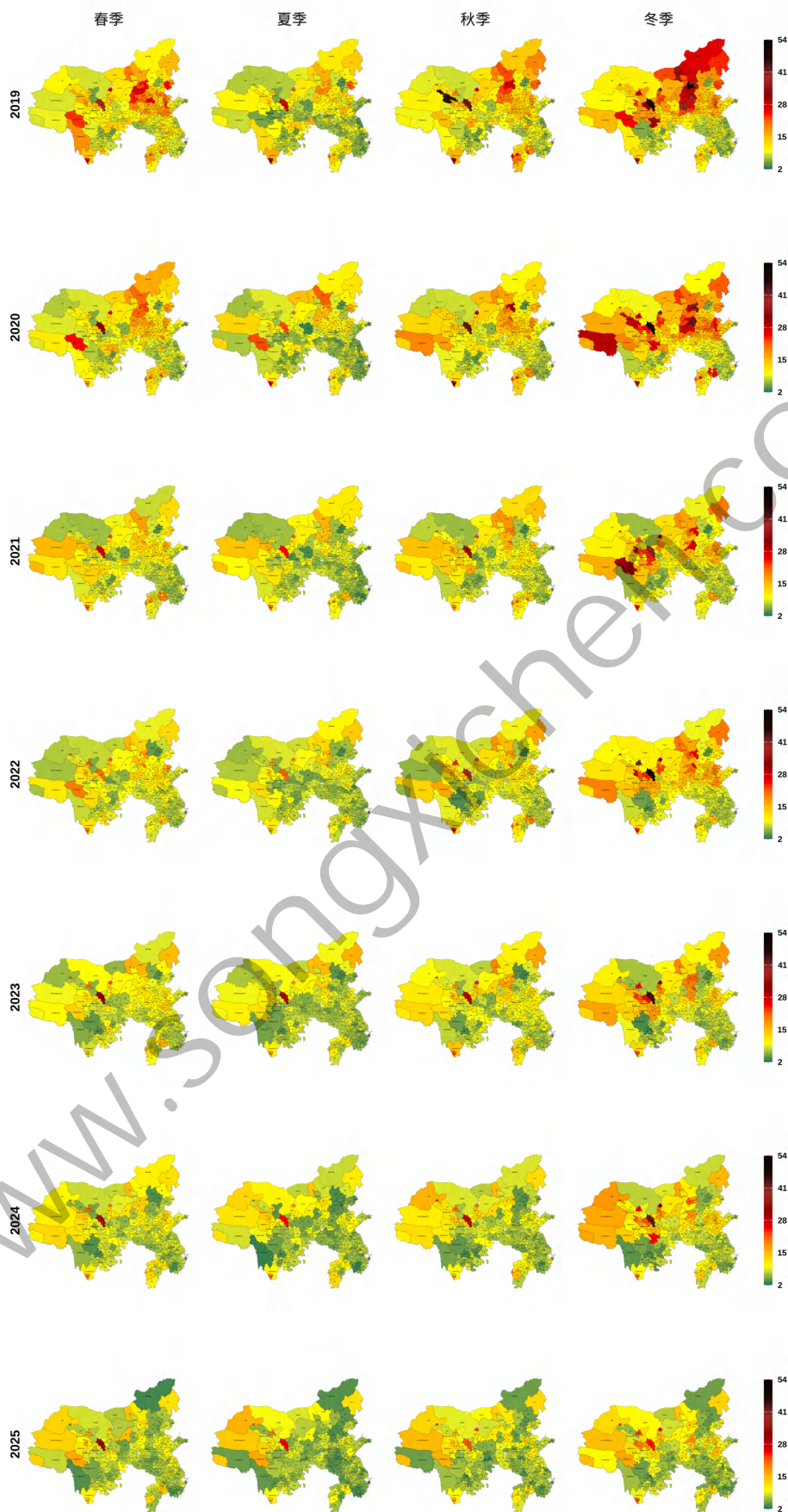


图 28: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 SO₂ 季节平均浓度 (微克/立方米)

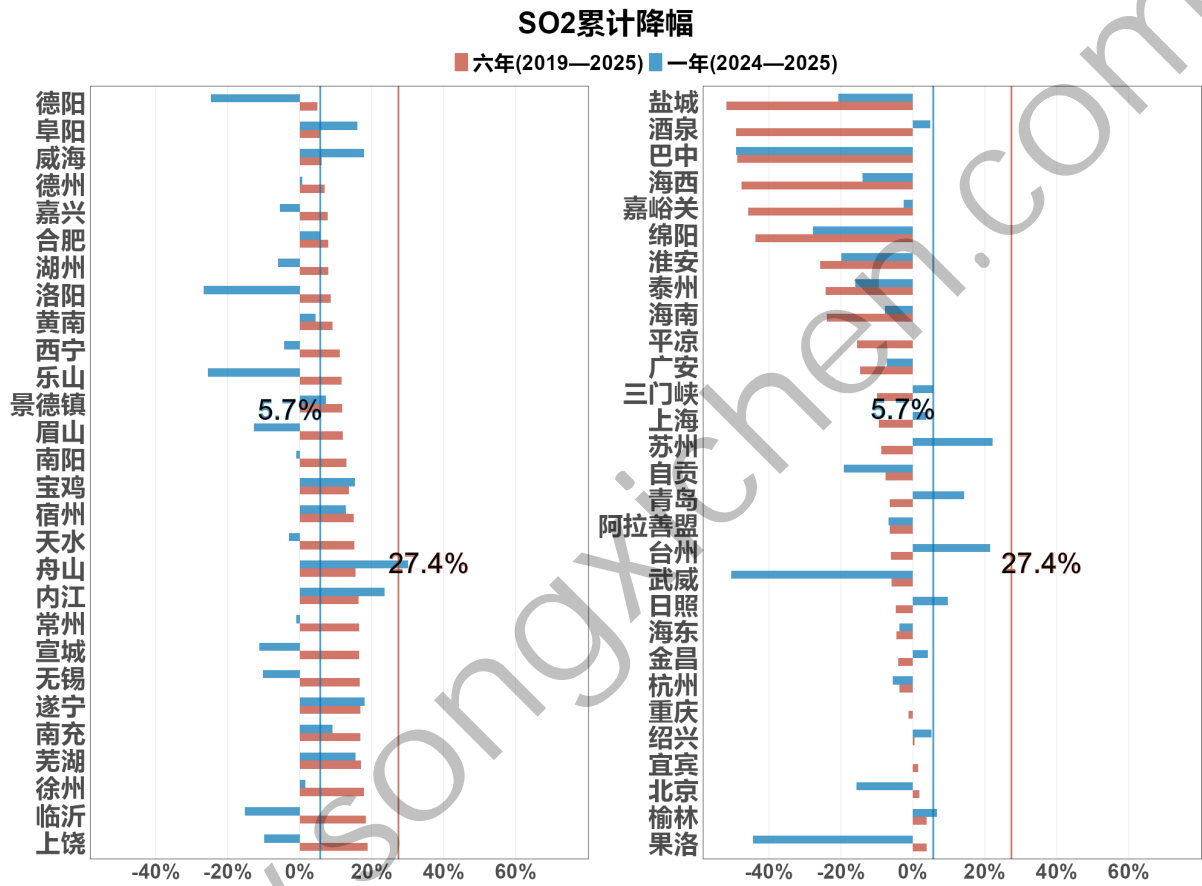


图 30: “4+173”城市气象调整后 SO₂ 浓度过去一年 (蓝色)、六年 (红色) 的累计降幅, 蓝色和红色竖线分别代表“4+173”城市的一年和六年平均降幅 (注: 负数代表平均浓度相对升高)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
	39.6	37.0	31.7	33.2	33.9	32.4	26.4	1 白银
	18.4	16.0	14.9	25.9	19.5	20.0	19.2	2 金昌
	12.8	14.3	16.6	17.5	16.8	18.1	18.6	3 嘉峪关
	28.0	28.0	22.7	22.6	23.6	20.6	18.1	4 石嘴山
	17.0	20.8	16.9	15.6	12.5	11.3	16.4	5 果洛
	31.4	27.5	21.3	21.2	18.8	18.4	16.4	6 攀枝花
	17.9	18.0	19.6	19.0	16.6	15.3	15.9	7 西宁
	9.5	12.6	13.6	7.6	10.4	12.4	14.1	8 海西
	13.2	14.9	15.4	14.2	14.6	13.3	13.8	9 海东
	9.0	7.7	7.4	7.5	8.1	14.1	13.4	10 酒泉
	18.6	15.8	15.5	15.7	14.4	14.2	13.0	11 兰州
	21.6	18.4	14.6	16.3	17.1	15.0	12.8	12 包头
	18.0	17.8	15.1	10.9	11.0	13.0	12.4	13 鹰潭
	17.8	14.9	14.4	15.7	16.3	12.6	12.3	14 赤峰
	15.0	17.2	16.8	15.2	14.5	11.1	12.2	15 上饶
	9.7	10.8	11.4	10.6	10.8	11.1	12.0	16 海南
	14.6	12.6	11.7	12.3	11.4	10.4	11.9	17 临沂
	20.0	17.9	13.3	14.4	12.4	13.6	11.9	18 淄博
	22.5	22.3	16.5	12.7	13.9	12.3	11.9	19 晋中
	19.9	21.2	18.9	20.2	16.8	12.2	11.6	20 阳泉
	12.3	13.2	10.3	12.0	9.9	11.6	11.5	21 德州
	11.7	10.9	8.4	9.7	11.0	12.1	11.3	22 榆林
	13.9	14.0	13.1	14.9	15.5	14.2	11.1	23 银川
	20.1	22.0	17.7	15.4	12.9	12.4	11.0	24 新余
	19.1	17.3	13.4	13.0	11.6	11.4	10.9	25 太原
	19.4	19.5	16.0	16.0	15.6	12.8	10.9	26 萍乡
	26.7	28.4	19.1	19.2	15.5	13.6	10.8	27 大同
	16.4	12.4	11.0	10.1	12.4	13.8	10.8	28 吉安
	20.5	19.9	16.9	14.3	13.4	9.1	10.5	29 乌兰察布
	15.6	17.1	13.7	13.0	12.8	10.7	10.3	30 长治
	8.8	8.2	5.3	7.2	7.4	10.2	10.2	31 平凉
	17.6	18.2	15.7	16.0	12.4	11.3	10.1	32 滨州
	17.2	14.8	10.7	11.5	9.7	10.8	10.0	33 莱芜
	11.8	9.6	10.8	10.2	12.2	9.7	10.0	34 天水
	14.6	11.0	10.6	11.2	11.2	10.1	9.6	35 凉山
	13.5	12.4	10.0	10.4	11.2	8.2	9.5	36 焦作
	15.6	14.1	13.0	14.0	12.7	13.3	9.5	37 吴忠
	13.1	13.7	12.7	14.0	8.9	10.5	9.4	38 聊城
	16.4	16.3	14.0	14.4	10.8	8.4	9.4	39 枣庄
	21.1	14.5	14.4	12.7	11.2	12.7	9.4	40 海北
	14.4	15.4	14.1	14.6	11.5	9.8	9.3	41 东营
	7.4	6.6	6.7	8.2	8.8	7.9	9.2	42 泰州
	8.3	8.0	8.1	9.8	9.8	9.6	9.1	43 三门峡
	8.6	6.9	7.3	7.1	6.0	6.0	9.1	44 武威
	9.9	10.4	8.4	9.1	9.6	9.5	9.0	45 黄南
	28.7	20.6	15.2	13.6	13.4	14.6	9.0	46 朔州
	8.4	8.4	6.1	8.7	8.3	8.3	8.9	47 阿拉善盟
	12.4	13.8	11.7	9.1	7.9	9.5	8.9	48 宜春
	7.0	7.3	6.9	8.9	8.4	7.3	8.8	49 淮安
	10.4	9.0	8.7	7.4	8.3	8.6	8.7	50 常州
	14.7	12.1	9.5	9.2	8.8	8.3	8.7	51 铜陵
	8.9	8.0	8.7	9.0	8.5	8.7	8.7	52 宜宾
	9.3	8.6	6.2	8.1	6.6	6.7	8.5	53 洛阳
	10.6	9.4	8.3	8.6	7.4	7.2	8.5	54 天津
	10.4	10.4	9.3	9.8	9.4	8.7	8.5	55 徐州
	11.5	10.4	9.0	7.4	8.5	7.7	8.4	56 连云港
	24.4	18.5	14.9	14.4	15.2	11.1	8.4	57 忻州
	8.0	8.1	6.8	7.7	8.8	9.2	8.3	58 日照
	9.4	13.2	10.3	9.1	9.7	8.9	8.3	59 景德镇
	9.3	9.4	9.2	7.6	8.3	7.3	8.2	60 眉山
	20.2	16.0	11.1	10.4	10.3	8.6	8.1	61 临汾
	10.4	8.1	6.8	8.0	7.5	6.4	8.1	62 淮北
	10.5	10.5	12.6	9.5	9.5	9.1	8.1	63 定西
	13.1	12.4	11.1	9.3	10.0	8.7	8.1	64 中卫
	17.9	15.0	10.7	9.8	8.4	6.1	7.9	65 秦皇岛

图 31: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 SO₂ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
7.4	6.9	7.6	7.4	6.2	6.6	7.9	66	自贡
11.4	13.8	11.4	12.3	7.2	6.9	7.8	67	衡水
12.5	13.4	11.4	11.0	9.0	9.0	7.8	68	济南
13.1	13.3	9.5	11.2	8.9	8.2	7.8	69	运城
13.6	14.6	10.0	8.1	7.5	7.6	7.8	70	巴彦淖尔
5.4	5.9	6.8	5.6	6.3	6.1	7.8	71	绵阳
7.3	8.1	7.3	8.0	8.0	9.1	7.8	72	青岛
13.8	15.9	10.0	10.3	8.8	6.6	7.7	73	邯郸
10.1	10.3	7.9	9.2	10.1	10.5	7.7	74	潍坊
14.3	11.9	11.1	12.0	9.7	8.8	7.7	75	呼和浩特
17.4	15.0	14.3	10.5	10.4	11.0	7.7	76	陇南
9.0	8.7	8.5	8.6	8.5	8.8	7.5	77	芜湖
12.7	12.3	11.2	10.5	10.1	9.5	7.5	78	鄂尔多斯
11.3	11.7	6.7	9.4	8.4	6.2	7.5	79	广元
11.6	8.8	7.5	9.4	9.6	8.5	7.5	80	临夏
9.0	8.7	8.0	10.0	8.1	9.2	7.5	81	遂宁
10.3	10.7	11.4	11.2	7.5	6.1	7.4	82	泸州
9.1	8.9	7.7	8.0	8.0	8.3	7.4	83	南昌
7.3	8.0	7.9	8.1	7.7	7.4	7.4	84	重庆
14.9	15.7	12.5	11.4	10.6	10.5	7.3	85	泰安
22.6	17.4	9.0	8.5	7.1	7.5	7.3	86	唐山
15.6	14.3	10.7	10.5	9.7	9.0	7.3	87	新乡
11.5	10.3	9.2	9.0	9.1	7.7	7.3	88	马鞍山
9.5	9.6	8.1	8.4	6.9	5.5	7.2	89	开封
8.3	8.3	7.0	8.3	8.3	8.5	7.2	90	宝鸡
6.6	6.3	5.3	5.8	7.0	7.5	7.2	91	上海
4.7	4.9	5.4	7.5	7.3	5.9	7.2	92	盐城
10.8	10.1	8.6	10.6	7.7	7.1	7.1	93	濮阳
15.7	12.7	10.6	11.6	9.5	8.5	7.0	94	济宁
9.4	7.9	8.0	7.8	8.3	7.3	7.0	95	滁州
10.4	10.1	12.3	9.9	8.9	8.5	6.9	96	甘南
13.6	12.3	8.1	8.4	8.3	8.1	6.7	97	平顶山
6.5	5.8	5.8	6.4	6.5	6.4	6.7	98	杭州
8.1	7.0	6.6	8.3	7.7	6.1	6.7	99	无锡
7.6	6.8	7.2	7.2	6.6	5.3	6.7	100	乐山
14.2	10.2	8.5	8.2	8.2	8.0	6.6	101	淮南
11.1	11.3	9.0	8.6	9.6	9.2	6.6	102	赣州
9.6	8.5	5.0	6.1	6.2	6.1	6.6	103	固原
7.6	8.7	8.6	7.2	7.1	6.6	6.6	104	南阳
10.5	10.7	8.6	8.4	7.8	7.0	6.6	105	庆阳
10.1	16.3	11.9	13.1	12.5	12.0	6.6	106	玉树
14.6	13.6	10.8	10.3	7.5	7.8	6.5	107	蚌埠
7.1	6.0	6.1	6.0	5.5	6.2	6.5	108	湖州
8.4	9.2	9.5	9.2	8.7	8.5	6.5	109	安康
14.1	9.6	7.6	9.2	6.8	6.4	6.5	110	商洛
12.0	11.7	8.6	8.5	6.9	8.7	6.5	111	张掖
12.1	12.3	10.5	12.0	10.2	7.8	6.4	112	鹤壁
6.9	7.5	7.2	8.1	6.9	6.8	6.4	113	合肥
7.0	6.7	7.6	6.7	5.8	6.1	6.4	114	嘉兴
9.1	7.3	6.7	6.4	5.6	6.2	6.4	115	镇江
4.3	4.3	4.2	4.5	4.5	4.3	6.4	116	巴中
11.1	10.2	8.3	8.9	10.4	10.6	6.4	117	九江
8.9	10.8	9.0	9.0	7.5	7.6	6.4	118	烟台
6.3	5.5	6.6	6.5	6.2	6.6	6.3	119	绍兴
7.5	7.5	7.3	6.5	6.2	5.7	6.3	120	宣城
18.6	15.7	9.4	9.8	8.6	6.4	6.2	121	邢台
15.3	13.3	9.2	8.5	9.3	8.7	6.2	122	晋城
21.6	18.2	11.0	9.5	8.0	6.1	6.2	123	吕梁
9.8	10.1	8.2	8.1	9.3	7.8	6.2	124	达州
5.4	5.4	6.6	9.0	8.0	5.8	6.2	125	广安
13.0	14.7	7.5	5.5	8.4	8.8	6.2	126	汉中
9.3	9.8	8.1	8.9	8.2	7.4	6.1	127	漯河
9.9	12.3	11.5	10.1	8.0	8.7	6.1	128	渭南
8.1	8.4	9.0	7.6	6.4	7.2	6.0	129	宁波
5.5	6.2	5.7	6.5	8.0	7.7	6.0	130	苏州

图 32: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 SO₂ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
	7.9	6.7	6.5	6.7	7.9	4.7	6.0	131 宿迁
	7.8	7.9	8.2	6.8	6.5	7.0	6.0	132 抚州
	6.2	6.7	7.4	7.6	7.3	7.0	5.9	133 阜阳
	7.0	8.0	8.7	8.0	7.3	7.7	5.9	134 内江
	11.4	11.5	7.0	6.3	4.6	4.1	5.9	135 张家口
	8.6	9.2	8.1	8.5	7.4	6.1	5.8	136 郑州
	8.0	7.5	6.3	7.1	8.5	7.6	5.8	137 亳州
	9.5	7.2	5.6	5.1	6.1	5.9	5.8	138 南京
	10.0	8.5	8.7	7.5	7.4	6.4	5.8	139 扬州
	8.3	8.2	6.9	7.2	8.1	8.5	5.8	140 安庆
	9.6	8.4	6.4	6.1	6.3	5.7	5.7	141 池州
	6.6	7.8	6.3	5.0	7.2	6.5	5.6	142 宿州
	7.7	9.1	12.5	7.5	4.2	4.3	5.6	143 阿坝
	14.2	13.0	8.6	10.7	10.2	6.9	5.5	144 安阳
	7.6	6.1	5.1	6.9	6.0	6.1	5.5	145 延安
	6.8	7.2	6.3	7.6	7.0	5.7	5.5	146 资阳
	15.8	10.9	8.0	10.8	8.4	6.6	5.4	147 沧州
	11.3	11.7	8.8	8.2	6.9	7.1	5.4	148 许昌
	12.0	13.3	10.3	10.2	8.1	8.3	5.3	149 铜川
	7.8	7.4	7.1	8.0	6.6	6.7	5.3	150 雅安
	13.4	12.0	10.5	10.4	8.0	6.6	5.1	151 菏泽
	8.5	9.8	9.7	6.9	6.1	7.0	5.1	152 威海
	9.5	9.4	9.5	8.8	7.6	6.5	5.0	153 周口
	5.2	7.1	5.7	6.6	4.0	4.0	5.0	154 德阳
	12.8	8.3	7.5	8.0	6.5	4.3	5.0	155 甘孜
	6.1	5.1	5.0	7.7	8.6	5.6	5.0	156 南充
	7.7	6.4	5.5	5.9	6.2	5.9	5.0	157 温州
	6.7	7.4	8.9	6.8	6.9	6.6	5.0	158 驻马店
	5.2	4.5	5.1	5.4	5.7	5.9	4.9	159 威海
	6.4	6.5	6.9	8.1	6.1	4.7	4.9	160 信阳
	13.0	11.0	7.8	8.5	7.2	4.7	4.8	161 保定
	7.6	8.7	7.0	8.2	5.4	4.7	4.8	162 廊坊
	14.3	11.9	10.3	9.2	9.4	8.1	4.8	163 承德
	4.4	4.6	4.9	6.0	5.5	6.0	4.7	164 台州
	10.2	8.8	6.3	6.4	7.1	6.6	4.6	165 南通
	5.4	4.6	5.2	3.8	5.8	6.5	4.6	166 舟山
	6.6	6.0	5.4	4.5	3.4	3.4	4.6	167 成都
	6.9	6.1	5.7	6.9	6.2	5.3	4.6	168 衢州
	14.9	13.1	8.5	9.3	6.3	5.4	4.5	169 石家庄
	4.3	4.0	3.2	3.3	3.2	3.7	4.3	170 北京
	8.1	8.6	7.7	7.7	6.5	6.2	4.3	171 西安
	7.8	5.9	6.4	6.3	5.6	6.3	4.3	172 黄山
	6.1	6.1	6.5	7.2	6.3	5.5	4.2	173 六安
	5.8	5.6	6.4	6.5	5.7	4.1	4.0	174 丽水
	15.3	11.5	9.8	9.2	9.4	8.5	4.0	175 锡林郭勒
	9.6	7.5	8.2	7.8	8.3	7.4	3.9	176 商丘
	7.4	6.7	5.8	6.6	5.3	3.7	3.7	177 金华

图 33: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 SO₂ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

微克/立方米相比，下降 2.8(0.3) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 8.7(0.3) 微克/立方米相比，下降 0.6(0.2) 微克/立方米，降幅 6.9%。

与 2024 年春季相比，“4+173”城市中，有 95 个城市 SO₂ 浓度均值显著下降，占比 53.7%，降幅平均值为 20.1%；有 65 个城市 SO₂ 浓度均值显著上升，占比 36.7%，升幅平均值为 19.8%。2025 年春季，白银平均浓度最高，为 33.3 微克/立方米；锡林郭勒平均浓度最低，为 3.2 微克/立方米。全部城市平均浓度达到国家年平均浓度二级标准。锡林郭勒为本季度 SO₂ 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 10.5 微克/立方米下降 69.6%。重点区域中，有 20 个城市浓度降幅超过 20%，包括京津冀及周边地区的 16 个城市（商丘、鹤壁、周口、安阳、濮阳、枣庄、许昌、平顶山、秦皇岛、泰安、东营、新乡、潍坊、漯河、日照、滨州），汾渭平原的渭南，长三角地区的亳州、南通、舟山。景德镇为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 8.3 微克/立方米上升 74.9%。重点区域中，有 10 个城市浓度升幅超过 20%，包括京津冀及周边地区的 5 个城市（唐山、开封、焦作、北京、衡水），汾渭平原的宝鸡、西安，长三角地区的盐城、淮安、连云港。SO₂ 浓度显著上升城市主要集中于四川、江苏、甘肃，分别有 9、9、8 个城市浓度上升。

2019 年夏季“4+173”城市 SO₂ 浓度均值（标准误差）为 9.2(0.3) 微克/立方米，2025 年下降至 6.9(0.2) 微克/立方米，累计降幅 25%；年均下降 0.4 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 8.7(0.3) 微克/立方米相比，下降 1.8(0.3) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 7.6(0.2) 微克/立方米相比，下降 0.7(0.2) 微克/立方米，降幅 9.2%。

与 2024 年夏季相比，“4+173”城市中，有 97 个城市 SO₂ 浓度均值显著下降，占比 54.8%，降幅平均值为 24.7%；有 56 个城市 SO₂ 浓度均值显著上升，占比 31.6%，升幅平均值为 27%。2025 年夏季，白银平均浓度最高，为 26 微克/立方米；舟山平均浓度最低，为 2.7 微克/立方米。全部城市平均浓度达到国家年平均浓度二级标准。商丘为本季度 SO₂ 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 6.7 微克/立方米下降 54.8%。重点区域中，有 25 个城市浓度降幅超过 20%，包括京津冀及周边地区的 11 个城市（商丘、新乡、日照、泰安、潍坊、漯河、三门峡、菏泽、淄博、聊城、济宁），汾渭平原的 5 个城市（晋城、渭南、西安、晋中、铜川），长三角地区的 9 个城市（舟山、南通、苏州、六安、宿州、亳州、淮南、阜阳、蚌埠）。武威为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 3.9 微克/立方米上升 113.7%。重点区域中，有 10 个城市浓度升幅超过 20%，包括京津冀及周边地区的 9 个城市（滨州、衡水、廊坊、天津、秦皇岛、邯郸、洛阳、唐山、焦作），长三角地区的嘉兴。SO₂ 浓度显著上升城市主要集中于四川、甘肃、江苏，分别有 9、7、6 个城市浓度上升。

2019 年秋季“4+173”城市 SO₂ 浓度均值（标准误差）为 12(0.5) 微克/立方米，2025 年下降至 7.9(0.2) 微克/立方米，累计降幅 34.2%；年均下降 0.7 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 11.2(0.4) 微克/立方米相比，下降 3.3(0.3) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 8.1(0.3) 微克/立方米相比，下降 0.2(0.2) 微克/立方米，降幅 2.5%。

与 2024 年秋季相比，“4+173”城市中，有 81 个城市 SO₂ 浓度均值显著下降，占比 45.8%，降幅平均值为 22.9%；有 77 个城市 SO₂ 浓度均值显著上升，占比 43.5%，升幅平均值为 28%。2025 年秋季，白银平均浓度最高，为 22.1 微克/立方米；西安平均浓度最低，为 2.7 微克/立方米。全部城市平均浓度达到国家年平均浓度二级标准。玉树为本季度 SO₂ 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期

的 12 微克/立方米下降 62.9%。重点区域中,有 19 个城市浓度降幅超过 20%,包括京津冀及周边地区的 8 个城市(泰安、商丘、许昌、潍坊、滨州、菏泽、平顶山、济宁),汾渭平原的 6 个城市(西安、咸阳、渭南、铜川、晋城、宝鸡),长三角地区的 5 个城市(舟山、南通、宁波、芜湖、六安)。淮北为浓度同比升幅最大城市,平均浓度相比去年同期的 5 微克/立方米上升 85.4%。重点区域中,有 22 个城市浓度升幅超过 20%,包括京津冀及周边地区的 14 个城市(德州、廊坊、天津、东营、莱芜、洛阳、保定、郑州、临沂、开封、濮阳、秦皇岛、枣庄、邯郸),汾渭平原的临汾,长三角地区的 7 个城市(嘉兴、无锡、淮安、泰州、盐城、宿迁、淮北)。SO₂ 浓度显著上升城市主要集中于四川、江苏、河南,分别有 14、10、8 个城市浓度上升。

2019 年冬季“4+173”城市 SO₂ 浓度均值(标准误差)为 14.1(0.6) 微克/立方米,2025 年下降至 8.7(0.3) 微克/立方米,累计降幅 38.3%;年均下降 0.9 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 14.4(0.6) 微克/立方米相比,下降 5.7(0.4) 微克/立方米;与 2024 年浓度均值 9.9(0.4) 微克/立方米相比,下降 1.2(0.2) 微克/立方米,降幅 12.1%。

与 2024 年冬季相比,“4+173”城市中,有 115 个城市 SO₂ 浓度均值显著下降,占比 65%,降幅平均值为 21.5%;有 45 个城市 SO₂ 浓度均值显著上升,占比 25.4%,升幅平均值为 25.2%。2025 年冬季,白银平均浓度最高,为 24.1 微克/立方米;金华平均浓度最低,为 3.6 微克/立方米。全部城市平均浓度达到国家年平均浓度二级标准。陇南为本季度 SO₂ 同比改善幅度最大城市,平均浓度相比 2024 年同期的 24.4 微克/立方米下降 62.7%。重点区域中,有 32 个城市浓度降幅超过 20%,包括京津冀及周边地区的 15 个城市(商丘、郑州、唐山、济南、潍坊、沧州、廊坊、许昌、菏泽、济宁、莱芜、石家庄、周口、泰安、焦作),汾渭平原的 7 个城市(铜川、西安、宝鸡、晋城、咸阳、太原、临汾),长三角地区的 10 个城市(宁波、嘉兴、阜阳、扬州、淮南、南通、蚌埠、马鞍山、芜湖、六安)。泸州为浓度同比升幅最大城市,平均浓度相比去年同期的 4 微克/立方米上升 103.5%。重点区域中,有 6 个城市浓度升幅超过 20%,包括京津冀及周边地区的 5 个城市(开封、濮阳、洛阳、枣庄、秦皇岛),长三角地区的宿迁。SO₂ 浓度显著上升城市主要集中于四川、河南、江苏,分别有 14、7、6 个城市浓度上升。

3.3.2 二氧化硫年度评估:年度变化趋势与城市相对排名

2019 年“4+173”城市 SO₂ 浓度均值(标准误差)为 11.9(0.4) 微克/立方米,2025 年下降至 7.9(0.2) 微克/立方米,累计降幅 33.6%;年均下降 0.7 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 11.3(0.4) 微克/立方米相比,下降 3.4(0.3) 微克/立方米;与 2024 年浓度均值 8.6(0.3) 微克/立方米相比,下降 0.7(0.1) 微克/立方米。

2025 年,“其他城市”SO₂ 平均浓度最高,浓度均值为 8.6(0.4) 微克/立方米,比 2024 年的 9.3(0.5) 微克/立方米下降 0.7(0.2) 微克/立方米,比 2020 年的 11.6(0.6) 微克/立方米下降 3(0.4) 微克/立方米,比 2019 年的 12.2(0.7) 微克/立方米下降 3.6(0.5) 微克/立方米。汾渭平原 SO₂ 浓度均值为 7.8(0.7) 微克/立方米,比 2024 年的 9(0.6) 微克/立方米下降 1.2(0.3) 微克/立方米,比 2020 年的 14.7(1.2) 微克/立方米下降 6.9(0.8) 微克/立方米,比 2019 年的 14.9(1.5) 微克/立方米下降 7.1(1.1) 微克/立方米。京津冀及周边“2+36”城市 SO₂ 浓度均值为 7.4(0.3) 微克/立方米,比 2024 年的 7.9(0.3) 微克/立方米下降 0.5(0.2) 微克/立方米,比 2020 年的 12.2(0.5) 微克/立方米下降 4.8(0.5) 微克/立方米,比 2019 年的 13(0.6) 微

克/立方米下降 5.6(0.6) 微克/立方米。长三角地区 SO₂ 浓度均值为 6.7(0.2) 微克/立方米, 比 2024 年的 6.9(0.2) 微克/立方米下降 0.2(0.2) 微克/立方米, 比 2020 年的 7.7(0.3) 微克/立方米下降 1(0.4) 微克/立方米, 比 2019 年的 8.4(0.4) 微克/立方米下降 1.7(0.4) 微克/立方米。

2025 年“4+173”城市中, SO₂ 年均浓度低于 10 微克/立方米的城市有 143 个, 比 2024 年增加 9 个。其中, 京津冀及周边“2+36”城市有 34 个, 比 2024 年增加 3 个; 汾渭平原原有 9 个, 与 2024 年持平; 长三角地区有 31 个, 与 2024 年持平; “其他城市”有 69 个, 比 2024 年增加 6 个。

根据图 29、图 30, 相比 2019 年, 2025 年“4+173”城市中, 有 153 个城市年均 SO₂ 浓度呈现不同程度下降, 有 24 个城市年均 SO₂ 浓度上升。SO₂ 六年累计降幅的城市均值为 27.4% (1.9%)。有 27 个城市累计降幅超过均值 +1 个标准差 (53%), 包括京津冀及周边“2+36”城市的 11 个城市 (石家庄、唐山、邢台、沧州、保定、菏泽、安阳、商丘、秦皇岛、济宁、新乡), 汾渭平原的吕梁、临汾、晋城、铜川, 长三角地区的蚌埠、南通、淮南。从城市 SO₂ 降幅排名来看, 河北、山西、内蒙古、陕西 SO₂ 治理效果相对较好。

相比 2024 年, “4+173”城市中, 有 119 个城市年均 SO₂ 浓度下降, 有 58 个城市年均 SO₂ 浓度上升。SO₂ 浓度降幅的城市均值为 5.7% (1.4%)。从城市 SO₂ 浓度降幅排名来看, 陕西、江西、宁夏、山东 SO₂ 治理效果相对较好。秦皇岛六年累计降幅排名靠前, 但本年度升幅排名靠前, 需防范浓度反弹风险。

根据图 31、图 32、图 33, 2025 年“4+173”城市中, SO₂ 年均浓度最高的城市为白银 (26.4 微克/立方米)、金昌 (19.2 微克/立方米)、嘉峪关 (18.6 微克/立方米)。浓度最高的 10 个城市包括甘肃的 4 个城市 (白银、金昌、嘉峪关、酒泉), 青海的 4 个城市 (果洛、西宁、海西、海东), 四川攀枝花, 宁夏石嘴山; 其中白银、石嘴山、西宁和攀枝花已连续 5 年在列, 嘉峪关和金昌已连续 4 年在列。

3.4 一氧化碳

一氧化碳 (CO) 是一种无色、无味、无臭的气体, 是主要并且排放量最大的大气污染物之一, 这也是其以往以毫克/立方米而非微克/立方米计量的原因。一氧化碳的人为源主要是矿物燃料燃烧过程中的不完全燃烧, 其中大部分来自交通工具, 即由内燃机炉壁的冷却作用造成的。此外, 森林砍伐、草原和废弃物的焚烧也是来源之一。一氧化碳对人体的危害主要是阻碍体内氧气输送, 使人体缺氧窒息。作为大气污染物的一氧化碳, 其主要危害在于能参与光化学烟雾的形成, 造成全球性的环境问题。一氧化碳在大气中的“存活”时间为一到两个月, 所以它可以在区域内长距离的传输。我国目前一氧化碳平均浓度标准如表 4。美国环境保护署的标准以 8 小时平均浓度为 9ppm (约 10 毫克/立方米)、1 小时平均浓度 35ppm (约 40 毫克/立方米) 为限值, 并规定每年超过以上标准限值的次数不能多于一次。

表 4: 一氧化碳浓度限值 (GB 3095—2026)

污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
		一级	二级	
一氧化碳	24 小时平均	4	4	毫克/立方米
	1 小时平均	10	10	

下方多个图分别展示了“4+173”城市一氧化碳经气象调整的季节平均浓度时间序列图，季节平均浓度地图。根据上述图表，我们可以总结出一氧化碳浓度如下几个特征：

3.4.1 一氧化碳季度评估

2019年春季“4+173”城市CO浓度均值（标准误差）为0.71(0.01)毫克/立方米，2025年下降至0.56(0.01)毫克/立方米，累计降幅21.1%；年均下降0.02毫克/立方米。与2020年浓度均值0.64(0.01)毫克/立方米相比，下降0.08(0.01)毫克/立方米；与2024年浓度均值0.57(0.01)毫克/立方米相比，下降0.01(0.01)毫克/立方米，降幅1.8%。

与2024年春季相比，“4+173”城市中，有87个城市CO浓度均值显著下降，占比49.2%，降幅平均值为13%；有56个城市CO浓度均值显著上升，占比31.6%，升幅平均值为18.1%。2025年春季，萍乡平均浓度最高，为0.93毫克/立方米；锡林郭勒平均浓度最低，为0.24毫克/立方米。黄南为本季度CO同比改善幅度最大城市，平均浓度相比2024年同期的0.6毫克/立方米下降58.9%。重点区域中，有9个城市浓度降幅超过20%，包括京津冀及周边地区的安阳、滨州、枣庄、唐山，汾渭平原的晋城，长三角地区的滁州、湖州、宿迁、绍兴。张家口为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的0.31毫克/立方米上升63.6%。重点区域中，有6个城市浓度升幅超过20%，包括京津冀及周边地区的开封、濮阳，汾渭平原的西安，长三角地区的镇江、淮北、舟山。CO浓度显著上升城市主要集中于四川、甘肃、河南，分别有14、6、5个城市浓度上升。

2019年夏季“4+173”城市CO浓度均值（标准误差）为0.66(0.01)毫克/立方米，2025年下降至0.52(0.01)毫克/立方米，累计降幅21.2%；年均下降0.02毫克/立方米。与2020年浓度均值0.62(0.01)毫克/立方米相比，下降0.1(0.01)毫克/立方米；与2024年浓度均值0.55(0.01)毫克/立方米相比，下降0.03(0.01)毫克/立方米，降幅5.5%。

与2024年夏季相比，“4+173”城市中，有98个城市CO浓度均值显著下降，占比55.4%，降幅平均值为15.8%；有51个城市CO浓度均值显著上升，占比28.8%，升幅平均值为20.5%。2025年夏季，攀枝花平均浓度最高，为0.88毫克/立方米；黄南平均浓度最低，为0.23毫克/立方米。甘南为本季度CO同比改善幅度最大城市，平均浓度相比2024年同期的0.67毫克/立方米下降50.5%。重点区域中，有14个城市浓度降幅超过20%，包括京津冀及周边地区的7个城市（淄博、邢台、泰安、济宁、安阳、邯郸、枣庄），汾渭平原的晋城，长三角地区的6个城市（滁州、绍兴、苏州、阜阳、杭州、六安）。景德镇为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的0.37毫克/立方米上升93.7%。重点区域中，有4个城市浓度升幅超过20%，包括京津冀及周边地区的焦作，汾渭平原的西安、渭南，长三角地区的舟山。CO浓度显著上升城市主要集中于四川、甘肃、山东，分别有12、11、4个城市浓度上升。

2019年秋季“4+173”城市CO浓度均值（标准误差）为0.78(0.02)毫克/立方米，2025年下降至0.61(0.01)毫克/立方米，累计降幅21.8%；年均下降0.03毫克/立方米。与2020年浓度均值0.73(0.01)毫克/立方米相比，下降0.12(0.01)毫克/立方米；与2024年浓度均值0.61(0.01)毫克/立方米持平。

与2024年秋季相比，“4+173”城市中，有75个城市CO浓度均值显著下降，占比42.4%，降幅平均值为13%；有68个城市CO浓度均值显著上升，占比38.4%，升幅平均值为19.5%。2025年秋季，

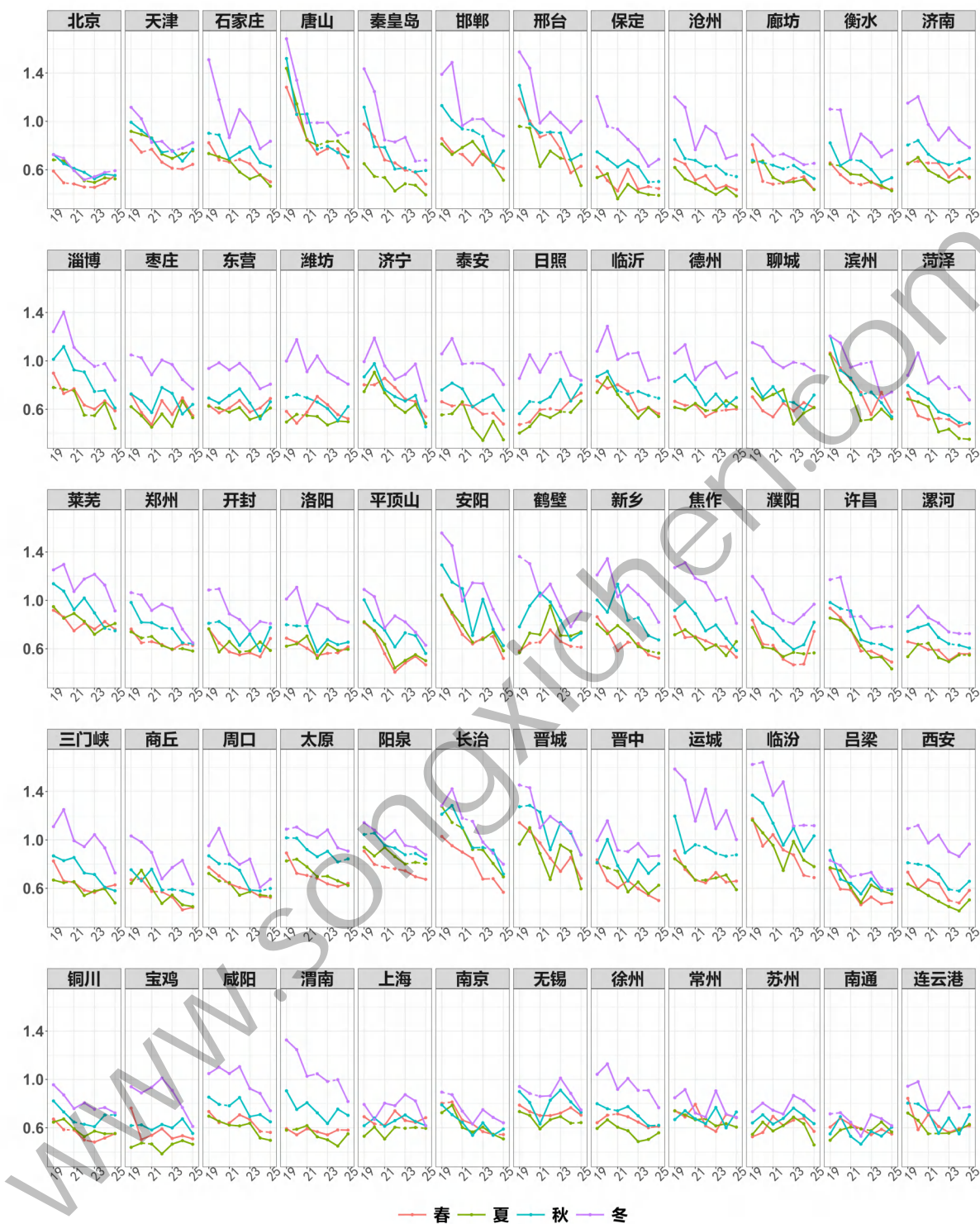


图 34: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 CO 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

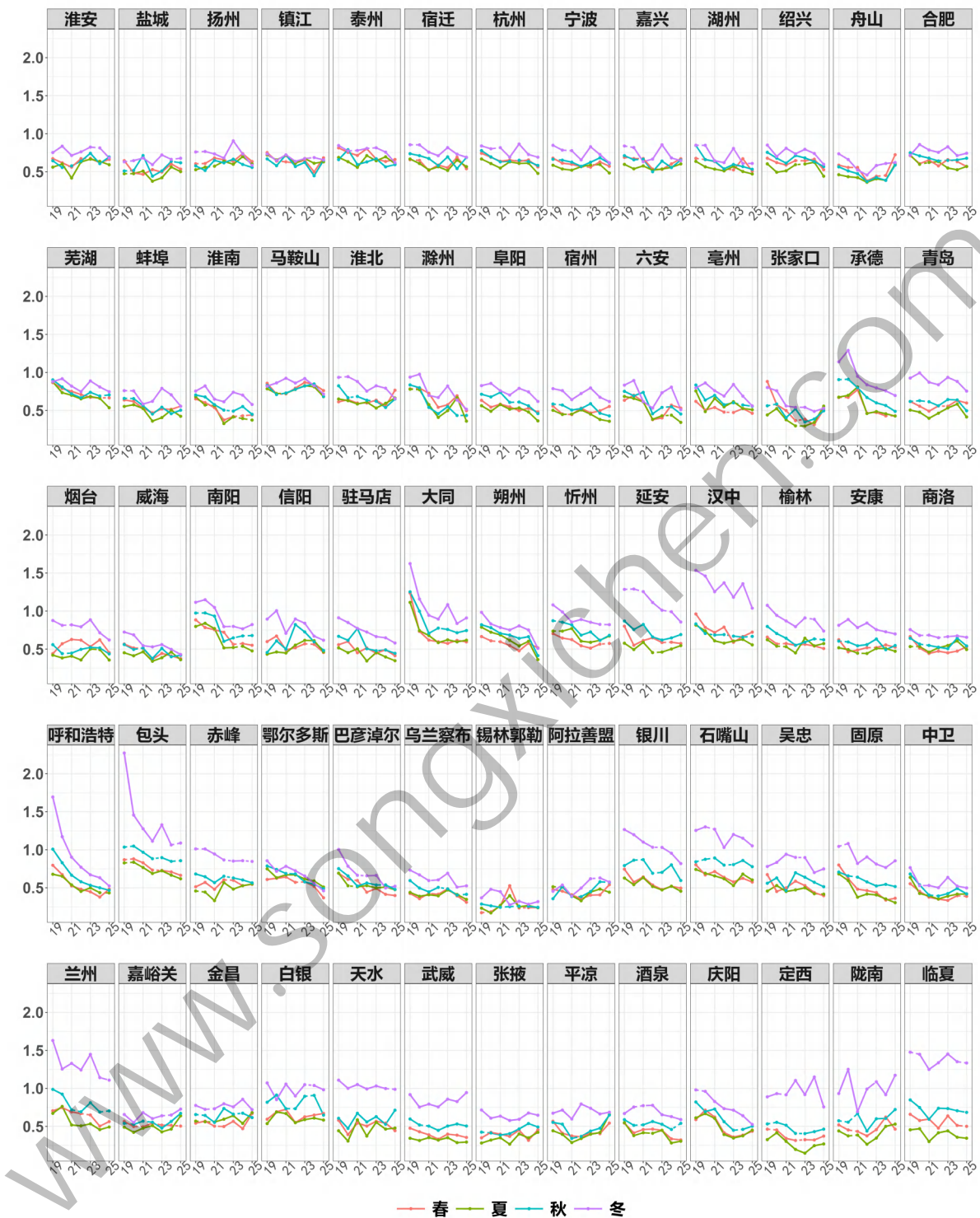


图 35: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 CO 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

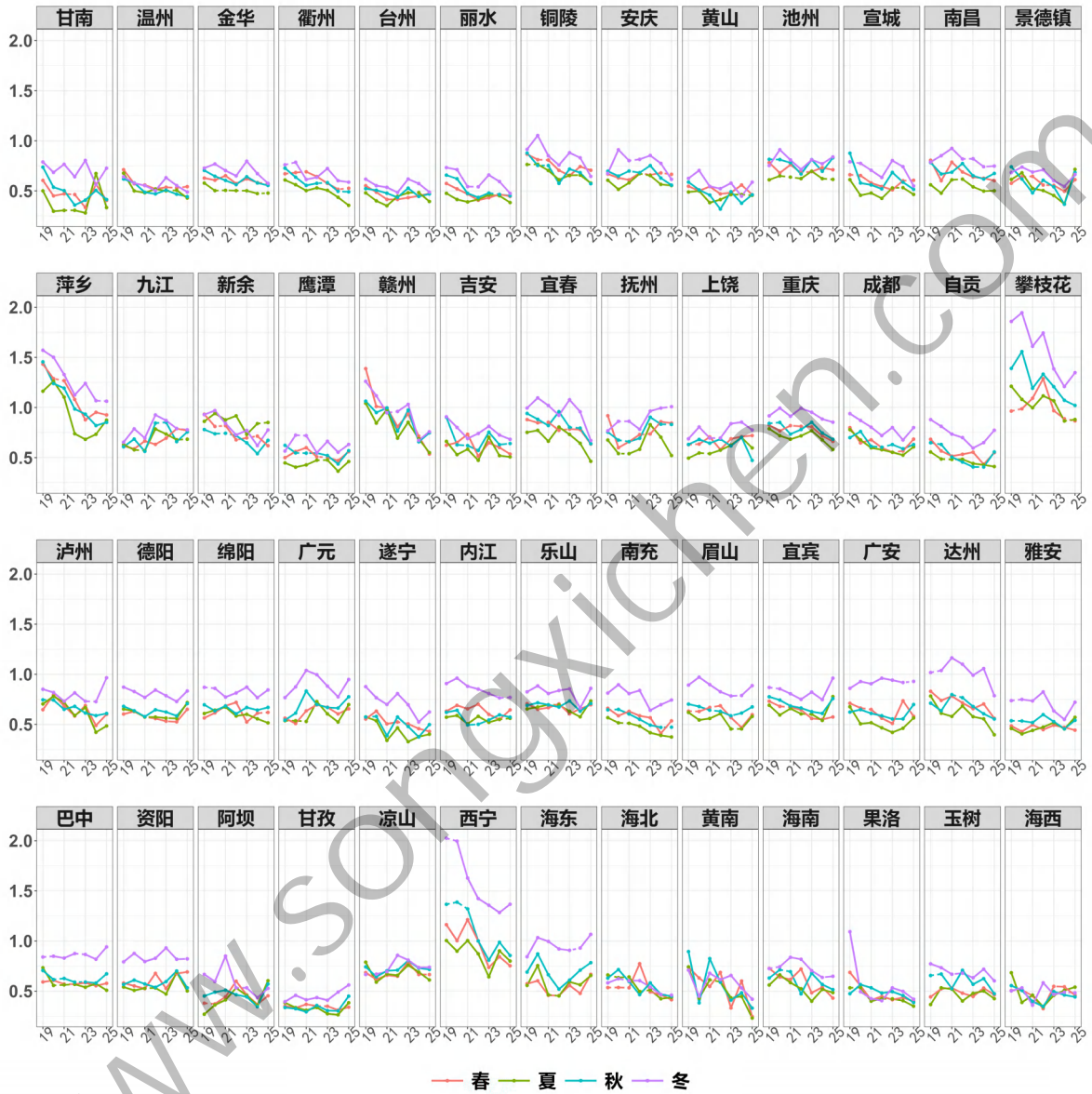


图 36: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 CO 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

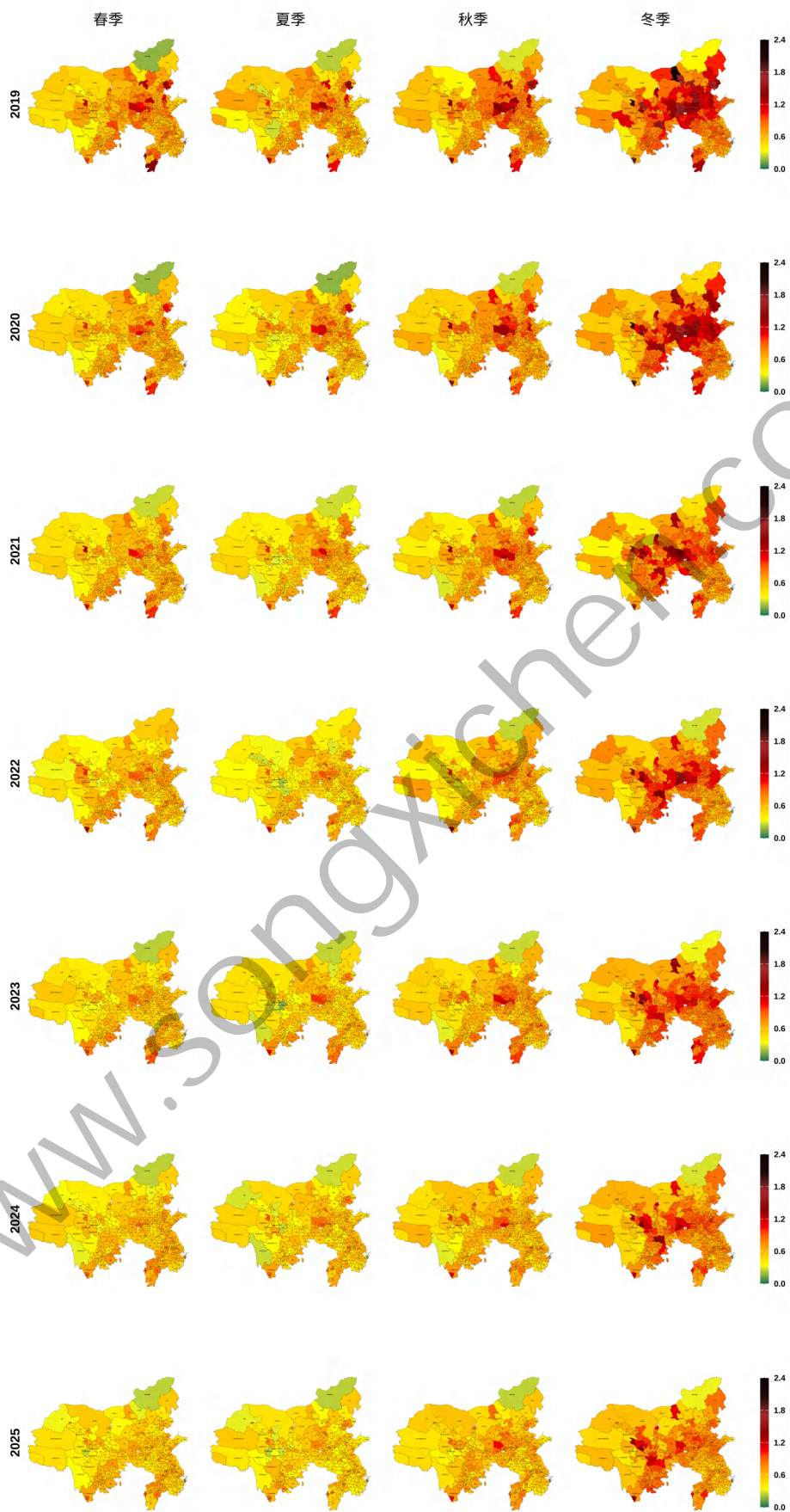


图 37: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 CO 季节平均浓度 (微克/立方米)

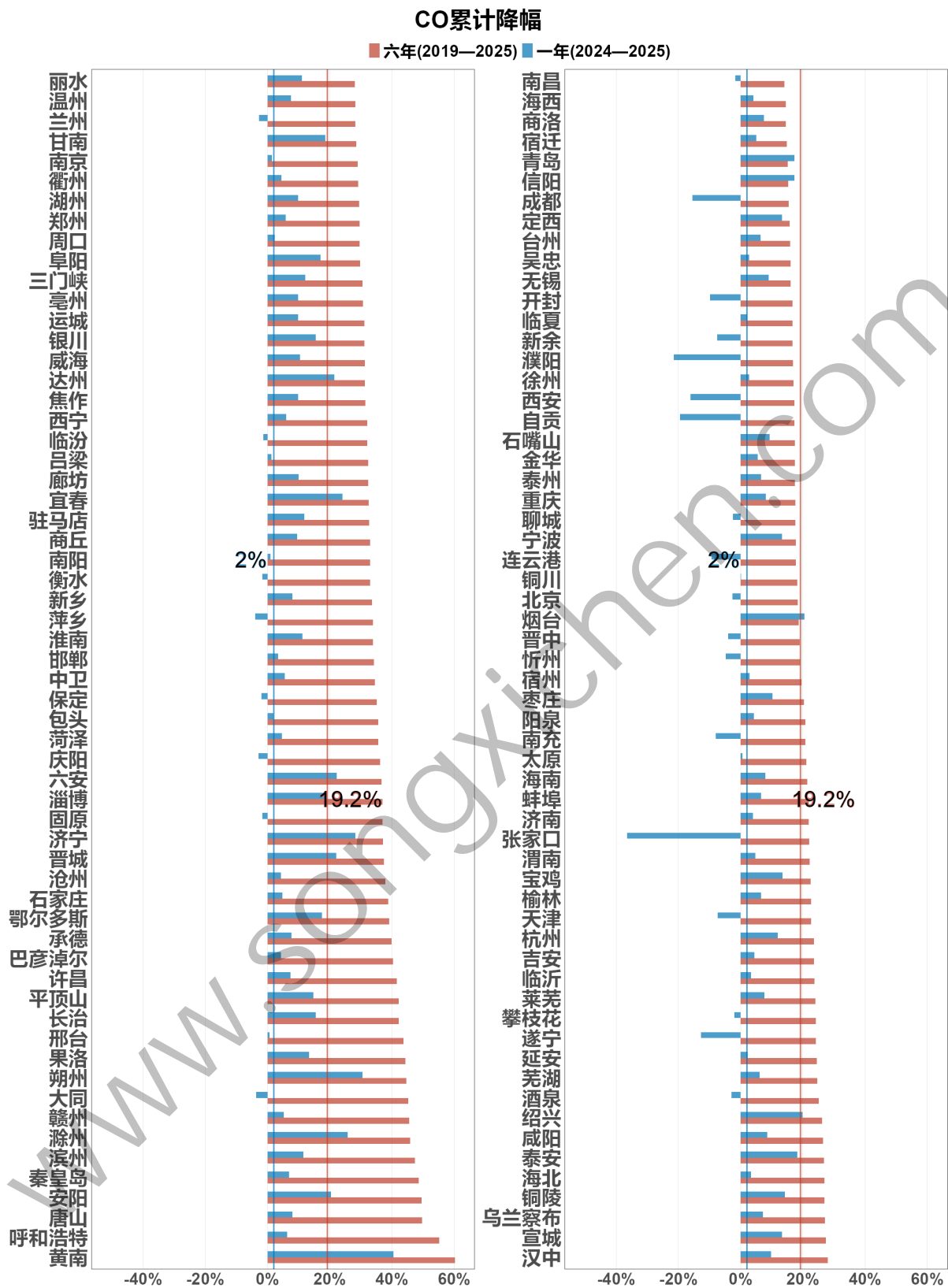


图 38: “4+173”城市气象调整后 CO 浓度过去一年(蓝色)、六年(红色)的累计降幅,蓝色和红色竖线分别代表“4+173”城市的一年和六年平均降幅(注:负数代表平均浓度相对升高)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
1.4	1.4	1.2	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1 攀枝花
1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	2 临汾
1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	3 萍乡
1.4	1.3	1.3	1.1	0.9	1.0	0.9	0.9	4 西宁
1.1	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	5 莱芜
0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	6 濮阳
0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	7 日照
1.2	1.2	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.8	8 晋城
1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	9 太原
1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	10 阳泉
1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	11 运城
1.3	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	12 包头
0.8	0.7	0.7	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8	13 抚州
0.6	0.6	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.8	14 广元
0.7	0.8	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	15 海东
0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	16 石嘴山
0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.8	17 宜宾
0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	18 德州
0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6	0.7	19 东营
1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	20 邯郸
0.8	0.9	0.9	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	21 鹤壁
0.9	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	22 开封
0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	23 聊城
0.9	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	24 临沂
0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	25 洛阳
1.5	1.2	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	26 唐山
1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	27 天津
1.3	1.1	0.8	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	28 邢台
0.9	0.9	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	29 晋中
0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	30 渭南
0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	31 西安
1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	32 长治
0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	33 常州
0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	34 淮安
0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	35 淮北
0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	36 连云港
0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.7	37 马鞍山
0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	38 无锡
0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	39 芜湖
0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	40 镇江
0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	41 巴中
0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	42 白银
0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	43 成都
0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	44 池州
1.3	0.9	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	45 大同
0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	46 德阳
0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	47 广安
1.0	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	48 汉中
0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	49 金昌
0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.7	50 景德镇
0.6	0.7	0.6	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	51 九江
1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	0.7	0.7	0.7	52 兰州
0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	53 乐山
0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	54 凉山
0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	55 临夏
0.6	0.7	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	56 陇南
0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	57 泸州
0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	58 眉山
0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	59 绵阳
0.7	0.5	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	60 天水
0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	61 忻州
0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	62 新余
0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	63 延安
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	64 重庆
1.2	1.1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.6	65 安阳

图 40: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 CO 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

城市	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年
66 北京	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6
67 滨州	1.1	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
68 济南	0.8	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
69 焦作	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6
70 漯河	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
71 三门峡	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
72 石家庄	1.0	0.9	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6
73 泰安	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6
74 潍坊	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
75 新乡	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6
76 许昌	1.0	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6
77 枣庄	0.8	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.6
78 郑州	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6
79 周口	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
80 淄博	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.8	0.6
81 吕梁	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
82 铜川	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
83 咸阳	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6
84 杭州	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
85 合肥	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
86 嘉兴	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
87 南京	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
88 南通	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6
89 宁波	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6
90 上海	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6
91 苏州	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
92 宿迁	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6
93 泰州	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
94 徐州	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6
95 盐城	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6
96 扬州	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6
97 舟山	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6
98 安康	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
99 安庆	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
100 赤峰	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
101 达州	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6
102 赣州	1.2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.7	0.6
103 吉安	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6
104 嘉峪关	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6
105 南昌	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6
106 南阳	0.9	0.9	0.9	0.7	0.6	0.6	0.6
107 内江	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
108 平凉	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
109 青岛	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6
110 商洛	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
111 上饶	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6
112 铜陵	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
113 雅安	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6
114 宜春	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.6
115 银川	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
116 鹰潭	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6
117 榆林	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6
118 资阳	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6
119 自贡	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6
120 保定	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.5
121 沧州	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
122 菏泽	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
123 衡水	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
124 济宁	0.9	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5
125 廊坊	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
126 平顶山	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5
127 秦皇岛	1.0	0.9	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5
128 商丘	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5
129 宝鸡	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5
130 蚌埠	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5

图 41: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 CO 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

城市	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年
131 亳州	0.8	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5
132 滁州	0.8	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5
133 阜阳	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5
134 湖州	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
135 淮南	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
136 六安	0.7	0.7	0.6	0.4	0.5	0.6	0.5
137 绍兴	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.5
138 宿州	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5
139 阿坝	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5
140 阿拉善盟	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
141 巴彦淖尔	0.8	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
142 承德	0.8	0.9	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5
143 定西	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
144 鄂尔多斯	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5
145 甘南	0.7	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5
146 固原	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
147 海南	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5
148 海西	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
149 呼和浩特	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5
150 黄山	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
151 金华	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
152 南充	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
153 庆阳	0.8	0.8	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5
154 衢州	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
155 朔州	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5
156 遂宁	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5
157 台州	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
158 温州	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
159 吴忠	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.5
160 武威	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
161 信阳	0.6	0.7	0.5	0.7	0.7	0.6	0.5
162 宣城	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5
163 烟台	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
164 玉树	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5
165 张家口	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5
166 张掖	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
167 甘孜	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4
168 果洛	0.7	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4
169 海北	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
170 酒泉	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4
171 丽水	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4
172 威海	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4
173 乌兰察布	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
174 中卫	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4
175 驻马店	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4
176 黄南	0.8	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.3
177 锡林郭勒	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3

图 42: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 CO 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

临汾平均浓度最高，为 1.03 毫克/立方米；锡林郭勒平均浓度最低，为 0.24 毫克/立方米。朔州为本季度 CO 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 0.66 毫克/立方米下降 37.5%。重点区域中，有 3 个城市浓度降幅超过 20%，包括京津冀及周边地区的济宁、平顶山，汾渭平原的长治。景德镇为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 0.37 毫克/立方米上升 86.6%。重点区域中，有 11 个城市浓度升幅超过 20%，包括京津冀及周边地区的 5 个城市（聊城、潍坊、东营、濮阳、开封），长三角地区的 6 个城市（淮北、常州、宿迁、连云港、镇江、舟山）。CO 浓度显著上升城市主要集中于四川、山东、江苏，分别有 15、8、8 个城市浓度上升。

2019 年冬季“4+173”城市 CO 浓度均值（标准误差）为 0.97(0.02) 毫克/立方米，2025 年下降至 0.74(0.01) 毫克/立方米，累计降幅 23.7%；年均下降 0.04 毫克/立方米。与 2020 年浓度均值 0.96(0.02) 毫克/立方米相比，下降 0.22(0.01) 毫克/立方米；与 2024 年浓度均值 0.78(0.01) 毫克/立方米相比，下降 0.04(0.01) 毫克/立方米，降幅 5.1%。

与 2024 年冬季相比，“4+173”城市中，有 95 个城市 CO 浓度均值显著下降，占比 53.7%，降幅平均值为 14%；有 50 个城市 CO 浓度均值显著上升，占比 28.2%，升幅平均值为 13.9%。2025 年冬季，西宁平均浓度最高，为 1.37 毫克/立方米；锡林郭勒平均浓度最低，为 0.32 毫克/立方米。六安为本季度 CO 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 0.81 毫克/立方米下降 36.7%。重点区域中，有 9 个城市浓度降幅超过 20%，包括京津冀及周边地区的济宁、商丘、三门峡、焦作，汾渭平原的宝鸡，长三角地区的六安、上海、蚌埠、扬州。泸州为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 0.73 毫克/立方米上升 32.7%；此外还有 10 个城市升幅超过 20%，均为非重点城市。CO 浓度显著上升城市主要集中于四川、河北、甘肃，分别有 16、6、5 个城市浓度上升。

3.4.2 一氧化碳年度评估：年度变化趋势与城市相对排名

2019 年“4+173”城市 CO 浓度均值（标准误差）为 0.78(0.01) 毫克/立方米，2025 年下降至 0.61(0.01) 毫克/立方米，累计降幅 21.8%；年均下降 0.03 毫克/立方米。与 2020 年浓度均值 0.74(0.01) 毫克/立方米相比，下降 0.13(0.01) 毫克/立方米；与 2024 年浓度均值 0.63(0.01) 毫克/立方米相比，下降 0.02(0.01) 毫克/立方米。

2025 年，汾渭平原是 CO 平均浓度最高的重点地区，浓度均值为 0.7(0.03) 毫克/立方米，比 2024 年的 0.74(0.04) 毫克/立方米下降 0.04(0.02) 毫克/立方米，比 2020 年的 0.91(0.06) 毫克/立方米下降 0.21(0.04) 毫克/立方米，比 2019 年的 0.96(0.06) 毫克/立方米下降 0.26(0.04) 毫克/立方米。京津冀及周边“2+36”城市 CO 浓度均值为 0.63(0.01) 毫克/立方米，比 2024 年的 0.66(0.01) 毫克/立方米下降 0.03(0.01) 毫克/立方米，比 2020 年的 0.85(0.02) 毫克/立方米下降 0.22(0.02) 毫克/立方米，比 2019 年的 0.89(0.03) 毫克/立方米下降 0.26(0.03) 毫克/立方米。“其他城市”CO 浓度均值为 0.6(0.01) 毫克/立方米，与 2024 年持平，比 2020 年的 0.69(0.02) 毫克/立方米下降 0.09(0.01) 毫克/立方米，比 2019 年的 0.73(0.02) 毫克/立方米下降 0.13(0.02) 毫克/立方米。长三角地区 CO 浓度均值为 0.59(0.01) 毫克/立方米，比 2024 年的 0.63(0.01) 毫克/立方米下降 0.04(0.01) 毫克/立方米，比 2020 年的 0.69(0.01) 毫克/立方米下降 0.1(0.02) 毫克/立方米，比 2019 年的 0.72(0.01) 毫克/立方米下降 0.13(0.02) 毫克/立方米。

根据图 38、图 39，相比 2019 年，2025 年“4+173”城市中，有 152 个城市年均 CO 浓度呈现不同

程度下降，有 25 个城市年均 CO 浓度上升。CO 六年累计降幅的城市均值为 19.2% (1.3%)。有 22 个城市累计降幅超过均值 +1 个标准差 (37%)，包括京津冀及周边“2+36”城市的 10 个城市 (唐山、安阳、秦皇岛、滨州、邢台、平顶山、许昌、石家庄、沧州、济宁)，汾渭平原的长治、晋城，长三角地区的滁州。从城市 CO 降幅排名来看，河北、山西、宁夏、河南 CO 治理效果相对较好。

相比 2024 年，“4+173”城市中，有 111 个城市年均 CO 浓度下降，有 66 个城市年均 CO 浓度上升。CO 浓度降幅的城市均值为 2% (1%)。从城市 CO 浓度降幅排名来看，重庆、上海、安徽、青海 CO 治理效果相对较好。

根据图 40、图 41、图 42，2025 年“4+173”城市中，CO 年均浓度最高的城市为攀枝花 (1.03 毫克/立方米)、西宁 (0.94 毫克/立方米)、萍乡 (0.93 毫克/立方米)。浓度最高的 10 个城市包括山西的 3 个城市 (临汾、阳泉、运城)，江西的 2 个城市 (萍乡、抚州)，青海的 2 个城市 (西宁、海东)，内蒙古包头，四川攀枝花，山东莱芜；其中萍乡、西宁、临汾和攀枝花已连续 5 年在列，莱芜已连续 4 年在列。

3.5 二氧化氮

氮氧化物 (NO_x) 主要来源于高温燃烧，在燃烧过程中，天然存在的 N₂ 和 O₂ 化合形成 NO 直接排放，NO 在空气中进一步氧化形成二氧化氮 (NO₂)。由于存在产生 NO₂ 的其他途径，冬季的 NO₂ 污染会比较严重，如 NO 在雾滴表面被催化氧化形成 NO₂，以及逆温气象条件下使上空已形成的 NO₂ 下沉到地面等。二氧化氮是一种重要的空气污染物，主要来自于车辆尾气排放和工业生产过程，是硝酸盐的前体物。硝酸盐是 PM_{2.5} 的重要组成部分之一。二氧化氮在光照下可与氧气发生化学反应生成臭氧，所以它也是臭氧污染的主要“帮凶”。二氧化氮还可伤害呼吸道，直接影响人的身体健康。

我国从“十二五” (2011-2015 年) 开始对氮氧化物实施总量控制，这比对二氧化硫的总量控制晚了五年。NO₂ 在大气中的“存活”时间是本报告所考虑的四种气体 (SO₂, NO₂, CO 和 O₃) 中最短的，一般在几个小时到两天之间，所以它的空间传输距离很短，基本反映了本地排放。中国目前关于 NO₂ 的浓度限值如表 5 所示，而美国环境保护署的一级和二级标准为：年平均浓度 53ppb (约为 100 微克/立方米)。

下方多个图分别展示了“4+173”城市二氧化氮经气象调整的季节平均浓度时间序列图，季节平均浓度地图。根据上述图表，我们可以总结出二氧化氮浓度如下几个特征：

表 5: 二氧化氮浓度限值 (GB 3095—2026)

污染物项目	平均时间	过渡阶段限值		浓度限值		单位
		一级	二级	一级	二级	
二氧化氮	年平均	40	40	30	30	微克/立方米
	24 小时平均	80	80	50	50	
	1 小时平均	200	200	200	200	

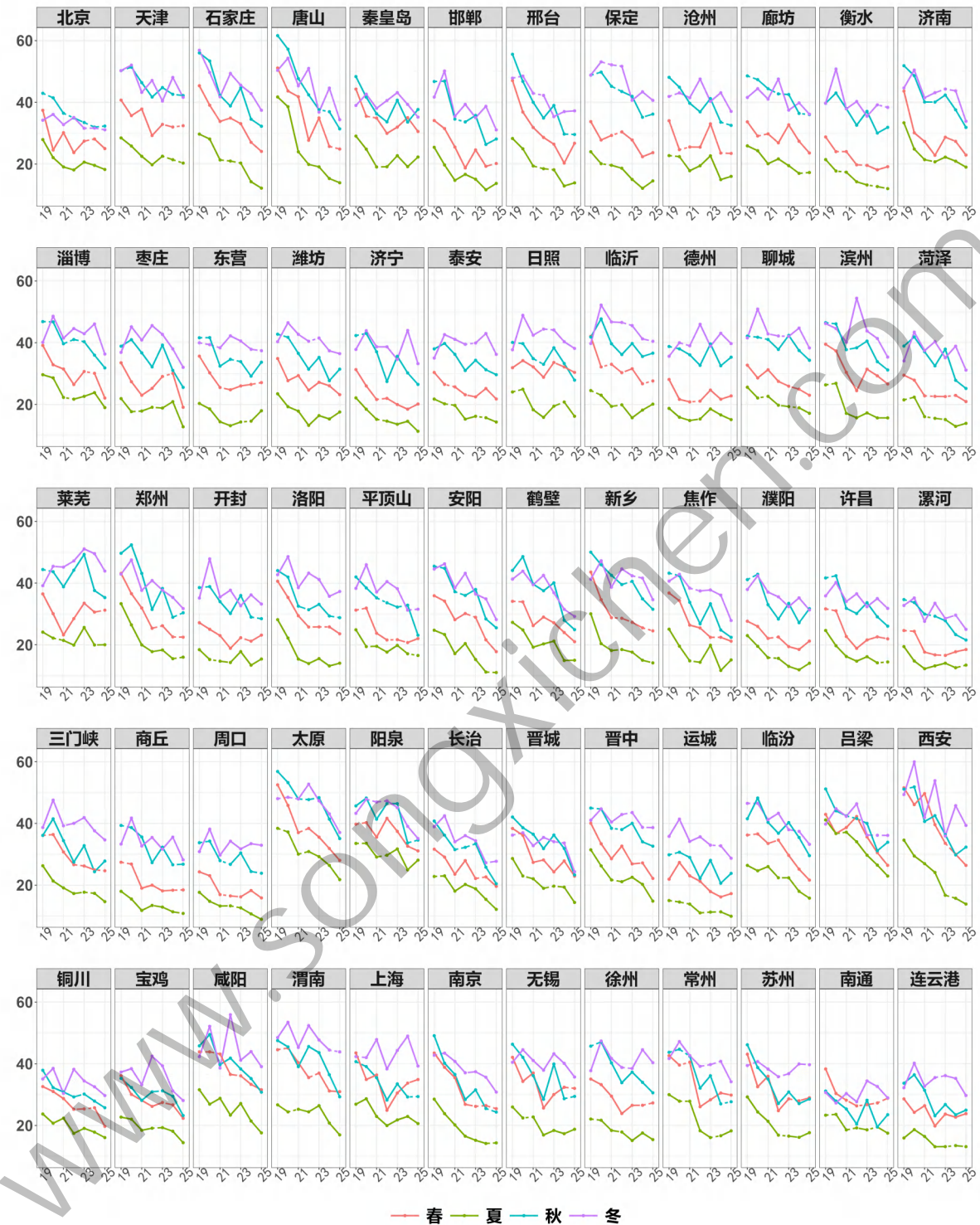


图 43: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 NO₂ 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

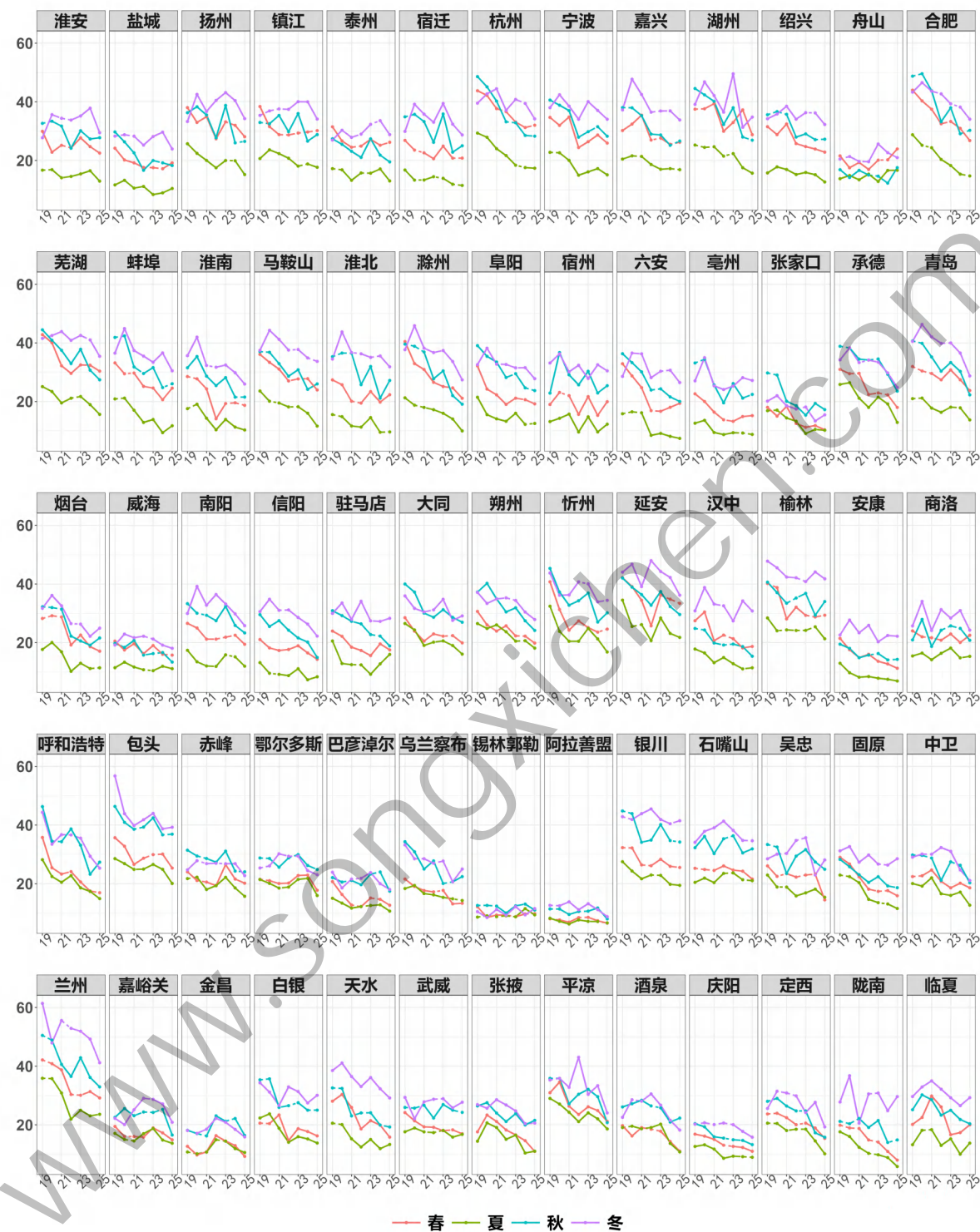


图 44: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 NO₂ 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

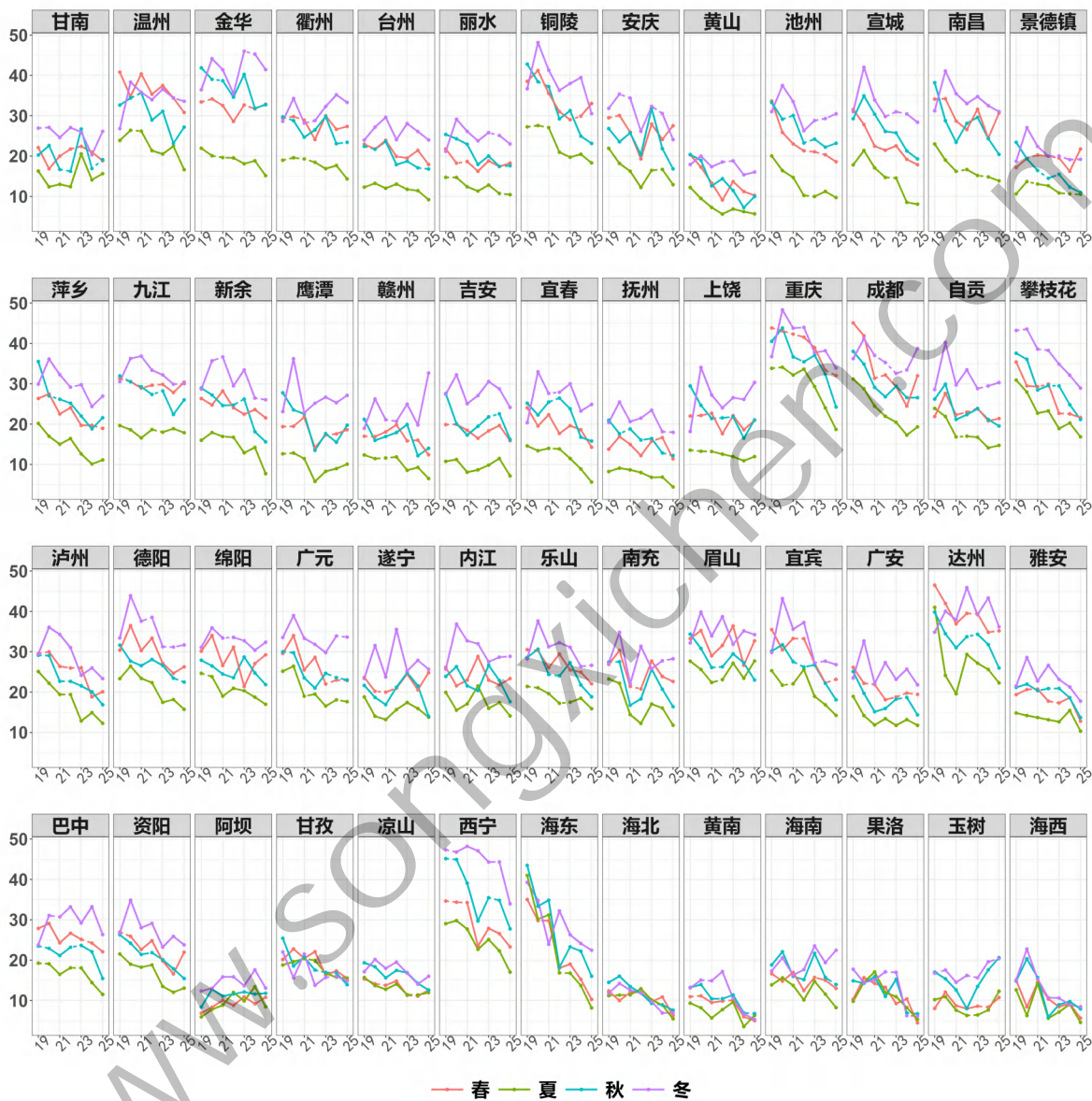


图 45: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 NO₂ 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

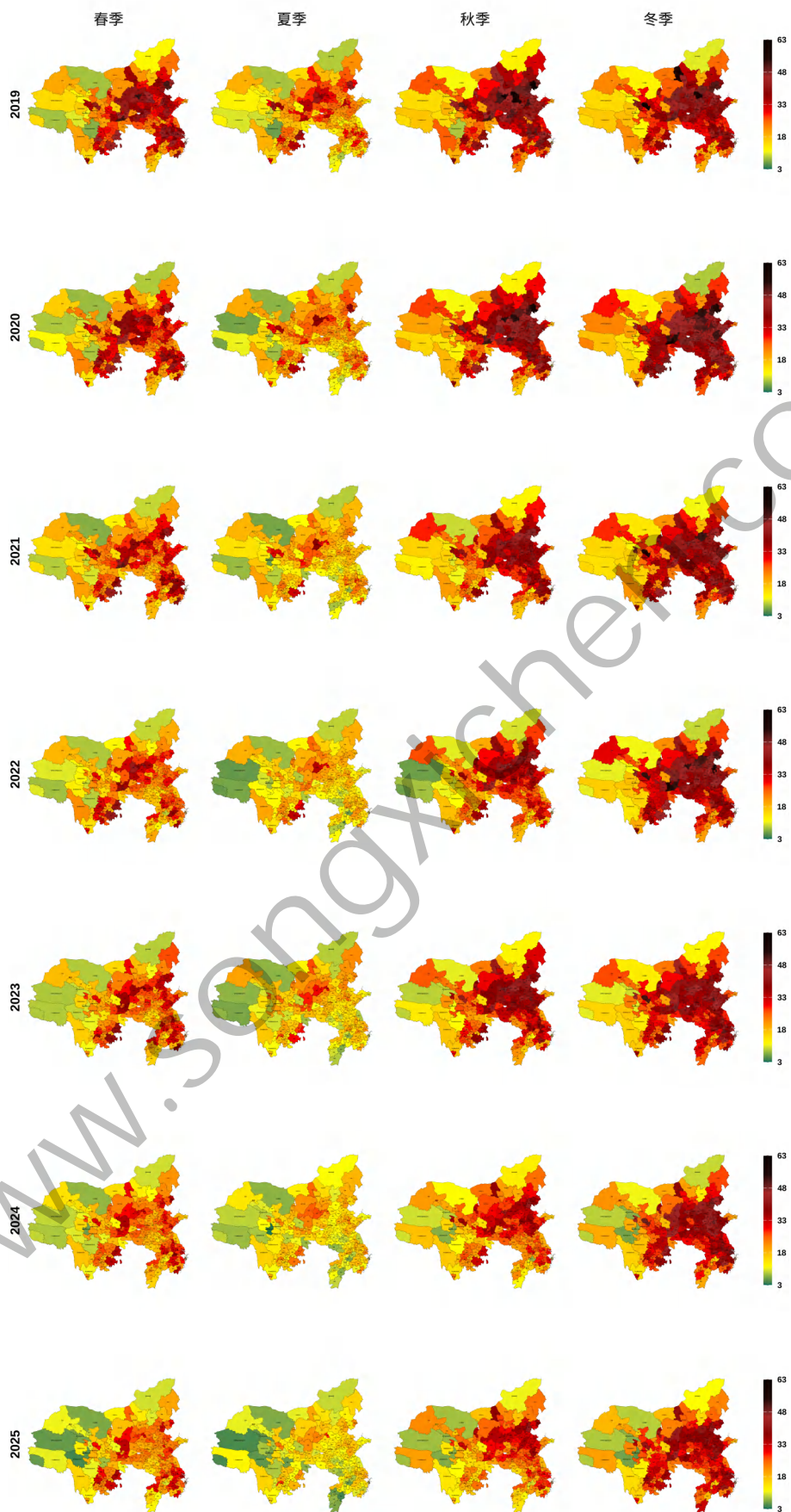


图 46: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 NO₂ 季节平均浓度 (微克/立方米)

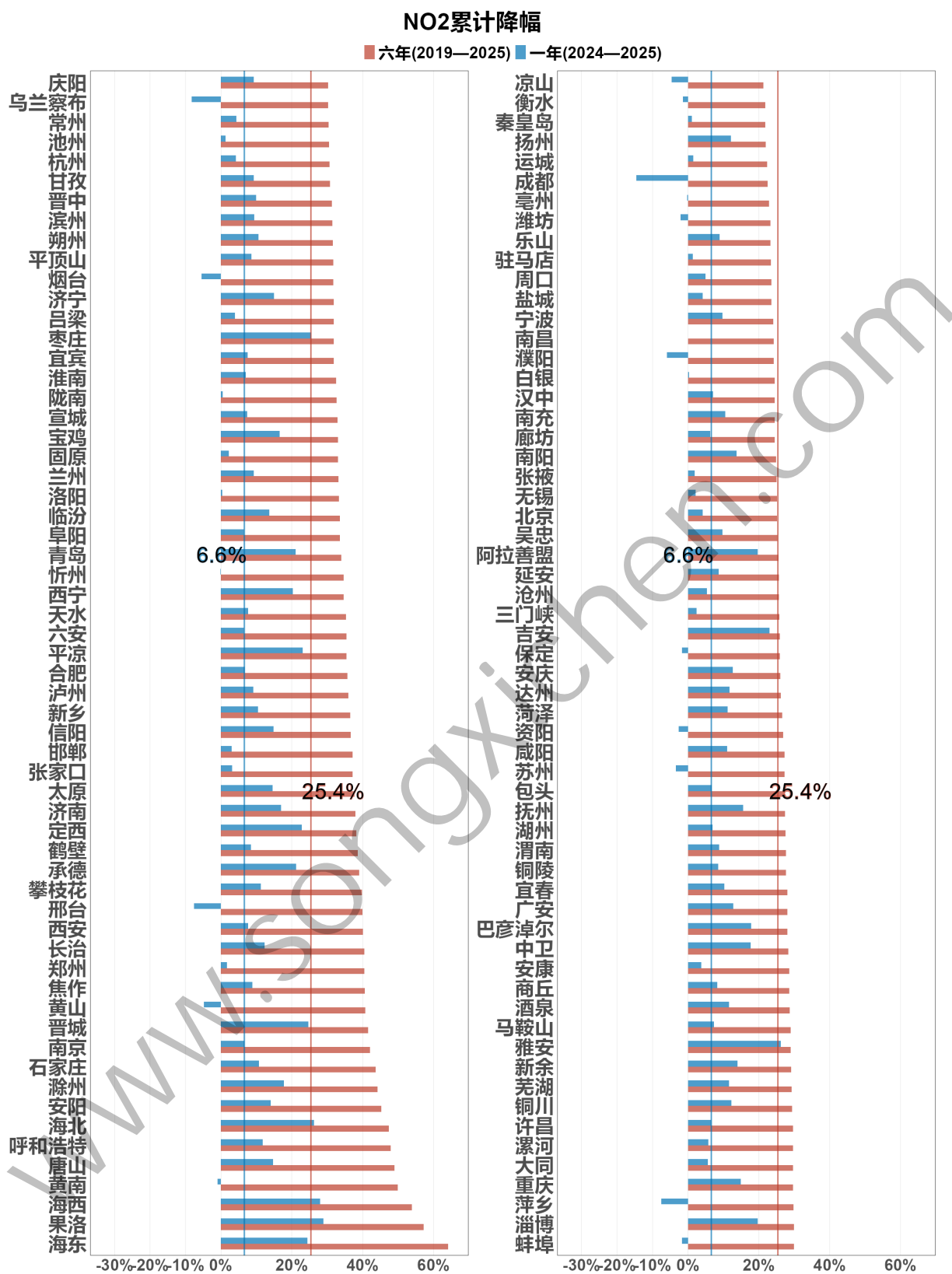


图 47: “4+173”城市气象调整后 NO₂ 浓度过去一年 (蓝色)、六年 (红色) 的累计降幅, 蓝色和红色竖线分别代表“4+173”城市的一年和六年平均降幅 (注: 负数代表平均浓度相对升高)

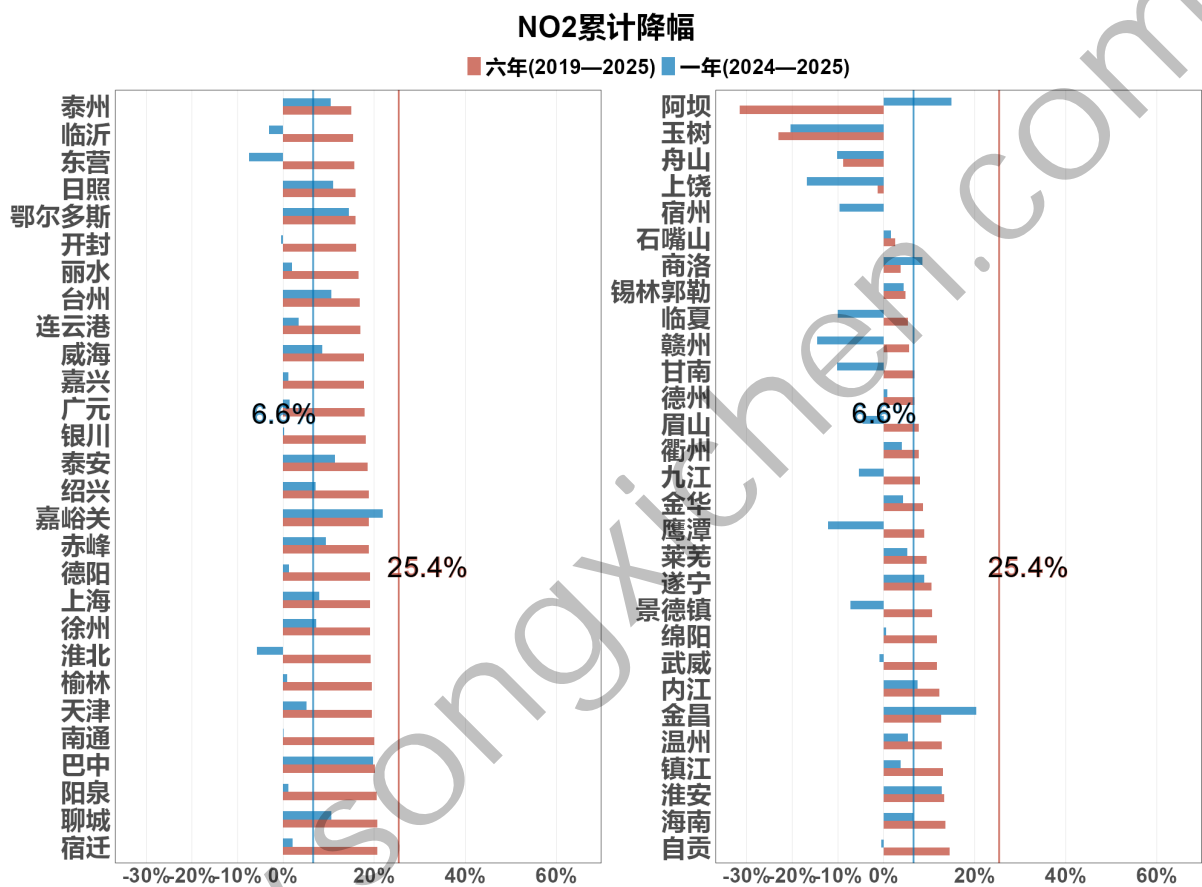


图 48: “4+173”城市气象调整后 NO₂ 浓度过去一年 (蓝色)、六年 (红色) 的累计降幅, 蓝色和红色竖线分别代表“4+173”城市的一年和六年平均降幅 (注: 负数代表平均浓度相对升高)

	42.4	41.2	37.5	34.4	35.2	36.0	34.1	1 天津
	36.0	35.3	32.1	34.9	39.9	34.4	32.6	2 莱芜
	40.6	42.5	38.2	41.3	40.2	32.6	32.2	3 阳泉
	47.5	43.3	41.4	35.4	37.5	34.9	31.7	4 兰州
	39.2	36.4	32.1	33.4	32.8	31.9	31.6	5 榆林
	37.0	38.8	34.7	33.2	33.1	30.4	31.4	6 临沂
	40.2	36.2	32.1	30.8	34.6	31.8	31.4	7 秦皇岛
	38.4	36.2	35.7	27.9	32.5	33.7	31.0	8 上海
	48.9	46.2	40.7	42.4	40.1	35.7	30.5	9 太原
	33.4	34.3	33.1	29.5	34.2	31.9	30.5	10 金华
	41.8	36.1	32.5	33.7	35.7	32.6	30.4	11 包头
	41.8	42.1	37.5	39.5	38.7	33.2	30.3	12 渭南
	40.7	37.6	34.0	31.8	36.6	33.1	30.2	13 延安
	36.9	35.6	31.5	32.4	33.3	30.2	30.2	14 银川
	40.5	35.2	31.4	37.1	35.0	33.9	29.9	15 达州
	43.8	40.6	40.1	41.1	35.4	31.1	29.8	16 吕梁
	40.9	43.1	37.6	39.4	35.7	33.5	29.8	17 咸阳
	31.9	32.9	27.9	29.9	31.2	28.1	29.4	18 唐山
	37.6	36.7	30.5	29.0	27.9	25.4	29.1	19 成都
	34.4	32.4	27.7	28.7	28.7	27.0	29.0	20 东营
	38.7	35.9	34.2	27.2	32.9	29.6	29.0	21 无锡
	38.8	37.7	36.6	36.1	31.4	28.3	28.8	22 保定
	39.5	34.1	32.7	26.1	28.2	27.8	28.7	23 苏州
	35.2	37.4	32.5	28.6	29.4	30.7	28.4	24 徐州
	37.4	36.3	33.8	34.7	33.0	30.1	28.3	25 廊坊
	30.3	28.9	27.7	28.7	30.4	28.5	28.2	26 德州
	35.5	35.8	34.4	31.8	32.4	31.5	28.2	27 聊城
	33.4	36.9	31.9	30.5	33.9	31.6	28.1	28 日照
	46.7	46.8	39.8	40.0	30.6	30.3	28.0	29 西安
	40.3	39.5	36.6	32.1	31.3	29.2	28.0	30 杭州
	31.8	31.2	31.0	29.2	30.9	28.8	27.7	31 镇江
	39.5	39.8	38.4	28.9	30.1	28.8	27.5	32 常州
	36.7	33.8	31.1	32.4	34.3	28.8	27.3	33 沧州
	38.9	39.2	33.7	33.4	34.1	34.0	27.3	34 淄博
	28.0	30.2	28.6	31.6	30.7	27.7	27.3	35 石嘴山
	39.6	38.7	31.4	33.2	33.2	30.0	27.2	36 滨州
	38.5	36.7	33.3	31.1	33.6	30.8	27.2	37 芜湖
	38.7	42.3	38.7	38.6	35.8	32.0	27.2	38 重庆
	35.3	33.8	31.6	27.4	30.1	26.6	27.1	39 潍坊
	39.4	37.3	32.3	33.7	33.2	30.1	27.1	40 晋中
	31.0	33.5	34.5	29.9	31.4	28.6	27.1	41 温州
	43.4	38.5	32.6	31.7	34.4	32.4	26.9	42 济南
	44.7	39.3	33.5	31.1	29.7	25.0	26.9	43 邢台
	35.6	31.0	29.6	28.0	28.3	27.8	26.7	44 北京
	47.0	42.6	34.8	36.0	35.9	29.7	26.5	45 石家庄
	41.2	40.4	37.3	32.2	32.2	28.4	26.5	46 合肥
	36.6	37.8	36.6	30.0	35.7	28.5	26.5	47 湖州
	40.6	32.1	28.4	30.7	31.7	26.4	26.5	48 忻州
	41.2	37.0	32.0	32.8	32.0	29.2	26.2	49 新乡
	36.3	38.8	35.3	29.4	29.5	28.7	26.2	50 铜陵
	51.2	48.4	39.7	35.2	32.1	30.6	26.1	51 唐山
	28.3	29.0	27.9	27.2	27.1	24.7	26.1	52 九江
	33.3	34.1	31.8	28.3	33.8	29.6	26.0	53 扬州
	38.9	37.0	28.9	28.6	28.9	26.0	25.9	54 洛阳
	31.5	34.9	33.7	27.8	27.5	26.2	25.9	55 嘉兴
	34.0	34.0	32.6	25.3	28.1	28.6	25.8	56 宁波
	31.3	32.3	30.7	27.2	28.2	28.8	25.5	57 泰安
	39.0	39.0	37.3	30.7	33.2	32.0	25.5	58 西宁
	32.4	33.9	29.3	26.7	26.3	25.0	25.4	59 衡水
	34.3	36.7	30.9	27.9	29.7	26.1	25.4	60 三门峡
	42.2	40.7	33.2	28.8	30.1	25.6	25.1	61 郑州
	37.7	39.0	35.3	34.3	32.6	29.0	25.1	62 临汾
	28.4	30.1	25.9	27.3	25.8	25.2	25.1	63 绵阳
	29.8	31.7	26.8	25.2	27.2	24.9	25.0	64 开封
	30.9	27.3	25.6	23.4	27.0	24.7	24.7	65 南通
	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	

图 49: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 NO₂ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
26.7	28.1	25.3	24.4	27.2	25.6	24.6	66 衢州	
32.4	32.7	27.0	25.5	24.5	23.2	24.5	67 濮阳	
29.6	32.3	25.3	25.2	23.2	24.6	24.3	68 广元	
29.7	33.6	29.4	30.6	25.6	24.4	24.0	69 德阳	
31.6	30.8	25.9	26.1	27.8	24.0	24.0	70 南昌	
33.5	33.6	31.2	27.9	28.6	25.7	23.8	71 马鞍山	
29.3	29.8	30.9	25.8	26.5	25.6	23.8	72 绍兴	
41.0	36.6	33.3	27.2	27.6	25.4	23.7	73 南京	
33.4	33.3	26.2	25.0	25.9	25.2	23.5	74 许昌	
37.0	37.1	27.6	27.1	27.6	24.0	23.3	75 邯郸	
34.1	33.9	28.9	28.3	33.0	25.5	23.3	76 平顶山	
33.1	34.5	29.0	25.8	25.9	22.8	23.2	77 蚌埠	
26.8	27.2	26.3	24.2	27.1	26.6	23.2	78 淮安	
32.7	29.3	25.0	25.7	27.2	24.4	23.0	79 大同	
27.6	29.9	26.8	22.9	25.0	23.7	22.9	80 连云港	
31.0	33.9	28.3	27.7	27.7	25.6	22.8	81 菏泽	
33.4	32.8	28.1	25.7	25.9	26.8	22.8	82 济宁	
32.3	30.6	28.1	27.5	27.3	26.0	22.8	83 铜川	
28.2	30.2	26.3	23.2	26.2	21.5	22.8	84 淮北	
36.7	37.8	31.1	32.3	31.3	24.6	22.5	85 鹤壁	
32.9	31.1	30.0	28.8	27.3	25.2	22.5	86 朔州	
32.8	32.8	29.6	30.5	32.4	30.0	22.3	87 枣庄	
36.8	34.2	29.7	30.2	26.5	24.9	22.1	88 攀枝花	
33.5	34.4	31.2	28.5	30.5	28.0	22.1	89 青岛	
32.9	30.7	27.0	29.7	29.3	26.4	22.0	90 宝鸡	
22.0	27.6	24.2	20.8	23.7	20.1	22.0	91 宿州	
25.8	24.8	22.2	22.7	25.6	24.4	21.9	92 泰州	
36.4	34.8	28.3	26.0	28.3	23.7	21.6	93 焦作	
27.1	27.9	26.2	23.6	28.5	22.0	21.5	94 宿迁	
25.1	29.9	22.5	23.9	23.3	21.4	21.5	95 自贡	
24.3	22.0	22.8	21.9	23.0	21.2	21.4	96 武威	
28.1	27.7	23.7	22.0	23.4	21.3	21.3	97 白银	
36.3	33.7	29.7	28.6	28.6	28.2	21.2	98 晋城	
29.5	30.7	24.8	24.0	23.7	23.0	21.1	99 商丘	
32.8	33.3	27.7	29.5	28.2	27.5	21.1	100 平凉	
20.8	23.5	21.1	18.9	20.6	18.0	21.1	101 上饶	
23.9	25.1	23.6	25.7	23.3	22.7	21.0	102 内江	
27.2	29.9	25.3	25.7	25.3	22.9	20.9	103 乐山	
31.3	28.4	25.7	23.3	24.5	22.3	20.8	104 阜阳	
22.0	25.9	27.9	23.6	21.5	18.9	20.8	105 临夏	
25.5	25.2	23.5	23.2	26.7	22.8	20.7	106 赤峰	
21.5	25.1	19.7	23.2	23.8	22.7	20.7	107 商洛	
27.7	26.0	24.0	25.6	26.8	23.0	20.7	108 吴忠	
37.7	37.1	30.2	32.4	29.6	24.0	20.6	109 安阳	
30.2	31.8	29.6	30.6	25.0	22.2	20.6	110 宜宾	
29.5	27.2	25.3	20.3	21.0	20.8	20.5	111 池州	
26.6	27.6	22.0	22.7	22.7	21.4	20.4	112 周口	
24.3	24.0	23.6	24.3	25.9	23.9	20.4	113 鄂尔多斯	
27.5	26.8	25.6	19.5	27.1	23.3	20.3	114 安庆	
38.7	29.0	28.7	30.5	27.0	22.9	20.2	115 呼和浩特	
26.3	24.4	21.5	22.6	18.7	20.5	20.2	116 驻马店	
26.8	26.9	23.8	24.2	25.8	23.3	20.1	117 南阳	
33.5	32.7	26.8	29.1	27.2	22.8	20.0	118 长治	
25.6	28.5	25.0	22.5	22.5	20.2	19.9	119 运城	
21.4	19.7	18.6	19.4	23.9	18.1	19.9	120 甘南	
18.2	17.0	17.3	16.7	18.3	17.9	19.8	121 舟山	
32.5	33.1	29.6	27.2	28.1	25.1	19.8	122 承德	
26.2	28.7	18.6	20.7	24.1	22.1	19.8	123 南充	
27.9	27.0	21.8	23.2	21.7	20.8	19.6	124 漯河	
28.0	26.9	24.0	23.7	21.0	18.3	19.6	125 萍乡	
21.9	21.1	18.5	23.3	23.0	21.5	19.6	126 遂宁	
34.8	34.1	31.0	27.1	27.3	23.6	19.4	127 滁州	
29.9	31.0	25.2	22.0	24.2	21.0	19.4	128 天水	
28.3	31.0	24.9	20.4	23.5	20.6	19.1	129 淮南	
25.2	27.5	21.7	22.3	20.3	20.5	19.1	130 汉中	

图 50: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 NO₂ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
	20.7	23.0	19.6	14.6	17.5	16.8	18.9	131 鹰潭
	23.6	25.5	23.1	25.3	24.0	23.5	18.8	132 巴中
	26.9	24.5	22.0	22.0	20.2	17.3	18.8	133 乌兰察布
	27.5	29.3	27.4	19.5	20.6	17.8	18.8	134 烟台
	27.9	26.9	23.3	20.8	20.0	19.1	18.7	135 固原
	25.4	26.0	22.6	23.6	19.2	18.1	18.6	136 资阳
	23.9	25.7	19.2	16.5	18.5	18.4	18.4	137 亳州
	27.4	31.5	26.0	23.0	23.5	19.9	18.4	138 宣城
	28.4	28.8	26.8	19.4	20.1	19.6	18.3	139 六安
	25.3	25.4	26.4	22.7	23.3	22.1	18.2	140 中卫
	28.3	29.3	25.7	24.8	21.1	20.0	18.1	141 泸州
	23.5	22.1	20.2	17.7	18.5	18.7	18.0	142 盐城
	25.0	26.4	26.6	23.7	23.7	20.6	17.7	143 新余
	20.8	21.6	20.0	17.3	19.4	17.7	17.3	144 丽水
	20.4	21.0	22.3	18.7	19.5	19.0	17.0	145 台州
	23.4	22.2	17.7	18.7	18.0	19.3	16.8	146 广安
	20.3	19.2	19.7	21.5	22.6	21.1	16.5	147 嘉峪关
	17.4	17.6	16.9	17.6	17.3	14.3	16.4	148 赣州
	13.0	14.0	10.9	9.6	11.0	13.3	16.0	149 玉树
	21.3	24.3	23.2	20.3	20.4	16.3	16.0	150 张掖
	21.4	20.9	17.2	17.9	20.1	20.6	15.9	151 吉安
	17.5	19.9	18.1	16.8	16.5	14.6	15.6	152 景德镇
	21.9	22.9	23.5	23.6	22.6	17.6	15.6	153 酒泉
	24.5	26.2	24.4	23.3	22.0	19.6	15.1	154 定西
	21.0	22.0	22.3	21.5	21.2	16.9	15.1	155 宜春
	21.6	19.1	20.8	18.3	16.4	16.5	15.0	156 甘孜
	23.6	22.0	21.3	20.4	20.1	17.6	15.0	157 信阳
	20.4	17.2	16.8	16.5	18.7	17.9	14.7	158 巴彦淖尔
	21.6	23.0	18.4	18.7	19.0	14.6	14.6	159 陇南
	17.7	18.0	18.4	16.2	16.7	15.9	14.6	160 威海
	16.7	18.3	15.7	13.9	18.9	15.4	14.4	161 海南
	39.7	32.0	29.9	21.3	21.3	18.8	14.2	162 海东
	19.1	18.3	15.3	16.5	14.5	14.2	13.7	163 安康
	19.2	21.3	19.4	19.6	18.5	18.5	13.6	164 雅安
	16.9	16.6	15.0	16.5	14.1	12.7	13.3	165 凉山
	21.2	20.8	17.8	15.5	13.5	13.8	13.3	166 张家口
	14.9	13.5	14.0	19.1	17.7	16.3	13.0	167 金昌
	17.5	17.3	15.7	14.4	14.2	13.5	12.2	168 庆阳
	15.8	17.3	15.8	14.4	15.6	13.6	11.5	169 抚州
	8.4	10.5	11.5	12.1	11.6	12.9	11.0	170 阿坝
	17.7	16.4	12.6	11.9	12.7	10.0	10.5	171 黄山
	11.0	9.7	10.4	9.4	10.5	10.9	10.4	172 锡林郭勒
	10.1	9.7	9.1	9.4	9.9	9.3	7.5	173 阿拉善盟
	12.5	12.9	12.3	12.2	9.7	8.9	6.6	174 海北
	14.4	14.4	14.9	8.2	8.8	9.2	6.6	175 海西
	11.7	12.1	10.1	11.3	10.4	5.8	5.8	176 黄南
	13.2	14.7	15.6	13.3	13.1	7.9	5.6	177 果洛

图 51: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 NO₂ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

3.5.1 二氧化氮季度评估

2019年春季“4+173”城市NO₂浓度均值(标准误差)为30.4(0.7)微克/立方米,2025年下降至21.4(0.5)微克/立方米,累计降幅29.6%;年均下降1.5微克/立方米。与2020年浓度均值27.8(0.6)微克/立方米相比,下降6.4(0.4)微克/立方米;与2024年浓度均值22.5(0.5)微克/立方米相比,下降1.1(0.2)微克/立方米,降幅4.9%。

与2024年春季相比,“4+173”城市中,有94个城市NO₂浓度均值显著下降,占比53.1%,降幅平均值为15.1%;有38个城市NO₂浓度均值显著上升,占比21.5%,升幅平均值为14.2%。2025年春季,达州平均浓度最高,为35.2微克/立方米;果洛平均浓度最低,为4.5微克/立方米。全部城市平均浓度达到国家年平均浓度二级标准。果洛为本季度NO₂同比改善幅度最大城市,平均浓度相比2024年同期的10.4微克/立方米下降57%。重点区域中,有4个城市浓度降幅超过20%,包括京津冀及周边地区的枣庄、淄博,汾渭平原的铜川,长三角地区的湖州。景德镇为浓度同比升幅最大城市,平均浓度相比去年同期的16.2微克/立方米上升34%。重点区域中,有2个城市浓度升幅超过20%,包括京津冀及周边地区的邢台,长三角地区的宿州。NO₂浓度显著上升城市主要集中于四川、安徽、江西,分别有10、6、5个城市浓度上升。

2019年夏季“4+173”城市NO₂浓度均值(标准误差)为21.9(0.5)微克/立方米,2025年下降至14(0.3)微克/立方米,累计降幅36.1%;年均下降1.3微克/立方米。与2020年浓度均值20.2(0.5)微克/立方米相比,下降6.2(0.3)微克/立方米;与2024年浓度均值15.4(0.3)微克/立方米相比,下降1.4(0.2)微克/立方米,降幅9.1%。

与2024年夏季相比,“4+173”城市中,有103个城市NO₂浓度均值显著下降,占比58.2%,降幅平均值为18.9%;有37个城市NO₂浓度均值显著上升,占比20.9%,升幅平均值为17.1%。2025年夏季,阳泉平均浓度最高,为28.1微克/立方米;抚州平均浓度最低,为4.4微克/立方米。全部城市平均浓度达到国家年平均浓度二级标准。海西为本季度NO₂同比改善幅度最大城市,平均浓度相比2024年同期的9.1微克/立方米下降49.4%。重点区域中,有13个城市浓度降幅超过20%,包括京津冀及周边地区的枣庄、济宁、日照、淄博,汾渭平原的晋中、晋城、长治、宝鸡,长三角地区的5个城市(滁州、马鞍山、泰州、扬州、淮安)。黄南为浓度同比升幅最大城市,平均浓度相比去年同期的3.5微克/立方米上升77.8%。重点区域中,有4个城市浓度升幅超过20%,包括京津冀及周边地区的东营、焦作,长三角地区的蚌埠、宿州。NO₂浓度显著上升城市主要集中于河南、四川、河北,分别有6、5、5个城市浓度上升。

2019年秋季“4+173”城市NO₂浓度均值(标准误差)为35(0.8)微克/立方米,2025年下降至23.7(0.5)微克/立方米,累计降幅32.3%;年均下降1.9微克/立方米。与2020年浓度均值34(0.8)微克/立方米相比,下降10.3(0.4)微克/立方米;与2024年浓度均值25(0.5)微克/立方米相比,下降1.3(0.2)微克/立方米,降幅5.2%。

与2024年秋季相比,“4+173”城市中,有89个城市NO₂浓度均值显著下降,占比50.3%,降幅平均值为15.6%;有35个城市NO₂浓度均值显著上升,占比19.8%,升幅平均值为14.8%。2025年秋季,天津平均浓度最高,为42.2微克/立方米,是唯一秋季平均浓度超过国家年平均浓度二级标准的城

市；果洛平均浓度最低，为 6.7 微克/立方米。遂宁为本季度 NO₂ 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 21.6 微克/立方米下降 35.1%。重点区域中，有 4 个城市浓度降幅超过 20%，包括京津冀及周边地区的平顶山，汾渭平原的晋城、宝鸡、长治。舟山为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 12.3 微克/立方米上升 43%。重点区域中，有 3 个城市浓度升幅超过 20%，均位于长三角地区，包括南通、淮北、舟山。NO₂ 浓度显著上升城市主要集中于江苏、江西、安徽，分别有 5、5、4 个城市浓度上升。

2019 年冬季“4+173”城市 NO₂ 浓度均值（标准误差）为 33.3(0.7) 微克/立方米，2025 年下降至 29.2(0.6) 微克/立方米，累计降幅 12.3%；年均下降 0.7 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 37.6(0.7) 微克/立方米相比，下降 8.4(0.4) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 31.9(0.7) 微克/立方米相比，下降 2.7(0.3) 微克/立方米，降幅 8.5%。

与 2024 年冬季相比，“4+173”城市中，有 115 个城市 NO₂ 浓度均值显著下降，占比 65%，降幅平均值为 13.7%；有 26 个城市 NO₂ 浓度均值显著上升，占比 14.7%，升幅平均值为 14.1%。2025 年冬季，莱芜平均浓度最高，为 43.9 微克/立方米；黄南平均浓度最低，为 5.3 微克/立方米。有 10 个城市平均浓度超过国家年平均浓度二级标准。定西为本季度 NO₂ 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 27.7 微克/立方米下降 30.3%。重点区域中，有 8 个城市浓度降幅超过 20%，包括京津冀及周边地区的 6 个城市（济宁、唐山、焦作、济南、淄博、商丘），汾渭平原的晋城，长三角地区的淮安。赣州为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 19.8 微克/立方米上升 65.2%；此外还有 4 个城市升幅超过 20%，分别为甘南、锡林郭勒、吴忠、乌兰察布。NO₂ 浓度显著上升城市主要集中于江西、甘肃、四川，分别有 5、5、4 个城市浓度上升。

3.5.2 二氧化氮年度评估：年度变化趋势与城市相对排名

2019 年“4+173”城市 NO₂ 浓度均值（标准误差）为 30.1(0.6) 微克/立方米，2025 年下降至 22.1(0.4) 微克/立方米，累计降幅 26.6%；年均下降 1.3 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 29.9(0.6) 微克/立方米相比，下降 7.8(0.3) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 23.7(0.5) 微克/立方米相比，下降 1.6(0.2) 微克/立方米。

2025 年，汾渭平原是 NO₂ 平均浓度最高的重点地区，浓度均值为 26.1(1.2) 微克/立方米，比 2024 年的 29.2(1.2) 微克/立方米下降 3.1(0.5) 微克/立方米，比 2020 年的 38(1.7) 微克/立方米下降 11.9(0.9) 微克/立方米，比 2019 年的 38.5(1.8) 微克/立方米下降 12.4(1) 微克/立方米。京津冀及周边“2+36”城市 NO₂ 浓度均值为 25.9(0.5) 微克/立方米，比 2024 年的 27.6(0.6) 微克/立方米下降 1.7(0.3) 微克/立方米，比 2020 年的 35.5(0.7) 微克/立方米下降 9.6(0.7) 微克/立方米，比 2019 年的 36.3(0.8) 微克/立方米下降 10.4(0.8) 微克/立方米。长三角地区 NO₂ 浓度均值为 24.1(0.6) 微克/立方米，比 2024 年的 25.3(0.7) 微克/立方米下降 1.2(0.3) 微克/立方米，比 2020 年的 31.9(1) 微克/立方米下降 7.8(0.7) 微克/立方米，比 2019 年的 32(1.1) 微克/立方米下降 7.9(0.8) 微克/立方米。“其他城市”NO₂ 浓度均值为 19.3(0.6) 微克/立方米，比 2024 年的 20.8(0.6) 微克/立方米下降 1.5(0.2) 微克/立方米，比 2020 年的 25.8(0.8) 微克/立方米下降 6.5(0.4) 微克/立方米，比 2019 年的 25.8(0.8) 微克/立方米下降 6.5(0.4) 微克/立方米。

2025 年“4+173”城市中，NO₂ 年均浓度低于 30 微克/立方米的的城市有 163 个，比 2024 年增加 17

个。其中，京津冀及周边“2+36”城市有 35 个，比 2024 年增加 8 个；汾渭平原 10 个，比 2024 年增加 4 个；长三角地区 30 个，比 2024 年增加 2 个；“其他城市”有 88 个，比 2024 年增加 3 个。

根据图 47、图 48，相比 2019 年，2025 年“4+173”城市中，有 173 个城市年均 NO_2 浓度呈现不同程度下降，有 4 个城市年均 NO_2 浓度上升，分别为上饶、舟山、玉树、阿坝。 NO_2 六年累计降幅的城市均值为 25.4% (1%)。有 19 个城市降幅超过均值 +1 个标准差 (39%)，包括京津冀及周边“2+36”城市的 6 个城市 (唐山、安阳、石家庄、焦作、郑州、邢台)，汾渭平原的晋城、长治、西安，长三角地区的滁州、南京。从城市 NO_2 降幅排名来看，青海、山西、河北、河南 NO_2 治理效果相对较好。

相比 2024 年，“4+173”城市中，有 143 个城市年均 NO_2 浓度下降，有 34 个城市年均 NO_2 浓度上升。 NO_2 浓度降幅的城市均值为 6.6% (0.7%)。从城市 NO_2 浓度降幅排名来看，重庆、青海、陕西、山东 NO_2 治理效果相对较好。黄山、邢台六年累计降幅排名靠前，但本年度升幅排名靠前，需防范浓度反弹风险。

根据图 49、图 50、图 51，2025 年“4+173”城市中， NO_2 年均浓度最高的城市为天津 (34.1 微克/立方米)、莱芜 (32.6 微克/立方米)、阳泉 (32.2 微克/立方米)。浓度最高的 10 个城市包括山东的 2 个城市 (莱芜、临沂)，山西的 2 个城市 (阳泉、太原)，上海，天津，河北秦皇岛，浙江金华，甘肃兰州，陕西榆林；其中太原已连续 5 年在列，兰州和莱芜已连续 3 年在列。

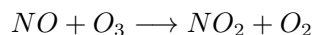
3.6 八小时臭氧

臭氧 (O_3) 是一种强氧化性气体。在离地面高约 15-35km 的范围内有约 20km 的臭氧层，吸收太阳紫外线保护人类与环境。但是，对流层臭氧则不利于人体健康。臭氧具有强氧化性，被吸入呼吸道会与呼吸道中的细胞组织反应，导致肺功能减弱和组织损伤。同时，臭氧可促使空气中的气体污染物转化为颗粒物，进而转化为 $\text{PM}_{2.5}$ 。因此，近地面臭氧浓度超标，其危害程度不亚于 $\text{PM}_{2.5}$ 。

中国这几年臭氧污染问题日益突出，臭氧和 $\text{PM}_{2.5}$ 已成为大气污染的两个首要污染物。低空臭氧的生成主要来自大气光化学反应。已知的低空臭氧生成的一个重要途径是：



这一反应说明二氧化氮在白天光照下会促进臭氧生成，同时也意味着在光照强度最高的中午和下午时段臭氧的浓度会最高。在通常状态下，上述反应还伴有逆反应：



这个反应不需要光照作为条件，在白天和夜晚都会发生。机动车行驶，尤其是低速行驶时燃料的不完全燃烧，会产生氮氧化物。从上述两个反应中可以看到，氮氧化物是臭氧的重要前体物。

我国关于臭氧的标准基于日最高的 8 小时平均浓度。其中，一级标准限值是 100 微克/立方米，二级是 160 微克/立方米。美国环境保护署关于臭氧的限值标准为 0.07ppm (约为 140 微克/立方米)，要求一年间第四高的最大 8 小时平均浓度值的三年平均不超过以上限值，这实际上是非常严格的。

由于臭氧的生成受到光照强度的影响，一天中臭氧浓度差异很大，光照越强，臭氧浓度越高。由于人们的活动主要集中在光照较强的白天，分析包含夜间时段的臭氧浓度会低估其对人体健康的影响。国家标准是基于臭氧最高 8 小时的浓度，因此，我们这里分析中午 12 时到傍晚 20 时共 8 小时的臭氧浓度数据，并计算其气象调整后的平均浓度。

下方多个图分别展示了“4+173”城市 8 小时臭氧经气象调整的季节平均浓度时间序列图，季节平均浓度地图、8 小时臭氧经气象调整的季节 90% 分位数浓度时间序列图。根据上述图表，我们可以总结出 8 小时臭氧浓度如下几个特征：

3.6.1 八小时臭氧季度评估

2019 年春季“4+173”城市 O₃ 浓度均值（标准误差）为 110.7(1) 微克/立方米，2025 年上升至 111.8(0.9) 微克/立方米，累计升幅 1%；年均上升 0.2 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 109.4(0.8) 微克/立方米相比，上升 2.4(0.6) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 111.3(1) 微克/立方米相比，上升 0.5(0.4) 微克/立方米，升幅 0.4%。

与 2024 年春季相比，“4+173”城市中，有 43 个城市 O₃ 浓度均值显著下降，占比 24.3%，降幅平均值为 5.5%；有 39 个城市 O₃ 浓度均值显著上升，占比 22%，升幅平均值为 8.9%。2025 年春季，莱芜平均浓度最高，为 134.2 微克/立方米；抚州平均浓度最低，为 76 微克/立方米。抚州为本季度 O₃ 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 93.6 微克/立方米下降 18.8%；雅安为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 78.4 微克/立方米上升 19.3%。O₃ 浓度显著上升城市主要集中于四川、江苏、浙江，分别有 9、8、4 个城市浓度上升。

2019 年夏季“4+173”城市 O₃ 浓度均值（标准误差）为 126.6(1.7) 微克/立方米，2025 年下降至 117.2(1.6) 微克/立方米，累计降幅 7.4%；年均下降 1.6 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 121.8(1.7) 微克/立方米相比，下降 4.6(0.8) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 126(1.6) 微克/立方米相比，下降 8.8(0.6) 微克/立方米，降幅 7%。

与 2024 年夏季相比，“4+173”城市中，有 122 个城市 O₃ 浓度均值显著下降，占比 68.9%，降幅平均值为 10%；有 9 个城市 O₃ 浓度均值显著上升，占比 5.1%，升幅平均值为 6.8%。2025 年夏季，邯郸平均浓度最高，为 157.1 微克/立方米；黄山平均浓度最低，为 69.9 微克/立方米。常州为本季度 O₃ 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 131.8 微克/立方米下降 21.2%；其次是汉中，降幅 20.9%。眉山为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 104.4 微克/立方米上升 15.6%。O₃ 浓度显著上升城市主要集中于甘肃，有 3 个城市浓度上升。

2019 年秋季“4+173”城市 O₃ 浓度均值（标准误差）为 84.8(1.3) 微克/立方米，2025 年下降至 80.8(1.1) 微克/立方米，累计降幅 4.7%；年均下降 0.7 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 85.4(1.2) 微克/立方米相比，下降 4.6(0.6) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 89.9(1.2) 微克/立方米相比，下降 9.1(0.5) 微克/立方米，降幅 10.1%。

与 2024 年秋季相比，“4+173”城市中，有 119 个城市 O₃ 浓度均值显著下降，占比 67.2%，降幅平均值为 14%；有 7 个城市 O₃ 浓度均值显著上升，占比 4%，升幅平均值为 7.5%。2025 年秋季，日照平均浓度最高，为 105.9 微克/立方米；达州平均浓度最低，为 32.4 微克/立方米。绵阳为本季度 O₃ 同比

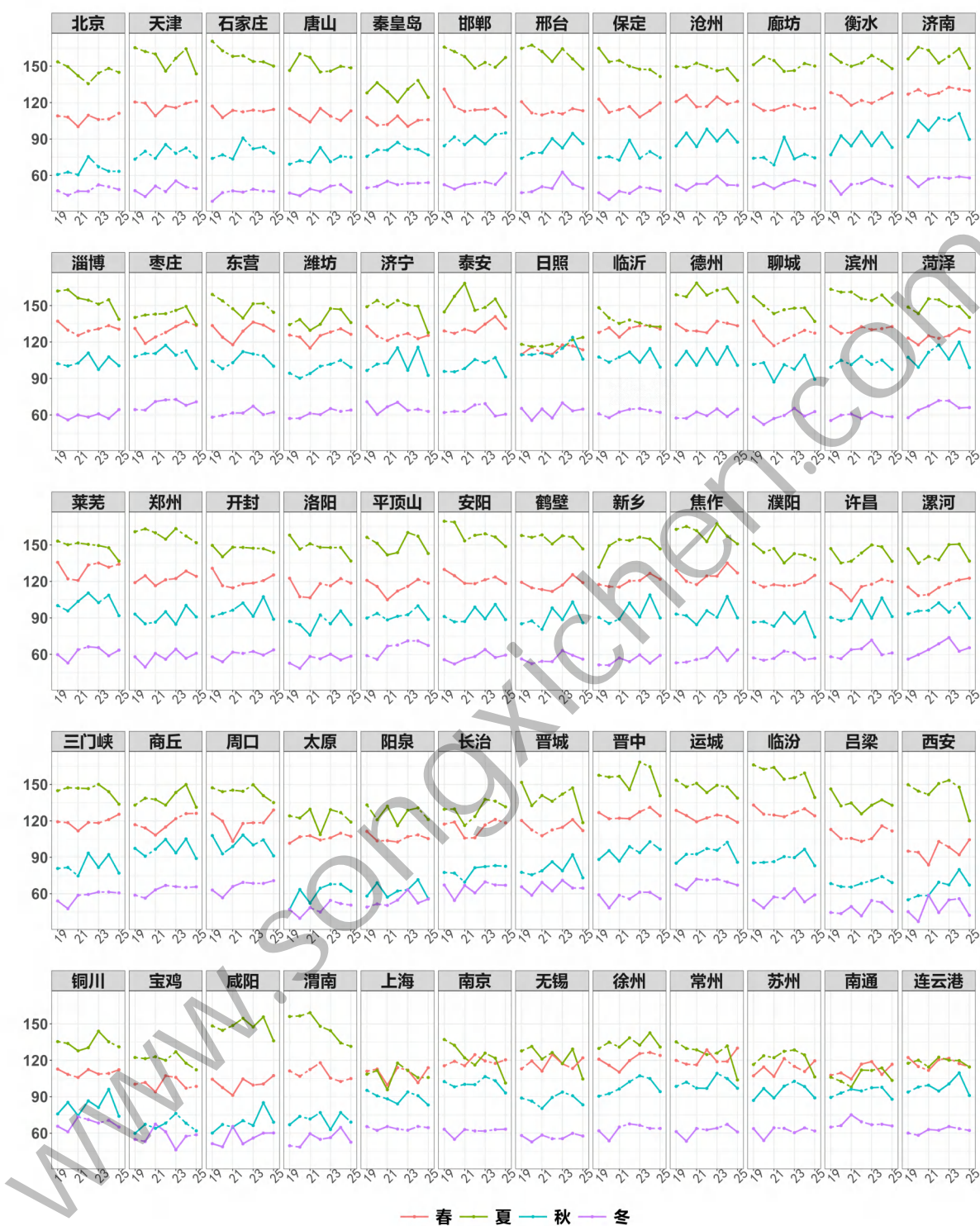


图 52: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 O₃ 季节平均浓度（微克/立方米）变化序列图，图中实线（虚线）代表在 5% 统计学显著水平比上一年有（无）显著的增加或减少

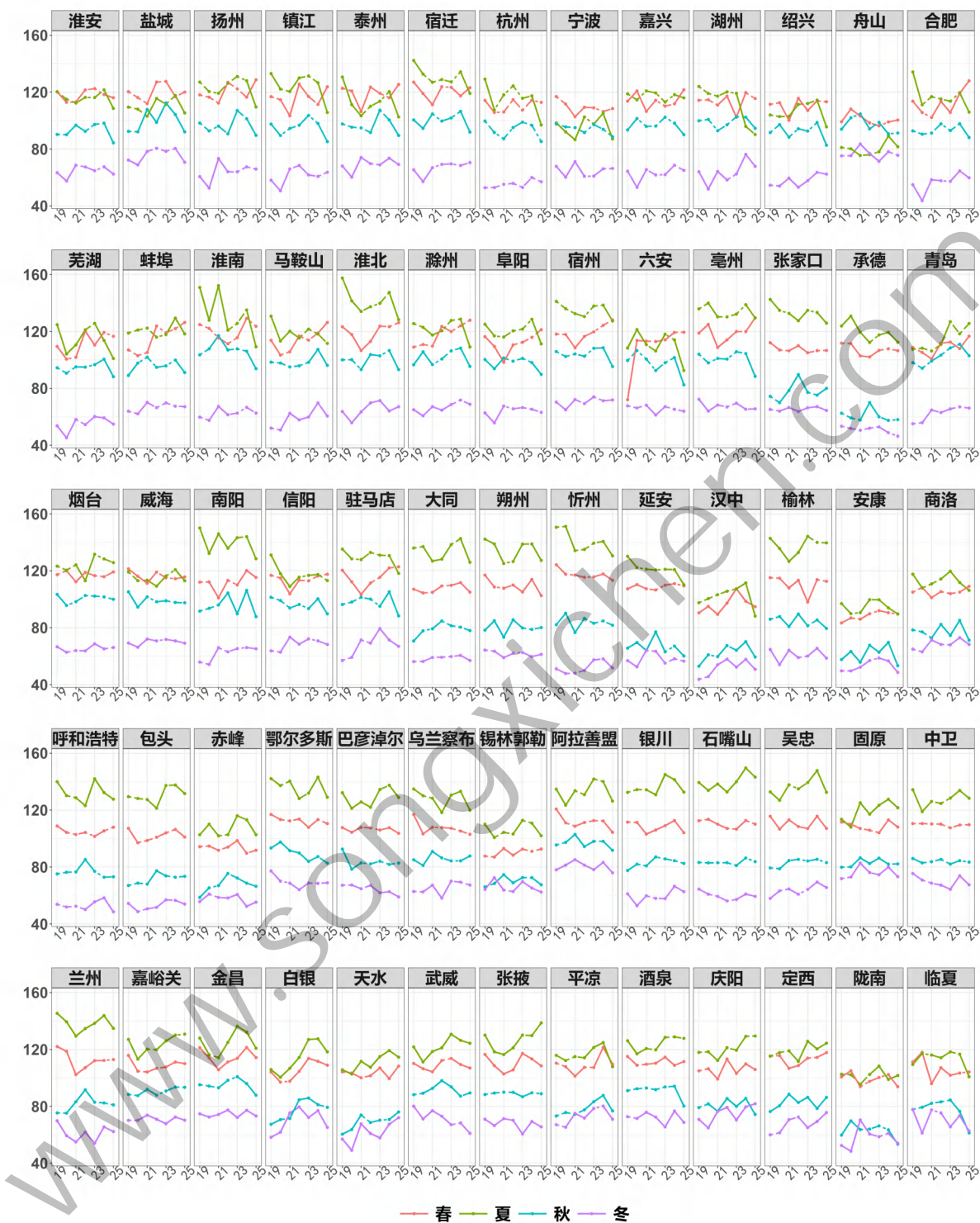


图 53: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 O₃ 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

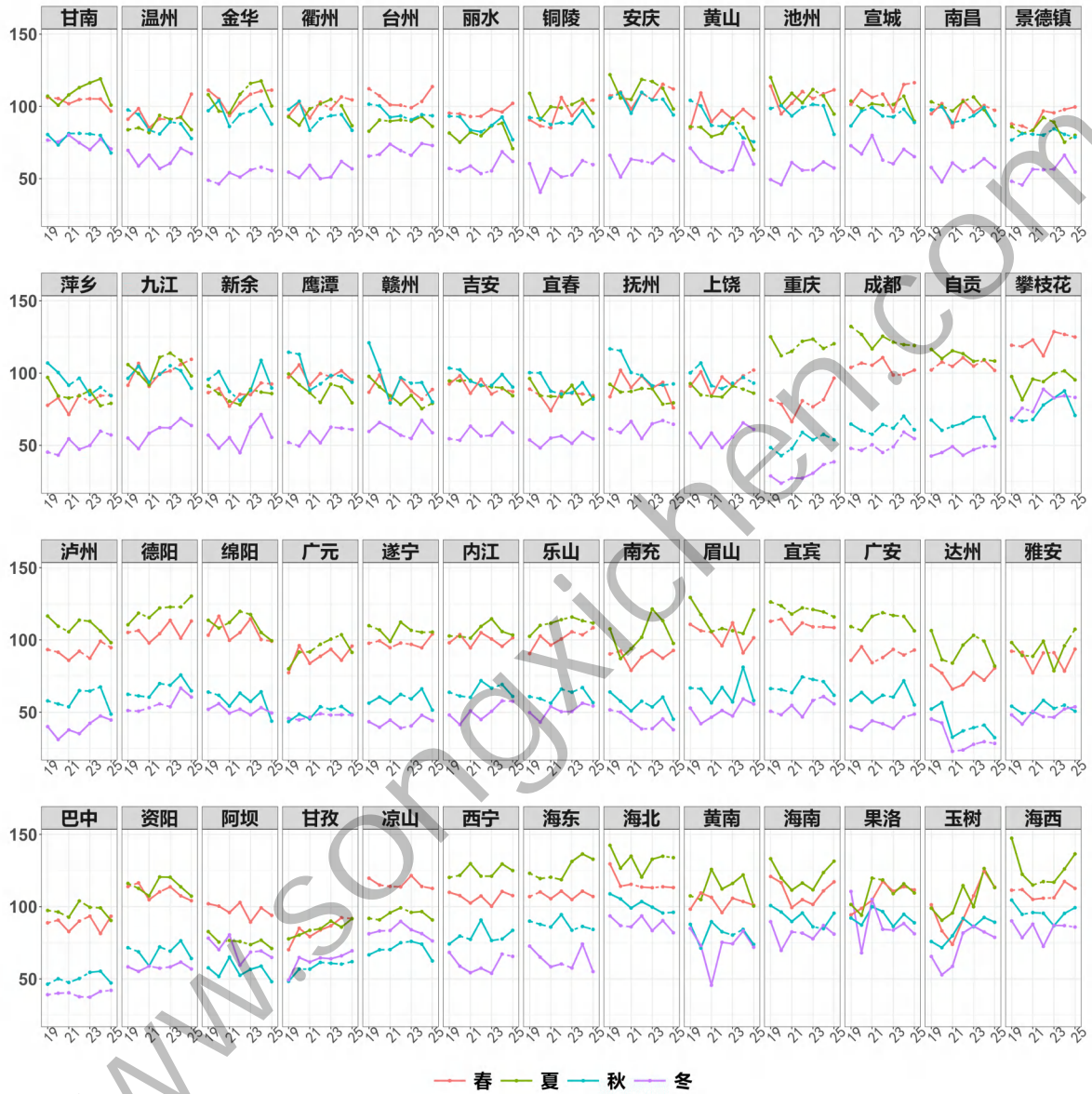


图 54: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 O₃ 季节平均浓度 (微克/立方米) 变化序列图, 图中实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上一年有 (无) 显著的增加或减少

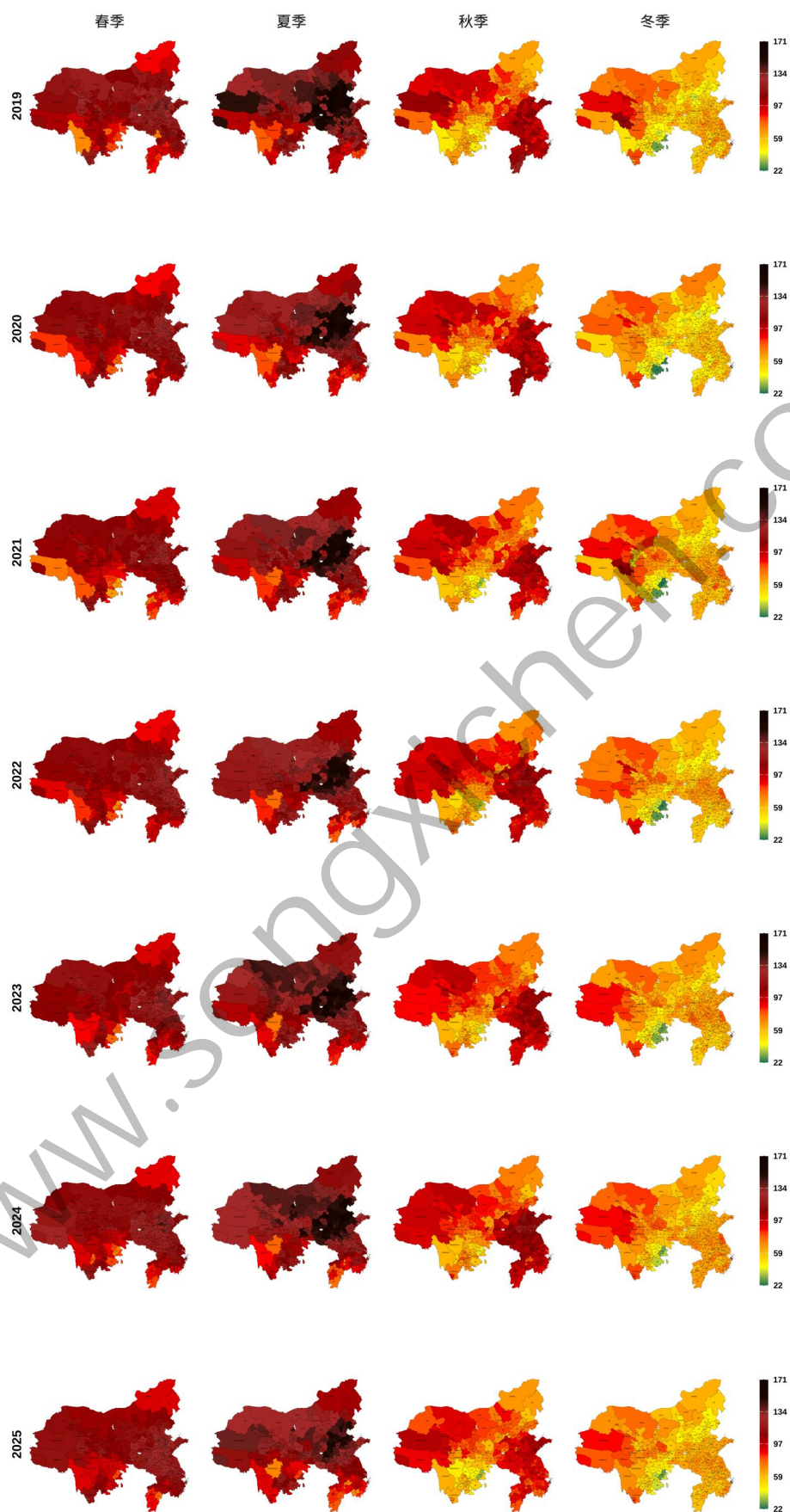


图 55: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 O₃ 季节平均浓度 (微克/立方米)

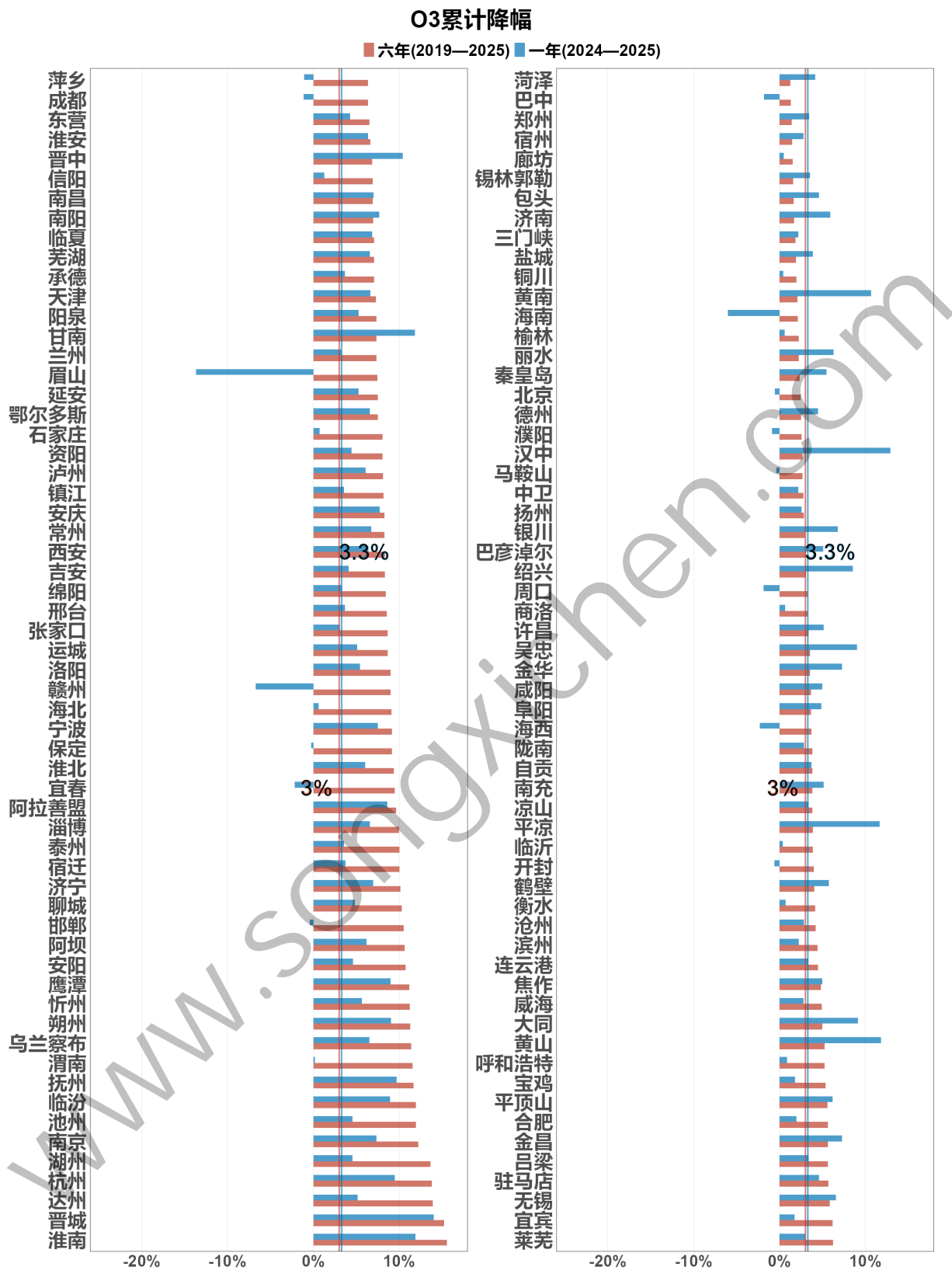


图 56: “4+173”城市气象调整后 O₃ 浓度过去一年 (蓝色)、六年 (红色) 的累计降幅, 蓝色和红色竖线分别代表 “4+173” 城市的一年和六年平均降幅 (注: 负数代表平均浓度相对升高)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
	113.0	114.1	115.2	115.0	116.6	118.6	112.9	1 德州
	112.7	113.2	112.8	113.4	112.0	113.4	109.8	2 滨州
	110.9	108.9	112.2	115.2	115.2	116.7	109.2	3 枣庄
	113.8	108.8	107.4	110.5	116.3	113.6	108.9	4 东营
	113.3	101.8	100.9	97.8	99.2	106.4	108.6	5 海西
	115.4	112.2	111.1	113.1	110.1	113.3	108.5	6 淄博
	109.3	106.0	114.9	116.8	113.1	116.5	108.4	7 菏泽
	109.5	107.7	104.8	107.6	111.9	113.7	107.9	8 焦作
	107.8	105.6	105.9	106.8	108.7	110.7	106.9	9 郑州
	111.1	108.1	107.3	111.5	109.4	111.2	106.7	10 临沂
	112.2	105.2	110.0	115.2	113.2	111.7	106.6	11 莱芜
	111.0	103.4	103.3	110.0	109.2	107.5	106.5	12 周口
	108.4	113.1	110.8	111.5	113.4	116.3	106.4	13 济南
	102.8	102.5	100.0	105.0	110.6	111.4	106.4	14 潍坊
	118.6	108.2	108.9	107.8	107.3	108.7	106.3	15 淮北
	111.1	100.6	95.8	99.6	94.2	101.6	106.3	16 海南
	107.9	110.8	114.9	112.0	113.9	115.6	106.0	17 泰安
	108.9	105.3	104.4	104.7	109.9	110.6	105.7	18 宿州
	108.4	104.8	102.1	102.0	102.0	102.7	105.6	19 邯郸
	107.4	101.1	105.3	107.2	104.9	108.6	105.5	20 开封
	106.5	104.2	100.5	103.7	110.0	112.5	104.4	21 平顶山
	97.7	100.4	104.0	107.6	106.9	110.8	104.4	22 新乡
	107.9	105.4	106.1	105.5	112.7	114.9	104.3	23 晋中
	113.6	107.5	101.1	107.2	109.1	111.5	104.1	24 聊城
	111.5	108.1	103.7	108.3	108.4	109.7	103.8	25 安阳
	102.9	99.7	102.4	106.0	109.2	109.1	103.7	26 漯河
	111.1	103.8	99.3	106.0	109.4	110.4	103.7	27 淮北
	107.8	106.7	102.1	103.0	106.9	107.1	103.3	28 亳州
	100.8	99.2	100.7	107.1	107.9	109.5	103.3	29 徐州
	101.5	100.0	101.4	104.9	106.2	111.5	103.0	30 商丘
	92.3	90.9	92.7	97.2	103.3	101.1	102.9	31 青岛
	108.7	107.0	108.7	108.5	110.5	110.9	102.7	32 运城
	102.6	99.7	99.7	99.5	104.8	102.7	102.7	33 烟台
	105.0	103.9	101.2	106.0	105.0	106.6	102.6	34 衡水
	112.3	110.3	109.8	116.2	109.5	113.1	102.1	35 济宁
	103.5	98.1	98.5	107.0	107.3	109.1	102.1	36 许昌
	100.7	99.2	100.9	98.5	104.3	106.5	102.0	37 日照
	104.6	102.7	101.6	103.7	106.6	111.1	101.9	38 鹤壁
	109.8	105.5	108.1	106.1	109.1	109.8	101.4	39 临汾
	108.8	100.8	102.4	105.4	105.5	106.6	101.2	40 宿迁
	100.3	93.9	97.5	96.3	98.0	101.8	101.1	41 嘉峪关
	91.7	93.8	96.2	93.8	97.8	95.6	101.0	42 定西
	94.7	96.0	99.9	100.3	100.6	104.7	100.7	43 蚌埠
	101.4	95.7	95.1	96.7	98.6	100.5	100.4	44 张掖
	99.0	100.1	97.7	102.3	105.7	108.2	100.3	45 滁州
	97.9	95.1	89.6	92.9	101.6	101.9	99.9	46 长治
	101.8	104.4	101.4	104.4	104.6	104.1	99.6	47 沧州
	105.1	96.7	97.9	103.8	102.4	105.3	99.6	48 洛阳
	107.2	103.3	107.6	104.5	107.7	108.4	99.6	49 阿拉善盟
	99.8	98.8	98.0	104.5	102.9	104.7	99.2	50 三门峡
	102.4	98.0	102.2	104.1	102.1	109.1	99.2	51 南阳
	101.3	101.0	100.3	101.4	105.1	104.6	99.1	52 邢台
	99.9	97.8	97.7	94.7	96.2	102.4	99.1	53 石嘴山
	104.8	99.2	96.8	103.0	105.8	106.7	99.0	54 金昌
	102.2	99.4	101.0	103.4	105.2	107.3	99.0	55 驻马店
	103.7	97.5	99.6	99.3	100.5	100.9	98.8	56 威海
	98.7	91.3	95.9	96.5	98.4	103.5	98.7	57 马鞍山
	85.4	74.6	77.0	94.9	95.0	106.5	98.7	58 玉树
	103.4	100.3	101.0	102.1	101.6	102.8	98.5	59 濮阳
	101.0	95.5	100.2	102.0	106.1	103.3	98.4	60 扬州
	97.6	97.5	97.2	97.9	96.9	99.2	98.2	61 嘉兴
	103.7	100.5	101.4	103.2	104.6	105.8	98.0	62 常州
	98.6	99.9	96.6	101.9	98.6	99.6	97.9	63 廊坊
	93.2	92.8	91.1	99.8	93.3	101.1	97.9	64 庆阳
	107.4	104.6	103.2	98.9	98.1	103.1	97.8	65 鄂尔多斯

图 58: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 O₃ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
	99.6	87.0	107.4	104.2	97.4	103.2	97.8	66 果洛
	103.2	98.2	92.5	98.8	96.9	101.0	97.7	67 兰州
	102.1	98.1	94.8	98.7	95.9	101.2	97.6	68 榆林
	100.1	98.3	98.1	102.0	99.6	99.2	97.4	69 石家庄
	109.8	103.8	113.0	100.2	102.9	109.3	97.3	70 淮南
	101.6	95.8	97.2	96.9	95.6	100.4	97.3	71 中卫
	101.7	101.0	98.6	98.8	101.5	104.2	97.2	72 天津
	103.2	98.7	95.0	98.4	98.8	101.2	97.2	73 信阳
	101.2	97.4	99.7	98.5	100.5	102.1	97.1	74 酒泉
	96.4	93.9	100.0	97.4	98.7	104.6	97.1	75 吴忠
	98.6	96.3	100.3	105.5	107.5	104.8	97.0	76 盐城
	104.7	96.9	94.7	98.7	102.2	102.6	96.7	77 泰州
	101.1	94.0	95.8	98.9	100.4	102.0	96.4	78 阜阳
	94.2	92.8	100.4	95.4	97.1	100.7	96.3	79 固原
	102.0	95.3	97.1	100.2	95.1	97.4	95.8	80 保定
	94.1	96.3	95.3	97.6	94.4	95.8	95.8	81 唐山
	97.4	97.2	95.4	100.1	100.5	102.8	95.6	82 铜川
	98.5	97.8	97.2	100.0	102.0	102.6	95.6	83 连云港
	95.7	95.1	94.5	95.5	99.4	101.2	95.5	84 银川
	98.9	87.7	92.2	96.0	92.4	100.3	95.4	85 合肥
	100.1	94.5	98.1	101.1	101.3	97.8	95.4	86 武威
	93.2	91.9	91.0	94.2	88.0	96.2	95.4	87 西宁
	98.2	95.6	92.5	96.1	94.4	101.9	94.8	88 海东
	101.4	94.3	96.1	105.2	103.4	99.2	94.6	89 镇江
	104.6	101.2	100.2	100.7	103.4	101.3	94.5	90 南京
	99.9	94.2	98.6	92.7	98.0	98.0	94.5	91 乌兰察布
	102.0	101.7	94.0	96.7	98.9	100.3	94.3	92 忻州
	93.6	97.2	95.6	102.9	101.6	99.5	94.2	93 苏州
	98.5	93.9	96.1	97.7	95.9	95.6	94.2	94 张家口
	99.9	92.9	95.3	94.7	96.6	97.4	93.6	95 巴彦淖尔
	88.3	85.6	90.0	93.2	98.5	100.1	93.6	96 攀枝花
	92.0	92.9	93.5	98.2	98.7	96.8	93.5	97 南通
	91.0	89.5	92.6	95.2	92.4	100.3	93.2	98 咸阳
	83.9	82.5	87.8	95.8	99.7	99.3	92.9	99 白银
	98.6	93.9	97.7	99.4	100.2	101.4	92.8	100 淮安
	100.4	99.0	91.3	96.0	96.5	97.8	92.8	101 朔州
	81.8	79.7	88.3	84.6	87.5	89.2	92.7	102 天水
	103.8	94.9	99.2	99.3	101.7	106.2	92.1	103 晋城
	82.3	84.2	81.7	88.0	89.7	91.6	92.1	104 德阳
	92.7	91.0	87.5	91.9	92.5	92.2	92.0	105 北京
	100.6	96.6	96.3	98.2	96.7	98.6	92.0	106 湖州
	95.1	94.3	87.3	94.8	95.0	90.9	91.9	107 上海
	96.9	97.5	92.7	99.0	96.0	98.3	91.9	108 无锡
	100.3	94.0	90.4	100.0	96.7	99.9	91.7	109 安庆
	90.5	91.2	89.3	88.6	86.4	91.2	91.6	110 台州
	92.5	93.9	92.5	95.4	97.3	98.8	91.5	111 大同
	91.6	90.2	91.4	92.7	97.6	103.5	91.3	112 平凉
	90.3	92.5	91.8	92.3	91.7	94.7	90.3	113 秦皇岛
	95.6	85.2	91.4	97.7	98.2	98.2	90.2	114 芜湖
	87.2	89.8	83.7	93.0	95.7	96.3	90.2	115 九江
	94.4	90.7	90.1	90.7	94.0	91.4	90.1	116 呼和浩特
	91.1	93.3	96.8	91.4	87.7	97.6	90.1	117 宣城
	89.5	85.6	86.2	87.8	93.0	93.3	90.0	118 包头
	93.0	86.8	88.8	84.8	90.9	95.0	89.8	119 吕梁
	86.9	101.9	98.2	93.3	99.3	100.1	89.6	120 六安
	96.0	96.4	100.7	99.4	92.3	94.6	89.5	121 渭南
	91.3	88.1	82.3	89.0	94.2	96.8	88.7	122 金华
	91.5	89.0	89.0	92.5	91.5	93.7	88.7	123 商洛
	90.4	91.6	87.8	93.6	92.4	97.6	88.5	124 绍兴
	99.0	89.4	91.6	97.5	93.8	97.1	88.0	125 杭州
	95.2	89.9	88.9	91.1	91.2	92.9	87.6	126 宁波
	87.4	91.4	91.7	86.4	86.1	89.2	87.2	127 舟山
	94.6	89.7	91.9	91.5	94.1	98.2	86.8	128 黄南
	88.1	77.3	82.3	86.3	83.9	91.7	86.3	129 铜陵
	95.5	85.5	91.4	91.9	93.6	94.5	86.0	130 池州

图 59: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 O₃ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

	85.6	85.3	79.5	79.6	82.8	87.4	85.6	131 上饶
	89.9	89.8	90.9	94.4	94.4	91.5	85.5	132 凉山
	89.0	87.9	85.1	88.7	90.2	90.1	85.4	133 宜宾
	80.0	83.1	84.5	80.6	89.4	89.1	84.8	134 太原
	87.9	86.3	85.9	83.9	90.6	90.8	84.5	135 阳泉
	85.5	84.2	79.2	80.8	82.9	85.9	84.4	136 温州
	87.2	85.2	82.6	86.5	82.7	87.0	84.2	137 成都
	90.0	88.7	89.1	91.9	87.3	89.3	84.1	138 延安
	92.6	88.7	92.8	93.5	93.1	95.4	84.0	139 甘南
	89.9	83.0	78.5	80.5	80.6	83.9	83.9	140 眉山
	86.3	83.6	85.7	91.9	93.5	93.9	83.5	141 西安
	90.0	88.3	82.5	90.1	90.4	89.8	83.1	142 资阳
	84.3	85.9	87.1	89.2	88.9	85.1	82.9	143 宝鸡
	84.6	85.9	83.2	86.5	86.9	90.8	82.8	144 衢州
	75.9	78.8	79.5	82.7	83.9	85.0	82.7	145 乐山
	90.8	90.1	81.5	80.9	87.7	88.0	82.3	146 鹰潭
	94.0	93.9	92.9	94.9	92.5	92.5	82.2	147 临夏
	88.3	87.4	83.0	88.3	88.6	90.3	82.2	148 南昌
	82.0	82.2	83.9	80.8	86.9	84.9	81.1	149 锡林郭勒
	82.6	81.1	75.1	72.4	81.2	90.1	80.9	150 新余
	87.9	88.3	82.6	84.1	84.3	83.4	80.8	151 承德
	78.1	77.2	76.7	82.7	83.1	82.1	80.8	152 内江
	86.3	87.2	84.7	83.8	81.1	85.9	80.2	153 吉安
	77.8	82.8	79.8	82.6	86.9	81.0	79.1	154 赤峰
	61.4	71.8	70.3	73.6	75.4	76.1	78.7	155 甘孜
	82.2	80.8	83.1	83.2	82.4	84.4	78.6	156 自贡
	74.7	73.6	76.0	81.3	81.4	80.0	78.2	157 景德镇
	88.5	90.8	86.1	85.1	83.8	82.8	78.1	158 抚州
	81.8	79.5	79.4	77.2	81.6	86.4	77.9	159 丽水
	71.0	64.3	64.1	72.3	71.2	73.2	77.4	160 重庆
	91.3	89.3	76.7	82.1	80.0	79.5	76.7	161 赣州
	81.8	77.7	75.1	78.2	75.7	78.0	76.3	162 萍乡
	76.8	76.6	73.6	77.9	75.8	78.4	76.3	163 遂宁
	73.1	67.9	66.6	73.8	67.2	70.4	76.3	164 雅安
	84.8	79.3	75.1	78.2	78.9	79.1	76.1	165 宜春
	73.3	75.8	75.3	77.6	77.4	81.0	75.7	166 广安
	78.9	81.4	80.9	81.1	83.4	81.4	75.7	167 陇南
	86.5	89.3	78.3	79.8	81.9	84.2	74.3	168 黄山
	71.1	75.5	76.5	82.1	82.8	84.5	73.3	169 汉中
	83.2	85.5	78.8	85.0	84.4	80.7	72.9	170 绵阳
	76.9	71.9	70.7	76.5	76.8	80.0	71.5	171 泸州
	61.6	70.2	66.8	72.1	73.5	72.9	70.9	172 广元
	71.9	72.4	71.1	78.5	78.2	77.7	70.3	173 安康
	80.1	74.4	79.5	72.7	72.0	76.0	69.5	174 阿坝
	67.9	69.3	65.8	70.5	71.2	69.3	68.3	175 巴中
	78.3	71.7	66.9	71.5	76.5	76.6	68.3	176 南充
	71.5	65.6	51.4	56.6	61.9	60.5	55.8	177 达州
	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	

图 60: “4+173”城市气象调整后 2019 年至 2025 年 O₃ 年平均浓度 (微克/立方米) 年际变化表 (浓度底纹从红到绿表示年平均浓度由大到小; 左侧红、橙、紫、灰方格分别标记京津冀“2+36”城市、汾渭平原、长三角地区、其他城市)

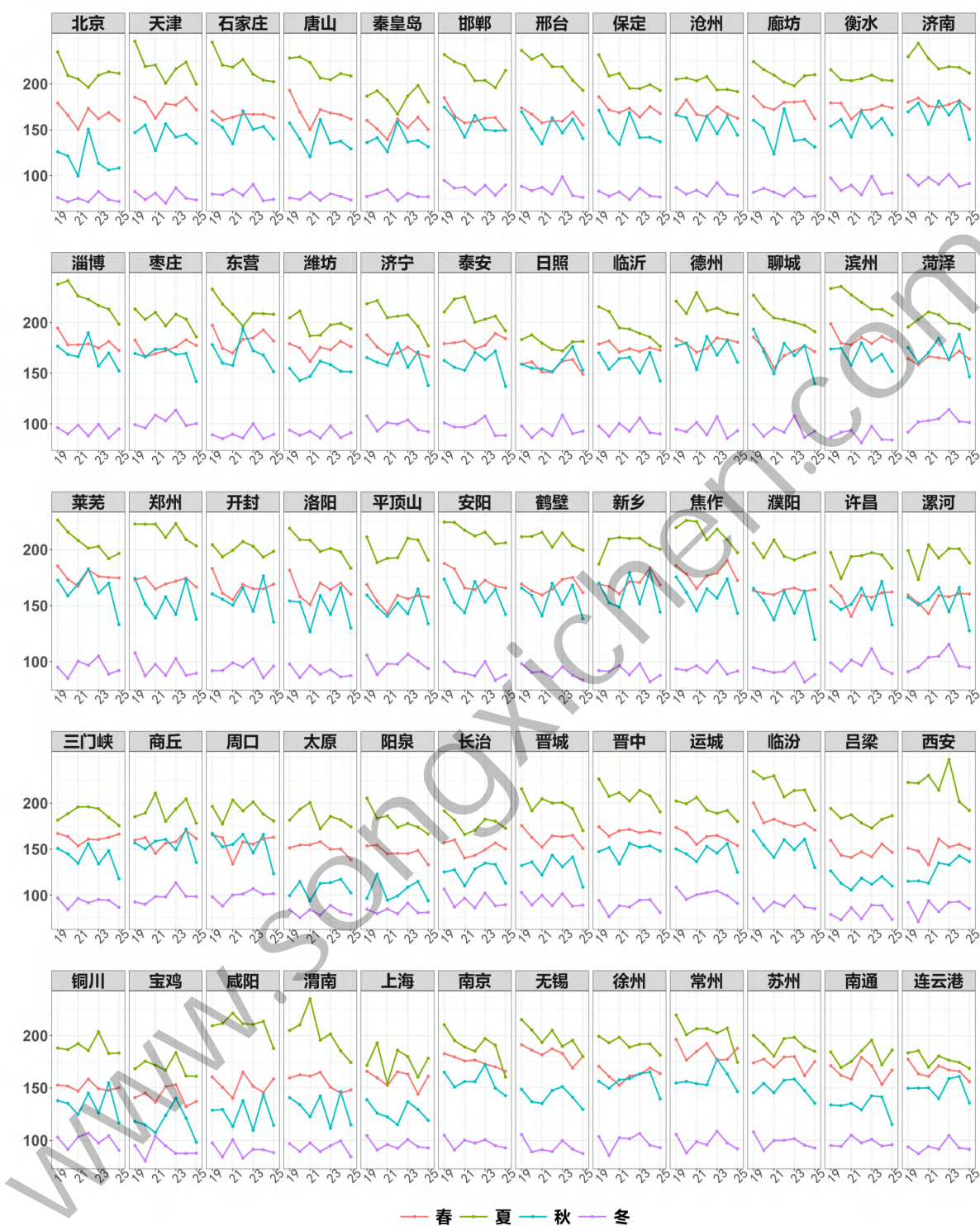


图 61: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 8 小时 O₃ 季节 90% 分位数浓度 (微克/立方米) 变化序列图

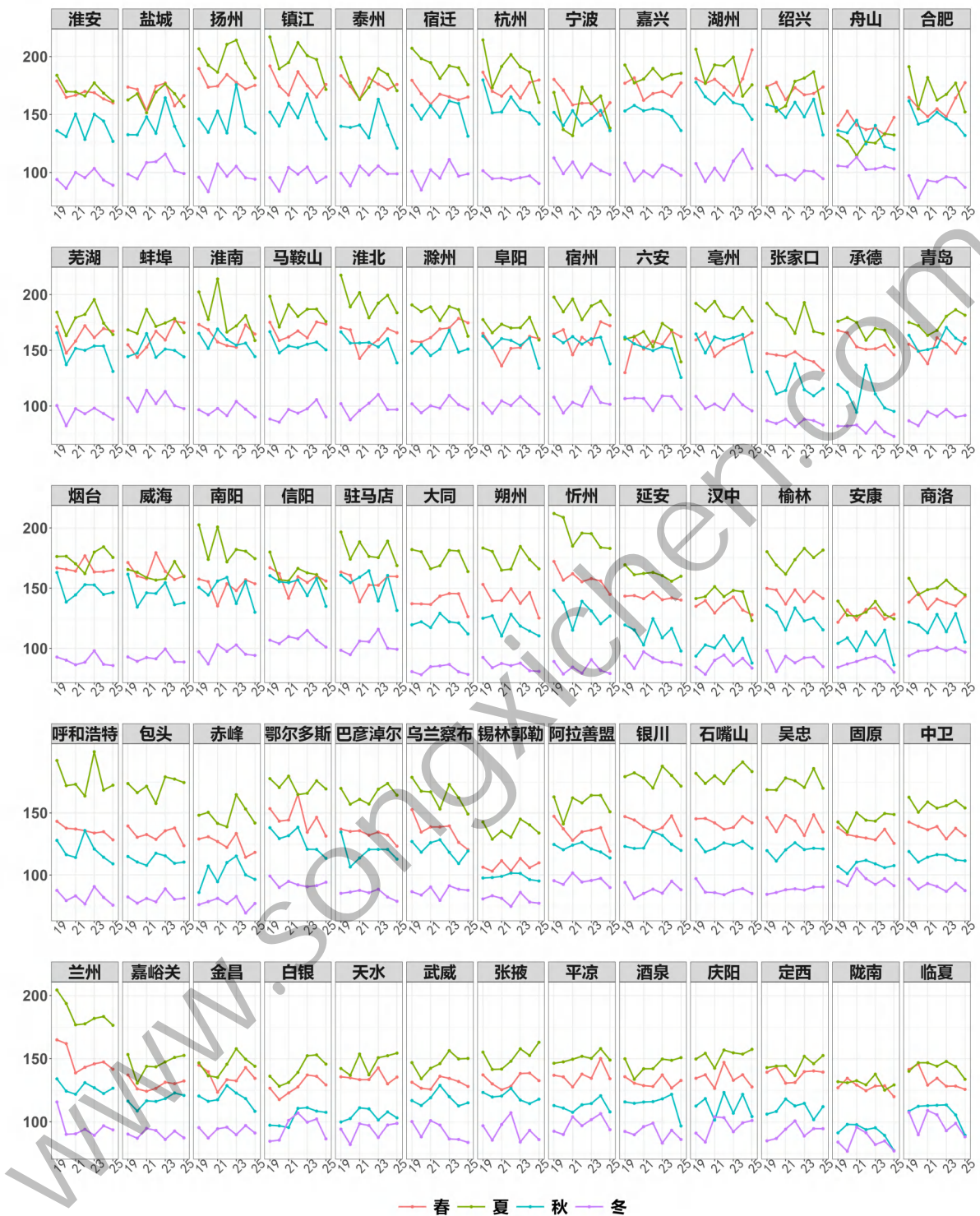


图 62: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 8 小时 O₃ 季节 90% 分位数浓度 (微克/立方米) 变化序列图

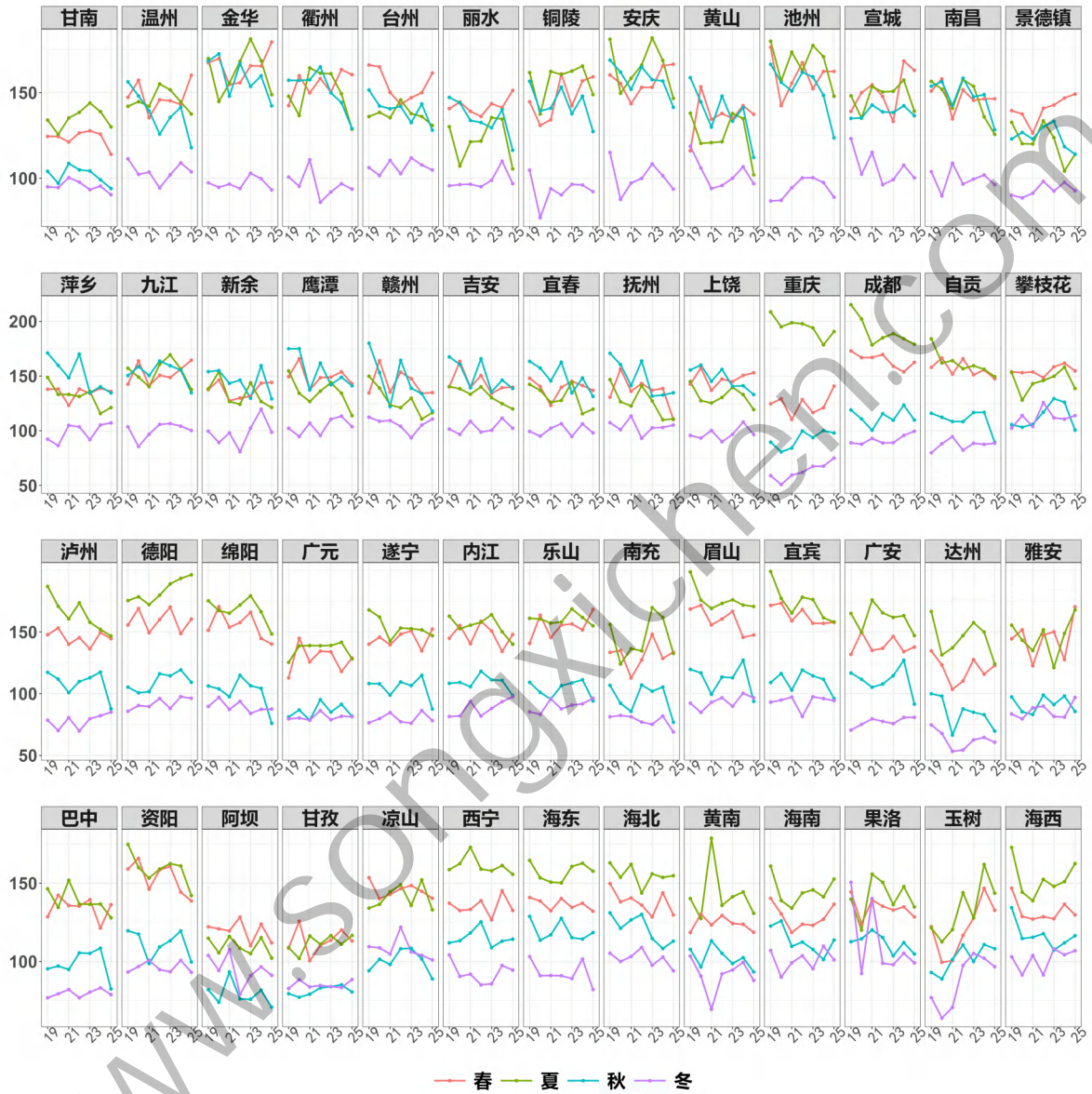


图 63: “4+173” 城市气象调整后 2019 年至 2025 年 8 小时 O₃ 季节 90% 分位数浓度 (微克/立方米) 变化序列图

改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 64.1 微克/立方米下降 31.7%。重点区域中，有 5 个城市浓度降幅超过 20%，包括京津冀及周边地区的濮阳、济宁，汾渭平原的铜川、阳泉、晋城。海南为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 84.8 微克/立方米上升 12.7%。O₃ 浓度显著上升城市主要集中于青海，有 3 个城市浓度上升。

2019 年冬季“4+173”城市 O₃ 浓度均值（标准误差）为 59.8(0.8) 微克/立方米，2025 年上升至 61.2(0.7) 微克/立方米，累计升幅 2.3%；年均上升 0.2 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 55.8(0.8) 微克/立方米相比，上升 5.4(0.5) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 63.8(0.7) 微克/立方米相比，下降 2.6(0.3) 微克/立方米，降幅 4.1%。

与 2024 年冬季相比，“4+173”城市中，有 80 个城市 O₃ 浓度均值显著下降，占比 45.2%，降幅平均值为 9.2%；有 21 个城市 O₃ 浓度均值显著上升，占比 11.9%，升幅平均值为 7.9%。2025 年冬季，海西平均浓度最高，为 85.9 微克/立方米；达州平均浓度最低，为 28.4 微克/立方米。海东为本季度 O₃ 同比改善幅度最大城市，平均浓度相比 2024 年同期的 74.1 微克/立方米下降 25.7%；此外还有 2 个城市降幅超过 20%，分别为西安、新余。邯郸为浓度同比升幅最大城市，平均浓度相比去年同期的 52.6 微克/立方米上升 17.4%。O₃ 浓度显著上升城市主要集中于河南、山东、山西，分别有 6、5、3 个城市浓度上升。

3.6.2 八小时臭氧年度评估：年度变化趋势与城市相对排名

2019 年“4+173”城市 O₃ 浓度均值（标准误差）为 95.5(0.9) 微克/立方米，2025 年下降至 92.8(0.8) 微克/立方米，累计降幅 2.8%；年均下降 0.5 微克/立方米。与 2020 年浓度均值 93.1(0.8) 微克/立方米相比，下降 0.3(0.4) 微克/立方米；与 2024 年浓度均值 97.8(0.8) 微克/立方米相比，下降 5(0.3) 微克/立方米。

2025 年，京津冀及周边“2+36”城市是 O₃ 平均浓度最高的重点地区，浓度均值为 103(0.8) 微克/立方米，比 2024 年的 108.2(1) 微克/立方米下降 5.2(0.5) 微克/立方米，比 2020 年的 103.5(0.9) 微克/立方米下降 0.5(0.5) 微克/立方米，比 2019 年的 105.4(1) 微克/立方米下降 2.4(0.5) 微克/立方米。长三角地区 O₃ 浓度均值为 95.7(0.9) 微克/立方米，比 2024 年的 101.7(1) 微克/立方米下降 6(0.5) 微克/立方米，比 2020 年的 96.5(0.9) 微克/立方米下降 0.8(0.8) 微克/立方米，比 2019 年的 99.4(1.1) 微克/立方米下降 3.7(0.8) 微克/立方米。汾渭平原 O₃ 浓度均值为 92.6(2.1) 微克/立方米，比 2024 年的 99.6(2.5) 微克/立方米下降 7(1) 微克/立方米，比 2020 年的 93.6(2.4) 微克/立方米下降 1(1) 微克/立方米，比 2019 年的 95.7(2.7) 微克/立方米下降 3.1(1.2) 微克/立方米。“其他城市” O₃ 浓度均值为 87.6(1.1) 微克/立方米，比 2024 年的 91.9(1.1) 微克/立方米下降 4.3(0.4) 微克/立方米，与 2020 年持平，比 2019 年的 90(1.2) 微克/立方米下降 2.4(0.6) 微克/立方米。

2025 年“4+173”城市中，O₃ 年均浓度低于 100 微克/立方米的城市有 132 个，比 2024 年增加 43 个。其中，京津冀及周边“2+36”城市有 12 个，比 2024 年增加 6 个；汾渭平原有 10 个，比 2024 年增加 4 个；长三角地区有 24 个，比 2024 年增加 12 个；“其他城市”有 86 个，比 2024 年增加 21 个。

相比 2019 年，2025 年“4+173”城市中，有 129 个城市春夏 O₃ 浓度呈现不同程度下降，有 48 个城市春夏 O₃ 浓度上升。春夏 O₃ 六年累计降幅的城市均值为 3% (0.5%)。有 21 个城市累计降幅超过 10%，包括长三角地区的 6 个城市（淮南、杭州、湖州、南京、宿迁、泰州），京津冀及周边“2+36”城

市的安阳、邯郸、聊城、济宁，汾渭平原的晋城、临汾、渭南。从城市春夏 O₃ 降幅排名来看，天津、山西、河北、内蒙古春夏 O₃ 治理效果相对较好。

相比 2024 年，“4+173”城市中，有 141 个城市春夏 O₃ 浓度下降，有 36 个城市春夏 O₃ 浓度上升。春夏 O₃ 浓度降幅的城市均值为 3.3% (0.3%)。从城市春夏 O₃ 浓度降幅排名来看，天津、山西、内蒙古、安徽春夏 O₃ 治理效果相对较好。

根据图 58、图 59、图 60，2025 年“4+173”城市中，O₃ 年均浓度最高的城市为德州 (112.9 微克/立方米)、滨州 (109.8 微克/立方米)、枣庄 (109.2 微克/立方米)。浓度最高的 10 个城市包括山东的 7 个城市 (德州、滨州、枣庄、东营、淄博、菏泽、莱芜)，河南的 2 个城市 (焦作、郑州)，青海海西；其中滨州、德州、菏泽和枣庄已连续 5 年在列，焦作和东营已连续 3 年在列。

3.6.3 八小时臭氧极端污染 (90% 分位数)

我们以按季度计算的 O₃ 90% 分位数浓度的全年最大值作为极端污染的衡量指标。按照国家标准，O₃ 年 95% 分位数应当低于 160 微克/立方米，以达到日尺度人群健康保护的需求。我们以 O₃ 浓度最高的季节 90% 分位数统计，较国家标准略微严格，但对大多数城市而言，仍较 WHO 提出的年 99% 分位数达标的要求更宽松。2025 年，有 124 个城市的 O₃ 90% 分位数浓度最大值产生在夏季；有 52 个城市的 O₃ 90% 分位数浓度最大值产生在春季，包括 18 个长三角地区城市 (六安、合肥、淮南、滁州、芜湖、蚌埠、阜阳、南京、常州、无锡、泰州、盐城、镇江、宁波、杭州、湖州、绍兴、舟山) 和 34 个非重点城市 (乐山、内江、凉山、南充、巴中、广元、攀枝花、遂宁、阿坝、雅安、安庆、宣城、池州、铜陵、黄山、威海、上饶、九江、南昌、吉安、宜春、新余、景德镇、萍乡、赣州、鹰潭、信阳、丽水、台州、温州、衢州、金华、安康、汉中)；有 1 个城市的 O₃ 90% 分位数浓度最大值产生在秋季，为非重点城市抚州。

2019 年“4+173”城市 O₃ 90% 分位数浓度值 (标准误差) 为 183.1(2.2) 微克/立方米，2025 年下降至 168.5(1.7) 微克/立方米，年均下降 2.4 微克/立方米。与 2020 年 90% 分位数浓度值 175.1(2.1) 微克/立方米相比，下降 6.6(1.1) 微克/立方米；与 2024 年 90% 分位数浓度值 174.3(1.7) 微克/立方米相比下降 5.8(0.7) 微克/立方米。

在区域和城市尺度，O₃ 90% 分位数浓度最高的城市为邯郸 (214.5 微克/立方米)、济南 (211.7 微克/立方米)、北京 (211.4 微克/立方米)。浓度最高的 30 个城市中，北京、唐山、德州、济南和滨州已连续 2 年在列；北京、天津、安阳、德州、济南、淄博、滨州、焦作、衡水和郑州已连续 3 年在列。山东、河北和河南为本年度 O₃ 极端污染较严重省份，分别有 9、8、7 个城市进入浓度最高的 30 个城市榜单。O₃ 90% 分位数浓度最低的城市为阿坝 (111.8 微克/立方米)、甘孜 (116.6 微克/立方米)、达州 (124.2 微克/立方米)。四川、江西和甘肃为本年度 O₃ 极端污染相对较轻省份，分别有 8、8、5 个城市进入浓度最低的 30 个城市榜单。

“4+173”城市有 123 个城市降幅超过 1%，占比 69.5%，降幅平均值为 6%；南充为 O₃ 极端污染改善幅度最大城市，90% 分位数浓度下降 17.4%。有 31 个城市升幅超过 1%，占比 17.5%，升幅平均值为 5.5%；雅安为升幅最大城市，90% 分位数浓度上升 14.5%。甘肃和浙江为 O₃ 浓度上升较明显的省份，分别有 8、7 个城市浓度上升。平均升幅为 2.3%、8.1%。重点城市中，长三角地区的舟山、上海和湖州升幅超过 10%，需重点关注。京津冀及周边“2+36”城市的商丘和天津，汾渭平原的晋城、咸阳和临汾，长

三角地区的南京、镇江和阜阳降幅超过 10%，改善较为明显。南充为 O₃ 极端污染同比改善幅度最大城市，90% 分位数浓度下降 17.4%；雅安为同比改善幅度最小城市，90% 分位数浓度上升 14.5%。

2025 年“4+173”城市中 O₃ 年 90% 分位数低于 160 微克/立方米的城市有 61 个，占比 34%。包括延安、铜陵、宜宾、海东、庆阳、信阳、西宁、攀枝花、海北、天水、中卫、上饶、承德、海南、嘉峪关、定西、遂宁、丽水、阿拉善盟、酒泉、武威、自贡、景德镇、乌兰察布、平凉、固原、绵阳、内江、舟山、广安、泸州、南昌、白银、商洛、新余、金昌、玉树、鹰潭、资阳、赤峰、凉山、吉安、黄山、宜春、巴中、萍乡、赣州、果洛、抚州、锡林郭勒、临夏、南充、黄南、甘南、陇南、广元、安康、汉中、达州、甘孜、阿坝，其中舟山为重点城市。以上达标城市中，内蒙古锡林郭勒，四川凉山、巴中、广元、泸州、甘孜、自贡、达州、遂宁、阿坝，宁夏中卫、固原，安徽黄山，江西上饶、南昌、吉安、宜春、抚州、新余、景德镇、萍乡、赣州、鹰潭，浙江丽水、舟山，甘肃临夏、嘉峪关、天水、定西、平凉、庆阳、武威、甘南、白银、酒泉、金昌、陇南，陕西商洛、安康、汉中，青海果洛、海北、海南、黄南已连续 3 年达标。

4 六种常规空气污染物综合评价

图??给出 2025 和 2024 年“4+173”城市秋冬 PM_{2.5} 和春夏 8 小时臭氧平均浓度的联合分布。图中右上区域对应高 PM_{2.5} 和高臭氧城市集群（双高群），主要由“2+36”城市和长三角地区的城市构成。莱芜、衡水、开封、新乡、邯郸、菏泽、聊城、郑州、枣庄是 2025 年秋冬 PM_{2.5} 与春夏臭氧综合污染最突出的城市，需重点关注。图中左下区域对应低 PM_{2.5} 和低臭氧城市集群（双低群），主要由非重点城市构成。阿坝、甘孜、黄山、丽水、舟山、锡林郭勒、赣州、景德镇、赤峰是 2025 年秋冬 PM_{2.5} 与春夏臭氧综合水平最低 5% 的城市，空气质量相对较好。有较多长三角地区城市当前位于中间区域，尚未形成稳定的双高或双低格局，仍需通过持续治理防止向高污染集群转化。

从区域一致性的角度看，“2+36”城市中，秦皇岛、北京、日照、唐山不属于双高群，秋冬 PM_{2.5} 和春夏臭氧污染相对区域内其他城市较轻。从污染物协同治理的角度看，以下城市两类污染程度差异较大：阿拉善盟、北京、东营、海北、海南、海西、呼和浩特、嘉峪关、吕梁、鄂尔多斯、庆阳、唐山、威海、烟台、榆林、玉树和张家口应优先加强春夏臭氧治理。成都、达州、抚州、广安、汉中、九江、乐山、临夏、泸州、眉山、绵阳、南昌、南充、内江、萍乡、铜陵、西安、雅安、自贡和资阳应优先加强秋冬 PM_{2.5} 治理。

2025 年，“4+173”城市秋冬 PM_{2.5} 和春夏臭氧平均浓度均呈现轻微左偏分布（参考横向、纵向频率密度曲线），表明已有部分城市空气质量明显优于整体水平，形成低浓度“领先改善”群体。与 2024 年相比，秋冬 PM_{2.5} 平均浓度分布得更加集中，中值区城市数量增加，城市 PM_{2.5} 浓度范围由 7~74 微克/立方米收敛至 6~66 微克/立方米，其中极大值降低 8 微克/立方米，平均浓度由 41.3 微克/立方米降低至 39.3 微克/立方米。春夏臭氧浓度范围由 79~150 微克/立方米收敛至 78~143 微克/立方米，其中极大值降低 7 微克/立方米，平均浓度由 118.7 微克/立方米降低至 114.5 微克/立方米。低值区城市数量增加，但城市间浓度差异性增强，表明高污染水平得到有效压降的同时，不同城市改善进程存在差异。滨州、济南、潍坊和廊坊为今年新增双高群城市，应当更加关注污染的综合防治问题。双低群城市秋冬 PM_{2.5} 平均浓度下降，春夏臭氧平均浓度下降。黄南、衢州、果洛和南昌为今年新增双低群城市，综合治理初见成

效。

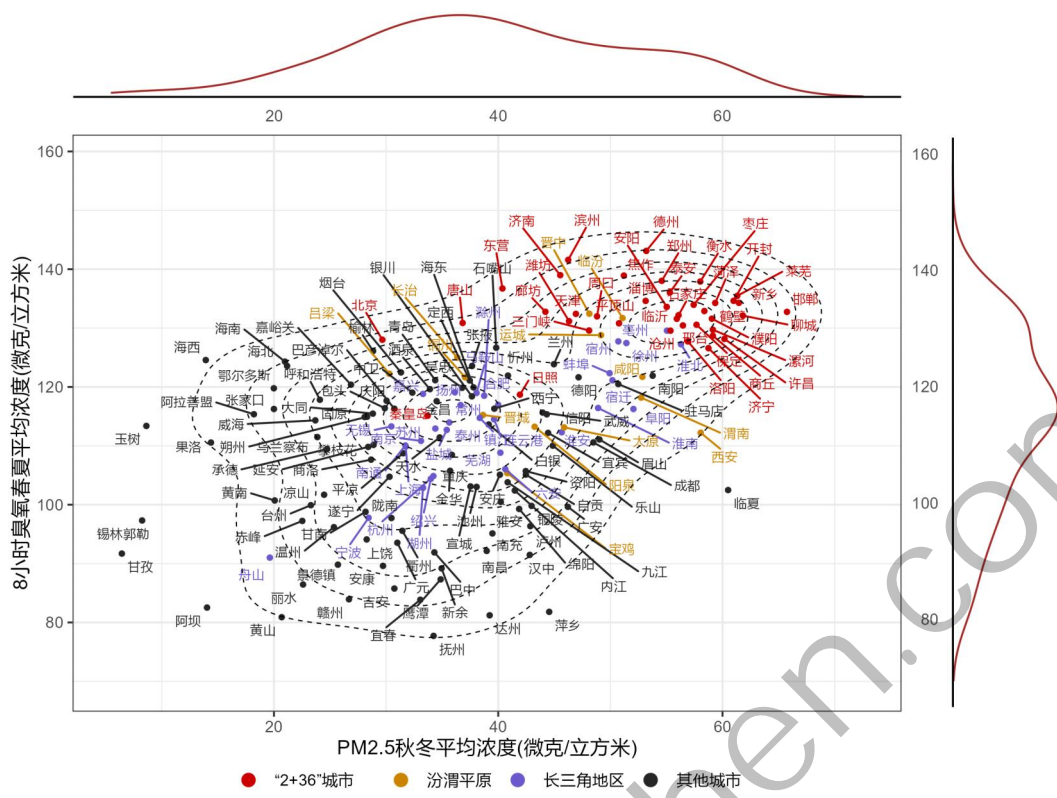
图??给出 2025 和 2024 年“4+173”城市秋冬 $PM_{2.5}$ 和春夏 8 小时臭氧 90% 分位数浓度的联合分布，与均值浓度呈现相似的城市集群特征。图中右上区域对应高 $PM_{2.5}$ 和高臭氧城市集群（双高群），主要由“2+36”城市的城市构成。邯郸、衡水、新乡、石家庄、莱芜、聊城、开封、保定、鹤壁是 2025 年秋冬 $PM_{2.5}$ 与春夏臭氧极端污染最突出的城市。图中左下区域对应低 $PM_{2.5}$ 和低臭氧城市集群（双低群），主要由非重点城市构成。阿坝、甘孜、锡林郭勒、果洛、黄山、黄南、玉树、赣州、阿拉善盟是 2025 年秋冬 $PM_{2.5}$ 与春夏臭氧 90% 分位数浓度最低的一组城市，极端污染控制较好。

从区域一致性的角度看，“2+36”城市中，秦皇岛、北京、唐山、日照、周口等城市不属于极端污染的双高群，秋冬 $PM_{2.5}$ 和春夏臭氧极端污染相对区域内其他城市较轻。从污染物协同治理的角度看，以下城市两类极端污染程度差异较大：北京、常州、湖州、嘉兴、吕梁、南通、鄂尔多斯、苏州、无锡和榆林应优先加强春夏臭氧极端污染治理。达州、广安、汉中、临夏、内江、萍乡、武威和资阳应优先加强秋冬 $PM_{2.5}$ 极端污染治理。

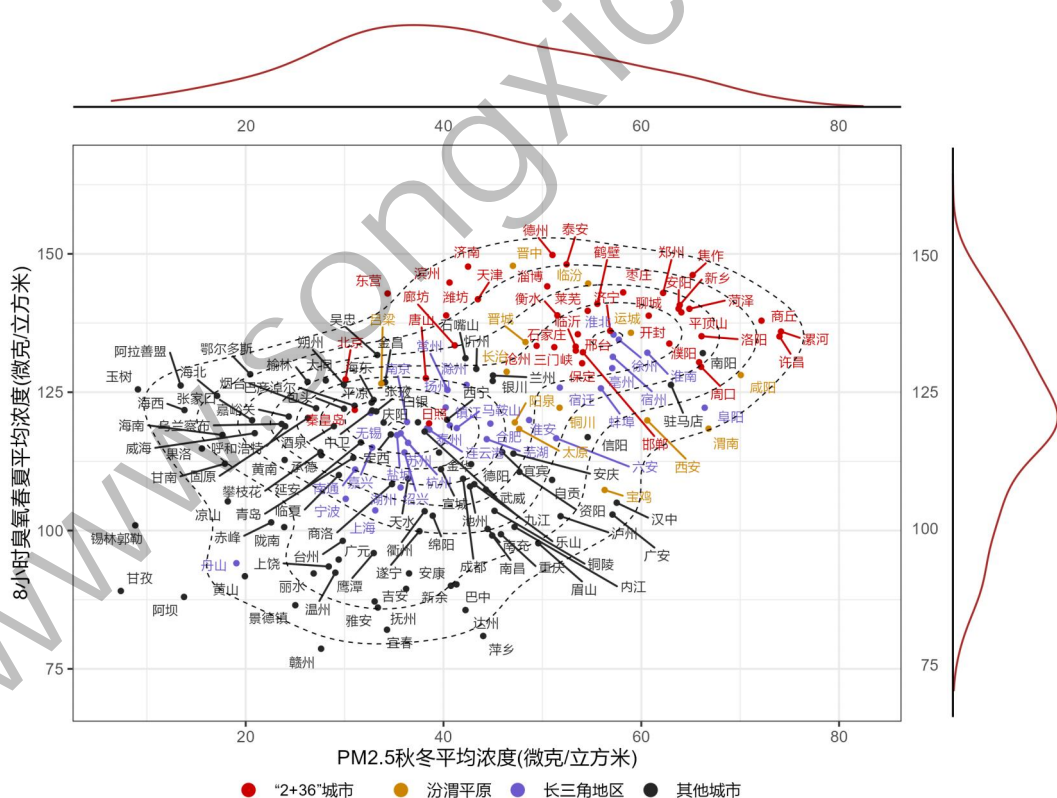
2025 年，“4+173”城市秋冬 $PM_{2.5}$ 90% 分位数浓度呈现轻微右偏分布（参考横向频率密度曲线），表明高污染城市的极端污染水平与大多数城市拉开显著差距；春夏臭氧 90% 分位数浓度呈现轻微左偏分布（参考纵向频率密度曲线），表明少数城市臭氧极端污染水平显著低于整体水平，形成了相对领先的低污染城市群体。与 2024 年相比，城市秋冬 $PM_{2.5}$ 90% 分位数浓度范围由 18~143 微克/立方米下降至 16~139 微克/立方米，其中极大值降低 4 微克/立方米，均值由 77.4 微克/立方米略微降低至 77.3 微克/立方米；城市间 $PM_{2.5}$ 极端污染差异性增强，低值区城市数量增加。春夏臭氧 90% 分位数浓度分布得更加集中，处于低值区和高值区的城市数量相对减少，城市臭氧 90% 分位数浓度范围由 116~204 微克/立方米下降至 107~195 微克/立方米，其中极大值降低 9 微克/立方米，均值由 163.1 微克/立方米降低至 157.8 微克/立方米。滨州、潍坊、宿迁、东营、济南、德阳、宿州和成都为本年新增双高群城市，应更加关注极端污染的分季节差异化管控。双低群城市秋冬 $PM_{2.5}$ 90% 分位数浓度上升，春夏臭氧 90% 分位数浓度下降。安康和鄂尔多斯为本年新增双低群城市，极端污染的综合治理成效较好。

报告参考 2026 年发布的《环境空气质量标准》（GB 3095—2026），对 2024–2025 年六类污染物的年均浓度达标情况进行评价。其中， $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 及 NO_2 采用过渡阶段浓度限值（2026–2030 年实施）；为区分 PM_{10} 中粗、细颗粒物的不同贡献，基于 PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 过渡阶段浓度限值构造 $PM_{10-2.5}$ 的参考限值进行评价。 $PM_{10-2.5}$ 是 PM_{10} 中空气动力学当量直径介于 2.5 微米到 10 微米之间的颗粒物，通过用 PM_{10} 的浓度减去 $PM_{2.5}$ 的浓度而得到。鉴于 SO_2 浓度整体已处于较低水平，采用新标准限值（2031 年起实施）进行评价。对于未设年均浓度标准的污染物，CO 参照 WHO 空气质量指南（AQG）准则值折算设定年均限值；臭氧则采用峰值季节（春夏）浓度指标，并参考 WHO “过渡期”第 1 级目标值进行评价。各污染物具体限值及城市六类污染物达标统计结果见表 6。

2025 年，“4+173”城市至多有三种污染物同时超标，包括 45 个城市。粗细颗粒物与臭氧污染交织叠加的特征依然突出： O_3 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10-2.5}$ 同时超标城市包括河南 15 市，山东 10 市，山西 5 市，河北 4 市，甘肃 3 市；安徽宿州、淮北，陕西咸阳、铜川，江苏徐州，宁夏石嘴山和天津。此外，甘肃白银 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10-2.5}$ 、 SO_2 同时超标。以上超标城市中，石嘴山、忻州、南阳、驻马店、兰州、定西、张掖、白银为非重点城市，空气污染应当引起关注。同时，有 44 个城市 6 种污染物均已达标，占比 24.9%；主

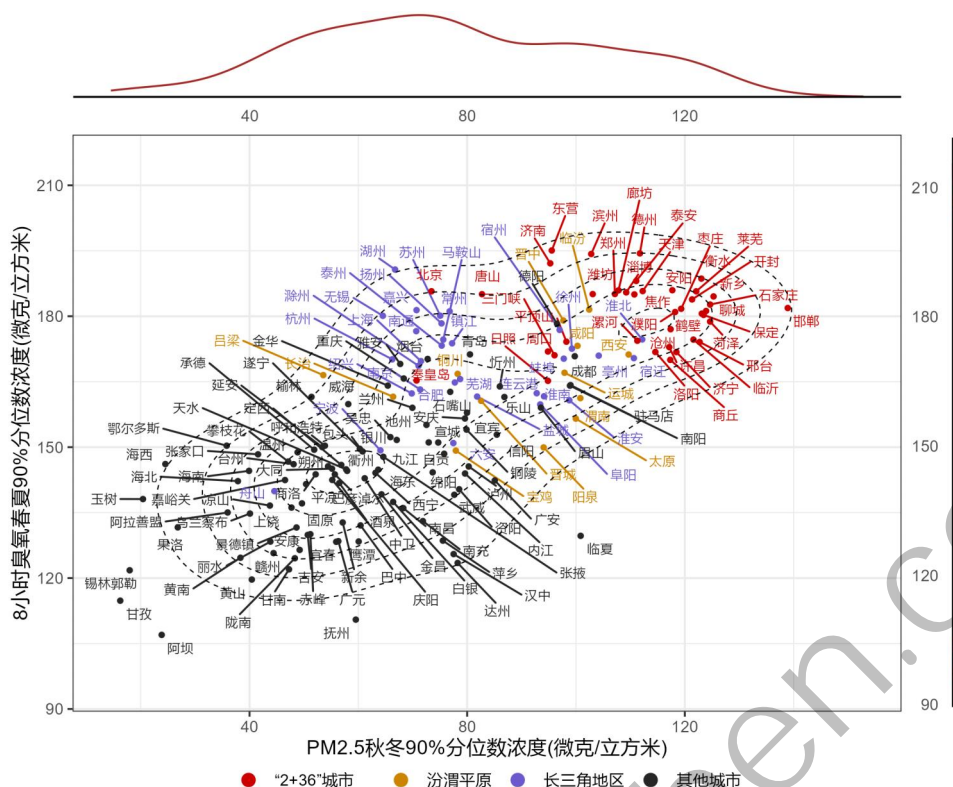


(a) 2025 年

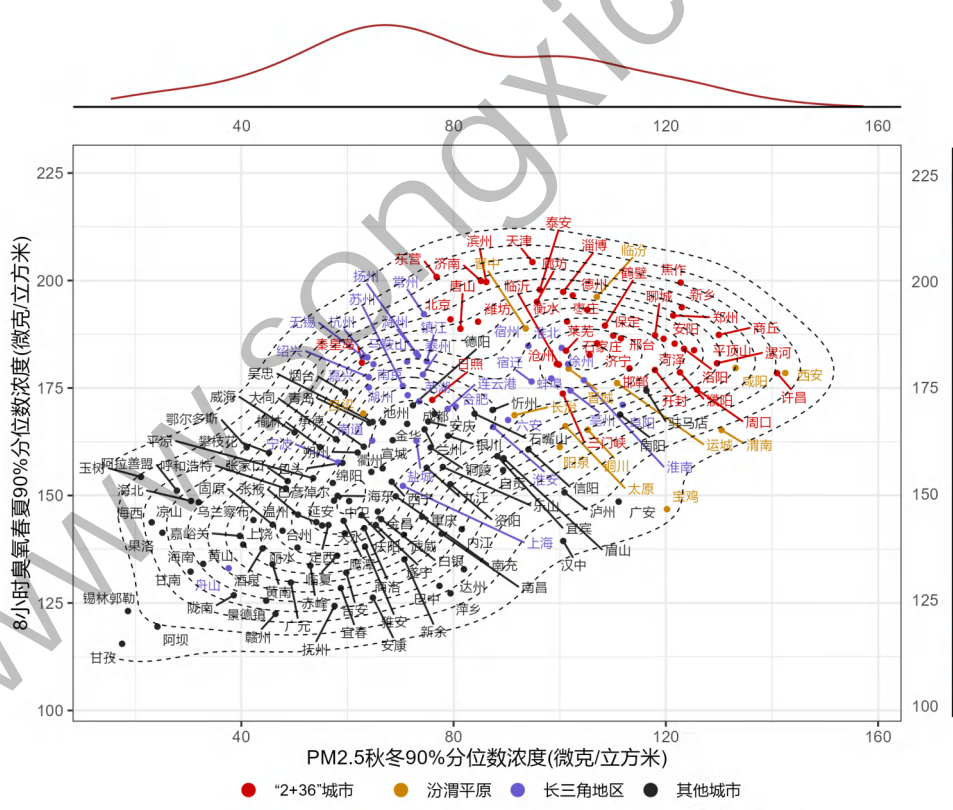


(b) 2024 年

图 64: “4+173” 城市 PM_{2.5} 秋冬和八小时臭氧春夏 (微克/立方米) 平均浓度散点图, 其中红色点代表 “2+36” 城市, 棕色点代表汾渭平原城市, 紫色点代表长三角地区城市, 黑色点代表其他城市



(a) 2025 年



(b) 2024 年

图 65: “4+173” 城市 PM_{2.5} 秋冬和八小时臭氧春夏 (微克/立方米) 年 90% 分位数浓度散点图, 其中红色点代表“2+36”城市, 棕色点代表汾渭平原城市, 紫色点代表长三角地区城市, 黑色点代表其他城市

要位于浙江 (10 市)。六种污染物中, 超标城市数量最多的为 $PM_{2.5}$, 超标城市有 108 个, 较上年度减少 10 个; 其次是 $PM_{10-2.5}$, 超标城市有 79 个, 较上年度增加 4 个; O_3 超标城市有 65 个, 较上年度减少 19 个; SO_2 超标城市有 1 个, 较上年度减少 2 个。分区域来看, 2025 年, 京津冀“2+36”城市超标城市数量最多的污染物为 O_3 和 $PM_{2.5}$, 汾渭平原超标城市数量最多的污染物为 $PM_{10-2.5}$, 长三角地区及非重点城市则以 $PM_{2.5}$ 超标最为普遍。

表 6: 2025 年超标污染物情况汇总

序号	城市	污染物 (年均浓度标准)				
		$PM_{2.5}$ ($30\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{10-2.5}$ ($30\mu\text{g}/\text{m}^3$)	臭氧 (8 小时) ($120\mu\text{g}/\text{m}^3$)	二氧化氮 ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$)	二氧化硫 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	天津	X(X)	X(X)	X(X)		
2	衡水	X(X)	X(X)	X(X)		
3	廊坊	X(X)	X(X)	X(X)		
4	石家庄	X(X)	X(X)	X(X)		
5	邢台	X(X)	X(X)	X(X)		
6	德州	X(X)	X(X)	X(X)		
7	菏泽	X(X)	X(X)	X(X)		
8	济南	X(X)	X(X)	X(X)		
9	济宁	X(X)	X(X)	X(X)		
10	聊城	X(X)	X(X)	X(X)		
11	临沂	X(X)	X(X)	X(X)		
12	泰安	X(X)	X(X)	X(X)		
13	潍坊	X(X)	X(X)	X(X)		
14	枣庄	X(X)	X(X)	X(X)		
15	淄博	X(X)	X(X)	X(X)		
16	晋中	X(X)	X(X)	X(X)		
17	临汾	X(X)	X(X)	X(X)		
18	忻州	X(X)	X	X(X)		
19	运城	X(X)	X(X)	X(X)		
20	长治	X(X)	X	X(X)		
21	铜川	X(X)	X(X)	X(X)		
22	咸阳	X(X)	X(X)	X(X)		
23	安阳	X(X)	X(X)	X(X)		
24	鹤壁	X(X)	X(X)	X(X)		
25	焦作	X(X)	X(X)	X(X)		

表 6: 2025 年超标污染物情况汇总

序号	城市	污染物 (年均浓度标准)					
		PM _{2.5} (30 μ g/m ³)	PM _{10-2.5} (30 μ g/m ³)	臭氧 (8 小时) (120 μ g/m ³)	二氧化氮 (40 μ g/m ³)	二氧化硫 (20 μ g/m ³)	一氧化碳 (1.3 mg/m ³)
26	开封	X(X)	X(X)	X(X)			
27	洛阳	X(X)	X(X)	X(X)			
28	漯河	X(X)	X(X)	X(X)			
29	南阳	X(X)	X	X(X)			
30	平顶山	X(X)	X(X)	X(X)			
31	濮阳	X(X)	X	X(X)			
32	三门峡	X(X)	X(X)	X(X)			
33	新乡	X(X)	X(X)	X(X)			
34	许昌	X(X)	X(X)	X(X)			
35	郑州	X(X)	X(X)	X(X)			
36	周口	X(X)	X(X)	X(X)			
37	驻马店	X(X)	X(X)	X(X)			
38	石嘴山	X(X)	X(X)	X(X)		(X)	
39	白银	X(X)	X(X)			X(X)	
40	定西	X(X)	X(X)	X			
41	兰州	X(X)	X(X)	X(X)			
42	张掖	X(X)	X(X)	X(X)			
43	徐州	X(X)	X(X)	X(X)			
44	淮北	X(X)	X(X)	X(X)			
45	宿州	X(X)	X(X)	X(X)			
46	保定	X(X)	(X)	X(X)			
47	沧州	X(X)	(X)	X(X)			
48	邯郸	X(X)	(X)	X(X)			
49	唐山	X(X)	(X)	X(X)			
50	滨州	X(X)	(X)	X(X)			
51	东营	X(X)	(X)	X(X)			
52	莱芜	X(X)	(X)	X(X)			
53	晋城	X(X)	X(X)	(X)			
54	吕梁	(X)	X(X)	X(X)			
55	太原	X(X)	X(X)				

表 6: 2025 年超标污染物情况汇总

序号	城市	污染物 (年均浓度标准)					
		PM _{2.5} (30 μ g/m ³)	PM _{10-2.5} (30 μ g/m ³)	臭氧 (8 小时) (120 μ g/m ³)	二氧化氮 (40 μ g/m ³)	二氧化硫 (20 μ g/m ³)	一氧化碳 (1.3 mg/m ³)
56	阳泉	X(X)	X(X)				
57	宝鸡	X(X)	X				
58	渭南	X(X)	X(X)				
59	西安	X(X)	X(X)				
60	榆林		X(X)	X(X)			
61	商丘	X(X)		X(X)			
62	银川	X(X)	X(X)	(X)			
63	中卫	X(X)	X(X)	(X)			
64	嘉峪关		X(X)	X(X)			
65	金昌	X(X)	X(X)	(X)		(X)	
66	酒泉	X	X(X)				
67	临夏	X	X(X)				
68	武威	X(X)	X(X)				
69	宿迁	X(X)		X(X)			
70	蚌埠	X(X)		X(X)			
71	亳州	X(X)	(X)	X(X)			
72	铜陵	X(X)	X				
73	德阳	X(X)		X			
74	海东	X	X	(X)			
75	海西		X	X(X)			
76	北京	(X)		X(X)			
77	秦皇岛	(X)	X	(X)			
78	青岛			X			
79	日照	X(X)					
80	烟台			X(X)			
81	大同		X(X)	(X)			
82	朔州		X(X)	(X)			
83	汉中	X(X)					
84	延安		X(X)				
85	信阳	X(X)					

表 6: 2025 年超标污染物情况汇总

序号	城市	污染物 (年均浓度标准)					
		PM _{2.5} (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{10-2.5} (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	臭氧 (8 小时) (120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	二氧化氮 (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	二氧化硫 (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	一氧化碳 (1.3 mg/m ³)
86	阿拉善盟		X(X)	(X)			
87	巴彦淖尔	(X)	X(X)	(X)			
88	包头		X(X)	(X)			
89	鄂尔多斯		X(X)	(X)			
90	呼和浩特		X(X)				
91	固原		X	(X)			
92	吴忠	(X)	X(X)	(X)			
93	甘南		X				
94	陇南		X				
95	平凉		X(X)	(X)			
96	庆阳		X(X)				
97	天水		X				
98	常州	X(X)		(X)			
99	淮安	X(X)					
100	连云港	X(X)					
101	泰州	X(X)					
102	盐城	X(X)					
103	扬州	X(X)		(X)			
104	镇江	X(X)					
105	金华	X(X)					
106	安庆	X(X)					
107	池州	X(X)					
108	滁州	X(X)		(X)			
109	阜阳	X(X)		(X)			
110	合肥	X(X)					
111	淮南	X(X)	(X)	(X)			
112	六安	X(X)					
113	马鞍山	X(X)					
114	芜湖	X(X)					
115	九江	X(X)					

表 6: 2025 年超标污染物情况汇总

序号	城市	污染物 (年均浓度标准)					
		PM _{2.5} (30 μ g/m ³)	PM _{10-2.5} (30 μ g/m ³)	臭氧 (8 小时) (120 μ g/m ³)	二氧化氮 (40 μ g/m ³)	二氧化硫 (20 μ g/m ³)	一氧化碳 (1.3 mg/m ³)
116	南昌	X(X)					
117	萍乡	X(X)					
118	成都	X(X)					
119	广安	X(X)					
120	乐山	X(X)					
121	泸州	X(X)					
122	眉山	X(X)					
123	绵阳	X(X)					
124	南充	X(X)					
125	内江	X(X)					
126	雅安	X					
127	宜宾	X(X)					
128	资阳	X(X)					
129	自贡	X(X)					
130	重庆	X(X)					
131	海北			X(X)			
132	海南			X			
133	西宁	X(X)		(X)			
浙江杭州、湖州、嘉兴、丽水、宁波、衢州、绍兴、台州、温州、舟山，四川阿坝、巴中、达州、甘孜、广元、凉山、攀枝花、遂宁，江西抚州、赣州、吉安、景德镇、上饶、新余、宜春、鹰潭，江苏南京、南通、苏州、无锡，内蒙古赤峰、乌兰察布、锡林郭勒，青海果洛、黄南、玉树，安徽黄山、宣城，河北承德、张家口，陕西安康、商洛，上海，山东威海						无超标	

为综合表征多污染物变化特征，报告使用空气质量综合指数进行城市环境空气质量和变化程度的综合评价。该指数基于六类污染物浓度与其对应标准限值的比值进行标准化处理，并采用等权加和的方式计算得到，即将各污染物浓度与标准限值之比 (C_i/S_i) 求和形成综合指标。综合指数越大表明城市空气污染程度越重。指数计算中使用的各污染物标准限值与表 6 一致。

表 7 展示了 2025 年六种污染物经气象调整后空气质量综合指数相比 2020 年和 2024 年的改善情况的城市排名。相比 2020 年，2025 年“4+173”城市空气质量综合指数累计降幅均值为 14.1%；较 2024

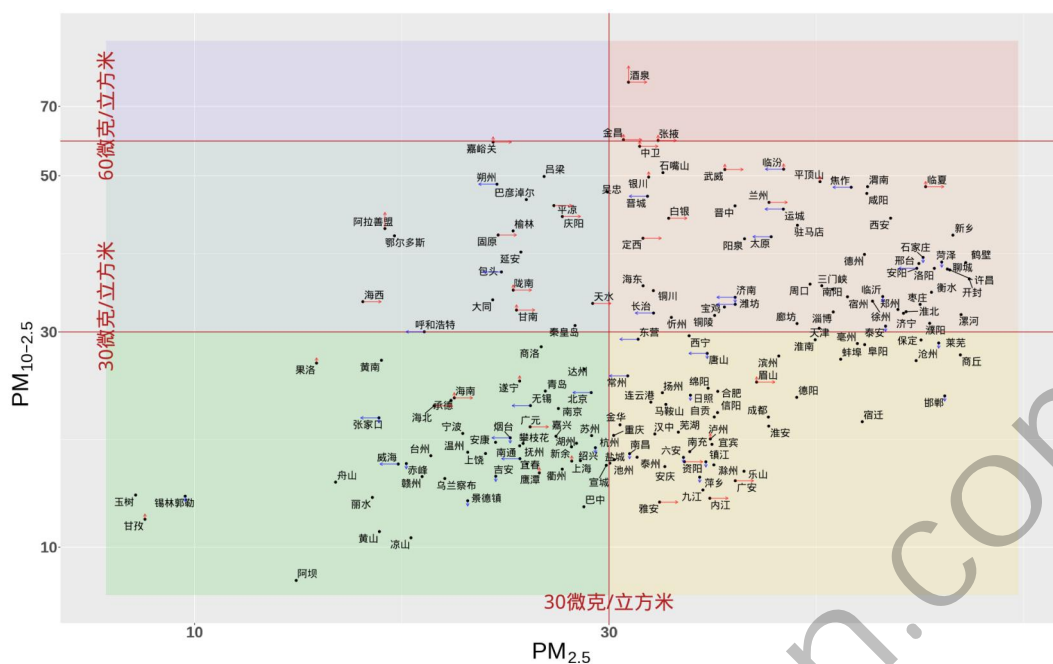


图 66: “4+173”城市 2025 年 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10-2.5}$ 的监视坐标图, 其中横向 (纵向) 蓝色箭头表示该城市过去六年 (相比 2019 年) $PM_{2.5}$ ($PM_{10-2.5}$) 降幅大于城市均值 + 标准差, 横向 (纵向) 红色箭头表示该城市过去六年 (相比 2019 年) $PM_{2.5}$ ($PM_{10-2.5}$) 降幅小于城市均值-标准差

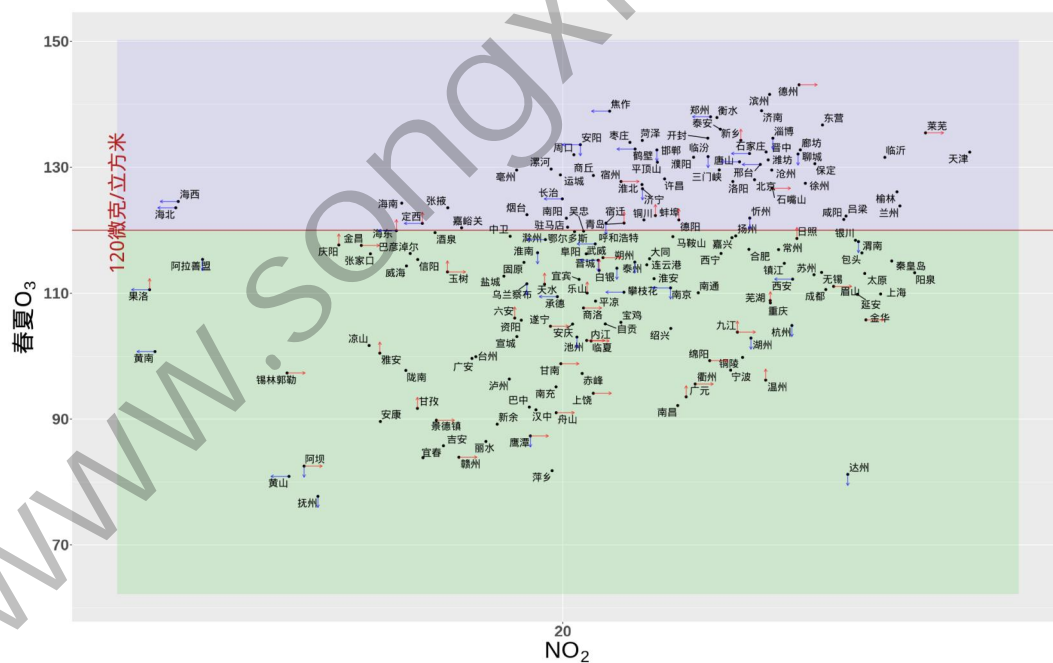


图 67: “4+173”城市 2025 年 NO_2 和春夏 O_3 的监视坐标图, 其中横向 (纵向) 蓝色箭头表示该城市过去六年 (相比 2019 年) NO_2 (春夏 O_3) 降幅大于城市均值 + 标准差, 横向 (纵向) 红色箭头表示该城市过去六年 (相比 2019 年) SO_2 (CO) 降幅小于城市均值-标准差

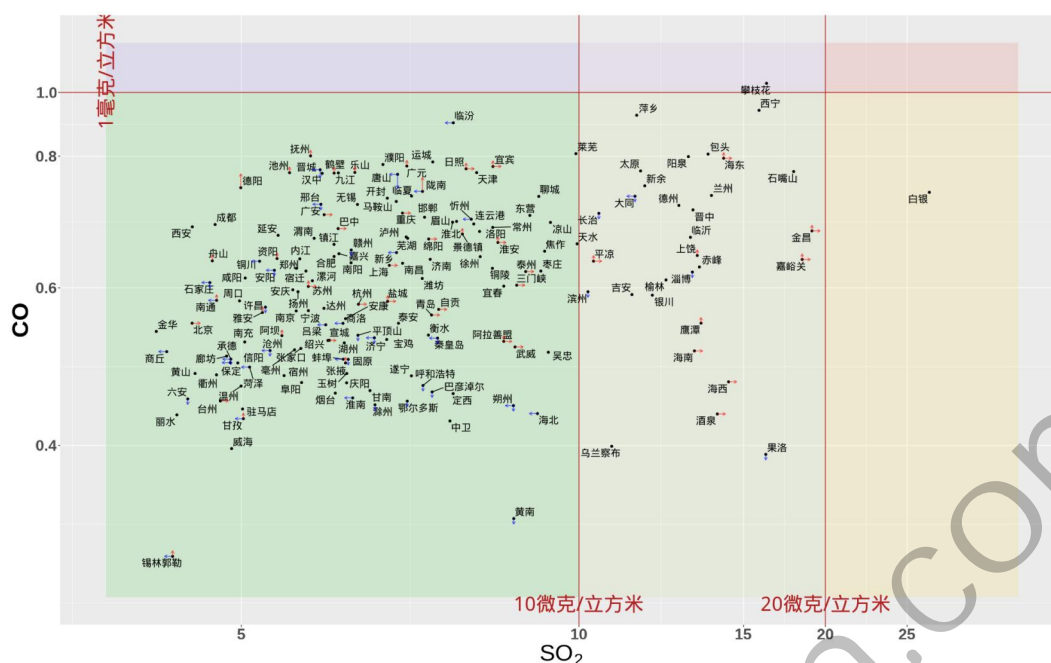


图 68: “4+173”城市 2025 年 SO_2 和 CO 的监视坐标图, 其中横向(纵向)蓝色箭头表示该城市过去六年(相比 2019 年) SO_2 (CO) 降幅大于城市均值 + 标准差, 横向(纵向)红色箭头表示该城市过去六年(相比 2019 年) SO_2 (CO) 降幅小于城市均值-标准差

年降幅均值为 3.3%。有 13 个城市综合指数 5 年累计降幅为负, 说明相比 2020 年, 这些城市 2025 年的空气质量有所降低。其中, 舟山为重点区域城市。甘肃有 3 个以上城市空气污染综合水平回升, 提示相关地区在空气质量持续改善过程中仍需关注污染反弹风险, 加强重点污染物的协同控制。

重点区域中, 从 5 年累计降幅来看: 汾渭平原平均综合指数降幅最大 (21.9%)。13 个城市中, 有 11 个 (84.6%) 城市进入前 1/3 排名, 晋城、长治改善幅度相对较大; 其余 2 个城市 (晋中、宝鸡) 位于中间 1/3。其次是京津冀“2+36”城市, 平均综合指数降幅为 19.7%。39 个城市 (含莱芜) 中, 有 24 个 (61.5%) 城市进入前 1/3 排名, 唐山、安阳改善幅度相对较大; 13 个 (33.3%) 城市位于中间 1/3, 日照、德州综合改善相对滞后。长三角地区平均综合指数降幅相对较低 (12.1%)。31 个城市中, 仅 4 个 (12.9%) 城市进入前 1/3 排名; 淮南、六安改善幅度相对较大, 舟山、上海、盐城综合改善相对滞后。从 1 年累计降幅来看, 汾渭平原平均综合指数降幅最大 (7.6%), 其次是长三角地区, 平均综合指数降幅为 4.5%, 京津冀“2+36”城市平均综合指数降幅相对较低 (4.1%)。京津冀“2+36”城市有 15 个 (38.5%) 城市进入前 1/3 排名, 12 个 (30.8%) 城市位于中间 1/3; 平顶山、周口改善幅度相对较大, 衡水、开封、邢台综合改善相对滞后。汾渭平原原有 8 个 (61.5%) 城市进入前 1/3 排名, 4 个 (30.8%) 城市位于中间 1/3; 13 个城市中, 晋城、铜川改善幅度相对较大, 西安综合改善相对滞后。长三角地区前 1/3 和中间 1/3 城市合计 24 个 (77.4%); 31 个城市中, 六安、淮南改善幅度相对较大, 嘉兴、舟山、淮北综合改善相对滞后。

图 70 展示了 2025 年“4+173”城市六类污染物浓度较 2020 年及 2024 年的降幅分布特征。总体来看, 相比 2020 年, 六类污染物均在半数以上城市呈现下降趋势, 但不同污染物改善幅度存在显著差异。

其中,臭氧(春夏)降幅整体较为有限,变化率主要集中在下降 0-10% 区间;PM_{2.5}、PM₁₀ 及一氧化碳的降幅相对居中,集中于下降 10-20%;而二氧化氮和二氧化硫降幅最为显著,多数城市分布在下降 30% 及以上区间,反映出一次污染物在“十四五”期间持续深度减排的成效。

从年度变化看,相比 2024 年,2025 年六类污染物在多数城市仍延续下降趋势,各污染物降幅均集中在下降 0-10% 区间。约 1/3 的城市 PM_{2.5}、PM₁₀ 及一氧化碳小幅上升,约 1/5 的城市春夏臭氧和二氧化氮小幅上升。二氧化硫降幅的城市差异较大,反映当前不同城市在能源结构、工业治理上的进展并不均衡。在二氧化硫浓度已处于低水平的城市,进一步减排的空间收窄、成本上升;若前期治理措施与地方实际脱节、可持续性不足,则后期易面临浓度反弹风险。而起点较高的城市仍可通过常规治理措施实现继续改善。这种差异提示,未来政策需更加注重区域差异化管控。

为了方便各级部门了解 2025 年的六种污染物情况,同时考虑过去六年的浓度变化(“人努力”)情况,找到每个城市突出的污染问题,我们绘制了六种污染物气象调整后的浓度的监视坐标图(图 66、67 和 68)。为了剔除 PM₁₀ 中 PM_{2.5} 的部分,我们将 PM₁₀ 替换成了 PM_{10-2.5}。我们将六种污染物分成三对给出监视坐标图,同时结合污染物浓度的国家标准限值划分象限,用于区分污染物浓度是否处于偏高状态。每个图中右上象限指两种污染物均过高,左上和右下象限表示一种污染物过高,左下象限的城市情况相对较好,图中箭头代表过去六年某污染物已有显著下降或上升(降幅在全部城市降幅均值的一个标准差区间范围之外)。

表 7: 2020(2024)—2025 年六种污染物气象调整后浓度综合改善情况城市排名表

1. 括号外为 2020 年到 2025 年经气象调整后的空气质量综合指数 5 年累计降幅,括号内为 2024 年到 2025 年经气象调整后的空气质量综合指数一年降幅。2. 红、橙、紫色底纹分别标记京津冀及周边“2+36”城市、汾渭平原和长三角地区

序号	城市	降幅百分比	序号	城市	降幅百分比	序号	城市	降幅百分比
1	唐山	33.5(6.7)	61	赤峰	17.8(6)	121	吴忠	11.1(7.3)
2	晋城	31.1(15.1)	62	自贡	17.8(1.8)	122	德州	10.9(2.3)
3	安阳	30.9(10.3)	63	宜宾	17.6(-0.7)	123	延安	10.9(4.4)
4	承德	29.8(13.4)	64	蚌埠	17.5(5.3)	124	合肥	10.7(4.4)
5	大同	28.7(7.1)	65	莱芜	17.5(2.4)	125	淮北	10.7(-0.8)
6	长治	28.4(7.9)	66	锡林郭勒	17.4(16.1)	126	庆阳	10.7(-0.6)
7	朔州	28.3(14)	67	晋中	17.3(5.4)	127	日照	10.7(0.3)
8	汉中	27.6(15.3)	68	丽水	17.2(6.6)	128	遂宁	10.6(2.4)
9	邯郸	27.3(-0.6)	69	常州	17.1(4)	129	内江	10.5(3.5)
10	济南	26.6(6.9)	70	鹰潭	17.1(-3.3)	130	芜湖	10.4(7.7)
11	淄博	26.1(9.2)	71	聊城	16.8(4.5)	131	中卫	10.1(2.2)
12	太原	26(4.9)	72	安康	16.7(8.1)	132	镇江	10(1.4)
13	菏泽	25.8(6.5)	73	衡水	16.7(-4.7)	133	商洛	9.7(3.6)

序号	城市	降幅百分比	序号	城市	降幅百分比	序号	城市	降幅百分比
14	呼和浩特	25(4)	74	平顶山	16.6(11.9)	134	台州	9.7(8.4)
15	张家口	25(-2)	75	宝鸡	16(10.2)	135	宁波	9.3(7.5)
16	新余	24.8(6.6)	76	上饶	16(-2.5)	136	资阳	9.3(5.2)
17	石家庄	24.7(0.8)	77	沧州	15.9(1.2)	137	白银	8.7(3.6)
18	赣州	24.5(2.3)	78	南昌	15.9(5.8)	138	乐山	8.7(-5.5)
19	焦作	24(6.5)	79	徐州	15.9(5.8)	139	泰州	8.7(4)
20	邢台	23.9(-1.7)	80	漯河	15.8(9.9)	140	阿坝	8.5(-9.6)
21	滨州	23.8(6.2)	81	亳州	15.4(5.5)	141	兰州	8.2(0.9)
22	吕梁	23.8(4.2)	82	无锡	15.4(2.7)	142	绍兴	8.1(7.6)
23	济宁	23.4(7.6)	83	威海	15.2(6.4)	143	苏州	8(4.3)
24	攀枝花	23.3(3)	84	景德镇	15.1(-9.7)	144	凉山	7.8(-4.3)
25	宜春	23.3(7.5)	85	南通	15.1(2.2)	145	榆林	7.8(0.5)
26	烟台	23.1(4.8)	86	黄南	15(8.1)	146	淮安	7.6(4.3)
27	淮南	22.9(11.9)	87	洛阳	15(3.6)	147	银川	7.6(8)
28	泰安	22.9(7.4)	88	保定	14.9(0.2)	148	嘉兴	7.3(-3)
29	六安	22.8(13.8)	89	温州	14.7(5.9)	149	金华	7(4.3)
30	萍乡	22.6(-0.2)	90	青岛	14.4(5.7)	150	广元	6.8(-7.5)
31	运城	22.5(7.6)	91	阜阳	14.3(11.2)	151	德阳	6.7(-13.3)
32	枣庄	22.3(5.6)	92	北京	14.2(2.6)	152	果洛	6.6(-10.2)
33	忻州	21.8(6.9)	93	抚州	14.2(5.1)	153	固原	6.1(-6.1)
34	郑州	21.8(4.9)	94	重庆	14.1(6.7)	154	甘孜	5.7(-5.7)
35	秦皇岛	21.7(2.4)	95	开封	13.9(-2.3)	155	衢州	5.7(6.1)
36	达州	21.5(8)	96	南充	13.9(4.9)	156	绵阳	4.9(-6.1)
37	黄山	20.7(7.8)	97	石嘴山	13.9(2.7)	157	巴中	4.8(3.6)
38	南京	20.7(5.7)	98	三门峡	13.7(3.2)	158	广安	4.8(6.4)
39	包头	20.6(5.9)	99	宣城	13.7(5.4)	159	陇南	4.3(-5.4)
40	滁州	20.6(9.2)	100	扬州	13.7(6.4)	160	盐城	4(1.7)
41	南阳	20.6(8.3)	101	巴彦淖尔	13.6(11.2)	161	阿拉善盟	2.5(-3.6)
42	鹤壁	20.4(3)	102	泸州	13.5(4.7)	162	上海	2.5(1.6)
43	阳泉	20.4(4.7)	103	海北	13.4(1.2)	163	定西	1.1(0)
44	周口	20.3(11)	104	西宁	13.4(1.9)	164	雅安	0.3(-7.4)
45	临汾	20.2(6.1)	105	九江	13.3(5)	165	天水	-0.9(-3.2)
46	潍坊	20.2(2.7)	106	廊坊	13.3(2.7)	166	海南	-1.7(-7.3)

序号	城市	降幅百分比	序号	城市	降幅百分比	序号	城市	降幅百分比
47	西安	20.2(1.1)	107	玉树	13.2(10.9)	167	张掖	-2.1(0.8)
48	渭南	19.9(6.7)	108	成都	12.9(-13)	168	眉山	-2.5(-9.2)
49	铜川	19.7(12.2)	109	海东	12.6(-4.7)	169	舟山	-5(-2.4)
50	东营	19.4(0.7)	110	杭州	12.6(4.5)	170	海西	-5.9(-7.6)
51	咸阳	19.3(12.1)	111	天津	12.6(0.7)	171	武威	-6.3(-10.4)
52	乌兰察布	19.2(0.2)	112	池州	12.4(3.2)	172	嘉峪关	-6.7(-3.1)
53	许昌	19.2(9.2)	113	湖州	12.4(4.2)	173	平凉	-7.3(2.7)
54	吉安	18.7(12.6)	114	连云港	12.4(-0.5)	174	甘南	-7.6(-7.6)
55	新乡	18.7(6)	115	铜陵	12.3(3.7)	175	酒泉	-11.2(-9.9)
56	临沂	18.4(-1.1)	116	安庆	12.1(11.3)	176	临夏	-18.2(-18)
57	商丘	18.4(10.7)	117	驻马店	12.1(12)	177	金昌	-23.2(-0.9)
58	鄂尔多斯	18.3(9)	118	宿迁	11.9(0.4)			
59	濮阳	18(1.3)	119	马鞍山	11.3(5)	平均	降幅	14.1(3.3)
60	信阳	17.9(10.2)	120	宿州	11.3(5.4)			

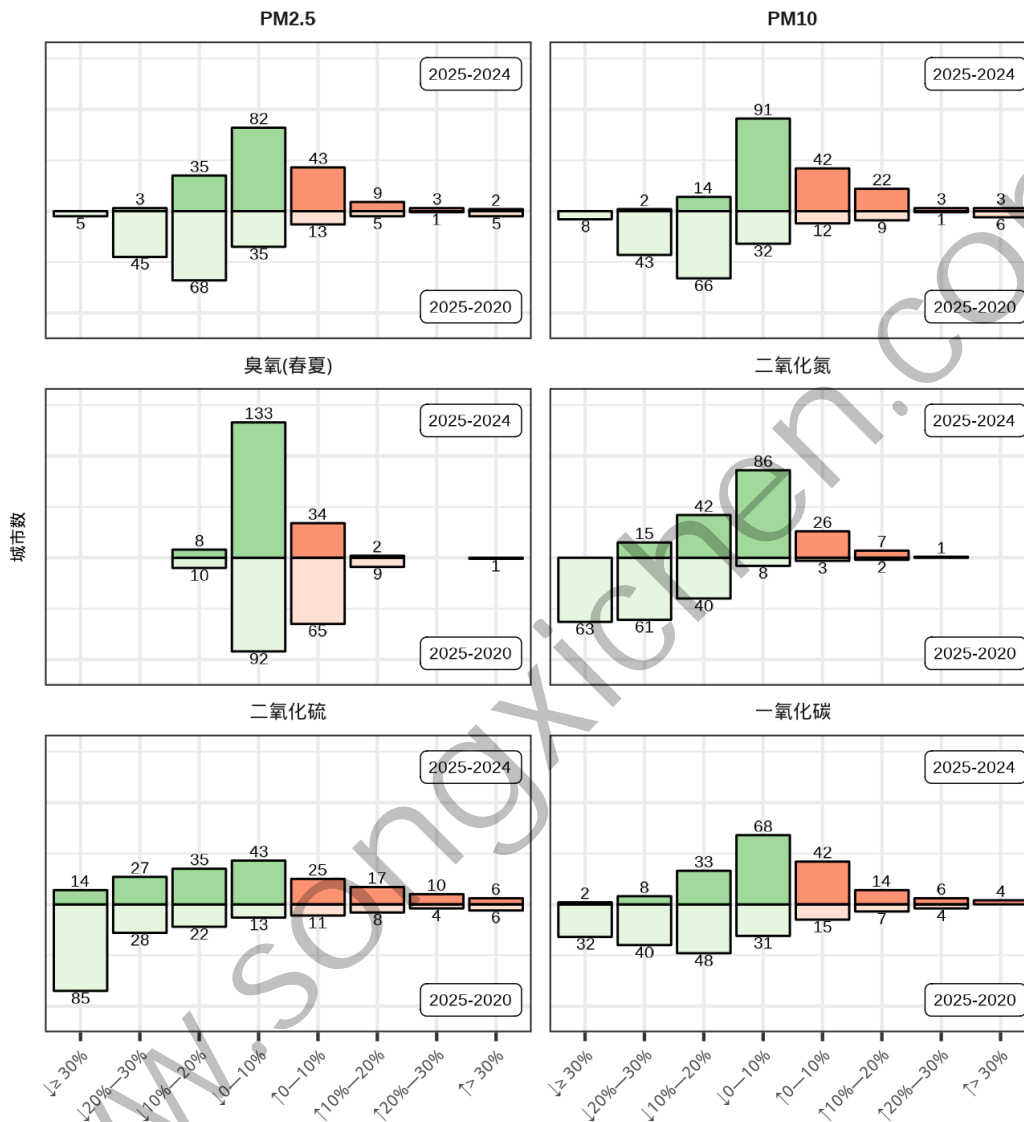


图 70: 2025 年“4+173”城市六类污染物浓度较 2020 年（浅色柱体）和 2024 年（深色柱体）降幅分组统计频率直方图。横坐标为 2025 年较 2020 年（2024 年）污染物浓度降幅（%）区间上下限，各面板坐标刻度一致。图中绿色柱体标记浓度下降，橘红色柱体标记浓度上升

5 人努力-天帮忙指数

不同于常用的基于原始污染物浓度计算年际变化率的方法，本报告通过结合原始污染物浓度与气象调整后的污染物浓度，计算“人努力—天帮忙”指数。两年的污染物浓度变化由两方面因素决定：该年度与上一年度的气象条件变化（所谓“天帮忙”或“天不帮忙”，即气象干扰）；该年度与上一年度的背景浓度变化（所谓“人努力”或“人不努力”，即排放水平）。我们基于原始浓度与气象调整后浓度，分解原始浓度年际变化率，分别度量气象影响与排放水平变化对原始浓度变化的贡献。

以 $PM_{2.5}$ 为例，我们用 x_1 、 \tilde{x}_1 、 x_2 、 \tilde{x}_2 分别代表 $PM_{2.5}$ 上一年某季节原始浓度、上一年度某季节调整后浓度、本年同一季节原始浓度、本年同一季节调整后浓度，对 $PM_{2.5}$ 浓度该季节原始浓度年际变化率 $\frac{x_2-x_1}{x_1}$ 做如下分解：

$$\frac{x_2 - x_1}{x_1} = \frac{x_2 - \tilde{x}_2}{x_1} + \frac{\tilde{x}_2 - \tilde{x}_1}{x_1} + \frac{\tilde{x}_1 - x_1}{x_1} \quad (1)$$

其中， $\frac{x_2-\tilde{x}_2}{x_1}$ 反映本年该季节气象因素对原始浓度变化比率的影响， $\frac{\tilde{x}_1-x_1}{x_1}$ 反映上一年该季节气象因素影响，而 $\frac{\tilde{x}_2-\tilde{x}_1}{x_1}$ 则衡量了两年间人为排放水平变化的贡献。与以前的报告不同，我们基于此式构建本年该季节“天帮忙”指数 $(\frac{x_2-\tilde{x}_2}{x_1} + \frac{\tilde{x}_1-x_1}{x_1})x100\%$ ，以表示本年该季度气象条件相对于去年该季度气象条件发生的变化。正值表示本年气象条件更不利，即“天不帮忙”，负值表示本年气象条件更有利，即“天帮忙”；“人努力”指数和以前相同，为 $\frac{\tilde{x}_2-\tilde{x}_1}{x_1}x100\%$ ，正值代表背景浓度上升，即“人不努力”，负值代表背景浓度下降，即“人努力”。

5.1 $PM_{2.5}$ 的“人努力-天帮忙”情况

图 71和图 72分别展示了“4+173”城市 2025 年和 2024 年 $PM_{2.5}$ “人努力”和“天帮忙”指数地图。综合来看，气象与排放对污染的贡献比例存在季节差异性。从“人努力”指数地图可以看出，2025 年仅夏、冬季减排情况较好。从“天帮忙”指数地图可以看出，春、夏、秋季多数城市气象扩散条件较为有利。结合实际观测浓度来看，春、夏、秋、冬季分别有 53、11、44、14 个城市在“天帮忙”的前提下仍然观测到 $PM_{2.5}$ 浓度上升，可推断污染主要由排放驱动。以下省份（城市）多季节发生上述排放驱动型污染：四川（凉山、德阳）、青海（海北、海西）、甘肃（甘南）。

5.1.1 2025 年 $PM_{2.5}$ 的“人努力”情况

图 71和图 72左侧图表展示了“4+173”城市 2025 年和 2024 年各季节 $PM_{2.5}$ “人努力”的情况，即调整气象后，由排放变化带来的污染物平均浓度变化率。

春季“人努力”城市共有 52 个，占比 29.4%，比 2024 年同期减少 59 个；表现较为突出的省市（括号内标注“人努力”城市数/总城市数）依次为天津、山西（9/11）、山东（10/17）、河南（10/17）、内蒙古（3/8）、河北（4/11）、江西（3/11）、浙江（3/11）、宁夏（1/5）、江苏（2/13）、四川（3/21）、安徽（2/16）、甘肃（1/14）。北京、上海、重庆、陕西、青海春季整体排放水平上升。春季“人努力”城市中，有 29 个城市已连续两年春季排放贡献下降，主要位于山东（7 市）、山西（6 市）、江西（3 市）。春季“人不努力”城市中，有 43 个城市已连续两年春季排放贡献上升，**安徽（10 市）、甘肃（10 市）、四川（5 市）**为连续两

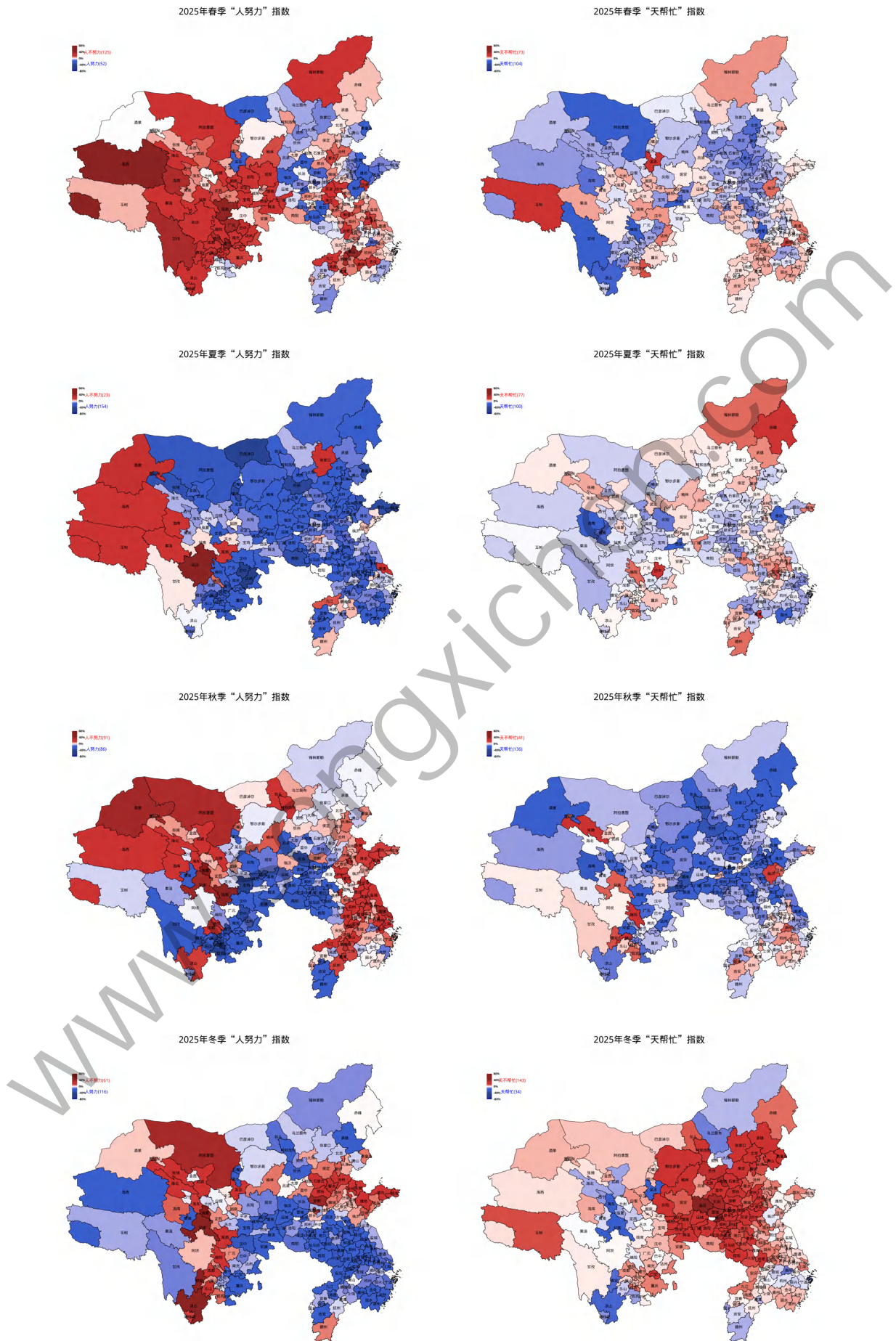


图 71: “4+173”城市 2025 年各季节 PM_{2.5} “人努力”和“天帮忙”指数地图, 左(右)侧蓝色表示“人努力(天帮忙)”, 左(右)侧红色表示“人不努力(天不帮忙)”

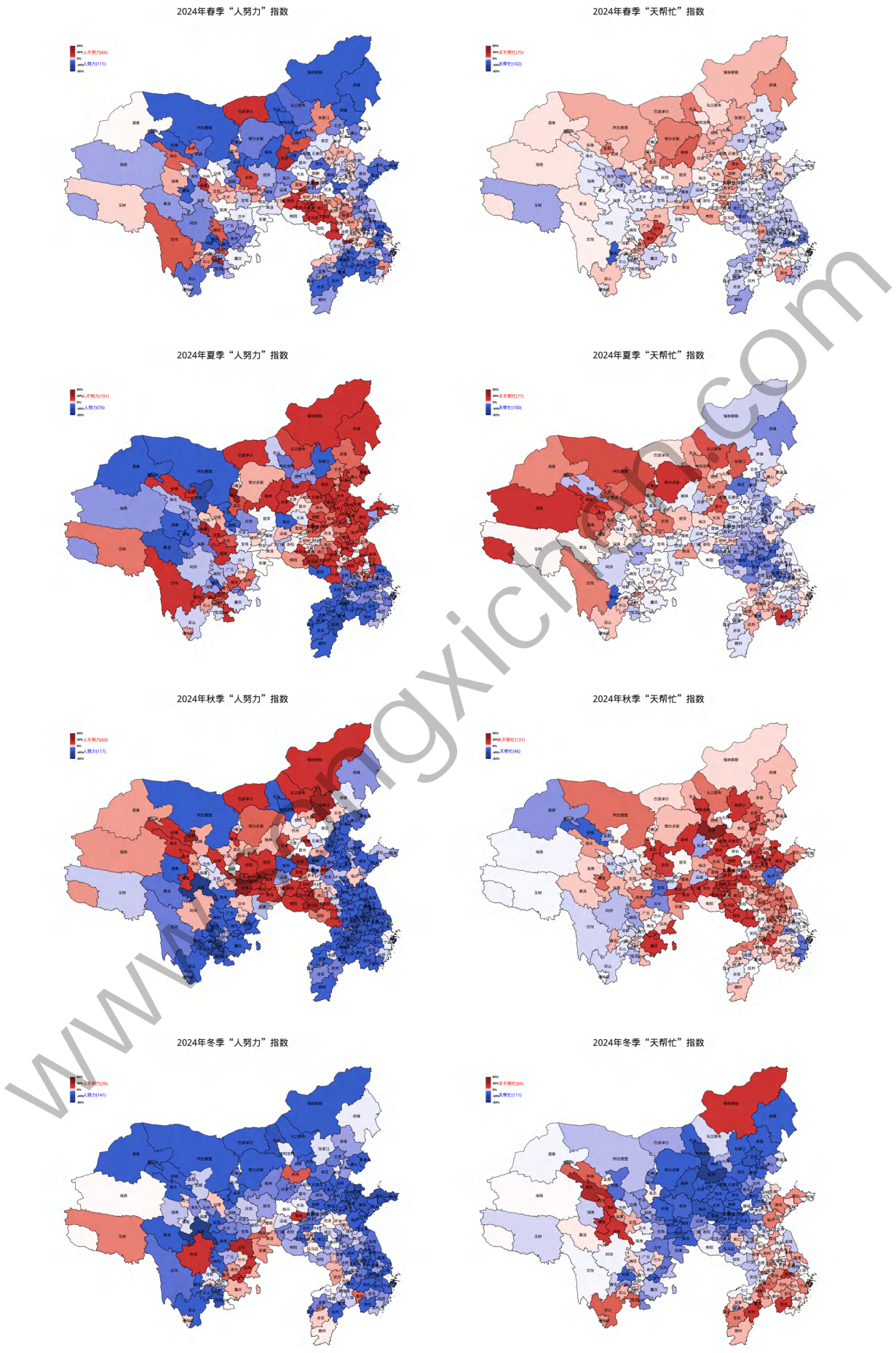


图 72: “4+173”城市 2024 年各季节 PM_{2.5} “人努力”和“天帮忙”指数地图, 左(右)侧蓝色表示“人努力(天帮忙)”, 左(右)侧红色表示“人不努力(天不帮忙)”

年排放贡献上升城市分布最集中的省份，需重点关注。

夏季“人努力”城市共有 154 个，占比 87.0%，比 2024 年同期增加 78 个；表现较为突出的省市依次为上海、北京、天津、重庆、内蒙古 (8/8)、安徽 (16/16)、山西 (11/11)、陕西 (10/10)、河南 (16/17)、河北 (10/11)、浙江 (10/11)、山东 (15/17)、四川 (18/21)、江苏 (11/13)、宁夏 (4/5)、甘肃 (10/14)、江西 (7/11)、青海 (4/8)。夏季“人努力”城市中，有 58 个城市已连续两年夏季排放贡献下降，主要位于浙江 (10 市)、安徽 (7 市)、江西 (7 市)。夏季“人不努力”城市中，日照、甘孜、天水、陇南、玉树已连续两年夏季排放贡献上升。

秋季“人努力”城市共有 86 个，占比 48.6%，比 2024 年同期减少 31 个；表现较为突出的省市依次为重庆、河南 (17/17)、陕西 (9/10)、山西 (9/11)、四川 (17/21)、宁夏 (3/5)、河北 (6/11)、青海 (4/8)、内蒙古 (3/8)、江西 (4/11)、浙江 (4/11)、甘肃 (3/14)、安徽 (3/16)、山东 (3/17)。北京、天津、上海、江苏秋季整体排放水平上升。秋季“人努力”城市中，有 42 个城市已连续两年秋季排放贡献下降，主要位于四川 (15 市)、江西 (4 市)、河北 (4 市)。秋季“人不努力”城市中，有 16 个城市已连续两年秋季排放贡献上升，甘肃 (6 市)、青海 (3 市)、内蒙古 (2 市) 为连续两年排放贡献上升城市分布最集中的省份，需重点关注。

冬季“人努力”城市共有 116 个，占比 65.5%，比 2024 年同期减少 25 个；表现较为突出的省市依次为上海、北京、重庆、安徽 (16/16)、江苏 (13/13)、江西 (10/11)、浙江 (10/11)、陕西 (9/10)、河南 (14/17)、内蒙古 (6/8)、青海 (5/8)、山西 (6/11)、四川 (10/21)、甘肃 (6/14)、宁夏 (2/5)、河北 (3/11)、山东 (3/17)。天津冬季排放水平上升。冬季“人努力”城市中，有 84 个城市已连续两年冬季排放贡献下降，主要位于安徽 (13 市)、江苏 (13 市)、河南 (10 市)。冬季“人不努力”城市中，赣州、攀枝花、眉山、阿坝已连续两年冬季排放贡献上升。

5.1.2 2025 年 PM_{2.5} 的“天帮忙”情况

图 71 和图 72 右侧图表展示了“4+173”城市 2025 年和 2024 年各季节 PM_{2.5} “天帮忙”的情况，即每季度气象条件相对于去年同期气象条件发生变化带来的污染物平均浓度变化率。

春季“天帮忙”城市共有 104 个，占比 58.8%，比 2024 年同期增加 2 个；整体气象较为有利的省市依次为北京、天津、河北 (9/11)、山东 (13/17)、四川 (16/21)、内蒙古 (6/8)、山西 (8/11)、河南 (11/17)、安徽 (10/16)、甘肃 (8/14)、江苏 (7/13)、陕西 (5/10)、宁夏 (2/5)、青海 (3/8)、浙江 (4/11)。上海、江西、重庆春季整体气象条件较为不利。春季“天帮忙”城市中，有 48 个城市连续两年春季气象条件均有利于扩散，主要位于安徽 (9 市)、山东 (8 市)、江苏 (6 市)。

夏季“天帮忙”城市共有 100 个，占比 56.5%，与 2024 年同期持平；整体气象较为有利的省市依次为上海、天津、浙江 (11/11)、河南 (15/17)、青海 (7/8)、宁夏 (4/5)、甘肃 (8/14)、山西 (6/11)、河北 (6/11)、山东 (9/17)、四川 (11/21)、陕西 (5/10)、江西 (5/11)、内蒙古 (3/8)、江苏 (4/13)、安徽 (4/16)。北京、重庆夏季气象条件较为不利。夏季“天帮忙”城市中，有 44 个城市连续两年夏季气象条件均有利于扩散，主要位于河南 (10 市)、山东 (8 市)、四川 (5 市)。

秋季“天帮忙”城市共有 136 个，占比 76.8%，比 2024 年同期增加 90 个；整体气象较为有利的省市依次为上海、北京、天津、重庆、内蒙古 (8/8)、宁夏 (5/5)、山西 (11/11)、河北 (11/11)、陕西 (9/10)、

河南 (15/17)、青海 (7/8)、安徽 (13/16)、山东 (13/17)、江苏 (9/13)、甘肃 (9/14)、四川 (13/21)、江西 (5/11)、浙江 (4/11)。秋季“天帮忙”城市中,有 27 个城市连续两年秋季气象条件均有利于扩散,主要位于四川 (6 市)、甘肃 (4 市)、安徽 (3 市)。

冬季“天帮忙”城市共有 34 个,占比 19.2%,比 2024 年同期减少 77 个;整体气象较为有利的省市依次为青海 (5/8)、浙江 (5/11)、甘肃 (6/14)、江西 (4/11)、四川 (6/21)、内蒙古 (2/8)、宁夏 (1/5)、安徽 (2/16)、山西 (1/11)、江苏 (1/13)、山东 (1/17)。北京、天津、河北、上海、河南、重庆、陕西冬季整体气象条件较为不利。冬季“天帮忙”城市中,有 6 个城市连续两年冬季气象条件均有利于扩散,主要位于甘肃 (3 市)、内蒙古 (1 市)、四川 (1 市)。

5.2 O₃ 的“人努力-天帮忙”情况

图 73和图 74分别展示了“4+173”城市 2025 年和 2024 年 O₃“人努力”和“天帮忙”指数地图。综合来看,气象与排放对污染浓度变化的贡献方向一致性较高。从“人努力”指数地图可以看出,2025 年 O₃ 减排情况较好,多数城市排放量减少带来浓度下降。从“天帮忙”指数地图可以看出,夏、秋、冬季多数城市的气象扩散条件较好。结合实际观测浓度来看,春、夏、秋、冬季分别有 17、10、5、20 个城市在“天帮忙”的前提下仍然观测到 O₃ 浓度上升,可推断污染主要由排放驱动。以下省份(城市)多季节发生上述排放驱动型污染:甘肃(天水、定西)。

5.2.1 2025 年 O₃ 的“人努力”情况

图 73和图 74左侧图表展示了“4+173”城市 2025 年和 2024 年各季节 O₃“人努力”的情况,即调整气象后,由排放变化带来的污染物平均浓度变化率。

春季“人努力”城市共有 89 个,占比 50.3%,比 2024 年同期增加 25 个;表现较为突出的省市依次为山西 (11/11)、青海 (7/8)、宁夏 (4/5)、山东 (11/17)、甘肃 (9/14)、内蒙古 (5/8)、江西 (6/11)、河南 (9/17)、四川 (9/21)、陕西 (4/10)、浙江 (4/11)、河北 (3/11)、安徽 (4/16)、江苏 (3/13)。北京、天津、上海、重庆春季排放水平上升。春季“人努力”城市中,有 22 个城市已连续两年春季排放贡献下降,主要位于四川 (5 市)、山东 (4 市)、甘肃 (4 市)。春季“人不努力”城市中,有 46 个城市已连续两年春季排放贡献上升,安徽 (10 市)、河南 (8 市)、浙江 (5 市)为连续两年排放贡献上升城市分布最集中的省份,需重点关注。

夏季“人努力”城市共有 155 个,占比 87.6%,比 2024 年同期增加 67 个;表现较为突出的省市依次为北京、天津、内蒙古 (8/8)、宁夏 (5/5)、安徽 (16/16)、山西 (11/11)、江苏 (13/13)、河南 (17/17)、浙江 (11/11)、陕西 (10/10)、河北 (10/11)、山东 (15/17)、四川 (16/21)、青海 (6/8)、甘肃 (9/14)、江西 (6/11)。上海、重庆夏季排放水平上升。夏季“人努力”城市中,有 73 个城市已连续两年夏季排放贡献下降,主要位于河南 (12 市)、四川 (11 市)、陕西 (8 市)。夏季“人不努力”城市中,有 7 个城市已连续两年夏季排放贡献上升,四川 (2 市)、甘肃 (2 市)、青海 (2 市)为连续两年排放贡献上升城市分布最集中的省份,需重点关注。

秋季“人努力”城市共有 158 个,占比 89.3%,比 2024 年同期增加 102 个;表现较为突出的省市依

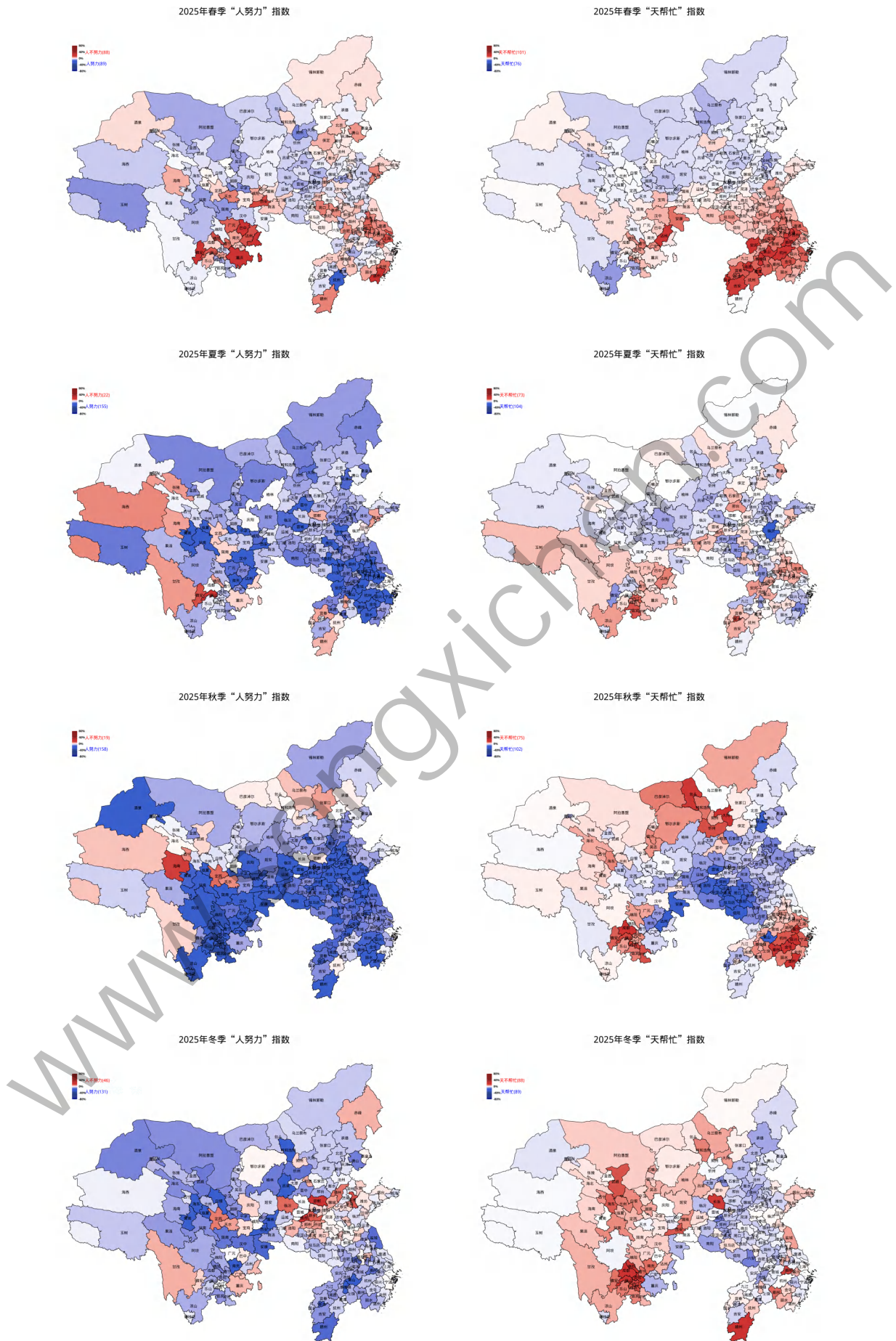


图 73: “4+173”城市 2025 年各季节 O₃ “人努力”和“天帮忙”指数地图, 左(右)侧蓝色表示“人努力(天帮忙)”, 左(右)侧红色表示“人不努力(天不帮忙)”

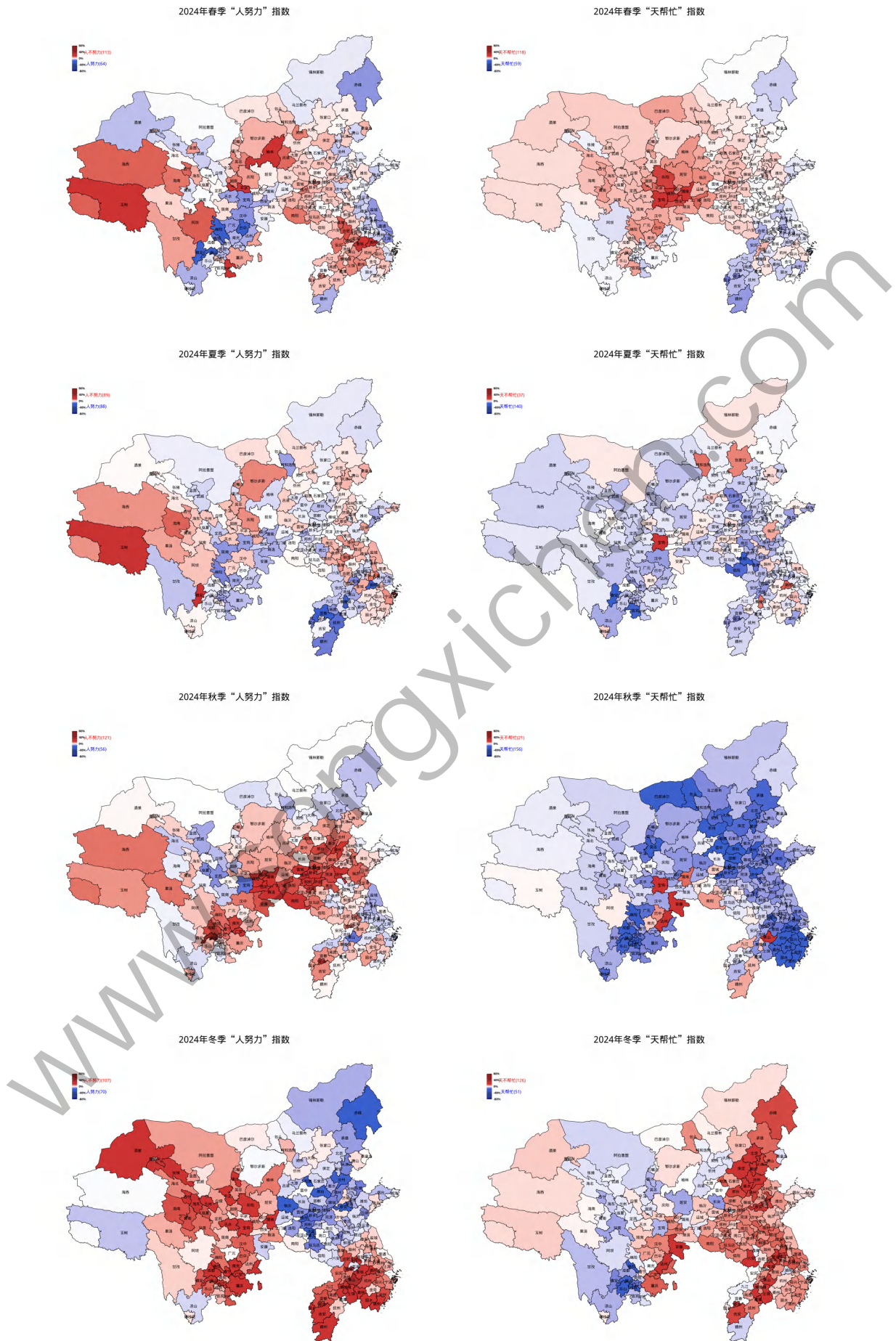


图 74: “4+173”城市 2024 年各季节 O₃ “人努力”和“天帮忙”指数地图, 左(右)侧蓝色表示“人努力(天帮忙)”, 左(右)侧红色表示“人不努力(天不帮忙)”

次为上海、北京、天津、重庆、安徽 (16/16)、山东 (17/17)、江苏 (13/13)、河南 (17/17)、陕西 (10/10)、四川 (20/21)、山西 (10/11)、江西 (10/11)、浙江 (10/11)、宁夏 (4/5)、甘肃 (11/14)、河北 (8/11)、内蒙古 (4/8)、青海 (4/8)。秋季“人努力”城市中，有 43 个城市已连续两年秋季排放贡献下降，主要位于江苏 (9 市)、甘肃 (6 市)、安徽 (5 市)。秋季“人不努力”城市中，有 6 个城市已连续两年秋季排放贡献上升，**青海 (2 市)、内蒙古 (1 市)、江西 (1 市)** 为连续两年排放贡献上升城市分布最集中的省份，需重点关注。

冬季“人努力”城市共有 131 个，占比 74.0%，比 2024 年同期增加 61 个；表现较为突出的省市依次为上海、北京、天津、宁夏 (5/5)、江西 (11/11)、青海 (8/8)、浙江 (10/11)、河北 (9/11)、安徽 (13/16)、四川 (17/21)、陕西 (8/10)、甘肃 (11/14)、江苏 (10/13)、内蒙古 (6/8)、山西 (8/11)、山东 (6/17)、河南 (6/17)。重庆冬季排放水平上升。冬季“人努力”城市中，有 37 个城市已连续两年冬季排放贡献下降，主要位于河北 (7 市)、山西 (6 市)、河南 (5 市)。冬季“人不努力”城市中，有 13 个城市已连续两年冬季排放贡献上升，**四川 (4 市)、甘肃 (3 市)、陕西 (2 市)** 为连续两年排放贡献上升城市分布最集中的省份，需重点关注。

5.2.2 2025 年 O₃ 的“天帮忙”情况

图 73 和图 74 右侧图表展示了“4+173”城市 2025 年和 2024 年各季节 O₃ “天帮忙”的情况，即每季度气象条件相对于去年同期气象条件发生变化带来的污染物平均浓度变化率。

春季“天帮忙”城市共有 76 个，占比 42.9%，比 2024 年同期增加 17 个；整体气象较为有利的省市依次为北京、天津、内蒙古 (8/8)、河北 (11/11)、山西 (9/11)、宁夏 (4/5)、青海 (6/8)、甘肃 (10/14)、山东 (9/17)、陕西 (4/10)、四川 (7/21)、河南 (5/17)、江西 (1/11)。上海、江苏、浙江、安徽、重庆春季整体气象条件较为不利。春季“天帮忙”城市中，有 12 个城市连续两年春季气象条件均有利于扩散，主要位于四川 (3 市)、河北 (3 市)、内蒙古 (2 市)。

夏季“天帮忙”城市共有 104 个，占比 58.8%，比 2024 年同期减少 36 个；整体气象较为有利的省市依次为上海、北京、甘肃 (13/14)、山西 (10/11)、山东 (14/17)、浙江 (9/11)、宁夏 (4/5)、陕西 (7/10)、河南 (11/17)、青海 (5/8)、安徽 (9/16)、河北 (6/11)、内蒙古 (4/8)、江西 (4/11)、四川 (4/21)、江苏 (2/13)。天津、重庆夏季气象条件较为不利。夏季“天帮忙”城市中，有 71 个城市连续两年夏季气象条件均有利于扩散，主要位于甘肃 (13 市)、山东 (12 市)、安徽 (6 市)。

秋季“天帮忙”城市共有 102 个，占比 57.6%，比 2024 年同期减少 54 个；整体气象较为有利的省市依次为北京、天津、重庆、河南 (17/17)、山东 (16/17)、河北 (9/11)、陕西 (8/10)、安徽 (12/16)、甘肃 (10/14)、山西 (6/11)、江苏 (6/13)、江西 (5/11)、四川 (6/21)、内蒙古 (2/8)、宁夏 (1/5)、青海 (1/8)。上海、浙江秋季整体气象条件较为不利。秋季“天帮忙”城市中，有 85 个城市连续两年秋季气象条件均有利于扩散，主要位于山东 (16 市)、河南 (12 市)、安徽 (10 市)。

冬季“天帮忙”城市共有 89 个，占比 50.3%，比 2024 年同期增加 38 个；整体气象较为有利的省市依次为北京、天津、重庆、安徽 (15/16)、河北 (10/11)、河南 (13/17)、江苏 (9/13)、山东 (10/17)、山西 (6/11)、江西 (6/11)、陕西 (4/10)、浙江 (4/11)、青海 (2/8)、甘肃 (3/14)、四川 (3/21)、内蒙古 (1/8)。上海、宁夏冬季整体气象条件较为不利。冬季“天帮忙”城市中，秦皇岛、朔州、忻州、九江、阿坝近两

年冬季气象条件均有利于污染扩散，需警惕实际排放污染状况被低估的可能性。

6 主要结论与建议

综合前几章的结果，我们得到如下关于 18 省市（其中内蒙古不含赤峰、通辽、呼伦贝尔和兴安盟 4 市）空气质量的主要结论，并提出建议供有关部门参考。报告使用的评估周期为季节年（春季：3-5 月，夏季：6-8 月，秋季：9-11 月，冬季：12 月-次年 2 月），所有结果均经过气象调整和沙尘去除过程，从而剔除气象因素和沙尘的影响。

6.1 “十四五”空气质量显著改善，臭氧基本持平

“十四五”期间，我国大气污染防治工作取得阶段性成效。与“十四五”规划基准年 2020 年相比，2025 年“4+173”城市空气质量综合指数下降 14.1%。六类污染物中，一次污染物改善成效显著。二氧化氮、二氧化硫和一氧化碳 5 年累计降幅的城市均值（标准误差）分别达到 25.3%(0.9%)、24.6%(1.9%)、15.3%(1.2%)；相比之下，颗粒物类污染物降幅相对平缓。PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的城市平均降幅分别为 11.7%(1.1%) 和 11.2%(1.2%)。春夏臭氧浓度较“十四五”初期的城市平均降幅为 0.6%(0.5%)，在统计意义下变化不显著。

与“十三五”时期相比，“十四五”时期，“4+173”城市多数污染物保持下降态势，但污染改善的主次结构发生转变。“十三五”时期改善显著的二氧化硫、一氧化碳、PM_{2.5} 和 PM₁₀，在“十四五”期间的累计降幅较“十三五”减半，反映出边际治理难度持续上升。其中，二氧化硫“十三五”累计降幅达 57%，燃煤电力行业超低排放和节能改造基本完成后，“十四五”降幅收窄至 24.6%。与此同时，二氧化氮的降幅则由“十三五”的 11.5% 扩大至 25.3%，成为“十四五”时期改善最显著的污染物。臭氧方面，尽管“十四五”期间降幅不显著，但扭转了“十三五”期间累计上升 15.4% 的趋势，实现平均浓度与 2020 年基本持平。这一历史性转折主要得益于 2025 年臭氧浓度的大幅改善，其持续性有待观察；但 2025 年的治理成效为臭氧污染防治提供了可借鉴的经验，相关措施值得深入总结与推广。

图 75 展示了 2025 年相对 2020 年 14 省 4 市六类空气污染物年均浓度变化率（%）的省际对比。“十四五”期间，以山河四省为代表的传统重污染区域，形成了 SO₂、NO₂、CO 及颗粒物协同下降的综合减排格局；安徽、江西、内蒙古等空气污染相对较轻地区也实现较为均衡的改善，表明以细颗粒物为核心的多污染物协同控制策略具有广泛适用性。

相比之下，京津、川渝及江浙地区虽在 PM_{2.5} 控制方面取得一定进展，但 PM₁₀、SO₂ 及 NO₂ 的降幅相对有限，整体处于次级改善梯队，与周边同类型省份存在差距。甘肃、宁夏、青海等西北地区则出现 PM₁₀ 与臭氧同时反弹的现象，且 PM_{2.5} 改善效果不佳。从单项污染物看，NO₂ 作为《行动计划》中明确提出需重点推进减排的关键污染物，在各省（市）均呈显著下降态势，体现了政策的积极引导作用。

总体而言，传统高污染区域的污染物降幅相对更大，这既是空气污染健康负担减轻的积极信号，也表明了我国大气污染治理重点区域的攻坚成效。“十四五”期间，PM_{2.5} 及其前体物治理取得积极进展，需进一步向区域均衡与结构优化阶段过渡，补齐臭氧、区域性粗颗粒物污染的治理短板。

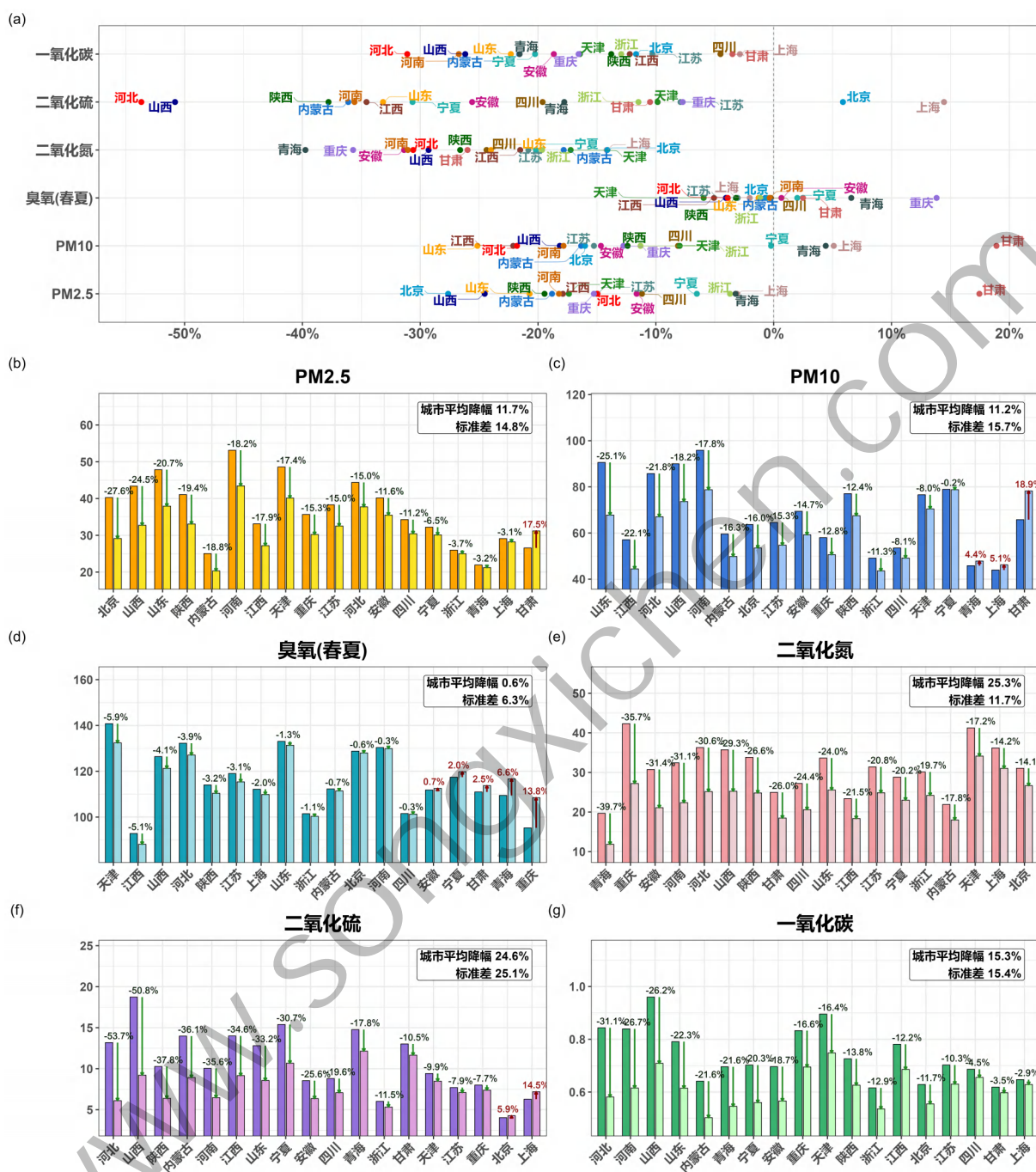


图 75: “十四五”期间(2025 年相对 2020 年)14 省 4 市六类空气污染物年均浓度变化率。(a) 图为各省(市)不同污染物 2025 年相对于 2020 年的浓度变化率散点分布, (b)-(g) 图每组深浅色柱体分别表示对应省(市)2020 年和 2025 年污染物经气象调整的浓度水平;柱体之间的差值箭头标注浓度相对变化率, 横轴省份按浓度降幅排序

6.2 PM_{2.5} 治理带动 PM₁₀ 浓度下降，粗细颗粒物改善不同步

我国自 2013 年实施以细颗粒物污染防治为核心的大气污染治理策略，首个“气十条”对 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 设定了双重约束目标。2023 年国务院印发的《空气质量持续改善行动计划》进一步明确“以降低 PM_{2.5} 浓度为主线”，不再单独强调对 PM₁₀ 的约束指标。从治理成效看，我国近年来的大气污染防治策略对细颗粒物及其前体物的管控更为有效，而粗颗粒物（如扬尘）管控相对滞后。

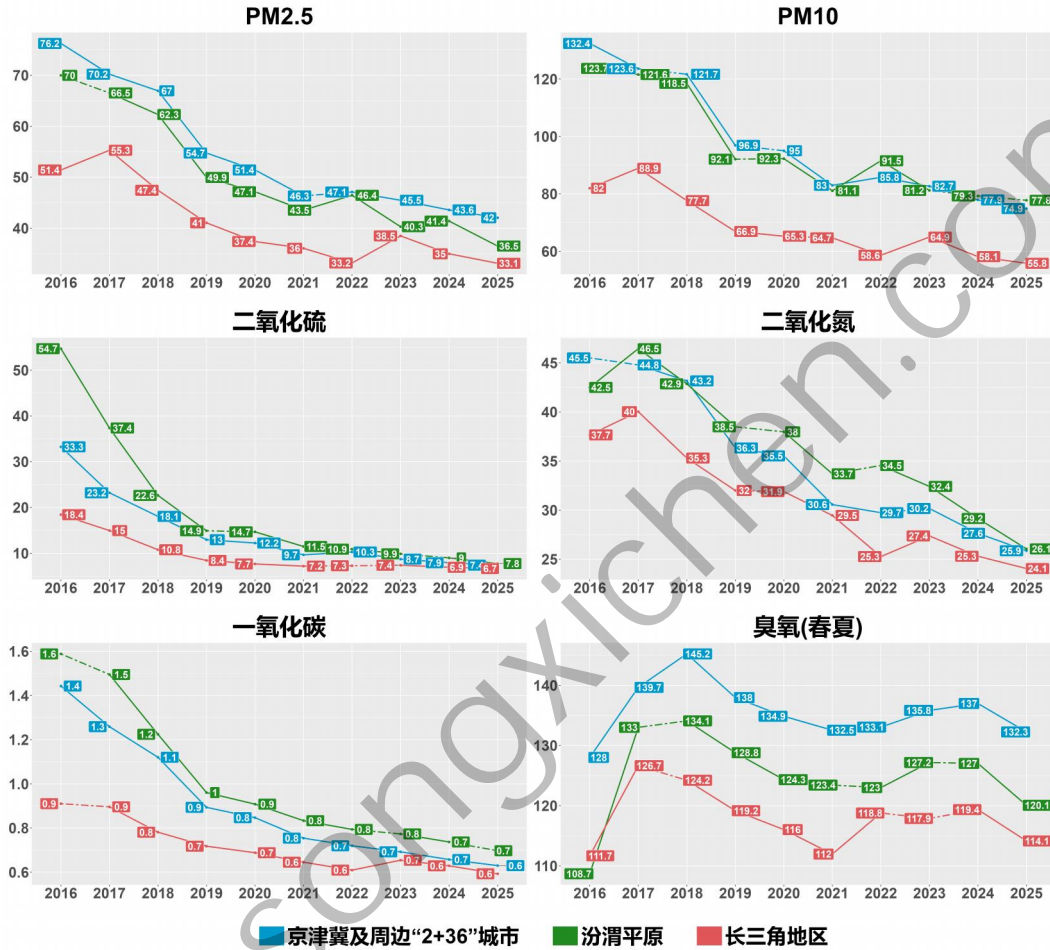


图 76: “2+36”城市、汾渭平原和长三角地区 2016–2025 年六种污染物年平均浓度时间序列图 (CO 的单位为毫克/立方米, 其余污染物的单位为微克/立方米), 实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上年有 (无) 显著增加或减少

2015–2025 年, 经气象调整后, “4+173”城市 PM₁₀ 平均浓度下降 41.6 微克/立方米, 其中 PM_{2.5} 贡献了 27.0 微克/立方米, 占比 64.9%。“十四五”期间, PM₁₀ 的城市平均降幅为 11.2%(1.2%), 其中粗颗粒物 PM_{10-2.5} 平均下降 9.3%(1.9%), 低于细颗粒物 PM_{2.5} 的平均降幅 11.7%(1.1%)。这表明 PM₁₀ 的整体改善主要依赖于 PM_{2.5} 的下降, 粗颗粒物贡献的改善比例相对较低。

2025 年, “4+173”城市 PM_{2.5} 平均浓度同比下降 1.3 微克/立方米, 而 PM₁₀ 仅下降 0.2 微克/立方米, PM_{10-2.5} 浓度均值同比上升 1.1 微克/立方米。西部地区反弹趋势较为明确。相比 2024 年, 甘肃 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 浓度同比分别上升 9.5% 和 16.1%; 青海、宁夏 PM_{2.5} 浓度变化不显著, 但 PM₁₀ 浓度

显著回升。

重点区域中，粗细颗粒物的空间格局存在差异（图 76）：2025 年，京津冀及周边“2+36”城市是 PM_{2.5} 平均浓度最高的重点区域（42 微克/立方米），其次为汾渭平原（36.5 微克/立方米）和长三角地区（33.1 微克/立方米）。相比 2024 年，三大区域 PM_{2.5} 浓度均下降，其中汾渭平原降幅最为显著（降 4.9 微克/立方米）。相比之下，粗颗粒物呈现不同空间分布特征。汾渭平原 PM_{10-2.5} 浓度最高（41.3 微克/立方米），显著高于京津冀及周边地区（32.9 微克/立方米）和长三角地区（22.7 微克/立方米），且较 2024 年明显上升（升 3.4 微克/立方米）。本年度汾渭平原粗细颗粒物的改善趋势差异较大。从颗粒物结构看，长三角地区和京津冀及周边地区表现为细颗粒物主导；汾渭平原则呈现 PM_{10-2.5} 浓度高于 PM_{2.5} 的特征，面临更为突出的粗颗粒物治理压力。

在城市层面，2025 年 PM_{2.5} 浓度平均同比下降 2.4%（标准差 10.2%），而 PM₁₀ 则小幅上升 0.3%（10%）。相比 2024 年，有 119 个城市年均 PM_{2.5} 浓度下降，而年均 PM_{10-2.5} 浓度下降的城市仅有 70 个，同样呈现粗细颗粒物改善不同步的特征。尽管如此，在 75.1% 的城市中，粗细颗粒物年际变化方向仍保持一致，表明在多数城市，二者仍然具有协同治理基础。

总体而言，当前大气污染防治中呈现出明显的“细颗粒物主导 PM₁₀ 下降”的特征，本年度粗颗粒物污染（如扬尘源）风险有所上升。建议推动颗粒物治理由“细颗粒物主导”向“粗细协同控制”转型，针对西北地区、汾渭平原 PM₁₀ 改善滞后问题，强化施工、道路、堆场及裸地扬尘精细化管控。

6.3 2025 年细颗粒物持续改善，二氧化硫和一氧化碳改善趋缓

剔除气象影响后，2025 年 18 个省市主要污染物呈现“PM_{2.5} 大范围改善、一次污染物改善趋缓、局地反弹风险显现”的阶段性特征。

图 77 与图 78 分别展示了 2016 年以来各省 PM_{2.5}、PM₁₀ 及 SO₂、CO 年均浓度变化趋势。在省市层面，2025 年共有 10 个省市 PM_{2.5} 浓度同比显著下降，降幅在 3.6%–14.7% 之间，河南、重庆、陕西改善最为突出；同期 8 个省市 PM₁₀ 浓度显著下降，但降幅整体低于 PM_{2.5}，北京、安徽、河南降幅居前。

与颗粒物持续改善不同，当前已处于低位的 SO₂ 和 CO 整体变化不大，改善进入平台期。18 个省市中仅 6 个省市 SO₂ 年均浓度显著下降，其中陕西、山西、江西和山东降幅超过 10%；仅 4 个省市 CO 浓度改善，浓度降幅集中在 7%–8%，且绝对降幅均不足 0.1 毫克/立方米。值得关注的是，北京、天津 SO₂ 和 CO 浓度同步回升，而周边河北多数城市浓度持平或小幅下降，表明反弹以局地排放波动为主，未出现区域性系统性上升；安徽、上海两项污染物浓度均显著下降，CO 连续两年改善，治理持续性较好。从绝对水平看，2025 年 18 个省市 CO 年均浓度均显著低于 WHO 空气质量指南（AQG）准则值水平（折合年均浓度 1.33 毫克/立方米）；除甘肃、宁夏、青海外，其余 15 个省市 SO₂ 年均浓度也达到 AQG 准则值水平（折合年均浓度 10 微克/立方米）。

三大重点区域六类污染物浓度变化趋势如图 76。2016 年以来，京津冀及周边“2+36”城市一直是 PM_{2.5} 和春夏臭氧浓度最高的重点地区，SO₂ 和 CO 则以汾渭平原浓度最高；相比之下，长三角地区整体污染水平显著低于其他重点区域，但区域间差距正逐步收窄。从长期改善情况来看，京津冀及周边“2+36”城市改善趋势最为稳定，CO 连续 10 年下降，PM_{2.5}、PM₁₀ 和 SO₂ 连续 3 年下降；长三角地区 PM_{2.5}、

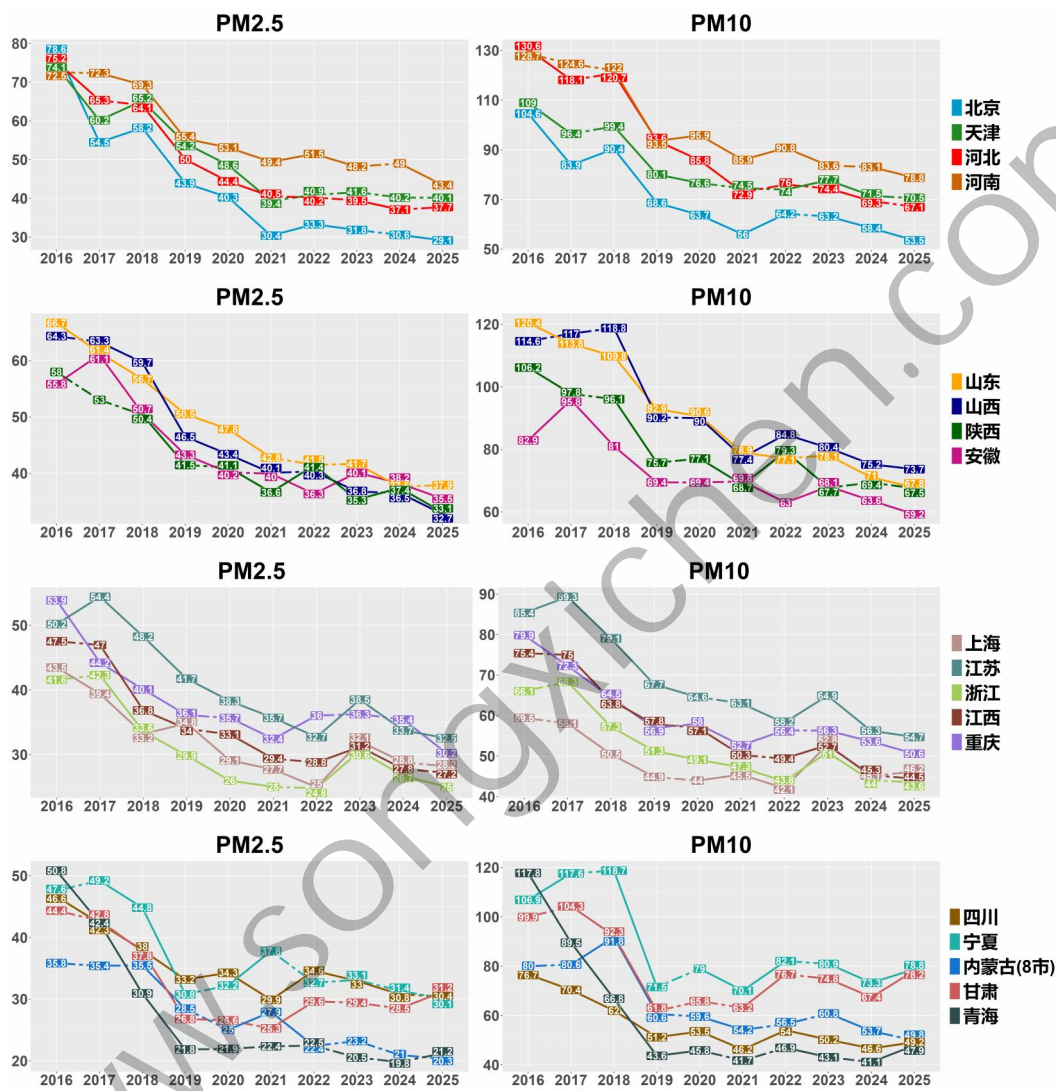


图 77: “4+173”城市去除气象因素影响后 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 2016-2025 年平均浓度 (微克/立方米) 时间序列, 实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上年有 (无) 显著增加或减少

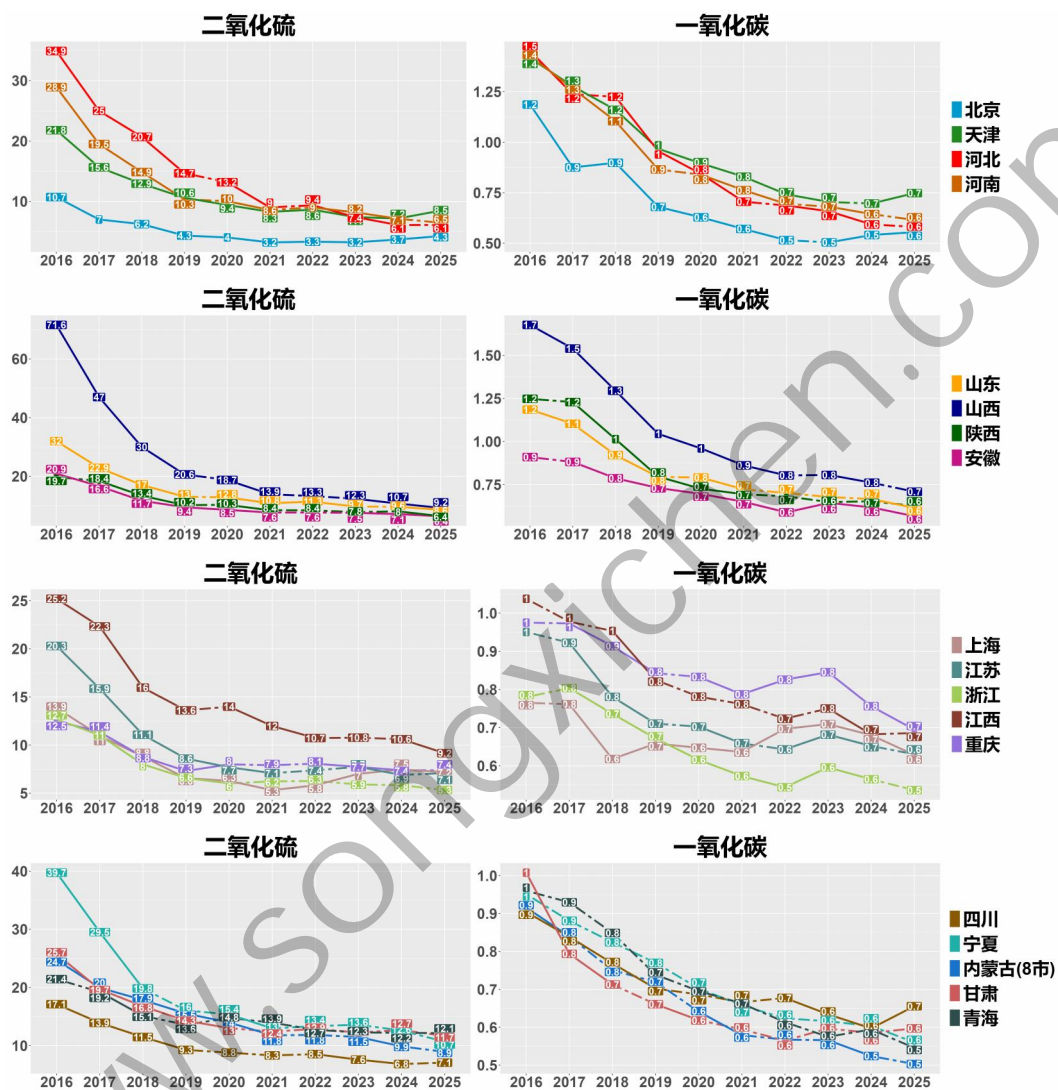


图 78: “4+173”城市去除气象因素影响后 SO₂ (微克/立方米) 和 CO (毫克/立方米) 2016-2025 年平均浓度时间序列, 实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上年有 (无) 显著增加或减少

PM₁₀、NO₂ 和 CO 连续两年下降，整体持续向好，但受 2022–2023 年阶段性反弹影响，当前 PM_{2.5} 浓度仍高于 2022 年水平，春夏臭氧浓度仍高于 2021 年水平；汾渭平原 2025 年 NO₂ 和 PM_{2.5} 改善显著，但 PM₁₀ 近两年无明显改善，部分城市粗颗粒物出现反弹。

从多污染物协同关系看，PM_{2.5} 与 SO₂、CO 变化趋势一致的城市占比分别为 62.7% 和 63.8%。随着治理深入，颗粒物与一次燃烧源、燃煤源的关联性有所减弱，PM_{2.5} 的二次污染特征增强。

基于上述分析，当前大气污染治理已由“总量下降阶段”转向“结构优化与稳定性控制阶段”。在 SO₂ 和 CO 浓度已处于低位的情况下，后续应当加强达标稳定性管控，重点关注四川及京津等出现反弹的地区，巩固一次污染物减排成效。同时，针对 PM_{2.5} 二次污染问题，强化 NO_x、VOCs 及 NH₃ 等关键前体物的系统治理。

6.4 后疫情时期臭氧浓度首次大范围下降，但春季污染压力上升

2025 年，春夏臭氧浓度实现 2021 年以来首次大范围改善，重点区域同步下降（图 76），标志臭氧污染防治取得阶段性突破。

图 79 展示了“十三五”以来，各省春夏臭氧平均浓度和 NO₂ 年均浓度的变化趋势。2016–2017 年，14 省 4 市春夏臭氧浓度同步上升。2018 年起，上升势头得到遏制，江浙沪率先回落，随后各省市相继下降，有 12 个省市在 2020–2021 年降至阶段性低点。但 2022 年后，除江浙沪、江西和陕西外，其余省份春夏臭氧浓度再次反弹。在 PM_{2.5} 持续改善的背景下，臭氧问题愈发突出。2025 年，反弹趋势得到初步遏制，12 个省市春夏臭氧平均浓度较 2024 年下降 1.5%–7.2%；山东、山西、河北、陕西已降至 2017 年以来最低水平，但其它省份臭氧浓度仍高于疫情防控期的低点，表明臭氧改善基础尚不稳固，管控压力依然存在。此外，超大城市臭氧污染问题尚未缓解。重庆、上海 2025 年春夏臭氧浓度较 2021 年升幅超 10%；北京自 2021 年起持续上升，2025 年已超过河北省平均水平。

臭氧改善呈现明显的季节分化特征。2025 年夏、秋季臭氧平均浓度较 2024 年分别下降 7% 和 10.1%，对应 122 个和 119 个城市显著改善。冬季同比下降 3.9%，但较 2020 年仍上升 5.5 微克/立方米；春季则面临反弹压力，2025 年同比微升 0.5%，39 个城市显著上升，平均升幅 8.9%，反弹城市主要集中于四川、江苏。值得关注的是，2025 年春夏臭氧平均浓度差值由 2024 年的 15 微克/立方米显著缩小至 5 微克/立方米，约三分之一城市春季臭氧浓度已接近甚至超过夏季，江浙沪皖及江西地区春季污染问题尤为突出，表明臭氧污染正由“夏季高值型”向“春夏并重型”转变。

NO₂ 作为臭氧重要前体物，其排放控制为臭氧治理提供了重要基础。二者趋势分化凸显了臭氧污染防治的复杂性。2017–2021 年，春夏臭氧与 NO₂ 浓度整体同步下降。2022 年后协同关系明显减弱，NO₂ 浓度总体平稳下降，仅江浙沪皖及山东阶段性反弹，而 2022–2024 年春夏臭氧却持续攀升。2025 年，重庆、上海、北京等臭氧反弹地区，NO₂ 浓度均较上年显著下降。这说明现阶段仅依靠 NO₂ 减排已难以持续带动臭氧浓度下降，臭氧生成逐渐转向 VOCs 限制或 NO_x–VOCs 协同控制模式。

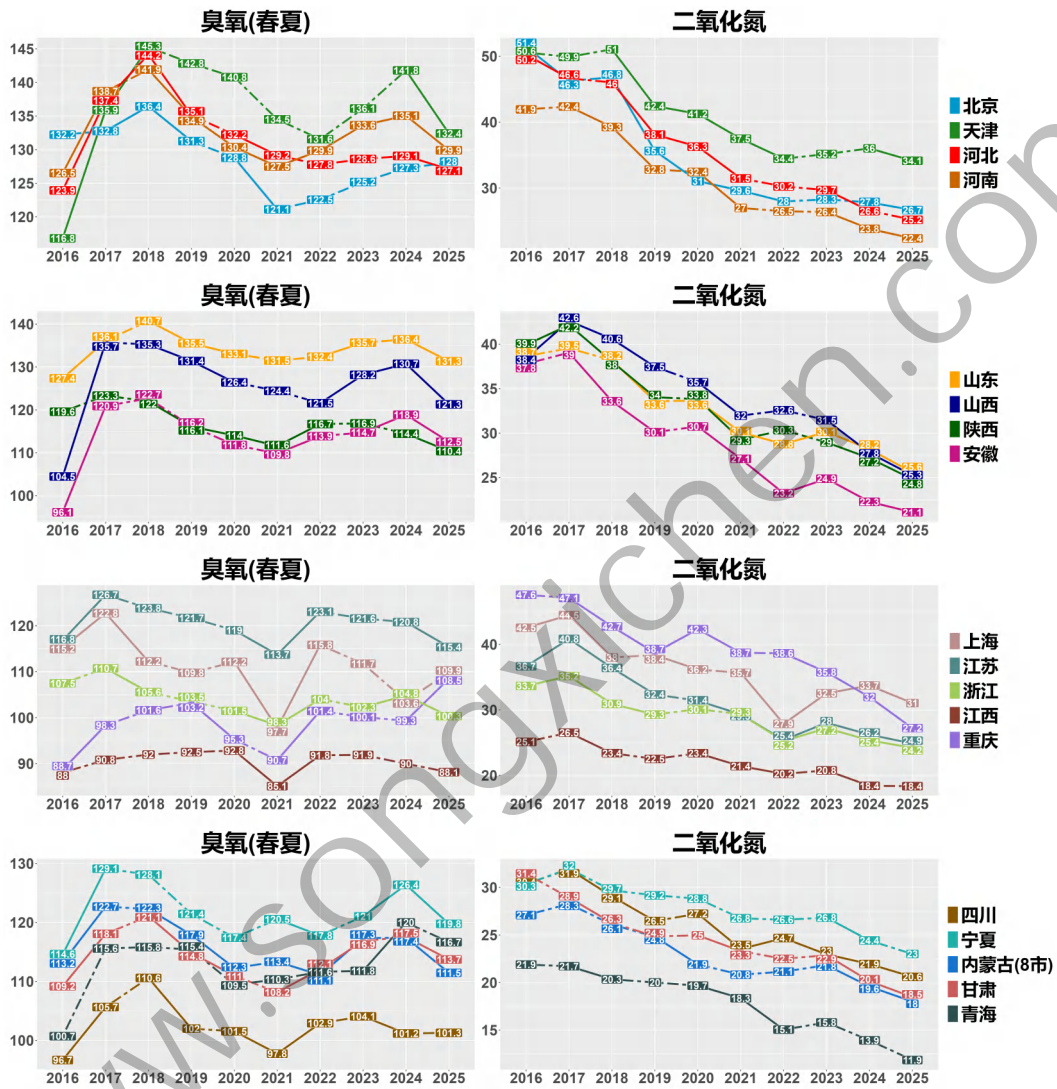


图 79: “4+173”城市去除气象因素影响八小时 O₃ (春夏) 和 NO₂, 2016-2025 年平均浓度 (微克/立方米) 时间序列, 实线 (虚线) 代表在 5% 统计学显著水平比上年有 (无) 显著增加或减少

6.5 秋季 PM_{2.5} 与春季臭氧极端污染上升，极端污染防控需超越季节惯性

极端污染是衡量空气质量健康风险的重要维度。报告采用各季度调整浓度 90% 分位数的最大值（年 90% 分位数）作为每年极端污染表征指标，用以反映年内极端污染风险最高的季节中，前 10% 的高浓度暴露水平，对应每年至少 9-10 天的较高污染状态。这一标准显著宽松于 WHO 空气质量准则中，全年不超过 3-4 天超标的要求。

2025 年，臭氧极端污染同样呈现 2021 年来首次大范围改善。“4+173”城市中，131 个城市臭氧年 90% 分位数下降，平均降幅 5.7%；PM_{2.5} 极端污染也在多数城市实现继续改善，101 个城市 PM_{2.5} 年 90% 分位数下降，平均降幅 11.0%。但对照我国现行空气质量标准，急性健康风险依然偏高：“4+173”城市中仅 61 个城市臭氧年 90% 分位数达标（160 微克/立方米），达标城市覆盖人口仅 18.2%；PM_{2.5} 极端污染防控压力更为突出，仅 29 个城市达到过渡期标准（60 微克/立方米），覆盖人口 8.9%。达标城市多集中在人口稀疏地区，人口密集区仍普遍面临超标问题。

长期来看，PM_{2.5} 和臭氧极端污染整体呈下降趋势，“十四五”期间“4+173”城市 PM_{2.5} 年 90% 分位数累计下降 12.1%，臭氧下降 3.0%。但在省市层面，改善进程存在明显波动：除北京 PM_{2.5} 极端污染持续改善，河北臭氧极端污染保持改善趋势，其余省市均在 2022-2024 年经历过不同程度的 PM_{2.5} 和臭氧极端污染浓度回升。2025 年，河北、天津、山东、甘肃等地 PM_{2.5} 极端污染风险明显上升，上海、重庆、浙江臭氧极端污染反弹。

从季节特征看，PM_{2.5} 与臭氧极端污染呈现显著“季节错位”。PM_{2.5} 极端污染集中在秋冬季，尤以冬季最为突出。2025 年冬季重点区域城市调整浓度 90% 分位数全面超标，非重点城市超标比例也达 68.1%。秋季 PM_{2.5} 极端污染浓度略低于冬季，但超标范围仍然较广且呈反弹趋势，100 个城市秋季 PM_{2.5} 90% 分位数浓度同比上升，超标城市较 2024 年增加 9 个。臭氧极端污染则主要集中在春夏季节。2025 年夏季改善显著，超标城市由 121 个降至 99 个；但春季污染压力持续加大，四川、浙江、江苏多地春季臭氧 90% 分位数浓度反弹，与平均浓度变化趋势一致，表明背景浓度抬升在不利气象条件下更易转化为极端污染事件，臭氧污染正由“夏季高值”向“春夏并重”转变。

值得注意的是，PM_{2.5} 与臭氧高污染区域高度重合。年 90% 分位数浓度最高的 30 个城市中，约 2/3 为两类污染物共同高值城市，且主要集中于京津冀及周边“2+36”城市，尤其以山东、河北、河南为典型区域。特别地，长三角地区的淮北在 2024-2025 年连续进入 PM_{2.5} 与臭氧极端污染“双高”城市行列。臭氧作为典型二次污染物，基本无直接排放源。两类污染物的分布在空间上高度重合，说明污染热点区域前体物（氮氧化物、挥发性有机物等）排放负荷高，或区域传输显著，在不利气象下易形成严重污染。而 PM_{2.5} 和臭氧污染的高发季节不同，这种跨季节持续的高污染状态反映出区域排放存在结构性问题，需持续削减前体物以实现协同治理。

日均浓度标准主要对应短时高污染的急性健康风险，即使年均浓度总体改善，高分位数浓度偏高仍会对易感人群产生显著影响。2025 年，PM_{2.5} 年均浓度达标城市中仅 42.0% 实现日均浓度同步达标；春夏臭氧浓度低于 120 微克/立方米的城市中仅 50.9% 日均浓度达标。从季节结构看，以往以冬季 PM_{2.5} 和夏季臭氧为核心的重点季节防控模式正面临挑战：污染程度最高的季节（冬季 PM_{2.5}、夏季臭氧）持续改善，而次高污染季节（秋季 PM_{2.5}、春季臭氧）出现不同程度反弹，污染压力在季节间发生再分配。鉴

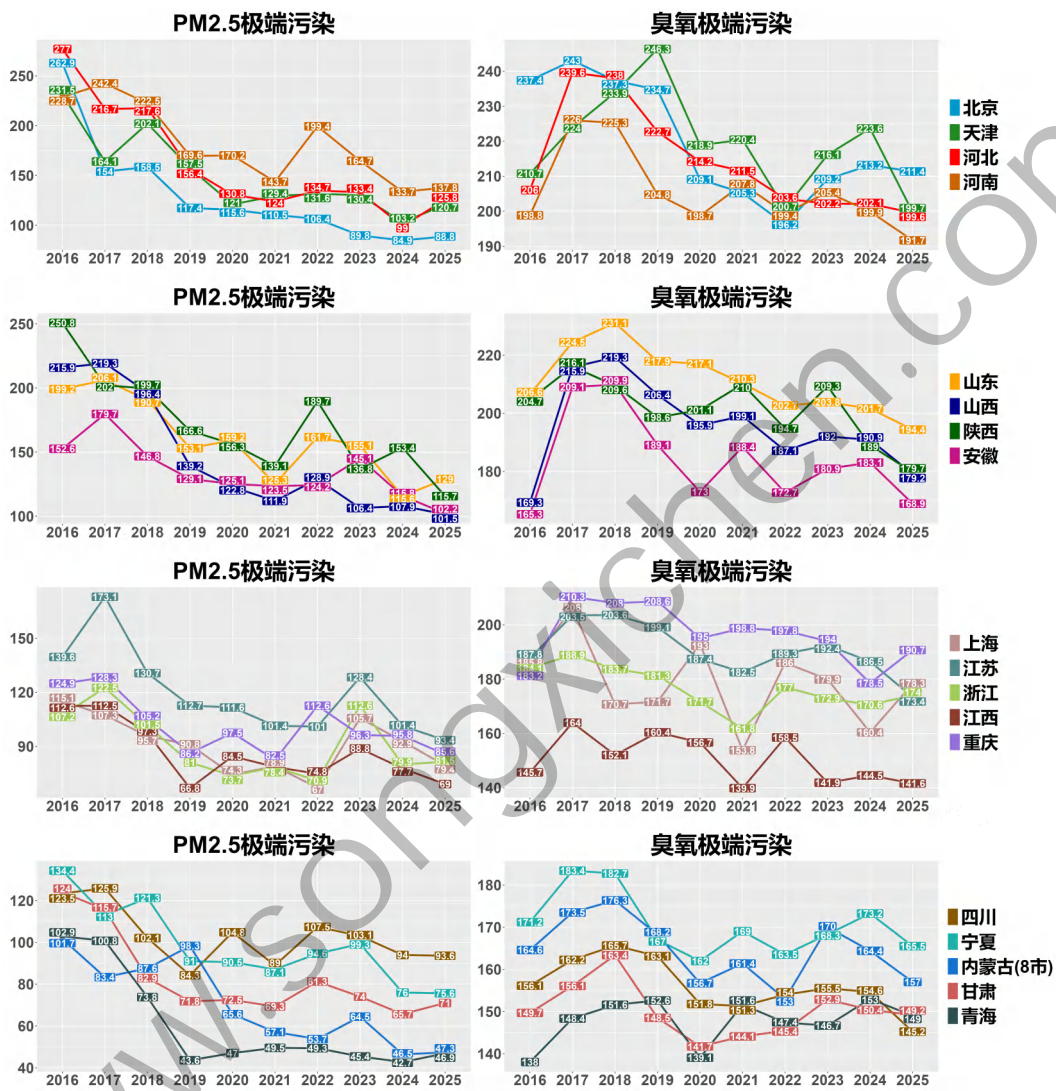


图 80: “4+173” 城市去除气象因素影响 PM_{2.5} 和八小时 O₃ 年 90% 分位数浓度 (微克/立方米) 2016–2025 年时间序列

于极端污染下每日高浓度暴露均会造成实质性健康损失，且健康风险与暴露浓度直接相关，现有治理策略需从“季节重点管控”转向“日尺度风险精准防控”，在持续“消除重污染天气”的基础上，进一步严控极端污染暴露水平。

6.6 新标准下 PM_{2.5} 优良率保持较高水平，高优良率地区具备提标缓冲空间

我们欣喜地看到 2026 年 3 月我国发布新的环境空气质量标准，将 PM_{2.5} 的日均浓度限值及空气质量指数“良”等级上界统一调整为 60 微克/立方米。2031 年起，将实施更加严格的 50 微克/立方米的标准限值，达到 WHO“过渡期”第 2 级指标约束水平。本研究团队自 2019 年报告（六）起，持续呼吁提升空气质量标准。本次标准修订体现了国家对健康导向标准的重视和对公众诉求的积极回应，作为科研工作者，我们对此深受鼓舞。

我们基于 2025 年的 PM_{2.5} 观测浓度水平，对标准更新前后的空气质量优良天数比例进行计算，并与 2016 年的空气质量优良率进行对比，结果如图 81。2016 年，以 75 微克/立方米（国家二级标准限值）为 PM_{2.5} 对应的“良”等级上界，“4+173”城市 PM_{2.5} 优良天数比例均值为 78.9%，仅 19.8% 的城市优良率达 90%。2025 年，在同一标准下，PM_{2.5} 优良天数比例均值提高到 94.4%，有 75.6% 的城市空气质量优良率达到 90%。

2026 年，更新的技术规范将“良”等级对应的 PM_{2.5} 浓度限值调整为 60 微克/立方米。在这一等级标准下，2025 年“4+173”城市 PM_{2.5} 优良天数比例均值仍达到 89.7%，51.4% 的城市优良率超过 90%，表明近年来空气污染治理能力的提升已足以应对标准提高带来的评价压力。

进一步将“良”的上界提高至 50 微克/立方米（2031 年起实施）进行情景分析（图 81(d)），2025 年“4+173”城市 PM_{2.5} 优良天数比例均值为 83.8%，较 60 微克/立方米标准下平均优良率下降约 6 个百分点，但仍有约 2/3 的城市全年优良天数比例超过 80%，从城市达标压力看，即便执行更严格的 50 微克/立方米标准，当前空气质量优良率仍高于 2016 年采用 75 微克/立方米标准时的水平（78.8%），整体评价压力仍小于 2016 年。与 60 微克/立方米标准相比，城市优良率的标准差由 7.1% 提升至 9.0%，这表明进一步收严标准将重新拉开区域差距，激励已达标城市继续改善，未达标城市加强治理。

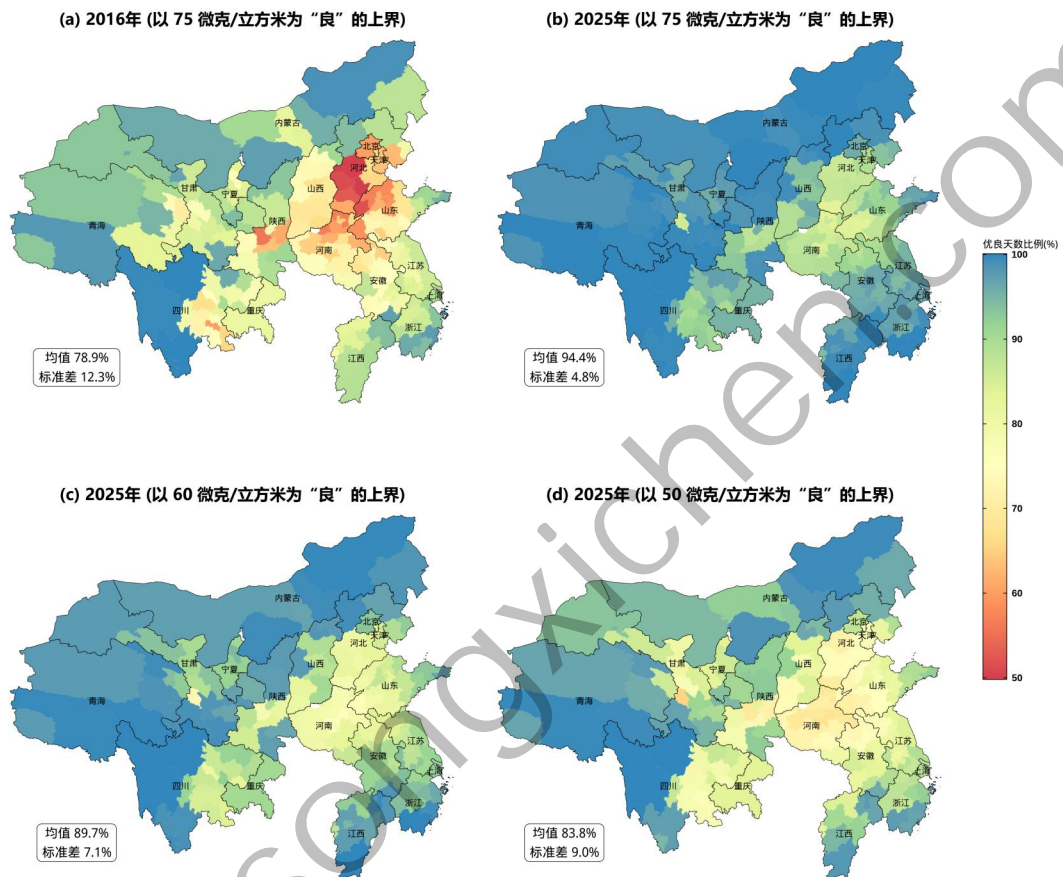


图 81: “4+173” 城市 $PM_{2.5}$ 优良天数比例地图。(a) 图为 2016 年优良天数比例, 将 75 微克/立方米 (2016 年 AQI 限值) 作为“良”的上界; (b), (c) 和 (d) 图为 2025 年优良天数比例, 分别基于 75 微克/立方米、60 微克/立方米 (2026 年 AQI 限值) 和 50 微克/立方米 (2031 年起 $PM_{2.5}$ 日均浓度标准限值) 作为“良”的上界统计得出

附录

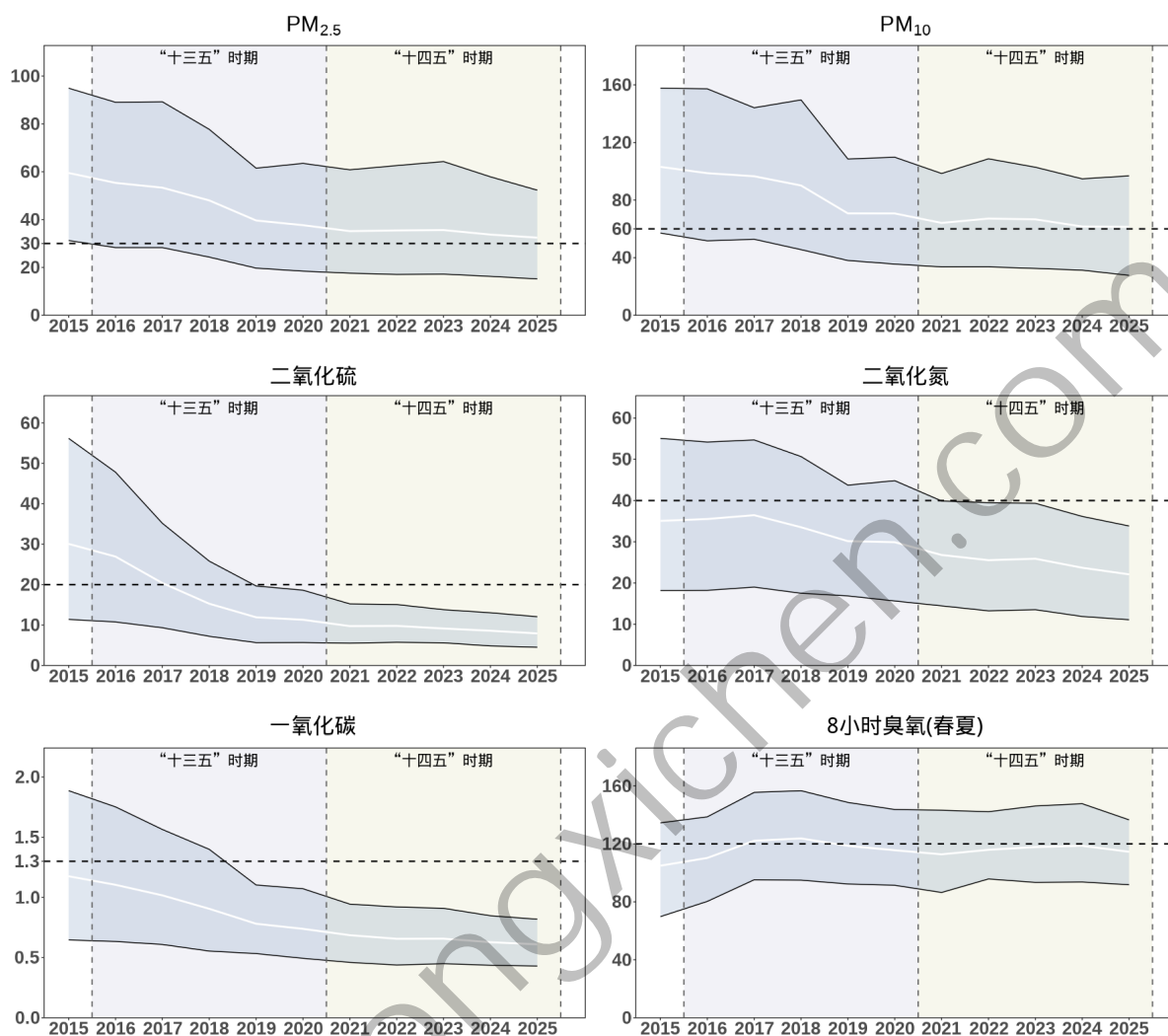


图 82: “4+173”城市 2015–2025 年平均浓度(白色折线)和 10%(下黑实线)-90%(上黑实线)分位数区间变化趋势(白色折线为“4+173”城市逐年平均浓度。一氧化碳浓度单位为毫克/立方米,其它污染物为微克/立方米。黑色虚线为参考标准,其中 PM_{2.5}、PM₁₀ 和二氧化氮使用国家过渡阶段二级标准,二氧化硫使用国家二级标准)

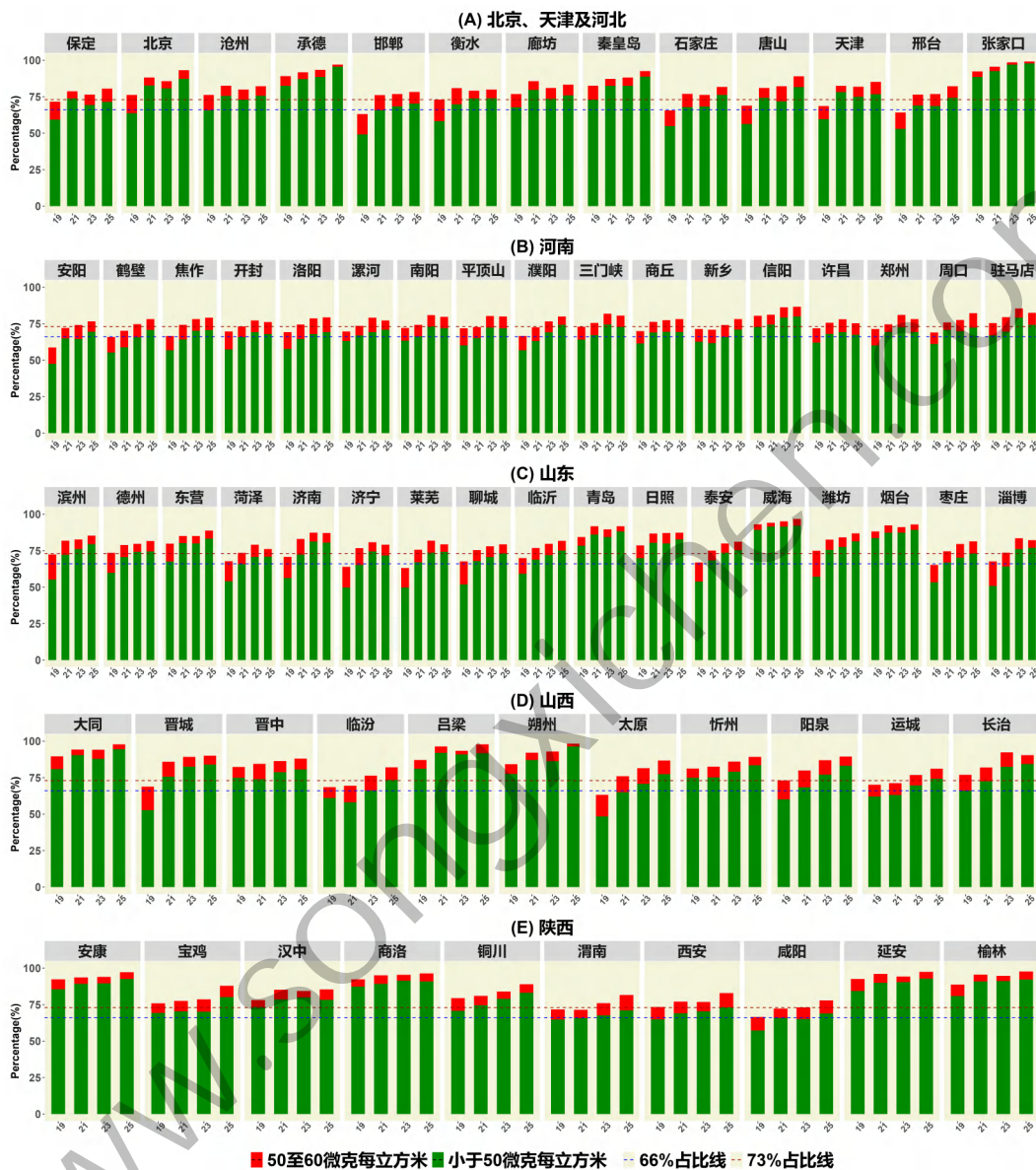


图 83: 绿色表示小于 50 微克/立方米的比例, 红色表示介于 50 至 60 微克/立方米的比例, 虚线 73 % 和 66 % 分别代表在 60 和 50 微克/立方米“良”的标准下 2025 年“4+173”城市优良天数比例的最低值, 为方便阅读, 图中仅展示 2019、2021、2023、2025 四年的数据

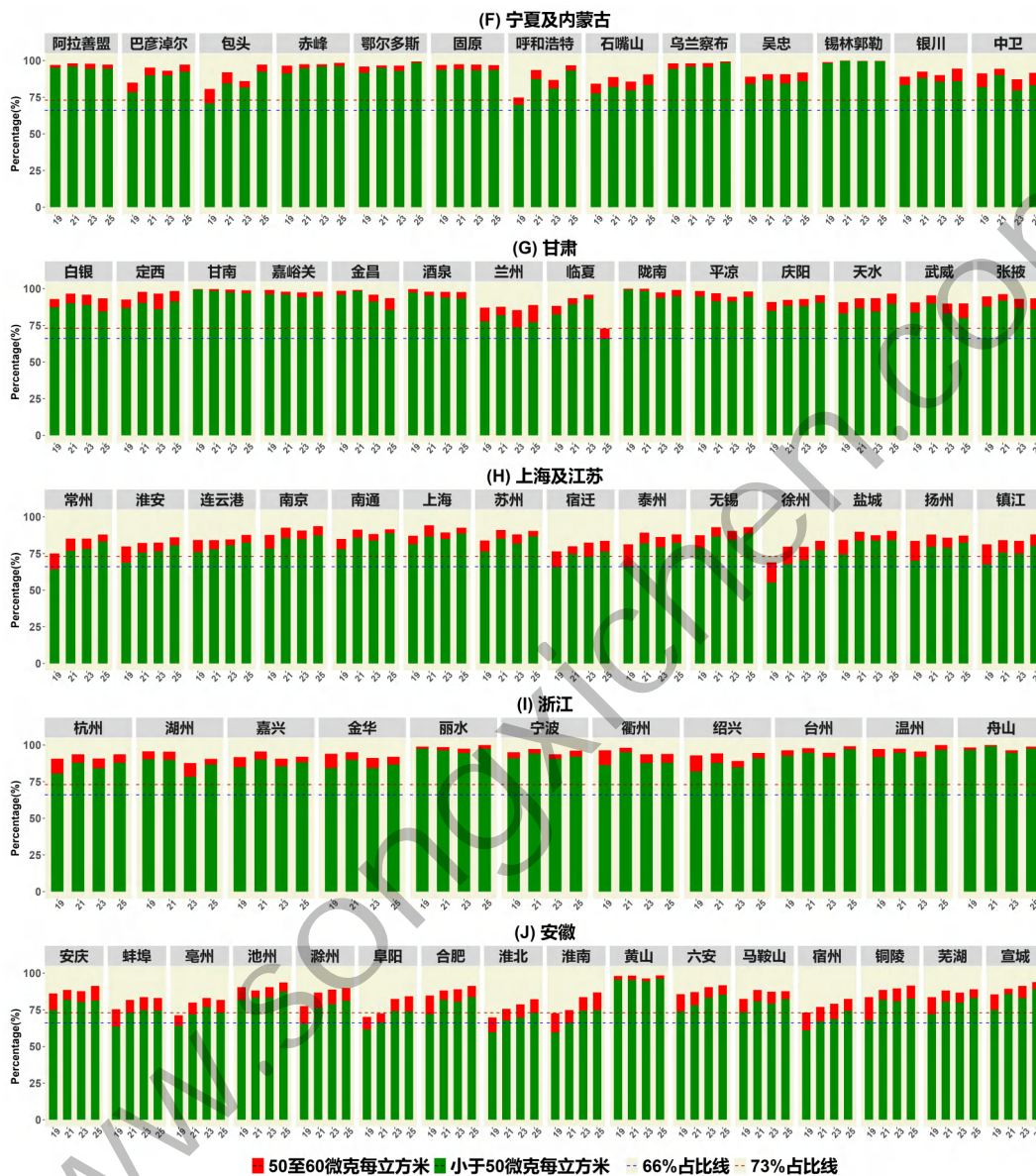


图 84: 绿色表示小于 50 微克/立方米的比例, 红色表示介于 50 至 60 微克/立方米的比例, 虚线 73 % 和 66 % 分别代表在 60 和 50 微克/立方米“良”的标准下 2025 年“4+173”城市优良天数比例的最低值, 为方便阅读, 图中仅展示 2019、2021、2023、2025 四年的数据

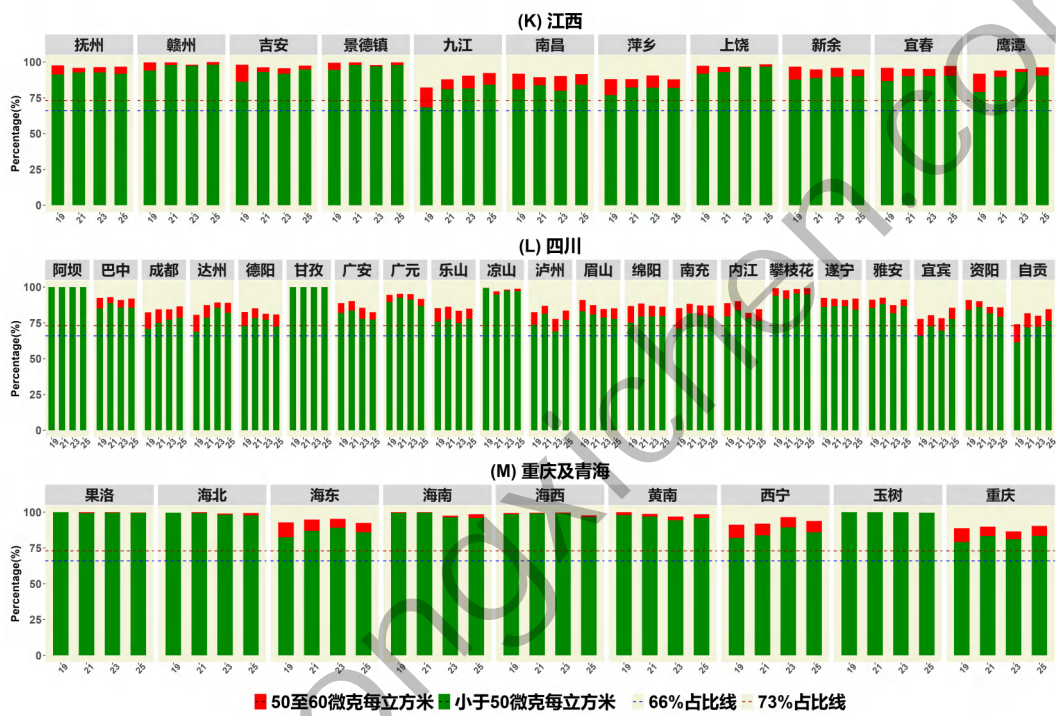


图 85: 绿色表示小于 50 微克/立方米的比例, 红色表示介于 50 至 60 微克/立方米的比例, 虚线 73 % 和 66 % 分别代表在 60 和 50 微克/立方米“良”的标准下 2025 年“4+173”城市优良天数比例的最低值, 为方便阅读, 图中仅展示 2019、2021、2023、2025 四年的数据

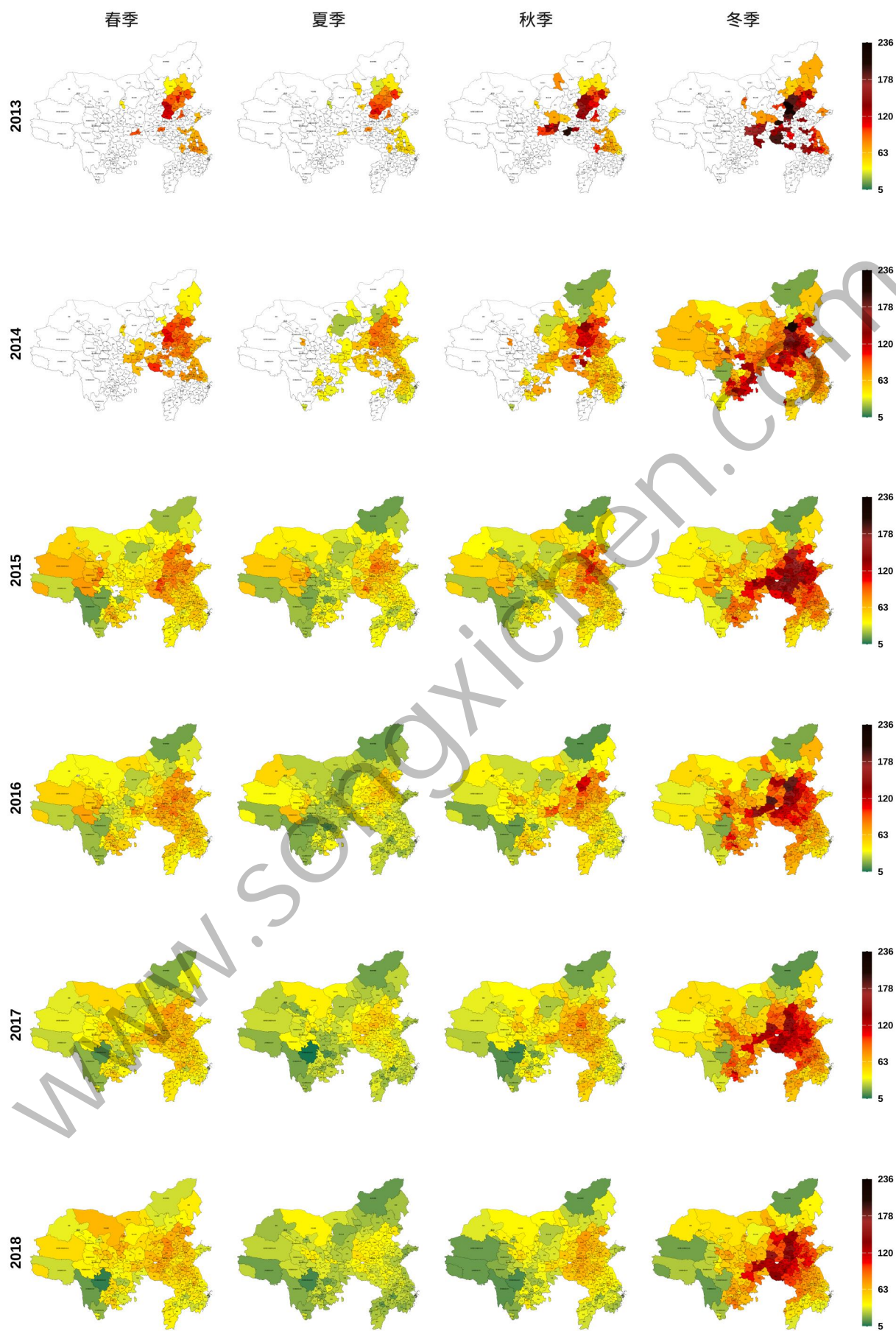


图 86: “4+173” 城市气象调整后 2013 年至 2018 年 PM_{2.5} 季节平均浓度 (微克/立方米)

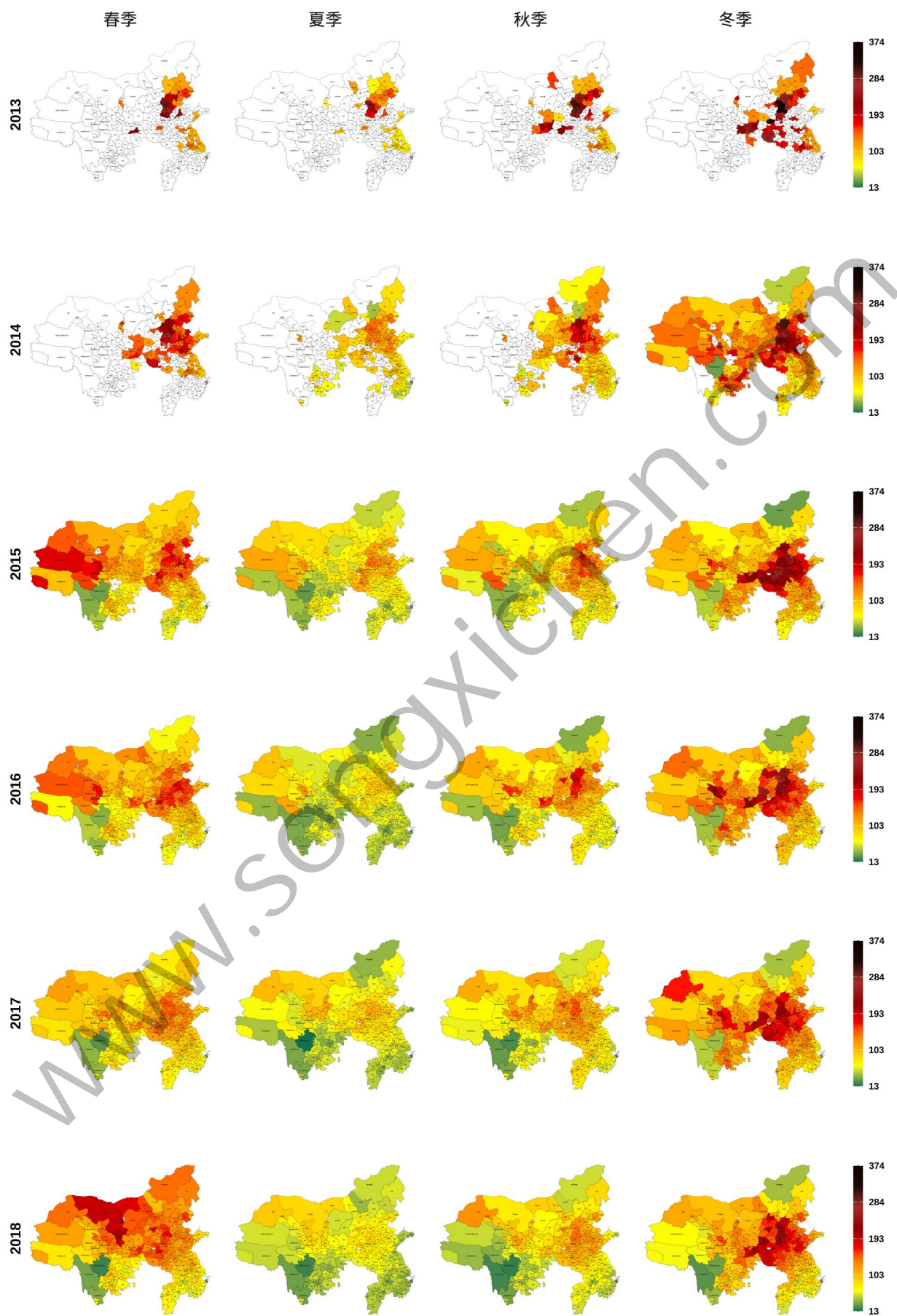


图 87: “4+173”城市气象调整后 2013 年至 2018 年 PM₁₀ 季节平均浓度 (微克/立方米)

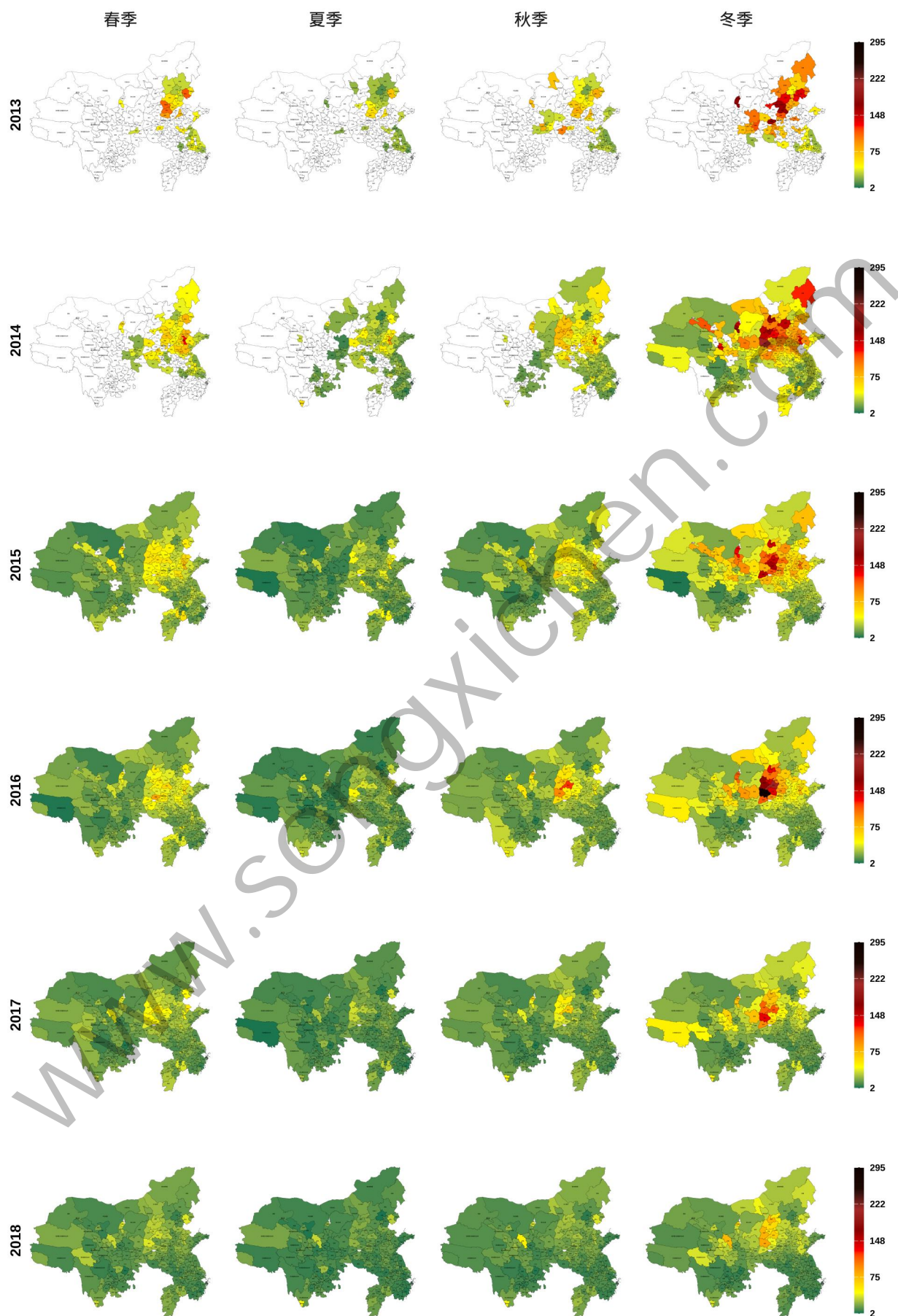


图 88: “4+173” 城市气象调整后 2013 年至 2018 年 SO₂ 季节平均浓度 (微克/立方米)

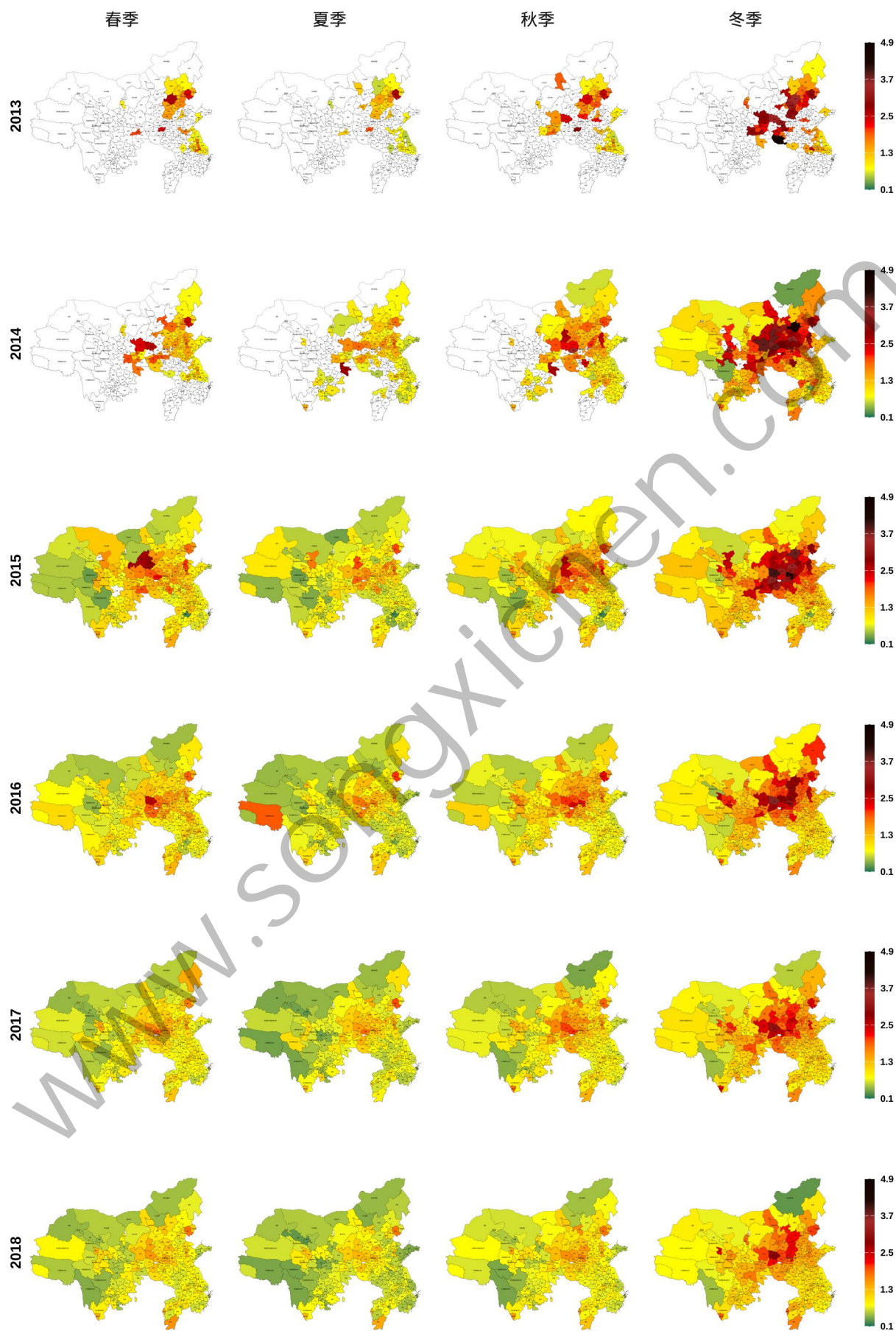


图 89: “4+173”城市气象调整后 2013 年至 2018 年一氧化碳季节平均浓度 (毫克/立方米)

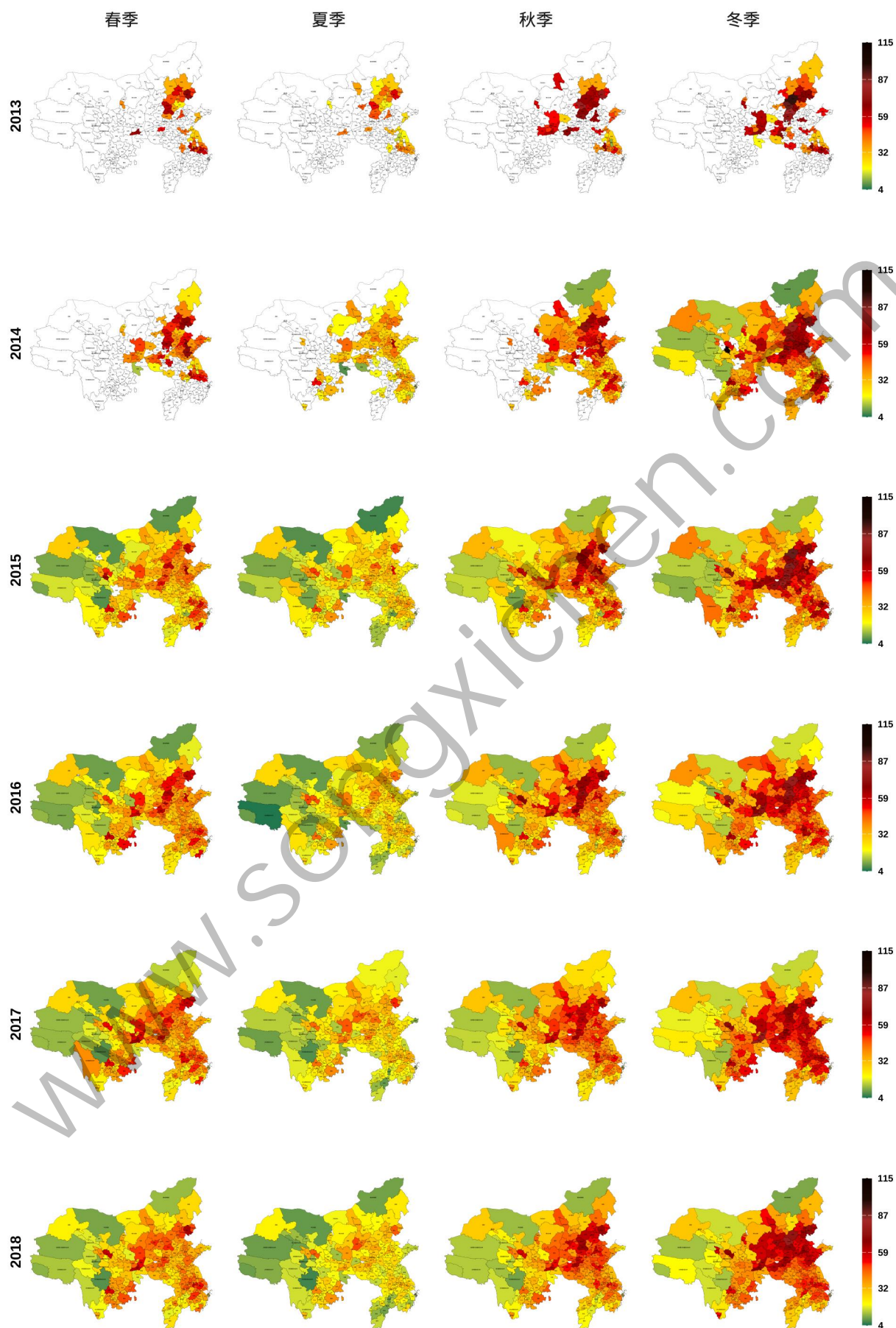


图 90: “4+173”城市气象调整后 2013 年至 2018 年 NO₂ 季节平均浓度 (微克/立方米)

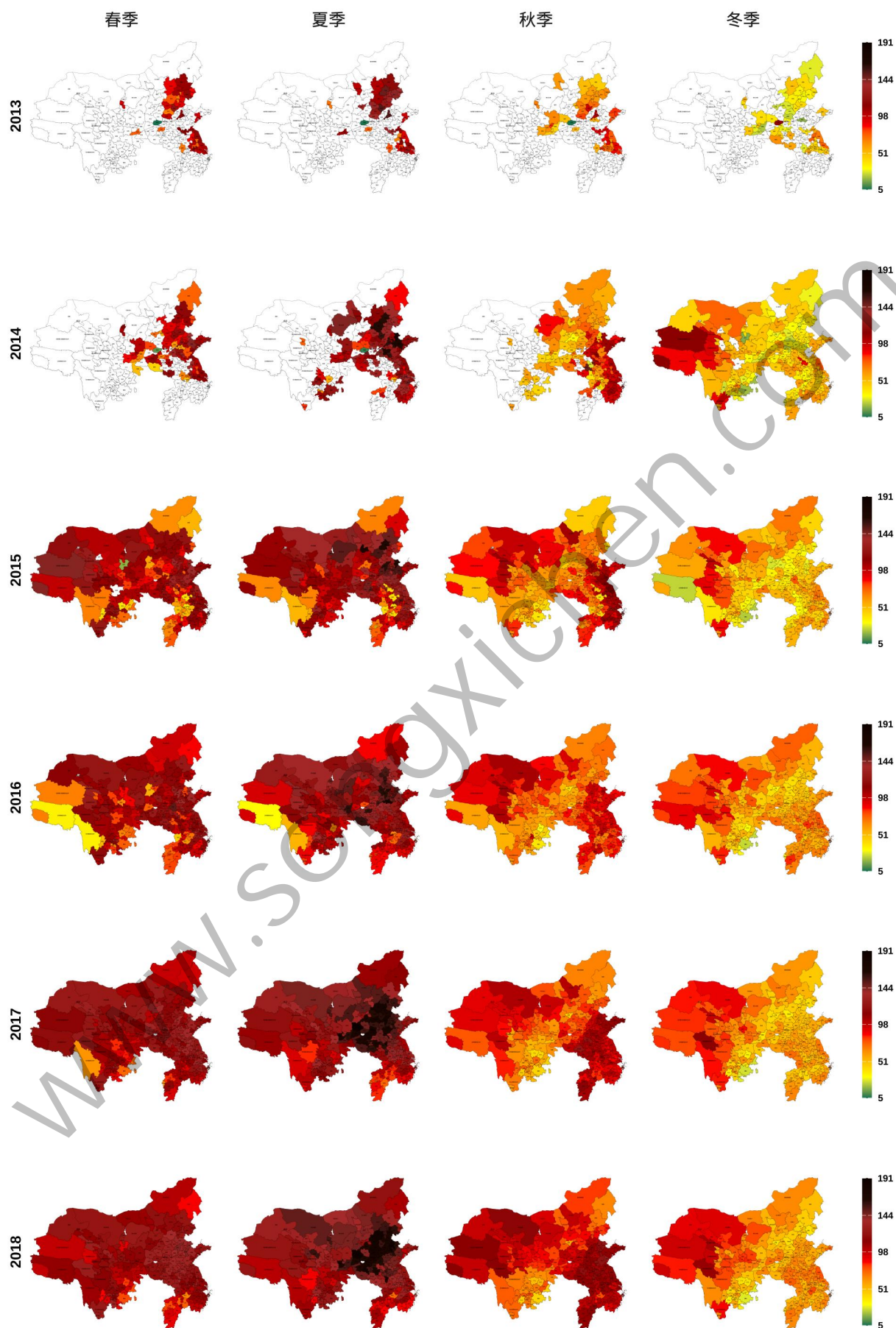


图 91: “4+173”城市气象调整后 2013 年至 2018 年 8 小时臭氧季节平均浓度 (微克/立方米)

参考文献

- [1] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2015). 空气质量评估报告 (一): 北京城区 2010-2014 年 PM_{2.5} 污染状况研究. 2015 年 3 月. (http://songxichen.gsm.pku.edu.cn/images/Air_Quality_Assessment_Report_I_201503.pdf).
- [2] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2016). 空气质量评估报告 (二): 中国五城市空气污染状况之统计学分析. 2016 年 3 月. (http://songxichen.gsm.pku.edu.cn/images/Air_Quality_Assessment_Report_II_20160903.pdf).
- [3] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2017). 空气质量评估报告 (三): 北京 2013-2016 年区域污染状况评估. 2017 年 3 月. (http://songxichen.gsm.pku.edu.cn/images/Air_Quality_Assessment_Report_III_20170317.pdf).
- [4] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2017). 空气质量评估报告 (四): 京津冀 2013-2016 年区域污染状况评估. 2017 年 8 月. (http://songxichen.gsm.pku.edu.cn/images/JJJ_report_1101_Final_WaterMarked.pdf).
- [5] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2018). 空气质量评估报告 (五): “2+31” 城市 2013-2017 年区域污染状况评估. 2018 年 4 月月. (http://songxichen.gsm.pku.edu.cn/images/231cities_0410c.pdf).
- [6] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2019). 空气质量评估报告 (六): “2+43” 城市 2013-2018 年区域污染状况评估. 2019 年 4 月. (http://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_VI_20190412.pdf).
- [7] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2020). 空气质量评估报告 (七): “2+66” 城市 2013-2019 年区域污染状况评估. 2020 年 7 月. (https://songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_VII.pdf).
- [8] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2021). 空气质量评估报告 (八): “3+95” 城市 2013-2020 年区域污染状况评估. 2021 年 5 月. (https://songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_VII.pdf).
- [9] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2022). 空气质量评估报告 (九): “3+99” 城市 2013-2021 年区域污染状况评估. 2022 年 4 月. (https://songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_IX.pdf).
- [10] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2023). 空气质量评估报告 (十): “3+110” 城市 2013-2022 年区域污染状况评估. 2023 年 4 月. (https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_X.pdf).

- [11] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2024). 空气质量评估报告 (十一): “3+130” 城市 2013-2023 年区域污染状况评估. 2024 年 4 月. (https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_XI.pdf).
- [12] 北京大学统计科学中心环境统计组 (2025). 空气质量评估报告 (十二): “4+151” 城市 2013-2024 年区域污染状况评估. 2025 年 3 月. (https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_XII.pdf).
- [13] 中国国务院 (2013). 大气污染防治行动计划. 国发〔2013〕37号, 2013.
- [14] 中国生态环境部 (2018). 2018-2019 年蓝天保卫战重点区域强化督查方案. 环环监〔2018〕48号, 2018.
- [15] 中国生态环境部 (2020). 2020 年挥发性有机物治理攻坚方案. 环大气〔2020〕33号, 2020.
- [16] 中国国务院 (2021). 关于深入打好污染防治攻坚战的意见. 2021 年 11 月 2 日.
- [17] 中国国务院 (2023). 关于印发《空气质量持续改善行动计划》的通知. 国发〔2023〕24号, 2023 年 11 月 30 日.
- [18] Xuan Liang, Tao Zou, Bin Guo, Shuo Li, Haozhe Zhang, Shuyi Zhang, Hui Huang, and Song Xi Chen. Assessing Beijing's pm2.5 pollution: severity, weather impact, apec and winter heating. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 471(2182):20150257, 2015.
- [19] Xuan Liang, Shuo Li, Shuyi Zhang, Hui Huang, and Song Xi Chen. Pm2.5 data reliability, consistency, and air quality assessment in five Chinese cities. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(17):10–220, 2016.
- [20] Shuyi Zhang, Bin Guo, Anlan Dong, Jing He, Ziping Xu, and Song Xi Chen. Cautionary tales on air-quality improvement in Beijing. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 473(2205):20170457, 2017.
- [21] Lei Chen, Bin Guo, Jiasheng Huang, Jing He, Hengfang Wang, Shuyi Zhang, and Song Xi Chen. Assessing air-quality in Beijing-Tianjin-Hebei region: The method and mixed tales of PM_{2.5} and O₃. *Atmospheric Environment*, 193:290–301, 2018.
- [22] 张澍一, 陈松蹊, 郭斌, 王恒放和林伟. 气象调整下的区域空气质量评估. *中国科学: 数学*, 50(4):527–558, 2020.
- [23] Pei Feng Tong, Song Xi Chen, and Cheng Yong Tang. Detecting and evaluating dust-events in north china with ground air quality data. *Earth and Space Science*, 9(1):e2021EA001849, 2022.

课题组成员



李虹霖，北京大学数学科学学院博士后



刘俊，江西财经大学统计与数据科学学院讲师



王佳，江西财经大学统计与数据科学学院讲师



冯宇宁，北京大学大数据科学研究中心硕士研究生



郭斌，西南财经大学统计研究中心、统计与数据科学学院教授



陈松蹊，清华大学统计与数据科学系、数据科学交叉研究院教授，课题负责人

致谢：本报告得到国家自然科学基金数理学部重大项目 **12292983**，地球科学部集成项目 **92358303** 的资助。感谢中国环境监测总站，青悦开放环境数据中心和中國气象局气象数据中心为本次报告提供部分数据。感谢北京大学统计与经济计量同仁的长期鼓励和支持，感谢王文庆在数据库方面一如既往地协助，感谢陈力建立并维护空气质量平台，感谢北大统计科学中心张苑新，清华大学统计与数据科学系李楠的协助。

往期报告：

空气质量评估报告(一): 北京城区 2010-2014 年 PM2.5 污染状况研究, 2015 年 3 月

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_I.pdf

空气质量评估报告(二): 中国五城市空气污染状况之统计学分析, 2016 年 3 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_II.pdf

空气质量评估报告(三): 北京 2013-2016 年区域污染状况评估, 2017 年 3 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_III.pdf

空气质量评估报告(四): 京津冀 2013-2016 年区域污染状况评估, 2017 年 8 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_IV.pdf

空气质量评估报告(五): “2+31”城市 2013-2017 年区域污染状况评估, 2018 年 4 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_V.pdf

空气质量评估报告(六): “2+43”城市 2013-2018 年区域污染状况评估, 2019 年 4 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_VI.pdf

空气质量评估报告(七): “2+66”城市 2013-2019 年区域污染状况评估, 2020 年 7 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_VII.pdf

空气质量评估报告(八): “2+95”城市 2013-2020 年区域污染状况评估, 2021 年 5 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_VIII.pdf

空气质量评估报告(九): “3+99”城市 2013-2021 年区域污染状况评估, 2022 年 4 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_IX.pdf

空气质量评估报告(十): “3+110”城市 2013-2022 年区域污染状况评估, 2023 年 4 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_X.pdf

空气质量评估报告(十一): “3+130”城市 2013-2023 年区域污染状况评估, 2024 年 4 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_XI.pdf

空气质量评估报告(十二): “4+151”城市 2013-2024 年空气质量评估, 2025 年 3 月.

https://www.songxichen.com/Uploads/Files/Report/Air_Quality_Assessment_Report_XII.pdf

Song Xi Chen Lab

www.songxichen.com

空气质量评估平台

<http://www.songxichen.com/AQAssess/#/>