



江苏省臭氧污染形势浅析

钟声

江苏省环境监测中心

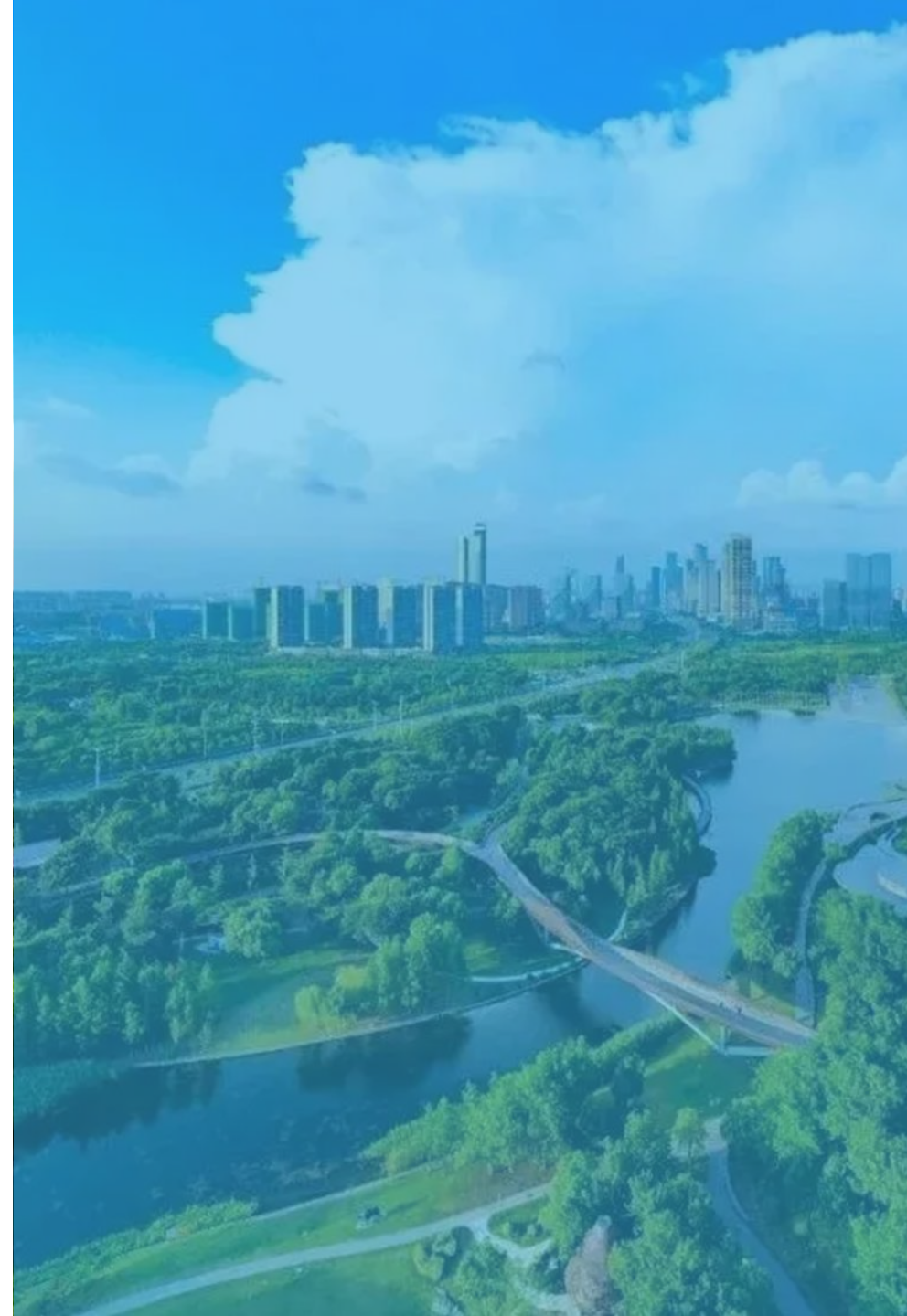
2023年8月28日

目录

■ 臭氧污染特征

■ 成因分析

■ 思考与展望



01 臭氧污染特征

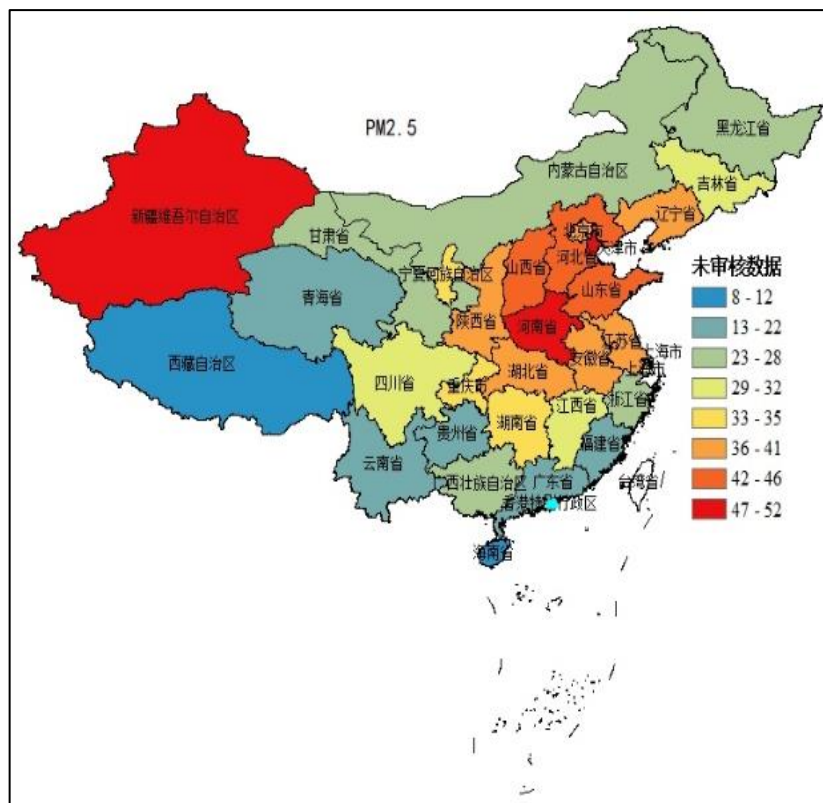
- 背景
- 江苏省空气质量概况
- 江苏省臭氧污染特征



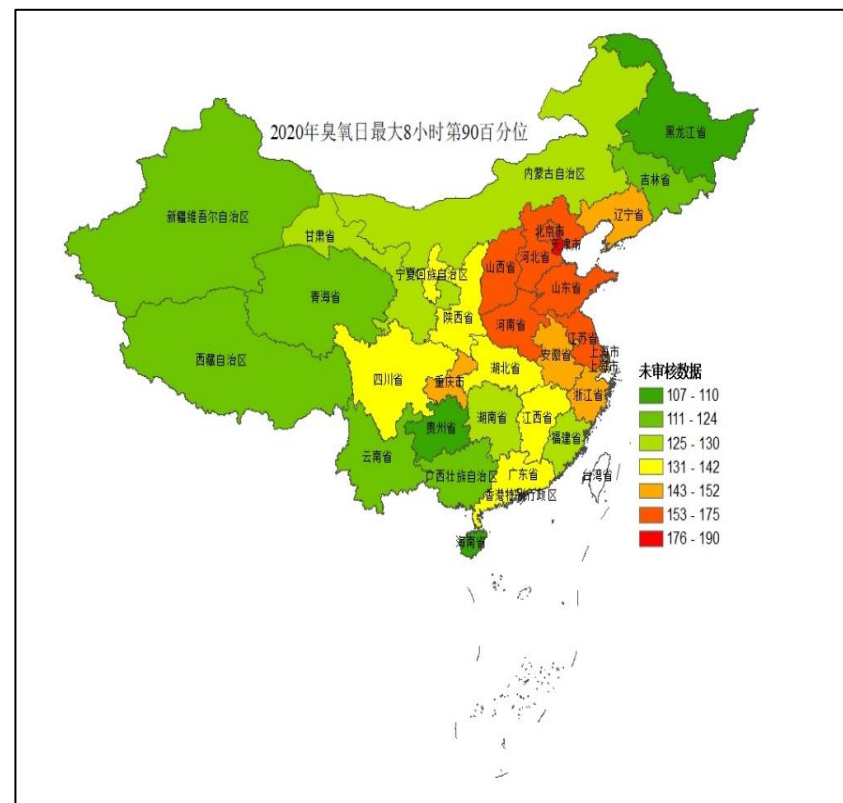


1.1、背景— 我省处于大气复合污染区域

2020年全国PM_{2.5}均值空间分布特征



2020年全国臭氧日最大8小时第90百分位空间分布特征



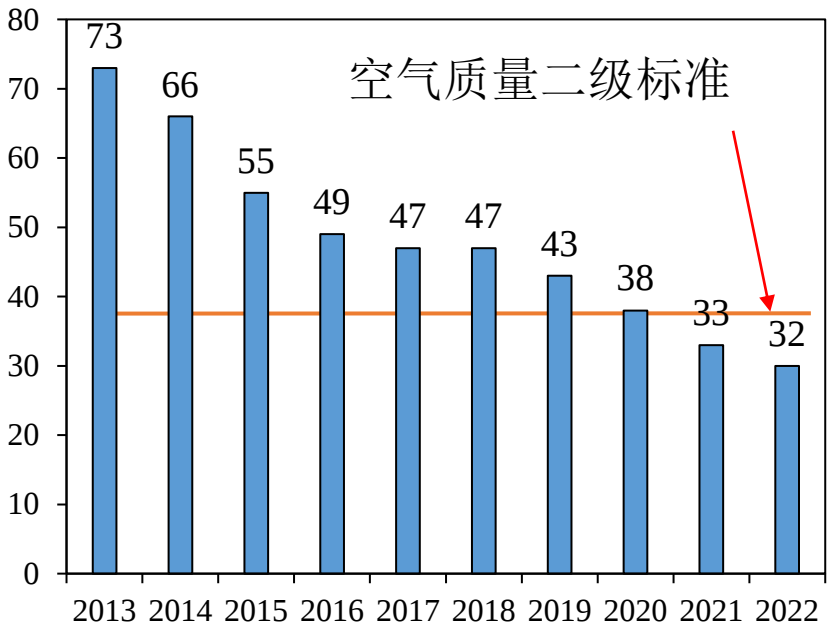
我国东部存在较大面积大气复合污染较为严重的区域，江苏亦在其中



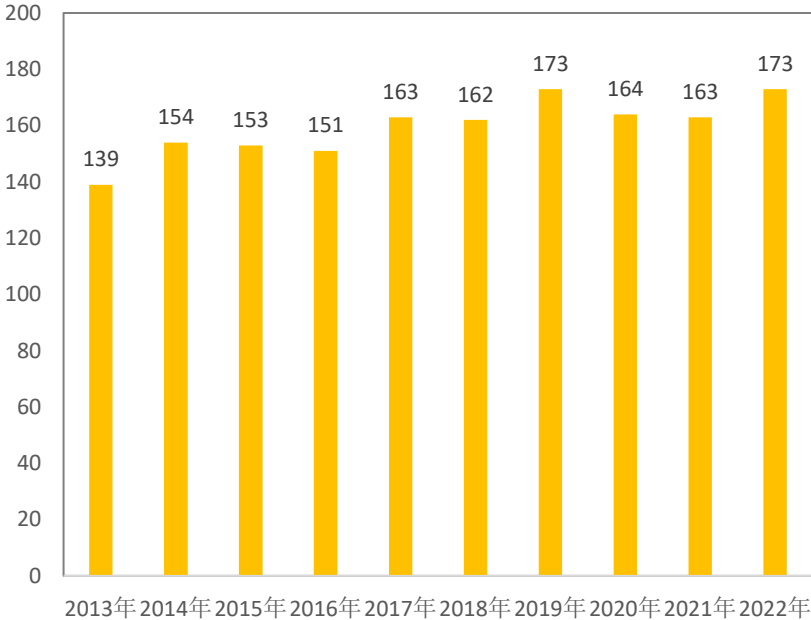
1.2、江苏省空气质量概况--历年变化情况

“十三五”以来我省首、末个臭氧超标天出现时间

PM_{2.5}浓度 (μg/m³)



臭氧 (μg/m³)

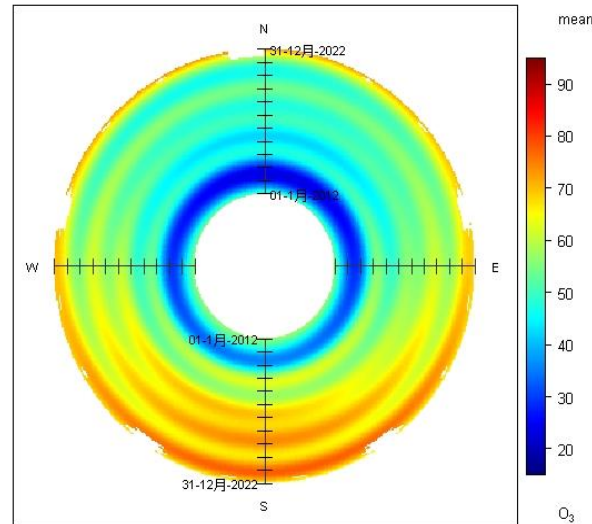
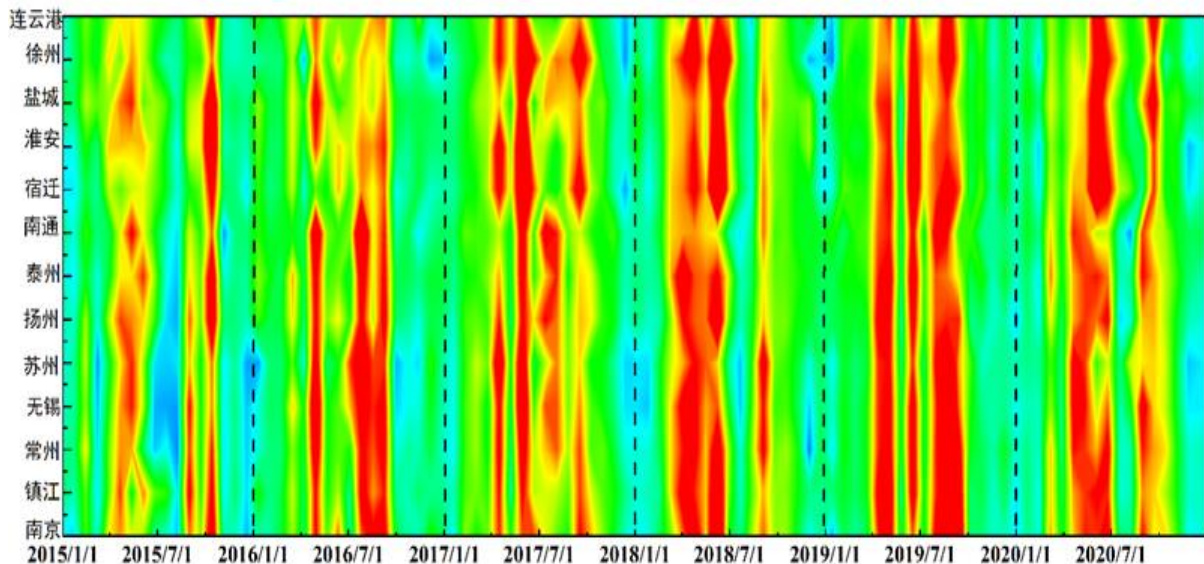
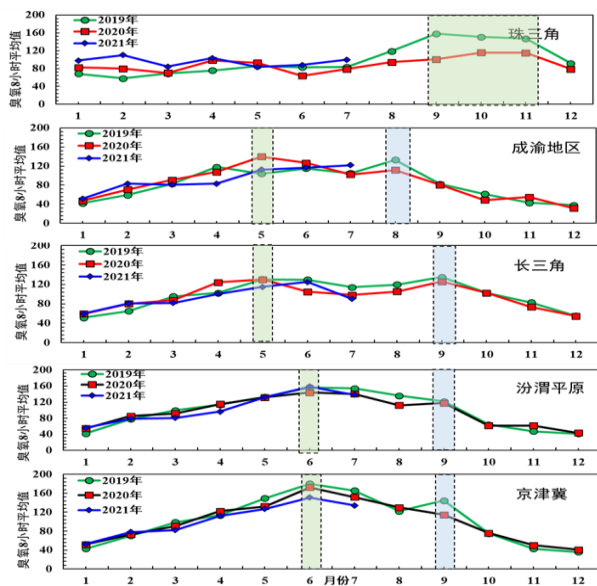


年度	首次超标天	末次超标天	超标风险期
2016	4月1日	9月26日	178
2017	4月3日	10月8日	188
2018	3月25日	10月24日	213
2019	2月24日	11月2日	251
2020	3月18日	10月2日	198
2021	3月25日	10月30日	219
2022	3月9日	10月22日	227
2023	3月6日	—	—

- 近年来全国及我省臭氧浓度呈现持续上升并高位震荡态势，与其他污染物的下降形成鲜明对比。
- PM_{2.5} 九连降，优良天数比率波动上升。
- 臭氧浓度整体呈现上升趋势：从2013年139微克/立方米上升至2022年173微克/立方米。
- 臭氧首污日不断提前：今年3月6日出现臭氧首污日（盐城，170μg/m³），在去年大幅提前基础上再次提前3天，仅次于2019年。

1.3、臭氧污染特征--江苏省臭氧时间分布特征

江苏省环境监测中心

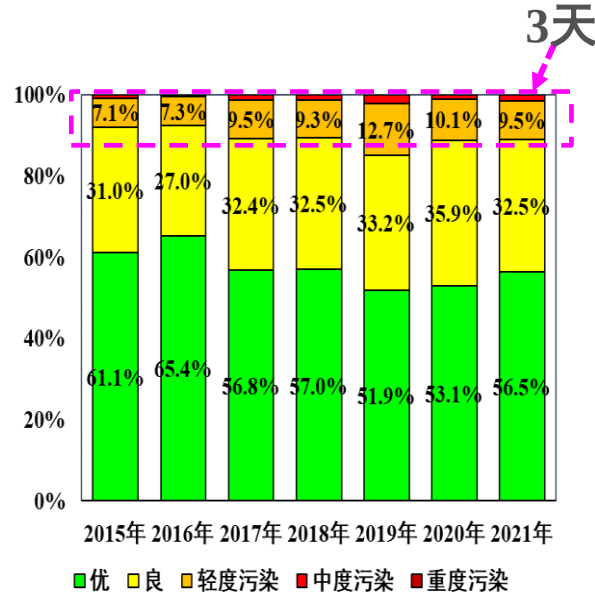


■ 从历年趋势来看：

- ✓ 臭氧为首要污染物超标天数呈现增加趋势，2022年平均超标天达54天，占比达70.8%。
- ✓ 臭氧重污染天呈增加态势，从2018年以前无，2021年、2023年多达3天。

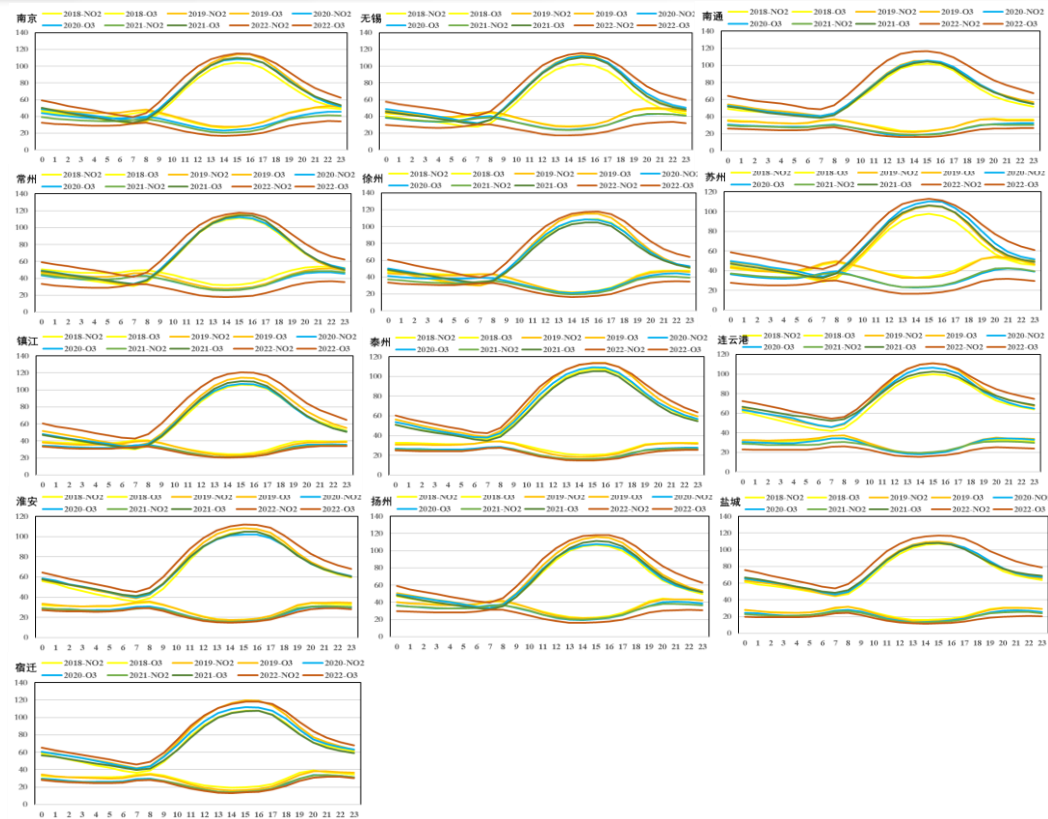
■ 从月度变化来看：

- ✓ 5-6、8-9月是我省和同维度城市群污染高发月份，尤其是6月上中旬通常是我省臭氧污染最重的时段。



1.3、臭氧污染特征--2022年臭氧小时浓度分布特征

时间	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
0	59	58	61	59	59	64	73	65	76	59	61	60	65
1	56	55	58	56	56	61	70	61	73	55	57	57	62
2	52	52	54	54	54	59	67	58	69	52	55	54	60
3	50	50	51	52	51	57	65	56	66	49	52	52	57
4	47	48	48	50	49	55	62	53	63	46	49	49	54
5	44	46	45	47	46	53	59	50	59	44	47	47	52
6	41	42	42	44	43	50	57	47	56	41	44	44	48
7	39	41	40	42	42	49	54	45	54	40	43	42	46
8	44	46	44	47	46	53	56	49	59	45	48	48	49
9	57	59	57	60	59	65	64	60	71	58	61	61	60
10	72	74	72	75	73	80	75	74	85	74	76	76	75
11	87	88	88	91	87	94	87	88	98	90	91	89	90
12	100	101	100	103	99	106	98	99	107	103	104	100	102
13	108	109	110	111	108	113	105	106	113	112	113	107	111
14	113	113	115	116	111	116	110	110	116	117	119	112	115
15	115	116	118	118	113	117	111	112	117	118	121	114	118
16	115	114	118	117	111	115	110	112	117	118	120	113	118
17	111	109	115	112	107	110	105	109	114	114	117	110	115
18	103	99	106	104	98	101	98	101	107	105	108	103	107
19	93	87	94	92	87	91	91	92	98	93	96	92	95
20	83	76	83	81	77	83	85	83	92	82	84	83	84
21	74	68	73	72	70	77	81	76	86	74	76	75	77
22	67	63	68	66	65	72	77	72	82	68	70	69	72
23	63	60	64	62	61	68	75	68	79	63	65	64	68
平均	75	74	76	76	74	79	81	77	86	76	78	76	79
全年90百分位	170	179	171	179	172	179	159	159	170	180	184	172	169



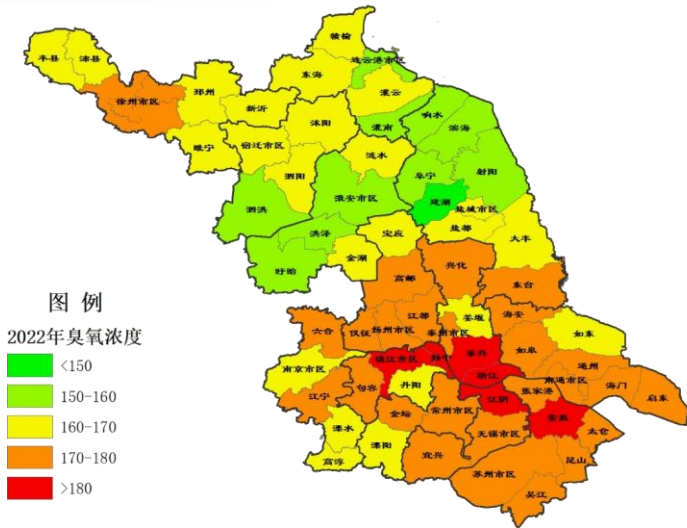
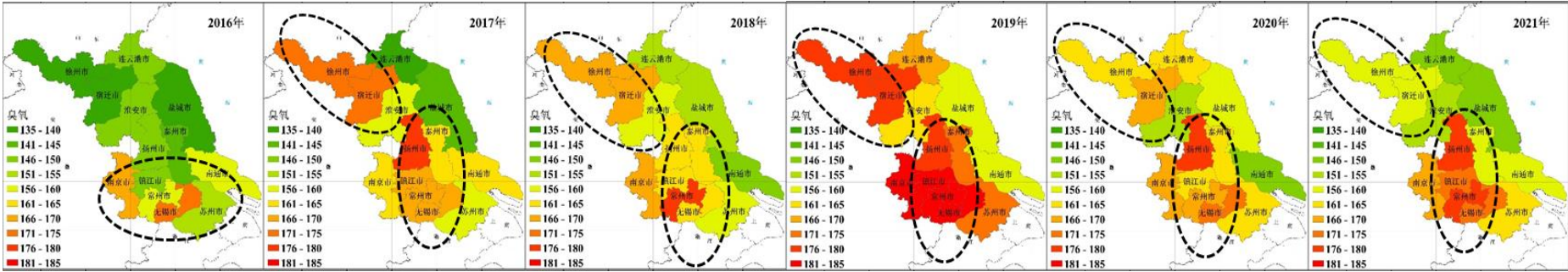
●从小时浓度变化特征来看：各市夜间拖尾有所增加，臭氧低值区平均浓度反而偏高。

➤ 与臭氧90百分位较高的沿江城市不同，盐城、连云港等沿海城市夜间拖尾和晨间高值明显，平均浓度反而居全省前列。



2.1、臭氧污染特征--江苏省臭氧空间分布特征

✓ 江苏省臭氧污染的典型区域和关键分型

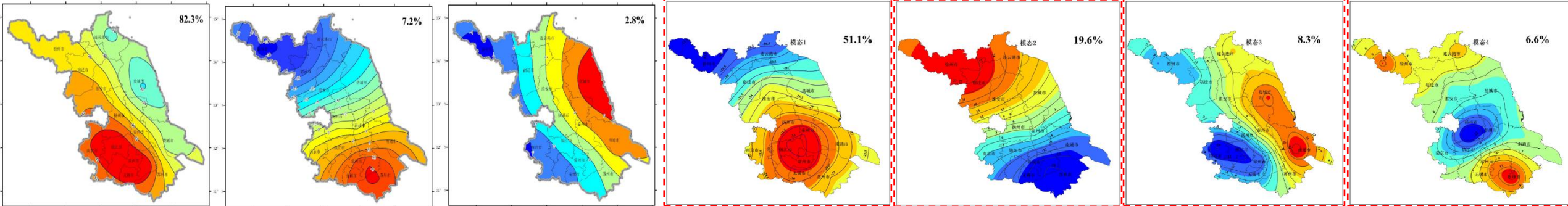


- 从空间上来看：我省臭氧污染呈现沿江重于苏北的特征，长江沿线区县尤为明显。
- 从污染过程来看：臭氧污染过程多从苏南开始，逐渐北推形成区域污染。

经验正交分解EOF

$$X_{sw} = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1s} \\ V_{21} & V_{22} & \cdots & V_{2s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{s1} & V_{s2} & \cdots & V_{ss} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & \cdots & T_{1w} \\ T_{21} & T_{22} & \cdots & T_{2w} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{w1} & T_{w2} & \cdots & T_{ww} \end{pmatrix}$$

- 污染期间我省臭氧主要呈现四种空间分布：①苏南地区污染突出、苏北相对较弱区域型，②从苏北5市向沿江8市逐渐降低的区域性型，③盐城和南通“双中心”向内陆逐渐增加的传输型；④苏州和徐州“双中心”向四周逐渐减少的局地排放影响型。

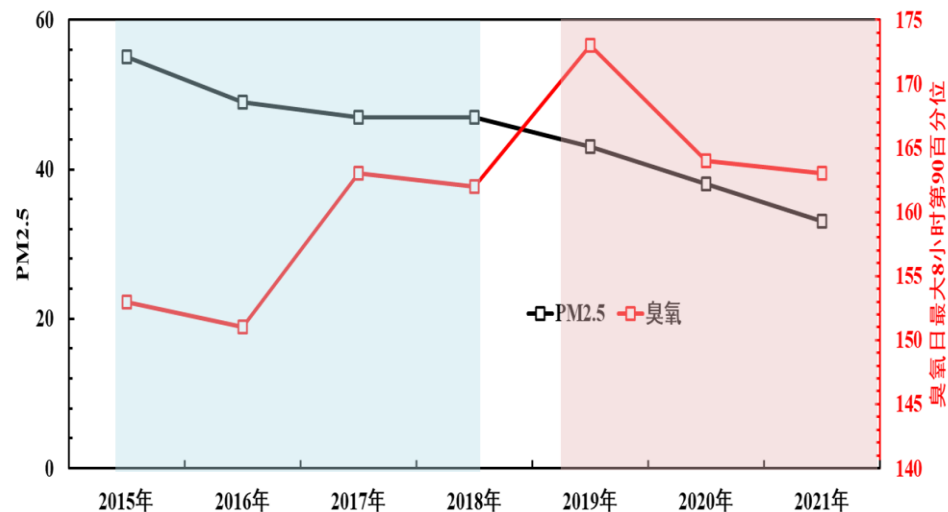


臭氧整体分型

污染期间臭氧分型

1.3、臭氧污染特征--与PM_{2.5}相关性增强

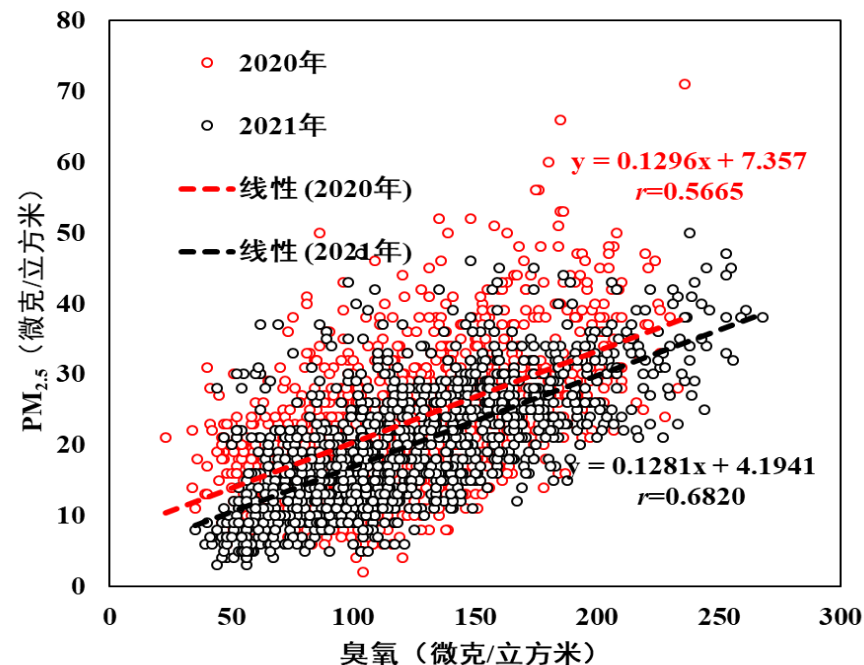
	2020年				2021年			
城市	3—5月	6—8月	9—11月	1,2,12月	3—5月	6—8月	9—11月	1,2,12月
南京	0.223	0.405	-0.058	0.010	0.019	0.551	0.252	-0.115
无锡	0.360	0.523	0.277	-0.076	0.117	0.634	0.168	-0.138
常州	0.276	0.546	0.120	-0.135	-0.058	0.698	0.135	-0.049
苏州	0.373	0.570	0.269	-0.048	0.099	0.617	0.105	-0.111
南通	0.416	0.493	0.315	-0.006	0.302	0.629	0.230	-0.079
扬州	0.275	0.579	0.128	-0.048	0.000	0.723	0.263	0.052
镇江	0.344	0.622	0.031	-0.040	-0.092	0.696	0.165	0.028
泰州	0.531	0.475	0.297	0.075	0.171	0.753	0.329	0.067
徐州	-0.031	0.631	-0.192	-0.064	-0.013	0.716	0.125	-0.161
连云港	0.487	0.748	0.013	-0.026	0.045	0.739	0.040	-0.237
淮安	0.266	0.758	-0.036	0.071	0.058	0.756	0.207	-0.128
盐城	0.536	0.725	0.256	0.098	0.266	0.788	0.241	-0.044
宿迁	0.081	0.601	-0.051	0.054	0.237	0.832	0.076	-0.153



多年监测数据表明：

■ PM_{2.5}和臭氧浓度的变化由“跷跷板”转为“同频变化”，尤其在夏季呈现显著的同升同降关系。

■ NO_x和VOCs作为PM_{2.5}和O₃的共同前体物，是协同控制的关键。



02 污染成因

- 前体物因素
- 气象因素
- 传输因素

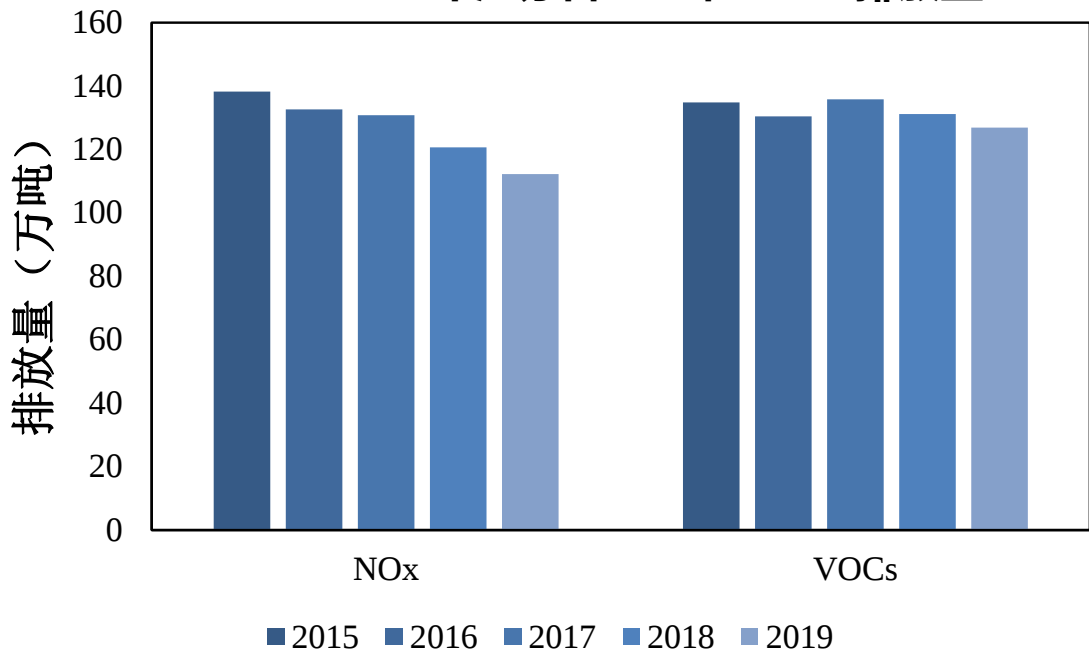




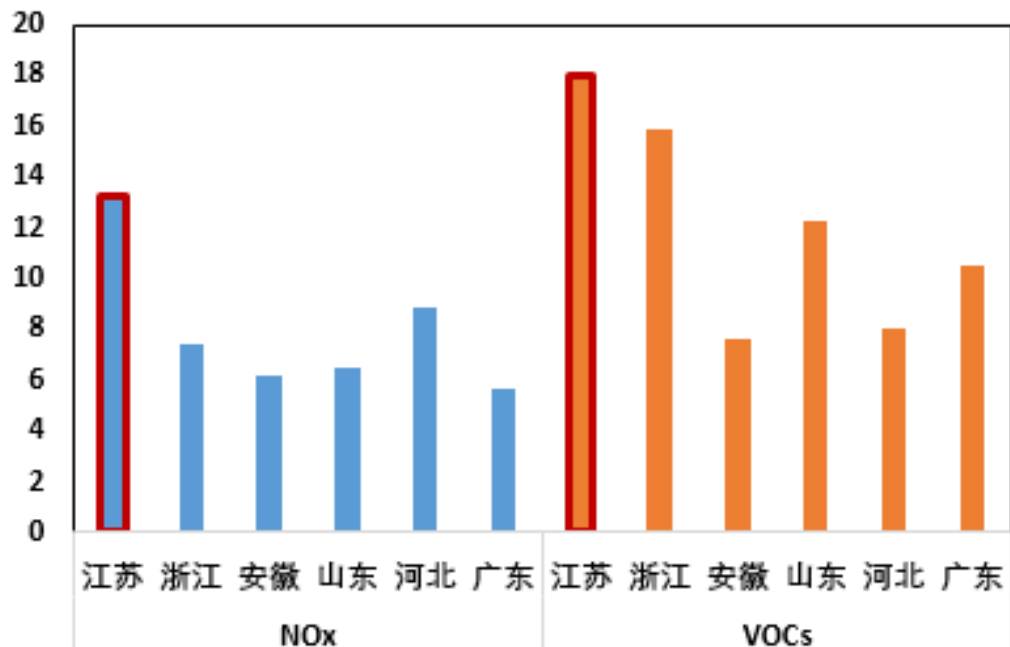
2.1、前体物因素-- 排放总量大

- 大气环境质量持续改善的主要矛盾是污染物排放总量大于环境容量
 - 1%的国土面积创造了10%的GDP总量
 - 氮氧化物、挥发性有机物排放达百万吨级
 - 污染物排放总量和排放密度高于广东、河北、山东、浙江等地

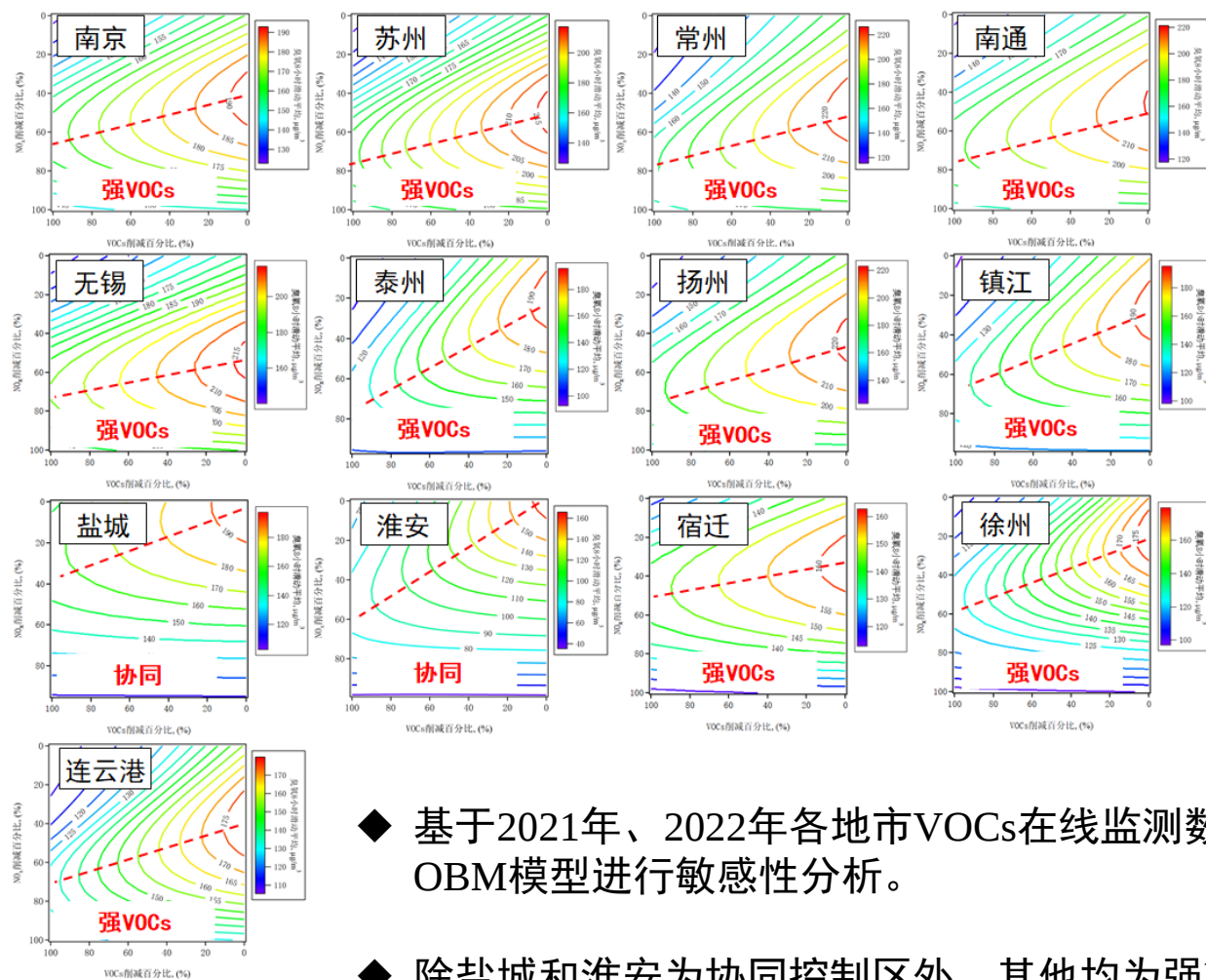
2015-2019年江苏省NO_x和VOCs排放量



单位面积排放强度 (吨/平方公里)

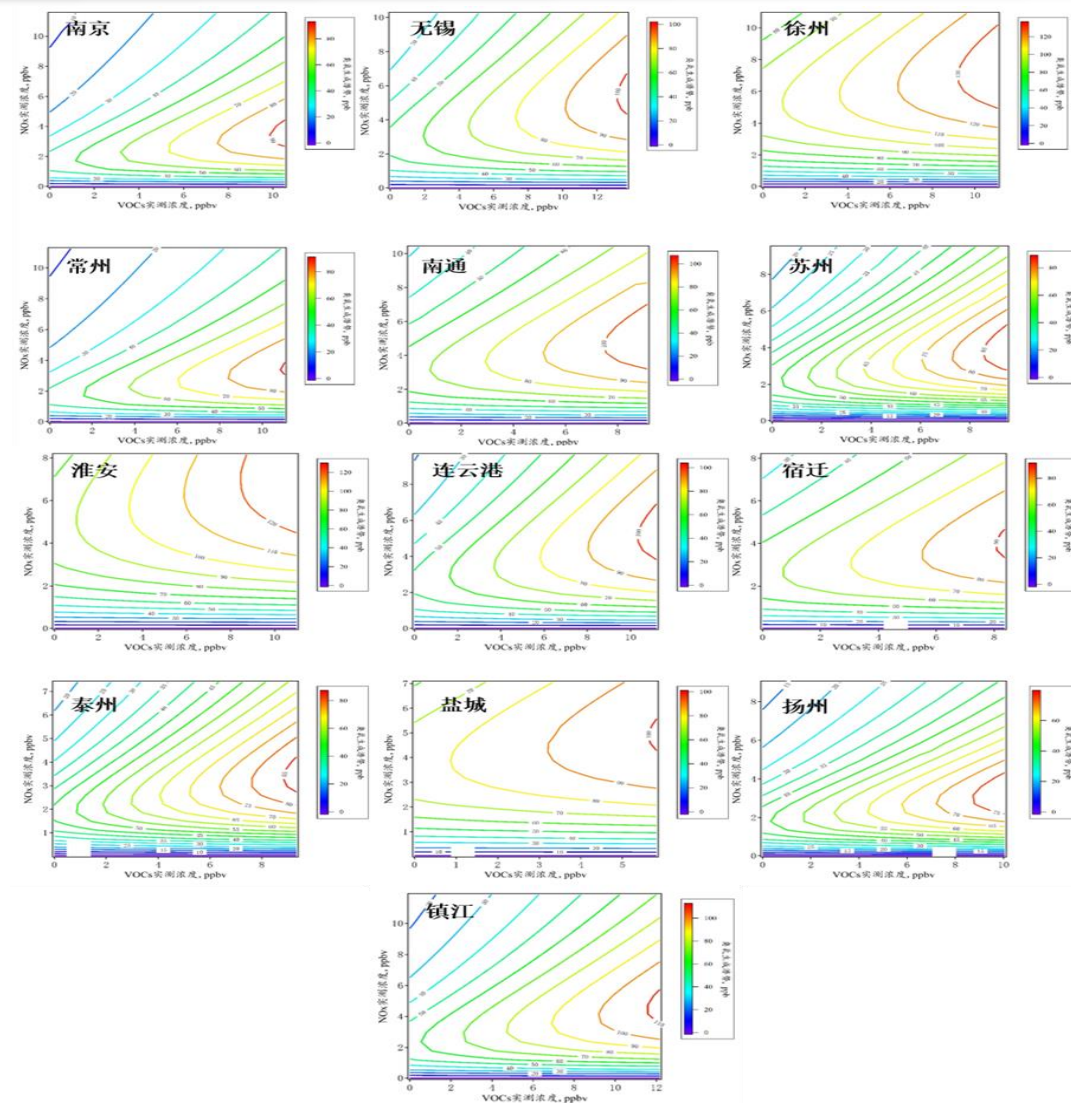


2.1、前体物因素--敏感性分析



2021年

- ◆ 基于2021年、2022年各地市VOCs在线监测数据，利用OBM模型进行敏感性分析。
- ◆ 除盐城和淮安为协同控制区外，其他均为强VOCs控制区；2022年数据显示，除淮安市处于协同控制区外，其他12市均处于VOCs控制区。



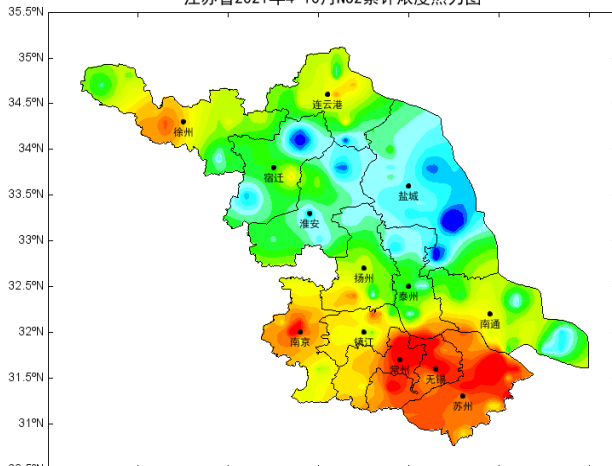
2022年

2.1、前体物因素--2022年臭氧与NO₂空间分布特征

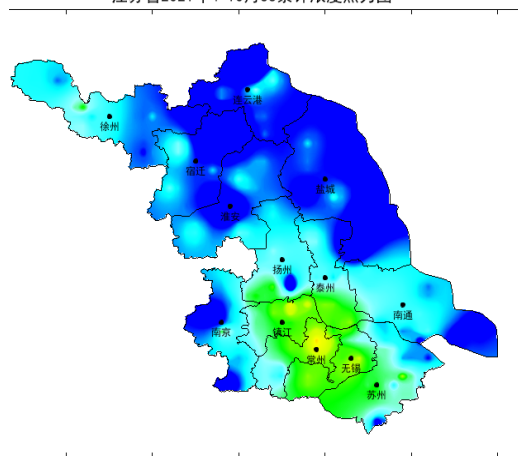
江苏省环境监测中心

- 浓度范围：**2022年我省NO₂浓度在25微克/立方米（18-29微克/立方米）左右，沿江城市 and 徐州市显著高于苏北其他城市。
- 空间分布特征：**高值区均位于沿江地区，臭氧高值区位于NO₂高值区下风向。

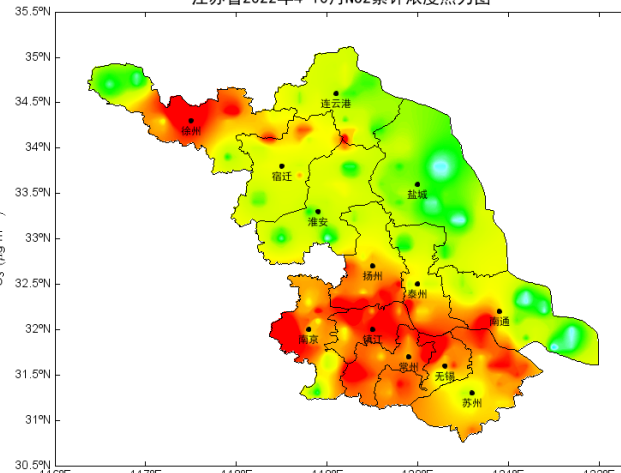
江苏省2021年4-10月NO₂累计浓度热力图



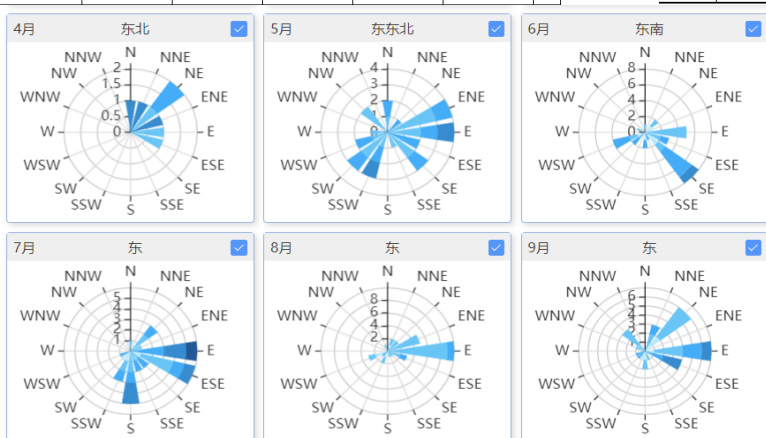
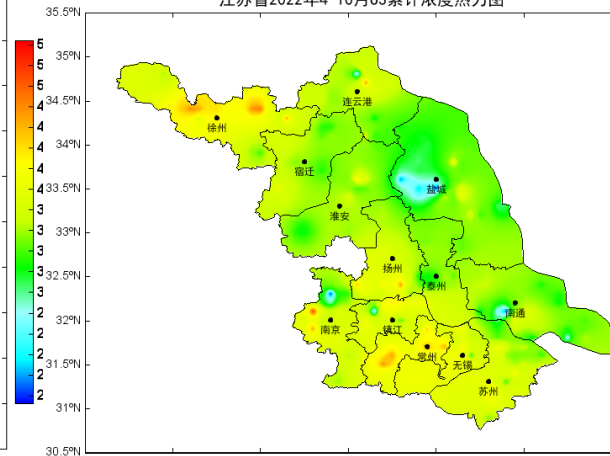
江苏省2021年4-10月O₃累计浓度热力图



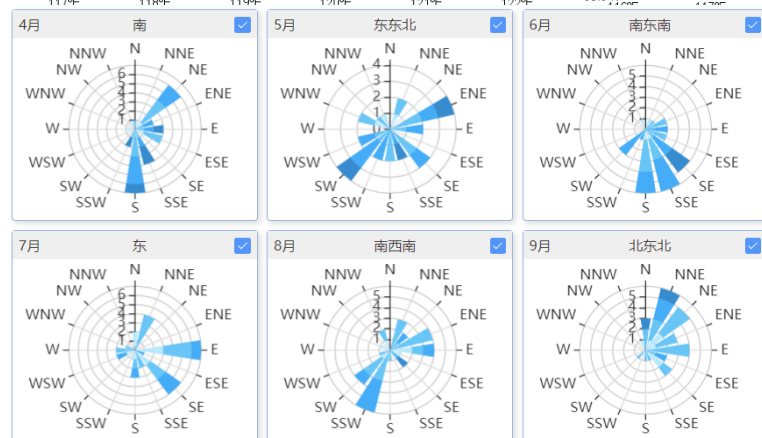
江苏省2022年4-10月NO₂累计浓度热力图



江苏省2022年4-10月O₃累计浓度热力图



2021年臭氧季主导风向整体稳定，以偏东风或东南风为主



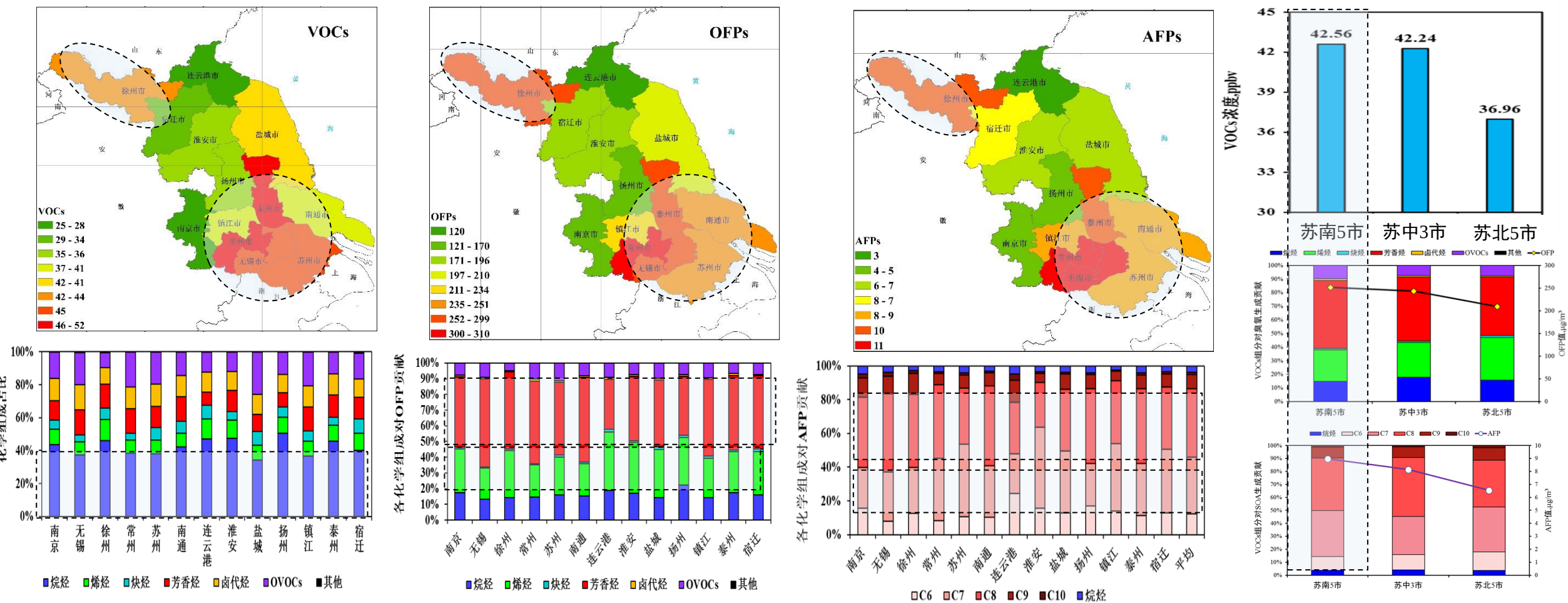
2022年臭氧季主导风向变化较大，以偏南风 and 东北风为主



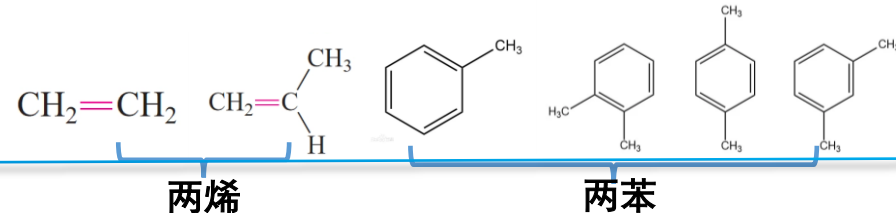
2.1、前体物因素--江苏省挥发性有机物时间分布特征

江苏省环境监测中心

- ✓ **浓度范围：**我省VOCs（117种）浓度在40ppb左右，沿江城市显著高于苏北。
- ✓ **常州、泰州、苏州和无锡及苏北的徐州**是我省VOCs、OFPs、AFP_s的高值区域，与臭氧高值区分布基本一致。



2.1、前体物情况--江苏省VOCs关键组分

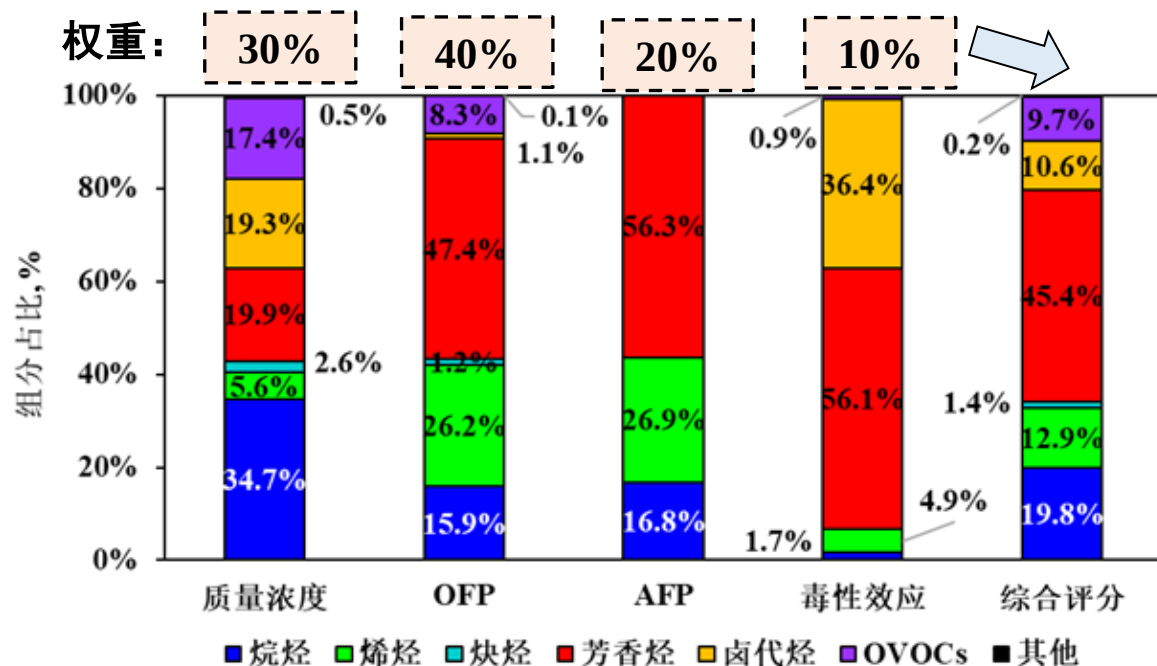


采用四维评价体系筛选典型控制物种

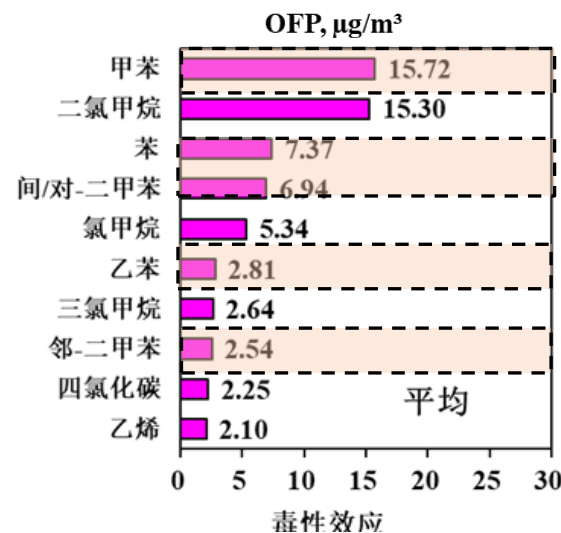
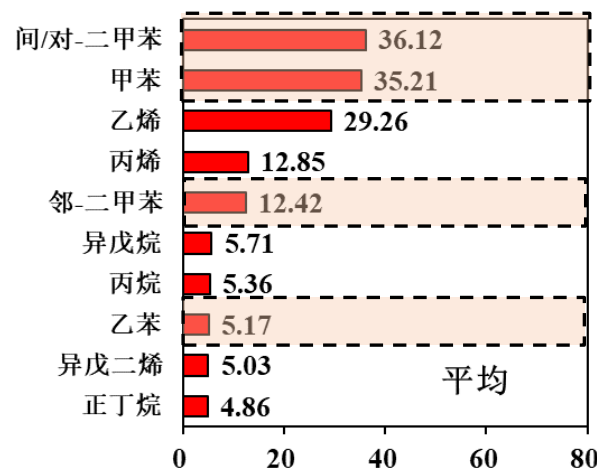
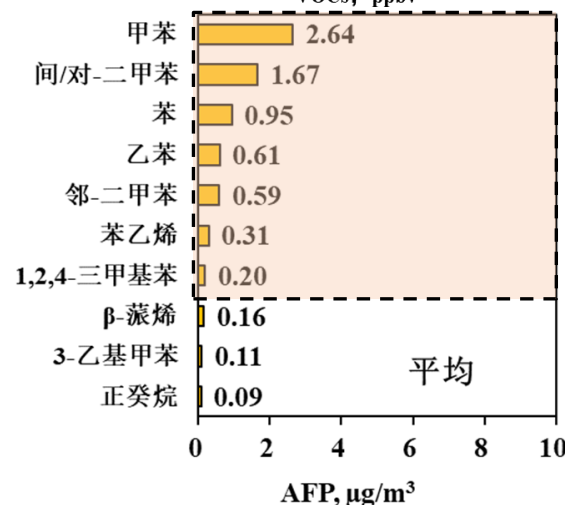
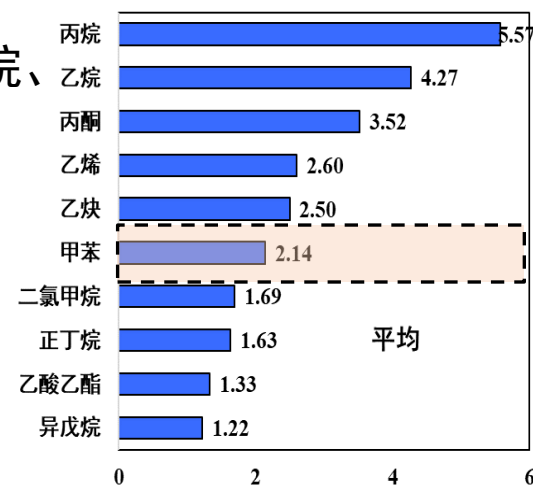
✓ 芳香烃是综合评分最高，是优先级最高的需要控制的VOCs物种s。

✓ 关键组分：臭氧→两苯两烯；

✓ 综合评分→甲苯、间/对-二甲苯、乙烯、丙烷、二氯甲烷、邻-二甲苯等。

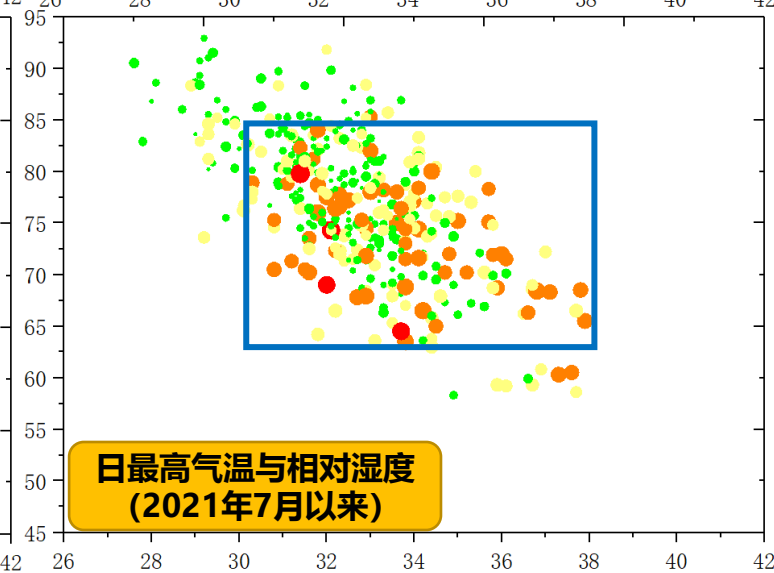
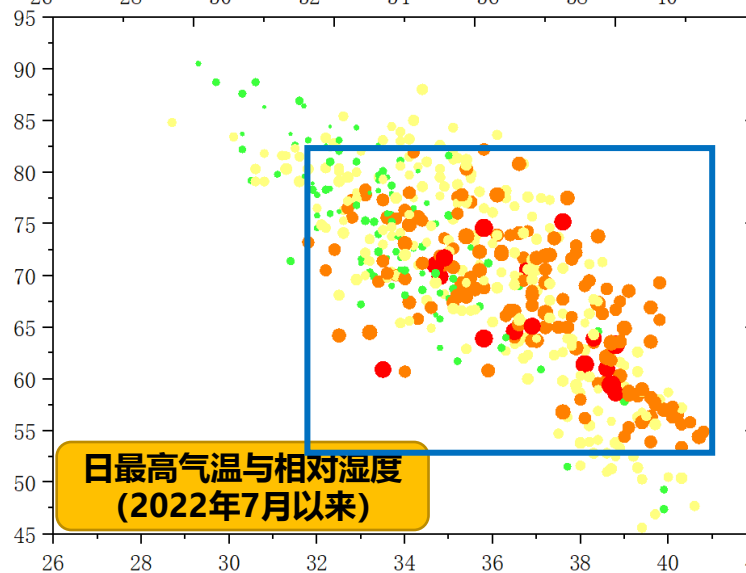
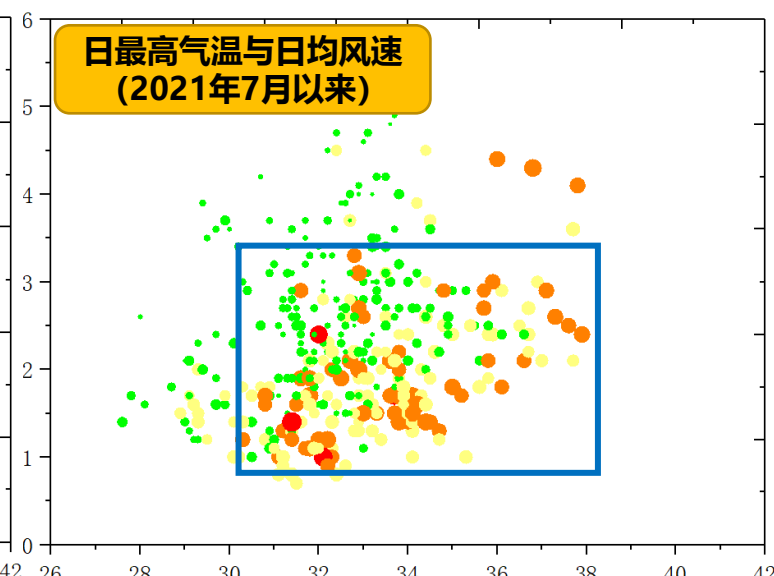
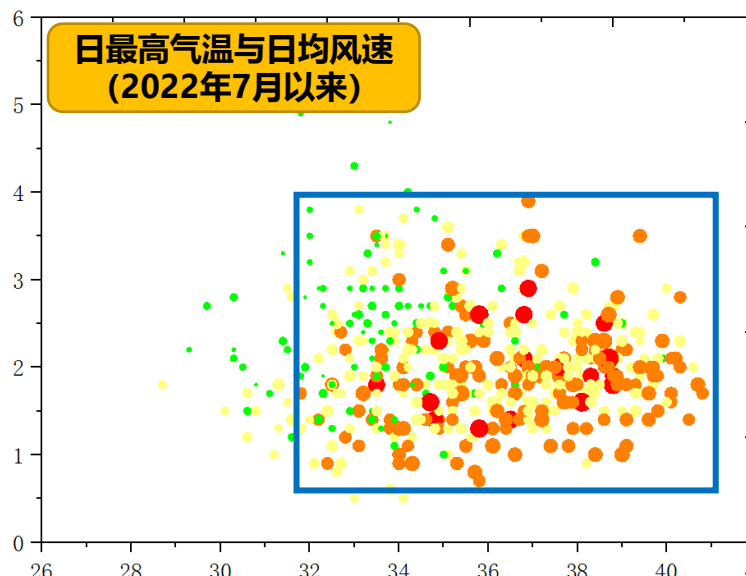


综合评分 = $0.3 \times \text{相对质量浓度} + 0.4 \times \text{相对臭氧生成潜} + 0.2 \times \text{相对颗粒物生成潜} + 0.1 \times \text{相对毒害效应}$



2.2、气象因素-- 气象因子与臭氧浓度关系

- 臭氧浓度受气象因子影响显著，在日最高气温 $>30^{\circ}\text{C}$ ，日均风速 <3 米/秒，相对湿度 $<80\%$ ，臭氧污染的可能性较大；
- 2022年7月以后异常高温频次增多，日最高气温超过 38°C 同比增加9天；小风日数增多，日平均风速小于2米/秒同比增加4.2天；相对湿度更低，相对湿度低于60%同比增多5.4天；
- 研究表明，温度在 $28\sim 38^{\circ}\text{C}$ 之间时，我省相关城市臭氧随温度快速增长，增速可达 $4\sim 5\text{ppb}/^{\circ}\text{C}$ 。



2.2、气象因素-- 气候变化趋势

江苏省环境监测中心

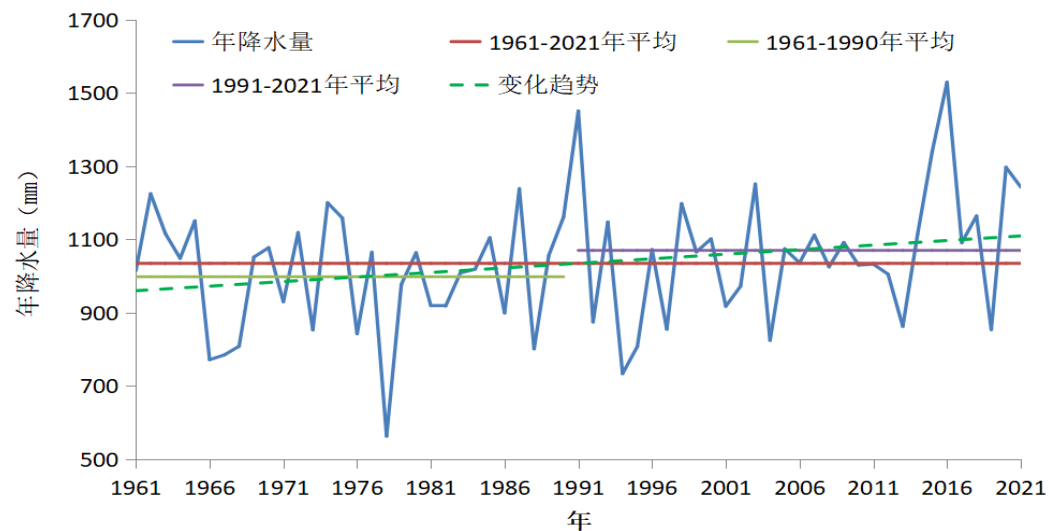
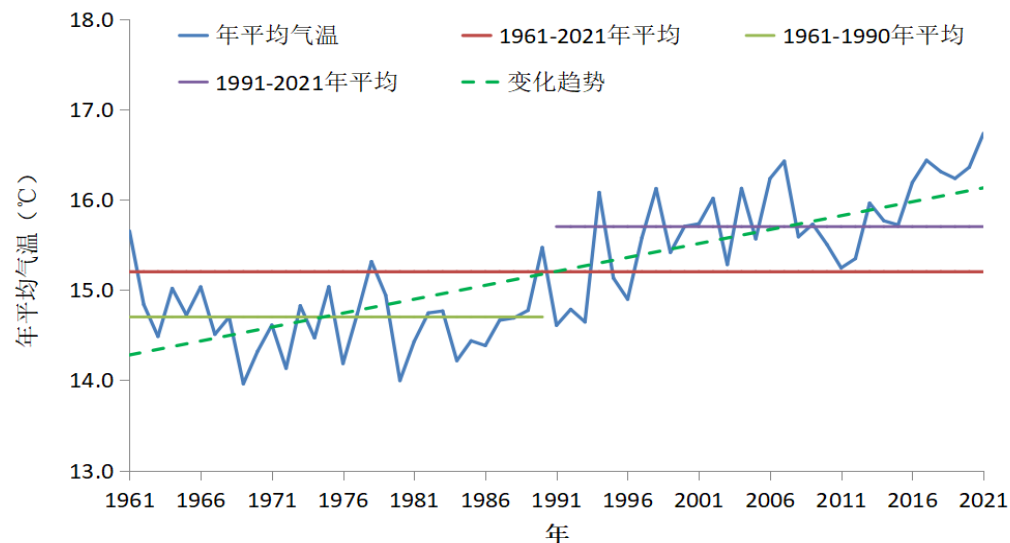
●**1961年以来，全省气候变暖特征显著。** 1961—2021年间，江苏省多年年平均气温为15.2℃，平均每10年增加0.31℃，呈显著上升趋势。

●**近年来，江苏省年均气温呈现加速上升趋势。** 在2012—2021年这十年间，江苏省年均气温平均每年升高大于0.1℃，远高于1961年来气温的平均增速。在历史高温日数前十位的年份中，有5年出现在2010年以后。

●**江苏省年降水量在1961—2021年间呈现波动上升趋势，但降雨日数反而呈下降趋势。** 年降水量多年平均值为1034.0毫米，近61年平均每10年增加24.9毫米。年降水日数多年平均值为109.8天，在1961~2021年期间反而呈减少趋势，平均每10年减少0.6天。

气候变化对我省环境空气质量持续改善带来了挑战。

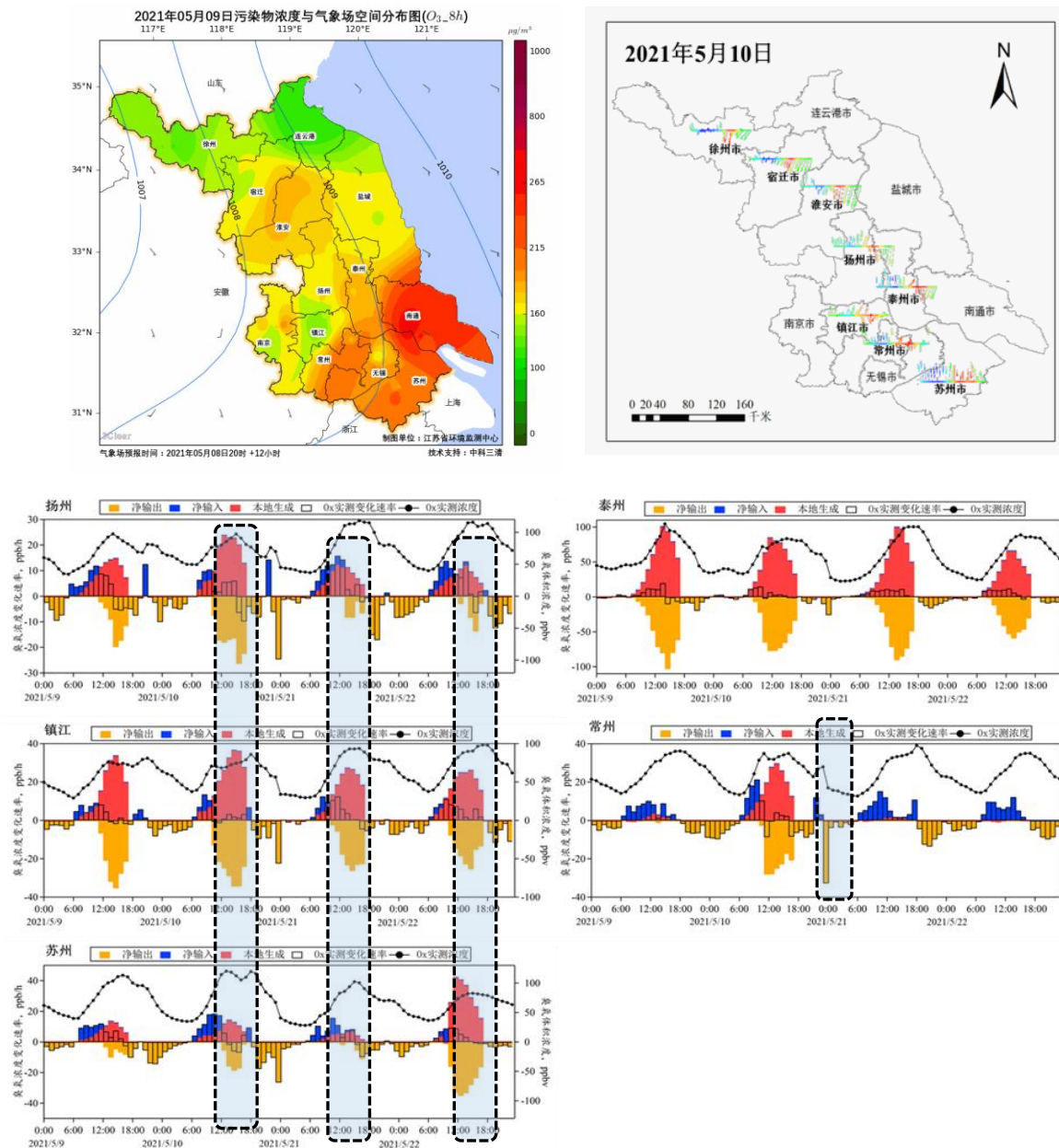
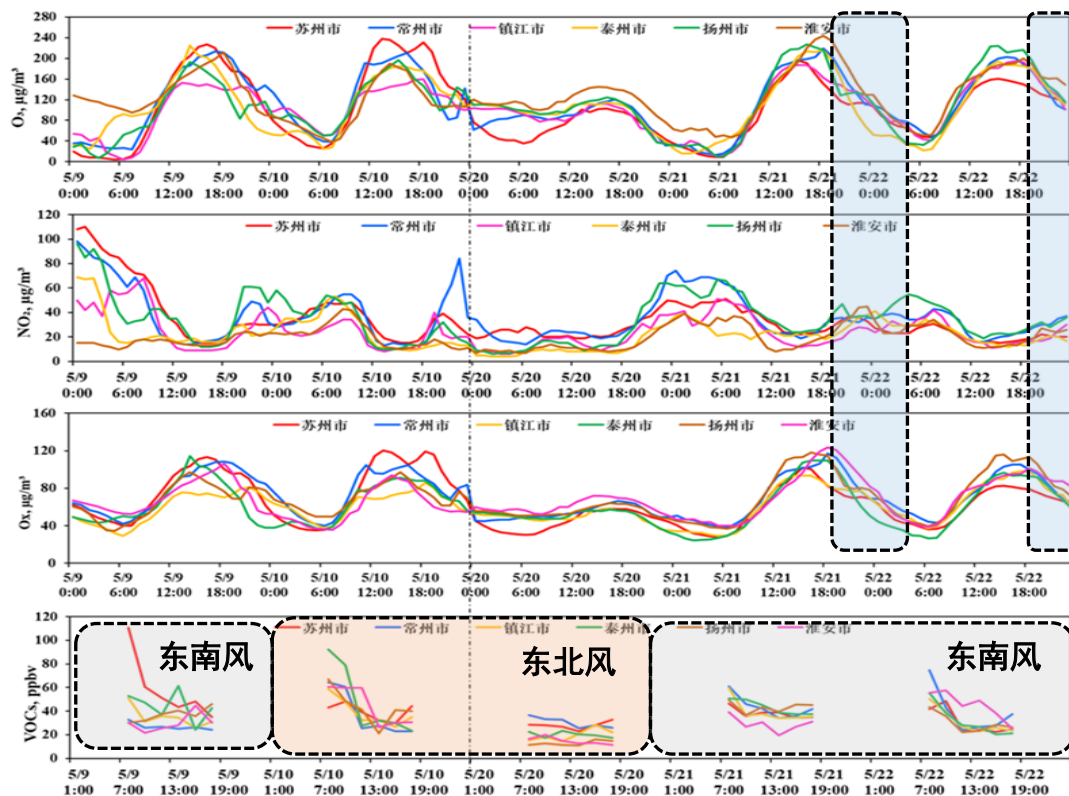
- **降雨期短而雨量集中，降雨量未减但降雨日数减少**，使得雨水对大气中颗粒物的湿清除作用减少。
- **平均气温的持续上升和高温天气的增多更是有力促进了臭氧的生成**，使臭氧污染高发时间从夏季提前到春季，导致我省全年臭氧污染程度明显增强。
- **气象因素变化带来的臭氧浓度年度变化在20微克/立方米以上**



2.3、传输因素--区域传输

□ 我省份内臭氧存在明显的传输现象

- ✓ **传输特征：**观测期间，多数城市臭氧呈双峰特征，模拟发现多数城市存在输入和输出现象。
- ✓ 臭氧污染季节，多盛行东南风，叠加苏南高VOCs排放，容易导致我省出现大面积的臭氧污染。



03 思考与展望



◆几点思考：

- ◆ 气象、传输因素无法掌控，唯有做好自身前体物减排才是控制臭氧污染的关键；
- ◆ 在短期管控上，前体物尤其是VOCs按不同比例管控减排属于“伪命题”，NO_x属于动态排放，VOCs多属于静态排放，双减双控才是硬道理；
- ◆ 在污染减排上，做好排放清单和减排方法的摸排，从产业、能源结构调整和重点行业末端控制两方面分别进行减排潜力分析，才能真正的做到精准减排。
- ◆ 在目标设定上，综合考量社会经济发展压力、公众对空气质量改善需求及国家对空气质量达标要求，着眼于长远科学研究确定阶段性改善目标；

一、持续强化氮氧化物减排

一是加快实施钢铁行业全流程超低排放改造。

二是推进水泥、焦化行业超低排放改造。按计划推进全省煤电机组深度脱硝改造任务。

三是全面推进生物质锅炉（电厂）综合治理。

四是加快全省国三及以下排放标准柴油货车的淘汰进度。

二、持续做好VOCs减排

一是开展低VOCs含量原辅材料替代。对钢结构、包装印刷、家具制造、船舶修造等重点行业加快推进清洁原料替代项目，全面排查梳理涉及使用溶剂型涂料、油墨和胶粘剂的企业，推动实现“应替尽替”。

二是加快整治低效废气治理设施。对涉及使用低温等离子、光氧化、光催化技术、单一喷淋吸收等治理技术加快推进升级改造。

三是提升重点行业VOCs治理水平。工业涂装、石化、制药、农药制造、涂料制造、油墨制造、包装印刷、家具制造、汽车制造等涉VOCs重点行业力争15%的企业达到B级及以上，90%的企业达到C级及以上。

四是推动原油成品油码头和油船VOCs治理。全面完成油气回收设施升级改造，推动全省原油成品油码头和油船VOCs治理工作。

五是推进重点园区VOCs综合整治。对重点园区开展挂钩帮扶，做好无组织排放收集，推进产业集群整治，加强高活性VOCs组分物质减排等。



敬请批评指正！