



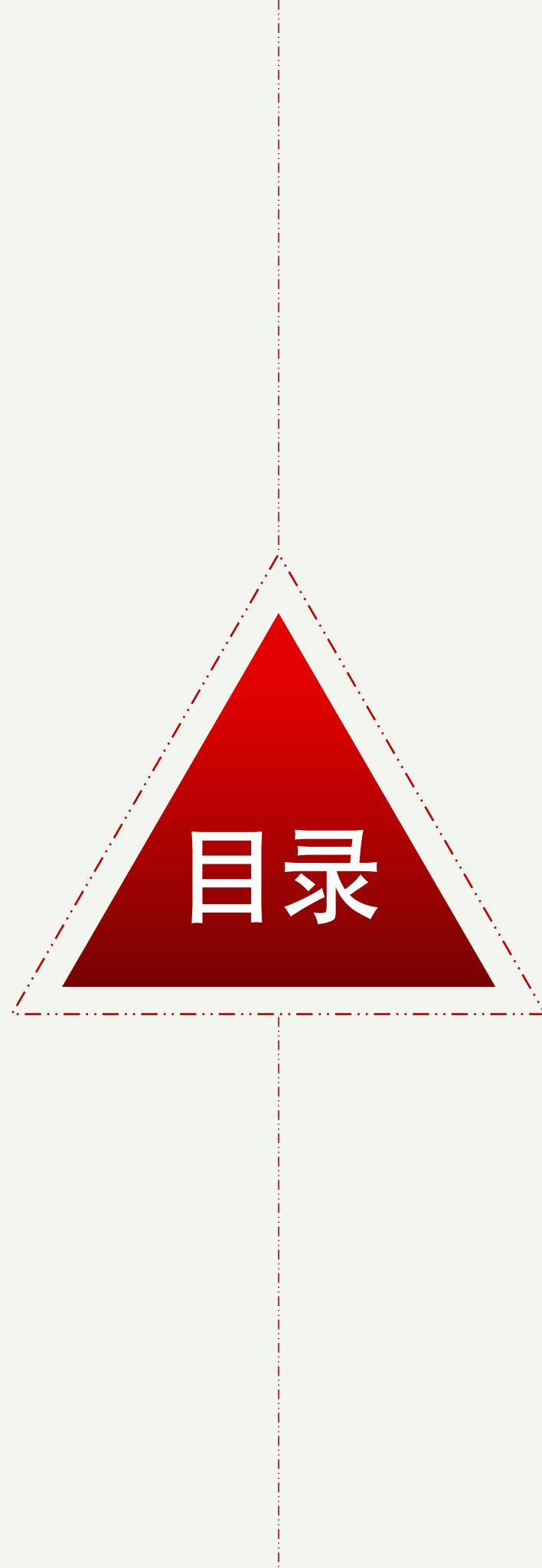
北京大学

# 珠三角大气污染特征的可视化分析

《数据可视化》课程报告

---

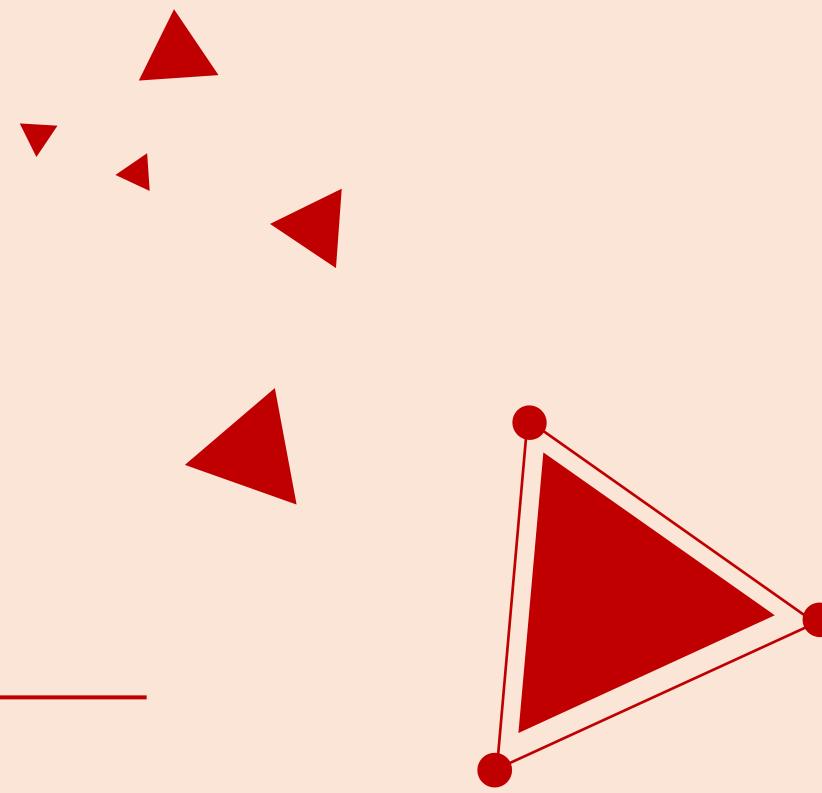
小组成员：王舒妍、毕佳琪、杨宗贵  
日期：2025年1月30日



- 1 / 研究背景
- 2 / 数据来源与预处理
- 3 / 结果与分析
- 4 / 结论与建议

# 01

## *Part One* 研究背景





## 研究背景

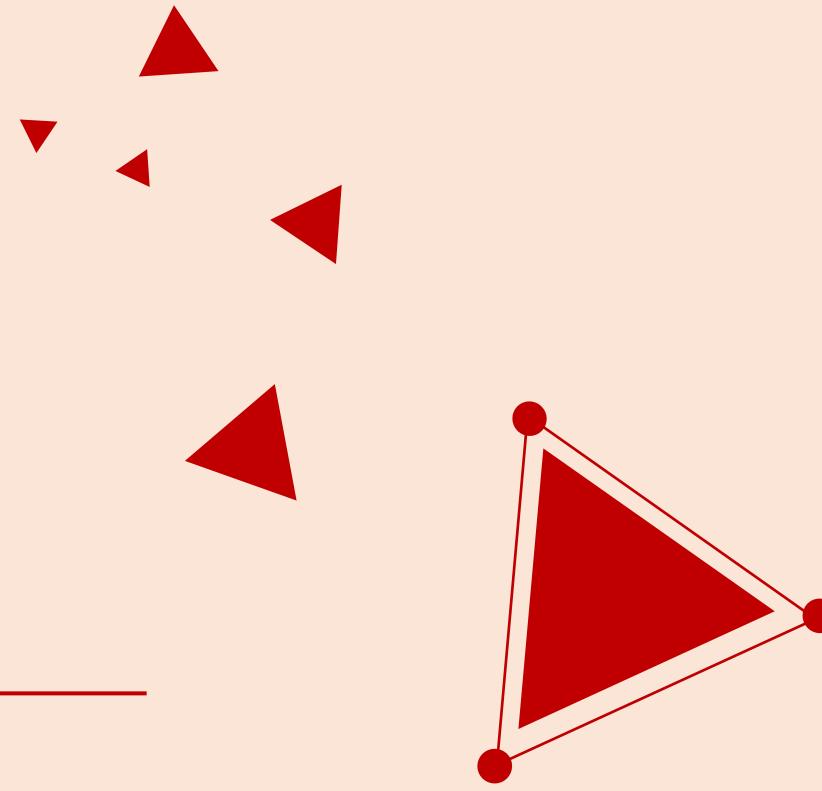
珠江三角洲作为我国南方经济核心区，汇聚了超 6000 万人口，GDP 占全国比重超 10%，同时也是工业、交通、能源消耗高度集中的区域。大气环境质量不仅直接关系到区域居民的身体健康，更影响着经济社会的可持续发展。随着“双碳”目标推进和生态文明建设深化，珠三角 9 市的大气污染治理进入精细化阶段。

本次研究基于 2021-2024 年连续四年的监测数据，通过数据可视化技术拆解污染的时空规律及影响因素，旨在为区域污染联防联控、产业结构优化及监测体系完善提供科学依据，助力打造“天蓝、地绿、水清”的宜居环境。

# 02

*Part Two*

## 数据来源与预处理

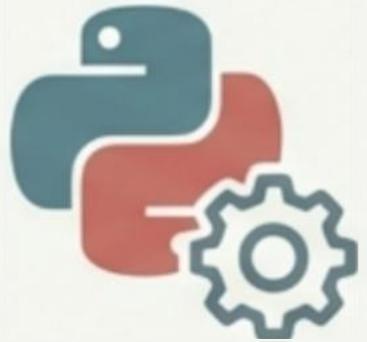


# 基于Python 的数据清洗与可视化全流程



数据来源  
(Data Source)

- 范围: 2021-2024年  
珠三角9市逐日监测数据
- 指标: PM2.5, PM10,  
 $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , AQI达标率



数据预处理  
(Processing)

工具:  
Python(Pandas) 库  
Matplotlib & Seaborn



可视化分析  
(Visualization)

- 折线图(趋势)
- 柱状图(排名)
- 热力图(季节密度)
- 维度: 站点地区类别



# 对数据内容1——珠三角9市2021-2024年每月AQI达标率，PM10、PM2.5平均浓度

首先按月份工作表（Sheet1-Sheet12）读取Excel文件，为各月份数据补充标准化的“时间”字段和“季节”字段，并整合为统一的数据集。

随后对核心指标字段进行标准化重命名，按“城市 + 时间”维度排序以确保数据时序性。

在此基础上新增关键分析字段：包括将AQI达标率转换为小数形式、按城市分组计算PM10、PM2.5以及AQI达标率的月度环比变化率（缺失值填充为0），并依据AQI达标率阈值（ $\geq 95\%$ 为优秀、 $\geq 85\%$ 为良好、 $\geq 70\%$ 为一般、 $< 70\%$ 为较差）划分污染等级。

最后将预处理完成的数据保存为UTF-8编码的CSV文件。



# 对数据内容2——珠三角9市各监测子站2021-2024年每月6种大气污染物浓度平均值

首先按月份工作表（Sheet1-Sheet12）读取Excel文件，为各月份数据补充标准化的“时间”和“季节”字段，整合为统一数据集。

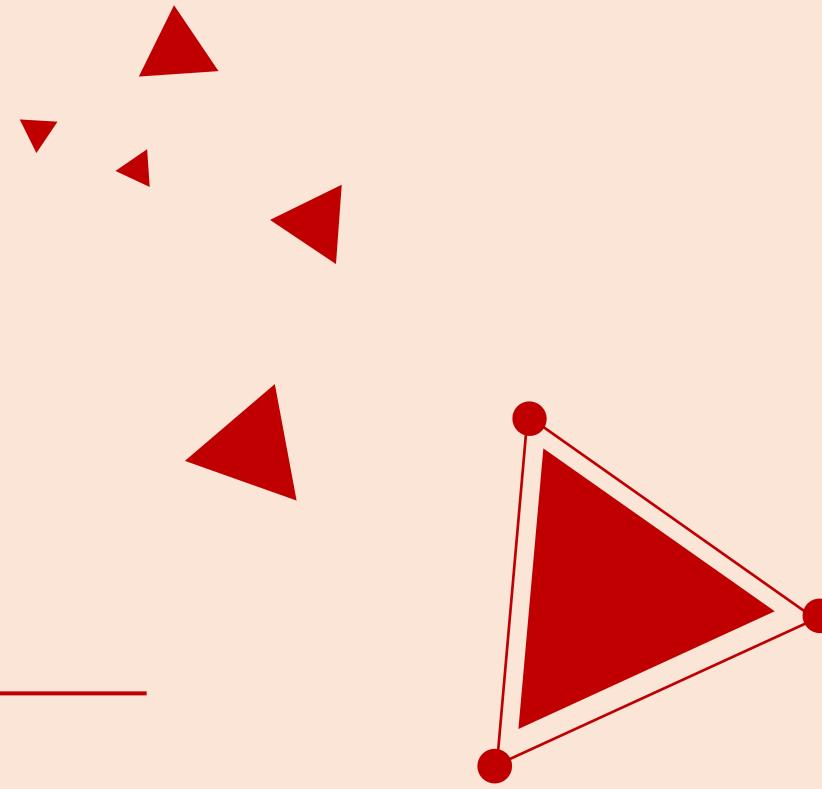
随后对核心指标字段进行标准化重命名，并通过监测子站名称中的城市关键词（如“广州”“深圳”）提取所属城市信息，按照“城市 + 时间 + 监测子站名称”维度排序

完成CO浓度单位转换（将 $\text{mg}/\text{m}^3$ 转换为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，保留原始单位字段）后，采用MinMaxScaler对6种污染物浓度（ $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{CO}_{\mu\text{g}/\text{m}^3}$ 、PM10、PM2.5）进行0-1标准化处理，新增标准化字段

在此基础上按城市分组计算各污染物原始浓度的月度环比变化率（缺失值填充为0），并基于6项标准化指标求和生成“综合污染指数”；最后筛选基础信息、原始浓度、标准化值、衍生分析字段（环比变化率、综合污染指数），保存为UTF-8编码的CSV文件。

# 03

## *Part Three* 结果与分析





# 第一部分 空间分布特征

内陆工业城市污染浓度更高、空气质量达标率更低，而沿海城市则呈现相反特征，整体呈现“内陆工业重、沿海城市轻”的梯度格局。

**高值区（内陆工业城市）：**佛山、肇庆、广州、江门的PM2.5浓度位列前四，佛山以 $22.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 居首；江门、广州、佛山的PM10浓度位列前三，江门达 $41.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

**低值区（沿海服务/高新城市）：**深圳、珠海、惠州的PM2.5浓度最低，深圳仅 $17.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；珠海、深圳的PM10浓度最低，分别为 $33.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $34.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

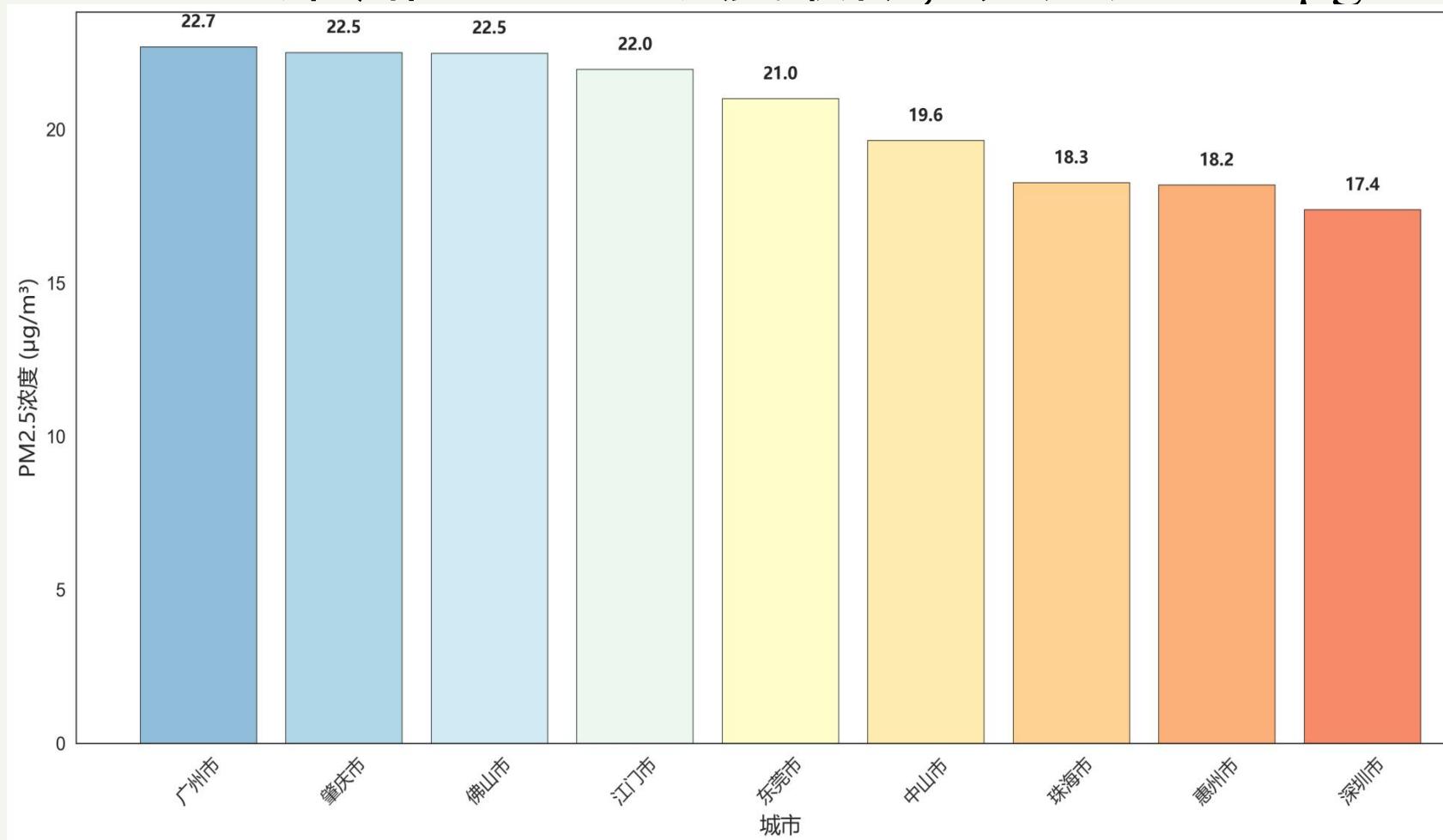


图1-1 珠三角9市PM2.5浓度空间分布 (2021-2024年平均)

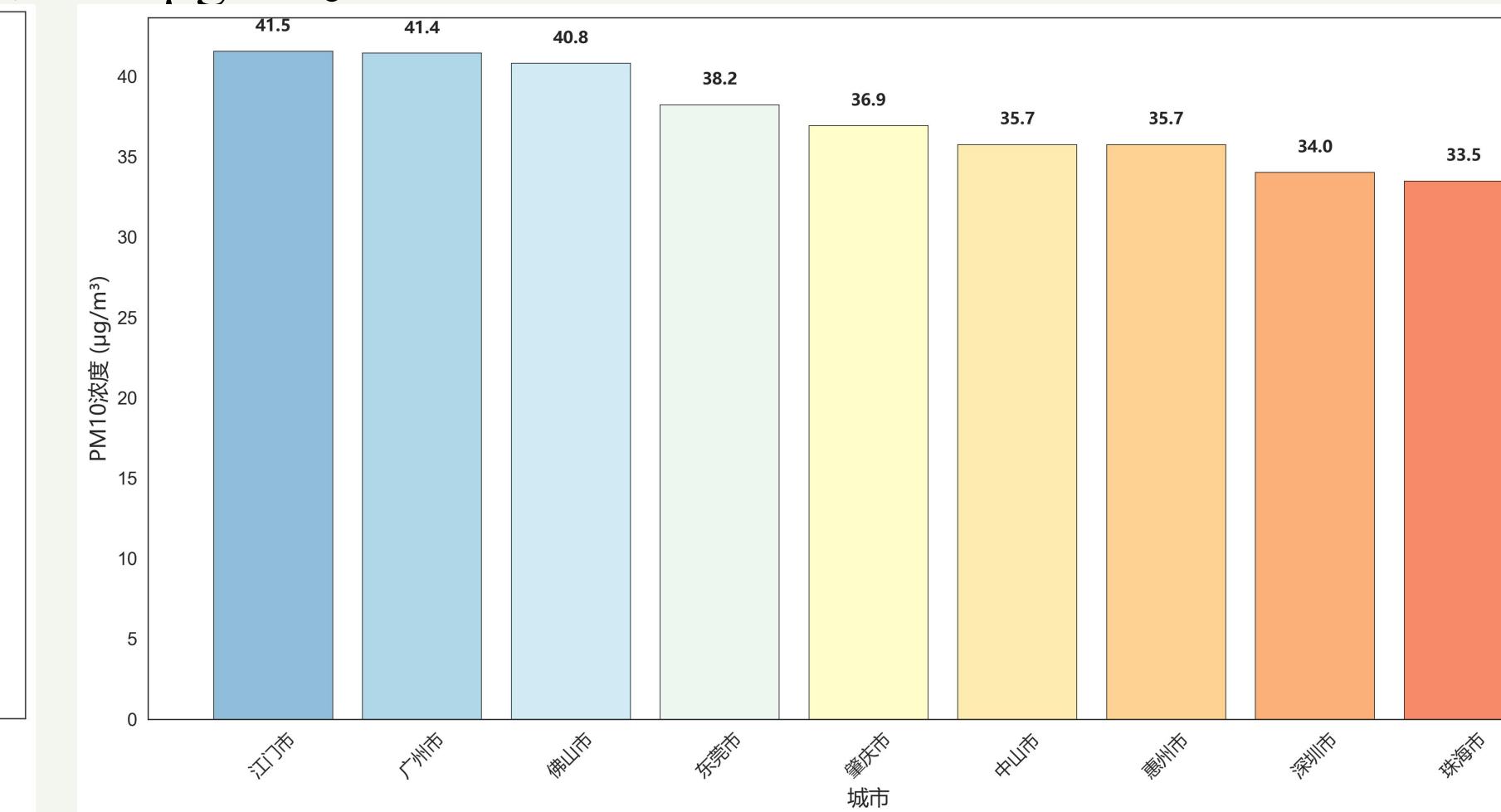


图2-2珠三角9市PM10浓度空间分布 (2021-2024年平均)



# 第一部分 空间分布特征

中位数 = 平均水平，箱体 = 波动幅度，散点 = 极端异常值

高达达标率 · 低波动组（深 / 珠 / 惠）：中位数 95%-98%，无极端低值，稳定性最强

低达标率 · 高波动组（东 / 佛 / 江）：中位数 < 90%，箱体最宽，极端低值频发（最低≈35%）

**深圳最稳，江门波动最大**

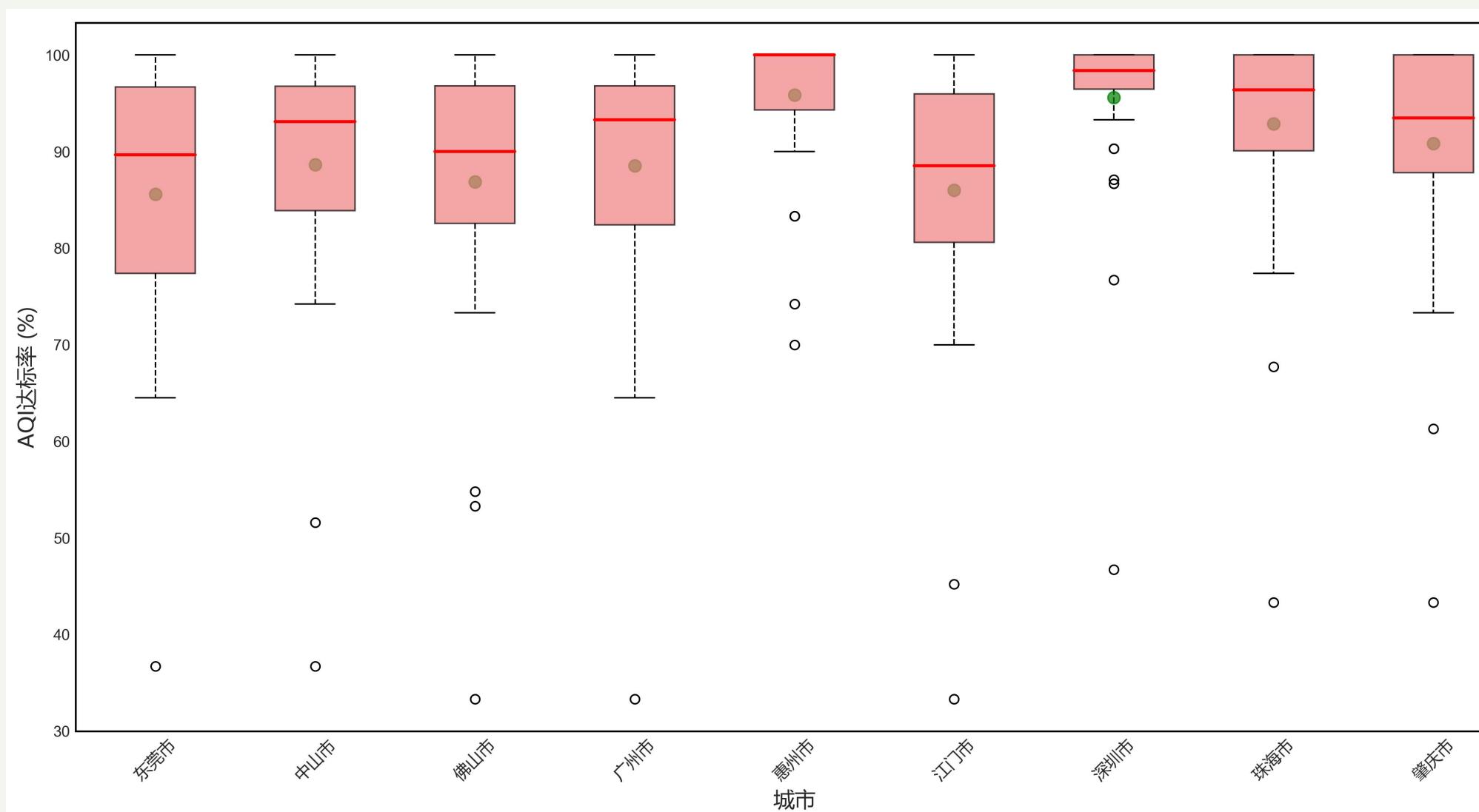


图1-3 各城市AQI达标率箱线图

颜色编码：深绿 = 低达标率，浅绿 = 高达标率

空间梯度：内陆工业城市（东 / 佛 / 江）  
→过渡型城市（广 / 中 / 肇）→沿海服务  
城市（深 / 珠 / 惠）

核心验证：颜色分布与地理区位、产业结构高度契合

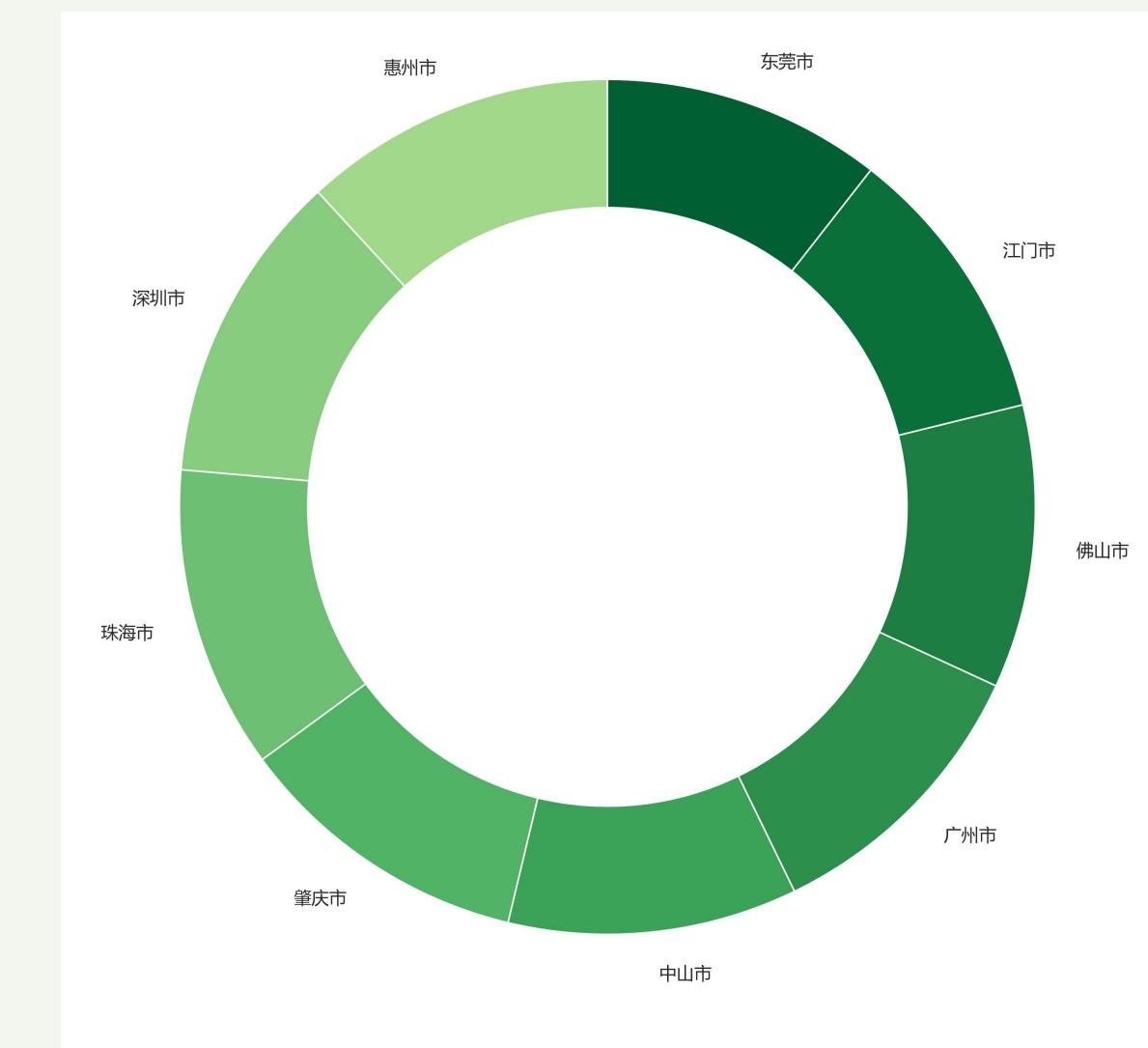


图1-4 各城市AQI达标率分布环形图



# 第一部分 空间分布特征

江门、广州、佛山（ $PM2.5 \geq 21\mu g/m^3$ ,  $PM10 \geq 40\mu g/m^3$ ），气泡颜色偏红，对应 AQI 达标率低（0.86-0.88），典型为内陆工业城市。

东莞、肇庆（ $PM2.5 \approx 21-22\mu g/m^3$ ,  $PM10 \approx 37-38\mu g/m^3$ ），东莞气泡偏红（达标率≈0.86），肇庆气泡偏黄（达标率≈0.90）。

惠州、中山、珠海、深圳（ $PM2.5 \leq 20\mu g/m^3$ ,  $PM10 \leq 36\mu g/m^3$ ），气泡颜色偏绿，对应 AQI 达标率高（0.92-0.94+），典型为沿海清洁城市。

气泡颜色与 AQI 达标率直接相关：颜色越绿（如深圳、惠州），达标率越高；颜色越红（如江门、东莞），达标率越低，直观反映污染浓度与空气质量达标率的负相关关系。

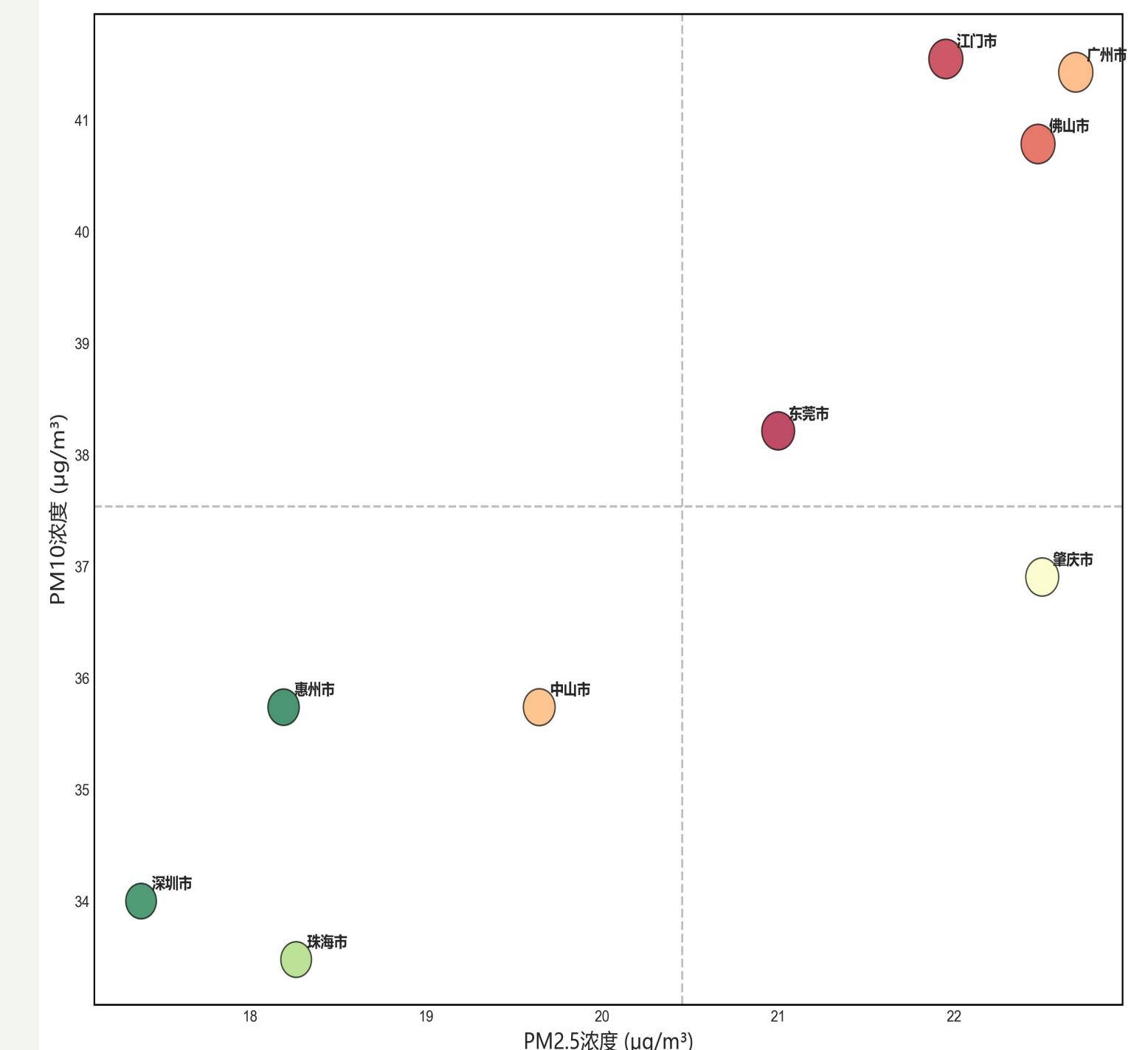


图1-5 各城市多维度气泡图



# 第一部分 空间分布特征

$O_3$ 是所有城市最主要的污染物，黄色层在每个城市的占比都是最高的，尤其是肇庆、东莞这些工业城市， $O_3$  贡献了近一半的污染负荷，说明光化学污染是区域共性问题。

内陆工业城市的总污染负荷明显更高：肇庆的总浓度接近  $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而深圳只有  $130\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。同时，工业城市的  $\text{SO}_2$  贡献也更大，这和它们的高耗能产业布局直接相关。

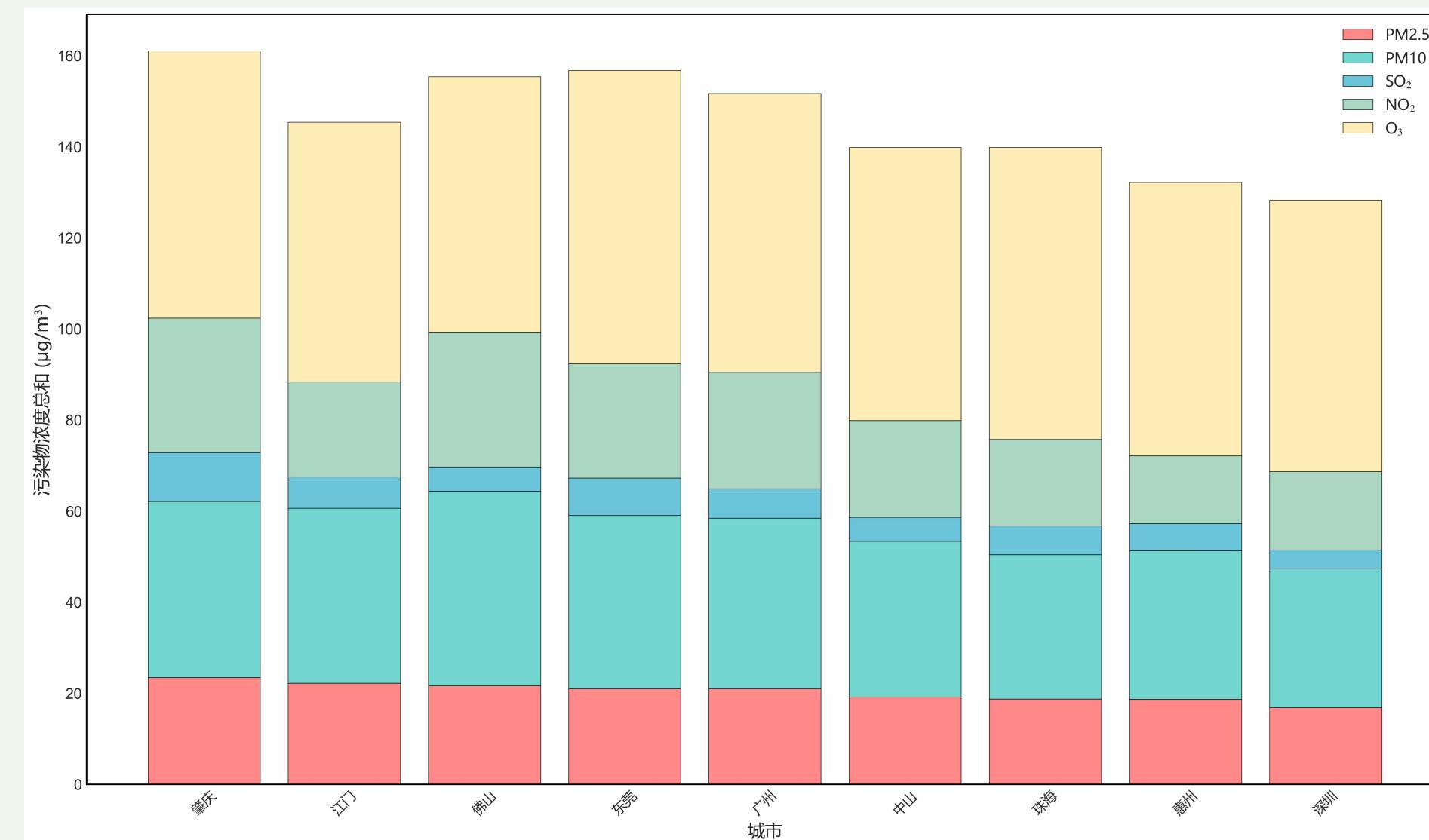


图1-6 污染物组成对叠图



## 第二部分 年际变化趋势

对于PM2.5浓度来说，2021-2022年普遍下降→2022-2023年反弹→2023-2024年趋稳/回落。沿海清洁城市（深/珠/惠）长期低位波动，深圳浓度始终 $< 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。内陆工业城市（佛/广/江）：2023年反弹明显，佛山浓度从 $21.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 升至 $22.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。2022年为浓度低谷，2023年受产业复苏等因素影响出现反弹。

PM10年度趋势：与PM2.5同步波动，内陆反弹更显著。

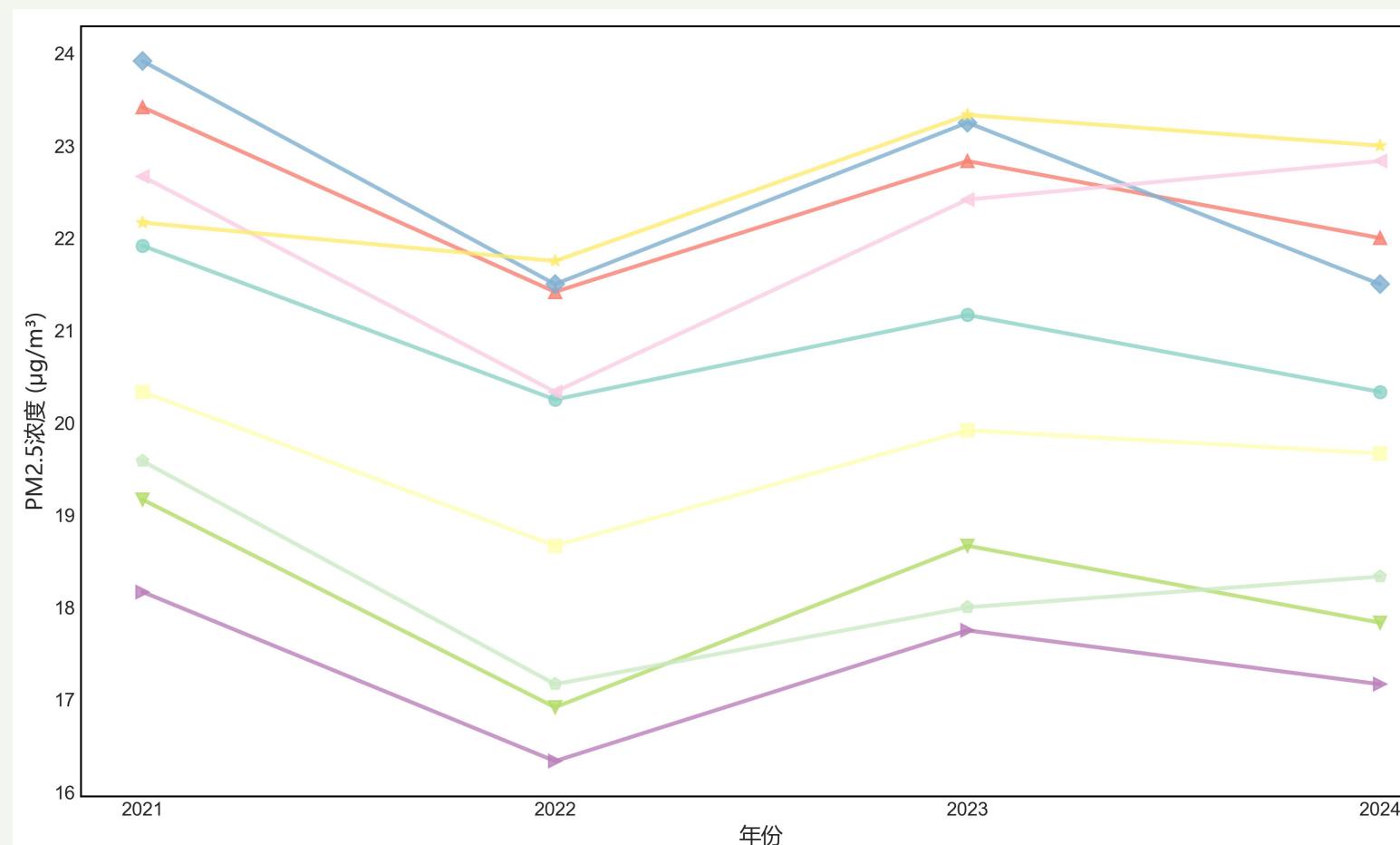


图2-1 PM2.5浓度年际变化趋势

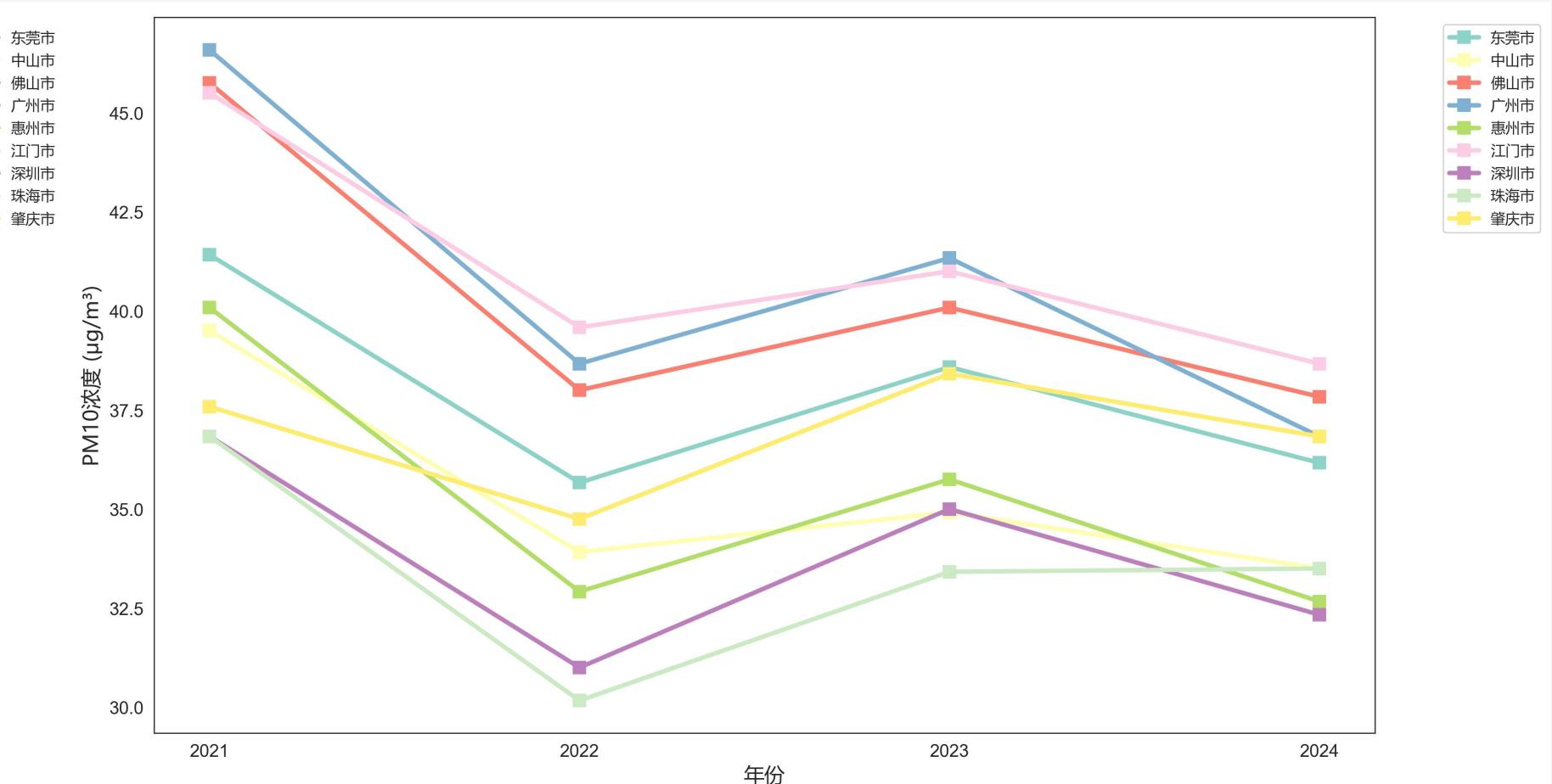


图2-2 PM10浓度年际变化趋势



## 第二部分 年际变化趋势

每个颜色层代表 1 座城市的 AQI 达标率贡献，总面积对应珠三角 9 市整体达标率的综合表现。珠三角整体空气质量达标率呈“波动向好”趋势，2022 年的短暂回调未改变长期改善的格局；城市贡献的同步波动，也印证了区域污染的同源性与联防联控的必要性。

2021-2022 年所有城市的达标率贡献同步收窄，总面积从 2021 年的约 810 点回落至 2022 年的约 770 点，是 4 年中的低谷。这一阶段各城市层的收缩幅度基本一致，反映区域共性因素对空气质量的影响。

2022-2024 年所有城市的达标率贡献同步扩张，总面积从 2022 年的约 770 点回升至 2024 年的约 840 点，创 4 年最高值。回升过程中各城市层的扩张节奏稳定，体现区域空气质量的整体向好趋势。

底层（浅绿：东莞、中山）：内陆工业城市，贡献波动相对明显，2022 年回调幅度略大于其他城市层。

中层（中绿：佛山、广州、惠州）：过渡型城市，贡献波动与整体趋势完全同步，反映区域平均水平。

顶层（深绿：江门、深圳、珠海、肇庆）：沿海 / 内陆混合城市，其中深圳、珠海等沿海城市的贡献增长更稳定，肇庆等内陆城市的贡献波动稍大。

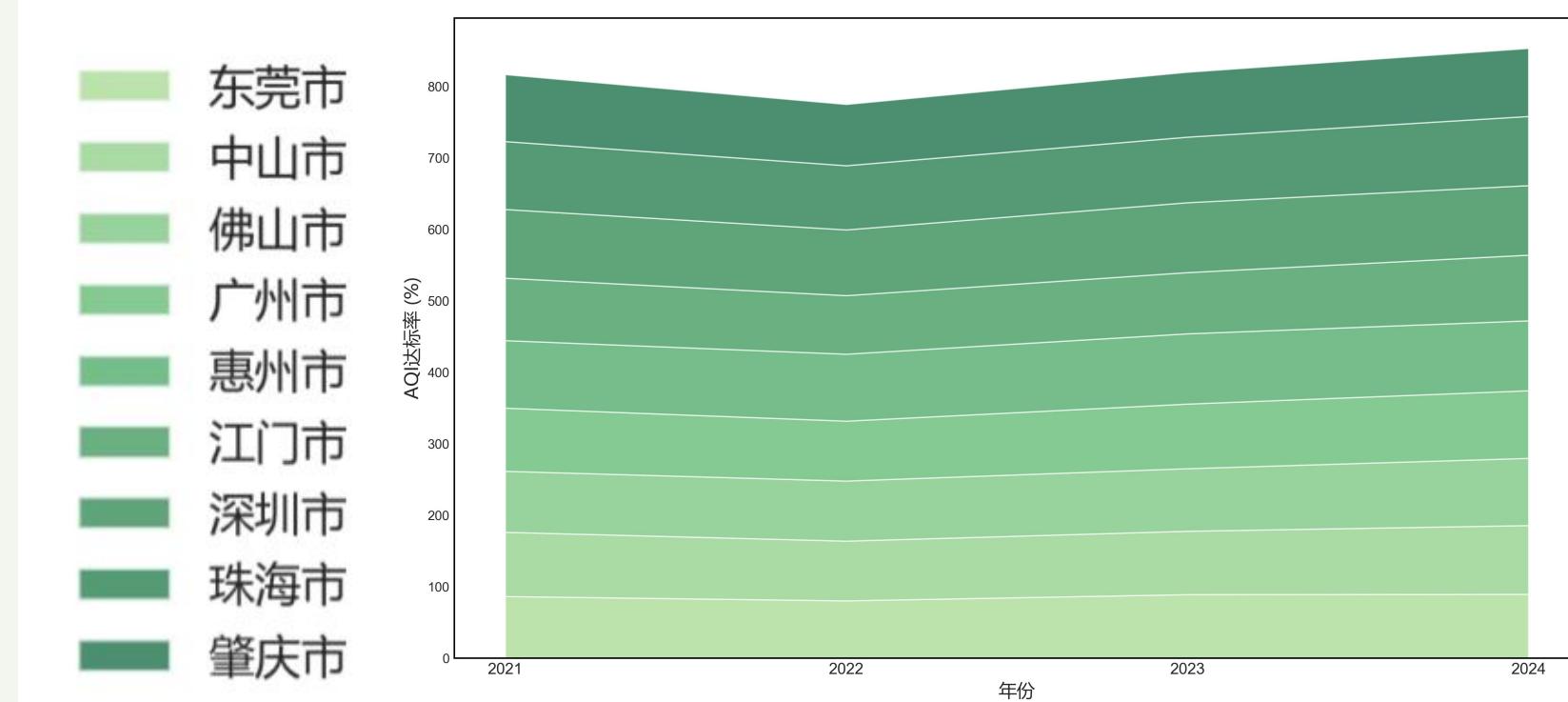


图2-3 AQI达标率的年际变化趋势



## 第二部分 年际变化趋势

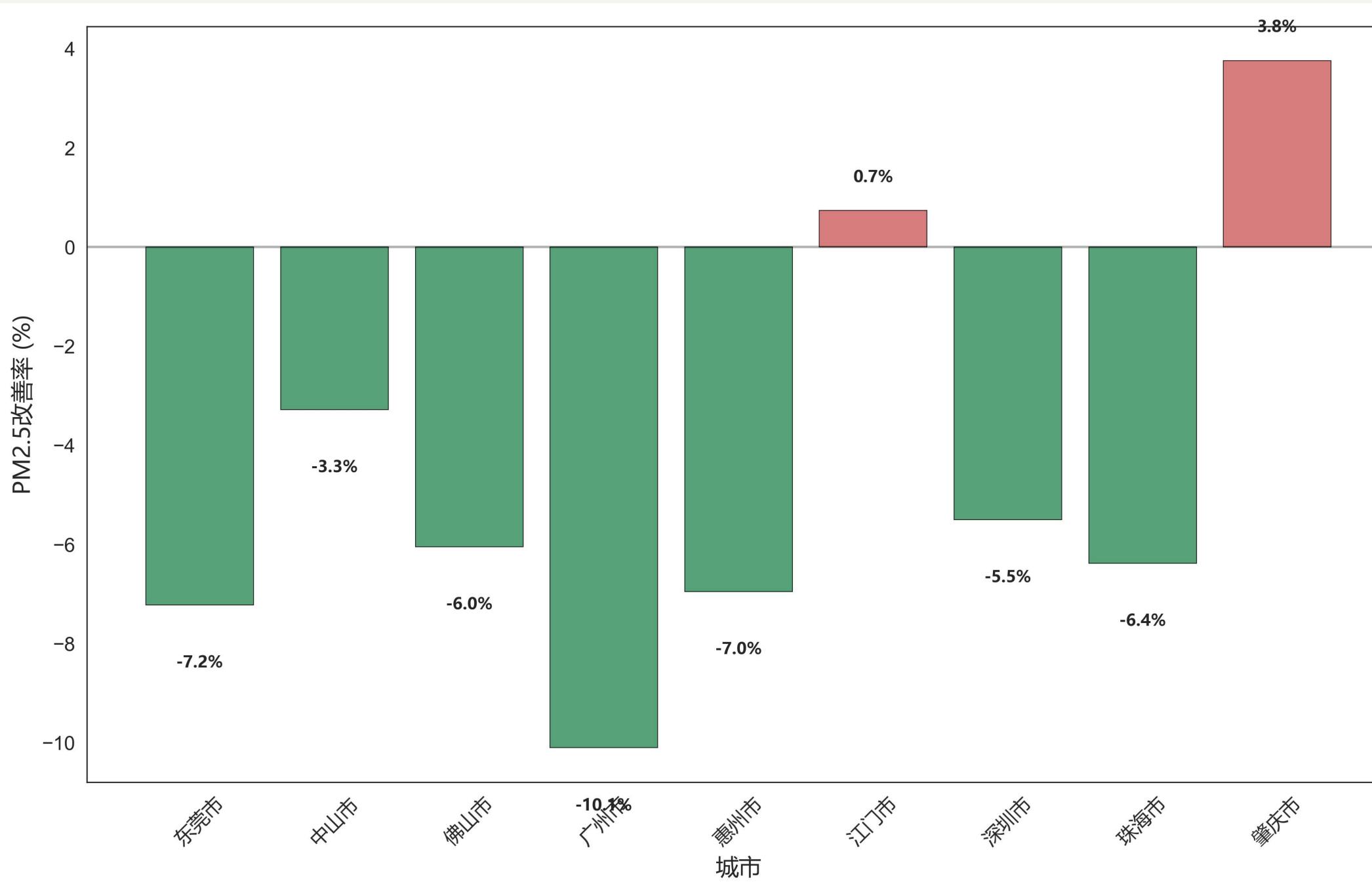


图2-4 各城市PM2.5的改善率

2021 到 2024 年珠三角 9 市的 PM2.5 浓度改善率，绿色代表浓度下降、空气质量变好，红色则是浓度上升、质量变差。

大部分城市都实现了改善：广州的改善幅度最大，达到了 10.1%，东莞、惠州也都有 7% 左右的下降；但肇庆和江门是例外，尤其是肇庆，浓度上升了 3.8%，是唯一明显恶化的城市。



## 第三部分 季节分布特征

每年冬季（12-2月）浓度均为全年峰值，2022年冬季佛山PM<sub>2.5</sub>浓度达 $28.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而同年夏季仅 $18.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，差值近 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；春季（3-5月）受北方沙尘传输影响，PM<sub>10</sub>浓度明显升高，2023年春季肇庆PM<sub>10</sub>浓度达 $42.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，较冬季高 $5.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；秋季（9-11月）臭氧污染凸显，部分城市臭氧8小时平均浓度超 $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高于夏季的 $140\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

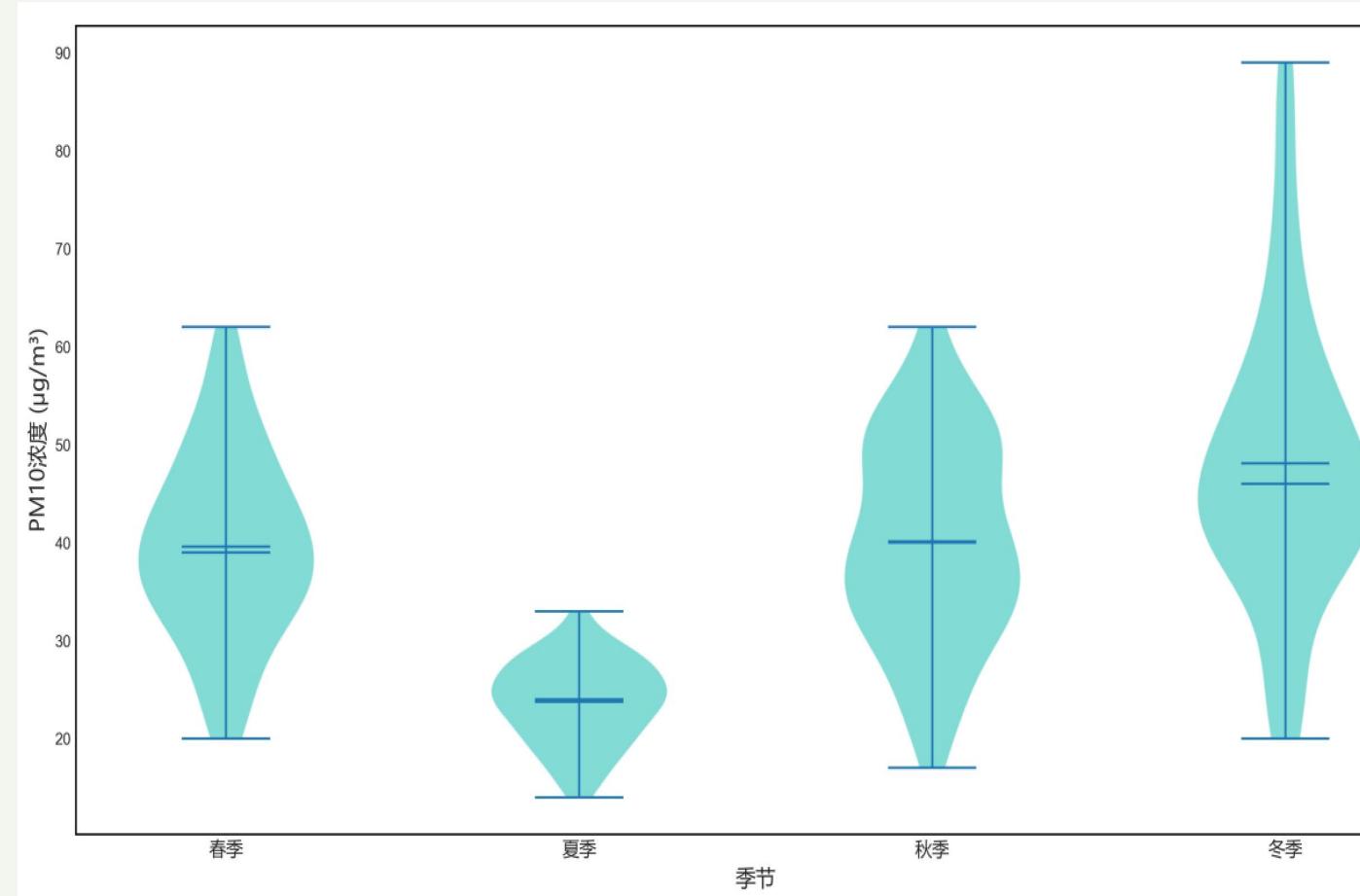


图3-1 PM<sub>2.5</sub>浓度季节分布小提琴图

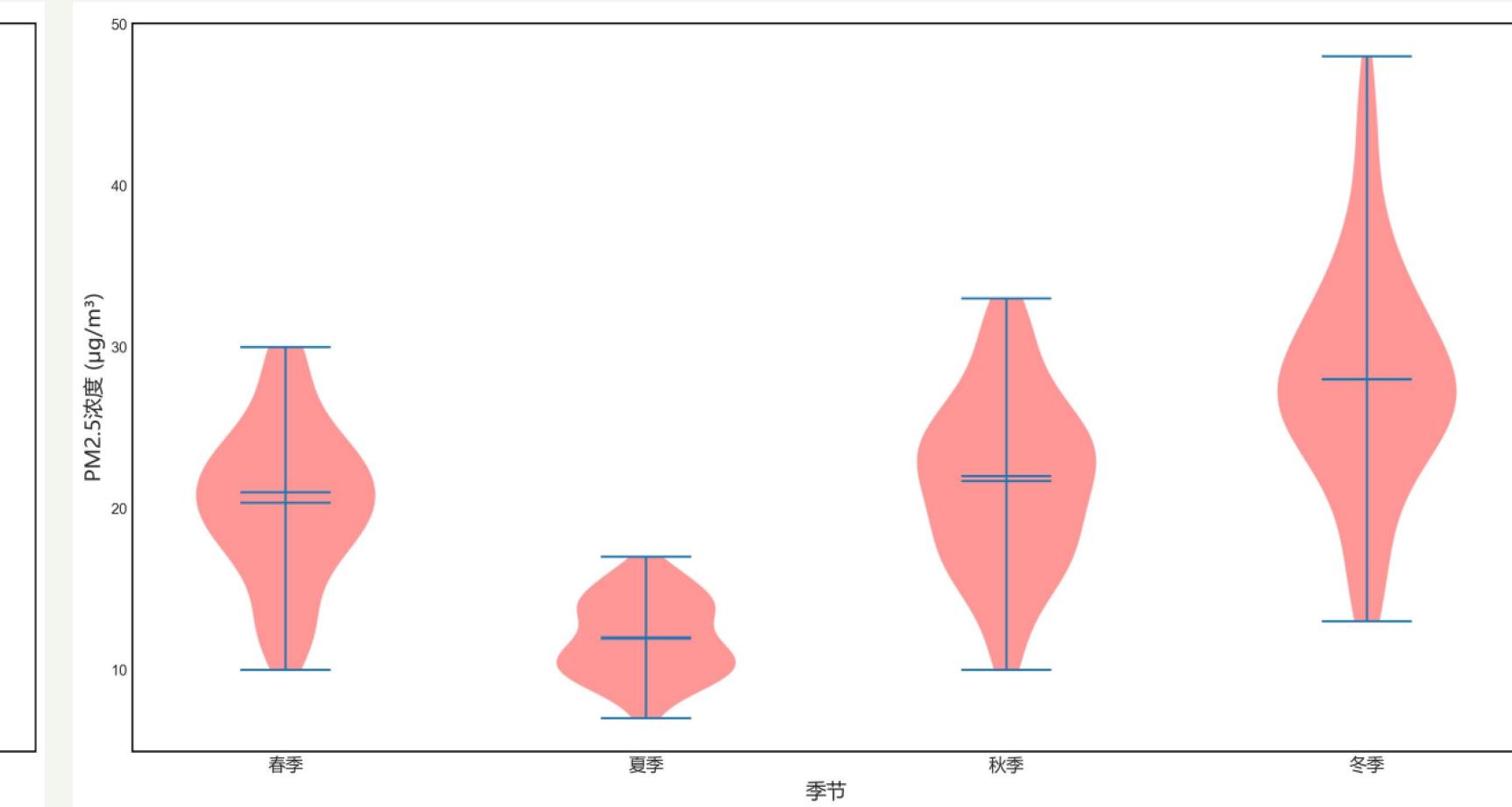


图3-2 PM<sub>10</sub>浓度季节分布小提琴图



## 第三部分 季节分布特征

PM2.5 浓度呈现显著的季节差异与年度波动，整体遵循“冬季>秋季>春季>夏季”的季节梯度，其中冬春季节浓度高、波动幅度大，夏秋季节浓度低、波动相对平稳。

同时“内陆工业重、沿海城市轻”的空间格局跨季节延续，肇庆、江门等内陆工业城市四季浓度均处于高位，深圳、珠海等沿海城市则始终保持低位。

季节气象条件（如冬季逆温、夏季降水）与产业活动（如工业复产、秸秆焚烧）的叠加，是驱动浓度季节差异与年度波动的核心因素，多数城市浓度在 2022 年触底后于 2023 年反弹，也反映出污染防控成效与产业复苏的阶段性博弈。

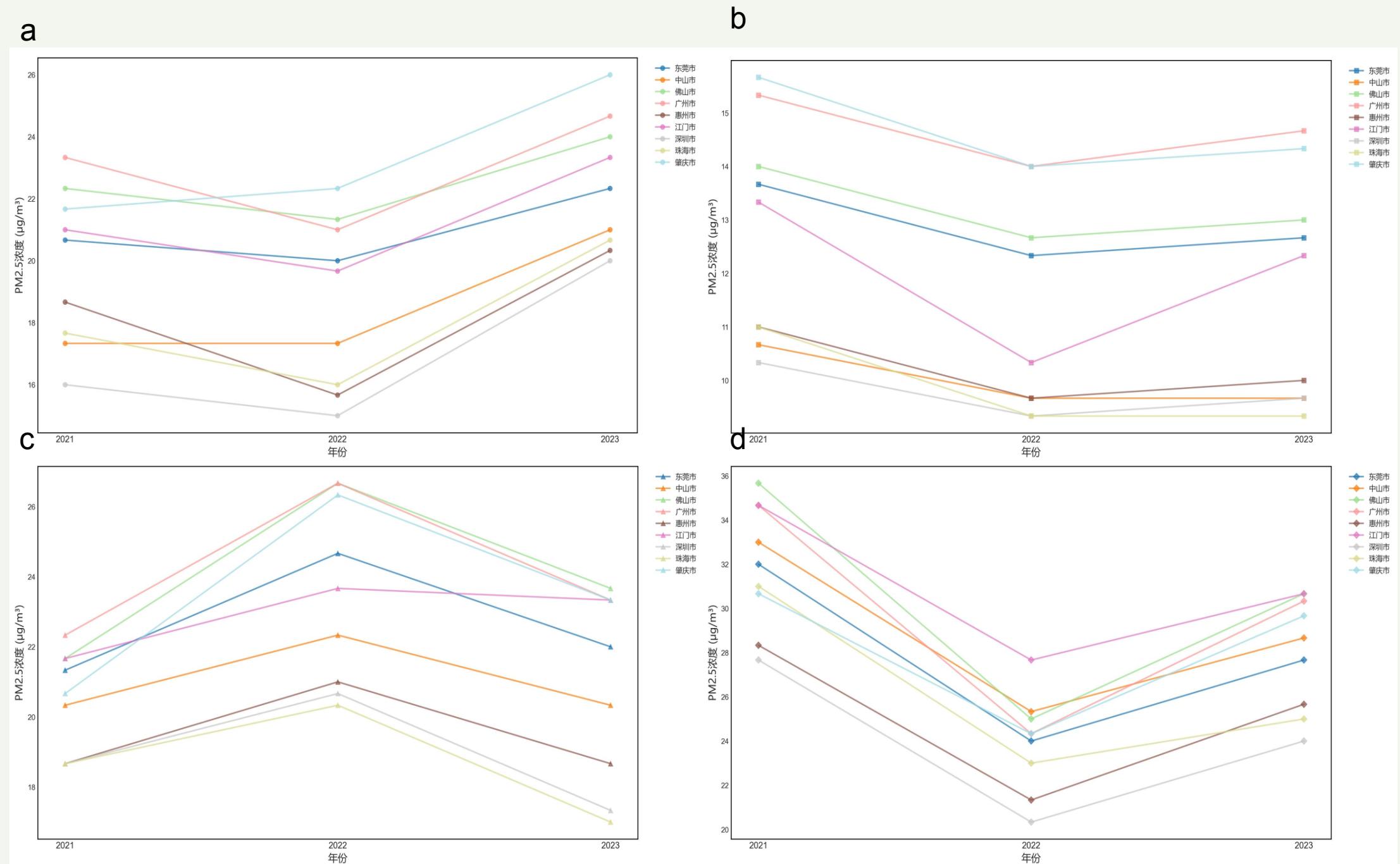


图3-3 PM2.5浓度春季(a)、夏季(b)、秋季(c)、冬季(d)分布折线图



## 第三部分 季节分布特征

夏季的AQI达标率最高且最稳定，得益于充沛降水与优良的大气扩散条件；秋季达标率波动最大且极端污染风险最高，静稳天气与秸秆焚烧等因素易引发极端低值；春季达标率中等且波动明显，受工业复产与沙尘传输影响；冬季达标率较高且较稳定，污染防控力度有效降低了极端污染事件的发生，整体呈现“夏秋稳定、冬春波动”的规律，也印证了季节气象条件与人为活动的叠加作用，是驱动空气质量季节差异的核心因素。

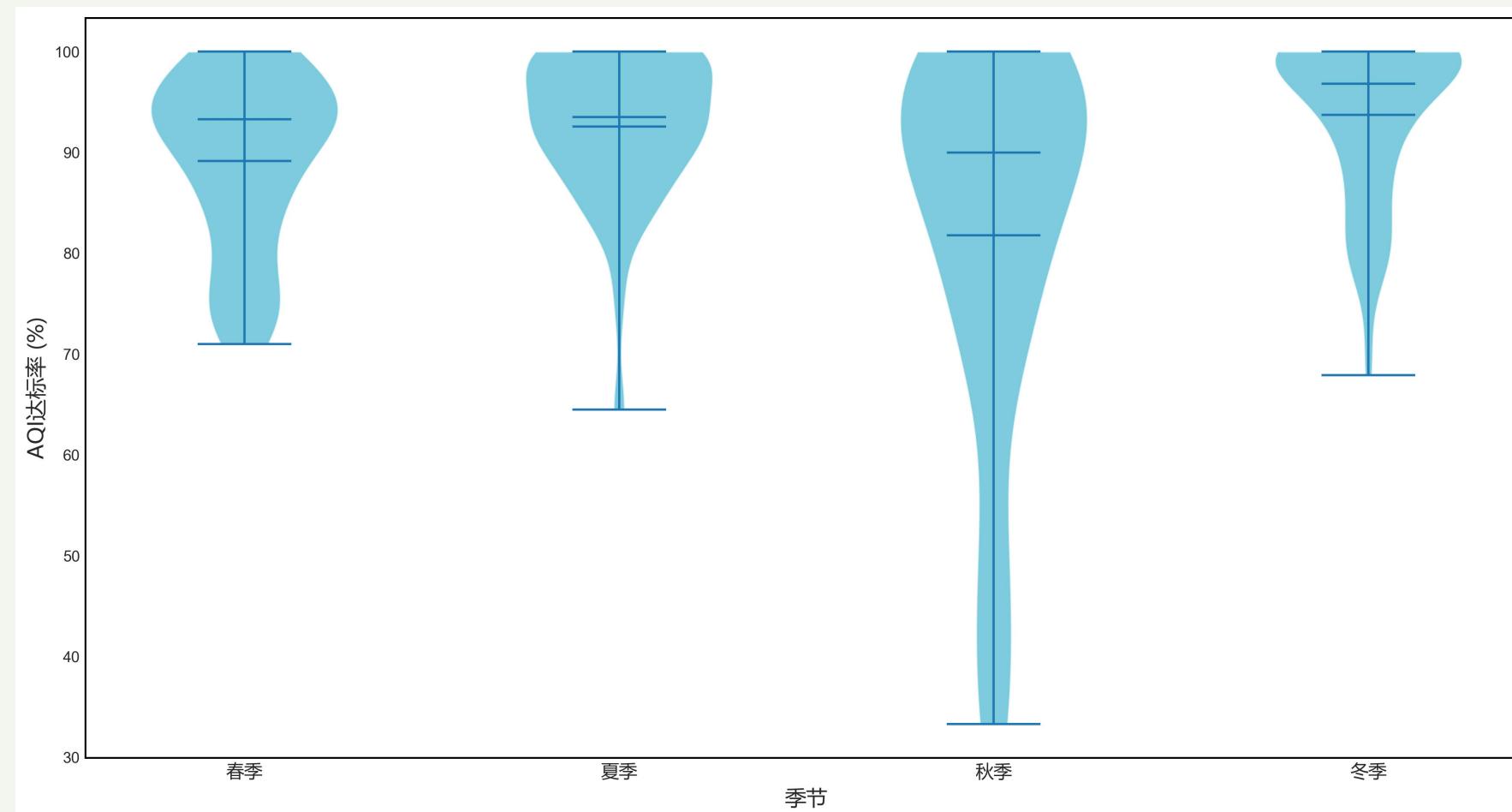


图3-4 AQI达标率季节分布小提琴图



## 第三部分 季节分布特征

### 季节热力图：直观呈现污染浓度的时序分布

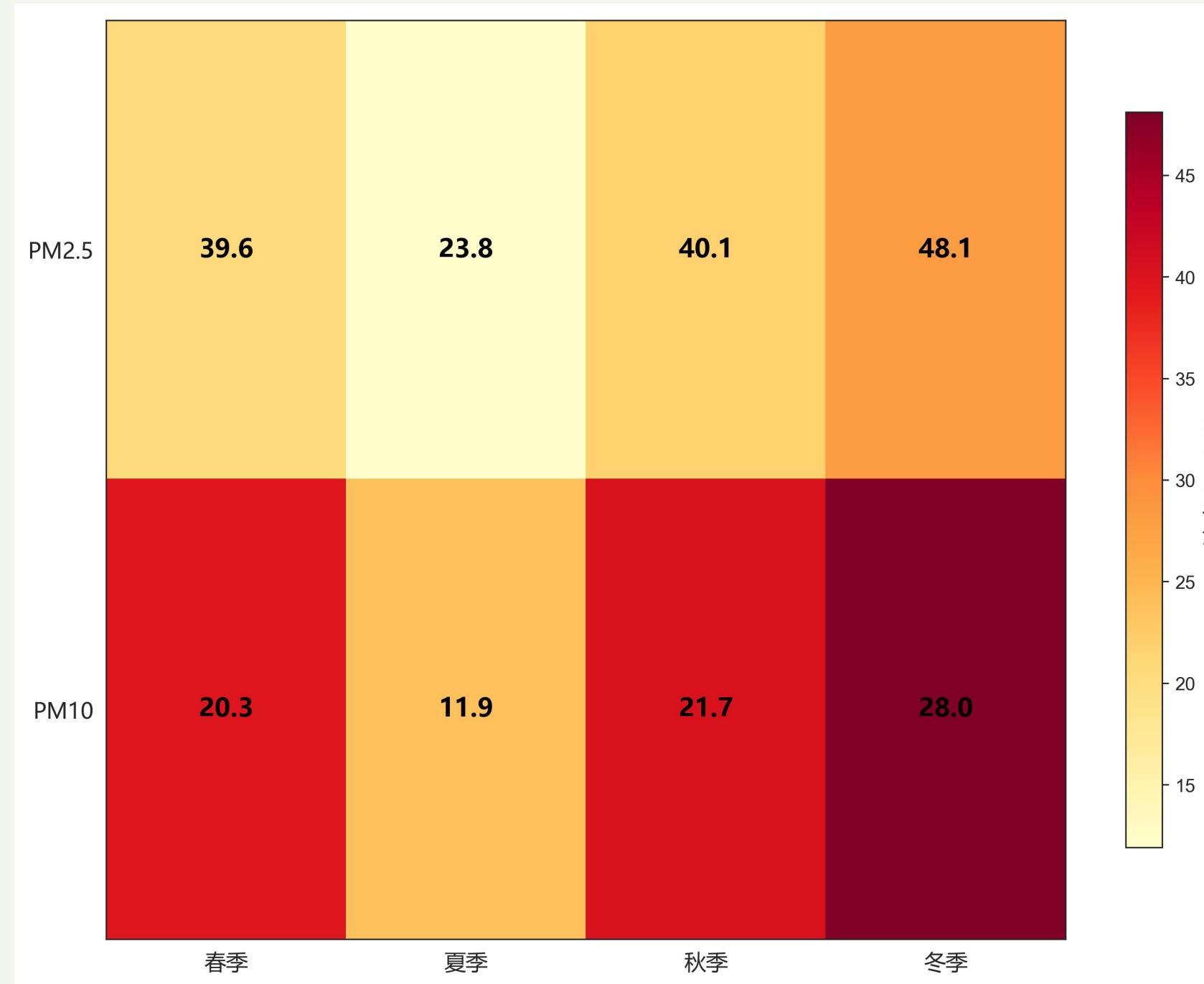


图3-5 污染物浓度季节热力图

2021-2023年珠三角PM2.5与PM10浓度均呈现显著的季节差异：冬季浓度最高（PM2.5达 $48.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、PM10达 $28.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ），夏季浓度最低（PM2.5为 $23.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、PM10为 $11.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ），整体遵循“冬季>秋季>春季>夏季”的季节梯度。

两种污染物浓度的季节变化高度同步，反映区域污染的同源性，其差异主要源于冬季逆温、静稳天气导致的污染物扩散受阻，以及夏季降水充沛、大气扩散条件优良带来的污染物高效清除。冬季平均浓度是夏季的2倍以上



## 第四部分 子站属性与污染程度关系

子站监测的数据显示，肇庆以 2.9 的综合污染指数成为全域污染负荷最高的城市，东莞、佛山、广州、江门等内陆工业城市的子站综合指数也均高于 2.3，而深圳、珠海、惠州、中山等沿海服务 / 高新城市的子站指数则在 1.9 及以下，其中深圳以 1.8 的指数为最低。

这是监测子站直接反映的差异，既源于内陆工业城市高耗能产业带来的多污染物叠加排放，也与沿海城市清洁的产业结构及优良的大气扩散条件密切相关，且与此前 PM2.5 浓度、AQI 达标率等指标揭示的空间规律完全吻合，进一步印证了产业结构与地理条件对空气质量的决定性影响。

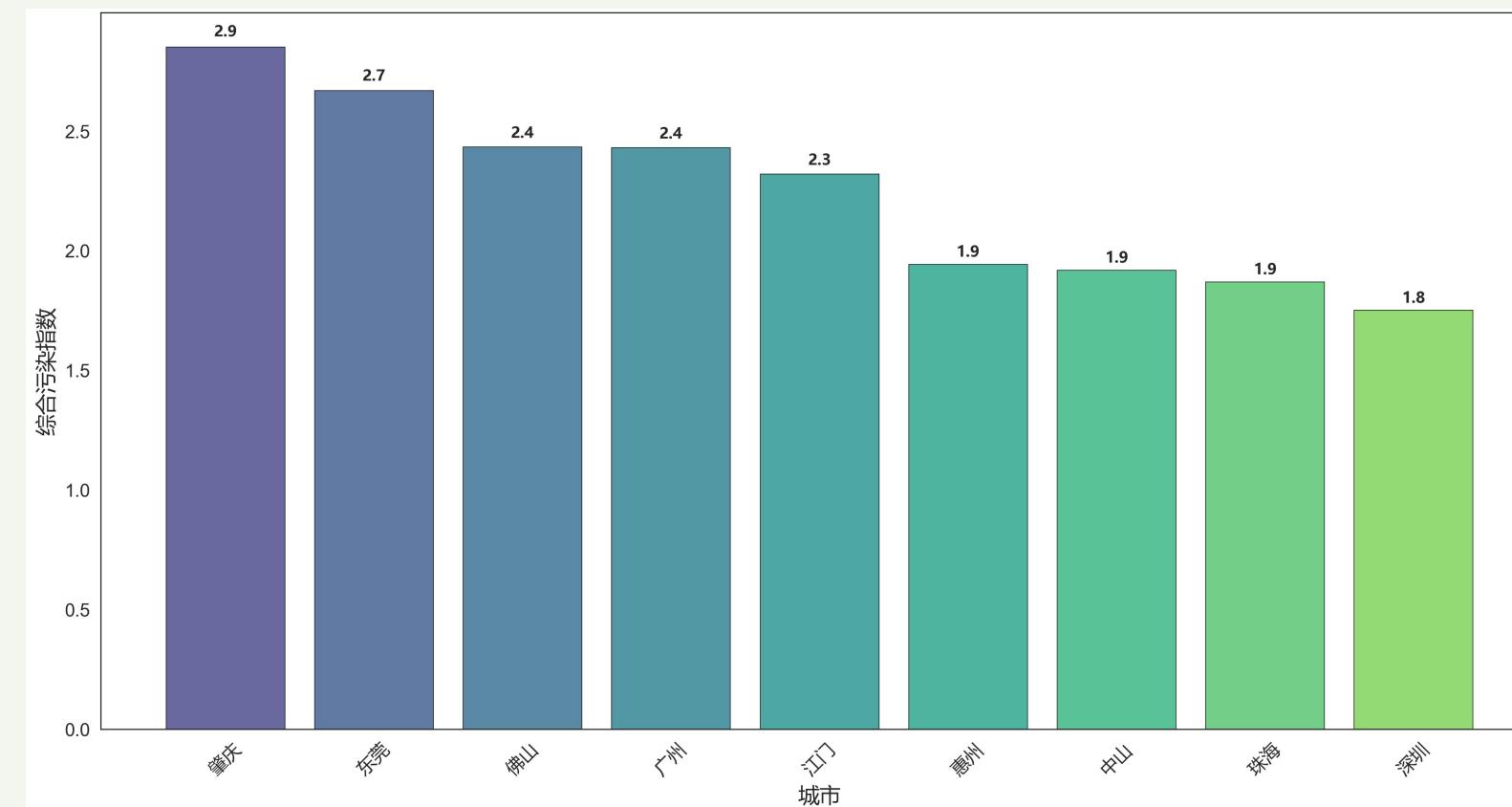
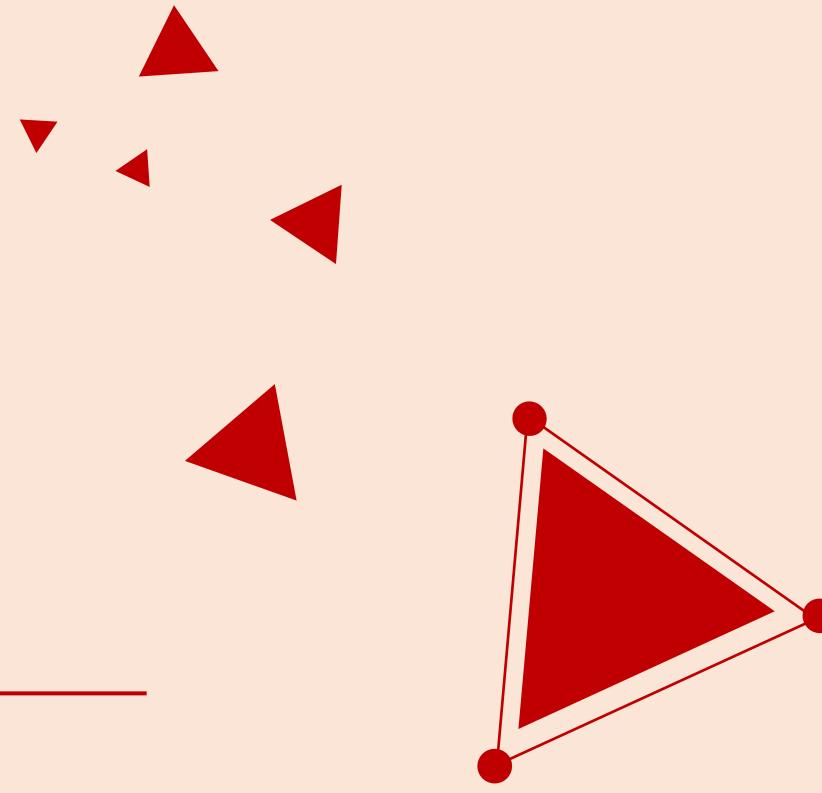


图4-1 子站综合污染指数对比图

# 04

## *Part Four* 结论与建议

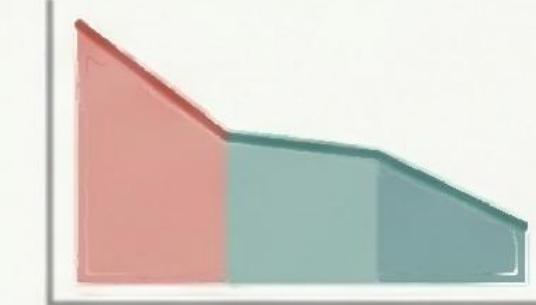


# 核心发现：珠三角空气质量总体改善，但存在显著的时空差异



## 空间格局

呈现“工业内陆重、沿海城市轻”的特征。



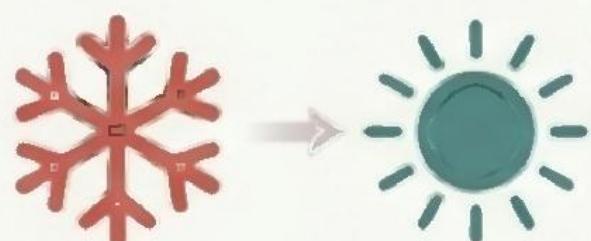
2021 2022 2023 2024

## 年际趋势

2021-2024年污染物浓度持续下降

佛山PM2.5( 22.7 )vs 深圳(17.4)

AQI达标率提升至>95%个



## 季节规律

显著的“冬高夏低”周期。

冬季PM2.5浓度>夏季2倍



## 驱动因素

受人类活动与海拔高度影响显著。

城区与低海拔站点数值偏高！

# 当前珠三角大气治理面临的三大核心挑战



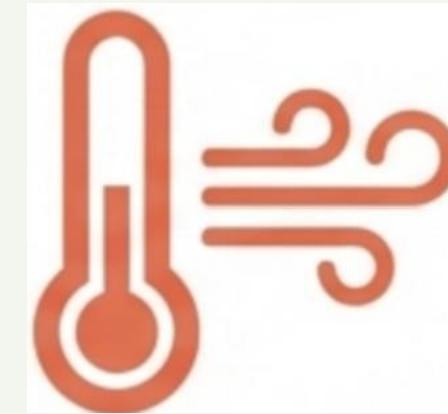
## 结构性失衡 (Structural Imbalance)

内陆城市(佛山、肇庆)陶  
瓷、建材等高耗能产业依赖  
度高，造成顽固的污染基数。



## 臭氧抬头 (Ozone Rising)

PM2.5下降的同时，光化学污  
染凸显。东莞、珠海等“清  
洁”城市在秋季面临严峻的  
臭氧超标风险。



## 季节性累积 (Seasonal Accumulation)

冬季不利气象条件(低边界  
层、少雨)极易抵消减排努  
力，导致重污染天气偶发。

# 区域协同与精准施策是下一阶段治理的关键

## 冬病夏治(Seasonal Control)

加强秋冬季北方传输通道管控。在静稳天气期间实施重点行业(如陶瓷)错峰生产与临时管控。

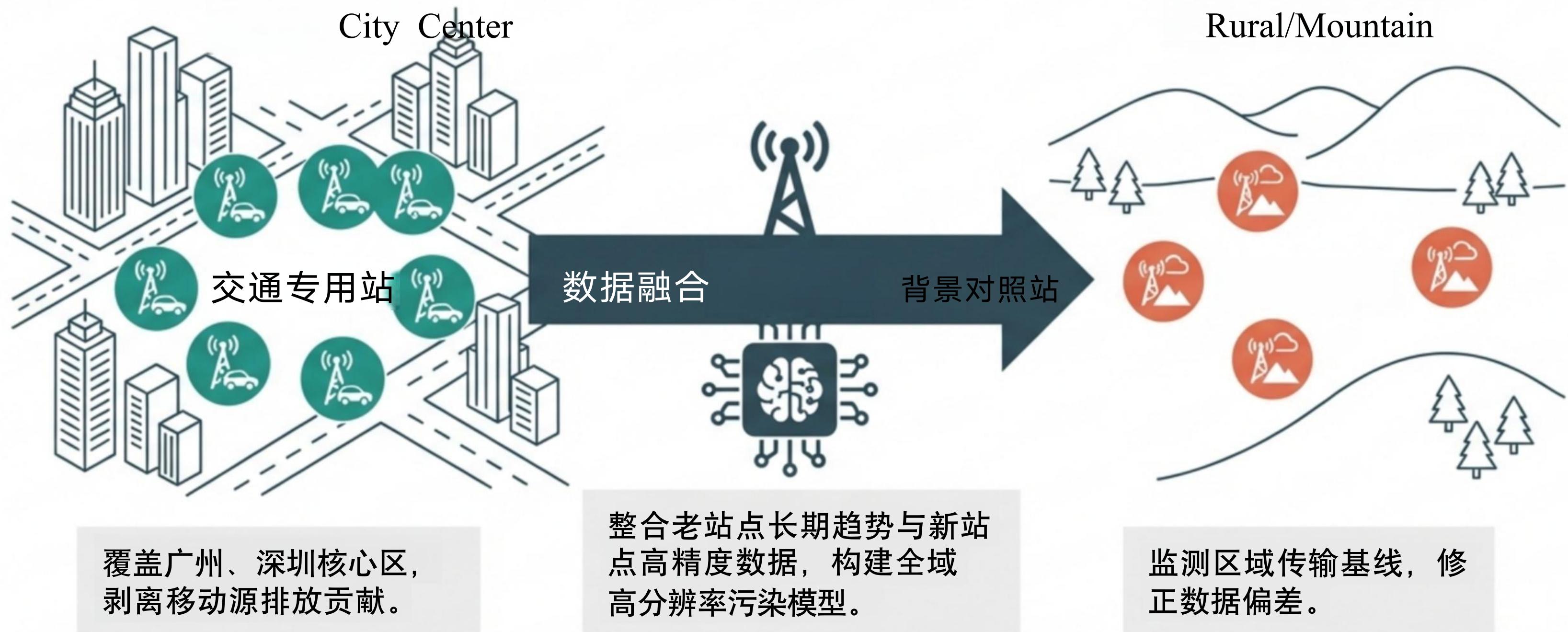
## 产业升级(Industrial Upgrade)

佛山/肇庆：加速“煤改气”与“煤改电”。  
东莞：聚焦VOCs 深度治理，遏制臭氧生成。

## 联防联控(Regional Cooperation)

建立跨市界污染预警响应机制，统筹沿海与内陆城市的排放控制，打破行政壁垒。

# 优化监测体系，实现“天地一体”的精细化监管



**报告结束， 谢谢大家！**