

大气污染物时空分布特征与污染源解析方法比较

王选 53262719960820372X

摘要：本文系统性地探讨了大气污染物在时间和空间维度上的分布特性与演变规律，从宏观的区域分布到微观的局部浓度变化进行了多尺度分析；同时，文章还深入比较了当前主流的污染源解析技术方法，包括受体模型、扩散模型以及基于同位素示踪的创新方法，评估了它们在不同应用场景下的适用性与局限性。研究旨在为环境管理政策的制定提供坚实的理论支撑，并为区域大气污染的精准防控和治理实践提供科学参考与决策依据。

关键词：大气污染；时空分布；源解析；方法比较；环境治理

引言

大气污染作为全球性环境问题，其污染物的时空分布特征与来源解析对于制定有效的减排策略至关重要。近年来，随着观测技术的进步和模型方法的发展，相关研究取得了显著进展，但仍存在诸多挑战。本文旨在综述主要研究方法，对比其优缺点及适用场景，以推动该领域的进一步研究与应用。

一、大气污染物时空分布的主要特征

1. 时间变化特征

大气污染物浓度的变化呈现出显著的周期性波动特征，具体表现为日变化、季节变化以及年际间的波动趋势。这一变化规律主要受到气象条件、人类活动强度以及污染物排放规律的共同作用与复合影响。在不同时间尺度上，各种影响因子相互作用，导致污染物浓度出现有规律的高低起伏，反映出自然过程和人为排放交织影响的复杂特征。

2. 空间分布特征

污染物浓度在不同地理区域之间呈现出显著的差异性特征，这种差异既体现在空间分布上，也反映在区域间的传输机制中。具体来说，城市地区由于工业排放密集、交通流量大以及人类活动频繁，往往出现较高的污染物富集；相比之下，郊区受人为干扰较少，大气扩散条件相对较好，污染物浓度普遍较低。同时，内陆与沿海地区因气象条件、湿度及海陆风的交互作用，污染物分布也具有明显区别，沿海地区往往能借助海洋的空气净化能力在一定程度上缓解污染。此外，不同地形（如盆地、山地、平原等）对污染物的滞留、扩散和迁移产生重要影响，进一步加剧了分布的不均匀性。值得注意的是，区域之间还存在污染物跨边界输送的现象，大气环流可使某一地区的污染物迁移至周边甚至较远区域，体现出明显的区域传输特性。

3. 影响因素分析

自然因素（如风速、湿度、逆温等）和人为因素（如工业布局、交通流量、能源结构等）共同作用于污染物的时空分布格局，两者相互交织、相互影响，构成了复杂的环境污染形成机制。具体而言，自然条件的变化会显著改变污染物的扩散路径和沉降速率，而人类活动则通过排放源的类型、强度及时空分布，进一步塑造污染物在大气中的浓度分布与变化趋势。因此，要全面理解污染物的迁移和转化过程，需综合考虑这两类因素及其动态交互作用。

二、污染源解析的主要方法比较

1. 受体模型方法

包括正定矩阵分解（PMF）和化学质量平衡（CMB）在内的多种受体模型，是基于环境监测数据进行污染来源解析的重要方法与技术手段。这些模型主要适用于成分相对明确、来源特征清晰的污染源贡献识别过程，能够有效解析不同污染源的贡献比例及其空间分布特征。通过建立数学建模框架和应用统计分析方法，PMF 和 CMB 可以帮助环境科学家和管理者更加准确地识别主要污染源类型及其影响程度，从而为污染治理策略的制定与优化提供坚实的科学依据和数据支持。这些方法的应用不仅提升了污染源解析的精确性与可靠性，也为环境管理与决策提供了重要的技术支撑。

2. 扩散模型方法

在环境空气质量模拟领域，CALPUFF、AERMOD 等一系列专业模型通过精确模拟污染物在大气环境中的输送过程、空间扩散行为、干湿沉降机制以及复杂的化学转化反应，能够系统、定量地评估来自各类污染源对特定受体区域所造成的潜在影响程度与范围。这些模型基于严谨的大气物理原理和化学动力学理论，深度融合多源气象观测数据、高精度地形地貌信息以及详细的排放源特征参数，构建起一套结构复杂、算法科学、可操作性强的数值计算框架。该框架不仅能够实现对污染物迁移扩散过程的高分辨率模拟，还可为环境政策制定、区域空气质量管理和污染控制策略的优化提供关键的科学依据和决策支持，具有重要的实际应用价值。

3. 遥感与数值模拟结合方法

综合利用高分辨率卫星遥感监测技术、广泛布设的地面空气质量监测站点，并结合先进的大气化学传输与溯源模型，系统实现了从宏观区域到微观局部不同尺度空间范围内污染源的精确识别及其贡献率的科学量化评估。这一多源数据融合与模型模拟的方法体系，显著提升了污染成因解析的准确性与可靠性，为区域大气污染精准防控和综合治理策略的制定提供了全面、科学的数据支撑和决策依据。

三、不同方法的适用性与局限

1. 数据需求与精度

受体模型的应用高度依赖于高分辨率的化学成分数据，这些数据通常需要通过地面监测站或高精度传感器进行采集，以确保对污染源的准确识别和解析。扩散模型则需要详细的污染源排放清单以及精确的气象场数据，包括风速、风向、温度层结等参数，从而模拟污染物在大气中的输送、扩散和转化过程。相比之下，遥感技术能够实现对大范围区域的快速监测，具有较强的宏观覆盖能力，但在空间分辨率方面存在一定限制，难以捕捉小尺度或局地性的污染特征，因而其应用通常需与其他模型方法结合使用。

2. 解析能力比较

受体模型在污染源识别方面展现出显著优势，因其能够基于环境监测数据，通过统计学方法有效追溯和解析污染物的主要来源及其贡献率。相比之下，扩散模型更适用于模拟一次污染物的传输与扩散过程，能够较好地刻画污染物在大气中的迁移、转化和分布规律。而将遥感技术与数值模型相结合，则为研究复杂的二次污染形成机制及区域间的污染物传输提供了强有力的工具，有助于更全面地理解大范围环境污染的动态特征与相互作用。

3. 应用场景分析

根据实际应用需求，在城市地区开展点源污染解析时，可选择扩散模型进行分析，该模型适用于污染物来源明确、排放特征相对单一的情况；对于成分复杂、污染源多样化的区域，则宜采用受体模型，以更好地识别和量化不同污染源的贡献比例；而在进行大范围区域污染溯源研究时，可进一步结合遥感技术与数值模拟方法，综合利用多源数据提升分析的精度与覆盖范围，从而为污染治理提供更全面的科学依据。

结论

大气污染物时空分布特征受多种复杂因素综合驱动，如污染源排放强度、气象条件变化、地形地貌影响和区域传输过程等。污染源解析方法多样，受体模型、扩散模型和数值模拟等各有优势与适用范围。未来研究应注重多种方法融合，推动高分辨率监测数据应用，开发动态源解析技术，提升污染治理针对性和效率，为精准治污和科学防控提供支撑。

参考文献：

- [1]韩红林. 计及森林带生态系统格局的区域大气污染时空分布特征研究 [J]. 环境科学与管理, 2026, 51 (01): 148-152.
- [2]王斯扬,何玉荣,赵娜,等. 庆阳市大气污染时空分布特征及影响因素研究 [J]. 陇东学

院学报, 2024, 35 (05): 41-47.

[3]郁文婷,刘学录,高敏,等. 兰西城市群大气污染时空分布特征及其对土地利用的响应[J]. 甘肃农业大学学报, 2024, 59 (03): 273-283.