

大气环境监测技术与数据分析方法比较研究

李江涛

山西省晋城生态环境监测中心 山西 晋城 048000

摘要: 本文聚焦大气环境监测技术与数据分析方法,系统阐述其分类、原理、应用及发展趋势,深入比较不同监测技术与分析方法的优劣。通过案例分析展现二者协同应用价值,提出监测技术优化与数据分析方法改进策略,旨在为提升大气环境监测水平、助力污染防治提供理论依据与实践参考,推动大气环境监测领域技术发展与方法创新。

关键词: 大气环境监测; 监测技术; 数据分析方法; 比较研究

引言: 大气环境质量与人类健康及生态安全息息相关。随着环境污染问题加剧,精准监测与科学分析大气环境成为关键。大气环境监测技术与数据分析方法不断发展,新手段、新算法层出不穷。本文深入研究二者分类、原理、应用等,对比其特点与局限,探索发展趋势与优化策略,以期为大气环境保护与治理提供有力支撑,满足日益增长的环境监测需求。

1 大气环境监测技术概述

1.1 监测技术分类

大气环境监测技术依据不同标准可进行多种分类。按监测原理划分,涵盖光学监测技术、化学监测技术、电化学监测技术以及生物监测技术等。光学监测技术利用光与大气污染物的相互作用实现监测;化学监测技术借助化学反应来识别和测定污染物;电化学监测技术基于电极与污染物发生的电化学反应完成检测;生物监测技术则通过生物对污染物的响应判断大气环境质量^[1]。按监测对象分类,可分为常规污染物监测技术和特殊污染物监测技术,前者针对二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等常见污染物,后者用于检测如挥发性有机物、重金属等特殊污染物。从监测方式来看,又可分为定点连续监测技术、移动监测技术和遥感监测技术,定点连续监测用于长期监测固定区域,移动监测灵活适应不同场景,遥感监测可实现大范围快速监测。

1.2 常见监测技术原理

光学监测技术中,紫外-可见分光光度法是利用大气污染物对特定波长紫外或可见光的吸收特性,根据朗伯-比尔定律,通过测量吸光度来确定污染物浓度。化学发光法常用于氮氧化物监测,一氧化氮与臭氧发生化学反应产生激发态产物,当激发态产物回到基态时会释放光子,通过检测光子强度确定一氧化氮浓度,二氧化氮则需先还原为一氧化氮再进行检测。化学监测技术里,滴定法是经典方法,以酸碱滴定为例,用已知浓度的酸

或碱溶液滴定含有污染物的样品,根据消耗标准溶液的体积计算污染物含量。离子色谱法可同时测定多种离子型污染物,样品中的离子在色谱柱中因与固定相和流动相的相互作用差异而分离,再通过检测器检测,根据保留时间和峰面积确定离子种类和浓度。电化学监测技术中,原电池式气体传感器基于原电池原理,当目标气体进入传感器,在电极上发生氧化还原反应产生电流,电流大小与气体浓度成正比。电位式传感器则通过测量电极电位与溶液中离子活度的关系来测定污染物浓度。

1.3 监测技术发展趋势

大气环境监测技术正朝着高灵敏度、高精度、自动化和智能化方向发展。高灵敏度和高精度要求能够检测到更低浓度的污染物,满足日益严格的环境质量标准。自动化技术的应用,使得监测设备能够自动完成采样、分析、数据传输等一系列工作,减少人工干预,提高监测效率和数据准确性。智能化体现在监测设备具备自我诊断、故障预警和自适应调节功能,同时与物联网、大数据等技术融合,实现对大气环境的实时动态监测和智能分析。另外,微型化、便携化监测设备的研发,使得移动监测和个人暴露监测成为可能,能够更精准地反映不同场景下的大气环境状况。

2 大气环境监测数据分析方法

2.1 数据分析方法的基本框架

大气环境监测数据分析方法的基本框架包括数据收集、数据预处理、数据分析和结果解释四个主要环节。数据收集阶段,需从不同监测站点、不同类型监测设备获取大气污染物浓度、气象参数等多源数据。数据预处理是对原始数据进行清洗,去除噪声、异常值和缺失值,对缺失数据采用插值法、多重填补法等进行处理;然后进行数据标准化和归一化,使不同类型的数据具有可比性^[2]。数据分析环节根据研究目的选择合适的方法,如统计分析、机器学习算法、时空模型等。最后,对分

析结果进行科学合理的解释,将数据结果转化为对大气环境质量评估、污染溯源和防控决策有价值的信息。

2.2 常用数据分析方法介绍

2.2.1 统计分析

描述性分析通过计算均值、中位数、标准差、最大值、最小值等统计量,对大气环境监测数据的集中趋势、离散程度和分布特征进行描述。例如,计算某区域一段时间内PM_{2.5}浓度的均值和标准差,可了解该区域PM_{2.5}的平均污染水平和波动情况。相关性分析用于研究不同变量之间的关联程度,常用皮尔逊相关系数、斯皮尔曼相关系数等指标。通过分析大气污染物浓度与气象因素(如风速、湿度、温度)之间的相关性,可找出影响污染物扩散和积累的关键气象条件。

2.2.2 机器学习算法

支持向量机(SVM)是一种有监督学习算法,通过寻找最优超平面将不同类别的数据分开,在大气环境质量分类和污染物浓度预测方面有广泛应用。例如,利用SVM对大气环境质量进行优良、轻度污染、中度污染等类别划分。随机森林是基于决策树的集成学习算法,通过构建多个决策树并综合其结果进行预测,具有较好的抗噪声和泛化能力,可用于分析影响大气污染物浓度的关键因素和进行浓度预测。神经网络,特别是深度学习中的卷积神经网络(CNN)和长短期记忆网络(LSTM),在处理大气环境监测的时空数据方面表现出色,LSTM能够有效处理时间序列数据中的长期依赖关系,用于预测污染物浓度的时间变化趋势。

2.2.3 时空模型

地理信息系统(GIS)将大气环境监测数据与地理空间信息相结合,通过空间插值方法,如反距离权重法、克里金插值法,将离散的监测点数据转换为连续的空间分布数据,直观展示大气污染物在空间上的分布特征,还可进行空间叠加分析,研究污染源与环境敏感区域的关系。时间序列分析用于挖掘大气污染物浓度随时间变化的规律,常用方法包括自回归滑动平均模型(ARMA)、季节性分解等。通过时间序列分析,可识别污染物浓度的周期性变化(如日变化、季节变化)和趋势性变化,为污染防控提供时间维度的决策依据。

2.2.4 回归分析与预测模型

回归分析用于建立大气污染物浓度与影响因素之间的定量关系。线性回归假设因变量与自变量之间存在线性关系,通过最小二乘法拟合回归方程,例如建立PM_{2.5}浓度与工业排放量、机动车保有量等因素的线性回归模型。非线性回归则适用于变量间非线性关系的情况,如

采用多项式回归、指数回归等方法。预测模型基于回归分析结果,结合时间序列分析,对未来大气污染物浓度进行预测,为环境管理部门制定应急预案和防控措施提供前瞻性信息^[3]。

2.3 数据分析方法在大气环境监测中的应用案例

在某工业城市的大气环境监测中,利用统计分析方法对多年的监测数据进行描述性分析,发现该城市夏季臭氧浓度较高,且与温度、日照时长呈现显著正相关。通过相关性分析确定了影响臭氧生成的关键气象因素后,运用机器学习中的随机森林算法,结合气象数据、工业排放数据等,建立臭氧浓度预测模型,预测准确率达到85%以上。同时利用GIS技术绘制臭氧浓度空间分布图,清晰展示出高浓度区域主要集中在城市工业区和交通繁忙路段,为该城市制定臭氧污染防控措施提供了科学依据。

3 大气环境监测技术与数据分析方法比较研究

3.1 监测技术比较

不同大气环境监测技术各有优缺点。光学监测技术具有响应速度快、灵敏度高、非接触测量等优点,适用于实时在线监测,但部分光学方法易受大气颗粒物、水汽等干扰。化学监测技术测量结果准确、选择性好,可用于多种污染物的定性和定量分析,但操作相对复杂,分析周期较长,且需要使用化学试剂,存在一定的安全和环境风险。电化学监测技术具有体积小、成本低、便于携带等特点,适合现场快速检测,但传感器寿命较短,稳定性有待提高。遥感监测技术能够实现大范围、大面积的大气环境监测,获取宏观的污染分布信息,但监测精度相对较低,难以准确测定污染物的具体浓度。

3.2 数据分析方法比较

统计分析方法原理简单、易于理解和操作,能够快速对数据进行初步分析和描述,但在处理复杂非线性关系和高维数据时存在局限性。机器学习算法具有强大的非线性拟合和模式识别能力,能够处理复杂的多变量关系和海量数据,但模型训练需要大量数据,且模型的可解释性较差。时空模型能够充分利用数据的空间和时间特征,直观展示大气污染物的时空分布规律,但对数据的时空完整性要求较高。回归分析与预测模型能够建立变量之间的定量关系,实现对污染物浓度的预测,但模型的准确性依赖于变量选择和数据质量,且在处理复杂系统时可能存在模型误差。

4 大气环境监测技术与数据分析方法的发展趋势

4.1 智能化、网络化监测技术的发展

随着物联网、人工智能等技术的发展,大气环境监

测技术将向智能化、网络化方向深入发展。智能监测设备将具备更强大的自我感知、自我决策和自我控制能力,能够根据环境变化自动调整监测参数和采样频率^[4]。通过物联网技术,将分散的监测设备连接成网络,实现数据的实时共享和协同分析,构建覆盖全域的大气环境监测网络。同时利用人工智能算法对监测数据进行实时分析和异常预警,提高监测的及时性和准确性。

4.2 大数据、云计算在数据分析中的应用

大气环境监测产生的海量数据需要更高效的存储、处理和分析技术。大数据技术能够对多源异构的监测数据进行整合和管理,实现数据的快速查询和分析。云计算技术提供强大的计算资源,支持复杂的数据分析算法和模型训练,降低数据分析的成本和门槛。通过大数据和云计算技术的结合,能够实现对大气环境监测数据的深度挖掘,发现隐藏在数据背后的复杂关系和规律,为大气环境管理提供更科学的决策支持。

4.3 多源数据融合与综合分析

未来大气环境监测将融合更多类型的数据,如卫星遥感数据、无人机监测数据、移动监测数据、社会经济数据等。多源数据融合能够从不同角度全面反映大气环境状况,提高监测和分析的准确性和可靠性。综合分析方法将结合多种数据分析技术,充分发挥各自优势,对多源数据进行联合分析,实现对大气污染的精准溯源、动态模拟和有效防控。

5 大气环境监测技术优化与数据分析方法改进策略

5.1 监测技术优化策略

为提高大气环境监测技术的性能,可从以下方面进行优化。在硬件方面,研发新型传感器材料和技术,提高传感器的灵敏度、选择性和稳定性,降低检测限。例如,利用纳米材料、石墨烯等新型材料开发高性能气体传感器。优化监测设备的结构设计,提高设备的集成度和便携性,降低功耗。在软件方面,开发智能化的数据采集和处理系统,实现监测设备的自动校准、故障诊断

和远程控制。同时,加强不同类型监测技术的集成和联用,发挥各自优势,实现对大气污染物的多参数、高精度监测。

5.2 数据分析方法改进策略

针对现有数据分析方法的不足,可采取多种改进策略。在算法改进方面,结合大气环境监测数据的特点,对机器学习算法进行优化和创新,提高算法的可解释性和泛化能力^[5]。例如,开发基于规则的机器学习模型,使模型决策过程更透明。加强多方法融合,将统计分析、机器学习、时空模型等方法有机结合,取长补短,提高数据分析的准确性和可靠性。在数据层面,加强数据质量控制,建立严格的数据采集、传输和存储标准,确保数据的真实性、完整性和准确性。同时注重数据的标注和特征工程,提高数据的可用性和算法的性能。

结束语

大气环境监测技术与数据分析方法的研究对环境保护意义重大。当前研究已取得诸多成果,但仍面临技术升级、方法改进等挑战。未来需紧跟智能化、大数据等趋势,持续优化监测技术,完善数据分析方法,加强多源数据融合与综合应用,推动大气环境监测向更精准、高效、智能方向发展,为大气污染防治筑牢技术根基。

参考文献

- [1]张漱玉.大气环境监测技术的研究进展[J].环境科学与技术,2020,43(5):123-130.
- [2]王景浩.大气环境数据分析方法及应用[J].中国环境监测,2021,37(3):45-52.
- [3]谭波,王璞.大气环境监测工作对于大气污染治理的作用及方法探索[J].中国轮胎资源综合利用,2025,(2):124-126.
- [4]夏京,吕侠,杨方方.无人机技术在大气环境监测中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(2):130-132.
- [5]梁云智,王珍娜,潘长卫.大气环境监测中大数据解析技术应用[J].清洗世界,2025,41(4):115-117.