

城市空气质量监测技术的研究与进展

李 波

天津华勘检验测试有限公司 天津 300161

摘 要：随着城市化和工业化进程的加速，城市空气质量问题日益突出，空气质量监测技术对于了解空气污染状况、制定环境保护政策至关重要。本文全面探讨了城市空气质量监测技术的研究现状与进展。首先阐述了空气质量监测的重要意义，接着详细分析了传统监测技术，如现场监测站点的设置与运作，移动监测设备的特点；深入研究了现代先进监测技术，包括卫星遥感技术、激光雷达技术、傅里叶变换红外光谱技术等原理与应用；探讨了人工智能与大数据技术在空气质量监测中的融合与作用；最后对空气质量监测技术面临的挑战和未来发展趋势进行了展望，旨在为城市空气质量监测提供全面的技术参考，助力城市空气质量的改善与可持续发展。

关键词：城市空气质量；监测技术；研究进展

1 引言

城市作为人类活动的集中区域，空气质量直接关系到居民的身体健康、生活质量以及城市的可持续发展。近年来，随着城市化进程的不断加快，城市规模持续扩大，人口日益密集，工业生产、交通运输等活动产生的大量污染物排放到大气中，导致城市空气质量问题愈发严峻，雾霾、酸雨等空气污染事件频繁发生，给人们的生活和生态环境带来了严重影响。

为了有效应对城市空气质量问题，实现对空气质量的精准评估、污染溯源以及科学治理，准确可靠的空气质量监测技术显得尤为关键。空气质量监测技术作为环境科学领域的重要研究方向，随着科技的不断进步，经历了从简单到复杂、从单一到多元、从地面到空间的发展历程。如今，多种先进技术相互融合，为城市空气质量监测提供了全方位、多层次的监测手段，极大地提高了监测的精度和效率，也为深入了解大气污染的来源、传输和转化规律提供了有力支持^[1]。

2 城市空气质量监测的重要性

2.1 保障公众健康

城市空气质量与居民的身体健康密切相关。空气中的污染物，如细颗粒物（PM_{2.5}）、可吸入颗粒物（PM₁₀）、二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、一氧化碳（CO）和臭氧（O₃）等，能够通过呼吸道进入人体，引发各种呼吸系统疾病、心血管疾病以及癌症等健康问题。长期暴露在污染的空气中，还会影响人体的免疫系统、神经系统和生殖系统。通过准确的空气质量监测，可以及时掌握空气中污染物的浓度变化，为公众提供健康预警，引导公众采取有效的防护措施，减少空气污染对健康的危害。

2.2 支持环境保护决策

空气质量监测数据是制定环境保护政策和措施的重要依据。政府部门可以根据监测结果，了解城市空气质量的现状和变化趋势，评估污染治理措施的效果，确定重点污染区域和主要污染物，从而有针对性地制定和调整环境保护政策、法规和标准，合理分配环保资源，实施有效的污染减排和治理措施，推动城市空气质量的持续改善^[2]。

2.3 维护生态平衡

空气污染不仅对人类健康造成威胁，还会对生态系统产生负面影响。污染物会损害植物的光合作用，影响植物的生长、发育和繁殖，导致农作物减产、森林退化等问题。同时，空气污染还会影响土壤质量、水体环境以及生物多样性。通过空气质量监测，可以及时发现空气污染对生态系统的破坏，采取措施保护生态环境，维护生态平衡。

3 传统城市空气质量监测技术

3.1 现场监测站点

现场监测站点是城市空气质量监测最传统、最基础的方式。通过在城市不同区域合理设置固定监测站点，采集环境空气样品，然后将样品送往实验室进行分析，从而得到空气中各种污染物的浓度数据。

固定监测站点通常配备了多种监测仪器，用于测量不同污染物的浓度。例如，采用分光光度法测量二氧化硫、氮氧化物的浓度；使用重量法测量颗粒物的浓度；利用电化学法测量一氧化碳、臭氧等污染物的浓度。这些监测仪器具有较高的准确性和可靠性，能够提供长期、稳定的监测数据。

现场监测站点的优点是能够对特定地点的空气质量进行连续、实时的监测，数据准确性高。然而，其也存在

在一定的局限性。一方面,监测站点的空间分布有限,难以全面反映城市复杂的空气质量状况;另一方面,建设和维护监测站点的成本较高,包括场地租赁、仪器设备购置、运行维护、人员培训等费用。

3.2 移动监测设备

随着技术的发展,便携式的移动监测设备应运而生。移动监测设备可以安装在汽车、自行车等移动平台上,快速地在城市不同地点进行空气质量监测。

移动监测设备通常集成了多种小型化的传感器,能够实时获取空气中多种污染物的浓度数据。与传统的现场监测站点相比,移动监测设备具有灵活性高、覆盖范围广的优点,可以在短时间内对城市大面积区域进行快速扫描,发现潜在的污染热点区域。同时,移动监测设备还可以与固定监测站点的数据进行对比和补充,提高空气质量监测的空间分辨率^[3]。

4 现代城市空气质量监测技术

4.1 卫星遥感技术

卫星遥感技术是利用人造地球卫星搭载的各种遥感仪器,从高空对地球表面进行观测,获取大气、陆地、海洋等多方面的信息。在城市空气质量监测中,卫星遥感技术主要通过探测大气中污染物对特定波长电磁波的吸收、散射等特性,反演得到污染物的浓度分布信息。

卫星遥感技术具有覆盖范围广、观测周期短、不受地理条件限制等优点。它可以对全球范围内的城市空气质量进行宏观监测,及时发现大面积的空气污染事件,如沙尘暴、工业污染带等。同时,卫星遥感数据还可以用于分析污染物的长距离传输和扩散规律,为区域空气质量联防联控提供重要依据。

但是,卫星遥感技术也存在一定的局限性。由于卫星观测高度较高,其空间分辨率相对较低,对于城市中局部区域的空气质量变化难以进行精细化监测。此外,卫星遥感反演得到的污染物浓度数据是大气柱平均浓度,对于近地面空气质量的反映存在一定偏差。而且,卫星遥感数据的处理和分析需要专业的技术和设备,数据解译的难度较大。

4.2 激光雷达技术

激光雷达(Light Detection and Ranging, LiDAR)技术是一种主动式的光学遥感技术。它通过向大气发射激光脉冲,然后接收大气中粒子散射和反射回来的激光信号,根据信号的强度、时间延迟等信息,获取大气中颗粒物的浓度、粒径分布、垂直分布等信息。

在城市空气质量监测中,激光雷达技术可以实现对大气颗粒物的高时空分辨率监测。它能够实时探测城市

上空不同高度处颗粒物的分布情况,清晰地显示出污染层的厚度、高度和动态变化,有助于了解污染物的垂直扩散规律和污染源的排放高度。此外,激光雷达技术还可以与地面监测站点的数据相结合,实现对城市空气质量的立体监测,提高监测的准确性和全面性。

然而,激光雷达技术也面临一些挑战。首先,激光雷达设备价格昂贵,运行和维护成本较高,限制了其大规模的应用。其次,激光雷达监测数据的准确性受到大气气溶胶特性、气象条件等因素的影响较大,数据处理和反演算法较为复杂,需要专业的技术人员进行操作和分析。

4.3 傅里叶变换红外光谱技术

傅里叶变换红外光谱(Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)技术是利用物质对红外光的吸收特性来分析物质结构和成分的一种光谱分析技术。在空气质量监测中,FTIR技术可以用于同时测量多种气态污染物的浓度。

FTIR监测系统通过测量大气中污染物在特定红外波段的吸收光谱,利用傅里叶变换算法将时域信号转换为频域信号,从而得到污染物的特征吸收峰,通过与标准光谱进行比对和定量分析,确定污染物的种类和浓度。该技术具有测量速度快、灵敏度高、可同时测量多种污染物等优点,能够实时、连续地监测大气中多种气态污染物的浓度变化。

但是,FTIR技术也存在一些不足之处。其对环境条件较为敏感,如温度、湿度的变化可能会影响测量结果的准确性。此外,FTIR设备的价格相对较高,仪器的维护和校准需要专业技术人员进行操作,在一定程度上限制了其广泛应用^[4]。

5 人工智能与大数据在城市空气质量监测中的应用

5.1 人工智能在空气质量监测中的应用

人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术在城市空气质量监测中发挥着越来越重要的作用。机器学习是人工智能的一个重要分支,通过构建合适的模型,让计算机从大量的空气质量监测数据中学习数据的特征和规律,从而实现对空气质量的预测、分类和异常检测等任务。

例如,利用深度学习中的卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)模型可以对空气质量监测数据进行处理和分析。CNN模型可以自动提取数据中的特征信息,对不同污染程度的空气质量数据进行分类,预测空气质量的变化趋势。此外,循环神经网络(Recurrent Neural Network, RNN)及其变体,如长短期记忆网络(Long Short-Term Memory network, LSTM)和门控循环单元(Gated Recurrent Unit, GRU),由于其能够处理时

间序列数据,在空气质量预测中也得到了广泛应用。这些模型可以根据历史空气质量数据和相关的气象数据,对未来的空气质量状况进行准确预测,为公众和政府部门提供提前预警。

5.2 大数据在空气质量监测中的应用

大数据技术为城市空气质量监测提供了强大的数据管理和分析能力。城市空气质量监测涉及到大量的监测数据,包括来自固定监测站点、移动监测设备、卫星遥感等多种数据源的数据,这些数据具有海量、多样、快速变化等特点。

通过大数据存储技术,可以将这些数据进行高效存储和管理,以便后续的分析和挖掘。大数据分析技术则可以对这些复杂的数据进行整合、清洗和分析,挖掘数据中潜在的规律和信息。例如,通过关联分析不同监测站点的数据和气象数据,可以发现气象因素对空气质量的影响机制;通过时空分析,可以了解污染物的时空分布特征和传播规律。此外,大数据可视化技术可以将复杂的空气质量数据以直观的图表、地图等形式展示出来,便于用户理解和决策。

5.3 人工智能与大数据的融合应用

将人工智能与大数据技术深度融合,能够进一步提升城市空气质量监测的水平。通过大数据为人工智能模型提供丰富的数据支持,使模型能够学习到更全面、准确的知识;而人工智能算法则可以对大数据进行高效的分析和处理,挖掘数据中的深层次信息。

例如,利用大数据构建空气质量监测数据集,然后使用人工智能算法进行模型训练和优化,实现对空气质量的精准预测和污染溯源。同时,通过人工智能算法对大数据进行实时分析和处理,可以及时发现空气质量的异常变化,自动触发预警机制,提高空气质量监测的实时性和有效性。

6 城市空气质量监测技术的未来发展趋势

6.1 多技术融合发展

未来的城市空气质量监测技术将朝着多技术融合的方向发展。不同监测技术具有各自的优势和局限性,通过将现场监测站点、移动监测设备、卫星遥感、激光雷达、FTIR等多种技术有机结合,可以实现优势互补,提高监测的精度、全面性和时空分辨率。例如,将卫星遥感的宏观监测与地面监测站点的微观监测相结合,可以更好地掌握城市空气质量的整体状况和局部变化;将激光雷达的垂直观测与移动监测设备的水平扫描相结合,可以实现对大气污染物的三维立体监测。

6.2 智能化与自动化发展

随着人工智能、物联网等技术的不断发展,城市空气质量监测将更加智能化和自动化。智能监测设备将具备自动校准、自动诊断、自动数据处理和分析等功能,能够实时、准确地获取空气质量数据,并自动生成监测报告和预警信息。同时,通过物联网技术,可以实现监测设备的远程监控和管理,提高监测工作的效率和可靠性。此外,人工智能算法将不断优化和完善,能够更加准确地预测空气质量变化趋势,为污染治理提供更加科学的决策支持。

6.3 小型化与便携化发展

为了满足城市空气质量监测的多样化需求,监测设备将朝着小型化和便携化的方向发展。小型化、便携式的监测设备可以方便地部署在城市的各个角落,甚至个人也可以随身携带,实现对身边空气质量的实时监测。这些设备将具有成本低、功耗低、操作简单等优点,有助于提高空气质量监测的普及程度,增强公众的环保参与意识^[5]。

6.4 加强国际合作与数据共享

空气质量问题是一个全球性的问题,需要各国加强合作与数据共享。未来,国际间将建立更加完善的空气质量监测合作机制,各国之间可以共享监测技术、数据和经验,共同开展大气污染研究和治理工作。通过数据共享,可以扩大空气质量监测的覆盖范围,提高数据的准确性和可靠性,为全球空气质量的改善提供有力支持。

结束语

城市空气质量监测技术对于保障公众健康、支持环境保护决策和维护生态平衡具有重要意义。随着科技的不断进步,城市空气质量监测技术取得了显著进展,从传统的现场监测站点和移动监测设备,到现代的卫星遥感、激光雷达、傅里叶变换红外光谱等技术,以及人工智能与大数据在空气质量监测中的广泛应用,为我们提供了更加全面、准确、高效的空气质量监测手段。

参考文献

- [1]纪夕发.城市空气质量监测技术优化分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(21):42-44.
- [2]侯晓东.空气质量监测技术在城市环境管理中的作用[J].环境与生活,2024,(09):74-76.
- [3]周妙英,周军,史梦玲.生态环境监测技术在城市空气质量评估中的应用研究[J].生态与资源,2024,(08):41-43.
- [4]郑懿,李厚橙,杨军,蔡婧.城市轨道交通空气质量监测技术及其健康效应研究进展[J].环境与职业医学,2024,41(06):713-720.
- [5]崔爱萍.城市空气质量监测技术优化研究[J].住宅产业,2024,(04):80-82.