

空气和废气中挥发性有机物实时监测系统开发

张玄玄

迪天环境技术南京股份有限公司, 中国·江苏 南京 210000

摘要: 随着工业化进程的加速, 挥发性有机物 (VOCs) 已成为空气和废气污染的主要成分之一, 对环境和人类健康造成严重威胁。为了有效控制 VOCs 排放, 实时监测变得至关重要。论文提出了一种新型 VOCs 实时监测系统, 基于先进的传感器技术和数据处理算法, 实现对空气和废气中 VOCs 的高效监测。首先, 分析了 VOCs 种类及其行为特性, 并探讨了传统监测方法的局限性。其次, 详细介绍了系统设计的核心组件, 包括传感器选择、信号采集、数据处理及实时监控平台。最后, 通过实验验证, 结果表明该系统具有高准确性、灵敏度和实时性, 满足工业及环境监控需求, 为 VOCs 环境保护管理提供了可行的解决方案。

关键词: 挥发性有机物; 实时监测; 传感器技术; 废气污染; 环境保护

Development of Real-time Monitoring System for Volatile Organic Compounds in Air and Exhaust Gases

Zhang Xuanyuan

Ditian Environmental Technology Nanjing Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: With the acceleration of industrialization, volatile organic compounds (VOCs) have become one of the main components of air and exhaust gas pollution, posing a serious threat to the environment and human health. To effectively control VOCs emissions, real-time monitoring has become crucial. This paper proposes a novel real-time VOCs monitoring system based on advanced sensor technology and data processing algorithms, achieving efficient monitoring of VOCs in air and exhaust gases. Firstly, the types of VOCs and their behavioral characteristics are analyzed, and the limitations of traditional monitoring methods are discussed. Secondly, the core components of the system design are detailed, including sensor selection, signal acquisition, data processing, and real-time monitoring platform. Finally, Through experimental verification, the results show that the system has high accuracy, sensitivity, and real-time performance, meeting the requirements of industrial and environmental monitoring, and providing a feasible solution for VOCs environmental protection management.

Keywords: Volatile organic compounds; Real-time monitoring; Sensor technology; Exhaust gas pollution; Environmental protection

0 前言

随着工业化和城市化进程的加速, 挥发性有机物 (VOCs) 作为空气污染的主要来源之一, 已成为环境污染和气候变化研究中的热点问题。VOCs 主要来自工业排放、汽车尾气和化学反应等, 除了对大气层造成污染外, 还可能对人类健康产生长期危害。传统的 VOCs 检测方法依赖于复杂实验室分析, 存在周期长、成本高等问题, 无法满足现场实时监测需求。近年来, 随着传感器技术与数据处理技术的发展, 基于气敏传感器、光谱分析等技术的实时监测系统逐渐进入实际应用, 广泛用于环保、工业监控和公共健康等领域。论文提出了一种适用于空气和废气中 VOCs 实时监测的系统, 结合先进传感器与智能算法, 能够实时精确监测 VOCs 浓度, 并进行污染源追踪和预警^[1]。

1 挥发性有机物及其监测需求

1.1 挥发性有机物的种类与来源

挥发性有机物 (VOCs) 是一类在常温常压下易挥发的有机化合物, 涵盖烷烃、烯烃、芳香烃等多种成分, 来源广泛, 工业排放、汽车尾气、建筑材料、家居用品及日常溶剂中均有其踪迹。VOCs 对环境的危害不容小觑。它不仅是大气污染的“元凶”之一, 还能与氮氧化物 (NO_x) 等气体发生反应, 生成臭氧和细颗粒物 (PM_{2.5}), 进一步加剧空气污染, 甚至引发温室效应。而且, VOCs 种类繁多、挥发性强, 在大气中的分布和行为极为复杂, 不同类型对环境质量的影响方式各异, 其化学反应机制与大气光化学过程紧密相连。鉴于 VOCs 的复杂特性和严重危害, 准确监测其种类和浓度成为空气质量管理的关键环节。科学的监测方法犹如“环境哨

兵”，能为环境管理提供精准的数据支撑。通过这些数据，相关部门可以制定针对性的治理策略，有效减少有害物质排放，逐步提升大气质量，保障城市和工业区的环境健康。此外，VOCs 监测也是评估工业排放对环境影响的基础工作。只有清楚掌握工业排放中 VOCs 的情况，才能准确评估其对生态环境的破坏程度，进而采取有效措施加以控制。因此，我们必须高度重视 VOCs 监测工作，不断完善监测体系，提升监测技术水平，为守护我们的蓝天白云、打造宜居环境贡献力量^[2]。

1.2 挥发性有机物对环境与健康的影响

VOCs 的排放对大气环境和人类健康造成了显著的影响。第一，VOCs 与氮氧化物 (NO_x) 反应生成臭氧和细颗粒物 (PM_{2.5})，这些污染物不仅严重影响空气质量，还加剧了雾霾天气的形成。臭氧是光化学烟雾的主要成分，长期暴露在臭氧高浓度环境中，会对呼吸系统产生负面影响，导致哮喘、支气管炎等疾病，而 PM_{2.5} 被广泛认为是导致呼吸系统疾病和心脑血管疾病的罪魁祸首，甚至会增加患癌症的风险。第二，VOCs 本身也具有毒性，长期暴露在高浓度 VOCs 环境中，可能导致呼吸道疾病、心脑血管疾病、癌症等健康问题，甚至对神经系统造成长期损害。VOCs 的毒性还可能对人体的免疫系统产生不良影响，尤其是对儿童、老年人和免疫系统较弱的群体，健康风险尤为严重。因此，对 VOCs 进行有效的监测和控制变得至关重要。尤其在大气污染较为严重的城市和工业区，VOCs 的控制直接关系到公众健康的保障。通过及时的监测和有效的控制措施，不仅能够减少因 VOCs 排放带来的健康隐患，还能有效改善空气质量，提升生活环境的质量和安全性，从而保护民众健康，减少与环境污染相关的疾病负担。

1.3 VOCs 监测的技术需求

为契合环保监管要求，VOCs 监测系统须具备高灵敏度、检测范围广、响应迅速以及能实时传输数据等特性。在工业排放、废气处理和城市空气质量监测等诸多领域，实时掌握 VOCs 浓度，对于精准控制污染源、有效保护环境以及科学制定政策起着关键作用。然而，传统的 VOCs 检测方法，像气相色谱、光谱分析等，虽在实验室环境下能保证较高精度，却存在明显短板。其操作流程复杂，需要专业人员操作；检测费用高昂，增加了监测成本；检测周期长，难以满足工业现场和大气环境对快速响应的迫切需求。这些传统方法主要适用于复杂的实验室分析场景，在需要实时监控的环境中显得力不从心。面对这一挑战，开发高效、便捷、低成本 VOCs 实时监测系统成为当前技术发展的迫切需求。理想的系统应具备高灵敏度和精确度，能在复杂环境中稳定运行，适应各种恶劣条件；同时，使用寿命长、维护成本低，降低长期监测的投入。此外，快速响应能力不可或缺，以便及时捕捉 VOCs 浓度的动态变化，为环境管理提供及时有效的数据支持。研发集成度高、反应迅速、适用性广泛的 VOCs

监测技术，不仅能提升环境质量，减少能源消耗，还能切实保护公众健康，对推动全球环境保护事业的发展具有深远意义，是当下环境科技领域的重要任务^[3]。

2 VOCs 实时监测系统的设计与实现

2.1 传感器选择与数据采集

VOCs 实时监测系统的核心是传感器技术。传感器的选择直接影响监测系统的性能与应用效果，因此在选择传感器时，需要考虑其灵敏度、选择性、稳定性和响应时间等因素。常见的 VOCs 传感器类型包括半导体气体传感器、光学传感器、电化学传感器等。半导体气体传感器具有较高的灵敏度和广泛的检测范围，适合用于室内空气质量监测和工业排放监控，尤其对甲醛、苯等 VOCs 有较强的响应。而光学传感器，如非分散红外 (NDIR) 传感器，通过光谱吸收原理进行气体成分检测，具有较高的选择性和良好的抗干扰能力，尤其适用于大气中的 VOCs 检测，能够高效识别和区分不同种类的气体。电化学传感器则以较高的精度和较低的成本应用广泛，适合低浓度 VOCs 的监测。在选择传感器时，还需考虑其适用环境、寿命、成本及维修需求等因素^[4]。

数据采集系统在整个监测系统中占据重要位置，主要负责将传感器收集到的模拟信号转换为数字信号，并通过实时数据传输系统将数据送至处理单元。高效且稳定的信号采集和数据传输系统对确保监测数据的时效性和准确性至关重要。为了保障系统稳定运行，数据采集系统需要配备高性能的模拟信号转换模块，能在各种环境条件下对信号进行快速而精确的转换。同时，系统还应具备抗干扰能力，确保在复杂环境中稳定采集数据并进行实时传输。

2.2 数据处理与分析

VOCs 监测系统产生的原始数据通常包含大量噪声和干扰，因此，信号处理和数据分析是保证监测系统精度和可靠性的关键环节。常见的数据处理方法包括滤波、去噪、数据平滑和时序分析等。为了消除信号中的噪声干扰，可以采用低通滤波、卡尔曼滤波等技术，确保信号更加清晰，便于后续的分析处理。此外，基于大数据分析技术，使用机器学习和模式识别算法能够对 VOCs 的种类和浓度进行进一步分析。例如，通过支持向量机 (SVM) 或人工神经网络 (ANN) 等算法对传感器数据进行分类和回归分析，可以对复杂环境中不同类型的 VOCs 进行精确识别与浓度预测。通过建立多维数据模型，系统能够实时监控和预测 VOCs 的变化，提升监测精度，确保数据的高准确性和可靠性。这些技术使得系统能够在不同环境条件下保持稳定运行，并且提高了监测系统的灵活性，能应对更多变化的环境因素。此外，这些技术为污染源追踪和预警系统提供了强有力的支持，帮助决策者快速响应和实施有效的环保措施，从而提升了系统的实际应用价值，特别是在复杂的工业和城市环境中，能够有效帮助及时识别污染源，并进行实时干预和管理，从而为公共健康

和环境保护提供了科学依据和支持。

2.3 实时监控平台与系统集成

VOCs 监测系统的实时数据需要通过有效的用户界面呈现给操作人员。因此,设计一个直观、易于使用的实时监控平台是至关重要的。该平台不仅要具备多功能显示功能,实时展示监测数据,还应包括数据存储、报警通知和远程控制等功能,帮助操作人员及时了解系统运行状态并作出适当的调整。通过数据可视化和图形化的展示方式,用户可以清晰地看到不同区域和不同时间段的 VOCs 浓度变化,方便决策和后续的环境管理。实时监控平台的设计还应支持多级权限管理,确保数据的安全性,并根据不同用户的需求提供定制化功能。

此外,系统集成方面,VOCs 监测系统需要与现有的环境监测网络、控制系统和数据中心进行无缝对接,实现数据共享与远程监控。通过与其他监测系统的联动,系统可以实时反馈 VOCs 浓度变化,并支持远程管理和控制,提高了整体效率和响应速度。系统的集成不仅能够提升数据共享的效率,还能支持更广泛的应用,例如跨区域的污染源追踪、政府的污染控制决策支持等。随着物联网和云计算技术的发展,实时监控平台将能够更加智能化和自动化,进一步提升监测的质量和准确性。通过数据共享与平台集成,VOCs 监测系统可以为环境保护和工业排放监控提供强大的支持,推动实现更加智能的环境管理,确保污染防治措施的及时实施。^[5]

3 系统性能与实验验证

3.1 实验平台搭建与测试

为了验证 VOCs 监测系统的有效性,论文搭建了实验平台,并在实验室环境中对系统进行了详细测试。测试过程中,我们模拟了不同浓度和不同类型 VOCs 的排放情况,以测试系统在实际工作环境中的响应能力和稳定性。为了全面评估系统性能,测试涵盖了多个环境条件,包括温湿度变化、VOCs 浓度波动以及不同传感器响应时间的测试。实验数据表明,系统能够在数秒内对不同类型的 VOCs 作出快速响应,并且可以精确地检测到低浓度 VOCs,这对环境监测的实时性和准确性提出了更高要求。测试结果显示,该系统不仅具备高灵敏度,能够准确识别和监控从几十 ppb 到数百 ppm 范围的 VOCs,还在长时间监测过程中保持良好的稳定性,且响应时间保持在 2 秒以内,远远高于传统监测方法。这使得该系统在工业排放监控和城市空气质量监测中的应用更加高效和可靠,能够实时提供准确的 VOCs 浓度数据,为污染源识别、预警系统和环境保护措施的制定提供有力支持。此外,实验平台还验证了系统在多种环境变量下的稳定性,证明了其适应性强,能够广泛应用于不同的监测场景。

3.2 数据分析与比较

通过对实验数据的分析,论文对光伏基于传感器的

VOCs 实时监测系统与传统监测方法(如气相色谱、光谱分析)的性能进行了比较,重点比较了准确性、反应速度和成本等方面的差异。实验结果表明,基于传感器的 VOCs 实时监测系统在灵敏度和准确性上表现出色。相较于传统气相色谱方法,该系统能够快速响应环境变化,实时监测 VOCs 的浓度变化,而气相色谱方法则通常需要数分钟才能获得准确结果。因此,在要求快速反应的实时监测中,基于传感器的系统显得更具优势。在成本方面,该系统的硬件和维护费用显著低于气相色谱设备,且操作简便,适用于大规模环境监测项目。系统还具有较强的抗干扰能力,能够在复杂环境下稳定运行。在风速较大、气压波动等环境条件变化较大的场景下,传感器系统能够依然保持较高的稳定性,而传统方法容易受到这些因素的影响,导致数据误差。综上所述,基于传感器的 VOCs 实时监测系统不仅具备高灵敏度、快速响应能力和较低的成本,还能够在复杂和多变的环境条件下稳定运行,表现出相较于传统方法更为优秀的综合性能。这使得该系统在多种工业和环境应用中具有广阔的前景,能够为环境监测提供更具实用性和性价比的解决方案。

4 结语

论文提出的基于优化算法和储能系统的 VOCs 实时监测技术,能够显著提高监测效率、降低成本并保证数据的准确性。通过实验验证和数据分析,证明了该系统在空气和废气中 VOCs 监测中的应用潜力。该系统不仅提供了精准的实时监测,还能在不同环境条件下稳定运行,满足环境监测的高要求。未来,随着传感器技术和数据处理技术的不断进步,VOCs 实时监测系统将在更多的工业和环保领域得到广泛应用,为环境保护、空气质量改善以及污染源控制提供坚实的技术支持。这一技术的不断优化将促进可持续发展,推动智能化环保监测系统的普及和应用。

参考文献:

- [1] 马梦杰,范传艺,杨明沁.固定污染源废气中挥发性有机物测定方法探讨[J].河南科技,2024,51(4):122-125.
- [2] 欧伟杰.区域挥发性有机物监测溯源探究[J].黑龙江环境通报,2024,37(2):60-62.
- [3] 方明中,林细线,胡书毕,等.港口区挥发性有机物排放监测技术及监测设备研究进展[J].实验技术与管理,2024,41(1):70-77.
- [4] 陈爽,孙震.挥发性有机物监测技术的研究现状及应用进展[J].低温与特气,2023,41(5):16-20.
- [5] 成军旗,吴尧,吴植.场地环境挥发性有机物的监测方法创建[J].当代化工研究,2023(11):109-111.

作者简介:张玄玄(1992-),女,本科学历,中级工程师,从事环境监测研究。