

Advances in Application of Air Quality Sensors in Environmental Monitoring

Yingshi Song*, Jian Gao, Fahe Chai, Xiaoliang Qin, Qian Shen

Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing
Email: *keystone2006@163.com

Received: May 14th, 2019; accepted: May 29th, 2019; published: June 5th, 2019

Abstract

Environmental pollution is an urgent problem in our country. Because of the complexity of sources, the difficulty of monitoring, the monitoring means and density far fall short of the current demand, there are great difficulties and challenges in studying the impact of polluted air on human health. Air quality sensors use microelectronic technology, sensing technology, signal processing technology and other comprehensive technologies. Minimizing hardware cost, minimizing volume, using software products simply, operating quickly and using widely will play an important role in environmental encryption monitoring. This paper mainly discusses the monitoring principle of air quality sensor, the research status at home and abroad, and summarizes the application prospects and development direction of air quality sensor in environmental monitoring.

Keywords

Sensor, Environmental Monitoring, Application Status

空气质量传感器在环境监测中的应用研究进展

宋英石*, 高 健, 柴发合, 秦孝良, 沈 茜

中国环境科学研究院, 北京
Email: *keystone2006@163.com

收稿日期: 2019年5月14日; 录用日期: 2019年5月29日; 发布日期: 2019年6月5日

摘 要

环境污染在我国已经是一个刻不容缓的问题, 由于来源复杂, 监测困难, 监测手段和监测密度远远达不到
*通讯作者。

文章引用: 宋英石, 高健, 柴发合, 秦孝良, 沈茜. 空气质量传感器在环境监测中的应用研究进展[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(3): 259-267. DOI: 10.12677/aep.2019.93037

到目前的需求,对于研究环境污染空气对人体健康的影响存在极大的困难和挑战,空气质量传感器利用微电子技术,传感技术,信号处理技术等多种综合性技术,使硬件成本最低化,体积最小化,软件产品使用简单,操作快捷,使用范围广,将会在环境加密监测中发挥重要作用,本文主要论述了空气质量传感器监测原理,国内外研究现状,并总结了空气质量传感器在环境监测中的应用前景和发展方向。

关键词

传感器, 环境监测, 应用现状

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

环境污染在我国已经是一个刻不容缓的问题,而在这些众多的环境污染中,空气污染最为严重。因此对于空气质量的监测显得尤为重要。现如今,我国正面临“煤烟污染”和“光化学烟雾污染”之后,又出现以“大气污染”为主的环境污染。研究发现,现在空气中存在大量的有机物,其中不乏有一些致癌物质和病毒。如今,监测技术的应用是人们认识和改造世界的必不可少的一种方式。其中,监测技术的核心就是对信息资源的获取、传输和处理,这也就用到了一种不可或缺的工具——传感器。本地的排放和区域的传输是造成污染物浓度在固定地点升高的主要原因,没有复杂的数值模拟工具,对于研究环境污染空气对人体健康的影响存在极大的困难和挑战,当今能够解决困难的方法就是寻找价格低廉的监测设备,用其将环境监测的网络扩大健全,空气质量传感器就具有这一特点。研究及运用传感器技术是监测空气质量的一种热门方法,在当前的空气净化领域,空气质量传感器几乎已经成为净化设备的标配附件,主要对空气中的PM_{2.5}、VOCS等污染物浓度进行监测。

对于工厂有毒气体,工业废气以及对居住环境气体的监测都离不开空气质量传感器,只有借靠这套监测系统才能进行精确地监测,才能更好地提供一个优良的生活环境,可以说空气质量的监测关乎每个人的生命健康。空气质量传感器利用微电子技术,传感技术,信号处理技术等多种综合性技术,使硬件成本最低化,体积最小化,软件产品使用简单,操作快捷,使用范围广,无论是在家居还是公共场所都能够担以重任,生产利润上有很大空间。对于现阶段的空气质量问题以及人们对空气标准的不断提高,空气质量传感器将会有更加深入的研究以及更广阔的市场空间。

2. 空气质量传感器的工作原理

2.1. 颗粒物传感器

近几年,细颗粒物是造成空气污染的主要因素,大多数城市已经进行了细颗粒物的监测工作。目前颗粒物传感器因价廉、便携等优点,受到大众的青睐。目前颗粒物传感器的测量原理有电学原理、光学原理,其中光学包括红外和激光两种。

1) 电学原理

电学法颗粒物传感器主要是利用气溶胶颗粒物单极扩散充电技术,测量带电粒子产生的电流而实现监测。传感器有两个进气流:净化过的压缩空气(1.5 bar)和气溶胶样本气体。压缩空气流被导入到一个有电晕针释放恒定电流的密闭空间内,然后,经过电晕放电后带有正离子的气流被引入到一个排气装置里。

气溶胶进行传感器则主要就是通过具有抽气泵作用的该股气流吸入的。气溶胶样本和气泵里的气流充分混合,这样电晕充电器释放的离子才能附着到包括样本气体在内的气溶胶颗粒物上。在混合过程后,剩余的自由离子会被一个离子阱吸收,带电粒子会随着气流从传感器流出。因为颗粒物或者部分颗粒物是单极带电,它们输出传感器时会携带电荷。

2) 红外原理

红外的光线强度是很弱的,测量颗粒物时的强度不够,可以用浊度法代替。浊度法的测量原则就是发射和接收光线,通过此法可以判断空气的浑浊程度。这种方法较容易受到其他因素的干扰而使测量值与实际浓度偏差增大。以上红外测量的特点,说明用红外传感器测量颗粒物只能知道其相对质量浓度。红外传感器的另一个缺陷是不能区分颗粒物的粒径,故红外传感器的性能较差,不能满足当前社会的需求。

3) 激光原理

基于激光散射法原理的测量技术被认为是测量颗粒物应用最普遍的技术。它归类为光学法,但其与显微镜法光学成像的原理不同。光散射的理论基础是 Mie 散射理论,其获得颗粒物的质量浓度的方式是反推,反推的过程需要借助颗粒物的相关参数。颗粒物在太阳光照射的时候会产生散射光,其性质恒定的前提下,颗粒物散射光的强度可以代表其质量浓度。最近这些年,基于光散射原理的便携式颗粒传感器作为新型监测设备在环境空气监测领域已经涌现,它的出现引领了新一代监测仪器的发展且占据了相当重要的地位。

激光散射原理即令激光照射在空气中的悬浮颗粒物上产生散射,同时在某一特定角度收集散射光,得到散射光强随时间变化的曲线。进而微处理器利用基于米氏(MIE)理论的算法,得出颗粒物的等效粒径及单位体积内不同粒径的颗粒物数量。

2.2. 气态传感器

近年来,世界各国对有毒有害气体的监测越来越重视,对大气环境中有毒有害气体的监测提出更高的要求,而大气环境中有毒有害的污染物主要是 NO_x 、 SO_2 、 VOCs 等气体。因此,研究开发低功耗、低成本、微型化、高灵敏度、高稳定性的气体传感器对保护人体健康和保护生态环境具有重要的意义。常用的传感器有以下几种:

1) 定电位电解式传感器。电解式传感器虽然目前国内不是特别流行,不过它依然是一种重要的测量空气质量的方法,广泛地应用在各种领域。定电位电解式传感器是在一个用塑料制成的外壳内,安装各种电极,在各个电极之间充满电解液,然后进行封装。气体与电解质内的电极发生化学反应,从而使电极的平衡发生改变,进而实现对空气的测量。

2) 金属氧化物半导体式传感器。金属氧化物半导体式传感器主要是利用了对需要测量的空气的吸附效应,然后会改变其电导率,进而改变其电阻,最后通过电流的变化的相互对比,进而产生相应的显示。然而此电阻还有诸多缺点,当周围的环境发生变化时,会对传感器的测量结果产生重要影响,使其产生很大的误差。不过,由于这种传感器的操作简单,测量方便,而且反映比较灵敏,在日常的生产生活中得到了广泛的应用。

3) 催化燃烧式传感器。催化燃烧式传感器是一种高温气体传感器,它主要是利用催化燃烧产生的热效应原理。它的内部结构是监测元件和补偿元件配对组成测量电桥,当达到一定温度,可燃气体在监测元件载体表面和催化剂的共同作用下发生无焰燃烧,载体温度就相应升高,从而通过它内部的铂电阻阻值也会发生相应改变,平衡电桥就失去了平衡,输出一个与可燃气体浓度成正比的电信号。所以,只要能测量铂电阻阻值大小,就可以知道待测气体的浓度。

4) 迦伐尼电池式氧气传感器。这种传感器也是主要利用了氧化还原的原理。氧气在通过电解质时在阴极和阳极发生氧化还原反应,从而使阳极产生电子,电流的大小与氧气的多少成正比。这种传感器的原理简单,而且比较容易制作,所以在我国应用比较广泛。

5) 红外式传感器。红外式传感器利用各种元素对某个特定波长的吸收原理,具有抗中毒性好,反应灵敏,对大多数碳氢化合物都有反应的优点。但其结构复杂,成本高。将装有该传感器的产品安装在家庭或卧室,可以用于测量空气中的 CO₂、温度、湿度水平,自动控制净化通风设备运转保持室内优良的环境。

6) PID 光离子化气体传感器。PID 是由紫外线灯和离子室等构成,在离子室中有正负两种电极,它们进而形成电场,待测的气体在紫外线的照射下,会生成正负两种离子,在电极间形成电流,经放大输出信号。主要用于监测挥发性有机物。

3. 国内外研究现状

3.1. 国内研究现状

近年来,我国生产空气质量传感器的企业越来越多,这些企业结合国家控制监测的要求,研发生产传感器的大部分零件,引进关键部件,降低了空气质量传感器开发的成本,适应用户购买力。由于我国空气质量监测仪器技术现代化研究方面较国外起步晚,因此与国外大气环境监测技术相比仍有一定的差距。目前我国的空气质量传感器大部分由国外引进,然而,由于各个国家实际环境情况的不同,我国引进使用的国外的设备在系统结构、数据采集、监控管理以及运行维护方面的需求都有比较大额度差距,因此,直接引用国外的设备并不适合我国的空气质量监测需求。随着科学技术的不断发展,我国更加重视对空气质量传感器的研究,相关的产品种类和数量大幅提升。例如:中国电子科技集团公司的第二十七研究所研发了一种基于单片机的温度和湿度感应监测系统,湖南大学研究与设计的基于 MSP430 单片机的针对二氧化碳的测量系统以及上海交通大学设计并应用于医院的多功能性情报监控系统。以上这些环境监测系统针对实际的应用基于单片机以及传感器设计而开发的,具有较大的应用价值和研究意义。

随着人们生活水平的不断提高和对环保的日益重视,对大气污染、工业废气的监测以及对食品和居住环境质量的监测都对气体传感器提出了更高的要求。未来气体传感器应该着重于新气敏材料与制作工艺的研究开发,研发出高灵敏度、高选择性、高稳定性的新型材料。如今,纳米、薄膜技术等新材料研制技术的成功应用为气体传感器集成化和智能化提供了很好的前提条件,研发能够监测多种气体的智能自动化气体传感器也是未来一大发展方向。气敏元件传感器作为新型敏感元件传感器已列为国家重点支持发展项目,我国气敏元件传感器及其应用技术有了较快进展,研究、发展方向表现在几个方面:1) 新型气敏材料的研发。在传统的气敏材料中掺杂某些元素,研制、开发复合型及混合型的半导体、高分子气敏材料,使得它们对不同的气体表现出高灵敏度、高稳定性和高选择性的特性。2) 新型气体传感器研发。使用新型材料、新型工艺及新技术,进一步研究气体传感器的机理,使得它们更加微型化、多功能,具备性能稳定、使用方便和价格低廉等特点。3) 借助计算机技术是的传感器更加智能化。将气体传感器与计算机技术结合,研制出新型仿生气体传感器是未来传感器发展的主要方向。

近年来低成本传感器的发展虽然取得了较大进展,但空气质量传感器仍处于技术开发的早期阶段,许多传感器尚需要评估确定其测量的准确性,后期各种故障所需要的维修费用成本也很高,而频繁的故障则会直接影响正常工作。为了能正确使用空气质量传感器,国外发布了便携式颗粒物传感器使用指南、技术路线和性能测试等文件,指导人们使用和研究便携式颗粒物传感器,国内暂时还没有发布这些指导性的文件。

我国正在加速工业化、城市化的建设步伐，自然环境变化对社会和公众的影响越来越大，政府和社会都对应急管理工作提出了更高的要求。为增强防灾减灾能力，提高气象灾害应急响应水平，迫切需要建立一个权威、客观、畅通、可信的信息发布渠道，使社会及公众及时了解各类灾害事件的现状、进展、趋势、原因等信息，采取有效防范措施，最大可能减轻和避免各类灾害对经济建设和人民生活的危害。建设空气质量监测预警云计算平台，可以实现空气污染源监督管理、随机污染源及时管控，从而有效降低生态环境污染，提高环境质量。

目前国内环境监测站点较少，分布分散，环境监测的数据能够从宏观上反映城市整体的污染情况，但是不能从微观上反映局部区域、特定区域的空气质量好坏，这就需要建设更多的环境监测站点，提供更多的实时的环境监测数据。利用云计算、大数据的空气质量分布式监测系统，作为现有的环境监测站点的补充，可以准确、及时、全面地反映环境质量现状及发展趋势，结合天气状况、地理地形、城市交通、人口密度、工业产值等元素，通过大数据挖掘与分析，为环境管理、污染源控制、环境规划等提供科学依据。

3.1.1. 颗粒物传感器

我国在环境监测技术方面的光散射技术开始的步伐与西方国家相比较晚，直到 1980 年才逐渐有了关于光散射技术的应用研究，但其在我国的发展较快速，我国研究的颗粒物传感器迅速的应用在颗粒物浓度较高的工矿企业并能够实现实时在线监测，同时也能应用在一般城市环境中，随时监控环境质量的变化。国内现今也相继出现了许多制造传感器设备的厂家，但是因为刚刚起步，在颗粒物传感器测量技术的许多方面与发达国家存在差距。

随着国内空气质量污染情况的不断加剧，用有限的监测点位去获得城市和地区具有代表性的和可靠性的环境污染数据很困难。而用传统的方法在固定的位置安装网络去精确测量空气污染物，这需要巨大的投资。因此，传感器网络的建立在国内得到迅猛发展，仅 2015~2016 年，空气传感器在全国的使用台数就达到了 6000~7000 个，北京应用了 1500 个，保定有 1000 个，上海的扬尘监测也有 1000 多个。传感器网络是小型，低成本传感器的密集无线网络，其收集和传播环境数据，无线传感器网络能够精确的监控本地或区域传输的环境污染。

国内应用较成功的案例有昆山工业园区项目，该项目采用了南京云创存储科技有限公司自主研发的空气质量监测预警云计算平台，该平台通过超大规模部署空气特征因子采集设备(包括 PM2.5)对环境进行实时监测，通过云计算(数据立方)分析处理大规模的空气质量监测的海量大数据，利用空气特征因子监测和预警系统可以做到及时的污染预警，并且通过邮件，APP 等数据推送方式进行空气污染自动报警，及时做好污染防护，最大程度降低破坏空气环境的损害。通过海量历史数据智能分析，能够演化到空气特征因子的污染过程，并且追溯污染源头，进而解决空气特征因子污染源头，有效抑制污染源，保护空气环境。该套平台在昆山试点进行部署 80 个实时监控点，监控点包括空气质量特征因子和视频监控摄像头等，给工业园区的环境保护提供科学有效的信息化支持，取得了很好的经济效益和社会效益。

3.1.2. 气态传感器

近年来，随着人们对有害气体的安全意识增强，对环境安全性和生活舒适性要求的提高，使得气体传感器的发展很快，相关的安全法规也推动了传感器市场的增长。在环境监测上，气体传感器主要应用于对空气质量的监控。应用气体传感器监测空气质量、温湿度、氮的氧化物、硫的氧化物、氯化氢等引起酸雨的气体；监测二氧化碳、甲烷、一氧化二氮、臭氧、氟里昂等温室效应气体；监测臭氧、氟里昂等破坏臭氧层的气体；监测氨气、硫化氢和气体难闻气体等。在建设环境物联网方面，气体传感器更是充当着急先锋的作用，近年来，生态环境一直在遭受着严重的破坏，有效的保护环境需要环境监控系统

的建立,在这种情况下,建设环境物联网成为必要,而气体传感器作为环境监测的必备传感器将有助于建设环境物联网。

从技术发展的角度看,根据使用传感器原理的不同,不同的气体传感器有各自的适用气体及应用领域。PID 光离子化气体传感器的测量准确度较高,因此在监测某些高精度气体领域比较适用;金属氧化物半导体式传感器操作简单,测量方便,而且反映比较灵敏,在日常的生产生活中得到了广泛的应用;电解式传感器在测量某些有毒气体时具有显著的效果,利用这种方法监测空气的质量,更有利于人的身体健康;催化燃烧式传感器主要用来做气体报警探测器使用;迦伐尼电池式氧气传感器的原理简单,而且比较容易制作,所以在我国应用比较广泛,另外,迦伐尼电池式氧气传感器的测量精度比较高,因此适合于用来精确地分析空气的组成成分;红外式传感器主要用于测量室内空气中的 CO₂、温度、湿度水平,自动控制净化通风设备运转保持室内优良的环境。

通过传感器技术的不断发展,越来越多的气体传感器出现,半导气体传感器、固体电解质气体传感器、接触燃烧式气体传感器、电化学气体传感器、光学气体传感器等如雨后春笋纷纷出现在市场上。如今,种类繁多的气体传感器在工业、环境监测等方面都有着广泛的应用。随着人们生活水平的提高和对环境保护的日益重视,对各种有毒有害气体监测和监测大气污染、工业废气和监测食品和居住环境质量的气体传感器提出了更高的要求,气体传感器将充分利用微机械和微电子技术、计算机技术、信号处理技术、传感技术、故障诊断技术、智能技术和其他多学科的综合技术,研发可以同时监测多种气体的智能化气体传感器。

综上所述,对于传感器技术在环境监测中的应用,其已经涉及到大部分的污染物,随着我国近些年科学技术的快速发展,我国的传感器技术在环境监测中发挥的作用也在逐渐增加,但由于一些污染物的含量较少,加上传感器的灵敏度限制等,使得一些污染物的监测仍然难以达到人们的要求,为此,有关部门需要加强对高灵敏度传感器的研制。

3.2. 国外研究现状

低成本传感器由于其可移植性、经济性、易用性而被逐渐广泛使用。目前有 Alphasense 系列、SHINYEI 系列、GP2Y1010AU0F 等几种主流传感器,以及自主研发的 U-POD、ABCD 等传感器。

Anondo Mukherjee 等人探究了 AirBeam (~250 USD, HabitatMap Inc., Brooklyn, New York, NY, USA) 和 Alphasense 光学粒子计数器(OPC-N2)颗粒物传感器(~450 USD, Alphasense Ltd., Essex, UK)在加利福尼亚 Cuyama 谷 12 周的使用情况(该地颗粒物(PM)浓度受风吹沙尘事件和区域运输的影响), GRIMM 11-R 光学粒子计数器和 Met One β 衰减监控(BAM)两个传感器均有比较高的配置精度($R^2 = 0.8\sim 0.99$),与参考设备表现出中等程度的相关性($R^2 = 0.6\sim 0.76$)。Leigh R. Crilley [1]等人也对 Alphasense OPC-N2 进行了性能探究,在英国典型城市通过放置 14 台 OPC-N2 实测进行空气中颗粒物浓度变化,对比两台不同的光学粒子计数器以及 TEOM-FDMS 进行 OPC-N2 精度评估,对比其他两台监测设备,OPC-N2 对 PM₁、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的测定有一定局限性,基于 κ -Köhler 矫正理论,当空气湿度大于 85%时,测定浓度明显偏高。[2] Eben S. Cross 等人对三种低成本(<\$200)颗粒物传感器(SHINYEI: PPD42NS, PPD20V, PPD60PV)进行了比较,在亚特兰大(城市背景平均 PM_{2.5}: 8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 路边平均 PM_{2.5}: 21 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)和印度高浓度地区(平均 PM_{2.5}: 72 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)进行监测,亚特兰大的传感器与微量振荡天平(TEOM)呈现弱相关($R^2 \leq 0.30$),在印度高浓度地区 PPD20V 传感器与环境测试衰减显示器(E-BAM)的相关性最高($R^2 > 0.80$),但当浓度较低时,一致性较差($R^2 = \sim 0, < 40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。Joel Kuula 等人也对 SHINYEI PPD42NS 和 PPD60PV 进行了研究[3] [4] Jiayu Li 等人研究了(Sharp GP2Y1010AU0F)传感器的颗粒物监测效果。Julien J. Caubel [5]等人研究了在密集监测网络中的一种新型黑碳传感器——Aerosol Black Carbon Detector (ABCD)以弥补黑炭监测领域

的空白。并且利用数据处理方法降低 ABCD 的环境温度波动的敏感性,从而在非操作环境(例如,户外)提高测量性能。文中将 ABCD 与传统商业传感器(Magee Scientific, Model AE33)进行了比较,ABCD 测量性能与 AE33 相当。平均绝对误差分别为 $9.2\% \pm 0.8\%$ (相对于 ABCD 的平均数据)和 $24.6\% \pm 0.9\%$ (相对于 AE33),均为 90%置信区间[6]。

Peng Wei 等人研究了实验室条件下电化学传感器(Alphasense B4 系列)对 CO、NO、NO₂ 及 O_x 的监测的影响因素,并开发了不同的校正方法来补偿环境条件的影响[7]。科罗拉多大学自主构建的 U-POD 传感器对 O₃ 进行时空水平上的监测[8] [9]。近期有目前 Hasenfratz、Mueller、Pokric、Velasco 等多位学者综合颗粒物及气态污染物传感器进行了比较研究:使用 DiSCsMini (Matter Aerosol)、CO-B4 (Alphasense)、NO₂-B4 (Alphasense)、CO₂-IRC-AT (Alphasense)、NO-B4 (Alphasense)、OPC-N1 (Alphasense)、GPY21010AU0F (Sharp)分别进行 UFP、CO、NO₂、CO₂、NO、PM、PM10 的监测, MiCS-OZ-14 (e2v)、O3-B4 (Alphasense)、MiCS-2610 (e2v Technologies Ltd)用于 O₃ 监测[10] [11] [12] [13]。

目前还有传感器应用于室内空气质量监测的实例,如 Thang Viet Tran 等人研究的非电池智能传感器,该传感器包含智能传感器标签和射频(RF)能量采集器,用于测量室内环境中空气质量的挥发性有机化合物浓度、环境温度、相对湿度和大气压力[14]。A. Curto 等人评估了三种家用传感器的性能,包括用于监测 PM2.5 的 HAPEX 和 TZOA-R 以及监测 CO 的 EL-USB-CO 传感器[15]。Akira Tiele 等人介绍了一种低成本的便携式室内环境质量监测系统(IEQ)用于监测温度、湿度、PM2.5、PM10、总 VOCs (×3)、CO₂、CO、光照水平和环境声音[16]。Jiayu Li 等人应用 GP2Y1010AU0F (GP2Y, Sharp Corp., Osaka, Japan) 颗粒物传感器对室内颗粒物进行了研究[17]。

低成本传感器的网络管理和空气质量管理工具和技术与稀疏网络中的是不同的。传统的定期数据可视化现场检查与扫描作为监测点的数据质量控制十分有限[18] [19] [20]。为改进传感器的监控数据反馈的成本及准确性, Maryam Alavi-Shoshtari 等人提出实时数据扫描例程,监测本地和区域内的数据集的可变性,并研究随着网络规模和密度的增长,以及自动化数据中的质量控制[21] [22] [23]。Laurent Spinellea 等人比较了几种低成本传感器的现场校准方法,包括线性/多线性回归和监督学习技术,在五个月的田间试验中,使用不同的指标和技术:正交回归、目标图、测量不确定度和传感器预测的时间漂移,对每一个回归方法的准确性进行了评价[24]。V. M. van Zoest 等人基于时空分类,提出了我们使用异常的正态分布的 NO₂ 观测截断正态分布的均值和标准偏差来监测离群值。一种新的异常值监测方法,用于监测每小时 NO₂ 浓度,并将该方法应用到荷兰市埃因霍温的一个低成本的空气质量传感器网络,并发现 0.1%~0.5% 异常[25]。Fadi Kizel 等人提出了一种节点对节点(N2N)的校准方法,在每个链中只有一个传感器直接与参照设备进行校准,然后其余的传感器依次与其校准,校准可以作为常规程序多次执行。这个程序最小化了传感器搬迁的总数,在校准的同时可以收集数据[26]。Li Sun 等人开发了一种自动校正常用电化学二氧化氮(NO₂)传感器漂移的新方法,利用自动调零协议的开发和使用化学吸收剂去除 NO₂ 为手段,在不同的环境条件下进行零位校正评估,并对其应用进行综合评价[27]。

4. 结论

与传统监测仪器比较可以发现,颗粒物传感器具有更为显著的优点:颗粒物传感器本身具有占地面积小,成本低,可以大面积布设;安装简单,维护少;对安装环境要求较低等优点,因此这项技术提供了最有效的空气监测方法并有助于大众深入了解他们周围的空气质量问题,同时这些重要的优点是其在监测领域能够快速发展并占据地位的主要原因。

基金项目

国家重点研发计划(2016YFF0103005)。

参考文献

- [1] Mukherjee, A., Stanton, L.G., Ashley, R., *et al.* (2017) Assessing the Utility of Low-Cost Particulate Matter Sensors over a 12-Week Period in the Cuyama Valley of California. *Sensors*, **17**, 1805. <https://doi.org/10.3390/s17081805>
- [2] Crilley, L.R., Shaw, M. and Pound, R. (2017) Evaluation of a Low-Cost Optical Particle Counter (Alphasense OPC-N2) for Ambient Air Monitoring. *Atmospheric Measurement Techniques*, **11**, 709-720. <https://doi.org/10.5194/amt-2017-308>
- [3] Cross, E.S., Williams, L.R., Lewis, D.K., *et al.* (2018) Use of Electrochemical Sensors for Measurement of Air Pollution: Correcting Interference Response and Validating Measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, **10**, 3575-3588. <https://doi.org/10.5194/amt-2017-138>
- [4] Kuula, J., Mäkelä, T., Hillamo, R. and Timonen, H. (2017) Response Characterization of an Inexpensive Aerosol Sensor. *Sensors (Basel)*, **17**, pii: E2915.
- [5] Li, J. and Biswas, P. (2017) Optical Characterization Studies of a Low-Cost Particle Sensor. *Aerosol and Air Quality Research*, **17**, 1691-1704.
- [6] Caubel, J.J., Cados, T.E. and Kirchstetter, T.W. (2018) A New Black Carbon Sensor for Dense Air Quality Monitoring Networks. *Sensors*, **18**, 738.
- [7] Wei, P., Ning, Z., Ye, S., *et al.* (2018) Impact Analysis of Temperature and Humidity Conditions on Electrochemical Sensor Response in Ambient Air Quality Monitoring. *Sensors*, **18**, 59.
- [8] Sadighi, K., Coffey, E. and Polidori, A. (2018) Intra-Urban Spatial Variability of Surface Ozone in Riverside, CA: Viability and Validation of Low-Cost Sensors. *Atmospheric Measurement Techniques*, **11**, 1777-1792.
- [9] Cheadle, L., Deanes, L., Sadighi, K., *et al.* (2017) Quantifying Neighborhood-Scale Spatial Variations of Ozone at Open Space and Urban Sites in Boulder, Colorado Using Low-Cost Sensor Technology. *Sensors*, **17**, 2072.
- [10] Hasenfratz, D., Saukh, O., Walser, C., *et al.* (2015) Deriving High-Resolution Urban Air Pollution Maps Using Mobile Sensor Nodes. *Pervasive and Mobile Computing*, **16**, 268-285.
- [11] Mueller, M.D., Hasenfratz, D., Saukh, O., *et al.* (2016) Statistical Modelling of Particle Number Concentration in Zurich at High Spatio-Temporal Resolution Utilizing Data from a Mobile Sensor Network. *Atmospheric Environment*, **126**, 171-181.
- [12] Pokric, B., Krco, S., Drajić, D., *et al.* (2015) Augmented Reality Enabled IoT Services for Environmental Monitoring Utilising Serious Gaming Concept. *Journal of Wireless Mobile Networks*, **6**, 37-55.
- [13] Velasco, A., Ferrero, R., Gandino, F., *et al.* (2016) A Mobile and Low-Cost System for Environmental Monitoring: A Case Study. *Sensor*, **16**, 710.
- [14] Tran, T.V., Dang, N.T. and Chung, W.-Y. (2017) Battery-Free Smart-Sensor System for Real-Time Indoor Air Quality Monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **248**, 930-939.
- [15] Curto, A., Donaire-Gonzalez, D., Barrera-Gómez, J., *et al.* (2018) Performance of Low-Cost Monitors to Assess Household Air Pollution. *Environmental Research*, **163**, 53-63.
- [16] Tiele, A., Esfahani, S. and Covington, J. (2018) Design and Development of a Low-Cost, Portable Monitoring Device for Indoor Environment Quality. *Journal of Sensors*, **2018**, Article ID: 5353816.
- [17] Li, J., Li, H., Ma, Y., *et al.* (2018) Spatiotemporal Distribution of Indoor Particulate Matter Concentration with a Low-Cost Sensor Network. *Building and Environment*, **127**, 138-147.
- [18] Jiao, W., Hagler, G., Williams, R., *et al.* (2016) Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) Project: Evaluation of Low-Cost Sensor Performance in a Suburban Environment in the Southeastern United States. *Atmospheric Measurement Techniques*, **9**, 5281. <https://doi.org/10.5194/amt-9-5281-2016>
- [19] Le, N.D. and Zidek, J.V. (2016) Statistical Analysis of Environmental Space-Time Process. Third Edition, Springer, New York.
- [20] Lewis, A.C., Lee, J.D., Edwards, P.M., *et al.* (2016) Evaluating the Performance of Low Cost Chemical Sensors for Air Pollution Research. *Faraday Discussions*, **189**, 85-103. <https://doi.org/10.1039/C5FD00201J>
- [21] Alavi-Shoshtari, M., Williams, D.E., Salmond, J.A. and Kaipio, J.P. (2013) Detection of Malfunctions in Sensor Networks. *Environmetrics*, **24**, 227-236. <https://doi.org/10.1002/env.2206>
- [22] Miskell, G., Salmond, J.A., Shoshtari, M.A., *et al.* (2015) Data Verification Tools for Minimising Management Costs of Dense Air-Quality Monitoring Networks. *Environmental Science & Technology*, **50**, 835-846. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04421>
- [23] Alavi-Shoshtari, M., Salmond, J.A., Giurcaneanu, C.D., *et al.* (2018) Automated Data Scanning for Dense Networks of Low-Cost Air Quality Instruments: Detection and Differentiation of Instrumental Error and Local to Regional Scale Environmental Abnormalities. *Environmental Modelling & Software*, **101**, 34-50.

<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.002>

- [24] Spinellea, L., Gerboles, M., Villani, M.G., *et al.* (2017) Field Calibration of a Cluster of Low-Cost Commercially Available Sensors for Air Quality Monitoring. Part B: NO, CO and CO₂. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **238**, 706-715. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.07.036>
- [25] van Zoest, V.M., Stein, A. and Hoek, G. (2018) Outlier Detection in Urban Air Quality Sensor Networks. *Water, Air, & Soil Pollution*, **229**, 111. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3756-7>
- [26] FadiKizel, Y.E. and Shafran-Nathan, R. (2018) Node-to-Node Field Calibration of Wireless Distributed Air Pollution Sensor Network. *Environmental Pollution*, **233**, 900-909. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.042>
- [27] Sun, L., Westerdahl, D. and Ning, Z. (2017) Development and Evaluation of a Novel and Cost-Effective Approach for Low-Cost NO₂ Sensor Drift Correction. *Sensors*, **17**, 1916. <https://doi.org/10.3390/s17081916>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org