

# 低成本微型水质自动监测设备的研发与性能验证

程 敏

广东智谷动力环境科技有限公司 广东中山 445000

**摘要:** 本文围绕低成本微型水质自动监测设备展开。先阐述其总体设计,包括设计目标、整体架构及低成本与微型化策略;接着介绍核心模块的研发集成,涵盖水样采集、传感器选型等;随后说明性能验证实验方案、指标测试及实际水样测试情况;最后指出未来研究方向,涉及传感器寿命提升、边缘计算与AI赋能预警、物联网平台优化,为水质监测提供新思路。

**关键词:** 低成本;微型传感器;水质监测;性能验证

## 引言

水资源保护与污染治理形势严峻,水质监测至关重要。传统水质监测设备存在成本高、体积大、部署不便等问题,难以满足大规模、实时监测需求。在此背景下,低成本微型水质自动监测设备应运而生。它凭借实时精准监测、成本效益高、微型化等优势,有望广泛应用于各类水域环境。本文将详细介绍该设备的设计、研发、实验验证及未来发展方向。

## 一、低成本微型水质自动监测设备总体设计

### (一) 设备设计目标与指标

在当今水资源保护与污染治理日益重要的背景下,设计低成本微型水质自动监测设备具有紧迫且关键的意义。从监测参数来看,设备需涵盖常见且重要的水质指标,如酸碱度(pH)、溶解氧(DO)、电导率、浊度等。这些参数能够综合反映水体的化学、物理和生物特性,为水质评估提供基础数据。在性能指标方面,精度是首要考量。例如,pH值的测量精度需达到 $\pm 0.1$ ,溶解氧测量精度达到 $\pm 0.2\text{mg/L}$ ,以确保数据的可靠性,满足一般水质监测的需求。响应时间也是重要指标,设备应在短时间内对水质变化做出反应,如浊度测量响应时间不超过30秒,以便及时捕捉水质的动态变化。设备的稳定性同样关键,需保证在连续运行一段时间(如7天)内,测量数据的波动范围在允许误差之内。另外,考虑到设备的微型化与低成本,其尺寸应尽可能小巧,便于安装与携带,成本控制在一定范围内,以适应大规模部署的需求。

### (二) 设备整体架构设计

低成本微型水质自动监测设备采用模块化设计理念,这种设计方式具有诸多优势。设备整体架构主要包括水

样采集与预处理模块、传感器检测模块、数据处理与控制模块以及电源与数据传输模块。水样采集与预处理模块负责从水域中采集水样,并进行初步处理,如过滤、调节温度等,以确保水样符合传感器检测的要求。传感器检测模块是设备的核心,通过选用的低成本传感器对水样的各项参数进行精确测量。数据处理与控制模块对传感器采集到的数据进行处理、分析与存储,并根据预设的规则控制设备的运行。电源与数据传输模块则为设备提供稳定的电力支持,并将处理后的数据传输至远程监控中心或用户终端<sup>[1]</sup>。各模块之间通过有线或无线方式进行连接与通信,确保数据的顺畅传输与设备的协同工作。

### (三) 低成本与微型化设计策略

在低成本设计方面,首先在元件选型上,优先选择性价比高的通用元件。例如,在传感器选型时,不追求高端昂贵的型号,而是通过对市场上多种传感器进行性能测试与成本分析,选择满足精度要求且价格合理的产品。采用集成化设计,减少元件数量,降低硬件成本。在微型化设计上,优化电路布局是关键。采用多层电路板设计,合理规划元件的摆放位置,减小电路板的面积。选用小型化的元件,如表面贴装器件(SMD),其体积小、重量轻,有利于设备的微型化。此外,对设备的结构进行紧凑设计,减少不必要的空间浪费,将各个模块巧妙地集成在一个小巧的外壳内,使设备便于安装与携带,能够适应各种复杂的水域环境。

## 二、低成本微型水质自动监测设备核心模块的研发与集成

### (一) 水样采集与预处理模块

水样采集是水质监测的第一步,其准确性直接影响

后续监测结果。本模块采用微型水泵作为动力源，通过精心设计的管道系统实现水样的自动采集。水泵的流量和扬程经过精确计算，确保能够稳定地抽取水样，同时避免对水域环境造成过大干扰。预处理部分主要包括过滤和温度调节。过滤环节采用多级过滤结构，首先通过粗滤网去除水样中的大颗粒杂质，如树叶、泥沙等，防止其堵塞后续的精细过滤器和传感器。然后，经过精细过滤器进一步去除微小颗粒和悬浮物，提高水样的纯净度。温度调节方面，根据传感器的工作要求，通过内置的加热或制冷元件对水样温度进行精确控制，确保传感器在最佳温度条件下工作，提高测量的准确性和稳定性。

## （二）低成本传感器选型与检测模块设计

传感器是水质监测的核心部件，其性能直接影响设备的监测效果。在选型过程中，综合考虑成本与性能因素。对于pH值测量，选用电极式传感器，这种传感器具有成本低、响应快、稳定性较好等优点。通过优化电极材料和结构，提高其对不同水质环境的适应性。溶解氧传感器采用荧光法原理，相比传统的电化学传感器，具有寿命长、维护量少、不受硫化物干扰等优势，且成本相对较低。电导率传感器选用电极式，通过测量水样的电阻来计算电导率，具有结构简单、成本低廉的特点。在检测模块设计上，为每个传感器设计专门的信号调理电路，对传感器输出的微弱信号进行放大、滤波等处理，提高信号的质量和抗干扰能力。采用多路复用技术，将多个传感器的信号通过一个通道进行传输，减少硬件资源的占用，降低成本。通过软件算法对传感器信号进行校准和补偿，进一步提高测量的准确性<sup>[2]</sup>。

## （三）数据处理与控制模块

数据处理与控制模块是设备的“大脑”，负责协调各个模块的工作。该模块以微控制器为核心，如选用具有高性能、低功耗特点的ARM微控制器。微控制器接收传感器检测模块传来的数据，进行实时处理与分析。在数据处理方面，采用数字滤波算法对采集到的数据进行去噪处理，消除外界干扰对数据的影响。同时，运用数据融合技术，将多个传感器的数据进行综合分析，提高水质监测的准确性和可靠性。控制模块根据预设的规则和算法，对设备的运行进行控制。例如，根据水样采集的时间间隔控制水泵的启停，根据传感器的工作状态调整信号调理电路的参数等。另外，该模块还具备数据存储功能，将处理后的数据存储在内置的存储器中，以便后续查询和分析。

## （四）电源与数据传输模块

电源模块为设备提供稳定的电力支持。考虑到设备的微型化和低成本要求，采用电池供电方式。选用高能量密度的锂电池，以满足设备长时间运行的需求。同时，设计高效的电源管理电路，对电池的充放电进行智能管理，提高电池的使用寿命。数据传输模块负责将设备采集和处理后的数据传输至远程监控中心或用户终端。根据实际应用场景，可选择多种数据传输方式。对于近距离传输，可采用蓝牙或Wi-Fi技术，具有传输速度快、成本低的特点。对于远距离传输，可借助4G/5G通信模块或物联网卡，实现数据的实时上传。同时，为确保数据传输的可靠性，采用数据加密和校验技术，防止数据在传输过程中丢失或被篡改。

## 三、低成本微型水质自动监测设备性能验证实验

### （一）实验方案设计

为全面验证低成本微型水质自动监测设备的性能，设计了一套系统的实验方案。实验分为实验室模拟实验和实际水样测试实验两部分。在实验室模拟实验中，配置不同浓度和性质的水样，模拟各种水质状况。例如，通过添加化学试剂调节水样的pH值、溶解氧含量、电导率和浊度等参数，使其覆盖设备的设计测量范围。将设备置于模拟水样中，按照设定的时间间隔进行连续监测，记录设备的测量数据。实际水样测试实验选择不同类型的水域，如河流、湖泊和污水处理厂出水口等。在每个测试点，同时采集水样，一部分使用本设备进行现场监测，另一部分送往专业实验室使用标准仪器进行检测。通过对比两种方式的检测结果，评估设备在实际应用中的性能。

### （二）主要性能指标测试

对设备的各项主要性能指标进行详细测试。精度测试是重点，将设备在实验室模拟实验和实际水样测试中的测量结果与标准值或专业实验室检测结果进行对比，计算测量误差。例如，对于pH值测量，在不同浓度水样下进行多次测量，统计测量误差的分布情况，确保大部分测量误差在设计要求的 $\pm 0.1$ 范围内。稳定性测试通过让设备连续运行一段时间（如7天），每隔一定时间记录测量数据，分析数据的波动情况。计算数据的标准差，评估设备的稳定性。响应时间测试则记录设备从接触水样到输出稳定测量结果所需的时间，确保其满足设计要求。

### （三）实际水样测试

在实际水样测试中，选择多个具有代表性的水域进

行测试。在河流测试点,考虑到河流水质的动态变化,连续监测24小时,观察设备对水质变化的响应情况。在湖泊测试点,由于湖泊水质相对稳定,进行多次重复测量,评估设备的测量重复性和准确性。将设备测量结果与专业实验室检测结果进行对比分析,结果表明,本设备在大部分水质参数测量上与标准方法具有较好的一致性<sup>[3]</sup>。但在某些复杂水质条件下,如含有大量有机物或重金属离子的水样中,设备的测量结果存在一定偏差。针对这些问题,对设备进行进一步优化和改进,如优化传感器算法、增加预处理环节等,以提高设备在复杂水质环境下的适应性。

#### 四、未来研究方向

##### (一) 传感器寿命提升与自清洁功能

目前,低成本传感器在实际应用中面临着寿命有限的严峻挑战,特别是在恶劣水质环境里,这一问题更为突出。水质中的复杂成分,如强酸强碱、重金属离子以及各类有机污染物等,会不断侵蚀传感器表面,导致其性能逐渐衰退,甚至完全失效。为提升传感器寿命,改进材料是关键一环。可选用具有卓越抗腐蚀性和稳定性的新型材料,例如特种陶瓷、高性能复合材料等,它们能有效抵御恶劣水质的侵蚀,延长传感器的使用周期。此外,开发自清洁功能也至关重要。超声波清洗技术可利用高频振动产生的微小气泡破裂冲击传感器表面,去除附着污染物;电化学清洗则通过施加特定电位,使污染物发生氧化还原反应而脱离传感器。定期运用这些自清洁技术,能显著减少污染物附着,保障传感器性能稳定,提高其可靠性和测量准确性,从而更好地适应复杂多变的水质监测需求。

##### (二) 缘计算与AI赋能的智能预警系统

随着物联网技术的迅猛发展,低成本微型水质自动监测设备产生的数据量呈爆炸式增长。这些海量数据若全部上传至云端处理,不仅会占用大量网络带宽,还会给云端服务器带来沉重计算负担。引入边缘计算技术成为必然选择。它能在设备端对数据进行初步处理和筛选,剔除无效和冗余数据,仅将有价值的信息上传至云端,大大减少数据传输量和云端计算压力。结合人工智能(AI)技术,如机器学习和深度学习算法,可对水质数据进行实时分析和建模。通过大量历史数据训练模型,使其能够精准识别不同水质模式和异常特征。一旦设备监测到水质数据偏离正常范围,系统能迅速发出预警信

息,详细告知异常参数和可能原因。这为水质管理和决策提供了及时、准确的支持,有助于快速采取应对措施,防止水质恶化造成更大危害<sup>[4]</sup>。

##### (三) 大规模部署的物联网平台优化

低成本微型水质自动监测设备的大规模部署,离不开强大物联网平台的有力支撑。然而,随着设备数量不断增加,现有平台在可扩展性和稳定性方面面临诸多挑战。为优化物联网平台,采用分布式架构和云计算技术是有效途径。分布式架构可将系统任务分散到多个节点上,提高系统的并发处理能力和可扩展性,轻松应对大量设备的接入和管理。云计算技术则能提供强大的数据存储和计算资源,确保数据的安全存储和高效处理。加强平台安全性至关重要。采用数据加密技术,对传输和存储的数据进行加密处理,防止数据泄露;运用身份认证技术,严格限制用户访问权限,保障设备和数据的安全。开发友好的用户界面,让用户能够方便快捷地对设备进行远程监控、配置和管理,提升用户体验,进而推动低成本微型水质自动监测设备在更广泛领域的应用。

#### 结束语

低成本微型水质自动监测设备在设计上兼顾了性能与成本,通过模块化设计和低成本策略实现了关键功能。核心模块的研发集成确保了设备的稳定运行,性能验证实验也证明了其在大部分情况下的可靠性。然而,面对复杂水质环境,设备仍有提升空间。未来,随着传感器技术、边缘计算、AI及物联网平台的发展,该设备将不断完善,为水资源保护和污染治理提供更有力的支持。

#### 参考文献

- [1]王慎阳,李光明,徐建阁,王亮,宋卫平,李勇欣.濮阳市微型水质自动监测站系统建设与应用[J].环境与发展,2020,32(10):152-153.
- [2]黄燕,郝国荣,李帆.抚州市临水河流域自动水质监测微型站在水环境管理中的应用[J].皮革制作与环保科技,2020,1(15):30-34.
- [3]罗海健,李冬梅.水质在线监测技术在实验教学中的应用研究[J].实验科学与技术,2021,19(02):128-131+145.
- [4]高春芳.智能化水质自动监测系统与运维管理平台研究[J].皮革制作与环保科技,2021,2(03):40-42.