

# 智能传感器在水利工程测量中的应用

何鑫鑫 王专成

江苏筑宇工程技术有限公司 江苏 扬州 225000

**摘要:** 文章围绕智能传感器技术, 阐述其工作原理、核心技术模块及相较于传统传感器的智能化升级优势。深入探讨智能传感器在水利工程测量水文要素监测、工程结构健康监测、水质与生态环境监测、地下水资源管理等核心领域的应用。分析应用中面临的技术与应用挑战, 并展望微型化、数字孪生融合等未来发展趋势, 为水利工程测量智能化发展提供参考。

**关键词:** 智能传感器; 水利工程测量; 核心应用; 技术挑战; 发展趋势

引言: 水利工程测量对保障工程安全、合理调配水资源意义重大。传统测量方法存在效率低、精度不足等问题。随着科技发展, 智能传感器凭借先进技术与强大功能, 在水利工程测量中展现出巨大潜力。深入研究智能传感器在水利工程测量中的应用, 有助于解决传统测量难题, 提升水利工程监测水平, 推动水利工程智能化发展。

## 1 智能传感器技术基础

### 1.1 智能传感器的工作原理

智能传感器实现传感器与微处理器或嵌入式系统的紧密结合, 这种结合并非简单拼接, 而是深度融合。传感器负责将外界的物理量, 如温度、湿度等, 转化为电信号, 这些电信号被传输至微处理器或嵌入式系统。微处理器或嵌入式系统具备强大的数据处理能力, 可对电信号进行分析、运算。二者通过特定接口连接, 数据交互顺畅, 使传感器在获取信息后能快速得到处理反馈。在数据采集、处理与传输的闭环流程中, 传感器完成数据采集后, 传输至微处理器或嵌入式系统进行处理。处理过程涵盖对原始数据的校准、修正, 去除干扰因素, 提高数据准确性<sup>[1]</sup>。处理后的数据根据需求, 通过网络传输至指定设备或平台。在传输过程中, 数据会进行加密处理, 保障数据安全, 整个流程环环相扣, 形成完整体系, 为了适应复杂多变的应用环境, 智能传感器还可根据预设规则, 自动调整采集频率和处理算法, 确保数据从采集到最终应用的高效性与可靠性。

### 1.2 核心技术模块

感知层采用多物理量感知技术, 可对压力、位移、流速、水质等多种物理量进行精准感知。不同类型的感知技术对应不同物理量, 如压力感知技术利用压阻效应, 将压力变化转化为电阻变化, 进而转换为电信号; 位移感知技术通过光电效应或电磁感应, 将位移变化转

化为电信号。多种感知技术协同工作, 实现对复杂环境物理量的全面监测。通信层应用无线传输协议, LoRa、NB-IoT、ZigBee等协议各有特点。LoRa传输距离远、功耗低, 适合在大面积、远距离场景下传输数据; NB-IoT具备广覆盖、低功耗、大连接的优势, 适用于海量设备接入; ZigBee通信效率高、组网灵活, 常用于短距离、低功耗的设备间通信。边缘计算技术的应用, 使数据在靠近数据源的网络边缘侧进行处理, 减少数据传输量, 降低延迟, 提高数据处理效率。智能算法在数据处理中发挥关键作用。数据滤波算法可去除数据中的噪声, 平滑数据曲线, 使数据更真实反映物理量变化; 异常检测算法通过设定阈值或分析数据模式, 识别异常数据, 及时发现设备故障或环境异常; 预测模型基于历史数据和算法, 对未来物理量变化趋势进行预测, 为决策提供依据。

### 1.3 与传统传感器的对比

智能传感器在功能与性能上实现显著智能化升级。自适应能力使其能根据环境变化自动调整工作状态, 在工业制造车间, 温度、湿度等环境因素波动频繁, 智能传感器可实时优化检测参数, 始终保持高精度测量; 传统传感器面对环境变化时, 需人工校准参数, 不仅耗时费力, 测量精度也难以保证。自学习功能赋予智能传感器强大的数据处理能力。在智慧城市的交通管理中, 智能传感器持续分析过往车辆流量、车速等数据, 不断优化算法模型, 对交通拥堵状况的预测越来越精准; 传统传感器检测算法固定, 无法从历史数据中学习改进, 难以满足复杂多变的交通监测需求。远程控制特性进一步提升智能传感器的应用价值。在石油天然气管道监测中, 管道分布范围广、环境复杂, 技术人员通过网络就能远程操控智能传感器, 实时获取管道压力、温度等数据; 传统传感器只能依靠人工实地检查和操作, 在偏远、危险区域, 操作难度大且存在安全风险。智能化升级让智能传

传感器在应用灵活性和实用性上远超传统传感器。

## 2 智能传感器在水利工程测量中的核心应用领域

### 2.1 水文要素监测

超声波水位计基于回声测距原理工作。由发射装置向水面发射超声波，声波经水面反射后被接收装置捕捉，根据声波传播时间与声速计算水位高度<sup>[2]</sup>。雷达水位计则利用电磁波反射原理，发射的电磁波遇到水面反射回来，通过测量发射与接收电磁波的时间差确定水位。两种水位计部署时需考虑安装位置，选择水流平稳、无遮挡处，以确保测量数据准确。多普勒流速仪通过发射声波或电磁波，利用多普勒效应测量水流速度。当水体中颗粒物随水流运动时，反射回的信号频率会发生变化，依据频率变化计算水流速度。结合水位计测量的水位数据，通过特定公式实现实时流量计算。将采集的水位、流量数据输入河道动态建模系统，构建河道水流模型，模拟水流变化趋势，为防洪、水资源调配提供依据。压电式雨量传感器利用压电效应，降雨冲击传感器表面产生压力，压力使压电材料产生电荷，通过对电荷的测量计算降雨量。光学雨量传感器基于光学原理，雨滴遮挡光路改变光强，光强变化经光电转换元件转化为电信号，进而计算降雨量。两种传感器具备高灵敏度，能快速响应降雨变化，以高精度获取降雨量数据，为防汛预警、水资源评估提供可靠信息。

### 2.2 工程结构健康监测

光纤光栅传感器对温度和应变敏感，将其埋设在大坝内部或表面，当大坝发生变形时，光纤光栅的波长会发生变化，通过监测波长变化可精确获取大坝的应变信息，实现对大坝微小变形的监测。GNSS在位移监测中，通过接收多颗卫星信号，计算出传感器的三维坐标，对比不同时刻的坐标变化，确定大坝的位移量和位移方向，实现对大坝整体位移的监测。裂缝与渗流监测采用分布式传感技术。分布式光纤传感技术可沿光纤长度方向连续监测裂缝和渗流信息，当裂缝产生或渗流发生时，光纤周围的物理环境变化会引起光信号变化，通过分析光信号变化定位裂缝位置和监测渗流情况，及时发现大坝结构隐患。倾角传感器安装在边坡表面或内部，实时监测边坡的倾斜角度变化。当边坡出现滑动趋势时，倾角会发生改变，传感器将角度变化转化为电信号传输至监测系统。土壤应力传感器部署在边坡不同深度和位置，监测土壤应力变化，了解边坡土体受力状态。两种传感器协同工作，全面监测边坡的稳定性，为边坡防护和预警提供数据支持。

### 2.3 水质与生态环境监测

多参数水质传感器集成多种传感模块，实现pH值、溶解氧、浊度、电导率等参数的同步检测。pH值传感模块基于玻璃电极原理，通过测量电极与溶液之间的电位差确定溶液的酸碱度；溶解氧传感模块利用膜电极法，氧分子透过透气膜在电极上发生化学反应产生电流，根据电流大小计算溶解氧含量；浊度传感模块通过光的散射原理，测量水中悬浮颗粒对光的散射程度确定浊度；电导率传感模块依据溶液的导电能力，通过测量电极间的电阻计算电导率。多种参数同步检测，快速获取水质综合信息，为水质评估和污染治理提供依据<sup>[3]</sup>。生物毒性传感器可检测水中污染物对生物的毒性作用，通过监测生物细胞或组织的生理变化，评估水质对生物的危害程度。将生物毒性传感器与水生生物行为监测技术融合，通过观察水生生物的游动、摄食等行为变化，判断生态流量是否适宜。二者结合为生态环境监测提供更全面的信息，助力维护水域生态平衡。

### 2.4 地下水资源管理

地下水位与渗透系数监测依赖分布式渗压传感器网络。该网络在水利工程测量中需科学规划部署，将渗压传感器按一定间距和深度植入地下含水层，形成覆盖目标区域的监测网络。这些传感器通过高精度压力敏感元件，实时感知地下水位变化引发的压力波动，并将压力信号转化为电信号。借助低功耗、远距离的通信技术，如LoRa或NB-IoT，采集的数据可穿透地层障碍，稳定传输至数据处理中心。数据反演算法在其中发挥关键作用。其基于复杂的数学模型和物理原理，以地下水位监测数据为基础，结合地质结构、岩土特性等信息进行逆向推演。通过求解非线性方程，模拟地下水在不同地质条件下的渗流过程，进而反演出地下渗透系数。这一过程需反复迭代计算，不断优化参数，以确保结果准确性。分布式渗压传感器网络与数据反演算法的协同，为地下水资源管理提供重要支撑。通过持续监测地下水位和渗透系数变化，可准确掌握地下水的动态分布和流动规律，为地下水开采方案制定、水源地保护、地面沉降防治等提供可靠决策依据，助力实现地下水资源的合理开发与可持续利用。

## 3 智能传感器应用面临的挑战与未来趋势

### 3.1 技术挑战

复杂环境对智能传感器稳定性产生极大影响。在高温、高湿、强电磁干扰等恶劣条件下，传感器内部元件性能易发生改变。高温可能使传感器材料膨胀变形，影响传感精度；强电磁干扰会扰乱传感器信号传输，导致数据错误。传感器在长期使用过程中，因环境因素和

自身损耗,性能逐渐下降,需要定期标定。但复杂环境下的标定工作难度大,难以找到合适的标准参考源,且标定过程受环境干扰,难以保证标定准确性,这成为制约智能传感器稳定运行的关键问题。异构传感器网络由不同类型、不同协议的传感器组成,在实际应用中,这些传感器间的互操作性存在障碍。不同厂商生产的传感器,数据格式、通信协议各不相同,导致传感器网络内数据无法顺畅交互。缺乏统一的技术标准,使得传感器在接口设计、性能指标等方面难以统一,增加了系统集成难度,阻碍了智能传感器网络的大规模应用和发展。

### 3.2 应用挑战

智能传感器初期部署涉及硬件采购、安装调试、网络搭建等多项工作,所需资金投入大。不仅要购置各类传感器设备,还需配备数据处理和传输设备,以及专业的技术人员进行安装和调试。而在长期运维阶段,要持续投入资金用于设备维护、软件更新、人员培训等。如何在保证监测效果的前提下,平衡初期高额部署成本与长期运维费用,实现经济效益最大化,是智能传感器应用中亟待解决的问题。随着智能传感器应用范围不断扩大,传感器网络与互联网深度融合,数据安全与隐私保护问题日益凸显<sup>[4]</sup>。传感器网络可能遭受恶意攻击,攻击者通过网络入侵获取传感器采集的数据,篡改数据或破坏传感器设备,影响系统正常运行。传感器采集的数据中可能包含个人隐私信息或敏感数据,若这些数据泄露,会带来严重后果。防范传感器网络攻击,保障数据的安全与隐私,成为智能传感器应用的重要挑战。

### 3.3 未来发展趋势

微型化与柔性传感器技术是未来发展方向。电子皮肤作为微型化与柔性传感器的典型代表,可贴合人体表面或物体表面,实现对温度、压力、应变等多种物理量的实时监测。其具有轻薄、柔软、可弯曲等特性,适用于可穿戴设备、医疗监测等领域。仿生传感器模拟生物感知系统,具备高灵敏度和选择性,能在复杂环境中

精准感知目标信息,为智能传感器在特殊场景的应用提供新可能。数字孪生与智能传感器的深度融合将改变传统监测模式。数字孪生通过构建物理实体的虚拟模型,利用智能传感器采集的实时数据,在虚拟空间中动态映射物理实体状态。虚拟模型与物理实体实现双向交互,当物理实体发生变化时,虚拟模型及时更新;通过对虚拟模型的分析 and 优化,可反馈指导物理实体的运行和管理,提升系统的智能化水平和决策能力。人工智能驱动智能传感器向自优化与自主决策方向发展。利用人工智能算法,智能传感器可对自身采集的数据进行深度分析,根据环境变化和应用需求,自动调整工作参数,优化传感性能。在遇到异常情况时,通过机器学习和深度学习模型,智能传感器能够自主判断并做出决策,无需人工干预,提高系统的响应速度和可靠性,为智能传感器应用开辟更广阔的前景。

### 结束语

智能传感器在水利工程测量中应用广泛且成效显著,为水文监测、工程结构健康评估、水质生态保护及地下水资源管理提供了有力支持。尽管面临复杂环境稳定性、异构网络互操作性等技术挑战,以及部署成本、数据安全等应用挑战,但随着微型化、数字孪生融合、人工智能驱动等趋势发展,智能传感器将在水利工程领域发挥更大作用,推动行业持续进步。

### 参考文献

- [1]程洋,马家林,李万林.智能传感器技术在水质监测中的应用[J].黄河水利职业技术学院学报,2024,36(1):18-22.
- [2]徐双超.智能化检测技术在水利工程裂缝识别及安全性评估中的应用探索[J].世界家苑,2024(22):159-161.
- [3]胡自勍.水利工程中的水闸智能化监测控制技术研究[J].农业开发与装备,2024(8):153-155.
- [4]刘京亮,周蕾.水利工程中智能监测系统的构建与关键技术分析[J].数字化用户,2025(5):76-78.