

仪器仪表工程中的传感器技术与测量方法研究

涂世明 林 从 叶圣吻
天信仪表集团有限公司 浙江 温州 325800

摘要: 仪器仪表工程中, 传感器技术与测量方法构成现代检测系统的核心。传感器通过物理、化学等效应将非电量转换为电信号, 其性能直接影响测量精度与可靠性。测量方法涵盖直接、间接及组合测量等体系, 需与传感器特性协同优化。本文系统分析传感器基础理论、分类与性能指标, 探讨测量方法的核心概念与系统结构, 并总结智能化、微型化等发展趋势, 为工程应用提供理论支撑。

关键词: 仪器仪表工程; 传感器技术; 测量方法; 协同优化; 发展趋势

引言: 仪器仪表工程在众多领域发挥着关键作用, 传感器技术与测量方法是其核心组成部分。传感器作为感知外界物理量的关键器件, 为测量控制提供基础数据; 测量方法则是获取被测量值的科学手段。二者紧密相连, 共同影响仪器仪表工程的性能与效果。深入研究传感器技术与测量方法, 对提升仪器仪表工程水平、推动相关领域发展具有重要意义。

1 传感器技术基础理论

1.1 传感器核心概念与分类

传感器作为关键器件, 能将物理量转为电信号, 是系统感知交互的桥梁。在众多领域, 它不可或缺, 为测量控制提供基础数据^[1]。传感器分类多样。依据检测原理, 电阻式靠电阻值变化感知外界物理量, 如压力测量时, 压力范围在0-100MPa, 电阻式传感器电阻值可随压力线性变化, 实现精准测量; 位移测量时, 位移量在0-10mm范围内, 电阻值也能相应改变。电容式借电容变化测距离、液位, 适合非接触检测, 检测距离范围可达0-50cm, 液位检测精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。电感式利用电磁感应测位移、振动, 位移检测精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$, 振动频率检测范围在1-1000Hz。压电式将机械应力转电荷, 用于振动、加速度测量, 加速度测量范围在0-100g。光电式基于光电效应测光强、位置, 响应快, 光强检测范围在0-10000lux, 位置检测精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$ 。热电式通过热电效应或半导体特性测温度, 温度测量范围在 -50℃ - 500℃ 。从输出信号看, 传感器分模拟与数字传感器, 前者输出连续模拟量, 后者输出离散数字信号。按应用场景, 工业传感器用于工业参数监测; 医疗传感器监测人体生理指标; 环境传感器检测空气质量、温湿度等。

1.2 传感器工作原理与特性

电阻式传感器以电阻值随外界参数变化为核心依据, 通过检测这种变化实现对压力、位移等物理量的测

量, 结构简单且成本可控, 在诸多基础检测场景中广泛应用。电容式传感器借助极板间电容变化完成测量, 尤其适合距离、液位等参数的非接触式检测, 避免接触对被测对象造成干扰。光电传感器利用光电效应将光信号转换为电信号, 不仅能实现光强检测, 还可完成位置识别, 响应速度快的优势使其在高速检测领域不可或缺, 响应时间可低至0.1ms。压电传感器可将机械应力直接转换为电荷信号, 在振动、加速度等动态参数测量中表现突出, 电荷灵敏度可达 $10\text{-}100\text{pC/N}$ 。热电传感器通过两种不同原理实现温度检测, 一种基于热电偶的热电效应, 另一种依托热敏电阻的半导体特性, 适配不同温度范围的测量需求, 热电偶测量精度可达 $\pm 0.1\text{℃}$, 热敏电阻测量精度可达 $\pm 0.5\text{℃}$ 。

1.3 传感器性能指标

评估传感器性能需关注多项关键指标。灵敏度体现输入物理量变化与输出电信号变化的比值, 直接影响微小信号的捕捉能力, 一般压力传感器灵敏度可达 0.1mV/MPa 。精确度反映测量结果与真实值的接近程度, 是衡量测量可靠性的核心, 高精度温度传感器精确度可达 $\pm 0.01\text{℃}$ 。线性度描述输出与输入之间的线性关系, 线性越好数据处理越简便, 优质传感器的线性度可达 $\pm 0.1\%$ 。重复性确保相同条件下多次测量结果的一致性, 重复性误差可控制在 $\pm 0.05\%$ 以内。响应时间决定对动态信号的跟随能力, 快速响应传感器响应时间可低至1ms。稳定性保障长期使用中的性能稳定, 长期稳定性误差可控制在 $\pm 0.5\%$ 以内。抗干扰能力则让传感器在复杂环境中依然能输出可靠信号, 这些指标共同决定传感器在具体场景中的适用性。

2 测量方法理论基础与分类

2.1 测量方法核心概念

测量方法, 本质上是运用特定手段来获取被测量值

的过程。这一过程并非简单随意，而是涵盖了原理、方法、系统以及数据处理四个紧密相连的环节^[2]。原理是测量的基石，为整个测量活动提供理论依据；方法是实现测量的具体操作路径；系统则是承载测量活动的硬件与软件集合；数据处理则是对测量所得原始数据进行整理、分析，从而得出准确可靠的测量结果。这四个环节相互配合，共同确保测量活动的科学性与准确性。

2.2 测量方法分类体系

测量方法分类维度丰富，不同维度对应不同应用需求。按测量手段划分最为常见，直接测量是直接读取被测量数值，比如用电流表接入电路即可获得电流大小，操作直观便捷。间接测量需先获取与被测量相关的中间量，再通过计算公式推导得出结果，伏安法测电阻便属于此类，先测量电阻两端电压和流过的电流，再依据欧姆定律计算电阻值。组合测量则针对多个相互关联的未知量，通过多次测量建立联立方程组，求解得到所有未知量的数值。按测量精度可分为等精度测量与非等精度测量，前者在相同测量条件下完成，各测量结果可靠性一致；后者测量条件存在差异，结果精度各不相同。按测量方式有偏差式、零位法和微差法之分，偏差式通过读取测量仪器指针偏差获取结果，零位法利用补偿原理使测量系统达到平衡状态，微差法则结合前两者优势，兼顾精度与便捷性。按被测量变化速度可分为静态测量与动态测量，分别对应变化缓慢或快速的测量对象。按接触方式分为接触测量与非接触测量，后者可避免对被测对象造成干扰。按能量施加方式则有主动式与被动式测量，主动式需向被测对象施加能量，被动式则直接利用被测对象自身能量信号。

2.3 测量系统结构

测量系统结构主要分为开环与闭环两类。开环测量系统中信号单向传递，从输入到输出无反馈环节，结构相对简单、成本较低，但当系统中某个环节特性发生变化时，容易直接影响测量结果准确性，开环测量系统测量误差可达 $\pm 1\%$ 。闭环测量系统引入反馈机制，将输出信号的一部分返回至输入端与参考信号对比，及时修正偏差，这种结构使其抗干扰能力显著增强，测量精度也大幅提高，闭环测量系统测量误差可控制在 $\pm 0.1\%$ 以内，在对测量精度要求较高的场景中应用广泛。

3 传感器技术与测量方法的协同优化

3.1 技术适配性分析

在传感器技术与测量方法的协同应用中，技术适配性是关键前提。传感器选型与测量方法的匹配至关重要，需充分考虑被测量的特性。例如，若被测量具有较

宽的动态范围，即数值变化幅度较大，那么所选传感器应具备足够的测量量程，同时测量方法要能准确捕捉这种动态变化，动态范围可达100dB。对于频率响应要求高的被测量，如高速振动的物体，传感器需有快速的响应能力，测量手段也要能跟上这种高频变化，确保获取的数据真实可靠，频率响应范围可达0-10000Hz。异构协议兼容也是不容忽视的问题。在实际应用中，往往会使用多种不同类型的传感器，这些传感器可能采用不同的通信协议，导致数据无法直接互通。通过引入中间件，可以搭建起不同协议之间的桥梁，实现数据的顺畅传输与共享。中间件就像是一个翻译官，将不同协议的数据格式进行转换，使得各种传感器能够在同一个系统中协同工作，充分发挥各自的优势。

3.2 协同优化路径

硬件协同为传感器技术与测量方法的协同优化提供了强大的支撑。专用加速芯片的应用能显著提升计算效率。以图像处理为例，GPU（图形处理器）凭借其强大的并行计算能力，可以快速处理大量的图像数据，大大缩短了处理时间，提高了图像测量的精度和速度。低功耗设计对于嵌入式设备尤为重要，在许多应用场景中，嵌入式设备需要长时间稳定运行，低功耗设计可以有效延长设备的续航时间，减少能源消耗，降低使用成本。软件协同同样起着关键作用。轻量化模型能够更好地适配嵌入式环境。在边缘计算中，由于设备资源有限，传统的复杂模型难以运行，而经过压缩的轻量化模型可以在保证一定精度的前提下，减少对计算资源和存储空间的需求，使嵌入式设备能够高效地完成数据处理任务。数据融合算法可以提升多传感器数据的可靠性。像卡尔曼滤波算法，它能够对多个传感器采集到的数据进行融合处理，通过不断修正和预测，去除噪声干扰，得到更准确、更稳定的测量结果。

3.3 闭环控制链路构建

构建感知-传输-处理-反馈的全流程优化闭环控制链路，是实现传感器技术与测量方法协同优化的重要目标。传感器网络如同敏锐的神经末梢，能够实现对全域的感知，全面、准确地采集各种被测量信息^[3]。高速通信技术则像畅通的血管，保障数据能够实时、快速地传输到处理中心。智能算法作为大脑，对传输过来的数据进行深入分析和处理，实现动态决策，并根据决策结果及时给出反馈，形成一个完整的闭环控制系统，不断提升整个测量系统的性能和稳定性。在此基础上，还需强化各环节之间的信息交互与协同机制，确保感知数据的高效整合与反馈控制的精准执行，从而在动态环境中实现

系统整体性能的持续优化与稳定运行。

4 传感器技术与测量方法的发展趋势

4.1 传感器技术趋势

在科技飞速发展的当下,传感器技术正朝着多个前沿方向大步迈进。微型化与集成化成为显著趋势,这得益于微机电系统(MEMS)技术的进步。该技术如同技艺精湛的雕刻师,将传感器尺寸缩小至微米级别。此类传感器不仅占用空间极小,还能轻松嵌入各类设备,为智能化和便携化提供有力支撑。智能化是另一重要方向。如今,传感器普遍内置微处理器与先进算法,具备数据处理与分析功能。它们不再局限于简单采集数据,更实现了自诊断与自校准。当出现故障或数据偏差时,能够自动检测并调整,确保测量准确可靠。多功能化也是一大亮点。单传感器可集成多参数检测能力,如温湿度一体化传感器能同时测量两项参数,显著简化系统结构,提升测量效率。这类传感器在工业生产、环境监测等领域应用前景广阔。新材料的应用为传感器技术注入新活力。纳米材料凭借独特物理化学性质,成为提升性能的关键。例如碳纳米管气体传感器具有极高灵敏度,可检测极低浓度气体,为环境监测与安全防护提供了更精准的手段。

4.2 测量方法趋势

测量方法同样在不断创新与变革。智能化是测量方法发展的重要趋势之一。机器学习技术如同一位神奇的魔法师,能够优化测量模型。深度学习算法在信号去噪方面表现出色,通过对大量数据的学习和分析,能够有效去除信号中的噪声干扰,提高测量的精度和稳定性。虚拟化是测量方法的又一新兴趋势。软件定义测量系统的出现,打破了传统测量系统的局限性。通过软件编程,可以灵活地定义测量系统的功能和参数,满足不同场景下的测量需求。这种虚拟化的测量系统具有高度的

灵活性和可扩展性,能够快速适应市场的变化。网络化也是测量方法发展的重要方向。物联网技术的兴起,使得测量设备能够实现远程监控与数据共享。通过将传感器与网络连接,可以实时获取测量数据,并进行远程分析和处理。这不仅提高了测量效率,还为远程监控和决策提供了有力支持。

4.3 融合创新方向

传感器技术与测量方法的融合创新正孕育着新的突破。传感器与人工智能的深度融合,将构建起自主感知-决策系统。这种系统能够根据传感器采集的数据,自动进行分析和判断,并做出相应的决策,为智能交通、智能制造等领域带来革命性的变化。量子传感技术的突破将为测量领域带来前所未有的精度。量子传感技术利用量子效应实现单分子级检测精度,在生物医学、材料科学等领域有着巨大的应用潜力,有望开启测量技术的新纪元。

结束语

仪器仪表工程中的传感器技术与测量方法研究意义重大。从基础理论到协同优化,再到发展趋势,各环节紧密相连。传感器技术的不断进步与测量方法的创新变革,为仪器仪表工程的发展注入强大动力。通过二者的协同优化,可提升测量系统的性能与稳定性。融合创新方向更是为未来发展开辟新路径,有望在更多领域实现突破,推动仪器仪表工程迈向新高度。

参考文献

- [1]陈旭.高精度仪器仪表测量误差补偿算法研究及应用[J].电子元器件与信息技术,2023,7(12):98-100,106.
- [2]陆国军.智能仪器仪表技术的运用及发展[J].化工设计通讯,2021,47(11):61-62.
- [3]刘连城.智能仪器仪表技术的运用及发展探讨[J].大众标准化,2020(02):92+94.