

# 数字化电力装备专用传感应用需求与发展趋势

刘磊

中海石油(中国)有限公司天津分公司

DOI:10.12238/etd.v6i10.17206

**[摘要]** 随着数字化技术在电力领域的深度应用,电力装备专用传感技术的重要性日益凸显。本文聚焦数字化电力装备专用传感,分析其在新型电力系统建设、电力装备智能化、能源安全与高效利用等方面的应用需求,阐述敏感元件与制备、测试与校准、通信网络等技术发展现状,并展望未来技术融合、标准化建设、产品形态与功能等发展趋势,为推动电力装备专用传感技术发展提供参考。

**[关键词]** 数字化电力装备; 专用传感; 应用需求; 技术现状; 发展趋势

中图分类号: TM76 文献标识码: A

## Application Requirements and Development Trends of Specialized Sensing for Digital Power Equipment

Lei Liu

CNOOC (China) Co., Ltd., Tianjin Branch

**[Abstract]** With the deep integration of digital technologies in the power sector, the importance of specialized sensing technologies for power equipment has become increasingly prominent. This study focuses on specialized sensing for digital power equipment, analyzing its application requirements in areas such as the construction of new power systems, intelligentization of power equipment, and energy security and efficient utilization. It elaborates on the current state of technological development in sensitive components and fabrication, testing and calibration, and communication networks, while also outlining future development trends in technological convergence, standardization efforts, and product forms and functions. The aim is to provide references for advancing the development of specialized sensing technologies for power equipment.

**[Key words]** Digital Power Equipment; Specialized Sensing; Application Requirements; Technological Status; Development Trends

### 引言

在能源转型与数字化浪潮推动下,电力系统正经历深刻变革。新型电力系统建设加速,大量分布式能源与电力电子器件接入,对电力装备的感知与调控能力提出更高要求。电力装备智能化成为关键趋势,传感器作为智能化的基础,其性能直接影响电力系统的运行效率与安全性。能源安全与高效利用的需求也促使传感器在监测与优化方面发挥更大作用。在此背景下,研究数字化电力装备专用传感的应用需求与发展趋势具有重要的现实意义。

### 1 数字化电力装备专用传感应用需求

#### 1.1 新型电力系统建设需求

新型电力系统在电源结构、负荷特性、电网形态等方面呈现多样性,对电力装备专用传感技术提出更高要求。大量分布式能源和电力电子器件接入电力系统,使得电网关键特性发生深刻变化,迫切需要实现对各种参量的实时测量反馈与动态调整,

提升电力系统的可观、可测、可控能力,构建数字孪生电网,保障电网在复杂网络互联条件下稳定运行。在电源侧,风电、光伏发电等大量新能源发电设备接入,需要感知温度、光学及位置等信息,监测发电设备运行状态、健康情况等,预防事故发生,提高发电效率并延长设备寿命<sup>[1]</sup>。在风电场中,通过传感器实时监测叶片的应力、振动等参数,可及时发现叶片的潜在损伤,避免因叶片故障导致的停机事故,保障风电场的稳定运行。在电网侧,输电、变电、配电等场景下,需要利用微气象、温湿度、杆塔倾斜、覆冰、舞动、弧垂、风偏、局部放电、振动及压力等感知装置,采集电网运行与设备状态、环境与其他辅助信息,支撑电网生产运行过程中的信息全面感知及智能应用。以输电线路为例,通过在输电杆塔上安装传感器,实时监测杆塔的倾斜角度、覆冰厚度等参数,当杆塔倾斜角度超过安全阈值或覆冰厚度达到危险值时,及时发出预警,以便采取相应的措施,保障输电线路的安全运行。在负荷侧,需要利用电能质量、负荷监测等传感量

测装置采集智能用电、新能源汽车负荷等信息,支撑需求侧柔性负荷资源利用,提升能源利用率及用户侧用能精细化管理水平。通过在用户侧安装智能电表和传感器,实时监测用户的用电负荷和电能质量,根据用户的用电习惯和需求,合理调整用电计划,实现用户侧的节能减排。

### 1.2 电力装备智能化需求

电力装备智能化是实现电力系统数字化转型的关键环节,而传感器是实现电力装备智能化的重要基础。电力装备智能化需要传感器具备小微化、低功耗、自取能、高精度、低成本、高可靠等关键特征。小微化传感器可以更好地集成到电力装备中,不占用过多空间,提高电力装备的集成度和紧凑性。在电力电子设备中,采用微纳传感技术开发的微型传感器,可以实时监测设备内部的温度、电流等参数,为设备的运行状态评估和故障诊断提供准确的数据支持。低功耗传感器可以延长设备的使用寿命,减少能源消耗。在野外或偏远地区部署的电力监测设备,由于更换电池不便,低功耗传感器显得尤为重要。通过采用低功耗设计技术和微源取能技术,传感器可以从环境中收集电磁、振动及温差等微量能源为自己供能,实现自供能运行,降低运维成本。自取能传感器解决了传统传感器需要外部电源供电的问题,提高了传感器的可靠性和适用性。在高压输电线路中,采用侵入式与非侵入式磁场取能样机,可以从输电线路的磁场中获取能量,为传感器供电,实现对输电线路的实时监测。高精度传感器可以提供更准确的测量数据,为电力装备的精确控制和智能决策提供依据。在电力变压器的监测中,高精度的温度传感器可以实时监测变压器油温的变化,当油温超过正常范围时,及时发出预警,避免变压器因过热而损坏。低成本传感器可以降低电力装备的制造成本,提高市场竞争力。通过优化传感器的设计和制造工艺,降低原材料成本和生产成本,使传感器能够大规模应用于电力装备中。

### 1.3 能源安全与高效利用需求

传感器在能源安全与高效利用中发挥着重要作用。在新能源发电方面,通过传感器实时监测新能源发电设备的运行状态和发电功率,根据电网的需求和新能源的发电特性,合理调整新能源的发电出力,实现新能源的高效消纳<sup>[9]</sup>。在光伏发电站中,通过传感器监测光伏电池板的输出功率和环境光照强度,根据光照强度的变化实时调整光伏电池板的倾斜角度,提高光伏发电效率。在电网运行方面,传感器可以实时监测电网的潮流分布、电压稳定性和频率稳定性等参数,当电网出现异常情况时,及时发出预警并采取相应的措施,保障电网的安全稳定运行。通过在电网关键节点安装传感器,实时监测电网的频率变化,当频率偏离正常范围时,自动调整发电机的出力或切除部分负荷,维持电网的频率稳定。在用户侧,传感器可以实时监测用户的用电负荷和用电行为,根据用户的用电需求和电价政策,引导用户合理用电,实现能源的高效利用。

## 2 数字化电力装备专用传感技术发展现状

### 2.1 敏感元件与制备技术

先进传感材料与器件是传感技术的核心,涉及设备状态表征与“声、光、电、磁、热、力”等感知机理、敏感材料、传感器件制备等方向。随着感知机理与传感材料技术不断创新突破,各类新型的电气量、状态量、环境量、行为量传感器应用于新型电力系统。在陶瓷材料方面,因其高稳定性、耐腐蚀性,在压力传感器领域应用广泛,通过纳米化改性可进一步提升灵敏度。采用纳米陶瓷材料制备的压力传感器,可以更准确地测量电力系统中的压力变化,为电力设备的运行状态评估提供可靠的数据支持。高分子材料凭借柔韧性、生物相容性,推动可穿戴传感器向无创、舒适方向发展,在电力健康监测等领域有潜在应用。虽然目前在电力领域的应用还处于探索阶段,但随着技术的不断发展,有望为电力工作人员的健康监测提供新的手段<sup>[3]</sup>。金属材料在高温、高压环境下的可靠性优势,支撑工业传感器在极端场景中的应用。在高温高压的电力设备中,采用金属材料制备的传感器可以稳定工作,实时监测设备的温度和压力等参数,保障设备的安全运行。

### 2.2 测试与校准技术

传感器测试与校准技术是保证传感器性能和质量的重要环节。目前,我国已经建立了一些传感器测试与校准的标准和方法,但在一些高端传感器领域,测试与校准技术还存在一定的不足。对于电力专用传感器,需要建立专门的测试与校准平台,模拟电力系统的实际运行环境,对传感器的各项性能指标进行全面测试和校准。在高压、强电磁干扰环境下,测试传感器的抗干扰能力和测量准确性;在高温、低温环境下,测试传感器的稳定性和可靠性。还需要加强对传感器测试与校准技术的研究和创新,开发更加先进、准确的测试与校准设备和方法,提高传感器的测试与校准效率和精度。采用激光干涉仪、高精度万用表等先进设备,对传感器的位移、电压等参数进行精确测量和校准。

### 2.3 通信网络技术

低功耗无线传感网络能够为传感器提供泛在连接通信媒介,是实现分布式感知和数据融合的基础。由于电力系统环境复杂特殊,海量传感器无源无线化成为重要发展趋势。低功耗无线传感网络将提升传感系统长期运行可靠性,降低运维难度。目前,5G普及推动低功耗广域网(LPWAN)应用,预计到2030年市场规模达469亿元,支持大规模设备连接与长距离数据传输,拓展智慧农业、环境监测等场景应用,在电力领域也有广阔的应用前景。采用LoRa自组网技术实现5公里级数据回传,可持续监测输电线路接头等关键部位的温度状态,实现对潜在故障的前置预判,特别适合跨越山川河流的架空线路。电力物联网通信协议也在不断完善和发展,为传感器的通信提供了标准化的接口和规范。通过采用统一的通信协议,不同厂家生产的传感器可以实现互联互通,提高传感器系统的兼容性和可扩展性。

## 3 数字化电力装备专用传感未来发展趋势

### 3.1 技术融合发展趋势

在工业场景中,振动传感器结合AI算法可实时分析设备运行状态,识别故障模式并触发预警。通过对电机振动信号的实时

监测和分析,利用AI算法可以准确判断电机的轴承、齿轮等部件是否存在故障,提前发出预警,避免设备故障扩大,减少停机损失。在自动驾驶汽车中,激光雷达、摄像头、毫米波雷达通过AI融合感知算法,构建360度环境模型,为车辆的自动驾驶提供准确的环境信息。5G网络的高速传输能力可以实时将传感器采集的数据传输到云端进行分析和处理,提高自动驾驶的安全性和可靠性<sup>[4]</sup>。在工业互联网中,无线传感器网络通过5G连接边缘计算节点,实现设备状态实时监控与智能调度。在工厂的生产线上,通过无线传感器网络实时采集设备的运行参数和生产数据,利用5G网络将数据传输到边缘计算节点进行分析和处理,根据分析结果实时调整设备的运行参数和生产计划,提高生产效率和产品质量。

### 3.2 标准化建设趋势

电力专用智能传感的标准建设需求日益迫切。目前,IEC、IEEE及国内在电力传感领域已有一些标准,但体系框架仍存在空白区。未来需参考电力物联网技术标准体系,构建数智化电网电力专用传感标准全景谱系与布局方向。标准化建设将涵盖传感器的设计、制造、测试、校准、通信等各个环节,明确传感器的性能指标、接口规范、数据格式等要求,提高传感器的互换性和兼容性。制定统一的电力传感器通信协议标准,使不同厂家生产的传感器能够实现互联互通,方便系统的集成和维护。标准化建设还将促进传感器产业的健康发展,提高我国电力专用传感器的国际竞争力。通过参与国际标准的制定,将我国的技术优势和经验纳入国际标准中,推动我国传感器产业走向世界。

### 3.3 产品形态与功能发展趋势

从产品形态发展来看,电力专用传感器将从生产到退役实现全生命周期的标准化管理。包括传感器的设计、制造、安装、调试、运行、维护、报废等各个环节,都将建立相应的标准和规范,确保传感器的质量和可靠性。从功能形态发展来看,未来电

力专用传感器有望将小型化、柔性安装、低功耗、高可靠性、智能化、自校验、自取能、一体化、多通信组网、边缘代理能力等多种技术功能汇聚于一身,实现从元件到设备层面的传感设备全技术覆盖,以满足数字电力装备对于全状态信息感知与预测的需求,并最终支撑自动化系统对电网的精准调控<sup>[5]</sup>。未来的电力传感器可能采用微纳传感技术,实现传感器的小型化和集成化,同时具备自取能功能,从环境中获取能量为自己供电。传感器还可以通过内置的AI算法实现自校验和智能决策,根据测量数据自动调整测量参数和报警阈值。

## 4 结语

数字化电力装备专用传感技术是推动新型电力系统建设与电力装备智能化的关键力量。当前,该技术在敏感元件、测试校准、通信网络等方面取得一定进展,但仍面临诸多挑战。未来,技术融合将提升传感器的智能化水平,标准化建设促进产业规范发展,产品形态与功能的创新将满足电力系统日益复杂的需求。我们应抓住机遇,加大研发投入,推动电力装备专用传感技术迈向新高度,为电力行业的可持续发展提供坚实支撑。

### [参考文献]

- [1]江俊杰,胡军,马国明,等.数字化电力装备专用传感应用需求与发展趋势[J].高电压技术,2024,50(8):3271-3302+I0001-I0005.
- [2]张嘉伟,魏晓飞,蒙轩,等.面向新型电力系统的微磁场光学感知技术[J].工程科学与技术,2023,55(4):3-10.
- [3]杨帆,吴涛,廖瑞金,等.数字孪生在电力装备领域中的应用与实现方法[J].高电压技术,2021,47(5):1505-1521.
- [4]黄宏伟,周书民,汪志成.磁感应式行波传感器结构参数优化设计[J].电子质量,2018(8):94-98.
- [5]余涛,梁敏航,罗庆全,等.新型电力系统专用传感与边缘智能关键技术及其展望[J].高电压技术,2024,50(8):3324-3338.