[状态监测]

电力工程施工现场设备状态监测中智能传感技术的应用

文/王奇
深圳供电规划设计院有限公司

深入剖析智能传感技术的原理与特点，探讨其与电力工程施工现场设备状态监测需求的契合性，设计基于智能传感技术的设备状态监测系统，并结合实际案例进行应用效果分析。研究表明，智能传感技术能显著提升电力工程施工现场设备状态监测的准确性、实时性与可靠性，为保障电力工程安全高效施工提供技术支撑，对推动电力工程智能化发展具有重要意义。

随着电力行业的快速发展，电力工程规模不断扩大，施工现场设备种类日益增多、结构愈发复杂。设备运行状态的稳定与否直接关系到电力工程的施工进度、质量以及人员安全。传统的设备状态监测手段存在实时性差、准确度不足和无法实现故障预测等局限性，难以满足现代电力工程施工的需求。智能传感技术凭借其高准确度、实时性和智能化等特性，为电力工程施工现场设备状态监测带来新的解决方案。

智能传感技术的原理与特点

1. 原理

智能传感技术针对电力工程施工现场设备监测需求，构建多维度感知体系。通过磁光效应、压阻效应等物理机制，将变压器绕组温度、断路器触头压力、电缆接头局部放电等关键参数转化为可测信号。以罗氏线圈传感器为例，利用电磁感应原理，将电力设备的高频电流信号转换为电压信号，实现非侵入式电流测量；分布式光纤传感器则基于光时域反射技术，通过检测光纤中后向散射光强度变化，实时监测电缆沿线温度分布与机械应力状态。数据处理采用边缘计算架构，通过快速傅里叶变换、小波包分解等算法，提取设备运行特征向量，并借助5G、工业以太网等通信技术，实现数据的低延迟、高可靠传输，为设备状态评估提供精准数据支撑[1]。

2. 特点

在电力工程施工现场复杂环境下，智能传感技术展现出独特优势。其高精度特性通过纳米级制造工艺与温度补偿算法实现，如红外热像仪可达到0.05 ℃的温度分辨率，满足电力设备热缺陷早期诊断需求；多功能集成设计将振动、温湿度、气体浓度等多个监测单元集成于微型封装，实现对开关柜等设备的多参数协同监测。强实时性依赖于高速ADC采样模块与边缘计算节点，支持毫秒级数据刷新频率，可及时捕捉设备异常动态。针对施工现场电磁干扰、温湿度变化等问题，智能传感器具备自适应校准功能，通过内置参考单元与动态补偿算法，自动修正环境因素引起的测量偏差；自诊断机制则利用冗余设计与健康监测电路，实时检测传感器性能状态，确保监测数据的有效性与可靠性[2]。

电力工程施工现场设备状态监测需求与智能传感技术的契合性

1. 复杂环境适应性需求

电力工程施工现场存在强电磁干扰、温湿度剧烈波动及粉尘侵蚀等复杂工况，传统监测设备易出现信号失真、性能衰减等问题。智能传感技术通过材料创新与结构优化，显著提升环境适应性。例如，基于光纤传感的温度监测系统，利用光信号传输抗电磁干扰特性，在变电站高压设备监测中避免强电磁场对信号的干扰；采用MEMS工艺制造的振动传感器，通过密封封装与纳米涂层技术，可在−40～125 ℃极端温度环境下稳定工作，且防尘防水等级达IP68，满足户外施工设备的恶劣环境监测需求。智能传感器的自校准功能可实时补偿环境因素引起的测量误差，确保在复杂环境下持续输出可靠数据，为设备状态评估提供坚实保障。

2. 设备故障早期预警需求

电力设备故障往往经历从微观缺陷到宏观失效的渐进过程，早期故障特征微弱且易被噪声淹没，智能传感技术凭借高灵敏度感知与先进数据分析算法，实现故障早期预警[3]。例如，基于声发射原理的局部放电传感器，可检测到电力设备内部微小放电产生的应力波信号，结合短时傅里叶变换与卷积神经网络算法，能有效识别放电类型与严重程度；高精度振动传感器采集设备机械振动数据，通过经验模态分解提取早期松动、不平衡等故障特征，在故障潜伏期即发出预警。智能传感系统通过建立设备运行状态基线模型，利用机器学习算法对实时数据进行异常检测，实现故障的预测性维护，降低突发故障导致的施工中断风险。

3. 多参数协同监测需求

电力设备运行状态受温度、振动、电流和气体浓度等多因素耦合影响，单一参数监测难以全面评估设备健康状况，智能传感技术通过集成化设计与数据融合算法，实现多参数协同监测[4]。例如，智能开关柜监测模块集成红外测温、振动传感、局部放电检测及SF_6气体浓度传感器，构建多维感知体系；利用D-S证据理论与贝叶斯网络算法，对多源异构数据进行融合分析，可准确判断开关柜触头过热、机械故障等复合故障模式。多参数监测数据还可用于设备运行工况的动态建模，通过参数间的关联性分析，挖掘潜在故障隐患，为设备全生命周期管理提供数据驱动的决策支持。

基于智能传感技术电力工程施工现场设备状态监测系统设计

1. 系统总体架构

在电力工程施工现场设备状态监测中，基于智能传感技术的系统总体架构设计至关重要，其结构如图1所示。

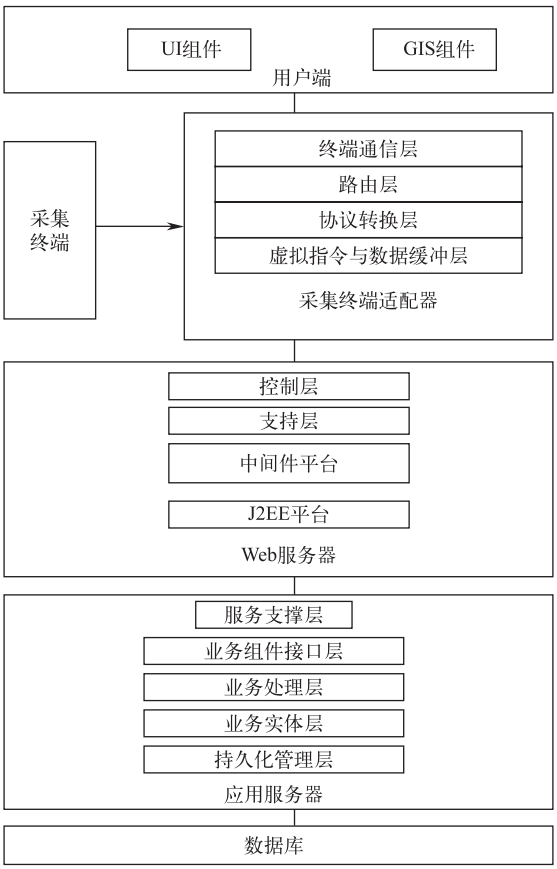

图1　系统总体架构图

采集终端作为架构的起始点，搭载智能传感技术，负责感知施工现场各类设备的状态信息，如温度、振动、电流和电压等物理量，这些信息以电信号或其他可测信号形式输出。采集终端将数据传输至采集终端适配器，采集终端适配器包含多个功能层次，终端通信层确保采集终端与系统其他部分的稳定通信；路由层依据数据特征和网络状况，动态规划数据传输路径；协议转换层解决不同采集终端因通信协议差异带来的兼容问题，实现数据格式的

统一转换；虚拟指令与数据缓冲层则对采集数据进行暂存，并处理虚拟指令，保障数据传输的有序性和稳定性。经采集终端适配器处理后的数据，被传输至Web服务器，Web服务器基于J2EE平台搭建，由控制层、支持层和中间件平台构成，为系统运行提供基础环境和支撑服务。数据进一步流转至应用服务器，应用服务器包含服务支撑层、业务组件接口层、业务处理层、业务实体层和持久化管理层。服务支撑层提供底层服务支持；业务组件接口层实现不同业务组件间的交互；业务处理层运用专业算法对数据进行深度分析，识别设备状态异常；业务实体层将业务逻辑抽象为实体对象进行管理；持久化管理层负责数据的存储与持久化。系统的最前端是用户端，由UI组件和GIS组件构成，UI组件负责将处理后的数据以直观易懂的形式呈现给用户，并支持用户交互操作；GIS组件基于地理信息系统，展示设备的空间分布和状态，帮助用户全面掌握施工现场设备状态。

2. 硬件设计

硬件部分是整个监测系统的基础，其结构如图2所示。在数据采集环节，传感器承担着关键角色。各类智能传感器分布于施工现场设备各处，用于感知温度、振动、电流和电压等状态参数。传感器采集到的数据，首先传输至STC90C516RD + 芯片。该芯片作为数据采集与初步处理的核心部件，具备稳定的数据处理能力和丰富的接口资源。它在系统电源的稳定供电下，借助复位电路实现可靠启动与复位。STC90C516RD +芯片对传感器数据进行初步的滤波、放大等预处理操作，去除噪声干扰，增强信号质量，为后续的数据传输和分析奠定基础。

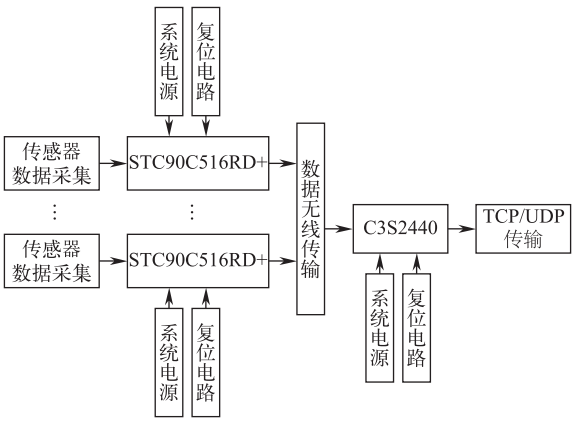

图2　硬件结构图

经过初步处理的数据，通过数据无线传输模块进行传输。此模块负责将多个STC90C516RD+芯片处理后的数据，以无线通信方式汇聚并传输至S3C2440芯片。S3C2440芯片作为系统的主处理器，拥有强大的数据处理和运算能力。它同样在系统电源和复位电路的支持下稳定运行，能够接收、整合来自多个采集节点的数据。

S3C2440芯片对汇聚的数据进行进一步的深度处理和分析，提取关键特征参数，判断设备运行状态。处理后的数据通过TCP/UDP协议进行传输，实现与外部设备或服务器的通信，将设备状态信息及时准确地传递给监测中心或相关管理系统。整个硬件设计充分考虑了电力工程施工现场的复杂环境，在保证数据采集与传输准确性、稳定性的同时，兼顾硬件系统的可靠性和抗干扰能力，为设备状态监测系统的稳定运行提供坚实的硬件支撑。

3. 软件功能设计

系统软件功能设计围绕数据采集、传输、处理与应用展开。在数据采集与传输模块，实现对智能传感器的驱动与配置，按照设定的采样频率采集数据，并通过通信协议将数据准确传输至服务器。数据存储与管理模块采用数据库技术，对采集到的设备状态数据进行分类存储，建立索引机制，方便数据的快速查询与调用。数据分析与处理模块运用数字信号处理、模式识别等算法对原始数据进行分析，提取设备状态特征参数，如振动信号的峰值、均值、频率成分，电流信号的谐波含量等[5]。故障诊断与预警模块基于建立的故障诊断模型，对设备状态进行实时评估，当检测到设备状态异常时，通过声光报警、短信通知等方式及时发出预警，并提供故障原因分析与处理建议。设备状态评估模块根据历史数据与实时监测数据，运用大数据分析与机器学习算法对设备健康状态进行综合评估，预测设备剩余使用寿命，为设备维护计划制定提供参考。

应用效果分析

1. 某大型变电站扩建工程案例

选取某大型变电站扩建工程作为应用案例。该工程施工现场设备众多，包括变压器、断路器、隔离开关和电抗器等，施工环境复杂，对设备状态监测要求较高。在工程施工前期，采用传统人工巡检

与简单仪表测量相结合的方式进行设备状态监测，存在监测效率低、数据准确性差和无法实时掌握设备状态等问题。在工程施工过程中引入基于智能传感技术的设备状态监测系统，在各类设备上安装相应的智能传感器，构建全面的设备状态监测网络 。

2. 监测数据对比与分析

通过对应用智能传感技术前后的监测数据进行对比分析，发现系统在多个方面取得显著效果。具体数据对比见表1。

表1　监测数据对比

监测维度	传统监测方式	智能传感技术监测系统
变压器油温监测误差	±2 ℃	±0.5 ℃
电流、电压测量精度	较低准确度	提高一个数量级
故障响应时间	每天一次巡检，难以及时发现突发故障	秒级响应，实时更新设备状态数据
故障诊断准确率	依赖人工经验判断，准确率较低	运用机器学习算法，准确率达95%以上

在监测精度方面，智能传感技术对变压器油温的监测误差从传统方式的±2 ℃降低至±0.5 ℃，对电流、电压的测量度提高一个数量级，能够更准确反映设备运行状态。在实时性方面，传统人工巡检周期为每天一次，难以捕捉设备突发故障；而智能传感技术实现了设备状态数据的实时更新，故障响应时间缩短至秒级，例如当断路器操作机构出现卡顿时，系统能够在1 s内检测到异常振动信号并发出预警。在故障诊断能力方面，系统运用机器学习算法对设备运行数据进行分析，成功识别出多起设备早期故障隐患，如变压器局部放电、电抗器匝间短路等，故障诊断准确率达到95%以上，相比传统经验判断方式有了大幅提升。

3. 综合效益评估

从综合效益来看，基于智能传感技术的设备状态监测系统的应用，显著降低了设备故障发生率，工程施工期间设备非计划停机时间减少了70%，有效保障了工程施工进度。通过提前发现设备故障并进行预防性维护，降低了设备维修成本，预计整个工程施工期间设备维护费用节省约30%。同时，系统的应用提高施工安全性，避免因设备故障引发的安全事故，保障施工人员生命安全与工程财产安全，提升电力工程施工的智能化管理水平。

结束语

本论文通过对智能传感技术在电力工程施工现场设备状态监测中的应用研究，深入分析智能传感技术的原理与特点，论证其与电力工程施工现场设备状态监测需求的高度契合性。通过设计基于智能传感技术的设备状态监测系统，并在实际工程案例中进行应用，验证该技术能够有效提升设备状态监测的准确性、实时性与可靠性，为电力工程施工现场设备的安全稳定运行提供有力保障。**EA**

（收稿日期：2025-07-16）

参考文献

[1] 窦衍华．智能电网视域下电力设备监测与维护技术[J]．江西电力职业技术学院学报，2023，36(8)：7-9．

[2] 唐啸．智能传感技术在电力工程全过程管理中的应用[J]．集成电路应用，2024，41(11)：234-235．

[3] 卢明阳．智能电网背景下电力设备监测和维护技术的研究[J]．企业科技与发展，2019，(6)：50-51．

[4] 吴学银，王小龙，张楚楚．自动化监测技术在电力工程监测中的应用[J]．工程质量，2022，40(9)：55-58，72．

[5] 黄俊，韩青春．数字化运维管理在电力工程中的应用[J]．电子技术，2024，53(7)：166-167．