

新型传感技术在建筑节能工程检测中的应用 及能效评估精度优化研究

陈耿

广东 汕头 515000

DOI:10.61369/UAID.2026030067

摘 要： 新兴传感技术（温湿度、光电式、无线智能等）在建筑节能工程检测里运用普遍，能够提供多方面的数据支持，不过面临着环境适应能力欠缺、系统集成困难、数据安全等方面的挑战。它促使能效评估从静态选取样本转变为动态全周期监测，未来朝着自适应、低能耗、网络化的走向发展，要结合政策和技术创新打破瓶颈，提高检测精准度与工程应用效能。

关 键 词： 新型传感技术；建筑节能工程检测；能效评估精度

Application of New Sensing Technologies in Building Energy Efficiency Engineering Detection and Optimization of Energy Efficiency Evaluation Accuracy Research

Chen Geng

Shantou, Guangdong 515000

Abstract： Emerging sensing technologies (temperature and humidity, photoelectric, wireless intelligence, etc.) are widely used in the detection of building energy-saving projects, which can provide multi-faceted data support, but face challenges such as lack of environmental adaptability, difficulty in system integration, and data security. It promotes the transformation of energy efficiency evaluation from static selection of samples to dynamic full-cycle monitoring. In the future, it will develop towards adaptive, low-energy consumption and networking. It is necessary to break the bottleneck by combining policy and technological innovation, and improve the detection accuracy and engineering application efficiency.

Keywords： new sensing technologies; building energy efficiency engineering detection; energy efficiency evaluation accuracy

引言

建筑节能乃是实现双碳目标的主要措施，新型传感技术作为精确检测建筑能耗与能效的核心手段，其运用与创新对提高建筑节能工程质量有着主要作用。十四五建筑节能规划提出促进新型传感技术于能耗监测里的规模化运用，《建筑节能与可再生能源利用通用规范》把传感技术进一步归入建筑能效监测体系，为技术落地提供政策支持。目前温湿度、光电式、无线智能这类新型传感技术已在住宅、商业以及公共建筑里进行部署，大幅提高能耗数据采集的实时性和精度，不过仍然面临复杂环境适应能力不够、数据安全风险以及系统集成方面的难题。本研究围绕新型传感技术的发展状况、应用要求、优化办法及走向开展分析，目的是为建筑节能工程检测的技术改革与政策改进提供参考。

一、新型传感技术在建筑节能工程检测中的发展现状

（一）新型传感技术的类型与原理

新兴传感技术于建筑节能检测领域应用普遍。温湿度传感器依靠热敏电阻或者电容元件，把温湿度的改变转化为电信号，用于对围护结构热湿传递进行监测，给能耗分析提供基础资料。光电类传感器通过光电效应来检测光强或者光谱的改变，以此评估外窗的透光率和遮阳成效，其高灵敏度特性适宜用于采光性能的检测。

无线智能传感器将感知、通信以及数据处理进行集成，通过低功耗广域网实现数据的远程传输与实时分析，对分布式监测予以支持，其自组网的特性能够覆盖多个测点，提高空间连续性。从整体来看，温湿度传感器可应用于热环境和热工检测场景，光电传感器有助于采光和遮阳方面的评估工作，无线传感器适宜开展大规模长时间的监测活动。其技术特性包含高精度、低功耗以及智能化等方面，能够为建筑节能检测提供多方面的数据支持^[1]。

（二）建筑节能工程检测对传感技术的需求

建筑节能检测对于传感技术的需求专注在实时收集、传输精度、反应速度以及环境适应能力。能耗监测要多方面持续获取围护结构热工、空调运转以及室内环境等数据，这就要求传感技术拥有高密度布置与持续获取能力。传输精度直接对能效评估的可靠性产生影响，例如外墙传热系数检测的误差要控制在5%以内，但是传统设备在长距离传送时容易受到电磁干扰，进一步导致精度降低^[2]。在响应速度方面，动态能耗情形需要毫秒级别的反馈来支持实时调节控制。在环境适应能力方面，传感器要能够承受高温、高湿、振动等状况，并且拥有低功耗特性，从而适应长期无人监测的环境。目前面临的挑战包括多参数同步采集期间的数据串扰、在极端环境下稳定性欠佳，还有微型化传感器和建筑结构集成时的适配性问题，这些难题对检测效率和精度形成制约。

二、新型传感技术在建筑节能检测中的应用实践

（一）新型传感技术在各类建筑节能工程中的部署案例

在住宅建筑里，某高层工程运用分布式光纤传感技术对外墙保温层热损失展开监测，在保温层和结构层的界面处布置传感器，实时收集温度梯度数据，通过能耗模型实现动态热工评估，相较于人工检测，效率提高40%以上，数据连续性能够满足长期监测的要求^[3]。在商业建筑领域，某商场布置无线传感器网络，在空调出风口、人员聚集区以及外窗处安装温湿度、CO₂和太阳辐射传感器，运用 LoRa 协议确保在复杂电磁环境中稳定工作，监测所得数据用于优化空调调控策略，经实践证实能够降低空调能耗约15%。公共建筑像某大型体育场馆，通过物联网智能传感体系，在光伏板、照明线路以及通风装置处装设电压电流和光照度传感器，实现能耗分项计量与设备状态监测。传感节点利用边缘计算对数据进行预处理，降低云端传输负担。部署之后能耗监测的精准度达到 ±2%，为节能改造提供精确的数据支持。

（二）新型传感技术推动建筑能效评估方法创新

新兴传感技术促使建筑能效评估由静态抽样检测朝动态全周期监测转化，具体显示在数据收集、模型搭建和监测机制这三个方面。在数据收集方面，分布式光纤传感、MEMS 传感器等实现围护结构热流、室内温湿度、设备能耗等多方面参数的实时收集，采样频率由小时级别提高到分钟级别，包括建筑的整个生命周期^[4]。在评估模型环节，高密度的传感数据给机器学习提供训练基础，推动模型从经验公式朝着数据驱动的方向发展，输入变量由单一的能耗拓展到气象、人员行为、设备状态等多种因素，评估精准度相较于传统方法提高大约15%–20%。动态监控机制实现能效异常即时预警，通过传感网络和能源管理系统协同，能够迅速识别热桥、设备低效等状况，为节能改造提供精确目标。此项技术改革不但提高评估精准度，还促使节能管理由被动检测转变为主动优化，为建筑实现碳中和目标提供技术保障。

三、能效评估精度优化的技术途径

（一）提升传感数据准确性的技术措施

1. 传感器校准与误差控制方法

传感器校准作为确保建筑节能检测精准度的主要步骤，直接关系到能效评估的可信度。对于长时间运行过程里因环境改变和机械损耗造成的误差，要将静态校准（标准信号源多点标定，建立误差修正模型）与动态校准（模拟负荷起伏，修正响应滞后与非线性误差）相结合。在误差辨识方面，通过机器学习开展异常值探测，结合温度漂移补偿减少环境干扰，并且通过定期的现场校准与实验室溯源，保证精度保持在 ±0.5% 以内。多源数据融合方法能够进一步提高精准度，比如把温湿度、热流和电表数据进行时空对应，通过卡尔曼滤波对多维信息加以融合，能有效减少单一传感器的误差，让能耗相对误差控制在5%以内。另外无线传感器网络的自校准体系通过节点间的数据交互实现分布式误差校正，降低人工成本且提高校准频次，为实时能效评估提供高精度的数据支持^[5]。

2. 数据采集与传输过程的可靠性优化

传感数据的采集与传输可靠性对能效评估的精度有着直接影响。针对电磁干扰、温湿度起伏造成的采集失准，以及信号减弱、数据包丢失等传输难题，可通过网络优化和数据冗余设计来进行改进。在网络优化领域，运用 LoRa、NB-IoT 等低功耗广域网络技术，通过自适应调制编码（AMC）算法来动态调节传输参数，降低信号衰减和干扰^[6]。数据冗余设置采用多传感器冗余安排（于同一监测位置布置不同种类传感器），通过数据融合方法（例如卡尔曼滤波）挑选有效数据；并且建立边缘计算节点，在传输之前开展预处理与异常值去除工作，减少无效数据量。另外搭建分布式的数据存储体系，利用区块链技术保证数据无法被篡改，维护传输过程里的完整性和安全性，以此为能效评估提供可信的数据支撑。

（二）能效评估模型优化方法

1. 基于传感数据的能效指标体系构建

通过新型传感技术所采集的建筑能耗、环境参数与设备数据，搭建多方面的能效指标体系是提高评估精准度的主要基础。此体系打破传统单一指标的限制，融合时间方面（分时能耗情况、负荷波动系数）、空间方面（区域能耗密度、热环境均匀程度）以及系统方面（设备能效比值、能源转换效率），建立包括源、网、荷、储全流程的量化方案。传感数据具备高采样频率和多源特性，可支持指标的动态更新。比如通过实时监测围护结构热流、室内温湿度以及空调 COP 值，建立耦合环境与用能行为的动态指标模型，防止静态指标无法体现实际运行差异的不足。指标体系搭建要结合建筑功能类别和用能特性，运用层次分析法或者主成分分析挑选主要指标，保证独立性与代表性，为评估模型提供科学的输入^[7]。通过此体系，能效评估能够从静态的结果转变为动态的过程分析，实现精确、即时的评价，为节能改造以及运行优化提供数据支持。

2. 智能算法在能效评估精度优化中的应用

智能算法通过深度分析多源传感数据，切实提高建筑能效评

估的精准度。神经网络模型能够根据历史能耗、环境参数以及建筑特征开展训练，搭建高精度的预测模型，其具备的自学习机制能够实时对参数进行修正，减少因使用模式改变或者设备老化所产生的评估误差^[8]。支持向量机通过高维特征空间变换，可用于小样本数据的能效评价，降低传统统计手段的误差。集成学习会整合多个基模型的预测成果，减少过拟合的风险，提高评估的稳定性。这些算法促使能效评估由经验主导转变为数据主导，通过对传感数据开展实时分析和反馈，为建筑节能策略的动态优化提供精确根据，不断提高评估的精准度。

四、新型传感技术应用的挑战与发展趋势

（一）技术应用中的主要挑战

1. 环境适应性与数据安全问题

新兴传感技术于建筑节能检测时遭遇环境适应性和数据安全两方面挑战。在环境适应能力方面，高温、高湿以及电磁干扰等要素容易造成传感器性能出现漂移，对数据的精准性与稳定性产生影响。特别是在大型公共建筑的多区域监测工作里，不同空间的温湿度差别以及建筑材料的信号屏蔽效应或许会使精度下降，提高能耗评估误差的风险^[9]。在数据安全领域，建筑能耗数据包含用户行为方式、运行状况等敏感内容，在传输和存储期间存在被窃取或者篡改的隐患，或许会造成评估失准以及信息外泄。在应对办法方面，对于环境适应性难题，要开展抗干扰传感器材料和结构的研发工作，通过自适应算法对偏差进行实时校准；针对数据安全问题，应当运用加密传输以及区块链技术来保障数据的完整性，建立分级访问机制以保护隐私信息，通过技术与管理的协同配合来进行优化，加强新型传感技术的可靠性和安全性。

2. 系统集成与运维难题

新兴传感技术应用遭遇系统集成和运维困境，是由于建筑系统的复杂性以及传感技术的多源性。不同厂家的传感器（像温湿度、能耗、空气质量等）通信协议和数据格式存在差异，使得跨设备交互以及系统集成面临难题，对数据采集的完整性和实时性产生影响；建筑环境的动态改变（如温度起伏、电磁干扰）还会进一步降低稳定性和精度。在运维领域，长时间部署容易受到灰尘、振动的干扰，从而导致故障发生率提高。人工进行巡检不仅效率低下，而且成本高昂，难以符合大规模网络的维护要求。解决途径包括：建立标准化的通信协议和数据接口，实现无缝整合；引入物联网技术搭建远程监控与故障预警体系，通过实时数据分析预估性能衰减情况，优化维护周期^[10]；运用模块化设计简化升级与替换流程，降低运维的复杂程度，进一步提高新型传感技术应用的可靠性和持续性。

（二）技术创新与未来发展方向

1. 智能传感器发展趋势

智能传感器于建筑节能检测领域正向着自适应、低能耗以及网络化方向深入发展。自适应特征通过内置算法实时调节传感参数（像动态优化采样频率），提高复杂场景中数据采集的精确性，解决传统传感器对多变工况适应能力欠佳的问题。低能耗设计运

用能量采集手段（像温差发电、光伏供电）和低功耗芯片整合，实现长期无需维护运行，减少运维成本与能源耗费。网络的发展通过物联网方案，搭建多节点传感网络，实现实时数据的传输与边缘计算，促进能耗数据的分布式处理和集中化管理，具备全域动态监测的能力。这种创新拓宽智能传感器的应用领域，为能效评估精准度的优化提供支持。未来会进一步整合人工智能和边缘智能技术，实现传感数据的智能分析与预判，促使建筑节能检测由被动监测向主动优化转型，提高建筑能源管理的智能化程度。

2. 大数据与物联网融合应用

大数据和物联网的结合正逐渐成为提高建筑能效评估精准度的重要途径。物联网通过布置多种类传感器，实现建筑能耗和环境参数的实时收集与传送，提供多方面、高频率的基础数据保障。大数据分析会对大量传感数据开展挖掘建模工作，识别出能耗的异常样式、优化用能的策略，比如通过机器学习搭建预测模型，精确预估不同工况时的能源需求，为节能改造提供决策参考。此融合打破传统检测里数据不连贯、分析单一化等局限，促使能效评估由静态朝动态、实时方向转变，建立起数据驱动的创新模式。未来随着5G和边缘计算的进步，物联网会实现更低时延、更高稳定性的传输，大数据分析也会融合人工智能加强能耗优化与故障诊断的能力，一同搭建更高效、精确的建筑节能检测与评估系统。

（三）行业规范与政策支持

1. 国内外标准与政策现状

在国内和国外，已经建立起建筑节能检测以及传感技术应用的多方面标准与政策方案。在国际领域，ISO 52016系列对能耗计量以及传感采集的要求予以明确，欧盟 ErP 指令对传感设备的能效等级进行强制规范，美国 ASHRAE 90.1 把无线传感网络列入节能设计指南。在国内《建筑节能工程施工质量验收标准》（GB 50411）明确温湿度等传感参数的检测办法，《绿色建筑评价标准》（GB/T 50378）把智能传感系统列为绿色建筑评价的主要指标，十四五规划促使新型传感技术在能耗监测里实现规模化运用。这些标准对设备性能以及数据采集流程进行规范，通过补贴、示范项目等激励手段来降低成本，引领行业朝着精准化、智能化的方向前行。不过部分细分领域（例如分布式光纤传感、物联网传感）的应用准则仍有待完善，从而符合新型技术的迅速迭代要求。

2. 政策推动下技术推广与应用

目前国家和地方政策（像《绿色建筑评价标准》《建筑节能与可再生能源利用通用规范》）已把传感技术归入建筑能效监测系统，为技术的推广提供制度方面的根据。但是当前政策大多着眼于宏观方面的要求，缺少针对新型传感技术（像分布式光纤传感、物联网智能传感器）的专门补贴以及准入规范，进一步引发成本障碍和合规性不明的问题。建议健全政策支撑体系：设立专门的研发资金，激励产学研共同攻克能效评估算法优化难题；拟定传感设备性能认证准则，清楚采集精度、传输稳定性等技术参数，促使检测机构优先选用符合标准的新型装置。建立跨部门协作机制，把传感数据列为能效标识以及补贴申请的主要根据，通

过政策引导来降低技术应用的门槛，加快新型传感技术在建筑节能检测里的大规模推广，提高能效评估的精准度与工程应用的效率。

五、总结

新兴传感技术凭借高精度、即时性以及多参数监测的长处，大幅提高建筑能耗数据收集的品质，为能效评价提供可靠的支持。但是应用仍然面临着布置成本大、复杂环境下信号受干

扰、数据处理算法适配度不够等难题，对大规模推广形成制约。能效评估精准度优化可通过多传感器数据整合、边缘计算与人工智能算法融合、动态校准模型等技术途径，降低环境因素干扰，提高结果可信度。未来需专注于低投入、高稳定度传感设备的研发工作，促进传感技术和建筑信息模型（BIM）的深度结合，同时健全行业标准以及检测规程，保障技术应用的统一规范。加强创新研发与规范建立，是打破当下困境、提高节能检测水准的要点，对促进建筑节能工程高品质发展具备重要价值。

参考文献

- [1] 贾明鑫. 风电机组能效评估方法研究及应用 [D]. 北京：华北电力大学（北京），2022.
- [2] 林佩莹. 无线传感器网络能效优化算法研究 [D]. 北京：华北电力大学（北京），2023.
- [3] 田盛凯. 水下传感器网络的跟踪能效优化研究 [D]. 江苏：江苏科技大学，2023.
- [4] 曾伟健. 无线传感器网络的新型虚拟骨干与能效路由研究 [D]. 广西：广西大学，2023.
- [5] 张真. 柔性互联配电网的能效评估及运行优化策略 [D]. 广东：华南理工大学，2022.
- [6] 于煜坤，吴宏亮，吕浩军，等. 凝汽器在线能效评估方法在电厂中的应用 [J]. 节能，2022，41(11):64-67.
- [7] 严伟，李相渝，陈俊，等. 海上油气工程微能系统的能效评估与优化运行 [J]. 电力自动化设备，2022(009):042.
- [8] 杨靖. 既有建筑节能改造工程建筑能效测评研究 [J]. 砖瓦世界，2022(24):211-213.
- [9] 梁斌. 建筑节能环保材料在工程中的应用及检测要点研究 [J]. 中国建筑装饰装修，2024(9):90-92.
- [10] 孔令俊. 建筑节能环保材料在工程中的应用及检测要求 [J]. 砖瓦世界，2023(21):112-115.