

工地能耗物联网实时监测技术应用研究

葛光杰, 方献林

供销粮油武汉有限公司, 湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/ERA.2026030019

摘 要 : 伴随建筑业绿色低碳转型持续加深, 施工现场能源消耗管理已变成增强工程生态友好性的重要抓手, 依赖物联网实时感知技术, 可对施工全周期用能状况开展动态采集、即时回传与智能解析, 为精细化能耗管控给出坚实技术保障。本文选取典型工程项目为实例, 深度剖析工地能耗物联网监测体系的核心模块、现场落地过程中的主要技术瓶颈及相应工艺改良方案, 凭借技术集成应用跟施工方法迭代升级, 有效增进大型用能设备的监控精度与管理效能, 为建筑领域节能管理实践给出切实可行的技术范式跟实操参照。

关 键 词 : 工地能耗; 物联网监测; 实时管控

Research on the Application of Real-Time Monitoring Technology for Internet of Things in Construction Site Energy Consumption

Ge Guangjie, Fang Xianlin

Gongxiao Grain and Oil Wuhan Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430000

Abstract : With the continuous deepening of the green and low-carbon transformation in the construction industry, energy consumption management at construction sites has become a crucial aspect of enhancing the ecological friendliness of projects. Relying on real-time sensing technology of the Internet of Things (IoT), dynamic collection, instantaneous transmission, and intelligent analysis of energy consumption throughout the entire construction cycle can be achieved, providing solid technical support for refined energy consumption control. This paper selects a typical engineering project as an example to conduct an in-depth analysis of the core modules of the IoT-based monitoring system for construction site energy consumption, the main technical bottlenecks encountered during on-site implementation, and corresponding process improvement solutions. Through the integrated application of technologies and iterative upgrades of construction methods, the monitoring accuracy and management efficiency of large energy-consuming equipment are effectively enhanced, offering practical technical paradigms and operational references for energy conservation management practices in the construction field.

Keywords : construction site energy consumption; IoT monitoring; real-time control

引言

建筑施工阶段的能源消耗在全生命周期中占比较高, 且形式多样、管理难度大, 传统管理方式多靠着人工统计, 存在数据延迟、准确度低及包含不全等缺陷, 比较难契合绿色施工与节能监管的实际要求, 物联网技术依赖其感知、传输跟处理的全流程优势, 在工地能耗监测中的应用越来越深度, 可对电能、水能、燃油等多种能源实现准确实时监控。本文依赖某工程项目, 开展工地能耗物联网实时监测技术的应用研究, 着重剖析其核心技术组成及工程实行中的核心瓶颈, 并提出相应的工法改良方案, 以加强工地能耗管理的智能化跟精细化水平, 助推绿色施工技术的实际应用, 为类似工程给予技术参照。

一、工程概况

本工程系规模宏大的住宅集群建设项目, 总占地规模达28.6万平方米, 包含12座高层住宅、3座附属商业楼宇及1处地下停车设施, 项目整体建设历时36个月, 施工高峰阶段现场在岗人员近850名, 投入大型施工装备42台(套), 含塔吊8台、人货两用梯6台、混凝土泵送设备4台、柴油发电机组2台, 以及数量可观

的中小型电动机具。工程施工中的能源消耗主要囊括电力、柴油跟自来水三类, 电力主要用于驱动施工机械、现场照明及临时办公; 柴油主要供应塔式起重机与柴油发电机等大型装备, 自来水则用于混凝土养护、降尘及生活需求, 为实现准确能耗管理, 项目引入物联网实时监测技术, 搭建包含全工地的能耗监控网络, 对各类用能数据实行动态采集与分析。工程场地地形平缓, 施工区有多栋在建建筑, 对监测信号传输造成一定遮挡, 加之现场大

型设备启停频繁，易引发电磁干扰，影响监测系统稳定运行。

二、能耗物联网实时监测核心技术架构

(一) 感知层传感器选型配置

感知层构成能耗信息获取的根基，关键在于依据实际需求专业遴选并部署各类能耗监测装置，针对该工程的详细用能特征，电能计量使用三相电子式多功能电能表，其计量准确度达0.5S级，额定电压测量区间为0至400伏，额定电流包含0至600安，具备RS-485通信功能，可实时获取电压、电流、有功功率及累计电能等核心参数。柴油能耗监测使用容积式流量传感器，精度达±0.5%，量程为0-50L/min，有着抗振跟耐高压性能，适用于柴油发电机、混凝土输送泵等设备的燃油管路，自来水能耗监测则选用2级精度超声波水表，量程0-100m³/h，非接触式测流，规避了传统机械水表的磨损缺陷。传感器布设点位依据现场施工总平面图统筹规划：电能表嵌入各作业区临时配电箱，燃油流量传感器串接于机械燃油输送管道；超声波水表则设置于主供水管网的核心支路节点，以保障各类能源消耗数据的全域采集与准确监控。

(二) 传输层通信网络构建

传输层负责将感知层采集的信息传送至平台层，依据某工程现场实际条件，建立了“LoRa跟4G协同”的复合通信体系，LoRa使用扩频调制机制，有着包含范围广、抗扰性能优、能耗水平低等优势，适用于工地场景中广域分布、低频次的的回传，典型通信半径为3至5公里，工作频段位于470-510MHz，且信号可有效穿透施工中建筑墙体等遮挡物。在工地临边地带及无线信号欠佳区域，部署LoRa中继设备以扩展通信覆盖范围，其传输速率介于1200至9600bps之间，支持多跳数据转发，监测信息借助工业级全网通4G DTU模块上传至云端监管平台，理论下行速率超100Mbps，并具备断点续传能力，保障数据回传的可靠性和持续性。传输网络实行分层架构设计，感知层传感器经由RS-485接口接入LoRa终端，后者对采集数据实行整合，并借助4G DTU模块将信息传送至监控平台，建立起“传感器→LoRa终端→4G DTU→监控平台”的端到端通信途径。

(三) 应用层功能模块实现

应用层为用户集成能耗监测与调控服务，周密对接工程施工管理实际需求，包含实时追踪、统计解析、异常告警及报告编制四项核心能力，实时追踪模块依赖可视化界面动态表现各测点能耗信息，借助柱状图、折线图等等图表清晰折射变化规律，并支持按地理分区、设备类别及时间粒度灵活筛选。统计解析模块可自动汇总累计量、均值、极值等指标，横向对比不同施工周期的能耗表现，准确定位高耗能时段与重点用能设备，系统依赖预设的能耗警戒线实行异常告警，一旦实测数值突破该界限，即刻经由短信通知及平台界面提示双通道发布预警，全程响应时长严格控制在5秒以内；报表模块可按需生成标准化能耗分析报告，其格式完全契合《建筑工程绿色施工评价标准》规范，满足项目能耗绩效评估与审核需求。表1数据显示，所选传感器均有着优异的测量准确度与匹配的测量范围，可以满足该工程对各类能耗的监测要求，其中，0.5S级三相电子式多功能电能表可保障电能数据的精确获取，容积式流量传感器凭借抗振性能适应施工现场杂工况，超声波水表使用非接触式测量有效延长设备寿命，且所有传

感器均配备RS-485通信接口，便于与传输层设备实现兼容连接。

表1 某工程能耗监测感知层传感器技术参数表

传感器类型	测量精度	测量范围	通信接口	适配能耗类型	安装位置
三相电子式多功能电能表	0.5S级	电压 0-400V；电 流0-600A	RS-485	电能	各区域临时配电箱
容积式流量传感器	±0.5%	0-50L/min	RS-485	柴油	设备燃油供给管路
超声波水表	2级	0-100m ³ /h	RS-485	自来水	主要供水管路分支处

三、能耗监测技术工程实施技术难题

(一) 传感器安装环境适应性不足

某工程项目执行期间，传感器对现场安装条件的适应能力偏弱，临时配电箱内部空间局促，强电线路密集，让三相电子式多功能电能表易受电磁干扰，部分采集数据发生波动，峰值偏差达5%，柴油动力设备燃油管路振动强烈，容积式流量传感器受其影响，振动经管路传导至传感元件，削弱测量准确性；尤其在混凝土输送泵运行工况下，振动频段集中于15-20Hz，造成燃油消耗量监测值显著失真。施工场地供水系统压力波动显著，早、晚用水高峰时段压力峰值达1.2MPa，超过超声波水表允许工作压力上限，引发仪表渗水故障，干扰计量监测作业，除了上述所说，现场扬尘浓度偏高，让传感器表面积聚大量颗粒物，遮蔽重点检测部件，加重测量误差。

(二) 传输网络信号穿透性差

信号穿透能力不足是影响监测数据可靠传输的重点瓶颈，该工程现场分布着多座正在建设的楼宇，其主体使用高密度钢筋混凝土框架体系，显著削弱LoRa无线信号强度，在楼宇内部及相邻楼宇间，信号覆盖范围急剧收窄至50米以内，让数据不容易稳定回传。除了上述内容以外，现场密集部署的塔吊、施工电梯等大型金属构架设备更进一步造成电磁遮蔽，激化局部区域信号衰减跟盲区形成，地下车库深度达3米，4G信号显著减弱，强度仅相当于地表的三成，让能耗数据上传滞后，最久延迟30秒；另外，现场电气设备运行引发的电磁干扰亦影响通信质量，造成数据丢失，最高丢包率可达8%。

(三) 海量数据处理实时性不足

监测点规模扩大后，海量数据的实时处理能力明显受限，某项目布设120处监测终端，每10秒采集一次信息，单日生成数据逾103.68万条，目前系统依赖云端集中式架构实行接收跟运算，峰值时段服务器负载过高，响应延迟逾10秒，比较难支撑能耗指标的即时解析与闭环反馈。施工现场偶现异常数据，譬如传感器失灵引发的突变值、通信链路引入的误码等，目前过滤机制仅可识别显著越限的离群点，不容易准确辨识微幅异常波动，让部分冗余数据混入分析流程，挤占系统计算资源，进而削弱整体处理效能。

(四) 监测系统与施工工序协同性差

监测系统跟施工流程协同不足，削弱了监测的连续性与完整性，某工程工序繁杂，各阶段所用能耗设备类型及运行状态差异显著，而监测参数没能及时匹配工序变动，主体结构施工期间，塔式起重机、混凝土输送泵等设备高频运转，能耗激增，但系统

依旧沿用基础施工阶段的能耗阈值，让异常预警误报频发，误报率高达12%。装饰装修阶段施工区域划分更趋细化，既有监测点覆盖范围不容易顾及新增作业面的能耗监控需求，形成监测空白区；同时，现场设备频繁挪移、管线调整等作业易致传感器及传输装置遭受撞击或损毁，让系统局部功能异常，月均发生3至5起设备故障，严重干扰数据采集的连续性。

四、能耗监测技术工法优化策略

（一）传感器安装工法优化

为增强传感器在繁复环境中的适配能力，从固定结构与防护方针两方面开展工艺精进，针对三相电子式多功能电能表，实行电磁屏蔽安装工艺：外部加设镀锌钢板屏蔽罩（厚度2mm），接地电阻严格控制于4Ω以内，有效抑制强电线路电磁干扰，同时，在临时配电箱内预留专用安装位，尺寸不小于200mm×150mm×100mm，保障电表跟强电导线间距≥10cm。针对容积式流量传感器，实行减振安装工艺：在传感器与燃油管路间设置刚度5-8 N/mm、阻尼比0.2-0.3的橡胶隔振接头，以高效衰减管路振动；同时于传感器支撑架底端配置弹簧隔振装置，显著削弱振动传递效应。超声波水表施工中应用压力调控工艺：前端配置额定压力1.6MPa、可调区间0.1-1.2MPa的减压装置，保障其运行压力处于规范限值内；接口部位加装密封垫圈以杜绝泄漏，传感器须每月清灰保养，维持测量部件性能稳定。

（二）传输网络增强工法优化

为改良传输网络信号穿透力不足的状况，实行“中继节点部署+信号强化”协同改良方略，于在建楼宇间的信号弱包含区域及建筑内部，专业配置LoRa中继设备，使用壁挂方式安装，高度设定为3至5米，相邻设备间距不超过300米，建立无缝衔接的信号包含体系。针对钢筋混凝土结构引发的信号衰减，在墙体预设专用传输途径，内穿低损耗同轴电缆，其衰减率控制在0.5分贝每百米以内，显著增强信号越障能力，在地下车库区域部署4G信号增强装置，使用分布式天线系统，将天线布设于车库顶部，间隔20米，使室内4G信号强度达到地面水平的80%以上，有效减少数据传输时延。同时改良传输设备通信频段，将LoRa工作频率调整至490MHz，以规避施工电气设备产生的电磁干扰，显著减少数据丢包率，经改良后，LoRa通信包含距离超1000米，4G传输时延低于5秒，数据丢包率不足1%。

（三）数据处理机制优化

为解决大规模数据实时处理能力欠缺的考验，设计“边缘计算跟云平台协同”的数据处理架构，现场布设工业级嵌入式边缘节点，搭载Intel Core i7-8700 CPU、16GB内存及512GB固态硬盘，

边缘计算节点接收感知层传来的原始信息，在本地实时执行解析、校验及筛选操作，使用改良后的卡尔曼滤波方法剔除异常值，该方法凭借自适应调节增益系数，显著增强对微小异常波动的辨识能力，使异常识别准确率突破95%。处理后的高质量数据经由4G网络传送至云端平台，后者承担数据归档、统计建模与可视化报表输出等重点任务，使用分布式数据库架构，将信息分散部署于若干服务器节点，显著增强数据存取及检索效能，处理响应时延压缩至3秒内；同时实行任务分级调度机制，赋予实时告警信息最高执行优先级，保障能耗异常状况可以迅速识别与响应。

（四）监测系统协同工法优化

针对监测体系同施工流程匹配度不足的现状，建立监测体系随施工阶段动态改良的协同方法，施工筹备期，依据工程进度安排，编制监测参数动态调控方案，依据各阶段用能特征，预先设定能耗警戒值、数据采集频次等指标，主体结构施工期间，塔吊、混凝土泵车等大型机械的能耗警戒值上调30%，数据采集间隔缩短至5秒；装饰装修阶段，则下调大型设备警戒值，同步加强手持式电动工具的监测权重。借助部署便携式移动监测终端补充监测空白区域，该终端内置大容量电池，连续工作时长不少于8小时，兼容LoRa跟4G双通信制式，可随施工场地动态迁移布设，同步建立常态化巡检维保机制，由专职技术员每周开展全包含检查，重点核查传感器、数据传输单元的安装稳固性、运行效能及网络连通性，保证故障早识别、快处置。经实行上述改良方针，监测系统同施工流程的配合度明显增强，异常报警误触发比例降至2%以内，单月设备故障频次稳定控制在1次以下。

五、结语

本研究依赖详细工程项目，系统考察了施工现场能源消耗物联网实时监控技术的实行途径，依据对其重点体系架构的解析，厘清了感知、传输、平台及应用四层结构中的核心技术指标跟部署规范，针对工程建设中传感器安装环境适配性欠佳、通信网络信号穿透能力薄弱、大数据分析实时响应滞后、监测平台跟施工流程匹配度不高等技术瓶颈，建立了包含传感器布设工艺改良、通信链路强化、数据分析机制升级及系统协同管控改良的融合解决方案。实际应用证实，精进后的能耗物联网动态监测技术可对施工现场多类能源消耗实行高精度、高稳定性跟踪，显著增强能耗管理的智慧化程度，该成果为施工现场能耗物联网实时监控技术的落地实行给予了可靠的技术方案与工艺参照，有利于助推建筑工程绿色建造能力升级，削减施工期能源消耗，助力行业绿色低碳转型；后续可加强监测信息与进度管理、成本控制的协同应用，增强能耗管控的整体效能。

参考文献

- [1] 卢朋, 邓凯, 王榕博, 等. 基于物联网技术的火电厂设备实时监测研究 [J]. 智能物联技术, 2025, 57(06): 38-41. DOI: 10.26921/j.cnki.2096-6059.2025.06.009.
- [2] 王阳, 胡美臣, 邓骞帆, 等. 基于物联网技术的智慧农业灌溉系统的设计与实现 [J]. 南方农机, 2025, 56(23): 46-49.
- [3] 汤轩哲, 吴有龙, 张威, 等. 新能源汽车智能车位管理与自主充电系统 [J]. 物联网技术, 2025, 15(23): 59-61. DOI: 10.16667/j.issn.2095-1302.2025.23.012.
- [4] 盛连才. 物联网传感器在建筑设备实时监测系统中的数据融合技术 [J]. 信息系统工程, 2025, (11): 20-23.
- [5] 陈重辰, 区永通, 徐键, 等. 基于物联网的电力设备监测管理运行方法设计 [J]. 粘接, 2025, 52(11): 280-283.