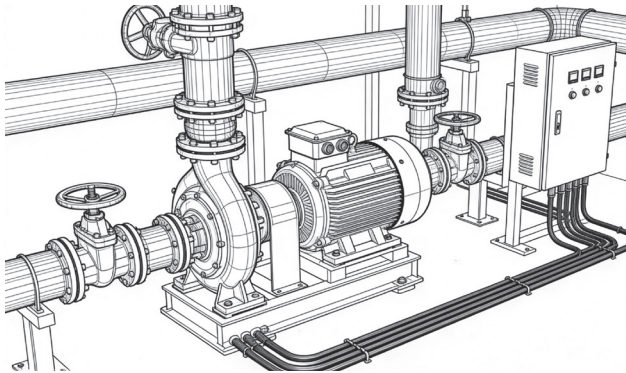


面向工程现场的机电安装设备能效数据监测机制

文 | 孙风正 赵俊杰 付洪盛

建筑业能耗在整体能耗中的占比一直持续攀升，现场机电系统的能效管控对于节能减排非常重要。传统人工巡检的方式存在数据滞后及精度不足等问题，难以适应复杂工况与多样化设备的监测需求。数字孪生、物联网及大数据等技术为智能监测提供了技术支撑，当下亟须建立起系统化的能效监测体系。



(配图由 AI 生成)

机电设备能效数据监测机制的理论基础

机电设备能效监测机制依据系统论与控制论建立，它把设备的运行情况和能源消耗进行统一管理。其核心要点在于打破各个“数据孤岛”，构建起一条从感知层面到决策层面的完整信息链，以此实现对能效的动态感知及精准调控。

能效数据监测的理论支撑与技术演进

能效监测基于能量守恒和热力学原理展开，通过量化能源输入输出情况评估效率。从系统论角度把设备看作能量转换单元，需要把握设备之间的能量流动与耦合特性，在控制论范畴内，监测数据会形成反馈闭环来驱动能效优化决策。技术发展历程是从离散走向连续、由人工转向智能，早期依靠人工读数很难捕捉设备运行波动。传感器技术能够实现对数据的连续采集，物联网促进了设备之间的互联互通，边缘计算可支持数据实时处理，人工智能挖掘出能效相关规律。当前数字孪生技术建立起虚实映射关系，同步呈现物理设备运行状态，为预测性维护和优化控制开辟了新路径。

面向工程现场的智能监测体系构建

工程现场因为有特殊性和复杂性，所以要求监测系统具备高度适应性，施工环境存在的粉尘、振动、温差等因素，需要感知设备具备工业级防护能力，设备布局具有临时性与流动性的特点，推动了无线组网方面的需求。智能监测体系采用分层架构模式，感知层部署耐候型传感器节点，覆盖空调、照明、动力等各类设备，并采集电压、电流、功率因数等参数。网络层结合有线与无线传输的方式，让固定设备通过以太网接入、移动设备借助低功耗广域网实现灵活连接。平台层使用时序数据库存储监测信息，边缘服务器在数据源端完成预处理，降低网络负载并提升响应速度。应用层提供可视

化界面，方便管理人员通过移动终端实时查看设备能效状态，以及系统基于阈值规则自动触发的异常告警。

面向工程现场的能效数据全流程监测机制

从设备到决策端构建起贯穿数据全生命周期的监测体系，该体系能确保数据采集完整、实时传输及智能分析。融合多项技术解决现场监测过程中遇到的难题，把碎片化的能耗数据转化成可实际落地的管理依据。

机电设备能效数据的智能采集体系

为了应对工程现场设备多样、接口各异的挑战，智能采集体系专门设计了兼容性方案。暖通空调系统依托嵌入式智能电表，采集功率、电流、电压等电气运行参数，还配合温湿度传感器监测环境数据，通过这两类数据交叉判断设备运行状况。给排水系统借助超声波流量计与压力变送器组合，精确计量水泵能耗与管网压力的变化情况。照明系统依靠光照度传感器实现按需供电，塔吊、施工电梯等大型机械则加装无线电能监测模块，以避免布线施工产生干扰。对于没有通信接口的老旧设备，非侵入式电流互感器可提供能耗数据采集渠道，采样频率依据设备特性进行动态设定。核心耗能设备采用秒级采样捕捉瞬时波动，辅助设施采用分钟级采样平衡精度与存储成本，移动作业设备采用触发式采集记录关键工况节点。

能效数据的实时传输与融合路径

数据传输路径采用边缘处理和云端汇聚的架构，现场边缘网关负责协议转换工作，把多种工业协议统一成标准格式来解决异构设备互联问题。边缘节点会对原始数据开展清洗操作，滤除传感器故障所产生的异常值，并通过数据压缩

算法降低传输负荷。固定设备借助千兆以太网实现毫秒级数据上传，户外区域利用 5G 网络保障移动设备顺利接入，偏远地区采用低功耗广域网进行有效覆盖。云平台接收数据后，开展多源融合处理，关联电能、气象及施工进度数据来识别能耗波动成因。时序数据库按照设备类别和时间维度建立索引，以此支撑快速查询与深度分析相关工作，分布式存储架构用于应对数据量持续增长的扩展需求。

基于大数据的能效分析与评价方法

通过大数据分析能够从历史数据中挖掘出能效规律，聚类算法会把设备运行模式归类成高效、正常、低效三类典型工况，并且识别出偏离正常范围的异常状态。时间序列分析揭示了能耗随昼夜、季节变化的周期性规律，为优化排班调度提供依据，关联规则分析发现，空调系统与新风机组协同运行时，能效显著高于各自单独运行。评价方法采用多层次指标体系，总量指标可反映整体能耗规模，强度指标以单位建筑面积能耗和单位产值能耗来衡量利用效率，设备级指标关注负荷率、能效比等运行参数。机器学习模型基于温度、湿度、施工负荷等特征预测能耗趋势，可提前预警异常风险，神经网络通过能耗曲线异常波动预判设备故障征兆。

机电设备能效监测机制的优化与保障

监测机制要实现有效运行，需要技术和管理共同给予支持。优化工作要贯穿监测机制运行的整个过程，借助智能技术来提升监测的精度，构建安全体系来保障数据的可信度，通过不断迭代更新，使其能够适应现场的变化情况，最终形成技术与管理双轮驱动的良好局面。

监测机制的智能化技术保障体系

数字孪生技术能够建立起物理与数字空间的实时映射关系，使机电设备运行状态在虚拟环境里实现同步。管理人员借助三维可视化界面，可直观查看设备布局、能耗热力及运行状况等数据。实时监测数据驱动虚拟设备运行，当物理设备出现能效异常情况时，数字模型会同步反馈故障特征，辅助快速定位问题。人工智能算法深度融入到监测流程中，深度学习网络基于历史运行数据、天气预报及施工计划等维度构建能耗预测模型。强化学习算法则探索最优运行策略，在保障施工需求的同时，实现能效最大化。边缘智能芯片部署于现场网关之处，赋予设备本地决策能力，当监测值达到预警阈值的时候，无须云端指令就可自主启动应急响应。

数据安全与质量保障策略

为了保障数据安全，专门构建了多层次防护体系，在数据传输过程中，加密隧道技术可确保数据在网络传递时的保密性。在存储环节，访问控制机制按不同角色划分数据读写权限，以杜绝未经授权访问与越权操作。引入区块链技术后，

能效数据经上链处理，形成无法篡改的时间戳记录，让监管部门、业主方及施工方等多方可共享账本信息，提升数据可信度。数据质量管控覆盖从采集到应用的完整流程，且传感器校准周期依据设备精度动态调整，高精度仪表每季度校验一次，常规设备每半年检测一次。异常值识别通过统计检验与专家规则相结合，既能过滤设备故障引发的异常数据，又能保留真实极端工况的记录。当数据完整性检查发现缺失值时，短期断点采用线性插值补充，长期数据缺失则留空标记，以避免误导分析。

监测机制的动态优化与迭代

监测策略根据工程进展情况进行动态调整和优化，在初期施工时，主要以桩机、搅拌站等设备能耗为主，重点对动力与用水情况进行监测。在主体阶段，塔吊、电梯能耗占比有所上升，需要增加对其能耗的监测频次。在装饰阶段，照明及小型电动工具使用数量增多，相应扩大能耗数据的采集范围。同时会将季节因素纳入考量范围，在夏季空调制冷负荷加大时加强能耗监测，在冬季采暖期则侧重对供热设备能效进行跟踪。用户反馈能够推动监测界面进行迭代更新，管理人员的需求可以通过敏捷开发方式快速实现，新增能耗对比、排名竞赛等功能有助于提升人员节能积极性。技术的进步会持续强化能耗监测能力，新型传感器上线后，要评估性价比，再决定替换方案，云计算升级时，要测试兼容性以保障迁移过程顺畅，前沿算法成熟后，要经过试点验证再进行全面推广。

结束语

面向工程现场的机电安装设备能效数据监测体系，依靠理论框架搭建、全流程方案设计及优化策略落地，达成了能效管理从粗放式到精细化、从滞后响应到实时掌控、从独立运作到协同优化的跨越。数字孪生技术搭建起物理设备与虚拟模型之间的交互桥梁，边缘智能增强了数据处理的效能，大数据分析揭示出能效优化的潜在空间，为工程现场的能效管控开创了全新思路。未来，要拓展人工智能在故障预警、负荷调节等领域的深度应用，研究区块链技术以确保数据的安全共享，推动监测体系朝着智能化、平台化的方向发展。

作者简介：孙风正 山东能源集团建工集团有限公司

赵俊杰 山西和顺天池能源有限责任公司

付洪盛 山东能源集团建工集团有限公司

责任编辑：杨佳宇 投稿邮箱：zhouhl@staff.ccidnet.com