

BIM+ 物联网技术在输变电工程智能检查中的应用

张 丽

(国网青海省电力公司建设公司, 青海 西宁 810008)

摘 要 针对输变电工程传统监理模式效率低、精度不足的问题, 本文提出基于 BIM+ 物联网技术的智能检查方案。通过构建“端—边—云”三层架构, 实现多源传感器数据的实时采集与预处理, 采用独热编码与光学畸变校正技术处理异构数据, 建立 BIM 模型与施工数据的动态关联机制。设计多层次监理规则库与智能检查系统, 形成“数据采集—规则检查—偏差预警—整改反馈”的闭环管理流程。实际应用表明, 该系统可将监理复核周期缩短至 18.4 天, 偏差识别精度达 0.2 mm, 显著提升了输变电工程的智能化管理水平。

关键词 BIM 技术; 物联网; 输变电工程; 智能监理; 数据融合

中图分类号: TM769; TU17; TP391.45 **文献标志码**: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.21.012

0 引言

输变电工程属于电力系统的重要基础设施, 其施工质量直接影响到电网能否安全稳定地运行。随着智能电网建设不断推进, 以往依靠人工巡检的监理模式已经无法适应大型复杂工程的质量控制需求, 存在不少问题, 如数据采集迟缓、检查标准不统一、难以追溯问题根源等。BIM 技术具有可视化建模的特点, 而物联网具备即时感知的能力, 这两者结合起来, 就能找到解决这些问题的办法。按照该技术融合方法, 构建输变电工程的智能检查系统, 利用多源数据整合并依靠智能规则执行验证, 实现对施工进程的实时观察和精确管理, 从而为输变电工程质量保障提供技术支持。

1 数据采集与预处理技术

1.1 多源传感器部署方案

在输变电工程施工过程中, 要随时监测设备安装精度和线路敷设质量, 依靠“端—边—云”架构形成的物联网数据采集体系能够实现全方位感知。在施工现场设置温度传感器、湿度传感器、电流传感器、电压传感器以及图像传感器等多种源头感知设备^[1]。这些传感器按照每 2 分钟一次的采样频率采集数据, 并通过物联网网关进行数据汇集。网关会在数据传送之前执行信号转换和噪声抑制处理, 利用 LoRa 和 ZigBee 低功耗广域网协议来传送数据, 最后通过 RS485 接口

上传到本地数据中心。这种部署方案可以实现对施工区域内温度、湿度、设备运行参数以及现场图像等大量数据的同步采集, 为后续的监理复查提供充足的数据支持。

1.2 异构数据处理方法

数值型数据和图像数据的特性存在差异, 所以要采取不同的处理策略。数值型数据采用独热编码法, 通过物联网网关状态寄存器对 12 个关键指标进行编码, 每个数据指标对应寄存器中的一个位, 其编码规则见表 1。依靠这种编码方式能够实现数据的快速查找和分类保存。至于图像数据, 则要采用光学畸变参数处理法, 解决因光照和色彩差异造成的画面不一致问题^[2]。先计算中心像素点邻域的均值和方差, 再按照灰度级数变换公式对图像进行匀光匀色处理, 使处理过的图像在色彩和亮度上一致, 从而为后面的图像分析提供优质的图像数据。

表 1 展示了输变电工程关键数据指标的独特编码规则, 通过 12 位二进制码实现 12 种数据类型的唯一标识, 便于后续数据检索与模型关联。

1.3 数据传输与存储架构

传感器采集到的原始数据经过网关预处理后, 会通过工业以太网传送到本地数据中心。利用分布式存储架构来实现海量数据的可靠保存。数据存储系统采用分层结构设计, 实时数据存入内存数据库, 以确保

作者简介: 张丽 (1998-), 女, 本科, 助理工程师, 研究方向: 输变电工程建设管理。

高并发访问的性能；历史数据则归档到关系型数据库中^[3]。为了保证数据的完整性，采用数据校验机制对传送过程中的数据包进行完整性校验，利用循环冗余校验算法来识别数据传输时产生的错误，并建立数据备份机制，每天进行增量备份，每周做一次全量备份，从而保障施工期间数据具有可追溯性。数据存储架构可按照时间戳、数据类型以及设备编号等诸多维度进行检索，为后续 BIM 模型关联和规则库核查提供高效的数据访问支撑。

表 1 数据指标编码表

数据指标	独热编码
变压器油温	000000000001
变压器绕组温度	000000000010
断路器触头温度	000000000100
隔离开关温度	000000001000
避雷器泄漏电流	000000010000
电容器电压	000000100000
电抗器电流	000001000000
母线电压	000010000000
线路电流	000100000000
杆塔倾斜角度	001000000000
绝缘子污秽度	010000000000
环境温度	100000000000

2 BIM 模型构建与数据集成方法

2.1 三维模型构建技术

按照骨架设计原理形成输变电工程三维模型，并用 Revit 软件来创建这个模型，把全局骨架当作最高层级的设计单元，给各个零件单元输送设计信息，依照构件特点和装配关系来做本层骨架的定位与定型。模型塑造过程包含三个阶段：第一，遵照设计图纸提取构件轮廓，参照基准以及空间布局之类的概念信息；第二，创建构件的参数化族库，界定构件的几何属性和关联关系^[4]；第三，利用从上层传递过来的设计信息去完成本层骨架模型的塑造。这种方法能够实现模型的参数化驱动，一旦设计参数有所改变，模型就会自动更新，从而保证设计信息的统一性。模型塑造流程见图 1，经由此流程可高效塑造包含杆塔、导线、绝缘子等关键构件的三维模型。

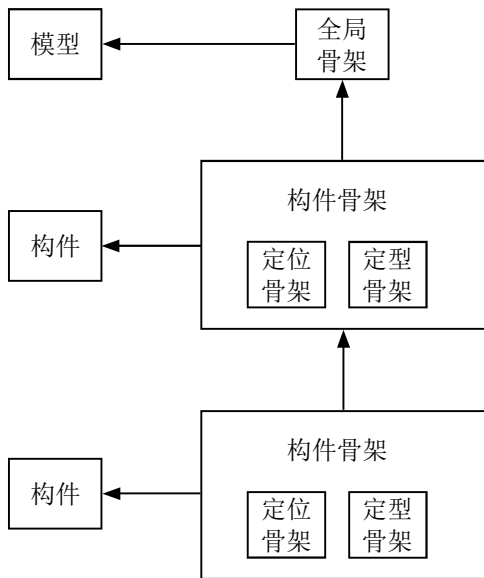


图 1 工程构件模型设计过程

2.2 坐标转换与系统集成

为实现施工数据与 BIM 模型的精准关联，需进行坐标系转换。将构建的 BIM 模型加载至具有局部笛卡尔空间映射关系的坐标系中，通过系统变换矩阵对模型进行坐标转换，转换公式如下：

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

式（1）中， θ 表示模型原始坐标系相对于笛卡尔坐标系旋转的角度， R 为变换矩阵。采用世界坐标系作为数据集成的统一坐标系，以坐标原点为集成样本的初始中心，通过坐标变换实现施工数据与 BIM 模型构件的动态关联^[5]。关联过程通过构建关联函数实现： $BM = (D, R) \{c1, c2, cM\}$ ，其中 D 表示施工过程的数值数据和图像数据集， cM 表示第 M 个构件的几何属性， BM 为构件与模型的关联函数。该方法可确保施工数据与模型构件的实时映射，实现模型的动态更新。

2.3 施工数据融合算法

基于 BIM 的工程数据集成技术通过物联网持续自动采集施工数据，以云计算平台为支撑实现数据管理。数据融合过程综合考虑模型碰撞区域的重叠体积、涉及构件的总体积、工程计划周期、施工任务数量及实际进度等多维度参数，融合算法表达式为：

$$X = \frac{\gamma}{P} \times \frac{\eta}{\varepsilon} \times \kappa \quad (2)$$

式（2）中， X 表示数据集成结果， γ 为模型碰撞区域的重叠体积， P 为涉及构件的总体积， η 为工程的计划周期， ε 为施工任务数量， κ 为实际进度。通过该

算法实现施工过程数据与BIM模型的深度融合,形成完整的工程信息模型。融合后的数据可支持施工进度模拟、质量检测及安全分析等多方面应用,为监理复核提供全面的信息支持。

3 智能监理规则库与系统实现

3.1 多层次规则库设计

利用Revit软件的Model Checker插件创建多层次监理复核规则库,把构件属性完整性检查、几何合规性检查当作基本检查项,结构安全专项检查、机电合规专项检查属于合成检查项^[6]。规则库采取四级分类体系,其中一级规则着眼于工程安全性,二级规则着重工程质量,三级规则提升施工效率,四级规则达成数据融合改善,经由Model Checker Configurator工具来编写规则库,该规则库包含项目整体情况、基础施工状况、杆塔组装情形(导线架设状况以及变电设备安装情况)等诸多方面,从而构建起完善的监理复核标准体系。

3.2 智能检查系统架构

智能监理复核系统采取“云—边—端”三层架构,边缘层置于施工现场,依靠物联网网关达成传感器数据的即时采集及预处理。云层依托Autodesk BIM 360平台形成,做到BIM模型的运作和规则库的核查,终端层给出Web和移动端应用,供监理人员随时查看复核结果,系统通过API接口完成物联网云平台和BIM 360平台的数据交换,并将处理过的施工数据与BIM模型相关联,按照规则库自动开展核查工作。

3.3 偏差识别与闭环管理

系统依靠多层次规则库来自动审查施工过程,从而做到智能识别偏差,一旦监测数据超出规则库所定阈值,系统就会自动发出警报,并确定偏差的位置,其偏差识别精度可达到0.2 mm这个级别。识别结果会及时更新到工程经营平台当中,进而形成“数据采集—规则检查—偏差预警—整改反馈”这样一种循环运作的流程,系统具备查询偏差历史数据以及执行趋势分析的能力,通过比较不同施工阶段的偏差数据,可以找出质量控制存在的不足之处,实际情况显示,这个系统能够将监理复查工作的历时始终控制在30天之内,平均下来只需要18.4天,极大地提高了监理的工作效率及管理水平,偏差识别的效果见图2,和传统方法相比,证实了该系统在识别准确度和稳定性方面确实存在一些优势。

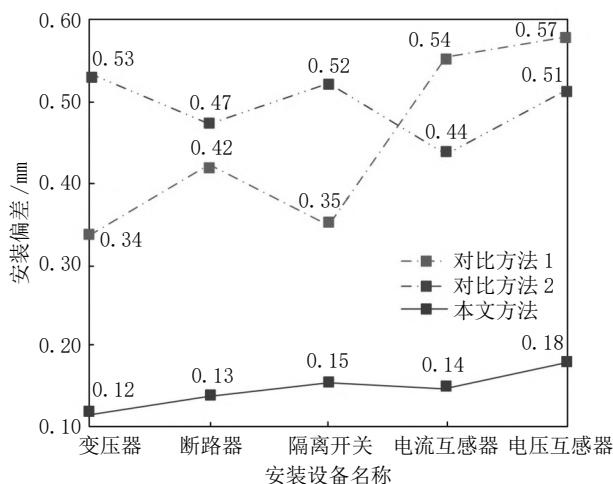


图2 工程偏差识别结果对比

4 结束语

本文形成了BIM+物联网技术相融合的智能检测体系,实现了对输变电工程施工过程各要素的全面感知以及精确控制。相关研究显示,依靠“端—边—云”架构的多源数据采集计划能够有效地支持施工数据的随时获取,独热编码加上光学畸变校正技术保证了异构数据得到标准化处理,多层次的规则库和循环管理机制优化了监理工作的智能化水平。在实际应用时,该系统将监理复查的时间缩减到18.4天,偏差识别的准确度达到0.2 mm,这证实了技术方案具有可行性和优势。未来可进一步探究AI算法在偏差预测和风险提示方面的作用,推动输变电工程智能建造朝着积极防范的方向发展。

参考文献:

- [1] 袁斌华.物联网技术在输变电设备资产管理与优化决策中的作用[J].财富时代,2025(09):47.
- [2] 袁斌华.物联网技术在输变电设备预防性维护管理中的应用[J].财富时代,2025(10):84.
- [3] 贾伟,吴旭,王磊,等.面向输变电一次设备的启动方案优化与校核算法[J].电子设计工程,2026,34(07):192-196.
- [4] 华雪莹,姚为方,徐鹏,等.物联网技术在输变电工程水土流失监测中的应用[J].科技与创新,2024(04):166-169.
- [5] 方舟,沈丽娜.物联网技术在输变电设备状态监测中的应用[J].智能城市,2020,06(10):57-58.
- [6] 李海钢,刘阳.基于数字孪生映射的电力系统输变电设备运行监测[J].机电技术,2025(06):99-103,116.