

# Research on the key points of intelligent construction technology of power transmission and transformation project construction

Chunyang Zhu

Puyang Sanyuan Construction Engineering Co., Ltd., Puyang, Henan, 457000, China

## Abstract

Under the background of accelerating energy structure transformation, the construction of power transmission and transformation projects faces many practical challenges, such as the construction of complex terrain, the accuracy of equipment installation to be improved, and various problems faced by multi-professional collaborative operation. Intelligent construction technology is penetrating from the state of being only limited to a single point of application to the direction of running through the whole process, and its core value is to build a closed-loop management system driven by data. From the point of the current industry practice, intelligent technology in the application process presents the obvious characteristics of fragmentation, so this paper focuses on intelligent construction technology in the systematic application of power transmission and transformation engineering, the purpose is to explore the coupling relationship between technical elements and integration path, for the construction of the new power system to give corresponding technical support.

## Keywords

power transmission and transformation project; intelligent construction; key technical points; engineering construction

# 输变电工程建设智能施工技术要点研究

朱春阳

濮阳市三源建设工程有限公司, 中国·河南濮阳 457000

## 摘要

能源结构转型加速推进背景下, 输变电工程建设面临诸多现实挑战, 如复杂地形施工方面、设备安装精度有待提升, 以及多专业协同作业时所面临的种种问题。智能施工技术正从仅仅局限于单点应用的状态向着贯穿全流程的方向渗透, 而其核心价值在于构建一个由数据来驱动的闭环管理体系。从当前行业实践来看, 智能技术在应用过程中呈现出碎片化的明显特征, 因此本文聚焦于智能施工技术在输变电工程的系统性应用上, 目的在于深入探索在技术要素之间所存在的耦合关系以及集成路径, 进而为新型电力系统的建设给予相应的技术支撑。

## 关键词

输变电工程; 智能施工; 技术要点; 工程建设

## 1 引言

作为能源输送物理载体的输变电工程, 其施工质量对电网运行可靠性及能源配置效率有着直接的影响。在新型电力系统建设需求的驱动之下, 对于高精度设备安装、复杂环境作业等新要求, 传统粗放型施工模式已然难以满足。智能施工技术的引入并非简单替代人工操作, 而是通过人机协作重构施工工艺流程。现有研究多侧重单项技术开发, 缺乏对技术体系协同机制的深入探讨。文章将无人机、机器人、BIM 等技术当作共生要素, 运用技术生态学分析框架, 着

重对它们在施工场景当中的功能互补关系展开解析<sup>[1]</sup>。

## 2 输变电工程建设中智能施工技术的要点

### 2.1 无人机技术在输变电工程中的应用

线路巡检环节搭载高精度摄像模块与红外热成像仪的无人机系统可自主规划航线, 实时捕捉杆塔绝缘子表面污秽分布或导线连接点异常温升, 同步生成地理坐标绑定的缺陷图谱供运维人员精准定位隐患点。复杂地形勘测任务中, 配备激光雷达与倾斜摄影装备的飞行平台通过三维点云建模重构施工区域地貌特征, 为铁塔基础选址避开地质断层或滑坡风险带提供空间数据支撑, 技术人员可基于厘米级精度模型模拟不同工况下的结构受力状态。施工阶段无人机群协同作业模式显著提升物料运输效率, 尤其在跨越峡谷或密林区域时, 大载机型通过预设索道完成导引绳牵引架线, 规避

【作者简介】朱春阳(1987-), 男, 中国河南信阳人, 工程师, 从事输变电工程建设智能施工技术要点研究。

传统人力展放的安全风险。环境监测方面，低空飞行的无人机搭载多光谱传感器动态追踪施工扰动范围，结合植被指数分析评估水土保持措施有效性，确保工程生态影响始终处于可控阈值<sup>[2,3]</sup>。

## 2.2 机器人技术在输变电工程中的应用

机器人技术在输变电工程中的应用已从单一工序辅助向全场景渗透转型，其核心价值在于突破高危环境与精密操作的双重限制。自主巡检机器人搭载多光谱传感器与 SLAM 定位算法，沿架空线路或变电站设备进行毫米级精度扫描，可同步识别金具锈蚀、绝缘子裂纹等细微缺陷，相较传统望远镜目检显著提升缺陷定位效率。在架空线路施工环节，双臂协作机器人配合高精度力反馈系统，能够在电磁干扰环境下完成引流板螺栓紧固、间隔棒安装等高空精细化作业，避免人工登塔存在的安全风险。针对 GIS 设备对接安装工艺，六轴机械臂集成激光跟踪仪与自适应夹爪，通过实时解算法兰盘三维坐标自动修正位姿偏差，确保母线管轴线对中度误差控制在 0.2 毫米以内。地下电缆隧道施工中，具备自主导航能力的履带式机器人携带三维探地雷达，沿预设路径探测

管廊周边地质异常体，其多传感器融合系统可构建地下结构数字模型，为顶管施工路径优化提供决策依据。

## 2.3 大数据与人工智能在施工管理中的应用

大数据与人工智能的深度融合重构了输变电工程管理的决策范式（详见图 1），施工全流程产生的海量数据经分布式计算框架清洗后形成多维度特征矩阵，风险预测模型依托历史施工数据挖掘地质条件与设备故障间的隐性关联，提前识别杆塔组立阶段可能出现的软土地基沉降或强风区结构失稳隐患。资源调度策略基于动态规划算法模拟不同施工场景下的机械组合与人力配比，结合气象卫星实时数据动态调整混凝土浇筑与架线作业窗口期，避免雨季导致的关键路径延误。施工现场部署的智能图像识别框架可解析摄像头捕捉的施工画面，自动标注作业人员未佩戴安全绳或接地线安装角度偏差等违规行为，同步触发告警信号并生成整改工单推送至责任人移动终端。自然语言处理引擎持续解析监理日志与施工方案文档，提取隐蔽工程验收标准与工艺参数形成结构化知识库，辅助技术人员在电缆沟开挖深度控制或绝缘子串安装扭矩设定时快速调阅行业规范。

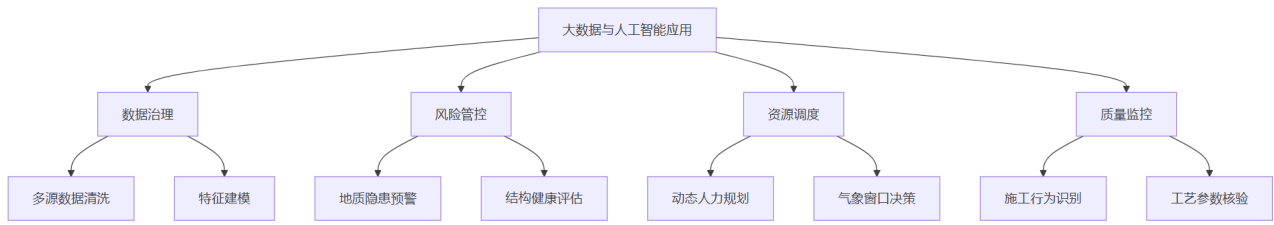


图 1 大数据与人工智能技术架构图

## 2.4 智能监测与预警系统在施工中的应用

智能监测与预警系统整合多源传感器网络实时采集塔基沉降、导线张力、环境温湿度等关键参数，边缘计算网关对异构数据进行预处理后上传至云端分析平台，基于物理场耦合模型推演结构应力分布与安全裕度。高空组塔作业场景中，毫米波雷达与视觉识别模块协同监测作业半径内的人员越界行为，当吊装构件与人体距离突破预设阈值时，自适应报警装置触发声光警示并同步切断起重机动力输出。针对换流站阀厅施工环境，分布式光纤测温系统沿钢结构敷设，通过布里渊散射效应捕捉细微形变信号，结合设备热辐射特征建立三维温度场仿真模型，提前预判局部过热引发的结构失效风险。混凝土养护阶段，嵌入式湿度传感器阵列实时反馈浇筑体内部含水率变化曲线，施工人员依据数据动态调整养护周期，避免传统经验判断导致的早期裂缝问题。

## 2.5 BIM 技术在输变电工程中的应用

BIM 技术在输变电工程中的应用深度改变了传统工程信息的传递方式，其核心在于构建贯穿全生命周期的三维可视化数据枢纽。设计阶段采用参数化建模技术创建变电站设备族库，电气主接线逻辑关系被映射为三维空间布局，设计团队可借助虚拟现实设备沉浸式核验 GIS 设备舱室的人机

操作空间合理性。施工深化阶段利用模型轻量化引擎提取钢结构节点坐标，自动生成塔材加工图纸与螺栓孔定位数据，预制构件出厂前已通过数字预拼装验证尺寸偏差。施工现场部署移动端模型浏览系统，作业人员扫码调取当前施工段的设备安装工序动画，复杂接线工艺的线缆走向与端子排接点以高亮形式动态标注。进度管理模块将施工计划与三维模型构件挂接，现场采集的影像资料自动关联对应模型节点，滞后工期的责任工序在四维视图中呈现红色预警。运维数据集成阶段，设备铭牌参数与试验报告以属性集形式嵌入模型，检修人员佩戴增强现实眼镜扫描实体设备即可叠加显示历史巡检记录与标准操作流程。

## 3 智能施工技术在输变电工程建设中的应用路径

### 3.1 施工前期的智能规划与设计

智能技术体系正逐步改变传统粗放式作业模式，多源异构数据融合技术将卫星遥感影像、地质勘探报告与历史运维记录整合至统一地理信息平台，激光雷达扫描生成的高精度点云模型可清晰呈现施工区域断层走向与地下水位分布，设计人员依托三维可视化界面模拟不同塔基方案的应力分

布状态,快速筛选出既满足承载力要求又避开文物保护区与生态红线的优化布局。路径规划算法基于卷积神经网络解析地形起伏度与植被覆盖特征,结合输电走廊内既有建筑物的空间坐标数据,自动生成线缆弧垂与安全净距均符合规范的架设路径,大幅减少人工踏勘引发的路径迂回或林木砍伐问题。数字孪生系统同步接入气象数据库与设备参数库,在虚拟环境中动态推演极端天气条件下导线覆冰增长速率与铁塔形变趋势,驱动设计团队调整绝缘子串长度或基础加固方案以提升抗灾能力。环境敏感区域部署的微气象监测站实时采集风速梯度与空气湿度变化曲线,其数据流经边缘计算节点预处理后输入生态影响评估模型,精准测算施工临时道路开挖对水土流失因子的扰动阈值,为绿色施工方案制定提供量化依据。

### 3.2 施工过程中的智能监控与管理

现场架设的多模态传感器网络持续采集混凝土温度梯度、架线张力波动等关键参数,边缘计算节点对异构数据进行时间戳对齐与异常值滤波处理后,推送至施工指挥中心的数字孪生平台。平台内置的有限元分析引擎结合地质力学模型,实时模拟组塔作业中基础结构的应力分布态势,当监测数据与仿真结果的偏差超过容限范围时自动触发分级预警。作业面部署的智能安全帽集成 UWB 定位芯片与姿态传感器,管理人员在三维可视化界面可实时查看施工人员的空间分布与动作规范度,违规攀爬或进入机械作业禁区行为会触发电子围栏的声光警示。工程车辆安装的防碰撞系统融合激光雷达与视觉识别技术,在吊装作业半径内建立动态防护区域,车载控制单元根据周边人员移动轨迹预判潜在风险并主动限制操作幅度。施工进度管理模块将 BIM 模型构件与计划节点绑定,无人机巡检获取的现场影像经 AI 解析后自动标记已完成工序,进度偏差超标的作业段在四维视图中呈现琥珀色警示。

### 3.3 施工后期的智能验收与维护

输变电工程后期智能验收与维护阶段的技术革新正推动传统运维模式向全生命周期管理转型,搭载多光谱成像仪与激光雷达的智能巡检系统沿预设航线对竣工线路进行毫米级精度扫描,生成的三维点云模型与原始 BIM 设计数据自动比对后可精准捕捉导线间距偏差或金具安装错位等隐蔽缺陷,同步生成带地理编码的整改清单指导施工班组定点

消缺。基于深度学习的图像识别框架解析无人机回传的绝缘子串高清影像,通过表面裂纹纹理特征与积污颜色梯度变化识别潜在故障点,螺栓松动或复合外套老化等传统肉眼难察觉的问题被转化为可视化热力图推送给运维人员,触发预防性维护工单执行流程。数字孪生模型融合 SCADA 系统实时运行数据与气象环境参数,动态模拟重载工况下主变绕组升温曲线与避雷器泄漏电流阈值波动,预测性维护算法依据设备健康度评分动态调整红外测温周期或油色谱分析频率。杆塔关键受力节点部署的振动传感器网络持续采集结构谐振频谱,其数据流经边缘计算网关过滤后上传至云端进行模式识别,结合历史台风过境时的应力形变数据训练模型,提前预警螺栓预紧力衰减或法兰盘接触面微位移风险。环境敏感区域设置的声纹监测装置捕捉施工遗留临时设施拆除后的背景噪声频谱,结合植被恢复区的多光谱遥感影像数据,生态评估模型自动生成水土保持效果量化报告指导后续复绿方案优化<sup>[4,5]</sup>。

## 4 结语

智能施工技术的本质在于实现物理空间与数字空间的动态映射,而效能的发挥要依赖施工要素全域数字化以及决策算法的持续优化。施工质量控制精细程度直接受技术集成度的影响,为此需建立跨平台数据标准来破除信息孤岛这一阻碍。建议行业重点对施工机械的自主协同控制技术展开攻关,开发出能适应复杂电磁环境的智能终端设备。未来技术发展的聚焦点应放在虚实交互深度方面,借助施工数字孪生体的实时迭代,达成让风险预测与方案优化前置的目标。

### 参考文献

- [1] 程广通. 输变电工程建设智能施工技术应用研究 [J]. 通讯世界, 2024, 31 (12): 139-141.
- [2] 贾瑞波. 输变电工程线路施工技术分析 [J]. 电力设备管理, 2024, (23): 225-227.
- [3] 梁捷生,黄晓婧,柯泳超. 输变电工程建设智能施工技术管理平台的研究 [J]. 科学技术创新, 2021, (35): 79-81.
- [4] 雷永桂,庄学成,蔡跃群,等. 分析输变电工程建设智能施工技术 [J]. 电气技术与经济, 2021, (02): 30-32.
- [5] 朱杨,汪玉成,包万敏,等. 输变电工程建设智能管控系统的设计与实现 [J]. 电力学报, 2016, 31 (06): 491-498.