

智能技术在电力系统工程建设中的应用

刘丽娜

国网湖北省电力有限公司武汉供电公司 湖北武汉 430000

摘要:当前电力系统工程建设正朝着智能化、高效化、绿色化方向进行转型。但传统的建设模式在勘察设计、施工管控及运维管理等环节的局限性日益凸显,智能技术则凭借其在实时感知、数据处理、智能决策及可视化管控等方面的独特优势,为电力工程建设的全流程优化提供了有效的解决方案。为此本文以智能技术在电力系统工程建设中的应用为主要的研究对象,在文中针对勘察设计、施工建造、运维管理及全生命周期协同四大关键环节,详细地阐述了物联网、大数据、BIM、人工智能等技术的具体应用路径与实施策略。

关键词:智能技术;电力系统工程建设;全生命周期;应用路径;保障措施

引言

近年来,我国电力工程呈现出特高压化、跨区域化、新能源化的发展特征,工程建设的复杂度与技术要求有了较大幅度地提升。然而传统的电力工程建设模式仍存在着诸多不足,如勘察设计阶段依赖于人工操作与经验判断,难以应对复杂地质与环境条件带来的挑战;施工阶段缺乏了对人员、设备、物料的精细化管控,极易引发安全事故与资源浪费;运维阶段多采用事后检修模式,因此无法实现设备状态的动态监测与提前预警;且各建设阶段数据壁垒明显,在实践中难以形成全生命周期的协同管控体系。在此背景之下,以物联网、大数据、BIM、人工智能、数字孪生为代表的智能技术迅猛发展,而此类技术为破解电力工程建设难题提供了全新的思路。本文便围绕着智能技术在电力系统工程建设中的应用展开深入地研究,以期能够为行业发展贡献理论与实践参考。

1 电力系统工程建设现状

虽然我国电力系统工程地建设已经具备了一定的信息化基础,但在精细化、智能化建设层面依然存在诸多的短板^[1]。首先是勘察设计的精准度不足,传统的勘察方法过于依赖人工钻探、现场测绘,可该方法的数据采集效率低、覆盖面有限,难以全面地反映出地质结构、地形地貌、气象环境等复杂因素,容易导致设计方案与实际工况脱节,增加了工程变更风险。其次是施工过程管控粗放,工程现场人员、机械、材料地调度均依赖人工协调,缺乏了实时监测与智能调度机制,极易出现施工窝工、资源浪费等问题;同时安全质

量管控也多采用定期巡检模式,无法实时地识别高处作业、深基坑施工等环节的安全隐患,致使质量缺陷追溯的难度大。再者为运维管理模式滞后,在电力工程投运后多采用故障维修或定期检修模式,其中缺乏了对设备运行状态的实时监测与预测性维护,导致检修成本高、设备寿命缩短,影响着电力系统的可靠运行。最后是全生命周期协同不足,勘察设计、施工建造、运维管理各阶段数据割裂,缺乏统一的数据共享平台,导致信息传递不畅、协同效率低下,难以实现工程全生命周期的一体化管控。

2 智能技术在电力系统工程建设各阶段的应用

2.1 勘察设计阶段

勘察设计的源头,此阶段智能技术可从勘察数据采集、设计方案优化、设计协同管理三个层面实现精准化地提升。

2.1.1 勘察数据采集:在勘察数据采集方面,构建“空地一体化”智能勘察体系成为了行业主流实践。该体系以多维度数据采集为核心,实现了对工程区域地形、地质、环境的全面感知。就空中层面而言,通常会采用搭载高分辨率相机与激光雷达(LiDAR)的多旋翼无人机或固定翼无人机,开展大范围的航测作业。此时对于输电线路工程,无人机可沿线路走廊进行连续航测,以获取厘米级精度的地形数据,再结合LiDAR技术穿透植被的遮挡,精准地识别出杆塔位置的地形起伏与障碍物分布;对于变电站工程,无人机也可对站址区域进行三维建模,进而生成包含了高程、坡度、坡向等信息的数字高程模型(DEM)与数字正射影像图(DOM),

为站址规划提供了基础数据。而在地面与地下层面，一般运用地质雷达、声波透射仪、钻孔电视等智能探测设备，就能实现地下结构的无损检测。其中地质雷达通过发射高频电磁波，再根据回波信号特征就能判断地下岩土层分布、断层位置、溶洞发育情况，从而有效地规避传统钻探点式勘察的局限性；桩基勘察中声波透射仪可检测桩身的完整性，识别出断桩、缩径等缺陷。同时在勘察区域还可以部署物联网传感器网络，即集成温湿度、风速、降水量、土壤含水率等环境传感器，然后通过 4G/5G 通信模块将实时数据传输至云端平台，为后续设计方案地优化提供动态环境参数支撑。

2.1.2 设计方案优化：BIM 与人工智能技术的深度融合构建了“数据驱动 + 智能迭代”的设计新模式。基于 BIM 平台搭建的工程三维模型，已经不再是简单的几何模型，而是集成了材料性能、结构参数、设备信息、施工工艺等多维度数据的数字孪生体。以特高压输电线路设计为例，设计人员将无人机航测获取的地形数据、地质勘察数据导入 BIM 模型后，结合气象部门提供的风荷载、覆冰厚度等数据，再利用机器学习算法就能对线路路径进行智能地优化。而人工智能算法在变电站设计中，可以对变电站的总平面布局进行优化，它会根据设备功能分区、工艺流程、安全距离要求，自动地调整主变压器、断路器、隔离开关等设备的布置位置，在减少占地面积的同时提升运行的安全性。

2.1.3 设计协同管理：云计算技术搭建的云端协同设计平台打破了传统设计的信息孤岛。该平台整合了设计单位、建设单位、监理单位、设备供应商等多方参与主体，且赋予了不同角色差异化的权限。设计人员可在线创建、修改 BIM 模型，系统会自动地记录修改痕迹与版本信息，避免了多版本文件混乱；建设单位可实时地查看设计进度，随时地提出修改意见并跟踪落实情况；设备供应商可上传设备三维模型与技术参数，以确保设计方案与设备实际尺寸、接口标准匹配^[2]。

2.2 施工建造阶段

施工建造主要面临着人员密集、工序复杂、环境多变等挑战。借助智能技术，便能通过对施工进度、安全质量、资源调度的精准管控，有效地推动施工模式从粗放式向精细化进行转型，进而大幅度地提升施工效率与安全水平。

2.2.1 施工进度管控：正是 BIM 与物联网技术构建的 4D 进度管控系统实现了施工过程的可视化与可预测。该系统以 BIM 三维模型为根据，可将施工进度计划（P6 或 Project 软件编制）与模型构件进行关联，然后生成包含了时间维度的

4D 进度模拟模型，为相关人员直观地展示从基础施工、主体结构搭建到设备安装的全过程进度安排。实际施工的过程中，需要在塔式起重机、混凝土泵车、挖掘机等大型机械设备上安装物联网终端，于此集成 GPS 定位模块、倾角传感器、转速传感器，实时地采集设备的位置信息、工作状态、作业时长、燃油消耗等数据，再通过边缘计算网关对数据进行预处理后传输至云端平台。接着人工智能算法对设备运行数据进行分析，计算出设备利用率、作业效率，识别设备闲置、超负荷运行等问题，并基于历史数据来预测设备出现故障风险。与此同时，现场施工人员通过移动 APP 上报每日施工进度，系统便会自动地将实际进度与计划进度进行对比，然后生成进度偏差分析报告并提出调整的建议。

2.2.2 安全质量管控：在安全管控中，若在施工现场的关键部位部署智能监测设备，便能实现风险的实时感知。比如深基坑施工中，倾角传感器可监测边坡坡度变化、位移传感器用于监测基坑沉降量。当数据超过了预警阈值时，系统会立即通过声光报警、手机 APP 推送等方式通知现场管理人员，同时还会自动启动应急照明与排水设备。随后将视频监控系统与计算机视觉技术进行结合，便可实现“行为识别 + 自动纠偏”。即通过摄像头捕捉施工现场画面，算法负责自动地识别未佩戴安全帽、未系安全带、违规攀爬、材料乱堆放等不安全行为，且立即发出语音警告。

2.2.3 资源智能调度：在大数据与人工智能技术打造的“需求预测 + 动态调配”的资源管理模式之中，以施工进度计划为基础，再结合历史同类工程的资源消耗数据，便能通过机器学习算法预测出不同施工阶段的人员、设备、材料需求。例如在输电线路基础施工阶段，预测混凝土用量、钢筋用量、模板数量及所需施工人员数量；杆塔组立阶段可以预测起重机、运输车辆的需求数量及时段。基于需求预测的结果，系统还会构建资源数据库，在其中整合自有资源、租赁资源、供应商资源等信息，且自动生成最优的资源调度方案^[3]。

2.3 运维管理阶段

电力工程投运后的运维管理直接关系到电力系统的安全稳定运行。当前传统的“故障维修”“定期检修”模式存在着运维成本高、设备寿命短、故障响应慢等问题，智能技术通过设备状态监测、预测性维护、运维协同管理的升级，才得以促使运维模式向“预测性 + 智能化”转型。

2.3.1 设备状态监测：结合智能技术的设备状态监测，主要是基于全域覆盖智能监测网络构建的点线面一体化感

知体系。以输电线路地运维进行阐述,除了传统的覆冰、微风振动、杆塔倾斜传感器之外,新型的监测设备在不断地涌现。如搭载了高清摄像头与红外热像仪的巡检无人机,可沿线路飞行进行拍摄,配合 AI 算法自动地识别导线断股、绝缘子破损、鸟巢搭建等缺陷;分布式光纤传感器沿导线或杆塔敷设,即可实时地监测导线温度、拉力及杆塔周围土壤沉降情况,其监测距离可达数十公里^[4]。

2.3.2 预测性维护:人工智能与大数据技术构建了“数据采集—模型训练—故障预测—维护执行”的闭环体系。该体系的核心是基于深度学习算法的故障预测模型,而模型训练数据涵盖了设备历史运行数据(如温度、压力、振动频率)、故障记录(故障类型、发生时间、处理方案)、维护记录(维护时间、维护内容、更换部件)等多个维度的数据。以变压器运维为例,通过安装在变压器上的振动传感器、油中溶解气体传感器,可以实时地采集振动信号与油中甲烷、乙烷、乙炔等气体含量数据,随后将数据输入 LSTM(长短期记忆网络)模型,模型就会学习变压器正常运行状态下的特征模式。当监测数据偏离正常模式时,系统就会自动地识别故障前兆,预测出故障的类型(如匝间短路、铁芯多点接地)、发生时间及影响范围。接着根据预测结果,运维人员制定个性化的维护方案即可。

2.3.3 运维协同管理:实际当中,主要是基于数字孪生的运维协同平台实现了运维资源的高效整合与协同处置。此平台以工程 BIM 模型为基础,集成设备运行数据、维护记录、人员信息、备品备件库存等数据,构建了工程数字孪生体,可用于直观地展示设备位置、运行状态、故障情况。若设备出现了故障,平台将自动地触发协同处置流程,先推送故障信息至运维人员手机,当中包含了故障设备位置、故障类型、历史故障记录等;再调度最近的运维班组前往现场,同步为其调配所需备品备件;再邀请远程专家通过平台进行视频指导,专家可在数字孪生体上标注故障点、发送操作指引。

2.4 全生命周期阶段

电力系统工程全生命周期管理涵盖规划、勘察设计、施工建造、运维、报废拆除等多个环节,以往传统管理模式下各个阶段的数据割裂、协同不足,导致工程的整体效率低下。但智能技术通过构建数字孪生平台,得以实现各阶段数据的整合与协同,可以推动全生命周期管理向一体化、智能化发展^[5]。

一方面是数据地整合,主要是统一的数据标准与数据中台构建了工程全生命周期的数据“底座”。即针对不同

阶段数据格式不统一、语义不一致的问题,制定出涵盖 BIM 模型数据、勘察监测数据、施工进度数据、设备运行数据等在内的统一数据标准,并且明确数据采集的范围、格式要求、存储规范,以此确保数据的兼容性与可用性。此时数据中台作为数据整合的核心载体,会通过 ETL(抽取、转换、加载)工具从勘察设计系统、施工管理系统、运维管理系统等多个业务系统中采集数据,再经过数据清洗、转换、融合后,将其存储至数据仓库中。同时数据中台还提供数据服务接口,能够为各业务系统提供统一的数据访问服务,有效地避免了数据重复存储与冗余。

另一方面是协同管控,数字孪生平台构建的全生命周期可视化管控界面,直接实现了工程的全程动态监控。像规划阶段,通过数字孪生平台模拟不同工程规模、选址方案下的电力供需平衡、经济效益、环境影响,可以辅助规划决策;勘察设计阶段平台则会整合勘察数据与 BIM 模型,支持多参与方进行协同设计;而施工阶段平台具有实时展示施工进度、安全质量、资源调度情况的功能,得以实现施工过程的动态管控。

结语:在新型电力系统建设的大背景之下,智能技术已成为推动电力系统工程转型升级的核心驱动力。本文经过分析电力系统工程建设的现状问题与智能技术的适配性价值,从勘察设计、施工建造、运维管理、全生命周期协同四个层面,提出了基于智能技术的具体应用策略。

参考文献:

- [1] 张俊,徐箭,许沛东,等.人工智能大模型在电力系统运行控制中的应用综述及展望[J].武汉大学学报(工学版),2023,56(11):1368-1379.
- [2] 李鹏,黄文琦,梁凌宇,等.人机混合增强决策智能在新型电力系统调控中的应用与展望[J].中国电机工程学报,2024,44(16):6347-6366
- [3] 吕欣.智能交通技术在智慧城市建设中的应用——评《智慧城市中的智能交通系统》[J].现代城市研究,2024,39(12):I0003-I0003.
- [4] 秦永和,王鹏,曹江娜,等.人工智能技术在工程作业智能支持系统中的应用[J].钻采工艺,2025,48(01):70-77.
- [5] 龚涛,卢宁,郑宏远.智能控制技术在工程机械中的应用研究[J].中国工程机械学报,2025,23(02):249-253.

作者简介:刘丽娜,女,197812,湖北武汉,大学本科,从事电力工程方向的研究。