

新形势下电力工程施工技术升级路径探讨

牛 杰 理永杰

河南送变电建设有限公司 河南 郑州 450000

摘 要：“双碳”目标引领下新型电力系统加速建设，电力工程施工面临工程规模扩大、作业场景复杂化、建设标准提升等新形势。现行施工技术体系在智能化、数字化、绿色化、精准化等方面存在系统性问题，亟待整体升级。本文在解析新形势对施工技术内在要求的基础上，提出技术升级应聚焦施工装备智能升级、过程数字化集成、绿色低碳嵌入、安全精准防控四个核心维度，并从创新机制、标准体系、人才支撑、组织变革四个方面构建系统性实施路径。研究认为，技术升级须坚持系统思维、梯次推进，兼顾先进性与可行性，以实现电力施工技术体系从局部改良向整体跃升转变。

关键词：电力工程；施工技术；技术升级；新型电力系统；数字化转型

引言

当前，我国能源结构转型步入深水区，以新能源为主体的新型电力系统建设正全面铺开。电力工程建设呈现大规模、多类型、强时效的特点，特高压输电、柔性直流、智能配网、海上风电等新兴领域不断拓展施工边界，建设场地从平原丘陵向高山峡谷、城市地下、远海海域延伸。与此同时，工程质量、安全、环保等监管要求持续提高，工期压力与资源约束并增，传统施工技术体系在效率、精度、适应性及风险控制等方面暴露出明显不足。智能化、数字化浪潮也为行业带来变革契机，国家政策明确鼓励建筑业向智能建造方向转型升级。在此背景下，电力施工技术亟需突破既有路径依赖，进行系统性、前瞻性的升级再造。本文试图构建一套涵盖方向、路径与保障的整体分析框架，为电力施工行业技术变革提供参考。

1 新形势对电力施工技术的内在驱动与能力缺口

1.1 能源转型催生施工对象与场景的结构性变化

新型电力系统的物理形态发生了深刻改变，电源侧由集中式火电、水电为主转向大规模陆上风电、光伏及分布式能源并举，电网侧则强化特高压骨干网架与柔性互联配电网协同。这些变化直接传导至施工环节：大型风光基地多处于偏远荒漠或近海区域，气候恶劣、交通不便，物资供应和机械转场困难，要求施工装备具备长续航、高可靠和易维护特性；城市配电网升级改造则面临密集建筑、地下管线交错、施工面狭窄及供电可靠性约束，要求施工工艺低影响、微扰动、高精度。此外，

新能源项目并网节点受电价政策窗口限制，工期刚性远超传统工程，施工组织必须兼具快速展开和灵活调整能力。传统的以人力密集和通用机械为主的作业模式，难以胜任多场景、高效率、低影响的多重需求。

1.2 数字化转型对施工技术范式的改造需求

以人工智能、物联网、数字孪生为代表的新一代信息技术正在重塑工程建设全链条。电力施工作为资金和技术密集型领域，其作业过程的数字化渗透率仍处于较低水平，大量现场数据依赖人工记录和纸质传递，决策依据多为经验判断。然而，技术供给端已具备成熟条件——传感器成本下降、无线网络覆盖增强、云算力提升，使得施工过程的实时感知、数据融合与智能决策成为可能^[1]。国家已将智能建造列为建筑业重点发展方向，电力行业作为技术高地，应在施工领域主动拥抱数字化，将技术红利转化为效率提升和风险管控的实际能力。若继续固守传统作业模式，不仅会拉大与先进基建行业的差距，也难以满足业主方日益增长的精细化管理诉求。

1.3 现行施工技术体系的主要能力短板

审视现状，电力施工技术体系存在的短板可归纳为四方面。第一，装备智能化水平低下，起重、挖掘等主力机械多属常规机型，缺乏自主感知和辅助决策功能，作业质量过度依赖操作员经验。第二，信息管理碎片化，设计、采购、施工、验收环节数据格式各异、接口不统一，信息孤岛阻碍协同，变更传递滞后常造成返工。第三，绿色施工流于形式，减碳措施多局限于洒水降尘、噪声遮挡等末端治

理,缺乏对施工能耗、材料损耗和碳排放的系统管控。第四,安全防控以人防和制度为主,动态风险感知能力不足,对突发性环境变化或设备异常的预警响应滞后。这些短板在新形势下的制约效应被放大,成为施工质量、进度和成本目标的潜在威胁。

2 电力工程施工技术升级的核心维度

2.1 施工装备智能化与机械化升级

施工装备是电力工程作业的物质基础,其技术水平直接决定施工效率与质量底线。升级方向应聚焦于三个层面:一是推进现有主力施工机械的智能化改造,为起重机械、挖掘机械、牵引设备加装姿态感知、载荷监测和自动纠偏模块,使单机作业具备一定的自主决策能力;二是引入面向电力施工场景的专用机器人或自动化装备,如变电站设备安装机器人、电缆隧道巡检机器人、杆塔组立自动引导系统等,替代高风险、高强度人工作业;三是构建装备间的协同作业网络,通过统一通信协议实现多台设备的位置互锁、动作联动和避撞协作,提升集群作业的整体效能^[2]。智能化升级不是简单的设备替换,而是要实现“人一机一环”的深度交互,让装备真正成为施工人员的智能延伸。

2.2 施工过程数字化管理与信息集成

数字化管理的核心在于打通施工全生命周期中的数据链路。应构建以 BIM(建筑信息模型)为核心的数据中台,将设计模型、施工组织设计、进度计划、物资清单、质量验评记录等信息统合于同一数字底座之上,实现“一模到底、数据同源”。在此基础上,利用物联网技术将施工现场的人员定位、环境监测、设备工况等动态数据实时接入中台,形成数字孪生体,使管理者能够在虚拟空间中模拟施工过程、预判冲突点、优化工序安排。同时,开发适用于电力施工特点的移动端作业系统,将施工任务派发、验评表单填写、隐蔽工程影像留存等流程数字化,减少纸质流转环节,提高现场作业的规范性和可追溯性。数字化管理的价值不仅体现于单个项目的高效运转,更在于通过数据积累形成企业级知识库,为后续项目的定额编制、工艺优化和风险预控提供数据支撑。

2.3 绿色低碳施工技术的融入

电力工程施工的绿色化不应局限于末端治理,而应贯穿于施工方案策划、材料选用、能源供应和废弃物处置全过程。在施工方案层面,应优先采用节能型施工工艺,如装配式变电站建构筑物、预制电缆沟槽等,减少现场湿作业和材料损耗。在能源供应层面,鼓励施工现

场使用清洁能源供电系统,如太阳能临时电源、储能式照明设备,降低施工过程化石能源消耗^[3]。在材料管理层面,推行建筑垃圾源头减量化和资源化利用技术,对混凝土余料、钢筋头、包装材料进行分类回收再加工。此外,应逐步建立施工过程碳排放核算与监测技术体系,明确各工序碳排放因子,为低碳施工提供量化基准。绿色低碳不是额外负担,而是通过技术进步实现资源高效利用和成本节约的双赢策略。

2.4 安全风险防控技术的精准化

电力施工涉及高空作业、带电作业、有限空间作业、重型吊装等高危环节,安全风险防控始终是首要关切。精准化防控技术体系应包含三个层次:第一层是感知层,利用智能穿戴设备(智能安全帽、手环)、环境传感器(风速、湿度、有害气体)、设备状态监测器,实时采集风险相关数据;第二层是分析层,基于历史事故数据和专家规则库,构建风险预警模型,对采集数据进行实时研判,识别出超阈值或异常模式;第三层是干预层,当预警触发时,系统自动向相关人员发送报警信息,并在必要时对设备执行降速、停机等保护动作,同时联动应急指挥系统启动预案。这一闭环体系的有效运行,依赖于感知设备的可靠性、预警算法的准确性以及现场人员的响应能力,三者缺一不可。此外,应重视虚拟现实(VR)安全培训技术的应用,通过沉浸式体验提升作业人员对风险场景的认知和应急处置熟练度。

3 技术升级的系统性实施路径

3.1 构建产学研用协同的技术创新机制

技术升级的根本动力在于创新,而创新不能仅依靠施工企业自身。应建立以施工企业为主体、高校科研机构为支撑、设备制造商为伙伴、业主单位为导向的“产学研用”协同创新联合体。具体而言,由施工企业提出一线作业中的技术痛点与改进需求,高校团队针对性地开展基础理论和关键技术攻关,设备制造商负责将科研成果转化为可量产的技术装备,业主单位则为新技术提供验证场景和应用反馈。这一机制的有效运转需要明确的利益分配和知识产权归属规则,以及常态化的沟通协调平台。建议由行业协会牵头组织年度技术需求对接会和技术成果评估会,推动创新链条各环节高效衔接。同时,鼓励企业设立内部创新基金,支持一线技术骨干开展“小改小革”和微创新活动,形成自上而下与自下而上相结合的技术创新活力。

3.2 完善技术标准体系与评价指标体系

技术升级的成果最终需要固化为标准,方能实现可

复制、可推广。当前电力施工领域的技术标准多侧重于施工工艺质量验收,而对智能化施工、数字化交付、绿色施工等新兴技术方向缺乏系统性标准规范。应组织行业力量,分批次编制智能施工装备技术条件、数字化施工数据接口规范、绿色施工评价导则、安全智能监测系统技术规程等系列标准。与此同时,建立与新技术相匹配的技术经济评价指标体系尤为关键。传统评价偏重于工期和直接成本,而新技术往往在前期投入较高但全生命周期效益更优^[4]。因此,应将工程质量提升、安全风险降低、环境效益、数据资产积累等隐性收益纳入综合评价框架,采用全生命周期成本(LCC)和效益费用比等指标,科学衡量技术升级的实际价值,避免因短期财务压力而阻碍技术革新。

3.3 加强人才梯队建设与技能重构

任何先进技术最终要靠人来操作和管理。电力施工行业长期存在一线作业人员年龄偏大、学历偏低、技能结构单一的问题,对智能化、数字化技术的接受和掌握能力相对薄弱。人才升级应分层施策:对于管理层和技术骨干,重点开展数字化管理理念和数据分析能力的培训,使其具备推动技术变革的领导力和决策力;对于一线班组长和关键岗位操作人员,着重进行智能设备操作、信息系统使用、应急处置等实操训练,采用“理论授课+虚拟仿真实操+现场带教”三位一体的培养模式;对于新入职员工,应在其职业发展初期就植入数字化思维和绿色施工理念。此外,应打通技能人才与专业技术人才之间的职业发展通道,设立“数字工匠”“智能建造师”等新兴岗位序列,完善技能等级认定和薪酬激励体系,从根本上吸引和留住高素质技能人才。

3.4 推动施工组织模式与管理流程再造

技术升级不仅仅是“换设备”“上系统”,更要求施工组织模式和管理流程作出适应性调整。传统的线性递进式施工组织方式,强调按专业分工、按工序交接,信息传递链条长、决策响应慢。在数字化技术赋能下,

应推动向“一体化协同”模式转变,即通过数字化平台实现设计、采购、施工、监理等多方在线协同,使问题能够在第一时间暴露并得到联合处置。管理流程方面,应基于数字化管理系统重构审批权限、资源调配、质量验收等制度安排,减少不必要的行政层级,赋予现场管理者更大的实时决策权限。同时,推行“数据驱动”的绩效管理,将施工进度、质量合格率、安全事件率、碳排放强度等关键指标量化上屏,形成可视化的竞争激励氛围。组织模式再造的关键在于管理层观念的转变,需自上而下倡导开放、容错、迭代的变革文化,破除“以往都是这么做”的惯性思维。

4 结语

电力工程施工技术升级是新形势下的必然选择,也是行业高质量发展的内在要求。本文从新形势驱动分析入手,明确了四个核心升级方向,设计了创新机制、标准规范、人才队伍和组织流程四维支撑的实施路径。技术升级并非一蹴而就,而是一个持续的动态过程,需统筹短期效益与长期竞争力,兼顾技术理想与现实条件。展望未来,随着人工智能、5G通信、数字孪生等前沿技术的持续成熟与跨界渗透,电力工程施工有望逐步迈向全面感知、自主决策、人机协同的智慧施工新阶段。但这需要行业上下保持战略定力,以开放心态拥抱变革,以务实作风推进落地。

参考文献

- [1] 张伟,李华.新型电力系统背景下电网工程建设关键技术展望[J].电力建设,2025,46(3):1-10.
- [2] 王明辉,陈思远,刘洋.智能建造技术在输变电工程施工中的应用研究综述[J].中国电力,2024,57(8):112-120.
- [3] 赵志强,孙丽丽.基于BIM的电力工程数字化施工管理平台设计与实践[J].电力系统自动化,2023,47(15):89-97.
- [4] 刘建平,杨晓峰.绿色低碳施工技术评价体系研究进展[J].建筑经济,2024,45(6):78-84.