

新能源接入下智能电气施工技术的适应性研究

郭立巍

220723*****0012

摘要: 随着全球能源结构向清洁化转型,以风电、光伏为代表的新能源大规模接入电网,对传统电气系统的运行逻辑、设备性能及施工技术提出了更高要求。智能电气施工技术作为支撑新型电力系统建设的关键环节,其适应性直接影响新能源消纳效率与电网运行安全。本文从新能源接入对电气系统的需求变化出发,系统梳理智能电气施工技术的内涵与核心要素,分析其在新能源场景下面临的兼容性、精度控制、数据整合及人员技能等挑战,并提出技术路径与保障机制,为提升智能电气施工技术对新能源接入的适应性提供理论参考。研究表明,通过协议标准化、装备智能化、数据融合化及人才复合化升级,可有效增强智能电气施工技术在新能源场景下的适配能力,为新型电力系统建设提供坚实支撑。

关键词: 新能源接入; 智能电气施工技术; 适应性; 电网安全; 技术优化

DOI: 10.69979/3060-8767.25.12.070

引言

在“双碳”目标驱动下,我国新能源装机规模持续扩大,新能源的高比例接入推动电力系统从“以化石能源为主体”向“以可再生能源为主体”转型,这一过程中,电气系统的拓扑结构、运行特性及故障模式均发生显著变化。传统电气施工技术以经验驱动为主,依赖人工操作与固定流程,在应对新能源设备的离散性、电网波动的随机性及用户需求的互动性时,逐渐显现出效率不足、精度欠缺、协同性弱等问题。智能电气施工技术通过融合物联网、大数据、人工智能等技术,实现施工过程的数字化、自动化与智能化,成为破解上述难题的关键。然而,新能源接入场景的特殊性对智能电气施工技术的适应性提出了新要求,如何评估并提升其技术适配能力,已成为行业亟待解决的重要课题。

1 新能源接入对电气系统的需求变化

1.1 新能源的波动性与电网稳定性要求

新能源发电依赖自然条件,具有显著的间歇性与波动性特征。以光伏发电为例,其出力受光照强度影响,午间可达峰值,夜间则趋近于零;风电出力则随风速、风向变化呈现随机波动。这种特性导致电网功率平衡难度加大,传统“源随荷动”的调节模式难以满足需求。在此背景下,电气系统需具备更强的灵活调节能力,要求施工阶段预留足够的设备冗余空间,并通过智能化手段实现设备间的快速协同。例如,分布式光伏的大量接入使得配电网从“无源网络”转变为“有源网络”,施工时需重点关注反向潮流对变压器、开关设备的冲击,

这对电缆选型、接地设计及保护装置配置提出了更高精度要求。

1.2 分布式能源接入与配电网结构变革

新能源的分布式特征使其多以“就近接入”方式并入配电网,形成“主网-配网-微网”多层级结构。传统配电网多为辐射状结构,开关设备与保护装置按单电源设计;而分布式能源接入后,配电网可能出现多电源供电、环网运行等情况,导致短路电流分布复杂、保护配合难度增加。施工环节需适应这种结构变化,例如,在分布式光伏并网点附近需加装双向计量装置与反孤岛保护设备,同时调整线路分段开关的位置与数量,确保故障时能快速隔离并维持非故障区域供电。此外,微电网的建设要求施工时统筹考虑储能设备、能量管理系统的集成,这对施工图纸的协同性与现场安装的精准度提出了更高标准。

1.3 电能质量提升与新设备兼容需求

新能源发电设备的非线性特性(如逆变器的开关动作)易产生谐波污染,加之电力电子设备的大量应用,电网电压波动、闪变等问题日益突出。为保障敏感负荷的正常运行,电气系统需具备更强的电能质量治理能力。施工阶段需重点关注滤波装置、静止无功发生器(SVG)的安装位置与参数匹配,确保其与电网阻抗特性兼容。同时,新能源设备与智能电表、充电桩等终端的交互需求增加,要求施工时统一通信协议与接口标准,避免因协议不兼容导致的“数据孤岛”问题。例如,光伏逆变器需支持Modbus、MQTT等多种通信协议,施工时需预

留足够的通信线缆通道，并验证不同设备间的通信稳定性。

2 智能电气施工技术的内涵与核心要素

2.1 技术定义与技术特征

智能电气施工技术是基于数字化、自动化与智能化手段，实现电气设备安装、调试、运维全流程精准控制的新型技术体系。其核心特征包括：一是数据驱动，通过BIM（建筑信息模型）、GIS（地理信息系统）等技术构建三维施工模型，提前模拟设备布局与管线走向；二是装备智能，应用智能机器人、自动接线装置等替代部分人工操作，降低人为误差；三是协同高效，依托物联网平台实现设计、施工、监理多方实时数据共享，缩短工期并减少返工。与传统施工技术相比，智能电气施工技术更强调全生命周期的数据贯通与资源优化配置。

2.2 核心技术要素解析

主要包括：（1）数字化设计工具：以BIM为核心，集成电气设备参数、建筑结构信息及运维需求，生成包含空间坐标、接线关系、设备型号的三维模型。该模型可直接指导现场施工，减少图纸误读导致的安装错误。

（2）智能施工装备：包括具备视觉识别功能的自动剥线机、基于激光定位的电缆敷设机器人、支持远程控制的智能开关柜安装平台等。这些装备通过传感器与算法实现操作精度控制，例如，电缆弯曲半径可精确至毫米级，避免因过度弯折导致的绝缘损伤。（3）物联网监控系统：在施工现场部署传感器网络，实时采集温度、湿度、振动等环境数据及设备安装偏差数据，通过边缘计算模块分析异常并预警，确保施工过程符合规范要求。

（4）大数据分析平台：整合设计、施工、运维阶段的多源数据，利用机器学习算法挖掘潜在问题，例如，通过历史安装数据预测某类设备的常见故障点，指导后续施工优化^[1]。

3 新能源接入下智能电气施工技术的适应性挑战

3.1 多源设备协议兼容难题

新能源设备种类繁多，涵盖光伏逆变器、储能变流器、风力发电机控制器等，不同厂商采用的通信协议存在差异（如Modbus RTU/TCP、CAN总线、Profibus等）。施工时若未统一协议标准，可能导致设备间数据无法互通，影响智能监控系统的整体功能。例如，某分布式光伏项目中，逆变器与汇流箱采用私有协议，导致运维平

台无法实时获取发电数据，后期不得不额外加装协议转换器，增加了成本与调试难度。

3.2 施工精度控制要求提升

新能源设备对安装误差的敏感性显著高于传统设备。以SVG装置为例，其功率模块的安装水平度需控制在±0.5mm/m以内，否则可能导致散热不均、模块过热；储能电池组的连接螺栓扭矩需严格符合厂家要求，偏差超过±5%可能引发接触电阻增大，长期运行存在安全隐患。传统施工依赖人工测量与经验判断，难以满足此类高精度要求，易导致设备运行效率下降或故障频发。

3.3 多源数据融合与分析能力不足

智能电气施工涉及设计图纸、设备参数、环境监测、人员操作等多维度数据，但当前多数项目仍存在“数据孤岛”现象。例如，设计阶段的BIM模型未与施工阶段的传感器数据打通，无法实时验证安装偏差；运维阶段的故障记录未被纳入施工数据库，难以通过历史数据优化当前施工方案。数据融合能力的缺失导致智能施工的决策支持功能受限，无法充分发挥数据价值。

3.4 施工人员技能结构不匹配

智能电气施工对人员的复合能力提出更高要求，既需掌握传统电气安装技能，又需熟悉数字化工具、智能装备操作及数据分析方法。目前，行业内从业人员以传统电工为主，普遍缺乏BIM软件应用、物联网平台运维及机器学习基础，导致智能施工装备的操作效率低下，部分先进功能未能实际应用。例如，部分项目虽配备了电缆敷设机器人，但因操作人员不熟悉编程与调试，仍需人工辅助完成大部分工作^[2]。

4 智能电气施工技术适应性提升的技术路径

4.1 构建统一通信协议标准体系

针对设备协议兼容问题，应推动行业制定新能源电气设备通信协议标准，明确数据格式、传输速率及接口规范。可借鉴IEC 61850标准在变电站自动化中的应用经验，建立覆盖发电、配电、用电环节的统一通信框架。同时，鼓励设备厂商开放协议接口，开发通用型协议转换模块，实现不同品牌设备的即插即用。例如，在分布式能源接入项目中，强制要求逆变器、储能变流器支持Modbus TCP协议，通过标准化接口实现数据互通，降低施工阶段的调试难度。

4.2 研发高精度智能施工装备

为满足新能源设备的安装精度要求,需研发具备自主感知与调整能力的智能装备。例如,开发基于视觉识别的电缆弯曲半径监测装置,通过摄像头实时采集电缆形态图像,利用深度学习算法判断弯曲半径是否符合要求,并自动调整敷设路径;设计智能扭矩扳手,集成无线通信功能,将螺栓扭矩数据实时上传至监控平台,超差时自动报警并记录。此外,可引入3D打印技术定制特殊安装工装,针对新能源设备的异形结构提供精准定位支持^[3]。

4.3 建立多源数据融合分析平台

整合设计、施工、运维阶段的数据资源,构建基于云平台的大数据分析系统。设计阶段将BIM模型轻量化处理,与施工阶段的传感器数据(如安装坐标、设备参数)关联,实现施工过程的虚拟仿真与偏差预警;运维阶段将故障记录、设备老化数据反馈至平台,通过机器学习算法挖掘施工质量与设备寿命的关联关系,优化后续施工方案。例如,通过分析历史数据发现某型号逆变器在安装时若水平度偏差超过0.3mm/m,其故障率将提高XX%,可在施工标准中收紧该指标的控制要求。

4.4 完善复合型人才培养体系

针对人员技能缺口,需建立“高校-企业-培训机构”协同培养机制。高校可开设智能电气施工相关专业方向,课程涵盖BIM技术、物联网原理、数据分析等内容;企业需加强在职培训,通过模拟施工场景、操作智能装备等方式提升员工实践能力;培训机构可开发针对性课程,重点培养既懂电气施工又懂数字化工具的复合型人才。此外,可引入认证制度,对具备智能施工能力的人员颁发资格证书,推动行业整体技能水平提升^[4]。

5 适应性提升的保障机制

5.1 政策引导与标准支撑

政府部门需出台新能源接入下智能电气施工技术的相关政策,明确技术应用的目标与要求,例如,规定新建分布式光伏项目必须采用符合标准的智能施工工艺。同时,加快制定智能电气施工的技术标准,涵盖装备性能、数据接口、质量验收等环节,为行业发展提供规范依据。

5.2 产业协同与创新生态

推动电气设备制造商、施工企业、软件开发商及科研机构的深度合作,建立产业创新联盟。通过联合攻关解决协议兼容、装备研发等关键技术问题,共享数据资源与技术成果,形成“研发-应用-反馈-优化”的良性循环。例如,设备厂商提供协议开放支持,施工企业提供现场应用场景,软件开发商开发适配的数据分析平台,共同提升技术适应性。

5.3 动态评估与持续改进

建立智能电气施工技术适应性评估体系,定期对技术应用效果进行评价。评估指标包括设备兼容率、施工精度达标率、数据融合效率及人员技能符合率等。根据评估结果动态调整技术路径与保障措施,确保技术始终与新能源接入需求同步发展^[5]。

6 结论

新能源的大规模接入对智能电气施工技术的适应性提出了全方位挑战,涵盖设备兼容、精度控制、数据融合及人员技能等多个维度。通过构建统一协议标准、研发高精度装备、建立数据融合平台及完善人才培养体系,可有效提升技术适配能力。未来,随着政策的引导、产业的协同及评估机制的完善,智能电气施工技术将在新能源接入场景中发挥更大作用,为新型电力系统的安全、高效运行提供坚实保障。本研究为智能电气施工技术的适应性提升提供了理论框架与实践方向,后续可结合具体项目进一步验证技术路径的有效性。

参考文献

- [1]王彬,辛春秋,段春明.输变电工程建设智能施工技术要点研究[J].电力设备管理,2024(3):181-183
- [2]罗卿,张伟.新能源接入下的输配电系统适应性研究[J].电子制作,2024,32(22):105-107
- [3]刘子维.新能源接入下智能电网施工技术优化研究[J].自动化应用,2024,65(S01):318-320
- [4]王子泰,刘佳伟.电网建设项目中的智能施工技术分析[J].集成电路应用,2023,40(12):180-181
- [5]刘维力.智能化技术在电网建设中的应用研究[J].电子技术,2023,52(12):206-207