

# 电力工程装配式变电站施工 技术要点与质量管控

高和波<sup>1</sup>, 张波<sup>2</sup>

(1. 山东凯佳瑞建设工程有限公司, 山东 济南 250000;

2. 山东赋能电力工程有限公司, 山东 临沂 276000)

**摘要** 特高压输电和智能化配电网目前处于融合发展阶段, 变电站工程面临空间约束、多工种协同以及环保标准提升等难题, 装配式变电站凭借标准化构件、环保施工以及便捷维护等优势, 已成为电力网络建设方面的主流方案。本文重点关注装配式变电站从规划设计、构件制造、现场组装直到调试运行的完整周期, 提炼其中的关键技术环节, 建立覆盖“监测—评估—预警—控制”的全过程质量保障机制, 并且融合建筑信息模型、物联网技术以及人工智能视觉识别等智慧化手段, 旨在为变电站的精细化、智能化建设提供技术路径, 进而促进电力行业绿色可持续发展。

**关键词** 装配式变电站; 质量管控; BIM 技术; 智能监测; 绿色施工

中图分类号: TM63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.11.032

## 0 引言

变电站是电力系统中的关键节点, 其建设品质对电网安全稳定运行有决定性影响。在“双碳”目标背景下, 传统现浇式变电站暴露出建设周期长、资源消耗高、环境污染大以及质量管控不稳定等弊端, 难以适应新型电力系统高效化、绿色化发展需求。装配式变电站采用工厂化预制与现场拼装建设模式, 在提升施工效率和保障工程质量方面优势显著, 已成电力行业转型发展必然趋势。本研究结合最新工程实践经验, 深入解析施工过程核心技术要点, 通过融合智能监测技术与数字化管理手段, 构建覆盖全生命周期质量保障机制, 最终形成系统性技术集成与实施管理方案。

## 1 电力工程装配式变电站核心技术体系

### 1.1 装配式构件设计与生产技术

装配式变电站设计把“模块化、标准化、通用化”当作核心理念, 借助 BIM 技术来搭建三维协同设计平台, 以此促进电气系统与结构部件的一体化整合<sup>[1]</sup>。其主要工作包含三个方面内容, 首先要进行构件模块化划分, 按照功能设置变压器间、开关间等标准化单元, 确保这些单元尺寸符合运输与吊装条件, 且单个模块质量要控制在 50 t 以下。其次是优化节点连接构造, 综合运用螺栓连接与现浇混凝土技术, 使其满足 8 度

抗震设防标准并设置温度变形缝。最后要实施管线集成规划, 利用 BIM 模型合理排布管线并提前预埋接口, 从而降低现场施工作业量。

构件生产采用工厂化流水作业的方式, 钢筋加工使用数控设备, 保证钢筋间距误差不得超过  $\pm 5$  毫米, 且焊接接头强度需达到母材标准。混凝土浇筑选用自密实材料, 将坍落度控制在 220 ~ 250 毫米, 并通过振动传感器监控振捣质量。蒸汽养护时温度维持在 50 ~ 60 °C, 湿度保持 90% 以上, 养护时长不少于 72 小时, 要等混凝土强度达到设计值的 85% 后方可出厂。出厂检测采用超声回弹法评估强度、用激光测距仪核查尺寸精度, 结合 AI 视觉系统识别表面缺陷, 合格产品粘贴 RFID 标签以实现全过程质量追踪<sup>[2]</sup>。

### 1.2 现场装配施工关键技术

现场安装工作要遵循“先做地下工程再建地上部分, 先完成主体结构后处理附属设施”基本准则, 主要包含三个关键步骤。基础施工阶段, 选用预制桩及灌浆套筒连接工艺, 要求预制桩垂直度误差不超过 0.5%, 桩位偏差控制在 50 毫米以内, 注浆压力维持在 0.3 ~ 0.5 兆帕范围, 还要预埋传感器保障注浆密实度达 100%。模块吊装环节, 需根据构件重量选择相应起重设备, 50 吨以下构件用汽车起重机吊装, 超过 50 吨则采用履带式起重机, 钢丝绳安全系数要保证在 6 倍以上。

作者简介: 高和波 (1990-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电力工程。

吊装前通过BIM与GIS技术联合模拟吊装路径。在吊装过程中,利用倾角传感器和水平仪实时监测构件状态,要求水平偏差不超过 $\pm 2$ 毫米/米,垂直度误差控制在3毫米/米以内,构件就位后须立即进行临时固定,采用可调节支撑系统控制沉降,确保单日沉降量不超过1毫米。节点的连接处理对整体结构稳定性至关重要,螺栓连接前必须彻底清理接触表面,并严格按设计扭矩值紧固(M24螺栓扭矩为450牛·米),确保复检合格率达到100%。后浇混凝土选用微膨胀型混凝土,水胶比需控制在0.45以下且养护时间不少于14天,同时要求内外温差不超过25摄氏度。防水节点采用遇水膨胀止水条与密封胶双重防护措施,确保施工后无气泡和裂缝产生。

### 1.3 智能监测与数字化管理技术

通过物联网、人工智能以及建筑信息模型等技术,构建一个数字化管理体系。在感知层安装温度、湿度、应力这类监测设备,数据采集频率要保证每分钟不少于1次,传输响应时间需控制在不超过500毫秒<sup>[3]</sup>。传输层采用5G和LoRa融合组网的方式,并且实施加密措施,以此保障信息传输的安全性。支撑层基于云计算搭建BIM数字孪生平台,对工程进度、质量状况和安全隐患进行可视化监管,把人工智能算法应用到质量检测环节中。应用层通过移动设备实时展示数据并向相关人员推送预警提示,最终实现管理的智能化。

## 2 电力工程装配式变电站施工技术要点

### 2.1 施工准备阶段技术要点

施工准备阶段,重点落实三项核心任务。技术交底方面,借助BIM可视化技术向各参与方阐释设计理念、施工工艺、质量规范以及安全准则,着重明确吊装流程、节点连接方式和智能监测装置安装要点。现场布局要实施分区优化,预制构件存放区采用分类摆放模式,垫木间隔不超过1.5米、堆叠高度限制在3层以内。设备与构件验收要执行严格标准,核验产品合格证明、检测文件及RFID电子标签信息,外观检查结合人工目检与AI视觉识别技术,裂缝宽度超过0.2毫米的构件严禁进场使用<sup>[4]</sup>。尺寸误差需控制在长度 $\pm 10$ 毫米、截面 $\pm 5$ 毫米、预埋螺栓 $\pm 2$ 毫米的范围内,智能监测设备入场前,必须完成校准以确保传感器测量误差不超过 $\pm 0.5\%$ 。

### 2.2 主体结构装配施工要点

主体结构装配流程采用“基础预制桩—基础梁—模块吊装—节点连接—屋面装配”。基础预制桩采用静压工艺进行沉桩,下沉速率要控制在1~2米/分

钟,承载力得达到设计值的1.1倍以上。基础梁要进行分段对接,采用0.4兆帕压力灌浆,完成24小时养护之后再开展上部模块吊装工作。模块吊装需要编制专项方案,执行“由内向外、均衡对称”的原则。配备专职指挥人员并保障通讯联络通畅,全程监测风速与构件状态,一旦发现异常要立即暂停作业。构件就位之后需要校准水平度(偏差不能超过 $\pm 1$ 毫米/米),临时支撑间距要控制在2米以内。节点连接必须严格按照规范进行操作,螺栓要采用双螺母防松处理,外露螺纹需要保留2扣以上。后浇混凝土施工之前,要清理并润湿接合面,浇筑分层厚度不能超过300毫米,每点振捣时间要控制在20~30秒。要利用应力传感器实时监测连接部位受力状况,确保其满足设计标准。

### 2.3 电气设备安装与调试要点

设备安装和结构装配采取同步实施方式,利用激光精确定位让设备位置偏差不超过 $\pm 0.3$ 毫米,保证基础与预留接口配合度达95%以上。重型设备借助液压千斤顶进行吊装就位操作,确保其水平度和垂直度能满足技术要求。接线作业严格执行标准化流程,运用BIM技术对电缆敷设路径进行优化,使弯曲半径达到规范要求10倍以上。端子压接将压力控制在5~8兆帕范围内,二次回路选用冷压端子。接地系统采用双重设计方案,主接地网选用50×5毫米热镀锌扁钢进行铺设,网格间距控制在10米以内,接地电阻不超过0.5 $\Omega$ 。调试环节融合智能技术手段,通过BIM数字孪生模型辅助开展调试工作,一次系统重点检测变压器变比、断路器动作时间等参数,二次系统完成保护装置定值校准、测控联动测试等工作,实现数据实时比对与异常报警功能。

## 3 装配式变电站施工质量管控体系

### 3.1 质量管控组织架构

为了有效加强工程质量方面的监管工作,专门建立“业主—监理—施工—工厂”四方协同的质量管理体系。业主方需要负责制定整体质量方案与分阶段目标,并且明确各方在质量方面所承担的责任,还要通过定期召开质量专题会议,统一协调处理重大质量问题。监理方要执行全方位的质量监督工作,按照标准规范对施工工序进行现场巡视,针对隐蔽工程、关键部位等重点环节实施独立检测。施工方需设立由技术骨干领导的质量专项小组,严格落实“自检、互检、交接检”三级检查制度,对每道工序执行质量否决权,不合格工序不能转入下一道工序。构件与设备制造厂家要建立全程可追溯的系统,通过唯一编码关联原材

料检测、生产流程参数、出厂检验报告等信息,实现从制造到安装的质量责任精准追溯,进而构建严密的质量控制链条。借助 RFID 技术赋予每个构件和设备专属编码,全程记录责任人以及质量信息确保问题可快速确定<sup>[5]</sup>。

### 3.2 全流程质量管控措施

在设计阶段,运用 BIM 开展协同设计工作,执行多专业的详细交叉校验任务,组织各相关方共同参与方案评审活动,并完善设计变更管控的具体流程。在生产阶段,制定标准化的作业规范内容,在核心工序位置设置质量监控要点,通过智能设备采集各项工艺参数信息,同时强化产品出厂之前的全面检验工作。在施工阶段,借助智能监控系统实时追踪,实时追踪各项关键指标动态情况,采用“人工复核加智能识别”的质量检验方式,建立问题整改方面的闭环管理体系,并且每周定期举行质量专题会议<sup>[6]</sup>。在验收阶段,实施分项分部及单位工程的逐级验收,重点检查安装精度和连接牢固度等内容,检查设备性能指标以及系统运行稳定性,全部达标之后才允许进入试运行环节。

## 4 工程案例

### 4.1 工程概况

某坐落于市郊的 220 kV 智能装配式变电站,占地面积大约有 12 亩,建筑的总面积达 3 200 平方米,项目总投资金额为 1.8 亿元。该工程于 2024 年 3 月启动施工,到同年 10 月完成了建设工作,整个建设周期一共是 7 个月,和传统现浇方式相比节省了 4 个月时间。项目建设采用了 6 个标准化模块,是通过工厂预制和现场装配相结合的方式完成的。同时还配置了 120 套监测传感器和 8 台巡检机器人,并且集成了 BIM 数字孪生平台,全面实现智能化监测与运营管理工作。

### 4.2 技术应用与成效

在设计阶段,借助 BIM 协同平台化解了 5 处设计矛盾,并对 32 处连接点做优化调整。在生产环节中,构件出厂首次检验达标率达到了 99.8%。在施工阶段,模块吊装误差控制、螺栓紧固达标情况和设备定位精确度等指标均符合标准要求,且智能监测系统发出的 12 次预警已完成整改,实现闭环管理。在成果方面,效益十分突出,项目周期相比传统建造方式压缩 30% 以上。工程质量评定一次性通过率达 100%,质量问题出现频率减少 75%,现场作业人员配置缩减 40%,能源消耗下降 40%,年度维护开支减少 30 万元,建筑废弃物排放量降低 85% 满足环保施工标准。

## 5 电力工程装配式变电站施工现存问题与优化方向

恶劣气候条件会严重削弱节点连接可靠性,造成设备通信时常中断。强电磁干扰环境中,传感器数据采集会产生系统性误差,大幅降低监测准确性。BIM 模型与现场施工数据存在格式不兼容及更新延迟问题,致使数据对接效率低下协同作业陷入困境。预制构件受限于模具定制和材料标准严格,使得前期投入成本比传统施工高出 20% ~ 30%,特殊规格构件因运输保护要求高,导致物流成本较标准构件超出 40% 以上,压缩了项目盈利空间。同时掌握 BIM 技术、智能建造与项目管理知识的复合型人才缺口达 30%,无法满足数字化施工要求。技术优化应重点研发耐高低温、抗腐蚀的节点材料及快速连接工艺,增强传感器在强电磁干扰中的信号过滤能力,开发基于 5G+ 边缘计算的 BIM 模型动态同步系统,实现现场数据与模型的实时交互。成本控制需推动预制构件标准化设计与批量生产,通过区域集中配送和智慧物流调度降低运输成本,创新“构件租赁+技术服务”模式,将一次性采购支出转化为周期性服务费用,缓解资金压力。

## 6 结束语

装配式变电站是实现电力工程绿色化智能化的关键设施,其施工工艺与管理效能直接关系着电网建设品质。本文对各阶段技术要点进行了系统梳理,提出“四级管控+智能监测+闭环管理”集成体系,还借助实际案例验证该方案具有可行性。实践证明,规范运用这项技术能够大幅提高施工效率、工程品质和经济效益。未来需要深化数字孪生技术应用,研发高精度智能监测装备,构建统一技术标准与质量评价机制,同时还要加强复合型人才培养。后续可重点研究构件可循环利用技术,以及 AI 算法在质量预测中的深度应用,为装配式变电站高水平发展提供技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 王磊. 基于 BIM 的装配式变电站协同设计与施工技术研究[J]. 电力工程技术, 2024, 43(02): 89-95.
- [2] 舒文金. 变电站装配式结构施工质量控制措施研究[J]. 模型世界, 2023, 27(09): 102-104.
- [3] 殷建刚, 熊川羽, 周林涛. 新型变电站建筑模块化装配式基础承载性能研究[J]. 湖北电力, 2025, 49(01): 1-10.
- [4] 李瑞祥, 张晓晶, 戚俊峰. 变电站装配式结构连接节点防腐防水措施研究[J]. 科技创新与应用, 2026, 16(01): 143-146.
- [5] 张曦, 周光尧, 董静. 装配式智能变电站电气设备全数据感知研究[J]. 电子设计工程, 2025, 33(07): 42-45, 50.
- [6] 田堂金. 变电站一次电气设备安装调试质量管控方法研究[J]. 流体测量与控制, 2023, 04(06): 33-35, 43.