

## 电力工程施工技术关键点和强化措施分析

王宗实<sup>1</sup> 毛瑞旭<sup>2</sup>

1. 辽宁飞纵电力设计有限公司, 辽宁 沈阳 110000

2. 沈阳电力勘测设计院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000

**[摘要]** 电力工程施工技术体系正经历从经验驱动向数据赋能的范式变革,其精细化治理能力成为破解新能源高渗透场景下电网建设质量瓶颈的关键突破口。文中聚焦变压器电磁暂态控制、电缆通道多场耦合防护及封闭母线动态稳定等核心技术环节,揭示施工过程中跨专业协同断裂、工艺离散化偏差及风险传导路径模糊等深层次矛盾,创新性提出基于数字线程的施工要素全域治理框架。通过构建 BIM-MBD 模型驱动的技术预见体系、虚实联动的工艺知识图谱及边缘智能赋能的缺陷阻断网络,实现施工质量从被动检验到过程自愈的跃升,形成支撑新型电力系统弹性构建的工程范式创新体系。

**[关键词]** 电力工程; 施工技术; 强化措施

DOI: 10.33142/aem.v7i6.17040

中图分类号: TM4

文献标识码: A

### Analysis of Key Points and Strengthening Measures in Electric Power Engineering Construction Technology

WANG Zongshi<sup>1</sup>, MAO Ruixu<sup>2</sup>

1. Liaoning Feizong Electric Power Design Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

2. Shenyang Electric Power Survey & Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

**Abstract:** The construction technology system of power engineering is undergoing a paradigm shift from experience driven to data empowered, and its refined governance capability has become a key breakthrough in solving the quality bottleneck of power grid construction in high penetration scenarios of new energy. The article focuses on core technical aspects such as transformer electromagnetic transient control, multi field coupling protection of cable channels, and dynamic stability of enclosed busbars, revealing deep-seated contradictions such as cross disciplinary collaborative fracture, process discretization deviation, and fuzzy risk transmission paths during the construction process. It innovatively proposes a comprehensive governance framework for construction elements based on digital threads. By constructing a BIM-MBD model driven technology foresight system, a virtual real linkage process knowledge graph, and a defect blocking network empowered by edge intelligence, the construction quality can leap from passive inspection to process self-healing, forming an engineering paradigm innovation system that supports the elastic construction of new power systems.

**Keywords:** power engineering; construction technology; strengthening measures

### 引言

新型电力系统建设驱动下,电力工程施工正面临多维技术重构与工程范式迭代的历史性转折。新能源场站集群接入引发的电压波动协调控制、电力电子化设备高频谐波抑制及多端柔性直流输电系统暂态耦合等新型技术需求,对施工工艺的电磁兼容设计与动态响应能力提出前所未有的挑战。传统施工模式受制于离散化技术决策与碎片化质控体系,在复杂场景下面临系统性失效风险:设备集成化趋势导致空间约束条件下的装配公差难以满足电磁场均匀分布要求;极端气候频发使得既有防腐、抗震设计标准与动态环境载荷失配;而隐蔽工程的全生命周期可追溯性缺失,更易引发接地网腐蚀、电缆护套龟裂等潜在缺陷。本文突破传统施工技术的单点优化逻辑,构建“数字孪生驱动-智能感知赋能-多目标协同”的新型理论框架,通过研发自适应装配工艺链、施工要素数字镜像系统及全向度风险阻断机制,实现施工过程从几何精度控制向电磁-机

械-热力学多物理场平衡的跨越。研究聚焦智能建造范式下施工参数的量子化感知、工艺逻辑的自主化演进及质量缺陷的预见性消除,旨在形成覆盖勘察设计、现场实施到运维移交的全域技术解决方案,为构建具有强环境适应性与高可靠性的新型电力基础设施提供方法论突破。

### 1 电力工程整体施工的特点

电力工程整体施工呈现多学科技术耦合、全周期风险叠加的显著特征。其技术体系需融合精密装配工艺与动态环境适配能力,在隐蔽工程交错分布、空间约束叠加及极端气象扰动等复杂场景下,实现电磁干扰抑制与机械应力控制的双重平衡。核心环节如全封闭组合电器气密性保障、大截面线缆空间形变抑制等,均要求毫米级公差管控与多物理场协同验证。施工过程需破解强电系统绝缘强度保持、弱电设备抗扰度提升及土建结构振动衰减的技术冲突,通过数字孪生模型实现多专业界面耦合仿真与建造逻辑推演<sup>[1]</sup>。这种多维约束下的工程实施模式,本质上要求建立

施工要素的动态感知与闭环调控机制,以全寿命周期可靠性为导向驱动工艺链重构,最终形成兼顾安全冗余与工程实体鲁棒性的新型建造范式。

## 2 电力工程施工关键技术

### 2.1 变压器安装施工技术

变压器安装施工是电力工程技术复杂度与工艺精度要求最高的环节之一,其质量直接关联电网的绝缘强度与电磁暂态响应特性。在运输阶段,需基于有限元分析构建设备动态力学模型,模拟复杂路况下的振动频谱分布,据此设计多维减震装置与重心补偿系统,确保套管瓷件在运输过程中承受的冲击加速度低于脆性材料耐受阈值。就位调平阶段采用激光全站仪与液压微调平台联动控制,通过三维坐标实时反馈实现本体水平度偏差 $\leq 0.1\text{mm/m}$ 的精准定位。绝缘油净化需构建真空度-温度-循环速率的耦合控制曲线,采用分子筛吸附联合低温脱水工艺,将油中溶解气体组分浓度控制在 $\mu\text{L/L}$ 级,并通过傅里叶红外光谱监测油质氧化产物生成趋势。附件组装环节实施洁净室级环境管控,运用粒子计数器监测作业区悬浮微粒浓度,对散热器翅片采用氮气流扫工艺清除加工残留金属屑。套管安装时采用力矩-转角双参数控制法紧固密封法兰,并运用超声探伤仪检测密封面微观裂纹。交接试验中除常规电气参数测试外,需引入极化-去极化电流法评估绝缘纸板聚合度衰减状态,并通过振动声学指纹图谱对比分析铁芯夹紧力均匀性。全过程采用温湿度记录仪与露点传感器构建闭环调控系统,确保安装环境相对湿度始终低于45%RH,为变压器投运后的绝缘寿命提供保障。

### 2.2 电缆通道施工技术

电缆通道作为承载和保护电力线缆的重要基础设施,其施工技术的合理应用对于提升线缆运行的安全性与稳定性具有重要意义。在正式施工前,应全面做好各项准备工作,完善工程设计方案,充分掌握施工区域的地质条件和周边环境因素,明确施工流程、工期安排以及人员组织等关键内容,确保施工有序开展。在施工过程中,通常采用凿地机械设备进行地面开挖,并及时清除开挖过程中产生的土石杂物,确保施工现场通畅整洁。施工中需特别注意对周边建筑结构及地下管线的有效保护,防止因施工操作对其造成破坏。同时,借助钻孔设备实施地下钻孔作业,为线缆通道的穿越、通风设施的安装等提供必要通道,并及时清理孔内残留的杂物与渣土,保障后续施工质量。在通道预制安装阶段,应严格依据设计图纸进行操作,确保通道安装牢固、连接稳定、结构平整,具备良好的承载能力与保护功能,从而有效提升电缆系统的整体运行性能。整个施工过程中,应落实全过程质量管控,对通道的尺寸规格、几何精度和表面质量等关键指标进行全面检测和调整<sup>[2]</sup>。在施工完成后,还需开展规范的验收程序,确保施工成果符合设计标准和技术规范,尤其是在通道间距和施

工细节方面满足安全与运行要求,从根本上预防因施工问题引发的运行隐患。

### 2.3 电缆敷设施工技术

电缆敷设技术的核心在于构建全流程损伤防控与热力学平衡体系。针对大截面电缆展放,需基于电缆刚度-曲率耦合模型设计自适应输送路径,采用多段式履带机同步驱动与张力反馈闭环控制,通过应变片实时监测绝缘层微形变,动态调整展放角度以规避交联聚乙烯分子链的剪切破坏。排管敷设前实施管道内部三维激光扫描,生成内壁凸起与毛刺的数字化点云模型,采用高分子聚合物喷涂工艺修复局部粗糙面,并注入气凝胶基润滑介质降低动态摩擦系数。直埋段施工需融合地温场仿真与土壤电化学腐蚀图谱,设计梯度式防腐结构:在强腐蚀区域采用纳米陶瓷涂层与玻纤复合带双层防护,中性土壤区则优化回填土的级配组成以提升散热效率。敷设全程采用超高频局部放电在线检测装置,捕捉电缆弯折处绝缘缺陷引发的微弱放电信号,同步标记地理信息坐标以便精准修复。热管理方面,除分布式光纤测温外,需在电缆接头处植入微型热电偶阵列,结合环境温湿度数据构建多维热路模型,通过载流量自适应调节算法抑制热累积效应。运维预埋环节引入射频识别电子标识器与地磁场定位技术,形成“物理标记-数字孪生”双通道可追溯系统,为全寿命周期状态评估提供数据基底。

### 2.4 封闭母线安装施工技术

封闭母线安装需构建从基础定位到动态稳定性保障的全流程精度控制体系。安装前基于激光跟踪仪建立三维空间坐标系,通过多点同步测量技术标定支撑绝缘子的基础面形位公差,采用高强合金垫片组与微米级位移传感器联动调节,消除设备基础因非均匀沉降导致的接触面倾斜偏差。母线单元拼装阶段实施“预紧-终紧-复测”三级扭矩施工工艺,运用接触电阻温升试验验证导电膏涂覆均匀性,并对螺栓应力分布进行超声导波检测,防止局部过紧引发金属蠕变。微正压充气系统的密封性验证需结合氦质谱检漏与气压衰减双重测试法,在充气管道关键节点布置压电式声发射传感器,捕捉微泄漏引发的超声波信号并定位渗漏点。抗震支吊架设计需基于地震动参数反演母线系统的振动传递函数,通过附加调谐质量阻尼器改变结构模态参数,规避地震频段与母线固有频率的耦合风险。施工全程需在洁净正压环境中进行,采用粒子计数器监控空气悬浮物浓度,防止金属粉尘侵入母线腔体引发放电隐患。安装完成后通过瞬态阻抗谱分析评估连接界面氧化程度,并模拟短路电流冲击工况验证动稳定裕度,确保母线系统在全生命周期内满足极端工况下的电气与机械性能要求。

### 2.5 控制柜安装施工技术

控制柜安装需实现机械-电气-环境多维度的协同精准控制,其工艺质量直接影响二次系统的抗干扰能力与运

行稳定性。柜体定位阶段采用激光三维扫描技术重构基础面点云模型,通过液压调平装置与微米级位移传感器联动,实现柜体垂直度与水平面贴合度的亚毫米级调控,并运用应变片监测柜体框架在调平过程中的应力分布,避免结构变形。二次接线实施分层拓扑绑扎工艺,依据线缆功能属性划分强电、弱电及通信线束层,采用防涡流扇形排布与硅胶基阻燃绑扎带固定,线号标识采用激光蚀刻与 RFID 芯片双冗余标记,确保全生命周期可追溯性。屏蔽电缆处理需构建多点等电位接地网络,在柜体底部设置铜排接地母线与屏蔽层采用压接-焊接复合工艺连接,同时对高频干扰源加装共模扼流圈与铁氧体磁环形成复合滤波屏障。调试阶段除常规向量测试外,需通过宽频网络分析仪检测 GOOSE 报文传输时延与抖动特性,结合继电保护仿真系统模拟区内外故障场景,验证逻辑闭锁与信号复归功能的时序匹配性<sup>[3]</sup>。环境适应性方面,柜内配置温湿度梯度传感器与凝露预警装置,通过半导体除湿模块与正压通风系统维持微环境参数稳定,防止凝露引发绝缘劣化或触点氧化。全过程采用静电消散涂层与离子风幕阻隔粉尘侵入,确保电子元件在洁净条件下实现功能最优。

### 3 电力工程施工技术的强化措施

#### 3.1 完善施工技术方案

电力工程施工技术方案的优化需构建“机理认知-智能推演-动态迭代”的闭环设计范式。技术方案编制阶段,通过多物理场耦合仿真技术解析冻土区热力耦合作用机理,结合高保真度三维地质模型与实时气象数据流,生成动态风险图谱与施工机械协同作业逻辑链。针对特殊地质条件,研发基于地质雷达波速反演的自适应施工工法库,例如在膨胀土区域设计预应力锚杆与高合金支护结构的复合地基处理方案,在岩溶发育区采用微型顶管机与注浆固化协同工艺穿越溶洞群。极端气候应对策略需融合气象集合预报与结构动力响应模型,开发台风路径概率预测驱动的临时加固装置智能布点算法,以及高温环境下混凝土水化热调控的相变储能模块植入技术。方案评审环节引入贝叶斯网络与知识图谱双引擎,构建施工缺陷演化路径的概率推理模型,通过蒙特卡洛模拟量化不同工艺参数对结构疲劳寿命的敏感度,形成容差边界自学习的参数优化矩阵。技术实施阶段部署边缘计算节点与数字孪生体的虚实同步校验机制,依托施工机械位姿传感数据流动态修正 BIM 模型中的吊装路径冲突概率,实现从静态预案到动态执行的智能跃迁。

#### 3.2 做好技术交底工作

技术交底需构建“认知重构-行为矫正-知识迭代”的全链闭环管理体系,通过技术逻辑的沉浸式渗透与施工场景的具身化映射,实现工艺要点的深度内化。基于 BIM 轻量化模型与混合现实(MR)智能终端,开发隐蔽工程全息影像沙盘,可动态分解 GIS 设备气室密封结构、电

缆终端应力锥装配序列等关键工序的微观构造,支持作业人员通过手势交互进行三维剖切观察。实操训练环节设计多模态感知模拟舱,集成本反馈机械臂与全景视觉系统,复现高压套管吊装扭矩超限告警、二次回路误接线火花触发等典型工况,通过生物电信号监测评估操作者的应激反应与肌肉记忆形成效率。知识传递机制引入缺陷案例图谱化分析工具,将历史工程中的密封失效、绝缘击穿等故障案例转化为时空拓扑关系网,运用图神经网络自动关联施工参数偏差与质量缺陷的因果链路。现场执行阶段部署智能语音辅助终端,采用自然语言处理技术解析作业人员的开放式技术疑问,实时调取标准工艺动画与禁忌操作警示案例库。工序交接环节创新应用区块链构建电子化双签系统,通过 NFC 芯片自动核验前后工序的技术参数匹配度,并生成不可篡改的交接质量溯源链,实现从“经验传递”到“基因编码”的技术传承模式升级。

#### 3.3 采用数字化技术

电力工程数字化施工需构建“感知-决策-执行”全链自主响应体系,通过多模态物联网传感终端与数字孪生体的深度融合,实现施工要素的原子级管控。在感知层部署厘米级 UWB/INS 组合定位基站群,结合惯性导航与地磁指纹匹配算法,实现施工机械亚米级轨迹追踪与碰撞预警,同时集成光纤光栅传感器网络实时捕获混凝土水化热梯度、螺栓预紧力衰减等隐性参数。边缘计算层采用 FPGA 加速的异构计算架构,并行处理塔吊摆幅频谱、地基微形变时序数据及环境噪声特征,通过长短时记忆网络预测结构共振风险并触发抑振装置预动作。云端数字孪生平台引入量子退火算法优化多目标资源调度,动态解算极端天气下施工机械的能量补给路径与吊装窗口期的帕累托最优解,同步生成 BIM 模型与物理实体间的偏差热力图。质量管控领域创新应用太赫兹波三维成像技术,非接触式检测焊缝微观气孔与电缆接头压接缺陷,通过对抗生成网络构建缺陷特征增强数据集,提升 AI 质检模型的泛化能力。施工数据价值链构建方面,采用联邦学习框架实现跨项目知识迁移,并基于智能合约构建施工质量数据的区块链存证系统,确保工艺参数的全生命周期可审计性与防篡改性,最终形成“数据驱动工艺迭代、智能重构生产范式”的新型建造生态。

### 4 结语

电力工程施工技术的范式重构正成为能源互联网演进的核心驱动力,其技术体系通过多学科交叉融合与全要素数字镜像,实现了工程建造从离散经验到系统智慧的质变突破。施工过程深度集成机器视觉的亚毫米级形变感知与数字孪生的多物理场耦合推演,构建起“感知-决策-执行”闭环控制链,彻底颠覆了传统施工的质量黑箱管控模式。这种技术跃迁不仅解决了复杂场景下的工艺离散化难题,更通过自组织施工网络的构建,使输变电设施与新能

源场站形成时空适配的拓扑关系。面向碳中和目标,施工技术的绿色化革新将推动材料循环利用与施工能耗的精准计量,而边缘智能体的分布式部署则赋予电网基础设施动态响应源荷波动的能力。随着量子传感与自适应算法的深度渗透,电力工程将突破物理空间与数字空间的交互壁垒,最终形成支撑能源互联网弹性扩展的智能建造生态体系。

#### [参考文献]

- [1]吕蕙卿,王博.电力工程施工技术关键点和强化措施分析[J].光源与照明,2025(1):246-248.
- [2]单江颖.电力工程施工技术关键点和强化措施研究[J].电工技术,2024(2):384-386.
- [3]胡金鑫.电力工程施工技术关键点和强化措施[J].科技创新与应用,2020(22):157-158.

作者简介:王宗实(1991.5—),毕业院校:东北电力大学,所学专业:电力系统及其自动化,当前就职单位:辽宁飞纵电力设计有限公司,职务:输电线路电气设计,职称级别:中级。