

Research on Installation Process Optimization and Quality Control Strategy of Electrical Automation Equipment for Power Supply and Distribution

Ming Li¹ Ting Song²

1. Cixi Power Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd., Cixi, Zhejiang, 315300, China

2. State Grid Zhejiang Cixi Power Supply Company, Cixi, Zhejiang, 315300, China

Abstract

With the growing demand for electronic automation installation equipment in power grid construction and operation, the installation techniques and quality of such systems directly determine the reliability and operational efficiency of power supply and distribution networks. Issues such as connection precision errors or improper testing procedures during installation may lead to equipment short circuits, posing significant risks to grid safety and operational effectiveness. This study focuses on the installation of electrical automation equipment in power supply and distribution systems, aiming to enhance installation quality, reduce failure rates, and provide insights for intelligent system upgrades.

Keywords

power supply and distribution system; electrical automation equipment; installation process optimization; quality control; full cycle management

供配电电气自动化设备安装工艺优化及质量控制策略研究

李明¹ 宋廷²

1. 慈溪市输变电工程有限公司, 中国·浙江 慈溪 315300

2. 国网浙江慈溪供电公司, 中国·浙江 慈溪 315300

摘要

随着电网建设和建设过程中对于供电及配电系统对电子自动化安装设备的需求越来越大, 其安装技术和安装施工质量将会直接作用于供电及配电系统的可靠性和可维护性水平。如果出现安装连接精度、安装测试程序方面的问题, 可能会引发设备短路等事故, 给电网的安全高效运行带来严重危害。本文则主要以供配电电气自动化设备安装为研究对象, 希望可以提高供配电电气自动化设备安装质量, 降低故障发生率, 为供配电系统智能化升级提供参考。

关键词

供配电系统; 电气自动化设备; 安装工艺优化; 质量控制; 全周期管理

1 引言

在能源转型和数字经济发展的背景之下, 供配电系统作为能源输送的主要载体, 它的自动化、智能化水平已经成为评价能源系统现代化程度的重要指标。供配电电气自动化设备凭借远程监控、智能调控等优势, 大大提高了系统运行效率。因此, 对供配电电气自动化设备安装工艺的优化以及质量控制策略进行研究, 是解决供配电电气自动化设备安装过程存在的问题, 提高供配电系统运行稳定性的必要之举, 为行业高质量发展提供强有力的支撑。

2 供配电电气自动化设备安装相关理论基础

2.1 供配电电气自动化设备核心类型及特性

供配电电气自动化设备核心类型按功能分为: 监控类代表智能电表、电力监控终端, 具备数据采集和实时传输的功能; 控制类有 PLC 控制器、变频器等, 作为“中枢神经”实现设备启停与负荷调节, 响应快、精度高; 保护类有继电器保护器、避雷器等, 毫秒级触发故障防护, 可靠性与动作准确性为关键^[1]。

各种设备特性相差很大, 监控类要求数据传输精确, 控制类要重视响应和调控精度, 保护类重在动作的可靠性, 转换类主要看能量转换效率和稳定性, 这种特性分野直接决定安装工艺必须差异化匹配。

【作者简介】李明(1980-), 男, 中国浙江宁波人, 助理工程师, 在职本科, 从事送、配电线路及设备运维研究。

2.2 安装工艺的核心要素及基本原则

安装工艺的主要要素为施工人员、设备、材料、流程和环境。施工人员要有资质并按规矩操作，起重机械，检测仪器这些施工设备要稳定且校准合格，电缆，绝缘材料这些施工材料得检验达标，设备从进场验收到接线调试的施工流程要有序衔接，精密设备还要符合恒温恒湿等环境条件。基本原则有四个，即安全第一，严格执行接地绝缘措施；规范作业，按施工标准和设计方案进行；准确控制，保证定位、接线等重要环节符合要求。

2.3 质量控制的核心理论与评价指标

质量控制主要理论有全面质量管理，强调全员、全过程的控制，建立责任体系；PDCA循环，即计划、实施、检查、处理的循环，不断改进；全过程控制，即对施工前、中、后三个阶段进行连续的控制。评价指标分为四类，安装精度指标（定位偏差、接线正确率等），运行稳定性指标（连续运行时间、故障发生率等），安全性能指标（绝缘电阻、接地电阻等），施工合规性指标（流程符合率、记录完整度等），指标要兼顾技术属性和实用价值。

3 供配电电气自动化设备安装工艺及质量控制现状分析

3.1 行业发展现状与安装工艺应用概况

智能电网以及新能源并网使得供配电自动化设备行业高速发展，智能开关柜、物联网监控设备等得到了广泛的应用。安装工艺呈现传统升级和新型推广并行的特征，人工定位、手工接线等被机械化、自动化工艺逐步取代，激光定位、智能扭矩扳手、BIM技术提高了精度和效率，BIM可以进行施工模拟和碰撞检查。大型企业因具有技术资金优势而率先使用先进的工艺，中小企业由于资源的限制仍然使用传统的工艺，工业领域的工况复杂，因此采用定制化的方案，民用领域的工艺较为标准化，行业工艺智能化趋势明显，但应用不均衡。

3.2 安装工艺存在的核心问题及成因分析

安装工艺的核心问题有三方面：第一关键工序精度不够，基础预埋偏差、接线压接不牢固、接地电阻过高等都会造成故障；第二流程衔接不顺畅，设备验收与基础施工脱节、调试安装配合不佳而延误工期；第三缺乏差异化工艺，高精度设备没有采取防尘、防干扰措施，影响稳定性。成因是技术上新型设备标准不健全，先进工艺推广不够，管理上工艺控制流程缺失，监督缺位，文件不规范，人员上专业素质参差不齐，技能欠缺，技术交底不到位。技术上新设备无标准、先进工艺推广受阻，管理上控流程缺位、监督失灵、文件不规范造成执行偏差，人员上有技能欠缺、交底不清晰造成操作不规范三层因素引发工艺问题。

3.3 质量控制现状及突出痛点

多数企业已经建立质量管理体系，但是缺乏有效的管理，大型企业依靠信息化平台实现质量动态控制，中小型企

业和个体企业依靠人工检测来发现问题，发现问题时已经存在了。突出痛点，事前预防缺失，设备验收走过场、方案论证不足、风险预估欠缺；事中把控断裂，关键工序检查频次不足、数据记载不全、责任难以追查；事后验收不合规，流程简单、检测不彻底。

4 供配电电气自动化设备安装工艺优化方案设计

4.1 优化目标与核心原则

工艺优化目标是要使精度提高到关键指标上达到99%以上、故障发生率下降，工期缩短20%以上，成本降低，制定出差异化方案来提高适应性，实现施工零安全事故，推动工艺标准化智能化。核心原则就是技术先进，采用BIM及自动化技术，实用落地，依据企业实力与工程需求，经济合理，确保质量，控制成本，协同管控，与质量安全管控相结合，动态调整，适应设备更新和环境变化。技术先进性原则是引进BIM等前沿技术，实用性原则保证方案落地，经济性原则平衡质量和成本，协同性原则实现多维度联动，动态性原则适应技术和环境变化，五个原则给优化方案指明方向^[2]。

4.2 施工全流程工艺优化设计

全流程优化形成闭环，进场阶段采用双人核对加专业检测的方式验收，按特性分区存放精密设备，基础施工阶段用BIM建模和激光定位，预埋偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，优化养护工艺。安装阶段用智能起重和激光定位准确就位，重型设备分区吊装，振动设备加减震；接线调试用自动化设备和智能扭矩扳手，二维码标识接线，分模块和整体联调，用智能平台记数据。验收阶段制定标准清单，用现场检测和运行监测相结合的方式，合格后交工艺档案。设备就位采用智能起重和激光定位相结合的方式，重型设备分区吊装防变形，振动设备加装减震装置；接线调试推广自动化工具和二维码标识，分模块调试后再联调，智能平台记录数据；验收实行标准化清单管理，合格后移交完整的档案。

4.3 关键工序工艺专项优化

关键工序专项优化，设备定位采用BIM+激光定位+智能找平，定位偏差不大于1mm，水平度偏差不大于0.2mm/m，电缆敷设用BIM规划路径，电缆牵引机器人代替人工，按直径选夹具固定，接头热缩密封。根据土壤选择接地极，酸性土壤用铜包钢，碱性土壤用镀锌钢，“钻孔深埋+降阻剂”使电阻 $\leq 4\Omega$ ，放热焊接代替螺栓并防腐；调试建立参数数据库，智能仪器比对生成报告，红外热成像定位故障点提高效率。接地装置根据土壤性质选择接地极，深埋钻孔加降阻剂使接地电阻小于 4Ω ；放热焊接提高连接可靠性并防腐；调试阶段建立参数数据库，用智能仪器对比生成报告，用红外热成像快速定位故障，大大提高了调试的精度和效率。

4.4 不同类型设备差异化工艺优化

差异化工艺优化：监控类设备用防尘防干扰柜体，远离强电磁源；屏蔽电缆单敷设并与动力电缆间距不小于

0.5m;控制类设备预留不小于0.3m的散热空间;分线端子区分电源、信号线路,接线后绝缘电阻 $\geq 10M\Omega$ 。保护类设备中继电器要接近操作区并且远离高压,避雷器安装在线端,独立接地防止动作延迟;转换类设备用3到5倍的重量防震基础,变压器油浸散热加温控,逆变器自然与强制散热结合保持温度稳定。

继电器近操作区远离高压,避雷器装进线端保证泄放效率,独立接地避免保护延迟;变压器采用3-5倍重量防震基础,油浸散热配温控,逆变器结合自然和强制散热,用差异化措施适配设备运行需求。

5 供配电电气自动化设备安装全周期质量控制体系构建

5.1 质量控制体系构建目标与框架设计

质量控制体系目标,创建起“事前、事中、事后”全部链条机制,安装合格率达到100%,投运一年内故障发生率不高于1%,创建起标准化的流程和评价体系,保证质量问题可以追溯并加以改进,从而达成多方协作的目的。框架采取“1加3加5”的形式,其中1代表一个核心目标即保证质量达标,3代表三个控制阶段即施工之前、施工之中、施工之后,5代表五个控制方面即人员、设备、材料、工艺、环境。以质量责任制为根本,标准化流程为基础,考核评价为保证,用信息平台进行信息实时传递。1+3+5框架中的核心目标就是质量达标,三阶段包含全过程,五维度做到了全方面控制。通过质量责任制来确定权责,用标准化流程来规范操作,靠考核评价来保证落实,凭信息平台来支持协同,从而形成闭环管控体系。

5.2 事前预防控制策略

事前预防从三个方面入手,方案设计多方论证,BIM模拟优化,关键工序编制专项方案;资源控制人员资质审核、岗前培训,设备定期校准,材料源头追溯、抽样检测;风险预估建立清单,用风险矩阵法评定等级,对高风险项制定防控措施和应急预案,签署质量责任书明确各方责任。

建立风险清单,用矩阵法对风险进行评级,对高风险项制定专项防控与应急预案,设置预警指标实时监测。签订质量责任协议,明确各方权责,把风险防控嵌入前期准备各个环节,从源头实现管控^[3]。

5.3 事中过程控制策略

事中控制用关键节点加实时监测加动态调整的方式,关键节点上实行三检制,隐蔽工程联合验收,搭建信息化平台,物联网传感器采集数据实时预警,视频监控全过程监督,

动态调整中建立工艺质量联动机制,依据环境变化进行调整参数,加强技术交底、问题整改,保证整改复查。实时监测数据反馈工艺缺陷的时候立即优化方案,环境变化时调整工艺参数。加强技术交底与过程指导,建立问题整改销号机制,复核检验整改效果,保证过程质量始终受控。

5.4 事后验收与追溯控制策略

事后验收采取分层验收和全面检测相结合的方式,即分项、分部、单位工程逐级验收,检测安装精度、电气、安全性能,空载和负载试运行不小于72小时,填写验收记录,不合格限期整改。追溯控制建信息化台账,做到“一人一岗、一物一码”,质量档案归档供运维参考;设备投运后3、6、12个月质量回访,收集反馈,解决问题。追溯台账对人员、设备、材料等信息进行全方位的记录,质量问题可以精确到人、到物。质量档案归档,运维的参考,投运后第3个月、6个月、12个月回访收集反馈,形成验收、追溯、改进闭环。

5.5 质量控制保障措施

保障措施共四层,组织上成立领导小组,建三级管控网,强多方协;技术上组研发团队,设专家咨询热线,更新技文件;管上编操作手册,质部门巡检“销号管”,请第三方检测;激上质指标连续效,奖惩分,重质量文化提全员意识。

管理上操作有手册,质量巡查有销号,第三方检测有客观评估;激励上有质量有绩效,奖惩分明;文化上有培训竞赛,提升全员质量意识,多维保障体系落地。

6 结语

综上所述,供配电电气自动化设备安装工艺优化及质量控制,对于保证供配电系统安全稳定运行有着十分重要的意义,对供配电系统智能化升级起到一定的推动作用。本文以安装工艺及质量控制理论研究、现状分析为基础,制定施工全流程、重点工序、差异化设备的工艺优化方案,建立全过程的事前、事中、事后质量控制体系。未来可以进一步开展极端工况下的安装工艺技术研究,用人工智能技术提高质量控制的智能化水平,为供配电行业可持续发展提供更好的支持。

参考文献

- [1] 柯朱华.配电自动化设备在供配电系统中的应用[J].现代工业经济和信息化,2022,12(06):145-146+149.
- [2] 陈名.浅析电力系统中电气自动化技术的应用[J].低碳世界,2018,(01):85-86.
- [3] 崔井龙.电气自动化控制在供配电系统中的运用[J].城市建设理论(电子版),2019,(15):99.