

变电站电气安装技术重点及施工工艺分析

王 珂¹, 张连操², 孙建海³, 邵华泽⁴

- (1. 山西睿帆建筑工程有限公司, 山西 太原 030000;
2. 湖北翰宇祥建设工程有限公司, 湖北 恩施 445000;
3. 北京京能建设装饰装修有限公司, 北京 102300;
4. 国投航空科技(北京)有限公司, 北京 100028)

摘 要 变电站电气安装是电网工程建设的关键环节, 其施工质量直接影响电网的安全稳定运行。本文从变电站电气安装的关键技术、重点环节和施工工艺三个方面进行了系统分析, 以为相关人员提供有益参考。在关键技术方面, 重点介绍了数字化电气安装技术、模块化电气安装技术和智能化电气安装技术的应用; 在重点环节方面, 分析了一次主设备安装精度控制、电缆敷设与压接施工质量控制、二次回路测试与联调以及接地系统施工要点等内容; 在施工工艺方面, 详细阐述了施工准备、主变压器安装、高压开关设备安装调试、电缆敷设与终端制作、二次设备安装与调试、接地系统施工以及系统调试与试运行等各个环节的具体工艺要求。

关键词 变电站电气安装; 施工工艺; 数字化; 模块化; 智能化

中图分类号: TM63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.25.013

0 引言

变电站是电力系统的枢纽, 其电气安装质量关乎电网的安全稳定运行。随着电网建设规模的不断扩大和技术水平的持续提升, 变电站电气安装也呈现出数字化、模块化、智能化的发展趋势。这对变电站电气安装施工提出了更高的要求, 需要在施工过程中严格贯彻相关技术标准和规范, 采用先进的施工工艺和质量控制手段, 确保电气安装的施工质量和效率。

1 变电站电气安装关键技术

1.1 数字化电气安装技术

数字化电气安装技术是指利用数字化技术对变电站电气设备进行安装、调试和管理的技术。该技术通过采用数字化的设计、仿真、制造和管理手段, 实现了电气安装过程的数字化和可视化。

数字化电气安装技术包括三维数字化设计、虚拟现实技术、数字化制造技术等^[1]。(1) 三维数字化设计可以通过建立变电站电气设备的三维模型, 实现设备布置的优化和碰撞检查; (2) 虚拟现实技术可以在虚拟环境中模拟电气安装过程, 提前发现潜在问题; (3) 数字化制造技术可以根据数字化模型实现设备的精准加工和装配, 通过应用数字化电气安装技术, 可以显著提高电气安装的效率和精度, 减少安装过程中的失误和返工。

1.2 模块化电气安装技术

模块化电气安装技术是指将变电站电气设备按照功能和结构进行模块化设计和制造, 并采用标准化的接口和安装方式, 实现电气设备的快速安装和更换。该技术可以显著缩短变电站电气安装的工期, 提高安装效率。同时, 模块化设计还可以提高电气设备的互换性和通用性, 便于后期的维护和升级。在模块化电气安装过程中, 需要严格控制每个模块的制造精度和安装精度, 确保模块之间的匹配和配合。此外, 还需要合理规划模块的功能和边界, 避免模块之间的干扰和冲突, 通过采用模块化电气安装技术, 可以实现变电站电气设备的标准化和系列化, 提高电气安装的工业化水平。

1.3 智能化电气安装技术

智能化电气安装技术是指利用物联网、大数据、人工智能等新兴技术, 实现变电站电气安装过程的智能化控制和管理。该技术通过在电气设备上部署各种传感器和监测装置, 实时采集设备运行状态数据, 并利用大数据分析技术对数据进行挖掘和分析, 及时发现设备的潜在故障和异常^[2]。同时, 智能化电气安装技术还可以利用人工智能算法优化电气设备的安装方案和参数, 提高安装效率和质量。在具体应用中, 智能化电气安装技术可以实现远程监控、故障诊断、预测性维护等功能, 大大提高了变电站电气安装的智能化水平, 确保电气安装质量和效率。

2 变电站电气安装技术重点

2.1 一次主设备的安装精度控制

变电站一次主设备主要包括变压器、断路器、隔离开关、互感器等,其安装精度直接影响设备的运行性能和可靠性。在一次主设备安装过程中,需要严格控制设备的就位精度、垂直度、同心度等关键参数。就位精度控制主要通过采用激光跟踪仪、全站仪等高精度测量设备,结合三维激光扫描技术,实现设备安装位置的高精度测量和校正。垂直度控制可以利用水准仪、电子水准仪等测量工具,确保设备的垂直安装。同心度控制主要针对断路器、互感器等需要同轴安装的设备,采用专用的同心度测量工具进行精确测量。此外,还需要加强设备基础施工质量控制,确保基础的平整度和强度满足要求。

2.2 电缆敷设与压接施工质量控制

电缆是变电站电气设备之间传输电能和信号的重要载体,其敷设和压接质量直接影响系统的安全稳定运行。在电缆敷设施工中,需要合理选择电缆的敷设路径和方式,避免电缆受到机械损伤和环境干扰;电缆沟、电缆托架等设施的施工要满足设计要求,确保电缆的支撑和固定牢固可靠;电缆终端和中间接头的压接施工是质量控制的重点,需要选用合适的压接工具和材料,严格按照操作规程进行施工^[3]。压接后的电缆需要进行绝缘性能测试和机械强度测试,确保压接质量满足要求;对于特殊环境下的电缆,如高温、潮湿等环境,需要采取相应的防护措施,如选用阻燃、防水电缆,设置电缆防火封堵等,加强电缆敷设与压接施工质量控制,可以降低电缆故障率,提高供电可靠性。

2.3 二次回路的测试与联调

变电站二次回路是指对一次设备进行测量、控制、保护和信号传输的控制线路,其测试与联调是变电站电气安装的重要内容。二次回路测试主要包括绝缘电阻测试、接地电阻测试、回路导通测试、功能测试等,需要利用兆欧表、接地电阻测试仪、继电保护测试仪、二次降压测试仪等专用设备进行测试,并详细记录测试数据。二次回路联调是指将各个控制设备和保护设备进行连接,形成完整的控制回路,并进行功能联合试验。联调过程中需要严格按照二次设计图纸进行接线,并对各个控制点进行逐一验证,确保控制逻辑和保护功能正确。联调完成后,需要进行全面的模拟试验,模拟各种工况下的控制和保护动作,并进行必要的调整和优化。

2.4 接地系统施工要点控制

变电站接地系统是保证人身和设备安全的重要防护措施,其施工质量直接关系到变电站的安全运行,

接地系统施工要点包括接地网的设计与布置、接地体的施工、接地引下线的敷设以及接地电阻的测试。接地网的设计与布置需要根据变电站的规模、电压等级、土壤电阻率等因素进行科学计算和优化,确保接地网的接地电阻满足设计要求。接地体施工需要严格控制焊接质量和防腐措施,确保接地体与大地的良好接触^[4]。接地引下线敷设需要选择最佳路径,避免与其他电缆和管道交叉,并采用专用的接地线夹进行可靠连接。接地电阻测试是验证接地系统施工质量的重要手段,需要在施工过程中和竣工后进行多次测试,确保接地电阻值稳定可靠。加强接地系统施工要点控制,可以有效降低变电站的接地故障风险,保障人身和设备安全。

3 变电站电气安装的施工工艺

3.1 施工前期准备工艺

施工前期准备是确保变电站电气安装顺利进行的基础环节。首先是技术准备,包括熟悉设计图纸、技术规范和施工方案,组织技术交底会议,明确各工种的施工要求和配合关系。其次是人员准备,配备具有相应资质的电气安装技术人员,进行安全技术培训和岗位技能培训。再次是物资准备,需要提前采购符合设计要求的电气设备、材料和工具,并进行质量检验和验收入库。最后是现场准备,包括搭建临时设施、布置施工场地、确保施工用电和用水供应。此外,还需要制定详细的施工进度计划和质量控制计划,建立完善的项目管理体系。

3.2 主变压器安装工艺技术要点

主变压器作为变电站的核心设备,其安装工艺要求极为严格。运输就位阶段需要使用专用的变压器运输车辆,运输过程中要避免剧烈振动和倾斜,就位前需要检查变压器的外观、附件完整性和油位情况,就位时采用大型起重设备配合液压平移装置,确保变压器平稳就位,就位精度控制在 $\pm 3\text{ mm}$ 以内。

安装过程中需要进行多项技术检测:首先是绝缘电阻测试,使用 $2\ 500\text{ V}$ 兆欧表测试各绕组间及绕组对地的绝缘电阻。其次是变比测试,验证变压器的变比是否符合设计要求。再次是直流电阻测试,检测各绕组的直流电阻值是否平衡。最后是油样化验,确保变压器油的各项指标合格^[5]。

3.3 高压开关设备安装调试工艺

气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)的安装需要在洁净环境中进行,先进行SF₆气体的充装前检查,确保气体纯度达到99.8%以上。设备安装时严格控制各间隔的对位精度,法兰连接处需要使用专用密封材料,

确保气密性良好。安装完成后进行 SF₆ 气体泄漏检测, 泄漏率不得超过 0.1%/ 年。

断路器安装需要严格控制安装高度和水平度, 垂直度偏差不超过 1%。机械特性调试包括分合闸时间测试、分合闸速度测试、同期性测试等。分合闸时间偏差不得超过 ± 2 ms, 三相分合闸不同期性不超过 5 ms。另外, 还需要进行绝缘性能测试和机械寿命测试, 确保断路器性能稳定可靠。

3.4 电缆敷设与终端制作工艺

电缆敷设前需要进行路径复核, 确保敷设路径畅通无阻。直埋电缆需要开挖电缆沟, 沟底铺设 100 mm 厚的细砂垫层, 电缆敷设后覆盖细砂并铺设保护板, 电缆隧道内敷设需要使用专用电缆托架, 托架间距根据电缆规格确定, 一般为 1.5 ~ 2.0 m。

电缆终端制作是关键工艺环节, 制作前需要对电缆进行外观检查和预试验, 剥切电缆时要保证切口平整, 各层结构完整。应力锥的安装需要严格控制尺寸, 确保应力分布均匀^[6]。绝缘处理采用多层包扎工艺, 每层重叠度不少于 1/2, 终端制作完成后需要进行耐压试验和局部放电试验, 确保绝缘性能良好。

3.5 二次设备安装与调试工艺

控制柜安装需要严格按照设计图纸进行定位, 柜体之间的连接要紧密平整, 柜内设备安装要整齐有序, 接线规范美观。控制电缆的铺设要分类捆扎, 标识清晰, 电缆与设备的连接要可靠, 端子压接要使用专用工具, 确保接触良好。

保护装置调试采用分级调试方式, 首先进行装置检验, 检查硬件配置和软件版本是否正确。然后进行定值整定, 根据系统运行方式和保护配合要求设定各项保护定值。最后进行功能试验, 模拟各种故障情况, 验证保护装置的动作特性和可靠性, 调试过程中需要详细记录试验数据, 并形成完整的调试报告。

3.6 接地系统施工工艺规范

接地网施工采用分段施工方式, 首先进行接地体敷设, 接地体采用热镀锌扁钢或圆钢, 埋深不小于 0.8 m, 接地体连接采用搭接焊接方式, 搭接长度不小于扁钢宽度的 2 倍或圆钢直径的 6 倍, 焊接质量要求焊缝饱满, 无气孔和夹渣。焊接完成后及时进行防腐处理, 涂刷防腐涂料。

接地引下线的安装需要选择最短路径, 避免形成闭合回路, 引下线与接地网的连接要可靠, 连接点要进行加强处理, 设备接地线的连接要使用专用接地线夹, 确保接触面积充足。接地电阻测试采用三点法或四点法, 测试结果要符合设计要求。

3.7 系统调试与试运行工艺

按照一次设备、二次设备、通信设备的顺序进行分系统调试。一次设备调试包括设备的机械特性试验、电气性能试验和保护联动试验。二次设备调试重点是保护装置的功能验证和整定值核查。通信设备调试包括通道测试、协议验证和数据传输测试。

系统联调是验证各子系统协调工作能力的关键环节。首先进行系统静态检查, 核对所有设备的状态和参数设置。然后进行动态联调, 模拟正常运行和故障情况下的系统响应。联调过程中需要重点验证保护配合关系、自动化功能和通信可靠性。

试运行分为空载试运行和负载试运行两个阶段。空载试运行主要验证设备的基本功能和系统的稳定性, 运行时间不少于 72 小时。负载试运行需要逐步增加负荷, 验证设备在额定工况下的运行性能, 试运行期间要进行 24 小时连续监测, 记录各项运行参数, 及时发现和处理异常情况。

4 结束语

变电站电气安装是一项系统性、专业性极强的工程, 涉及诸多关键技术和施工工艺。从宏观角度看, 需要紧跟智能电网发展趋势, 大力推广数字化、模块化、智能化电气安装技术, 提升变电站电气设备的智能化水平和互操作能力; 从微观角度看, 必须严格遵循电气安装的技术标准和规范, 重视一次主设备安装、电缆敷设、二次回路联调、接地系统施工等关键环节和工序的质量控制, 建立完善的施工组织管理体系。只有在技术创新和工艺规范两个方面持续发力, 才能不断提升变电站电气安装水平, 为电网的安全稳定运行提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 俞守君. 变电站电气安装技术重点及施工工艺[J]. 中国高新科技, 2024(06):72-74.
- [2] 齐白玉. 变电站电气安装技术重点及施工工艺探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(04):65-66, 70.
- [3] 刘道兴. 变电站电气安装技术重点及施工工艺研究[J]. 河南科技, 2020, 39(32):130-132.
- [4] 郝爽. 解析变电站电气设备安装技术重点及施工工艺[J]. 中国住宅设施, 2020(09):78-79.
- [5] 吴旭东. 浅析变电站电气设备安装技术重点及施工工艺[J]. 电子世界, 2020(01):69-70.
- [6] 王辉. 变电站电气设备安装技术重点及施工工艺初探[J]. 电子世界, 2019(01):42, 44.