

变电站电气安装施工中存在的问题及预防措施分析

刘 飞 姜 军

澄合矿业有限公司电力分公司 陕西 渭南 715200

摘要：变电站电气安装施工的质量直接决定电力系统的安全稳定运行。文章立足于变电站电气安装施工的关键环节与技术要求，从一次设备安装、母线安装、电缆敷设与接线、二次回路安装等关键环节入手，分析施工中存在的典型问题及成因，提出针对性预防措施，旨在为提升变电站电气安装施工质量提供技术参考。

关键词：变电站；电气安装；施工问题；预防措施；质量管控；电力设备

引言

变电站作为电力系统电能分配与电压转换的核心枢纽，其电气安装施工具有高风险、高精度、高技术密集的特点。随着智能电网技术的发展，变电站设备呈现数字化、模块化趋势，对安装工艺、参数控制及协同作业提出了更高要求。当前，部分工程因施工不规范导致设备运行故障频发，不仅影响电力供应可靠性，还可能造成重大经济损失。如变压器绝缘不良引发的跳闸、母线接触过热导致的停电事故等。因此，对电气安装施工中的关键问题进行系统梳理，制定科学的预防措施，对保障变电站安全运行具有重要现实意义。本文结合DL/T5161系列规范，从技术角度深入剖析施工问题，构建全流程质量管控体系。

1 变电站电气安装施工的关键环节与技术要求

1.1 一次设备安装

变电站电气施工的首要环节是进行一次设备安装，主要包括变压器、断路器、隔离开关等核心设备的就位与固定。基础平整度误差需控制在 $\leq 5\text{mm}$ ，采用水平仪多点测量确保设备安装面的水平精度；设备垂直度偏差 $\leq 1\%$ ，通过经纬仪校准保证本体垂直，避免运行时产生异常振动。接地系统需与设备金属外壳可靠连接，接地电阻值 $\leq 4\Omega$ ，使用接地电阻测试仪在干燥天气（雨后24h以上）测量，确保故障电流能快速泄放^[1]。所有安装工序需符合《电气装置安装工程电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范》（GB50148-2010）的技术要求。

1.2 母线安装

母线系统分为硬母线（矩形、圆形）和软母线两

作者简介：刘飞 1986-，男，汉族，陕西清涧，中级工程师，本科，主要研究方向：电力系统及其自动化。

姜军 1990-，男，汉族，辽宁辽阳，中级工程师，本科，主要研究方向：电力系统及其自动化。

类，承担着变电站内部电能传输的重要功能。其中，硬母线对接面需经机械打磨处理，接触电阻 \leq 同长度母线电阻的1.2倍，采用四端子法测量验证；相间距离误差 $\leq 10\text{mm}$ ，通过全站仪定位确保安全距离。软母线架设时需精确控制弛度，偏差控制在 $\pm 5\%$ 以内，根据环境温度（安装时温度与设计基准温度偏差）进行修正计算，使用弛度测量仪实时监测^[2]。安装过程需严格遵循《电气装置安装工程母线装置施工及验收规范》（GB50149-2010）的操作标准。

1.3 电缆敷设与接线

电缆敷设需根据绝缘类型控制弯曲半径，油浸纸绝缘电缆弯曲半径 ≥ 25 倍直径，交联聚乙烯电缆 ≥ 15 倍直径，使用曲率半径规现场核查。电缆排列间距 $\geq 30\text{mm}$ ，分层敷设时通过支架固定，避免相互挤压导致绝缘损伤。接线端子压接应采用专用液压工具，铜端子压接压力 $\geq 60\text{MPa}$ ，压接后检查压接面是否呈六边形且无裂纹；绝缘层剥切长度误差 $\leq 2\text{mm}$ ，确保端子与绝缘层过渡平滑，防止电场集中。

1.4 二次回路安装

二次回路布线质量直接影响系统可靠性，是实现设备控制、保护与监测的神经中枢。导线绝缘电阻 $\geq 1\text{M}\Omega$ （使用500V兆欧表测量），不同电压等级回路需分开敷设，间距 $\geq 150\text{mm}$ 。接线端子编号需与设计图纸完全一致，采用激光打标技术确保标识清晰耐久；回路接地严格执行“一点接地”原则，接地电阻 $\leq 4\Omega$ ，避免多点接地形成环流干扰测量信号^[3]。

2 变电站电气安装施工中存在的典型问题

2.1 一次设备安装问题

变压器安装常见基础预埋件水平偏差超标，超过5mm允许值时，导致变压器本体倾斜，造成油枕油位指示异常，严重时引发瓦斯保护误动作。器身绝缘电阻测试值偏低，25℃时未达到规范要求的 $\geq 1000\text{M}\Omega$ ，多因器身受潮

或绝缘老化导致，需进行干燥处理后方可投运。

断路器安装存在灭弧室位置偏差，分合闸行程误差超过 $\pm 3\text{mm}$ ，导致灭弧时间延长，影响开断性能；操作机构与本体连接螺栓松动，造成分合闸时间较设计值延长 $\geq 5\text{ms}$ ，极端情况下可能引发电弧重燃。隔离开关安装时触头接触不良，用 0.05mm 塞尺检查存在间隙，运行中接触电阻增大，温升超过 70K （环境温度以上）。

2.2 母线安装问题

硬母线连接处的对接面处理不规范，存在着镀层损伤或未彻底去除氧化层的现象，导致接触电阻超标，运行时发热温度超过 70℃ ，加速绝缘老化。软母线架设弛度调整不当，夏季高温时因热胀导致对地距离不足（ 110kV 母线对地距离 $< 2.7\text{m}$ ），冬季低温时因冷缩造成金具受力过载，超过设计允许拉力（钢芯铝绞线为破坏张力的 40% ）。

母线支撑绝缘子安装垂直度偏差 $> 1^\circ$ ，运行中在电磁力作用下产生共振，导致绝缘子机械疲劳，降低使用寿命。伸缩节安装角度偏差超过 $\pm 5^\circ$ ，温度变化时无法自由伸缩，形成附加应力，造成母线变形。

2.3 电缆施工问题

敷设过程中电缆弯曲半径过小，油浸纸绝缘电缆弯曲半径 < 25 倍直径时，绝缘层出现裂纹；多芯电缆敷设时牵引力集中于单根线芯，导致线芯断裂，通过导通测试可发现断线故障。电缆沟内积水未及时排除，导致电缆长期浸泡，绝缘电阻下降至 $< 1\text{M}\Omega$ ，存在击穿风险。

接线端子压接工具规格不匹配，铜端子使用铝压制模，导致压接处接触不良；相位标识混乱造成三相接线错误，通电后形成相序错误，导致电机反转或保护误动。电缆标识缺失或模糊，后期维护时难以识别电缆用途及走向，增加故障排查难度。

2.4 二次回路问题

布线混乱表现为导线绑扎间距不均匀，超过 300mm 允许值，且强弱电回路未分开敷设（间距 $< 150\text{mm}$ ），产生电磁干扰，导致保护装置测量精度下降。接线端子编号与图纸不符，采用手写标识易褪色，造成回路识别错误，延误故障处理时间。

接地不良表现为多点接地或接地电阻 $> 4\Omega$ ，导致保护装置误动或测量数据失真。屏蔽电缆未单端接地，形成“天线效应”接收干扰信号，造成遥测数据波动超过 $\pm 5\%$ 额定值^[4]。

3 变电站电气安装施工问题的成因分析

3.1 技术因素

施工人员不熟悉新型设备的安装工艺，如智能断路

器的电子操动机构调试未严格遵循厂家手册，导致分合闸参数偏差。测量工具精度不足，使用没有经过校准的扭矩扳手、兆欧表，造成绝缘电阻测量值误差 $> 10\%$ ，螺栓紧固力矩偏差 $\pm 15\%$ 。

施工方案没有考虑到环境因素的影响，大风天气（风速 $> 10\text{m/s}$ ）架设软母线，影响弛度调整精度，偏差超过 $\pm 5\%$ 设计值；高温天气（ $> 35\text{℃}$ ）进行电缆终端制作，导致绝缘材料性能下降。

3.2 管理因素

施工方案编制不详细，关键工序的质量控制点不明确，如母线对接面的处理标准、变压器器身检查的绝缘电阻测试时机等。技术交底不彻底，采用口头交底代替书面记录，施工人员对规范要求理解存在偏差，如误将“一点接地”执行为“多点接地”。

质量验收环节流于形式，未严格执行“三检制”，电缆接头等这类隐蔽工程未留存影像资料，后期出现问题难以追溯。特种作业人员资质不符合要求，高压试验工无证上岗，导致耐压试验数据不准确。

3.3 环境因素

受高温、高湿度影响，户外安装过程中，相对湿度 $> 85\%$ 时进行绝缘测试，数据比实际值偏低 30% 以上；大风天气（风速 $> 8\text{m/s}$ ）进行母线架设，弛度调整误差增加 $\pm 3\%$ 。施工现场粉尘过多，造成设备接触面污染，接触电阻增大 $\geq 20\%$ 。

冬季低温（ $< 0\text{℃}$ ）施工时，电缆柔韧性下降，敷设时容易出现绝缘层受损问题；夏季暴雨后电缆沟积水，由于排水排出不及时导致电缆受潮，绝缘电阻下降。

4 变电站电气安装施工问题的预防措施

4.1 一次设备安装的预防措施

在进行变压器安装作业前，用水平仪（精度 0.02mm/m ）对基础平整度进行检测，偏差超标时通过垫铁调整，垫铁数量 ≤ 3 块，且垫铁间焊接牢固。器身检查时使用 2500V 兆欧表测量绝缘电阻，若数值低于标准，进行真空干燥处理，干燥后绝缘电阻吸收比（ R_{60}/R_{15} ） ≥ 1.3 ，极化指数 ≥ 1.5 （ 500kV 设备）。

安装断路器需采用激光对中仪校准灭弧室位置，控制分合闸行程误差在 $\pm 1\text{mm}$ 内；使用扭矩扳手紧固操作机构与本体连接螺栓，扭矩值符合厂家规定（通常为 $35\text{-}40\text{N}\cdot\text{m}$ ），紧固后进行3次分合闸操作验证。安装完隔离开关后，用 0.05mm 塞尺检查触头接触情况，无间隙为合格，必要时进行触头研磨处理^[5]。

4.2 母线安装的预防措施

连接硬母线前，使用不锈钢丝刷去除对接面氧化

层, 涂抹电力复合脂(厚度0.2-0.3mm), 使用力矩扳手紧固螺栓(M12螺栓扭矩30-35N·m)。安装后用四端子法测量接触电阻, 确保 \leq 同长度母线电阻的1.2倍, 运行时温升 \leq 70K。

架设软母线前, 根据安装时的环境温度修正弛度值, 采用张力机控制张力(钢芯铝绞线张力 \leq 破坏张力的40%), 安装后用弛度测量仪复核, 偏差超限时通过调节金具花篮螺栓调整。母线支撑绝缘子安装用经纬仪校准垂直度, 偏差 \leq 1°, 紧固螺栓力矩符合规范(M10螺栓25-30N·m)。

4.3 电缆施工的预防措施

敷设前, 需对电缆型号进行核对, 确定其是否与设计要求一致。具体而言, 应根据电缆直径选择合适的敷设机械, 采用牵引头均匀受力, 牵引力控制为铜芯电缆 \leq 40N/mm², 铝芯电缆 \leq 30N/mm²。弯曲处设置导向轮, 确保弯曲半径符合规范, 油浸纸绝缘电缆 \geq 25倍直径, 交联聚乙烯电缆 \geq 15倍直径。

压接接线端子前, 要确保检查工具与端子匹配性, 铜端子使用铜制压模, 按“先压根部后压端部”的顺序压接, 压接后检查压接面是否平整, 无裂纹和毛刺。电缆标识采用耐候性材料, 标明型号、规格、起止点及相

位, 固定在电缆两端及中间位置^[6]。

4.4 二次回路的预防措施

采用线槽或穿管敷设方式布线, 分开布置强弱电回路, 间距 \geq 200mm, 导线绑扎间距均匀(150-200mm), 每个接线端子接线数量 \leq 2根。使用500V兆欧表测试导线绝缘电阻, 确保 \geq 1MΩ, 测试前放电 \geq 1min。

回路接地采用截面 \geq 25mm²的铜排, 单点连接至接地网, 使用接地电阻测试仪(精度1%)测量, 确保 \leq 4Ω。屏蔽电缆的屏蔽层单端接地, 接地电阻 \leq 4Ω, 避免形成干扰回路。

4.5 施工过程的质量监控措施

引入安装质量指数公式实现量化评估:

$$QI = (\text{实测合格项数}/\text{总检查项数}) \times 100 - (\text{严重缺陷项数} \times 5)$$

式中, QI \geq 90为优良, 80 \leq QI $<$ 90为合格, QI $<$ 80为不合格。当QI $<$ 80时, 需停工整改, 整改后重新评估, 直至达到合格标准。该公式可有效量化施工质量, 避免主观判断偏差。

建立施工风险分析表(表1), 针对高风险工序制定专项控制措施:

表1 变电站电气安装施工风险分析表

施工工序	风险因素	风险等级	控制措施
变压器吊装	吊装失衡导致设备损坏	高	采用双机抬吊(吊点对称分布), 吊装前验算钢丝绳强度(安全系数 \geq 6), 设置专人指挥
电缆压接	压接不良导致过热	中	压接后进行拉力测试(\geq 电缆导体拉断力的90%), 外观检查合格后张贴合格标识
二次接线	接线错误导致保护误动	高	接线后进行导通测试和绝缘测试, 采用回路标识牌与图纸双重确认, 专人复核

结束语: 总之, 为保证变电站电气安装施工质量, 需从关键环节入手, 严格控制技术参数, 系统防范典型问题。通过优化施工工艺、强化技术培训、完善质量管控体系, 可有效提升安装质量。同时, 引入安装质量指数公式和风险分析表, 为施工质量的量化评估与风险预警提供了便利, 实现了对施工质量的精细化管理。未来, 随着BIM技术与物联网的应用, 变电站电气安装将向数字化、智能化方向发展, 通过三维建模预演、实时参数监测等手段, 进一步提升施工精度与效率, 为构建可靠的电力系统奠定坚实基础。

参考文献

[1]吴嘉玮. 变电站电气安装施工常见的故障及处理技

术研究[J]. 光源与照明, 2024, (08): 231-233.

[2]牛牧之, 王瑞. 变电站电气安装施工中存在的问题及预防措施分析[J]. 电气技术与经济, 2022, (04): 143-145.

[3]郑皓. 变电站电气安装施工技术分析[J]. 大众标准化, 2020, (24): 202-203.

[4]刘道兴. 变电站电气安装施工常见的故障及处理措施探究[J]. 无线互联科技, 2020, 17(18): 173-174.

[5]王培涛. 变电站电气安装施工中存在的问题及预防措施[J]. 科技创新与应用, 2020, (21): 134-135.

[6]许辉. 变电站电气安装施工技术研究[J]. 科技与创新, 2020, (12): 84-85.