

电力系统电气设备安装与调试技术的研究

张杭飞

杭州萧山新奥燃气有限公司，浙江杭州，311100；

摘要：随着电力系统规模的不断扩大和智能电网建设的深入推进，电气设备的安装与调试技术逐渐成为保障电力系统安全、稳定运行的关键环节。本文围绕电力系统主要电气设备的安装与调试技术展开系统研究，旨在为电力工程实践提供技术参考，提升电气设备安装调试的质量与效率，助力电力系统可靠性与经济性的进一步提升。

关键词：电力系统；电气设备；安装与调试

DOI：10.69979/3060-8767.26.01.015

引言

随着电网结构日趋复杂，电压等级不断提高以及可再生能源的大规模接入，对电气设备的安装精度、调试水平和运行维护提出了更高要求，传统的电气设备安装与调试多依赖人工经验，存在效率低、一致性差、安全隐患多等问题，随着传感技术、数字化诊断和智能化运维手段的发展，电气设备的安装与调试逐步向更加标准化、精细化、智能化方向演进。

1 项目概况

某电力企业因系统运行故障导致大规模停电，经全面排查，发现根源在于电力设备安装与调试环节的规范化水平不足，具体表现为：在安装过程中，作业人员对设备安装流程掌握不清，尤其在换流变压器安装时，存在安装环境未达标准、导线连接不牢固、技术方案设计不合理等问题；在调试阶段，则出现了忽视耐压试验、未制定可靠传动试验方案等情况，导致隐患未能及时发现。

为彻底消除此类问题，企业决定系统梳理电气设备安装技术的应用要点。通过明确设备安装环境标准、规范导线连接工艺、优化技术方案设计，全面提升安装环节的规范化水平。同时，加强调试阶段的管理，严格执行耐压试验等关键检测项目，并针对传动回路调试制定详细可行的试验方案，确保调试过程科学、有效。同时，企业将以此为契机，推动安装与调试作业向专业化、标准化转型，通过全过程规范操作与严格检验，实现问题早发现、早解决，切实保障电力系统长期安全、稳定、可靠运行。

2 电力系统中换流变压器安装技术应用要点

2.1 总体安装

换流变压器组件开展复装工作时要严格在厂家技术人员全程指导下开展，以此来保证操作流程的规范性

和安全性，要是零部件安装以及内部引线连接没办法在一天内完成，那就得马上采取保护措施：所有敞开的盖板都要进行全面封堵，并且要对变压器本体进行抽真空保存，在抽真空的过程中，真空度要严格控制在不高于 100 帕，要保证所有密封垫表面清洁、光滑，不存在任何杂质，维持可靠的密封状态^[1]。

在冷却系统进行安装之前，要先对冷却器以及联管内部的清洁程度展开检测，以此防止杂质对后期的运行产生影响，对于网侧出线装置的安装而言，需要着重关注绝缘螺栓的紧固状况以及所有绝缘件的清洁程度，以此保证绝缘件与器身对应角环可实现紧密配合，防止出现间隙或者错位的情况。网套管的安装以及接线工作，应当预先连接套管下部导杆与引线，认真调整出线装置、引线以及套管这三者之间的配合关系，保证套管下部与引线可顺利进入出线绝缘均压环内，保障电场均匀分布。

套管吊装要使用 GOE100kV 专用吊具，这是为契合高电压等级套管安装要求，阀侧升高座安装按先阀 b 后阀 a 的顺序，用电动葫芦灵活调整角度，阀 b 角度 21°，阀 a 角度 29°，保证就位准确，阀套管安装时先定位套管尾部接线端子，再借助倒链把套管慢慢插入升高座，让套管法兰与升高座法兰间距约 300mm。插入时同步往阀套管内充高纯度 SF₆ 气体，气体纯度大于 99.993%，充气压力到 3.2 巴停止，在安装阶段形成内部绝缘与密封保护^[2]。

2.2 真空注油、循环、静放

前期准备阶段对于保障换流变压器安全稳定运行而言非常关键，操作人员要先逐个安装真空计以及真空机组，在确认连接牢固之后，打开相关阀门，启动真空机组开展时长为 4h 的抽真空工作，此过程的核心指标规定油箱内真空度需低于 100Pa，并且系统泄漏率不能超过 100Pa·L/s。要是抽真空结束后未同时契合这两项要求，那就得马上转入正压检漏程序：具体做法是往变

压器本体内充入干燥空气,把内部压力精准控制在20~50kPa的范围,之后作业人员要在所有密封接口、焊缝等关键部位均匀涂抹肥皂水,认真检查有无气泡出现,一旦发现漏点,要马上停机并完全排除泄漏隐患。

当完成了检漏工作并且确定密封状况良好之后,便进入到热油循环的阶段,要把滤油机的出油口与变压器的DN80阀门进行可靠的连接,同时将循环方向设定为从上方进入下方流出,在循环的过程中,出口处的油温应当稳定地保持在70摄氏度,滤油机的流量每h不能低于8t,要持续循环72h。在此期间需要启动冷却器,并且要保证油泵单独循环运行24h,循环结束以后,从变压器内部提取油样来进行化验,合格的标准是:在90摄氏度的情况下,介质损耗因数不超过0.5%,击穿电压高于75kV,含水量低于10mg/kg,含气量不超过0.5%,并且不存在粒径大于50 μ m的固体颗粒。

最后开展真空注油与密封试验,注油完毕后,将气体继电器和储油柜当作主要检测对象,运用氮气减压器给变压器施加一定油压来进行试漏,当油箱底部压力达到100kPa的时候,要至少连续观察24h,仔细记录变压器各个部位是否有渗油现象,以此保证设备在长期运行过程中拥有较高的密封可靠性。整个流程紧密相连,严格的质量控制是保障变压器性能以及寿命的基础^[3]。

2.3 安装故障分析与解决

安装换流变压器时,相关设备是单相单绕组结构,有12台双极,每台容量为297.5MVA,绕组电压是500kV/229kV,单体重量达380t,安装和调试要求很严格,安装后的实验阶段,技术人员发现分接头切换开关工作不正常,电流指示有明显波动,超出正常允许范围。经过详细检测,确定问题原因是切换开关内部有异常附着物,致使接触不良或动作受阻,初步判断,这些附着物可能是设备运输或现场安装时,因环境湿度高,金属表面生锈形成的,潮湿环境会让开关部件受潮,引发氧化,影响电气与机械性能。

2.4 注意事项

在安全前期准备阶段,对于变压器本体检查环境要实施严格管控,一方面,要保证工作现场空气温度高于0℃且空气湿度低于75%,同时严格把控变压器器身暴露在空气中的时长不超过12h,以此防止绝缘受潮,油箱内部气压也是监控要点,需维持在0.01~0.03MPa范围,保证内部密封状态稳定,防止外部湿气或杂质侵入。另一方面,要对变压器附件进行系统核对,专业技术人员依据采购清单,逐个清点变压器本体及所有配套零部件,确认型号、规格与数量完全一致,一旦发现附件缺

失或不符合要求,应马上与设备厂家沟通,及时补充或更换,保证所有组件完整可用,防止影响后续安装与调试,完成环境与附件检查后,要对变压器整体结构进行检测。利用三维冲击记录仪,精确测量设备在运输过程中受到的冲击情况,若记录仪显示冲击数值大于3g,说明设备在运输阶段可能遭遇剧烈碰撞或振动,需排查并采取相应调整与维护措施,若数值小于3g,则说明运输过程平稳,设备未受到明显冲击,可继续开展后续安装工作。

变压器安装阶段里的套管与引线安装属于关键工序,这一工序主要覆盖高压套管和低压套管这两种类型,对高压套管进行安装时要细致地开展操作:首先要把套管内部多余的汽油排除掉,以此保证内部处于洁净状态,接下来将升高座吊起,认真擦拭其表面存在的油污以及灰尘,防止有杂质对密封以及绝缘造成影响。安装过程要在高压套管喉部位置使用专用起吊夹具,把滑轮以及牵引绳稳固地固定在吊钩上,缓慢且平稳地提升套管,逐渐移动到升高座上方,对准位置后借助螺栓将其完全固定好,整个过程中要让套管保持垂直,防止出现碰撞情况,低压套管的安装更加侧重于前期检查工作^[4]。

3 电力系统中电气设备调试的技术要点

3.1 调试换流变压器

换流变压器属于高压直流输电系统里的关键设备,它调试过程的严谨程度和全面状况,直接关联着整个输电系统能否安全稳定地运行,就拿温升试验来说,它主要是为了验证变压器在长期处于额定负载运行的条件时,各个部位的温升是不是能被控制在设计规定的限值范围以内,并且着重去探查铁芯结构件、载流回路连接点、油箱壁以及附件等地方是否有局部过热的隐患存在。这个实验模拟的是实际运行时的热状态,是对变压器绝缘材料热老化寿命以及负载能力进行评估的关键参考依据,在测定油温过程中,需要在油箱不同的高度位置最少安装两个高精度温度传感器,分别对顶层油温和底部油温进行实时监测,把这二者的平均值计算出来,可得到相对准确的油平均温度,同时还要在距离热辐射比较远的地方测量环境温度当作基准。在这个基础之上,结合热时间常数等参数,可以计算或者推算出绕组的平均温度,全面地评估变压器的散热性能以及热平衡状态,实验结果说明了,该换流变压器各个部件的温升参数都符合标准限值的要求,运行状态稳定,未发现局部过热等异常的现象,热性能表现不错^[5]。

阀侧绕组外施交流耐压试验是检验其绝缘强度的关键步骤,主要验证阀侧绕组相对于其他绕组及地的绝缘耐受能力,此次实验电压设定为938kV,对其主绝缘

与纵绝缘的可靠性提出较高要求,实验前,要精心准备电容分压器、串联谐振实验系统、局部放电测量仪等专用设备,还要确认试品油位正常。接线时,把分压器准确接入阀侧端子,安排专人全程监测实验电压数值,为保证测量准确性,先注入 500pC 标准方波信号校准局部放电测试系统,实验开始后,合闸逐步升压,密切留意峰值电压表与电流表读数,电压达到 938kV 实验值后,维持该电压水平 60min,期间严格监测局部放电量及其他情况。随后缓慢将电压降至实验值的 1/3 以下,再切断电源,实验全程中,电压下降平稳,电流指示灯无异常摆动,未听到放电声响,局部放电量一直低于 100pC 的合格标准,且无异常增长趋势,这些现象说明,阀侧绕组绝缘性能良好,实验顺利通过,为换流变压器的长期安全运行打下坚实基础。

3.2 调试回路传动

在调试回路传动过程之际,务必要在通电之前将各类安全隐患完全排除干净,一开始会由电气技术人员对系统展开全面的检查工作,以此保证不存在机械干涉以及线路松动这类问题,紧接着会系统性地测量各个回路的绝缘电阻,借助高精度数字兆欧表等现代化的仪表来实施智能化检测,这样可以有效地减少人为读数误差以及环境干扰,精准地判断是否存在金属接地或者绝缘薄弱点。针对二次回路,需要采用 500V 兆欧表进行细致的检测,获取完整且可靠的绝缘数据报告,并且要与工程设计图纸以及电气标准一项一项地进行对比,以此保证调试结果符合规范要求。

在传动装置进行调试的阶段当中,为了提高控制的精准程度,可以把 PID 控制算法引入进来,以此对相关参数进行整定操作,结合 Mason 增益公式,针对信号流图展开系统层面的分析,准确地计算出电力设备控制系统的整体增益以及动态特性,运用这样的方法,可对调节过程起到优化作用,实现快速且稳定的闭环控制效果,保证设备在负载出现变化或者受到外部干扰的情况下,依然可以精确无误且可靠稳定地运行。

3.3 调试智能变电站保护设备

智能变电站保护设备的调试工作中,科学且合理的流程以及方法是极为关键的,调试要依照“测量比较、逻辑判断、执行输出”这样的基本架构来开展,并且要充分借助智能化方式去统计故障录波数据,依据这些数据来制定切实可行的调试方案,故障录波数据的统计要以 COMTRADE 标准格式作为依据,精确记录故障开始与结束前后总共 5 个周期的数据,还要完成相应的计算

加载。之后可以引入简化的指数结合法,针对继电保护设备的运行工况进行量化评估,对变电站整体保护配置与结构展开深入分析。

依据上述数据分析所形成的认识来看,保护设备的调试方案应当系统地划分成生产调试与运行调试这两大阶段,生产调试主要是由设备厂家来主导,在常规流程的基础之上,建议强化出厂调试这一环节,以此保证设备在出厂之前其基本功能以及性能可以达到标准要求,运行调试是由现场专业技术人员负责,需要依据实际情况分别设计有针对性的方案,其中覆盖针对断路器的分合闸调试、针对所有保护功能的全部调试以及针对特定回路或功能的部分调试。要是设备投入运行之后运行环境出现了变化,那么还应当及时启动补充性调试。

在挑选具体调试方法时,存在两大主要方向,其一为通电检查,着重验证设备硬件以及基本软件的状态,涉及液晶显示屏是否处于正常状态、软件版本号是否准确无误、菜单目录结构是否清晰明了,并且要与设备说明书给予核对,其二是逻辑功能实验,这要求技术人员严格按照保护设备说明书,绘制清晰的保护逻辑框图,设定并调节相关基础技术参数,最后借助专用测量仪器或者测试设备对保护功能的正确性与可靠性加以验证,保证设备在实际运行时可准确且可靠地动作。通过这种层次清晰、方法明确的调试体系,可有效保障智能变电站保护设备的可靠投运以及稳定运行。

4 结语

本文立足于电力系统发展需求与工程技术实践,系统梳理电气设备安装与调试的关键技术,并探索新技术在其中的应用路径,旨在为构建安全、高效、绿色的现代电力系统提供技术支撑。

参考文献

- [1] 丁富春. 电力系统电气设备安装与调试技术分析[J]. 电气应用, 2025, 44(08): 94-98.
- [2] 王仕辉. 电力系统电气设备安装与调试技术探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(12): 123-126.
- [3] 胡迪. 电力系统电气设备安装与调试技术研究[J]. 光源与照明, 2023, (11): 177-179.
- [4] 邹忠高. 电力系统电气设备安装与调试技术运用研究[J]. 中国设备工程, 2023, (19): 81-83.
- [5] 杨永, 吴秀峰, 韩文治, 等. 电力系统和电气设备安装与调试的技术研究[C]//广东省国科电力科学研究院. 第三届电力工程与技术学术交流会议论文集. 洛阳栾川钼业集团股份有限公司; 2023: 61-66.