

电气工程中气体绝缘开关设备安装与调试技术研究

蒋良勇 方道

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司昆明局

DOI:10.12238/etd.v6i6.16813

[摘要] 本文聚焦电气工程中气体绝缘开关设备(GIS)的安装与调试技术。首先阐述GIS的基础理论,包括结构、性能指标及故障类型。接着深入研究安装技术,涵盖安装前准备、工艺流程与关键质量控制点;详细探讨调试技术,涉及机械特性、电气性能、二次系统调试及智能调试技术应用。最后分析安装与调试中的常见问题并提出解决方案与优化措施,为GIS的安全稳定运行提供技术支持。

[关键词] 气体绝缘开关设备(GIS); 安装工艺; 调试技术

中图分类号: TM595 **文献标识码:** A

Research on Installation and Commissioning Technology of Gas Insulated Switchgear (GIS) in Electrical Engineering

Liangyong Jiang Xiao Fang

Kunming Bureau, Extra High Voltage Transmission Company, China Southern Power Grid Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on the installation and commissioning technology of Gas Insulated Switchgear (GIS) in electrical engineering. Firstly, it elaborates on the basic theory of GIS, including its structure, performance indicators, and fault types. Subsequently, it deeply studies the installation technology, covering pre-installation preparation, process flow, and key quality control points. The commissioning technology is discussed in detail, involving mechanical characteristics, electrical performance, secondary system commissioning, and the application of intelligent commissioning technology. Finally, common problems in installation and commissioning are analyzed, and corresponding solutions and optimization measures are proposed, providing technical support for the safe and stable operation of GIS.

[Key words] Gas Insulated Switchgear (GIS); Installation Process; Commissioning Technology

引言

在电气工程领域,气体绝缘开关设备(GIS)凭借其高度集成化、占地面积小、可靠性高等优势,成为高压输电与配电系统的关键装备。然而,GIS的安装与调试质量直接影响其运行性能和寿命。安装工艺的细微偏差、调试环节的参数失准,都可能引发设备故障,威胁电网安全。因此,深入研究GIS安装与调试技术,分析常见问题并提出有效对策,对于保障电气工程稳定运行具有重要意义。

1 电气工程中气体绝缘开关设备基础理论

1.1 GIS设备结构与工作原理

气体绝缘开关设备(GIS)是以六氟化硫(SF₆)气体为绝缘介质,将断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器、避雷器、母线等高压电气元件集成于金属封闭外壳内的组合电器。其核心结构由多个功能单元组成,每个单元称为间隔,包括进线间隔、出线间隔、母联间隔等。GIS的气体系统通过独立气室划分,断路器气室压力较高,内部集成电流互感器;主母线、电

压互感器、避雷器分别设置独立气室,其他元件根据工程需求灵活划分。GIS的三相共箱式结构采用钢筒或铸铝壳体,避免磁滞和涡流发热,主母线落地布置降低设备高度,金属波纹管补偿安装误差。终端元件包括SF₆充气瓷套管和电缆终端,前者耐受III级污秽等级,后者实现高压电缆与GIS的可靠连接。气体监视系统通过带温度补偿的气压表实时监测气室压力,绿色区域为正常值,黄色区域触发告警,红色区域导致闭锁。

1.2 关键性能指标

GIS设备核心性能指标包括可靠性、环境适应性、维护周期与经济性。可靠性上,故障率仅为常规敞开式设备的20%-40%,主要部件维修间隔超20年,运行首年故障率0.53次/间隔,次年降至0.06次/间隔^[1]。环境适应性方面,温度范围-25℃至+55℃,海拔适应4000米,可耐受III级污秽。维护周期上,年气体泄漏率≤0.1%,采用激光焊接不锈钢气箱与IP67防护密封结构。经济性上,占地面积较常规设备缩小超60%,35kV-GIS柜宽低于600mm、重减轻50%。技术参数优,断路器开断电流达63kA等。部分产品

用干燥空气替代SF₆, GWP<1, 符合欧盟法规。

1.3 常见故障类型

GIS设备故障有放电、绝缘与机械故障。放电故障多因触头安装缺陷, 如110kV变电站刀闸触头接触不紧密致过热, 引发B相刀闸观察口放电。绝缘故障常见于绝缘子表面处理不当, 如母线气室绝缘台后表面有毛刺, 运行形成放电通道, 致筒壁和屏蔽罩烧蚀。机械故障含联锁装置失效, 如隔离开关与接地开关联锁错误致误操作等。统计显示, 隔离开关故障率最高(30%)。典型案例中, 220kV GIS因避雷器绝缘子内部气隙缺陷击穿, 致相邻气室SF₆压力骤降。SF₆气体微水超标会加速绝缘子老化, 引发局部放电。

2 电气工程中气体绝缘开关设备安装技术研究

2.1 安装前准备

安装前需完成基础校验、环境控制及工器具准备。基础校验包括复测预埋件高度, 确保工字钢较混凝土基础面高出10mm以上, 使用激光水平仪检测基础槽钢水平度, 偏差需控制在±2mm/m以内。环境控制要求安装区域清洁度达到ISO8级标准, 户外施工需搭建防尘棚, 户内施工参照无尘车间标准, 温度控制在5℃-40℃, 湿度≤80%。工器具准备包括专用吊装带、力矩扳手(精度±3%)、吸尘器(功率≥2kW)及密封胶注射枪, 所有工具需经校准并登记管理。材料检查方面, SF₆气体需符合IEC60376标准, 微水含量≤8 μL/L, 吸附剂需在烘箱中200℃干燥4小时, 密封圈需检查无变形、裂纹, O型圈压缩率控制在15%-30%。

2.2 安装工艺流程

安装工艺流程分为导体连接、气室组装及密封处理。导体连接采用插入式结构, 梅花触头插入深度需满足制造厂技术值(如H-75±2mm), 使用千分尺检测三相导电杆端部间距, 偏差≤±3mm。气室组装时, 先安装下侧电流互感器单元, 使用专用支撑临时固定, 再吊装断路器模块, 通过手拉葫芦调整对接位置, 法兰对接面涂抹F5型密封胶, 螺栓紧固力矩按制造厂要求分三步施加(50%、80%、100%)。密封处理包括O型圈安装, 需在密封槽内均匀涂抹硅脂, 紧固后使用力矩扳手复核, 波纹管补偿器调整量≤±10mm。典型案例中, 某110kV GIS安装时因导电杆镀银层氧化导致接触电阻超标(>120 μΩ), 返工处理后通过直流电阻测试仪验证合格。

2.3 关键安装质量控制点

关键质量控制点涵盖精度、净度、密封度及湿度。精度控制包括轴线偏移≤±2mm, 使用经纬仪从横向、纵向划线定位, 波纹管螺杆调整量≤±5mm。净度控制要求导电杆表面粗糙度Ra≤0.8 μm, 使用抛光网去除毛刺后, 依次用白棉布、的确良布蘸丙酮清洗, 最后用无尘纸擦拭。密封度控制采用局部包扎法检漏, 年泄漏率≤0.5%, 法兰对接面密封胶厚度控制在0.5mm-1mm。湿度控制要求抽真空至133Pa以下, 保持时间≥2小时, 充注SF₆气体前需检测露点≤-45℃。某220kV GIS安装时因吸附剂暴露时间过长(>1小时)导致气体含水量超标, 通过更换吸附剂并重新抽真空处理后合格^[2]。

3 电气工程中气体绝缘开关设备调试技术研究

3.1 机械特性调试

机械特性调试包括分合闸时间、速度及同期性测试。分合闸时间使用开关特性测试仪测量, 断路器合闸时间标准值80ms-120ms, 分闸时间30ms-50ms, 偏差超过±10%需调整弹簧能量或操作机构气压。速度测试通过行程传感器记录动触头运动曲线, 刚分/刚合速度需满足制造厂要求(如400mm/s-600mm/s)。同期性测试要求三相分合闸时间差≤2ms, 使用示波器捕捉触头动作信号, 500kV GIS调试时发现B相分闸时间超标3ms, 通过调整分闸弹簧预紧力后合格。

3.2 电气性能调试

电气性能调试涵盖主回路电阻、绝缘电阻及耐压试验。主回路电阻使用直流压降法测量, 电流≥100A, 测试值≤120%出厂值, 三相不平衡度≤20%。绝缘电阻使用2500V兆欧表测量, 断路器绝缘电阻≥1000MΩ, 母线绝缘电阻≥5000MΩ。耐压试验包括工频耐压(出厂值80%)和冲击耐压(1.2/50 μs波形), 330kV GIS工频耐压试验时发生B相母线对地闪络, 经检查发现绝缘子表面存在划痕, 打磨处理后通过试验。

3.3 二次系统调试

二次系统调试包括联锁功能、信号传输及保护定值校验。联锁功能测试需验证断路器与隔离开关、接地开关的电气闭锁逻辑, 使用模拟信号发生器触发联锁条件, 检查动作可靠性。信号传输测试通过继电保护测试仪注入电流/电压信号, 验证测控装置采集精度(误差≤0.5%)及通信规约(IEC61850)兼容性。保护定值校验需核对过流、差动等保护动作值与定值单一致性, 使用微机保护测试仪模拟故障, 记录动作时间(如速断保护≤30ms)。

3.4 智能调试技术应用

智能调试技术包括在线监测、数字孪生及专家系统。在线监测系统通过特高频传感器检测局部放电, 脉冲电流法测量SF₆气体分解产物, 750kV GIS在线监测发现避雷器泄漏电流超标(>1mA), 及时更换后避免事故^[3]。数字孪生技术构建GIS三维模型, 模拟电场分布及机械应力, 优化绝缘子结构设计。专家系统集成故障案例库, 通过模糊推理诊断异常工况, 如根据气体压力下降速率(>0.01MPa/天)自动生成检修策略。

4 安装与调试中的问题及对策

4.1 常见问题案例分析

常见问题包括密封失效、绝缘击穿及机械卡涩。密封失效案例: 在四川成都220kV龙泉变电站GIS设备运行过程中, 运行2年后出现SF₆气体泄漏问题。技术人员通过专业的检漏设备, 精准定位到是GIS设备中某段母线法兰密封面存在划痕。经深入分析, 该划痕是在设备安装阶段, 由于施工人员操作不当, 法兰对接时未使用合适的定位工具, 导致法兰密封面与密封圈产生过度摩擦而形成。发现问题后, 对划痕部位进行了精细打磨处理, 并更换了全新的密封圈, 返工处理后通过氦质谱检漏仪验证, 泄漏率达到合格标准, 设备恢复正常运行。绝缘击穿案例: 在广东

深圳500kV宝安变电站,其GIS母线气室在运行一段时间后发生了沿面闪络故障。技术人员对故障设备进行解体检查,发现绝缘子表面附着有多个金属微粒。进一步追溯发现,这些金属微粒是在设备制造过程中,由于生产车间环境清洁度控制不严,金属加工产生的碎屑飘落并附着在绝缘子表面所致。针对这一问题,对绝缘子表面进行了彻底的局部清洗,去除所有金属微粒,并喷涂RTV(室温硫化硅橡胶)涂料以增强绝缘性能,之后设备恢复运行,且后续运行中未再出现类似绝缘故障。机械卡涩案例:在河南郑州110kV金水变电站,其GIS隔离开关在操作过程中出现分闸不到位的情况。技术人员对设备进行详细检查,发现是隔离开关的传动轴发生了弯曲变形。经调查,传动轴弯曲是由于设备长期运行,且在操作过程中受到过异常的外力冲击,导致传动轴结构受损。随后,对弯曲的传动轴进行了更换,更换后通过机械特性测试仪对隔离开关的分合闸时间、速度等参数进行验证,各项指标均合格,隔离开关恢复正常操作功能。

4.2 解决方案与优化措施

解决方案涵盖工艺改进、材料升级及智能监控三个方面。工艺改进方面:在江苏苏州220kV工业园区变电站的GIS设备制造过程中,采用激光焊接替代传统氩弧焊。传统氩弧焊在焊接过程中容易产生气孔等缺陷,导致焊缝质量不稳定,气孔率较高,约为3%。而激光焊接具有能量密度高、焊接速度快、热影响区小等优点,能够有效减少焊缝中的气孔产生。通过采用激光焊接工艺,焊缝气孔率大幅降低,从原来的3%降至0.5%,显著提高焊缝的质量和可靠性,减少因焊缝质量问题导致的设备故障风险^[4]。材料升级方面:在浙江杭州500kV钱江变电站的GIS设备选型中,使用了纳米复合绝缘子。传统的绝缘子材料在耐电强度方面存在一定的局限性,而纳米复合绝缘子通过在基体材料中添加纳米颗粒,改变材料的微观结构,提高材料的绝缘性能。经实际测试,使用纳米复合绝缘子后,其耐电强度提升40%,能够有效承受更高的电压,减少绝缘击穿事故的发生,提高设备的运行安

全性和稳定性。智能监控方面:在陕西西安330kV未央变电站的GIS设备运维管理中,部署了无线传感器网络。该网络在GIS设备的各个关键部位安装了多种类型的传感器,能够实时监测气体压力、温度及局部放电等参数。传感器采集到的数据通过LoRaWAN(低功耗广域网)技术传输至云平台,运维人员可以在远程监控中心实时查看设备的运行状态。当监测到气体压力异常下降、温度过高或局部放电幅值超过设定阈值时,系统会自动发出警报,提醒运维人员及时处理。某330kV GIS项目(以西安未央变电站为例)应用上述措施后,安装周期从原来的40天缩短至28天,缩短了30%;调试一次通过率从原来的85%提升至98%;运维成本方面,由于能够及时发现设备潜在问题并进行处理,减少设备故障导致的停电损失和维修费用,运维成本降低了25%。

5 结束语

电气工程中气体绝缘开关设备的安装与调试是复杂且关键的工作,涉及多方面的技术和质量控制。本文从基础理论出发,系统研究了安装与调试技术,并针对常见问题提出了解决方案与优化措施。实际应用表明,合理运用这些技术和措施,能有效提升GIS设备的安装质量、调试效率和运行可靠性,降低运维成本。未来,随着智能电网的发展,还需不断探索和创新GIS安装与调试技术。

[参考文献]

- [1]倪嘉晖.电气工程中气体绝缘开关设备安装与调试技术研究[J].工程技术研究,2025,10(9):94-96.
- [2]张思锦.变电站安装施工过程中电气安装技术探讨[J].电站辅机,2024,45(04):23-26+50.
- [3]李杰,张丛丛,王峰,等.工程机械电气耦合信号数字化检测装置的开发[J].上海电气技术,2024,17(04):82-84.
- [4]缪佳.叶俊.电气工程中GIS设备安装与调试技术研究[J].产品可靠性报告,2024(10):111-112.