

500kV变电站电气施工中GIS设备安装调试技术

范巍巍 于涛洋

河南平芝高压开关有限公司 河南 平顶山 467000

摘要：在500kV变电站电气施工中，GIS设备安装调试技术至关重要。安装前需做好防尘、防潮处理，配备专业工具并检查材料质量。安装时严格遵循技术规范，确保基础水平度、预埋件精度达标，采用专业吊装设备与固定工艺。调试阶段需完成直流电阻测试、绝缘电阻检测、SF₆气体微水含量测定及耐压试验等，确保设备性能符合标准，保障变电站安全稳定运行。

关键词：500kV变电站；电气施工；GIS设备；安装调试技术

引言：随着电力需求增长与电网规模扩大，500kV变电站作为电力传输关键枢纽，其稳定性与可靠性备受关注。GIS设备凭借占地面积小、运行稳定、自动化程度高等优势，成为500kV变电站核心设备。然而，其安装调试技术复杂，涉及多环节精细操作，任何疏忽都可能影响设备性能与电网安全。因此，深入研究GIS设备安装调试技术，对保障500kV变电站高效运行意义重大。

1 500kV 变电站 GIS 设备概述

1.1 GIS设备定义与组成

(1) 定义：GIS设备全称为气体绝缘金属封闭开关设备，是一种将高压断路器、隔离开关、接地开关、互感器、母线、连接器等多种电气元件，按照电力系统运行要求集成于一体的高压配电装置，能实现电能的传输、分配与控制功能，是500kV变电站的核心设备之一。

(2) 结构：采用金属接地外壳作为防护与支撑主体，内部填充高绝缘性能的SF₆气体，利用SF₆气体优异的绝缘和灭弧特性保障设备稳定运行；同时采用独立气室模块化设计，不同功能单元对应独立气室，便于设备检修维护，降低故障影响范围，提升整体运行可靠性。

1.2 GIS设备优势

(1) 占地面积小：相较于传统敞开式AIS设备，GIS设备通过元件集成化设计大幅压缩空间，占地面积可减少约63%，尤其适合城市核心区域、土地资源紧张的变电站建设场景，有效节省土地成本。(2) 运行稳定：金属外壳和SF₆气体绝缘结构使其受外界环境影响小，能抵御粉尘、湿度、污秽等恶劣条件，且设备整体刚性强，抗震性能突出，可在多地震、高海拔等复杂环境下稳定运行，降低运维成本。(3) 自动化水平高：配备完善的智能监测与控制单元，可实现设备状态实时监测、远程控制与故障自动诊断，支持变电站无人值守模式，提升电网运行效率与可靠性^[1]。

1.3 500kV变电站应用场景

(1) 主要应用于城市电网枢纽变电站、大型新能源（风电、光伏）并网电站等对供电可靠性要求极高的场景。此类场景需保障电能大规模、高质量传输，GIS设备的稳定性与紧凑性可满足其运行需求。(2) 以绥中电厂500kVGIS工程为例，该工程中GIS设备承担电厂发电机组电能向外输送的关键任务，其模块化设计适配电厂复杂场地条件，SF₆气体绝缘特性保障设备在沿海潮湿环境下长期稳定运行，为电厂安全发电与电网可靠供电提供重要支撑。

2 500kV 变电站电气施工中 GIS 设备安装技术

2.1 安装前准备

(1) 人员培训：组织施工团队系统学习《500kV气体绝缘金属封闭开关设备安装规范》，重点培训防尘、防潮操作要点，通过案例讲解设备密封面污染、湿度超标引发的故障风险，考核合格后方可上岗；同时明确施工各环节责任人，确保操作流程标准化。(2) 工具材料准备：配备额定起重量 ≥ 5t的电动单梁起重机（含专用吊装索具），精度达0.01mm的水平仪，功率 ≥ 1500W的工业吸尘器（过滤精度 ≤ 0.3μm），以及露点 ≤ -40℃的高纯度SF₆气体回收装置；提前检验SF₆气体纯度（≥ 99.995%）、水分含量（≤ 8μL/L），确保材料符合设备技术要求。(3) 现场清理：施工区域采用洒水降尘（湿度控制在60%-70%），彻底清除碎石、粉尘等杂物；搭建密闭防尘室（洁净度 ≥ 10万级），室内设置温湿度监测仪，温度保持10-30℃、湿度 ≤ 65%，为设备开箱与组装提供洁净环境。

2.2 基础施工

(1) 土建要求：基础施工前复核混凝土强度（≥ C30），基础型钢安装时，用水准仪逐点测量水平度，每米长度内水平度误差 ≤ 1mm，整体全长水平误差 ≤

5mm; 型钢与混凝土基础采用膨胀螺栓固定(螺栓规格M16×80mm), 固定后在缝隙处灌注环氧树脂, 增强稳定性与防腐性, 防止后期型钢变形导致设备安装偏差。

(2) 预埋件安装: 按照设计图纸标注的设备基准线, 从固定端向扩建端顺序施工预埋件(如接地端子、设备固定螺栓); 采用全站仪定位预埋件中心位置, 偏差控制在±2mm内, 预埋件顶部与基础型钢顶面平齐(误差≤1mm), 安装后用混凝土二次浇筑固定, 养护时间≥7天, 确保预埋件位置准确、牢固, 为后续设备安装提供可靠基准^[2]。

2.3 设备吊装与固定

(1) 吊装要求: 根据GIS模块重量(单模块最大重量约5t), 选用20t电动单梁起重机, 配备专用尼龙吊装带(承重≥10t), 避免钢丝绳划伤设备外壳; 吊装时缓慢起吊(起吊速度≤0.5m/min), 专人指挥调整模块姿态, 确保模块中心线与基础基准线对齐, 轻起轻落避免碰撞基础或其他设备, 防止模块内部元件移位。(2) 固定工艺: 模块落位后, 在设备底部与基础型钢之间放置斜垫铁(材质Q235, 规格100×50×10mm), 通过增减垫铁数量调整水平度; 用激光水平仪检测断路器CT罐口水平度, 误差需≤4mm, 其他模块水平度误差≤2mm/m; 调整合格后, 拧紧设备固定螺栓(力矩值按说明书要求, 如M20螺栓力矩400-450N·m), 并点焊固定垫铁, 防止设备移位。

2.4 连接与密封

(1) 法兰连接: 清理法兰密封面(用无水乙醇擦拭), 若存在划痕或凹坑, 用800目细砂纸沿圆周方向轻轻打磨; O型圈(氟橡胶材质)涂抹专用硅脂, 均匀填入密封槽, 确保O型圈无扭曲、无缺口; 法兰对接时保持同轴度, 螺栓对称拧紧, 分3次逐步加力至额定力矩。

(2) 气室抽真空与充气: 模块拼接完成后, 使用真空泵对气室抽真空, 真空度需达到150kPa以下(持续抽真空≥24h), 期间监测真空度变化(每2h记录1次, 压降≤1kPa为合格); 抽真空合格后, 充入高纯度SF₆气体, 充气速度≤0.1MPa/min, 最终压力达到设备额定值(通常为0.6-0.7MPa), 充气后静置24h, 检测气室密封性(泄漏率≤1×10⁻⁹Pa·m³/s)。

3 500kV 变电站电气施工中 GIS 设备调试技术

3.1 一次回路调试

(1) 直流电阻测试: 采用100A直流压降法进行测试, 测试前需断开设备所有外接电源与接地连线, 清洁测试端子表面氧化层(用细砂纸打磨), 确保接线接触良好。测试时施加稳定直流电流, 待数值稳定后记录数

据, 要求实测误差≤±3%, 且实测值不得超过设备出厂值的1.2倍; 若测试值超标, 需检查导体连接部位是否存在松动或接触不良, 排除故障后重新测试。(2) 绝缘电阻测试: 使用2500V兆欧表测试主回路对地绝缘电阻, 测试前将GIS设备内SF₆气体压力充至额定值, 断开二次回路电源, 确保测试回路独立。测试时兆欧表转速保持120r/min, 持续读取1分钟后的数值, 要求主回路对地电阻>1MΩ; 辅助回路采用500V兆欧表测试, 绝缘电阻需>2MΩ, 若电阻值偏低, 需排查绝缘部件是否受潮或存在破损^[3]。

3.2 二次回路调试

(1) 电气联锁测试: 依据变电站控制逻辑图纸, 模拟各类运行工况验证开关、隔离开关分合闸顺序。例如, 先手动操作隔离开关合闸, 再尝试合闸断路器, 确认断路器能正常动作; 反之, 若断路器处于合闸状态, 隔离开关应无法操作, 确保联锁关系符合“先断后合”逻辑, 避免带负荷操作引发故障; 测试过程中逐一配对每个联锁节点进行记录, 确保无逻辑漏洞。(2) CT/PT极性测试: 采用直流法测试CT极性, 在CT一次侧通入瞬时直流电流, 观察二次侧电流表指针偏转方向, 与设计图纸标注极性一致即为合格; PT极性测试则通过万用表测量一次、二次绕组电压相位关系, 确保变比(如500kV/100V)与极性符合设计标准, 避免因极性错误导致继电保护装置误动作。

3.3 SF₆气体检测

(1) 微水含量检测: 使用SF₆微水仪检测气室水分, 检测前需将气室压力稳定在额定值, 采样管路用干燥氮气吹扫。断路器灭弧室气室微水含量需≤150ppm(新装设备), 母线、隔离开关等其他气室≤250ppm; 若微水超标, 需重新抽真空并充入合格SF₆气体, 再次检测直至达标。(2) 密度继电器校验: 通过SF₆气体密度继电器校验仪, 模拟气体压力变化, 检测继电器动作值与报警信号。例如, 当压力降至报警值(通常为额定压力的80%)时, 继电器应及时发出报警信号; 压力降至闭锁值时, 切断分合闸操作回路, 确保动作值与产品技术条件一致, 保障设备在气体压力异常时可靠保护^[4]。

3.4 耐压试验

(1) 主回路工频耐压: 试验前将GIS设备罐内压力充至标准值(如0.6MPa), 拆除所有二次回路接线, 在主回路对地施加184kV工频电压, 持续1分钟。试验过程中密切监测泄漏电流, 若电流无突变、无击穿放电现象, 即为合格; 若出现异常, 需排查绝缘部件是否存在缺陷。(2) 辅助回路耐压: 对控制回路、信号回路等辅

助回路进行短时工频耐压测试,施加2kV工频电压,持续1分钟。测试时采用专用耐压设备,确保回路无短路、接地故障,绝缘性能达标,避免因辅助回路绝缘损坏影响设备正常控制。

4 500kV 变电站电气施工中 GIS 设备安装调试中的问题与对策

4.1 常见问题

(1) 密封不良:法兰连接处是密封薄弱环节,易因密封面清理不彻底(残留粉尘、油污)、O型圈安装扭曲或老化、螺栓拧紧力矩不均等问题,导致SF₆气体泄漏。泄漏初期压力下降缓慢,后期可能引发气室绝缘性能下降,甚至触发密度继电器报警,影响设备正常运行;若泄漏量较大,还会造成SF₆气体浪费,且对环境产生一定影响。(2) 安装偏差超标:基础施工阶段若基础型钢水平度控制不佳,或设备吊装时吊点定位偏差、固定过程中垫铁调整不当,易导致设备水平度、垂直度误差超标(如断路器CT罐口水平误差超过4mm)。偏差过大会使设备内部导体接触不良,增加局部电阻,长期运行可能引发发热故障;同时还会导致机械操作部件卡滞,影响开关分合闸动作可靠性。(3) 微水含量超标:气室抽真空不彻底(真空度未达150kPa以下或保压时间不足)、充气过程中管路未干燥处理、现场环境湿度超标(>65%)等,均会导致气室微水含量超出标准(如断路器灭弧室微水>150ppm)。微水超标会降低SF₆气体绝缘性能,在设备运行电压下可能产生局部放电,加速绝缘部件老化,严重时引发绝缘击穿事故。

4.2 解决对策

(1) 密封处理:法兰连接前,用无水乙醇彻底清洁密封面,对轻微划痕用800目细砂纸打磨;O型圈安装前涂抹专用硅脂,确保无扭曲嵌入密封槽。采用等电位跨接法连接法兰(用铜带将相邻法兰可靠接地),减少电位差对密封面的电化学腐蚀;螺栓采用对称分步拧紧方式,严格按照设备说明书控制力矩(如M16螺栓力矩250-300N·m)。安装后采用SF₆气体检漏仪(灵敏度≤

$1 \times 10^{-9} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)对法兰连接处进行检漏,投运后每3个月定期复测,及时处理泄漏点。(2) 精度控制:基础施工阶段,用全站仪定位预埋件,水准仪实时监测基础型钢水平度,确保误差≤1mm/m;设备吊装时,采用激光跟踪仪实时监测模块位置,调整吊装角度使设备中心线与基础基准线偏差≤1mm。固定过程中,选用精度0.01mm的水平仪,通过垫铁精细调整水平度,对断路器、隔离开关等关键部件,确保水平误差≤4mm、垂直度误差≤2mm/m,调整后复核并记录数据,避免后续偏差。

(3) 防潮措施:气室抽真空前,检查真空泵油位与干燥度,确保真空度降至150kPa以下后持续保压24h,压降≤1kPa方可停止;充气前用干燥氮气(露点≤-40℃)吹扫充气管路5-10分钟,排除管路内潮气。施工现场搭建防尘防潮棚,用除湿机控制环境湿度≤60%;气室充气后静置24h,采用SF₆微水仪检测微水含量,超标时重新抽真空并充入合格SF₆气体,直至微水达标。

结束语

在500kV变电站电气施工里,GIS设备安装调试技术举足轻重。严谨规范的安装流程与精准细致的调试工作,是设备稳定运行、电网可靠供电的基石。伴随电力行业不断发展,我们要紧跟技术前沿,持续完善安装调试技术体系,提升施工人员专业素养,严格把控每个细节,从而为500kV变电站的高效运行提供有力支撑,推动电力事业稳步前行。

参考文献

- [1] 廖佳,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.
- [2] 陈湘刁. 变电站GIS设备安装和调试的质量提升研究[J]. 光源与照明,2022,(09):90-92.
- [3] 黄辉达. 变电站GIS设备安装与调试技术研究[J]. 中国高新科技,2022,(08):88-89.
- [4] 黄崇虎,白龙. 500kV变电站智能化改造技术研究[J]. 电力设备管理,2023,(10):86-87.