

# 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、SF<sub>6</sub>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SF<sub>6</sub>气体，利用SF<sub>6</sub>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SF<sub>6</sub>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<sup>[1]</sup>。

## 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，SF<sub>6</sub>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SF<sub>6</sub>气体回收装置；提前检验SF<sub>6</sub>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<sup>[2]</sup>。

### 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<sup>-9</sup>Pa·m<sup>3</sup>/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<sup>[3]</sup>。

### 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<sup>[4]</sup>。

### 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SF<sub>6</sub>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SF<sub>6</sub>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（真空气度未达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SF<sub>6</sub>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SF<sub>6</sub>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，确保真空气度降至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SF<sub>6</sub>微水仪检测微水含量，超标时重新抽真空并充入合格SF<sub>6</sub>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] 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.
- [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措施研究[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