

变电站 GIS 设备安装对接技术应用

李正伟, 王城良, 吴 滔

(丽水正阳电力建设有限公司, 浙江 丽水 323000)

摘 要 电网运行可靠性的保障工作中, 变电站 GIS 设备是气体绝缘金属封闭开关设备的重点构成要素, 安装对接质量极为重要。本文注重 GIS 设备安装时的基础定位偏差、气室密封失效、导电杆插入深度不足及环境洁净度控制等关键技术问题, 系统地分析了问题产生的病因机理, 给出了基础槽钢精密测量、母线筒体三维定位、法兰密封工艺控制及导电杆对中插入等详细工法技巧, 并融合 110 kV 变电站工程实践说明了技术应用要点, 以期对 GIS 设备安装提供了技术参照。

关键词 GIS 设备; 安装对接; 法兰密封; 导电杆对中; 气室洁净度

中图分类号: TM564; TM63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.21.006

0 引言

城市电网建设规模持续扩大, 气体绝缘金属封闭开关设备凭借结构紧凑、运行可靠、占地面积小等优点, 在变电站建设中获得大量应用。GIS 设备利用 SF₆ 气体充当绝缘介质, 内部电场强度分布以及气室密封性能密切相关, 设备安装对接质量直接决定投运后的绝缘强度以及长期稳定性。由于 GIS 设备各气室之间凭借法兰连接形成整体, 母线筒体对接精度、密封面处理质量及内部洁净度控制等环节存在多重技术难点, 安装工艺不当会引发局部放电、气体泄漏等故障隐患, 所以深度探究 GIS 设备安装对接技术, 提出针对性的工艺控制方法, 能提高变电站建设质量, 具有较高的工程价值。

1 变电站 GIS 设备安装缺陷成因分析

1.1 设备基础预埋件定位偏差累积机理

在设备安装固定方式方面, 变电站 GIS 设备安装使用基础预埋件与设备支脚螺栓连接的固定方式, 预埋件在土建施工阶段埋设, 平面位置偏差以及标高误差会在设备就位阶段产生累积效应, 土建施工期间, 预埋件定位依托经纬仪测量, 因混凝土浇筑期间出现振捣扰动, 预埋件在初凝前易发生水平位移, 造成相邻预埋件中心距偏差超过设计允许值。GIS 设备多个间隔单元连续排列时, 单点预埋件偏差会在母线筒体对接期间形成线性传递, 使远离基准点的间隔单元产生明显位置偏移。在基础槽钢安装思路分析方面, 若未实行水平度复测, 槽钢上表面不平度超过允许范围, 会使得设备本体安装后出现倾斜, 造成法兰对接面产生附加应力, 长期运行期间可能引发密封圈变形失效。

1.2 气室法兰面密封失效诱因

在密封结构以及工艺控制方面, GIS 设备气室依托法兰连接形成封闭空间, 法兰密封依托 O 形密封圈以及密封槽的配合精度, 法兰面密封失效多因密封面处理不当与螺栓紧固力矩控制不精确, 密封面运输可能产生磕碰损伤, 现场安装前若未细致检查, 微小划痕会变成 SF₆ 气体泄漏通道。法兰面清洁处理时使用不当溶剂可能损伤密封圈材质, 使得橡胶老化加速, 螺栓紧固若未按对角交叉顺序施力, 会造成法兰面受力不均, 局部间隙过大使密封圈压缩量不足, 户外安装昼夜温差引起的热胀冷缩会使法兰连接处产生周期性应力变化, 若初始紧固力矩不足, 长期运行后螺栓松动将引发慢性漏气。

2 GIS 设备安装对接工艺控制技术

2.1 基础槽钢水平度精密测量工法

在安装基准方面, 基础槽钢是 GIS 设备的安装基准, 水平度控制用精密水准仪配合平尺测量, 测量前需用钢丝刷清除槽钢表面的浮锈以及混凝土残渣, 并在槽钢纵向每隔 1 m 标记测点, 框式水平仪放置于槽钢上表面, 沿纵向以及横向两个方向分别测量, 记录各测点读数。长度超过 5 m 的槽钢, 需用光学水准仪实行复测, 在槽钢两端及中部设置三个基准测点, 依托调整垫铁使槽钢上表面的水平度误差控制在 1 mm/m 以内, 全长范围累计误差不超过 2 mm, 槽钢调整到位后, 用力矩扳手紧固地脚螺栓, 紧固力矩设置为 80 N·m, 使用对角交叉方式分两次紧固, 避免槽钢产生变形。最后, 在槽钢上表面划出 GIS 设备的中心线标记, 用墨斗弹

作者简介: 李正伟 (1977-), 男, 专科, 助理工程师, 研究方向: 电力工程。

线保证线条清晰平直，作设备就位时的视觉基准^[1]。

2.2 母线筒体三维空间定位技术

母线筒体就位利用激光经纬仪建立三维坐标控制网完成空间定位，GIS 室地面设置两个相互垂直的基准轴线，全站仪把轴线投测至墙面并标记，母线筒体吊装前，筒体外壁标记纵向中心线与径向思路线，吊装就位后，激光经纬仪对准筒体标记线，校正筒体水平位置，使筒体中心线以及地面基准线重合度偏差控制在 2 mm 以内。筒体标高凭借调节底部支撑螺栓实现，水准仪测量筒体法兰面中心高程，保证与相邻设备法兰中心高差不超过 1 mm，筒体思路校正使用楔形垫片，测量法兰面垂直度，确认筒体在水平状态，垂直度偏差控制在 0.5 mm/m 以内（见表 1）。母线筒体临时固定使用可拆卸式卡具，卡具以及基础槽钢凭借螺栓连接，允许微调但限制大幅位移。

表 1 母线筒体安装允许偏差控制参数

控制项目	允许偏差	测量方法
中心线位移	$\leq 2 \text{ mm}$	经纬仪测量
法兰标高	$\pm 1 \text{ mm}$	水准仪测量
法兰垂直度	$\leq 0.5 \text{ mm/m}$	框式水平仪
同轴度	$\leq 1 \text{ mm}$	激光对中仪
水平度	$\leq 1 \text{ mm/m}$	水准仪

2.3 法兰密封胶涂覆工艺控制

法兰密封防护使用专用硅酮密封胶配合 O 形密封圈实现双重密封，涂胶前用丙酮清洗法兰密封槽以及密封面，清除表面油污以及灰尘，用无尘纸单向擦拭防止二次污染，密封胶涂覆使用连续均匀的方式，于密封槽内圈开始，沿顺时针方向匀速挤出，胶条直径控制在 3 mm 至 4 mm 范围内，保证胶条与密封槽底部贴合无气泡。涂胶完成后 5 min 内完成法兰对接，防止胶层表干减少密封效果，法兰螺栓紧固用力矩扳手分三步完成：第一步，按对角顺序把螺栓预紧至 40 N·m；第二步，复紧至设计的力矩 80 N·m；第三步，按同样顺序完成力矩校验，紧固完成后用塞尺检查法兰间隙，保证各处间隙均匀且不超过 0.5 mm。密封胶固化期间防止法兰受到振动或者冲击载荷^[2]。

2.4 导电杆对中插入操作要领

工艺操作环节，导电杆插入前用游标卡尺测量导电杆的外径以及触头的内径，确认配合间隙符合设计值，一般控制在 0.5 mm 至 1.0 mm 范围。表面处理环节，导电杆表面用无水乙醇清洁，去除运输产生的氧化层，检查镀银层的完整性，破损区域用导电膏局部处理。操作实行双人配合方式，一人在筒体内部观察导电杆

以及触头的相对位置，另一人在外部缓慢地推送导电杆，当导电杆前端进入触头导向口后，轻微地旋转导电杆消除配合间隙里的空气阻力，匀速助推直至导电杆端部以及触头底部接触。插入深度依靠导电杆外表面标记线实行目视确认，标记线应以及触头端面平齐或者按设计要求凸出 1 mm 至 2 mm。质量验证环节，插入完成后用双臂电桥测量回路电阻，阻值应小于设计值的 1.2 倍，若阻值偏大则应退出导电杆，重新检查触头内部^[3]。

3 GIS 设备安装技术在工程中的应用

本工程为 110 kV 变电站新建项目，设备布置使用户内 GIS 布置方案，安装双母线接线 GIS 设备共 8 个间隔，包含 2 回主变进线间隔、4 回出线间隔、1 回母联间隔以及 1 回电压互感器间隔，设备额定电压 126 kV，额定电流 2 500 A，母线使用三相分箱式结构，断路器气室以及母线气室依托波纹管连接。设备基础为现浇混凝土结构，预埋 M24 地脚螺栓，设备区域全长 28 m，宽度 8 m，室内配置 2 台 5 t 行车用于吊装作业。

3.1 设备基础复测与基准线标定

土建工程交接阶段的测量工作，使用全站仪复测设备基础，在 GIS 室纵向中心线位置架设仪器，建立以主变进线间隔中心为原点的独立坐标系，沿纵向每 4 m 设置一个测量断面，复测数据说明，第 3 号间隔与第 4 号间隔预埋件中心距有 5 mm 偏差，依托修正基础槽钢安装位置实行补偿^[4]。槽钢安装使用精密水准仪控制标高，在两回主变进线间隔处设置永久水准点作为高程基准，其余间隔标高均凭借这两点传递测量，槽钢上表面用经纬仪投影中心线，线宽控制在 1 mm 以内，中心线延长线在墙面标记，便于设备就位时目视对中。基础复测数据说明（见表 2），全线 8 个间隔槽钢上表面水平度最大偏差为 1.8 mm，符合设备安装要求。

3.2 断路器间隔吊装就位技术

断路器间隔单元安装时需考虑该单元的重量约 3.5 t，使用行车配合专用吊具实行吊装，吊装前在断路器支脚底部粘贴 3 mm 厚的橡胶垫板，缓冲就位时的冲击力，行车吊钩挂载后，使用水平仪检查设备的悬挂状态，依托调节吊绳长度使设备保持水平。设备缓慢地下降至基础上空 200 mm 高度时暂停，操作人员使用导向杆调节设备方向，使支脚螺栓孔与基础地脚螺栓对中，设备落座后使用垫片调节设备标高，使断路器气室中心线以及母线筒体的设计中心线重合，调节完成后紧固地脚螺栓，紧固力矩设定为 100 N·m。断路器就位后使用激光对中仪检查以及相邻间隔的同轴度，偏差控制在 1.5 mm 以内，保证后续母线筒体可以顺利对接。

表2 110 kV 变电站 GIS 设备基础复测数据

间隔编号	中心线偏差/mm	标高偏差/mm	水平度/mm·m ⁻¹	相邻间隔中心距/mm
1号主变进线	+1.2	+0.5	0.6	4 002
2号主变进线	-0.8	-0.3	0.8	3 999
3号出线	+2.0	+1.0	0.5	4 005
4号出线	+1.5	+0.8	0.7	3 998
5号出线	-1.0	-0.5	0.9	4 001
6号出线	+0.5	+0.2	0.6	3 997
7号母联	-0.5	-0.8	0.8	4 003
8号PT	+1.0	+0.6	0.5	—

3.3 母线筒体对接与密封处理

在防尘棚环境控制工作中,母线筒体对接作业需在配备空气净化装置的密闭空间内开展,维持棚内正压状态,吊装前需清理筒体内壁灰尘,使用沾有无水乙醇的无尘纸单向擦拭绝缘子表面,擦拭途径严格遵循从中心向外围的操作规范。导电杆需预先置入母线筒体内部,凭借绳索临时固定避免滑脱风险,对接过程中,把两法兰面间距调控至2 mm左右,借助定位销保证同轴度后平稳地助推,使导电杆准确地嵌入相邻气室触头,法兰闭合前需二次核查密封圈状态,保证O形圈居中且无扭转。法兰螺栓的紧固严格遵循对角分次原则,力矩依次设定为40 N·m、70 N·m、100 N·m,每阶段紧固后均用塞尺检测法兰间隙。作业收尾阶段,在法兰外缘均匀地涂抹防水密封胶,胶层厚度需完全包含外沿5 mm范围,杜绝户外工况下的雨水渗漏隐患^[5]。

3.4 气室抽真空及SF₆气体充注

母线筒体对接完成后的后续处理流程,先是开展气室密封性的处理工作,在气室抽真空作业时,使用真空泵将真空度抽至133 Pa以下并维持2 h,通过观察真空表指针无回升现象来确认气室密封性良好,针对抽真空管路的连接,使用不锈钢波纹管当作连接管道,并在接头处缠绕聚四氟乙烯密封带,杜绝抽真空时外部空气渗入。当真空保持试验合格后,凭借SF₆充气装置向气室充入额定压力气体,充气速率严格地控制在0.1 MPa/h以内,避免因气流过快给设备内部元件造成冲击,待充气至额定压力0.5 MPa并静止24 h后,使用SF₆检漏仪对所有法兰连接部位实行扫描检漏,检漏仪灵敏度设定为0.1 μL/L,若未出现报警信号则说明气室密封符合标准。最后,使用微水测试仪对气体含水量实行检测,保证数值控制在150 μL/L以下,满足设备投运的技术要求。

4 结束语

变电站GIS设备的安装对接技术包含基础测量、筒体定位、法兰密封及气务处理等多个关键环节,每一道工序的精度控制均直接决定设备长期运行的可靠性,实行基础槽钢精密测量工法,能消除土建施工偏差带来的设备就位问题。母线筒体三维空间定位技术的应用,保证了多间隔连续排列时的同轴度要求。法兰密封工艺的控制与导电杆对中插入操作,在绝缘以及导电两个维度保障了设备内部性能。工程实践证明,使用系统化的安装对接技术,可将GIS设备投运后的故障率控制在较低水平,为变电站安全稳定运行提供坚实的技术保障。随着智能变电站建设不断推进,GIS设备安装技术将向模块化、预制化方向发展,需继续研究大型模块整体吊装及自动化对接技术,满足电网建设需求。

参考文献:

- [1] 宋宇飞,刘绚,郑豪丰,等.边缘计算下智能变电站物联网设备报文安全卸载与调度[J/OL].电力系统自动化,1-11[2026-03-28].<https://link.cnki.net/urlid/32.1180.TP.20260305.1705.004>.
- [2] 崔秀峰.基于图像分割和加权融合算法的变电站继电保护室设备巡检研究[J].电子设计工程,2026,34(05):192-196.
- [3] 李璐璐,张治,罗素杰,等.基于红外图像的变电站设备状态智能监测系统[J].电子设计工程,2026,34(05):177-181,187.
- [4] 张策,于家英,亓亮.国网宁夏电科院顺利完成妙岭750kV变电站330 kV新扩建HGIS设备冲击耐压试验[J].宁夏电力,2026(01):2.
- [5] 曹沁婕,王明霞,何林岚,等.变电站二次设备智能巡检模式探究[J].山东电力高等专科学校学报,2026,29(01):27-30.