

GIS、HGIS 设备在 500kV 配电装置中的应用

王 娇 吕鹏飞

内蒙古电力（集团）有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古自治区 阿拉善盟 750300

摘 要：500kV 配电装置作为超高压输变电系统的核心枢纽，其设备选型与布置直接决定变电站的占地效率、环境适应性与长期运行可靠性。本文围绕 GIS 全封闭与 HGIS 半封闭两类主流组合电器设备展开对比分析，结合不同场地条件梳理二者在选型适配、平面布置中的差异化设计要点，系统总结 SF₆ 气体管控、绝缘防护、现场施工、运维检修等全流程关键技术，明确两类设备的典型缺陷演化规律与智能化监测手段，为不同场景下 500kV 配电装置的工程设计、建设实施与安全运维提供可落地的技术参考，助力超高压电网实现经济性与可靠性的双重提升。

关键词：500kV 配电装置；GIS；HGIS；配电布置；设备选型；运维检修

引言：随着我国超高压输电网架的持续扩容，500kV 变电站的建设场景日益多元，城区土地资源紧张、高海拔重污秽等复杂工况对配电装置的集成度与抗干扰能力提出了更高要求。传统敞开式配电装置已难以适配部分受限场地的建设需求，GIS 与 HGIS 组合电器凭借集约化、高可靠的技术优势得到广泛应用。但在实际工程中，两类设备的选型边界、布置细节与运维要点仍存在认知模糊的问题，易出现选型不当、施工不规范等隐患。本文立足工程实际应用场景，系统梳理两类设备的核心差异与全流程应用技术，为 500kV 配电装置的高质量建设与稳定运行提供支撑。

1 500 kV 配电装置及 GIS、HGIS 基础理论

1.1.500 kV 配电装置布置形式与技术要求

500kV 配电装置是超高压输变电系统的核心组成部分，主要包含敞开式、GIS 全封闭、HGIS 半封闭三类主流布置形式，适配不同工程建设与运行场景。敞开式布置设备外露、结构简单、运维检修便捷，但整体占地面积大，易受风雨、污秽、沙尘等外界环境因素干扰。GIS 与 HGIS 集成化布置结构紧凑、设备集约化程度高，可有效缩减站区占地，具备更强的环境适应能力与运行稳定性^[1]。工程设计中，配电装置需严格满足超高压电气规范，保障相间、对地安全距离合规，同时兼顾设备散热、抗震、防腐、防风等技术指标。布置方案需预留充足的巡视、吊装及检修作业空间，适配系统额定电压与短路电流工况，全面保障 500kV 变电站长期安全、可靠、稳定运行。

1.2 GIS 与 HGIS 核心性能差异对比

GIS 与 HGIS 均为 500kV 变电站主流组合电器设备，

二者结构形式与核心运行性能存在显著差异。GIS 为全封闭组合电器，将母线、断路器、隔离开关、互感器等全部高压元件密封集成于 SF₆ 金属壳体内部，整体一体化程度极高。HGIS 为半封闭组合电器，仅集成开关类核心设备，高压母线采用传统敞开式布置。GIS 占地面积更小、密封性优异、绝缘抗干扰能力强，适配重污秽、高海拔、场地受限场景，但设备造价高、拆解检修难度大。HGIS 结构灵活、母线运维便捷、建设成本更低，故障排查与检修作业更简单，不过空间利用率、环境耐受性弱于 GIS，工程中需结合场地、造价、运维需求合理选型应用。

2 GIS、HGIS 在 500kV 配电装置中的选型与布置设计

2.1.500 kV 变电站场地条件对设备选型影响

500kV 变电站的地形地貌、征地规模、气象环境、地质条件等场地因素，是 GIS、HGIS 设备选型的核心依据，直接决定工程经济性与运行可靠性。城区变电站、山地受限场地及重污秽、高海拔区域，优先选用 GIS 设备，其高度集成、全封闭的结构可大幅缩减占地，有效抵御恶劣环境对高压设备的侵蚀，降低故障概率。城郊开阔平地、征地资源充足、环境条件良好的站点，适宜选用 HGIS 设备，依托其造价低廉、母线运维便捷、施工周期短的优势控制工程成本。同时，地质承载力较差的场地可优先轻量化 HGIS 设备，避免 GIS 重载结构增加地基处理成本，兼顾建站适配性与长期运行稳定性。

2.2 GIS 设备配电装置平面布置方案

500kV GIS 设备配电装置采用标准化模块化紧凑布置，普遍采用单列或双列纵向排布方式，各进出线间隔按电气流程有序布设，功能模块一体化拼接组装。整体

布局严格遵循超高压配电设计规范,精准控制各间隔相间、对地安全距离,彻底杜绝高压放电隐患。场地规划阶段统一布设主巡视通道、专用检修通道及大型设备吊装空间,满足后期设备拆解、检修与机具作业需求^[2]。同时结合变电站整体总图规划,统筹布置电缆沟、接地网、排水及通风配套设施,保证设备排布规整、管线布局有序。该布置方式可最大化利用站区空间,降低环境干扰,简化日常巡视流程,全面适配 GIS 设备封闭式、集成化的长期稳定运行需求。

2.3 HGIS 设备配电装置平面布置方案

500kV HGIS 设备配电装置采用封闭开关搭配敞开母线的混合布置形式,布局层次清晰、实用性极强。设备核心开关模块集中单列布置于配电场地内侧,实现断路器、隔离开关等操作设备的集成管控,高压母线架空敞开布置,纵向贯通所有电气间隔,接线结构直观清晰。布置设计严格把控设备对地高度、母线相间距离,完全符合 500kV 超高压安全运行标准,并预留充足的母线清扫、绝缘子检测、设备检修作业空间。场地横向设置标准化巡视通道与检修平台,纵向贴合全站进出线走向,同步优化接地系统、电缆敷设及排水设施。该方案兼顾集成设备占地小的优势与敞开母线运维便捷的特点,适配开阔场地变电站的常态化运维工作。

3 GIS、HGIS 设备关键应用技术要求

3.1 SF₆ 气体绝缘密封与气体监测技术

SF₆ 气体是 GIS、HGIS 设备绝缘与灭弧的核心介质,气体密封性能与监测管控是设备安全运行的关键技术要点。设备法兰接口、密封接头、壳体焊缝等薄弱部位,需采用高精度密封构件与标准化装配工艺,严控安装精度,从源头杜绝微泄漏缺陷。设备投运后,需建立常态化气体监测体系,实时采集气室压力、气体纯度、温湿度、组分含量等核心参数,及时排查气体受潮、压力异常、杂质超标的隐患。工程应用中采用在线实时监测与定期人工抽检相结合的方式,精准定位泄漏点位,定期开展气体提纯、补气与净化处理,确保 SF₆ 气体参数始终达标,稳定发挥绝缘灭弧性能,有效防范设备绝缘击穿、短路故障等安全问题。

3.2 设备绝缘、通流及过电压防护设计

500kV GIS、HGIS 设备需通过科学的绝缘、通流与过电压防护设计,适配超高压复杂运行工况,保障设备安全稳定运行。绝缘设计以高纯度 SF₆ 气体绝缘为核心,搭配优质绝缘子与绝缘套管,严格管控设备内部洁净度与气体参数,避免杂质、潮气引发绝缘劣化,有效耐受

工频电压与雷电冲击电压。通流设计依托优化的导体截面与接触结构,降低回路接触电阻,抑制大电流工况下的设备发热、触头烧蚀问题,保障电能传输稳定。过电压防护通过配置氧化锌避雷器、优化接地防雷布局,有效抑制操作过电压与雷电过电压冲击,规避电压异常导致的绝缘损坏、设备击穿故障,全方位筑牢设备运行安全防线。

3.3 现场安装、焊接与气密性施工工艺

现场安装、焊接与气密性施工是 GIS、HGIS 设备工程建设的核心工序,施工质量直接决定设备投运后的运行可靠性。设备安装需执行模块化精准装配工艺,施工现场做好防尘、防潮封闭管控,精准核对设备模块尺寸与对接精度,规范完成对位、固定与密封装配作业,杜绝安装偏差引发的密封隐患^[3]。壳体焊接采用专用焊接工艺,严控焊缝成型质量,消除气孔、裂纹、夹渣等缺陷,保障壳体结构完整性与密闭性。气密性施工需开展多级分段检漏与整体保压试验,对所有焊缝、密封点位逐一检测排查,精准识别微泄漏隐患。所有工序严格执行验收标准,确保设备气室密封达标,满足长期安全运行工况要求。

3.4 设备接地、电磁兼容与降噪处理

500kV GIS、HGIS 设备运行过程中易产生电磁干扰、设备噪音及感应电流等问题,需规范开展接地、电磁兼容与降噪处理工作。设备采用多点可靠接地方式,优化全站接地网布局,有效降低接地电阻,快速疏导故障电流与设备感应电流,防范设备带电、人员触电安全风险。电磁兼容治理通过优化设备排布、利用金属壳体屏蔽、规范二次线缆敷设方式,抑制设备运行产生的电磁辐射,避免干扰站内测控、保护等二次设备正常工作。降噪处理依托设备密闭壳体结构,搭配减震、隔音辅助工艺,削弱设备通流振动与分合闸气流噪音,有效降低站内运行噪音,满足电力工程环保标准与现场作业环境要求。

4 GIS、HGIS 设备运行故障与运维检修技术

4.1 GIS、HGIS 典型缺陷及故障演化特征

GIS 与 HGIS 设备的典型缺陷可分为机械类、绝缘类、二次回路类三大核心类别,不同缺陷的演化路径呈现鲜明的阶段性特征。机械类缺陷以 HGIS 液压操作机构零压慢分、分合闸卡涩、传动部件松动为代表,多由长期运行磨损、液压油密封失效引发,初期仅表现为操作轻微滞后,若未及时干预,会逐步发展为断路器拒动、非全相分合闸等严重故障。绝缘类缺陷是引发突发

性事故的核心诱因,涵盖内部金属微粒悬浮、绝缘子气隙、导体尖端毛刺、盆式绝缘子裂纹等类型,这类缺陷的演化存在明确的预警周期,故障发生前数周甚至数月就会出现持续的局部放电信号,电场畸变程度随运行时间逐步加剧,最终引发 SF₆ 绝缘击穿。二次回路类缺陷以汇控柜电源消失、二次端子接触不良、密度继电器整定值偏移为主,其中本体汇控柜交直流电源消失属于危急缺陷,会直接导致设备失去控制与保护能力。整体来看,两类设备的故障均遵循“隐性前兆—特征信号显现—性能劣化—突发故障”的演化规律,全封闭的腔体结构让早期缺陷完全不可见,传统人工巡检存在明显监测盲区,必须依托带电检测技术捕捉早期特征,阻断缺陷向故障演化的路径。

4.2 局部放电、SF₆ 泄漏在线监测手段

局部放电与 SF₆ 气体泄漏是 GIS、HGIS 设备隐性故障的核心监测指标,依托专业化在线监测手段可实现隐患提前预警与精准管控。局部放电监测采用超高频与超声波联合检测技术,通过内置传感器实时采集设备内部放电信号,精准识别颗粒放电、沿面放电、悬浮放电等典型缺陷,动态分析放电强度与发展趋势。SF₆ 泄漏在线监测系统可 24 小时实时监测气室气体压力、浓度、湿度及组分变化,快速定位泄漏点位,判断气体劣化程度。两套监测系统协同运行,自动上传数据、预警异常,有效弥补人工巡检的局限性,实现设备隐性故障早发现、早研判、早处置,大幅提升设备运维智能化水平。

4.3 日常巡检、定期试验标准化检修流程

GIS、HGIS 设备运维工作严格执行标准化流程,以日常巡检与定期试验为核心,构建常态化、闭环式检修管控体系。日常巡检每日常态化开展,重点核查设备壳体外观、SF₆ 气体压力、接地工况、操作机构状态,细致排查设备异响、气体泄漏、构件锈蚀等直观隐患,同步做好数据记录与趋势比对分析^[4]。定期试验按照季度、年度周期开展,涵盖 SF₆ 气体性能检测、绝缘电阻测试、回路电阻校验、分合闸特性检测、气密性试验等核心项目,全面校验设备运行性能。运维工作严格遵循行业规

范,完成缺陷登记、隐患整改、数据归档全闭环管理,有效稳定设备运行性能,延长设备使用寿命。

4.4 故障快速处置与停电检修优化方案

为降低设备故障对电网供电的影响,需建立 GIS、HGIS 设备故障快速处置机制,优化停电检修整体方案。设备出现 SF₆ 泄漏、局部放电超标、操作机构异常等故障时,运维人员需第一时间开展数据核查与故障研判,精准定位故障点位与缺陷类型,优先采用带电监测、故障间隔隔离等应急措施,保障电网持续供电。确需停电检修的故障,需科学规划停电范围与检修工期,合理调配人员、机具、物资资源,优化检修工序,规避重复停电问题。检修完成后严格开展气密性检测、绝缘校验、传动试验等验收工作,不断优化检修工艺与处置流程,提升故障处置效率,快速恢复设备安全稳定运行状态。

结束语

GIS 与 HGIS 设备是当前 500kV 配电装置实现紧凑化布置、高可靠运行的核心技术载体,二者并非简单的替代关系,而是需结合场地条件、造价预算与运维需求实现精准适配。未来随着智能传感、数字孪生等技术的深度融入,两类设备的在线监测与状态评估能力将持续升级,进一步推动 500kV 配电装置向少人值守、预测性维护的方向发展。工程应用中唯有精准把握两类设备的性能差异,严格把控设计、施工、运维全流程的技术细节,才能充分发挥其技术优势,为超高压输电网的长期安全稳定运行筑牢坚实的设备基础。

参考文献

- [1] 周光伟,雷松,邵和飞.GIS、HGIS 设备在 500kV 配电装置中的应用 [J]. 自动化应用,2024,65(z2):34-37.
- [2] 朱伟晔,王晓京.500kV 变电站中 220kV 配电装置采用支持管母线+HGIS 的设计应用研究 [J]. 电气技术与经济,2024(11):8-10,13.
- [3] 李策.500kV 三相分立式 HGIS 设备洁净化安装技术研究 [J]. 电力设备管理,2025(23):289-291.
- [4] 李明,王然丰,谢靛,等.500kV GIS 配电装置联合构架在特高压工程中的应用研究 [J]. 科学技术创新,2025(10):187-190.