

智能变电站一二次设备接口及电缆敷设方式优化研究

杜 华

中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：本文围绕智能变电站一二次设备接口及电缆敷设方式优化展开研究，先分析接口类型、标准化与兼容性问题，提出模块化设计、高速协议适配等优化方向；再诊断传统电缆敷设问题，研究敷设载体适配性、优化原则及新技术；最后构建系统级协同框架，从电磁管控、热管理等维度实现接口与电缆敷设协同优化。可提升设备互联兼容性与电缆敷设合理性，降低运维成本，为智能变电站高效稳定运行提供技术支持。

关键词：智能变电站；一二次设备接口；电缆敷设；协同优化

引言：智能变电站作为电力系统关键环节，其运行可靠性至关重要。一二次设备接口与电缆敷设方式直接影响系统性能。传统接口与敷设方式存在兼容性差、空间利用率低、电磁干扰等问题。研究优化二者，对提升智能变电站整体效能、降低运维成本、保障电力系统稳定运行意义重大，是当前智能变电站建设与升级的重要课题。

1 智能变电站一二次设备接口技术分析

1.1 接口类型与功能划分

智能变电站一二次设备接口按功能与形态可划分为三类，各类接口承担不同核心任务。电气接口主要负责信号传输与电源供给，一方面将一次设备的运行状态模拟信号传输至二次设备的合并单元或采集装置，为二次设备分析设备状态提供基础数据；另一方面为二次设备提供稳定电源，保障测控装置、保护装置等设备的正常运行，其设计需满足特定的电压等级与电流容量要求，确保供电可靠性与信号传输准确性^[1]。通信接口聚焦协议标准与数据交互，是一二次设备间数字信号与控制指令传输的核心通道，需遵循特定通信协议实现数据格式统一与交互逻辑规范，既要完成一次设备状态数据向二次设备的实时上传，也要实现二次设备控制指令向一次设备的精准下发，保障设备协同运行。机械接口则关注安装方式与防护等级，通过标准化的插头、插座结构设计，确保一二次设备物理连接的牢固性，同时需根据变电站内不同环境设计对应的防护等级，抵御粉尘、水汽、电磁辐射等外部因素影响，避免接口因环境侵蚀出现接触不良或故障。

1.2 接口标准化与兼容性研究

接口标准化需基于现有国际与国内标准展开对比分析，国际上常用的标准以IEC61850系列标准为核心，涵盖数据模型、通信协议、接口规范等内容，为智能变

电站设备互联提供统一框架；国内标准则在国际标准基础上结合本土电网特点进行补充完善，明确适配国内设备特性的技术要求。两类标准在核心逻辑上存在一致性，但在部分参数定义、交互流程细节上仍有差异，需梳理差异点以推动标准协同，例如建立跨标准参数映射机制，统一交互流程关键节点。跨厂商设备互联的瓶颈问题集中在标准执行差异与自定义扩展上，部分厂商虽声称遵循统一标准，但在实际设备设计中对标准条款的执行程度不同，或在标准基础上增加自定义数据字段与交互逻辑，导致不同厂商设备连接时出现协议解析异常、数据交互中断等问题，无法实现顺畅互联，增加系统集成难度与后期运维成本，需通过建立第三方合规检测机制规范厂商执行标准。

1.3 接口优化方向

模块化设计是提升接口互换性的关键，将接口拆解为独立功能模块，各模块按统一标准设计尺寸、电气参数与连接方式，设备维护或更换时仅需替换对应故障模块，无需整体更换接口，不同厂商生产的同类型模块可直接替换，大幅提升接口互换性与系统灵活性。高速通信协议的深度适配需以IEC61850标准为核心，针对标准中的采样值传输、通用面向对象变电站事件等关键协议，优化接口数据处理算法与传输链路，减少协议解析时延与数据传输损耗，确保一次设备状态数据实时上传与二次设备控制指令快速响应，满足保护装置对实时性的严格要求^[2]。电磁兼容性增强技术需从接口硬件设计与屏蔽措施两方面入手，硬件上选用抗干扰性能强的元器件，优化电路布局减少电磁辐射产生；屏蔽上采用金属屏蔽壳包裹接口主体，加强接口与设备外壳的接地连接，快速导走外部干扰电流，降低变电站强电磁环境对接口信号传输的影响，保障接口运行稳定性。

2 电缆敷设方式优化理论与方法

2.1 传统敷设方式的问题诊断

传统电缆敷设方式在智能变电站应用中存在多方面短板，空间利用率不足是典型问题之一。电缆沟或桥架内部常因缺乏科学规划导致电缆随意排布，部分区域电缆密集堆叠形成“线缆拥堵”，而部分区域因设计不合理留存大量闲置空间，既浪费敷设载体资源，又为后续新增电缆接入预留不足，若强行新增则需重新梳理既有电缆，破坏原有敷设结构。电磁干扰与热管理缺陷同样突出，不同类型电缆混合敷设时，动力电缆运行中产生的强电磁辐射易穿透信号电缆绝缘层，干扰数据传输信号，导致测控装置、保护装置接收的数据出现偏差，影响设备精准判断；密集敷设的电缆之间散热间隙狭小，运行中产生的热量无法及时散发，长期积累会使电缆绝缘层温度持续升高，加速老化进程，缩短使用寿命，极端情况下甚至引发绝缘层破损，造成电缆短路等安全隐患。施工与运维复杂性进一步增加运行成本，施工阶段缺乏标准化布线流程，电缆标识多采用纸质标签，易因环境潮湿、摩擦导致标识模糊或脱落，后续接线时易出现错接、漏接问题；运维阶段因电缆路径无清晰记录、标识混乱，故障排查时需人工逐一梳理电缆走向与连接关系，耗时较长，且更换故障电缆时需挪动周边正常电缆，易对其造成机械损伤，影响整体供电稳定性。

2.2 敷设载体性能适配分析

敷设载体性能适配需结合电缆特性与变电站环境，选择最优敷设载体类型。电缆沟需重点评估防潮防水与承重能力，地下电缆沟易受地下水渗透影响，需采用防水混凝土浇筑沟体，设置排水坡度与集水井，避免沟内积水浸泡电缆；根据敷设电缆的总重量，计算沟体盖板与支撑结构的承重强度，防止盖板塌陷或支撑变形导致电缆受压损伤。电缆桥架需关注材质耐腐蚀性与结构稳定性，户外桥架长期暴露在日晒雨淋环境中，需选用镀锌钢或玻璃钢等耐腐蚀材质，避免金属锈蚀影响结构强度；桥架支架间距需根据电缆重量与跨度合理设计，防止桥架因跨度过大出现下垂，导致电缆受力不均^[3]。管廊敷设则需考量空间扩展性与检修便利性，管廊内部需划分独立舱室分隔不同类型电缆，同时预留检修通道与照明、通风设施，便于后期电缆维护与新增敷设，且管廊内壁需做光滑处理，减少电缆敷设时的摩擦损伤。

2.3 优化设计原则

路径最短化与分层布局是提升敷设效率的核心原则。路径规划需结合变电站设备布局与电缆信号流向，在满足安全距离要求的前提下，优先选择直达路径，避免迂回绕行，缩短电缆传输距离，既能减少信号在传输过程

中的衰减，又能降低电缆材料消耗，控制成本；分层布局则按电缆类型、电压等级或传输优先级划分敷设层次，例如桥架上层敷设动力电缆、中层敷设控制电缆、下层敷设信号电缆，通过物理分隔避免不同类型电缆间的相互干扰，清晰划分载体空间，避免资源浪费，提升整体利用率。抗干扰能力提升需通过屏蔽与接地设计协同实现，对信号电缆采用金属屏蔽层紧密包裹，形成电磁屏障，阻断外部电磁辐射侵入；同时合理设置接地装置，将电缆屏蔽层与变电站接地网可靠连接，使干扰电流能快速导走，避免在电缆内部积累，保障信号传输稳定。扩展性与可维护性平衡需兼顾当前需求与未来发展，敷设设计时预留一定比例的载体空间，为新增设备电缆接入提供条件，无需大规模改造既有敷设结构；同时采用耐用的金属标识牌或电子标签标注电缆信息，配合规整的布线方式，便于后期运维时快速识别电缆用途、两端连接设备与路径，大幅降低故障排查与设备更换难度。

2.4 新型敷设技术探索

预制式电缆桥架系统采用工厂标准化预制，依据变电站需求定制桥架主体、分隔板等部件，经工厂组装检测确保尺寸精准、连接可靠；现场仅需拼接安装，省去复杂加工，大幅缩短工期，规避现场施工误差，提升敷设一致性，适配大规模智能变电站标准化建设。光纤复合电缆（OPLC）实现功能集成，将电力导体与光纤单元复合一体，同步传输电能与高速数据信号，无需分别敷设电力电缆与通信光缆。其外径小、占用空间少，能减少敷设数量，适配电缆沟、桥架等空间有限、布线密度高的区域，简化敷设结构。三维软件融合应用提供数字化支撑，以BIM技术构建变电站全场景三维模型，精准还原设备与敷设载体布局，可导入电缆参数建立数字化台账，实现从设计到运维的信息贯通。设计阶段通过碰撞检测规避路径冲突，结合接口需求规划分层布局隔离电缆；施工阶段以动画传递标准，减少误差；运维阶段可一键导出信息生成标签，快速定位故障。智能化布线管理为电缆配备电子标签或二维码，存储型号、连接设备等信息，结合数字化平台实现全生命周期追踪，运维人员扫码即可读取数据，降低管理压力，还能联动监测数据实现异常预警，强化运行安全性。

3 一二次设备接口与电缆敷设协同优化策略

3.1 系统级协同设计框架

系统级协同设计需优先实现接口功能与电缆传输特性的深度匹配。不同类型接口（如信号接口、控制接口、电源接口）对电缆传输性能要求存在差异，信号接口需电缆具备低衰减特性以保障数据传输精度，控制接口需

电缆拥有稳定的抗干扰能力以确保指令下达准确,电源接口则对电缆载流能力有明确要求^[4]。因此在设计阶段需根据接口功能参数,筛选适配的电缆类型,确定电缆的芯数、截面积、绝缘材质等关键指标,避免因接口与电缆特性不匹配导致传输效率下降或故障风险增加。信号完整性与功率传输的联合优化是系统级设计的核心环节。信号传输过程中易受功率传输产生的电磁干扰影响,导致信号失真,而功率传输稳定性又与电缆敷设路径及接口供电设计相关。需通过合理规划接口布局与电缆敷设路径,将信号电缆与功率电缆进行有效隔离,减少电磁耦合干扰;同时优化接口供电模块的功率分配逻辑,结合电缆传输损耗特性,调整供电参数,确保功率传输稳定的同时,为信号传输创造低干扰环境,实现两者协同提升系统整体运行可靠性。

3.2 电磁环境综合管控

接口布局对变电站电磁场分布具有直接影响,不合理的接口布局可能导致局部电磁场强度高,干扰周边设备与电缆信号传输。在协同优化中需结合变电站整体电磁环境仿真结果,调整接口安装位置,将高电磁辐射的接口设备远离敏感信号接口与电缆敷设区域;同时优化接口之间的间距,避免不同接口设备产生的电磁场相互叠加,形成强干扰区域,从源头降低电磁场对系统运行的影响。电缆屏蔽层接地方式优化是提升电磁兼容性的关键手段。不同敷设场景下电缆屏蔽层接地需求不同,户外电缆敷设需考虑雷击电磁脉冲影响,采用两端接地方式增强防雷能力;室内密集敷设的电缆则需根据电磁场分布特点,选择单端接地或多点接地方式,减少接地回路产生的干扰电流。需结合接口抗干扰设计要求,确定电缆屏蔽层的接地类型、接地电阻值及接地导体规格,确保屏蔽层有效发挥电磁屏蔽作用,与接口抗干扰措施形成协同,提升系统整体抗电磁干扰能力。

3.3 热管理与通风设计

高密度设备运行时会产生大量热量,若散热不及时

易导致设备温度过高,影响接口性能与电缆绝缘寿命。在协同优化中需先开展高密度设备散热需求分析,根据设备功率损耗、运行温度阈值,确定散热功率与散热方式;再结合接口布局,规划设备散热通道,确保热量能快速排出,避免热量在接口区域积聚,保障接口在适宜温度环境下稳定工作^[5]。电缆敷设方式对变电站内部气流组织具有显著影响,不合理的敷设可能堵塞通风通道,导致散热效率下降。需在电缆敷设设计中充分考虑通风需求,优化电缆桥架、电缆沟的布置方式,避免电缆密集敷设遮挡通风口;对于室内封闭区域的电缆敷设,需预留足够的通风间隙,确保气流能顺畅流经设备与电缆区域,带走热量;同时结合接口设备散热需求,调整电缆敷设路径与密度,使气流组织与设备散热、电缆散热需求相适配,形成协同的热管理体系,维持系统整体温度稳定。

结束语

智能变电站一二次设备接口及电缆敷设方式优化研究,从接口技术分析、电缆敷设优化到协同优化策略,构建了全面优化体系。通过模块化设计、新型敷设技术应用及系统级协同设计等,可有效提升系统可靠性与运行效率。未来,随着技术发展,需持续探索创新,为智能变电站安全稳定运行提供更有利支撑。

参考文献

- [1]张章,王洪新,张旺旺,等.新形势下智能变电站二次设备的调试与检修分析[J].电工技术,2024,(S1):73-75.
- [2]邢健.智能变电站电气二次设备异常识别方法研究[J].电气技术与经济,2024,(06):212-214.
- [3]宁占虎.变电站中的电气二次设备自动化系统设计[J].电子技术,2024,53(03):172-173.
- [4]钟小千.智能变电站二次设备调试技术[J].电气技术与经济,2023,(09):98-100.
- [5]魏余林.智能变电站中电力一次设备的智能化设计及发展[J].光源与照明,2021(07):85-86.