

数字化变电站中电气二次设计的措施研究

黄振

长江设计集团有限公司，湖北武汉 430014

摘要：数字化变电站以 IEC61850 标准为核心技术支撑，同时借助智能传感器、网络化通信与信息集成化平台，实现了变电站运行数据的实时采集、传输与智能分析，是智能电网建设的关键节点。电气二次设计作为数字化变电站的核心环节，承担着保护、测控、通信等关键功能的架构搭建任务，其设计质量直接影响变电站的运行稳定性与智能化水平。故此本文立足于数字化变电站的技术特征，系统分析了电气二次设计的核心价值，此外从二次回路优化、设备选型配置、通信网络构建、安全防护设计、调试运维保障五个维度提出具体的实施措施，并结合部分工程案例论证策略的可行性，此外对其针对性的提出相关注意事项，旨在为数字化变电站电气二次设计的标准化、高效化开展提供实践参考。

关键词：数字化变电站；电气二次设计；IEC61850 标准；通信网络；安全防护

引言：

数字化变电站是传统变电站向智能化转型的重要形态，其采用“一次设备智能化、二次设备网络化、信息传输数字化”的技术架构，打破了传统变电站二次系统电缆连接的局限，大幅提升了运行效率与运维便捷性。电气二次系统涵盖继电保护、测控装置、故障录波、自动化监控等内容，是保障变电站安全稳定运行的“神经中枢”。而相较于传统变电站，数字化变电站的二次设计面临通信协议统一、信息交互协同、设备兼容适配、数据安全防护等新挑战。由此可以看出，传统二次设计的硬接线模式已无法满足数字化变电站的信息交互需求，而基于标准化通信协议的网络化设计成为必然趋势。因此探索科学合理的电气二次设计措施，对于推动数字化变电站的高质量建设具有重要现实意义。

一、数字化变电站电气二次设计的核心价值

（一）提升运行可靠性，降低故障发生率

数字化变电站电气二次设计基于 IEC61850 标准构建统一的通信体系，采用光纤通信替代传统电缆回路，有效减少了电缆传输过程中的电磁干扰、信号衰减等问题，提升了信号传输的稳定性与准确性。同时二次系统的网络化架构实现了设备状态的实时监测与故障预警，能够快速定位故障点并自动启动保护措施，大幅降低了变电站的故障发生率。此外统一的通信标准还能有效减少设备间的协议冲突，提升系统整体的协调性与容错能力，为电网安全运行提供了坚实保障。

（二）优化资源配置，提高运维效率

数字化电气二次设计通过信息集成化平台，实现了各类运行数据的集中管理与共享，打破了传统二次系统各装置间的信息孤岛，具体而言，运维人员可通过后台监控系统远程查看设备运行状态、调取历史数据、开展故障分析，无需进行大量现场巡检工作。这种远程化、智能化的运维模式，不仅减少了人力与物力投入，还显著提升了运维工作的效率与精准度。同时数据集成化管理能够实现跨设备、跨间隔的联动分析，为运维决策提供全面的数据支撑，从而进一步降低运维成本。

（三）增强系统扩展性，适应电网发展需求

数字化变电站的二次设计采用模块化、标准化的架构，新增设备或功能时，只需通过软件配置与网络接入即可实现，无需进行大规模的硬件改造。而这种灵活的扩展特性，能够快速适应智能电网建设中新能源并网、电力市场交易、虚拟电厂调控等新需求。同时标准化的接口与协议设计，还能兼容不同厂家的设备，降低设备更新换代的难度，为变电站的长期稳定运行提供了可持续的技术支撑。

（四）推动节能降耗，实现绿色低碳运行

数字化二次设计通过优化设备布局、减少电缆使用量，能够降低变电站的建设能耗与运行能耗。光纤通信替代传统电缆，不仅减少了铜材等资源的消耗，还降低了电缆敷设与维护过程中的能源损耗。同时智能化的监测与调控系统可实现对设备运行状态的精准

把控，有效避免了设备空载运行或低效运行，进一步降低变电站的整体能耗。此外数字化二次系统的远程运维模式减少了人员现场往返的交通能耗，助力实现电力行业的绿色低碳发展目标。

二、数字化变电站中电气二次设计的实施措施

（一）基于 IEC61850 标准，优化二次回路设计

二次回路的数字化重构是电气二次设计的核心内容，需严格遵循 IEC61850 标准，实现信号采集、传输与处理的全数字化，具体来说：首先是可采用合并单元与智能终端替代传统的互感器与电缆回路，合并单元负责收集一次设备的电流、电压等模拟量数据，并按照标准格式将其转换为数字信号，智能终端则接收后台控制指令，实现对一次设备的分合闸、状态监测等远程操作。而合并单元与智能终端的配置需遵循“间隔独立”原则，每个间隔设置独立的设备组，避免跨间隔信号干扰。同时合并单元需支持采样率自适应调整功能，可根据系统运行工况灵活切换采样频率，兼顾保护实时性与数据存储效率。例如在某 220kV 数字化变电站工程中，通过配置分布式合并单元，将间隔层设备与过程层设备的信号传输延迟控制在 10ms 以内，满足了继电保护的实时性要求^[1]。其次是可简化二次回路的接线设计，利用网络通信替代传统的硬接线，减少了电缆的使用量，使该变电站二次电缆用量较传统设计减少 75%，施工周期缩短 30%，从而降低了施工难度与后期维护成本。最后是设计冗余备份回路，针对继电保护、安全自动装置等关键回路采用双网双机配置，主备系统实时热备，当主系统出现故障时可无缝切换至备用系统，避免因单一设备故障导致系统瘫痪，提升了二次回路的可靠性。

（二）立足功能需求，科学开展设备选型与配置

设备选型与配置需紧密结合变电站的电压等级、容量规模与运行需求，确保设备的兼容性与实用性，具体可从以下几方面展开：其一是合并单元与智能终端的选型需满足 IEC61850-9-2 标准，支持采样值的网络化传输，同时具备抗电磁干扰、耐温变、防潮湿等性能，适应变电站的复杂运行环境。设备的采样精度需达到 0.2 级以上，满足继电保护与计量的双重需求。其二是继电保护装置应选用数字化保护装置，支持与合并单元、智能终端的无缝对接，具备差动保护、过流保护、零序保护等基本功能，同时集成故障录波与测距功能，提升故障分析效率。以某 110kV 数字化

变电站为例，选用的数字化保护装置可实现采样值与控制指令的双向传输，保护动作时间缩短至 20ms 以内，较传统保护装置提升 50% 的动作速度^[2]。其三是监控系统应选用开放式平台，支持多协议接入与数据集成，能够实现对全站设备的实时监控、操作与管理。监控系统需具备可视化界面，可直观展示设备运行状态、网络拓扑结构与故障告警信息，方便运维人员快速掌握站内情况。此外设备配置可预留一定的扩展接口，为后续新能源并网、智能化升级提供硬件支持。

（三）构建分层通信网络，保障信息传输高效性

数字化变电站二次系统的通信网络采用“过程层、间隔层、站控层”的三层架构，需合理设计网络拓扑与带宽配置，保障信息传输的高效与可靠，具体分析设计如下：其一是对过程层网络可采用星形拓扑结构，主要传输合并单元的采样值与智能终端的控制指令，选用千兆以太网交换机，满足实时性与确定性要求。同时过程层网络需采用双网冗余配置，两台交换机互为备用，确保数据传输不中断。此外间隔层网络由于负责传输各间隔的保护与测控数据，需采用双网冗余配置，提升网络的容错能力，保证间隔层设备通过光纤分别接入两台交换机，实现数据的双重备份。最后是对站控层网络可采用以太网架构，从而实现与调度中心的信息交互，支持远动数据传输与远程监控，站控层网络需配置高性能服务器，用于数据存储与处理^[3]。其二是合理划分网络 VLAN，将不同功能的设备划分至不同的 VLAN，如可将继电保护设备、测控设备、计量设备分别划分至独立 VLAN，减少广播风暴对网络性能的影响，提升信息传输的安全性与效率。同时可设置 VLAN 访问控制策略，限制不同 VLAN 间的非法访问。其三是配置网络管理设备，实时监测网络运行状态，可对网络拥塞、设备故障、信号中断等问题进行预警与处理，保障通信网络的稳定运行。

（四）强化全流程安全防护，筑牢系统运行防线

数字化变电站二次系统的安全防护需兼顾设备安全、网络安全与数据安全，构建全方位的防护体系，具体可从以下几方面着手实施：其一是在设备安全防护方面，可采用防雷、防静电、防电磁干扰的设计方案，在设备安装时设置接地装置与屏蔽层，接地电阻需控制在 4Ω 以下，从而避免外部环境对设备运行的影响。同时可定期开展设备状态检测，通过红外测温、绝缘测试等手段及时发现设备隐患，及时更换老化或故障

部件,保障设备的正常运行^[4]。其二是在网络安全防护方面,可通过部署防火墙、入侵检测系统与安全隔离装置,进而实现站控层与间隔层、过程层的网络隔离,站控层与调度中心之间需设置纵向加密认证装置,防止外部恶意攻击与非法访问;采用加密技术对传输数据进行加密处理,确保数据的完整性与保密性,加密算法可选用国密 SM4 算法,提升数据安全等级^[5]。其三是在数据安全防护方面,可建立数据备份与恢复机制,采用本地备份与异地备份相结合的方式,定期对监控数据、保护定值、故障录波等关键数据进行备份,防止数据丢失。同时设置严格的权限管理体系,不同运维人员分配不同的操作权限,采用身份认证与密钥管理相结合的方式,避免误操作导致的系统故障。例如某 500kV 数字化变电站通过部署网络安全防护系统,成功抵御了多次网络攻击,保障了二次系统的稳定运行^[6]。

(五) 完善调试运维方案,保障系统长效运行

调试与运维是电气二次设计的延伸环节,直接影响二次系统的运行效果,对此可从以下两方面电气二次设计的调试和运维:一方面是在调试阶段,需制定分阶段调试方案,首先可开展单体设备调试,测试合并单元、智能终端、保护装置等设备的功能是否正常。其次可开展系统联调,测试各设备间的通信兼容性与数据交互准确性。最后可通过开展整组传动试验,模拟各类故障场景,从而验证保护装置的动作可靠性。调试过程需严格遵循相关标准,做好调试记录,确保各项指标达到设计要求。另一方面在运维阶段,可建立智能化运维管理平台,通过大数据分析技术对设备运行数据进行深度挖掘,预测设备故障趋势,实现从“被动运维”向“主动运维”的转变。同时可制定完善的运维规程,规范设备巡检、维护、检修的操作流程,定期组织运维人员开展专业培训,提升运维人员的技术水平与应急处理能力。

三、数字化变电站电气二次设计的注意事项

(一) 严格遵循标准规范,保障设计合规性

电气二次设计需严格遵循 IEC61850 系列标准、国家电网《数字化变电站设计规范》《智能变电站继电保护技术规范》等相关文件,确保设计方案的标准化与合规性。在设计过程中,需加强与设备厂家的沟通协作,组织设计人员与厂家技术人员开展技术交底会,确保所选设备符合标准要求,进而避免因设备不兼容

导致的返工问题。

(二) 注重设计与施工的协同,提升工程质量

设计方案需充分考虑施工现场的实际情况,如设备安装空间、电缆敷设路径、光纤熔接工艺等,确保设计方案的可操作性。设计人员需参与施工过程的技术交底与现场指导,及时解决施工中出现的問題,如调整设备安装位置、优化网络布线方案等。同时需建立设计变更管理制度,规范设计变更流程,避免因随意变更设计导致工程质量下降。

(三) 强化人员专业培训,提升运维水平

数字化变电站二次系统的运维需要专业的技术人员,需定期开展 IEC61850 标准、网络通信、智能设备运维、网络安全防护等方面的培训,提升运维人员的专业素养。培训方式可采用理论授课与现场实操相结合的方式,邀请行业专家与厂家技术人员进行授课,增强培训的针对性与实用性。同时可通过建立完善的运维管理制度,规范运维操作流程,从而确保二次系统的长期稳定运行。

四、结束语

数字化变电站的建设是智能电网发展的必然趋势,而电气二次设计作为其核心环节,直接决定了变电站的智能化水平与运行可靠性。未来在设计过程中,需严格遵循 IEC61850 标准,从二次回路优化、设备选型配置、通信网络构建、安全防护设计、调试运维保障五个维度入手,结合工程实际制定科学合理的设计方案。同时需注重设计与施工的协同、人员专业能力的提升,才能充分发挥数字化变电站的技术优势,从而为智能电网的安全稳定运行提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 郭必瑜. 电气二次设计在变电站综合改造中的应用研究 [J]. 机电信息, 2025, (19): 13-16.
- [2] 黄越. 变电站工程电气二次设计分析研究 [J]. 电力设备管理, 2024, (17): 42-44.
- [3] 李芄蓉. 智能变电站电气二次设计常见问题及处理对策 [J]. 中华纸业, 2024, 45(05): 91-93.
- [4] 王培秀. 智能变电站电气二次设计常见问题及对策分析 [J]. 电气技术与经济, 2024, (01): 324-326.
- [5] 周平. 数字化变电站中电气二次设计分析 [J]. 电工材料, 2023, (06): 27-30.
- [6] 罗克伟. 变电站电气二次数字化设计技术优化方案 [J]. 能源与环境, 2020, (04): 33-34+81.