

智能变电站施工安装与系统调试关键技术探析

路坤

陕西送变电工程有限公司, 陕西 西安 710014

DOI:10.61369/EPTSM.2026060004

摘 要 : 随着电力系统数字化、信息化发展, 智能变电站成为现代电网建设的重要方向, 其施工安装和系统调试质量直接影响运行安全与可靠性。本文围绕智能变电站关键技术展开分析, 阐述一次设备、二次系统及 IEC 61850 通信体系基础, 并从施工准备、设备布置、光纤敷设、接地施工、二次回路控制、通信联调、保护校验和缺陷处理等方面探讨质量控制要点。研究认为, 应加强施工标准化管理, 优化调试流程, 完善缺陷闭环机制, 保障智能变电站稳定运行。

关 键 词 : 智能变电站; 施工安装; 系统调试; 通信联调; 继电保护

Key Technologies in Construction, Installation, and System Commissioning of Smart Substations

Lu Kun

Shannxi Power Transmission & Transformation Company, Xi'an, Shaanxi 710014

Abstract : With the development of digitalization and informatization in the power system, intelligent substations have become an important direction for modern power grid construction, and their construction, installation, and system debugging quality directly affect operational safety and reliability. This article analyzes the key technologies of intelligent substations, elaborates on the foundation of primary equipment, secondary systems, and IEC 61850 communication system, and discusses the key points of quality control from the aspects of construction preparation, equipment layout, fiber optic laying, grounding construction, secondary circuit control, communication commissioning, protection verification, and defect handling. Research suggests that construction standardization management should be strengthened, debugging processes optimized, defect closed-loop mechanisms improved, and the stable operation of smart substations ensured.

Keywords : intelligent substation; construction and installation; system debugging; communication joint debugging; relay protection

一、技术基础

智能变电站的建设是以一次设备、二次系统以及通信标准作为核心基础来开展的。一次设备它包含了变压器、断路器、隔离开关、互感器以及避雷器等设备, 它是达成电能变换、电能传输以及电能保护的重要载体, 其安装的质量会直接对运行的安全形成影响^[1]。二次系统由保护装置、测控装置、合并单元、智能终端以及监控后台等装置所构成, 它承担着数据采集、状态监测、继电保护以及自动控制等相关功能。在通信方面, 智能变电站一般采用 IEC 61850 标准, 通过 GOOSE 报文、SV 采样值报文及 MMS 通信来实现信息的交互。所以, 在施工过程中, 应当重点对一次设备安装的正确性、光纤链路的正确性、网络拓扑的正确性、通信配置的正确性以及二次虚回路的正确性进行控制, 以此来保障系统能够安全稳定地运行^[2]。

二、施工安装

(一) 施工前技术准备

在施工前的技术准备工作, 实际上是保障智能变电站能够达成安装质量要求的一项重要条件。在施工单位进入施工场地前, 应当组织设计单位、监理单位、设备生产厂家及调试单位共同开展图纸的会审及技术交底。重点要对一次主接线图、二次原理图、屏柜布置图、光纤网络图、虚端子表、端口对应表及接地施工图等资料进行核对, 从而避免光纤连接错误、设备地址不一致或者配置文件不匹配等问题。与此同时, 还应当切实做好设备到货后的验收, 对主变压器、断路器、保护测控装置、合并单元、智能终端、交换机等设备的型号、规格、外观、合格证及技术资料等进行检查。对于二次智能设备, 还需要核查其软件版本、通信规约以及配置文件等内容, 以此确保能够满足工程的相关要

求，进而减少返工且提高调试工作的效率。

（二）设备布置控制

智能变电站开展施工安装工作时，首先应当着重重视一下设备布置的科学性及规范性。一次设备、二次设备还有智能组件相互之间的联系较为紧密，如果布置得不够合理，就容易造成后期接线变得复杂、运行维护出现困难等问题。所以，在进行施工前，应当结合设计图纸、现场的实际条件以及运行检修的相关需求，针对主变压器、断路器、隔离开关、互感器、智能终端柜、合并单元柜等设备的位置来进行统筹性的安排。在设备安装的过程中，要严格去控制基础的标高、水平度、垂直度以及间距，从而确保设备排列整齐、连接可靠的性质。与此同时，应当预留出足够的检修通道以及电缆敷设的空间，以此避免设备过于集中从而导致散热不良或者维护限制。对于户外的设备而言，还应当考虑防雨、防潮、防雷以及环境适应性等情况，以此保证设备能够实现长期稳定运行。

（三）二次屏柜与智能组件安装控制

二次屏柜以及智能组件属于智能变电站信息采集、控制执行还有运行监视方面的重要载体，其安装的质量会直接对二次系统的稳定运行产生影响^{[6][10]}。在进行保护柜、测控柜、合并单元柜、智能终端柜以及通信柜的安装时，应当按照设计要求来进行定位，从而确保柜体能够排列整齐、固定牢靠、接地可靠，并且要对垂直度、水平度以及柜间间隙加以控制，以此避免对设备的运行和维护造成影响。在进行合并单元、智能终端以及交换机等设备的安装时，应当满足温度、湿度以及电磁环境等方面的要求，保证通风散热能够良好、电源接线能够正确。对于户外智能终端，应当加强防潮、防尘以及防雷等措施。在施工完成后，应当统一地对屏柜、装置、端子及光纤端口编号进行核对，确保其与设计资料保持一致。

（四）光纤敷设控制

光纤通信属于智能变电站信息传输的重要基础所在，其敷设的质量对保护系统、测控系统以及监控系统的数据交互效果产生影响。在施工的过程中，应当依据系统结构及通信网络设计的要求，合理地对光纤路径加以规划，从而减少交叉、弯折以及冗余敷设问题。在进行光纤敷设时，应当避免受到机械挤压、强拉伸以及过小弯曲半径的影响，以此防止光衰增大、通信中断等问题。对于进入到屏柜、端子箱以及汇控柜内的光纤，应当做好相关编号、固定以及保护工作，从而确保标识清晰、走线整齐。在光纤熔接完成后，应当及时地开展光功率测试、衰耗测试以及通断测试，以此确认通信链路能够满足设计要求。除此之外，施工单位还应当进一步加强光纤资料的整理，形成完整的光纤路径表以及端口对应关系，从而为后续的系统调试及运维检修提供相应依据。

（五）电缆及二次回路施工控制

尽管智能变电站在很大程度上采用了光纤通信方式，然而直流电源、交流电源、控制回路、信号回路及部分闭锁回路，仍然需要通过电缆来进行连接。所以，电缆及二次回路的施工，依然会对运行的可靠性产生影响。在进行电缆敷设前，应当依据电缆

清册及施工图纸，对型号、规格、长度以及起止点等进行核对，并且要合理地去规划路径，从而避免强电电缆、弱电电缆及通信光缆出现交叉混乱。在二次接线的过程中，应当确保端子牢固、线号清晰、排列整齐，以此来防止出现虚接、错接及漏接等情况。对于直流控制回路及跳合闸回路，应当重点对极性、绝缘以及完整性等展开检查。在施工完成后，应当进行绝缘测试、导通检查及端子核对等工作，从而确保符合设计的要求^{[2][8]}。

（六）接地质量控制

接地系统是保障智能变电站能够安全运行的重要环节。因为在智能变电站中，电子设备、通信设备及保护装置的数量较多，所以就对接地可靠性及抗干扰能力提出了更高要求。在施工时，应当严格按照设计要求完成主接地网的施工、设备的接地施工、屏柜的接地施工以及二次系统的接地施工，从而确保设备的接地连接牢固、导通良好。对于一次设备的外壳、端子箱、机构箱及金属支架，应当采用可靠的方式来与接地网进行连接，以此防止故障电流或者雷电冲击对设备及人员造成危害。二次设备的接地则应当重点去控制屏蔽层的接地、保护接地以及功能接地，避免多点接地或者接地混乱而引发信号干扰。在施工后，应当开展接地电阻的测试及导通检查，及时处理焊接不牢固、连接松动、腐蚀防护不足等问题。通过加强接地质量的控制，能够有效提升智能变电站的安全性、稳定性及抗干扰的能力。

三、系统调试

（一）调试前准备

在系统调试前，应当切实做好资料的核对、设备的检查及安全措施的准备。调试人员应当充分熟悉设计图纸、保护定值表单、SCD的文件、CID的文件、虚端子的相关表格、网络拓扑的图形、光纤端口的相关表格及厂家的说明书，从而明确装置之间的逻辑和通信关联。鉴于配置文件会直接对设备信息的交互产生影响，所以应当重点去核对SCD文件与现场设备的配置状况是否保持一致，以此避免因版本错误而造成通信异常。同时，应当检查交流电源、直流电源、UPS类型的电源、时钟同步的系统、交换机、保护测控的装置以及后台监控的系统是否具备调试的条件。在调试前还应当制定相关的方案，明确调试的范围、调试的顺序、调试的方法、安全方面的风险以及责任的分工，以此保障后续的调试工作能够有序地开展^[4]。

（二）通信联调

通信联调是属于智能变电站系统开展调试工作的基础环节，它直接关联到智能设备相互间的信息交互的效果。在进行调试前，应当首先去核对通信网络的结构、设备的地址、端口的配置、光纤的连接及通信规约的参数内容，以此来确保现场的接线与设计的图纸一致。在开展联调的过程中，应当重点去检查站控层、间隔层和过程层相互间的数据进行传输，验证合并单元、智能终端、保护测控装置和监控后台相互间的信息进行交互是否处于正常状态。对于采用了IEC 61850标准的系统而言，还应当检查GOOSE报文、SV采样值报文和MMS通信是否稳定且

可靠，避免因配置错误、报文丢失或者网络延时等情况影响到系统的运行。通信联调工作完成后，应当形成完整的通信测试的记录内容，从而为后续的保护进行校验及系统开展投运工作提供依据。

（三）保护校验

保护校验是保障智能变电站能够安全且稳定地运行的关键内容。和传统变电站相比，智能变电站的保护系统更加依赖于数字化采样、网络传输及智能终端执行方面，所以说校验工作不仅是要关注保护装置本身的动作逻辑，而且还要检查采样链路、跳闸链路及闭锁信号是否正确。调试人员应当依据保护定值单及设计方案，针对差动、过流、距离、母线保护等功能实施逐项的测试，以此来确认保护动作时间、动作条件及出口回路是否符合相关要求。与此同时，还需要对合并单元采样精度、智能终端跳合闸响应、GOOSE 信号传输及压板状态联合性的验证，从而防止出现误动、拒动或者信号错传等问题^{[7][8][9]}。通过开展系统化的保护校验工作，能够提升继电保护的可靠性及选择性。

（四）整组传动与联动试验

整组传动与联动试验是检验智能变电站保护、测控、智能终端、断路器及监控后台协同能力的重要环节。通过模拟故障条件，可验证保护装置能否正确接收采样值、判断故障类型，并通过 GOOSE 报文或跳闸回路向智能终端发出动作命令，实现断路器正确跳合闸。试验过程中，应重点检查保护动作时间、跳闸出口、断路器位置反馈、遥信变位、后台告警、事件记录和故障录波信息是否准确。对于双重化保护配置，应分别验证两套保护系统的独立性和可靠性。试验完成后，应形成记录，并对问题及时整改复测，确保系统具备投运条件^{[4][5]}。

（五）缺陷处理

在系统调试的过程中，易出现诸如通信中断、报文异常、装置告警、遥信不一致、保护逻辑错误等缺陷。针对此情况，应当建立起一种规范的缺陷排查及闭环处理机制。首先，需要依据故障的现象来判断问题的来源，要区分到底是设备硬件故障、光纤链路问题、参数配置错误，还是软件版本不匹配而导致的异常。其次，应当结合后台告警的信息、网络抓包获取的数据、装置自

检的结果以及现场测试记录等进行综合性分析，从而避免盲目地更换设备或者重复调试。对于已发现的问题，应当及时地记录下缺陷的内容、其处理措施及复测的结果，以此确保问题在整改后再次验证能够合格。在调试结束前，还应当开展整组传动的试验及系统联动的检查工作，确认各项功能能够稳定且可靠。通过进一步加强缺陷处理工作，可以有效地降低投运的风险，保障智能变电站能够顺利运行^{[3][4]}。

四、施工安装与系统调试质量优化措施

为提升智能变电站建设质量，应加强施工安装和系统调试全过程管理。首先，应推进施工标准化，明确设备安装、光纤敷设、二次接线、接地施工和调试验收等环节的质量要求，保证施工有章可循。其次，应加强设计、施工、调试和运维单位协同，及时解决图纸、配置文件与现场实际不一致的问题。同时，应重视资料管理，及时整理光纤路径表、端口对应表、通信测试记录、保护校验记录和缺陷处理记录，确保资料与现场一致。对于调试中发现的问题，应建立缺陷闭环机制，实现发现、整改、复测全过程可追溯。此外，还应加强人员培训，提高其对 IEC 61850 通信、GOOSE 报文、SV 采样值和继电保护校验等关键技术的掌握水平^{[1][10]}。

五、结论

综上所述，智能变电站施工安装与系统调试是保障电网安全稳定运行的重要基础。其建设质量受一次设备安装、二次系统配置、光纤通信、接地施工及系统联调等因素影响。通过加强施工前准备、规范设备安装、优化通信联调、严格保护校验和完善缺陷处理机制，可有效提升工程质量与运行可靠性。未来，应推进施工标准化、调试规范化和运维智能化建设，充分发挥数字化技术优势，提高智能变电站安全运行和管理水平，为电网高质量发展提供支撑。

参考文献

[1] 《智能变电站换流站施工与巡检新技术》编委会. 智能变电站换流站施工与巡检新技术 [M]. 中国水利水电出版社 :202210:716.
[2] 祁立. 继电保护二次回路可视化技术在智能变电站中的应用研究 [J]. 自动化应用 ,2024,65(S2):65-67.
[3] 佐松阳, 孙翊栋. 智能变电站在线监测与故障诊断技术在继电保护二次回路中的应用 [J]. 光源与照明 ,2025,(3):108-110.
[4] 徐伟. 智能变电站继电保护调试技术探析 [J]. 电力设备管理 ,2025,(20):59-61.
[5] 刘郑康. 智能变电站继电保护调试技术分析 [J]. 电子技术 ,2025,54(3):316-317.
[6] 汤浩, 柳殿煌. 智能变电站的继电保护与自动化系统分析 [J]. 集成电路应用 ,2024,41(7):304-305.
[7] 管恩滨, 董继承, 滕庆杰. 石油企业 110 kV 智能变电站继电保护技术应用研究 [J]. 化工管理 ,2024,(36):124-127.
[8] 张良杰. 智能变电站中的二次继电保护技术应用 [J]. 集成电路应用 ,2023,40(10):244-245.
[9] 李欢欢. 10kV 智能变电站中的继电保护技术应用 [J]. 集成电路应用 ,2023,40(5):386-387.
[10] 廖杰, 王俊刚, 李洪蕾. 智能变电站继电保护与自动化系统分析 [J]. 信息系统工程 ,2024,(6):34-36.