

配电自动化系统联调联试关键技术及工程应用

卢县明

韶关航正机电安装工程有限公司 韶关武江 512026

摘 要：配电自动化系统联调联试是确保系统从独立设备到整体功能无缝衔接、安全可靠投运的关键环节。其核心关键技术在于实现主站、终端与通信网络三者的协同测试，以验证闭环链路的联动可靠性；开展系统信息交互与数据一致性的校验，确保数据格式、时序与精度的准确无误；以及通过仿真与验证技术，对馈线自动化等核心功能进行故障处理能力的全面测试。在工程应用中，联调联试遵循“分层递进”的流程，从周密的准备与方案制定，到单设备、子系统及全系统的逐步实施，最后对结果进行严谨的分析与评估。针对实践中常见的通信中断、控制指令失败及系统逻辑与现场工况不符等问题，需采取协议适配、参数校准与仿真模型优化等对策。这一整套技术方法与工程流程，为配电自动化系统的高质量投运和稳定运行提供了坚实保障。

关键词：配电自动化；联调联试；馈线自动化；系统测试

随着智能电网建设的深入推进，配电自动化系统作为提升供电可靠性与管理效率的核心手段，其重要性日益凸显。该系统集成了主站、大量终端设备和复杂的通信网络，是一个多技术、多设备、多协议融合的复杂系统。在系统建设完成后，如何确保各组成部分能够协同工作，各项功能特别是故障处理等核心功能能够在实际工况下准确、可靠地执行，成为系统成功投运前必须解决的核心挑战。因此，系统性地研究配电自动化系统联调联试的关键技术，并形成一套规范、高效的工程应用流程，对于保障系统建设质量、缩短投运周期、提升电网运行的安全性与稳定性具有重大的理论价值与紧迫的现实意义。

1 配电自动化系统联调联试的关键技术

1.1 主站、终端与通信网络的协同测试技术

主站、终端、通信网络是配电自动化系统的“中枢－末梢－传输通道”，三者协同测试需验证不同工况下的联动可靠性。测试需构建“主站指令下发－通信网络传输－终端执行反馈－主站接收确认”的闭环链路，模拟正常运行、通信负载波动、终端异常离线等场景。例如，主站向多台终端同时下发发电参数采集指令，测试通信网络在高负载下的数据传输延迟，要求延迟不超过 500ms；模拟部分终端因信号弱临时离线，检查主站是否能在 10 秒内识别离线状态并生成告警信息。同时需测试通信网络的抗干扰能力，在配电现场电磁干扰环境下，通过协议分析仪监测主站与终端的通信

丢包率，要求丢包率低于 0.1%，确保三者 in 复杂现场环境中仍能稳定协同^[1]。

1.2 系统信息交互与数据一致性的校验技术

信息交互与数据一致性是系统功能正常的基础，需从数据格式、传输时序、数值精度三个维度开展校验。数据格式校验需核对主站与终端的通信协议（如 DL/T 634.5104）适配性，确保电压、电流、开关状态等数据字段的编码格式一致，避免因格式不兼容导致数据解析错误。传输时序校验需验证数据传输的实时性，例如终端采集的故障电流数据需在 100ms 内上传至主站，确保主站能及时触发故障处理逻辑。数值精度校验需对比主站接收数据与终端采集原始数据的偏差，例如终端采集的三相电流实际值为 100A，主站显示值需在 99A-101A 范围内（误差≤ 1%），避免因数据偏差影响系统对电网状态的判断。

1.3 馈线自动化功能的仿真与验证技术

馈线自动化（FA）是配电自动化系统的核心功能，需通过仿真环境模拟现场工况，验证其故障处理能力。首先构建馈线仿真模型，还原实际配电线路的拓扑结构（如线路分段、开关配置、负载分布），输入现场实测的线路参数（如电阻、电抗）。其次模拟典型故障场景，如单相接地故障、相间短路故障，测试 FA 功能的故障识别、隔离与供电恢复流程。例如，模拟某条馈线中间分段开关处发生相间短路，需验证系统能否在 200ms 内识别故障位置，通过遥控断开

故障两侧开关实现故障隔离，并闭合联络开关恢复非故障区域供电。为全面验证馈线自动化（FA）系统的运行可靠性，需在测试过程中高度仿真各类实际故障场景下的自动重合闸操作，以及备用电源自动投入（BZT）等关键联动功能的执行过程。通过精确模拟这些典型配电故障处理流程，能够有效确保所设计的 FA 控制逻辑与现场复杂配电网络的实际运行工况及保护需求高度匹配，从而显著降低因逻辑配合不当导致的故障范围异常扩大风险，同时最大限度避免因系统响应迟缓所造成的恢复供电延迟问题，切实提升配电网供电连续性与故障自愈能力^[2]。

2 配电自动化系统联调联试的工程应用流程

2.1 联调联试前的准备与方案制定

前期准备工作是联调联试的基础，必须充分明确测试范围与技术标准。具体而言，需要根据配电自动化系统的实际规模，例如系统所覆盖的馈线条数、各类终端设备的数量以及系统整体架构的复杂程度，合理确定联调测试的边界和深度。同时，应严格参照《配电自动化系统运行技术规程》等相关行业标准，制定科学合理的测试指标体系，包括但不限于通信传输延迟、遥测数据误差、FA（馈线自动化）动作时间等关键性能参数。联调方案的内容应全面且具有可操作性，通常需涵盖测试的具体项目、操作步骤、所需设备清单以及人员职责分工。例如，主站系统的功能测试宜由电力调度专业人员负责，终端设备的现场调试由运维团队执行，而通信通道及协议的一致性验证则需通信技术专家配合完成。此外，必须提前准备好各类测试仪器和工具，例如使用信号发生器模拟实际电网中的电压电流信号，借助协议分析仪监测通信报文交互的正确性，以及通过馈线仿真软件构建各类典型故障与非正常工况。在联调开始前，还需组织所有参与测试的人员进行系统性培训，确保每一位成员都能熟练掌握测试流程、评判标准以及仪器设备的正确操作方法，从而为测试的顺利开展奠定坚实基础^[3]。

2.2 现场联调联试的实施步骤

联调实施过程应严格遵循“分层递进、由简到繁”的原则，以科学合理的测试顺序保障问题能够被快速定位与解决。首先进行的是单设备层面的测试，旨在分别检验系统中各个独立组成部分的功能完整性。例如，对主站系统需验证其指令下发、数据接收与告警生成等核心功能；对终端设备则需考核其数据采集精度、控制命令执行准确性以及故障

信息上报的及时性；而对通信设备需测试其信号覆盖强度、数据传输速率和抗干扰能力等。在这一阶段，若发现某一设备性能异常，如终端采集数据偏差过大，可通过标准信号源输入额定信号，比对测量值与标准值以确定是否满足精度要求。完成单体调试后，进入子系统协同联调阶段，例如开展主站与通信网络之间的协议兼容性测试，验证双方能否正确交互；或进行终端设备与通信网络的接入稳定性测试，考察其在长期运行中的通信表现。最后，进行全系统综合联调，通过高度模拟真实配电运行场景，系统性地下发数据采集、远程控制及故障处理等多种类型的指令，全面考察系统整体响应性能。例如，模拟某一馈线发生短路故障，主站自动生成处理指令，经通信网络传达至相应终端，触发 FA 功能动作，最终通过各环节的协作效果判断系统是否达到设计预期。

2.3 联调联试结果的分析与评估

测试结果的分析应严格依据前期制定的各项测试指标，对每一个测试项目的实际数据进行逐一核对和客观评判。举例来说，在通信延迟测试中，若实测值为 300 毫秒，而标准要求为不超过 500 毫秒，则可判定该项指标合格；反之，若某终端的数据采集误差达到 2%，超出规定的 1% 误差上限，则该项被认定为不达标，并需进一步分析导致偏差的根本原因。评估阶段需编制详细的书面测试报告，其内容通常包括本次联调的总体概况、各项达标情况清单、未达标项目的具体描述以及具有可操作性的整改建议。例如，针对数据误差超标的问题，可建议检查终端采集模块的校准参数配置，必要时重新进行现场校准。此外，报告编制完成后，应组织业主单位、设备供应商及运维部门等多方共同进行评审，就存在的问题及相应的整改措施达成一致意见。确保所有未达标项均得以有效处理并经重新测试验证后，该系统方可进入试运行阶段，坚决杜绝带隐患投运，以保障配电自动化系统长期稳定可靠运行^[4]。

3 联调联试过程中的常见问题与对策

3.1 通信中断与数据异常问题及对策

通信中断通常由协议适配性不佳或通信链路受到外界干扰引起。例如，当主站采用 MQTT 协议进行通信，而终端设备默认使用 Modbus 协议时，两者之间的协议不匹配会导致数据传输失败；此外，在配电现场，高压设备运行时产生的强电磁干扰也可能造成通信信号衰减或中断，影响系统正常运行。针对此类问题，首先应详细核对主站与终端设备

之间的通信协议版本及各项参数配置(例如波特率、数据位、停止位及校验位等),确保双方设置完全一致;其次,可借助协议分析仪捕获实际通信过程中的数据帧,通过解析数据内容定位协议处理中的错误点,并进行相应修正。对于电磁干扰问题,可通过优化通信链路的物理布局,如使通信线路远离高压设备或强干扰源,同时采用屏蔽性能更好的通信线缆,或在适当位置增加信号中继放大器,以显著提升通信系统的抗干扰能力和稳定性。某实际案例中,终端与主站之间频繁发生通信中断,经深入排查发现,原因是双方的校验位设置不一致(主站配置为偶校验,而终端设置为奇校验),将终端校验位调整为与主站一致的偶校验后,通信立即恢复正常,且长期运行稳定。

3.2 控制指令下发失败或执行错误问题及对策

控制指令相关的问题往往源于权限配置错误或终端参数设置不准确。举例来说,若主站操作人员未被授予对终端设备的控制权限,指令下发请求会被系统拒绝;另一方面,终端控制模块中的关键参数(如开关分闸的电流动作阈值)若设置错误(如设定值为100A,而实际运行需求为50A),将导致指令执行结果与预期不符,甚至引发系统异常。解决此类问题时,应首先检查主站系统中的用户权限配置,确保相关操作人员具备对目标终端的控制指令下发权限;随后,需逐一比对终端设备内部的参数配置文件与设计文档中的要求,特别关注控制阈值、动作延时、保护定值等关键参数,发现偏差及时修正。如果指令执行错误,可通过查看终端生成的调试日志,分析指令接收、解析及执行的全过程,判断是否存在终端硬件故障(如控制模块损坏或接口异常),并根据实际情况更换相应模块以彻底解决问题。某项目中,主站下发的开关合闸指令未能得到终端响应,通过日志分析发现终端控制权限处于关闭状态,重新开启权限后指令下发与执行均恢复正常^[5]。

3.3 系统逻辑与现场工况不符问题及对策

这类问题通常是因为联调仿真阶段所采用的环境与实际现场工况存在较大差异,导致预设的系统逻辑无法适应现场实际运行需求。例如,在仿真过程中,馈线负载通常被假设为均匀分布,而实际现场可能出现负载集中在线路某一区段的情况,这会使FA(馈线自动化)故障隔离逻辑在现场执行时产生误判;同样地,若仿真模型未考虑现场配电台区

中存在的三相电流不平衡现象,主站对电网状态的评估结果将出现偏差,影响控制决策。为解决这一问题,在系统联调之前,应充分收集现场实际工况的详细数据,包括负载分布特性、线路阻抗参数、三相不平衡度、环境温湿度等,据此调整仿真模型的相关参数,使其最大限度贴近实际情况;进入现场联调阶段后,应选择典型台区进行实地测试,将仿真结果与现场实测数据进行对比,不断修正和优化系统控制逻辑。例如,在某湖区配电自动化项目中,最初的仿真模型未考虑高湿度环境对线路绝缘性能的影响,导致FA故障识别时间过长,后在仿真中增加湿度对绝缘参数的修正模型,现场测试结果显示故障识别时间显著缩短,最终满足设计要求。

4 结语

配电自动化系统联调联试是连接系统建设与实际运行的最后一道,也是至关重要的一道技术关口。它通过一系列关键技术验证了系统各组成部分的协同工作能力,并通过标准化的工程流程确保了系统功能的完整性与可靠性。针对联调过程中暴露的各类问题,采取有效的对策进行整改,不仅保障了单次项目的成功投运,更为后续项目的实施积累了宝贵经验。展望未来,随着配电系统向更加智能化、分布式的方向发展,联调联试技术也将不断演进,数字孪生、人工智能等新技术的应用将使得仿真测试更加逼近真实场景,故障诊断更加智能精准,从而进一步提升联调效率与深度,为构建更加坚韧、自愈的未来配电网提供坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 吴斌,张桂芹,乔东伟,等.基于人工智能理论的变电站一体化监控系统集成联调验收研究[J].微型电脑应用,2020(2):3.
- [2] 王珏莹,张振宇,吴涵,等.基于RTLAB的配电网智能分布式自愈控制系统测试技术[J].供用电,2023,40(9):16-26.
- [3] 王娜.在湖区影响配电自动化系统可用率的因素[J].农村电工,2023,31(12):38-38.
- [4] 王爱玉,王高举.舟山新一代配电自动化系统三级联调方案研究[J].东北电力技术,2020,41(2):6.
- [5] 孙佳炜,滕力阳,阚沁怡.配电自动化终端接入主站智能联调系统的设计与实现[J].电力设备管理,2021(14):2.