

配电自动化终端设备通信协议标准化与互操作性研究

黄利彪¹ 冯伟杰²

1. 内蒙古电力（集团）有限责任公司锡林郭勒供电公司锡林浩特供电分公司 内蒙古 锡林郭勒盟锡林浩特 026000
2. 内蒙古电力（集团）有限责任公司锡林郭勒盟正蓝旗供电分公司 内蒙古 锡林郭勒盟正蓝旗 027200

摘要：本文聚焦配电自动化终端设备通信协议标准化与互操作性问题，概述了配电自动化系统架构、通信协议作用及终端设备通信特点。分析指出，现有通信协议存在标准不统一和互操作性差等难题。因此，提出标准化策略，涵盖需求分析、制定方法及框架构建。同时，介绍了互操作性测试技术、中间件及语义互操作性技术。本文旨在推动配电自动化系统标准化、智能化发展，提升系统互操作性和运行效率。

关键词：配电自动化；通信协议；标准化；互操作性；终端设备

1 配电自动化终端设备通信概述

1.1 配电自动化系统架构

配电自动化系统是现代电力系统的重要组成部分，其结构复杂且功能多样。该系统主要由配电主站、配电终端、配电子站和通信通道构成。在实际应用中，配电自动化系统一般采用二层结构，即主站层和终端设备层。在主站层和终端设备层之间，根据实际需要，可以选择性地加入子站层，形成三层结构，即主站层、子站层和终端设备层。此外，配电自动化系统还可以采用一种无主站模式，即通过开关设备间的相互配合来实现故障处理。配电主站是整个系统的控制中枢，负责数据的收集、处理、存储和展示，以及实现对配电网络的远程监控和控制。配电终端则分布在配电网的各个节点，负责采集实时的电力数据，如电压、电流、功率因数等，并将这些数据通过通信通道上传至配电主站。配电子站则作为中间环节，起到数据传输、汇总和处理的作用；在配电自动化系统的二层结构中，主站层通过通信网络与各个终端设备相连，实现对终端设备的远程监控和控制。而在三层结构中，子站层则作为主站层和终端设备层之间的桥梁，负责将终端设备的数据上传至主站，并将主站的命令下发给终端设备。无主站模式则更多地依赖于开关设备间的相互通信和配合，以实现故障的快速定位和隔离。

1.2 通信协议在配电自动化中的作用

通信协议在配电自动化系统中扮演着至关重要的角色，通过通信协议，配电主站可以实时监测和控制配电网络中的各个设备，实现对数据的采集、传输和处理。通信协议在配电自动化中的作用包括以下几个方面：

（1）数据传输。通信协议定义了数据在配电主站和配电终端之间的传输格式和方式，确保数据能够准确、快速

地传递；（2）信息交换。配电主站和配电终端之间需要进行大量的信息交换，如设备状态、故障信息、控制命令等，通信协议提供了这些信息交换的规范和标准；

（3）实时监测与控制。通过通信协议，配电主站可以实时监测配电网络中的各个设备的状态，并根据需要对设备进行远程控制，从而提高配电网络的可靠性和安全性^[1]；（4）数据处理。通信协议还规定了数据处理的规范和标准，如数据格式、数据编码等，确保数据能够被正确地处理和分析。常见的配电自动化通信协议包括 IEC60870-5-101、IEC60870-5-104、DNP3、Modbus 等。这些协议各有优缺点，应根据具体的系统需求和设备特点选择合适的协议。

1.3 配电自动化终端设备通信特点

配电自动化终端设备通信具有以下几个特点：（1）通信节点数量较大。配电自动化系统涉及大量的配电网线路、开关设备、配电变压器以及用户设备，要对这些设备进行实时监测和控制，需要配备大量的配电自动化终端和配电变压器终端等设备，并将其接入配电自动化系统主站。因此，配电自动化系统的通信节点数量庞大；（2）通信节点间距离短。配电设备在地域上的分布相对集中，且设备之间的间距较小，尤其是开关站内的开关设备，其间的距离更是仅有数米。这种特点使得配电自动化终端设备的通信距离相对较短，对通信协议的实时性和可靠性提出了更高的要求；（3）单点终端通信的数据量小。虽然配电自动化系统涉及的设备数量庞大，但每个单点终端设备的通信数据量却相对较小。这主要是因为配电自动化终端设备主要采集的是实时的电力数据，如电压、电流等，这些数据通常具有固定的格式和范围，因此其数据量相对较小。

随着智能电网的发展，配电自动化系统的通信需求

也在不断变化,在选择通信协议时,应充分考虑未来智能电网通信的需求,如分布式新能源发电并网设备、电动汽车充换电设备、用户需求侧响应等数据采集类设备的接入。同时,还应充分利用广域传输网络和公共通信网络,为配电自动化系统与上级调度自动化系统、生产管理信息系统、营销管理系统等之间的信息交互提供可靠的通信保障。

2 配电自动化终端设备现有通信协议存在的问题

2.1 协议标准不统一

由于配电自动化系统的复杂性和多样性,不同的设备制造商往往采用各自专有或偏好的通信协议,导致系统内部存在多种通信协议并行的现象,这种协议标准的不统一不仅增加了系统集成的难度和成本,还限制了系统间的信息共享和互操作性。协议标准不统一带来的问题包括:首先,不同协议之间的数据格式和编码方式存在差异,使得数据在不同设备间的传输和解析变得复杂且容易出错;其次,缺乏统一的标准意味着系统维护和升级时需要针对不同协议进行定制化处理,增加运维工作量和成本;最后,协议标准的不统一还可能成为制约配电自动化系统向智能电网转型的瓶颈,因为智能电网要求系统间能够实现高效、灵活的信息交互和协同工作^[2]。

2.2 互操作性难题

尽管一些国际标准如IEC61850等被广泛应用于配电自动化系统中,但由于不同设备制造商在实现这些标准时可能存在差异或理解上的偏差,导致即使采用相同协议的终端设备之间也难以实现无缝连接和互操作。互操作性难题给配电自动化系统的运行和维护带来了诸多挑战。一方面,不同厂商的设备之间可能存在通信障碍,导致系统无法准确、及时地获取所有终端设备的状态信息,影响了系统的监控和控制功能;另一方面,互操作性不足还可能限制系统扩展和升级的能力,因为新设备的引入可能需要对现有系统进行大量的修改和调整。此外,互操作性难题还可能引发安全隐患,因为不同设备间的通信协议差异可能成为黑客攻击的目标或漏洞。这些问题进一步加剧了配电自动化系统的复杂性和维护难度,对电力系统的稳定运行和高效管理构成潜在威胁。

3 配电自动化终端设备通信协议标准化策略

3.1 标准化需求分析

在配电自动化系统中,终端设备作为数据采集、处理和传输的关键节点,其通信协议的标准化对于提高系统互操作性、增强数据一致性和安全性具有重要意义。第一,从互操作性角度来看,标准化的通信协议能够打破不同厂商设备间的通信壁垒,实现设备间的无缝连接

和数据共享。这不仅有助于提升系统集成的灵活性和便捷性,还能降低后期维护和升级的成本。第二,数据一致性是配电自动化系统稳定运行的基础。标准化的通信协议能够确保数据在不同设备间的传输过程中保持一致性和准确性,避免因数据格式、编码方式差异导致的错误和偏差。这对于提高系统监控和控制功能的可靠性至关重要。第三,安全性是配电自动化系统不可忽视的重要因素。标准化的通信协议通常包含了一套完善的安全机制,如数据加密、认证和访问控制等,能够有效防范数据泄露、篡改等安全风险,保障系统的稳定运行和数据安全。

3.2 标准化制定方法

在制定配电自动化终端设备通信协议标准化策略时,应遵循科学、合理的方法,确保标准的适用性和有效性。标准化制定方法包括以下几个步骤:(1)调研与分析,广泛收集国内外配电自动化终端设备通信协议的现状和发展趋势,分析存在的问题和需求,为标准的制定提供有力依据。(2)专家咨询与论证,组织相关领域的专家学者进行研讨和交流,对标准的制定进行深入的论证和分析,确保标准的科学性和合理性^[3]。(3)标准草案编制,根据调研和分析结果,结合专家意见,编制标准的草案。草案应详细规定通信协议的基本框架、数据结构、传输机制和安全要求等内容。(4)试点验证与修订,选择典型场景进行试点验证,收集实际运行数据,评估标准的适用性和有效性。根据试点验证结果,对标准进行必要的修订和完善。(5)发布与实施,经过充分的论证和验证后,正式发布标准,并推动其在配电自动化终端设备中的广泛应用和实施。

3.3 标准化框架构建

标准化框架应涵盖通信协议的基本要素和关键方面,为标准的制定和实施提供清晰的指导。(1)基本框架:明确通信协议的基本结构和层次,包括物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层等。(2)数据结构:规定通信协议中数据的组织方式和编码规则,确保数据在不同设备间的传输和解析过程中保持一致性和准确性。(3)传输机制:定义通信协议中数据的传输方式和流程,包括数据包的封装、解析、路由和传输控制等。(4)安全要求:规定通信协议中的安全机制,包括数据加密、认证、访问控制和安全审计等,确保系统的安全运行和数据安全。

通过构建标准化框架,可以为配电自动化终端设备通信协议的制定和实施提供明确的指导和规范,推动系统的标准化、智能化和可持续发展。

4 配电自动化终端设备互操作性实现技术

4.1 互操作性测试技术

互操作性测试技术是确保配电自动化终端设备间能够无缝连接和协同工作的关键手段。在配电自动化系统中,不同厂商、不同型号的设备需要遵循统一的通信协议和标准进行数据交换和控制操作。然而,由于实现上的差异和设备的多样性,即使遵循相同协议的设备也可能在实际应用中遇到互操作性问题。因此,互操作性测试技术显得尤为重要;互操作性测试技术主要通过模拟实际运行场景,对不同设备间的通信和数据交互进行验证。测试内容涵盖设备的基本通信功能、数据传输的准确性和实时性、控制命令的响应速度和准确性等关键指标。通过测试,可以及时发现并解决设备间的通信障碍和兼容性问题,确保系统整体的稳定性和可靠性。在实际操作中,互操作性测试技术通常采用自动化测试工具和方法,以提高测试效率和准确性,测试工具能够模拟各种通信场景和故障情况,对设备的通信性能进行全面评估。同时,测试数据的采集和分析也是测试过程中的重要环节,通过对测试数据的分析,可以更加深入地了解设备间的通信机制和互操作性表现,为后续的优化和改进提供依据。

4.2 中间件技术应用

中间件是一种位于操作系统和应用软件之间的通用服务软件,它能够屏蔽底层操作系统的复杂性和异构性,为上层应用软件提供统一、标准的接口和服务。在配电自动化系统中,中间件技术可以应用于不同设备间的数据交换和通信协调。通过引入中间件,可以实现设备间通信协议的转换和数据的格式统一,解决因通信协议和标准不一致而导致的互操作性问题。另外,中间件还可以提供数据缓存、流量控制、消息路由等增值服务,优化设备间的通信性能,提升系统的整体稳定性和响应速度^[4]。在实际应用中,中间件技术的选择应根据具体需求和场景进行。常见的中间件技术包括消息中间件、数据总线中间件、服务中间件等。每种中间件都有其特定的应用场景和优势,选择合适的中间件可以大大

提高配电自动化系统的互操作性和运行效率。

4.3 语义互操作性技术

语义互操作性技术是配电自动化终端设备互操作性实现的更高层次要求。传统的互操作性测试技术和中间件技术主要关注数据格式和通信协议的兼容性,而语义互操作性技术则进一步深入到数据的语义层面,确保不同设备间能够准确理解和处理彼此的信息。在配电自动化系统中,不同设备间的数据和信息往往具有不同的语义含义和业务逻辑。通过引入语义互操作性技术,可以建立统一的数据模型和信息本体,对数据的语义进行明确和统一描述。这样,不同设备在接收和处理数据时,就能够准确理解数据的含义和上下文信息,从而实现更加精准和高效的数据交互和控制操作。通过构建本体模型和信息本体库,可以对配电自动化系统中的数据进行语义标注和解析,实现数据在语义层面的互操作性。同时,还可以结合推理引擎和智能算法等技术手段,对数据进行语义推理和智能决策,进一步提升配电自动化系统的智能化水平。

结束语

综上所述,配电自动化终端设备的通信协议标准化与互操作性是实现智能电网的关键。通过推动通信协议的标准化,可以解决协议标准不统一和互操作性难题,提高系统整体的稳定性和可靠性,同时,互操作性实现技术的应用将进一步增强系统的互操作性和智能化水平。未来,随着技术的不断进步和应用的深入,配电自动化系统将朝着更加高效、智能、可靠的方向发展。

参考文献

- [1]王宏强,史兆丰,李博.配电自动化终端设备在电力配网自动化中的应用[J].通信电源技术,2020(10):96-98.
- [2]陈俊彬,江泉,刘楷跃,等.配电网自愈测试系统应用研究[J].光源与照明,2022(8):213-215.
- [3]郑友卓,文蕾,付宇,等.配电自动化终端设备测试系统[J].传感器与微系统,2023,42(5):100-102.
- [4]李亚光.配电自动化混合模拟仿真试验平台研究[J].电工技术,2021(10):138-140.