

基于智能配电装置的电气自动化系统设计研究

文耀华 赵欣欣 裴江辉

中广核核电运营有限公司 广东 深圳 518000

摘要: 本文聚焦智能配电装置的电气自动化系统设计展开研究。首先阐述智能配电装置定义与关键技术支撑,接着从设计原则、架构、功能模块划分等方面介绍系统总体设计。详细说明实时监控与故障诊断、自适应保护控制等核心功能实现方式。最后探讨未来发展方向,包括5G+AIoT融合、基于区块链的能源交易与碳足迹追踪、全生命周期数字化管理。该研究为智能配电装置电气自动化系统的发展提供理论支持与实践参考,助力配电系统智能化升级。

关键词: 智能配电装置; 电气自动化; 分布式控制

引言: 在电力行业快速发展与智能化转型背景下,传统配电装置难以满足现代配电系统高效、安全、经济运行需求。智能配电装置融合多技术,成为配电系统数字化转型关键支撑。其电气自动化系统设计对提升配电系统性能至关重要。本文深入分析智能配电装置关键技术,阐述电气自动化系统总体设计,探讨核心功能实现,并展望未来发展方向,旨在为智能配电装置电气自动化系统设计提供全面、系统的研究思路与方法,推动配电系统智能化发展。

1 智能配电装置关键技术分析

1.1 智能配电装置的定义

智能配电装置是融合电力电子、自动化控制、通信网络与智能算法等多技术的现代化配电核心设备,旨在实现配电系统的高效、安全、经济运行。与传统配电装置相比,其核心特征体现为智能化感知、精准化控制、网络化协同及全生命周期管理能力。该装置可实时采集配电环节的电压、电流、功率因数等关键电气参数,通过内置智能模块完成数据处理与分析,并依据预设逻辑或远程指令执行合闸、分闸、调压等操作,同时具备故障自诊断、预警及自愈功能^[1]。作为配电网的重要节点,智能配电装置不仅是电能传输与分配的载体,更是实现配电系统自动化、数字化转型的基础支撑,广泛应用于工业厂房、商业综合体、智能园区及新能源电站等各类配电场景。

1.2 关键技术支撑

智能配电装置的稳定运行依赖多领域关键技术的协同支撑,核心技术体系主要涵盖四大方向。一是高精度传感与检测技术,通过霍尔传感器、光电传感器等新型传感元件,实现对配电参数的毫秒级、高精度采集,为后续分析控制提供可靠数据源;二是嵌入式智能控制技术,基于DSP、ARM等高性能嵌入式芯片,集成模糊控

制、神经网络等算法,完成实时数据处理、逻辑判断与控制指令输出;三是网络通信技术,融合以太网、CAN总线、无线物联网等多种通信方式,构建高速、稳定的设备间协同通信网络,保障数据上传下达与远程管控;四是电力电子变换技术,通过IGBT、SVG等电力电子器件,实现电能的高效转换与质量优化,应对新能源接入带来的电压波动、谐波污染等问题。这些技术的深度融合,构成了智能配电装置智能化功能实现的核心基础。

2 智能配电装置的电气自动化系统总体设计

2.1 系统设计原则

智能配电装置电气自动化系统设计遵循五大核心原则保障稳定高效运行。其一,可靠性优先,采用冗余设计、抗干扰技术及稳定硬件,确保复杂环境与恶劣工况下持续工作,关键设备故障能快速切换备用模式,降低停电损失。其二,平衡实用性与经济性,依用户实际需求规划功能模块,避免过度设计,在满足核心需求时优化设备选型与架构,控制成本。其三,注重开放性与兼容性,用标准化通信协议和模块化设计,实现与不同厂商设备、上级调度系统及第三方平台无缝对接,支持后期升级。其四,坚守安全性原则,构建多层次安全防护体系,涵盖设备、通信、数据级防护,防电气故障、网络攻击与数据泄露。其五,遵循可维护性原则,设计清晰架构、完善故障诊断与便捷运维接口,降低调试、检修与维护难度。

2.2 系统架构设计

智能配电装置电气自动化系统采用分层分布式架构,自上而下分感知执行、边缘控制、云端管理层。感知执行层是基础,由智能配电装置、传感器、执行器等组成,采集运行参数、环境及状态信息,执行控制指令。边缘控制层是核心,部署边缘计算网关与本地监控主机,具备数据预处理、控制决策等功能,可脱离云端

独立运行保障实时性与可靠性^[2]。云端管理层统筹管控，搭建云计算监控管理平台，实现集中监控、数据统计等运维管理。各层级通过有线与无线混合通信网络连接，形成“分布式控制、集中式管理”模式，兼顾局部控制实时性与全局统筹优化。

2.3 功能模块划分

智能配电装置电气自动化系统基于总体目标划分为六大核心功能模块。数据采集与预处理模块，通过传感器采集各类数据，经预处理形成标准化数据。实时监控与显示模块，借本地触摸屏与云端界面，展示运行状态、参数曲线及告警信息。控制执行模块，依控制策略生成指令驱动执行器操作。故障诊断与预警模块，基于数据与预设模型识别故障，发出告警并记录信息。通信传输模块，采用多协议兼容设计，保障各层级数据交互与指令传输稳定实时。数据存储与管理模块，存储运行数据、故障记录等信息，支持查询、导出与追溯，为系统优化运维提供数据支撑。

3 智能配电装置的电气自动化系统核心功能实现

3.1 实时监控与故障诊断

实时监控与故障诊断功能是保障智能配电系统安全运行的核心支撑，其实现依赖于高精度传感、实时数据处理与智能诊断算法的协同作用。在实时监控方面，系统通过分布于配电装置关键部位的传感器，以毫秒级频率采集电压、电流、功率因数、设备温度等核心参数，经边缘计算网关预处理后，通过通信网络上传至监控平台，平台以可视化图表实时展示参数变化趋势，同时设置参数阈值，当参数超出正常范围时立即触发预警。在故障诊断方面，采用“规则库+机器学习”的混合诊断模式，基于电力系统故障理论构建故障规则库，同时通过机器学习算法挖掘历史运行数据与故障数据的关联规律，形成智能诊断模型。当系统检测到异常数据时，结合规则库与诊断模型快速定位故障类型、故障位置及故障原因，并自动生成故障处理建议，同时记录故障发生时间、故障特征参数等信息，为故障抢修与后续系统优化提供数据支撑。

3.2 自适应保护控制

自适应保护控制功能的核心目标是根据配电系统运行状态的动态变化，自动调整保护参数与控制策略，确保保护动作的精准性与可靠性，避免传统固定保护方式在系统工况变化时出现保护拒动或误动的问题。该功能的实现主要依托于实时数据采集、自适应算法与快速执行机构的协同配合。系统实时监测配电系统的负荷变化、电压波动、故障类型等运行状态，通过自适应算法

（如自适应电流速断保护算法、自适应过流保护算法）动态调整保护定值（如动作电流、动作时限）。例如，在负荷较轻时适当降低保护定值，提高保护灵敏度；在负荷较重或发生短路故障时，自动增大保护定值并缩短动作时限，快速切断故障回路^[3]。同时系统具备多保护功能协同联动能力，整合过流保护、过压保护、漏电保护、电弧故障保护等多种保护类型，根据故障严重程度与故障类型自动选择最优保护策略，在保障系统安全的前提下，最大限度减少停电范围与停电时间，提升配电系统的供电可靠性。

3.3 能效优化策略

能效优化策略是智能配电装置电气自动化系统的重要功能，旨在通过科学的控制手段降低配电损耗、提高能源利用效率，实现节能降耗目标。该功能的实现基于对配电系统运行数据的精准分析与多维度优化控制。首先，系统通过实时采集各配电回路的功率因数、负载率、谐波含量等能效相关参数，构建能效分析模型，识别能效损耗关键点（如无功损耗过大、负载不均衡、谐波污染严重等）。其次，针对不同损耗类型制定针对性优化策略：对于无功损耗，通过自动投切并联电容器组或SVG静止无功发生器，动态补偿无功功率，将功率因数维持在0.95以上；对于负载不均衡，通过智能负荷分配算法，调整各回路负荷分布，降低线路损耗；对于谐波污染，采用有源电力滤波器（APF）抑制谐波，确保电网电能质量符合国标要求。另外，系统还支持结合分时电价政策，优化用电负荷曲线，引导用户错峰用电，降低用电成本。通过上述多维度优化策略的协同实施，可有效降低配电系统损耗，提升能源利用效率。

3.4 安全防护机制

智能配电装置电气自动化系统的安全防护机制采用多层次、全方位的设计思路，涵盖电气安全、网络安全与数据安全三大核心维度，确保系统稳定可靠运行。在电气安全层面，通过硬件防护与软件控制相结合的方式，实现过流、过压、漏电、防雷击等多重电气故障防护，配备绝缘监测装置实时监测设备绝缘状态，设置接地保护与短路保护装置快速切断故障回路，防止电气火灾、触电等安全事故发生。在网络安全层面，采用防火墙、入侵检测系统（IDS）、数据加密等技术，保障通信网络安全，对访问系统的设备与用户进行身份认证与权限管控，禁止未授权访问，同时采用VPN技术保障远程通信数据的传输安全，防止网络攻击与数据篡改。在数据安全层面，建立数据分级存储与备份机制，对关键运行数据、故障数据、操作日志等进行加密存储与定期备

份,防止数据丢失;同时制定数据访问权限规则,确保数据仅被授权人员访问,保障数据隐私与安全。通过上述多层次安全防护机制,全面提升系统抵御各类安全风险的能力。

4 未来方向

4.1 5G+AIoT融合的配电系统

5G+AIoT融合将成为智能配电系统未来发展的核心方向之一,通过5G通信的高带宽、低时延、广连接特性与AIoT(人工智能物联网)的智能感知、数据分析能力的深度融合,全面提升配电系统的智能化水平与运行效率。在该融合架构下,大量智能传感器、执行器等物联网设备将被部署于配电系统各环节,实现对配电设备运行状态、环境参数的全域感知与精准采集;5G网络为海量设备数据的高速传输提供保障,确保数据传输的实时性与可靠性,解决传统通信方式在复杂配电网场景下的带宽不足、时延过高问题;AI技术则对采集的海量数据进行深度分析,实现故障的精准预测、负荷的精准预测与智能调度优化。5G+AIoT融合还将支撑配电系统的远程可视化运维、无人值守变电站等新型运维模式的实现,大幅降低运维成本,提升运维效率,推动配电系统向全域感知、智能决策、精准控制的智慧配电方向转型。

4.2 基于区块链的能源交易与碳足迹追踪

随着新能源的大规模接入与“双碳”目标的推进,基于区块链的能源交易与碳足迹追踪将成为智能配电系统的重要发展方向。区块链技术的去中心化、不可篡改、可追溯特性,为分布式能源交易(如光伏、风电等分布式电源与用户之间的peer-to-peer交易)提供了安全可靠的技术支撑,可实现能源交易的透明化、规范化,降低交易成本,提升交易效率。在碳足迹追踪方面,区块链技术可对电能生产、传输、消费全链条的碳排放数据进行记录与追溯,构建不可篡改的碳足迹数据库,实现对各环节碳排放的精准计量与监管。通过将智能配电装置的运行数据与区块链平台对接,可实时记录电能流向与碳排放信息,为企业碳核算、碳交易提供可靠数据支撑。基于区块链的智能合约技术还可实现能源交易与碳交易的自动化执行,进一步提升交易效率,推动能源市场的市场化改革与低碳转型。

4.3 全生命周期数字化管理

全生命周期数字化管理将成为智能配电装置及配电系统未来的重要发展趋势,通过数字化技术贯穿智能配电装置的设计、生产、安装、运行、维护、报废全生命周期,实现对装置与系统的精细化管理^[4]。在设计阶段,采用数字化建模技术构建装置的三维数字孪生模型,模拟装置运行状态,优化设计方案;在生产阶段,通过数字化生产管理系统实现生产过程的精准管控,确保产品质量;在安装阶段,基于数字孪生模型进行虚拟安装调试,降低安装难度与误差;在运行阶段,通过实时数据采集与数字孪生模型的动态更新,实现对装置运行状态的实时监控与故障预测;在维护阶段,基于运行数据与故障记录制定个性化维护策略,实现预测性维护,降低维护成本;在报废阶段,通过数字化记录装置材料成分、使用寿命等信息,为装置的回收利用与环保处理提供数据支撑。全生命周期数字化管理可大幅提升智能配电装置的可靠性与经济性,推动配电系统的全流程数字化转型。

结束语

智能配电装置电气自动化系统设计研究对提升配电系统智能化水平意义重大。本文在关键技术分析、总体设计、核心功能实现等方面取得一定成果,为系统设计与优化提供了理论依据与实践指导。未来,随着5G、AIoT、区块链等技术的不断发展,智能配电系统将朝着更智能、更高效、更安全的方向迈进。我们应持续关注技术发展趋势,不断探索创新,推动智能配电装置电气自动化系统不断完善,为电力行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]肖占丰.基于智能配电装置的电气自动化系统设计研究[J].电气技术与经济,2025,(06):402-404+408.
- [2]吴天辰,刘本利.智能电网中的配电自动化系统分析[J].集成电路应用,2023,40(10):180-181.
- [3]葛海涛,纪思彤.智能变电站继电保护自动测试平台的设计[J].河北电力技术,2021,40(06):31-33+62.
- [4]陈光华,王朋飞,赵应兵,郑蓬,穆小亮,黄岩.智能变电站智能终端自动测试仪设计[J].电力系统保护与控制,2021,49(17):162-169.