

低压配电系统中智能断路器的应用研究

安洋

山东核电有限公司, 山东 海阳 265100

DOI:10.61369/EPTSM.2025110018

摘 要： 本文聚焦低压配电系统中智能断路器的应用研究。首先阐明低压配电系统作为电力传输末端的关键地位及其在现代工业、商业与民用场景中的不可替代性，指出传统断路器功能局限催生智能断路器需求。继而系统分析智能断路器的核心特点，如集成传感技术实现实时电流监测、故障自诊断、远程通信控制等智能化功能。随后从电路保护效能提升、配电系统运行管理优化、能源效率提高等多维度展开应用探讨，并剖析其在实际应用中面临的技术兼容性、成本控制、数据安全等挑战。最后展望其与物联网、人工智能技术融合的未来发展趋势，为智能断路器在低压配电领域的深化应用提供理论支撑与实践参考。

关 键 词： 低压配电系统；智能断路器；应用

Application Research on Intelligent Circuit Breakers in Low Voltage Distribution Systems

An Yang

Shandong Nuclear Power Co., Ltd. Haiyang, Shandong 265100

Abstract： This paper focuses on the application research of intelligent circuit breakers in low-voltage systems. It first elaborates on the key position of low-voltage distribution systems as the end of power transmission and their irreplaceability in modern industrial, commercial, and civil scenarios pointing out that the limitations of traditional circuit breakers have led to the demand for intelligent circuit breakers. It then systematically analyzes the core characteristics of intelligent circuit breakers, such integrated sensing technology to achieve real-time current monitoring, fault self-diagnosis, remote communication control, and other intelligent functions. Subsequently, it explores the application from multiple, such as improving the effectiveness of circuit protection, optimizing the operation and management of the distribution system, and improving energy efficiency. It also analyzes the challenges it faces in practical, such as technical compatibility, cost control, and data security. Finally, it looks forward to its future development trend of integration with the Internet of Things and artificial intelligence technology, providing support and practical references for the deep application of intelligent circuit breakers in the field of low-voltage distribution.

Keywords： low voltage distribution system; intelligent circuit break; application

引言

低压配电系统在现代电力供应体系中占据着基础且关键的地位。它负责将电能安全、稳定地分配到各个用电设备。随着科技发展和用电需求日益复杂，传统断路器逐渐难以满足低压配电系统更高的要求。智能断路器应运而生，它融合了现代电子技术、通信技术和控制技术，它的成功应用，将对低压配电系统的性能提升、可靠性增强、远程控制、状态反馈、参数检测等有着深远意义。

一、智能断路器的特点

（一）智能化功能的集成

智能断路器集成了多种智能化功能，它能够实时监测电路中的电流、电压等参数，可以及时发现电路中的异常情况。而且智

能断路器具备自我诊断功能，能够对自身的工作状态进行检查，判断是否存在潜在故障。这种智能化的功能集成是传统断路器所不具备的，它使得断路器不仅仅是一个简单的电路保护设备，更是一个能够对电路状态进行智能感知的装置。智能断路器可以通过内置的传感器精确地感知电流的大小、方向，电压的高低等关

键参数^[1]，并且它能够对这些数据进行快速的分析和处理，一旦发现参数超出正常范围，就能迅速做出反应。自我诊断功能也是其智能化的重要体现，它可以定期对自身关键部件进行检查，如触点磨损情况、内部电路连通性等，提前发现可能存在的问题，避免在关键时刻出现故障。

（二）通信能力的具备

智能断路器拥有通信能力，它可以与其他设备或者系统进行通信，实现数据的传输和交互。这种通信能力使得智能断路器能够融入到整个低压配电系统的智能化管理网络中。通过通信，它可以将自身的监测数据发送给控制中心，同时也能接收来自控制中心的指令。这一特性为实现远程控制和智能化管理低压配电系统奠定了基础。智能断路器采用的通信技术可以有多种，比如常见的有线通信方式，如以太网，能够提供高速稳定的数据传输通道，确保大量的监测数据能够准确无误地传输到监控中心^[2]。还有无线通信方式，如 WiFi，使得智能断路器的安装更加灵活，不需要复杂的布线，特别适合一些老旧厂区的低压配电系统改造。通过通信能力，控制中心可以实时获取智能断路器的状态信息，包括是否正常工作、监测到的电路参数等，并且可以根据这些信息对智能断路器进行远程控制，比如在发现某个区域的电路负载过高时，远程控制智能断路器进行分闸操作，以保障电路的安全。

二、智能断路器在低压配电系统中的电路保护应用

（一）精准的过载保护

在低压配电系统中，智能断路器能够实现精准的过载保护。当电路中的电流超过正常工作电流一定范围时，智能断路器能够准确判断并及时切断电路。与传统断路器相比，它的判断更加精准，不会因为轻微的电流波动而误动作。这种精准的过载保护能够有效保护电路中的设备免受过载电流的损害，延长设备的使用寿命，确保低压配电系统的稳定运行。智能断路器对于过载保护的精准性体现在它能够根据电路的实际运行情况动态地调整过载保护的阈值^[3]。例如，在一些特殊的用电场景下，如某些设备启动时会有短暂的电流峰值，但这是正常现象，智能断路器可以识别这种正常的电流波动，不会将其误判为过载。它通过对电流的变化趋势、持续时间等多方面因素的综合分析，来准确判断是否是真正的过载情况。当确定是过载时，它能够迅速地切断电路，避免过载电流对电路中的电线、设备等造成过热、绝缘损坏等危害，从而保障整个低压配电系统的安全稳定运行。

（二）可靠的短路保护

智能断路器在短路保护方面也表现出色。一旦电路发生短路，会产生极大的电流，这对电路和设备是极大的威胁。智能断路器能够迅速检测到短路电流，在极短的时间内切断电路。它的反应速度非常快，能够在短路产生的瞬间就做出反应，从而最大程度地减少短路对低压配电系统和用电设备的破坏，保障了整个系统的安全性。智能断路器通过内置的快速响应传感器来感知电流的瞬间增大，并且通过先进的算法来区分短路电流和其他异常电流情况。一旦确定为短路电流，智能断路器内部的脱扣机构会

迅速动作，以极快的速度切断电路。这种快速切断能力可以有效地防止短路电流对电路中的电线产生过度的热效应，避免电线熔断、起火等危险情况的发生，同时也能够保护用电设备免受短路电流的冲击，减少设备损坏的风险，保障低压配电系统的安全可靠运行^[4]。

三、智能断路器对低压配电系统运行管理的优化

（一）实时监测与数据反馈

智能断路器对低压配电系统运行管理的优化首先体现在实时监测与数据反馈上。它能够持续监测电路的各种参数，如电流、电压、功率等，然后将这些监测到的数据及时反馈给控制系统，使运行人员实时了解低压配电系统的运行状态，及时发现潜在故障，为提前采取措施提供依据，有助于提高整个配电系统运行的可靠性和稳定性。智能断路器通过高精度传感器对电路参数进行实时监测，这些传感器能够以高频率采集数据，确保能够捕捉到电路参数的微小变化。采集到的数据通过内部的处理单元进行初步的分析和处理，然后通过通信模块将数据反馈给管理系统^[5]。管理系统可以对这些数据进行分析，例如通过分析电流和电压的波动情况来判断电路是否存在异常的负载变化，通过分析功率的变化来评估用电设备的运行效率等。运行人员可以根据这些分析结果及时发现潜在的问题，如某个电路的负载逐渐增加可能存在过载的风险，从而提前采取措施，如调整负载分配或者对设备进行维护等，以提高低压配电系统运行的可靠性和稳定性。

（二）远程控制与自动化管理

智能断路器支持远程控制与自动化管理。通过通信功能，运行人员可以远程对智能断路器进行操作，同时它还可以根据预设的规则实现自动化管理。例如，当电路中的某些参数达到一定阈值时，智能断路器可以自动执行相应的操作。这种远程控制和自动化管理大大提高了低压配电系统管理的效率，降低了人工操作的难度和风险。在远程控制方面，运行人员可以通过控制中心的计算机或者移动设备，利用智能断路器的通信功能，对分布在不同位置的智能断路器进行合闸、分闸操作。这在一些紧急情况下非常有用，比如当发现某个电路出现故障时，可以迅速远程分闸，避免故障的扩大。而自动化管理功能则可以根据预设的规则，如当电流超过一定值时自动分闸，当电压在一定范围内波动时自动调整工作模式等。这种自动化管理不需要人工实时监控和操作，减少了人工操作的失误风险，同时也提高管理效率，使得低压配电系统的管理更加智能化、科学化^[6]。

四、智能断路器应用面临的挑战

（一）技术兼容性问题

智能断路器在应用中面临着技术兼容性的挑战。由于低压配电系统中存在多种不同类型的设备和系统，智能断路器需要与这些设备和系统进行兼容。然而，不同设备和系统可能采用不同的通信协议、技术标准等，这就可能导致智能断路器在与它们进行

交互时出现问题。例如，通信不畅、数据无法正确读取等情况，影响智能断路器在低压配电系统中的正常应用。在低压配电系统中，传统的电气设备采用的是比较老旧的通信协议或者根本没有通信功能^[7]，而智能断路器采用的是先进的通信技术和协议，如以太网、WiFi等。当智能断路器要与这些传统设备进行连接和交互时，就可能会出现兼容性问题。不同厂家生产的设备也可能采用不同的技术标准，智能断路器在与这些设备进行集成时，需要解决这些标准差异带来的兼容性问题，以确保能够实现数据的正确传输和交互，保障整个低压配电系统的正常运行。

（二）成本与维护问题

智能断路器的应用还面临成本与维护的问题。智能断路器由于其集成了多种先进技术，其制造成本相对较高，这对于一些预算有限的工程项目来说是一个较大的负担。而且智能断路器的维护也需要一定的专业知识和技术，其维护成本可能也比传统断路器高，如何在保证智能断路器性能的前提下，降低成本并做好维护工作是应用中需要解决的问题。智能断路器的制造成本高主要是因为其内部集成了多种先进的电子元件、传感器、通信模块等，这些元件的研发、生产和集成都需要投入大量的成本。对于一些低预算的低压配电系统改造，难以承担智能断路器的高成本。在维护方面，智能断路器的维护需要专业的技术人员，他们需要了解智能断路器的内部结构、通信协议、智能化算法等知识。而且智能断路器的故障诊断和修复可能比传统断路器更加复杂，需要使用专业的检测设备，这也增加了维护成本。因此，如何在保证智能断路器性能的同时，降低其制造成本和维护成本，是智能断路器在低压配电系统中广泛应用需要解决的重要问题^[8]。

五、智能断路器在低压配电系统中的发展趋势

（一）功能进一步集成化

未来智能断路器在低压配电系统中的发展趋势之一是功能进一步集成化。它将集成更多的功能，如电能质量监测、能源管理等。通过功能的进一步集成，智能断路器将成为低压配电系统中的一个综合性的智能节点。能够对电路的更多方面进行监测和管理，进一步提升低压配电系统的智能化水平和运行效率。在电能质量监测方面，智能断路器将能够监测电压的波动、频率的偏

差、谐波含量等电能质量指标^[9]。通过对这些指标的监测，可以及时发现电能质量问题，如电压闪变可能会影响一些敏感设备的正常运行，智能断路器可以检测到这种电压闪变情况，并采取相应的措施或者向运行人员发出警报。在能源管理方面，智能断路器可以对电路中的能耗进行监测和分析，帮助用户了解不同设备、不同电路的能耗情况，从而优化能源使用，实现节能减排的目标。通过功能的进一步集成化，智能断路器将成为低压配电系统中的核心智能设备，对提升整个系统的智能化水平和运行效率有着重要意义。

（二）智能化程度不断提高

智能断路器的智能化程度将不断提高。它将具备更强大的人工智能算法，能够对电路中的复杂情况进行更精准的分析和预测。例如，能够提前预测电路可能出现的故障，提前采取措施进行预防。其智能化程度的提高将使智能断路器在低压配电系统中的应用更加深入和广泛，为低压配电系统带来更多的价值。智能断路器将采用更先进的人工智能算法，如机器学习算法。通过对大量历史数据的学习，能够分析出电路运行的正常模式和异常模式^[10]。例如，通过对不同时间段、不同负载情况下电路参数的学习，它能够准确判断出电路在何种情况下可能出现故障。当检测到电路运行接近故障模式时，它能够提前采取措施，如调整自身的保护参数或者向管理人员发出预警，以便管理人员提前进行维护，避免故障的发生。智能化程度的提高将使智能断路器能够更好地适应复杂多变的低压配电系统运行环境，为低压配电系统提供更可靠、更智能的保护和管理，进一步提升低压配电系统的整体性能和价值。

六、结论

智能断路器在低压配电系统应用优势显著，其智能化特性在电路保护、运行管理优化上作用重大。虽当下在技术兼容性、成本与维护等方面面临挑战，但随着技术进步，功能将更集成，智能化程度会持续提升。未来，它会在低压配电系统里扮演更重要角色，保障系统安全稳定高效运行。通过解决应用问题，推动系统向更高层次智能化发展，为电力供应体系带来创新变革，期待它能完善自身，与其他设备协同，共建智能配电系统。

参考文献

- [1] 韩雨, 戴玮. 智能低压断路器的研发及应用 [J]. 电气时代, 2020, (05): 21-24.
- [2] 苏照元. 智能断路器在电力系统自动化中的应用研究 [J]. 家电维修, 2024, (09): 107-109.
- [3] 茆大标, 褚先菲. 智能剩余电流动作断路器在农村低压配网中的应用 [J]. 电工技术, 2018, (22): 14-15.
- [4] 侯瑞. 配电网低压断路器智能监控技术的研究与应用 [J]. 自动化应用, 2024, 65(08): 67-70.
- [5] 刘刚. 电网谐波环境下低压断路器运作影响量分析 [J]. 信息技术, 2021, (02): 137-141+146.
- [6] 张培铭. 基于系统选择性保护的智能低压配电控制与保护技术 [J]. 电器与能效管理技术, 2016, (04): 1-4+14.
- [7] 盛慧, 蔡韧, 李佳文. 低压智能断路器检测与维护方法的探讨 [J]. 电气技术与经济, 2024, (04): 144-147.
- [8] 史年富. 低压断路器智能控制器优化与实现 [D]. 南京理工大学, 2009.
- [9] 唐伟, 段国艳, 钟伟. 基于嵌入式控制技术的低压智能断路器研究 [J]. 电子测试, 2022, 36(06): 18-20.
- [10] 施志伟. 智能断路器功能分析及检测方法研究 [C]// 冶金工业教育资源开发中心. 第四届钢铁行业数字化教育培训研讨会论文集. 永康市光明送变电工程有限公司协合电气分公司, 2024: 312-314.