

现代配电网继电保护技术及其发展

李文明

中国水利水电第十二工程局有限公司 浙江 丽水 323000

摘要：现代配电网继电保护技术是确保电网安全稳定运行的关键技术之一。随着电力系统结构的日益复杂和新能源的大规模接入，继电保护技术正面临着前所未有的挑战。本文综述现代配电网继电保护技术的核心要点，包括自适应保护、区域纵联保护以及基于人工智能的故障诊断与保护等关键技术。同时展望继电保护技术的发展趋势，如智能化深度发展、新能源友好型保护、绿色可持续发展以及多源信息融合与协同保护等。这些技术的发展将为电力系统的安全稳定运行提供更加有力的保障。

关键词：现代配电网；继电保护技术；发展趋势

1 现代配电网继电保护技术概述



现代配电所继电保护配置如图所示

随着电网结构的日益复杂（据统计，近十年来电网节点数量增长了30%以上）和电力需求的不断增长（全球电力需求年均增长率超过2%），继电保护技术也在不断更新和完善。继电保护技术通过监测电力系统中的电流、电压等参数，及时发现异常情况并采取相应的保护措施。当电网发生故障时，如短路、过载或接地故障，继电保护装置能够在毫秒级的时间内识别并切除故障部分，防止故障扩大，确保其他部分的正常运行。据统计，有效的继电保护可以减少80%以上的故障停电时间，显著提升电力系统的稳定性和可靠性。现代配电网的继电保护技术不仅依赖于传统的继电器和传感器，还融合了信息技术、大数据分析和智能算法。这些先进技术的应用，使得继电保护系统能够更准确地判断故障类型、位置和范围。例如，通过大数据分析，继电保护系统可以在故障发生前预测潜在的风险点，提高保护动作的可靠性和速动性。据研究，结合大数据分析的继电保护技术可以将故障识别的准确率提高至95%以上。据统计，采用广域保护技术的电网，其故障定位精度可以提高30%，

同时减少40%的误动率。而区块链技术的应用，则能够增强保护信息的透明度和安全性，确保保护动作的公正性和可追溯性。

2 现代配电网的特点与变化

2.1 网架结构演变

现代配电网的网架结构正经历着显著的演变。传统的配电网通常采用“无源+单向辐射”的接线形式，结构简单，维护方便，投资小，建设速度快。随着电力用户的不断接入和用电需求的日益增长，对供电可靠性的要求也越来越高。因此配电网逐渐发展为“有源+双向交互”的接线形式，特别是中后期形成了“环网式”接线，这种接线方式灵活，适应性强，供电可靠性较高，便于配电网分区分片，形成明确的供电分区，并且能满足双电源用户的供电需求。我国不同地区的配电网建设也在进行差异化调整。例如，东、中部地区加强受端交流网架建设，以提高电网的传输能力和稳定性；而西部地区则注重分布式智能电网的建设和健全，以适应新能源接入和分布式发电的需求。这些变化使得配电网的网架结构更加坚强清晰，供配电能力合理充裕，承载力和灵活性显著提升。

2.2 设备与技术更新

现代配电网在设备与技术方面也在不断更新。随着智能电网的兴起，配电网智能化成为重要的发展趋势。通过智能通信和电力传感技术，实现对配电网的实时监测、保护及控制，提高供电可靠性和电网运营效率。在设备方面，配电网正在引入大量的智能化设备，如智能变压器、智能环网柜、一二次融合柱上断路器、重合器、智能电表等。这些设备不仅提高了配电网的自动化水平，还使得电网的运行更加灵活和高效，智能巡检机器人等先进技术的应用，也极大地提高了配电网的运行

维护效率。在技术方面,配电网正在积极应用大数据、云计算、物联网等现代信息技术,实现对电网数据的实时采集、分析和处理。这些技术的应用使得配电网能够更准确地判断故障类型、位置和范围,提高保护动作的可靠性和速动性,分布式储能技术、虚拟电厂技术等新兴技术也在配电网中得到应用,以提高电网的稳定性和灵活性^[2]。

3 现代配电网继电保护关键技术

3.1 自适应保护技术

自适应保护技术是现代配电网继电保护中的一项重要技术。自适应保护技术通过实时监测电力系统的运行状态,并根据运行状态的变化自动调整保护参数和策略,从而实现对电力系统的全面保护。自适应保护技术的核心在于其能够根据电力系统的实际情况进行动态调整,传统的继电保护装置通常采用固定的保护参数和策略,难以适应电力系统运行状态的实时变化。而自适应保护技术则通过引入先进的算法和模型,实时监测电力系统的电流、电压等参数,并根据这些参数的变化自动调整保护参数和策略。例如,当电力系统出现短路故障时,自适应保护技术能够迅速识别故障类型、位置和范围,并根据实际情况自动调整保护动作的时间和电流定值,从而实现对故障的快速切除和电力系统的快速恢复。自适应保护技术的优点在于其能够提高保护的准确性和可靠性,由于能够实时监测电力系统的运行状态并进行动态调整,自适应保护技术能够更准确地判断故障类型和位置,减少误动和拒动的可能性。同时自适应保护技术还能够根据电力系统的实际情况进行灵活调整,提高保护的适应性和可靠性。自适应保护技术还能够提高电力系统的稳定性和安全性,通过实时监测电力系统的运行状态并进行动态调整,自适应保护技术能够及时发现并切除故障部分,防止故障扩大和蔓延,自适应保护技术还能够根据电力系统的实际情况进行灵活调整,提高电力系统的稳定性和安全性。

3.2 区域纵联保护技术

区域纵联保护技术通过实时监测配电网中各个区域的电气量信息,并根据这些信息判断故障类型和位置,从而实现对配电网的全面保护。区域纵联保护技术的核心在于其能够实时监测配电网中各个区域的电气量信息,传统的继电保护装置通常只能监测单个设备或线路的电气量信息,难以实现对整个配电网的全面保护。而区域纵联保护技术则通过引入先进的通信技术和算法,实时监测配电网中各个区域的电流、电压等电气量信息,并根据这些信息判断故障类型和位置。例如,当配

电网中某个区域出现短路故障时,区域纵联保护技术能够迅速识别故障类型和位置,并根据实际情况自动调整保护动作的时间和电流定值,从而实现对故障的快速切除和配电网的快速恢复。区域纵联保护技术的优点在于其能够提高保护的可靠性和速动性,由于能够实时监测配电网中各个区域的电气量信息并进行快速判断,区域纵联保护技术能够更准确地判断故障类型和位置,减少误动和拒动的可能性。同时区域纵联保护技术还能够实现快速切除故障部分,提高电力系统的稳定性和安全性^[3]。区域纵联保护技术还能够实现配电网的分区保护,通过将配电网划分为不同的区域,并在每个区域设置相应的保护装置和通信通道,区域纵联保护技术能够实现对每个区域的独立保护和监测。这种分区保护的方式能够提高保护的灵活性和可靠性,减少故障对整个配电网的影响。

3.3 基于人工智能的故障诊断与保护技术

通过引入人工智能技术中的算法和模型,实现对配电网故障的快速诊断和精确保护。基于人工智能的故障诊断与保护技术的核心在于其能够利用大数据和机器学习算法对配电网的故障进行快速诊断和精确保护。传统的继电保护装置通常只能根据预设的保护参数和策略进行故障判断和保护动作,难以适应复杂多变的电力系统环境。而基于人工智能的故障诊断与保护技术则通过引入大数据和机器学习算法,对配电网的历史故障数据进行学习和分析,建立故障诊断模型和保护策略。当配电网出现故障时,该技术能够利用故障诊断模型对故障进行快速诊断,并根据诊断结果自动调整保护参数和策略,实现对故障的快速切除和电力系统的快速恢复。

4 现代配电网继电保护技术发展趋势展望

4.1 智能化深度发展

智能化是现代配电网继电保护技术发展的首要趋势。随着人工智能、大数据、云计算等技术的不断成熟,继电保护系统将更加智能化。这不仅仅体现在故障识别、定位与切除的自动化上,更在于保护策略的自适应调整和故障预测预警的智能化^[4]。未来,继电保护系统将能够实时分析电网运行数据,通过机器学习算法不断优化保护参数,实现更加精准的保护动作。同时结合物联网技术,保护设备将实现远程监控与智能运维,大大降低运维成本,提高保护系统的可靠性和稳定性。智能化深度发展将使得继电保护系统成为智能电网的重要组成部分,为电网的安全稳定运行提供有力保障。

4.2 新能源友好型保护技术发展

随着新能源的大规模接入,现代配电网的结构和运行特性发生了显著变化。传统的继电保护技术已难以满

足新能源接入后的保护需求,新能源友好型保护技术的发展成为必然趋势。这类保护技术将充分考虑新能源发电的间歇性和不确定性,通过引入先进的控制算法和自适应保护策略,实现对新能源发电设备的有效保护,新能源友好型保护技术还将与新能源发电系统的调度和控制策略相协调,确保新能源发电设备在故障情况下的安全切除和快速恢复,针对新能源接入带来的电网稳定性问题,保护技术还需具备对电网频率、电压等参数的实时监测和快速响应能力,以维护电网的整体稳定。

4.3 保护技术的绿色可持续发展

绿色可持续发展是现代配电网继电保护技术发展的又一重要方向。随着环保意识的增强和能源结构的调整,电力系统正朝着低碳、环保、高效的方向发展。继电保护技术也需顺应这一趋势,实现绿色可持续发展。这包括保护设备的节能降耗、保护策略的环保优化以及保护系统的资源循环利用等方面。未来,继电保护设备将采用更加环保的材料和制造工艺,降低能耗和排放,保护策略将更加注重电网的经济性和环保性,通过优化保护参数和策略,减少不必要的停电和损失,保护系统的资源循环利用也将成为重要的发展方向,通过回收再利用废旧保护设备,降低资源浪费和环境污染。

4.4 多源信息融合与协同保护

随着信息技术的发展,现代配电网中各类传感器、测量设备和监控系统的数量不断增加,为继电保护提供了丰富的信息来源,如何有效整合这些信息,实现多源信息的融合与协同保护,成为当前继电保护技术面临的重要挑战^[5]。未来,继电保护系统将采用先进的信息融合算法和协同保护策略,实现对电网运行状态的全面监测

和快速响应。这包括将来自不同传感器和测量设备的信息进行融合处理,提高故障识别的准确性和可靠性;通过协同保护策略,实现不同保护设备之间的信息共享和协调动作,提高保护系统的整体性能和可靠性,多源信息融合与协同保护还将与智能电网的其他组成部分相协调,共同构建更加安全、稳定、高效的电力系统。

结束语

现代配电网继电保护技术及其发展对于电力系统的安全稳定运行具有重要意义。随着技术的不断进步和应用场景的拓展,继电保护技术将不断创新和完善。未来,需要继续关注新技术、新方法的研发与应用,加强跨领域、跨行业的合作与交流,共同推动现代配电网继电保护技术的持续发展和进步。这将为电力系统的安全稳定运行提供更加坚实的保障,为经济社会发展提供更加可靠的电力支持。

参考文献

- [1]徐丙垠.现代配电网继电保护技术及其发展[J].供用电,2024,41(8):65-74,87.DOI:10.19421/j.cnki.1006-6357.2024.08.007.
- [2]焦虹.智能电网中的继电保护技术分析[J].光源与照明,2023(08):150-152.
- [3]潘晓峰.智能电网中的继电保护新技术研究[J].大众用电,2021,36(04):76-77.
- [4]钱煜.继电保护技术在智能电网中的应用[J].电工技术,2020(16):115-116.
- [5]焦虹.智能电网中的继电保护技术分析[J].光源与照明,2023(08):150-152.