

自适应继电保护技术在电力系统故障检测与定位中的应用

崔 宁

苏晋塔山发电有限公司 山西 大同 037000

摘 要：自适应继电保护技术是电力系统安全稳定运行的重要保障。文章探讨了自适应继电保护技术在电力系统故障检测与定位中的应用。通过实时监测电力系统的运行状态，结合先进的算法和技术，该技术能够实现对故障的精准检测和快速定位。本文详细分析了故障信息的采集与处理、自适应定位算法的设计与实现、定位精度与可靠性的评估方法以及自适应定位与人工智能技术的结合方式，为电力系统的故障管理和维护提供有力支持。

关键词：自适应继电保护；电力系统；故障检测

1 自适应继电保护的概念

自适应继电保护是一种先进的电力系统保护技术，其核心在于能够根据电力系统的运行状态实时调整其保护性能。与传统的继电保护相比，自适应继电保护的最大区别在于其自动调节性。传统的继电保护装置通常是基于预设的整定值进行工作，当电力系统发生故障时，这些装置会依据预设的阈值进行判断并执行相应的保护动作。电力系统的运行状态是复杂多变的，传统的固定整定值往往难以适应各种变化，可能导致保护动作的误动或拒动。自适应继电保护则通过实时监测电力系统的运行状态，包括电压、电流、功率等关键参数，以及设备的运行状态，来动态调整其保护参数。这种实时调整的能力使得自适应继电保护能够更准确地识别故障，更有效地切除故障元件，从而减小故障对电力系统的影响，提高电力系统的安全性和稳定性。自适应继电保护的实现依赖于先进的传感器技术、数据通信技术、信息处理技术和智能决策算法。这些技术的综合应用使得自适应继电保护能够实时获取电力系统的运行状态信息，对这些信息进行高效处理，并基于处理结果做出智能决策，最终实现保护参数的动态调整。

2 自适应继电保护的关键技术

2.1 故障信息查找与处理技术

故障信息查找与处理技术是自适应继电保护的基础。这一技术主要涉及到故障信号的采集、传输、存储和处理等环节。首先，故障信号的采集是关键，自适应继电保护系统通过安装在电力系统各节点的传感器实时采集电压、电流等故障信号。这些传感器具有高灵敏度和高精度，能够准确捕捉故障发生时电力系统的微小变化^[1]。其次，故障信号的传输和存储也至关重要，采集到的故障信号需要通过高效的数据通信网络实时传输到自适应继电保护系统的处理中心。这些数据还需要被妥善

存储，以便后续的分析和处理。最后，故障信号的处理是自适应继电保护的核心环节，处理中心接收到故障信号后，会利用先进的信息处理技术对信号进行解析和识别。这些技术包括信号处理、特征提取、模式识别等，旨在从复杂的故障信号中提取出有用的信息，为后续的智能决策提供依据。在处理故障信息时，自适应继电保护系统还需要考虑到信息的准确性和实时性。由于电力系统的运行状态是实时变化的，因此故障信息的采集和处理也需要具有实时性。为了确保保护动作的准确性，故障信息的准确性也是至关重要的。为此，自适应继电保护系统通常采用多种冗余措施和校验机制来提高信息的准确性和可靠性。

2.2 人工智能与数学分析工具的应用

人工智能与数学分析工具的应用是自适应继电保护技术的另一大亮点。人工智能技术在自适应继电保护中的应用主要体现在智能算法和智能决策系统上。以神经网络算法为例，构建用于电力系统运行状态分析的模型时，需收集海量数据，如纳入10000组不同工况下的电力系统运行数据作为训练集，涵盖正常运行、故障及异常波动状态。历经超1000次迭代训练，该神经网络模型能精准识别系统运行状态。一旦系统状态改变，模型可在0.01秒内输出分析结果，迅速调整保护参数，快速响应故障。模糊控制算法通过设定隶属度函数，将电力系统的电压、电流等连续变量模糊化。像把电压偏差划分为“极小”“小”“中”“大”“极大”五个模糊集，依据模糊规则库推理决策，动态调整保护动作阈值，让保护参数随系统状态灵活变动。遗传算法模拟生物进化中的选择、交叉、变异操作，对保护参数全局寻优。经测试，采用遗传算法优化后，电力系统故障切除时间平均缩短15%。智能决策系统整合各智能算法输出，结合电力系统实时拓扑结构、负荷等实际信息，运用专家系统

知识库规则,在数毫秒内做出最优保护决策。数学分析工具在自适应继电保护中同样关键。数据分析、数据挖掘、统计分析等工具,从大量故障信息中提取有用特征与规律。例如,运用数据挖掘技术,从过去5年积累的5000余条历史故障数据里,借助关联规则挖掘算法,挖掘出故障发生规律与趋势。如发现夏季高温时段,因负荷骤增致线路过热引发故障的概率比其他时段高30%,为故障预测与预防提供依据。统计分析方法对故障信息量化分析,以短路故障为例,通过计算故障前后电压有效值变化率,结合线路阻抗等参数,能精准判断故障位置,误差控制在实际线路长度的 $\pm 5\%$ 以内,为制定保护策略提供科学依据。

3 自适应继电保护技术在电力系统故障检测中的应用

3.1 自适应电流速断保护的应用

自适应电流速断保护是自适应继电保护技术中的一种重要应用,它主要用于快速切除电力系统中的短路故障。传统的电流速断保护通常基于预设的电流整定值进行判断,当电流超过整定值时,保护装置将动作切除故障。然而电力系统的运行状态复杂多变,传统的固定整定值往往难以适应各种变化,可能导致保护动作的误动或拒动^[2]。以某区域电网为例,该电网包含多个变电站和输电线路。在其中一条关键输电线路L1上,安装了自适应电流速断保护装置。正常运行时,线路L1的电流稳定在1000A左右。当夏季用电高峰来临,负荷急剧增加,线路电流上升至1500A。此时,自适应电流速断保护装置实时监测电流变化,通过内置算法计算出当前负荷下的电流波动范围及可能的故障风险。

一旦线路L1发生短路故障,故障电流瞬间飙升至5000A。自适应电流速断保护迅速识别故障电流特征,在0.05秒内自动调整整定值,判断出故障情况,立即发出跳闸指令,切除故障线路L1。同时,向相邻线路L2和L3的保护设备发送故障信息。相邻保护设备接收到信息后,迅速检查自身线路状态,调整保护参数,防止故障蔓延。自适应电流速断保护还具有自适应负荷变化的能力,在电力系统的负荷发生变化时,自适应电流速断保护能够自动调整其保护参数,以适应新的负荷条件,从而确保保护的准确性和可靠性。在该区域电网中,随着季节更替和用户用电习惯改变,负荷频繁波动,自适应电流速断保护装置始终能根据实时负荷动态调整,保障线路安全运行。

3.2 自适应距离保护的应用

自适应距离保护是重要的自适应继电保护技术,用于保护输电线路。传统距离保护依预设阻抗整定值判

断,因电力系统运行多变,固定值易致保护误动或拒动。以某城市环状电网为例,线路L4承担重要输电任务,正常时负荷稳定,传统保护预设阻抗整定值为 5Ω 。城市发展中,夏季某大型商业中心运营致L4负荷大增。此时,自适应距离保护通过线路两端互感器实时监测电压、电流,利用算法算出实时阻抗,负荷上升时,实时阻抗降至 4Ω 左右。当L4中部因外力短路,故障点电压骤降、电流剧增,阻抗瞬间至 0.5Ω 。保护装置0.03秒内识别故障点,依与测量点距离关系调整阻抗整定值,快速切除L4,并向相邻线路L3、L5及相关变电站保护设备发故障信息,相邻设备据此调整参数防故障蔓延。该城市电网随季节、新用电项目接入,运行方式多变,如冬季供暖时部分线路负荷转移,L4运行方式改变。自适应距离保护能敏锐感知,自动调整参数,确保准确识别、切除故障,保障电网安全稳定。

3.3 其他自适应保护策略在故障检测中的应用

除了自适应电流速断保护和自适应距离保护外,还有其他多种自适应保护策略在电力系统故障检测中得到了广泛应用。一种常见的自适应保护策略是基于故障暂态分量的保护。在电力系统发生故障时,会产生大量的故障暂态分量,如故障电流的高频分量、故障电压的突变等。自适应保护策略可以利用这些故障暂态分量进行故障检测,通过实时监测和分析故障暂态分量的特征,实现对故障的精准识别。另一种自适应保护策略是基于人工智能技术的保护,人工智能技术如神经网络、支持向量机等,在电力系统故障检测中得到广泛应用。这些技术能够通过对大量历史故障数据的训练和学习,提取出故障的特征和规律,从而实现对故障的精准预测和识别。自适应保护策略可以利用这些人工智能技术构建智能保护系统,实现对电力系统故障的实时监测和快速切除。还有基于广域测量系统的自适应保护策略,广域测量系统能够实时监测电力系统的运行状态和故障信息,并将这些信息传输到保护中心进行处理和分析。自适应保护策略可以利用广域测量系统提供的信息,实现对电力系统故障的精准定位和快速切除^[3]。

4 自适应继电保护技术在电力系统故障定位中的应用

4.1 故障信息的采集与处理

故障信息的采集与处理是自适应继电保护技术在故障定位中的基础环节。为了实现精准的故障定位,首先需要采集到全面、准确的故障信息。这些信息包括电力系统的电压、电流、功率等电气量,以及设备的运行状态和故障指示等。在故障信息采集方面,自适应继电保护系统通常利用安装在电力系统各节点的传感器和测

量装置,实时采集故障发生前后的电气量数据。这些传感器和测量装置具有高灵敏度、高精度和实时性,能够准确捕捉故障发生时的电气量变化。在故障信息处理方面,自适应继电保护系统需要对采集到的故障信息进行预处理和特征提取。预处理包括数据清洗、去噪、滤波等步骤,以确保数据的准确性和可靠性。特征提取则是从预处理后的数据中提取出能够反映故障特征的参数,如故障电流的幅值、相位、频率等。这些特征参数将为后续的故障定位算法提供输入。

4.2 自适应定位算法的设计与实现

自适应定位算法是自适应继电保护技术进行故障定位的关键。因电力系统结构复杂(含多条输电线路、多个变电站与负荷节点)且运行状态多变(如负荷波动、设备投切),给故障定位带来极大挑战,算法设计需考虑这些复杂与不确定性。为实现精准定位,算法应具备实时性,能快速响应故障算出位置;准确性,如实反映故障位置;鲁棒性,可应对系统复杂情况。实现时,可借助电力系统数学模型与仿真软件模拟、分析故障,验证算法有效性及准确性;还能结合实时监测及历史故障数据,训练、优化算法,提升其适应性与鲁棒性。

4.3 定位精度与可靠性的评估方法

定位精度与可靠性是评估自适应继电保护技术在故障定位中性能的重要指标。为了提高定位精度和可靠性,需要采用科学的评估方法。在定位精度评估方面,可以采用比较法和仿真法。比较法是将自适应定位算法的计算结果与实际的故障位置进行比较,以评估算法的准确性。仿真法则是利用电力系统的仿真软件,对故障进行模拟和分析,以评估算法在各种情况下的表现。在可靠性评估方面,可以采用可靠性测试和故障树分析方法。可靠性测试是在不同的故障场景下,对自适应定位算法进行多次测试,以评估其稳定性和可靠性。故障树分析则是通过对电力系统进行故障树建模,分析各种故障情况下的定位结果,以评估算法的鲁棒性和容错性。还可以结合电力系统的实际运行数据和历史故障数据,对自适应定位算法的定位精度和可靠性进行长期跟

踪和评估,以不断优化和改进算法。

4.4 自适应定位与人工智能技术的结合方式

人工智能技术的快速发展为自适应继电保护技术在故障定位中的应用提供了新的机遇。通过将自适应定位与人工智能技术相结合,可以进一步提高故障定位的准确性和可靠性^[4]。在结合方式上,可以采用多种人工智能技术,如神经网络、深度学习、支持向量机等。这些技术能够通过对大量历史故障数据的训练和学习,提取出故障的特征和规律,从而实现对故障的精准预测和定位。例如,可以利用神经网络构建故障定位模型,将采集到的故障信息作为输入,通过神经网络的计算和推理,输出故障位置。还可以利用深度学习技术,对故障数据进行深度挖掘和分析,以提取出更丰富的故障特征和信息。另外,还可以结合电力系统的实时监测数据和人工智能技术的预测能力,实现对故障位置的动态跟踪和预测。这种动态跟踪和预测能够实时反映故障位置的变化情况,为故障的快速切除和电力系统的恢复提供有力支持。

结语

自适应继电保护技术在电力系统故障检测与定位中的应用展现了巨大的潜力和价值。随着科技的不断发展,自适应继电保护技术将更加智能化、精准化,为电力系统的安全稳定运行提供更加可靠的保障。未来,应继续深入研究自适应继电保护技术,不断优化和完善其应用,为电力系统的可持续发展贡献更多力量。

参考文献

- [1]吴蕾,王璐,张力康.一种自适应电流继电保护算法研究[J].机电信息,2023,(18):28-31.
- [2]徐新森.电力系统继电保护中的故障处理策略分析[J].电子技术,2023,258-259.
- [3]吴书亚.继电保护系统故障诊断及处理[J].光源与照明,2022,222-224.
- [4]席欢.电力继电保护的故障检测方法分析[J].集成电路应用,2021:142-143.