

配电网常见故障下继电保护整定计算的自动化调整策略

杨 婷 赵杨辉

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古阿拉善 750300

摘要: 本文聚焦配电网常见故障场景下继电保护整定计算的自动化调整策略。针对传统整定方法因电网结构动态变化导致的适应性不足问题,提出基于实时数据驱动的三层架构体系。通过融合小波包变换与主成分分析实现故障特征精准提取,建立动态整定数学模型并引入混合智能算法优化参数求解。研究构建了数据感知-智能决策-执行反馈的闭环系统,设计多层次校验机制保障整定值可靠性。该策略可实时匹配电网运行状态,提升保护装置动作的正确性与速动性,为配电网安全运行提供技术支撑。

关键词: 配电网; 继电保护; 整定计算; 自动化调整; 故障应对

前言

配电网作为电力系统的末梢环节,其运行环境复杂且设备多样,易受内外因素影响引发短路、过载等故障。传统继电保护整定依赖静态电网模型,难以适应故障导致的拓扑变化与参数漂移。尤其在分布式电源广泛接入的背景下,故障电流特性呈现非线性特征,传统整定方法面临灵敏度与选择性失衡的挑战。本研究旨在突破静态整定范式,探索基于实时数据的动态调整机制,通过智能算法与分层校验体系,实现保护定值与电网状态的动态匹配,为提升配电网故障处理能力提供理论依据与技术路径。

一、配电网常见故障特征及其对继电保护的影响

1. 配电网典型故障类型与表现形式

配电网因覆盖范围广、设备种类繁多,易受外部环境与内部因素影响而发生各类故障。其中,短路故障最为常见,可分为三相短路、两相短路及单相接地短路等形式。三相短路时,故障电流幅值大,会对线路造成强烈冲击;两相短路虽电流相对较小,但仍可能导致局部过热;单相接地短路则因接地电阻差异,呈现出复杂的电气特性。除短路外,过载故障也频繁出现,主要由负荷突增或设备老化引起,表现为电流持续超过额定值,长期过载会加速设备绝缘损坏。这些故障的发生往往伴随着电压骤降、电流突变等现象,改变了配电网原有的电气运行状态。

2. 故障对继电保护整定计算的挑战

传统继电保护整定计算依赖于固定的电网模型与历史数据,当故障发生导致电网结构和参数发生变化时,原有整定值可能不再适用。例如,短路故障会使故障点

附近的电压大幅降低,影响电流互感器的传变精度,进而干扰电流保护的判断;过载故障若持续时间较长,会使线路阻抗增大,导致距离保护的测量误差累积。此外,分布式电源接入配电网后,故障电流的方向与大小变得复杂多变,增加了方向保护与电流速断保护的整定难度。因此,如何在故障条件下快速准确地重新计算继电保护定值,成为保障配电网安全运行的关键问题^[1]。

二、继电保护整定计算的基础理论与关键要素

1. 继电保护整定计算的基本原理

继电保护整定计算的本质是根据电网的正常运行条件与故障特征,确定保护装置的动作阈值与动作时限,以确保在故障发生时能够选择性地切除故障设备,同时保证非故障设备的正常运行。这一过程涉及对电流、电压、阻抗等电气量的测量与分析,以及对保护装置特性曲线的理解。例如,过电流保护通过比较实际电流与整定电流的大小来判断是否动作,其整定值需综合考虑最大负荷电流、短路电流水平及返回系数等因素;距离保护则基于测量阻抗与整定阻抗的比较,利用线路正序阻抗构成多边形特性阻抗继电器,实现对线路全长的保护。

2. 整定计算中的关键参数与约束条件

整定计算的准确性取决于多个关键参数的选择与约束条件的满足。关键参数包括启动电流、动作电压、整定阻抗、时间级差等,它们分别对应不同类型的保护功能。约束条件则涵盖了灵敏度、选择性、可靠性与速动性之间的平衡。灵敏度要求保护装置在最小故障电流下仍能可靠动作,选择性要求仅切除故障设备而不波及及其他区域,可靠性强调保护装置在各种运行工况下的正确动作率,速动性则追求尽可能短的动作时间。这些参数

与约束条件相互关联，共同决定了继电保护的性能指标。

3. 传统整定计算流程及其存在的缺陷

传统整定计算通常遵循“收集资料—建立模型—计算定值—校验审核”的固定流程。然而，这一流程存在明显的滞后性与静态性。资料收集阶段依赖人工录入，效率低下且易出错；模型建立基于理想化的电网结构，忽略了实际运行中的动态变化；计算定值时采用简化公式，未充分考虑故障后的电网状态；校验审核多为事后进行，无法及时发现并纠正整定偏差。这种静态的、离线的计算模式难以应对配电网日益复杂的故障环境，迫切需要向自动化、智能化方向转型。

三、配电网故障下继电保护整定计算的自动化调整策略总体架构

1. 自动化调整策略的设计目标与原则

自动化调整策略的设计目标是实现继电保护定值的实时动态更新，使其能够精准匹配故障后的电网状态，从而提高保护动作的正确性与快速性。为实现这一目标，需遵循以下原则：一是实时性原则，即能够在故障发生的极短时间内完成数据采集、分析与定值计算；二是适应性原则，能够自动识别不同类型的故障及电网结构变化，调整相应的整定参数；三是协调性原则，确保各级保护之间的配合关系在故障前后保持一致，避免越级跳闸或保护死区；四是安全性原则，所有调整操作均需经过严格的逻辑闭锁，防止误操作导致的电网事故^[2]。

2. 自动化调整策略的整体框架与功能模块划分

基于上述目标与原则，构建了包含数据感知层、智能决策层与执行反馈层的三层自动化调整框架。数据感知层负责实时采集配电网的电气量数据、开关状态及故障录波信息，为后续分析提供原始输入；智能决策层运用先进的算法模型，对采集到的数据进行处理与挖掘，识别故障类型与位置，计算新的整定值，并生成调整指令；执行反馈层接收决策层的指令，驱动继电保护装置更新定值，同时将执行结果反馈至决策层进行验证与优化。各功能模块之间通过高速通信网络实现信息交互，形成一个闭环控制的自动化系统。

3. 各功能模块间的协同工作机制

数据感知层作为系统的“眼睛”，需具备高精度、高可靠性的数据采集能力，采用同步采样技术确保不同测点的电气量数据同步获取。智能决策层作为“大脑”，集成了模糊逻辑、神经网络与专家系统等多种智能算法，能够对海量数据进行快速处理与特征提取。执行反馈层作为“手脚”，严格按照决策层的指令执行操作，并通过

GOOSE 报文等方式实现与其他保护装置的信息共享。三个层次之间通过标准化接口与协议进行通信，确保数据传输的准确性与及时性，实现整个系统的高效协同运作^[3]。

四、自动化调整策略的核心算法与实现方法

1. 基于实时数据的故障特征提取算法

故障特征提取是自动化调整的前提，直接影响后续整定计算的准确性。本文提出了一种融合小波包变换与主成分分析的混合算法。小波包变换能够将故障电流信号分解到不同频带，突出故障特有的高频分量；主成分分析则进一步筛选出最具代表性的特征向量，消除冗余信息。通过该方法，可以从复杂的故障波形中提取出反映故障类型、位置与严重程度的关键特征，为后续的整定计算提供可靠的输入。

2. 动态整定计算的数学模型构建

针对不同类型的故障，建立了相应的动态整定计算模型。对于短路故障，采用基于实时阻抗估计的距离保护整定模型，通过在线计算故障点的测量阻抗，动态调整距离保护的整定阻抗与动作圆特性；对于过载故障，构建了考虑温度影响的热稳定电流整定模型，结合线路实时温度监测数据，修正过电流保护的整定值。这些模型充分考虑了故障过程中电网参数的变化，能够实时反映电网的实际运行状态。

3. 智能算法在整定计算中的应用与优化

为提高整定计算的效率与精度，引入了遗传算法与粒子群优化算法相结合的混合智能算法。遗传算法具有较强的全局搜索能力，能够在解空间中快速定位最优解附近区域；粒子群优化算法则擅长局部寻优，可在遗传算法的基础上进一步细化搜索结果。通过二者的协同作用，能够在较短时间内找到满足所有约束条件的最优整定值组合，提高了整定计算的速度与准确性^[4]。

4. 整定值调整的可靠性校验机制

为确保调整后的整定值安全可靠，设计了多层次的校验机制。首先是逻辑校验，检查新整定值是否符合保护装置的动作逻辑与配合关系；其次是灵敏度校验，验证保护装置在最小故障电流下能否可靠动作；最后是暂态稳定性校验，模拟故障后的暂态过程，检验保护装置在动态情况下的动作行为。只有通过所有校验环节，调整后的整定值才会被正式下发至保护装置。

五、自动化调整策略的实施步骤与技术细节

1. 故障检测与识别的具体实现方法

故障检测采用突变量启动与稳态量确认相结合的方式。当检测到电流或电压的突变量超过设定阈值时，触

发故障检测程序；随后，通过连续几个周波的稳态量数据确认故障的存在与类型。故障识别则利用前文所述的故障特征提取算法，将提取到的特征向量输入预先训练好的分类器，判断故障属于短路、过载还是其他类型，并进一步细分短路故障的具体相位。

2. 整定值动态调整的触发条件与优先级设置

整定值动态调整的触发条件包括故障发生、电网结构改变及重要参数越限等情况。为避免频繁调整带来的不稳定，设置了双重阈值触发机制，只有当故障特征明显且持续时间超过一定限度时，才启动整定值调整程序。在多级保护配合的场景下，按照“近故障点优先调整”的原则设置优先级，确保故障区域的保护装置能够率先获得准确的整定值。

3. 调整过程中的信息交互与同步机制

调整过程中，各功能模块之间通过统一的通信平台进行信息交互。数据感知层将采集到的实时数据打包成标准格式，通过光纤以太网发送至智能决策层；智能决策层计算出的新整定值及相关指令，以GOOSE报文的形式广播至所有相关保护装置；执行反馈层将执行结果与状态信息回传至智能决策层，形成闭环控制。为保证信息的同步性，采用了时钟同步技术，确保所有设备的时间基准一致。

4. 对现有保护装置的兼容性改造要求

现有保护装置大多不具备动态整定功能，因此需要进行必要的兼容性改造。改造内容包括硬件方面的通信接口升级，软件方面的程序模块化设计与远程配置功能添加。改造后的保护装置应能够接收来自自动化系统的整定值调整指令，并在不影响原有保护功能的前提下，实现定值的在线更新。同时，需保留手动干预的通道，以便在特殊情况下由运维人员进行人工调整^[5]。

六、自动化调整策略的性能评估与优化方向

1. 性能评估指标体系的建立

为全面评价自动化调整策略的性能，建立了包含动作正确率、动作时间、整定值调整次数、系统可用率等在内的综合指标体系。动作正确率反映了保护装置在故障下的正确动作比例；动作时间衡量了从故障发生到保护动作的时间间隔；整定值调整次数体现了策略的动态响应频率；系统可用率则反映了自动化系统的稳定运行程度。这些指标从不同角度刻画了策略的性能表现，为优化改进提供了量化依据。

2. 不同故障场景下的策略性能测试与分析

选取典型的短路故障与过载故障场景，对自动化调

整策略进行性能测试。在短路故障场景中，模拟不同程度的金属性短路与经过渡电阻的短路，观察保护装置的动作情况与整定值调整效果；在过载故障场景中，设置不同的过载倍数与持续时间，检验热稳定电流整定模型的准确性。通过对比测试结果，分析策略在不同故障场景下的适应性与鲁棒性，找出存在的问题与不足之处。

3. 策略优化的潜在方向与改进措施

根据性能测试结果，提出了若干优化方向与改进措施。一是进一步提升故障特征提取的准确性，引入更多的故障特征维度与深度学习算法；二是优化动态整定计算模型，考虑更多实际运行因素的影响，如分布式电源出力波动、电容器投切等；三是加强与上级调度系统的互动，实现全网范围内的保护定值协调优化；四是完善人机交互界面，方便运维人员监控与干预自动化调整过程。通过持续的优化改进，不断提升自动化调整策略的性能水平^[6]。

结语

本研究提出的自动化调整策略通过实时数据采集、智能算法决策与闭环反馈机制，有效解决了传统整定方法在故障场景下的适应性难题。所构建的三层架构体系实现了保护定值与电网状态的动态同步，混合智能算法显著提升了整定计算的效率与精度。多层次校验机制确保了调整过程的安全性与可靠性。未来可进一步探索深度学习在故障特征提取中的应用，并加强与上级调度系统的协同优化，以全面提升配电网继电保护的智能化水平。

参考文献

- [1] 潘洋洋. 黄岛区10kV配电网继电保护优化配置与设计[D]. 中国石油大学(华东), 2021.
- [2] 李文伟, 韦思南, 汪清涓, 等. 基于组合算法的配电网继电保护优化整定计算方法[J]. 湖北大学学报: 自然科学版, 2023, 45(4): 600-607.
- [3] 霍鹏雄. 配电网继电保护整定计算平台研究[D]. 西安科技大学, 2020.
- [4] 郑心怡, 张健康, 李怀强, 等. 适用于含新能源交流电网继电保护整定计算的故障计算方法研究[J]. 电网技术, 2024, 48(9): 3852-3862.
- [5] 朱赞明. 基于信息融合的电力系统继电保护整定计算方法[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(9): 167-171.
- [6] 王忆南. 配电网继电保护整定系统研究[D]. 西安石油大学, 2020.