

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2024) 12-066-03 中图分类号: TP29

基于智能化技术的电力系统继电保护方法研究与应用

Research and Application of Power System Relay Protection Method based on Intelligent Technology

★ 宋韬 (扬州三新供电服务有限公司高邮分公司, 江苏 扬州 225600)

摘要: 随着人工智能的发展, 智能化技术得到了广泛应用, 继电保护作为电力系统的重要保护装置, 其动作的灵敏性和对故障判断的正确性对系统的安全稳定运行具有重要影响。保护定值作为继电保护装置的重要参数, 其整定值直接决定保护装置的性能, 传统的参数整定对经验和历史数据的依赖性较高, 无法实现保护定值优化配置。本文将智能化技术与继电保护相结合, 提出了一种采用神经网络学习实现保护定值的整定和优化的方法, 并通过对历史数据的处理和分析, 建立了适应度函数并对不同定值的保护性能进行评估, 从而实现继电保护定值优化配置。该方法适应性强且可扩展性好, 有效提升了电力系统的稳定性, 具有较好的应用前景和实用价值。

关键词: 智能技术; 继电保护; 神经网络; 定值整定

Abstract: With the development of artificial intelligence, intelligent technology has been widely applied. In power systems, relay protection serves as a crucial safety mechanism, where the sensitivity of its actions and the accuracy of fault diagnosis play a significant role in ensuring safe and stable system operation. The protection setting value, as an important parameter of relay protection device, directly determines the performance of the protection device. Traditional parameter setting relies heavily on experience and historical data, and cannot achieve optimized configuration of protection setting value. This article combines intelligent technology with relay protection and proposes a method for setting and optimizing protection settings using neural network learning. By processing and analyzing historical data, a fitness function is established and the protection performance of different settings is evaluated to achieve optimized configuration of relay protection settings. This method has strong adaptability and good scalability, effectively improving the stability of the power system, and has good application prospects and practical value.

Key words: Intelligent technology; Relay protection; Neural network; Fixed value setting

随着经济社会的发展, 电网规模不断扩大, 继电保护作为重要的保护装置, 是电力系统安全稳定运行的重要保障。继电保护装置通过对电力系统状态进行监测, 实时判断其运行状态, 当系统故障运行时, 保护装置可将故障部分及线路从系统中切除, 保证了剩余设备及线路的正常运行。由于智能化和数字化电网建设的不断推进, 继电保护系统的结构越来越复杂, 保护装置的自动化程度不断提高, 为了保证电力系统安全稳定运行, 继电保护系统的性能已成为重点研究对象。继电保护装置参数整定不准会导致其误动作甚至发生故障, 将对电力系统构成严重威胁, 因此提高继电保护的可靠性, 对其定值进行整定和优化配置至关重要。传统的参数整定对经验和历史数据的依赖性较高, 无法实现保护定值优化配置, 因此需要开发新的方法对保护装置的定值整定进行优化^[1]。

继电保护参数整定对其保护性能具有重要影响。随着智能化技术的发展, 神经网络因其可以模拟人类大脑对数据信息进行训练, 并且学习能力强可对数据信息进行记忆和存储, 被广泛应用于解决与逻辑相关的问题中。继电保护与神经网络技术相结合可以提升继电保护的智能化和自动化水平, 从而提升保护动作的适应性和正确性^[2]。

本文基于神经网络技术, 构建了继电保护适应度函数, 并通过约束条件对保护定值进行动态调整, 优化了保护性能, 具有较高的可靠性和较强的灵敏性。

1 继电保护与智能化技术

1.1 继电保护

继电保护作为电力系统重要的保护方式, 通过对其运行状态的监测可对故障进行实时判断和及时处理, 并将故障部分从系统中切除保证剩余部分可正常运行。继电保护装置根据电

压、电流和功率等信号的变化规律和故障特征对异常或故障状态进行判断，并发出动作信号。继电保护装置由测量、逻辑和执行三部分组成，如图1所示，当检测到输入信号有故障信息时，逻辑部分根据设定的逻辑对其进行判断并输出动作信号，然后经过执行部分对故障线路进行切除，从而保证其他线路正常运行。

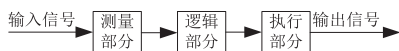


图1 继电保护装置结构

继电保护系统对动作响应时间和灵敏度要求较高，系统出现故障时可准确判断，随着智能电网的不断发展，对继电保护系统的性能要求也越来越高，应用智能化技术可以更好地对电力系统进行监测和保护，有效提升保护装置的性能，保障电力系统的稳定运行^[3]。

1.2 智能化技术

随着计算机和网络技术的不断成熟，以神经网络为代表的智能化技术得到了发展。神经网络通过模拟大脑思维对数据信息进行采集和训练，并经过不断学习解决与逻辑相关的问题，因此可以将其应用于继电保护领域，根据神经网络故障样本包含的故障原因和故障类型信息可以对故障进行准确判断，同时还可以采用先进的算法和模型实现智能化继电保护功能，通过故障自动识别和定位保证系统快速准确动作^[4]。

2 继电保护定值整定及优化

保护定值是保护装置的重要参数，对保护装置的性能具有重要影响，传统的整定方法对经验和专业水平依赖性较大，易引起装置误动作甚至不动作。本文采用神经网络学习对定值进行整定并优化。

2.1 神经网络学习

神经网络通过模拟人类大脑的思维方式，对定值整定过程产生的大量数据信息进行处理和分析。神经网络具有较强的学习能力，可以通过自我调整适应外界条件的变化，经过数据挖掘和自动学习对数据的潜在规律和有价值的信息进行提取，识别数据的异常和故障信息，同时对数据信息进行存储，为后续的定值整定和优化提供决策支撑^[5]。

神经网络由输入层、量化层、隐含层和输出层构成，具体结构如图2所示。

输入变量与输入层各节点直接相连，量化层对输入变量进行分析和量化处理，隐含层根据实际网络学习情况确定其节点数和节点阈值，输出层节点与输出变量一一对应。

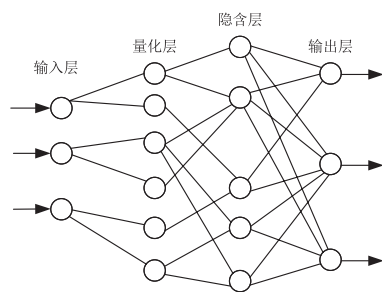


图2 神经网络结构

2.2 定值整定及优化

继电保护装置的定值整定需要对系统中电压、电流等电气量进行实时获取，同时还需采集保护装置的状态信息。数据采集过程受多因素影响会引入误差，通过神经网络学习对整定数据进行处理，采用反向神经模型匹配网络框架，从而实现实际数据与网络信息数据的融合，保证了数据信息的准确性^[6]。

支持向量机作为神经网络学习的核心算法，能对两个不同的数据集进行精确识别和划分。针对复杂多变的特征空间，其通过分离超平面对不同元素的区域边界进行划定。将其应用于继电保护领域可有效区分触发保护动作和非触发保护装置的区域，有效提升了电力系统运行的稳定性，具体如下：

假设特征空间 X 为 n 维实数空间 R^n ， x_i 表示采集到的第 i 个数据，分离超平面如下所示：

$$w \cdot x + b = 0 \quad (1)$$

式（1）中： w 为超平面的法向量， b 为截距。为了实现数据点类别的判断，基于分离超平面，定义分类函数 $f(x)$ ，如下所示：

$$f(x) = \text{sign}(w \cdot x + b) \quad (2)$$

式（2）中： $\text{sign}()$ 为符号函数，具体定义如下：

$$\text{sign}(z) = \begin{cases} 1, & z \geq 0 \\ -1, & z < 0 \end{cases} \quad (3)$$

不同的数据点与特征空间的某点存在映射关系，对于已知的分离超平面，数据点可根据式（2）对其类别进行判断，当 $f(x)=1$ 时表示正类， $f(x)=-1$ 时表示负类。采用经过处理的数据集训练支持向量机模型，确定最优分离超平面，并对影响定值整定的电压、电流等特征量进行提取，剔除冗余和不相关特征，从而保证模型的训练效率。

3 适应度函数及约束

通过神经网络学习算法对数据进行处理和优化，保证了数据的精度和正确性，为继电保护适应度函数的建立提供了数据

基础。为了提升继电保护系统的适应性，需要构建适应度函数和约束条件来实现定值动态调整。

3.1 适应度函数

为了实现电力系统实时监测，并通过动态调整保护定值适应不同运行工况的保护需求，综合考虑电力设备的物理特性、电网运行方式以及保护装置的动作逻辑建立适应度函数，从而保证不同工况下保护动作的合理性和可靠性。定值优化需要立足于多目标、多变量和严格约束来进行，结合保护灵敏度和定值整定时间建立适应度函数，如下所示：

$$\phi(x) = \alpha \cdot \frac{1}{T(x)} + \beta \cdot S(x) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \max(0, c_i(x)) \quad (4)$$

式(4)中， $T(x)$ 为整定时间函数， $S(x)$ 为灵敏度函数， α 、 β 为权重系数， λ_i 为第*i*个约束条件的违反惩罚系数。

通过适应度函数实现了定值整定过程的模拟，预测了保护装置在电网不同运行方式下的性能，提升了整定的科学性和准确性，同时有效提高了电力系统应对突发故障自我保护和恢复的能力，为电力系统的稳定运行提供了技术支撑^[7]。

3.2 约束条件

依据系统中电压、电流和功率等电气参数信息，制定约束条件实现保护定值的动态调整，确保保护装置工作在最佳状态，正常运行时不能因灵敏而误动作，同时也不能在故障时因迟钝而没有动作，造成保护失效。动态定值整定调整公式如下：

$$I_{trip}^{opt} = \max(I_{min}, \min(I_{max}, W \cdot S + b)) \quad (5)$$

式(5)中： S 为系统状态， W 为权重向量， b 为偏移量， I_{min} 和 I_{max} 分别为整定值的最小值和最大值，权重向量与系统状态的点积用来计算对应的初步保护定值^[8]。

时间整定系数是继电保护响应的关键指标，对其优化调整需保证其不超越边界预设值，定值优化策略制定要对该系数进行配置，确定其最佳平衡点。

4 算例分析

依托某发电厂运行数据对其继电保护定值进行优化整定，

该电厂采用220kV和110kV两个电压等级入网，总装机容量2000MW。为了验证本文所提方法的应用效果，对其阻抗定值进行评估，对比定值整定优化前后的数据，如表1所示。

表1 整定优化结果对比

序号	优化前阻抗定值/ Ω	优化后阻抗定值/ Ω
1	25.06	23.24
2	30.53	29.76
3	20.13	19.53
4	45.64	44.52
5	28.92	27.97

通过对发电厂继电保护定值整定优化结果的对比分析可以发现，优化后的阻抗定值比优化前改进明显，阻抗定值整定优化达到了预期目标，验证了本文方法的有效性和优越性。该方法可有效提升保护装置的性能，保证了阻抗定值整定的正确性，具有较好的应用价值和适用性。

5 结论

继电保护作为电力系统的重要组成部分，其快速准确的故障判断和处理是电力系统安全稳定运行的重要保障。为了实现保护装置定值整定的科学性和正确性，本文基于神经网络学习对继电保护的定值整定及优化方法进行了研究，介绍了继电保护的工作原理及智能化技术在继电保护中的应用，并对神经网络学习以及定值整定优化算法进行了说明，详细介绍了适应度函数的建立及其约束条件，最后通过具体算例验证了本文所提继电保护定值整定及优化方法的应用效果。该方法可有效提升保护装置的性能，为电力系统的运行和发展提供了重要保证。AP

作者简介：

宋 韬（1997-），男，江苏高邮人，助理工程师，学士，现就职于扬州三新供电服务有限公司高邮分公司，研究方向为电气自动化、继电保护。

参考文献：

- [1] 韩晓光, 郭安琪. 基于加速遗传算法的电力系统继电保护定值优化方法[J]. 电气时代, 2024, (6): 66 - 69.
- [2] 孙靖鸿. 智能化技术在电力继电保护中的应用与前景[J]. 通信电源技术, 2024, 41 (13): 67 - 69.
- [3] 徐宇, 杨鹏杰, 李磊. 基于改进海鸥算法的新能源接入配电网继电保护定值优化方法[J]. 电工技术, 2023, (21): 36 - 41.
- [4] 王俊刚, 李洪蕾, 廖杰. 智能电网继电保护系统自适应整定研究[J]. 光源与照明, 2024, (3): 171 - 173.
- [5] 阿敏夫, 武占国, 高晨, 等. 基于数据模型的涉网继电保护整定与校核方案[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42 (2): 183 - 186.
- [6] 于洋, 张骏, 王磊, 等. 基于改进遗传算法的多源数据继电保护定值优化策略[J]. 电子设计工程, 2024, 32 (6): 81 - 85.
- [7] 张楠, 李涛涛. 基于改进蚁群算法的复杂电网继电保护自动整定方法[J]. 自动化应用, 2024, 65 (9): 212 - 214.
- [8] 黄超, 郑茂然, 沈梓正, 等. 大规模新能源接入的交流电网继电保护整定计算研究[J]. 电气应用, 2024, 43 (2): 13 - 22.