

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)01-0037-04

# 基于纵联比较原理的广域配电网继电保护方法

刘震宇

(国网冀北电力有限公司承德供电公司,河北承德 067000)

**摘要:**保护装置的动作选择性能易受到保护范围和保护延时的影响,导致保护装置易出现误动、拒动和抢动的问题,使得装置无法及时发现系统故障,保护的实效性较差。为此,提出基于纵联比较原理的广域配电网继电保护方法研究。依据纵联比较原理,设计电力系统故障识别判据,根据首端故障线模电流与末端故障线模电流之间的关系,确定系统故障类型,并求取保护装置的动作起始值与整定值,通过设置保护区系数维护保护装置的选择性能,避免误动、拒动和抢动现象,并结合保护范围与保护延时计算纵联保护距离,基于此,依据系统故障位置生成继电保护方案。实验结果表明,所提方法输出的保护动作时间较小,保护实效性较好。

**关键词:**纵联比较原理;广域配电网;整定值;系统故障;继电保护

中图分类号: TP277; TM73

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)01-0037-04

## Relay protection method for wide area distribution network based on vertical comparison principle

LIU Zhenyu

(Chengde Power Supply Company, State Grid Jibe Electric Power Co., Ltd., Chengde 067000, Hebei, China)

**Abstract:** Due to the influence of protection range and protection delay on the selection performance of protective devices, they are prone to issues such as misoperation, refusal to operate, and emergency response, making it difficult for the device to detect system faults in a timely manner and resulting in poor effectiveness of protection. Therefore, a research on relay protection methods for wide area distribution networks based on the principle of longitudinal comparison is proposed. Based on the principle of longitudinal comparison, it designs fault identification criteria for power systems, determines the type of system fault based on the relationship between the first end fault line current and the end fault line current, and calculates the starting and setting values of the protection device. By setting the protection area coefficient to maintain the selection performance of the protection device, avoid misoperation, refusal to operate, and rush to operate phenomena, and combine the protection range and protection delay to calculate the longitudinal protection distance. Based on this, it generates a relay protection scheme based on the system fault location. The experimental results show that the proposed method outputs a shorter protection action time and better protection effectiveness.

**Keywords:** vertical comparison principle; wide area distribution network; setting value; system malfunction; relay protection

广域配电网作为电力系统的重要组成部分,由于其结构复杂、设备众多,一旦发生故障,如不能及时切断,将对整个电力系统产生严重影响。传统的继电保护方法大多基于局部信息,存在保护范围有限、动作速度慢等问题,难以满足现代电网快速准确排除故障的要求。因此,研究广域配电网继电保护方法具有重要的应用价值。

文献[1]使用光学电流互感器和电压互感器,采集电网中的实时电量信息,采用高速可靠的通信技术,实现保护装置之间的实时信息交换,并通过构建高效的信息传输网络,保护设备可以快速获取其他设备的状态信息,从而进行协同保护。该方法具有抗干扰能力强的特点,可以快速检测故障并采取相应的保护措施,有效防止故障扩大。但传感器设备的精度与数据采集质量对继电保护结果存

在较大影响,易导致保护实效性较差。文献[2]结合了低压穿越(LVRT)策略和故障谐波足迹分析对系统故障进行检测,利用LVRT策略和增强锁相环等技术,设计继电保护方案。该方法具有功率补偿功能,可以根据实际运行情况调整功率,有助于保持整个电力系统的稳定。但由于系统的复杂性,该解决方案的调试过程可能存在较大误差,导致保护动作时间较长。文献[3]首先对配电网中的继电保护设备进行标准化,以满足IEC61850标准的要求,通过通信平台,实现防护设备之间的信息共享和协同工作,并利用IEC61850标准提供的服务进行故障诊断和保护动作。该方法能够远程配置和调整保护设备的参数,实现保护的灵活性和可扩展性。但尽管IEC61850是电力系统自动化领域的全球公认标准,但不同制造商在标准实施

收稿日期:2024-05-23;录用日期:2024-07-15

基金项目:国家电网公司科技项目课题(202455311B)

作者简介:刘震宇(1976—),男,硕士,正高级工程师,研究方向:电力系统自动化控制、继电保护、电网运行等。

引用本文:刘震宇. 基于纵联比较原理的广域配电网继电保护方法[J]. 自动化技术与应用, 2026, 45(1):37-40. (LIU Zhenyu. Relay protection method for wide area distribution network based on vertical comparison principle[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(1):37-40.)

方面可能存在差异,这可能导致设备之间的兼容性问题,这将会使得继电保护的動作不灵敏。

本研究旨在深入探讨基于纵向比较原理的广域配电网继电保护方法,以保证继电保护装置的動作实效性,第一时间发现并切除故障。通过这一研究,为广域配电网的安全稳定运行提供新的技术支持和保障,推动电力行业的可持续发展。

## 1 广域配电网继电保护方法设计

### 1.1 配电网区内外故障判定

基于纵联比较原理的配电网系统故障判定是通过比较线路两端的故障功率方向或故障距离来区分区内故障与区外故障<sup>[4]</sup>。因此,本文首先采用纵联比较原理对配电网系统的故障进行定位,便于后续继电保护策略的设计。

当电力系统出现故障时,继电保护区域的数字信号会通过系统配备的数据采集器传输到上位机端口,并根据传输数据估计电力的最大值与最小值,由此确定保护装置的保护范围<sup>[5]</sup>。计算公式为

$$\begin{cases} q_{\max} = \sum_{i=1}^m \sqrt{\frac{\alpha_0}{l_i}} \\ q_{\min} = \sum_{j=1}^{m'} \|f_r \times h_0\| \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $m$  表示电力传输母线数量;  $\alpha_0$  表示品质参数矩阵;  $l_i$  表示调整参数;  $m'$  表示每个母线连接的主体子线条数;  $f_r$  表示通道延时;  $h_0$  表示传输时延偏差;  $q_{\max}$ 、 $q_{\min}$  分别表示本侧电力的最大值与最小值。

电力系统发生故障时,保护装置收集到的电流为突变性负荷电流<sup>[6]</sup>,其与输出电流之间的关系为

$$I_s = \frac{\beta_p(q_{\max} + q_{\min})}{\sqrt{\frac{C_0}{I_k}}} \quad (2)$$

式中,  $\beta_p$  表示电流高频载波的传输速率;  $C_0$  表示转置矩阵;  $I_k$  表示差动电流。

进而可计算得到目标区域的继电保护可控制值为

$$h_i = I_s \times \eta_0 \times n_c \quad (3)$$

式中,  $\eta_0$  表示能见函数;  $n_c$  表示决策变量。

因此,可通过提取线路继电保护装置安装处的电流值以及继电保护可控制值,确立电力系统区内外的故障判据<sup>[8]</sup>,表达式为

$$\Delta I_i = h_i \times R_i \times p_x < 0 \quad (4)$$

式中,  $R_i$  表示动作系数;  $p_x$  表示相关系数的函数方程;  $\Delta I_i$  表示首端故障的线模电流与末端故障的线模电流的相关系数。

由于区外故障时,首端故障线模电流与末端故障线模电流为负相关关系;区内故障时,两者呈正相关关系。因此,根据  $\Delta I_i$  的取值,可确定电力系统的故障类型,为继电保护动作生成提供依据。

### 1.2 计算纵联保护距离

纵联保护距离的求取是确定继电保护装置動作范围的关键环节,是基于故障类型与设定的保护范围判断是否切断被保护线路,提高保护装置的保护性能与响应速度<sup>[9]</sup>。

利用电力系统出现区内外故障时产生的瞬时相电压和线路阻抗,计算保护装置的动作起始值<sup>[10]</sup>,公式为

$$i_y = \Delta I_i \sum_{l=0}^M \frac{u_1 + u_2}{z_s} \quad (5)$$

式中,  $\Delta I_i$  这里表示电力系统区内外故障判据;  $M$  表示系统线路数目;  $u_1$ 、 $u_2$  分别表示发生区外故障和区内故障时的瞬时相电压;  $z_s$  表示线路平均阻抗。

配电网正常运行时的网络与故障网络的结构参数基本一致,则系统保护装置的动作值可由下式计算,即

$$r_z = \frac{E_s \cdot K_p \cdot n'' \cdot \delta_0}{i_y} \quad (6)$$

式中,  $E_s$  表示网络等效电势;  $K_p$  表示继电保护的可靠性系数;  $n''$  表示故障类型系数;  $\delta_0$  表示模拟参数。

本文考虑到被保护线路的设定保护范围,设置了一个补偿系数,以描述保护装置的保护可靠性<sup>[11]</sup>,即

$$e_p = r_z \exp\left(-\frac{\vartheta_0}{t_0}\right) \quad (7)$$

式中,  $\vartheta_0$  表示故障节点电流保护位置;  $t_0$  表示保护时间。

当故障位置发生在保护区段以外时,保护设备的保护延时可由下式计算得

$$T_b = \frac{\|A_0\| e_p \cdot Z_l}{\|\tan g_p\|} \quad (8)$$

式中,  $Z_l$  表示线路负序阻抗;  $A_0$  表示粗糙度函数;  $g_p$  表示故障点的负载角。

为维护设备的选择性能,避免误动、拒动和抢动的问题,应设置保护区域系数,确保保护动作能够准确且快速地切断系统故障<sup>[12]</sup>,计算公式为

$$\rho_f = \tilde{\omega}_b \times \mu_i / k_j \quad (9)$$

式中,  $\mu_i$  表示比率制动系数;  $k_j$  表示混合系数。

进一步可通过下式确定纵联保护距离,即

$$S = \frac{\rho_f \cdot \sigma_k}{\left| b_s \cdot \frac{g_p}{d_0} \right|} \quad (10)$$

式中,  $\sigma_k$  表示电路闭锁信号检测范围;  $b_s$  表示系统故障判断门槛值;  $g_p$  表示一阶滞后变量;  $d_0$  表示标量比例系数。

依据配电网系统故障类型,求取保护装置的动作起始值与整定值,结合保护区域系数计算纵联保护距离,为接下来制定继电保护策略作准备。

### 1.3 制定广域配电网继电保护方案

故障发生后,保护装置依据系统故障位置和纵联保护距离,生成继电保护方案<sup>[13]</sup>,具体实现过程如图1所示。

首先依据纵联保护距离确定电力系统故障发生位置,实现故障定位,公式为

$$F_i = \sum_{p=1}^N S \times q_i \quad (11)$$

式中,  $N$  表示 IED(智能电子设备)数量;  $S$  表示纵联保护距离;  $q_i$  表示经验常数;  $F_i$  表示被保护线路的故障判断位置。

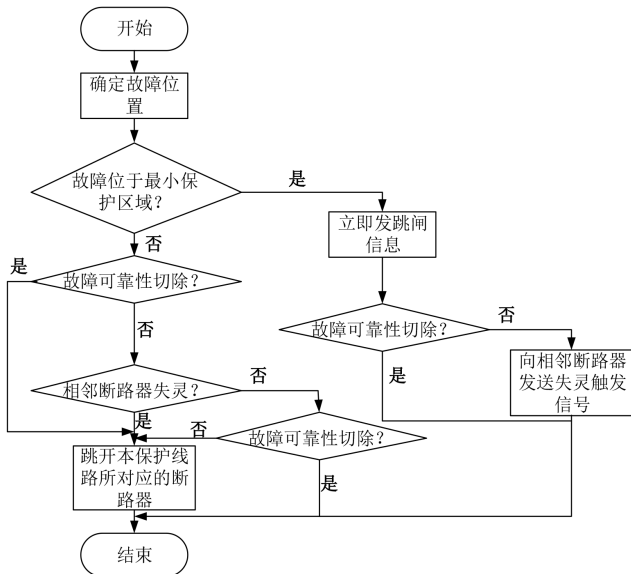


图1 广域配电网继电保护策略

Fig. 1 Relay protection strategy for wide area distribution network

确定系统故障位置后,若故障点位于最小保护范围内,被保护线路上的 IED 会立即向保护装置发送跳闸信息,使受控的保护设备及时跳闸,并监测保护装置是否正常运行。如果发现保护装置失灵,信号将传递给下一级线路上的 IED,导致所有线路上的保护装置跳闸。而若故障点在最大保护范围内,IED 将在设定时间内保持静止,判断故障是否需要可靠性切除,以及检测最近的保护装置是否正常运行,然后决定是否跳开由本 IED 控制的保护装置,为系统提供后备保护功能<sup>[14]</sup>。

通过以上计算与分析,即可实现基于纵联比较原理的广域配电网继电保护,实现保护装置的主保护和后备保护功能。

## 2 实例验证分析

### 2.1 实验准备

为验证本文设计的基于纵联比较原理的广域配电网继电保护方法在实际应用中的效果,本次实验以某省 220 kV 广域配电网为研究对象,其结构示意图如图 2 所示。

图中,数字表示 IED 和对对应断路器的编号,L 表示线路,S 表示开关。该配电网的基本参数如表 1 所示。

为了保证实验的准确性和可靠性,使用 DiGSILENT PowerFactory 配电网模拟软件来构建和模拟实验所需的配电网模型。设置将过电流保护为 600 A,过电压保护为 11 kV,采样频率为 1 000 Hz。

对系统的输出电流进行采集,并分析电流变化,以判定系统的故障类型,结果如图 3 所示。

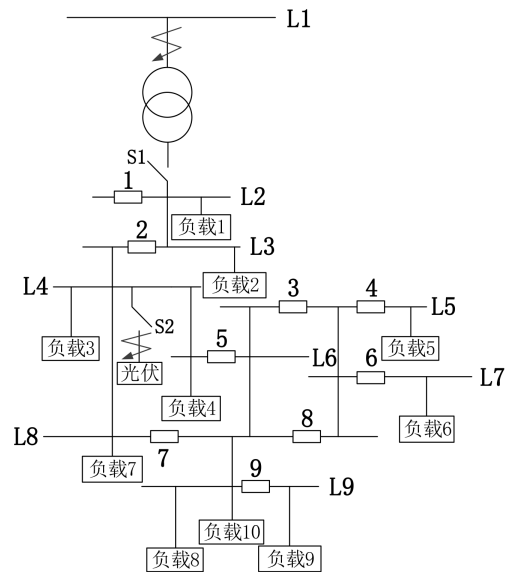


图2 广域配电网结构

Fig. 2 Structure of wide area distribution network

表1 实验配电网基本参数

Tab. 1 Basic parameters of experimental distribution network

线路	线路长度/km	额定电压/kV	额定电流/kA	继电保护类型	保护额定值/A
L1	20	110	1.2	过流保护	50
L2	30	220	2.0	过流、过压保护	45
L3	15	110	1.0	过流、欠压保护	50
L4	25	330	2.5	过流、过压、欠压保护	40
L5	18	110	1.1	过流保护	55
L6	22	35	1.3	过流、欠压保护	52
L7	35	220	2.4	过流、欠压保护	42
L8	10	220	3.5	过流保护	30
L9	16	35	1.6	过流、过压、欠压保护	40

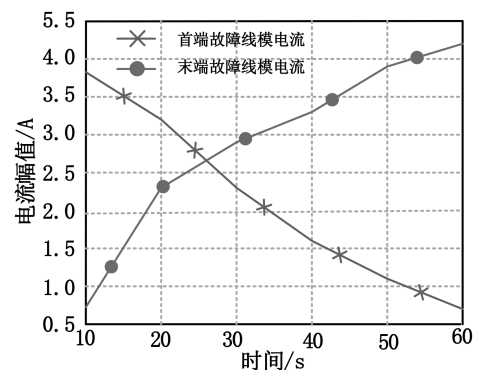


图3 故障线模电流变化

Fig. 3 Changes in fault line mode current

根据图 3 可知,首端故障线模电流与末端故障线模电流呈现显著的负相关关系,由此可得系统出现的故障类型为区外故障。依据故障判定结果,对配电网继电保护方案进行构建,以此测试本文方法的应用性能。

### 2.2 配电网继电保护结果与分析

基于以上实验准备与相关参数的设置,将本文设计的方法应用于图 2 所示的广域配电网中,并引入迁移支持向量机算法(方法 1)、基于 5G 技术的方法(方法 2)作为本

文方法的对比方法。设置区外故障的发生时刻为第9 s。分别采用3种方法对该配电网进行区外故障线路切断与保护。实验结果如图4所示。

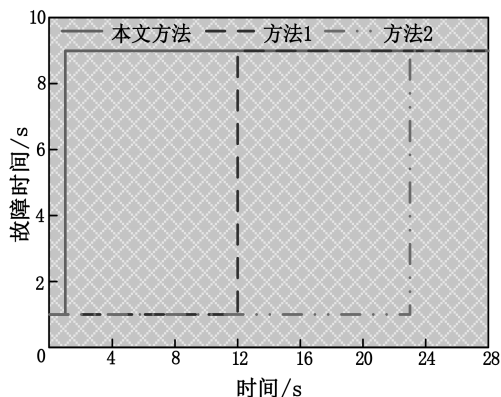


图4 配电网继电保护结果

Fig. 4 Relay protection results of distribution network

表2 继电保护实效性对比结果

Tab. 2 Comparison results of effectiveness of relay protection

保护装置	方法1		方法2		本文方法	
	最大短路电流值/kA	整定值/kA	最大短路电流值/kA	整定值/kA	最大短路电流值/kA	整定值/kA
1	7.036	7.125	6.120	6.154	8.442	8.442
2	4.256	4.236	6.331	6.336	4.998	4.998
3	1.025	1.001	2.548	2.598	2.959	2.959
4	1.254	1.364	1.098	1.000	8.412	8.412
5	.247	6.336	2.057	2.125	2.075	2.075
6	6.009	6.124	7.456	7.864	6.548	6.548
7	3.027	3.354	2.078	2.209	2.547	2.547
8	1.458	1.297	1.675	1.457	1.224	1.224
9	2.097	3.040	2.549	2.229	3.447	3.447

由表2中的数据可知,使用方法1采用的继电保护方法后,保护装置整定值与电路最大短路电流值相差较大,表明该方法无法快速识别故障,并采取保护措施;使用方法2继电保护方法后,整定值与最大短路电流值之间的最大偏差值为0.408 kA,说明该方法的继电保护效果也表现不佳;而应用本文方法进行继电保护后,输出的整定值与最大短路电流值完全一致,进而证明了本文方法在继电保护方面的实效性。

### 3 结论

本研究通过判断电力系统故障类型和计算纵联保护距离,并根据故障定位结果制定继电保护方案,成功实现了配电网的继电保护。研究结果有助于提高配电网的供电可靠性,减少故障损失,提高电力系统的整体运行效率。同时,本研究也为后续相关领域的研究提供了重要的参考和启示。

### 参考文献

- [1] 吴路明, 王树刚, 陈琦, 等. 基于新型传感和通信技术的继电保护方案研究[J]. 供用电, 2021, 38(8): 47-54.
- [2] 左宝峰, 李俊, 黄子堃, 等. 基于LVRT策略和故障谐波足迹的配电网继电保护方案[J]. 制造业自动化, 2023, 45(8): 17-21.
- [3] KIM M S, KANG S H. Centralized multiple back-up protection scheme

在系统运行第9 s时引发区外故障,3种方法的保护动作结果如图4所示。从图中可以看出,在出现故障的瞬间,本文方法仅应用了1 s就触发了保护动作,而方法1和方法2的最终动作时间分别为12 s和23 s,保护动作延时性较大,无法迅速切断故障线路就,继电保护效果不好。从而说明了本文提出的方法具有较强的实效性,能够保证配电网的安全运行。

### 2.3 对比实验分析

为进一步验证本文方法在配电网继电保护方面具有较为优异的时效性,对不同方法保护后的整定值进行统计。根据经验可知,当系统出现故障时,保护装置的最大短路电流差异较大,因此,需要确保整定值与最大短路电流保持一致,才可及时发现系统故障,体现继电保护的实效性。本次实验选取系统中的9种保护装置,并对每一个保护装置设定了相应的最大短路电流值,分别利用3种方法分析配电网发生故障时装置的整定值。对比结果如表2所示。

with sharing data between adjacent substations based on IEC 61850[J]. Energies, 2023, 46(22): 2245-248.

- [4] 薛明军, 陈福锋, 杨林刚, 等. 海上风电交流送出线路继电保护优化设计[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(20): 150-159.
- [5] 王献志, 赵宇皓, 周雪青, 等. 考虑新能源接入的配电网继电保护研究[J]. 电子器件, 2021, 44(2): 339-345.
- [6] 李海峰, 褚倍钰, 梁远升, 等. 基于时域卷积功率差的多端混合高压直流线路快速纵联保护方法[J]. 电力自动化设备, 2023, 43(6): 175-182.
- [7] 杨帆, 高吉普, 卢继平, 等. 基于ZYNQ平台的线路差动保护方案设计[J]. 南方电网技术, 2023, 17(5): 91-99.
- [8] 李妮, 焦在滨, 齐杉. 基于直流断路器动作响应的环状柔性直流配电网后备保护方案[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(15): 5785-5797.
- [9] 李鲲鹏, 钟帆, 赵云云, 等. 市域铁路贯通同相供电系统继电保护方案配置[J]. 铁道标准设计, 2023, 67(8): 160-166.
- [10] 徐艳春, 范钟耀, 孙思涵, 等. 基于边缘检测的大规模风电场送出线路纵联保护算法[J]. 电力自动化设备, 2023, 43(1): 90-99.
- [11] 梁栋, 王鹏玮, 徐丙垠, 等. 面向森林电气火灾防治的配电网线路继电保护方案[J]. 供用电, 2021, 38(12): 15-20.
- [12] 徐峰, 盛海华, 吴佳毅, 等. 基于灰色关联度的继电保护装置状态评价研究[J]. 电测与仪表, 2025, 62(10): 47-53.
- [13] 毛世昕, 李捍东. 基于MATLAB的电力系统继电保护仿真分析[J]. 电子设计工程, 2021, 29(16): 59-63.
- [14] 高玉雅, 王佳玉, 孙宇笛, 等. 考虑分布式电源与随机负荷的主动配电网继电保护新方法[J]. 电力与能源, 2021, 42(1): 14-19, 145.
- [15] 侯俊杰, 宋国兵, 徐瑞东, 等. 交直流混合电网故障耦合特性分析与继电保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(14): 176-187.