

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.200096

基于非最严苛电网运行方式的超高压线路距离保护整定方法

李怀强¹, 高露², 粟小华¹, 胡勇¹, 盛志文³, 石东源³

(1. 国家电网西北电力调控分中心, 陕西 西安 710048; 2. 国网西安供电公司, 陕西 西安 710032;
3. 华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

摘要: 分析了西北电网三起因保护拒动而导致的故障范围扩大事故, 指出现有基于最严苛电网运行方式的超高压线路后备保护整定可能导致保护定值灵敏度不足、无法可靠动作的问题。提出了基于非最严苛电网运行方式的超高压线路距离保护整定方法, 距离 II 段采用接近于实际的检修方式进行整定, 距离 III 段采用考虑对侧故障可靠切除后的运行方式进行整定。该整定方法在改善配合关系的同时, 能够最大限度地发挥距离保护对本线和相邻设备的后备作用。实际算例验证了该整定方法的有效性。

关键词: 距离保护; 后备保护; 整定计算; 配合; 超高压线路

A distance protection relay coordination method for EHV transmission lines based on non most severe grid operation mode

LI Huaiqiang¹, GAO Lu², SU Xiaohua¹, HU Yong¹, SHENG Zhiwen³, SHI Dongyuan³

(1. Northwest Power Dispatching and Controlling Center, Xi'an 710048, China; 2. State Grid Xi'an Power Supply Company, Xi'an 710032, China; 3. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper analyzes three power grid fault range enlargement accidents in the Northwest Power Grid caused by the failure of protection to operate on command. It is pointed out that one of the reasons for this is the insufficient sensitivity of line protection setting because of the existing backup protection coordination method which is based on extreme grid operation modes. A method for coordinating the settings of distance protection for extra-high-voltage lines based on non-extreme grid operation modes is proposed. In this method, zone II of the distance protection is coordinated based on modes close to actual maintenance situations, while zone III is coordinated using the mode where the opposite-side fault is successfully removed. This method can clarify the coordination relationship of adjacent relays and thus optimize a relay's backup protection function for the line where it is installed and its downstream equipment. The effectiveness of the proposed method is verified through experiments.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51777081).

Key words: distance protection; backup protection; setting calculation; coordination; ultra-high voltage transmission line

0 引言

继电保护是保障电力系统安全运行的重要防线, 保护设备的合理配置和正确整定是确保其可靠发挥作用的关键。目前, 按照“强化主保护、简化后备保护”的原则, 国内超高压电网继电保护一般按照近后备原则进行保护配置和定值整定^[1-2], 线路、变压器等主设备均配置主后一体的两套双重化保护装置, 其中, 基于基尔霍夫电流定律的差动保

护作为主保护被广泛应用, 而后备保护主要以距离保护和零序保护为主。电网发生故障时, 首先依靠本设备的主保护动作跳闸, 主保护不动作时由后备保护动作隔离故障。基于此思路, 后备保护定值整定以对本设备有足够灵敏度为基本原则并进行了简化^[3-8]。

虽然目前的微机保护已相对成熟, 保护可靠性得到了很大提高, 但由于各种原因, 保护拒动事件仍偶有发生^[9-11]。近年来, 西北电网相继发生了三起因主保护拒动引发的故障范围扩大事故, 给系统安全运行带来较大影响。从几起事故可以看出, 主

后一体的继电保护装置在主保护因故失去作用时, 其后备保护往往也不能起到应有的作用, 此时只能依靠相邻线路的后备保护动作隔离故障。但是, 由于超高压电网网架结构坚强, 环网甚至双环网较多, 依据现有的整定原则严格进行配合计算的后备保护, 较大部分只能不完全配合, 无法满足作为相邻设备远后备保护的要求。同时, 距离 II、III 段还存在保护范围整定原则相似、保护定值差别不大、两段保护功能有所重复、且动作时间偏长的不足。因此, 有必要对超高压线路后备保护所应承担的功能和定值整定进一步进行深入分析研究, 以期在主保护失去时发挥最大作用。

对于保护装置可靠性以及保护性能的改进, 国内外进行了大量的研究^[12-25], 涉及后备保护功能实现的均需要改变现有的保护配置, 实施的难度较大, 短时间内全部推广的难度很大。本文通过对几次事故的发展过程和事故期间后备保护动作行为的梳理, 结合现有的整定规程配合计算的一般常规做法, 分析了目前超高压线路后备保护整定原则存在的不足。在进一步总结事故教训的基础上, 基于现有超高压电网继电保护的配置, 明确了距离 II 段保护作为本线路后备保护、距离 III 段尽可能作为相邻设备后备保护、零序保护作为整个电网后备保护的功能定位。提出了基于非最严苛电网运行方式的超高压线路距离保护整定方法, 在主保护考虑最严苛电网运行方式进行整定的前提下, 对距离保护 II 段和 III 段的整定方法进行了改进, 以期构架各负其责、配合有度、远近兼顾的继电保护系统, 尽最大可能发挥后备保护作用, 为交直流混联电网提供安全保障。

1 几起典型的主保护拒动事故概述

近年来, 西北电网发生了三起因主保护拒动引发的故障范围扩大事故, 其事故详细过程描述如下。

1) 宁夏 330 kV 清水河变全站失压事故。2014 年 8 月 9 日, 330 kV 清安线因吊车误碰发生 A 相接地故障, 两侧线路保护正确动作, 宁安变侧可靠跳闸, 但清水河变两套线路保护因跳 3340 中开关出口压板及其失灵压板未投, 3340 开关无法跳闸, 使得故障影响范围扩大, 清水河变其余五回 330 kV 出线对侧零序过流保护动作切除故障, 330 kV 清水河变全站失压。

2) 甘肃 330 kV 永登变全站失压事故。2014 年 10 月 19 日, 330 kV 永武 I 线发生 A 相接地故障, 武胜变侧距离 I 段保护动作开关跳闸, 永登变侧因合并单元与保护装置检修状态不一致导致两套线路

保护闭锁, 未能动作。故障引起 330 kV 永登变另一条出线对侧后备保护和站内两台主变后备保护动作, 导致该站全站失压。

3) 陕西 330 kV 南郊变起火事故。2015 年 6 月 18 日, 330 kV 南郊变 35 kV 电缆沟起火, 引起交流站用系统异常。与此同时, 330 kV 南郊变刚刚完成站用直流系统改造, 蓄电池未正确投入运行, 导致全站保护及操作电源失效, 站内保护无法动作。故障随后蔓延至主变, 最后依靠出线对侧距离 II 保护动作切除故障(2 条线路配置有闭锁式高频距离保护, 事故中对侧高频保护动作跳闸), 330 kV 南郊变全停。

从上述事故可以看出:

1) 由于主保护和后备保护一体化设计, 共用电源插件、交流量采样回路和出口回路, 当线路一侧出现失去站用直流电源、电流回路异常等问题时, 本侧一体化配置的主保护和后备保护将同时失去作用; 当出口压板未正确投入时, 即使保护动作, 断路器也不能可靠跳闸。

2) 在 330 kV 清水河变和永登变事故中, 由于超高压变电站出线较多, 上级线路对下级线路助增系数大, 事故期间, 故障点超出上级线路的距离保护范围, 只能由时间更长的阶段式零序电流保护动作隔离故障; 330 kV 南郊变事故期间, 故障发展至变压器高压侧后, 上级线路距离保护 II 段方才动作。

3) 当线路一侧保护无法正确动作或者断路器无法可靠跳闸时, 对侧后备保护由于是基于单端测量的动作逻辑, 其动作行为不受影响。

下面, 以 330 kV 清水河变事故为例, 详细分析事故期间后备保护尤其是距离保护的動作行为。

2 清水河变事故后备保护动作行为分析

330 kV 清水河变是宁夏 330 kV 系统的枢纽变电站之一, 共有 330 kV 线路 6 回、主变压器 2 台, 近区电网结构如图 1 所示。

330 kV 线路配置三段式距离保护, 依据《220 kV~750 kV 电网继电保护装置运行整定规程》、《国家电网继电保护整定计算技术规范》的有关要求, 遵照近后备原则, 按本线路末端故障有足够灵敏度整定; 配置两段式零序电流保护, 一段按照本线路末端接地故障有足够灵敏度整定, 末段取一次值 300 A, 确保线路高阻接地故障可靠动作。

清安线发生故障时, 故障点距离清水河变 27 km, 两套线路差动保护、清水河侧距离 I 段保护可靠动作, 宁安变本线开关单相跳闸, 后重合失败三跳。清水河变 3340 开关拒动后, 清水河变其他出

线距离保护未动作,最后由零序电流保护切除故障。表 1 为黄清、固清等线路对侧距离 III 段保护定值及事故期间测量阻抗值。

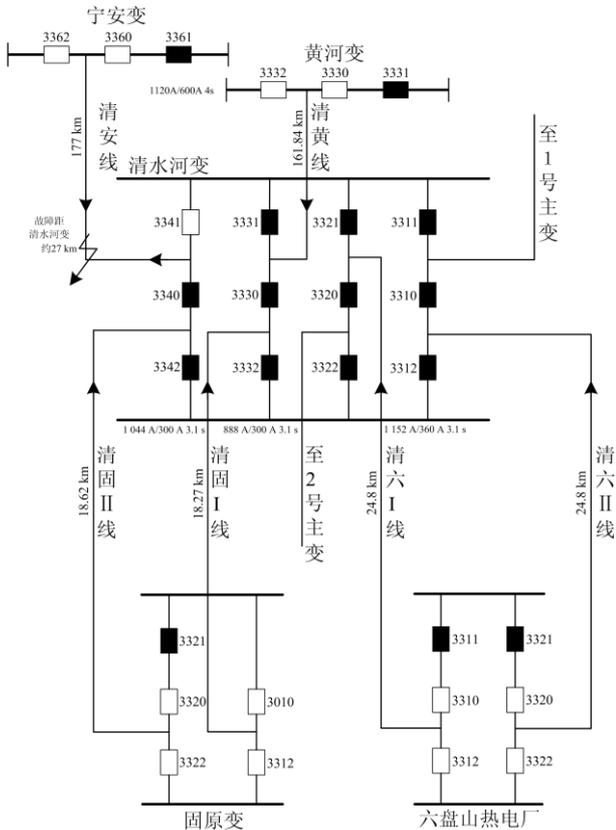


图 1 清水河全停事故近区电网结构示意图

Fig. 1 Grid structure near the Qingshuihe substation

表 1 其余线路距离 III 段保护定值信息

Table 1 Distance relay zone-III settings of other lines

线路	距离 III 段定值	对清安线 助增系数	故障时测 量阻抗值	实际助增 系数
黄清线	71.99 Ω/3.7 s	1.00	114.12 Ω	5.92
固清 I	10.89 Ω/2.8 s	0.52	74.32 Ω	6.8
固清 II	10.98 Ω/2.8 s	0.52	64.13 Ω	5.79
六清 I	18.01 Ω/2.5 s	1.0	83 Ω	6.14
六清 II	18.01 Ω/2.5 s	1.0	97 Ω	5.24

从表 1 可以看出,在进行离线整定计算时,依据相关规程,考虑系统大方式和小方式以及相邻线路、变压器等元件轮检,对于同塔双回线路还要计及两线同停情况。以黄清线距离保护定值整定计算过程为例,小方式下清水河变一台主变检修,六盘山电厂两机全停,同塔的固清双回线同停,考虑故障线路两侧未断开和断开两种情况,计算得到清安线的最小助增系数为 1.00。

这种基于最严苛电网运行方式得到的助增系数,极可能远远小于故障过程中的实际助增系数,使得距离保护整定配合十分困难,仅能保证对本线的灵敏度,对于相邻线路的保护作用极小。330 kV 永登变事故中后备距离保护未动作原因与之类似,不再赘述。

3 基于非最严苛运行方式的距离保护整定方法

基于上述事故分析可以看出,现有距离保护整定方法为了顾及小概率极端情况,基于最严苛电网运行方式进行整定计算,导致: 1) 多数线路保护阻抗定值较小,距离 II 段、III 段仅能强制保证本线的灵敏度; 2) 后备保护无法完全配合,只能通过增加延时尽可能地实现不完全配合,电网后备保护动作时间整体延长; 3) 对于距离 II 段、III 段的灵敏度要求一样,致使两段保护范围基本一致,作用重复,不能充分发挥三段式距离保护的复合效益。

进一步深究上述问题的本质原因,主要在于目前保护定值采用的“离线计算、在线不变”的管理模式,即保护定值离线计算确定,保护定值投入运行以后,不管电网运行方式如何变化,保护定值都保持不变。基于这种管理模式,离线整定时就必须考虑系统所有可能运行方式,包括小概率极端情况,这就导致了上述阻抗定值过小、无法完全配合等问题。解决上述问题的根本措施在于实现在线整定计算,即在线辨识系统运行方式,在线确定保护定值^[26]。基于在线整定计算,保护定值可仅针对当前系统运行方式进行,无需考虑小概率极端情况,易实现后备保护之间的完全配合。考虑到目前在线整定模式在实际电网中还处于探索阶段,本文拟从现有整定计算方法入手,提出改进整定方法,最大限度地发挥保护的作用。

针对这一问题,基于现有超高压电网继电保护的配置,明确了距离 II 段保护作为本线后备保护、距离 III 段尽可能作为相邻设备后备保护、零序保护作为整个电网后备保护的功能定位,提出了基于非最严苛电网运行方式的超高压线路距离保护整定方法。

3.1 后备保护功能定位

目前,超高压线路保护均按照双重化配置,后备保护设置有三段式接地距离保护和相间距离保护,另外还配置两段式零序电流保护和零序反时限保护。

一般情况下,相对于单纯依靠电流大小的零序电流保护,距离保护对于本线路故障的识别更为准

确, 且不受运行方式的影响, 因此应充分挖掘距离保护的应用价值。一是距离 II 段保护作为本线后备保护灵敏度要求不能缩水; 二是距离 III 段保护在满足配合的情况下, 范围宜尽量延伸, 最大限度地发挥对相邻线路的远后备保护作用。

零序电流保护(包括零序反时限保护)定值灵敏、保护范围较大、动作时间较长, 适宜作为电网总的后备保护。

3.2 采用接近于实际检修方式的距离 II 段整定

虽然实际运行中发生了主保护拒动事故, 但超高压线路故障主要依靠主保护动作切除的根本思想不能动摇, 主保护定值整定以灵敏度要求为根本, 现有的、基于最严苛电网运行方式的整定方法依然有效。

在此前提下, 为了改善距离保护的配合关系, 距离保护 II 段整定应采用更接近于实际的检修方式, 不宜过于苛刻^[27]。譬如, 两台及以上机组的电厂可不考虑全停, 同塔双回线路检修时不考虑近区线路及主变设备同时停电, 其他设备轮检按照规程只考虑相邻近的一回线或一个元件检修, 双回线环网运行线路, 可不考虑并行双回线路中一回线检修停电方式。

而且, 目前超高压线路广泛应用基于光纤通信的差动保护, 双重化保护通道使用不同的路由, 且双通道配置模式得到大力推广, 仅因通道问题导致的主保护退出事件已经得到有效规避。考虑到主后保护一体化设计, 线路纵联保护和距离 I 段保护的运行可靠性已经基本一致, 前面介绍的几起事故也证明了此观点。因此, 距离 II 段保护定值可全面采取与相邻线路全线速动保护相配合的原则, 并确保对本线有足够的灵敏度。现行的继电保护运行整定规程也允许应用此整定原则。

应用这两条原则整定的距离 II 段, 配合关系得到优化, 整体延时也有大幅下降。

3.3 采用考虑对侧故障可靠切除后运行方式的距离 III 段整定

距离 III 段因需要躲过系统最大振荡周期, 动作时间要求大于 1.5 s, 总体上超高压线路距离 II 段保护时间短于距离 III 段保护时间。根据前述事故分析可以看出, 当故障线路一侧主后备保护拒动时, 对侧后备保护由于是基于单端测量量的动作逻辑, 其动作行为一般不受影响。也就是说, 故障线路对侧距离 II 段保护可以可靠动作跳闸, 且动作时间早于拒动保护上一级线路的距离 III 段保护动作时间。此外, 考虑到超高压电网一般为环形网络结构, 线路

两侧未断开的助增系数一般较小; 而考虑一侧开断以后, 得到的助增系数一般较大。

基于上述思路, 距离 III 段可采用考虑对侧故障可靠切除后的运行方式进行整定。整定公式如式(1)、式(2)所示, 其中, 助增系数按照故障线路故障对侧已跳开方式进行计算。

$$Z_{DZ3} \leq K_K Z_l + K_K K_Z Z'_{DZ2} \quad (1)$$

$$Z_{DZ3} \leq K_K Z_l + K_K K_Z Z'_{DZ3} \quad (2)$$

式中: K_K 为可靠系数, 取 0.7~0.8; Z_l 为本线路正序阻抗; K_Z 为助增系数, 按相邻线路(即故障线路)故障对侧已跳开方式计算; Z'_{DZ2} 、 Z'_{DZ3} 为相邻线路(即故障线路)距离 II 段、III 段保护定值。

超高压线路距离 II 段保护一般动作于三跳, 即使对侧由距离 I 段保护快速切除故障, 因重合于故障也将三跳。在距离 III 段动作时, 故障线路和相邻线路之间已由原来的复杂环网转变为辐射网络, 如图 2 所示。此情况下, 相邻线路 B 对故障线路 A 的助增系数显著增大, 利于配合整定且符合实际故障中的保护动作顺序, 相邻线路距离 III 段保护范围也将随之增大。

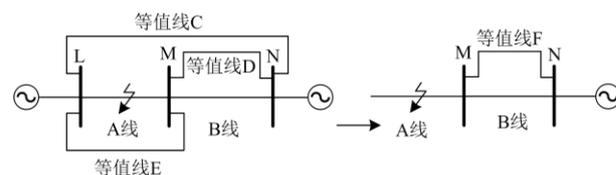


图 2 对侧跳闸前后近区电网结构变化示意图

Fig. 2 Sketch of local grid structure during the fault

另外, 距离 III 段在事故过负荷情况下动作是连锁跳闸的重要原因, 对电网安全构成严重威胁^[28-29], 距离保护躲最小负荷阻抗一直是制约距离 III 段保护范围的重要因素, 文献[30-31]提出了距离保护应对过负荷的策略, 基于该原理的新一代国网标准化线路保护装置距离保护在整定计算时无需躲最小负荷阻抗。

4 算例分析

利用上述整定方法, 对图 1 清水河变附近线路重新进行距离保护定值的整定计算, 以黄清 I 线黄河变电站侧为例, 其距离保护与相邻线路的配合情况如表 2 所示。

从表 2 可以看出, 通过合理地选择电网检修方式, 距离保护配合整定中助增系数有了显著增大。尤其是距离 III 段保护整定过程中, 按相邻线路故障对侧已跳开方式计算, 助增系数最大扩大到原先的 9.4 倍, 配合计算出的距离 III 段保护动作范围有较大

扩大, 时间明显缩短。仍以黄清线为例, 距离III段保护定值由原来的 71.99 Ω 增大至 136.8 Ω, 时间可由 3.7 s 缩短为 1.7 s。在此定值下, 原清水河故障时该线距离III段能够动作, 故障切除时间将缩短近 2.3 s, 这对于整个电网的安全运行有巨大裨益。

表 2 黄清线距离保护与相邻线路配合情况

Table 2 Distance protection setting calculation of Huangqing line

配合线路	II、III段原助增	II段新助增	III段新助增	III段定值
清安 I	1.00	1.25	3.36	227.4 Ω/1.7 s
清固 I	0.498	0.835	4.68	160.6 Ω/1.1 s
清固 II	0.501	0.841	4.68	160.6 Ω/1.1 s
清六 I	0.89	0.94	4.64	136.8 Ω/1.1 s
清六 II	0.86	0.92	4.64	136.8 Ω/1.1 s

对西北电网 330 kV 清水河局部 13 回线路的距离III段保护动作时间定值进行比较, 采用原有整定方法和本文所提方法计算确定的所有距离III段保护动作时间之和如表 3 所示, 各保护的III段原动作时间和新动作时间如表 4 所示。从上述数据可以看出, 采用本文方法以后, 清水河局部线路距离III段保护的总体动作时间降低超 40%。

表 3 清水河局部电网距离保护 III 段动作时间之和

Table 3 Summation of zone-III operation time of distance protection in Qingshui local network

说明	原方法	本文方法	降低/%
III 段时间之和	72.5 s	41.8 s	42.3

5 结语

近几年来, 国内超高压电网相继发生了多起保护拒动事故, 虽然原因不一, 但都给电网安全运行造成了严重影响, 深入分析事故原因、探究期间后备保护动作行为并进行针对性整改是非常有必要的。本文结合超高压电网发生的三次保护拒动事故, 针对线路后备距离保护动作范围小、整定配合难度大、时间偏长等问题, 立足于现有保护配置, 基于故障情况下后备保护的实际行动时序, 提出了基于非最严苛电网运行方式的超高压线路距离保护整定方法。利用该整定方法开展保护定值计算, 可显著缩短整个系统的后备保护动作时间, 配合关系得到明显优化, 距离III段保护范围大幅增加, 对相邻设备的远后备作用得到了较大提升。

当前, 国内电网发展迅速, 尤其是超高压、特高压直流输变电工程建设加速, 交直流混联电网已经形成, 交流、直流系统交互影响, 故障连锁效应加剧, 对继电保护设备运行的可靠性和故障切除的

表 4 清水河局部电网距离保护 III 段动作时间

Table 4 Zone-III operation time of distance protection in Qingshui local network

序号	保护	原方法/s	本文方法/s
1	黄清线黄河	3.7	1.7
2	黄清线清水河	3.4	1.8
3	清六 I 线清水河	2.4	1.5
4	清六 I 线六盘山	2.5	1.8
5	清六 II 线清水河	2.4	1.5
6	清六 II 线六盘山	2.5	1.8
7	清固 I 线固原	2.8	1.5
8	清固 I 线清水河	4	1.8
9	清固 II 线固原	2.8	1.5
10	清固 II 线清水河	4	1.8
11	清安线清水河	3.7	1.5
12	清安线宁安	2.7	1.7
13	黄安线黄河	3.7	1.5
14	黄安线宁安	1.8	1.8
15	黄邱线黄河	1.8	1.5
16	黄邱线邱渠	1.8	1.5
17	安彩线宁安	1.8	1.5
18	安彩线九彩	2.9	1.5
19	安严 I 线华严	1.7	1.5
20	安严 I 线宁安	3.7	1.8
21	安严 II 线华严	1.7	1.5
22	安严 II 线宁安	3.7	1.8
23	黄严 I 线华严	3.4	1.5
24	黄严 I 线黄河	2.1	1.5
25	黄严 II 线华严	3.4	1.5
26	黄严 II 线黄河	2.1	1.5

快速性提出了更高的要求。最近几年发生的主保护拒动事故反映出, 虽然在超高压线路保护配置和运行维护等方面有了很大改进, 但单侧原因导致的主保护不当退出事件仍有可能发生, 此时就需要后备保护发挥其应有的作用, 本文提出的距离保护改进整定原则简单可行且具有显著的先进性, 在不改变保护配置的情况下能够获得较大的安全效益。

本文所提方法不仅可以用于西北电网超高压线路后备距离保护的整定计算, 对于其他具有类似保护配置和后备保护功能定位的超高压电网, 该方法具有很好的推广应用价值。

参考文献

[1] 继电保护和安全自动装置技术规程: GB/T 14285—2006[S].
Technical regulations for relay protection and safety automatic devices: GB/T 14285—2006[S].

[2] 电力行业继电保护标准化委员会. 220 kV~750 kV 电网

- 继电保护装置运行整定规程: DL/T559—2007[S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- Standardization Committee on Relay Protection of Electric Power Industry. 220 kV~750 kV Power grid relay protection device operation setting regulations: DL/T559—2007[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.
- [3] 常风然. 优化后备保护配合原则的探讨[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(9): 91-94.
- CHANG Fengran. Discussion about optimization of reserve protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(9): 91-94.
- [4] 张健康, 粟小华. 超高压线路后备保护整定原则探讨[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(8): 120-125.
- ZHANG Jiankang, SU Xiaohua. Discussion on setting calculation of backup protection for EHV transmission line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(8): 120-125.
- [5] 陈梦骁, 王慧芳, 何奔腾. 距离II段保护简化整定方法及区域式后备保护方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(7): 151-156.
- CHEN Mengxiao, WANG Huifang, HE Benteng. A simplified method of distance relay zone-II setting calculation and a region-based backup relaying scheme[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(7): 151-156.
- [6] 罗跃胜, 李银红, 李一泉, 等. 高压电网线路后备保护整定计算简化方案探讨[J]. 广东电力, 2012, 25(4): 76-80.
- LUO Yuesheng, LI Yinhong, LI Yiquan, et al. Discussion on simplified scheme for setting calculation of backup protection of HV power lines[J]. Guangdong Electric Power, 2012, 25(4): 76-80.
- [7] 刘登峰, 柳焕章, 李银红, 等. 超高压电网线路距离保护延时段整定计算[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(19): 61-65.
- LIU Dengfeng, LIU Huanzhang, LI Yinhong, et al. Study on setting calculation of distance protection time-delay zones for ultra-high voltage power transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(19): 61-65.
- [8] 张永浩, 龚仁敏, 王利强, 等. 220 kV~750 kV 电网线路后备保护整定配合探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(21): 136-141.
- ZHANG Yonghao, GONG Renmin, WANG Liqiang, et al. Discussion on the coordination of backup protection relay settings in the 220 kV~750 kV network[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(21): 136-141.
- [9] 曾招辉. 一起变电站直流系统异常导致 10 kV 线路保护拒动事件分析[J]. 通信电源技术, 2019, 36(11): 115-116.
- ZENG Zhaohui. Analysis of a 10 kV line protection failure caused by abnormal DC system in substation[J]. Telecommunication Power Technology, 2019, 36(11): 115-116.
- [10] 张荣海. 线路距离 II 段保护拒动事件分析[J]. 电工技术, 2018(23): 76-77.
- ZHANG Ronghai. Analysis of refuse operation of second section of distance protection[J]. Electrical Engineering Technology, 2018(23): 76-77.
- [11] 杨次. 220 kV 断路器拒分故障原因分析及整改防范措施[J]. 电工技术, 2019(15): 110-111.
- YANG Ci. Cause analysis of failure to open of a 220 kV circuit breaker and rectification and preventive measures[J]. Electrical Engineering Technology, 2019(15): 110-111.
- [12] 黄宗超, 王帆, 刘一民, 等. 基于串补线性化模型的含串补线路距离保护整定方法[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(11): 133-138.
- HUANG Zongchao, WANG Fan, LIU Yimin, et al. Distance protection setting method of series-compensated line based on series compensation linearized model[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(11): 133-138.
- [13] 黄景光, 于楠, 林湘宁, 等. 远程备用智能保护一体化中心架构可靠性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(1): 73-80.
- HUANG Jingguang, YU Nan, LIN Xiangning, et al. Study on reliability of remote duplicate configuration smart-protection center[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(1): 73-80.
- [14] 金能, 梁宇, 邢家维, 等. 提升配电网线路保护可靠性的远方保护及其与就地保护优化配合方案研究[J]. 电工技术学报, 2019, 34(24): 5221-5233.
- JIN Neng, LIANG Yu, XING Jiawei, et al. Research on remote protection and the optimized coordination scheme of local-remote protection to enhance the protection reliability of the line in distribution network[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(24): 5221-5233.
- [15] 王文焕, 杨国生, 周泽昕, 等. 基于随机截尾数据及极大似然估计的继电保护可靠性分布[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(12): 125-131.
- WANG Wenhuan, YANG Guosheng, ZHOU Zexin, et al. Reliability distribution of relay protection based on random truncation data and maximum likelihood estimation[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(12): 125-131.
- [16] 刘畅. 电力系统继电保护故障分析与处理[J]. 通信电源技术, 2019, 36(10): 134-135.

- LIU Chang. Treatment of relay protection fault in power system[J]. Telecom Power Technology, 2019, 36(10): 134-135.
- [17] CHEN Qian, ZHANG Lie, GUO Peng, et al. Modeling and analysis of incorrect actions of relay protection systems based on fault trees[J]. IEEE Access, 2020, 114571-114579.
- [18] DAI H, SUN X, LI J, et al. Power consumption-based anomaly detection for relay protection[C] // 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), June 12-14, 2020, Chongqing, China: 1139-1143.
- [19] CASTILLO C A, CONDE A, FERNANDEZ E. Mitigation of DOCR miscoordination through distance relays and non-standard overcurrent curves[J]. Electric Power Systems Research, 2018, 163.
- [20] STREZOSKI L, STEFANI I, BEKUT D. Novel method for adaptive relay protection in distribution systems with electronically-coupled DERs[J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2020, 116.
- [21] 汪华, 张哲, 尹项根, 等. 基于故障电压分布的广域后备保护算法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(7): 48-52.
- WANG Hua, ZHANG Zhe, YIN Xianggen, et al. A wide area back-up protection algorithm based on fault voltage distribution[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(7): 48-52.
- [22] MALLIKARJUNA B, SHANMUKESH P, ANMOL D, et al. PMU based adaptive zone settings of distance relays for protection of multi-terminal transmission lines[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2018, 3(2): 126-140. DOI: 10.1186/s41601-018-0087-z.
- [23] 任明辉, 胡建利, 陈建军. 配电网自适应接地系统与保护配置研究[J]. 高压电器, 2018, 54(8): 193-198.
- REN Minghui, HU Jianli, CHEN Jianjun. Research of adaptive grounding system and protection configuration in distribution systems[J]. High Voltage Apparatus, 2018, 54(8): 193-198.
- [24] 曾钰, 邹贵彬, 孙辰军, 等. 一种柔性直流配电网直流侧故障保护方法[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(7): 80-86.
- ZENG Yu, ZOU Guibin, SUN Zhenjun, et al. A DC side fault protection method for a flexible DC distribution network[J]. Electric Power ICT, 2018, 16(7): 80-86.
- [25] 王文焕, 杨国生, 李妍霏, 等. 保护设备在线分析与智能诊断技术研究及系统架构[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(4): 1-8.
- WANG Wenhuan, YANG Guosheng, LI Yanfei, et al. Research on relay protection on-line analysis and intelligent diagnosis technology and system structure[J]. Electric Power ICT, 2018, 16(4): 1-8.
- [26] 段献忠, 杨增力, 程道. 继电保护在线整定和离线整定的定值性能比较[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(19): 58-63.
- DUAN Xianzhong, YANG Zengli, CHENG Xiao. Performance analysis of relay settings determined according to off-line calculation and on-line calculation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(19): 58-63.
- [27] 周锦丽, 吕艳萍. 距离保护第II段整定新原则研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19(1): 104-107.
- ZHOU Jinli, LÜ Yanping. Study on new approach for calculating zone-2 setting of distance protection[J]. Proceedings of the CSU-EPSS, 2007, 19(1): 104-107.
- [28] 曹润彬, 董新洲, 何世恩. 事故过负荷情况下距离保护的動作行为分析[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(13): 3314-3323.
- CAO Runbin, DONG Xinzhou, HE Shi'en. Analysis on performance of zone-III distance protection under post-fault overload[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(13): 3314-3323.
- [29] 徐岩, 韩平. 防止距离III段保护因过负荷误动方法的分析与改进[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 1-7.
- XU Yan, HAN Ping. Analysis and improvement for the scheme to prevent zone III distance protection from incorrect operation caused by non-fault overload[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 1-7.
- [30] 柳焕章, 周泽昕. 线路距离保护应对事故过负荷的策略[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(25): 112-117.
- LIU Huanzhang, ZHOU Zexin. Post-fault overload maloperation countermeasure of transmission line distance protection[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(25): 112-117.
- [31] 柳焕章, 周泽昕, 王德林, 等. 具备应对过负荷能力的距离保护原理[J]. 电网技术, 2014, 38(11): 2943-2947.
- LIU Huanzhang, ZHOU Zexin, WANG Delin, et al. Principle of distance protection capable to cope with overload[J]. Power System Technology, 2014, 38(11): 2943-2947.

收稿日期: 2020-01-20; 修回日期: 2020-05-07

作者简介:

李怀强(1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事继电保护运行管理及整定计算工作; E-mail: lihq@nw.sgcc.com.cn

高露(1979—), 女, 学士, 主要从事电力系统安全管理工。

(编辑 魏小丽)