

# 故障限流器对母线差动保护的影响分析

丁杰 王风光 龚啸 赵国勇 徐泽

(南京南瑞继保电气有限公司, 南京 211102)

**摘要** 故障限流器能够在极短时间内有效地限制故障电流水平, 防止过大的短路电流对电力系统的安全稳定运行和电气设备造成潜在危害, 已成为电力系统中抑制短路电流的关键设备。本文首先概述故障限流器的工作原理, 随后深入探讨在不同主接线方式下, 故障限流器不同的安装位置对母线差动保护的影响。研究结果显示, 故障限流器动作可能会降低比率差动元件的灵敏度。通过科学合理地布置故障限流器、合理设置比率制动系数, 可以有效地预防母线差动保护拒动, 从而确保电力系统的安全稳定运行。

**关键词:** 故障限流器; 继电保护; 母线保护; 差动元件; 灵敏度

## Analysis of the influence of fault current limiter on busbar differential protection

DING Jie WANG Fengguang GONG Xiao ZHAO Guoyong XU Ze

(NR Electric Co., Ltd, Nanjing 211102)

**Abstract** The fault current limiter can effectively limit the fault current level in a very short period of time, so as to prevent excessive short-circuit current from causing potential harm to the safe and stable operation of the power system and electrical equipment. It has become a key equipment to suppress short-circuit current in the power system. In this paper, the working principle of the fault current limiter is summarized firstly. Then, the influence of the installation position of the fault current limiter on the busbar differential protection under different main wiring modes is discussed in depth. The research results show that the action of the fault current limiter may reduce the sensitivity of the busbar differential element. Through the scientific and reasonable arrangement of fault current limiter and the reasonable setting of differential restraint coefficient, it can effectively prevent the rejection of busbar differential protection and ensure the safe and stable operation of power system.

**Keywords:** fault current limiter; relay protection; busbar protection; differential element; sensitivity

## 0 引言

随着电网规模日益增大, 电力系统发生故障时的短路电流水平逐年增长。当前主流高压断路器的额定开断能力一般在 63kA 以下<sup>[1-3]</sup>, 随着电网容量的不断增大和系统联网的不断加强, 断路器的遮断容量难以满足开断系统短路电流的要求, 一旦无法及时开断故障电流, 就会对电气设备本身及电力系统的安全稳定运行造成严重危害。如何将故障电流水平限制在安全裕度以内, 已经成为当代电网发展过程中不可避免的重大技术和经济问题<sup>[4-5]</sup>。在高、中压电网采用串联限流电抗器等措施限制短路电

流, 可以满足开关遮断容量的要求, 但限流电抗器的运行不仅使系统电压大为降低, 长期运行还产生巨大的运行损耗<sup>[6-7]</sup>。故障限流器 (fault current limiter, FCL) 能够限制电网的短路容量, 减轻断路器等各种高压电气设备的动、热稳定负担, 显著降低电网对各种电气设备及电网结构的设计容量要求, 装设故障限流器已成为限制短路电流的有效措施<sup>[8-10]</sup>。

目前, 线路、母线及变压器等的继电保护设备的主保护动作时间最短在 20ms 左右, 断路器固有分闸时间至少为 40ms, 故障整体切除时间在 60ms 以上。故障限流器可在故障发生后几毫秒内快速动

作以限制短路电流,随着故障限流器相关技术的不断发展,其动作速度将进一步加快。考虑到故障限流器动作后显著降低了继电保护装置感知的故障电流,削弱了故障特征,故须分析故障限流器接入对继电保护装置的影响<sup>[11-12]</sup>。限流电抗器是故障限流器的重要部件之一,现有研究表明,故障限流器投入限流电抗器后改变了系统短路阻抗的分布,相关线路保护及自动重合闸装置需要重新整定保护定值,以适应阻抗变化<sup>[13-16]</sup>;对于变压器保护,故障限流器投入不会造成保护在区外故障时误动,在区内故障时保护灵敏度略有降低但不影响其动作的正确性<sup>[17]</sup>。

本文结合不同形式的母线主接线系统,分析故障限流器接入对母线差动保护的影响,评估母线区内故障时母线差动保护动作的灵敏度,并给出提高差动保护可靠性的措施。

## 1 故障限流器简介

故障限流器是电力系统中用于保护电网安全的重要设备,它能够在电力系统发生故障时,快速、准确地限制故障电流,从而避免设备损坏和事故扩大,保障电力系统的稳定运行。故障限流器主要基于电阻、电感、电容等电气元件的组合和控制,通过改变电路中的阻抗来限制故障电流的大小<sup>[18]</sup>。故障限流器简化模型如图1所示,主要由快速开关和限流电抗器组成。在系统正常运行时,开关处于闭合状态,限流电抗器不投入;在系统故障时,开关快速断开,从而投入电抗器进行限流。近年来,国内外在FCL的研制方面投入了大量人力和物力,取得了令人瞩目的成果,其中超导型、电力电子型和新兴的爆炸式故障限流器成为人们关注和研究的热点<sup>[19-21]</sup>。

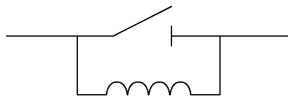


图1 故障限流器简化模型

故障限流器具有响应速度快、限制效果好、可靠性高等优点,因此在电力系统中得到了广泛应用。它可以应用于输电线路、变电站、发电机组等各个环节,为电力系统的安全稳定运行提供了重要保障。随着电力系统的不断发展和规模的不断扩大,故障限流器技术不断升级和完善。

## 2 母线差动保护原理

母线差动保护由大差比率差动元件及各母线段

的小差比率差动元件组成。大差比率差动元件是指除母线联络开关(母联或分段)外所有支路电流所构成的差动元件,某段母线的小差比率差动元件是指该段母线上所有连接支路(包括母联和分段)电流所构成的差动元件。母线大差比率差动元件用于识别母线区内和区外故障,小差比率差动元件用于故障母线的选择<sup>[22-23]</sup>。双母主接线差动保护构成示意图如图2所示,其中 $I_{BC}$ 为母联电流, $I_1$ 为支路1电流, $I_2$ 为支路2电流, $I_3$ 为支路3电流, $I_4$ 为支路4电流。

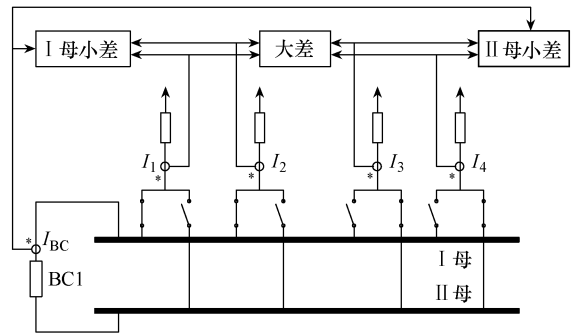


图2 双母主接线差动保护构成示意图

对于图2所示双母线系统,母线大差及小差差动电流计算公式为

$$\begin{cases} I_D = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \\ I_{D1} = K_{11}I_1 + K_{21}I_2 + K_{31}I_3 + K_{41}I_4 + I_{BC} \\ I_{D2} = K_{12}I_1 + K_{22}I_2 + K_{32}I_3 + K_{42}I_4 - I_{BC} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $I_D$ 为大差差动电流; $I_{D1}$ 为I母小差差动电流; $I_{D2}$ 为II母小差差动电流; $K_{n1}$ 、 $K_{n2}$  ( $n=1, 2, 3, 4$ )分别为支路 $n$ 的I母刀开关位置和II母刀开关位置。

母线大差及小差制动电流计算公式为

$$\begin{cases} I_R = |I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4| \\ I_{R1} = K_{11}|I_1| + K_{21}|I_2| + K_{31}|I_3| + K_{41}|I_4| + |I_{BC}| \\ I_{R2} = K_{12}|I_1| + K_{22}|I_2| + K_{32}|I_3| + K_{42}|I_4| + |I_{BC}| \end{cases} \quad (2)$$

式中: $I_R$ 为大差制动电流; $I_{R1}$ 为I母小差制动电流; $I_{R2}$ 为II母小差制动电流。

当差动电流大于整定值,且母线大差比率差动及故障母线小差比率差动均满足比率制动特性时,母线差动保护动作。例如,I母故障时,母线差动保护动作的条件为

$$\begin{cases} I_D > I_{zd} \\ I_D > KI_R \\ I_{D1} > KI_{R1} \end{cases} \quad (3)$$

式中： $I_{zd}$  为差动电流启动定值； $K$  为大差比率差动元件制动系数； $K'$  为小差比率差动元件制动系数。

### 3 故障限流器接入影响分析

母线上连接间隔众多，根据对系统的综合评估，故障限流器可能有多种安装位置<sup>[24]</sup>，例如在重要负荷出线断路器处安装故障限流器，可以确保在出现短路或过载等故障时限制短路电流，保证断路器能够快速而准确地动作，避免对重要负荷造成损害。本节针对母线上所有间隔，探讨故障限流器不同安装位置对母线差动保护的影响并给出布置建议。

#### 3.1 母线区外故障

发生母线区外故障时，不论故障限流器安装在母联、分段或者进出线间隔的何处，故障限流器动作的结果仅是降低了穿越母线的短路电流大小，母线上所有支路流入母线的电流等于流出母线的电流，根据基尔霍夫电流定律，母线大差及各母线小差的差动电流均为 0，而由各支路电流绝对值构成的制动电流很大，比率差动元件不动作。

此外，区外故障电流互感器饱和是影响母线差动保护可靠性的关键问题，尽管各设备厂商研制的母线保护设备中都预设了互感器饱和识别逻辑，以避免区外故障电流互感器饱和时造成差动保护误动作，但工程实践中仍有不少因互感器饱和导致母线差动保护误动的案例。故障限流器动作后限制了流入故障支路电流的大小，能避免电流互感器进入饱和状态或者使电流互感器更快退出饱和状态，这对于母线差动保护无疑是有利的。

因此，故障限流器接入不会影响母线区外故障时母线差动保护的動作行为，若考虑互感器饱和的工况，则有利于提高母线差动保护的可靠性。

#### 3.2 母线区内故障

发生母线区内故障时，故障限流器安装在电源进线、负荷出线或母联分段间隔，对比率差动元件的影响不同，下面分别展开讨论。

##### 1) 母线电源进线安装故障限流器

故障限流器动作后投入限流电抗器，限流电抗器阻值的大小表征了不同的电流限制深度。根据对短路电流限制深度的不同，限流电抗器动作后存在以下两种情况。

(1) 如果差动电流被快速限制到差动保护启动电流定值以下，将导致差动保护不启动或启动后立即返回。

(2) 如果受限后的差动电流仍然大于差动保护启动电流定值，则电源支路的故障电流同时构成故障母线的差动电流和制动电流，比率差动元件的制动特性接近 1，因此故障限流器动作不影响比率差动元件的灵敏度，差动保护可正确动作。

##### 2) 母线负荷出线安装故障限流器

母线连接的负荷性质支路与电源性质支路不同，母线故障时电源支路向故障母线提供短路电流，而负荷支路不会提供短路电流。当母线区内故障时，由于负荷支路不提供短路电流，不论负荷开关处的故障限流器是否动作，都不会对母线差动保护产生影响。

##### 3) 双母线接线母联安装故障限流器

双母线接线系统如图 3 所示，电源 1、支路 1 连接于 I 母，电源 2、支路 2 连接于 II 母，母联开关处于合位，母联开关安装故障限流器。

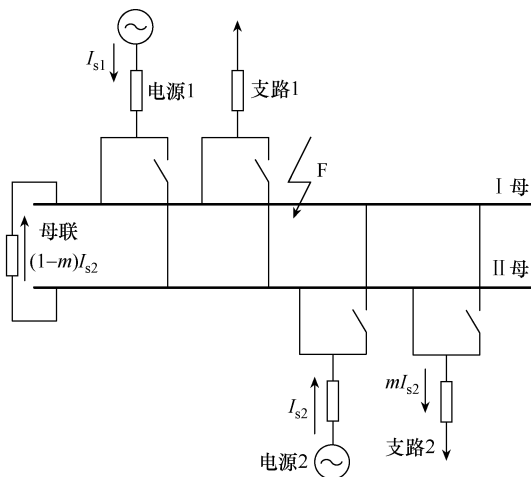


图 3 双母线接线系统

当 I 母发生故障时，电源 1 及电源 2 同时向故障点 F 提供故障电流，母联装设的故障限流器快速动作后，限制电源 2 向故障点 F 提供的故障电流。

不考虑故障母线支路 1 汲出电流的影响，则 I 母小差差动电流与制动电流的比值接近 1，I 母小差比率差动元件不受故障限流器动作的影响，须进一步分析大差比率差动元件是否受影响。

假设电源 1 提供的故障电流为  $I_{s1}$ ，电源 2 输出电流为  $I_{s2}$ ，支路 2 负荷汲出电流幅值为  $mI_{s2}$  ( $m \leq 1$ )， $m$  为电源 2 汲出电流占比，忽略故障母线支路 1 汲出电流的影响，则大差比率差动元件的计算比率制动系数  $k$  为

$$k = \frac{I_{s1} + (1-m)I_{s2}}{I_{s1} + (1+m)I_{s2}} \quad (4)$$

假设大差比率制动系数整定值为  $K$  ( $K < 1$ ), 为保证差动保护可靠动作, 故障期间大差比率差动元件必须满足

$$k \geq K \quad (5)$$

联立式 (4) 和式 (5), 整理可得

$$mI_{s2} \leq \frac{1-K}{K+1}(I_{s1} + I_{s2}) \quad (6)$$

如果  $m=0$ , 则不论比率制动系数  $K$  整定为何值, 式 (6) 始终满足, 实际上从式 (4) 可以得出, 此时的计算比率制动系数  $k=1$ 。这种工况表示母联处无故障限流器或故障限流器不动作时, 电源 2 输出的电流完全流向短路点, 差动保护比率制动系数接近 1, 差动保护可靠动作。

如果  $m=1$ , 即电源 2 输出的电流全部从支路 2 流出, 完全不向短路点提供短路电流, 表征母联故障限流器将流经母联的短路电流限制到 0 的极端情况, 由式 (6) 推导可得

$$\frac{I_{s2}}{I_{s1}} \leq \frac{1-K}{2K} \quad (7)$$

根据式 (7), 当比率制动系数  $K$  整定为 0.5 时, 电源 2 输出的电流需满足  $I_{s2} \leq 0.5I_{s1}$  才能保证差动保护可靠动作; 当比率制动系数  $K$  整定为 0.2 时, 电源 2 输出的电流满足  $I_{s2} \leq 2I_{s1}$  就能保证差动保护可靠动作。由此说明, 当电源 2 不提供短路电流时, 比率制动系数设置得越高, 要求电源 2 穿越双母线系统的电流越小; 当电源 2 穿越双母线系统的电流足够大时, 不能保证差动动作的可靠性。

以上给出了母联开关无故障限流器或故障限流器将短路电流限制到 0 的极端情况, 下面分析更为一般的情形, 此时支路 2 汲出电流占比满足  $0 < m < 1$ , 即故障后支路 2 及母联分别分得电源 2 的部分电流。

由式 (4) 推导可得

$$\frac{I_{s2}}{I_{s1}} \leq \frac{1-k}{m(1+k)+k-1} \quad (8)$$

故障限流器动作后投入限流电抗器的阻抗值可达几十甚至几千欧, 可将故障电流限制到原电流的几分之一<sup>[25]</sup>。考虑图 3 所示双母线系统中母联故障限流器动作后, 在限流电抗器作用下电源 2 大部分电流从支路 2 流出的情形, 依据式 (8), 针对支路 2 汲出电流占比  $m$  分别取 0.8 和 1 两种情况, 绘制不同  $k$  值下的电源电流比值曲线如图 4 所示。

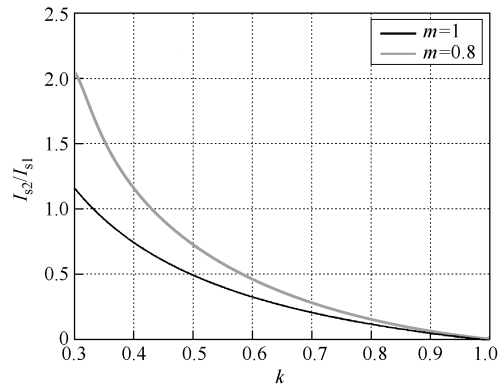


图 4 不同  $k$  值下电源电流比值

图 4 中, 横坐标  $k$  为设置的差动保护比率制动系数, 纵坐标为故障期间电源 2、电源 1 输出电流幅值的比值。

以  $m=0.8$  时的曲线为例, 曲线下方与坐标轴围成的区域为满足式 (8) 的区域, 在此区域内, 大差比率差动元件能可靠动作。

为确保大差比率差动元件可靠动作, 从图 4 可得出以下结论: ①相同比率制动系数下, 故障限流器的电流限制效果越好, 即支路 2 汲出电流占比越大时, 允许电源 2 输出的电流越小; ②相同条件下, 比率制动系数设置得越小, 允许电源 2 输出的电流越大。

从工程实践来看, 比率制动系数通常取值为 0.3~0.8, 例如当比率制动系数设置为 0.5 时, 电源 2 输出电流相对于电源 1 故障电流的比值在 0.5~0.75 之间即能保证大差比率差动元件可靠动作, 如果电源 2 输出的电流继续增大, 将不能满足比率制动要求, 母线差动保护无法动作。

这对于工程实践的指导意义在于, 对于双母线系统, 如果故障发生在强电源支路所在母线, 则母联故障限流器动作对差动保护的影响不明显; 反之, 如果故障发生在弱电源母线, 则故障限流器动作后, 非故障母线上的强电源仅向故障母线提供有限的短路电流, 其汲出的较大负荷电流可能造成差动保护无法动作。这种情况下, 一方面可通过均衡分配双母线系统的电源及负荷来解决, 避免电源或负荷过于集中在一段母线; 另一方面, 适当降低比率制动系数也是保证差动保护可靠动作的可行手段。

### 3.3 多联络开关故障限流器布置建议

在上述双母线分析结果的基础上, 进一步分析故障限流器对双母双分、双母单分等多联络开关主接线系统差动保护的影响, 并对故障限流器的合理

布置给出建议。

双母双分段接线系统如图5所示,其典型配置为分段开关两侧分别配置独立的母线保护装置,图5中点划线左侧母线保护装置的保护范围为I、II母线,点划线右侧母线保护装置的保护范围为III、IV母线。

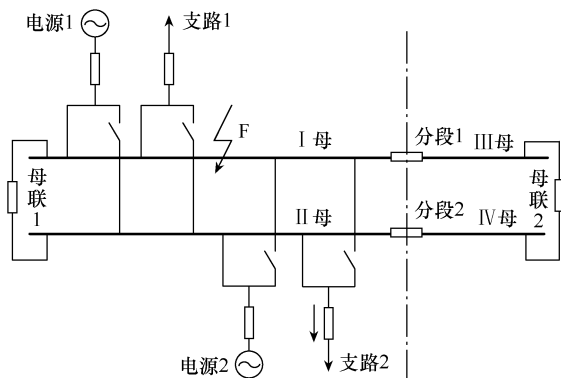


图5 双母双分段接线系统

如果母联1、母联2、分段1及分段2均安装故障限流器,那么当I母区内故障引起所有故障限流器均动作时,III母或IV母上的电源仍可通过分段1、分段2向故障点提供短路电流,对比双母线接线系统,大差比率差动元件的灵敏度更高。

如果仅母联1和母联2安装故障限流器,那么I母区内故障时母联1和母联2故障限流器快速动作后,III母上的电源支路可通过分段1开关向故障点提供较大的短路电流,大差比率差动元件的灵敏度更高。

如果仅分段1和分段2安装故障限流器,那么I母区内故障可类比一般双母线接线系统的区内故障,分段1和分段2故障限流器动作并不影响I母比率差动元件的灵敏度。因此,对于双母双分段系统,建议在分段处安装故障限流器,可在限制短路电流的同时不影响分段两侧母线保护装置比率差动元件的灵敏度。

图6所示为双母单分段接线系统,由单台母线保护装置完成整个系统的母线保护。

如果母联1、母联2及分段均安装故障限流器,任一段母线区内故障引起故障限流器快速动作后,如I母F点故障,不考虑支路1汲出电流的影响,I母小差比率差动元件的灵敏度很高;由于故障限流器的作用,II母和III母上的电源支路可向短路点提供一部分短路电流,成为大差制动电流的重要组成部分,将导致大差比率差动元件的灵敏度降低,

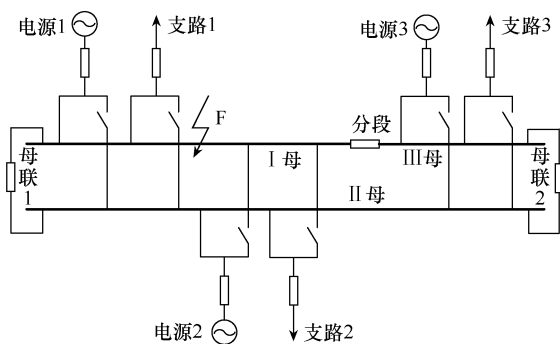


图6 双母单分段接线系统

甚至无法满足比率制动系数的要求,造成差动保护拒动。参考前文对双母线接线系统的分析,将电源2和电源3等效为1个电源,假设等效电源输出的电流幅值为 $I_{s2}$ ,则等效电源输出的电流要满足式(8)才能保证差动保护动作的可靠性,显然相对于双母线接线系统,双母单分段系统大差差动元件的灵敏度更低,差动保护可靠性下降。

因此,对于双母单分段系统,当母联和分段3个联络开关安装故障限流器时,若安装两处及以上,则大差比率差动元件的灵敏度大大降低,须结合具体情况校验比率制动系数灵敏度,避免母线区内故障时差动保护拒动。若系统中电源支路较多,任一母线故障的短路电流都可能超过母线联络开关的过载能力,则建议在主要电源进线开关处安装故障限流器,一方面可达到限制短路电流的目的,另一方面不会影响差动元件的灵敏度。

### 3.4 小结

本节分析了母线进出线及母联、分段安装故障限流器对母线差动保护的影响,分析结果表明:

- 1) 发生母线区外故障时,母线差动保护不受影响。
- 2) 在母线电源进线安装故障限流器,故障母线的比率制动系数比较容易满足要求,只要故障差流维持在差动电流启动值以上,就不会影响母线差动保护动作可靠性。
- 3) 在母联或分段安装故障限流器,对不同主接线形式下母线的的影响基本一致,均会导致故障后大差比率差动元件的灵敏度降低,影响差动保护的可靠性。

为降低故障限流器接入对母线差动保护动作可靠性的影响,提出以下建议:

- 1) 令各母线的电源及负荷均衡分布,避免电源或负荷集中布置。

2) 对于双母双分段接线形式, 建议在分段 1、分段 2 处安装故障限流器, 避免因故障电流汲出导致大差比率差动元件不动作。

3) 对于双母单分段接线, 建议选择电源进线处安装故障限流器。

## 4 结论

故障限流器可快速限制短路电流, 避免过大的故障电流对电力系统的安全稳定运行及电气设备本身产生危害, 但与此同时, 短路电流在极短时间内降低将不可避免地对母线差动保护的动作用可靠性产生影响。本文针对不同主接线形式的母线, 分析了故障限流器不同安装位置对比率差动元件灵敏度的影响。结果表明, 当发生区外故障时, 故障限流器不会造成母线差动保护误动; 当发生母线区内故障时, 故障限流器的快速动作会造成母线保护大差比率差动元件动作灵敏度降低。通过合理布置故障限流器、合理调整比率制动系数, 可避免区内故障时差动保护拒动情况的发生。

### 参考文献

- [1] 史宗谦, 贾申利. 高压直流断路器研究综述[J]. 高压电器, 2015, 51(11): 1-9.
- [2] 何俊佳. 高压直流断路器关键技术研究[J]. 高电压技术, 2019, 45(8): 2353-2361.
- [3] 钟建英, 陈刚, 谭盛武, 等. 高压开关设备关键技术及发展趋势[J]. 高电压技术, 2021, 47(8): 2770-2882.
- [4] 杨振纲, 李力, 李扬絮, 等. 广东电网短路电流超标问题及对策[J]. 南方电网技术, 2011, 5(5): 90-93.
- [5] 李杭泽, 戴志辉, 石旭, 等. 计及控制响应的多端混合直流输电系统短路电流近似计算方法[J]. 电工技术学报, 2024, 39(9): 2810-2824.
- [6] 李锋, 樊艳芳, 王晓飞, 等. 限流串抗器接入电网对继电保护的影响及整定原则研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(17): 118-123.
- [7] 贾磊, 蔡汉生, 胡上茂, 等. 500kV 串联电抗器对线路断路器开断能力的影响研究[J]. 南方电网技术, 2014, 8(6): 7-11.
- [8] 孙树敏, 刘洪顺, 李庆民, 等. 电力系统故障限流器研究综述[J]. 电网技术, 2008, 32(21): 75-79.
- [9] 刘凯, 陈红坤, 林军, 等. 故障限流器在电力系统中应用研究现状[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(7): 147-151.
- [10] 余江, 段献忠, 何仰赞. 不同结构超导故障限流器在电力系统中的应用研究[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(12): 42-44.
- [11] 金雪芬, 戴朝波, 武守远, 等. 故障电流限制器对继电保护的影响[J]. 电网技术, 2010, 34(6): 98-105.
- [12] 周雪松, 徐晓宁, 马幼捷, 等. 超导故障限流器对继电保护的影响[J]. 中国电力, 2007, 40(3): 36-39.
- [13] 高强, 叶莺, 张志峰, 等. 桥式超导限流器与电力系统距离保护配合问题研究及算法改进[J]. 继电器, 2006, 34(14): 7-10.
- [14] 何妍, 陈轩恕, 唐跃进, 等. 超导故障限流器对自动重合闸和继保的影响[J]. 高电压技术, 2008, 34(10): 2190-2194.
- [15] 米警伟, 苏小林, 阎晓霞, 等. 配电系统中超导限流器与继电保护的配合研究[J]. 电力系统及其自动化, 2018, 40(1): 84-87.
- [16] 陈艳霞, 吕立平, 李振兴, 等. 基于超导故障限流器的多级馈线电流保护新方案[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(24): 86-94.
- [17] 郭绍伟, 艾晨光, 马继先, 等. 110kV 快速限流装置对系统保护的影响研究[J]. 华北电力技术, 2015(12): 13-17.
- [18] 刘云飞, 周启文, 方太勋, 等. 故障限流器控制系统的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(1): 150-156.
- [19] 叶莺, 肖立业. 超导故障限流器的应用研究新进展[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(13): 92-96.
- [20] 李斌, 欧逸哲. 饱和铁心型超导限流器对电力系统保护的影响[J]. 南方电网技术, 2015, 9(12): 98-102.
- [21] 周航, 袁佳歆, 陈凡, 等. 计及永磁体漏磁效应的磁饱和型高压直流限流器设计方法[J]. 电工技术学报, 2021, 36(9): 1956-1966.
- [22] 丁杰, 吕航, 王风光, 等. 应用于低频电力系统的母线差动保护判据研究[J]. 电气技术, 2023, 24(10): 44-50.
- [23] 王风光, 李力, 吕航, 等. 新一代分布式母线保护装置[J]. 电气技术, 2022, 23(8): 62-67.
- [24] 许逵, 孙婷, 韩松, 等. 考虑运行损耗的故障限流器布点优化和容量选择[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(5): 21-26.
- [25] 吕玮, 许元震, 刘云飞, 等. 高压故障限流器系统应用研究及研制[J]. 高压电器, 2022, 58(10): 48-56.

收稿日期: 2024-10-15

修回日期: 2024-11-15

作者简介

丁杰(1985—), 男, 江苏省邳州市人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为继电保护专业的产品研制与开发。