

# 刀闸位置异常对母线保护的影响及解决方案探讨

刘子俊<sup>1</sup>, 晋龙兴<sup>1</sup>, 伦振坚<sup>2</sup>, 陈永稳<sup>2</sup>, 曾勇<sup>2</sup>

(1. 深圳供电局有限公司, 深圳 518001; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** [目的]双母线接线倒闸操作过程中, 由于刀闸主触头起弧以及刀闸主触头行程与辅助接点行程的不完全一致会导致刀闸辅助接点导通状态与刀闸主触头导通状态不完全一致, 即刀闸位置异常, 它会引起母线保护对母线运行方式的误判从而影响母线保护的逻辑判断和动作出口结果。[方法]文章归纳和分析了倒闸操作期间的4种刀闸位置异常情况及其对母线保护的影响。[结果]研究表明: 解决方案提出的与刀闸主触头起弧状态一致的新型刀闸辅助接点, 能更好地满足母线保护对刀闸位置状态的相关要求。[结论]对提高母线保护在倒闸操作期间的动作选择性提供一个新的解决思路。

**关键词:** 刀闸; 倒闸; 母线保护; 小差; 辅助接点

**中图分类号:** TM63; TM774

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8676(2018)S1-0089-06

## Analysis on the Influence of Switch Position Abnormity to Bus Protection and Its Solution Discussion

LIU Zijun<sup>1</sup>, JIN Longxing<sup>1</sup>, LUN Zhenjian<sup>2</sup>, CHEN Yongwen<sup>2</sup>, ZENG Yong<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Power Supply Co., Ltd., Shenzhen 518001, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] During the double bus operation in substation, the conduction status of main and auxiliary switch contact are inconsistent, due to the main contact arc and the inconsistency of main and auxiliary contact stroke, which is named switch position abnormity. The bus protection can not judge the operation mode of bus bar and make incorrect action finally. [Method] In this paper, four kinds of position abnormity of switch and its influence to bus protection were summarized. [Result] The results show that a new auxiliary contact which is consistent to the arc status of main contact is putted forward preliminary. [Conclusion] This work provides some guidance for improving the selectivity of bus protection.

**Key words:** switch; bus operation; bus protection; the differential loop of each busbar; auxiliary contact

双母线接线倒闸操作是变电运行中非常重要和频繁的工作之一, 也是最容易造成严重事故的操作<sup>[1]</sup>。双母线接线倒闸操作期间刀闸主触头会有一个起弧和熄弧的过程, 且持续时间较长, 同时, 刀闸进行多次合分操作后, 主触头的行程状态会与辅助接点的行程状态不完全一致, 最终会使得倒闸操作期间刀闸主触头的导通状态与辅助接点的导通状态不完全一致, 即刀闸位置异常。

目前, 国内双母线接线母线保护主要是靠采集母线侧刀闸常开辅助接点来判断各间隔和母线的运行方式, 如果倒闸操作过程中出现刀闸位置异常, 母线保护将无法正确判断各间隔和母线的运行方式, 对母线保护逻辑判断和动作出口均有非常重要的影响<sup>[2-5]</sup>。

为了降低倒闸操作期间的运行风险, 国内变电运行管理部门对倒闸操作都制定了一套非常严苛的倒闸操作流程, 从一定程度上有效保证了倒闸操作的安全性, 但也普遍存在流程步骤多, 操作复杂, 智能化程度低, 母线保护长时间失去小差选择性问题<sup>[6]</sup>。

本文将重点归纳和总结倒闸操作期间的4种刀

收稿日期: 2017-12-21 修回日期: 2018-05-21

基金项目: 深圳供电局有限公司科技项目“变电站自适应倒闸操作关键技术研究及试点应用”(090000KK52160045)

闸位置异常情况，并从理论上分析和探讨了其对母线保护的影响，进而提出一种与刀闸主触头起弧状态一致的新型刀闸辅助接点进行初步探讨，该新型辅助接点有望能更好的满足母线保护对刀闸位置状态的需求，它的应用有望简化倒闸操作流程，提高倒闸操作智能化程度，减少母线保护在倒闸操作期间失去小差选择性的时间。

### 1 刀闸位置异常的4种情况及其对母线保护的影响分析

#### 1.1 刀闸合闸过程中辅助接点先于主触头导通

如图1所示，对间隔1进行倒闸操作，即把间隔1从接1母转换为接2母。在2母刀闸DS12主触头从分位向合位变换过程中，由于主触头行程与辅助接点行程的不完全一致，有可能存在主触头未合闸到位且主触头未起弧而辅助接点已经合上且导通的情况，刀闸主触头与辅助接点导通状态如图2所示。此时，母线保护检测到刀闸DS11和DS12均有位置开入，因此母线保护判1母和2母母线通过刀闸DS11和DS12互联，此时如果发生母线故障，母线保护将会失去小差选择性，动作切除两段母线上的所有间隔，导致正常母线的间隔也被误切除，正常母线保护发生误动，扩大了事故范围<sup>[7]</sup>。

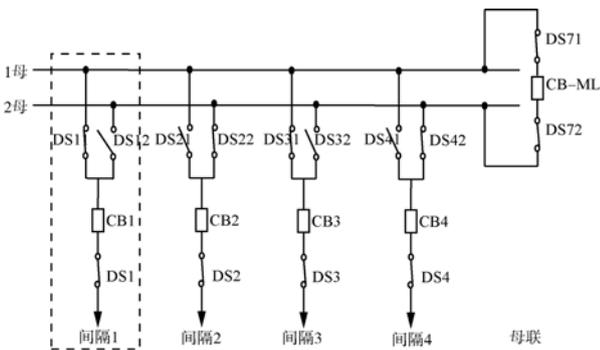


图1 双母线接线示意图1

Fig. 1 Illustration 1 of double bus connection

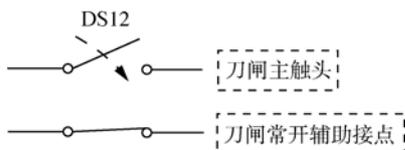


图2 刀闸DS12主触头与辅助接点导通状态

Fig. 2 Illustration 1 of main and auxiliary contact of DS12

#### 1.2 刀闸合闸过程中辅助接点晚于主触头导通

如图3所示，对间隔1进行倒闸操作，即把间隔1从接1母转换为接2母。在2母刀闸DS12主触头从分位向合位变换过程中，由于刀闸主触头起弧以及主触头行程与辅助接点行程的不完全一致，有可能存在主触头未合闸到位但主触头已经起弧导通而辅助接点未合上导通的情况，刀闸主触头与辅助接点导通状态如图4所示。此时，母线保护检测到刀闸DS11有位置开入，DS12无位置开入，母线保护不判母线互联，但实际上此时1母和2母已经通过刀闸DS11、DS12以及电弧进行互联。

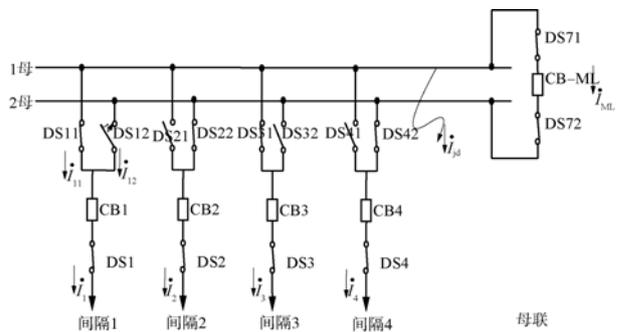


图3 双母线接线示意图2

Fig. 3 Illustration 2 of double bus connection

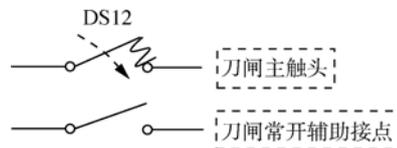


图4 刀闸DS12主触头与辅助接点导通状态

Fig. 4 Illustration 2 of main and auxiliary contact of DS12

如果此刻发生1母母线故障，母线保护中大差电流可由式(1)表示：

$$I_D = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \quad (1)$$

式中： $I_D$ 为母线保护大差电流。

实际系统中电流满足式(2)：

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_{jd} = 0 \quad (2)$$

综合式(1)和式(2)，可得：

$$I_D = -I_{jd} \quad (3)$$

因此母线保护中大差电流为 $-I_{jd}$ ，其大小不为零，满足母线保护动作启动条件，且母线保护此时不判母线互联，因此进入小差判别流程。

此时母线保护中小差电流满足式(4)：

$$\begin{cases} \dot{I}_{d1} = \dot{I}_1 + \dot{I}_3 + \dot{I}_{ML} \\ \dot{I}_{d2} = \dot{I}_2 + \dot{I}_4 - \dot{I}_{ML} \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $\dot{I}_{d1}$  为母线保护中 1 母小差电流,  $\dot{I}_{d2}$  为母线保护中 2 母小差电流。

此时实际系统中电流满足式(5):

$$\begin{cases} \dot{I}_{11} + \dot{I}_3 + \dot{I}_{jd} + \dot{I}_{ML} = 0 \\ \dot{I}_{12} + \dot{I}_2 + \dot{I}_4 - \dot{I}_{ML} = 0 \\ \dot{I}_{11} + \dot{I}_{12} = \dot{I}_1 \end{cases} \quad (5)$$

综合式(4)和式(5), 可得:

$$\begin{cases} \dot{I}_{d1} = \dot{I}_{12} - \dot{I}_{jd} \\ \dot{I}_{d2} = -\dot{I}_{12} \end{cases} \quad (6)$$

由此可见, 母线保护中 1 母小差电流为  $\dot{I}_{12} - \dot{I}_{jd}$ , 该电流的大小由起弧电流  $\dot{I}_{12}$  和故障电流  $\dot{I}_{jd}$  共同决定, 其值可能不为零, 也可能为零, 因此 1 母小差有可能动作, 也可能不动作。同时, 母线保护中 2 母小差电流为  $-\dot{I}_{12}$ , 即为起弧电流, 大小一般不为零, 因此 2 母小差会动作跳开 2 母上所有支路。

综上所述, 该情况下有可能发生 1 母小差拒动的风险。

同样在情况二下, 如果此刻发生 2 母母线故障, 如图 5 所示, 母线保护中大差电流仍然为式(3), 即满足大差电流不为零, 同时母线保护不判母线互联, 进入小差判别程序。

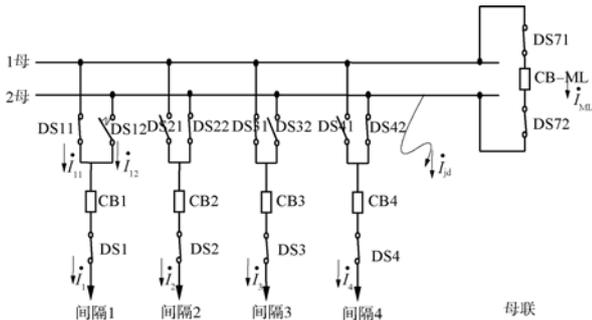


图 5 双母线接线示意图 3

Fig. 5 Illustration 3 of double bus connection

此时母线保护中小差电流仍然满足式(4), 同时, 此时实际系统中电流满足式(7):

$$\begin{cases} \dot{I}_{11} + \dot{I}_3 + \dot{I}_{ML} = 0 \\ \dot{I}_{12} + \dot{I}_2 + \dot{I}_4 + \dot{I}_{jd} - \dot{I}_{ML} = 0 \\ \dot{I}_{11} + \dot{I}_{12} = \dot{I}_1 \end{cases} \quad (7)$$

综合式(4)和式(7), 可得:

$$\begin{cases} \dot{I}_{d1} = \dot{I}_{12} \\ \dot{I}_{d2} = -\dot{I}_{12} - \dot{I}_{jd} \end{cases} \quad (8)$$

由此可以得知, 母线保护中 1 母小差电流为  $\dot{I}_{12}$ , 即为起弧电流, 大小一般不为零, 因此, 1 母小差动作跳开 1 母上所有的支路。母线保护中 2 母小差电流为  $-\dot{I}_{12} - \dot{I}_{jd}$ , 该电流的大小由起弧电流  $\dot{I}_{12}$  和故障电流  $\dot{I}_{jd}$  共同所决定, 其值可能不为零, 也可能为零, 因此, 2 母小差有可能动作, 也可能不动作。

综上所述, 该情况下有可能发生 2 母小差拒动的风险。

### 1.3 刀闸分闸过程中辅助接点晚于主触头断开

如图 6 所示, 对间隔 1 进行倒闸操作, 即把间隔 1 从接 1 母转换为接 2 母。在 1 母刀闸 DS11 主触头由合位向分位变换的过程中, 由于主触头行程与辅助接点行程的不完全一致, 有可能存在主触头已经分开并且电弧已经熄灭但辅助接点未分开的情况, 刀闸主触头与辅助接点导通状态如图 7 所示。此时, 母线保护仍然检测到 1 母刀闸 DS11 和 2 母刀闸 DS12 均有位置开入, 因此母线保护仍判 1 母和 2 母母线通过刀闸 DS11 和 DS12 互联, 此时如果发生母线故障, 母线保护将会失去小差选择性, 切除两段母线上的所有的间隔, 导致正常母线的间隔也被误切除, 正常母线保护发生误动, 扩大了事故范围。

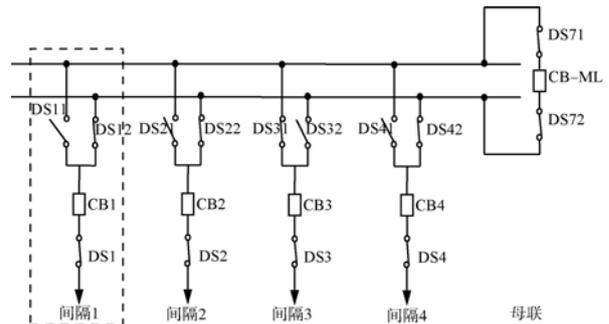


图 6 双母线接线示意图 4

Fig. 6 Illustration 4 of double bus connection

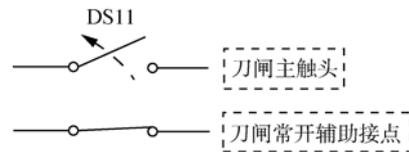


图 7 刀闸 DS11 主触头与辅助接点导通状态

Fig. 7 Illustration 1 of main and auxiliary contact of DS11

1.4 刀闸分闸过程中辅助接点先于主触头断开

如图8所示,对间隔1进行倒闸操作,即把间隔1从接1母转换为接2母。在1母刀闸DS11主触头由合位向分位变换过程中,由于刀闸主触头电弧的存在以及主触头行程与辅助接点行程的不完全一致,有可能存在主触头未分开到位且电弧未熄灭但辅助接点已经分开的情况,刀闸主触头与辅助接点导通状态如图9所示。此时,母线保护检测到刀闸DS11无位置开入,DS12有位置开入,母线保护不判母线互联,但实际上1母和2母仍然通过刀闸DS11、DS12以及电弧进行互联。

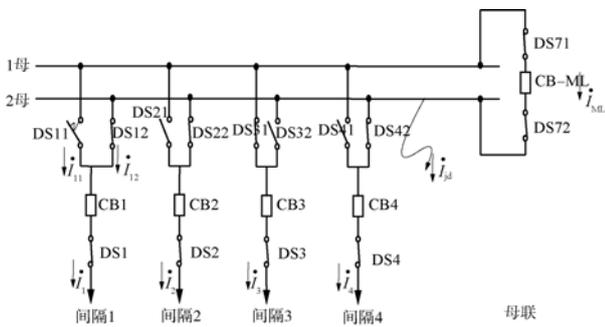


图8 双母线接线示意图5

Fig. 8 Illustration 5 of double bus connection

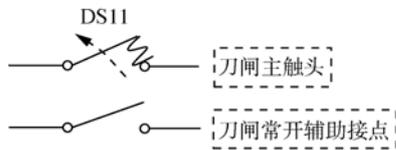


图9 刀闸DS11主触头与辅助接点导通状态

Fig. 9 Illustration 2 of main and auxiliary contact of DS11

如果此刻发生1母母线故障,母线保护中大差电流满足式(3),即满足大差电流不为零,同时母线保护不判母线互联,因而进入小差判别程序。

此时母线保护中小差电流满足式(9):

$$\begin{cases} \dot{I}_{d1} = \dot{I}_3 + \dot{I}_{ML} \\ \dot{I}_{d2} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_4 - \dot{I}_{ML} \end{cases} \quad (9)$$

实际系统中电流满足式(5)。综合式(9)和式(5),可得:

$$\begin{cases} \dot{I}_{d1} = -\dot{I}_{11} - \dot{I}_{jd} \\ \dot{I}_{d2} = \dot{I}_{11} \end{cases} \quad (10)$$

由此可见,母线保护中1母小差电流为 $-\dot{I}_{11} - \dot{I}_{jd}$ ,该电流的大小由起弧电流 $\dot{I}_{11}$ 和故障电流 $\dot{I}_{jd}$ 共同决定,其值可能不为零,也可能为零,因此1母

小差有可能动作,也可能不动作。同时,母线保护中2母小差电流为 $\dot{I}_{11}$ ,即为起弧电流,大小一般不为零,因此2母小差会动作跳开2母上所有支路。综上所述,该情况下有可能发生1母小差拒动的风险。

同样在情况四下,如果此刻发生2母母线故障,如图10所示,母线保护中大差电流仍然为式(3),即满足大差电流不为零,同时母线保护不判母线互联,进入小差判别程序。

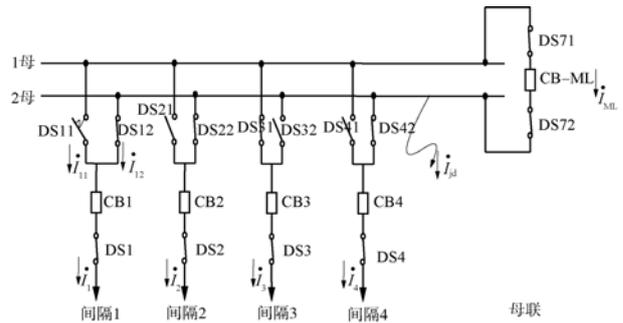


图10 双母线接线示意图6

Fig. 10 Illustration 6 of double bus connection

此时母线保护中小差电流为式(9),实际系统中电流满足式(7),综合式(9)和(7),可得:

$$\begin{cases} \dot{I}_{d1} = -\dot{I}_{11} \\ \dot{I}_{d2} = \dot{I}_{11} - \dot{I}_{jd} \end{cases} \quad (11)$$

由此可见,母线保护中1母小差电流为 $-\dot{I}_{11}$ ,即为起弧电流,大小一般不为零,因此1母小差动作跳开1母上所有支路。母线保护中2母小差电流为 $\dot{I}_{11} - \dot{I}_{jd}$ ,该电流的大小由起弧电流 $\dot{I}_{11}$ 和故障电流 $\dot{I}_{jd}$ 共同决定,其值可能不为零,也可能为零,因此2母小差有可能动作,也可能不动作。综上,该情况下有可能发生2母小差拒动的风险。

2 解决方案初步探讨

以上问题目前国内的主要处理方法为在倒闸操作前,合上母联断路器,然后手动投入母线保护母线互联硬压板和手动断开母联断路器操作电源。该方法的优点是能有效确保倒闸操作期间发生母线故障,母线保护能无选择性可靠切除故障,并可防止母联断路器偷跳造成带电合分刀闸,缺点是倒闸操作期间母线保护长时间失去选择性,倒闸操作期间发生母线故障会扩大事故范围<sup>[1,8-9]</sup>。

从另一个角度出发, 以上问题的出现主要与目前刀闸辅助接点的位置状态被简单的设计成直接跟随刀闸主触头的位置变化有关, 即刀闸主触头合闸到位, 刀闸常开辅助接点导通, 刀闸主触头分闸到位, 刀闸常开辅助接点断开, 同时由于刀闸经过多次操作后, 刀闸主触头的行程状态与刀闸辅助接点的行程状态出现不同步, 导致出现: (1) 刀闸主触头远未合闸到位, 常开辅助接点已经闭合导通; (2) 刀闸主触头已经合闸到位, 常开辅助接点仍然没有闭合导通; (3) 刀闸主触头刚开始动作分开, 常开辅助接点已经断开; (4) 刀闸主触头已经分闸到位, 常开辅助接点仍然没有断开等 4 种故障状态。且由于刀闸的合闸和分闸存在一个起弧和熄弧的过程, 由于电弧的存在, 没有完全接触的刀闸主触头可以通过电弧导通, 因此准确来说, 刀闸辅助接点的导通状态需要跟刀闸主触头起弧状态一致更能满足母线保护对刀闸位置判断的要求。因此本文初步提出, 可以通过设计一种刀闸辅助接点, 在刀闸合闸过程中, 刀闸虽然没有合闸到位, 但已经起弧时, 常开辅助接点即导通, 在刀闸分闸过程中, 刀闸虽然没有分闸到位, 但电弧已经熄灭时, 常开辅助接点即断开, 使得刀闸辅助接点的导通状态跟刀闸主触头的导通状态始终保持一致。具体做法为各设备厂家可根据自身刀闸起弧和熄弧的特点, 准确测量刀闸在合闸过程中主触头开始起弧时联动辅助接点动作的转轴转过的角度, 以及刀闸在分闸过程中主触头开始熄弧后联动辅助接点动作的转轴转过的角度, 根据测量到的联动转轴的转动角度设置辅助接点导通和断开的动作角度, 确保刀闸辅助接点的导通状态跟刀闸主触头的导通状态保持一致, 同时在辅助接点机构与转动轴之间采用强化连接措施, 确保辅助接点动作行程与转动轴一致。

如图 11 所示为某一次设备厂家生产的新型刀闸辅助接点与主触头导通关系示意图, 从图中可知, 同一把刀闸存在多种类型的辅助接点(如 A 类和 B 类), 它们的位置状态不直接跟随主触头位置变化而变化, 每类辅助接点根据不同特定需求设置不同的导通行程角度, 因此辅助接点的导通行程角度与主触头接触行程角度不完全一致, 而是有一个角度差。

因此, 参照该设计理念, 我们可以根据刀闸主触头起弧/熄弧的动作行程角度建立一个刀闸主触

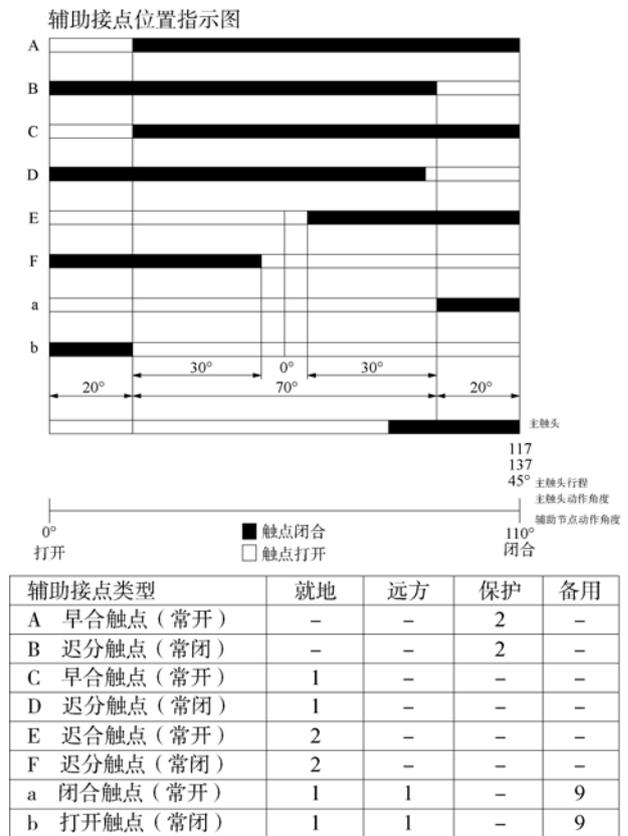


图 11 某新型刀闸辅助接点与主触头导通关系示意图

Fig. 11 Conduction illustration of a new auxiliary contact and its main contact

头起弧/熄弧关系表, 根据关系表确认的主触头起弧/熄弧行程角度设置辅助接点的导通行程角度, 使得刀闸辅助接点的导通状态与主触头的导通状态完全一致。

通过采用该新型刀闸辅助接点, 有望能切实提高母线保护刀闸位置开入的准确率, 且可考虑逐步取消倒闸操作过程中人工投入母线保护互联硬压板和断开母联断路器操作电源的步骤, 母线保护在倒闸操作过程中可以自适应母线运行方式, 减少母线保护判母线互联的时间, 提高倒闸操作期间母线保护的小差选择性<sup>[10-12]</sup>。

### 3 结论

双母线接线倒闸操作过程中, 由刀闸主触头起弧和刀闸主触头与辅助接点行程不一致导致的刀闸位置异常可能引起正常母线保护发生误动和故障母线保护发生拒动, 目前国内的常规倒闸操作流程能有效解决倒闸操作期间母线发生故障母线保护出现

拒动的问题,但很大程度上降低了母线保护的选择性,正常母线被误切除的问题没有解决,本文初步探讨并提出一种跟刀闸主触头起弧状态一致的新型刀闸辅助接点,为解决倒闸操作期间母线保护发生误动和拒动的问题提供了新的思路,新型刀闸辅助接点的应用有望对双母线接线倒闸操作流程的简化提供设备支撑。

#### 参考文献:

- [1] 谢肇轩. 变电站母线停电倒闸操作注意事项分析 [J]. 中国高新技术企业, 2017(3): 141-142.  
XIE Z X. Analysis of precautions in operation of substation busbar [J]. China High-tech Enterprises, 2017(3): 141-142.
- [2] 黄继东, 肖锋, 王智勇, 等. 母线保护刀闸位置异常时的自适应校正 [J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 122-127.  
HUANG J D, XIAO F, WANG Z Y, et al. Adaptive correction scheme of switch position abnormality of busbar protection [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 122-127.
- [3] 张丽霞, 王海斌. 解决刀闸辅助接点出错引起母线保护误动的问题 [J]. 新疆电力, 2006(3): 18-19.  
ZHANG L X, WANG H B. Solve the problem that the switch auxiliary contact error caused the busbar protection misoperation [J]. Xinjiang Electric Power, 2006(3): 18-19.
- [4] 王鹏程. 刀闸辅助触点状态出错对母差保护的影响 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 124-126.  
WANG P C. Discussion on the influences of disconnector auxiliary contact status error on bus differential protection [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(5): 124-126.
- [5] 褚磊. 浅析刀闸辅助接点位置不对应对母差保护的影响 [J]. 中国科技信息, 2010(17): 116-117.  
CHU L. Analysis of the influence of the auxiliary contact position of disconnector to bus differential protection [J]. China Science and Technology Information, 2010(17): 116-117.
- [6] 张颖. 220 kV 双母线倒闸操作危险点分析及预控措施 [J]. 宁夏电力, 2013(3): 30-33.  
ZHANG Y. Analysis and precaution control measure on dangerous point of 220 kV double bus bars reversal switch operation [J]. Ningxia Electric Power, 2013(3): 30-33.
- [7] 黄晶晶. 一起励磁涌流引起后备保护误动作的分析及探讨 [J]. 南方能源建设, 2014, 1(1): 106-110.  
HUANG J J. Analysis and discussion on a maloperation of transformer backup protection caused by inrush current [J]. Southern Energy Construction, 2014, 1(1): 106-110.
- [8] 胡荣兴, 荆朝霞, 肖江. 考虑负荷响应的海岛微电网优化配置 [J]. 广东电力, 2016, 29(12): 32-38.  
HU R X, JING Z X, XIAO J. Optimized configuration for island micro-grid considering demand response [J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(12): 32-38.
- [9] 孙晓敏. 变电站倒闸操作过程中隔离开关故障处理方法 [J]. 广东电力, 2011, 24(7): 84-89.  
SUN X M. Treatment process of disconnecting switch fault in switching operation of substations [J]. Guangdong Electric Power, 2011, 24(7): 84-89.
- [10] 姚李孝, 王琴, 毛亚胜, 等. 一种新的微机母线保护自适应运行方案 [J]. 电网技术, 2005, 29(7): 60-64.  
YAO L X, WANG Q, MAO Y S, et al. A new adaptive operation scheme of microcomputer based busbar protection [J]. Power System Technology, 2005, 29(7): 60-64.
- [11] 陈天香, 毛乃虎. 母线保护中双母线运行方式的自适应研究 [J]. 江苏电机工程, 2009, 28(3): 21-23.  
CHEN T X, MAO N H. Adaptive study of double busbar operation in busbar protection [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2009, 28(3): 21-23.
- [12] 顾礼斌, 李勇刚. 基于模糊 K 近邻的变电站主接线类型自动识别方法 [J]. 广东电力, 2018, 31(2): 130-135.  
GU L B, LI Y G. Automatic identification method for substation main wiring modes based on fuzzy K-nearest neighbor algorithm [J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(2): 130-135.

#### 作者简介:



LIU Z J

#### 刘子俊

1980-, 男, 广东广州人, 工程师, 硕士, 主要从事电网继电保护工作 (e-mail) tedlzj@163.com。

#### 晋龙兴

1987-, 男, 四川简阳人, 工程师, 硕士, 主要从事电网继电保护整定计算工作 (e-mail) 13602563695@163.com。

#### 伦振坚

1975-, 男, 广东广州人, 高级工程师, 硕士, 主要从事交流工程设计和继电保护研究的工作 (e-mail) lunzhenjian@gedi.com.cn。

#### 陈永稳(通信作者)

1983-, 男, 广东新会人, 高级工程师, 硕士, 主要从事变电站电气二次设计工作 (e-mail) chen Yongwen @gedi.com.cn。

#### 曾勇

1984-, 男, 湖南邵阳人, 工程师, 硕士, 主要从事变电站电气一次设计工作 (e-mail) zengyong2@gedi.com.cn。

(责任编辑 高春萌)