[保护装置]

6 kV开关防跳回路分析与探讨

文/华能武汉发电有限责任公司　蒋　飞　李诗林　赵亚东

6 kV开关防跳对发电厂用电系统的安全具有重要意义，为避免6 kV开关因防跳功能设计不当所造成的回路问题，首先对6 kV开关保护装置防跳和开关机构防跳进行分析和比较，阐明了二者之间的优缺点；其次对开关防跳回路可能存在的配合问题进行了分析，并提出了对应的解决方案；然后讨论了保护装置防跳和开关机构防跳的取舍问题；最后介绍了防跳回路的试验方法。

“开关防跳”是指在开关的电气控制回路或机构内部采取措施，将开关闭锁在跳闸位置，以防止开关跳跃的发生。开关跳跃会造成绝缘下降，遮断能力下降，损坏一次设备，从而引发上一级电力系统保护跳闸，甚至会发生爆炸事故，威胁设备和人身的安全。因此，开关防跳对保障电力系统安全具有重要意义。目前发电厂的6 kV开关一般都具备防跳功能，虽然开关防跳应用广泛，但有关防跳回路的问题却偶有发生，故在对开关防跳回路的分析具有一定的实际措施基础上，对防跳回路的配合问题、保护装置防跳与开关机构防跳的配合和取舍问题进行了进一步梳理和总结，力求能为将来的工程应用提供一定的参考和借鉴。

防跳回路的原理

按照防跳回路的原理，防跳回路可以分为串联防跳和并联防跳。按照防跳电路所在的位置，防跳回路又可以分为保护装置防跳或开关机构防跳。保护装置防跳电路在保护装置内部；开关机构防跳电路在开关机构内部。

1. 串联防跳的原理

串联防跳如图1所示，是将防跳继电器的电流启动线圈串联在开关的跳闸回路中，将防跳继电器的电压保持触点串联在合闸回路中。图1中，+KM是电源正，－KM是电源负，KK是开关分合闸操作把手，1-2为合闸触点，3-4为跳闸触点，TBJI是防跳继电器电流启动线圈，TBJV是防跳继电器电压保持线圈，BTJ是保护跳闸触点，HQ是开关合闸线圈，TQ是开关跳闸线圈，H是开关辅助触点。其工作原理是，合闸触点1-2导通使开关合闸，因某种1-2未返跳闸触点3-4或BTJ也持续导通，则TBJI线圈得电励磁，TBJI开触点闭合，TBJV线圈得电励磁，TBJV闭触点断开，使开关合闸回路被切断，即开关闭锁在跳闸位置。

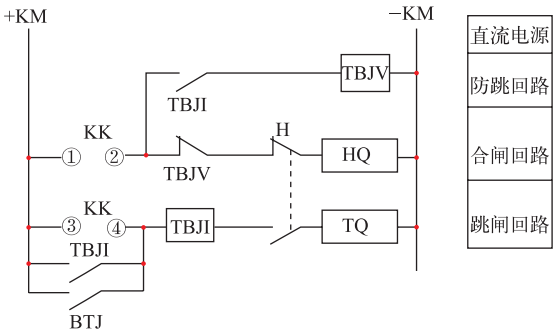

图1　串联防跳

2. 并联防跳的原理

并联防跳如图2所示，是将防跳继电器电压线圈并联在开关的合闸回路中。图2中，H是开关辅助接点，KCF是电压启动的防跳继电器，HQ是开关合闸

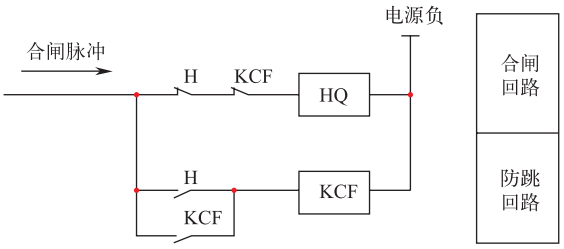

图2　并联防跳

线圈。合闸脉冲发出后，开关合闸，开关辅助开接点闭合、闭触点断开。若合闸脉冲持续存在，则防跳继电器KCF励磁，并通过KCF开触点闭合实现自保持，串联在合闸线圈回路的KCF闭触点断开，从而使开关闭锁在跳闸位置。

两种防跳回路的优缺点分析

保护装置防跳一般是串联防跳，开关机构防跳一般是并联防跳，二者原理不同，虽然都可以实现防跳功能，但各有优缺点。

1. 保护装置防跳的优缺点

保护装置防跳如图3所示，HWJ是合位监视继电器，TWJ是跳位监视继电器，HBJ是合闸保持继电器，上述元器件均在保护装置内。

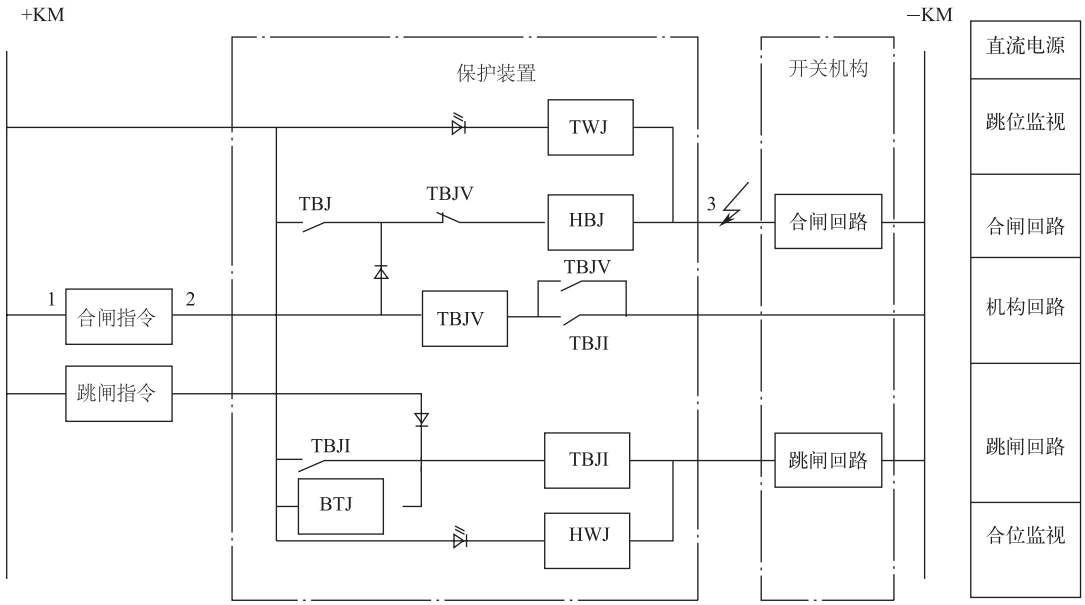

图3　保护装置防跳

优点是防跳继电器在保护装置或操作箱内，其运行环境较好，防跳继电器故障概率低；其次是正常合闸时，防跳继电器不会励磁，且动作次数少，其寿命不会缩短。

缺点是保护范围有局限性，仅能防止合闸触点误导通（如图3中“1”和“2”处接通）所造成的开关跳跃，无法避免因保护装置或操作箱以外的寄生回路或二次回路接地（如图3中的“3”处出现带正电的故障）所导致的跳跃，而且无法防止开关机械机构故障所导致的跳跃。

2. 开关机构防跳的优缺点

开关机构防跳如图4所示，防跳继电器KCF在开关机构内部。

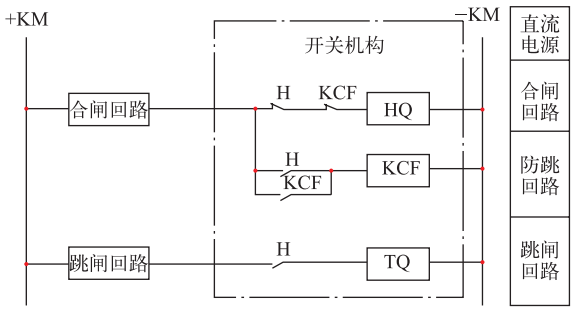

图4　开关机构防跳

优点是无论对于开关外部控制回路还是开关机构机械结构故障，都可以有效防止跳跃，其保护范围大，可靠性高。

缺点为：一是若合闸指令时间稍长，KCF就会励磁，其触点过于频繁地动作将导致防跳继电器寿

命缩短；二是防跳回路安装于开关机构箱中，不可避免地受开关振动影响，如出现铁心生锈、机构卡涩或开关辅助触点不可靠等情况，将影响防跳的可靠性。

防跳回路的配合问题分析

在防跳回路中，可能出现因元器件参数配合不当，造成开关状态指示错误、合闸回路不通或防跳回路不起作用等问题。

1. 跳位监视继电器TWJ和开关机构防跳继电器KCF参数配合问题分析

因TWJ线圈串联在合闸回路中，若TWJ线圈与KCF线圈参数匹配不当，使KCF始终处于励磁状态，导致当开关在合位时，开关的合位监视指示灯、跳位监视指示灯同时亮。为避免上述配合问题，可以采用以下两种解决方案。

1）将TWJ线圈与开关辅助闭触点串联后直接接至电源负极。该方法避免了上述配合问题，但缺点是跳位监视回路无法监视开关机构内合闸线圈回路是否完好。

2）将TWJ线圈与开关辅助闭触点串联后接入开关合闸回路，当开关合闸后闭触点断开，TWJ与防跳继电器不形成串联回路，配合问题也就不复存在。

2. 合闸保持继电器HBJ和开关机构防跳继电器KCF参数配合问题分析

由于合闸线圈为感性负载，在开关分闸时出现由合闸线圈产生的反向浪涌电压，同时出现触点拉弧，因此应由有一定灭弧能力的开关辅助接点完成灭弧。由于合闸指令瞬时返回，为避免合闸触点返回时断开合闸回路，合闸回路应具备自保持功能，以保证在自保持时间内，让开关辅助触点断开合闸回路并实现灭弧，所以HBJ应能在合闸时可靠启动。但如果合闸后HBJ无法返回，将造成KCF始终处于励磁状态，合闸回路一直被断开。为避免上述配合问题应注意以下方面：

1）合闸自保持继电器HBJ应能在与合闸线圈串联时可靠启动。中国华能集团公司《火力发电厂继电保护及安全自动装置监督标准》4.1.13.4.1规定，采用串联自保持时，接入跳合闸回路的自保持线圈的动作电流不应大于额定跳合闸电流的50%，线圈压降应小于额定值的5%。

2）合闸自保持继电器HBJ在与机构防跳继电器KCF串联时能可靠返回。为此，需要合理选择HBJ和KCF，使二者串联时回路电流小于HBJ的返回电流。为防止直流接地、交流串入直流等异常情况下长电缆电容充放电时导致HBJ动作使开关发生误合，故HBJ须采用电流型继电器，而电磁型电流继电器的返回系数一般应在0.85～0.9之间。

3. 防跳继电器动作时间和开关跳闸动作时间配合问题分析

在防跳回路中，可能有防跳继电器动作时间慢于开关跳闸时间的问题，即开关已跳闸但防跳继电器还没来得及启动，导致防跳功能不起作用的情况。

为避免上述问题，须保证防跳继电器的动作时间不大于跳闸脉冲发出至开关辅助触点切断跳闸回路的时间。根据《电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施实施要点》相关规定，电流启动的防跳继电器，其电流线圈额定电流的选择应与开关跳闸线圈的额定电流相配合，并保证动作的灵敏系数不小于2.0。

两种防跳的取舍问题分析

虽然保护装置防跳回路和开关机构防跳回路都能实现防跳，但因二者之间存在冲突，一般并不推荐在同一开关的控制回路中同时使用两套防跳。《继电保护设备标准化设计规范》《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》等均规定：宜优先采用开关机构的防跳。虽然要优先采用开关机构防跳，但是也并不意味着彻底放弃保护装置防跳功能。

例如，某厂3#炉A磨煤机6 kV开关自2020年以来发生多起合闸失败的事件。该开关采用的是开关机构本身的防跳，控制电源为110 V。对开关机械结构及综保装置检查和测试，均未发现任何异常。测得开关合闸时间46 ms，但合闸瞬间开关的线圈电压只有70 V左右，根据DL/T955—2016《继电保护和电网安全自动装置检验规程》5.3.7.5要求：开关合闸线圈的压降不小于额定值的90%。但该6 kV开关合闸线圈两端电压（70 V）明显低于90%额定电压（0.9×110 V=99 V）。

经检查发现该开关机构内的防跳继电器常闭接

点氧化，用万用表测量其阻值不稳定（0～1 kΩ之间跳变），防跳继电器常闭触点电阻偏高导致分压。因该触点阻值并不稳定，时大时小，故导致开关时而合闸正常时而又合闸失败。因防跳继电器暂无合适备品，故决定取消该开关机构防跳，采用保护装置防跳。自2021年4月更改防跳回路后，截至2021年12月未再有偶发性合闸失败现象发生。

考虑到保护装置防跳的存在依然具有重要意义，为了便于实现保护装置防跳和开关机构防跳的取舍和切换，可以采用在保护装置防跳继电器常闭触点两端设置跳线的方式。图5中，当保护装置防跳与开关防跳同时存在时，用跳线将a、b短接取消保护装置防跳；当保护装置与不带防跳的开关配合时，取消a、b之间的跳线以投入保护装置防跳。以确保在任何时候开关均只有一套防跳回路，既能发挥两种防跳回路的优势，又能满足规程要求。

防跳功能的试验方法

在一次系统停电状态下，可以采用如下方法验证防跳功能是否有效。

1）合位防跳。将开关置于合位，先按住合闸按钮再按住跳闸按钮。

2）分位防跳。将开关置于分位，先按住跳闸按钮再按住合闸按钮。

关于此二种防跳试验方法，首推分位防跳。一是试验过程中能够囊括合位防跳；二是能够发现防跳继电器的动作时间与开关动作时间不配合问题。为防止手按按钮的抖动导致接触不良，也可以采用导线短接的方法进行测试，但须防止拆接线过程中误碰造成的直流接地。

如果开关机构带弹簧储能，试验持续时间必须躲过弹簧储能周期时间。带储能的6 kV开关机构防跳回路如图5所示。

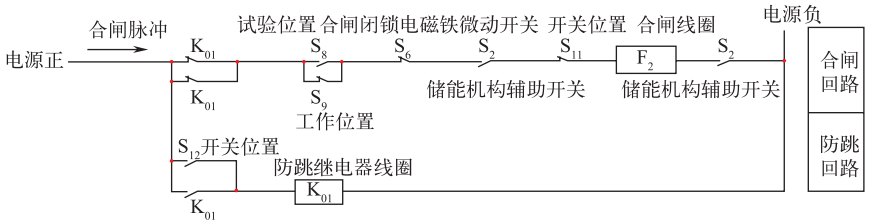

图5　带储能的6 kV开关防跳回路

图5中，K_{01}是防跳继电器，S_8是开关试验位置触点，S_9是开关工作位置触点，S_6是合闸闭锁电磁铁微动开关，S_2是储能机构辅助开关，S_{11}是开关位置常闭触点，F_2是开关合闸线圈。其工作原理是，当储能机构未储能时，S_2处于断开状态，当储能机构完成储能后S_2处于闭合状态。若储能机构电源处于投入状态，当开关合闸后，储能机构立即开始储能，储能完成后S_2由断开转为闭合。若未等S_2闭合就开始进行防跳试验，则开关分闸后因储能触点S_2未闭合导通而无法立即合闸，故无法区分是储能未完成导致开关不再合闸还是因为防跳发挥作用。因此试验持续时间必须大于弹簧储能周期，以躲过储能开关触点转换时间，才能证明防跳有效。

结束语

正确配置开关防跳对保障电力系统的安全稳定运行至关重要。对保护装置和开关机构本体的防跳功能和优缺点、防跳回路的配合、保护装置防跳和开关机构防跳的取舍问题、防跳回路的试验方法等问题进行分析和探讨，对于正确配置开关防跳具有重要的意义。工作人员在生产现场中碰到防跳回路的问题时，应根据保护装置和开关的设备型号和原理以及生产现场的运行要求进行优化和改进，使开关的运行和控制更安全和可靠。EA

（收稿日期：2021-11-30）

参考文献

[1] 电力工业部西北电力设计院．电力工程电气设计手册(电气二次部分)[M]．北京：中国电力出版社，1991：5-40

[2] 徐国政．高压断路器原理和应用[M]．北京：清华大学出版社，2000．

[3] 国家电力调度通信中心．电力系统继电保护实用技术问答[M]．2版．北京：中国电力出版社，2000．