

链式网络中区域备用电源自动投入的风险控制及策略优化

殷攀程, 刘鑫, 袁明哲, 郑茜元, 陈翔

(国网四川省电力公司成都供电公司, 四川 成都 610041)

摘要:链式供电网络结构大量存在于电力系统中,区域备自投装置凭借在链式网络中电源点故障时能快速恢复供电的优势在现场应用逐渐广泛。文中通过深入分析区域备自投与常规备自投装置在动作逻辑方面的差异,提出区域备自投装置在安装调试、整定计算、运行维护中的风险及相应的控制措施。针对目前区域备自投逻辑控制策略中仅采用母线失压和主供电电源线路无电流作为判据的问题,提出新增“本侧开关位置”“联络线对侧有压”两个逻辑判据,有效规避变电站轻负荷且母线PT断线情况下的误动作。最后,结合110 kV草池—十里坝链式网络搭建RTDS仿真系统,对电源点、联络线故障以及断路器偷跳、母线PT断线进行了仿真测试,结果表明,优化后的控制策略能准确定位故障区,快速合上备用电源,减少误动作发生,有效地提高链式网络的供电可靠性。

关键词:链式网络;区域备自投;PT断线;判据优化;RTDS仿真

中图分类号:TM 762 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2022)03-0089-06

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20220316

Risk Control and Strategy Optimization for Regional Automatic Input Device of Backup Power Supply in Chain Power Network

YIN Pancheng, LIU Xin, YUAN Mingzhe, ZHENG Qianyuan, CHEN Xiang

(State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: There are a large number of chain power supply networks existing in power system, where the regional automatic input device of backup power supply is widely used due to its advantage of quickly restoring power when the power supply fails. The principle and operation logic differences of regional automatic input device of backup power supply are analyzed, and the major risks and the corresponding control measures are pointed out for installation and commissioning, setting calculation and maintenance. Two extra logic criteria are also introduced, that is, the switch position of this side and the voltage of the other side of tie line, which can effectively avoid the possible malfunction behavior in the case of lightload and busbar PT breaking in substation. Finally, combined with the 110 kV Caochi-Shiliba chain power network, the RTDS simulation system is built. The simulation tests are carried out under different cases such as power supply point, tie line failure, switch trip without fault and busbar PT breaking. The results show that the regional automatic input device of backup power supply can locate the fault point accurately, switch to the backup power supply and restore power quickly, and optimize the busbar voltage loss criterion to avoid the malfunction behavior, which will improve the power supply reliability of chain power network.

Key words: chain power network; regional automatic input device of backup power supply; PT breaking; criteria optimization; RTDS simulation

0 引言

随着电力系统可靠性要求的提高,接线简单、可靠性高的备用电源自动投入(以下简称备自投)装置得到了广泛应用。备自投装置是指当电网出现故

障时,能够和其他保护相配合,迅速切除故障且将备用电源投入或将运行线路投入到备用电源上,以减少失电时间的装置。

常规备自投可以保证多电源变电站的可靠性,然而,在不少地区由于山地地形或系统短路容量的限制,往往系统中需要有开环点,从而形成链式网

络、辐射网络或者两个特征都具备的链式辐射网络。区域自备投凭借在链式结构串供变电站电源点故障时能快速恢复供电的优势逐渐广泛在现场应用,技术也日益成熟^[1-2]。

下面分析常规自备投的局限性,介绍了区域自备投的动作逻辑、工程运用中的风险和措施以及判据优化。同时结合 110 kV 草池—十里坝链式网络搭建了 RTDS 仿真系统,对典型的故障进行了测试分析。

1 常规自备投的局限性

传统常规自备投装置受到电网结构和方式的局限较大,通常适用于非开环站点变电站。在链式电网实际运行中,一旦出现故障,常规自备投难以准确识别当前运行方式、定位故障、联调远方自备投装置进行动作,难以及时投入备用电源,减少停电时间^[3-7]。

以图 1 链式网络为例,开环点设在 D 变电站处,仅可实现该站的进线自备投功能。如果此时在 AB 变电站中间发生 K1 故障,该条线路保护将动作,跳开 A1、B1 断路器,导致 B、C 变电站失电,而有常规自备投功能的 D 变电站检测到本站母线电压正常不会动作,D1 断路器不会动作,那么 B、C 变电站将继续失电,传统自备投装置只能在 D、E 变电站中间发生 K2 故障时,才能准确动作,跳开 E1 断路器和 D2 断路器,合闸 D1 断路器,恢复供电。从此案例可以得出,在电网以链式结构运行和发生故障时,传统自备投装置有概率不准确动作,难以恢复供电^[8]。

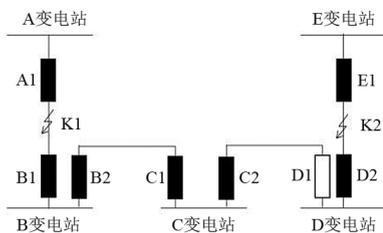


图 1 链式网络

2 区域自备投逻辑及风险控制

2.1 区域自备投动作逻辑

自备投装置逻辑原理见图 2。动作逻辑的控制条件包括:充电条件、闭锁条件和启动条件。当所有充电条件都得到满足,所有闭锁条件都不满足时,如

果有放电情况,自备投装置将无法动作;如果满足启动条件,即备用有压,母线无压,主供线路无流,则装置出口动作^[9-12]。

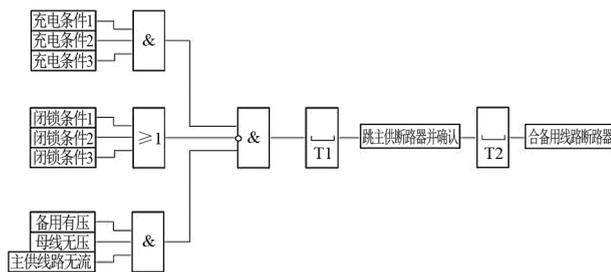


图 2 自备投装置动作逻辑

常规自备投分为 4 种工作方式:线路备投(包含自投方式 1 和方式 2)、分段(桥)自投(包含自投方式 3 和方式 4)。

而区域自备投的工作原理是根据本侧变电站和远方变电站的连接方式,识别电网的网架结构、运行方式以及开环点位置,当该区域内发生任何故障时,均能准确及时跳开失压线路或变电站的主供电源断路器,合上链式网络中开环点的备用电源,恢复供电。以常见的某区域自备投装置为例,其工作方式有 6 种,除上述的自投方式 1~4 外,还有联络线开环点处备投(方式 5)和联络线合环点处无压跳闸(方式 6)两种,对应的系统运行方式如图 3 所示。

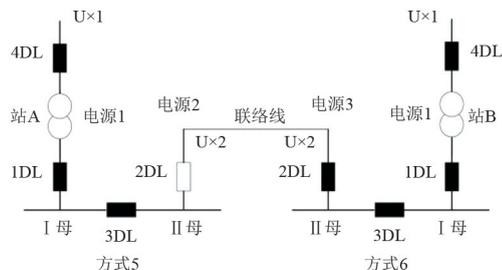


图 3 某区域自备投运行方式(方式 5、方式 6)

方式 5 的充电条件为:

- 1) I 母、II 母均三相有压, U_{x2} 有压或者通道正常时,对侧站 II 母有压并且对侧 2DL 断路器在合位;
- 2) 1DL 断路器在合位, 2DL 断路器在分位, 3DL 断路器在合位, 经自备投充电时间后充电完成。

其动作过程为:当充电完成后,2DL 断路器所在的 II 母有压,通道正常并且对侧站 II 母无压, U_{x2} 无压,收到“对侧启动远方自投”信号,则自备投启动,经整定延时后合 2DL 断路器。

方式 6 的充电条件为:

- 1) I 母、II 母均三相有压;
- 2) 1DL、2DL、3DL 断路器在合位,经自备投充电

时间后充电完成。

其动作过程为:

1) I母、II母均无压, I1无流, 4DL断路器或1DL断路器在分位。

2) I母、II母均无压(三线电压均小于无压启动定值), I1无流, 4DL、1DL断路器均在合位并且 $U \times 1$ 无压。

满足上述两个条件中任一条件, 则启动, 经延时跳开1DL断路器。确认1DL断路器跳开, 并且I母、II母均无压后, 给对侧发启动远方自投信号。

3) 若分段断路器偷跳, 即3DL断路器跳开, II母无压, 则启动, 经延时跟跳分段3DL断路器。确认3DL跳开后且II母无压, 给对侧发启动远方自投信号。

2.2 区域备自投工程运用中的风险及控制措施

区域备自投相较于常规备自投, 有更复杂的逻辑原理, 其风险存在于安装调试、整定计算、运行维护3个方面, 需要对其重点研究分析, 实现区域备自投装置的可靠运行^[13-14]。

2.2.1 安装调试风险

1) 区域备自投装置可以接合后位置继电器(KKJ), 也可以接手跳继电器(STJ), 但如果采用后者的接线方式, 手分本站断路器时, 本站备自投装置不会对侧发送“闭锁远方备自投”信号, 可能会造成对侧站备自投误动作。因此需要对侧站提前退出备自投相应功能, 这既增加了运行维护人员工作量, 又增加了安全风险, 因此建议两侧都采用接入KKJ的方式。

2) 现场进线电源PT二次额定值可能不同, 如进线1为57.7V, 进线2为100V。若装置有压定值按线电压整定且可以根据PT二次额定电压自适应调整, 则进线电压按实际接线即可; 若无法自适应调整, 则应该改变PT抽头, 将2条进线电压接为一致。

3) 普通备自投联切小电源是通过跳主供电源的备用出口进行联切。但区域备自投在方式4充电时(如图4所示), 当满足II母无压, I2无流, I母有压, 2DL断路器在合位并且 $U \times 2$ 无压时, 同时收到对侧站“对侧启动远方自投”开入, 则本站不会动作跳2DL断路器, 因而也不联切小电源。此时区域备自投会直接动作合3DL断路器, 造成小电源与系统电源的非同期合闸, 所以安装调试时需要启用“联跳I母开关出口”“联跳II母开关出口”功能, 完善

相应的接线, 保证一旦有母线失压的情况, 立即联切小电源开关, 避免非同期合闸。

4) 备自投装置投运前需要进行完整的带断路器传动试验, 常规备自投传动时可以通过遥跳对侧站主供电源的方式进行。但是如果在区域备自投中传动时如果遥跳联络线对侧断路器, 则对侧站会向本站发送“闭锁远方备自投”信号从而导致区域备自投动作闭锁, 传动试验失败。因此在制定区域备自投装置带断路器传动方案时应注意方案的正确性和合理性, 尽量减少传动次数, 减轻对一次设备尤其是变压器的冲击。

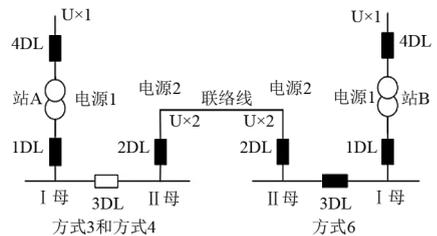


图4 某区域备自投工作方式(方式3、方式4、方式6)

2.2.2 整定计算风险

1) 电压取值整定。区域备自投装置需要按照线电压值对其有压定值、无压启动定值、无压合闸定值进行整定^[13]。

2) 跳闸时间整定。装置要实现远方备自投功能, 则区域备自投方式6中跳主供电源时间应小于方式2、方式4中的跳闸时间, 并考虑一定裕度。保证对侧站失压时通过远方备自投逻辑直接合上开环点断路器, 让失压变电站迅速恢复供电。若不区分区域备自投不同方式的动作时间, 就地备自投可能先于远方备自投动作, 链式网络中的变电站发生故障时可能会长时间失压。

3) 合闸后加速定值整定。合闸后加速逻辑是为了让备自投合闸于故障时能加速跳闸。对于广泛采用进线断路器三相电流进行判断的装置, 其后加速电流整定值应分情况考虑。

方式4中合3DL断路器于故障时, 由于I母有压, 电源1后加速逻辑(如图5所示)中复压闭锁功能生效, 其过流加速段定值可以整定为较小值。方式5中合2DL断路器于故障时, 由于II母无压, 电源2后加速逻辑中复压闭锁功能失效, 同时考虑躲过对侧站两台变压器励磁涌流的影响, 其过流加速段定值可以整定值不能太小。

由于过流加速段定值一般只有一个值, 因此在

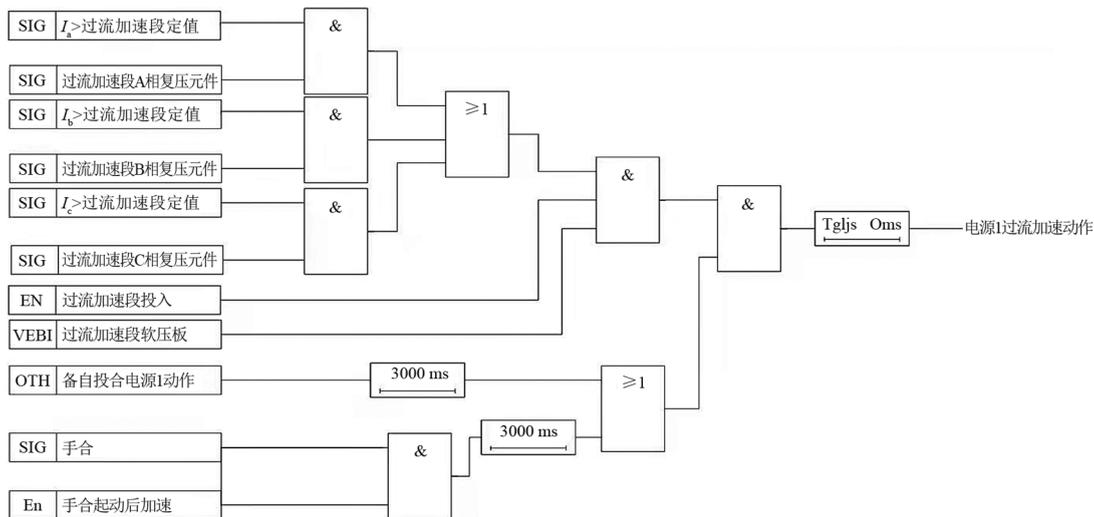


图 5 合闸后加速逻辑

该定值整定时需要进行综合考虑,尽量减小合闸后加速误动或拒动的风险。

2.2.3 运行维护风险

若本站区域备自投装置接 STJ,本站进行倒闸操作前,变电运行维护人员应将侧对侧变电站装置闭锁备自投方式 2、方式 4 的功能压板投入,防止本站倒闸时对侧站区域备自投误跳运行断路器,误合备用电源或备用分段断路器,造成继电保护事故。

3 区域备自投逻辑控制策略优化

3.1 逻辑控制策略的不足

区域备自投动作逻辑中将母线无压且主供线路无流作为判断变电站失电及备自投装置动作的判据。变电站投运初期时负荷较轻,存在线路电流小于无流定值的情况。如果发生母线 PT 断线,区域备自投子站会将母线无压标志上送到区域备自投主站,主站接收到母线无压和线路无流标志后,根据逻辑控制策略的计算会认为这些变电站失电,从而导致区域备自投误动作。

3.2 逻辑控制策略的优化

针对轻负荷运行时区域备自投可能误动作的问题,通过在逻辑控制策略中加入“本侧开关位置”“联络线对侧有压”两个逻辑判据,对区域备自投逻辑控制策略进行了优化。具体逻辑控制策略如下:

母线失压动作判据:1) 母线无压、主供线路无流、主供线路无压并且主供线路断路器在合位;2) 母线无压、主供线路无流、主供线路断路器在分

位。满足以上任一条件,区域备自投认为母线失压,区域备自投跳失压变电站的主供电源,合备用的开环点断路器^[15]。

母线失压闭锁判据:开环点不在联络线断路器上,且联络线本侧母线无压、联络线无流、联络线本侧断路器合位和对侧有压。此时认为母线 PT 断线,不是母线失压,区域备自投闭锁。

优化后的动作逻辑如图 6 所示(红框内为增加逻辑)。

4 案例分析

基于链式结构的区域备自投,对成都 110 kV 草池—十里坝变电站链式供电网搭建 RTDS 仿真环境进行案例分析^[16-17]。

如图 7 所示,仿真试验系统依照实际情况共设置 4 个变电站:220 kV 海鸣站和棉丰站、110 kV 草池站和十里坝站。其中海鸣站和棉丰站为电源点,此次仿真未配置装置,默认其一直有压。链式供电结构的草十线断路器 152 为开环点,110 kV 十里坝站 10 kV II 母有小电源接入。

仿真主要测试当系统在 k1、k2 和 k3 处故障,发生海草线、草十线、棉十线线路断路器偷跳以及在判据优化前后发生母线 PT 断线时,区域备自投的相应动作行为。此种运行方式下的测试结果见表 1。

RTDS 仿真测试结果表明:

1) 区域备自投可以正确定位故障点,快速传输信号至对侧变电站,跳主供电源,合备用电源,快速恢复供电;

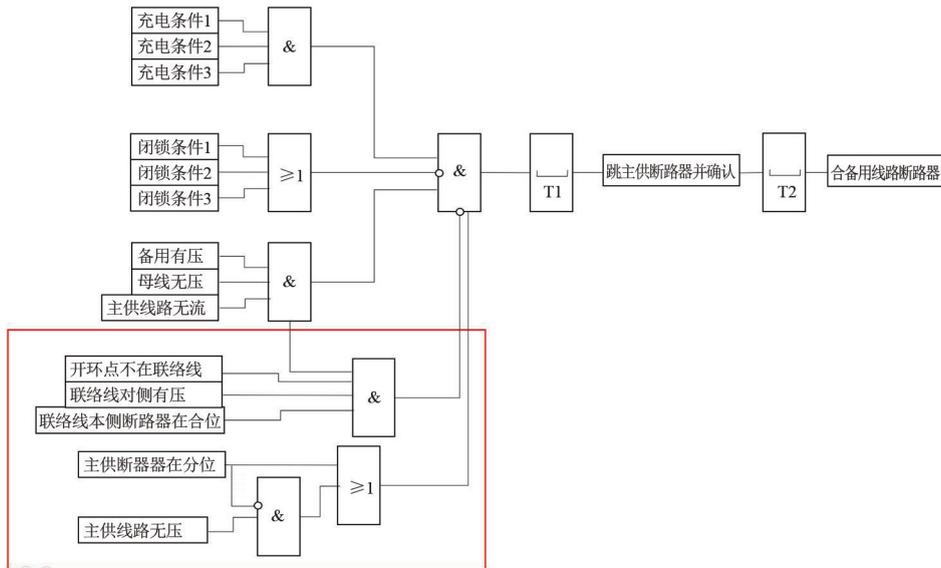


图 6 优化后备自投动作逻辑

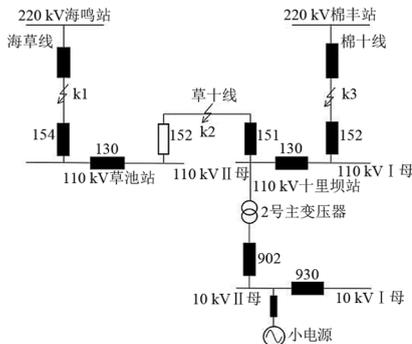


图 7 成都 110 kV 草池—十里坝变电站链式供电网 RTDS 仿真系统

表 1 RTDS 仿真测试结果

故障位置	动作行为
k1 故障	跳海草线断路器 154, 合草十线断路器 152
k2 故障	放电
k3 故障	跳棉十线断路器 152, 合草十线断路器 152, 联切小电源
海草线断路器 154 偷跳	跟跳海草线断路器 154, 合草十线断路器 152
草十线断路器 151 偷跳	放电
棉十线断路器 152 偷跳	跳棉十线断路器 152, 合草十线断路器 152, 联切小电源
十里坝站 I 段母线轻载 PT 断线(优化前)	误动作, 跳棉十线断路器 152, 合草十线断路器 152, 联切小电源
十里坝站 I 段母线轻载 PT 断线(优化后)	放电
十里坝站 II 段母线轻载 PT 断线(优化前)	误动作, 跳草十线断路器 151
十里坝站 II 段母线轻载 PT 断线(优化后)	放电

非同期合闸;

3) 判据优化有效地规避了变电站轻负荷运行时, 母线 PT 断线导致的区域备自投误动作。

5 结 论

在链式供电结构中, 常规备自投无法适应供电可靠性的要求, 存在很大的局限性。区域备自投装置的引入较好地解决了这一问题, 它可以在链式网络故障时准确地合上开环点断路器, 快速恢复供电。所提出区域备自投装置在工程运用中存在的三大风险和相应的控制措施, 对工程实践有较强的指导意义, 同时优化区域备自投的逻辑控制策略解决了其误动的可能性, 增强了区域电网的供电可靠性。

参考文献

[1] 侯有韬. 区域性备自投的控制方法研究[J]. 云南电力技术, 2018(4): 41-45.

[2] 孙镜轩, 尧长国, 祁有年. 基于链式网络的区域备自投控制系统分析运用[J]. 电力学报, 2021, 36(2): 139-148.

[3] 金震, 董凯达, 陈军, 等. 基于实时信息的区域备自投研究与实现[J]. 中国电力, 2016, 49(12): 76-80.

[4] 林国松, 陆千毅, 臧怡宁. 基于实时信息的区域备自投装置自动投退控制系统研究[J]. 浙江电力, 2020, 39(9): 20-25.

[5] 高贵云. 110 kV 内桥接线备自投装置改进[J]. 中国电力, 2011, 44(12): 89-92.

[6] 周伊琳, 孙建伟, 陈炯聪. 区域网络备自投及其测试关

2) 区域备自投可通过“联跳 I 母开关出口”“联跳 II 母开关出口”功能及时联切馈线小电源, 避免

