

Protection Setting of Voltage-Time Column Switch

WU Peng*, HE Hongliu, ZHANG Ruifeng, FU Yu, XIAO Xiaobing, ZHENG Youzhuo

(Electric power Research Institute of Guizhou Power Grid Co. Ltd., Guiyang Guizhou 550002, China)

Abstract: With the continuous expansion of the distribution automation construction scale, it is necessary to plan the feeder automation protection setting scheme reasonably to improve the power supply reliability of the distribution network. Therefore, this paper explored the technical means and automatic configuration scheme of the voltage time type feeder automation column section switch, and analyzed the protection setting scheme and calculation method of the voltage time type column section switch by using the reclosing sequence diagram. The result of case analysis shows that the protection setting scheme of the voltage time type feeder automation column section switch proposed in this paper is reasonable and effective, which has important guiding significance for engineering application.

Key words: feeder automation; local control type; protection setting; reclosing; sectional switch

EEACC: 8110D

doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2021.01.032

电压-时间型柱上分段开关的保护整定

吴鹏*, 何洪流, 张锐锋, 付宇, 肖小兵, 郑友卓

(贵州电网有限责任公司电力科学研究院, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 随着配电自动化建设规模的不断扩大, 需要对馈线自动化保护整定方案进行合理规划, 以提升配电网的供电可靠性。为此, 对电压-时间型馈线自动化柱上分段开关的技术手段和自动化配置方案进行探究, 应用重合闸时序图对电压-时间型柱上分段开关的保护整定方案及计算方法进行分析。案例分析结果表明, 本文所提电压-时间型馈线自动化柱上分段开关的保护整定方案合理有效, 对工程应用具有重要指导意义。

关键词: 馈线自动化; 就地控制型; 保护整定; 重合闸; 分段开关

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2021)01-0168-05

馈线自动化作为配电自动化的重要组成部分, 对提高供电可靠性、降损节能、改善供电质量起着至关重要的作用^[1-4]。

目前, 国内外研究学者在馈线自动化相关领域已有大量研究基础。文献[5-6]对馈线自动化、网络架构与一次设备的关联特性进行分析, 对常见配网接线方式与馈线自动化控制模式做出介绍, 探讨了实现配网馈线自动化的关键技术, 论述了具有电压-时间型分段开关以及重合闸装置馈线自动化系统的基本组成结构, 基本原理以及参数配置情况, 为馈线自动化研究打下理论技术; 文献[7]提出了一种新型 10 kV 馈线自动化处理方法, 通过增加线路上断路器和负荷开关的数量对主干线进行分段, 并与智能控制装置进行协作, 以降低出线断路器的跳闸率, 实现对故障区域的自动切除, 有效缩短了故障

查找时间; 文献[8]提出了一种涵盖馈线自动化全生命周期的递进式测试策略, 开发出了一套完整的测试工具, 工程应用结果充分证明其在持续确保启动成功率以及动作正确率上的有效性; 文献[9]将馈线自动化系统分成 3 个部分, 提出一种基于自治系统概念的实现方式, 通过把功能下放至子站层, 各子站间相互独立、相互协作来一起实现故障的监测、隔离以及恢复功能, 极大程度降低了系统配置的业任务量, 且具有动态响应的优越性; 文献[10]应用遗传算法提出了一种快速故障定位的馈线自动化处理方法, 基于混合型分布式终端装置, 应用叠加搜索法查找联络开关的位置, 以完成对故障区域的快速定位, 仿真测试结果证明了该控制方法在实现快速故障查找、隔离以及恢复上的有效性; 文献[11]提出了一种新型就地馈线自动化方法, 通过将主干线配

置为根据拓扑结构进行故障范围确定与切除的方式,分支线配置为就地分界保护以及出口断路器相互协作的方式,给出了相应产品的设计方案,工程应用情况证明了该方案的可靠性和准确性。

上述研究文献从原理分析以及改进控制技术方面对馈线自动化展开研究,对配电网就地控制型馈线自动化保护整定配合方面的相关研究较少,而已有保护整定方案不能满足就地型馈线自动化技术的发展要求。为此,本文对出线断路器与馈线终端的保护配合方案展开重点研究,分析电压-时间型馈线自动化柱上分段开关所应用的主要技术手段和自动化配置方案,应用重合闸时序图对电压-时间型柱上分段开关的保护整定方案及计算方法进行分析。

1 电压-时间型馈线自动化分段开关

电压-时间型柱上自动化负荷开关,又叫做电压型柱上开关,为具有自动分闸、自动合闸及条件闭锁特性的自动化成套设备,其能够在不依赖主站控制和远程通信实现故障的自动隔离功能,主要组成部分有负荷开关本体、电压互感器以及馈线自动化终端,其结构示意图如图 1 所示^[12]。

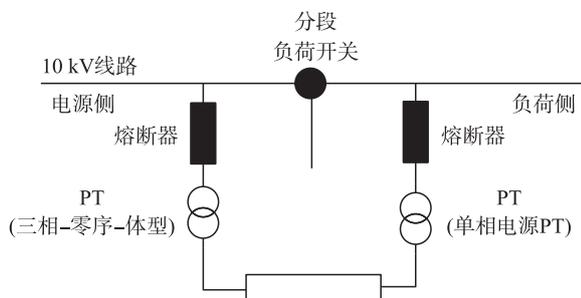


图 1 电压柱上负荷开关结构图

电压型柱上开关通过其馈线终端预先设定好的电压-时间逻辑对线路运行情况进行检测,进而对动作逻辑进行整定,当线路两侧均断电时,则启动自动分闸功能;当线路一侧来电时,则启动延时合闸功能。电压型柱上开关与上一级线路的断路器保护以及重合闸相互协作完成故障区段的快速隔离以及非故障区域的正常供电^[13]。通常,将电压型柱上开关分成分段用柱上开关以及联络用柱上开关两种,即常闭型柱上开关和常开型柱上开关。

本文对分段用柱上开关的保护整定方法进行研究,其主要技术参数包括^[14]:

(1) 来电合闸时间,又称为 X 时限,是指分段开关在分闸状态下,单侧检测到来电后合闸的延时时间。若来电后,在 X 时限内失压,则保持分闸且反

向闭锁合闸。

(2) 合闸确认时间,又称为 Y 时限,是指开关上电合闸后,在该时限内失压,则启动自动分闸功能并将该开关正向闭锁合闸。

(3) 分闸延时时间,又称为 Z 时限,是指线路失电后到启动开关分闸功能的延时时间。

以图 2 所示的配电线路为例,对故障隔离过程进行解析。CB1 为具有二次重合闸功能的出线断路器,FS1、FS2、FS3、FS4 均为电压型柱上分段开关,LS 为电压型柱上联络开关,A、B、C、D、E 为断路器与分段开关、分段开关和分段开关以及分段开关与联络开关之间的连接线路。当线路处于正常运行工况时,联络开关 LS 处于分闸位置,变电站出线断路器 CB1 以及各分段开关 FS1、FS2、FS3 均处于合闸位置,联络开关左侧电路由 CB1 供电,各段线路供电正常。假设在 FS2、FS3 之间的 C 段线路发生永久性故障,则故障的隔离过程如下:

(1) 当 C 段线路发生接地短路故障时,断路器 CB1 首先发生跳闸,紧接着分段开关 FS1、FS2、FS3 因线路断电而启动自动分闸,此时联络开关 LS 进行失压计时;

(2) 当 CB1 启动第一次重合闸后,CB1 至 FS1 段线路恢复供电,分段开关 FS1 开始合闸延时;

(3) 当分段开关 FS1 合闸延时时限达到,则 FS1

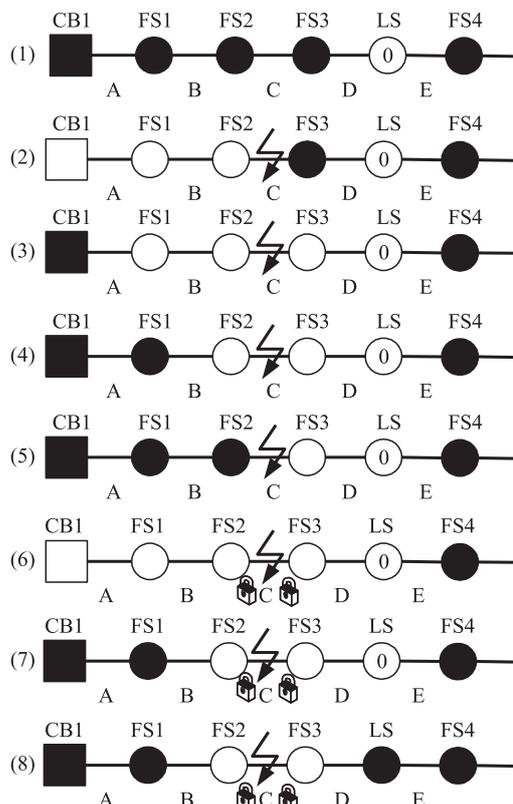


图 2 故障隔离过程解析

开关闭合,FS1 至 FS2 段线路恢复这翰长供电,分段开关 FS2 启动合闸延时;

(4)当分段开关 FS2 的 X 时限达到,则 FS2 开关闭合,因为 FS2 合于线路永久性故障,CB1 再次保护跳闸;

(5)CB1 再次保护跳闸后,线路失电后分段开关 FS1、FS2、FS3 再次断开,由于开关 FS2、FS3 在合闸后的 Y 时限内再次失压,分段开关 FS2 进入正向闭锁,分段开关 FS3 进入反向闭锁;

(6)CB1 启动第二次重合闸,分段开关 FS1 经 X 时限后开关闭合,CB1 至 FS2 段线路恢复供电,分段开关 FS2 闭锁合闸;

(7)LS 失压合闸延时时限达到,开关闭合,FS3 至 LS 段线路的转供电成功,FS3 也进入合闸闭锁状态。整条线路的故障隔离以及非故障区段的恢复供电过程已实现。

电压-时间型馈线自动化作为一种常见的就地控制型自动化控制方案,被广泛用于不同的配电网中^[15-17]。如图 3 所示,为电压-时间型馈线自动化配置方案的典型接线。

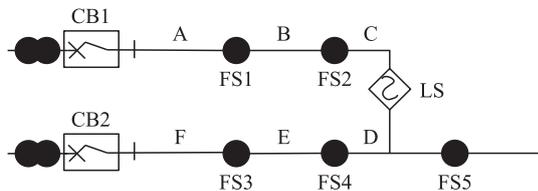


图 3 馈线自动化配置方案

2 电压-时间型柱上分段开关保护的整定计算

电压型分段开关在正常运行工况在处于合闸状态,当检测到线路两侧失压,则自动分闸;当检测到线路一侧得电时,启动延时合闸功能,这一系列的逻辑判断,需要对 X 时限、Y 时限以及 Z 时限进行整定。

2.1 X 时限的整定计算

柱上分段开关的 X 时限应与出线断路器的故障切除时间进行协同整定,预防上一级线路负荷开关合于故障后,本线路负荷开关也误合闸等情况的发生。此外,X 时限需要比上一级线路负荷开关的 Y 时限大,则:

$$T_x \geq T'_L + \Delta T \quad (1)$$

$$T_x \geq T_y \quad (2)$$

式中: T'_L 为线路断路器保护最末段动作时间。综合考虑上述情况,在本中,X 时限最小值取 7 s。

基于图 2 能够看出,断路器需要经过两次重合闸才能实现对故障区段的隔离以及对非故障区段的

恢复供电。但是,部分线路的断路器保护只能进行一次重合闸,这时就需要延长下一级线路与之相邻分段开关的 X 时限来达成二次重合闸的目的^[18]。

2.1.1 具备二次重合闸功能的工况

当上一级断路器具备二次重合闸功能时,下一级线路与之相邻的柱上分段开关 X 时限能够设置为最小值 7 s,对于其余各级柱上分段开关以及联络开关就按照配电网结构做出整定即可:

(1)若只有主干线上装设有电压型柱上开关,而分支线上未装设时,各柱上分段开关的 X 时限均能够设置为 7 s。

(2)若主干线和分支线均配备了电压型柱上开关时,各开关的 X 时限取 7 s 的整数倍,并确保上级断路器第一次重合后,在故障处理的任意时刻有且仅有 1 个分段开关合闸,以便对故障进行精准定位。

2.1.2 只具备一次重合闸功能的工况

若断路器只能进行一次重合闸时,则避开断路器的“弹簧储能时间+重合闸充电时间”,延长下一级线路与断路器相邻分段开关的 X 时限,从而使柱上开关在误合闸于永久性故障的情况下,上一级线路出线断路器跳闸后可以再次重合,以实现故障区段进行隔离以及对非故障区段进行恢复供电的目的。

此外,下一级线路与断路器相邻柱上分段开关的 X 时限需要符合上一级线路断路器的额定操作顺序要求,即“分-0.3 s-合分-t'-合分”中间歇时间 t'的要求。

2.2 Y 时限的整定计算

柱上分段开关的 Y 时限同样应与出线断路器的故障切除时间进行协同整定,以保证当本线路负荷开关在合闸于故障后,能够可靠启动闭锁合闸逻辑,即 Y 时限应超过上一级线路断路器的保护最长动作时间,同时小于下一级线路柱上开关的 X 时限,通常 Y 时限取 5 s。

2.3 Z 时限的整定计算

柱上分段开关的 Z 时限不仅需要与上一级线路的重合闸时间进行协同整定,预防出现上一级线路在重合闸期间负荷开关分闸的情况,大大减少了停电时长;此外,Z 时限还应与本级线路断路器的首次重合闸时间进行配合整定,保证在重合闸前柱上开关处于分闸位置,即:

$$T_z \geq T'_L + T'_{CH} + \Delta T \quad (3)$$

$$T_z \leq T_{CH} \quad (4)$$

式中: T'_L 为上级电源线路保护最末段动作时间; T'_{CH}

为上级电源线路重合闸动作时间; T_{CH1} 为本级线路断路器首次重合闸时间。通常,将柱上分段开关的 Z 时设定为 3.5 s。

3 案例分析

由第 2 节的分析可以看出,柱上分段开关的 X 时限是由上级线路断路器的重合闸特性和配电网网架结构所共同决定的,因此分 3 种情况进行分析。

(1) 仅主干线配置了电压型柱上开关

如图 4 所示,3 个柱上分段开关均安装在主干线线路上,其中,出线断路器 CB1 具备二次重合闸功能,因此将各分段开关的 X 时限均设定为 7 s。

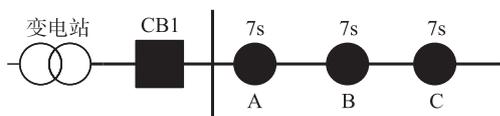


图 4 电压型柱上开关只配置在主干线上

(2) 主干线和分支线均配置了柱上开关

如图 5 所示,4 个柱上分段开关 A、B、C、D 装设在配电路主干线上,3 个柱上分段开关 E、F、G 装设在配电路分支线上,其中,出线断路器 CB1 具备二次重合闸功能。

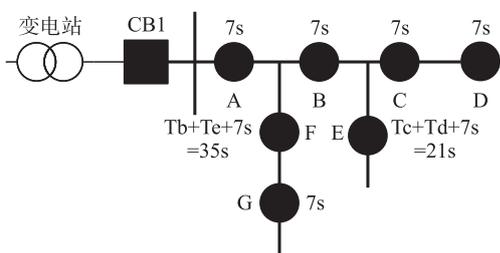


图 5 电压型柱上开关配置在主干线和分支线上

如第 2 节所述,对于主干线和分支线均配备了电压型柱上开关的工况,需明确故障处理的任意时刻有且仅有 1 个分段开关合闸。本文基于深度优先搜索法对各分段进行顺序合闸,即对先合闸支路进行深入搜索,直到无法再深入搜索为止。假定主干线支路开关先合闸,且开关合闸整定时限为 7 s,而对于其他支路则需待主干线支路所有开关合闸完毕后才能合闸操作,具体的整定过程如下:

首先,先搜索线路的主干线支路,由于第一级分段开关 A 处于主干线路上,因此分段开关 A 的 X 时限为 7 s;根据深度优先搜索原则,沿着支路 A 的下一级为 B 支路和 F 支路,由于 B 开关处于主干线支路上,则假定 B 开关优先合闸,将其 X 时限设置为 7 s;同理,开关 B 的下一级线路为 C 支路和 E 支路,假定主干线支路上的 C 开关优先合闸,那么将开关 C 的 X 时限也设置为 7 s;进一步地,得到开关 D 的 X 时限为

7 s,至此,主干线支路已全部搜索完毕;

接着,搜索线路的分支干线支路,当 C 支路全部合闸完成后,E 支路开始合闸,C 支路包含有开关 C 和开关 D,因此其合闸时间和为 14 s,由此推断得到开关 E 的 X 时限为 21 s;同理,F 支路在等待 B 支路全部合闸完成后进行合闸,B 支路的时间和为 28 s,则开关 F 的 X 时限应为 35 s;

最后,只剩下分支干线支路的开关 G,将开关 G 的 X 时限设置为 7 s。至此,各开关的合闸顺序依次设置完成,即:A、B、C、D、E、F、G。

(3) 出线断路器只进行一次重合闸

若出线断路器 CB1 只进行一次重合闸时,则延长下一级线路与其相邻分段开关的 X 时限,同时,下一级线路与断路器相邻柱上分段开关的 X 时限需要符合上一级线路断路器的额定操作顺序要求,即“分-0.3 s-合分-t'-合分”中间歇时间 t' 的要求。假设图 6 中,断路器 CB1 只能进行一次重合闸,若柱上分段开关 A 装设有拨码式馈线终端,那么将 X 时限设定为最大值 42 s,对于剩余的柱上分段开关 X 时限的设定就与前述设定方式一致即可。

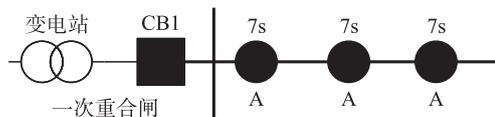


图 6 出线断路器只投入一次重合闸

4 小结

对馈线自动化柱上开关进行合理保护整定,能够充分利用馈线自动化的作用,对提高配电网供电可靠性具有重要意义。本文对馈线自动化的故障隔离过程及保护配合要求进行分析,系统全面地给出了电压型柱上开关的馈线自动化整定方案。基于深度搜索原则,通过合理地设置柱上分段开关的 X 时限,保障线路断路器在进行重合闸恢复供电期间,各柱上分段开关能够顺序合闸,即确保在任何时刻由且仅有一台柱上开关在进行合闸,这样才能实现对故障的准确定位。案例分析结果表明,本文所提保护整定方案能够适用于电压-时间型馈线自动化建设,可有效减少停电时间,提高配电网供电水平。

参考文献:

- [1] 徐丙垠. 馈线自动化技术[J]. 电网技术, 1998, 22(3): 54-60.
- [2] Civanlar S, Grainger J J, Yin H, et al. Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1988, 3(3): 1217-1223.
- [3] 杜景远, 许明, 王晖, 等. 电压-时间型馈线自动化及其与变电站一次重合闸的配合研究[C]//山东电机工程学会 2012 年度

- 学术年会,山东济南,2012:216.
- [4] 李克文,张大立,吴丽芳,等. 配电线路故障指示器检测系统的研发[J]. 广西电力,2015,38(1):20-23.
- [5] 张明明. 电压-时间型分段负荷开关配合变电站重合闸的馈线自动化系统原理及参数设置[J]. 装备制造技术,2015(11):241-242.
- [6] 林功平. 配电网馈线自动化技术及其应用[J]. 电力系统自动化,1998(4):64-68.
- [7] 张延辉,郑栋梁,熊伟. 10 kV 馈线自动化解决方案探讨[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(16):150-152,156.
- [8] 嵇文路,张明,凌万水,等. 馈线自动化功能的递进式测试方法及可靠性保障机制研究[J]. 供用电,2015(3):42-46.
- [9] 王照,马文晓,高飞. 基于多代理技术的分布式馈线自动化实现方法[J]. 电力系统自动化,2010(6):54-57.
- [10] 黎锦棠. 基于混合型分布式终端配置的智能馈线自动化控制研究[J]. 能源与环保,2017(12):259-262.
- [11] 张维,张喜平,郭上华,等. 一种新型的电缆网就地馈线自动化方案及应用[J]. 供用电,2015,32(4):22-28.
- [12] 柳影. 广西馈线自动化保护整定方法研究[D]. 南宁:广西大学,2016.
- [13] 林立鹏,陈昊,张杨. 基于智能故障指示器的架空配电网监控管理系统[J]. 电气应用,2013,32(17):22-25,33.
- [14] 刘健,负保记,崔琪,等. 一种快速自愈的分布智能馈线自动化系统[J]. 电力系统自动化,2010,34(10):62-66.
- [15] 杜健文. 多联络配电网分布式智能馈线自动化系统研究[D]. 济南:山东大学,2015.
- [16] 王泽良. 基于面保护原理馈线自动化的研究[D]. 西安:西安科技大学,2011.
- [17] 李兆拓,杨波,胡凯帆,等. 智能分布式馈线自动化系统在多联络配电网中的应用研究[J]. 电气应用,2018,37(1):40-46.
- [18] 邹大云,陈根军,徐晓亮,等. 主动配电网自动电压控制系统架构设计[J]. 电力工程技术,2019,38(4):42-47.



吴 鹏(1987—),男,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:电力系统自动化专业,wupeng56lu@163.com。