

# 农村配电网 10 kV 线路重合闸 成功率的影响因素研究

朱丽嫚<sup>1</sup> 高艺文<sup>2</sup> 李 熠<sup>3</sup>

1. 国网成都供电公司, 四川 成都 610041;
2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041;
3. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041)

**摘要:**重合闸是电力系统中提高供电可靠性的一种有效手段。目前,大部分的农村配电网 10 kV 线路都装设有重合闸装置,然而实际运行时重合闸成功率普遍不高。针对此问题,首先总结了重合闸时间整定原则,然后对影响农村配电网 10 kV 线路重合闸成功率的相关因素进行了详细的分析,最后依据短时停电的定义和要求,梳理了几点建议,为电力企业在提高农村配电网 10 kV 线路重合闸成功率方面提供参考。

**关键词:**农村配电网;重合闸;影响因素;成功率

中图分类号:TM727.1 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2018)06-0005-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.06.002

## Research on Factors Influencing Reclosing Success Rate of 10 kV Lines in Rural Distribution Network

Zhu Liman<sup>1</sup>, Gao Yiwen<sup>2</sup>, Li Yi<sup>3</sup>

- (1. State Grid Sichuan Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China;
2. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;
3. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** Reclosing is the effective way to improve the reliability of power supply in power system. At present, most of 10 kV lines in rural distribution network are equipped with reclosing devices, but the success rate of reclosing is generally not high in actual operation. Aiming at this problem, firstly the reclosing time setting principle is summarized, and then the related factors influencing the success rate of 10 kV line reclosing in rural distribution network are analyzed in detail. Finally based on the definition and requirements of short-time power outages, some suggestions are put forward, which provides a reference for improving the success rate of 10 kV line reclosing in rural distribution network.

**Key words:** rural distribution network; reclosing; influencing factors; success rate

## 0 引言

目前,农村配电网发生的故障主要有两类:永久性故障和瞬时性故障。其中瞬时性故障约占故障总数的80%以上。当线路发生瞬时故障时,断路器通过过流保护会跳闸,线路处于停电状态,如果线路未装设重合闸装置,线路不再送电,大大影响了供电可靠性。因此重合闸对配电网的持续供电和稳定运行起到重要的作用。

目前,影响重合闸成功率的研究多针对更高电压等级的输电网<sup>[1-6]</sup>,对农村配电网领域的研究较少。现在大部分的农村配电网普遍装设了重合闸装置,但重合成功率却不高。因此有必要对农村配电网重合闸成功率的影响因素进行深入分析和研究。

首先总结了10 kV线路重合闸整定原则及相关规定,然后对影响农村配电网10 kV线路重合闸成功率的相关因素进行了详细的分析,最后依据短时停电的定义和要求,梳理了几点建议,为电力企业在提高农村配电网10 kV线路重合闸成功率方面提供参考。

# 1 重合闸整定原则及相关规定

## 1.1 《3 ~ 110 kV 电网继电保护装置运行整定规程》规定

《3 ~ 110 kV 电网继电保护装置运行整定规程》DL/T 584 - 2007<sup>[7]</sup>对单电源线路的三相重合闸整定时间进行了规定。

根据规程要求,单电源线路的三相重合闸时间应该同时大于短路点断电后电弧的去游离时间以及线路断路器及其操作机构具备再次动作条件的时间。

因此,规程认为单侧电源线路的三相一次重合闸动作时间宜大于 0.5 s,同时为提高线路重合成功率,可酌情延长重合闸动作时间。

## 1.2 《电力系统继电保护与安全自动装置整定计算》规定

《电力系统继电保护与安全自动装置整定计算》<sup>[8]</sup>中对线路单电源供电负荷重合闸整定原则进行了如下规定:

当线路短路故障引起断路器跳闸后,负荷中无法自启动的设备应自动跳闸。而负荷中允许重新带电的设备,则可以在断路器重合成功后恢复供电。重合闸时间的整定主要取决于短路点电弧的去游离时间。用户负荷中不能参加自启动的设备须自动跳闸。允许重新带电的负荷,在断路器重合后恢复供电,重合闸时间主要决定于故障点去游离时间。

因此,在重合闸动作时间的整定方面,可考虑如下两种情况:

1) 对于不对应起动方式,其重合闸动作时间  $t_{ch1}$  整定为

$$t_{ch1} = t_{xy1} + t_y - t_h \quad (1)$$

式中:  $t_{xy1}$  为故障点电弧消弧及去游离时间;  $t_y$  为裕度,一般可取为 0.1 ~ 0.15 s;  $t_h$  为断路器合闸时间。

2) 对于保护起动方式,其重合闸动作时间还应包括断路器跳闸时间,其具体整定公式为

$$t_{ch2} = t_s + t_{xy1} + t_y - t_h \quad (2)$$

式中  $t_s$  为断路器跳闸时间。

相关整定示意如图 1 所示,图中  $t_{ch2}$  是考虑断路器分闸时间的重合闸动作时间。

然而,式(1)和式(2)在使用过程中,却面临故障点电弧消弧及去游离时间  $t_{xy1}$  难以确定的困难。大多仅能依靠经验,在现场工程中为了提升断路器

重合闸成功率,保证在断路器重合闸后瞬时性故障已经可靠消除,单侧电源线路重合闸动作时间一般取 0.8 ~ 1 s。

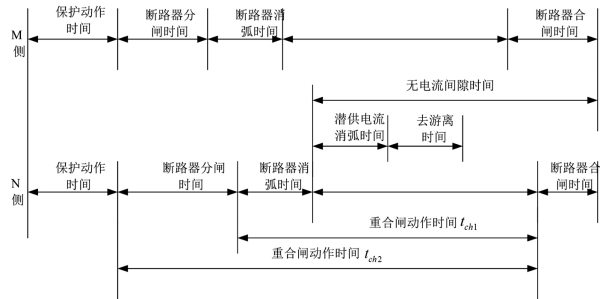


图 1 重合闸整定示意

## 1.3 小结

根据《3 ~ 110 kV 电网继电保护装置运行整定规程》DL/T 584 - 2007 和《电力系统继电保护与安全自动装置整定计算》可以发现,考虑到保护动作时间、断路器动作时间以及断路器断口熄弧特性相对固定,10 kV 配电网线路重合闸时间主要与故障点断电熄弧去游离时间紧密相关。如果在断路器重合前,非永久性故障点已经成功熄弧,重合闸操作即可成功,否则重合闸将失败。

根据这一原则,下面将对重合闸成功与否的影响因素进行分析。

# 2 影响重合闸成功率相关因素

## 2.1 潜供电流对重合闸影响分析

潜供电流是影响较高电压等级输电网重合闸成功与否的主要因素<sup>[9-11]</sup>。对于 10 kV 配电网同杆并架线路可能会因为潜供电流存在影响重合闸动作。

农村配电网线路中存在同杆并架线路时,当某回线路上发生短路故障后,继电保护将故障线路跳开,但同杆并架的另一回线路仍然处于正常运行状态。此时,由于非故障线路与故障线路间的电容和互感,导致故障点电弧电流无法降低至 0,增加电弧灭弧难度。在此状态下,故障点电弧中流过的电流称为潜供电流。由于潜供电流增加了故障点灭弧的难度,延长了故障点灭弧时间,可能导致自动重合闸后故障点绝缘未成功恢复,引发重合闸失败。

然而,依托 PSCAD 仿真软件对 10 kV 线路进行潜供电流计算发现,在典型参数下,5 km 同杆并架 10 kV 线路出现两相或三相短路时,故障线路上潜供电流不到 3 A,感应电压不超过 300 V,难以形成

稳定的弧道不会对故障点熄弧产生影响。

## 2.2 异步电动机对重合闸影响分析

文献[12-13]认为配电网末端异步电动机可能会对重合闸成功产生影响,主要有以下两方面原因:

1) 当异步电动机失电后,由于其转速无法瞬间到0,电动机将在一段时间内呈现异步发电机状态,向故障点注入电流,影响线路故障点熄弧。

2) 由于异步电动机失电残压的存在,电源恢复时可能会引起大的冲击电流,大的冲击电流可能会危及配电线路保护装置的工作可靠性,使继电器保护装置误动作,保护跳闸使重合闸重合不成功。

然而,大量调研发现,异步电动机负荷其实对10 kV配电网线路重合闸成功率影响不大。主要原因为目前工业电动机大多采用接触器进行投切,对于常见型号的接触器来说,当其电压跌落至45%~55%  $U_N$  时,接触器将出现低压脱扣释放,延长释放时间为15~40 ms。由此可见,当重合闸时间整定在秒级时,负荷电动机早已经脱扣,无法提供短路电流和冲击电流,不会影响重合闸成功率。

## 2.3 配电系统励磁涌流对重合闸影响分析

当配电系统中变压器空载投运或故障切除后电压恢复时,可能出现数值较大的励磁涌流,其数值可达额定电流6~8倍。

配电线路一般装设有电流速断和定时过流保护。根据三段式电流保护的整定原则,定时过流保护只按照最大负荷电流进行整定,其动作整定值可能小于励磁涌流电流值。特别是在配电线路发生瞬时性故障后,一旦重合闸装置动作,断路器经一定延时会再次合闸,线路末端断路器在重新上电后将出现励磁涌流。如果励磁涌流大于定时过流保护整定值,开关将再次跳闸,导致重合闸不成功。

## 2.4 “滑落性延时故障”对重合闸影响分析

从10 kV配电线路故障统计发现,线路故障发生的主要原因为两相线路同时与树枝相碰出现的相间短路故障,或者当外力抛掷铁丝等导体滑落于两相导线间产生的相间短路。

此类故障并非永久性故障。然而,与传统瞬时性故障不同,该故障不会因断路器的触头灭弧而自动消失。它需要等待树枝等物体从线路上滑落后,方能消除故障。工业界称其为“滑落性延时故障”。

由于物体具体滑落没有固定时间,一旦线路重合时,物体还没有脱离输电线路,保护装置将视其为

永久性故障,导致线路重合失败。

综上所述,10 kV配电网线路重合闸成功率主要受到滑落性延时故障的影响,因此需要对其重点分析。

## 3 重合闸时间整定原则

### 3.1 重合闸时间整定对滑落性故障的适应性

由于物体具体滑落没有固定时间,难以据其进行精确整定。但是,对于过流保护而言,考虑到保护整定时间0.5 s、断路器分闸时间0.13 s、合闸时间0.2 s,当重合闸整定时间由2 s增加至2.5 s时,允许滑落性故障的延时,将从2.83 s增加至3.33 s,这时对于滑落性延时故障来说,重合成功的可能性就非常大。

对于速断保护而言,忽略保护动作时间,考虑断路器分闸时间0.13 s、合闸时间0.2 s,当重合闸整定时间由2 s增加至2.5 s时,允许滑落性故障的延时,将从2.33 s增加至2.83 s,对于滑落性延时故障的重合成功率也有提升。

### 3.2 重合闸整定时间的建议

电能质量国际标准IEEE 1159-1995规定:一相或多相电压瞬时跌落到0.1 p.u.以下的事件统称为中断<sup>[14]</sup>(interruption)。其中,如果中断时间持续半个周波至3 s称为瞬间中断(momentary interruption);持续时间范围在3 s至1 min的为瞬时中断(temporary interruption);如果中断持续时间超过1 min的事件称为持续中断。

电压短时中断对用户负荷影响可按停电持续时间对负荷的影响划分为4类<sup>[15-16]</sup>:1)一般敏感负荷,分钟级的短时停电即暂时中断就会对其造成影响和危害;2)敏感负荷,秒级的短时停电即瞬时中断就会对其造成影响和危害;3)特别敏感负荷(几十至几百毫秒),即瞬间中断就会对其造成影响和危害;4)严格负荷(毫秒级,0.02 s内),即短时停电就会对其造成影响和危害。

根据相关标准,由于重合闸重合的整个过程会造成秒级的短时停电,为了减少对一般敏感负荷和敏感负荷的影响,希望将短时停电控制为瞬间中断的停电事件,所以故障跳闸不应超过3 s,建议重合闸时间整定为2.5 s较为合适。

### 3.3 延长重合闸整定时限的影响

建议将重合闸时间延长至2.5 s,因此,需要着

重分析延长重合闸整定时限对照明负荷、电动机负荷两类负荷的影响。

1) 对于照明负荷,重合闸时间从1 s提升至2.5 s,均会导致照明中断,但是时间上的差异对人体感受也没有太显著的区别,不会影响负荷的使用感受。

2) 对于电动机负荷,由于农电企业中的电动机都有接触器等低压脱扣装置,反应时间均在3个周波左右,因此当重合闸时间整定在秒级时,负荷电动机早已经脱扣,因此重合闸时间的延时对于电动机负荷而言没有太多的影响。

综上所述,延长重合闸的整定时限,对农电用户而言不会有多大的影响。相反,如果重合时限取得过短,导致短路点绝缘来不及恢复,反而会引起重合闸重合失败,增加停电时间,对用户将造成更多不便。因此,适当地延长重合闸的重合时限,对于提高重合闸的重合成功率以及提高供电的稳定性与可靠性都有非常大的帮助。

## 4 结 语

1) 从《3~110 kV 电网继电保护装置运行整定规程》DL/T 584-2007及重合闸时间整定原则可以发现,考虑到保护动作时间、断路器动作时间以及断路器断口熄弧特性等相对固定,10 kV 配电网线路重合闸时间的整定主要与故障点断电熄弧去游离时间紧密相关。如果在断路器重合前,非永久性故障点已经成功熄弧,重合闸操作即可成功,否则重合闸将失败。但上述标准均未对整定时间作严格要求。

2) 分析表明,励磁涌流、潜供电流以及用户中异步电动机均不会对重合闸成功率产生显著的影响。影响重合闸成功率的主要因素为滑落性延时故障的延时长度。

3) 对于过流保护而言,当重合闸整定时间由2 s增加至2.5 s时,允许滑落性故障的延时将从2.83 s增加至3.33 s。对于速断保护而言,忽略保护动作时间,当重合闸整定时间由2 s增加至2.5 s时,允许滑落性故障的延时也将从2.33 s增加至2.83 s。此时对于滑落性延时故障来说,重合成功的可能性就非常大。

4) 为了减少对一般敏感负荷和敏感负荷的影响,希望将短时停电控制为瞬间中断的停电事件,所以重合闸时间不应超过3 s,建议整定为2.5 s较为

合适。

5) 由于农电企业中的电动机都有启动设备,当重合闸时间整定在秒级时,负荷电动机早已经脱扣,因此重合闸时间的延时对于电动机负荷而言没有太多的影响。同样,对于照明等负荷而言,重合闸时间从2 s提升至2.5 s对人体感受也没有太显著的区别。因此,延长重合闸的整定时限,对农电用户而言不会有多大的影响。相反,如果较短的重合时限引起重合闸重合失败,再进行强送成功,致使停电时间也相应增加,对用户将造成更多不便。

## 参考文献

- [1] 张保会,雷敏,袁字春. 优化重合闸时间提高网络传输能力[J]. 继电器, 1998, 26(1): 17-22.
- [2] 张保会,袁越,薄志谦. 最佳重合闸时间及其整定计算[J]. 中国电力, 1995, 28(2): 12-16.
- [3] Zhang Bao-hui, Yuan Yu-chun, Chen Zhe, et al. Computation of Optimal Reclosure Time for Transmission Lines[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17(3): 670-675.
- [4] 索南加乐,梁振锋,宋国兵. 自适应熄弧时刻的单相重合闸的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 37-41.
- [5] 赵庆明,李斌. 基于电压补偿原理的单相自适应重合闸新型相位判据[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(13): 50-54.
- [6] 韩彬,林集明,班连庚,等. 1000 kV 特高压交流试验示范工程单相重合闸研究[J]. 电网技术, 2009, 33(16): 20-23.
- [7] 3~110 kV 电网继电保护装置运行整定规程: DL/T 584-2017[S], 1995.
- [8] 崔家佩,孟庆炎,陈永芳,等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 中国电力出版社, 1993.
- [9] 周孝信. 超高压输电线路单相重合闸的潜供电弧问题[J]. 电网技术, 1977, 2(6): 4-12.
- [10] 陈天祥,曹荣江. 330 kV 线路潜供电弧自灭特性的研究[J]. 电网技术, 1988, 13(2): 3-12.
- [11] 高山. 特高压输电线路潜供电流及其对重合闸的影响研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2009.
- [12] 邓建国. 三相异步电动机瞬间断电重合闸瞬态分析[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(1): 37-41.
- [13] 高吉增,杨玉磊,崔学深. 感应电动机失电残压的研究及其对重合过程的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(4): 45-48.

(下转第12页)

表 3 变电站全停校验结果

变电站名称	校验结果
变电站 A	通过
变电站 B	不通过
变电站 C	通过
变电站 D	不通过

从上述校验结果可以看出,变电站 A、C 通过全停校验,即在该配电网正常运行方式下,变电站 A、C 全站停电检修时,该地区配电网能实现不对外停电。变电站 B 不通过变电站全停校验,即当前网络状况下,若变电站 B 全站停电检修,存在转供线路过载风险,建议后期加强 10 kV 馈线站间联络的投资建设,使其具备全站长时间停电检修改造的能力。变电站 D 不通过变电站全停校验,主要原因是馈线  $d_2$  属于站内单联络线路,不满足模型约束条件。

需要注意的是,所提出的变电站全停校验模型,线路运行参数均选择所有线路各自的最大负荷,负荷转供参考电力行业有关  $N-1$  校验规则,即不超过两次倒闸操作。实际工作中,由于地区负荷特性不同,在考虑同时最大负荷时,由于针对的是长时间的停电转供,因此考虑的只是理论上的最严重情况。实际电网运行中的地区最大线路负荷,还存在负荷同时率、长期特定运行方式下的  $N-1$  安全性等问题;且电网运行方式多种多样,若不受倒闸操作引起的停电次数限制,对于站间联络线路较多的线路比负荷转供较联络线路较少的线路更具优势,安全性、可靠性也将更高。

### 4 结 语

考虑 10 kV 馈线负荷全转移约束下的变电站全停校验,对于制定变电站全停检修负荷转供方式具有重要参考价值,也是制定变电站检修策略的重要依据。给出了馈线负荷全转移的定义和约束条件,并建立了该约束条件下的全站停电校验模型,通过

(上接第 8 页)

[14] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality: IEEE Std 1159-1995[S],1995.  
 [15] 李天友,赵会茹,乞建勋,等.短时停电及其影响分析[J].中国电力,2012,45(5):48-51.  
 [16] 张林利,李建修,刘合金,等.配电网混合线路重合闸问题研究[J].山东电力技术,2016,43(6):77-79.

算例验证了模型的准确性和实用性,为配电网馈线站间联络建设提供了可靠依据,对进一步提升配电网供电服务质量打下了坚实基础,具有借鉴意义。目前该模型已经成功应用于德阳地区配电网标准化改造的项目储备方案审查和策略制定中,并取得了良好的效益,具有推广价值。

### 参考文献

[1] 肖峻,谷文卓,郭晓丹,等.配电系统供电能力模型[J].电力系统自动化,2011,35(24):47-52.  
 [2] 王成山,罗凤章,肖峻,等.基于主变互联关系的配电系统供电能力计算方法[J].中国电机工程学报,2009,29(13):86-91.  
 [3] 谷文卓.配电网最大供电能力的定义、模型与计算方法[D].天津:天津大学,2012.  
 [4] 肖峻,苏步芸,贡晓旭,等.基于馈线互联关系的配电网安全域模型[J].电力系统保护与控制,2015,43(20):36-44.  
 [5] 韦斌,杨丰任,曹松.配电网闭环转供电研究及辅助软件开发[J].四川电力技术,2016,39(3):67-71.

### 作者简介:

- 叶 璐(1999),本科、助理工程师,从事配电网运行、检修及系统维护等管理工作;
- 王小红(1988),本科、助理工程师,从事配电网运行、检修及系统维护等管理工作;
- 常耀文(1991),助理工程师,从事配电网运行、检修及配电网故障抢修等管理工作;
- 韩 阳(1988),工程师,从事配电网线路、设备运行管理、检修维护等工作;
- 唐 朝(1984),工程师,从事配电网运检分析管理、配电网自动化管理等工作;
- 张 禹(1985),工程师,从事配电网运维检修管理工作;
- 李卓雯(1986),硕士、工程师,从事配电网运检计划管理工作;
- 曾 娜(1987),工程师,从事配电网生产技改大修项目管理工

(收稿日期:2018-07-06)

### 作者简介:

- 朱丽媛(1968),工程师,主要研究方向为电力系统自动化;
- 高艺文(1989),工程师,主要研究方向为配电网自动化与继电保护;
- 李 熠(1981),硕士、工程师,主要研究方向为变电站集中监控。

(收稿日期:2018-08-16)