

# 同杆平行双回线路按相重合闸新方案

刘家军, 梁振锋, 张欣伟, 王德意

(西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 基于按相重合闸的概念, 提出了同杆并架平行双回线路按相自动重合闸的新方案。文中首先分析了平行双回线路自动重合闸的特点和不利因素; 在此基础上, 设计了平行双回线路按相重合闸新方案。新方案根据故障类型的不同采取了不同的跳闸策略, 尽可能地保证了双回线故障后能够有一回线继续正常运行; 并且给出了重合闸振荡平息后的处理措施。该方案既增强了故障持续期间平行双回线两侧系统之间的联系, 又减轻了重合于永久性故障的冲击问题。

**关键词:** 电力系统; 平行双回线路; 继电保护; 按相重合闸; 跨线故障

## New scheme on reclosing phase by phase for double-circuit transmission lines on the same tower

LIU Jia-jun, LIANG Zhen-feng, ZHANG Xin-wei, WANG De-yi

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Based on the conception, a new scheme on reclosing phase by phase for double-circuit transmission lines on the same tower is proposed in this paper. The characteristics and the negative factors of the automatic reclosing for double-circuit transmission lines are analyzed firstly. And then, a new scheme on reclosing phase by phase is presented. The new one adopts different tripping strategy towards various faults, which ensures single loop in operation during cross-country fault occurrence as far as possible. Meanwhile, the breaker action after oscillation end is discussed. The scheme can both enhance the inter-connection between systems connected by the double-circuit transmission lines during the fault and reduce the surge brought by permanent fault reclosing.

**Key words:** power system; double-circuit transmission lines on the same tower; protective relaying; reclosing phase by phase; cross-country fault

中图分类号: TM762 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)05-0022-04

## 0 引言

由于经济发展不平衡、一次能源地理分布不均, 我国电力发展的基本国策为“西电东送, 南北互供, 全国联网”<sup>[1]</sup>。全国联网的逐步实施, 将会产生巨大的经济效益。但也面临着许多问题, 例如需要建设多条远距离输电线将西部大量电能输送到东部负荷中心、全国联网后的稳定问题。而建设同杆平行双回线可提高单位传输线路走廊跨度的输电容量, 解决超高压输电线路走廊紧张问题。同杆平行双回线还具有投资少、可提高供电可靠性、运行维护简单等优点。

自动重合闸技术作为提高供电可靠性、保证系统安全稳定运行的一项重要措施, 在国内外电力系统中得到了极为广泛的应用<sup>[2]</sup>。同杆平行双回线故

障的主要特点有: (1) 两回线不仅相间存在互感, 而且线间也存在互感; (2) 同杆并架双回线之间的距离较近, 除每一回线上可能发生各种类型故障以外, 两回线间也可能发生跨线故障<sup>[3,4]</sup>。如果同杆平行双回线发生跨线故障时能够仅切除故障线, 实现按相重合闸, 对保持系统的稳定运行无疑具有积极意义。但按相重合闸要求继电保护在发生跨线故障时能够正确选相, 要考虑重合于多相永久性故障时对系统的冲击问题和重合闸前非故障相的潜供电流问题。因此我国同杆平行双回线自动重合闸均将双回线作为两回单回线来对待, 根据其在电网中的位置和作用的不同分别采用单相重合闸、三相重合闸、停用等方式<sup>[4-6]</sup>。

近年来, 随着继电保护技术的发展和研究工作的进行, 解决了与同杆平行双回线自动重合闸相关的许多问题, 如跨线故障的选相问题<sup>[3,7,8]</sup>、潜供电弧的自熄问题<sup>[9,10]</sup>、永久性故障和瞬时性故障的判别问题<sup>[11]</sup>等, 使得按相重合闸成为了可能。本文首

基金项目: 陕西省教育厅2007年科学研究计划(07JK338); 西安理工大学科学研究计划项目B类(106-210615)

先综述了平行双回线自动重合闸运行方式, 然后讨论了影响平行双回线自动重合闸的不利因素及解决方法, 最后提出了平行双回线自动重合闸的新方案。新方案根据故障类型、永久性故障和瞬时性故障的判断结果采取不同的跳闸策略, 尽可能地保证了双回线故障后能够有一回线继续正常运行; 并且给出了重合闸后振荡平息后的处理措施。新方案既加强了平行双回线两侧系统之间的联系, 又消除了按相重合闸所带来的问题。

## 1 同杆平行双回线自动重合闸

### 1.1 同杆平行双回线路自动重合闸

同杆平行双回线路重合闸方式比单回线路重合闸方式复杂。同杆平行双回线路重合闸方式根据运行方式和故障类型有以下几种情况: (1) 单回线运行时, 实现综合重合闸或三相重合闸; (2) 双回线运行时其中一回线路发生故障, 根据对系统和保护装置的影响及是否有利于提高系统的稳定性, 可选择综合重合闸方式或按相重合闸方式; (3) 双回线运行时发生跨线故障实现按相重合闸。

### 1.2 按相重合闸

按相重合闸是指同杆平行双回线发生单回线故障或跨线故障时, 继电保护跳开双回线各故障相, 然后重合。如果是瞬时性故障, 恢复正常运行; 如果是永久性故障, 需要再次跳开故障相<sup>[6]</sup>。再次跳开故障相后, 就可能存在以下几种运行方式之一: 单回线运行、双线组合全相运行(如: IAII BC)、单回线一相运行(如: IAII ABC)、单回线两相运行(如: IABII ABC)和两回线均为两相运行(如: IABI BC)。按相重合闸需要根据故障情况及各种运行方式对电力系统稳定、继电保护等方面的影响来确定重合于永久故障后跳开哪些相。

### 1.3 影响平行双回线自动重合闸正确工作的因素

#### (1) 继电保护的正确选相问题

自动重合闸的前提是在发生故障后继电保护能够正确动作且能够正确选相。应用于平行双回线路的保护主要有: 分相电流差动保护、方向或距离纵联保护等。其中, 分相电流差动保护具有天然的选相跳闸能力。而方向或距离纵联保护由于平行双回线故障的复杂性, 要实现选相跳闸, 存在着困难。

文献[3]是把同杆双回线作为一个整体考虑。在利用六序故障分量法分析同杆平行双回线故障特征的基础上, 提出了同杆双回线六序故障分量的故障选相方法。文献[7]提出了一种新的基于单回线单侧电压电流量的综合选相元件。该元件和相电流差突变量、稳态序分量选相元件相配合可以较好地

解决同杆双回线故障下特别是跨线及转换性故障下的正确选相问题。文献[8]利用六序故障分量法, 分析了相电流突变量在同杆双回线跨线故障中的幅值和相位特征。基于分析结果, 提出了一种运用测量阻抗和方向元件相结合的综合选相方法。

应用按相重合闸的前提是无论平行双回线路发生单回线故障还是跨线故障都应该准确、可靠选相。文献[3, 7, 8]所提出的选相方法都有待于实践进一步检验。

#### (2) 潜供电弧的自熄问题

单相重合闸的成功与否, 取决于故障点处的潜供电弧能否快速熄灭。而潜供电流和恢复电压的大小及上升速度对潜供电弧的自熄起决定作用。同杆平行双回线两回线间距离较近, 其静电耦合和电磁耦合作用很强, 使得潜供电弧更加难以熄灭。为限制潜动电流和恢复电压, 主要的方法有: 三相并联电抗器中性点加小电抗<sup>[9]</sup>、在线路首末端装设快速接地开关<sup>[10]</sup>等方法。

#### (3) 重合于多相永久性故障对系统的冲击问题

继电保护动作切除故障后盲目重合于永久性故障时, 一方面电力系统会再次遭受短路电流的冲击, 且可能造成重合后电力系统摇摆幅度增大, 甚至可能使电力系统失去稳定性; 另一方面继电保护再次使断路器断开, 断路器在短时间内连续2次切断短路电流, 恶化了断路器的工作条件, 缩短了断路器的使用寿命, 有时甚至会造成断路器爆炸事故<sup>[11]</sup>。平行双回线路如果采用按相重合闸可能出现重合于多相永久性故障, 影响将更大。

## 2 同杆平行双回线自动重合闸新方案

本文提出的平行双回线自动重合闸新方案既考虑了加强平行双回线两侧系统之间的联系, 又考虑了按相重合闸重合于永久性故障所带来的冲击问题及导致重合闸逻辑回路复杂问题。新方案尽可能地保证了双回线故障后能够有一回线继续正常运行。

### 2.1 单回线故障和跨线故障的不同处理方法

同杆平行双回线路有120种故障, 根据各种故障时六序分量的相位特征, 可以归纳为13种故障类型, 分别是: IA-G、IBC、IABC、IBIC、IBCI B、IBCIC、IAI BC、IABI BC、IABCI BC、IABCI A、IAII A-G、IBCI BC、IABCI ABC。其中前3种为单回线故障, 后10种为跨线故障<sup>[3]</sup>。

对于单回线的综合重合闸或单相重合闸, 当发生单相故障时, 跳开故障相, 然后重合故障相; 但

当发生相间故障，无论是两相故障还是三相故障，均跳开三相。

新方案在同杆双回线在发生单回线故障时，除了IABC故障类型外，其它两种故障类型采用跳开故障相，然后重合故障相。

对于跨线故障，根据故障类型来确定重合方案。其中：IBIIC、IAIIBC、IBCIIB、IBCIIC、IABIIC、IABCIA、IAIIA-G七种故障类型，在跳开故障相后可以保留一个完整的三相或两相运行，采用跳开故障相的策略；IABCIBC、IBCIIC、IABCIIABC三种故障类型，采取跳开双回线的策略。跨线故障的重合采用先重合故障相数少的一回线的方法，如果该回线恢复正常运行，再考虑是否重合另一回线。

### 2.2 永久性故障和瞬时性故障的判别

无论是单回线故障还是跨线故障，在重合之前都判断是否为永久性故障。文献[6]提出了平行双回线路自适应重合闸判据。利用本文所提出的方案实现自动重合闸时，永久性故障的判别基于选相结果在不同的情况下采用不同的定值或判据。

平行双回线单回线故障时由于另外一回线健全，若将瞬时性故障判断为永久性故障而不重合对系统影响很小，因此在此种情况下应选用相对保守的判据或定值，即尽可能避免将永久性故障判为瞬

时性故障。另外可以避免重合闸后故障发展为跨线故障而导致双回线全部跳开的情况出现。

平行双回线发生跨线故障时，对于 IBIIC、IAIIBC 两种故障类型由于按相跳闸后有完整的三相，所以也采用相对保守的判据或定值。

### 2.3 振荡消失后的处理

按相重合闸后可能存在的几种运行方式对继电保护的正确工作有不利影响。其中，单回线运行方式时，横联差动保护需要退出运行。其它几种运行方式平行双回线路的两回线路上将产生负序分量或零序分量<sup>[3]</sup>，可能引起本线路保护以及系统中其他保护的误动作<sup>[12,13]</sup>。对于可能误动作的保护，应将该保护闭锁或增加该保护的動作时限或降低该保护的灵敏度。另一方面，负序分量和零序分量对系统的运行也会造成不利影响。因此应尽可能地减少这几种运行方式的运行时间。

本文提出的新方案利用距离保护中振荡闭锁模块判断振荡是否平息。振荡平息后控制断路器跳开相应的相，形成单回线运行方式或准三相运行方式。

### 2.4 平行双回线自动重合闸新方案流程图

平行双回线自动重合闸新方案见图 1。

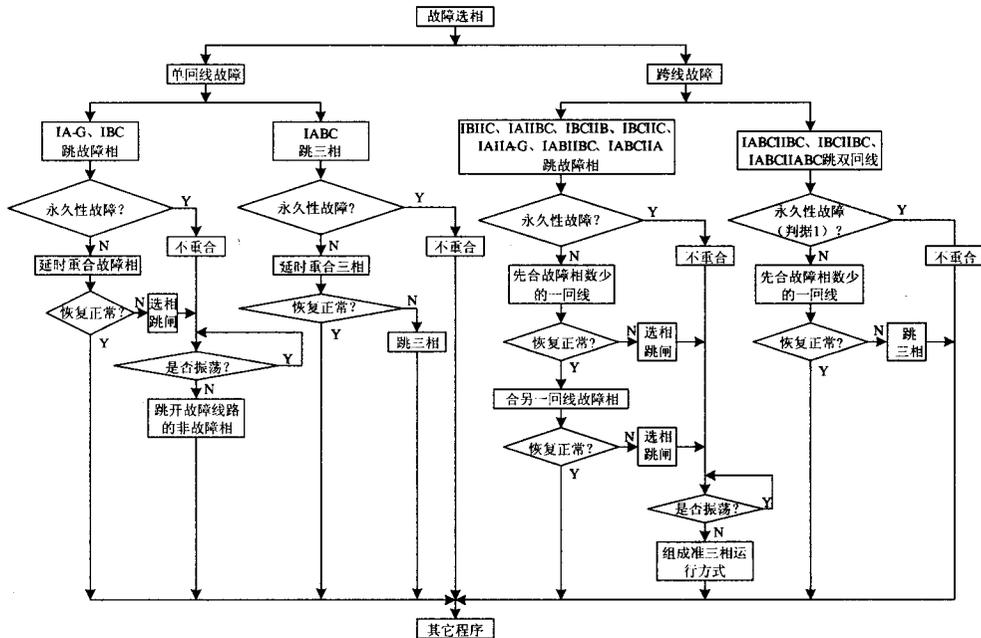


图1 同杆平行双回线路自动重合闸新方案

Fig.1 New scheme on reclosing phase by phase for double-circuit transmission liens on the same tower

## 3 结论

本文在按相重合闸概念的基础上提出了平行

双回线路按相重合闸新方案。

(1) 新方案根据故障类型的不同采取了不同的跳闸策略，尽可能地保证了双回线故障后能够有

一回线继续正常运行; 并且给出了重合闸后振荡平息后的处理措施。

(2) 新方案既能够加强了平行双回线两侧系统之间的联系, 又能够消除了按相重合闸所带来的问题。

(3) 为了实施本文提出的新方案, 还有许多问题需要进一步的研究。如: 双回线故障后的选相、断路器的操作机构的改造、组合全相运行时的继电保护配置等问题。

参考文献

[1] 周小谦. 我国“西电东送”的发展历史、规划和实施[J]. 电网技术, 2003, 27(5): 1-5, 36.  
ZHOU Xiao-qian. Development, Planning and Implementation of the Project of Power Transmission from West CHINA to East China[J]. Power System Technology, 2003, 27(5): 1-5, 36.

[2] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.  
ZHANG Bao-hui, YIN Xiang-gen. Power System Protective Relaying[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

[3] 索南加乐. 同杆双回线的故障分析及继电保护(博士学位论文)[D]. 西安: 西安交通大学, 1991.  
SUONAN Jia-le. Fault Analysis and Protective Relaying of Parallel Lines on the Same Tower, Doctoral Dissertation[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1991.

[4] 康小宁, 梁振锋. 同杆平行双回线路保护及自动重合闸综述[J]. 继电器, 2004, 32(23): 72-76.  
KANG Xiao-ning, LIANG Zhen-feng. Survey on the Protective Relaying and Autoreclosure for Double-Circuit Lines on the Same Tower[J]. Relay, 2004, 32(23): 72-76.

[5] 侯效政. 关于同杆并架双回线跨线故障下稳定对策的讨论[J]. 电网技术, 1996, 20(5): 58-59.  
HOU Xiao-zheng. Discussion of Stability Measure for Single Line-to-Ground Fault Occurred Simultaneously in Different Phase and Different Circuit of Double Circuit on Same Support[J]. Power System Technology, 1996, 20(5): 58-59.

[6] 郑玉平, 黄震, 张哲, 等. 同杆并架双回线自适应重合闸的研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22): 58-62.  
ZHENG Yu-ping, HUANG Zhen, ZHANG Zhe, et al. Study on Self-adaptive Auto-reclosing for Parallel Transmission Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(22): 58-62.

[7] 俞波, 杨奇逊, 李莹, 等. 同杆并架双回线保护选相元件研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(4): 38-42, 76.  
YU Bo, YANG Qi-xun, LI Ying, et al. Research on Fault Phase Selector of Protective Relay for Double Circuit Lines on the Tower[J]. Proceedings of the CSEE, 2003,

23(4): 38-42, 76.

[8] 刘千宽, 黄少锋, 王兴国. 同杆并架双回线基于电流突变量的综合选相[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(21): 53-57.  
LIU Qian-kuan, HUANG Shao-feng, WANG Xing-guo. Phase Selector Based on Fault Component Current for Double-circuit Transmission Lines on Single Tower[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(21): 53-57.

[9] 商立群, 施围. 超高压同杆双回输电线路中熄灭潜供电弧的研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(10): 60-63, 72.  
SHANG Li-qun, SHI Wei. Study of the Secondary Arc Extinction at EHV Double Circuit Transmission Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(10): 60-63, 72.

[10] 商立群, 施围. 快速接地开关在同杆双回输电线路中的应用[J]. 高电压技术, 2004, 30(8): 14-16.  
SHANG Li-qun, SHI Wei. Application of High Speed Grounding Switches in Double-Circuit Transmission Lines[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(8): 14-16.

[11] 宋国兵, 索南加乐, 孙丹丹. 输电线路永久性故障判别方法综述[J]. 电网技术, 2006, 30(18): 75-80.  
SONG Guo-bing, SUONAN Jia-le, SUN Dan-dan. A Survey on Methods to Distinguish Permanent Faults from Instantaneous Faults in Transmission Lines[J]. Power System Technology, 2006, 30(18): 75-80.

[12] 徐柯, 苗世洪, 刘沛. 方向高频保护负序功率方向元件的非全相运行性能分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(21): 45-48, 57.  
XU Ke, MIAO Shi-hong, LIU Pei. Analysis for the Performance of Power Line Carrier Protection Based on Negative Sequence Power Direction in the Condition of Incomplete Phase Operation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(21): 45-48, 57.

[13] 邹力, 苗世洪, 刘沛. 高压线路非全相运行对距离保护的影响[J]. 继电器, 2003, 31(5): 1-4.  
ZOU LI, MIAO Shi-hong, LIU Pei. Influence of Non-phase Work Condition of High Voltage Transmission Line on Distance Protection Relay[J]. Relay, 2003, 31(5): 1-4.

收稿日期: 2008-04-25; 修回日期: 2008-06-15

作者简介:

刘家军 (1967-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为电力系统继电保护和控制技术;

梁振锋 (1974-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为电力系统继电保护和控制技术; E-mail: kzf@xaut.edu.cn

张欣伟 (1977-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为电力系统及其自动化。