

同杆双回线的新型继电保护方案研究

张太升¹, 鄢安河¹, 赵一², 李瑞生³

(1. 河南电力调度通信中心, 河南 郑州 450052; 2. 重庆大学电气工程学院, 重庆 400044;
3. 许继电气保护及自动化事业部, 河南 许昌 461000)

摘要: 指出了分相电流差动作为目前同杆双回线的首选主保护所存在的一系列问题, 如通道故障时差动保护就要退出, 互感对后备保护的影响等, 提出新型的同杆双回线继电保护方案——同杆并架双回线采用光纤通道, 通道故障失去主保护, 通过装置间的通信引入相邻线电流, 采用横差解决主保护问题, 并利用相邻线电流补偿解决互感对后备保护的影响。

关键词: 同杆双回线; 继电保护; 通道; 分相电流差动; 横差保护

Study of a new relay protection scheme for double-circuit lines on the same pole

ZHANG Tai-sheng¹, YAN An-he¹, ZHAO Yi², LI Rui-sheng³

(1. Henan Power Dispatch & Communication Center, Zhengzhou 450052, China; 2. College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 3. XJ Business Department of Electric Protection and Automation, Xuchang 461000, China)

Abstract: This paper points out the existence of a series of problems about double-circuit lines on the same pole with the main protection of phase segregated current differential protection, such as differential protection will quit when channel is in fault and common reactance's impact on back up protection. A new relay protection scheme is introduced in this paper. Double-circuit lines adopt fibre channel. When channel is in fault, transverse differential protection can be used, which introduces adjacent line current, to resolve the problem of differential protection quitting. Common reactance's impact on back up protection can also be resolved by adjacent line current compensation.

Key words: double-circuit transmission lines on the same pole; relay protection; channel; phase segregated current differential protection; transverse differential protection

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)07-0016-04

0 引言

近年来, 电力规划部门为节约走廊, 降低投资, 220 kV 以上电压等级的线路愈来愈多的采用同杆并架方式, 同杆线路对于保护来说重要的问题就是线路发生跨线故障时保护如何识别区内故障相。同杆并架双回线故障多达 120 种, 其中单回线故障 22 种, 跨线故障 98 种。虽然跨线故障在故障分类中占有压倒性优势, 但是统计资料表明跨线故障很少, 仅占同杆双回线总故障的 2%~3%^[1], 这就要求我们全面考虑故障时的保护问题, 即要考虑跨线故障时保护问题, 也要考虑单回线故障时的保护问题。

如何更好的利用保护间的配合, 尽可能实现双回线的保护可靠动作是需要看重的问题。在总结现有保护的基础上, 本文提出了一个新的同杆双回线继电保护方案。

1 现有的同杆双回线保护及存在的问题

1.1 同杆双回线常用的保护类型

目前国内外解决同杆双回线路故障问题有如下几种方式: 依靠纵续动作实现跨线故障正确选相、传递分相信号的纵联距离保护、分相电流差动等。其中分相电流差动是目前双回线的首选主保护, 它借助光纤通道传送输电线路两端的信息, 原理本身具有天然的选相能力, 不受串补电容影响, 受过渡电阻影响小, 不受电压问题影响, 可以反映各种类型的故障, 是理想的线路主保护。

1.2 目前同杆双回线保护存在的问题

1.2.1 光纤分相电流差动通道故障的问题

对光纤分相电流差动应用于双回线上, 每回线配置两套完整独立的线路保护。它采集双回线每一相的信号, 两侧数据严格同步, 并通过光纤通道传

递到对侧。

目前通常有两种同步信号传输方式：专用光纤和 PCM 复用。

采用专用通道时由于光纤熔接问题，机械外力问题等，容易造成通道故障。对于复用 PCM 通道，中间环节较多，出现问题的概率也较多，除了上面情况，实际系统由于受信号线接线不合理、通信系统电源抗干扰性能不够、SDH 光端机故障等因素的影响，也会出现保护通道误码。

由于存在故障的可能性，必须考虑到通道故障时差动保护就要退出，这是采用光纤电流差动保护时应充分考虑的问题。

1.2.2 互感对后备保护的影响问题

(1) 互感对距离保护的影响

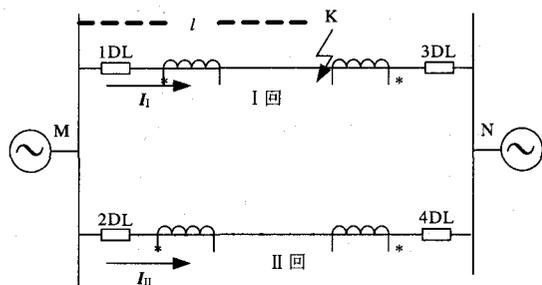


图 1 双回线 K 点故障

Fig.1 Parallel transmission line faults on K

利用对称分量法，如图 1 同杆双回线路，在 I 回线上 K 点故障时，母线 M 电压方程为：

$$U_{\phi} = U_1 + U_2 + U_0 = (I_{\phi} + K \cdot 3I_{I0} + K' \cdot 3I_{II0})Z_1 \cdot l$$

式中： $K = (Z_0 - Z_1)/3Z_1$ ， $K' = Z_m/3Z_1$

$$\text{故， } Z_1 = \frac{U_{\phi}}{(I_{\phi} + K \cdot 3I_{I0} + K' \cdot 3I_{II0}) \cdot l}$$

其中： I_{I0} 、 I_{II0} 分别为流经 I、II 回线的零序电流； Z_1 、 Z_0 分别为双回线的正序、零序阻抗； Z_m 为 I、II 回线之间的零序互感耦合阻抗； I_{ϕ} 为 I 回线的相电流； l 为故障点的位置， $l < 1$ 。

双回线运行时，随着故障点 K 位置的变化， I_{II0} 也是不断变化的。

由以上分析结果可以看出：

相邻线零序电流影响继电器的测量阻抗，不采取相邻线补偿，若 I_{I0} 、 I_{II0} 方向相同，则继电器的测量阻抗增大，保护区缩短，一般距离 I 段保护区末端故障时 I_{I0} 、 I_{II0} 方向相同，因此保护 I 段的范

围将缩短。

(2) 互感对零序保护的影响

相邻线的零序电流产生的互感问题可以使零序电流方向保护失去方向性，发生误动。

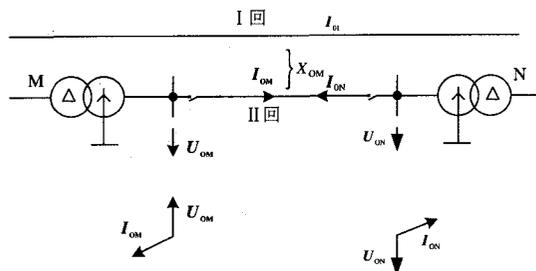


图 2 相邻线零序电流对本线零序保护的影响

Fig.2 The impact of adjacent line zero-sequence current on zero-sequence protection

如图 2 所示，在邻线 I 上有零序电流流过，通过零序互感在本线 II 上产生零序电流。II 线路两侧零序电流和电压的相位关系都与正方向短路时相同，因此零序电流方向保护失去方向性。

即使在双回线一侧解列时，例如，N 侧解列的情况，在线路 II 上发生接地短路，故障点靠近连接母线侧，在该侧断路器先跳闸后，本线路 II 上的零序电流会通过平行线间的零序互感的作用而造成相邻线路 I 的零序电流方向保护误动作。

综上，由互感对后备保护的影响可以看出，正常双回线运行情况下，互感对距离保护、零序保护有一定的影响，会使距离保护超越及零序保护失去方向性，这也是目前双回线保护面临的一个问题。结合以上问题的分析，从另一角度，下面将提出新的双回线继电保护方案。

2 新型方案设计

2.1 方案的主体规划

本方案是利用通信引入相邻线电流的方法，通道故障时退出纵联保护，采用横差保护作为主保护，在通道故障时具备主保护功能，同时利用相邻线电流补偿解决互感对后备保护的影响问题。

图 3 的两种方案理论上都可以作为引相邻线电流的方法，但是图(a)是通过引两侧的电流互感器电流作为引入相邻线电流的方案，图(b)是通过通信手段引入相邻线电流。尽管原理相同，但(a)方案增加屏间连线，一回线检修需要退出另一回线。在此我们采用第二种方案，即通过通信手段引入相邻线电流，克服了方案(a)的一系列缺点。

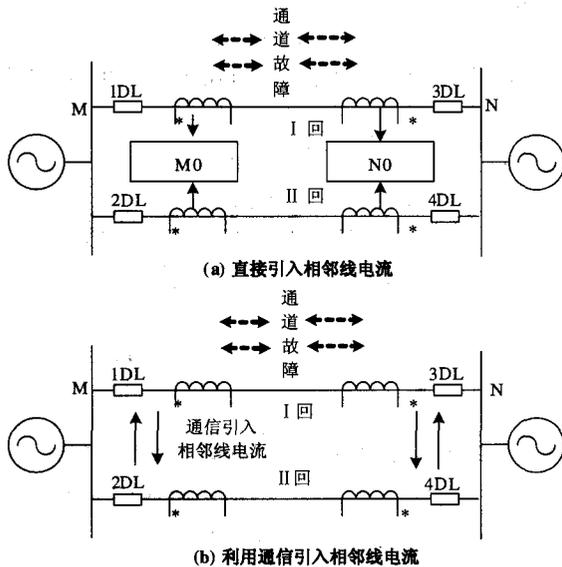


图 3 光纤通道故障后的情况

Fig.3 The situation when fibre channel is fault

同杆双回线的横差保护有两种：一种是横联差动电流方向保护，另一种是电流平衡保护；前者能应用于电源侧及无电源侧，后者不能应用于无电源侧。一般采用的是横联差动电流方向保护，本文所设计的主保护方案也是基于横联差动电流方向保护的。

2.2 引入横差保护的好处及特点

2.2.1 引入横差保护的优点

横差保护相对于分相电流差动保护具有自己的优点。首先，横差保护不依赖于通道，从物理角度说可靠性得到保证，又解决了通道故障后差动主保护退出的问题；其次，保护通过通信引入相邻线电流，方法可行，操作简单；第三，横差保护的引入，利用相邻线电流补偿解决互感对后备保护的影响。

2.2.2 横差保护的工作分析

横差电流方向保护由下面几个主判据元件组成：①电流比率制动差动元件(简称为差动元件)，其作用是判别双回线的内部及外部短路；②差电流方向元件(又称为选择元件)其作用是双回线内部短路时选择出故障线路。横联差动电流方向保护的差动元件有 A、B、C 三个相的差动元件，其选择元件有 A、B、C 三个相的选择元件。这六个元件的逻辑关系为按相起动，在 A、B、C 三相中至少同时有一个同名相的差动元件和选择元件都动作时，横差保护才出口，这样有效的防止许多误动。

在光纤通道故障后，如图 3(b)所示，通过通信引入相邻线的电流，两回线电流做比较，若满足下

式的差动元件动作方程，则相应相的差动元件动作。

$$|I_I - I_{II}| \geq k|I_I + I_{II}| \quad (1)$$

$$|I_I - I_{II}| \geq I_{opset} \quad (2)$$

式中： k 为制动系数， I_I 为横差保护测量的 I 回线的相电流， I_{II} 为横差保护测量的 II 回线的相电流， I_{opset} 为最小差流定值。

除此之外，利用相邻线电流判断方向，以确定是具体哪一回线出现故障，从而判断本线动作还是邻线动作。可根据式(3)判断：

选择元件动作方程，以 A 相为例：

A 相差动元件动作方程：

$$150^\circ > \arg \frac{U_{I-A}}{I_{I-A} - I_{II-A}} > -30^\circ \quad (3)$$

其中： U_{I-A} 为正序电压； I_{I-A} 为本线路的 A 相电流； I_{II-A} 为邻线路的 A 相电流。

选本线的动作区为 $[-30^\circ, 150^\circ]$ ，即满足上式则表示本线故障；反之不满足时，选邻线的动作区为 $[-210^\circ, -30^\circ]$ ，为邻线故障。

B、C 两相的动作判据方程和 A 相同，只不过选用的是 B、C 两相的正序电压和相电流，推理即得，在此不加赘述。

由此选出两个线路故障相，可以很好的解决简单故障和跨线故障。确定故障类型，发出跳闸指令，不管本线还是邻线故障都能可靠动作。

3 仿真分析与论证

由于光纤分相电流差动作为双回线的常用保护已有很多文献参考和仿真分析，本次仿真仅仅针对新引入的横差方案进行分析与论证。

依据河南省某 500 kV 同杆双回线路搭建 ATP 模型，结合 Matlab 软件程序，进行仿真分析。

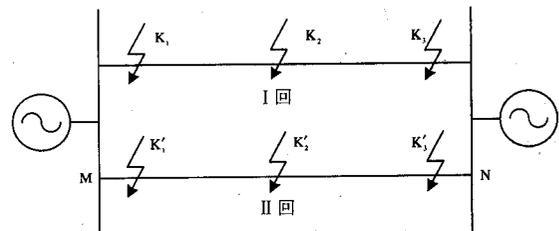


图 4 500 kV 同杆双回线路仿真模型

Fig.4 Simulation model of 500 kV double-circuit lines on the same pole

系统参数：电压等级：500 kV，线路长度 58.1 km，M 侧系统阻抗 $Z_{SM}=0.03655+j10.4676 \Omega$ ，N 侧系统阻抗 $Z_{SN}=0.5387+j15.4256 \Omega$ ；正序电阻

0.041 Ω /km, 正序感抗 0.3228 Ω /km, 正序并联容抗 0.01266 M Ω /km; 零序电阻 0.2536 Ω /km, 零序感抗 0.9244 Ω /km, 零序并联容抗 0.0073 M Ω /km, 零序耦合互电阻 0.0282 Ω /km, 零序耦合互电抗 0.1632 Ω /km。简图如图 4。

故障点设置: 短线路每回线设置 3 个故障点, 其设置满足横差保护两侧纵序动作区之和小于线路长度的 50%, 距离 M 侧的距离分别是: $K_1(K'_1)$ 为 4 km, $K_2(K'_2)$ 为 29.05 km, $K_3(K'_3)$ 为 44 km。

取其中一个典型的故障类型, 下面是对 I 回线 K_1 点 ABC 三相短路时横差保护的仿真结果分析。

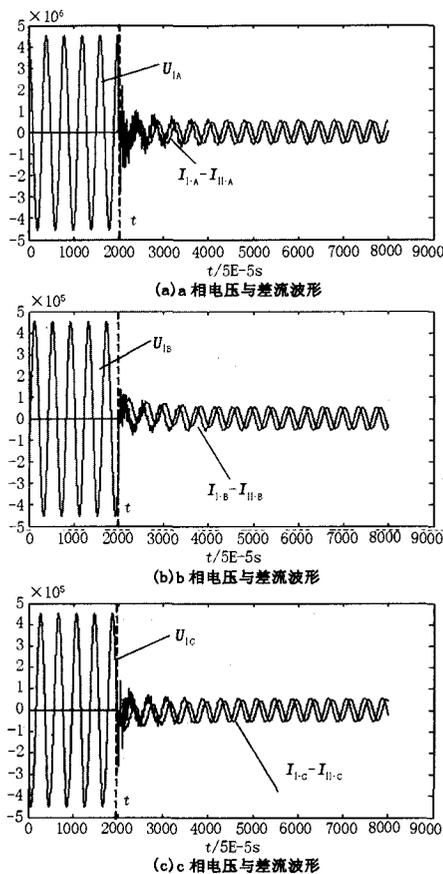


图 5 I 回线 K_1 点三相短路时三相互序电压与相间差流的波形

Fig.5 The wave of positive sequence voltage and current difference when three-phase short-circuit at K_1

图 5 是用 ATP 建模仿真后的数据经 Matlab 输出的三相波形, 采集开始 400 ms 内的输出波形, 其中在 t 时刻故障发生, 三相短路时正序电压与差流的相位差很小。图 6 是选择元件的动作情况, 明显可以看出三相选择元件的测量角相同, 且都在选本线的动作区 $[-30^\circ, 150^\circ]$ 内, 选择元件正确动作。

用同样原理仿真, 单相故障和两相故障横差保

护也可以正确动作。对于单相跨线故障拒动和含有同名相的跨线故障时同名故障相上的横差保护判据误判的问题, 则可以通过其他保护来解决。

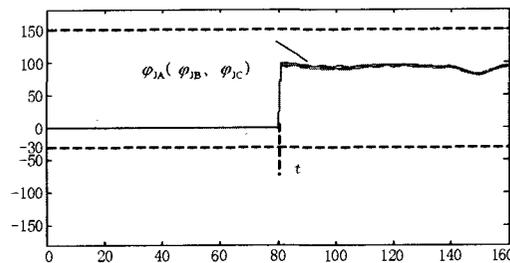


图 6 I 回线 K_1 点三相短路时选择元件动作波形

Fig.6 Selection piece action waveform when three-phase short-circuit at K_1

相对于有互感的情况下可能发生距离保护超越和零序保护失去方向性的情况, 由于引入了相邻线电流, 可以很好的解决所述问题, 已有许多文献进行分析, 且原理是正确的, 本文不再赘述。

4 结论

对于同杆双回线的继电保护, 本文提出了一个新的思路。光纤分相电流差动保护作为首选主保护, 在通道故障时退出, 通过装置间的通信引入相邻线电流的方式, 投入横差保护, 以此作为通道故障时的主保护, 而且利用相邻线电流补偿还解决了互感对后备保护的影响问题。

参考文献

- [1] 郑玉平. 串补线路继电保护的研究与同杆双回线继电保护及重合闸的研究(博士学位论文)[M]. 武汉: 武汉大学, 2004.88-90.
ZHENG Yu-ping. Study of Protective Relay on Series Capacitor Compensated Lines & Study of Protective Relay and Reclosure on Double-circuit Lines on the Same Pole, Doctoral Dissertation[M]. Wuhan: Wuhan University, 2004.88-90.
- [2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.270-288.
ZHU Sheng-shi. Principle and Technology of Relay Protection in HV Network, Third Edition[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.270-288.
- [3] 陈生贵. 电力系统继电保护[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003. 91-103.
CHEN Sheng-gui. Electric Power System Relay Protection[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2003. 91-103.
- [4] 黄怀推. 光纤保护通道故障分析及处理[J]. 电力系统通信, 2006, 27(16):11-13.

(下转第30页 continued on page 30)

可连续变化, 变压器变比 T_k 的调节步长为 0.0125, 补偿容量 Q_C 的调节步长为 0.01。网络初始状态为: 各发电机母线电压为 1.0、各变压器变比为 1.0、各补偿器值为 0。限于篇幅, 本文仅给出优化后的网损; 优化前初始网损为 17.85 WM, 优化后的结果为 12.45 WM, AFSA 方法优化后结果为 12.51 WM。文献[7]中广义蚁群算法优化结果为 12.55 WM, 本文算法略优。

5 结论

无功优化在电力系统经济运行中占有重要地位, 对其进行研究具有重要意义。人工鱼群算法是一种新的随机搜索优化算法。它通过并行运算寻优, 可以用来解决一些非凸、非线性及离散的优化问题, 为一些优化问题的解决提供了一条新的思路。本文尝试将其改进后应用到电力系统无功优化中来, 通过对 IEEE6、14 节点系统的仿真分析表明, 本文的算法搜索性能好, 能在较短的搜索时间内找到全局最优解, 表明了本文算法的有效性和可行性。

参考文献

- [1] 许文超, 郭伟. 电力系统无功优化的模型及算法综述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(1): 100-104.
XU Wen-chao, GUO Wei. Summarize of Reactive Power Optimization Model and Algorithm in Electric Power System[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2003, 15(1): 100-104.
- [2] 李晓磊, 邵之江, 钱积新. 一种基于动物自治体的寻优方式: 鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22: 32-38.
LI Xiao-lei, SHAO Zhi-jiang, QIAN Ji-xin. An Optimizing Method Based on Autonomous Animals: Fish-swarm Algorithm[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2002, 22: 32-38.
- [3] 李晓磊, 钱积新. 基于分解协调的人工鱼群优化算法研究[J]. 电路与系统学报, 2003, 8(1): 1-6.
LI Xiao-lei, QIAN Ji-xin. Studies on Artificial Fish Swarm Optimization Algorithm Based on Decomposition and Coordination Techniques[J]. Journal of Circuits and Systems, 2003, 8(1): 1-6.
- [4] 唐剑东, 熊信银, 吴耀武, 等. 基于人工鱼群算法的电力系统无功优化[J]. 继电器, 2004, 32(9): 9-12.
TANG Jian-dong, XIONG Xin-yin, WU Yao-wu, et al. Reactive Power Optimization of Power System Based on Artificial Fish-Swarm Algorithm[J]. Relay, 2004, 32(9): 9-12.
- [5] 王洪章, 熊信银, 吴耀武. 基于改进 Tabu 搜索算法的电力系统无功优化[J]. 电网技术, 2002, 26(1): 15-18.
WANG Hong-zhang, XIONG Xin-yin, WU Yao-wu. Power System Reactive Power Optimization Based on Modified Tabu Search Algorithm[J]. Power System Technology, 2002, 26(1): 15-18.
- [6] 张伯明, 陈寿孙. 高等电力网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.
ZHANG Bo-ming, CHEN Shou-sun. Advanced Analysis of Power System[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1991.
- [7] 林昭华, 侯云鹤, 熊信银, 等. 广义蚁群算法用于电力系统无功优化[J]. 华北电力大学学报, 2003, 30(2): 6-9.
LING Zhao-hua, HOU Yun-he, XIONG Xin-yin, et al. Generalized ant Colony Optimization Algorithm for Reactive Power Optimization in Power Systems[J]. Journal of North China Electric Power University, 2003, 30(2): 6-9.

收稿日期: 2007-09-27

作者简介:

刘耀年(1951-), 男, 教授, 研究方向为配电网自动化、人工智能等方面的研究工作;

范为(1981-), 女, 研究生, 研究方向为电力系统无功优化; E-mail: fan.tastic@163.com

韩立国(1982-), 男, 硕士, 研究方向为电力系统无功优化。

(上接第 19 页 continued from page 19)

- HUANG Huai-tui. Analyzing and Treating with Malfunction of Fiber Optic Protection Channel[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2006, 27(16): 11-13.
- [5] 李瑞生, 王强, 文明浩, 等. WXH-803 光纤电流差动保护的研究[J]. 继电器, 2004, 32(2): 40-43.
LI Rui-sheng, WANG Qiang, WEN Ming-hao, et al. Study of WXH-803 Current Differential Protection Based on Optical Fibre[J]. Relay, 2004, 32(2): 40-43.

收稿日期: 2007-09-11; 修回日期: 2007-10-10

作者简介:

张太升(1969-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护的研究; E-mail: zhaoyicqu@163.com

郝安河(1952-), 男, 高级工程师, 从事电网技术、电力系统调度、生产的研究和管理工作;

赵一(1982-), 男, 硕士, 从事电力系统方面的研究。