

光纤电流差动保护在固原电网中的应用

刘小利¹, 姚宗溥¹, 祝石厚²

(1. 宁夏电力公司固原供电局, 宁夏 固原 756000; 2. 重庆大学电气工程学院, 重庆 400044)

摘要: 通过介绍光纤电流差动保护在固原电网中的应用, 说明了光纤电流差动保护的動作原理, 分析阐述了光纤电流差动保护对通信系统的要求及在运行维护中容易忽视的环节, 进而从如何运行维护光纤电流差动保护, 保证固原电网安全、可靠运行角度, 对继电保护专业技术人员和通信技术人员提出了新的要求。

关键词: 固原电网; 光纤; 电流差动保护; 时钟同步; 采样同步

Application of line fiber optical current differential protection to Guyuan power system

LIU Xiao-li¹, YAO Zong-pu¹, ZHU Shi-hou²

(1. Guyuan Power Supply Bureau, Ningxia Grid Corporation, Guyuan 756000, China;

2. Institute of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Through the application of the line current differential protection to the Guyuan power system, this paper illustrates the principle of the fiber optical current differential protection. The communication system requirement and the easily ignorant juncture of running and maintaining for fiber optical current differential protection are analyzed, in the view of the how to run and maintain the fiber optical current differential protection, assure the Guyuan power supply safety, the new requests for relay protection operators and communication operators are put forward.

Key words: Guyuan power system; fiber optic; current differential protection; clock synchronization; synchronous sampling

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2007)20-0068-04

0 引言

光纤电流差动保护^[1]是近年来发展很快的输电线路保护, 它借助光纤通道传送输电线路两端的信
息, 以基尔霍夫电流定律为依据, 能简单、可靠地判断出区内、区外故障。对于输电线路保护来说, 分相电流差动保护具有天然的选相能力和良好的网络拓扑能力, 不受系统振荡、非全相运行的影响, 可以反映各种类型的故障, 是理想的输电线路主保护。光纤通信^[2]与输电线无直接联系, 不受电磁干扰的影响, 可靠性高, 通信容量大。光纤电流差动保护就是利用了光纤通信可靠、高速的优点和分相电流差动的良好判据, 具有其他保护无以比拟的优势, 因此, 随着国家电力工业的飞速发展, 通信技术的日新月异, 光纤及光纤设备造价的降低, 光纤通信网在电力系统的架设越来越普遍。光纤电流差动保护已作为 110 kV 及以上高压输电线路的主保护, 在当今的电力系统中已得到越来越广泛的应用。

由于光纤电流差动保护以上种种优点的体现, 并随着固原电网光纤主干通信网架的建成, 光纤电

流差动保护在固原电网 110 kV 及以上的输电线路中也得到了广泛应用。

1 固原电网内光纤电流差动保护的应用现状

目前, 固原电网三条 330 kV 输电线路的两套线路保护中, 除固安线无光纤分相电流差动保护外, 其余两条线路均为一套高频保护、一套光纤分相电流差动和零序电流差动为主体的全线速动保护; 在网内 110 kV 输电线路中, 有固南 I II 线、固北 I II 线、固瓦 I II 线、固三 I II 线、三七 I II 线等十条主干线路配备了光纤电流差动保护。从光纤电流差动保护装置近两年在固原电网运行的实际运行情况来看, 该类保护能够准确、可靠地判断出线路区内、区外故障, 能够快速无延时地切除线路故障, 保证了固原电网的可靠运行和正常供电。

2 光纤电流差动保护原理介绍

光纤电流差动保护是基于光纤通道, 实时地向对侧传递采样数据, 同时接收对侧采样数据的保护

装置, 两侧保护装置利用本地和对侧电流数据按相进行差动电流计算。根据电流差动保护的制动特性方程进行判别: 区内故障时保护动作, 断路器跳闸, 区外故障时保护不动作。光纤电流差动保护系统的典型构成如图 1^[3]所示。

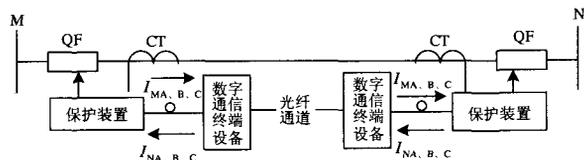


图1 光纤电流差动保护构成示意图

Fig.1 Construction of fiber optical current differential protection

当线路在正常运行或发生区外故障时, 线路两侧电流相位是反向的, 此时线路两侧的差电流为零; 当线路发生区内故障时, 线路两侧电流的差电流不再为零, 其满足电流差动保护的制动特性方程时, 保护装置发出跳闸命令, 断路器跳闸快速将故障切除。

对于光纤电流差动保护而言, 其差动保护一般采用如图 2 所示的双斜率制动特性曲线^[4], 以保证输电线路发生穿越性故障时的稳定性。图 2 中, I_d 表示差动电流, I_r 表示制动电流, K_1 、 K_2 分别表示不同的制动斜率。

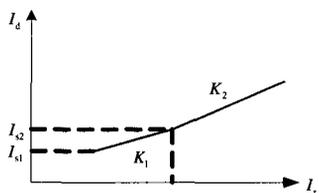


图2 光纤电流差动保护的制动特性曲线

Fig.2 Restraint characteristic curve of fiber optical current differential protection

采用这样的制动特性曲线, 可以保证在小电流时有较高的灵敏度, 而在电流较大时具有较高的可靠性, 即当线路末端发生区外故障时, 因电流互感器发生饱和和产生传变误差, 此时采用较高斜率的制动特性更为可靠。

由于线路两侧电流互感器的测量误差和高压输电线路运行时产生的充电电容电流等因素, 差动保护在利用本地和对侧电流数据按相进行实时差电流计算时, 其值并不为零, 即存在一定的不平衡电流。光纤差动保护必须按躲过此电流值进行整定, 这也是在上面所示的图 2 中最小差电流整定值 I_{d1} 不为零的原因所在。如何躲过该不平衡电流, 使其不对差

动保护产生影响, 不同类型的保护装置其采用的整定方法也不尽相同, 一般采用固定门坎法进行整定, 即将在正常运行中保护装置测量到的差电流作为被保护线路的纯电容电流, 并将该电流值乘以一系数 (一般为 2-3) 作为差动电流的动作门坎。当差动元件判为区内故障发出跳闸命令时, 除跳开线路本侧断路器外, 还借助于光纤通道向线路对侧发出联跳信号, 使得对侧断路器快速跳闸。

3 光纤电流差动保护对通信系统的要求

3.1 光纤电流差动保护装置与通信系统的连接方式

光纤电流差动保护借助于通信通道双向传输电流数据, 供两侧保护进行实时计算。其一般采用两种通信方式^[5]: 一种是保护装置以 64 kbps / 2 Mbps 速率, 按 CCITT 推荐标准 G703 规定的数字通信系统复用器的 64 kbps / 2 Mbps 数据通道同向接口, 即复用 PCM 方式; 另一种是保护装置的数据通信以 64 kbps / 2 Mbps 速率, 采用专用光纤芯进行双向传输, 即专用光纤方式。(详见图 3)

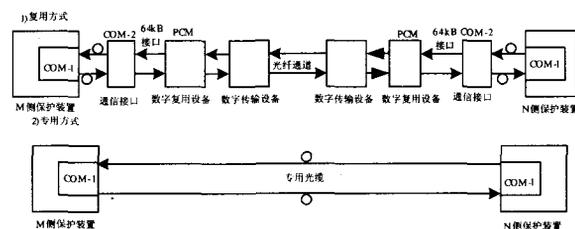


图3 光纤电流差动保护与通信系统的连接示意图

Fig.3 Conjunction diagram of fiber optical current differential protection and communication system

固原电网的光纤电流差动保护通信接口基本采用复用 PCM 方式, 如: 330 kV 固西线、固靖线及 110 kV 固北 I II 线、固瓦 I II 线、固三 I II 线、三七 I II 线等线路保护均采用数字通信系统复用器的 64 kbps / 2 Mbps 数据通道同向接口, 仅有 110 kV 固南 I II 线保护采用专用的光纤通道。

3.2 光纤电流差动保护装置对通信通道的要求

由于光纤差动保护的动作为完全依赖于光纤通道, 通道的安全可靠十分重要。考虑光纤信息传输通道有可能因工作纤芯受潮或断芯等故障导致数据传输误码率增大或通道中断等影响输电线路主保护退出电网运行现象的发生, 为保证高压输电线路的安全运行, 作为主保护的纵差保护不致由于通道故障而退出运行, 有必要为同一套纵差保护装置配置备用光纤通道。

不论采用专用光纤通道或复用通道, 在工程设

计中,应考虑光纤通道的双重化,敷设的光缆要留有一定的备用纤芯,对于普通光缆,一般要求敷设两根光缆,且两根光缆最好不要置于一根管道中。对于 OPWG 光缆,安全性较高,可只配备一根光缆,在敷设的光缆中增加备用纤芯是通道冗余的一种常用方法,为高压输电线路保护敷设专用光纤通道时,选择光缆除保证主用通道所需的纤芯外,还应考虑备用通道的纤芯数。选择备用通道的纤芯数时,最好按 100% 后备考虑,采用一备一的方式,即一根工作纤芯应配置一根备用纤芯。

当纵联电流差动保护装置采用复用光纤通道方式进行通信时,也应考虑备用通道的问题。当复用通道为光纤通道时,可利用光缆中预留给保护装置的纤芯或备用纤芯,构建专用光纤通道作为复用通道方式的备用。当复用通道或复用设备故障时,可自动切换至专用光纤通道方式工作。事实上,当一套保护装置同时具备光纤专用通道和复用通道两个通道时,由于复用通道所用设备多,故障几率大,而专用通道简单、中间环节少、可靠性较高,一般将专用通道作为主用通道,复用通道作为备用通道。当专用通道故障时,自动切换到复用通道。这样,既保持了专用通道的可靠性,又利用了复用通道 SDH 自愈环^[2]的优越性。

在固原电网中,仅有 330 kV 固靖线保护采用了一主一备两个通道,330 kV 固西线及 110 kV 输电线路的保护都没有考虑备用通道的问题。而且大多光缆纤芯考虑备用数不足,如:同心—七营—三营—固原的主干光缆建设时没有考虑备用问题,采用了 16 纤芯的 ADSS-16B1 型全介质自承式光缆,目前七营至三营段光缆纤芯已基本全部占用,根本无备用纤芯可言。

3.3 通信时钟的同步方式

光纤电流差动保护的关键是两侧差动保护之间电流数据的交换,这就要求线路两侧的保护装置的采样同时、同步,因此时钟同步^[6]对光纤电流差动保护至关重要。

时钟同步的方式有三种方式,即“主—主”方式、“从—从”方式及“主—从”方式三种。“主—主”方式是两侧保护装置的同步时钟均应设为“内时钟”,数据发送采用装置的内部时钟,接收时钟从接收数据流中提取,从而保证两侧的时钟同步;“从—从”方式是两侧保护装置的同步时钟采用外部时钟方式,数据发送时钟和接收时钟为同一时钟源,均从接收数码流中提取复用数字通信系统的时钟信号来保证两侧的时钟同步;“主—从”方式是两侧保护中一侧采用内部时钟作为主时钟,另一侧保护则

应设置成从时钟方式,从时钟侧的保护装置的时钟信号从主时钟侧保护传来的信息编码中提取,从而保证与对侧的时钟同步,否则会由于两侧 PCM 设备的时钟存在微小差异,而使装置在数据接收中出现定时误码现象(该现象在固原电网更换固三 II 线保护装置为光纤电流差动保护装置的过程中出现过,原因就是固三 II 线线路两侧的通信时钟设置为“主—主”方式,后改为“主—从”方式,保护正常。在日常工作中,我们根据保护装置所采用通道方式的不同确定通信时钟不同的同步方式,只有在实现通信时钟同步的基础上,光纤电流差动保护才能做到采样同步。

目前,固原电网中所有的光纤电流差动保护大多按照“主—从”方式来整定时钟同步,一般在电源侧为主时钟方式,负荷侧为从时钟方式。如:固三 I 线配备的光纤电流差动保护装置在固原侧整定为主时钟,在三营侧整定为从时钟。仅有三七 I II 线两侧保护装置按照“从—从”方式来整定时钟同步。

4 光纤电流差动保护的同步采样原理

保护装置一般采用图 4 所示的方法来实现采样同步^[6]。无论通信通道采用的是专用光纤通道还是复用 PCM 通道,线路两侧的电流差动保护装置必须一侧为参考端(主机方式),另一侧为同步端(从机方式),该设置与通道方式无关。参考端作为系统的基准,同步端经同步调整保持与参考端的采样同步,具体原理为:为保证两侧保护装置采样同步,采样同步端(从机)的一侧发一帧同步请求命令,其中包括采样标号,采样参考端(主机)在收到同步端(从机)发来的命令后返回一帧数据,其中包括参考端(主机)的采样标号及该采样相对应的时间等信息,同步端(从机)收到参考端(主机)的相应数据报文后,可计算出通信传输延时和两侧采样时间差 Δt ,同步端(从机)根据这个采样时刻的偏差确定调整次数,经过保护装置对采样时间的数次微调,即直到 $\Delta t=0$ 时,两侧保护装置实现采样同步。

这种同步方法的优点是两侧保护装置采样同步后,完成差动保护算法时,仅需对齐两侧保护装置的采样标号即可保证算法的正确性,无需为通信的延时进行额外的补偿计算。这不仅简单,更为可贵的是,在完成差动保护算法的计算过程中,与通信传输延时无关。这就意味着用这种方法实现采样同步的差动保护装置可适应通信路由发生变化的通信系统。

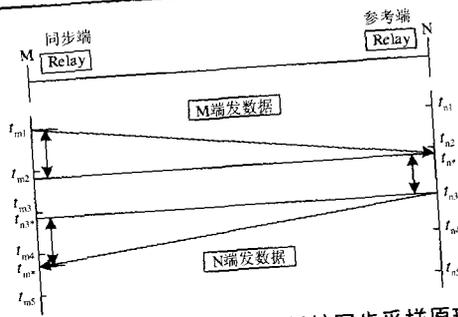


图4 光纤电流差动保护同步采样原理图

Fig.4 Synchronous sampling principle diagram of fiber optical current differential protection

5 光纤电流差动保护运行维护中容易忽视的环节

由于固原电网内的光纤电流差动保护装置大多采用复用 PCM 通道, 保护装置与复用 PCM 之间没有直接联系, 而是采用“保护装置→光电转换接口→数字配线架→复用 PCM→光纤通道”连接方式。正常运行中, 保护装置与光电转换接口之间, 可通过环路试验检查其光纤连接的完好性; 对于复用 PCM 设备, 可通过光纤网管系统进行实时检查; 而对于光纤转换接口→数字配线架→复用 PCM 之间的连接, 经常由于该段连接的不可靠(如接触不良等原因), 造成光纤通道告警、电流差动保护自动退出运行的现象。故障现象出现后, 由于工作人员缺乏经验和有效的检测手段, 运行和维护人员常常不能及时发现问题所在, 使得光纤差动保护难以及时恢复正常运行, 从而影响电网的安全运行。

此外, 专用光纤通道的可靠性虽然较高, 但也有损坏的可能性, 如光缆断芯、熔纤质量不好、光纤跳线接头松动、光纤受潮或接头积灰导致损耗增大等。所有的这些都是我们在光纤电流差动保护的正常运行维护中容易忽视的地点。如: 在实际工作中, 现场敷设的光缆需经光缆终端箱, 通过熔纤工序和尾纤熔接在一起, 然后由尾纤直接或经光缆终端箱上的法兰盘和光纤跳线接至保护装置的光纤接口。工作中, 往往是熔纤后工作通道的尾纤和备用通道的尾纤捆放在一起, 需用哪个通道则将哪个通道的尾纤接至保护装置。这样做, 不但尾纤容易折断, 通道易混淆, 而且操作也十分不便, 容易造成光纤电流差动保护通信通道的损坏。

6 结束语

光纤电流差动保护作为固原电网 110 kV 及以上输电线路的主保护之一, 严格来讲是跨专业的。为了保证光纤电流保护装置的正常运行, 确保固原

电网的安全、可靠地向用户持续供电, 对于从事继电保护专业的技术人员和通信技术人员而言, 笔者认为应做到以下几点:

(1) 继电保护专业的技术人员不仅需要掌握电力系统继电保护方面的专业知识, 同时还应对通信专业(尤其是光纤通信)的相关知识有一定程度的掌握;

(2) 在实际调试和运行维护中, 保护人员不但要集中精力进行保护装置本身调试和运行维护工作, 而且对保护装置如何与通信系统对接等问题要引起足够的重视, 不要总认为那是通信专业的事情。一旦光纤保护出现通道异常或故障时, 保护和通信专业人员都说不清楚具体原因所在而出现互相推诿扯皮现象, 这在我们的日常生活中已屡见不鲜;

(3) 不论是继电保护专业人员, 还是通信专业人员, 都要重视通信工作通道及备用通道的运行维护和正常检测工作, 以保证光纤电流差动保护的正常运行, 确保电网的安全运行。

(4) 通信专业技术人员在工程设计中, 应考虑光纤通道的备用问题, 最好按该文提出的“一备一”方式 100% 的后备考虑或按照环网设计光纤通信网架。

(5) 随着继电保护技术的迅猛发展和光纤通信技术的日新月异, 不论是继电保护人员还是通信人员, 都应充分利用工作之余, 努力学习新技术、新知识来充实各自的工作。宁夏电力公司近两年来提出的“冬培夏练”活动正好为我们提供了很好的学习机会, 只要正确处理好工学关系, “充电”学习会有更好的实效的。

参考文献

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京, 中国电力出版社, 1995.
ZHU Sheng-shi. Principle of High Voltage Relay Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.
- [2] 唐棣芳. 光纤通信[M]. 北京: 复旦大学出版社, 1999.
TANG Di-fang. Fiber Optical Communication[M]. Beijing: Fudan University Press, 1999.
- [3] CSC-103A、CSC-103B 数字式超高压线路保护装置说明书[Z]. 北京四方继电自动化股份有限公司.
Introduction of CSC-103A & CSC-103B Series Digital Extra-high Voltage Transmission Line Protection[Z]. Beijing Sifang Automation Co., Ltd.
- [4] WXH-803A 型微机线路保护装置技术说明书[Z]. 许继电气股份有限公司.
Introduction of WXH-803A Series Microprocessor Based Transmission Line Protection. XJ Group Corporation[Z].

(下转第 73 页 continued on page 73)

殊情况下,会造成自动重合闸误动作。

当断路器作用于永久性故障永跳后,由于 TWJ 动作,使得重合闸无法充电,保证了重合闸仅动作一次。但此时若断路器合闸弹簧储能时间过长(要求小于 15 s)或 SF6 低闭锁操作继电器接点长期打开,超过了保护后加速时间与重合闸充电时间之和,即永跳后 TWJ 无法励磁,重合闸将会发出充电满信号。一旦弹簧储能结束(或 SF6 闭锁操作继电器接点闭合),TWJ 动作,保护装置将判断为断路器位置不对应,立即起动重合闸,经延时动作使断路器再次合上,使系统再次受到短路电流的冲击,同时使断路器工作条件加速恶化,对系统造成了严重的影响。

3 分析原因,提出解决方案

经分析可知,TWJ 失磁,有两种可能:一种是断路器处于合闸状态,此时 HWJ 应动作;另一种是断路器虽处于分闸状态,但断路器的合闸回路不通,例如 SF6 低闭锁操作或合闸弹簧未储能等,此时 HWJ 也失磁,保护装置应发控制回路断线。因此,仅靠 TWJ 来判断断路器状态是不完全的。

对于以上问题,建议从两个方面解决:即断路器和保护装置。断路器方面,可将易造成重合闸误动的环节提出来,即分别扩展一对弹簧储能继电器接点和 SF6 闭锁操作继电器接点,将这两个继电器

接点并联,引至压力闭锁重合闸的开入。这样,即使断路器合闸弹簧储能(或 SF6 闭锁操作继电器接点闭合)时间再长,由于有压力闭锁重合闸的开入,重合闸装置是不会充电的,避免了永久性故障重合闸第二次动作的可能。西门子高压开关有限公司生产的 3AP1-FG 型 SF6 断路器便有此功能。

对于保护装置来说,HWJ 和 TWJ 两只继电器在正常状态下,其中一只继电器必然动作,否则“控制回路断线”信号将会发出。我们只需将 HWJ 和 TWJ 的常闭接点串联,作为闭锁重合闸的开入,使重合闸放电,以上现象即可避免。南瑞继保的 RCS-941 型保护便将“无控制回路断线”作为重合闸充电条件之一,防止了重合闸的第二次误动作。

4 结束语

自动重合闸装置的正确动作不仅提高了供电可靠性,减少了停电造成的损失,而且还提高了电力系统的暂态稳定水平,增大了高压线路的送电容量。

收稿日期:2007-01-29;

修回日期:2007-05-31

作者简介:

张 赞(1975-),女,工程师,长期从事继电保护工作;E-mail:zhy4749@163.com

张 斌(1973-),男,工程师,从事继电保护管理工作;吴祖升(1971-),男,工程师,长期从事继电保护工作。

(上接第 67 页 continued from page 67)

Northwest Electric Power Design Institute of Department of Water and Electric Power, Electric Power Engineering Design Handbook[M].Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1989.

[3] 能源部西北电力设计院.电力工程电气设计手册[M].北京:中国电力出版社,2004.

Department of Energy Northwestern Electric Power Design Institute, Electric Power Engineering Design Handbook[M].Beijing: China Electric Power Press, 2004.

[4] 华中工学院.电力系统继电保护原理与运行[M].北京:水利电力出版社,1981.

Huazhong Engineering College.Theory and Function of Electrical Power System Protective Relay[M].Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1981.

收稿日期:2007-07-09;

修回日期:2007-08-21

作者简介:

万 利(1949-),男,副教授,研究方向:继电保护、自动装置、计算机仿真。E-mail:: wanguon789@yahoo.com.cn

(上接第 71 页 continued from page 71)

[5] 廖泽友,鲍伟廉,杨奇逊,等.数字式高压线路电流纵差保护的通信技术[J].电力系统自动化,1999,23(18):25-27. LIAO Yi-you, BAO Wei-kang, YANG Qi-xun, et al. Communication Technology of Digital Current Differential Protection for High Voltage Transmission Line[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999,23(18): 25-27.

[6] 许建德,陆以群.新型数字电流差动保护装置中的数据采样同步和通信方式[J].电力系统自动化,1993,17(4):23-26.

XU Jian-de, LU Yi-qun. A New Scheme of Sampling Synchronization & Communication for Digital Current

Differential Relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 1993, 17(4): 23-26.

收稿日期:2007-03-23;

修回日期:2007-05-30

作者简介:

刘小利(1975-),女,主要从事电力系统继电保护及安全控制的研究;E-mail: lx15961@163.com

姚宗涛(1971-),男,工程硕士,主要从事电力系统运行分析与计算及现代电网调度运行及管理的研究;

祝石厚(1982-),男,在读硕士生,主要从事电力系统谐波状态估计以及电力电子技术在电力系统中的应用研究。