线路光纤差动保护原理与试验

文/中国石油大连石化公司　周明琨

阐述线路光纤差动保护的工作原理，以其在某电厂输电线路中的实际应用，介绍了线路光纤差动保护的动作原理以及比率制动特性。同时针对此输电线路微机保护校验过程，提出一种新的校验方法，该方法能够实现对差动保护起动元件和比率制动特性的校验，有效地解决了对调试验中试验电源相位同步的问题。

随着我国工业行业电力输配电系统不断发展，长距离输电线路数量逐渐增加，确保电力系统安全平稳运行显得尤为重要，对继电保护设施也提出了更高的要求。线路光纤差动保护通过比较线路侧及负荷侧两端的电流矢量差实现线路保护功能。通过比率制动方程实现区内动作区外闭锁的特性，能够迅速切断故障；同时运行过程中不会因系统振荡、非全相运行导致保护误动作，对各类型的故障均能较好地起到保护作用，具有较高的灵敏度，因此线路光纤差动保护常被选为线路主保护。此外由于光纤通信技术与材料日趋完善，具有光纤通道容量大、敷设方便、抗电磁干扰能力强及大容量传输数据等优势，同时微机保护能够实现等电磁式保护无法实现的功能，因此微机式差动保护在电力系统中得到了广泛的应用。

线路光纤差动保护的原理

传统的线路差动保护通过电磁式继电器将两侧采集到的电流、电压、功率的幅值及方向等电气量进行相互传输，通过对两端的电气量进行计算，判断线路故障是否在保护动作区内，从而决定是否需要切断被保护线路。线路光纤差动保护与传统的线路差动保护原理相同，采用主、从时钟通信方式，将其中一台保护装置设为主时钟，对侧的保护装置设为从时钟，时钟间通过光纤通道相互收发信息，同时实时更新时间，从而实现系统时钟同步。其原理如图 1 所示。

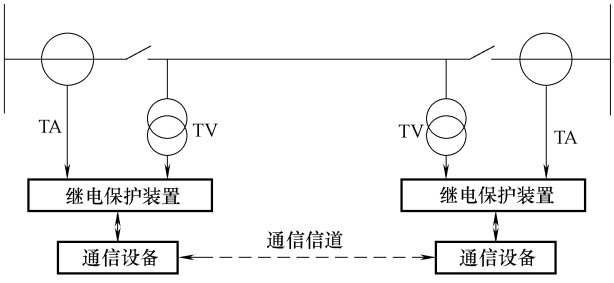

图 1　光纤差动保护原理图

线路光纤差动保护的应用

某电厂总变电所 6 kV 母线下属共计 24 条馈线均为长距离输电线路，全部采用 PCS-9613D 型微机保护作为输电线路的主保护。PCS-9613D 差动保护功能由比率差动元件和保护起动元件共同作用实现。当差动保护动作时，均向对侧发送允许动作信号。只有当保护装置两侧的起动元件和保护元件同时动作且两侧保护装置同时收发到允许动作信号

后，差动保护装置出口才能够正常开放。

1. 差动保护元件

比率差动元件由比率差动继电器构成。当发生区外故障时，制动电流大于动作电流，确保保护不会误动作；当发生区内故障时，制动电流远小于动作电流，从而实现保护正常动作，实现了继电保护功能选择性与可靠性。PCS-9613D 比率制动方程为：

差动电流方程 $I_{d\phi}=|I_{M\phi}+I_{N\phi}|$

制动电流方程 $I_{r\phi}=|I_{M\phi}-I_{N\phi}|$

差动方程 $I_{d\phi}<I_H$

$I_{d\phi}<0.6I_{r\phi}$

式中，$I_{d\phi}$ 是差动电流合成量，为线路侧及负荷侧电流矢量和的幅值；$I_{r\phi}$ 是制动电流合成量，为线路侧及负荷侧电流矢量差的幅值；I_H 是分相差动定值，按躲过线路最大负载运行方式下的最大不平衡电流整定；$\phi=A$、B、C。

2. 保护起动元件

保护起动元件由过电流继电器和电压继电器组成，各起动元件的原理如下。

（1）流变起动元件

流变起动元件采用具有浮动门坎的过电流继电器，其门槛值始终高于不平衡电流，该方式能够保证系统波动时保护装置不会误动作，提高了保护的灵敏度。

流变起动方程 $\Delta I_{\phi\phi}<\Delta I_{\phi\phi t}+1.25\Delta I_{\phi\phi h}$

式中，$\Delta I_{\phi\phi}$ 是保护装置采集的相间电流变化量；$\Delta I_{\phi\phi t}$ 是浮动门槛，随采集的相间电流变化量增加而提高；$\Delta I_{\phi\phi h}$ 是流变起动定值，按躲过线路额定负载运行方式下的电流波动最大值整定。

（2）相电流起动元件

相电流起动元件采用固定门槛的电流继电器，当继电器采集的相电流大于相电流起动定值时，相过电流起动元件动作。

相电流变化量起动方程 $I_\phi<I_{\phi td}$

式中，I_ϕ 是保护装置采集的相电流；$I_{\phi td}$ 是相电流起动定值，通常按躲过线路最大负荷电流整定。

当被保护线路的远端发生区内故障时，输电线路弱馈线侧的电流变化量低于导致差动起动元件拒动作，为防止这一情况的发生，当弱馈线侧保护装置收到对侧的允许动作信号后，在采集电流量的同时通过电压继电器采集弱馈线侧相间电压，如果弱馈侧相间电压低于 70%额定电压，则通过辅助电压起动元件起动差动保护。

线路光纤差动保护调试

线路光纤差动保护试验通常采用双电源法，即在两侧保护装置外接试验仪模拟电气量。然而在实际调试过程中，由于试验仪间缺乏有效的对时方式，试验仪所模拟的电流源难以实现同步输入，导致保护调试过程中经常出现保护误动作或拒动作的现象；同时保护装置调试大纲也缺少起动元件校验相关内容。为了解决上述问题，试验前首先在两侧保护装置内通入幅值相同的初始电流，通过调节一侧初始电流相位角的方式模拟电流同相位运行状态，再通过调整电流幅值步长的方式模拟差动保护区内外故障。本文以某输电线路的差动保护调试过程为例，对上述方法进行论述。该输电线路两侧保护装置保护定值见表 1。

表 1 光纤差动保护定值单

保护名称	电流比	定值/A
流变起动	1000/5	1.5
相电流起动		5
分相差流		5

1. 模拟流变起动

试验前合上负荷侧及线路侧开关，检查两侧装置“投差动保护”功能压板均已投入，两侧保护装置三相电压输入正常。用电流测试仪在负荷侧与母线侧输入 0.2 A 的初始电流，通过调节任一侧电流相位模拟线路侧与负荷侧电流同相位状态。随后调整线路侧电流测试仪电流输出步长为流变电流起动定值，调整负荷侧电流测试仪电流输出步长模拟比率制动方程区间内及区间外两种情况，其试验结果如表 2。

2. 模拟相电流起动

试验前合上负荷侧及线路侧开关，检查两侧“投差动保护”8 功能压板均投入，两侧保护装置三相电压输入正常。用电流测试仪在负荷侧与母线

表 2　流变起动元件校验结果

（单位：A）

模拟试验类别	母线侧	负荷侧	保护动作结果
线路侧流变起动动作	0.2（调相位）	0.2	差动保护动作，两侧开关均跳闸
	步长 1.5	步长 6.7	
线路侧流变起动不动作	0.2（调相位）	0.2	差动保护不动作
	步长 1.5	步长 6.5	
负荷侧流变起动动作	0.2	0.2（调相位）	差动保护动作，两侧开关均跳闸
	步长 6.7	步长 1.5	
负荷侧流变起动不动作	0.2	0.2（调相位）	差动保护不动作
	步长 6.5	步长 1.5	

侧分别加 0.2 A 的初始电流，模拟线路侧与负荷侧电流同相位。随后调整两侧电流测试仪的步长使线路侧电流输入值达到相电流起动定值，负荷侧模拟比率制动方程区间内及区间外两种情况，注意电流测试仪的步长调节不能超过流变电流起动定值。其试验结果见表 3。

3. 模拟辅助电压起动

试验前将两侧开关置于合闸位置，两侧差动保护功能压板均投入，在弱馈线侧首先加三相正序电压 U_n，在线路侧加电流模拟差动保护动作方式，保

表 3　相电流起动元件校验结果

（单位：A）

模拟试验类别	母线侧	负荷侧	保护动作结果
线路侧相电流起动动作	0.2（调相位）	0.2	差动保护动作，两侧开关均跳闸
	步长 1.2（4 次）	步长 1.2（3 次）	
		步长 16.3	
线路侧相电流起动不动作	0.2（调相位）	0.2	差动保护不动作
	步长 1.2（4 次）	步长 1.2（3 次）	
		步长 16.1	
负荷侧相电流起动动作	0.2	0.2（调相位）	差动保护动作，两侧开关均跳闸
	步长 1.2（3 次）	步长 1.2（4 次）	
	步长 16.3		
负荷侧相电流起动不动作	0.2	0.2（调相位）	差动保护不动作
	步长 1.2（3 次）	步长 1.2（4 次）	
	步长 16.1		

证故障电流大于差动保护定值，随后降低负荷侧电压低于 70%U_n。其试验结果见表 4。

4. 模拟线路空充起动

试验前合上负荷侧开关，拉开线路侧开关，同时投入两侧“投差动保护”功能压板。在线路侧输入电流模拟差动保护区内故障，保证故障电流大于差动保护定值。其试验结果见表 5。

表 4　辅助电压起动元件校验结果

模拟试验类别	母线侧	负荷侧	保护动作结果
负荷侧辅助电压起动	5 A	三相正序 57.7 V	差动保护不动作
	5 A	三相正序 40.3 V	差动保护动作，两侧开关均跳闸
线路侧辅助电压起动	三相正序 57.7 V	5 A	差动保护不动作
	三相正序 40.3 V	5 A	差动保护动作，两侧开关均跳闸

表 5　线路空充校验结果

模拟试验类别	母线侧	负荷侧	保护动作结果
负荷侧空充起动	5 A	无	差动保护动作、负荷侧开关跳闸
线路侧空充起动	无	5 A	差动保护动作，线路侧开关跳闸

结束语

光纤差动保护是长距离输电线路中十分重要的一种保护方式。通过对光纤差动保护调试方法的研究与改进能更好地掌握光纤差动保护相关动作原理。为现场运行、维护人员进行该保护的调试和学习提供了参考与建议。EA

（收稿日期：2021-05-07）