

输电线路的继电保护装置

许昌继电器研究所 方文楷

内 容 提 要

建国三十五年来,我国继电保护工作者在提高继电保护安全性与可靠性上做了大量工作,继电保护水平是比较高的。本文从继电保护的安全性、可靠性出发,综述输电线路的纵联保护、距离保护,近期建成并已投入运行的东北500kV线路保护以及基础继电器更新换代工作几方面的主要成就。

安全性与可靠性

安全性系指要求保护装置在不需它动作时可靠不动作,即不发生误动作。可靠性则指要求保护装置在需它动作时能可靠动作,即不发生拒动动作。安全性与可靠性是对继电保护性能的最根本要求,即要求继电保护既不应该误动作,也不应该拒动动作。

就高压、超高压输电线路继电保护的设计指导原则而论,世界上工业先进国家与我国有较大区别。一般说来,外国要求首先考虑可靠性,即本线路故障时可靠动作;而我国则要求首先考虑安全性,即在正常运行及外部故障时不发生误动作。其原因是由于工业先进国家的电力系统和我国实际情况有较大差别,它们电网比较强大,联系紧密,联络线路多,各级电压线路迭加环并运行,系统备用容量较大,因而当线路故障时首先要求将故障线路切除,如无故障的线路个别误跳闸也不致造成大事故;而我国电网都正处在发展中,电源系统比较松散,系统稳定水平较低,主要输电线路特别是电源联络线的负荷往往很重,系统又缺乏备用容量,对于高压、超高压输电线路,一旦误动作,都会给整个电力系统带来严重影响。

我国研制的高压、超高压输电线路继电保护大都遵循上述这一技术原则。建国三十五年来,我国继电保护工作者辛勤劳动,为保证电力系统的正常运行贡献力量,作出了很大成绩。从全国各电网的保护正确动作率来衡量,应该说,我国的继电保护水平是比较高的。

纵联保护

纵联保护包括我国电力系统普遍应用的相差动高频保护、高频闭锁方向保护、导引线纵差保护以及正在试运行中的特高频或微波的分相电流差动保护。这里仅谈在提高安全性与可靠性上的几个特点。

两次比相

在我国220kV输电线路中作为主保护的ZCG—1A型晶体管相差动高频保护装置

的比相元件特设两个，当被保护线路发生区内故障时，只有一个比相元件投入工作，另一个比相元件不投入工作；而线路发生外部故障或非全相运行时，两个比相元件都投入工作，这样，有利于躲过故障发生和切除时产生的暂态过程，区外故障增加了保护的安全性，而区内故障不影响保护动作的快速性。

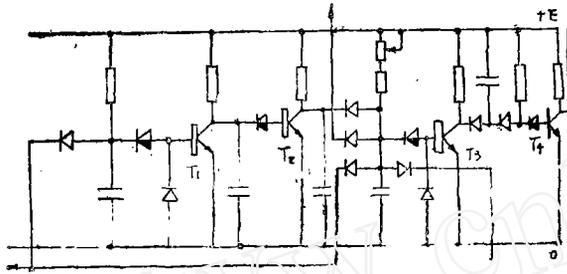


图 1 相位比较回路原理接线图

装置的相位比较回路采用晶体管积分原理，其接线简单，过渡过程小，动作迅速。两个比相元件接线相似，由积分回路及脉冲展宽回路组成，原理接线如图 1 所示。

图中 T_1 和 T_2 组成一个比相元件， T_3 和 T_4 组成另一比相元件。

电压相位比较式方向元件

天津大学电力及自动化系与许继所共同研制的 ZFG—2 型高频闭锁方向保护装置采用电压相位比较式方向元件，在线路非全相运行状态下能正确工作。

电压相位比较式方向元件反应不对称短路，不反应系统振荡和三相短路。在一相断开的非全相运行状态下，比较断开相电压与其它相电压的两个方向元件，由于断开相闭锁退而工作。对于比较非断开相电压相位的方向元件，在非全相以及非全相振荡状态下都不会误动作，不必退出工作。在一相断开的非全相运行状态下，尚在运行中的两相中发生单相接地和两相短路，保护能有选择性地正确反应。因此，保护可用于长期非全相运行的线路。

保护装置包含“ F_{AB} ”、“ F_{BC} ”和“ F_{CA} ”三个电压相位比较式元件。每个元件的接线原理相同，简述如下：

方向元件是利用比较下列补偿电压的相位来判断故障方向的。

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - (i_A + ni_0) K Z_L$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - (i_B + ni_0) K Z_L$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - (i_C + ni_0) K Z_L$$

式中： Z_L ——线路的“导线—大地”阻抗。

K ——大于 1 的系数。由线路正向末端单相接地短路时方向元件的灵敏度和保证系统振荡时反向故障方向元件不误动等因素决定。

n ——零序电流补偿倍数。

装置采用三个单相式，以保证正确反应非全相状态的故障，即：

$$F_{AB} \text{ 比较 } \dot{U}'_A \text{ 和 } \dot{U}'_B \text{ 的相位；}$$

F_{BC} 比较 \dot{U}'_B 和 \dot{U}'_C 的相位,

F_{CA} 比较 \dot{U}'_C 和 \dot{U}'_A 的相位。

每个方向元件的动作条件为:接于方向元件的超前补偿电压,超前于落后相补偿电压的角度在 $210^\circ\sim 390^\circ$ 时,方向元件动作。由此可见,方向元件不反应系统振荡和三相短路。

当线路发生正方向不对称短路时,由于故障相的补偿电压改变方向,使方向元件动作。发生反方向不对称短路时,故障相的补偿电压方向不变,方向元件不动作。

装置采用正负半周比相,整组动作时间小于 40ms 。

方向元件在 500kV 、 400km 输电线路参数的静模台上经受数千次人工短路试验,线路两端的的方向元件均能正确反应,保护装置经过大量的 500kV 电力系统动模的人工短路试验,和四年现场运行考验,证明其具有高度安全性与可靠性。

分相电流差动微波保护

保护特点是:

- a、微波通道可提供较多讯道和较宽频带,
- b、可用于多端分支线及同杆并架双回线等复杂线路作主保护。

保护装置由载波差动继电器,复合电压继电器,保护巡检元件等构成。差动继电器的构成方框图如图2所示。

复合电压继电器作为保护的闭锁元件,以防止差动继电器元器件损坏,电流互感器断线等原因引起差动继电器误动作而造成保护的误跳闸。

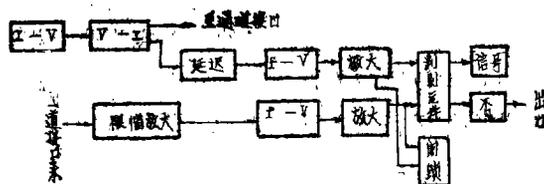


图2 载波差动继电器原理方框图

发讯方式选择

西安交通大学电机系研制的晶体管相差动高频保护装置为了解决单测电源区内故障保护拒动的问题,设置一发讯方式选择回路,在操作电流较大时以“有态”方式发讯;在操作电流小或为零时以“无态”方式发讯。两种方式的差别在于当操作电流较小时,前者发讯宽度变宽,后者发讯宽度变窄;当操作电流为零时,前者发连续波,后者不发高频讯号。两种方式在操作电流足够大时发讯宽度均为 180° ,并根据操作电流的大小能自动进行切换。

距离保护

相间距离保护是高压线路的基本保护之一。几十年来运行实践说明,为充分发挥相间距离保护的效能,必须解决因失压,振荡和过负荷等引起的误动作问题。我国继电保护工作者对此进行了大量科研、技术改进工作,取得了显著效果。现举得到普遍应用的成果两例于下:

故障起动元件

用相电流元件与负序及零序电流增量元件配合构成的振荡闭锁装置在我国电网中已广泛使用。这里负序及零序电流增量元件同时可作距离保护装置的起动元件。负序增量元件构成示意图示于图3。此元件反应突变过程中负序电流的增加量，而对于负序电流的缓变量，它反应量的变化速度，而不反应稳态的负序电流与一切稳态的不平衡输出。

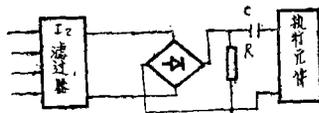


图3 负序增量元件构成示意图

一般在系统振荡时第一周期往往是整个振荡过程中最长的一个周期，负序电流增量元件正是利用了第一个振荡周期较长，电流变化较慢，负序滤波器即使有不平衡输出也变化甚微这个特点，因此，在振荡时负序电流增量元件不会误动作，就能可靠闭锁距离保护跳闸回路。

矩形特性方向阻抗继电器

在长距离重负荷输电线路中，为了区分故障与过负荷，可采用多种形状特性的阻抗继电器，矩形特性方向阻抗继电器是其中之一。我国电气化铁道馈线保护已成功地使用矩形特性方向阻抗继电器，其原理方框图示于图4。其动作特性示于图5。

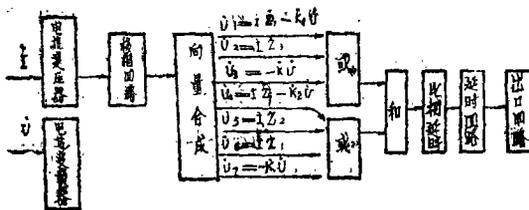


图4 矩形阻抗继电器原理接线图

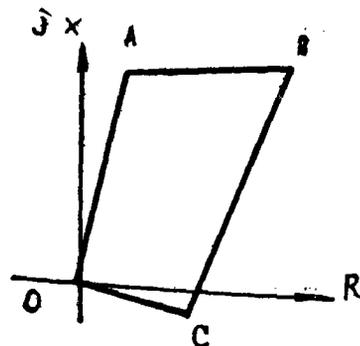


图5 矩形阻抗继电器动作特性

500KV输电线路的继电保护

东北电力系统500kV输电线路是我国第一条采用国产设备的超高压线路，采取了由运行、制造、设计、科研部门联合研制继电保护设备这一行之有效办法。遵循如下几点进行研制工作：

- 1、采用我国220kV线路成熟的有运行经验的保护接线，
- 2、解决目前在220kV线路保护中尚存在的问题与不足之处，
- 3、根据500kV线路的特点充分研究保护特性解决专门问题。

输电线路的特点和保护设计的原则

- a、负荷重、联系薄弱;
- b、线路长、电容电流大、时间常数增长(达到72ms);
- c、采用并联电抗器,使得线路暂态过程复杂,增大直流分量和高频分量,还影响潜供电流,延长了熄弧时间;
- d、可能采取串联电容补偿;
- e、采用带气隙的电流互感器和电容式电压互感器。

综上所述,在研制线路保护时必须首先满足安全性和可靠性。其次要考虑保护的速动性,不仅是各种类型故障在被保护全线段范围内要快速动作跳闸,而且要在故障全过程,保护都能快速动作。

第三要考虑选择性。

第四要考虑保护装置与其它设备,例如与电流互感器、电容式电压互感器、断路器、电缆等的联系,要满足相互配合的要求。

线路保护方式配置

配置两套高频闭锁距离保护,两套零序电流保护。采用整流型与晶体管分立元件有触点的两种不同器件构成两套同样原理接线的保护方式,实现保护双重化。

整流型高频闭锁距离保护屏

由高频闭锁接地、相间距离、相间三段后备距离保护所组成。保护装置和综合重合闸配合使用,无论在线路上发生任何类型故障都能瞬时跳闸和实现瞬时后加速。高频闭锁距离和相间三段距离合用一套振荡闭锁装置,振荡闭锁起动元件为负序电流增量和零序电流增量元件,同时又作为高频发讯机的起动发讯判别元件。高频闭锁接地距离用三只具有记忆特性的接地方向阻抗元件作为距离测定和方向判别元件,高频闭锁相间距离的距离元件和相间三段距离测量元件合用三只具有记忆特性的相间方向阻抗元件,相间后备距离保护一、二段距离测量元件采取有触点切换方式,也用三只具有记忆特性的相间方向阻抗元件。

装置的主要特点是:

- a、动作速度快
 - 被保护线段内无论何处出现何种类型故障,保护均能小于30ms发出跳闸命令。如考虑断路器的分闸时间40ms,则在第一次故障情况70ms就切除故障。
 - 在转换性故障,或者非全相运行过程中健全相再发生故障时,仍能小于30ms发出跳闸命令。
 - 重合到永久性故障线路上,仍旧能小于30ms发出跳闸命令。
 - b、明确的方向性
- 在重负荷情况下,无论送电侧或受电侧背后各种带接地电阻或不带接地电阻的故

障,保护均不会误动作。

c、有可靠的选相能力

接地距离保护有独立的分相跳闸功能,能够可靠地有选择地切除故障相。另外在综合重合闸装置中还设有专门的相电流差突变选相元件。

d、即使在非同期重合闸的情况下,利用两测断路器本身自然的不同时性合闸(即只需两测断路器不同时合闸的时间相差20ms),保证单相重合闸到瞬时性故障线路上重合闸成功,而重合闸到永久性故障线路上快速跳闸。

e、有可靠的双重跳闸回路

这套保护屏的每一面屏都能独立,可以直接控制断路器跳闸。除了考虑主保护与后备保护互为补充外,还考虑了分相跳闸回路与三相跳闸回路互为备用。每两屏都可以单独投入或停用或退出运行。应用灵活,便于不停电时轮流检修保护和定期校验保护。

f、应用重合闸方式灵活

特别是控制两台断路器,例如一个半开关接线时,每台断路器重合闸方式,重合的先后,以及任一台停用重合闸等均可以任意选择,而不影响保护性能,保护之间配合以及损坏断路器等。

g、充分降低回路的功率消耗,小于8VA/相。

晶体管型线路保护屏

屏上装有高频闭锁距离和三段相间后备保护装置,高频收发讯机装置,零序电流方向保护装置及综合重合闸装置。

晶体管保护装置出口跳闸全部选用有触点继电器。保护选用直流逆变电源供电,对外仍为直流220伏电源。

基础继电器的更新换代

五十年代初期,我国引进苏联技术,制造了整套保护继电器及装置,形成了第一代产品。60~70年代,一机部、水电部所属的科研、设计、制造、运行单位联合研制了组合式继电器。连同整流型距离保护装置等形成了第二代产品。第二代产品中有些产品在技术指标上和世界上工业先进国家的同类产品相比尚有差距,有些产品在性能上还存在严重缺陷。有鉴于此,我们已经开始研制第三代产品。基础继电器的更新换代工作已取得可喜的成果,例如:研制中的电流继电器最低整定值下动作功耗小于0.1VA;快速中间继电器动作时间达3.5—4ms;数字式高精度时间继电器延时范围20ms—99s误差小于整定值的0.3%+2ms。具有二次掉牌功能的信号继电器正在试制中。

参考文献(略)