

高等学校教材

高压电网继电保护原理

山东工业大学 马长贵 主编

水利电力出版社

高等学校教材
高压电网继电保护原理
山东工业大学 马长贵 主编

*

水利电力出版社出版
(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 17.5印张 388千字
1988年6月第一版 1988年6月北京第一次印刷
印数00001—10110册 定价: 2.95元
ISBN 7-120-00306-2/IM·75



内 容 提 要

本书着重阐述高压电网继电保护的基本原理，从理论上对距离保护、高频保护和自动重合闸作了比较深入的分析，并介绍了高压电网继电保护的一些新成就。

全书共分九章。第一章是绪论；第二、三章是高压电网距离保护及其动作行为分析；第四章是高频保护基本概念及电力线载波通道；第五、六、七章是高频闭锁距离保护、方向高频保护、相差高频保护；第八章是自动重合闸；第九章是行波保护。

本书可作为高等学校“电力系统继电保护及自动化”专业（又称“继电保护与自动运动技术”专业）的教材，亦可供从事继电保护工作的专业人员参考。

前 言

本书是根据1983年水利电力部制定的高等学校水利电力类专业教材编审出版规划，作为高等学校“电力系统继电保护及自动化”专业高压电网继电保护课程的教材而编写的。

本书着重于高压电网距离保护、高频保护和自动重合闸原理的分析，反映了高压电网继电保护的某些新原理和新成就。

本书共分九章。第一章为绪论；第二、三章为高压电网距离保护动作行为分析；第四章至第七章为高压电网高频保护；第八章为自动重合闸；第九章为行波保护。

本书由山东工业大学马长贵、王广延、江世芳、张尔桦同志编写，马长贵同志主编，王广延同志统稿。

本书第三章中的“支接阻抗动作特性法”，特请华中工学院陈德树教授撰写，在此表示衷心的感谢。

本书承天津大学贺家李教授主审，在主审中详细审阅全书，并提出了许多宝贵意见；天津大学宋从矩教授对本书部分章节也提出许多宝贵意见。在此一并深表感谢。

本书在编写过程中得到电力系统有关部门及兄弟院校的协助以及他们提供的大量参考资料，也在此一并表示感谢。

由于编写人员的水平所限，书中难免存在错误和不妥之处，诚恳地希望广大读者提出批评和指正。

编 者

1987年2月

符 号 说 明

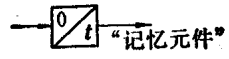
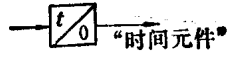
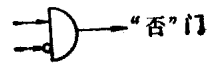
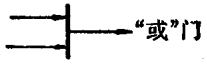
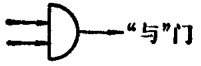
一、下 角 符 号

<i>Bh</i>	保护	<i>hg</i>	互感
<i>bs</i>	闭锁	<i>J</i>	继电器
<i>Bsc</i>	比相输出	<i>jz</i>	机械振荡
<i>BX</i>	比相	<i>lm</i>	灵敏
<i>C</i>	电容	<i>max</i>	最大
<i>CZ</i>	操作	<i>min</i>	最小
<i>D</i>	短路	<i>rs</i>	入射
<i>d, dz</i>	低定值动作	<i>sc</i>	输出
<i>df</i>	地返	<i>sr</i>	输入
<i>DKB</i>	电抗变压器	<i>s·sc</i>	收讯输出
<i>f</i>	返回	<i>sz</i>	收讯
<i>fh</i>	负荷	<i>T</i>	特性
<i>FK</i>	反馈	<i>tz</i>	跳闸
<i>fL</i>	分流	<i>WT</i>	稳态
<i>fs</i>	反射	<i>XB</i>	行波
<i>f·sc</i>	方波输出	<i>xl</i>	线路
<i>FX</i>	发讯	<i>xj</i>	相间
<i>jz</i>	分支	<i>xt</i>	系统
<i>g</i>	高频	<i>yd</i>	裕度
<i>GB</i>	高频闭锁	<i>zb</i>	阻波
<i>gL</i>	高频电缆	<i>zd</i>	整定
<i>gs</i>	工作损耗	<i>zs</i>	折射
<i>gy</i>	固有损耗	<i>zt</i>	暂态
<i>gz</i>	工作		

二、设备、元件及名词符号

<i>BZ</i>	整流桥	<i>LH</i>	电流互感器
<i>C</i>	电容	<i>R</i>	电阻
<i>DKB</i>	电抗变压器	<i>YH</i>	电压互感器
<i>GFX</i>	高频发讯机	<i>Z</i>	阻抗
<i>GSX</i>	高频收讯机	<i>ZB</i>	阻波器
<i>L</i>	电感	<i>ZCH</i>	重合闸
<i>LB</i>	中间变流器		

三、门电路及时间元件符号



目 录

前言

符号说明

第一章 绪论	1
1-1 超高压输电线路的特点和对继电保护的影响	1
一、分布电容大；二、 L/R 比值大；三、负荷重；四、常有串联补偿电容；五、常有并联电抗器；六、线路不换位；七、超高压线路的电流互感器对保护的影响；八、超高压线路的电压互感器对保护的影响	
1-2 超高压线路继电保护的配置原则	4
1-3 目前我国500kV线路保护配置情况及展望	5
第二章 高压电网距离保护	6
2-1 概述	6
2-2 电力系统的振荡	8
一、电力系统振荡概况；二、电力系统振荡时电压、电流的变化；三、系统振荡对距离继电器工作的影响；四、振荡闭锁装置的构成	
2-3 电压回路断线闭锁装置	18
2-4 距离保护装置举例	19
一、装置主要元件的构成；二、方框图动作过程说明	
第三章 高压电网距离保护动作行为分析	24
3-1 概述	24
3-2 测量阻抗动作特性法分析阻抗继电器的动作行为	25
一、两端电源电力系统阻抗继电器动作特性分析；二、阻抗继电器测量阻抗及动作行为分析；三、阻抗继电器测量阻抗及动作行为的计算机辅助分析	
3-3 电压向量图法分析阻抗继电器的动作行为	47
一、电力系统故障前电压向量全图；二、故障点和母线处的电压向量图；三、距离测量电压(补偿电压)；四、电压相位特性；五、相间阻抗继电器动作行为分析	
3-4 支接电阻动作特性法	61
一、三相短路时的基本动作方程；二、其他短路形式下的基本动作方程；三、继电器动作特性的分析方法	
3-5 多相补偿阻抗继电器动作行为分析	65
一、相间多相补偿阻抗继电器动作原理；二、继电器在两相短路时的动作行为；三、继电器在两相运行时的动作行为	
3-6 串联电容补偿对距离保护的影响	77
一、串补电容对距离保护的影响；二、防止反向经串补电容短路时保护误动的措施	
3-7 电力系统短路暂态过程对距离保护的影响	80
一、超高压输电线路短路暂态过程中各种暂态分量的分析；二、暂态过程对距离继电器的影响	
附录I	87
附录II	89

附录III	91
第四章 高频保护基本概念及电力线载波通道	93
4-1 高频保护基本概念	93
一、问题的提出；二、高频保护的基本概念	
4-2 高频通道运行方式及高频信号比较原理	95
一、高频通道运行方式；二、高频信号的比较原理	
4-3 电力线载波通道	98
一、电力线载波通道概述；二、电力线载波通道的基本构成；三、高频阻波器；四、带通滤波器；五、高频电流沿三相输电线路的传播；六、通道损耗的计算和测量；七、高频通道的干扰和裕度	
4-4 微波通道	118
一、微波通讯的特点；二、微波多路通讯基本原理	
4-5 高频保护的收发讯机	122
一、收发讯机的基本构成；二、石英晶体振荡器；三、收讯滤波器；四、收发讯机的接口电路；五、分频滤波器	
第五章 高频闭锁距离保护	129
5-1 高频闭锁距离保护的工作原理	129
一、基本构成和工作原理；二、距离保护和高频闭锁距离保护的复合构成原理	
5-2 高频闭锁距离保护的基本元件	131
一、停讯元件；二、起讯元件	
5-3 高频闭锁距离保护的运行性能分析	137
一、系统振荡对高频闭锁距离保护的影响；二、高频闭锁距离保护在三侧电源线路上的应用；三、功率换向对高频闭锁距离保护的影响；四、串联补偿电容器对高频闭锁距离保护的影响	
第六章 方向高频保护	144
6-1 方向高频保护的工作原理	144
一、电启动方式；二、方向元件启动方式；三、远方启动方式	
6-2 相敏接线负序方向元件	148
一、单相式相敏接线负序方向元件的工作原理；二、负序电压滤序器和负序电流滤序器输出量的相位；三、电力系统短路时，负序方向元件的动作行为分析	
6-3 三相滤序器式负序方向继电器[文献22、4]	154
一、动作原理；二、不对称短路时，负序方向继电器的动作行为	
6-4 非全相运行时负序方向继电器动作性能分析[文献19、16]	159
一、一侧一相断线时，负序方向继电器的动作性能；二、两侧同一相断线时，负序方向继电器的动作性能；三、两侧同一相断线又发生短路时，负序方向继电器动作特性的近似分析[文献4]	
6-5 串联补偿电容器对负序（零序）继电器及方向高频保护的影响[文献1、15、20]	171
一、串补电容在保护正方向且经过电容发生不对称短路；二、串补电容在反方向，保护正方向发生不对称短路；三、保护正方向发生三相短路，保护反方向串补电容不对称短接；四、保护正方向不对称短路，反方向串补电容不对称短接时的数字计算分析；五、正方向不对称短路，反方向串补电容不对称短接时负序方向继电器动作性能的向量图分析法；六、零序电流补偿原理；七、串联补偿电容对高频闭锁负序方向保护的影响	
6-6 高压长线路分布电容对高频闭锁负序方向保护的影响	184
一、外部故障时电容电流对高频闭锁负序方向保护的影响；二、线路自一侧空载合闸时电容电流对高频闭锁负序方向保护的影响；三、消除电容电流影响的方法	

6-7	分支线对高频闭锁负序方向保护的影响	189
6-8	高频闭锁负序方向保护装置的方框图和评价	191
	一、保护装置的方框图[文献28]; 二、对高频闭锁负序方向保护的评价	
6-9	相电压补偿式方向高频保护[文献4、9]	193
	一、相电压补偿式方向元件的工作原理; 二、主要动作情况分析	
	本章附录	198
第七章 相差高频保护		201
7-1	相差高频保护的工作原理	201
7-2	起动元件	204
7-3	操作电流的选择	206
	一、对操作电流的要求和选择; 二、操作电流为零时的操作状态	
7-4	闭锁角的确定及比相元件	211
	一、闭锁角的确定; 二、比相元件及相位特性	
7-5	线路分布电容对相差高频保护的影响	216
	一、空线路合闸接入系统; 二、正常运行状态; 三、线路外部不对称故障; 四、消除电容电流影响的方法	
7-6	非全相运行对相差高频保护的影响	219
	一、一相断线接地情况下, 相差高频保护的动作为分析; 二、二相运行并单相接地条件下, 相差高频保护动作为分析	
7-7	串补电容对相差高频保护的影响	225
7-8	对相差高频保护的评价	226
第八章 自动重合闸		227
8-1	概述	227
8-2	三相自动重合闸	228
	一、单侧电源线路三相一次自动重合闸; 二、双侧电源线路的三相一次自动重合闸	
8-3	综合重合闸	237
8-4	综合自动重合闸选相元件	241
8-5	综合重合闸原理方框图	247
第九章 行波保护		252
9-1	输电线路故障时的行波过程	252
9-2	行波过程的计算方法	255
	一、网格法; 二、贝瑞隆法	
9-3	行波方向保护	262
	一、工作原理; 二、行波方向元件; 三、行波方向电流保护及其运行性能; 四、行波方向高频保护	
参考文献		268

第一章 绪 论

现代输电系统,总的趋向是向着高电压、大输送容量、远距离的方向发展。由于我国煤炭资源大部远离沿海工业中心,水利资源又集中在长江、黄河中上游和西南地区。自然条件决定了我国的输电系统也必须向着高电压、大容量、远距离的方向发展。在第六个五年计划以前,我国输电系统基本上以220kV线路为主体,现在已不能满足迅速发展的工农业生产需要,电力极度紧张。在第六个五年计划期间,国家重点保证发展电力事业,首先在华中、华北、东北三大电网建设了六条500kV输电线路,并按计划投入了运行。这些线路的建成,使我国的大电网向国际水平跨进了一大步,为今后500kV系统的建设奠定了基础。在第七个五年计划期间,上述三大系统将建设几十条500kV线路,形成以500kV为主体的输电系统。除此之外,华东、西北、西南、两广地区也将建成若干条500kV输电线路,500kV输电系统的网架将基本形成。

超高压系统的发展,对继电保护提出了更高的要求,给继电保护工作者提出了一系列新问题。这些问题包括:超高压系统的研究分析;继电保护的配置、运行和管理;进口保护的消化、吸收和改进;新型保护的研制和生产等。现就几个主要问题概述如下:

1-1 超高压输电线路的特点和对继电保护的影响

一、分布电容大

超高压输电线路一般采用分裂导线,分布电容大,500kV线路的正序分布电容为 $0.013\mu\text{F}/\text{km}$ 。分布电容给继电保护和综合自动重合闸带来了十分不利的影晌。

(1)在正常运行中,安装于线路两端的继电保护,测量电流等于负荷电流与电容电流之向量和,这样就不可避免地会产生相位差,致使比较两侧电流相位的保护工作不正确。

(2)线路外部故障时,电容电流不仅使得两侧故障分量的相位改变,而且幅值也发生变化,有可能使方向保护和相位比较式保护不正确工作。

(3)线路轻载或空载运行时,分布电容大,引起线路末端过电压。例如,我国某一500kV线路,当对侧断开,一侧电压升到130kV时,对侧电压已升至220kV。如不并联电抗器或按装同步调相机,线路不能运行。

(4)线路发生故障时,分布电容储存的电能沿线路放电,产生高次谐波。因为分布电容的容抗大于线路的感抗,故其谐振频率高于工频。高次谐波的幅值与短路瞬间有关。当故障发生在电容储能最高时,高次谐波的幅值最高;反之,高次谐波的幅值最低。当全

线的分布电容用一个集中参数代替时，可求得一个频率最低的高频分量。理论上讲，频率越高，幅值越小，衰减也越快。因为高频分量通过线路时产生集肤效应，致使幅值衰减加快。但在操作中发现，高达1.5MHz的高频电流，持续时间达几个毫秒。高次谐波的存在，影响了快速保护的工作。

(5) 分布电容大，会使单相故障切除后，非全相运行过程中潜供电流增大，从而影响故障点的灭弧时间，导致单相重合闸时间过长、成功率降低。

二、 L/R 比值大

超高压输电线路，导线截面加大、电阻下降、 L/R 的比值比一般线路大。 L/R 比值大，使得暂态过程延长，可能导致某些保护不正确工作。

因为线路故障时，故障电流除包括稳态基波分量外，还含有衰减的直流分量。直流分量的大小与故障瞬间的初相角有关。在电压过零瞬间短路时，直流分量最大；而在电压最大值瞬间短路时，直流分量接近于零。直流分量按时间常数为 $\tau_1 = L/R$ 的指数规律衰减， τ_1 值越大，衰减越慢； τ_1 值越小，衰减越快。500kV线路的 τ_1 值大约为0.025~0.045s。 τ_1 值的大小还与故障点的位置有关，若靠近电源侧的线路出口故障，等效的 L 值增大， τ_1 可能达到0.98s。暂态过程拉长，使得故障电流偏移到时间轴一侧，将影响相位比较式保护和距离保护的正确工作。

三、负 荷 重

超高压远距离输电线路，一般都传送重负荷，正常时就工作在稳定极限附近。一遇扰动，容易发生系统振荡。保证线路输送大功率，又不至于在外部故障时引起系统振荡的主要手段是快速切除故障。因此，必须装有快速断路器和快速继电保护装置。

四、常有串联补偿电容

超高压线路串联补偿电容，是提高系统稳定和输送容量的有效措施。但也给继电保护带来了一系列困难问题，例如：

(1) 串补电容改变了线路阻抗按长度增减的比例关系，致使本线路或相邻线路的阻抗元件、方向元件不能正确工作。系统发生振荡时，串补电容器可能不对称击穿，相当于纵向不对称故障，故在振荡电流中附加了各序故障分量，也可能使某些保护不正确工作。

(2) 在串补电容线路中，其等效电路由 R 、 L 、 C 组成。因此，当线路故障时，故障电流中除含有稳态基波分量外，还有一个低频衰减分量。低频分量是由系统、线路的电抗与串补电容的容抗谐振产生的。由于线路的串补度小于1，谐振频率低于工频，故叫做低频分量。若不计分布电容的影响，低频分量的衰减时间常数，应为直流分量衰减常数的两倍，即 $\tau_2 = 2L/R$ 。低频分量的幅值与故障发生瞬间有关。当故障发生在系统电势过零瞬间时，低频分量幅值最大；而当故障发生在系统电势为最大值时，低频分量幅值最小，但不为零。

低频分量的存在，一方面使串补电容的容抗增大，产生很高的过电压；另一方面可能

产生次同步振荡，致使发电机大轴损坏。因为低频谐振电流加入发电机定子中，将产生一个低频旋转磁场。该旋转磁场将在以同步速旋转的转子上感生一个频率为基频和低频之差的旋转磁场，称之为次同步旋转磁场。次同步旋转磁场与定子中的基波旋转磁场相互作用，产生以次同步频率交变的转矩，使转子向前向后扭转。而汽轮机的高、中、低压汽缸和发电机、励磁机等，通常都在一个大轴上，构成了一个线性的质量弹簧系统。当透平机 and 发电机的机械扭转振荡频率接近于次同步频率时，将使这种扭转振荡愈演愈烈，直至机轴损坏为止。

五、常有并联电抗器

超高压线路两端并联电抗器，目的在于补偿线路分布电容，限制过电压，减小单相重合闸过程中的潜供电流。对平衡轻负荷时的线路无功功率和并车时控制两侧电压差都是有利的。并联电抗器可接于母线上，也可接于线路侧，并有自己的保护。

在有并联电抗器的线路上发生故障时，其暂态过程除受基本直流分量的影响外，还受电抗器产生的附加直流分量的影响。附加直流分量的大小与短路瞬间电抗器中电流的大小有关。当电压初相角为零度瞬间短路时，附加直流分量最大；电压初相角为 90° 时短路，附加直流分量最小。电抗器的等值阻抗时间常数很大，因此，附加直流分量比基本直流分量衰减得更慢。当并联电抗器接于线路侧时，线路故障切除后，分布电容和电抗器将产生数秒钟振荡衰减放电电流，影响本线路保护和重合闸工作，并对相邻线路产生干扰。

六、线路不换位

由于经济和技术原因，超高压线路常常不换位，致使三相参数不对称。线路正常运行时就有较大的负（零）序电流，某些保护经常处在起动和不正确的工作状态。特别是在平行线路上，若有的线路换位，有的不换位并装有串补电容时，因其抵消了线路的大部分电抗后，不对称度更加严重。因此，在有串补电容的不换位线路上，负（零）序电流更大，并在并联线路中形成环流，影响各平行线路保护的正确工作。

七、超高压线路的电流互感器对保护的影响

超高压线路短路电流水平高，暂态电流中的直流分量和附加直流分量衰减很慢，致使电流互感器严重饱和，传变能力变坏。二次电流的相位和幅值误差增大，使反应短路电流幅值和相位的保护都受到影响。

超高压输电系统多采用环形母线和 $1\frac{1}{2}$ 断路器接线方式，断路器和线路不再为一一对应关系。线路内部故障时，要求同时跳开两个或两个以上的相关断路器，故保护装置通常接于两组断路器 LH 的“和电流”上。并联运行的两组 LH ，若饱和时间不同，外部故障时可能流出差电流，影响保护的正确工作。

500kV输电线路继电保护，都实现彻底的“双重化”，每套保护均有独立的 LH 和出口，两套保护至少要占用四组 LH 。因此，要十分注意接于同一种保护的两组 LH 暂态特性

的一致性，否则将影响保护的正常工作。另外还要十分注意，在各种不同运行方式时，线路内部和外部故障情况下，两组LH流出的“和电流”是否能使继电保护正常工作。

八、超高压线路的电压互感器对保护的影响

在超高压线路上，由于经济方面的原因，一般采用电容式电压互感器。与电磁式电压互感器相比，此种互感器受暂态过程影响大，不能迅速准确地反应一次电压变化。当线路故障一次电压下降到零时，二次电压需经过20ms左右的时间方下降到额定电压的10%。影响二次电压误差的原因，主要是电压互感器回路中的电容所致，电容量越大，电压衰减越慢，误差也越大。当二次负荷为电阻时，电压过零瞬间短路，电压误差最大；电压为最大值瞬间短路，误差最小。由此可见，此种互感器的误差是不可忽视的，而对直接反应电压量的快速保护的影响，也是显而易见的。特别是在保护区末端故障时，将导致保护范围的变化。电容式电压互感器暂态特性对继电保护的影响与保护类型、互感器的参数有关。建议继电器制造厂家，提出哪种保护与哪种互感器配套使用最佳的意见。

1-2 超高压线路继电保护的配置原则

超高压线路的继电保护必须具有可靠性、选择性、快速性和灵敏性，而且比一般线路要求更高。因为超高压线路传输强大的功率，继电保护不正确工作，将造成巨大损失，影响范围很大，后果非常严重。所以，对继电保护最基本的要求，应保证正常运行时不误动作，线路故障时不拒绝动作。

为了防止继电保护误动作，保护装置本身应选择可靠的工作原理、使用精良的工艺技术、采取有效的抗干扰措施等，还可以在保护装置内部或外部增加必要的监视和闭锁措施。

为了防止保护装置拒绝动作，应采用“双重化”配置原则。一条线路除配置两套不同原理的主保护外，还应配置比较完善的后备保护。

所谓主保护，一般是指被保护线路内部任一点发生任何类型的故障时，均能快速切除，即不带延时地以保护固有的动作时间切除故障。这种保护通常是比较线路两侧电气量的各种高频保护、微波保护等，统称之为纵联保护。

一条线路配置两套完全独立的主保护，要求从输入回路到出口回路彼此之间没有任何联系。各自都有独立的交流LH、YB和直流电源，以及独立的出口回路和独立的选相元件。这样，两套保护并联运行，才能充分发挥两种不同原理保护的作用，收到互相弥补的效果，提高切除故障的可靠性。此种配置方式，还便于一套保护退出检修、维护，而不影响另一套保护的工作。

当线路故障时，若两套主保护拒动，由反应线路单侧电气量的继电保护切除故障，此种类型的保护称为后备保护。

后备保护按故障类型配置。相间短路后备保护，通常采用二段式或三段式距离保护；

接地短路后备保护，通常采用三段式距离保护，也可以采用三段式或四段式零序方向电流保护；有时为了加强接地短路保护，采用两种接地保护同时配置的方案；另外，还需配置断路器失灵保护等。

对于超高压线路后备保护，阶梯时间差 $4t$ 要尽可能地由0.5s降低到0.2s，以提高整个电网的保护水平。对于距离保护的振荡闭锁装置，当振荡周期在0.15~1.0s时应能可靠工作。

对于超高压系统，要求有足够的静态稳定储备系数，并保证有一定的暂态稳定水平。快速切除故障是保证稳定的重要措施。对于超高压线路，一般要求切除故障的时间约限定在0.04~0.06s，扣除断路器跳闸时间和灭弧时间后，继电保护整组动作时间约在0.02s之内。因此，两套线路主保护的固有动作时间也必须控制在该范围以内。

1-3 目前我国500kV线路保护配置情况及展望

到目前为止，我国已有多条500kV线路投入运行，保护配置情况如下：

其中有两条线路，均配置了瑞典ASEA公司的RALDA行波保护、RAZFE距离保护和挪威EB公司的ZAPO1型载波机，作为保护和通讯的复用通道，以实现主保护双重化。

另外两条线路配置了两套国产的高频闭锁距离保护，一套为晶体管型的，另一套为整流型的，实现了主保护双重化。

还有两条线路，均配有美国GE公司的SLYP-SLCN高频方向保护和西德Siemens公司的距离保护、ESB400型载波机，以实现主保护双重化。另外，还配有7SL32型四段式相间距离和接地距离保护，7SN20零序方向电流保护作为线路的后备保护。

运行实践证明：进口保护元件质量好，工艺水平较高，调整、试验方便。但在原理上并不完全适应我国电力系统的要求，有些新原理保护，技术上还不够成熟。国产保护采用了成熟的技术，设计比较完善；可靠性较高，投运以来未发生一次误动作；动作速度较快，能满足线路的要求。

第七个五年计划期间，我国将建设大量的500kV输电线路，引进国外先进技术对促进我国电力事业发展是有利的。但我们应该立足于国内，靠自己的力量提高国产继电保护水平。我们深信，通过各方面努力，我国的继电保护技术将有更大发展，产品质量也将迅速提高。

第二章 高压电网距离保护

2-1 概 述

我国高压电网继电保护已有几十年的运行经验，近几年，我国又相继建成许多条500kV超高压输电线路，超高压电网也将相继建成。目前，我国高压电网继电保护在设计、研究、制造和运行等方面已取得丰富的经验。

高压电网的基本保护是由相间距离保护、接地距离保护和零序电流保护构成。相间距离保护的主要任务是切除输电线路的相间故障，在线路上发生两相接地故障时，它将和零序电流保护同时动作切除故障。根据我国某地区220kV高压电网20年的运行统计，该电网共发生的117次相间故障中，相间距离保护的正确动作率达72.6%。由此可见，相间距离保护对电网的安全运行已发挥着重要作用。但是，相间距离保护不正确动作率仍占27.4%。不正确动作的主要原因是，由于距离保护装置电压回路失压、系统振荡和输电线路过负荷等引起的误动作。运行实践说明，为充分发挥相间距离保护的功能，当前主要问题在于重点解决电压回路失压、系统振荡和过负荷引起的误动作。

高压电网接地故障（单相接地和两相接地故障）占总故障的90%以上。零序电流保护和接地距离保护是作为高压电网接地故障的主要保护。零序电流保护由于具有结构与工作原理简单、动作速度快、保护范围比较稳定、受故障过渡电阻影响较小、保护定值不受负荷电流影响等优点，因此在高压电网中得到广泛的应用。接地距离保护的优点是，能正确地测量故障距离、对金属性接地故障保护范围稳定、不受系统运行方式变化的影响。但是接地距离保护受故障过渡电阻的影响较大。它要解决以下几个问题：提高保护反应故障点经过较大过渡电阻短路的能力；经过渡电阻接地时，保护范围的超越问题；母线故障时，保护可能失去方向性的问题。由性能良好的接地阻抗继电器构成的接地距离保护仍可以发挥接地距离保护之长处，补充零序电流保护之不足，在高压电网中仍可得到应用。

距离保护由下列元件组成：

（一）起动元件

起动元件的主要作用是在故障发生的瞬间起动整套保护。为此，起动元件应满足两个基本要求：

- （1）在正常最大负荷运行情况下，起动元件应可靠地不动作；
- （2）在被保护线路末端短路时应可靠地动作，并保证有足够的灵敏度。

起动元件的具体作用如下：

- （1）保护的Ⅰ段和Ⅱ段合用一组测量元件时，起动元件应能自动地将测量元件的整定值由Ⅰ段切换到Ⅱ段；
- （2）由起动元件起动保护Ⅱ段和Ⅲ段的时间元件，开始计算时间；

(3) 对只用一个测量元件保护各种故障的单系统距离保护, 起动元件应根据相别的不同, 给测量元件切换加入合适的电压和电流组合;

(4) 在通常情况下, 起动元件同时作为距离保护第III段的测量元件。

起动元件的构成:

(1) 用电流继电器作起动元件, 这是最简单的起动元件。

(2) 用全阻抗继电器作起动元件, 其灵敏度比电流起动元件要高, 且受系统运行方式的影响小。

(3) 用方向阻抗继电器或偏移特性阻抗继电器作起动元件。这类继电器通常比全阻抗继电器有较高的灵敏度。为了消除母线和靠近母线处短路时方向阻抗继电器的死区, 并考虑作母线保护的后备, 可以采用带偏移特性的阻抗继电器作起动元件, 这是目前在整流型距离保护中用得较多的起动元件。

(4) 利用振荡闭锁装置中的起动元件——负序(零序)电流增量元件兼作整套距离保护的起动元件。正常运行时, 没有电流增量, 因此, 这种起动元件的灵敏度是很高的。

(二) 方向元件

方向元件的主要作用是保证距离保护动作的方向性, 防止反方向故障时保护的误动作。方向元件可采用单独的功率方向继电器, 但更多的是采用方向元件和阻抗元件结合而构成的方向阻抗继电器。

(三) 距离测量元件

距离测量元件的主要作用是测量短路点到保护安装地点之间的距离(即测量阻抗), 一般采用阻抗继电器。

最普遍采用的是带记忆作用以及第三相电压作辅助极化电压的圆特性相间方向阻抗继电器。它可以保护三相短路、两相短路及两相接地故障, 其运行性能及运行效果都较好。接地阻抗继电器用来保护接地故障, 它的结构与动作特性和相间阻抗继电器一样。其缺点是, 反应故障过渡电阻的能力较差。它广泛用作单相重合闸装置中的选相元件, 也用在接地距离保护中作为距离测量元件。由于这类继电器反应的电压和电流都是单一的, 为了和多相补偿阻抗继电器区别, 故称为I类阻抗继电器。

多相补偿阻抗继电器, 其中相间多相补偿阻抗继电器主要用来保护相间故障。其优点是: 测量准确; 躲过弧光电阻的能力比方向阻抗继电器好; 在正常运行情况下, 不因过负荷而误动作; 对全相振荡也不误动; 对各种不对称故障有明确的方向性。但是, 相间多相补偿阻抗继电器不能保护三相短路故障。另一种是接地多相补偿阻抗继电器, 它可以正确测量各种接地短路。由于这类继电器反应的电压和电流都不是单一的, 因此属于第II类阻抗继电器。

距离保护中的距离测量元件可以由三个单独的单相方向阻抗继电器组成, 也可由多相补偿阻抗继电器和方向阻抗继电器组合而成。

(四) 时间元件

时间元件的主要作用是按照故障点到保护安装地点之间的距离, 根据预定的时限特性确定保护动作的时间, 以保证保护动作的选择性。一般采用时间继电器。

本章主要讨论高压电网距离保护装置的基本原理及影响其工作的主要因素，如电力系统振荡及振荡闭锁装置、电压回路断线闭锁装置等内容。

2-2 电力系统的振荡

一、电力系统振荡概况

两个并列运行的电力系统或发电厂失去同步的现象，在继电保护范围内称为振荡。在1970年至1980年期间，我国高压电网的振荡事故共200次左右，其中动态稳定破坏占75.5%；静态稳定破坏占24.5%。振荡事故的原因是多方面的。首先，从系统结构来看，由于电网联系薄弱，线路输送功率大，超过稳定极限；或者系统无功不足，引起系统电压降低；或者是电力系统发生故障等等。大多数是由于短路切除较慢引起的动态稳定的破坏。这样，继电保护、自动装置与振荡事故有密切的关系，由于它们的误动、拒动或性能不良，可以直接引起或者扩大事故。如果充分发挥它们的作用，也可以消除一部分振荡事故；或减少振荡事故引起的损失。为此必须研究振荡对继电保护的影响，从而找出在系统

振荡时保证继电保护装置正确动作的措施。

下面举例说明系统振荡发生的过程。图2-1显示了两个并列运行的电力系统接线图及动态稳定破坏时的录波图。

在正常运行时，电厂向系统送出大量功率，使得两侧电势相位角已超过 60° 。在这种运行条件下，系统侧出线处发生故障，故障切除时间为0.16s。在故障期间，系统侧母线电压很低，而电厂侧大部分功率送不出去，很快失去同步（见图2-1）。

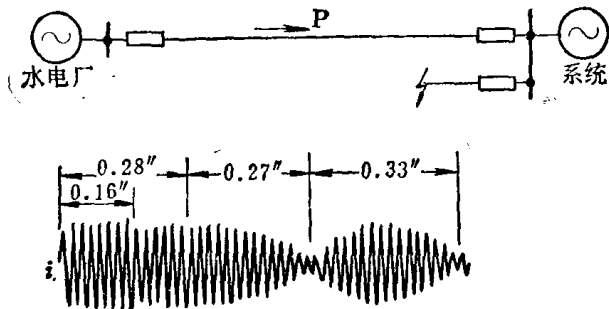


图 2-1 动态稳定破坏时运行系统及录波图

在正常运行时，电厂向系统送出大量功率，使得两侧电势相位角已超过 60° 。在这种运行条件下，系统侧出线处发生故障，故障切除时间为0.16s。在故障期间，系统侧母线电压很低，而电厂侧大部分功率送不出去，很快失去同步（见图2-1）。

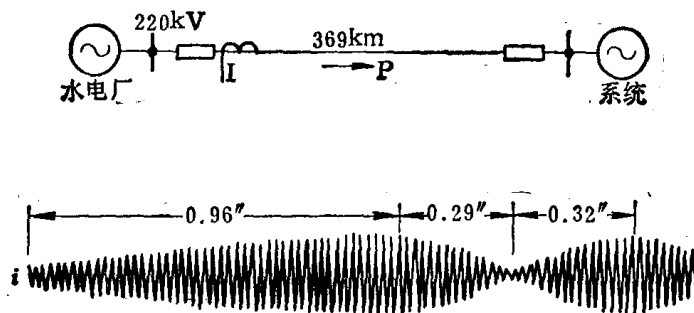


图 2-2 静态稳定破坏时的录波图

系统振荡的第一个周期是系统的一个重要数据。当系统稳定刚开始破坏时，从系统的正常送电角度发展到两侧电势角摆开到 180° ，要经过一定时间（以 $t_{180^\circ} = 0.28\text{s}$ 表示）。