

继电保护丛书

输电线路电流电压保护

王静茹

栾贵恩

中国电力出版社

继电保护丛书

输电线路电流电压保护

王静茹 ~~宋贵恩~~

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是《继电保护丛书》的一个分册, 主要介绍10~60kV线路电流电压保护、110~220kV线路零序电流保护、60~220kV短线路纵联差动保护以及平行线路横联差动保护的原理、整定计算和运行调试经验. 主要章节配有整定计算实例.

本书主要作为从事继电保护工作的专业工人和技术人员的专业读物, 也可作为大专院校的教学参考.

图书在版编目 (CIP) 数据

输电线路电流电压保护 / 王静茹, 栾贵恩编. - 北京: 中国电力出版社, 1991.12 (1997重印)

(继电保护丛书)

ISBN 7-80125-420-1

I. 输… I. ①王… ②栾… II. 输配电线路-继电保护
IV. TM773

中国版本图书馆CIP数据核字 (97) 第19170号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 邮政编码 100044)

冶金印刷厂印刷

各地新华书店经售

1981年3月初版

1991年12月第一版 1997年9月北京第二次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 10.125印张 222千字

印数 5991—9030 册 定价 10.60 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

输电线路的电流电压保护是原理较简单、可靠性较高的保护，故在60kV及以下线路被广泛应用。

本书着重介绍10~60kV线路相间短路带方向和不带方向的电流电压保护原理；110~220kV中性点直接接地系统、非直接接地系统接地短路零序电流保护原理；60~220kV系统短线路的纵联差动保护及平行线路横联差动保护原理。在装置方面，介绍了常用的电磁型和晶体管型保护装置的原理图、展开图、配置图以及安装图的识图方法。此外，还用实例介绍了各种保护的整定计算及有关保护的运行调试经验。

本书原理阐述由浅入深、简明扼要、理论联系实际、容易接受、便于自学。

本书共七章，前六章中，有关运行调试内容及第七章由栾贵恩编写，第六章由刘琳编写，其余部分由王静茹编写，全书由王静茹统稿。本书由王梅义同志审阅，并提出很多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中缺点、错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1989.8.30

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 输电线路继电保护的作用	1
第二节 输电线路电流、电压保护的基本原理	3
第二章 电网相间短路的电流、电压保护	8
第一节 概述	8
第二节 电流速断保护	9
第三节 限时电流速断保护	21
第四节 过电流保护	32
第五节 电流保护的接线方式	45
第六节 电流电压联锁速断保护	57
第七节 阶段式电流保护接线及整定计算举例	61
第八节 电流电压保护的运行与调试	75
第九节 对电流电压保护的评价	87
第三章 电网相间短路的方向电流保护	90
第一节 方向电流保护的工作原理	90
第二节 功率方向继电器原理	96
第三节 功率方向继电器的接线方式	123
第四节 几种特殊情况对功率方向继电器的影响	132
第五节 方向电流保护的整定计算	139
第六节 方向电流保护的运行与调试	143
第七节 对方向电流保护的评价	146
第四章 中性点直接接地系统中接地短路的零序电流、电压及方向保护	147
第一节 中性点直接接地系统接地短路时零序电流、零序电压的	

分布	147
第二节 零序分量滤波器	152
第三节 中性点直接接地系统零序电流保护	156
第四节 中性点直接接地系统零序方向电流保护	171
第五节 零序方向电流保护的调试	179
第六节 对零序电流保护的评价	183
第五章 中性点非直接接地系统的单相接地保护	186
第一节 中性点非直接接地系统单相接地故障的特点及单相接地保护	188
第二节 中性点经消弧线圈接地系统单相接地故障的特点及单相接地保护	200
第三节 中性点非直接接地系统单相接地保护的运行与调试	211
第四节 对中性点非直接接地系统单相接地保护的评价	213
第六章 电网的差动保护	215
第一节 输电线路的纵差保护	216
第二节 平行线路的横差方向保护	224
第三节 平行线路的电流平衡保护	238
第四节 线路横差方向(平衡)保护的运行与调试	244
第七章 10~220kV电网电流、电压保护装置运行、调试及综合计算	248
第一节 继电保护装置的运行与维护	248
第二节 继电保护装置的调整试验	252
第三节 10kV电网电流、电压保护的整定	256
第四节 66(35)kV电网电流、电压保护的整定	261
第五节 66kV电网电流、电压保护整定计算实例	268

第一章 概 述

第一节 输电线路继电保护的作用

一、输电线路运行中的问题

电能生产具有发电、送电、用电同时完成的特点，发电厂生产的电能需通过输电线路送到用户。图1-1表示由发电机、变压器、母线和输电线路组成的简单电力系统。图中 F 代表发电机， B 代表变压器， M 代表母线， l 代表线路。

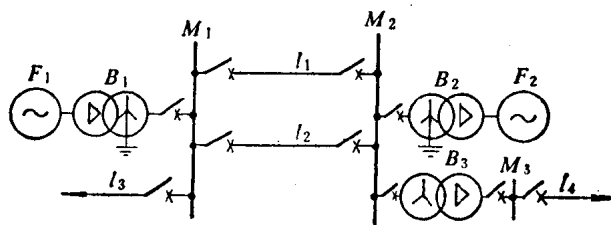


图 1-1 简单电力系统的示意图

输电线路在运行中，可能发生各种故障和不正常运行状态，它将引起电流增大、电压降低、频率升高或降低，致使电气设备遭受破坏和使用户的正常供电得不到保证。

1. 常见的故障及其后果

输电线路运行中最常见和最危险的故障是各种类型的短路（三相短路、两相短路、两相接地短路和单相接地短路）。此外也偶而出现一相断线和两相断线故障。以上属于简单故障。两种以上简单故障或多种故障同时发生的现象称为复杂

故障，例如线路一相断开，同时又发生接地短路。

输电线路发生故障可能引起下列后果：

(1) 短路点通过很大的短路电流，因而引起电弧，使故障进一步扩大。例如由单相短路发展成两相或三相短路，造成电力系统事故，使系统正常运行遭到破坏。

(2) 可能造成人身伤亡和电气设备损坏。

(3) 使用户的正常供电遭到破坏。

2. 不正常运行状态及其后果

输电线路不正常运行状态有：过负荷、过电压、频率降低等。长时间过负荷会使电压降低，影响用户产品质量，甚至可能发展成故障。故障和不正常运行状态都可能在电力系统中引起事故。事故就是指系统或其中一部分的正常运行遭到破坏，并造成对用户少送电、停电或造成人身伤亡和电气设备损坏，前者称为停电事故，后者称为人身和设备事故。输电线路事故发生的原因大多数是由于遭受雷击引起的。此外，由于设计、安装的错误，检修质量不高及运行维护不当也可能引起事故。

二、输电线路继电保护的作用

对于电力系统的事故，主要对策应该是“防患于未然”，即预防事故或减少事故，一旦事故发生，防止事故扩大也是很重要的。继电保护就是监视电力系统的运行，防止事故扩大的一种装置，其具体任务有二：

(1) 当输电线路发生故障时，继电保护装置能自动地、迅速地作用于断路器，有选择地将故障线路切除，使系统迅速恢复正常供电。

(2) 当输电线路发生不正常运行状态时，继电保护装置及时给出信号，以便运行人员进行处理。

三、输电线路继电保护的种类

(1) 阶段式电流保护及电压保护。主要作为60kV及以下电压等级输电线路相间短路故障的保护。

(2) 阶段式零序电流保护。主要作为110kV及以上电压等级的、中性点直接接地系统中输电线路接地短路故障的保护。

(3) 纵联差动保护。主要作为60~220kV电压等级短线路的保护。

(4) 横联差动保护。主要作为60~110kV电压等级平行线路的保护。

(5) 距离保护。作为60kV及以上电压等级线路的保护。

(6) 高频保护。主要作为220kV及以上电压等级线路的保护。

本书主要介绍前四种继电保护。

第二节 输电线路电流、电压保护的原理

输电线路电流、电压保护的原理有以下三种。

一、反应被保护线路一端电气量变化而构成的保护

如图1-2(a)所示系统,以线路B-C为例,在正常运行情况下,线路B-C流过负荷电流 $\dot{I}_{fh}$,母线电压为额定值 $\dot{U}_{..B}$,母线电压与线路负荷电流之间的相位差角为负荷的功率因数角 φ_{fh} 。直接供负荷时, φ_{fh} 在 $18^\circ \sim 37^\circ$ 之间,如图1-2(b)相量图所示,此时电压值较大,电流值较小,电流与电压之间相角 φ_{fh} 较小。当B-C线路d点[见图1-2(c)]发生三

相短路故障时、由电源供给的短路电流为 $\dot{I}_d$ ，其值很大，短路点电压 $\dot{U}_d=0$ ，B母线上残压为短路电流 $\dot{I}_d$ 在短路点至保护安装处这一段线路阻抗 Z_d 上的压降，即 $\dot{U}_{d \cdot B} = \dot{I}_d \cdot Z_d$ ，其值很小， $\dot{U}_{d \cdot B}$ 与 $\dot{I}_d$ 之间的相位差为 φ_d ，见图1-2 (d)， $\varphi_d > \varphi_{fh}$ 。

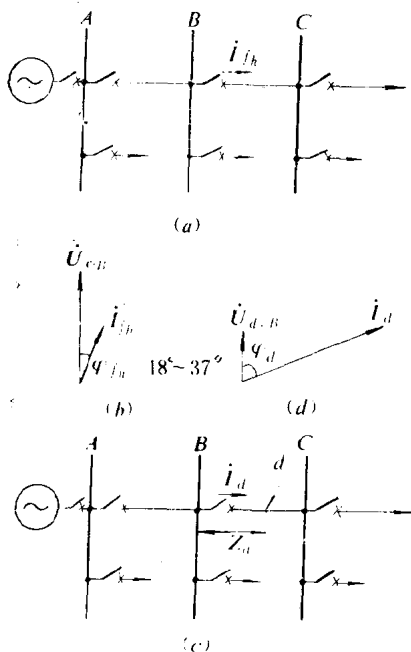


图 1-2 正常运行与短路时电流、电压的变化
 (a)正常运行网络图；(b)电流与电压之间的相量关系；(c)d点三相短路；(d)短路情况下的相量图

与正常运行情况比较，短路时，线路始端电流增大，电压降低，电流与电压之间相角增大，即 $\varphi_d > \varphi_{fh}$ 。利用正常运行和故障时电流、电压及它们之间相角的变化，可以构成电流、电压和方向保护，即反应故障时电流增大而动作的保护，

称为过电流保护；反应故障时电压降低而动作的保护，称为低电压保护；反应电流、电压之间相位差的变化而动作的保护称为方向保护。它们都安装在线路始端（即电源端），这些保护的优点是保护范围可以延伸到相邻线路中去，因而可以作为相邻线路的后备保护；缺点是不能严格区分保护范围内部和保护范围外部的短路，为了保证选择性，则将影响它的速动性或灵敏性。

二、比较被保护线路两端电气量大小或相位变化而构成的保护

比较被保护线路两端电气量大小或相位变化的保护称为纵联差动保护。

图1-3所示双侧电源供电的网络中，如果规定电流的正方向是由母线流向线路，则在正常运行时，见图1-3(a)， $A-B$ 线路两侧的负荷电流大小相等，相位相差 180° ，此时要求保护不动作；当 $A-B$ 线路的外部发生短路时，例如在线路 $B-C$ 上的 d_1 点短路，见图1-3(b)，由电源 $\dot{E}_1$ 供给的短路电流 $\dot{I}_s$ 流过线路 $A-B$ ，在线路 $A-B$ 两侧短路电流仍然是大小相等，相位相差 180° ，与正常运行情况基本一样，只不过电流增大而已，这时要求保护仍不动作；如果短路发生在 $A-B$ 线路内的 d_2 点，见图1-3(c)，由于两侧电源均供给短路电流，例如电源 $\dot{E}_1$ 供给 $\dot{I}_s'$ ，电源 $\dot{E}_{11}$ 供给 $\dot{I}_s''$ ，在线路 $A-B$ 两侧的短路电流大小可能不相等，而电流相位在理想情况下（例如两侧电源电势同相位，全系统阻抗角相等）可能相同，此时要求保护动作。

由此可见，比较被保护线路两侧电气量变化的保护，其优点是可以严格区分保护范围内部和外部的短路，因而可以实现全线范围内保护的快速动作，而且保证了保护的选择性

和速动性；其缺点是要有交换两侧信号的通道和不能对相邻线路实现后备保护。

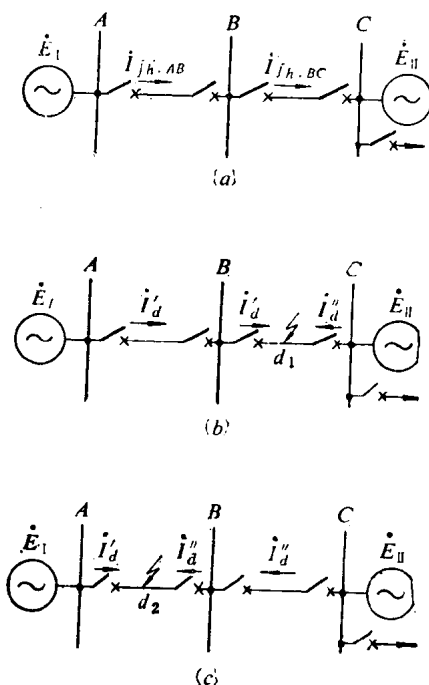


图 1-3 双侧电源网络

(a)正常运行时；(b) d_1 点短路时；(c) d_2 点短路时

三、反应序分量的保护

当输电线路发生不对称接地短路（例如两相接地短路和单相接地短路）时，利用对称分量法，可以将不对称短路电流分解为正序电流、负序电流和零序电流（同理，可以分解出各序电压分量），通过负序电流、零序电流滤过器和负序电压、零序电压滤过器将它们取出来，构成负序、零序电流

保护和负序、零序电压保护。利用序分量构成的保护的主要优点是灵敏性较好，例如，利用零序分量构成的保护，正常运行时，三相是对称的，不会出现零序分量，因此保护的整定值可以不必躲开正常运行的情况，故整定值较小，灵敏度较高；其缺点是不反应对称短路。

第二章 电网相间短路的 电流、电压保护

第一节 概 述

正常运行时，输电线路流过的电流为负荷电流，电压为工作电压。当输电线路发生故障时，故障相电流增大、电压降低。根据这个特点，可以构成反应电流增大而动作的电流保护和反应电压降低而动作的电压保护。

反应输电线路相间短路（即三相短路和两相短路）的电流保护，通常采用三段式，即第Ⅰ段为电流速断保护，第Ⅱ段为限时电流速断保护，第Ⅲ段为过电流保护。其中，第Ⅰ段和第Ⅱ段的联合作用构成线路的主保护，第Ⅲ段作为后备保护。当第Ⅰ、Ⅱ段灵敏系数不够时，可采用电流、电压联锁速断保护。

三段式电流保护主要应用于中性点不接地系统中的 $6 \sim 10\text{kV}$ 单侧电源辐射形电网的架空线和电缆线路上，作为相间短路的保护。如果灵敏系数能满足要求时，也可用于 $35 \sim 66\text{kV}$ 中性点非直接接地电网的线路上，作为相间短路的保护。

本章着重介绍三段式电流保护的工作原理、整定计算方法、保护的原理图、展开图、安装图及保护在运行中常出现的问题及处理方法。

第二节 电 流 速 断 保 护

输电线路发生故障时，希望继电保护动作越快越好，因为快速切除故障，可使非故障元件尽快恢复正常供电，从而提高供电的可靠性。

电流速断保护也称第Ⅰ段电流保护，它是在线路发生故障时，快速动作的保护，其动作时限为0s（实际上，考虑到出口中间继电器的动作时限，一般不超过0.1s）。

一、电流速断保护的整定原则

电流速断保护的動作要保證選擇性，即只有在本條線路內發生故障時，才應快速動作，而在相鄰的下一條線路故障時，不應該動作。但是，在圖2-1A-B線路末端 d_1 點短路和相鄰線路B-C始端 d_2 點短路時，流過A-B線路始端即保護安裝處的短路電流大小幾乎相等，這樣，如果 d_1 點短路時電流速斷保護動作，則 d_2 點短路時，電流速斷保護也將動作。因此為了保證選擇性，保護1的電流速斷保護的動作電流應該

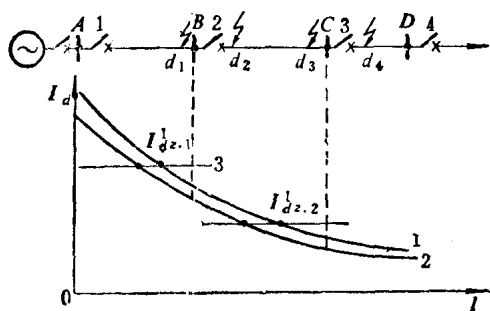


圖 2-1 電流速斷保護的計算圖

躲开下一条线路始端 d_1 点短路时的最大短路电流（即外部故障的最大短路电流）。为了简化计算，常将 d_1 点取在B母线上，故其整定计算公式为

$$I_{dz,1}' = K_1' \cdot I_{d,max,B} \quad (2-1)$$

式中 $I_{dz,1}'$ ——保护1第I段（即电流速断）保护的動作电流整定值；

K_1' ——可靠系数，一般取1.2~1.3；

$I_{d,max,B}$ ——B母线短路时，流过保护1的最大短路电流的周期分量。

对公式（2-1）说明如下：

（1）引入大于1的可靠系数 K_1' 的原因是考虑：

1）短路电流的计算值与实际值有误差，实际值可能大于计算值。

2）对于瞬时动作的保护，要考虑短路电流中的非周期分量的影响。

3）电流继电器实际动作电流与整定值间有误差。

4）要有一定的裕度。

（2） $I_{d,max,B}$ 的计算：为了计算 $I_{d,max,B}$ ，在图2-1中画出两条短路电流沿线路长度的分布曲线。其中曲线1表示系统最大运行方式下，三相短路电流沿线路长度的分布；曲线2表示系统最小运行方式下，两相短路电流沿线路长度的分布。

三相短路电流的计算公式为

$$\dot{I}_d^{(3)} = \frac{\dot{E}_{x1}}{Z_{x1} + Z_d} \quad (2-2)$$

式中 E_{x1} ——系统电源的相电势；

Z_{x1} ——系统等效阻抗，相当于保护安装处到电源之间的等效阻抗；

Z_d ——短路阻抗，相当于故障点到保护安装处之间的正序阻抗。 $Z_d = Z_1 \cdot l$ ，其中 Z_1 为每公里的正序阻抗，一般取其电抗分量，其值为 $(0.4 \sim 0.45) \Omega/\text{km}$ ， l 为故障点到保护安装处的距离。

当 B 母线短路时

$$\dot{I}_{d \cdot \max \cdot B} = \frac{\dot{E}_{x1}}{Z_{x1} + Z_{AB}} \quad (2-3)$$

式中 Z_{AB} ——线路 A-B 的阻抗， $Z_{AB} = Z_1 \cdot l_{AB}$ 。

(3) 最大运行方式的考虑：对保护装置来说，系统最大运行方式是指系统发生短路时，通过该保护装置的短路电流为最大时的方式。一般来说，系统最大运行方式与系统容量（即投入发电机台数）及网络结构有关。例如，图 2-2 所示单侧电源环形网络，对保护 1 来说，系统最大运行方式应该是电源具有最大容量 $S_{\max}$ （所有发电机均投入运行，系统阻抗为最小 $Z_{x1 \cdot \min}$ ）时，环网开环运行（在断路器 8 处断开）。

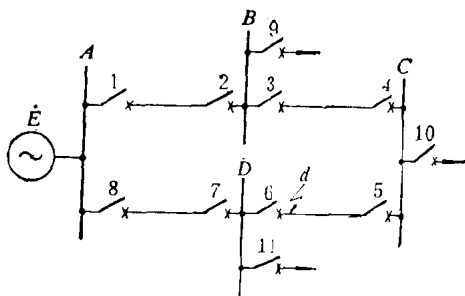


图 2-2 单侧电源环形网络最大运行方式确定