



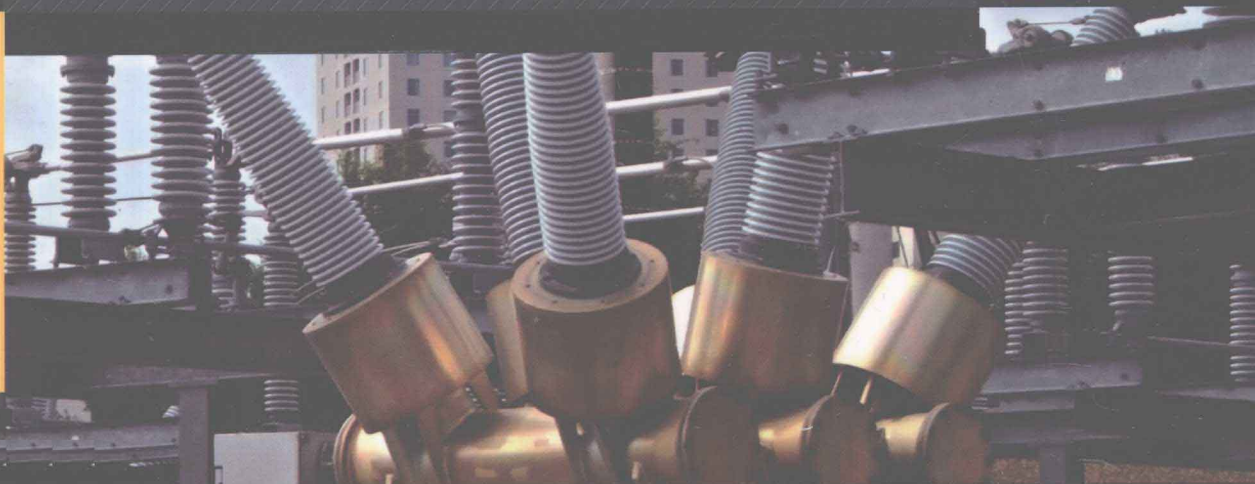
21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

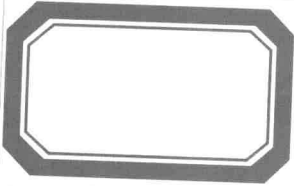
Power System Relay Protection

电力系统 继电保护

张明君 王延平 梅彦平 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



高等院校电气工程与自动化规划教材

Power System Relay Protection

电力系统 继电保护

张明君 王延平 梅彦平 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护 / 张明君, 王延平, 梅彦平编著

— 北京: 人民邮电出版社, 2012.6
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-27706-0

I. ①电… II. ①张… ②王… ③梅… III. ①电力系
统一继电保护—高等学校—教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第060408号

内 容 提 要

本书共10章, 具体内容包括: 电力系统中的各种线路保护的工作原理、接线方式、整定计算, 相间短路电流保护、多侧电源网络相间短路的方向性电流保护、方向性零序电流保护、距离保护、纵联保护、中性点非直接接地电网的单相接地保护; 电力变压器保护的基本原理和构成及动作电流的整定计算, 如瓦斯保护、纵联差动保护、相间短路后备保护、过励磁保护; 发电机的主要继电保护, 如纵联差动保护、发电机定子绕组单相接地保护、失磁保护等; 母线保护和断路器失灵保护基本原理; 微机型保护及控制装置的硬件原理、软件实现的保护算法; 电力系统典型自动控制装置的作用、工作原理、构成等, 如自动并列装置、自动重合闸、自动低频减载、备用电源自动投入。

本书可作为高等院校电气工程和自动化等专业的教学用书, 也可作为工程技术人员的培训教材或参考用书。

21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

电力系统继电保护

-
- ◆ 编 著 张明君 王延平 梅彦平
责任编辑 李海涛
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21 2012年6月第1版
字数: 525千字 2012年6月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-27706-0

定价: 42.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

电力系统继电保护是一门理论性、专业性、实践性均很强的电气工程专业的骨干课程。随着近年来微机技术、信息技术及通信技术等的发展，新型技术和原理的电力系统继电保护不断涌现，电力系统继电保护课程内容也不断更新。本书详细介绍现在流行的电力系统继电保护装置的系统结构、工作原理和整定计算方法。

本书特点

1. 问题引导，循序渐进

本书从继电保护课程教学角度出发，采用“问题引出”、“展开讲解”、“工程应用”的渐进式写作结构，按照问题引出到知识点应用的认知顺序讲解继电保护的工作原理，并结合具体实例对重点和难点进行深入讲解。通过对本书的学习，读者能够很快掌握继电保护基本知识，并具备继电保护系统初步设计的能力。

2. 立足教学，应用性强

本书以继电保护原理和设计应用为主，立足于教与学的深入结合。书中的内容是作者多年来讲授继电保护课程的经验总结以及作者多年现场实践积累的成果，实例的教学性和应用性较强。

3. 紧跟发展，内容充实

本书紧跟电力系统继电保护的发展步伐，新增智能型微机继电保护的内容，并介绍具体的微机继电保护实例，对学生和现场技术人员有较强的指导性。

4. 实践拓展，巩固提高

本书除配有大量实例对知识点应用方法进行阐述外，每章结束后均配有本章小结，使读者对每一章的内容都有系统完整的认识。另外，还配有书后习题供读者熟悉巩固本章知识点。

主要内容

全书共 10 章，主要包括电力系统线路保护、变压器保护和自动控制装置等内容。

第 1 章 介绍电力系统保护和控制的作用、继电保护装置的构成及对其基本要求、电力系统自动控制的内容及控制方式等继电保护的基本概念和基本知识。

第 2 章 介绍电网电流保护的工作原理、接线方式、整定计算，包括单侧电源网络相间短路电流保护、多侧电源网络相间短路的方向性电流保护、方向性零序电流保护、中性

点非直接接地电网的单相接地保护。

第3章 讲解电网的距离保护，包括阻抗继电器的工作原理、接线方式、距离保护整定计算原则，分析影响距离保护工作的因素。

第4章 介绍微机型保护及控制装置的应用和发展、特点、数字信号处理基础，展开讲解微机型保护硬件原理、软件实现的保护算法。

第5章 主要介绍两种电力系统典型自动控制装置，包括自动并列装置的作用、方式、工作原理、构成等，以及三相自动重合闸、单相自动重合闸和综合重合闸工作原理。

第6章 介绍输电线路纵联保护传送信号的分类和基本原理。

第7章 介绍电力变压器保护的瓦斯保护、纵联差动保护、相间短路后备保护、过励磁保护的基本原理和构成及动作电流的整定计算。

第8章 介绍发电机的主要继电保护，包括纵联差动保护、发电机定子绕组单相接地保护、失磁保护等。

第9章 介绍母线保护和断路器失灵保护基本原理。

第10章 介绍自动低频减载、备用电源自动投入及其他安全自动控制装置基本原理。

读者对象

本书内容基本涵盖了电力系统中电网及所有主设备的继电保护，内容详实，应用实例丰富。本书可供本科生作为教材使用，也可供从事继电保护工作的工程技术人员和相关专业人员参考。

编写分工

全书共分为10章，其中，第1章、第2章、第4章由张明君教授编写，第3章、第5章、第6章、第10章由王延平老师编写，第7章、第8章、第9章由梅彦平老师编写，全书由张明君教授统稿。

由于编写时间仓促，加之作者水平有限，书中如有错误及不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作者联系方式：zhangmingjun@dlut.edu.cn

编者

2012年4月

目 录

第 1 章 绪论..... 1	2.3.2 零序分量过滤器.....36
1.1 电力系统继电保护的任务和作用..... 1	2.3.3 三段式零序电流保护.....37
1.2 对继电保护装置的基本要求..... 2	2.3.4 方向性零序电流保护.....40
1.2.1 选择性..... 2	2.3.5 对零序电流保护的评价.....47
1.2.2 速动性..... 3	2.4 中性点非直接接地电网的单相
1.2.3 灵敏性..... 3	接地保护.....47
1.2.4 可靠性..... 4	2.4.1 中性点不接地电网单相接地
1.3 继电保护的基本原理..... 4	故障的特点和保护方式.....48
1.3.1 继电保护基本原理..... 5	2.4.2 中性点经消弧线圈接地电网单
1.3.2 继电保护装置的基本组成..... 5	相接地故障的特点和保护
1.3.3 继电保护装置的分类..... 6	方式.....52
1.4 继电保护技术的发展..... 6	本章小结.....54
本章小结..... 7	习题.....54
习题..... 7	第 3 章 电网的距离保护..... 56
第 2 章 电网的电流保护..... 8	3.1 距离保护..... 56
2.1 单侧电源网络相间短路的电流	3.1.1 距离保护的基本工作原理.....56
保护..... 8	3.1.2 距离保护的时限特性.....57
2.1.1 继电保护用继电器和电力	3.1.3 距离保护的原理框图.....58
互感器..... 8	3.2 阻抗继电器..... 59
2.1.2 相间短路的电流保护..... 11	3.2.1 不同特性阻抗继电器动作特性
2.2 多侧电源网络相间短路的方向性	及动作方程.....59
电流保护..... 23	3.2.2 阻抗继电器的精确工作电流.....64
2.2.1 方向性电流保护的工作原理.....25	3.2.3 方向性继电器的死区及消除
2.2.2 功率方向继电器..... 27	死区的方法.....65
2.2.3 相间短路功率方向继电器的	3.3 阻抗继电器的接线方式.....66
接线方式..... 30	3.3.1 接线方式的基本要求.....67
2.2.4 非故障相电流的影响及按相	3.3.2 相间短路阻抗继电器的接线
启动接线..... 32	方式.....67
2.2.5 双侧电源网络中电流保护	3.3.3 接地短路时阻抗继电器的零序
整定..... 34	电流补偿接线方式.....71
2.3 中性点直接接地电网的接地	3.4 距离保护的整定计算.....73
保护..... 35	3.4.1 距离 I 段的整定计算.....73
2.3.1 中性点直接接地电网接地短路	3.4.2 距离 II 段的整定计算.....73
时零序分量的特点..... 35	3.4.3 距离 III 段的整定计算.....74

3.4.4 距离保护的整定计算举例·····	75	本章小结·····	167
3.5 影响距离保护工作的因素·····	78	习题·····	168
3.5.1 短路点过渡电阻对距离保护的 影响·····	78	第5章 自动并列装置及自动重合闸 ·····	170
3.5.2 电力系统振荡对距离保护的 影响·····	81	5.1 并列操作的意义及并列方式·····	170
本章小结·····	90	5.1.1 并列的意义及并列操作的 重要性·····	170
习题·····	90	5.1.2 并列的方式·····	171
第4章 电力系统微机保护 ·····	92	5.2 准同期并列条件的分析·····	172
4.1 概述·····	92	5.2.1 准同期并列条件·····	172
4.1.1 电力系统微机保护的应用和 发展概况·····	92	5.2.2 准同期并列条件的分析及 整定·····	173
4.1.2 电力系统微机保护装置的 特点·····	93	5.3 自动准同期装置的基本原理·····	177
4.1.3 电力系统微机保护的基本 组成·····	94	5.3.1 自动准同期装置的功能·····	178
4.2 微机保护的硬件系统·····	95	5.3.2 自动准同期装置的构成·····	178
4.2.1 比较式数据采集系统·····	95	5.3.3 准同期并列合闸信号·····	179
4.2.2 压频转换式数据采集系统·····	105	5.3.4 恒定越前时间并列装置的 控制逻辑·····	180
4.2.3 数据采集系统与微机的接口 方式·····	110	5.4 自同期并列条件的分析·····	181
4.2.4 开关量输入/输出回路·····	115	5.5 微机型恒定越前时间并列装置·····	182
4.3 数字信号处理基础·····	117	5.5.1 微机并列装置的硬件结构·····	183
4.3.1 数字信号和离散系统的基本 概念·····	117	5.5.2 电压差控制·····	184
4.3.2 差分及差分方程·····	120	5.5.3 频率差控制·····	185
4.3.3 数字滤波器的主要性能指标和 分类·····	124	5.5.4 越前时间检测·····	186
4.3.4 简单滤波器及级联滤波器·····	126	5.6 自动重合闸的作用及对其基本 要求·····	189
4.3.5 用零、极点配置法设计数字 滤波器·····	133	5.6.1 自动重合闸的概念和作用·····	189
4.3.6 滤波器运算结构形式的 选择·····	138	5.6.2 对自动重合闸的基本要求·····	190
4.4 微机保护的算法·····	139	5.7 三相自动重合闸·····	191
4.4.1 输入量为正弦函数的算法·····	139	5.7.1 单侧电源线路的三相一次 自动重合闸·····	191
4.4.2 输入量为周期函数的算法·····	147	5.7.2 双侧电源线路的三相一次 自动重合闸·····	193
4.4.3 输入量为随机函数的算法·····	154	5.7.3 重合闸与继电保护的配合·····	196
4.4.4 求解阻抗值算法·····	156	5.8 单相自动重合闸和综合重合闸·····	198
4.4.5 保护功能算法·····	161	5.8.1 单相自动重合闸·····	198
		5.8.2 综合重合闸·····	204
		本章小结·····	205
		习题·····	205

第 6 章 输电线路纵联保护	206	7.5 变压器接地短路的后备保护.....	244
6.1 输电线路纵联保护的基本概念.....	206	7.5.1 中性点直接接地变压器的 零序电流保护.....	244
6.1.1 输电线路纵联保护的类型.....	206	7.5.2 中性点可能接地或不接地 运行时变压器的接地保护.....	245
6.1.2 输电线路纵联保护通道的 构成原理.....	206	7.5.3 Y, yn0 接线变压器的单相 接地保护.....	247
6.2 高频保护.....	210	7.6 过励磁保护.....	249
6.2.1 高频保护的原理及其分类.....	210	7.6.1 变压器过励磁产生的原因 及其危害.....	249
6.2.2 方向高频保护.....	211	7.6.2 过励磁保护的工作原理.....	249
6.2.3 相差高频保护.....	215	7.7 三绕组变压器保护的特点.....	251
6.2.4 高频闭锁距离保护.....	220	7.7.1 三绕组变压器纵联差动 保护的特点.....	251
6.3 微波或光纤分相差动纵联保护.....	221	7.7.2 三绕组相间短路后备保护的 特点.....	252
6.3.1 分相电流差动纵联保护.....	221	本章小结.....	255
6.3.2 分相相位差动纵联保护.....	222	习题.....	256
本章小结.....	223	第 8 章 同步发电机保护	258
习题.....	223	8.1 概述.....	258
第 7 章 电力变压器保护	224	8.1.1 发电机的故障类型.....	258
7.1 概述.....	224	8.1.2 发电机的不正常运行状态.....	259
7.2 变压器气体保护.....	226	8.1.3 发电机继电保护配置原则.....	259
7.2.1 气体继电器的结构和工作 原理.....	226	8.2 发电机纵联差动保护.....	260
7.2.2 气体保护原理接线.....	227	8.2.1 发电机纵联差动保护的工 作原理.....	261
7.2.3 对气体保护的评价.....	228	8.2.2 采用 BCH-2 型差动继电器 构成的发电机纵联差动保护.....	262
7.3 变压器纵联差动保护.....	228	8.2.3 由比率制动式差动继电器 构成的发电机纵联差动保护.....	263
7.3.1 纵联差动保护的基本工作 原理与接线.....	228	8.3 发电机定子绕组匝间短路保护.....	264
7.3.2 不平衡电流产生的原因及 消除方法.....	229	8.3.1 单继电器横联差动保护.....	265
7.3.3 变压器纵联差动保护的整定 计算.....	232	8.3.2 定子绕组零序电压匝间短路 保护.....	266
7.3.4 提高保护灵敏系数的差动继 电器.....	233	8.4 发电机定子绕组单相接地保护.....	268
7.4 变压器相间短路的后备保护及过 负荷保护.....	237	8.4.1 发电机定子绕组单相接地的 特点.....	268
7.4.1 过电流保护.....	238	8.4.2 利用零序电流构成的定子绕组 单相接地保护.....	269
7.4.2 低电压启动的过电流保护.....	239		
7.4.3 复合电压启动的过电流 保护.....	240		
7.4.4 负序过电流保护.....	242		
7.4.5 过负荷保护.....	243		

8.4.3 利用零序电压构成的定子绕组单相接地保护	270	9.2.1 母线完全电流差动保护	299
8.4.4 利用3次谐波电压构成100%定子绕组单相接地保护	271	9.2.2 母线不完全电流差动保护	300
8.5 发电机的负序过流保护	274	9.3 双母线同时运行的差动保护	302
8.5.1 发电机负序过电流的特点	274	9.3.1 元件固定连接的双母线电流差动保护	302
8.5.2 反时限负序过电流保护	275	9.3.2 母联电流比相式母线差动保护	305
8.6 发电机励磁回路的接地保护	276	9.4 断路器失灵保护	307
8.6.1 励磁回路一点接地保护	277	本章小结	310
8.6.2 励磁回路两点接地保护	278	习题	311
8.7 发电机的失磁保护	279	第10章 自动低频减载与备用电源自动投入	
8.7.1 发电机失磁产生的影响	279	投入	312
8.7.2 发电机失磁后机端测量阻抗的特点	280	10.1 自动低频减载	312
8.7.3 发电机失磁保护判据	285	10.1.1 频率变化的动态特性	313
8.7.4 发电机失磁保护的构成方式	286	10.1.2 自动低频减载装置的工作原理	314
8.8 发电机的其他保护	288	10.1.3 自动低频减载装置误动作的原因及措施	319
8.8.1 发电机的失步保护	288	10.2 备用电源自动投入	320
8.8.2 发电机的逆功率保护	290	10.2.1 概述	320
8.8.3 发电机的过电压保护	291	10.2.2 备用电源自动投入装置的主要功能	321
8.8.4 发电机的频率保护	292	10.2.3 对BZT装置的基本要求	322
本章小结	293	10.2.4 典型BZT装置及参数整定	323
习题	294	本章小结	325
第9章 母线保护	296	习题	325
9.1 母线故障及相应保护方式	296	参考文献	327
9.2 母线差动保护的基本原理	298		

电能是现代生活生产中必需的商品。为了把电能远距离传送到各用电地区，需要提高电压，实施高压输电；为了分配和使用电能，又需要降低电压，实施低压配电、供电和用电。发电-输电-配电-用电构成了一个包括电能产生、传输和使用环节的完整系统。通常把由各类发电厂、输电设施、配电设施以及用电设备组成的电能生产与消耗系统称为电力系统，它的功能是将一次能源通过发电装置转化为电能，再经输电、变电和配电将电能供应给用户。电力系统在运行中，因其组成元器件数量多、传输地域广、运行情况复杂，可能会出现各种故障或不正常的运行状态。为了保证电力系统的安全正常运行，必须对电力系统中所有投入运行的设备配置相应的保护装置，即电力系统继电保护。

本章将介绍电力系统的故障和不正常运行状态特征，电力系统继电保护的任务和作用，为保证电力系统的安全正常运行对继电保护装置提出的基本要求，及继电保护装置的基本工作原理，最后简要介绍继电保护技术的发展情况。

1.1 电力系统继电保护的任务和作用

【问题引出】为什么要配置电力系统继电保护装置？保护装置的任务和作用是什么？

电力系统由很多设备组成，电力系统在运行过程中，由于各种因素的影响，例如雷击、鸟兽、设备质量问题、运行人员的误操作等，电气设备可能出现故障和不正常运行的状态。

电力系统不正常运行状态是指电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏，但还没有发生故障的状态，如过负荷、过电压、频率降低、系统振荡等，都是常见的不正常运行状态。不正常运行状态没有得到及时处理，最终将引起系统故障。而故障主要包括各种类型的短路和断线，如三相短路、两相短路、单相接地短路、电机及变压器绕组间的匝间短路、单相断线、两相断线等。其中最常见也是最危险的故障是各种类型的短路故障，它将产生以下严重后果。

- (1) 数值较大的短路电流通过故障点时，会产生电弧使故障设备损坏或烧毁。
- (2) 短路电流通过非故障元件时，使电气设备的绝缘损坏或破坏，从而可能发展成为故障。
- (3) 使部分电力系统的电压大幅下降，破坏用户工作的稳定性或影响产品质量。
- (4) 破坏电力系统运行的稳定性，引起系统振荡，甚至使电力系统瓦解，造成大面积停电的恶性事故。

电力系统故障和不正常运行状态如果得不到及时处理，都可能引发系统事故。事故是指电能质量破坏到不能容许的程度，造成对用户少供电或停止供电，甚至造成人身伤亡和电气

设备的损坏等现象。

为了避免事故的发生，就产生了对电力系统进行保护的需要。由于电力系统是一个整体，电能的产生、传输、分配和使用是同时完成的，且各设备之间存在电或磁的关系，当某一设备或线路发生故障时，会在很短的时间内影响到电力系统的其他部分，为此要求很迅速地切除故障设备，所以只有借助装设于电气设备或线路上的自动装置才能实现。这种装置到目前为止，仍有部分装置由单个继电器或继电器与其附属设备组合构成，故称为继电保护装置。随着电子技术和计算机技术的发展，现代的继电保护装置的集成度和自动化程度越来越高，但它的作用仍是保护电力系统的正常运行。下面给出继电保护的准确概念和基本任务：继电保护是能反应电力系统中元件故障或不正常运行状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置，它的基本任务如下。

(1) 能自动、迅速、有选择性地将故障元件从电力系统中切除，避免故障元件遭到进一步的破坏，使非故障元件迅速恢复正常工作。

(2) 能及时反应系统中电气元件的不正常运行状态，并根据运行维护的条件发出信号或跳闸。

(3) 可以与电力系统中的其他自动化装置配合，采取预定措施，缩短事故停电时间，提高电力系统运行的可靠性。

可见，电力系统的继电保护是通过预防事故或缩小事故范围来提高系统运行的可靠性，是保证电力系统安全运行的必不可少的措施之一。在现代电力系统中，如果没有专门的继电保护装置，要维持电力系统的正常运行是根本不可能的。

1.2 对继电保护装置的基本要求

【展开讲解】为实现对电力系统的保护作用，继电保护装置应具有四个基本性质。

由继电保护装置的任务可知，它要具有实时检测判断、实时选择性动作和发出信号的功能，才能及时发现和处理系统故障和不正常运行状态，发挥其保护电力系统安全运行的作用。因此，要求继电保护装置快速、准确、灵敏又可靠地动作，即在技术上必须满足四个基本要求：选择性、速动性、灵敏性和可靠性，简称为继电保护的“四性”。

1.2.1 选择性

继电保护装置的选择性是指，当电力系统发生故障时，首先应由保护装置将故障设备或线路从电力系统中切除；如果保护或断路器拒动，应由相邻设备、线路的保护装置或断路器失灵保护来切除故障。也就是说，保护装置的動作应只切除故障设备，或使故障的影响限制在最小范围，保证非故障元器件仍能继续正常运行。

下面以图 1-1 所示系统为例，详细说明选择性的概念。

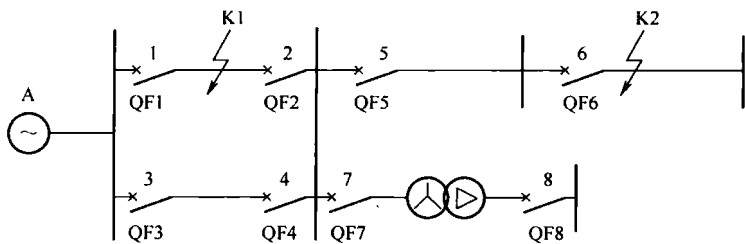


图 1-1 继电保护选择性示例图

在图 1-1 所示的网络中, 假设所有设备上均装设有电流保护装置。当 K1 点短路时, 由于短路电流总是由电流源流向故障点, 因此保护 1、2、3、4 均有短路电流流过, 均可能动作, 但根据选择性的要求, 应该是由保护 1、2 分别动作于跳开断路器 QF1 和 QF2, 将故障点切除。同理, 当 K2 点短路时, 根据电流分布情况, 保护 1、2、3、4、5、6 均有短路电流流过, 但只有保护 6 动作于断路器 QF6 跳闸, 才是具有选择性的保护。

另一方面, 由于保护和断路器都存在拒动的可能性, 因此在要求保护动作具有选择性的同时, 还需要考虑后备保护的问题。如图 1-1 所示的网络中, 当 K2 点发生短路而保护 6 或断路器 QF6 拒动时, 其相邻的保护 5 动作于断路器 QF5 跳闸也可把故障消除。此时保护 5 所起的作用就是相邻元件的后备保护。因为在这种情况下, 保护 5 的动作虽然扩大了停电范围, 但仍起到了使故障的影响范围限制在最小的作用。保护 5 的这种作用, 称为远后备保护。

在复杂的高压电网中, 当实现远后备保护困难时, 也可采用近后备保护的方式, 即在每个元件上装设主保护和后备保护, 当元件的主保护拒动时, 由后备保护实现故障的切除。由于这种后备保护作用是在主保护安装处实现的, 又称为近后备保护。

远后备保护的绩效相比于近后备保护的绩效较完善, 它对相邻元器件的保护装置、断路器、二次回路和直流电源引起的拒动, 均能起到后备保护的作用, 同时实现简单、经济, 通常在电压较低的线路上优先采用。只有当远后备保护不能满足灵敏度和速动性要求时, 才考虑采用近后备保护的方式。

1.2.2 速动性

速动性, 顾名思义就是要求继电保护装置要尽可能快地切除故障, 以减少设备及用户在大电流、低电压状态运行的时间, 降低设备的损坏程度。在考虑继电保护装置的速动性时, 应注意以下两个问题。

(1) 切除故障的时间为继电保护的动作时间和断路器的跳闸时间之和。因此, 要缩短故障切除时间, 不仅要求保护动作要快, 而且与之配合使用的断路器跳闸时间也应尽可能短。

(2) 保护的速动性是相对的, 不同电压等级的电网要求不同。例如, 同样的保护动作时间 0.5s, 在 110V 及以下电压等级的电网中是迅速的, 而在 220V 及以上电压等级的电网中则认为是不够迅速的。

动作迅速同时又能满足选择性的保护装置, 一般结构比较复杂, 价格比较昂贵, 因此对速动性的要求应根据被保护设备和系统运行的具体情况来确定, 并非越快越好。对于反应不正常运行状态的继电保护装置, 一般不要求快速动作, 而应按照选择性的条件, 带延时地发出信号。

1.2.3 灵敏性

灵敏性是指对于发生在其保护范围内的短路故障或不正常运行状态, 保护装置应具有足够的反应能力, 即在规定的保护范围内, 不论短路点的位置和短路的类型如何, 以及短路点是否有过渡电阻等, 保护装置都能灵敏地检测到故障或不正常运行状态, 正确发出动作信号。同时, 保护装置的灵敏性要求与选择性要求关系密切。在电力系统故障时, 故障设备的保护必须先能够灵敏地反应故障, 才有可能选择性地切除故障, 因此有选择性切除故障的保护, 必须同时具备有一定的灵敏性。

保护装置的灵敏性通常用灵敏系数 K_{sen} （又称灵敏度）的大小来衡量。灵敏系数越大，表示保护装置对故障的反应能力越强；反之，则越弱。

对保护装置的灵敏性要求，通常是通过对其最不利情况下的灵敏系数进行校验来保证的。例如，在可能的运行方式下，选择最不利于保护动作的运行方式；或者在所保护的短路类型中，选择最不利于保护动作的短路类型，或是在保护区内选择最不利于保护动作的那一点作为灵敏系数校验点。因为如果在最不利的情况下保护装置都能满足灵敏性要求，则在其他情况下保护装置就更能满足灵敏性要求。

在《继电保护和安全自动装置技术规程》中，对各类保护的灵敏系数的要求都作了具体规定，对于各种保护灵敏系数的校验方法，将在以后有关章节中加以详细讨论。

1.2.4 可靠性

可靠性是指，保护装置应处在良好的工作状态下，当发生了属于它应该动作的故障时，它能可靠动作，即不发生拒动；而在不应该动作时，它能可靠不动，即不发生误动。简单地说就是该动则动，不该动则不动。

保护装置的可靠性主要取决于装置本身的制造、安装质量，保护回路的连接和运行维护的水平。一般来说，保护装置组成元器件的质量越好、接线越简单、元器件的数量和触点越少并有必要的抗干扰措施，保护的可靠性就越高。此外，正确地整定计算、安装、调试及良好的运行维护，对提高保护可靠性也起着重要作用。

继电保护装置的拒动或误动都会给电力系统带来严重危害，但在提高保护装置可靠性的措施上，防止保护误动与防止保护拒动往往是相互矛盾的。由于不同的电力系统结构不同，电气元器件在电力系统的位置不同，误动和拒动的危害程度也就不同，因而提高可靠性的侧重点在不同情况下有所不同。例如，对于传送大功率的输电线路保护，一般强调不误动的可靠性；而对于其他线路保护，则往往强调不拒动的可靠性。至于大型发电机组的继电保护，无论它的拒动或误动，都会引起较大的经济损失，因此需要权衡利弊，依据实际情况兼顾这两方面的要求。

以上四个基本要求是设计、配置和维护继电保护的依据，四个基本要求之间既紧密联系，又相互矛盾。例如，为了保证选择性，有时就要求保护动作带上延时；为保证灵敏性，有时就允许保护非选择性动作，再由自动重合闸装置来纠正；而为了保证速动性和选择性，有时需采用较复杂的保护装置，因而降低了可靠性。因此，在确定继电保护方案时，需从电力系统的实际情况出发，分清主次，以求得最优情况下的统一。

除了上述四个基本要求外，选用保护装置时还应该考虑经济性，在保证电力系统安全运行的前提下，尽可能采用投资少、维护费用低的保护装置。

需要说明，继电保护的動作对象不同，上述四个基本要求也不相同。对于动作于继电器跳闸的继电保护，应同时满足以上四个基本要求，而对于动作于信号以及只反映不正常运行情况的继电保护，四个基本要求中，如速动性则可以降低。

1.3 继电保护的基本原理

【展开讲解】继电保护装置判断故障的依据和保护的基本原理，保护装置的基本组成。

为了完成继电保护的任務，继电保护装置需能正确区分被保护设备是处于正常运行状态

还是发生了故障或处于不正常运行状态，对于故障还应该能区分是保护区内故障还是保护区外故障。要想区别这些状态，就需要根据发生故障前后各种电气参量变化的特点，构成各种不同原理的继电保护。

1.3.1 继电保护基本原理

电力系统发生故障后，电气参量变化的主要特征有以下几种。

(1) 电流增大

发生短路故障的明显特征之一就是电流急剧增大，超过负荷电流。根据这一特征，可以识别被保护设备是正常运行还是发生故障，从而构成过电流保护。

(2) 电压降低

发生短路故障的另一特征是母线电压降低，且越靠近短路点，电压越低。因此还可以构成低电压保护。

(3) 电流与电压间的相位角改变

正常运行时电流与电压间的相位角是负荷的功率因数角，约为 20° ，发生三相短路故障时，相位角会发生变化，可以根据相位角的大小来判断故障点的方向是处于保护安装处的正方向还是反方向，从而构成方向保护。

(4) 测量阻抗发生变化

测量阻抗即保护安装处电压与电流的比值。发生短路故障时，由于电压降低而电流增大，因此故障后测量阻抗显著减小，而阻抗角增加。可以利用这个特点构成低阻抗保护。

此外，还可以根据短路时两侧电流相位差的变化构成元器件差动保护，利用非电气量的变化来构成某些保护，如根据变压器内部故障时变压器油分解产生的气体而构成的气体保护，利用电压或电流的某一对称分量（负序分量或零序分量）或谐波分量构成负序电流保护、零序电流保护等。

近年来，随着电子、计算机技术的快速发展，保护装置构成原理也由原来反应系统稳态量的变化发展到反应暂态量的变化，从而使继电保护装置的性能更能满足电力系统的快速性要求，前者称为常规保护，后者称为新原理保护。从原则上说，只要能找出正常运行与故障时系统中电气量或非电气量的差别，就可以构成某种判断，从而构成该种原理的保护，并且这种差别越明显，保护的性能就越好。

1.3.2 继电保护装置的基本组成

继电保护装置一般由测量元器件、逻辑元器件和执行元器件三部分组成，如图 1-2 所示。

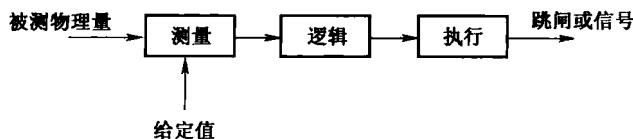


图 1-2 继电保护装置基本组成框图

测量元器件的作用是测量一个或几个能反应被保护设备的参数，并与已给定的整定值进行

比较，以判断被保护设备的工作状态，从而决定保护是否启动。

逻辑元器件的作用是根据测量部分的输出结果，进行逻辑判断，使保护装置按一定的逻辑关系工作，最后确定是否应跳闸或发信号，并将有关命令传递给执行元器件。

执行元器件的作用是执行保护的功能，即设备正常运行时保护不动，设备故障时保护动作于跳闸，而设备不正常运行时保护动作于发信号。

将以上保护各组成部分的作用结合在一起，就是一套保护装置的工作过程。

1.3.3 继电保护装置的分类

继电保护的种类很多，按被保护对象、保护原理、反应故障的类型、保护所起的作用等，可分为不同的类型。

(1) 按保护对象分类：有输电线路保护、发电机保护、变压器保护、母线保护、电动机保护等。

(2) 按保护动作结果分类：有动作于断路器跳闸的短路故障保护和动作于发信号的不正常运行状态保护。

(3) 按保护反应故障类型分类：有相间短路保护、接地短路保护、匝间短路保护、断线保护、失步保护及失磁保护等。

(4) 按保护功能分类：有主保护、后备保护及辅助保护，后备保护又分为近后备保护和远后备保护。

主保护是指满足系统稳定和设备安全要求，能以最快速度有选择地切除被保护元件故障的保护。

后备保护是指同一设备上，当主保护或断路器拒动时用来切除故障的保护。其中，近后备保护是在主保护拒动时，同一设备上实现切除故障的另一套保护；而远后备保护是在主保护或断路器拒动时，相邻设备上用来实现故障切除的保护。

辅助保护是为克服主保护和后备保护某些性能不足而增设的简单保护。

(5) 按保护工作原理分类：有过电流保护、低电压保护、方向电流保护、零序保护、阻抗保护、差动保护及气体保护等。

(6) 按继电保护实现技术分类：有机电型保护、整流型保护、晶体管型保护、集成电路型保护以及微机型保护等。

1.4 继电保护技术的发展

由于电力工业的发展，对继电保护不断提出新的、更高的要求，而电工理论、微机技术、信息技术和通信技术的发展，又使继电保护的原理和技术都发生深刻的变化。19 世纪末的熔断器是最早出现的、也是最简单的过流保护，至今仍广泛应用于低压线路和用电设备。1901 年感应型过电流继电器问世，1908 年提出了比较被保护元件两端电流的电流差动继电器，1910 年方向电流保护开始应用，在此期间也出现了将电流与电压比较的保护原理，并在 1920 年初出现了距离保护装置。随着电力系统载波通信的发展，1927 年左右出现了利用高压输电线上高频载波电流传送和比较输电线两端功率方向或电流相位的高频保护装置。20 世纪 50 年代出现微波保护，经过 20 余年后又诞生了行波保护。随着光纤通信在电力系统中的应用，光纤

保护开始得到了广泛应用。

在继电保护技术发展的同时，继电保护装置的材料、元器件、结构和制造工艺也发生了巨大的变化。20世纪50年代以前的继电保护装置都由电磁型、感应型和电动型继电器组成，由于上述继电器都带有机械传动部件，故统称为机电型继电器。20世纪50年代初，由于半导体器件的发展，20世纪60年代整流型继电器得以问世。由于晶体管技术的出现，带动了晶体管继电器及晶体管型成套保护装置的研制，因晶体管型继电器无机械转动部分，故称为静态型继电器，在20世纪70年代获得了广泛的应用。随着微电子学的发展，大规模集成电路的生产，使分立元件的晶体管保护逐渐被集成电路保护所取代，集成电路保护成为第二代静态型保护。

如今，随着微型计算机和软件技术的迅猛发展，为继电保护数字化开辟了美好的前景。进入20世纪90年代以来微机保护装置已开始在全世界逐步应用，因其巨大的优越性和发展潜力，逐渐成为继电保护装置的主要型式，成为现代电力系统保护、监控、通信、调度综合自动化系统的重要组成部分。

本章小结

电力系统中所有投入运行的设备，都配置有相应的继电保护装置。

1. 继电保护的基本任务是反应电力系统中元器件的故障或不正常运行状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置，是通过预防事故或缩小事故范围来提高系统运行的可靠性，是保证电力系统安全运行的必不可少的措施之一。

2. 为实现继电保护装置在电力系统中所承担的任务和作用，对继电保护装置有四个基本要求，即选择性、速动性、灵敏性和可靠性。这四个方面的既紧密联系，又相互矛盾。在确定继电保护方案时，应该从电力系统的实际情况出发，分清主次，求得最优情况下的统一。

3. 继电保护根据发生故障前后各种电气参量变化的特点，构成各种不同原理的保护，根据保护的對象、保护动作的结果、保护工作的原理及保护实现技术的不同，继电保护装置有不同的分类。

4. 无论是哪一种保护装置，都是由测量部分、逻辑部分和执行部分组成。

习 题

1-1 什么是电力系统的故障、不正常运行状态和事故？它们之间有什么不同？又有什么联系？

1-2 继电保护的基本任务和作用是什么？

1-3 对继电保护装置有哪些基本要求？为什么说有时它们是相互矛盾的？又如何求得统一？

1-4 继电保护的种类有哪些？

1-5 继电保护装置一般由哪几部分组成？各部分的主要作用是什么？

1-6 什么是主保护和后备保护？后备保护的作用是什么？远后备保护和近后备保护有什么区别？

电网在正常运行时，输电线路流过正常的负荷电流，母线电压约为额定电压。当输电线路发生短路时，电流增大。根据这一特征，可以构成反应故障时电流增大而动作的电流保护。

本章主要介绍单侧电源网络的相间短路保护的三段式电流保护和多侧电源网络相间短路保护的方向电流保护，以及电网单相接地故障的零序电流保护，重点介绍这些保护的工作原理、保护装置的整定计算和接线方式。

2.1 单侧电源网络相间短路的电流保护

【问题引出】何为输电线路的相间短路电流保护？采用什么继电保护装置实现？

输电线路是电力系统非常重要的组成元件。在实际运行中，输电线路会产生各种不同类型的短路故障，如三相短路、两相短路、两相接地短路及单相接地短路等；或当正常运行遭到破坏，但还未形成故障时，也会出现各种不正常的运行状态，如过负荷、过电压等，必须针对这些情况在输电线路装设相应的专用保护装置。

单侧电源网络相间短路电流保护是根据单侧电源网络相间短路电流的变化，在尽可能短的时间内对输电线路的短路事件和故障点作出判断，并有选择性地切除距离故障点最近的断路器，将停电范围控制在最小的电流保护。此保护不但要求作为线路相间短路的主保护，还可通过与相邻保护元件间的整定参数（如动作电流、动作时限等）的准确配合，作为相邻被保护元件的后备保护。

电流保护需通过继电保护装置得以实现。所谓继电保护装置，是一种能在被保护设备发生故障或异常运行时动作于断路器跳闸或发信号的自动装置。显然，保护装置要能正确工作，必须具有识别被保护设备工作状态的能力。组成继电保护装置的基本元器件有很多，包括获取被保护设备运行参数的传感器、互感器、序分量滤过器以及将互感器二次电气量进一步变小的中间变换器和继电器等。在介绍电流保护原理之前，首先认识继电保护判断装置，继电保护用继电器和电力互感器。

2.1.1 继电保护用继电器和电力互感器

【展开讲解】常用继电保护装置的原理、结构和技术参数。

一、继电保护用继电器

继电器是组成继电保护装置的基本器件。在电力系统继电保护回路中，常用继电器的实现原理随着相关技术的发展而变化。目前仍在使用的继电器按照输入信号的性质可分为电气