

张书琦 主编 王丽艳 赵柯 副主编

继电保护 实用技术读本

JIDIAN BAOHU
SHIYONG JISHU DUBEN

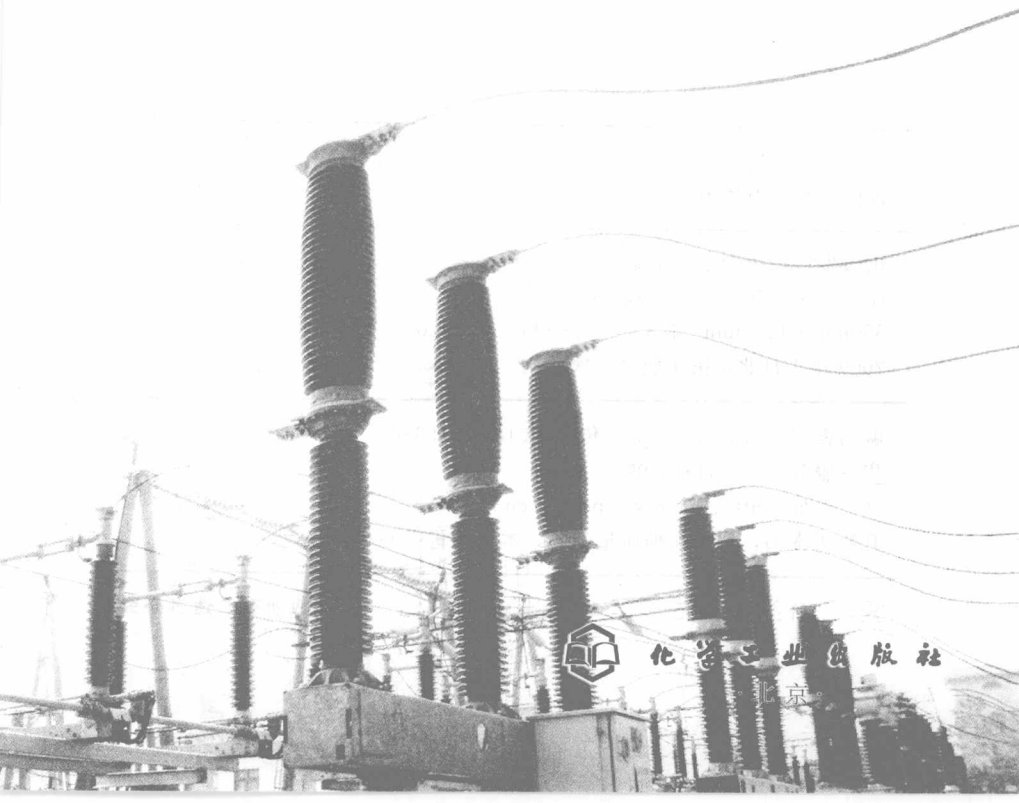


化学工业出版社

张书琦 主编 王丽艳 赵柯 副主编

继电保护 实用技术读本

JIDIAN BAOHU
SHIYONG JISHU DUBEN



化学工业出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护实用技术读本/张书琦主编. —北京:
化学工业出版社, 2008. 5
ISBN 978-7-122-02526-5

I. 继… II. 张… III. 继电保护 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 046827 号

责任编辑: 刘 哲
责任校对: 周梦华

文字编辑: 高 震
装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
850mm×1168mm 1/32 印张 8½ 字数 202 千字
2009 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

前 言

在我国市场经济飞速发展的今天，电力建设的发展直接影响到国民经济的增长速度。保护继电器及装置是发电设备和电站、变电站及配电系统综合自动化不可缺少的重要组成部分，起着保证整个电力系统安全、稳定运行的重要作用，对保护发电设备、输变电设备及线路安全，自动监控系统、调度电网系统稳定运行，提高电力传输和供电的可靠性具有至关重要的意义。为了使电气维修工人更好地进行日常维护工作，特编写此书以供参考。

本书从实际出发，结合目前继电保护的新技术，全面介绍了继电保护的基础知识、常用继电器的基本结构和工作原理，重点讲解了二次回路的继电保护、电力系统及电网继电保护、电力系统主设备继电保护、高压断路器保护、直流系统继电保护，还对蓄电池和充电器做了介绍。基于实际应用的需要，讲述了继电保护装置的校验和调试，总结了编者从事继电保护工作的经验。为了使广大的继电保护工人阅读方便，本书尽量避免复杂抽象的理论分析，以生产中存在的问题为例来介绍与继电保护有关的理论知识和维护所需的基本技能。编者通过实地考察和参阅大量相关资料，本着能让继电保护工人快速掌握继电保护维护技术的目的，给出了很多常用设备的检验步骤和维护注意事项。

随着我国电力工业和国民经济各领域的迅速发展，用户对继电保护和自动化类产品技术性能及安全水平的要求越来越高。如发电机组和变电站主设备（变压器、电容器、高压断路器及母线等）保护，要求故障率要小，如果保护动作不正确，将造成极其严重后果

果，这就决定了保护产品要绝对安全、准确、可靠。因此对继电保护维护工人也提出了更高的要求。希望本书能够为提高维护工人的素质起到积极的作用。

本书由张书琦主编，王丽艳、赵柯副主编，参加编写的人员还有门超、赵亚丽、王建东等。

由于时间仓促以及编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 继电保护技术的基础知识	1
1.1 继电保护的原理	1
1.1.1 继电保护基础知识	1
1.1.2 继电保护的作用	3
1.1.3 对继电保护装置的要求	5
1.2 常用电磁继电器基本构造及其工作原理	10
1.2.1 电磁型电流继电器	12
1.2.2 电磁型电压继电器	15
1.2.3 电磁型时间继电器	16
1.2.4 电磁型中间继电器	17
1.2.5 电磁型信号继电器	18
1.2.6 电磁型气体继电器	18
第 2 章 二次回路及控制设备继电保护	20
2.1 二次回路的基本概念	20
2.2 常用二次回路控制设备	20
2.2.1 自动空气开关	20
2.2.2 刀开关	22
2.2.3 熔断器	24
2.2.4 接触器	25
2.2.5 控制转换开关	29
2.3 常用二次回路材料及配件	33

2.3.1	电缆及导线	33
2.3.2	按钮	43
2.3.3	端子排	44
2.3.4	其他配件	47
2.4	二次回路接线图	48
2.4.1	常用的图形和文字符号	48
2.4.2	二次接线图的内容	49
2.5	常见二次回路	56
2.5.1	交流电流回路	56
2.5.2	交流电压回路	59
2.5.3	断路器控制回路	63
2.5.4	中央信号回路	70
2.5.5	同期回路	72
第3章	电力系统及电网的继电保护	74
3.1	电力系统的基础知识	74
3.1.1	电力系统的特点	74
3.1.2	电力系统和电力网	75
3.1.3	电力系统的额定电压和额定频率	78
3.2	电网相间短路电流、短路电压保护	84
3.2.1	短路电流保护	84
3.2.2	方向性电流保护及功率方向继电器	105
3.3	电网接地短路保护	117
3.3.1	中性点直接接地保护	118
3.3.2	中性点非直接接地保护	128
3.4	电网距离保护	138
3.4.1	电网距离保护基本工作原理	138
3.4.2	电力系统振荡对距离保护的影响	144

第 4 章 电力系统主设备继电保护	149
4.1 断路器失灵保护	149
4.1.1 断路器失灵保护装设的一般原则	149
4.1.2 断路器失灵保护构成	150
4.2 电力变压器的保护	151
4.2.1 变压器瓦斯保护	155
4.2.2 相间短路、接地短路及过负荷保护	158
4.2.3 变压器过励磁保护	166
4.3 电力电容器保护	167
4.3.1 故障的特点及其保护	167
4.3.2 电力电容器保护的构成	169
第 5 章 常用自动装置及继电保护装置	174
5.1 输电线路自动重合闸	174
5.1.1 自动重合闸装置的作用和基本要求	174
5.1.2 自动重合闸动作时限的选择原则	177
5.1.3 自动重合闸与保护的配合	178
5.1.4 三相一次自动重合闸	182
5.1.5 单相自动重合闸	192
5.1.6 综合自动重合闸	196
5.2 备用电源自动投入装置	197
5.2.1 备用电源自动投入装置的作用及应用范围	197
5.2.2 采用备用电源自动投入装置的一次接线	198
5.2.3 对备用电源自动投入装置的基本要求	200
第 6 章 直流系统继电保护	201
6.1 概述	201
6.1.1 直流系统的构成	201

6.1.2	对直流系统的基本要求	201
6.2	直流系统接线	202
6.2.1	直流系统额定电压	202
6.2.2	直流系统电源配置	203
6.2.3	直流系统基本接线方式	203
6.2.4	直流馈线网络	205
6.3	蓄电池	207
6.3.1	蓄电池的分类和基本工作原理	208
6.3.2	蓄电池组充放电方式	209
6.3.3	直流负荷的分类和统计	213
6.3.4	对蓄电池组的一般技术要求	214
6.3.5	蓄电池组的运行维护	215
6.4	充电装置	218
6.4.1	充电装置主要技术参数	218
6.4.2	充电装置的工作原理	220
6.4.3	充电装置的配置	223
6.4.4	对充电装置的一般要求	224
6.5	直流系统检测与信号装置	225
6.5.1	绝缘监测装置	225
6.5.2	直流系统的电压监测	228
6.5.3	测量仪表	229
6.6	直流系统的保护电器	229
6.6.1	直流系统保护电器的作用	229
6.6.2	熔断器和直流断路器设计选择的基本要求	230
6.6.3	熔断器和直流断路器额定电流的选择	230
第7章 继电保护装置校验与调试		232
7.1	继电保护现场工作常用仪表和试验设备简介	232

7.1.1	万用表	232
7.1.2	兆欧表	237
7.1.3	数字双钳相位伏安表	242
7.1.4	电秒表	243
7.1.5	继电保护成套试验设备	243
7.2	电磁型继电器检验及整定	245
7.2.1	外部检查	245
7.2.2	内部和机械部分检查	246
7.2.3	电气性能试验	247
7.2.4	重复检查及铅封	250
7.3	继电保护二次回路检验	250
7.3.1	电流回路检验	251
7.3.2	电压回路检验	252
参考文献		255

第 1 章

继电保护技术的基础知识

继电保护技术是随着电力系统以及相关科学技术的发展而发展起来的。继电保护原理从单纯的电流、电压保护，到反应电流、电压变化的距离保护以及采用电力载波、微波、光纤等不同形式的纵联保护；从反应稳态分量保护到反应暂态量的新原理保护等，继电保护原理的发展使得继电保护的可靠性更高、保护性更好。继电保护手段经历了电磁型、晶体管型、集成电路、大规模集成电路后进入了全新的微机型保护的时期。

随着电力系统的高速发展和计算机技术、通信技术的进步，继电保护技术将朝着计算机化、网络化，保护、控制、测量、数据通信一体化和人工智能化的方向发展，这对继电保护工作者提出了艰巨的任务，也开辟了广阔天地。

1.1 继电保护的基本原理

1.1.1 继电保护基础知识

继电保护装置必须具有正确区分被保护元件是处于正常运行状态还是发生了故障，并区分是保护区内故障还是区外故障的功能。为实现这些功能，保护装置需要根据电力系统发生故障前后电气量变化的特征来设计。电力系统发生故障后，工频电气量变化的主要

特征如下。

① 电流增大。短路时故障点与电源之间的电气设备和输电线路上的电流将大大超过负荷电流。

② 电压降低。当发生相间短路和接地短路故障时，系统各点的相间电压或相电压值下降，且越靠近短路点，电压越低。

③ 电流与电压之间的相位角改变。正常运行时电流与电压间的相位角是负荷的功率因数角，一般约为 20° ；三相短路时，电流与电压之间的相位角是由线路的阻抗角决定，一般为 $60^\circ \sim 85^\circ$ ；而在保护反方向三相短路时，电流与电压之间相位角将是 $180^\circ + (60^\circ \sim 85^\circ)$ 。

④ 不对称短路时，将出现相序分量。如单相接地短路及两相接地短路时，将出现负序和零序电流和电压分量。这些分量在正常运行时是不出现的。

分析短路故障时电气量的变化，便可构成基于各种原理的继电保护。例如，根据短路故障时电流的增大，可构成过电流保护；根据短路故障时电压的降低，可构成电压保护；根据短路故障时电流与电压之间相角的变化，可构成功率方向保护；根据电压与电流比值的变化，可构成距离保护；根据故障时被保护元件两端电流相位和大小的变化，可构成差动保护；根据不对称短路故障时出现的电流、电压相序分量，可构成零序电流保护、负序电流保护和负序功率方向保护；高频保护则是利用高频通道来传递线路两端电流的相位、大小和短路功率方向信号的一种保护。

此外，除了上述反应工频电气量的保护外，还有反应非工频电气量的保护，如超高压输电线路的行波保护、电力变压器的瓦斯保护及反应电动机绕组温度升高的过负荷或过热保护等。

1.1.2 继电保护的作用

电力系统在运行中可能发生各种故障和出现不正常运行状态,最常见同时也是最危险的故障是各种类型的短路。发生短路时可能产生以下后果。

① 通过故障点的短路电流和所燃起的电弧使故障设备或线路损坏。

② 短路电流通过非故障设备时,由于发热和电动力的作用,引起电气设备损伤或损坏,导致使用寿命大大缩减。

③ 电力系统中部分地区的电压大大降低,破坏用户工作的稳定性或影响产品的质量。

④ 破坏电力系统并列运行的稳定性,引起系统振荡,甚至导致整个系统瓦解。

电力系统中最常见的不正常运行状态是过负荷(即负荷超过电气设备的额定值)。长时间过负荷会使电气设备的载流部分和绝缘材料过度发热,从而使绝缘加速老化,甚至被破坏,引起故障。此外,系统中出现功率缺额而引起的频率降低,发电机突然甩负荷而产生的过电压,电力系统发生振荡等,都属于不正常运行状态。电力系统中发生故障和出现不正常运行情况时,可能引起系统全部或部分正常运行遭到破坏,电能质量变坏到不能容许的程度,以致造成对用户的停止供电或少供电,甚至造成人身伤亡和设备的损坏,这种情况就称为“事故”。为了避免或减少事故的发生,提高电力系统运行的可靠性,必须改进设备的设计,保证设备安装和检修的质量,提高运行管理的水平,采取预防事故的措施,尽可能降低发生事故的可能性。电气设备或输电线路一旦发生故障,就必须采取措施,将故障设备或线路尽快地从系统中切除,保证非故障部分继续安全运行,避免事故的发生,或缩小事故的范围和影响。

由于电力系统是一个整体，电能的生产、传输、分配和使用是同时实现的，各设备之间又都有电或磁的联系，所以，当某一设备或线路发生短路故障时，在很短的时间内就会影响到整个电力系统的其他部分。为此要求切除故障设备或输电线路的时间必须很短，通常切除故障的时间要求小到十分之几秒到百分之几秒。显然要在这样短的时间内由运行人员发现并手动将故障切除是绝对不可能的，只有借助于装设在每个电气设备或线路上的自动装置，即继电保护装置才能实现。到目前为止，这种装置有一部分仍然由单个继电器或继电器与其附属设备的组合构成，称为继电保护装置。电子式静态保护装置和数字式保护装置出现以后，虽然继电器多已被电子元件或计算机取代，但仍沿用此名称。人们常常用“继电保护”一词泛指继电保护技术或由各种继电保护装置组成的继电保护系统。“继电保护装置”一词则指各种具体的装置。继电保护装置就是指能反应电力系统中电气元件发生故障或不正常的运行状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。

它的基本任务是：

① 自动地、迅速地和有选择地将故障元件从电力系统中切除，使故障元件免于继续遭到破坏，并保证其他无故障部分迅速恢复正常运行；

② 反应电气元件的不正常运行状态，并根据运行维护的条件（如有无经常值班人员）而动作发出信号，以便值班员及时处理，或由装置自动进行调整，或将那些继续运行就会引起损坏或发展成为事故的电气设备切除，此时一般不要求保护动作迅速，而是要根据对电力系统及其元件的危害程度规定一定的延时，以避免不必要的动作和由于干扰而引起的误动作。

由此可见，继电保护在电力系统中的主要作用是通过预防事故

或缩小事故范围来提高系统运行的可靠性，最大限度地保证向用户安全连续供电。因此，继电保护是电力系统的重要组成部分，是保证电力系统安全可靠运行的必不可少的技术措施。在现代的电力系统中，如果没有专门的继电保护装置，要想维持系统的正常运行是根本不可能的。

1.1.3 对继电保护装置的要求

继电保护装置为了实现它的功能，必须在技术上满足选择性、速动性、灵敏性和可靠性四个基本要求。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。对于动作于发出信号以及只反应不正常的运行情况的继电保护装置，这四个基本要求中有些要求（如速动性）可以降低。现将四个基本要求分述如下。

(1) 选择性

选择性就是指当电力系统中的设备或线路发生短路时，其继电保护仅将故障的设备或线路从电力系统中切除，当故障设备或线路的保护或断路器拒绝动作时，应由相邻设备或线路的保护装置将故障切除。

如图 1-1 所示电网，当 f1 点发生短路故障时，应由故障线路上距短路点最近的保护 1 和 2 动作，使断路器 1 和 2 跳闸，将故障线路切除，这时变电所 B 的所有出线和用户仍可由非故障线路供电。当 f2 点发生短路故障时，应由线路的保护 5 动作，使断路器 5 跳闸，将故障线路 BC 切除，这时由线路 BC 供电的变电所 C 停电，但对于变电所 B 母线的其他所有引出线和用户仍能继续供电，这样，停电范围限制在最小。保护装置的上述动作，称为有选择性的动作。又如当线路 CD 的 f3 点发生短路故障时，如果该线路的保护 6 或断路器 6 拒绝动作，这时应由线路 BC 的保护 5 动

作，使断路器 5 跳闸，将 CD 的故障切除。保护装置 5 起着线路 CD 的后备保护作用，这种情况下保护装置 5 的动作仍然是有选择性的。

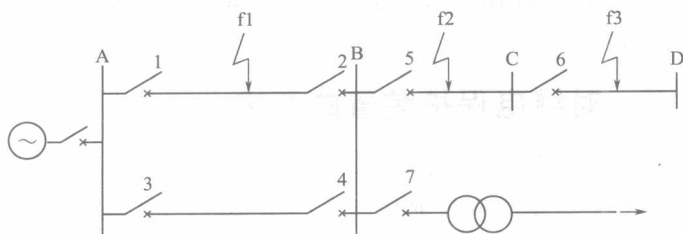


图 1-1 继电保护选择性说明图

显而易见，后备保护的必要性在于：如果故障元件的保护或断路器拒绝动作时，在后备保护的作用下能迅速切除故障，这时虽然扩大了一些停电范围，但是，如果没有后备保护，就无法自动切除故障设备或线路，必将造成更严重的后果。

总之，要求继电保护装置有选择地动作，是提高电力系统供电可靠性的基本条件。保护装置无选择性动作，又没有采取措施（如线路的自动重合闸）予以纠正，这是不允许的。

(2) 速动性

速动性就是指继电保护装置应能尽快地切除故障。对于反应短路故障的继电保护，要求快速动作的主要理由和必要性如下。

① 切除故障可以提高电力系统并列运行（如图 1-2 所示电网）的稳定性。

当在靠近 A 电厂出线的 f 点发生短路故障时，A 电厂母线电压将大大下降，接近于零，使发电厂 A 送不出负荷，发电机转速迅速升高。而 B 电厂母线，则由于远离短路点，还有较高残压。如果保护动作时间较长，A、B 两厂的发电机转差增大，使系统发

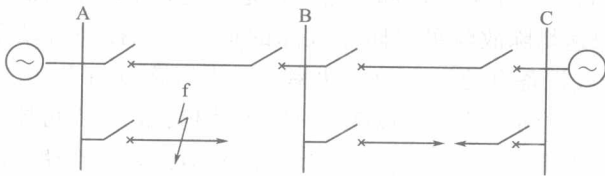


图 1-2 电力系统并列运行示意图

生振荡甚至解列。如果短路故障被迅速切除，则 A、B 两厂发电机的转差将减小，短路故障切除后就很容易再拉入同步，恢复正常运行。因此，快速切除故障是提高系统并列运行稳定、防止系统事故的一项重要措施。通常 220kV 及以上的电力系统继电保护的动作时间，主要是根据保持电力系统稳定的要求来确定。

② 切除故障可以减少发电厂厂用电及用户用电电压降低的时间，加速恢复正常运行，保证厂用电及用户工作的稳定性。因为电力系统中发生短路故障时，系统各点电压大大降低，发电厂和用户的电动机转速减小甚至被制动。若电压下降的时间较长，则电动机就要停止运转，使生产停顿。特别是发电厂厂用电动机停转，将造成停机的严重后果。如果短路故障被快速切除，系统各点电压就能很快恢复，电动机容易自启动，迅速恢复正常运行。因此，快速切除短路故障，所有电动机在故障切除后都可以继续正常运行，从而保证发电厂和用户工作的稳定性。通常要求在发电厂母线的引出线上发生短路故障，机端母线电压下降到额定电压的 60% 以下时，必须无时限地切除故障。

③ 快速切除故障可以降低电气设备和线路的损坏程度。因为发生短路故障时，故障点流过很大的短路电流，引起电气设备发热并要承受电动力的作用，因而使电气设备遭到严重的损坏。短路电流通过的时间愈长，则设备损坏的程度就愈严重，甚至被烧毁，特