

高职高专“十五”规划教材

GAOZHI
GAOZHUAN
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

供用电网络继电保护

马丽英 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

高职高专“十五”规划教材

GAOZHI
GAOZHUAN
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

供用电网络继电保护

主 编	马丽英	
编 写	李凤荣	程建平
主 审	邵玉槐	



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书共分三部分,即继电保护原理、变电所自动装置和继电保护运行。其中继电保护原理(第一章至第八章)内容包括电网相间短路的电流保护、电网相间短路的方向电流保护、电网的接地保护、电网的距离保护、电网的差动保护、电网的高频保护、电力设备与电气设备保护和微机继电保护原理等;变电所自动装置(第九章)内容包括重合闸装置、备用电源自动投入装置和自动按频率减负荷装置等;继电保护运行(第十章至第十三章)内容包括电力网继电保护的配置案例分析、电力网继电保护故障案例分析、电力网继电保护运行分析和继电保护新技术等。书中带*章节是课堂教学的非基本部分,可供教师教学时参考或供学生课后阅读。

本书可作为高等职业学院、高等专科学校电力系统自动化、供用电技术、用电管理与监察等专业电力网继电保护课程的教材,也可供有关专业从事继电保护工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

供用电网络继电保护/马丽英主编. —北京:中国电力出版社, 2004

高职高专“十五”规划教材

ISBN978-7-5083-2079-3

I. 供... II. 马... III. 电力系统—继电保护—高等学校:技术学校—教材 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 094134 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 9 月第一版 2008 年 1 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 508 千字

定价 29.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

序

随着新世纪的到来,我国进入全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。新世纪新阶段的新任务,对我国高等职业教育提出了新要求。我国加入世界贸易组织和经济全球化迅速发展的新形势,也要求高等职业教育必须开创新局面。

高职高专教材建设是高等职业教育的重要组成部分,是一项极具重要意义的基础性工作,对高等职业教育培养目标的实现起着举足轻重的作用。为贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》精神,进一步推动高等职业教育的发展,加强高职高专教材建设,根据教育部关于通过多层次的教材建设,逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系的精神,中国电力教育协会会同中国高等职业技术教育研究会和中国电力出版社,组织有关专家对高职高专“十五”教材规划工作进行研究,在广泛征求各方面意见的基础上,制订了反映电力及相关行业特点、体现高等职业教育特色的高职高专“十五”教材规划。同时,为适应电力体制改革和电力高等职业教育发展的需要,中国电力教育协会筹备组建全国电力高等职业教育教材建设指导委员会,以便更好地推动新世纪电力高职高专教材的研究、规划与开发。

高职高专“十五”规划教材紧紧围绕培养高等技术应用性专门人才开展编写工作。基础课程教材注重体现以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点;专业课程教材着重加强针对性和实用性。同时,“十五”规划教材不仅注重内容和体系的改革,还注重方法和手段的改革,以满足科技发展和生产实际的需求。此外,高职高专“十五”规划教材还着力推动高等职业教育人才培养模式改革,促进高等职业教育协调发展。相信通过我们的不断努力,一批内容新、体系新、方法新、手段新,在内容质量上和出版质量上有突破的高水平高职高专教材,很快就能陆续推出,力争尽快形成一纲多本、优化配套,适用于不同地区、不同学校、特色鲜明的高职高专教育教材体系。

在高职高专“十五”教材规划的组织实施过程中,得到了教育部、国家电力公司、中国电力企业联合会、中国高等职业技术教育研究会、中国电力出版社、有关院校和广大教师的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务,不可能一蹴而就,需要不断完善。因此,在教材的使用过程中,请大家随时提出宝贵的意见和建议,以便今后修订或增补。(联系方式:100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416237)

中国电力教育协会

前 言

随着现代电力网的发展,电力系统继电保护技术发生了根本的变化。在继电保护的设计、制造和运行方面都出现了一些新的理论、新的概念和新的方法。本书是根据中国电力教育协会十五教材规划,结合高职高专教学改革的特点和要求编写的。

本书着重介绍继电保护的基本原理、整定计算及构成电力网继电保护的基本元件和电路,还介绍了一些变电所自动装置,对继电保护的配置特点、继电保护的典型故障、近年来继电保护的运行情况及继电保护新技术等作了简单介绍。全书在内容取材上力求理论联系实际,并反映近年来继电保护的新成就。

本书共十三章,其中第一、二、三章,第八章第四节,第九章由李凤荣老师编写;第四、五、六、七章由程建平老师编写;其余诸章节由马丽英老师编写。马丽英老师任本书的主编。

本书由太原理工大学邵玉槐教授主审。各兄弟院校的老师对本书的修改也提出了很多好的建议,在此表示衷心的感谢。

诚恳地希望广大读者对本书的不足之处提出批评和指正。

编 者

2004年3月

常用符号说明

一、设备和器件符号

K	继电器	YT	跳闸线圈
KA	电流继电器	KBL	断线闭锁继电器
KV	电压继电器	KCH	切换继电器
KT	时间继电器	KST	起动继电器
KM	中间继电器	KOF	跳闸继电器
KS	信号继电器	KAC	加速继电器
KI	阻抗继电器	KHO	手动合闸继电器
KD	差动继电器	KVN	负序电压继电器
KO	合闸继电器	KLM	阻抗中间继电器
KW	功率方向继电器	KPR	分相跳闸固定继电器
KF	频率测量继电器	AAR	自动重合闸装置
KG	气体继电器	KCO	出口中间继电器
KL	总闭锁继电器	KBO	重动闭锁开放继电器
KCE	重动继电器	ZVN	负序电压过滤器
KCF	防跳继电器	KCT	跳闸位置继电器
KVZ	零序电压继电器	AAT	备用电源自动投入装置
KCA	故障闭锁继电器	KST	跳闸信号继电器
KAZ	零序电流继电器	KWZ	零序功率方向继电器
KAN	负序电流继电器	KWN	负序功率方向继电器
HL	信号灯	TV	电压互感（变换）器
VD	二极管	TA	电流互感（变换）器、中间变流器
TP	极化变压器	VT	三极管
QF	断路器	VS	稳压管
UE	整流桥	TL	电抗变换器
FU	熔断器	SR	复归按钮
N	非门	LT	脱扣器
O	或门	XB	连接片
U、V、W、N	相别	L	输电线路
YC	合闸线圈	E	禁止门

A 集成运算放大器、与门

二、下标符号

op	动作	fr	摩擦
set	整定	tr	过渡
sen	灵敏	br	分支
rel	可靠	U、V、W	相别
res	制动	s	系统
osc	振荡	k	短路
con	接线	unb	不平衡
fu	负荷	r	返回、恢复
up	非周期	ru	冲击
ru	电容器波纹、周期	aop	精工
em	电磁	ast	自起动
sp	弹簧、特殊	re	剩余

目 录

序	
前言	
绪论	1
思考题与习题	7
第一章 电网相间短路的电流保护	8
第一节 反应单一电气量的继电器	8
第二节 无时限电流速断保护	17
第三节 限时电流速断保护	20
第四节 定时限过电流保护	23
第五节 相间短路电流保护的接线方式	28
第六节 阶段式电流保护	33
第七节 电流电压连锁保护	35
* 第八节 反时限过电流保护	38
思考题与习题	42
第二章 电网相间短路的方向电流保护	44
第一节 方向电流保护的工作原理	44
第二节 功率方向继电器	50
第三节 相间短路功率方向继电器的接线方式	59
第四节 对方向电流保护的评价	63
思考题与习题	66
第三章 电网的接地保护	68
第一节 中性点直接接地电网接地故障分析	68
第二节 中性点直接接地电网的零序电流保护	70
第三节 方向性零序电流保护	77
第四节 对零序电流保护的评价	81
第五节 中性点非直接接地电网接地故障分析	84
第六节 中性点非直接接地电网的接地保护	89
* 第七节 MLN98 型微机小电流系统接地选线装置	91

思考题与习题	94
第四章 电网的距离保护	97
第一节 距离保护的工作原理	97
第二节 阻抗继电器	99
第三节 整流型方向阻抗继电器分析	106
第四节 阻抗继电器的接线方式	113
第五节 电力系统运行对距离保护的影响及措施	119
第六节 距离保护的整定计算	132
第七节 距离保护装置举例	138
思考题与习题	143
第五章 电网的差动保护	145
第一节 差动保护的基本原理	145
第二节 输电线路的纵联差动保护	145
第三节 平行线路的横联差动保护	149
思考题与习题	155
第六章 电网的高频保护	156
第一节 高频保护的基本原理	156
第二节 高频通道	157
第三节 方向高频保护	159
思考题与习题	165
第七章 电力设备与电气设备保护	166
第一节 电力变压器保护	166
第二节 母线保护	190
第三节 6~10kV 变压器保护	200
第四节 6~10kV 高压电动机保护	208
第五节 6~10kV 电力电容器保护	213
思考题与习题	215
第八章 微机继电保护	217
第一节 微机继电保护的构成和特点	217
第二节 微机继电保护的硬件系统	220
第三节 微机继电保护软件系统	225
第四节 微机型零序电流保护	235

第五节 微机距离保护	240
第六节 变压器微机纵差保护	247
思考题与习题	252
第九章 变电所自动装置	253
第一节 自动重合闸装置	253
第二节 备用电源自动投入装置	270
第三节 自动按频率减负荷装置	276
思考题与习题	288
第十章 电力网继电保护配置案例分析	289
第一节 220kV 电网一个半断路器接线继电保护配置	289
第二节 同杆并架双回路继电保护配置	292
第三节 500kV 变电所继电保护的配置	294
第四节 330kV 线路通信系统与继电保护配合方案	297
第十一章 电力网继电保护故障案例分析	299
第一节 综合性故障	299
第二节 变压器继电保护故障	309
第三节 母线继电保护故障	313
第四节 线路继电保护故障	316
第五节 继电保护整定与配合故障	317
* 第十二章 电力网继电保护装置运行分析	320
第一节 继电保护运行状况评价方法分析	320
第二节 2000 年我国电力网继电保护与安全自动装置运行状况分析	322
第三节 对当前继电保护运行方面几个问题的探讨	327
* 第十三章 电力系统继电保护新技术	331
第一节 电力系统继电保护技术的发展	331
第二节 继电保护新技术简介	334
参考文献	339

绪 论

一、电力系统继电保护的作用

输电线路、变压器、供电网络和用电设备组成了供用电系统。在运行过程中,供用电系统可能出现故障和不正常运行状态,最常见的故障是各种类型的短路,如三相短路、两相短路、两相接地短路、单相接地短路以及变压器、电机绕组的匝间短路等。

发生故障的原因多种多样,主要有雷击、倒塔、鸟兽跨接电气设备;设备设计、制造缺陷;安装、调试、运行、维护不当,误操作等。

故障发生后,电流突然增大,电压大幅度降低,会造成以下后果:

(1) 故障点通过很大的短路电流,引发电弧,使故障电气设备烧坏。通过短路电流的无故障设备,在发热和电动力作用下损坏或降低使用寿命。

(2) 系统电压大幅度下降,用户的正常工作遭到破坏,甚至损坏用电设备,影响产品质量。

(3) 破坏电力系统运行的稳定性,引起系统振荡甚至使整个电力系统瓦解,导致大面积停电。

电力系统正常运行状态遭到破坏,但未形成故障,称作不正常运行状态。常见的有过负荷、过电压、电力系统振荡等。电气设备运行过负荷会引起过热,加速绝缘老化,降低使用寿命,且容易引发短路。过电压将直接威胁电气设备绝缘,严重的会导致绝缘击穿,引发短路故障。电力系统振荡时,电流、电压周期性摆动,严重影响系统的正常运行。

为避免故障和不正常运行状态给系统和用户带来的危害,除了采取各种措施尽可能消除和减少发展性故障的可能性外,故障一旦发生,必须迅速、准确地切除故障元件,这是保证系统安全运行最有效的方法之一。电力系统的暂态过程非常短暂,切除故障的时间常常要求小到十分之几甚至百分之几秒,为完成这项任务,只有依靠电力系统继电保护装置。

电力系统继电保护装置是指能反应电力系统中电气元件发生故障或不正常运行状态而动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。继电保护装置的基本任务是:

(1) 当系统出现故障时,能自动、快速、有选择地将故障设备从系统中切除,保证系统非故障部分继续运行,使停电范围最小。

(2) 当系统处于不正常运行状态时,根据运行维护的要求能自动、及时、有选择地发出信号,由值班人员进行处理,或切除继续运行会引起故障的设备。

继电保护装置是电力系统自动化的重要组成部分,是保证电力系统安全稳定运行必不可少的主要技术措施之一。在现代电力系统中,继电保护装置对保证系统安全运行和电能质量、防止事故发生和故障扩大起着极其重要的作用,是电力系统必不可少的组成部分。

二、继电保护的基本原理

被保护设备的电气量在故障前后的突变信息,是构成继电保护装置的基本原理。为实现

上述基本任务, 继电保护应能区分电力系统正常运行与发生故障或不正常运行状态。

故障的明显特征是电流剧增、电压大幅下降、线路测量阻抗减小、功率方向变化、负序或零序分量出现等, 此外, 还有其他物理量如气体、温度的变化等。根据不同电气量或物理量的变化, 可构成不同原理的继电保护装置。不论反应哪种电气量, 当其测量值超过一定数值(整定值)时, 继电保护将有选择地切除故障或显示电气设备的异常情况。

1. 根据基本电气参数的变化构成保护

发生短路后, 利用电流、电压、线路测量阻抗值的变化, 可以构成如下最基本的保护。

(1) 过电流保护。反映电流的增大而动作, 如图 0-1 所示, 若在 BC 段上发生三相短路, 则从电源到短路点 k 之间均将流过很大的短路电流 I_k , 保护 2 应反应于这个电流而动作跳闸。

(2) 低电压保护。反应于电压的降低而动作, 如图 0-1 所示, 三相短路点 k 的电压 U_k 降低到零, 各变电所母线 A、B 等的电压都有所下降, 保护 2 可以反应于这个下降的电压而动作。

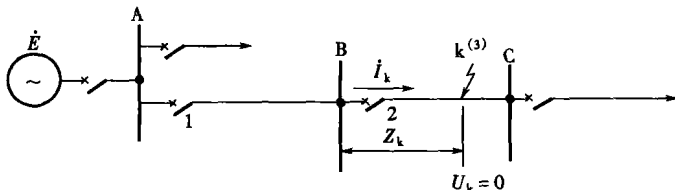


图 0-1 单侧电源线路

(3) 距离保护。反应于短路点到保护安装处之间的距离(或测量阻抗的减小)而动作。在图 0-1 中, 设以 Z_k 表示短路点到保护 2(变电所 B 母线)之间的线路阻抗, 则母线上的残余电压 $U_B = I_k Z_k$, $Z_k = U_B / I_k$ 就是在线路始端的测量阻抗, 显然, 此测量阻抗小于正常运行时的负荷阻抗, 其值正比于短路点到保护 2 之间的距离。

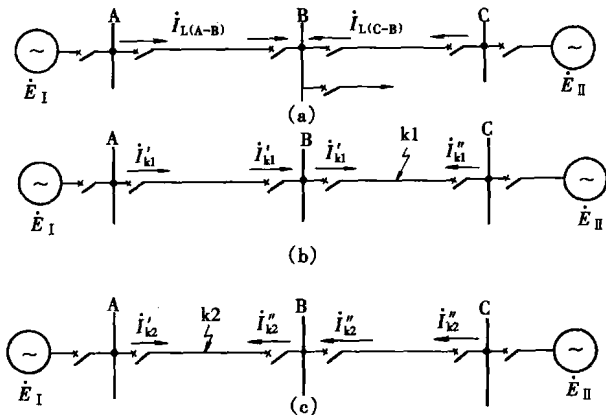


图 0-2 双侧电源网络

(a) 双侧电源网络; (b) 线路 AB 外短路; (c) 线路 AB 内短路

2. 根据内部和外部故障时被保护元件两侧电流相位(或功率方向)的差别构成保护

如图 0-2 (a) 所示双侧电源网络, 规定电流的正方向是从母线流向线路。

正常运行时, 在某一瞬间, 线路 AB 的负荷电流总是从一侧流入从另一侧流出, 按照规定的正方向, AB 两侧电流的大小相等, 相位相差 180。在线路 AB 范围以外 k1 短路时, 如图 0-2 (b) 所示, 由电源 E_I 供给的短路电流 i'_{k1} 将

流过线路 AB, 此时 AB 两侧的电流仍然是大小相等相位相反, 其特征与正常运行时一样。如果短路发生在线路 AB 的范围以内, 如图 0-2 (c) 所示, 由于两侧电源分别向短路点 k_2 供给短路电流 I'_{k_2} 和 I''_{k_2} , 线路 AB 两侧的电流都是由母线流向线路, 此时两电流的大小相位一般都不相等, 在理想情况下 (两侧电动势同相位且全系统的阻抗角相等), 两电流同相位。

利用电气元件在内部故障与外部故障 (包括正常运行情况) 时, 两侧电流相位或功率方向的差别, 就可以构成各种差动原理的保护, 如差动保护、高频保护等。差动原理的保护只反应被保护元件的内部故障, 不反应外部故障, 因而被认为具有绝对的选择性。

3. 根据对称分量是否出现构成保护

电气元件在正常运行 (或发生对称短路) 时, 负序分量和零序分量为零; 在发生不对称接地短路时, 它们都具有较大的数值, 在发生不接地的不对称短路时, 虽然没有零序分量, 但负序分量却很大, 利用这些分量构成的零序保护和负序保护, 一般都具有良好的选择性和灵敏性。

4. 根据其他物理量的变化构成保护

还可根据电气设备的特点, 实现反应于非电气量的保护。例如, 当变压器油箱内部的绕组短路时, 反应油被分解所产生的气体而构成瓦斯保护; 反应于电动机绕组的温度升高而构成的过负荷或过热保护等。

三、继电保护装置的组成

无论按上述什么原因构成继电保护, 其装置结构都由三部分组成, 即测量比较部分、逻辑判断部分和执行部分, 其原理框图如图 0-3 所示。



图 0-3 继电保护装置组成原理框图

1. 测量比较部分

测量比较部分是测量被保护元件工作状态 (正常工作、非正常工作或故障状态) 的一个或几个电气量, 并与已给定的整定值进行比较, 根据比较结果, 判断被保护元件有无故障或异常情况, 并输出相应的“是”、“非”; “大于”、“不大于”; 等于“0”或者“1”等性质的逻辑信号。

2. 逻辑判断部分

逻辑判断部分的作用是根据测量比较部分输出的信息, 包括各输出量的大小、性质、出现的顺序或它们的组合等, 作出逻辑判断。使保护装置按一定的逻辑程序工作, 以确定是否需要输出瞬时或延时跳闸、报警信号的相应信息到执行部分。

3. 执行部分

执行部分的作用是根据逻辑判断部分送来的信号, 最后完成保护装置所担负的任务, 如将跳闸命令送至断路器的控制回路、将报警信号送至报警信号回路等。

四、对继电保护的基本要求

根据继电保护的任務, 对动作于跳闸的继电保护要求其具有选择性、速动性、灵敏性和可靠性。这些要求是相辅相成、相互制约的, 需要根据具体的使用环境进行协调保证。

1. 选择性

继电保护动作的选择性是指保护装置动作时, 仅将故障元件从电力系统中切除, 使停电范围尽量缩小, 以保证系统中的非故障部分仍能继续安全运行。

如图 0-4 所示的网络中, 当 k_1 点短路时, 保护 1~4 均流过短路电流, 为尽量缩小停电范围, 应由距短路点最近的保护 1 和 2 动作跳闸, 将故障线路切除, 变电所 B 则仍可由另一条无故障的线路继续供电。而当 k_2 点短路时, 保护 7 动作跳闸, 切除故障, 此时只有用户 1 停电。由此可见, 继电保护有选择性的动作可将停电范围限制到最小, 甚至可以做到不中断向用户供电。

在要求继电保护动作有选择性的同时, 还必须考虑继电保护或断路器有可能拒绝动作。如图 k_2 点短路时, 距短路点最近的保护 7 应动作切除故障, 但由于某种原因, 该处的继电保护或断路器拒绝动作, 使故障不能消除, 此时要求其上一级电气元件(靠近电源侧)的保护 5 动作切除故障。此时保护 5 起到了对相邻线路后备保护的作用, 所以称其为相邻元件的后备保护。同理, 保护 1 和 3 又可以作为保护 5 和 6 的后备保护。按上述方式构成的后备保护是在远处实现的, 称为远后备保护。远后备保护对相邻元件的保护装置、断路器、二次回路和直流电源所引起的拒动均能起到后备作用。

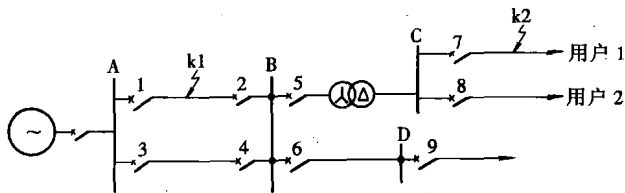


图 0-4 继电保护动作选择性示意图

当然, 并不是所有情况都可以实现远后备保护的。在某些复杂的高压电网中, 由于技术上的原因, 实现远后备保护有困难, 如图 0-4 中主变压器内部故障时, 流经线路的短路电流不大, 此时线路保护 1 不起动, 对主变

压器就不能起到远后备作用。这时候可以采用近后备保护方式。即在主变压器上同时装设两套保护, 如果一套保护(主保护)不动作, 则由另一套保护(后备保护)动作于跳闸。这种后备保护是在主保护安装处实现的, 称之为近后备保护。另外, 如果断路器 5 存有缺陷而拒绝动作, 则需通过装在断路器上的失灵保护, 将变电所 B 的有源线路上的断路器 2 和 4 跳开。只有当远后备不能满足要求时, 才考虑采用近后备的方式。

2. 速动性

速动性是指保护装置应能尽快切除短路故障。切除故障的时间包括继电保护的动作时间和断路器的跳闸时间。快速切除短路故障可以缩小故障范围, 减轻短路引起的破坏程度, 减小对用户影响, 提高电力系统的稳定性。因此, 在发生故障时, 应力求保护装置能迅速动作切除故障。

保护的速动性与选择性在一般情况下是矛盾的。因为具有速动而又能保证选择性的保护装置一般都较复杂, 价格较高, 所以不能片面追求保护的速动性, 而是要根据不同的保护对象及其在电力系统中的地位和作用, 来确定对保护速动性的要求。为兼顾两者, 一般允许保护带有一定的延时切除故障。

目前, 快速保护的动作为 $0.06 \sim 0.12s$, 最快的可达 $0.01 \sim 0.04s$, 断路器的动作时

间一般为 $0.06 \sim 0.15\text{s}$, 最快的可达 $0.02 \sim 0.06\text{s}$ 。对于不同的电压等级和不同结构的网络, 故障切除的最短时间有不同的要求。

对 220kV 以上的网络, 要求保护的動作时间约为 $0.02 \sim 0.04\text{s}$; 对 220kV 的网络为 $0.04 \sim 0.1\text{s}$; 对 110kV 的网络为 $0.1 \sim 0.7\text{s}$; 对配电网络一般为 $0.5 \sim 1.0\text{s}$ 。

有些故障不仅要满足选择性的要求, 还必须满足速动性要求, 例如:

- (1) 为满足系统稳定性的要求, 必须快速切除高压输电线路上的故障。
- (2) 使发电厂或重要用户的母线电压低于允许值 (一般为 0.7 倍额定电压) 的故障。
- (3) 大容量发电机、变压器及电动机内部发生的故障。
- (4) $1 \sim 10\text{kV}$ 线路导线截面过小, 为防止过热不允许延时切除的故障。
- (5) 可能危及人身安全、对通信系统或其他重要系统有强烈干扰的故障等。

3. 灵敏性

灵敏性是指继电保护对于其保护范围内发生故障或不正常运行状态的反应能力。在保护范围内部故障时, 不论短路点的位置、短路的类型如何, 以及短路点是否有过渡电阻, 保护装置都应该能敏锐感觉、正确反应。保护装置的灵敏性通常用灵敏系数来衡量, 它主要取决于被保护元件和电力系统的参数和运行方式。对各类保护灵敏系数的要求应满足《继电保护和安全自动装置技术规程》的规定。

在进行继电保护整定计算时, 常用到最大运行方式和最小运行方式。最大运行方式是指流过保护装置的短路电流为最大时的运行方式; 最小运行方式是指流过保护装置的短路电流为最小时的运行方式。

一般过量保护, 即反应故障电气量增加而动作的保护装置, 其灵敏系数为保护区末端金属性短路时电气量的最小值与动作整定值之比, 如电流保护的灵敏系数为

$$K_{\text{sen}} = I_{\text{k} \cdot \text{min}} / I_{\text{set}}$$

式中 $I_{\text{k} \cdot \text{min}}$ ——保护区末端金属性短路时短路电流的最小计算值;

I_{set} ——保护装置的动作电流整定值。

而欠量保护, 即反应故障电气量降低而动作的保护装置, 其灵敏系数为动作整定值与保护区末端金属性短路时电气量的最大值之比, 如低电压保护的灵敏系数为

$$K_{\text{sen}} = U_{\text{set}} / U_{\text{k} \cdot \text{max}}$$

式中 $U_{\text{k} \cdot \text{max}}$ ——保护区末端金属性短路时故障电压的最大计算值;

U_{set} ——保护装置的动作电压整定值。

各种保护灵敏系数的校验方法, 将在以后有关章节中具体讨论。

4. 可靠性

保护装置的可靠性是指在规定的保护范围内发生故障时, 它应该可靠动作, 即不拒动; 而在正常运行或保护范围以外故障时, 它不应该动作, 即不误动。

保护装置的可靠性与其本身的制造、安装调试质量、运行维护水平有关。一般保护装置组成元件的质量越高、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, 保护装置的可靠性就越高。精细的制造工艺、正确的调整试验、良好的运行维护、丰富的运行经

验以及严谨的工作作风对提高保护可靠性都起着重要作用。

继电保护装置的拒动或误动都将给电力系统造成严重后果，但在提高不误动或不拒动的可靠性措施上往往是相互矛盾的，需要权衡利弊。例如采用两套保护以“或”方式作用于同一出口跳闸回路，有利于防止保护拒动，但增加了误动的可能性；若以“与”方式，则有利于防止误动，却不利于防止拒动。又如在系统旋转备用容量充足、输电线路多、各元件之间联系又十分紧密的情况下，由于继电保护装置误动作，切除输电线路或发电机、变压器给系统带来的影响可能不大，但若保护装置拒动则造成设备损坏或系统稳定破坏，影响巨大。在这种情况下，应着重强调不拒动的可靠性；反之则应强调不误动的可靠性。

以上对继电保护装置的四个基本要求是分析、研究继电保护性能的基础，也是贯穿本课程的基线。它们之间紧密联系，相互之间既有矛盾，又可以在一定条件下统一。例如，为保证选择性，有时就要求保护动作带延时；为保证灵敏性，有时允许保护非选择性动作，再由自动重合闸装置来纠正；为保证速动性和选择性，有时需采用较复杂的保护装置，却降低了可靠性。故在选用、设计保护装置时，必须从系统的实际情况出发，从全局出发，分清主次，统一考虑，以求得最优情况下的统一。

五、继电保护技术发展概述

随着电力系统的飞速发展和电子技术、计算机技术、通信技术的进步，继电保护技术有了长足的发展。当前，国内外继电保护技术发展的趋势为计算机化，网络化，保护、控制、测量、数据通信一体化和人工智能化。

20 世纪 50 年代，阿城继电器厂建立了我国自己的继电器制造业。60 年代中期，我国已建成了继电保护研究、设计、制造、运行和教学的完整体系。这是机电式继电保护繁荣的时代。50 年代末，60 年代中到 80 年代中是晶体管继电保护蓬勃发展和广泛采用的时代。天津大学与南京电力自动化设备厂合作研究的 500kV 晶体管方向高频保护和南京电力自动化研究院研制的晶体管高频闭锁距离保护，运行于葛洲坝 500kV 线路上。

70 年代，基于集成运算放大器的集成电路保护已开始研究，到 80 年代末集成电路保护已形成完整系列，逐渐取代晶体管保护。90 年代初，集成电路保护的研制、生产、应用仍处于主导地位，天津大学与南京电力自动化设备厂合作研制的集成电路相电压补偿式方向高频保护在多条 220kV 和 500kV 线路上运行。

我国从 70 年代末开始计算机继电保护的研究，1984 年华北电力学院研制的输电线路微机保护装置首先通过鉴定，并在系统中获得应用。东南大学和华中医工大学研制的发电机失磁保护、发电机保护和发电机变压器组保护于 1989、1994 年投入运行。南京电力自动化研究院研制的微机线路保护装置于 1991 年通过鉴定。天津大学与南京电力自动化设备厂合作研制的微机相电压补偿式方向高频保护、西安交通大学与许昌继电器厂合作研制的正序故障分量方向高频保护相继于 1993、1996 年通过鉴定。随着微机保护装置的研究，在微机保护软件、算法等方面也取得了很多理论成果。从 90 年代开始我国继电保护技术已进入了微机保护的时代。

进入 21 世纪，随着微型计算机和计算技术的迅猛发展，加之微机保护装置的巨大优越性和潜力，可以预见，微机保护将成为电力系统保护、监控、通信、调度综合自动化系统的

重要组成部分。继电保护技术未来趋势是向计算机化，网络化，智能化，保护、控制、测量和数据通信一体化发展。

思考题与习题

1. 电力系统继电保护的任务是什么？
2. 说明继电保护装置的结构。
3. 简述对继电保护装置的基本要求及相互关系。
4. 过量保护和欠量保护的灵敏系数如何求取？