



普通高等教育“十二五”规划教材

继电保护 与二次回路

主 编 汶占武
副主编 解建军 郭英芳



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

继电保护与二次回路

主 编 汶占武

副主编 解建军 郭英芳



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

全书共分10章,主要阐述了发电机、变压器、输电线路的继电保护的基本原理,以及操作电源系统、电气设备的控制、中央音响信号系统以及二次回路的故障检测和排除。内容包括:电力系统继电保护与二次回路概述;继电保护的基本元器件及二次回路;操作电源系统;电气设备控制回路;中央信号系统;输电线路的保护及二次回路;电力变压器保护;同步发电机的继电保护;微机型继电保护;二次回路的维护、故障分析及处理。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院电力系统继电保护与自动化专业、供用电技术专业及相关专业的教学用书,也适用于五年制高职相关专业,并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

继电保护与二次回路 / 汶占武主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2011. 12
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5084-9301-5

I. ①继… II. ①汶… III. ①继电保护—高等学校—教材②二次系统—高等学校—教材 IV. ①TM77②TM645.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第281420号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 继电保护与二次回路
作 者	主 编 汶占武 副主编 解建军 郭英芳
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.5印张 392千字
版 次	2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书是根据全国示范性职业技术学院建设工程——杨凌职业技术学院全国首批示范性职业技术学院建设方案的目标和要求，以培养应用、高技能人才为目标，以最新的国家标准、技术规范为依据，以学生的专业能力培养为落脚点，按照机电设备运行与维护专业人才培养方案的要求，结合编者多年的电力系统从业经验和教学实践经验编写而成的。本书对电力系统继电保护的构成原理以及发电厂和变电所的二次系统进行了全面、详细的阐述，并对弱电控制、信号系统和微机继电保护技术的最新成果进行了较为全面的阐述。由于微机技术、信息技术和通信技术的发展使继电保护的原理和技术都发生了深刻的变化。而且，微机继电保护已占据了主导地位，因此，本书专门对输电线路微机保护、发电机微机保护、变压器微机保护、微机保护装置的运行做了详尽的介绍。书中图形符号和文字符号采用最新国家标准。

全书紧紧扣住应用、高技能人才的培养目标，在系统阐述基础理论知识的前提下，理论联系实际，大量采用工程实际图纸进行详细的讲解。在内容安排上注重基本知识、基本理论和基本技能，突出逻辑分析，以提高学生独立分析问题和解决问题的能力；在文字组织上力求概念清楚，深入浅出，通俗易懂。

全书共分 10 章，主要阐述了发电机、变压器、输电线路的继电保护的基本原理，以及操作电源系统、电气设备的控制、中央音响信号系统以及二次回路的故障检测和排除。

按照由浅入深、循序渐进的教学顺序，全书可分为四部分。第一部分由 1~2 章组成，为全书的基础，主要介绍电力系统继电保护与二次回路基础知识以及继电保护的基本元器件，电力系统继电保护的基础知识，二次回路基础知识，电气二次回路图、互感器、变换器、对称分量滤过器、微机保护基础知识等。通过第一部分的学习，使学生掌握继电保护、电气二次图识图微机保护的基本知识。

第二部分由第 3~5 章组成，主要介绍各二次功能单元系统的作用、回路构成和动作过程分析。内容包括：操作电源系统、电气设备控制回路、中央信号系统。通过第二部分的学习，使学生对各二次功能单元系统的作用、工作原理和回路构成有个全面的了解，并具备分析二次功能单元回路图的能力。

第三部分由第 6~9 章组成，本部分以输电线路、变压器和发电机等一次单元系统为单位，将各相关的二次功能单元组合在一起进行介绍。内容包括：发电机二次回路，输电线路保护二次回路和变压器保护二次回路等。通过第三部分的学习，使学生具备以一次单元系统为单位，将各二次功能单元系统组合在一起进行分析的能力。

通过前三个部分的学习，使学生基本掌握发电厂和变电所设备保护的基本知识以及二次回路图的读图和分析能力，这三个部分为全书的重点。

第四部分由第 10 章组成，主要介绍二次回路在实际使用中的维护和故障分析思路以

及实际二次工程图的分析。通过这一部分的学习，使学生掌握基本故障分析和排除的能力。

本书第1章、第2章、第6章、第9章由杨凌职业技术学院郭英芳编写，第3~5章和第10章由杨凌职业技术学院汶占武编写，第7章由杨凌职业技术学院解建军编写，第8章由陕西省宝鸡峡引渭灌溉管理局赵军良高级工程师编写，汶占武担任主编并负责统稿，解建军、郭英芳担任副主编。

本书由西安理工大学姚李孝教授主审。姚李孝对全书进行了认真、仔细的审阅，提出了许多宝贵的意见，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2011年11月

目 录

前言

第 1 章 电力系统继电保护与二次回路概述	1
1.1 电力系统继电保护的作用	1
1.2 电力系统继电保护的基本原理和保护装置的组成	3
1.3 对继电保护的基本要求	5
1.4 电力系统继电保护的发展	7
1.5 二次回路基础知识	9
1.6 电气二次回路图	11
小结	22
复习思考题	23
第 2 章 继电保护的基本元器件及二次回路	24
2.1 电流互感器	24
2.2 电压互感器	27
2.3 变换器	30
2.4 对称分量滤过器	32
2.5 电磁型继电器	36
小结	39
复习思考题	39
第 3 章 操作电源系统	40
3.1 操作电源概述	40
3.2 直流操作电源	42
3.3 操作电源供电网络	48
3.4 直流系统的绝缘监察与电压监察	50
3.5 事故照明切换装置	52
小结	53
复习思考题	54
第 4 章 电气设备控制回路	55
4.1 概述	55
4.2 断路器的控制开关及控制回路的构成	57

4.3	灯光监视电磁操作机构的断路器控制回路	63
4.4	灯光监视弹簧操作机构的断路器控制回路	65
4.5	音响监视的断路器控制回路	66
4.6	灯光监视液压操作机构的断路器控制回路	68
4.7	压缩空气操作的断路器控制回路	70
4.8	断路器的弱电选线控制回路	71
4.9	带有自动装置 (APR 或 AAT) 的断路器控制回路	74
4.10	隔离开关控制与误操作闭锁回路	79
	小结	88
	复习思考题	89
第 5 章	中央信号系统	90
5.1	中央信号系统的基本知识	90
5.2	中央复归不重复动作的中央音响信号系统	94
5.3	中央复归能重复动作的中央信号音响信号系统	100
	小结	108
	复习思考题	108
第 6 章	输电线路的保护及二次回路	109
6.1	单侧电源输电线路相间短路的电流电压保护	109
6.2	双侧电源输电线路相间短路的方向电流保护	120
6.3	输电线路接地故障保护	130
6.4	中性点直接接地系统输电线路接地故障保护	133
	小结	139
	复习思考题	140
第 7 章	电力变压器保护	142
7.1	电力变压器的故障、异常工作状态及其保护的配置	142
7.2	变压器的差动保护	143
7.3	变压器瓦斯保护	158
7.4	变压器的电流速断保护	160
7.5	变压器相间短路的后备保护及过负荷保护	160
7.6	变压器的零序保护	165
7.7	变压器的过励磁保护	169
	小结	170
	复习思考题	171
第 8 章	同步发电机的继电保护	172
8.1	发电机故障、不正常运行状态及其保护方式	172

8.2	发电机的纵差保护	174
8.3	发电机定子绕组匝间短路保护	179
8.4	发电机定子绕组单相接地保护	183
8.5	发电机励磁回路接地保护	191
8.6	发电机的失磁保护	194
8.7	发电机相间短路后备保护及过负荷保护	201
8.8	发电机—变压器组保护	204
	小结	209
	复习思考题	209
第 9 章	微机型继电保护	211
9.1	微机继电保护概述	211
9.2	输电线路微机保护简介	213
9.3	微机变压器保护	220
9.4	微机发电机保护	225
9.5	微机继电保护装置运行管理	227
	小结	237
	复习思考题	238
第 10 章	二次回路的维护、故障分析及处理	239
10.1	概述	239
10.2	交流二次回路的维护、故障分析及处理	242
10.3	控制、保护和信号回路的维护故障分析及处理	245
10.4	励磁回路的维护、故障分析及处理	250
	小结	253
	复习思考题	253
	参考文献	254

第 1 章 电力系统继电保护与二次回路概述

本章要求：

了解与继电保护相关的几个基本概念，如故障、不正常运行状态、事故以及它们的特点；理解继电保护的作用以及构成继电保护的基本原理；掌握对继电保护的基本要求，即所谓的“四性”——选择性、速动性、灵敏性和可靠性。其中最重要的是可靠性，而选择性是关键，灵敏性则必须足够高，速动性要达到必要的程度。“四性”是设计、分析与评价继电保护装置是否先进、实用和完善的出发点和依据。掌握二次回路图相关知识的学习，会绘制二次回路图，能将原理图转化为展开图并能读懂安装图。

知识要点：

- 电力系统继电保护的作用以及对继电保护的基本要求
- 继电保护装置的基本原理
- 电气二次回路图

重点和难点：

- 继电保护装置的基本原理
- 继电保护的基本要求
- 电气二次回路图

能力目标：

- 掌握继电保护的基本要求
- 能够读懂二次回路图

1.1 电力系统继电保护的作用

电力系统安全稳定运行对国民经济、人民生活、社会稳定都有着极其重要的影响。电力系统是由发电厂、变电站、电力线路、电力用户组成的一个整体。运行中的电力系统，由于雷击、倒塔、内部过电压或运行人员误操作等原因会造成电力系统故障和不正常运行状态。因此，需要专门的技术为电力系统建立一个安全保障体系，其中最重要的专门技术就是继电保护技术。继电保护是电力系统重要的组成部分，是保证电力系统安全可靠运行的不可缺少的技术措施。

1.1.1 电力系统的工作状态

电力系统的工作状态可分为正常运行、故障及不正常运行三种状态。

1. 正常运行状态

电力系统正常运行时，三相的电压和电流对称或基本对称，电气元件和系统的运行参数都在允许范围内变动。

2. 故障状态

在继电保护中所指的“故障”是指不能继续运行，必须跳闸或停电的设备故障，在目前电站运行中，通常称为事故。电气元件发生短路、断线时的状态均为故障状态。最常见且最危险的故障是各种类型的短路，三相短路的后果最为严重。发生短路时，通过短路回路的短路电流比正常运行时的负荷电流大若干倍甚至几十倍。电力系统中发生短路故障时，可能产生下列严重后果：

(1) 数值较大的短路电流通过故障点时，引燃电弧，使故障设备损坏或烧毁。

(2) 短路电流通过非故障设备时，产生发热和电动力，使其绝缘遭受到破坏或缩短设备使用年限。

(3) 电力系统中部分地区电压值大幅度下降，将破坏电能用户正常工作或影响产品质量。

(4) 破坏电力系统中各发电厂之间并联运行的稳定性，使系统发生振荡，从而使事故扩大，甚至使整个电力系统瓦解。

3. 不正常运行状态

电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏，但没有发生故障，这种情况属于不正常运行状态。例如，因负荷超过供电设备的额定值引起的电流升高，称为过负荷，就是一种常见的不正常工作状态。在过负荷时，使电气元件载流部分和绝缘材料温度升高而过热，加速绝缘材料老化和损坏，并有可能发展成故障。此外，系统中出现有功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，以及电力系统振荡等，都属于不正常运行状态。

电力系统中发生不正常运行状态和故障时，都可能引起系统事故。事故指系统或其中一部分的正常工作遭到破坏，并造成对用户少送电或电能质量变坏到不能容许的程度，甚至造成人身伤亡和电气设备损坏。

系统事故的发生，除自然条件的因素（如遭受雷击等）以外，一般都是由设备制造上的缺陷、设计和安装的错误、检修质量不高或运行维护不当引起的。因此要提高设计和运行水平，并提高制造与安装质量，这样可能大大减少事故发生的几率。但是不可能完全避免系统故障和不正常运行状态的发生，故障一旦发生，故障量将以近于光速影响其他非故障设备，甚至引起新的故障。为防止系统事故扩大，保证非故障部分仍能可靠地供电，并维持电力系统运行的稳定性，要求迅速、有选择地切除故障元件。切除故障的时间有时要求短到十分之几秒到百分之几秒，显然在这样短的时间内，由运行人员发现故障设备，并将故障设备切除是不可能的。只有借助于安装在每一个电气设备上的自动装置，即继电保护装置，才能实现。

1.1.2 继电保护装置

继电保护装置是指安装在被保护元件上，反应被保护元件故障或不正常运行状态并作用于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。继电保护装置最初是以机电式继电器为主构成的，现代继电保护装置则已发展成以电子元件或微型计算机或可编程控制器为主构成。“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。



1.1.3 继电保护装置的基本任务

继电保护装置的基本任务是：

(1) 自动、迅速、有选择性地使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，并保证其他无故障元件迅速恢复正常运行。

(2) 反应电气元件不正常运行情况，并根据不正常运行情况的种类和电气元件维护条件，发出信号，由运行人员进行处理或自动地进行调整或将那些继续运行会引起事故的电气元件予以切除。反应不正常运行情况的继电保护装置允许带有一定的延时动作。

(3) 继电保护装置还可以和电力系统中其他自动化装置配合，在条件允许时，采取预定措施，缩短事故停电时间，尽快恢复供电，从而提高电力系统运行的可靠性。

综上所述，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。继电保护装置是电力系统中重要的组成部分，是保证电力系统安全和可靠运行的重要技术措施之一。在现代化的电力系统中，如果没有继电保护装置，就无法维持电力系统的正常运行。

1.2 电力系统继电保护的基本原理和保护装置的组成

1.2.1 继电保护的基本原理

为了完成继电保护所担负的任务，要求它能正确区分电力系统正常运行状态与故障状态或不正常运行状态。因此，可根据电力系统发生故障或不正常运行状态前后电气物理量变化特征构成继电保护装置。

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元件上的电流，将由负荷电流增大到大大超过额定负荷电流。

(2) 电压降低。系统发生相间短路或接地短路故障时，系统各点的相间电压或相电压值均下降，且越靠近短路点，电压下降越多，短路点最低可降至零。

(3) 电压与电流之间的相位角发生改变。正常运行时，同相的电压与电流之间的相位角即负荷的功率因数角，一般约为 20° ；三相金属性短路时，同相电压与电流之间相位角即阻抗角，对于架空线路，一般为 $60^\circ \sim 85^\circ$ ；而在反方向三相短路时，电压与电流之间相位角为 $180^\circ + (60^\circ \sim 85^\circ)$ 。

(4) 测量阻抗发生变化。测量阻抗即为测量点（保护安装处）电压与电流量之比，即 $Z = \dot{U} / \dot{I}$ 。以线路故障为例，正常运行时，测量阻抗为负荷阻抗；金属性短路时，测量阻抗为线路阻抗；故障后测量阻抗模值显著减少，而阻抗角增大。

(5) 出现负序和零序分量。正常运行时，系统只有正序分量；当发生不对称短路时，将出现负序分量和零序分量。

(6) 电气元件流入和流出的关系发生变化。对任一正常运行的电气元件，根据基尔霍夫定律，其流入电流应等于流出电流，但元件内部发生故障时，其流入电流不再等于流出电流。

利用故障时电气量的变化特征，可以构成各种作用原理的继电保护。例如，根据短



路时电流增大和电压降低的特征，可以分别构成电流保护和低电压保护；根据短路时电流及电流、电压间相位角的变化，可以构成方向电流保护；根据短路时电压与电流比值（即阻抗）关系的变化，可以构成距离（阻抗）保护；根据变压器等电气元件发生不正常运行状态（如过负荷）时电流增大的特点，可以构成电气元件的过负荷保护等。此外，根据电气元件的特点，还可以实现反应非电气量变化的保护，如变压器的瓦斯保护等。

1.2.2 继电保护装置的组成

继电保护装置一般由三大组成部分，其原理结构的框图如图 1.1 所示。

(1) 测量部分。其作用是测量被保护对象工作状态（正常工作、不正常工作或故障状态）的一个或几个物理量，并与整定值相比较。

(2) 逻辑部分。其作用是根据测量元件输出量的大小、性质、组合方式或出现次序，判断被保护对象的工作状态，以决定保护装置是否应该动作。

(3) 执行部分。其作用是根据逻辑部分所做出的判断，执行保护装置的任务（给出信号、或跳闸、或不动作）。

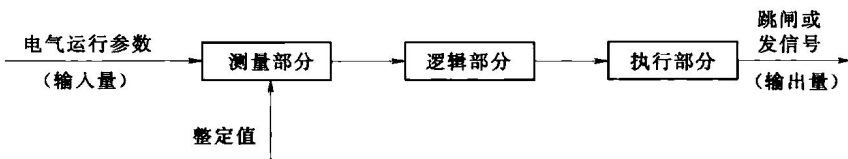


图 1.1 继电保护装置的原理方框图

现如图 1.2 所示简单的过电流保护为例，来说明继电保护装置的组成。

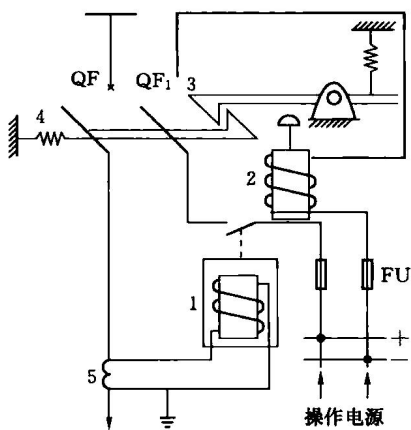


图 1.2 简单过电流保护原理示意图
1—电流继电器；2—跳闸线圈；3—锁扣；
4—弹簧；5—电流互感器

在图 1.2 中，电流继电器 1 的线圈接在电流互感器 5 的二次侧，构成了保护装置的测量部分。正常运行时，流过电流继电器 1 线圈的电流为保护线路反应到电流互感器 5 的二次侧的负荷电流，小于电流继电器的动作电流，故电流继电器 1 不动作，其动合触点不闭合。当被保护线路发生短路时，线路上电流增大，电流互感器 5 的二次电流也按比例增大，如果此电流达到或超过电流继电器 1 的动作电流时，其动合触点闭合，于是断路 QF 的跳闸线圈 2 通电，立即吸动衔铁。撞击操作杠杆而使锁扣 3 脱开，QF 跳闸，将故障线路切除。

图 1.2 中电流继电器 1 的动合触点属于逻辑部分，用来判断被保护线路的运行状态，正常运行时他处于断开位置，发生故障时他处于闭合位置。由于闭合又接通了断路器的跳闸回路，所以它又是保护装置的执行部分。执行部分一般由中间继电器来担任。但是在简单的继电保护装置中，常常将逻辑部分和执行部分结合在一起，这样可使继电保护装置简化。



1.3 对继电保护的基本要求

为了使继电保护能及时、正确地完成它所担负的任务，对继电保护提出了选择性、快速性、灵敏性和可靠性等四个基本要求。

1. 选择性

当电力系统中某部分发生故障时，要求保护装置只将故障设备切除，尽量缩小停电范围，从而保证非故障部分能尽快恢复正常运行，这就应保证使最靠近故障点的断路器首先跳闸。这种动作称为继电保护动作的选择性。如图 1.3 所示的 1QF~6QF 各个断路器处都装有继电保护装置。当 f_3 点发生短路故障时，短路电流将分别经过 1QF~6QF 流至故障点 f_3 ，各断路器的继电保护都有可能动作。但按照选择性的要求，应首先由最靠近短路点 f_3 的断路器 6QF 处的继电保护装置 6 动作，使 6QF 跳闸，将故障部分从系统中切除，使非故障部分能继续正常运行。此时，若 1QF 和 3QF 也跳闸，则整个电网就会停电，这种情况称为无选择性或越级动作，扩大了停电范围，这是不允许的。同理，当 f_2 点发生短路时，应首先跳开 5QF； f_1 点发生短路时，应首先跳开 1QF，还应跳开 2QF。继电保护装置的选择性，是由合理选择保护方案和正确进行整定计算得到的。

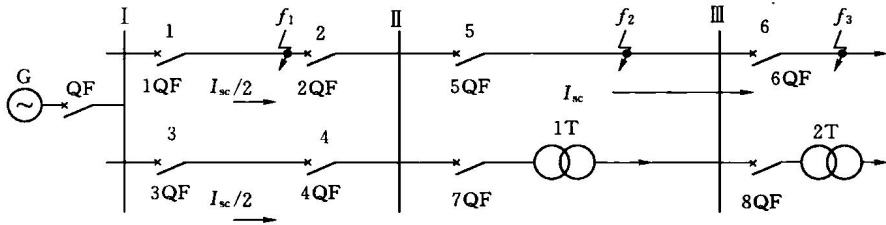


图 1.3 继电保护动作选择性例图

应当指出，当每一断路器所在处装有几套保护时，其中有一套为主保护，其余的为后备保护，当主保护发生拒动时，应有后备保护动作，于是断路器跳闸。这种后备保护对主保护的后备保护作用，称为近后备。另外，上邻元件的保护对本级保护也具有后备保护作用，换而言之，本机保护对下邻元件所起的后备保护作用，称为远后备。例如，当 6QF 处的保护 6 拒动或断路器 6QF 拒动时，则应由 5QF 处的保护 5 动作，于是 5QF 跳闸，将故障切除。这种情况就是远后备保护作用。

2. 快速性

快速性，就是当电力系统中发生故障时，继电保护及断路器能快速动作，以最短时限将故障切除，使电力系统的损失及设备损坏程度为最小的一种性能。因为，若能快速切除故障，有如下好处：

- (1) 可以减轻短路电流对电气设备造成的损坏程度。
- (2) 可以加快电力系统电压的恢复过程，为电动机的自启动创造有利条件。
- (3) 可以提高发电机并列运行和电力系统并列运行的稳定型。
- (4) 短路点处的电弧容易熄灭，可以防止故障的扩展，提高自动重合闸的成功率。

切除故障所需要的时间，等于继电保护动作时间与断路器跳闸至灭弧时间的总和。因



此,若要求能快速切除故障,必须采用快速继电保护和快速断路器。目前,常用的油断路器的跳闸时间为 $0.1\sim 0.15\text{s}$;真空断路器的跳闸时间为 $0.05\sim 0.08\text{s}$ 。保护装置最快的动作时间可达 $0.02\sim 0.04\text{s}$ 。

3. 灵敏性

灵敏性是指继电保护装置对其保护范围内的电气设备可能发生的故障和不正常运行状态的反应能力。一般是用被保护的电气设备发生故障时,通过保护装置的故障参数量(例如短路电流值)与保护装置的動作参数量(例如動作电流整定值)的比值大小来判断的,这个比值称为灵敏系数,用 K_{sen} 来表示。

(1) 对于反应故障参数量增加而动作的保护装置,其灵敏系数的定义为

$$\text{灵敏系数 } K_{\text{sen}} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最小计算值}}{\text{保护装置动作参数的整定值}}$$

例如:对于过电流保护,有

$$K_{\text{sen}} = \frac{I_{\text{sc.min}}}{I_{\text{op}}}$$

式中 $I_{\text{sc.min}}$ ——保护区末端金属性短路的最小短路电流一次值(或二次值);

I_{op} ——保护装置動作电流的一次值(或二次值 $I_{\text{op.k}}$)。

(2) 对于反应故障参数量降低而动作的保护装置,其灵敏系数的定义为

$$\text{灵敏系数 } K_{\text{sen}} = \frac{\text{保护装置动作参数的整定值}}{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最大计算值}}$$

例如:对于欠电压保护,有

$$K_{\text{sen}} = \frac{U_{\text{op}}}{U_{\text{rsd.max}}}$$

式中 U_{op} ——保护装置動作电压的一次值(或二次值 $U_{\text{op.k}}$);

$U_{\text{rsd.max}}$ ——保护区末端金属性短路时,在保护安装处母线上最大剩余电压(也称残压)的一次值(或二次值 $U_{\text{rsd.max}}$)。

GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》,对于各种保护装置的最小灵敏系数都做了具体规定。为了保证在各种可能出现的运行方式下,均能灵敏地反映被保护设备的各种事故或故障,各类保护的灵敏系数,不宜低于表1.1所列数值。

表 1.1 继电保护的最小灵敏系数

保护分类	保护装置类型	组成元件	灵敏系数	备注
主保护	带方向和不带方向的电流保护或电压保护	电流元件或电压元件	1.3~1.5	个别情况下,灵敏系数可为1.25
	发电机、变压器、线路、和电动机的电流速断保护	电流元件	2.0	按保护安装处短路计算
	发电机、变压器、线路、和电动机的纵联差动保护	差电流元件	2.0	
	母线电流速断保护	电流元件	1.5	按母线处短路计算
后备保护	远后备保护	电流元件、电压元件	1.2	按相邻保护区末端短路计算
	近后备保护	电流元件、电压元件	1.3~1.5	按本保护区末端短路计算



为了使保护装置在系统发生故障时起到保护作用，要求保护装置在电力系统各种运行方式下都应具有足够的灵敏度。也就是说，对电流保护装置不但要求在最大运行方式下三相金属性短路（即短路电流最大）时，能够灵敏地动作，而且在最小运行方式下经过较大过渡电阻的两相短路（即短路电流最小）时，也能有足够的灵敏度而可靠地动作。最大运行方式是指在被保护对象末端短路时，系统的等值阻抗最小，通过保护装置的短路电流为最大的那种运行方式；最小运行方式是指在同样短路情况下，系统等值阻抗最大，通过保护装置的短路电流为最小的那种运行方式。一般说来，一个系统在尽可能小的运行方式下满足保护装置灵敏度的要求是有困难的，因此，通常是根据实际情况可能出现的最小运行方式进行计算。

如果保护装置的灵敏系数达不到要求，则保护装置就不能可靠动作，或者使保护范围缩小。

4. 可靠性

可靠性是继电保护装置在一定条件下及规定时间内完成预定功能的能力。根据可靠性的要求，凡投入运行的继电保护装置，应经常处于准备动作的状态，当被保护的电气设备发生故障或出现不正常运行状态时，保护范围内的保护装置应能正确动作，不应拒动；而保护范围外的保护装置及其他非故障电气设备的保护装置则不应误动。如果不能满足可靠性的要求，则继电保护装置本身便成为扩大事故或直接造成事故的根源。继电保护装置的任何拒动或误动，都会给电力系统的安全运行带来严重威胁。

保护装置不能可靠工作的主要原因是安装调试质量不高、运行维护不当、继电器质量差以及设计不合理等。为了提高保护装置工作的可靠性，必须注意以下几个方面：

(1) 保护装置应该采用质量高、动作可靠的继电器和元件。设计原理、整定计算和安装调试应正确无误。

(2) 保护装置的接线应尽可能地简化，尽量减少继电器及其串联触点数目。

(3) 提高保护装置的安装和调试质量，并加强经常性的运行维护管理。

一般来说，复杂的保护装置触点多、接线复杂、调试困难，其工作可靠性较由简单原理和元件构成的保护装置要差一些。为了简化保护装置，提高其工作的可靠性，设计、配置保护装置应以经常出现的故障形式和运行方式为主，兼顾不常有的故障形式和稀有的运行方式，避免对保护装置的灵敏度和选择性提出过高的要求，造成保护装置过于复杂而降低其可靠性。

为了使保护装置能可靠地动作，在进行继电保护的整定计算时，必须考虑一定的可靠系数 K_{rel} ，可靠系数是表示继电保护装置有选择性动作的一个指标。

继电保护的可靠性可用正确动作率来衡量，即

$$\text{正确动作率} = \frac{\text{正确动作次数}}{\text{总动作次数}} \times 100\%$$

其值应尽可能接近于 100%。

1.4 电力系统继电保护的发展

继电保护技术是随着电力系统的发展而发展的，它与电力系统对运行可靠性要求的不同



断提高密切相关。熔断器就是最初出现的简单过电流保护，时至今日仍广泛应用于低压线路和用电设备。由于电力系统的发展，用电设备的功率、发电机的容量不断增大，发电厂、变电站和供电网的接线不断复杂化，电力系统中正常工作电流和短路电流都不断增大，熔断器已不能满足选择性和快速性的要求，于是出现了作用于专门的断流装置的过电流继电器。20世纪初随着电力系统的发展，继电器才开始广泛应用于电力系统的保护。这个时期可认为是继电保护技术发展的开端。

自20世纪初第一代机电型感应式过流继电器（1901年）在电力系统应用以来，继电保护已经经历了一个世纪的发展。在最初的20多年里，各种新的继电保护原理相继出现，如差动保护（1908年）、电流方向保护（1910年）、距离保护（1923年）、高频保护（1927年），这些保护原理都是通过测量故障发生后的稳态工频量来检测故障的。尽管以后的研究工作不断发展和完善了电力系统的保护，但是这些保护的基本原理并没有变，至今仍然在电力系统继电保护领域中起主导作用。

继电保护装置是保证电力系统安全运行的重要设备。满足电力系统安全运行的要求是继电保护发展的基本动力。快速性、灵敏性、选择性和可靠性是对继电保护的四项基本要求。为达到这个目标，继电保护专业技术人员借助各种先进科学技术手段作出不懈的努力。经过近百年的发展，在继电保护原理完善的同时，构成继电保护装置的元件、材料等也发生了巨大的变革。继电保护装置经历了机电式、整流式、晶体管式、集成电路式、微处理机式等不同的发展阶段。

20世纪50年代，我国工程技术人员创造性地吸收、消化、掌握了国外先进的继电保护设备性能和运行技术，建成了一支具有深厚继电保护理论造诣和丰富运行经验的继电保护技术队伍，对全国继电保护技术队伍的建立和成长起了指导作用。阿城继电器厂引进消化了当时国外先进的继电器制造技术，建立了我国自己的继电器制造业。因而，60年代是我国机电式继电保护繁荣的时代，为我国继电保护技术的发展奠定了坚实基础。

自20世纪50年代末，晶体管继电保护已开始研究。60年代中期到80年代中期是晶体管继电保护蓬勃发展和广泛采用的时代。在此期间，从70年代中，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。到90年代初，集成电路保护的研制、生产、应用仍处于主导地位，这是集成电路保护的时期。

国内微机保护的研究开始于20世纪70年代末期，起步较晚，但发展很快。1984年我国第一套微机距离保护样机在试运行后通过鉴定并批量生产，以后每年都有新产品问世；1990年第二代微机线路保护装置正式投入运行。目前，高压线路、低压网络、各种主电气设备都有相应的微机保护装置在系统中运行，特别是线路保护已形成系列产品，并得到广泛应用。我国在2000年220kV及以上系统的微机保护率为43.99%，线路微机保护占86%，到2003年年底，220kV以上系统的微机保护已占到70.29%，线路的微机化率达到97.6%。实际运行中，微机保护的正确动作率要明显高于其他保护，一般比平均正常动作率高0.2~0.3个百分点。国产微机保护经过多年的实际运行，依靠先进的原理和技术及良好的工艺已全面超越进口保护。从20世纪80年代220kV及以上电压等级的电力系统全部采用进口保护，到现在220kV系统继电保护基本国产化，反映了继电保护



技术在我国长足发展和国产继电保护设备的明显优势。

微机继电保护技术的成熟与发展是近 30 年来继电保护领域最显著的进展。经过长期的研究和实践,现在人们已普遍认可了微机保护在电网中不可替代的优势。微机保护具有自检功能,有强大的逻辑处理能力、数值计算能力和记忆能力,并且具备很强的数字通信能力,这一切都是电磁继电器、晶体管继电器所难以匹敌的。计算机技术的进步,更高性能、更高精度的数字外围器件的采用,一直是微机继电保护不断发展的强大动力。

微机继电保护经过近 20 年的应用、研究和发展,已经在电力系统中取得了巨大的成功,并积累了丰富的运行经验,产生了显著的经济效益,大大提高了电力系统运行管理水平。近年来,随着计算机技术的飞速发展以及计算机在电力系统继电保护领域中的普遍应用,新的控制原理和方法被不断应用于计算机继电保护中,以期取得更好的效果,从而使微机继电保护的研究向更高的层次发展,其未来趋势向计算机化,网络化,智能化,保护、控制、测量和数据通信一体化发展。

1.5 二次回路基础知识

1.5.1 二次回路内容

二次回路是电力系统安全、经济、稳定运行的重要保障,是发电厂、变配电所电气系统的重要组成部分。随着变配电所电压等级的提高,电气控制正向自动化、弱电化、微机化和综合性方面发展,使二次回路显得越来越重要。

发电厂、变配电所的电气设备通常分为一次设备和二次设备,其控制接线又可分为一次接线和二次接线。一次设备是指直接输送和分配电能的设备,如变压器、断路器、隔离开关、电力电缆、母线、输电线、电抗器、避雷器、高压熔断器、电流互感器、电压互感器等。

一次接线又称主接线,是一次设备及其相互间的连接电路。

二次设备是指对一次设备起控制、保护、调节、测量等作用的设备。

二次接线又称二次回路,是二次设备及其相互间的连接电路。

二次回路是一个具有多种功能的复杂网络,其内容包括高压电气设备和输电线路的控制、调节、信号、测量与监察、继电保护与自动装置、操作电源等系统。分述如下:

(1) 控制系统由各种控制器具、控制对象和控制网络构成。其主要作用是对变配电所的开关设备进行远方跳、合闸操作,以满足改变电力系统运行方式及处理故障的要求。控制系统按自动化程度的不同分为手动控制、半自动控制 and 自动控制;按控制方式的不同分为分散控制和集中控制;按控制距离的不同分为就地控制和远方控制;按操作电源的不同分为直流控制、交流控制、强电控制和弱电控制等。强电控制采用直流 110V 或 220V,交流额定值 100V、5A;弱电控制采用直流 60V 及以下,交流 50V、1A 及以下。

(2) 信号系统由信号发送机构、接收显示元件及其网络构成。其作用是准确、及时地显示出相应一次设备的工作状态,为运行人员提供操作、调节和处理故障的可靠依据。信号系统按信号性质的不同分为事故信号、预告信号、指挥信号、位置信号、继电保护及自动装置动作信号等;按信号的显示方式不同分为灯光信号、音响信号和其他显示信号;按