



高职高专电气工程及自动化类专业精品课程教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI GONGCHENG JI ZIDONGHUALEI ZHUANYE JINGPIN KECHENG JIAOCAI

张晓春 李家坤 主编

电力系统继电保护

DIANLI XITONG JIDIAN BAOHU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

策划编辑 谢燕群
责任编辑 谢燕群
封面设计 潘 群

ISBN 978-7-5609-5960-3



9 787560 959603 >

定价 :23.80 元

高职高专电力工程及自动化类专业精品课程教材

电力系统继电保护

华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护/张晓春 李家坤 主编. —武汉:华中科技大学出版社,
2010年2月

ISBN 978-7-5609-5960-3

I. 电… II. ①张… ②李… 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(2010)第 013125 号

电力系统继电保护

张晓春 李家坤 主编

责任编辑:谢燕群

封面设计:潘群

责任校对:张琳

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

印刷:武汉中远印务有限公司

开本:710 mm×1000 mm 1/16

印张:14.5

字数:282 000

版次:2010年2月第1版

印次:2010年2月第1次印刷

定价:23.80元

ISBN 978-7-5609-5960-3/TM·119

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书以电力系统被保护对象对继电保护的要求、继电保护之间的配合、继电保护与重合闸的运行为主线,以目前广泛应用的数字式继电保护装置为对象,按装置整体结构,介绍电力系统继电保护原理及其应用,继电保护与重合闸之间的配合。全书共分9章,第1章绪论,第2、3章介绍3~66 kV输电线路的保护与自动重合闸,第4章介绍110 kV输电线路的保护与自动重合闸,第5章介绍220 kV输电线路的保护与自动重合闸,第6章介绍电力变压器保护,第7章介绍同步发电机保护,第8章介绍母线保护与断路器失灵保护,第9章介绍保护与测控装置的常用算法及软件结构。

本书作为高职、高专电力系统继电保护及自动化、电力系统及其自动化专业的教材,也可以作为继电保护技术人员参考书。

前 言

本书以目前广泛应用的数字式继电保护装置为对象、以继电保护的配置及运行为主线、按装置整体结构介绍保护原理及其应用。

本书根据高职、高专教学的特点,以目前广泛应用的数字式继电保护装置为对象,对继电保护原理的介绍力求通俗易懂。本书具有以下特点。

1. 新颖、实用。本书介绍的电力系统继电保护原理与目前正在运行的数字式继电保护装置原理紧密关联、实用性强,所选用的实例新颖,围绕着数字式继电保护装置介绍原理,以数字式继电保护装置为实例,介绍继电保护原理的应用。

2. 整体性强。本书章节的划分是以数字式保护装置为依据,按照继电保护装置的分类、被保护对象的不同构成不同的章节。其整体性主要体现在以下两个方面:第一,以电力系统中一个“间隔”的保护作为整体,全面介绍继电保护的原理、继电保护装置的运行以及继电保护装置与重合闸装置之间的配合;第二,按照一个典型的、完整的一次系统介绍该系统的继电保护的配置、配合。

3. 理论与实际密切结合。本书不仅强调了继电保护的重要性,还着重强调了电力系统继电保护与一次系统之间的密不可分关系。继电保护的配置应与一次系统的状态相适应。强调了继电保护装置与其所对应的二次回路之间的关系。

4. 图形与文字结合。本书尽量多地采用图形的方式解释继电保护的原理、构成。把深刻的文字理论改用图形展示,有利于初学者较为全面地掌握继电保护基本理论。

5. 配套教学系统完善。与本教材配套的教学软件及继电保护仿真培训系统已经开发完成。该系统选用典型的数字式继电保护装置,实现了全数字式实验、实训模式,为课堂教学、实验、实训奠定了物质基础,为学生全面掌握继电保护的理论知识提供了有利条件。

本书的第1、2、3章、附录由张晓春编写,第4章由李家坤编写,第5章由王涛编写,第6章6.1~6.3节、第7章由张华编写,第6章6.4节由陈昌锐编写,第6章6.5节由陈文弢编写,第8章由尹传焯编写,第9章由邓红英编写。张晓春、李家坤担任主编。张华、王涛担任副主编。张晓春负责全书的统稿工作。

本书可作为高职、高专电力系统继电保护及自动化、电力系统及其自动化专业的教材,也可以作为继电保护技术人员参考书。

在本书编写过程中,得到了许继电气股份有限公司、北京四方继保自动化股份有

限公司工程师的热忱帮助,他们为教材编写提供了许多数字式继电保护的资料,在此深表感谢!本书参考了部分已出版的教材、著作,对这些作者表示深深的敬意!

限于编者水平,教材中一定存在不当或错误之处,恳请批评指正。

编者

2009年6月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 电力系统继电保护的作用	(1)
1.2 继电保护装置的组成	(1)
1.3 对继电保护装置的基本要求	(3)
习题	(5)
第 2 章 3~66 kV 单电源输电线路的电流电压保护与自动重合闸	(6)
2.1 3~66 kV 单电源输电线路的保护配置原则	(6)
2.2 3~66 kV 单电源输电线路的电流保护	(7)
2.3 3~66 kV 单电源输电线路的电流、电压保护	(25)
2.4 3~66 kV 单电源输电线路的三相一次自动重合闸	(32)
2.5 典型的数字式保护测控装置	(34)
2.6 3~66 kV 单电源输电线路的单相接地故障的保护简介	(37)
习题	(38)
第 3 章 3~66 kV 双电源输电线路的保护与自动重合闸	(39)
3.1 3~66 kV 双电源输电线路的保护配置原则	(39)
3.2 3~66 kV 双电源输电线路的方向电流保护	(40)
3.3 3~66 kV 双电源输电线路的三相一次自动重合闸	(47)
3.4 典型的方向电流保护装置	(49)
习题	(54)
第 4 章 110 kV 输电线路的保护与自动重合闸	(55)
4.1 110 kV 输电线路的保护配置原则	(55)
4.2 大接地电流系统的零序(方向)电流保护	(55)
4.3 距离保护	(65)
4.4 典型的 110 kV 线路保护装置	(79)
习题	(91)
第 5 章 220 kV 输电线路的保护	(92)
5.1 纵联保护概述	(92)
5.2 方向比较式纵联保护	(97)
5.3 纵联电流差动保护	(105)
5.4 综合重合闸	(113)

习题	(121)
第 6 章 电力变压器保护	(122)
6.1 概述	(122)
6.2 气体保护	(124)
6.3 变压器纵差动保护	(126)
6.4 变压器相间短路的后备保护	(134)
6.5 变压器接地短路的后备保护	(138)
习题	(141)
第 7 章 同步发电机保护	(143)
7.1 概述	(143)
7.2 发电机的纵差动保护	(145)
7.3 发电机横差动保护	(148)
7.4 纵向零序电压式定子绕组匝间短路保护	(150)
7.5 发电机定子绕组单相接地保护	(151)
7.6 发电机负序电流保护	(157)
7.7 发电机失磁保护	(161)
7.8 发电机失步保护	(164)
7.9 发电机励磁回路接地保护	(166)
7.10 发电机-变压器组微机保护装置实例	(171)
习题	(190)
第 8 章 母线保护与断路器失灵保护	(191)
8.1 母线保护的基本原则	(191)
8.2 完全电流母线差动保护	(192)
8.3 元件固定连接的双母线电流差动保护	(193)
8.4 母联电流比相式母线差动保护	(195)
8.5 断路器失灵保护	(196)
8.6 典型的母线保护装置	(197)
习题	(206)
第 9 章 保护与测控装置的常用算法介绍	(207)
9.1 概述	(207)
9.2 保护和监控对算法的不同要求	(209)
9.3 保护和监控常用算法	(209)
9.4 算法的选择	(218)
附录 整定计算的系数	(220)
参考文献	(225)

第 1 章 绪 论

1.1 电力系统继电保护的作用

电力系统在运行中可能会发生各种故障和不正常运行状态,其中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) 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,导线发热和电动力的作用,会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电压的大大降低,会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。

电力系统受自然的(如雷击、风灾等)或人为的(如设备制造上的缺陷、设计安装错误、误操作等)因素影响,可能会产生事故。事故是指系统或其中的一部分正常工作遭到破坏,并造成对用户的少送电或电能质量变坏到不容许的地步,甚至造成人身伤亡和电气设备损坏的现象。

一旦发生故障,就必须迅速、有选择地切除故障元件。常常要求切除故障的时间小到十分之几秒甚至百分之几秒。实践证明,电力系统继电保护装置可以满足这一要求。

电力系统继电保护包括继电保护技术和继电保护装置两部分。

继电保护技术是一个完整的体系,主要包括电力系统故障分析、各种继电保护原理及实现方法、继电保护设计、继电保护运行及维护等技术。

继电保护装置就是能反映电力系统中电气元件发生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。它的作用如下。

(1) 当电力系统发生故障时,自动、迅速、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,保证其他无故障设备迅速恢复正常运行。

(2) 反映电气元件的不正常运行状态,并根据运行、维护的条件(例如,有、无经常值班人员等)而动作,发出信号、减负荷或跳闸。

1.2 继电保护装置的组成

继电保护装置应能区分电力系统正常运行、不正常运行与故障状态,以实现保护。

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的,一般为 $60^\circ \sim 85^\circ$;在保护反方向三相短路时,电流与电压之间的阻抗角将是 $180^\circ + (60^\circ \sim 85^\circ)$ 。

(4) 出现相序分量,如单相接地短路及两相接地短路,则会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会出现的。

利用短路故障时电气量的变化便可构成各种原理的继电保护。例如,根据短路故障时电流增大,可构成过电流保护;根据短路故障时电压降低,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;根据短路故障时电压与电流比值的变化,可构成距离保护;根据短路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等。

一般地说,保护装置由测量元件、逻辑元件和执行元件三部分组成,如图 1-1 所示。



图 1-1 继电保护装置的原理结构图

1. 测量元件

测量元件的作用是测量被保护对象输入的有关物理量(如电流、电压、阻抗、功率方向等),并与已给定的物理量(整定值)进行比较,根据比较结果给出“是”、“非”、“大于”、“不大于”等具有“0”或“1”性质的一组逻辑信号,从而判断保护是否应该启动。

2. 逻辑元件

逻辑元件的作用是根据测量部分输出量的大小、性质、输出的逻辑状态、出现的顺序或它们的组合,使保护装置按一定的布尔逻辑及时序逻辑工作,最后确定是否应跳闸或发信号,并将有关命令传给执行元件。

逻辑回路有:或、与、非、延时启动、延时返回、记忆等。

3. 执行元件

执行元件的作用是根据逻辑元件传送的信号,完成保护装置所担负的任务。例

如,故障时,发出跳闸命令;不正常运行时,发信号;正常运行时,不动作。

目前,图 1-1 所示结构中输入的物理量一般是来自于电压互感器(TV)的电压量,或来自于电流互感器(TA)的电流,如图 1-2 所示。

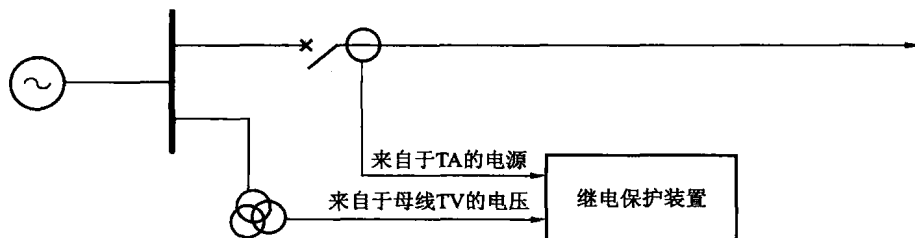


图 1-2 继电保护装置获得物理量的原理结构图

整定值是根据被保护对象的要求而人为规定的。规定该值所依据的原则叫做整定计算原则。在以后章节中,将讨论不同保护的整定计算问题。

1.3 对继电保护装置的基本要求

动作于跳闸的继电保护装置在技术上一般应满足四个基本要求,即选择性、速动性、灵敏性、可靠性。

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,使停电范围尽可能地小。当故障设备或线路的继电保护或断路器拒绝动作时,应由相邻设备或线路的继电保护将故障切除。

如图 1-3 所示,当 F_1 点发生故障时,保护跳开断路器 QF_1 及 QF_2 将故障切除。 F_2 点故障时,保护跳开断路器 QF_6 ,仅变电站 D 停电,保护的動作是有选择性的。若断路器 QF_6 不能断开,相邻线路(BC 线路)的继电保护跳开断路器 QF_5 ,切除故障,保护的動作仍然是有选择性的。BC 线路的保护对 CD 线路的保护起到了远后备的

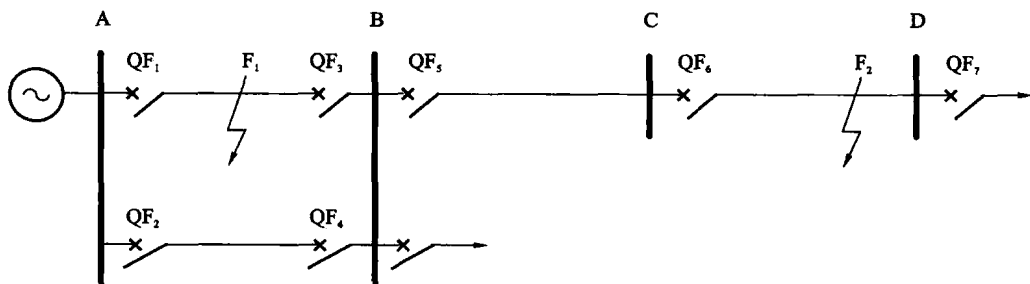


图 1-3 继电保护动作的选择性说明图

作用。

在电力系统中,被保护的元件一般要配置主保护及后备保护。主保护是指被保护元件内部发生各种短路故障时,能满足系统稳定性及设备安全要求的,有选择地切除被保护设备或线路故障的保护。后备保护是指当主保护或断路器拒绝动作时用于将故障切除的保护。后备保护可分为远后备和近后备两种。远后备是指主保护或断路器拒绝动作时,由相邻元件的保护实现的后备;近后备是指当主保护拒绝动作时,由本元件的另一套保护来实现的后备。对于 220 kV 及以上线路,当断路器拒绝动作时,一般由断路器失灵保护实现后备。

2. 速动性

速动性是指继电保护装置应尽可能快地切除故障的性质。快速切除故障对电力系统的运行及电气设备是有利的,具体表现在以下几方面。

(1) 可以提高电力系统并列运行的稳定性。

(2) 可以减少发电厂厂用电及用户电压降低的时间,加速恢复正常运行过程,保证厂用电及用户工作的稳定性。

(3) 可以减轻电气设备和线路的损坏程度。

(4) 可以防止故障的扩大,提高自动重合闸和备用电源或设备自动投入的成功率。

故障切除时间等于保护装置和断路器动作时间的总和。一般的快速继电保护动作时间为 0.02~0.03 s,最快的可达 0.01 s。一般断路器的动作时间为 0.06~0.15 s,最快的可达 0.02 s。

3. 灵敏性

灵敏性是指电气设备或线路在被保护范围内发生短路故障或不正常运行情况时,保护装置的反应能力。在系统的任意运行方式下,保护范围内发生短路故障时,继电保护装置都应该能够正确地反映故障。灵敏性通常用灵敏系数来衡量。不同的保护具有不同的灵敏系数要求,一般要求灵敏系数在 1.2~2.0 之间。

系统的运行方式通常包含最大运行方式、最小运行方式及经常运行方式等三类。在继电保护的灵敏度分析中,一般考虑系统最大及最小运行方式。所谓系统最大运行方式,就是在被保护线路末端短路时,系统等效阻抗最小、通过保护装置的短路电流最大的运行方式;系统最小运行方式,就是在同样的短路故障情况下,系统等效阻抗最大、通过保护装置的短路电流最小的运行方式。

4. 可靠性

可靠性是指在保护范围内发生了该保护应动作的故障时,它不应该拒绝动作(不拒动);而在保护范围外发生了故障,它不应该误动作(不误动)的性质。

以上四个基本要求是设计、配置和维护继电保护的依据,又是分析、评价继电保护的基础。这四个基本要求是相互联系的,但往往又存在着矛盾。因此,在实际工作

中,要根据电网的结构和用户的性质辩证地进行统一处理。

电力系统的各个元件需要装设继电保护,且相邻继电保护的保护区之间必须有重叠,以保证任意位置发生故障时保护装置能够动作,实现保护。图 1-4 所示虚线表示各元件主保护的保护区。图中的重叠区域要尽可能地小,因为在重叠区域发生故障时,保护区内所有的断路器均会跳闸,会扩大停电范围。

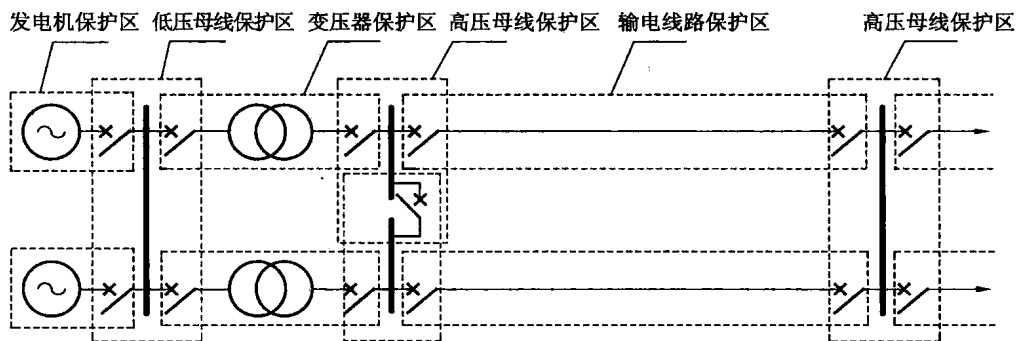


图 1-4 保护范围示意图

习 题

1. 电力系统继电保护的作用是什么?
2. 画出继电保护装置的原理结构图,说明各部分的作用。
3. 动作于跳闸的继电保护装置,在技术上一般应满足哪些要求?
4. 什么是继电保护装置的选择性?
5. 什么是继电保护装置的灵敏性?
6. 什么是继电保护装置的速动性?
7. 什么是继电保护装置的可靠性?
8. 电力系统继电保护的保护区为什么要有重叠?

第2章 3~66 kV 单电源输电线路的电流电压保护与自动重合闸

2.1 3~66 kV 单电源输电线路的保护配置原则

2.1.1 3~10 kV 线路保护

3~10 kV 中性点非有效接地电力网的线路,对相间短路应按以下规定装设相应的继电保护。

1. 相间短路保护配置原则

(1) 继电保护装置如由电流继电器构成,则应接于两相电流互感器上,并在同一网络的所有线路上,均接于相同两相的电流互感器上。

(2) 继电保护应采用远后备方式。

(3) 如线路短路使发电厂厂用母线或重要用户母线电压低于额定电压的 60%,因线路导线截面过小而不允许带时限切除短路时,则应快速切除故障。

(4) 过电流保护的时限不大于 0.75 s,且没有第(3)种情况,或没有配合上的要求时,可不装设瞬动的电流速断保护。

2. 相间短路单侧电源线路保护的装设规定

(1) 可装设两段过电流继电保护,第一段为不带时限的电流速断保护,第二段为带时限的过电流保护。继电保护可采用定时限或反时限特性。

(2) 带电抗器的线路,如断路器不能切断电抗器前的短路,则不应装设电流速断继电保护。此时,应由母线继电保护或其他继电保护切除电抗器前的故障。

(3) 自发电厂母线引出的不带电抗器的线路,应装设无时限电流速断继电保护,其保护范围应保证切除所有使该母线残余电压低于额定电压 60%的短路。为满足这一要求,继电保护可无选择性动作,并以自动重合闸或备用电源自动投入来补救。

(4) 继电保护装置仅装在线路的电源侧。线路不应多级串联,以一级为宜,不应超过二级。必要时,可配置光纤电流差动继电保护为主继电保护,带时限的过电流继电保护为后备保护。

2.1.2 35~66 kV 线路保护

35~66 kV 中性点非有效接地电力网的线路,对相间短路应按以下规定装设相

应的继电保护。

1. 相间短路保护配置原则

(1) 继电保护装置采用远后备方式。

(2) 在下列情况应快速切除故障：

① 线路短路，使发电厂厂用母线电压低于额定电压的 60%；

② 切除线路故障时间长，导致线路失去热稳定；

③ 城市配电网网络的直馈线路；

④ 与高压电网邻近的线路。

2. 相间短路单侧电源线路装设保护装置的规定

可装设一段或两段式电流速断保护和过电流保护，必要时可增设复合电压闭锁元件。由几段线路串联的单侧电源线路及分支线路，如上述保护不能满足选择性、灵敏性和速动性的要求时，速断保护可无选择地动作，但应以自动重合闸来补救。此时，速断保护应躲开降压变压器低压母线的短路。

2.2 3~66 kV 单电源输电线路的电流保护

2.2.1 电流继电器

元件具有明确的动作状态、返回状态，而没有中间状态的特性称为继电特性。具有继电特性的元件称为继电器。

继电器线圈不带电时，其触点自然打开的称为常开触点，如图 2-1(a)所示；其触点自然闭合的称为常闭触点，如图 2-1(b)所示。



图 2-1 常开、常闭触点示意图

1. 过电流继电器(KA)的继电特性

反映电流量而动作的继电器称为电流继电器。输电线路发生故障后，故障点的电流往往会增大。这种反映电流增大而动作的继电器通常叫做过电流继电器。

带常开触点的过电流继电器的继电特性如图 2-2 所示。当流过过电流继电器的电流 I_t 小于其动作电流 I_{OP} 时，过电流继电器不动作，其常开触点断开(或输出低电平)。当 I_t 增大到 I_{OP} (动作电流)时，继电器立即动作(由①→②，没有中间状态)，其常开触点闭合(或输出高电平)，如图 2-2(a)所示。当 $I_t \geq I_{OP}$ 时，过电流继电器处于动作状态。在继电保护中，过电流继电器刚好能够动作的最小电流叫做动作电流。

在过电流继电器的动作状态下,逐渐减小输入电流 I_t ,当 I_t 减小到 I_{re} (返回电流)时,继电器立即返回(由②→③,没有中间状态),其触点断开(或输出低电平),如图 2-2(b)所示。当 $I_t \leq I_{re}$ 时,过电流继电器由动作状态变为返回状态。在继电保护中,过电流继电器刚好能够返回的最大电流叫做返回电流。

为了保证继电器动作后输出状态的稳定性和可靠性,继电器的动作值与返回值不能相等,应保持一定的比例,在继电保护中,用返回系数 K_{re} 来衡量。 K_{re} 定义为

$$K_{re} = \frac{\text{继电器的返回值}}{\text{继电器的动作值}} \quad (2-1)$$

即

$$K_{re} = \frac{I_{re}}{I_{OP}}$$

显然,过电流继电器的 $K_{re} < 1$,一般调整 $K_{re} = 0.85 \sim 0.95$ 。 K_{re} 不能太高,如果太高,继电器动作后就可能出现触点的抖动(或输出高、低电平的不断变化); K_{re} 也不能太低,如果太低,继电器动作后就不容易返回。

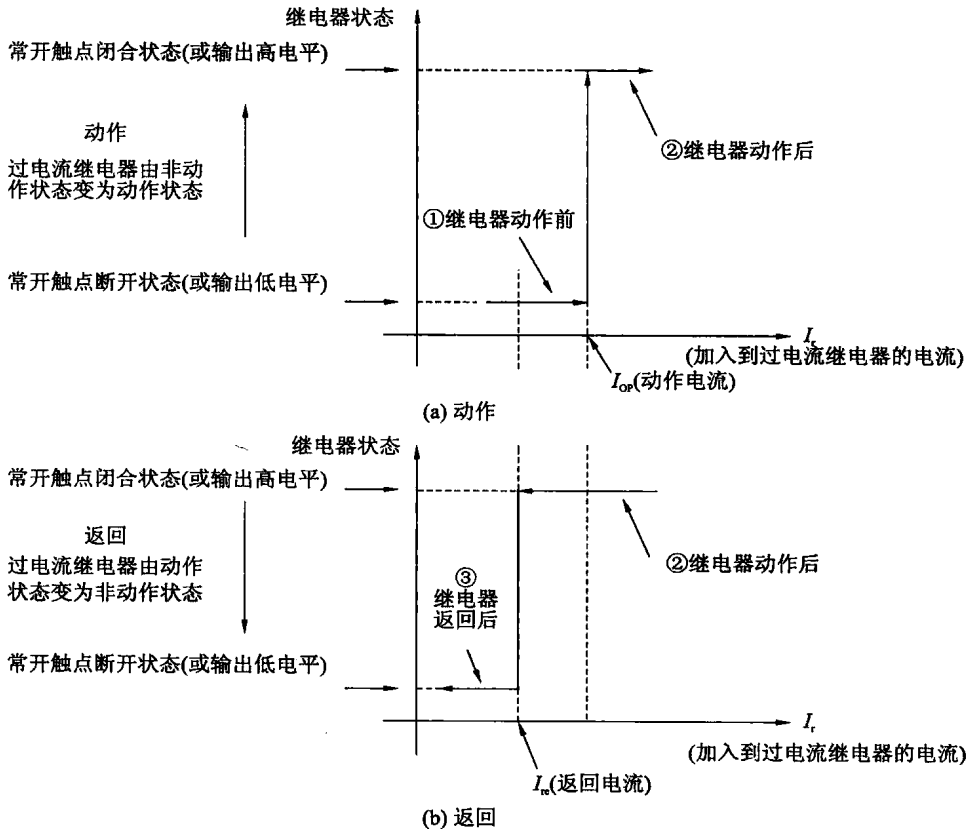


图 2-2 过电流继电器的继电特性