

基层供电企业员工岗前培训系列教材

变电站继电保护与自动装置

河南省电力公司 组编

杜荣君 主编

张 辉 主审

专业类

 中国电力出版社
www.cepp.com.cn

基层供电企业员工岗前培训系列教材

变电站继电保护与自动装置

河南省电力公司 组编

杜荣君 主编

张 辉 主审



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《基层供电企业员工岗前培训系列教材》是依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》，结合生产实际编写而成的。

本套教材共有 14 册，其中 3 册为实训教材。本册为《变电站继电保护与自动装置》，全书共十一个单元，具体内容有：继电保护基础知识，低压电网的电流保护，电网的距离保护，输电线路的纵联保护，输电线路的自动重合闸装置，电力变压器的继电保护，母线保护，500kV 保护简介，备用电源自动投入装置，按频率自动减负荷装置和故障录波装置等。

本书可作为基层供电企业新员工、复转军人入职培训用书和生产技能人员提升职业能力的培训用书，也可供电力职业院校教学参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电站继电保护与自动装置/杜荣君主编；河南省电力公司组编. —北京：中国电力出版社，2010.2
(基层供电企业员工岗前培训系列教材)

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9815 - 0

I. ①变… II. ①杜…②河… III. ①变电所—继电保护—技术培训—教材②变电所—继电自动装置—技术培训—教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 221582 号

中国电力出版社出版、发行

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 2 月第一版 2010 年 2 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 9.5 印张 176 千字

印数 0001—3000 册 定价 19.00 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

《基层供电企业员工岗前培训系列教材》

编 委 会

主 任：凌绍雄

副 主 任：焦银凯 苏国政 常玉田 仝全利

委 员：孙永阁 陈水增 王 静 张 静 张少杰

邓启民 宋素琴 孙卫红 徐文忠 李忠强

吴 兵 沈世峰 吴 荻 惠自洪 郭海云

付红艳 戴 泌 曹国慧

前 言

为了增强基层供电企业员工岗前培训的针对性和实效性，进一步提高岗前培训员工的综合素质和岗位适应能力，河南省电力公司组织河南电力工业学校、南阳电力技工学校的教学管理人员及部分教师共同策划、编写了这套基层供电企业员工岗前培训系列教材。该套教材按照电网主要生产岗位的能力素质模型和岗位任职资格标准，实施基于岗位能力的模块培训，提高培训教学的针对性和可操作性，培养具有良好职业素质和熟练操作技能、快速适应岗位要求的中高级技能人才。

该套教材针对基层供电企业员工岗前培训的特点，在编写过程中贯彻以下原则：

第一，从岗位需求分析入手，参照国家职业技能标准中级工要求，精选教材内容，切实落实“必须、够用、突出技能”的教学指导思想。

第二，体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路，较好地处理了基础知识与专业知识、理论教学与技能训练之间的关系，有利于帮助学员掌握知识、形成技能、提高能力。

第三，按照教学规律和学员的认知规律，合理编排教材内容，力求内容适当、编排合理新颖、特色鲜明。

第四，突出教材的先进性，结合生产实际，增加新技术、新设备、新材料、新工艺的内容，力求贴近生产实际，缩短培训与企业需要的距离。

本书共十一个单元，主要介绍了继电保护基础知识、低压电网的电流保护、电网的距离保护、输电线路的纵联保护、输电线路的自动重合闸装置、电力变压器的继电保护、母线保护、500kV 保护简介、备用电源自动投入装置、按频率自动减负荷装置和故障录波装置等内容。本书由河南电力工业学校杜荣君编写，由南阳电力技工学校张辉主审。

在本书编写过程中，南阳电力技工学校张少杰、河南电力工业学校惠自洪进行了具体的组织与指导，在此表示感谢。

由于编写时间仓促，水平有限，难免出现疏漏，敬请读者在使用中多提宝贵意见。

编 者

2010年1月

目 录

前言

单元一 继电保护基础知识

课题一 继电保护基本概念	1
课题二 常用继电器	6
课题三 微机保护及其特点	12
课题四 微机保护硬件结构	15

单元二 低压电网的电流保护

课题一 线路相间故障的三段式电流保护	21
课题二 电网相间短路的方向电流保护	26
课题三 电网的接地保护	31
课题四 微机保护程序逻辑原理	37

单元三 电网的距离保护

课题一 距离保护的基本原理	39
课题二 阻抗继电器接线方式	43
课题三 阻抗继电器工作特性分析	45
课题四 微机保护程序逻辑原理	49

单元四 输电线路的纵联保护

课题一 输电线路的纵差动保护	52
课题二 输电线路的高频保护	57
课题三 保护程序逻辑原理	64

单元五 输电线路的自动重合闸装置

课题一 自动重合闸作用及分类	68
课题二 单侧电源的三相一次自动重合闸	71
课题三 双侧电源的三相一次自动重合闸	75

课题四	自动重合闸与继电保护的配合方式·····	78
课题五	综合重合闸装置简介·····	80
课题六	重合闸程序逻辑原理·····	84
单元六	电力变压器的继电保护	
课题一	电力变压器的保护配置·····	86
课题二	电力变压器的瓦斯保护·····	88
课题三	电力变压器差动保护·····	91
课题四	电力变压器的后备保护·····	96
课题五	保护程序逻辑·····	103
单元七	母线保护	
课题一	母线故障及保护类型·····	105
课题二	母线的完全电流差动保护·····	107
课题三	比相式母线差动保护·····	110
课题四	比率制动式母线差动保护·····	112
课题五	保护程序逻辑·····	114
单元八	500kV 保护简介	
课题一	500kV 线路及断路器保护·····	118
课题二	500kV 变压器保护·····	122
课题三	500kV 母线保护·····	125
单元九	备用电源自动投入装置	
课题一	备用电源自动投入装置的作用·····	128
课题二	备用电源自动投入装置原理·····	131
单元十	按频率自动减负荷装置	
课题一	按频率自动减负荷装置·····	136
单元十一	故障录波装置	
课题一	故障录波装置·····	141
参考文献	·····	146

单元一

继电保护基础知识

本单元主要介绍与继电保护知识有关的概念、继电保护的基本原理、常用继电器、微机保护特点、微机保护硬件结构等。学习完本单元内容后，应对继电保护整体上有个基本的认识。

课题一 继电保护基本概念

学习目标

1. 能准确地说明继电保护的基本概念。
2. 能说明继电保护的基本原理。
3. 知道继电保护的基本任务及作用。

知识点

1. 电力系统事故。
2. 不正常工作状态。
3. 短路故障。
4. 暂时性故障与永久性故障。
5. 短路危害。
6. 继电保护装置。
7. 继电保护装置任务。
8. 继电保护作用。
9. 后备保护。
10. 四个基本要求。
11. 继电保护基本原理。
12. 最大（小）运行方式。
13. 互感器。

技能点

1. 能区分故障类型。
2. 能区分继电保护是否选择性动作。

学习内容

一、概述

电力系统继电保护及安全自动装置简称为继电保护及自动装置，它是电力系统中极其重要的二次设备之一，是电力系统安全、稳定、经济、可靠运行的重要保障。

电力系统指的是由发（发电机）、变（变压器）、供（输电线路）、送（配电线路）、用（用电设备）等设备组成的一个有机的统一整体。由于电能不能大量存储，要求发、变、供、送、用电过程同时进行。电力系统在运行过程中，由于受到自然或人为因素的影响，不可避免地会发生各种形式的短路故障和不正常工作状态。故障和不正常工作状态都可能引起事故的发生，对电力系统的安全生产和用户的正常用电都会造成严重影响，后果是非常严重的。

故障通常指的是短路故障，短路故障是指正常工作状态以外的一切相与相以及相与地之间的短接。故障又有暂时性故障和永久性故障之分。暂时性故障是指故障发生以后，随着线路的停电，短路电流的消失、电弧会自动熄灭、短路现象会自动消失、短路点的绝缘强度会自动恢复正常水平，如果重新合闸送电能够恢复正常运行。永久性故障则恰恰相反，停电以后，短路电流会消失、电弧会熄灭，但短路现象不会自动消失、短路点的绝缘强度不会自动恢复到正常水平，如果重新合闸，电弧会重新燃起，不能恢复正常运行。短路故障又分相间短路与接地短路故障，相间短路故障中有两相短路和三相短路故障之分；接地短路故障中有单相接地短路和两相接地短路之分。短路型式如图 1-1 所示。

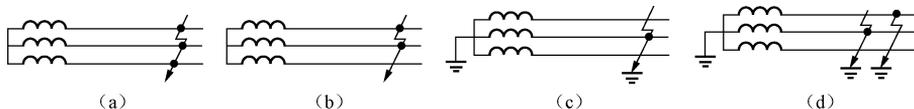


图 1-1 短路类型

(a) 三相短路；(b) 两相短路；(c) 单相接地；(d) 两相接地

不正常工作状态指的是电气设备的运行参数偏离了规定的允许值的情况。不正常工作状态时不会有直接的、严重的后果表现，但存在着潜在的危险，必须及时发现并进行相应的处理。

电力系统的事故则指的是由于运行状态遭到破坏造成的对用户的停电、少送

电、电能质量变坏到不能使用的程度，甚至设备毁坏、人员伤亡等。

短路故障的基本特征是电流增大、电压降低、测量阻抗减小等。

短路的危害如下：

- (1) 巨大的短路电流，使设备发热，危及设备绝缘。
- (2) 短路点处产生的电弧可能会烧坏设备。
- (3) 巨大的电动力冲击下，使电气设备变形或损坏。
- (4) 引起电网中的电压降低，影响无故障用户用电。
- (5) 短路故障可能引起系统失去稳定性。
- (6) 干扰通信系统，甚至危及通信设备和人身安全。
- (7) 短路故障会危及发电机的安全。

电力工业生产的特点如下：

(1) 连续性：即电能生产的实时性，要求发、变、供、用同时进行，在同一时间内完成。

(2) 重要性：即电力工业和国民经济、人民生活息息相关有着极其紧密的联系。

(3) 电力工业生产是电力系统的电磁暂态过程非常迅速，电网运行状态的变化都是在极短的时间内完成的。

所以一旦状态出现异常或发生故障，要求以最快的速度发出报警信号或选择性地将故障设备从系统中隔离出来，这个任务就是由继电保护装置完成的。

继电保护装置是指能反应电气设备和元件的电气运行参数，并且当电气设备故障或工作状态异常时，能自动地、有选择性地作用于相应断路器跳闸或发报警信号的一种自动装置。继电保护装置的基本任务是：

(1) 当被保护对象故障时，能自动、迅速、有选择性地将被故障设备从系统中切除，保证非故障设备继续正常运行，防止故障设备继续遭到破坏。

(2) 当被保护对象状态异常时，自动地发出报警信号，提醒值班人员及时采取相应措施。

(3) 线路保护与自动重合闸装置配合使用可以加快故障切除。

运行实践证明继电保护装置作用有：

- (1) 可以防止事故的发生和发展。
- (2) 可以限制事故的影响及范围。
- (3) 可以保证电能质量，提高供电可靠性。

二、继电保护原理

图 1-2 表示了继电保护装置的构成及工作原理。

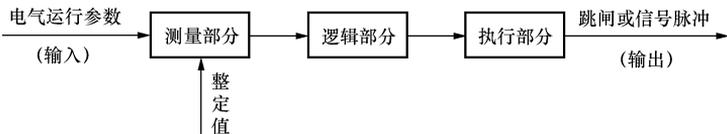


图 1-2 继电保护原理框图

测量部分的作用是测量被保护设备的物理量，比如电流、电压、相位差、阻抗、温度、压力等，再与给定的整定值进行比较，确定被保护设备的运行状态（正常运行状态、故障还是不正常工作状态）。

逻辑部分的作用是根据测量部分送来的信号进行逻辑判断，以决定保护是否动作以及如何动作（瞬时动作还是延时动作）。

执行部分的作用是根据逻辑部分的判断，完成保护的任務（发跳闸脉冲或发报警信号）。

三、四个基本要求

继电保护装置必须满足四个方面的基本要求，分别是可靠性、选择性、快速性、灵敏性。

(1) 可靠性，即保护装置的可依赖性，指的是保护装置不拒动也不误动。影响保护装置可靠性的因素很多：比如说保护原理、产品质量、运行环境、维护质量、保护配置（主保护、后备保护、断路器失灵保护、辅助保护）等。

这里主保护指的是能在满足系统稳定性要求时限内切除区内故障的保护。后备保护是当主保护拒动时，用以切除该故障的另一套保护。后备保护又分为远后备保护和近后备保护，远后备保护是本组件保护拒动时由上一线路的保护切除故障，则该上一线路保护被称为本组保护的远后备。近后备保护是当本组件的主保护拒绝动作时，由本组件安装处另一套保护切除故障，该另一套保护叫近后备保护。断路器失灵保护指的是当断路器拒绝动作时，由相关电气元件保护联合实施切除故障的保护。辅助保护是用以补充主保护、后备保护不足的保护（过负荷、温度、零序不灵敏 1 段等）。

(2) 选择性，指的是继电保护动作时的针对性，继电保护装置动作时仅仅将故障元件切除，而保证非故障元件的继续运行称为选择性。

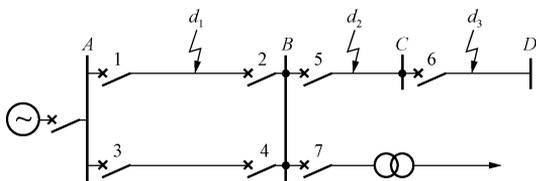


图 1-3 选择性示意图

当然如果主保护拒动或断路器拒动时，由远后备保护装置动作将故障切除也称为选择性。如图 1-3 所示， d_3 点故障，保护 6 动作是选择性的，如果保护 6 拒动或断路器 6 拒动时，由保护 5 动作，断路器

5 跳闸将故障切除，仍然称为选择性的。

(3) 快速性，是指继电保护装置动作速度要快，快速性的主要目的在于快速切除故障，而切除故障离不开断路器操作，切除故障时间等于继电保护动作时间与断路器分闸时间之和，所以为了快速切除故障，必须配置快速性的断路器与继电保护配合工作。

一般的快速保护的动作为 $0.06 \sim 0.12\text{s}$ ，最快的可达 $0.01 \sim 0.04\text{s}$ 。一般的断路器的动作为 $0.06 \sim 0.15\text{s}$ ，最快的可达 $0.02 \sim 0.06\text{s}$ 。注意断路器的选择和继电保护装置的配置除了满足技术条件还应考虑经济性。

(4) 灵敏性，又叫灵敏度，是指对于设计规定保护范围内发生的故障和不正常工作状态的反应能力，一般用有效保护范围和灵敏系数表征灵敏度。

灵敏度，是衡量一套保护装置是否合格的一个重要指标。灵敏度校验合格的保护装置才可以投入使用。为了统一标准，灵敏度标准均大于 1。对于过量保护与欠量保护，在灵敏度校验时应分别采用不同的校验公式。

在进行短路电流计算和灵敏度校验时，常常要考虑电力系统的最大运行方式与最小运行方式，最大运行方式是指电力系统投入运行的电源容量最大，等值阻抗最小，短路时流过保护安装处的短路电流为最大的运行方式。最小运行方式是指电力系统投入运行的电源容量最小，等值阻抗最大，短路时流过保护安装处的短路电流为最小的运行方式。

四、保护用互感器

继电保护工作时必须首先进行测量，测量的对象和内容是被保护对象的物理量，其中电流量电压量是经常被利用的两个电气量。电流量电压量的测量必须利用互感器进行。互感器包括电流互感器与电压互感器，互感器的结构和原理与变压器相似，可以认为是小型化的变压器，它们的基本作用有二：一是电量的变换，方便二次回路的应用，使二次回路及设备小型化及标准化；二是电路的隔离，保证二次回路设备及人员的安全。

1. 电流互感器 TA

电流互感器的作用：①将一次侧大电流按比例变换成二次侧的小电流（5A 或 1A）；②进行电路的隔离，利用电磁感应原理工作，可保证二次系统的安全。

电流互感器使用注意事项：①二次绕组不允许开路；②二次绕组必须可靠接地。

电流互感器原理示意图如 1-4 所示。

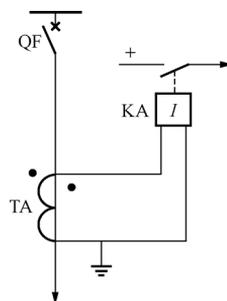


图 1-4 电流互感器原理示意

2. 电压互感器 TV

电压互感器的作用：①将一次侧高电压按比例变换成二次侧的低电压（100V或 $100/\sqrt{3}$ V）；②进行电路的隔离，可保证二次系统的安全。

电压互感器使用注意事项：①二次绕组不允许短路；②二次绕组必须可靠接地。

思考与练习

1. 电力系统包括哪些内容？
2. 电力系统短路故障有哪些类型？
3. 什么是继电保护装置？
4. 什么是短路故障？
5. 短路故障有哪些危害？
6. 继电保护能起到哪些作用？
7. 短路故障的基本特征有哪些？
8. 四个基本要求的内容是什么？
9. 互感器有什么作用？

课题二 常用继电器

学习目标

1. 知道继电器的分类。
2. 知道继电器的作用。

知识点

1. 电磁型继电器动作与返回。
2. 电流继电器动作电流、返回电流和返回系数。
3. 低电压继电器动作与返回。
4. 低电压继电器动作电压与返回电压。
5. 时间继电器作用。
6. 中间继电器作用。

技能点

1. 检查继电器。
2. 继电器定值调整。
3. 电流继电器检验。
4. 低电压继电器检验。

5. 时间继电器检验。
6. 中间继电器检验。

学习内容

构成继电保护装置的核心元件是各种各样的继电器。继电器指的是这样一种电器，当给它通入一定的物理量或通入的物理量达到一定值时，它所控制的另一个物理量会发生突然的变化，而无临界状态，这种电器称为继电器，这种突然变化而无临界状态的特性称为继电特性。

根据所反映的物理量不同，继电器有电流继电器、电压继电器、气体继电器等；根据所起的作用不同，有测量继电器（电流、电压继电器）、辅助继电器（中间继电器、时间继电器）等；根据结构型式及工作原理不同，有电磁型继电器、微机型继电器等。

一、电磁型电流继电器

电流继电器的作用是测量电流的大小。电流继电器的结构和图形符号如图1-5所示。

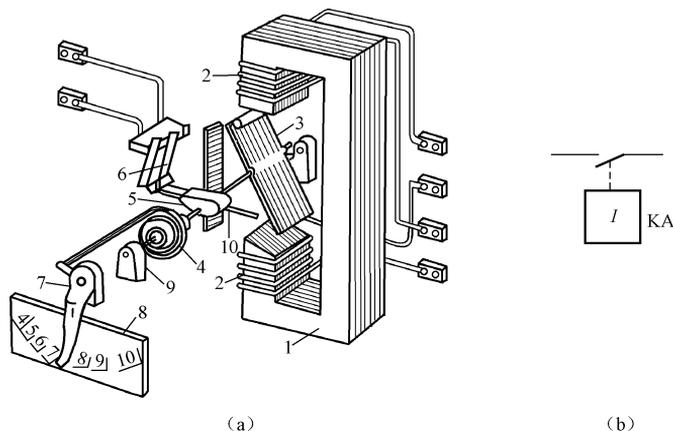


图 1-5 电磁型电流继电器结构图与符号

(a) 结构图；(b) 图形符号

- 1—电磁铁；2—线圈；3—Z形舌片；4—螺旋弹簧；5—动触点；6—静触点；
7—整定值调整把手；8—刻度盘；9—轴承；10—止挡

电流继电器线圈导线较粗、匝数少，串接在电流互感器的二次侧使用，作为电流保护的测量起动元件，用以判断被保护对象的运行状态。

电磁型继电器由铁芯、线圈、固定在转轴上的Z形舌片、螺旋弹簧和动、静触点构成。通过继电器的电流产生电磁力矩 M_c ，作用于Z形舌片，螺旋弹簧产生反作用力矩 M_s ，作用于转轴。当 M_c 大于 M_s 时，使Z形舌片转动，带动动合触点

闭合，称之为继电器动作。继电器的动作条件为

$$M_c > M_s$$

动合触点也叫常开触点，指的是继电器不通电或通电不足时处于打开状态的触点。使继电器动作的最小电流称为动作电流，用 I_{act} 表示。

继电器动作后，若通过继电器的电流减小，则电流产生的电磁力矩 M_c 随之减小。当电磁力矩 M_c 小于螺旋弹簧产生的反作用力矩 M_s 时，Z形舌片在 M_s 的作用下回到原来动作前的位置，动合触点断开，称之为继电器返回。继电器的返回条件为

$$M_c < M_s$$

使继电器返回的最大电流称为返回电流，用 I_r 表示。返回电流 I_r 总小于动作电流 I_{act} 。

返回电流 I_r 与动作电流 I_{act} 的比值称为返回系数 K_r ， $K_r = 0.85 \sim 0.95$

$$K_r = \frac{I_r}{I_{act}}$$

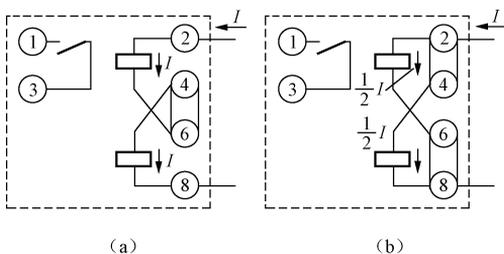


图 1-6 电磁型继电器内部接线图

(a) 线圈串联；(b) 线圈并联

继电器的定值调整通常有两种方式：①调整整定把手，改变弹簧力矩；②是改变内部线圈的串并联方式。如图 1-6 所示。电流继电器线圈并联时的动作电流是线圈串联的 2 倍。

二、电磁型电压继电器

电压继电器的作用是测量电压的高低，应用时并接在电压互感器的二次侧，作为保护的测量起动元件。电磁型电压继电器的结构与电流继电器基本相同，但电压继电器的线圈导线细、匝数多，绕组多采用康铜线绕制。电压继电器的图形符号如图 1-7 所示。

电压继电器分为过电压继电器和低电压继电器。过电压继电器的动作和返回、动作值和返回值的概念与电流继电器相似。低电压继电器内部常设动断触点，动断触点又称为常闭触点，在继电器不通电或通电不足时处于闭合状态。所以系统正常运行时，电压互感器的二次额定电压加在低电压继电器上，产生的电磁转矩 M_c 大于螺旋弹簧产生的反作用力矩 M_s ，触点被吸持，处于断开状态；当发生短路故障时，系统电压下降，电压互感器的二次电压随之下降，当产生的电磁转矩 M_c 小于螺旋弹簧产生的反作用力矩 M_s ，其触点闭合，称为低电压继

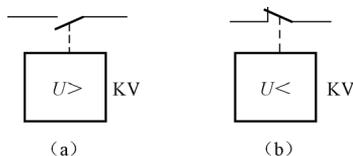


图 1-7 电压继电器图形符号
(a) 过电压继电器；(b) 低电压继电器

电器动作。使低电压继电器动作的最高电压称为低电压继电器的动作电压 U_{act} 。

在故障切除以后电压恢复过程中，当电压升高到产生的电磁转矩 M_e 大于螺旋弹簧产生的反作用力矩 M_s 时，其触点断开，称为低电压继电器返回。使低电压继电器返回的最低电压称为低电压继电器的返回电压 U_r 。

低电压继电器的返回系数

$$K_r = \frac{U_r}{U_{act}} > 1$$

通常要求 $K_r \leq 1.2$ 。

电压继电器的动作值的调整与电流继电器类似，仍可通过改变整定把手位置和改变内部线圈的串并联方式来实现。

大家思考一下：串联与并联线圈会对动作值产生怎样的影响？

三、电磁型时间继电器

时间继电器的作用是为继电保护装置建立必要的动作延时，以保证继电保护动作的选择性和某种正确的逻辑关系。时间继电器的操作电源一般多为直流电源，所以多为直流时间继电器。对时间继电器的要求：①带电能准确地延时动作；②失电能可靠地瞬时返回。

电磁型时间继电器的结构及图形符号如图 1-8 所示。它主要由电磁部分、钟表机构和触点组成。

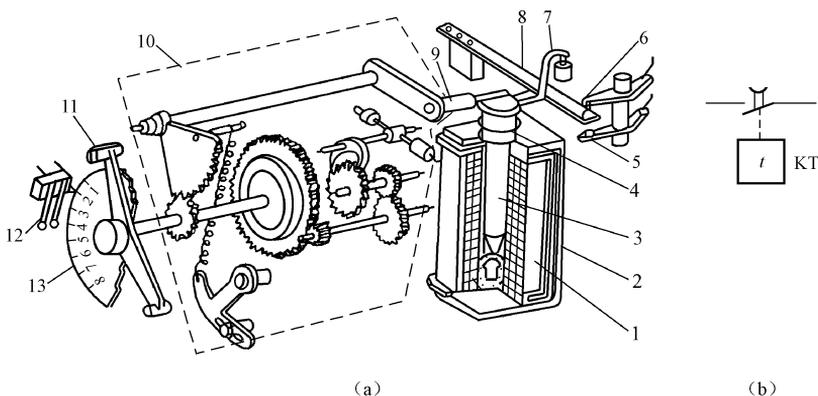


图 1-8 电磁型时间继电器结构及图形符号

(a) 结构图；(b) 图形符号

- 1—线圈；2—电磁铁；3—衔铁；4—返回弹簧；5、6—固定瞬时动断、动合触点；
7—扎头；8—可瞬动触点；9—曲柄杠杆；10—时钟机构；11、12—动静触点；13—刻度盘

四、电磁型中间继电器

中间继电器起中间桥梁作用，与前述的电流继电器、电压继电器相比，有如下

特点：①触点的数量多；②触点的容量大；③可实现短时延时；④可实现自保持。所以中间继电器能满足复杂保护和自动装置的接线需要，应用非常广泛。中间继电器在保护中的作用主要是扩展前级继电器触点的数和容量，在特殊情况下实现延时或自保持功能。电磁型中间继电器一般都是吸引衔铁式的，其结构及图形符号如图 1-9 所示。

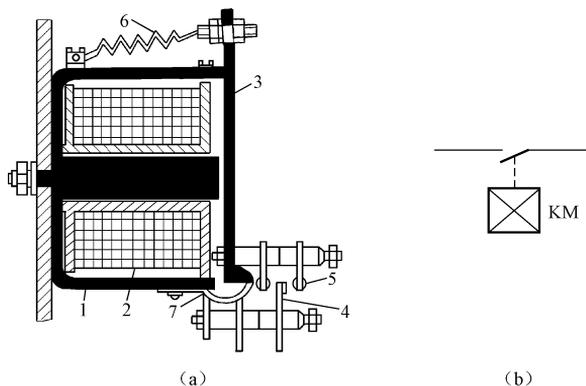


图 1-9 电磁型中间继电器结构及图形符号

(a) 结构图；(b) 图形符号

1—电磁铁；2—线圈；3—活动衔铁；4—静触点；5—动触点；6—弹簧；7—衔铁行程限制

为保证在操作电压降低时继电器仍能可靠动作，中间继电器的动作电压一般不应大于额定电压的 70%（动作电流不应大于铭牌额定电流），在线圈所加电压（或电流）完全消失时返回。具有自保持功能的中间继电器，其保持电流不应大于额定电流的 80%，保持电压不应大于其额定电压的 65%。

在 DZS 型中间继电器的铁芯上，装设了短路环或短路线圈等磁阻尼元件，所以当继电器接通或断开电源时，短路环短路线圈中的感应电流总是力图阻止磁通的变化，延缓了铁芯中磁通建立或消失的过程，从而得到了一定的动作延时或返回延时，所以这类中间继电器具有一定的短延时功能。

五、电磁型信号继电器

信号继电器作为装置动作的信号指示器，标示装置所处的状态、接通灯光信号或音响回路。信号继电器的触点为自保持，由值班人员手动或电动复归。

DX-11 型信号继电器的结构及图形符号如图 1-10 所示，当线圈中通电时，衔铁 3 克服弹簧 6 的拉力被吸引，信号牌 9 失去支持而落下，并保持垂直位置，动静触点闭合，从信号牌显示窗口可以看到掉牌。在值班员手动转动复归旋钮后才能将掉牌信号和触点复归。信号牌恢复到水平位置后，由衔铁 3 支持，准备下一次动作。