



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

电气控制线路 设计、安装与调试

DIANQI KONGZHI XIANLU
SHEJI ANZHUANG YU TIAOSHI

主 编 鲁珊珊 刘建英

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十二五”创新型规划教材

电气控制线路设计、安装与调试

主 编	鲁珊珊	刘建英	
副主编	李竞达	张鹏举	李立峰
参 编	张 帆	王晓蓉	麻桃花
主 审	李国宝	马占丽	

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书的编写以实际案例和真实情境为基础,从“教、学、做、练”一体化的需求出发,融入最新的教学模式和丰富的教学经验。全书共五个学习项目,分别为电力线路保护,三相异步电动机控制电路的设计、安装与调试,机床电气控制系统,运货小车工作过程控制,交通灯控制系统,每个学习项目又包含不同的工作任务。

本书可作为电力系统自动化技术、电气自动化技术、机电一体化技术、计算机控制技术、液压与气动技术、机械制造及自动化、数控技术、过程控制等专业学生的教材,也可作为电气工程师及电工技术人员的学习、参考资料和培训教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电气控制线路设计、安装与调试/鲁珊珊,刘建英主编. —北京:北京理工大学出版社,2014.4

ISBN 978-7-5640-8923-8

I. ①电… II. ①鲁… ②刘… III. ①电气控制-控制电路-电路设计-高等学校-教材②电气控制-控制电路-安装-高等学校-教材③电气控制-控制电路-调试方法-高等学校-教材 IV. ①TM571.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第038351号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/保定市中华美凯印刷有限公司

开 本/710毫米×1000毫米 1/16

印 张/14.75

字 数/252千字

版 次/2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷

定 价/48.00元

责任编辑/陈莉华

文案编辑/张梦玲

责任校对/周瑞红

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

PREFACE

电气控制线路的设计、安装与调试是一门技术性很强的专业课程，其包含“电力线路保护技术”“电气控制技术”和“可编程序控制器应用技术”三部分内容。随着科学技术的飞速发展，电气控制技术已发展到成熟阶段，传统的电气控制技术的内容发生了很大的变化，有些甚至已经被淘汰，但电气控制技术中基础部分的内容和思想仍是必不可少的。可编程控制器（PLC）是以微处理器为核心，综合了计算机技术、自动化技术、电子技术、网络通信技术等发展起来的一种通用工业自动控制装置，在现代工业自动化控制领域占有重要地位。本书以我国工业生产中使用较为广泛的 PLC 机型之一——德国西门子公司 S7-200 系列小型 PLC 为例，介绍 PLC 技术应用的关键所在。

本书与传统教材的区别在于：本书以“项目为导向，任务为驱动”，设计学习情境，并以服务于“教、学、做、练”一体化教学和学习模式为指导思想，培养学生具有适应专业岗位和社会发展需求的能力。本书将内容划分为五个项目，每个项目又包含不同的任务。每个任务在内容设置上都是按照“任务提出→知识储备→过程描述→知识提升（巩固）→任务实施→任务总结”为主线。在本书的编写过程中，编者力求做到语言通畅、内容由浅到深、层次清晰、任务典型、案例新颖、重点突出、细节翔实。

项目一“电力线路保护”属于电力线路保护技术。这部分主要以两个典型工作任务为驱动，详细讲述各保护继电器的结构、原理及使用方法，过电流保护和电流速断保护的工作原理。

项目二“三相异步电动机控制电路的设计、安装与调试”和项目三“机床电气控制系统”属于电气控制技术。这部分主要以 9 个典型工作任务为驱动，详细讲述常用低压电器的结构、原理及应用，三相异步电动机控制电路的原理分析、设计、安装与调试运行。

项目四“运货小车工作过程控制”和项目五“交通灯控制系统”属于可编程序控制器应用技术。这部分主要以 5 个典型工作任务为驱动,以德国西门子公司 S7 - 200 系列 PLC 为例,详细讲述了 PLC 的结构、原理、特性, PLC 的各类指令, PLC 的通信网络及配置, PLC 系统的设计与调试运行等知识。

本书由鲁珊珊、刘建英任主编,负责全书的总体规划和统筹;由李竞达、张鹏举、李立峰任副主编。其中,前言、项目五、附录由鲁珊珊编写,项目一由李立峰编写,项目二由刘建英编写,项目三由李竞达编写,项目四由张鹏举编写。另外,张帆、王晓蓉、麻桃花也参加了全书的部分项目的编写工作。

同时,本书由李国宝和马占丽担任主审,并对本书的编写工作提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,参考了大量文献资料,同时也得到学校领导的重视和支持。在此,向参考文献的作者和学校领导一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不当和谬误,恳请相关专家和读者批评指正。

编 者

目 录

CONTENTS

项目一 电力线路保护	1
任务 1 电力线路保护	1
任务 2 图纸的电脑绘制	19
习题	21
项目二 三相异步电动机控制电路的设计、安装与调试	22
任务 1 三相异步电动机点动、长动控制电路的设计、安装与 调试	22
任务 2 三相异步电动机正反转控制电路的设计、安装与调试	49
任务 3 三相异步电动机降压启动控制电路的设计、安装与 调试	56
任务 4 三相异步电动机制动控制电路的设计、安装与调试	65
任务 5 三相异步电动机顺序、多地控制电路的设计、安装与 调试	73
任务 6 电气控制系统图的电脑绘制	79

任务 7 电气控制柜的制作	84
习题	89
项目三 机床电气控制系统	91
任务 1 车床电气控制系统	91
任务 2 钻床电气控制系统	98
习题	104
项目四 运货小车工作过程控制	105
任务 1 PLC 的认识	105
任务 2 电动机控制	127
任务 3 运货小车工作过程控制	155
习题	163
项目五 交通灯控制系统	165
任务 1 天塔之光控制系统	165
任务 2 交通灯控制系统	188
习题	226
参考文献	230

项目一

电力线路保护

任务1 电力线路保护

☆引言

熔断器保护方式经济实用，但熔体熔断后的更换需要一定时间，从而影响供电的可靠性。低压断路器灵敏度高，并且故障消除后可以很快合闸，恢复供电，这比熔断器保护方式提高了可靠性。但是，以上两种保护方式通常只适用于低压系统。在高压系统中，通常采用继电保护装置，以确保保护的灵敏度，并有效提高供电可靠性。

☆学习目标

- (1) 掌握各保护继电器的工作原理、文字和图形符号。
- (2) 掌握各保护继电器的选择、安装及接线方法。
- (3) 掌握电力线路定时限过电流保护和电流速断保护的工作原理。
- (4) 掌握电气原理图和二次展开图的识读方法。
- (5) 能够进行二次回路保护的简单设计。

☆任务提出

1. 任务要求

读懂图1-1所示电路，熟悉定时限过电流保护的原理图和展开图，掌握各保护继电器及定时限过电流保护的接线方法。

2. 硬件设备

需主要学习的设备和工具见表1-1。

☆知识储备

当电力系统中的电力元件（如发电机、线路等）或电力系统本身发生故障，危及电力系统安全运行时，能够向运行值班人员及时发出警告信号或者直接向所控制的断路器发出跳闸命令，以终止这些事件发展的自动化措施和设备，一般统称为继电保护装置。

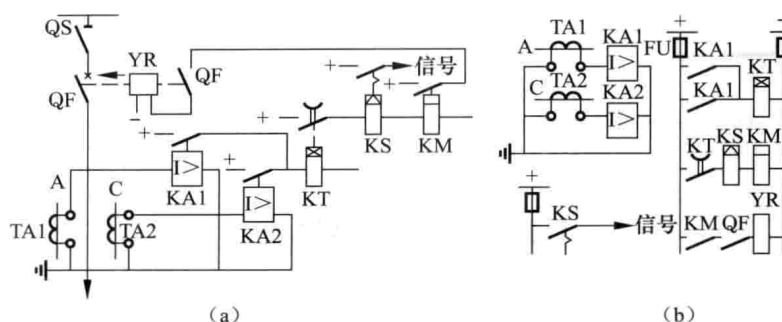


图 1-1 定时限过电流保护的原理电路

(a) 原理图; (b) 展开图

QF—高压断路器; TA1、TA2—电流互感器; KA1、KA2—电流继电器; KT—时间继电器;
KS—信号继电器; KM—中间继电器; YR—跳闸线圈; QS—隔离开关

表 1-1 设备和工具

序号	名称	型号与规格	单位	数量
1	电流继电器	DL-10 系列	个	2
2	时间继电器	DS-110 系列	个	1
3	信号继电器	DX-11 型	个	1
4	中间继电器	DZ-10 系列	个	1
5	电流互感器	/	个	2
6	电线	/	卷	1
7	电工工具套装	螺钉工具（一字形和十字形）、电工刀、验电笔、尖嘴钳、剥线钳、钢丝钳、活扳手等	套	1

1. 继电保护装置的任务

(1) 监视电力系统的正常运行, 当被保护的电力系统元件发生故障时, 应该由该元件的继电保护装置迅速准确地给距离故障元件最近的断路器发出跳闸命令, 使故障元件及时从电力系统中断开, 以最大限度地减少对该电力系统元件本身的损坏, 降低对电力系统安全供电的影响。当系统和设备发生的故障足以损坏设备或危及电网安全时, 继电保护装置能最大限度地减少对电力系统元件本身的损坏, 降低对电力系统安全供电的影响。

(2) 反映电气设备的不正常工作情况, 并根据不正常工作情况和设备运行维护条件的不同发出信号, 提示值班员迅速采取措施, 使之尽快恢复正常或由装置自动进行调整, 并将那些继续运行会引起事故的电气设备予以切除。反映不正常工作情况的继电保护装置允许带一定的延时动作。

(3) 实现电力系统的自动化、远程操作以及工业生产的自动控制, 如自动重合闸、备用电源自动投入、遥控、遥测等。

2. 继电保护装置的基本要求

继电保护装置应满足动作选择性、动作速动性、动作灵敏性和动作可靠性的要求，这4点基本要求之间紧密联系，既矛盾又统一。

(1) 动作选择性：首先由故障设备或线路本身的保护切除故障，当故障设备或线路本身的保护或断路器拒动时，才允许电源一侧距离故障点最近的继电保护装置动作。上、下级电网（包括同级）继电保护之间的整定，应遵循逐级配合的原则，以保证在电网发生故障时有选择性地切除故障。系统中的故障部分被切断后，而其他非故障部分仍然继续供电。如图1-2所示，当 $(k-2)$ 点发生短路时，则断路器QF2跳闸，切除电动机M，而其他断路器都不跳闸，此动作被称为“选择性动作”；若QF1不动作，而其他断路器跳闸，则称为“失去选择性动作”。

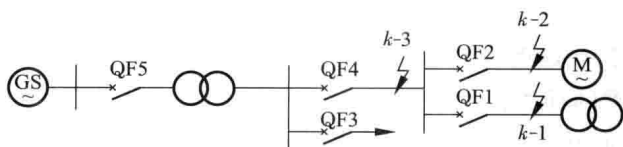


图 1-2 继电保护装置动作选择性

(2) 动作速动性：保护装置应尽快切除短路故障，其目的是提高系统的稳定性，减轻故障设备和线路的损坏程度，缩小故障波及范围，提高自动重合闸和备用设备自动投入的效果。如果故障能在0.2 s内切除，一般情况下电动机就不会停转。

(3) 动作灵敏性：保护装置在其保护范围内对轻微故障和不正常运行状态的反应能力。如果保护装置对其保护区内极轻微的故障都能及时地反应动作，说明保护装置的灵敏度高。

灵敏度 K_s 计算如下：

$$K_s = \frac{I_{k \cdot \min}}{I_{opl}}$$

式中， $I_{k \cdot \min}$ ——保护范围内的最小短路电流；

I_{opl} ——保护装置一次侧动作电流。

(4) 动作可靠性：继电保护装置在保护范围内，应该动作时应可靠动作，在正常运行状态时，不该动作时应可靠不动作。任何电力设备（线路、母线、变压器等）都不允许在无继电保护的状态下运行，可靠性是对继电保护装置性能最根本的要求。

3. 继电保护装置的组成

继电保护装置是由若干个继电器组成的，如图1-3所示。当线路发生短



路时,用于启动的电流继电器 KA 瞬时动作,使时间继电器 KT 启动。KT 经整定一定时间后,接通信号继电器 KS 和中间继电器 KM。KM 接通断路器 QF 的跳闸回路,使断路器跳闸,从而切除短路故障。

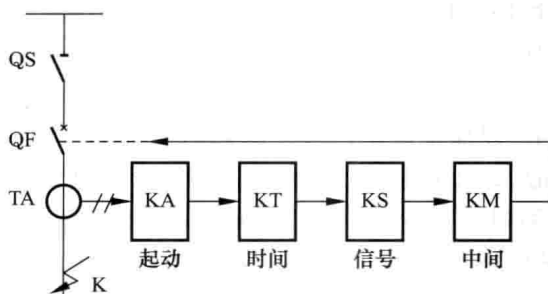


图 1-3 继电保护装置的组成

4. 常用的保护继电器

保护继电器的种类:

按继电器的结构原理分类,其有电磁式、感应式、数字式、微机式等继电器。

按继电器反应的物理量分类,其有电流继电器、电压继电器、功率方向继电器、气体继电器等。

按继电器反应的物理量变化分类,其有过量继电器和欠量继电器,如过电流继电器、欠电压继电器。

按继电器在保护装置中的功能分类,其有启动继电器、时间继电器、信号继电器和中间继电器等。

常用的保护继电器有电磁式继电器、感应式继电器以及晶体管继电器。前两种属于机电式继电器,工作性能可靠、运行经验成熟,是目前普遍采用的保护继电器。晶体管继电器具有动作灵敏、体积小、能耗低、耐振动、无机械惯性、寿命长等一系列优点,但由于晶体管器件本身具有受环境温度变化影响大的特性,使器件的质量及运行维护的水平都影响到保护装置的可靠性,所以目前国内较少采用。但随着电力系统向集成电路和微机保护方向的发展,晶体管继电器的应用也在不断扩大。这里重点讲述机电式保护继电器及其对应的继电保护电路。

1) 电磁式继电器

(1) 电流继电器。

根据线圈中电流的大小通断电路的继电器称为电流继电器。电流继电器线圈匝数少、导线粗,串联在被测电路中。在继电保护装置中,通常作为启动元件,因此又称为启动继电器。常用的 DL-10 系列电磁式电流继电器如图 1-4

所示，其结构如图 1-5 所示。

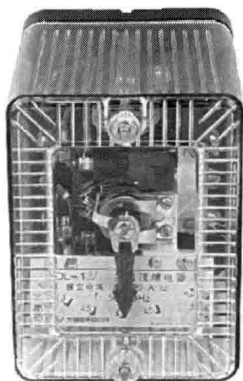


图 1-4 DL-10 系列电磁式电流继电器

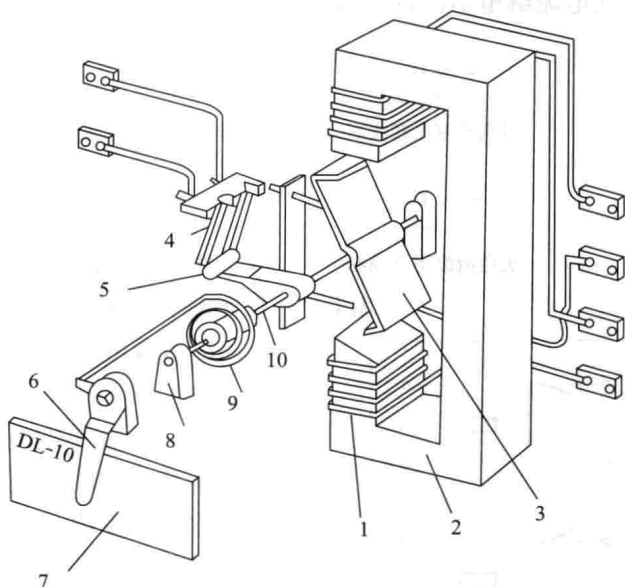


图 1-5 DL-10 系列电磁式电流继电器的基本结构

1—线圈；2—电磁铁；3—钢舌簧片；4—静触点；5—动触点；6—启动电流调节转杆；7—标度盘（铭牌）；8—轴承；9—反作用弹簧；10—转轴

当线圈通过电流时，电磁铁中产生磁通，使 Z 形钢舌簧片向凸出磁极偏转。与此同时，转轴上的反作用弹簧又试图阻止钢舌簧片偏转。当继电器线圈中的电流增大到使钢舌簧片所受到的转矩大于弹簧的反作用力矩时，钢舌簧片被吸近磁极，使常开触点闭合，常闭触点断开，即继电器动作。

继电器型号的含义如图 1-6 所示。

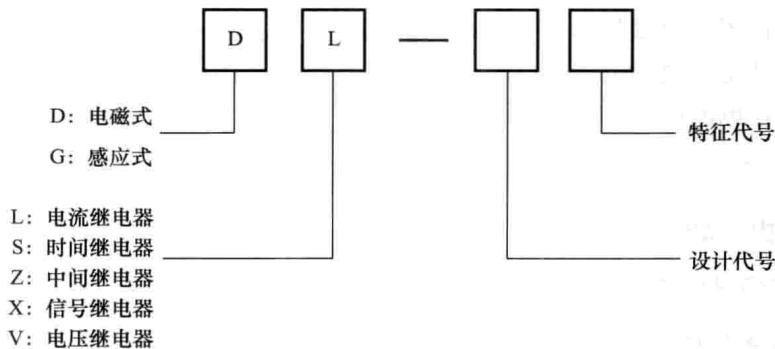


图 1-6 继电器型号的含义

电流继电器的文字符号为 KA，图形符号如图 1-7 所示。DL-13 系列电磁式电流继电器的内部接线如图 1-8 所示。



图 1-7 电流继电器的文字和图形符号

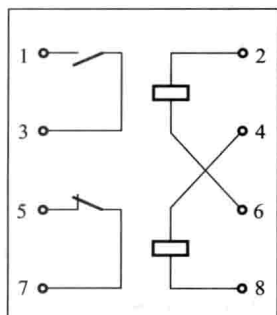


图 1-8 DL-13 系列电磁式电流继电器的内部接线

使电流继电器动作（即常开触点闭合，常闭触点断开）的最小电流称为继电器的动作电流，用 I_{op} 表示；使电流继电器返回到起始位置（即常开触点断开，常闭触点闭合）的最大电流，称为继电器的返回电流，用 I_{re} 表示。继电器的返回电流与动作电流之比称为返回系数 K_{re} ，即

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

当线圈电流高于整定值时动作的继电器称为过电流继电器。对于过电流继电器，返回系数总是小于 1 的，返回系数越接近 1 说明继电器越灵敏；如果返回系数过低，可能使保护装置误动作。DL-10 系列继电器的返回系数一般大于 0.8。

当线圈电流低于整定值时动作的继电器称为欠电流继电器。对于欠电流继电器，返回系数总是大于 1 的。

调节电磁式电流继电器动作电流的方法有两种：一种是改变启动电流调节转杆的位置来改变反作用弹簧的反作用力（见图 1-5），从而进行平滑调节；第二种是改变继电器线圈的连接方式，即当线圈由串联改为并联时，继电器的动作电流增大一倍，从而进行级进调节。



想一想

如何实现电流继电器线圈的串联与并联？

(2) 时间继电器。

时间继电器分为通电延时型时间继电器和断电延时型时间继电器。通电

延时型时间继电器是当线圈得到输入信号一段时间后, 闭合或断开被控线路的继电器。断电延时型时间继电器是当线圈输入信号消失一段时间后, 闭合或断开被控线路的继电器。时间继电器在机电保护装置中作为时限元件, 并使保护装置的動作获得一定延时, 如图 1-9 所示。常用的 DS-110 系列电磁式时间继电器的基本结构如图 1-10 所示。

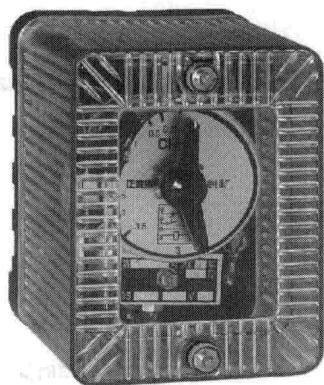


图 1-9 时间继电器

当时间继电器的线圈通电时, 可动铁芯被吸入, 压杆失去支持, 并使被卡住的一套钟表机构启动, 同时切换瞬时触点。在拉引弹簧的作用下, 经过整定的延时, 使主触点闭合。时间继电器的延时是通过改变主静触点的位置(即改变主动触点的行程)来调整的, 调整的时间范围在标度盘上标出。

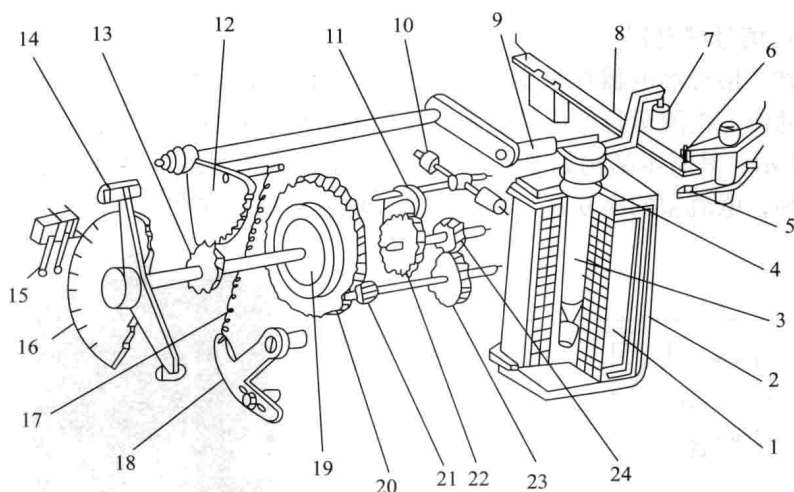


图 1-10 DS-110 系列电磁式时间继电器的基本结构

1—线圈; 2—铁芯; 3—可动铁芯; 4—返回弹簧; 5、6—瞬时静触点; 7—瞬时静触点; 8—绝缘杆; 9—压杆; 10—平衡锤; 11—摆动卡板; 12—扇形齿轮; 13—传动齿轮; 14—主动触点; 15—主静触点; 16—标度盘; 17—拉引弹簧; 18—弹簧拉力调节器; 19—摩擦离合器; 20—主齿轮; 21—小齿轮; 22—掣轮; 23、24—钟表机构传动轮

时间继电器的文字符号为 KT, 图形符号如图 1-11 所示。DS-110 系列电磁式时间继电器的内部接线如图 1-12 所示。

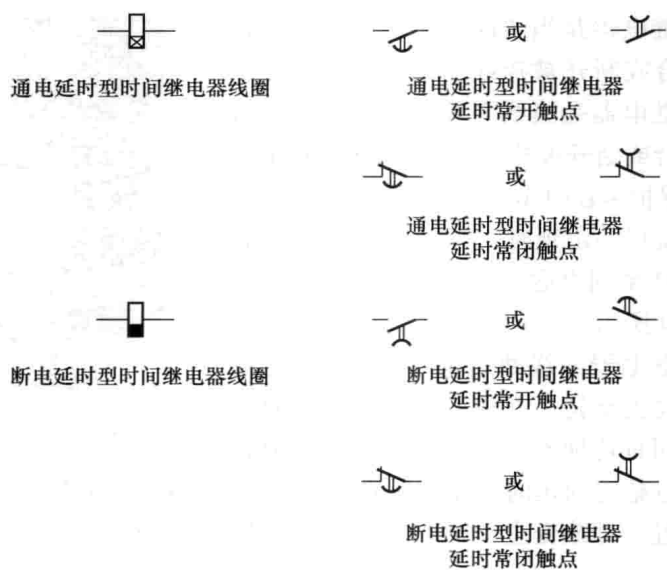


图 1-11 时间继电器的文字和图形符号

(3) 信号继电器。

电磁式信号继电器在继电保护装置中，用来发出指示信号，指示保护装置已经动作，提醒运行值班员注意。常用的 DX-11 型电磁式信号继电器如图 1-13 所示，其基本结构如图 1-14 所示。电磁式信号继电器分为电流型和电压型两种，电流型的串联在二次回路中，电压型的并联在二次回路中。

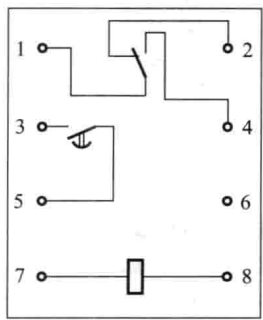


图 1-12 DS-110 系列电磁式时间继电器的内部接线

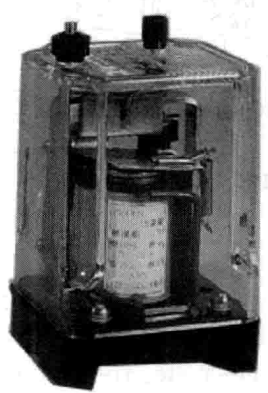


图 1-13 DX-11 型电磁式信号继电器

信号继电器在正常状态时，其信号牌是被衔铁支持住的。当信号继电器线圈通电时，衔铁被吸向铁芯而使信号牌掉下，显示其动作信号（可通过玻

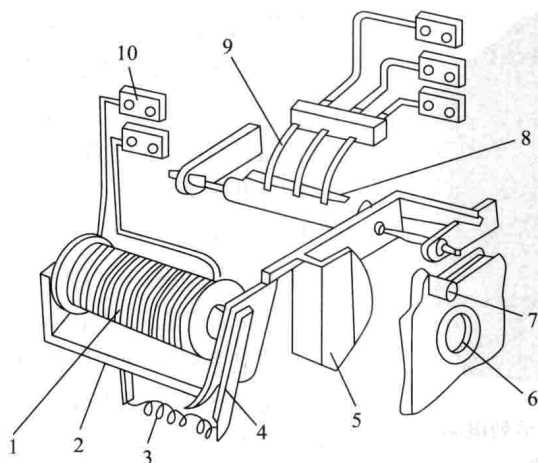


图 1-14 DX-11 型电磁式信号继电器的基本结构

1—线圈；2—铁芯；3—弹簧；4—衔铁；5—信号牌；6—玻璃窗孔；7—复位旋钮；
8—动触点；9—静触点；10—接线端子

玻璃窗孔观察)，同时带动转轴旋转 90° ，使固定在转轴上的导电条（即动触点）与静触点接通，从而接通信号回路，发出音响或灯光信号。要使信号停止，可旋动外壳上的复位旋钮，断开信号回路，同时信号牌复位。

信号继电器的文字符号为 KS，图形符号如图 1-15 所示。DX-11 型电磁式信号继电器的内部接线如图 1-16 所示。

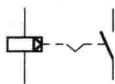


图 1-15 信号继电器的文字
和图形符号

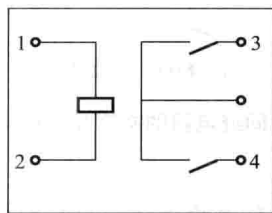


图 1-16 DX-11 型电磁式信号
继电器的内部接线

(4) 中间继电器。

中间继电器主要用于各种保护和自动装置中，以增加保护和控制回路的触点容量或触点数量。它通常用在保护装置的出口回路中，用来接通断路器的跳闸回路，故又称为出口继电器。常用的 DZ-10 系列中间继电器如图 1-17 所示。

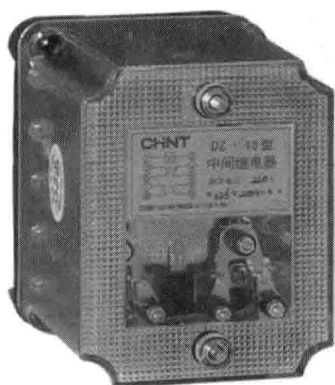


图 1-17 DZ-10 系列电磁式中间继电器

当线圈通电时，衔铁很快吸向电磁铁，带动触头系统，使动触头与静触头闭合或断开；当线圈断电后，继电器快速释放衔铁，触点全部回到起始位置。

中间继电器的文字符号为 KM，图形符号如图 1-18 所示。DZ-10 系列电磁式中间继电器的内部接线如图 1-19 所示。

2) 感应式电流继电器

在供电系统中常用的感应式电流继电器的基本结构如图 1-20 所示，它由感应系统和电磁系统两部分组成。感应系统主要包括线圈、带短路环的铁芯和安装在可偏转的框架上的转动铝盘等元件。电磁系统主要包括线圈、铁芯和衔铁。线圈和铁芯为两组系统共用。

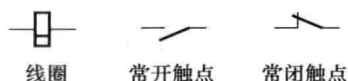


图 1-18 中间继电器的文字和图形符号

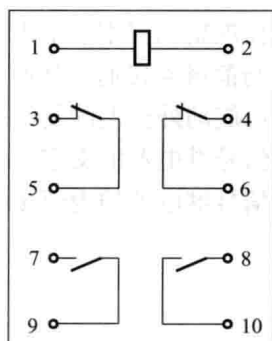


图 1-19 DZ-10 系列电磁式中间继电器的内部接线

当线圈有电流 I_{KA} 流过时，铁芯在短路环的作用下，产生在时间和空间位置上不相同的两个磁通 Φ_1 和 Φ_2 ，且 Φ_1 超前于 Φ_2 。这两个磁通均穿过铝盘，根据电磁感应原理，这两个磁通在磁盘上产生一个始终由超前磁通 Φ_1 向落后磁通 Φ_2 方向的转动力矩 M_1 。根据电能表的工作原理可知，此时作用于铝盘上的转动力矩为：

$$M_1 \propto \Phi_1 \Phi_2 \sin \Psi$$

式中， Ψ —— Φ_1 与 Φ_2 之间的相位差，此值为一常数。

由于 $\Phi_1 \propto I_{KA}$ ， $\Phi_2 \propto I_{KA}$ ，且 Ψ 为常数，因此：

$$M_1 \propto I_{KA}^2$$