

高等学校规划教材

四川省十二五规划教材

电气控制

与可编程序控制器

第二版

张培志 主编

青小渠 罗敏 副主编



化学工业出版社

014057190

TM921.5-43
56-2

高等学校规划教材
四川省十二五规划教材

电气控制与可编程序控制器

第二版

张培志 主编

青小渠 罗敏 副主编



主 编 张培志

责任编辑 罗敏 青小渠
封面设计 张培志

出版发行 化学工业出版社 (北京) 北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011

787mm×1092mm 1/16 印张39 字数309千字 2011年8月北京第2版第1次印刷

ISBN 978-7-122-20981-8
定价 38.00元 (含邮费)



化学工业出版社

·北京·

定价 38.00元



北航

C1742184

38.00元

017027180

全书共分两篇。第1篇为电气控制技术，共5章，分别是常用低压电器，基本电气控制线路，电动机的调速控制，典型生产机械设备电气控制线路，电气控制线路的设计。第2篇为可编程控制器（PLC），共7章，分别是可编程控制器的工作原理及组成，三菱公司FX系列可编程控制器，PLC步进顺控指令及其应用，FX系列PLC应用指令及其应用，FX系列PLC模拟量模块及其应用，三菱FX系列PLC的通信，PLC控制系统设计。

本书可作为高等院校本科机械设计制造及其自动化、自动化和电气工程及其自动化等相关专业的教材，也可作为相关工程技术人员参考资料。

器博科机造械回已编发产中

洲二第

图书在版编目（CIP）数据

电气控制与可编程控制器/张培志主编. —2版. 北京: 化学工业出版社, 2014.7

高等学校规划教材 四川省十二五规划教材

ISBN 978-7-122-20684-8

I. ①电… II. ①张… III. ①电气控制-高等学校-教材 ②可编程控制器-高等学校-教材 IV. ①TM921.5 ②TP332.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第098504号



责任编辑: 唐旭华 郝英华
责任校对: 宋夏

装帧设计: 关飞

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张19 字数509千字 2014年8月北京第2版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是根据高等工科院校机械工程及其自动化、自动化、电气工程及其自动化等专业的“电气控制及可编程序控制器”课程的教学大纲，并充分考虑到 PLC 的实际应用和发展情况而编写的。本书特别适合机械类专业和电气类专业开设“电气控制与 PLC”、“可编程序控制器”、“机床电气控制”、“电力拖动与控制”、“机械电气与控制”等课程使用。

本书编写的指导思想是理论结合实际，突出学生工程应用能力的训练和培养，便于组织教学和实践。内容安排上每篇之间既相互联系，又相互独立，以利于分别开设“电气控制技术”及“可编程序控制器”两门课程的院校选用。本书在教学使用过程中，可根据专业、课时的多少进行删减。

全书共分两篇。第 1 篇为电气控制技术，共 5 章，分别是常用低压电器，基本电气控制线路，电动机的调速控制，典型生产机械设备电气控制线路，电气控制线路的设计。第 2 篇为可编程序控制器 (PLC)，共 7 章，分别是可编程序控制器的工作原理及组成，三菱公司 FX 系列可编程序控制器，PLC 步进顺控指令及其应用，FX 系列 PLC 应用指令及其应用，FX 系列 PLC 模拟量模块及其应用，三菱 FX 系列 PLC 的通信，PLC 控制系统设计。

在再版过程中，考虑到变频调速技术在自动控制系统中的重要作用，在第 1 篇中增加了“变频器的应用”一节；为了使读者较全面理解和掌握三菱 PLC 的最新应用技术，在第 2 篇中增加了“第 10 章 FX 系列 PLC 模拟量模块及其应用”和“第 11 章三菱 FX 系列 PLC 的通信”。

为方便教学，本书配套的电子教案可免费提供给采用本书作为教材的相关院校使用。如有需要，请发电子邮件至 cipedu@163.com。

本书由张培志负责第 1 章、第 2 章、第 5 章、第 6 章的修订，由罗敏负责第 3 章的修订、编写和第 4 章的修订，由沈霞负责第 7 章和第 8 章的修订；由肖友平负责第 9 章的修订和第 10 章的编写，由青小渠负责第 11 章的编写和第 12 章的修订。第 1 版的部分作者没有参加第 2 版的修订工作，在此感谢他们对本书作出的特殊贡献。

由于编者的水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2014 年 5 月

目 录

第 1 篇 电气控制技术

1 常用低压电器	1
1.1 接触器	2
1.1.1 接触器的结构和工作原理	2
1.1.2 交、直流接触器的特点	2
1.1.3 接触器的型号及主要技术参数	3
1.2 继电器	5
1.2.1 电磁式继电器	5
1.2.2 时间继电器	7
1.2.3 热继电器	10
1.2.4 速度继电器	12
1.2.5 固态继电器	13
1.3 熔断器	14
1.4 低压断路器	17
1.5 低压隔离器	20
1.6 主令电器	24
1.6.1 按钮	24
1.6.2 位置开关	25
1.6.3 万能转换开关	27
1.6.4 凸轮控制器和主令控制器	28
1.7 其他低压电器	30
习题及思考题	31
2 基本电气控制线路	33
2.1 电气控制线路的绘图原则及标准	33
2.1.1 电气线路图中的图形符号及文字符号	33
2.1.2 电气原理图	38
2.1.3 电气元件的布置图	39
2.1.4 电气接线图	40
2.2 交流异步电动机的基本控制线路	40
2.2.1 直接启动控制线路	40
2.2.2 点动控制线路	42
2.2.3 多地控制线路	42
2.2.4 正反转控制线路	43
2.2.5 自动往返行程控制线路	44
2.2.6 顺序启停控制线路	44
2.3 交流异步电动机的降压启动控制线路	45
2.3.1 三相笼型异步电动机的降压启动	46
2.3.2 三相绕线式异步电动机的启动控制线路	51

2.4	交流异步电动机的制动控制线路	54
2.4.1	反接制动控制线路	54
2.4.2	能耗制动控制线路	57
2.5	液压电气控制	59
2.6	直流电动机的基本控制线路	62
2.6.1	直流电动机的基本控制方法	62
2.6.2	直流电动机的基本控制线路	63
	习题及思考题	68
3	电动机的调速控制	70
3.1	直流电动机的调速控制方法	70
3.2	直流电动机无级调速	72
3.2.1	直流调速系统用的可控直流电源	72
3.2.2	转速控制的要求和主要技术指标	74
3.2.3	带转速负反馈的单闭环直流调速系统	75
3.3	三相笼型异步电动机的调速控制线路	80
3.3.1	交流调速系统的分类	81
3.3.2	三相笼型异步电动机的变极对数调速	81
3.3.3	电磁转差离合器调速异步电动机的控制线路	83
3.3.4	三相笼型异步电动机的变频调速工作原理	84
3.3.5	变频器的应用	86
	习题及思考题	104
4	典型生产机械设备电气控制线路	105
4.1	分级振动筛电气控制线路	105
4.2	C650型卧式普通车床电气控制线路	106
4.2.1	主要结构及运动形式	107
4.2.2	电力拖动及控制要求	107
4.2.3	C650卧式普通车床的电气控制线路分析	107
4.3	X62W型卧式普通铣床电气控制线路	111
4.3.1	X62W型卧式万能铣床主要结构及运动形式	111
4.3.2	X62W型卧式万能铣床的电力拖动及控制要求	112
4.3.3	X62W型卧式万能铣床控制电路分析	112
4.3.4	X62W卧式万能铣床电气控制电路的特点	117
4.4	桥式起重机的电气控制	117
4.4.1	桥式起重机的结构及运动情况	117
4.4.2	桥式起重机对电力拖动和电气控制的要求	118
4.4.3	20/5t桥式起重机电气控制线路分析	118
	习题及思考题	124
5	电气控制线路的设计	125
5.1	电气设计的基本内容	125
5.1.1	电气设计的技术条件	125
5.1.2	电气传动方案的选择	126
5.2	电动机的选择	127
5.2.1	电动机结构型式的选择	127
5.2.2	电动机容量的选择	127

5.2.3	电动机额定电压的选择	129
5.2.4	电动机额定转速的选择	129
5.3	电气控制线路的设计	129
5.3.1	电气控制线路的设计方法	129
5.3.2	控制线路设计的一般步骤	130
5.3.3	控制线路设计中应注意的问题	131
	习题及思考题	132

第 2 篇 可编程序控制器 (PLC)

6	可编程序控制器的工作原理及组成	133
6.1	概述	133
6.1.1	PLC 的分类	133
6.1.2	PLC 的发展	135
6.2	可编程序控制器的基本结构及工作原理	136
6.2.1	PLC 的基本结构	136
6.2.2	PLC 的工作原理	138
6.3	可编程序控制器的特点及应用	139
6.3.1	PLC 的特点	139
6.3.2	PLC 的应用领域	140
	习题及思考题	140
7	三菱 FX 系列可编程序控制器	141
7.1	可编程序控制器的编程语言	141
7.1.1	PLC 编程语言的国际标准	141
7.1.2	FX 系列 PLC 梯形图的编程举例	142
7.1.3	梯形图的主要特点	144
7.2	FX 系列可编程序控制器的编程元件	144
7.2.1	输入继电器 X	146
7.2.2	输出继电器 Y	147
7.2.3	辅助继电器 M	147
7.2.4	状态元件 S	148
7.2.5	指针 P/I	148
7.2.6	常数 K/H	149
7.2.7	定时器 T	150
7.2.8	计数器 C	152
7.2.9	寄存器	156
7.3	可编程序控制器梯形图的编程原则	157
7.4	FX 系列 PLC 的基本逻辑指令	163
7.4.1	LD、LDI、OUT 指令	163
7.4.2	触头串联指令 AND 和 ANI	164
7.4.3	触头并联指令 OR、ORI	164
7.4.4	串联电路块的并联指令 ORB	165
7.4.5	并联电路块的串联指令 ANB	165
7.4.6	边沿触发指令	165

7.4.7	多重输出电路指令 MPS、MRD、MPP	166
7.4.8	运算结果反转指令 INV	168
7.4.9	运算结果脉冲化指令 MEP、MEF	168
7.4.10	主控逻辑指令 MC 和 MCR	169
7.4.11	自保持与复位指令 SET 和 RST	171
7.4.12	脉冲输出指令 PLS 和 PLF	172
7.4.13	空操作指令 NOP	173
7.4.14	程序结束指令 END	173
	习题及思考题	173
8	PLC 步进顺控指令及其应用	177
8.1	状态转移图的基本概念	177
8.2	状态转移图的编程方法	178
8.2.1	状态转移图转换成步进顺控梯形图	178
8.2.2	步进顺控指令	179
8.2.3	SET、RST 指令在状态转移图中的应用	180
8.3	状态转移图的编程规则	181
8.3.1	单流程	181
8.3.2	可选择性分支与汇合	181
8.3.3	并行分支与汇合	184
8.3.4	分支与汇合的组合	184
8.3.5	SFC 图编程中应注意的几个特殊问题	187
8.4	状态转移图 (SFC) 的编程应用	187
8.4.1	加热反应炉自动控制系统	187
8.4.2	十字路口交通灯控制模拟系统	189
8.4.3	C650 车床主轴 PLC 控制	191
8.4.4	人行横道交通灯控制	192
	习题及思考题	193
9	FX 系列 PLC 应用指令及其应用	195
9.1	应用指令的表示形式及使用要素	195
9.1.1	应用指令的表示形式	195
9.1.2	应用指令的使用要素	196
9.2	程序流程类指令	199
9.2.1	有条件跳转	199
9.2.2	子程序调用与返回指令	201
9.2.3	中断指令	201
9.2.4	主程序结束和监视定时器	202
9.2.5	循环指令及应用	203
9.3	数据比较和传送类指令	204
9.3.1	比较和传送类指令说明	204
9.3.2	传送比较类指令的基本用途及应用实例	209
9.4	算术及逻辑运算指令	210
9.4.1	算术及逻辑运算指令的使用说明	210
9.4.2	算术及逻辑运算指令应用实例	212
9.5	循环与移位指令	213

9.5.1	循环与移位指令的使用说明	213
9.5.2	循环与移位指令应用	214
9.6	其他常用指令	216
9.6.1	数据处理指令	216
9.6.2	高速处理指令	218
9.6.3	方便类指令	222
9.6.4	外部设备 I/O 指令	226
	习题及思考题	230
10	FX 系列 PLC 模拟量模块及其应用	232
10.1	模拟量输入/输出模块	232
10.2	特殊功能模块读写数据指令	240
	习题及思考题	247
11	三菱 FX 系列 PLC 的通信	248
11.1	通信基础知识	248
11.2	FX 系列 PLC 的通信接口	250
11.3	FX 系列 PLC 的通信指令	253
11.3.1	串行异步通信指令 RS	253
11.3.2	串行同步通信指令 RS2	255
11.3.3	变频器专用指令	256
11.4	三菱 PLC 的通信网络	258
	习题及思考题	261
12	PLC 控制系统设计	262
12.1	PLC 控制系统设计概要	262
12.1.1	PLC 控制系统设计的基本原则	262
12.1.2	PLC 控制系统设计的基本内容	262
12.1.3	PLC 控制系统设计的一般步骤	263
12.2	PLC 控制系统的应用	264
12.2.1	组合机床的 PLC 控制	264
12.2.2	可编程控制器在化工过程控制中的应用	266
12.2.3	PLC 在全自动洗衣机控制系统中的应用	270
	习题及思考题	273
	附录 1 FX 系列可编程控制器应用指令总表	274
	附录 2 FX 可编程控制器的部分特殊元件编号及名称检索	288
	参考文献	296

第 1 篇

继电器 1.1

继电器 1.1.1

电气控制技术

课程 (1)

随着科学技术的发展，特别是电力电子技术、自控技术和计算机技术的日益成熟，新的控制方法层出不穷，可编程序控制器 (PLC) 应用技术和计算机控制技术在工业现场获得广泛应用。掌握好传统电气控制技术，是学习和掌握 PLC 应用技术、计算机控制技术所必需的基础。

本篇主要是以电动机或其他执行电器为控制对象，介绍传统电气控制（又称为继电器接触器控制）的基本原理、线路及设计方法，从应用角度出发，培养对电气控制系统分析和设计的基本能力。

随着科学技术的发展，特别是电力电子技术、自控技术和计算机技术的日益成熟，新的控制方法层出不穷，可编程序控制器 (PLC) 应用技术和计算机控制技术在工业现场获得广泛应用。掌握好传统电气控制技术，是学习和掌握 PLC 应用技术、计算机控制技术所必需的基础。

本篇主要是以电动机或其他执行电器为控制对象，介绍传统电气控制（又称为继电器接触器控制）的基本原理、线路及设计方法，从应用角度出发，培养对电气控制系统分析和设计的基本能力。

1 常用低压电器

电器是所有电工器械的简称。即凡是根据外界特定的信号和要求自动或手动接通与断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节的电工器械称为电器。电气控制线路通常是由电器元件组成的。

电器对电能的生产、输送、分配与应用起着控制、调节、检测和保护的作。在电力输配电系统和电力拖动自动控制系统中应用极为广泛。

常用电器种类繁多，用途广泛，为了系统地掌握，需要加以分类。分类方法很多，通常有如下几种分类。

(1) 按工作电压等级分

① 高压电器 用于频率 50Hz、交流电压 1200V 以上和直流电压 1500V 及以上电路中的电器，例如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器等。

② 低压电器 用于频率 50Hz、交流电压 1200V 以下和直流电压 1500V 以下的电路内起通断、保护、控制或调节作用的电器，例如接触器、继电器等。

(2) 按动作原理分

① 手动电器 人手操作发出动作指令的电器，例如刀开关、按钮等。

② 自动电器 产生电磁吸力而自动完成动作指令的电器，例如接触器、继电器、电磁阀等。

(3) 按用途分

① 控制类电器 用于各种控制电路和控制系统的电器，例如接触器、继电器、电动机启动器等。

② 保护类电器 用于保护电路及用电设备的电器，例如熔断器、热继电器等。

③ 配电电器 用于电能的输送和分配的电器，例如高压断路器等。

④ 主令电器 用于自动控制系统中发送动作指令的电器，例如按钮、转换开关等。

本章主要介绍电气控制系统中常用的各种低压电器的结构、工作原理、规格型号、技术参数、图形符号、文字符号和应用特点，不涉及元件的设计，而着重于应用。

1.1 接触器

1.1.1 接触器的结构和工作原理

(1) 结构

接触器是一种能频繁地接通和断开远距离用电设备主回路及其他大容量用电回路的自动控制电器。它分为直流和交流两类。它的控制对象主要是电动机、电炉、电灯、电焊机、电容器组等。接触器主要由电磁机构、触头系统、灭弧装置三部分组成。

① 电磁机构 电磁机构包括电磁线圈和铁芯，铁芯由静铁芯和动铁芯（即衔铁）共同组成，铁芯的活动部分与受控电路的触头系统相连。工作时在线圈中通以励磁电压信号。铁芯中就会产生磁场，从而吸引衔铁，当衔铁受力移动时，带动触头系统断开或接通受控电路。断电时励磁电流消失，电磁场也消失，衔铁被弹簧的反作用力释放。

② 触头系统 触头又称为触点，是接触器的执行元件，用来接通或断开被控制电路。触头的结构形式很多，按其所控制的电路可分为主触头和辅助触头。主触头用于接通或断开主电路，允许通过较大的电流；辅助触头用于接通或断开控制电路，只能通过较小的电流。

触头按其原始状态可分为常开触头（动合触头）和常闭触头（动断触头）。原始状态时（即线圈未通电）断开，线圈通电后闭合的触头叫常开触头；原始状态时闭合，线圈通电后断开的触头叫常闭触头。线圈断电后所有触头复位，即回复到原始状态。

③ 灭弧装置 触头在分断电流瞬间，在触头间的气隙中会产生电弧，电弧的高温能将触头烧损，并可能造成其他事故，因此，应采用适当措施迅速熄灭电弧。常采用灭弧罩、灭弧栅和磁吹灭弧装置。

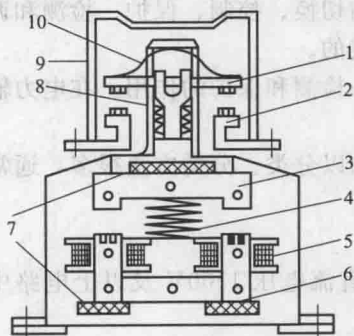


图 1-1 交流接触器结构示意图

- 1—动触点；2—静触点；3—衔铁；
- 4—缓冲弹簧；5—电磁线圈；
- 6—铁芯；7—垫毡；
- 8—触点弹簧；
- 9—灭弧罩；
- 10—触点压力簧片

(2) 工作原理

交流接触器与直流接触器原理相似。如图 1-1 所示，当电磁线圈通电后，受电磁场的作用，使常闭触头断开，常开触头闭合，两者是联动的。当线圈断电时，电磁力消失，衔铁在释放弹簧的作用下释放，使触头复原，即常开触头断开，常闭触头闭合。

需要注意的是，当电磁线圈通电后，其常闭触头断开，常开触头闭合是需要一定的动作时间的，而且一定要经历常闭触头先断开，常开触头才能闭合，即先断后合这一过程。当电磁线圈通电后又断电，闭合触头先断开恢复为常开，断开触头才能闭合恢复为常闭，也要经历先断后合这一过程。在电气控制中，动作时间要求不是很严格，因此，在允许的误差范围内，可以认为常闭触头断开，常开触头闭合，两者是联动的。具体动作时间可查相关技术手册。

接触器的图形符号、文字符号如图 1-2 所示。

1.1.2 交、直流接触器的特点

接触器按其主触头所控制主电路电流的种类，可分为交流接触器和直流接触器。

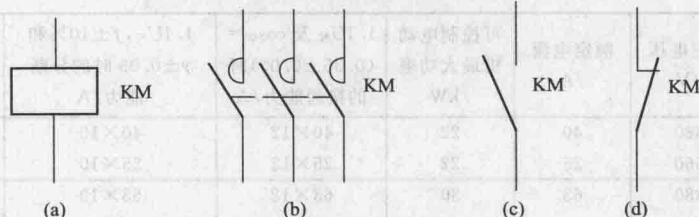


图 1-2 接触器图形符号和文字符号

(a) 线圈；(b) 主触点；(c) 常开（动合）辅助触点；(d) 常闭（动断）辅助触点

(1) 交流接触器

交流接触器线圈通以交流电，主触头接通或分断交流主电路。

当交变磁通穿过铁芯时，将产生涡流和磁滞损耗，使铁芯发热。为减少铁损，铁芯用硅钢片冲压而成。为便于散热，线圈做成短而粗的圆筒状绕在骨架上。为防止交变磁通使衔铁产生强烈振动和噪声，交流接触器铁芯端面都安装一个铜制的短路环。交流接触器的灭弧装置通常采用灭弧罩或灭弧栅。

(2) 直流接触器

直流接触器线圈通以直流电，主触头接通或分断直流主电路。

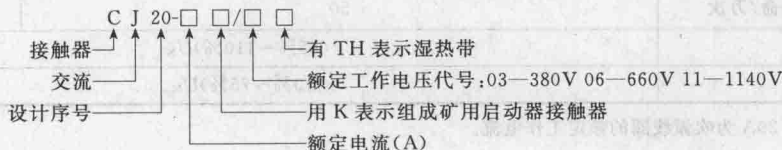
直流接触器铁芯中不产生涡流和磁滞损耗，所以不发热。铁芯可用整块钢制成。为散热良好，通常将线圈绕制成长而薄的圆筒状。250A 以上的直流接触器采用串联双绕组线圈。直流接触器灭弧较难，一般采用灭弧能力较强的磁吹灭弧装置。

1.1.3 接触器的型号及主要技术参数

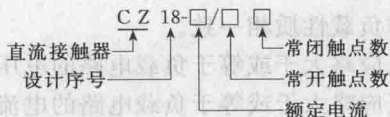
目前，国内常用的交流接触器有 CJ10、CJ12、CJ20、CJ24、CJX1、CJX2 等系列，其中 CJ20 和 CJ24 系列接触器是 20 世纪 80 年代开发的新产品，分别替代了 CJ10 和 CJ12 系列。CJ20 系列接触器主要用于控制三相笼型异步电动机的启动、停止等，CJ24 系列接触器主要用于冶金、矿山及起重设备中控制绕线式电动机的启动、停止和切换转子电阻。引进生产的交流接触器有：德国西门子公司的 3TB 和 3TF 系列、法国 TE 公司的 LC1 和 LC2 系列、德国 BBC 公司的 B 系列等。

(1) 型号含义

① 交流接触器



② 直流接触器



(2) 主要技术参数

见表 1-1，表 1-2。

(3) 选择接触器时应主要考虑的因素

① 控制交流负载一般应选用交流接触器，控制直流负载一般应选用直流接触器。有时，为了减少电源种类，在直流电动机或直流负载的容量比较小时，也可以选用交流接触器进行

表 1-1 CJ20 系列交流接触器主要技术数据

型 号	额定电压 /V	额定电流 /A	可控制电动机 最大功率 /kW	1.1U _N 及 cosφ= (0.35±0.05) 时的 接通能力/A		1.1U _N , f±10% 和 γ±0.05 时的分断 能力/A		操作频率 /(次/h)	
				40×12	25×12	40×10	25×10	AC-3	AC-4
CJ20-40	380	40	22	40×12	25×12	40×10	25×10	1200	300
CJ20-40	660	25	22	25×12	25×12	25×10	25×10	600	120
CJ20-63	380	63	30	63×12	63×12	63×10	63×10	1200	300
CJ20-63	660	40	35	40×12	40×12	40×10	40×10	600	120
CJ20-160	380	160	85	160×12	160×12	160×10	160×10	1200	300
CJ20-160	660	100	85	100×12	100×12	100×10	100×10	600	120
CJ20-160/11	1140	80	85	80×12	80×12	80×10	80×10	300	60

型 号	电寿命/万次		机械寿命 /万次	吸引线圈				
	AC-3	AC-4		额定电压 /V	吸合电压	释放电压	启动功率 /(V·A/W)	吸持功率 /(V·A/W)
CJ20-40	100	4	1000	36, 127 220, 380	(0.85~ 1.1)U _N	0.75U _N	175/82.3	19/5.7
CJ20-40								
CJ20-63	200(120)	1.5	1000(600)	36, 127 220, 380	(0.8~ 1.1)U _N	0.7U _N	480/153	57/16.5
CJ20-63								
CJ20-160							855/325	85.5/34
CJ20-160								
CJ20-160/11								

表 1-2 CZ18 系列直流接触器主要技术数据

额定工作电压/V	440				
额定工作电流/A	40 (20、10、5) ^①	80	160	315	630
主触点通断能力	1.1U _N , 4I _N , T=15ms				
额定操作频率/(次/h)	1200		600		
电气寿命(DC-2)/万次	50			30	
机械寿命/万次	500			300	
辅助触点	组合情况	二常闭二常开			
	额定发热电流/A	6		10	
	电气寿命/万次	50			30
吸合电压	(85%~110%)U _N				
释放电压	(10%~75%)U _N				

① 5A、10A、20A 为吹弧线圈的额定工作电流。

控制，但触头的额定电流应选大些。

② 接触器的使用类别应与负载性质相一致。

③ 主触头的额定工作电压应略大于或等于负载电路的电压。

④ 主触头的额定工作电流应略大于或等于负载电路的电流。还要注意的是接触器主触头的额定工作电流是在规定条件下（额定工作电压、使用类别、操作频率等）能够正常工作的电流值，当实际使用条件不同时，这个电流值也将随之改变。

⑤ 吸引线圈的额定电压应与控制回路电压相一致，接触器在电压达到线圈额定电压 85% 及以上时应能可靠地吸合。

⑥ 主触头和辅助触头的数量应能满足控制系统的需要。

1.2 继电器

继电器是一种根据电气量（电压、电流等）或非电气量（温度、压力、转速、时间等）的变化接通或断开控制电路的电气元件，被广泛用于电动机或线路的保护以及生产过程自动化的控制中。

常用的继电器有电压继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器、压力继电器、热与温度继电器等。本节以电磁式继电器为主介绍几种常用的继电器。

1.2.1 电磁式继电器

常用的电压、电流继电器和中间继电器属于电磁式继电器。其结构、工作原理与接触器相似，由电磁系统，触头系统和释放弹簧等组成。由于继电器用于控制电路，流过触头的电流小，故不需要灭弧装置。

继电器具有输入电路（又称感应元件）和输出电路（又称执行元件）两部分，当感应元件中的输入量（如电流、电压、温度、压力等）变化到某一定值时继电器动作，执行元件便接通和断开控制回路。

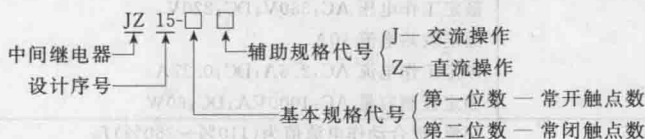
继电器的主要特性是输入（ x ）-输出（ y ）特性，又称为继电器的迟滞特性，如图 1-3 所示。

(1) 中间继电器

中间继电器具有触头对数多、触头容量较大的特点，其作用是将一个输入信号变成多个输出信号或将信号放大（即增大触头容量），起到信号中转的作用。

中间继电器体积小，动作灵敏度高，并在 10A 以下电路中可代替接触器起控制作用。

① 常用型号及含义 常用中间继电器有：JZ7、JZ8、JZ4、JZ15 等系列。引进产品有：德国西门子公司的 3TH 系列和 BBC 公司的 K 系列等。现以 JZ15 为例，说明中间继电器型号含义如下。



② 主要技术参数 如表 1-3 所示。

表 1-3 JZ15 系列中间继电器型号规格技术数据

型号	触点额定电压 U_N/V		约定发热电流 I/A	触点组合形式		触点额定控制容量		额定操作频率 $/(次/h)$	吸引线圈额定电压 U_N/V		线圈吸持功率		动作时间 $/s$
	交流	直流		常开	常闭	交流 S_N/VA	直流 P/W		交流 S/VA	直流 P/W			
JZ15-62	127、	48、	10	6	2	1000	90	1200	127、	48、	12	11	≤ 0.05
JZ15-26	220、	110、		2	6				220、	110、			
JZ15-44	380	220		4	4				380	220			

③ 中间继电器的图形、文字符号 如图 1-4 所示。

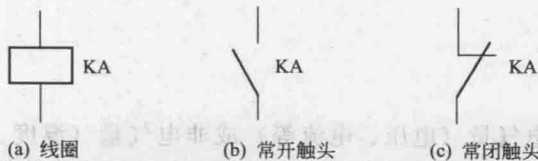


图 1-4 中间继电器图形、文字符号

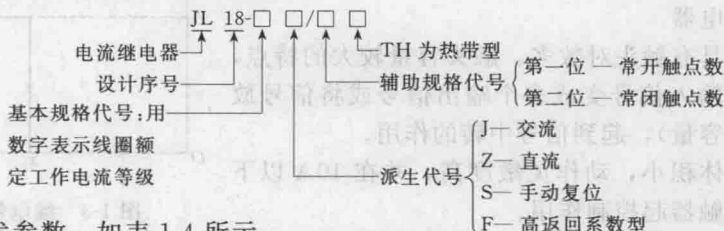
(2) 电流继电器

线圈被做成阻抗小、导线粗、匝数少的电流线圈，串接在被测电路中，根据输入（线圈）电流大小而动作的继电器称为电流继电器。按用途还可分为过电流继电器和欠电流继电器。

过电流继电器的任务是当电路发生短路及过流时立即将电路切断，因此通过过电流继电器线圈的电流小于整定电流时，继电器不动作；只有超过整定电流时，继电器才动作。过电流继电器的动作电流整定范围交流为 $110\%I_N \sim 350\%I_N$ ，直流为 $70\%I_N \sim 300\%I_N$ 。

欠电流继电器的任务是当电路电流过低时立即将电路切断，因此当欠电流继电器线圈通过的电流大于或等于整定电流时，继电器吸合；只有当电流低于整定电流时，继电器才释放。欠电流继电器动作电流整定范围，吸合电流为 $30\%I_N \sim 50\%I_N$ ，释放电流为 $10\%I_N \sim 20\%I_N$ 。欠电流继电器一般是自动复位的。

① 常用型号及含义 目前，国内常用的过电流继电器有 JL15、JL18 等系列，其中 JL18 系列是 20 世纪 80 年代开发的换代产品，JL18 系列通用继电器可作欠电流继电器使用。JL18 系列电流继电器型号含义如下。



② 主要技术参数 如表 1-4 所示。

表 1-4 JL18 系列过电流继电器型号规格技术数据

额定工作电压 U_N/V	AC:380,DC:220
线圈额定工作电流 I_N/A	1.0、1.6、2.5、4.0、6.3、10、16、25、40、63、100、160、250、400、630
触点主要额定参数	额定工作电压 AC:380V;DC:220V 额定发热电流 10A 额定工作电流 AC:2.6A;DC:0.27A 额定控制容量 AC:1000VA;DC:60W
调整范围	交流:吸合动作电流值为 $(110\% \sim 350\%)I_N$ 直流:吸合动作电流值为 $(70\% \sim 300\%)I_N$
动作与整定误差	$\leq \pm 10\%$
返回系数	高返回系数型 > 0.65 ,普通类型不作规定
操作频率/(次/h)	1200
复位方式	自动及手动
触点对数	一对常开触点,一对常闭触点

③ 电流继电器的图形、文字符号 如图 1-5 所示。

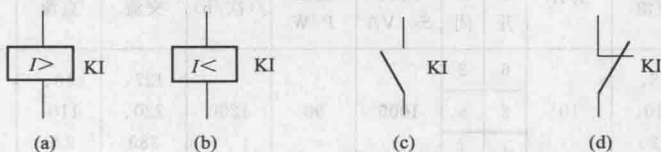


图 1-5 过（欠）电流继电器图形、文字符号

(a) 过电流继电器线圈；(b) 欠电流继电器线圈；(c) 常开触点；(d) 常闭触点

3) 电压继电器

电压继电器具有线圈匝数多、导线细、阻抗大的特点，工作时并入电路中，用于反映电路中电压的变化。电压继电器是根据输入电压大小而动作的继电器。

与电流继电器类似，电压继电器也分为欠电压继电器、过电压继电器和零电压继电器。过电压继电器动作电压范围为 $105\%U_N \sim 120\%U_N$ ；欠电压继电器吸合电压动作范围为 $20\%U_N \sim 50\%U_N$ ；零电压继电器释放电压调整范围为 $7\%U_N \sim 20\%U_N$ 。常用它们来构成过电压、欠电压、零电压保护电路。

中间继电器实质上也是一种电压继电器，所以有时也用中间继电器的图形符号和文字符号来代替电压继电器的图形符号和文字符号。

电压继电器的图形符号和文字符号如图 1-6 所示。

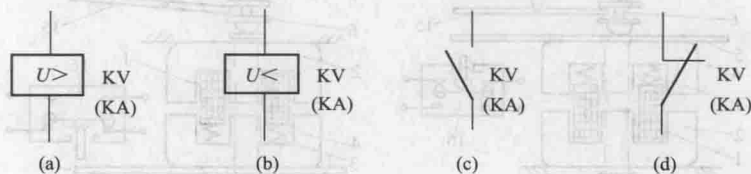


图 1-6 过(欠)电压继电器图形、文字符号

(a) 过电压继电器线圈；(b) 欠电压继电器线圈；(c) 常开触头；(d) 常闭触头

1.2.2 时间继电器

时间继电器是一种利用电磁原理和机械动作原理实现触头延时接通或延时断开的自动控制电器。时间继电器是一种定时元件，在电路中用来实现延时控制，即时间继电器接收到输入信号以后，需经一段时间延时后才能输出信号来控制电路。时间继电器的应用范围很广，特别是在电力拖动系统和各种自动控制系统中，要求各项操作之间有必要的时间间隔或按一定的时间顺序接通或断开的机组。在生产中经常需要按一定的时间间隔来对生产机械进行控制，例如电动机的降压启动需要一定的时间，之后，才能加上额定电压；在一条自动化生产线上的多台电动机，常需要分批启动，在第一批电动机启动后，需经过一定时间，才能启动第二批等。这类自动控制称为时间控制。

时间继电器按其延时原理可分为电磁式、空气阻尼式、同步电动机式和电子式时间继电器。按延时方式可分为通电延时型和断电延时型两种时间继电器。

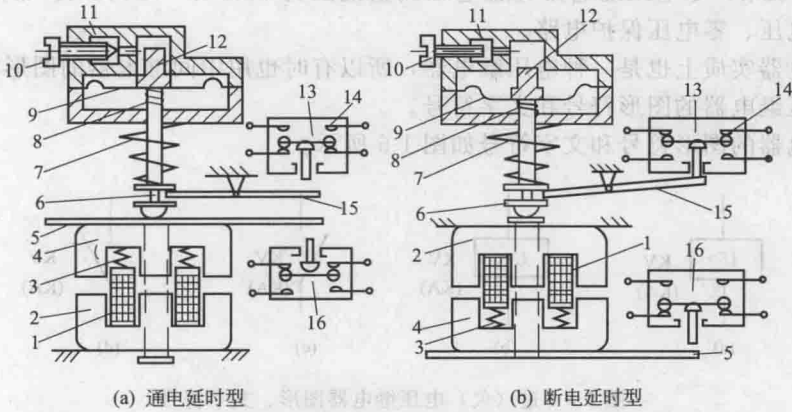
电磁式时间继电器是利用电磁阻尼原理而产生延时的。其特点是延时时间短（最长不超过 5s），延时精度差，稳定性不高，而且只能是直流供电、断电延时；但其结构简单，价格低廉，寿命长，继电器本身适应能力较强，输出容量往往较大，在一些要求不太高，工作条件又较恶劣的场合（如起重机控制系统），常采用这种时间继电器。常用的直流电磁式时间继电器有 JT3 和 JT18 系列。

同步电动机式时间继电器是利用微型同步电动机拖动减速齿轮来获得延时的。其特点是延时范围宽，可从几秒到几十小时，延时过程能通过指针直观地表示出来，延时误差仅受电源频率影响；但其机械结构复杂、体积较大、寿命短、价格较贵，仅适用于自动或半自动化生产过程中的程序控制。目前，国内常用的同步电动机式时间继电器有：JS10、JS11 系列以及引进德国西门子公司生产的 TPR 系列等。

电子式时间继电器具有体积小、机械结构简单、延时长、调节范围宽、精度高、使用寿命长等特点，随着电子技术的飞速发展，应用日益广泛。电子式时间继电器按延时原理分有阻容充电延时型和数字电路型；按输出形式分有触头型和无触头型。但有延时易受温度与电

源波动的影响，抗干扰能力差，维护不便，价格较高的缺点。国内常用的有JS20系列电子式时间继电器等。

空气阻尼式时间继电器是利用空气阻尼作用而实现延时目的的，它是应用较广泛的一种时间继电器。空气阻尼式时间继电器的工作原理如图1-7所示，有通电延时型和断电延时型两种。现以通电延时型为例介绍时间继电器的工作原理。



(a) 通电延时型 (b) 断电延时型

图 1-7 时间继电器结构原理图

- 1—线圈；2—静铁芯；3，7，8—弹簧；4—衔铁；5—推板；6—顶杆；9—橡皮膜；10—螺钉；11—进气孔；12—活塞；13，16—微动开关；14—延时触点；15—杠杆

如图1-7(a)所示，当电磁铁线圈1通电后，衔铁4克服弹簧阻力与静铁芯2吸合，于是顶杆6与衔铁4之间有一段间隙。在弹簧7的作用下，顶杆就向下移动，顶杆与活塞12相连，活塞下面固定橡皮膜9。活塞向下移动时，橡皮膜上面形成空气稀薄的空间，与橡皮膜下面的空气形成压力差，对活塞的移动产生阻尼作用，使活塞移动速度减慢。在活塞顶部有一小的进气孔（图中未画出），逐渐向橡皮膜上面的空间进气，平衡上下两空间压力差。当活塞下降到一定位置时，杠杆15使触头14动作（常闭触头断开，常开触头合上）。延时时间即为自电磁铁线圈通电时刻起到触头动作时为止的这段时间，通过调节螺钉10调节进气量的多少来调节延时时间的长短。当线圈1断电时，电磁吸力消失，衔铁4在弹簧3作用下释放，并通过顶杆6将活塞12推向上端，这时橡皮膜上方气室内的空气通过橡皮膜9、弹簧8和活塞12的肩部所形成的单向阀，迅速地由橡皮膜下方的气室缝隙中排掉，因此杠杆15与微动开关13能迅速复位。

在线圈1通电和断电时，微动开关16在推板5的作用下都能瞬时动作，即为时间继电器的瞬动触头。

图1-7(b)是断电延时型时间继电器的结构原理图，其延时原理与通电延时型时间继电器相同，请读者自行分析。

国内常用的有JS7-A、JS7-B、JS16和JS23系列空气阻尼式时间继电器等。其中JS23是我国生产的新产品系列。JS23系列时间继电器的型号含义如下。

