

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



PLC YINGYONG JISHU

PLC应用技术

(第二版)

弭洪涛等 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



PLC YINGYONG JISHU

PLC 应用技术

(第二版)

编著 弭洪涛 孙铁军
曹晶人 王 锴 程艳明
主审 李广鹏



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

Electrical Engineering

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本书共分七章，主要内容包括：PLC应用基础，PLC的机构及特点，PLC的基本指令及编程，PLC功能指令及其应用，PLC联网与通信，PLC应用系统设计、安装及维护，电气及PLC实验。本书力求体系完整、通俗易懂，结合新技术的发展，结合实验，使读者更深入地了解PLC的使用方法和技巧。

本书可作为电气信息类、自动化类、机械类等工科专业的本科教材，也可供从事相关领域技术工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

PLC应用技术/弭洪涛等编著. —2版. —北京: 中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 5553 - 5

I. P... II. 弭... III. 可编程序控制器—高等学校—教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 074555 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004年2月第一版

2007年7月第二版 2007年7月北京第四次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 20印张 492千字

印数 10001—13000册 定价 29.80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

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为修订教材。

本书第一版在2004年2月出版。两年以来,广大同行及读者对本书给予了广泛关注和好评,同时也对本书的修订提出了宝贵意见,使本书在使用过程中,得到不断的改进和充实。作者已先后制作了配套的多媒体课件和电子教案,本书的习题解答也于去年八月正式出版。

本次修订的主要宗旨就是要使内容更加易懂、实用。为此我们对原书的第五章、第七章进行了大幅修改,并删掉了第四章第四节“特殊指令”,同时也对其他各章中的疏漏进行了修订。

第五章增加了PLC联网的应用内容,同时在叙述上力求更加通俗易懂,旨在解决日渐流行的PLC网络应用问题。

第七章作为本书的实践内容,对学好PLC这样的应用型知识起着至关重要的作用,因此在修订过程中,增加了一些思考题,使读者可以更加容易解决在使用PLC过程中可能遇到的理论和实践问题。

本次修订工作由弭洪涛主持。其中,第一、二、三章由弭洪涛执笔,第四章由王锴执笔,第五章由曹晶人执笔,第六章由程艳明执笔,第七章由孙铁军执笔。

由于作者水平有限,错误和疏漏在所难免,恳请广大同行和读者继续给予热切关注并多提宝贵意见,我们将不胜感激。

作者

2007年5月

第一版前言

可编程控制器(PLC)自20世纪70年代诞生以来,以极高的发展速度遍布全世界,在各行各业都得到了广泛的应用。它综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术,是一种新型的、通用的自动控制装置。它以功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于编程以及适应在工业环境下应用等一系列优点,成为现代工业控制的三大支柱之一(三大支柱为CAD/CAM、机器人、PLC)。

近年来,可编程控制器发展很快,新产品、新技术不断涌现,为了适应这种情况,本书在内容选择上增加了继电-接触控制和联网通信等内容,并且以较新的OMRON CQM1为基础进行系统介绍,其指令系统与CPM、C200H、C1000H等OMRON C系列机兼容,有较强的实用性。

本书力求体系完整、通俗易懂,使读者能正确理解PLC应用技术。书中系统讲述了PLC应用基础——继电接触控制、PLC工作原理、PLC系统配置、指令系统及编程方法、应用系统设计等内容;同时,专门安排了一章可编程序控制器实验,使读者通过自己动手,更深入的了解PLC的使用方法及技巧。

全书由弭洪涛主编,毕国忠、贾景贵任副主编,李广鹏主审。其中,第一、三章由弭洪涛编写,第二章由贾景贵编写,第四、六章由毕国忠编写,第五章由程艳明编写,第七章由孙铁军和王锴编写。

本书在编写过程中,参阅了大量文献和资料,曲萍萍、马惜萍等同志做了大量工作,在此对相关人士一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不当和谬误之处,恳请有关专家和广大读者不吝赐教。

编者

2003年9月

目 录

前言	
第一版前言	
绪论	1
第一章 PLC 应用基础	3
第一节 概 述	3
第二节 常用控制电器	7
第三节 电气控制线路设计基础	23
第四节 典型继电-接触控制线路	37
习 题	46
第二章 PLC 的结构及特点	48
第一节 PLC 控制与继电-接触控制的比较	48
第二节 PLC 的工作原理	49
第三节 CQM1 型 PLC 的系统配置	55
第四节 OMRON-PLC 编程软件	71
习 题	73
第三章 PLC 的基本指令及编程	74
第一节 编程原理	74
第二节 梯形图指令	77
第三节 基本右手指令	84
第四节 解析法编程	100
第五节 波形图法编程	110
第六节 用 PLC 改造原继电-接触设备	113
习 题	117
第四章 PLC 功能指令及其应用	121
第一节 数据处理指令	121
第二节 数据运算指令	154
第三节 流程控制指令	168
第四节 用流程图法编程	174
习 题	179
第五章 PLC 网络与通信	181
第一节 网络与通信的基础知识	181
第二节 OMRON PLC 通信系统综述	187
第三节 OMRON 链接系统	190

第四节	典型 PLC 网络	211
第五节	PLC 网络通信工程实例	219
习 题		223
第六章	PLC 应用系统设计、调试及维护	225
第一节	系统设计	225
第二节	系统调试与检查	236
第三节	PLC 的安装及维护	245
习 题		247
第七章	电气及 PLC 实验	248
第一节	典型继电-接触控制线路	248
第二节	编程器的操作	254
第三节	基本指令实验	262
第四节	功能指令实验	270
第五节	综合运用实验	282
附录 1	简易编程器操作一览表	293
附录 2	CQM1 指令系统一览表	297
附录 3	CQM1 内部器件	302
附录 4	CQM1 特殊继电器一览表	303
附录 5	CQM1 链接继电器一览表	305
附录 6	CQM1 软设置一览表	309
参考文献		314

绪 论

在冶金、机械、矿山等工业部门普遍采用电力拖动生产机械,这些生产机械受自动控制系统控制,使被控对象按一定规律进行工作,这些系统称为自动控制系统。按其控制方式可分为断续控制与连续控制两大类。断续控制是有级控制,其系统所用的主要元件是继电器、接触器等低压电器。断续控制与控制对象的物理变化过程无关,而只考虑其跳变值,所以控制元件都是两态元件。连续控制反映物理量变化的整个过程,被控对象也是连续量。继电器接触控制系统属于断续控制系统。其特点是采用硬接线逻辑,即通过触点、线圈等的不同接线来完成不同的逻辑功能。其最大缺点是不便于现场修改控制逻辑。

20世纪60年代末,随着现代工业生产自动化水平的日益提高及微电子技术的飞速发展,对工业控制器的要求也越来越高。1968年,美国通用汽车公司(GM)要求制造商为其装配线提供一种新型的通用程序控制器,并提出10项招标指标:①编程简单,可在现场修改程序;②维护方便,最好是插件式;③可靠性高于继电器控制柜;④体积小于继电器控制柜;⑤可将数据直接送入管理计算机;⑥在成本上可与继电器控制柜竞争;⑦输入可以是交流115V;⑧输出为交流115V、2A以上,能直接驱动电磁阀等;⑨在扩展时,原系统只需很小变更;⑩用户程序存储器容量至少能扩展到4K。这就是著名的GM10条。如果说各种电控制器、电子计算机技术的发展是可编程控制器出现的物质基础,那么GM10条就是可编程控制器出现的直接原因。

GM10条提出后,美国数字设备公司(DEC)经过一年多的努力,研制出第一台这种控制器,并在GM的汽车生产线上首次应用成功。当时,把这种控制器称为可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller),简称PLC,用来取代继电器控制柜,功能仅限于执行继电器逻辑、定时和计数控制等。

1971年,日本从美国引进了这项技术,很快研制成类似的控制器,即DSC-8。又过了两年,西欧国家也制成这样的控制器。随着微电子技术的发展,70年代中期出现了微处理器和微型计算机。在1975~1976年,美国、日本、联邦德国等一些国家把微处理器用作可编程控制器的中央处理单元(Central Processing Unit简称CPU),用集成电路的存储器代替磁芯存储器,使得可编程控制器实现更大规模的集成化,从而使之工作更为可靠,更能适应工业环境,功能也大大加强了。随着成本的大幅度下降,这种控制器逐渐进入了实用阶段。我国于1974年开始研制,1977年开始工业应用。这种控制器出现后,其名称和定义不统一。为此,美国电气制造商协会(National Electrical Manufacturers Association,简称NEMA)于1980年正式命名其为可编程控制器(Programmable Controller),简称PC。定义为:PC是一种数字式电子装置,它使用了可编程序的存储器以存储指令,用以执行诸如逻辑、顺序、定时、计数及算术运算等功能,并通过数字的或模拟的输入、输出接口控制生产机械或生产过程。

1987年2月,国际电工委员会颁布了可编程控制器标准草案第三稿,该草案中对可编程控制器给出的定义是:“可编程控制器是一种数字运算操作系统,专为工业环境下应用而

设计。它采用了可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各种类型的生产机械和生产过程。可编程控制器及其有关外围设备，都按易于与工业系统连成一个整体、易于扩充其功能的原理设计。”按照以上定义，PLC 是一种工业用计算机，因而它必须有很强的抗干扰能力，这是与一般的微机系统不同的。其存储器可存储执行多种操作的指令，是通过软件编程序的控制器，所以又与以往继电接触控制装置有质的区别。它具有控制能力强、操作方便灵活、价格便宜、可靠性高等特点，不仅可以取代传统的继电接触控制系统，还可以构成复杂的工业过程控制网络，是一种适应现代工业发展的新型控制器。

由于个人计算机 (Personal Computer) 的缩写也为 PC，为避免混淆，国内外一些刊物和资料仍将可编程控制器简称为 PLC。本书下面除特殊情况外，亦采用 PLC 这种简称。

第一章 PLC 应用基础

工矿企业拥有大量的继电接触控制线路,它们安装在现场、电磁站或控制室。运行起来其电器触点冲击噪声高,维护工作量大,可靠性低。随着半导体技术、计算机技术的发展和应用,继电接触控制线路将被无触点系统所取代,更有被可编程控制器所替换的可能。但 PLC 的工作原理是建立在继电-接触控制线路基础上的,因此,本章在简要介绍 PLC 的一般概念的同时,学习常用电器和典型继电-接触线路原理,为 PLC 梯形图编程及 PLC 应用打好基础,也是为采用可编程控制器改造原有控制系统或设计新系统作好准备。

第一节 概 述

PLC 是按继电-接触线路原理设计的,其等效的内部电器及线路与继电接触线路相同。由 PLC 定义可知,它与一般计算机的结构相似,也有中央处理单元(CPU)、存储器(MEMORY)、输入/输出(INPUT/OUTPUT)接口、电源部件及外部设备接口等。但是由于 PLC 是专为在工业环境下应用而设计的,为便于接线、便于扩充功能、便于操作及维护,它的结构及组成又与一般计算机有所区别。

一、PLC 的组成

常见的 PLC 有整体式和模块式两类。不论哪种结构,其内部组成都是相似的,其结构框图见图 1-1。

1. 中央处理单元(CPU)

CPU 是 PLC 的“大脑”,它控制所有其他部件的操作,一般由控制电路、运算器、寄存器等组成,通过地址总线、数据总线和控制总线与存储器、I/O 接口电路连接。

中央处理单元主要完成以下任务:

(1) 从存储器中读取指令。CPU 从地址总线上给出指令的存储地址,从控制总线上给出读命令,从数据总线上得到读出的指令,并存放 CPU 内的指令寄存器中。

(2) 执行指令。对存放在指令寄存器中的指令操作码进行译码,执行指令规定的操作。例如,读取输入信号,取操作数,执行逻辑运算和算术运算,将结果输出等。

(3) 准备取下一条指令。CPU 执行完一条指令后,能根据条件产生下一条指令的地址,以便取出和执行下一条指令。在 CPU 的控制下,程序的指令既可以顺序执行,也可以进行分支或转移处理。

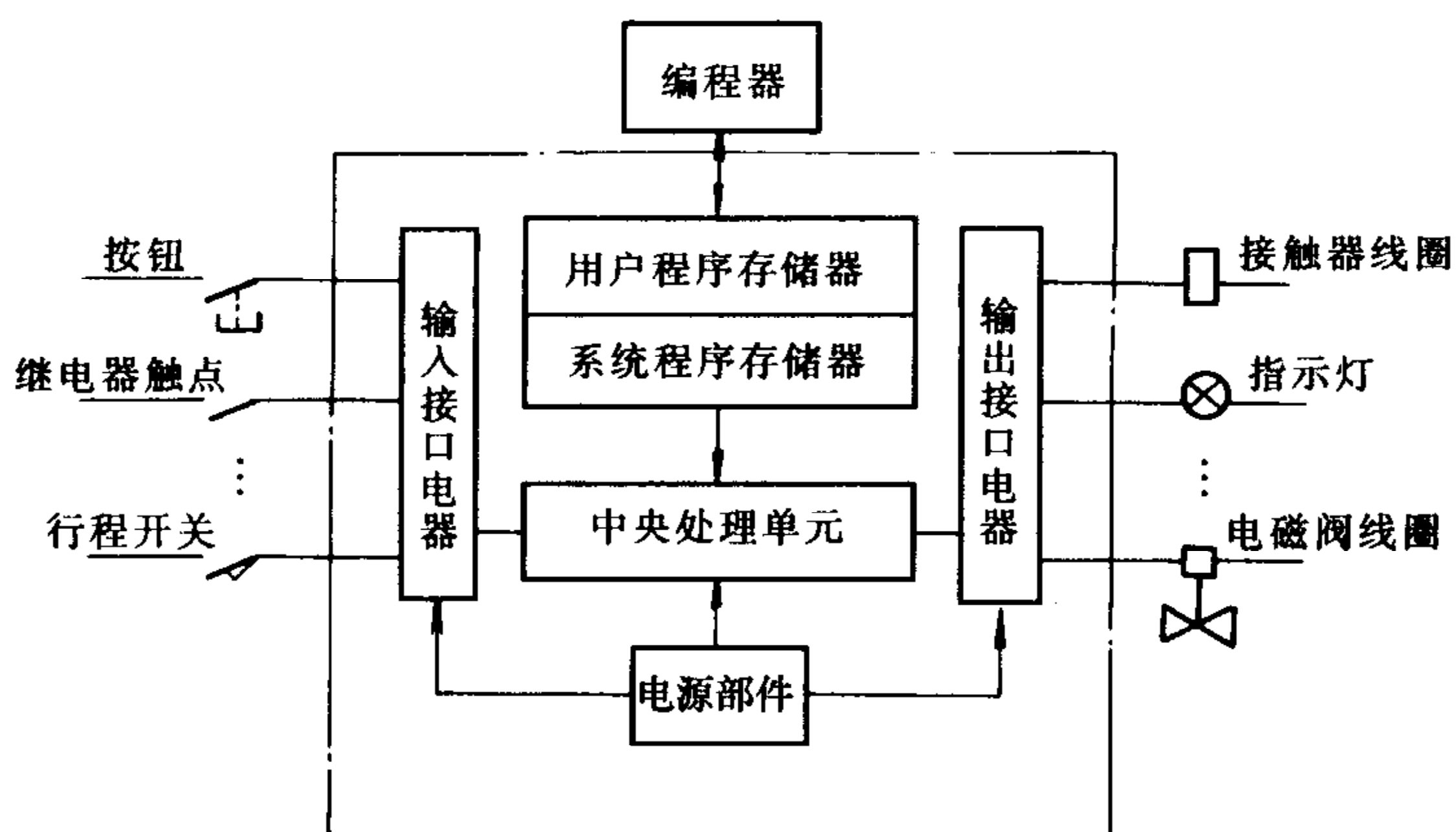


图 1-1 PLC 的组成

(4) 处理中断。有些 PLC 除了顺序执行程序外, 还提供了中断处理功能。CPU 通过接收 I/O 接口或内部的中断请求信号, 进行中断处理。处理完毕后, 再返回原地址, 继续顺序执行。这种控制方式提高了 PLC 的处理速度。

2. 存储器

存储器是具有记忆功能的半导体电路。PLC 的存储器包括系统程序存储器和用户程序存储器。所谓系统程序, 是指控制和完成 PLC 各种功能的程序, 这些程序是由 PLC 的制造厂家用微机的指令系统编写的, 并固化到只读存储器 (ROM) 中; 所谓用户程序, 就是使用者根据工程现场的生产过程和工艺要求编写的控制程序。用户程序由使用者通过编程器输入到 PLC 的读写存储器 (RAM) 中, 允许修改, 由用户启动运行。

3. 输入/输出接口电路

输入/输出接口电路用来连接 PLC 主机与外部设备。为了提高抗干扰能力, 一般的输入、输出接口均有光电隔离装置, 应用最广泛的是由发光二极管和光电三极管组成的光电隔离器。

来自现场的指令元件、检测元件的信号经输入接口进入到 PLC。指令元件的信号是指由用户在控制台、操作台或控制键盘上发出的控制信号, 如启动、停止、转换、调整、急停等; 检测元件的信号是指用检测元件如各种传感器、继电器触点、限位开关、行程开关等对生产过程中的参数, 如压力、流量、温度、速度、位置、行程、电流、电压等进行检测时发出的信号。这些信号有的是开关量, 有的是模拟量, 有的是直流信号, 有的是交流信号, 要根据输入信号的类型选择合适的输入接口。

由 PLC 产生的各种输出控制信号经输出接口去控制和驱动负载, 如指示灯的亮灭, 电动机的启停和正反转, 设备的转动、平移、升降, 阀门的开闭等。与输入接口一样, 输出接口的负载有的是数字量, 有的是模拟量, 要根据负载性质选择合适的输出接口。

根据现场执行部件的不同需要, 输出接口的功率放大环节又分为继电器型、双向硅型和晶体管型三种形式。继电器容量大, 交、直流通用, 响应时间为毫秒级; 可控硅只能带交流负载, 响应时间为微秒级; 晶体管只能带直流负载, 响应速度最快, 为纳秒级。半导体器件的寿命可以说是永久的, 而新型继电器的寿命也可达 10^{10} 次。

4. 编程器

编程器可分为简易编程器和图形编程器两种。图形编程器可直接输入梯形图程序, 操作方便, 功能强, 且可脱机编程, 有液晶显示 (GPC) 的便携式和阴极射线 (CRT) 式两种, 价格一般较高; 简易编程器价格低, 但功能较少, 一般需将梯形图变为指令编码的形式输入, 通常需联机工作。

目前, 很多 PLC 都可以利用微型计算机作为编程工具, 这时应配上相应的编程软件及接口。由于微机的强大功能, 使 PLC 的编程和调试更为方便。

5. 电源部件

电源部件用来将外部供电电源转换成供 PLC 的 CPU、存储器、I/O 接口等电子电路工作所需要的直流电源, 使 PLC 能正常工作。

PLC 的电源部件有很好的稳压措施, 因此对外部电源的要求不高。直流 24V 供电的机型, 允许电压为 16~32V; 交流供电的机型, 允许电压为 85~264V, 频率为 47~53Hz。

一般情况下, 交流供电的 PLC 还为用户提供 24V 直流电源作为输入电源或负载电源。

6. 其他接口电路

除 I/O 接口外,许多 PLC 还配置了其他一些接口,使 PLC 能满足更多的需要。主要有以下几种:

(1) I/O 扩展接口。用于扩展输入、输出点数,当用户的 PLC 系统所需的输入、输出点数超过主机的输入、输出点数时,就要通过 I/O 扩展接口将主机与 I/O 扩展单元连接起来。

(2) 智能 I/O 接口。它是带有独立的微处理器和控制软件的特殊 I/O 接口,可以独立地工作。为适应和满足更加复杂控制功能的需要,PLC 生产厂家均生产了各种不同功能的智能 I/O 接口。

在众多的智能 I/O 接口中,常见的有能满足位置控制需要的位置闭环控制接口模块;有能实现快速 PID 调节闭环控制接口模块;有满足计数频率高达 100MHz 的高速计数器接口模块等。

(3) 通信接口。是专用于数据通信的一种智能模块,主要用于人一机对话或机—机对话。PLC 通过通信接口可以与打印机、监视器等外部设备相连,也可与其他 PLC 或上位计算机相连,构成多机局部网络系统或多级分布式控制系统,或实现管理与控制相结合的综合系统。

通信接口有串行接口和并行接口两种,它们都在专用系统软件的控制下,遵循国际上多种规范的通信协议来工作。用户应根据不同的设备要求选择相应的通信方式,并配置合适的通信接口。

7. PLC 的外部设备

PLC 的生产厂家为用户提供的设备主要有:

(1) 打印机。打印机在用户程序编制阶段用来打印带注解的梯形图程序或指令语句表程序,这些程序对用户的维修及系统的改造是非常有价值的。在系统的实时运行过程中,打印机用来提供运行过程中发生事件的硬记录,如记录系统运行过程中报警的时间和类型等。这对于分析事故原因和系统改进是非常重要的。在日常管理中,打印机可以定时或非定时打印各种生产报表。

(2) 外存储器。PLC 的 CPU 模块内的半导体存储器称为内存,可用来存放系统程序和用户程序。有时将用户程序存储在外置的 EPROM 上,或盒式录音机的磁带上及磁盘驱动器的磁盘中,作为程序备份或改变生产工艺流程时调用。这些存储装置都称为外存。如果 PLC 内存中的程序被破坏或丢失,可再次将存储在外存中的程序重新装入。

在使用可离线开发用户程序的编程器时,外存特别有用。被开发的用户程序一般存储在外存中。

(3) EPROM 写入器。EPROM 写入器用于将用户程序写入 EPROM 中。它提供了一个非易失性的用户程序保存方法。同一个 PLC 系统的各种不同应用场合的用户程序可以分别写入几片 EPROM 中,在改变系统的工作方式时,只需要更换 EPROM 芯片即可。

二、PLC 的一般特点

1. 通用性强

PLC 是一种工业控制计算机,其控制操作功能可以通过软件编制确定,在生产工艺改变或生产线设备更新时,不必改变 PLC 硬件设备,只需改变编程程序就可实现不同的控制

方案,具有良好的通用性。

2. 编程方便

大多数 PLC 可采用类似继电控制电路图形式的“梯形图”进行编程,控制线路清晰直观,稍加培训即可进行编程,受到普遍欢迎。PLC 与个人计算机联成网络或加入到集散控制系统之中时,通过在上位机上用梯形图编程,使编程更容易、更方便。

3. 功能完善

由于计算机有很强的运算处理能力,故以计算机为核心的现代 PLC 不仅有逻辑运算、定时、计数等控制功能,还能完成 A/D 转换、D/A 转换、模拟量处理、高速计数、联网通信等功能,还可以通过上位机进行显示、报警、记录,进行人-机对话,使控制水平大大提高。

4. 扩展灵活

PLC 产品均带有扩展单元,可以方便地适应不同输入/输出点数及不同输入/输出方式的需求。模块式 PLC 的各种功能模块制成插板,可以根据需要灵活配置,从几个输入/输出点的最小系统到几千个点的超大型系统均可轻易实现,扩展灵活,组合方便。

5. 系统构成简单,安装调试容易

当需要组成控制系统时,用简单的编程方法将程序存入存储器内,接上相应的输入、输出信号,便可构成一个完整的控制系统,不需要继电器、转换开关等,它的输出可直接驱动执行机构(负载电流一般可达 2A),中间一般不需要设置转换单元,因此大大简化了硬件的接线,减少设计及施工工作量。同时 PLC 又能事先进行模拟调试,更减少了现场的调试工作量,并且 PLC 的监视功能很强,模块化结构大大减少了维修量。

6. 可靠性高

可编程控制器采用大规模集成电路,可靠性要比有触点的继电接触系统高很多。在其自身的设计中,采用了冗余措施和容错技术。另外,输入/输出采用了屏蔽、隔离、滤波、电源调整与保护等措施,提高了抗工业环境干扰的能力,使 PLC 适合于在工业环境下使用,可靠性大大提高。

由于可编程控制器具备以上特点,它把微型计算机技术与开关量控制技术很好地融合在一起,还把连续量直接数字控制 DDC (Direct Digital Control) 技术加进去并且有与监控计算机联网的功能,因此应用十分广泛,几乎覆盖各个工业领域,正成为新一代机电一体化产品。它与目前应用于工业过程的各种顺序控制设备相比较,具有明显的优势。

三、PLC 的发展趋势

随着 PLC 技术的推广、应用,PLC 将进一步向以下几个方向发展。

1. 标准化

每个生产 PLC 的厂家都有自己的系列化产品,指令兼容,外设易于扩展;但不同厂家生产的 PLC,梯形图、指令及各种配件均有一些差异,不利于 PLC 的普及。因此,使 PLC 像个人计算机(PC)那样互相兼容,是 PLC 发展的重要方向,也是 PLC 研究中的一个艰巨的课题。

2. 小型化

从 PLC 出现以来,小型机的发展速度大大高于中、大型 PLC。随着微电子技术的进一步发展,小型机的功能将进一步完善,PLC 的结构必将更为紧凑,体积更小,使安装和使

用更为方便。

3. 模块化

采用模块式结构，使系统的构成更加灵活、方便。而且小型机也有向模块化发展的趋势（如 CQM1 型 PLC），使 PLC 的使用更简单，扩展更方便，通用性更强。

4. 低成本

随着新型器件的不断涌现，主要部件成本的不断下降，在大幅度提高 PLC 功能的同时，也将大幅度降低 PLC 自身的成本，使 PLC 在经济上能与继电器电路抗衡，真正成为继电器的替代品。

5. 高性能

PLC 的功能将进一步加强，以适应各种控制需要；同时，计算、处理功能的进一步完善，使 PLC 可在一定范围内代替计算机进行管理、监控。智能 I/O 组件也将进一步发展，用来完成各种专门的任务，如位置控制、温度控制、中断控制、PID 调节、远程通信、音响输出等。

最后还应指出：PLC 的普及是机电一体化的必然趋势。也就是说，实现机电一体化，也是 PLC 发展的一个重要方向。

可编程控制器是工业控制中的重要装置，它将促进我国对传统电气设备的改造，缩小设备体积，提高系统性能。现有的控制室和操作站，都有大量继电器、接触器的盘箱柜，运行起来噪声大，故障多，维护工作量大，如果这些盘箱柜中的继电器逻辑控制线路用 PLC 代替，功率驱动部分用无触点开关代替，可以想象：此时控制室或操作站将是无声的，而且故障少，维护也容易。工艺改变时，也只要修改 PLC 用户程序或参数，就可很容易地改变其控制方式和参数，可以取得很好的效益。今后 PLC 技术将会在我国取得越来越广泛的应用。

第二节 常用控制电器

掌握常用控制电器的原理及使用方法，是学习和应用 PLC 的重要基础。常用控制电器种类很多，按其工作电压可分为低压电器和高压电器。所谓低压电器是指它的工作电压低于 1200V 的电器。常用控制电器按其功能作用分为接触器、继电器、按钮、开关等。

一、接触器

接触器是利用电磁吸力的作用使主触点接通或断开电动机电路或其他负载电路的控制电器。它具有比工作电流大数倍的接通和分断能力，用它可以实现频繁的远距离操作。接触器最主要的用途是控制电动机的启动、正反转、制动和调速等。因此，它是电力拖动控制系统中最重要也是最常用的控制电器。

接触器按主触点流过电流的性质分为交流接触器和直流接触器。

1. 接触器的结构及工作原理

电磁式接触器包括以下几部分，如图 1-2

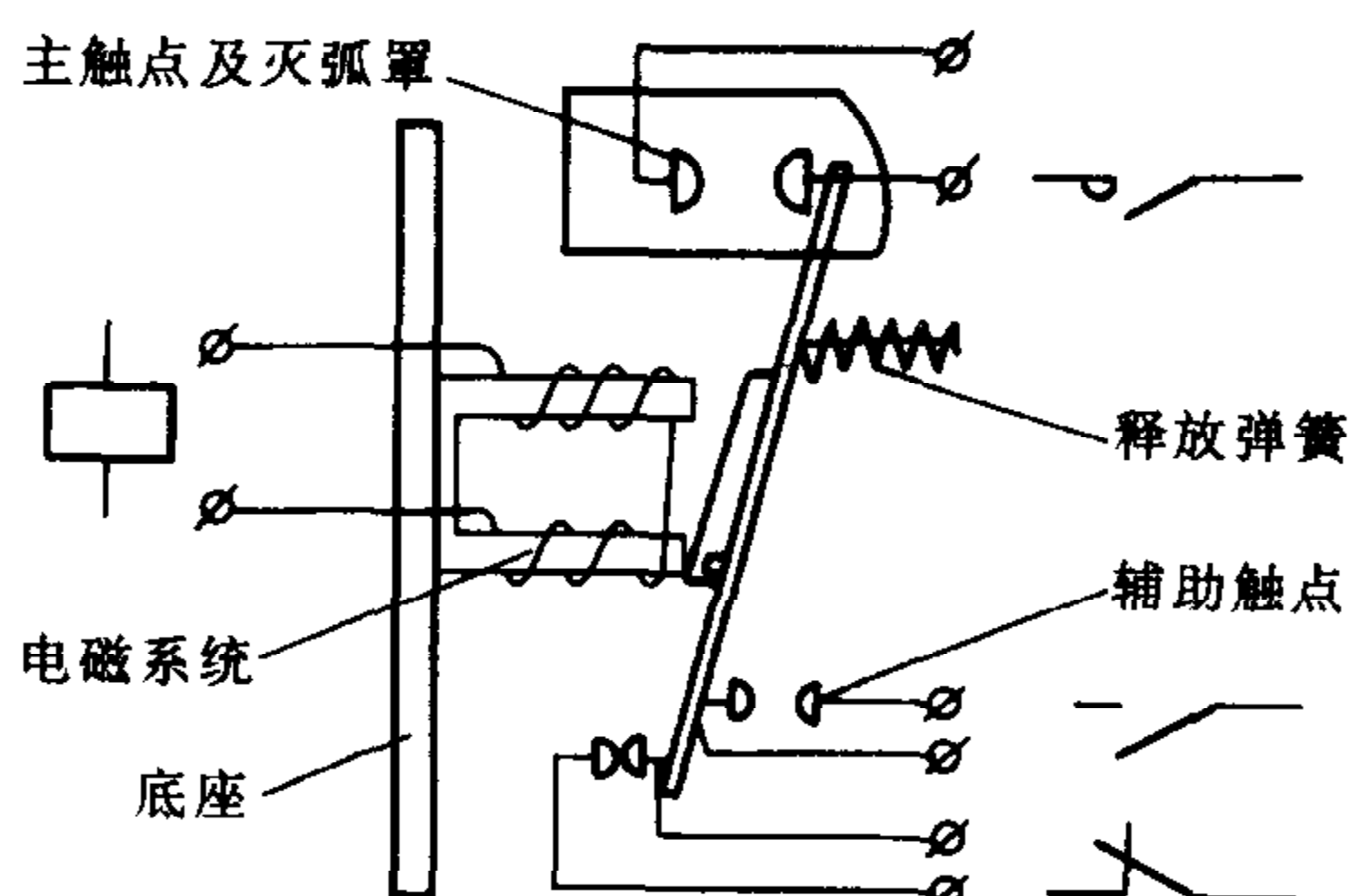


图 1-2 接触器工作原理

所示。

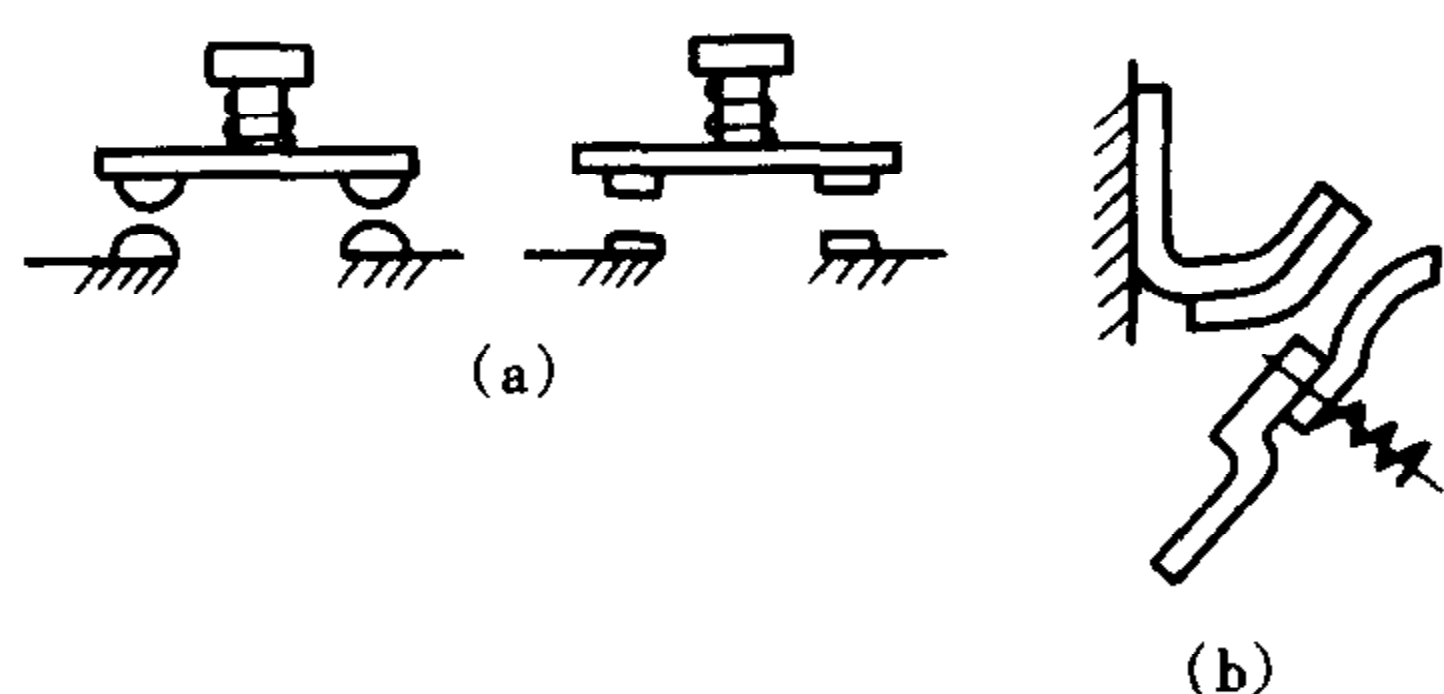


图 1-3 触点结构型式
(a) 桥式触点; (b) 指型触点

(1) 触点。触点有主触点和辅助触点之分。主触点尺寸较大, 并附有灭弧装置, 接在主电路, 用于控制主电路通断; 辅助触点用于控制辅助电路的通断, 通过较小的电流。

主触点是用来接通和分断被控电路。触点由动触点与静触点构成, 其结构型式主要有桥式触点和指形触点, 如图 1-3 所示。

为了使动、静触点接触紧密, 减少接触电阻, 在触点上装有弹簧以增加触点间的压力。桥式触点有两个断口, 增加了断弧距离, 利用触点回路产生的电动力拉长电弧, 使电弧易于熄灭。指形触点在动、静触点的接触过程中有一个滚动过程, 可使触点表面的氧化层脱落, 所以接触电阻小, 可以通过较大的电流。

触点按其动作状态可分为常开触点和常闭触点。常开触点是指在其线圈不通电状态下, 该触点是断开状态, 当其线圈通电时, 该触点就闭合。故常开触点又称动合触点。另一种是常闭触点, 指线圈在不通电状态是闭合的, 当其线圈通电时, 该触点断开。常闭触点又称动断触点。

(2) 灭弧装置。当接触器触点切断电路时, 如果电路中电压超过 10~12V 或电流超过 100mA, 此时两个触点之间就将产生火花, 形成气体放电现象, 通常称为电弧。所谓气体放电, 就是气体中大量带电质点作定向运动。当触点分离瞬间触点间形成很强的电场强度, 就会引起冲撞电离, 甚至产生热电子发射和热电离, 产生电子流, 从而形成电弧。电弧可能灼伤触点表面, 甚至使触点熔焊而不能正常工作。

为减少电弧的危害, 常采用灭弧装置, 使电弧迅速熄灭。在直流接触器中常在主触点电路中串入吹弧线圈, 形成磁吹式灭弧装置; 在交流接触器中常采用桥式触点的电动力灭弧及灭弧罩、灭弧栅、多点灭弧等。

(3) 电磁机构。电磁机构由线圈、铁心和衔铁组成。

交流电磁铁在铁心中存在磁滞和涡流损耗(铁损), 引起铁心发热。为了减少磁滞和涡流损耗, 铁心用硅钢片叠铆而成; 直流电磁铁线圈通直流电, 无磁滞和涡流损耗, 铁心不发热, 可以用整块软钢或工程纯铁制成。

交流线圈匝数少、电阻小(靠感抗限制线圈电流), 铜损小, 为增加铁心散热面积, 线圈制成短而粗的形状, 且带有骨架。直流线圈匝数多、电阻大(靠电阻限流), 铜损大, 线圈本身发热, 因此制成长而薄的形状, 且不带骨架(线圈与铁心直接接触), 利于线圈散热。电磁机构的吸力特性可以用下式表示

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S \quad (1-1)$$

式中 B ——气隙磁感应强度, T;

S ——气隙截面积, m^2 。

对于直流电磁铁来说, 线圈电流 I 不变, 则有

$$\Phi = \frac{NI}{R_c} \propto \frac{1}{R_c} \quad (1-2)$$

式中 R_c ——闭合磁路磁阻, 等于铁心磁阻与气隙磁阻 R_0 之和。

而 $R_c \approx R_0 \propto \delta$ ，其中， δ 为气隙长度。因此有

$$F \propto \Phi^2 \propto \frac{1}{R_c^2} \propto \frac{1}{\delta^2}$$

可得到如下结论：

- 1) 直流电磁铁电磁吸力与气隙的平方成反比；
- 2) 直流电磁铁线圈电流 I 与气隙 δ 无关。

可见，直流电磁机构适于频繁操作。

对于交流电磁铁来说，由于 $B = B_m \sin \omega t$ ，于是

$$F = \frac{1}{2} F_m - \frac{1}{2} F_m \cos 2\omega t = F_0 (1 - \cos 2\omega t) \quad (1-3)$$

式中 F_m ——电磁吸力最大值， $F_m = 4 \times 10^5 B_m^2 S$ ；

F_0 ——电磁吸力平均值， $F_0 = \frac{1}{2} F_m$ 。

另外，对于具有电压线圈的交流电磁铁，当外加电压不变时，交流吸引线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗，电阻可忽略。

对于交流电磁铁有如下结论：

- 1) F 随时间周期变化，且有过零点，将产生电磁噪声；
- 2) 交流电磁铁线圈电流 I 与气隙 δ 成正比。

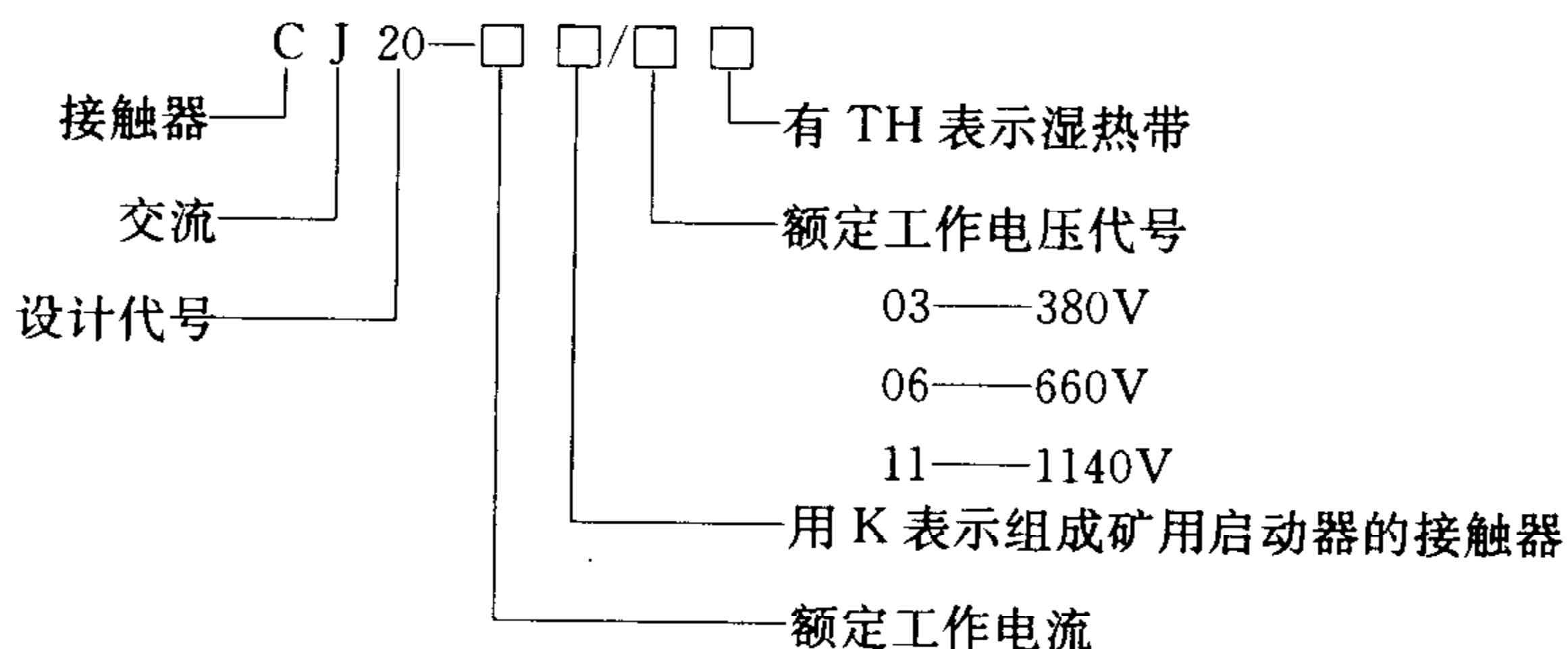
为了抑制交流电磁铁的电磁噪声，可在其铁心端部 $2/3$ 处开一个槽，嵌入短路铜环，由于环内和环外通过的磁通相差一个电角度，且幅值也不相同，各自产生的吸力叠加后在任何瞬间合力均不为零，从而可以消除噪声。

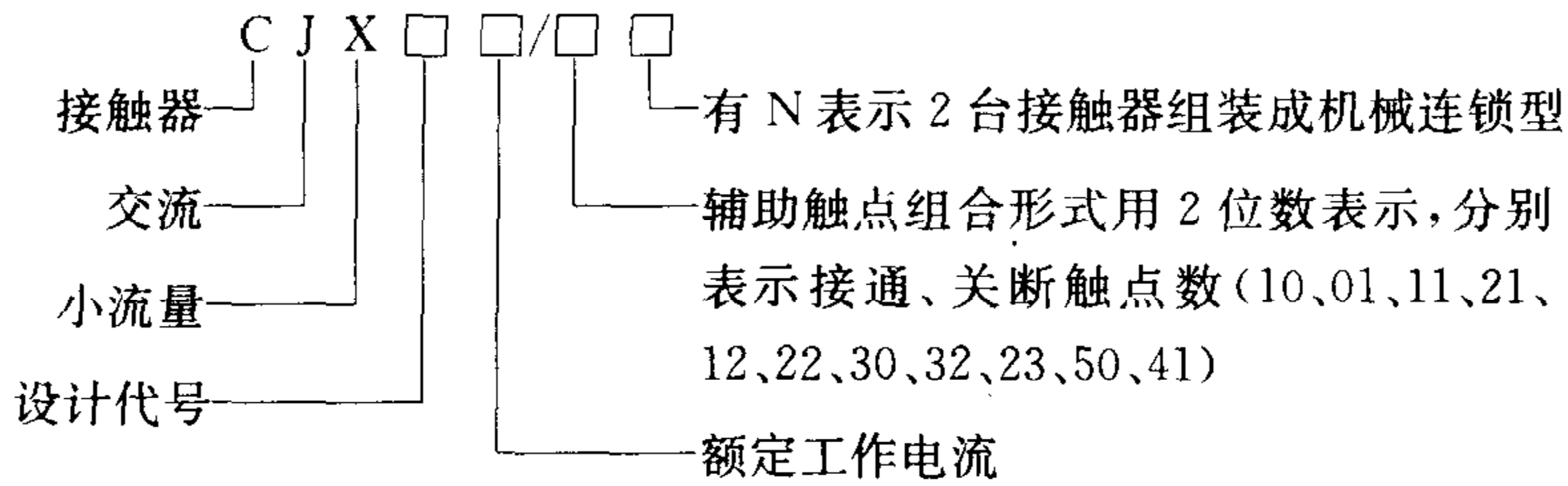
交流并联激磁的电磁铁，线圈电流在电磁铁的工作过程中，随工作气隙的增大而增大，最大气隙（打开位置）时线圈的启动电流常为闭合位置的工作电流的 $7 \sim 8$ 倍，甚至十几倍。当衔铁被卡住或频繁操作时，会造成线圈过热而烧毁。

2. 接触器的型号

目前我国常用交流接触器主要有 CJ20、CJX1、CFX2、CJ12 和 CJ10 等系列。引进产品应用较多的有：引进德国 BBC 公司制造技术生产的 B 系列；引进德国 SIEMENS 公司的 3TB 系列；引进法国 TE 公司的 LC1 系列等。

CJ20 接触器型号的含义如下：





CJ10、CJ12 系列是早期全国统一设计的系列产品。CJ20 系列交流接触器是全国统一设计的新型接触器，主要适用于交流 50Hz，电压 660V 及以下、电流 630A 及以下的电气线路中，结构型式为直动式、立体布置、双断点结构。CJ20-63 型及以上的交流接触器采用压铸铝底座，

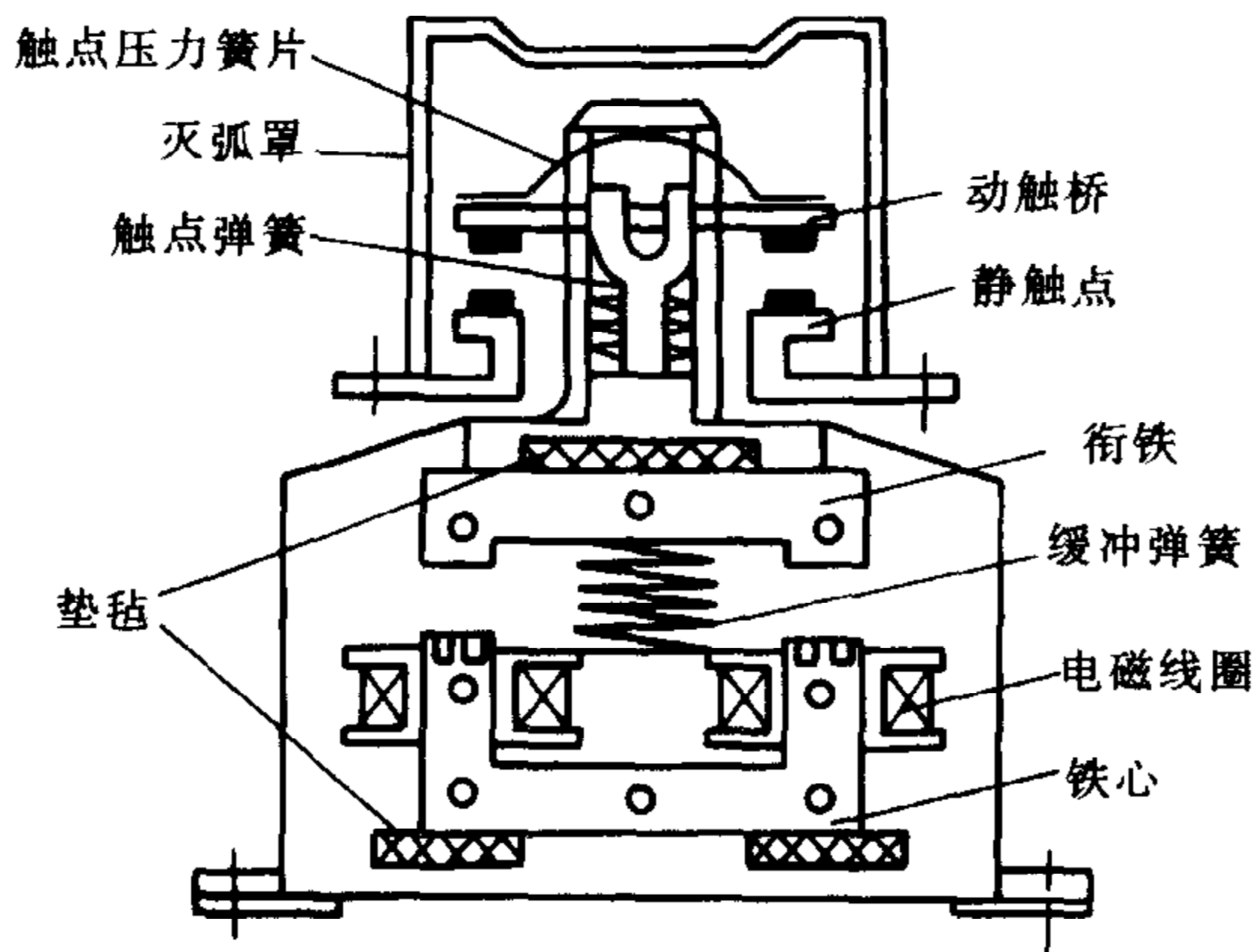


图 1-4 CJ20-63 型交流接触器的结构示意图

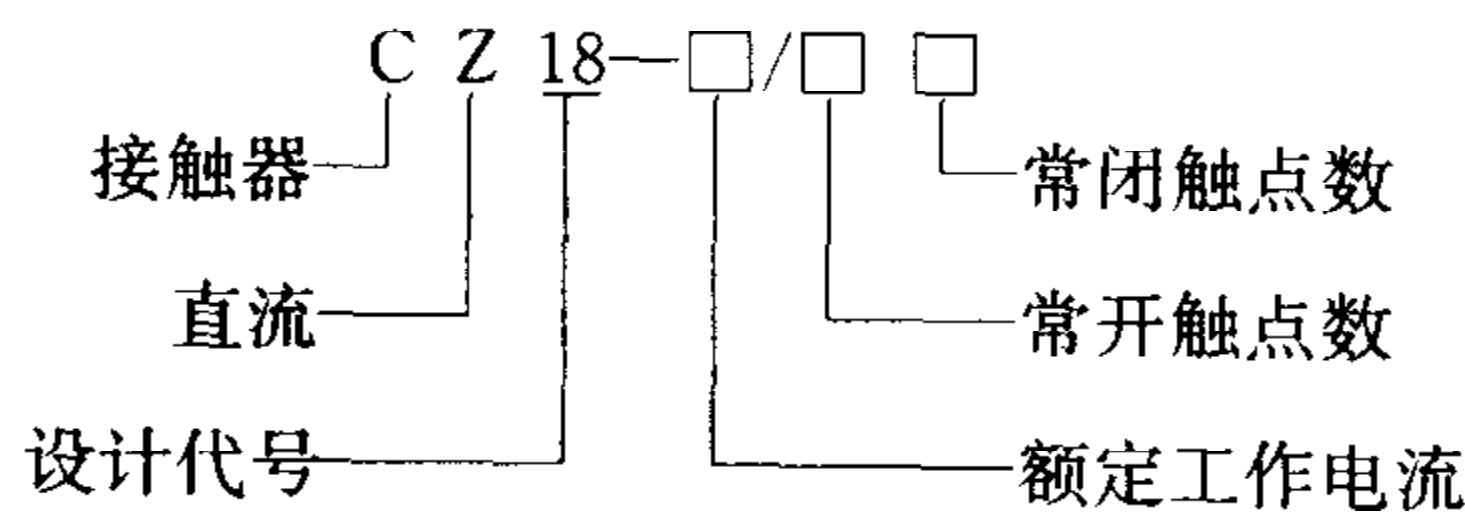
并以增强耐弧塑料底板和高强度陶瓷灭弧罩组成三段式结构。全系列接触器结构紧凑，便于检修和更换线圈；触点系统的动触桥为船形结构，因而具有较高的强度和较大的热容量；静触点选用型材并配以铁质引弧角，使之既具有形状的稳定性和便于电弧向外运动；触点材料选用银氧化镉，具有较高的抗熔焊和耐电磨损的性能；灭弧罩分纵缝式和栅片式两种；采用双线圈的 U 形铁心，气隙置于静铁心底部中间位置，使之释放可靠，辅助触点在主触点的两侧，采用无色透明聚碳酸酯组成的封闭式结构，以防灰尘侵入，

确保接触良好。图 1-4 为 CJ20-63 型交流接触器的结构图。CJ20 接触器的吸引线圈电压有 36、127、220、380V 四个等级，吸合电压为 $(80\% \sim 110\%) U_N$ ，当电压小于 $75\% U_N$ 时释放。

B 系列交流接触器是我国接触器主要生产厂引进德国 BBC 公司技术生产的。其特点是，采用倒装式结构，即磁系统在前面而触点系统紧靠安装面，使吸引线圈更换方便，并缩短了主触点接线；通用件和附件多，接触器的零部件大都通用，可以配装气囊式继电器、机械连锁、自锁继电器等；具有可拆卸的触点，其数量可根据需要配置，最多可配置 8 对触点。目前国产的 CJX1、CJX2 系列小容量交流接触器也具有上述特点。

国内常用的直流接触器有 CZ18、CZ21、CZ22、CZ10、CZ2 等系列，CZ18 系列直流接触器是取代 CZ0 系列的新产品。

直流接触器型号含义如下：



接触器的图形符号和文字符号如图 1-5 所示。

3. 接触器的主要技术

(1) 额定电压：接触器铭牌标注的额定电压是指主触点上的额定电压。常见的电压等