

上海市职工高等学校试用教材

机床电气控制

张 用 杨定亚 编著

02.34

上海科学技术文献出版社

前 言

根据教育部工农教育局一九八一年九月在职工高等工业学校机械制造工艺和设备专业设置机床电气控制系统专业课程的规定,上海市高教局委托上海市业余工业大学负责编写这门专业课的教材。根据目前机械制造专业的现状,确定本教材的名称为《机床电气控制》。

《机床电气控制》一书的内容包括简单机床控制电路的分析和专用机床、组合机床控制电路的设计方法以及电路中元器件的选择和设置方法。本教材结合实例介绍电路的逻辑函数表达式和逻辑电路设计法。另有专章介绍顺序控制器的结构、设计和使用。书中每章后都附有适量习题,读者可根据需要全做或选做一部分。

以本书为教材,要求通过四十教时的课堂讲授和十教时左右的实验,使学生具备一定的识读机械设备电路图和设计一般机床控制电路的能力。以便使他们在毕业设计中能为自己所设计的机械配置控制电路,并为以后在实际工作中设计控制电路打下基础。

本书第一章由杨定亚执笔,第六章由张用、杨定亚合写,其余章节为张用所撰。在编写过程中曾得到宋燮耿工程师的热情帮助,谨在此致谢。编者限于学识,必有疏漏不妥之处,恳切希望使用本书的同志不吝指正。

编 者

一九八二年六月

目 录

第一章 简单机床控制电路分析	1
1-1 机床电气控制概述	1
1-2 电气原理图和电器元件	2
1-3 机床电控的基本线路	15
1-4 控制电路的经验设计	28
习题一	34
第二章 电路的逻辑函数式	40
2-1 逻辑代数在开关电路中的应用	40
2-2 电路的逻辑函数式	45
2-3 逻辑函数的覆盖化简法	51
2-4 并接电路的逻辑函数式	58
习题二	67
第三章 组合电路和时序电路	71
3-1 组合电路和时序电路的特征	71
3-2 时序电路中的术语	74
3-3 记忆元件	79
3-4 程序区分原则	81
3-5 输出方式	84
习题三	84
第四章 组合步进式电路设计	87
4-1 菱形结构继电器组设置法	87
4-2 电路的竞争	95

4-3 链形结构继电器组设置法	101
4-4 组合步进电路的其它形式	106
4-5 跳序和循环	111
习题四	117
第五章 选出程序电路	119
5-1 检测信号的功能	119
5-2 缩编不可区分程序	122
5-3 拟菱结构继电器组设置法	124
5-4 继电器和执行元件逻辑函数式	126
5-5 时间继电器的应用	138
习题五	145
第六章 无触点控制电路	148
6-1 概述	148
6-2 门电路与触发器	149
6-3 触发器组合步进电路	156
6-4 触发器选出程序电路	168
6-5 触发器电路的输入输出接口	174
习题六	184
第七章 顺序控制器	188
7-1 顺序控制与顺序控制器	188
7-2 基本逻辑型顺序控制器	189
7-3 步进型顺序控制器	197
7-4 普及型顺序控制器(SKQ-P)	201
习题七	210
参考文献	210

第一章 简单机床控制电路分析

继电器控制电路由控制电器和电气执行元件两部分构成。它的电原理图不仅表达了电路的工作原理，也指明了电器原件的性能和规格。

1-1 机床电气控制概述

一般的金属切削机床都由动力部分、传动装置和工作部分等三者组成(如图 1-1 所示)。动力部分,一般指交、直流电动机。工作部分,是指机床上作金属切削的机械执行部分。例如,车床上的主轴和刀架、铣床上的主轴、升降台和工作台等等。机床的工作部分由动力部分驱动,二者之间又由传动部分来联系。传动装置有机械传动和液压传动等方式。动力部分按工艺要求

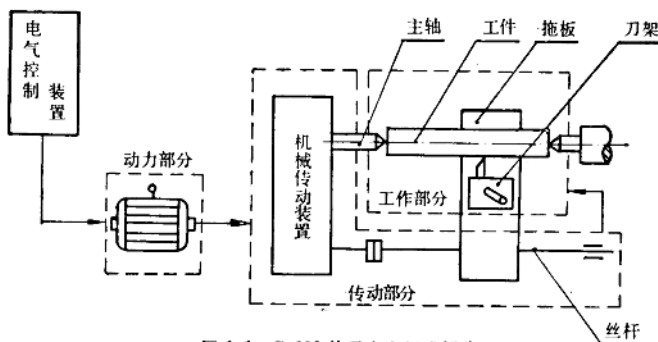


图 1-1 C-620 普通车床组成部分

进行的动作则由电气控制装置操纵。

机械传动的机床大都是以三相交流异步电动机为原动机。所以,电控的内容就是使电动机启动、运行(包括根据各种要求进行正反转、变速等)和停止(包括制动)。此外,电控电路还应该包括各种保护环节。有一些机床的传动部分采用了液压、电磁铁或电磁离合器等传动装置,因此电控对象除电机外,还包括对电磁元件的控制。总之,对原动机和传动部分进行了必要的电气控制,才能使机床的工作部分按操作指令进行工作。

由于机床功能不一,所以对控制方式的要求也有所不同。对于一般的普通机床和简单的专用机床来说,多数采用继电器控制电路。但这种控制方式的工作寿命不长,通用性不强,而且还受当时的电路经验设计的约束,使其一时难以适应复杂的和程序可变的控制对象的需求。于是,自六十年代之后,随着工业及电子技术的发展,出现了用继电器或触发器作记忆元件的顺序控制器。这种控制方法具有通用性强,编制程序容易及价格低廉等一系列优点。目前已被应用于机械手、组合机床及自动线的电气控制上。七十年代中期,我国也开始研究顺控技术,目前已能批量生产KSJ系列顺控器。随着科学技术和生产的发展,对生产机械的精度、复杂程度也不断提出新的要求。六十年代出现的数控机床使用了数字逻辑运算装置(如目前已普遍使用的线切割机就是很好的例子)使机床的自动化水平和加工精度有很大的提高。自从电子计算机技术进入自动控制领域以来,机床电控又进入了崭新的发展阶段。

1-2 电气原理图和电器元件

一般所谓机床的继电-接触控制就是一种以继电器、接触器

和各种开关器件组成的有触点控制方式。并用了统一的图形符号绘制电气工作原理图。图 1-2 就是 C-1625 普通车床的电气原理图。

图中主电路用粗线条表示。它是和动力部分直接相连的电路部分。控制电路则用细线条表示。在电气原理图中,所有的继电器、接触器的线圈和触点的文字符号分别用粗体大写字母和一般大写字母来表示。电磁元件的线圈也称为执行机构。例如,用 **J** 代表继电器的线圈,而用 J 、 $\bar{J}$ 分别表示该继电器常开和常闭触点。实际上,线圈和触点都集中于同一电器元件里,但在原理图中,它们却是分散在各个支路里的。在原理图中所画各种电器的执行机构和触点均处于没有通电或没有发生机械动

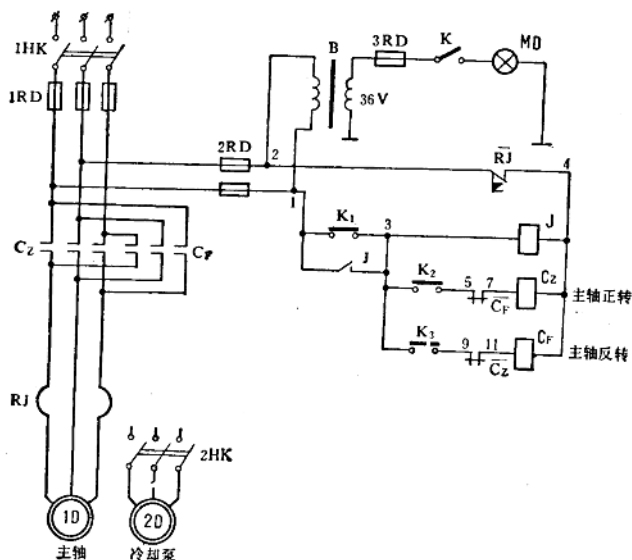


图 1-2 C-1625 普通机床电气原理图

作的初始状态。在初始状态下,某一触点是断开的,就称该触点为常开触点(或动合触点)。反之,在初始状态下是闭合的,就称该触点为常闭触点(或动断触点)。顺便提一下,“触点”也可称为“接点”。

图 1-2 中的 **K** 是一个三位六路转换开关,开关处于中间位置时,只有 K_1 触点(1-3 支路)接通。当开关旋至右边位置时,使 K_2 (3-5 支路)接通。而当开关旋至左边位置时, K_3 (3-9 支路)接通。机床运转情况如下:合上 1HK, 接通三相交流电源;将转换开关 **K** 旋至“中间”位置,即使 K_1 (1-3 支路)接通。中间继电器 **J** 通电,其常开触点 **J** 闭合构成自保环节。作车削加工时须再把转换开关 **K** 旋至右位,使 K_2 (3-5 支路)接通,正转接触器 C_z 通电,使得 1D 得电, 主轴正转。车制螺纹时,要求主轴能正反转,这时只须在 K_1 接通 **J** 得电自保之后,将开关 **K** 旋至“反转”位置使 K_3 (3-9 支路)接通,主轴反转接触器 C_F 通电之后使主轴电机反转。机床还兼有由继电器 **J** 构成的欠压保护电路。欠压保护,是指操作过程中突然切断的电源又重新恢复供电时,能保证机床不会自行启动而避免发生意外的安全装置。其工作原理如下:电机正转或反转(即 C_z 或 C_F 通电)的先决条件是先通过 K_1 的闭合使 **J** 通电并自保。设在电机正转时突然断电,这时触点 K_2 是接通的,而 K_1 和 K_3 却处在断开位置。当恢复供电时,因 K_1 (1-3 支路)断开, **J** 已经失电,即使 K_2 接通, C_z 也无法通电,致使电机不会因突然通电而旋转。在切削过程中,冷却泵用 2HK 直接接通电源来驱动 2D。机床设有由变压器 **B** 供电的 36 伏低压照明灯 **MD**。

虽然一个控制电路使用的电气元件种类繁多,但大体可概括为三类:1)(电气)执行元件。如电动机等直接驱动机器运转的元件。图 1-2 中的电动机由接触器 C_z 及 C_F 控制, C_z 、 C_F 的

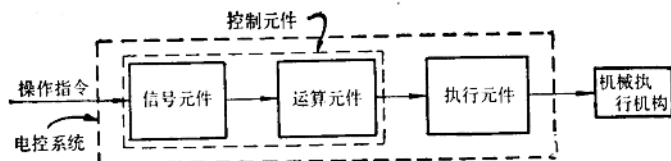


图 1-3 继电-接触器控制单循环框图

状态(通电与断电)直接对应电动机的运行和停止。所以也把 C_z 、 C_F 称为执行元件；2) 信号元件。图 1-2 中转换开关 K 、 RJ 即属信号元件。它们的功能是把与控制电路运转有关的其它物理量(如机械位移、温度等)转换为电信号。此外，各种按钮、行程开关以及其它提供开关信号的电器也都归于这一类。又因为开关信号都来自安装在工作现场的各种按钮和行程开关，因此也称之为“(现场)检测信号”，而这些电器元件则被称为开关元件；3) 运算元件(指有记忆功能的电器元件)。在图 1-2 中，若要 C_z 得电，就要求 J 的常开触点 J ，开关 K_2 以及常闭触点 $\bar{C}_F$ 都处于接通状态。中间继电器常开触点 J 的作用是让 K_2 以及接触器的常闭触点 $\bar{C}_F$ 组合起来构成决定 C_z 是否能通电的条件。因此称中间继电器 J 为运算元件[表明 J “记住”了转换开关 K 曾经旋在中间位置使 K_1 触点(1-3 支路)接通的事件]。继电器也是一种电动开关，因此常把信号元件和运算元件统称为控制元件。继电-接触控制方式可归纳为图 1-3 所示的框图。

电气原理图的任务就是要直观地表示出以上框图的全部细节，以便从中看出所有控制元件和执行元件通电的条件及运行情况。

(一) 执行元件

除电动机、照明灯 MD 和接触器之外，常用的执行元件还

包括电磁铁、电磁阀及电磁离合器等。现对它们作简要的介绍：

1. 电磁铁

电磁铁由励磁线圈、铁芯和衔铁三个基本部分构成。线圈通电后产生磁场，因此称之为励磁线圈，通入的电流称为励磁电流。用直流电励磁的称为直流电磁铁，励磁电流为交流电者则称为交流电磁铁。直流电磁铁的铁芯根据不同的剩磁要求选用整块的铸钢或工程纯铁制成。交流电磁铁的铁芯则用相互绝缘的硅钢片迭成。因为衔铁与机械装置相连接，所以，线圈通电衔铁被吸合时就带动机械装置完成一定的动作。这里须要指出：电磁工作台和起重电磁铁是以被加工的工件或被运输的重物为衔铁的。

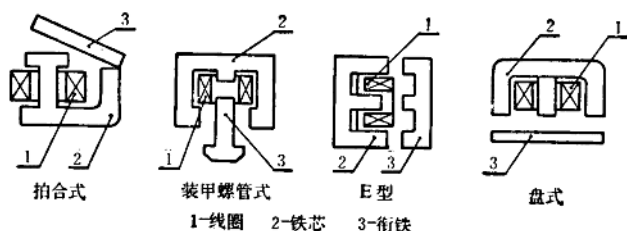


图 1-4 电磁铁的结构

在控制电路中，电磁铁主要应用于两个方面。一是用作控制元件，如：电动机抱闸制动电磁铁和(X 52 K)立式铣床变速进给机构中由常速到快速变换的电磁铁等。二是用于电磁牵引工作台，它起着夹具的作用。

(1) 电磁抱闸制动 图 1-5 中，制动轮与电机同轴安装。当电机通电启动时，电磁铁 **DT** 线圈也得电，并将衔铁吸上使弹簧拉紧，同时联动机构把压紧在制动轮上的抱闸提起，使制动轮可

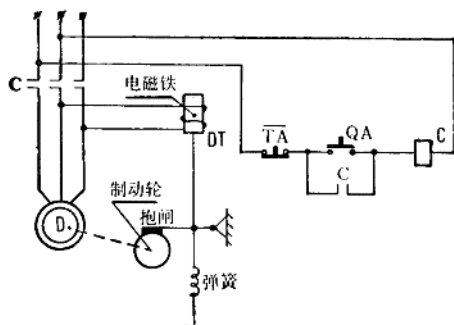


图 1-5 电磁抱闸制动原理

以和电机一起正转运行。当电机电源切断时，电磁铁 **DT** 线圈断电，弹簧复位，制动闸重新紧压制动轮，致使与之同轴的电机迅速制动。

(2) 电磁工作台 电磁工作台又叫电磁卡盘，是一种夹具。平面磨床上用得最多。它的结构如图 1-6 所示：电磁平台的外形为一钢质箱体，箱内装有一排凸起的铁芯。铁芯上绕着励磁线圈。上表面为钢质有孔的工作台面

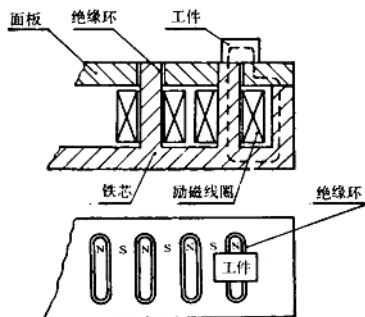


图 1-6 电磁工作台结构

板，铁芯嵌入它长圆形孔内并与板面平齐。孔与铁芯之间的间隙内嵌入铅锡合金；从而把面板划分为许多极性不同的 **N** 区和 **S** 区。当通入直流励磁电流后，磁通 Φ 由铁芯进入面板的 **N** 区，穿过被加工的工件而进入 **S** 区，然后由箱体外壳再返回铁芯，形成如图 1-6 虚线所示的磁路。于是，被加工的工件就被紧

紧吸住在面板上。切断励磁电流后,由于剩磁的影响,工件将仍被吸在工作台上。要取下工件必须在励磁线圈中通入脉动电流去磁。电磁工作台不但简化了夹具,而且还具有装卸工件迅速、加工精度较高等一系列优点。只要机床的切削力不过份大,一般都可加以采用。麻烦之处在于常需对加工后的产品作去磁处理。电磁工作台的额定电压有 24 伏、40 伏、110 伏和 220 伏等级别,吸力在 $2\sim 13$ 公斤/厘米² 左右。

选用交、直流电磁铁需注意的一些问题:

选用电磁铁时,应考虑电压类型(交流或直流)、额定行程、额定吸力及额定电压等技术参数。

直流电磁铁的特点一是励磁电流的大小仅取决于励磁线圈两端的电压及本身的电阻,而与衔铁位置无关;二是在衔铁启动时直流电磁铁的吸力最小,而在吸合时最大。因此,吸力与衔铁位置有关。直流电磁铁的这一优点表现在一旦机械装置被卡住,衔铁无法被铁芯吸动时,励磁电流不会因此而增加,保证了线圈不因机械装置失灵而烧毁。缺点是在启动时,因衔铁位置较远吸力较小。

交流电磁铁的特点一是励磁电流与衔铁位置有关。当衔铁处于启动位置时,电流最大;当衔铁被吸合后,电流就降到额定值;二是吸力与衔铁位置无关。衔铁处于起始位置与处于吸合位置时吸力相同。因此交流电磁铁的优点是启动力大,而缺点是机械装置被卡住而衔铁无法被吸合时,励磁电流将大大超过额定电流。时间一长,会使线圈烧毁。因此,在实际应用中要根据机械设计上的特点选择交流或直流电磁铁。此外,还必须考虑:1) 衔铁在启动时与铁芯的距离,即额定行程是否合适;2) 衔铁处于额定行程时的吸力,即额定吸力必须大于机械装置所需的起始拖动力;3) 额定电压(励磁线圈两端的电压)应尽量与机床

电控系统所用电压相符。

在机床上常用的国产电磁铁有：

直流：MQZ1 系列；

交流：MOW 系列微型电磁铁，MO1 系列牵引电磁铁，MZD1 系列制动电磁铁（常与 TJ_2 系列的制动器配套）。]

2. 电磁阀

电磁阀由阀体和电磁铁组成，在液压系统中用来控制液流方向。阀门的开关由电磁铁来操纵，因此，控制电磁铁就是控制电磁阀。电磁阀的结构性能，可用它的位置数和通路数来表示。常用的电磁阀有二位二通、二位三通、二位四通、三位四通等多种规格。

二位四通阀的原理如图 1-7 所示。电磁铁线圈通电时吸动衔铁，衔铁克服弹簧阻力而推动滑阀，这时油口 1 与 3 通，2 与 4 通，如图 1-7(a) 所示。电磁铁线圈断电后，弹簧使滑阀与衔铁回到右边位置，油口 1 与 2 相通，3 与 4 相通，见图 1-7(b)。这种弹簧复位式二位四通电磁阀，仅由一只电磁铁控制。还有带双电磁铁的二位四通电磁阀，它的两个电磁铁中只能有一个电磁铁通电。电磁铁断电后滑阀仍保持在电磁铁原先通电时的位置，直至另一端的电磁铁通电它才又一次产生位移。其它如三位四通电磁阀等的电控原理与二位四通电磁阀相类似，同样是用电磁铁来控制油路的通断。

在液压系统中，电磁阀的符号如图 1-8 所示。其中，图(a)为二位二通电磁阀；(b)为二位三通电磁阀；(c)为弹簧复位的二位四通电磁阀；(d)为双电磁铁的二位四通电磁阀；(e)为三位四通电磁阀。图中方框里油口之间的箭头表示此二油口互相连通。例如，图 1-8(e) 三位四通电磁阀左边方框表示左端电磁铁通电时电磁阀各油口的互相连通情况（1 与 2 通，3 与 4 通）。右

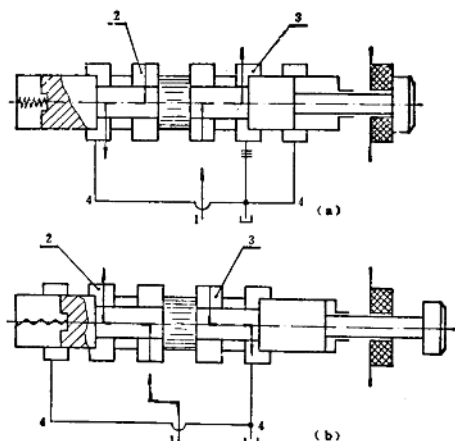


图 1-7 二位四通电磁阀的工作原理

(a) 得电吸动 (b) 失电复位

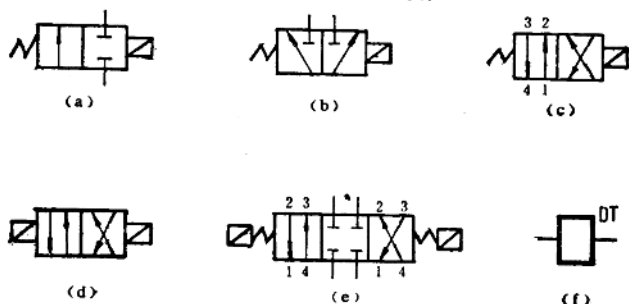


图 1-8 电磁阀图形符号

边方框表示右端电磁铁通电时各油口互相连通的情况(1与3通, 2与4通)。中间的方框为两端电磁铁均不通电时油口不通的情况。图中的(f)为电磁阀的电磁线圈的图形符号。

电磁阀也有交、直流之分, 在设计电路时应考虑其供电方式。

3. 电磁离合器

电磁离合器也叫电磁联轴器,有爪式、摩擦片式等结构。这里仅介绍后者。摩擦片式离合器用表面摩擦方式来传递或隔断两根轴的转矩。图 1-9(a)是单片摩擦片式电磁离合器的结构示意图。在电磁离合器没有动作之前,主动轴由原动机带动旋转,从动轴则不转动。当励磁线圈通直流电后,电流经正电刷、集流环流入线圈并由另一集流环从负电刷返回电源。电磁吸力吸引从动轴上的盘形衔铁,克服弹簧的阻力而向主动轴的磁轭靠拢并压紧在摩擦片环上,主动轴的转矩就通过摩擦片环传递到从动轴上。当需要从动轴与主动轴脱离时,只要切断励磁电流,从动轴上的盘形衔铁受弹簧力的作用而与主动轴的磁轭分开。单片摩擦片式电磁离合器所能传递的转矩较小。实用中大多采用结构复杂一些的多片摩擦片式电磁离合器,其原理仍与单片式相同。目前国产的多片摩擦片式电磁离合器有 DLMO, DLM2, DLM3, DLM4 以及 DLM5 等系列产品。它的工作频率在 20 次/分以下。

电磁离合器的符号如图 1-9(b)所示。电磁离合器除用于传动外也常用于制动,例如 X 63 W 铣床的主轴上装有制动电磁离合器。在制动时,靠电磁离合器的作用使主轴与电机脱离,同时又将主轴压紧在机身上从而使主轴迅速制动。调整电磁离合器的励磁电流大小就可改变制动力的。电磁离合器应由直流电源供电,线路如图 1-9(c)所示。图中的电容 C 起加速吸合的作用。

在控制电路中,电动机、电磁铁(电磁阀)、电磁离合器是常用的执行元件。但这些执行元件一般是通过接触器(或继电器)的触头接通电源。当接触器通电时,与其相联系的执行元件也通电,两者的状态完全一致。所以,在电路分析中为了方便,常把

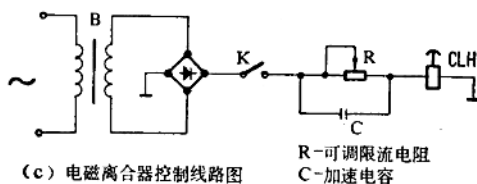
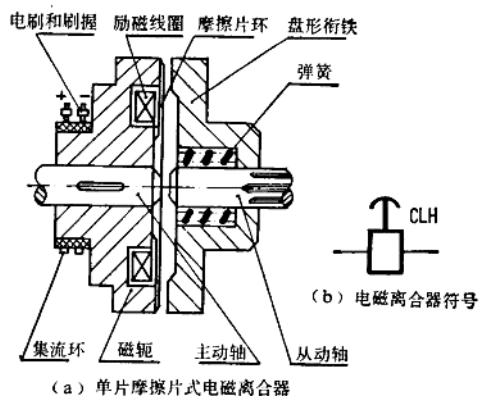


图 1-9 单片摩擦片式电磁离合器电控原理

这些为驱动执行元件而设置的接触器(或继电器)称为执行元件,即用它们来代表所对应的电机、电磁铁等执行元件。

(二)控制元件

1. 信号元件

信号元件的功能是把现场中的各种物理量(如机械位移、压力、温度等)转换为电信号。这类元件包括按钮开关、行程开关和压力继电器、热继电器等等。

(1) 按钮开关和行程开关 按钮开关是一种手动发信装置。它的开关信号可以用作启动、停止、复位等指令。压下按钮时,按钮开关的常闭触头断开,常开触头闭合。放开按钮后,常

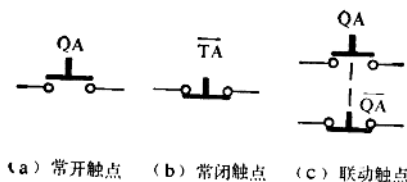


图 1-10 按钮开关图形符号

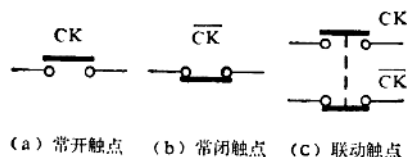


图 1-11 行程开关图形符号

开触头断开复位，常闭触头复位闭合。按钮开关的符号如图 1-10 所示。行程开关是由机械装置发生位移时在预选位置发信的开关。动作原理与按钮开关相同。其图形符号如图 1-11 所示。

(2) 压力继电器(**YLJ**)和热继电器(**RJ**) **YLJ** 装置在油路中，一旦液压增高到某一极限值时，它的常开、常闭触点 **YLJ** 和 $\overline{YLJ}$ 就会发出开关信号。**RJ** 则装置在电动机的主回路中。一旦出现故障，电流超过额定值，热元件就动作而使它的常闭触点 $\overline{RJ}$ 发出开关信号，切断控制回路的电源母线而起保护作用。由于电机过载能力取决于电流与时间的乘积，所以用热元件作过载保护时不能有压力继电器那样的瞬时响应。根据压力继电器和热继电器的作用将它们都归于信号元件之列。总之，信号元件都能利用来发出现场检测信号。

2. 运算元件

由于运算元件构成的运算系统的功能是对信号进行逻辑运