

第1章 机电液一体化系统设计

1.1 概 论

什么是机电液一体化?

机电液一体化技术是机械技术、液压技术和微电子技术的有机结合,它是在融合了机械、液压、计算机、传感器、自动控制等多门科学技术的基础上发展起来的一门新兴科学。简单地讲,机电液一体化就是电气控制液压,液压控制机械,机械在运动中通过电气将信息反馈回来再控制液压。机电液一体化设备的自动化、智能化程度很高。机电液一体化系统,绝非仅为机械、液压与电子电器的简单组合。否则,包括这三个部分的工程机械都可称已实现机电液一体化了。

机电液一体化为工程机械装上了感觉器官——传感器,布上了神经系统——传输线路,添上了信号处理单元——单片机或微机,这三部分组成的机电液一体化系统,使工程机械的性能发生了巨大的变化。

随着科学技术的高速发展,机电液控制技术在各个行业得到了广泛的应用。在机械制造业中,机电液控制技术用于自动控制的机器人,以替代人完成海底作业和有毒现场的施工;用于电液控制的机械手,以替代人完成自动生产线上的焊接、喷漆、装配等;用于自动生产线的位置、速度与时间的控制;用于加工机械零件的加工中心(数控机床),以实现六面体的高精度自动加工。在汽车及工程车辆中,机电液控制技术用于伺服转向系统,用于汽车的无人驾驶、自动换挡、自动防滑系统等。在军事工业中,机电液控制技术用于飞机的操纵系统,雷达跟踪和舰船的舵机装置,导弹的位置控制和发射架自动控制等。近年来,我国机械自动化技术发展十分迅速,自动控制理论、液压传动技术、微电子及计算机控制技术的相互融合,有力地推动了我国机械工业的飞速发展。

1.2 典型机械传动执行机构

机械执行机构向执行末端件提供动力并带动它实现运动,即把传动机构传递过来的运动和动力进行必要的交换,以满足执行末端件的动作要求。

机电液一体化产品的执行机构是实现其主功能的重要环节,应能快速完成预期的动作,并具有响应速度快、动态性能好、动静态精度高和动作灵敏度高的特点,另外为便于计算机集中控制,还应满足惯量小、动力大、体积小、质量轻、便于维修和安装、易于计算机控制等要求。

工业机械手是一种自动控制、可重复编程、多自由度的操作机,是能搬运物料、工件或操作工具以及完成其他各种作业的机电一体化设备。工业机械手末端执行器装在操作机械手腕的前端,是直接执行操作功能的机构。

1.2.1 机械夹持器

机械夹持器是工业机械手中最常用的一种末端执行器，如图 1-1 所示为教学型机器人中的机械夹持器。

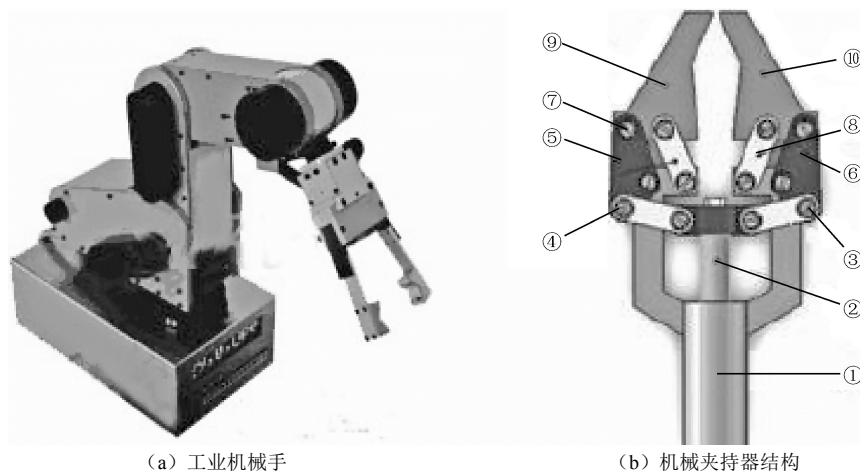


图 1-1 机械夹持器

1—支架、2—气动杆、3、4—大螺钉、5、6—三孔连杆、7—小螺钉、8—短连杆、9、10—手指

机械夹持器应具备的基本功能：首先它应具有夹持和松开的功能。夹持器在夹持工件时，应有一定的力约束和形状约束，以保证被夹工件在移动、停留和装入过程中，不改变姿态。当需要松开工件时，应完全松开。另外它还应保证工件夹持姿态再现几何偏差在给定的公差带内。

机械夹持器常用压缩空气作为动力源，经传动机构实现手指的运动。根据手指夹持工件时运动轨迹的不同，机械夹持器可分为圆弧开合型、圆弧平行开合型和直线平行开合型。

1.2.2 特种末端执行器

1. 真空吸附手

工业机器人中常把真空吸附手与负压发生器组成一个工作系统（见图 1-2、图 1-3），控制电磁换向阀的开合可实现对工件的吸附和脱开。其结构简单，价格低廉，且吸附作业具有一定的柔顺性（如图 1-4 所示），即使工件有尺寸偏差和位置偏差也不会影响吸附手的操作。常用于小件搬运，也可根据工件形状、尺寸、重量的不同将多个真空吸附手组合使用。

2. 电磁吸附手

利用通电线圈的磁场对可磁化材料的作用力来实现对工件的吸附作用。其具有结构简单、价格低廉等特点，但其最特殊的是：吸附工件的过程从尚未接触到工件开始，工件与吸附手接触之前处于漂浮状态，即吸附过程由极大的柔顺状态突变到低的柔顺状态。吸附力由通电线圈的磁场提供，所以可用于搬运较大的可磁化材料的工件。

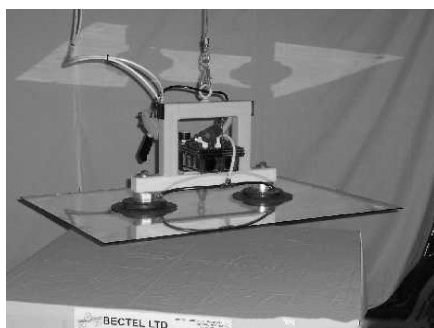


图 1-2 真空吸附手

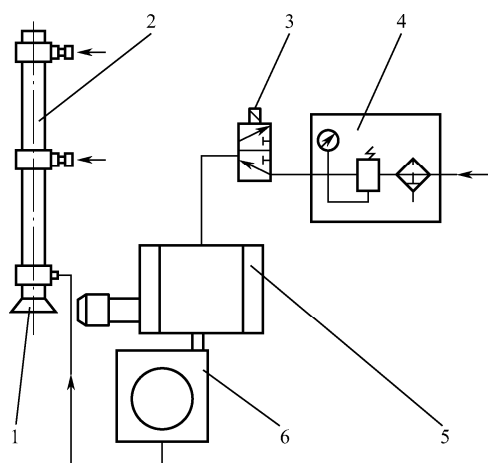


图 1-3 真空吸附系统

1—吸附手；2—送进缸；3—电磁换向阀；4—调压单元；
5—负压发生器；6—空气净化过滤器

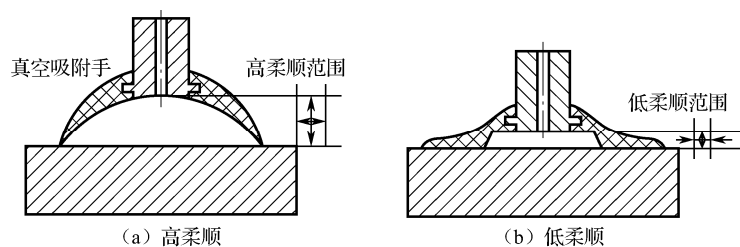


图 1-4 柔顺真空吸附手

吸附手的形式根据被吸附工件表面形状来设计，用于吸附平坦表面工件的应用场合较多。图 1-5 所示的电磁吸附手可用于吸附不同的曲面工件，这种吸附手在吸附部位装有磁粉袋，线圈通电前将可变形的磁粉袋贴在工件表面上，当线圈通电励磁后，在磁场作用下，磁粉袋端外形固定成被吸附工件的表面形状，从而达到吸附不同表面形状工件的目的。

3. 灵巧手

灵巧手是一种模仿人手制作的多指多关节的机器人末端执行器。它可以适应物体外形的变化，对物体提供任意方向、任意大小的夹持力，可以满足对任意形状、不同材质的物体操作和抓持要求，但其控制、操作系统技术难度较大。图 1-6 为灵巧手的实例。

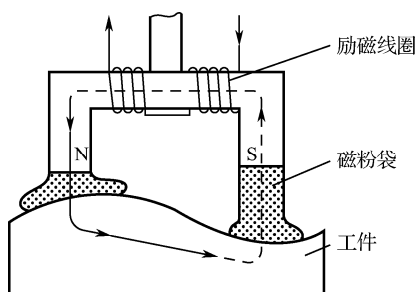


图 1-5 具有磁粉带的电磁吸附手

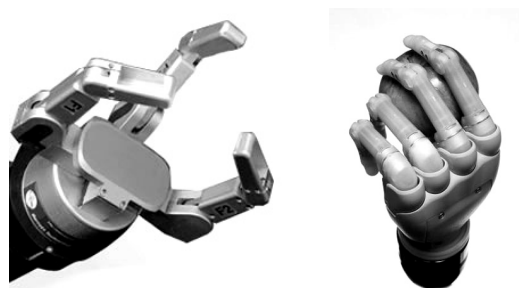


图 1-6 灵巧手

1.3 自动化生产线常用液压、气压元件

1.3.1 常用液压元件

1. 单向阀

1) 单向阀（普通单向阀）

单向阀又称为止回阀，它只允许液流在管道内沿一个方向流动，反向流动时不通。

单向阀的结构简单，如图 1-7 所示，主要由阀体、阀芯和弹簧等零件组成。单向阀按其结构可分为直通式和直角式两种。

图 1-7 (a) 是直通式单向阀。当压力油从进油口引入后，推动阀芯 2 右移压缩弹簧 3，油液经阀芯上的四个径向孔 a 和内孔 b 从出油孔流出。当油液反向流动时，液压力与弹簧力方向一致，将阀芯紧紧压在阀体 1 的阀座上，使液流不能通过。直通式单向阀的阀芯被顶开后，油液始终从弹簧孔中流出，易产生振动和噪声，增大了液流阻力损失。

图 1-7 (b) 是直角式单向阀。当压力油顶开阀芯后，油液不经过阀芯的中心孔而直接流向出油口，因此油液受到的阻力小，工作平稳。单向阀中的弹簧主要是使阀芯复位，所以弹簧较软。其开启压力一般为 $(0.35 \sim 0.5) \times 10^5 \text{Pa}$ 。

图 1-7 (c) 为单向阀的图形符号。

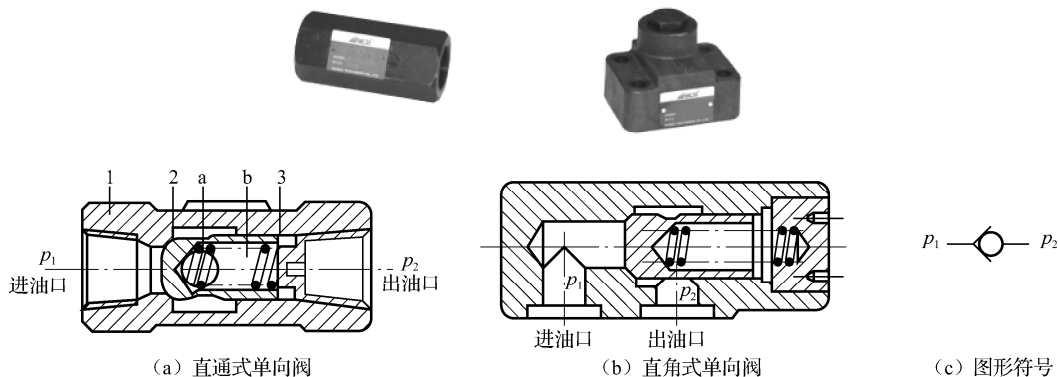


图 1-7 单向阀

1—阀体；2—阀芯；3—弹簧；a—径向孔；b—内孔

2) 单向阀的应用

用于双泵系统：如图 1-8 所示，两台液压泵轮流工作向系统供油。在这种系统中，必须在泵的出口管路上串联一个单向阀，以防止工作泵输出的压力油倒灌进备用泵。

用作背压阀：把单向阀串联在液压缸的回油管路上，如图 1-9 所示，使回油路上保持一定的背压力，增加工作机构的平稳性。单向阀用作背压阀时，应换上较硬的弹簧，使背压力为 $(0.2 \sim 0.5) \text{MPa}$ 。

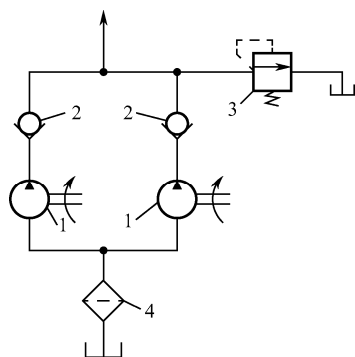


图 1-8 单向阀用于双泵系统图

1—液压泵；2—单向阀；3—溢流阀；4—滤油器

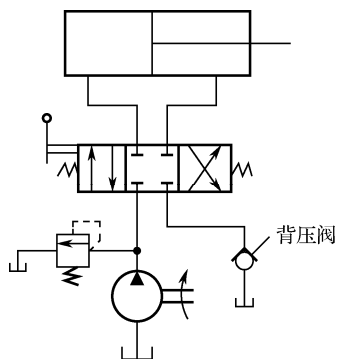


图 1-9 单向阀用作背压阀

3) 液控单向阀

液控单向阀的结构如图 1-10 所示。它主要由阀体、单向阀芯、卸载阀芯及控制活塞等组成。其结构比直角式单向阀多一个控制油口、控制活塞和卸载阀芯。当控制油口 K 未引入压力油时，其作用与普通单向阀相同，即油液从 A 腔进入，打开单向阀从 B 腔流出。当油液反向流动时，单向阀关闭，油液不能通过。如果从 K 口引入控制压力油，则控制活塞在油压力作用下向上移动，顶开卸载阀芯，使主油路卸压，然后再顶开单向阀芯，使 A 腔和 B 腔形成通路，实现油液的反向流动。液控单向阀采用锥形阀芯，因此密封性能好。在要求封闭油路时，可用此阀作为油路的单向锁紧而起保压作用。

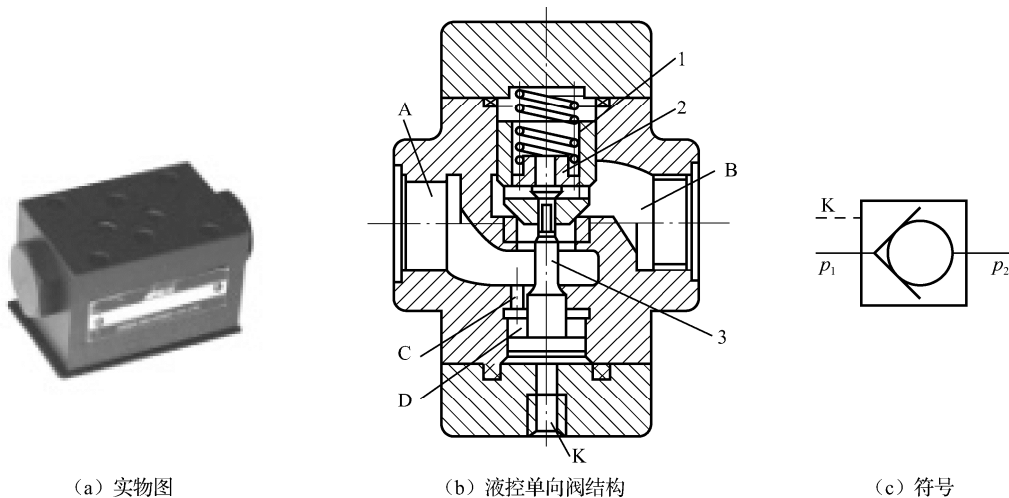


图 1-10 液控单向阀

1—单向阀芯；2—卸载阀芯；3—控制活塞

4) 液控单向阀的应用

液控单向阀用于液压缸的锁紧，如图 1-11 所示。液控单向阀安装在换向阀与液压缸之间，阀 4 的控制油路接在阀 5 的进油路上，阀 5 的控制油路接在阀 4 的进油路上。当压力油从阀 4 进入液压缸下腔时，通过控制油路把阀 5 打开，液压缸上腔的回油经阀 5 回油箱，活塞上升。同理，当压力油从阀 5 进入液压缸上腔时，液压缸下腔回油经阀 4 回油箱，活塞下降。当换向阀处于中间位置时，两液控单向阀的进油口均与油箱相通而失去压力，单向阀迅速关闭，

液压缸活塞可以被锁紧在任意位置上。由于其锁紧精度仅受液压缸内泄漏的影响，锁紧精度很高。汽车起重机的支腿锁紧就是其应用实例。此外，这种回路也用于矿山采掘机械的液压支架的锁紧回路。

5) 单向阀的安装及连接

直通式单向阀用螺纹连接安装在管路上，属于管式连接阀。此类阀的油口可通过管接头和油管相连，阀体的重量靠管路支承，因此阀不能太大太重。直角式单向阀有螺纹连接、板式连接和法兰连接三种形式。图 1-7 (b) 所示的阀属于板式连接阀，阀体用螺钉固定在机体上，阀体的平面和机体的平面紧密贴合，阀体上各油孔分别和机体上相对应的孔对接，用 O 形密封圈使它们密封。

不但单向阀有管式连接和板式连接之分，其他阀类也有管式连接和板式连接之分。大多数液压系统都采用板式连接阀。可将所有的阀安装在一个板面上或集成回路块上，使形体美观、整洁、又便于维护和更换。

安装单向阀时，应特别注意介质流动方向，应使介质正常流动方向与阀体上指示的箭头方向相一致，否则就会截断介质的正常流动。单向阀关闭时，会在管路中产生水锤压力，严重时会导致阀门、管路或设备的损坏，尤其对于大口管路或高压管路，故应引起注意。

2. 换向阀

换向阀利用阀芯和阀体的相对运动来接通或关闭油路，从而改变油液的流动方向，使执行元件换向或停止运动。

换向阀的种类较多，按结构可分为滑阀式和转阀式；按阀芯工作位置可分为二位、三位、多位阀；按阀进出口通道数目可分为二通、三通、四通；按操纵方式可分为电磁换向阀、液动换向阀、电液换向阀、手动换向阀、机动换向阀等。

1) 换向阀的“位”和“通”

“位”和“通”是换向阀的重要概念，不同的“位”和“通”构成了不同类型的换向阀。“位”是指阀芯的工作位置，通常所说的“二位阀”、“三位阀”是指换向阀的阀芯有两个或三个不同的工作位置。“通”是指换向阀的通油口数目，所谓“二通阀”、“三通阀”、“四通阀”是指换向阀的阀体上有两个、三个、四个与系统中不同油管相连的油道接口，不同油道之间只能通过阀芯移位时阀口的开关来沟通。

图形符号的含义如下：

- ① 方框表示阀的工作位置，有几个方框就表示有几“位”。
- ② 方框内的箭头表示油路处于接通状态，但箭头方向不一定表示液流的实际方向。
- ③ 方框内符号“ $\perp$ ”或“ $\dashv$ ”表示该通路不通。
- ④ 方框外部连接的接口数有几个，就表示几“通”。
- ⑤ 阀与系统供油路连接的进油口用字母 P 表示，阀与系统回油路连通的回油口用 T（有

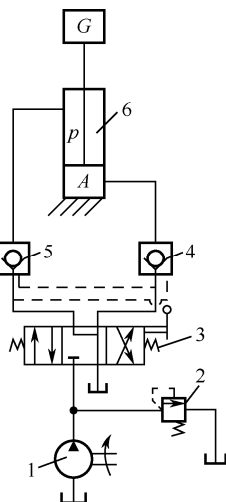


图 1-11 液控单向阀用于液压缸的锁紧

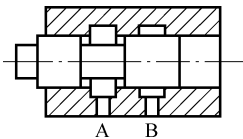
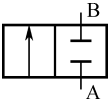
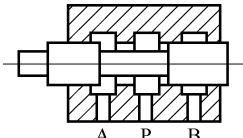
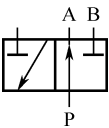
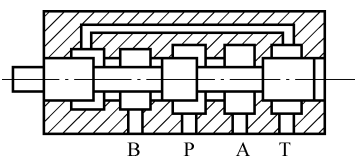
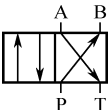
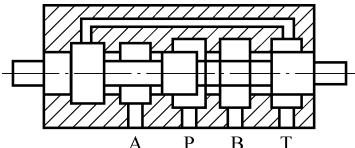
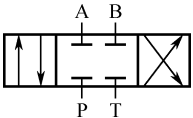
1—液压泵；2—溢流阀；3—手动换向阀；
4，5—液控单向阀；6—液压缸

时用 O) 表示, 阀与执行元件连接的油口用 A、B 等表示, 有时在图形符号上用 L 表示泄漏油口。

⑥ 换向阀都有两个或两个以上的工作位置, 其中一个为常态位, 即阀芯未受操纵力时所处的位置。图形符号中的三位阀的常态位是中位, 利用弹簧复位的二位阀则以靠近弹簧的方框内的通路状态为其常态位。绘制系统图时, 油路一般应连接在换向阀的常态位上。

几种不同“位”和“通”的滑阀式换向阀主体部分的结构形式和图形符号如表 1.1 所示。

表 1.1 不同的“位”和“通”的滑阀式换向阀主体部分的结构形式和图形符号

名 称	结构原理图	图 形 符 号
二位二通		
二位三通		
二位四通		
三位四通		

2) 滑阀机能

滑阀式换向阀处于中间位置或原始位置时, 阀中各油口的连通方式称为换向阀的滑阀机能。滑阀机能直接影响执行元件的工作状态, 不同的滑阀机能可满足系统的不同要求, 正确选择滑阀机能是十分重要的。三位四通换向阀的滑阀机能有很多种, 常见的有表 1.2 中所列的几种。中间一个方框表示其原始位置, 左右方框表示两个换向位, 其左位和右位各油口的连通方式均为直通或交叉相通, 所以只用一个字母来表示中位的形式。

3) 换向阀的种类

(1) 电磁换向阀

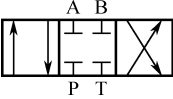
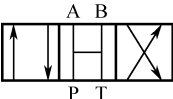
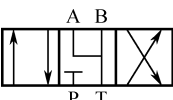
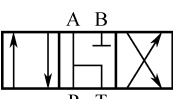
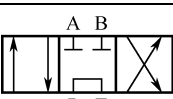
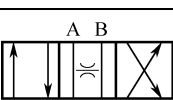
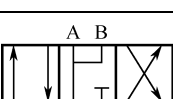
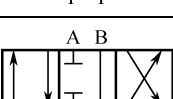
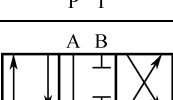
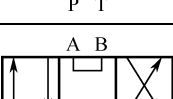
电磁换向阀由电磁铁产生的推力推动阀芯相对阀体移动来控制油液的通断及方向改变。电气信号的控制与传递都较方便, 便于自动化和远距离控制。

阀用电磁铁根据所用电源的不同有以下三种。

交流电磁铁: 阀用交流电磁铁的使用电压一般为交流 220V, 电气线路配置简单。交流电磁铁启动力较大, 换向时间短, 但换向冲击大, 工作时温升高 (故其外壳设有散热筋); 当阀芯卡住时, 电磁铁线圈因电流过大易烧坏, 可靠性较差, 所以切换频率不许超过 30 次/分; 寿

命较短。

表 1.2 三位四通阀常用的滑阀机能形式

形式	符号	中位油口状况、特点及应用
O 形		P、A、B、T 四口全封闭，液压缸闭锁，可用于多个换向阀并联工作，泵不卸荷
H 形		P、A、B、T 口全通；活塞浮动，在外力作用下可移动，泵卸荷
Y 形		P 封闭，A、B、T 口相通；活塞浮动，在外力作用下可移动，泵不卸荷
K 形		P、A、T 口相通，B 口封闭；活塞处于闭锁状态，泵不卸荷
M 形		P、T 口相通，A 与 B 口均封闭；活塞闭锁不动，泵卸荷，也可用多个 M 形换向阀并联工作
X 形		四油口处于半开启状态，泵基本上卸荷，但仍保持一定压力
P 形		P、A、B 口相通，T 封闭；泵与缸两腔相通，可组成差动回路
J 形		P 与 A 封闭，B 与 T 相通；活塞停止，但在外力作用下可向一边移动，泵不卸荷
C 形		P 与 A 相通；B 与 T 封闭；活塞处于停止位置
U 形		P 和 T 封闭，A 与 B 相通；活塞浮动，在外力作用下可移动，泵不卸荷

直流电磁铁：直流电磁铁一般使用 24V 直流电压，因此需要专用直流电源。其优点是不会因铁芯卡住而烧坏（故其圆筒形外壳上没有散热筋），体积小，工作可靠，允许切换频率为 120 次/分，换向冲击小，使用寿命较长，但启动比交流电磁铁小。

本整型电磁铁：电磁铁本身带有半波整流器，可以直接使用交流电源，具有直流电磁铁的结构和特性。

电磁换向阀由电磁铁产生的推力推动阀芯相对阀体移动来控制油液的通断及方向改变。

图 1-12 所示为三位四通电磁换向阀的结构和图形符号。阀体内有 5 条沉割槽（环形槽），中间的一条沉割槽与进油口 P 相通（接压力油），两边的槽与 T 口相通（接回油箱），A、B 两油口分别接执行元件。当两边电磁铁均不通电时，在两复位弹簧的作用下阀芯处于中间位置，各油口间被阀芯台肩封死互不相通。当右边电磁铁通电时，铁芯通过推杆将阀芯推向左端，这时油口 P 和 A 相通，而油口 B 和 T 相通；当左边电磁铁通电时，阀芯被推向右端，这时油口 P 和 B 相通，而油口 A 和 T 相通，实现了油路的换向。

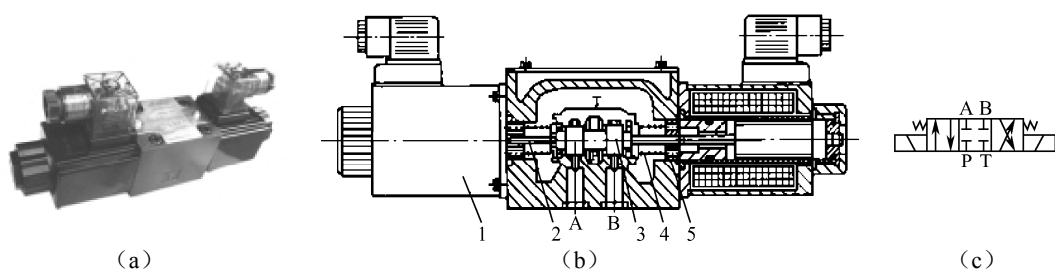


图 1-12 三位四通电磁换向阀

1—电磁铁；2—推杆；3—阀芯；4—弹簧；5—挡圈

图 1-13 所示为二位三通电磁换向阀的结构和图形符号。它只有一个电磁铁，阀体上有三条沉割槽，分别连通 P、A、B 三个油口。当电磁铁断电时，阀芯在靠弹簧端工作，油口 P 与 A 相通。当电磁铁通电时，阀芯被推向右端，油口 A 封闭，而油口 P 与 B 相通。

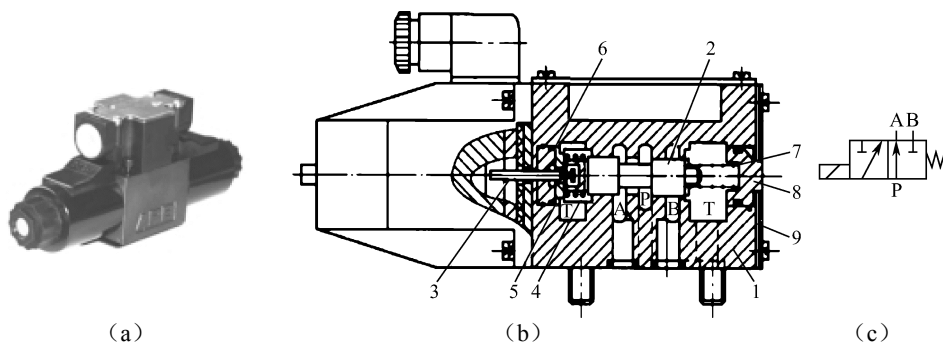


图 1-13 二位三通电磁换向阀

1—阀体；2—阀芯；3—推杆；4,7—弹簧；5,8—弹簧座；6—O 形密封圈；9—后盖

(2) 手动换向阀

手动换向阀用手动杠杆来推动阀芯在阀体里移动，以实现液流的换向。图 1-14 (a) 为三位四通自动复位式手动换向阀。当手柄向左扳时，阀芯右移，油口 P 和 A 接通，B 和 T 接通。当手柄向右扳动时，阀芯左移，这时油口 P 和 B 接通，油口 A 通过油槽和阀芯的中心孔与 T 接通，实现换向。放松手柄时，右端的弹簧能够自动将阀芯恢复到中间位置，使油路断开，所以称为自动复位式，这种阀不能定位在两端位置上。图 1-14 (b) 为三位四通弹簧钢珠定位式换向阀。

(3) 机动换向阀

机动换向阀又称行程换向阀，它用挡铁或滚轮推动阀芯移动来控制油液流动方向。机动换向阀通常是二位的，有二通、三通等几种。二位二通的分常闭、常通两种。图 1-15 (b) 为二位

二通机动换向阀，阀芯被弹簧压向左端，油腔 P 和 A 不通；当挡铁压住滚轮时，阀芯移动到右端，油腔 P 和 A 接通。挡铁和滚轮脱离接触后，阀芯靠弹簧复位。图 1-15 (c) 是其图形符号。

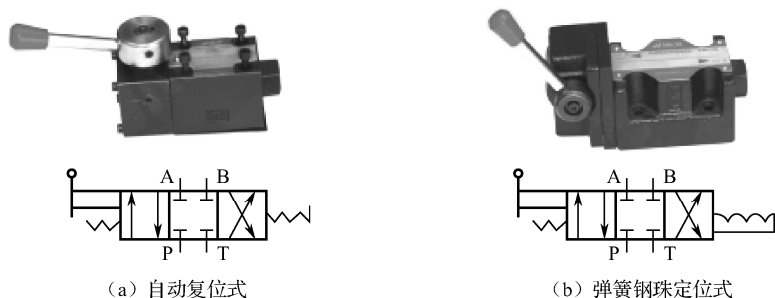


图 1-14 手动换向阀

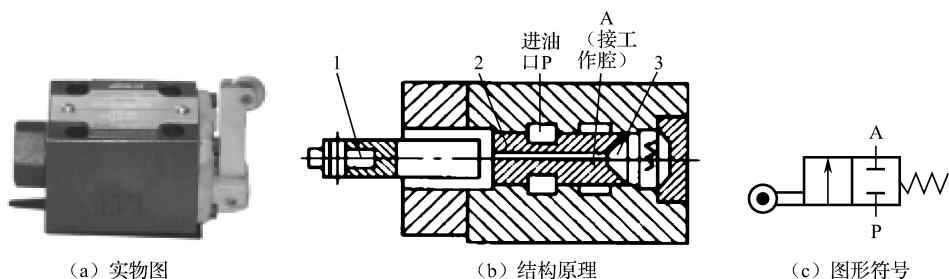


图 1-15 机动换向阀

1—滚轮；2—阀芯；3—弹簧

4) 换向阀的应用

图 1-16 是二位三通电磁换向阀用于控制差动液压缸的示意图。电磁换向阀处于左位时，构成差动连接回路，活塞快速左行。电磁铁通电时，换向阀在右位工作，液压缸活塞右行。

图 1-17 所示是一种用电磁换向阀和行程开关控制的多缸并联顺序动作回路。当按下启动按钮时，电磁铁 1YV 通电，压力油进入液压缸 I 的左腔，I 缸右腔的油液经阀 A 回油箱，活塞在压力油作用下按箭头 1 所示方向右行。达到要求位置时压下行程开关 6，电磁铁 1YV 断电，I 缸的活塞停止运动。行程开关 6 同时使 3YV 通电，压力油进入 II 缸的左腔，II 缸右腔的油经阀 B 回油箱，活塞在压力油作用下按箭头 2 所示方向向右运动。达到要求位置时，压下行程开关 8，使 3YV 断电，II 缸的活塞停止运动。同理，行程开关 8 使 2YV 通电，I 缸活塞按箭头 3 方向左移。而行程开关 5 使 4YV 通电，II 缸活塞按箭头 4 方向左移，到位后行程开关 7 使 4YV 断电，活塞停止运动，完成一个工作循环。若需要 1~4 动作循环，可令行程开关 7 发讯使 4YV 断电的同时使 1YV 通电即可实现。循环过程中停止回路动作的命令，可由停止按钮实现。

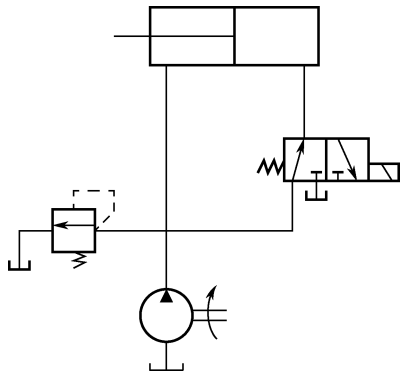


图 1-16 二位三通阀控制的差动回路

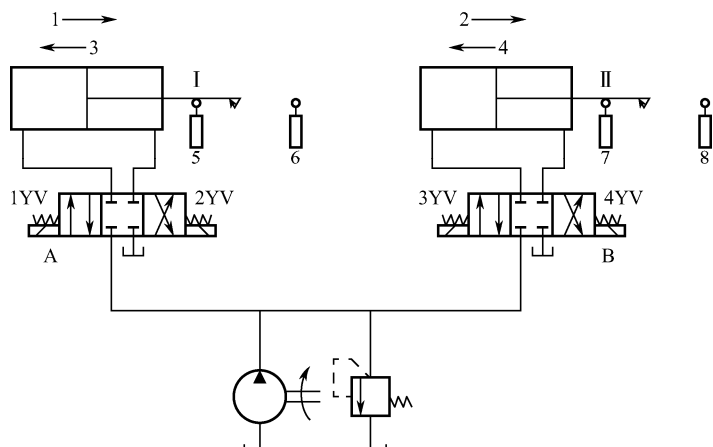


图 1-17 电磁换向阀控制的顺序动作回路

用电磁阀控制的并联顺序动作回路，工作行程的调整比较方便，动作顺序的改变也很容易，因此得到广泛应用。

5) 换向阀的选择

换向阀的选择应主要考虑它们在系统中的作用、所通过的最高压力和最大流量、操纵方式、工作性能要求及安装方式等因素，尤其应注意单杆活塞液压缸中由于面积差形成的不同回油量对换向阀正常工作的影响。应根据所需控制的流量选择合适的换向阀通径。换向阀的流量如果选得过小，会增加其压力损失，降低系统效率。一般只有在必要时才允许阀的实际流量比额定流量大，但不能大于 20%。如果阀的流量选得过大，又会增加整个系统装置的体积，使成本增加。

根据自动化程度的要求和主机工作环境情况选用适当的换向阀操纵控制方式。如工业设备液压系统，由于工作场地固定，且有稳定电源供应，故通常要选用电磁换向阀或电液动换向阀；而野外工作的液压设备系统，主机经常需要更换工作场地且没有电力供应，故需考虑选用手动换向阀；再如在恶劣环境（如潮湿、高温、高压、有腐蚀气体等）下工作的液压设备系统，为了保证人身设备的安全，则可考虑选用气控液压换向阀。同是一种换向阀，其滑阀机能是各种各样的，应根据系统的性能要求选取适当的滑阀机能。例如，当系统要求液压泵能卸荷而执行元件又必须能在任意位置停止时，可选择 M 形机能的换向阀；当系统采用液控单向阀对液压缸进行锁紧时，与之对应的换向阀一般选择 Y 形机能的换向阀。对一些工作性能要求较高，流量较大的系统，一般尽可能选用直流电磁阀，但它需要直流电源；其余流量较小的系统则可选用交流电磁换向阀，使成本降低，使用方便。

6) 换向阀的安装及连接

根据整个液压系统各种液压阀的连接安装方式协调一致的原则，选用合适的安装连接方式。电磁换向阀多为板式阀，用螺钉固定在与阀有对应油口的平板式或阀块式连接体上。其优点是更换元件方便，不影响管路，并且有可能将阀集中布置。与板式阀相连的连接体有连接板和集成块两种形式。连接板是将板式阀固定在连接板上面，阀间油路在板后用管接头和管子连接。这种连接板简单，检查油路较方便，但板上油管多，装配极为麻烦，占空间也大。集成块是一个正六面连接体。将板式阀用螺钉固定在集成块的三个侧面上，通常三个侧面各装一个阀，有时在阀与集成块间还可以用垫板安装一个简单的阀，如单向阀、节流阀等。剩

余的一个侧面则安装油管，连接执行元件。集成块的上、下面是块与块的接合面，在各集成块的结合面上同一坐标位置的垂直方向钻有公共通油孔：压力油孔 P、回油孔 T、泄漏油孔 L 以及安装螺栓孔，有时还有测压油路孔。块与块之间及块与阀之间接合面上的各油口用 O 形密封圈密封。在集成块内打孔，沟通各阀组成回路。每个集成块与装在其周围的阀类元件构成一个集成块组。每个集成块组就是一个典型回路。根据各种液压系统的不同要求，选择若干不同的集成块组叠加在一起，即可构成整个集成块式液压装置。这种集成方式的优点是结构紧凑，占地面积小，便于装卸和维修，可把液压系统的设计简化为集成块组的选择，因而得到广泛应用。但它也有设计工作量大，加工复杂，不能随意修改系统等缺点。

电磁阀的安装一般要求阀体水平，线圈需垂直向上。虽然有部分产品允许任意安装，但只要条件允许，一定要垂直，以此来增长电磁阀的使用寿命。看清阀上箭头标识的管路流体方向，一般电磁阀都是单向工作的，不能反装，阀体上的箭头一定要与管路流体方向保持一致。需要连续生产工作的电磁阀，最好安装在旁路，这样便于日后检修，也不影响生产。确保线圈、触点的牢固，电磁阀线圈接插件的引出线连接好后，一定要确认是否牢固；与电器元件连接的触点不能抖动，松动会引起电磁阀不工作，从而导致机器故障。电磁阀若长时间停用，应当排清凝结物再使用，拆装清洗时，一定要按顺序放好，再复原安装。

3. 压力控制阀

在液压系统中，用来实现压力的控制和调节，或以液压力作为控制信号的阀类统称为压力控制阀。它们共同的特点是利用油液的压力与阀中的弹簧力相平衡这一原理来工作。压力控制阀简称压力阀，它包括用来控制液压系统的压力或利用压力变化作为信号来控制其他元件动作的阀类。

1) 溢流阀

液压泵的工作压力是由外负载决定的。当外负载很大，使系统的压力超过液压泵的机械强度和密封性能所决定的额定压力时，整个系统就不能正常工作，必须限制系统工作压力在额定压力范围内。溢流阀的基本功能就是在系统的压力超过或等于溢流阀的调定压力时，使系统的油液通过阀口溢出一部分回油箱，防止系统的压力过大，起安全保护作用。溢流阀分为直动式和先导式两种形式。

(1) 直动式溢流阀

图 1-18 所示为直动式溢流阀的结构图。P 为进油口，T 是回油口。进口压力油经阀芯下端的径向孔、轴向小孔 a 进入阀芯底部端面上，形成一个向上的液压作用力。当进口压力较低时，阀芯在弹簧力的作用下被压在图示最下端位置，阀口（即进、回油口 P、T 之间在阀内的通道）被阀芯封闭，阀不溢流。当阀的进口压力升高，使阀芯下端的液压作用力足以克服弹簧对阀芯的作用力时，阀芯向上移动，压缩弹簧，此时阀口被打开，进、出油口接通而溢流。由间隙处泄漏到弹簧腔的油液可通过泄漏孔 b 经回油口排回油箱。调节螺帽可改变弹簧对阀芯的作用力，从而调整进油口的油压即溢流阀的溢流压力。此阀是靠液压力与阀芯调压弹簧力直接平衡而控制阀口启闭的，故称为直动式溢流阀。

要求控制的液压力越高，则溢流阀的弹簧越硬，相应压力的变化值就越大，所以直动式溢流阀一般用在压力较低的场合。直动式溢流阀的特点是结构简单，反应灵敏。

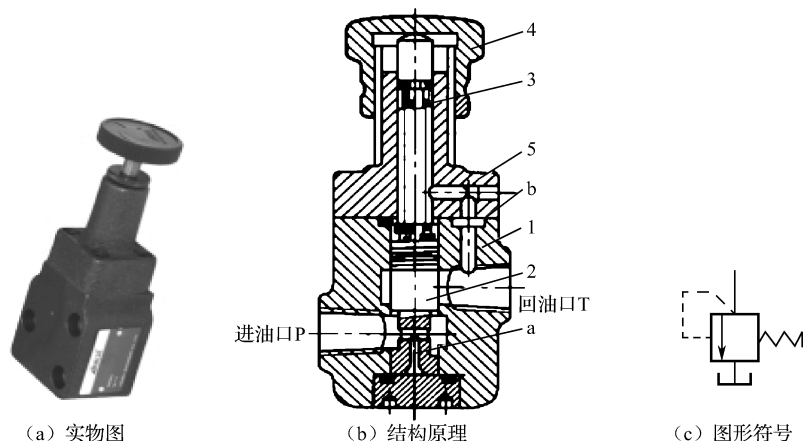


图 1-18 直动式溢流阀

1—阀体；2—阀芯；3—调压弹簧；4—调压螺帽；5—上盖；a—轴向小孔；b—泄漏孔

(2) 先导式溢流阀

先导式溢流阀的工作原理如图 1-19 所示。油腔 b 和进油口相通，油腔 d 和回油口相通。压力油从油腔 b 进入，作用在主阀芯大直径台肩下部的圆环面积上，并通过主阀芯中的小孔，流到下端面油腔中，作用于主阀芯的下端。同时，压力油又经过阻尼小孔 e 进入主阀芯的上油腔 a，还经阻尼小孔 f、g 作用于先导调压阀的锥阀上。

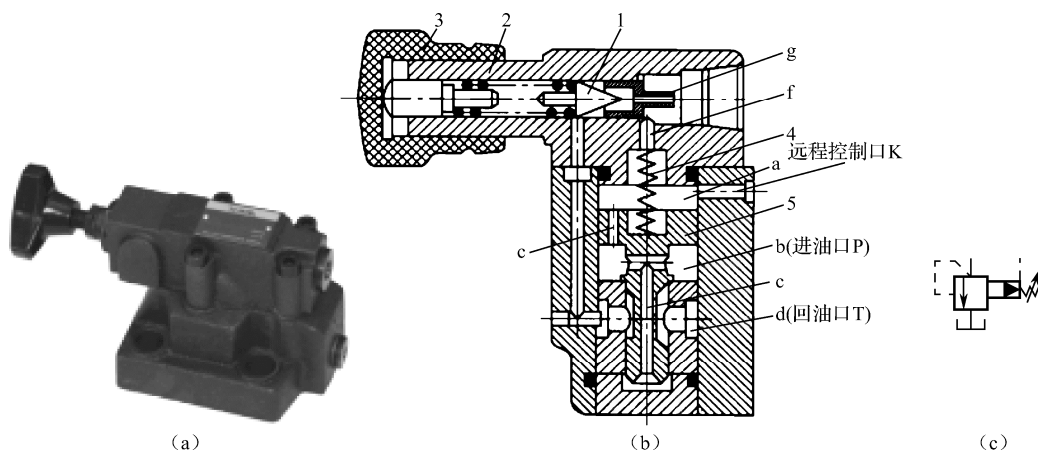


图 1-19 先导式溢流阀

1—阀芯；2—调压弹簧；3—调压螺帽；4—主阀弹簧；5—主阀芯；

a—上油腔；b, d—油腔；c, e, f, g—阻尼小孔

当进油压力升高到能够打开先导调压阀时，锥阀就压缩调压弹簧并将油口打开，压力油通过阻尼小孔 e 经锥阀流回油箱。由于阻尼小孔的作用是产生压力降，所以主阀芯上部的压力小于下部的液压力。当主阀芯上下两端压力差所产生的作用力超过主阀弹簧的作用力时，主阀芯被抬起，油腔 b 和油腔 d 接通，油液流回油箱，实现溢流。

(3) 溢流阀的应用

图 1-20 所示定量泵节流调速液压系统中，溢流阀与泵并联，起溢流作用，其调定压力等

于系统的最大工作压力。系统工作时，溢流阀常开。调节节流阀的开口度大小来控制进入液压缸的流量，多余的油液从溢流阀溢流回油箱。随着执行元件所需流量（运动速度）的不同，阀的溢流量也不同，但液压泵的工作压力则基本保持恒定。调节溢流阀的调压弹簧，即可调节系统的供油压力。

在图 1-20 中，若去掉节流阀，将泵改为普通变量泵，则溢流阀起安全保护作用，用于限定系统的最高压力。溢流阀调定压力等于系统最大工作压力的 1.05~1.1 倍，当系统正常工作时，溢流阀常闭。只有当系统出现误操作，使得压力达到调定压力时，溢流阀才开启。

图 1-21 所示为溢流阀用于远程调压的多级调压回路。图中 3 为远程调压阀，接先导溢流阀 2 的远控口。当二位二通电磁换向阀 4 关闭时，液压泵的出口压力由溢流阀 2 调定为 p_1 。当二位二通电磁阀通电切换后，其油路接通，这时泵的出口压力由远程调压阀调定为 p_2 。在采用这种回路时，应注意使远程调压阀的调定压力小于主溢流阀本身的调定压力，否则远程调压阀将不起作用。

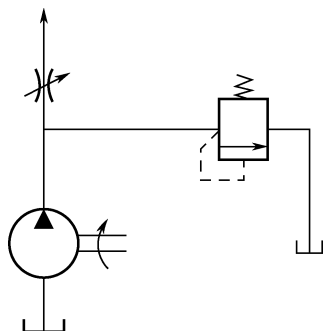


图 1-20 定量泵系统溢流调压

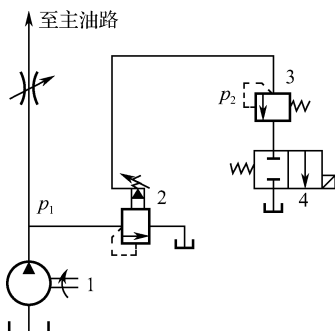


图 1-21 多级调压回路

1—单向定量泵；2—先导溢流阀；
3—远程调压阀；4—电磁换向阀

图 1-22 所示为溢流阀用于卸荷回路。将二位二通电磁换向阀安装在溢流阀的遥控口（两者做成一体的称电磁溢流阀）油路上，卸荷时电磁阀通电，将遥控口与油箱接通。此时溢流阀的进口压力只需克服主阀芯弹簧力便可溢流，液压泵的输出流量在很小的压力下通过溢流阀流回油箱。而通过电磁阀的流量很小，只是溢流阀控制腔的流量（即通过主阀芯上阻尼小孔的流量），故只需选用小规格的电磁阀。卸荷时，溢流阀处于全开状态，停止卸荷系统重新工作时，不会产生压力冲击现象，故适用于高压大流量系统中。

2) 减压阀

减压阀在液压系统中起减压作用，并当进出口液压力出现波动时，仍能保持阀的出口压力基本恒定，使液压系统中某一部分得到一个降低了的稳定压力。它常用于夹紧、控制、润滑等油路中。

图 1-23 所示为减压阀的实物图、结构原理和图形符号。压力为 p_1 的油液（也称一次压力），经阀的进油口进入 a 腔，

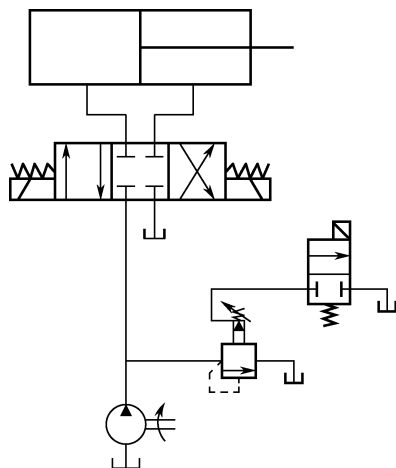


图 1-22 电磁溢流阀卸荷回路

再经过主阀芯和阀体之间形成的开口量为 x 的减压口到达 b 腔：从出油口排出，其压力为 p_2 （也称二次压力）。与出油口相通的 b 腔中的油液，一路经小孔 g 到达主阀芯的下腔 c ，另一路经阻尼小孔 d ，油腔 k ，孔 e 、 f 作用在调压锥阀 3 上。

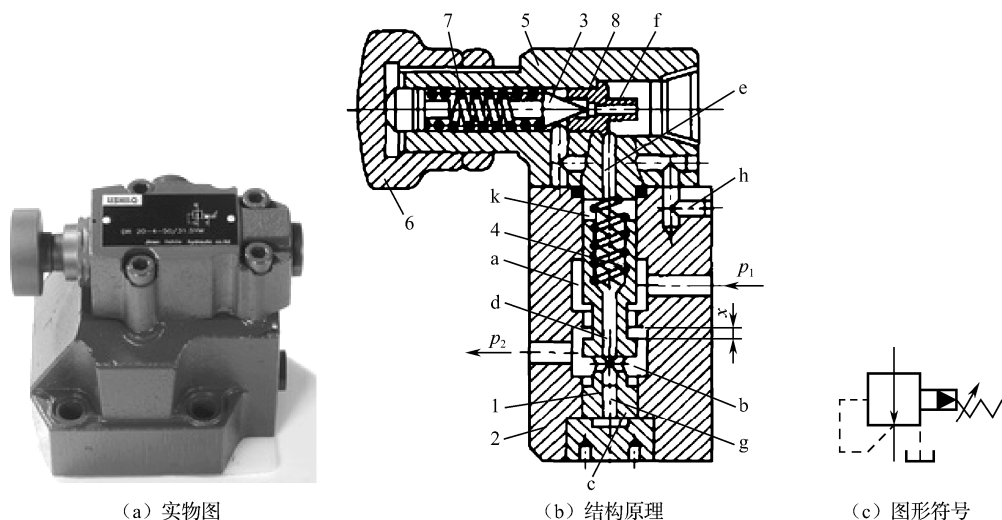


图 1-23 减压阀

1—主阀芯；2—阀体；3—调压锥阀；4—主阀弹簧；5—阀盖；
6—调压螺帽；7—调压弹簧；8—锥阀座

当出油腔的压力小于调压锥阀的调定压力时，调压锥阀关闭，阻尼小孔 d 中没有油液流动，主阀芯上下两端的油压相等。这时主阀芯在主阀弹簧的作用下处于最下端位置，减压口全部打开，即开口量 $x = x_{\max}$ 时减压口无减压作用。

当出口压力达到调定值时，锥阀开启，流过锥阀芯和阀座所形成的缝隙的液流，经过回油通道，从单独的回油口 h 回油。由于阻尼小孔 d 的降压作用，主阀芯下部液压力大于上部液压力，在压力差的作用下主阀芯上移，形成一定的减压开口量 x ，减压阀进入某一稳态工作，阀正常工作时， $x < x_{\max}$ 。

在液压系统中，一个油源供应多个支路工作，且当各支路要求的压力值大小不同时，这就需要减压阀去调节。利用减压阀可以组成不同压力级别的液压回路。

如图 1-24 所示，液压泵 3 同时向液压缸 1 和液压缸 2 供油，缸 1 的负载力为 F_1 ，缸 2 的负载力为 F_2 ，设 $F_1 > F_2$ 。若没有减压阀 4 和节流阀 5，哪个缸的负载较小，则哪个缸先动，即只有缸 2 的活塞到位后压力继续上升，缸 1 才动作。加上减压阀后就解决了这一矛盾，两缸可分别动作而不会因负载的大小互相干扰。

若不加节流阀，尽管缸 1 有相当的负载力，溢流阀有相对应的调定压力，若缸 2 负载为零，则减压阀的二次压力即出口压力为零，减压口不起减压作用且将减压口的上下游沟通，这时减压阀的一次压力即进口压力也为零，这种现象叫减压阀一次压力失压，此时缸 1 将无法正常工作。有了节流阀，可使减压阀出口总是有相当的压力，即可避免这一现象的出现。

图 1-25 所示的液压缸是一个夹紧缸。当活塞杆通过夹紧机构夹紧工件时，活塞的运动速度为零，因减压阀的作用仍能使液压缸工作腔中的压力基本恒定，故可保持恒定的夹紧力，不致因夹紧力过大而将工件夹坏。

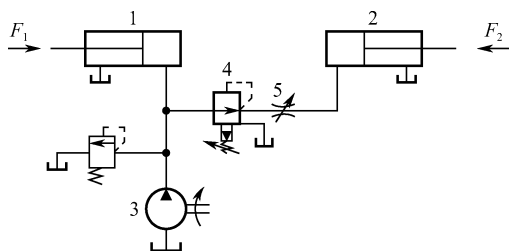


图 1-24 减压阀应用之一

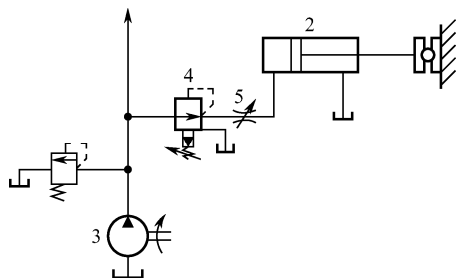


图 1-25 减压阀应用之二

因为减压阀出口压力稳定,所以在有些回路中,虽然不需要减压,但为了获得稳定的压力,也加上减压阀。例如,用压力控制的液动换向阀、液控顺序阀。

3) 顺序阀

顺序阀是利用油液压力作为控制信号来控制油路通断的阀,使各执行油路按预先确定的先后动作顺序通断。顺序阀的结构也有直动式和先导式两种,一般先导式用于压力较高的液压系统中。

图 1-26 所示为直动式顺序阀,为避免弹簧过于粗硬,控制油不与阀芯直接接触,而是作用在阀芯下端处直径较小的控制活塞上,以减小油压对阀芯的作用力。

顺序阀的工作原理为:进口压力油通过阀体和下端盖上的小孔引到控制活塞的下端,当液压力低于阀内弹簧的调定值时,阀芯仍处于图示的最低位置,阀口关闭,油液不能通过顺序阀。当进口液压力达到弹簧的调定值时,控制活塞才有足够的力量克服弹簧的作用力将阀芯顶起,使阀口打开,进出油口在阀内形成通路,此时油液经过顺序阀从出口流出。图 1-26 (c) 为直动式顺序阀的一般图形符号。若将此阀的下端盖旋转 90° 安装,并将 c 口处丝堵取下,外接压力油作控制油,这便成为外控顺序阀。其图形符号如图 1-26 (d) 所示,这时顺序阀上部的泄油口必须接回油箱。若将顺序阀的上端盖旋转 90° 安装,使泄油口和出油口互通,并一起接通油箱,这时便成为卸荷阀,其图形符号如图 1-26 (e) 所示。

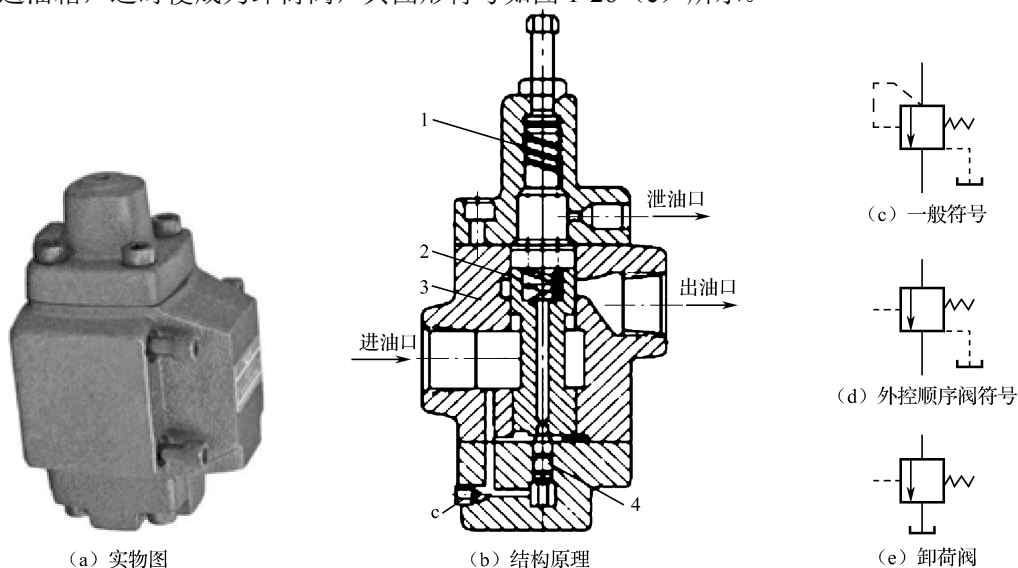


图 1-26 直动式顺序阀

1—调压弹簧; 2—阀芯; 3—阀体; 4—控制活塞

图 1-27 所示为先导式顺序阀，主阀和先导阀均为滑阀式，其外形与溢流阀相似。

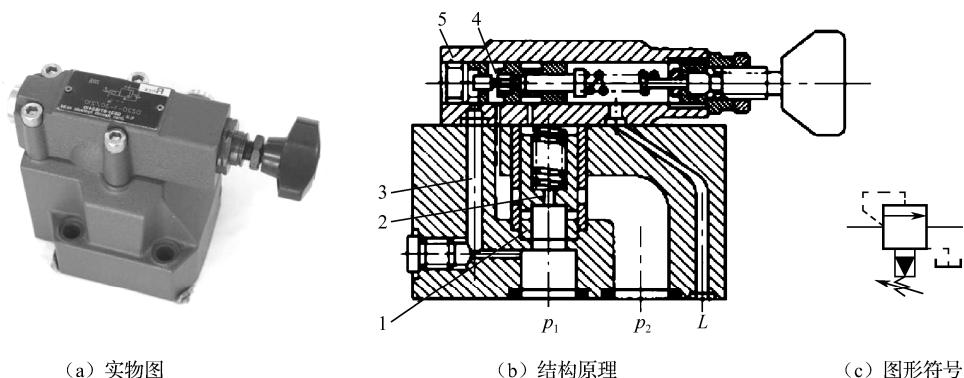


图 1-27 先导式顺序阀

1—主阀芯；2—阻尼小孔；3—孔道；4—滑阀；5—先导阀

压力油进入顺序阀作用在主阀一端，同时压力油分两路，一路经孔道 3 进入先导阀 5 左端，作用在滑阀 4 的左端面上，一路经阻尼小孔 2 进入主阀芯 1 上端，并进入先导阀的中间环形部分。当进油压力低于先导阀的调定压力时，主阀关闭，顺序阀无油流出。一旦进油压力超过先导阀的调定压力时，进入先导阀左端的压力油将滑阀 4 推向右端，此时先导阀的中间环形部分与顺序阀出口沟通，压力油经阻尼小孔 2、主阀芯上腔、先导阀流向出口。由于阻尼小孔的作用，主阀芯上腔压力低于进口压力，主阀芯上移，阀口打开，顺序阀进出口接通。从以上分析可知，主阀芯的移动是主阀芯上下压差作用的结果，与先导阀的调整压力无关。因此，顺序阀的进出口压力近似相等。

(1) 单向顺序阀

单向顺序阀是将顺序阀与单向阀并联起来，两阀常装在一个阀体内，其结构和图形符号如图 1-28 所示。这种阀的特点是当压力油反向流动时，可以不经过顺序阀，而从单向阀自由通过，不受顺序阀的限制。

(2) 顺序阀的应用

图 1-29 所示为用顺序阀实现执行元件的顺序动作。工作行程时，换向阀 1 处于图示位置，液压泵输出的压力油先进入液压缸 B 的左腔，使液压缸 B 的活塞按箭头①所示的方向右移，当接触工件时，油压升高，在达到足以打开单向顺序阀 2 时，油液才能进入缸 A，使液压缸 A 的活塞沿箭头②所示的方向右移。回程时，阀 1 处在左端的工作位置，缸 A 的活塞先按箭头③的方向回程至终点，压力升高后打开顺序阀 3，液压缸 B 的活塞才能按箭头④的方向开始回程。在这种回路中，顺序阀的调定压力应比先动作的执行元件的工作压力高 0.5MPa 以上，以保证动作顺序的可靠性。

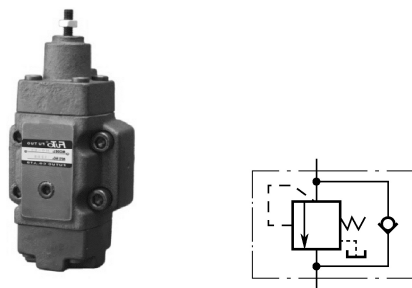


图 1-28 单向顺序阀

图 1-30 所示为单向顺序阀作平衡阀使用。在具有立式缸的液压回路中，液压缸的负载往往是重物。液压缸下行时，无须克服负载，重力作用下重物帮助液压缸活塞下降，极易造成超速和冲击，因此在缸的回油路上加平衡阀。换向阀处于左位时，来自液压泵的油经平衡阀

和单向阀到达缸的无杆腔，重物上行，液压缸有杆腔的油液经换向阀回油箱。换向阀处于中位时，单向顺序阀锁闭，液压缸不能回油，停止运动，重物被支撑。换向阀处于右位时，来自泵的的油液到达缸有杆腔，单向阀截止。同时，来自泵的的油经过控制管道进入顺序阀的控制口 K ，当控制压力达到调定值时，顺序阀开启，起到节流阀作用，缸无杆腔的油经顺序阀、换向阀回油箱，活塞下降。一旦重物下降超速，液压缸有杆腔压力减小，同时控制口 K 的压力减小，顺序阀的开口减小，缸回油阻力增加。顺序阀节流口的动态阻尼作用增加了稳定性。

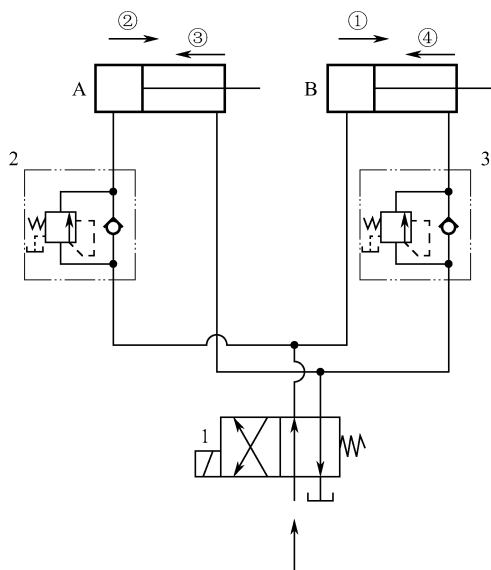


图 1-29 顺序动作回路

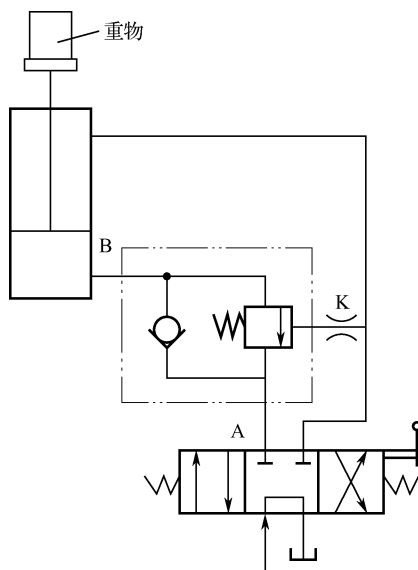


图 1-30 单向顺序阀作平衡阀使用

4) 压力继电器

压力继电器是将液压信号转换为电信号的一种转换元件。当系统压力达到压力继电器的调定压力时，它发出电信号控制电器元件，使油路换向、卸压、实现顺序动作或关闭电动机，起安全保护作用。

压力继电器由两部分组成，第一部分是压力一位移转换器，第二部分是电气微动开关。图 1-31 所示为柱塞式压力继电器。液压力为 p 的控制油液进入压力继电器，当系统压力达到其调定压力时，作用于柱塞 1 上的液压力克服弹簧力，顶杆 2 上移，使微动开关 4 的触头闭合，发出相应的电信号。调节螺帽 3 调节弹簧的预压缩量，从而可改变压力继电器的调定压力。

如图 1-32 所示为压力继电器构成的保压回路。系统由蓄能器持续补油保压，保压的最大压力值由压力继电器调定。未达到压力继电器调定压力时，压力继电器不发信号，二位二通阀处于图示位置，溢流阀遥控口封闭，液压泵向蓄能器充油。压力足够高时，压力继电器发出信号，二位二通阀得电，遥控口接通，溢流阀开启使泵卸荷，由蓄能器保压。压力下降到一定程度时，压力继电器停止发信号，使泵重新向蓄能器充油。本回路适用于保压时间长，功率损失小的场合。

图 1-33 所示是一种利用压力继电器控制电磁换向阀实现顺序动作的回路。其中压力继电器 3 和 4 分别控制换向阀通电，实现如图所示①→②→③→④的顺序动作。当 1YV 通电时，

压力油进入液压缸 5 左腔, 推动液压缸 5 的活塞向右运动。在碰到死挡铁后, 压力升高, 压力继电器 3 发出信号, 使 3YV 通电, 压力油进入液压缸 6 左腔, 推动其活塞也向右运动。在 3YV 断电, 4YV 通电 (由其他方式控制) 后, 压力油推动缸 6 的活塞向左退回, 到达终点后, 压力又升高, 压力继电器 4 发出信号, 使 4YV 通电, 1YV 断电, 液压缸 5 的活塞也左退。为了防止压力继电器在前一行程终了前产生误动作, 压力继电器的调定值应比前一动作液压缸的工作压力高 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$ 。

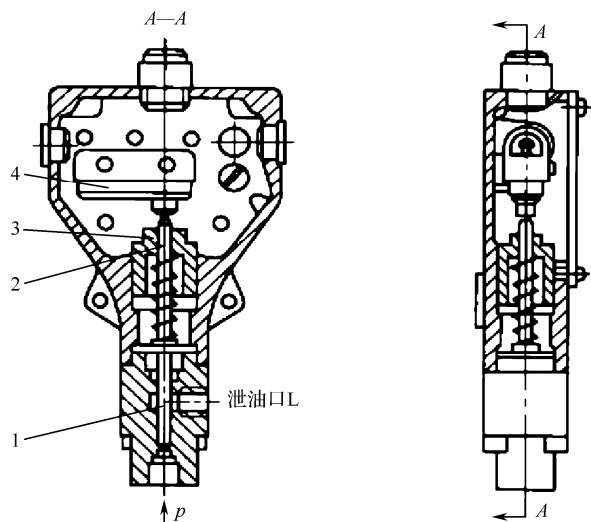


图 1-31 柱塞式压力继电器

1—柱塞; 2—顶杆; 3—调节螺帽; 4—微动开关

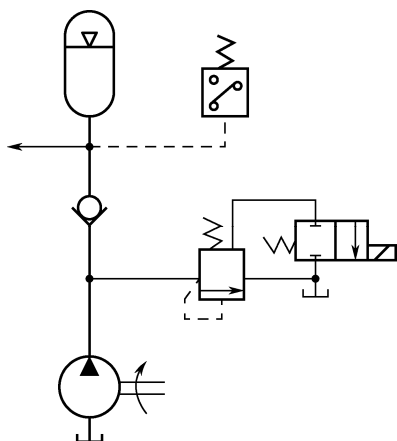


图 1-32 压力继电器的保压回路

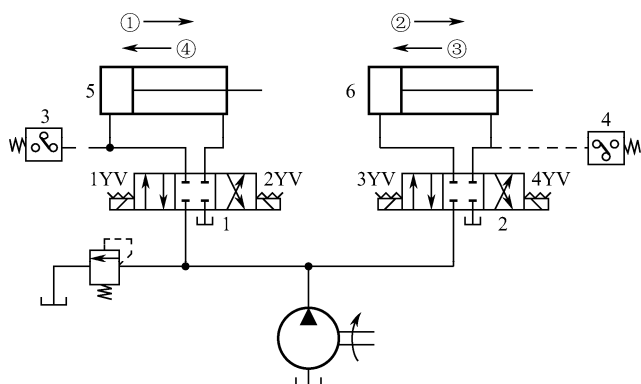


图 1-33 压力继电器控制的顺序动作回路

采用压力继电器控制比较方便, 但由于其灵敏度高, 易受油路中压力冲击影响而产生误动作, 故只宜用于压力冲击较小的系统, 且同一系统中压力继电器数目不宜过多。若能使用延时压力继电器代替普通压力继电器, 则会提高其可靠性。

5) 压力阀的比较

溢流阀、减压阀和顺序阀在结构、工作原理和特点上有相似的地方, 也有不同之处。

① 溢流阀排出的油不做功，直接回油箱；减压阀和顺序阀（作为卸荷阀、平衡阀时除外）排出的油液通向下一级执行元件，输出的油液有一定压力，做功。

② 溢流阀的泄漏油是通过阀体内部与回油口接通的；减压阀、顺序阀的泄油口单独引回油箱。

③ 溢流阀和内控顺序阀是用进口液压力和弹簧力相平衡进行控制的。溢流阀保持进口油压基本不变。顺序阀达到调定压力后开启，其进、出口油液压力可以高于其调定压力，顺序阀的阀芯不需随时浮动，只有开或关两种位置。减压阀是用出口油压进行控制的，其阀芯要不断浮动以保持出口压力基本为恒定。

④ 溢流阀和顺序阀的阀口在常态下是关闭的，而减压阀的阀口在常态下是开启的。溢流阀和减压阀处于工作状态时，溢流口和减压口都是开启的。顺序阀的开启和关闭位置都是工作位置，因为顺序阀在关闭位置仍需维持一定的进口压力，以免影响其他回路的工作。因此对顺序阀的阀芯和阀体之间的密封性有一定要求。

⑤ 溢流阀和减压阀上的压力降都比较大，但是顺序阀上的压降较小。因此希望流过顺序阀的液流在阀中形成的压力损失越小越好，一般为 $0.2 \sim 0.4 \text{ MPa}$ 。

⑥ 需要在溢流阀和减压阀上形成一定的压力降，故它们的开口量较小。顺序阀需要有较小的压力降，故它的开口量也较小。

4. 流量控制阀

液压系统中执行元件的运动速度大小的调节是通过调节进入执行元件的流量的多少来实现的。流量控制阀就是在一定的压差下利用节流口通流截面的变化来调节通过阀的油液流量的。流量控制阀是节流调速系统中的基本调节元件，在定量泵供油的节流调速系统中，必须将流量控制阀与溢流阀配合使用，以便将多余的流量排回油箱。

（1）普通节流阀

普通节流阀是流量阀中使用最普遍的一种形式，它的结构和图形符号如图 1-34 所示。实际上普通节流阀就是由节流口及调节节流口开口大小的调节元件组成的，即由带轴向三角槽的阀芯 1、阀体 2、调节手轮 3、顶杆 4 和弹簧 5 等组成，阀芯 1 与阀体 2 之间形成节流口。

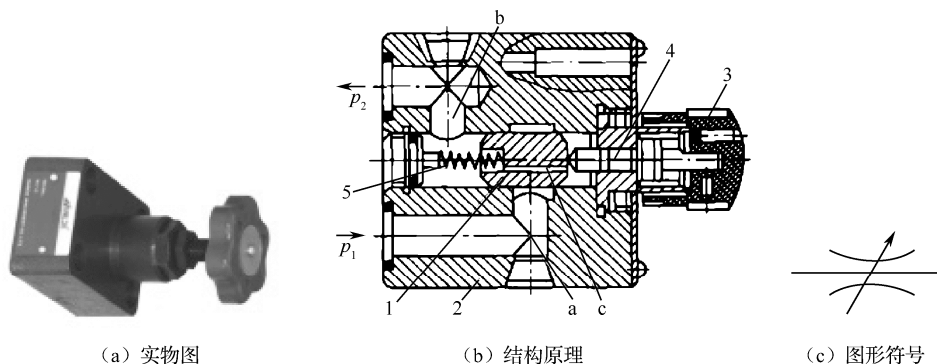


图 1-34 普通节流阀

1—阀芯；2—阀体；3—调节手轮；4—顶杆；5—弹簧；a，b—孔道；c—通道