

第四章 液压控制阀

5.1 重点、难点分析

随着科技的发展和技术的进步，液压阀的种类越来越多，结构也越来越紧凑，在教材中选择了最常见的液压阀为代表，介绍了这些阀的工作原理、典型结构、工作特性与主要用途，同时，选择了少量目前市面上应用较多的英国力士乐公司的液压阀作为新型阀代表。本章的重点内容是各种常用的液压阀例如：换向阀(手动式、机动式、电动式、液动式、电液动式)、压力阀(溢流阀、减压阀、顺序阀、压力继电器)、流量阀(普通节流阀、调速阀)的工作原理、典型结构、工作特性、职能符号的识别和阀的选用。在换向阀中，电磁阀换向阀和电液换向阀的工作原理为重点；对于压力控制阀，先导式溢流阀的工作原理和该阀的流量—压力特性曲线的分析为重点；对流量阀，普通节流阀和调速阀的工作特性分析为重点。在分析流量阀原理时，要抓住负载变化与速度

变化间关系这个要点，节流阀的原理就是小孔流量公式在实际液压阀中的应用，调速阀的原理就是分析当负载变化时，如何使通过阀的流量不随负载的变化而变化的过程。在分析压力阀工作原理时，着重要搞清利用节流降压的原理通过作用在阀芯上的液压力与弹簧力相平衡，通过压力反馈，保持阀的进（出）口压力稳定的原理，搞懂了先导式溢流阀的工作原理和工作特性，其他压力阀的工作的原理就不难理解。

在上述各种阀中，对阀的工作原理的理解以及阀的工作特性的分析是本章重点中的重点，也是本章的难点。随着技术的进步，各种新型结构的阀层出不穷，但是，无论其结构如何变化，阀的基本工作原理却不变；通过对阀工作特性的分析，可以加深对阀工作原理的理解，同时也是阀的选择与应用的依据。

1. 方向控制阀

方向控制阀又分为单向阀和换向阀两类

(1) 单向阀

单向阀按照控制方式分为普通单向阀、液控单向阀两类；按照阀芯形式分为球芯、锥芯、柱芯三种；按照阀芯移动方向分为直通式、直角式两种。普通单向阀的原理是只允许液流向一个方向流动，反向截止。要求单向阀正向开启时压力损失小，反向关闭时密封性好。因此普通单向阀作用在阀芯上的弹簧只起复位作用，其开启压力仅为 0.03—0.05MPa；反向关闭时靠锥阀芯或球阀芯与阀体上的密封线密封。液控单向阀是靠控制油路的压力油控制其反向的启闭。使用时要注意控制压力油口的联通方式，不工作时要使其接油箱，否则控制活塞难以灵活运动，阀反向失灵。

(2) 换向阀

换向阀的种类很多，按照阀芯在阀体内的工作位置分为二位、三位、多位；按照主油路进出油口数分为二通、三通、

四通、五通、多通；按照阀的控制方式又分为：手动、机动（又称为行程阀）、电磁动、液动、电液动；按照阀芯的运动形式分为滑阀、转阀；按照阀芯的定位方式分为钢球定位式和自动复位式等。换向阀的共性工作原理就是通过阀芯与阀体的相对移（转）动切换液流的方向。换向阀若阀芯为弹簧复位，撤去换向信号后，阀芯会自动回到中位，称之为自动复位式；若阀芯带有钢球定位装置，撤去换向信号后，阀仍处于信号撤销前的位置，称之为钢球定位式。

换向阀的阀芯处于不同工作位置时，各主油路进出油口的连通方式称为阀的机能。对于二位阀，阀芯的安装位置称为常位，操作信号的输入使阀芯切换到另一个工作位置称为换向；撤去操作信号后阀芯再回到常位，称为复位。对于三位换向阀，阀芯处于中位时，主油路的连通方式成为该阀的中位机能。阀的中位机能用以满足执行元件不工作时系统的工作要求，其中M型、H型、K型可使液压泵卸载，O

型、M型可使液压缸停在任意位置，H型、Y型可使液压执行元件处于浮动状态，P型可实现液压缸的差动连接。

换向阀的不同的操作方式具有各自的特点：手动、机动换向阀工作可靠；液动换向阀操作力大易于控制大流量；电磁换向阀操作灵活易于实现自动控制；电液动换向阀集电磁换向阀与液动换向阀的优点于一体，既可控制大流量也易于实现自动控制。电液换向阀由液动换向阀与电磁换向阀组合而成，电磁阀为其先导阀用以控制液动阀换向，液动阀为主阀用以实现主油路的换向。根据控制压力油来源，电液换向阀分为内控式与外控式两种控制方式；根据电磁阀的回油方式，电液换向阀又分为内排式和外排式两种回油方式。若液动换向阀是弹簧对中形式，其电磁先导阀应当选Y型中位机能，亦便于主阀芯复位；对于内控式主阀芯为M型中位机能的电液换向阀，有必要在主油路回油口处加背压阀，以保证主阀芯换向的最低控制压力。电磁换向阀的换

向迅速，换向冲击大；电液换向阀可通过调节控制油路上的节流阀来控制换向时间，以减小换向冲击。

2. 压力控制阀

压力控制阀分溢流阀、减压阀、顺序阀、压力继电器等。

压力控制阀的共性工作原理是：利用节流降压原理，通过作用在阀芯一端的弹簧力与另一端的液压力相互平衡而工作。工作时作用在阀芯上的力系平衡，阀口液流满足流量通用方程。在分析压力阀的工作原理时，一定要抓住阀的进（出）口压力、阀芯、弹簧这三个环节。例如：先导式溢流阀当先导阀未开启时，由于无油液流动，主阀两端所受液压力相等，故阀芯在弹簧力作用之下处于一端位置，主阀芯溢流口关闭；先导阀打开时，小股液流流经主阀芯阻尼孔，使主阀芯一端的液压力超过另一端的液压力与弹簧力之和，主阀芯移动，打开主阀口溢流。先导式溢流阀工作时，主阀与先导阀均处于开启状态。同样，先导式减压阀工作时，

其先导阀开启，主阀芯也处于抬起状态。

不同用途的压力阀，所控制的压力点是不同的。对于溢流阀控制阀进口的压力，与弹簧力相作用的是阀的进口压力；减压阀控制阀的出口压力，与弹簧力相作用的是阀的出口压力；顺序阀的工作状况与溢流阀大致相当；压力继电器是控制油压与弹簧力比较。为使阀芯的反应灵敏，其弹簧腔的压力必须为零，弹簧腔油液要引回油箱。由于溢流阀并联在系统中使用，出口接油箱，其弹簧腔的油液由阀体内部通道引到阀出口，即用内泄漏方式；而减压阀与顺序阀串联在支油路上使用，其出油口接油路，弹簧腔的油液必须单独引回油箱，即采用外泄漏方式。

从直动式溢流阀与先导式溢流阀的流量—压力特性曲线的对比可看出，直动式溢流阀的调压偏差大于先导式，即其曲线斜率小于先导式溢流阀。这是因为直动式溢流阀阀芯上的调压弹簧直接与阀的入口油压相作用，为使弹簧能

在较小的压缩量下获得足够的与之平衡的液压力，弹簧刚度就要加大，这就使得开启压力与额定压力之差即调压偏差加大，因此，直动式溢流阀的特性曲线斜率小于先导式溢流阀。当通过直动式溢流阀的流量发生变化时，相同的流量变化，造成其入口压力的波动量大于先导式溢流阀，其定压精度低于先导式溢流阀。当操作调整调压螺母时，直动式溢流阀的弹簧变形力较大，调压费力，所以直动式溢流阀适用于低压、小流量、且对于压力稳定性要求不高的系统。而先导式溢流阀由先导阀与主阀两部分组成，其作用在阀芯的力主要是进口压力 p 与通过阻尼小孔后的液压力 p' 、主阀芯的弹簧力。而弹簧刚度很小，因此当通过阀的流量发生变化时，主阀芯移动，但弹簧力变化不大，从而减小了进口压力 p 的变化，调压偏差小；阀芯另一端作用的压力 p' 是由先导阀调节的，而先导阀的承压面积很小，且灵敏度很高，所以其弹簧力也不大，调节省力、灵活。可见先导

式溢流阀适用于高压大流量，对压力稳定性要求较高的系统。溢流阀常开时用作稳压阀，常闭时用作安全阀，遥控口接回油箱时用作卸载阀。

减压阀的作用是减压和稳压。减压就是将较高的入口压力 p_1 减低为较低的出口压力 p_2 ，稳压就是将出口压力稳定在所调定的数值上。但是减压阀的工作是有条件的，只有当减压阀的进口压力大于其调定压力 0.3~0.5MPa 时，减压阀的先导阀开启，主阀芯处于工作状态时，此阀才能起到减压和稳压作用，其出口压力达到调定值；当阀的进口压力小于出口压力或出口压力为零时，减压阀失去作用，其阀芯处于非工作状态时，此时调节减压阀无效；当负载压力大于减压阀的调定压力或为无穷大（液压油活塞达到终点）时，减压阀仍处于工作状态，出口压力仍为减压阀的调定值，此时流经减压阀口通向负载的流量为零，但仍有极少量油液流经先导阀的泄漏口流回油箱，此时保持减压阀主

阀芯处于工作状态。

顺序阀在结构和工作原理等方面虽然与溢流阀大致相同，但由于阀的应用场合、性能和在油路中的连接方式不同，顺序阀与溢流阀相比较在阀的结构、泄油的方式、控油的形式、工作的状态也不同，因此，顺序阀不可与溢流阀互用。

3. 流量控制阀

流量控制阀用来控制或调节液流流量的阀，流量控制阀的共性的工作原理是：利用流量调节原理，在阀两端的压差一定的情况下，通过调节阀口通流面积，调节通过阀的流量。流量阀的流量与节流口的结构形式与通流面的形状有直接的关系，受到制造工艺的限制，节流口的结构形式主要有缝隙式、三角槽式、薄壁孔式三类。越接近于薄壁孔其节流性能越好；节流口通流面的水利半径越大通流能力越好。因此，流量阀的节流孔力争做成大水利半径的薄壁孔。根据小孔流量通用公式，流经阀口的流量与通流面积的一

次方成正比，与阀口两端压力差的 $1/2$ 次方成正比，还与油液的物理性质、孔口的结构参数有关。

根据阀节流口两端压力差能否保持稳定，流量阀又分为节流阀、调速阀、溢流节流阀等。节流阀的工作原理比较简单，只要了解调节通流面积的方法和节流口的形状即可；而对调速阀的工作原理的理解却具有一定的难度。调速阀由差压式减压阀与节流阀的串连而成，液流进入调速阀后先经过减压阀的减压口后经过节流阀的节流口。当输入油液流量较小时，油压较低，减压阀的阀芯处最下端、减压节流口开度最大，不起减压作用；当输入流量增加后，减压阀出口的油压提高，当提高的油压对阀芯向上的作用力大于阀芯上端的油压与弹簧力之和时，减压阀芯上移，稳定在某一新的位置上，减压阀口减小，减压作用形成，减压阀进入工作状态；此后不管调速阀两端压差如何变化，减压阀芯自动反馈移动，自动调整平衡，保证节流阀节流口两端

的压差基本不变，于是就保证了通过调速阀的流量不发生变化。需要注意的是，对于调速阀，只有在保证调速阀两端压差大于阀的最小压差时，也就是调速阀内的减压阀进入工作状态后，才能保证通过阀的流量不受阀两端压差变动的影晌。

4. 新型液压控制阀

新型液压控制阀是相对于常规液压阀而言的。实际上这些新型液压控制阀已经得到广泛应用，有些阀的市场占有量超过了常规液压阀。目前常见的新型液压控制阀主要有伺服阀、电液比例阀、二通插装阀、叠加阀等。

伺服阀与普通液压控制阀主要的不同点是前者可以通过连续多变的输入控制信号，都能得到连续随动的、放大的且快速的输出响应；而后者只能实现间断的开关量的响应。伺服阀的输入的控制信号一般为微小的电压信号，而输出的控制量一般为液流的压力、流量与流向，伺服阀控制精度

高，响应快，根据输入信号的方式不同，又分为电液伺服阀和机液伺服阀。对于伺服阀重点要掌握“反馈”在整个控制环节中的作用，以及伺服阀的性能特点。

电液比例阀是介于普通液压控制阀与伺服阀之间的新型阀，又分为开环控制与闭环控制两种。学习电液比例阀时，首先要搞清比例电磁铁的电流、工作行程、电磁吸力之间的关系特性，在此基础上了解电液比例溢流阀、电液比例调速阀的原理与应用，进而分析电液比例阀的特点。

二通插装阀为锥阀结构的控制阀，具有体积小、通流能力强、密封性好、反应快捷等优点，特别适合于大流量的高压系统。二通插装阀既可用于压力控制，也可用于方向及流量控制。作压力阀用时，工作原理与普通压力阀相同；作方向阀用时，由于一个锥阀单元只有两个主油口，阀芯有两种工作状态，因此使用时需两个锥阀单元并联组成三通回路，两个三通回路并联组成四通回路。作流量阀时，阀口开

启量可以直接控制。

叠加阀的工作原理完全与普通液压阀相同，但其安装型式和阀体的结构不同，叠加阀最大优点是相关的阀体直接叠加安装，阀体上的油路对应连通，组成系统单元，节省了油路板和连接管道。这种阀结构紧凑、布置灵活、组装快捷，而且占地面积小，系统的设计与制造周期短，应用十分广泛。