

第六章 液压基本回路

液压基本回路是由几个液压元件组成，用以完成某特定功能的液压系统的基本单元。液压基本回路包括压力控制回路、速度控制回路、方向控制回路和多缸控制回路，其内容主要涵盖了各种回路的组成、工作原理、工作特性以及回路的使用场合。它既是液压阀的综合应用，也是分析和设计液压系统的基础。本章的内容在整篇教材中起呈上启下的作用，

7.1 重点、难点分析

在液压设备中，能够实现负载动力参数的控制和调节是对系统的基本要求，调速与调压是完成上述的功能的主要方法。调速回路与调压回路是本章的重点内容。在调速回路中重点掌握：液压系统的调速方式；每种调速回路的结构组成及其调速原理；各种调速方式的特点比较；节流调速回路及容积调速回路中如泵的工作压力、活塞运动速度或

马达转速、活塞能克服的外载推力或马达能克服的外载扭矩、电动机的驱动功率、回路的效率等性能参数的计算。在调压回路中，要重点掌握：各种调压方法的原理与特点；平衡回路的平衡方法与适用场合；卸荷回路的卸荷方式与卸荷条件。其中调速回路是重点中的重点。在多缸控制回路中顺序动作回路和同步回路也是本章的重点内容。

本章的难点是：三种节流调速回路的速度—负载特性；液压效率的概念；三种容积调速回路的调速过程与特性；系统卸荷的卸荷方式；容积——节流调速的调速过程；同步回路中提高同步精度的补偿措施等。

液压基本回路虽然是由若干液压元件组成的，但是往往其中只有一个或几个元件是关键的功能元件，它们的性能决定了回路的特性与工作方式，因此，在学习液压基本回路时，一定要抓住这一问题的关键。另外，为实现某一特定功能，可以选择多种方法，本章只是介绍了其中常用的几

种；为了增强学生对学习基本回路的兴趣，进一步加深学生对所学过液压元件功能的认识，培养创新能力，可以引导学生从设计的角度学习本章内容，这样可以起到举一反三、事半功倍的效果。

1. 压力控制回路

压力控制回路是为满足液压缸（液压马达）对力（力矩）的要求，利用压力控制阀来控制 and 调节液压系统或系统支路压力的回路。

（1）调压回路是每个液压系统普遍应用的基本回路之一。调压回路的关键元件是溢流阀，按照溢流阀的功能可分为安全限压与溢流稳压两种。在调压回路中，若工作压力变化不大，压力平稳性要求不高时，可采用直动式溢流阀；若各工作阶段的工作压力相差较大时，应采用先导式溢流阀，通过对其遥控口的控制实现多级调压、远程调压和无级调压。

(2) 卸荷回路是在大功率的液压系统中经常使用的基本回路之一。液压泵卸荷是指液压泵在很小或近于零功率工况下运转的工作状态。分为压力卸荷与流量卸荷两种，压力卸荷是指泵的流量在零压或很低的压力下流回油箱，主要应用于定量泵的场所；流量卸荷是指泵的输出压力虽然很高，但输出流量很小或接近于零流量输出的工作状态，多用于变量泵的场所。在压力卸荷回路中，关键元件是卸荷阀（换向阀或溢流阀）；流量卸荷回路中的主要功能元件是变量泵。需要注意的是，当采用电液换向阀的中位机能(M型、H型、K型)实现压力卸荷时，若系统中的液动换向阀采用内控方式时，要注意保持系统中的最低控制压力，否则系统无法恢复工作状态；当采用先导型溢流阀卸荷时，往往在溢流阀的遥控口与电磁滑阀之间设置阻尼，以防止系统在卸压或升压时产生液压冲击。

(3) 减压回路的作用是使系统的支路获得可以调节的

低压状态，多用于工件的夹紧、导轨的润滑及系统的控制油路中。减压阀是此回路的主要功能元件。减压回路的工作条件是：作用在该回路上的负载压力要不低于其减压阀的调定压力，保证减压阀的主阀芯处于工作状态。为防止减压回路的压力受主油路压力干扰的影响，往往在减压阀与液压缸之间串接一个单向阀。

（4）增压回路是使系统的支路获得高于系统压力的回路，此回路的关键元件是增压器。增压回路主要用于要求系统中局部油路的压力高于系统压力且流量不大的场合。在增压回路中增压不增功，压力的放大是以流量的降低为代价的。若选用单作用增压器可以获得断续的高压油；选用双作用增压器能获得连续的高压油。

（5）平衡回路是用于平衡垂直运动液压缸的运动部件重力的回路。其原理是，利用平衡阀在缸的下腔产生一个背压以平衡运动部件的自重。其中，平衡阀是关键功能元件。

当重力负载变化不大时，可选择采用单向顺序阀的平衡回路；若重力负载变化较大时，为提高系统的可靠性同时减少功率的消耗，应采用液控平衡阀的平衡回路。液控单向阀的平衡回路适用于要求执行元件长时间可靠的停留在某一位置的场合。

2. 速度控制回路

速度控制回路是调节和改变执行元件的速度的回路，又称为调速回路。能实现执行元件运动速度的无级调节是液压传动的优点之一，

（1）节流调速回路中，按流量阀的不同，分为节流阀式的节流调速回路与调速阀式的节流调速回路。按照流量阀的安装位置不同又分为进油路节流、回油路节流和旁路节流三种回路。各种节流调速回路都是由定量泵、流量阀、溢流阀和执行元件组成的；都是通过调节流量阀的通流面积，调节进入执行元件的流量从而改变负载的运动速度；流量阀

是该回路的关键功能元件。

在节流阀式的节流调速回路中，三种节流调速回路的共同特点是速度刚性小。其中，旁路节流调速回路在低速、低负载时速度刚度最小，其承载能力也随速度的降低而减小。进、回油路节流调速回路的速度—负载特性基本相同，其速度刚性在高速、大负载时较小，二者的差别在于：后者的运动平稳较高，能承受一定的负载；进油路节流调速回路只有在增设了背压阀后，其运动的稳定性才能提高。在调速过程中，进油路节流和回油路节流调速回路的溢流阀均处于开启状态，起稳压和分流的作用；在旁路节流调速回路的调速过程中，溢流阀不开启，起到安全保护作用。在进、回油路节流调速回路中，既有溢流损失，也有节流损失，系统的效率不高；在旁油路节流调速回路中，只有节流损失，没有溢流损失，系统的效率较进、回油路节流调速回路要高。因此在同样元件组成的条件下，旁路节流调速回路的

功率损失小、效率高，但速度稳定性差。它们的速度负载特性均可通过小孔流量方程得出。

调速阀式的节流调速回路与节流阀式的节流回路比较，虽然提高了回路的速度刚性，但是节流损失增大，系统的造价较高。其回路特性的分析方法、系统特点的提炼、主要元件的作用与相应的节流阀式的节流调速回路基本相似，只是回路的刚性更高，负载平稳性更好，系统效率更低。

（2）容积调速回路是通过改变泵或马达的排量实现执行元件速度调节的回路。在变量泵-定量马达组成的容积调速回路中，具有恒扭矩特性；在定量泵-变量马达组成的容积调速回路中具有恒功率特性。对于变量泵-变量马达组成的容积调速回路，为使马达的速度逐步得到提高，往往在低速段将马达的排量置于最大，由小到大调节泵的排量，系统输出端呈现恒扭矩特性；在高速段，将泵的排量置于最大，将马达的排量由大到小调节，此时系统输出呈现恒

功率特性。容积调速回路常见于闭式回路中，其溢流阀为系统安全阀。此回路既无节流损失，也无溢流损失，回路的效率高，用于大功率（ $>5\text{kW}$ ）的场合。但当负载变化时，会引起容积调速回路中泵和马达泄漏量的变化，因此，回路速度刚性较差。

（3）容积节流调速回路分为限压式变量泵与调速阀组成的调速回路和差压式变量泵与节流阀组成的调速回路两种，它由变量泵按需要量供油，流量阀控制调节进入（或流出）执行元件的流量。只有节流损失，没有溢流损失。回路中通过流量阀的流量不因负载变化而改变，速度刚性好。该回路具有速度平稳性好与系统效率高的双重优点，适用于速度平稳性要求高、功率损失小的中小功率（ $3\text{kW} \sim 5\text{kW}$ ）的液压系统。

仅元件的功能而言，流量阀是控制流量大小的，变量泵也可以通过调节的自身排量，直接满足执行元件的速度

需要。而在容积节流调速回路中流量阀、变量泵二者并存，对于执行元件的速度究竟由谁起主导作用，这是此回路学习的难点。事实上，变量泵是流量的产生之源，但其输出流量的大小完全受控制于流量阀：流量阀开口大，变量泵输出流量增加，则流量阀的过流量增加；流量阀开口小，变量泵输出流量减小，则通过流量阀的流量减小；当流量阀完全关闭时，变量泵对外输出油液的流量为零。因此，执行元件的速度是由变量泵与调速阀二者联合控制的。容积节流调速回路也称为联合调速回路。

3. 快速运动回路及速度换接回路

为了提高效率，使执行元件获得尽可能快的运动速度，需要采用快速运动回路。在执行元件工作过程中需要两种以上速度时，则选择速度换接回路。

（1）常见的快速运动回路有：液压缸差动连接快速运动回路、双泵供油快速运动回路、利用高位油箱补油的快

速运动回路、利用增速缸增速的快速运动回路等。在差动连接快速回路中，泵的流量与缸有杆腔的回油流量，通过二位三通或三位五通换向阀汇合，进入缸的无杆腔而实现活塞的快速运动；当执行元件在不同的工作阶段速度要求相差很大时，应考虑采用双联泵供油的快速运动回路，当执行元件快进时用双泵供油，工进时大泵卸载，小泵供油用流量控制阀控制工进的运动速度；对于立式大直径的液压缸可利用运动部件的自重实现快运动，此时高位油箱的液压油通过液控单向阀向油缸补油；对于卧式的大直径液压缸，可采用增速缸或辅助缸实现活塞的快速运动，此时油缸的非工作腔需要通过充液阀补油。

（2）速度换接回路分为快慢速的速度换接和慢慢速的速度换接两种。换接平稳性和换接精度是速度换接回路评价换接质量的两项重要指标。快慢速换接回路，有压力控制和行程控制两种。前者以双泵供油快速、压力控制实现快慢

速自动换接；后者以单泵供油，行程阀或电磁阀来实现快慢速行程控制。慢慢速的速度换接可用调速阀的串联或并联实现。调速阀串联的速度换接回路，要求第二工进速度小于第一工进速度；调速阀并联的速度换接回路，两次工进速度间互不影响，但因调速阀的定差减压阀在速度转换瞬间存在滞后，不宜用于在同一行程中需要有两次工进速度转换的场合。

4. 方向控制回路

方向控制回路是控制执行元件的启动、停止或改变运动方向的回路。有换向回路、锁紧回路和制动回路等。

对于换向回路的换向过程可以用电磁换向阀、电液换向阀、机动换向阀、机液换向阀等实现。电磁换向阀、电液换向阀易实现自动控制，但可靠性不高；机动换向阀的可靠性较高，但是当执行元件速度很低时，易出现换向死点。对频繁连续往复运动的执行元件，多采用机液阀换向。机液换向

阀的换向回路按照制动过程不同，分为时间控制制动和行程控制制动两种制动形式，时间控制制动式换向回路的特点是运动部件制动的的时间基本不变，多用于运动速度较大、换向频率高、换向精度要求不高的液压系统，例如平面磨床工作台的换向过程；行程控制制动式换向回路的特点是运动部件的制动距离基本不变、换向精度高，多用于工作部件运动速度不大但换向精度要求高的液压系统，例如外圆磨床工作台的换向过程。

锁紧回路主要用于要求执行元件可靠的停在任意位置的液压系统，对于重力负载系统，必须考虑锁紧回路。最常用的锁紧方法是采用液控单向阀锁紧。在此回路中，为保证执行元件在锁紧时迅速可靠，其控制油路必须与油箱接通。

当要求执行元件的运动尽快平稳的停止时，需采用制动回路。在制动回路中，溢流阀与单向阀的组合，能够对油路中因执行元件的惯性所造成的高压或负压起到缓冲和补

油的作用。这里的溢流阀和单向阀均可选取小规格的阀。为使系统可靠的工作，要求制动回路溢流阀的调定压力比主油路溢流阀的调定压力高 5%—10%。

5. 多缸控制回路

多缸控制回路包括顺序动作回路、同步回路、防扰回路。

顺序动作回路有压力控制、行程控制和时间控制三种控制方式。压力控制顺序动作回路是利用油路的压力变化，通过内控顺序阀或压力继电器来控制实现顺序动作，为保证此回路顺序动作可靠，压力控制元件的调定压力应大于前一动作执行元件最高工作压力的 10%—15%，这种回路只适用于执行元件不多、负载变化不大的场合。利用行程阀或行程开关的顺序动作回路，属于行程控制的顺序动作回路，此回路动作可靠性强，应用十分广泛。时间控制的顺序动作回路是靠延时阀控制实现顺序动作的，由于时间调节既不如时间继电器控制电磁阀方便，也不够精确，应用较少。

同步回路是实现两个执行元件以相同的速度或相同的位移运动的回路。按照控制方式不同，同步回路分为流量控制、容积控制和伺服控制三种。流量控制同步回路是通过流量控制阀控制进入或流出执行元件的流量，来实现速度同步，其特点是结构简单，但调整麻烦，且同步精度不高。容积控制同步回路是将两相等容积的油液分配到尺寸相同的两执行元件，实现位移同步。将两活塞有效面积相同的液压缸串联起来的同步回路，同步精度和效率都较高，但是因油缸存在制造误差、内泄漏等因素，容易出现同步的位置误差，需采取补偿措施进行补偿。采用比例阀或伺服阀的同步回路同步精度高，但是系统的复杂程度和造价都较高。若系统为闭环控制，可以通过检测装置检测活塞位移信号，经过放大后，反馈给比例阀或伺服阀来控制进入液压缸的流量，从而实现较精确的同步运动。

防干扰回路用于多缸互不干扰的系统中。此回路既可采

用双泵分别供油以实现给快进给和工作进给，以实现多缸快、慢速互不干扰；也可通过单向阀保压(保压时间短)、蓄能器保压(保压时间长)、换向阀等液压元件的控制达到对系统某支路防止干扰的目的。