

第一章 概 论

一、机床液压技术发展概况

液压传动相对于机械传动来说，是一门新兴的技术，近二十年来被广泛应用于机械制造、工程建设、石油化工、交通运输、军事器械等各个方面。机床上采用液压传动，如果从十九世纪末德国制造液压龙门刨床，美国制造液压六角车床、液压磨床算起，已有近百年历史。自本世纪三十年代，各类机床（车、铣、磨、钻、镗、拉床等）都开始采用液压传动，到第二次世界大战后，应用才逐渐普遍起来。今天有些国家采用液压的机床类别（按品种计）已高达 70% 以上。就国外液压传动的发展趋势来看，正向着高压化、高速化、集成化、大流量、大功率、高效率、长寿命、低噪音方向发展。

解放前我国液压工业基本上是空白，从 1952 年开始，机床行业着手组织液压元件的生产，此后，其品种、产量不断增加。近年来又进行了主要基型品种的联合设计，更新产品，填补空白，形成了我国的液压元件产品系列，并建成一批液压元件制造厂。过去一般只在磨床、插床、拉床和刨床上采用，现在已扩大到车、镗、钻、铣、齿轮加工机床和组合机床上。

二、液压传动的特点和组成

液压千斤顶是液压传动的一例（图 1-1），它由杠杆 1、活塞 2、泵体 3 等组成的手动柱塞液压泵和活塞 6、缸体 7 等组成的液压缸构成。其工作过程如下：提起杠杆 1，活塞 2 上升，泵体 3 下腔的工作容积增大（此时单向阀 5 关闭），腔内形成局部真空，于是油箱 9 中的油液在大气压力作用下，推开单向阀 4 的钢球，进入并充满泵体 3 的下腔。压下杠杆 1，活塞 2 下降，压力油使单向阀 4 关闭，并使单向阀 5 的钢球受到一个向上的作用力，当这个作用力大于液压缸下腔对它的作用力时，钢球被推开，油液便进入液压缸 7 的下腔（阀 8 关闭），推动活塞 6 将重物 G 升起。反复提压杠杆 1，就可以使重物不断上升，达到起重的目的。

将阀 8 转动 90° ，液压缸 7 下腔直通油箱，在重物的作用下，活塞 6 向下移动，下腔的油液排回油箱。从液压千斤顶的工作过程中，可以看出，液压传动有以下的特点。

（一）液压传动以液体（一般为矿物油）作为传递运动和动力的工作介质，传动必须经过两次能量转换。首先通过动力装置把机械能转换为液体的压力能，然后通过液动机（液压缸或液压马达）把液体的压力能转换为机械能。

（二）油液必须在密封容器内传送（容积式传动），而且

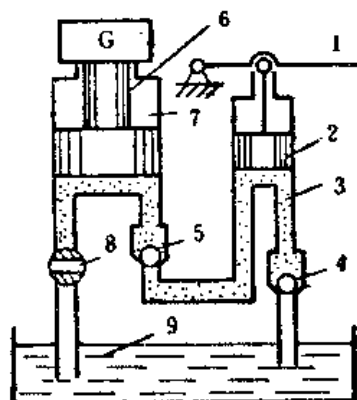


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

容积要发生变化。如果容器不密封（不能形成必要的压力），容积不变，都不能实现液压传动的目的。

机床的液压传动系统比液压千斤顶复杂得多，因为要使机床能满足一定的使用要求，往往需要由许多不同的液压元件构成各种油路，以组成机床的液压传动系统。

例如我们将一个实现工作台往复运动的简单的液压系统图 1-2 进行分析如下：

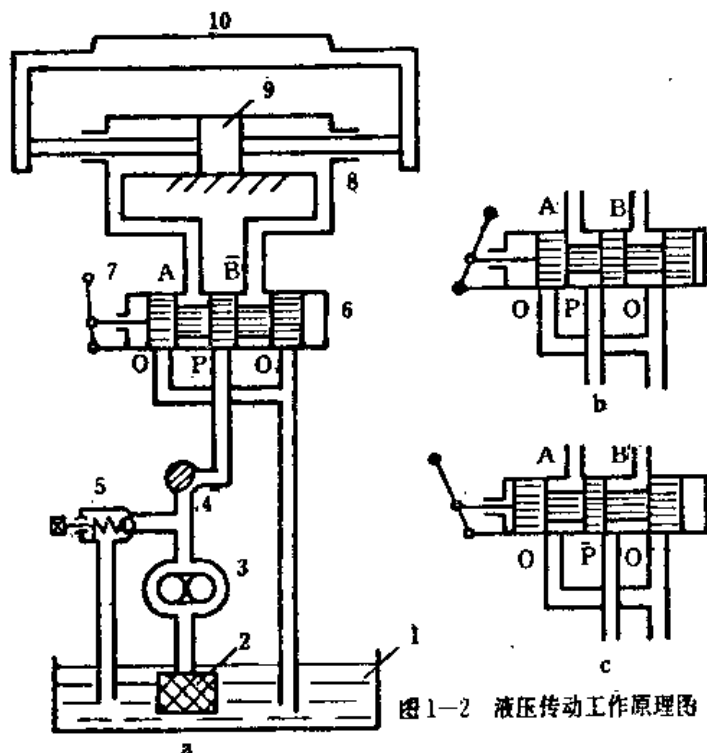


图 1-2 液压传动工作原理图

电动机（图中未画出）带动液压泵 3 旋转，泵 3 从油箱 1 吸油，然后将具有压力能的油液输入管路，油液通过节流阀 4 流至换向阀 6 时，图 1-2a 所示，由于手动换向阀处于中间位置，阀孔 P 与 A、B 均不相通，液压缸不通压力

油，所以工作台停止不动。若将手动换向阀向右推，使阀芯处于图 1-2b 所示位置时，阀孔 P 和 A、B 和 O 相通，这时，油液经压力油孔 P 流入换向阀 6，再经阀孔 A 流入液压缸 8 的左腔；液压缸 8 右腔的油液经阀孔 B 进入换向阀 6，再经回油孔 O 流入油箱 1。当液压缸 8 固定不动时，活塞 9 在油液压力的推动下，带动与活塞杆固定在一起的工作台 10 向右运动。如果扳动手柄 7，使换向阀 6 的阀芯移到左边位置，图 1-2c 所示，这时，压力油经阀孔 P 进入换向阀，然后经阀孔 B 进入液压缸 8 的右腔；液压缸左腔的油液经阀孔 A 和回油孔 O 流回油箱；于是使工作台向左运动。换向阀 6 能不断改变压力油的通路，使液压缸不断换向以实现工作台所需的往复运动。其中调速用节流阀 4，调压和溢油由溢流阀 5 来完成。

图 1-2 所示的液压传动系统图如用图形符号来表示，则如图 1-3 所示（图中编号和图 1-2 的编号相同）。按照规定，液压元件的图形符号应以元件的静止状态或零位来表示。在图 1-3a 中；换向阀 6 的阀芯处于中间位置，这时压力油孔 P 与 A、B 断开，工作台不动。如利用操纵手柄 7 将换向阀 6 的阀芯向右推，油路连通情况如图 1-3b 所示，这时油液由压力油孔 P 通过阀孔 A，进入液压缸左腔，液压缸右腔的油液经阀孔 B，换向阀 6，再经回油孔 O 流回油箱，这时活塞带动工作台向右运动。如换向阀 6 的阀芯移至左边位置，如图 1-3c 所示，这时由于阀口通路改变，于是工作台向左运动，实现了工作台换向。节流阀 4 起调节流量作用。系统中压力的高低可通过调节溢流阀 5 来解决。

液压传动系统中，液压元件若无法采用图形符号表达时，可采用结构原理图表示。

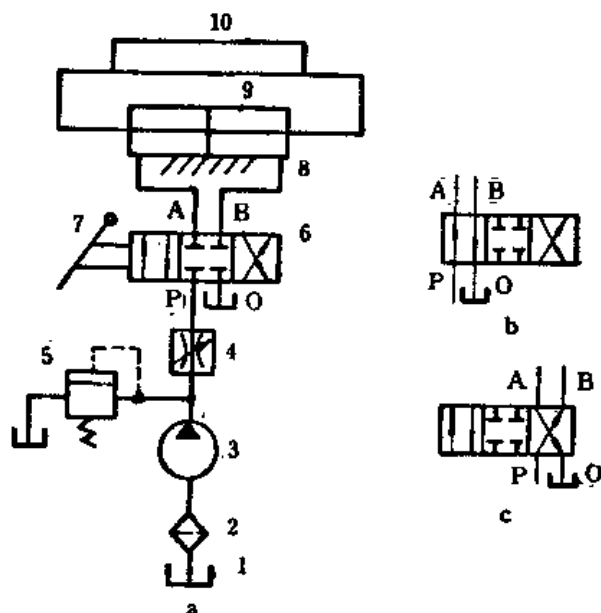


图 1-3 液压传动原理图 (职能符号图)

从上面的例子可以看出，液压传动系统一般由四个部分组成：

1. 动力装置

如液压泵，它是将原动机（一般指电动机）输出的机械能转换为液压能的能量转换装置。它供给液压系统压力油。

2. 执行机构

包括各种液压缸和液压马达。它的功用是将液体的压力能转换为机械能，以驱动工作台部件而做功。

3. 控制调节装置

包括各种阀类，如压力阀、流量阀和换向阀等，用以控制液压系统的压力、流量（速度）和液流的方向，以保证执行机构完成预期的工作运动。

4. 辅助装置

包括各种管接头、油管、油箱、滤油器、蓄能器和压力表等。起连接、贮油、过滤、贮存压力能和测量油压等作用。

三、液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电力传动、气压传动相比有下列一些优点：

1. 液压传动装置能进行无级调速，调速范围大，可达 $100:1 \sim 2000:1$ 。

2. 在同等功率的情况下，液压传动装置的体积小，重量轻，惯性小，结构紧凑（如液压马达的重量只有同功率电动机重量的 $10\% \sim 20\%$ ），而且能传递较大的力或转矩。

3. 液压传动装置工作比较平稳，反应快，冲击小，能高速启动、制动和换向。

4. 液压传动装置的控制、调节比较简单，操纵比较方便、省力，易于实现自动化。

5. 液压传动装置易于实现过载保护。由于采用油液作为工作介质，液压传动装置能自行润滑，故使用寿命较长。

6. 液压元件易于实现系列化，标准化和通用化，故便于设计、制造和推广使用。

液压传动的主要缺点为：

1. 液压传动装置以液体为工作介质，无法避免泄漏。液体的泄漏和液体的可压缩性使液压传动无法保证严格的传动比。

2. 液压传动装置由于在能量转换及传递过程中存在着机械摩擦损失、压力损失和泄漏损失而总效率降低，不宜作远

距离传动。

3. 液压传动装置对油温和负载的变化都比较敏感，不宜在低温及高温条件下工作。

4. 液压传动装置要求有单独的能源（例如，液压泵站），液压能不能象电能那样从远处送来。液压元件制造精度要求高，造价贵，须组织专业生产。

5. 液压传动装置出现故障不易查找原因，不易迅速排除。

总的说来，液压传动的优点较多，其缺点随着生产技术的发展正在逐步得到克服，因此液压传动在现代化的生产中有着广阔的发展前途。

四、怎样阅读机床油路图

液压系统图是用若干个基本回路有机地结合起来，用以执行一定的传动职能的工作原理图。熟悉液压系统图，可以更好地使用、调整、维修、保养、液压设备或者设计油路。阅读和分析液压系统图的方法大致如下：

1. 了解液压系统的用途、工作循环和应具备的性能要求。

2. 根据工作循环，工作性能和要求，估计油路需要哪些基本回路，并弄清各个液压元件的类型、性能、相互之间的连接关系及功用。

3. 按照工作循环的工作次序，依次写出完成各个动作液流所经过的路线。在分析之前，最好将液压系统中的各个液压元件和各条油路编上号码，这对于分析复杂的油路系统是很必要的。写出油流路线时，应首先分清控制油路及主油

略，抓住起、止两端的元件，从一端写到另一端。对于主油路，应从泵开始（动力源）写起，一直写到执行元件一端（液压缸或液压马达），这就构成了进油路线（闭式系统则回到油泵），而回油路线则从执行元件的另一端写起，一直写到油箱。在分析各种工作状态时，要首先确定换向阀和其它控制元件（如先导阀等）的通路状态，然后再分析各主油路的沟通情况。当系统从一种工作状态转换到另一种工作状态时，要特别注意各个换向阀（或其它元件）是由哪个发讯元件控制的，并搞清转换后的油路变化情况。在分析各个动力油路的基础上，列出电磁铁和其它转换元件的动作顺序表。

在调整或检修液压设备时，不但要充分了解液压系统的工作原理，还要对系统所用元件的具体作用，要加以分析、综合，然后再着手进行调整或检修工作。

第二章 液压基本元件及图形符号

第一节 液压泵和液压马达

液压泵是一种能量转换装置，它把那个驱动它的原动机（一般为电动机）的机械能转换为油液的压力能，供液压系统使用，它是液压系统中的能源。

机床液压系统中常用的液压泵有齿轮式、叶片式和柱塞式三大类。

液压马达也是能量转换装置，它把液压能转换为机械能。因为液压马达和液压泵从原理上说是可逆的，所以有哪类液压泵便有哪类液压马达。只是它们的用途不同，结构也略有差别。

一、齿轮泵

齿轮泵是机床低压系统中常用的液压泵。它的主要组成部分是一些（一般指一对）相互啮合的齿轮。齿轮泵绝大部分是外啮合式，但亦有一些是内啮合式的。

前者优点为结构简单，制造方便，价格低廉；缺点是噪音较大，输油量不均匀。后者优点为噪音较小，自吸性能好，体积小，重量轻；缺点是制造较困难。

图 2-1 所示是外啮合齿轮泵的工作原理图。一对齿轮互相啮合，同时，齿轮的齿顶和壳体内孔表面间的间隙很

小，齿轮端面和端盖之间的间隙也很小，从而把吸油腔和压油腔隔开。当齿轮按图示方向旋转时，啮合点右侧啮合着的齿逐渐退出啮合，空间增大，形成局部真空，油箱中的油液在外界大气压的作用下进入吸油腔，并随着齿轮旋转。当油液到达左侧压油腔时，由于轮齿在这里逐渐进入啮合，密封工作腔空间不断减小，油液被挤压出来，强迫从压油口流出。这就是齿轮泵的吸油和压油过程。当齿轮不断地转动时，齿轮泵就不断地吸油和压油。

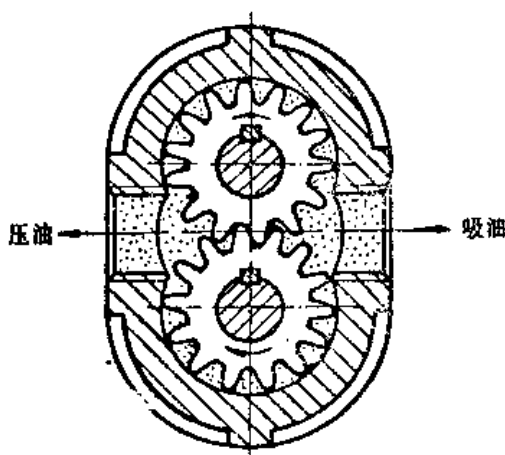


图 2—1 外啮合齿轮泵的工作原理图

二、叶片泵

叶片泵有单作用式叶片泵和双作用式叶片泵两大类，前者是变量泵，后者是定量泵。叶片泵在机床中压系统中得到了广泛的应用。这种液压泵输出流量均匀，脉动小，噪音小，但结构较复杂，吸油特性不太好，对油液中的污染也比较敏感。

(一) 定量叶片泵

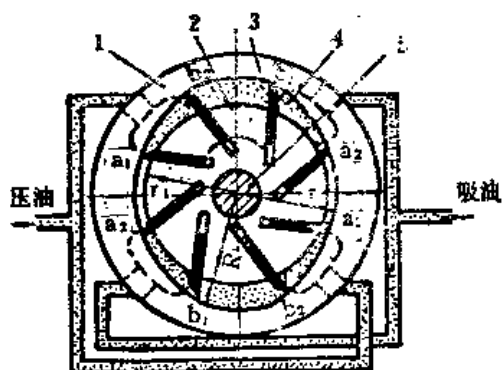


图 2-2 双作用叶片泵的工作原理图

图 2-2 所示为双作用定量叶片泵的工作原理图。它主要由定子 1、转子 2、叶片 3、配油盘 4、传动轴 5 和壳体等组成。定子的表面是由两段长半径圆弧，两段短半径圆弧以及四段过渡曲线所组成。转子上开有均布槽，矩形叶片安装在槽内，并可在槽内滑动。当转子旋转时，叶片在离心力和根部压力油（系统压力建立后）的作用下，紧贴于定子内表面，起密封作用。当转子逆时针转动时，在短半径 a_1 、 a_2 的叶片跟随转子转动的同时，还逐步向外伸展，于是两叶片间形成的密封容积便逐渐增大，形成了局部真空，油箱中油液在大气压的作用下，经配油盘 4 上的腰形槽充满叶片间的密封腔。当两叶片转至长半径圆弧段 b_1b_2 位置时，密封容积增至最大，于是吸油完毕。当两叶片由长半径 R 处向短半径 r 处转动时，叶片被压入转子，两叶片间的密封容积逐渐减小，于是油液从配油盘的另一腰形槽压出，当两叶片均转至另一侧的短半径圆弧段时，密封容积最小，压油完毕。当转子连续转动时，相邻两叶片所构成的密封容积便不断变化，于是叶片泵便继续地进行吸油和压油。

由于叶片泵有两个吸油腔和两个压油腔，因此转子每转一转，每两叶片间所形成的密封容积便完成两次吸压油过程，所以称为双作用式叶片泵。双作用式叶片泵的吸、压油腔所对应的夹角是对称的，因此作用在转子上的径向液压力互相平衡，即转子轴上不承受径向力，故这种泵又称为卸荷式叶片泵。

(二) 变量叶片泵

变量叶片泵为单作用式。变量叶片泵依靠定子和转子间偏心距 e 的变化，来改变泵的输出流量的大小。偏心距 e 的改变可以手动调节，也可以自动调节。根据自动调节后泵的压力流量特性不同，又可分为限压式、恒流量式（其输油量基本上不随压力的高低而变化）和恒压式（其调定压力基本上不随泵的流量变化而变化）三类。

下面介绍常用的限压式变量叶片泵。

限压式变量叶片泵的流量是利用压力的反馈作用实现的，它有外反馈和内反馈两种形式，这里只介绍外反馈一种形式。

图 2-3 为外反馈限压式变量叶片泵的工作原理图。转子 1 的中心 O_1 是固定的，定子 2 可在左右移动，在弹簧 3 的作用下，定子被推向左端；使定子中心 O_2 和转子中心 O_1 之间有一初始偏心量 e_0 ，它决定了泵的最大流量， e_0 的大小可用螺钉 7 调节。泵的出口压力 P ，经泵体内通道作用于柱塞 6 上，使柱塞对定子 2 产生一作用力 PA ，它平衡弹簧 3 的预紧力 KX_0 （ K 为弹簧的刚度系数， X_0 为弹簧的预压缩量）和有压缩弹簧减小偏心量 e_0 的趋势。当负载变化时， PA 发生变化，定子相对转子移动，使偏心量改变，其工作过程如下：

当泵的工作压力 P 小于限定压力 P_B 时, $PA < KX_0$, 此时, 限压弹簧的压缩量不变, 定子不作移动, 最大偏心量 e_0 保持不变, 泵的输

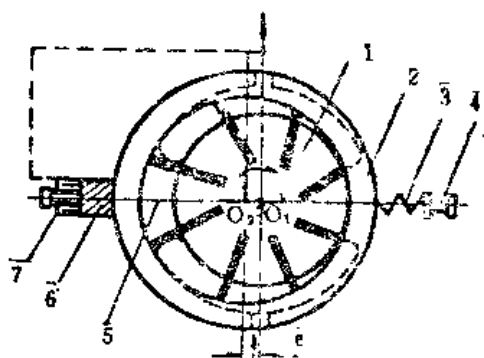


图 2-3 外反倾变量叶片泵的工作原理图

出流量为最大, 当泵的工作压力升高而大于限定压力 P_B 时, $PA > KX_0$, 这时限压弹簧被压缩, 定子右移, 偏心量减小, 泵的流量也减小。泵的工作压力愈高, 偏心量愈小, 泵的流量也愈小。工作压力达到某极限值 P_C (截止压力) 时, 则 PA 值更大, 限压弹簧被压缩到最短, 定子移到最右端位置, 偏心量减至最小, 使泵的流量趋近于零, 这时泵输出少量流量用来补偿泄漏。

(三) 其他形式的叶片泵

1. 双联叶片泵

双联叶片泵相当于两个双作用叶片泵的组合。泵的两套转子、定子和配油盘等安装在一个泵体内, 泵体有一个公共的吸油口和两个各自独立的出油口, 两个转子由同一个传动轴转动。双联泵的输出流量可以分开, 也可以合并使用, 例如在轻载快速时, 大小两泵同时供给低压油; 在重载慢速时, 高压小流量泵单独供油, 低压大流量泵卸荷。系统中采用双联泵可以节省功率损耗, 减小油液发热。双联泵也常用于液压系统需要两个互不干扰的独立油腔中。

并联二只油泵也同并联二节电池类似, 它们不象串联那

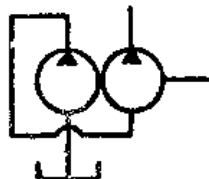
样能增加液压系统的最大工作压力，而只能增加液压系统的工作流量，右图为其图形符号。

2. 双级叶片泵

双级叶片泵实际上是将两个双作用式叶片泵安装在一个泵体内，将其油路串联而成，两个转子由同一传动轴传动。其第一级的出油口接第二级泵的吸油口，第二级泵排出的油液输入系统，其出油口压力，则为单级泵压力的两倍。为了每级泵压力负荷相同，在泵内设有一负载平衡阀。



二节电池串联起来的情况与二只油泵串联起来情况类似，但要平衡阀进行平衡。右图为其简化图形符号。



三、柱塞泵

柱塞泵是利用柱塞在圆孔中往复运动，使密封容积变化而吸油和排油的。柱塞泵具有压力高、结构紧凑、效率高以及流量调节方便等优点。缺点主要是结构比较复杂，制造困难，体积大，价格高。它常用于需要高压大流量和流量需要调节的龙门刨床、拉床、液压机等液压系统中。常见的有径向和轴向柱塞泵两种。

(一) 径向柱塞泵

图 2-4 所示为径向柱塞泵的工作原理图。转子 3 上有径向均匀分布的柱塞 1，青铜套 4 和转子 3 紧密配合，并套装在配油轴 5 上，配油轴 5 是固定不动的。转子连同柱塞由电机带动一起旋转。柱塞靠离心力（或在低压油作用下）紧压在定于 2 的内壁上。由于定子和转子间有一偏心距 e ，所

以当转子按图示箭头方向旋转时，柱塞在上半周内向外伸出，柱塞底部的密封容积逐渐增大，产生局部真空，于是通过固定配油轴上的窗口 a 吸油。当柱塞处于下半周时，各柱塞底部的密封容积逐渐减小，通过配油轴窗口 b 把油液排出。转子每转一周，每个柱塞各吸压油一次。若改变定子 2 和转子 3 的偏心距 e 时，排油量也改变，这就是径向柱塞泵的工作原理。

(二) 轴向柱塞泵

图 2-5 所示为轴向柱塞泵的工作原理图。柱塞 3 以传动轴 1 为中心均匀分布在缸体 4 中，它在弹簧 5 的作用下（有时利用输入的低压油）抵在斜盘 2 上，缸体右端紧贴配油盘 6。当传动轴 1 带动

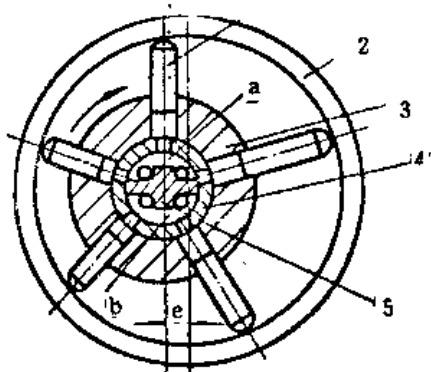


图 2-4 径向柱塞泵的工作原理图

缸体 4 沿配油盘 6 顺时针旋转时，在弹簧 5（或低压油）与斜盘 2 的配合作用下，柱塞在缸体中往复直线运动。配油盘的左半部柱塞在弹簧作用下逐步伸出，缸体腔内容积变大，吸入油液，所以是吸油区，a 窗口为吸油窗口，右半部在斜盘的作用下，逐渐缩回，压缩缸体内的油液，使之从 b 窗口排出，所以是压油区，b 窗口为压油窗口。缸体旋转一周，每一柱塞往返一次，完成一次吸油和压油过程。如果连续旋转，就可以不断地输出压力油。

从图中可以看出，斜盘倾斜的角度，对柱塞的行程和容积变化有很大影响。倾斜角度越大，柱塞的行程就越长，容

积的变化就越大，泵的排量也就越大。当斜盘与缸体处于平行位置，即与柱塞成垂直角度时，柱塞不会发生往复运动，所以此时的排量为零。如果改变倾斜方向（或改变传动轴的转向），可使进出油口相反。这就是轴向柱塞泵的工作原理。

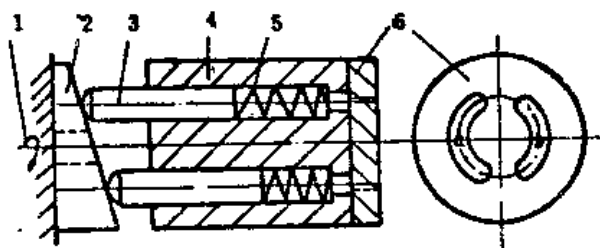


图 2-5 轴向柱塞泵的工作原理图

轴向柱塞泵柱塞的数目对流量脉动影响很大，柱塞数目多，流量脉动小，采用奇数柱塞比采用偶数柱塞流量脉动小。

四、齿轮液压马达

齿轮液压马达输出转矩小，而且低速运转时速度极不稳定，实际很少使用。

五、叶片液压马达

图 2-6 为双作用叶片液压马达的工作原理图。当压力油送入压油腔后，叶片 1、3 和 5、7 的一面作用着高压油，另一

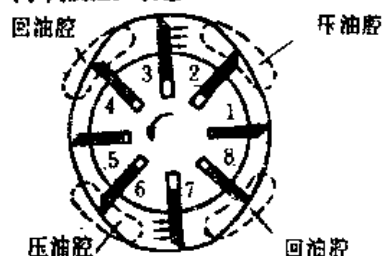


图 2-6 双作用叶片液压马达的工作原理图

面作用着低压油，由于叶片 3 和 7 伸出面积大于叶片 1 和 5 伸出的面积，因此便产生使转子旋转的转矩，驱使转子逆时针方向转动，双作用叶片液压马达转矩的大小，由它的结构参数和进、回油腔压力差来决定。其转速 n 决定于输入流量 Q 。

六、轴向柱塞液压马达

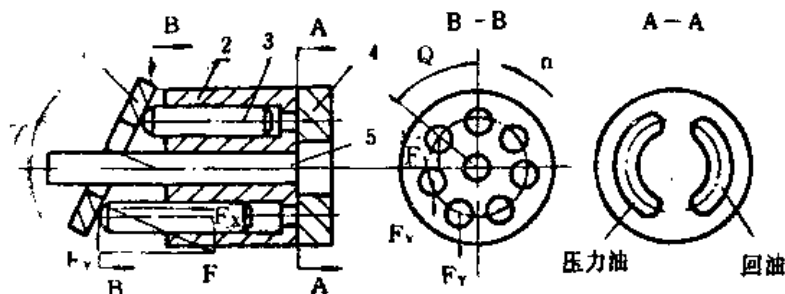


图 2-7 轴向柱塞液压马达的工作原理图

图 2-7 为轴向柱塞液压马达的工作原理图。图中斜盘 1 和配油盘 4 固定不动，柱塞 3 轴向地放置在缸体 2 中，缸体 2 和马达轴 5 相连，并一起旋转。斜盘中心线和缸体中心线相交一个倾角 γ 。当将压力油通过配油盘的配油窗口输入到缸体的柱塞孔中时，压力油把孔中的柱塞顶出，使之压在斜盘上。由于斜盘对每个柱塞的反作用力垂直于斜盘表示（作用在柱塞球头表面的法线方向上），这个力的水平分量 F_x 与柱塞上的液压力平衡，而垂直分量 F_y 则使每个柱塞对转子中心产生一个转矩，使缸体和马达轴作逆时针方向旋转。如果改变液压马达压力油的输入方向（即在图中配油盘右侧的配油窗口通入压力油），马达轴就作顺时针方向旋转。