

锻压机械液压传动

天津大学等六院校合编

前 言

液压传动是一项比较新的技术，由于它有不少优点，所以它在锻压机械中的应用、发展比较迅速。六十年代以后世界各国在锻压机械方面都普遍采用了液压技术，特别是油压机、全液压锻造操作机、冲压用液压机械手、自动压机以及锻压生产机械化和自动化方面，应用得更为广泛，它已成为锻压机械发展的一个重要方面。为锻压机械的发展，开创了广阔的前景。

在毛主席革命路线的指引下，我国的液压技术也有了迅速的发展，在锻压设备、冲压设备、以及锻造、冲压机械化和自动化等方面，液压技术的采用也日益增多。现在我国已经制订了有关液压元件的国家标准，自行设计和主产了各种液压元件，包括高、中、低压油泵、油马达和各种阀类。采用液压传动的各种锻压机械产品越来越多。因此，液压技术已成为锻压专业学员迫切需要掌握的技术，以便为社会主义建设做出更大的贡献。为了适应这一需要，据一九七六年二月“广州锻压专业教材协作会议”精神，我们编写了这本教材，做为锻压专业学员的一门基本教材。

本教材共分九章；第一章介绍液压传动的基础知识。第二章介绍油泵与油马达。第三章介绍阀。对于泵、阀类元件，因一般已成为标准化元件，在编写中，以叙述工作原理和典型结构为主，有的也介绍了一些设计计算要点，主要是为加深学员对元件结构的理解，同时有必要设计专用元件时做参考。第四章介绍油缸，除介绍液压机油缸外，还介绍了中低压油缸，供设计其它机械时参考。第五章介绍辅助装置。第六章介绍液压传动基本回路。第七章介绍各种液压机械实例，为更好联系实际介绍了锻压机械中十种典型液压系统实例。第八章介绍液压随动。第九章介绍液压传动系统的设计计算。

本书主要供各校锻压专业师生教学参考之用，也可供从事锻压机械液压技术工作的工人和工程技术人员参考。

本教材由广东工学院、太原工学院、太原重机学院、山东工学院、合肥工业大学及天津大学组成编写组合编。由于我们学习马列主义和毛主席著作很不够。政治思想水平和业务水平低，特别是实践经验不足，深入调查研究不够，书中可能有不少缺点和错误，希各单位在使用时提出批评、指正。

在教材编写过程中，由于时间关系，没有广泛听取各校意见，各校的具体情况及要求又有所不同，所以不能满足所有各校的教学要求，希望各校在教学中，根据自己的具体情况及要求增弃。

天津大学锻压教研室

1977.3.

目 录

前 言 概 述

- 一、液压传动的组成及工作原理.....
- 二、液压传动的优缺点..... (2)
- 三、液压传动在锻压生产中的应用及发展..... (3)

第一章 液压传动的基础知识..... (5)

- 1—1 液体的密度、重度与比重..... (5)
 - 一、密度..... (5)
 - 二、重度..... (5)
 - 三、比重..... (5)
- 1—2 液体的一些物理性质..... (6)
 - 一、压缩性..... (6)
 - 二、膨胀性..... (7)
 - 三、粘性和粘度..... (7)
- 1—3 油的特性及油的选择与使用..... (11)
 - 一、油的特性..... (11)
 - 二、油的选择与使用..... (12)
- 1—4 静止液体的压力..... (14)
 - 一、静止液体压力的计算..... (14)
 - 二、静止液体压力的特性..... (17)
 - 三、封闭容器内静止压力的传递规律..... (18)
 - 四、液体作用在曲面上的力..... (19)
 - 五、压力的分级与选择..... (20)
- 1—5 流动液体的性质..... (21)
 - 一、连续性..... (21)
 - 二、能量转换及伯努利方程..... (22)
 - 三、流动液体的压力损失..... (24)
- 1—6 液体流经小孔及缝隙的流量计算..... (28)
 - 一、小孔流量公式..... (28)
 - 二、缝隙流量公式..... (29)
- 1—7 液压系统中功和功率及总功率的计算..... (32)
 - 一、功和功率的计算..... (32)
 - 二、总效率的计算..... (33)
- 1—8 液压冲击与空穴现象..... (34)

一、液压冲击	(34)
二、空穴现象	(36)
第二章 油泵和油马达	(37)
2—1 油泵和油马达的基本概念	(37)
一、油泵、油马达的种类及工作原理	(37)
二、油泵的压力和流量	(37)
三、油泵和油马达的功率及效率	(40)
四、油马达的输出转矩	(41)
五、定量、变量油泵和油马达的概念	(42)
2—2 柱塞式油泵和油马达	(42)
一、柱塞式油泵和油马达的特点及种类	(42)
二、斜盘轴向柱塞式油泵和油马达	(43)
三、斜轴式轴向柱塞油泵和油马达	(58)
四、径向柱塞式油泵和油马达	(58)
2—3 齿轮油泵和油马达	(65)
一、齿轮油泵的工作原理	(65)
二、齿轮泵的排量和流量	(67)
三、低压齿轮泵的结构	(67)
四、齿轮泵的径向压力不平衡问题	(68)
五、困油现象及其消除	(70)
六、中、高压齿轮油泵	(71)
七、齿轮式油马达	(72)
八、齿轮泵的使用	(73)
2—4 叶片式油泵和油马达	(73)
一、叶片泵的工作原理	(73)
二、流量计算	(75)
三、叶片式油泵的结构	(76)
四、叶片式油马达	(79)
五、叶片式油泵的使用要点	(80)
第三章 阀	(81)
3—1 方向控制阀	(81)
一、滑阀式换向阀	(81)
二、转阀式换向阀	(108)
三、锥阀式换向阀	(109)
四、单向阀、可控单向阀	(109)
五、充液阀	(113)
3—2 压力控制阀	(114)
一、溢流阀	(114)

二、减压阀	(119)
三、顺序阀	(122)
四、卸荷阀	(124)
五、压力继电器	(125)
3—3 流量控制阀	(128)
一、节流口及其流量特性	(128)
二、节流阀	(130)
三、调速阀	(132)
四、溢流节流阀	(134)
五、分流阀	(135)
第四章 油缸	(139)
4—1 高压油缸	(139)
一、高压油缸的种类、压力、速度的计算	(139)
二、高压油缸的安装方式	(145)
三、高压油缸各部分的结构形式	(146)
四、油缸主要尺寸的确定与材料的选择	(152)
4—2 中、低压油缸	(161)
一、中、低压油缸的结构与工作原理	(164)
二、中、低压油缸主要尺寸的确定	(172)
4—3 密封及有关技术要求	(174)
一、几项主要技术要求	(174)
二、密封及防尘装置	(175)
第五章 辅助装置	(179)
5—1 管道及管接头	(179)
一、管子的类型	(179)
二、管子的内径和壁厚的确定	(179)
三、管接头	(181)
5—2 蓄能器	(184)
一、蓄能器的种类及结构	(184)
二、蓄能器的应用举例	(185)
三、蓄能器容量的计算	(186)
5—3 油箱和冷却装置	(188)
一、油箱的作用及安装型式	(188)
二、油箱的典型结构和结构设计	(189)
三、油箱容量的计算	(190)
四、充液箱	(191)
五、冷却装置	(192)
5—4 滤油器	(192)

一、滤油器的作用及工作原理	(192)
二、对滤油器的基本要求	(193)
三、常用滤油器的种类及其性能	(193)
四、滤油器的安装、使用	(196)
第六章 液压传动基本回路	(198)
6—1 液压系统与基本回路	(198)
6—2 方向控制基本回路	(200)
一、换向回路	(200)
二、平衡及支承回路	(201)
三、锁紧回路	(203)
四、缓冲回路	(204)
五、限程回路	(204)
六、卸压换向回路	(205)
七、电液动换向阀的先导控制回路	(207)
6—3 压力控制基本回路	(209)
一、安全、调压控制回路	(209)
二、保压回路	(210)
三、卸荷回路	(212)
6—4 速度控制基本回路	(212)
一、快速行程回路	(213)
二、减速回路	(217)
三、调速回路	(219)
6—5 多缸控制基本回路	(221)
一、并联和串路控制回路	(221)
二、多缸互锁控制回路	(222)
三、多缸顺序动作控制回路	(223)
四、多缸同步控制回路	(224)
6—6 闭式系统基本回路	(226)
第七章 锻压机械液压系统示例	(228)
7—1 $\gamma_B 32-200$ 型四柱万能液压机液压系统	(228)
7—2 $Q_{11} \gamma-16 \times 2500$ 型剪板机液压系统	(229)
7—3 $\gamma 28-800$ 型双动薄板冲压液压机液压系统	(232)
7—4 $\gamma 61-630$ 型金属挤压液压机液压系统	(235)
7—5 螺旋压力机液压系统	(239)
7—6 JS01机械手液压系统	(239)
7—7 3吨锻造操作机液压系统	(242)
7—8 $\phi 250$ 液压弯管机液压系统	(245)
7—9 J_2-100 型压力机超载保护装置液压系统	(249)
7—10 水压机自动操作液压联锁控制装置	(250)

第八章 液压随动	(253)
8—1 随动系统的工作原理.....	(253)
8—2 随动阀和随动回路.....	(254)
一、 滑阀式随动阀和随动回路.....	(254)
二、 转阀式随动阀和随动回路.....	(257)
三、 电液随动阀及其应用回路.....	(259)
第九章 液压传动系统的设计与计算	(263)
9—1 液压传动系统的设计步骤.....	(263)
9—2 液压元件的初步计算.....	(268)
9—3 液压系统的验算.....	(272)
附录 1：中、低压液压元件型号说明.....	(273)
附录 2：液压系统图形符号.....	(274)

概 述

一、液压传动的基本组成及工作原理

液压传动是借助液体进行能量传递的一种传动形式。与机械传动及电气传动等比较起来，它有许多的优点。因此，近十几年来，世界各国都非常重视这项技术在各种工业中应用。

液压机是锻压机械中采用液压传动实现能量传递进行工作的典型机器。为了对液压传动有一个初步了解，我们首先分析一个简化了的液压机液压系统。

图1表示简易液压机简化了的液压传动系统。它包含有泵、马达、换向阀、溢流阀、油缸及油箱等元部件。它们的作用为：

泵：在马达的驱动下从油箱中吸取油液并将其升压输出，供系统使用。因此，泵实质上就是一个把电动机输出的机械能转变为液体的压力能的能量转换装置。

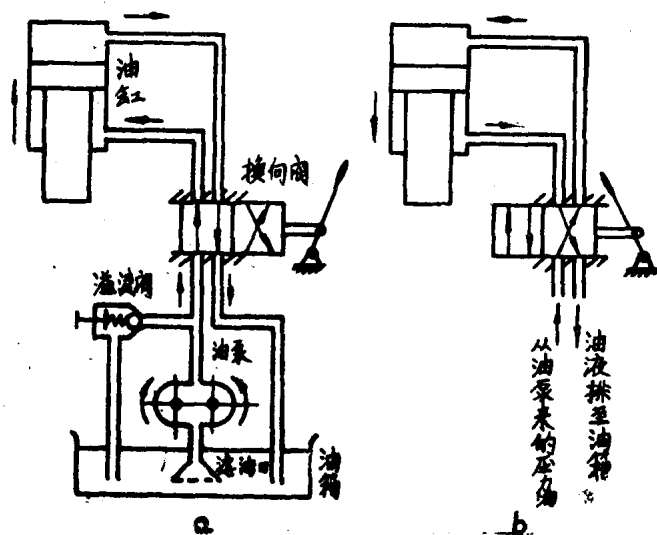


图 1

油缸：缸中活塞将整个缸孔分隔为上腔和下腔两部分。当油缸上腔进液，下腔排液时，活塞下行；反之，下腔进液，上腔排液时，活塞则上行。液压机就是利用油缸活塞的上下运动和发出的力量进行工作的。由此看出，油缸实质上是一个将液体压力能转换为活塞运动的机械能的能量转换装置。

换向阀：控制系统中液体流动的方向。在本系统中就是用以控制油缸上、下腔液体的进出。

溢流阀：控制系统中液体的压力。当系统中液体的压力超过阀内弹簧调定的压力时，系

统中的液体顶开阀中钢球流到油箱。所以，该阀在本系统中的作用就是限定及调整系统中液体的压力，防止系统过载或对系统的压力进行调节。

因此，这个系统的工作原理就是：马达起动后泵向系统管路输送压力油液，当换向阀的手柄处在右方位置时（图 1 a），压力油液体经换向阀送入油缸下腔，同时油缸上腔的油液经换向阀排到油箱，活塞上行。而当搬动手柄，使它处在左方位置时（图 1 b），泵打出的压力油液经换向阀改送到油缸的上腔，同时下腔的油液经换向阀排到油箱，活塞下行，压机进行压制。如果活塞回程上行到油缸的最高点，运动受到了限制，这时油缸的下腔再也容纳不下泵继续打出的压力油液，这时，压力油液便顶开溢流阀中的钢球流到油箱，防止系统过载。

锻压机械中使用的液压系统，在繁简程度和结构组成上有着极大的差别，但它们都是由以下四个基本的部分组成：

1. 液压发生器：即由电动机或其它型式发动机带动的各种泵。它们按照工作的需要向系统供应一定压力和流量的工作液体。

2. 液动机：就是各种结构的油缸和油马达。它们把系统中液体的压力能转变为机械能输出。通常，油缸输出的是直线往复运动和轴力；油马达输出的则为旋转运动和扭矩。

3. 控制调节装置：即系统中所用的各种阀。根据用途，它们共分三类：

a. 压力控制阀 用以控制工作液体的压力（如图 1 中的溢流阀）；

b. 方向控制阀 用以控制工作液体的流向（如图 1 中的换向阀）；

c. 流量控制阀 用以控制工作液体的流量。

4. 辅助装置：如油箱、过滤器、蓄能器、冷却器、油管 and 管接头等。

以上所述的各种液压元件和部件，将在以后各章中分别作介绍。

二、液压传动的优缺点

在锻压设备中采用液压传动有如下的优点：

1. 容易得到锻压工艺所需的巨大压力。设备的吨位越大，液压传动的优越性就越突出。目前，万吨以上的巨型压力机，则全都是采用液压传动。

2. 在全行程的任意位置上都可以得到全压力。这对工作行程长的锻压工艺特别有利，例如板件的深拉深、型材的挤压等。

3. 工作行程可以调节，而且在行程的任意位置都可以换向。因此，便于模具调整和在工作中缩短空行程，提高机器的效率。

4. 压力调整方便可靠，机器和模具的超载安全保护好。此外，压力还可以在行程中按要求变化，在深拉深时，要求压边力随行程变化，采用液压传动就较容易实现。

5. 可以长期或短期保压。对于许多锻压工艺说来，保压可以减少变形金属的回弹，因而提高制件精度。机械传动则较难做到保压。

6. 调速方便。因此，设备的工作速度可根据工艺要求采用匀速或变速；空行程和回程可以采用高速，而且在快速空行程的末端还可以采用减速或制动，达到合模没有冲击，提高工作质量和模具寿命。液压传动调速范围宽广，而且容易实现无级调速。

7. 操作简单。一般是采用电液联合控制，极易实现操作过程自动化。

8. 液压传动结构简单、元件标准化、系列化、通用化程度高。容易实现复杂的动作，

系统的改型方便。利于自制等。

但是，任何事物都是一分为二的，液压传动也存在一些缺点，例如：

1. 液压传动采用液体为介质，在元件中的相对运动表面间不可避免的存在着泄漏现象。同时油液具有压缩性，油管等也会产生弹性变形，因此液压传动不宜用在传动比要求严格的场合；又如多缸驱动大台面这样的机器，要求各缸严格同步时，解决的措施也较复杂。

2. 由于液体的弹性较大（约比钢大 100 倍左右），因此在进行负荷突然消失的工艺，如板料冲裁、棒料剪断时，液体的弹性突然恢复会使压机产生剧烈的振动，对操作和压机本身极为不利。

3. 液体流动时要产生阻力损失，流速越高，压力损失越大，因此，在高速传动时效率低，还会使系统迅速升温，所以象高速自动冷锻机这样的机器，不如采用机械传动简便。

4. 液压元件制造精度要求较高，液压机构的调整，维修也较难。

但是，以上的缺点并不是不可克服的，随着生产的发展，上述缺点正在获得逐步解决，因此，液压传动不仅在锻压工业中，而且在其它工业部门均有着宽广的发展前途。

三、液压传动在锻压生产中的应用及发展

1. 液压传动在锻压生产中的应用

液压传动在锻压生产中主要应用于各种液压机、其它锻压机械的主传动、辅助传动和操作机械化、自动化等方面。

很早以前人们就知道利用水压机的巨大压力进行锻造。随着液压技术的迅速发展，目前，已在自由锻、模锻、型材挤压、板料冲压、另件挤压、粉末压制、塑料压制，以及弯曲、校正、剪切、滚挤成型和精密冲裁等方面发展了数百种通用和专用的液压机，使得锻压生产的能力、生产率、自动化程度和工件精度等方面都有了很大的提高。在这些设备中，巨型锻造液压机至今仍然无法用其它传动型式的机器代替。型材挤压液压机要求在长行程上发挥强大力量，其它设备仍难办到这一点。板料冲压方面长期以来一直是使用机械压力机，但机械传动结构复杂、另件精度高、生产周期长、成本高，而液压传动则很容易克服这些缺点，因此，单动、双动和三动薄板冲压液压机迅速发展起来，另件挤压方面也有如板料冲压相似的情况。粉末压制和塑料压制是新兴的技术，它们的压制过程复杂，每次工艺循环需要完成予压、多次排气、浮动压制、保压等动作，甚至连制件的脱模也提出特殊的要求，采用液压机则能轻易的实现这些动作，并能使整个工艺过程自动化，显示了液压传动的无比优越性。

锤机是人们用机器代替人力进行锻造的最早设备，但目前，生产上所用的各种锻锤，仍然没有脱离开工业革命时期形成的楷模。近年来，由于引用了液压技术的最新成就，又给锤的发展带来了新的生命力，相继出现了各种液压锤、液压螺旋锤和高速锤等新型构造。液压锤使用液压代替蒸汽或空气驱动，效率高、动力费用省，并更容易使锤实现无砧座化。液压螺旋锤的最大特点是突破了旧式（摩擦盘）传动的吨位限制，为螺旋锤向大、重型化发展开辟途径，并由于采用了液压传动容易实行自动化控制，因而使得螺旋锤能够在锻造自动线上应用。高速锤是新发展的高能锻锤，气—液传动式高速锤由于采用了液压提升装置，才使得驱动锤头的气体压力由普通锤的 7 公斤/厘米²提高到 100 大气压以上，从而大大提高锤头的打击速度和能量。

除用作主传动外，液压还广泛地用在许多锻压主机的个别部位，完成各种辅助工作。如

机械压力机的过载保护，液压垫、精锻机的锤头进给等。在锻压生产的操作机械化、自动化等辅助设备上，也普遍地采用液压传动。如全液压或半液压锻造操作机、各种机械手等。

液压传动按所用的液体介质可分为水压和油压两种不同的系统。水压传动主要用于各种锻造水压机。其内容已在“水压机”课程中叙述，本讲义不作介绍。油压传动应用较晚，目前正是处在发展的兴旺时期，其应用遍及军事及国民经济建设的许多工业部门。本课程仅介绍锻压工业中的油压传动。

2. 发展概况

油压技术开始应用于上个世纪末。二次大战前，由于帝国主义扩军备战，都很重视这门技术的发展。战后，油压技术推广于各工业部门。至五、六十年代，各种锻造机械已广泛采用油压传动。目前，标志液压技术水平的液压元件结构、性能和质量已达到了相当高的水平。

我国解放前是一个半封建半殖民地的国家，受着帝国主义、封建主义和官僚资本主义三座大山的压迫，经济极端落后，液压技术完全是空白。解放后，在毛主席革命路线的指引下，我国工业开始走上自力更生的道路，液压技术也同其它工业技术一样，获得迅速的发展。我国于1952年开始试制油压泵阀，到1976年初，据不完全统计，我国已能生产197个品种，1550个规格的液压元件，供应给军事工业及国民经济的各个部门。由于我国液压技术的发展，锻压生产上所用的各种液压机及液压设备，我国目前都能自行设计和制造。

但是，由于我们现在还是属于发展中的国家，解放以来液压技术虽然获得巨大的发展，但是我们是从无到有，其基础仍然比较薄弱，所以，目前液压元件及液压设备在产品品种及产品数量上还不能完全满足我国社会主义建设突飞猛进的需要。因此，更进一步发展液压技术及其应用，这是摆在我们面前繁重而光荣的任务。

第一章 液压传动的基础知识

液压传动是以液体作为传动的介质。了解液体的基本物理化学性质、流动的规律及在应用时应考虑的问题，对掌握液体传动技术具有重要的意义，因此，本课程首先在这方面开始叙述。

1—1 液体的密度、重度与比重

一、密度

密度是衡量物体质量的物理量。所谓液体的密度就是单位体积中液体的质量，通常以“ ρ ”表示之。

若用符号 m 表示体积为 V 的均质液体的质量，则该液体的密度 ρ 可用下式表示：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

在工程单位制中，质量 m 的单位是（公斤·秒²/米），体积 V 的单位是[米³]，因而密度 ρ 的单位是（公斤·秒²/米⁴）。

二、重度

重度是衡量物体重量的物理量。所谓液体的重度就是单位体积中液体的重量，通常以“ γ ”表示。

若以符号 G 表示体积为 V 的均质液体的重量，则该液体的重度 γ 可用下式表示：

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

在工程单位制中，重量 G 的单位是（公斤），重度的单位是（公斤/米³）。

密度与重度的关系：

因为物体的重量 G 等于该物体的质量 m 与重力加速度 g 的乘积，即

$$G = m g$$

两边均除以体积 V ，则得：

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1-3)$$

式中重力加速度 $g = 9.81$ （米/秒²）

三、比重

比重和重度是两种不同的物理量。所谓液体的比重就是指该液体的重量与温度为4℃时的同体积的蒸馏水重量之比值。显然，液体的比重是一个无因次（无单位）的物理量。

表 1—1 几种常用液体的重度、密度与比重

液体名称	温度(°C)	重度(公斤/米 ³)	密度(公斤·秒 ² /米 ⁴)	比 重
蒸 馏 水	4	1000	101.93	1
普 通 汽 油	15	700~750	71.36~76.45	0.70~0.75
煤 油	15	760	77.44	0.76
液 压 油	15	890~920	90.72~93.78	0.89~0.92

1—2 液体的一些物理性质

液体质点之间的内聚力较固体的小，容易流动，没有固定的形状，其形状随着容器形状的改变而改变，而且几乎不可压缩。正是因为液体具有上述的特点，所以才被利用来作为液压传动的工作液体，传递动力和运动。下面介绍液压传动中常见的液体几种物理性质。

一、压缩性

液体的压缩性就是液体在外力作用下体积减少的性质。压缩性的大小可用体积压缩系数 β 来表示。所谓体积压缩系数 β 就是指液体所受的外力每增加一个大气压（1 公斤/厘米²）时，其体积 V 的相对变化值，即

$$\beta = -\frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta p} \quad (\text{厘米}^2/\text{公斤}) \quad (1-4)$$

式中 ΔV 表示体积为 V 的液体受到压力变化 Δp 的作用而产生的体积改变量。由于压力增加时（ Δp 为正值）体积便减少（ ΔV 为负值），即 ΔV 与 Δp 的变化方向相反，故式中加一负号。

体积压缩系数 β 的倒数，称为体积弹性系数（或称体积弹性模数），以 E 表示，即

$$E = \frac{1}{\beta} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (1-5)$$

水的体积压缩系数：（当 $p = 1 \sim 500$ 公斤/厘米² 时）

$$\beta = 4.75 \times 10^{-5} \quad (\text{厘米}^2/\text{公斤})$$

各种油的体积压缩系数：（当 $p < 150$ 公斤/厘米²， $t = 20^\circ\text{C}$ 时）

$$\beta = (5 \sim 7.5) \times 10^{-5} \quad (\text{厘米}^2/\text{公斤})$$

液体的压缩性，虽然比固体大（在同样压力作用下，液体体积的变化比钢的大一百倍左右）。当 $p \leq 350$ 公斤/厘米² 时，液压油的压缩性一般为每升高 70 公斤/厘米²，容积仅减少 0.5%。因此，在一般情况下可以认为液体是不可压缩的。但是，在压力变化很大的高压系统中，特别是对超高压系统或精度要求很高的液压随动系统来说，就需要考虑液体的压缩性的影响了。例如，在液压机上，由于油的压缩性的存在，所以在工作行程加压时，油被压缩，吸收了能量，工作压力越高吸收的能量就越多。当液压机回程时，这部分能量将很快释

放出来，产生液压冲击，造成管路的剧烈振动和巨大噪音。因此，在设计液压系统时，应注意对液压机回程时卸压过程的合理控制。

液体的压缩性是有害的。但是，利用液体的这一性质又可以帮助我们实现液压机停车保压的控制。这是有利的一面。

二、膨胀性

液体的膨胀性就是液体的体积随着温度的升高而膨胀的性质。一般情况下液体受热膨胀的现象对液压系统工作的影响并不显著。但必须注意：严密封闭着的液体，由于受热体积膨胀可能会将其容器胀破。同时，在停车保压的密闭系统中，往往因为系统设计不当，开始保压时油温过高，经过一段时间的保压停留后，系统中油温降低，体积缩小而引起压力下降，造成所谓“掉压”现象。

三、粘性和粘度

1. 粘性的概念

液体在圆管中流动时，靠近管壁的液体流动得慢，紧贴着管壁的速度为零，愈近中心速度愈大，中心处速度最大，其分布规律如图 1—1 所示。

圆管中各层液体流速不同，是由于液体与管壁之间的附着力和液体本身内聚力作用的结果。流动快的液体层可以带动流动慢的液体层；反之，流动慢的液体层却又阻滞着流动快的液体层。这样，当快的液体层在慢的液体层上滑过时，则很类似于固体的摩擦过程，所以在液体层之间产生摩擦力。这种摩擦力是发生在液体内部的，常称之为内摩擦力。液体流动时，在其内部产生摩擦力的性质就称为液体的粘性。

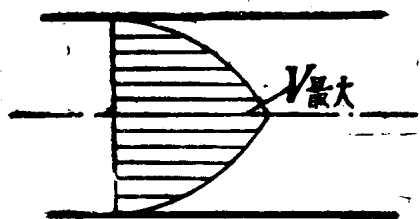


图 1—1

2. 粘度的单位

液体粘性的大小是用粘度来表示的，以下介绍几种粘度单位：

a 绝对粘度 μ （动力粘度，粘性动力系数）

面积各为 1 厘米²和相距 1 厘米的两层液体，当其中的一层液体以 1 厘米/秒的速度与另一层作相对运动，此时在该两层液体之间所发生的相互作用力（内摩擦力）的大小即为绝对粘度 μ ，单位为泊，实用中往往采用厘泊（泊的百分之一）。

在工程单位制中

$$1 \text{ 厘泊} = \frac{1}{100} \text{ 泊} = 0.000102 \text{ (公斤} \cdot \text{秒/米}^2\text{)}$$

b 运动粘度 ν （粘性运动系数）

液体的动力粘度 μ 和它的密度 ρ 之比值，称为运动粘度。以 ν 表示之，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-6)$$

运动粘度 ν 的单位为 (厘米²/秒), 叫做“司”。常用的单位是“厘司”, 1 厘司等于百分之一司。

我国一般都采用运动粘度, 液压油的运动粘度通常直接表示在它的牌号上, 任一种机械油的牌号, 就是表示这种油在 50℃ 时以厘司为单位的运动粘度 ν 的平均值。如 10 号机械油, 就是指这种机械油在 50℃ 时的运动粘度 ν 的平均值为 10 厘司。

c 相对粘度 °E (恩氏粘度)

相对粘度又称条件粘度, 各国采用的相对粘度单位有所不同, 有的用国际赛氏秒或商用雷氏秒来表示, 我国采用恩氏粘度来表示。

恩氏粘度是用恩氏粘度计来测定的, 办法是: 在某个标准温度 t 下, 将被试油液 200 厘米³ 装入恩氏粘度计的容器中, 测定这些油液经容器底部小孔 (直径 $\phi 2.8$) 流尽的时间 t_1 。与 20℃ 时 200 厘米³ 的纯水 (蒸馏水) 装在恩氏粘度计中的流尽的时间 t_2 的比值, 便称为被试油液在该标准温度 t 下的恩氏粘度 °E_t, 即

$$^{\circ}E_t = \frac{t_1}{t_2}$$

式中: t_1 ——200 厘米³ 的被试油液在给定的标准温度 t 下流尽的时间 (秒);

t_2 ——200 厘米³ 的蒸馏水在温度为 20℃ 时流尽的时间 (秒)。 t_2 一般为 50~51 秒。

工业上一般以 20℃、50℃、100℃ 作为测定粘度的标准温度, 并相应以 °E₂₀、°E₅₀、°E₁₀₀ 表示。以 50℃ 作为标准的测定温度时液压传动用油的粘度在 2.6~4.6 °E₅₀ 的范围内。

各种粘度单位名称、符号、采用国家及换算公式见表 1—2, 各种粘度单位值之换算见图 1—2

表 1—2

粘度单位名称	又 名	符 号	单 位	采 用 国 家	与运动粘度 (厘司) 之换算公式
动力粘度	粘性动力系数 (绝对粘度)	μ	厘 泊	苏	$\nu = \frac{\mu}{\rho}$
运 动 粘 度	粘性运动系数 (绝对粘度)	ν	厘 司 cct (苏) cst (英)	中苏英美日	
恩 氏 粘 度	相 对 粘 度	°E °BY (苏)	度	中、欧洲	$\nu = 7.31^{\circ}E - \frac{6.31}{^{\circ}E}$ (乌别洛德近似公式)
国际赛氏秒	通用赛波尔特秒	SSU (SUS)	秒	美	$\nu = 0.22SSU - \frac{180}{SSU}$
商用雷氏秒	雷氏 1° 秒	°R (RSS) (Re·1°)	秒	英	$\nu = 0.26^{\circ}R - \frac{172}{^{\circ}R}$

3. 调合油的粘度

有时为了使油具有所需的粘度特性，可把两种不同的油混合起来使用，称调合油。调合油的粘度计算公式如下：

$$^{\circ}E = \frac{a \cdot ^{\circ}E_1 + b \cdot ^{\circ}E_2 - c(^{\circ}E_1 - ^{\circ}E_2)}{100} \quad (1-7)$$

式中： $^{\circ}E_1$ 、 $^{\circ}E_2$ ——混合前的两种油的粘度。

$^{\circ}E$ ——混合后的调合油粘度。

a 、 b ——两种油各占的百分比。

c ——系数（见表1—3）

表1—3

$a\%$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$b\%$	90	80	70	60	50	40	30	20	10
C	6.7	13.1	17.9	22.1	25.5	27.9	28.2	25	17

4. 粘度与温度的关系

液压系统中使用的油对温度的变化很敏感。当温度升高时，油的粘度即显著降低。油液粘度的变化直接影响到液压系统的性能和泄漏量，因此，希望粘度随温度的变化越小越好。不同种类的油，它的粘度随温度变化的规律也不同。我国常用粘温图来表示油液粘度随温度变化的关系。部分国产油的粘温图见图1—3。

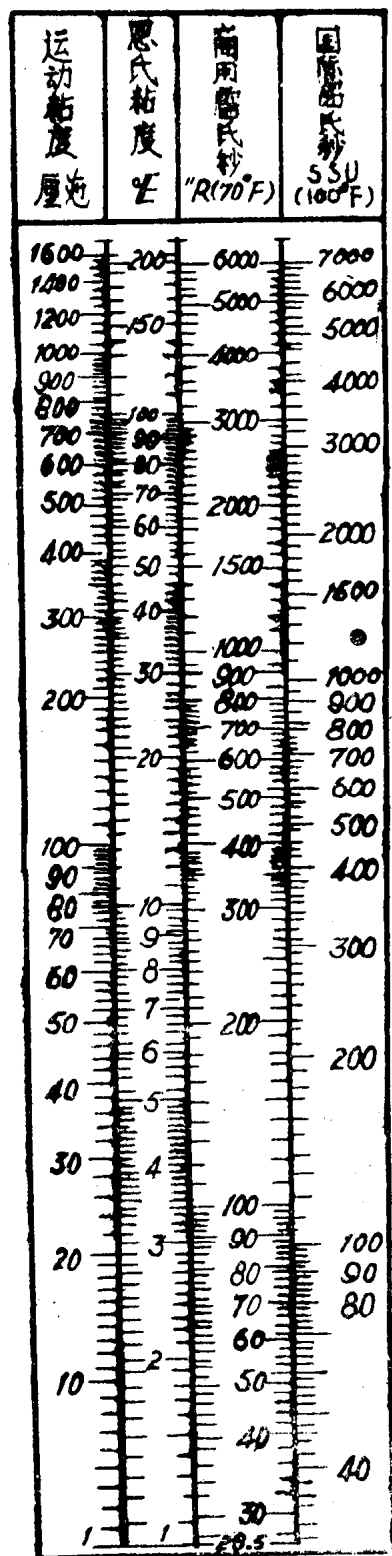


图1—2

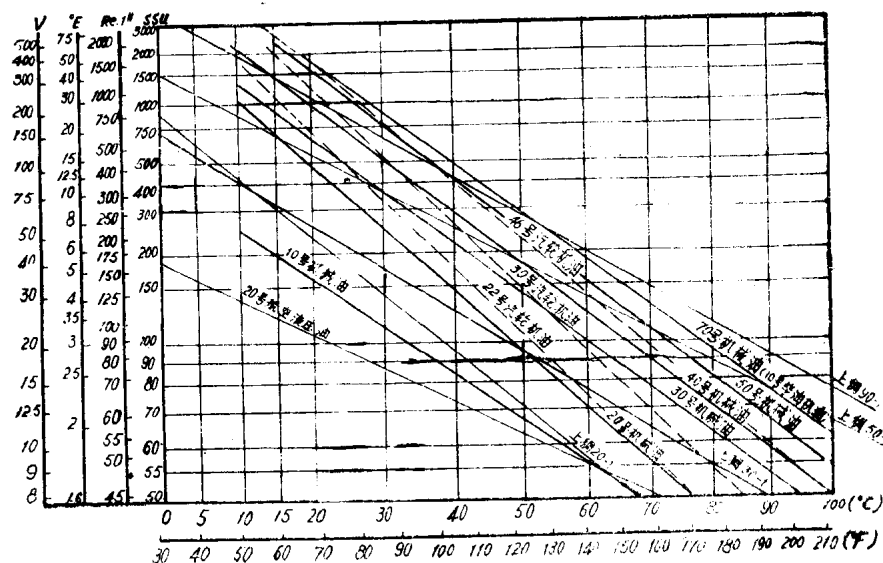


图 1—3

5. 粘度与压力的关系

液压系统工作压力增加时，油的分子之间的距离就缩小，因此，它的粘度是随着压力的升高而增大的。图 1—4 是矿物油在不同压力下实验时所得到的压力——粘度关系曲线，从图中看出，在小于 320 公斤/厘米² 的常用压力范围内，粘度的变化并不很大，故可不考虑。但是在超高压的情况下就不容忽视了。

粘度的大小，直接影响液压系统的效率、灵敏性和可靠性。为了说明油的粘度过大或过小所造成的影响，分别说明如下：

粘度过大时：

a 液体流动时，内摩擦力增大，阻力损失增多，发热严重。

b 易引起液压元件的动作迟缓或失调。

c 总功率损失加大，机械效率降低。

粘度过小时：

a 液压元件的内部泄漏增多，使油泵的容积效率和系统效率降低，甚至使系统压力上不去。

b 各相对运动部件间的润滑性能降低，磨损加剧。

c 油路中的压力难以维持稳压，影响机器的精确动作。

因此，油的粘度，应按传动系统的工作压力、工作温度来确定。从液压机械来考虑，在高压或高温条件下工作的可选用粘度较高的油，以减少泄漏。通常主要是按油泵所推荐使用的油的牌号来选用。根据油泵的不同类型，建议按表 1—4 选用液压油的粘度。

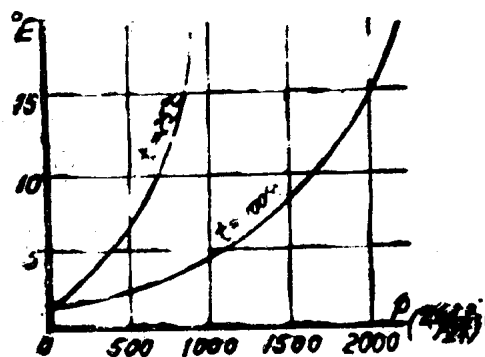


图 1—4