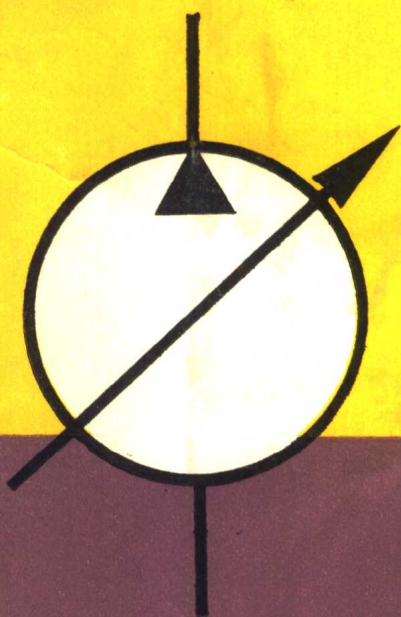


液压传动

一机部广州机床研究所 编著
广州业余大学



青年工人学艺丛书

青年工人学艺丛书

液 压 传 动

一机部广州机床研究所 编著
广 州 业 余 大 学

（张景存、梁保堤等执笔）

广东科技出版社

内 容 简 介

本书是青年工人学艺丛书的一种。由一机部广州机床研究所和广州业余大学联合编写。

编者取材于科研和工矿企业生产实践中的范例，经过总结多年来在广州业余大学以及各地举办的液压技术训练班教学经验写成。本书叙述深入浅出，对青年工人学习和掌握液压技术较有帮助。

本书可作为各类型七·二一工人大学或专业训练班教材，也可供大、专院校师生、工矿技术人员参考。

液 压 传 动

一机部广州机床研究所 编著
广州 业 余 大 学
(张景存、梁保堤等执笔)

*

广东科技出版社出版
广东省新华书店发行
广东新华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 25.5印张，1插页(27,000字)

1980年10月第1版 1980年10月第1次印刷

印数 1—3,300册

书号 15182·15 定价 2.10元

出版说明

今天，全党全国工作着重点正转移到社会主义现代化建设上来，各地城乡青年工人迫切要求学好科学技术，向四个现代化进军。

为了适应读者需要，“青年工人学艺丛书”已经编辑出版的有：识图与画图、手工电弧焊、锻造、车工、钢铁热处理基础、磨工、电机及其维修计算、钳工等八种，继本书之后，将继续出版供电与用电等书，希望广大读者和有关单位大力支持。对于丛书的缺点错误，深望提出批评、指正。

由于出版事业的发展，包括本丛书在内的自然科学、技术图书，由广东科技出版社出版。

广东科技出版社

一九七九年六月

前 言

液压传动是近代科学技术上的一项新技术。虽然，差不多二百年前就出现了用液体压力能进行传动的第一台水压机，但液压传动技术的成熟和广泛地应用到工业上，还自本世纪三十年代开始，比机械传动要年轻得多。

液压传动具有一系列的优点：可在很宽的范围内实现平稳的无级变速；能传递很大的力和力矩；传递信号迅速、灵敏；操纵轻便、易于实现各种复杂动作的自动控制；元件体积小、自重轻、布置灵活方便；易于标准化和系列化，有利于进行专业化生产等。作为一种先进的传动方式，液压传动已得到人们的重视，发展也非常迅速。现在它已成为实现生产过程自动化、提高劳动生产率、减轻劳动强度的重要手段，被广泛应用到国民经济的各个部门中。

在一些工业发达的国家里，液压技术的发展受到特别的重视。这些国家的液压工业发展速度往往超过整个工业发展速度的平均值：如美国六十年代的工业平均增长率为5%，而液压工业的同期增长率为10~12%；西德从1961年到1975年机床产量增加了20%，同期的液压元件生产却提高了48%；日本的液压技术曾落后于欧美二十年，1953年才开始制造标准液压元件，现在却已居于世界前列。当前，国外的液压技术不仅应用于普通工业的各部门，而且还应用于海洋开发、宇宙航行、地震预测等许多新的领域，甚至也应用于群众生活的一些方面，如门窗的自动开启等。

五十年代初期，我国从制造液压磨床开始，在机床行业上应用液压技术，以后又逐步推广应用到矿山、工程、起重运输机械等方面。随着我国自行设计的液压元件系列的逐步形成，液压元件专业生产厂的相继建立和生产批量的迅猛增长，我国液压技术的应用和推广也有了很大的发展。到目前为止，液压技术的应用，大致有以下几个方面：

机床行业。液压传动在机床中用于实现机床的自动进给和无级变速、工作台的往复运动；工件及刀具的装夹和输送；主轴、工作台和刀架的自动分度；自动让刀或抬刀；砂轮的修正和自动补偿等。在仿型加工机床上采用液压仿型系统，具有加工精度高、灵敏度好、寿命长等优点；近年来发展的数字控制机床上采用电液伺服系统作为主要的控制传动形式，更把液压技术的应用提高到一个新的水平。

工程、起重、运输机械行业是广泛应用液压传动的另一个重要领域。我国设计制造的液压起重机就有十多种，容量从5吨到82吨，分别用液压传动实现负载的起落、吊臂的变幅、伸缩和回转，并以液压支腿支承整机进行工作。将液压传动用在挖掘机、装载机、叉举车等工程机械上，不仅显著地提高了这些机械的生产效率，而且还大大减轻了机重，使操作简便、灵活和安全可靠。

重型机械方面，常见的有：冶炼设备中炼炉的炉身倾侧、高炉的炉门开启、电炉的电极自动送进等，采用了液压驱动；轧延机械上采用液压传动，可实现轧缝大小的自动控制、轧机刚性的任意调整、变断面轧制和快速换辊等；如采用“液压带钢跑偏自动控制”系统以及“带钢恒张力卷取机构”，可提高轧制的速度和质量。其它如油压机、注塑机、铸锻机等需要巨

大压力的重型设备方面，液压传动已经成为最理想的传动方式。

在农业机械中，我国20马力以上的拖拉机广泛采用耕具液压悬挂系统而获得入土深度的自动调节；60马力以上的大型拖拉机，常用液压转向助力元件来提高拖拉机的操作性能和减轻驾驶员的劳动强度。

船舶上越来越多地采用液压传动，是由于液压元件具有密封性好易于防锈防蚀、不产生火花、安全可靠和便于实现遥控等优点。目前，中型以上的船舶几乎全部采用液压操舵装置，还有绞车、起货机、起锚机等甲板机械也逐步为液压传动所取代。近代舰船上那些变螺距螺旋桨、船舶消摆装置以及武器的自动控制等新设备，更是离不开液压传动了。

飞机上运用液压技术已有相当长的历史。现在，一套完整和独特的液压系统和元件系列已被作为航空工业的重要组成部分。

液压技术与电子技术配合在一起，更能发挥其各自的优点和效能。如果说，在一台机器中，电子技术起到头脑和神经系统的作用（发出指令和传递信号），液压传动就相当于骨骼和肌肉，根据信号准确有力和迅速地完成任务。因此，液压技术与电子技术的结合，能使传动形式更臻善美，使机器或设备的工作性能达到更高的水平。

国外工业发展的状况和我国国民经济建设的实践都表明：液压传动是一种较为新颖和先进的传动形式，液压技术的应用和发展具有巨大的前途和潜力。与先进国家相比，我国应用和推广这门新技术比较迟缓，特别是林彪、“四人帮”的干扰、破坏，使差距更大，必需急起直追，才能适应我国向四个现代化进军的要求。

青年工人在新的历史性长征中，是一支重要的生力军，肩负着光荣和艰巨的任务。他们需要学习更多的知识，掌握更多的科学技术，为四个现代化作出应有的贡献。本书编写的目的，就是为了有助于青年工人们学习和掌握液压传动这门技术。

本书在编写过程中，得到广州业余大学崔志勋同志提供宝贵的资料，初稿完成后，广州机床研究所陈松楷、汪德涛、徐新章同志对全书进行了审校，对于他们热情的支持，在此谨表谢意。

编 者

目 录

前 言	1
第一章 液压传动的基本概念	3
第一节 液压传动的工作原理及系统的组成	3
第二节 液压传动的优缺点	5
第三节 液压传动的工作介质	8
第四节 压力、流量、功、功率	15
第五节 静止液体的性质	22
第六节 流动液体的性质	23
第七节 液压系统的泄漏、效率及温升	33
第八节 液压系统压力的形成	36
第九节 液压传动系统的几个工作特征	39
第十节 液压符号与液压回路图	40
第二章 液压元件基本知识	43
第一节 油泵和油马达	43
第二节 阀	95
第三节 油缸	140
第四节 辅助装置	159
第三章 液压基本回路	186
第一节 压力控制回路	186
第二节 速度控制回路	197
第三节 方向控制回路	216
第四节 顺序动作回路	224
第五节 液压集成回路	227
第四章 典型液压系统分析	247
第五章 液压传动系统的设计	294
第一节 概述	294
第二节 液压传动系统的设计步骤	294
第三节 液压传动设计举例	827

第六章 液压系统的调试、维修及安装	311
第七章 液压随动系统与电液比例控制	351
第一节 液压随动系统	351
第二节 电液伺服阀	362
第三节 电液比例元件及控制	366
附 录	376
一、计算图表	376
二、液压及气动图形符号 (GB786—76)	386
三、液压及气动系统图示例	402

第一章 液压传动的基本概念

第一节 液压传动的工作原理及系统的组成

各种各样的工作机械，一般都包含动力机构、传动机构和工作机构等三部分。动力机构通常就是电动机、内燃机或汽轮机等原动机。

传动机构有各种不同的形式，按传递能量所用的介质的不同，可分为机械传动、电气传动、液体传动、气压传动等四种基本的传动形式，还有综合应用几种基本传动方式的联合传动形式。

液体传动是用液体作为介质来传递能量的。按其工作原理，可分为动力式和容积式两类。

动力式液体传动，亦称为透平传动或液力传动。借助液体的动能来传递能量或动力。这种传动实际上是一组离心泵—涡轮机系统，如图 1—1 所示。原动机带动离心泵 2 的叶轮转动，利用离心力使液体高速运动，从泵流出来的高速液体“冲动”涡轮 4，涡轮轴 5 则带动工作机构运动，从而实现机械能的传递。

液力传动在大功率及高速（约 50 米/秒）的圆周速度下使用是较经济的，但在负荷改变时速度变化大，并且调速和变向较难，又只能传递旋转运动，故应用范围较窄。这种具有可变刚性的传动，当与内燃机或异步电机一起工作时，能满足那些在负荷急剧地并且不规则变化的条件下工作的机械的要求。液力耦合器及液力变矩器是目前使用较多的液力传动装置，多用在工程机械、运输车辆、钻探机、矿山机械中。

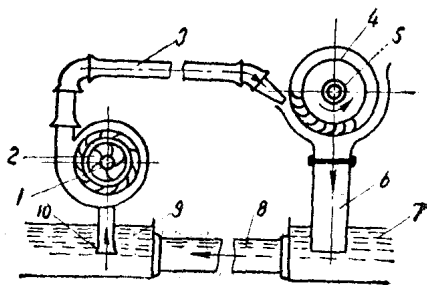


图 1—1

容积式液体传动，又称静力式液体传动或液压传动。借助于处在密闭容积内的液体的压力能来传递能量或动力。液体虽然没有一定的几何形状，却有几乎不变的体积，因而当它被容纳于密闭的几何形体之中时，就可以将压力由一处传递到另一处，而这些液体被推动时便可传递运动。这样，当有压液体在几何形体（管道、油缸等）内被迫移动时，就能传递机械能。图 1—2 (a) 表示液压传动的工作原理图。其中油泵是柱塞泵，在原动机带动下，其柱塞在缸体内作上下往复运动。当它向上运动时，在油泵的油腔 1 中形成真空，大气压力便推压油箱中的油液打开阀门 A 进入油泵；当它向下运动时，便把油腔 1 中的油液经阀门 B 推压入压力油路，通至油缸的油腔 2 中，推动活塞移动，带动工作机构运动。可见，液压传动是依靠处于密闭容积内的受压液体的流动来传动的。由于液体的流速与液力传动相比低得多

(一般在6米/秒以下),所以液体的动能远远小于压力能。就是说,主要靠液体的压力能来传动。所以叫做液压传动。

液压传动较之液力传动,具有结构紧凑、速度稳定、调速及变向方便等许多优点,所以获得了广泛的应用。本书介绍的只限于液压传动。从上述的液压传动工作原理可知,一个液压传动系统,除了工作介质——液体外,一般由以下四种元件组成:

1. 动力元件——油泵。

它的作用是将原动机的机械能转变为液体的压力能,是整个液压系统的能源。图1—2(a)所示的柱塞泵是油泵的一种结构,此外,还有齿轮式、叶片式等多种结构形式的油泵。

2. 执行元件——液动机。

它的作用是将液体的压力能转换成机械能,从而带动工作机构运动。图1—2(a)所示的作直线往复运动的油缸是液动机的一种;此外,还有作旋转运动的油马达及作摆动

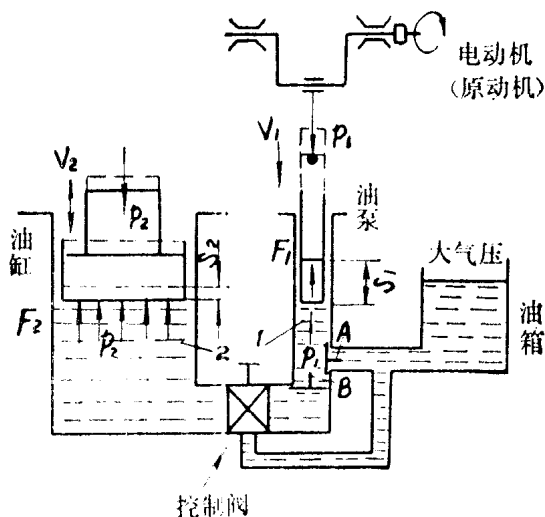


图 1—2 (a)

的摇摆油缸。

3. 控制元件——控制阀（又称控制、调节装置）。

它的作用是控制和调节液流的压力、流量及流向,以实现机械对液压传动系统提出的传动及控制性能的要求。控制阀主要包括压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀及随动阀等四大类。

4. 辅助元件——辅助装置。

它包括油箱、油管、管接头、蓄能器、冷却器、滤油器、密封件以及各种控制仪表等。

图1—2(b)所示为一台机床驱动工作台的液压系统。电动机带动齿轮油泵1旋转,油液就从油箱7经滤油器6、吸油管10被吸至油泵的吸油腔C,经齿轮的输送而至压油腔D,被压至出油管9。压力油从油管9通到换向阀2的p槽。在图示位置时换向阀2处于左端,压力油经槽B至油缸的右腔。压力油作用在活塞上,推动活塞5向左运动。活塞杆固定在工作台的支架上,活塞移动时带动工作台一起运动,油缸左腔的油液,在活塞向左移动时被压出,其回油经换向阀的A槽及O槽到节流阀4的进口H,并经节流阀的偏心槽至出口J,改变偏心槽的通道面积,可控制通过液流的多少。通过液流多时,工作台速度就快;通过油液

少时就慢。这里，节流阀就起到控制工作台速度的作用。

由油泵出来的压力油同时还通到压力阀3的槽F及压力阀的端面K，企图将压力阀压向左端，但压力阀左端的弹簧将压力阀压紧在右端，槽F及槽E被隔断。当油压力增加到超过弹簧的压力时，就将压力阀推向左面，使槽F与槽E连通，一部分压力油就从槽F经槽E溢回油箱，系统压力就不再增高，而保持在弹簧维持的压力值上。显然，调节螺钉M就能调节弹簧压紧力，也就可以控制系统压力的高低。

当工作台移动至左端，固定在工作台上的撞块T碰到换向阀的杠杆N时，迫使杠杆N摆动并拉动换向阀2向右移动。这时，压力油槽P连通A槽，压力油进入油缸左腔，推动活塞5右移，工作台移动方向获得了改变，而从油缸右腔被压出的回油经槽B、槽O₁、节流阀4而回油箱。压力表8是用以观察系统压力的高低并反映系统的工作情况的。滤油器6是防止油箱中的脏物被油泵吸入，以保证系统的正常工作。

从这个系统中可以看到，齿轮泵1组成系统的能源，是动力元件。换向阀2控制系统中液流方向，压力阀3控制系统的压力，节流阀4调节系统的流量，从而调节工作台运动的速度。这三种阀统称为控制元件。油缸5是执行元件。滤油器6、油箱7、压力表8、油管9、10等是系统的辅助元件。

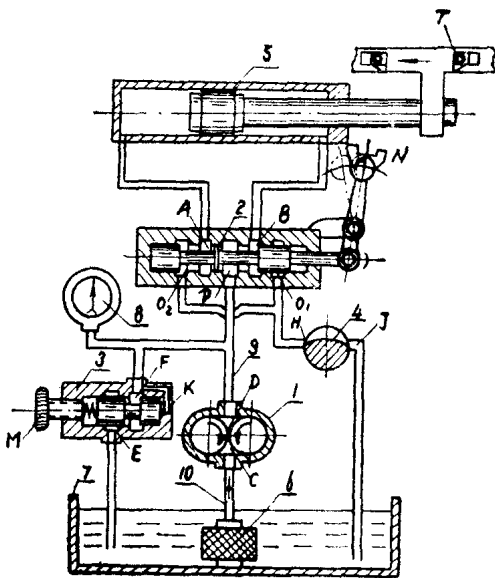


图 1-2 (b)

第二节 液压传动的优缺点

为了弄清楚液压传动的优缺点，需要将这种传动方式与其他传动方式加以比较。

机械传动是通过齿轮、齿条、蜗杆、蜗轮、皮带、链条、连杆、轴等机械零件进行传动的。由于传动所用的介质是固体，又称为固体传动。它是发展最早而又应用最普遍的传动方式，其优点主要是传动准确，工作可靠，受环境（如温度、湿度）影响小，工作负载变化对工作部件的速度影响小，操作简单，易于掌握，故障易于发现，传动效率高等；缺点主要是实现无级变速较难（机械无级变速器的结构复杂而且效率低），远距离传动或操纵较困难，实现机组或某些机械的自动化也困难，安装位置的自由度小，操作力大等。由于现代机器提出了无级变速，自动化程度高，易于操纵，结构简单，运动惯量小等要求，机械传动便显出了一系列的矛盾和缺陷，因而在许多场合为其他传动形式所取代。

电气传动是以电为介质来进行传动和控制的。电气传动一般是原动机带动发电机，发出的电被输送给电动机，带动工作机构运动。如果采用交流电动机，则价格便宜，但要实现无级调速较难，往往做成多速电机，进行有限几级的调速。如果采用直流电动机，可实现无级调速，但结构较复杂，造价较高。近年发展起来的可控硅技术，使电动机的无级调速大为简化。它正在各个工业部门得到迅速的应用，但用在大功率和低速大扭矩等场合，尚有待于进

一步完善。电气传动安装位置自由度大，易于实现远距离操作，操纵力小，易于控制，但耗用有色金属（铜、铝、硅钢片等）多，受环境（如温度、湿度、振动等）的影响较大，可靠性较差。与液压传动相比，单位马力的重量大得多，体积庞大，结构不够紧凑，惯性力大，反应不够灵敏。电动机的扭矩一般较小，转速较高，运动形式一般是连续的转动，因而往往不能单独使用，只能与其他传动方式联合使用，通过其他传动机构（如机械传动或液压传动）才能达到某些工作机构提出的低速、大扭矩及多种运动形式等要求。目前在各工厂广泛应用电动机（尤其是交流电动机）作为机械的原动机。由于电信号易于变换，传递迅速、方便，易于实现种种复杂的控制要求，所以电气传动或电气系统用于机械的控制系统，具有突出的优越性。

气压传动是以压缩空气为传动介质的。它通过调节气量，很容易实现无级调速；信号的传递和变换较方便，传递的距离较远（如300~500米），反应较快；结构较简单，无介质费用，泄漏及排气可直接放回大气中，又因节省导管，因而造价较低；空气粘性很小，管道压力损失小，允许流速大，易获高速运动（如每分钟十万转以上的气动内圆磨具）；具有防火和防爆性能，能在高温下工作。但气压传动致命的缺点是空气的可压缩性大，无法获得均匀稳定的运动，因而只能用于那些运动均匀性无关紧要的地方，如气锤、气动卡盘、送料、公共汽车车门的开关等。此外，空气在急剧膨胀时，温度有很大降低，使空气中所含水汽转化为水，甚至结为冰，使机构不能正常工作。气动系统中工作过的空气直接排回大气，造成噪音，恶化劳动条件。由于空气粘性小，不易获得很高的密封性，所以气动系统的工作压力一般在10公斤/厘米²以下，致使单位功率的体积或重量较大，不宜用在功率大或力（力矩）大的传动中。总之，气压传动对于运动均匀性不高，功率或力（力矩）较小，和降低自动化系统的造价（廉价自动化）等场合，是有应用价值的。

由于液体可以随便改变形状，并且实际上是不可压缩的，也就是说，它象钢铁那样坚固结实，而又具有无限的柔软性，因此，处于密闭容积内的液体，便成为可靠地、正确地 and 灵活地传递动力或运动的最好的工作介质。液压传动的一系列优点也就由此而产生。

液压传动的优点主要为：

1. 易于获得很大的力或力矩。

由于液压传动的工作压力较高（可达350公斤/厘米²甚至更高），再加上油缸或油马达的有效承压面积可取得较大，便可获得很大的力或力矩。

2. 易于实现无级调速。

在液压传动中，利用变量泵或流量阀来改变进入液压机的压力油流量，或改变油马达的排量，便可简便地实现无级调速，而且可以在工作时调速，调速比又很大。如用节流阀进行节流调速时，节流阀的流量变化范围若为0.02升/分到100升/分，调速比（液压机最高速度与最低速度之比）就达5000。

3. 单位功率的重量轻，结构紧凑，运动惯量小，反应灵敏。

一些统计资料表明：油泵（或油马达）的重量只及同功率的电机重量的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{5}$ ，外形尺寸仅为同功率电机的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 。究其原因，主要是液压传动的压力可以较高，如目前一般可高达250~350公斤/厘米²；而电机中的铁磁物质在较低的磁通密度——对应于磁场中的磁力只有4~6公斤/厘米²——就已经饱和了。

由于液压传动的体积小，重量轻，就使其运动惯量小，反应灵敏，易于平稳地实现频繁

的起停、换向或换速。如油马达的惯量不超过同功率电机的10%，起动中等功率的电动机需要1~2秒钟，而同功率的油马达起动时间不超过0.1秒。

4. 无间隙传动，运动传递平稳、均匀。

液压系统的管道及液压元件都充满了液体，不存在什么传动间隙，相对来说，机械传动装置由于加工误差或装配误差，不可避免地存在传动间隙，而液压传动则避免了由于传动间隙所造成的冲击、振动和反转精度不高等毛病。液体的弹性远大于固体，故具有吸振作用，再加上液动机的运动惯性小，液压传动系统能平稳而均匀地传递运动。

5. 易于实现自动化。

利用多种液压阀及油泵、油马达的变量机构，很容易控制液压系统工作液体的压力、流量或流向，从而使工作机构实现各种运动要求或复杂的自动工作循环。同样的动作，若用机械传动来实现，往往结构显得很复杂。因此，液压传动在自动、半自动机械或自动线中获得广泛的应用。如在一些组合机床的自动线上，几乎90%以上是采用液压传动的。

6. 易于实现直线往复运动、摆动、旋转运动、间隙运动等多种运动形式。

液压传动利用油缸或油马达，再加上各种适当的控制阀，便可简便地实现多种形式的运动。而电气传动一般多是实现旋转运动，机械传动虽可实现多种形式的运动，但结构往往较为复杂。

7. 操纵力小，易于将微小的力或微小的功率作很大倍数的放大。

采用机械传动，操纵时要移动机械零件，操纵力往往较大。而液压传动中，要操纵的是一些液压阀，由于它们经过合理的设计，液压力一般是平衡的，因而操纵力很小，如移动一个滑阀，往往只要几公斤或更小的力。

特别值得指出的是，液压随动系统放大微小力或微小功率的能力很大，可达30万倍，这是其他传动方式无可比拟的。

8. 布局灵活、方便。

液压传动系统的各个元件，由管道连接，所以，与机械传动相比，在安装位置上有很大的自由度。它们可以方便地放置在合适的位置。例如，把泵放在不影响机器布局的地方或机器的不显眼的内部，把液动机放在直接与工作机构连接的位置，把操纵的装置或手柄放置在最方便的地方。

9. 易于防止过载或事故，工作可靠。

在液压传动中，只要设法控制液体压力在某个限度就可达到防止过载及避免事故的目的。而液体压力是很容易由压力阀或其他压力控制元件来控制的。此外，还可从装设在液压系统中的压力表观察到工作负载或阻力的大小，随时了解液压系统的负荷情况；而在机械传动中，作用力的大小就不易观察出来。

10. 自动润滑，元件寿命较长。

液压传动装置中所用的液体一般是矿物油，它本身就是一种润滑油，所以元件相对运动表面都能自动润滑，因而磨损小，寿命较长。

11. 易于实现标准化、通用化、系列化。

它可以在专业的液压件厂集中生产，供给各行各业使用。用户在设计或制造液压装置时，可选用标准的液压元件，从而缩短设计及制造时间，降低成本。

液压传动的缺点主要是：

1. 泄漏影响液压系统的工作性能。

由于泄漏，增加了液压系统的能量损失，降低了液压传动系统的效率；影响液动机运动的平稳性，特别是低速时容易发生爬行；严重的泄漏，使液动机达不到预定的速度，压力不能正常建立，影响系统工作；泄漏造成油液的浪费，并污秽周围环境等等。

由于泄漏的存在，再加上液体具有微小的压缩性及油管产生弹性变形等原因，使液压传动很难实现严格的定比传动。因此，这种传动方式不宜用于如切削螺纹时主轴与刀架间的运动及齿轮加工机床的分度运动等场合。

2. 液压系统的工作性能受温度影响较大。

液体的粘度、液压系统的泄漏、液压损失和通过节流元件的流量等跟油温有密切关系。一般的液压系统不宜用于高温或低温的条件下。

3. 空气混入液压系统后引起系统工作不良，如发生振动、爬行、噪音等。

4. 传动效率往往较低。

液压传动系统除了有机机械摩擦损失外，还有液压损失和泄漏损失（容积损失）。与机械传动相比，传动效率往往较低，一般在70~80%左右。这一缺点，往往限制了液压传动在大功率系统中的使用。如机床的主轴传动，目前用液压传动的就比较少，效率低成了主要考虑因素。

5. 维护要求较高。

液压系统中有许多缝隙或小孔，如果它们被堵塞，系统就不能正常工作。因此，要求工作液体清洁、无杂物。液压系统的大部分故障，都是由于油液不洁所造成的。系统的维护工作，如防止尘埃、机械杂质、水等混入工作液体以及经常清洗滤油器，定期更换陈油等，必须注意做好。

液压系统所用的工作液体，一般为各种液压油，它们经过一段时间的使用后，因氧化而变质，并可能混入了铁屑、尘埃等杂物，油液在压力状况下通过油泵、节流阀、溢流阀的缝隙，分子链被剪切，粘度会逐步下降，因此必须定期换油。这样，液压系统在使用过程中便要付出介质费用了。

6. 故障原因不易查找。

液压系统的各种元件和工作液体都是在封闭的油路内工作，不象机械传动那样一目了然，又不象电气系统那样易于进行检测，因而系统的故障原因一般较难查找。不过，当对液压系统的原理及性能有较充分的了解，并且积累了一定的实践经验后，再采用适当的测试方法，故障是不难查出的。

应该指出，当故障找出以后，排除故障是比较迅速而简单的。

如上所述，对于液压传动的各个缺点，只要采取有效措施，是可以消除或减小它的消极影响的。

第三节 液压传动的工作介质

一、液体的一些物理性质

1. 压缩性。

它是指受力作用而体积减少的性质。液体压缩性的大小用体积压缩系数 β 来表示，其定

义为液体所受的压力增加一个大气压（1 公斤/厘米²）时，所发生的体积 V 的相对变化值，即

$$\beta = - \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta P} \text{ (厘米}^3\text{/公斤)} \quad (1-1)$$

式中， ΔV 表示体积为 V 的液体所受的压力变化 ΔP 时的体积改变量。由于压力增加时体积减少，即 ΔV 与 ΔP 的变化方向相反，故式中加一负号，以使 β 取正值。

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 表示之，其单位与压力的单位相同，即

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

液体的压缩性是很小的。例如，水的体积压缩系数，当压力由1到500个大气压时，其平均值 $\beta = 4.75 \times 10^{-6}$ 厘米³/公斤，液压用油的体积压缩系数约为 $\beta = 6.2 \times 10^{-6}$ 厘米³/公斤，相应的体积弹性系数约为 $E = 1.62 \times 10^4$ 公斤/厘米²。可见，压力每增加一个大气压，水的体积大约缩小十万分之五，液压用油的体积大约只缩小十万分之六。由于一般液压系统的压力变化不是很大，液体的压缩性的影响极为微小，因此，实际上一般可将液体视为不可压缩的。但是，对于压力变化较大的高压系统（如压力超过100 公斤/厘米²），或随动精度要求很高的液压随动系统，或研究液压传动中的动态特性时（如液压冲击、工作台的换向精度等），就要考虑液体的压缩性。此外，在管道很长的液压系统或工作行程长的油缸，由于液柱相当长，液柱的压缩量可达几毫米或更大些，对于操纵性能或油缸的低速运动会有影响，必需加以注意。

2. 密度和重度。

对于均质液体来说，密度是指单位体积液体的质量。若以 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：

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-3)$$

在米制的工程单位制中，力的单位是公斤力，但考虑到应用的习惯和简便，本书将公斤力这个单位就简称为公斤；质量的单位是公斤·秒²/米，体积的单位是米³。因此，密度的单位是公斤·秒²/米³。液体的体积随着温度和压力有微小变化，所以密度也随温度和压力的改变有微小改变。但是这种改变，在一般液压系统使用的温度和压力范围内都很微小，如液压用油温度70℃时的密度仅比20℃时的密度减少了3%，所以在一般的计算中可视密度为一常数。

蒸馏水的密度约为 $\rho = 102$ 公斤·秒²/米³，液压用油的密度约为 $\rho = 92$ 公斤·秒²/米³。

对于均质液体来说，重度是指单位体积液体的重量。若以 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：

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-4)$$

在米制的工程单位制中，重度的单位是公斤/米³。在一般的计算中，也是忽略重度随温度及压力的微小改变，将其视为常数。

蒸馏水的重度约为 $\gamma = 1000$ 公斤/米³，液压用油的重度约为 $\gamma = 900$ 公斤/米³。

根据牛顿第二定律可知，密度和重度之间有一个简单的关系式，即 $\gamma = \rho g$ 。式中 g 为重力加速度，在米制的工程单位制中，取其值为 9.81 米/秒²。

3. 粘度。

液体流动时，由于与固体界壁的附着力及液体本身的内聚力，使液体各处的速度产生差异。以液体沿管道的流动为例，紧贴着管壁的液体速度为零，越近轴心，速度越大，轴心处为最大速度，垂直于管轴的截面上各点液体的运动速度按一定的曲线规律分布（如图 1—3 所示）。如果液体的质点都沿轴向运动，则可以把管中液体的流动看成是许多无限薄的同心圆筒状的液体层的运动。运动较快的液体层可以带动运动较慢的液体层；反之，运动较慢的液体层却又阻滞运动较快的液体层。这样，当快的液体层在慢的液体层上滑过时，则很类似固体的摩擦过程，所以在液体层之间产生摩擦力。液体运动时，其各个有相对运动层间，发生内摩擦力，这种性质称为粘性。表示粘性大小程度的物理量，称为粘度。换句话说，粘度是反映液体流动时，各个有相对运动层间的内摩擦力大小程度的物理量。只有在各部分有相对运动的液体中，才出现内摩擦力，或者说，才显示出液体的粘性。在静止的液体或随容器一起运动而各部分没有相对运动的相对静止液体中，都没有内摩擦力，即都不显示出粘性。

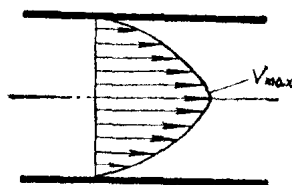


图 1—3

粘度是液压系统所用工作液体最重要的物理性质之一，它直接影响液压系统的工作性能。液压系统所用的油液，主要根据粘度来选择。

粘度，一般可用以下几种不同的单位来表示：

①动力粘度（又称绝对粘度）：根据牛顿的液体内摩擦定律，流动液体的各个有相对运动层间在接触面面积为 S 上产生的内摩擦力 F （见图 1—4），可用下式表示：

$$F = \mu S \frac{dv}{dy} \quad (1-5)$$

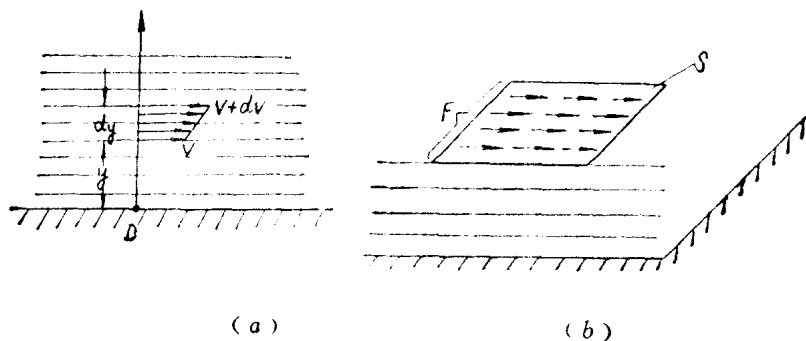


图 1—4

式中： dy ——相邻油层的间隔距离

dv ——相距 dy 的两层油层的相对速度， $\frac{dv}{dy}$ 表示有相对运动的各层的速度变化的缓急程度，称为速度梯度

μ ——动力粘度系数

将式(1—5)改写为下式:

$$\mu = \frac{F}{S \frac{dv}{dy}} \quad (1-6)$$

从上式可见,动力粘度系数的物理意义是运动液体各液层相对运动的速度梯度为1个单位时,接触液层单位面积上的内摩擦力。所以,动力粘度系数就可表示粘度的大小,并被称为动力粘度。

动力粘度 μ 的单位是公斤·秒/米²。具有动力粘度1公斤·秒/米²这种液体,其粘度大小为:液体中接触液层的1米²的接触面积上,在各液层以每隔1米的两液层速度差为1米/秒的相对速度运动,即速度梯度为1米/秒/米时,出现的内摩擦力为1公斤。在物理单位制中,动力粘度 μ 的单位是达因·秒/厘米²。这个单位,又称为泊。泊这个单位太大,应用不方便,一般应用厘泊。一厘泊等于百分之一泊。具有动力粘度1达因·秒/厘米²的油液,其粘度大小为:这种液体中接触液层的1厘米²的接触面积上,在各液层以每隔1厘米的两液层速度差为1厘米/秒的相对速度运动即速度梯度为1厘米/秒/1厘米时,出现的内摩擦力为1达因。上述两种动力粘度单位的换算关系为:

$$1 \text{ 公斤} \cdot \text{秒} / \text{米}^2 = 98.1 \text{ 泊} (\text{达因} \cdot \text{秒} / \text{厘米}^2) = 9810 \text{ 厘泊},$$

或

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

②运动粘度:运动粘度 ν 是动力粘度 μ 除以密度 ρ 所得的商值,即

$$\nu(\text{运动粘度}) = \frac{\mu(\text{动力粘度})}{\rho(\text{密度})} \quad (1-7)$$

在米制的工程单位制中,运动粘度的单位是米²/秒。在物理制单位中,运动粘度的单位是厘米²/秒,这个单位一般称为沱。由于沱这个单位太大,应用不方便,一般用厘沱。一厘沱是百分之一沱。各单位的换算关系如下:

$$1 \text{ 米}^2 / \text{秒} = 10^4 \text{ 沱} (\text{厘米}^2 / \text{秒}) = 10^6 \text{ 厘沱}.$$

运动粘度 ν 没有什么特殊的物理意义,只因在液压系统的计算中,动力粘度 μ 与密度 ρ 的比值常常在计算中出现,便采用运动粘度 ν 这个单位来代替比值 μ/ρ 。它之所以被称为运动粘度,是因为在它的单位中只有运动学的量而没有动力学的量之故。

油液牌号的表示,一般不用动力粘度,而是用运动粘度。机械油的号数就是表示这种油在50℃时运动粘度的平均值。例如20号机械油的号数20,意指这种油在50℃时运动粘度的平均值是20厘沱。

③相对粘度:由于测定动力粘度或运动粘度较为困难,所以工程上多用另一种方法来测定粘度,即测定相对粘度的方法。

相对粘度是以被测液体粘度相对水的粘度的大小程度来表示该液体的粘度。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(用SSU或"S表示),有的用商用雷氏秒(或称雷氏1*秒,用"R或R₁·1*表示),我国采用恩氏粘度。

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 。