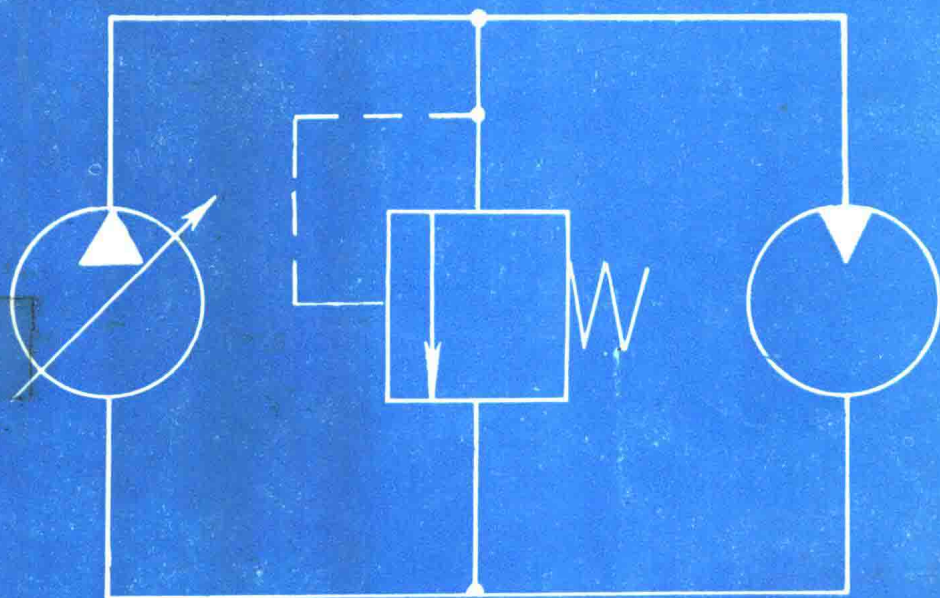


北京理工大学出版社

液压传动

李寿刚 编



液 压 传 动

李寿刚 编

北京理工大学出版社

(京)新登字 149 号

内 容 简 介

本书是工科大学液压专业本科教材。书中对各类液压元件、液压回路和液压系统做了系统的介绍。对设有液压课的非液压专业的师生和液压行业中的其它从业人员,例如从事研究、设计、制造、使用的工程师也有参考价值。

液 压 传 动

李寿刚 编

*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

国防科工委印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 22.75 印张 566 千字

1994 年 5 月第一版 1994 年 5 月第一次印刷

ISBN 7-81013-616-X/TP·62

印数: 1-4000 册 定价: 15.40 元

前 言

本书从1956年第一次成稿作为内部教材(讲义)算起,现在已是第八次编写了。在此期间本专业很多教师参加了本书的编写工作。本书的形成是集体劳动的成果。

37年来本书受社会气候的影响薄了又厚,厚了又薄,几经反复。第七次是在“文化大革命”之后编写的。各位编者怀着尽量奉献的心情写了146万字。该教材有许多优点,曾发挥了很大作用,但也存在着缺陷,表现在个别章节过多、过深、过偏、过难、过繁、过细、过旧。在调整后的教学计划中,本课为80学时。这样,教材和课时极不协调的矛盾就更加突出了。

第八次编写要写成一本什么样的书,各位教师经过讨论,达成了共识。

目前各高校的发展趋势是“淡化专业”。本专业教师赴美、前苏联考查的结果也印证到了这点。其中原因很多,不在本文讨论之列。但这个事实无疑是教材编写的前提条件。

本专业的学生有博士、硕士、学士三个档次。对他们的专业训练也应有档次之别。本书是针对本科生写的。本科生按其实质说,是第一次跨入液压界的大门。如果把液压界比作一个美食城,若不分巨细一股脑地把一切美味佳肴都塞给初入门者,既无可能,也无必要,既不现实,也不应该。

在当前的科技资料中,若按材料的新旧排列,其顺序是研究报告、会议文集、期刊、专著、教科书。但是按稳定性排列,其顺序则是教科书、专著、期刊、会议文集、研究报告。教材不能排斥和取代其它种类的科技资料,而是把它们看作自己的后盾。但是教材不是报告集、不是论文集、期刊集……。教材也不是包罗万象的百科全书,一切问题尽在其中。教材更不是“圣经”,一卷在握就百事百通。

教材应全面、系统地反映本门学科的主要内容;教材要有先进性,反映本专业的新科技成果;教材要有稳定性,这里所说的稳定性,内容有二。其一是教材的内容不能轻易被推翻或短时即被淘汰。其二是指程度要相对稳定,不能随着科技进步或编写人员的水平提高就把本科生的教材升华为硕士生的教材。此外,教材的份量应和教学计划相适应;深度和广度要适合培养目标的要求;应着重基本观点、基本原理、基本方法的介绍;要由易到难、循序渐进、便于自学。

专业课的多种教学环节,例如课堂教学、实验课、拆装课、实习课、设计课构成了一个有机的整体,使用本教材的课堂教学无疑是个重要的教学环节。但课堂教学并不万能,有些教学内容放在其它教学环节中更为合适。

本书向读者提供了一份系统的资料。在编写过程中已考虑到为使用本教材的教师和学生留有充分余地,很多问题并未写尽说绝。教师在上课时可进行增删和发挥;学生可根据需要查阅其它参考书籍。总之,本书编者无意把读者拘囿在本书的框架之内。

为了精讲多练,每章之后均有供选择的习题。孙文质教授提供了全部习题。张正华同志、张晓明同志对习题进行了演算。

北方交通大学范振武教授审阅了全书,并提出了很多宝贵意见。

感谢教材管理部门、出版社、印刷厂的领导。

编者才疏学浅，书中的缺点错误一定不少，诚恳希望读者不吝赐教。

编者谨识

1993. 3. 海淀

目 录

第1章 绪 论

1 液压传动的定义	(1)
2 液压传动的工作原理	(1)
2.1 力的分析	(1)
2.2 运动分析	(2)
2.3 功和功率的分析	(2)
2.4 液压泵和液压执行机构的定义	(3)
2.5 液压泵和液压执行机构的可逆性	(3)
2.6 压力和流量	(3)
3 简易液压磨床液压系统	(3)
4 液压系统的组成	(4)
5 液压传动的应用	(4)
6 液压传动的特点	(5)
6.1 优点	(5)
6.2 缺点	(5)
7 本章复习题和习题	(5)

第2章 工作介质——液压油

1 液压油的物理性能	(7)
1.1 密度	(7)
1.2 粘度	(7)
1.3 油的可压缩性	(8)
1.4 液压油的其它性能	(9)
2 液压系统对工作介质的要求	(9)
3 常用工作介质	(10)
3.1 石油型液压油	(10)
3.2 乳化型传动液	(12)
3.3 合成型传动液	(12)
4 工作介质的选用原则	(13)
4.1 液压系统的工作环境	(13)
4.2 液压系统本身的工作条件	(13)
4.3 经济性	(13)
5 本章复习题和习题	(13)

第3章 液压泵和液压马达

1 液压泵和液压马达概论	(15)
--------------------	--------

1.1	液压泵和液压马达工作原理	(15)
1.2	液压泵和液压马达的符号及主要参量	(15)
1.3	泵和马达的效率	(16)
2	(外啮合) 齿轮泵和齿轮马达	(19)
2.1	齿轮泵的工作原理	(19)
2.2	齿轮泵理论流量的计算	(20)
2.3	齿轮泵的液压封闭现象	(24)
2.4	齿轮所受的液压径向力	(25)
2.5	齿轮泵的参数	(26)
2.6	齿轮式液压马达	(26)
2.7	齿轮式液压机械的综合评述	(28)
2.8	齿轮泵和齿轮液压马达的复习题和习题	(28)
3	叶片泵和叶片马达	(30)
3.1	单作用叶片泵	(30)
3.2	双作用叶片泵	(37)
3.3	叶片泵的一些结构问题	(42)
3.4	叶片式液压马达	(42)
3.5	叶片泵和叶片马达的参数	(43)
3.6	叶片泵和叶片马达的综合评述	(43)
3.7	叶片泵和叶片马达的复习题和习题	(44)
4	柱塞式泵和柱塞式马达	(45)
4.1	轴向柱塞泵的分类和工作原理	(45)
4.2	柱塞的运动	(48)
4.3	轴向柱塞泵的理论流量	(49)
4.4	脉动函数	(50)
4.5	泵主要零件的受力分析	(56)
4.6	变量控制力矩	(70)
4.7	变量控制机构	(73)
4.8	柱塞式液压马达	(80)
4.9	柱塞式泵和柱塞式马达的参数	(85)
4.10	柱塞式泵和柱塞式马达的综合评价	(85)
4.11	柱塞式泵和柱塞式马达的复习题和习题	(86)

第4章 液压缸和摆动液压马达

1	液压缸的工作原理和分类	(88)
1.1	液压缸的工作原理	(88)
1.2	液压缸的分类	(89)
2	液压缸基本参数的计算	(90)
2.1	双活塞杆缸的计算	(90)
2.2	单活塞杆缸的计算	(90)
2.3	柱塞缸的计算	(92)
3	液压缸的结构	(92)
3.1	缸筒	(93)

3.2	活塞	(93)
3.3	活塞杆	(94)
3.4	端盖	(94)
3.5	活塞杆头部的结构	(95)
3.6	排气装置	(96)
3.7	缸的安装方式	(96)
4	液压缸的设计	(96)
4.1	已知条件	(96)
4.2	两类液压缸	(97)
4.3	单活塞杆液压缸的设计步骤	(97)
4.4	双活塞杆液压缸的设计步骤	(100)
4.5	液压缸的缓冲装置	(100)
5	组合式液压缸	(103)
5.1	串连液压缸	(103)
5.2	增压缸	(103)
5.3	增速缸	(104)
5.4	多位液压缸	(104)
5.5	步进液压缸	(104)
5.6	伸缩式套筒液压缸	(105)
6	摆动液压马达	(105)
6.1	摆动液压马达的工作原理	(106)
6.2	单叶片摆动液压马达的转速	(106)
6.3	单叶片摆动液压马达的转矩	(107)
7	液压缸和摆动液压马达复习题和习题	(107)

第5章 液压控制阀

1	方向控制阀	(110)
1.1	单向阀	(110)
1.2	换向阀	(115)
1.3	方向控制阀的复习题和习题	(125)
2	压力控制阀	(126)
2.1	溢流阀	(126)
2.2	减压阀	(139)
2.3	顺序阀	(141)
2.4	压力继电器	(145)
2.5	压力控制阀的复习题和习题	(147)
3	流量控制阀	(148)
3.1	节流阀	(148)
3.2	调速阀	(152)
3.3	溢流节流阀	(154)
3.4	分流—集流阀	(155)
3.5	流量控制阀的复习题和习题	(157)
4	其它控制阀	(159)

4.1 电液伺服阀	(159)
4.2 电液比例阀	(159)
4.3 插装阀	(164)
4.4 比例阀和插装阀的复习题和习题	(171)

第6章 液压辅件

1 油的污染和滤油器	(172)
1.1 污染控制的基本概念	(172)
1.2 常用的滤油器	(175)
1.3 滤油器的性能	(177)
1.4 滤油器的选择、安装位置和使用	(178)
2 密封件	(180)
2.1 密封的分类和对密封件的要求	(180)
2.2 间隙密封	(181)
2.3 O形密封圈	(181)
2.4 唇形密封圈	(184)
2.5 油封	(188)
2.6 密封件的摩擦阻力	(189)
2.7 密封胶	(189)
3 管件和管接头	(191)
3.1 管件的分类	(191)
3.2 硬管	(191)
3.3 软管	(193)
3.4 硬管接头	(195)
3.5 软管接头	(197)
3.6 快速管接头	(198)
4 油箱	(199)
4.1 油箱的功用、要求和分类	(199)
4.2 开式油箱	(200)
4.3 加压油箱	(203)
4.4 冷却器	(204)
4.5 加热器	(206)
5 蓄能器	(207)
5.1 蓄能器的类型	(207)
5.2 充气式蓄能器的参数关系	(210)
5.3 做其它用途的蓄能器参数	(211)
5.4 蓄能器的应用和回路	(212)
6 液压辅件的复习题和习题	(214)

第7章 液压回路

1 容积调速回路	(216)
1.1 容积调速回路的工作原理	(216)

1.2	容积调速回路的静特性	(217)
1.3	容积调速回路的动特性	(219)
1.4	两种形式的容积调速回路	(222)
1.5	容积调速回路的特点	(222)
2	节流调速回路	(223)
2.1	进油节流调速回路	(223)
2.2	出油节流调速回路	(227)
2.3	旁路节流调速回路	(228)
3	液压基本回路	(231)
3.1	压力控制回路	(232)
3.2	速度控制回路	(238)
3.3	方向控制回路	(244)
3.4	多缸控制回路	(248)
4	液压回路的复习题和习题	(251)

第8章 液压系统

1	几个实际液压系统	(254)
1.1	液压机液压系统	(254)
1.2	汽车起重机液压系统	(256)
1.3	拉床液压系统	(260)
2	液压系统的设计步骤	(263)
2.1	明确环境对系统的要求	(263)
2.2	明确对液压系统的具体设计要求	(265)
2.3	确定液压系统的主要参数	(265)
2.4	拟定液压系统草图	(266)
2.5	选择液压元件	(267)
2.6	验算系统的性能	(268)
2.7	绘制系统工作图, 编制技术文件	(268)
3	液压系统设计举例	(268)
3.1	明确对液压系统设计的要求	(269)
3.2	分析液压系统工况, 确定主要参数	(269)
3.3	拟订液压系统草图	(271)
3.4	选择液压元件	(272)
3.5	验算液压系统的技术性能	(275)
4	液压系统设计的前景	(276)
5	液压系统设计的复习题和习题	(276)
	附录1 液压及气动图形符号 (摘自 GB786-76)	(278)
	附录2 液压气动图形符号 (摘自 786.1-93)	(302)
	附录3 计量单位的换算	(351)
	主要参考文献	(354)

第1章 绪 论

1 液压传动的定义

以液体作为工作介质，以静压力和流量作为特性参量，实现能量的转换、传递、分配和控制的技术叫“液压技术”(hydraulics)，又称“液压传动”(Fluid Power—Hydraulics)。

2 液压传动的工作原理

液压传动的工作原理见图1.2-1。

小直径液压缸1和大直径液压缸2之间用油管相连。两液压缸和油管中均充满液压油。

分析此系统力的关系时做如下假设：

- ①工作油液是不可压缩的；
- ②液压缸和管道均为刚体，受力后不产生变形；
- ③系统无泄漏；
- ④系统无摩擦力。

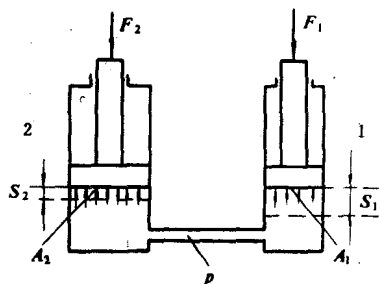


图1.2-1 液压传动的工作原理

2.1 力的分析

外力 F_1 加于小直径液压缸1的活塞缸上。大直径液压缸2的活塞杆上作用有负载力 F_2 。在两个活塞的作用下，两个液压缸的工作腔和油管中的油液具有压力 p 。

A_1 ——小活塞的有效面积

A_2 ——大活塞的有效面积

$$F_1 = p A_1 \quad p = \frac{F_1}{A_1} \quad (1.2-1)$$

$$F_2 = p A_2 \quad p = \frac{F_2}{A_2} \quad (1.2-2)$$

根据帕斯卡原理，在封闭液体中的压力处处相等，故

$$\begin{aligned} \frac{F_1}{A_1} &= \frac{F_2}{A_2} \\ F_2 &= \frac{A_2}{A_1} F_1 \end{aligned} \quad (1.2-3)$$

若 A_1 、 A_2 均有定值，且 $A_2 > A_1$ ，则 $F_2 > F_1$ 。

2.2 运动分析

设小活塞的位移为 S_1 ，大活塞的位移是 S_2

在两个缸的容腔和管路中被封闭的液体体积是常数。故以原来界面为基准，在小活塞下减小的体积 V_1 应等于在大活塞下面增加的体积 V_2 ：

$$V_1 = A_1 S_1 \quad (1.2-4)$$

$$V_2 = A_2 S_2 \quad (1.2-5)$$

$$V_1 = V_2 = V$$

$$A_1 S_1 = A_2 S_2$$

$$S_2 = \frac{A_1}{A_2} S_1 \quad (1.2-6)$$

若 A_1, A_2 均有定值，且 $A_2 > A_1$ ，则 $S_2 < S_1$ 。

设在时间间隔 t 内同时完成位移 S_1 和 S_2 ，则

$$v_1 = \frac{S_1}{t}, \quad v_2 = \frac{S_2}{t}$$

v_1 ——活塞 1 的运动速度； v_2 ——活塞 2 的运动速度。

同理：

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \quad (1.2-7)$$

若 $A_2 > A_1$ ，则 $v_2 < v_1$

2.3 功和功率的分析

活塞 1 所做的机械功： $W_1 = F_1 S_1$

活塞 2 所做的机械功： $W_2 = F_2 S_2$

根据能量守恒定律， $W_1 = W_2 = W$ ，即

$$W = F_1 S_1 = F_2 S_2 \quad (1.2-8)$$

将式 (1.2-8) 用液压参量表示

$$W = F_1 S_1 = p A_1 S_1 = p V_1 = p V \text{ 或}$$

$$W = F_2 S_2 = p A_2 S_2 = p V_2 = p V \quad (1.2-9)$$

同理，

活塞 1 的机械功率，用液压参数表示

$$P_1 = F_1 \frac{S_1}{t} = p \frac{A_1 S_1}{t} = p \frac{V_1}{t} = p Q$$

活塞 2 的机械功率，用液压参数表示

$$P_2 = F_2 \frac{S_2}{t} = p \frac{A_2 S_2}{t} = p \frac{V_2}{t} = p Q \quad (1.2-10)$$

式 (1.2-9) 叫液压功，式 (1.2-10) 叫液压功率。

Q ——单位时间内，流过多流断面的体积，叫体积流量 (volumetric flow rate)。在本书中，凡不特别指明的流量，都指的体积流量，简称流量。

2.4 液压泵和液压执行机构的定义

缸1完成了从机械能到液压能的转换,根据这个原理设计的液压元件叫液压泵(hydraulic pumps)。因此,泵的定义是:能够将机械能转换成液压能的元件叫液压泵,简称泵。

缸2完成了从液压能到机械能的转换,根据这个原理设计的液压元件叫液压执行机构(hydraulic actuator)。其中包括能输出转速和转矩的液压马达(hydraulic motor),以及能输出力和线速度的液压缸(hydraulic cylinder)。所以,液压执行机构的定义是:能够将液压能转换成机械能的液压元件叫液压执行机构,其中包括液压马达和液压缸。液压马达简称为马达,液压缸简称为缸。

2.5 液压泵和液压执行机构的可逆性

在图1.2-1中,我们把力 F_1 看作主动力,相应地把缸1看作泵;把力 F_2 看作负载力,相应地把缸2看作液压执行机构。如果相反,把 F_2 看作主动力,则相应地“缸”2是“泵”,把 F_1 看作负载力,相应地缸1是液压执行机构。这种特性叫做泵和液压执行机构的可逆性。

液压泵和液压马达具有旋转运动这种共同的运动形式,二者统称液压机械。而把液压缸算作另一类液压元件。

一个液压机械,如果用原动机带动,使其输出压力和流量,那么它就起泵的作用。反之,若往一个液压机械中通入压力油,使其输出机械扭矩和转速,则该液压机械起液压马达作用。

泵和液压马达虽有可逆性,但结构上有各自的特点,仍然希望泵当作泵用,液压马达当液压马达使用。

至于单个的液压缸虽然也有可逆性,但在多数场合仍然作为液压缸使用,而不作为“泵”用。

2.6 压力和流量 (pressure and flow rate)

压力和流量是液压系统最重要的两个参数。由图1.2-1可见,被封闭的液体只有在 F_1 力和 F_2 力同时存在时才能形成,在实际系统中,系统的压力决定于泵的工作能力和执行机构负载的大小。系统的压力使液压执行机构产生一定的力或力矩。压力的单位是兆帕(MPa)

$$1\text{MPa} = 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \left(\frac{\text{牛}}{\text{米}^2} \right) \quad (1.2-11)$$

压力旧单位 kgf/cm^2 已停止使用

$$1 \frac{\text{kgf}(\text{公斤力})}{\text{cm}^2(\text{厘米}^2)} \approx \frac{1}{10} \text{MPa} \quad (1.2-12)$$

系统的流量大小决定于泵的排油能力。若不计效率,系统的流量用来使执行机构产生运动。流量的单位是 L/min (升/分)。

$$1 \frac{\text{L}}{\text{min}} = \frac{1}{6000} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \left(\frac{\text{米}^3}{\text{秒}} \right) \quad (1.2-13)$$

3 简易液压磨床液压系统

在运行的机器,不但要有能力克服一定的负载,而且机器运动的方向和速度也应当是可

控制的，这样才能正常工作。我们通过控制简易磨床工作台的液压系统来说明如何具体控制机器的运动速度和方向。

图(1.3-1)是简易磨床工作台液压系统。液压泵1排出的油经过节流阀2到换向阀3的油口P，油路不通。当推动换向阀手柄使其阀芯右移时，P口和A口接通，油经过管路5进入液压缸6左腔，缸体固定，活塞右移。液压缸6右腔的油经过管路4、B口和O₂口流回油箱。当换向阀阀芯自中间位置左移时，油自P口经B口管路4进入缸6右腔，使活塞左移。缸6左腔的油经管路5、A口和O₁口流回油箱。这样，我们通过换向阀3控制了液压缸6，从而也控制了磨床工作台7的运动方向。应指出，推动换向阀手柄需要的功率很小，而工作台7负载功率很大，即功率放大倍数很大。图中2是节流阀，可以通过改变它的通油面积来改变通过阀的流量，进而实现工作台运动速度的控制。图中8是溢流阀，通过它使系统保持某一个恒定压力，以满足工作台负载的需要，同时泵1输出的油，除满足工作台运动速度的需要外，多余的油可经过溢流阀8流回油箱10。9为粗滤油器。

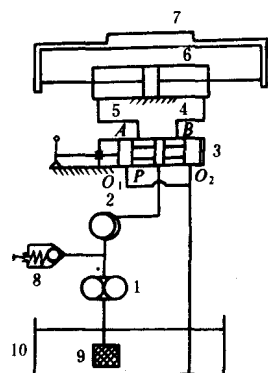


图1.3-1 简易磨床工作台液压系统
1—液压泵；2—节流阀；3—换向阀；
4, 5—油管；6—液压缸；
7—工作台；8—溢流阀；
9—粗滤油器；10—油箱

4 液压系统的组成

从图1.3-1可看出，液压系统由5部分组成。

- ①能源部分 由泵和泵的其它附件组成，泵由原动机带动。泵向系统提供液压能。如泵1。
- ②执行机构 将液压能变成机械能，带动工作机构做功。如液压缸6。
- ③控制部分 它由液压控制阀组成。控制阀由电气或手动信号控制。控制部分的功能是控制系统的压力、流量和方向。如溢流阀8、节流阀2和换向阀3等。
- ④液压辅助部分 由各种液压辅件组成。例如油管4、5、管接头、滤油器9和油箱10等。
- ⑤工作介质 液压系统中用量最大的工作介质是液压油。

5 液压传动的应用

液压传动在国民经济中有广泛的应用。

- ①在农林机械中，用液压系统控制联合收割机和拖拉机上的农具。在木材集运机械中用液压系统控制木材的各种动作。人造板热压机也采用液压系统。
- ②在化工、轻纺机械中采用液压系统的有塑料注射成型机、橡胶机械、卷纸机、皮革削匀机、香皂研磨机、陶瓷坯料成型机纺织机械的整经机、浆纱机等。
- ③在能源工业中采用液压系统的机械有钻井平台、水下采油机、钻机、采煤机、矿用液压支架、掘进机、发电设备等。
- ④在冶金工业中采用液压系统的机械有高炉加料机、炼钢电炉控制系统、炉前机械手、轧

· 钢机压下控制系统、弯辊平衡系统、带钢跑偏控制系统。

⑤在建材工业中用到液压系统的有水泥窑控制系统。

⑥在机床行业中,热加工机床采用液压系统的有压铸机、射压造型机、液压机、冲压机、快锻机。冷加工机床有组合机床、拉床、磨床和各种仿形机床

⑦在起重运输和工程机械上采用液压系统的有叉车、汽车起重机、挖掘机、装载机等。

在交通机械中采用液压系统的有船舶舵机、船用起货机、铁道工程用的钢轨对焊机、凿岩机以及汽车动力转向机、汽车制动系统自卸卡车和汽车自动换挡系统等。

⑧在国防工业中采用液压系统的有高射炮、坦克稳定器、飞机进气道控制、喷口控制、前轮转向,飞机舵机、起落架收放、导弹舵机、导弹发射架、雷达天线控制、调平机、稳定平台等。

此外在机器人,机器手、液压电梯中液压系统也有应用。

6 液压传动的特点

6.1 优点

①在功率相同的情况下,液压传动比电传动的体积小,重量轻。

②工作平稳,换向冲击小,便于实现频繁换向。

③最高转速和最低转速范围大。低速运动平稳,易实现无级变速。

④液压系统反应灵敏,控制精度高。在大功率控制系统中,更能发挥其优点。

⑤操作方便、省力。容易和电气、气动配合,组成复合系统,容易实现自动、半自动、程序控制和远程控制。

⑥液压元件已大部份实现了系列化、标准化、通用性好。

6.2 缺点

①由于同时存在机械摩擦、液体摩擦和泄漏,效率较低。并产生热量。

②因油有泄漏和弹性变形,传动精度不如机械传动。

③油的粘度随温度而变化,从而会影响机器的性能。

④因多种原因,噪声较大,低速不够稳定。

⑤为减少泄漏和为了提高其它性能,制造精度高,成本高。

⑥发生故障后不易检查和排除。要求维修人员的技术等级较高。

⑦在液压控制系统中液压信号的传递较电信号为慢,信号的转换也不如电信号方便。

此外,液压能源需要由专用的、分散的设备组成,不如电源可直接取自电网来得方便。

从现阶段的技术发展水平看,液压技术的优点是主要的,所以得到广泛应用。缺点会随着科技不断进步而会有所减缓。

7 本章复习题和习题

①何谓“液压传动”?

- ② 液压传动的原理涉及到“流体力学”哪些主要定理？
- ③ 液压系统中压力的形成条件是什么？
- ④ 液压系统中的流量是怎样形成的？
- ⑤ 液压缸的力、速度、功率是如何实现机械参量和液压参量相互转换的。
- ⑥ 泵的功能是什么？
- ⑦ 液压执行机构的功能是什么？
- ⑧ 何谓泵和执行机构的可逆性？
- ⑨ 液压工程中常用的压力单位是什么？流量单位是什么？它们是否属于法定计量单位。
- ⑩ 液压系统由哪几大部分组成？
- ⑪ 你见到或听说过哪些采用液压系统的机器。
- ⑫ 液压传动有哪些优缺点？应如何看待和对待它们？

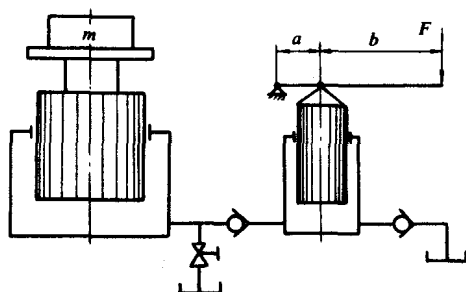


图1.7-1

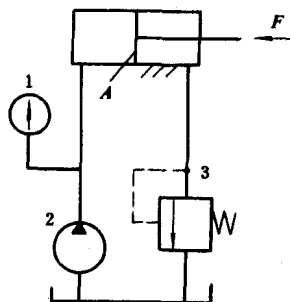


图1.7-2

⑬ 有一液压千斤顶如图1.7-1所示。已知，

大活塞的直径 $D=120\text{mm}$ ，小活塞的直径 $d=10\text{mm}$ ，杠杆臂 $a=25\text{mm}$ ， $b=300\text{mm}$ 。如果要顶起 $m=5000\text{kg}$ 的质量，需要多大的力 F ？

⑭ 图1.7-2是用符号图表示的一个液压系统，2是液压泵，铭牌上的输出压力为 7MPa ，输出流量为 50L/min 。安全阀3开启后系统压力即不再增加，其开启压力为 5MPa 。缸活塞的有效面积 $A=10\text{cm}^2$ ，求 $F=3\text{kN}$ ， 6kN ， 8kN 时压力表1的读数。并求 $F=8\text{kN}$ 时，活塞的运动速度。

第2章 工作介质——液压油

Working medium of hydraulics —hydraulic oil

液体是液压传动的工作介质。最常用的工作介质是液压油。此外，也有乳化型传动液（emulsion fluid）或合成型传动液（synthetic fluid）

1 液压油的物理性能

1.1 密度（mass density）

单位体积液体的质量称为液体的密度。我国采用 20℃ 时的密度作为油液的标准密度，以 ρ_{20} 表示。单位是 kg/m^3 （公斤/米³）。常用液压油和传动液的密度见表 2.1-1。

表 2.1-1 常用工作介质的密度（ kg/m^3 ）

种 类	ρ_{20}	种 类	ρ_{20}
石油基液压油	850~900	增粘高水基液	100.3
水包油乳化液	998	水~乙二醇液	106
油包水乳化液	932	磷酸酯液	115

1.2 粘性（viscosity）

1.2.1 粘性的表达式

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dy} \quad (2.1-1)$$

τ ——液体内部的切应力；

dv ——相邻两层液体间的速度差；

dy ——相邻两层液体间的垂直距离；

μ ——比例系数，即动力粘度系数，简称动力粘度。

粘度表征液体的内摩擦力，即液体的粘稠程度。

1.2.2 粘度的单位

（1）动力粘度（绝对粘度，粘性动力系数）（dynamic viscosity）

动力粘度用 μ 表示。在法定计量的单位制中 μ 的单位是帕·秒（ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ）

$$1\text{Pa} \cdot \text{s} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{s}$$

（2）运动粘度（kinematic viscosity）

在相同温度下，液体的动力粘度和其密度的比值称为运动粘度，用 γ 表示。在法定计量单位制中， γ 的单位是 m^2/s ，也可用 mm^2/s 表示。