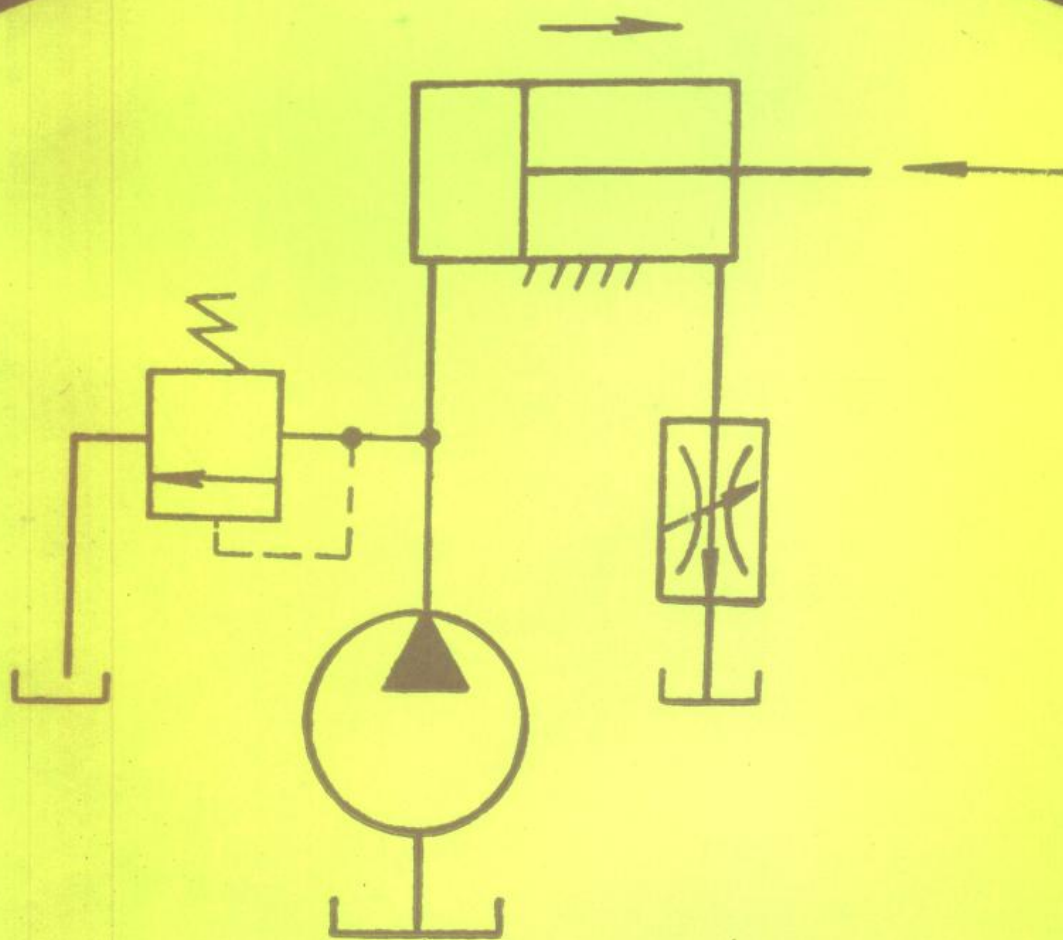


液压传动技术教程

盛东初 冯淑华 主编



北京理工大学出版社

液 压 传 动 技 术 教 程

盛东初 冯淑华 主编

北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书是根据机械部“流体传动与控制”专业指导委员会审定的液压传动教学大纲,考虑本专业的特点编写的。内容主要包括粘性流体力学的基本理论;液压元件的工作原理、典型结构和特点;典型液压回路;液压系统分析与设计;液压伺服系统及液压系统动态特性等。本教材系统性强,内容完整;反映了液压传动先进技术;注意了理论联系实际;书中例题与书后习题能帮助学生理解基本理论和基本概念。

本书可作为“机械制造工艺与设备”、“机电一体化”、“机械设计”等机械类专业的教材,亦可作为有关专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动技术教程/盛东初,冯淑华等编.-北京:北京理工大学出版社,1995

ISBN 7-81013-995-9

I. 液… II. ①盛… ②冯… III. 液压传动-技术-高等学校-教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 02287 号

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路7号)

(邮政编码 100081)

各地新华书店经售

通县向阳印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 303 千字

1995 年 6 月第一版 1995 年 6 月第一次印刷

印数:1 5000 册 定价:11.00 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

前 言

本书是根据机械工业部“流体传动与控制”专业指导委员会审定的“液压传动”教学大纲,考虑本专业的特点编写的。其内容包括液压流体力学基础、常用液压元件、液压基本回路、典型液压系统、液压系统设计计算、液压元件和系统的动态特性和液压伺服系统。每章后附有必要的思考题和习题。

本书着重讲述了液压元件、液压回路和系统的工作原理、性能特点,对其具体结构则主要通过其它教学环节来了解;并安排必要的实验加深对基本概念的理解,以期达到传授知识和培养分析问题、解决问题的能力。

本书可作为“机械制造工艺与设备”、“机电一体化”、“机械设计”等机械类专业的教材,也可作为其它有关专业的主要参考书。

本书由北京理工大学盛东初、冯淑华主编。参加编写的有:盛东初(第一、七、八、九章),唐承统(第二、四、六章),冯淑华(第三、十、十一章),张健华(第五章)。全书由北京机械工业学院朱骥北教授主审。由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

1994 年 12 月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 液压传动系统的工作原理、组成及图形符号	(1)
§ 1-2 液压传动的特点	(3)
第二章 液压流体力学基础	(5)
§ 2-1 液压油	(5)
§ 2-2 流体静力学	(9)
§ 2-3 流体动力学	(12)
§ 2-4 管路中液体的流量—压力特性	(17)
§ 2-5 液体流经孔口及缝隙的流量—压力特性	(22)
§ 2-6 液压冲击及空穴现象	(26)
思考题与习题	(28)
第三章 液压泵和液压马达	(31)
§ 3-1 液压泵和液压马达概述	(31)
§ 3-2 齿轮泵	(33)
§ 3-3 叶片泵	(39)
§ 3-4 柱塞泵	(45)
§ 3-5 液压马达	(47)
§ 3-6 液压泵和液压马达的选用	(49)
思考题与习题	(50)
第四章 液压缸	(52)
§ 4-1 液压缸的类型及其特点	(52)
§ 4-2 液压缸的设计与计算	(57)
思考题与习题	(60)
第五章 液压阀	(62)
§ 5-1 方向控制阀	(62)
§ 5-2 压力控制阀	(69)
§ 5-3 流量控制阀	(75)
§ 5-4 逻辑阀与电液比例阀简介	(78)
思考题与习题	(81)
第六章 辅助装置	(83)
§ 6-1 油管与管接头	(83)
§ 6-2 蓄能器	(84)
§ 6-3 滤油器	(87)
§ 6-4 密封装置	(89)
§ 6-5 油箱	(91)
思考题与习题	(94)
第七章 液压基本回路	(95)

§ 7-1 速度控制回路	(95)
§ 7-2 压力控制回路	(107)
§ 7-3 换向回路	(111)
§ 7-4 多执行元件控制回路	(113)
思考题与习题	(118)
第八章 典型液压系统	(120)
§ 8-1 组合机床液压系统	(120)
§ 8-2 机械手液压系统	(123)
§ 8-3 外圆磨床液压系统	(126)
思考题与习题	(130)
第九章 液压系统设计计算	(132)
§ 9-1 液压系统设计步骤	(132)
§ 9-2 液压系统设计计算举例	(140)
思考题与习题	(146)
第十章 液压元件与液压系统的动态特性	(147)
§ 10-1 管道的动态特性	(147)
§ 10-2 溢流阀的动态特性	(150)
§ 10-3 液压缸的动态特性	(154)
§ 10-4 液压泵的动态特性	(157)
§ 10-5 节流调速系统的动态特性	(160)
思考题与习题	(165)
第十一章 液压伺服控制系统	(166)
§ 11-1 概述	(166)
§ 11-2 伺服阀	(168)
§ 11-3 液压动力元件的数学模型	(175)
§ 11-4 液压伺服控制系统分析	(178)
思考题与习题	(185)
附录	(187)
附录 I 液压系统常用图形符号	(187)
附录 II 用梅逊公式求传递函数	(191)
主要参考文献	(193)

第一章 绪 论

液压传动相对机械传动来说是一门新的技术,尽管它的出现已有近二三百年的历史,但真正推广应用只是最近三十年左右。

目前,液压技术正向高压、高速、大流量、高效率、低噪音、集成化等方向发展;新的液压元件和液压系统的计算机辅助设计、优化设计、数学仿真、微机控制等新技术,也已日益发展、应用,并取得了显著成果。

我国的液压技术从本世纪 50 年代开始应用,目前我国的液压技术正处于高速发展与提高阶段,已广泛应用于国民经济各个部门,如机械制造、工程机械、石油化工、冶金与矿山机械、轻工机械以及国防工业等。

本章的任务是使初学者对液压传动的基本工作原理及图形符号;液压传动的组成;液压传动的特点等内容有一个初步的、概括的认识。

§ 1-1 液压传动系统的工作原理、组成及图形符号

一、液压传动的工作原理

图 1-1 所示为机床工作台液压传动系统,图中 1 为油箱、2 为滤油器、3 为液压泵、5 和 7 均为换向阀、8 为节流阀、10 为液压缸、11 为机床工作台、14 为溢流阀,其它为油管。液压缸的缸筒固定在床身上,由活塞杆带动工作台运动。

机床工作的进给运动,一般由快速前进趋近工作(快进)→慢速工作进给(工进)→快速退回(快退)→停止等运动循环所组成。本液压系统完成上述工作循环的工作原理是:

启动电机带动泵 3 旋转,泵便从油箱 1 中经滤油器 2 吸油。当换向阀 5 处于图 1-1 (a)所示位置时,泵输出的全部压力油经溢流阀 14 流回油箱,工作台处于停止状态。

快进:当换向阀 5 的阀芯右移(移动力可以手动、机动、液动或电动等)至图 1-1 (c)所示位置时,压力油便经换向阀 5、油管 6、换向阀 7、油管 9 进入液压缸 10 的左腔,推动活塞带工作台向右快速运动。这时液压缸右腔的油经油管 12、换向阀 5、油管 13 流回油箱。

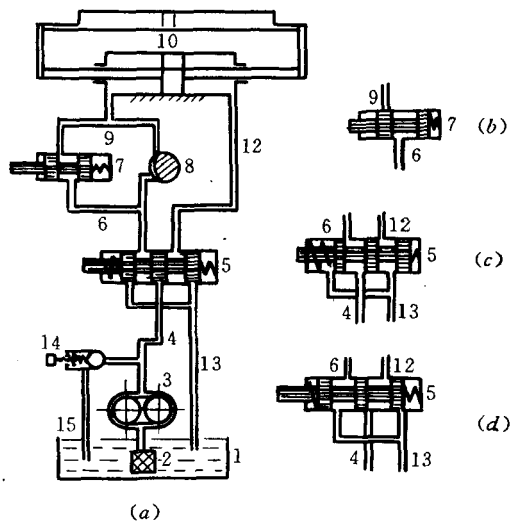


图 1-1 机床液压传动系统原理图(半结构图)

工进:当快进到预定行程时,使换向阀 7 阀芯右移到如图 1-1(b)所示位置,这时换向阀 7 将油管 6 到 9 的油管关闭。压力油只能经节流阀 8、油管 9 进入到液压缸 10 的左腔,活塞带工作台慢速向右运动。调节节流阀的开口大小,就可改变进入液压缸的流量,从而改变活塞带动工作台的运动速度。

快退:当工作进给到达终点(即工件被加工面加工完毕)时,又使换向阀 5 和 7 同时换向,即换向阀 5 处于图 1-1(d)位置,换向阀 7 处于图 1-1(a)位置。这时泵输出的压力油经管 4、阀 5、管 12 进入缸的右腔;缸左腔的回油经管 9、阀 7、管 6、阀 5、管 13 回油箱,活塞便带工作台快速向左退回。

停止:当工作台退回到原位时,使换向阀 5 的阀芯处于如图 1-1(a)所示位置,压力油进不到液压缸,液压缸活塞两腔的油被阀 5 封闭,工作台便立即停止。这样便完成了一个工作循环。

溢流阀 14 的作用是调节与稳定系统所需的最大工作压力、溢出多余的油液。当工作进给时,液压缸的活塞要克服各种阻力(如切削力、摩擦力等),进入到液压缸的油必须有足够的稳定压力,才能推动活塞带工作台运动;同时液压缸活塞低速运动(工进)所需流量小,而本液压系统采用定量泵。所以溢流阀 14 在这里要同时起到稳压和溢流两个作用。

调节溢流阀 14 的弹簧力,使之与液压缸的最大负载力相平衡。当系统压力升高到等于或稍大于溢流阀的调定压力时,溢流阀便打开一定开口,并以节流阀所调节的流量使系统向液压缸供压力油,多余的压力油经溢流阀流回油箱;并稳定系统的压力(泵所输出的压力等于溢流阀的调节压力)。当工作台快进或快退时,因液压缸所需负载小,所需液压力也小,这时液压力不足以克服溢流阀的调节弹簧力,所以溢流阀打不开,泵的全部流量进入液压缸的某一腔,实现工作台的快速运动。

由上述液压传动系统的简例可知:

(1)液压传动是依靠运动着的压力油来传递动力的。工作台之所以能克服负载力而运动,是依靠密封着的液压缸内压力油容积的变化来传递能量。这种借助于密封容积内压力油容积的变化来传递动力(能量)的液体传动,称为容积式液压传动(简称液压传动)。机床和大多数机械的液压系统都属于液压传动。此外还有靠液体动能来传递动力的液体传动,叫动力式液体传动(液力传动)如水轮机、液力变矩器等。本书不作介绍。

(2)液压系统工作时,液压泵将电动机输入给它的机械能转换成油液的压力能输出;压力油经管道和各控制阀进入液压缸后,液压缸又将油液的压力能转换为驱动工作台运动的机械能。

(3)液压传动系统应满足它所驱动的工作部件所需力、速度和运动循环等方面的要求,这些要求是靠各种液压元件来实现的。

二、液压系统的组成

液压系统一般都由以下几部分组成:

(1)能源部分:其作用是将机械能转换成油液的压力能。如各类液压泵。

(2)执行部分:其作用是将油液的压力能转换成带动工作部件运动的机械能。如液压缸和液压马达。

(3)控制调节部分:其作用是控制与调节液压系统中液流的压力、流量和流向,以满足工作部件所需力(力矩)、速度(转速)和运动循环的要求。如各种压力阀、流量阀、换向阀等。

(4)辅助部分:上述三部分之外的其它部分,如油箱、油管、滤油器、蓄能器、压力表开关和压力表、加热(冷却)器等。它们对保证液压系统工作的可靠性、稳定性等具有重要作用。

三、液压系统图的图形符号

图 1-1 所示液压系统原理图,称为半结构式原理图。对初学者来说它直观、易理解,但绘制起来费事。我国制定了液压元件标准职能符号图(GB786—76),其中最常见的部分见附录。

图 1-2 所示为用职能符号表示的图 1-1 的液压系统图。显然用职能符号图绘制方便、图面简明清晰。此后,我们都采用职能符号图绘制液压系统图,只有当某些液压元件无法用这些符号表示时,才允许用半结构原理图。

§ 1-2 液压传动的特点

液压传动与机械传动、电力传动、气体传动相比,有以下主要特点:

一、优点

(1)液压传动装置运动平稳,反应快,惯性小,能高速启动、制动和换向。其换向频率一般可达 500 次/分钟;

(2)在同等功率的情况下,液压传动装置的体积小,重量轻、结构紧凑。例如同功率的液压马达的重量只有电动机的 10~20%;

(3)液压传动装置能在运行中方便地实现无级调速,且调速范围最大可达 1:2000(一般为 1:100);

(4)操作简单、方便,易于实现自动化,当它与电气联合控制时,能实现复杂的自动工作循环和远距离控制;

(5)易于实现过载保护;由于采用液压油作为传动介质,能自行润滑相对运动零件表面,使液压传动装置工作寿命延长;

(6)液压元件实现了系列化、标准化、通用化,有利组织生产、提高质量、降低成本;便于设计、制造和维修。

二、缺点

(1)液压传动装置中液体的泄漏和可压缩性,使液压传动无法保证严格的传动比;

(2)液压传动装置在能量转换和传递中,不可避免要产生摩擦损失、压力损失和容积损失。这会使系统的总效率降低;

(3)油温变化引起油液粘度的变化,影响液压系统的工作稳定性,在高温或低温下工作有一定困难;

(4)为减少泄漏,液压元件的制造精度要求高,因此造价较贵。

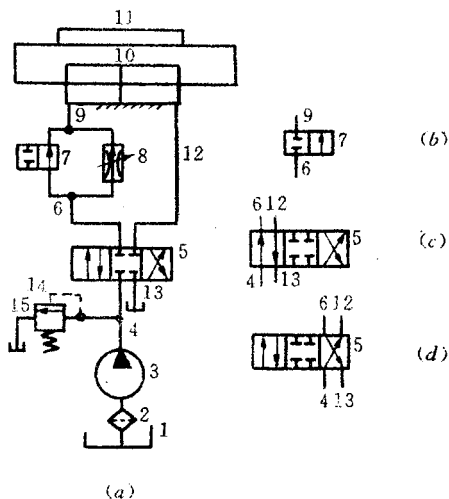


图 1-2 机床液压传动系统原理图(职能符号图)

综上所述,液压传动的优点是主要的,其缺点将随着科学技术的发展会不断地得到克服。且液压传动与电力传动、机械传动以及气压传动联合应用,以发挥其各自的优点而互补其缺点,这就使液压传动获得更为广泛的应用。

第二章 液压流体力学基础

流体力学是研究流体宏观平衡和运动规律的学科。流体包括液体和气体,液压传动是以液体作为工作介质传递能量的。因此,本章主要研究液压油的物理、化学特性及其力学规律,为掌握液压传动基本原理,进行液压系统设计计算和合理使用奠定理论基础。

§ 2-1 液 压 油

液压传动所用液压油一般为矿物油。它不仅是液压系统传递能量的工作介质,而且还起润滑、冷却和防锈的作用。液压油质量的优劣直接影响液压系统的工作。

2.1.1 液压油的物理性质

一、液体的密度和重度

1. 密度

液体单位体积内的质量称为密度,通常用“ ρ ”表示

$$\rho = m/V \quad (\text{kg/m}^3) \quad (2-1)$$

式中, m 为液体质量(kg); V 为液体的体积(m^3)。

矿物油的密度 $\rho=850\sim 960(\text{kg/m}^3)$ 。

2. 重度

液体单位体积的重量称为重度,以“ γ ”表示

$$\gamma = G/V \quad (\text{N/m}^3) \quad (2-2)$$

式中, G 为液体的重量(N); V 为液体的体积(m^3)。

矿物油的重度 $\gamma=8400\sim 9500(\text{N/m}^3)$ 。

液压油的密度和重度均随压力的增加而加大,随温度的升高而减小。一般情况下,由压力和温度引起的这种变化都较小,可将其近似地视为常数。

由于 $G=mg$, 所以 $\gamma=\rho g$ 。

二、粘性

液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力会阻碍分子间的相对运动而产生一种内摩擦力。这一特性称作液体的粘性。粘性的大小用粘度表示,粘性是液体的重要的物理特性,也是选择液压用油的主要依据。

粘性使流动液体内部各液层间的速度不等,如图 2-1 所示,两平行平板间充满液体,下平板不动,而上平板以速度 v_0 向右平动。由于粘性,紧贴于下平板的液体层速度为零,紧贴于上平板的液体层速度为 v_0 ,而中间各液体层的速度按线性分布。因此,不同速度流层相互制约而产生内摩擦力。

实验测定指出,液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层间的接触面积 A 和液层间的相对运动速度 du 成正比,而与液层间的距离成反比,即

$$F = \mu A \frac{du}{dy}$$

式中, μ 为比例系数,称为粘度系数或粘度; du/dy 为速度梯度。

如以 τ 表示切应力,即单位面积上的内摩擦力,则

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

这就是牛顿的液体内摩擦定律。在流体力学中,把粘性系数 μ 不随速度梯度变化而发生变化的液体称为牛顿液体,反之称为非牛顿液体。除高粘度或含有特殊添加剂的油液外,一般液压油均可视为牛顿液体。

粘度是衡量流体粘性的指标。常用的粘度有动力粘度、运动粘度和相对粘度。

1. 动力粘度 μ

动力粘度可由式(2-3)导出,即

$$\mu = \tau \frac{dy}{du} \quad (2-4)$$

由此可知动力粘度的物理意义是:液体在单位速度梯度下流动时,液层间单位面积上产生的内摩擦力。动力粘度 μ 又称绝对粘度。

在 SI 中,动力粘度 μ 的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

在 CGS 中, μ 的单位为 $\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$, 又称 P (泊)。 $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP}$ (厘泊)。

2. 运动粘度 ν

动力粘度 μ 与液体密度 ρ 之比叫做运动粘度 ν , 即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-5)$$

运动粘度 ν 没有明确的物理意义。因在理论分析和计算中常遇到 μ 与 ρ 的比值, 为方便起见而采用 ν 表示, 其单位中有长度和时间的量纲, 故称为运动粘度。

在 SI 中, 运动粘度 ν 的单位为 m^2/s 。

在 CGS 中, ν 的单位为 cm^2/s , 又称为 St (沱)。 $1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St} = 10^6\text{cSt}$ (厘沱)。

工程中常用运动粘度 ν 作为液体粘度的标志。机械油的牌号就是用机械油在 50°C 时的运动粘度 ν 的平均值来表示的, 如 10 号机械油就是指其在 50°C 时的运动粘度 ν 的平均值为 10cSt 。

动力粘度和运动粘度都难以直接测量。

3. 相对粘度 $^\circ E$

相对粘度又称条件粘度。根据测量条件不同, 各国采用的相对粘度的单位也不同。我国、苏联、德国等采用恩氏粘度 $^\circ E$, 美国采用赛氏粘度 SSU, 英国采用雷氏粘度 $^\circ R$ 。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定, 其方法是: 将 200mL 温度为 $t^\circ\text{C}$ 的被测液体装入粘度计的容器, 经其底部直径为 $\phi 2.8\text{mm}$ 的小孔流出, 测出液体流尽所需时间 t_1 , 再测出 200mL 温度为 20°C 的蒸馏水在同一粘度计中流尽所需时间 t_2 ; 这两个时间的比值即为被测液体在 $t^\circ\text{C}$ 下的恩氏粘度, 即

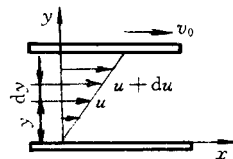


图 2-1 液体粘性示意图

$$^{\circ}E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-6)$$

工业上常用 20℃、50℃、100℃ 作为测定恩氏粘度的标准温度，其相应恩氏粘度分别用 $^{\circ}E_{20}$ 、 $^{\circ}E_{50}$ 、 $^{\circ}E_{100}$ 表示。

工程中常采用测出液体的相对粘度，再根据关系式换算出动力粘度或运动粘度的方法。恩氏粘度和运动粘度的换算关系式为

$$\nu = (7.31^{\circ}E_t - \frac{6.31}{^{\circ}E_t}) \times 10^{-6} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (2-7)$$

三、液体的可压缩性

液体受压力作用而体积缩小的性质称为液体的可压缩性。可压缩性定义为单位压力变化下的液体体积的相对变化量，用体积压缩系数 β 表示。设体积为 V_0 的液体，其压力变化量为 Δp ，液体体积减小 ΔV ，则

$$\beta = - \frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V_0} \quad (2-8)$$

式中， β 为液体的压缩系数 (m^2/N)。

由于压力增大时液体的体积减小，因此式(2-8)右边须加负号，以使 β 为正值。液体的可压缩性很小，在很多情况下可以忽略不计。但受压体积较大或进行液压系统动态分析时，必须考虑液体的可压缩性。常用液压油的压缩系数 $\beta = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$ 。

液体的压缩系数 β 的倒数称为液体的体积弹性模数，用 K 表示，即

$$K = \frac{1}{\beta} = - \frac{\Delta p V_0}{\Delta V} \quad (2-9)$$

液压油的体积弹性模数为 $(1.4 \sim 1.9) \times 10^9 \text{N}/\text{m}^2$ 。

封闭在容器内的液体在外力作用下的情况极象一根弹簧，这个“液压弹簧”的刚度可由图 2-2 求出。设液柱长度为 l ，承压面积为 A 。当外力变化 ΔF 时，导致液柱压力变化 $\Delta p = \Delta F/A$ ，液柱体积变化 $\Delta V = A\Delta l$ (Δl 为液柱长度变化量)。利用式(2-9)求得其刚度 K 为

$$K = - \frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{A^2 K}{V_0} \quad (2-10)$$

油液的可压缩性，是油液产生动态运动的关键因素。

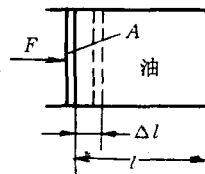


图 2-2 液压弹簧刚度计算示意图

四、其它性质

1. 粘度与压力的关系

液体分子间的距离随压力增加而减小，内聚力增大，其粘度也随之增大。当压力不高且变化不大时，压力对粘度的影响较小，一般可忽略不计。当压力较高 (大于 10^7Pa) 或压力变化较大时，需要考虑这种影响。压力和粘度的关系为

$$\mu_p = \mu_0 e^{bp} \approx \mu_0 (1 + bp) \quad (2-11)$$

式中， μ_p 为压力为 p 时液体的动力粘度； p 为液体的压力； μ_0 为一个大气压下液体的动力粘度； b 为粘压指数，对于液压用矿物油，一般取 $b = (0.002 \sim 0.003) \times 10^{-3} (\text{Pa}^{-1})$ 。

2. 粘温特性

温度变化对液体的粘度影响较大,液体的温度升高其粘度下降。液体粘度随温度变化的性质称为粘温特性。不同的液体具有不同的粘温特性,对于运动粘度不超过 $76 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 的液压油,其温度在 $30 \sim 150^\circ\text{C}$ 间变化,且压力不变时,粘度与温度的关系可近似表示为

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n \tag{2-12}$$

式中, ν_t 为 $t^\circ\text{C}$ 时油液的运动粘度; ν_{50} 为 50°C 时油液的运动粘度; n 为换算指数,见表 2-1。

表 2-1 液体粘度换算指数

$\nu_{50}(\text{cSt})$	2.5	6.5	9.5	12	21	30	38	45	52	60	68	76
n	1.39	1.59	1.72	1.79	1.99	2.13	2.24	2.32	2.42	2.49	2.52	2.56

几种国产液压油的粘温曲线如图 2-3 所示。

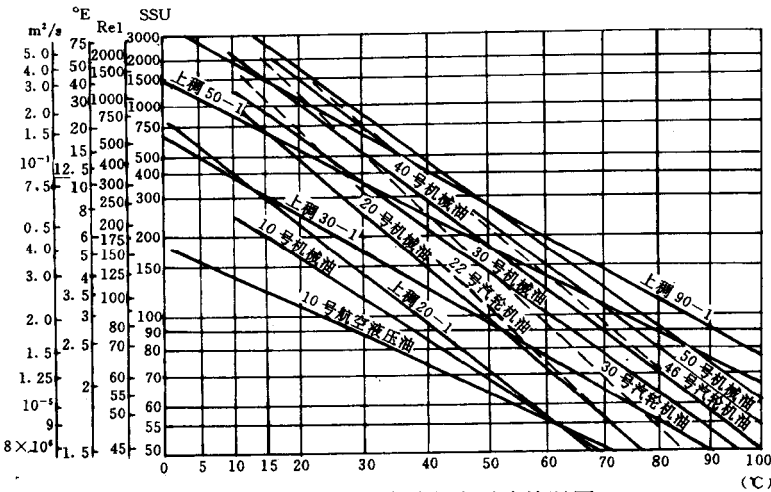


图 2-3 几种国产液压油粘温图

3. 液压油的调合

把两种不同粘度的液压油混合起来使用称为调合。当选购不到合适粘度的油液时,采用此法可得到所需粘度油液。调合油粘度可用下列经验公式计算

$$^{\circ}E = \frac{a^{\circ}E_1 + b^{\circ}E_2 - c(^{\circ}E_1 - ^{\circ}E_2)}{100} \tag{2-13}$$

式中, $^{\circ}E_1$ 、 $^{\circ}E_2$ 为混合前两种油液的粘度 ($^{\circ}E_1 > ^{\circ}E_2$); $^{\circ}E$ 为混合后的调合油粘度; a 、 b 为用以调合的两种油液各占的百分数 ($a + b = 100$); c 为实验系数,见表 2-2。

表 2-2 系数 c 的值

$a\%$	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

2.1.2 对液压油的要求及选用

一、对液压油的要求

为了很好地传递运动和动力,液压油应具备如下性能:

(1)合适的粘度和良好的粘温特性。一般液压系统用油粘度为 $\nu=(11.5\sim 41.3)\times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$ 或 $(2\sim 5.8)^\circ\text{E}_{50}$;

(2)润滑性能好;

(3)纯净度好,杂质少;

(4)对热、氧化、水解都有良好的稳定性,使用寿命长;

(5)对液压系统所用金属及密封件材料等有良好的相容性;

(6)抗泡沫性、抗乳化性和防锈性好,腐蚀性小;

(7)比热和导热系数大,体积膨胀系数小,闪点和燃点高,流动点和凝固点低。

二、液压油的选用

液压系统通常采用矿物油,常用的有机机械油、精密机床液压油、汽轮机油和变压器油等。

一般根据液压系统的使用性能和工作环境等因素确定液压油的品种。当品种确定后,主要考虑油液的粘度。在确定油液粘度时主要应考虑系统工作压力、环境温度及工作部件的运动速度。当系统的工作压力、环境温度较高,工作部件运动速度较低时,为了减少泄漏,宜采用粘度较高的液压油。当系统工作压力、环境温度较低,而工作部件运动速度较高时,为了减少功率损失,宜采用粘度较低的液压油。

当选购不到合适粘度的液压油时,可采用调合的方法得到满足粘度要求的调合油。当液压油的某些性能指标不能满足某些系统较高要求时,可在油中加入各种改善其性能的添加剂——抗氧化、抗泡沫、抗磨损、防锈以及改进粘温特性的添加剂,使之适用于特定的场合。

液压油的牌号及其技术性能指标,可查阅有关液压手册。

§ 2-2 流体静力学

流体静力学研究液体处于相对平衡状态下的力学规律及其实际应用。所谓相对平衡是指液体内部各质点间没有相对运动,至于液体本身完全可以同容器一起如同刚体一样作各种运动。因此,液体在相对平衡状态下不呈现粘性,不存在切应力,只有法向的压应力,即静压力。

2.2.1 液体静压力及其特性

作用于液体上的力有质量力和表面力两种。质量力作用于液体的所有质点上,如重力和惯性力等;表面力作用于液体的表面上,它是一种外力。单位面积上作用的表面力称为应力,它有切向应力和法向应力之分。静止液体各质点间没有相对运动,故不存在内摩擦力,所以静止液体的表面力只有法向力,液体在单位面积上所受的沿法线方向的法向应力称为压力,用 p 表示。如在 ΔA 面积上作用有法向力 ΔF ,则液体内某点处的压力可表示为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2-14)$$

由于静止液体只能承受压力,而不能承受拉力和切向力,所以静压力具有下列两个特性:

液体的静压力垂直于其受压平面,且方向与该面的内法线方向一致。

静止液体内任意点处所受到的静压力在各个方向上都相等。

2.2.2 液体静力学基本方程

在重力作用下静止液体的受力情况可用图 2-4(a) 表示。静止液体所受的力有质量力, 如液体的重力; 表面力有液面上的外加压力及容器壁面作用在液体上的力。

取图示参考坐标系, 液面距坐标原点的高度为 z_0 。在液体中任取一点 A, 若要求得液体内部 A 点处的压力, 可从液体中取出一个底部通过该点的垂直小液柱。设液柱的底面积为 dA , 高度为 h , 如图 2-4(b) 所示。液柱本身重量为 $G = \gamma h dA$, 由于液柱处于平衡状态, 则平衡方程为

$$p dA = p_0 dA + \gamma h dA$$

$$\text{或} \quad p = p_0 + \gamma h \quad (2-15)$$

式中, p_0 为作用在液面上的压力; γ 为液体重度。

将 $h = z_0 - z$ 代入式 (2-15), 有

$$p + \gamma z = p_0 + \gamma z_0 \quad (2-16)$$

上式为液体静力学的基本方程。

对于某一基准面来说, 自由液面的高度 z_0 及自由液面上的压力 p_0 均为常数, 即

$$p + \gamma z = c$$

综上所述, 静止液体内部任意点的压力由两部分组成, 即液面外压力 p_0 和液体自重对该点的压力 γh 。静止液体内的压力随液体的深度呈线性规律分布; 静止液体内部同一深度或距参考坐标点同一高度的各点压力相等, 压力相等的所有点组成的面为等压面。在重力作用下静止液体的等压面是一个平面。

2.2.3 压力的表示方法及单位

压力的表示方法有绝对压力和相对压力(表压力)两种。绝对压力以绝对真空为基准来进行度量。相对压力是以大气压 p_0 为基准进行度量。当液体中某点处的绝对压力 p 小于大气压力时, 就会产生真空, 并将绝对压力不足于大气压力的那部分压力值称为该点的真空度。

绝对压力、相对压力、真空度的关系是:

$$\text{绝对压力} = \text{相对压力} + \text{大气压力}$$

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

三者之间的关系可用图 2-5 表示。

由于物体受大气压力作用且自成平衡, 所以在进行各种分析时, 一般只考虑外力而不考虑大气压力。因此, 绝大多数压力表测得的压力只是高于大气压力的那部分压力值, 即相对压力, 又称表压力。

压力的单位在 SI 制中为牛顿/米²(N/m²), 称为帕斯卡, 用 Pa 表示。在工程上采用工程大气压、水柱高度和汞柱高度等单位, 其换算关系如下:

$$1 \text{at (工程大气压)} = 1 \text{kg/cm}^2 = 9.8 \times 10^4 \text{N/m}^2 \approx 10^5 \text{Pa}$$

$$1 \text{m H}_2\text{O (米水柱)} = 9.8 \times 10^3 \text{N/m}^2$$

$$1 \text{mm Hg (毫米汞柱)} = 1.33 \times 10^2 \text{N/m}^2$$

目前也有采用 bar(巴)表示压力。

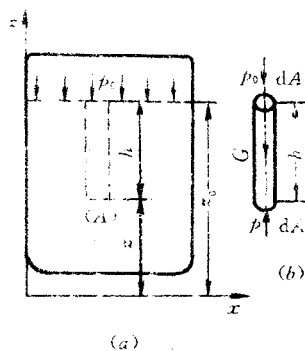


图 2-4 重力作用下的静止液体

$$1\text{bar}=1\times 10^5\text{Pa}=1.02\text{kg/cm}^2$$

2.2.4 静压传递原理

密封容器内的静止液体,当边界上的压力 P_0 发生变化时,例如增加 Δp ,则容器内任意一点的压力将增加同一数值 Δp 。也就是说,在密封容器内施加于静止液体任一点的压力将以等值传到液体各点。这就是静压传递原理,或帕斯卡原理。

在液压传动系统中,通常是外力产生的压力要比液体自重(γh)所产生的压力大得多。因此可把式(2-15)中的 γh 项略去,而认为静止液体内部各点的压力处处相等。

根据静压传递原理和静压力的特性,液压传动不仅可以进行力的传递,而且还能将力放大和改变力的方向。图2-6所示是应用静压传递原理推导压力与负载关系的实例。图中垂直液压缸(负载缸)的截面积为 A_1 ,水平液压缸截面积为 A_2 ,两个活塞上的外作用力分别为 F_1 、 F_2 ,则缸内压力分别为 $p_1=F_1/A_1$ 、 $p_2=F_2/A_2$ 。由于两缸充满液体且互相连通,根据静压传递原理有 $p_1=p_2$;因此有

$$F_1 = \frac{A_1}{A_2} F_2 \quad (2-17)$$

式(2-17)表明,只要 A_1/A_2 足够大,用很小的力 F_2 就可产生很大的力 F_1 。液压千斤顶和水压机就是按此原理制成的。

如果垂直液压缸的活塞上没有负载,即 $F_1=0$,则当略去活塞重量及其它阻力时,不论怎样推动水平液压缸的活塞也不能在液体中形成压力。这说明液压系统中的压力是由外界负载决定的,这是液压传动的一个基本概念。

2.2.5 液体对固体壁面的作用力

在液压传动中,略去液体自重产生的压力,液体中各点的静压力是均匀分布的,且垂直作用于受压力表面。因此,当承受压力的表面为平面时,液体对该平面的总作用力 F 为液体的压力 p 与受压面积 A 的乘积,其方向与该平面相垂直。如压力油作用在直径为 D 的柱塞上,则有 $F=pA=p\pi D^2/4$ 。

当承受压力的表面为曲面时,由于压力总是垂直于承受压力的表面,所以作用在曲面上各点的力不平行但相等。要计算曲面上的总作用力,必须明确要计算哪个方向上的力。

图2-7所示为液压缸筒受力分析图。设缸筒半径为 r ,长度为 l ,求液压力作用在右壁部 x 方向的力 F_x 。在缸筒上取一微小窄条,其面积为 $dA=ld\theta=lrd\theta$,压力油作用在这微小面积上的力 dF 在 x 方向的投影为

$$dF_x = dF \cos\theta = pdA \cos\theta = plr \cos\theta d\theta$$

在液压缸筒右半壁上 x 方向的总作用力为

$$F_x = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} plr \cos\theta d\theta = 2lrp \quad (2-18)$$

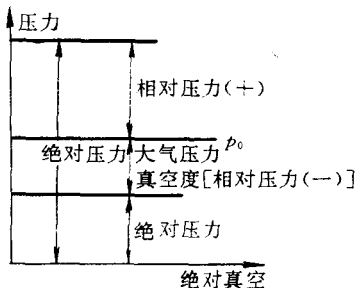


图 2-5 绝对压力、相对压力和真空度

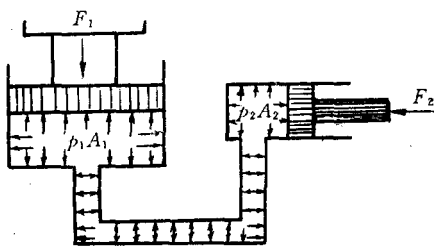


图 2-6 静压传递原理应用实例