

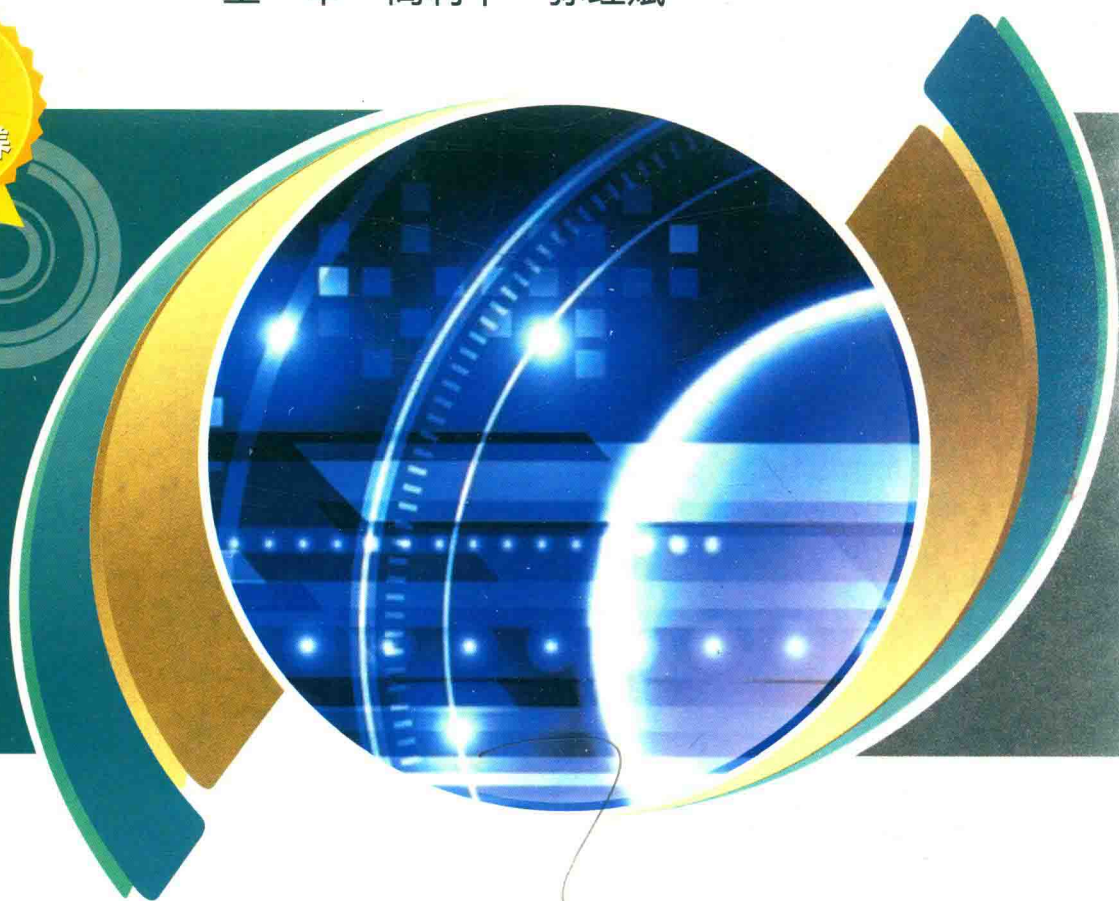


高职高专国家示范性院校“十三五”规划教材
理实一体化教材

液压与气压传动技术

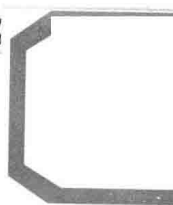
主 编 代美泉 符林芳
副主编 王颖娴 孔 敏
主 审 高利平 弥红斌

高素质
技能型
人才培养



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高职高专国家示范性院校
理实一体化教材



液压与气压传动技术

主 编	代美泉	符林芳
副主编	王颖娴	孔 敏
主 审	高利平	弥红斌

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书为高职高专院校理实一体化实训教材,是基于校企合作,结合理实一体化实训教学设备,总结作者多年教学经验,根据一体化课程建设要求编写而成的一本以任务为导向、理实相结合的液压与气压技术教材。全书分为三大模块,内容以液压传动技术为主,涵盖液压系统的构成和工作原理、液压系统回路分析以及气压传动技术等内容。全书内容全面系统,紧跟液压、气动技术的发展,引入国家标准,突出电、气、液的综合性,侧重对学生实践操作和应用能力的培养。

本书可作为高等职业院校机电类、数控类专业通用教材,适合在实训室现场教学时使用。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动技术/代美泉,符林芳主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2017.6

高职高专国家示范性院校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4460-8

I. ① 液… II. ① 代… ② 符… III. ① 液压传动 ② 气压传动 IV. ① TH137 ② TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 075706 号

策 划 李惠萍 毛红兵

责任编辑 许青青

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2017年6月第1版 2017年6月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 14

字 数 332千字

印 数 1~3000册

定 价 26.00元

ISBN 978-7-5606-4460-8/TH

XDUP 4752001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

前 言

为进一步满足高职高专教学改革和课程建设需要,我们精心组织编写了这本液压与气压传动技术教材。

液压与气压传动技术是研究利用液体和气体进行能量传递及其应用的一门流体传动与控制技术。此项技术涉及工业、军事、民生等众多领域,广泛应用于机械、水利、土木、建筑、冶金、航空、航天、能源、电子产品制造等设备中,是一门典型的集机械、电子、通信、传动技术于一体的综合技术。

本教材以“培养学生的实践操作和应用能力”为主线构建课程体系和教学内容,旨在为培养更多技术技能人才提供坚实的基础。本教材以任务为导向,坚持理论必需、够用的原则,重点突出实践教学环节,大量引入液压元件的拆装与液压回路的分析、仿真、组装和调试等实践教学内容,通过一体化教学,突出培养学生实践操作能力。

本教材将学习内容按模块组织,设立学习情境,采用任务驱动的编写思路,每一情境分任务描述、任务分析、任务目标、相关知识、任务实施、知识检测六个环节,做到了环环相扣,引导学生主动学习,激发学生学习兴趣。

本教材主要具有以下特色:

(1) 按模块组织教学内容。本教材将整个学习内容分为三大模块,14个学习情境,内容明确,条理清楚,易于学习者制订学习计划。

(2) 设立学习情境,通过任务来驱动。本教材将技能知识点按学习情境设置,引入学习任务,明确学习目标,结合具体实例,详细讲解完成任务所需的相关知识,使学生的认知从感性上升到理性,通过任务实施,化抽象为具体;加入知识检测,巩固学生对所学知识的理解。

(3) 任何回路力求完整。本教材在相关知识和知识检测环节中尽量选取完整的液压回路,力求让学生认识组成液压系统的五部分结构,有利于学生对液压系统进行分析,学生可以依照每个情境中的任务实施方案进行实训操作。

(4) 教材中的液压与气动图形符号严格执行最新国家标准。

代美泉、符林芳担任本教材的主编,王颖娴、孔敏担任副主编,高利平、弥红斌担任主审。具体分工如下:代美泉、王颖娴编写模块一,符林芳、代美泉、孔敏编写模块二,孔敏、王颖娴编写模块三。参与编写工作的还有陕西工业职业技术学院孙荣创、西安煤矿机械有限公司高工弥红斌、西安十安有限公司技师高超龙等。

为使教材内容更加完善,编者不仅参考了有关院校同类教材,还借助费斯托(FESTO)、力士乐(REXROTH)等公司网站,引进最新科研成果,选用企业真实案例,从而丰富教材内容。在此,对所有给予本书直接或间接支持和帮助的各界人士表示衷心感谢。

尽管我们在编写教材时做了许多努力,但由于编者学识和经验有限,书中难免有欠妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2017年3月

目 录

模块一 液压系统的构成和工作原理

学习情境 1 液压传动技术的认知	2
学习情境 2 工作介质——液压油的特性及流体力学知识	8
学习情境 2.1 认识液压油	8
学习情境 2.2 流体力学知识	17
学习情境 3 动力元件——液压泵的结构和工作原理	31
学习情境 3.1 液压泵的基本知识	31
学习情境 3.2 齿轮泵的认知和拆装	37
学习情境 3.3 叶片泵的认知和拆装	44
学习情境 3.4 柱塞泵的认知和拆装	51
学习情境 3.5 液压泵的选用	59
学习情境 4 执行元件——液压缸和液压马达的结构特点	62
学习情境 5 控制元件——各种液压阀的结构和工作原理	78
学习情境 5.1 认识方向控制阀	78
学习情境 5.2 认识压力控制阀	91
学习情境 5.3 认识流量控制阀	102
学习情境 6 认识液压辅助元件	108

模块二 液压系统回路分析

学习情境 7 方向控制回路	120
学习情境 8 压力控制回路	127
学习情境 9 速度控制回路	137
学习情境 10 多缸控制回路	153
学习情境 11 液压系统的分析与设计	159

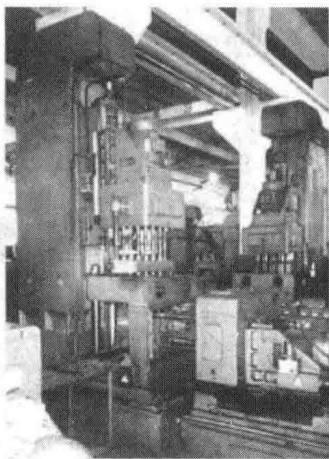
模块三 气压传动技术

学习情境 12 气压传动技术概述	186
学习情境 13 气动元件	191
学习情境 14 气动回路	205

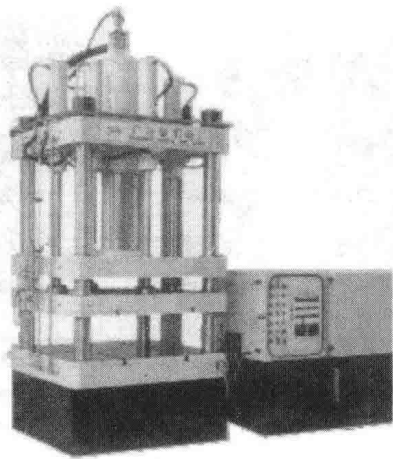
附录 常用液压与气动元件图形符号	212
参考文献	218

模块一 液压系统的构成和工作原理

液压传动技术是依靠被封闭于密封容腔内的介质的压力能来传递动力和运动的。相对于机械传动，液压传动是一门新兴技术，具有许多突出的优点，广泛用于机械、工程、冶金、航空、运输等领域，如下图所示。



(a) 组合机床



(b) 液压机



(c) 汽车起重机



(d) 飞机起落架

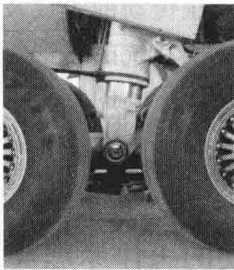


图 液压传动技术应用

本模块主要介绍液压系统的工作原理和构成。通过学习本模块，应充分理解液压元件的结构、原理、职能符号等，掌握各类液压元件在液压系统中的作用及应用场合。

学习情境 1 液压传动技术的认知

【任务描述】

进入液压回路控制实训室，我们会看到实训台上种类繁多的液压元件，如图 1-1 所示，对照机床工作台液压回路图，认识各种液压元件，了解液压传动系统的构成，并观察机床工作台上液压回路的动作情况，深入理解液压传动系统的工作原理。

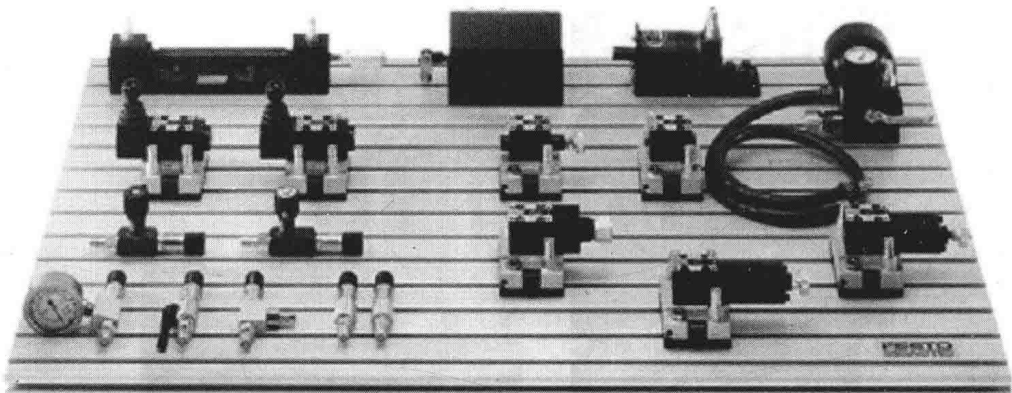


图 1-1 液压系统实训台

【任务分析】

要想辨别液压元件，完成分析机床工作台上液压系统工作原理的任务，首先要从理论上了解各元件，并分析各元件的作用，然后掌握液压回路的工作过程。

【任务目标】

- (1) 掌握液压传动的基本工作原理；
- (2) 掌握液压传动的组成及各部分的功能；
- (3) 了解液压系统的图形符号表示方法；
- (4) 了解液压传动的特点。

【相关知识】

一、液压传动的工作原理及组成

液压传动中，人们利用没有固定形状，但具有确定体积的液体来传递动力（能量）。液压千斤顶是机械行业常用的工具，用它可以顶起较重的物体。下面以图 1-2 所示的液压千斤顶为例来说明液压传动的工作原理。

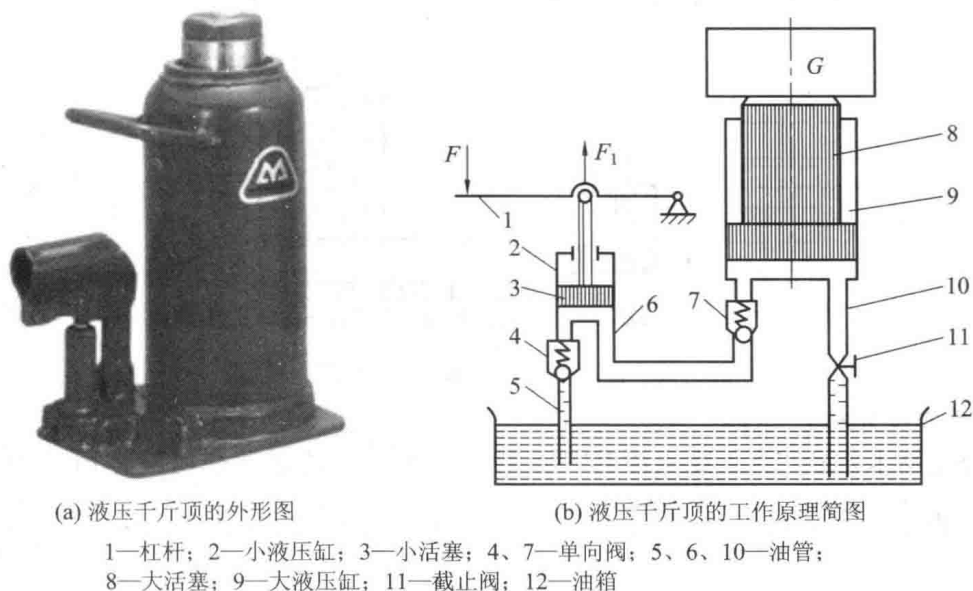


图 1-2 液压千斤顶

1. 液压千斤顶的工作原理

液压千斤顶顶起重物的过程分为重物上升、重物停止、重物回复原位三个阶段。

(1) 重物上升阶段。当用手向上提起杠杆 1 时，小活塞 3 就被带动上升，于是小液压缸 2 的下腔密封容积增大，腔内压力下降，形成部分真空，这时单向阀 7 将所在的通路关闭，油箱 12 中的油液就在大气压力的作用下推开单向阀 4 沿吸油孔道进入小液压缸的下腔，完成一次吸油动作。接着，压下杠杆 1，小活塞 3 下移，小液压缸 2 下腔的密封容积减小，腔内压力升高，这时单向阀 4 自动关闭了油液回油箱的通路，小液压缸下腔的压力油就推开单向阀 7 挤入大液压缸 9 的下腔，推动大活塞 8 向上顶起重物一段距离，如此反复地提压杠杆，就可以使重物不断升起，达到起重的目的。

(2) 重物停止阶段。当杠杆停止动作时，大液压缸 9 下腔油液压力将使单向阀 7 关闭，大活塞 8 连同重物一起被锁住不动，停止在举升位置。

(3) 重物回复原位阶段。当打开截止阀 11 时，大液压缸 9 下腔通油箱，油液流回油箱，大活塞 8 连同重物将在自重作用下向下移，迅速回到原始位置。

液压千斤顶可以看作一个简单的液压传动装置。其左侧部分类似于液压泵，不断从油箱中吸油，并将油液通过配流装置压入右侧部分的举升液压缸中，举升液压缸带动外负载，使之获得所需要的运动。

从液压千斤顶的工作过程可以归纳出液压传动的工作原理如下：

(1) 液压传动以液体(液压油)作为传递运动和动力的工作介质。

(2) 液压传动经过两次能量转换，先把机械能转换为便于输送的液体压力能，然后把液体的压力能转换为机械能对外做功。

(3) 液压传动是依靠密封容器内容积的变化来传递能量的。

2. 液压千斤顶的工作特性

图 1-3 所示的液压千斤顶工作原理图的简化模型中，设小活塞、大活塞的作用面积分

别为 A_1 、 A_2 ，时间 t 内两活塞的运动速度分别为 v_1 、 v_2 ，移动的距离分别为 h_1 、 h_2 。

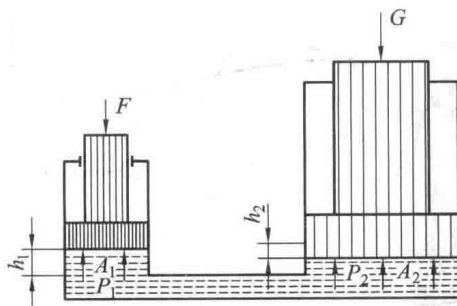


图 1-3 液压千斤顶工作原理图的简化模型

1) 压力与负载

根据帕斯卡定律“平衡液压内某一点的压力能等值传递到密闭液体各处”，则有 $P_1 = P_2$ ，即 $\frac{F}{A_1} = \frac{G}{A_2}$ ，得出 $G = \frac{A_2}{A_1} F$ 。由此可知，在液压传动中，力不但可以传递，而且通过改变作用面积 ($A_2 > A_1$)，力还可以放大或缩小。又因为 $P = P_1 = P_2 = \frac{G}{A_2}$ ，所以，液压系统工作压力的大小取决于外负载。

2) 速度与流量

根据容积变化相等的原则，被小活塞压出的油液的体积必然等于大活塞向上升起后大油缸中油液增加的体积，即 $A_1 h_1 = A_2 h_2$ ，又因为 $h_1 = v_1 t$ ， $h_2 = v_2 t$ ，所以可得 $A_1 v_1 = A_2 v_2$ ，这里令 $q = Av$ ， q 称为流量，可知 $v = \frac{q}{A}$ 。由此可见，物体的运动速度取决于流量。

压力和流量是液压传动中的两个最基本的参数。

3. 液压系统的组成及符号

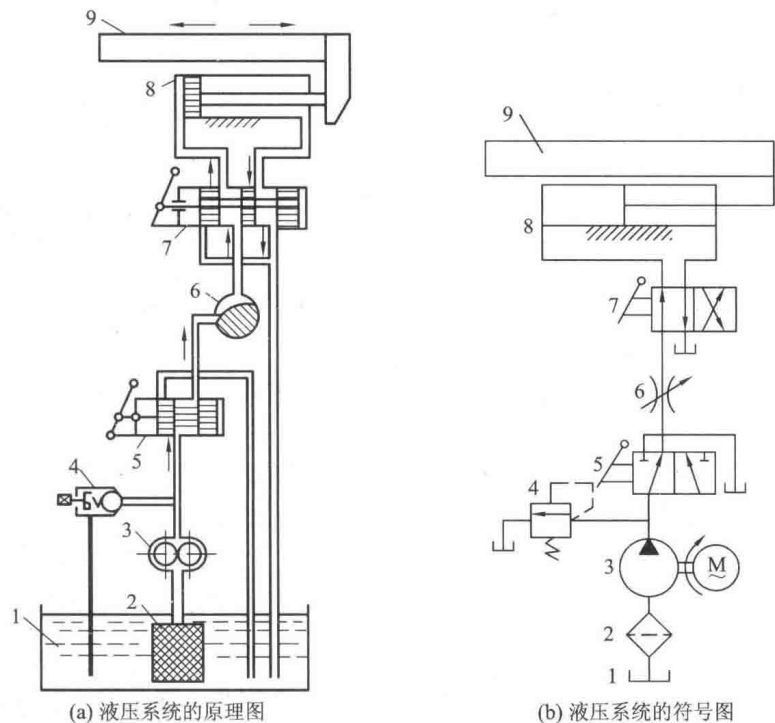
下面以图 1-4 所示的机床工作台液压系统的原理图为例说明液压系统的组成及符号。

1) 液压系统的组成

该系统的工作原理是：液压泵 3 由电动机带动旋转后，从油箱中经过滤器 2 吸油，由泵输出压力油 → 换向阀 5 → 节流阀 6 → 换向阀 7 → 液压缸 8 左腔，推动活塞并带动工作台向右移动，此时，液压缸右腔的油液 → 换向阀 7 → 回油管 → 油箱 1；如果将换向阀 7 的手柄位置转换至左位，则经节流阀 6 的压力油 → 换向阀 7 → 液压缸 8 右腔，此时，液压缸左腔的油液 → 换向阀 7 → 回油管 → 油箱，液压缸中的活塞将带动工作台向左移动；当系统中的换向阀 5 处于左位时，液压泵输出的压力油经换向阀 5 直接流回油箱 1，此时，系统处于卸荷状态，压力油不能进入液压缸。

工作台的移动速度是由节流阀 6 来调节并与溢流阀配合实现的。改变节流阀的开口大小，可以改变进入液压缸的流量，由此可控制液压缸活塞的运动速度，并使液压泵输出的多余流量经溢流阀流回油箱。节流阀的主要功用是控制进入液压缸的流量，进而控制液压缸活塞的运动速度。

为克服大小不同的阻力，要求液压泵输出的油液压力能够进行调节，这个功能是由溢流阀 4 实现的，调节溢流阀弹簧的预压力，就能调节泵输出口的油液压力。溢流阀在液压系统中的主要功用是调节和稳定系统的最大工作压力。



1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—溢流阀；5、7—换向阀；6—节流阀；8—液压缸；9—工作台

图 1-4 机床工作台液压系统的原理图

从上面的例子可以看出，液压传动系统主要由以下六部分组成，见表 1-1。

表 1-1 液压系统组成

序号	组成部分		功能介绍
1	原动机	电动机	向液压系统提供机械能
2	动力元件	齿轮泵	把原动机所提供的机械能变成油液的压力能，输出高压油液
		叶片泵	
		柱塞泵	
3	执行元件	液压缸	把油液的压力能变成机械能驱动负载做功，实现往复直线运动或旋转运动
		液压马达	
4	控制元件	压力控制阀	控制从液压泵到执行元件的油液的压力、流量和流动方向，从而控制执行元件的力、速度和方向
		流量控制阀	
		方向控制阀	
5	辅助元件	油箱	盛放液压油，向液压泵供应液压油，回收来自执行元件的完成了能量传递之后的低压油液
		油管	输送油液
		过滤器	滤除油液中的杂质，保持系统正常工作所需的油液清洁度
		密封圈	在固定连接或运动连接处防止油液泄漏，以保证工作压力的建立
		蓄能器	储存高压油液，并在需要时释放
		热交换器	控制油液温度
6	工作介质	液压油	是传递能量的工作介质，同时起润滑和冷却作用

2) 液压系统的图形符号

图 1-4(a)所示的液压系统原理图中,组成系统的各个液压元件的图形基本上表示了它们的结构原理,所以也称之为结构式原理图。结构式原理图近似于实物,直观易懂,但它不能全面反映元件的职能作用,且图形复杂,难于绘制。为了简化液压系统原理图的绘制,国家技术监督局参照国际规定,发布了液压气动图形符号国家标准(GB/T786.1—93)。这些图形符号只表示元件的职能、操作方式及外部连接通路。国家标准规定,液压元件的图形符号应以元件的静止位置或零位来表示。本书附录中介绍了常用液压与气动元件图形符号。

图 1-4(b)所示为用图形符号表达的图 1-4(a)所示的机床工作台液压系统的结构原理图。

二、液压传动系统的优缺点

与机械传动、电力拖动相比较,液压传动具有以下优缺点。

1. 液压传动系统的优点

(1) 在同等输出功率的条件下,液压传动装置的体积小,重量轻,结构紧凑。液压马达的体积和重量只有同等功率电动机的 12% 左右。

(2) 液压装置工作比较平稳。液压装置由于重量轻,惯性小,反应快,易于实现快速启动、制动和频繁换向。在实现往复回转运动时,换向频率可达 500 次/分钟;在实现往复直线运动时,换向频率可达 1000 次/分钟。

(3) 液压装置能在大范围内实现无级调速(调速范围可达 1:2000),且调速性能好。

(4) 液压传动容易实现自动化。液压控制和电气控制结合起来使用时,能实现复杂的顺序动作和远程控制。

(5) 液压装置易于实现过载保护。液压元件能自行润滑,寿命较长。

(6) 液压元件已实现标准化、系列化和通用化,所以液压系统的设计、制造和使用都比较方便。

2. 液压传动系统的缺点

(1) 液压传动不能保证严格的传动比。这是由于液压油的可压缩性和泄漏等因素造成的。

(2) 液压传动中,能量经过二次变换,能量损失较多,系统效率较低。

(3) 液压传动对油温的变化比较敏感(主要是黏性),系统的性能随温度的变化而改变。

(4) 液压元件要求有较高的加工精度,以减少泄漏,因而成本较高。

(5) 液压传动出现故障时不易查找。

总的来说,液压传动的优点是主要的,其缺点会随着科技的不断发展得到克服。将液压传动与气压传动、电力传动、机械传动合理联合运用,可进一步发挥各自的优点,相互补充,弥补各自的不足之处。

【任务实施】

进入液压回路控制实训室，通过观摩教学，认知机床工作台模拟液压系统，了解液压传动系统的组成，深入理解液压传动系统的工作原理。

一、安全注意事项

- (1) 液压实训要引入电和高压油，一定要保证实训设备和元器件的完好性。
- (2) 要正确安装和固定好元件。
- (3) 管路连接要牢固，避免软管脱出而引起事故。
- (4) 不得使用超过限制的工作压力。
- (5) 要按照要求接好回路，检查无误后才能启动电机。
- (6) 实训要求(动作、结果等)不能按要求实现时，要仔细检查错误点，认真分析产生错误的原因。
- (7) 进行液压实训时，在有压力的情况下不准拆卸管子。
- (8) 要严格遵守各种安全操作规程。

二、观摩教学

- (1) 试验台元件讲解。介绍实验台上的元件和模拟机床工作台液压系统所需的元件。
- (2) 试验台原理讲解。
 - ① 压力的建立与调压。通过认识溢流阀和泵，建立调压回路，先将压力调为零，然后慢慢地调高血压，通过压力表显示压力的变化值。
 - ② 液压缸运动方向的控制与换向。只有当进油路和回油路都是通畅的时候，压力油进入液压缸的一腔，液压缸的工作压力克服外负载，液压缸才能运动起来。液压缸的换向主要通过换向阀来实现。
 - (3) 机床工作台模拟液压系统动作。
 - ① 按照液压系统的工作原理图，将所需元件布置在实验台面板上，用油管连接。
 - ② 检查无误后，调松溢流阀，打开电源开关。
 - ③ 启动液压泵，调节溢流阀，操作换向阀，改变液压缸的方向；改变节流阀，控制液压缸的运动速度。

三、学生训练

将学生分组，按要求进行训练，教师现场指导。

【知识检测】

1. 什么是液压传动？
2. 液压传动的工作原理是什么？
3. 与其他传动方式相比，液压传动的主要优缺点有哪些？

学习情境 2 工作介质——液压油的特性及流体力学知识

在液压传动中，最常用的工作介质是液压油。液压油作为液压系统中的流体，影响着液压系统输出力的大小和液压油运动速度的快慢，只有掌握液压油的特性及相关的流体力学知识，才能真正理解液压传动系统的构成和工作原理并设计出符合要求的液压回路。

学习情境 2.1 认识液压油

【任务描述】

液压油是液压系统中传递能量的工作介质，还具有润滑、密封、冷却、防锈等作用。液压油性能的优劣，选择是否得当，对液压系统能否有效、可靠地工作影响很大。因此在研究液压系统之前，必须对液压油有一个基本认识，如液压油有哪些物理性质，如何进行分类，选用原则是什么。

【任务分析】

要想解答这些疑问，必须先了解液压油的物理特性及性能参数，根据性能参数进行分类，合理选用不同的液压油。

【任务目标】

- (1) 了解液压油的作用；
- (2) 掌握液压油的黏度的物理意义；
- (3) 掌握液压油的黏度特性及可压缩性；
- (4) 掌握液压油的选用原则。

【相关知识】

一、液压油的物理性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度，其计算公式如下：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中： m ——液体的质量(kg)；

V ——液体的体积(m^3)；

ρ ——液体的密度(kg/m^3)。

密度是液体的一个重要的物理量参数，随着温度或压力的变化，其密度也会发生变化，但变化量一般很小，可以忽略不计。一般液压油的密度近似为 $900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

2. 黏性与黏度

1) 黏性

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,液体的这种产生内摩擦力的性质称作液体的黏性。液体只有在相对运动时才会出现黏性,静止液体不显示黏性。

黏性使流动液体内部各层间的速度不等。以液体沿图 2-1 所示的平行平板间的流动情况为例,设上平板以速度 v_0 向右运动,下平板固定不动。紧贴于上平板的液体层黏附于上平板上,其速度与上平板相同。紧贴于下平板上的液体层黏附于下平板上,其速度为零。中间液体层的速度按线性分布。因此不同速度液体层相互制约而产生内摩擦力。

实验测定结果指出,液体层间的内摩擦力 F_f 与液体层的接触面积 A 及液体层的相对流速 dv 成正比,而与这两个流体层间的距离 dy 成反比,即

$$F_f = \mu A \frac{dv}{dy} \quad (2-2)$$

式中: μ ——比例系数,也称为液体的黏性系数或黏度;

$\frac{dv}{dy}$ ——相对运动速度对液体层间的距离的变化率,也称为速度梯度。

此公式称为牛顿黏性公式,也称牛顿内摩擦定律。

2) 黏度

黏度用来表示黏性的大小,黏度是衡量黏性的重要指标。常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度三种。

(1) 动力黏度。动力黏度由式(2-2)导出,即

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

动力黏度的物理意义是:液体在单位速度梯度下流动时,单位面积上的内摩擦力的大小。动力黏度又称绝对黏度。

动力黏度的 SI(国际单位制)计量单位为牛顿·秒/米²,符号为 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$,或帕·秒,符号为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 运动黏度。运动黏度是动力黏度 μ 与液体密度 ρ 的比值,用符号 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-4)$$

运动黏度无明确的物理意义,因为在它的单位中只有长度和时间量纲,所以被称为运动黏度。

运动黏度的 SI 单位为米²/秒,符号为 m^2/s , CGS(高斯单位制)计量单位为斯(相当于

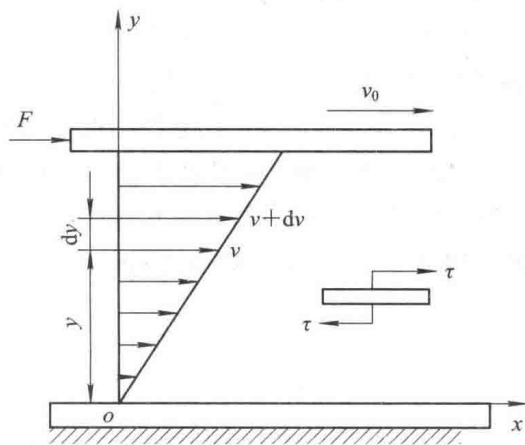


图 2-1 液体的黏性示意图

厘米²/秒), 符号为 S_t 。斯的单位太大, 应用不便, 常用厘斯来表示, 符号为 cS_t 。它们之间的换算关系式为

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 S_t = 10^6 cS_t \quad (2-5)$$

(3) 相对黏度。动力黏度和运动黏度是理论分析和推导中经常使用的黏度单位。它们都难以直接测量, 因此, 工程上采用另一种可用仪器直接测量的黏度单位, 即相对黏度。

相对黏度是以相对于蒸馏水的黏性的大小来表示该液体的黏性的。相对黏度又称条件黏度。由于测量条件不同, 各国相对黏度的单位也不同。例如, 美国采用赛氏黏度(SSU), 英国采用雷氏黏度(R), 我国采用恩氏黏度($^{\circ}E$)。

图 2-2 中, 恩氏黏度用恩氏黏度计测量装置测定。其方法是: 测定 200 cm³ 某一温度的被测液体在自重作用下流过直径为 2.8 mm 的小孔所需的时间 t_A , 然后测出同体积的蒸馏水在 20℃ 时流过同一孔所需的时间 t_B ($t_B=50\sim 52 \text{ s}$), t_A 与 t_B 的比值即为液体的恩氏黏度值。恩氏黏度用符号 $^{\circ}E$ 表示。被测液体温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时的恩氏黏度用符号 $^{\circ}E_t$ 表示, 是一个无量纲的量, 即

$$^{\circ}E_t = \frac{t_A}{t_B} \quad (2-6)$$

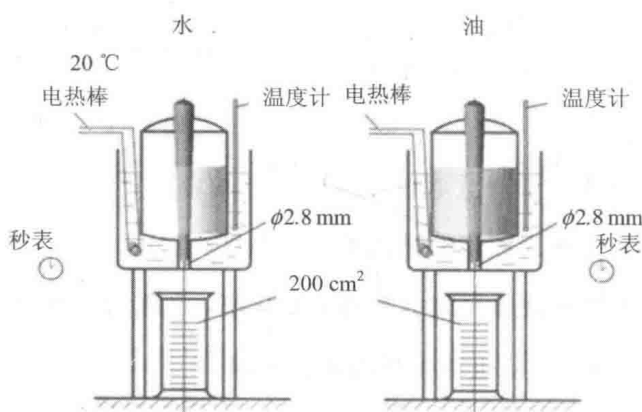


图 2-2 恩氏黏度计测量装置

工业上一般以 20℃、50℃、100℃ 作为测定恩氏黏度的标准温度, 并相应地以符号 $^{\circ}E_{20}$ 、 $^{\circ}E_{50}$ 、 $^{\circ}E_{100}$ 来表示。

工程中常采用先测出液体的相对黏度, 再根据关系式换算出动力黏度或运动黏度的方法。恩氏黏度与运动黏度的换算关系式为

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

3) 影响黏度的因素

(1) 温度的影响。温度对液体黏度的影响较大, 液体的温度升高, 其黏度下降。这是由于温度升高时, 分子间距增大, 内聚力减小, 黏度也随之降低。液体黏度随温度变化的特性称为黏温特性。图 2-3 所示为几种典型液压油的黏温特性曲线图。

(2) 压力的影响。液体所受的压力增加时, 其分子间距缩小, 内聚力增大, 黏度也随之增大。图 2-4 所示为液压油黏压特性曲线图。当压力不高且变化不大时, 压力对液体黏度的影响较小, 一般可忽略不计。当压力较高(大于 10 MPa)或压力变化较大时, 需要考虑压力对黏度的影响。

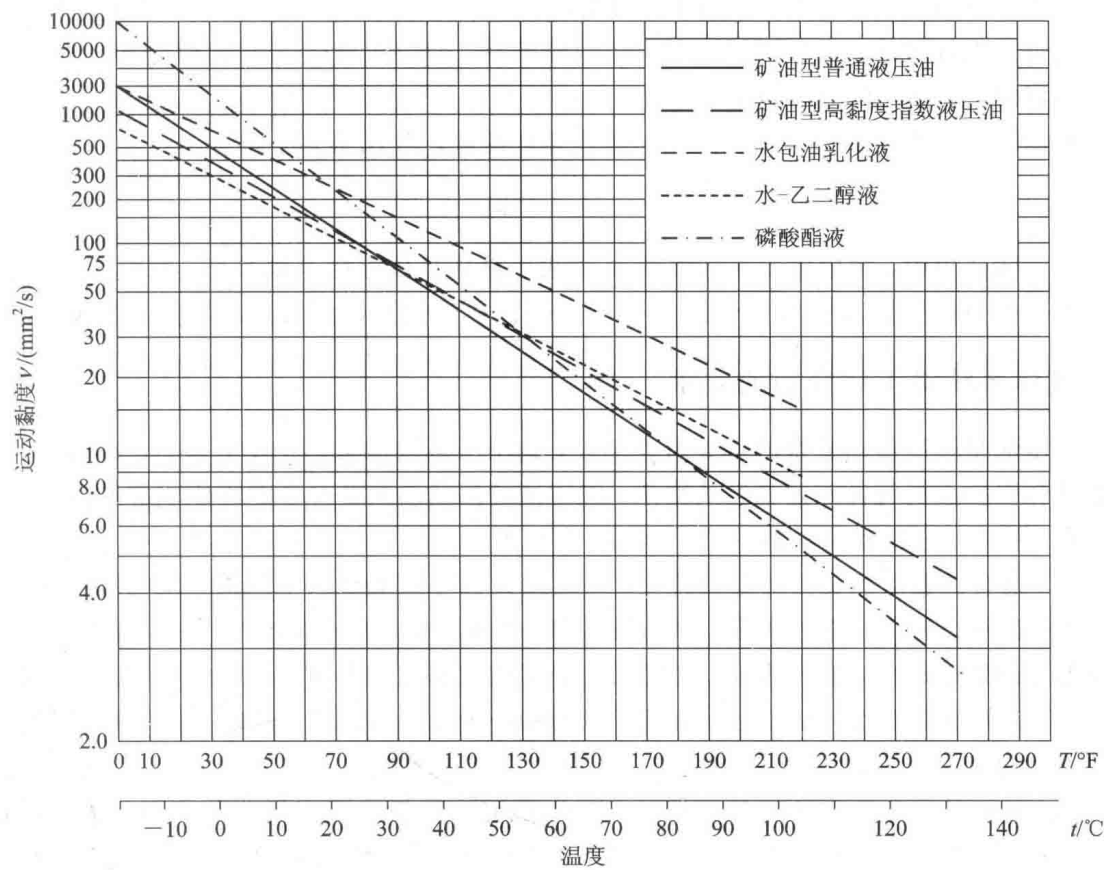


图 2-3 典型液压油的黏温特性曲线图

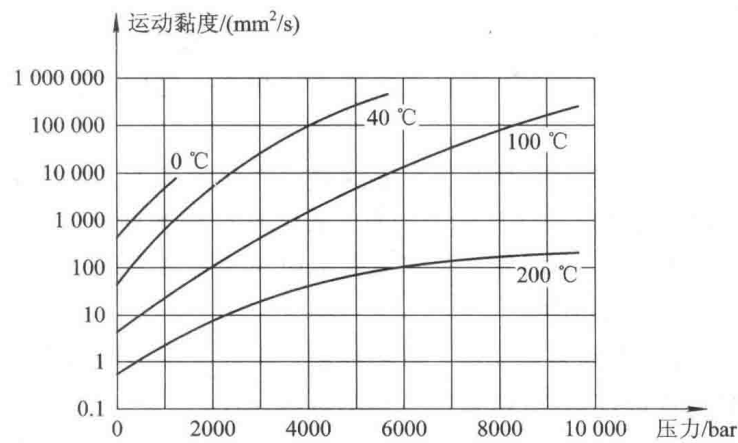


图 2-4 液压油黏压特性曲线图

3. 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，用体积压缩系数 k 表示，其物理意义是单位压力变化下的液体体积的相对变化量。设液体体积为 V_0 ，液体压力变化量为 Δp ，液体体积变化量为 ΔV ，则

$$k = - \frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V_0} \tag{2-8}$$

由于压力增加时,液体体积减小,因此式(2-8)的右边需加一个负号,以使 k 为正值。液体的可压缩性很小,在很多情况下可以忽略不计。但受压液体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 $k=(5\sim7)\times 10^{-10}\text{Pa}^{-1}$ 。

液体压缩系数 k 的倒数称为液体的体积弹性模量,用 K 表示,即

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

在实际使用中,常用体积弹性模量 K 来表示液体抗压缩能力的大小。常温下,纯净液压油的体积弹性模量 $K=(1.4\sim 2.0)\times 10^9\text{Pa}$,此数值很大,故一般认为液压油不可压缩。

二、液压系统对工作介质的要求

液压油是液压传动系统的重要组成部分,是用来传递能量的工作介质,还起着润滑运动部件和保护金属元件不被锈蚀的作用。液压油的质量及其各种性能将直接影响液压系统的工作。从液压系统使用油液的要求来看,有以下几个方面:

(1) 适宜的黏度和良好的黏温特性。黏度过大会导致机械效率降低,泵的吸入性能降低;黏度过小会导致容积效率降低,油膜变薄,不利于机件的润滑。黏度指数越高表示油液受温度的影响越小,液压油可以通过添加黏度指数添加剂来改善其黏温特性。

(2) 良好的润滑性。在液压传动机械设备中,除液压元件外,其他一些有相对滑动的零件也要用液压油来润滑,因此液压油应具有良好的润滑性。

(3) 良好的氧化稳定性和热稳定性。氧化稳定性是指油液耐氧化的能力。油液受热,遇到空气中的氧、水和金属物质会氧化而生成有机酸和聚合物,液压油的颜色会变深,酸值会增加,黏度会变化,生成沉淀物质(焦油),因此液压油的腐蚀性增加,液压元件的小孔堵塞并加剧磨损。

热稳定性是指油液在高温下抵抗化学反应和分解的能力。油液高温下会加快裂解和聚合,金属表面还具有催化剂的作用。所以液压油必须耐受一定的高温,且避免在极高的温度下工作。

(4) 良好的抗乳化性。液压油抵抗与水混合形成乳化液的能力叫抗乳化性。水是液压系统中的一种污染物,潮湿的空气从油箱的吸入孔或油缸活塞杆回缩而带入系统,液压油有吸水性,经过激烈的搅动,油中的水很容易析出而与油形成乳化液,这时的水以微小的水珠分散相存在于油的连续相中。

水可导致腐蚀,加速油液腐败变质,破坏油膜,降低液压油的润滑性。加入破乳化剂(石油磺酸盐,一种表面活性剂)可改善液压油的抗乳化性。

(5) 良好的抗泡性。液压油抵抗与空气结合形成泡沫的能力叫抗泡性。空气引起油液的弹性模量降低,使系统的动态性能降低,导致振动和噪声,加剧气蚀。

(6) 良好的防锈蚀性。空气中的氧、水、各种添加剂与液压油发生氧化和分解所产生的酸性物质都可能对金属表面产生腐蚀,加剧磨损。添加防锈剂(十二烷基丁二酸等)可改善液压油的防锈蚀性。

(7) 与密封材料的相容性。相容性指液压油与密封材料之间不发生相互损坏的现象,主要是指液压油与密封件接触后,不损坏密封件,不降低密封件的密封性能。

(8) 流动点和凝固点低,闪点(明火使油面上油蒸气内燃,但油本身不燃烧的温度)和