

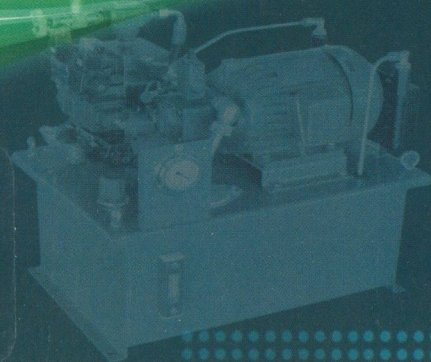
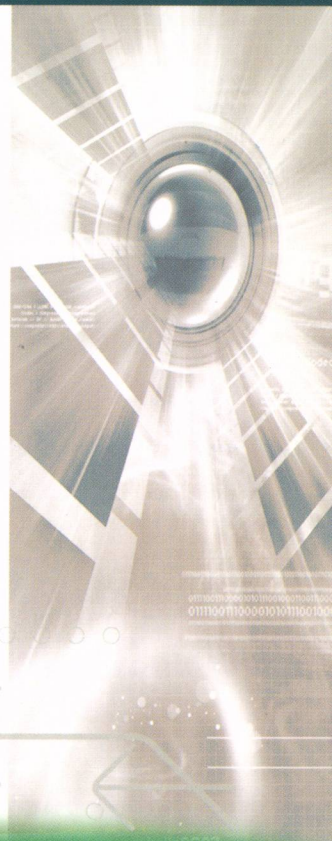


全国高等职业教育机电类“十二五”规划教材

YEYA YU QIDONG JISHU

液压与气动技术

李新德 孙海燕 主编



黄河水利出版社

全国高等职业教育机电类“十二五”规划教材

液压与气动技术

主 编 李新德 孙海燕
副主编 何 勋 唐光胤 王洽锋
代战胜



黄河水利出版社
· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书是全国高等职业教育机电类“十二五”规划教材,由13个项目组成,主要包括:液压传动技术的认知、液压传动基础、液压泵、液压马达和液压缸、液压辅助元件、液压控制阀、液压系统基本回路、典型液压传动系统及故障分析、液压系统的设计与计算、气压传动的认知、气动元件、气压传动基本回路及应用实例、气动系统的安装与调试、使用及维护。本书可作为机电类和近机类高等职业教育教材,也可供相关专业工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

321622
液压与气动技术/李新德,孙海燕主编. —郑州:黄河水利出版社,2011.6

全国高等职业教育机电类“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0034 - 9

I. ①液… II. ①李… ②孙… III. ①液压传动 - 高等职业教育 - 教材 ②气压传动 - 高等职业教育 - 教材
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 109080 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1092 mm 1/16

印张:18

字数:440千字

印数:1—4 100

版次:2011年6月第1版

印次:2011年6月第1次印刷

定价:34.00元

前 言

随着高职高专教学改革的深入发展,改革课程教学内容、提高学生的动手能力、培养实用型人才已成为专业课教师教学中必须认真考虑的一项工作。《液压与气动技术》是高职教材编委会编写的机电类课程规划教材之一,是根据国家教育部对职业教育的基本要求,结合职业院校课程建设最新成果,并结合近年来高职高专院校实际情况编写而成的。它是高职院校工程专科机电类、近机类专业的通用教材,也可供职工大学、业余大学、函授大学、中等专业学校的师生及有关工程技术人员、企业管理人员选用或参考。

本书主要根据高职高专液压与气动技术课程教学大纲进行编写。通过调研与实践,全书共分13个教学项目,根据能力培养目标制定有明确的技能目标和知识目标,并设置有针对性的实训课题。编写内容突出了以下特色:

(1)理论知识以“必需”、“够用”为度,注重实践能力的培养。

(2)内容主要突出液压与气动元件的典型结构特点、工作原理及选用方法,液压与气动基本回路和典型液压系统的安装调试、维护与故障分析等。

(3)液压技术与气动技术两部分内容既有联系,又相互独立,各校可根据学生的专业情况选用。

(4)为指导学生学习,每项目的开篇列出了本项目的要点和知识目标。

(5)为了方便学生复习,巩固学习内容,各项目后均附有项目驱动。

(6)插图规范、清晰、美观。

(7)液压与气动图形符号严格执行国家标准《液压气动图形符号》(GB/T 786.1—1993)。

(8)增加了液压CAD的内容。

本书由商丘职业技术学院李新德,济源职业技术学院孙海燕担任主编;由商丘职业技术学院何勋、代战胜,济源职业技术学院唐光胤,商丘科技职业学院王洽锋担任副主编。

尽管在编写过程中做了很多努力,但由于编者水平有限,书中难免有疏忽和不当之处,恳请各位读者多提一些宝贵意见和建议。

编 者

2011年4月

目 录

前 言

项目一 液压传动技术的认知	(1)
课题一 液压传动的工作原理及组成	(1)
课题二 液压系统元件总体布局	(3)
课题三 液压传动的优缺点及应用发展	(4)
课题四 实训——机床工作台模拟液压系统认知	(6)
项目驱动	(7)
项目二 液压传动基础	(8)
课题一 液压油	(8)
课题二 液体静力学基础	(14)
课题三 液体动力学基础	(18)
课题四 液体流动的压力损失	(23)
课题五 液流流经孔口及隙缝的特性	(27)
课题六 液压冲击与空穴现象	(31)
课题七 实训——雷诺试验	(33)
项目驱动	(35)
项目三 液压泵	(37)
课题一 液压泵概述	(37)
课题二 齿轮泵	(40)
课题三 叶片泵	(47)
课题四 柱塞泵	(55)
课题五 液压泵的选用	(63)
课题六 实训——齿轮泵拆装	(64)
项目驱动	(66)
项目四 液压马达和液压缸	(68)
课题一 液压马达	(68)
课题二 液压缸的分类及特点	(72)
课题三 液压缸的主要结构	(76)
课题四 液压缸的设计计算	(82)
课题五 液压缸常见的故障及排除方法	(84)
课题六 实训——液压缸的拆装	(85)
项目驱动	(86)
项目五 液压辅助元件	(87)
课题一 油管与管接头	(87)

课题二	过滤器	(94)
课题三	蓄能器	(98)
课题四	热交换器	(101)
课题五	油箱	(104)
课题六	密封装置	(106)
课题七	压力表及压力表开关	(110)
课题八	实训——油箱维护	(112)
项目驱动		(114)
项目六	 液压控制阀	(115)
课题一	液压控制阀概述	(115)
课题二	方向控制阀	(118)
课题三	压力控制阀	(130)
课题四	流量控制阀	(140)
课题五	实训——液压控制阀的拆装训练	(144)
项目驱动		(146)
项目七	 液压系统基本回路	(149)
课题一	压力控制基本回路	(149)
课题二	方向控制基本回路	(153)
课题三	速度控制基本回路	(154)
课题四	多缸工作控制基本回路	(162)
课题五	实训——差动回路	(167)
项目驱动		(168)
项目八	 典型液压传动系统及故障分析	(171)
课题一	典型液压系统分析的步骤和方法	(171)
课题二	组合机床动力滑台液压传动系统	(172)
课题三	数控车床液压系统	(176)
课题四	万能外圆磨床液压传动系统	(178)
课题五	汽车起重机液压系统	(183)
课题六	液压系统故障诊断与分析	(187)
项目驱动		(192)
*项目九	 液压系统的设计与计算	(195)
课题一	液压系统的设计步骤和方法	(195)
课题二	液压系统设计计算实例	(204)
课题三	液压 CAD 技术简介	(213)
项目驱动		(215)
项目十	 气压传动的认知	(216)
课题一	气压传动系统的工作原理及其组成	(216)
课题二	气压传动的应用与特点	(218)
课题三	实训——气动系统组成认知	(219)

项目驱动	(220)
项目十一 气动元件	(221)
课题一 气源装置	(221)
课题二 气动控制元件	(228)
课题三 逻辑元件	(239)
课题四 执行元件	(244)
课题五 实训——气压系统执行元件组装	(248)
项目驱动	(249)
项目十二 气压传动基本回路及应用实例	(250)
课题一 气压传动基本回路	(250)
课题二 气压传动系统应用实例	(256)
课题三 实训——气压传动基本回路组装、调试	(261)
项目驱动	(262)
项目十三 气动系统的安装与调试、使用及维护	(264)
课题一 气动系统的安装与调试	(264)
课题二 气动系统的使用与维护	(265)
课题三 气动系统主要元件常见的故障及其排除方法	(266)
项目驱动	(271)
附 录 常用液压与气动元件图形符号	(272)
参考文献	(280)

项目一 液压传动技术的认知

【项目要点】

- 能正确区分液压系统的各组成部分。
- 能说出液压系统各部分的具体作用。
- 能绘制液压系统元件的图形符号。

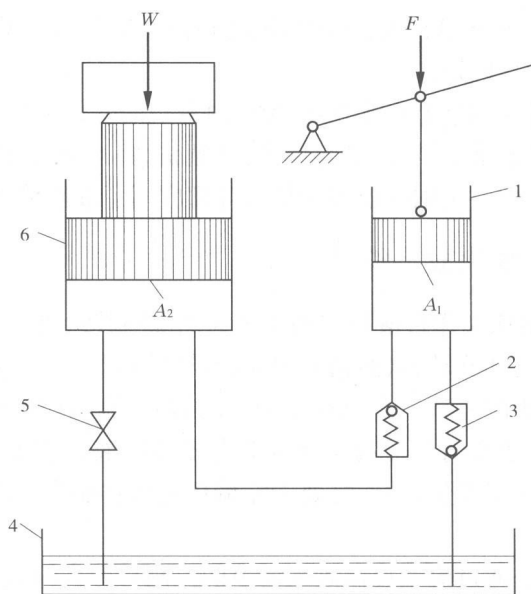
【知识目标】

- 掌握液压传动系统的基本原理和组成。
- 熟悉液压传动的优缺点。
- 了解液压传动的应用与发展。

课题一 液压传动的工作原理及组成

一、液压传动的基本原理

液压千斤顶是机械行业常用的工具,常用液压千斤顶顶起较重的物体。下面以液压千斤顶为例简述液压传动的工作原理。图 1-1 所示为液压千斤顶的工作原理。有两个液压缸



1—小液压缸;2—排油单向阀;3—吸油单向阀;
4—油箱;5—截止阀;6—大液压缸

图 1-1 液压千斤顶的工作原理

1 和 6, 内部分别装有活塞, 活塞和缸体之间保持良好的配合关系, 不仅活塞能在缸内滑动, 而且配合面之间能实现可靠的密封。当向上抬起杠杆时, 液压缸 1 活塞向上运动, 液压缸 1 下腔容积增大形成局部真空, 排油单向阀 2 关闭, 油箱 4 中的油液在大气压作用下经吸油管顶开单向阀 3 进入液压缸 1 下腔, 完成一次吸油动作。当向下压杠杆时, 液压缸 1 活塞下移, 液压缸 1 下腔容积减小, 油液受挤压, 压力升高, 关闭吸油单向阀 3, 液压缸 1 下腔的压力油顶开单向阀 2, 油液经排油管进入液压缸 6 的下腔, 推动大活塞上移顶起重物。如此不断上下扳动杠杆就可以使重物不断升起, 达到起重的目的。如杠杆停止动作, 液压缸 6 下腔油液压力将使单向阀 2 关闭, 液压缸 6 活塞连同重物一起被自锁不动, 停止在举升位置。如打开截止阀 5, 液压缸 6 下腔通油箱, 液压缸 6 活塞将在自重作用下向下移, 迅速回复到原始位置。设液压缸 1 和 6 的横截面面积分别为 A_1 和 A_2 , 则液压缸 1 单位面积上受到的压力 $p_1 = F/A_1$, 液压缸 6 单位面积上受到的压力 $p_2 = W/A_2$ 。根据流体力学的帕斯卡定律——平衡液体内某一点的压力值能等值地传递到密闭液体内各点, 则有

$$p_1 = p_2 = \frac{F}{A_1} = \frac{W}{A_2} \quad (1-1)$$

由液压千斤顶的工作原理可知, 液压缸 1 与单向阀 2、3 一起完成吸油与排油, 将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出。液压缸 6 将油液的压力能转换为机械能输出, 抬起重物。有了负载作用力, 才产生液体压力。因此, 就负载和液体压力两者来说, 负载是第一性的, 压力是第二性的。液压传动装置本质是一种能量转换装置。在这里, 液压缸 6、液压缸 1 组成了最简单的液压传动系统, 实现了力和运动的传递。

从液压千斤顶的工作过程, 可以归纳出液压传动工作原理如下:

- (1) 液压传动是以液体(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, 然后把液体压力能转换为机械能对外做功。
- (3) 液压传动是依靠密封容积(或密封系统)内容积的变化来传递能量的。

工程机械中的起重机、推土机, 汽车起重机, 注塑机, 机床行业中的组合机床的滑台、数控车床工件的夹紧、加工中心主轴的松刀和拉刀等都应用了液压传动系统的工作原理。

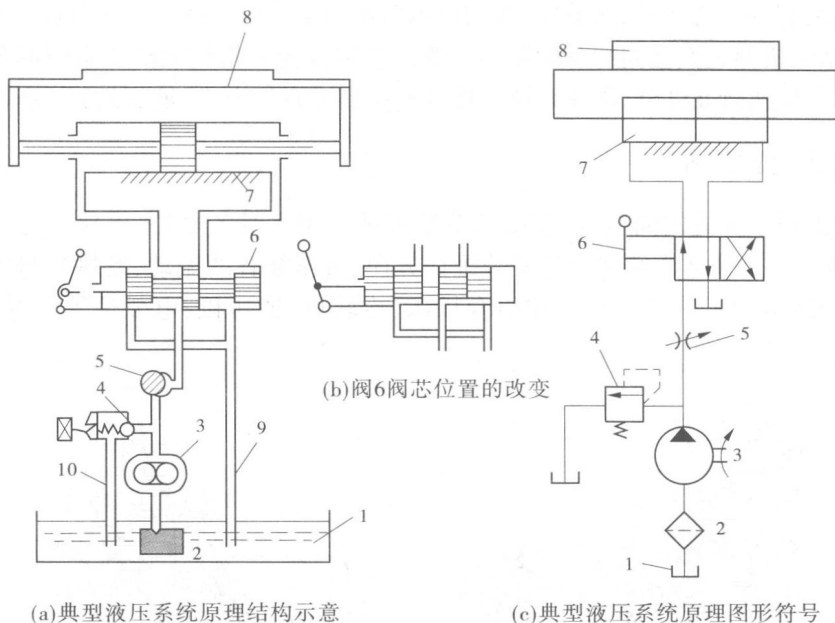
二、液压传动系统的组成及符号

以图 1-2 所示组合机床工作台液压传动系统为例说明其组成。

液压泵 3 由电动机驱动旋转, 从油箱 1 中吸油, 经过滤器 2 后被液压泵吸入并输出给系统。当换向阀 6 阀芯处于图 1-2(a) 所示位置时, 压力油经流量控制阀 5、换向阀 6 和管道进入液压缸 7 的左腔, 推动活塞向右运动。液压缸右腔的油液经管道、换向阀 6、管道 9 流回油箱。改变换向阀 6 阀芯工作位置, 使之处于左端位置时(如图 1-2(b) 所示), 液压缸活塞反向运动。

工作台的移动速度是通过流量控制阀来调节的。阀口开大时, 进入缸的流量较大, 工作台的速度较快; 反之, 工作台的速度较慢。为适应克服大小不同阻力的需要, 泵输出油液的压力应当能够调整。工作台低速移动时, 流量控制阀开口小, 泵输出多余的油液经溢流阀 4 和管道 10 流回油箱, 调节溢流阀弹簧的预压力, 就能调节泵输出口的油液压力。

从上面的例子可以看出, 液压传动系统主要由以下五部分组成:



1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4—溢流阀;
5—流量控制阀;6—换向阀;7—液压缸;8—工作台;9、10—管道

图 1-2 组合机床工作台液压传动系统

(1) 动力元件。将机械能转换成流体压力能的装置。常见的是液压泵,为系统提供压力油液,如图 1-1 中的液压缸 1。

(2) 执行元件。将流体的压力能转换成机械能输出的装置。它可以是做直线运动的液压缸,也可以是做回转运动的液压马达、摆动缸,如图 1-1 中的液压缸 6 和图 1-2 中的液压缸 7。

(3) 控制元件。对系统中流体的压力、流量及流动方向进行控制和调节的装置,以及进行信号转换、逻辑运算和放大等功能的信号控制元件,如图 1-2 中的溢流阀、流量控制阀和换向阀。

(4) 辅助元件。保证系统正常工作所需的上述三种以外的装置,如图 1-2 中的过滤器、油箱和管件。

(5) 工作介质。用它进行能量和信号的传递。液压系统以液压油液作为工作介质。

图 1-2(a) 和图 1-2(b) 中的各个元件是以半结构式图形画出来的,直观性强,易理解,但难绘制,元件多时更是如此。在工程实际中,除某些特殊情况外,一般用简单的图形符号绘制,如图 1-2(c) 所示。图形符号只表示元件的功能,不表示具体结构和参数。我国制定的《液压气动图形符号》(GB/T 786.1—1993) 中的“常用液压图形符号”见附录。以后每介绍一类元件,都会介绍其图形符号,并要求熟记。

课题二 液压系统元件总体布局

液压系统元件的总体布局分为四部分:执行元件、液压油箱、液压泵装置及液压控制装

置。液压油箱装有空气滤清器、滤油器、液面指示器和清洗孔等。液压泵装置包括不同类型的液压泵、驱动电机及它们之间的联轴器等。液压控制装置是指组成液压系统的各阀类元件及其连接体。除执行元件外,液压系统元件的连接形式有集中式(液压站)和分散式。

一、集中式(液压站)

集中式将液压系统的供油装置、控制调节装置独立于主设备之外,单独设置一个液压站,如图 1-3 所示。这种结构的优点是安装维修方便,液压装置的振动、发热都与主设备隔开;缺点是液压站增加了占地面积。如组合机床、冷轧机、锻压机、电弧炉等,一般采用集中式。

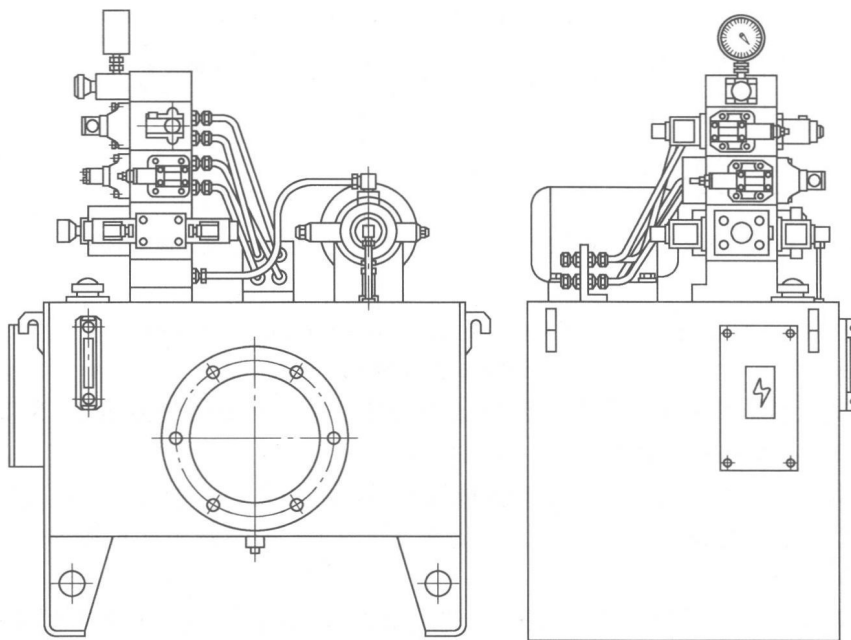


图 1-3 集中式(液压站)

二、分散式

分散式将液压系统的供油装置、控制调节装置分散在主设备的各处。例如,机床液压系统床身或底座作为液压油箱存放液压油。要把控制调节装置放在便于操作的地方。这种结构的优点是结构紧凑,泄漏油易回收,节省占地面积;缺点是安装维修不方便,同时供油装置的振动、液压油的发热都将对机床的工作精度产生不良影响。如部分数控机床、起重机、推土机等可以移动的设备一般采用分散式。

课题三 液压传动的优缺点及应用发展

一、液压传动的优缺点

与机械传动和电力拖动系统相比,液压传动具有以下优点:

(1) 液压元件的布置不受严格的空位限制,系统中各部分用管道连接,布局安装有很大的灵活性,能构成用其他方法难以组成的复杂系统。

(2) 可以在运行过程中实现大范围的无级调速,调速范围可达 2 000:1。

(3) 液压传动和液气联动传递运动均匀平稳,易于实现快速启动、制动和频繁的换向。

(4) 操作控制方便、省力,易于实现自动控制、中远程距离控制及过载保护。与电气控制、电子控制相结合,易于实现自动工作循环和自动过载保护。

(5) 液压元件属机械工业基础件,标准化、系列化和通用化程度较高,有利于缩短机器的设计、制造周期和降低制造成本。

除此之外,液压传动突出的优点还有单位质量输出功率大。因为液压传动的动力元件可采用很高的压力(一般可达 32 MPa,个别场合更高),因此在同等输出功率下具有体积小、质量小、运动惯性小、动态性能好的特点。

液压传动的缺点如下:

(1) 在传动过程中,能量需经两次转换,传动效率偏低。

(2) 由于传动介质的可压缩性和泄漏等因素的影响,不能严格保证定比传动。

(3) 液压传动性能对温度比较敏感,不能在高温下工作,采用石油基液压油作传动介质时还需注意防火问题。

(4) 液压元件制造精度高,系统工作过程中发生故障不易诊断。

总的来说,液压传动的优点是主要的,其缺点将随着科学技术的发展不断得到克服。例如,将液压传动与气压传动、电力传动、机械传动合理地联合使用,构成气液、电液(气)、机液(气)等联合传动,以进一步发挥各自的优点,相互补充,可弥补某些不足之处。

二、液压与气压传动技术的应用与发展

液压与气压传动相对于机械传动来说是一门新兴技术。从 1795 年世界上第一台水压机诞生起,液压与气压传动已有几百年的历史,但液压与气压传动在工业上被广泛采用和有较大幅度的发展是 20 世纪中期以后的事情。在工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床行业中,液压技术得到了普遍的应用。随着原子能、空间技术、电子技术等方面的发展,液压技术向更广阔的领域渗透,发展成为包括传动、控制和检测在内的一门完整的自动化技术。现今,采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。如发达国家生产的 95% 的工程机械、90% 的数控加工中心、95% 以上的自动线都采用了液压传动。

随着液压机械自动化程度的不断提高,液压元件应用数量急剧增加,元件小型化、系统集成化是必然的发展趋势。特别是近十年来,液压技术与传感技术、微电子技术密切结合,出现了许多诸如电液比例控制阀、数字阀、电液伺服液压缸等机(液)电一体化元器件,使液压技术在高压、高速、大功率、节能高效、低噪声、使用寿命长、高度集成化等方面取得了重大进展。无疑,液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助试验(CAT)和计算机实时控制也是当前液压技术的发展方向。

人们很早就懂得用空气作为工作介质传递动力做功,如利用自然风力推动风车、带动水车提水灌田,近代用于汽车的自动开关门、火车的自动抱闸、采矿用风钻等。因为空气作为工作介质具有防火、防爆、防电磁干扰,抗振动、冲击,无辐射等优点,近年来气动技术的应用

领域已从汽车、采矿、钢铁、机械工业等重工业迅速扩展到化工、轻工、食品、军事工业等各行各业。和液压技术一样,当今气动技术亦发展成包含传动、控制与检测在内的自动化技术,作为柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)在包装设备、自动生产线和机器人等方面成为不可缺少的重要手段。工业自动化及 FMS 的发展,要求气动技术以提高系统可靠性、降低总成本、与电子工业相适应为目标,进行系统控制技术和机电液气综合技术的研究和开发。显然,气动元件的微型化、节能化、无油化是当前的发展特点,与电子技术相结合产生的自适应元件,如各类比例阀和电气伺服阀,使气动系统从开关控制进入反馈控制。计算机的广泛普及与应用为气动技术的发展提供了更加广阔的前景。

课题四 实训——机床工作台模拟液压系统认知

一、安全注意事项

- (1) 液压实训要与电和高压油打交道,要保证实训设备和元器件的完好性。
- (2) 要正确地安装和固定好元件。
- (3) 管路要连接牢固,软管脱出可能会引起事故。
- (4) 限位元件不应放在动作杆的对面,而应使其侧面与杆接触。
- (5) 不得使用超过限制的工作压力。
- (6) 要按要求接好回路,检查无误后才能启动电机。
- (7) 实训动作、结果不能按要求实现时,要仔细检查错误点,认真分析产生错误的原因。
- (8) 做液压实训时,在有压力的情况下不准拆卸管子。
- (9) 要严格遵守各种安全操作规程。

二、观摩教学

(一) 试验台元件讲解

介绍试验台上元件和机床工作台模拟液压系统试验所需元件。

(二) 试验台原理讲解

1. 压力的建立与调压

泵的工作压力是初学液压气动课程的同学难于建立起来的一个概念。通过认识溢流阀和泵,建立调压回路,先将压力调为零,然后慢慢地调高压力,通过压力表显示压力的变化值。

2. 缸的运动方向的控制与换向

首先要使学生认识缸是如何运动起来的。没有压力油,缸是不运动的;有压力油,如果油路不通,缸也是不运动的。只有进油路和回油路都是通畅的,压力油进入缸的一腔,缸的工作压力能克服外负载,缸才能运动起来。换向是通过换向阀来实现的。

(三) 机床工作台模拟液压系统动作

- (1) 按照液压系统工作原理图,将所需元件布置在试验台面板上,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,调溢流阀,操作换向阀,改变液压缸的方向;调节流阀,控制液压缸的

运动速度。

三、学生操作训练

将学生分成小组,按要求进行训练,教师现场指导。

四、总结

学生讨论实训中发现的问题并分析解决,完成实训报告。

项目驱动

1. 哪些设备用了液压技术?(实习厂或露天作业的设备)
2. 什么是液压传动?基本工作原理是什么?
3. 液压传动系统由哪些部分组成?各部分的作用是什么?
4. 液压元件在系统图中是怎样表示的?
5. 和其他传动方式相比较,液压传动有哪些主要优点和缺点?

项目二 液压传动基础

【项目要点】

- 能正确选择液压油的牌号。
- 能正确使用液压油。
- 能计算液压系统压力损失的大小。

【知识目标】

- 掌握液压油的物理性质。
- 掌握液体静力学基础知识。
- 掌握液体动力学基础知识。
- 了解液压冲击与气穴现象。

课题一 液压油

液压油是液压系统中借以传递能量的工作介质,还具有润滑、密封、冷却、防锈等功能,因此液压油性能(物理、化学性能)的优劣,尤其是力学性能对液压系统工作的影响很大。所以,在研究液压系统之前,必须对所用的液压油的性能进行深入了解,以便进一步理解液压传动的基本原理。

一、液压油的物理性质

(一) 液体的密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,其计算公式为

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

式中 V ——体积, m^3 ;

m ——体积为 V 的液体的质量, kg ;

ρ ——液体的密度, kg/m^3 。

密度是液体的一个重要物理参数。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。一般液压油的密度为 $900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

(二) 液体的黏度

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。这一特性称做液体的黏性。黏性的大小用黏度表示,黏性是液体重要的物理特性,也是选择液压油的主要依据。

黏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 u_0 向右平动。由于黏性,紧贴于下平板的液体层速度为零,紧贴于上平板的液体速度为 u_0 ,而中间各液体层的速度按线性分布。因此,不同速度液层相互

制约而产生内摩擦力。

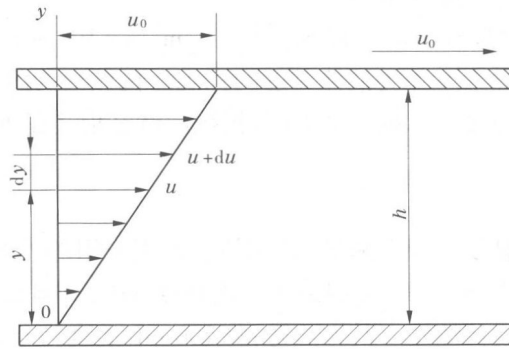


图 2-1 液体的黏性示意

试验测定结果指出,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 dy 成反比,即

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

式中 μ ——比例常数,称为黏性系数或黏度;

$\frac{du}{dy}$ ——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,把黏度系数 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。除高黏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。

黏度是衡量流体黏性的指标。常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度。

1. 动力黏度 μ

动力黏度可由式(2-3)导出,即

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

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

在 SI(国际单位制)中,动力黏度的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕秒)或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

在 CGS(高斯单位制,又称为厘米克秒单位制)中, μ 的单位为 dynes/cm^2 ,又称 P(泊)。

$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P} = 10^3 \text{ cP}$ (厘泊)。

2. 运动黏度 γ

动力黏度 μ 与液体密度 ρ 之比叫运动黏度 γ ,即

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

运动黏度 γ 没有明确的物理意义。因在理论分析和计算中常遇到 μ 和 ρ 的比值,为方

便起见用 γ 表示。其单位中有长度和时间的量纲,故称为运动黏度。

在 SI 中,运动黏度的单位为 m^2/s 。

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

在工程中常用运动黏度 γ 作为液体黏度的标志。机械油的牌号就是用机械油在 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的运动黏度 γ 的平均值来表示的。如 10 号机械油就是指其在 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的运动黏度 γ 的平均值为 10 cSt 。

3. 相对黏度

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

恩氏黏度用恩氏黏度计测定。其方法是:将 200 mL 温度为 t (以 $^\circ\text{C}$ 为单位)的被测液体装入黏度计的容器,经其底部直径为 2.8 mm 的小孔流出,测出液体流尽所需时间 t_1 ,再测出 200 mL 温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 的蒸馏水在同一黏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 下的恩氏黏度,即

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

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

恩氏黏度和运动黏度的换算关系式为

$$\gamma = (7.31^\circ E_t - \frac{6.31}{^\circ E_t}) \times 10^{-6} \quad (2-7)$$

(三) 液体可压缩性

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

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

体积压缩系数 k 的单位为 m^2/N 。由于压力增大时液体的体积减小,因此式(2-8)等号右边须加负号,以使 k 值为正值。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 $k = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ 。

液体的压缩系数 k 的倒数称为液体的体积弹性模数,用 K 表示,即

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

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

(四) 其他性质

(1) 黏度与压力的关系。液体分子间的距离随压力增加而减小,内聚力增大,其黏度也随之增大。当压力不高且变化不大时,压力对黏度的影响较小,一般可忽略不计。当压力较