

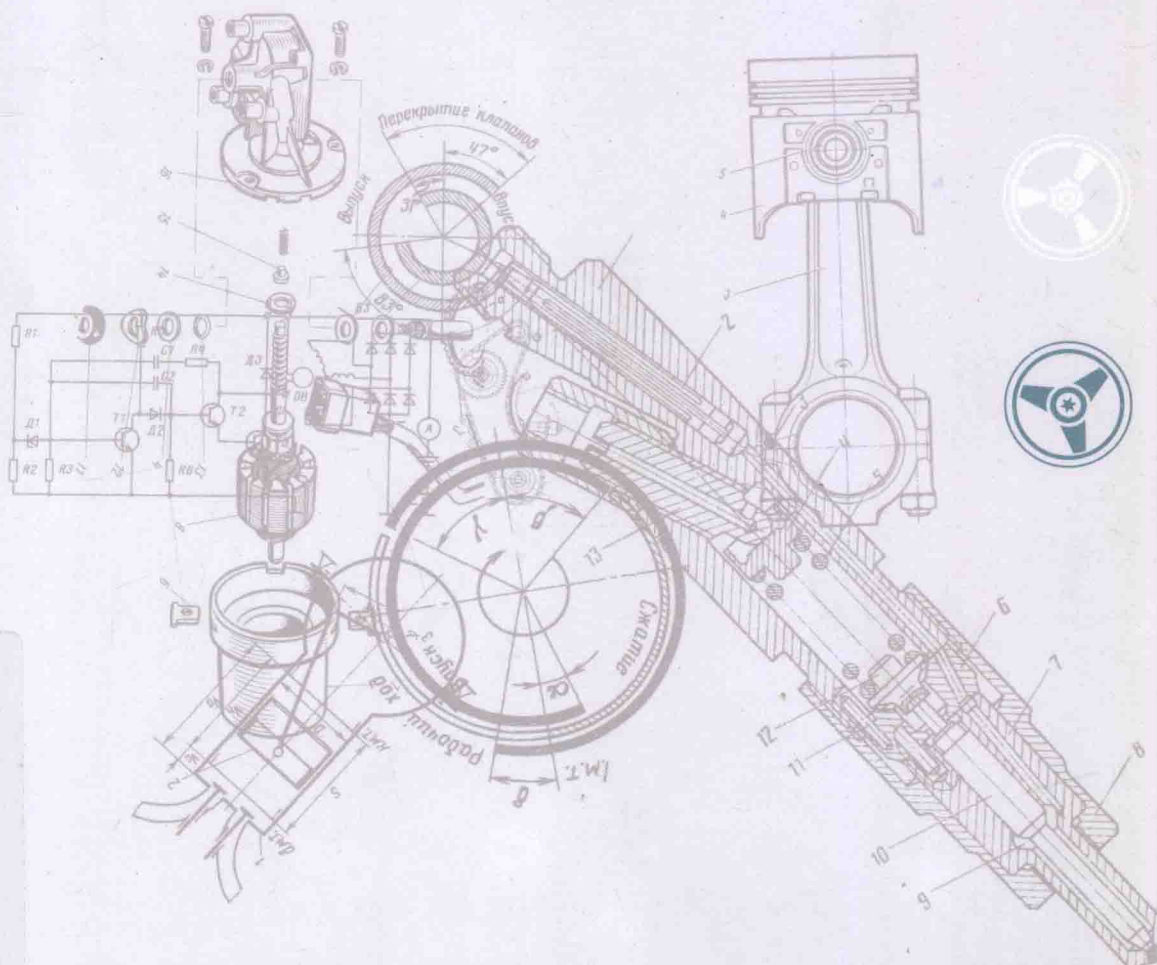


全国高职高专机械设计制造类工学结合“十二五”规划系列教材
QUANGUO GAOZHIGAOZHUAN JIXIESHEJIZHIZAO LEI GONGXUEJIEHE SHIERWU GUIHUAXILIEJIAOCAI

丛书顾问 陈吉红

液压与气压传动

王怀奥 尹霞 姚杰◎主编



YEYA YU QIYA CHUANDONG



JIXIESHEJIZHIZAO



华中科技大学出版社
http://www.hustp.com

全国高职高专机械设计制造类工学结合“十二五”规划教材
丛书顾问 陈吉红

液压与气压传动

主 编	王怀奥	尹 霞	姚 杰
副主编	徐 萍	罗 辉	
参 编	黄仕彪	田 勤	孙 伟
	马 彦	吴春辉	

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

本书为全国高职高专机械设计制造类工学结合“十二五”规划教材。本书共分为 10 个项目,共 41 个学习任务,分别介绍了液压和气压传动的基础知识,液压和气压元件的结构与原理、使用与维护,液压和气压传动基本回路的组成及常见故障分析与排除,液压与气压系统的安装、调试与维护,典型液压和气压系统的工作原理及故障分析。每个项目后均附有思考题和习题,有的项目后还附有实训任务。

本书可作为高职高专机电类、机械类专业“液压传动与气动”课程或相近课程的教材,也可作为工程技术人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/王怀奥 尹霞 姚杰 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2012.6
ISBN 978-7-5609-7789-8

I. 液… II. ①王… ②尹… ③姚… III. ①液压传动-高等教育-教材 ②气压传动-高等教育-教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 056242 号

液压与气压传动

王怀奥 尹霞 姚杰 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:姚幸

封面设计:范翠璇

责任校对:李琴

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:仙桃市新华印务有限责任公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:16.75

字 数:335千字

版 次:2012年6月第1版第1次印刷

定 价:32.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国高职高专机械设计制造类工学结合“十二五”规划系列教材

编委会

丛书顾问:

陈吉红(华中科技大学)

委 员(以姓氏笔画为序):

万金宝(深圳职业技术学院)

王 平(广东工贸职业技术学院)

王兴平(常州轻工职业技术学院)

王连弟(华中科技大学出版社)

王怀奥(浙江工商职业技术学院)

王晓东(长春职业技术学院)

王凌云(上海工程技术大学)

王逸民(贵州航天工业职业技术学院)

王道宏(嘉兴职业技术学院)

牛小铁(北京工业职业技术学院)

毛友新(安徽工业经济职业技术学院)

尹 霞(湖南化工职业技术学院)

田 鸣(大连职业技术学院)

刑美峰(包头职业技术学院)

吕修海(黑龙江农业工程职业学院)

朱江峰(江西工业工程职业技术学院)

刘 敏(烟台职业学院)

刘小芹(武汉职业技术学院)

刘小群(江西工业工程职业技术学院)

刘战术(广东轻工职业技术学院)

孙慧平(宁波职业技术学院)

杜红文(浙江机电职业技术学院)

李 权(滨州职业学院)

李传军(承德石油高等专科学校)

吴新佳(郑州铁路职业技术学院)

秘 书:季 华 万亚军

何晓凤(安徽机电职业技术学院)

宋放之(北京航空航天大学)

张 勃(漯河职业技术学院)

张 健(十堰职业技术学院)

张 焕(郑州牧业工程高等专科学校)

张云龙(青岛职业技术学院)

张俊玲(贵州工业职业技术学院)

陈天凡(福州职业技术学院)

陈泽宇(广州铁路职业技术学院)

罗晓晔(杭州科技职业技术学院)

金 濯(江苏畜牧兽医职业技术学院)

郑 卫(上海工程技术大学)

胡翔云(湖北职业技术学院)

荣 标(宁夏工商职业技术学院)

贾晓枫(合肥通用职业学院)

黄定明(武汉电力职业技术学院)

黄晓东(九江职业技术学院)

崔西武(武汉船舶职业技术学院)

阎瑞涛(黑龙江农业经济职业学院)

葛建中(芜湖职业技术学院)

董建国(湖南工业职业技术学院)

窦 凯(广州番禺职业技术学院)

颜惠庚(常州工程职业技术学院)

魏 兴(六安职业技术学院)

全国高职高专机械设计制造类工学结合“十二五”规划系列教材

序

目前我国正处在改革发展的关键阶段,深入贯彻落实科学发展观,全面建设小康社会,实现中华民族伟大复兴,必须大力提高国民素质,在继续发挥我国人力资源优势的同时,加快形成我国人才竞争比较优势,逐步实现由人力资源大国向人才强国的转变。

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》提出:“发展职业教育是推动经济发展、促进就业、改善民生、解决‘三农’问题的重要途径,是缓解劳动力供求结构矛盾的关键环节,必须摆在更加突出的位置。职业教育要面向人人、面向社会,着力培养学生的职业道德、职业技能和就业创业能力。”

高等职业教育是我国高等教育和职业教育的重要组成部分,在建设人力资源强国和高等教育强国的伟大进程中肩负着重要使命并具有不可替代的作用。自从1999年党中央、国务院提出大力发展高等职业教育以来,培养了1300多万高素质技能型专门人才,为加快我国工业化进程提供了重要的人力资源保障,为加快发展先进制造业、现代服务业和现代农业作出了积极贡献;高等职业教育紧密联系经济社会,积极推进校企合作、工学结合人才培养模式改革,办学水平不断提高。

“十一五”期间,在教育部的指导下,教育部高职高专机械设计制造类专业教学指导委员会根据《高职高专机械设计制造类专业教学指导委员会章程》,积极开展国家级精品课程评审推荐、机械设计与制造类专业规范(草案)和专业教学基本要求的制定等工作,积极参与了教育部全国职业技能大赛工作,先后承担了“产品部件的数控编程、加工与装配”、“数控机床装配、调试与维修”、“复杂部件造型、多轴联动编程与加工”、“机械部件创新设计与制造”等赛项的策划和组织工作,推进了双师队伍建设和课程改革,同时为工学结合的人才培养模式的探索 and 教学改革积累了经验。2010年,教育部高职高专机械设计制造类专业教学指导委员会数控分委会起草了《高等职业教育数控专业核心课程设置及教学计划指导书(草案)》,并面向部分高职高专院校进行了调研。根据各院校反馈的意见,教育部高职高专机械设计制造类专业教学指导委员会委托华中科技大学出版社联合国家示范(骨干)高职院校、部分重点高职院校、武汉华中数控股份有限公司和部分国家精品课程负责人、一批层次较高的高职院校教师组成编委会,组织编写全国高职高专机械设计制造类工学结合“十二五”规划系列教材。

本套教材是各参与院校“十一五”期间国家级示范院校的建设经验以及校企



结合的办学模式、工学结合的人才培养模式改革成果的总结,也是各院校任务驱动、项目导向等教学做一体的教学模式改革的探索成果。因此,在本套教材的编写中,着力构建具有机械类高等职业教育特点的课程体系,以职业技能的培养为根本,紧密结合企业对人才的需求,力求满足知识、技能和教学三方面的需求;在结构上和内容上体现思想性、科学性、先进性和实用性,把握行业岗位要求,突出职业教育特色。

具体来说,力图达到以下几点。

(1) 反映教改成果,接轨职业岗位要求。紧跟任务驱动、项目导向等教学做一体的教学改革步伐,反映高职高专机械设计制造类专业教改成果,引领职业教育教材发展趋势,注意满足企业岗位任职知识、技能要求,提升学生的就业竞争力。

(2) 创新模式,理念先进。创新教材编写体例和内容编写模式,针对高职高专学生的特点,体现工学结合特色。教材的编写以纵向深入和横向宽广为原则,突出课程的综合性,淡化学科界限,对课程采取精简、融合、重组、增设等方式进行优化。

(3) 突出技能,引导就业。注重实用性,以就业为导向,专业课围绕高素质技能型专门人才的培养目标,强调促进学生知识运用能力,突出实践能力培养原则,构建以现代数控技术、模具技术应用能力为主线的实践教学体系,充分体现理论与实践的结合,知识传授与能力、素质培养的结合。

当前,工学结合的人才培养模式和项目导向的教学模式改革还需要继续深化,体现工学结合特色的项目化教材的建设还是一个新生事物,处于探索之中。随着这套教材投入教学使用和经过教学实践的检验,它将不断得到改进、完善和提高,为我国现代职业教育体系的建设和高素质技能型人才的培养作出积极贡献。

谨为之序。

教育部高职高专机械设计制造类专业教学指导委员会主任委员

国家数控系统技术工程研究中心主任

华中科技大学教授、博士生导师

陈吉红

2012年1月于武汉

前 言

为了满足新形势下培养高素质技能型专门人才的需要,促进学生成长成才,增强学生就业创业能力,为地方经济转型升级提供人才培养培训服务,在总结近年来工作过程导向人才培养教学实践的基础上,来自浙江工商职业技术学院、湖南化工职业技术学院、辽阳职业技术学院、湖北十堰职业技术学院、湖南永州职业技术学院、安徽机电职业技术学院等多所院校教学一线的教师共同编写了本书。

在编写本书的过程中,编者以机电类相关职业岗位技能和素质为出发点,以液压传动为主线,将理论与实践有机结合,突出职业能力的培养,加强针对性和实用性。本书着重分析了各种元件、常见回路、典型回路的原理、特点和常见故障及排除方法,以提高读者对液压元件和液压系统的调试能力、安装维护能力、故障分析与排除能力。本书还对数控机床液压系统、数控加工中心气动换刀系统和气动控制机械手等进行了分析,力求反映液压和气压传动技术的最新应用情况。

本书为全国高职高专机械设计制造类工学结合“十二五”规划教材,全书共分10个项目,其中液压传动8个项目,气压传动2个项目。本书有以下特点。

1. 定位为高职高专教材,着重培养学生具备液压元件、液压系统的使用、维护、故障诊断及其排除的能力。对液压传动基础知识进行了删减,强化了与岗位技能密切相关的知识,调整了液压传动知识的写作体系,更加通俗易懂。

2. 采用了以行动为导向的结构体系。每个项目都以具体的工作任务为先导。例如,在认识液压系统这个项目中,让学生首先认识液压元件、组合机床工作台液压控制回路,在这个过程中掌握液压系统的组成、原理和特点;在液压元件学习中,通过拆装液压元件来掌握其结构、原理、特点和常见故障;在液压回路的学习中,通过搭接液压回路来掌握其特点、原理和常见故障及其排除方法。

3. 每个项目都明确了学习目标、知识要点和训练项目。每个项目分若干个学习任务,力求做到学习任务和工作任务相结合。项目结尾设有思考题和习题,有的项目还设有实训任务,供学生在开放的实训室里独立完成。

本书可作为高职高专机电类、机械类专业“液压传动与气动”课程或相近课程的教材,也可作为工程技术人员参考书籍。

本书由浙江工商职业技术学院王怀奥、湖南化工职业技术学院尹霞、辽阳职业技术学院姚杰任主编,湖北十堰职业技术学院徐萍、湖南永州职业技术学院罗辉任副主编,参加本书编写的还有浙江工商职业技术学院黄仕彪,辽阳职业技术

学院田勤、马彦、吴春辉,安徽机电职业技术学院孙伟。具体编写分工为:王怀奥编写项目一、项目七,尹霞编写项目八,姚杰、田勤、马彦、吴春辉编写项目二、项目六,徐萍编写项目三,黄仕彪编写项目九、项目十,罗辉编写项目四,孙伟编写项目五。

本书的编写得到了教育部高职高专机械设计制造类教学指导委员会主任委员陈吉红教授的亲切指导,在此表示衷心的感谢。

由于项目化教学方式尚在探索之中,且编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2012年2月

目 录

项目一 认识液压系统	(1)
任务一 组合机床工作台液压传动系统	(2)
任务二 液压系统特征分析	(5)
思考题与习题	(13)
项目二 液压泵的使用与维护	(14)
任务一 拆装齿轮泵	(16)
任务二 拆装叶片泵	(23)
任务三 柱塞泵拆装	(30)
思考题与习题	(34)
项目三 液压缸和液压马达的选用与维护	(36)
任务一 拆卸液压缸	(36)
任务二 拆装液压马达	(49)
思考题与习题	(56)
项目四 方向阀的使用与维护	(57)
任务一 认识单向阀	(57)
任务二 拆装换向阀	(61)
任务三 方向控制回路的故障分析与排除	(71)
思考题与习题	(76)
项目五 压力阀的使用与维护	(78)
任务一 拆装溢流阀	(78)
任务二 减压阀的使用与维护	(85)
任务三 顺序阀的使用与维护	(88)
任务四 压力继电器的使用与维护	(92)
任务五 组装压力控制回路	(95)
任务六 压力控制回路故障分析与排除	(102)
任务七 组装多缸顺序动作回路	(108)
思考题与习题	(113)
项目六 流量阀的使用与维护	(115)
任务一 拆装节流阀	(115)
任务二 拆装调速阀	(119)
任务三 组装速度控制回路	(123)



任务四 调速回路的故障分析与排除	(133)
任务五 了解新型液压元件	(140)
思考题与习题	(145)
项目七 液压辅助装置的使用与维护	(147)
任务一 蓄能器的使用与维护	(147)
任务二 过滤器的使用与维护	(151)
任务三 压力表及压力表开关的使用与维护	(155)
任务四 油箱的故障使用与维护	(157)
任务五 油管与管接头的使用	(161)
思考题与习题	(166)
项目八 液压系统安装、调试与维护	(167)
任务一 液压系统安装与调试	(167)
任务二 液压系统的保养与维护	(171)
任务三 液压系统故障诊断及其排除	(174)
任务四 组装机床动力滑台液压系统	(180)
任务五 注塑机液压系统分析与故障排除	(183)
任务六 数控机床液压系统分析	(192)
任务七 液压油的使用与维护	(197)
实训	(202)
思考题与习题	(202)
项目九 气动元件及气动回路分析	(204)
任务一 认识气源装置及其附件	(206)
任务二 认识执行元件	(212)
任务三 认识控制元件	(222)
任务四 典型气动系统分析	(234)
思考题与习题	(238)
实训 典型的气动系统回路	(239)
思考题与习题	(241)
项目十 气动系统及其安装、调试与维护	(242)
任务一 气动系统安装与调试	(242)
任务二 气动系统使用与维护	(243)
任务三 气动系统常见故障及排除方法	(246)
思考题与习题	(249)
附录 常用液压与气动元件图形符号(GB/T 786.1—2009)	(251)
参考文献	(257)

项目

认识液压系统

学习目标:掌握液压系统的工作原理、液压系统的特征和主要参数,了解液压传动的应用和发展。

知识要点:液压系统的组成、特征及工作原理,液压系统的主要参数(如压力、流量、流速等)。

实训项目:组装机床工作台液压传动系统。

学习引导

液压传动和气压传动称为流体传动,是根据 17 世纪法国物理学家帕斯卡提出的液体静压力传动原理发展起来的一门技术,是利用有压流体(液体或气体)作为工作介质来传递动力或控制信号的一种传动方式。

液压传动是用液体作为工作介质来传递能量和进行控制的传动方式。现以图 1-1 所示的液压千斤顶为例来说明液压传动的工作原理:提起杠杆手柄,小活塞上升,小油缸下端油腔容积增大,形成局部真空,于是油箱内的油液在大气压力作用下,推开单向阀 1,进入小油缸下腔(此时单向阀 2 关闭);压下杠杆手柄,小活塞下降,小油缸下腔压力升高,单向阀 1 关闭,单向阀 2 打开,下腔的油液经管道输入大油缸的下腔,迫使大活塞向上移动,顶起重物;再次提起杠杆手柄吸油时,单向阀 2 自动关闭,使油液不能倒流,从而保证了重物不会自行下落;不断地往复扳动手柄,就能不断地把油液压入大缸体下腔,使重物逐渐地升起;如果打开截止阀,大缸体下腔的油液通过管道和截止阀流回油箱,重物就向下移动。

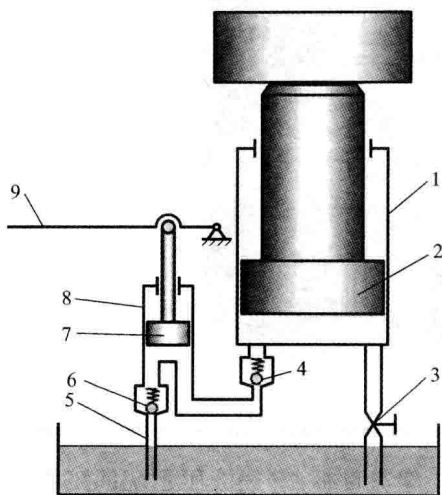


图 1-1 液压千斤顶外形及结构

1—大油缸体；2—大活塞；3—截止阀；4—单向阀 2；5—吸油管；6—单向阀 1；
7—小活塞；8—小油缸体；9—杠杆手柄

任务一 组合机床工作台液压传动系统

一、任务引导

液压系统由于具有结构简单、动作灵活、操作方便、调速范围大、可无级连续调节等优点，在组合机床中得到了广泛应用。液压系统在组合机床上主要是用于实现工作台的直线运动和回转运动，如图 1-2 所示，如果动力滑台要实现一次进给，则动力滑台要完成的动作循环通常包括：原位停止→工进→停留→退回→原位停止。

本任务是在液压试验台上安装、调试并运行机床工作台液压系统，师生共同分析液压系统，其目的如下。

- (1) 建立对液压系统的初步认识，掌握液压系统的组成和工作原理。
- (2) 从外形上认识常用的液压元件。
- (3) 初步建立液压系统压力、流量、油液流动方向(速度)等概念。

所需设备：液压实验台，液压元件，相关工具。

二、任务分析

组合机床工作台液压传动系统由油箱、液压泵、节流阀、换向阀、液压缸、溢流阀等组成，如图 1-3 所示。液压泵由电动机带动将液压油送往系统，经节流阀、

换向阀进入液压缸,实现活塞的左右移动。换向阀有三种工作状态:阀芯在右侧时,管路 P、A 通,液压油进入液压缸左侧,活塞向右移动;阀芯在左侧时,管路 P、B 通,液压油进入液压缸右侧,活塞向左移动;阀芯在中间时,管路 P、A、B、T 均不通,液压缸左、右两腔均不通液压油,工作台停止运动。

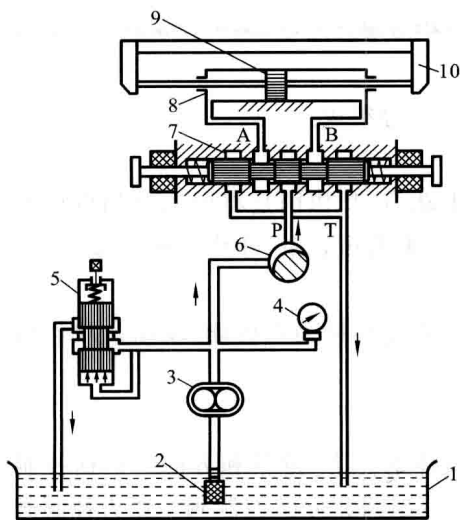


图 1-2 组合机床工作台液压传动系统结构

1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4—压力计;
5—溢流阀;6—节流阀;7—换向阀;
8—液压缸;9—活塞;10—工作台

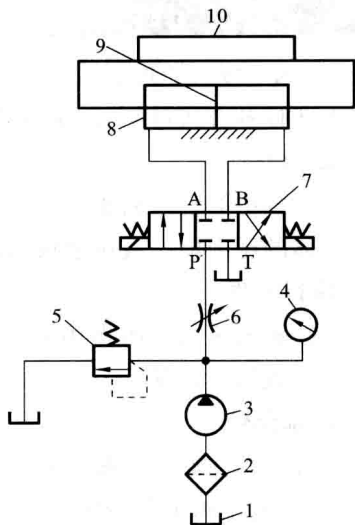


图 1-3 组合机床工作台液压传动系统原理图

1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4—压力计;
5—溢流阀;6—节流阀;7—换向阀;
8—液压缸;9—活塞;10—工作台

工作台的运动速度是由节流阀和溢流阀配合调节实现的。节流阀阀门开口可以调节。当它开大时,工作台运动速度就加快,当它关小时,运动速度就减慢,从而控制工作台的速度。工作台运动时,还要克服一定的阻力,如切削阻力和摩擦阻力等,这些阻力由液压泵输出油液的压力来克服。根据工作时阻力的不同,要求能调节液压泵输出的油液压力,这个功能是由溢流阀来完成的。当油液压力对溢流阀的阀芯作用力略大于溢流阀中弹簧对阀芯的作用力时,阀芯才能移动,使阀口打开,油液经溢流阀溢流回油箱,压力不再升高,此时,泵出口处的油液压力是由溢流阀决定的。

三、任务实施

- (1) 熟悉各种元件。在液压实验台上按图 1-3 组装液压回路。注意不要将元件安装反了,安装完毕后,要经教师检查后才能启动。
- (2) 启动液压系统,观察换向阀在不同状态下液压缸的运动情况。
- (3) 调节节流阀,观察液压缸的移动速度变化情况。
- (4) 记录所用的液压元件名称和图形符号,分析每一个元件的作用和特点。
- (5) 完毕后拆卸液压系统,将元件摆放至原来位置,并打扫好卫生。



(6) 完成实训报告,并回答以下问题:

- ① 液压泵的工作压力由什么决定?
- ② 工作台的移动速度由什么决定?

四、知识学习

(一) 液压系统的组成

由上述任务分析可知,液压系统由以下五部分组成。

1. 动力元件

液压系统中的油泵向整个液压系统提供动力,其作用是将原动机的机械能转换成液体的压力能。液压泵按结构形式分一般有齿轮泵、叶片泵和柱塞泵。

2. 执行元件

液压缸和液压马达的作用是将液体的压力能转换为机械能,驱动负载作直线往复运动或回转运动。

3. 控制元件

各种液压阀在液压系统中控制和调节液体的压力、流量和方向。根据控制功能的不同,液压阀可分为压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀。压力控制阀又分为溢流阀(安全阀)、减压阀、顺序阀、压力继电器等;流量控制阀包括节流阀、调整阀、分流集流阀等;方向控制阀包括单向阀、液控单向阀、梭阀、换向阀等。根据控制方式不同,液压阀可分为开关式控制阀、定值控制阀和比例控制阀等。

4. 辅助元件

辅助元件包括油箱、滤油器、油管及管接头、密封圈、压力表、油位油温计等,起连接、输油、储油、过滤、储存压力能、测量等作用。

5. 工作介质

液压油是液压系统中传递能量的工作介质,有各种矿物油、乳化液和合成型液压油等几大类。

(二) 液压系统图形符号

图 1-3(a)所示的液压传动系统图是一种半结构式的工作原理图,称为结构原理图。这种原理图直观性强、容易理解,但绘制比较麻烦。为了简化原理图的绘制,系统中各元件可用符号表示,图 1-3(b)即是采用图形符号绘制的液压传动系统原理图。我国 2009 年制订的国家标准《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第 1 部分:用于常规用途和数据处理的图形符号》(GB/T 786.1—2009,常用的符号见附录),使用符号绘制液压系统图更加方便、简单明了。这些符号只表示元件的功能、控制方式及外部连接口,不表示元件的具体结构和参数及连接口的实际位置和元件的安装位置;液压元件符号均以元件的静止位置或零位表示;有些液压元件无法采用图形符号表示时,仍允许采用结构原理图表示。

任务二 液压系统特征分析

(一) 液压系统的基本特征

1. 压力取决于负载

液压传动系统中油液的压力由外界负载作用而形成,如图 1-4 所示,压力的大小与外界负载大小及作用面积有关,即

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

式中: p ——油液压力, Pa;

F ——外负载, N;

A ——负载作用面积, m^2 。

由式(1-1)可见,油液压力的大小将随外负载的变化而变化,这是液压传动中的一个重要的基本概念。

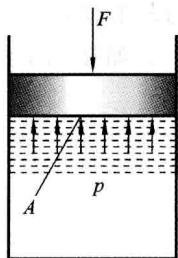


图 1-4 压力的形成

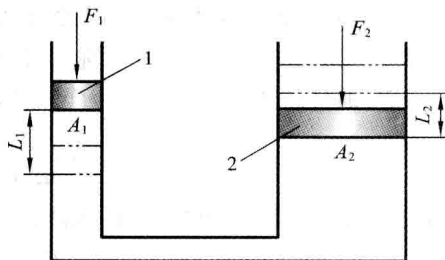


图 1-5 压力的传递

2. 压力的传递

根据帕斯卡定律,在密闭容器中的静止液体,由外力作用所产生的压力可以等值地传递到液体内所有各点。如图 1-5 所示,在活塞 1 和活塞 2 上分别作用力 F_1 和 F_2 ,活塞面积分别为 A_1 和 A_2 。其压力 p 可表示为

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (1-2)$$

或

$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$$

当 $A_2 \geq A_1$ 时,有 $F_2 \geq F_1$,即在小活塞上作用较小的力,就可以在大活塞上产生较大的力。利用这个原理可以实现力的放大,如液压千斤顶即利用了这个原理。

3. 速度的传递

在图 1-5 中,设活塞的位移分别为 L_1 和 L_2 。由于液体不可压缩,所以活塞 1 下行扫过的容积等于活塞 2 上行扫过的容积,即

$$A_1 L_1 = A_2 L_2$$

将该式两端同除以时间 t , 经整理得

$$\left. \begin{aligned} v_2 &= \frac{A_1}{A_2} \\ v_1 &= \frac{Q}{A_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中: v_1 、 v_2 ——活塞 1、活塞 2 的移动速度, m/s;

Q ——流量, m^3/s 。

如果调节进入缸体的流量, 就可以调节活塞的移动速度, 所以, 液压传动容易实现无级调速。

(二) 液压系统主要参数

1. 静压力

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内法线方向的法向力称为压力, 用 p 表示。如在 ΔA 面积上作用的法向力 ΔF , 则液体内某点处的压力可表示为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-4)$$

若法向力均匀地作用于面积 A 上, 则压力可表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-5)$$

在物理学中液体静压力称为压强, 在工程实际中习惯称为压力。

压力具有以下三个特性。

- (1) 液体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。
- (2) 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。
- (3) 静止液体内任意点的压力等于液面处压力 p_0 和液体自重对该点产生的压力 (ρgh) 之和, 如图 1-6 所示, 即

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-6)$$

式中: ρ ——液体的密度。

式(1-6)称为液体静力学方程。

在流动液体内, 由于惯性和粘性的影响, 任一点处各个方向上的压力并不相等。由于数值相差较小, 所以流动液体内任一点处在各个方向上的数值可以看做是相等的。

压力的单位为 N/m^2 , 即 Pa(帕)。为表示方便, 还有 kPa(千帕)、MPa(兆帕), $1 \text{ MPa} = 10^3$

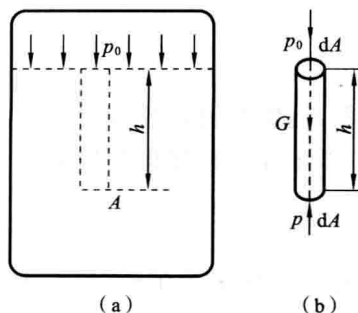


图 1-6 重力作用下的静止液体

$\text{kPa}=10^6 \text{ Pa}$ 。工业上采用 1 kgf/cm^2 为 1 个工程大气压,其值为 $98\,066.5 \text{ Pa}$ 。

2. 流量

液体在管道中流动时,通常将垂直于液体流动方向的截面称为通流截面,或称为过流截面。单位时间内通过过流截面的液体的体积称为流量,用 q 表示。

流量的单位为 m^3/s ,工程上常用 L/min 。

3. 流速

假设过流截面上的液体流速是均匀分布的,该流速称为平均流速,用 v 表示。流速 v 、流量 q 、过流截面面积 A 三者之间的关系为

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-7)$$

当液压缸工作时,活塞的移动速度与缸内液体平均流速相等。由此可见,当液压缸截面积一定时,活塞的移动速度是由进入缸内液体的流量决定的。

流速的单位为 m/s 。

(三) 流体流动时的压力损失

液体在管路中流动时会产生压力损失。在设计液压系统时,需要确定压力损失,而压力损失与液体流动状态有关。

1. 流动状态和雷诺数

19 世纪末,英国物理学家雷诺通过大量实验,发现了液体在管路中流动有层流和紊流两种状态。在层流状态下,液体质点沿管路作直线运动,互不干扰,没有横向运动,只作分层运动,各层间的液体互不混杂;在紊流状态下,液体质点的运动杂乱无章,除了沿管路作直线运动外,还作横向运动。层流时液体流速较低,质点受粘性作用,不能随意运动;紊流时流速较高,粘性力作用较小,受惯性力的作用较大。

实验证明,液体在圆管中的流动状态可用无量纲的参数来判断,这个参数称为雷诺数,记作 Re 。它与液体流速 v 、管路直径 d 、油液的运动粘度 γ 有关,其表达式为

$$Re = \frac{vd}{\gamma} \quad (1-8)$$

由层流变为紊流的雷诺数和由紊流变为层流的雷诺数是不同的,后者数值小。工程中用后者来判别液体流动状态,此数值称为临界雷诺数。当液流的实际雷诺数小于临界雷诺数时,液流为层流,反之为紊流。常见液流管道的临界雷诺数见表 1-1。

2. 管路压力损失

液压系统中的压力损失由两部分组成。一部分是液体沿等直径直管流动时产生的压力损失,称为沿程压力损失;另一部分是液体流经局部障碍(如弯头、接头、管道截面突然扩大或收缩)时产生的压力损失,称为局部压力损失。