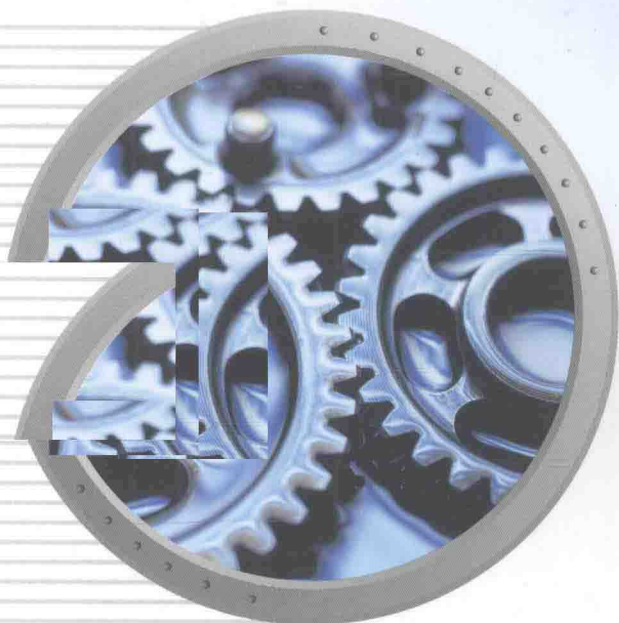




全国高职高专机械类“工学结合-双证制”
人才培养“十二五”规划教材

液压与气压传动技术

李茹 李军利 主编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

全国高职高专机械类“工学结合-双证制”人才培养“十二五”规划教材

液压与气压传动技术

主 编	李 茹	李军利
副主编	张海伟	姬耀锋
参 编	苗莉莉	刘晓敏
	刘唯伟	唐春华

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书是全国高职高专机械类“工学结合-双证制”人才培养“十二五”规划教材,全书包括液压传动技术与气压传动技术两大学习领域,内容设计为10个项目,共31个任务。液压传动部分有7个项目(含19个任务),气压传动部分有3个项目(含12个任务)。本书以液压传动系统与气压传动系统在典型机电一体化设备中的应用为引导,具体讲述液压传动系统与气压传动系统的组成、工作原理与基本理论;液压与气压传动元件的工作原理、性能参数、结构特点及选用与维护;液压传动与气压传动基本回路的分析以及常见故障的诊断与排除;液压传动系统与气压传动系统的安装、调试及使用维护等。

本书设置了“学习导航”“学习要求”“任务描述”“知识储备”“任务实施”“相关训练”“思考与练习”等栏目,帮助学生构建知识网络,便于项目化教学,使学习与训练相结合。

本书可作为高职高专机电类、机械类、数控类专业“液压与气压传动”课程或相近课程的教材,也可作为相关工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动技术/李茹,李军利主编. —武汉:华中科技大学出版社,2014.6
ISBN 978-7-5680-0142-7

I. ①液… II. ①李… ②李… 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. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 118716 号

液压与气压传动技术

李 茹 李军利 主编

策划编辑:严育才

责任编辑:王 晶

封面设计:范翠璇

责任校对:张 琳

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)81321915

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:华中理工大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20.75

字 数:541千字

版 次:2014年9月第1版第1次印刷

定 价:38.00元



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

全国高职高专机械类“工学结合-双证制”人才培养“十二五”规划教材

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)

王逸群(贵州航天职业技术学院)

王道宏(嘉兴职业技术学院)

牛小铁(北京工业职业技术学院)

文申柳(四川化工职业技术学院)

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)

吕修海(黑龙江农业工程职业技术学院)

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)

刘昭琴(重庆航天职业技术学院)

闫瑞涛(黑龙江农业经济职业学院)

杜红文(浙江机电职业技术学院)

李 茹(天津职业大学)

李 权(滨州职业学院)

李传军(承德石油高等专科学校)

何时剑(淮安信息职业技术学院)

秘 书:李 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(湖北工业职业技术学院)

张 焕(河南牧业经济学院)

张云龙(青岛职业技术学院)

张录鹤(安徽国防科技职业学院)

张俊玲(贵州工业职业技术学院)

陈泽宇(广州铁路职业技术学院)

陈子珍(宁波职业技术学院)

陈天凡(福州职业技术学院)

金 濯(江苏农牧科技职业学院)

郑 卫(上海工程技术大学)

周 敏(中山职业技术学院)

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)

黄红兵(六安职业技术学院)

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)

葛建中(芜湖职业技术学院)

董建国(湖南工业职业技术学院)

解顺兴(武汉华中数控股份有限公司)

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)

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,高等职业教育培养了大量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做出了积极贡献;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和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。2011年,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,选用此系列教材的学校师生反映教材效果好。在此基础上,响应一些友好院校、老师的要求,以及教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)中提出的要推行“双证书”制度,强化学生职业能力的培养,使有职业资格证书专业的毕业生取得“双证书”的理念。2012年,我们组织全国职教领域精英编写全国高职高专机械类“工学结合-双证制”人才培养“十二五”规划教材。

本套全国高职高专机械类“工学结合-双证制”人才培养“十二五”规划教材是各参与院校“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、工学结合及工学结合-双证制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。



具体来说,本套规划教材力图达到以下特点。

(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,反映高职机械设计制造类专业教改成果,注意满足企业岗位任职知识要求。

(2) 紧跟教改,接轨“双证书”制度 紧跟教育部教学改革步伐,引领职业教育教材发展趋势,注重学业证书和职业资格证书相结合,提升学生的就业竞争力。

(3) 紧扣技能考试大纲、直通认证考试 紧扣高等职业教育教学大纲和执业资格考试大纲和标准,随章节配套习题,全面覆盖知识点与考点,有效提高认证考试通过率。

(4) 创新模式,理念先进 创新教材编写体例和内容编写模式,针对高职学生思维活跃的特点,体现“双证书”特色。

(5) 突出技能,引导就业 注重实用性,以就业为导向,专业课围绕技术应用型人才的培养目标,强调突出技能、注重整体的原则,构建以技能培养为主线、相对独立的实践教学体系。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。“工学结合-双证制”人才培养模式更处于探索阶段。随着本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。

全国机械职业教育教学指导委员会副主任委员

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

2013年2月

前 言

本书是在高职教育中同时引进“工学结合”和“双证教学”的新的教学理念下,基于“液压与气压传动技术”在相关领域的典型应用,从职业岗位技能的要求出发,结合行动导向教学模式和项目化教学的方法,由多年从事高职高专院校教学的一线教师编写的高职高专教材。

本书立足于“教、学、做”一体化教学方式,内容上紧跟当前新技术的应用,体现先进性。项目设计上采用“液压与气压传动技术”实际生产案例,体现实用性。教材体例上力求学习过程与工作工程相结合,在做中学,学中练,理论与实践相结合,知识传授与能力、素质的培养相结合。

在汲取同类教材优点的基础上,本书具有以下几个特点。

(1) 按照任务驱动、项目导向的教学模式建立体例框架。

(2) 设置特色栏目。31个任务前都设置了“学习要求”这一栏目,以明确知识点、技能点以及职业要求,便于构建知识网络;每个任务以“任务描述”“知识储备”“任务实施”等栏目贯穿,便于组织项目化教学,方便“做中学”;10个项目中都设置了“学习导航”“相关训练”“思考与练习”等栏目,在明确学习目标的同时,进行指导训练,方便“学中练”。

(3) 项目内容与“双证书”接轨。全书所设项目和任务有许多内容与国家职业标准中机械类职业岗位典型职业工种的基础知识、工作要求紧密对接,体现了学业证书和职业资格证书的接轨。

(4) 将实际生产案例列入学习项目。全书各项目都是以典型液压传动和气压传动机械为载体,融入液压传动和气压传动相关知识点和技能点,形成由浅至深、由简至繁、由易至难的学习训练体系,体现了知识点和工作任务相结合、理论与实践相结合的特点。此外,还增设了电气控制回路的设计与组装训练的内容,体现了电液气控制的紧密结合。

(5) 本书融入了职业素质教育元素。学习训练项目中含有职业道德、职业习惯与职业素质培养的内容,培养学生养成良好的职业行为习惯和道德素养。

(6) 本书配备了丰富的训练项目和练习题。书中各项目除按照“学习要求”配有“相关训练”的题目外,还配备了涵盖国家职业标准考核点的各类练习题目,强化训练,为学生认证考试提供帮助。

本书由天津职业大学李茹、珠海城市职业技术学院李军利任主编,天津职业大学张海伟、郑州职业技术学院姬耀锋任副主编。参加编写的还有忻州职业技术学院苗莉莉、天津职业大学刘晓敏、珠海城市职业技术学院刘唯伟、珠海城市职业技术学院唐春华。参加编写的有:李茹(项目1、项目2、项目9中任务9.1、项目10中任务10.2)、李军利(项目6、附录)、张海伟(项目8)、姬耀锋(项目4中任务4.1、任务4.2,项目5)、刘晓敏(项目9中任务9.2至任务9.5、“练习与思考9”)、刘唯伟(项目7)、唐春华(项目3)、苗莉莉(项目4中任务4.3、“练习与思考4”,项目10中任务10.1、“练习与思考10”)。全书由李茹统稿。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏,敬请广大读者批评指正。

编 者

2014年5月

目 录

项目 1 液压传动系统的概述	(1)
任务 1.1 平面磨床工作台液压传动系统	(1)
任务 1.2 液压油的选择与保养	(15)
【练习与思考 1】	(22)
项目 2 液压传动系统动力元件的选用与维护	(25)
任务 2.1 液压泵的选用	(25)
任务 2.2 液压泵的拆装、使用与维护	(43)
【练习与思考 2】	(47)
项目 3 液压执行元件的选用、安装与调试	(49)
任务 3.1 液压缸的选用、安装与调试	(49)
任务 3.2 液压马达的使用与维护	(67)
【练习与思考 3】	(75)
项目 4 液压控制元件的选用与控制回路的组装	(78)
任务 4.1 方向控制元件的选用与控制回路的组装	(78)
任务 4.2 压力控制元件的选用与控制回路的组装	(92)
任务 4.3 流量控制元件的选用与速度控制回路的组装	(116)
【练习与思考 4】	(129)
项目 5 液压系统多缸控制回路的分析与组装	(137)
任务 5.1 自动车床多缸控制回路的分析	(137)
任务 5.2 多缸顺序专用铣床控制回路的分析	(155)
【练习与思考 5】	(157)
项目 6 典型机械液压传动系统的分析	(159)
任务 6.1 机械手液压系统的分析	(159)
任务 6.2 组合机床动力滑台液压系统的分析	(165)
任务 6.3 注塑机液压系统的分析	(168)
任务 6.4 数控车床液压系统的分析	(174)
任务 6.5 万能外圆磨床液压系统的分析	(176)
任务 6.6 汽车起重机液压系统的分析	(180)
【练习与思考 6】	(183)
项目 7 液压传动系统的使用与维护	(187)
任务 7.1 液压传动系统故障的诊断与排除	(187)
任务 7.2 液压元件的使用与维护	(194)
【练习与思考 7】	(210)

项目 8 气压传动元件的选用与基本回路的组装	(211)
任务 8.1 气源装置的认识与执行元件的选用	(211)
任务 8.2 气动方向控制阀的选择与换向回路的组装	(244)
任务 8.3 气动压力控制元件的选择与回路组装	(263)
任务 8.4 气动流量控制元件的选择与速度回路的组装	(269)
任务 8.5 其他回路的组装	(275)
【练习与思考 8】	(284)
项目 9 气压传动应用分析	(287)
任务 9.1 折弯机气动系统的分析	(287)
任务 9.2 通用机械手气动控制系统的分析	(292)
任务 9.3 制动气缸气压系统的分析	(295)
任务 9.4 震压造型气动系统的分析	(297)
任务 9.5 气动张力控制系统的分析	(299)
【练习与思考 9】	(302)
项目 10 气动系统的维护与使用	(305)
任务 10.1 气压传动系统的安装与调试	(305)
任务 10.2 气动系统的使用与维护	(307)
【练习与思考 10】	(312)
附录 常见液压与气动元件图形符号(GB/T 786.1—2009)	(313)
参考文献	(321)

项目 1 液压传动系统的概述

【学习导航】

教学目标:以分析典型机械设备的工作原理为基础,掌握液压传动系统的基本原理和工作性能,液压传动系统的基本特征和主要参数,液压传动系统的组成以及液压技术的应用领域。

教学指导:教师选择典型设备,现场组织教学,引导学生掌握液压传动系统的主要功能;学生观摩机械设备的工作情况,分析和理解液压传动系统的基本组成及各部分的作用。

任务 1.1 平面磨床工作台液压传动系统

【学习要求】

掌握液压传动系统的工作原理、基本特征;能从外观上辨析液压传动系统中应用各类液压元件,分析其组成及各部分的作用;培养善于观察、思考的良好习惯。

【任务描述】 精密卧轴矩台平面磨床系统。

图 1-1 所示为精密卧轴矩台平面磨床。该机床主要用于磨削平面及端面,还可磨削工件的槽和凸缘的侧面,广泛用于各种金属精密零件的加工。

精密卧轴矩台平面磨床的工作原理如图 1-2 所示。工件由矩形电磁工作台吸住或夹持在工作台上,砂轮由装在磨头壳体内的电动机直接驱动旋转,完成主运动;工作台沿床身的纵向导轨由液压传动系统实现直线往复运动,完成纵向进给;砂轮架沿滑座的燕尾导轨作横向间歇进给运动,滑座可沿立柱的导轨作垂直间歇进给运动,用砂轮周边磨削工件。那么液压传动系统是怎样实现精密卧轴矩台平面磨床工作台纵向往复运动的呢?什么是液压传动系统?液压传动的系统结构及工作原理是什么?这就是本任务所要学习和掌握的。

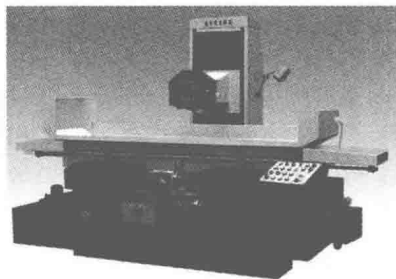


图 1-1 精密卧轴矩台平面磨床

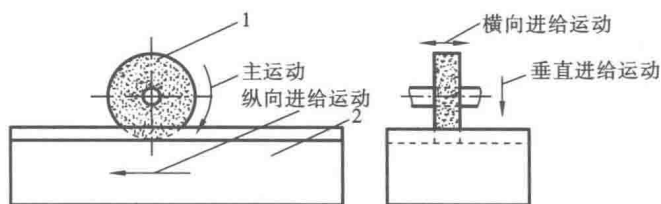


图 1-2 精密卧轴矩台平面磨床的工作原理

1—砂轮;2—工作台

【知识储备】

1.1.1 液压传动系统的工作原理

在日常使用的维修工具中,液压千斤顶是一个较为完整的液压传动装置。图 1-3 所示为

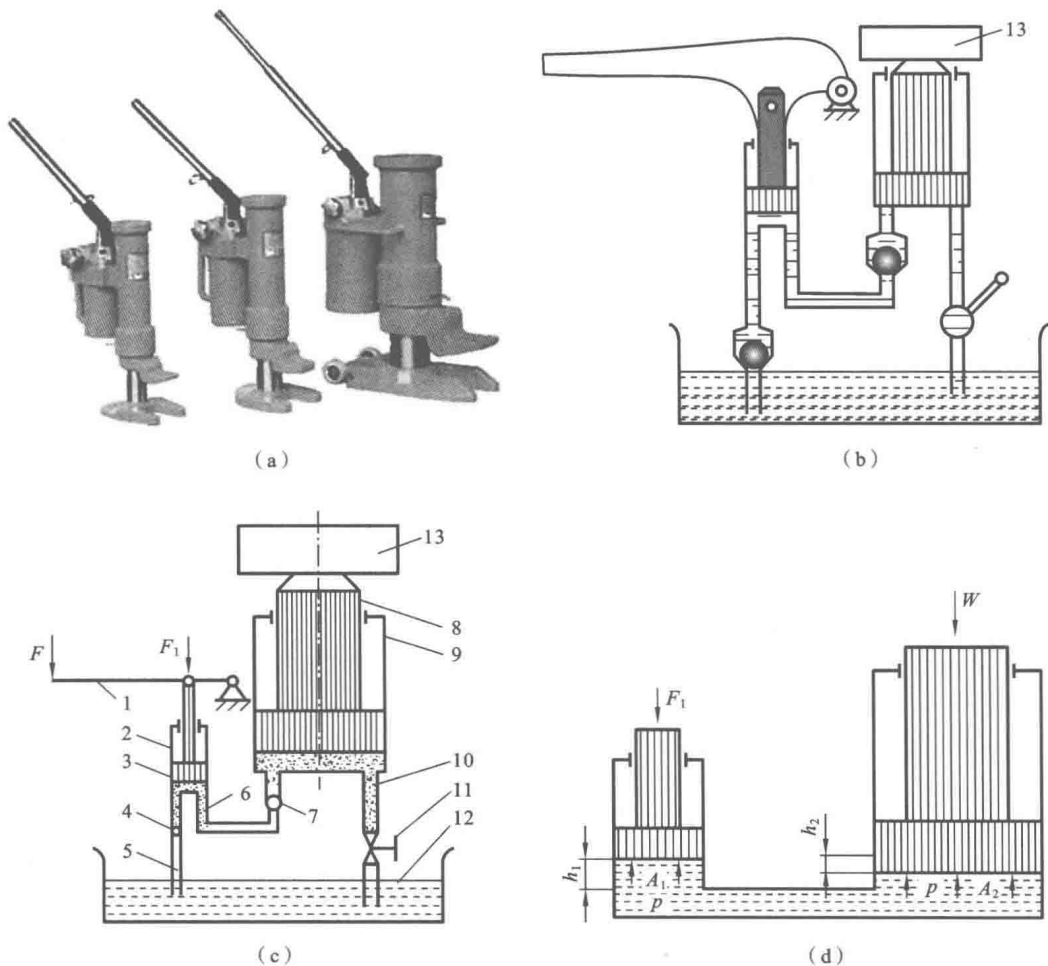


图 1-3 手动液压式千斤顶

(a) 实物; (b) 结构; (c) 工作原理; (d) 简化模型

1—杠杆手柄; 2—小油缸; 3—小活塞; 4, 7—单向阀; 5—油管;

6, 10—管道; 8—大活塞; 9—大油缸; 11—截止阀; 12—油箱; 13—重物

手动液压式千斤顶。

现以图 1-3 所示的手动液压式千斤顶为例,说明液压传动系统的工作原理。如图 1-3(c) 所示,大油缸和大活塞组成大活塞总成(举升液压缸);杠杆手柄、小油缸、小活塞、单向阀(4 和 7)组成小活塞总成(手动液压泵)。提起杠杆手柄,使小活塞向上移动,小活塞下端油腔容积增大,形成局部真空,这时单向阀(4)打开,通过吸油管从油箱中吸油;用力压下手柄,小活塞下移,小活塞下腔压力升高,单向阀(4)关闭,单向阀(7)打开,下腔的油液经管道(6)输入大油缸(举升液压缸)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(7)自动关闭,使油液不能倒流,从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动杠杆手柄,就能不断地把油液压入大油缸下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀,大油缸下腔的油液通过管道(10)、截止阀流回油箱,重物就向下移动。这就是手动液压式千斤顶的工作原理。

由手动液压式千斤顶的工作过程可知:手动液压泵和单向阀(4 和 7)一起完成吸油和压油的过程,将杠杆的机械能转换成油液的压力能输出,举升液压缸将油液的压力能转换为机械能



输出,顶起重物。上述液压元件组成了一个最简单的液压系统,实现了动力的传递。

可见,以流体作为工作介质的液压传动是一种以密封容积中的受压油液为介质,对能量进行传递和控制的传动形式。它们先将机械能转换成压力能,然后通过各种液压元件组成的控制回路来实现能量的调控,最终再将压力能转换成机械能,使执行机构实现预定的功能,按照预定的程序完成相应的动力和运动的输出。

1.1.2 液压传动系统的基本特征

图1-3(d)所示为手动液压式千斤顶的简化模型,由此可以分析大、小两个活塞之间的力的比例关系、运动关系和功率关系。

1. 压力取决于负载

当大活塞上有重物负载 W 时,大活塞下腔的油液将产生一定的压力 p ,压力的大小与外界负载的大小及作用面积 A 有关,即

$$p = \frac{W}{A_2} \quad (1-1)$$

根据帕斯卡原理,“在密闭容器中的静止液体,由外力作用产生的压力可以等值地传递到液体各点”,因此要顶起大活塞及其重物负载 W ,小活塞下腔就必须产生一个等值的压力 p ,也就是说小活塞上必须施加力 F_1 ,且 $F_1 = pA_1$,因而有

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

或

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

式中: p ——油液压力,Pa;

A_1 、 A_2 ——小活塞、大活塞的作用面积, m^2 ;

F_1 ——杠杆手柄作用在小活塞上的力,N。

由式(1-1)可见,油液压力的大小将随外界负载的变化而变化,压力取决于负载,与流体的多少无关,这是液压传动中一个重要概念。

2. 压力的传递

式(1-2)是液压传动中力传递的基本公式。当 $A_2 = A_1$ 时,有 $W = F_1$,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,由此可以实现力的放大。手动液压式千斤顶就是利用了这个原理。

3. 速度的传递

若不考虑液体的可压缩性,手动液压泵排出的液体体积应等于进入举升液压缸的液体体积。由图1-3(d)可以看出

$$A_1 h_1 = A_2 h_2 \quad (1-3)$$

或

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_1}{A_2}$$

式中: h_1 、 h_2 ——小活塞下行、大活塞上行的位移,mm。

将式(1-3)两端同除以活塞移动的时间 t ,得

$$\frac{A_1 h_1}{t} = \frac{A_2 h_2}{t}$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1-4)$$

或

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2}$$

式中: v_1 、 v_2 ——小活塞、大活塞的平均运动速度, m/s。

又 Ah/t 的物理意义是单位时间内流体流过截面积为 A 的某一截面的体积, 称为流量 q , 即

$$q = Av$$

若已知进入液压缸的流量为 q , 则活塞的运动速度为

$$v = q/A \quad (1-5)$$

从式(1-5)可知, 调节进入液压缸的流量, 即可调节活塞的运动速度, 这就是液压传动能实现无级调速的基本原理。活塞的运动速度取决于进入液压缸的流量, 而与液体压力大小无关。这是液压传动又一重要的基本概念。

4. 功率关系

由式

$$W/F_1 = A_2/A_1$$

$$v_2/v_1 = A_1/A_2$$

可得

$$F_1 v_1 = W v_2 \quad (1-6)$$

式(1-6)左端为输入功率, 右端为输出功率, 在不计损失的情况下输入功率等于输出功率。

从以上分析可得出第三个重要概念: 液压传动是以流体的压力能来传递动力的。

由式(1-2)、式(1-6)还可以得出

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = pq \quad (1-7)$$

式中: P ——液压传动功率。

即液压传动功率 P 可以用压力 p 和流量 q 的乘积表示, 压力 p 和流量 q 是流体传动中最基本、最重要的两个参数, 它们相当于机械传动中的力和速度, 它们的乘积即为功率 P 。

1.1.3 液压传动系统的基本理论

1. 液体静压力

静止液体在单位面积上所受的力称为静压力。静压力在液压传动中简称压力, 在物理学中则称为压强。

静止液体中某点处的微小面积 ΔA 上作用有法向力 ΔF , 则该点的压力为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-8)$$

若法向作用力 F 均匀地作用在面积 A 上, 则压力可表示为

$$p = F/A \quad (1-9)$$

液体静压力有如下两个重要特性。

(1) 液体静压力垂直于承压面, 其方向和该面的内法线方向一致。这是由于液体质点间的内聚力很小, 不能受拉只能受压所致。

(2) 静止液体内任一点所受到的静压力在各个方向上都相等。如果某点受到的压力在某个方向上不相等, 那么液体就会流动, 这就违背了液体静止的条件。



2. 液体静压力的基本方程

静止液体内部受力情况如图1-4所示。设容器中装满液体,在任意一点A处取一微小面积 dA ,该点距液面深度为 h ,距坐标原点高度为 Z ,容器液平面距坐标原点高度为 Z_0 。根据静压力的特性,作用于这个液柱上的力在各方向都呈平衡,现求各作用力在 Z 方向上的平衡方程。

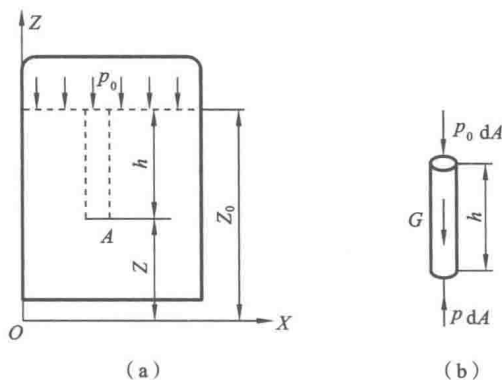


图1-4 静止液体内部受力情况

平衡方程为

$$\begin{aligned} p dA &= p_0 dA + \rho g h dA \\ p &= p_0 + \rho g h \end{aligned} \quad (1-10)$$

式中: ρ ——液体密度;

g ——重力加速度。

式(1-10)为液体静力学基本方程,有如下几个特点。

- (1) 静止液体内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 $\rho g h$ 。
- (2) 液体中的静压力随着深度 h 的增加而线性增加。
- (3) 在连通器里,静止液体中只要深度 h 相同,其压力就相等。压力相等的所有点组成的面为等压面。在重力作用下,静止液体的等压面为一水平面。

3. 压力表示方法及单位

压力表示方法有两种,一种是以绝对真空作为基准所表示的压力,称为绝对压力;另一种是以大气压力作为基准所表示的压力,称为相对压力。由于大多数测压仪器所测的压力都是相对压力,故相对压力也称表压力。绝对压力与相对压力之间的关系为

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

液体压力通常有绝对压力、相对压力(表压力)、真空度三种表示方法。因为在地球表面上,一切物体都受大气压力的作用,而且是自成平衡的,即大多数测压仪表在大气压力下并不动作,这时它所表示的压力值为零,因此,它们测出的压力是高于大气压力的那部分压力。也就是说,它是相对于大气压力(即以大气压力为基准零值)所测量到的一种压力,因此称它为相对压力或表压力。另一种是以绝对真空为基准零值所测得的压力,我们称它为绝对压力。当绝对压力低于大气压力时,习惯上称为出现真空。因此,某点的绝对压力比大气压力小的那部分数值称为该点的真空度。如果液体中某点处的绝对压力小于大气压

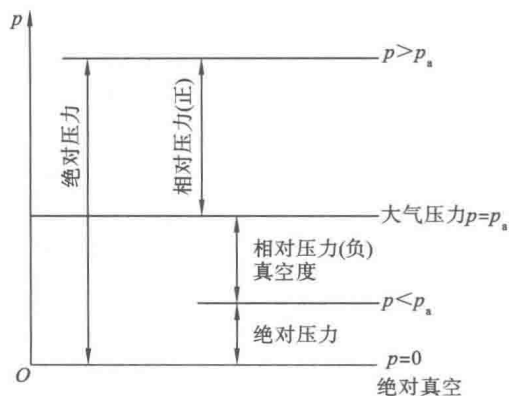


图 1-5 绝对压力、相对压力和真空度的关系

力,那么在这个点上的绝对压力比大气压力小的那部分值称为真空度,如图 1-5 所示。

真空度与绝对压力的关系如下。

真空度 = 大气压力 - 绝对压力

我国法定压力计量单位为帕斯卡,符号为 Pa, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。由于此单位很小,工程上使用不便,习惯用倍数单位兆帕,符号为 MPa (N/mm^2)。在液压技术中还习惯使用巴 (bar) 作为压力单位 ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ N/cm}^2 = 1 \text{ kgf/cm}^2$),各单位关系为 $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10 \text{ bar}$ 。

4. 理想液体与恒定流动

1) 理想液体

既无黏性,又不可压缩的液体称为理想液体。由于液体具有黏性,并在流动时表现出来,因此研究流动液体,就要考虑其黏性的影响,而液体的黏性阻力是一个很复杂的问题,这就使流动液体的研究变得更为复杂。为方便分析和设计问题,在此引入理想液体的概念,而把既具有黏性又可压缩的液体称为实际液体。

2) 恒定流动

如果空间上的运动参数 p 、 v 以及 ρ 在不同的时间内都有确定的值,即它们只随空间点坐标的变化而变化,不随时间 t 变化,将液体的这种运动称为定常流动或恒定流动。

在流体的运动参数中,只要有一个运动参数随时间而变化,液体的运动就是非定常流动或非恒定流动。

5. 流量和平均流速

1) 流量

单位时间内通过通流截面的液体体积称为流量,用 q 表示,流量的常用单位为 L/min 。对微小流束,由于通流截面积很小,可以认为通流截面上各点的流速 v 是相等的,所以通过该截面积 dA 的流量为 $dq = v dA$,对此式进行积分,得到的整个通流截面积 A 上的流量为

$$q = \int_A v dA = vA$$

2) 平均流速

截面上各点的流速 v 的分布规律较复杂,工程计算时一般不按积分方式计算流量,而采用平均流速的概念,假定整个通流截面积 A 上的流速是均匀分布的,则平均流速 v 为

$$v = q/A \quad (1-11)$$

6. 连续性方程

质量守恒是自然界的客观规律,不可压缩液体的流动过程也遵守质量守恒定律。在流体力学中,这个规律是用连续性方程的数学形式来表达的。

对恒定流动而言,液体通过流管内任一截面的液体质量必然相等。如图 1-6 所示,管内两个流通截面面积分别为 A_1 和 A_2 ,流速分别为 v_1 和 v_2 ,则通过任一截面的流量 q 为

$$q = Av = A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{常数} \quad (1-12)$$

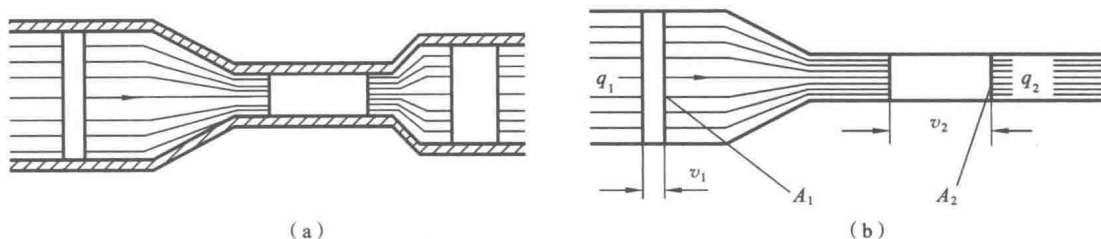


图 1-6 管路中液体的流量对各截面而言皆相等

流量的单位通常用 L/min 表示,与 m^3/s 换算如下。

$$1 \text{ L} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 6 \times 10^4 \text{ L/min}$$

式(1-12)即为连续性方程,表明液体运动速度取决于流量,与液体的压力无关。

7. 伯努利方程

能量守恒是自然界的客观规律,流动液体也遵守能量守恒定律,这个规律是用伯努利方程来表达的。对于理想液体的恒定流动,根据能量守恒定律,同一管道任意截面上的总能量都应相等。流动液体在理想状态下有以下三种能量形式。

- (1) 单位重量液体的压力能(也称为压力水头,量纲单位为 m), $p/\rho g$;
- (2) 单位重量液体的势能(也称为位置水头,量纲单位为 m), $mgz/mg = z$;
- (3) 单位重量液体的动能(也称为速度水头,量纲单位为 m), $1/2mv^2/mg = v^2/2g$ 。

根据能量守恒定律,各截面的三者之和等于常数(量纲单位为 m,也称为总水头)。即

$$\frac{p}{\rho g} + z + \frac{v^2}{2g} = C(\text{常数}) \quad (1-13)$$

如图 1-7 所示,在恒定流动的管道中任取一段液体 1—1 至 2—2 为研究对象,设液体两截面 A_1 和 A_2 的中心到基准面 0—0 的高度分别为 z_1 、 z_2 ,平均流速分别为 v_1 、 v_2 ,压力分别为 p_1 、 p_2 。当液体为理想液体且做恒定流动时,则有

$$p_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (1-14)$$

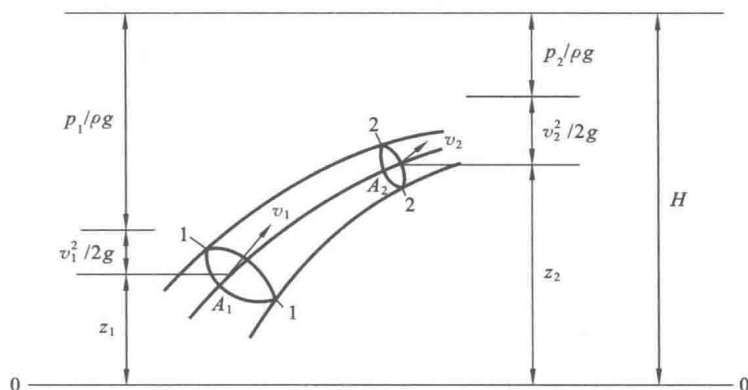


图 1-7 伯努利方程各参量示意图

式(1-13)和式(1-14)就是流体力学中应用广泛的伯努利方程。其物理意义:在密闭管道内做恒定流动的理想液体在任意一个通流截面上具有三种形式的能量,即压力能、势能和动

能。三种能量的总和是一个恒定的常量,而且三种能量之间可以相互转换。

实际液体在管路中流动时,由于液体存在黏性,会产生摩擦力,并消耗能量,同时管道局部形状和尺寸的变化也会消耗能量。因此,当液体流动时,液体的总能量在不断地减少。另外,由于实际液体在管道中流动时的流速分布是不均匀的,因而,实际液体的伯努利方程为

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \Delta p_w \quad (1-15)$$

式中: Δp_w ——单位体积液体在两截面中流动时的能量损失;

α ——动能修正系数,紊流时 α 取1,层流时 α 取2。

8. 液压管路的压力损失和流量损失

1) 压力损失

液压管路的压力损失包括沿程压力损失和局部压力损失。

沿程压力损失是当液体在直径不变的直管中流过一段距离时,因摩擦而产生的压力损失。局部压力损失是由于管子截面形状突然变化、液体方向改变或由其他形式的液体阻力而引起的压力损失。总的压力损失等于沿程压力损失与局部压力损失之和。

由于零件结构(尺寸的偏差与表面粗糙度)不同,因此,要准确地计算出总的压力损失的数值是比较困难的,但压力损失又是液压传动中一个必须考虑的因素,它关系到确定系统所需的供油压力和系统工作时的温升,所以,生产实践中也希望压力损失尽可能小些。

由于压力损失的必然存在,因此,泵的额定压力要略大于系统工作时所需的最大工作压力。一般可将系统工作所需的最大工作压力乘以一个1.3~1.5的系数来估算。

2) 流量损失

在液压系统中,各液压元件都有相对运动的表面,如液压缸内表面和活塞外表面。因为要有相对运动,所以它们之间有一定的间隙,如果间隙的一边为高压油,另一边为低压油,那么高压区的油就会经间隙流向低压区,从而造成泄漏。同时,由于液压元件密封不完善,一部分油液也会向外部泄漏。这种泄漏会造成实际流量的减少,这就是我们所说的流量损失。

流量损失影响运动速度,而泄漏又难以绝对避免,所以在液压系统中泵的额定流量要略大于系统工作时所需的最大流量。通常也可以用系统工作所需的最大流量乘以一个1.1~1.3的系数来估算。

【任务实施】 平面磨床工作台液压传动系统的认知。

1. 平面磨床工作台液压传动系统的功能分析

图1-8所示为平面磨床工作台液压传动系统的工作原理。

1) 平面磨床工作台液压系统的工作原理

液压泵在电动机(图中未画出)的带动下旋转,油液由油箱经过滤器被吸入液压泵,然后压力油通过节流阀和换向阀,控制工作台的移动方向。液压泵输出的压力油除了进入节流阀以外,其余的经由溢流阀流回油箱。

工作台的移动速度是由节流阀来调节的,当节流阀开度增大时,进入液压缸的油液增多,工作台的移动速度增大;当节流阀关小时,工作台的移动速度减小。因而,节流阀的主要功能是控制进入液压缸的流量,从而控制液压缸活塞的运动速度。

液压缸推动工作台移动时必须克服液压缸所受到的各种阻力(如切削阻力、摩擦阻力等),因而液压缸必须产生一个足够大的推力,这个推力是由液压缸中的油液压力产生的。要克服