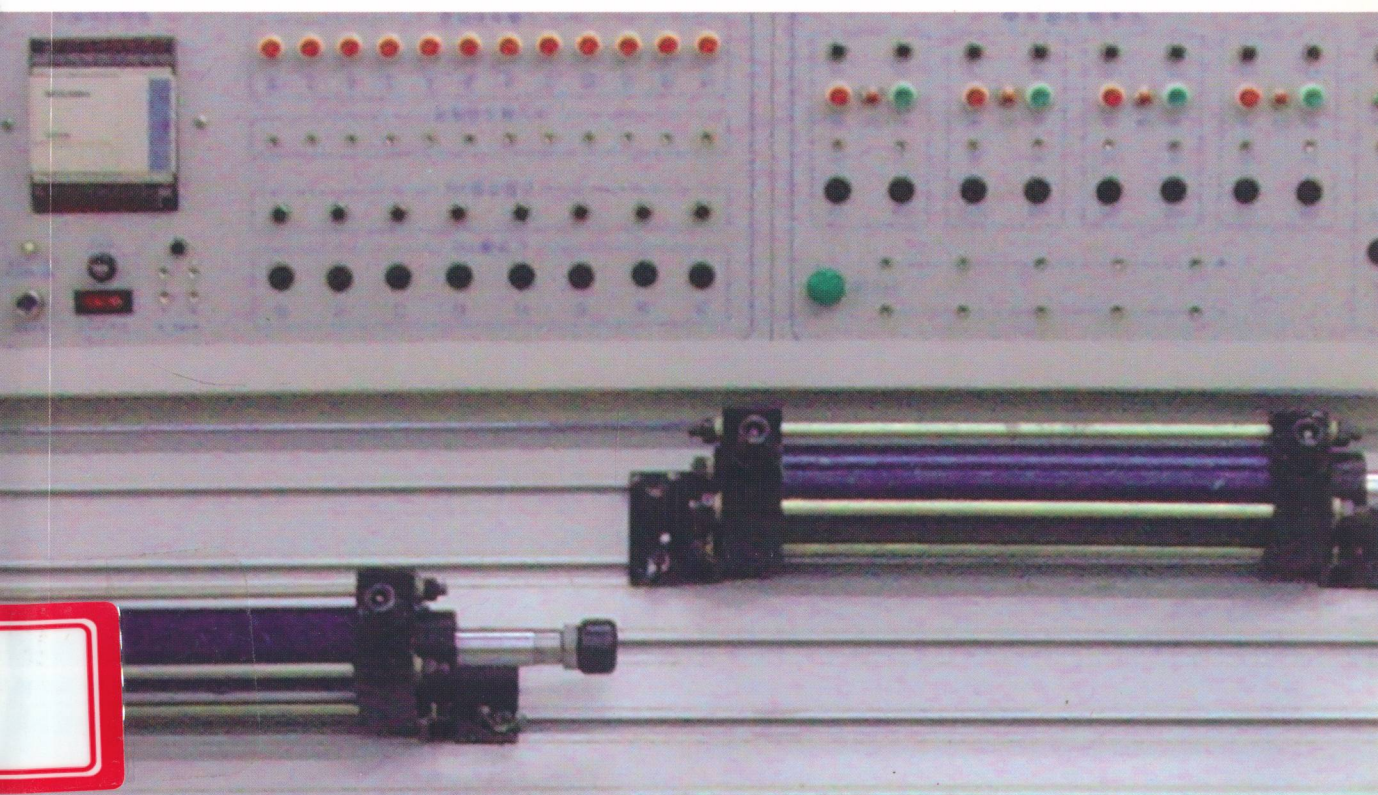


高职高专系列教材

GZ

一体化液压 与气压传动技术

李绍华 陈福恒 程 刚 主编



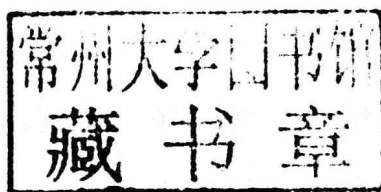
山东大学出版社

高职高专系列教材

一体化液压与气压传动技术

主 编 李绍华 陈福恒 程 刚

副主编 胡德文 孙永华 丁明伟 赵训茶



山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

一体化液压与气压传动技术/李绍华,陈福恒,程刚主编. —济南:
山东大学出版社,2011.9

ISBN 978-7-5607-4485-8

I. ①—…

II. ①李… ②陈… ③程…

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 197998 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 20 号 邮政编码:250100)

山东省新华书店经销

济南景升印业有限公司印刷

787×1092 毫米 1/16 20 印张 461 千字

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

定价:33.00 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

高职高专系列教材

编委会成员名单

主 任 邢宪学

委 员 (按姓氏笔画为序)

马克杰	王元恒	刘德增	牟善德
孙庆珠	杨忠斌	张卫华	张启山
张保卫	周 峥	柳耀福	郝宪孝
荀方杰	侯印浩	徐 冬	高焕喜
常立学	温金祥		

出版说明

江泽民同志在党的十六大报告中指出：“教育是发展科学技术和培养人才的基础，在现代化建设中具有先导性全局性作用，必须摆在优先发展的战略地位。……加强职业教育和培训，发展继续教育，构建终身教育体系。”职业教育作为我国教育事业的一个重要的组成部分，改革开放以来，尤其是近年来获得了长足发展。据不完全统计，目前全国各类高等职业学校有近千所，仅山东省就有五十多所，为国家和地方培养了一大批高素质的劳动者和专门人才。与此相适应，教材建设也硕果累累，各出版社先后推出了多部具有高职特色的高职高专教材。但总体上看，与迅猛发展的高职教育相比，教材的出版相对滞后，这不仅表现在教材品种相对较少，更表现在内容的针对性不强，某些方面与高职的专业设置、培养目标相去甚远。同时，地方性、区域性的高职教材也稍嫌不足。以山东省为例，作为一个经济强省、人口大省、教育大省，迄今为止，居然没有一套统编的，与山东省社会、经济、文化发展相适应的高职教材，严重地制约了我省高职高专教育的发展。

有鉴于此，我们在山东省教育厅的领导与支持下，依据教育部《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》，并结合我省高职院校及专业设置的特点，组织省内二十余所高职院校长期从事高职高专教学和研究的专家、教授，编写了这套“高职高专系列教材”。该教材充分借鉴近年来国内高职高专院校教材建设的最新成果，认真总结和汲取省内高职院校和成人高校在教育、培养新时期技术应用性专门人才方面所取得的成功经验，以适应高职院校教学改革的需要为目标，重点突出实用性、针对性，力求从内容到形式都有一定的突破和创新。本系列教材拟分批出版一百余种。出齐后，将涵盖山东省高职高专教育的基础课程和主干课程。

编写这套教材，在我们是一次粗浅的尝试，也是一次学习、探索和提高的机会。由于我们水平有限，加之编写时间仓促，本教材无论在内容还是形式上都难免会存在这样那样的缺憾或不足，敬请专家和读者批评指正。

高职高专系列教材编写委员会
2011年7月

前 言

本书是顺应全国高职教育的发展,结合山东省经济发展和制造业需求,总结山东劳动职业技术学院五十多年的办学经验,在山东省教育厅科研课题研究成果的基础上开发的理论与实训融为一体的系列教材中的一本。

近年来,陈福恒承担了山东省教育厅《模块化理论在机械设计与制造专业的应用研究》和《“教学做”模式下一体化教材建设研究》两个研究项目,研究成果打破了原有高职教育以理论教学为主、实训教学为辅的职业教育模式,改革创新为以实训教学为主、理论教学为实训服务的新模式。按照国家职业标准,以技能训练为核心、理论知识够用为度作为人才培养的目标定位。打破原有的课程体系,将理论知识按照需要融入实训(技能训练)课题中,建立起以技能训练内容为主线、技能训练课题为基本单元的一体化课题模块,课题模块按照需要组合成模块课程,形成全新的一体化课程体系。由一体化教师(教师团队)在一体化教学场地完成一体化教学任务,通过适合职业需求的考核评价指标体系考核效果,从而形成了全新的理论实训一体化教学模式。顺应了社会岗位需求,突出了职业能力、应用能力、动手能力的培养。

本书涵盖了本专业培养目标要求的全部内容,从液压与气压传动技术应用的实际需要出发,以学院液压与气动实验台、M1432 外圆磨床及其他典型设备为载体,全面介绍了液压与气压传动技术的工作原理、结构组成与特点、回路组装实践、应用实例分析、系统日常维护和故障处理,形成全新的理论实训一体化模块课程体系,突破了机械类专业一体化教学的瓶颈。

本书是机械设计与制造专业的一门核心课程,在编写过程中,贯彻少而精和理论实训一体的原则,强调针对性和实用性。本书具有如下特点:

(1)教材结构“模块化”。一个模块一个知识点或一个回路,重点突出,主题鲜明。模块化课程结构以其良好的弹性和便于综合的特点适应了职业教育的多种需求。

(2)教材内容与教学规律相统一。本书在内容安排上贯彻了先感性后理性、从宏观到微观的原则。在学习各元件结构之前,首先介绍与该元件应用有关的典型回路或系统,及其在回路中的安装位置、作用,然后重点介绍元件的结构原理及其在回路中的应用,使元

件与系统有机结合起来。

(3)教材结构符合学生认知规律。本书在结构上采用任务驱动形式,课题以回路设计为主线,围绕典型回路展开,由浅入深,循序渐进。

(4)教材体系与生产实践相统一。本书有针对性地对典型液压设备的工作原理、调试、故障诊断和分析进行了详细的阐述,还着重介绍基本原理在现代工业技术上的应用,以典型的数控机床、加工中心为例,力求反映我国液压与气压行业的最新情况。

(5)在全面阐述液压与气压传动基本内容的基础上,所举实例均为当前各行业主流、成熟的实用技术,同时兼顾先进性和前瞻性,注意反映我国在液压与气压传动技术上的新进展。

本书可供高职高专机械制造类、交通运输类、电力技术类、建筑设备类、水利水电设备类专业使用,也可作为技工院校技师、在职职工培训等技术工人学习液压与气压传动理论和实训一体化的教材。

本书由山东劳动职业技术学院组织编写。李绍华、陈福恒、程刚任主编,胡德文、孙永华、丁明伟、赵训茶任副主编,参加编写的还有赵训茶。具体的编写分工是:模块一由陈福恒编写;模块二由丁明伟和陈福恒编写;模块三、九、十二、附录由李绍华编写;模块四由胡德文和程刚编写;模块五由赵训茶编写;模块十实训部分和模块六由胡德文编写;模块七由丁明伟编写;模块十理论部分和模块八、十一由孙永华编写。

本书在编写过程中得到薛彦登副教授、济南柴油机有限责任公司王其工程师的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者
2011年7月

目 录

模块一 液压传动基础知识.....	(1)
课题一 认知液压传动工作原理与组成.....	(1)
课题二 液体静力学性能——帕斯卡原理	(13)
课题三 液体动力学性能	(17)
模块二 方向控制回路	(26)
课题一 换向回路	(26)
课题二 电液换向阀控制的换向回路	(45)
课题三 机动换向回路	(58)
课题四 锁紧回路	(70)
模块三 压力控制回路	(81)
课题一 单级调压回路	(81)
课题二 二级及多级调压回路	(88)
课题三 减压回路	(95)
课题四 卸荷回路.....	(102)
课题五 保压回路.....	(106)
课题六 平衡回路和释压回路(补充理论).....	(121)
模块四 速度控制回路.....	(128)
课题一 调速回路.....	(128)
课题二 快速运动回路.....	(155)
课题三 速度换接回路.....	(161)
模块五 新型液压元件所组成的回路.....	(169)
课题一 比例溢流阀的调压回路.....	(169)
课题二 叠加阀回路.....	(173)

课题三 插装阀回路·····	(178)
模块六 多缸动作回路·····	(184)
课题一 顺序动作回路·····	(184)
课题二 同步及互不干扰动作回路·····	(192)
模块七 液压传动系统应用实例·····	(199)
课题一 YT4543 型动力滑台液压系统·····	(199)
课题二 MJ-50 型数控车床液压系统·····	(203)
课题三 压力机液压系统·····	(205)
课题四 M1432 型万能外圆磨床液压系统·····	(208)
模块八 液压系统使用、维护、故障排除·····	(216)
课题一 液压系统安装、调试和维护·····	(216)
课题二 液压系统的故障分析及排除方法·····	(222)
模块九 气压传动基础知识·····	(241)
课题一 认知气压传动工作原理与组成·····	(241)
模块十 气动基本回路·····	(253)
课题一 方向控制回路·····	(253)
课题二 压力控制回路·····	(269)
课题三 速度控制回路·····	(274)
课题四 其他常用控制回路·····	(281)
模块十一 气动传动应用实例·····	(288)
课题一 气动夹紧系统回路·····	(288)
课题二 门户开闭装置·····	(289)
课题三 数控加工中心气动换刀系统回路·····	(291)
模块十二 气动系统安装、调试、使用与维护·····	(294)
课题一 气动系统安装、调试、使用与维护·····	(294)
课题二 气动系统常见故障诊断及维修·····	(297)
附 录 常用液压与气压元件图形符号·····	(303)
参考文献·····	(311)

模块一 液压传动基础知识

课题一 认知液压传动工作原理与组成

目标任务

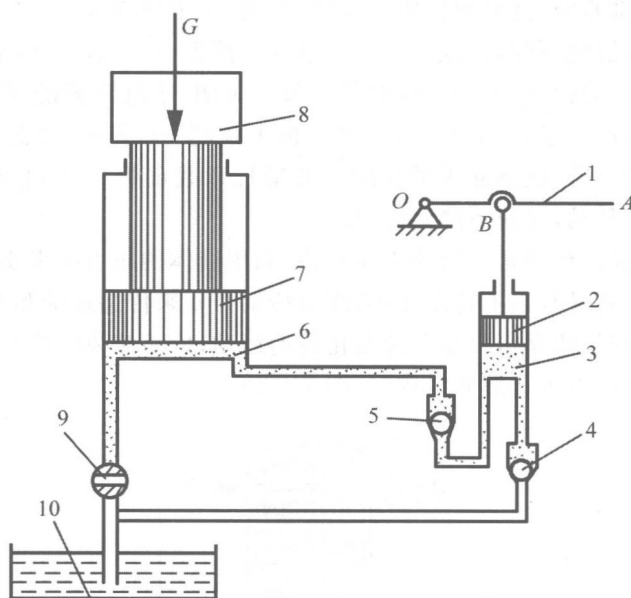


图 1-1-1 液压千斤顶

1—杠杆 2—小活塞 3、6—液压缸 4、5—单向阀 7—大活塞 8—重物 9—截止阀 10—油箱

目标及要求

- (1) 参观液压实训室和典型应用设备,掌握液压传动的工作原理与组成。
- (2) 掌握液压传动的优缺点。
- (3) 了解液压传动的应用与发展。

(4)掌握液压油的性质与种类,会选用液压油。

授课 No. 1——液压传动工作原理与组成

一部功能完整的机器设备一般由动力装置、传动装置、执行装置和控制装置组成。传动装置有机械传动、电力传动、液体传动(液压传动和液力传动)和气压传动等形式。液压与气压传动是以流体(液体和气体统称为流体)作为工作介质,利用压力能进行能量传递和控制的传动技术。

一、液压传动的工作原理与组成

液压系统以液体为工作介质,而气动系统是以气体为工作介质。两种工作介质的不同在于液体几乎不可压缩,而气体却具有明显的可压缩性。液压与气压传动在基本工作原理、元件的结构及回路的组成等方面是极为相似的。以图 1-1-1 所示的液压千斤顶为例来介绍液压传动的工作原理。

液压缸 3 和 6 的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,而且配合面之间又能实现可靠的密封。当向上抬起杠杆 1 时,小活塞 2 向上运动,小缸 3 下腔容积增大,形成局部真空,此时单向阀 5 关闭,油箱 10 中的油液在大气压的作用下通过单向阀 4 进入小液压缸的下腔,完成一次吸油过程。接着,压下杠杆 1,小活塞 2 向下移动,小缸下腔容积减小,腔内压力升高,这时单向阀 4 关闭,小缸下腔的压力油就打开单向阀 5 挤入到大缸 6 的下腔,推动大活塞将重物 8 向上顶起一段距离,如此反复地提压杠杆 1,就可以使重物不断上升,达到起重的目的。如果打开截止阀 9,大缸下腔通油箱,大活塞在自重作用下向下移动,迅速下降到原位。

由上例可见,液压传动是以液体工作介质,利用液体的压力能来实现运动和力的传递的一种运动方式。它具有以下特点:以液体为传动介质来传递运动和动力;液压传动必须在密闭的容器内进行;依靠密封容积的变化传递运动;依靠液体的静压力传递动力。

液压传动装置由以下几部分组成(见图 1-1-2):

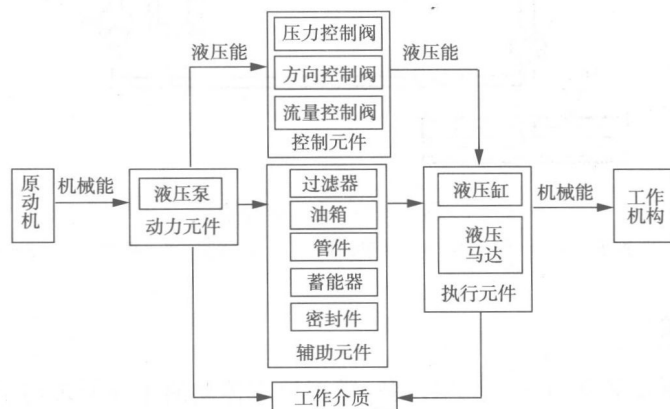


图 1-1-2 液压系统的组成

动力元件。将原动机输出的机械能转换成工作流体的压力能的装置,如液压泵。

执行元件。将工作流体的压力能重新转变为机械能,推动负载往复直线运动或回转运动的装置,如液压缸、液压马达等。

控制元件。调控液压系统中工作流体的压力、流量、方向的装置,不做能量的转换,如压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等。

辅助元件。上述三种元件之外,保证系统正常工作必不可少的其他元件,在系统中起到输送、储存、加热、冷却、过滤和测量等作用,它们对保证液压系统工作的可靠、稳定起着重大的作用。如管接头、油管、油箱、过滤器、蓄能器、压力表等。

工作介质。传递能量的流体——液压油,它直接影响液压系统的性能和可靠性。

二、液压传动的标准图形符号

如图 1-1-1 所示的液压千斤顶的工作原理图为结构原理图,其中的元件用结构(或半结构)式的图形来表示,直观且容易理解。实际生产应用中的液压系统图的图形较复杂,绘制也较困难。为了简化液压系统的表示方法,往往将结构(或半结构)式的图形简化,采用标准图形符号来绘制液压系统工作原理图。标准图形符号脱离了元件的具体结构,只表示元件的功能、控制方法及外部连接,方便阅读、分析、设计和绘制。我国制定了液压与气动图形符号标准 GB/T 786.1-1993 就属于职能符号,如图 1-1-3 所示为液压千斤顶的职能符号图。

当有些特殊或专用的元件无法用标准图形表达时,仍可使用结构示意图。

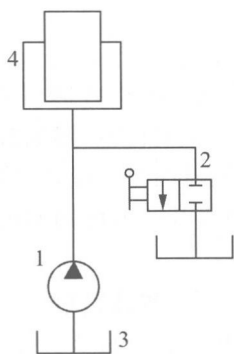


图 1-1-3 液压千斤顶的工作原理图(职能符号)

1—液压泵 2—换向阀 3—油箱 4—柱塞缸

三、液压传动的特点

(一) 优点

(1) 由于液压传动是油管连接,所以借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构,这是比机械传动优越的地方。

(2) 可在大范围内实现无级调速。

(3) 液压传动装置重量轻、结构紧凑、惯性小。

(4)传递运动均匀平稳,负载变化时速度较稳定。

(5)液压传动容易实现自动化。借助于各种控制阀,特别是采用液压控制和电气控制结合使用时,能很容易地实现复杂的自动工作循环,而且可以实现遥控。

(6)液压装置易于实现过载保护。借助于设置溢流阀等实现过载安全保护,同时液压件能自行润滑,因此使用寿命长。

(7)液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

(二)缺点

(1)液压传动是以液压油为工作介质,在相对运动表面间不可避免地存在漏油等因素,同时油液又不是绝对不可压缩的,因此使得液压传动不能保证严格的传动比,因而液压传动不宜应用在传动比要求严格的场合。

(2)为了减少泄漏,以及为了满足某些性能上的要求,液压元件的配合件制造精度要求较高,加工工艺较复杂。

(3)液压传动对油温的变化比较敏感,温度变化时,液体黏性变化,引起运动特性的变化,使得工作的稳定性受到影响,所以它不宜在温度变化很大的环境条件下工作。

(4)液压系统发生故障不易检查和排除。

(5)液压传动要求有单独的能源,不像电源那样使用方便。

(6)由于采用油管传输压力油,距离越长,沿程压力损失越大,故不宜远距离输送动力。

四、液压系统的应用和发展

(一)液压传动的应用

液压传动由于优点很多,所以在国民经济各部门都得到了广泛的应用。但各部门应用液压传动的出发点不同:工程机械、矿山机械、建筑机械、压力机械所采用的原因是结构简单、输出力量大;航空工业所采用的原因是重量轻、体积小;金切机床、自动生产线、数控设备、加工中心等应用液压传动是因为其能方便的实现无级调速,冲击小,工作平稳,可以频繁的换向,易于实现自动化。

为此,液压传动常用在机床的如下一些装置中:

进给运动传动装置。这项应用在机床上最为广泛,磨床的砂轮架,卧式车床、转塔车床、自动车床的刀架或转塔刀架,磨床、钻床、铣床、刨床的工作台或主轴箱,组合机床的动力头和滑台等,都可采用液压传动。这些部件有的要求快速运动,有的要求慢速运动(2mm/min),有的则要求快慢速运动。这些部件的运动多半要求有较大的调速范围,要求在工作中无级调速:有的要求持续进给;有的要求间歇进给;有的要求在负载变化下速度仍然能保持恒定;有的要求有良好的换向性能。所以,采用液压传动是最合适的选择。

往复运动传动装置。龙门刨床的工作台、牛头刨床或插床的滑枕都可以采用液压传动来实现所需的高速往复运动,前者的运动速度可达 $60\sim 90\text{m/min}$,后两者可达 $30\sim 50\text{m/min}$ 。这些情况下采用液压传动,可以在减少换向冲击、降低能量损耗、缩短换向时间等方面起作用。

回转运动传动装置。车床主轴可采用液压传动来实现无级变速的回转主体运动,但

这一应用目前还不普遍。

仿形装置。车、铣、刨床的仿形加工可采用液压伺服系统来实现,精度可达 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 。此外,磨床上的成形砂轮修正装置和标准丝杠校正装置,亦可采用这种系统。

辅助装置。机床上的夹紧装置,变速操纵装置,丝杠螺母间隙消除装置,垂直移动部件的平衡装置,分度装置,工件和刀具的装卸、输送、储存装置等,都可以采用液压传动来实现。这样做可有利于简化机床结构,提高机床的自动化程度。

步进传动装置。数控机床工作台的直线或回转步进运动,可根据电气信号迅速而准确地由电液伺服系统来实现。开环系统定位精度较低($<0.01\text{mm}$),但成本低;闭环系统则定位精度和成本都较高。

静压支承。重型机床、高速机床、高精度机床上的轴承、导轨和丝杠螺母机构,如果采用液压系统来作静压支撑,可得到很高的工作平稳性和运动精度,这是近年来的一项新技术。

液压传动在各个行业中的应用,如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 液压传动在各类机械中的应用

行业名称	应用举例	行业名称	应用举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机等	轻工机械	打包机、注塑机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、提升机、液压支架等	灌装机械	食品包装机、真空镀膜机、化肥包装机
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等	汽车工业	高空作业车、自卸式汽车、汽车起重机
冶金机械	轧钢机、压力机、步进加热炉等	铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机等
锻压机械	压力机、模锻机、空气锤等	纺织机械	织布机、抛砂机、印染机等
机床	磨床、铣床、刨床、拉床、压力机、组合机床、自动机床、数控机床、加工中心等	起重运输机械	起重机、叉车、装卸机械等

(二) 液压传动技术的发展

相对于机械传动,液压传动是一门新的技术。液压传动起源于 1654 年帕斯卡提出的静压传动原理。1795 年,第一台水压机问世,至今已有约二百年的历史。液压传动的推广应用,得益于 19 世纪崛起并蓬勃发展的石油工业。最早成功应用液压传动装置的是舰艇上的炮塔转位器。第二次世界大战期间,由于军事工业需要反应快、精度高、功率大的液压传动装置,所以,又进一步推动液压技术的发展。随后液压技术迅速转向民用工业,在机床、工程机械、农业机械、汽车等行业逐步推广。20 世纪 60 年代以来,随着原子能、空间技术、计算机技术的发展,液压技术得到了极大的推广,并渗透到各个工业领域。当前液压技术正向高压、高速、高效、高寿命、低噪声、大功率、高度集成化方向发展。同时,新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机实时控制技术、机电一体化技术、可靠性技术、计算机仿真和优化设计技术以及污染控制技

术等方面,也是当前液压传动与控制技术的发展与研究方向。

五、技能训练——参观认识液压实验台和 M1432A 型万能外圆磨床

(一)参观液压实训室

操作实验台上由教师构建好的磨床工作台模拟控制系统,如图 1-1-4 所示。

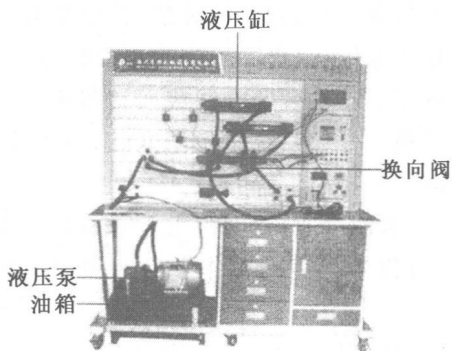


图 1-1-4 液压实验台

1. 动力元件

液压泵在电机的带动作用下转动,输出高压油,把电动机输出的机械能转换成液体的压力能,为整个液压系统提供动力的元件。

2. 执行元件

液压缸在高压油的推动下移动,可以对外输出推力,通过它把高压油的压力能释放出来,转换成机械能,是执行元件。

3. 控制元件

换向阀可以控制油液的流动方向,从而控制液压缸的运动方向,是控制元件。

4. 辅助元件

油箱用来储存油液,是液压系统中不可缺少的元件,是液压系统的辅助元件。

(二)观察 M1432A 型万能外圆磨床的工作过程

如图 1-1-5 所示,液压泵 3 由电动机带动旋转,从油箱 1 经过过滤器 2 吸油,液压泵输出的压力油经节流阀 5 和换向阀 6 左位进入液压缸 7 的左腔,推动活塞和工作台向右运动,而液压缸右腔的油液经换向阀和回油管排回油箱。

若将换向阀 6 手柄扳到右位,使换向阀处于右位所示的状态,则压力油经换向阀进入液压缸的右腔,推动活塞与工作台反向运动,并使液压缸左腔的油液经换向阀和回油管排回油箱。若改变节流阀 5 的开口大小,可以改变进入液压缸的流量,从而控制液压缸活塞的运动速度,此时液压泵输出的多余油液经溢流阀 4 和回油管排回油箱。系统工作时,液压缸工作压力的大小取决于磨削工件时切削阻力的大小。液压泵的最高压力由溢流阀调定。

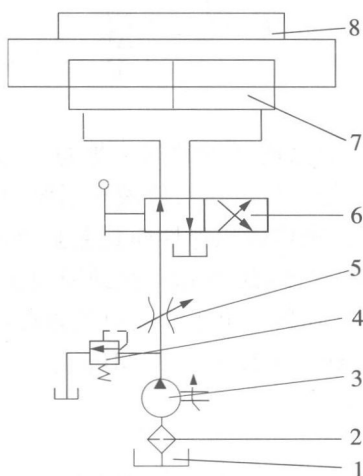


图 1-1-5 简化了的磨床工作台液压传动系统图

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

授课 No. 2——液压油

液压油在液压传动中起到传递能量和信号的作用,同时还起到润滑、冷却和防锈的作用。因此,在掌握液压系统之前,必须对液压油的物理性质和如何选用有必要的了解。

一、液压油的性质

(一)密度

液体单位体积的质量称为液体的密度,用 ρ 表示,单位为 kg/m^3 。设有液体体积为 V ,单位为 m^3 ,质量为 m ,单位为 kg ,则该液体密度 ρ 为

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

液体密度随温度的升高而减小,随压力的升高而增大。但是由于温度和压力对密度的影响都很小,一般情况下可视液体密度为常数。矿油型液压油密度 $\rho = 850 \sim 900 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

(二)可压缩性

液体受压力作用,其体积减小的性质称为液体的可压缩性,用体积压缩系数 κ 表示,即在单位压力变化下液体体积的相对变化量。设体积为 V 的液体,当压力增大 Δp 时,体积减小了 ΔV ,则体积压缩系数 κ 为

$$\kappa = -\frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta p} \quad (1-2)$$

式中,负号表示 Δp 与 ΔV 的变化相反,即压力增加体积减小。

实际应用中,常用体积弹性模量 K 值大小反映液体抵抗压缩的能力。液体体积弹性模量 K 为体积压缩系数 κ 的负倒数,即

$$K = \frac{1}{\kappa} = - \frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}} \quad (1-3)$$

体积弹性模量的单位为 Pa。

K 表示产生单位体积相对变化量所需的压力增量。常温下, 纯净液压油 $K = (1.4 \sim 2.0) \times 10^3 \text{ MPa}$, 是钢的 100~150 倍。在一般液压系统中, 认为液压油是不可压缩的。但是, 如果油液中混有游离空气, 液体体积弹性模量会显著降低, 严重影响液压系统的工作性能。如果油液中混有 1% 的气体, 其 K 值只是纯净油液的 30%; 如果油液中混有 4% 的气体, 其 K 值仅为纯净油液的 10%。由于油液中气体难以完全排除, 实际计算中, 常将油液的体积弹性模量 K 值取为 $(0.7 \sim 1.0) \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

(三) 黏性

1. 黏性的物理意义

液体在外力作用下流动时, 由于分子间的内聚力阻碍其相对运动而产生内摩擦力, 这一性质称为液体的黏性。

由于液体内部黏性以及液体与固体壁面间的附着力, 使液体内部各处的速度不相等。如图 1-1-6 所示, 设两平行平板间充满液体, 下平板不动, 上平板以速度 u_0 向右平移。由于液体的黏性, 紧靠下平板的液层速度为零, 紧贴上平板的液层速度为 u_0 , 而中间各液层的速度从下到上呈线性递增。

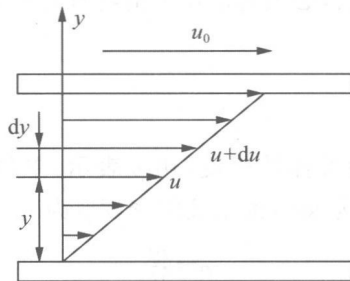


图 1-1-6 液体黏性示意图

实验表明, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 、液层间相对速度 du 成正比, 与液层间距离 dy 成反比, 即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

式中, μ 为比例常数、黏性系数或动力黏度; $\frac{du}{dy}$ 为速度梯度。

若以 τ 表示切应力, 则

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

即液层间单位面积上的内摩擦力, 这就是牛顿液体内摩擦定律。

在静止液体中, 由于速度梯度为零, 内摩擦力为零, 所以静止液体不呈现黏性。