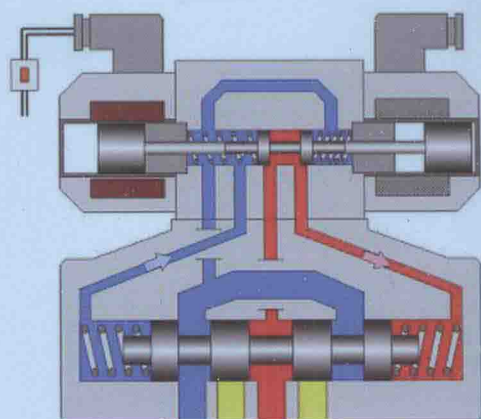


“十二五”高等职业教育机电类专业规划教材

液压与气动

YEYA YU QIDONG

张耀武 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

“十二五”高等职业教育机电类专业规划教材

液 压 与 气 动

张耀武 主 编

王晓东 曹 飞 张晓英 副主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

全书由液压技术和气动技术两篇组成。本书共分 15 章,其主要内容包括:液压系统流体力学基础、液压动力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压辅助装置、液压基本回路、典型液压系统—组合机床液压系统、液压系统维护、气源装置、辅件及执行元件、气动控制元件、气动逻辑元件、气动控制回路、电子气动技术、电子液压技术以及液压设备的维护及故障诊断初步等。每章均附有习题以供检测知识掌握程度。

本书借鉴先进理念,以图代文,化繁为简;模块组合,层次分明;案例介绍,通俗易懂。舍弃了传统教材中繁琐的文字叙述、理论性较强的公式推导、复杂的元件结构图,取而代之的是简要的文字说明、结论性的经验公式、清晰的元件回路简图及生动的典型实例。书中将大量的形象图片和必要的说明文字进行有机地组合,在一定程度上降低了理论难度,还可以帮助学生提高学习效率,增强感性认识。

本书适合作为高等职业院校、高等专科院校以及成人高等院校机械设计制造类、自动化类等各相关专业的教学用书,也可作为中等专业学校机械类专业的教材,还可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动/张耀武主编. —北京:中国铁道出版社,2014. 2

“十二五”高等职业教育机电类专业规划教材

ISBN 978-7-113-17881-9

I. ①液… II. ①张… 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(2014)第 004499 号

书 名: 液压与气动
作 者: 张耀武 主编

策 划: 何红艳
责任编辑: 何红艳
编辑助理: 耿京霞
封面设计: 付 巍
封面制作: 白 雪
责任校对: 汤淑梅
责任印制: 李 佳

读者热线: 400-668-0820

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 航远印刷有限公司

版 次: 2014年2月第1版

2014年2月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 17 字数: 412千

印 数: 1~3000册

书 号: ISBN 978-7-113-17881-9

定 价: 33.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)51873659

当前, 液压传动技术水平的高低已成为衡量一个国家工业发展水平的重要标志。随着电子技术、计算机技术、信息技术、自动控制技术及新工艺、新材料的发展和应用, 液压传动技术也在不断创新。液压传动技术已成为工业机械、工程建筑机械及国防尖端产品不可缺少的重要技术。而其向自动化、高精度、高效率、高速化、高功率、小型化、轻量化方向发展, 是不断提高它与电传动、机械传动竞争能力的关键。液压传动正向高速化、高压化、集成化、大流量、大功率、高效、低噪声、经久耐用方向发展。本教程极力体现这些特征。

“液压与气动”是机械设计制造类、自动化类等各相关专业的专业基础课程。该课程是针对车辆、数控机床和大型机械等机电一体化设备的维护、保养和维修工作岗位职业能力的要求, 从传统的发展起来的一门职业能力课程。

通过该课程的学习, 使学生熟练掌握机电一体化设备的组装、调试、维护、保养和维修工作岗位所需要液压、气动以及电气控制的必备知识。学完后, 学生能够正确选用液压、气动、电控等元件, 能较熟练地理解和绘制液气压回路和电气控制原理图, 了解液气压回路和电气控制回路的分析方法, 得到实际应用的基本技能以及液压与气动系统的安装、调试、维护、保养以及诊断和排除系统故障的职业能力。

一、教材设计理念

以职业能力为目标, 以先进、实用为原则, 以够用为尺度、以就业市场为导向, 做到既能及时反映本专业领域的新技术, 又要突出高等职业教育特色, 重点强化专业实践技能和职业能力的培养, 以满足不断发展的市场对人才的培养要求。

1. 以职业能力为目标, 重视职业能力的培养

培养职业能力是职业技术教育的核心, 本课程按照机电一体化专业人员工作岗位职业能力要求和教、学、做合一的思想构建课程教学体系, 大力开展工学结合, 校企合作, 加强实训、实习基地建设突出实践能力培养, 改革人才培养模式, 加大课程建设与改革的力度, 增强学生的职业能力和专业技能。

2. 以先进、实用为原则, 以够用为尺度进行教材设计

教育内容是根据当今机电一体化专业领域的行业发展对高职教学的要求, 把现在广泛被民用的电液比例控制技术纳入本课程的教学, 做到既先进又实用。在安排教学内容的深度上本着理论够用的尺度, 淡化了以前传统的液气压传动课程中的设计计算和研究型的理论, 强化了实际操作技能, 真正突出了高等职业教育的特色 and 实际工作岗位对毕业生的要求。

3. 以就业市场对本课程的要求来组织教材内容

毕业生可在交通部门、水力机械、电站动力设备、工程机械、建筑机械、流体传动与

控制、液力传动等研究制造部门进行相关工作,也可在高校从事相关实践教学工作。目前人才市场液压方面很缺人,都需要配置液压人员。

二、教材设计思路

本教材设计思路是按实际的液压与气动传动设备岗位工作为主线,通过企业调研、分析液压与气动设备装调与维修、维护与保养的工作过程和所需能力要求,通过行业专家论证,归纳出设备装调与维修、使用、维护与保养以及系统改造岗位所需要的专业知识和能力,以确定教材内容。

三、教材设计原则

(1) 以学生为主体,按学生的认知规律设置学习内容。

(2) 选择液压传动系统为切入点,按对液、气压传动设备的认知规律和维护、维修的检查工作过程的顺序进行设计。

(3) 电液压及其电气控制是液气压传动设备的装调与维修、维护与保养以及系统改造的必备知识,因此,把它们也列入本课程的教学,使本课程真正融机、电、液、气于一体,适应液气压传动设备维护、维修技能的需要。

(4) 以液气压传动设备的典型故障为载体,按机械系统、油路系统和电控系统的单一故障到综合故障进行叙述。液气压传动设备是电控系统控制电磁阀,电磁阀控制流体控制阀,流体控制阀控制流体的方向、压力和流量,从而控制机械执行机构动作的方向、速度和力度,因此液气压传动设备的电控系统、油路、机械系统任何一个处有故障就会造成动作无力或不动作的现象。因此用具有范例特征故障的排除过程,有利于对学生进行职业能力的培养。

四、对本课程的教学建议

本课程是综合性课程,因此在教学中应注意知识的迁移,贯彻应用性、针对性原则。教学中以学生为主体,可采用讨论课、故障案例分析等方法组织教学,使学生进行探究式学习,培养创新思维。

本书由呼和浩特职业学院铁道学院张耀武任主编,王晓东、曹飞、张晓英任副主编。参加本书编写工作的人员还有呼和浩特职业学院李耀伟、王宏亮、石明勋、迟洪、韩东伟、彭文良、崔立堃、赵朝,南京铁道职业技术学院杨昆等。呼和浩特职业学院机电工程学院崔星教授主审。赵朝承担了全部液压与气动外文资料的翻译工作。

本书通过了呼和浩特职业学院教材审定委员会审定。在此,对他们以及关心支持本书编写的各位同仁表示衷心的感谢!

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免存在疏漏与不足之处,恳请广大读者不吝指教。

编者

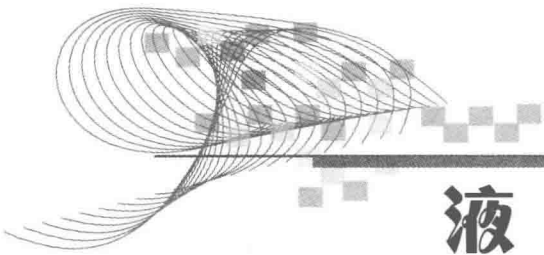
2013年12月

第一篇 液 压 技 术

第一章 绪论	2
第一节 液压传动发展概况	2
第二节 液压传动的工作原理及其组成	3
第三节 液压传动的优缺点及应用	6
小结	7
复习思考题	7
第二章 液压系统流体力学基础	8
第一节 液压传动中的两个重要参数	8
第二节 液压冲击及空穴现象	14
第三节 液压油	18
小结	20
复习思考题	20
第三章 液压动力元件	21
第一节 液压泵的概述	21
第二节 齿轮泵	26
第三节 叶片泵	32
第四节 柱塞泵	38
第五节 液压泵的噪声	44
第六节 液压泵的选用	46
小结	48
复习思考题	48
第四章 液压执行元件	50
第一节 液压马达	50
第二节 液压缸	58
第三节 液压缸的典型结构和组成	66
小结	68
复习思考题	68
第五章 液压控制元件	69
第一节 概述	69
第二节 压力控制阀	70
第三节 方向控制阀	82
第四节 流量控制阀	95

第五节 液压逻辑元件	101
第六节 比例阀、叠加阀和伺服阀	104
小结	109
复习思考题	110
第六章 液压辅助装置	113
第一节 油箱	113
第二节 蓄能器	115
第三节 滤油器	117
第四节 密封装置	121
第五节 其他辅助元件	123
小结	125
复习思考题	125
第七章 液压基本回路	126
第一节 方向控制回路	126
第二节 速度控制回路	128
第三节 压力控制回路	139
第四节 多缸动作回路	145
小结	151
复习思考题	151
第八章 液压图形规范	154
第一节 常用元件的符号	155
第二节 方向阀接口及其位置	164
第三节 阀门控制方式	166
第四节 控制流程图的绘制	167
第五节 液压回路的编号	169
第六节 液压回路的绘制	171
小结	173
第九章 组合机床液压系统	174
组合机床液压系统	174
小结	177
复习思考题	177
第十章 电液技术	178
第一节 液压系统的电气控制原理	178
第二节 开关式电控阀	179
第三节 电液伺服阀	180
第四节 电液比例阀	183
第五节 液气压传动系统的电气控制	189
第六节 典型液压系统及其电气控制	192
小结	194

复习思考题	194
第十一章 液压系统维护	195
第一节 经常性的维护工作	195
第二节 定期的维护工作	196
第三节 故障诊断与对策	196
第四节 维修工作	201
第五节 液压维护案例	203
小结	211
复习思考题	211
第二篇 气动技术	
第十二章 气源装置、辅件及执行元件	214
第一节 气源装置及辅件	214
第二节 气动执行元件	221
小结	226
复习思考题	226
第十三章 气动控制元件	227
第一节 压力控制阀	227
第二节 流量控制阀	230
第三节 方向控制阀	232
第四节 气动逻辑元件	237
小结	241
思考与练习题	241
第十四章 气动控制回路	242
第一节 方向控制回路	242
第二节 压力控制回路	243
第三节 速度控制回路	244
第四节 其他常用基本回路	246
第五节 电子气动基础	249
第六节 气动图形规范	249
小结	252
复习思考题	252
第十五章 电子气动技术	253
第一节 气动元件与电气控制元件的工作原理	253
第二节 电子气动操作与电路气路关联	258
小结	262
复习思考题	262
参考文献	264



第一篇

液 压 技 术

一个完整的液压系统由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件和液压油五个部分组成。动力元件的作用是将原动机的机械能转换成液体的压力能，用液压系统中的油泵向整个液压系统提供动力。液压泵的结构形式一般有齿轮泵、叶片泵和柱塞泵三种。执行元件（如液压缸和液压马达）的作用是将液体的压力能转换为机械能，驱动负载做直线往复运动或回转运动。控制元件（即各种液压阀）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三种。其中压力控制阀又分为溢流阀（安全阀）、减压阀、顺序阀等；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。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。液压油是液压系统中传递能量的工作介质，分为各种矿物油、乳化液和合成型液压油等几大类。

现代的“液压”是电子和机械技术相结合的一种技术，它已经从传统的机控发展到电控，从状态控制发展到过程控制，当代的液压设备已经向自动化和智能化方向发展。在液压控制系统中，常用的控制方式是电子控制或 PLC 控制。虽然也有“纯液压”系统控制，但由于其控制较复杂，而且“纯液压”系统也不能实现复杂的控制，因此，较少采用。

第一章 绪论

1. 学习目标

1. 了解液压传动的发展概况。
2. 熟悉液压传动的工作原理及组成。
3. 了解液压传动的优缺点及其应用。

第一节 液压传动发展概况

利用液压传动这种方式来做功是从 1795 年英国制成第 1 台水压机开始的, 至今已经有 200 多年的历史了。这种液压传动方式直到 20 世纪 30 年代才较普遍地应用于起重机、机床及工程机械。液压传动由于具有重量轻、快速性好、能无级调速、易于实现过载保护等优点在各工业部门得到十分广泛的应用。从第二次世界大战期间出现的响应迅速、精度高的液压控制机构所装备的各种军事武器到第二次世界大战结束后液压技术广泛应用于各种民用工业, 其在现代农业、制造业、能源工程、化学与生化工程、交通运输与物流工程、采矿与冶金工程、油气探采与加工、建筑与公共工程、水利与环保工程、航天与海洋工程等领域获得了广泛的应用。

液压传动正向高速化、高压化、集成化、大流量、大功率、高效、低噪声、经久耐用方向发展。尤其是 20 世纪下半叶以来, 液压技术与电子及信息技术相结合, 发展了机械电子一体化的元器件及系统, 新型液压元件和液压系统借助于计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助测试 (Computer Aided Testing, CAT)、计算机直接智能控制 (Computer Direct Control, CDC) 及现场总线控制与实时监测等技术, 实现机、电、液、计的机电一体化, 智能化、网络化相结合是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。

液压传动技术水平的高低已成为衡量一个国家工业发展水平的重要标志。历史的经验证明, 流控学科技术的发展, 仅有 20% 是靠本学科的科研成果推动, 50% 来源于其他领域的发明, 移植其他技术成果占 30%, 即大部分来源于其他相关学科进步的推动。随着应用了电子技术、计算机技术、信息技术、自动控制技术及新工艺、新材料的发展和应用, 液压传动技术也在不断创新。液压传动技术已成为工业机械、工程建筑机械及国防尖端产品不可缺少的重要技术。而其向自动化、高精度、高效率、高速化、高功率、小型化、轻量化方向发展, 是不断提高它与电传动、机械传动竞争能力的关键。目前, 液压现场总线技术、自动化控制软件技术、纯水液压传动、电液集成块等方面的应用展示出液压传动技术

发展动态。纯水液压传动以纯水（不含任何添加剂的天然水，含海水和淡水）为工作介质。而纯水的物理化学性质与液压油有很大的差别，所以纯水液压传动与油压传动相比既有优势又有技术难题。现场总线是连接智能化仪表和自动化系统的全数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。自动化控制软件技术在多轴运动控制中，采用 SPS（Stoner Pipeline Simulator，石油天然气长输管道模拟计算软件）可编程控制技术。在这种情况下，以 PC（Personal Computer，个人计算机）为基础的现代控制技术也和自动化控制领域一样，运用于液压与气动。自动化控制软件将 SPS 的工作原则与操作监控两项任务集成而发挥优势。操作监控技术在伺服驱动中已经发展得比较成熟，并且具有强大的功能和功率。

第二节 液压传动的工作原理及其组成

一、概述

通常一部完整的机器主要由三部分组成，即原动机、传动机构和工作机。原动机包括电动机、内燃机等。工作机即完成该机器工作任务的部分，如车床的刀架、车刀、卡盘等。为适应工作机工作力和工作速度变化范围较宽的要求以及其他操作性能（如停止、换向等）的要求，在原动机和工作机之间设置了传动装置（又称传动机构）。

传动机构通常分为机械传动、电气传动和流体传动。其传动方式分别如下：

- （1）机械传动：通过齿轮、齿条、蜗轮、蜗杆等机件直接把动力传送到执行机构的传递方式。
- （2）电气传动：利用电力设备，通过调节电参数来传递或控制动力的传动方式。
- （3）流体传动：是以流体为工作介质进行能量的转换、传递和控制的传动。流体传动分类如图 1-1 所示。



图 1-1 流体传动

二、液压传动的工作原理

液压传动的工作原理，可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

图 1-2 所示是液压千斤顶的工作原理图。大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。如提起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 5 从油箱 12 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输入举升油缸9的下腔,迫使大活塞8向上移动,顶起重物。再次提起手柄吸油时,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。不断地往复扳动手柄,就能不断地把油液压入举升缸下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀11,举升缸下腔的油液通过管道10、截止阀11流回油箱,重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。

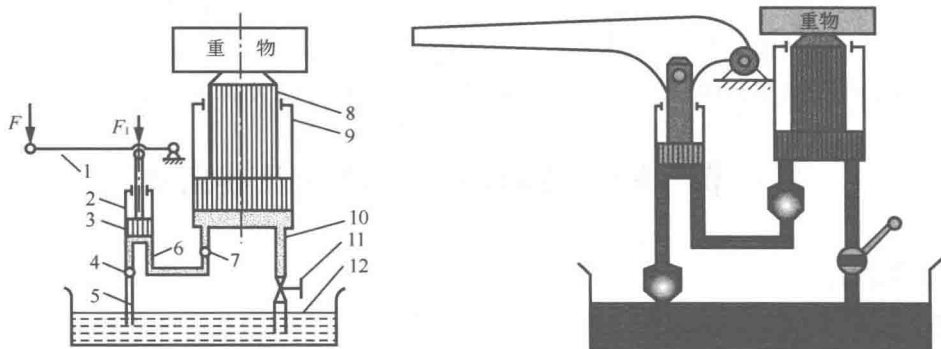


图 1-2 液压千斤顶工作原理图

1—杠杆手柄; 2—小油缸; 3—小活塞; 4、7—单向阀; 5—吸油管; 6、10—管道;
8—大活塞; 9—大油缸; 11—截止阀; 12—油箱

通过对图 1-2 所示的液压千斤顶工作过程的分析,可以初步了解液压传动的基本工作原理。液压传动是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。压下杠杆时,小油缸2输出压力油,是将机械能转换成油液的压力能,压力油经过管道6及单向阀7,推动大活塞8举起重物,是将油液的压力能又转换成机械能。大活塞8举升的速度取决于单位时间内流入大油缸9中油容积的多少。由此可见,液压传动是一个不同能量的转换过程。

三、液压传动系统的组成

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置。图 1-3 所示为一种驱动工作台的液压传动系统,它由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头组成。其工作原理:液压泵由电动机驱动后,从油箱中吸油。油液经滤油器进入液压泵,油液由泵腔的低压侧吸入,从泵的高压侧输出,在图 1-3 (a) 所示状态下,通过开停阀10、节流阀7、换向阀5进入液压缸左腔,压力油推动活塞连同工作台向右移动。这时,液压缸右腔的油经换向阀5和回油管6排回油箱。如果将换向阀手柄转换成图 1-3 (b) 所示状态,则压力管中的油将经过开停阀10、节流阀7和换向阀5进入液压缸右腔,压力油推动活塞连同工作台向左移动,并使液压缸左腔的油经换向阀5和回油管6排回油箱。

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开大时,进入液压缸的油量增多,工作台的移动速度增大;当节流阀关小时,进入液压缸的油量减小,工作台的移动速度减小。为了克服移动工作台时所受到的各种阻力,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所产生的。要克服的阻力越大,缸中的油液压力越高;反之压力就越低。这种现象说明了液压传动的一个基本原理,即压力决定于负载。从机床工作

台液压系统的工作过程可以看出，一个完整的、能够正常工作的液压系统，应该由以下五个主要部分组成。

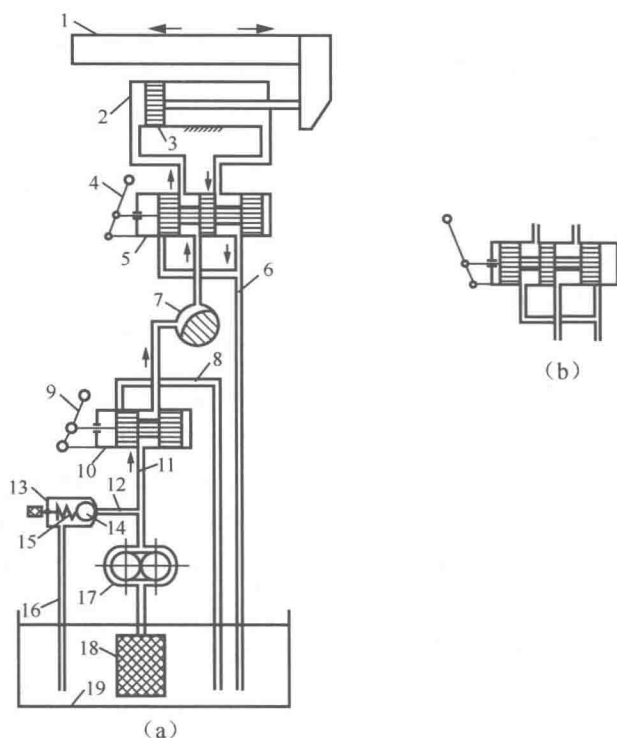


图 1-3 机床工作台液压系统工作原理图

1—工作台；2—液压缸；3—活塞；4—换向手柄；5—换向阀；6、8、16—回油管；7—节流阀；
9—开停手柄；10—开停阀；11—压力管；12—压力支管；13—溢流阀；14—钢球；15—弹簧；
17—液压泵；18—滤油器；19—油箱

1. 能源装置

能源装置是供给液压系统压力油，将机械能转换成液压能的装置。其最常见的形式是液压泵。

2. 执行装置

执行装置是把液压能转换成机械能的装置。其形式有做直线运动的液压缸，做回转运动的液压马达，它们又称为液压系统的执行元件。

3. 控制调节装置

控制调节装置是对系统中的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置，如溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等。

4. 辅助装置

辅助装置是除上述三部分之外的其他装置，如油箱、滤油器、油管等。辅助装置对保证系统正常工作是必不可少的。

5. 工作介质

工作介质即传递能量的流体，如液压油等。

第三节 液压传动的优缺点及应用

一、液压传动的优缺点

1. 液压传动的优点

液压传动之所以能得到广泛的应用，是由于它具有以下的主要优点：

(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。例如，在井下抽取石油的泵可采用液压传动来驱动，以克服长驱动轴效率低的缺点。由于液压缸的推力很大，加之极易布置，在挖掘机等重型工程机械上，已基本取代了老式的机械传动，不但操作方便，而且外形美观大方。

(2) 液压传动装置的重量轻、结构紧凑、惯性小。例如，相同功率液压马达的体积仅为电动机的 12% ~ 13%。液压泵和液压马达单位功率的重量指标，目前是发电机和电动机的 1/10，液压泵和液压马达可小至 0.002 5 N/W（牛/瓦），发电机和电动机则约为 0.03 N/W。

(3) 可在大范围内实现无级调速。借助阀或变量泵、变量马达，可以实现无级调速，调速范围可达 1 : 2 000，并可在液压装置运行的过程中进行调速。

(4) 传递运动均匀平稳，负载变化时速度较稳定。正因为此特点，金属切削机床中的磨床传动现在几乎都采用液压传动。

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

(6) 液压传动容易实现自动化，即借助于各种控制阀，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。

(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。

2. 液压传动的缺点

液压传动主要具有以下缺点：

(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，如螺纹和齿轮加工机床的传动系统。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 液压传动要求有单独的能源，不像电源那样使用方便。

(5) 液压系统发生故障不易检查和排除。

(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。

总之，液压传动的优点是主要的，随着设计制造和使用水平的不断提高，有些缺点正在逐步加以克服。因此，液压传动有着广泛的发展前景。

二、液压传动在机械中的应用

液压传动在其他机械工业部门的应用情况如表 1-1 所示。

表 1-1 液压传动在各类机械行业中的应用实例

行 业 名 称	应用场所举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、压路机、铲运机等
起重运输机械	汽车吊、港口龙门吊、叉车、装卸机械、皮带运输机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、开采机、破碎机、提升机、液压支架等
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
冶金机械	电炉炉顶及电极升降机、轧钢机、压力机等
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车中的转向器、减振器等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人等

小 结

1. 液压传动的发展概况。液压传动的工作原理及组成。液压系统的五大组成部分及其作用。
2. 液压传动的优缺点。

复习思考题

1. 什么是液压传动？简述其工作原理。
2. 液压系统由哪几部分组成？简述各部分的作用。
3. 简述液压、气动与机械传动的区别。

第二章

液压系统流体力学基础

1. 学习目标

1. 掌握液压传动中的两个主要参数（压力与流量）的基本概念、单位。
2. 了解液压传动中的液压冲击及空穴现象，液压油的性能及选用。
3. 要求学生理解基本概念并会应用。

第一节 液压传动中的两个重要参数

压力和流量是流体传动及其控制技术中重要的两个基本参数，它们相当于机械传动中的力和速度。

在液压传动系统中，液体是有黏性的，并在流动中表现出来。液体的黏性是指流动中产生内摩擦力（黏性力）的性质，它总是阻碍液体的相对滑动，抵抗剪切变形，造成流动阻力和能量损耗。同时流体是可压缩的，液体的可压缩性是指液体受压力后其密度（容积）发生变化的性质。液压油和水的可压缩性很小，通常按不可压缩流体处理，即认为其密度等于常数。

所谓理想液体是指没有黏性的液体，同时，一般都视为在等温的条件下把黏度、密度视作常量来讨论液体的运动规律。然后再通过实验对产生的偏差加以补充和修正，使之符合实际情况。

本节主要讲述三个基本方程式，即液流的连续性方程、伯努利方程和动量方程。它们是刚体力学中的质量守恒及动量守恒原理在流体力学中的具体应用。前两个方程描述了压力、流速与流量之间的关系，以及液体能量相互间的变换关系，后者描述了流动液体与固体壁面之间作用力的情况。

一、压力及其性质

（一）压力的定义及单位

1. 压力的定义

在一般情况下，压力是空间坐标和时间的标量函数。流体中一点的压力又称为该点流体的静压，即单位面积上所受的垂直力称为压力（物理学中称为压强）。压力通常用 p 表示。

2. 压力的单位

（1）在国际单位制（SI）中，压力的单位为 N/m^2 ，即 Pa，由于 Pa 单位太小，因而常

采用 kPa（千帕）和 MPa（兆帕）。

$$1\text{ MPa} = 10^3\text{ kPa} = 10^6\text{ Pa}$$

(2) 在重力单位制中（也是工程中常使用），压力的单位采用 bar 和 kgf/cm²。

$$1\text{ bar} = 1.02\text{ kgf/cm}^2 = 0.1\text{ MPa} = 14.5\text{ psi（磅/平方英寸）}$$

单位总结如下：

$$1\text{ N/m}^2 = 1\text{ Pa}$$

$$1\text{ kPa} = 1\,000\text{ Pa}$$

$$1\text{ MPa} = 1\,000\,000\text{ Pa}$$

$$1\text{ bar} = 100\,000\text{ Pa}$$

$$1\text{ bar} = 1\text{ kgf/cm}^2$$

3. 压力的表示方法

压力是比较容易测量的。通常用压力计测得的压力是以大气压力为基准的压力值，称为相对压力或表压力。以 $p = 0$ （完全真空）绝对真空作为基准所表示的压力称为绝对压力。当绝对压力小于大气压力时，大气压力与绝对压力之差称为真空压力或真空度。相对压力是以大气压力作为基准所表示的压力，由测压仪表所测得的压力都是相对压力。因此，
相对压力 = 绝对压力 - 大气压力。绝对压力、表压力和真空度的关系如图 2-1 所示。

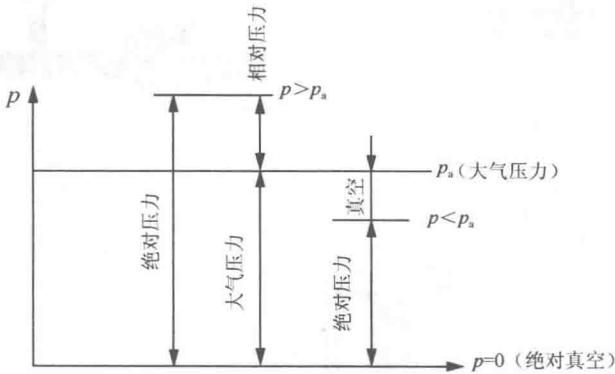


图 2-1 绝对压力、相对压力及真空度

4. 液压系统中压力的形成

如图 2-2 所示，液压泵的出油腔、液压缸左腔以及连接管道组成一个密封容积。液压泵启动后，将油箱中的油吸入这个密封容积中，活塞杆有向右运动的趋势，但因受到负载 R 的作用（包括活塞与缸体之间的摩擦力）阻碍这个密封容积的扩大，于是其中的油液受到压缩，压力就会升高。当压力升高到能克服负载 R 时，活塞才能被液压油所推动，压力与负载的关系即：

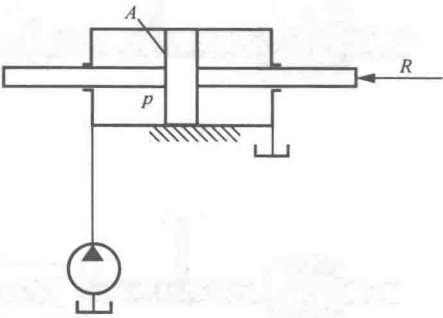


图 2-2 液压系统中压力的形成

$$p = \frac{R}{A} \tag{2-1}$$