

责任编辑：刘 洵 助理编辑：孟海江
封面设计：唐洵设计

智能制造基础技术系列教材

PLC应用技术

液压与气动技术

人工智能与Python编程

数控加工工艺

制造执行系统（MES）

数控设备维护与装调

数控加工编程

可编程控制技术

变频器原理与应用技术

数控编程及零件加工

电机与电气控制

智能制造基础技术系列教材

液压与气动技术

主编◎周卫兵 邱熹程 蔡侯林

北京交通大学出版社

智能制造基础技术系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

液压与气动技术

主编◎周卫兵 邱熹程 蔡侯林

ISBN 978-7-5121-5538-1



9 787512 155381 >

定价：49.00元



北京交通大学出版社
<http://www.bjtp.com.cn>



智能制造基础技术系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

液压与气动技术

主编◎周卫兵 邱熹程 蔡侯林

北京交通大学出版社
· 北京 ·



内 容 简 介

本书采用任务驱动式教学方法,介绍了液压与气动技术的基础知识和应用实践。全书共设九个项目,涵盖认识液压系统、认识流体力学、解析动力元件、解析执行元件、解析控制元件、解析辅助元件、分析基本回路、分析典型液压系统及探索气压传动等内容。每个项目下设若干任务,包括理论讲解、原理分析、技能实训等,并融入课程思政元素,培养读者的工程伦理和创新思维。本书特别注重理论与实践结合,每个项目均有与工业应用紧密相关的案例和实训内容。本书适合高职院校装备制造大类及相近专业学生使用,也可作为工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术 / 周卫兵, 邱熹程, 蔡保林主编. — 北京: 北京交通大学出版社, 2025. 7. — ISBN 978-7-5121-5538-1

I. TH137; TH138

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025P2A532 号

液压与气动技术

YEYA YU QIDONG JISHU

责任编辑: 刘 洵 助理编辑: 孟海江

出版发行: 北京交通大学出版社 电话: 010-51686414 <http://www.bjtup.com.cn>

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编: 100044

印 刷 者: 三河市华骏印务包装有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 mm × 260 mm 印张: 17 字数: 382 千字

版 印 次: 2025 年 7 月第 1 版 2025 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 1—3 000 册 定价: 49.00 元

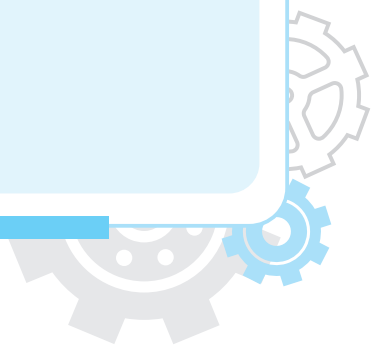
本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。
投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

编写委员会

| 主 编 | 周卫兵 邱熹程 蔡侯林

| 副主编 | 欧阳群鑫 龙丽琴 罗恽哲
李林星 欧仕荣

| 参 编 | 毛传明 曾 宪 陈 威
胡 杨 唐 可





前言

党的二十大报告指出，要“推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”，强调加快发展先进制造业，实现高水平科技自立自强。在这一战略部署下，作为先进制造业和智能制造的重要支撑技术，液压与气动技术正面临着前所未有的发展机遇和挑战。

在现代装备制造领域，液压与气动技术作为重要的动力传输和控制手段，在各类机械和工业设备中发挥着关键作用。从智能工厂的自动化生产线到新能源汽车的动力系统，从航空航天精密控制到工程机械的高效作业，液压与气动技术无处不在。随着数字化、网络化、智能化的深入发展，液压与气动技术正与人工智能、物联网、大数据等新兴技术深度融合，推动着制造业向更高水平迈进。

在这样的时代背景下，“液压与气动技术”课程作为高职院校装备制造大类及相近专业的一门专业基础课程，其重要性不言而喻。该课程在专业人才培养体系中承上启下，对知识、能力和素养等各项目标的实现具有重要意义。

本书旨在为相关专业的学生和从业人员提供全面且系统的液压与气动技术知识，帮助读者不仅掌握传统技术，更把握智能制造时代的新趋势。全书采用任务驱动方式，包括九个项目，共三十九个任务（包括技能实训），涵盖了该课程的核心内容，并融入了智能制造的新理念和新技术。

本书有以下几方面的编写特色。

（1）任务驱动：紧扣“适用、够用”原则，选用企业典型工作任务，设置真实工作情境，由浅入深，循序渐进。

（2）理实结合：通过理论、实践相结合的方式，综合运用当前新技术的最新成果，提高学习者的实际应用能力。

（3）数字化赋能：通过二维码等方式，提供丰富的示意图、视频动画和虚拟仿真实验，增强学习体验。

（4）智能化导向：结合智能制造趋势，介绍液压与气动技术在智能系统中的应用，培养读者面向未来的技术视野。

（5）思政融入：体现党的二十大精神，培养读者的工匠精神、创新意识和社会责任感。



本书在编写过程中注重课程思政元素的融入,体现教育立德树人的根本任务。本书通过介绍液压与气动技术在国家重大工程和智能制造中的应用,激发读者的爱国情怀和创新精神;通过分析技术发展历程,培养读者的工匠精神和终身学习意识;通过探讨技术应用的环保和安全问题,强化读者的社会责任感。这些内容旨在引导读者树立正确的人生观、价值观,成长为德才兼备的新时代技术人才。

本书主要面向高职院校装备制造大类及相近专业的学生,也适用于相关行业从业人员。为了充分利用本教材,建议读者按照章节顺序学习,并在阅读过程中进行课堂讨论、实验实践和习题练习。教师可以根据教学计划和学生水平,灵活调整教学内容和难度。

本书的编写得到了各级领导的关心和支持。同时,本书的编写也得到合作企业高级工程师的帮助,他们提供了很好的建议和素材,在此表示衷心的感谢。

本书由周卫兵拟定大纲、编写样章并定稿,邱熹程负责项目三、项目五的编写并统稿,蔡俣林负责项目四、项目七和附录的编写,欧阳群鑫、龙丽琴、罗悻哲、李林星和欧仕荣分别编写了项目二、项目六、项目一、项目八和项目九。毛传明、曾宪、陈威、胡杨、唐可也参与了本书的编写。

本书编者还为广大一线教师提供了服务于本书的教学资源库,包括习题答案、配套线上资源(二维码内资源)、教学课件、电子教案、课程标准等丰富的数字化资源,有需要者可致电教学助手 13810412048 或发邮件至 2393867076@qq.com。书中视频可通过扫描二维码观看。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2025 年 1 月

目 录

项目一 认识液压系统

任务一 解析工作原理与组成结构	2
一、生活中液压应用案例	2
二、液压传动的工作原理	3
三、液压传动系统的组成	4
四、液压传动的图形符号	5
任务二 探索液压传动的应用与发展	6
一、流体传动技术的应用	7
二、液压传动的发展概况	8
三、液压传动技术的发展趋势	9
四、液压传动的特点	9
任务三 探索回路仿真与调试	11
一、FluidSIM 软件介绍	11
二、回路仿真实例	13
三、实验台介绍	13
技能实训 认识液压系统	15
一、实训目的	15
二、实训设备及器材	15
三、实训内容	16
四、液压实训安全操作规程	17
五、能力拓展	18
六、实训报告范例	18

项目二 认识流体力学

任务一 解读工作介质	21
一、液压油的基本性能	22
二、液压油的选用	24



三、液压油的污染与控制	27
任务二 探索力学规律	29
一、液体的静力学	29
二、液体的动力学	32
任务三 分析压力损失	36
一、流体流动的压力损失	36
二、流体流动的小孔流量	39
任务四 剖析冲击与气穴现象	40
一、液压冲击	41
二、空穴现象	42
技能实训 测定液压油黏度	43
一、实训目的	44
二、实训设备及器材	44
三、实训内容	44
四、能力拓展	45

项目三 解析动力元件

任务一 探究液压泵工作原理	48
一、液压泵的工作原理和分类	49
二、液压泵的主要性能参数	50
三、液压泵所需电动机的功率	52
任务二 探究齿轮泵	53
一、外啮合齿轮泵	54
二、内啮合齿轮泵	57
任务三 探究叶片泵	60
一、双作用式叶片泵	61
二、单作用式叶片泵	63
任务四 探究柱塞泵	65
一、径向柱塞泵	66
二、轴向柱塞泵	66
任务五 选用液压泵	69
技能实训 拆装液压泵	72
一、实训目的	72

二、实训设备及器材	72
三、实训内容	72
四、能力拓展	76

项目四 解析执行元件

任务一 探究液压缸	81
一、液压缸的分类及特点	82
二、液压缸的典型结构	86
三、其他液压缸的结构分析	92
任务二 探究液压马达	94
一、叶片式液压马达	95
二、轴向柱塞式液压马达	96
技能实训 拆装液压马达及液压缸	97
一、实训目的	98
二、实训设备及器材	98
三、实训内容	98
四、能力拓展	100

项目五 解析控制元件

任务一 剖析方向控制阀	106
一、单向阀	106
二、换向阀	108
任务二 剖析压力控制阀	118
一、溢流阀	119
二、减压阀	123
三、顺序阀	125
四、压力继电器	127
任务三 剖析流量控制阀	129
一、节流阀	129
二、调速阀	131
技能实训 拆装液压控制阀	133
一、实训目的	133

二、实训设备及器材	133
三、实训内容	134
四、能力拓展	139

项目六 解析辅助元件

任务一 探究油箱	149
一、油箱的作用	149
二、油箱的结构	150
三、油箱的容量	150
任务二 探究蓄能器	151
一、蓄能器的功用	152
二、蓄能器的类型和结构	153
三、蓄能器的使用和安装	153
任务三 探究其他辅助元件	154
一、油管与管接头	155
二、过滤器	158
技能实训 认识液压系统辅助元件	162
一、实训目的	162
二、实训设备及器材	162
三、实训内容	162
四、能力拓展	163

项目七 分析基本回路

任务一 解析方向控制回路	167
一、换向回路	167
二、锁紧回路	168
任务二 解析压力控制回路	170
一、调压回路	171
二、减压回路	172
三、增压回路	172
四、保压回路	173
五、卸荷回路	175
六、平衡回路	177

任务三 解析速度控制回路	178
一、调速回路	179
二、快速运动回路	183
三、速度换接回路	185
技能实训 搭建回路	188
一、实训目的	188
二、实训设备及器材	188
三、实训内容	189
四、能力拓展	190

项目八 分析典型液压系统

任务一 剖析 YT4543 型动力滑台液压系统	198
一、快进	199
二、第一次工进	200
三、第二次工进	200
四、固定挡铁停留	200
五、快退	200
六、原位停止	201
任务二 剖析 YB32-200 型液压机液压系统	203
一、液压机上滑块液压系统的工作过程	205
二、液压机下滑块液压系统的工作过程	206
三、YB32-200 型液压机液压系统的特点	207
技能实训 装调液压系统	207
一、实训目的	207
二、实训设备及器材	207
三、实训内容	208
四、能力拓展	209

项目九 探索气压传动

任务一 分析气源装置及辅助元件	213
一、动力元件	213
二、辅助元件	216



任务二	剖析气动执行元件	222
一、气缸		223
二、特殊气缸		224
三、气动马达		227
任务三	剖析气动控制元件	229
一、气动方向控制阀		230
二、压力控制阀		234
三、流量控制阀		236
任务四	解析气动基本回路	238
一、方向控制回路		239
二、压力控制回路		240
三、速度控制回路		241
四、安全保护回路		243
五、延时回路		244
六、顺序动作回路		245
任务五	典型气压回路分析	247
一、门户开闭装置		248
二、气动夹紧系统		250
三、数控加工中心气动换刀系统		251
四、气液动力滑台		252
技能实训	搭建与调试气动回路	254
一、实训目的		254
二、实训设备及器材		254
三、实训内容		255
四、能力拓展		256
附录	相关数字资源	259
参考文献		260



项目一

认识液压系统

项目概述

在当今工业生产和机械制造领域，一台完整的机器通常由原动机部分、传动部分、控制部分、工作机构（含辅助装置）等组成。其中，传动部分作为关键的中间环节，肩负着将原动机的输出功高效传送给工作机构的重要使命。传动机构主要分为机械传动机构、电气传动机构和流体传动机构。

流体传动作为一种重要的传动方式，在现代工业中发挥着不可或缺的作用。它以液体作为工作介质进行能量传递，依据工作原理的不同，可分为液压传动和液力传动两种。液压传动主要利用液体压力能来传递能量，在众多工业场景中展现出强大的动力和精准的控制能力；液力传动则主要利用液体的动能来传递能量，为特定的机械系统提供独特的动力传输解决方案。



液压系统结构





任务一

解析工作原理与组成结构



任务引入

金秋时节，程刚和宋红相约鱼形山风景区郊游，路上车子抛锚了。宋红下车检查，发现是轮胎爆胎了。他从车中拿出液压千斤顶，顺利更换了备胎。程刚则陷入了沉思：为什么一个小小的千斤顶能举起重量是它几十倍甚至上百倍的庞然大物呢？它又是怎么工作的呢？带着这些思考我们开始学习本任务的内容。

目标规划

知识目标

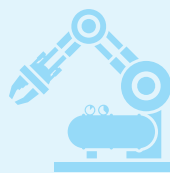
- (1) 阐明液压传动的工作原理。
- (2) 说出液压传动系统的组成及各组成部分的作用。
- (3) 识别液压元件的职能符号。

能力目标

- (1) 能初步识读液压原理图。
- (2) 能分析磨床工作台的液压传动系统原理。

素养目标

- (1) 感悟工作原理，培养严谨分析习惯。
- (2) 领略液压魅力，树立科技自信理想。
- (3) 探索系统结构，提升创新实践能力。



知识链接

一、生活中液压应用案例

液压传动是以液体为工作介质，利用密闭系统中的液体压力能来传递运动和动力的一种传动方式。液压传动在国民经济中占有重要地位，是现代工业传动的主要形式之一，广泛应用于工程机械、航空航天、冶金机械、机床工具、农业机械、汽车工业、重型机械等多个领域。液压传动的应用案例有注塑机、挖掘机、C919 国产大飞机、“蛟龙号”潜水器，

如图 1-1 所示。



图 1-1 液压传动的应用案例

二、液压传动的工作原理

(一) 千斤顶

如图 1-2 所示，提起手柄 1 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 被打开，通过油管 6 从油箱 5 中吸油；用力压下手柄 1，小活塞下移，小活塞下腔压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 3 打开，下腔的油液经油管 9、油管 10 输入液压缸 11 的下腔，迫使大活塞向上移动，顶起重物。不断地重复提、压手柄 1，实现吸油压油，使重物逐渐地升起，并且，提、压手柄 1 的速度越快，重物上升的速度越快。若打开截止阀 8，液压缸 11 下腔的油液通过油管 10、截止阀 8、油管 7，流回油箱 5，重物就向下移动。其工作过程可扫描“液压千斤顶工作原理”二维码进行查阅。

液压千斤顶是一个简单的液压传动装置，通过上述对液压千斤顶工作过程的分析，可以看出液压传动的基本工作原理：以油液作为工作介质，通过密封容积的变化来传递运动，通过油液内部的压力来传递动力。液压传动装置实质上是一种能量转换装置，首先将机械能转换成油液的压力能，然后再将油液的压力能转换为机械能做功。

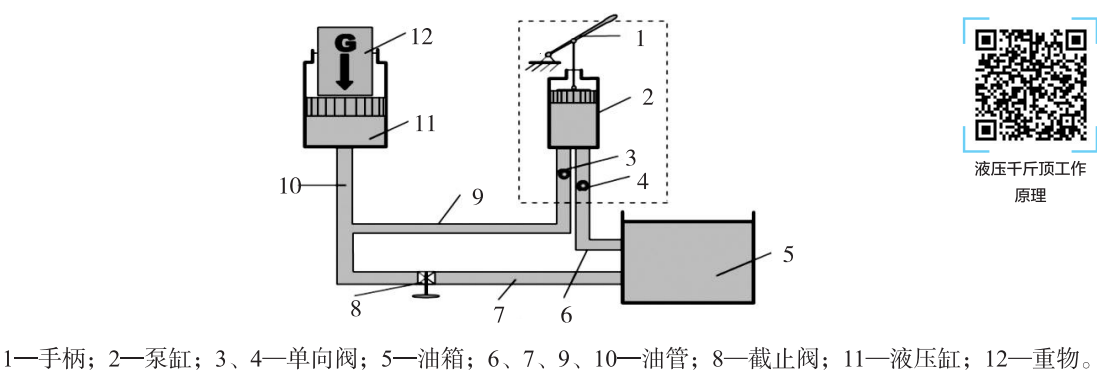


图 1-2 液压千斤顶工作原理图

(二) 磨床工作台

磨床工作台液压系统工作原理如图 1-3（a）所示，液压泵 4 在电动机（图中未画出）的带动下旋转，油液由油箱 1 经过滤器 2 被吸入液压泵 4，由液压泵 4 输出的压力油通过



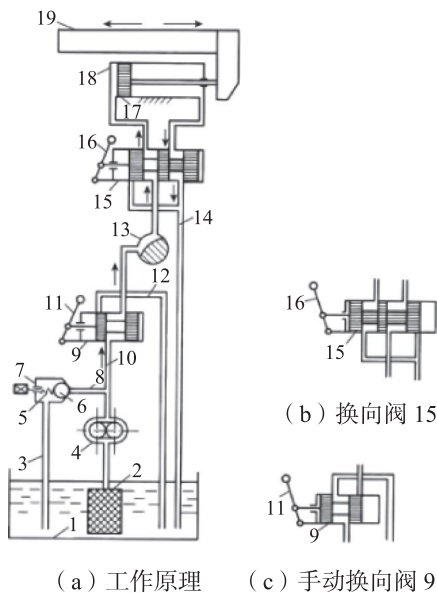
手动换向阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 的左腔，推动活塞 17 和工作台 19 向右移动，液压缸 18 右腔的油液经换向阀 15 排回油箱。

如果将换向阀 15 转换成图 1-3 (b) 所示的状态，则压力油进入液压缸 18 的右腔，推动活塞 17 和工作台 19 向左移动，液压缸 18 左腔的油液经换向阀 15 排回油箱。

工作台 19 的移动速度由节流阀 13 来调节。当节流阀 13 阀口增大时，进入液压缸 18 的油液增多，工作台的移动速度增大；当节流阀 13 阀口关小时，工作台的移动速度减小。液压泵 4 输出的压力油除了进入节流阀 13 以外，其余的经打开的溢流阀 7 流回油箱。

如果将手动换向阀 9 转换成图 1-3 (c) 所示的状态，液压泵 4 输出的油液经手动换向阀 9 直接流回油箱，这时工作台停止运动，液压系统处于卸荷状态。

图 1-3 (a) 所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理简图，它直观性强、易理解，但难绘制，因此在实际工作中，一般都采用《流体传动系统及元件 图形符号和回路图 第 1 部分：图形符号》(GB/T 786.1—2021) 所规定的液压与气动图形符号来绘制液压系统。图 1-4 所示即采用图形符号来表示磨床工作台的液压系统。



1—油箱；2—过滤器；3、12、14—回油管；4—液压泵；5—弹簧；6—钢球；7—溢流阀；8、10—压力油管；9—手动换向阀；11、16—换向手柄；13—节流阀；15—换向阀；17—活塞；18—液压缸；19—工作台。

图 1-3 磨床工作台液压系统

三、液压传动系统的组成

由磨床工作台液压系统的例子可以看出，一个完整的液压系统主要由以下五个部分组成。

(1) 工作介质（传动介质）。工作介质指传动液体，在液压传动系统中通常用液压油做工作介质。

(2) 动力元件(动力装置)。动力元件是指能将原动机的机械能转换成液体液压能的装置,它是液压传动系统的动力源。在液压传动系统中,动力元件主要是液压泵,其作用是向液压传动系统提供压力油。

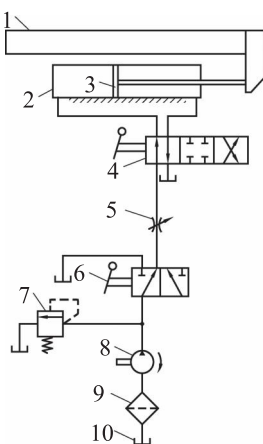
(3) 控制元件(控制调节装置)。控制元件主要包括各种阀类元件,其作用是控制工作介质的流动方向、压力和流量,以保证执行元件按要求工作。

(4) 执行元件(执行装置)。执行元件是指液压缸或液压马达,是将液体压力能转换为机械能的装置,其作用是在工作介质的作用下输出力和速度或转矩和转速,以驱动工作机构做功。

(5) 辅助元件(辅助装置)。除以上元件外的其他元器件都称为辅助元件,如油箱、过滤器、蓄能器、压力表、管件、管接头和各种信号转换器等。它们是一些对完成主运动起辅助作用的元件,在系统中并非可有可无,而是必不可少的,对保证系统正常工作有着重要的作用。

四、液压传动的图形符号

在图 1-3 中,液压传动系统的各个元件是用半结构式图形绘制出来的。半结构式图形的原理图直观性强,容易理解,但绘制起来比较麻烦,在系统中的元件数量比较多时更是如此。因此,在实际工程中,除某些特殊情况外,一般都用简单的图形符号来绘制液压传动系统原理图。图形符号的画法应采用 GB/T 786.1—2021 规定的画法。在绘制回路图或系统原理图时,元件图形符号的大小可根据图纸幅面大小按适当比例增大或缩小绘制,原则是清晰美观。元件的方向可以根据具体情况进行水平绘制、垂直绘制或反转 180° 绘制,但是,油箱必须水平绘制并且开口向上。磨床工作台液压系统的图形符号如图 1-4 所示。



1—工作台; 2—液压缸; 3—活塞; 4—换向阀; 5—节流阀; 6—开停阀;
7—溢流阀; 8—液压泵; 9—滤油器; 10—油箱。

图 1-4 磨床工作台液压系统的图形符号

图形符号表示元件的功能，不表示元件的具体结构和参数；反映各元件在系统中的相互关系，不反映其空间安装位置；反映静止位置或初始位置的工作状态，不反映其工作过程。

拓展阅读

太重智能高端液压挖掘机走向世界

作为新中国自行设计建造的第一座重型机械制造企业、有着“共和国长子”美誉的太原重型机械集团有限公司（简以下称“太重集团”），如今是全球唯一能够同时生产4~75立方米矿用挖掘机和0.8~200吨级全系列多动力液压挖掘机的研发制造基地。

太重集团把烦琐工作“装”进计算机，一个计算模型即可容纳数万个变量，能准确无误控制黑灯产线上复杂的工作内容，精准识别抓取不同型号的部件，实现智能感知、智慧控制，尽显严谨有序的工业之美。

深耕高端装备制造领域的太重集团正向全球价值链中高端迈进，不断提升全球竞争力。目前，太重集团已推出定制化服务、全生命周期管理、信息化增值等服务，业务不断向产业链后端拓展，进一步拉长了产业链条。同时，太重集团充分利用数字化、智能化技术，实时了解设备运行情况，向高附加值的研发和服务等环节延伸，做到有需求立刻响应，从而不断提升产品的市场竞争力。

来源：杜鹃，王泽龙. 太重智能高端液压挖掘机走向世界[N]. 山西日报，2024-04-08（1）.

任务二

探索液压传动的应用与发展



任务引入

在高新产业园区一家工厂的生产线上，由于产品堆积过多，工人们很难将重物顺利移动。面对这一问题，工程师提出了液压系统的解决方案。通过学习液压系统的原理和应用，工人们见识了液压系统的威力，顺利将重物移动，而且提高了生产效率。液压系统的应用和发展不仅在工厂生产中起到关键作用，还广泛应用于起重机械、航空、建筑工程等领域，为现代社会的发展做出重要贡献。

目标规划

知识目标

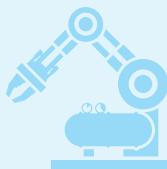
- (1) 了解液压的发展历程。
- (2) 熟悉液压传动系统的典型应用。

能力目标

- (1) 能列举液压传动的典型应用。
- (2) 能说出液压系统的工作特点。

素养目标

- (1) 体验应用发展，塑造开拓进取精神。
- (2) 认知技术动态，确立科技强国志向。
- (3) 感受创新力量，提高职业担当素养。



知识链接

一、流体传动技术的应用

由于液压与气压传动有许多突出的优点，因而在各国国民经济的各个领域中都得到了广泛的应用，但各部门应用液压与气压传动的出发点不同。工程机械采用液压传动的原因是结构简单，输出力大；航空工业采用液压传动的原因是质量轻、体积小；机床中采用液压传动技术主要是因为其可实现无级调速，易于实现自动化，能实现换向频繁的往复运动；在电子工业、包装机械、印染机械、食品机械等方面频繁使用气压传动是因为气压传动操作方便和无油、无污染的特点。液压与气压传动在机械行业中的应用如表 1-1 所示。

表1-1 液压与气压传动在机械行业中的应用

行业名称	应用场合举例
机床工业	磨床、铣床、刨床、拉床、压力机、自动机床、组合机床、数控机床、加工中心等
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、压路机等
汽车工业	环卫车、自卸式汽车、平板车、高空作业车等
农业机械	联合收割机的控制系统、拖拉机的悬挂装置等
轻工、化工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、胶片冷却机、造纸机等
起重运输机械	起重机、叉车、装卸机械、液压千斤顶等



续表

行业名称	应用场合举例
冶金机械	电炉控制系统、轧钢机控制系统等
矿山机械	开采机、提升机、液压支架等
建筑机械	打桩机、平地机等
船舶港口机械	起货机、锚机、舵机等
铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机等

二、液压传动的发展概况

液压传动相对于机械传动来说是一门新学科。从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传动原理，以及 18 世纪末英国制成第一台水压机算起，液压传动已有几百年的历史，只是由于早期技术水平和生产需求的不足，液压传动技术没有得到普遍应用。随着科学技术的不断发展，对传动技术的要求越来越高，液压传动技术自身也在不断发展，特别是在第二次世界大战期间及战后，由于军事及基础建设需求的刺激，液压技术亦日趋成熟。第二次世界大战前后，液压传动装置成功地被用于舰艇炮塔转向器，其后出现了液压六角车床和磨床，一些通用机床到 20 世纪 30 年代才用上了液压传动。第二次世界大战期间，在兵器上采用了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置，这大大提高了兵器的性能，也大大促进了液压技术的发展。战后，液压技术迅速转向民用，并随着各种标准的不断制定和完善及各类元件的标准化、规格化、系列化而在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业中推广开来。

20 世纪 60 年代以后，液压技术随着原子能技术、空间技术、计算机技术的发展得到了迅速的发展和广泛的应用，已经发展为一门完整的自动化技术。特别是在出现了运动精度高、响应速度快的伺服阀后，液压技术的应用更为广泛。在 20 世纪 70 年代末至 80 年代末，计算机的迅速发展促使液压技术进入了数控液压伺服技术的时期。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）、计算机直接控制（CDC）、机电一体化技术，以及污染控制技术等方面是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。电子技术和液压技术相结合是液压系统实现自动控制的发展方向。

我国于 20 世纪 50 年代末开始发展液压工业，其产品最初只用于机床和锻压设备，后来才用到其他类型的设备上，比如拖拉机和工程机械。上海江南造船厂于 1961 年成功制造了我国第一台万吨水压机，这台水压机的研制成功，对我国的锻造事业跨进世界先进行列起到了重要的作用。我国的工程技术人员自 1964 年从国外引进一些液压元件生产技术后，即着手进行自主设计、研制和生产。20 世纪八九十年代，我国对液压行业进行重点

改革,扩大对外交流与合作,加快对国外先进液压元件的引进、消化和吸收。现在,我国的液压元件已形成了系列,并在各种机械设备上得到了广泛的使用。

三、液压传动技术的发展趋势

近年来,世界科学技术不断迅速发展,对液压传动提出了更高的要求。液压传动与电子技术配合在一起,广泛应用于智能机器人、海洋开发、宇宙航行、地震预测及各种电液伺服系统,使液压传动的应用提高到一个崭新的高度。目前,液压传动发展动向有以下几点。

- (1) 节约能源,发展低能耗元件,提高元件效率。
- (2) 发展新型液压介质和相应元件,如发展高水基液压介质和元件、新型石油基液压介质。
- (3) 注意环境保护,降低液压元件噪声。
- (4) 重视液压油的污染控制。
- (5) 进一步发展电气-液压控制,提高控制性能和操作性能。
- (6) 重视发展密封技术,防止漏油。
- (7) 其他方面,如元件微型化、复合化和系统集成化的趋势仍在继续发展,液压系统元件的可靠性设计、逻辑设计与电子技术的高度结合,以及对故障的早期诊断、预测和防止失效的早期警报等都越来越受到重视。

四、液压传动的特点

液压传动与机械传动、电气传动、气压传动相比,具有以下特点。

(一) 液压传动的主要优点

- (1) 液压传动能方便地实现无级调速,调速范围大。
- (2) 在相同功率情况下,液压传动能量转换元件的体积较小,重量较轻。
- (3) 液压传动工作平稳,反应速度快,冲击小,能高速启动、制动和换向。
- (4) 液压系统便于实现过载保护。
- (5) 液压系统操作简单,便于实现自动化,特别是和电气控制联合使用时,易于实现复杂的自动工作循环。
- (6) 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化,故便于设计、制造。

(二) 液压传动的主要缺点

- (1) 由于泄漏及液体的可压缩性,液压传动无法保证严格的传动比。
- (2) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在很高和很低的温度下工作,且易污染环境。



液压传动的特点

拓展
阅读

液压技术的历史与当今应用

因为液压可以驱动物体运动，就像人的肌肉驱动肢体运动一样，有力而灵活，所以，在需要驱动物体（设备、机械、工件）运动时，工程师首先会想到液压技术。

1. 简要历史

早在公元前200年，人类就通过水轮的方式开始利用水力，直到蒸汽机进入实用前，所使用的动力除了肌肉力、风力外，就是水力。

大约在1600年，德国人凯普勒发明了齿轮泵，但最初并未获得应用。

在1663年，法国人帕斯卡提出了液压机的原理。1795年英国人博拉玛制造出第一台工业用的水压机。在蒸汽机能够实用后，在英国、法国开始建设为驱动液压机械提供能量的高压水网。

19世纪下半叶，英国人阿姆斯强研发了很多液压机械和元件，主要用于船舶绞锚机和提升机。1880年奥地利在开凿阿尔卑斯山隧道时第一次使用了液压钻机。那时，许多零件与现在的元件已经很相似。

到1939年，伦敦的高压水网已达300 km，每年为8 000台液压设备提供7 500 000 m³ 5.5 MPa的压力水。直到20世纪70年代，此网还在为伦敦地铁的升降梯提供液压能。

1905年，人们发现矿物油更适宜作为压力介质，因此，在很短时间内就普遍改用油了。

液压技术在两次世界大战期间被更迅速地推进了。到1940年，工作压力为35 MPa的液压泵已系列生产。

2. 当今应用

现在，很少有工业产品可以不靠运用液压技术而生产，液压产业已成为现代制造业的支柱型产业，液压技术在国民经济各领域中都起着重要作用。但液压技术是个幕后英雄，大部分用在日常生活看不到的地方，因此，其重要性经常被低估。液压产业虽然相对整个国民经济体量不大，但影响很大，所以，其被喻为“秤砣”，并不为过。

来源：张海平. 白话液压[M]. 北京：机械工业出版社，2018.

任务三

探索回路仿真与调试



任务引入

在机械制造公司的研发部，工程师遇到液压回路问题，设备无法正常工作。他们学习液压回路仿真与调试，利用软件建立虚拟模型，模拟元件工作并优化参数。经过仿真与调试，问题解决，设备正常运行。液压回路仿真与调试能够提高效率、减少成本。掌握这项技术，工程师能分析和解决问题，提升设备性能。液压回路仿真与调试是液压技术创新和进步的重要组成部分。

目标规划

知识目标

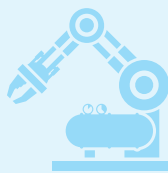
- (1) 掌握简单回路仿真与调试过程。
- (2) 熟悉 FluidSIM 软件的操作。
- (3) 了解仿真软件的操作方式。

能力目标

- (1) 能应用仿真软件搭建回路。
- (2) 能模拟仿真简单回路。

素养目标

- (1) 实践回路仿真，培养科学探索精神。
- (2) 感悟调试过程，树立精益求精理念。
- (3) 参与技能实训，提升团队协作能力。



知识链接

一、FluidSIM 软件介绍

FluidSIM 软件由德国 Festo 公司 Didactic 教学部门和 Paderborn 大学联合开发，是专门用于液压、气动技术的教学软件。通过该软件，读者可以在计算机上进行气动、电气气动、液压、电气液压知识的学习，以及回路的设计、测试和模拟。该软件具有强大的仿真

功能，可以实时显示实际控制回路的动作。

FluidSIM 软件分两个部分，其中 FluidSIM-H 用于液压传动的教学，而 FluidSIM-P 用于气压传动的教学。FluidSIM 软件用户界面直观，采用类似于画图软件的图形操作界面，拖拉图标进行设计，面向对象设置参数，易于学习，用户可以很快地学会绘制电气-液压（气压）回路图，并对其进行仿真。FluidSIM-H 和 FluidSIM-P 用户界面完全一致，操作类似。FluidSIM-H 软件主界面如图 1-5 所示，图 1-6 所示为液压回路仿真界面。

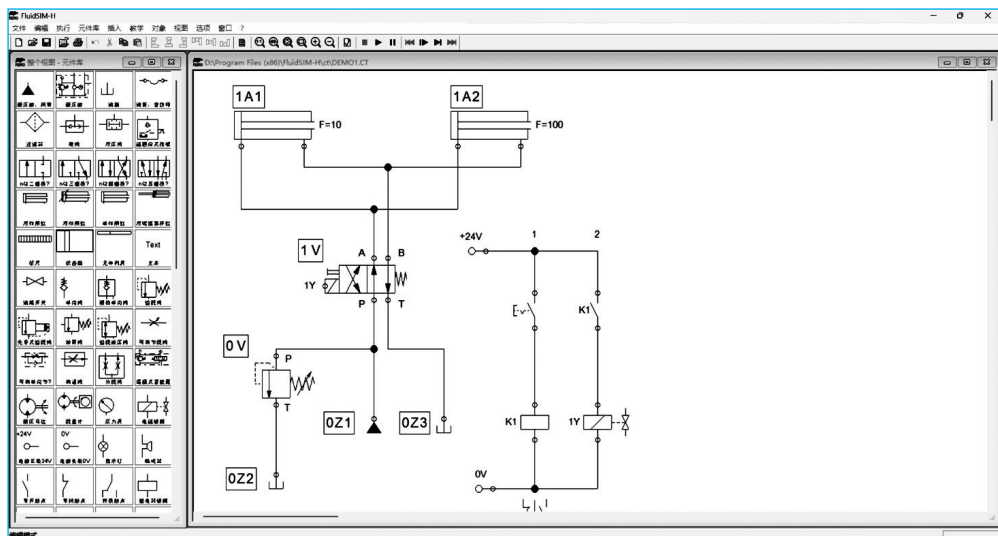


图 1-5 FluidSIM-H 软件主界面

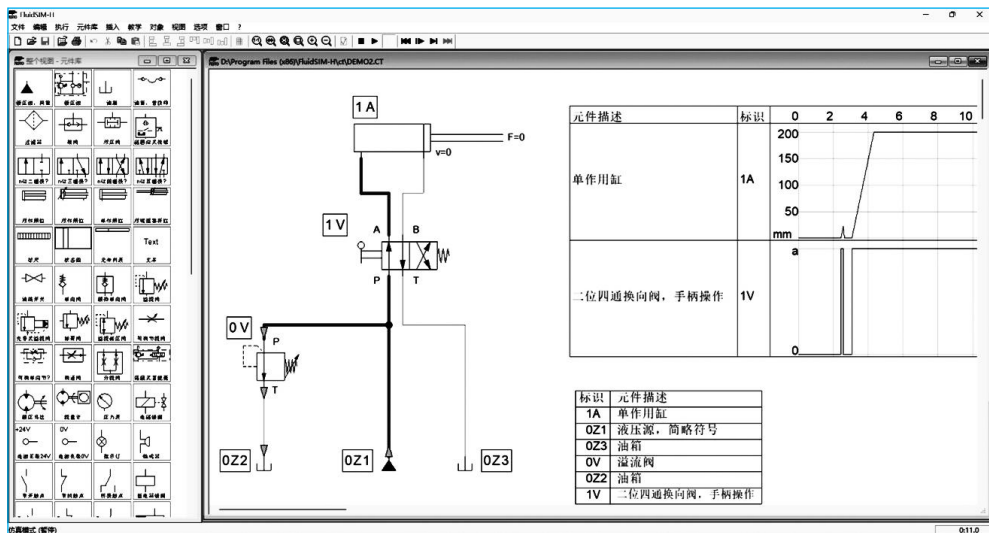


图 1-6 液压回路仿真界面

从图 1-5 可以看到，元件库在左半部分，设计界面在右半部分，用户可以直接用鼠标从左边的元件库中拖拉液压元件放在右边的设计区进行设计，回路可以课前设计，也可在

课堂上现场设计。界面上已经设计了一个液压回路，图中黑色线条为油管，主要液压元件为溢流阀、手动二位四通换向阀、双作用液压缸、液压源和压力表。单击界面上部工具栏选项中的黑色三角形仿真按钮进行仿真，并用鼠标点动换向阀到左位进行换向工作。

二、回路仿真实例

用 FluidSIM-H 教学软件绘制液压回路，并模拟仿真工作过程。按照机床液压滑台液压系统绘制液压回路，图 1-7（a）所示为活塞杆伸出，图 1-7（b）所示为活塞杆缩回。软件的仿真功能可以实时显示液压缸活塞杆的伸出与缩回动作，如图 1-6 所示，在软件界面窗口，单击界面上部工具栏选项中的黑色三角形仿真按钮，完成系统仿真。

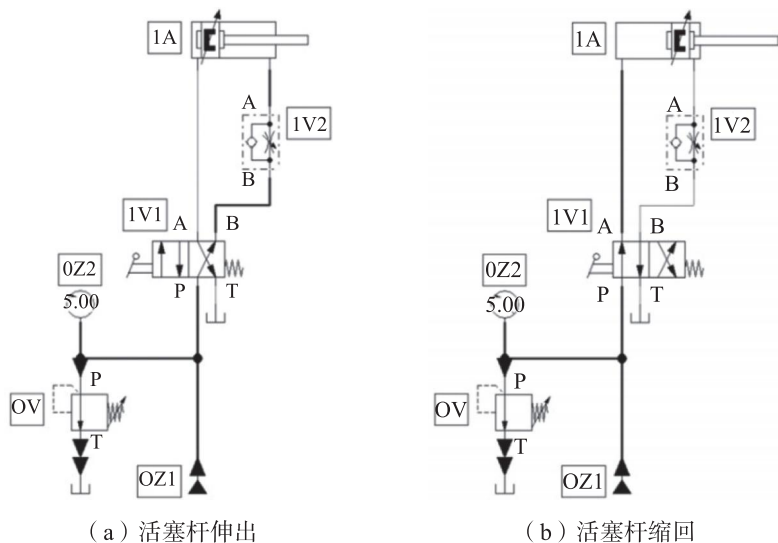


图 1-7 液压回路

三、实验台介绍

图 1-8 所示的液压综合实验装置是根据职业院校液压与气动技术、机电一体化技术、机械制造等专业的实验、实训教学要求设计的开放式综合实验台。实验台全部采用工业液压元件，通过专门的安装连接和快换接头组件完成各种液压实训回路。电气控制系统采用模块化设计，配备了按钮、继电器、PLC、时间继电器等控制模块，可以自由搭建各种电气控制回路，可对流量、压力、速度、功率参数实现精确测量，通过数据采集卡和计算机连接，实现计算机智能数据采集、分析、处理、数字展示。综合实验台使用安全可靠，是现代化液压工业典型的应用缩影，是实现机、电、液一体化教学的新型液压开放式综合性实验装置。



图 1-8 液压综合实验装置

液压综合实验装置可以完成液压泵、溢流阀、节流阀、调速阀、减压阀等各类液压元件的性能测试；可以根据实训要求完成调压回路、调速回路、PLC 控制换向回路、卸荷回路、差动回路、顺序动作回路、速度换接回路、同步回路、PLC 延时控制回路、平衡回路等多种基本回路的实训；也可以用于读者自行设计、组建较复杂液压系统实训回路。

综合实验装置同时配备了各种液压元件的塑料透明模型，读者可以与真实工业元件对照学习，从而加深对于各种液压元件的结构、工作原理的理解和认识，有利于液压传动技术的学习和应用。

拓展阅读



液压与气动回路仿真技术的新发展

近年来，随着计算机技术的飞速发展，液压与气动回路仿真技术也取得了显著的进步。仿真软件的功能越来越强大，能够更加准确地模拟各种复杂的液压与气动系统。

在液压回路仿真方面，先进的仿真软件可以对系统的动态性能进行详细分析，包括压力变化、流量波动、执行元件的速度和加速度等。通过仿真，工程师可以在设计阶段就发现潜在的问题，并进行优化设计，从而提高系统的可靠性和性能。

例如，某汽车制造企业在设计新的液压制动系统时，利用仿真软件对不同工况下的制动性能进行了模拟，通过调整参数，优化了制动系统的响应时间和制动力分配，提高了汽车的安全性。

在气动回路仿真方面，仿真软件可以帮助工程师设计高效的气动控制系统。通过对气体流动、压力损失和执行元件的动作进行模拟，工程师可以优化气动回路的布局和元件选型，降低系统的能耗和噪声。

此外，虚拟现实和增强现实技术也开始应用于液压与气动回路的仿真与调试。工程师可以通过虚拟现实设备身临其境地观察系统的运行情况，进行故障诊断和调试，提高工作效率。

总之，液压与气动回路仿真技术的不断发展为工程设计和系统调试提供了强大的工具，有助于提高系统的性能和可靠性，降低成本和缩短开发周期。

技能实训 认识液压系统

在实训教师的指导下观察液压千斤顶、磨床等设备的工作过程，了解其基本组成结构，分析其工作原理。通过动手操作简单液压传动系统的运行，建立对液压传动系统的认识，激发对液压传动技术的学习兴趣。

一、实训目的

- (1) 认识液压传动系统的基本组成。
- (2) 认识常用液压元件。
- (3) 建立液压回路的基本概念。
- (4) 根据所学的知识搭建简单液压传动系统。
- (5) 根据 GB/T 786.1—2021 绘制简单液压传动系统图。
- (6) 启动液压传动系统，观察其工作过程。

二、实训设备及器材

实训设备及器材如表 1-2 所示。

表1-2 实训设备及器材

设备及器材	型号	数量
液压综合实验装置	THPYQ-1或类似型号	6台



续表

设备及器材	型号	数量
平面磨床	M7140或类似型号	2台
液压千斤顶	—	6台
工业液压元件	液压泵、缸、阀、辅助元件	若干
透明液压元件模型	液压泵、缸、阀透明模型	若干
工具	内六角扳手、固定扳手、螺丝刀等	6套

三、实训内容

(一) 观察液压千斤顶工作过程

- (1) 教师讲解液压千斤顶工作原理及操作方法，提出实训要求和注意事项。
- (2) 学生操作液压千斤顶抬起重物，观察已经拆解的液压千斤顶结构，分析并绘制其工作原理图，初步认识液压传动工作原理。

(二) 观察磨床工作台工作过程，分析其工作原理

- (1) 教师讲解平面磨床工作台（或其他液压设备）工作原理，并操作机床进行加工。
- (2) 学生注意观察磨床工作台在空载运行、换向、调速及负载运行时的工作情况，了解液压传动工作原理及应用。

(三) 教师演示、学生观察系统回路

教师预先在实验台上连接好液压传动系统回路，并进行演示，学生观察并分析其工作过程与工作原理。实训液压传动系统的组成如图 1-9 所示。

1. 教师操作液压传动系统演示工作过程

启动电动机驱动液压泵 3 从油箱 1 中吸油，将压力油输入回路，经节流阀 5、换向阀 6 输入液压缸 7 左腔，推动活塞 8 向右移动。液压缸 7 右腔的油经换向阀 6 和回油管流回油箱 1。系统可以通过调节各控制元件实现执行元件的换向、调压与稳压，以及调速功能。

(1) 换向功能。操纵换向阀 6 手柄改变换向阀工作位置，使油液分别进入液压缸的两腔，实现活塞左右移动。

(2) 调压与稳压功能。调节溢流阀 4 可以实现系统的稳压与调压，当系统负载增大时油压升高；当系统负载减小时油压降低。

(3) 调速功能。调节节流阀 5 可以改变活塞的运动速度。



荷，然后关闭油泵，切断电源。

(8) 实训完毕后按要求收回所有连接管路和液压元件，并擦干净工作台和液压元件。

五、能力拓展

(1) 在实训中你所认识的液压元件的功能是什么？你所认识的液压元件属于哪类元件？请你把认识的液压元件进行归类。

(2) 根据 GB/T 786.1—2021 所规定的液压图形符号，绘制出所搭建的液压传动系统图。

(3) 举例说明液压传动在实际生产中的应用。

六、实训报告范例

实训后，填写下列实训报告。

实训报告（缩写示例）

学生：_____ 班级：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 教师签名：_____

实训项目							
实训目的							
液压元件	名称						
	图形符号						
	型号						
	数量						
(1) 写出实训内容； (2) 写出实训步骤； (3) 说明该液压元件（回路）在工业中的作用； (4) 能力拓展解答							

思考与习题

一、填空题

1. 液压传动是以_____为工作介质, 利用密闭系统中的液体_____来传递运动和动力的一种传动方式。
2. 液压传动装置实质上是一种能量转换装置, 首先将_____转换成油液的_____, 然后再将油液的_____转换为_____做功。
3. 一个完整的液压系统主要由_____, _____、_____, _____、_____五个部分组成。
4. 液压图形符号的画法应采用国家标准_____规定的画法。

二、判断题

1. 液压是以油液作为工作介质, 通过密封容积的变化来传递运动, 通过油液内部的压力来传递动力的。 ()
2. 动力元件是指能将液体液压能转换成原动机机械能的装置。 ()
3. 执行元件是将液体压力能转换为机械能的装置。 ()
4. 图形符号表示元件的功能, 能表示元件的具体结构和参数。 ()
5. 机床中采用液压传动技术主要是因为其可实现无级调速, 易于实现自动化, 能实现换向频繁的往复运动。 ()

三、问答题

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? 试说明各部分的作用。
3. 查阅资料, 简述液压传动的未来发展方向。
4. 液压传动有哪些优点和缺点?
5. 观察身边的事物, 举例说明液压传动在生活中的应用实例。
6. 我国对液压元件的图形符号作了哪些规定和说明?