

液压与气动技术

● 主编 杨耀东 韩志明



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

液压与气动技术

主 编 杨耀东 韩志引
副主编 李国奇 薛家慧 徐利云
参 编 袁桂珍 李 呈 孟文晔 刘 真

内 容 简 介

本书分为三个学习情境,分别是:基础理论部分,液压传动部分,以及气压传动部分。共15个项目,其中基础理论部分包括液压传动概述,液压传动基础,共2个项目;液压传动部分包括液压泵与液压马达,液压缸,液压控制元件,液压辅助元件,液压基本回路,典型液压系统,液压伺服系统,共7个项目;气压传动部分包括气压传动基本知识,气源及辅助元件,气动执行元件,气动控制元件,气动基本回路,典型气压传动系统共6个项目。

本书主要作为高等院校机械类相关专业的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术 / 杨耀东, 韩志明主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 8

ISBN 978 - 7 - 5682 - 4537 - 1

I. ①液… II. ①杨… ②韩… III. ①液压传动 - 高等学校 - 教材②气压传动 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 188557 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 411 千字

版 次 / 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 63.00 元

责任编辑 / 赵 岩

文案编辑 / 梁 潇

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

本书根据高等教育的特点,以归纳出液压与气动技术的共性与个性,阐述了基本理论、基本内容和基本方法,并提供了相关的背景资料。本书深入浅出,图文并茂,选编了较多的应用实例,并增加了技能实训部分,更注重技术应用能力的培养,突出实用技术应用的训练。本书内容力求先进,体系力求新颖。既保证了高等教育的规格要求,又力求创新,体现应用特色。本书编写了课后思考题和习题,有利于学生巩固所学知识,加深对基本概念的理解,并提高分析、解决实际问题的能力。

本书分为三个学习情境,分别是:基础理论部分,液压传动部分,以及气压传动部分。共15个项目,其中基础理论部分包括液压传动概述,液压传动基础共2个项目;液压传动部分包括液压泵与液压马达,液压缸,液压控制元件,液压辅助元件,液压基本回路,典型液压系统,液压伺服系统共7个项目;气压传动部分包括气压传动基本知识,气源及辅助元件,气动执行元件,气动控制元件,气动基本回路,典型气压传动系统共6个项目。

本书由杨耀东、韩志引任主编。李国奇、薛家慧、徐利云任副主编,同时参与编写的还有袁桂珍、李呈、孟文晔,刘真任参编。15个项目,具体分工如下:杨耀东编写基础理论部分项目一,项目二,附录部分;韩志引编写液压传动部分项目三,项目四,项目五;薛家慧编写液压传动部分项目六,项目七;徐利云编写液压传动部分项目八,项目九;李国奇编写气压传动部分项目十,项目十一;袁桂珍编写了气压传动部分项目十二;李呈编写了气压传动部分项目十三;孟文晔编写了气压传动部分的项目十四,刘真编写了气压传动部分项目十五。

在编写过程中,尽管我们尽心尽力,但由于水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

学习情境一 基础理论部分

项目一 液压传动概述	3
学习任务一 液压传动的发展	3
学习任务二 液压传动的工作原理及系统组成	4
一、液压传动的工作原理	4
二、液压传动系统的组成	5
三、液压传动系统的图形符号	5
学习任务三 液压传动的特点及应用	6
一、液压传动的特点	6
二、液压传动的应用	6
习题一	7
项目二 液压传动基础	8
学习任务一 液压系统的工作介质	8
一、液压油的性质	8
二、液压油的选用	11
三、液压油的污染与控制	13
学习任务二 液体静力学基础	14
一、压力	14
二、液压系统中压力的建立	15
三、液体作用于固体壁面上的力	16
四、压力的表示方法	17
学习任务三 液体动力学方程	18
一、液体动力学基本概念	18
二、连续性方程	19

三、伯努利方程	19
四、动量方程	21
学习任务四 液压传动的压力及流量损失	21
一、压力损失	21
二、流量损失	23
学习任务五 液体流经小孔及缝隙的流量	23
一、液体流经小孔的流量	23
二、液体流经间隙的流量	24
学习任务六 液压冲击和空穴现象	25
一、液压冲击	25
二、空穴现象	25
习题二	26

学习情境二 液压传动部分

项目三 液压泵和液压马达	31
学习任务一 概述	31
一、液压泵和液压马达的工作原理	31
二、液压泵和液压马达的主要性能参数	32
三、液压泵和液压马达的分类	34
学习任务二 齿轮泵和齿轮马达	34
一、外啮合齿轮泵	34
二、内啮合齿轮泵	38
三、齿轮泵的应用特点	39
四、齿轮式液压马达的工作原理和应用	39
学习任务三 叶片泵和液压马达	40
一、双作用叶片泵	40
二、单作用叶片泵	42
三、叶片泵的应用特点	44
四、叶片式液压马达的工作原理及应用	44
学习任务四 柱塞泵	45
一、斜盘式轴向柱塞泵	45
二、径向柱塞泵	48
三、柱塞泵的应用特点	49

四、柱塞式液压马达的工作原理及应用	49
学习任务五 液压泵及液压马达的选用	51
一、液压泵的选用	51
二、液压马达的选用	51
学习任务六 各类液压泵的性能比较及应用	52
习题三	52
项目四 液压缸	54
学习任务一 液压缸的类型及其特点	54
一、活塞式液压缸	54
二、柱塞缸	58
三、摆动缸	58
四、其他液压缸	60
学习任务二 液压缸的结构	62
一、液压缸的典型结构	62
二、液压缸的组成	62
学习任务三 液压缸常见故障及排除方法	66
习题四	67
项目五 液压控制元件	69
学习任务一 液压控制阀概述	69
学习任务二 方向控制阀	72
一、单向阀	72
二、换向阀	73
学习任务三 压力控制阀	82
一、溢流阀	82
二、减压阀	85
三、顺序阀	87
四、压力继电器	89
学习任务四 流量控制阀	90
一、流量控制原理及节流口形式	90
二、节流阀的结构及特点	92
三、调速阀和温度补偿调速阀	92
学习任务五 电液比例控制阀	95
一、比例电磁铁	95

二、电液比例压力阀	96
三、电液比例流量阀	97
四、电液比例方向阀	98
学习任务六 电液数字阀	98
一、电液数字阀的结构	99
二、电液数字阀的使用	99
学习任务七 叠加阀及二通插装阀	100
一、插装阀的结构和工作原理	100
二、方向控制插装阀	100
三、压力控制插装阀	102
四、流量控制插装阀	103
习题五	103
项目六 液压辅助元件	106
学习任务一 蓄能器	106
一、蓄能器的功用	106
二、蓄能器的类型及特点	106
三、蓄能器的使用与安装	107
学习任务二 滤油器	108
一、滤油器的功用和要求	108
二、滤油器的结构类型	109
三、滤油器的安装	111
学习任务三 热交换器	112
一、冷却器	112
二、加热器	113
学习任务四 油箱	114
一、油箱的功用及类型	114
二、油箱的结构	114
学习任务五 油管与管接头	116
一、油管	116
二、管接头	116
学习任务六 密封装置	117
一、密封的作用与要求	117
二、密封元件的种类及特点	117
习题六	120

项目七 液压基本回路	121
学习任务一 压力控制回路	121
一、调压回路	121
二、减压回路	123
三、增压回路	123
四、卸荷回路	124
五、保压回路	126
六、平衡回路	127
学习任务二 速度控制回路	129
一、调速回路	129
二、快速运动回路	138
三、速度换接回路	139
学习任务三 方向控制回路	141
一、换向回路	141
二、锁紧回路	142
学习任务四 多缸工作控制回路	144
一、顺序动作回路	144
二、同步动作回路	147
三、多缸卸荷回路	149
四、互不干涉回路	150
习题七	151
项目八 典型液压系统	155
学习任务一 组合机床动力滑台液压系统	155
一、概述	155
二、工作原理	156
三、系统特点	158
学习任务二 数控车床液压系统	159
一、概述	159
二、工作原理	159
三、系统特点	162
学习任务三 汽车起重机液压系统	162
一、概述	162
二、工作原理	163

三、系统特点	166
学习任务四 通用压力机液压系统	167
一、概述	167
二、工作原理	167
三、系统特点	170
习题八	171
项目九 液压伺服系统	173
学习任务一 液压伺服系统概述	173
一、液压伺服系统工作原理	173
二、液压伺服系统的特点及组成	174
学习任务二 液压伺服阀	175
一、液压伺服系统的分类	175
二、滑阀式液压伺服阀	176
学习任务三 电液伺服阀	179
学习任务四 液压伺服系统应用	181
习题九	183

学习情境三 气压传动部分

项目十 气压传动基本知识	187
学习任务一 气压传动系统的工作原理及组成	187
一、气压传动系统的工作原理	187
二、气压传动系统的组成	187
学习任务二 气压传动的特点	189
习题十	190
项目十一 气源及辅助元件	191
学习任务一 气源装置	191
一、空气压缩机	191
二、压缩空气净化装置	193
三、管道系统	196
学习任务二 气动辅助元件	198
一、油雾器	198

二、消声器·····	199
习题十一·····	202
项目十二 气动执行元件·····	203
学习任务一 气缸·····	203
学习任务二 气动马达·····	212
习题十二·····	214
项目十三 气动控制元件·····	215
学习任务一 方向控制阀·····	215
学习任务二 压力控制阀·····	223
学习任务三 流量控制阀·····	228
习题十三·····	230
项目十四 气动基本回路·····	231
学习任务一 方向控制回路·····	231
一、单作用气缸的换向回路·····	231
二、双作用气缸的换向回路·····	232
三、差动回路·····	232
四、气动马达换向回路·····	232
学习任务二 压力控制回路·····	233
一、一次压力控制回路·····	233
二、二次压力控制回路·····	234
三、多级压力控制回路·····	234
学习任务三 速度控制回路·····	235
一、单作用气缸的速度控制回路·····	235
二、双作用气缸的速度控制回路·····	236
三、气液联动调速回路·····	237
学习任务四 其他控制回路·····	238
一、缓冲回路·····	238
二、程序控制回路·····	239
三、安全保护回路·····	241
四、延时控制回路·····	243
习题十四·····	244

项目十五 典型气压传动系统·····	247
学习任务一 阅读气压传动系统图的一般步骤·····	247
学习任务二 全气动控制系统典型实例·····	247
一、工件夹紧气压传动系统·····	247
二、气液动力滑台气压传动系统·····	249
学习任务三 电气控制系统典型实例·····	250
一、继电器控制气动系统的设计应用·····	251
二、继电器控制气动系统举例·····	254
学习任务四 气动机械手气压传动系统·····	256
一、概述·····	256
二、工作原理·····	256
学习任务五 数控加工中心气动换刀系统·····	258
习题十五·····	260
附录 常用液压、气动图形符号摘自 GB/T 786.1—1993 ·····	262

项目一 液压传动概述

学习任务一 液压传动的发展

自 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机起, 液压传动技术至今已有二三百年的历史。然而, 直到 20 世纪 30 年代它才真正地推广使用。

1650 年帕斯卡提出静压传递原理, 1850 年英国将帕斯卡原理先后应用于液压起重机、压力机, 1795 年英国约瑟夫·布拉曼 (Joseph Braman) 在伦敦用水作为工作介质, 以水压机的形式将其应用于工业上, 诞生了世界上第一台水压机; 1905 年工作介质由水改为油, 使液压传动效果进一步得到改善。第二次世界大战期间, 在一些兵器上用上了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置, 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, 各类元件的标准化、规格化、系列化, 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 年代后, 原子能技术、空间技术、计算机技术、微电子技术等的发展再次将液压技术向前推进, 使它在国民经济的各方面都得到了应用, 已成为实现生产过程自动化、提高劳动生产率等必不可少的重要手段之一。

我国的液压工业开始于 20 世纪 50 年代, 其产品最初只用于机床和锻压设备, 后来才用到拖拉机和工程机械上。自从 1964 年从国外引进一些液压元件生产技术, 并自行设计液压产品以来, 我国的液压件已在各种机械设备上得到了广泛的使用。20 世纪 80 年代起更加速了对国外先进液压产品和技术有计划引进、消化、吸收和国产化工作, 以确保我国的液压技术能在产品质量、经济效益、研究开发等各个方面全方位地赶上世界水平。

当前, 液压技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、经久耐用、高度集成化等各项要求方面都取得了重大的进展, 在完善比例控制、伺服控制、数字控制等技术上也有许多新成就。此外, 在液压元件和液压系统的计算机辅助设计、计算机仿真和优化以及微机控制等开发性工作方面, 日益显示出显著的优势。

微电子技术的进展, 渗透到液压传动技术中并与之相结合, 创造出了很多高可靠性、低成本的微型节能元件, 为液压传动技术在工业各部门中的应用开辟了更为广阔的前景。随着科学技术的发展, 液压传动技术得以不断创新和提高, 通过改进元件和系统的性能, 以满足日益变化的市场需求。液压传动技术的持续发展体现在如下重要特征上。

- ①提高元件性能, 创制新型元件, 使其不断小型化和微型化。
- ②高度的组合化、集成化和模块化。
- ③和微电子技术相结合, 走向智能化。

④研发特殊传动介质,推进工作介质多元化。

学习任务二 液压传动的工作原理及系统组成

一、液压传动的工作原理

图1-1所示为机床工作台液压系统原理图。液压泵3由电动机带动旋转,从油箱1经滤油器2吸油,由泵输出压力油,经换向阀6、节流阀5到液压缸。当换向阀6处于中位时,工作台9停止运动;当换向阀6的手柄转换到左位时,压力油进入液压缸7左腔,推动活塞8并带动工作台向右运动,此时,液压缸右腔的油液经换向阀回油箱;当换向阀的手柄转换到右位时,压力油进入液压缸右腔,推动活塞并带动工作台向左运动。

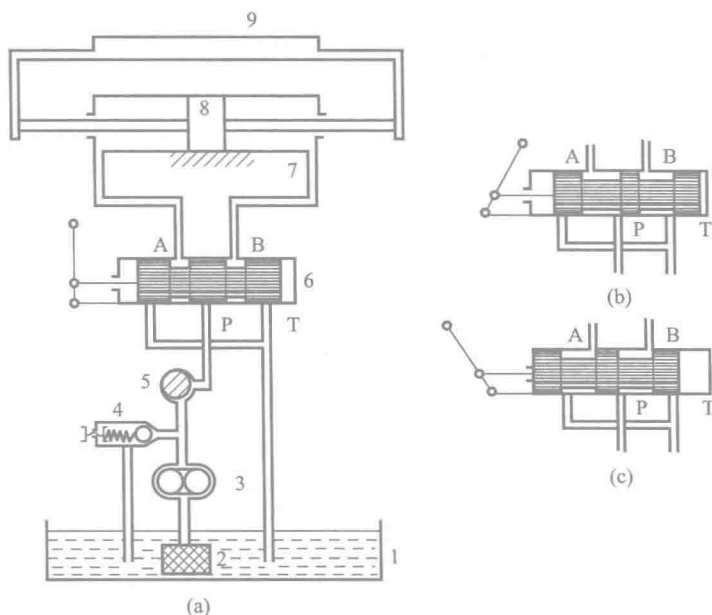


图1-1 机床工作台液压传动系统图

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

工作台往复运动时,其速度是通过节流阀5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。这种现象说明了液压传动的第一个基本原理:速度取决于流量。

克服负载所需的工作压力则由溢流阀4控制。为了克服工作台移动时所受到的外阻力,液压缸必然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。要克服的外阻力越大，缸中的油液压力就越高；反之压力就越低。这种现象说明了液压传动的第二个基本原理：压力取决于负载。

从机床工作台的例子可以得到：在液压系统中，要发生两次能量转变，即先通过液压泵把电动机（或其他原动机）的机械能转变为液体压力能，通过管路的传递和控制元件对液体的压力和流量进行调节后，再通过液压缸（或液压马达）把液体的压力能转变为机械能以推动负载运动。液压传动的过程就是机械能—液压能—机械能的转换过程。

二、液压传动系统的组成

由上面的例子还可以看到，液压系统不论简单还是复杂，都是由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件、工作介质5部分组成的。液压系统组成如表1-1所示。

表1-1 液压系统组成

序 号	组成部分	元 件	作 用
1	动力元件	液压泵	将原动机输出的机械能转换成液体压力能
2	执行元件	液压缸、液压马达	将液体的压力能转换为机械能
3	控制元件	液压控制阀	控制和调节液流的压力、流量和流动方向
4	辅助元件	油管与管接头、油箱、过滤器、蓄能器等	起连接、输油、储油、过滤、储存压力能和测量等各种辅助作用
5	工作介质	液压油	传递运动和动力

三、液压传动系统的图形符号

图1-1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，但绘制起来比较麻烦，系统中元件数量多时，绘制更加不方便。为了简化原理图的绘制，系统中各元件可用图形符号表示，这些符号只表示元件的职能、控制方式及外部接口，不表示元件的具体结构、参数及连接口的实际位置和元件的安装位置。

国家规定1993年制定的液压气动图形符号GB/T 786.1—1993（代替GB 786—1976），就属于图形符号。图1-2所示为用图形符号表示的机床工作台液压传动系统图，这样绘制起来更方便，系统图简化，原理也简单明了。按照规定，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。

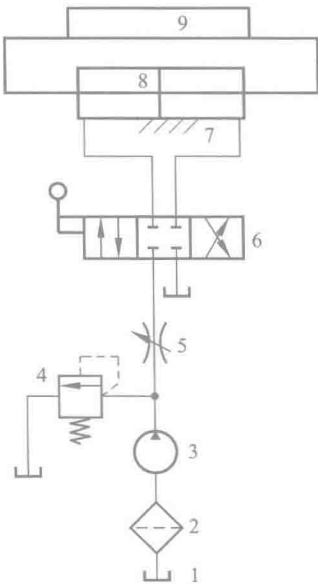


图1-2 液压传动系统图(图形符号)
1—油箱；2—换向阀；3—液压泵；4—节流阀；5—溢流阀；6—换向阀；7—压力油；8—液压缸；9—油箱