

普通高等教育面向“十二五”规划应用型人才培养教材

液压与气压传动

YEYA YU QIYA
CHUANDONG

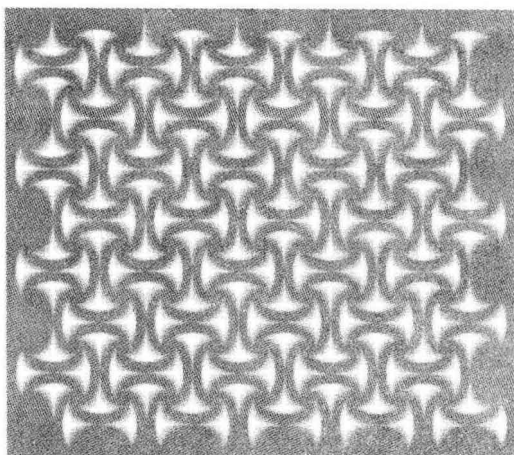
主编 闫利文 浦文禹 杜玉红 侯伟峰
主审 孟庆国



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育面向



液压与气压传动

主编 闫利文 浦文禹 杜玉红 侯伟峰

主审 孟庆国



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书分为液压传动、气压传动和液压仿真实验三篇,共16章。第一篇液压传动部分主要包括:液压传动的基本知识以及流体力学的基本理论,液压元件的结构原理以及性能,液压基本回路,典型液压系统的组成、功能以及特点,液压系统的设计计算方法与实例。第二篇气压传动部分主要包括:气压传动基础知识,气动元件,气源装置以及辅助元件,气动回路,气动回路的设计方法与应用实例。第三篇液压仿真实验主要包括:FESTO FluidSIM液压与气动仿真软件的介绍和应用实例。

本书可作为普通工科院校各机械类专业的教学用书,也可作为各类成人高校、自学考试等机械相关专业的教材,亦可供从事流体传动与控制技术的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动 / 闫利文等主编. —北京:

国防工业出版社, 2011.3

普通高等教育面向“十二五”规划应用型人才
培养教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 07338 - 6

I. ①液... II. ①闫... 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(2011)第 029101 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售



*

开本 787 × 1092 1/16 印张 20 1/4 字数 458 千字

2011 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《液压与气压传动》

编委会名单

主 编 闫利文 浦文禹 杜玉红 侯伟峰

主 审 孟庆国

编 委 李丽霞 邓三鹏 刘学斌 孙宏昌

张敬妹 李国和 冯 娜 浦文禹

杜玉红 侯伟峰 闫利文 伍兰昌

前言

液压与气压传动

本书结合我校多年来的教学经验和科研成果,并参考兄弟院校近年来所出版的教材编写而成,是高等学校机械工程及自动化的专业教材之一,可作为高等学校机械设计制造及其自动化、机械电子工程、车辆工程等专业液压与气压传动课程的教材。全书共分三篇16章。第一篇为液压传动,第二篇为气压传动,第三篇为液压仿真实验。第1章、第2章主要介绍液压传动的基本知识以及流体力学的基本理论;第3章~第6章分别介绍液压传动系统所使用的动力元件、执行元件、控制元件和辅助元件;第7章~第9章分别介绍液压传动基本回路、典型液压系统和液压系统的设计与计算;第10章介绍气压传动基础知识,第11章介绍气源装置和气动辅助元件;第12章介绍气动回路,第13章和第14章介绍气动逻辑控制系统的设计与气压传动应用实例分析;第15章介绍 FESTO FluidSIM 液压与气动仿真软件;第16章介绍 FESTO FluidSIM 仿真软件应用实例。

在编写本书过程中,力求理论联系实际,贯彻少而精、系统性以及学以致用原则,着重考虑了以下几个方面。

(1) 对流体力学、液压传动、气压传动和液压气动仿真软件四部分内容进行了适当分配,简要介绍流体力学基本理论,主要介绍液压与气压传动技术的基本原理,增加了实用例题和习题,强调基本训练,以提高学生分析问题和解决问题的能力。

(2) 元件与系统部分,紧密结合液压与气动技术的最新成果,许多元件采用最新结构形式,在讲透元件工作原理的基础上,着重介绍其在系统中的应用,使元件与系统有机结合。

(3) 通用与专用部分,重点介绍通用元件,回路的工作原理、特点和应用。注重对工程技术应用方面的人才培养以及对学生创新能力的培养,对于专用元件及回路则在习题中有所补充,或作为专题来讲解。

(4) 本书的名词术语、物理符号、单位以及液压/气压图形等全部采用了国家最新图形符号标准。

本书由闫利文、浦文禹、杜玉红、侯伟峰主编,由天津职业技术师范大学孟庆国主审。参加本书编写的有:天津职业技术师范大学机械工程学院闫利文(第1、2、3章、附录),刘学斌、侯伟峰(第4、5章),邓三鹏、冯娜(第6章),孙宏昌(第7章),天津工业大学机械电子学院杜玉红、侯伟峰(第8、9章),李丽霞(第15、16章),李国和、冯娜(第14章),常熟理工学院机械工程学院浦文禹(第10、11、12章),张敬妹(第13章)。本书由中国台湾罗升企业天津分公司液压专家侯伟峰参与编写,并对全书的工学结合的理论及应用实例进行了编辑和统稿。在编写过程中伍兰昌参加了录排和审校工作,在此深表谢意。

本书由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编者
2010年12月

目 录

液压与气压传动

第一篇 液 压 传 动

第 1 章 绪论	001
1.1 液压传动的发展概况	001
1.1.1 液压传动技术的历史进展与发展趋势	001
1.1.2 我国液压传动技术的发展现状	003
1.2 液压传动的工作原理及其组成部分	004
1.2.1 液压传动的工作原理	004
1.2.2 液压传动系统的组成	006
1.3 液压传动和其他传动方式的比较	006
1.4 液压传动在机械中的应用	007
习题	009
第 2 章 液压流体力学基础	010
2.1 液压油	010
2.1.1 液压油的性质	010
2.1.2 液压油的种类	014
2.1.3 液压油的几项质量指标	016
2.1.4 对液压油使用性能的要求	017
2.1.5 液压油的选择	018
2.1.6 液压油的污染与防污	019
2.2 液体静力学	020
2.2.1 静压力及其特性	020
2.2.2 静力学基本方程	020
2.2.3 压力的表示方法和单位	021
2.2.4 帕斯卡原理	022
2.2.5 静压力对固体壁面的作用力	023
2.3 液体动力学	024
2.3.1 基本概念	024

2.3.2	连续性方程	026
2.3.3	伯努利方程	027
2.3.4	动量方程	029
2.4	管道中液流的特性	031
2.4.1	流态与雷诺数	031
2.4.2	圆管层流时的压力损失	032
2.4.3	圆管紊流时的压力损失	034
2.4.4	流动阻力及能量损失(压力损失)的两种形式	034
2.5	孔口和缝隙流量	035
2.5.1	孔口流量	035
2.5.2	缝隙流量	037
2.6	液压冲击和空穴现象	040
2.6.1	液压冲击	040
2.6.2	空穴现象	041
	习题	042
第3章	液压泵	045
3.1	概述	045
3.2	柱塞泵	048
3.2.1	径向柱塞泵	048
3.2.2	轴向柱塞泵	049
3.2.3	柱塞泵的优缺点	051
3.3	叶片泵	052
3.3.1	双作用叶片泵	052
3.3.2	单作用叶片泵	053
3.4	齿轮泵	054
3.4.1	外啮合齿轮泵	054
3.4.2	内啮合齿轮泵	056
3.4.3	螺杆泵	057
	习题	058
第4章	液压马达与液压缸	060
4.1	液压马达	060
4.1.1	概述	060
4.1.2	高速液压马达	062
4.1.3	低速液压马达	063
4.2	液压缸	064
4.2.1	常用液压缸及其特性	064

4.2.2 其他形式液压缸	067
4.3 液压缸的结构特点	069
4.3.1 缸筒与缸盖组件	069
4.3.2 活塞和活塞杆组件	071
4.3.3 缓冲装置	071
4.3.4 排气装置	072
4.4 摆动液压缸	073
习题	074
第5章 液压控制阀	077
5.1 概述	077
5.1.1 液压控制阀的基本结构与原理	077
5.1.2 液压控制阀的分类	077
5.1.3 液压控制阀的性能参数	079
5.1.4 液压控制阀的基本要求	079
5.2 方向控制阀	079
5.2.1 单向阀	079
5.2.2 换向阀	083
5.3 压力控制阀	093
5.3.1 溢流阀	093
5.3.2 减压阀	100
5.4 顺序阀	103
5.4.1 工作原理及类型	103
5.4.2 应用场合	104
5.5 压力继电器	105
5.5.1 功用与性能	105
5.5.2 结构特点	105
5.5.3 应用场合	106
5.6 流量控制阀	107
5.6.1 流量控制原理	108
5.6.2 节流阀	109
5.6.3 调速阀	112
5.6.4 溢流节流阀	113
5.6.5 分流集流阀	114
5.7 插装阀和叠加阀	117
5.7.1 插装阀(逻辑阀)	117
5.7.2 叠加阀	119
5.8 比例控制阀	120

5.8.1	比例控制阀的特点与特性	120
5.8.2	电—机械转换器	123
5.8.3	比例控制阀的工作原理	125
习题		126
第6章	液压辅助装置	128
6.1	蓄能器	128
6.1.1	蓄能器的分类及其特征	128
6.1.2	蓄能器的功用	130
6.1.3	蓄能器的容量计算	131
6.1.4	蓄能器的安装和使用	131
6.2	过滤器	131
6.2.1	过滤器的功用	131
6.2.2	过滤器的性能指标	132
6.2.3	过滤器的典型结构	132
6.2.4	过滤器的选用	134
6.2.5	过滤器的安装	135
6.3	油箱及热交换器	135
6.3.1	油箱的作用和结构	135
6.3.2	油箱的设计要点	136
6.3.3	油箱容积的确定	137
6.3.4	热交换器	137
6.4	管件和压力表	138
6.4.1	管件	138
6.4.2	压力表辅件	141
6.5	密封装置	142
6.5.1	对密封装置的要求	142
6.5.2	密封装置的分类及特点	142
习题		145
第7章	液压基本回路	147
7.1	压力控制回路	147
7.1.1	调压回路	147
7.1.2	减压回路	148
7.1.3	增压回路	148
7.1.4	保压回路	149
7.1.5	卸荷回路	150
7.1.6	平衡回路	151

7.1.7 锁紧回路	151
7.2 速度控制回路	152
7.2.1 调速回路	152
7.2.2 快速运动回路	163
7.2.3 速度换接回路	165
7.3 方向控制回路	166
7.3.1 手机简单方向控制回路	166
7.3.2 双向变量泵的换向回路	167
7.3.3 采用机液换向阀的换向回路	167
7.4 多执行元件控制回路	168
7.4.1 顺序动作回路	169
7.4.2 同步回路	171
7.4.3 互不干扰回路	174
习题	174
第8章 典型液压系统	177
8.1 液压系统图的阅读和分析方法	177
8.1.1 液压系统图的阅读	177
8.1.2 液压系统图的分析	177
8.2 组合机床液压系统	178
8.2.1 概述	178
8.2.2 YT4543 型动力滑台液压系统工作原理	178
8.2.3 YT4543 型动力滑台液压系统的特点	181
8.3 YB32-200 型压力机液压系统	181
8.3.1 概述	181
8.3.2 YB32-200 型万能液压机液压系统的工作原理	181
8.3.3 YB32-200 型液压机液压系统的主要特点	183
8.4 250g 型注塑机液压系统	184
8.4.1 概述	184
8.4.2 250g 型注塑机比例液压系统工作原理	185
8.4.3 250g 型注塑机比例液压系统的性能分析	188
习题	188
第9章 液压系统的设计与计算	190
9.1 液压系统的设计步骤	190
9.2 明确系统设计要求和工况分析	190
9.2.1 明确系统的设计要求	190
9.2.2 工况分析	191

9.2.3	液压系统的主要参数设计	193
9.2.4	绘制液压执行元件的工况图	195
9.3	拟定系统原理图	196
9.3.1	确定各个机构采用的执行元件	196
9.3.2	液压系统回路选择	197
9.3.3	液压回路的综合	197
9.4	液压元件和装置的选择	197
9.4.1	液压泵的选择	197
9.4.2	液压控制元件的选用与设计	199
9.4.3	辅助元件的选择	200
9.4.4	液压系统密封装置选用与设计	201
9.5	液压系统的性能验算	202
9.5.1	系统压力损失验算	202
9.5.2	系统总效率估算	202
9.5.3	系统发热温升估算	203
9.5.4	液压冲击验算	204
9.6	绘制工作图和编制技术文件	204
9.6.1	绘制工作图	205
9.6.2	编制技术文件	205
9.7	液压系统设计计算示例	205
9.7.1	技术要求	205
9.7.2	工况分析	206
	习题	212

第二篇 气压传动

第10章	气压传动基础知识	213
10.1	气压传动概述	213
10.1.1	气压传动的应用及发展趋势	213
10.1.2	气压传动的优缺点	214
10.2	空气的性质	214
10.2.1	空气的性质及基本计算	214
10.2.2	气体的状态变化	217
10.3	气体在管道中的流动特性	221
10.3.1	声速	221
10.3.2	马赫数	222
10.3.3	变截面管道中的亚声速和超声速流动	222

习题	224
第 11 章 气源装置和气动辅助元件	225
11.1 气源装置	225
11.1.1 气源装置的组成和布置	225
11.1.2 空气压缩机	226
11.2 压缩空气净化设备	227
11.2.1 压缩空气品质对气动系统的影响	227
11.2.2 气动系统对压缩空气的要求	227
11.2.3 后冷却器	228
11.2.4 油水分离器	229
11.2.5 干燥器	229
11.2.6 过滤器	229
11.2.7 贮气罐	231
11.3 气动三联件	231
11.4 气动执行元件	232
11.4.1 气缸	232
11.4.2 气动马达	234
11.5 气动控制阀	236
11.6 气动辅件	238
11.6.1 消声器	238
11.6.2 管道连接件	238
11.6.3 气液转换器	239
11.7 气动逻辑元件	240
11.7.1 气动逻辑元件的分类	240
11.7.2 高压截止式逻辑元件	240
11.7.3 高压膜片式逻辑元件	243
11.7.4 逻辑元件的选用	244
11.8 气动传感器及仪表	244
11.8.1 气动传感器	244
11.8.2 气动变送器	246
习题	247
第 12 章 气动回路	248
12.1 基本回路	248
12.1.1 压力控制回路	248
12.1.2 换向回路	249
12.1.3 速度控制回路	250

12.2 其他常用回路	252
12.2.1 安全保护回路	252
12.2.2 同步动作回路	253
12.2.3 增压回路	254
12.2.4 真空吸附回路	254
习题	255
第13章 气动逻辑控制系统的设计	256
13.1 逻辑代数基础知识	256
13.1.1 基本逻辑运算	256
13.1.2 卡诺图	257
13.2 非时序逻辑控制系统设计	258
13.2.1 非时序逻辑控制系统的特点及设计步骤	258
13.2.2 非时序逻辑控制系统设计实例	258
13.3 时序逻辑控制系统设计	259
13.3.1 时序逻辑控制系统的分类	259
13.3.2 气动行程程序控制系统的设计概述	260
13.3.3 时序逻辑控制系统设计实例	262
习题	265
第14章 气压传动应用实例分析	267
14.1 气控机械手传动系统	267
14.1.1 概述	267
14.1.2 气压系统的工作原理	267
14.2 香皂装箱机气压系统	270
14.2.1 概述	270
14.2.2 香皂装箱机气压系统的工作原理	270
14.2.3 香皂装箱机气压系统的特点	271
14.3 2ZZ862 型射芯机	271
习题	273

第三篇 液压仿真实验

第15章 FESTO FluidSIM 液压与气动仿真软件	274
15.1 FluidSIM 软件概述	274
15.2 仿真和新建回路图介绍	275
15.2.1 启动软件系统	275
15.2.2 打开回路图及仿真现有回路	276
15.2.3 不同仿真模式	279

15.2.4	新建回路图	279
15.3	仿真和新建回路图的各种概念	283
15.3.1	辅助编辑功能	283
15.3.2	辅助仿真功能	284
15.3.3	自动连接功能	284
15.3.4	显示物理量值	284
15.3.5	显示状态图	285
15.3.6	回路图检查	286
15.3.7	液压、气动、电气和机械结合	287
第 16 章	FESTO FluidSIM 仿真软件应用	288
16.1	流体力学基础(液体阻力特性实验)	288
16.1.1	实验项目计划	288
16.1.2	具体实验内容	288
16.2	液压泵性能实验	291
16.2.1	实验项目计划	291
16.2.2	实验项目具体内容	292
16.3	溢流阀特性实验	294
16.3.1	实验教学计划	294
16.3.2	实验项目具体内容	295
16.4	压力顺序控制多缸动作回路实验综合设计	297
16.4.1	实验项目计划	297
16.4.2	实验项目具体内容	298
16.5	节流阀进口节流调速特性综合实验	300
16.5.1	实验项目计划	300
16.5.2	实验项目具体内容	300
附录	常用液压与气动元件图形符号	303
参考文献		309

第一篇

液压传动

第1章 绪 论

1.1 液压传动的发展概况

1.1.1 液压传动技术的历史进展与发展趋势

液压技术的发展是与流体力学的理论研究相关联的。1650年,帕斯卡提出了静止液体中的压力传播规律——帕斯卡原理,1686年牛顿揭示了黏性液体的内摩擦定律,18世纪,流体力学的两个重要原理——连续性方程和伯努利能量方程相继建立,上述理论为液压技术的发展奠定了基础。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,科学家将工作介质水改为油,又进一步得到改善。20世纪初,康斯坦丁尼斯克(G·constantnimsco)对能量波动传递进行了理论及实际研究。第一次世界大战后液压传动技术广泛应用,1920年以后,液压元件才开始进入正规的工业生产阶段。1925年,维克斯发明了压力平衡式叶片泵,为近代液压元件工业或液压传动的逐步建立奠定了基础。20世纪30年代后,由于车辆、航空、舰船等功率传动的推动,相继出现了斜轴式及弯轴式轴向柱塞泵、径向和轴向液压马达。1936年,Harry-Vickers发明了先导控制压力阀为标志的管式系列液压控制元件。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,从而推动了液压技术的发展,例如,军舰上采用液压传动式炮塔转向器。第二次世界大战后,液压技术迅速转向民用,并随着各种标准的不断制订和完善,各类元件的标准化、规格化、系列化,液压技术在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业中迅速推广。

20世纪60年代以后,随着原子能技术、空间技术、电子技术等的迅速发展,再次将液压技

术向前推进,使其发展成为包括传动、控制、检测在内的一门对现代机械装备的技术进步有重要影响的基础技术,使其在国民经济的各部门得到了更广泛的应用。液压传动及控制技术在某些领域内已占有压倒性的优势,例如,国外现生产的 95% 的工程机械、90% 的数控加工中心、95% 以上的自动生产线都采用了液压传动。发展至今,液压传动及控制技术已成为实现现代化传动与控制的关键性技术,它的应用成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

随着科学技术的进步和人类环保、能源危机意识的提高,近 20 年来,人们重新认识和研究历史上以纯水作为工作介质的纯水液压传动技术,并在理论和应用的研究上都得到了持续稳定的复苏与发展,正在逐渐成为现代液压传动技术中的热点技术和新的发展方向之一。21 世纪是信息化、网络化、知识化和全球化的世纪,信息技术、生命科学、生物技术和纳米技术等新科技的日益进展将对液压传动与控制技术的研究、设计研究及方法、对包括液压阀在内的各类液压产品的结构与工艺、对其应用领域以及企业的经营管理模式产生深刻的影响并带来革命性变化。

当前,液压技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、高可靠性、高度集成化和智能化等各方面都取得了重大进展,在完善发展比例控制、伺服控制、开发数字化智能控制技术上也有许多新成就。为了和最新技术的发展保持同步,液压技术不断创新,不断地提高和改进元件和系统的性能,以满足日益变化的市场需求。液压技术的持续发展主要体现在以下特征。

(1) 降低能耗、提高效率是当前液压技术中的重要课题。目前主要通过能量回收、蓄能器应用、静液传动、二次调节、以水代油、负载压力、流量和功率匹配及用微型计算机对液压系统进行智能化控制等来降低系统能耗。

(2) 随着液压技术向高压、高速、大流量方向发展,液压系统噪声已经成为一个突出问题。通过设计制造和选用低噪声元件以降低液体、空气和结构等途径传播噪声,已取得显著成果。

(3) 提高元件性能,创制新型元件,体积不断缩小。随着液压机械系统复杂化程度的提高,元件小型轻量化、系统集成化就成了液压技术发展中的一个主要方向。同时,为了能在尽可能小的空间内传递尽可能大的功率,液压元件的结构不断在向小型化方向发展。

(4) 高度的组合化、集成化和模块化。液压系统由管式配置经板式配置、箱式配置、集成块式配置发展到叠加式配置、插装式配置,使连接的通道越来越短。也出现了一些组合集成件,如把液压泵和压力阀做成一体,把压力阀插装在液压泵的壳体内;把液压缸和换向阀做成一体,只需接一条高压管与液压泵相连,一条回油管与油箱相连,就可以构成一个液压系统。这种组合件不但结构紧凑,工作可靠,而且使用简单,也容易维护。

模块化发展也是非常重要的方面,完整的模块以及独立的功能单元,对用户而言,只需简单地组装即可投入使用,这样不仅可以大大节约用户的装配时间,同时用户也无须配置各种专门培训的技术人员。

(5) 和微电子结合,走向智能化。液压技术从 20 世纪 70 年代中期起就开始和微电子工业接触,并相互结合。在不到 30 年的时间内,结合层次不断提高,从简单拼装、分散混合到总体组合,出现了多种形式的独立产品如数字液压泵、数字阀、数字液压缸等。其中的高级形式已发展到把编好程序的芯片和液压控制元件、液压执行元件、能源装置、检测反馈装置、数模转换装置、集成电路等集成一体。这种集在一起的连接体会智能处理外来信息,并实现预定的任务。