



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材

液压与气压传动 (第2版)

刘延俊 主 编
王秋敏 骆艳洁 孙彩玲 副主编

教育部高等学校机械类专业教学指导委员会
中国机械工程学会

中国机械工程学科教程研究组 编

China Mechanical Engineering Curricula
中国机械工程学科教程

(2017年)

CMEC

清华大学出版社



文泉课堂
WWW.WOKETANG.COM

清华大学出版社



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材

液压与气压传动 (第2版)

刘延俊 主编

王秋敏 骆艳洁 孙彩玲 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书将液压传动与气压传动分开阐述,共分12章。第1章介绍液压传动的基本知识。第2章介绍液压油和流体力学与液压的相关基础知识。第3~6章介绍液压元件的结构、原理、性能及其选用。第7章介绍液压基本回路。第8~10章介绍典型液压系统实例、液压系统的设计与计算以及液压伺服系统。第11、12章介绍气压传动特有的元件和回路设计与实例,以及液压气动系统的安装、调试、使用与维护方法。附录列出液压元件、液压回路和系统的常见故障以及排除方法。为方便学习,每章都有重点难点分析、能力培养目标、案例教学实例、课堂讨论、思考题与习题等,部分章节还附有实验内容,以提高学习者理论联系实际的动手能力。

本书可作为高等学校机械制造及其自动化、机械设计与制造、化工与化工机械、机电一体化、模具设计与制造、动力与车辆工程等专业的教材,也可作为“液压与气压传动”系列网络课程教材,并适合作为各类成人高校、在职继续教育、自学考试等有关机械类的教材,也可供从事流体传动与控制的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/刘延俊主编. —2版. —北京:清华大学出版社,2018

(中国机械工程学科教程配套系列教材 教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材)

ISBN 978-7-302-51616-3

I. ①液… II. ①刘… III. ①液压传动—高等学校—教材 ②气压传动—高等学校—教材
IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 257376 号

责任编辑:许 龙

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市君旺印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:22.25

字 数:537千字

版 次:2010年12月第1版 2018年11月第2版

印 次:2018年11月第1次印刷

定 价:59.80元

产品编号:072554-01

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校
机械类专业教学指导委员会规划教材

编 委 会

顾 问
李培根院士

主 任 委 员
陈关龙 吴昌林

副主任委员
许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委(按姓氏首字母排列)
韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元
许映秋 袁军堂 张 慧 张有忱 左健民

秘 书
庄红权

丛书序言

PREFACE

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从20世纪90年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以为序。



2009年7月

第2版前言

FOREWORD

本书是依照《中国机械工程学科教程》和机械工程专业认证要求编写的,在内容的安排上,将液压传动与气压传动分开阐述,全书共分12章,并附有A、B两个附录。第1章绪论主要介绍液压传动的基本知识。第2章介绍液压油和流体力学与液压的相关基础知识。第3~6章详细介绍液压元件的结构、原理、性能及其选用。第7章主要介绍液压基本回路。第8~10章则介绍一些典型液压系统实例(特别是新增海洋工程相关的液压系统实例)、液压系统的设计与计算以及液压伺服系统的相关内容。第11、12章在兼顾液压传动相关知识的基础上介绍气压传动特有的元件和回路设计与实例,以及液压气动系统的安装、调试、使用与维护方法。附录A、B分别介绍了液压元件、液压回路和系统的常见故障以及排除方法。为方便学习,每章都有重点难点分析、能力培养目标、案例教学实例、课堂讨论、思考题与习题等内容,部分章节还附有实验内容,以提高学习者理论联系实际的动手能力。本书中的许多实例是作者近30年在液压传动,以及液压传动与海洋工程交叉领域科研、设计、制造、调试方面所做的工作。本书配有电子课件,使用本教材的任课老师可向作者或出版社索取。

《液压与气压传动》教材编写的目的是使学生具有独立从事液压气动系统设计、制造、调试、使用与维护的综合能力,贯彻了少而精的原则,紧密结合液压与气动技术最新成果,注重理论与实践相结合,突出最新液压气动元件、技术及其应用,同时增加了液压气动系统的安装、调试、使用与维护章节,在附录中列出了液压元件、回路、系统的常见故障与排除方法,以便达到培养学生工程应用能力和解决实际问题的能力的目的。

随着国家海洋战略的实施,海洋装备液压技术也得到了广泛应用。因此,本书第2版增加了液压传动技术在海洋工程装备领域的应用实例,如漂浮式液压海浪变阻尼发电液压系统、蛟龙号液压系统,旨在突出液压技术在海洋工程领域的应用。

本书适用于普通工科院校机械类各专业,也适用于各类成人高校和参加自考考试的机械类学生,也可供从事流体传动与控制技术的工程技术人员参考。

本书由山东大学机械工程学院、海洋研究院刘延俊主编;由山东职业学院机电工程系王秋敏、上海理工大学机械工程学院骆艳洁、烟台工程职业技术学院电气与新能源工程系孙彩玲担任副主编;参编的有山东大学机械

工程学院周军、吴筱坚、刘维民、谢玉东、李超、陈志,山东大学海洋研究院薛钢、李世振,山东交通学院机械工程系孔祥臻,齐鲁工业大学机电学院李兆文,山东职业学院机电工程系臧贻娟、赵秀华。

本书在编写过程中,得到了山东拓普液压气动有限公司、SMC(中国)有限公司济南营业所、山东机械工程学会液压气动专业委员会的大力支持与帮助,编者在此一并表示衷心感谢。

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

2018年8月于济南

第 1 版前言

FOREWORD

本书是依照《中国机械工程学科教程》和机械工程专业认证要求编写的,在内容的安排上,将液压传动与气压传动分开阐述,全书共分 12 章。第 1、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 3~6 章主要介绍液压元件的结构、原理、性能、选用。第 7、8 章介绍液压基本回路、典型液压系统的组成、功能、特点以及应用情况。第 9 章介绍液压系统的设计计算方法与实例。第 10 章介绍液压伺服元件与系统。第 11 章在兼顾液压传动相关知识的基础上介绍气压传动特有的元件以及回路设计方法与实例。第 12 章介绍液压气动系统的安装、调试、使用与维护方法。大部分章节都有重点难点分析、能力培养目标、案例教学实例、课堂讨论等内容,后面还附有习题。本书配有电子课件,使用本教材的任课老师可向作者或出版社索取。

《液压与气压传动》教材编写的目的是使学生具有独立从事液压气动系统设计、制造、调试、使用与维护的综合能力,贯彻了少而精的原则,紧密结合液压与气动技术最新成果,注重理论与实践相结合,突出最新液压气动元件、技术及其应用,同时增加了液压气动系统安装、调试、使用与维护章节,在附录中列出了液压元件、回路、系统的常见故障与排除方法,以便达到培养学生工程应用能力和解决实际问题的能力目的。

本书适用于普通工科院校机械类各专业,也适用于各类成人高校和参加自学考试的机械类学生,也可供从事流体传动与控制技术的工程技术人员参考。

本书由山东大学机械工程学院刘延俊主编;由济南铁道职业技术学院机电工程系王秋敏、上海理工大学机械工程学院骆艳洁、烟台工程职业技术学院机电工程系孙彩玲担任副主编;参编的有山东大学机械工程学院周军、吴筱坚、刘维民、谢玉东、李超,山东交通学院机电工程系孔祥臻,山东轻工学院机电学院李兆文,济南铁道职业技术学院机电工程系臧贻娟、赵秀华。

本书在编写过程中,得到了山东拓普液压气动公司、SMC(中国)有限公司济南营业所、山东机械工程学会液压气动专业委员会的大力支持与帮助,编者在此一并表示衷心感谢。

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 10 月于济南

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
重点、难点分析	1
1.1 液压传动的发展	1
1.2 液压传动的工作原理及组成	2
1.3 液压传动系统的图形符号	4
1.4 液压传动的优缺点及应用	5
1.4.1 液压传动的优缺点	5
1.4.2 液压传动的应用	6
课堂讨论	8
案例：典型例题解析	8
思考题与习题	8
第 2 章 液压油与液压流体力学基础	9
重点、难点分析	9
2.1 液体的物理性质	9
2.1.1 液压油的种类	9
2.1.2 液压油的性质	9
2.1.3 对液压油的要求	13
2.1.4 液压油的选择	13
2.1.5 液压油的污染与防止	14
2.2 液体静力学基础	15
2.2.1 静压力及其特性	15
2.2.2 重力作用下静止液体中的压力分布 (静力学基本方程)	15
2.2.3 压力的表示方法和单位	16
2.2.4 静止液体中压力的传递(帕斯卡原理)	17
2.2.5 液体静压力作用在固体壁面上的力	18
2.3 液体动力学基础	19
2.3.1 基本概念	19
2.3.2 连续性方程	21

2.3.3	伯努利方程	22
2.3.4	动量方程	27
2.4	液体流动时的压力损失	28
2.4.1	流动阻力及能量损失(压力损失)的两种形式	29
2.4.2	流体的两种流动状态	30
2.4.3	圆管层流	32
2.4.4	圆管紊流	33
2.4.5	沿程阻力系数 λ	35
2.4.6	局部阻力系数 ξ	36
2.5	液体流经小孔和缝隙的流量	37
2.5.1	孔口流量	37
2.5.2	缝隙流量	39
2.6	液压冲击和空穴现象	41
2.6.1	液压冲击	41
2.6.2	空穴现象	43
	课堂讨论	44
	思考题与习题	44

第3章 液压泵及液压马达

	重点、难点分析	49
3.1	概述	49
3.1.1	液压泵的基本工作原理	49
3.1.2	液压泵的分类	50
3.1.3	液压泵的图形符号	50
3.1.4	液压泵的主要性能参数	50
3.1.5	液压泵特性及检测	52
3.2	齿轮泵	53
3.2.1	外啮合齿轮泵的结构及工作原理	53
3.2.2	外啮合齿轮泵的流量计算	53
3.2.3	齿轮泵结构中存在的问题及解决措施	54
3.2.4	内啮合齿轮泵	55
3.2.5	齿轮泵的优缺点	56
3.3	叶片泵	56
3.3.1	双作用式叶片泵	56
3.3.2	单作用式叶片泵	58
3.3.3	双级叶片泵与双联叶片泵	61
3.3.4	叶片泵的优缺点	62
3.4	柱塞泵	62
3.4.1	径向柱塞泵	62

3.4.2 轴向柱塞泵	63
3.4.3 柱塞泵的优缺点	65
3.5 螺杆泵	66
3.6 各类液压泵的性能比较	66
3.7 液压马达	67
3.7.1 液压马达的分类	67
3.7.2 液压马达的工作原理	67
3.7.3 液压马达的主要性能参数	68
3.7.4 液压马达的图形和符号	70
3.8 液压泵及液压马达的选用	70
课堂讨论	70
案例:典型例题解析	71
实验:液压泵拆装与性能实验	73
思考题与习题	73
第4章 液压缸	76
重点、难点分析	76
4.1 液压缸的工作原理、类型和特点	76
4.1.1 液压缸的工作原理	76
4.1.2 液压缸的分类	77
4.2 液压缸基本参数的计算	78
4.2.1 活塞缸	78
4.2.2 柱塞缸	80
4.2.3 摆动缸	81
4.2.4 其他形式液压缸	82
4.3 液压缸的典型结构	83
4.3.1 缸筒和缸盖组件	84
4.3.2 活塞和活塞杆组件	85
4.3.3 缓冲装置	86
4.3.4 排气装置	87
4.4 液压缸的设计与计算	88
4.4.1 液压缸的设计依据和步骤	88
4.4.2 液压缸主要尺寸的确定	88
4.4.3 强度及稳定性校核	90
4.4.4 缓冲计算	91
4.5 液压缸的选用注意事项	92
课堂讨论	92
思考题与习题	92

第5章 控制阀	95
重点、难点分析	95
5.1 概述	95
5.1.1 控制阀的分类	95
5.1.2 对控制阀的基本要求	96
5.2 方向控制阀	96
5.2.1 单向阀	96
5.2.2 换向阀	98
5.3 压力控制阀	103
5.3.1 溢流阀	103
5.3.2 减压阀	108
5.3.3 顺序阀	109
5.3.4 压力继电器	110
5.4 流量控制阀	111
5.4.1 节流口的流量特性	112
5.4.2 节流阀	113
5.4.3 调速阀	115
5.4.4 温度补偿调速阀	116
5.4.5 溢流节流阀	117
5.4.6 分流集流阀	118
5.5 比例控制阀	119
5.6 插装阀及叠加阀	122
5.6.1 插装阀	122
5.6.2 叠加阀	125
5.7 控制阀的选用	126
课堂讨论	126
案例:典型例题解析	127
思考题与习题	130
第6章 液压辅助元件	133
重点、难点分析	133
6.1 过滤器	133
6.1.1 过滤器的功用	133
6.1.2 过滤器的性能指标	133
6.1.3 过滤器的典型结构	134
6.1.4 过滤器的选用	136
6.1.5 过滤器的安装	136
6.2 蓄能器	137

6.2.1	蓄能器的功用	137
6.2.2	蓄能器的分类	139
6.2.3	蓄能器的容量计算	141
6.2.4	蓄能器的安装和使用	141
6.3	油箱	141
6.3.1	油箱的作用和结构	141
6.3.2	油箱的设计要点	142
6.3.3	油箱容积的确定	143
6.4	热交换器	143
6.4.1	冷却器	143
6.4.2	加热器	144
6.5	连接件	144
6.5.1	油管	144
6.5.2	管接头	145
6.6	密封装置	147
6.6.1	接触密封	147
6.6.2	间隙密封	149
	课堂讨论	150
	案例:典型例题解析	150
	思考题与习题	151

第7章 液压基本回路

	重点、难点分析	152
7.1	压力控制回路	152
7.1.1	调压回路	152
7.1.2	减压回路	153
7.1.3	增压回路	154
7.1.4	保压回路	154
7.1.5	卸荷回路	155
7.1.6	平衡回路	156
7.1.7	锁紧回路	156
7.2	速度控制回路	156
7.2.1	调速回路	156
7.2.2	快速运动回路	166
7.2.3	速度换接回路	167
7.3	方向控制回路	169
7.3.1	简单方向控制回路	169
7.3.2	复杂方向控制回路	169
7.4	多缸动作回路	171

7.4.1 顺序动作回路	171
7.4.2 同步回路	173
7.4.3 多缸工作运动互不干扰回路	175
课堂讨论	176
案例:典型例题解析	176
实验:节流调速实验	181
思考题与习题	181

第8章 典型液压系统

187

重点、难点分析	187
8.1 液压系统图的阅读和分析方法	187
8.2 YT4543 型动力滑台液压系统	188
8.2.1 概述	188
8.2.2 YT4543 型动力滑台液压系统的工作原理	188
8.2.3 YT4543 型动力滑台液压系统的特点	190
8.3 MLS ₃ -170 型采煤机及其液压牵引系统	191
8.4 1m ³ 挖掘机液压系统	194
8.4.1 单斗液压挖掘机的组成及作业程序	195
8.4.2 单斗全液压挖掘机的液压系统	195
8.4.3 系统特点	198
8.5 YB32-200 型压力机液压系统	198
8.5.1 概述	198
8.5.2 液压系统的工作原理	199
8.5.3 液压系统的主要特点	201
8.6 XS-ZY-250A 型注塑机比例液压系统	201
8.6.1 概述	201
8.6.2 液压系统的工作原理	202
8.6.3 XS-ZY-250A 型注塑机液压系统的特点	205
8.7 ϕ 710 盘式热分散机比例压力和流量复合控制液压系统	205
8.7.1 概述	205
8.7.2 盘式热分散机液压系统的工作原理	206
8.7.3 盘式热分散机液压系统的特点	207
8.8 漂浮式液压海浪变阻尼发电液压系统	207
8.8.1 概述	207
8.8.2 漂浮式液压海浪变阻尼发电液压系统工作原理	208
8.9 蛟龙号液压系统	210
8.9.1 概述	210
8.9.2 蛟龙号液压系统的工作原理	210
8.9.3 蛟龙号液压系统的特点	212

课堂讨论	212
案例: $\phi 710$ 盘式热分散机比例压力和流量复合控制液压系统常见故障分析	212
思考题与习题	214
第 9 章 液压系统的设计与计算	215
重点、难点分析	215
9.1 液压系统的设计步骤和方法	215
9.1.1 液压系统设计要求	215
9.1.2 液压系统的工况分析和系统的确定	216
9.1.3 确定液压系统的主要参数	217
9.1.4 液压系统图的拟定	218
9.1.5 液压元件的计算和选择	220
9.1.6 液压系统性能的估算	221
9.1.7 绘制工作图、编制技术文件	222
9.2 液压系统设计实例	223
9.2.1 负载分析与速度分析	224
9.2.2 确定液压缸主要参数	224
9.2.3 拟定液压系统图	225
9.2.4 液压元件的选择	226
9.2.5 系统油液温升验算	227
思考题与习题	228
第 10 章 液压伺服系统	229
重点、难点分析	229
10.1 概述	229
10.1.1 液压伺服系统的工作原理	229
10.1.2 液压伺服系统的构成	231
10.1.3 液压伺服系统的分类	231
10.2 典型的液压伺服控制元件	232
10.2.1 滑阀	232
10.2.2 射流管阀	234
10.2.3 喷嘴挡板阀	234
10.3 电液伺服阀	235
10.4 液压伺服系统实例	236
10.4.1 钢带卷曲机光电液伺服跑偏控制系统	236
10.4.2 电液伺服阀两液压缸同步控制系统	238
10.4.3 汽轮机调节系统	238
10.4.4 电液速度伺服控制系统	240
课堂讨论	241

思考题与习题	241
第 11 章 气压传动	242
重点、难点分析	242
11.1 气压传动基本知识	242
11.1.1 气压传动概述	242
11.1.2 气压传动的组成	242
11.1.3 气压传动的优缺点	243
11.2 气源装置和辅助元件	244
11.2.1 气源装置	244
11.2.2 压缩空气净化设备	247
11.2.3 油雾器	251
11.2.4 气动三联件	252
11.2.5 消声器	253
11.3 气动执行元件	254
11.3.1 气缸	255
11.3.2 气动马达	259
11.4 气动控制元件	259
11.4.1 气动控制元件的分类及特性	259
11.4.2 压力控制元件	260
11.4.3 流量控制元件	264
11.4.4 方向控制元件	264
11.5 气动基本回路	272
11.5.1 压力控制回路	272
11.5.2 方向控制回路	273
11.5.3 速度控制回路	275
11.6 气动系统实例	279
11.6.1 气动传动机械手气压传动系统	279
11.6.2 香皂装箱机气压系统	281
11.6.3 2ZZ862 型射芯机	282
11.6.4 气压伺服系统	284
11.6.5 加压控制伺服系统	286
11.7 气动系统的设计	286
11.7.1 概述	287
11.7.2 多缸单往复行程程序回路设计	290
11.7.3 多缸多往复行程程序回路设计	296
11.7.4 气动系统设计的内容及步骤	297
课堂讨论	300
实验: PLC 控制气动综合实验	300