



应用型本科规划教材

HYDRAULIC AND PNEUMATIC
TRANSMISSION AND CONTROL

液压和气压传动与控制

◆ 主 编 张玉莲

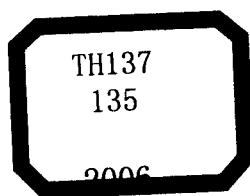
副主编 黄方平 夏春林 汪新中



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

应用型本科规划教材



液压和气压传动与控制

主 编 张玉莲

副主编 黄方平 夏春林 汪新中

浙江大学出版社

内 容 介 绍

全书共分 11 章;第 1 章、第 2 章介绍液压传动的基本知识和液压流体力学的基本理论;第 3 章至第 6 章分别介绍各类液压元件(泵、缸、马达、阀、辅件)的结构、原理、性能、特点与选用;第 7 章介绍常用液压基本回路的组成、功能、特点以及应用情况;第 8 章介绍电液比例控制技术和电液伺服阀的基本知识;第 9 章介绍不同类型典型液压系统的组成、工作原理和回路性能特点;第 10 章介绍液压系统的设计计算方法和步骤并给出设计实例;第 11 章介绍气压传动的基本知识,气源装置,气动元件的原理、性能,气动回路的应用等。

图书在版编目(CIP)数据

液压和气压传动与控制 / 张玉莲主编. — 杭州: 浙江大学出版社, 2006. 12
应用型本科规划教材
ISBN 7-308-05025-4

I. 液... II. 张... III. ①液压传动—高等学校—教材 ②气压传动—高等学校—教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 134162 号

液压和气压传动与控制

张玉莲 主编

丛书策划	樊晓燕
责任编辑	张 明
封面设计	刘依群
出版发行	浙江大学出版社 (杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028) (E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn) (网址: http://www.zjupress.com)
排 版	浙江大学出版社电脑排版中心
印 刷	杭州浙大同力教育彩印有限公司
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	20
字 数	512 千
版 次	2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000
书 号	ISBN 7-308-05025-4
定 价	29.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

应用型本科院校机械专业规划教材

编 委 会

主 任 潘晓弘

副主任 刘 桦 陈俊龙 胡夏夏

委 员 (以姓氏笔画为序)

马 光 文和平 孙树礼

朱根兴 张玉莲 张 伟

张美琴 陈志平 胡国军

徐 立

总 序

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内涌现了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的全方位、持续、健康发展具有重大的意义。

应用型本科院校以着重培养应用型人才为目标,开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用于研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须有利于进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对机械工程专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。而这些专业的特点是课程内容较深、难点较多,学生不易掌握,同时,行业发展迅速,新的技术和应用层出不穷。针对这一情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校机械工程类专业的教师共同开展了“应用型本科机械工程专业教材建设”项目的研究,共同研究目前教材的不适应之

处,并探讨如何编写能真正做到“因材施教”、适合应用型本科层次机械工程类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校机械工程专业规划教材”系列。

本套规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想上,以“应用型本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以就业为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。突出实用性、基础性、先进性,强调基本知识,结合实际应用,理论与实践相结合。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理,压缩繁琐的理论推导。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。还注意掌握教材的体系和篇幅能符合各学院的计划要求。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富的教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到广大院校的认可,对于应用型本科院校机械工程类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任 潘晓弘

2006年12月

前 言

本书是根据 2006 年 1 月在浙江大学出版社召开的“应用型本科机械工程专业教材建设”会议精神而编写的,可作为普通高等学校工科类“三本”机械设计制造及自动化专业本科生的“液压与气压传动”课程教材,也可作为各类成人高校、高职、自学考试等有关机械类和近机械类专业的教学用书,并可作为从事流体传动与控制技术的科研设计单位、厂矿、企业等工程技术人员的参考书。全书共分 11 章:第 1 章、第 2 章介绍液压传动的基本知识和液压流体力学的基本理论;第 3 章至第 6 章分别介绍各类液压元件(泵、缸、马达、阀、辅件)的结构、原理、性能、特点与选用;第 7 章介绍常用液压基本回路的组成、功能、特点以及应用情况;第 8 章介绍电液比例控制技术和电液伺服阀的基本知识;第 9 章介绍不同类型典型液压系统的组成、工作原理和性能特点;第 10 章介绍液压系统的设计计算方法和步骤,并给出设计实例;第 11 章介绍气压传动的基本知识,气源装置,气动元件的原理、性能,气动回路的应用等。

本书在编写过程中,本着强调“三本”特色、突出应用、易教易学等原则,以培养独立学院高素质应用型人才的目标为主线,尽量使学生掌握扎实的理论基础,但又不过分追求理论深度,在打好基础的基础上,以培养工程实际能力为目标,强调“重基本理论、基本概念,淡化过程推导,突出工程应用”,力求反映液压与气动技术的最新成果,突出液压、气动系统在不同类型设备中的使用特点。在文字的表述上,力求通俗、简洁,便于学生自学。考虑到知识的系统性、连续性与相对独立性,本书将液压传动部分与气压传动部分分开讲述,但考虑到液压与气压的共性,以液压为主。本书附录中的元件图形符号、回路以及系统原理图,全部按照国家最新图形符号绘制。

本书由浙江海洋学院机电工程学院张玉莲担任主编,浙江大学宁波理工学院黄方平、浙江大学城市学院夏春林、杭州电子科技大学汪新中担任副主编;参

加编写的有浙江大学宁波理工学院林贇、浙江海洋学院机电工程学院林浩。其中,第1,2,9,10章由张玉莲编写,第3章由汪新中编写,第4章由林贇编写,第5章由汪新中和夏春林共同编写,第6,7章由黄方平编写,第8章由夏春林编写,第11章由黄方平和林贇共同编写。全书由张玉莲统稿,林浩负责本书部分图表的绘制、修改和文字的校对。

本书在编写过程中得到了浙江大学出版社的大力支持与帮助,编者在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年12月

目 录

第 1 章 液压气压传动与控制概述	1
1.1 液压气压传动与控制的定义及工作原理	1
1.1.1 压力与负载的关系	2
1.1.2 速度与流量的关系	2
1.1.3 能量转换关系	3
1.2 液压和气压系统的组成和表示方法	3
1.2.1 液压和气压系统的组成	3
1.2.2 液压和气压系统的表示方法	4
1.3 液压和气压系统的优缺点	5
1.3.1 液压传动的优缺点	5
1.3.2 气压传动的优缺点	6
1.4 液压与气压传动的应用	7
1.5 液压与气压传动的发展前景	8
习 题	9
第 2 章 液压传动流体力学基础	10
2.1 液压传动工作介质的物理性质	10
2.2 液压油的污染及其控制	14
2.2.1 污染产生的原因	14
2.2.2 污染的危害	15
2.2.3 污染测定的方法与标准	15
2.2.4 防止污染的措施	16
2.3 液体静力学	17
2.3.1 液体静压力(压强)的性质和单位	17
2.3.2 液体压力的表示方法	18
2.3.3 静压力方程及其物理本质	18
2.3.4 液体静压力对固体壁面的作用力	19

2.4 液体动力学	20
2.4.1 基本概念	20
2.4.2 连续性方程	21
2.4.3 伯努利方程	22
2.4.4 动量方程	26
2.5 管道中液流的特性	29
2.5.1 液体的两种流态及雷诺数判断	29
2.5.2 沿程压力损失	30
2.5.3 局部压力损失	32
2.5.4 管路中总的压力损失	33
2.6 液体流经小孔和缝隙的流量压力特性	34
2.6.1 液体流经小孔的流量压力特性	34
2.6.2 液体流经缝隙的流量压力特性	36
2.7 液压冲击和气蚀现象	38
2.7.1 液压冲击	38
2.7.2 空穴现象	41
习 题	43

第3章 液压泵 47

3.1 液压泵基本概念	48
3.1.1 液压泵的工作原理	48
3.1.2 液压泵的性能参数和特性曲线	49
3.1.3 液压泵的分类	51
3.1.4 液压泵的图形符号	51
3.2 齿轮泵	52
3.2.1 外啮合齿轮泵	52
3.2.2 内啮合齿轮泵	55
3.2.3 螺杆泵	55
3.3 叶片泵	56
3.3.1 单作用叶片泵	56
3.3.2 双作用叶片泵	61
3.4 柱塞泵	64
3.4.1 轴向柱塞泵	65
3.4.2 径向柱塞泵	73
3.5 液压泵的噪声及其控制	74
3.5.1 产生噪声的原因	74
3.5.2 降低噪声的措施	75
3.6 各类液压泵的性能比较及选用	75

习 题	76
第 4 章 液压执行元件	78
4.1 液压马达	78
4.1.1 液压马达的工作原理及分类	78
4.1.2 液压马达的性能参数	79
4.1.3 高速液压马达	80
4.1.4 低速液压马达	82
4.1.5 各类马达的性能比较及其选用	86
4.2 液压缸	86
4.2.1 液压缸分类及计算	87
4.2.2 液压缸的结构	92
4.2.3 液压缸的设计和计算	96
习 题	101
第 5 章 液压控制阀	102
5.1 概 述	102
5.1.1 液压控制阀的功用、分类	102
5.1.2 阀口的结构形式和流量计算公式	103
5.1.3 液动力	104
5.1.4 卡紧力	106
5.2 压力控制阀	108
5.2.1 概 述	108
5.2.2 溢流阀	108
5.2.3 减压阀	114
5.2.4 顺序阀	117
5.2.5 压力继电器	119
5.3 流量控制阀	121
5.3.1 概 述	121
5.3.2 节流阀	121
5.3.3 调速阀和溢流节流阀	124
5.4 方向控制阀	128
5.4.1 概 述	128
5.4.2 单向阀	128
5.4.3 换向阀	133
5.5 插装阀、叠加阀、数字阀	145

5.5.3 数字阀	153
习 题	155
第6章 液压辅助元件	159
6.1 概 述	159
6.2 滤油器	159
6.2.1 油的污染度和过滤器的过滤精度	159
6.2.2 过滤器的种类和典型结构	160
6.2.3 过滤器的选用原则、安装位置及注意的问题	161
6.3 蓄能器	162
6.3.1 蓄能器的作用、类型及其结构	162
6.3.2 蓄能器的参数计算	164
6.3.3 蓄能器的安装、使用与维护	165
6.4 油 箱	165
6.4.1 油箱的作用和种类	165
6.4.2 油箱的基本结构、设计、使用和维护	166
6.5 密封装置	167
6.5.1 系统对密封装置的要求	167
6.5.2 常用密封装置结构特点	167
6.5.3 密封装置的选用	170
6.6 管道与管接头	170
6.6.1 管 道	170
6.6.2 管接头	171
6.7 热交换器	172
6.7.1 冷却器	172
6.7.2 加热器	173
习 题	173
第7章 液压基本回路	175
7.1 概 述	175
7.2 压力控制回路	176
7.2.1 调压回路	176
7.2.2 减压和增压回路	177
7.2.3 卸荷回路	178
7.2.4 平衡回路	179
7.2.5 保压回路	180
7.3 速度控制回路(一)——调速回路	181
7.3.1 调速回路概述	181

7.3.2 节流调速回路	182
7.3.3 容积调速回路	188
7.3.4 容积节流调速回路	190
7.3.5 调速回路的比较和选用	192
7.4 速度控制回路(二)——快速运动回路和速度换接回路	193
7.4.1 快速运动回路	193
7.4.2 速度换接回路	195
7.5 方向控制回路	198
7.5.1 换向回路	198
7.5.2 锁紧回路	200
7.6 多缸动作回路	200
7.6.1 顺序动作回路	200
7.6.2 同步回路	202
7.6.3 多缸快慢速互不干涉回路	204
习 题	205
第 8 章 电液比例控制技术和电液伺服阀	210
8.1 电液比例控制技术	210
8.1.1 比例电磁铁	210
8.1.2 比例压力阀	212
8.1.3 比例方向阀	213
8.1.4 比例流量阀	214
8.1.5 电液比例控制系统	216
8.2 电液伺服阀	218
习 题	220
第 9 章 典型液压系统	221
9.1 组合机床动力滑台液压系统	222
9.1.1 概 述	222
9.1.2 YT4543 型动力滑台液压系统工作原理	222
9.1.3 YT4543 型动力滑台液压系统特点	225
9.2 3150kN 通用压力机液压系统	225
9.2.1 概 述	225
9.2.2 3150kN 通用压力机液压系统工作原理	226
9.2.3 系统性能分析	229
9.3 注塑机液压系统	229
9.3.1 概 述	229
9.3.2 系统工作原理	230

9.3.3 系统性能分析	234
9.4 汽车起重机液压系统	234
9.4.1 概 述	234
9.4.2 Q2-8 型汽车起重机工作原理	235
9.4.3 Q2-8 型汽车起重机性能分析	239
9.5 车床液压系统	239
9.5.1 概 述	239
9.5.2 C7620 型卡盘多刀半自动车床工作原理	239
9.5.3 C7620 型卡盘多刀半自动车床的主要性能特点	241
9.6 数控加工中心液压系统	242
9.6.1 概 述	242
9.6.2 数控加工中心液压系统工作原理	242
9.6.3 系统特点	245
习 题	245
第 10 章 液压系统的设计计算	248
10.1 液压系统的设计方法与步骤	248
10.1.1 明确液压系统的设计要求	248
10.1.2 负载特性分析,确定主要参数	249
10.1.3 液压系统方案设计	250
10.2 液压元件的设计计算与选择	252
10.2.1 液压泵的计算与选择	252
10.2.2 液压阀的选择	253
10.2.3 油管和油箱的选择	253
10.3 液压系统性能验算	253
10.3.1 回路压力损失验算	254
10.3.2 发热温升验算	254
10.4 液压系统的设计计算实例	254
习 题	260
第 11 章 气压传动	261
11.1 气压传动概述	261
11.1.1 气动技术的特点	261
11.1.2 气动系统的组成	262
11.1.3 气动技术的应用和发展	263
11.2 气源装置及辅助元件	264
11.2.1 气源装置	264
11.2.2 辅助元件	268

11.2.3 管路系统设计	272
11.3 气动执行元件	273
11.3.1 气 缸	273
11.3.2 气动马达	277
11.4 气动控制元件	278
11.4.1 方向控制阀	278
11.4.2 压力控制阀	282
11.4.3 流量控制阀	284
11.4.4 气动逻辑元件	286
11.5 气动基本回路	288
11.5.1 换向控制回路	288
11.5.2 压力控制回路	289
11.5.3 速度控制回路	291
11.5.4 其他基本回路	292
11.6 气动系统实例	294
11.6.1 气液动力滑台气压系统	294
11.6.2 走纸张力气控系统	295
11.6.3 气动计量系统	296
习 题	298
附录 常用液压与气动元(辅)件图形符号	299
附表 1 基本符号、管路及连接	299
附表 2 控制机构和控制方法	300
附表 3 泵、马达和缸	301
附表 4 控制元件	302
附表 5 辅助元件	304

第 1 章 液压气压传动与控制概述

【本章内容提要】

液压气压传动是属于自动控制领域的一门重要学科,它是以流体(液体或压缩空气)为工作介质,以液体和气体的压力能进行能量传递和控制的一种传动形式。本章主要叙述了液压气压传动与控制的概念,揭示了液压和气压传动的基本原理,论述了压力与负载、速度与流量、液压功率与输出功率之间的关系。讲述了液压气压传动系统的组成和液压气压传动系统图的表示方法,以及液压气压传动的优缺点。最后介绍了液压气压传动的应用及发展前景。通过本章学习,使学生对液压气压传动与控制这门技术有一个初步的了解。

【基本要求、重点和难点】

基本要求:①掌握液压气压传动的定义,区分和其他传动形式的不同。了解液压气压传动的工作原理和传动实质。②了解液压气压传动系统的组成和系统图的表示方法。③了解液压气压传动系统的优缺点。④了解液压气压传动的应用情况及以后发展前景。

重点:①液压气压传动的工作原理。②液压气压传动系统图的表示方法。

难点:液压气压传动的工作原理。

1.1 液压气压传动与控制的定义及工作原理

液压气压传动系统是由一些功能不同的液压和气压元件组成,在密闭的回路中依靠运动的液体或气体进行能量传递,通过对液体或气体的相关参数(压力、流量)进行调节和控制,以满足工作装置输出力、速度(或转矩、转速)的一种传动装置。液压和气压传动的元件工作原理、系统构成等方面极其相似,所不同的是作为液压传动的液体几乎不可压缩,作为气压传动的空气有较大的压缩性。液压气压传动系统的类型很多,应用范围也十分广泛,下面以图 1-1 所示的液压千斤顶为例说明其工作原理。当向上提手柄 5 时,小缸 4 内的小活塞上移,小缸下部因容积增大形成真空,此时排油单向阀 3 关闭,油箱 1 内的液压油通过油管和吸油单向阀 2 被吸入到小缸下腔并充满。当向下压手柄 5 时,小活塞下移,液压油被挤出,压力升高,此时吸油单向阀 2 关闭,小缸 4 内的液压油顶开排油单向阀 3 进入大缸 7 的下腔,迫使大活塞向上移动举起重物 6。经过反复提升和下压手柄,就能将油箱的液压油不断吸入小缸,压入大缸,推动大活塞逐渐上移而将重物举起。为把重物从举高的位置顺利放下,系统设置了截止阀(放油螺塞)8。

图 1-1 中如果两根通油箱的管道与大气相通,则变成了气动系统的原理图。这种情况

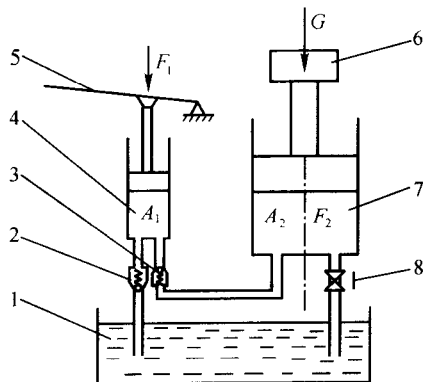


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

1—油箱；2—吸油单向阀；3—排油单向阀；4—小缸；5—手柄；6—重物（负载）；7—大缸；8—截止阀

下,上下按动手柄 5 一次,空气就通过阀 2 被吸入一次,经阀 3 输到大缸 7 的下腔一次。反复按动手柄,同样可以把重物提起。与液压系统不同的是,因气体有压缩性,不会一按手柄重物立即相应上移,而是手柄需被按动多次,使进入大缸 7 下腔中的气体逐渐增多,压力逐渐升高,一直到气体压力达到使重物上升所需的压力值时,重物才开始上升。在重物上升过程中,也不像液压系统那样,压力值基本保持不变(重物负载不变),因气体的压缩性较大,气压值会发生波动。图 1-1 所示的系统不能对重物的上升速度进行调节,也没有防止压力过高的安全措施,是一个简单的液压或气压系统,但同样充分揭示了液压或气压传动的压力与负载、速度与流量、输入功率与输出功率之间的关系。

1.1.1 压力与负载的关系

在图 1-1 中,设大、小活塞(也称大、小液压缸)的面积分别为 A_2 和 A_1 ,作用在大活塞上的外负载为 G ,大活塞下端的受力为 F_2 ,施加于小活塞上的作用力为 F_1 ,则在大腔(缸 7)中所产生的液体压力(压强)为(忽略活塞自重、摩擦力等) $p_2 = G/A_2 = F_2/A_2$,小腔(缸 4)的压力为 $p_1 = F_1/A_1$ 。根据帕斯卡原理:加在密封连通容器中的压力(压强)能够按照原来的大小无损失地向液体的各个方向传递,即 $p_1 = p_2 = p$ 。若忽略压力损失,则可以表示为

$$p = \frac{G}{A_2} = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} \quad (1-1)$$

或

$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (1-2)$$

式(1-1)说明,在 A_1, A_2 一定时,负载 F_2 越大,系统中的压力 p 也越高,外界对系统的作用力 F_1 也越大,所以系统的压力 p 取决于外负载的大小。式(1-2)表明,当 $A_2/A_1 \gg 1$ 时,作用在小活塞上一个很小的力 F_1 ,便可以在大活塞上产生一个很大的力 F_2 ,以举起重物(负载)。

1.1.2 速度与流量的关系

在图 1-1 中,若不计液体的泄漏、可压缩性和系统的弹性变形等因素,则从小缸中排出的液体体积一定等于大缸中的液体体积,供活塞上升。设大、小缸活塞的位移分别为 s_2, s_1 , 则有