



21世纪高等学校机械设计制造  
及其自动化专业系列教材

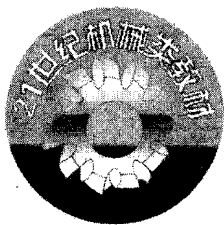
# 液压传动与气压传动

(第三版)

杨曙东 何存兴 主 编  
王明智 主 审

华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>





21 世纪高等学校机械设计制造  
及其自动化专业系列教材

# 液压传动与气压传动

## (第三版)

杨曙东 何存兴 主 编

唐群国 贺小峰 副主编  
朱碧海 唐晓群

王明智 主 审

华中科技大学出版社  
中国·武汉

**图书在版编目(CIP)数据**

液压传动与气压传动(第三版)/杨曙东 何存兴 主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2008 年 4 月

ISBN 978-7-5609-1794-8

I. 液… II. ①杨… ②何… III. ①液压传动 ②气压传动 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 115463 号

**液压传动与气压传动(第三版)**

**杨曙东 何存兴 主编**

责任编辑: 钟小珉 佟文珍

封面设计: 潘 群

责任校对: 张 梁

责任监印: 周治超

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027) 87557437

印 刷: 华中科技大学印刷厂

开本: 787mm×960mm 1/16

印张: 24

字数: 500 000

版次: 2008 年 4 月第 3 版

印次: 2008 年 4 月第 14 次印刷

定价: 34.80 元

ISBN 978-7-5609-1794-8/TH·93

(本书若有印装质量问题, 请向出版社发行部调换)

21 世纪高等学校  
机械设计制造及其自动化专业系列教材  
**编 审 委 员 会**

**顾问：** 姚福生                      黄文虎                      张启先  
          (工程院院士)            (工程院院士)            (工程院院士)

          谢友柏                      宋玉泉                      艾 兴  
          (工程院院士)            (科学院院士)            (工程院院士)

          熊有伦  
          (科学院院士)

**主任：** 杨叔子                      周 济  
          (科学院院士)            (工程院院士)

**委员：** (按姓氏笔画顺序排列)

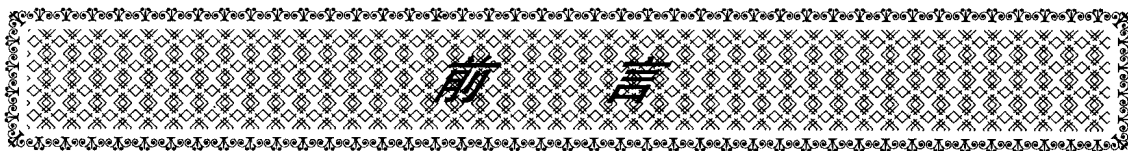
|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 于骏一 | 王明智 | 毛志远 | 左武炘 | 卢文祥 |
| 朱承高 | 师汉民 | 刘太林 | 李培根 | 吴昌林 |
| 吴宗泽 | 何玉林 | 陈康宁 | 陈心昭 | 张春林 |
| 张福润 | 张 策 | 张健民 | 冷增祥 | 范华汉 |
| 周祖德 | 洪迈生 | 姜 楷 | 黄纯颖 | 童秉枢 |
| 傅水根 | 傅祥志 | 廖效果 | 黎秋萍 | 戴 同 |

**秘书：** 钟小珉 徐正达

## 内 容 简 介

本书内容包括:液压流体力学基础,液压元件(泵、马达、缸、开关控制阀、比例阀、逻辑阀、数字阀、伺服阀和辅助元件)的结构原理,液压基本回路,典型液压系统,液压系统的设计计算;气压传动基础知识,气动元件的结构原理,气动基本回路和气动系统设计等。

本书适合作高等学校机械设计制造及其自动化专业的教材,也可供有关科研、设计单位及工厂等有关技术人员参考。



本书为高等学校机械类专业教材,是根据机械类专业教学计划中《液压传动与气压传动》教学大纲编写的。本书内容包括:液压流体力学基础,液压元件(泵、马达、缸、开关控制阀、比例阀、逻辑阀、数字阀、伺服阀和辅助元件)的结构原理,液压基本回路,典型液压系统,液压系统的设计计算;气压传动基础知识,气动元件的结构原理,气动基本回路和气动系统设计等。

本书适合作高等学校机械类专业的教材,也可供有关科研、设计单位及工厂等有关技术人员参考。

本书的编写力求贯彻少而精和理论联系实际的原则,突出理论知识的应用,加强针对性和实用性,并尽量反映国内外最新成就和发展趋势。

全书用54学时可以讲完(书中带“\*”号的章、节,供学生参考,不在课堂上讲授)。

本书由华中科技大学杨曙东、何存兴任主编,唐群国、贺小峰、朱碧海、唐晓群任副主编。何存兴编写绪论,第1、5、7章及附录;唐群国编写第2、3章;贺小峰编写第4、6章;朱碧海编写第8、9章;唐晓群编写第10、11章;杨曙东编写第12至16章。由何存兴对全书进行统稿。由太原科技大学王明智教授任主审。

由于编者水平有限,书中难免有不少缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

**编 者**

2007年10月

## 绪 论

液压传动与气压传动都是以流体为介质,来实现能量的转换、传递及控制的学科。

液压传动与气压传动都是利用各种元件(液压元件或气压元件)组成具有不同控制功能的基本回路,再由若干基本回路组成传动系统来进行能量转换、传递和控制。为了研究这门学科,必须掌握液压流体力学和气体力学的基础知识,需要熟悉组成系统的各类元件的结构、工作原理、工作性能及由这些元件所组成的各种基本控制回路的性能特点,并在此基础上根据主机负载的需要进行液压与气压传动及控制系统的设计。

以液体为工作介质的液压传动具有无级调速和传动平稳的优点,故在磨、插、拉、刨、铣等机床上得到广泛应用;因其布置方便并易实现自动化,在组合机床上用得较广;由于执行元件的输出力(或转矩)较大、操纵方便、布置灵活,液压元件和电器易实现自动化和遥控,在冶金机械、矿山机械、钻探机械、起重运输机械、建筑机械、塑料机械、农业机械、液压机、铸锻机以及飞机和军舰上的许多控制机构都普遍采用液压传动。但因液压传动的阻力损失较大,故不宜作远距离传输。而工作介质为空气的气压传动,因工作压力较低(一般在1MPa以下),且有可压缩性,所以传递动力小,运动不如液压传动平稳;但因空气粘度小,传递过程阻力损失小,速度快,反应灵敏,因而气压传动能用于较远距离的传输,特别在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射、振动等恶劣环境中,气压传动比液压、电子、电气控制优越。有时为了综合利用液压传动与气压传动的优点,而采用气液联合传动来获得成本低廉、性能优越、运动平稳的传动及控制装置。

# 21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

## 总 序

发展是硬道理,而改革是关键。唐代大诗人刘禹锡写得多么好:“请君莫奏前朝曲,听唱新翻《杨柳枝》”。这是这位改革派的伟大心声。

1998 年教育部颁布了新的普通高等学校专业目录。这是一大改革。为满足各高校开办“机械设计制造及其自动化”宽口径新专业教学的需要,华中科技大学出版社在世纪之交,千年之替,顺应时代潮流,努力推出了“机械设计制造及其自动化”专业系列教材。这套系列教材是在众多院士支持与指导下,由全国 20 余所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师经多年辛勤劳动编写成的,它有特色,能满足机械类专业人才培养要求。

这套系列教材的特色在于,它紧密结合“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”与“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个重大教学改革项目,集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校自实施教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”以来,在改革机械类专业培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材是完全按照两个重大教学改革项目的成果所提出的“机械设计制造及其自动化”宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写的。这一培养方案的一个重要特点是:专业基础课按课群方式设置,即由力学系列课程,机械设计基础系列课程,计算机应用基础系列课程,电工、电子技术基础系列课程,机械制造技术基础系列课程,测控系列课程,经营管理系列课程等七大课群组成,有效拓宽专业口径和专业基础,体现了机械类专业人才培养模式的改革。

同时专业基础课按课群设置,也有利于加强课群内各门课程在内容上的衔接,有利于课程体系的进一步整合、优化及改革。专业基础课按七大课群设置,这得到了全国高校机械工程类专业教学指导委员会的充分赞同。



21 世纪工程教育的一个基本特征就是“适应性”,就是坚持邓小平同志指出的教育的“三个面向”的战略思想。能适应,才能创业。要能多方适应科学技术的突飞猛进和社会的不断进步,就得进一步明确指导思想,进一步合适地拓宽专业口径与专业基础,构造现代化的人才知识结构、能力结构和素质结构,就得因史制宜、因地制宜、因势制宜,努力实现培养模式的多样化,切忌“千篇一律”、“千人一脸”,万紫千红方能有一个大好的春天。

这是一套具有较大改革力度的系列教材。教材的作者们认真贯彻了中央的教育方针与改革思想,体现出两个重大改革项目成果所提出的“以创新设计为核心,以机械技术与信息技术结合为龙头,以计算机辅助技术为主线,拓宽基础,强化实践”的总体改革思路,并本着整合、拓宽、更新和更加注重应用的原则,对课程的内容、体系进行了诸多重要改革,而且许多课程在开发电子教材方面也取得了长足进展。

按照减少学时、降低重心、拓宽面向、精选内容、更新知识的原则,对原机械专业三门主要专业课(机械制造工艺学、金属切削机床设计、金属切削原理与刀具)实行了整合和改造,编写出了供“机械设计及其自动化”宽口径专业学生学习的《机械制造技术基础》新教材。

改造了原电工技术、电子技术系列课程,将分散在几门课程中的强电知识整合为《机电传动控制》新课程,减少了重复,拓宽了基础,突出了“机电结合、电为机用”的特点。

使用自主版权软件改革传统工程制图内容体系,不仅实现了工程制图和计算机绘图内容的有机融合,也实现了制图课教学手段的现代化。

以设计为主线,重新规划了《机械设计》和《机械原理》课程体系结构,在内容上努力实现由注重学科的系统性向更加注重工程综合性的转化,在教学手段上全面引入多媒体技术,提升了课堂教学的效果和效率。

《金属材料及热处理》更名为《工程材料及应用》,除紧密结合现代科技成就,讲解金属材料的基本理论及应用外,还讲解了其他各类工程材料的有关知识。

《测试技术》更名为《工程测试与信息处理》,加强了与信息获取、传输、存贮、处理及应用有关的内容,并率先在国内建成网上测试技术虚拟实验室。

《液压传动》与《气压传动》整合为《液压传动与气压传动》,精简了内容,强化了应用,并制作出了相应的电子教案。

《材料成形工艺基础》在精选传统金属成形工艺内容的基础上,较大幅度地增

加了新材料、新工艺、新技术方面的知识。

编写出版了《现代设计方法》、《机构与机械零部件CAD》、《柔性制造自动化概论》、《机电一体化控制技术与系统》及《机器人技术基础》等教材,反映了现代科技的新发展。

科学与工程既有联系又有区别。科学注重分析,工程注重综合。任何一项工程本身都是多学科的综合体。今天工程技术专家的基本作用正是一种集成作用,工程技术专家的任务是构建整体。我们必须从我国国情出发,按照现代工程的特点和工程技术专家的基本作用来构建机械工程教育的内容和体系。

华中科技大学出版社依托全国高校机械工程类专业教学指导委员会、全国高校机械基础课程指导委员会,经过多年不懈的努力,使这套系列教材的出版达到了较高的质量水准。例如,目前已有九本被教育部批准为“面向21世纪课程教材”,有五本获得过国家级、省部级各种奖励,全套教材已被全国几十所高校采用,广泛受到教师和学生的欢迎。特别是其中一些教材(如《机械工程控制基础》、《数字控制机床》等),经长期使用,多次修订,已成为同类教材中的精品。

现在这套系列教材已经正式出版20多本,涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程,能够较好地满足教学上的需要。我们深信,这套系列教材的出版发行和广泛使用,将不仅有利于加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作,而且对机械类专业人才培养质量的提高也会起到积极的促进作用。

当然,由于编者学术水平有限,改革探索经验不足,组织工作还有缺陷,何况,形势总在不断发展,现在还远不能说系列教材已经完善,相反,还需要在改革的实践中不断检验,不断修改、锤炼,不断完善,永无休期。“嚶其鸣矣,求其友声。”我们殷切期望同行专家及读者们不吝赐教,多加批评与指正。

江泽民同志在2000年6月我国两位院士大会上号召我们:“创新,创新,再创新!”实践、探索、任重道远,只有努力开拓创新,才可能创造更美好的未来!

全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

中国科学院院士  
华中科技大学教授

杨叔子

2000年6月6日



## 第一篇 液 压 传 动

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| <b>第 1 章 液压传动概述</b> .....   | (3)   |
| 1-1 液压传动的定义、工作原理及组成 .....   | (3)   |
| 1-2 液压传动的优缺点 .....          | (4)   |
| * 1-3 液压油(液) .....          | (5)   |
| 练习题 .....                   | (9)   |
| <b>第 2 章 液压流体力学基础</b> ..... | (10)  |
| 2-1 油液的主要物理性质 .....         | (10)  |
| 2-2 流体静力学 .....             | (13)  |
| 2-3 流体动力学 .....             | (18)  |
| 2-4 液体流动时的压力损失 .....        | (25)  |
| 2-5 孔口和缝隙流动 .....           | (36)  |
| 2-6 液压冲击和气蚀现象 .....         | (44)  |
| 练习题 .....                   | (47)  |
| <b>第 3 章 液压泵</b> .....      | (51)  |
| 3-1 液压泵概述 .....             | (51)  |
| 3-2 齿轮泵 .....               | (54)  |
| 3-3 螺杆泵 .....               | (68)  |
| 3-4 叶片泵 .....               | (69)  |
| 3-5 轴向柱塞泵 .....             | (80)  |
| 3-6 径向柱塞泵 .....             | (89)  |
| 练习题 .....                   | (92)  |
| <b>第 4 章 液压执行元件</b> .....   | (94)  |
| 4-1 液压马达 .....              | (94)  |
| 4-2 液压缸 .....               | (102) |

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| 练习题 .....                         | (111)        |
| <b>第5章 液压控制阀 .....</b>            | <b>(112)</b> |
| 5-1 阀内流动的基本规律 .....               | (112)        |
| 5-2 压力控制阀 .....                   | (120)        |
| 5-3 流量控制阀 .....                   | (135)        |
| 5-4 方向控制阀 .....                   | (144)        |
| 5-5 电液比例阀 .....                   | (159)        |
| 5-6 逻辑阀 .....                     | (169)        |
| 5-7 电液数字阀 .....                   | (176)        |
| 5-8 电液伺服阀 .....                   | (182)        |
| * 5-9 液压阀的连接方式 .....              | (195)        |
| 练习题 .....                         | (198)        |
| <b>第6章 液压辅助元件 .....</b>           | <b>(200)</b> |
| 6-1 蓄能器 .....                     | (200)        |
| * 6-2 滤油器 .....                   | (204)        |
| * 6-3 密封装置 .....                  | (206)        |
| * 6-4 油管及管接头 .....                | (208)        |
| * 6-5 油箱 .....                    | (210)        |
| * 6-6 热交换器 .....                  | (212)        |
| 练习题 .....                         | (214)        |
| <b>第7章 液压基本回路 .....</b>           | <b>(216)</b> |
| 7-1 压力控制回路 .....                  | (216)        |
| 7-2 速度控制回路 .....                  | (220)        |
| 7-3 方向控制回路 .....                  | (228)        |
| 7-4 多缸(马达)工作控制回路 .....            | (230)        |
| 7-5 其他回路 .....                    | (234)        |
| 练习题 .....                         | (235)        |
| <b>第8章 典型液压系统 .....</b>           | <b>(236)</b> |
| 8-1 组合机床动力滑台液压系统 .....            | (236)        |
| 8-2 Q2-8 型汽车起重机液压系统 .....         | (239)        |
| 8-3 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统 .....   | (242)        |
| 8-4 XS-ZY-250A 型塑料注射成型机液压系统 ..... | (244)        |
| <b>* 第9章 液压系统的设计计算 .....</b>      | <b>(249)</b> |
| 9-1 明确系统的设计要求 .....               | (249)        |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 9-2 分析系统工况,确定主要参数 ..... | (250) |
| 9-3 拟定液压系统原理图 .....     | (252) |
| 9-4 液压元件的计算与选择 .....    | (252) |
| 9-5 液压系统的性能验算 .....     | (253) |
| 9-6 液压系统的设计计算举例 .....   | (253) |

## 第二篇 气压传动

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| <b>第10章 气压传动概述</b> .....    | (263) |
| 10-1 气压传动的优缺点 .....         | (263) |
| 10-2 气压传动系统的基本组成 .....      | (263) |
| 练习题 .....                   | (264) |
| <b>第11章 气压传动基础知识</b> .....  | (265) |
| 11-1 空气的物理性质 .....          | (265) |
| 11-2 气体的状态变化 .....          | (267) |
| 11-3 气体的流动规律 .....          | (271) |
| 练习题 .....                   | (275) |
| <b>第12章 气源装置和辅助元件</b> ..... | (276) |
| 12-1 气源装置 .....             | (276) |
| 12-2 辅助元件 .....             | (282) |
| * 12-3 气动系统的管道设计 .....      | (292) |
| 练习题 .....                   | (294) |
| <b>* 第13章 气动执行元件</b> .....  | (295) |
| 13-1 气缸 .....               | (295) |
| 13-2 气马达 .....              | (301) |
| 练习题 .....                   | (303) |
| <b>第14章 气动控制元件</b> .....    | (304) |
| 14-1 压力控制阀 .....            | (304) |
| 14-2 流量控制阀 .....            | (311) |
| 14-3 方向控制阀 .....            | (312) |
| 14-4 气动逻辑元件 .....           | (319) |
| 练习题 .....                   | (326) |
| <b>第15章 气动基本回路</b> .....    | (328) |
| 15-1 压力控制回路 .....           | (328) |

---

|                                             |              |
|---------------------------------------------|--------------|
| 15-2 速度控制回路 .....                           | (329)        |
| 15-3 换向回路 .....                             | (331)        |
| 15-4 气液联动回路 .....                           | (331)        |
| 15-5 位置控制回路 .....                           | (334)        |
| 15-6 安全保护回路 .....                           | (336)        |
| 15-7 往复动作回路 .....                           | (337)        |
| 15-8 延时回路 .....                             | (338)        |
| 15-9 计数回路 .....                             | (338)        |
| 练习题 .....                                   | (339)        |
| <b>* 第 16 章 气动系统设计 .....</b>                | <b>(340)</b> |
| 16-1 行程程序回路设计概述 .....                       | (340)        |
| 16-2 多缸单往复行程程序回路设计 .....                    | (342)        |
| 16-3 多缸多往复行程程序回路设计 .....                    | (348)        |
| 16-4 气动系统设计的主要内容及步骤 .....                   | (350)        |
| * 16-5 气动系统实例 .....                         | (354)        |
| <b>附录 液压气动图形符号(GB/T 786.1—1993)摘要 .....</b> | <b>(360)</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                           | <b>(369)</b> |



# 第一篇

## 液 压 传 动





# 液压传动概述

## 1-1 液压传动的定义、工作原理及组成

### 一、液压传动的定义

一部完整的机器一般主要由三部分组成,即原动机、传动机构和工作机。

原动机包括电动机、内燃机等。

工作机即完成该机器之工作任务的直接工作部分。如剪床的剪刀,车床的刀架、车刀、卡盘等。

由于原动机的功率和转速变化范围有限,为了适应工作机的工作力(转矩)和工作速度(转速)变化范围较宽的要求,以及其他操纵性能(如停车、换向等)的要求,在原动机和工作机之间设置了传动机构(或称传动装置)。

传动机构通常分为机械传动、电气传动和流体传动机构。

流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的传动。它包括液体传动和气体传动。

液体传动是以液体为工作介质的流体传动。它包括液力传动和液压传动。

液力传动是主要利用液体动能的液体传动。

液压传动是主要利用液体压力能的液体传动。

### 二、液压传动装置的工作原理及组成

以图 1-1 所示的液压千斤顶为例,说明液压传动装置的工作原理及其组成。

当手柄 1 带动活塞上提时,泵缸 2 容积扩大形成真空,排油单向阀 3 关闭,油箱 5 中的液体在大气压力作用下,经管 6、吸油单向阀 4 进入泵缸 2 内;当手柄 1 带动活塞下压时,吸油单向阀 4 关闭,泵缸 2 中的液体推开排油单向阀 3、经管 9、10 进入液压缸 11,迫使活塞克服重物 12 的重力  $G$  上升而做功;当需液压缸 11 中的活塞停止时,使手柄 1 停止运动,液压缸 11 中的液压力使排油单向阀 3 关闭,液压缸 11 中的活塞就自锁不动;工作时截止阀 8 关闭,当需要液压缸 11 中的活塞放下时,打开此阀,液体在重力作用下经此阀排往油箱 5。这就是液压千斤顶的工作原理。它是简单又较完整的液压传动装置。显然,液压传动装置由以下几部分组成。