



21st CENTURY

实用规划教材 21世纪全国应用型本科

大机械系列 实用规划教材



# 液压与气压传动

主 编 王守城 容一鸣  
副主编 骆艳洁 张 鹏



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

TH137/152

2008

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

## 液压与气压传动

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 王守城 | 容一鸣 |     |
| 副主编 | 骆艳洁 | 张 鹏 |     |
| 参 编 | 段俊勇 | 任海霞 | 王 蕾 |
|     | 赵 轲 | 郭克红 | 张卫锋 |



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书是根据教育部机电类专业本科教育人才培养目标和培养方案及课程教学大纲的要求编写的。全书共分15章,第1、2章主要介绍了液压传动基本知识、液压油和液压流体力学基础,第3~6章主要介绍了液压元件的结构、原理、性能和选用,第7、8章介绍了液压基本回路与典型液压系统的组成、功能、特点以及应用情况,第9章介绍了液压系统的设计计算方法与应用实例,第10章介绍了液压伺服元件与系统的工作原理与应用实例,第11~15章介绍了气压传动基本知识、气压传动元件、气压基本回路及气压系统设计方法与应用实例。

本书在编写过程中,力求贯彻少而精、理论与实践相结合的原则,紧密结合液压与气压技术的最新成果,重点介绍了液压与气压传动在机床工业、工程机械、橡塑机械、汽车工业、楼宇设施等行业的应用实例。本书元件的图形符号、回路以及系统原理图全部按照国家最新图形符号绘制,并摘录于附录中,以便于学生学习,每章后面均附有思考与练习题。

本书适用于普通工科院校机械类、自动化类各专业的学生,也适用于各类成人高校、自学考试等有关机械类、自动化类各专业的学生,也可供从事流体传动与控制技术的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/王守城,容一鸣主编. —北京:北京大学出版社,2008.4

(21世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-13179-4

I. 液… II. ①王… ②容… III. ①液压传动—高等学校—教材 ②气压传动—高等学校—教材

IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 185786 号

书 名: 液压与气压传动

著作责任者: 王守城 容一鸣 主编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-13179-4/TH·0082

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印刷者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 447 千字

2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 丛书总序

殷国富\*

机械是人类生产和生活的基本工具要素之一,是人类物质文明最重要的一个组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门,包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务,在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20世纪80年代以来,以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生,极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度,改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式,产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。这些机械方面的新方法和系统的主要技术特征表现在以下几个方面:

(1) 信息技术在机械行业的广泛渗透和应用,使得现代机电产品已不再是单纯的机械构件,而是由机械、电子、信息、计算机与自动控制等集成的机电一体化产品,其功能不仅限于加强、延伸或取代人的体力劳动,而且扩大到加强、延伸或取代人的某些感官功能与大脑功能。

(2) 随着设计手段的计算机化和数字化,CAD/CAM/CAE/PDM集成技术和软件系统得到广泛使用,促进了产品创新设计、并行设计、快速设计、虚拟设计、智能设计、反求设计、广义优化设计、绿色产品设计、面向全寿命周期设计等现代设计理论和技术方法的不断发展。机械产品的设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低,而是注重综合考虑质量、市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

(3) 传统机械制造技术在不断吸收电子、信息、材料、能源和现代管理等方面成果的基础上形成了先进制造技术,并将其综合应用于机械产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的机械产品制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力。

(4) 机械产品加工制造的精密化、快速化,制造过程的网络化、全球化得到很大的发展,涌现出CIMS、并行工程、敏捷制造、绿色制造、网络制造、虚拟制造、智能制造、大规模定制等先进生产模式,制造装备和制造系统的柔性性与可重组已成为21世纪制造技术的显著特征。

(5) 机械工程的理论基础不再局限于力学,制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候都更紧密地依赖诸如现代数学、材料科学、微电子技术、计算机信息科学、生命科学、系统论与控制论等多门学科及其最新成就。

上述机械科学与工程技术特征和发展趋势表明,现代机械工程学科越来越多地体现着知识经济的特征。因此,加快培养适应我国国民经济建设所需要的高综合素质的机械工程学科人才的意义十分重大、任务十分繁重。我们必须通过各种层次和形式的教育,培养出适应世界机械工业发展潮流与我国机械制造业实际需要的技术人才与管理人才,不断推动

---

\* 殷国富教授:现为教育部机械学科教学指导委员会委员,现任四川大学制造科学与工程学院院长

我国机械科学与工程技术的进步。

为使机械工程学科毕业生的知识结构由较专、较深、适应性差向较通用、较广泛、适应性强方向转化,在教育部的领导与组织下,1998 年对本科专业目录进行了第 3 次大的修订。调整后的机械类专业变成 4 类 8 个专业,它们是:机械类 4 个专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、过程装备与控制、工业设计);仪器仪表类 1 个专业(测控技术与仪器);能源动力类 2 个专业(热能与动力工程、核工程与核技术);工程力学类 1 个专业(工程力学)。此外还提出了面向更宽的引导性专业,即机械工程及自动化。因此,建立现代“大机械、全过程、多学科”的观点,探讨机械科学与工程学科专业创新人才的培养模式,是高校从事制造学科教学的教育工作者的责任;建立培养富有创新能力人才的教学体系和教材资源环境,是我们努力的目标。

要达到这一目标,进行适应现代机械学科发展要求的教材建设是十分重要的基础工作之一。因此,组织编写出版面向大机械学科的系列教材就显得很有意义和十分必要。北京大学出版社领导和编辑们通过对国内大学机械工程学科教材实际情况的调研,在与众多专家学者讨论的基础上,决定面向机械工程学科类的学生出版一套系列教材,这是促进高校教学改革发展的重大决策。按照教材编审委员会的规划,本系列教材将逐步出版。

本系列教材是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作的教师立足于 21 世纪机械工程学科发展的需要,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写,以适应不同类型、不同层次的学校结合学校实际情况的需要。本系列教材编写的特色体现在以下几个方面:

(1) 关注全球机械科学与工程学科发展的大背景,建立现代大机械工程学科的新理念,拓宽理论基础和专业基础知识,特别是突出创造能力和创新意识。

(2) 重视强基础与宽专业知识面的要求。在保持较宽学科专业知识的前提下,在强化产品设计、制造、管理、市场、环境等基础理论方面,突出重点,进一步密切学科内各专业知识面之间的综合内在联系,尽快建立起系统性的知识体系结构。

(3) 学科交叉与综合的观念。现代力学、信息科学、生命科学、材料科学、系统科学等新兴学科与机械学科结合的内容在系列教材编写中得到一定的体现。

(4) 注重能力的培养,力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力以及不断自我更新知识的能力,促进学生向着富有鲜明个性的方向发展。

总之,本系列教材注意了调整课程结构,加强学科基础,反映系列教材各门课程之间的联系和衔接,内容合理分配,既相互联系又避免不必要的重复,努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索。当然,本系列教材还需要在内容的精选、音像电子课件、网络多媒体教学等方面进一步加强,使之能满足普通高等院校本科教学的需要,在众多的机械类教材中形成自己的特色。

最后,我要感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也要感谢北京大学出版社领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之在我国机械工程类学科专业的教学改革和课程体系建设中起到应有的促进作用。

2006 年 1 月

# 前 言

液压与气压传动是机电类专业开设的一门重要的技术基础课程,课程的内容涉及液压传动和气压传动两部分,以液压传动为主。

本书是根据教育部机电类专业本科教育人才培养目标和培养方案及课程教学大纲的要求编写的。全书共分15章,第1、2章主要介绍液压传动的基本知识、液压油和液压流体力学基础,第3~6章主要介绍液压元件的结构、原理、性能和选用,第7、8章介绍液压基本回路与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应用实例,第10章介绍液压伺服元件与系统的工作原理与应用实例。第11~15章介绍气压传动的基本知识、气压传动元件、气压基本回路及气压系统设计方法与应用实例。

课时安排如下:第1章为2学时,第2章为8学时,第3章为8学时,第4章为6学时,第5章为8学时,\*第6章为1学时,第7章为6学时,第8章为2学时,\*第9章为2学时,\*第10章为4学时,\*第11章为1学时,\*第12章为2学时,\*第13章为2学时,\*第14章为2学时,\*第15章为2学时。实验为8学时,总计64学时。标注“\*”的章节可作为选讲内容或自学辅导内容。各个学校及不同专业应根据实际情况作必要的调整。课堂授课时数应为32~48学时。如教学条件允许,建议适当增加实验时数。根据21世纪高等教育的发展现状和人才培养目标,本书在编写过程中,力求贯彻少而精、理论与实践相结合的原则,紧密结合液压与气压技术的最新成果,重点介绍了液压与气压传动在机床工业、工程机械、橡塑机械、汽车工业、楼宇设施等行业的应用实例。在元件选择上,突出了应用量较大的二通插装阀以及代表液压发展方向的电液比例阀。侧重了对工程技术应用方面的人才培养,适当淡化了纯理论分析,加强了学生创新能力的培养。本书元件的图形符号、回路以及系统原理图全部按照国家最新图形符号绘制,并摘录于附录中。为便于学生学习,每章前都附有教学提示和教学要求,每章后面均附有思考与练习。

本书适用于普通工科院校机械类、自动化类各专业的学生,也适用于各类成人高校、自学考试等有关机械类、自动化类各专业的学生,也可供从事流体传动与控制技术的工程技术人员参考。

本书由青岛科技大学王守城、武汉理工大学容一鸣担任主编;上海理工大学骆艳洁、潍坊学院张鹏担任副主编;参编人员有青岛科技大学段俊勇、郭克红、张卫锋,青岛理工大学琴岛学院任海霞,上海理工大学王蕾,广东茂名学院赵轲。

本书的编写,得到了青岛科技大学机电工程学院相关老师的大力支持与帮助,研究生于玲玲、王伟红等担任了书中部分插图的绘制及文字编辑工作,在此一并致谢。

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

2008年1月

《21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材》

专家编审委员会

名 誉 主 任 胡正寰\*

主 任 委 员 殷国富

副主任委员 (按拼音排序)

戴冠军 江征风 李郝林 梅 宁 任乃飞

王述洋 杨化仁 张成忠 张新义

顾 问 (按拼音排序)

傅水根 姜继海 孔祥东 陆国栋

陆启建 孙建东 张 金 赵松年

委 员 (按拼音排序)

方 新 郭秀云 韩健海 洪 波

侯书林 胡如风 胡亚民 胡志勇

华 林 姜军生 李自光 刘仲国

柳舟通 毛 磊 孟宪颐 任建平

陶健民 田 勇 王亮申 王守城

魏 建 魏修亭 杨振中 袁根福

曾 忠 张伟强 郑竹林 周晓福

---

\* 胡正寰：北京科技大学教授，中国工程院机械与运载工程学部院士

# 目 录

## 第 1 章 绪论 ..... 1

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 1.1 液压与气压传动系统的工作原理 .....   | 1 |
| 1.1.1 液压与气压传动的工作原理 .....   | 1 |
| 1.1.2 液压与气压传动系统的组成 .....   | 3 |
| 1.1.3 液压与气压传动系统的职能符号 ..... | 4 |
| 1.2 液压与气压传动的优缺点 .....      | 5 |
| 1.2.1 液压与气压传动的优点 .....     | 5 |
| 1.2.2 液压与气压传动的缺点 .....     | 5 |
| 1.3 液压与气压传动的应用与发展 .....    | 6 |
| 1.3.1 液压与气压传动的应用 .....     | 6 |
| 1.3.2 液压与气压传动的发展 .....     | 6 |
| 思考与练习 .....                | 7 |

## 第 2 章 液压油与液压流体力学基础 ..... 8

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 2.1 液体的物理性质 .....           | 8  |
| 2.1.1 液体的密度和重度 .....        | 8  |
| 2.1.2 液体的可压缩性 .....         | 9  |
| 2.1.3 液体的黏性 .....           | 10 |
| 2.1.4 液压油的类型与选用 .....       | 13 |
| 2.1.5 液压油的污染及其控制 .....      | 15 |
| 2.2 液体静力学基础 .....           | 16 |
| 2.2.1 液体的压力 .....           | 16 |
| 2.2.2 重力作用下静止液体中的压力分布 ..... | 16 |
| 2.2.3 压力的表示方法和单位 .....      | 17 |
| 2.2.4 静止液体内压力的传递 .....      | 18 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 2.2.5 液体对固体壁面的作用力 ..... | 19 |
| 2.3 液体动力学基础 .....       | 20 |
| 2.3.1 基本概念 .....        | 20 |
| 2.3.2 连续性方程 .....       | 24 |
| 2.3.3 伯努利方程 .....       | 25 |
| 2.3.4 动量方程 .....        | 27 |
| 2.4 液体流动时的压力损失 .....    | 28 |
| 2.4.1 沿程压力损失 .....      | 29 |
| 2.4.2 局部压力损失 .....      | 30 |
| 2.4.3 管路中的总压力损失 .....   | 32 |
| 2.5 液体流过小孔和缝隙的流量 .....  | 33 |
| 2.5.1 液体流过小孔的流量 .....   | 33 |
| 2.5.2 液体流过缝隙的流量 .....   | 35 |
| 2.6 液压冲击和气穴现象 .....     | 39 |
| 2.6.1 液压冲击 .....        | 39 |
| 2.6.2 气穴现象 .....        | 41 |
| 思考与练习 .....             | 42 |

## 第 3 章 液压泵和液压马达 ..... 45

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 3.1 液压泵及液压马达概述 .....        | 45 |
| 3.1.1 液压泵的工作原理 .....        | 45 |
| 3.1.2 液压泵的主要性能参数 .....      | 46 |
| 3.1.3 液压马达的性能参数 .....       | 49 |
| 3.1.4 液压泵和液压马达的分类 .....     | 51 |
| 3.2 齿轮泵和齿轮马达 .....          | 52 |
| 3.2.1 齿轮泵的工作原理 .....        | 52 |
| 3.2.2 齿轮泵的排量 and 流量计算 ..... | 53 |
| 3.2.3 齿轮泵的结构特点分析 .....      | 54 |
| 3.2.4 提高齿轮泵压力的措施 .....      | 55 |

|                                |    |                              |     |
|--------------------------------|----|------------------------------|-----|
| 3.2.5 内啮合齿轮泵 .....             | 56 | 5.1.2 液压阀的分类 .....           | 89  |
| 3.2.6 螺杆泵 .....                | 56 | 5.1.3 液压阀的性能参数 .....         | 90  |
| 3.3 叶片泵 .....                  | 57 | 5.1.4 对液压阀的基本要求 .....        | 90  |
| 3.3.1 单作用叶片泵 .....             | 57 | 5.2 方向控制阀 .....              | 90  |
| 3.3.2 双作用式叶片泵 .....            | 58 | 5.2.1 单向阀 .....              | 90  |
| 3.3.3 限压式变量叶片泵 .....           | 60 | 5.2.2 换向阀 .....              | 93  |
| 3.4 柱塞泵 .....                  | 61 | 5.3 压力控制阀 .....              | 102 |
| 3.4.1 径向柱塞泵 .....              | 61 | 5.3.1 溢流阀 .....              | 103 |
| 3.4.2 轴向柱塞泵 .....              | 62 | 5.3.2 减压阀 .....              | 110 |
| 3.5 液压泵的选用 .....               | 65 | 5.3.3 顺序阀 .....              | 114 |
| 3.6 液压马达 .....                 | 66 | 5.3.4 压力继电器 .....            | 117 |
| 3.6.1 液压马达的主要性能<br>参数 .....    | 67 | 5.4 流量控制阀 .....              | 118 |
| 3.6.2 叶片马达 .....               | 67 | 5.4.1 节流阀 .....              | 118 |
| 3.6.3 轴向柱塞马达 .....             | 68 | 5.4.2 调速阀 .....              | 121 |
| 思考与练习 .....                    | 69 | 5.4.3 溢流节流阀 .....            | 124 |
| <b>第4章 液压缸</b> .....           | 71 | 5.4.4 分流集流阀 .....            | 125 |
| 4.1 液压缸的工作原理 .....             | 71 | 5.5 其他控制阀 .....              | 128 |
| 4.2 液压缸的类型、特点和基本<br>参数计算 ..... | 72 | 5.5.1 逻辑阀 .....              | 128 |
| 4.2.1 活塞式液压缸 .....             | 73 | 5.5.2 电液比例控制阀 .....          | 131 |
| 4.2.2 柱塞式液压缸 .....             | 75 | 5.5.3 电液数字阀 .....            | 137 |
| 4.2.3 摆动式液压缸 .....             | 76 | 思考与练习 .....                  | 142 |
| 4.2.4 其他液压缸 .....              | 77 | <b>第6章 液压系统的辅助装置</b> .....   | 145 |
| 4.3 液压缸的典型结构 .....             | 78 | 6.1 油管 and 管接头 .....         | 145 |
| 4.3.1 缸体组件 .....               | 79 | 6.1.1 油管 .....               | 145 |
| 4.3.2 活塞组件 .....               | 79 | 6.1.2 管接头 .....              | 146 |
| 4.3.3 密封装置 .....               | 79 | 6.2 蓄能器 .....                | 147 |
| 4.3.4 缓冲装置 .....               | 82 | 6.2.1 蓄能器的类型和结构 .....        | 147 |
| 4.3.5 排气装置 .....               | 83 | 6.2.2 蓄能器的职能符号 .....         | 149 |
| 4.4 液压缸的设计计算 .....             | 84 | 6.2.3 蓄能器的应用 .....           | 149 |
| 4.4.1 液压缸的主要尺寸计算 .....         | 84 | 6.2.4 蓄能器的安装使用 .....         | 150 |
| 4.4.2 液压缸的校核 .....             | 85 | 6.3 滤油器 .....                | 150 |
| 思考与练习 .....                    | 86 | 6.3.1 滤油器的主要性能<br>参数 .....   | 150 |
| <b>第5章 液压控制阀</b> .....         | 89 | 6.3.2 滤油器的类型 .....           | 151 |
| 5.1 液压阀概述 .....                | 89 | 6.3.3 滤油器在液压系统中<br>的安装 ..... | 152 |
| 5.1.1 液压阀的基本结构及<br>工作原理 .....  | 89 | 6.4 密封件 .....                | 154 |
|                                |    | 6.4.1 密封的作用和分类 .....         | 154 |
|                                |    | 6.4.2 常用密封件材料 .....          | 154 |

|                                     |     |                                         |     |
|-------------------------------------|-----|-----------------------------------------|-----|
| 6.4.3 常用密封件 .....                   | 155 | 8.2.2 YB32-200 型液压机液<br>压系统的特点 .....    | 195 |
| 6.5 油箱 .....                        | 157 | 8.3 汽车起重机液压系统 .....                     | 196 |
| 6.5.1 油箱的分类 .....                   | 157 | 8.3.1 汽车起重机液压系统的<br>机构 .....            | 196 |
| 6.5.2 油箱的典型结构 .....                 | 157 | 8.3.2 汽车起重机液压系统的<br>特点 .....            | 198 |
| 6.5.3 油箱的设计 .....                   | 158 | 8.4 SZ-250A 型塑料注射成形机<br>液压系统 .....      | 198 |
| 6.6 热交换器 .....                      | 159 | 8.4.1 SZ-250A 型塑料注射成形<br>机液压系统的原理 ..... | 198 |
| 6.6.1 冷却器 .....                     | 159 | 8.4.2 注塑机液压系统的<br>特点 .....              | 202 |
| 6.6.2 加热器 .....                     | 160 | 8.5 加工中心液压系统 .....                      | 202 |
| 思考与练习 .....                         | 161 | 8.6 M1432B 型万能外圆磨床液压<br>系统 .....        | 205 |
| <b>第 7 章 液压基本回路</b> .....           | 162 | 8.6.1 M1432B 型万能外圆磨床<br>的液压系统的组成 .....  | 206 |
| 7.1 压力控制回路 .....                    | 162 | 8.6.2 M1432B 型万能外圆<br>磨床液压系统的特点 .....   | 210 |
| 7.1.1 调压回路 .....                    | 162 | 思考与练习 .....                             | 210 |
| 7.1.2 卸荷回路 .....                    | 163 | <b>第 9 章 液压系统的设计计算</b> .....            | 211 |
| 7.1.3 减压回路 .....                    | 165 | 9.1 液压系统的设计步骤 .....                     | 211 |
| 7.1.4 增压回路 .....                    | 165 | 9.1.1 明确设计要求, 进行<br>工况分析 .....          | 211 |
| 7.1.5 平衡回路 .....                    | 166 | 9.1.2 拟定液压系统原理图 .....                   | 214 |
| 7.1.6 保压回路 .....                    | 167 | 9.1.3 液压元件的计算和<br>选择 .....              | 215 |
| 7.2 速度控制回路 .....                    | 168 | 9.1.4 液压系统的性能验算 .....                   | 216 |
| 7.2.1 调速回路 .....                    | 169 | 9.1.5 绘制工作图和编制技术<br>文件 .....            | 218 |
| 7.2.2 快速运动回路 .....                  | 178 | 9.2 组合机床液压系统设计实例 .....                  | 218 |
| 7.2.3 速度换接回路 .....                  | 179 | 9.2.1 工况分析 .....                        | 218 |
| 7.3 方向控制回路 .....                    | 180 | 9.2.2 拟定液压系统原理图 .....                   | 220 |
| 7.3.1 换向回路 .....                    | 180 | 9.2.3 液压元件的选择 .....                     | 221 |
| 7.3.2 锁紧回路 .....                    | 181 | 9.2.4 液压系统的验算 .....                     | 222 |
| 7.4 多执行元件控制回路 .....                 | 182 | 思考与练习 .....                             | 223 |
| 7.4.1 顺序动作回路 .....                  | 182 | <b>第 10 章 液压伺服系统</b> .....              | 225 |
| 7.4.2 同步回路 .....                    | 183 | 10.1 概述 .....                           | 225 |
| 7.4.3 多缸快慢速互不干扰<br>回路 .....         | 185 |                                         |     |
| 思考与练习 .....                         | 186 |                                         |     |
| <b>第 8 章 典型液压传动系统</b> .....         | 189 |                                         |     |
| 8.1 组合机床动力滑台液压系统 .....              | 189 |                                         |     |
| 8.1.1 YT4543 型动力滑台液压<br>系统 .....    | 189 |                                         |     |
| 8.1.2 YT4543 型动力滑台液压<br>系统的特点 ..... | 192 |                                         |     |
| 8.2 压力机液压系统 .....                   | 192 |                                         |     |
| 8.2.1 YB32-200 型液压机的<br>液压系统 .....  | 192 |                                         |     |

|                          |     |                              |     |
|--------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 10.1.1 液压伺服系统的工作原理 ..... | 225 | 第 13 章 气动执行元件 .....          | 251 |
| 10.1.2 液压伺服系统的分类 .....   | 227 | 13.1 气缸 .....                | 251 |
| 10.1.3 液压伺服系统的优缺点 .....  | 227 | 13.1.1 气缸的工作原理、分类及安装形式 ..... | 251 |
| 10.2 典型的液压伺服控制元件 .....   | 227 | 13.1.2 特殊气缸的工作原理及用途 .....    | 252 |
| 10.2.1 滑阀 .....          | 227 | 13.2 气动马达 .....              | 256 |
| 10.2.2 射流管阀 .....        | 229 | 13.2.1 气动马达的工作原理 .....       | 256 |
| 10.2.3 喷嘴挡板阀 .....       | 230 | 13.2.2 气动马达的特点及应用 .....      | 257 |
| 10.3 电液伺服阀 .....         | 230 | 思考与练习 .....                  | 257 |
| 10.3.1 力矩马达 .....        | 230 | 第 14 章 气动控制元件 .....          | 258 |
| 10.3.2 液压放大器 .....       | 231 | 14.1 压力控制阀 .....             | 258 |
| 10.3.3 直动式伺服阀 .....      | 232 | 14.2 流量控制阀 .....             | 259 |
| 10.4 液压伺服系统应用实例 .....    | 233 | 14.3 方向控制阀 .....             | 261 |
| 10.4.1 机械手伸缩运动伺服系统 ..... | 233 | 14.3.1 单向型控制阀 .....          | 261 |
| 10.4.2 钢带张力控制系统 .....    | 234 | 14.3.2 换向型控制阀 .....          | 262 |
| 10.4.3 液压助力转向器 .....     | 235 | 14.4 气动逻辑元件 .....            | 264 |
| 思考与练习 .....              | 236 | 14.4.1 气动逻辑元件的分类 .....       | 264 |
| 第 11 章 气压传动基本知识 .....    | 237 | 14.4.2 是门元件 .....            | 265 |
| 11.1 空气的物理性质 .....       | 237 | 14.4.3 与门元件 .....            | 266 |
| 11.1.1 空气的密度 .....       | 237 | 14.4.4 或门元件 .....            | 267 |
| 11.1.2 空气的黏性 .....       | 238 | 14.4.5 非门元件 .....            | 268 |
| 11.1.3 空气的压缩性与膨胀性 .....  | 238 | 14.4.6 双稳元件 .....            | 269 |
| 11.2 气体状态方程 .....        | 238 | 思考与练习 .....                  | 270 |
| 11.2.1 理想气体状态方程 .....    | 238 | 第 15 章 气动基本回路及气动系统设计 .....   | 271 |
| 11.2.2 理想气体的状态变化过程 ..... | 239 | 15.1 压力控制回路 .....            | 271 |
| 思考与练习 .....              | 240 | 15.2 方向控制回路 .....            | 272 |
| 第 12 章 气源装置及辅助元件 .....   | 241 | 15.3 速度控制回路 .....            | 274 |
| 12.1 气源装置 .....          | 241 | 15.4 位置控制回路 .....            | 276 |
| 12.2 气源净化装置 .....        | 244 | 15.5 其他常用回路 .....            | 276 |
| 12.3 辅助元件 .....          | 248 | 15.6 气动系统实例 .....            | 278 |
| 12.3.1 油雾器 .....         | 248 | 15.6.1 门户开闭装置 .....          | 278 |
| 12.3.2 消声器 .....         | 249 | 15.6.2 气动夹紧系统 .....          | 279 |
| 思考与练习 .....              | 250 |                              |     |

|                            |     |                        |     |
|----------------------------|-----|------------------------|-----|
| 15.6.3 数控加工中心气动换刀系统 .....  | 280 | 思考与练习 .....            | 291 |
| 15.7 气动系统的设计 .....         | 280 | 附录 常用液压与气动元件图形符号 ..... | 292 |
| 15.7.1 概述 .....            | 281 | 参考文献 .....             | 298 |
| 15.7.2 多缸单往复行程程序回路设计 ..... | 284 |                        |     |

# 第 1 章 绪 论

**教学提示：**液压(气压)传动是以液体(压缩空气)作为工作介质，以液体(压缩空气)的压力能进行运动或动力传递的一种传动形式。它首先通过能量转换装置(如液压泵、空气压缩机)将原动机(如电动机)的机械能转变为压力能，然后通过封闭管道、控制元件等，由另一能量转换装置(液压缸或气缸、液压马达或气动马达)将液体(气体)的压力能转变为机械能，驱动负载，使执行机构得到所需的动力，完成所需的运动。

液压与气压传动和传统的机械传动相比，具有许多优点，因此液压与气压传动系统在现代工业中得到了广泛的应用。本章主要介绍液压与气压传动的工作原理、组成、优缺点及液压与气压传动的应用与发展。

**教学要求：**本章要求学生掌握液压与气压传动的基本概念、液压与气压传动的基本原理、液压与气压传动系统的组成及职能符号；了解液压与气压传动的特点、应用和发展。

一部机器主要由动力装置、传动装置、操纵或控制装置、工作执行装置 4 部分构成。动力装置的性能一般都不可能满足执行装置各种工况的要求，这种矛盾就由传动装置来解决。所谓传动就是指能量(动力)由动力装置向工作执行装置的传递，即通过某种传动方式，将动力装置的运动或动力以某种形式传递给执行装置，驱动执行装置对外做功。一般工程技术中使用的动力传递方式有：机械传动、电气传动、气压传动、液体传动以及由它们组合而成的复合传动。液压传动所用的工作介质为液压油或其他合成液体，气压传动所用的工作介质为空气。由于两种流体的性质不同，所以液压传动和气压传动又各有其特点。液压传动传递的动力大，运动平稳；但由于液体的黏性大，在流动过程中阻力损失大，因而不宜做远距离的传输和控制。气压传动由于空气的可压缩性大，且工作压力低(通常在 1.0MPa 以下)，所以传递的动力不大，运动也不如液压平稳；但空气黏性小，传递过程中阻力小、速度快、反应灵敏，因而气压传动可以用于远距离的传动和控制。

## 1.1 液压与气压传动系统的工作原理

### 1.1.1 液压与气压传动的工作原理

液压传动与气压传动的工作原理是相似的。现以图 1.1 所示的液压千斤顶为例来说明液压传动的工作原理。

如图 1.1 所示，截止阀 11 处于关闭状态，当杠杆手柄 1 向上抬起时，小活塞 3 向上运动，使小活塞下端的油腔容积增大而形成局部真空，单向阀 7 会处于关闭状态，油箱 12

中的液压油在大气压的作用下,经吸油管路5顶开单向阀4,进入到小缸体2的下腔中。然后向下压杠杆手柄1,小活塞3下移,小缸体2的下腔容积变小,油液压力升高,使单向阀4关闭,并且顶开单向阀7,油液经压油管路6进入大缸体9的下腔,推动大活塞8带动重物W向上移动。如果杠杆手柄1被连续往复上下扳动,则油液不断进入大缸体9的下腔,使重物逐渐上升。当杠杆手柄1停止运动时,大活塞与重物也停止运动;如果打开截止阀11,大缸体下腔接通油箱,油液经回油管路10和截止阀11流回油箱,大活塞与重物在自重的作用下回到初始位置。

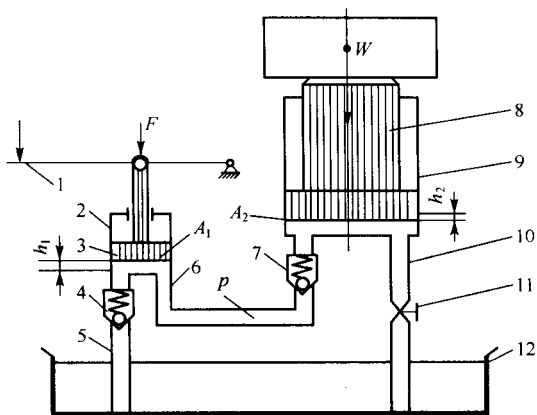


图 1.1 液压千斤顶工作原理图

- 1—杠杆手柄 2—小缸体 3—小活塞  
4、7—单向阀 5、6、10—油管 8—大活塞  
9—大缸体 11—截止阀 12—油箱

由上述液压千斤顶的工作原理可以看出,驱动杠杆手柄1上下移动的机械能,通过小缸体2、小活塞3以及单向阀4和7,转换成了油液的压力能,此压力能又通过大缸体9和大活塞8转换成举升重物(负载)运动的机械能,对外做功。图1.1中的元件组成了一个简单的液压传动系统,实现了力和运动的传递。

为了更好地说明液压传动的基本特性,下面对图1.1所示液压千斤顶系统的力、运动速度和功率进行详细论述。

### 1. 力的传递

设小活塞的面积为 $A_1$ ,施加在小活塞上的力为 $F$ ,大活塞的面积为 $A_2$ ,大活塞所顶起重物的重量为 $W$ 。根据帕斯卡原理,在密闭的容器内,施加于静止液体上的压力将以等值传递到液体内的各点,则大、小油缸内的液体压力是相等的,并得出表达式为

$$p = \frac{F}{A_1} = \frac{W}{A_2} \quad (1-1)$$

或

$$W = pA_2 = F \frac{A_2}{A_1} \quad (1-2)$$

在图1.1所示的液压系统中,当系统的结构参数一定时,即 $A_1$ 、 $A_2$ 的大小不变时,负载 $W$ 越大,系统中的压力 $p$ 就越大,所需要的作用力 $F$ 就越大;反之;负载 $W$ 越小,系统中的压力 $p$ 就越小,所需要的作用力 $F$ 就越小,因此就得出一个重要的结论,即液压传动系统中的工作压力取决于外负载。

由式(1-2)还可以看出,活塞面积比( $A_2/A_1$ )越大,增力效果越明显。只要在小活塞上施加一个很小的力 $F$ ,就可以使大活塞上产生一个很大的举升力举起重物,这就是液压千斤顶的工作原理。

### 2. 运动的传递

如果不考虑液体的可压缩性、泄漏,以及缸体和管路的变形等因素,则小缸体中被小

活塞压出的油液的体积等于大缸体中大活塞上升所扩大的体积, 即

$$V = A_1 h_1 = A_2 h_2 \quad (1-3)$$

式中:  $h_1$  和  $h_2$ ——小活塞和大活塞的位移量。

将式(1-3)的两端同时除以活塞移动的时间  $t$ , 得

$$A_1 \frac{h_1}{t} = A_2 \frac{h_2}{t}$$

即

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1-4)$$

式中:  $v_1$  和  $v_2$ ——小活塞和大活塞的运动速度。

$Av$  的物理意义是单位时间内流过截面积为  $A$  的油液的体积, 称为体积流量, 习惯上称为流量, 一般用  $q$  来表示, 单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ , 在工程上多用  $\text{L}/\text{min}$  来表示。

$$q = Av \quad (1-5)$$

如果进入缸体的流量为  $q$ , 则活塞运行的速度为

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-6)$$

由式(1-6)可知, 如果调节进入缸体的流量  $q$ , 就可以调节活塞的运动速度  $v$ , 这就是液压系统可以实现无级调速的原理; 同时还说明活塞的运动速度取决于流入缸体中流量的大小, 而与流体的压力无关。

### 3. 功率的计算

由液压千斤顶的工作原理(图 1.1)可知, 系统的输入功率为  $Fv_1$ , 输出功率为  $pA_2v_2$ , 如果不计各种损失, 则系统的输入功率等于输出功率, 即

$$P = Fv_1 = pA_1v_1 = pA_2v_2 = pq \quad (1-7)$$

在机械传动系统中, 功率的表达式通常为负载与速度的乘积; 在液压系统中, 功率为压力与流量的乘积。可见在液压系统中, 流量和压力是两个相当重要的参数, 这在以后的学习中会经常用到。液压系统也是利用密封容积发生变化时产生的压力能来实现力的传递和速度的传递。

#### 1.1.2 液压与气压传动系统的组成

图 1.2 为简化了的磨床工作台液压系统的工作原理图, 它的工作原理如下。

电动机(图中未画出)带动液压泵 4 旋

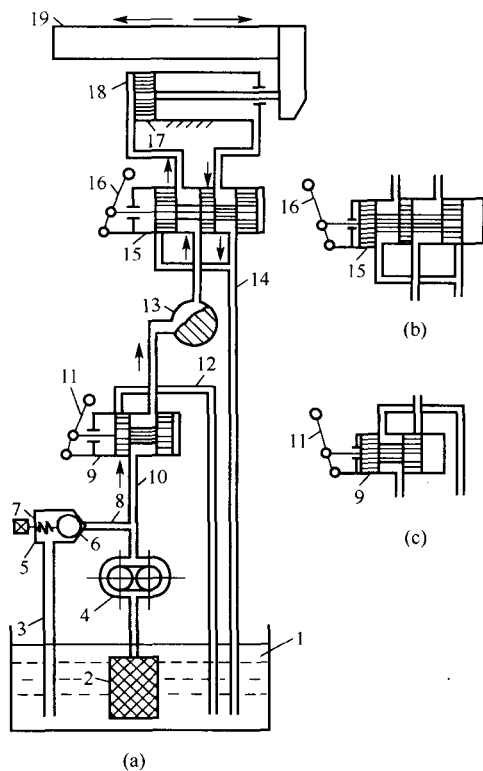


图 1.2 磨床工作台液压系统图

- 1—油箱 2—过滤器 3、8、10、12、14—油管  
4—液压泵 5—弹簧 6—钢球 7—溢流阀  
9、15—换向阀 11、16—换向手柄 13—节  
流阀 17—活塞 18—液压缸 19—工作台

转,经过滤器 2 从油箱 1 中吸油,油液经液压泵输出后进入压油管路 10,如图 1.2(a)所示,通过换向阀 9、节流阀 13 和换向阀 15 进入液压缸 18 的左腔,推动活塞 17 和工作台 19 向右运动。此时液压缸 18 右腔的油液经换向阀 15 和回油管路 14 流回到油箱。如果将换向手柄 16 转换到如图 1.2(b)所示的位置,就改变了液压油进、出液压缸的方向,油液经换向阀 15 进入液压缸 18 的右腔,使液压缸活塞带动工作台向左运动,从而实现工作台的换向。交替扳动手柄 9,工作台在活塞带动下,做直线往复运动。

如果扳动换向手柄 11 使换向阀 9 处于图 1.2(c)所示的位置,液压泵输出的油液不能进入液压缸,油液全部通过换向阀 9 和回油管路 12 流回油箱,工作台停止运动。此时,液压泵没有负载,液压泵输出的油液没有压力,这种状态称为卸荷。

在图 1.2 所示的液压系统中,液压泵的供油压力由溢流阀 7 调定,工作台的移动速度是由节流阀 13 来调节,液压泵输出的多余油液经溢流阀 7 和回油管 3 流回油箱。过滤器过滤油液,保证进入液压系统油液的洁净度。

从以上的例子可以看出,液压与气压传动系统由以下五个部分组成。

(1) 动力元件。动力元件的作用是将原动机输入的机械能转变成油液的压力能。一般指液压泵或空气压缩机,是系统的动力源。

(2) 执行元件。执行元件将油液的压力能转变成机械能,驱动工作台对外做功。例如液(气)压缸、液(气)压马达等。

(3) 控制调节元件。控制调节元件用来控制液(气)压系统中油液(气体)的压力、流量和流动方向,通常指各种阀类,如图 1.2 中的换向阀、节流阀、溢流阀等。

(4) 辅助元件。液压系统中除上述几项以外的其他元件都属于辅助装置,如油箱、过滤器(过滤液压油)、空气过滤器、压力表、蓄能器、油管、管接头等。

(5) 工作介质。工作介质是指液压油或压缩空气,可利用它来传递能量和信号。

### 1.1.3 液压与气压传动系统的职能符号

气压与液压传动系统的表示方法类似。图 1.1 和 1.2 是以液压元件的半结构图的形式来表示系统工作原理的,一般称为结构原理图。这种原理图比较直观,容易理解,但是图形绘制比较繁琐,不适合绘制复杂的液压系统。为了简化液压系统的表示方法,除某些特殊情况外,通常采用液压职能符号来绘制液压系统的原理图。我国已经制定了液压与气动图形符号标准 GB 1786.1—1993,这样利用液压图形符号绘制液压系统图,可使液压系统简单明了,便于绘制。图 1.3 即为按照国家标准 GB 1786.1—1993 规定的液压元件图形符号绘制的磨床工作台液压系统原理图。注意,液压传动系统的职能符号只表示元件的职能,并不表示元件的结构和参数。液压元件的图形符号应以

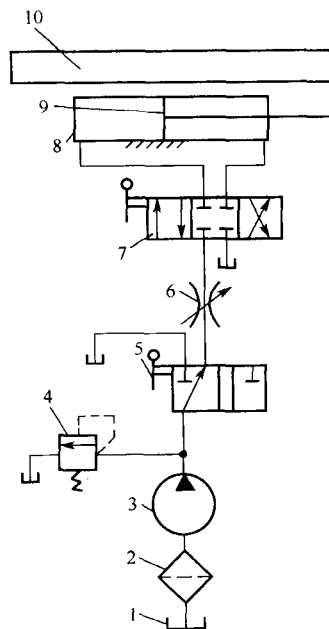


图 1.3 用职能符号表示的磨床工作台液压系统图

1—油箱 2—滤油器 3—液压泵  
4—溢流阀 5、7—换向阀 6—节流阀  
8—活塞 9—液压缸 10—工作台

元件的静止状态或零位来表示。

## 1.2 液压与气压传动的优缺点

### 1.2.1 液压与气压传动的优点

液压传动系统与机械传动、电力传动等系统相比,具有如下优点。

(1) 在同等功率的情况下,液压装置的体积小、重量轻、惯性小。例如,输出同样的功率,液压马达的重量为电动机重量的 10%~20%,而且还能传递较大的力或扭矩。

(2) 在运行中能方便地实现无级调速,调速范围比较大,可达 100:1~2000:1,并且低速性能好。

(3) 工作比较平稳、反应快、冲击小,能频繁启动和换向。液压传动装置的换向频率高,回转运动每分钟可达 500 次,往复直线运动每分钟可达 400 次~1000 次。

(4) 易于实现自动化,且该系统的控制、调节比较简单,与电气控制配合使用能实现复杂的顺序动作和远程控制。

(5) 易于实现过载保护,工作安全可靠,当系统超负载时,油液可以经溢流阀回到油箱。而且液压传动以油液为工作介质,润滑性好,并且功率损失所产生的热量可由流动着的油液带走,避免局部温升,所以寿命长。

(6) 液压元件易于实现系列化、标准化、通用化。

(7) 易于实现回转、直线运动,且元件排列布置灵活。

(8) 在液压传动系统中,功率损失所产生的热量可由流动着的油带走,故可避免机械本体产生过度温升。

与液压传动相比,气压传动具有如下优点。

(1) 气压传动系统的工作介质是空气,来源方便,无成本;使用后直接排入大气而无污染,不需要设置专门的回气装置。

(2) 空气的黏度很小,所以在管路中流动时的压力损失小,效率高,可以集中供气和远距离输送。

(3) 气动元件动作迅速、反应快、维护简单、调节方便,系统有故障时容易排除。

(4) 工作环境适应性好。气压传动系统特别适合在易燃、易爆、潮湿、多尘、强磁、振动、辐射等恶劣条件下工作,且外泄漏不污染环境,在食品、医药、轻工、纺织、印刷、精密检测等环境中应用更具优势。

(5) 成本低,具有过载保护功能。

### 1.2.2 液压与气压传动的缺点

液压传动具有以下缺点。

(1) 难以保证严格的传动比。液压传动的工作介质为液体,容易泄漏;同时由于油液的可压缩性,管路会产生弹性变形,所以液压传动不能用于传动比要求比较高的场合。

(2) 油液对油温变化比较敏感,不适于在很高或很低的温度下工作,对油液污染也很敏感。