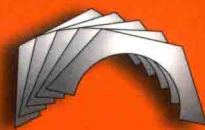




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



机械设计制造及其自动化

专业系列教材

# 液压与气压传动

第三版

主编 姜继海 宋锦春 高常识

液压与气压传动

高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械设计制造及其自动化专业系列教材

# 液压与气压传动

Yeya yu Qiya Chuandong

第三版

主 编 姜继海 宋锦春 高常识

参 编 (以姓氏笔画为序)

王 昕 王晓晶 许万凌

许宏光 宋 冬 刘 乔

刘成强 苏文海 吴振顺

沈 伟 张志伟 张 健

陈建文 罗念宁 郑 炜

胡志栋 曹 健

高等教育出版社·北京

## 内容简介

本书是普通高等教育“十五”“十一五”国家级规划教材,2011年度普通高等教育精品教材,机械设计制造及其自动化专业系列教材之一,是在第二版的基础上,结合众多参编院校的使用意见和液压气动技术的最新发展修订而成的。

全书共分11章,第1章概述液压与气压传动系统的工作原理和组成、特点、概况、图形符号、工作介质的性质和选择、污染及控制等;第2章介绍液体静力学和动力学、压力损失、孔口和缝隙流量、气体热力学和动力学、空穴和液压冲击等;第3~6章分别介绍液压与气压传动系统所用的动力元件、执行元件、控制调节元件和辅助元件;第7章介绍液压与气压传动回路;第8章介绍典型液压与气动传动系统;第9章介绍液压与气压传动系统的设计计算;第10章简单地介绍液压与气压伺服系统;第11章介绍气压逻辑回路与控制系统。每章附有习题。在附录中还简要地介绍了GB/T 786.1—2009中规定的部分常用液压气动图形符号,并附有部分习题参考答案。

本书的特点是:以流体力学和热力学为基础,以液压与气压传动系统为主线,以能初步设计液压与气压传动系统为目的,以液压与气压传动回路为基本框架,以实验教学和习题为巩固所学内容的手段,使学生对液压与气压传动方面的基础知识有全面的了解,掌握重点内容,以便于和其它课程进行有机的结合,达到所要求的教学目的。

本书可作为高等学校机械类专业液压与气压传动课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/姜继海,宋锦春,高常识主编

—3版.—北京:高等教育出版社,2019.6

ISBN 978-7-04-052045-3

I. ①液… II. ①姜… ②宋… ③高… 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(2019)第100250号

|         |          |          |         |
|---------|----------|----------|---------|
| 策划编辑 卢广 | 责任编辑 卢广  | 封面设计 李卫青 | 版式设计 童丹 |
| 插图绘制 于博 | 责任校对 胡美萍 | 责任印制 尤静  |         |

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印 刷 涿州市星河印刷有限公司  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 26  
字 数 640千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>  
<http://www.hepmall.com>  
<http://www.hepmall.cn>  
版 次 2002年1月第1版  
2019年6月第3版  
印 次 2019年6月第1次印刷  
定 价 54.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

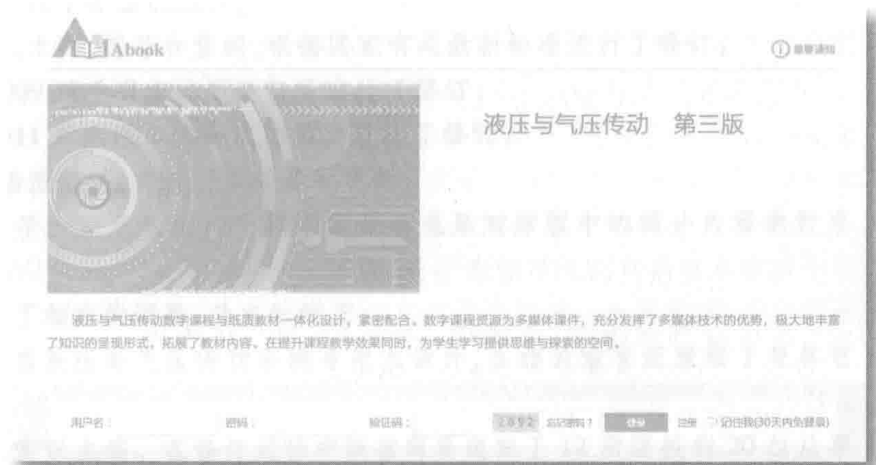
物料号 52045-00

# 液压与气压传动

第三版

姜继海 宋锦春  
高常识

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/12273466>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号 (20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 [abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)。



扫描二维码  
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/12273466>

## 第三版前言

本书是普通高等教育“十五”“十一五”国家级规划教材,2011年度普通高等教育精品教材,机械设计制造及其自动化专业系列教材之一,也是教育部新世纪网络课程建设工程项目之一“液压与气压传动网络课程”的主要参考书,是在第二版的基础上,结合众多参编院校的使用意见和液压与气动技术的最新发展修订而成的。

本次修订不仅改正了第二版的疏漏,还对基本概念的表述进行了完善,使之更加严谨,通俗易懂。本次修订,主要做了以下几个方面的工作:

- (1) 对原版中废止的名词、术语、符号和量纲,根据国家有关最新标准进行了修订;
- (2) 根据 GB/T 786.1—2009 对全书中的图形符号进行了修订;
- (3) 根据 GB 11118.1—2011 对液压工作介质的种类进行了修订;
- (4) 修改原版中的文字、插图错误,并进行了必要的更新;
- (5) 根据目前科技发展水平和液压气压传动技术的最新成果对原版中的部分内容进行充实、调整;
- (6) 对习题部分内容进行了相应的调整、补充和校正;
- (7) 在修订过程中除了考虑液压与气压传动系统专用术语外,在相关章节还兼顾了与其它液压系统的术语统一。

本书由姜继海、宋锦春、高常识主编。在修订过程中根据需要组织了12所院校的20位从事液压与气压传动方面教学和科研的教师进行了修订。参加本书修订工作的有:哈尔滨工业大学姜继海、吴振顺、许宏光、曹健、张健、朱冬,东北大学宋锦春、张志伟、陈建文,哈尔滨工业大学(威海)罗念宁,哈尔滨理工大学高常识、王晓晶,北京科技大学许万凌,天津大学郑炜,上海理工大学沈伟,吉林大学王昕,东北农业大学苏文海,东北林业大学胡志栋,广东海洋大学刘乔,徐州工程学院刘成强。全书由姜继海教授最终修改定稿。

本书由哈尔滨工业大学吴盛林教授对液压技术方面内容进行审阅、包钢教授和朱冬讲师对气动技术方面内容进行审阅。他们对本书编写提出了许多宝贵意见和建议,在此一并表示感谢。由于编者水平和经验所限,书中难免有缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

作者  
2018年10月

## 第二版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是高等学校机械工程及自动化(机械设计制造及其自动化)专业系列教材之一,也是“教育部新世纪网络课程建设工程”项目之一“液压与气压传动网络课程”的主要参考书。本书适合于该课程学时数为45学时左右的机械设计制造及其自动化专业使用,其它机械类专业可根据 ([具体情况)进行删减或补充。

“液压与气压传动”课程是根据教育部专业设置和课程整合的教改要求而设置的。为了在减少课堂教学学时的同时拓宽学生的知识面,本书将“流体力学”、“液压传动”和“气压传动”三门课的教学内容根据 ([教学需要)进行整合,可以使 ([学生)掌握和 ([液压与气压传动)相关的流体力学基础知识、 ([液压和气压传动)方面的知识,为 ([后续的课程)学习、 ([设计训练)和 ([毕业后的)工作奠定基础。

本书的特点是从 ([目前)教学改革出发, ([强调)知识的 ([应用)与 ([能力的培养);在 ([内容的)选取和 ([安排)上,使 ([液压与气压传动)知识 ([有机)融合, ([相互)交叉; ([处理好)理论与 ([实际)应用的关系, ([重点)介绍理论知识, ([强调)基本训练, ([加强)分析、 ([解决)实际问题的能力 ([及)工程应用素质的培养; ([少)而 ([精), ([系统)性强。

本书是在 ([编者)多年 ([教学)和 ([科研工作)的基础上, ([总结)同类教材的 ([编写)经验并 ([汲取)本课程领域内最新的 ([教学)和 ([科研成果), ([精心)组织编写而成的。 ([本次)修订不仅 ([改正)了 ([第一)版的 ([疏漏), ([还对)基本概念 ([的)表述进行了 ([完善), ([使之)更加 ([严谨), ([通俗)易懂, ([并根据) ([液压与气动)技术的发展, ([对)内容进行了 ([增)减, ([如)增加了 ([磁性)开关 ([气缸)、 ([磁性)无 ([活塞)杆 ([气缸)等 ([内容)。 ([此外), ([本次)修订, ([还对)习题 ([进行)部分调整。

本书由 ([姜继海)、 ([宋锦春)、 ([高常识)主编。 ([参加)本书 ([编写)的 ([有): ([哈尔滨)工业大学 ([许宏光)、 ([姜继海)、 ([曹健) ([第1、10章, ([附录]), ([吴振顺) ([第11章]), ([东北)大学 ([宋锦春)、 ([张志伟)、 ([陈建文) ([第2、6、9章]), ([哈尔滨)理工大学 ([高常识) ([第3、8章]), ([北京)科技大学 ([许万凌) ([第5、7章]), ([天津)大学 ([郑炜) ([第4章])。 ([全书)由 ([姜继海) ([修改)定稿。

本书由 ([哈尔滨)工业大学 ([吴盛林) ([教授) ([主)审。 ([参加) ([审稿)的 ([还有) ([哈尔滨)工业大学 ([李尚义) ([教授)、 ([哈尔滨)商业 ([大学) ([李国忱) ([教授) ([和) ([东北)农业 ([大学) ([米伯林) ([教授)。 ([他们) ([对)本书 ([编写) ([提出) ([了) ([许多) ([宝贵) ([意见) ([和) ([建议), ([在) ([此) ([一) ([并) ([表示) ([感谢)。

本书 ([主要) ([用作) ([高等院校) ([机械设计) ([制造) ([及其) ([自动化) ([专业) ([的) ([教材), ([也可) ([作为) ([普通) ([高等院校) ([其它) ([相关) ([专业) ([的) ([教材) ([或) ([参考) ([书), ([还可) ([作为) ([各类) ([业余) ([大学)、 ([职工) ([大学)、 ([职业) ([技术) ([学院)、 ([函授) ([大学)、 ([电视) ([大学) ([等) ([相关) ([专业) ([的) ([教材) ([或) ([参考) ([书), ([并) ([可供) ([从事) ([机械) ([制造) ([的) ([工程) ([技术) ([人员) ([和) ([科技) ([工作者) ([参考) ([使用)。

为了 ([方便) ([高校) ([师生) ([的) ([教学) ([和) ([学习), ([本书) ([还) ([配有) ([《) ([液压) ([与) ([气压) ([传动) ([CAI) ([课件) ([》), ([供) ([选择) ([使用)。

由于 ([编者) ([水平) ([和) ([经验) ([所) ([限), ([书) ([中) ([难免) ([有) ([不少) ([缺点) ([和) ([错误), ([恳) ([请) ([广大) ([读者) ([批评) ([指正)。

作 者

2009年1月

# 主要符号表

## 英文字母符号

|             |   |
|-------------|---|
| $A$         | 面积, $m^2$   |
| $a$         | 实验常数  |
| $B$         | 齿轮齿宽, $m$ ; 叶片的宽度, $m$                              |
| $b$         | 叶片的厚度, $m$  |
| $C$         | 由孔口的形状、尺寸和液体性质决定的系数; 节流阀系数                          |
| $C_v$       | 速度系数  |
| $C_q$       | 流量系数  |
| $c$         | 流动介质声速或局部声速, $m/s$                                  |
| $D$         | 齿轮节圆直径, $m$ ; 柱塞分布直径, $m$                           |
| $D_a$       | 齿顶圆直径, $m$  |
| $D_f$       | 齿轮的分度圆直径, $m$                                       |
| $d$         | 含湿量   |
| $E$         | 材料的弹性模量, $Pa$                                       |
| $^{\circ}E$ | 恩氏黏度  |
| $e$         | 偏心距, $m$  |
| $F$         | 力, $N$  |
| $f_s$       | 静摩擦系数   |
| $f_k$       | 动摩擦系数   |
| $g$         | 重力加速度, $m/s^2$                                      |
| $h$         | 深度、高度, $m$ ; 冷却器的表面传热系数, $kW/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ |
| $h_w$       | 能量损耗, $J$   |
| $I$         | 液体的动量, $N \cdot m/s$                                |
| $i$         | 电流, $A$   |
| $J$         | 惯性矩, $N \cdot m$                                    |
| $K$         | 体积弹性模量, $Pa$  |
| $k$         | 绝热指数; 增压比   |
| $k_s$       | 弹簧刚度, $N/m$   |
| $k_q$       | 泵的流量系数, $m^2/s$                                     |
| $k_h$       | 液压弹簧刚度, $N/m$                                       |
| $k_l$       | 泵的泄漏系数, $m^3/(s \cdot Pa)$                          |
| $k_v$       | 回路速度刚度  |
| $l$         | 长度, $m$   |

|            |  |
|------------|--|
| $L$        | 气缸行程, m                                  |
| $m$        | 质量, kg; 齿轮模数, m; 柔性系数                    |
| $Ma$       | 马赫数                                      |
| $n$        | 转速, r/min; 多变指数; 安全系数                    |
| $P$        | 功率, W                                    |
| $p$        | 压力, Pa                                   |
| $p_0$      | 绝对压力, Pa ( $p_0 = 1.013 \times 10^5$ Pa) |
| $p_a$      | 大气压力, Pa                                 |
| $\Delta p$ | 压力变化量、压力损失, Pa                           |
| $q$        | 体积流量(简称流量), $m^3/s$                      |
| $q_m$      | 质量流量, kg/s                               |
| $Re$       | 雷诺数                                      |
| $R$        | 气体常数                                     |
| $S$        | 有效截面积, $m^2$                             |
| $s$        | 逻辑函数                                     |
| $T$        | 气体热力学温度, K; 循环周期, s; 转矩, $N \cdot m$     |
| $t$        | 时间, s; 摄氏温度, $^{\circ}C$                 |
| $u$        | 电压信号, V; 速度, m/s                         |
| $V$        | 体积, $m^3$ ; 排量, $m^3/r$                  |
| $v$        | 平均流速, m/s                                |
| $x_s$      | 开口量, m                                   |
| $z$        | 齿轮齿数; 叶片数; 柱塞数                           |

### 希腊字母符号

|               |   |
|---------------|---|
| $\alpha$      | 动能修正系数; 齿轮压力角, ( $^{\circ}$ ); 过渡曲线的中心角, ( $^{\circ}$ ) |
| $\beta$       | 动量修正系数  |
| $\gamma$      | 斜盘倾角, ( $^{\circ}$ )                                    |
| $\delta$      | 节流缝隙, m; 薄壁筒壁厚, m                                       |
| $\delta_q$    | 流量脉动率   |
| $\varepsilon$ | 绝对粗糙度; 收缩系数; 相对偏心率                                      |
| $\eta$        | 效率  |
| $\theta$      | 角度, ( $^{\circ}$ )                                      |
| $\kappa$      | 体积压缩系数, $m^2/N$   |
| $\lambda$     | 沿程阻力系数  |
| $\mu$         | 黏度系数或动力黏度, $Pa \cdot s$                                 |
| $\nu$         | 运动黏度, $m^2/s$   |
| $\xi$         | 局部阻力系数  |
| $\rho$        | 密度, $kg/m^3$ ; 极半径, m                                   |

|            |  |
|------------|--|
| $\sigma_b$ | 材料的抗拉强度, Pa  |
| $[\sigma]$ | 材料的许用应力, Pa  |
| $\tau$     | 液体的内摩擦切应力, Pa  |
| $\varphi$  | 相对湿度; 由孔口长径比决定的指数; 柱塞的瞬时方位角, ( $^\circ$ ); 节流阀指数     |
| $\chi$     | 湿空气的绝对湿度, $\text{kg}/\text{m}^3$ ; 湿周, 即有效截面的管壁周长, m |
| $\psi$     | 气压设备利用系数   |
| $\omega$   | 角速度, $\text{rad}/\text{s}$                           |

### 其它符号

|     |               |
|-----|---------------|
| A   | 液压阀连接执行元件的进油口 |
| B   | 液压阀连接执行元件的回油口 |
| P   | 液压阀进油口        |
| K   | 液压阀控制口        |
| O/T | 通油箱的回油口       |
| VI  | 黏度指数          |
| M   | 电动机           |

# 目 录

|                                 |    |                                 |    |
|---------------------------------|----|---------------------------------|----|
| 第1章 绪论 .....                    | 1  | 2.1.2 静止液体中的压力分布 .....          | 20 |
| 1.1 液压与气压传动系统的工作<br>原理和组成 ..... | 1  | 2.1.3 压力的表示方法和单位 .....          | 22 |
| 1.1.1 液压与气压传动系统的<br>工作原理 .....  | 1  | 2.1.4 静止液体中的压力传递 .....          | 23 |
| 1.1.2 液压与气压传动系统的<br>组成 .....    | 4  | 2.1.5 液体静压力作用在固体<br>壁面上的力 ..... | 23 |
| 1.2 液压与气压传动的特点 .....            | 4  | 2.2 液体动力学 .....                 | 24 |
| 1.2.1 液压传动的特点 .....             | 5  | 2.2.1 基本概念 .....                | 24 |
| 1.2.2 气压传动的特点 .....             | 5  | 2.2.2 连续性方程 .....               | 26 |
| 1.3 液压与气压传动的概况 .....            | 6  | 2.2.3 能量方程 .....                | 27 |
| 1.3.1 液压与气压传动的现状 .....          | 6  | 2.2.4 动量方程 .....                | 31 |
| 1.3.2 液压与气压传动的发展 .....          | 6  | 2.3 液体流动时的压力损失 .....            | 32 |
| 1.4 液压与气压传动的图形<br>符号 .....      | 7  | 2.3.1 液体的流动状态 .....             | 32 |
| 1.5 液压与气压传动工作介质的<br>性质和选择 ..... | 7  | 2.3.2 沿程压力损失 .....              | 34 |
| 1.5.1 液压工作介质的种类 .....           | 7  | 2.3.3 局部压力损失 .....              | 37 |
| 1.5.2 液压工作介质的性质 .....           | 8  | 2.3.4 管路系统总压力损失 .....           | 38 |
| 1.5.3 对液压工作介质的要求 .....          | 12 | 2.4 孔口和缝隙流量 .....               | 39 |
| 1.5.4 液压工作介质的选择 .....           | 12 | 2.4.1 孔口流量 .....                | 39 |
| 1.5.5 气压工作介质 .....              | 13 | 2.4.2 缝隙流量 .....                | 41 |
| 1.5.6 空气的性质 .....               | 14 | 2.5 气体热力学 .....                 | 44 |
| 1.6 液压与气压传动工作介质的<br>污染及控制 ..... | 16 | 2.5.1 理想气体状态方程 .....            | 44 |
| 1.6.1 工作介质污染的原因 .....           | 16 | 2.5.2 热力学第一定律 .....             | 45 |
| 1.6.2 工作介质污染的危害 .....           | 17 | 2.5.3 静止气体状态变化 .....            | 45 |
| 1.6.3 工作介质污染的控制 .....           | 17 | 2.6 气体动力学 .....                 | 47 |
| 思考题和习题 .....                    | 19 | 2.6.1 气体流动的基本概念 .....           | 47 |
| 第2章 液压与气压传动流体力学<br>基础 .....     | 20 | 2.6.2 气体流动的基本方程 .....           | 47 |
| 2.1 液体静力学 .....                 | 20 | 2.6.3 声速和气体在管道中的<br>流动特性 .....  | 48 |
| 2.1.1 液体的压力 .....               | 20 | 2.6.4 气体管道的阻力计算 .....           | 52 |
|                                 |    | 2.6.5 气体的通流能力 .....             | 52 |
|                                 |    | 2.6.6 充放气参数的计算 .....            | 53 |
|                                 |    | 2.7 空穴现象和液压冲击 .....             | 55 |
|                                 |    | 2.7.1 空穴现象 .....                | 55 |
|                                 |    | 2.7.2 液压冲击 .....                | 56 |
|                                 |    | 思考题和习题 .....                    | 58 |

|                              |     |                           |     |
|------------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 第3章 液压与气压传动动力元件 .....        | 61  | 4.4 缸的设计计算 .....          | 120 |
| 3.1 概述 .....                 | 61  | 4.4.1 缸主要尺寸的计算 .....      | 120 |
| 3.1.1 液压泵的工作原理 .....         | 61  | 4.4.2 气缸的耗气量计算 .....      | 122 |
| 3.1.2 液压泵的性能参数 .....         | 62  | 4.4.3 缸的强度计算与校核 .....     | 122 |
| 3.2 齿轮泵 .....                | 65  | 4.5 缸缓冲装置的设计计算 .....      | 125 |
| 3.2.1 外啮合齿轮泵的工作原理 .....      | 65  | 4.5.1 缓冲装置的工作原理 .....     | 125 |
| 3.2.2 外啮合齿轮泵的排量 and 流量 ..... | 66  | 4.5.2 液压缸缓冲装置的设计计算 .....  | 125 |
| 3.2.3 外啮合齿轮泵的结构特点 .....      | 67  | 4.5.3 气缸缓冲装置的设计计算 .....   | 126 |
| 3.2.4 提高外啮合齿轮泵压力的措施 .....    | 70  | 4.6 液压及气动马达 .....         | 127 |
| 3.2.5 内啮合齿轮泵 .....           | 70  | 4.6.1 液压马达的分类、特点及应用 ..... | 127 |
| 3.2.6 螺杆泵 .....              | 71  | 4.6.2 液压马达的工作原理 .....     | 128 |
| 3.3 叶片泵 .....                | 72  | 4.6.3 液压马达的主要性能参数 .....   | 129 |
| 3.3.1 双作用叶片泵 .....           | 72  | 4.6.4 高速液压马达 .....        | 131 |
| 3.3.2 单作用叶片泵 .....           | 78  | 4.6.5 低速大转矩液压马达 .....     | 132 |
| 3.3.3 单作用变量叶片泵 .....         | 80  | 4.6.6 气动马达的分类、特点及应用 ..... | 134 |
| 3.4 柱塞泵 .....                | 83  | 思考题和习题 .....              | 136 |
| 3.4.1 径向柱塞泵 .....            | 84  | 第5章 液压与气压传动控制调节元件 .....   | 139 |
| 3.4.2 轴向柱塞泵 .....            | 85  | 5.1 概述 .....              | 139 |
| 3.5 各类液压泵的性能比较及应用 .....      | 94  | 5.1.1 控制阀的分类 .....        | 139 |
| 3.6 气源装置 .....               | 96  | 5.1.2 控制阀的性能参数 .....      | 140 |
| 3.6.1 气压系统对压缩空气的要求及净化 .....  | 96  | 5.2 方向控制阀 .....           | 141 |
| 3.6.2 气源装置的组成和布置 .....       | 96  | 5.2.1 单向阀 .....           | 141 |
| 3.6.3 空气压缩机 .....            | 97  | 5.2.2 换向阀 .....           | 144 |
| 思考题和习题 .....                 | 100 | 5.3 压力控制阀 .....           | 156 |
| 第4章 液压与气压传动执行元件 .....        | 102 | 5.3.1 溢流阀 .....           | 156 |
| 4.1 缸的分类和特点 .....            | 102 | 5.3.2 减压阀 .....           | 162 |
| 4.1.1 活塞缸 .....              | 102 | 5.3.3 顺序阀 .....           | 167 |
| 4.1.2 柱塞缸 .....              | 105 | 5.3.4 压力继电器 .....         | 170 |
| 4.1.3 摆动缸 .....              | 106 | 5.4 流量控制阀 .....           | 171 |
| 4.2 其它形式的常用缸 .....           | 108 | 5.4.1 节流阀 .....           | 172 |
| 4.3 缸的结构 .....               | 115 | 5.4.2 调速阀 .....           | 175 |
| 4.3.1 缸体组件 .....             | 115 | 5.4.3 分流集流阀 .....         | 176 |
| 4.3.2 活塞组件 .....             | 116 | 5.5 插装阀 .....             | 178 |
| 4.3.3 缓冲装置 .....             | 119 |                           |     |
| 4.3.4 排气装置 .....             | 120 |                           |     |

|        |                       |     |        |                         |     |
|--------|-----------------------|-----|--------|-------------------------|-----|
| 5.5.1  | 插装阀概述                 | 178 | 6.7.2  | 密封件的材料                  | 220 |
| 5.5.2  | 插装方向阀                 | 179 | 6.7.3  | 常见的密封方法                 | 220 |
| 5.5.3  | 插装压力阀                 | 180 | 6.7.4  | 密封件的类型                  | 220 |
| 5.5.4  | 插装流量阀                 | 180 | 6.8    | 其它辅助元件                  | 222 |
| 5.5.5  | 插装阀及其集成系统的<br>特点      | 181 | 6.8.1  | 测压排气装置                  | 222 |
| 5.6    | 电液数字控制阀               | 181 | 6.8.2  | 液压管夹                    | 223 |
| 5.6.1  | 数字阀的结构                | 181 | 思考题和习题 | 223                     |     |
| 5.6.2  | 数字阀的应用                | 182 | 第7章    | 液压与气压传动回路               | 225 |
| 5.7    | 电液比例控制阀               | 183 | 7.1    | 概述                      | 225 |
| 5.7.1  | 电-机械转换器               | 184 | 7.2    | 方向控制回路                  | 225 |
| 5.7.2  | 比例阀                   | 186 | 7.2.1  | 一般方向控制回路                | 225 |
| 思考题和习题 |                       | 189 | 7.2.2  | 复杂方向控制回路                | 225 |
| 第6章    | 液压与气压系统辅助元件           | 192 | 7.3    | 压力控制回路                  | 227 |
| 6.1    | 蓄能器                   | 192 | 7.3.1  | 调压回路                    | 227 |
| 6.1.1  | 蓄能器的功能                | 192 | 7.3.2  | 减压回路                    | 228 |
| 6.1.2  | 蓄能器的类型                | 192 | 7.3.3  | 增压回路                    | 228 |
| 6.1.3  | 蓄能器的容量计算              | 194 | 7.3.4  | 保压回路                    | 229 |
| 6.1.4  | 蓄能器的应用                | 196 | 7.3.5  | 卸荷回路                    | 230 |
| 6.2    | 过滤器                   | 197 | 7.3.6  | 平衡回路                    | 230 |
| 6.2.1  | 过滤器的类型和结构             | 198 | 7.3.7  | 释压回路                    | 231 |
| 6.2.2  | 过滤器的选用                | 201 | 7.4    | 速度控制回路                  | 231 |
| 6.2.3  | 过滤器的安装                | 202 | 7.4.1  | 节流式调速回路                 | 231 |
| 6.3    | 油箱、热交换器、压力表及<br>压力表开关 | 203 | 7.4.2  | 调速阀式节流调速回路              | 238 |
| 6.3.1  | 油箱                    | 203 | 7.4.3  | 容积式调速回路                 | 239 |
| 6.3.2  | 热交换器                  | 205 | 7.4.4  | 容积节流式调速回路               | 244 |
| 6.3.3  | 压力表及压力表开关             | 207 | 7.4.5  | 快速回路                    | 246 |
| 6.4    | 压缩空气净化设备的组成和<br>布置    | 208 | 7.4.6  | 速度换接回路                  | 248 |
| 6.5    | 气压辅件                  | 211 | 7.5    | 多缸运动控制回路                | 249 |
| 6.5.1  | 分水滤气器                 | 211 | 7.5.1  | 顺序运动回路                  | 249 |
| 6.5.2  | 油雾器                   | 212 | 7.5.2  | 同步运动回路                  | 251 |
| 6.5.3  | 消声器                   | 214 | 7.5.3  | 运动互不干扰回路                | 254 |
| 6.6    | 管件                    | 215 | 7.6    | 其它控制回路                  | 255 |
| 6.6.1  | 管道                    | 215 | 7.6.1  | 气压延时回路                  | 255 |
| 6.6.2  | 管接头                   | 217 | 7.6.2  | 气压往复运动回路                | 255 |
| 6.7    | 密封装置                  | 219 | 思考题和习题 | 256                     |     |
| 6.7.1  | 对密封装置的要求              | 219 | 第8章    | 典型液压与气压传动系统             | 261 |
|        |                       |     | 8.1    | YT4543型组合机床动力<br>滑台液压系统 | 261 |
|        |                       |     | 8.1.1  | 概述                      | 261 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 8.1.2 | 液压系统的工作原理                | 262 |
| 8.1.3 | 液压系统的特点                  | 264 |
| 8.2   | M1432A 型万能外圆磨床<br>液压系统   | 264 |
| 8.2.1 | 概述                       | 264 |
| 8.2.2 | 往复直线运动换向回路               | 265 |
| 8.2.3 | 液压系统的工作原理                | 265 |
| 8.2.4 | 液压系统的特点                  | 268 |
| 8.3   | 剪板机液压系统                  | 269 |
| 8.3.1 | 概述                       | 269 |
| 8.3.2 | 液压系统的工作原理                | 269 |
| 8.3.3 | 液压系统的特点                  | 271 |
| 8.4   | YB32-200 型液压机液压<br>系统    | 271 |
| 8.4.1 | 概述                       | 271 |
| 8.4.2 | 液压系统的工作原理                | 272 |
| 8.4.3 | 液压系统的特点                  | 274 |
| 8.5   | Q2-8 型汽车起重机液压<br>系统      | 275 |
| 8.5.1 | 概述                       | 275 |
| 8.5.2 | 液压系统的工作原理                | 276 |
| 8.5.3 | 液压系统的特点                  | 279 |
| 8.6   | SZ-250A 型塑料注射成型机<br>液压系统 | 279 |
| 8.6.1 | 概述                       | 279 |
| 8.6.2 | 液压系统的工作原理                | 280 |
| 8.6.3 | 液压系统的特点                  | 284 |
| 8.7   | 香皂装箱机气压系统                | 285 |
| 8.7.1 | 概述                       | 285 |
| 8.7.2 | 气压系统的工作原理                | 286 |
| 8.7.3 | 气压系统的特点                  | 286 |
| 8.8   | 气压传动机械手气压系统              | 286 |
| 8.8.1 | 概述                       | 286 |
| 8.8.2 | 气压系统的工作原理                | 286 |
| 8.8.3 | 气压系统的特点                  | 288 |
| 8.9   | 2ZZ8625 型射芯机气压系统         | 288 |
| 8.9.1 | 概述                       | 288 |
| 8.9.2 | 气压系统的工作原理                | 288 |
| 8.9.3 | 气压系统的特点                  | 291 |

|        |     |
|--------|-----|
| 思考题和习题 | 291 |
|--------|-----|

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第 9 章 液压与气压传动系统的设计<br>计算 | 294 |
| 9.1 明确设计要求、进行工况<br>分析    | 294 |
| 9.1.1 明确设计要求             | 294 |
| 9.1.2 执行元件的工况分析          | 295 |
| 9.2 执行元件主要参数的确定          | 297 |
| 9.2.1 初选执行元件的工作<br>压力    | 297 |
| 9.2.2 确定执行元件的主要<br>结构参数  | 297 |
| 9.2.3 复算执行元件的工作<br>压力    | 298 |
| 9.2.4 执行元件的工况图           | 299 |
| 9.3 系统原理图的拟定             | 300 |
| 9.4 元件的计算和选择             | 302 |
| 9.4.1 动力元件的选择            | 302 |
| 9.4.2 阀类元件的选择            | 303 |
| 9.4.3 辅助元件的选择            | 304 |
| 9.4.4 阀类元件配置形式的<br>选择    | 305 |
| 9.5 系统性能验算               | 306 |
| 9.5.1 系统压力损失的验算          | 306 |
| 9.5.2 系统发热温升的验算          | 307 |
| 9.6 绘制正式工作图和编制技术<br>文件   | 308 |
| 9.7 系统设计计算举例             | 308 |
| 9.7.1 明确系统设计的要求          | 308 |
| 9.7.2 分析系统工况             | 309 |
| 9.7.3 确定执行元件的工作<br>压力    | 309 |
| 9.7.4 拟定系统原理图            | 311 |
| 9.7.5 选择元件               | 312 |
| 9.7.6 系统性能验算             | 314 |
| 思考题和习题                   | 314 |
| 第 10 章 液压与气压伺服系统         | 316 |
| 10.1 概述                  | 316 |

|                                   |     |   |     |
|-----------------------------------|-----|---|-----|
| 10.1.1 伺服系统的工作原理和<br>特点 .....     | 316 | 11.1 逻辑代数 .....                           | 335 |
| 10.1.2 伺服系统职能框图和<br>系统的组成环节 ..... | 318 | 11.1.1 三种基本逻辑运算及其<br>恒等式 .....            | 335 |
| 10.1.3 伺服系统的分类 .....              | 319 | 11.1.2 基本定律 .....                         | 336 |
| 10.1.4 伺服系统的优缺点 .....             | 319 | 11.1.3 形式定律 .....                         | 336 |
| 10.2 典型的伺服控制元件 .....              | 319 | 11.1.4 逻辑运算规则和对偶<br>定理 .....              | 337 |
| 10.2.1 力矩马达和力马达 .....             | 319 | 11.1.5 逻辑函数、真值表、基本<br>逻辑门和逻辑图 .....       | 337 |
| 10.2.2 滑阀 .....                   | 320 | 11.2 气压逻辑回路 .....                         | 338 |
| 10.2.3 射流管阀 .....                 | 321 | 11.3 逻辑回路的设计 .....                        | 341 |
| 10.2.4 喷嘴挡板阀 .....                | 321 | 11.3.1 逻辑代数法 .....                        | 341 |
| 10.3 伺服阀 .....                    | 322 | 11.3.2 卡诺图法 .....                         | 344 |
| 10.3.1 液压伺服阀的分类、<br>结构和工作原理 ..... | 322 | 11.4 程序控制系统 .....                         | 349 |
| 10.3.2 液压伺服阀的选用 .....             | 325 | 11.4.1 气压控制系统中常用的<br>电气电路 .....           | 350 |
| 10.3.3 气压伺服阀 .....                | 326 | 11.4.2 行程程序控制系统的<br>设计 .....              | 353 |
| 10.4 液压伺服系统 .....                 | 328 | 11.5 可编程控制器及其应用 .....                     | 364 |
| 10.4.1 车床液压仿形刀架 .....             | 328 | 11.5.1 指令系统及编程 .....                      | 365 |
| 10.4.2 机械手伸缩运动伺服<br>系统 .....      | 329 | 11.5.2 可编程控制器在行程程序<br>控制系统中的应用 .....      | 373 |
| 10.4.3 钢带液压张力控制系统 .....           | 329 | 思考题和习题 .....                              | 378 |
| 10.4.4 电液速度伺服控制系统<br>的分析 .....    | 331 | 附录 .....                                  | 380 |
| 10.5 气压伺服系统 .....                 | 332 | 部分常用液压气动图形符号(摘自<br>GB/T 786.1—2009) ..... | 380 |
| 10.5.1 力控制伺服系统 .....              | 332 | 部分习题参考答案 .....                            | 393 |
| 10.5.2 张力控制伺服系统 .....             | 332 | 参考文献 .....                                | 396 |
| 10.5.3 加压控制伺服系统 .....             | 333 |   |     |
| 思考题和习题 .....                      | 334 |   |     |
| 第 11 章 气压逻辑回路与控制系统 .....          | 335 |   |     |

# 第 1 章 绪论

传动有多种类型,有机械传动、电力传动、液体传动、气压传动以及它们的组合——复合传动等。一部完整的设备由原动机、传动部分、控制部分和工作机构等组成,其传动部分是一个中间环节,它的作用是把原动机(电动机、内燃机等)的输出功率传送给工作机构并控制其对外做功。

用液体作为工作介质进行能量传递的传动方式称为液体传动。按照其工作原理的不同,液体传动又可分为液压传动和液力传动两种形式。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量;而液力传动则主要是利用液体的动能来传递能量。根据液压传动的工作特点它又可称为容积式液压传动。

用气体作为工作介质进行能量传递的传动方式称为气压传动。气压传动是利用压缩气体的压力能来实现能量传递的一种传动方式,其工作介质主要是空气,也包括燃气和蒸气。

本书主要介绍以液体作为工作介质的液压传动技术和以压缩空气作为工作介质的气压传动技术。

## 1.1 液压与气压传动系统的工作原理和组成

### 1.1.1 液压与气压传动系统的工作原理

#### 1. 液压传动系统的工作原理

图 1.1 所示为一台用半结构式(形象化)图形绘制的驱动机床工作台直线往复运动的液压传动系统工作原理图。这个液压传动系统由液压泵、液压缸、液压阀、过滤器和油箱等辅助元件以及液压油组成,其中液压泵由电动机驱动旋转,通过液压阀控制输入给液压缸的压力能来驱动活塞的往复运动、克服各种阻力和调节工作机构的运动速度,来使工作机构作直线往复运动。通过图 1.1 可以了解液压传动系统的工作原理。

在图 1.1a 中,液压泵 4 由电动机驱动旋转,从油箱 1 中吸油,油液经过滤器 2 进入液压泵,液压泵将液压油转变成可以供液压传动系统对外做功的压力油液。当它从液压泵输出进入压力管 10 后,通过开停(换向)阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 的左腔,利用压力油液的压力能推动活塞 17 和工作台 19 向右移动。这时,液压缸右腔的油液经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。

如果将换向阀手柄 16 转换成如图 1.1 b 所示的状态,则压力管 10 中的油液将经过开停(换向)阀 9、节流阀 13 和换向阀 15 进入液压缸 18 的右腔,推动活塞 17 和工作台 19 向左移动,并使液压缸 18 左腔的油液经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。

工作台的移动速度是由节流阀 13 来调节的。当节流阀口开大时,进入液压缸 18 的油液增多,工作台的移动速度增大;当节流阀口关小时,进入液压缸 18 的油液减少,工作台 19 的移动速度减小。

为了克服移动工作台 19 所受到的各种阻力,液压缸 18 必须产生一个足够大的推力,这个推力是由液压缸 18 中的油液压力产生的。要克服的阻力越大,液压缸 18 中的油液压力越高;反之油液压力就越低。液压泵 4 输出的多余油液经溢流阀 7 和回油管 3 排回油箱,这只有在压力支管 8 中的油液压力对溢流阀钢球 6 的作用力等于或略大于溢流阀中弹簧 5 的预紧力时,油液才能顶开溢流阀中的钢球 6 流回油箱 1。所以,在图示液压系统中,液压泵 4 出口处的油液压力是由溢流阀 7 调定的,它和液压缸 18 中的压力不一样。

如果将换向阀手柄 16 转换成图 1.1 c 所示的状态,压力管中的油液将经溢流阀 7 和回油管 3 排回油箱 1,不进入液压缸 18 中去,这时工作台 19 停止运动,而系统保持溢流阀 7 调定的压力。

如果将开停阀手柄 11 转换成图 1.1 d 所示的状态,压力管中的油液将经开停(换向)阀 9 和回油管 12 排回油箱,不进入液压缸 18 中去,这时工作台 19 就停止运动,而液压泵 4 输出的油液直接流回油箱 1,使液压系统卸荷。

图 1.2 给出了用流体传动系统及元件图形符号绘制的相应于图 1.1 的液压传动系统工作原理图。

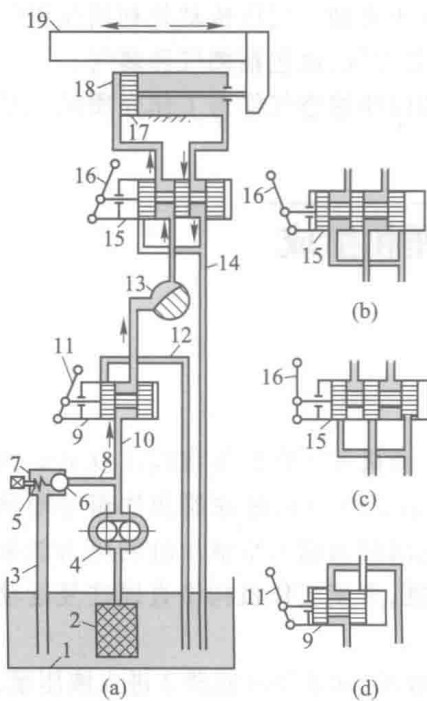


图 1.1 液压传动系统工作原理图

- 1—油箱;2—过滤器;3、12、14—回油管;4—液压泵;5—弹簧;  
6—钢球;7—溢流阀;8—压力支管;9—开停(换向)阀;  
10—压力管;11—开停阀手柄;13—节流阀;15—换向阀;  
16—换向阀手柄;17—活塞;18—液压缸;19—工作台

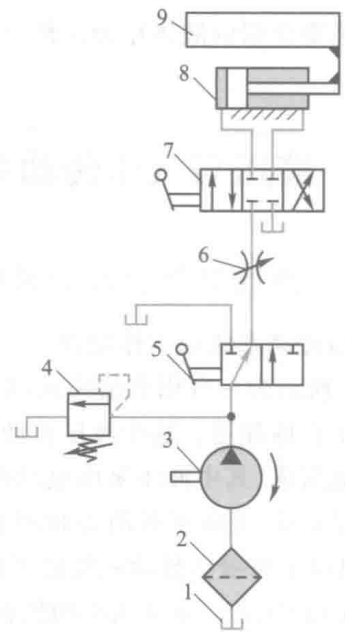


图 1.2 用流体传动系统及元件图形符号绘制的液压传动系统工作原理图

- 1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4—溢流阀;5—开停(换向)阀;  
6—节流阀;7—换向阀;8—液压缸;9—工作台

## 2. 气压传动系统的工作原理

图 1.3 给出了一个气压传动系统工作原理图,其中部分元件用图形符号绘制。在图 1.3 中,原动机驱动空气压缩机 1,空气压缩机 1 将原动机的机械能转换为气体的压力能,受压缩后的空气经后冷却器 2、除油器 3、干燥器 4,进入到储气罐 5。储气罐 5 用于储存压缩空气并稳定气体压力,压缩空气再经过滤器 6 后才能供给气压传动系统使用。这里除空气压缩机外的其它气压元件都是气源处理元件。储气罐中有一定压力的气体要先经过气动三联件的处理才能接到气压传动系统上使用。气动三联件由过滤器、减压阀和油雾器三部分组成,过滤器主要负责过滤压缩空气中的杂质,减压阀主要负责控制系统压力,油雾器负责后端元件的给油润滑。即三联件中的调压阀(减压阀)7 将气体压力调节到气压传动所需的工作压力,并保持稳定,油雾器 9 用于将润滑油喷成雾状,悬浮于压缩空气中,使控制阀及气缸得到润滑。经过处理的压缩空气,通过气压控制元件 10、11、12、14 和 15 的控制进入气压执行元件 13,推动活塞带动负载工作。

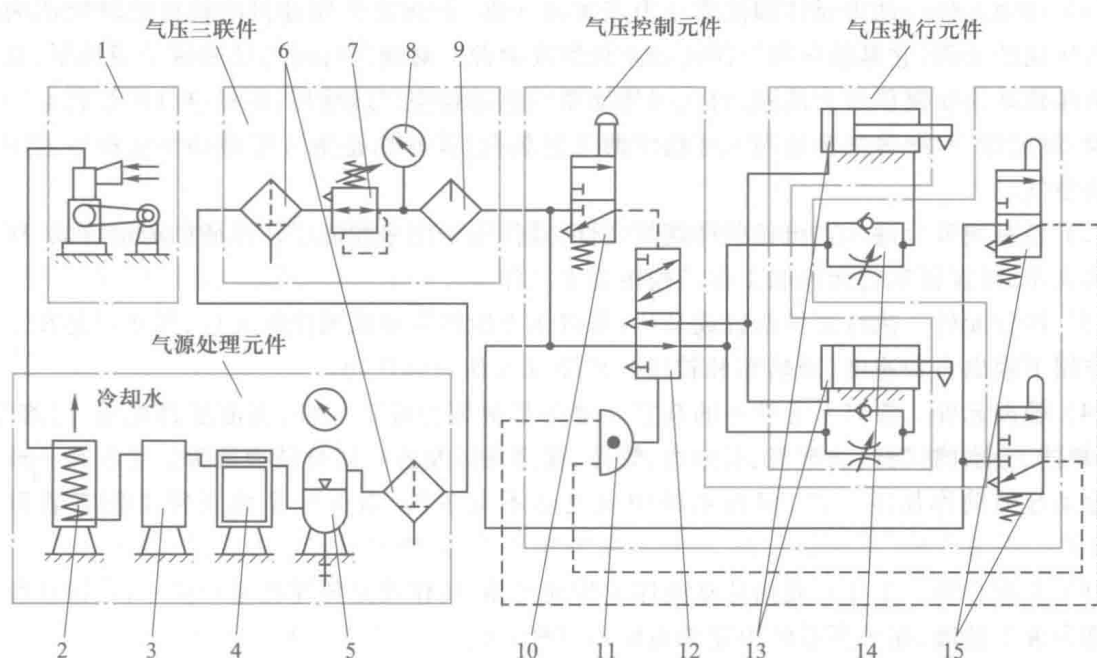


图 1.3 气压传动系统工作原理图

1—空气压缩机;2—后冷却器;3—除油器;4—干燥器;5—储气罐;6—过滤器;7—调压阀(减压阀);8—压力表;  
9—油雾器;10、12—气压控制阀;11—气压逻辑元件;13—气缸;14—可调单向节流阀;15—行程阀

气压传动系统的能源装置[包括气压发生装置(空气压缩机)和气源处理元件(气压辅件)]一般都设在距控制气压执行元件较远的空气压缩机站内,用管道将压缩空气输送给气压执行元件,而气动三联件一般都集中安装在气压传动工作机构附近,气压执行元件和各种控制元件按要求组合后构成具有不同功能的气压传动系统。

从流体压力能的传动方式上来讲,将液压传动系统中的工作介质置换为气体,液压传动系统则就变为气压传动系统。但由于这两种传动系统的工作介质及其特性有很大区别,因此这两种系统的工作特性有较大不同,所应用的场合也不一样。尽管这两种系统所采用元器件的结构原理相似,但很多元件不能互换,液压传动元件和气压传动元件是分别由不同的专业生产厂家加工