



应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

液压与气动



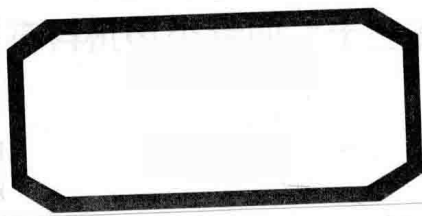
主编 刘绍力 王海文



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



应用型



“十三五”规划精品教材

液压与气动

YEYA YU QIDONG



主 编 刘绍力 王海文

副主编 罗文军 董少峥 封居强

李 军 崔 勇



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书在讲解了液压与气压传动涉及的流体力学基本知识的基础上,分别介绍了液压与气压传动的动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件,以及液压与气压传动的基本回路和常用回路,并在此基础上讲解了液压与气压传动系统的设计方法和步骤,分析了液压与气压传动的工程实例。

本书注重理论和实际应用相结合,内容由浅入深、通俗易懂,各章配有适量的习题,既便于教学又利于自学,可以作为学校教学教材或工程技术人员的参考资料。

为了方便教学,本书配有电子课件等教学资源包,任课教师和学生可以登录“我们爱读书”网(www.ibook4us.com)免费注册并浏览,或者发送邮件至 hustpeiit@163.com 免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动/刘绍力,王海文主编. —武汉:华中科技大学出版社,2017.8

应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

ISBN 978-7-5680-2880-6

I. ①液… II. ①刘… ②王… 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(2017)第 108448 号

液压与气动

Yeya yu Qidong

刘绍力 王海文 主编

策划编辑:康 序

责任编辑:舒 慧

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:18

字 数:466千字

版 次:2017年8月第1版第1次印刷

定 价:38.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

只有无知，没有不满。

Only ignorant, no resentment.

.....迈克尔·法拉第(Michael Faraday)

迈克尔·法拉第(1791—1867)：英国著名物理学家、化学家，在电磁学、化学、电化学等领域都做出过杰出贡献。

应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

审稿委员会名单

(按姓氏笔画排列)

卜繁岭	于惠力	王书达	王伯平	王宏远	王俊岭	王艳秋	王爱平
王海文	云彩霞	方连众	邓奕	厉树忠	卢益民	丛昕	尼亚孜别克
朱秋萍	刘锐	刘仁芬	刘金琪	刘黎明	李见为	李长俊	杨宁
杨玉蓓	杨有安	杨旭方	宋春翔	张义方	张怀宁	张绪红	陈传德
陈朝大	周永恒	周洪玉	孟德普	赵振华	姜峰	骆耀祖	聂聪
顾利民	郭学俊	容太平	谈新权	傅妍芳	富刚	雷升印	路兆梅
熊年禄	霍泰山	鞠剑平	魏学业				

前言

PREFACE

“液压与气动”是高等院校机械工程、材料成型、机械电子工程及自动化等专业的重要专业基础课。本书在编写过程中,结合应用型本科机械类人才培养目标和专业教育需要,本着突出应用、易教易学的原则,尽量使学生掌握扎实的理论基础,但又不追求理论深度,在打好基础的前提下,以培养学生实际工程能力为目标,强调“重基本理论、基本概念,淡化过程推导,突出工程应用”。为此,本书重点讲述了液压与气压传动的基本原理,强调基本技能的培养,对液压元件与系统的使用和维护、故障的分析和排除等相关知识也进行了一定的阐述。

通过对本书的学习,学生可以掌握液压与气压传动的基本结构和工作原理、液压与气压传动系统的设计方法,掌握它们各自的特点以及应用,从而提高学生解决实际工程问题的能力。

面对工业 4.0 和中国制造 2025 的发展路径安排,为适应 21 世纪科技发展的需要,考虑到技术进步,在讲清系统和基本原理的基础上,本书采用了新型液压与气动元件,引入了先进的回路和系统,详述了新型传动介质的性能及其选用,增加了电液比例控制、电液伺服控制和数字控制等新技术内容。为使学生在校学习期间就对这些日新月异的现代液压与气压传动技术有所了解,我们将现代的与经典的液压与气压传动技术进行了有机融合,在遵循理论联系实际的原则的基础上编写了本书。

本书共分三个部分,共 14 章:第 1 章、第 2 章和第 3 章介绍了液压与气压传动的基本知识和液压流体力学的基本理论;第 4 章至第 8 章分别介绍了各类液压元件(泵、缸、马达、阀、辅件)的结构、原理、性能、特点与选用,介绍了常用液压基本回路的组成、功能、特点及应用情况;第 9 章介绍了不同类型的典型液压系统的组成、工作原理和性能特点;第 10 章介绍了液压系统的设计计算方法和步骤;第 11 章至第 14 章分别介绍了气源装置、气动元件的原理、性能,气动回路的应用等。

本书在教学使用过程中,可根据专业特点和课时安排选取教学内容。本书可作为高等院校本科机械制造专业、材料成型专业及相近专业液压与气压传动课程的教材,也可作为各类院校专科层次相关专业类似课程的选用教材,还可作为机械制造、材料成型方面的工程技术人员的参考书。

本书由大连工业大学艺术与信息工程学院刘绍力、大连工业大学王海文担任主编,桂林航天工业学院罗文军、大连工业大学艺术与信息工程学院董少峥、淮南师范学院封居强、哈尔滨石油学院李军、大连豪森设备制造有限公司崔勇担任副主编。全书共 14 章,其中:刘绍力编写第 10 章至第 14 章及附录,王海文编写第 1 章,罗文军编写第 2、3 章,董少峥编写第 5、6 章,封居强编写第 8 章,李军编写第 7、9 章,崔勇编写第 4 章。王威舒、宫玉瑶、王艺荧、崔杨、张跃警、康路协助进行了资料的整理工作。全书由大连工业大学艺术与信息工程学院的金崇源老师主审。

在编写本书的过程中,参考了兄弟院校的资料及其他相关教材,并得到许多同仁的关心和帮助,在此谨致谢意。

为了方便教学,本书配有电子课件等教学资源包,任课教师和学生可以登录“我们爱读书”网(www.ibook4us.com)免费注册并浏览,或者发送邮件至 hustpeiit@163.com 免费索取。

限于篇幅及编者水平,本书在内容上若有局限和欠妥之处,竭诚希望同行和读者赐予宝贵的意见。

编 者
2017 年 5 月

目录

CONTENTS

第 1 篇 液压与气压传动基础理论

第 1 章 液压与气压传动概述	(3)
1.1 液压与气压传动的工作原理及组成	(3)
1.1.1 液压与气压传动的工作原理	(3)
1.1.2 液压与气压传动系统的组成和表示方法	(6)
1.2 液压与气压传动的特点	(7)
1.3 液压与气压传动的应用	(8)
1.4 液压与气压传动技术的发展	(8)
习题	(9)
第 2 章 液压传动的基础知识	(10)
2.1 液压传动的工作介质简介	(10)
2.1.1 液压传动工作介质的种类	(10)
2.1.2 液压油的主要物理性质	(11)
2.1.3 液压油的选用	(14)
2.2 液体静力学基础	(15)
2.2.1 液体静压力(压强)的性质和单位	(15)
2.2.2 液体压力的表示方法	(16)
2.2.3 静压力方程及其物理本质	(16)
2.2.4 液体静压力对固体壁面的作用力	(17)
2.3 液体动力学基础	(18)
2.3.1 几个基本概念	(18)
2.3.2 液体的连续性方程	(19)
2.3.3 伯努利方程	(20)
2.3.4 动量方程	(22)
2.4 管道中液流的特性	(23)
2.4.1 流体的流态与雷诺数	(23)

2.4.2 沿程压力损失	(25)
2.4.3 局部压力损失	(26)
2.5 孔口和缝隙流动	(27)
2.5.1 孔口出流及节流特性方程	(27)
2.5.2 缝隙流动	(29)
2.6 液压冲击与空穴现象	(34)
2.6.1 液压冲击	(34)
2.6.2 空穴现象	(34)
习题	(35)
第3章 气压传动的基础知识	(39)
3.1 气压工作介质的性质	(39)
3.1.1 气压工作介质的组成	(39)
3.1.2 气压工作介质的基本状态参数	(39)
3.2 气体状态方程	(42)
3.2.1 理想气体状态方程	(42)
3.2.2 气体状态变化过程	(42)
3.3 气体的流动规律	(44)
3.3.1 气体流动的基本方程	(45)
3.3.2 气动元件的通流能力	(46)
3.3.3 充、放气温度与时间的计算	(47)
习题	(48)

第2篇 液压传动

第4章 液压传动的动力元件	(51)
4.1 液压泵概述	(51)
4.1.1 液压泵的工作原理及特点	(51)
4.1.2 液压泵的主要性能参数	(52)
4.1.3 液压泵的分类及图形符号	(54)
4.2 齿轮泵	(55)
4.2.1 外啮合齿轮泵	(55)
4.2.2 内啮合齿轮泵	(57)
4.2.3 螺杆泵	(59)
4.3 叶片泵	(59)
4.3.1 单作用叶片泵	(59)
4.3.2 双作用叶片泵	(60)
4.3.3 限压式变量叶片泵	(62)
4.3.4 凸轮转子叶片泵	(63)
4.4 柱塞泵	(64)
4.4.1 轴向柱塞泵	(64)
4.4.2 径向柱塞泵	(67)

4.5 各类液压泵的性能比较及应用	(67)
习题	(68)
第5章 液压传动的执行元件	(70)
5.1 液压马达	(70)
5.1.1 液压马达的特点和分类	(70)
5.1.2 液压马达的主要性能参数	(71)
5.1.3 液压马达的工作原理	(71)
5.2 液压缸	(73)
5.2.1 液压缸分类及计算	(73)
5.2.2 液压缸的结构	(79)
5.2.3 液压缸的设计和计算	(83)
5.2.4 伺服液压缸系统	(87)
习题	(88)
第6章 液压传动的控制元件	(90)
6.1 概述	(90)
6.2 方向控制阀	(90)
6.2.1 单向阀	(91)
6.2.2 换向阀	(92)
6.3 压力控制阀	(101)
6.3.1 溢流阀	(101)
6.3.2 减压阀	(105)
6.3.3 顺序阀	(108)
6.3.4 平衡阀	(109)
6.3.5 压力继电器	(110)
6.4 流量控制阀	(111)
6.4.1 节流阀	(112)
6.4.2 调速阀	(114)
6.4.3 溢流节流阀	(117)
6.4.4 分流集流阀	(118)
6.5 伺服阀、比例阀和数字阀	(119)
6.5.1 电液伺服阀	(119)
6.5.2 电液比例阀	(121)
6.5.3 电液数字阀	(124)
6.6 插装阀、叠加阀	(125)
6.6.1 插装阀	(125)
6.6.2 叠加阀	(131)
6.7 液压阀的使用与维护	(133)
6.7.1 液压阀的安装使用	(133)
6.7.2 液压阀的故障原因及排除方法	(135)

习题	(138)
第7章 液压传动的辅助元件	(140)
7.1 油箱	(140)
7.1.1 油箱容积的确定	(140)
7.1.2 油箱的结构	(140)
7.2 管件和密封件	(142)
7.2.1 液压管件	(142)
7.2.2 密封件	(145)
7.3 过滤器	(149)
7.3.1 油液的污染度和过滤器的过滤精度	(149)
7.3.2 过滤器的种类和典型结构	(150)
7.3.3 过滤器的选用原则、安装位置及注意事项	(151)
7.4 蓄能器	(152)
7.4.1 工作原理	(152)
7.4.2 用途	(154)
7.4.3 参数计算	(154)
7.4.4 蓄能器应用举例	(155)
7.5 热交换器	(156)
7.5.1 冷却器	(156)
7.5.2 加热器	(156)
习题	(157)
第8章 液压基本回路	(158)
8.1 方向控制回路	(158)
8.1.1 换向回路	(158)
8.1.2 锁紧回路	(160)
8.1.3 缓冲回路	(160)
8.2 压力控制回路	(161)
8.3 速度控制回路	(166)
8.4 多缸工作控制回路	(179)
8.4.1 顺序动作回路	(179)
8.4.2 同步回路	(182)
8.4.3 多缸快慢速互不干扰回路	(185)
习题	(186)
第9章 典型液压系统实例分析	(188)
9.1 组合机床动力滑台液压系统	(188)
9.1.1 YT4543 型动力滑台液压系统工作原理	(188)
9.1.2 YT4543 型动力滑台液压系统特点	(190)
9.2 液压机液压系统	(190)
9.2.1 概述	(190)
9.2.2 YB32-200 型液压机液压系统工作原理	(191)
9.2.3 YB32-200 型液压机液压系统特点	(193)

9.3 万能外圆磨床液压系统	(193)
9.3.1 概述	(193)
9.3.2 外圆磨床工作台转向回路	(194)
9.3.3 M1432A 型万能外圆磨床液压系统工作原理	(195)
9.3.4 M1432A 型万能外圆磨床液压系统特点	(197)
9.4 汽车起重机液压系统	(198)
9.4.1 概述	(198)
9.4.2 Q2-8 型汽车起重机液压系统工作原理	(198)
9.4.3 Q2-8 型汽车起重机液压系统特点	(201)
习题	(201)
第 10 章 液压系统设计与计算	(203)
10.1 明确设计要求,进行工况分析	(203)
10.1.1 液压系统的使用要求	(203)
10.1.2 负载特性分析	(203)
10.2 拟订液压系统原理图	(205)
10.2.1 概述	(205)
10.2.2 拟订液压系统原理图时应注意的问题	(205)
10.3 液压元件的计算和选择	(205)
10.3.1 液压泵的选择	(205)
10.3.2 阀类元件的选择	(207)
10.3.3 液压辅助元件的选择	(207)
10.4 液压系统的性能验算	(207)
10.4.1 液压系统压力损失的验算	(207)
10.4.2 液压系统发热温升的验算	(208)
10.5 绘制工作图和编制技术文件	(209)
10.6 液压系统的设计计算举例	(209)
习题	(216)

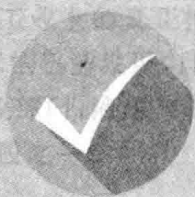
第 3 篇 气压传动

第 11 章 气源装置与气动辅助元件	(219)
11.1 气源装置	(219)
11.1.1 气源装置的组成及工作原理	(219)
11.1.2 空气压缩机	(219)
11.1.3 主要气源净化装置	(222)
11.2 气源处理装置	(226)
11.2.1 空气过滤器	(227)
11.2.2 油雾器	(228)
11.2.3 减压阀	(229)
11.3 其他气动辅助元件	(231)
11.3.1 自动排水器	(231)

11.3.2 消声器	(231)
11.4 管件及管路系统	(232)
11.4.1 管件	(232)
11.4.2 管路系统	(233)
习题	(235)
第 12 章 气动执行元件	(236)
12.1 气缸	(236)
12.2 气动马达	(239)
习题	(240)
第 13 章 气动控制元件	(241)
13.1 方向控制阀	(241)
13.1.1 方向控制阀分类	(241)
13.1.2 换向型方向控制阀	(242)
13.1.3 单向型方向控制阀	(246)
13.1.4 方向控制阀的选择	(248)
13.2 压力控制阀	(250)
13.3 流量控制阀	(252)
13.3.1 节流阀	(252)
13.3.2 单向节流阀	(252)
13.3.3 排气节流阀	(253)
13.4 气动逻辑元件	(253)
习题	(256)
第 14 章 气动基本回路	(257)
14.1 方向控制回路	(257)
14.1.1 换向回路	(257)
14.1.2 缓冲回路	(258)
14.2 压力与力控制回路	(259)
14.2.1 压力控制回路	(259)
14.2.2 力控制回路	(259)
14.3 速度控制回路	(260)
14.3.1 单作用气缸的速度控制回路	(260)
14.3.2 排气节流调速回路	(260)
14.3.3 气液联动调速回路	(260)
14.4 其他常用回路	(261)
习题	(263)
附录	(264)
附录 A 孔口流量系数	(264)
附录 B 液压与气压传动常用图形符号	(265)
附录 C 系统主回路应用实例	(271)
参考文献	(273)

第3章

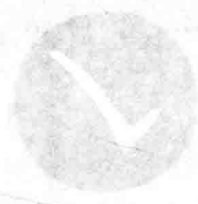
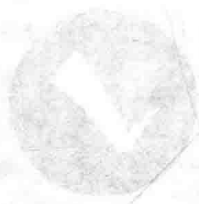
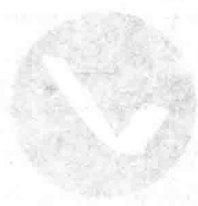
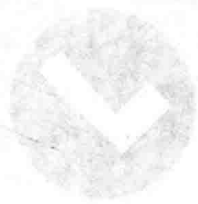
液压与气压传动概述



第1篇

Part 1

液压与气压传动基础理论



策劃

金銀湖基林田戶己丑來

1169

第1章 液压与气压传动概述

液压与气压传动是以流体(液压油或压缩空气)作为工作介质对能量进行传递和控制的一种传动形式,相对于机械传动来说,它是一门新技术。但若从1650年帕斯卡提出静压传递原理,1850年开始英国将帕斯卡原理先后应用于液压起重机、压力机等算起,也已有两三百年的历史了。而液压与气压传动在工业上的真正推广使用,则是20世纪中叶以后的事。近几十年来,随着微电子和计算机技术的迅速发展,且渗透到液压与气压传动技术中并与其密切结合,使其应用领域遍及各个工业部门,液压与气压传动已成为实现生产过程自动化、提高劳动生产率等必不可少的重要手段之一。

1.1 液压与气压传动的工作原理及组成

1.1.1 液压与气压传动的工作原理

液压系统以液压油作为工作介质,而气动系统以空气作为工作介质。两种工作介质的不同在于液体几乎不可压缩,气体却具有较大的可压缩性。液压与气压传动在基本工作原理、元件的工作机理及回路的构成等方面是极为相似的。下面以图1-1所示的原理图来介绍它们的工作原理。

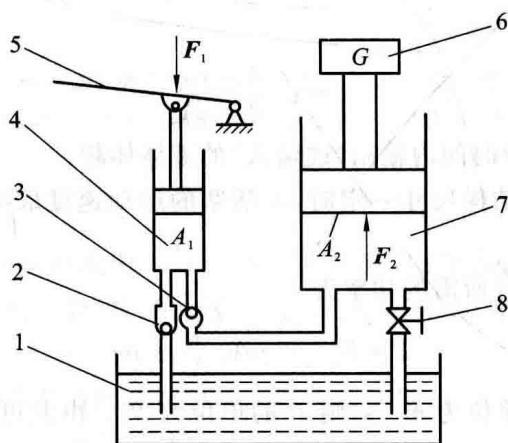


图 1-1 液压千斤顶示意图

1—油箱;2—吸油阀;3—压油阀;4—小缸;5—手柄;
6—负载(重物);7—大缸;8—截止阀(放油螺塞)

图1-1所示为液压千斤顶示意图。向上提手柄5,使小缸4内的活塞上移,小缸下腔因容积增大而产生真空,油液从油箱1通过吸油阀2被吸入并充满小缸容积;按压手柄5,使小缸4内的活塞下移,则刚才被吸入的油液通过压油阀3输入到大缸7的下腔,油液被压缩,压力立即升高。当油液的压力升高到能克服作用在大活塞上的负载(重物G)所需的压力值时,重物就随手柄的下按而同时上升,此时吸油阀是关闭的。为了能把重物从举高的位置放下,系统中专门设置了截止阀(放油螺塞)8。

图 1-1 中的两根通油箱的管路如通大气,则图 1-1 变成气动系统的原理图。这种情况下,上下按动手柄 5,空气就通过吸油阀 2 被吸入,经压油阀 3 输入到大缸 7 的下腔。在这里,因气体有压缩性,不像液压系统那样,一按手柄重物立即相应上移,而是需多次按动手柄,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,重物便开始上升。在重物上升过程中,也不像液压系统那样,压力值基本上维持不变(因是举起重物),因气体可压缩性较大的缘故,气压值会产生波动。

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。但就从这简单的系统中,可以得出有关液压与气压传动的一些重要概念。

设大、小活塞的面积为 A_2 、 A_1 ,当作用在大活塞上的负载和作用在小活塞上的作用力为 G 和 F_1 时,根据帕斯卡原理,大、小活塞下以及连接导管构成的密闭容积内的油液具有相等的压力值,设为 p ,如忽略活塞运动时的摩擦阻力,则有

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

或

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

式中, F_2 为油液作用在大活塞上的作用力, $F_2 = G$ 。

式(1-1)说明,系统的压力 p 取决于作用负载的大小。这是第一个重要概念。式(1-2)表明,当 $A_2/A_1 \gg 1$ 时,在小活塞上作用一个很小的力 F_1 ,便可在大活塞上产生一个很大的力 F_2 ,以举起负载(重物)。这就是液压千斤顶的原理。

另外,设大、小活塞移动的速度为 v_2 和 v_1 ,在不考虑泄漏情况下稳态工作时,则有

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = q \quad (1-3)$$

或

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} = \frac{q}{A_2} \quad (1-4)$$

式中, q 为流量,定义为单位时间内输出(或输入)的液体体积。

式(1-4)表明,在缸的结构尺寸一定时,大活塞的运动速度取决于输入的流量。这是第二个重要概念。

使大活塞上的负载上升所需的功率为

$$P = F_2 v_2 = p A_2 \frac{q}{A_2} = pq \quad (1-5)$$

式中, p 的单位为 Pa, q 的单位为 m^3/s ,则 P 的单位为 W。由此可见,液压系统的压力和流量之积就是功率,称之为液压功率。

由这个例子可清楚地看到,在小缸中,手按动小活塞所产生的机械能变成了排出流体的压力能;而在大缸中,进入大缸的流体压力能可通过大活塞转变成驱动负载所需的机械能。所以,在液压与气压传动系统中,要发生两次能量的转变。把机械能转变为流体压力能的元件或装置称为泵或能源装置,而把流体压力能转变为机械能的元件称为执行元件。

比较完善的系统是图 1-2 所示的驱动机床工作台的液压系统。它的工作原理如下:电动机(图中未画出)带动液压泵 4 旋转,经过滤器 2 从油箱 1 中吸油,油液经液压泵 4 输出,进入压力管 10 后,在图 1-2(a)所示的状态下,通过开停阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 左腔,推动活塞 17 和工作台 19 向右移动,而液压缸 18 右腔的油液经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。