



普通高等教育“十二五”规划教材
PUTONG GAODENGJIAOYU SHIERWU GUIHUAJIAOCAI

液压与气压传动

第二版

◎主 编:贺尚红 ◎副主编:万贤杞 李 岚 李 岳 刘忠伟 彭佑多 汪大鹏 高自成

◎主 审:高殿荣

YEYAYUQIYACHUANDONG



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

013045044

TH137-43
64-2



普通高等教育

PUTONG GAODENGJIAOYU SHIKWU GUINIAOYU

液压与气压传动

第二版

◎主 编:贺尚红 ◎副主编:万贤杞 李 岚 李 岳 刘忠伟 彭佑多 汪大鹏 高自成

◎主 审:高殿荣

YEYAYUQIYACHUANDONG



TH137-43

64-2



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



北航

C1651577

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/贺尚红主编. —2版. —长沙:
中南大学出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-5487-0620-5

I. 液... II. 贺... III. ①液压传动②气压传动
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 188023 号

液压与气压传动

(第二版)

主编:贺尚红 副主编:万贤杞 李岚 李岳 刘忠伟 彭佑多 汪大鹏 高自成

☐责任编辑 谭 平

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市宏发印刷有限公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 21.25 ☐字数 523 千字 ☐插页

☐版 次 2012 年 8 月第 2 版 ☐2012 年 8 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0620-5

☐定 价 42.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

总序 FOREWORD.

机械工程学科作为联结自然科学与工程行为的桥梁,它是支撑物质社会的重要基础,在国家经济发展与科学技术发展布局中占有重要的地位,21 世纪的机械工程学科面临诸多重大挑战,其突破将催生社会重大经济变革。当前机械工程学科进入了一个全新的发展阶段,总的发展趋势是:以提升人类生活品质为目标,发展新概念产品、高效高功能制造技术、功能极端化装备设计制造理论与技术、制造过程智能化和精准化理论与技术、人造系统与自然界和谐发展的可持续制造技术等。这对担负机械工程人才培养任务的高等学校提出了新挑战:高校必须突破传统思维束缚,培养能适应国家高速发展需求的具有机械学科新知识结构和创新能力的高素质人才。

为了顺应机械工程学科高等教育发展的新形势,湖南省机械工程学会、湖南省机械原理教学研究会、湖南省机械设计教学研究会、湖南省工程图学教学研究会、湖南省金工教学研究会与中南大学出版社一起积极组织了高等学校机械类专业系列教材的建设规划工作。成立了规划教材编委会。编委会由各高等学校机电学院院长及具有较高理论水平和教学经验的教授、学者和专家组成。编委会组织国内近 20 所高等学校长期在教学、教改第一线工作的骨干教师召开了多次教材建设研讨会和提纲讨论会,充分交流教学成果、教改经验、教材建设经验,把教学研究成果与教材建设结合起来,并对教材编写的指导思想、特色、内容等进行了充分的论证,统一认识,明确思路。在此基础上,经编委会推荐和遴选,近百名具有丰富教学实践经验的教师参加了这套教材的编写工作。历经两年多的努力,这套教材终于与读者见面了,它凝结了全体编写者与组织者的心血,是他们集体智慧的结晶,也是他们教学教改成果的总结,体现了编写者对教育部“质量工程”精神的深刻领悟和对本学科教育规律的把握。

这套教材包括了高等学校机械类专业的基础课和部分专业基础课教材。整体看来,这套教材具有以下特色:

(1)根据教育部高等学校教学指导委员会相关课程的教学基本要求编写。遵循“重基础、宽口径、强能力、强应用”的原则，注重科学性、系统性、实践性。

(2)注重创新。本套教材不但反映了机械学科新知识、新技术、新方法的发展趋势和研究成果，还反映了其他相关学科在与机械学科的融合与渗透中产生的新前沿，体现了学科交叉对本学科的促进；教材与工程实践联系密切，应用实例丰富，体现了机械学科应用领域在不断扩大。

(3)注重质量。本套教材编写组对教材内容进行了严格的审定与把关，教材力求概念准确、叙述精练、案例典型、深入浅出、用词规范，采用最新国家标准及技术规范，确保了教材的高质量与权威性。

(4)教材体系立体化。为了方便教师教学与学生学习，本套教材还提供了电子课件、教学指导、教学大纲、考试大纲、题库、案例素材等教学资源支持服务平台。

教材要出精品，而精品不是一蹴而就的，我将这套书推荐给大家，请广大读者对它提出意见与建议，以利进一步提高。也希望教材编委会及出版社能做到与时俱进，根据高等教育改革发展形势、机械工程学科发展趋势和使用中的新体验，不断对教材进行修改、创新、完善，精益求精，使之更好地适应高等教育人才培养的需要。

衷心祝愿这套教材能在我国机械工程学科高等教育中充分发挥它的作用，也期待着这套教材能哺育新一代学子茁壮成长。

中国工程院院士 钟 掘

2011年11月

第二版前言 PREFACE.

承蒙广大读者的厚爱,《液压与气压传动》第一版现已售罄。一年来,有 20 多所高等工科院校及其独立学院的机械类和近机类专业使用了本书作为教材;同时本书在一些高校是作为卓越工程师教育培养计划机械类专业指定教材使用的。广大读者在充分肯定本书编撰特色的同时,也提出了许多宝贵意见和建议。为了更好地体现与时俱进、精益求精的精神,中南大学出版社自 2012 年 3 月至 7 月,组织了本书的修订工作。

本书第二版主要进行了如下三方面的改进:

(1)对第一版的疏漏和欠妥之处进行了修订。

(2)从学生的专业基础实际情况出发,调整和完善了教材内容的广度和深度,从方便教学的角度对部分内容进行了改写。

(3)制作了与本书配套的多媒体 CAI 课件,有效提高了教学效果。

参加本书修订工作的有南华大学李岚,长沙理工大学贺尚红,中南林业科技大学高自成,湖南农业大学莫亚武、陈文凯,他们对本书第一版提出了宝贵的修改建议。本书第二版由贺尚红教授任主编。

本书在改版过程中得到了中南大学出版社的大力支持和帮助,在此表示诚挚的谢意。由于时间及水平有限,书中错误和不足之处恳请读者指正。

编者
2012 年 7 月

前言 PREFACE

液压与气压传动是机械工程类专业重要的技术基础课程。为了适应培养 21 世纪应用型工程技术人才的需要,充分反映我国液压与气压传动技术的进步,更好地为工程应用服务,编者参阅和借鉴了大量文献及教材,结合多年的教学实践经验,本着理论与实际应用相结合的原则,并考虑到专业的通用性特点编写本教材。教材在如下方面具有特色:

(1)适应研究型高校和应用型高校的教学需要。依据教育部相关教学指导委员会制定的最新专业规范和机械类课程的教学基本要求,编者吸取不同层次本科院校学校教师的意见,对教材内容进行了编排与优化,能够满足两个层次本科院校机械类专业学生的教学要求。

(2)本着少而精、学以致用原则,着重讲解基本原理和基本方法,把重点放在使读者在正确掌握液压与气压元件的工作原理和性能的基础上,合理、正确地应用液压与气压元件方面。

(3)注重创新。本教材反映了液压与气压领域的新知识、新技术、新应用。与工程实践联系密切,应用实例丰富。

(4)考虑到很多高校的机械专业将液压传动作为重点或只讲授液压传动部分,本教材将液压传动与气压传动分开编排,便于教学和学习的安排。

(5)为了便于学生自学,每一章的结尾对所述内容进行了归纳和总结,并附有一定数量的习题。

(6)本书所采用的图形符号符合国家最新标准,所采用的单位符号符合国际单位制。

本书由长沙理工大学贺尚红教授任主编,中南大学夏毅敏教授编写第 1 章,湘潭大学朱石沙教授编写第 2 章,湖南科技大学彭佑多教授、胡燕平老师编写第 3 章,湖南工业大学刘忠伟教授编写第 4 章,长沙理工大学贺尚红教授编写第 5 章,第 16 章及附录,南华大学李岚教授编写第 6 章、第 12 章,湖南工学院万贤杞教授编写第 7 章,国防科技大学李岳教授编写

第8章,长沙学院汪大鹏教授、唐蒲华博士编写第9章,湖南理工学院李实老师编写第10章,邵阳学院戴正强老师编写第11章,长沙理工大学王志安副教授编写第13章、第14章,湖南文理学院陈召国教授编写第15章。燕山大学教授高殿荣担任本书主审,他对本书进行了详尽细致的审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

在本书的编著过程中,编者参考了国内相关教材及大量文献,在此谨向有关作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中的不妥与疏漏,恳请广大读者批评指正。

编 者

2011年11月

CONTENTS. 目录

第一篇 液压传动

第1章 液压传动概述	(3)
1.1 液压传动系统工作原理与组成	(3)
1.2 液压传动的特点	(5)
1.3 液压传动应用概况	(6)
1.4 液压传动工作介质	(7)
本章小结	(12)
习 题	(13)
第2章 液压流体力学基础	(14)
2.1 液体静力学	(14)
2.2 液体动力学	(17)
2.3 流动压力损失	(27)
2.4 小孔出流和缝隙、流动	(34)
2.5 液压冲击和空穴现象	(38)
本章小结	(40)
习 题	(40)
第3章 液压动力元件	(43)
3.1 液压动力元件基本概念	(43)
3.2 齿轮液压泵	(47)
3.3 叶片液压泵	(51)
3.4 柱塞式液压泵	(58)
3.5 液压泵选用	(63)
本章小结	(64)
习 题	(64)

第4章 液压执行元件	(66)
4.1 往复运动式执行元件	(66)
4.2 旋转运动式执行元件	(76)
本章小结	(82)
习 题	(82)
第5章 液压控制元件	(84)
5.1 液压控制阀概述	(84)
5.2 方向控制阀	(88)
5.3 压力控制阀	(100)
5.4 流量控制阀	(111)
5.5 逻辑阀	(118)
5.6 伺服阀	(121)
5.7 电液比例阀	(125)
5.8 电液数字阀	(129)
本章小结	(131)
习 题	(132)
第6章 液压辅助元件	(135)
6.1 油箱	(135)
6.2 滤油器	(138)
6.3 蓄能器	(141)
6.4 密封件	(145)
6.5 热交换器	(149)
6.6 管件	(151)
本章小结	(154)
习 题	(154)
第7章 液压基本回路	(156)
7.1 压力控制回路	(156)
7.2 速度调节回路	(161)
7.3 方向控制回路	(172)
7.4 速度换接回路	(177)
7.5 多个液压执行元件控制回路	(179)
本章小结	(184)
习 题	(185)

第 8 章 液压系统的设计与计算	(188)
8.1 液压系统使用要求及速度负载分析	(188)
8.2 液压系统方案设计	(189)
8.3 液压系统的参数计算	(192)
8.4 液压系统设计计算实例	(202)
8.5 液压系统 CAD 技术简介	(209)
本章小结	(210)
习 题	(210)
第 9 章 典型液压系统	(212)
9.1 组合机床动力滑台液压系统	(212)
9.2 315 型四柱压力机液压系统	(215)
9.3 汽车起重机液压系统	(220)
9.4 XS-ZY-250A 型塑料注射成型机液压系统	(224)
习 题	(227)

第二篇 气压传动

第 10 章 气压传动基本知识	(233)
10.1 气压传动系统原理与组成	(233)
10.2 气压传动及其优缺点	(234)
10.3 空气的物理性质	(235)
10.4 气体状态方程	(237)
10.5 气体的流动规律	(239)
本章小结	(241)
习 题	(241)
第 11 章 气源装置和辅助元件	(242)
11.1 气源装置	(242)
11.2 辅助元件	(248)
11.3 气动系统的管道设计	(254)
本章小结	(256)
习 题	(256)
第 12 章 气动执行元件	(257)
12.1 气缸	(257)
12.2 气马达	(265)

本章小结	(266)
习 题	(267)
第 13 章 气动控制元件	(268)
13.1 压力控制阀	(268)
13.2 流量控制阀	(272)
13.3 方向控制阀	(273)
13.4 气动逻辑元件	(277)
本章小结	(281)
习 题	(281)
第 14 章 气动基本回路	(282)
14.1 压力控制回路	(282)
14.2 速度控制回路	(282)
14.3 换向回路	(285)
14.4 其他气动回路	(286)
本章小结	(292)
习 题	(292)
第 15 章 气动系统设计	(294)
15.1 气动系统概述	(294)
15.2 气动系统设计的主要内容及步骤	(295)
15.3 时序逻辑控制系统设计	(299)
本章小结	(310)
习 题	(311)
第 16 章 气动系统实例	(312)
16.1 气动计量系统	(312)
16.2 工件夹紧气动系统	(314)
16.3 气液动力滑台气动系统	(314)
16.4 射芯机气动系统	(315)
本章小结	(317)
习 题	(317)
附 录	(318)
参考文献	(324)

第一篇 液压传动

第1章

液压传动概述

液压传动是以液体为工作介质,依靠液体的压力能来传递动力的一种传动形式,与机械传动相比,它是一门比较新兴的技术。从1795年英国制成世界上第一台水压机算起,液压传动技术已有二三百年的历史,但由于没有成熟的液压传动技术和液压元件,且工艺制造水平低下,发展缓慢。直到20世纪30年代它才较普遍地用于起重机、机床及工程机械。在第二次世界大战期间,出现了由响应迅速、精度高的液压控制机构所装备的各种军事武器。战后,液压技术迅速转向民用,液压技术不断应用于各种自动机及自动生产线。

20世纪60年代以后,工艺水平有了很大提高,液压技术随着电气控制技术、传感器技术、计算机技术的发展而迅速发展,成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术,在国民经济的各个部门都得到了应用,如工程机械、数控加工中心、冶金自动线等。

我国的液压技术最初应用于机床和锻压设备上,随着从国外引进一些液压元件生产技术以及进行自行设计,我国的液压元件现已形成了系列,并在各种机械设备上得到了广泛的应用。

1.1 液压传动系统工作原理与组成

1.1.1 液压传动的工作原理

图1-1所示,以液压千斤顶的工作原理图为例来说明液压传动的工作原理。将手柄5向上扳动时,小活塞向上移动,小缸4下腔因腔增大形成真空,油箱中的油液在大气压的作用下经过单向阀2吸入小缸4的下腔。当下压手柄5使小缸活塞下移时,小缸4下腔的油液通过单向阀3进入大缸7的下腔,油液被压缩,压力升高,当油液的压力升高到能克服大活塞上的负载 G 所需的压力值时,重物就随手柄的下压而上升,反复提压手柄,就可以使重物不断上升。要把重物从高位放下,系统设置了截止阀8。

设大、小活塞的面积分别为 A_2 、 A_1 ,作用在大活塞上的负载为 G ,作用在小活塞上的力为 F_1 ,油液作用在大活塞上的力为 F_2 ,根据帕斯卡原理有:

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

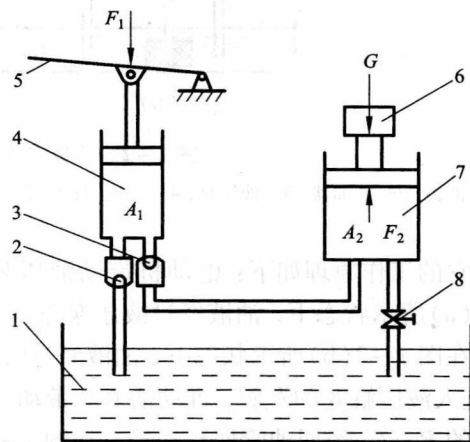


图1-1 液压千斤顶的工作原理图

1—油箱; 2—单向阀; 3—单向阀; 4—小液压缸;
5—手柄; 6—负载; 7—大液压缸; 8—截止阀

$$F_1 = pA_1 \quad F_2 = pA_2 \quad (1-2)$$

由于 $A_1 < A_2$ ，所以可用较小的力举起较大的重物。

从液压千斤顶的工作原理可以看出液压传动的以下特点：

(1) 液压传动以液体为工作介质，动力的传递必须经过两次能量转换，首先通过能源装置把机械能转变为液体的压力能，再通过液压执行元件，把液体的压力能转变为机械能。

(2) 在作用面积一定时，系统的压力取决于负载。

图 1-2 所示为一种磨床工作台的液压系统，它由油箱 1、滤油器 2、液压泵 3、节流阀 4、溢流阀 5、换向阀 6、液压缸 8、工作台 10 以及连接这些元件的油管组成。

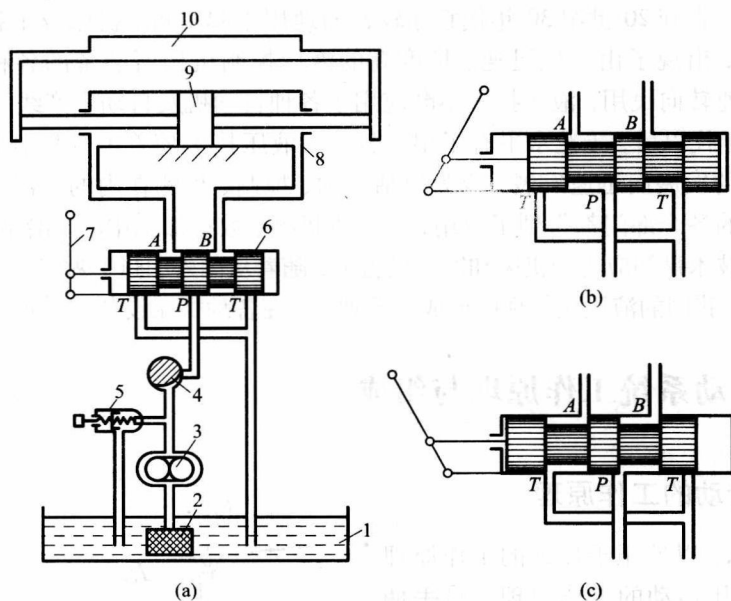


图 1-2 机床工作台液压系统的工作原理图

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

它的工作原理如下：电动机带动液压泵 3 旋转，经过滤油器 2 从油箱 1 中吸油。在图 1-2(a)所示状态下，油液经过液压泵进入压力管，通过溢流阀 5 回到油箱，工作台静止不动。在图 1-2(b)所示状态下，油液经过液压泵进入压力管，通过节流阀 4、换向阀 6 的 $P \rightarrow A$ ，进入液压缸 8 的左腔，推动活塞 9 带动工作台 10 向右移动，液压缸右腔的油液经过换向阀 6 的 $B \rightarrow T$ ，经回油管回到油箱。在图 1-2(c)所示状态下，油液经过液压泵进入压力管，通过节流阀 4、换向阀 6 的 $P \rightarrow B$ ，进入液压缸 8 的右腔，推动活塞 9 带动工作台 10 向左移动，液压缸左腔的油经过换向阀 6 的 $A \rightarrow T$ ，经回油管回到油箱。

工作台的移动速度通过节流阀 4 来调节。节流阀口开大，进入液压缸的油液增多，工作台的移动速度增大；节流阀口关小，进入液压缸的油液减少，工作台的移动速度减小。

1.1.2 液压传动系统的组成部分

一个完整的液压系统除了工作介质外，由以下四部分组成：

- (1) 能源装置——将机械能转换为流体压力能,如液压泵。
- (2) 执行元件——将流体的压力能转换为机械能,如液压缸、液压马达。
- (3) 控制元件——控制系统压力、流量、方向,如溢流阀、节流阀、方向阀等。
- (4) 辅助元件——保证系统正常工作除上述三种元件外的元件,如油箱、过滤器、管件等。

1.1.3 液压系统的图形符号

图1-2所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理图。它直观性强,容易理解,但难于绘制。在实际工作中,除少数特殊情况外,一般都采用液压图形符号来绘制,如图1-3所示。

我国已经制定了液压与气压图形标准符号来表示液压与气压原理图,国家标准液压与气压系统图形符号(GB/T786—93),对于这些图形符号作了如下规定:

(1) 符号只表示元件的职能,连接系统的通路,不表示元件的具体结构和参数,也不表示元件在机器中的实际安装位置。

(2) 符号均表示元件的静止位置或中间零位置表示,当系统的动作另有说明时,可作例外。

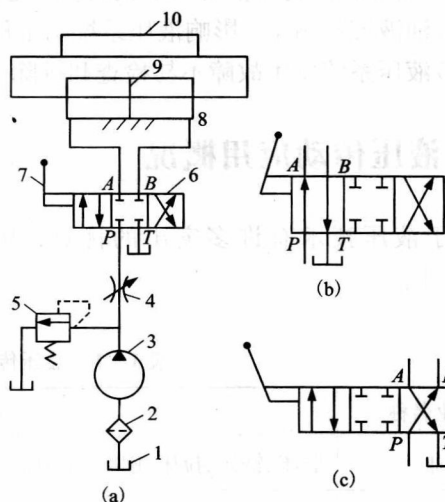


图1-3 机床工作台液压系统的图形符号

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

1.2 液压传动的特点

液压传动与机械传动、电气传动相比有以下主要优点:

(1) 质量轻体积小。液压传动与机械、电力等传动方式相比,在输出同样功率的条件下,体积和质量可以减少很多,因此惯性小、动作灵敏。

(2) 传动平稳。在液压传动装置中,由于油液的压缩量非常小,在通常压力下可以认为不可压缩,而且油液有吸振能力,使传动十分平稳,便于实现频繁的换向。

(3) 在大范围内实现无级调速(调速范围可达2000:1),还可以在运行的过程中进行调速。

(4) 易于实现过载保护,液压系统中采取了很多安全保护措施,能够自动防止过载,避免发生事故。

(5) 液压元件能够自动润滑。由于采用液压油作为工作介质,使液压传动装置能自动润滑,因此元件的使用寿命较长。

(6) 易于实现机器的自动化。当采用电液联合控制甚至计算机控制后,可实现大负载、高精度、远程自动控制;