



卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

液压与气压传动

盛小明 刘忠 张洪 主编



科学出版社

卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

液压与气压传动

主 编 盛小明 刘 忠 张 洪

副主编 秦永法 胡增荣 张兴国

编 委 孙 明 刘鑫培 孙 波 胡万强

科 学 出 版 社

北 京

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-64034315; 010-64010630 (传真)

内 容 简 介

本书介绍液压与气压传动的基本概念、机械设备液压与气压传动中常用的液压与气动元件、基本回路,并结合大量工程实例进行典型系统的分析与设计。

全书共分9章:第1、2章介绍液压与气压传动的基本概念与理论;第3~6章分别介绍液压与气压传动系统中动力元件、执行元件、控制元件和辅助元件的作用、原理、性能和用途;第7章介绍液压与气压传动的基本回路;第8章介绍典型液压与气压系统的应用与分析;第9章介绍液压与气动系统的设计步骤和方法;在附录中介绍 GB/T 786.1—2009 中规定的常用液压气动图形符号,FluidSIM 仿真软件及其应用,并有习题参考答案。

本书可为任课教师提供电子教案,同时还可提供液压与气压传动系统中常用的专业术语中英文对照及相关拓展阅读材料的电子版。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化、机械工程及其自动化等专业的相应教材,也可供从事液压气动技术的工程技术人员和研究人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/盛小明、刘忠、张洪主编. —北京:科学出版社,2014.6

卓越工程师教育培养计划机械类创新系列规划教材

ISBN 978-7-03-040401-5

I. ①液… II. ①盛… ②刘… ③张… III. ①液压传动—教材 ②气压传动—教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 072906 号

责任编辑:邓 静 张丽花 / 责任校对:刘亚琦

责任印制:闫 磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年6月第一次印刷 印张:20 1/2

字数:538 000

定价:42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

版权所有,违者必究!未经本社许可,数字图书馆不得使用

《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》

组织委员会

主 任：芮延年 胡华强

委 员：（以姓名首字母为序）

陈 炜 冯志华 郭兰中 花国然 匡 敏 刘春节 刘 忠
秦永法 石怀荣 唐文献 王广勋 王树臣 谢志余 郁汉琪
曾亿山 张秋菊 朱 伟 周 海 左晓明

编写委员会

顾 问：闻邦椿（院士）

主 任：芮延年 陈 炜 张秋菊

副主任：（以姓名首字母为序）

郭兰中 刘会霞 刘 忠 秦永法 唐文献 谢志余 曾亿山
朱瑞富 左晓明

委 员：（以姓名首字母为序）

戴立玲 封士彩 高征兵 龚俊杰 顾 锋 顾 荣 管图华
何高清 侯永涛 华同曙 化春键 黄 娟 刘道标 刘 新
刘征宇 马伟民 毛卫平 倪俊芳 平雪良 齐文春 钱 钧
盛小明 宋昌才 孙 进 唐火红 田玉冬 王德山 王汉成
王建胜 卫瑞元 吴朝阳 解乃军 薛云娜 杨 莉 姚辉学
袁 浩 张 洪 张洪丽 张建梅 张兴国 仲高艳 周建华
朱益民 竺志大

秘 书：邓 静

总 序

“卓越工程师教育培养计划”是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）》和《国家中长期人才发展规划纲要（2010-2020年）》的重大改革项目，也是促进我国由工程教育大国迈向工程教育强国的重大举措。旨在培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才，为国家走新型工业化发展道路、建设创新型国家和人才强国战略服务，对促进高等教育面向社会需求培养人才，全面提高工程教育、人才培养质量具有十分重要的示范和引导作用。

科学出版社以教育部“卓越工程师教育培养计划”为准则，以面向工业、面向世界、面向未来，培养造就具有工程创新能力强、适应经济社会发展需要的卓越工程技术人才为培养目标，组织有关专家、学者、教授编写了本套《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》。

本系列教材力求体现的最大特点是，在每本教材的编写过程中，根据授课内容，引入许多相关工程实践案例，这些工程实践案例具有知识性、典型性、启发性、真实性等特点，它可以弥补传统教材森严乏味的局限性，充分调动学生学习的积极性和创造性，引导学生拓宽视野、重视工程实践、培养解决实际问题的能力。通过编者精心收集组织的实际工程案例让学生明白为什么学习、学成能做什么，从而激发学生学习的内在动力和热情，使学生感到学有所用。

本系列教材除了主教材之外，还配套有多媒体课件，以后还将逐步完善建设配套的学习指导书、教师参考书，最终形成立体化教学资源网，方便教师教学，同时有助于学生更好的学习。

我们相信《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》的出版，将对我国普通高等教育的发展起到创新探索的推动作用，对机械工程人才的培养以及机械工业的发展产生积极有效的促进作用。

中国科学院院士、东北大学教授 闻邦椿

2014年5月10日

前 言

随着自动化技术的深入,我国液压与气动技术得到进一步发展,特别是机、电、液、气复合控制技术的应用日益广阔。为了满足培养工程技术人才的需求,充分反映我国液压与气动技术的发展,更好地为工程实际服务,适应教育部 2010 年启动的“卓越工程师教育培养计划”,本书采用《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》的编写理念和模式,旨在弥补传统教材的局限性,充分调动学生学习的积极性和创造性,激发学生学习的内在动机和热情,使学生感到学有所用,从而提高学生的实践能力和创新能力,培养具有国际竞争力的工程技术人才。

本书的编写理念和模式具有以下特点:

(1) 加强绪论部分的作用,使绪论真正起到提领全书的作用,在绪论中用一张工程实例大图统领全书的知识结构。

(2) 在每章开始,用工程实例作为引子,提高学生的学习兴趣。

(3) 在正文中设置工程案例,辅助学生理解抽象的理论知识。

(4) 在每章最后一节,用工程案例综合本章的知识点,使学生能够学会运用理论知识解决实际问题。

(5) 在最后一章中,用典型系统教会学生综合运用本书所学知识,以达到让学生“会运用”的最终目的。

为适应我国现代工业自动化飞速发展的要求,满足教学需要,作者在总结多年教学、科研和生产实践的基础上,吸取同类教材的优点及本学科国内外最新的教学和科研成果,精心组织编写了本书。

本书的内容特点如下:

(1) 以液压与气动系统为主线将液压部分与气动部分结合在一起编写,全书在知识内容的结构安排上着重传授知识和培养能力的结合。

(2) 全书各处采用图片、文字等形式,列举大量工程实际案例,注重工程特色,强调理论与实际紧密结合。

(3) 在讲解元件基本原理的基础上,介绍了模拟控制液压缸和数字控制液压缸、比例阀、伺服阀、数字控制阀等新技术,介绍了电液比例、伺服系统的工程应用实例的新结构,介绍了液压仿真技术。

(4) 可提供液压与气压传动系统中常用的专业术语中英文对照及相关拓展阅读材料的电子版,易于学生对课程的理解,拓展知识面。

本书由苏州大学盛小明(第 1、2 章和附录 C)、江南大学孙明(第 3 章)、江南大学张洪(第 4 章和附录 B)、扬州大学秦永法(第 5 章)、南通大学张兴国(第 6 章)、苏州大学胡增荣(第 7 章)、苏州大学刘鑫培和许昌学院胡万强(第 8 章)、常熟理工学院刘忠(第 9 章)、常州大学孙波(附录 A)共同编写。本书由盛小明、刘忠和张洪担任主编,由盛小明统稿。

在本书编写过程中,苏州大学机电工程学院博士生导师芮延年教授给予了大力支持并提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

限于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者指正!

作 者

2014 年 3 月

目 录

总序

前言

第 1 章 绪论.....1

1.1 液压与气压传动的工作原理.....3

1.1.1 液压传动系统的基本工作原理.....3

1.1.2 气压传动系统的基本工作原理.....5

1.2 液压与气压传动系统的组成和表示方法.....6

1.2.1 液压与气压传动系统的组成.....6

1.2.2 液压与气压传动系统的表示方法.....7

1.3 液压与气压传动的特点.....8

1.3.1 液压传动的特点.....8

1.3.2 气压传动的特点.....8

1.4 液压与气压传动技术的应用与发展.....9

1.4.1 液压与气压传动技术的应用.....9

1.4.2 液压与气压传动技术的发展.....9

1.4.3 “液压与气压传动”课程学习中需要注意的问题和知识点.....10

1.5 工程应用案例：自卸车车厢举倾机构.....11

练习题.....12

第 2 章 流体力学基础.....13

2.1 液压与气压传动的工作介质.....14

2.1.1 液压传动的工作介质.....14

2.1.2 液压油的污染与控制.....17

2.1.3 气压传动的工作介质.....18

2.2 液体静力学.....20

2.2.1 液体的静压力及其特性.....20

2.2.2 静止液体中的压力分布.....21

2.2.3 静止液体内部压力的传递——帕斯卡定理.....21

2.2.4 静止液体作用在固体表面上的力.....22

2.3 气体状态方程.....23

2.3.1 理想气体状态方程.....23

2.3.2 热力学第一定律.....23

2.3.3 气体状态变化过程.....23

2.4 流体动力学.....24

2.4.1 流动液体的基本概念.....25

2.4.2 流动液体的质量守恒方程——连续性方程.....27

2.4.3 流动液体的能量方程——伯努利方程.....27

2.4.4 流动液体的动量方程.....29

2.5 液体流动时的压力损失.....30

2.5.1 沿程压力损失.....30

2.5.2 局部压力损失.....32

2.5.3 管路系统的总压力损失.....32

2.6 孔口及缝隙的压力流量特性.....32

2.6.1 孔口压力的流量特性.....33

2.6.2 缝隙压力的流量特性.....34

2.7 液压冲击与空穴现象.....36

2.7.1 液压冲击.....36

2.7.2 空穴现象.....37

2.8 气体动力学.....37

2.8.1 气体流动的基本概念.....37

2.8.2 气体流动的基本方程.....37

2.8.3 声速与马赫数.....38

2.8.4 气体管道的阻力计算.....39

2.8.5 气体的通流能力.....39

2.8.6 充、放气现象的基本方程.....40

2.9 工程应用案例：液压减震器的工作原理.....42

练习题.....43

第 3 章 液压与气压传动动力元件.....46

3.1 液压泵概述.....47

3.1.1 液压泵的基本工作原理及分类.....47

3.1.2 液压泵的性能参数及计算公式.....48

3.2 齿轮泵.....50

3.2.1 外啮合齿轮泵的工作原理.....50

3.2.2 外啮合齿轮泵的排量和流量.....50

3.2.3	外啮合齿轮泵的结构特点	51	4.2.2	常用气动马达	94
3.2.4	内啮合齿轮泵	54	4.3	液压缸	95
3.2.5	螺杆泵	54	4.3.1	液压缸的类型和特点	95
3.3	叶片泵	55	4.3.2	液压缸的结构	99
3.3.1	单作用叶片泵	55	4.3.3	液压缸的设计计算	103
3.3.2	限压式变量叶片泵	57	4.3.4	模拟控制液压缸和数字控制 液压缸	107
3.3.3	双作用叶片泵	59	4.4	气缸	109
3.4	柱塞泵	63	4.4.1	气缸的分类	109
3.4.1	斜盘式轴向柱塞泵	63	4.4.2	普通气缸	109
3.4.2	斜轴式轴向柱塞泵	69	4.4.3	特殊气缸	111
3.4.3	径向柱塞泵	70	4.5	工程应用案例: 码头移动式 登船梯	117
3.5	各类液压泵的主要性能及其 应用	71	练习题		119
3.5.1	液压泵的选用	72	第5章	液压控制阀与气动控制阀	122
3.5.2	液压泵所需电动机功率计算	73	5.1	液压控制阀概述	123
3.5.3	液压泵的安装	74	5.1.1	液压阀的功用	123
3.5.4	使用液压泵的注意事项	74	5.1.2	液压阀的基本结构与性能 参数	123
3.5.5	液压泵的故障分析与排除	75	5.1.3	液压阀的分类	123
3.6	气源装置	75	5.2	液压方向控制阀	125
3.6.1	气动系统对压缩空气的要求及 净化	75	5.2.1	单向阀	125
3.6.2	气源装置的组成及工作原理	76	5.2.2	换向阀	126
3.6.3	空气压缩机	77	5.3	压力控制阀	135
3.7	气源净化设备	78	5.3.1	溢流阀	135
3.7.1	后冷却器	78	5.3.2	减压阀	140
3.7.2	油水分离器	78	5.3.3	顺序阀	142
3.7.3	储气罐	78	5.3.4	压力继电器	145
3.7.4	干燥器	79	5.4	流量控制阀	146
3.7.5	过滤器	80	5.4.1	流量控制原理	146
3.7.6	气动三大件	81	5.4.2	节流阀	146
3.8	工程应用案例: 船舱水密门 液压系统	83	5.4.3	调速阀	147
练习题		85	5.4.4	旁通型调速阀	149
第4章	液压与气压传动执行元件	86	5.4.5	温度补偿调速阀	150
4.1	液压马达	87	5.4.6	分流集流阀	150
4.1.1	液压马达的特点及性能参数	87	5.5	插装阀和叠加阀	152
4.1.2	高速液压马达	90	5.5.1	插装阀	152
4.1.3	低速大转矩液压马达	92	5.5.2	叠加阀	157
4.2	气动马达	94	5.6	比例控制阀和伺服控制阀	157
4.2.1	气动马达的分类及特点	94	5.6.1	比例控制阀	158

5.6.2 伺服阀	162	7.2.5 背压回路	209
5.7 电液数字阀	163	7.2.6 卸荷回路	210
5.7.1 电液数字阀的工作原理与组成	164	7.2.7 平衡回路	210
5.7.2 数字阀的结构	164	7.3 速度控制回路	211
5.8 气动控制阀	165	7.3.1 节流调速回路	212
5.8.1 气动方向控制阀	166	7.3.2 容积调速回路	216
5.8.2 气动压力控制阀	170	7.3.3 容积节流调速回路	218
5.8.3 气动流量控制阀	173	7.3.4 快速运动回路	220
5.9 工程应用案例: 汽车防抱制动系统	173	7.3.5 速度换接回路	221
练习题	174	7.4 多缸动作回路	222
第 6 章 辅助元件	178	7.4.1 顺序动作回路	223
6.1 液压辅助元件	179	7.4.2 同步回路	225
6.1.1 蓄能器	179	7.4.3 多缸工作时互不干涉回路	228
6.1.2 过滤器	182	7.5 气动基本回路	229
6.1.3 油箱	185	7.5.1 方向控制回路	229
6.1.4 密封件	186	7.5.2 压力控制回路	229
6.1.5 管道及管接头	190	7.5.3 速度控制回路	230
6.1.6 热交换器	193	7.5.4 气-液联动控制回路	231
6.2 气动辅助元件	194	7.5.5 往复运动控制回路	232
6.2.1 消声器和排气洁净器	194	7.5.6 其他回路	233
6.2.2 传感器	195	7.6 工程应用案例: 气动移门	234
6.2.3 真空元件	196	练习题	237
6.2.4 其他辅件	198	第 8 章 典型液压与气压传动系统分析	239
6.3 工程应用案例: 油管的设计与流量开关	199	8.1 组合机床动力滑台液压传动系统分析	240
6.3.1 油管的设计计算	199	8.1.1 组合机床动力滑台液压传动系统及其工作原理	241
6.3.2 流量开关的应用实例	200	8.1.2 组合机床动力滑台液压传动系统的主要特点	243
练习题	201	8.2 压机液压传动系统分析	243
第 7 章 液压与气压传动基本回路	202	8.2.1 压机液压传动系统及其工作原理	243
7.1 方向控制回路	203	8.2.2 压机液压传动系统的主要特点	246
7.1.1 换向回路	203	8.3 塑料注塑成形机液压传动系统分析	246
7.1.2 锁紧回路	205	8.3.1 塑料注塑成形机液压传动系统及其工作原理	247
7.2 压力控制回路	206	8.3.2 塑料注塑成形机液压传动系统的主要特点	251
7.2.1 调压回路	206		
7.2.2 减压回路	207		
7.2.3 增压回路	207		
7.2.4 保压回路	208		

8.4 汽车起重机液压传动系统.....	251	9.4.1 仿真技术在液压系统的应用	283
8.4.1 汽车起重机液压传动系统及其 工作原理	253	9.4.2 基于 MATLAB 的液压系统 仿真技术研究与应用	284
8.4.2 汽车起重机液压传动系统的 主要特点	253	9.4.3 AMESim 仿真技术及其在 液压系统中的应用	286
8.5 电液比例和电液伺服系统.....	254	9.5 液压系统装配图的绘制	288
8.5.1 电液比例系统	254	9.5.1 液压装置的总体布局	288
8.5.2 电液伺服系统	255	9.5.2 液压阀的配置形式	288
8.6 气动系统应用与分析	257	9.5.3 集成块设计	288
8.6.1 液体自动定量灌装机动 系统	257	9.5.4 绘制正式液压系统装配图和 编写技术文件	289
8.6.2 气动张力控制系统	258	9.6 典型液压系统设计应用实例	289
8.6.3 气动机械手控制系统	260	9.6.1 塑料注射机液压系统的设计 要求及参数	289
8.7 工程应用案例:挖掘机的液压 系统	261	9.6.2 液压执行元件载荷力和载荷 转矩的计算	290
练习题	264	9.6.3 液压系统主要参数的计算	291
第 9 章 液压与气压传动系统设计.....	269	9.6.4 制订系统方案和拟定液压 系统图	292
9.1 液压系统的设计原则与策略	269	9.6.5 液压元件的选择	295
9.1.1 液压系统绿色设计原则	269	9.6.6 液压系统性能验算	296
9.1.2 液压系统绿色设计策略	270	9.7 气压传动控制系统的设计	299
9.2 液压系统的设计内容与步骤	272	9.7.1 X-D 线图法的设计步骤	300
9.2.1 明确对液压系统的设计要求	272	9.7.2 气动顺序控制回路设计举例	300
9.2.2 分析工况,确定液压系统的 主要参数	272	练习题.....	303
9.3 液压系统原理图的确定和液压 元件的计算选择	274	附录 A 液压与气动图形符号	304
9.3.1 液压系统原理图的确定	274	附录 B FluidSIM 仿真软件及其应用	311
9.3.2 液压元件的计算与选择	276	附录 C 主要变量及其中英文对照	315
9.3.3 液压系统的性能验算及 校核	280	练习题参考答案	316
9.4 液压系统仿真与性能分析	283	参考文献	318

第1章 绪 论

一部完整的机器由原动机、传动部分、控制部分和工作机构等组成。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。传动有多种类型，如机械传动、电力传动、液体传动、气压传动以及它们的组合——复合传动等。

以流体为工作介质进行传动的方式为流体传动，流体传动可分成液体传动和气体传动两种传动形式。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。前者是以液体的压力能进行工作的，也称容积式液压传动；后者是利用液体的动能进行工作的，称为液力传动。

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**，包括燃气和蒸汽。本书主要介绍以液体为介质的液压传动技术和以压缩空气为介质的气压传动技术。

如图 1-1 所示的液压压力机，是一台较完整而又典型的液压传动设备，在工程实际中，液压压力机是一种可用于加工金属、塑料、木材、皮革、橡胶等各种材料的压力加工机械，能完成锻压、冲压、折边、冷挤、校直、弯曲、成形、打包等多种工艺，用途十分广泛。电动机将输入的电能变成旋转的转矩，以机械能的方式输出，电动机带动液压泵将机械能转化为液体压力能，液压缸利用液体的压力能，带动模具实现各种规定的动作和工作循环，从而使压力机完成工程实际中所需加工工序。

小思考 1-1

能量可以相互转换，请你想想，液压压力机在完成需要的各种规定动作和工作循环时，进行了哪几次能量的转变？为什么？

本章知识要点

- (1) 掌握液压与气压传动系统的基本工作原理、系统组成及其表示和特点。
- (2) 了解液压与气压传动的应用与国内外技术发展概况。

兴趣实践

找两个柱塞面积不同的医用注射器，用塑料导管将其组成连通器进行力传递的实验，观察力、位移与柱塞面积之间的关系。

探索思考

传动方式有很多，什么情况选择液压传动？什么情况选择气压传动？各有什么优势？

预习准备

- (1) 预习物理学中的帕斯卡原理，理解“系统压力取决于外负载，外负载的运动速度取决于流量”这两个重要特征。
- (2) 理解千斤顶的工作原理。

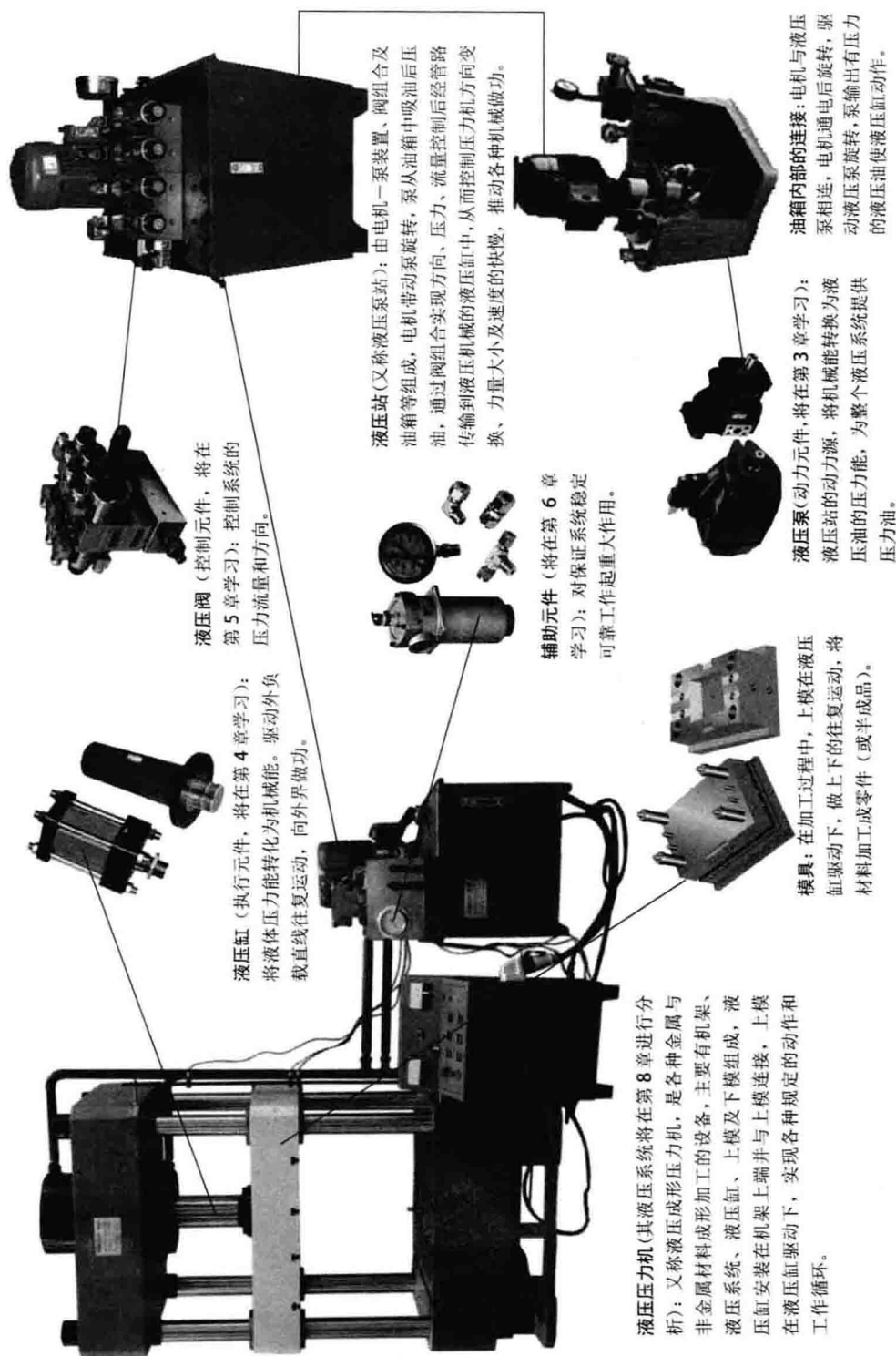


图 1-1 液压压力机

1.1 液压与气压传动的工作原理

液压系统以液体作为工作介质，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，而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、元件的工作机理以及回路的构成等诸方面是极为相似的。从原理上讲，将液压传动系统中的工作介质换为气体，液压传动系统则变为气压传动系统。但是由于这两种传动系统的工作介质及其特性有很大区别，所以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的元器件的结构原理相似，但很多元件不能互换。

1.1.1 液压传动系统的基本工作原理

液压传动与控制是以液体作为介质实现各种机械量的输出（力、位移或速度）。其过程是利用各种元件组成的、具有各种功能的基本控制回路，再通过各种执行元件组成的传动系统来实现各种运动及控制功能。液压传动的应用极为普遍，如一个体积很小的液压千斤顶能把几吨重的汽车顶起，万吨压力机能产生上万吨的压力。其工作原理都是利用密闭容器中油液的压力来传递能量。

现以液压千斤顶为例（图 1-2），简述液压传动的工作原理。图 1-2（b）所示为液压千斤顶的工作原理，它由杠杆 1、泵体 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成的手动液压泵和大活塞 8、缸体 9 等组成的举升液压缸构成。其工作过程如下：提起杠杆 1，小活塞 3 上升，泵体 2 下腔的工作容积增大，形成局部真空，油箱 12 中的油液在大气压力的作用下，推开单向阀 4 进入泵体 2 的下腔（此时单向阀 7 关闭）；当压下杠杆 1 时，小活塞 3 下降，泵体 2 下腔的容积缩小，油液的压力升高，打开单向阀 7（单向阀 4 关闭），泵体 2 下腔的油液进入缸体 9 的下腔（此时截止阀 11 关闭），使大活塞 8 向上运动，把重物顶起。反复提压杠杆 1，就可以使重物不断上升，达到起重的目的。当工作完毕，打开截止阀 11，使缸体 9 下腔的油液通过管路 10 直接流回油箱，大活塞 8 在外力和自重的作用下实现回程。

图 1-2（b）所示的系统不能调节重物上升速度，也没有设置防止系统压力过高的功能，但从这简单的系统，可以得出有关液压与气压传动的一些重要概念。

设小活塞 3 和大活塞 8 的面积分别为 A_1 和 A_2 ，当作用在大活塞 8 上的负载和作用在小活塞 3 上的作用力为 G 和 F_1 时，依帕斯卡原理，大、小活塞下腔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 ）忽略活塞运动时的摩擦阻力，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，系统压力 p 的大小由负载的大小决定，这是第一个非常重要的概念。式（1-2）说明当面积 A_2 远远大于 A_1 时，作用在小活塞上一个很小的力 F_1 ，便可以在大活塞上产



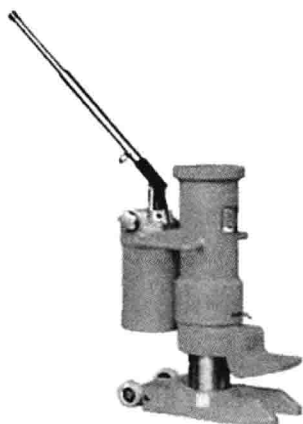
案例 1-1

当汽车在野外行驶时，有时会遇到轮胎漏气，此时最好的方法是立即更换轮胎。在更换轮胎时，需要用到千斤顶。

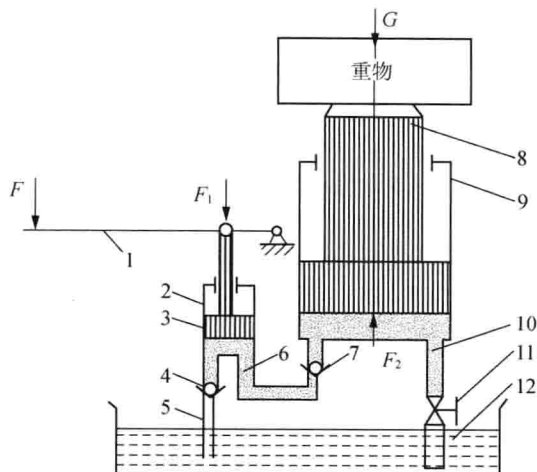
问题：

1. 你会使用千斤顶将汽车抬起吗？

2. 千斤顶是如何将你手所施加的力放大到能将汽车抬起的？



(a) 液压千斤顶外形



(b) 液压千斤顶工作原理

图 1-2 液压千斤顶

1-杠杆; 2-泵体; 3-小活塞; 4、7-单向阀; 5-吸油管;

6、10-管路; 8-大活塞; 9-缸体; 11-截止阀; 12-油箱

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。

若设大、小活塞移动的速度分别为 v_2 和 v_1 , 在不考虑泄漏情况下稳态工作时, 有

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

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) 说明, 大缸活塞运动的速度 v_2 , 在缸体的结构尺寸一定时, 取决于输入的流量。这是第二个非常重要的概念。

使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, 液压压力 p 的单位为 Pa; 流量 q 的单位为 m^3/s ; 功率 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, 称为液压功率。

上述例子说明, 手按动杠杆使小活塞所作的机械能变成了小油缸排出流体的压力能, 而进入大油缸的液体压力能通过大活塞转变为驱动负载所需的机械能。所以, 在液压与气动系统中, 要发生两次能量的转变。

案例 1-1 分析

为了将汽车抬起, 首先, 千斤顶的杠杆将手上的力进行了第一级放大, 然后两个油缸面积之比 (大面积比小面积) 将手上的力进行了第二级放大。

小思考 1-2

在图 1-2 所示的千斤顶油缸中, 是否压力越大, 重物上升的速度就越快? 为什么?

图 1-3 所示为一台用半结构式图形绘出的驱动磨床工作台的液压传动系统。这个系统可使工作机构作直线往复运动, 并能克服各种阻力和调节工作机构的运动速度, 通过它可以进一步了解液压传动系统的工作原理。在图 1-3 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, 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, 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和回油管 14 排回油箱。

如果将换向阀手柄 16 转换成如图 1-3 (b) 所示的状态, 则压力管 10 中的油液将经过开停(换向)阀、节流阀和换向阀进入液压缸的右腔, 推动活塞和工作台向左移动, 并使液压缸左腔的油液经换向阀和回油管 14 排回油箱。

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

为了克服移动工作台所受到的各种阻力, 液压缸必须产生一个足够大的推力, 这个推力是由液压缸中的油液压力产生的。要克服的阻力越大, 液压缸中的油压越高; 反之压力就越低。液压泵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流回油箱。所以, 在图示液压系统中, 液压泵出口处的油液压力是由溢流阀决定的, 它和液压缸中的压力不一样大。

如果将换向阀手柄转换成图 1-3 (c) 所示的状态, 压力管中的油液将经溢流阀和回油管 3 排回油箱, 不输到液压缸中去, 这时工作台停止运动, 而系统保持溢流阀调定的压力。

如果将开停阀手柄 11 转换成图 1-3 (d) 所示的状态, 压力管中的油液将经开停(换向)阀和回油管 12 排回油箱, 不输到液压缸中去, 这时工作台就停止运动, 而液压泵输出的油液直接流回油箱, 使液压系统卸荷。

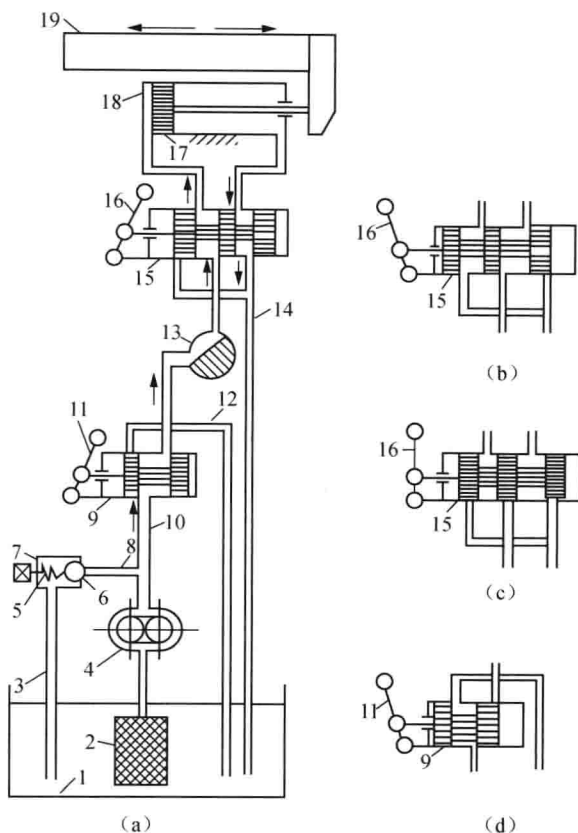


图 1-3 磨床工作台液压系统结构原理

- 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

1.1.2 气压传动系统的基本工作原理

以气动剪料机(图 1-4)为例介绍气压传动系统的基本工作原理。

在图 1-4 的气动剪料机系统中, 当工料 11 送入剪料机并达到预定位置时, 行程阀 8 的阀芯被向右推移, 这样换向阀 9 的控制腔 A 就与压力气体接通, 阀芯压缩弹簧上移, 由空气压缩机 1 产生经净化储存在储气罐 4 中的压缩空气, 经分水滤气器 5、减压阀 6、油雾器 7、换向阀 9 进入气缸 10 下腔, 推动气缸和活塞向上运动并使气缸 10 上腔的气体经换向阀 9 排入大气, 气缸活塞带动剪刀将工料 11 剪断并随之松开行程阀 8 的阀芯使之复位, 换向阀 9 的 A 腔排气, 主阀芯在弹簧作用下向下移动, 将排气通道隔断, 而进气通道接通。压缩空气进入气缸 10 上腔, 气缸活塞向下运动并使气缸下腔排气。活塞的向下运动带动剪刀复位, 准备第二次下料。

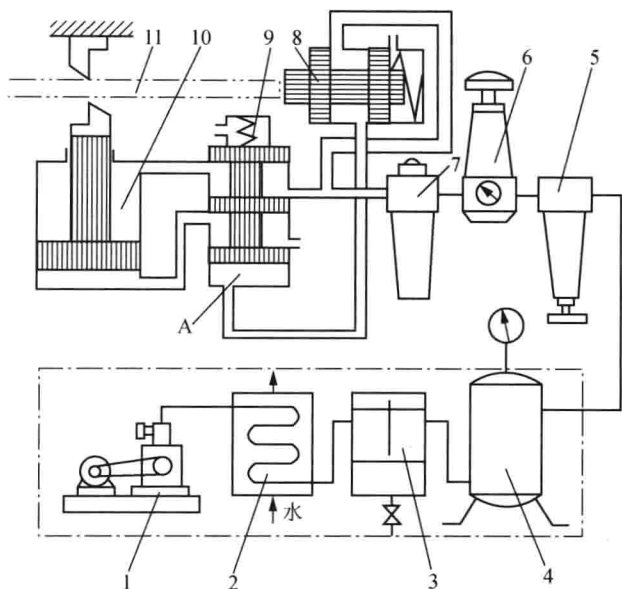


图 1-4 气动剪料机系统

1-压缩机；2-冷却器；3-油水分离器；4-储气罐；5-分水滤气器；
6-减压阀；7-油雾器；8-行程阀；9-换向阀；10-气缸；11-工料

由上例可知，气动系统也是一种能量转换与传送系统。但和液压系统相比，由于所用的工作介质气体的可压缩性，使之在工作原理和装置构成上有别于前者。在工作原理方面，气缸活塞的速度并不只和进入气缸的压缩空气流量有关，而至少还和其膨胀过程有关。活塞的速度也不如液压传动那样平稳。因此，在考虑气缸工作过程中的压缩空气流量和压力的时候，往往运用平均的概念代替液压传动中的稳态值概念（平均压缩空气耗量 q (m^3/s)，平均气缸工作压力 p (MPa)。气压传动严格说也不是一种简单的静压传动。

从液压传动系统和气压传动系统的例子可以看出：

(1) 液压与气压传动是分别以液体和气体作为工作介质来进行能量传递和转换的；

(2) 液压与气压传动是分别以液体和气体的压力能来传递动力和运动的；

(3) 液压与气压传动中的工作介质是在受控制、受调节的状态下进行工作的。

1.2 液压与气压传动系统的组成和表示方法

1.2.1 液压与气压传动系统的组成

尽管液压传动系统和气压传动系统的各自特点不尽相同，但其组成形式类似，下面简述它们的组成。从上述的液压和气压传动系统的工作原理图可以看出，液压与气压传动系统大体上由以下四部分组成。

(1) 动力装置：动力装置是指能将原动机的机械能转换成液体压力能或气体压力能的装置，它是液压与气压传动系统的动力源。对液压传动系统来说是液压泵，其作用是为液压传动系统提供压力油；对气压传动系统来说是气压发生装置，也称为气源装置，其作用是为气压传动系统提供压缩空气。

(2) 控制调节装置：它包括各种阀类元件，其作用是控制工作介质的流动方向、压力和流量，以保证执行元件和工作机构按要求工作。

(3) 执行元件：执行元件指油缸、气缸或液压马达、气动马达，是将压力能转换为机械能的装置，其作用是在工作介质的作用下输出力和速度（或转矩和转速），以驱动工作机构做功。

(4) 辅助装置：除以上装置以外的其他元器件都称为辅助装置，如油箱、过滤器、蓄能器、冷却器、分水滤气器、油雾器、消声器、管件、管接头以及各种信号转换器等。它们是一些对完成主运动起辅助作用的元件，在系统中也是必不可少的，对保证系统正常工作有着重要的作用。

工作介质指传动液体或传动气体，在液压传动系统中通常称为液压油液，在气压传动系

统中通常指压缩空气。

液压与气压传动系统在工作过程中的能量转换和传递情况如图 1-5 所示。

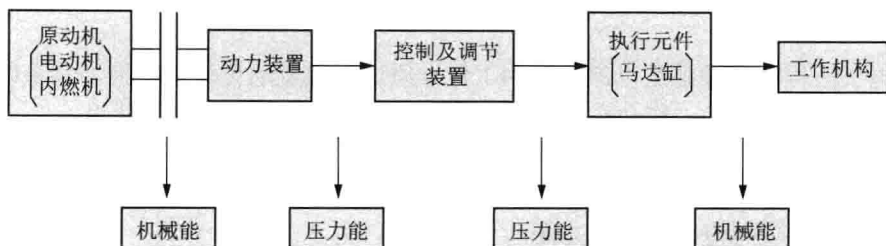


图 1-5 液压与气压传动系统能量转换和传递

1.2.2 液压与气压传动系统的表示方法

在图 1-2 所示的液压千斤顶和图 1-4 所示气动剪料机系统中，各个元件是用半结构式图形绘制出来的，用半结构式图形绘制原理图时直观性强，容易理解，但绘制起来比较麻烦，特别是系统中的元件数量比较多时更是如此。所以，在工程实际中，除某些特殊情况外，一般都是用简单的图形符号来绘制液压与气压传动系统原理图。我国已制定了“液压与气动”图形符号标准 GB/T 786.1—2009。标准中各元件的图形符号不表示其具体的结构及参数，只表示元件的职能、操作（控制）方法及外部连接。用标准符号绘制的液压系统图表明组成系统的元件、元件间的相互关系及整个系统的工作原理，并不表示其实际安装位置及布管。在 GB/T 786.1—2009 的标准中，用粗实线表示主流路，虚线表示控制流路和泄漏流路；使用这些图形符号可使系统图简单明了，便于绘制。当有些特殊或专用的元件无法用标准图形表达时，仍可使用半结构示意形式。

图 1-6 为按照国家标准 GB/T 786.1—2009 规定绘制的与图 1-3 相对应的磨床工作台液压系统原理图。图 1-7 为按照国家标准 GB/T 786.1—2009 规定绘制的与图 1-4 相对应的气动剪料机系统原理图。

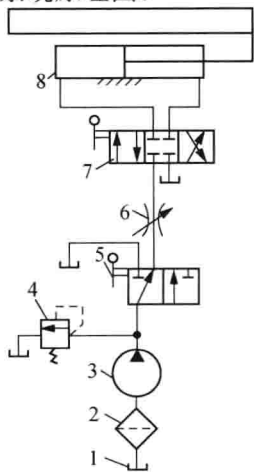


图 1-6 磨床工作台液压系统原理图

- 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

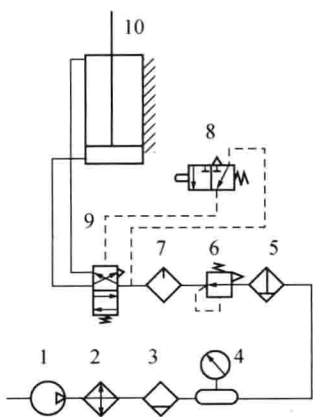


图 1-7 气动剪料机系统原理图

- 1-压缩机；2-冷却器；3-油水分离器；
4-储气罐；5-分水滤气器；6-减压阀；
7-油雾器；8-行程阀；9-换向阀；10-气缸

小思考 1-3

在图 1-7 所示的气动剪料机系统中，用实线所画的气路表示什么气路？用虚线所画的气路表示什么气路？