



普通高等教育新工科创新系列教材
“十三五”江苏省高等学校重点教材

新形态教材

液压与气压传动

(第二版)

盛小明 张 洪 秦永法 主编

动画模型演示

微课视频讲解

精美双色印刷



科学出版社

第二版前言

普通高等教育新工科创新系列教材

“十三五”江苏省高等学校重点教材

液压与气压传动 (第二版)

主 编 盛小明 张 洪 秦永法

副主编 刘 忠 胡增荣 张兴国

编 委 孙 明 刘鑫培 孙



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及设计应用实例;在附录中介绍 GB/T 786.1—2009 中规定的常用液压与气动元件图形符号,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、机械电子工程等专业的相应教材,也可供从事液压与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,张洪,秦永法主编. —2版. —北京:科学出版社, 2018.3

普通高等教育新工科创新系列教材·“十三五”江苏省高等学校重点教材
ISBN 978-7-03-056543-3

I. ①液… II. ①盛… ②张… ③秦… 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 (2018) 第 025794 号

责任编辑: 邓 静 张丽花 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 霍 兵 / 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>

新科印刷有限公司印刷

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

2018年3月第 二 版 印张: 19

2018年3月第五次印刷 字数: 486 000

定价: 49.00 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

第二版前言

本书第一版 2014 年出版,经过这几年的教学实践,结合新工科指导思想,听取了教师和读者的意见,为更好满足教学需要,此次修订基本维持第一版的总体体系。另外,信息时代改变了人们获得信息的方式,读者希望通过互联网平台的各种通道获取课程更多的信息。因此,为更好满足教学及信息化的需要,对本书进行改版。在保持本书主要内容、体系和叙述风格的基础上,在以下几个方面进行了修订:

- (1) 部分章节在内容的叙述上进行了充实和调整,重绘了部分图形,使其更清晰准确。
 - (2) 完善工程应用案例,使教材理论与工程问题结合更加紧密,建立工程教育理念,加强与实际工程的联系,教材内容更加充实和全面,更加体现新工科教学范式的特点。
 - (3) 对部分内容进行了必要的增删和修改,精炼了文字叙述,统一了名称,力求达到严谨准确。
 - (4) 本书利用现代教育技术和互联网信息技术,将部分难以理解的结构知识和重点、难点知识制作成动画仿真、微课视频等,通过二维码技术实现教学互动,帮助读者建立直观概念。
 - (5) 可为选用本书作为教材的教师提供精美授课课件(可通过微信公众号“科学出版社 EDU”申请使用)。
 - (6) 本书在互联网“中科云教育”平台(www.coursegate.cn)有专为本书录制的精美在线课程,同时,在手机端的“中科云教育”APP 中也有配套在线课程,以提升用户体验,便于读者立体化、随时随地使用本书的各种数字化资源。
- 本书为“十三五”江苏省高等学校重点教材(修订版),本书虽经修订再版,但由于编者水平有限,书中的不足之处仍在所难免,敬请读者批评指正。
- 特别感谢科学出版社给予的热情鼓励与支持,以及责任编辑为顺利出版而付出的心血。

作者

2018 年 1 月

第一版前言

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(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、张洪和秦永法担任主编,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,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

第1章 绪论	1	2.5 孔口及缝隙的压力流量特性	30
1.1 液压与气压传动的工作原理	3	2.5.1 孔口的压力流量特性	30
1.1.1 液压传动系统的基本工作原理	3	2.5.2 缝隙的压力流量特性	31
1.1.2 气压传动系统的基本工作原理	5	2.6 液压冲击与空穴现象	33
1.2 液压与气压传动系统的组成和表示方法	6	2.6.1 液压冲击	33
1.3 液压与气压传动的特点	7	2.6.2 空穴现象	34
1.4 液压与气压传动技术的应用与发展	8	2.7 气体动力学	34
1.5 工程应用案例：自卸车车厢举倾机构	10	2.7.1 气体状态方程	34
练习题	11	2.7.2 气体流动的基本方程	36
第2章 流体力学基础	12	2.7.3 声速与马赫数	36
2.1 液压与气压传动的工作介质	13	2.7.4 气体管道的阻力计算	37
2.1.1 液压传动的工作介质	13	2.7.5 气体的通流能力	38
2.1.2 液压油的污染与控制	16	2.7.6 充、放气现象的基本方程	38
2.1.3 气压传动的工作介质	17	2.8 工程应用案例：液压减振器的工作原理	40
2.2 液体静力学	19	练习题	42
2.2.1 液体的静压力及其特性	19	第3章 液压与气压传动动力元件	44
2.2.2 静止液体中的压力分布	20	3.1 液压泵概述	45
2.2.3 静止液体内压力的传递——帕斯卡定律	20	3.1.1 液压泵的基本工作原理及分类	45
2.2.4 静止液体作用在固体表面上的力	21	3.1.2 液压泵的性能参数及计算公式	46
2.3 流体动力学	22	3.2 齿轮泵	48
2.3.1 流动液体的基本概念	22	3.2.1 外啮合齿轮泵的工作原理	48
2.3.2 流动液体的质量守恒方程——连续性方程	24	3.2.2 外啮合齿轮泵的排量和流量	48
2.3.3 流动液体的能量方程——伯努利方程	24	3.2.3 外啮合齿轮泵的结构特点	49
2.3.4 流动液体的动量方程	26	3.2.4 内啮合齿轮泵	50
2.4 液体流动时的压力损失	27	3.2.5 螺杆泵	51
2.4.1 沿程压力损失	28	3.3 叶片泵	52
2.4.2 局部压力损失	29	3.3.1 单作用叶片泵	52
2.4.3 管路系统的总压力损失	29	3.3.2 限压式变量叶片泵	54
		3.3.3 双作用叶片泵	56
		3.4 柱塞泵	60
		3.4.1 斜盘式轴向柱塞泵	60
		3.4.2 斜轴式轴向柱塞泵	66
		3.4.3 径向柱塞泵	67

3.5 各类液压泵的性能及应用	68	5.2 液压方向控制阀	113
3.5.1 液压泵的选用	68	5.2.1 单向阀	113
3.5.2 液压泵所需电动机功率计算	70	5.2.2 换向阀	114
3.6 气源装置	70	5.3 压力控制阀	122
3.6.1 气源装置的组成及工作原理	70	5.3.1 溢流阀	122
3.6.2 空气压缩机	71	5.3.2 减压阀	127
3.7 气源净化设备	72	5.3.3 顺序阀	129
3.7.1 后冷却器	72	5.3.4 压力继电器	131
3.7.2 油水分离器	72	5.4 流量控制阀	132
3.7.3 储气罐	72	5.4.1 流量控制原理	132
3.7.4 干燥器	73	5.4.2 节流阀	133
3.7.5 过滤器	74	5.4.3 调速阀	134
3.7.6 气动三大件	74	5.4.4 温度补偿调速阀	136
3.8 工程应用案例: 船舱水密门		5.4.5 分流集流阀	136
液压系统	77	5.5 插装阀和叠加阀	138
练习题	78	5.5.1 插装阀	138
第4章 液压与气压传动执行元件	80	5.5.2 叠加阀	142
4.1 液压马达	81	5.6 比例控制阀和伺服控制阀	143
4.1.1 液压马达的特点、分类及性能		5.6.1 比例控制阀	143
参数	81	5.6.2 伺服控制阀	147
4.1.2 高速液压马达	83	5.7 电液数字控制阀	149
4.1.3 低速大转矩液压马达	85	5.7.1 增量式数字阀	149
4.2 气动马达	87	5.7.2 高速开关型数字阀	150
4.2.1 气动马达的分类及特点	87	5.8 气动控制阀	151
4.2.2 常用气动马达	88	5.8.1 气动方向控制阀	151
4.3 液压缸	88	5.8.2 气动压力控制阀	155
4.3.1 液压缸的类型和特点	89	5.8.3 气动流量控制阀	157
4.3.2 液压缸的结构	93	5.9 工程应用案例: 汽车防抱	
4.3.3 液压缸的设计计算	97	制动系统	158
4.3.4 模拟控制液压缸和数字控制		练习题	159
液压缸	100	第6章 辅助元件	162
4.4 气缸	102	6.1 液压辅助元件	163
4.4.1 普通气缸	102	6.1.1 蓄能器	163
4.4.2 特殊气缸	103	6.1.2 过滤器	166
4.5 工程应用案例: 码头移动式		6.1.3 油箱	169
登船梯	105	6.1.4 密封件	171
练习题	107	6.1.5 管道及管接头	174
第5章 液压控制阀与气动控制阀	110	6.1.6 热交换器	177
5.1 液压控制阀概述	111	6.2 气动辅助元件	178
5.1.1 液压阀简介	111	6.2.1 消声器和排气洁净器	178
5.1.2 液压阀的分类	111		

6.2.2 传感器	179
6.2.3 真空元件	181
6.3 工程应用案例：油管的设计与 流量开关	183
6.3.1 油管的设计计算	183
6.3.2 流量开关的应用实例	183
练习题	185
第7章 液压与气压传动基本回路	186
7.1 方向控制回路	187
7.1.1 换向回路	187
7.1.2 锁紧回路	189
7.2 压力控制回路	190
7.2.1 调压回路	190
7.2.2 减压回路	190
7.2.3 增压回路	191
7.2.4 保压回路	191
7.2.5 背压回路	193
7.2.6 卸荷回路	193
7.2.7 平衡回路	194
7.3 速度控制回路	195
7.3.1 节流调速回路	195
7.3.2 容积调速回路	199
7.3.3 容积节流调速回路	202
7.3.4 快速运动回路	203
7.3.5 速度换接回路	204
7.4 多缸动作回路	206
7.4.1 顺序动作回路	206
7.4.2 同步回路	208
7.4.3 多缸工作时互不干涉回路	211
7.5 气动基本回路	212
7.5.1 方向控制回路	212
7.5.2 压力控制回路	212
7.5.3 速度控制回路	213
7.5.4 气-液联动控制回路	214
7.5.5 往复运动控制回路	215
7.5.6 其他回路	216
7.6 工程应用案例：气动移门	217
练习题	220

第8章 典型液压与气压传动系 统分析	222
8.1 组合机床动力滑台液压传动 系统分析	223
8.1.1 组合机床动力滑台液压传动系统 工作原理	224
8.1.2 组合机床动力滑台液压传动系统 主要特点	226
8.2 液压机液压传动系统分析	226
8.2.1 液压机液压传动系统工作原理	226
8.2.2 液压机液压传动系统主要特点	229
8.3 塑料注塑成形机液压传动系统 分析	229
8.3.1 塑料注塑成形机液压传动系统 工作原理	230
8.3.2 塑料注塑成形机液压传动系统 主要特点	234
8.4 电液伺服控制系统	234
8.5 气动系统应用与分析	236
8.5.1 液体自动定量灌装机气动系统	236
8.5.2 气动张力控制系统	238
8.5.3 气动机械手控制系统	239
8.6 工程应用案例：挖掘机的液压 系统	241
练习题	243
第9章 液压与气压传动系统设计	248
9.1 液压系统的设计原则与策略	248
9.1.1 液压系统绿色设计原则	248
9.1.2 液压系统绿色设计策略	249
9.2 液压系统的设计内容与步骤	250
9.2.1 明确设计要求	250
9.2.2 分析工况并确定主要参数	250
9.2.3 液压系统原理图的确定	252
9.2.4 液压元件的计算与选择	254
9.2.5 液压系统的性能验算及校核	258
9.3 液压系统仿真与性能分析	261
9.3.1 仿真技术在液压系统中的应用	261

9.3.2 基于 MATLAB 的液压系统仿真	262	9.5.5 液压元件的选择	273
技术研究与应用	262	9.5.6 液压系统性能验算	274
9.3.3 AMESim 仿真技术及其在液压		9.6 气压传动控制系统的设计	277
系统中的应用	264	9.6.1 X-D 线图法的设计步骤	278
9.4 液压系统装配图的绘制	266	9.6.2 气动顺序控制回路设计举例	278
9.5 典型液压系统设计应用实例	267	练习题	281
9.5.1 塑料注射机液压系统的设计		附录 A 液压与气动图形符号	282
要求及参数	267	附录 B FluidSIM 仿真软件及其应用	289
9.5.2 液压执行元件载荷力和载荷		附录 C 主要变量及其中英文对照	293
转矩的计算	268	部分练习题参考答案	294
9.5.3 液压系统主要参数的计算	269	参考文献	296
9.5.4 制订系统方案和拟定液压			
系统图	270		

第1章

绪论



微课

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，可分成液体传动和气体传动两种传动形式。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，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、成形、打包等多种工艺，用途十分广泛。电动机将输入的电变成旋转的转矩，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，请思考，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换？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

传动形式有很多，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定律，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。



动画



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。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使用。

1.1.1 液压传动系统的基本工作原理

液压传动是以液体作为介质实现各种机械量的输出（力、位移或速度）。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。当工作完毕时，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。



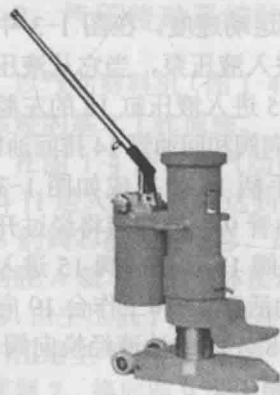
案例 1-1

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。

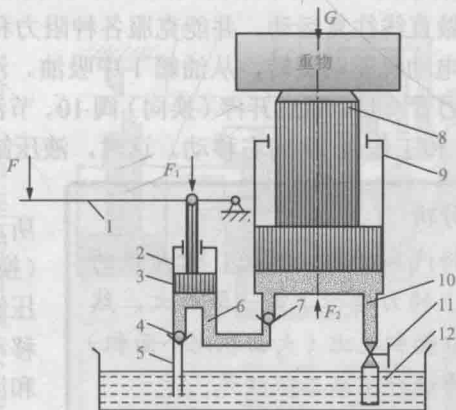
问题：

（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

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

图 1-2 液压千斤顶

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



微课



动画

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

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

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, 系统工作压力 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

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

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

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

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

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做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。

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做直线往复运动, 并能克服各种阻力和调节工作机构的运动速度。在图 1-3 中, 液压泵 3 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 9 后, 通过开停 (换向) 阀 10、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。

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。

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 9 中的油液将经过开停 (换向) 阀 10、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 13。

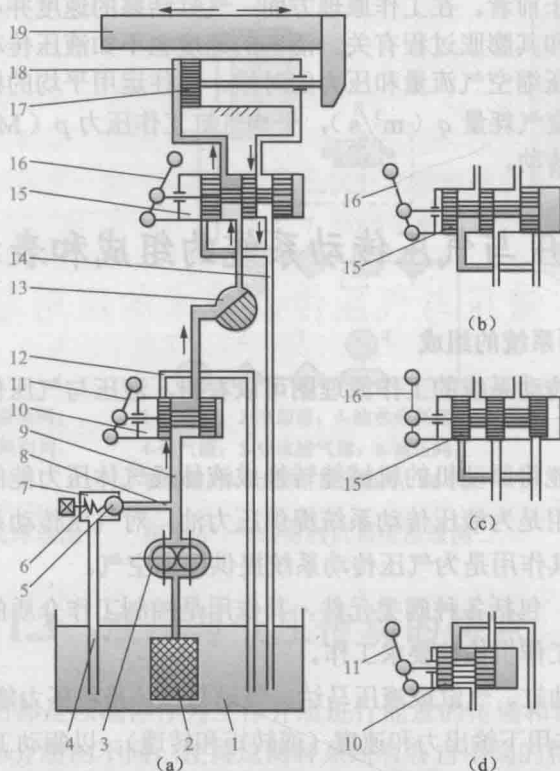
工作台移动速度由节流阀 13 调节。当节流阀口开大时, 进入液压缸的油液增多, 工作台移动速度增大; 当节流阀口关小时, 进入液压缸油液减少, 工作台移动速度减小。

液压泵输出的多余油液经溢流阀 7 和回油管 4 排回油箱。

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 4 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。



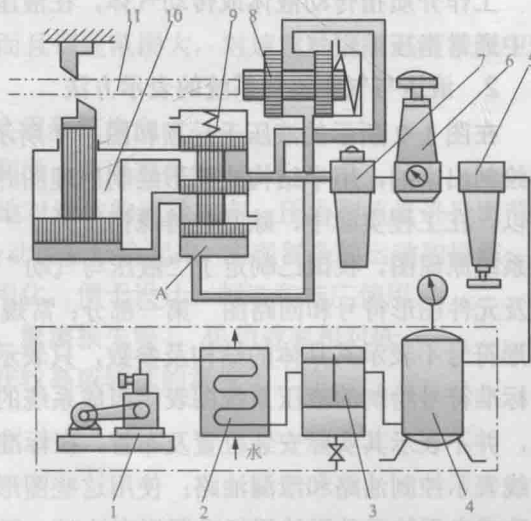
1-油箱；2-过滤器；3-液压泵；4、12、14-回油管；5-钢球；6-弹簧；7-溢流阀；8-压力支管；9-压力管；10-开停（换向）阀；11-开停阀手柄；13-节流阀；15-换向阀；16-换向阀手柄；17-活塞；18-液压缸；19-工作台

图 1-3 磨床工作台液压系统结构原理

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 所示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，这时，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，由空压机 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



1-空压机；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

图 1-4 气动剪料机系统

下运动带动剪刀复位, 准备第二次下料。

由上例可知, 气动系统和液压系统相比, 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, 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。

1.2 液压与气压传动系统的组成和表示方法

1. 液压与气压传动系统的组成

从上节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: 指能将原动机的机械能转换成液体或气体压力能的装置。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: 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: 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。

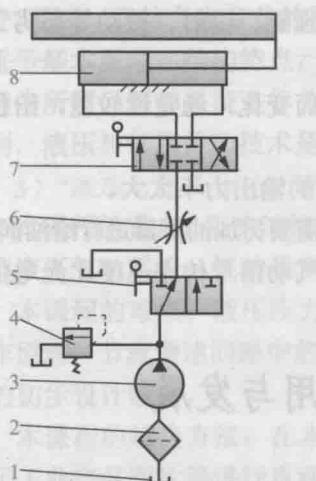
(4) 辅助装置: 除以上装置以外的其他元器件都称为辅助装置, 如油箱、过滤器、蓄能器、冷却器、分水滤气器、油雾器、消声器、管件、管接头以及各种信号转换器等。它们是一些对完成主运动起辅助作用的元件, 在系统中也是必不可少的, 对保证系统正常工作有着重要的作用。

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。

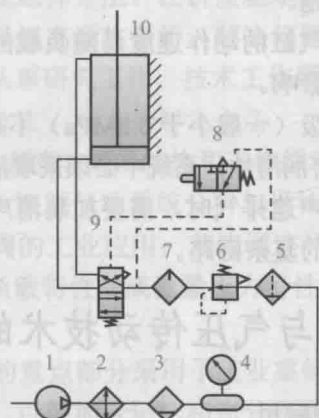
2. 液压与气压传动系统的表示方法

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。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《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第一部分: 常规用途和数据处理图形符号》。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。在标准 GB/T 786.1—2009 中, 用粗实线表示主油路, 虚线表示控制油路和泄漏油路; 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 1-5 为图 1-3 相对应的磨床工作台液压系统原理图。图 1-6 为图 1-4 相对应的气动剪料机系统原理图。



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



1-空压机; 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 1-2

在图 1-6 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?

图 1-5 磨床工作台液压系统原理图

图 1-6 气动剪料机系统原理图

1.3 液压与气压传动的特点

液压与气压传动虽然都是以流体作为工作介质进行能量的传递和转换, 其系统的组成基本相同, 但所使用的工作介质的不同, 使得这两种系统有各自不同的特点。

1. 液压传动的特点

液压传动的主要特点有以下几方面:

(1) 与电动机相比, 在同等体积下, 液压装置能产生更大的动力, 即它具有大的功率密度或力密度, 力密度在这里指工作压力。

(2) 液压装置容易做到对速度的无级调节, 而且调速范围大, 对速度的调节还可以在工作过程中进行。

(3) 液压装置工作平稳, 换向冲击小, 便于实现频繁换向。

(4) 液压装置易于实现过载保护, 能实现自润滑, 使用寿命长。

(5) 液压装置易于实现自动化, 可以很方便地对液体的流动方向、压力和流量进行调节和控制, 并能很容易地和电气、电子控制或气压传动控制结合起来, 实现复杂的运动和操作。

(6) 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化, 便于设计、制造和推广使用。

(7) 液压传动有较多的能量损失(泄漏损失、摩擦损失等), 传动效率相对低。

(8) 液压传动对油温的变化比较敏感, 不宜在较高或较低的温度下工作。

(9) 液压传动在出现故障时不易诊断。

2. 气压传动的特点

气压传动的主要特点有以下几个方面:

(1) 以空气为介质, 容易取得, 用后排到大气中, 处理方便。

(2) 因空气的黏度很小, 故流动中的损失小, 便于集中供气(空压站)、远距离输送。

(3) 启动动作迅速, 工作介质与设备维护简单, 成本低。

(4) 工作环境适应性好, 特别是在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射、振动等恶劣工作环境中, 比液压、电气控制优越。

(5) 由于空气压缩性大, 气缸的动作速度易随负载的变化而变化, 稳定性较差, 给位置控制和速度控制精度带来较大影响。

(6) 目前气动系统的压力级 (一般小于 0.8MPa) 不高, 总的输出力不太大。

(7) 工作介质——空气没有润滑性, 系统中必须采取措施, 需要另加油雾器进行给油润滑。

(8) 噪声大, 尤其是在超声速排气时, 需要加装消声器。气动信号传递速度比光电信号慢, 故不宜用于高速传递信号的复杂回路。

1.4 液压与气压传动技术的应用与发展

1. 液压与气压传动技术的应用

液压、气压传动系统由于其明显、独特的优点, 在许多经济领域与工业部门均得到了广泛的应用。

在机械制造业的很多设备、机械加工生产线、自动线等都采用或部分采用液压传动作为驱动和控制系统。

在汽车工业和工程交通运输业中, 有液压动力转向、各类自卸汽车、消防车、越野车、气垫船等。工程机械中的推土机、铲运机、挖掘机、活动桥梁启闭机等也采用液压传动作为驱动和控制系统。

气压传动的应用也相当普遍, 许多机器设备中都装有气压传动系统, 在工业各领域, 如机械、电子、钢铁、运输车辆、包装、印刷领域等, 气压传动技术已成为其基本组成部分。在尖端技术领域 (如核工业和宇航) 中, 气压传动技术也占据着重要的地位。

2. 液压与气压传动技术的发展

目前, 液压传动及控制技术不仅用于传统的机械操纵、助力装置, 也用于机械的模拟加工、转速控制、发动机燃料进给控制, 以及车辆动力转向、主动悬挂装置和制动系统, 同时扩展到航空航天和海洋作业等领域。自 20 世纪 80 年代以来, 气压传动发展十分迅速, 目前气压传动元件的发展速度已超过了液压元件, 气压传动已成为一个独立的专门技术领域。

我国的液压、气动技术也经历着一个起始、成熟与发展的过程, 但从总体上来说还落后于世界先进水平, 国产元件以至整机在性能、可靠性、使用寿命和制造技术等方面也存在着不少问题。这和我国的国民经济与科学技术的总体水平、生产管理水平和人员的素质都有着密切的关系。因此, 应加速对世界先进技术和产品的有计划引进和消化、吸收, 加速人才素质的培养和整个科学事业的发展, 规范日常的生产管理和技术监督, 才能使我国的科学技术在上述领域赶上世界先进水平。

3. “液压与气压传动”课程学习中需要注意的问题和知识点

1) “液压与气压传动”课程与其他课程的关系

本课程属于专业基础课, 先修课程有高等数学、机械制图、机械原理、机械设计基础、机械制造基础、电子技术等; 与本课程有关的后续课主要有机床、机械制造工艺及工艺装备、机器人、生产自动化、机床电器、机电一体化等。

2) “液压与气压传动”课程的教学内容

本课程主要内容包括四部分: 基础理论部分、元件部分、回路与系统部分、设计与计算