



上海出版资金项目
Shanghai Publishing Funds



创新应用型数字交互规划教材
机械工程

HYDRAULIC AND
PNEUMATIC TECHNOLOGY

液压与气动技术

孟 焯 · 主编



上海科学技术出版社

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位



创新应用型数字交互规划教材
机械工程

液压与气动技术

孟 焯 · 主编



上海科学技术出版社

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

内 容 提 要

本书共 13 章,内容包括:绪论、液压油与液压流体力学基础、液压泵、液压执行元件、液压控制阀、液压系统的辅助装置、液压基本回路、典型液压系统与设计计算、液压系统故障分析与诊断、气动工作介质与气体力学基础、气源装置与气动元件、气动基本回路与气动系统设计、典型气动系统模拟实验。全书以讲解液压传动技术为主,兼顾部分气动技术知识。特别是第 9 章“液压系统故障分析与诊断”和第 13 章“典型气动系统模拟实验”,在很多教材里未涉及,使液压与气动技术的应用更完整、工程性更强。本书还依托增强现实(AR)技术,将视频等数字资源与纸质教材交互,为读者和用户带来更丰富有效的阅读体验。为了方便教学,在出版社网站(www.sstp.cn)“课件/配套资源”栏目免费提供课件、部分练习题的答案和提示等电子教学资源,供教师用户参考。

本书可作为高等院校机械类本科生、硕士研究生教材,也可供机械工程领域工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术 / 孟焯主编. —上海:上海科学技术出版社,2019.1

创新应用型数字交互规划教材. 机械工程

ISBN 978 - 7 - 5478 - 4241 - 6

I. ①液… II. ①孟… 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 249753 号

液压与气动技术

孟 焯 主 编

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

常熟兴达印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 19.75

字数: 480 千字

2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 4241 - 6/TH · 77

定价: 69.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

编审委员会

主任 李郝林 陈关龙

副主任 钱 炜

委员 (以姓氏笔画为序)

王小静 李峥嵘 张慧敏 陈 浩

陈军华 徐 洋 惠 虎

顾问 曹自强

编写委员会

(以姓氏笔画为序)

丁晓红 马淑梅 王岩松 朱文峰

任 彬 李 晏 李郝林 李蓓智

吴 清 张东民 张而耕 孟 焯

荆学东 黄迪山

支持单位

(按首字拼音排序)

德玛吉森精机公司

东华大学

ETA(Engineering Technology Associates, Inc.)中国分公司

华东理工大学

库卡机器人(上海)有限公司

雷尼绍(上海)贸易有限公司

青岛海尔模具有限公司

瑞士奇石乐(中国)有限公司

上海大学

上海电气集团上海锅炉厂有限公司

上海电气集团上海机床厂有限公司

上海高罗输送装备有限公司技术中心

上海工程技术大学

上海理工大学

上海麦迅惯性航仪技术有限公司

上海麦迅机床工具技术有限公司

上海师范大学

上海应用技术大学

上海紫江集团

上汽大众汽车有限公司

同济大学

西门子工业软件(上海)研发中心

浙江大学

中国航天科技集团公司上海航天设备制造总厂

丛书序

在“中国制造2025”国家战略指引下,在“深化教育领域综合改革,加快现代职业教育体系建设,深化产教融合、校企合作,培养高素质劳动者和技能型人才”的形势下,我国高教人才培养领域也正在经历又一重大改革,制造强国建设对工程科技人才培养提出了新的要求,需要更多的高素质应用型人才,同时随着人才培养与互联网技术的深度融合,尽早推出适合创新应用型人才培养模式的出版项目势在必行。

教科书是人才培养过程中受教育者获得系统知识、进行学习的主要材料和载体,教材在提高人才培养质量中起着基础性作用。目前市场上专业知识领域的教材建设,普遍存在建设主体是高校,而缺乏企业参与编写的问题,致使专业教学教材内容陈旧,无法反映行业技术的新发展。本套教材的出版是深化教学改革,践行产教融合、校企合作的一次尝试,尤其是吸收了较多长期活跃在教学和企业技术一线的专业技术人员参与教材编写,有助于改善在传统机械工程向智能制造转变的过程中,“机械工程”这一专业传统教科书中内容陈旧、无法适应技术和行业发展需要的问题。

另外,传统教科书形式单一,一般形式为纸媒或者是纸媒配光盘的形式。互联网技术的发展,为教材的数字化资源建设提供了新手段。本丛书利用增强现实(AR)技术,将诸如智能制造虚拟场景、实验实训操作视频、机械工程材料性能及智能机器人技术演示动画、国内外名企案例展示等在传统媒体形态中无法或很少涉及的数字资源,与纸质产品交互,为读者带来更丰富有效的体验,不失为一种增强教学效果、提高人才培养的有效途径。

本套教材是在上海市机械专业教学指导委员会和上海市机械工程学会先进制造技术专业委员会的牵头、指导下,立足国内相关领域产学研发展的整体情况,来自上海交通大学、上海理工大学、同济大学、上海大学、上海应用技术大学、上海工程技术大学等近10所院校制造业学科的专家学者,以及来自江浙沪制造业名企及部分国际制造业名企的专家和工程师等一并参与的内容创作。本套创新教材的推出,是智能制造专业人才培养的融合出版创新探索,一方面体现和保持了人才培养的创新性,促使受教育者学会思考、与社会融为一体;另一方面也凸显了新闻出版、文化发展对于人才培养的价值和必要性。

中国工程院院士

丛书前言

进入 21 世纪以来,在全球新一轮科技革命和产业变革中,世界各国纷纷将发展制造业作为抢占未来竞争制高点的重要战略,把人才作为实施制造业发展战略的重要支撑,改革创新教育与培训体系。我国深入实施人才强国战略,并加快从教育大国向教育强国、从人力资源大国向人力资源强国迈进。

《中国制造 2025》是国务院于 2015 年部署的全面推进实施制造强国战略文件,实现“中国制造 2025”的宏伟目标是一个复杂的系统工程,但是最重要的是创新型人才培养。当前随着先进制造业的迅猛发展,迫切需要一大批具有坚实基础理论和专业技能的制造业高素质人才,这些都对现代工程教育提出了新的要求。经济发展方式转变、产业结构转型升级急需应用技术类创新型、复合型人才。借鉴国外尤其是德国等制造业发达国家人才培养模式,校企合作人才培养成为学校培养高素质高技能人才的一种有效途径,同时借助于互联网技术,尽早推出适合创新应用型人才培养模式的出版项目势在必行。

为此,在充分调研的基础上,根据机械工程的专业和行业特点,在上海市机械专业教学指导委员会和上海市机械工程学会先进制造技术专业委员会的牵头、指导下,上海科学技术出版社组织成立教材编审委员会和编写委员会,联络国内本科院校及一些国内外大型名企等支持单位,搭建校企交流平台,启动了“创新应用型数字交互规划教材 | 机械工程”的组织编写工作。本套教材编写特色如下:

1. 创新模式、多维教学。教材依托增强现实(AR)技术,尽可能多地融入数字资源内容(如动画、视频、模型等),突破传统教材模式,创新内容和形式,帮助学生提高学习兴趣,突出教学交互效果,促进学习方式的变革,进行智能制造领域的融合出版创新探索。

2. 行业融合、校企合作。与传统教材主要由任课教师编写不同,本套教材突破性地引入企业参与编写,校企联合,突出应用实践特色,旨在推进高校与行业企业联合培养人才模式改革,创新教学模式,以期达到与应用型人才培养目标的高度契合。

3. 教师、专家共同参与。主要参与创作人员是活跃在教学和企业技术一线的人员,并充分吸取专家意见,突出专业特色和应用特色。在内容编写上实行主编负责下的民主集中制,按照应用型人才培养的具体要求确定教材内容和形式,促进教材与人才培养目标和质量的接轨。

4. 优化实践环节。本套教材以上海地区院校为主,并立足江浙沪地区产业发展的整体情况。参与企业整体发展情况在全国行业中处于技术水平比较领先的位置。增加、植入这些企业中当下的生产工艺、操作流程、技术方案等,可以确保教材在内容上具有技术先进、工艺领

先、案例新颖的特色,将在同类教材中起到一定的引领作用。

5. 与国际工程教育认证接轨。增设与国际工程教育认证接轨的“学习成果达成要求”,即本套教材在每章开始,明确说明本章教学内容对学生应达成的能力要求。

本套教材“创新、数字交互、应用、规划”的特色,对避免培养目标脱离实际的现象将起到较好作用。

丛书编委会先后于上海交通大学、上海理工大学召开 5 次研讨会,分别开展了选题论证、选题启动、大纲审定、统稿定稿、出版统筹等工作。目前确定先行出版 10 种专业基础课程教材,具体包括《机械工程测试技术基础》《机械装备结构设计》《机械制造技术基础》《互换性与技术测量》《机械 CAD/CAM》《工业机器人技术》《机械工程材料》《机械动力学》《液压与气动技术》《机电传动与控制》。教材编审委员会主要由参加编写的高校教学负责人、教学指导委员会专家和行业学会专家组成,亦吸收了多家国际名企如瑞士奇石乐(中国)有限公司和江浙沪地区大型企业的参与。

本丛书项目拟于 2017 年 12 月底前完成全部纸质教材与数字交互的融合出版。该套教材在内容和形式上进行了创新性的尝试,希望高校师生和广大读者不吝指正。

上海市机械专业教学指导委员会

前 言

液压与气动技术是机械类专业重要的专业基础课。液压与气动技术作为机械设备中发展最快的技术之一,对国家经济建设具有不可或缺的作用,采用液压传动的程度已成为衡量国家工业水平的重要标志之一。随着机电一体化技术发展,液压与气动技术和微电子技术、计算机技术等的结合,进入了高端应用的发展阶段,成为智能制造的重要载体。

本书共 13 章,涵盖了液压流体力学的基础知识、液压系统各组成部分、液压基本回路与典型液压传动系统、液压系统故障分析与诊断、气压传动基础知识、气源装置与气动元件、气动基本回路与气动系统设计和典型气动系统模拟实验。其中液压系统故障分析与诊断、典型气动系统模拟实验为本书特有内容,这部分内容的加入使液压与气动技术的应用更完整、实践性和工程性更强。全书编写力求内容简洁清晰,增加了原理性简图,并融入视频、彩色图片等数字资源,以加强感性认识,使内容生动、授者易授、学者易学。在结构上本书与工程教育专业认证相结合,每章教学目的和学习成果达成要求明确,且每章后附有思考与练习。

本书由东华大学孟焯教授主编,东华大学孙以泽教授主审,参编人员为东华大学和华东理工大学从事液压与气动技术教学及相关科研工作的专业老师。具体编写分工如下:孟焯编写第 1 章和第 2 章,华东理工大学曹湧编写第 3 章和第 11 章,华东理工大学李勇编写第 4 章、第 12 章第 12.1 节和 12.2 节,东华大学费胜巍编写第 5 章和第 9 章,东华大学张玉井编写第 6 章,东华大学陈玉洁编写第 7 章,东华大学陈冰冰编写第 8 章和第 13 章,华东理工大学邢改兰编写第 10 章、第 12 章第 12.3 节和 12.4 节。东华大学博士研究生苏柳元、杜诚杰和硕士研究生沈瑞超等参与了绘图工作。


在本书编写过程中参阅了已出版的相关教材、液压与气动领域的文献和网络资源,在此表示衷心感谢。书中如有错误和不妥之处,敬请读者指正。

编者

本书配套数字交互资源使用说明

针对本书配套数字资源的使用方式和资源分布,特做如下说明:

1. 用户(或读者)可持安卓移动设备(系统要求安卓 4.0 及以上),打开移动端扫码软件(不包括微信),扫描教材封底二维码,下载安装本书配套 APP,即可阅读识别、交互使用。

2. 插图图题、表格表题或小节节题后有加“”标识的,提供彩色图片、视频等数字资源,进行识别、交互。具体扫描对象位置和数字资源对应关系参见下表。

扫描对象位置	数字资源类型	数字资源名称
图 1-1	视频	液压千斤顶工作原理
图 2-8	视频	恒定流动和非恒定流动
图 2-16	视频	雷诺实验及装置
图 3-6	视频	外啮合齿轮泵的工作原理
图 3-17	视频	双作用叶片泵的工作原理
图 4-4	视频	轴向柱塞马达的结构与原理
图 4-8	视频	单杆活塞缸及其差动连接
表 5-4	彩色图片	换向阀
图 5-6	彩色图片	顺序阀
表 6-1	视频	蓄能器
图 7-1c	视频	多级调压回路
图 7-8	视频	进油路节流调速回路
8.1.1 节	彩色图片	液压动力滑台
10.2.2 节	彩色图片	定容过程和定压过程
图 11-2	视频	单级活塞式空压机的工作原理
图 11-30	视频	叶片式气动马达的工作原理
13.2.2 节	视频	自动分送气动系统
13.2.4 节	视频	热压模气动系统

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 液压传动与气压传动的工作原理	1
1.2 液压传动与气压传动系统的组成	2
1.3 液压传动与气压传动的优缺点	4
1.4 液压传动与气压传动的应用及发展	5
第 2 章 液压油与液压流体力学基础	7
2.1 液压油	7
2.2 流体静力学基础	12
2.3 流体动力学基础	15
2.4 液体流动时的压力损失	20
2.5 液体流经小孔的流量	24
2.6 液体流经缝隙的流量	27
2.7 液压冲击与气穴现象	31
第 3 章 液压泵	36
3.1 液压泵概述	36
3.2 齿轮泵	43
3.3 叶片泵	50
3.4 柱塞泵	62
3.5 其他液压泵简介	69
3.6 液压泵的选用	71

第4章 液压执行元件	75
4.1 液压马达概述	75
4.2 常用液压马达的工作原理	77
4.3 液压缸的基本类型与工作原理	80
4.4 液压缸的典型结构及设计计算	85
第5章 液压控制阀	91
5.1 液压阀概述	91
5.2 方向控制阀	92
5.3 压力控制阀	96
5.4 流量控制阀	99
5.5 其他液压控制阀	102
第6章 液压系统的辅助装置	103
6.1 蓄能器	103
6.2 过滤器	106
6.3 油箱、换热器及压力表辅件	109
6.4 管件	111
6.5 密封元件	112
第7章 液压基本回路	116
7.1 压力控制回路	116
7.2 速度控制回路	121
7.3 方向控制回路	132
7.4 多缸动作回路	134
第8章 典型液压系统与计算	140
8.1 组合机床动力滑台液压系统	140
8.2 加工中心液压系统	143
8.3 装卸堆码机液压系统	145
8.4 液压系统设计计算的内容与步骤	147
8.5 液压工作滑台系统设计及计算	156
第9章 液压系统故障分析与诊断	167
9.1 液压元件故障分析与诊断	167

9.2	液压基本回路故障分析与诊断	182
9.3	液压系统故障分析与诊断	186
第 10 章	气动工作介质与气体力学基础	197
10.1	空气的物理性质	197
10.2	气体的状态变化	199
10.3	气体的流动规律	204
第 11 章	气源装置与气动元件	206
11.1	气源装置与气动辅件	206
11.2	气动执行元件	225
11.3	气动控制元件	234
第 12 章	气动基本回路与气动系统设计	246
12.1	气动基本回路	246
12.2	其他常用回路	255
12.3	气动系统设计	264
12.4	气动系统实例	279
第 13 章	典型气动系统模拟实验	286
13.1	气压传动实验基础知识	286
13.2	典型气压传动实验	293
参考文献	301

绪 论

◎ 学习成果达成要求

学生应达成的能力要求包括:

1. 掌握液压传动与气压传动的基本原理和系统组成。
2. 了解液压传动与气压传动的优缺点及其应用与发展。

液压与气动技术是机械设备中发展最快的技术之一,随着机电一体化技术的发展,液压与气动技术和微电子技术、计算机技术等相结合,进入了高端应用的快速发展阶段,成为智能制造的重要手段。

1.1 液压传动与气压传动的工作原理

液压与气动技术又称液压与气压传动,是以流体(液压油液或压缩空气)为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式,是通过液压与气动元件组成不同功能的基本回路,再由若干基本回路组合成具有一定控制功能的传动系统。

液压传动与气压传动的工作原理相似,液压传动的工作介质为液压油液,气压传动的工作介质为压缩空气,两种介质的主要区别是液体几乎不可压缩,气体有较大的可压缩性。下面以图 1-1 所示液压千斤顶为例简述液压传动的工作原理。

如图 1-1 所示,当向上抬杠杆 1 时,小液压缸 2 的活塞向上运动,小液压缸 2 的容积增大,形成局部真空,排油单向阀 7 关闭,油箱 5 的液压油在大气压作用下经吸油管 4 顶开吸油单向阀 3,进入小液压缸 2;当向下压杠杆 1 时,小液压缸 2 的活塞向下运动,小液压缸 2 的容积减小,液压油受挤压压力升高,吸油单向阀 3 关闭,液压油经排油管 6 顶开排油单向阀 7,进入大液压缸 9,推动大液压缸 9 的活塞向上运动,顶起重物 8。如此不断上下扳动杠杆 1,不断有液压油进入大液压缸 9,使重物 8 逐渐被顶起;当杠杆 1 停止动作时,大液压缸 9 的液压油压力使排

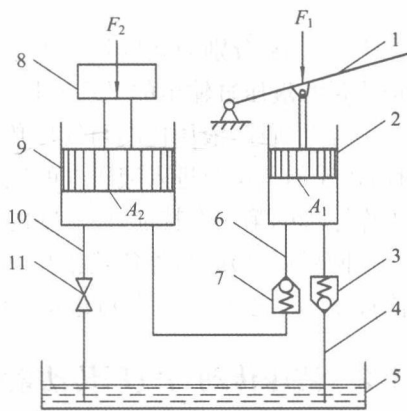


图 1-1 液压千斤顶工作原理

- 1—杠杆; 2—小液压缸; 3—吸油单向阀;
- 4—吸油管; 5—油箱; 6—排油管;
- 7—排油单向阀; 8—重物; 9—大液压缸;
- 10—泄油管; 11—截止阀

油单向阀 7 关闭,大活塞连同重物 8 被自锁不动,停止在被顶起的位置;当打开截止阀 11 时,大液压缸 9 的液压油经泄油管 10 流回油箱 5,大活塞在自重和重物 8 作用下向运动,回复至原始位置。

由液压千斤顶的工作原理得知:小液压缸 2 与吸油单向阀 3、排油单向阀 7 一起完成吸油与排油,将杠杆 1 的机械能转换为液压油的压力能输出,称为(手动)液压泵;大液压缸 9 将液压油的压力能转换为机械能输出,抬起重物 8,称为液压缸。大液压缸 9 和小液压缸 2 组成了最简单的液压传动系统,实现了力和运动的传递。

1) 力的传递

设液压缸活塞面积为 A_2 ,作用在活塞上的负载力为 F_2 ,该力在液压缸中产生的液压力为 $p_2 = F_2/A_2$ 。根据帕斯卡原理,“在密闭容器内,施加于静止液体上的压力将以等值同时传递到液体各点”,液压泵的排油压力 p_1 应等于液压缸中的液体压力,即 $p_1 = p_2 = p$,液压泵的排油压力又称为系统压力。

为了克服负载力 F_2 使液压缸活塞运动,作用在液压泵活塞上的作用力 F_1 应为

$$F_1 = p_1 A_1 = p_2 A_1 = p A_1 \quad (1-1)$$

式中, A_1 为液压泵活塞面积。

在 A_1 、 A_2 一定时,负载力 F_2 越大,系统中的压力 p 越高,所需的作用力 F_1 越大,即系统压力与外负载密切相关。这是液压传动与气压传动工作原理的第一个特征,即液压与气压传动中工作压力取决于外负载。

2) 运动的传递

在不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、管路的变形情况下,液压泵排出的液体体积等于进入液压缸的液体体积。设液压泵活塞位移为 s_1 ,液压缸活塞位移为 s_2 ,则有

$$s_1 A_1 = s_2 A_2 \quad (1-2)$$

式(1-2)两边同除以运动时间 t ,得

$$q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2 \quad (1-3)$$

式中, v_1 、 v_2 分别为液压泵活塞与液压缸活塞的平均运动速度; q_1 、 q_2 分别为液压泵输出的平均流量和液压缸输出的平均流量。

综上所述,液压传动与气压传动是靠密闭工作容积变化相等的原则实现运动(速度和位移)传递的。调节进入液压缸的流量 q ,即可调节活塞的运动速度 v ,这是液压传动与气压传动工作原理的第二个特征,即活塞的运动速度只取决于输入流量,而与外负载无关。

同时还可知,与外负载相对应的流体参数是流体压力 p ,与速度相对应的流体参数是流体流量 q 。因此,压力 p 与流量 q 是液压与气压传动中两个最基本的参数。

1.2 液压传动与气压传动系统的组成

工程实际中的液压传动系统,在液压泵-液压缸的基础上还设置有控制液压缸的运动方向、运动速度和最大推力的装置,下面以图 1-2 所示典型液压系统为例说明其组成。

液压泵 3 由电机驱动旋转,从油箱 1 经过滤器 2 吸油。当换向阀 5 的阀芯处于图 1-2a 所示的中位时,液压泵 3 输出的液压油经溢流阀 11、油管 12 流回油箱 1;当换向阀 5 的阀芯处

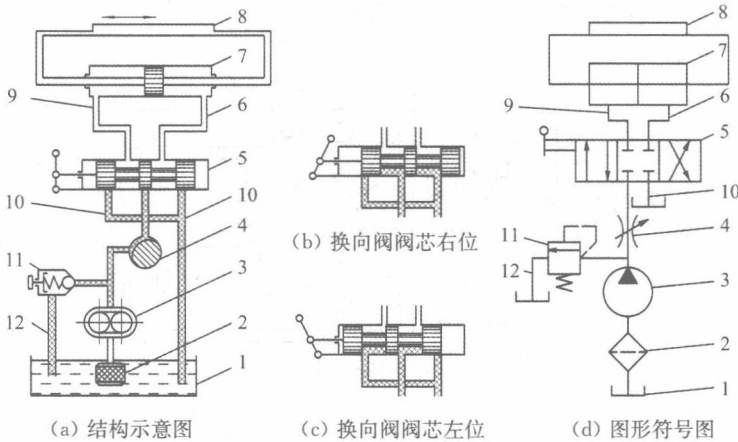


图 1-2 典型液压系统原理图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—节流阀；5—换向阀；
6、9、10、12—油管；7—液压缸；8—工作台；11—溢流阀

于图 1-2b 所示的右位时，液压泵 3 输出的液压油经节流阀 4、换向阀 5 和油管 9 进入液压缸 7 的左腔，推动活塞向右运动，液压缸 7 右腔的液压油经油管 6、换向阀 5 和油管 10 流回油箱 1；当换向阀 5 的阀芯处于图 1-2c 所示的左位时，液压泵 3 输出的液压油经节流阀 4、换向阀 5 和油管 6 进入液压缸 7 的右腔，推动活塞向左运动，液压缸 7 左腔的液压油经油管 9、换向阀 5 和油管 10 流回油箱 1。

改变节流阀 4 的开口，可以改变进入液压缸 7 的流量，从而控制液压缸活塞的运动速度。液压泵 3 输出的多余液压油经溢流阀 11 和油管 12 流回油箱 1。液压缸 7 的工作压力取决于负载。液压泵的最大工作压力由溢流阀 11 调定，其调定值为液压缸 7 的最大工作压力、系统中液压油流经阀和油管的压力损失之总和。因此，系统的工作压力不会超过溢流阀 11 的调定值，溢流阀对系统还起着过载保护的作用。

气压传动系统与液压传动系统相似，图 1-3 所示为气压传动及控制系统原理图，在气压发生装置和气缸 9 之间有控制压缩空气压力、流量和流动方向的各种控制元件和逻辑运算、检测、自动控制等信号控制元件，以及使压缩空气净化、润滑、消声和传输所需的辅助装置。

从上面例子可以看出，液压传动系统与气压传动系统主要由以下五部分组成：

(1) 能源装置。将机械能转换成流体压力能的装置。液压传动系统的能源装置是液压泵，为系统提供液压油，图 1-1 中小液压缸 2、吸油单向阀 3、排油单向阀 7 组成阀配流液压泵。气压传动系统的能源装置是空气压缩机，为系统提供压缩空气，图 1-3 中空气压缩机 2 及储存、净化压缩空气的附属设备集中在工厂或车间的压缩空气站内，向各用气点分配压缩空气。

(2) 执行元件。将流体的压力能转换成机械能输出的装置。执行元件可以是做直线运动的液压缸和气缸，也可以是做回转运动的液压马达、气压马达和摆动缸，如图 1-2 中的液压缸 7 和图 1-3 中的气缸 9。

(3) 控制元件。对系统中流体的压力、流量及流动方向进行控制和调节的元件，及进行信号转换、逻辑运算和放大的信号控制元件，如图 1-2 中的节流阀 4、换向阀 5、溢流阀 11 和图 1-3 中的减压阀 4、逻辑元件组 5、换向阀 6、流量阀 7、行程阀 8。

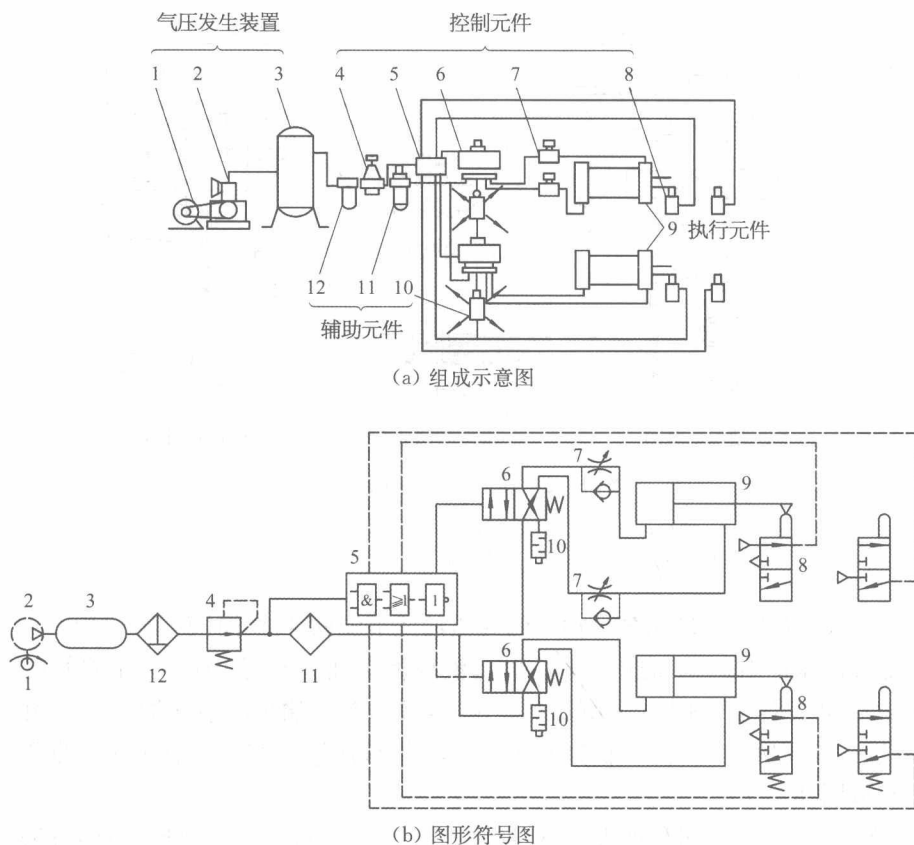


图 1-3 气压传动及控制系统原理图

1—电机；2—空气压缩机；3—气罐；4—减压阀；5—逻辑元件组；6—换向阀；
7—流量阀；8—行程阀；9—气缸；10—消声器；11—油雾器；12—分水滤气器

(4) 辅助元件。保证系统正常工作所需的上述三种以外的元件,如图 1-2 中的油箱 1、过滤器 2、管件和图 1-3 中的消声器 10、油雾器 11、分水滤气器 12。

(5) 工作介质。用于进行能量和信号的传递。液压传动系统液压油为工作介质,气动传动系统压缩空气为工作介质。

为了简化液压传动系统与气压传动系统的表达方法,通常采用图形符号绘制系统原理图。各类元件的图形符号脱离了具体结构,只表示其职能,由图形符号组成的系统原理图表达了系统的工作原理及各元件在系统中的作用,如图 1-2d、图 1-3b 所示。我国制定了液压与气动元件图形符号标准,详见《流体传动系统及元件图形符号和回路图》(GB/T 786.1—2009)。

1.3 液压传动与气压传动的优缺点

与机械传动和电力拖动相比,液压传动与气压传动具有以下优点:

(1) 液压与气压元件的布置不受严格的空位置限制,系统中各部分用管道连接,布局安装有很大灵活性,能构成机械传动和电力拖动难以组成的复杂系统。

(2) 可在运行过程中大范围无级调速,调速范围达 2 000 : 1。

(3) 液压传动与液气联动传递运动均匀平稳,易实现快速启动、快速制动和频繁换向。