

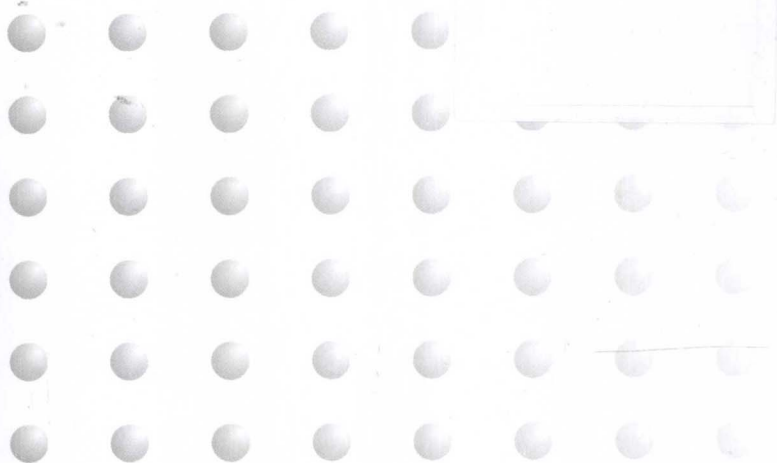


高等学校机电工程类“十二五”规划教材

液压与气压传动

(第二版)

刘军营 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



高等学校机电工程类“十二五”规划教材

液压与气压传动

(第二版)

刘军营 主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书分流体传动基础知识、液压传动、气压传动三篇,共十二章。第一篇流体传动基础知识,主要讲述流体传动概况、流体介质和流体力学基础知识;第二篇液压传动,主要讲述液压动力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压基本回路、典型液压系统、液压系统设计计算、液压控制技术基础知识;第三篇气压传动,主要讲述气源装置及气动元件、气动基本回路与常用回路、气压传动系统实例。各篇内容有一定的独立性,同时又相互照应。

本书内容精简,突出工科教学特色,注重工程技术能力的训练。

本书既可作为高等学校机械类专业本科学生教学用书和参考书,也可供相关专业的学生以及工程技术人员参考使用。

★ 本书配有电子教案,有需要者可与出版社联系。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/刘军营主编. —2版. —西安:西安电子科技大学出版社,2014.8

高等学校机电工程类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3305-3

I. ① 液… II. ① 刘… III. ① 液压传动—高等学校—教材

② 气压传动—高等学校—教材 IV. ① TH137 ② TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 013852 号

策 划 毛红兵

责任编辑 任倍萱 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xduph001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2014年8月第2版 2014年8月第4次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 20.5

字 数 487千字

印 数 10 001~13 000册

定 价 36.00元

ISBN 978-7-5606-3305-3/TH

XDUP 3597002-4

* * * 如有印装问题可调换 * * *

前 言

本书是在第一版(2008年)的基础上修订再版的。书中主要介绍了液压与气压传动方面的基础知识,各种液压与气动元件的工作原理、结构、应用及选用方法,液压与气动基本回路的组成、类型和应用条件,以及国内外先进的液压与气动技术成果和发展动态。

本书在编写过程中,力求贯彻少而精、理论与实践相结合的原则,参考液压与气动技术的一些新标准和新成果,针对本书第一版存在的问题和近几年使用者的反馈意见以及各学校机械类专业学生知识体系变化和就业的现实情况,着重进行了如下几项修订工作:

(1) 采用了新的国家标准。

(2) 将整体内容分为流体传动基础知识、液压传动和气压传动三篇。各篇内容有一定的独立性,可以分别选用。同时又相互照应,浑然一体。

(3) 适度精简了整体篇幅,由第一版的十六章精简成十二章,以强化基本概念与基础理论。

(4) 调整了部分章节顺序,使内容排列更加合理。

(5) 增补了液压控制阀的选用章节,适应培养应用型人才需求。

(6) 充实了插装阀的型号选用内容。

(7) 增加了常用液压图形符号(摘自 GB/T786.1—1993),便于读者查找。

本书中的元件图形符号、回路和系统原理图均符合中华人民共和国标准 GB/T786.1—1993。真诚感谢读者对本书第一版所提出的宝贵意见。限于编者水平,书中难免有错漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014年5月

第一版前言

本书是根据 2006 年在西安召开的“机械制造工艺及设备专业和机械电子工程专业教材讨论会”精神编写的。

液压与气压传动技术是机械类专业人才必备的知识之一。“液压与气压传动”课程的任务是向学生传播液压与气压传动的基础知识,使学生掌握各种液压与气动元件的工作原理、结构、应用及选用方法,熟悉各类液压与气动基本回路的组成和应用,了解国内外先进的液压与气动技术成果。

本书在编写过程中,贯彻了少而精和理论联系实际的原则,根据液压与气动技术发展的最新动态,针对近几年各学校机械类专业知识体系变化的现实情况,着重考虑以下几点:

(1) 全书注重体系的基本结构,强调基本概念、基本理论和基本工程的应用;在理论综述和公式推导中,尽量精选内容,用经典例题代替一般性的文字叙述,增加例题和练习题的数量,加强学生工程技术方法的训练。

(2) 内容精简,突出工科特点,充分考虑到教学计划的变更和相关专业不同课时的要求,尽量多地采用图表,以代替论述性内容。

(3) 本书在内容上分两篇,各篇内容先后相互照应,浑然一体,同时又有一定的独立性,可以分别选用。

(4) 采用基本理论—元件—回路—系统的构成体系,参考液压和气动技术的发展趋势,将伺服控制和比例控制的内容融入其中。

(5) 以学生为本,加强能力培养,遵照认识规律,内容叙述力求深入浅出、层次分明。

书中的元件图形符号、回路和系统原理图符合中华人民共和国标准 GB/T 786.1—1993。

本书适用于普通工科院校机械类各专业本科生,也适用于各类成人院校、自学考试等有关机械类专业的学生,亦可供从事流体传动及控制技术的工程技术人员参考。

本书由刘军营任主编,贺利乐和凌智勇任副主编,编写分工如下:第 1、7、8 章由山东理工大学刘军营编写,第 2 章由山东理工大学李军伟编写,第 3、6、10 章由西安建筑科技大学贺利乐编写,第 4 章由山东理工大学田立超编写,第 5 章由山东理工大学许同乐和李军伟编写,第 9 章由山东理工大学刘同义编写,第 11~16 章由江苏大学凌智勇编写。

本书由东北大学陈建文博士主审。陈博士提出了许多准确而可贵的修改意见,提高了本书的编写质量,在此深表谢意。

限于编者水平,书中难免有错漏、不妥不处,恳请读者批评指正。

编者

2007 年 11 月

目 录

第一篇 流体传动基础知识

第一章 绪论	1	2.2 液体静力学基础	17
1.1 流体传动概况	1	2.2.1 液体静压力及特征	17
1.2 液压与气压传动的工作原理与组成	3	2.2.2 液体静力学基本方程	18
1.2.1 液压与气压传动的工作原理	3	2.2.3 帕斯卡原理	20
1.2.2 液压与气压传动的组成	4	2.2.4 液体作用于固体表面上的力	20
1.2.3 液压与气压传动的图形符号和 系统图	5	2.3 液体动力学基础	21
1.3 液压与气压传动的特点及应用	6	2.3.1 流动液体的基本概念	21
1.3.1 液压与气压传动的特点	6	2.3.2 流量连续性方程	24
1.3.2 液压与气压传动的应用	7	2.3.3 伯努利方程	24
小结	8	2.3.4 动量方程	27
思考题	8	2.3.5 液体流动时的压力损失	28
第二章 流体传动工作介质与液压流体 力学基础	9	2.3.6 液体流经小孔的流量	33
2.1 流体传动工作介质	9	2.3.7 液体流经缝隙的流量	35
2.1.1 流体传动工作介质的性质	10	2.4 液压冲击和气穴现象	37
2.1.2 液压传动工作介质的使用 要求和选用	14	2.4.1 液压冲击	37
		2.4.2 气穴现象	39
		小结	40
		习题	40

第二篇 液 压 传 动

第三章 液压泵和液压马达	43	3.5.1 液压泵和液压马达的选择	68
3.1 液压泵和液压马达的工作原理与 技术参数	43	3.5.2 液压泵和液压马达的使用	69
3.1.1 液压泵和液压马达的工作原理	44	小结	70
3.1.2 液压泵和液压马达的技术参数	44	习题	71
3.2 齿轮泵和齿轮马达	46	第四章 液压缸	73
3.2.1 齿轮泵	46	4.1 液压缸的工作原理与类型	73
3.2.2 齿轮马达	50	4.1.1 液压缸的工作原理	73
3.3 叶片泵和叶片马达	51	4.1.2 液压缸的类型与图形符号	74
3.3.1 叶片泵	51	4.2 液压缸的典型结构	76
3.3.2 叶片马达	55	4.2.1 活塞式液压缸	76
3.4 柱塞泵与柱塞马达	56	4.2.2 柱塞式液压缸	78
3.4.1 柱塞泵	56	4.2.3 伸缩套筒缸	79
3.4.2 柱塞马达	64	4.2.4 增压液压缸	80
3.5 液压泵和液压马达的选择与使用	68	4.2.5 齿条活塞式液压缸	81
		4.2.6 摆动液压缸	81

4.3 液压缸的设计	82	习题	158
4.3.1 液压缸主要参数的设计计算	82	第七章 液压基本回路	159
4.3.2 液压缸的强度计算与校核	84	7.1 压力控制回路	159
小结	85	7.1.1 调压回路	159
习题	85	7.1.2 减压回路	161
第五章 液压控制阀	87	7.1.3 保压回路	162
5.1 液压控制阀的类型与使用要求	87	7.1.4 增压回路	163
5.1.1 液压控制阀的类型	87	7.1.5 平衡回路	164
5.1.2 液压控制阀的使用要求	88	7.1.6 卸荷回路	165
5.2 方向控制阀	89	7.2 速度控制回路	167
5.2.1 单向阀	89	7.2.1 节流调速回路	168
5.2.2 换向阀	92	7.2.2 容积调速回路	174
5.3 压力控制阀	101	7.2.3 容积节流调速回路	180
5.3.1 溢流阀	101	7.2.4 快速回路和速度换接回路	182
5.3.2 减压阀	107	7.3 方向控制回路	185
5.3.3 顺序阀	109	7.3.1 换向回路	185
5.3.4 压力继电器	110	7.3.2 制动回路	186
5.4 流量控制阀	111	7.3.3 锁紧回路和往复运动换向回路	187
5.4.1 节流阀	112	7.4 多执行元件控制回路	189
5.4.2 调速阀	114	7.4.1 顺序动作回路	189
5.4.3 溢流-节流阀	117	7.4.2 同步回路	191
5.4.4 分流-集流阀	118	7.4.3 互不干扰回路	193
5.5 插装阀与叠加阀	121	7.5 液压回路的操纵控制方式	194
5.5.1 插装阀	121	小结	195
5.5.2 叠加阀	123	习题	197
5.6 多路换向阀	125	第八章 典型液压传动系统分析	199
5.6.1 多路换向阀的类型与机能	125	8.1 液压传动系统的类型和分析方法	199
5.6.2 多路换向阀的结构	126	8.2 组合机床动力滑台液压系统	200
5.7 液压控制阀的选用	127	8.2.1 YT4543 型动力滑台液压系统的	
小结	130	工作原理	201
习题	130	8.2.2 YT4543 型动力滑台液压	
第六章 液压辅助元件	134	系统的特点	203
6.1 蓄能器	134	8.3 塑料注射成型机液压系统	203
6.2 过滤器	138	8.3.1 SZ-250A 型塑料注射成型机液压	
6.3 密封元件	141	系统的工作原理	204
6.4 管件	146	8.3.2 SZ-250A 型塑料注射成型机液压	
6.4.1 油管	147	系统的特点	207
6.4.2 管接头	150	8.4 液压压力机液压系统	207
6.5 油箱与热交换器及仪表附件	153	8.4.1 YA32-200 型液压压力机液压	
6.5.1 油箱	153	系统工作原理	209
6.5.2 热交换器	154	8.4.2 YA32-200 型液压压力机液压	
6.5.3 仪表附件	156	系统的特点	212
小结	157	8.5 汽车起重机液压系统	212

8.5.1 QY20B 汽车起重机液压系统的 工作原理	213	9.3.2 液压系统的试验与调试	236
8.5.2 QY20B 汽车起重机液压系统的 特点	217	9.3.3 液压系统的使用与维护	238
小结	217	小结	239
习题	217	习题	240
第八章 液压系统的设计计算	218	第十章 液压控制技术基本知识	241
9.1 液压系统的设计步骤	218	10.1 概述	241
9.1.1 液压系统的设计要求与 工况分析	218	10.2 伺服阀与液压伺服控制系统	243
9.1.2 液压系统的方案设计	222	10.2.1 伺服阀	243
9.1.3 液压系统元件计算与选择	224	10.2.2 液压伺服控制系统	250
9.1.4 液压系统的校核	227	10.3 比例阀与液压比例控制系统	254
9.1.5 绘制液压系统工作图和编写 技术文件	228	10.3.1 比例阀	256
9.2 液压系统设计实例	229	10.3.2 液压比例控制系统	256
9.3 液压系统的安装、使用与维护	235	10.4 电液数字控制阀	257
9.3.1 液压元件的清洗和安装	235	10.4.1 电液数字阀的工作原理	257
		10.4.2 电液数字阀的典型结构	258
		10.5 液压系统的计算机控制技术简介	259
		小结	260
		思考题	261

第三篇 气压传动

第十一章 气源系统及气动元件	262	第十二章 气动回路与实例分析	294
11.1 气源系统	262	12.1 气动基本回路	294
11.1.1 气源装置	263	12.1.1 压力控制回路	294
11.1.2 气体净化装置	265	12.1.2 换向回路	295
11.1.3 管道系统	268	12.1.3 速度控制回路	296
11.2 气动辅助元件	270	12.1.4 位置控制回路	298
11.2.1 空气过滤器	270	12.2 气动常用回路	300
11.2.2 油雾器	270	12.2.1 安全保护回路	300
11.2.3 消声器	271	12.2.2 同步回路	300
11.3 气动控制元件	272	12.2.3 往复动作回路	301
11.3.1 压力控制阀	273	12.2.4 振荡回路	302
11.3.2 流量控制阀	275	12.2.5 计数回路	302
11.3.3 方向控制阀	277	12.3 气压传动系统实例分析	303
11.4 气动执行元件	285	12.3.1 门户自动开闭系统	303
11.4.1 气缸	285	12.3.2 气动机械手	304
11.4.2 气马达	291	12.3.3 组合机床动力滑台控制系统	307
小结	293	小结	308
习题	293	习题	308

附录 常用液压气动图形符号(摘自 GB/T 786.1—1993)	310
--	-----

第一篇 流体传动基础知识

第一章 绪 论

章节指南

本章主要向学生介绍流体传动系统的基本组成、工作原理、性能特点、应用等知识。

学习目的

- (1) 了解液压与气压传动的发展历程;
- (2) 掌握液压与气压传动系统的工作原理和组成;
- (3) 掌握液压与气压传动系统的图形表示方法;
- (4) 了解液压与气压传动的特点与应用。

学习重点与难点

液压与气压传动工作系统的工作原理、组成、图形表示方法。

学习方法

在接受课堂授课的基础上,认真思考和解答复习题,并利用网络和图书馆,查阅与本章内容相关的资料,了解液压与气压传动知识和应用,从而激发学习兴趣。

1.1 流体传动概况

流体分可压缩流体和不可压缩流体两类。可压缩流体是气体,不可压缩流体是液体,它们都是可以用作能量传递的介质。流体通过各种元件组成不同功能的基本回路可形成具有一定功能的传动系统。

通常,一台完整的机器设备由原动机、传动装置和工作机构三大部分组成。原动机是机器的动力源,包括电动机、内燃机等;工作机构是完成该机器之工作任务的直接工作部分。原动机的功率和速度(转速)变化范围有限,为了适应工作机构的工作力(力矩)及工作速度变化范围较宽,以及控制性能等要求,在原动机和工作机构之间设置了传动装置,传动装置的作用是进行能量的传递和控制。

在各类机械设备上,传动是指将能量或动力由发动机向工作装置传递,并通过不同的方式使发动机的转动变为工作装置的不同运动形式。如推土机推土板的升降、起重机转台的回转、挖掘机铲斗的挖掘工作等。

根据传递能量的工作介质的不同,传动可分为机械传动、电气传动、流体传动以及综合传动。流体传动是以流体为工作介质进行能量传递和控制的一种传动方式,是利用流体的压力能来传递能量的,具体分为液压传动(Hydraulics)和气压传动(Pneumatics)。

流体传动相对于机械传动而言还是一门较新的学科。从17世纪中叶(1648年)法国人帕斯卡(B. Pascal)提出液体压力传递的基本定律算起,液压传动已有近四百年的发展历史。这期间,随着科学技术的不断发展,流体传动技术本身也在不断发展。18世纪末(1795年),英国制造出世界第一台液压机。在第二次世界大战期间及战后,由于军事及民用需求的刺激,流体传动技术得到了迅猛发展,出现了以电液伺服系统为代表的响应快、精度高的液压元件和控制系统。20世纪50年代以后,随着战后世界各国经济的恢复和发展,生产过程自动化的不断增长,流体传动技术很快转入民用工业。与此同时,流体传动在随动和伺服方面的研究也取得了很大进展,美国麻省理工学院(MIT)出版了著名的《液压气动控制》一书。20世纪60年代出现了板式、叠加式液压系列阀。流体传动随着原子能、空间技术、计算机技术的产生而迅速发展。当前流体技术正朝着快速、高压、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。近二十年航空航天技术、控制技术、微电子技术、材料科学技术等学科的发展,使流体传动技术已发展成为集传动、控制和检测于一体的一门完整的复合传动技术,并在国民经济的各个部门都得到了广泛应用,如建设工程机械、机械制造业、航空航天、石油化工等都离不开流体传动技术。流体传动技术的发展水平和应用程度已经成为衡量一个国家工业化程度的重要标志之一。

我国的液压和气动工业始于20世纪50年代,从1952年上海机床厂试制出我国第一个液压元件——液压泵开始,我国的液压和气动技术经历了创业奠基、体系建立、成长壮大、引进提高等发展阶段,最初应用于机床和锻压设备上,后来又用于拖拉机和工程机械。目前,我国已和美国、日本、德国等国家的著名厂商合资或由外国厂商独资建立了柱塞泵(马达)、转向器、液压控制阀、液压系统、静液传动装置、液压件铸造、橡塑密封等多家生产企业。同时,我国还自行研制成功了电液比例复合阀、电液数字阀系列的中高压阀,同期还产生了叠加阀系列、低功耗电磁阀、凸轮转子泵、低噪声叶片泵以及新原理电液比例阀、电液集成块等成果,并广泛使用在各类设备上,但是在产品品种、性能、可靠性等方面与国外发达国家还有一定的差距,尚不能满足主机配套和国民经济发展的需求。目前需要提高液压元件的制造精度,进一步开发质量稳定、可靠性好、技术含量高、互换性好,具有高度集成化、模块化、智能化和网络化的液压元件和系统,以满足整个国民经济的需求。

我国在流体标准化建设与科研方面也取得了显著成绩,液压与气动行业的标准化已覆盖了全行业,截至2013年1月,国家已经颁布了液压与气动方面的标准107项,另外还有行业标准65项。国家标准已经和国际标准化组织(ISO)所颁布的同类标准一致,满足了与国际间技术和产品交流的需要。目前,我国所发行的专业期刊有《液压与气动》、《液压气动与密封》、《机床与液压》、《流体传动与控制》等。

流体传动技术已经与自动控制技术、计算机技术、微电子技术、摩擦磨损技术、可靠性技术及新工艺和新材料等技术深度渗透和融合,使液压元件和系统的质量有了快速的提

高。走在 21 世纪的液压技术将向高性能、高质量、高可靠性、系统成套性、低能耗、低噪声、低振动、无泄漏以及污染控制、应用水基介质等适应环保要求方向发展；液压器件积极采用新工艺、新材料和电子、传感等高新技术，开发出高集成化、高功率密度、智能化、机电一体化以及轻型、小型和微型液压元件。气动技术向着体积小、重量轻、功耗低、组合集成化方向发展；执行元件向种类多、结构紧凑、定位精度高方向发展；气动元件与电子技术相结合，向智能化方向发展；元件性能向高速、高频、高响应、高寿命、耐高温、耐高压方向发展，并普遍采用无油润滑器件和自润滑材料。同时，新型液压元件、气压元件和传动系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机直接控制(CDC)、机电一体化技术、可靠性技术等也是当前流体传动及控制技术研究的主要内容和发展方向。

1.2 液压与气压传动的工作原理与组成

1.2.1 液压与气压传动的工作原理

液压与气压传动的工作原理是相似的，下面分别通过应用实例的工作过程说明其工作原理。图 1-1 所示为工程机械上常见的一种举升机构(如液压起重机的变幅机构、液压挖掘机动臂的升降机构等)。当换向阀处于图 1-1(a)所示位置时，原动机带动液压泵 8 从油箱 10 经单向阀 1 吸油，并将有压力的油经单向阀 2 排至管路，压力油沿管路经过节流阀 4 进入换向阀 5，经过换向阀 5 阀芯左边的环槽，经管路进入液压缸 7 的下腔。液压缸 7 的缸体被铰接在机座上，在压力油的推动下，活塞向上运动，通过活塞杆带动工作机构 6 产生举升运动。同时液压缸 7 上腔中的油液被排出，经管路、换向阀 5 阀芯右边的环槽和管路流回油箱。

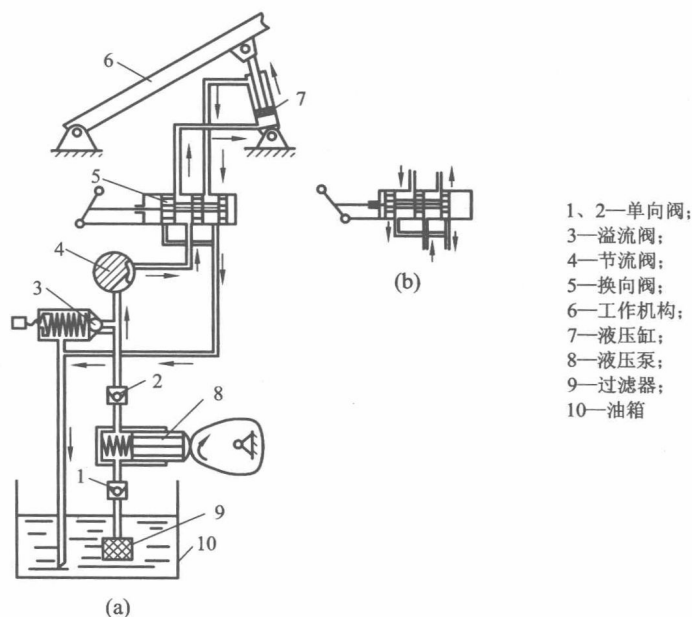


图 1-1 液压举升机结构原理图

(a) 系统结构原理图；(b) 换向阀

如果扳动换向阀 5 的手柄使其阀芯移到左边位置,如图 1-1(b)所示,此时压力油经过阀芯右边的环槽,经管路进入液压缸 7 的上腔,使举升机构降落。同时,从液压缸 7 下腔排出的油液,经阀芯左边的环槽流回油箱。

从图中可以看出,液压泵输出的压力油流经单向阀 2 后分为两路:一路通向溢流阀 3,另一路通向节流阀 4。改变节流阀 4 的开口大小,就能改变通过节流阀的油液流量,以控制举升速度。从定量液压泵输出的油液除进到液压缸外,其余部分通过溢流阀 3 返回油箱。

这里溢流阀 3 起着过载安全保护和配合节流阀改变进到液压缸的油液流量的双重作用。当溢流阀 3 中的钢球在弹簧力的作用下将阀口堵住时,压力油不能通过溢流阀 3;如果油液的压力增高到使作用在钢球上的液压作用力能够克服弹簧的作用力而将钢球顶开时,压力油就通过溢流阀 3 和管路直接流回油箱,油液的压力就不会继续升高。因此,只要调定溢流阀 3 中弹簧的压紧力大小,就可改变压力油顶开溢流阀钢球时压力的大小,这样也就控制了液压泵输出油液的最高压力,使系统具有过载安全保护作用。通过改变节流阀 4 的开口大小改变通过节流阀的油液流量,就可调节举升机构的运动速度(同时改变了通过溢流阀 3 的分流油液流量)。

此系统中换向阀 5 用来控制运动的方向,使举升机构既能举升又能降落;节流阀 4 控制举升的速度;由溢流阀 3 来控制液压泵的输出压力。图中 9 为网式过滤器,液压泵从油箱吸入的油液先经过过滤器,以滤清油液,保护整个系统不受污染。

气压传动与控制系统的组成如图 1-2 所示。气压发生器是产生和储存压缩气体的装置,气缸是系统的执行装置,除此之外,该系统还有控制压缩气体压力、流量、流动方向的控制元件和压缩空气净化、润滑、消声和传输所需要的一些装置。

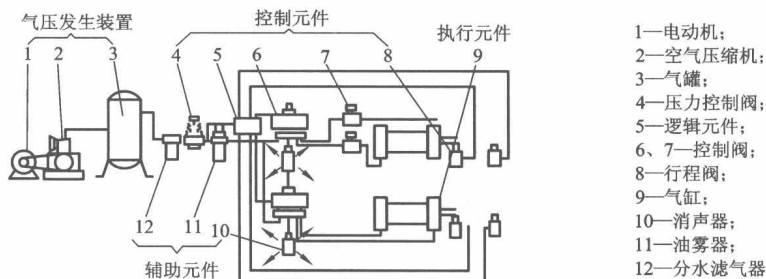


图 1-2 气压传动与控制系统结构示意图

从上面这两个简单的例子可以得出以下结论:

- (1) 流体传动是以液体或者气体为工作介质传递动力的。
- (2) 流体传动是用流体的压力能传递动力的,系统的工作压力取决于负载,运动速度取决于流量。
- (3) 流体传动中的工作介质(液体或者气体)是在受控制和调节的状态下进行工作的,因此流体传动与流体控制是融为一体的。

1.2.2 液压与气压传动的组成

由上述分析可知,一个完整的液压系统或气压系统若要正常工作,一般包括以下五个部分:

- (1) 动力元件,即能源装置。液压系统的动力元件一般是液压泵或蓄能器,而气动系

统的是空气压缩机和储气罐，其作用是将原动机输出的机械能转换成流体压力能，并向系统或用气点供给压力流体。

(2) 执行元件，包括液压缸或气缸、液压马达或气马达。前者实现往复运动，后者实现旋转运动，其作用是将流体压力能转化成机械能，输出到工作机构上。

(3) 控制元件，包括压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀等。其作用是控制和调节流体系统的压力、流量和液流方向以及信号转换、逻辑运算、放大等功能的信号控制元件，以保证执行元件能够得到所要求的力(或扭矩)、速度(或转速)和运动方向(或旋转方向)。

(4) 辅助元件，包括油箱、管路、管接头、过滤器、消声器、油雾器、滤气器以及各种仪表等。这些元件也是流体系统所必不可少的。

(5) 工作介质，用以传递能量，同时还起散热和润滑作用。液压系统用液压油作为工作介质，气动系统用压缩空气作为工作介质。

1.2.3 液压与气压传动的图形符号和系统图

由图 1-1 和图 1-2 可以看出，液压与气压传动结构原理图近似于实物的剖面图，其直观性强且较容易理解，当液压系统出现故障时，根据此原理图进行检查、分析也比较方便。但是绘制这种原理图相当麻烦，特别是当系统中元件较多时，不但绘制不方便，也反映不出元件的职能作用。另有一种职能符号式液压与气压系统原理图，它能极大地简化液压和气压系统原理图的绘制。在这种原理图中，各类元件都用符号表示，这些符号只表示元件的职能和连接系统的通路，并不表示元件的具体结构，这对专利元件结构更具保密性。我国制定的流体传动系统及元件图形符号和回路图(GB/T786.1—2009)就采用职能式符号，其中规定符号都以元件的静止位置或零位置表示。所以，图 1-1 所示的液压系统结构式原理图可用职能式符号表示为图 1-3，图 1-2 所示的气压系统结构式原理图可用职能式符号表示为图 1-4。

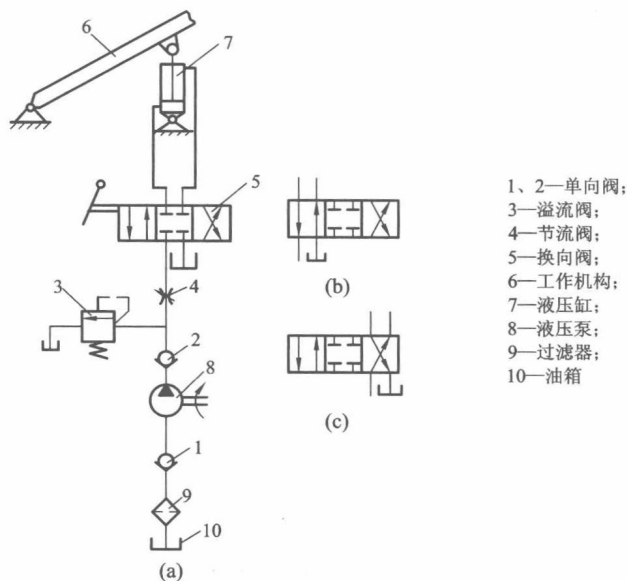


图 1-3 用图形符号表示的液压系统原理图

(a) 系统原理图；(b)、(c) 换向阀

在图 1-3(a)中,换向阀 5 处于中间位置,其压力油口、通液压缸的两个油口以及回油口,均被阀芯堵住。这时液压泵输出的油液全部通过溢流阀 3 流回油箱,工作机构 6 不动。如操纵手柄将换向阀 5 阀芯向右推,油路连通情况就如图 1-3(b)所示,这时液压缸 7 下腔通压力油,上腔通油箱,液压缸活塞带动工作机构向上举升。如将换向阀 5 阀芯向左推,油路就如图 1-3(c)所示,工作机构向下降落。溢流阀 3 上的虚线表示控制油路,控制油路中油液的压力即为液压泵的输出油压,当该压力油的作用力能够克服弹簧力时,即下压溢流阀的阀芯使液压泵出口与回油管构成通路,产生溢流作用。

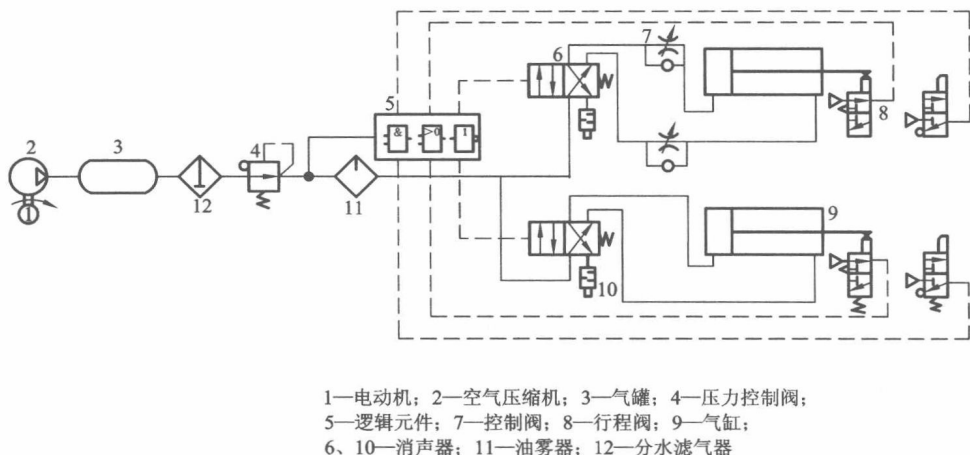


图 1-4 气压传动与控制系统图形符号原理图

1.3 液压与气压传动的特点及应用

1.3.1 液压与气压传动的特点

与其他传动相比,液压与气压传动具有以下特点:

(1) 液压与气压传动操作控制方便,易于实现无级调速而且调速范围大,调速范围可达数百,最大可达 2000:1。

(2) 液压传动系统的功率质量比大,质量一般只有同功率电动机质量的 1/10,容易获得较大的力和力矩,运动惯性小、动态性能好,因而启动、制动迅速,运动平稳,利于相关部件和控制系统的小型化和微型化。如轴向柱塞泵的质量仅是同功率直流发电机质量的 10%~20%,前者尺寸仅为后者的 12%~13%。对于工程建设机械,该优点表现的尤为突出。

(3) 可以方便地与电控部分结合,组成电液控制或气电控制或气液控制的传动和控制一体化系统,实现各种自动控制优势互补。这种控制既具有流体传动输出功率适应范围大的特点,又具有电子控制方便灵活的特点。现代机械装备已越来越多地采用此种方法。

(4) 工作安全性好,具有实现过载保护功能,并有自润滑作用。

(5) 易于实现标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

液压与气压传动有以下缺点:

(1) 液压与气压传动经过两次能量转换,其传动效率低。再加上受泄漏和流动阻力的影响,其传动效率一般为 75%~85%。

(2) 液压与气动元件的制造和维护要求较高,价格较贵,液压系统容易泄漏,液压与气压传动系统出现故障时查找困难。

(3) 液压传动的性能受温度影响大,不能在高温情况下工作,温度波动影响其工作性能,当油液中有空气和水分会影响系统的传动比。

(4) 当载荷变化时,气动系统的动作稳定性差,且输出功率较小。

液压与气压传动有其突出的优点,目前在国内外机械设备上得到了广泛的应用。在挖掘机、装载机、机床、航运船舶、航空飞行器、民用娱乐装置、戏剧舞台中都采用了液压与气压传动。这些机械装置采用流体传动后,普遍比原来同规格的机械传动产品的外形尺寸小,重量轻,产品性能也得以提高。由于采用了各种液压助力装置,使得操作简化、轻巧和灵便,并且大大提高了作业效率、作业质量和运行安全保障。尤其是近年来,随着微电子技术 在流体技术上的应用,使得各类机械装置的综合自动化水平越来越高,从而提升了机械设备的使用可靠性、操作安全性、舒适性和使用寿命。

总之,随着设计制造和使用水平的不断提高,流体传动的很多缺点正在被逐步克服,它有着更广阔的发展前景。

1.3.2 液压与气压传动的应用

驱动机械运动的机构和操纵装置有多种形式。根据所用的部件和零件,其形式可分为机械、电气、气动、液压等,还可将其组合形成四位一体的综合传动形式。液压与气压传动是一种相对新颖的传动方式,流体传动广泛应用于金属切削机床也不过六七十年,大规模用于航空工业是在 1930 年以后,但是流体传动具有独特的特点和技术优势,成为了现代机械工程的基本技术构成和现代控制工程的基本技术要素,特别是最近二三十年来,在各种工业行业中的应用与日俱增,且越来越广泛。

在国防军事工业中,海、陆、空各种作战武器常采用液压和气动技术。如飞机起落架和机翼动作及控制、舰艇炮塔运动及控制、导弹导向飞行及控制、雷达动作及控制等。

在工程建设施工设备方面,从挖掘机、装载机、推土机、铲运机、平地机到混凝土泵、振动压路机等都实现了液压和气动化。这些机械采用流体技术后,其外形尺寸减小,重量减轻,产品性能得以提高,操作简化轻巧、灵便,作业效率和作业质量也得以提高。尤其是提高了机械设备的可靠性、安全性、舒适性、适应性和使用寿命。

在机床上,磨床砂轮架和工作台的进给运动大部分采用液压传动;普通车床、六角车床、自动车床的刀架或转塔刀架,以及铣床、刨床、组合机床的工作台进给运动也都采用了液压传动;龙门刨床的工作台、牛头刨床或插床的滑枕,由于要求作高速往复直线运动,并且要求换向冲击小、换向时间短、能耗低,因此都可以采用液压传动;仿形车床、铣床、刨床上的仿形加工常采用液压伺服形式来完成,其精度可达 0.01~0.02 mm;机床上的夹紧装置、齿轮箱变速操纵装置、丝杆螺母间隙消除装置、垂直移动部件平衡装置、分度装置、工件和刀具装卸装置、工件输送装置等,也采用气压或液压机构。在机床上采用液压与气压机构利于简化机床结构,提高机床自动化程度。

液压与气压传动在其他机械工业部门的应用情况如表 1-1 所示。

表 1－1 流体传动在各类机械行业中的应用实例

行业名称	应用场所举例
起重运输机械	汽车吊、港口龙门吊、叉车、装卸机械、皮带运输机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、开采机、破碎机、提升机、液压支架等
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
冶金机械	电炉炉顶及电极升降机、轧钢机、压力机等
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车中的转向器、减振器等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人等

小 结

本章介绍了流体传动的基本概念、工作原理、流体传动系统的组成以及流体传动的特点及应用。通过对本章的学习，要求掌握流体传动系统的组成、各部分功能及应用。

思 考 题

- 1. 什么是流体传动？
- 2. 流体传动由哪些主要部分组成？
- 3. 什么是流体传动原理图？
- 4. 流体传动的特点是什么？
- 5. 举例说明流体传动的工作原理和流体传动系统的构成。

第二章 流体传动工作介质与液压流体力学基础

章节指南

流体传动是以液体或气体作为工作介质进行能量转换、传递与控制的一种传动方式。本章主要介绍和讨论与液压传动及控制密切相关的流体工作介质和流体力学等方面的基础知识,这对了解液体和气体的物理性质,掌握液体在静止和运动过程中的基本力学规律以及正确理解和掌握液压传动的基本原理是十分重要的,同时这些内容也是合理设计和使用液压与气压传动系统的理论基础。

学习目的

- (1) 了解空气的物理性质与气体状态方程;
- (2) 了解液压油的黏度、表示方法及选用;
- (3) 掌握静止液体的力学性质与基本方程;
- (4) 掌握流动液体的连续性方程、能量方程(伯努利方程)和动量方程;
- (5) 了解液体流动时的压力损失、冲击等危害;
- (6) 掌握液体流经小孔及缝隙的流量计算。

学习重点与难点

- (1) 液压油的黏度及表示方法;
- (2) 流动液体的连续性方程、能量方程(伯努利方程)和动量方程;
- (3) 液体流动时的压力损失、流经小孔及缝隙的流量计算。

学习方法

流体力学是研究流体宏观平衡和运动规律的科学。本章所涉及的概念、基本方程、压力以及流量的计算是流体传动技术的基础,对正确理解和掌握流体传动的基本原理十分重要。首先要掌握静止流体的物理性质和力学性质,如黏性、静压力性质、压力的表示方法及单位;其次要掌握流动液体的基本概念,如理想液体与实际液体、稳定流动与非稳定流动、流量与流速等;充分理解液体流动时所具有的能量形式及相互转换关系、注重区分理想液体的能量方程与实际液体的能量方程的异同及原因。

正确分析并计算液体流动时的压力损失、流经小孔及缝隙的流量是合理设计和使用液压系统的理论基础。要注意区分沿程压力损失与局部压力损失的概念及计算方法、液体流经小孔及缝隙时的流量计算方法。通过课后习题练习,巩固课堂讲授的知识。

2.1 流体传动工作介质

在流体传动系统中,工作介质分别有气体和液体。气压传动的工作介质是压缩空气,液压传动的工作介质有各种特性不同的液压介质可供选择,其中液压油具有良好的润滑性