

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材

液压与气压传动

主编 张兴国

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

应用型本科机械类

教材

液压与气压传动

主 编 张兴国

副主编 孙 波 张 磊 张中杰

曹 阳 戴子华

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书紧密结合教学大纲,集基础理论、经典案例、工程实例等于一体。全书共12章,分为绪论、液压传动篇、气压传动篇三大部分。绪论部分主要综合介绍了液压与气压传动的起源、工作原理、基本组成及其特点。液压传动篇包括第1章至第7章,主要介绍液压传动基础知识、液压传动动力元件、液压传动执行元件、液压传动控制元件、液压传动辅助元件、液压传动基本回路、液压传动系统分析与设计。气压传动篇包括第8章至第11章,主要介绍气压传动基础知识、气源装置与气动元件、气压传动基本回路、气压传动系统分析与设计。书中“液压传动”和“气压传动”两部分独立成篇,思路清晰,便于组织教学。本书具有实用性、系统性及先进性,在每一章都给出了工程实际案例,注重工程特色,特别强调理论与实际相结合。

本书可作为普通高等院校机械类、交通运输类、自动化类等各专业,各类成人高校、自学考试等相关专业主干技术基础课程“液压传动”或“气压传动”的教材,也可供相关工程技术人员和研究人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/张兴国主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2017.1

应用型本科机械类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4276-5

I. ① 液… II. ① 张… 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(2016)第 260018 号

策 划 高 樱

责任编辑 马武装

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 电子信箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西大江印务有限公司

版 次 2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 23.5

字 数 555千字

印 数 1~3000册

定 价 48.00元

ISBN 978-7-5606-4276-5/TH

XDUP 4568001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

应用型本科 机械类专业规划教材

编审专家委员会名单

主任: 张 杰(南京工程学院 机械工程学院 院长/教授)

副主任: 杨龙兴(江苏理工学院 机械工程学院 院长/教授)

张晓东(皖西学院 机电学院 院长/教授)

陈 南(三江学院 机械学院 院长/教授)

花国然(南通大学 机械工程学院 副院长/教授)

杨 莉(常熟理工学院 机械工程学院 副院长/教授)

成 员: (按姓氏拼音排列)

陈劲松(淮海工学院 机械学院 副院长/教授)

郭兰中(常熟理工学院 机械工程学院 院长/教授)

高 荣(淮阴工学院 机械工程学院 副院长/教授)

胡爱萍(常州大学 机械工程学院 副院长/教授)

刘春节(常州工学院 机电工程学院 副院长/教授)

刘 平(上海第二工业大学 机电工程学院 教授)

茅 健(上海工程技术大学 机械工程学院 副院长/副教授)

唐友亮(宿迁学院 机电工程系 副主任/副教授)

王荣林(南理工泰州科技学院 机械工程学院 副院长/教授)

王树臣(徐州工程学院 机电工程学院 副院长/教授)

王书林(南京工程学院 汽车与轨道交通学院 副院长/副教授)

吴懋亮(上海电力学院 能源与机械工程学院 副院长/副教授)

吴 雁(上海应用技术学院 机械工程学院 副院长/副教授)

许德章(安徽工程大学 机械与汽车工程学院 院长/教授)

许泽银(合肥学院 机械工程系 主任/副教授)

周 海(盐城工学院 机械工程学院 院长/教授)

周扩建(金陵科技学院 机电工程学院 副院长/副教授)

朱龙英(盐城工学院 汽车工程学院 院长/教授)

朱协彬(安徽工程大学 机械与汽车工程学院 副院长/教授)

前 言

液压与气压传动技术所具有的独特优点,使其广泛应用于国民经济和国防建设的各个领域,成为实现设备传动与控制的关键技术之一。“液压与气压传动”课程则是高等院校机械类、交通运输类等专业的必修课程之一。随着机、电、液、气等综合控制技术的实际应用日益广泛及自动化技术的快速发展,对人才的培养也提出了新的要求,要求培养学生具有良好的工程应用能力和解决实际问题的能力,并同时提高学生的实践能力和创新能力等工程素养。

要满足上述要求,应进一步深化教学改革,充分调动学生学习的积极性和创造性,激发学生学习的热情和兴趣,全面提高教学质量,为此本书在编写过程中注重“工程教育”的教学理念,紧密结合教学大纲,集基础理论、经典案例、工程实例、经验总结等于一体,力求处理好理论与实践的关系,从而使学生掌握液压与气压传动的相关理论与实用技术,能够解决生产中的一些实际问题。

全书共12章,分为绪论、液压传动篇、气压传动篇三大部分。绪论部分综合介绍了液压与气压传动的起源、工作原理、基本组成及其特点,真正起到提领全书的作用,通过工程实例的引入,激发学生的学习兴趣。“液压传动篇”和“气压传动篇”两部分独立成篇,思路清晰,便于组织教学,教学中以“液压传动篇”为教学主体内容,“气压传动篇”则进行比较学习;也可以单独作为“液压传动”或“气压传动”课程的教材,以满足不同的教学要求。本书具有实用性、系统性及先进性,在教学内容中除了采用经典例题来辅助理论教学,还在每一章给出工程实际案例,注重工程特色,特别强调理论与实际相结合,帮助学生理解抽象的理论知识,并培养学生运用理论知识解决实际问题的能力,以达到让学生“会运用”的教学目的,实现“应用型”人才的培养目标。

本书可供普通高等院校机械类、交通运输类、自动化类专业,各类成人高校、自学考试等相关专业主干技术基础课程“液压传动”或“气压传动”使用,也可作为相关技术人员的学习和参考资料。

本书由南通大学张兴国担任主编;常州大学孙波、南通大学张磊、南通大学曹阳、上海工程技术大学张中杰、淮阴工学院戴子华担任副主编。全书共12章,其中第2、5、8、9章及附录1由张兴国编写,第3、4章及附录2由孙波编写,第6、10章由张磊编写,绪论和第11章由曹阳编写,第1章由张中杰编写,第7章由戴

子华编写。全书由张兴国统稿。

在本书的编写过程中，编者参阅了很多国内外有关液压与气压传动技术方面的文献、书籍和资料，并得到了许多同行专家教授的支持和帮助，在此谨向有关作者和单位致以衷心的感谢！

限于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 11 月

目 录

绪论	1	0.3.2 液压与气压传动的应用	8
0.1 液压与气压传动的起源及发展概况	1	0.3.3 液压与气压传动的发展趋势	9
0.2 液压与气压传动的基本原理及组成	2	0.4 “液压与气压传动”课程内容 及学习要求	11
0.2.1 液压与气压传动的基本原理	2	0.5 工程实例	12
0.2.2 液压与气压传动的组成	5	0.5.1 液压千斤顶	12
0.2.3 液压与气压传动的图形符号	5	0.5.2 简易气动机械手	13
0.3 液压与气压传动的特点、应用及 发展趋势	6	练习题	14
0.3.1 液压与气压传动的特点	6		

第一部分 液 压 传 动 篇

第1章 液压传动基础知识	17	1.5.2 缝隙流动	38
1.1 液压传动的工作介质	17	1.6 液压冲击和气穴现象	41
1.1.1 工作介质的种类	17	1.6.1 液压冲击	41
1.1.2 工作介质的主要物理性质	19	1.6.2 气穴现象	43
1.1.3 工作介质的选用	22	1.7 工程实例	43
1.1.4 工作介质的污染和控制	23	1.7.1 帕斯卡原理应用——冷轧机的 支承辊平衡系统	43
1.2 液体静力学	24	1.7.2 伯努利方程的应用——液压泵 安装高度确定	44
1.2.1 液体静压力及其特性	24	1.7.3 动力学基本方程综合应用—— 水力清砂高压水枪	45
1.2.2 静止液体内的压力分布	25	练习题	46
1.2.3 压力的表示方法和单位	26	第2章 液压传动动力元件	49
1.2.4 液体静压力的传递原理—— 帕斯卡原理	27	2.1 液压泵概述	49
1.2.5 静压力对固体壁面的作用力	28	2.1.1 液压泵工作原理及分类	49
1.3 液体运动学和液体动力学基础	28	2.2.2 液压泵主要性能参数	50
1.3.1 基本概念	28	2.2 齿轮泵	53
1.3.2 连续性方程	30	2.2.1 外啮合齿轮泵工作原理	53
1.3.3 伯努利方程	30	2.2.2 外啮合齿轮泵参数	54
1.3.4 动量方程	31	2.2.3 外啮合齿轮泵结构特点	55
1.4 管道流动及能量损失	32	2.2.4 内啮合齿轮泵*	59
1.4.1 液体的两种流态及雷诺判据	32	2.2.5 螺杆泵*	60
1.4.2 管道流动能量损失	34	2.3 叶片泵	61
1.5 孔口与缝隙流动	36		
1.5.1 孔口流动	36		

2.3.1 单作用叶片泵	61	4.5.1 插装阀和叠加阀	128
2.3.2 双作用叶片泵	62	4.5.2 比例控制阀和伺服控制阀	131
2.2.3 限压式变量叶片泵	63	4.5.3 电液数字阀	134
2.4 柱塞泵	66	4.5.4 多路换向阀	136
2.4.1 径向柱塞泵	66	4.6 工程实例	138
2.4.2 轴向柱塞泵	67	4.6.1 液压系统图中换向阀工作位置判定	138
2.5 各类液压泵的性能比较及其应用	71	4.6.2 多路换向阀工作分析	138
2.5.1 液压泵的选用	71	4.6.3 溢流阀的应用及注意事项	140
2.5.2 液压泵的安装及使用注意事项	72	4.6.4 控制阀综合应用实例	141
2.5.3 液压泵的故障分析及排除	73	练习题	142
2.6 工程实例	75	第5章 液压传动辅助元件	147
2.6.1 液压泵参数的计算实例	75	5.1 油箱	147
2.6.2 液压泵的转速选择	76	5.1.1 油箱的功用	147
练习题	76	5.1.2 油箱的容积计算*	147
第3章 液压传动执行元件	78	5.1.3 油箱的结构设计	148
3.1 液压马达	78	5.2 过滤器	149
3.1.1 液压马达的特点及性能参数	78	5.2.1 过滤器的功用	149
3.1.2 常用液压马达	80	5.2.2 过滤器的分类	149
3.2 液压缸	83	5.2.3 过滤器的选用及安装	151
3.2.1 液压缸的类型及特点	83	5.3 蓄能器	152
3.2.2 液压缸的结构	89	5.3.1 蓄能器的功用	152
3.2.3 液压缸的设计计算*	93	5.3.2 蓄能器的分类*	153
3.3 工程实例	95	5.3.3 蓄能器的容量计算*	155
3.3.1 液压马达选型及应用实例	95	5.3.4 蓄能器的安装使用	156
3.3.2 液压缸选型及应用实例	96	5.4 液压管件	156
练习题	97	5.4.1 液压管件的功用	156
第4章 液压传动控制元件	100	5.4.2 管道	156
4.1 液压控制阀概述	100	5.4.3 管接头	157
4.1.1 液压阀的功用与分类	100	5.5 密封件	160
4.1.2 液压阀基本结构与参数	101	5.5.1 密封件的功用与要求	160
4.2 液压方向控制阀	102	5.5.2 密封件的分类	160
4.2.1 单向阀	102	5.6 热交换器	164
4.2.2 换向阀	104	5.6.1 冷却器	164
4.3 液压压力控制阀	112	5.6.2 加热器	165
4.3.1 溢流阀	112	5.7 工程案例	165
4.3.2 减压阀	117	5.7.1 油箱的容积计算	165
4.3.3 顺序阀	120	5.7.2 蓄能器的容积计算	166
4.3.4 压力继电器	121	5.7.3 油管的设计计算	167
4.4 液压流量控制阀	122	练习题	168
4.4.1 节流阀	123	第6章 液压传动基本回路	169
4.4.2 调速阀	125	6.1 概述	169
4.4.3 溢流节流阀	127	6.2 压力控制回路	169
4.5 其他常用阀*	128		

6.2.1 调压回路	169	练习题	205
6.2.2 减压回路	171	第7章 液压传动系统分析与设计	208
6.2.3 增压回路	172	7.1 概述	208
6.2.4 卸荷回路	172	7.1.1 开式循环系统	208
6.2.5 平衡回路	174	7.1.2 闭式循环系统	209
6.2.6 保压回路	175	7.1.3 阅读液压传动系统图的步骤	210
6.3 速度调节回路	177	7.2 典型液压传动系统分析	211
6.3.1 节流调速回路	177	7.2.1 组合机床动力滑台液压传动系统	211
6.3.2 容积调速回路	184	7.2.2 注塑机液压系统	213
6.3.3 容积节流调速回路	186	7.2.3 汽车起重机液压传动系统	217
6.3.4 调速回路的要求及选用	188	7.2.4 液压机液压传动系统	221
6.4 快速运动回路及速度换接回路	189	7.3 液压传动系统设计	224
6.4.1 快速运动回路	189	7.3.1 液压传动系统的设计原则与策略	224
6.4.2 速度换接回路	191	7.3.2 液压传动系统的设计内容与步骤	226
6.5 方向控制回路	192	7.3.3 液压系统原理图确定和液压元件的计算选择	228
6.5.1 采用换向阀的换向回路	193	7.4 工程实例：液压挖掘机液压系统设计	232
6.5.2 采用双向泵的换向回路	194	7.4.1 液压挖掘机液压系统的基本要求	232
6.6 多执行元件回路	195	7.4.2 YW-100 型单斗履带式挖掘机液压系统	233
6.6.1 顺序动作回路	195	练习题	234
6.6.2 同步回路	197		
6.7 其他回路	200		
6.7.1 锁紧回路	200		
6.7.2 浮动回路	201		
6.8 工程实例：一种精巧的延时液压回路	202		
6.8.1 液控阀门的工作情况简介	202		
6.8.2 液压系统原理图及工作原理	203		
6.8.3 特点分析	205		

第二部分 气压传动篇

第8章 气压传动基础知识	241	8.4 气体的流动规律*	251
8.1 气压传动概述	241	8.4.1 气体流动的基本方程	252
8.1.1 气压传动的特点	241	8.4.2 气动元件的通流能力	253
8.1.2 气压传动系统的组成	244	8.4.3 充、放气温度与时间的计算	254
8.2 气压传动工作介质	246	8.5 工程案例：气体的状态方程应用	255
8.2.1 空气的性质	246	练习题	256
8.2.2 湿度和含湿量	248	第9章 气源装置与气动元件	258
8.3 理想气体状态方程	249	9.1 气源装置	258
8.3.1 理想气体状态方程	249	9.1.1 气压传动系统对压缩空气品质的要求	258
8.3.2 气体状态变化过程*	249		

9.1.2 气源装置的组成	259	10.5.2 双手操作回路	322
9.1.3 空气压缩机及其净化设备	260	10.5.3 互锁回路	322
9.1.4 气动三联件	268	10.6 往复动作回路	323
9.2 气动执行元件	269	10.6.1 单缸单往复动作回路	323
9.2.1 气缸	269	10.6.2 连续往复动作回路	324
9.2.2 气马达	280	10.7 其他回路	324
9.2.3 真空元件	281	10.7.1 计数回路	324
9.3 气动控制元件	284	10.7.2 延时回路	325
9.3.1 气动压力控制阀	284	10.7.3 同步动作回路	325
9.3.2 气动流量控制阀	290	10.8 工程案例：一款电子气动搬运	
9.3.3 气动方向控制阀	291	机器人系统	326
9.3.4 气动逻辑元件*	301	10.8.1 电子气动搬运机器人结构	326
9.4 气动辅件*	304	10.8.2 机器人本体设计	327
9.4.1 过滤器	304	10.8.3 气压传动系统原理图设计	328
9.4.2 油雾器	306	10.8.4 电子气动搬运机器人控制	
9.4.3 消声器	307	系统	329
9.4.4 其他辅件	307	10.8.5 特点分析	330
9.5 工程实例	309	练习题	330
9.5.1 气缸的基本选择及计算	309	第 11 章 气压传动系统分析与设计	331
9.5.2 流量开关的应用实例	310	11.1 概述	331
练习题	312	11.1.1 阅读和分析气压传动系统图的	
第 10 章 气压传动基本回路	313	步骤与方法	331
10.1 压力控制回路	313	11.1.2 气压传动系统设计的主要内容	
10.1.1 一次压力控制回路	313	及程序控制的分类	331
10.1.2 二次压力控制回路	313	11.2 行程程序控制回路设计	333
10.1.3 高低压切换控制回路	314	11.2.1 图形符号的规定	334
10.2 速度控制回路	314	11.2.2 行程程序的表示方法	334
10.2.1 气缸调速回路	314	11.2.3 障碍信号	335
10.2.2 快速往复动作回路和速度		11.2.4 X-D 状态图法及应用	337
换接回路	316	11.3 典型气压传动系统分析	343
10.2.3 气液联动调速回路	317	11.3.1 气动张力控制系统	343
10.3 方向控制回路	318	11.3.2 气压传动机械手	343
10.3.1 单作用气缸换向回路	318	11.3.3 震压造型机的气压传动系统	345
10.3.2 双作用气缸换向回路	318	11.4 工程案例	347
10.4 位置控制回路	319	11.4.1 机械手电-气控气动系统	347
10.4.1 多位置缸的位置控制回路	319	11.4.2 多缸多往复行程程序回路	
10.4.2 用缓冲装置的位置控制回路	321	设计	350
10.5 安全保护回路	321	练习题	353
10.5.1 过载保护回路	321	附录	354
附录	354	附录 1 常用液压与气压传动图形符号	354
附录 1 常用液压与气压传动图形符号	354	附录 2 液压与气压传动中英文专业词汇表	360
附录 2 液压与气压传动中英文专业词汇表	360	参考文献	365
参考文献	365		

绪 论

一台完整的机器主要由原动机、传动机构、控制装置和工作机构等组成。原动机包括内燃机、电动机等,工作机构是该机器完成工作任务所需的直接工作部分,为了满足工作任务中输出扭矩(力)和输出转速(速度)变化范围较宽,以及控制、操作性能方面的要求,必须在原动机和工作机构之间设置传动机构和控制装置。

传动机构是一个中间环节,其作用是把原动机的输出功率传递给工作机构。传动有多种形式,如机械传动、电力传动、液体传动、气压传动以及复合传动等。液体传动和气压传动又合称为流体传动。

(1) 机械传动:通过齿轮、齿条、皮带、链条等机件传递动力和进行控制的一种传动方式,它是发展最早、应用最为广泛的传动方式。

(2) 电力传动:利用电力设备,通过调节电参数来传递动力和进行控制的一种传动方式。

(3) 液体传动:以液体为工作介质来进行能量传递和控制的一种传动方式,按其工作原理的不同又可分为液力传动和液压传动。液力传动是基于流体力学的动量矩原理,主要是以液体动能来传递动力,故又称为动力式液体传动。液压传动是基于流体力学的帕斯卡原理,主要是用液体静压能来传递动力,故又称为静液传动。

(4) 气压传动:以空气压缩机为动力源,以压缩空气为工作介质,进行能量传递和控制的一种传动方式。

0.1 液压与气压传动的起源及发展概况

1. 液压传动的起源及发展概况

相对于机械传动,液压传动(Hydraulics)是一门新的技术。液压传动与控制是人类在生产实践中逐步发展起来的一门实用技术。1653年法国人帕斯卡提出了静压传动原理——“帕斯卡原理”,即“作用在封闭液体上的压力,可以无损失地传递到各个方向,并与作用面保持垂直”。该原理解释了为什么用锤子敲击充满了液体的玻璃瓶的瓶塞时,会使该玻璃瓶的瓶底破裂。由于液体基本上是不可压缩的,则作用在瓶塞上的力被传送到玻璃瓶内的各个部位,结果在大面积上受到的力要比该瓶塞上受到的力大得多,因此,在瓶塞上作用一个中等大小的力就有可能使瓶底破碎。帕斯卡原理描述了封闭的液体在传递动力、放大力和控制运动中的应用。

1750 年,意大利科学家伯努利(Bernoulli)在做了许多实验后,提出了流体流动时必定遵循能量守恒规律,即伯努利定律。帕斯卡原理和伯努利定律奠定了流体静压传动的理论基础。

1795 年,英国人 Joseph Bramah 首次在伦敦用水作为工作介质,将流体静压传动应用于“水压机”,第一台水压机问世。

1905 年,将水压机的工作介质由水改为油后,性能得到很大改善。使用油作为传动介质,同时又解决了密封问题,对液压传动的发展具有划时代的意义。而 1906 年美国弗吉尼亚号军舰上火炮采用液压传动驱动,由此开拓了液压传动广泛应用于工业各个领域的先河。第二次世界大战期间,军事装备对反应迅速、动作准确、输出功率大的液压传动和控制装置的需求,促使液压技术迈上了新的台阶。如舰艇和飞机的操作系统,以及声呐和雷达的驱动系统等。随着加工能力和材料强度的不断提高,液压系统的压力也不断地提高,高功率质量比,又使其在行走机械、航海、交通运输和航空航天等领域得到青睐。到 20 世纪 70 年代,液压传动已成为“工业的肌肉”。

至今,液压工业已经成为现代装备制造工业的一个重要组成部分,液压技术在现代新技术和核心技术领域中占有着非常重要的地位。

2. 气压传动的起源及发展概况

气动(Pneumatic)是“气压传动与控制”的简称,气动技术是实现各种生产控制、自动控制的重要手段之一。

人们利用压缩空气完成各种工作的历史可以追溯到远古,但作为气动技术的应用,源于 1776 年 John Wilkinson 发明的能产生 1 个大气压左右的空气压缩机。20 世纪 30 年代初,气动技术成功地应用于自动门的开闭及各种机械的辅助动作上。进入到 20 世纪 60 年代,尤其是 70 年代初,随着工业机械化和自动化的发展,气动技术才广泛应用在生产自动化的各个领域,形成了现代气动技术。气动自动化控制技术是利用压缩空气作为传递动力或信号的工作介质,通过各类气动元件,与机械、液压、电气、PLC 控制器和微机等综合构成气动系统,使气动执行元件自动按设定的程序运行。用气动自动化控制技术实现生产过程自动化,是现代工业自动化的一种重要技术手段。

0.2 液压与气压传动的基本原理及组成

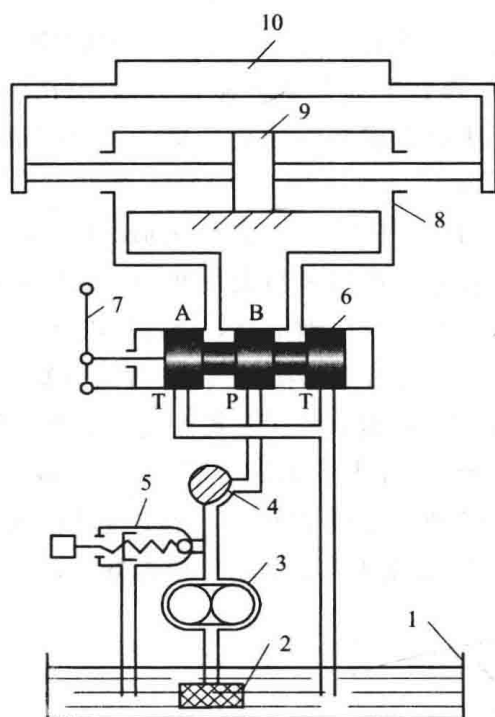
0.2.1 液压与气压传动的基本原理

液压系统以液体作为工作介质,而气动系统以空气为工作介质。液体几乎不可压缩,而气体却具有较大的可压缩性。尽管两者工作介质不同,但液压与气压传动的基本工作原理、元件的工作机理以及回路的构成等方面极为相似;也正因为介质不同,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,其相应的元件也不能互换。

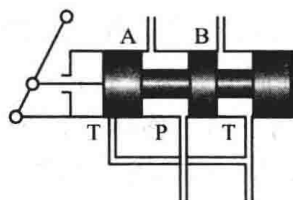
1. 液压传动的工作原理

图 0-1 所示为实现工作台往复运动的简单机床的液压传动系统,以其为例来分析液压传动的工作原理。2 为网式过滤器,起滤油作用。液压缸 8 固定在床身上,活塞 9 连同活

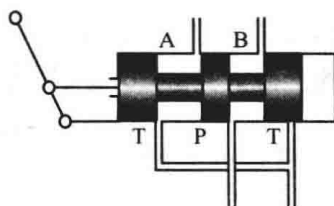
塞杆带动工作台 10 作直线往复运动。电动机带动液压泵 3 旋转，液压泵 3 从油箱 1 经过过滤器 2 吸油，油液通过节流阀 4 流至换向阀 6。当手柄 7 处于图 0-1(a) 中所示位置时，P 与 A、B、T 均不相通，液压缸 8 不通油，所以工作台静止不动。



(a) 传动系统原理图



(b) 手柄 7 右位时



(c) 手柄 7 左位时

- 1—油箱；
- 2—过滤器；
- 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

图 0-1 简单机床的液压传动系统

若将手柄 7 推至图 0-1(b) 所示位置，此时油液从“P→A→液压缸 8 左腔”进入液压缸，从“液压缸 8 右腔→B→T”流出液压缸，实现工作台 10 向右移动。若将手柄 7 推至图 0-1(c) 所示位置，这时油液从“P→B→液压缸 8 右腔”进入液压缸，从“液压缸 8 左腔→A→T”流出液压缸，实现工作台 10 向左移动。由此可见：由于设置了换向阀 6，所以可改变压力油的通路，使液压缸不断换向，从而实现工作台的往复运动。

工作台速度可通过节流阀 4 来调节，通过改变节流阀 4 开口的大小来调节通过节流阀油液的流量，以控制工作台的速度。

工作台运动时，要克服阻力、切削力和相对运动件表面的摩擦力等，这些阻力由液压泵输出油液的压力来克服。根据工作情况的不同，液压泵输出油液的压力应该能够调整。另外在一般情况下，液压泵排出的油液往往多于液压缸所需的油液，多余的油液经溢流阀 5 流回油箱。

通过对上面系统的分析可知：

(1) 液压传动是依靠运动着的液体的压力能来传递动力的，它与依靠液体的动能来传递动力的“液力传动”不同。

(2) 液压系统工作时，液压泵将机械能转变为压力能，执行元件(液压缸)将压力能转变为机械能。

(3) 液压传动系统中的油液是在受调节、受控制的状态下进行工作的，液压传动与控制难以截然分开。

(4) 液压传动系统必须满足它所驱动的机床部件(工作台)对力和速度方面的要求。

(5) 液压传动需有工作介质。液压传动是以液体作为工作介质来传递信号和动力的。

2. 气压传动的工作原理

气压传动与液压传动的基本工作原理是相似的,它利用空气压缩机将原动机(电动机、内燃机等)输出的机械能转变为空气的压力能,然后在控制元件的控制及辅助元件的配合下,利用执行元件把空气的压力能转变为机械能,从而完成直线或回转运动并对外做功。下面以气动剪切机的工作过程为例来说明其工作原理。

图 0-2 所示为气动剪切机工作原理图,当工料 11 由上料装置(图中未画)送入剪切机的规定位置时,将行程阀 8 顶开,换向阀 9 的下腔通过行程阀 8 与大气相通,使换向阀 9 的阀芯在弹簧力的作用下向下移动。由空气压缩机 1 产生的压缩空气,经过初次净化处理后储藏在储气罐 4 中,经过分水滤气器 5、减压阀 6、油雾器 7 和换向阀 9,进入气缸 10 的下腔。气缸 10 上腔的压缩空气通过换向阀 9 排入大气。此时,气缸活塞在大气压力的作用下向上运动,带动剪切刀将工料 11 剪断。工料剪下后,马上与行程阀 8 脱开,行程阀复位,阀芯将排气通道堵死,换向阀 9 下腔的气压升高,迫使换向阀 9 的阀芯上移,气路换向。压缩空气进入气缸 10 的上腔,气缸 10 的下腔排气,气缸活塞下移,带动剪切刀复位,准备第二次下料。

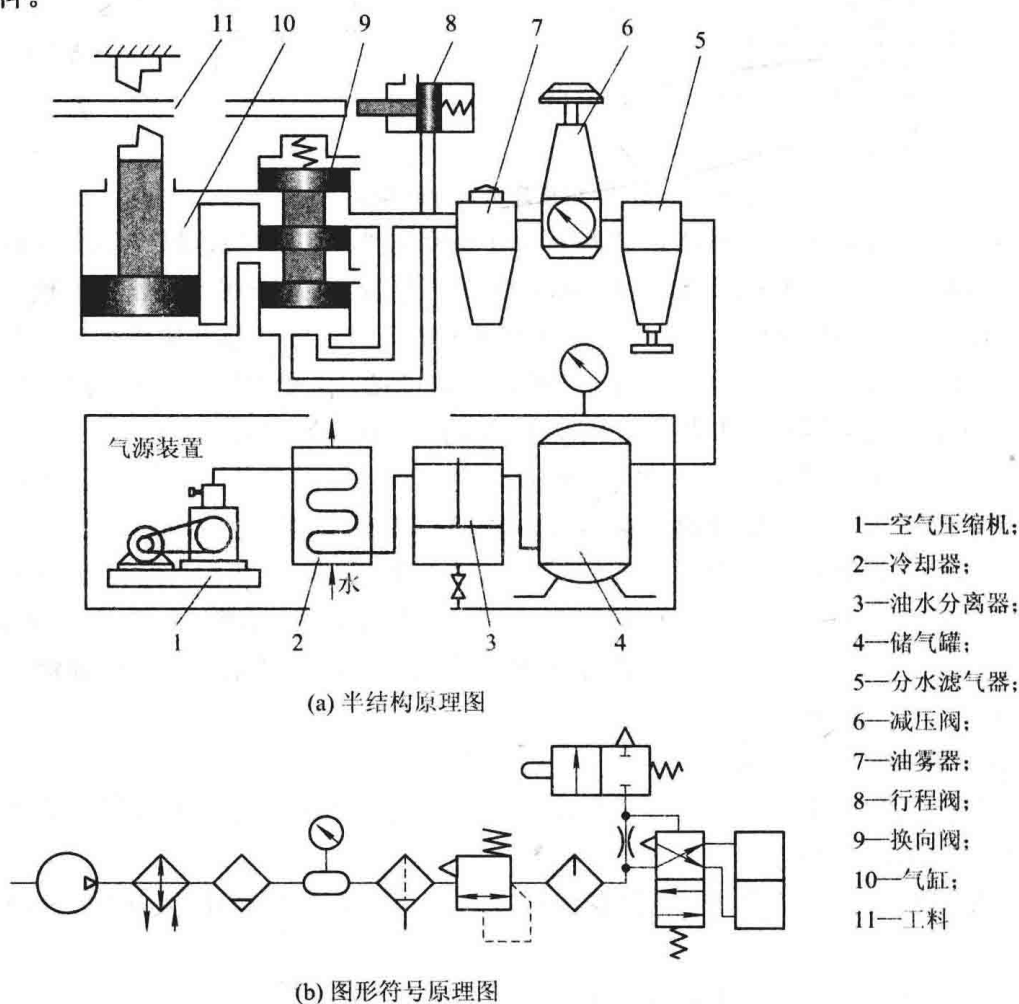


图 0-2 气动剪切机工作原理图

0.2.2 液压与气压传动的组成

尽管液压传动系统和气压传动系统的特点不尽相同,但其组成形式类似。从上述液压和气压传动系统的工作原理分析可以看出,液压与气压传动系统大致由以下五部分组成。

(1) 动力元件。动力元件是指能将原动机的机械能转换成液压能或气压能的装置,它是液压与气压传动系统的动力源。对液压传动系统而言是液压泵,其作用是提供压力油;对气压传动系统而言是气压发生装置,也称为气源装置,其作用是提供压缩空气。

(2) 控制调节元件。控制调节元件包括各种阀类元件,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。执行元件指缸或马达,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) 辅助元件。除以上装置外的其他元器件都称为辅助元件,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、各种信号转换器等。它们是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起着重要的作用。

(5) 工作介质。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,在气压传动系统中通常指压缩空气。

图 0-3 所示为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。

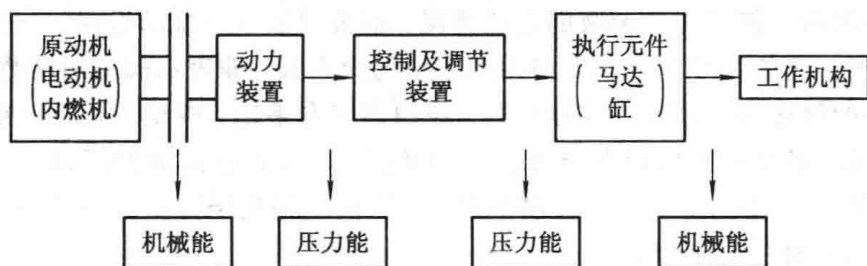


图 0-3 液压与气压传动系统能量转换和传递图

0.2.3 液压与气压传动的图形符号

图 0-1 为液压系统的半结构原理图,这种原理图直观性强,容易理解,但图形较复杂,特别是当元件较多时,绘制很不方便。为简化原理图的绘制,系统中各元件可采用图形符号来表示,这些符号只表示元件的职能,不表示元件的结构和参数。GB/T 786.1—2009 为元件图形符号的国家标准。

(1) 液压泵图形符号。由一个圆加上一个实心三角以及圆外的旋转运动方向来表示,三角尖向外,表示油液的方向。图 0-4 中旋转方向为单向箭头,表示单向旋转;若为双向箭头,则表示双向旋转。图 0-4 中无斜向穿过圆的箭头表示该泵为定量泵,若有箭头则为变量泵。

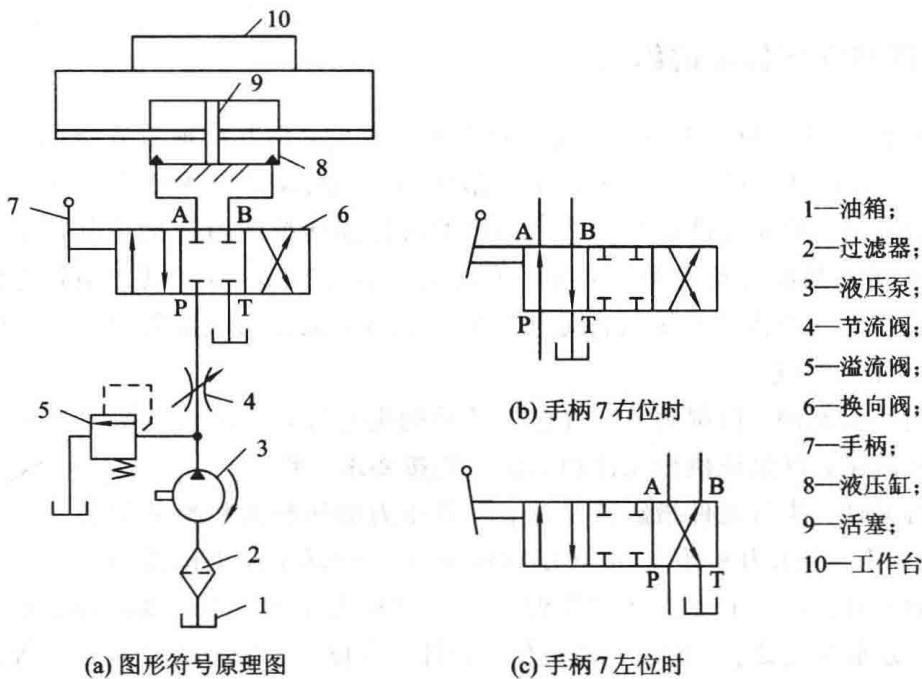


图 0-4 用图形符号表示的简单机床的液压传动系统

(2) 换向阀图形符号。为改变油液的流动方向，换向阀的阀芯位置要变换，它一般可变动 2~3 个位置；阀体上的通路数根据需要也不同。根据阀芯可变动的位置数和阀体上的通路数，可组成“×位×通”换向阀。其图形意义如下：

- ① 换向阀的工作位置用方格表示，有几个方格即表示几位阀。
- ② 方格内的箭头符号表示油液的连通情况，不表示油液的流动方向，“T”表示油液被阀芯闭死的符号。这些符号在一个方格内和方格的交点数，即表示阀的通路数。
- ③ 方格外的符号为操纵阀的控制符号。控制形式有手动、机动、电动和液动等。

(3) 压力阀图形符号方格相当于阀芯，方格中的箭头表示油液的通道，两侧的直线代表进出油管。图 0-4 中的虚线表示控制油路，压力阀就是利用控制油路的液压力与另一侧弹簧力相平衡的原理进行工作的。

(4) 节流阀图形符号两圆弧所形成的缝隙即为节流孔道，油液通过节流孔使流量变化。图 0-4 中节流阀的箭头表示节流孔的大小可以改变，称为可调节流阀，即表示通过该阀的流量是可以调节的。

绘制液压系统图时规定：图中液压元件的图形符号应以元件的静止状态或零位来表示。由此，可将图 0-1 对应画成图 0-4 所示的用图形符号表示的液压系统原理图。

气压传动的职能符号要求与液压传动基本相似，图 0-2(b)为用图形符号表示的气动剪切机工作原理图。

0.3 液压与气压传动的特点、应用及发展趋势

0.3.1 液压与气压传动的特点

每一种传动方式都有其特点、用途和适用范围。

机械传动是通过齿轮、齿条、带、链等构件来传递动力和进行控制的传动方式，其优点是传动准确可靠、制造容易、操作简单、维护方便和传动效率高等。缺点是一般不能进行无级调速，远距离传动较困难，结构比较复杂等。

电力传动是利用电力设备并调节电参数来传递动力和进行控制的。其主要优点是能量传递方便，信号传递迅速，标准化程度高，易于实现自动化等。缺点是运动平稳性差，易受外界负载的影响；惯性大，启动及换向慢；成本较高；受温度、湿度、振动、腐蚀等环境影响较大。

与机械传动和电力传动相比较，液压与气压传动具有以下特点。

1. 液压传动的特点

1) 主要优点

- (1) 液压传动的各个元件，可根据需要方便、灵活地来布置。
- (2) 重量轻、体积小、运动惯性小、反应速度快。
- (3) 操纵控制方便，可实现大范围的无级调速(调速范围达 2000 : 1)。
- (4) 可自动实现过载保护，实用安全可靠，不会因过载造成元件损坏。
- (5) 一般采用矿物油为工作介质，相对运动面可自行润滑，使用寿命长。
- (6) 很容易实现直线运动。
- (7) 容易实现机器的自动化，特别是采用机、电、液联合控制后，不仅可实现更高层次的自动控制过程，而且可以实现遥控。
- (8) 由于液压元件已经实现标准化、系列化和通用化，故液压传动系统的设计、制造、维修过程都大大简化，从设计到投入使用的周期短。

2) 主要缺点

- (1) 由于液体流动的阻力损失和泄漏较大，所以效率较低。如果处理不当，泄漏不仅污染场地，而且还可能引起火灾或爆炸事故。
- (2) 液压传动中的泄漏会影响执行元件的准确性。故液压传动系统不宜用于传动比要求严格的情况(如切削螺纹、齿轮加工等)。
- (3) 液压传动对油温的变化比较敏感。其工作稳定性很容易受温度的影响，因而不宜在很高或很低的温度下工作。
- (4) 造价较高。为了减少泄漏，液压元件的制造和装配精度要求较高，因此液压元件及液压设备的造价较高。同时，由于液压元件相对运动件之间的配合间隙很小，所以对工作介质的污染比较敏感，需要较好的工作环境。
- (5) 故障诊断困难。液压元件与系统容易因液压油液污染等原因造成系统故障，若使用者和维修者工作经验不足，发生故障是很难诊断的。

2. 气压传动的特点

1) 主要优点

- (1) 工作介质为空气，可以从大气中取得，同时，用过的空气可直接排放到大气中去，不会污染环境。
- (2) 空气的黏度很小，流动阻力小，在管道中的压力损失较小，因此压缩空气便于集中供应(空压站)和远距离输送。