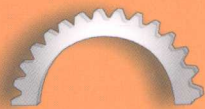




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校机械工程及自动化

机械设计制造及其自动化




专业系列教材

液压与 气压传动

(第二版)

主编 姜继海 宋锦春 高常识

 高等教育出版社

内容简介

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校机械工程及自动化
(机械设计制造及其自动化)专业系列教材

液压与气压传动

第二版

主编 姜继海 宋锦春 高常识

参编 (以姓氏笔画为序)

许万凌 许宏光 吴振顺 张志伟

陈建文 郑 炜 曹 健

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是高等学校机械工程及自动化(机械设计制造及其自动化)专业系列教材之一,也是教育部新世纪网络课程建设工程项目之一“液压与气压传动网络课程”的主要参考书,是在第一版的基础上,结合众多院校的使用意见和液压气动技术的最新发展成果修订而成的。

全书共分 11 章:第 1 章概述液压与气压传动的工作原理和组成、特点、工作介质的性质和选择等;第 2 章介绍液体静力学和动力学、孔口和缝隙流量、气体静力学和动力学等;第 3 章~第 6 章分别介绍液压与气压传动系统所用的动力元件、执行元件、控制调节元件和辅助元件;第 7 章介绍液压与气压传动回路;第 8 章介绍典型的液压与气压传动系统;第 9 章介绍液压与气压传动系统设计计算、系统原理图的拟定;第 10 章简单地介绍液压与气压伺服系统;第 11 章介绍气压逻辑回路与控制系统。每章附有习题。在附录中简要地介绍了 GB/T 786.1—1993 中规定的部分常用液压气动图形符号,并有习题参考答案。

本书的特点是:以流体力学和热力学为基础,以液压与气压传动系统为主线,以能初步设计液压与气压传动系统为目的,以液压与气压传动回路为基本框架,以实验教学和习题为巩固所学内容的手段,使学生对液压与气压传动方面的基础知识有全面的了解,掌握重点内容,以便于和其它课程进行有机的结合,达到所要求的教学目的。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/姜继海,宋锦春,高常识主编.—2 版.—北京:
高等教育出版社,2009.5
ISBN 978-7-04-026133-2

I. 液… II. ①姜…②宋…③高… III. ①液压传动—高
等学校—教材②气压传动—高等学校—教材 IV. TH137
TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 042790 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京宏伟双华印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2002 年 1 月第 1 版
印 张	24		2009 年 5 月第 2 版
字 数	580 000	印 次	2009 年 5 月第 1 次印刷
		定 价	30.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26133-00

第二版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是高等学校机械工程及自动化(机械设计制造及其自动化)专业系列教材之一,也是“教育部新世纪网络课程建设工程”项目之一“液压与气压传动网络课程”的主要参考书。本书适合于该课程学时数为45学时左右的机械设计制造及其自动化专业使用,其它机械类专业可根据具体情况进行删减或补充。

“液压与气压传动”课程是根据教育部专业设置和课程整合的教改要求而设置的。为了在减少课堂教学学时的同时拓宽学生的知识面,本书将“流体力学”、“液压传动”和“气压传动”三门课的教学内容根据教学需要进行整合,可以使学生掌握和液压与气压传动相关的流体力学基础知识、液压和气压传动方面的知识,为后续的课程学习、设计训练和毕业后的工作奠定基础。

本书的特点是从目前教学改革出发,强调知识的应用与能力的培养;在内容的选取和安排上,使液压与气压传动知识有机融合,相互交叉;处理好理论与实际应用的关系,重点介绍理论知识,强调基本训练,加强分析、解决实际问题的能力及工程应用素质的培养;少而精,系统性强。

本书是在编者多年教学和科研工作的基础上,总结同类教材的编写经验并汲取本课程领域内最新的教学和科研成果,精心组织编写而成。本次修订不仅改正了第一版的疏漏,还对基本概念的表达进行了完善,使之更加严谨,通俗易懂,并根据液压与气动技术的发展,对内容进行了增减,如增加了磁性开关气缸、磁性无活塞气缸等内容。此外,本次修订,还对习题进行部分调整。

本书由姜继海、宋锦春、高常识主编。参加本书编写的有:哈尔滨工业大学许宏光、姜继海、曹健(第1、10章,附录),吴振顺(第11章),东北大学宋锦春、张志伟、陈建文(第2、6、9章),哈尔滨理工大学高常识(第3、8章),北京科技大学许万凌(第5、7章),天津大学郑炜(第4章)。全书由姜继海修改定稿。

本书由哈尔滨工业大学吴盛林教授主审。参加审稿的还有哈尔滨工业大学李尚义教授、哈尔滨商业大学李国忱教授和东北农业大学米伯林教授。他们对本书编写提出了许多宝贵意见和建议,在此一并表示感谢。

本书主要用作高等院校机械设计制造及其自动化专业的教材,也可作为普通高等院校其它相关专业的教材或参考书,还可作为各类业余大学、职工大学、职业技术学院、函授大学、电视大学等相关专业的教材或参考书,并可供从事机械制造的工程技术人员和科技工作者参考使用。

为了方便高校师生的教学和学习,本书还配有《液压与气压传动CAI课件》,供选择使用。

由于编者水平和经验所限,书中难免有不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

作者

2009年1月

目 录

第1章 绪论	1	的力	21
1.1 液压与气压传动系统的工作原理 和组成	1	2.2 液体动力学	22
1.1.1 液压与气压传动系统的工作 原理	1	2.2.1 基本概念	22
1.1.2 液压与气压传动系统的组成	3	2.2.2 连续性方程	24
1.2 液压与气压传动的特点	4	2.2.3 伯努利方程	25
1.2.1 液压传动的特点	4	2.2.4 动量方程	28
1.2.2 气压传动的特点	5	2.3 液体流动时的压力损失	30
1.3 液压与气压传动的概况	5	2.3.1 液体的流动状态	30
1.3.1 液压与气压传动的现状	5	2.3.2 沿程压力损失	31
1.3.2 液压与气压传动的发展	6	2.3.3 局部压力损失	34
1.4 液压与气压传动的图形符号	6	2.3.4 管路系统总压力损失	34
1.5 液压与气压传动工作介质的性质 和选择	7	2.4 孔口和缝隙流量	35
1.5.1 液压工作介质的种类	7	2.4.1 孔口流量	35
1.5.2 液压工作介质的性质	8	2.4.2 缝隙流量	37
1.5.3 对液压工作介质的要求	11	2.5 气体静力学	40
1.5.4 液压工作介质的选择	11	2.5.1 理想气体状态方程	41
1.5.5 气压工作介质	12	2.5.2 热力学第一定律	41
1.5.6 空气的性质	13	2.5.3 静止气体状态变化	41
1.6 液压与气压传动工作介质的污染 及控制	14	2.6 气体动力学	42
1.6.1 工作介质污染的原因	15	2.6.1 气体流动的基本概念	42
1.6.2 工作介质污染的危害	16	2.6.2 气体流动的基本方程	42
1.6.3 工作介质污染的控制	16	2.6.3 音速和气体在管道中的流动 特性	43
思考题和习题	17	2.6.4 气体管道的阻力计算	46
第2章 液压与气压传动流体力学基础	18	2.6.5 气体的通流能力	47
2.1 液体静力学	18	2.6.6 充放气参数的计算	47
2.1.1 液体的压力	18	2.7 空穴现象和液压冲击	49
2.1.2 静止液体中的压力分布	18	2.7.1 空穴现象	50
2.1.3 压力的表示方法和单位	20	2.7.2 液压冲击	50
2.1.4 静止液体中的压力传递	21	思考题和习题	52
2.1.5 液体静压力作用在固体壁面上	21	第3章 液压与气压传动动力元件	56
		3.1 概述	56
		3.1.1 液压泵的工作原理	56
		3.1.2 液压泵的性能参数	57

3.2 齿轮泵	60	4.6 液压及气压马达	120
3.2.1 齿轮泵的工作原理	60	4.6.1 液压马达的分类、特点及应用	120
3.2.2 齿轮泵的排量和流量	61	4.6.2 液压马达的工作原理	121
3.2.3 齿轮泵的结构特点	62	4.6.3 液压马达的主要性能参数	122
3.2.4 提高外啮合齿轮泵压力的措施	64	4.6.4 高速液压马达	124
3.2.5 内啮合齿轮泵	65	4.6.5 低速大转矩液压马达	125
3.2.6 螺杆泵	66	4.6.6 气压马达的分类、特点及应用	127
3.3 叶片泵	67	思考题和习题	129
3.3.1 双作用叶片泵	67	第5章 液压与气压传动控制调节元件	131
3.3.2 单作用叶片泵	73	5.1 概述	131
3.3.3 单作用变量叶片泵	74	5.1.1 控制阀的分类	131
3.4 柱塞泵	78	5.1.2 控制阀的性能参数	132
3.4.1 径向柱塞泵	78	5.2 方向控制阀	133
3.4.2 轴向柱塞泵	80	5.2.1 单向阀	133
3.5 各类液压泵的性能比较及应用	88	5.2.2 换向阀	135
3.6 气源装置	90	5.3 压力控制阀	148
3.6.1 气压系统对压缩空气的要求及净化	90	5.3.1 溢流阀	148
3.6.2 气源装置的组成和布置	90	5.3.2 减压阀	154
3.6.3 空气压缩机	91	5.3.3 顺序阀	159
思考题和习题	94	5.3.4 压力继电器	162
第4章 液压与气压传动执行元件	96	5.4 流量控制阀	163
4.1 缸的分类和特点	96	5.4.1 节流阀	163
4.1.1 活塞缸	96	5.4.2 调速阀	166
4.1.2 柱塞缸	99	5.4.3 分流集流阀	167
4.1.3 摆动缸	100	5.5 插装阀	169
4.2 其它形式的常用缸	101	5.5.1 插装阀概述	169
4.3 缸的结构	109	5.5.2 插装方向阀	170
4.3.1 缸体组件	109	5.5.3 插装压力阀	171
4.3.2 活塞组件	110	5.5.4 插装流量阀	171
4.3.3 缓冲装置	112	5.5.5 插装阀及其集成系统的特点	171
4.3.4 排气装置	113	5.6 电液数字控制阀	172
4.4 缸的设计计算	114	5.6.1 数字阀的结构	172
4.4.1 缸主要尺寸的计算	114	5.6.2 数字阀的应用	174
4.4.2 气缸的耗气量计算	115	5.7 电液比例控制阀	174
4.4.3 缸的强度计算与校核	115	5.7.1 电-机械转换器	175
4.5 缸缓冲装置的设计计算	118	5.7.2 比例阀	177
4.5.1 缓冲装置的工作原理	118	思考题和习题	181
4.5.2 液压缸缓冲装置的设计计算	118	第6章 液压与气压系统辅助元件	183
4.5.3 气缸缓冲装置的设计计算	119	6.1 蓄能器	183
		6.1.1 蓄能器的功能	183

6.1.2	蓄能器的类型	183	7.3.5	卸荷回路	218
6.1.3	蓄能器的容量计算	185	7.3.6	平衡回路	218
6.1.4	蓄能器的应用	187	7.3.7	释压回路	219
6.2	过滤器	188	7.4	速度控制回路	219
6.2.1	过滤器的类型和结构	188	7.4.1	节流式调速回路	220
6.2.2	过滤器的选用	191	7.4.2	调速阀式节流调速回路	226
6.2.3	过滤器的安装	192	7.4.3	容积式调速回路	227
6.3	油箱、热交换器、压力表及压力表 辅件	193	7.4.4	容积节流式调速回路	232
6.3.1	油箱	193	7.4.5	快速回路	235
6.3.2	热交换器	195	7.4.6	速度换接回路	236
6.3.3	压力表及压力表辅件	198	7.5	多缸运动控制回路	237
6.4	压缩空气净化设备的组成和 布置	199	7.5.1	顺序运动回路	237
6.5	气压辅件	201	7.5.2	同步运动回路	239
6.5.1	分水滤气器	201	7.5.3	运动互不干扰回路	242
6.5.2	油雾器	202	7.6	其它控制回路	243
6.5.3	消声器	204	7.6.1	气压延时回路	243
6.6	管件	204	7.6.2	气压往复运动回路	243
6.6.1	管道	204	思考题和习题		244
6.6.2	管接头	206	第8章 典型的液压与气压传动系统		248
6.7	密封装置	208	8.1	YT4543型组合机床动力滑台 液压系统	248
6.7.1	对密封装置的要求	209	8.1.1	概述	248
6.7.2	密封件的材料	209	8.1.2	液压系统的工作原理	249
6.7.3	常见的密封方法	209	8.1.3	液压系统的特点	251
6.7.4	密封件的类型	210	8.2	M1432A型万能外圆磨床液压 系统	251
6.8	其它辅助元件	212	8.2.1	概述	251
6.8.1	测压排气装置	212	8.2.2	往复直线运动换向回路	252
6.8.2	液压管夹	212	8.2.3	液压系统的工作原理	252
思考题和习题		212	8.2.4	液压系统的特点	255
第7章 液压与气压传动回路		214	8.3	剪板机液压系统	256
7.1	概述	214	8.3.1	概述	256
7.2	方向控制回路	214	8.3.2	液压系统的工作原理	256
7.2.1	一般方向控制回路	214	8.3.3	液压系统的特点	258
7.2.2	复杂方向控制回路	214	8.4	YB32-200型液压机液压系统	258
7.3	压力控制回路	216	8.4.1	概述	258
7.3.1	调压回路	216	8.4.2	液压系统的工作原理	259
7.3.2	减压回路	216	8.4.3	液压系统的特点	261
7.3.3	增压回路	217	8.5	Q2-8型汽车起重机液压系统	262
7.3.4	保压回路	217	8.5.1	概述	262

8.5.2	液压系统的工作原理	262	文件	291	
8.5.3	液压系统的特点	265	9.7	系统设计计算举例	292
8.6	SZ-250A型塑料注射成型机		9.7.1	明确系统设计要求	292
	液压系统	265	9.7.2	分析系统工况	292
8.6.1	概述	265	9.7.3	确定执行元件的工作压力	293
8.6.2	液压系统的工作原理	266	9.7.4	拟定系统原理图	294
8.6.3	液压系统的特点	269	9.7.5	选择元件	295
8.7	香皂装箱机气压系统	270	9.7.6	系统性能验算	296
8.7.1	概述	270		思考题和习题	297
8.7.2	气压系统的工作原理	271	第10章	液压与气压伺服系统	299
8.7.3	气压系统的特点	271	10.1	概述	299
8.8	气压传动机械手气压系统	271	10.1.1	伺服系统的工作原理和特点	299
8.8.1	概述	271	10.1.2	伺服系统职能方框图和系统的组成环节	301
8.8.2	气压系统的工作原理	272	10.1.3	伺服系统的分类	302
8.8.3	气压系统的特点	272	10.1.4	伺服系统的优缺点	302
8.9	2ZZ8625型射芯机气压系统	273	10.2	典型的伺服控制元件	302
8.9.1	概述	273	10.2.1	力矩马达和力马达	302
8.9.2	气压系统的工作原理	273	10.2.2	滑阀	302
8.9.3	气压系统的特点	275	10.2.3	射流管阀	304
	思考题和习题	275	10.2.4	喷嘴挡板阀	304
第9章	液压与气压传动系统的设计		10.3	伺服阀	305
	计算	278	10.3.1	液压伺服阀的分类、结构和工作原理	305
9.1	明确设计要求、进行工况分析	278	10.3.2	液压伺服阀的选用	309
9.1.1	明确设计要求	278	10.3.3	气压伺服阀	310
9.1.2	执行元件的工况分析	279	10.4	液压伺服系统	311
9.2	执行元件主要参数的确定	281	10.4.1	车床液压仿形刀架	311
9.2.1	初选执行元件的工作压力	281	10.4.2	机械手伸缩运动伺服系统	312
9.2.2	确定执行元件的主要结构参数	281	10.4.3	钢带张力控制系统	313
9.2.3	复算执行元件的工作压力	282	10.5	气压伺服系统	314
9.2.4	执行元件的工况图	283	10.5.1	力控制伺服系统	314
9.3	系统原理图的拟定	284	10.5.2	张力控制伺服系统	315
9.4	元件的计算和选择	286	10.5.3	加压控制伺服系统	315
9.4.1	动力元件的选择	286		思考题和习题	316
9.4.2	阀类元件的选择	287	第11章	气压逻辑回路与控制	317
9.4.3	辅助元件的选择	288	11.1	逻辑代数	317
9.4.4	阀类元件配置形式的选择	289	11.1.1	三种基本逻辑运算及其恒等式	317
9.5	系统性能验算	290	11.1.2	基本定律	318
9.5.1	系统压力损失的验算	290			
9.5.2	系统发热温升的验算	290			
9.6	绘制正式工作图和编制技术				

11.1.3	形式定律	318	11.5	可编程控制器及其应用	345
11.1.4	逻辑运算规则和对偶定理	319	11.5.1	指令系统及编程	346
11.1.5	逻辑函数、真值表、基本逻辑门 和逻辑图	319	11.5.2	可编程控制器在行程程序控制 系统中的应用	354
11.2	气压逻辑回路	320	思考题和习题	359	
11.3	逻辑回路的设计	322	附录	361	
11.3.1	逻辑代数法	322	部分常用液压气动图形符号(摘自 GB/T 786.1—1993)	361	
11.3.2	卡诺图法	326	部分习题参考答案	368	
11.4	程序控制系统	331	参考文献	371	
11.4.1	气压系统中常用的电气电路	332			
11.4.2	行程程序控制系统的设计	335			

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。

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。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量;而液力传动则主要是利用液体的动能来传递能量。根据液压传动的工作特点它又可称为容积式液压传动。

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。气压传动是利用压缩气体的压力能来实现能量传递的一种传动方式,其工作介质主要是空气,也包括燃气和蒸汽。

本书主要介绍以液体作为工作介质的液压传动技术和以压缩空气作为工作介质的气压传动技术。

1.1 液压与气压传动系统的工作原理和组成

1.1.1 液压与气压传动系统的工作原理

1. 液压传动系统的工作原理

图 1.1 为一台用半结构式图形绘出的驱动机床工作台的液压传动系统工作原理图。这个系统可使工作机构作直线往复运动、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 1.1 a 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 15 和回油管 14 排回油箱。

如果将换向阀手柄 16 转换成如图 1.1 b 所示的状态,则压力管 10 中的油液将经过开停(换向)阀 9、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,并使液压缸左腔的油液经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。

工作台的移动速度是由节流阀 13 来调节的。当节流阀口开大时,进入液压缸 18 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 18 的油液减少,工作台 19 的移动速度减小。

为了克服移动工作台 19 所受到的各种阻力,液压缸 18 必须产生一个足够大的推力,这个推

力是由液压缸 18 中的油液压力产生的。要克服的阻力越大,液压缸 18 中的油压越高;反之压力就越低。液压泵 4 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 6 流回油箱 1。所以,在图示液压系统中,液压泵 4 出口处的油液压力是由溢流阀 7 决定的,它和液压缸 18 中的压力不一样。

如果将换向阀手柄转换成图 1.1 c 所示的状态,压力管中的油液将经溢流阀 7 和回油管 3 排回油箱 1,不进到液压缸 18 中去,这时工作台 19 停止运动,而系统保持溢流阀 7 调定的压力。

如果将开停阀手柄 11 转换成图 1.1 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,不进到液压缸 18 中去,这时工作台 19 就停止运动,而液压泵 4 输出的油液直接流回油箱 1,使液压系统卸荷。

图 1.2 给出了用液压传动图形符号绘制的相应于图 1.1 的液压传动系统工作原理图。

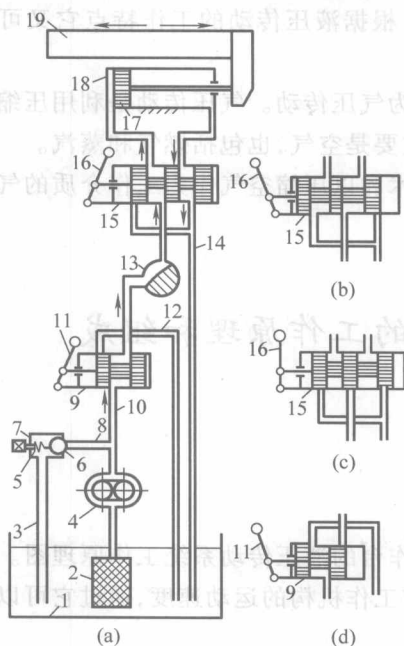


图 1.1 液压传动系统工作原理图

- 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

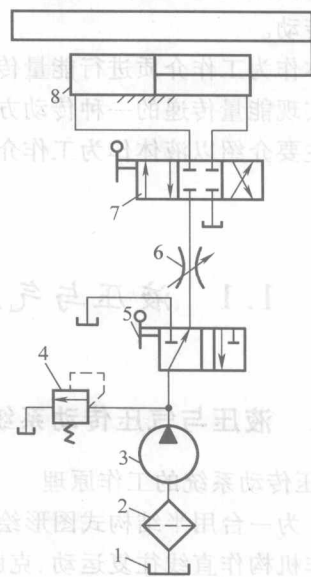


图 1.2 用液压传动图形符号绘制的液压传动系统工作原理图

- 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

2. 气压传动系统的工作原理

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,液压传动元件和气压传动元件是分别由不同的专业生产厂家加工制造的。

图 1.3 给出了一个部分气动元件用图形符号绘制的气压传动系统工作原理图。在图 1.3 中,原动机驱动空气压缩机 1,空气压缩机将原动机的机械能转换为气体的压力能,受压缩后的空气经后冷却器 2、除油器 3、干燥器 4,进入到储气罐 5。储气罐用于储存压缩空气并稳定压力。压缩空气再经过滤器 6,由调压(减压)阀 7 将气体压力调节到气压传动装置所需的工作压力,并保持稳定。油雾器 9 用于将润滑油喷成雾状,悬浮于压缩空气中,使控制阀及气缸得到润滑。经过处理的压缩空气,通过气压控制元件 10、11、12、14 和 15 的控制进入气压执行元件 13,推动活塞带动负载工作。气压传动系统的能源装置一般都设在距控制、执行元件较远的空气压缩机房内,用管道将压缩空气输送给执行元件,而过滤器以后的部分一般都集中安装在气压传动工作机构附近,各种控制元件按要求组合后构成具有不同功能的气压传动系统。

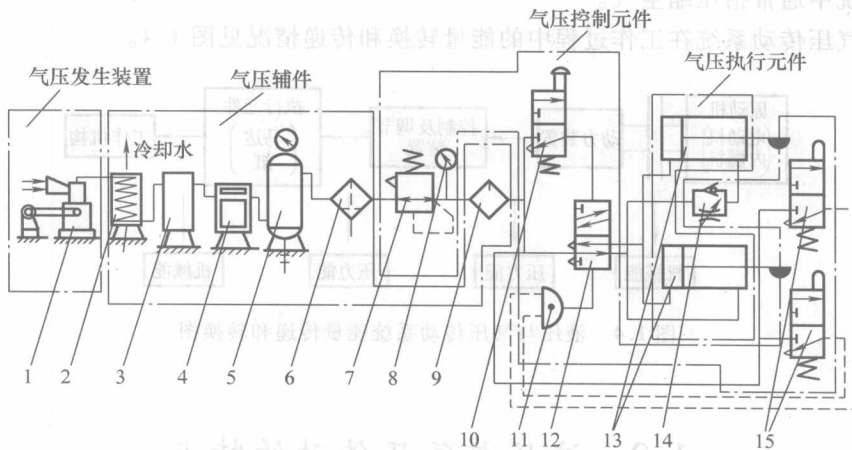


图 1.3 气压传动系统工作原理图

1—空气压缩机;2—后冷却器;3—除油器;4—干燥器;5—储气罐;6—过滤器;7—调压(减压)阀;8—压力表;9—油雾器;10、12—气压控制阀;11—气压逻辑元件;
13—气缸;14—可调单向节流阀;15—行程阀

从液压传动系统和气压传动系统这两个例子可以看出:

- (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。

1.1.2 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五部分组成:

(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

压缩空气。

(2) 控制及调节装置 它包括各种阀类元件,其作用是用来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,是将压力能转换成机械能的装置,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),以驱动工作机构作功。

(4) 辅助装置 除以上装置外的其它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要工作起辅助作用的元件,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。

(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见图 1.4。

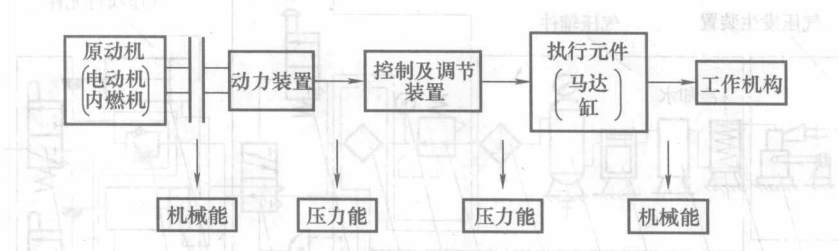


图 1.4 液压与气压传动系统能量传递和转换图

1.2 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来进行能量的传递和转换,其系统的组成又基本相同,但由于所使用的工作介质不同,使得这两种系统有各自不同的特点。

1.2.1 液压传动的特点

液压传动的特点主要有以下几方面:

(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,也就是说,在同等功率下,液压装置的体积小、重量轻、结构紧凑,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,并且对速度的调节还可以在在工作过程中进行。

(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、气压传动控制或其它传动控制结合起来,实现复杂的运动和

(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) 由于液压传动中的泄漏和液体的可压缩性使这种传动无法保证严格的传动比。
- (8) 液压传动有较多的能量损失(泄漏损失、摩擦损失等),因此,传动效率相对低。
- (9) 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。
- (10) 液压传动在出现故障时不易诊断。

1.2.2 气压传动的特点

气压传动的特点主要有以下几方面:

- (1) 气压传动的工作介质是空气,它取之不尽用之不竭,用后的空气可以排到大气中去,不会污染环境。
- (2) 气压传动的工作介质粘度很低,所以流动阻力很小,压力损失小,便于集中供气和远距离输送。
- (3) 气压传动对工作环境适应性好,在易燃、易爆、多尘埃、强辐射和振动等恶劣工作环境下,仍能可靠地工作。
- (4) 气压传动动作速度和反应快。液压油在管道中流动速度一般为 $1 \sim 5 \text{ m/s}$,而气体流速可以大于 10 m/s ,甚至接近声速,因此在 $0.02 \sim 0.03 \text{ s}$ 内即可以达到所要求的工作压力及速度。
- (5) 气压传动有较好的自保持能力。即使压缩机停止工作,气阀关闭,气压传动系统仍可维持一个稳定压力。而液压传动要维持一定的压力,需要能源装置工作或在系统中加蓄能器。
- (6) 气压传动在一定的超负载工况下运行也能保证系统安全工作,并不易发生过热现象。
- (7) 气压传动系统的工作压力低,因此气压传动装置的推力一般不宜大于 $10 \sim 40 \text{ kN}$,仅适用于小功率的场合。在相同输出力的情况下,气压传动装置比液压传动装置尺寸大。
- (8) 由于空气的可压缩性大,气压传动系统的速度稳定性差,给系统的位置和速度控制精度带来很大影响。
- (9) 气压传动系统的噪声大,尤其是排气时,需加消声器。
- (10) 气压传动工作介质本身没有润滑性,如不采用无给油气压传动元件,需另加油雾器进行润滑,而液压系统无此问题。

1.3 液压与气压传动的概况

1.3.1 液压与气压传动的现状

液压传动和气压传动统称为流体传动,它是工农业生产中广为应用的一门技术。如今,流体传动技术水平的高低已成为一个国家工业发展水平的标志。

液压传动有许多突出的特点,因此它的应用非常广泛,如一般工业用的塑料加工机械、压力机械、机床等;行走机械中的工程机械、建筑机械、农业机械、汽车等;钢铁工业用的冶金机械(提升装置、轧辊调整装置)等;土木水利工程用的防洪闸门及堤坝装置、河床升降装置、桥梁操纵机构等;发电厂用的涡轮机调速装置等;船舶用的甲板起重机械(绞车)、船头门、舱壁阀、船尾推进器等;特殊技术用的巨型天线控制装置、测量浮标、升降旋转舞台等;军事工业用的火炮操纵装

置、舰船减摇装置、飞行器仿真装置、飞机起落架的收放装置和方向舵控制装置等。

气压传动的应用也相当普遍,许多机器设备中都配有气压传动系统,在工业各领域(如机械、电子、钢铁、运输车辆及制造、橡胶、纺织、化工、食品、包装、印刷和烟草领域等),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。

1.3.2 液压与气压传动的发展

液压传动相对于机械传动是一门新学科。但相对于计算机等新技术,它又是一门较老的技术。如果从17世纪帕斯卡提出静压传递原理、18世纪英国制成世界上第一台水压机算起,液压传动已有二百多年的历史。只是由于在早期没有成熟的液压传动技术和液压元件,而使它没有得到普遍的应用。随着科学技术的不断发展,各行各业对传动技术有了不断的需求。特别是在第二次世界大战期间,由于军事上迫切地需要反应快、重量轻、功率大的各种武器装备,而液压传动技术适应了这一要求,促使液压传动技术获得了发展,在二战后的50年中,液压传动技术迅速地转向其它各个部门,并得到了广泛的应用。

气压传动的应用历史悠久。早在公元前,埃及人就开始用风箱产生压缩空气助燃,这是最初气压传动的应用。从18世纪的产业革命开始,气压传动逐渐被应用于各类行业中。如矿山用的风钻、火车的刹车装置等。而气压传动应用于一般工业中的自动化、省力化则是近些年的事情。目前世界各国都把气压传动作为一种低成本的工业自动化手段。国内外自20世纪60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。

目前,它们分别在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、长寿命、高度集成化、小型化与轻量化、一体化和执行件柔性化等方面取得了很大的进展。同时,由于与微电子技术密切配合,能在尽可能小的空间内传递尽可能大的功率并加以准确的控制,从而更使得它们在各行各业中发挥出了巨大作用。

1.4 液压与气压传动的图形符号

在图1.1中组成液压传动系统的各个元件是用半结构式图形绘制出来的,在图1.2中组成液压系统的元件和在图1.3中组成气压传动系统的部分元件是用国家标准所规定的图形符号绘制的。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,特别是在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。在用图形符号绘制系统原理图时,图中的符号只表示元(辅)件的功能、操作(控制)方法及外部接口,不表示元(辅)件的具体结构和参数,也不表示接口的实际位置和元(辅)件的安装位置。在用图形符号绘图时,除非特别说明,图中所示状态均表示元(辅)件的静止位置或零位置,并且除特别注明的符号或有方向性的元(辅)件符号外,它们在图中可根据具体情况水平或垂直绘制。使用这些图形符号后,可使系统图简单明了,便于绘制。当有些元件无法用图形符号表达或在国家标准中未列入时,可根据标准中规定的

符号绘制规则和所给出的符号进行派生。当无法用标准直接引用或派生,或有必要特别说明系统中某一元(辅)件的结构和工作原理时,可采用局部结构简图或采用它们的结构或半结构示意图来表示。在用图形符号绘图时,符号的大小应以清晰美观为原则,绘制时可根据图纸幅面的大小酌情处理,但应保持图形本身的适当比例。

1.5 液压与气压传动工作介质的性质和选择

液压与气压传动是用流体作为工作介质来传递能量的。在液压与气压传动系统中,工作介质用来传递动力、运动或信号,对于液压传动系统来说液压油还起到润滑、冷却和防锈等作用。液压与气压传动系统,特别是液压传动系统能否可靠、有效地工作,在很大程度上取决于系统中所使用的工作介质。因此,必须对工作介质有一清晰的了解。

1.5.1 液压工作介质的种类

在液压传动系统中所使用的工作介质大多数是石油基液压油,但也有合成液体、水包油乳化液(也称为高水基)和油包水乳化液等。近些年来,水压传动的研究又有上升的趋势,水压传动包括纯水传动和海水传动。这里主要介绍液压传动的工作介质,它们的种类如表 1.1 所示。

表 1.1 液压传动工作介质的种类

工 作 介 质	石油基液压油	无添加剂的石油基液压油(L-HH) HH+抗氧化剂、防锈剂(L-HL) HL+抗磨剂(L-HM) HL+增粘剂(L-HR) HM+增粘剂(L-HV) HM+防爬剂(L-HG)		
	难燃液	含水液 压液	高含水液压液(L-HFA)	水包油乳化液(L-HFAE) 水的化学溶液(L-HFAS)
			油包水乳化液(L-HFB) 水-乙二醇(L-HFC)	
	合成液压液	合成液压液	磷酸酯液(L-HFDR) 氯化烃(L-HFDS) HFDR+HFDS(L-HFDT) 其它合成液压液(L-HFDU)	

石油基液压油是以精炼后的机械油为基料,按需要加入适当的添加剂而制成。所加入的添加剂大致有两类:一类是用来改善油液化学性质的,如抗氧化剂、防锈剂等;另一类是用来改善油液物理性质的,如增粘剂、抗磨剂等。矿物油型液压油润滑性好,但抗燃性差。为此又研制出难

燃型液压液(乳化型、合成型等)以用于轧钢机、压铸机或挤压机等处来满足耐高温、热稳定、不腐蚀、无毒、不挥发、防火等项要求。

1.5.2 液压工作介质的性质

在液压传动技术中,液压油液最重要的特性是它的可压缩性和粘性。

1. 密度

单位体积的液体质量称为密度。矿物油型液压油在 15 °C 时的密度为 900 kg/m³ 左右,在实际使用中可认为它们不受温度和压力的影响。

2. 可压缩性和膨胀性

液体受压力的作用而使体积发生变化的性质称为液体的可压缩性。液体受温度的影响而使体积发生变化的性质称为液体的膨胀性。

体积为 V 的液体,当压力变化量为 Δp 时,体积的绝对变化量为 ΔV ,液体在单位压力变化下的体积相对变化量为:

$$\kappa = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad (1.1)$$

式中, κ 称为液体的体积压缩系数。因为压力增大时液体的体积减小,所以上式的右边加一负号,以便使液体的体积压缩系数 κ 为正值。

液体体积压缩系数的倒数称为液体的体积弹性模量,简称体积模量,用 K 表示。即:

$$K = \frac{1}{\kappa} = -\frac{V}{\Delta V} \Delta p \quad (1.2)$$

体积弹性模量 K 表示液体产生单位体积相对变化量时所需要的压力增量。在使用中,可用 K 值来说明液体抵抗压缩能力的大小。一般矿物油型液压油的体积弹性模量为 $K = (1.4 \sim 2) \times 10^3$ MPa。它的可压缩性是钢的 100 ~ 150 倍。但在实际使用中,由于在液体内不可避免地会混入空气等原因,使其抗压缩能力显著降低,这会严重影响液压系统的工作性能。因此,在有较高要求或压力变化较大的液压传动系统中,应尽量减少油液中混入的气体及其它易挥发性物质(如煤油、汽油等)的含量。由于油液中的气体难以完全排除,在工程计算中常取液压油的体积弹性模量 $K = 0.7 \times 10^3$ MPa 左右。

液压油液的体积弹性模量与温度、压力有关。温度升高时, K 值降低,在液压油液正常的工作温度范围内, K 值会有 5% ~ 25% 的变化。压力增大时, K 值增大;反之则减小,但这种变化不呈线性关系。当压力大于 3 MPa 时, K 值基本上不再增大。

封闭在容器内的液体在外力作用下的情况极像一根弹簧,外力增大,体积减小;外力减小,体积增大。在液体承压面积 A 不变时(见图 1.5),可以通过压力变化 $\Delta p = \Delta F/A$ (ΔF 为外力变化值)、体积变化 $\Delta V = A\Delta l$ (Δl 为液柱长度变化值)和式(1.2)求出它的液压弹簧刚度 k_h ,即:

$$k_h = -\frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{A^2 K}{V} \quad (1.3)$$

液压油液的可压缩性对液压传动系统的动态性能影响较大,但当液压传动系统在静态(稳态)下工作时,一般可以不予考虑。

3. 粘性及其表示方法