



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

液压与气压传动 (第2版)

孙如军 主 编
张俊亮 卫江红 副主编

中国机械工程学科教程项目组

China Mechanical Engineering Curricula

中国机械工程学科教程

清华大学出版社

清华大学出版社

内 容 简 介

本书由液压传动和气压传动两部分组成。第一部分液压传动,主要讲述流体传动基础理论、液压泵、液压执行件、液压控制元件、液压基本回路、典型液压系统及其设计计算液压仿真软件;第二部分气压传动,主要讲述气压传动基础知识、气源装置及气动元件、气动基本回路与常用回路、气动逻辑系统设计和气压传动系统实例。各篇内容前后相互照应,同时又有一定的独立性。

本书兼顾了液压和气压传动元件,回路的通用性和专业性,同时考虑了液压与气压传动技术的传统体系和发展趋势,增加了对液压与气压传动行业一些较新技术成果的介绍,特别注意传授知识与培养能力之间关系的并重。本书内容精简,突出工科教学特色,注重加强学生工程技术能力的训练。

本书可作为高等学校机械类专业本科生教学用书和参考书,也可作为相关专业的学生以及工程技术人员的参考用书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/孙如军主编.--2版.--北京:清华大学出版社,2015

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

ISBN 978-7-302-40038-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 087598 号

责任编辑:庄红权

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17.75 字 数:429千字

版 次:2011年8月第1版 2015年6月第2版 印 次:2015年6月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00元

产品编号:063905-01

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校
机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

编 委 会

顾 问
李培根院士

主任委员
陈关龙 吴昌林

副主任委员
许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委(按姓氏首字母排列)
韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元
许映秋 袁军堂 张 慧 张有忱 左健民

秘 书
庄红权

丛书序言

PREFACE

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从 20 世纪 90 年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

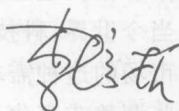
当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以有序。



2009年7月

前 言

FOREWORD

本书是根据《中国机械工程学科教程》的精神编写的,它适合作为高等学校机械制造及其自动化、机械设计与制造、化工与化机、机电一体化、模具设计与制造、动力与车辆工程等专业本科生“液压与气压传动”课程的教材。

本书在第1版的基础上进行了修订,全书共16章,分为两部分。第一部分为前10章,介绍液压传动基本知识;第二部分为后6章,介绍气压传动基本知识。第1章、2章主要介绍液压传动的基本知识以及流体力学的基本理论;第3~6章主要介绍液压元件的结构、原理、性能和选用;第7章介绍液压基本回路,典型液压系统的组成、功能、特点以及应用情况;第8章为新增内容,主要介绍液压回路和系统的仿真;第9章介绍液压伺服元件与系统;第10章介绍液压系统的设计计算方法与实例;第11章介绍气压传动基础知识;第12~14章分别介绍气压传动系统的气源、辅助元件、执行元件、控制元件;第15章介绍气压传动回路;第16章介绍气压传动程序系统及其设计。

本书的编写力求贯彻少而精、理论与实践相结合的原则,紧密结合液压与气压传动技术的最新成果,突出液压与气压传动回路以及实例,侧重对工程技术应用方面人才的培养,加强对学生创新能力的培养;对液压传动与气压传动分开讲述,在气压传动方面除了兼顾与液压传动的共性外,还特别对气压传动特有的元件、回路以及设计方法作了介绍。本书元件的图形符号全部按照国家最新图形符号绘制,并摘录于附录中。

本书适用于普通工科院校机械类各专业,也适用于各类成人高校、自学考试等有关机械类学生,也可供从事流体传动与控制技术的工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中难免存在不足与错误,敬请广大读者批评指正。

编 者
2015.3

目 录

CONTENTS

第1章 液压与气压传动概述	1
1.1 液压与气压传动的概念与工作原理	1
1.1.1 液压与气压传动的概念	1
1.1.2 液压与气压传动的工作原理	1
1.2 液压与气压传动的组成	3
1.3 液压与气压传动系统图的表示方法	4
1.4 液压与气压传动的优缺点	4
思考题与习题	6
第2章 液压流体力学基础	7
2.1 液压油	7
2.1.1 液压油的性质	7
2.1.2 对液压油液的要求和选用	11
2.2 液体静力学	13
2.3 液体动力学	17
2.4 液体流动时的压力损失	22
2.4.1 流态与雷诺数	22
2.4.2 圆管流动的沿程压力损失	24
2.4.3 管道流动的局部压力损失	26
2.5 孔口和缝隙流动	27
2.5.1 孔口流动	27
2.5.2 缝隙流动	30
2.6 液压冲击和气穴现象	35
2.6.1 液压冲击	35
2.6.2 气穴现象	37
思考题与习题	37
第3章 液压动力元件	41
3.1 液压泵概述	41
3.1.1 液压泵的工作原理及特点	41

3.1.2	液压泵的图形符号	42
3.1.3	液压泵的主要性能参数	42
3.1.4	液压泵的特性曲线	44
3.1.5	液压泵的分类	44
3.2	齿轮泵	44
3.2.1	外啮合齿轮泵	45
3.2.2	内啮合齿轮泵	48
3.3	叶片泵	49
3.3.1	双作用叶片泵	49
3.3.2	单作用叶片泵	52
3.4	柱塞泵	54
3.4.1	径向柱塞泵	55
3.4.2	轴向柱塞泵	55
3.5	液压泵的选用	57
	思考题与习题	58
第4章	液压执行元件	59
4.1	液压马达	59
4.1.1	叶片式液压马达	59
4.1.2	轴向柱塞式液压马达	60
4.1.3	径向柱塞式液压马达	60
4.2	液压缸	61
4.2.1	活塞缸	62
4.2.2	柱塞缸	64
4.2.3	其他油缸	65
4.2.4	液压缸的结构设计	67
4.2.5	液压缸的设计计算	70
	思考题与习题	72
第5章	液压控制阀	73
5.1	概述	73
5.2	方向控制阀	75
5.2.1	单向阀	75
5.2.2	换向阀	76
5.3	压力控制阀	81
5.3.1	溢流阀	82
5.3.2	减压阀	83
5.3.3	顺序阀	84
5.3.4	压力继电器	85

5.4	流量控制阀	86
5.4.1	节流阀	86
5.4.2	调速阀	88
5.5	液压阀的连接	88
	思考题与习题	90
第 6 章	液压辅助元件	92
6.1	蓄能器	92
6.1.1	蓄能器的用途	92
6.1.2	蓄能器的类型及特点	94
6.1.3	蓄能器的参数选择及计算	95
6.2	滤油器	97
6.2.1	滤油器的主要性能参数	97
6.2.2	滤油器的种类及特点	98
6.2.3	滤油器的选用	101
6.2.4	滤油器的安装	102
6.3	密封装置	104
6.3.1	密封装置的类型和特点	104
6.3.2	密封机理	106
6.3.3	密封的设计或选用原则	106
6.4	管路	107
6.4.1	管道	107
6.4.2	管接头	108
	思考题与习题	108
第 7 章	液压基本回路	109
7.1	压力控制回路	109
7.1.1	调压回路	109
7.1.2	减压回路	110
7.1.3	增压回路	111
7.1.4	卸荷回路	111
7.1.5	平衡回路	113
7.2	速度控制回路	114
7.2.1	调速回路	114
7.2.2	快速回路	124
7.2.3	速度换接回路	125
7.3	方向控制回路	126
7.3.1	启停回路	126
7.3.2	换向回路	127

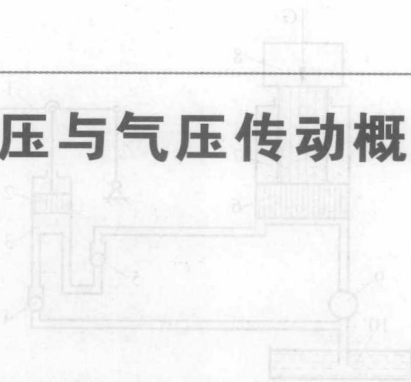
88	7.3.3 锁紧回路	127
88	7.4 多缸运动控制回路	127
88	7.4.1 顺序运动回路	127
88	7.4.2 同步回路	129
88	7.4.3 多缸快慢速互不干涉回路	131
88	7.5 典型液压系统	132
88	7.5.1 YT4543 型液压力滑台液压系统	132
88	7.5.2 YB32-200 型压力机液压系统	134
88	7.5.3 汽车起重机液压系统	137
88	思考题与习题	139
88	第8章 液压仿真软件	147
88	8.1 FluidSIM 简介	147
88	8.2 FluidSIM 基本操作	149
88	8.2.1 新建文件	149
88	8.2.2 液压回路的完成与仿真	149
88	8.2.3 电气回路的设计与仿真	150
88	8.2.4 文件的保存	150
88	8.3 FluidSIM 应用举例	151
88	8.3.1 执行元件运动速度取决于流量	151
88	8.3.2 液压系统中的压力取决于负载	152
88	8.3.3 溢流阀调压作用	153
88	8.4 AMESim 简介	153
88	8.4.1 AMESim 软件的主要特征	154
88	8.4.2 AMESim 的基本操作	155
88	8.4.3 AMESim 软件应用举例	158
88	思考题与习题	160
88	第9章 液压伺服系统	161
88	9.1 液压伺服系统概述	161
88	9.2 液压伺服阀	163
88	9.2.1 滑阀式伺服阀	163
88	9.2.2 喷嘴挡板式伺服阀	165
88	9.2.3 射流管式伺服阀	166
88	9.3 电液伺服阀	166
88	9.3.1 电液伺服阀的分类	167
88	9.3.2 电液伺服阀的工作原理	167
88	9.3.3 电液伺服阀的特性	168
88	9.3.4 电液伺服阀的选用	170

9.4 液压伺服系统实例	171
思考题与习题	173
第 10 章 液压系统的设计	174
10.1 液压系统设计的步骤	174
10.2 液压系统设计实例	178
思考题与习题	183
第 11 章 气压传动基础知识	184
11.1 空气的物理性质	184
11.2 气体状态方程	186
11.2.1 理想气体状态方程	186
11.2.2 气体状态变化过程	187
11.3 气体流动规律	189
11.3.1 气体流动的基本方程	189
11.3.2 声速与马赫数	190
11.3.3 气体通过变截面管的流动特性	191
11.3.4 通流能力	191
11.3.5 充气、放气温度与时间的计算	192
思考题与习题	193
第 12 章 气源装置及气压传动辅助元件	195
12.1 气源装置	195
12.1.1 气源装置的组成和工作原理	195
12.1.2 空气压缩机	196
12.2 气源净化装置	196
12.3 其他辅助元件	199
12.3.1 过滤器	199
12.3.2 油雾器	201
12.3.3 消声器	202
12.4 供气系统的管道设计	203
思考题与习题	204
第 13 章 气压传动执行元件	205
13.1 气缸	205
13.2 气压传动马达	208
思考题与习题	210

第14章 气压传动控制元件	211
14.1 方向控制阀	211
14.1.1 单向型控制阀	211
14.1.2 换向型控制阀	213
14.2 压力控制阀	216
14.3 流量控制阀	218
14.4 气压传动逻辑元件	219
14.4.1 气压传动逻辑元件的分类	219
14.4.2 高压截止式逻辑元件	219
14.4.3 高压膜片式逻辑元件	221
14.4.4 逻辑元件的选用	222
14.5 气压传动比例阀及气压传动伺服阀	222
思考题与习题	225
第15章 气压传动基本回路	226
15.1 换向回路	226
15.2 速度控制回路	227
15.3 压力控制回路	229
15.4 计数回路	231
15.5 延时回路	232
15.6 安全保护和操作回路	232
15.7 顺序动作回路	234
思考题与习题	235
第16章 气压传动程序系统及其设计	236
16.1 概述	236
16.2 行程程序控制系统的设计步骤	237
16.3 多缸单往复行程程序回路设计	240
16.4 多缸多往复行程程序回路设计	248
16.5 设计案例	251
16.5.1 气压传动机械手气压传动系统	251
16.5.2 气压传动钻床气压传动系统	254
16.5.3 气液动力滑台气压传动系统	256
16.5.4 工件夹紧气压传动系统	257
思考题与习题	258
附录A 常用液压图形符号(摘自 GB/T 786.1—1993)	259
参考文献	268

第 1 章

液压与气压传动概述



培养目标

本章要求学生熟练掌握液压与气压传动的概念以及它们的工作原理,掌握液压与气压传动系统的基本组成,了解液压与气压传动的优缺点,初步了解它们的表达方式。

1.1 液压与气压传动的概念与工作原理

1.1.1 液压与气压传动的概念

液压与气压传动统称为流体传动,都是利用有压流体(液体或气体)作为工作介质来传递动力或控制信号的一种传动方式。

液体传动分为液力传动和液压传动两种形式。液力传动主要是利用液体的动能来传递能量;而液压传动则主要是利用液体的压力能来传递能量。本书主要介绍以液压油为工作介质的液压传动技术。液压传动利用液压泵,将原动机(马达)的机械能转变为液体的压力能,然后利用液压缸(或液压马达)将液体的压力能转变为机械能,以驱动负载,并获得执行机构所需的运动速度。液压传动的理论基础是液压流体力学。

气压传动是以压缩空气为工作介质进行压力或信号传递及控制,进而实现生产机械化和自动化的一门技术。其传动和控制原理与液压传动基本相同,但由于系统中的工作介质及其特性有很大区别,因此,这两种系统的工作特性及其应用场合也有所不同。

1.1.2 液压与气压传动的工作原理

下面通过举例介绍液压与气压传动的工作原理。

1. 千斤顶液压传动系统

讨论液压传动的工作原理可以从最简单的液压千斤顶入手,图 1.1 所示为该液压千斤顶的工作原理示意图。液压千斤顶由手动柱塞泵和举升缸两部分构成。手动柱塞泵由杠杆 1、小活塞 2、小缸体 3、单向阀 4 和 5 等组成;举升缸由大缸体 7、大活塞 6、卸油阀 9 组成;另外还有重物 8 和油箱 10。

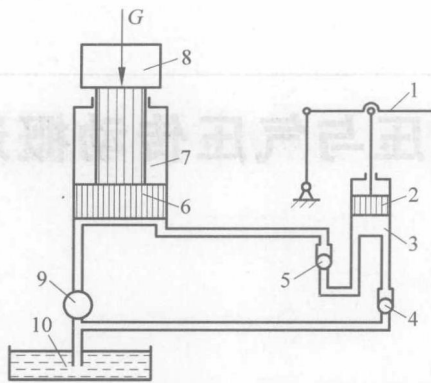


图 1.1 液压千斤顶的工作原理示意图

1—杠杆；2—小活塞；3—小缸体；4、5—单向阀；

6—大活塞；7—大缸体；8—重物；9—卸油阀；10—油箱

工作时,先提起杠杆1,小活塞2被带动上升,小缸体3下腔的密闭容积增大,腔内压力降低,形成部分真空,单向阀5将所在油路关闭,而油箱10中的油液则在大气压力的作用下,推开单向阀4的钢球,沿吸油孔道进入并充满小缸体3的下腔,完成一次吸油动作。接着压下杠杆1,小活塞2下移,小缸体3下腔的密闭容积减小,其腔内压力升高,使单向阀4关闭,阻断了油液流回油箱的通路,并使单向阀5的钢球受到一个向上的作用力,当这个作用力大于大缸体7下腔对它的作用力时,钢球被推开,油液便进入大缸体7的下腔(卸油阀9处于关闭状态),推动大活塞6向上移动,将重物8顶起一段距离。反复提压杠杆1,就可以使大活塞6推举重物8不断上升,达到举重的目的。将卸油阀9转动 90° ,大缸体7下腔与油箱10连通,大活塞6在重物8推动下下移,下腔的油液通过卸油阀9排回油箱10。

2. 剪切机的气压传动系统

现以剪切机为例,介绍气压传动的工作原理。图1.2(a)所示为剪切机的结构原理图,图示位置为剪切情况。空气压缩机1产生的压缩空气经冷却器2、分水排水器3、储气罐4、空气过滤器5、减压阀6、油雾器7到达换向阀9,部分气体经节流通路a进入换向阀9的下腔,使上腔弹簧压缩,换向阀阀芯位于上端;大部分压缩空气经换向阀9后由b路进入气缸10的上腔,而气缸的下腔经c路、换向阀与大气相通,故气缸活塞处于最下端位置。当上料装置把工件11送入剪切机并到达规定位置时,工件压下行程阀8,此时换向阀阀芯下腔压缩空气经d路、行程阀排入大气,在弹簧的推动下,换向阀阀芯向下运动至下端;压缩空气则经换向阀9后由c路进入气缸的下腔,上腔经b路、换向阀与大气相通,气缸活塞向上运动,剪刀随之上行剪断工件。工件被剪下后,即与行程阀脱开,行程阀阀芯在弹簧作用下复位,d路堵死,换向阀阀芯上移,气缸活塞向下运动,又恢复到剪断前的状态。

由以上分析可知,剪刀克服阻力剪断工件的机械能来自压缩空气的压力能,提供压缩空气的是空气压缩机;气路中的换向阀、行程阀起改变气体流动方向、控制气缸活塞运动方向的作用。图1.2(b)所示为用图形符号(又称职能符号)绘制的剪切机系统原理图。

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。

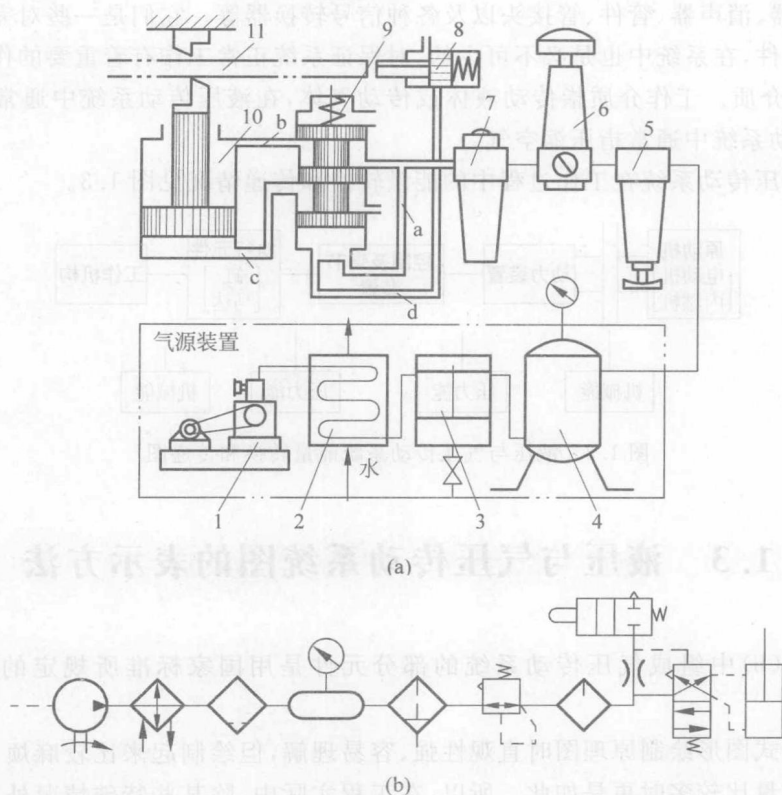


图 1.2 剪切机的气压传动工作原理图

(a) 结构原理; (b) 图形符号

1—空气压缩机; 2—冷却器; 3—分水排水器; 4—储气罐; 5—空气过滤器;

6—减压阀; 7—油雾器; 8—行程阀; 9—换向阀; 10—气缸; 11—工件

1.2 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各自特点不尽相同,但其组成形式类似。从上述的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 5 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,其作用是向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,其作用是向气压传动系统提供压缩空气。

(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、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。

(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。

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 1.3。



图 1.3 液压与气压传动系统能量转换和传递图

1.3 液压与气压传动系统图的表示方法

如图 1.2(b)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时,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。

1.4 液压与气压传动的优缺点

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转换和传递,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。