



“十三五”普通高等教育本科规划教材

液压与气压传动

赵春花 主 编
范新强 张志勇 副主编



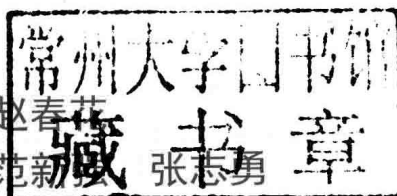
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

液压与气压传动

主 编 赵春花
副主编 范新章 张志勇
编 写 王久鑫 杨天兴 张 华
主 审 郭贵生



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。全书共12章,主要内容如下:第1章概述液压与气压传动的工作原理和组成、特点、职能符号、工作介质的性质和选择及控制等;第2章介绍流体力学基础,主要介绍液体静力学和动力学、流动损失等;第3~8章分别介绍液压与气压传动系统常用的动力元件、执行元件、控制调节元件和辅助元件;第9章介绍液压与气压传动的基本回路;第10章介绍典型的液压与气压传动系统及实例;第11章介绍液压传动系统设计计算、系统原理图的拟定;第12章介绍液压与气压伺服系统及液压伺服系统设计。每章附有习题,书后附有部分习题参考答案和附录。在附录中简要地介绍了GB/T 786.1—2009/ISO 1291—1中规定的部分常用液压气动图形符号。

本书可作为高等工科院校和高等农林院校机械类及农机类、车辆工程、农电类等近机类各专业的本科教材,也可供高职高专院校师生和相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动 /赵春花主编. —北京:中国电力出版社, 2017.5

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-0706-1

I. ①液… II. ①赵… 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(2017)第081206号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:周巧玲(010-63412539)

责任校对:常燕昆

装帧设计:郝晓燕 张 娟

责任印制:吴 迪

印 刷:航远印刷有限公司印刷

版 次:2017年5月第一版

印 次:2017年5月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:17.25

字 数:417千字

定 价:38.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

前言

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知识面,本书将流体力学、液压传动和气压传动三门课程的教学内容根据教学需要进行整合,使学生在了解液压与气压传动相关的流体力学基础理论前提下,掌握液压和气压传动方面的专业知识,为后续的课程学习、设计训练和毕业后的学习、工作奠定基础。

本书从目前教学改革特点出发,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地融会贯通,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。本书可供 34~64 学时的机械类或近机类各专业使用,可根据具体情况进行删减或补充。

本书是由长期在第一线从事教学工作、富有经验的教师以科学性、先进性、系统性和实用性为目标,并总结同类教材的编写经验,汲取本课程领域内最新的教学和科研成果,精心编写而成,能够满足不同类型和层次的本科教学需要;同时也为本科多媒体授课拓展学生知识面和提供创新能力提供教学平台。本书以流体力学为基础,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,以实验教学和思考习题为巩固所学内容为手段,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,以便于和其他课程进行有机的结合,达到所要求的教学目的。

本书由甘肃农业大学赵春花教授担任主编,由兰州城市学院范新强、西北农林科技大学张志勇担任副主编,参与编写的人员还有甘肃农业大学王久鑫、兰州城市学院杨天兴、甘肃农业大学张华。本书具体编写分工如下:杨天兴(第 1、6 章,第 9 章 9.1、9.2),赵春花(第 2、3、5、11 章,第 10 章 10.1、10.2),王久鑫(第 4 章,第 9 章 9.3~9.5,第 10 章 10.3~10.6),张志勇(第 7 章,第 12 章),张华(第 8 章 8.1~8.4、附录及参考答案),范新强(第 8 章 8.5~8.7)。本书配套电子课件,课件第 1~11 章由赵春花制作,第 12 章由张志勇制作。甘肃农业大学邓元喜进行了文稿和课件的校核工作,在此表示衷心的感谢。

本书由西北农林科技大学郭贵生老师主审,审稿老师提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足和疏漏之处,请广大读者批评指正。

编者
2017.3

目 录

前言

第 1 章 概述..... 1

1.1 液压与气压传动的概念和发展概况 1

1.2 液压与气压传动系统的工作原理和组成 3

1.3 液压与气压传动的特点 8

1.4 液压与气压传动的图形符号 9

1.5 液压与气压传动工作介质的性质和选择 9

1.6 液压与气压传动工作介质的污染及控制..... 18

小结 20

思考题和习题 21

第 2 章 流体力学基础 22

2.1 液体静力学..... 22

2.2 流体动力学..... 26

2.3 流体流动时的压力损失..... 33

2.4 空穴现象和液压冲击..... 37

小结 40

思考题和习题 40

第 3 章 液压与气压动力元件和马达 43

3.1 液压泵的概述..... 43

3.2 齿轮泵..... 46

3.3 叶片泵..... 51

3.4 柱塞泵..... 59

3.5 液压泵的噪声..... 63

3.6 液压泵的选用..... 63

3.7 液压及气压马达..... 66

3.8 气源装置..... 76

小结 80

思考题和习题 80

第 4 章 液压传动执行元件 82

4.1 液压缸的分类和特点..... 82

4.2 液压缸的典型结构和组成..... 86

4.3 液压缸的设计和计算..... 91

4.4 液压缸设计中应注意的问题..... 95

小结	95
思考题和习题	96
第 5 章 控制元件及方向控制阀	98
5.1 概述	98
5.2 方向控制阀	99
小结	115
思考题和习题	115
第 6 章 压力控制阀	117
6.1 溢流阀	117
6.2 减压阀	121
6.3 顺序阀	123
6.4 压力继电器	126
6.5 压力阀在调压与减压回路中的应用	127
小结	129
思考题和习题	130
第 7 章 流量控制阀	132
7.1 流量控制原理及节流口形式	132
7.2 普通节流阀	134
7.3 调速阀和温度补偿调速阀	135
7.4 溢流节流阀	137
7.5 分流阀	137
7.6 插装阀、比例阀、伺服阀	140
小结	147
思考题和习题	147
第 8 章 辅助装置	149
8.1 蓄能器	149
8.2 滤油器	152
8.3 油箱	156
8.4 热交换器	158
8.5 管件	159
8.6 密封装置	161
8.7 其他辅助元件	164
小结	165
思考题和习题	165
第 9 章 液压与气压基本回路	166
9.1 速度控制回路	166
9.2 压力控制回路	178
9.3 方向控制回路	183
9.4 多缸动作回路	185

9.5 其他控制回路	189
小结	190
思考题和习题	190
第 10 章 典型的液压与气压传动系统	194
10.1 组合机床动力滑台液压系统	194
10.2 M1432A 型万能外圆磨床液压系统	197
10.3 SZ-250A 型塑料注射成型机液压系统	200
10.4 双动薄板冲压机液压系统	205
10.5 汽车起重机液压系统	208
10.6 香皂装箱机气压系统	210
小结	211
思考题和习题	211
第 11 章 液压传动系统设计与计算	214
11.1 明确设计要求进行工况分析	214
11.2 液压系统原理图的拟订	218
11.3 确定液压系统主要参数	218
11.4 液压元件的计算和选择	219
11.5 液压系统性能的验算	224
11.6 绘制正式工作图和编写技术文件	226
11.7 液压系统设计计算举例	226
小结	230
思考题和习题	230
第 12 章 液压与气压伺服系统	231
12.1 概述	231
12.2 典型的伺服控制元件	234
12.3 伺服阀	236
12.4 液压伺服系统	242
12.5 气压伺服系统	245
12.6 液压伺服系统设计	247
小结	254
思考题和习题	254
附录 部分常用液压气动图形符号	255
习题参考答案	262
参考文献	265

第1章 概述

本章提要

本章重点介绍：液压与气压传动的定义；液压与气压传动的工作原理及系统构成；液压与气压传动的特点；液压与气压传动的图形符号；液压传动的工作介质类型及应用。通过本章的学习，掌握液压传动的定义和两个重要原理；熟悉液压千斤顶和平面磨床的工作原理及系统职能符号图的画法、特点和功能，液压工作介质的性能要求，常用液压油的类型，适用范围及特点；了解液压、气压传动的发展概况和优缺点，液压与气压传动工作介质的污染及控制等。

一部完整的机器由原动机、传动部分、控制部分、工作机构等组成。传动部分是一个中间环节，它的作用是将原动机（电动机、内燃机等）的输出功率传送给工作机构。传动机构通常分为机械传动、电气传动、流体传动以及它们的组合传动等。

流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的传动，包括液压传动、液力传动和气压传动。液压传动和液力传动均是以液体作为工作介质来进行能量传递的传动方式。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量，液力传动则主要是利用液体的动能来传递能量。

1.1 液压与气压传动的概念和发展概况

1.1.1 液压与气压传动概念

液压传动（hydraulics）是以液体为工作介质，通过驱动装置将原动机的机械能转换为液体的压力能，然后通过管道、液压控制、调节装置等，借助执行装置，将液体的压力能转换为机械能，驱动负载实现直线或回转运动。

几乎所有的机械或机器都需要传动机构。这是因为原动机一般很难直接满足执行机构在速度、力、转矩、运动方式等方面的要求，必须通过中间环节——传动装置进行调节控制。液压传动就是这种调节控制方式中的一种。

根据其工作特点，液压传动又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，其介质主要是空气，也包括燃气和蒸汽。

1.1.2 液压与气压传动的现状和发展

1. 液压与气压传动的现状

液压传动和气压传动属于流体传动，在工农业生产中得到广泛应用。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，应用范围广。例如，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、飞机起落架的收放装置、方向舵控制装置等。

下面以液压传动在机床上的应用为例加以说明。

(1) 进给运动传动装置。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，铣床、刨床、组合机床的工作台等的进给运动也都采用液压传动。这些部件有的要求快速移动，有的要求慢速移动，有的则既要求快速移动，也要求慢速移动。这些运动多半要求有较大的调速范围，要求在工作中无级调速；有的要求持续进给，有的要求间歇进给；有的要求在负载变化下速度恒定，有的要求有良好的换向性能等。上述要求均可通过液压传动来实现。

(2) 往复主体运动传动装置。龙门刨床的工作台、牛头刨床或插床的滑枕，由于要求做高速往复直线运动，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。

(3) 仿形装置。车床、铣床、刨床上的仿形加工可以采用液压伺服系统来完成，其精度可达 $0.01\sim 0.02\text{mm}$ 。此外，磨床上的成形砂轮修正装置也可采用这种系统。

(4) 辅助装置。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，采用液压传动后，有利于简化机床结构，提高机床自动化程度。

(5) 静压支承。重型机床、高速机床、高精度机床上的轴承、导轨、丝杠螺母机构等处采用液体静压支承后，可以提高工作平稳性和运动精度。

液压传动在各类机械工业部门的应用举例见表 1-1。

表 1-1 液压传动在各类机械行业中的应用实例

行业名称	应用实例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、压路机、铲运机等
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构、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

气压传动的应用也相当普遍，许多机器设备中都装有气压传动系统。在各工业领域，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、烟草领域等，气压传动技术已成为基本组成部分。在尖端技术领域（如核工业和航天工业）中，气压

传动技术也占据着重要的地位。

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而言,它又是一门较老的技术。18世纪,英国便制成了世界上第一台水压机,只是由于在早期没有成熟的液压传动技术和液压元件,没有得到普遍应用。随着科学技术的不断发展,各行各业对传动技术有了新的需求。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,而液压传动技术则能适应这一要求,因而获得了迅速的发展。在战后的几十年中,液压传动技术迅速转向其他各个领域,并得到了广泛的应用。

气压传动的应用更为历史悠久。早在公元前,埃及人就开始用风箱产生压缩空气助燃,这是气压传动的最初应用。从18世纪的产业革命开始,气压传动逐渐应用于各类行业中,如矿山用的风钻、火车的刹车装置等。

目前,世界各国都将气压传动作为一种低成本的工业自动化手段,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。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、执行件柔性化等方面取得了很大的进展。同时,由于与微电子技术的密切配合,气压传动元件能在较小的空间内传递较大的功率并加以准确的控制,在各行各业中发挥出了巨大作用。

1.2 液压与气压传动系统的工作原理和组成

1.2.1 液压与气压传动系统的工作原理

本书主要介绍以液体为介质的液压传动技术和以压缩空气为介质的气压传动技术。

1. 液压传动系统的工作原理

在图1-1所示的系统中,有两个不同直径的液压缸2和4,且缸内各有一个与内壁紧密配合的活塞1和5。假设活塞在缸内自由滑动(无摩擦力),且液体不会通过配合面产生泄漏。缸2和4下腔用一管道3连通,其中充满液体。这些液体是密封在缸内壁、活塞和管道组成的容积中的。

如果活塞5上有重物 W ,则当活塞1上施加的力 F 达到一定大小时,就能阻止重物 W 下降,也就是说可以利用密封容积中的液体传递力,即这个系统传递力。

为了提升重物 W ,必须在活塞1上施加主动力 F_1 ,则重物 W 即为工作的负载。

如果活塞5上作用的 W 为0,在不计活塞摩擦力和活塞自重的情况下,活塞5下的压力为

$$p_2 = \frac{W}{A_2} = 0$$

这时,活塞1下的压力 $p_1 = p_2 = 0$,主动力 F_1 只能为0,也就是说主动力是加不上去的。

如图1-2所示,在活塞1上施加力 F_1 后,如果

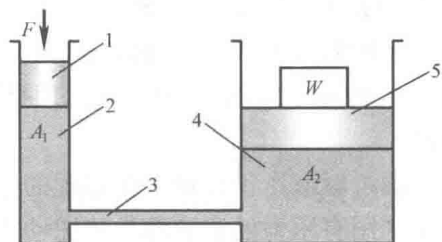


图 1-1 液压传动系统模型 I

1—小活塞; 2—小液压缸; 3—管道;
4—大液压缸; 5—大活塞

大液压缸 4、管路 3、小液压缸 2 及小活塞 1 有足够的压强, 就可以认为工作负载是无穷大的, 那么, 系统中的液体压力将为

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

根据帕斯卡原理, 该压力 p_1 将在这个封闭的液体间等值传递, 管道 3 和大液压缸 4 内各点都将产生大小和 p_1 相等的液体压力, 即压力取决于负载。

小活塞 1 向下移动 h_1 , 通过液体的能量传输, 将使大活塞 5 上升 h_2 , 很显然 $h_1 \neq h_2$ 。

由于不存在泄漏及忽略液体的可压缩性, 所以在 Δt 时间里从液压缸 2 中挤出的液体体积 $V_1 = A_1 h_1$, 将等于通过管道 3 挤入液压缸 4 的体积 $V_2 = A_2 h_2$, 即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

两边同除以 Δt , 则

$$\frac{A_1 h_1}{\Delta t} = \frac{A_2 h_2}{\Delta t} \quad (1-1)$$

单位时间内从小液压缸 2 中排出的液体体积挤入大液压缸 4 的体积称为流量 Q 。那么, $\frac{A_1 h_1}{\Delta t} = \frac{A_2 h_2}{\Delta t}$ 实质上就是排出小液压缸 2 的流量等于挤入大液压缸 4 的流量。

由式 (1-1) 可得负载的运动速度 $v_2 = \frac{Q}{A_2}$, 则大活塞 5 的运动速度只取决于大液压缸 4 的流量, 即在液压系统中执行机构的速度只取决于流量。

液压系统中, 功率 $P = pQ$, 压力 p 和流量 Q 是液压传动中最基本、最重要的参数。由于 $P_1 = P_2 = pQ$ (不考虑任何损失), 因此液压系统中的能量传输和转换是守恒的, 满足能量守恒定律。

下面以液压千斤顶为例来说明液压传动的工作原理。

图 1-3 所示为液压千斤顶的工作原理。大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。若提起手柄使小活塞向上移动, 小活塞下端油腔容积增大, 形成局部真空, 这时单向阀 4 打开, 通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油; 用力压下手柄, 小活塞下移, 小活塞下腔压力升高, 单向阀 4 关闭, 单向阀 7 打开, 下腔的油液经管道 6 输入举升缸的下腔, 迫使大活塞 8 向上移动, 顶起重物。再次提起手柄吸油时, 单向阀 7 自动关闭, 使油液不能倒流, 从而保证重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄, 就能不断地将油液压入举升缸下腔, 使重物逐渐升起。如果打开截止阀 11, 举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱 12, 重物就向下移动。

通过对液压千斤顶工作过程的分析, 可以初步了解到液压传动的基本工作原理。液压传动是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。压下杠杆时, 小油缸 2 输出压力油, 是将机械能转换成油液的压力能; 压力油经过管道 6 及单向阀 7, 推动大活塞 8 举起重物, 是将油液的压力能又转换成机械能。大活塞 8 举升的速度取决于单位时间内流入大油缸 9 中的油容积。由此可见, 液压传动是一个不同能量的转换过程。

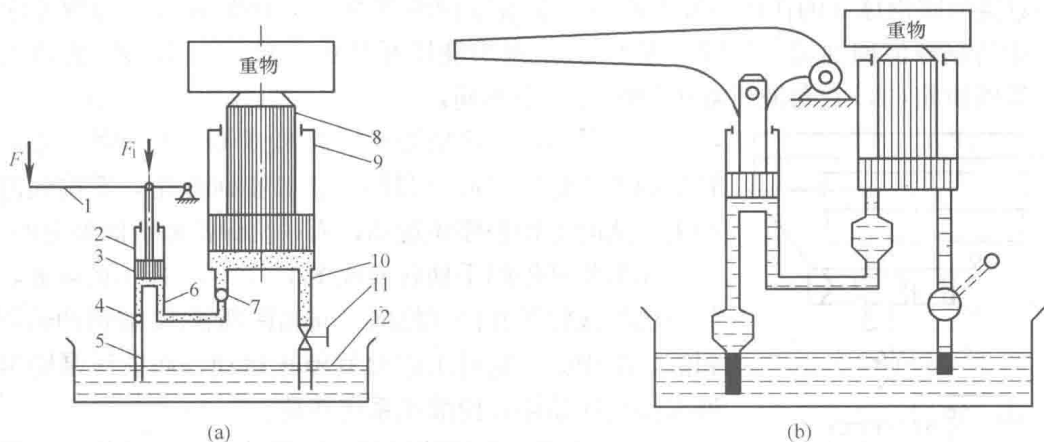


图 1-3 液压千斤顶工作原理

1—杠杆手柄；2—小油缸；3—小活塞；4、7—单向阀；5—吸油管；6、10—管道；
8—大活塞；9—大油缸；11—截止阀；12—油箱

图 1-4 所示为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。这个系统可使工作机构做直线往复运动，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 1-4 (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和回油管 14 排回油箱。

如果将换向阀手柄 16 转换成如图 1-4 (b) 所示的状态，则压力管 10 中的油液将经过开停（换向）阀、节流阀和换向阀进入液压缸的右腔，推动活塞和工作台向左移动，并使液压缸左腔的油液经换向阀和回油管 14 排回油箱。

工作台的移动速度是由节流阀来调节的。当节流阀口开大时，进入液压缸的油液增多，工作台的移动速度增大；当节流阀口关小时，进入液压缸的油液减少，工作台的移动速度降低。

为了克服移动工作台所受到的各种阻力，液压缸必须产生一个足够大的推力，这个推力是由液压缸中的油液压力产生的。要克服的阻力越大，液压缸中的油压越高；反之，压力就越低。液压泵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

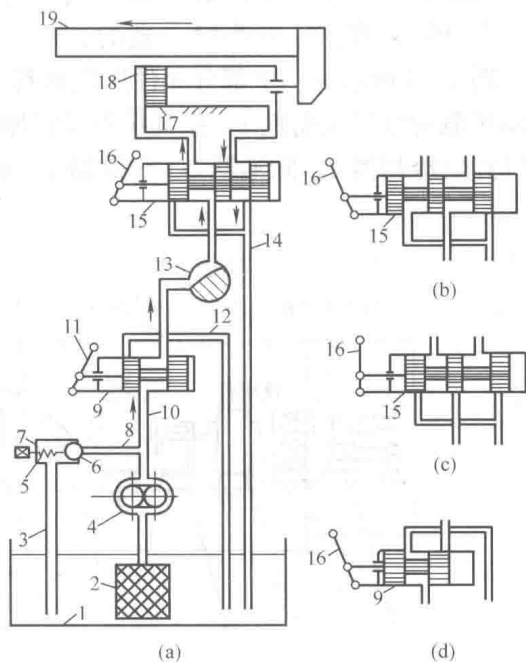


图 1-4 液压传动系统工作原理

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—开停手柄；13—节流阀；15—换向阀；16—换向手柄；17—活塞；18—液压缸；19—工作台

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流回油箱。所以, 在图 1-4 所示液压系统中, 液压泵出口处的油液压力是由溢流阀决定的, 它和液压缸中的压力大小不同。

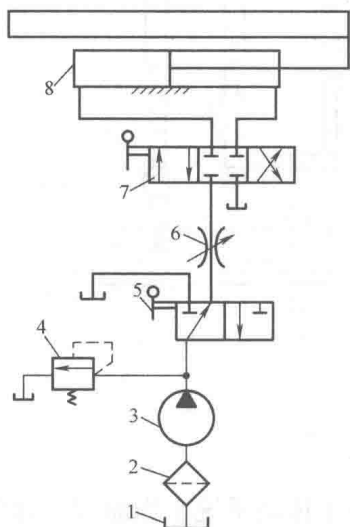


图 1-5 用液压传动图形符号绘制的液压传动系统工作原理图

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

如果将换向阀手柄转换成图 1-4 (c) 所示的状态, 压力管中的油液将经溢流阀和回油管 3 排回油箱, 不输到液压缸中去, 这时工作台停止运动, 而系统保持溢流阀调定的压力。

如果将开停阀手柄转换成图 1-4 (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, 不输到液压缸中去, 这时工作台就停止运动, 而液压泵输出的油液直接流回油箱, 使液压系统卸荷。

图 1-5 所示为用液压传动图形符号绘制的相应于图 1-4 所示的液压传动系统工作原理图。

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差别, 其工作特性有较大不同, 所应用的场合也不同。尽管这两种系统所采用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 1-6 所示为一个部分元件用图形符号绘制的气压传动系统工作原理。在图 1-6 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

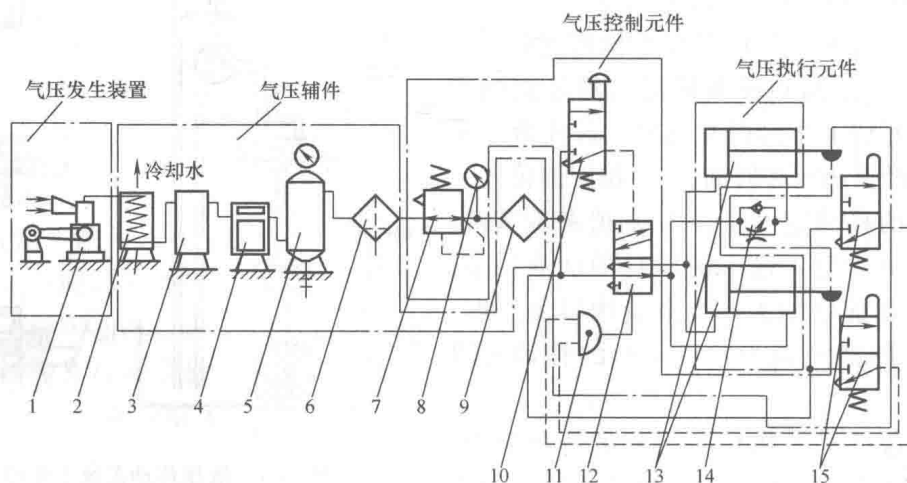


图 1-6 气压传动系统工作原理

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—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

压力。压缩空气再经过滤器 6，由调压阀（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 的控制进入气缸 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离控制、执行元件较远的空气压缩机站内，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。

从液压传动系统和气压传动系统这两个实例可以看出：

- (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。

1.2.2 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图可以看出，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。对液压传动系统而言是液压泵，其作用是为液压传动系统提供压力油；对气压传动系统而言是气压发生装置，也称为气源装置，其作用是为气压传动系统提供压缩空气。

(2) 控制调节装置。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、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。

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如图 1-7 所示。

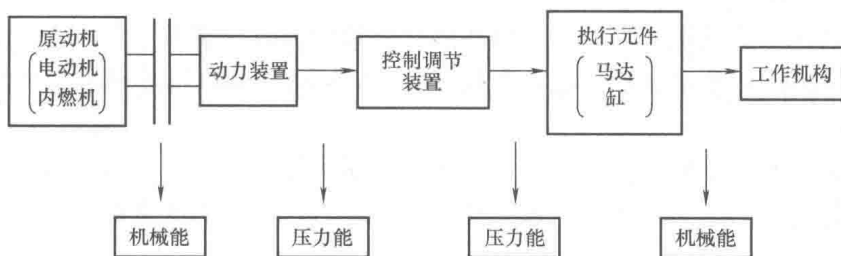


图 1-7 液压与气压传动系统能量传递和转换

1.3 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,其系统的组成也基本相同,但由于所使用的工作介质不同,使得这两种系统具有各自不同的特点。

1.3.1 液压传动的特点

(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) 液压传动的各种元件,可根据需要方便、灵活地来布置,容易实现直线运动。

(3) 液压装置工作比较平稳,由于重量轻,惯性小,反应快,液压装置易于实现快速启动、制动和频繁的换向。

(4) 操纵控制方便,可实现大范围的无级调速(调速范围达 2000 : 1),它还可以在运行的过程中进行调速。

(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) 易实现机器的自动化和过载保护,当采用电液联合控制甚至计算机控制后,可实现大负载、高精度和远程自动控制。

(7) 液压元件易实现系列化、标准化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

(8) 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。

(9) 液压传动有较多的能量损失(泄漏损失、摩擦损失等),因此,传动效率相对较低。

(10) 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。

(11) 液压传动在出现故障时不易诊断。

1.3.2 气压传动的特点

(1) 气压传动的工作介质是空气,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黏度很低,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、振动等恶劣工作环境下,仍能可靠地工作。

(4) 气压传动动作速度及反应快。液压油在管道中的流动速度一般为 $1 \sim 1.5 \text{ m/s}$,而气体流速可大于 10 m/s ,甚至接近声速,因此在 $0.2 \sim 0.3 \text{ s}$ 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我保持能力。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太大，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，若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。

气压传动与其他传动的性能比较见表 1-2。

表 1-2 气压传动与其他传动的性能比较

		操作力	动作快慢	环境要求	构造	负载变化影响	操作距离	无级调速	工作寿命	维护	价格
气压传动		中等	较快	适应性好	简单	较大	中距离	较好	长	一般	便宜
液压传动		最大	较慢	不怕振动	复杂	有一些	短距离	良好	一般	要求高	稍贵
电气传动	电气	中等	快	要求高	稍复杂	几乎没有	远距离	良好	较短	要求较高	稍贵
	电子	最小	最快	要求特高	最复杂	没有	远距离	良好	短	要求更高	最贵
机械传动		较大	一般	一般	一般	没有	短距离	较困难	一般	简单	一般

1.4 液压与气压传动的图形符号

图 1-4 所示的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，图 1-5 所示的组成液压系统的元件和图 1-6 所示的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的原理图直观性强，容易理解，但绘制起来比较麻烦，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）方法及外部连接口，不表示元（辅）件的具体结构和参数，也不表示连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未列入国家标准中时，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

液压油是液压传动系统中的传动介质，且对液压装置的机构及零件起润滑、冷却和防锈

作用。液压传动系统的压力、温度和流速在很大的范围内变化，液压油的质量优劣直接影响液压系统的工作性能。因此，合理选用液压油也是很重要的。

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）、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、海水传动等。这里主要介绍液压传动的工作介质，其种类见表 1-3。

表 1-3 液压传动工作介质种类

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） HH+增热剂（L-HR） HH+增黏剂（L-HV） HH+防爬剂（L-HG）		
		含水液压油	高含水液压油（L-HFA）	水包油乳化液（L-HFAE）
			水的化学溶液（L-HFAS）	
		合成液压油	油包水乳化液（L-HFB） 水-乙二醇（L-HFC）	
			磷酸酯液（L-HFDR） 氯化烃（L-HFDS） HFDR+HFDS(L-HFDT) 其他合成液压油（L-HFDU）	

1. 石油基液压油

这种液压油是以石油的精炼物为基础，为改进性能加入各种添加剂混合而成的。添加剂有抗氧化添加剂、油性添加剂、抗磨添加剂等。不同工作条件要求具有不同性能的液压油，不同品种的液压油是由于精制程度不同和加入不同的添加剂而成。所加入的添加剂大致有两类：一类用来改善油液化学性质，如抗氧化剂、防锈剂等；另一类用来改善油液物理性质，如增黏剂、抗磨剂等。

(1) L-HL 液压油（又名普通液压油）。L-HL 液压油采用精制矿物油作基础油，加入抗氧化、抗腐、抗泡、防锈等添加剂调和而成，是当前我国供需量最大的主品种，用于一般液压系统，但只适用于 0℃ 以上的工作环境。其牌号有 HL-32、HL-46、HL-68。在其代号 L-HL 中，L 代表润滑剂类，H 代表液压油，L 代表防锈、抗氧化型，最后的数字代表运动黏度。

(2) L-HM 液压油（抗磨液压油，M 代表抗磨型）。L-HM 液压油的基础油与普通液压油相同，加有极压抗磨剂，以减小液压件的磨损。适用于-15℃ 以上的高压、高速工程机械和车辆液压系统。其牌号有 HM-32、HM-46、HM-68、HM-100、HM-150 等。

(3) L-HG 液压油（又名液压—导轨油）。除普通液压油所具有的全部添加剂外，L-HG 液压油还加有油性剂，用于导轨润滑时有良好的防爬性能，适用于机床液压和导轨润滑合用