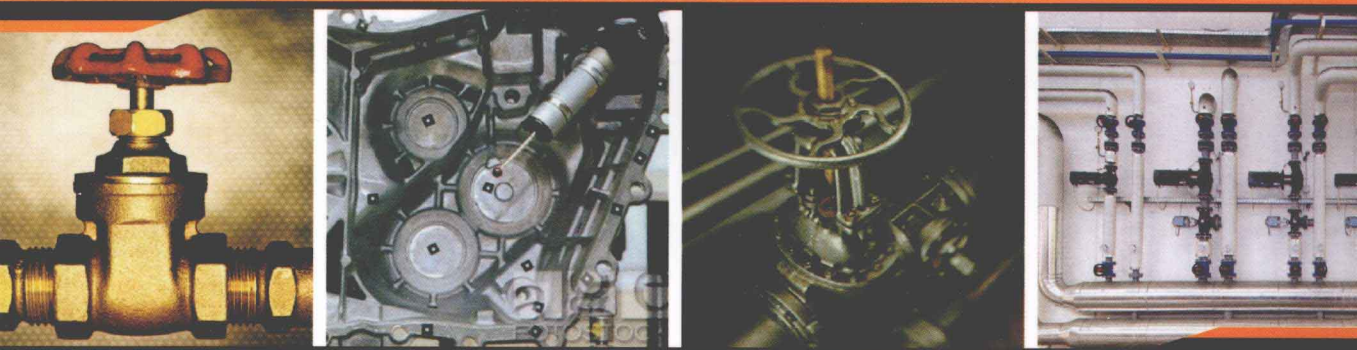


高等学校规划教材 · 机械工程

PROGRAMMING TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



液压气压传动与控制

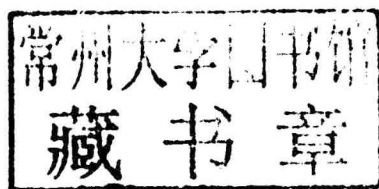
张利平 编著

西北工业大学出版社

高等学校规划教材·机械工程

液压气压传动与控制

张利平 编著



西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是高等学校机械工程类专业通用教材。全书共十章。第一章绪论,讲述液压气压传动与控制的研究对象及课程目标、基本原理与特点等;第二章~第九章讲述液压传动与控制;第十章讲述气压传动与控制。各章末附有思考题与习题及参考答案。书末附录摘录了常用液压气动图形符号与液压气动技术常用物理量单位换算,以备查用。

本书可作为普通高等院校机械类专业的通用教材(40~50学时)外,也可作为高等职业教育、成人教育、自学考试、技术培训的基础教材,同时可作为工矿企业及科研院所相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

液压气压传动与控制/张利平编著. —西安:西北工业大学出版社,2012.2

ISBN 978-7-5612-3317-7

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. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 018743 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西兴平报社印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:19.5

字 数:474 千字

版 次:2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元

前 言

液压气压传动与控制是近代机械学中发展极快的学科分支。与其他传动控制方式相比较,液压气动因其功率、密度大,以及容易实现精确控制和机、电、液(气)整合等独特的技术优势,已成为现代工业、农业、国防和科学技术各种生产、作业、实验装备中不可替代的基础技术及现代传动与控制的重要手段,是当代工程技术人员所应掌握的重要基础技术之一。

本书作为高等学校机械类专业“液压与气压传动”课程的通用教材(40~50学时),是笔者在总结30多年液压气动技术教学、科研及为企业进行技术服务工作的经验和心得基础上,利用短期旅居境外及在国内10多个大中城市讲学之便收集了一些材料,并根据笔者原著相关教材编写而成的。

本书围绕学以致用、开发创新的人才培养目标进行选材、编排和论述,力求形成以下特色:①着重基本概念、原理和方法的介绍,贯彻少而精、理论联系实际的原则;②注意反映液压气动元件及系统设计分析方法上的一些新发展和新成就,推进机-电-液(气)一体化技术的教学与应用;③液压与气动均按基础理论—元件—基本回路—系统分析和设计的体系结构进行论述;④对于液压与气动元件,侧重于基本原理的介绍而不过多涉及其具体结构;⑤编入较多的典型系统实例,以满足机械类不同行业的需要;⑥突出重点和共性问题,深入浅出,便于自学;⑦通过各章末所附思考题与习题及参考答案,以便复习巩固课堂所学内容,提高分析、解决实际问题的能力,从而使其更加有利于教学实际并满足高等学校人才培养的需要。

需要说明的是,作为表达液压气动元件及系统的作用和整个系统的组成、回路联系及工作原理的图形符号是本课程的重要组成部分之一。尽管GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第1部分:用于常规用途和数据处理的图形符号》已于2009年11月1日开始实施,但考虑到目前国内同类教科书及相关技术文献和资料大多仍采用GB/T 786.1—1993《液压气动图形符号》来表达液压气动元件与系统,故本书仍按GB/T 786.1—1993的规定介绍各类元件的图形符号,并将该标准中常用液压气动元件的标准图形符号作为附录I列出备查。

本书可作为普通高等学校机械设计制造及其自动化、机械电子工程、材料成型及控制工程、过程装备与控制工程(化工机械)、机车车辆、工程机械、冶金机械、农林机械、轻纺机械等专业的通用教材,也可作为高等职业教育、成人教育、自学考试、技术培训的基础教材,同时可作为工矿企业及科研院所相关工程技术人员的参考书。

在编写过程中,张津、山峻和张秀敏提供了宝贵信息、资料和建议,谨此向他们及所参阅国内、外相关教材和文献的各位作者一并表示真诚的感谢。

由于时间和水平所限,书中难免存在缺点和错误,欢迎读者批评指正。

张利平

2011年3月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 本课程研究对象及教学目标	1
第二节 液压气压传动与控制的工作原理、组成部分及表示	1
第三节 液压气压传动与控制的特点及应用	7
第四节 液压气压传动与控制技术的发展概况	9
思考题与习题	11
第二章 液压工作介质与液压流体力学基础	12
第一节 液压工作介质	12
第二节 液体静力学	18
第三节 液体动力学	22
第四节 定常管流的压力损失	28
第五节 孔口和缝隙液流特性	32
第六节 液压冲击及气穴现象	39
思考题与习题	41
第三章 液压泵	45
第一节 液压泵的功用与基本工作原理	45
第二节 液压泵的主要性能参数	46
第三节 齿轮泵	48
第四节 叶片泵	52
第五节 柱塞泵	58
第六节 常用液压泵的性能比较及选择	62
思考题与习题	64
第四章 液压缸与液压马达	65
第一节 液压缸	65
第二节 液压马达	75
第三节 摆动液压马达	79
思考题与习题	80
第五章 液压控制阀	83
第一节 液压阀概述	83

第二节	方向控制阀	85
第三节	压力控制阀	94
第四节	流量控制阀	105
第五节	叠加阀与插装阀	111
第六节	电液控制阀	118
第七节	常用液压阀的性能比较及选择	129
	思考题与习题	130
第六章	液压辅助元件	133
第一节	过滤器	133
第二节	热交换器	137
第三节	液压油箱	139
第四节	蓄能器	142
第五节	油管 and 管接头	144
第六节	压力表及压力表开关	147
第七节	密封装置	148
	思考题与习题	151
第七章	液压基本回路	152
第一节	压力控制回路	152
第二节	速度控制回路	157
第三节	方向控制回路	170
第四节	多执行元件控制回路	173
	思考题与习题	177
第八章	典型液压系统分析	181
第一节	YT4543 型组合机床动力滑台液压传动系统	181
第二节	JS01 型工业机械手液压传动系统	184
第三节	YA32-200 型四柱万能液压机液压传动系统	187
第四节	1 m ³ 履带式全液压单斗挖掘机液压传动系统	191
第五节	BF1010 型单臂仿形刨床机液伺服控制系统	193
第六节	带钢跑偏电液伺服控制系统	196
第七节	XS-ZY-250A 型塑料注射成型机电液比例控制系统	198
	思考题与习题	202
第九章	液压系统的设计计算	205
第一节	液压系统的设计内容与方法	205
第二节	液压传动系统设计计算示例——单面多轴钻孔组合机床液压系统设计	229
第三节	液压控制系统设计要点	239

思考题与习题.....	241
第十章 气压传动与控制	243
第一节 气动工作介质及气体力学基础.....	243
第二节 气动能源元件及辅助元件.....	248
第三节 气动执行元件.....	255
第四节 气动控制元件.....	259
第五节 气动基本回路.....	272
第六节 典型气动系统分析.....	279
第七节 气动系统设计计算.....	285
思考题与习题.....	293
附录	295
附录 I 常用液压气动图形符号.....	295
附录 II 液压气动技术常用物理量单位及换算.....	301
参考文献	303

第一章 绪 论

第一节 本课程研究对象及教学目标

传动机构是设置在机器中原动机和工作机之间的部分,用于实现动力的传递、转换与控制,以满足工作机对力、工作速度及位置的不同要求。机械传动、电气传动、流体传动等是目前常见的传动类型,其主要差别在于所采用的传动件(或工作介质)不同。流体传动通常称为液压气压传动与控制或简称为液压与气动,它是研究以有压流体(压力油或压缩空气)为工作介质,来实现机械的传动与自动控制的学科。

液压气压传动与控制是作为高等学校机械类这一历史悠久、社会需求和服务面向量大且面宽的专业所开设的一门重要的技术基础课程。其主要教学目标为,在介绍传动介质的基本物理性质及其力学(静力学、运动学和动力学)特性基础上,使学生了解组成系统的各类液压与气动元件的基本结构、工作原理、性能,以及由这些元件所组成的各种控制回路的性能和特点,从而进行液压气动系统的分析及设计。

第二节 液压气压传动与控制的工作原理、组成部分及表示

液压与气动的基本工作原理是相似的。现以液压千斤顶为例,说明液压传动的工作原理及其主要特征,然后介绍液压与气动系统的组成部分及表示。

一、工作原理

如图 1.1 所示,小缸体 1、小活塞 2 与吸油单向阀 3、排油单向阀 5 构成手动液压泵,完成吸油与排油;大缸体 10 和大活塞 11 构成举升液压缸,完成重物的升降。当人力抬起杠杆使小活塞向上运动时,小缸体的容腔 a 的容积增大形成局部真空,致使吸油单向阀 3 打开,经吸油管 4 从油箱 8 中吸油。当小活塞受力 F_1 作用向下运动时, a 腔的容积减小,油液因受挤压,压力升高,故被挤出的液体将吸油单向阀 3 关闭,而将排油单向阀 5 顶开,经油管 6 进入大缸体 10 的 b 腔,迫使大活塞 11 上移顶起重物(重力 F_2)。当再次提起杠杆吸油时,单向阀 5 自动关闭,保证举升

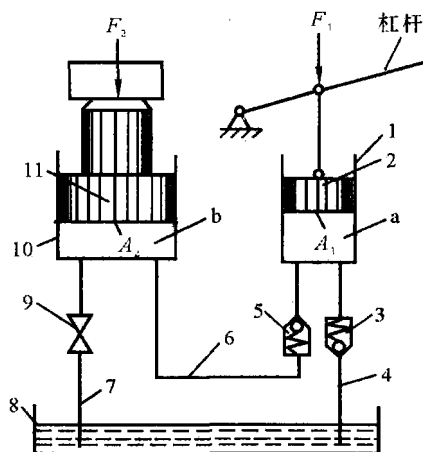


图 1.1 液压千斤顶工作原理图

- 1—小缸体;2—小活塞;3—吸油单向阀;
4,6,7—油管;5—排油单向阀;8—油箱;
9—截止阀;10—大缸体;11—大活塞

缸 b 腔的压力油不致倒流回手动泵内,从而保证了重物不会自行下落。通过不断往复扳动杠杆使小活塞不断上下往复运动,即能不断把油液压入举升缸 b 腔而使重物逐渐被升起。当重物上升到所需高度时,停止扳动杠杆及小活塞的运动,则举升缸的 b 腔内油液由排油单向阀 5 封死,大活塞 11 连同重物一起被闭锁不动。此时,截止阀 9 关闭。如打开截止阀 9,则举升缸 b 腔内液体便经截止阀和油管 7 排回油箱 8,于是,大活塞将在重物和自重作用下下移回复到原始位置。

气压传动与液压传动的主要差别为,前者的工作介质来自大气,工作完毕的气体一般直接排向大气而不回收,通常其工作压力较低(一般小于等于 1 MPa);而后者的工作压力较高(一般为几个 MPa 甚至几十 MPa),工作完毕的回油通常须排入油箱实现回收。

二、工作特征

上述液压千斤顶中的手动液压泵和举升液压缸组成了最简单的液压传动系统。其中,手动液压泵将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出,完成吸油与排油;举升液压缸将油液的压力能转换为机械能输出,举起重物,从而实现了动力的传递与转换。其工作特征如下:

(1) 力的传递靠液体压力实现,系统工作压力取决于负载。现以 F_2 表示作用在大活塞 11 上的负载力(其大小与输出力相等), A_2 表示大活塞的面积, p_2 (即物理学中的压强,以下同)表示力 F_2 在 b 腔中产生的液体压力;以 F_1 表示作用在活塞 2 上的输入力, A_1 表示活塞 2 的面积, p_1 表示力 F_1 在 a 腔中产生的液体压力(液压泵的排油压力),则大活塞 11 与小活塞 2 的静力平衡方程分别为

$$\left. \begin{aligned} F_2 &= p_2 A_2 \\ F_1 &= p_1 A_1 \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

若不考虑管路的压力损失,则液压泵的排油压力(即油腔 a 内的液体压力) p_1 与油腔 b 内的液体压力 p_2 相等,即

$$p_2 = p_1 = p \quad (1.2)$$

于是,系统的输出力(即所能克服的负载)为

$$F_2 = p_2 A_2 = p_1 A_2 = p A_2 \quad (1.3)$$

由式(1.2)可引出液压与气动的第一个工作特征为在系统结构参数(此处为活塞面积 A_1 和 A_2)一定情况下,系统工作压力 p 决定于负载 F ,负载越大,压力越大,而与流入的流体多少无关。

(2) 运动速度的传递靠容积变化相等原则来实现,运动速度取决于流量。如果不考虑液体的可压缩性和泄漏损失等因素,则液压泵排出的液体体积必然等于进入举升液压缸的液体体积,即容积变化相等,可表示为

$$A_1 x_1 = A_2 x_2 \quad (1.4)$$

式中 x_1 ——液压泵活塞的位移;

x_2 ——举升液压缸活塞的位移。

式(1.4)两边同除以运动时间 t 得

$$A_1 \frac{x_1}{t} = A_2 \frac{x_2}{t} \quad (1.5)$$

即

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1.6)$$

或

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1.7)$$

式中 v_1 ——液压泵活塞的平均运动速度；

v_2 ——举升液压缸活塞的平均运动速度。

由式(1.7)可以看出,活塞的运动速度与活塞的作用面积成反比。

$A \frac{x}{t}$ 的意义是单位时间内液体流过截面积 A_1 和 A_2 的体积,称为流量 q ,即

$$q = Av \quad (1.8)$$

若已知进入液压缸的流量 q ,则活塞的运动速度为

$$v = q/A \quad (1.9)$$

综上可引出液压与气动的第二个工作特征为在系统结构参数一定的情况下,运动速度的传递是靠工作容积变化相等的原则实现的。活塞的运动速度取决于输入流量的大小,而与外负载无关。调节进入液压缸(气缸)的流量 q ,即可调节活塞的运动速度 v 。

(3) 系统的动力传递符合能量守恒定律,压力与流量的乘积等于功率。如果不计任何损失,则系统的输入功率 P_1 与输出功率 P_2 相等,即有

$$P_1 = F_1 v_1 = P_2 = F_2 v_2 \quad (1.10)$$

考虑式(1.1)和式(1.9),则式(1.10)可表示为

$$P = P_1 = F_1 v_1 = p A_1 \frac{q_1}{A_1} = P_2 = F_2 v_2 = p A_2 \frac{q_2}{A_2} = pq \quad (1.11)$$

由式(1.11)可引出液压与气动的第三个工作特征为液压和气动是以流体的压力能来传递动力的并且符合能量守恒定律,压力与流量的乘积等于功率。

综上所述可看出以下四点:

1) 由于液压传动与气压传动中的工作介质是在受调节和控制下工作的,故流体传动不仅可以作为“传动”之用,而且还能作为“控制”之用,两者很难截然分开。

2) 与外负载力相对应的流体参数是压力,与运动速度相对应的流体参数是流量,故压力和流量是流体传动中两个最基本的参数。

3) 如果忽略各种损失,流体传动传递的力与速度彼此无关,故流体传动既可实现与负载无关的任何运动规律,也可借助各种控制机构实现与负载有关的各种运动规律。

4) 液压与气动可以省力但不省功。

三、液压与气动系统的组成部分

先来看两个例子。图 1.2(a) 所示为一挤压机的液压系统结构原理示意图,当液压泵 4 由原动机驱动旋转时,从油箱 1 经过滤器 2 和吸油单向阀 3 吸油。换向阀 13 有 P, T (T_1), A, B 等 4 个油口和 3 个工作位置,当换向阀 13 的阀芯处于图示工作位置时,压力油经压油单向阀 5、管路 16、节流阀 15、换向阀 13(P → A) 和管路 11 进入液压缸 10 的下腔,推动活塞(杆)及挤压头 9 向上运动。液压缸 10 上腔的油液经管路 8、换向阀 13(B → T) 和管路 7, 6, 19 排回油箱。如果扳动换向手柄 12 使换向阀 13 的阀芯处于左端工作位置时(见图 1.2(b)),则液压缸活塞向下运动。如果使换向阀 13 的阀芯处于中间位置时(见图 1.2(c)),则液压缸在任意位置停止运

动。调节和改变节流阀 15 的开口大小,可以调节进入液压缸 10 的流量,从而控制液压缸活塞及挤压头的运动速度。节流阀 15 的开口大,挤压头速度快;反之,节流阀 15 的开口小,挤压头速度慢。在满足挤压头速度要求之后,液压泵 4 排出的多余油液经管路 17、溢流阀 18 和管路 19 流回油箱。溢流阀 18 用来调节液压泵 4 的压力。因为要使挤压头运动,必须克服挤压力、摩擦力和回油背压力等阻力(统称负载),而且,这些阻力是变化的,所以,调节压力应根据最大负载来调整。这样,当系统压力低于这一调节压力时,溢流阀 18 关闭,当负载大,压力升高到调节压力时,溢流阀打开,对系统起到超载保护作用。如将图 1.2 中所示的液压缸 10 水平安装,用于驱动机床工作台,即可实现水平往复运动的控制;如将液压缸 10 换为液压马达,即可实现回转运动的控制。

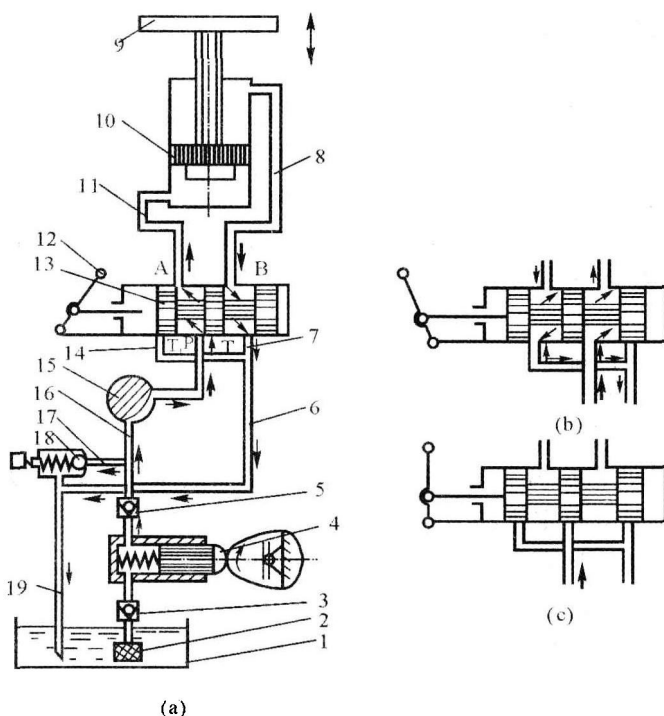


图 1.2 挤压机液压系统结构原理示意图

(a) 系统原理结构示意图;(b) 换向阀芯处于左端位置;(c) 换向阀芯处于中间位置

1—油箱;2—过滤器;3—吸油单向阀;4—液压泵;5—减压阀;6,7,8,11,14,16,17,19—管路;9—挤压头;
10—液压缸;12—换向手柄;13—换向阀;15—节流阀;18—溢流阀

图 1.3 所示为用于铜管管端挤压胀形的胀管机气压传动系统,空压机 1 及储气罐 3 经过滤器 4 和油雾器 6 向合模气缸 13 和胀形气缸 9 提供压缩空气,两个气缸的活塞杆在压缩空气作用下推动负载运动;胀形气缸 9 和合模气缸 13 的动作方向变换分别由换向阀 7 和 11 控制。而胀形气缸 9 的伸出速度可通过单向流量控制阀 8 的开度调节,气缸工作压力可以根据负载大小通过减压阀 5 调节;整个系统的最高压力由安全阀 2 限定。消声器 10 和 12 用于降低换向阀的排气噪声。如将图 1.3 中的胀形气缸 9 垂直安装,则可用于实现升降运动的控制;也可将气缸换为气马达,则可用于回转运动的控制。

由上述二例可以看出,液压与气动系统一般都是由能源元件、执行元件、控制调节元件、辅

助元件和工作介质等 5 个部分组成的,各部分的功用如表 1.1 所列。一般而言,能够实现某种特定功能的液压元件或气动元件的组合,称为回路;为了实现对某一机器或装置的工作要求,将若干特定的基本功能回路按一定方式连接或复合而成的总体称为系统。

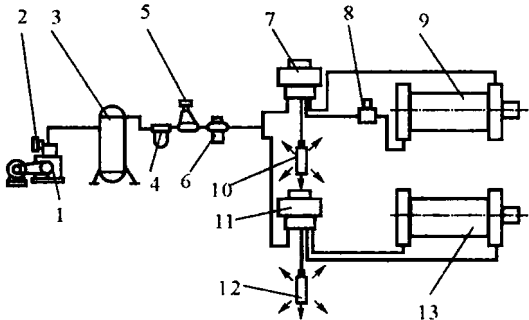


图 1.3 胀管机气压传动系统

1—空压机;2—安全阀;3—储气罐;4—过滤器;5—减压阀;6—油雾器;7,11—换向阀;
8—单向流量控制阀;9—胀形气缸;10,12—消声器;13—合模气缸

表 1.1 液压与气动系统的组成部分及功用

组成部分	液压系统	气动系统	功能作用
能源元件	液压泵	空气压缩机	将原动机(电动机或内燃机)供给的机械能转变为流体的压力能,输出具有一定压力的油液或空气
执行元件	液压缸、液压马达和摆动液压马达	气缸、摆动气缸和气马达	将工作介质(液体或气体)的压力能转变为机械能,用以驱动工作机构的负载做功,实现往复直线运动、连续回转运动或摆动
控制调节元件	各种压力、流量、方向控制阀及其他控制元件	各种压力、流量、方向控制阀,逻辑控制元件及其他控制元件	控制调节系统中从动力源到执行元件的流体压力、流量和方向,从而控制执行元件输出的力(转矩)、速度(转速)和方向,以保证执行元件驱动的主机工作机构,完成预定的运动规律
辅助元件	油箱、过滤器、管件、热交换器、蓄能器及指示仪表等	过滤器、管件、油雾器、消声器及指示仪表等	用来存放、提供和回收介质(液压油液);滤除介质中的杂质,保持系统正常工作所需的介质清洁度;实现元件之间的连接及传输载能介质;显示系统压力、温度等
工作介质	液压油或合成液体	压缩空气	传递能量和信号

四、液压与气动系统的表示 —— 原理图及图形符号

描述液压系统或气动系统的基本组成、工作原理、功能、工作循环及控制方式的说明性图样称为液压系统原理图或气动系统原理图。系统原理图有多种表示方法,但为了便于绘制和技术交流,一般采用标准图形符号绘制系统原理图,而不采用图 1.2 或图 1.3 所示的半结构形

式绘制。由于图形符号仅表示液压气动元件的功能、操作(控制)方法及外部连接口,并不表示液压气动元件的具体结构、性能参数、连接口的实际位置及元件的安装位置,因此,用来表达系统中各类元件的作用和整个系统的组成、油路联系和工作原理,简单明了,便于绘制。利用专门开发的计算机图形库软件,还可大大提高液压与气动系统原理图的设计、绘制效率及质量。

我国迄今先后于1965年、1976年、1993年和2009年颁布了液压与气动图形符号标准。考虑到目前国内技术文献及资料多数仍采用GB/T 786.1—1993《液压气动图形符号》来表达液压气动元件与系统,故本书仍按该标准进行叙述(GB/T 786.1—1993中的常用液压气动元件的标准图形符号在附录I列出备查)。如图1.4所示,即为按GB/T 786.1—1993规定的图形符号绘制的图1.2所示的挤压机液压系统原理图;如图1.5所示为用图形符号绘制的某胀管机的气动系统原理图。

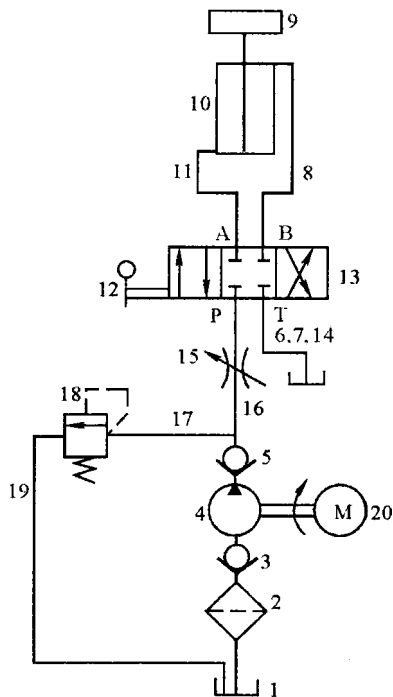


图 1.4 用图形符号绘制的挤压机液压系统原理图

1—油箱;2—过滤器;3—吸油单向阀;4—液压泵;5—压
油单向阀;6,7,8,11,14,16,17,19—管路;9—挤压头;
10—液压缸;12—换向手柄;13—换向阀;15—节流阀;
18—溢流阀;20—电动机

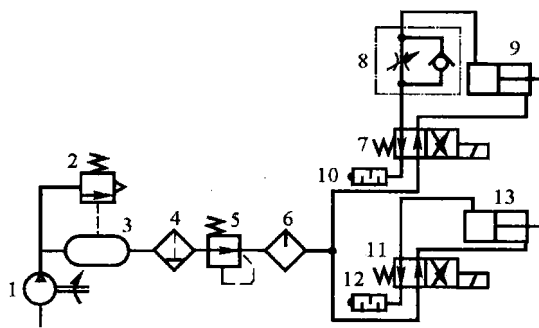


图 1.5 用图形符号绘制的某胀管机的气动系统原理图

1—空压机;2—安全阀;3—储气罐;4—过滤器;5—减压阀;
6—油雾器;7,11—换向阀;8—单向流量控制阀;9—胀形气
缸;10,12—消声器;13—合模气缸

用图形符号绘制系统原理图时的注意事项:① 可根据图纸幅面大小和需要,按适当比例改变元件图形符号的大小来绘制,以清晰美观为原则;② 元件和回路图一般以未受激励的非工作状态(例如,电磁换向阀应为断电后的工作位置)画出;③ 在不改变标准定义的初始状态含义的前提下,元件的方向可视具体情况水平翻转或 90° 旋转进行绘制,但液压油箱必须水平绘制,且开口向上。

第三节 液压气压传动与控制的特点及应用

一、特点

1. 液压传动与控制的特点

(1) 单位质量的功率大(能以较小的设备质量获得很大的输出力和转矩)。据统计资料表明,在典型情况下,液压泵和液压马达的单位质量的功率高达 $1\ 650\ \text{W/kg}$,而同等功率的发电机和电动机的单位质量的功率则约为 $165\ \text{W/kg}$,即液压泵和液压马达单位质量的功率是发电机和电动机的 10 倍。至于尺寸,前者为后者的 $(12 \sim 13)\%$ 。就输出力而言,用泵很容易得到极高压力的液压油液,将此油液传送至液压执行元件后即可产生很大的输出力和转矩。所以液压技术具有重量轻、体积小和出力大的突出特点,有利于机械设备及其控制系统的微型化、小型化,并可进行大功率作业。

(2) 布局灵活方便。液压元件的布置不受严格的空間位置限制,容易按照机器的需要通过管道实现系统中各部分的连接,布局安装具有很大的柔性,能构成用其他方法难以组成的复杂系统。

(3) 调速范围(最高速度与最低速度之比)大。通过控制阀,液压系统可以在运行过程中实现执行元件大范围的无级调速,调速范围可达 2 000。

(4) 工作平稳,快速性好。油液具有弹性,可吸收冲击,故液压传动传递运动均匀平稳,易于实现快速启动、制动和频繁换向。往复回转运动的换向频率可达 $500\ \text{次/min}$,往复直线运动的换向频率高达 $1\ 000\ \text{次/min}$ 。

(5) 易于操纵控制并实现过载保护。液压系统操纵控制方便,易于实现自动控制、远距离遥控和过载保护;运转时可自行润滑,有利于散热和延长使用寿命。

(6) 易于自动化和机、电、液整合。液压技术容易与电气、电子控制技术相整合,组成机-电-液一体化的复合系统,实现自动工作循环。

(7) 易于实现直线运动。用液压传动实现直线运动比机械传动简便。

(8) 系统设计、制造和使用维护方便。液压元件属于机械工业基础件,已实现了标准化、系列化和通用化,因此,便于液压系统的设计、制造和使用维护,有利于缩短机器设备的设计制造周期并降低制造成本。

(9) 不能保证定比传动。由于液体的压缩性和泄漏等因素的影响,液压技术不能严格保证定比传动。

(10) 传动效率偏低。在传动过程中,需经两次能量转换,常有较多的能量损失,因此,传动效率偏低。

(11) 工作稳定性易受温度影响。液压系统的性能对温度较为敏感,不宜在过高或过低温下工作,当采用石油基液压油作为传动介质时还需注意防火问题。

(12) 造价较高。因为液压元件制造精度要求较高以防止和减少泄漏,所以造价较高。

(13) 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,且发生故障不易诊断。

2. 气压传动与控制的特点

(1) 介质提取处理便利。空气容易从大气中提取,无介质费用和供应上的困难,用后的气体排入大气,处理方便,一般不需回收管道和容器,介质清洁,不会污染环境,管道不易阻塞,不存在介质变质及补充等问题。

(2) 能源可储存。压缩空气可储存在储气罐中,当发生突然断电等情况时,主机及其工艺流程不致突然中断。

(3) 动作迅速,反应灵敏。一般只需 $0.02 \sim 0.3 \text{ s}$ 即可建立起所需压力和速度,能实现过载保护,便于自动控制。

(4) 阻力损失和泄漏小。压缩空气传输过程中的阻力损失一般仅为油路的 $1/1\,000$,空气便于集中供应和远距离输送。外泄漏不会像液压传动那样造成压力明显降低和环境污染。

(5) 成本低。工作压力低,气动元件的材料和制造精度低,制造容易,成本较低。

(6) 工作环境适应性好。气动元件可以根据不同场合采用相应材料,使元件能够在强振动、强冲击、多尘埃、强腐蚀和强辐射等恶劣的环境下进行正常工作。不会因温度变化影响其传动控制性能。

(7) 维护简单,使用安全。无油的气动控制系统特别适用于无线电元器件的生产过程及食品或医药的生产过程。

(8) 输出力和转矩小。因工作压力较低,且结构尺寸不宜过大,故气动系统输出力或转矩较小,且传动效率低。

(9) 动作稳定性稍差。空气的可压缩性远大于液压油的可压缩性,故在动作的响应能力、工作速度的平稳性方面不如液压传动。但若采用气-液复合传动装置,即可取得满意效果。

(10) 工作频率和响应速度远不如电子装置。气压传动装置的信号传递速度限制在声速(约 $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 范围内,故其工作频率和响应速度远不如电子装置,且信号要产生较大的失真和延滞,也不便于构成较复杂的控制回路,但这一缺点对工业生产过程不会造成困难。

二、应用

由于液压气压传动与控制的技术优势,使其成为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,并在国民经济各行业得到了广泛应用。表 1.2 列举了近年来液压气压传动与控制的一些应用实例。

表 1.2 液压气压传动与控制的应用

应用领域	采用液压技术的机器设备和装置	采用气动技术的机器设备和装置
机械制造	金属切削机床及数控加工中心、机械手及机器人、离心铸造机、液压机、焊接机、淬火机等	组合机床、动力头、真空吸附工作台、工业机械手和机器人、造型机、压力机等
能源与冶金工业	电站锅炉、煤矿液压支架及钻机、海洋石油钻井平台及石油钻机、高炉液压泥炮、轧机及板坯连铸机、铝型材连续挤压生产线等	热电站锅炉房通风设备、核电站的燃料和吸收器进给装置、露天和地下矿场的矿石开采的辅助设备、轧钢机、捆绑机、熔炉辅助设备、切断机和锯机的夹紧和驱动装置、卷线机、打标机等

续 表

应用领域	采用液压技术的机器设备和装置	采用气动技术的机器设备和装置
铁路和公路交通	铺轨机、隧道工程衬砌台车、汽车维修举升机、架桥机等	公共交通工具门启闭、喷砂控制、紧急制动锁、十字门控制和驱动器；入口门控制；路标装置；车轮防空转装置等
建材、建筑、工程机械及农林、牧机械	陶瓷高压注浆成形机、钢筋弯箍机及校直切断机、混凝土泵、液压锤、碎石器、打桩机、越野起重机、各类挖掘机、联合收割机、球果采集机器人、饲草打包机及压块机等	砖块、毛坯石和瓷砖的成形机，吹型机，喷漆装置，挖掘机，推土机，穿孔器，田间作业设备的倾斜、提升和旋转装置，农作物保护和杂草控制设备，动物饲养饲料计量和传送装置，粪便收集和清除装置，蛋类分选系统，通风设备，剪羊毛和屠宰设备，收割机，水果和蔬菜分选设备等
家用电器与五金制造	显像管玻壳剪切机、电冰箱压缩机、电机转子叠片机、冰箱箱体折弯机、电冰箱内胆热成形机、制冷热交换器管件成形机、制钉机、门锁成形压机等	印刷电路板自动上料机、阴极套筒切口机、显像管转运机械手、穿芯电容测试仪、钢制家具的装配辅助设备、冲压机、切断机、压边机等
轻工、纺织及化工	表壳热冲压成形机、皮革熨平机、人造板热压机、木家具多向压机、纸张复卷机、骨肉分割机、纺丝机、印花机、卷染机、轧光机、注塑机、吹塑机、橡胶硫化机、乳化炸药装药机等	伐木机、家具制造机及试验机、造纸机、印刷机、皮革加工机、制鞋机、纺纱机和编织机、混合器和硫化压机中的关闭装置和测试设备等
航空航天工程、河海工程及武器装备	大型客机、飞机场地面设备、卫星发射等航空航天设备、河流穿越设备、舵机、水下机器人及钻孔机、波浪补偿起重机、炮塔仰俯装置、地空导弹发射装置等	飞机供油车气动联锁装置，飞行体主推力喷嘴摆角控制系统，船舶前进倒车的转换装置，导弹自动爬行气动系统、气动布雷装置及鱼雷发射管系统
计量质检装置、特种设备及公共设施	万能试验机、电梯、纯水灭火机、客运索道、剧院升降舞台、“深海巨怪”等游艺机、捆钞机、医用牵引床、垃圾破碎机和压榨机、污泥自卸车、万吨高层建筑物的整体平移工程等	计量和称量控制、供水系统水位控制，教育、广告策划可视系统，投影屏幕和黑板操作、示范及训练模型，“绝对深度”等游艺机，包装灌装机和挤压机、废金属打包机、眼玻璃体注吸切割器等

第四节 液压气压传动与控制技术的发展概况

公元前，希腊人发明的螺旋提水工具、埃及人用热空气-水力驱动的寺庙大门、用风箱产生压缩空气助燃和中国的水轮等，可以说是液压气压传动与控制技术最古老的应用。

1648年，法国的帕斯卡(B. Pascal)提出的液体静压力传递的基本定律，以及1850—1851年德国的克劳修斯(R. Clausius)和英国人开尔文(Kelvin)分别独立提出的热力学第二定律等

为 20 世纪液压气动技术的发展提供了科学基础。尽管早在 1795 年,英国人约瑟夫·布瑞玛(Joseph Bramah)就登记了第一台液压机的英国专利,在 18 世纪,伦敦就出现了液压印刷机,埃菲尔铁塔就是利用水压千斤顶来调节的,然而,由于早期无成熟的液压元件等原因,直到 20 世纪初,液压技术的理论和工程实际应用才基本成熟。第二次世界大战期间,由于军事上的需要,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,才使液压技术得到了迅猛发展。战后液压技术很快转人民用工业,在机械制造、起重运输机械及各类施工机械、船舶、航空等领域得到了广泛发展和应用。从 20 世纪 60 年代以来,随着原子能、航空航天技术、微电子技术的发展,液压技术在更深、更广阔的领域得到了发展。

气动技术的发展比液压技术的发展要晚。在 19 世纪后期才出现了利用压缩空气输送信件的气动邮政,并将气动技术用于舞台灯光设备驱动,印刷机械,木材、石料与金属加工设备,牙医钻具和缝纫机械等。第二次世界大战后,为了解决宇航、原子能等领域中电子技术难于解决的高温、巨震、强辐射等难题,加速了气压传动与控制技术的研究。自 20 世纪 50 年代末,美军的 Harry Diamond 实验室首次公开了某些射流控制的技术内容后,气动技术作为工业自动化的廉价、有效手段受到人们的普遍重视,各国竞相研制、推广。60 年代中期,法国 LECO 等公司首先研制成功了对气源要求低、动作灵敏可靠的第二代气动元件,继之各工业发达国家在气动元件及系统的研究、应用方面都取得了很大进展,各种结构新颖的气缸、新型气源处理装置等新型气动元件、辅件也不断涌现。随着工业技术的发展和生产自动化要求的提高,气动控制元件也有不少改进,气动逻辑元件和真空元件的研究和应用也取得了很大进展。随之,气动技术的应用领域也得到迅猛扩展,涵盖了机械、汽车、电子、冶金、化工、轻工、食品、军事、公共设施各行业。

液压气动行业具有小产品、大市场、技术密集、制造精细、投资强度大、回报时间长等特点。液压气压传动与控制技术及产品目前正在向节能化、智能化、电子化、高压化、小型化、集成化、复合化、长寿命、高可靠性、绿色化(低污染、低噪声、低振动、无泄漏)等方向发展,以满足各类主机节能、环保、高效、自动、安全、可靠的发展要求。创新与发展为装备制造业提供动力传动与控制技术全面解决方案已成为近代液压气压传动与控制技术的重要主题。

新中国成立前,我国几乎无液压气动技术可言。新中国成立后,随着国民经济的发展以及综合国力的增强,我国的液压气动技术得到了很大发展。1952 年,试制出我国第一只液压齿轮泵;1959 年,国内建立了首家专业化液压元件厂;1967 年,开始建立气动元件专业厂。经过半个世纪的发展,我国液压气动行业已形成了一个门类比较齐全,有一定生产能力和技术水平的工业体系,现有数以百计的各类液压、气动元件厂(公司),形成了国内自行开发、引进技术制造、合资生产、仿制消化的多元化格局。目前,我国的液压气动元件制造业已能为国民经济多种部门提供较为齐全的液压气动元件产品,已能基本适应各类主机产品的一般需要。在液压气动行业的标准化方面,截至 2010 年 12 月,国内共有液压气动标准 162 项(国家标准 99 项,行业标准 63 项),这些标准多数与国际标准化组织(ISO)所颁布的同类标准相一致,从而为提高我国液压气动元件的标准化、系列化、通用化程度,组织专业化生产,提高产品的性能,发展新品种和互换性,以及国际间的技术交流及机电产品配套出口贸易提供了有利条件。目前,在教育、科研和学术交流及技术合作方面,全国有百余所科研院所和大学在进行着普及教育和产品研发;全国通过《液压与气动》和《液压气动与密封》等专业期刊,“中国液压气动密封工业网”等网站以及各级学术团体、学术会议、展览会与国内、外学术界和制造业界进行着广泛的学术