

高等工科院校适用教材

液压与气动技术

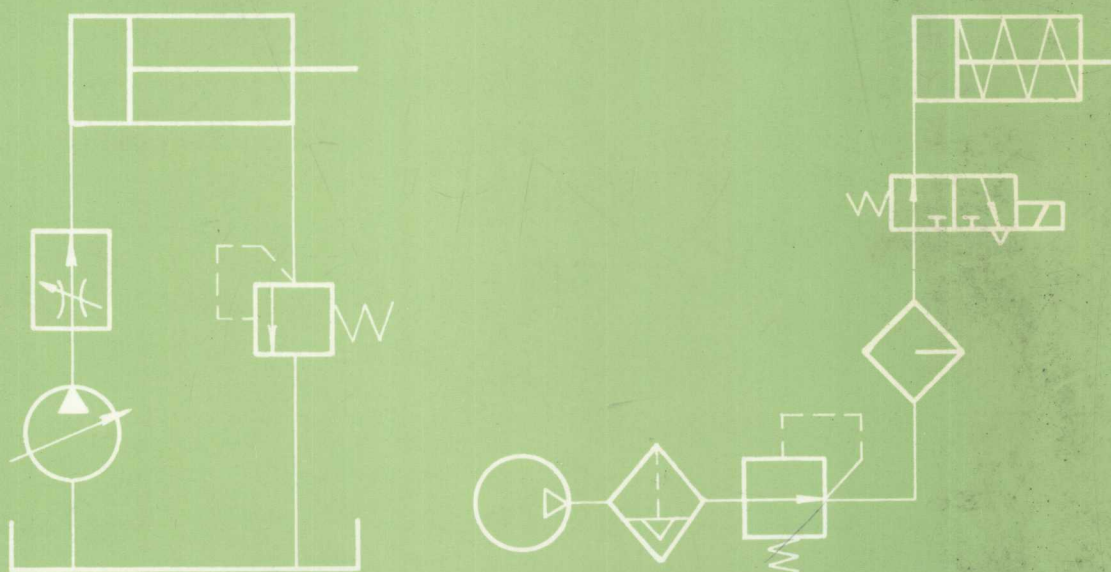
洪英发

主编

程国珩

黄 谊

主审



东北大学出版社

液 压 与 气 动 技 术

主 编 洪英发 程国珩

副主编 王晓方 迟刚锐

肖 枫 柳舟通

(主编、副主编皆以姓氏笔划为序)

主 审 黄 谊

副主审 丛树仁

江苏工业学院图书馆
藏书章

东北大学出版社

内 容 简 介

本书内容分为3篇共17章,系统论述了液压与气动技术的基本理论及其应用。包括:液压与气动技术的工作介质、基础知识,液压气动元件的结构原理、性能与选用,液压与气动的主要回路,典型液压、气动系统及其特点,液压传动系统的设计计算,液压伺服控制,液压CAD技术,液压与气动逻辑回路的设计,液压与气动系统的使用、维护与故障分析等内容。

本书是工科高校机械类专业的通用教科书,既可作为本科和专科院校机制专业的教材,又可作为地方大学、职工大学、成人高校等有关专业的教学用书,还可作为工程技术人员学习、参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/洪英发,程国珩主编. —沈阳:东北大学出版社,1996.12

ISBN7-81054-132-3

I. 液…

II. ①洪… ②程…

III. 液压—气动—技术

IV.

©东北大学出版社出版

(沈阳·南湖 110006)

东北大学印刷厂印刷

东北大学出版社发行

1996年12月 第1版

1996年12月 第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:21.75 插页:1

字数:543千字

印数:1~4000册

定价:21.00元

前 言

液压及气压传动与机械传动、电气传动相比是一门新技术。80年代我国工科高校机械类专业一般仅开设《液压传动》课程。新技术的不断发展,气动技术的应用越来越广泛,90年代我国部分院校总结出了增加气动教学内容的重要性和必要性的成功经验。为此,全国工科院校机制与液压研究会,经过十余年的教学研究,根据国家教委教育司颁发的[1995]59号文件提出的组织实施《面向21世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划》,决定编写本书,以适应教学发展的需要。

本书主要内容分为3篇。第1篇分为两章,介绍了液压气动的原理、组成与特点,液压油、流体力学应用知识、空气的性质与气动计算;第2篇分10章,其中第3至6章重点介绍了常用液压泵与马达、液压缸、控制阀及辅助元件的结构、工作原理及其选用,第7至9章介绍了液压回路、典型液压传动系统及其特点、液压传动系统的设计与计算,第10至12章介绍液压伺服系统、液压CAD技术和液压系统的安装调整和使用维护;第3篇气动技术共分5章,其中第13,14,15章分别介绍气动元件、气动回路、气动控制实例,第16章介绍液压气动逻辑回路设计,第17章介绍气动系统的安装调整和使用维护。

本书在编写过程中,首先,注意突出理论的实用性和知识的应用性;其次,尽可能扩展该科技最有用而又最新的知识;第三,贯彻“够用为度”和“超前性”原则,教材内容既立足于液压气动技术的现实应用情况,又着眼于面向21世纪的需要;第四,本书全面贯彻GB786.1—93液压气动图形符号新标准;第五,尽量采用实例、图解、表格叙述,便于学生理解掌握,便于工程技术人员参考。在编写中同时注意突出重点章和重点内容的介绍,并力求层次清楚、深入浅出,通俗易懂、理论和实践相结合。

本书由沈阳工业学院洪英发副教授和安阳大学程国珩副教授主编。由上海工业大学黄谊教授主审,吉林电气化高等学校丛树仁副教授副主审。副主编是王晓方(沈阳工业学院讲师)、迟刚锐(哈尔滨理工大学工业技术学院讲师)、肖枫(吉林电气化高等学校讲师)、柳舟通(武汉工学院黄石分院讲师)。参加本书编写的还有吴玉华(沈阳工业学院副教授)、王咏梅(安阳制冷设备厂工程师)、杨秀杰(河南安阳钢铁厂职工大学讲师)、崔广臣、刘惠鑫(沈阳工业学院教师)。

本书在编写过程中,曾得到武汉工学院黄石分院研究员罗辉院长、华中理工大学刘宣藩教授、航空航天工业部014研究中心高新绪研究员、国家教委高等工程专科教育研究改革咨询评议委员周诵明教授、河南安阳液压件厂高级工程师常风桥厂长、吕俊锋工程师等的大力支持和帮助。编者在此表示诚挚的感谢。

由于水平所限,书中难免存在一些缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编 者

1996年9月

目 录

第1篇 液压与气动技术的基础知识

第1章 概 论	(1)
§1-1 液压与气压传动的工作原理	(1)
§1-2 液压与气压传动系统的组成与分类	(2)
§1-3 液压与气动技术的特点	(5)
§1-4 液压与气动技术的应用和发展	(6)
思考题与习题	(7)
第2章 液压与气动流体力学基础	(8)
§2-1 流体的物理性质	(8)
§2-2 液压油性质与选用、维护	(13)
§2-3 液体静力学基础	(18)
§2-4 液体动力学基础	(20)
§2-5 管路系统压力损失计算	(27)
§2-6 液体流经小孔和缝隙的流量	(32)
§2-7 液压冲击和气穴现象	(37)
§2-8 空气的性质及状态方程	(40)
§2-9 气动元件的通流能力及气容充放气温度与时间计算	(46)
思考题与习题	(57)

第2篇 液压传动

第3章 液压泵和液压马达及其选用	(61)
§3-1 容积泵的工作原理和泵与马达的性能参数	(61)
§3-2 齿轮泵和齿轮马达	(65)
§3-3 叶片泵和叶片马达	(71)
§3-4 柱塞泵和柱塞马达	(81)
§3-5 其它液压泵和液压马达	(90)
§3-6 液压泵和液压马达的选用	(93)
思考题与习题	(96)
第4章 液压缸	(99)
§4-1 液压缸类型及特点	(99)
§4-2 活塞缸	(99)
§4-3 柱塞缸	(102)
§4-4 摆动缸	(102)

§4-5 其它液压缸	(103)
§4-6 液压缸的设计计算	(105)
思考题与习题	(111)
第5章 液压控制阀及其选用	(112)
§5-1 方向控制阀	(112)
§5-2 压力控制阀	(121)
§5-3 流量控制阀	(130)
§5-4 电液比例控制阀	(133)
§5-5 插装阀	(135)
§5-6 电液数字控制阀简介	(138)
§5-7 液压阀的选用	(139)
思考题与习题	(140)
第6章 液压辅助元件	(144)
§6-1 密封装置	(144)
§6-2 滤油器	(149)
§6-3 油 箱	(155)
§6-4 蓄能器	(158)
§6-5 油管和管接头	(161)
§6-6 热交换器	(166)
思考题与习题	(168)
第7章 液压基本回路	(169)
§7-1 压力控制回路	(169)
§7-2 速度控制回路	(176)
§7-3 方向控制回路	(188)
§7-4 多缸顺序动作控制回路	(189)
§7-5 逻辑回路	(193)
思考题与习题	(194)
第8章 典型液压传动系统及其特点	(199)
§8-1 组合机床动力滑台液压系统	(199)
§8-2 M1432B型万能外圆磨床液压系统	(201)
§8-3 YA32—200型四柱万能液压机液压系统	(207)
§8-4 SZ—250型塑料注射成型机液压系统	(209)
§8-5 Q2—8型汽车起重机液压系统	(213)
§8-6 加工中心液压系统	(216)

思考题与习题	(218)	§ 13-2 控制元件	(278)
第 9 章 液压系统的设计计算	(219)	§ 13-3 逻辑元件	(285)
§ 9-1 设计原则和依据	(219)	§ 13-4 气源装置及辅助元件	(289)
§ 9-2 主要参数的确定	(220)	思考题与习题	(296)
§ 9-3 拟定液压系统原理图,选择液压 元件	(222)	第 14 章 气动基本回路	(297)
§ 9-4 液压系统的性能验算	(225)	§ 14-1 方向控制回路	(297)
§ 9-5 绘制正式工作图、编写技术文件	(227)	§ 14-2 压力控制回路	(298)
§ 9-6 典型液压系统设计计算实例	(228)	§ 14-3 速度控制回路	(299)
思考题与习题	(232)	§ 14-4 常用气动回路	(299)
第 10 章 液压伺服系统	(233)	思考题与习题	(302)
§ 10-1 液压伺服系统的工作原理	(233)	第 15 章 气动控制应用实例	(303)
§ 10-2 液压伺服系统的基本类型	(235)	§ 15-1 气控机械手	(303)
§ 10-3 液压伺服系统的静特性和稳定性	(239)	§ 15-2 气控冲孔机	(306)
§ 10-4 电液伺服阀和电液伺服系统 ...	(244)	§ 15-3 气动自动控制器	(309)
§ 10-5 液压伺服系统的故障分析与排除 方法	(246)	思考题与习题	(310)
§ 10-6 国内外应用伺服系统的动态趋势 和发展方向	(247)	第 16 章 液压气动逻辑回路设计	(311)
思考题与习题	(248)	§ 16-1 逻辑代数设计的功能及应用范围	(311)
第 11 章 液压 CAD 技术	(249)	§ 16-2 逻辑代数基本定律	(312)
§ 11-1 CAD 概述	(249)	§ 16-3 逻辑函数式、真值表和基本逻辑门	(313)
§ 11-2 液压 CAD 的功能和基本原理	(253)	§ 16-4 逻辑函数的化简	(314)
§ 11-3 液压 CAD 发展中的若干问题与 展望	(254)	§ 16-5 逻辑代数在液压与气动控制回路 中的应用	(316)
§ 11-4 液压 CAD 技术实例	(256)	思考题与习题	(319)
思考题与习题	(261)	第 17 章 气动系统的安装、调试、使用和维护	(320)
第 12 章 液压系统的安装调整使用和维护	(262)	§ 17-1 气动系统的安装与调试	(320)
§ 12-1 液压系统安装、调整和使用应注意 的问题	(262)	§ 17-2 气动系统的使用与维护	(321)
§ 12-2 液压系统及其元件常见故障的 排除方法	(265)	§ 17-3 气动系统主要元件的常见故障 及其排除方法	(322)
第 3 篇 气压传动		附录 1 常用法定计量单位及其换算	(327)
第 13 章 气压传动的主要元件与功用	(275)	附录 2 矿油型、合成型和抗燃型液压油性能 及应用(GB7631.2—87 摘录)	(328)
§ 13-1 执行元件	(275)	附录 3 液压及气动图形符号(GB786.1—93 摘录)	(330)
		附录 4 液压及气动图形符号 GB786—76 简介	(336)
		主要参考文献	(340)

第1篇 液压与气动技术的基础知识

第1章 概 论

§ 1-1 液压与气压传动的工作原理

液压和气动技术是研究以流体作为工作介质来实现传动和控制的技术。它们的工作原理基本相同,这里以综合对比的方法来论述。

一、液压传动系统的工作原理

图 1-1 是简化的液压系统原理图。它是利用液体的压力能来传递动力的。两个直径不同的液压缸 2 和 4 之间用管道 3 连通,缸内各有一个与内壁紧密配合的活塞 1 和 5 构成了密封容积,并都充满了液体。

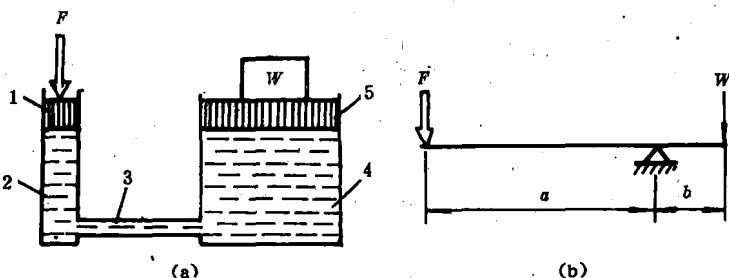


图 1-1 简化的液压系统原理图

如果 5 上有重物 W , 则活塞 1

上施加的力 F 达到一定值时,就能防止重物 W 的下降。当活塞 1 在力 F 作用下向下运动时,重物 W 将随之向上运动。也就是说,密封容积中的液体可以传递力和运动。在传动过程中密封容积的液体受到挤压,产生一定压力,作用在活塞上,设活塞 1 和 5 的面积分别为 A_1 和 A_2 ,则活塞 1 单位面积上受到的压力为 $p_1 = F/A_1$,活塞 5 单位面积上受到的压力 $p_2 = W/A_2$ 。根据流体力学的帕斯卡定律“平衡液体内某一点的压力值能等值的传递到密闭液体各点”,则有

$$p_1 = p_2 = \frac{F}{A_1} = \frac{W}{A_2} \quad (1-1)$$

或

$$\frac{W}{F} = \frac{A_2}{A_1} \quad (1-2)$$

用机械传动的杠杆比来分析,如图(b)所示有: $F \cdot a = b \cdot W$, 即 $\frac{a}{b} = \frac{W}{F}$, 于是 $\frac{A_2}{A_1} = \frac{a}{b}$ 。不考虑泄漏和液体可压缩性,液压传动与机械杠杆传动相当。根据式(1-1), $p = W/A_2$ 。外负载 W 的存在,活塞 1 才能施加上作用力 F 。而有了负载作用力,才产生液体压力。所以就负载和液体压力二者来说,负载是第一性的,压力是第二性的。即有了负载,液体才会有压力,并且压力的大小决定于负载。于是得到一个重要概念——液压传动中液体压力决定于负载。今后在分析液压传动中元件和系统的工作原理时经常要用到这个概念。实际上液压传动中液体的压力相当于

机械传动中构件的应力。机械构件的应力也是决定于负载的,但机械构件在传动时可以承受拉、压、弯、剪等各种应力,而液体传动中液体只承受压力,这是二者的重要区别。

二、气压传动系统的工作原理与液压系统的比较

1. 气压传动系统的工作原理

气压传动以压缩空气为介质来传递动力,空气介质在气动系统中的流程如图 1-2 所示,组成了一个自动进行循环往复运动的控制回路。

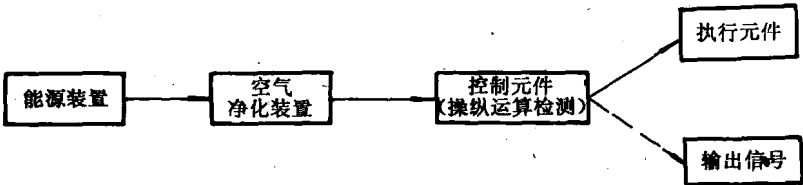


图 1-2 气压传动流程图

一般的气动系统按图 1-3 工作,按下启动阀 m 接通气源使 F_A 阀换向,气流进入气缸 A 左腔推动活塞右行,到达行程的终点时压下行程阀 a_1 ,气源又通过阀 a 使阀 F_A 换向,气流进入气缸 A 右腔使活塞杆退回。每按动一次,启动阀 m 就可使气缸活塞往复一次,这就是气压传动的简化工作原理。因为用空气作介质,其性能与液压传动有所不同。

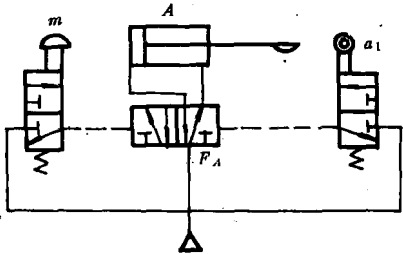


图 1-3 气缸作一次往复运动回路

2. 与液压系统的比较

由于空气的压缩性远大于液压油的压缩性,气动系统的使用压力较低,一般限制在 $0.2 \sim 0.8 \text{ MPa}$ 范围之内,因此,它只能作为功率不大的动力系统。输出力低,也就限制了功率的提高,气压传动的效率比液压传动的要低。气动输出力不如液压传动大,但气动的噪声却较大,尤其在超声速排气时需加装消声器。至于其它特点见后述。

§ 1—2 液压与气压传动系统的组成与分类

一、液压传动系统的组成

图 1-4 所示是一个用于实现工作台往复运动的简化液压系统图。图 1-4(a)中,液压泵 3 由电动机带动旋转,从油箱 1 中吸油。油液经滤油器 2 过滤后被液压泵吸入并输出给系统。液压泵输出的压力油经节流阀 5 和换向阀 6 进入液压缸 7 的左腔,推动活塞连同工作台 8 向右移动,这时液压缸的右腔的油通过换向阀经回油管 9 排回油箱。如果将换向阀操纵手柄搬到左边位置,使换向阀处于图 1-4(b)示位置,则压力油经换向阀进入液压缸的右腔,推动活塞连同工作台向左移动,这时,液压缸左腔的油经换向阀和回油管排回油箱。

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开口较大时,进入液压缸的流量较大,工作台的移动速度也较快;反之,当节流阀开口较小时,工作台的移动速度则较慢。工作台移动时,必须克服阻力,如克服切削力和相对运动表面的摩擦力等。为适应克服大小不同阻力的需要,泵输出油液的压力应当能够调整;另外,当工作台低速移动时,节流阀开口较小,泵输出的多余的油液亦需排回油箱。这是由溢流阀4来实现的,调节溢流阀弹簧的预压力,就能调整泵输出口的油液压力,并让多余的油在相应压力下打开溢流阀经回油管10流回油箱。图示的液压系统具有代表性,它所用

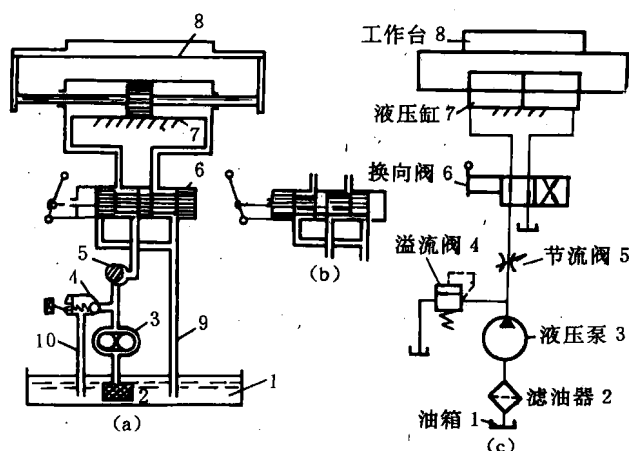


图 1-4 机床工作台液压传动系统

元件的类型较齐全,从而可以得出结论,任何一个完整的液压系统总是由以下五个部分组成:

(1) 动力元件。即液压泵,其功用是为液压系统提供压力油源,是将原动机的机械能转换为液压能的装置。

(2) 执行元件。指液压缸和液压马达。它是将液压能转化为机械能的装置。液压缸输出往复运动的力和速度,而液压马达输出扭矩和转速。

(3) 控制调节元件。指各种控制阀。如图中的溢流阀、节流阀、换向阀等。是用来控制调节液流压力、流量和方向,以保证执行元件完成预定的动作。

(4) 辅助元件。指油箱、油管、滤油器、蓄能器和压力表等,是构成液压系统的必不可少的元件。

(5) 工作介质。即传动液体,通常采用液压油;它用于实现运动和动力传递的同时,也当润滑剂使用。

图 1-4(a)中组成液压系统的各元件,是用半结构图形画的。它的直观性强,容易理解;但难于绘制,系统元件数量多时更是如此。在工作实际中,除少数特殊情况外,一般都采用 GB786.1—93 规定的液压图形符号来绘制,如图 1-4(c)所示,图形符号只表示元件的功能,而不表示元件的具体结构和参数。使用图形符号既便于绘制,又可使液压系统简单明了,对 GB786.1—93 液压图形符号可见附录和液压气动手册。

二、气压传动系统的组成

一个可自动完成某种程序动作的气动系统,如图 1-5 所示,其中的控制装置是由若干元件组成的气动逻辑回路。它可根据气缸活塞杆的始末位置,由传感器(包括行程开关及节流放大器等)传回信号,作出逻辑判断,并指示气缸下一步动作,从而实现机器的自动化(详细内容在第 3 篇第 16 章逻辑回路设计中阐述)。气动系统的组成(基本同液压系统对应)如下:

1. 能源元件

是气动系统的动力源,它的功用是把机械能转换为气体能量,这种元件其实就是空气压缩

机,一般分为两类:

(1) 容积式压缩机:①往复式;其中又可分为两种方式,一种是活塞式,有单缸、双缸和多缸等;另一种就是膜片式。②回转式:可分为滑片式、螺杆式、转子式,这类方式应用较为广泛。

(2) 速度式压缩机:可分为轴流式、离心式和混流式,它们比容积式压缩机应用的要少些。

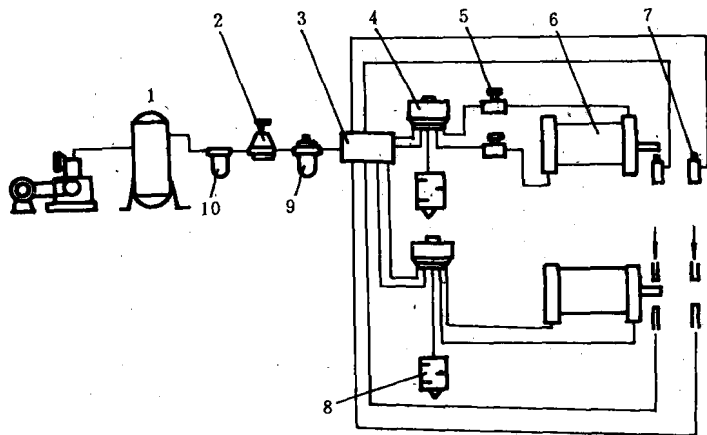


图 1-5 气动系统的组成

1—气压发生装置;2—压力控制阀;3—逻辑元件;4—方向控制阀;
5—流量控制阀;6—执行元件;7—传感器;8—消声器;9—油雾器;10—过滤器

2. 控制元件

是控制和调节压缩空气的压力、流量和流动方向的元件。

3. 执行元件

是把气体能量转换为机械能的一种装置。它可分为气缸(单作用、双作用、特殊气缸)和气马达(回转马达和摇摆马达)。

4. 辅助元件

包括以下各部分:

(1) 空气净化设备。是滤掉空气中灰尘及水分的设备,主要有过滤器、干燥器、分水滤气器、后冷却器。

(2) 给油器。功用是供给气动运动部件摩擦副润滑油。有油雾器、油杯等。

(3) 消声器。用于降低气动系统的噪声。

(4) 各种转换器。包括气电转换器、气液转换器、放大器、显示器、延时器、程序器等。

(5) 其它辅助元件。包括气罐、压力计、管接头、管路等。

三、液压气动系统的分类及异同点

1. 液压系统

可分为下列几种:

(1) 压力变换为主的系统。如液压机等。

(2) 速度变换为主的系统。①直线运动,又可分为断续直线运动(如组合机床液压系统等)和连续直线运动(如磨床工作液压系统)。②回转运动,指泵和马达组合的传动系统。

(3) 多路复合系统,如挖掘机系统和同步系统等。

(4) 开式回路系统,液压缸和液压马达回油口接油箱,便于散热和过滤液压油。

(5) 闭式回路系统,指液压缸和液压马达回油接液压泵进油口形成闭合循环,需装辅助泵,用来补充液压系统的泄漏。

2. 气动系统

气动系统按控制回路可与液压系统一样,可分为开环控制和闭环控制两大类:

(1) 开环控制。其输入量与输出量之间没有连续的比较,该控制应用较为广泛。

(2) 闭环控制。其输入量与输出量之间要连续地进行测量并随时进行比较。其输入信号与来自输出量的反馈信号之差称为误差信号。故闭环系统又称为反馈系统,它依靠误差信号来调节供应到系统的能量,以使输出量向着减小误差信号的方向变化。

§ 1—3 液压与气动技术的特点

一、液压传动设备与机械传动、电动传动、气压传动设备相比较有下列特点:

(1) 液压传动各执行元件机构的动作和力(力矩)是靠液体来传递的,所以液体的质量和清洁度将直接关系到液压设备的运行状况。

(2) 在相等功率条件下,液压传动设备比机械传动设备体积小、重量轻、运动惯性小、动态性能好,换向频率高。其往复回转运动可达每秒 500 次,往复直线运动可达每秒 1000 次。

(3) 液压设备中,液压系统与电气控制系统联合使用,自动化程度高。

(4) 液压设备由标准化程度较高、通用化较强的液压元件组成,故便于设计制造和推广使用。

(5) 液压传动设备要保持良好的技术状态就必须做到控制污染、控制泄漏和控制温升及吸空等。

(6) 液压传动设备具有自我润滑和自动防止过载的保护能力,故使用起来安全可靠。

(7) 由于液压传动的各执行机构所传递的力、速度、位移可无级调节(调节范围可达 1:2000)故能迅速适应被控制参数的变化。

(8) 液压元件标准化、系列化的水平极高,故液压设备一般比机械设备技术改造投资少,时间短,并且容易实现。

(9) 液压元件属于精密零件,因此元件的修理较困难。

(10) 液压设备的故障有隐蔽性和多变性,因此故障原因的判断要比机械故障的判断难得多。

二、气动技术与其它传动机械的传动形式相比较的主要特点:

(1) 气体流动时惯性小,所以气动元件的动作快,反应灵敏,在系统中建立起一定压力和流速所需的时间较短。

(2) 空气的粘性小,因此在管道中流动时压力损失小,便于集中供气和压缩空气的远距离输送。

(3) 气动系统中回气可直接排入大气,不需要设置回气管路,系统比较简单。

(4) 气动系统中的工作介质是空气,因此不存在变质、补充和更换问题、经济性好。

(5) 气动系统的工作性能对温度变化不敏感,几乎在 0—200℃ 范围均可工作,并且在高温下不会发生燃烧或爆炸。

(6) 由于工作压力低,可降低对气动元件的材料和制造精度要求。

(7) 空气的容积模量比液压油小得多,所以气动系统的速度刚度比液压系统低,低速稳定性差。

(8) 空气没有润滑性能,其中又含有水蒸汽,所以气动元件的工作条件比液压元件差。

(9) 气压信号比电气信号传播速度慢,所以气动系统的快速性和响应频率不如电气控制系统。与机械传动相比,也不如机械传动准确可靠。

(10) 气动系统对一定限度的外泄漏是允许的,因为外漏的空气不会污染工作环境。也不会影响气压传动的质量;但由于气动系统本身工作压力不高,所以要尽可能地减少泄漏。

§ 1—4 液压与气动技术的应用和发展

一、液压技术的应用与发展

相对于机械传动来说,液压传动是一门新技术。如果从 17 世纪帕斯卡发现了静液压传递原理,1795 年世界上发明第一台水压机算起,液压技术的发展已经历了约三百年的历史。然而液压传动是在第二次世界大战后才普遍应用起来的,特别是在 20 世纪 60 年代后,随着原子能科学、空间技术、计算机技术的发展,液压技术本身也得到了很大的发展,并且渗透到了国民经济的各个领域,在工程机械、冶金、军工、汽车、船舶、石油、航空和机床行业中得到了广泛的应用。

当前,液压技术正向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、低耗能、经久耐用和高度集成化方向发展;同时新型元件的应用,液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机仿真和优化、微机控制等方面,也日益取得显著成果。

我国的液压工业在 20 世纪 50 年代开始起步,最初应用于机床和锻压设备,后来又用于拖拉机和工程机械。

从 1964 年开始,我国从国外引进液压元件生产技术,同时自行设计液压产品。我国的液压件生产已形成系列,并在各种设备上推广使用。目前,我国机械工业在认真消化、推广从国外引进的先进液压技术的同时,大力地研制开发国产液压件新产品,如中高压齿轮泵、比例阀、叠加阀、数字阀及新系列中高压阀等,加强产品质量可靠性和新技术的应用的研究。并积极采用国际标准和制订新的国家标准,合理调整产品结构,对一些性能差的或不符合国家标准的液压件产品采取了逐步淘汰的措施。可以看出,液压技术在我国的应用与发展已经进入了一个崭新的历史阶段。

二、气动技术的应用与发展

以空气为介质做功的机器发明得很早。开始是利用自然风力推动风车,风车又带动水车来打水灌田,后来用压缩空气在炼丹术中用风箱吹火等。近代用于采煤的风钻、火车的制动闸及汽车的刹车与车门开闭等。

伴随着工业机械化和自动化的发展,欧美日等发达国家从 50 年代起就大力发展气动技术,用以实现对各种工业化生产的自动化控制。空气具有防火、防爆、防电磁干扰等特点,并且不受放射性和噪声的影响,同时对振动冲击也不敏感,可以在 50 倍重力加速度下正常工作。气动技术设备具有结构简单、工作可靠、寿命长、适应范围广等一系列优点,使得它在石油、化工、

轻工、交通运输、国防等行业中得到了广泛的应用。至于在机械工程中如机床的程序控制、组合机床、轴承加工、汽车、农机等和机械加工工艺中的铸造、锻压、冲压等设备中的应用更为普遍。甚至现在的测量技术方面也用到了气动技术。风动工具均采用气动技术。

国外的气动工业近年来发展迅速,水平也在日益提高,已发展成气电一体化。我国的气动工业起步较晚,与国际水平相比差距较大,在品种、性能、寿命、可靠性方面都有待提高。1967年我国筹建了上海红光机械厂(现上海气动元件厂),成为第一汽车制造厂生产配套气动元件的工厂。1975年后我国又建立了威海、肇庆、阜新等气动元件厂。近年来,上海厂、肇庆厂、烟台厂、无锡厂相继从国外引进了先进的生产技术,正在逐步改变目前国内气动工业的低水平、低质量、数量少的局面。

现阶段国家已制订出提高基础件质量和技术指标的规划。气动技术在数量上、质量上和水平上都在迅速发展。因此,掌握好气动技术是机械行业工程技术人员的重要任务。

思考题与习题

1-1 两个水平放置的液压缸如图 1-6 所示,活塞 5 用以推动一个工作台,工作台上运动阻力为 F_R 。活塞 1 上施加作用力 F , 液压缸 2 的缸径为 20mm, 而液压缸 4 的缸径为 50mm, F_R 为 1960N, 在以下几种情况下, 计算密封容积中液体压力并分析两活塞的运动。

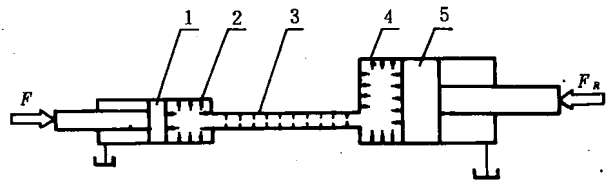


图 1-6 题 1-1 图

下, 计算密封容积中液体压力并分析两活塞的运动。①当活塞 1 上作用力 F 为 314N; ②当 F 为 157N; ③当 F 为 628N。(不考虑活塞与液压缸之间的摩擦力以及液体通过间隙的泄漏)。

(1MPa, 各自等速运动; 0.5MPa, 均静止不动; 1MPa, 各自等速运动。)

1-2 何谓液压和气压传动? 它们的工作原理有何相同点和不同点?

1-3 液压系统有哪些组成部分? 各部分的作用是什么? 气动系统的组成也相同吗?

1-4 试比较液压和气压传动的技术特点。

第2章 液压与气动流体力学基础

§ 2-1 流体的物理性质

一、流体的密度和重度

单位体积内流体的质量称为流体的密度,用 ρ 表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中, m 为流体的质量(kg); V 为流体的容积(m^3 或 cm^3)。

单位体积内流体的重量称为流体的重度,用 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (2-2)$$

式中, G 为流体的重量(N)。

流体在 20°C ,一个标准大气压 101kPa (760mmHg)情况下的重度与 4°C 时的蒸馏水的重度之比称为比重或物质与同体积 4°C 的水的密度的比率,也称为比重度,用符号 d_s 表示,即

$$d_s = \frac{\gamma V}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}} V} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

比重 d_s 是无量纲的纯物理量。

液体重度与密度的关系式为

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \text{ 或 } \rho = \frac{\gamma}{g} \quad (2-3)$$

式中, g 为重力加速度, $g=9.81\text{m/s}^2$ 。

对于液压系统用的矿物油,在一般使用的温度与压力范围内,其密度 $\rho=900\text{kg/m}^3$,重度 $\gamma=8400\text{—}9500\text{N/m}^3$,常取 $\gamma=8.8\times 10^3\text{N/m}^3$ 。

空气的密度和重度依赖于温度及压力的变化,在基准状态即干燥空气为 0°C 绝对压力为 101kPa 时的空气重度是 12.68N/m^3 。因此,利用气体的状态方程,可给出空气在不同温度不同压力时重度计算公式

$$\gamma = 12.68 \times \frac{273}{273+t} \times \frac{p}{760} \quad (\text{N/m}^3) \quad (2-4)$$

式中, p 为空气的绝对压力(mmHg); t 为空气温度(0°C)。

二、流体的压力和粘度

1. 流体的压力

流体的压力 p 是指液体单位面积上所受力向力的大小,即物理学中的压强。设作用在流体内某一微小截面积上的力为 ΔF ,见图2-1。取微面积 ΔA 在流体中的压力 p 为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2-5)$$

一般情况 ΔF 可分解为法向力和切向力两个分力。由于流体有不能承受任何拉力的特性,所以流体的压力 p 就是法向压应力。图 2-2 所示是动力缸,活塞面积为 A ,推力为 F ,则液体中的压力为

$$p = \frac{F}{A} \quad (2-6)$$

式中, F 为流体所承受的压力(N); A 为流体的受力面积。

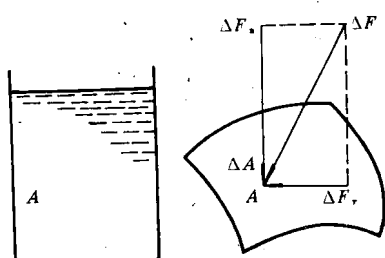


图 2-1 流体压力的产生

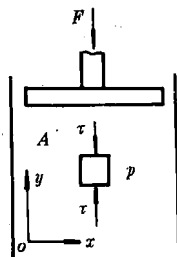


图 2-2 流体的压应力

每平方米面积上作用一牛顿力(1N)的压力称一帕(Pa)。应用上帕的单位太小,现在工程上常用兆帕(MPa), $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 表示。为了便于应用,表 2-1 列出了各种单位的换算关系。

表 2-1 流体压力的各种单位

巴	兆帕	标准大气压	工程大气压	毫米汞柱	米水柱	磅/(英寸) ²
bar	(Pa×10 ⁶)	(atm)	(kgf/cm ²)	(mmHg)	(mH ₂ O)	(lbf/in ²)
1	0.1	0.987	1.02	750	10.2	14.51
1.013	0.1013	1	1.033	760	10.33	14.69
0.98	0.098	0.9678	1	735.56	10	14.22

工程上用压力表测得的压力值是以大气压力为基准的压力值,称为相对压力或表压力。以 $p=0$ 为基准的压力称为绝对压力,常以符号 abs 表示,绝对压力小于大气压力时,大气压力与绝对压力之差称为真空度,它们之间关系见图 2-3 所示。

2. 流体的粘度

当流体在外力作用下发生流动时,由于流体与容器壁面之间附着力和分子之间内聚力的作用,其流动受到牵制,导致流体分子间产生相对运动,从而在流体中产生内摩擦力。流体在流动时产生的内摩擦力的特性称为粘性。

流体的粘性可以利用以下简单实验证实。用注射器将墨水注入静止的水槽里,使墨水从槽底形成一铅垂线(条纹),见图 2-4,设时间为 $t=0$ 时水静止不动,则此时

条纹也静止不动。当水流动后, $t=\Delta t$ 时变成图中虚线所示的形状和位置,但条纹末端与槽底仍保持接触而不产生相对运动。条纹变成曲线的事实说明水流因分子之间聚合力产生了摩擦阻力,从而使流体各层之间具有不同的运动速度,形成了速度梯度 $\frac{du}{dy}$; 条纹末端附壁不动是由于水分子与水槽壁的固体分子之间附着力作用的结果。此种现象称为流体边界无滑动条件。一

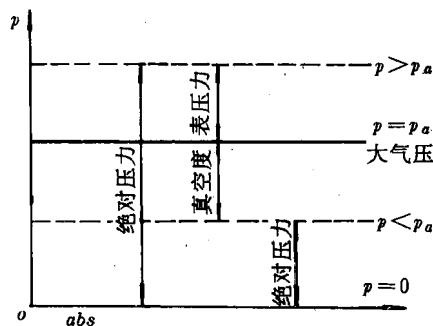


图 2-3 绝对压力、表压力及真空度的关系

般气体也均存在这种条件,但稀薄气体除外。

实验结果表明,流体流动时相邻流层间的内摩擦力 F 与液层接触面 A ,液层间速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比,即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-7)$$

其中 μ 是比例常数,称为动力粘度。若以 τ 表示内摩擦切应力,即液层间在单位面积上的内摩擦力,则

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-8)$$

这就是牛顿流体内摩擦定律。

由上式可知,在静止流体中,因速度梯度 $\frac{du}{dy} = 0$,内摩擦力为零,所以液体在静止状态下是不呈粘性的,即静止液体没有粘性。

牛顿流体是指服从牛顿定律的流体,理想气体、矿物油、植物油及水均为牛顿流体,而油漆、泥浆是不服从牛顿流体摩擦定律的。液压油一般可看作牛顿液体。

(1) 动力粘度 μ 。动力粘度又称绝对粘度由式(2-8)可得

$$\mu = \frac{F}{A \frac{du}{dy}} = \tau \frac{dy}{du}$$

从而可知动力粘度的物理意义是:液体在单位速度梯度下流动时,接触流层间单位面积上的内摩擦力即为动力粘度。流体的流动速度分布可以是抛物线,直线或其它曲线,即它们的速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 可以是变量也可为常数,但只要流体的类型、温度、压力已经确定,则它们的动力粘度也就是确定的。

动力粘度的法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$,它与以前沿用的单位 P (泊, $\text{dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$)之间的关系是 $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 9.81\text{P} \approx 10\text{P} = 10^3\text{cP}$ (厘泊)。

(2) 运动粘度 ν 。动力粘度与密度之比值称为运动粘度,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-9)$$

运动粘度的法定计量单位是 m^2/s ,它与以前沿用的单位 St (斯或沱)之间的关系是 $1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{cm}^2/\text{s} = 10^4\text{St} = 10^6\text{mm}^2/\text{s} = 10^6\text{cSt}$ 。

运动粘度 ν 没有明确的物理意义,只有长度和时间的量纲,因此称为运动粘度。

液压油的牌号,常用它在某一温度下的运动粘度平均值来表示,例如 N32 号液压油,就是指这种油在 40°C 时运动粘度平均值为 $32\text{mm}^2/\text{s}$ 。

以往我国液压油牌号是按 50°C 运动粘度来划分的。例如旧牌号 20 号液压油,就是指它在 50°C 时运动粘度平均值为 $20\text{mm}^2/\text{s}$ 。

液压油新旧牌号对照列于表 2-2 中。

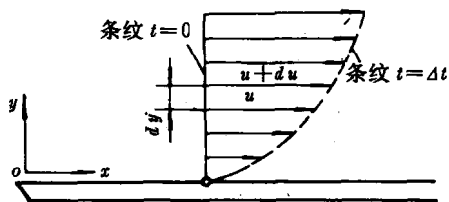


图 2-4 流体存在粘性的实验

表 2-2 液压油新牌号(40℃时运动粘度)与旧牌号(50℃时运动粘度)对照

新牌号	N ₇	N ₁₀	N ₁₅	N ₂₂	N ₃₂	N ₄₆	N ₆₈	N ₁₀₀	N ₁₅₀
旧牌号	5	7	10	15	20	30	40	60	80

实验证明流体的粘度与温度及压力有关,但主要取决于温度。由于气体的粘度主要取决于气体分子之间的动量的交换,所以气体的粘度随温度的升高而增加,液体的粘度主要取决于分子之间的聚合力,因而它的粘度随温度的升高而降低。图 2-5 可知,温度变化对液体粘度的影响比对气体粘度影响大。

表 2-3 列出了不同温度时的空气的绝对粘度。

不同种类的油粘度是不相同的,其粘度随温度的变化规律也不同。对于液压系统中常用的液压油当温度在 30~50℃ 范围内而运动粘度不超过 76cSt 时,可用下式计算运动粘度

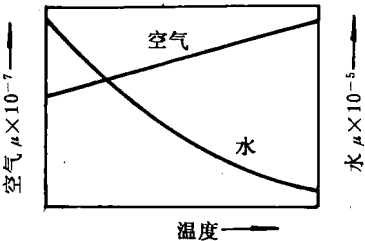


图 2-5 空气和水的粘温曲线

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n \quad (\text{cSt}) \tag{2-10}$$

式中, ν_{50} 为温度为 50℃ 时油的运动粘度(cSt); n 为指数,按表 2-4 选取。

表 2-3 空气的绝对粘度

名称 \ 温度(℃)	-20	0	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300
动力粘度 $\times 10^{-5} \mu(\text{Pa} \cdot \text{s})$	1.63	1.72	1.76	1.82	1.86	1.91	1.98	2.18	2.39	2.58	2.77	2.95
运动粘度 $\nu(\text{mm}^2/\text{s})$	11.93	13.7	14.7	15.7	16.6	17.6	18.6	23	28.7	34.6	41.1	47.9

表 2-4 运动粘度的指数

$\nu_{50}(\text{cSt})$	2.5	6.5	9.5	12	21	30	38	45	52	60	68	76
n	1.39	1.59	1.72	1.79	1.99	2.13	2.24	2.32	2.42	2.49	2.52	2.56

(3) 相对粘度。相对粘度又称条件粘度,它是用特定的粘度计在规定的条件下测量出来的粘度。我国、德国、俄罗斯等国都采用恩格勒粘度 $^{\circ}\text{E}$,美国用赛波尔特粘度 SSU,英国用雷特乌特粘度 R。

恩格勒粘度用恩格勒粘度计测定,即 200mL 被测液体装入粘度计的容器内,在某一温度下,测出液体经容器底部直径为 2.8mm 小孔流尽所需的时间 t_1 和同体积蒸馏水在 20℃ 时流过同一小孔所需时间 t_2 (通常 $t_2 = 50 \sim 52\text{s}$) 之比值便是被测液体在这一温度时的恩格勒粘度 $^{\circ}\text{E}_t = \frac{t_1}{t_2}$ 。

恩格勒粘度与动力粘度和运动粘度的换算关系为

$$\mu_t = \left(0.00067^{\circ}\text{E}_t - \frac{0.00058}{^{\circ}\text{E}_t} \right) \times \frac{100}{0.0109} \quad (\text{cp}) \tag{2-11}$$

$$\nu_t = \left(8.0^{\circ}\text{E}_t - \frac{8.64}{^{\circ}\text{E}_t} \right) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s} \quad (1.35 \leq ^{\circ}\text{E}_t \leq 3.2)$$

$$\nu_t = \left(7.6^{\circ}\text{E}_t - \frac{4.0}{^{\circ}\text{E}_t} \right) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s} \quad (^{\circ}\text{E}_t > 3.2) \tag{2-12}$$