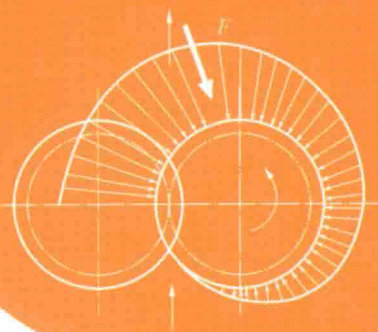


普通高等学校机械专业卓越工程师教育培养计划系列教材

液压与气压传动

HYDRAULIC AND PNEUMATIC TRANSMISSION

张萌 康红梅 / 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等学校机械专业卓越工程师教育培养计划系列教材

液压与气压传动

主 编 张 萌 康红梅
副主编 李 波 宋玉斌

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

全书内容包括液压传动和气压传动两部分,共分 12 章。第 1 章至第 9 章为液压传动部分,内容包括:液压与气压传动概述,液压油与液压流体力学基础,液压泵和液压马达,液压缸,液压控制阀,液压辅助元件,液压基本回路,典型液压系统,液压传动系统设计计算。第 10 章至第 12 章为气压传动部分,内容包括:气源装置、辅助元件及气动执行元件,气动控制元件及气动基本回路,PLC 与气压传动。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化专业以及其他近机类专业的教学用书,也可供企业生产技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/张萌,康红梅主编. —武汉:华中科技大学出版社,2015.5
普通高等学校机械专业卓越工程师教育培养计划系列教材
ISBN 978-7-5680-0903-4

I. ①液… II. ①张… ②康… 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 116403 号

液压与气压传动

张 萌 康红梅 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:姚 幸

封面设计:刘 卉

责任校对:马燕红

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16.25

字 数:404 千字

版 次:2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:35.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

本书根据编者多年教学实践与课程教学改革成果,按照“高等学校卓越工程师培养计划要求”和面向 21 世纪的教学改革的需要而编写。全书内容包括液压传动和气压传动两部分,共分 12 章。本书主要介绍液压传动的基础知识,液压与气动元件的结构原理及应用,液压、气压传动的基本回路组成及功能,典型液压传动与气压传动系统的组成与分析,液压传动系统设计的基本方法,以及可编程控制技术在气压传动中的应用等内容。

本书在内容的选取和编排上注重基本概念与原理的讲解,突出重点,强调实用性,力求章节层次清楚、内容简洁,特别强调了对知识点的归纳、对比和总结。附录提供了部分课后习题的参考答案。

本书既可作为高等院校机械设计制造与自动化专业以及其他近机类专业的教学用书,也可供企业生产技术人员参考。

本书由中国地质大学张萌、康红梅担任主编,李波、宋玉斌担任副主编,具体编写分工为:李波编写第 1 章、第 2 章,张萌编写第 3 章至第 9 章,康红梅编写第 10 章、第 11 章,宋玉斌编写第 12 章及全部章节的课后习题。中国地质大学的研究生曾佳鑫参与了全书的统稿和校核工作,研究生吴凡也参与了本书部分图形的绘制和资料整理工作,他们为书稿的最终完成付出了辛勤的劳动,在此一并致以诚挚的谢意。华中科技大学出版社的领导和编辑对本书的出版给予了很大的帮助,在此也表示衷心的感谢!

由于本书涉及内容广泛,并且增加了一些尝试性的内容,加之编者水平有限,难免出现一些缺点和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 4 月

目 录

第 1 章 液压与气压传动概述	(1)
1.1 液压传动的发展概况	(1)
1.2 液压传动的工作原理及其组成部分	(2)
1.3 液压传动的图形符号	(4)
1.4 液压传动的工作特性	(5)
1.5 液压传动的优缺点	(7)
1.6 液压传动的应用	(8)
课后习题	(8)
第 2 章 液压油与液压流体力学基础	(9)
2.1 液压油液	(9)
2.2 液压流体力学基础	(14)
课后习题	(26)
第 3 章 液压泵和液压马达	(29)
3.1 液压泵和液压马达概述	(29)
3.2 液压泵和液压马达主要性能参数	(30)
3.3 齿轮泵和齿轮马达	(33)
3.4 叶片泵和叶片马达	(40)
3.5 柱塞泵和柱塞马达	(49)
3.6 液压泵的性能比较与选用	(58)
课后习题	(58)
第 4 章 液压缸	(60)
4.1 液压缸的主要类型	(60)
4.2 液压缸的典型结构及特点	(61)
4.3 液压缸的设计与计算	(67)
课后习题	(70)
第 5 章 液压控制阀	(72)
5.1 液压控制阀概述	(72)
5.2 压力控制阀	(73)
5.3 流量控制阀	(87)
5.4 方向控制阀	(94)
5.5 其他类型控制阀简介	(105)
课后习题	(121)
第 6 章 液压辅助元件	(125)
6.1 滤油器	(125)
6.2 蓄能器	(129)

6.3	油箱	(132)
6.4	热交换器	(134)
6.5	管道和管接头	(135)
	课后习题	(137)
第7章	液压基本回路	(139)
7.1	压力控制回路	(139)
7.2	速度控制回路	(145)
7.3	方向控制回路	(158)
7.4	多缸动作控制回路	(161)
	课后习题	(168)
第8章	典型液压系统	(171)
8.1	组合机床动力滑台液压系统	(171)
8.2	压力机液压系统	(175)
8.3	注塑机液压系统	(179)
	课后习题	(187)
第9章	液压传动系统设计计算	(189)
9.1	概况	(189)
9.2	液压传动系统的设计	(189)
第10章	气源装置、辅助元件及气动执行元件	(198)
10.1	气压传动系统的基本组成	(198)
10.2	气源装置	(199)
10.3	辅助元件	(205)
10.4	气动执行元件	(209)
	课后习题	(213)
第11章	气动控制元件及气动基本回路	(214)
11.1	压力控制阀及其基本回路	(214)
11.2	流量控制阀及其基本回路	(218)
11.3	方向控制阀	(220)
11.4	气动逻辑元件	(225)
11.5	其他常用回路	(232)
11.6	气压传动系统实例	(234)
	课后习题	(236)
第12章	PLC 与气压传动	(238)
12.1	PLC 简介	(238)
12.2	PLC 控制系统的设计步骤	(240)
12.3	PLC 在气动系统中的应用	(242)
	课后习题	(250)
附录		(251)
参考文献		(254)

第 1 章 液压与气压传动概述

1.1 液压传动的发展概况

1.1.1 液压传动的定义

在了解液压传动的定义之前,先了解一下什么是“传动”。所谓“传动”,是指利用能量做有用功,起到传递能量、转换能量形式或改变能量运作方式的作用,其目的是传递动力,使机器或机器部件运动或运转。自然界存在着广泛的传动现象,一切机械都有其相应的传动机构,借助它可达到对动力的传递和控制的目的。总的来说,传动形式可以分为机械传动、电气传动和流体传动三大类。我们对机械传动非常熟悉,机械传动是指通过齿轮、齿条、蜗轮、蜗杆等机件直接把动力传送到执行机构的传动。电气传动是指利用电力设备,通过调节电参数来传递或控制动力的传动。流体传动是指以流体为工作介质,以流体的压力能(或动能)进行能量转换、传递和控制的传动。流体传动根据其工作介质不同,又可以分成液体传动和气体传动两类。根据利用流体的能量形式的不同,又可以进一步细分:凡是利用流体的压力能的传动称为液压(或气压)传动,凡是利用流体的动能的传动称为液力(或气力)传动。流体传动的定义和分类如图 1-1 所示。根据流体传动的定义,可以方便地得到液压传动的定义。液压传动是指:用液体作为工作介质,利用其压力能进行能量转换、传递和控制的传动形式。同样也可以方便地得到液力传动的定义:液力传动是指用液体作为工作介质,利用其动能进行能量转换、传递和控制的传动形式。如此类推,还可以得到气压传动及气力传动的定义:气压传动是指用气体作为工作介质,利用其压力能进行能量转换、传递和控制的传动形式;气力传动是指用气体作为工作介质,利用其动能进行能量转换、传递和控制的传动形式。

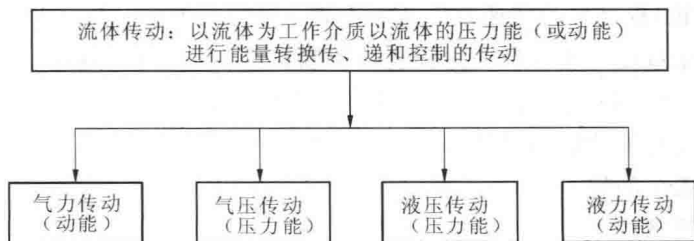


图 1-1 流体传动定义和类型

1.1.2 液压传动的发展历史

液压传动技术至今已有 300 多年的历史,它是根据 17 世纪帕斯卡提出的液体静压力传动原理而逐步发展起来的。1795 年,英国的约瑟夫·布拉曼(Joseph Braman,1749—1814)在伦敦用水作为工作介质,以水压机的形式将液压传动技术应用于工业上,诞生了世界上第一台水压机;1905 年,将工作介质由水改为油,液压传动性能又得到进一步改善。在机床工业上采用液压传

动,可以从 19 世纪末德国制造液压龙门刨床,美国制造液压转塔车床、液压磨床算起,但由于当时还没有成熟的液压元件,因而液压技术并没有得到普遍应用。20 世纪 30 年代,各类机床(如车、铣、磨、钻、镗、拉床等)才刚刚开始采用液压传动,直到第二次世界大战以后,液压传动的应用才逐渐普遍起来。其后,随着微电子技术、计算机、现代控制理论的发展,并与液压技术的紧密结合,使液压传动与控制发展成为十分成熟的技术,渗透到国民经济的各个领域:从空中到水下,从军用到民用,从重工业到轻工业,到处都有液压传动与控制技术的应用。目前,液压技术正在朝高压、高速、大流量、高效率、低噪声、集成化方向发展。新的液压元件的出现和液压系统的计算机辅助设计、优化设计、数字仿真、微机控制等新技术的日益发展、应用,并取得了 many 显著成果。图 1-2 所示为液压系统发展概况图。

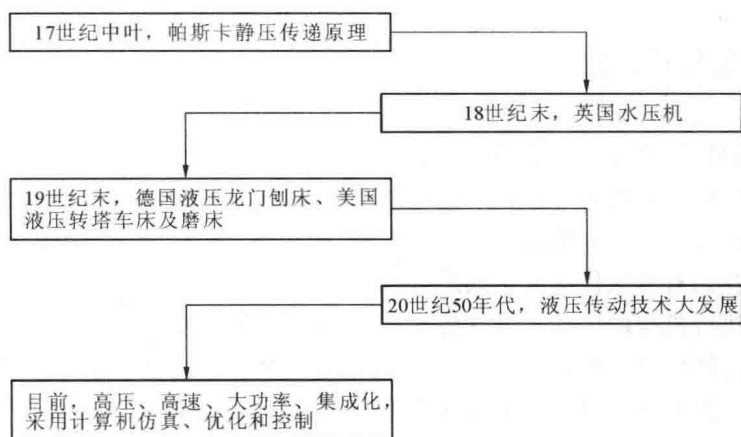


图 1-2 液压系统发展概况图

1.1.3 液压传动的现状及展望

目前,液压传动及控制技术不仅用于传统的机械操纵、助力装置,而且还用于机械的模拟加工、转速控制、发动机燃料进给控制,以及车辆的动力转向、主动悬挂装置和制动系统,同时也扩展到航空航天和海洋作业等领域。

液压技术的发展前途是十分广阔的。液压系统今后发展的动向主要体现在以下几个方面。

- (1) 提高压力和增加流量 随着生产的发展,液压泵的额定压力和额定流量正在不断提高。对于液压泵来说,提高泵的转速是提高流量的一个有效方法。
- (2) 微型化和集成化 随着自动化程度的不断提高,要求越来越复杂的控制系统向微型化发展。同时,液压系统的组成已经开始朝集成化方向发展。
- (3) 提高液压元件的性能和研制新的液压元件。
- (4) 降低液压系统的噪声。
- (5) 采用新的测试技术。

1.2 液压传动的工作原理及其组成部分

1.2.1 液压传动的工作原理

千斤顶是一种起重高度小的简单起重设备,分为机械千斤顶和液压千斤顶两种,其工作原

理不尽相同。从原理上来说,液压千斤顶所基于的原理为帕斯卡原理(在密闭容器内,施加于静止液体上的压力将等值、同时传递到液体中各点)。图 1-3 所示为液压千斤顶的工作原理图,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。如提起手柄 1 使小活塞 3 向上移动,小活塞 3 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 1,小活塞 3 下移,小活塞 3 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 输入大油缸 9 的下腔,迫使大活塞 8 向上移动,顶起重物。再次提起手柄 1 吸油时,单向阀 7 自动关闭,使油液不能倒流,从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄 1,就能不断地把油液压入举升缸下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11,大油缸 9 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。这就是液压千斤顶的工作原理。

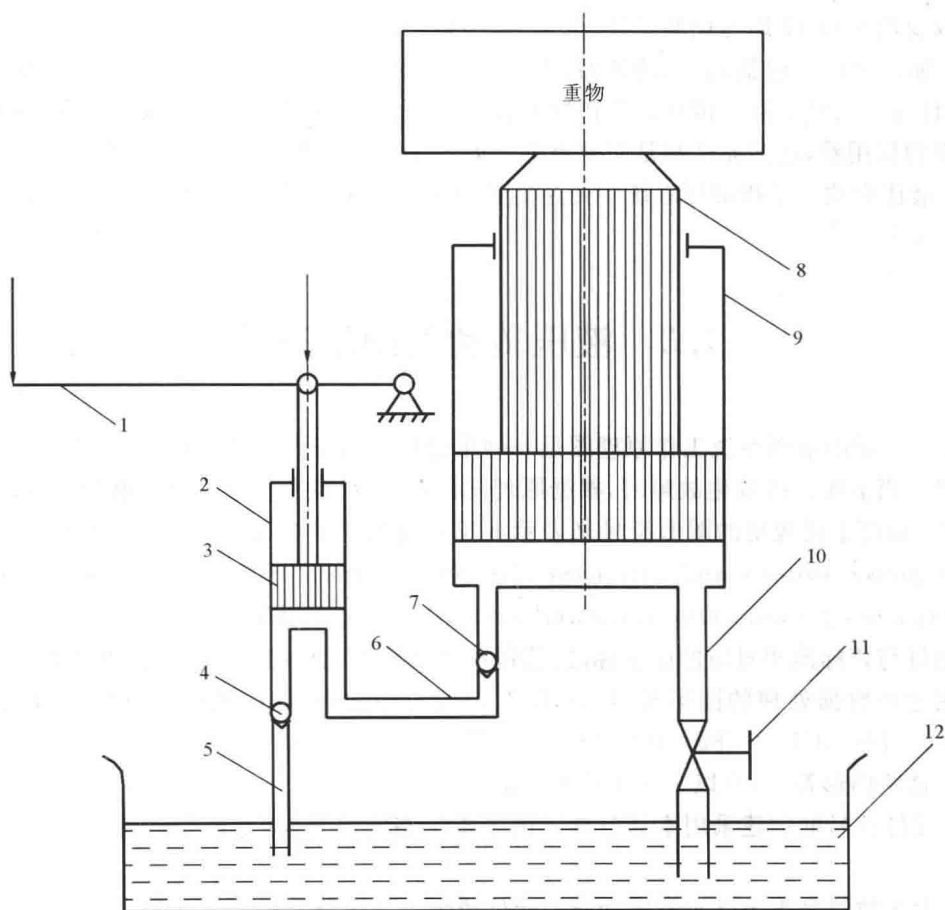


图 1-3 液压千斤顶的工作原理图

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

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。压下杠杆手柄 1 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 中油容积的多少。由此可见,液压传动是一个不同能量的转换过程。

1.2.2 液压传动的组成部分

前述的液压千斤顶就是一个简单而完整的液压系统。一个完整的液压系统由五个部分组成,即动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件和液压油。

(1) 动力元件(液压泵) 其作用是将原动机的机械能转换成液体的压力能,如液压系统中的油泵,它向整个液压系统提供动力。液压泵的结构形式一般有齿轮泵、叶片泵和柱塞泵等。图 1-3 中的小油缸 2、杠杆手柄 1、小活塞 3 等组成的手油泵即为动力元件。

(2) 执行元件(如液压缸和液压马达) 其作用是将液体的压力能转换为机械能,驱动负载做直线往复运动或回转运动。图 1-3 中的大油缸 9、大活塞 8 组成的举升缸即为执行元件。

(3) 控制元件(即各种液压阀) 在液压系统中控制和调节液体的压力、流量和方向。根据控制功能的不同,液压阀可分为压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等。图 1-3 中的单向阀 4、7 以及截止阀 11 即为控制元件。

(4) 辅助元件 包括油箱、滤油器、油管及管接头、密封圈、压力表、真空表、蓄能器、油位计、油温计等。从整个液压传动的工作原理看,这些元件起辅助作用;但从保证完成液压系统传递功率的作用看,这些元件却是非常重要的。如图 1-3 中的油管 10、油箱 12 等。

(5) 液压介质 是指液压系统中传递能量的工作介质,有各种矿物油、乳化液和合成型液压油等几大类。

1.3 液压传动的图形符号

图 1-3 所示的液压系统工作原理图是一种半结构式的工作原理图,它有直观性强、容易理解的优点。当液压系统发生故障时,根据原理图检查十分方便,但绘制比较麻烦。国际标准化组织(ISO)制订了用规定的图形符号来表示液压原理图中的各元件和连接管路国际标准,即 *Fluid power systems and components-Graphic symbols and circuit diagrams-Part 1: Graphic symbols for conventional use and data-processing applications* (ISO 1219.1:2006)。我国也制订与该标准相对应的国家标准《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》(GB/T 786.1—2009),目前该标准已取代以前发布的 GB/T 786—1965,GB/T 786—1976 以及 GB/T 786.1—1993。

对于这些图形符号,有以下几条基本规定。

(1) 元件符号的创建采用本部分规定的基本形态的符号,并考虑为创建元件符号而给出的规则。

(2) 大多数符号表示具有特定功能的元件或装置。部分符号表示功能或操作方法。

(3) 符号一般不代表元件的实际结构。

(4) 元件符号表示的是元件未受激励的状态(非工作状态)。对于没有明确定义未受激励状态(非工作状态)的元件的符号,应按本部分中列出的符号创建的特定规则给出。

(5) 元件符号应给出所有的接口。

(6) 符号应有全部油口、气口/连接口标志以及参数或组合装置所需的空間,这些参数包括压力、流量、电气连接等。

图 1-4 所示为用标准符号绘制的机床工作台液压系统工作原理图。使用这些图形符号可使液压系统图简单、明了、易读,且便于图形的绘制。

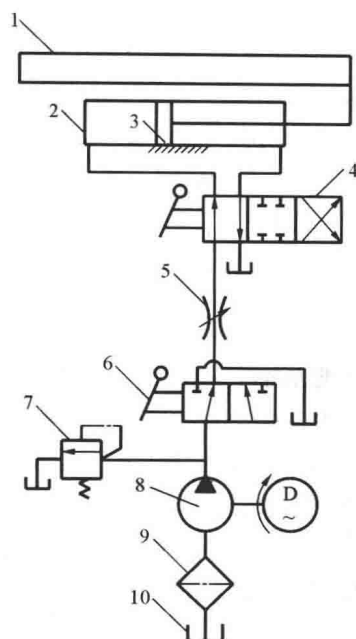


图 1-4 机床工作台液压系统的图形符号图

1—工作台；2—液压缸；3—活塞；4—换向阀；5—节流阀；6—换向阀；7—溢流阀；8—液压泵；9—滤油器；10—油箱

1.4 液压传动的工作特性

液压传动所基于的基本工作原理为帕斯卡原理,液压传动中的主要工作特性可以用力比关系、速度关系和功率关系进行概括,这几个关系式反映了液压传动中最重要三个参数,压力 p 、流量 q 及功率 P 之间的关系。下面仍然以液压千斤顶为例来介绍。图 1-5 所示为图 1-3 所示液压千斤顶的模型简化图。其中 A_1 、 A_2 分别为小活塞面积、大活塞面积, p_1 、 p_2 分别为小活塞、大活塞对应处的液压压力, F_1 、 W 分别为加在小活塞上的主动力、大活塞上承受的负载力。

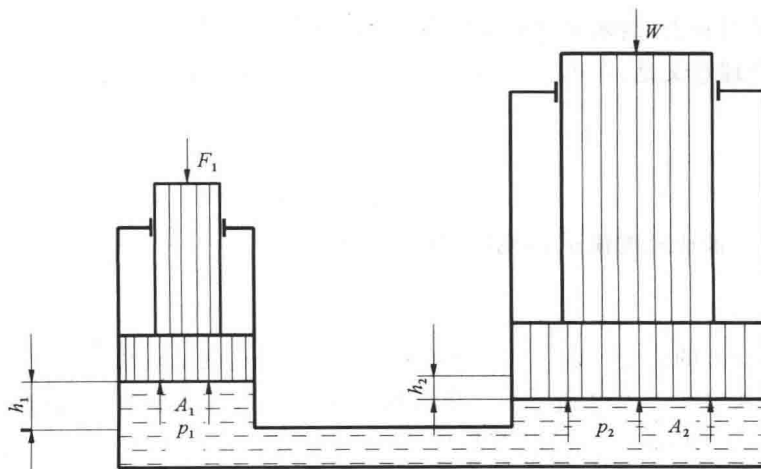


图 1-5 液压千斤顶简化模型

1. 力比关系

当在小活塞上施加力 F_1 时,小活塞下腔的油液就产生了压力 p_1 , $p_1 = F_1/A_1$ 。根据帕斯卡原理“施加在密闭容器内平衡液体中某一点的压力能等值地传递到全部液体”,在大活塞下端的油腔中也存在着相同的压力 p_2 ,当 $p_2 \cdot A_2 = W$ 时,就能使大活塞举起重物 W 。故有

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2} (= p_1 = p_2)$$

或

$$\frac{W}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} \quad (1-1)$$

式(1-1)是液压传动中力传递的基本公式,由于 $p = W/A_2$,所以液体压力是随负载 W 的大小而变化的。如果负载很小,压手柄并不费力,说明液体压力 p 很小;如果负载 W 很大,压手柄就很费力,说明液体压力 p 很大。由此可建立一个很重要的基本概念,即:液压缸中的压力取决于负载,而与流入液体的多少无关。

2. 运动关系

如果不计液体的可压缩性、漏损和缸体、油管的变形,则从图 1-5 可以看出,被小活塞压出油液的体积必然等于大活塞向上升起后缸扩大的体积,即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2 \quad (1-2a)$$

或

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1-2b)$$

式中: h_1, h_2 ——小活塞、大活塞的位移。

从式(1-2)可知,两活塞的位移与两活塞的面积成反比。将式(1-2a)两端除以活塞移动的时间 t ,得

$$A_1 \frac{h_1}{t} = A_2 \frac{h_2}{t}$$

即

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} \quad (1-3)$$

从式(1-3)可以看出,活塞的移动速度和活塞的作用面积成反比。

$A \cdot h/t$ 的物理意义是:在单位时间内,液体流过截面积为 A 的体积称为流量 q ,即

$$q = A v \quad (1-4a)$$

因此

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = q$$

如果已知进入液压缸的流量 q ,则活塞的运动速度为

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-4b)$$

调节进入液压缸的流量 q 即可调节活塞的运动速度,这就是液压传动实现无级变速的基本方法之一。从式(1-4b)可得到另一个重要的基本概念,即:活塞的运动速度取决于进入液压缸中的流量 q ,与工作压力 p 的大小无关。

3. 功率关系

将式(1-1)和式(1-3)相乘,可得

$$F_1 v_1 = W v_2 \quad (1-5)$$

式(1-5)左端为输入功率,右端为输出功率。这说明了在不计损失的情况下,输入功率等于输出功率。液压系统的功率用 P 表示。

由式(1-5)可知

$$P = F_1 v_1 = W v_2 \quad (1-6)$$

$$P = (p_1 A_1) v_1 = (p_2 A_2) v_2$$

$$P = p_1 (A_1 v_1) = p_2 (A_2 v_2)$$

$$P = p_1 q_1 = p_2 q_2 = p q \quad (1-7)$$

由式(1-7)可以得到第三个重要的基本概念。即:压力 p 和流量 q 是流体传动中最基本、最重要的两个参数,它们的乘积为功率,可以通过调节 p 、 q 的值来调节液压系统功率的大小。

1.5 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动相比,具有以下优点和缺点。

液压传动的优点:

(1) 在相同的体积下,液压执行装置能比电气执行装置产生出更大的动力,在同等功率的情况下,液压执行装置的体积小、重量轻、结构紧凑;

(2) 液压执行装置的工作比较平稳,并且可在大范围内实现无级调速;

(3) 液压传动在不改变电动机旋转方向的情况下,可以较方便地实现工作机构旋转和直线往复运动的转换;

(4) 液压传动容易实现自动化,因为它是对液体的压力、流量和流动方向进行控制或调节,操纵很方便,当液压控制和电气控制或气动控制结合使用时,能实现较复杂的顺序动作和远程控制;

(5) 液压装置易于实现过载保护且液压件能自行润滑,因此使用寿命长;

(6) 由于液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,所以液压系统的设计、制造和使用比较方便。

液压传动的缺点:

(1) 液压传动是以液体为工作介质,在相对运动表面间不可避免地要有泄漏,同时,液体又不是绝对不可压缩的,因此不宜在传动比要求严格的场合采用,例如螺纹和齿轮加工机床的内传动链系统;

(2) 液压传动在工作过程中有较多的能量损失,如摩擦损失、泄漏损失等,故不适用于远距离传动;

(3) 液压传动对油温的变化比较敏感,油温变化会影响运动的稳定性,因此,在低温和高温条件下,采用液压传动有一定的困难;

(4) 为了减少泄漏,液压元件的制造精度要求高,因此,液压元件的制造成本高,而且对油液的污染比较敏感;

(5) 液压系统故障的诊断比较困难,因此对维修人员提出了更高的要求,既要系统地掌握液压传动的理论知识,又要有一定的实践经验。

1.6 液压传动的应用

液压传动技术在工业、军事等领域均得到了广泛的应用,尤其适合应用在一些重型及大型设备,如:冶金行业轧机压下系统、连铸机压下系统等;军工产品中需要高速响应场合,如飞机尾舵控制、舰艇舵机控制以及高速响应随动系统等;在功率重量比要求比较高的工程机械领域的应用程度也极高。液压传动技术可应用领域参见表 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	应用举例
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、带式输送机等
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	电炉炉顶及电机升降机、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、高空作业车及汽车中的转向器、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

课 后 习 题

- 1-1 何谓液压传动?其基本工作原理是怎样的?
- 1-2 液压传动系统由哪几部分组成,它们的基本功能是什么?
- 1-3 试简述液压传动的优缺点。
- 1-4 液压传动的工作特性有哪些?
- 1-5 对于图 1-4 所示的机床工作台液压传动系统,如果改成由机械传动来实现同样的功能,至少应由哪些部分和零件组成,试用简图表示出来。

第2章 液压油与液压流体力学基础

2.1 液压油液

2.1.1 液压油的种类和代码

1. 液压油的分类

液压油是位于发动机润滑油之后的第二类最重要的润滑油剂,约占润滑剂总耗量的15%。液压油在液压设备中起着许多重要的作用,是液压传动系统中的传动介质,而且还对液压装置的机构、零件起着润滑、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,因此液压油质量的优劣直接影响液压系统的工作性能。因此,合理的选用液压油非常重要。液压油的种类繁多,分类方法各异,长期以来,习惯根据用途进行分类,也有根据油品类型、化学组分或可燃性分类。1982年,国际标准化组织提出了《润滑剂、工业润滑油和有关产品 第四部分 H 组》分类,即 ISO6743/4:1982,该分类方法较全面地反映了液压油间的相互关系及其发展。ISO 将液压油用 H 来表示,分为易燃的烃类油(石油基液压油)与抗燃液压油两大类。我国的 GB/T 7631.2—1987 等效采用 ISO6743/4:1982 的规定,目前已被最新的国家标准《润滑剂、工业用油和相关产品(L 类)的分类第 2 部分:H 组(液压系统)》(GB/T 7631.2—2003)/取代,该标准相当于 ISO 标准 ISO6743/4—1999。易燃的烃类油(石油基液压油)是以石油精炼物为基础,加入抗氧化或抗磨剂等混合而成的液压油,不同性能、不同品种、不同精度则加入不同的添加剂。抗燃液压油的发展始于第二次世界大战末,首先是在飞机液压系统上的应用,并逐步推广到民用,主要应用于冶金、采矿、电厂、机械加工等行业易接近高温明火的液压系统,以避免因使用传统的矿物油型液压油泄漏引起的火灾事故的发生。抗燃液压油可分为水基液压油(HFA 及 HFB 类)、水-乙二醇液压油(HFC 类)和合成液压油(HFD 类)三种。图 2-1 所示为液压油的主要分类形式。

2. 液压油的代码

GB/T 7631.2—2003 对液压油的统一代码命名方式有如下规定。

(1) H 组的详细分类根据符合本组产品品种的主要应用场合和相应产品的不同组成来确定。

(2) 每个品种由一组字母组成的符号表示,它构成一个编码,编码的第一个字母(H)表示产品所属的组别,后面的字母单独存在时本身无含义(注:每个品种的符号中可以附有按 GB/T 3141 规定的黏度等级)。

(3) 各产品可用统一的形式表示。一个特定的产品可用一种完整的形式表示,如 ISO-L-HV32,或用缩写形式表示为 L-HV32,数字表示 GB/T 3141 中规定的黏度等级。

下面以 L-HV32 为例说明液压油命名代码的含义。

其中:L——类别(润滑剂及有关产品,GB/T 7631.1);

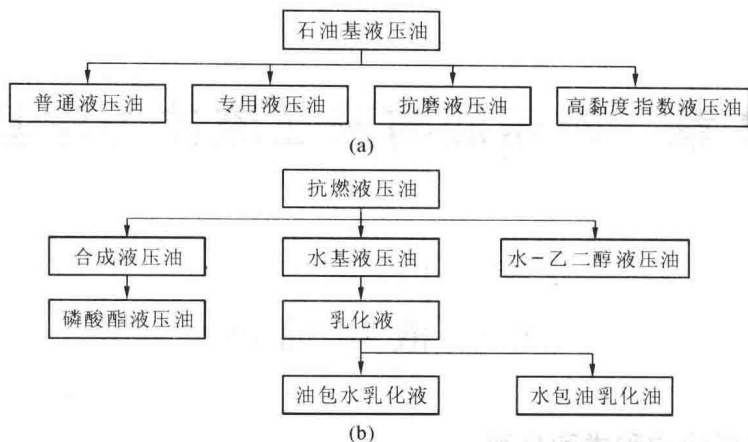


图 2-1 液压油主要分类形式

(a) 石油基液压油 (b) 抗燃液压油

HV——品种(低温抗磨)；

32——牌号(黏度级, GB/T 3141)。

液压油的黏度牌号由 GB/T 3141 做出了规定, 等效采用 ISO 的黏度分类法, 以 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 运动黏度的中心值来划分牌号。

2.1.2 液压油的规格、性能及应用简介

在 GB/T 7631.2—2003 分类中, HH、HL、HM、HR、HV、HG 液压油均属矿物油型液压油。这类油的品种多, 使用量占液压油总量的 85% 以上, 汽车与工程机械液压系统常用的液压油也多属这类。

以下简要介绍其规格、性能及应用。

HH 液压油是一种不含任何添加剂的矿物油。这种油虽已列入分类之中, 但在液压系统中已不使用。因为这种油安定性差、易起泡, 在液压设备中使用寿命较短。

HL 液压油(也称通用型机床工业用润滑油)是由精制深度较高的中性基础油加抗氧和防锈添加剂制成的, 主要用于对润滑油无特殊要求, 环境温度在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的各类机床的轴承箱、齿轮箱、低压循环系统或类似机械设备循环系统的润滑。它的使用时间比机械油的长一倍以上。

HM 液压油(抗磨液压油)是从防锈、抗氧化液压油基础上发展而来的, 主要用于重负荷、中压、高压的工程机械、引进设备和车辆的液压系统, 如数控机床、隧道掘进机、履带式起重机、液压反铲挖掘机和采煤机等液压系统。

HR 液压油是在环境温度变化大的中低压液压系统中使用的液压油。该油具有良好的防锈、抗氧化性能, 并在此基础上加入了黏度指数改进剂, 使油品具有较好的黏-温特性。

HG 液压油原为普通液压油中的 32G 和 68G, 曾用名液压导轨油。该产品是在 HM 液压油基础上添加油性剂或减摩剂构成的一类液压油。该油不仅具有优良的防锈、抗氧化、抗磨性能, 而且具有优良的抗黏滑性。该产品主要适用于各种机床液压和导轨合用的润滑系统或机床导轨润滑系统及机床液压系统。在低速情况下, 防爬效果良好。

HV 低温液压油主要用于寒区或温度变化范围较大和工作条件苛刻的工程机械、引进设备和车辆的中压或高压液压系统, 如数控机床、电缆井泵及船舶起重机、挖掘机、大型吊车等液压系统。使用温度在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。

抗燃液压油类包括 HFAE(水包油乳化液)、HFAS(化学水溶液)、HFB(油包水乳化液)、

HFC(含聚合物水溶液)、HFDR(磷酸酯无水合成液)及 HF DU(其他成分的无水合成液)。可以按照使用温度、压力选择抗燃油,一般高温、高压选择 HFDR 和 HF DU,中温、中压选择 HFC 和 HFB,中温、低压选择 HFAE 和 HFAS。

2.1.3 液压油的作用

液压油是液压系统中不可或缺的组成部分,在液压系统中起着以下多种重要作用。

- (1) 传动 把由泵产生的压力能传递给执行部件。
- (2) 润滑 对泵、阀、执行元件等运动部件进行润滑。
- (3) 密封 保持由泵所产生的压力。
- (4) 冷却 吸收并带出液压系统所产生的热量。
- (5) 防锈 防止液压系统中所用的各种金属部件锈蚀。
- (6) 传递信号 传递信号元件或控制元件发出的信号。
- (7) 吸收冲击 吸收液压回路中产生的压力冲击能量。

2.1.4 液压油的主要特性

1. 可压缩性

当液体受压力作用而导致体积减小的特性称为液体的可压缩性。

该特性用压缩系数 β 表示,它是指液体在单位压力变化下的体积相对变化量,用公式表示为

$$\beta = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (2-1)$$

由于压力增大时液体的体积减小,为了使 β 为正值,在式(2-1)右边加一负号, V 是初始体积。液体压缩系数 β 的倒数称为液体的体积弹性模量,用 K 表示,即

$$K = \frac{1}{\beta} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} V \quad (2-2)$$

液压油的体积弹性模量和温度、压力以及含在油液中的空气有关。一般在分析时可取 K 为 700~1000 MPa,封闭在容器内的液体在外力作用下的情况极像一个弹簧(称为液压弹簧):外力增大,体积减小;外力减小,体积增大。液体的可压缩性很小,在一般情况下当液压系统在稳态下工作时可以不考虑可压缩性的影响。但在高压(32 MPa 以上)下或研究系统动态性能及计算远距离操纵的液压系统时,必须予以考虑。

2. 黏性

1) 黏性的定义

液体在外力作用下流动(或有流动趋势)时,液体分子间内聚力要阻止分子间的相对运动在液层相互作用的界面之间产生内摩擦力,这样一种现象称黏性。液体只有在流动(或有流动趋势)时才会呈现出黏性,静止液体不呈现黏性。

2) 黏度的三种表示形式

(1) 绝对黏度(动力黏度) 管道中流动液体存在速度分布,即各层之间存在速度差,这是因为存在两种力,附着力(液体与固体表面)和内聚力(液体分子与分子之间)。

当液体流动时,由于液体与固体壁面的附着力及流体本身的黏性使流体各处的速度大小不等。以流体沿图 2-2 所示的平行平板间的流动情况为例,设上平板以速度 u_0 向右运动,下平板固定不动。紧贴于上平板上的流体黏附于上平板上,其速度与上平板相同。紧贴于下平板上的流体黏附于下平板,其速度为零。中间流体的速度按线性分布。通常把这种流动看成是许多无限薄的流体层在运动,当运动较快的流体层在运动较慢的流体层上滑过时,两层间