



21世纪高职系列教材
SHIJI GAOZHI XILIE JIAOCAI

液压与气压传动

主编 / 王剑华

哈尔滨工程大学出版社



21世纪高职系列教材
SHIJI GAOZHI XILIE JIAOCAI

液压与气压传动

主编 / 王剑华 副主编 / 刘玉忠

江苏工业学院图书馆
藏书章

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

全书共 14 章,包括液压传动和气压传动两部分。液压传动部分主要内容包括绪论,液压流体力学基础,液压泵,液压马达,液压缸,液压控制阀,液压辅助装置,液压基本回路,液压传动系统,液压系统的安装、使用和维护等;气压传动部分主要内容包括气压传动基本概念、气压传动元件、气压传动基本回路和气压传动系统实例等。

本书力求理论联系实际,基本理论和基本概念以实用为度,专业知识突出针对性和应用性。本书章节层次清晰,内容简洁易懂,有利于广大读者学习和掌握。本书适合高职高专机械类和机电类及相关专业学生作教材使用,也可作为职工技术培训和有关工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/王剑华主编.—哈尔滨:哈尔滨
工程大学出版社,2008.1

ISBN 978-7-81133-132-5

I.液… II.王… III.①液压传动-高等学校:技术学
学校-教材②气压传动-高等学校:技术学校-教材
IV.TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 203321 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 14.25
字 数 305 千字
版 次 2008 年 1 月第 1 版
印 次 2008 年 1 月第 1 次印刷
定 价 24.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

21 世纪高职系列教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主任委员	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	李长禄	张亦丁	张学库	杨永明
委 员	季永青	罗东明	施祝斌	唐汝元
	曹志平	蒋耀伟	熊仕涛	
	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	刘义菊	刘国范	闫世杰	李长禄
	杨永明	张亦丁	张学库	陈良政
	肖锦清	林文华	季永青	罗东明
	胡启祥	施祝斌	钟继雷	唐永刚
	唐汝元	郭江平	晏初宏	曹志平
	蒋耀伟	熊仕涛	潘汝良	

前言

本书分液压传动和气压传动两部分。主要介绍液压与气压传动的基础知识、常用元件的结构和原理、基本回路、传动系统的组成和原理、元件的选用以及系统的调试、保养和维修方法等。

本书力求少而精和理论联系实际,着重基本概念和原理的阐述,突出理论知识的应用,加强针对性和实用性,着力体现高职教育的特色。在内容和论例的选取上,注意反映国内外成熟的液压与气压传动新技术、新成果。为便于阅读、思考和练习,本书较多地采用了简明易懂的结构原理插图,各章均附有思考题与习题。全书严格执行了新的国家标准。

本书可作为高中毕业生与中职毕业生入校三年制及初中毕业生入校五年制高职高专院校机电类和机械类专业学生的教材,也可供职工技术培训和有关工程技术人员参考使用。

本书由王剑华任主编,刘玉忠任副主编。王剑华编写第一章至第七章,余会荣编写第八章至第十章,刘玉忠编写第十一章至第十四章,全书由王剑华统稿。南通航运职业技术学院、大庆职业学院两校领导和老师在编写过程中给予了许多帮助,在此一并感谢。

限于编者水平有限和时间仓促,不妥之处恳请广大读者批评指正。

编 者

2007年10月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 液压传动的工作原理与组成	1
第二节 液压传动的优缺点及其应用	4
思考题与习题	6
第二章 液压流体力学基础	7
第一节 液压油	7
第二节 液体静力学	12
第三节 液体动力学	14
第四节 液体流动时的压力损失	19
第五节 液体流经缝隙和小孔时的流量	22
第六节 液压冲击和气穴现象	24
思考题与习题	25
第三章 液压泵和液压马达	27
第一节 液压泵概述	27
第二节 齿轮泵	30
第三节 叶片泵	35
第四节 柱塞泵	42
第五节 液压泵的选用	49
第六节 液压马达	49
思考题与习题	55
第四章 液压缸	56
第一节 液压缸的类型和特点	56
第二节 液压缸的结构	61
第三节 液压缸的设计	66
第四节 液压缸的安装、调整、常见故障和排除方法	68
思考题与习题	70
第五章 液压控制阀	71
第一节 方向控制阀	72
第二节 压力控制阀	83
第三节 流量控制阀	93
第四节 比例阀、插装阀和数字阀	99
第五节 液压控制阀的选型	103
思考题与习题	105
第六章 辅助装置	106
第一节 管件	106
第二节 过滤器	109

第三节	油箱	111
第四节	蓄能器	113
第五节	密封装置	114
第六节	压力表及压力表开关	117
思考题与习题		118
第七章	液压基本回路	119
第一节	压力控制回路	119
第二节	速度控制回路	125
第三节	方向控制回路	134
第四节	多执行元件控制回路	135
思考题与习题		138
第八章	液压传动系统	142
第一节	组合机床动力滑台液压传动系统	142
第二节	液压机液压传动系统	145
第三节	汽车起重机液压传动系统	148
第四节	装卸堆码机液压传动系统	151
思考题与习题		153
第九章	液压伺服系统	155
第一节	概述	155
第二节	液压伺服阀	157
第三节	液压伺服系统实例	160
思考题与习题		163
第十章	液压系统的安装、使用和维护	164
第一节	液压系统的安装与清洗	164
第二节	液压系统的调试	165
第三节	液压系统的使用和维护	167
第四节	液压系统的故障诊断	168
思考题与习题		169
第十一章	气压传动基本概念	170
第一节	气压传动的工作原理及组成	170
第二节	气压传动的优缺点	171
第三节	气体的物理性质	171
思考题与习题		174
第十二章	气压传动元件	175
第一节	气源装置	175
第二节	辅助元件	178

第三节 气动执行元件.....	181
第四节 气动控制元件.....	185
思考题与习题.....	198
第十三章 气压传动基本回路.....	199
第一节 压力控制回路.....	199
第二节 换向回路.....	200
第三节 速度控制回路.....	201
第四节 气液联动回路.....	203
第五节 程序动作回路.....	204
第六节 安全保护回路.....	206
思考题与习题.....	208
第十四章 气压传动系统实例.....	209
第一节 门户开闭气动系统.....	209
第二节 工件夹紧气动系统.....	210
第三节 数控加工中心气动换刀系统.....	210
思考题与习题.....	211
附录 常用液压与气动元件图形符号.....	212
参考文献.....	217

第一章 绪 论

一部完整的机器是由原动机、传动装置和工作机构三部分组成的。其中传动装置是一个中间环节,它的作用是把原动机的输出功率传送给工作机构,并将原动机的旋转运动转换成能适应工作机构要求的运动状态。传动有多种类型,如机械传动、液体传动、气体传动、电力传动以及它们的组合——复合传动等。

液压与气压传动是以有压流体(压力油或压缩空气)为工作介质来进行能量传递和运动控制的传动方式。

液压传动是在水力学、工程力学和机械制造技术基础上发展起来的一门应用技术。液压传动如果从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传动原理、18 世纪末英国制成第一台水压机算起,已有二三百年的历史。19 世纪末,德国制造了液压龙门刨床、美国制造了液压六角车床及液压磨床,但当时尚无成熟的液压元件,液压技术未能得到普遍应用。20 世纪七八十年代以来,由于控制理论的发展、油液性能的完善、液压元件结构的不断改进,液压传动的性能、效率、可靠性等大大提高。特别是近年来,液压与微电子、计算机技术相结合,液压技术的发展进入了一个新的阶段,成为发展速度最快的技术之一。由于液压传动有许多突出的优点,因此它被广泛应用于机械制造、工程建设、石油化工、交通运输、军事器械、矿山冶金、航空、航海、轻工、农机、渔业、林业等各方面。目前,液压传动正向小体积、高压大流量、高效低耗、高可靠性、高稳定性、高度集成化、数字化、网络化和智能化方向发展。

气压传动方式采用压缩空气为工作介质,空气黏性小,传动阻力小,传动速度快,反应灵敏,没有污染,但工作压力低,压力在 1.0 MPa 以下,传递动力不大,传动平稳性也不如液压传动,因而更适合于远距离的传动与控制。气压传动广泛应用在电子、轻工、纺织、食品、汽车等行业,目前气压传动技术正向节能化、小型化、轻易化、控制高精度化等方向发展。

第一节 液压传动的工作原理与组成

一、液压传动的工作原理

液压传动的工作原理可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

图 1-1 所示是液压千斤顶的工作原理图。提起杠杆 1,小活塞 2 被带动向上运动,于是小液压缸 3 的下腔密封空间容积增大,压力下降,低于一个大气压,形成部分真空。这时单向阀 5 将所在的油路关闭,油箱 10 中的油液在大气压力的作用下推开单向阀 4,沿着吸油管道进入小缸的下腔,完成了一次吸油动作。接着,压下杠杆 1,小活塞下移,小缸下腔的密封空间容积减小,压力升高,这时单向阀 4 自动关闭了油液流回油箱的通路,小缸下腔的压力油就推开单向阀 5 进入大液压缸 6 的下腔,推动大活塞将重物 8(重力为 G)向上顶起一段距离。如此反复地提、压杠杆 1,就可以使重物不断升起,达到起重的目的。

若将放油阀 9 旋转 90°,则在重物 8 的自重作用下,大缸中的油液流回油箱,活塞下降到原位。

从此例可以看出,液压千斤顶是一个简单的液压传动装置。分析液压千斤顶的工作过程不难看出,液压传动利用有压力的油液作为传递能量的工作介质。压下杠杆,小缸输出压力油,将机械能转换成压力能。液压油经过管道流入大缸举起重物,则是将压力能转换成机械能。因此,液压传动装置本质上是一种能量转换装置。大活塞举升重物的速度取决于单位时间内流入大油缸中的油液的数量。

从上例也不难看出,液压传动是以液体为工作介质,借助于密封工作空间的容积变化和油液的压力来进行能量传递和运动控制的传动方式。因此液压传动实现工作需要有两个条件:一是处于密封空间内的液体存在容积变化并能够流动,二是液体具有压力。只有能流动并具有一定压力的液体才能做功,才具有压力能。

液压千斤顶具有力的放大作用,或者说具有省力作用,其原理可用图 1-2 加以说明。压下杠杆时,小缸与大缸相通,两缸油液压力基本相等。设小缸活塞面积、直径和作用力分别为 A_1, D_1 和 F ,大缸活塞面积、直径和所能克服的载荷分别为 A_2, D_2 和 G 。由于 $p_1 = p_2$, 则 $F/A_1 = G/A_2$, 故 $G = (A_2/A_1)F = (D_2^2/D_1^2)F = KF$, 也即液压千斤顶力的放大倍数 K 等于大、小两缸活塞有效作用面积之比,也等于大、小两缸活塞直径平方之比。

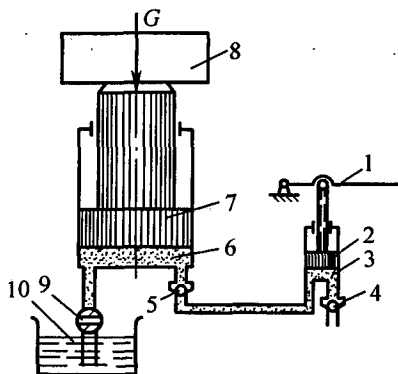


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

- 1—杠杆;2—小活塞;3,6—液压缸;
4,5—单向阀;7—大活塞;8—重物;
9—放油阀;10—油箱

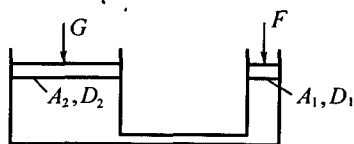


图 1-2 液压千斤顶力的放大原理

二、液压传动系统的组成

液压传动的应用范围非常广,但就其组成来讲是相似的。图 1-3 为一台简化了的平面磨床工作台往复运动液压传动系统。我们可以通过它进一步了解一般液压传动系统应具备的基本性能和组成情况。

在图 1-3(a)中,液压泵 3 由电动机(图中未画出)带动旋转,从油箱 1 中吸油。油液经过过滤器 2 过滤后通过泵向系统输送。来自液压泵的压力油经换向阀 5、节流阀 6 和换向阀 7 进入液压缸 8 的左腔,推动活塞连同工作台向右运动,液压缸右腔的油液通过换向阀 7 经回油管①排回油箱。

如果将换向阀 7 的手柄扳到图 1-3(b)所示的状态,则压力油进入液压缸的右腔,推动活塞连同工作台向左移动,液压缸左腔的油液排回油箱。

工作台的运动速度可以通过节流阀 6 来调节,泵多余的油液也可经溢流阀 4 和回油管②流回油箱,泵的出口压力通过溢流阀 4 得到调整。

如果将换向阀 5 手柄扳到图 1-3(c)所示的状态,则压力油经换向阀 5 和回油管③直接流回油箱。此时,系统处于卸荷状态,压力油不能进入液压缸,所以换向阀 5 具有启动、停止功能。

由上述内容可知,液压泵在原动机的驱动下旋转输出压力油,即原动机的机械能转换成

油液的压力能。压力油经管路系统和控制调节元件(如换向阀等)进入执行元件液压缸(或液压马达),驱动液压缸作往复运动(或液压马达作旋转运动),并带动工作机构运动(如工作台的往复运动),从而将油液的压力能重新转换成机械能。

从平面磨床工作台往复运动液压系统的分析可知,为了实现能量的传递,一个完整的、能够正常工作的液压系统,除了工作介质(液压油)以外,还应由以下四个部分组成。

(1)动力元件。动力元件即液压泵,它从油箱吸油,向系统输送压力油。液压泵是将原动机输出的旋转机械能转化成液体压力能的一种元件,是整个系统的动力源。

(2)执行元件。执行元件即液压缸或液压马达,是将输入的压力能转换成机械能输出的元件。液压缸在压力油的作用下作往复运动(一般为往复直线运动,少数为小于1圈的摆动),液压马达则作连续旋转运动。

(3)控制调节元件。控制调节元件即控制阀,包括方向控制阀、压力控制阀、流量控制阀三大类,如上例中的换向阀7、溢流阀4和节流阀6等。这些元件用以控制和调节液压系统油液的流动方向、压力和流量,以保证执行元件能完成预期的工作。

(4)辅助元件。辅助元件包括油箱、油管、密封件、过滤器以及各种指示器和控制仪表等。它们的作用是提供必要的条件使系统能正常工作。

以上这些液压元件将在以后各章中分别介绍。

三、液压传动系统的图形符号

描述液压系统工作原理、基本组成、所能完成的基本任务、工作循环及控制方式的说明性原理图被称为液压系统原理图。液压系统原理图有多种表示法。在图1-3(a)中,组成液压系统的各个元件是用半结构式图形绘出的,这种图形直观性强,易于理解。但是,对于复杂系统来说,这种原理图绘制起来需要较大的工作量,而且显得混乱难辨,不便于交流。在工程实际中,除某些特殊情况外,一般都用规定的图形符号来绘制液压系统原理图,我们称之为职能符号式原理图。当元件无法用职能符号表示时,也允许局部采用结构简图来表示。我国先后于1965年、1976年和1993年制定了液压与气动图形符号标准,目前执行的标准是GB/T786.1-93,其图形符号详见本书附录。对于图1-3(a)所示的液压系统,若用国家标准GB/T786.1-93规定的图形符号绘制,则其系统原理图如图1-4所示。

分析图1-4可有如下内容。

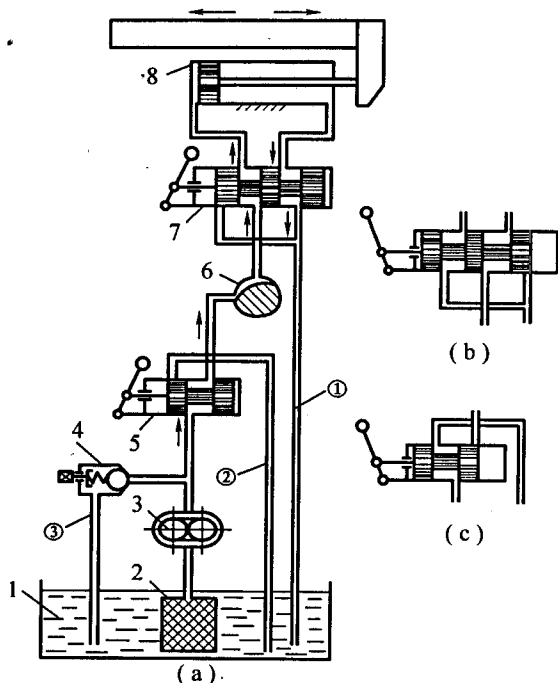


图 1-3 平面磨床工作台液压系统结构原理图

1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4—溢流阀;
5,7—换向阀;6—节流阀;8—液压缸

(1)符号只表示元件的职能和连接通路,不表示元件的具体结构、技术参数和实际安装位置。例如,在图1-4中,元件3只表示单向定量泵,但并不清楚是齿轮泵还是叶片泵,更不清楚其型号和规格。

(2)符号内的箭头通常表示油液的流动方向。阀4中的箭头和泵3中的实心箭头均表示油液不可反向流动,但对于某些特殊的液压阀,如换向阀5和7,虽然符号中画有箭头,但油路却是可逆的。

(3)符号均以元件静止位置或中间零位来表示。例如,工作时阀4的进、出口可能相通,也可能不相通。但在符号表达时,所表达的是非工作状态,也就是符号是以静止状态进、出口不相通的关系来表达的。

学习和牢固掌握元件的标准图形符号是学习和应用液压传动技术的关键之一,具体的绘制方法和要求将在后续章节中逐步介绍。

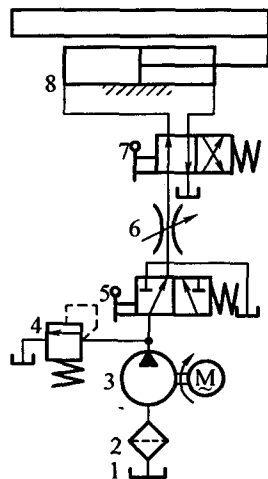


图1-4 平面磨床工作台
液压系统图形符号图

第二节 液压传动的优缺点及其应用

一、液压传动的优缺点

(一)液压传动的优点

液压传动方式有如下优点:

(1)能方便地实现较大范围的无级调速和微速,调速范围最大可达到1:2 000,且易获得设备所需的低速大推力或大转矩。例如,起重机旋转机构的转速都非常低,一般为2 r/min以下,旋转机构采用低速大转矩液压马达驱动,即可方便地进行调速并获得微速。

(2)元件间采用管道连接,易于总体布置。元件可根据设备总体布置需要选取安装位置。

(3)油液具有一定的可压缩性,能缓冲吸振,易实现过载保护,工作平稳性、可靠性好;工作油液使传动零件自润滑,使元件不易磨损,使用寿命较长。

(4)在相同功率下,液压元件体积较小、重力较小。如轴向柱塞泵每千瓦功率的重力只有1.5 N~2 N,而直流电机的重力则高达15 N~20 N,这说明在相同功率下,前者的重力仅为后者的10%~20%。至于尺寸则相差更大,前者约为后者的12%~13%。这就是飞机上的操舵装置、起落架、发动机的自动调节系统、自动驾驶仪、导弹的发射与控制均采用液压传动的原因。

(5)操作简便、省力,易于实现自动化,特别是与数控技术与智能化技术相结合,易于使复杂的循环工作自动化。

(6)液压元件基本实现标准化、系列化、通用化,便于设计和推广使用。

(二)液压传动的缺点

液压传动方式有如下缺点。

(1)液压系统存在较严重的内、外泄漏,密封困难,能量损失大(泄漏损失、节流和溢流损失、摩擦损失等),发热大,效率低,不宜作远距离传动,无法保证严格的传动比。

液压元件的泄漏分为外泄漏和内泄漏两种。外泄漏是指油液由元件内部泄漏到元件外

部,内泄漏是指油液由元件内的高压区泄漏到元件内的低压区。一般情况下,内泄漏远大于外泄漏,而且内泄漏无法完全杜绝。

(2)液压元件制造精度高、加工工艺复杂、成本高,不易检修。

(3)作为工作介质的油液,其黏度受温度变化的影响较大,这会直接影响到传动机构的工作性能,因此,液压传动不宜在过高、过低的温度下或温差过大的工况下工作。

(4)液压系统或元件有时噪音较大。

二、液压传动技术的应用

随着生产和科学技术的发展,液压传动的某些缺点是可以逐步克服的。液压元件的标准化、系列化、通用化和集中生产,对于保证质量和降低成本起到了极大的促进作用;采用组合式、集成式元件和新型密封装置后,液压传动的效率也得到了改善和提高;另外,液压元件的维修技术和水平也在不断普及和发展。因此,液压传动日益得到广泛的应用,其应用已经覆盖了国民经济的各个领域,其应用举例见表1-1。

表 1-1 液压传动的应用举例

应用行业	应用举例
金属切削机床	组合机床动力滑台液压系统、万能外圆磨床液压系统、平面磨床液压系统、半自动转塔式车床液压系统、龙门刨床液压系统、拉床液压系统等
锻压机械	液压机液压系统、锻锤液压系统、锻造机械手液压系统、快锻机液压系统等
铸造机械	压铸机液压系统、垂直分型无箱射压造型机液压系统等
橡、塑机械	塑料注射成型机液压系统、橡胶硫化机液压系统等
冶金工业	高炉装置液压系统、电弧炉液压系统、方坯连铸液压系统、板坯连铸机液压系统、棒材线材机组液压系统、型材机组液压系统、带钢跑偏液压系统等
轻工机械	造纸机械液压系统、皮革机械液压系统、香皂研磨机液压系统、陶瓷坯料成型机液压系统等
纺织机械	整经机液压系统、浆纱机液压系统、织造机液压系统等
建筑材料机械	回转窑液压系统、水泥机械立窑液压系统、石料磨光机液压系统等
石油机械	石油钻机液压系统、采油机械液压系统、钻井平台桩腿升降机液压系统等
煤炭采掘机械	井下长壁采煤工作面综合机械液压系统、巷道掘进机液压系统、支柱液压系统等
农业机械	联合收割机液压系统、土豆收获机液压系统、甜菜收获机液压系统、拖拉机液压系统等
林业机械	木材集材机液压系统、人造板热压机液压系统等
工程机械	装载机液压系统、铲运机液压系统、挖掘机液压系统、平路机液压系统、剪切破碎设备液压系统等
起重机械	门机变幅机构液压系统、集装箱吊具液压系统、汽车起重机液压系统、斗轮堆取料机液压系统等



表 1-1(续)

应用行业	应用举例
汽车运输	汽车助力转向液压系统、自卸式载货车液压系统、汽车制动液压系统、汽车变速器液压系统等
铁道工程机械	凿岩机液压系统、钢轨校直机液压系统、钢轨焊接机液压系统、钢轨瘤刨平机液压系统、换轮机液压系统等
航空工业	飞机舵机、起落架、前轮转向、进气道、喷口等液压系统
船舶	船舶舵机液压系统、甲板机械液压系统、减摇液压系统等
航运管理	水闸液压系统、船闸液压系统等
兵器	高炮瞄准液压系统、坦克火炮稳定液压系统、舰炮缓冲液压系统、导弹发射液压系统、火箭推进器液压系统等
机器人、模拟器	示教再现机器人液压系统、飞行驾驶舱模拟器液压系统、舰载雷达稳定平台液压系统等
打包机械	羊毛棉花打包机液压系统、金属切削压块机液压系统、废纸打包机液压系统等

上表列举了液压传动应用领域的一些实例,从中可看出液压传动不仅是动力传输,更重要的是在自动控制中起到重要的作用。液压传动的应用远超过上述的举例,随着其他工业技术的发展和需要,还会出现更多的应用。

思考题与习题

- 1-1 液压千斤顶的动作原理是怎样的,为什么具有力的放大作用?
- 1-2 什么是液压传动,液压传动系统有哪几部分组成,分别包括哪些元件?
- 1-3 液压泵、液压缸和液压马达分别进行怎样的能量转换? 液压缸、液压马达分别实现什么运动?
- 1-4 绘制液压传动图形符号有哪几个规定?
- 1-5 液压传动有哪些主要优缺点?

第二章 液压流体力学基础

液压传动是以液体作为工作介质进行能量传递的。因此,了解液体的基本性质,掌握液体平衡和运动的主要力学规律,对于正确理解液压传动原理以及合理设计和使用液压传动系统都是非常必要的。

第一节 液 压 油

一、液压油的主要性质

(一)密度

单位体积内液体的质量称为液体的密度,通常用 $\rho(\text{kg/m}^3)$ 来表示,即

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

式中 m ——液体的质量;

V ——液体的体积。

密度是液体的一个重要物理参数。密度随着液体压力的增大而增大,随温度的升高而减小。但这种变化量不大,通常近似地把液体的密度当作常量。液压系统常用的工作介质为矿物油型液压油,计算时可取油液的密度为 900 kg/m^3 。

(二)可压缩性

液体的可压缩性是指在温度不变的情况下,液体受压力作用而发生体积缩小的性质。

液体的可压缩性比钢材大 $100 \sim 150$ 倍左右,可见液体的可压缩性比刚性物质大得多。液体的可压缩性与其空气含量有关。在液体中若混入空气过多,其可压缩性将显著提高,并将严重影响到液压系统的工作性能,故应使油液中的空气含量减小到最低限度。在有动态性能要求或压力变化很大的高压系统中,应考虑液体的可压缩性影响。但是,对于一般液压系统,由于压力变化引起的液体体积变化非常小,所以可认为液体是不可压缩的。

(三)黏性

1. 黏性的物理本质

液体受外力作用而流动时,液体内部产生内摩擦力的性质称为液体的黏性。在图 2-1 所示的两平行平板之间充满了液体,设下平板不动,上平板以速度 u_0 向右平移。由于液体与固体壁间的附着力和液体分子间的内聚力的存在,紧靠上平板的液体黏附在上平板上,以相同的速度 u_0 随上平板向右运动,紧靠下平板的液体黏附于下平板上而保持静止,而中间各层液体的速度则根据它与下平板的距离大小近似呈线性规律分布。我们可将液体的这种流动看作为许多薄液层的运动。由于各液层的流动速度不同,流动快的液层会拖动流动慢的液层,而流动慢的液层又会阻滞流动快的液层。这种液层之间的相互作用力称为内摩擦力或黏性力。内摩擦力的大小不仅与液体的黏性大小有关,也与液层间的相对运动速度大小有关。不难看出,只有液体流动时才会出现摩擦,静止液体不显示黏性。

2. 黏度

液体黏性的大小用黏度来表示。黏度是选择液压用油的主要指标,黏度的大小会直接影响系统的正常工作、效率和灵敏度。

常用的黏度表达方法有三种,即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

(1) 动力黏度

动力黏度又称绝对黏度,用 μ 来表示,它反映了液体接触层间内摩擦力的大小程度。由于 μ 与力有关,所以称为动力黏度。动力黏度的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)。

(2) 运动黏度

运动黏度是液体动力黏度 μ 与密度 ρ 的比值,用 ν 来表示,即

$$\nu = \mu / \rho \quad (2-2)$$

运动黏度的法定计量单位是 m^2/s 。由于该单位较大,故常采用非法定计量单位 cSt (厘斯)来表示,它们之间的换算关系为

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^6 \text{ mm}^2/\text{s} = 10^6 \text{ cSt}$$

运动黏度 ν 没有什么特殊的物理意义,只因在液压系统的理论分析和计算中时常会碰到动力黏度与密度的比值,由此才派生出运动黏度这个物理量。因为它的单位中只有运动学的单位,所以称之为运动黏度。

国际标准化组织 ISO 规定,采用运动黏度来表示液压传动用油的黏度等级。我国生产的液压油采用 40°C 时的平均运动黏度值 (cSt) 为其黏度等级标号。例如 32 号液压油,就是指这种油液在 40°C 时的运动黏度平均值为 32 cSt 。

(3) 相对黏度

液体的动力黏度与运动黏度都难以直接测量,工程上常用一些简便方法去测定液体的相对黏度。相对黏度的测量方法有多种,我国采用恩氏黏度计来测定油液的相对黏度。将 200 mL 被测油液在某一特定温度 t $^\circ\text{C}$ 时在自重作用下流过恩氏黏度计 (直径 2.8 mm 的漏斗式量具) 所需的时间 t_1 , 与 20°C 时同体积蒸馏水流出该恩氏黏度计所需时间 t_2 ($t_2 = 52 \text{ s}$) 相比,即为被测油液在 t $^\circ\text{C}$ 时的恩氏黏度。即

$$^\circ\text{E}_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-3)$$

工业上一般以 20°C 、 50°C 和 100°C 作为测定恩氏黏度的标准温度,并相应地以符号 $^\circ\text{E}_{20}$ 、 $^\circ\text{E}_{50}$ 、 $^\circ\text{E}_{100}$ 来表示。

用恩氏黏度计测出的恩氏黏度可换算成运动黏度,对应数值可从有关图表中直接查出。

3. 黏度与温度的关系

油液对温度的变化极为敏感。油温升高,油液黏度将显著降低。油液的黏度随温度变化的性质称为油液的黏温特性。不同种类的液压油有不同的黏温特性。液压油的黏温特性常用其黏温变化程度与标准油相比较的相对数值 (即黏温指数 VI) 来表示。油液的 VI 值越大,表示其黏度随温度的变化越小,黏温特性越好。

油温升高的原因有两个,一是环境温度的影响,二是设备使用后因能耗而产生发热的影

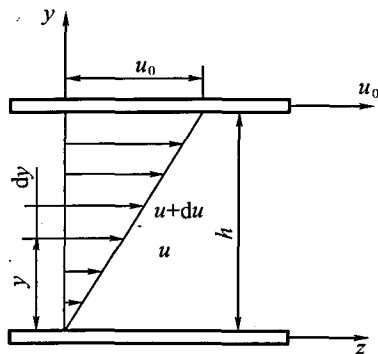


图 2-1 液体黏性示意图

响。油温升高时,油液的黏度下降,流动性增加,流动阻力减少,但泄漏也会增加,同时油液也易氧化变质;油温降低时,油液的黏度增加,流动阻力增加,且有可能堵塞狭窄细小孔道。因此,应尽可能减少系统能耗发热,采用黏温特性较好的油液。

4. 黏度与压力的关系

当压力增加时,液体分子之间的距离缩小,内聚力增大,黏度也增大。一般情况下,油液压力对黏度的影响较小,可不考虑。当压力变化超过 20 MPa 时才需考虑压力对黏度的影响。

(四)其他性质

油液还有其他一些物理化学性质,如抗燃性、抗凝性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、抗锈性、润滑性、导热性、相容性以及纯净性等,这些都对液压系统工作性能有重要影响。对于不同品种的液压油,这些性质的指标也有所不同,具体内容可见油类产品手册。

二、液压油的选用

为了正确选用液压油,需要了解对液压油的使用要求,熟悉其品种和性能,掌握液压油的选择方法。

(一)液压油的使用要求

在液压传动中,液压油既是传动介质,又兼具冷却、润滑、冲洗、防锈等作用,故对液压油的性能提出了如下要求。

- (1)具有适宜的黏度和良好的黏温特性,在使用温度范围内,油液黏度随温度的变化愈小愈好。
- (2)具有良好的热稳定性和氧化稳定性,油液不易氧化、不易变质,以防产生黏质沉淀物影响系统工作,防止氧化后油液变为酸性,对金属表面起腐蚀作用。
- (3)具有良好的抗泡沫性和空气释放性,对金属和密封件有良好的相容性。
- (4)在高温环境下有较高的闪点,在低温环境下有较低的凝点。
- (5)具有良好的抗磨性和防锈性。
- (6)具有良好的抗乳化性。
- (7)质量要纯净,不含或含有极少量的杂质、水分和水溶性酸碱等,以免侵蚀机件和密封装置。

对于具体的液压传动系统,则需根据工作情况,突出某些方面的使用性能要求。

(二)液压油的品种

我国的液压油品种繁多,按照 GB7631.2-1987 的有关规定,分为矿物油型液压油和难燃型液压油两类,另外还有一些专用液压油。矿物油型液压油由于制造容易、来源方便、价格较低,目前在液压设备中应用达 90% 以上,但缺点是阻燃性差,不宜用于高温环境。因此,高温环境下使用的液压系统应采用难燃型液压油。液压油为了满足液压装置的特别要求,均会在基油中加入添加剂来改善其特性。添加剂有抗氧化剂、防锈剂、增黏剂、降凝剂、消泡剂、抗磨剂等。我国液压油的主要品种、组成和特性见表 2-1。