

高等学校“十一五”规划教材 / 机械类

液压与气压传动

主 编 钟 平

副主编 鲁晓丽 王昕煜

主 审 吴晓明 赵静一

Hydraulic and Pneumatic Drive

哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十一五”规划教材/机械类

液压与气压传动

主 编 钟 平
副主编 鲁晓丽 王昕煜
主 审 吴晓明 赵静一

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书将流体力学基础知识、液压传动与气压传动三部分教学内容有机地融合为一体,并增加了各种液压、气动元件及系统的实际应用知识。主要内容包括:液压与气压传动基础知识,液压与气动的能源装置、执行元件、控制元件、辅助元件的工作原理、结构特点、应用要点,各种液压、气动基本回路的功用和组成,几种典型液压系统和气动系统,液压系统和气动系统的安装调试、维护保养等。

本书可供高等职业技术院校、高等专科学校的机电类、机械类和近机类专业的师生使用,还可作为各类成人高校相关专业的教学用书,有关工程技术人员也可参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/钟平主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.7

ISBN 978-7-5603-2573-6

I. 液… II. 钟… III. ①液压传动-高等学校-教材
②气压传动-高等学校-教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 001424 号

责任编辑 杨 桦 费佳明

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787 mm × 1092 mm 1/16 印张 15.5 字数 355 千字

版 次 2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2573-6

印 数 1 ~ 3 000

定 价 28.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

改革开放以来,我国应用型高等教育、高等职业教育得到了长足的发展。1999年,教育部组织制定了《高职高专教育专业人才培养目标和规格》,我国的高等职业教育进入了高速发展阶段。为了适应高等教育的发展和工程技术的进步,编者总结了多年来在本门课程教学实践中的经验和教训,并吸取了相关专业的教学改革创新思路,在广泛征求工厂企业、相关研究单位和学生的意见的基础上,努力适应技术发展、满足教学要求,编写了本教材。

本书可供高等职业技术学院、高等专科学校的机电类、机械类和近机类专业的师生使用,还可作为各类成人高校相关专业的教学用书,有关工程技术人员也可参考阅读。

本书包括了流体力学基础知识、液压传动与气压传动三部分教学内容。在本书的编写过程中,作者从培养生产一线技术应用型人才的需要出发,对教学内容进行了重组和整合,不片面追求理论的系统性,而注重增强应用性和强化解决实际问题的能力培养,同时对新技术在生产中的应用也作了介绍。

* 部分为选修内容。

本课程介绍的内容既是机械类专业的重要技术基础,又是可独立应用的技术,作者在编写本书时力图处理好这两者的关系,但作为教材不可能面面俱到。读者若在生产中应用本书介绍的内容时,还应参考相关的技术手册。

本书由牡丹江大学钟平任主编,鲁晓丽、王昕煜任副主编。第1、2、3章由鲁晓丽编写;第4、5、6章由钟平编写;第7、8、9章由王昕煜编写;第10章由于杰编写。本书由钟平统稿。

燕山大学教授吴晓明、赵静一为本书主审,他们对书稿进行了细致、详尽的审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示感谢!

高等职业教育的教学改革是一项艰巨的系统工程,由于编者水平有限,书中难免有欠妥之处,欢迎同仁和读者批评指正。

编 者

2007年11月

目 录

第1章 概论	1
1.1 液压传动的工作原理及系统组成	1
1.2 液压传动的优缺点	4
1.3 液压传动的应用和发展	5
思考题和习题	7
第2章 液压传动基础	8
2.1 液压传动的工作介质	8
2.2 流体力学基础	13
2.3 实际流体在管道内的流动	20
2.4 小孔和间隙的流量及液体冲击和气穴现象	22
思考题和习题	27
第3章 液压泵、液压马达	29
3.1 液压泵的概述	29
3.2 齿轮泵	33
3.3 叶片泵	38
3.4 柱塞泵	46
3.5 液压马达	51
思考题和习题	57
第4章 液压缸、液压辅件	59
4.1 液压缸	59
4.2 辅助装置	72
思考题和习题	86
第5章 液压控制阀和基本回路	88
5.1 控制元件的分类及基本性能参数	88
5.2 方向控制阀及其应用	90
5.3 压力控制阀及其应用	99
5.4 流量控制阀及速度控制回路	111
5.5 其他基本控制回路	122
5.6 其他液压阀及应用	131
* 5.7 伺服阀及伺服系统	138

思考题及习题	148
第6章 气压传动基础	151
6.1 气压传动概述	151
6.2 空气的物理性质	153
* 6.3 气体状态方程及流动规律	156
6.4 气源装置及气动辅助元件	158
6.5 气动执行元件	169
思考题及习题	174
第7章 气动控制元件及其基本回路	175
7.1 气动控制元件	175
* 7.2 气动逻辑元件	183
7.3 气动基本回路	187
思考题与习题	197
第8章 典型液压系统	198
8.1 组合机床动力滑台液压系统	198
8.2 液压机液压系统	201
8.3 汽车起重机液压系统	204
8.4 数控机床液压系统	207
8.5 M1432A 型万能外圆磨床液压系统	209
思考题及习题	213
第9章 气压系统典型实例	214
9.1 工件夹紧气压传动系统	214
9.2 数控加工中心气动系统	215
9.3 气动机械手气压传动系统	216
9.4 拉门自动开闭系统	217
思考题及习题	218
* 第10章 液压与气动系统的安装调试和故障分析	219
10.1 液压与气动系统的安装	219
10.2 液压与气压传动系统的使用与维护	220
10.3 液压气动元件与系统的故障分析和排除	221
附录 常用液压传动图形符号	232
参考文献	240

第 1 章

概 论

驱动机械运动的机械以及各种传动和操纵装置有多种形式,根据所用的部件和零件,可分为机械的、电气的、气动的、液压的。液压传动是以液体作为工作介质对能量进行传动和控制的一种传动形式。液压传动相对于电力拖动和机械传动而言,因其输出力大、质量轻、惯性小、调速方便以及易于控制等优点而广泛应用于工程机械、建筑机械和机床等设备上,其应用领域遍及各个工业部门。

1.1 液压传动的工作原理及系统组成

1.1.1 液压传动系统的工作原理

1. 液压千斤顶

图 1.1 是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,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,举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱,重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。

通过对上面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。

(1) 液压传动以液体(一般为矿物油)作为传递运动和动力的工作介质,而且传动中必须经过两次能量转换。首先压下杠杆时,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。

(2) 油液必须在密闭容器(或密闭系统)内传送,而且必须有密闭容积的变化。如果容器

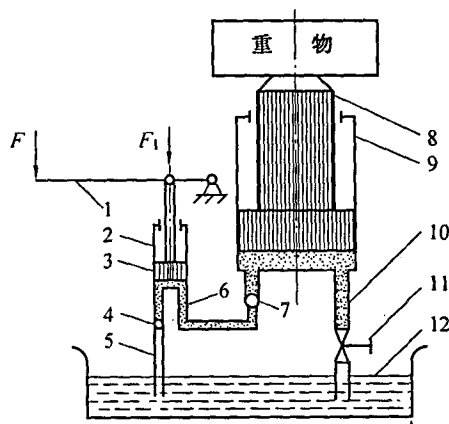


图 1.1 液压千斤顶工作原理图

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

不密封,就不能形成必要的压力;如果密闭容积不变化,就不能实现吸油和压油,也就不能利用受压液体传递运动和动力。

液压传动利用液体的压力能工作,它与在非密闭状态下利用液体的动能或位能工作的液力传动有根本的区别。

2. 简单机床的液压传动系统

机床工作台的液压传动系统要比千斤顶的液压传动系统复杂得多。如图 1.2 所示,它由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头组成。其工作原理如下:液压泵由电动机驱动后,从油箱中吸油。油液经滤油器进入液压泵,油液在泵腔中从入口低压到泵出口高压,在图 1.2(a)所示状态下,通过开停阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔,推动活塞使工作台向右移动。这时,液压缸右腔的

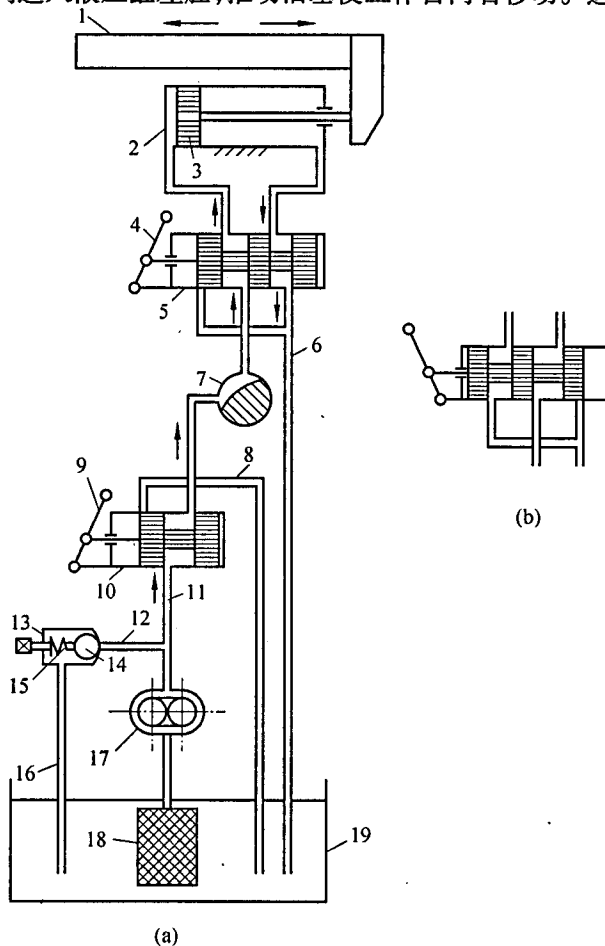


图 1.2 机床工作台液压传动系统工作原理图

- 1—工作台;2—液压缸;3—活塞;4—换向手柄;5—换向阀;
6、8、16—回油管;7—节流阀;9—开停手柄;10—开停阀;
11—压力管;12—压力支管;13—溢流阀;14—钢球;15—弹簧;
17—液压泵;18—滤油器;19—油箱

油经换向阀和回油管6排回油箱。

如果将换向阀手柄转换成图1.2(b)所示状态,则压力管中的油将经过开停阀、节流阀和换向阀进入液压缸右腔,推动活塞使工作台向左移动,并使液压缸左腔的油经换向阀和回油管6排回油箱。

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开大时,进入液压缸的油量增多,工作台的移动速度增大;当节流阀关小时,进入液压缸的油量减小,工作台的移动速度减小。为了克服移动工作台时所受到的各种阻力,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所产生的。要克服的阻力越大,缸中的油液压力越高;反之压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理——压力取决于负载。

1.1.2 液压传动系统的组成

从机床工作台液压系统的工作过程可以看出,一个完整的、能够正常工作的液压系统,应该由以下五个主要部分组成:

(1)能源装置(动力元件)。能源装置是供给液压系统压力油,把机械能转换成液压能的装置。最常见的装置是液压泵。

(2)执行装置(元件)。执行装置是把液压能转换成机械能以驱动工作机构的装置。其装置有作直线运动的液压缸,有作回转运动的液压马达,它们又称为液压系统的执行元件。

(3)控制调节装置(元件)。控制调节装置是对系统中的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置,如溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等。

(4)辅助装置(元件)。上述三部分之外的其他装置,例如油箱、滤油器、油管等。它们是保证系统正常工作必不可少的装置。

(5)工作介质。传递能量的流体,如液压油等。

1.1.3 液压传动系统图的图形符号

图1.2所示的液压系统是一种半结构式的工作原理图,它具有直观性强、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;但图形比较复杂,绘制比较麻烦。我国已经制定了一种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的国家标准,即“液压系统图图形符号(GB 786—93)”,其对图形符号有以下几条基本规定。

(1)符号只表示元件的职能,连接系统的通路,不表示元件的具体结构和参数,也不表示元件在机器中的实际安装位置。

(2)元件符号内的油液流动方向用箭头表示,线段两端都有箭头的,表示流动方向可逆。

(3)符号均以元件的静止位置或中间零位置表示,当系统的动作另有说明时,可作例外。

图1.3所示为图1.2(a)系统用国标《GB 786—93 液压系统图图形符号》绘制的工作原理图。使用这些图形符号可使液压系统图简单明了,且便于绘图。

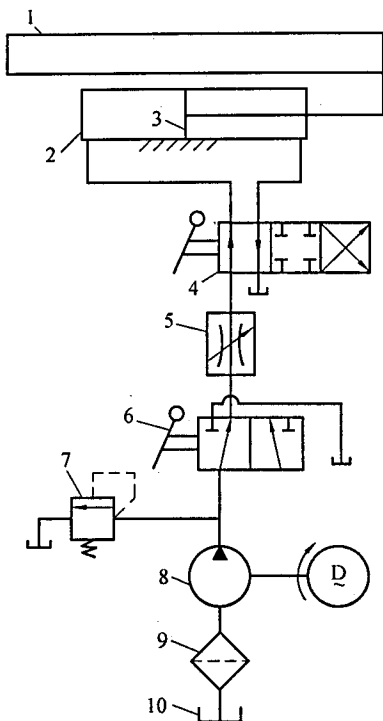


图 1.3 机床工作台液压传动系统的原理符号图

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

1.2 液压传动的优缺点

1.2.1 液压传动系统的主要优点

液压传动之所以能得到广泛的应用,是由于它与机械传动、电气传动相比具有以下的主要优点:

(1)由于液压传动是油管连接,所以借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构,这是比机械传动优越的地方。例如,在井下抽取石油的泵可采用液压传动来驱动,以克服长驱动轴效率低的缺点。由于液压缸的推力很大,又加之极易布置,在挖掘机等重型工程机械上,已基本取代了老式的机械传动方式,不仅操作方便,而且外形美观大方。

(2)液压传动装置的质量轻、结构紧凑、惯性小。例如,相同功率液压马达的体积为电动机的 12% ~ 13%。液压泵和液压马达单位功率的质量指标,目前是发电机和电动机的十分之一,液压泵和液压马达可小至 0.002 5 N/W,发电机和电动机则约为 0.03 N/W。

(3)可在大范围内实现无级调速。借助阀或变量泵、变量马达,可以实现无级调速,调

速范围可达1:2 000,并可在液压装置运行的过程中进行调速。

(4)传递运动均匀平稳,负载变化时速度较稳定。正因为此特点,金属切削机床中的磨床传动现在几乎都采用液压传动。

(5)液压装置借助于设置溢流阀等易于实现过载保护,同时液压件能自行润滑,因此使用寿命长。

(6)液压传动借助于各种控制阀容易实现自动化,特别是液压控制和电气控制结合使用时,能很容易地实现复杂的自动工作循环,而且可以实现遥控。

(7)液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

1.2.2 液压传动系统的主要缺点

(1)液压系统中的漏油等因素,影响运动的平稳性和准确性,使得液压传动不能保证严格的传动比。

(2)液压传动对油温的变化比较敏感,温度变化时,液体黏性变化,引起运动特性的变化,使得工作的稳定性受到影响,所以它不宜在温度变化很大的环境条件下采用。

(3)为了减少泄漏,以及为了满足某些性能上的要求,液压元件的配合件制造精度要求较高,加工工艺较复杂。

(4)液压传动要求有单独的能源,不像电源那样使用方便。

(5)液压系统发生故障不易检查和排除。

总之,液压传动的优点是主要的,随着设计制造和使用水平的不断提高,有些缺点正在逐步加以克服,因而液压传动有着广泛的发展前景。

1.3 液压传动的应用和发展

1.3.1 液压传动系统的主要应用

液压传动具有很多优点,最近二三十年来液压技术在各行各业中的应用越来越广泛。在机床上,液压传动常应用在以下的一些装置中:

(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;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。所有这些要求都是可以用液压传动来实现的。

(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,由于要求作高速往复直线运动,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亦可采用这种系统。

(4)辅助装置。机床上的夹紧装置、齿轮箱变速操纵装置、丝杠螺母间隙消除装置、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,在采用液压传动后,简化了机床结构,提高了机床自动化程度。

(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行业中的应用情况见表 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	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、高空作业车和汽车中的转向器、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

1.3.2 液压传动技术的发展概况

液压传动相对于机械传动来说是一门新学科,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,液压传动虽有二三百年的历史,但是由于早期技术水平和生产需求的不足,液压传动技术没有得到普遍应用。随着科学技术的不断发展,对传动技术的要求越来越高,液压传动技术才不断发展,特别是在第二次世界大战期间及战后,由于军事及建设需求的刺激,液压技术日趋成熟。

第二次世界大战前后,液压传动装置成功地应用于舰艇炮塔转向器,其后出现了液压六角车床和磨床,一些通用机床到 20 世纪 30 年代才用上了液压传动。第二次世界大战期间,在兵器上采用了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置,它提高了兵器的性能,也促进了液压技术的发展。战后,液压技术迅速转向民用,并随着各种标准的不断制订和完善及各类元件的标准化、规格化、系列化而在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业中推广开来。近 30 年来,原子能技术、航空航天技术、控制技术、材料科学、微电子技术等学科的发展,再次推动了液压技术的发展,使它发展成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术,在国民经济的各个部门都得到了应用,如工程机械、数控加工中心等。采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

思考题和习题

- 1.1 何谓液压传动？液压传动的基本原理是什么？
- 1.2 液压传动系统若能正常工作，必须由哪几部分组成？各组成部分的作用是什么？
- 1.3 液压传动与其他传动方式相比，有哪些优缺点？其最突出的优点是什么？其难以克服的缺点是什么？
- 1.4 根据图 1.3 画出液压泵、液压缸、节流阀、滤油器的图形符号。

第 2 章

液压传动基础

液压油是液压传动系统的重要组成部分,是用来传递能量的工作介质。除了传递能量,它还起着润滑运动部件和保护金属不被锈蚀的作用。液压油的质量及其各种性能将直接影响液压系统的工作。因此,了解工作介质的种类、基本性质和主要力学特性,对于正确理解液压传动原理及其规律,从而正确使用液压系统都是非常必要的。这些内容也是液压系统设计和计算的理论基础。

2.1 液压传动的工作介质

2.1.1 工作介质的物理特性

1. 密度 ρ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3 \text{ 或 } \text{g/cm}^3) \quad (2.1)$$

式中 m ——液体的质量(kg);

V ——流体的容积(m^3 或 cm^3)。

流体的密度随温度和压力而变化,对于液压系统的矿物油,在一般使用温度与压力范围内,其密度变化很小,可近似认为不变,其密度 $\rho \approx 900 \text{ kg/m}^3$ 。

2. 流体的黏性

(1) 黏性的含义

液体在外力作用下流动时,由于液体分子间的内聚力而产生一种阻碍液体分子之间进行相对运动的内摩擦力,液体的这种产生内摩擦力的性质称为液体的黏性。由于液体具有黏性,当流体发生剪切变形时,流体内就产生阻滞变形的内摩擦力,由此可见,黏性表征了流体抵抗剪切变形的能力。处于相对静止状态的流体中不存在剪切变形,因而也不存在变形的抵抗,只有当运动流体流层间发生相对运动时,流体对剪切变形的抵抗,也就是黏性才表现出来。黏性所起的作用为阻滞流体内部的相互滑动,在任何情况下它都只能延缓滑动的过程而不能消除这种滑动。

(2) 牛顿内摩擦定律

黏性的大小可用黏度来衡量,黏度是选择液压用流体的主要指标,是影响流动流体的重要物理性质。

当液体流动时,液体与固体壁面的附着力及流体本身的黏性使流体内各处的速度大小不等,以流体沿如图 2.1 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粘附于上平板上,其速度与上平板相同。

紧贴于下平板上的流体粘附于下平板上,其速度为零。中间流体的速度按线性分布。我们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,两层间由于黏性就产生内摩擦力的作用。根据实际测定的数据可知,流体层间的内摩擦力 F 与流体层的接触面积 A 及流体层的相对流速 du 成正比,而与此二流体层间的距离 dy 成反比,即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2.2)$$

式中 μ ——比例系数,也称为液体的黏性系数或动力黏度;

du/dy ——相对运动速度对液层间距离的变化率,也称速度梯度或剪切率。

此公式称为牛顿黏性公式,也称牛顿内摩擦定律。

流体黏性的大小用黏度来表示。常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度。

(3)液体的黏度

①动力黏度 μ 。上式中的比例系数 μ 就表示了流体抵抗变形的能力,即流体黏性的大小,称为流体的动力黏度。其单位为 $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$,或为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

②运动黏度。运动黏度是动力黏度 μ 与密度 ρ 的比值

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

运动黏度 ν 无明确的物理意义,因为在其单位中只有长度和时间量纲,所以称为运动黏度。但在工程中常用它来标志液体的黏度。液压油的牌号,就是采用它在 40°C 时运动黏度的平均值来标号。例如 YA-N32 液压油就是指这种液压油在 40°C 时运动黏度的平均值为 $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

③相对黏度。在液体黏度的实际测量常用的黏度表示方法是相对黏度(又称条件黏度),由于测量仪器和条件不同,各国相对黏度的单位也不同,如美国采用赛氏黏度 SSU;英国采用雷氏黏度 R;而我国和德国则采用恩氏黏度 $^\circ\text{E}$ 。

恩氏黏度的测定方法如下:测定 200 cm^3 某一温度的被测液体在自重作用下流过直径 2.8 mm 小孔所需的时间 t_A ,然后测出同体积的蒸馏水在 20°C 时流过同一孔所需时间 t_B ($t_B = 50 \sim 52 \text{ s}$), t_A 与 t_B 的比值即为流体的恩氏黏度值。恩氏黏度用符号 $^\circ\text{E}$ 表示。被测液体温度 t $^\circ\text{C}$ 时的恩氏黏度用符号 $^\circ\text{E}_t$ 表示

$$^\circ\text{E}_t = \frac{t_A}{t_B} \quad (2.4)$$

恩氏黏度与运动黏度的换算关系为

$$\nu = 0.073 \text{ } ^\circ\text{E} - \frac{0.063}{^\circ\text{E}} \quad (\text{cm}^2/\text{s}) \quad (2.5)$$

3. 液体的可压缩性

液体因所受压力增高而发生体积缩小的性质称为可压缩性。若压力为 p_0 时液体的

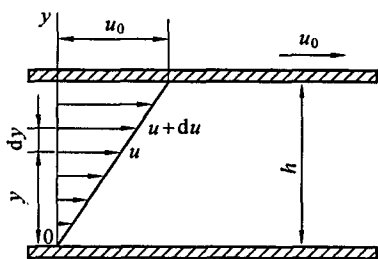


图 2.1 液体的黏性示意图

体积为 V_0 , 当压力增加 Δp 时, 液体的体积减小 ΔV , 则液体在单位压力变化下的体积相对变化量为

$$k = - \frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V_0} \quad (2.6)$$

式中 k ——液体的压缩系数。

由于压力增加时液体的体积减小, 因此式(2.6)的右边须加一负号, 以使 k 为正值。液体压缩系数 k 的倒数 K , 称为液体的体积模量, 即 $K = 1/k$ 。

表 2.1 列出了各种工作介质的体积模量。

表 2.1 各种工作介质的体积模量(20℃, 101.325 kPa)

介质种类	体积模量 K/MPa	介质种类	体积模量 K/MPa
石油基液压油	$(1.4 \sim 2) \times 10^3$	水-乙二醇液	3.45×10^3
水包油乳化液	1.95×10^3	磷酸酯液	2.65×10^3
油包水乳化液	2.3×10^3		

一般情况下, 工作介质的可压缩性对液压系统的性能影响不大, 但在高压下或研究系统的动态性能时, 则必须予以考虑。由于空气的可压缩性很大, 所以当工作介质中有游离气泡时, 值将大大减小。因此, 一般建议对石油基液压油 K 值取为 $(0.7 \sim 1.4) \times 10^3 \text{ MPa}$, 且应采取措施尽量减少液压系统工作介质中游离空气的含量。

2.1.2 液压系统对工作介质的要求

液压系统对油液的要求有下面几点:

(1) 适宜的黏度和良好的黏温性能。一般液压系统所用的液压油其黏度范围为

$$\nu = 11.5 \times 10^{-6} \sim 35.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} (2 \sim 5^\circ \text{E}_{50})$$

(2) 润滑性能好。在液压传动机械设备中, 除液压元件外, 其他一些有相对滑动的零件也要用液压油来润滑, 因此, 液压油应具有良好的润滑性能。为了改善液压油的润滑性能, 可加入添加剂以增加其润滑性能。

(3) 良好的化学稳定性, 即对热、氧化、水解、相容都具有良好的稳定性。

(4) 对金属材料具有防锈性和防腐性。

(5) 比热、热传导率大, 热膨胀系数小。

(6) 抗泡沫性好, 抗乳化性好。

(7) 油液纯净, 含杂质质量少。

(8) 流动点和凝固点低, 闪点(明火能使油面上油蒸气内燃, 但油本身不燃烧的温度)和燃点高。

此外, 对油液的无毒性、价格等, 也应根据不同的情况有所要求。

2.1.3 工作介质的选择

正确而合理地选用液压油, 是保证液压设备高效率正常运转的前提。

选用液压油时,可根据液压元件生产厂样本和说明书所推荐的品种号数来选用液压油,或者根据液压系统的工作压力、工作温度、液压元件种类及经济性等因素全面考虑,一般是先确定适用的黏度范围,再选择合适的液压油品种。同时还要考虑液压系统工作条件的特殊要求,如在寒冷地区工作的系统则要求油的黏度指数高、低温流动性好、凝固点低;伺服系统则要求油质纯、压缩性小;高压系统则要求油液抗磨性好。在选用液压油时,黏度是一个重要的参数。黏度的高低将影响运动部件的润滑、缝隙的泄漏以及流动时的压力损失、系统的发热温升等。所以,在环境温度较高,工作压力高或运动速度较低时,为减少泄漏,应选用黏度较高的液压油,否则相反。

表 2.2 为常见液压油系列品种。其中液压油的牌号(即数字)表示在 40℃下油液运动黏度的平均值(单位为 cSt)。原名内为过去的牌号,其中的数字表示在 50℃时油液运动黏度的平均值。

但是总的来说,应尽量选用较好的液压油,虽然初始成本要高些,但由于优质油使用寿命长,对元件损害小,所以从整个使用周期看,其经济性要比选用劣质油好些。

表 2.2 常见液压油系列品种

种 类	牌 号		原 名	用 途
	油 名	代 号		
普通液压油	N32 号液压油 N68G 号液压油	YA - N32 YA - N68	20 号精密机床液压油 40 号液压 - 导轨油	用于环境温度 0 ~ 45℃工作的各类液压泵的中、低压液压系统
抗磨液压油	N32 号抗磨液压油 N150 号抗磨液压油 N168K 号抗磨液压油	YA - N32 YA - N150 YA - N168K	20 抗磨液压油 80 抗磨液压油 40 抗磨液压油	用于环境温度 - 10 ~ 40℃工作的高压柱塞泵或其他泵的中、高压系统
低温液压油	N15 号低温液压油 N46D 号低温液压油	YA - N15 YA - N46D	低凝液压油 工程液压油	用于环境温度 - 20℃ ~ 40℃工作的各类高压系统
高黏度指数 液压油	N32H 号高黏度 指数液压油	YD - N32D		用于温度变化不大且对黏温性能要求更高的液压系统

2.1.4 液压油的污染与防护

液压油是否清洁,不仅影响液压系统的工作性能和液压元件的使用寿命,而且直接关系到液压系统是否能正常工作。液压系统多数故障与液压油受到污染有关,因此控制液压油的污染是十分重要的。

1. 液压油被污染的原因主要有以下几方面

(1) 液压系统的管道及液压元件内的型砂、切屑、磨料、焊渣、锈片、灰尘等污垢在系统使用前冲洗时未被洗干净,在液压系统工作时,这些污垢就进入到液压油里。

(2) 外界的灰尘、砂粒等,在液压系统工作过程中通过往复伸缩的活塞杆、流回油箱的