



高等职业教育
机电类课程规划教材

液压与气动技术

GAODENG ZHIYE JIAOYU
JIDIANLEI KECHENG GUIHUA JIAOCAI

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主编 张宏友

大连理工大学出版社



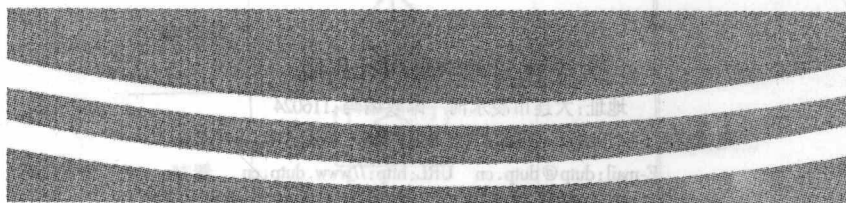
高等职业教育机电类课程规划教材

液压与气动技术

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

教材样本

主 编 张宏友 副主编 徐立志 任志新 郝利华 索林生



YEYA YU QIDONG JISHU

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

© 大连理工大学出版社 2004

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术 / 张宏友主编. —大连:大连理工大学出版社,2004.9
高等职业教育机电类课程规划教材
ISBN 7-5611-1841-4

I. 液 II. 张 III. ①液压传动—高等学校:技术学校—教材…
②气压传动—高等学校:技术学校—教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 082980 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市凌水河 邮政编码:116024

电话:0411-84708842 传真:0411-84701466 邮购:0411-84707961

E-mail: dulp@dulp.cn URL: <http://www.dulp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:16.5 字数:348 千字

印数:1 ~ 6 000

2004 年 9 月第 1 版

2004 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑:赵晓艳

责任校对:王学文

封面设计:波 朗

定 价:23.00 元

总 序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,迫人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高等职业教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走理论型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,高等职业教育从专科层次起步,进而高职本科教育、高职硕士教育、高职博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高职教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)理论型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高等职业教育教材编审委员会就是全国 100 余所高职院校和出版单位组成的旨在以推动高职教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职教材的特色建设为己任,始终会从高职教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的组织形式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职教学成果,探索高职教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高等职业教育教材编审委员会在推进高职教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意;也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高等职业教育教材编审委员会

2001 年 8 月 18 日

前言

《液压与气动技术》是新世纪高职教材编委会组编的机电类课程规划教材之一。

本教材以液压传动技术为主线,阐明了液压与气动技术的基本原理,着重培养学生分析、设计液压与气动基本回路的能力,安装、调试、使用、维护液压与气动系统的能力,诊断和排除液压与气动系统故障的能力。

本教材在编写的过程中突出以下特点:

1. 充分考虑高职教育的职业特色和高职学生的学习特点,在教学内容的设计上,注重理论联系实际,在内容的取舍上以必须、够用为度,力求作到少而精;
2. 为培养学生的实际应用能力和实践动手能力,部分章节后安排了必要的实训内容;
3. 为指导学生学习,每章的开篇列出了本章的重点、难点;为方便学生复习巩固学习内容,各章后均附有思考题与习题;
4. 液压技术与气动技术两部分内容既有联系,又相对独立,各校可根据学生的专业情况选用;
5. 教材中的插图全部使用计算机绘图软件绘制,规范、清晰、美观;
6. 液压气动图形符号严格执行现行国家标准(GB/T786.1—1993)。

本教材共分14章,主要内容包括液压传动基础,常用液压元件的结构原理、液压基本回路、典型液压传动系统的原理及故障分析、液压系统的设计、液压伺服系统、气动元件、气动回路及气动系统应用实例、气动系统的安装调试及使用维护。

本教材由大连水产学院职业技术学院张宏友任主编。辽宁石油化工大学职业技术学院徐立志、齐齐哈尔职业学院任志新、大连水产学院职业技术学院郝利华、邯郸职业技术学院索林生任副主编;大连水产学院职业技术学院冯磊参加了部分章节的编写。具体编写分工如下:张宏友编写

6 / 液压与气动技术 □

第5、11、12、13、14章和附录;徐立志编写第6、9章;任志新编写第1、2章;郝利华编写第3、4章;索林生编写第8章;第7章由张宏友、索林生共同编写;冯磊编写第10章及部分章节的插图绘制。全书由张宏友负责组稿和定稿。辽宁工程技术大学职业技术学院张吉平老师审阅了全书,并提出了一些宝贵的意见和建议。

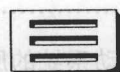
尽管我们在教材建设的特色方面做出了很多的努力,由于编者的水平有限,教材中难免存在一些疏漏和不妥之处,恳请各教学单位和读者在使用本教材时多提一些宝贵的意见和建议,以便下次修订时改进。

所有意见、建议请寄往:gzjckfb@163.com

联系电话:0411-84707604 13352244668

编者

2004年9月



第1章 液压传动概述	1	4.5 液压执行元件的常见故障及	
1.1 液压传动的工作原理及组成	1	排除方法	70
1.2 液压传动的特点	4	实训1 液压缸的结构拆装	71
思考题与习题	5	实训2 液压系统工作压力形成原理	72
第2章 液压传动基础	6	思考题与习题	76
2.1 液压油	6	第5章 液压控制元件	78
2.2 液压静力学基础	13	5.1 液压控制元件概述	78
2.3 液压动力学基础	16	5.2 方向控制阀	79
2.4 管路内液流的压力损失	22	5.3 压力控制阀	89
2.5 孔口和缝隙的流量	23	5.4 流量控制阀	98
2.6 气穴现象和液压冲击	27	5.5 比例阀、插装阀和叠加阀 ...	102
思考题与习题	29	实训 液压控制阀的拆装	108
第3章 液压动力元件	31	思考题与习题	111
3.1 液压动力元件概述	31	第6章 液压辅助元件	114
3.2 齿轮泵	34	6.1 蓄能器	114
3.3 叶片泵	39	6.2 过滤器	117
3.4 柱塞泵	46	6.3 油箱	121
3.5 液压泵的性能及选用	50	6.4 热交换器	123
3.6 液压泵常见故障及排除方法	50	6.5 压力表及压力表开关	125
.....	50	6.6 管件	128
实训 液压泵的拆装	52	6.7 密封元件	132
思考题与习题	54	思考题与习题	135
第4章 液压执行元件	55	第7章 液压回路	136
4.1 液压缸的类型和特点	55	7.1 方向控制回路	136
4.2 液压缸的设计与计算	61	7.2 压力控制回路	138
4.3 液压缸的结构设计	65	7.3 速度控制回路	147
4.4 液压马达	68	7.4 多缸工作控制回路	157

思考题与习题	162	11.2 气压传动系统的组成	209
第8章 典型液压传动系统的原理及故障分析	165	11.3 气压传动的特点	210
8.1 组合机床动力滑台液压系统	165	第12章 气动元件	211
8.2 数控车床液压系统	168	12.1 气源装置	211
8.3 外圆磨床液压系统	171	12.2 气动控制元件	214
8.4 汽车起重机液压系统	176	12.3 气动执行元件	219
8.5 液压系统故障诊断与分析	179	12.4 气动辅助元件	222
思考题和习题	187	实训 气动元件结构拆装	222
第9章 液压系统的设计与计算	189	思考题与习题	223
9.1 液压系统的设计步骤和要求	189	第13章 气动回路及应用实例	224
9.2 液压系统设计举例	191	13.1 气动基本回路	224
思考题和习题	197	13.2 常用回路	228
第10章 液压伺服系统	198	13.3 气压传动系统应用实例	232
10.1 液压伺服系统概述	198	实训 气动基本回路实验	238
10.2 液压伺服阀	199	思考题与习题	239
10.3 电液伺服阀	202	第14章 气动系统的安装调试、使用及维护	241
10.4 液压伺服系统实例	204	14.1 气动系统的安装与调试	241
思考题与习题	207	14.2 气动系统的使用与维护	242
第11章 气压传动概述	208	14.3 气动系统主要元件的常见故障及其排除方法	243
11.1 气压传动系统的工作原理	208	实训 典型气动系统调试及故障排除	246
附录	248	参考文献	254

第1章

液压传动概述

用液体作为工作介质来实现能量传递的传动方式称为液体传动。主要利用非封闭状态下液体的动能或位能来进行工作的传动方式称为液力传动;主要利用密闭系统中的受压液体来传递运动和动力的传动方式称为液压传动。本书主要讨论后者。

1.1 液压传动的工作原理及组成

1.1.1 液压传动的工作原理

讨论液压传动的工作原理可以从最简单的液压千斤顶入手,图 1-1 标示了该液压系统的工作原理。液压千斤顶由手动柱塞泵和举升缸两部分构成。手动柱塞泵由杠杆 1、小活塞 2、小缸体 3、单向阀 4 和 5 等组成;举升缸由大活塞 7、大缸体 6、卸油阀 9 组成,另外还有油箱 10 和重物 8。

工作时,先提起杠杆 1,小活塞 2 被带动上升,小缸体 3 下腔的密闭容积增大,腔内压力降低,形成部分真空,单向阀 5 将所在油路关闭,而油箱 10 中的油液则在大气压力的作用下,推开单向阀 4 的钢球,沿吸油孔道进入并充满小缸体 3 的下腔,完成一次吸油动作。接着压下杠杆 1,小活塞 2 下移,小缸体 3 下腔的密闭容积减小,其腔内压力升高,使单向阀 4 关闭,阻断了油液流回油箱的通路,并使单向阀 5 的钢球受到一个向上的作用力,当这个作用力大于大缸体 6 下腔对它的作用力时,钢球被推开,油液便进入缸体 6 的下腔(卸油阀 9 处于关闭状态),推动活塞 7 向上移动将重物 8 顶起一段距离。反复提压杠杆 1,就可以使大活塞 7 推举重物 8 不断上升,达到起重的目的。将卸油阀 9 转动 90°,缸体 6 下腔与油箱连通,活塞 7 在重物 8 推动下下移,下腔的油液通过卸油阀 9 排回油箱 10。

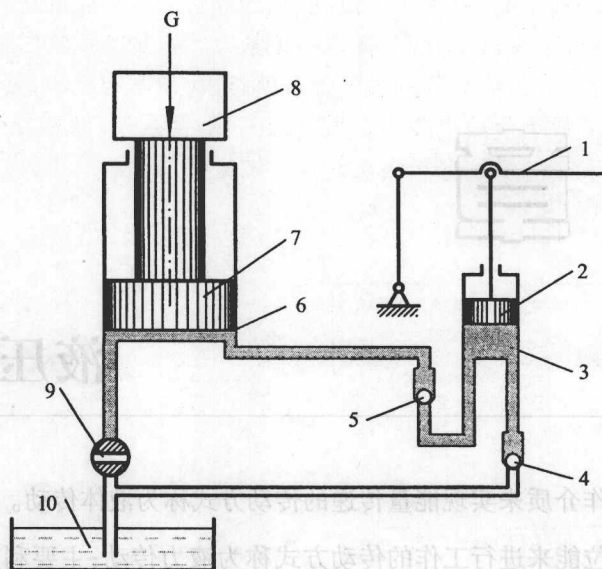


图 1-1 液压千斤顶的工作原理图

1-杠杆;2-小活塞;3-小缸体;4、5-单向阀;6-大缸体;
7-大活塞;8-重物;9-卸油阀;10-油箱

从液压千斤顶的工作过程可以看出,液压传动有以下特点:

(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。先把机械能转换为便于输送的液体的压力能,然后把液体的压力能转换为机械能做功。

(2) 液压传动是依靠密封的容器(或密闭系统)内密封容积的变化来传递能量的。如果容器不密封,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,也就不可能利用受压液体传递运动和动力。

1.1.2 液压传动系统的组成

机床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(a)所示为一台简化了的机床往复运动工作台的液压传动系统。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 1-2 中,液压缸 8 固定在床身上,活塞连同活塞杆带动工作台 9 作往复运动。液压泵 3 由电动机(图中未示出)驱动,通过滤油器 2 从油箱 1 中吸油并送入密闭的系统内。

若将换向阀手柄 7 向右推,使阀芯处于如图 1-2(b)所示位置,则来自液压泵的压力油经节流阀 5 到换向阀 6 并进入液压缸 8 左腔,推动活塞连同工作台 9 向右移动。液压缸 8 右腔的油液经换向阀 6 流回油箱。

若将换向阀手柄 7 向左拉,使阀芯处于如图 1-2(c)所示位置,则来自液压泵的压力油经节流阀 5 到换向阀 6 并进入液压缸 8 右腔,推动活塞连同工作台 9 向左移动。液压缸 8 左腔的油液经换向阀 6 流回油箱。

若换向阀阀芯处于如图 1-2(a)所示中间位置时,液压缸两腔被封闭,活塞停止不动。

工作台移动的速度通过节流阀 5 调节。当节流阀的阀口增大时,进入液压缸的油流

量增大,工作台的移动速度升高;关小节流阀,则工作台的移动速度将减小。

转动溢流阀4的调节螺钉,可调节弹簧的预紧力。弹簧的预紧力越大,密闭系统中的油压就越高,工作台移动时,能克服的最大负载就越大;预紧力越小,其能得到的最大工作压力就越小,能克服的最大负载也越小。另外,在一般情况下,泵输给系统的油量多于液压缸所需要的油量,多余的油须通过溢流阀及时地排回油箱。所以,溢流阀4在该液压系统中起调压、溢流的作用。

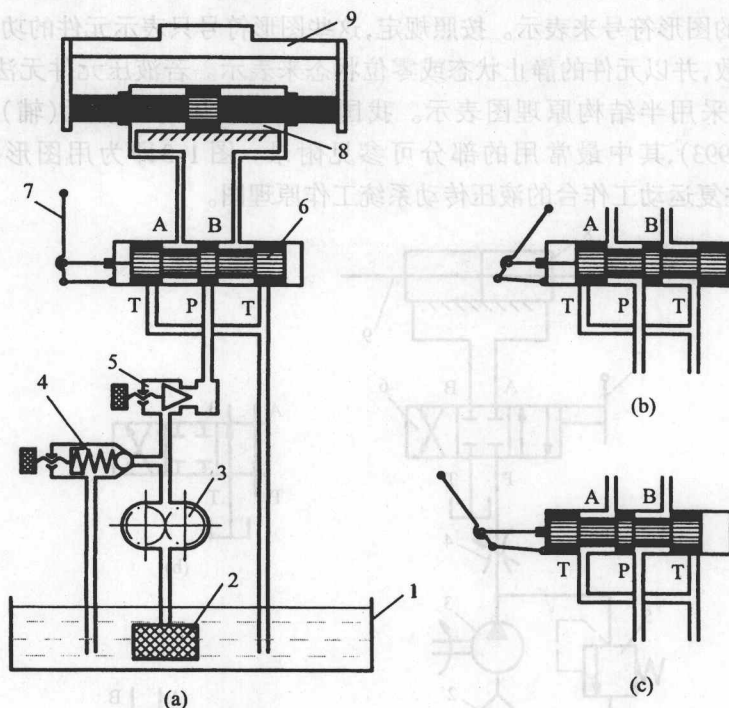


图 1-2 液压传动系统的工作原理及组成

1-油箱;2-滤油器;3-液压泵;4-溢流阀;5-节流阀;

6-换向阀;7-手柄;8-液压缸;9-工作台

从此例可以看出,液压系统若能正常工作必须由以下五部分组成:

(1)动力元件 它是把原动机输入的机械能转换为油液压力能的能量转换装置,其作用是为液压系统提供压力油,最常见的形式为各种液压泵。

(2)执行元件 它是将液体的压力能转换为机械能的能量转换装置,其作用是在压力油的推动下输出力和速度(直线运动),或力矩和转速(回转运动)。这类元件包括各类液压缸和液压马达。

(3)控制元件 它是用来控制或调节液压系统中油液的压力、流量或方向,以保证执行装置完成预期工作的元件。这类元件主要包括各种液压阀,如溢流阀、节流阀以及换向阀等。这些元件的不同组合形成了不同功能的液压系统。

(4)辅助元件 辅助元件是指油箱、蓄能器、油管、管接头、滤油器、压力表以及流量计等。这些元件分别起散热贮油、蓄能、输油、连接、过滤、测量压力和测量流量等作用,以保

证系统正常工作,是液压系统不可缺少的组成部分。

(5)工作介质 它在液压传动及控制中起传递运动、动力及信号的作用。工作介质为液压油或其他合成液体。

1.1.3 液压传动系统的图形符号

如图 1-1、图 1-2 所示的液压传动系统图是一种半结构式的工作原理图,直观性强,容易理解,但难于绘制。为便于阅读、分析、设计和绘制液压系统,工程实际中,国内外都采用液压元件的图形符号来表示。按照规定,这些图形符号只表示元件的功能,不表示元件的结构和参数,并以元件的静止状态或零位状态来表示。若液压元件无法用图形符号表述时,仍允许采用半结构原理图表示。我国制定了液压与气动元(辅)件图形符号(GB/T786.1—1993),其中最常用的部分可参见附录。图 1-3 即为用图形符号表达的图 1-2 的机床往复运动工作台的液压传动系统工作原理图。

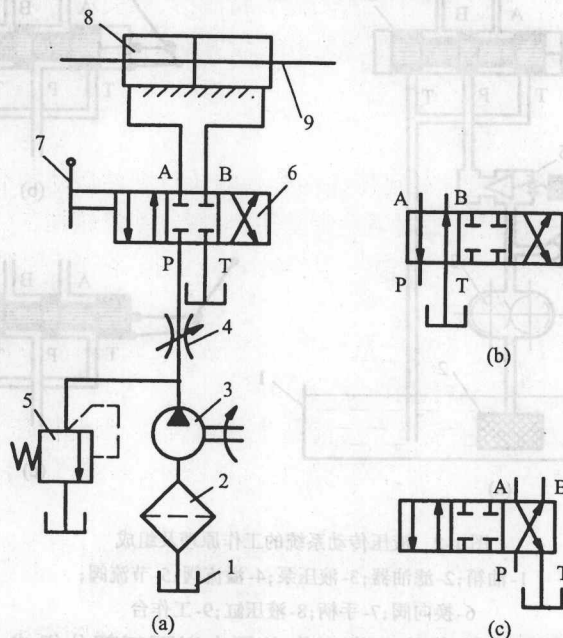


图 1-3 液压传动系统工作原理图(用图形符号)

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

1.2 液压传动的特点

液压传动与机械传动、电力传动等其他传动方式相比,有以下特点。

1.2.1 液压传动的优点

(1)在相同功率条件下,液压传动装置的体积小、重量轻、结构紧凑(如液压马达的重量只有同功率电动机重量的 15% ~ 20%),因而其惯性小,换向频率高。液压传动采用高压时,能输出大的推力或大的转矩,可实现低速大吨位传动,这是其他传动方式所不能比的突出优点。

(2) 液压传动能在大范围内很方便地在系统运行过程中实现无级调速(调速比范围可达 2000);而机械传动实现无级调速较为困难,电力传动虽可较方便地实现无级调速,但其传动功率和调速范围都比液压传动小(如中小型直流电动机一般为 2~4 左右)。

(3) 液压元件之间可采用管道连接,或采用集成式连接,其布局、安装有很大的灵活性,可以构成用其他传动方式难以组成的复杂系统。

(4) 液压传动能使执行元件的运动即使在负载变化时仍均匀稳定,可使运动部件换向时无换向冲击。而且,由于其反应速度快,故可实现快速启动、制动和频繁换向(在实现往复回转运动时可达 500 次/min,实现往复直线运动时可达 1000 次/min)。

(5) 液压传动系统操作简单,调节控制方便,特别是与机、电、气联合使用,能方便地实现复杂的自动工作循环。

(6) 液压传动系统便于实现过载保护,使用安全、可靠,不会因过载而造成元件的损坏;各液压元件中的运动件均在油液中工作,能自行润滑,故使用寿命长。

(7) 由于液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,液压系统的设计、制造、维修都大大简化,而且周期短。

1.2.2 液压传动的缺点

(1) 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性会影响执行元件运动的准确性,故液压传动系统在对传动比要求比较严格的情况下不宜使用(如螺纹和齿轮加工)。

(2) 液压传动对油温的变化比较敏感,其工作稳定性很容易受到温度的影响,因而不宜在很高或很低的温度下工作。

(3) 液压传动系统工作过程中的能量损失(泄漏损失、溢流损失、节流损失、摩擦损失等)较大,传动效率较低,因而不适宜作远距离传动。

(4) 为减少泄漏,液压元件的制造和装配精度要求较高,因此液压元件及液压设备的造价较高。而且,液压设备相对运动件间的配合间隙很小,对液压油液的污染比较敏感,要求有较好的工作环境。

(5) 若液压设备的使用者和维修者工作经验不足,当系统出现了故障时,不易查找原因。

综上所述,液压传动的优点是主要的、突出的,它的缺点会随着生产技术的提高被逐步克服。因此,液压技术的发展十分迅速,它将在现代化生产中发挥越来越重要的作用。

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 与其他传动方式相比较,液压传动有哪些主要优、缺点?

第2章

液压传动基础

本章主要讲述液压油的物理性质、液压油的使用与污染控制。液体静力学的基本特性、液体流动时的运动特性、流经管路的压力损失以及流经孔口和缝隙的流量等液压传动的基础知识。

本章重点

1. 液压油的物理性质;
2. 液体动力学基础知识,即连续性方程、伯努利方程及液体流经管路的压力损失等;
3. 液体流经孔口的流量及其与压力差、孔口结构形式的关系等。

本章难点

1. 液体粘性的概念;
2. 伯努利方程的物理意义及其应用。

2.1 液压油

2.1.1 液压油的主要性质

1. 密度

单位体积液压油的质量称为该种液压油的密度,以 ρ 表示,即

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

式中 V ——液压油的体积;

m ——体积为 V 的液压油的质量。

密度是液压油的一个重要物理参数,随着液压油温度和压力的变化,其密度也会发生变化,但这种变化量通常很小,可以忽略不计,故实际应用中可认为液压油密度不受温度和压力变化的影响。一般液压油的密度为 900kg/m^3 。

2. 粘性

(1) 粘性的物理意义

液体在外力的作用下流动时,液体分子间的内聚力阻碍分子相对运动,而在液体内部产生摩擦力。液体流动时,其内部产生摩擦力的这一特性即称为液体的粘性。粘性是液体的重要物理性质,也是选择液压系统中使用油的主要依据之一。

液体流动时,由于液体的粘性以及液体和固体壁面间的附着力,会使液体内部各层间的速度大小不等。如图2-1所示,设两平行平板间充满液体,下平板不动,上平板以速度 u_0 向右平移。由于液体的粘性作用,紧贴下平板的液体层速度为零,紧贴上平板的液体层速度为 u_0 。而中间各层液体的速度则根据它与下平板间的距离大小近似呈线性规律分布。

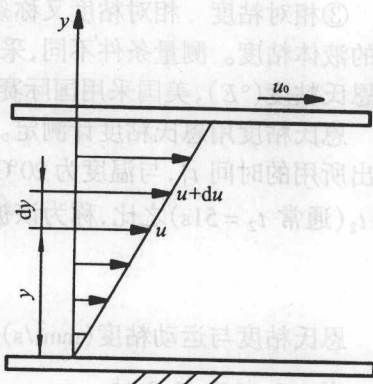


图2-1 液体的粘性

实验测定结果表明,液体流动时,相邻液层之间的内摩擦力 F 与液层间的接触面积 A 、液层间的相对运动速度 du 成正比,而与液层间的距离 dy 成反比,即

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

若用单位接触面积上的内摩擦力 τ (切应力)来表示,则上式可改写成

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

式中 μ ——比例系数,也称为液体的粘性系数或粘度;

$\frac{du}{dy}$ ——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。

式(2-3)表达的就是牛顿内摩擦定律。

在液体静止时,由于 $du = 0$,内摩擦力 F 为零,因此,液体在静止状态时不呈现粘性。

(2) 粘度

液体粘性的大小用粘度来表示。常用的粘度有三种:动力粘度、运动粘度和相对粘度。

①动力粘度 动力粘度也称为绝对粘度,它是表征流动液体内摩擦力大小的粘性系数,用 μ 表示。其量值等于液体在以单位速度梯度 ($\frac{du}{dy} = 1$) 流动时,液层接触面单位面积上的内摩擦力,即

$$\mu = \frac{F}{A \frac{du}{dy}} = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (2-4)$$

动力粘度的法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒, $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$),它与以前沿用的非法定计量单位 P (泊, $\text{dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$) 之间的关系是 $1 \text{Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{P}$

②运动粘度 液体动力粘度 μ 与其密度 ρ 的比值称为该液体的运动粘度,用 ν 表示。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-5)$$

运动粘度的法定计量单位为 m^2/s (米²/秒),由于该单位偏大,实际上常用 cm^2/s 、 mm^2/s 及以前沿用的非法定计量单位 cSt (厘斯),它们之间的关系为 $1 \text{m}^2/\text{s} = 10^4 \text{cm}^2/\text{s} = 10^6 \text{mm}^2/\text{s} = 10^6 \text{cSt}$ 。

运动粘度 ν 无物理意义,因为在其单位中只有长度和时间的量纲,类似于运动学的物理量,故称为运动粘度。它是工程实际中常用的一个物理量。国际标准化组织 ISO 规定,各类液压油的牌号是按其在一定温度下运动粘度的平均值来标定的。例如,牌号为 L-HL32 的液压油就是指这种油在温度为 40°C 时,其运动粘度的平均值为 $32 \text{mm}^2/\text{s}$ 。

③相对粘度 相对粘度又称条件粘度。它是采用特定的粘度计在规定的条件下测出来的液体粘度。测量条件不同,采用的相对粘度单位也不同。例如,我国、德国、俄罗斯采用恩氏粘度($^{\circ}E$),美国采用国际赛氏粘度(SSU),英国采用商用雷氏粘度($^{\circ}R$)等。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定。温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 的 200cm^3 被测液体由恩氏粘度计的小孔中流出所用的时间 t_1 ,与温度为 20°C 的 200cm^3 蒸馏水由恩氏粘度计的小孔中流出所用的时间 t_2 (通常 $t_2 = 51\text{s}$) 之比,称为该被测液体在 $t^{\circ}\text{C}$ 下的恩氏粘度,记为 $^{\circ}E_t$,即

$$^{\circ}E_t = \frac{t_1}{t_2} = \frac{t_1}{51\text{s}} \quad (2-6)$$

恩氏粘度与运动粘度(mm^2/s)的换算关系为

$$\text{当 } 1.3 \leq ^{\circ}E \leq 3.2 \text{ 时} \quad \nu = 8^{\circ}E - \frac{8.64}{^{\circ}E} \quad (2-7)$$

$$\text{当 } ^{\circ}E > 3.2 \text{ 时} \quad \nu = 7.6^{\circ}E - \frac{4}{^{\circ}E} \quad (2-8)$$

(3)温度对粘度的影响

粘度对温度的变化十分敏感,当温度升高时,液体分子间的内聚力减小,其粘度降低,这一特性称为粘温特性。不同种类的液压油有不同的粘温特性,图 2-2 为几种典型液压油的粘温特性曲线图。

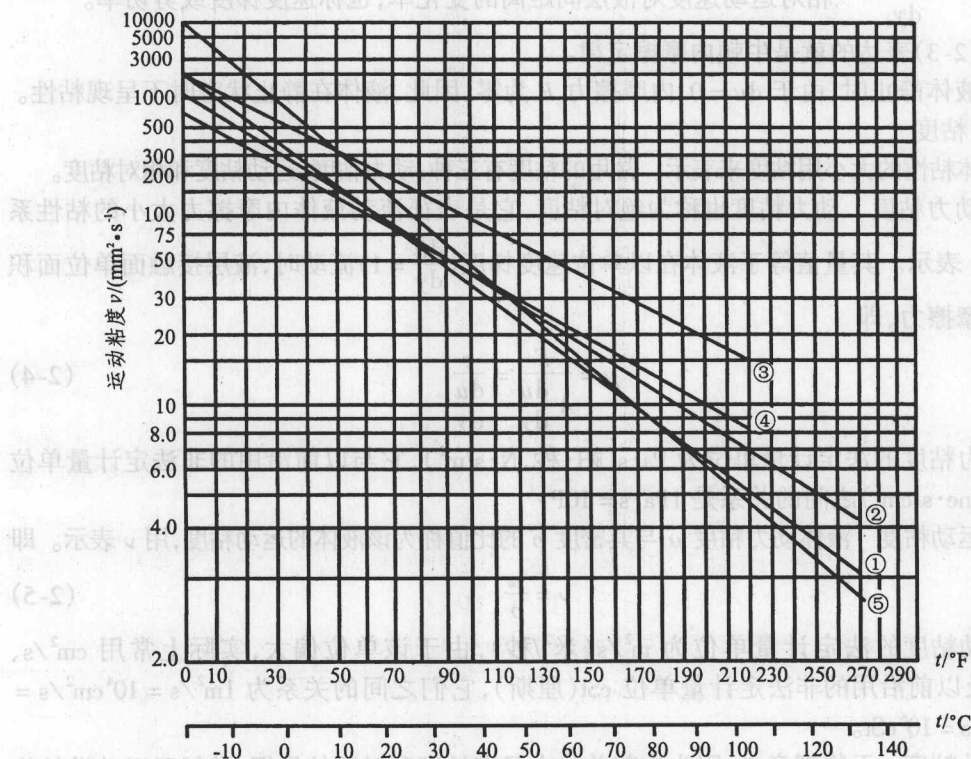


图 2-2 几种典型液压油的粘温特性曲线图

①-石油型普通液压油;②-石油型高粘度指数液压油;

③-水包油乳液;④-水-乙二醇液;⑤-磷酸酯液