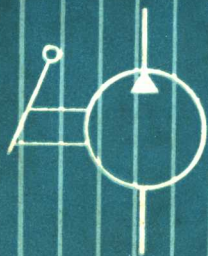


金属切削机床液压传动

(第二版)

大连工学院机械制造教研室 编



科学出版社

金属切削机床液压传动

(第二版)

大连工学院机械制造教研室 编

科学出版社

1985

内 容 简 介

本书介绍金属切削机床液压传动的基本概念、机床液压传动中常用的液压元件和液压系统。

全书共分十一章：第一和第二章介绍机床液压传动的概念和液压流体力学基础；第三至第六章介绍机床液压传动中常用的液压元件，包括泵、液压马达、缸、控制阀和辅助装置；第七至第九章介绍液压基本回路，机床液压系统实例和液压系统的设计计算；第十章介绍液压系统的动态特性；第十一章介绍液压伺服系统。

本书可供从事液压技术工作的工程技术人员参考，也可作高等院校工科机械制造专业的教学用书。

金属切削机床液压传动

(第二版)

大连工学院机械制造教研室 编

责任编辑 陈德义

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1974年11月第一版 开本：787×1092 1/16

1985年1月第二版 印张：22 1/4

1985年1月第五次印刷 插页：1

印数：340,771—362,770 字数：511,000

统一书号：15031·623

本社书号：3982·15-3

定价：5.25元

第二版前言

在本书第一版于1974年问世以来的近十年中,液压技术又有了发展,为适应需要,对本书进行了改编。

在这次改编时,删去了一部分用得少的或较陈旧的内容。泵、阀等元件我国已系列生产,一般可选用,不需自行设计,因此不再列元件的设计计算要点各节。各液压元件试验标准,国内正在重新制订,且近年来有关测试的专门书籍逐渐增多,所以取消原版第十一章。机床液压系统实例,也改选了几台在生产中常见到的。

再版中充实了必要的液压流体力学基础,并增加了一些新的内容。近几年来对液压系统的动态特性逐渐提出了较高的要求,所以另列一章,简要介绍了实用的分析研究方法。书中少数几章的次序也作了变动。

改编时量纲采用了国际单位制,但也照顾到目前国内在液压技术领域中仍在习惯使用的单位。书内公式除专门说明者外,在使用时一般应当用国际单位制,也可用其它单位制,但各参量的单位应取得一致。书中各名词术语和物理量的符号尽量做到与国内推荐使用的一致。

本书第一版发行后,累计共印刷了34万余册,除作为一般科技读物外,一些高等院校也用作教材或教学参考书,这次再版,考虑了这两方面的需要。改编时参考了高等院校机械制造专业该课程目前使用的教学大纲,在章节安排上,也照顾到便于教学使用。

本书第一版由大连工学院当时的机械制造教研室下列同志编写: 刘能宏(原第一、二、三、九、十一章)、袁景侠(原§5-1—§5-4, 第六、七、十章, §8-4—§8-6)、杨有君(原第四章, §8-1、§8-3)、张致祥(原§5-5、§8-2)。赵为铎同志进行了部分审稿工作,卫国强、赵德堃、赵全福同志参加了部分审稿和插图设计绘制工作。这次第二版增订本由大连工学院机床教研室刘能宏同志改编,参加部分审稿和插图设计绘制工作的有: 张致祥、曾桂生、关松林、姜秀萍、田树军、徐福兴同志。

在本书编写过程中,得到有关单位和同志们的不少帮助,在此谨表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中会有不少缺点错误,敬希广大读者批评指正。

编者 1983年8月

前言 (第一版)

液压传动与机械传动相比,是一项比较新的技术,由于它有不少优点,所以发展比较迅速。六十年代以后,世界各国在机床上都较普遍地采用了液压技术,特别是在高效率自动和半自动机床、组合机床、程序控制机床以及自动换刀数控机床上,应用得更为广泛,它已成为机床发展的一个重要方面。

在我国广大科技工作者、工人的共同努力下,液压技术有了迅速的发展。许多工业部门,如机床、起重运输机械、工程机械以及国防工业等,液压技术的采用也日益增多。现在我国已经制订了有关液压传动的国家标准,自行设计和生产了规格较多的液压元件,包括高、中、低压油泵、油马达和各种阀类。采用液压传动和控制的机床在整个机床产品中的比重已越来越大。因此,液压技术已成为我国广大工人和工程技术人员迫切需要掌握的技术。为了适应这一需要,我们编写了本书。

本书共分十一章,内容包括机床液压传动的基本概念、常用的液压元件、机床液压系统以及液压设备的试验维修等。第三章至第六章介绍了常用的液压元件,其中以机床中常用的中、低压液压元件为主,也适当介绍了某些高压元件的特点。对于泵、阀类元件,因一般已成为标准化元件,所以以叙述工作原理和典型结构为主,虽也介绍了这类元件的一些设计计算要点,主要是为了加深读者对元件结构的理解,同时在有必要新设计专用元件时也可参考。

本书可供从事液压技术工作的工人和工程技术人员参考,也可作高等院校工科机械制造专业师生教学参考之用。

在编写本书过程中,我们曾得到有关工厂、研究所和兄弟院校等单位的热情帮助和大力支持,稿件曾请大连机床厂和其它有关单位审阅,提出了不少宝贵意见。在这里谨向上述单位的同志们表示衷心的感谢。由于我们思想水平和业务水平都不高,书中可能有不少缺点和错误,希望广大读者批评指正。

大连工学院机械制造教研室

1973年5月

目 录

第二版前言

前言(第一版)

第一章 机床液压传动概述	1
§ 1-1 液压传动的工作原理和液压系统的组成	1
一、简单的磨床工作台液压传动系统的工作原理	1
二、液压系统的组成	2
§ 1-2 液压系统图图形符号	3
§ 1-3 液压传动的优缺点	4
第二章 液压流体力学基础	5
§ 2-1 液压油的性质和使用	5
一、液压油的密度和重度	5
二、液压油的粘性	6
三、液压油的可压缩性	10
四、对液压油的要求和选用	11
五、防止液压油被污染	14
§ 2-2 静止液体力学	15
一、液体的压力	16
二、绝对压力和表压力	17
三、帕斯卡定律	18
四、液体压力作用在平面和曲面上的力	18
§ 2-3 流动液体力学	20
一、液压系统中压力的形成	20
二、理想液体和恒定流动	20
三、一维、二维、三维流动	21
四、迹线、流线和流束	21
五、通流截面、流量和平均流速	22
六、连续性方程——流动液体的质量守恒定律	23
七、伯努利方程——流动液体的能量守恒定律	24
八、动量方程——流动液体的动量定律	29
§ 2-4 液体流动中的压力损失	31
一、液体运动的两种状态	31
二、直管中的压力损失	33
三、局部压力损失	36
四、管路系统中的总压力损失及压力效率	42

五、推荐流速·····	42
§ 2-5 油液流经小孔和缝隙的流量计算·····	43
一、油液流经小孔的流量计算·····	43
二、油液流经缝隙的流量计算·····	45
§ 2-6 液流作用在滑阀阀芯上的轴向力·····	50
§ 2-7 液压冲击和空穴现象·····	52
一、液压冲击·····	52
二、空穴现象·····	55
第三章 液压泵和液压马达 ·····	57
§ 3-1 液压泵和液压马达概述·····	57
一、液压泵和液压马达的作用和工作原理·····	57
二、液压泵的流量和压力·····	58
三、能量转换和效率·····	59
§ 3-2 齿轮液压泵和齿轮液压马达·····	61
一、齿轮泵的工作原理·····	61
二、齿轮泵的结构·····	61
三、齿轮泵的流量·····	64
四、齿轮泵的困油问题·····	65
五、液压泵吸油口处的真空度·····	66
六、高压齿轮泵的特点·····	67
七、转子泵的工作原理·····	69
八、螺杆泵的工作原理·····	72
九、齿轮液压马达的工作原理·····	73
§ 3-3 叶片液压泵和叶片液压马达·····	74
一、叶片泵的工作原理·····	74
二、双作用叶片泵的结构·····	75
三、双作用叶片泵的定子曲线·····	77
四、叶片泵的流量·····	80
五、高压叶片泵的特点·····	82
六、双级叶片泵和双联叶片泵·····	86
七、变量叶片泵·····	87
八、叶片液压马达·····	92
§ 3-4 柱塞液压泵和柱塞液压马达·····	93
一、径向柱塞泵·····	93
二、径向柱塞液压马达·····	96
三、轴向柱塞泵的工作原理·····	101
四、轴向柱塞液压马达的工作原理·····	103
五、斜盘式轴向柱塞液压泵和液压马达·····	104
六、斜缸式轴向柱塞液压泵和液压马达·····	108

第四章 液压缸	111
§ 4-1 活塞式液压缸	111
一、双杆活塞缸	111
二、单杆活塞缸	116
三、无杆活塞缸	118
§ 4-2 柱塞式液压缸	121
§ 4-3 回转式液压缸	123
§ 4-4 液压缸的缓冲装置和端盖的联接方式	125
一、液压缸的缓冲装置	125
二、端盖的联接方式	126
第五章 液压控制阀	128
§ 5-1 方向控制阀	128
一、单向阀	128
二、换向阀	130
§ 5-2 压力控制阀	141
一、溢流阀	141
二、减压阀	147
三、顺序阀	148
四、压力继电器	150
§ 5-3 流量控制阀	151
一、节流口的流量特性	151
二、节流阀	153
三、调速阀	156
四、温度补偿调速阀	158
五、溢流节流阀	159
六、计量阀	161
§ 5-4 电液比例控制阀和插装式锥阀	162
一、电液比例控制阀	162
二、电液比例压力阀	164
三、电液比例流量阀	165
四、电液比例换向阀	166
五、插装式锥阀	168
§ 5-5 液压阀间的连接	171
一、管式连接	171
二、板式连接	172
三、操纵箱式	172
四、集成块式	172
五、叠加阀式	175
第六章 辅助装置	178

§ 6-1 蓄能器	178
一、蓄能器的作用	178
二、蓄能器的类型	178
三、气囊式蓄能器的容量计算	180
§ 6-2 滤油器	182
一、对滤油器的要求	182
二、滤油器的类型	182
三、滤油器在系统中的安装位置	185
§ 6-3 密封装置	186
一、O形密封圈	187
二、Y形密封圈	188
三、V形密封圈	188
四、回转轴的密封装置	189
§ 6-4 油管 and 管接头	189
一、油管的类型	189
二、油管截面尺寸的确定	190
三、管接头	190
§ 6-5 油箱及冷却和加热装置	191
一、油箱	191
二、油的冷却和加热装置	192
第七章 液压基本回路	194
§ 7-1 速度控制回路	194
一、节流调速回路	194
二、容积调速回路	202
三、快速运动回路	209
§ 7-2 压力控制回路	210
一、调压回路	210
二、卸荷回路	211
三、增压回路	213
四、平衡回路	214
§ 7-3 换向和速度换接回路	214
一、换向回路	215
二、速度换接回路	217
§ 7-4 多缸间配合工作的回路	218
一、顺序动作回路	218
二、同步回路	221
三、多缸工作时快速运动和工作进给互不影响的回路	224
四、多缸卸荷回路	225
第八章 机床液压系统实例	226

§ 8-1	YT 4543 型组合机床动力滑台液压系统	226
§ 8-2	M 1432 A 型万能外圆磨床液压系统	228
§ 8-3	MMB 1320 B 型外圆磨床液压系统	233
§ 8-4	M 7120 A 型平面磨床液压系统	238
§ 8-5	CB 3463-1 型半自动转塔车床液压系统	242
§ 8-6	BY 2016 型龙门刨床液压系统	248
第九章	机床液压系统的设计计算	252
§ 9-1	机床液压系统的设计步骤和内容	252
一、	确定对液压系统的工作要求	252
二、	拟定液压系统原理图	252
三、	计算和选择液压元件	253
四、	对液压系统进行必要的验算	257
五、	绘制正式工作图和编制技术文件	259
§ 9-2	组合机床液压系统设计计算举例	260
一、	确定对液压系统的工作要求	260
二、	拟定液压系统原理图	261
三、	计算和选择液压元件	263
第十章	液压系统的动态特性	267
§ 10-1	液压系统动态特性研究的内容和方法	267
一、	液压系统动态特性研究的内容	267
二、	液压系统动态特性研究的方法	268
§ 10-2	用传递函数法研究液压系统的动态特性	269
一、	直动式溢流阀的动态特性	269
二、	液压马达的动态特性	274
§ 10-3	用键合图和状态空间法研究液压系统的动态特性	277
一、	直动式溢流阀瞬态响应的数字仿真	277
二、	其它液压元件和液压系统数字仿真简述	292
第十一章	液压伺服系统	300
§ 11-1	液压伺服系统的工作原理和类型	300
一、	车床液压仿形刀架的工作原理	300
二、	液压伺服系统的工作原理	302
三、	液压伺服系统的基本类型	303
§ 11-2	液压伺服阀和液压伺服系统的特性	307
一、	液压伺服阀的特性	308
二、	液压伺服系统的特性	313
§ 11-3	合成进给量基本不变的液压仿形系统	315
一、	仿形车削时的合成进给量	315
二、	C 7620 型车床的液压仿形刀架	315
§ 11-4	双坐标液压仿形系统	318

一、双坐标液压仿形系统应满足的基本要求.....	318
二、双坐标液压仿形系统的工作原理.....	318
§ 11-5 电液脉冲马达	322
§ 11-6 电液伺服阀	324
附录	329
一、液压传动中常用单位换算表.....	329
二、液压传动中通用系列参数表.....	329
三、液压系统用油液粘度换算表.....	331
四、液压系统常用图形符号(摘自 GB786-76)	332
五、中、低压液压元件型号说明	344
主要参考文献	345

第一章 机床液压传动概述

§1-1 液压传动的工作原理和 液压系统的组成

早在十七世纪,帕斯卡就提出了用液体的静压力来传递动力的原理。这一原理在十八世纪末第一次实际应用于水压机。那时还是用水作为传递动力的介质。到二十世纪初采用油液作为工作介质以后,液压技术有了较大的发展。

在机床中采用液压传动的较早。1935年前后,一些国家已生产出液压传动的磨床、拉床、刨床、车床等,各种液压元件也有了相应的发展。1945年以后,由于自动化的需要,液压技术得到了蓬勃的发展,其应用遍及许多工程领域,在机床中的应用也日渐增多。到目前为止,绝大部分的自动化机床,其中包括各种组合机床、仿形机床、数字控制机床和机床自动线等,都应用了液压传动或液压自动控制。

对于不同的机床各有不同的要求,因此相应的液压传动系统也是各式各样的,但是它们的基本工作原理是共同的。为了对机床液压传动系统有个一般的了解,我们首先分析一个简化了的机床液压系统。

一、简单的磨床工作台液压传动 系统的工作原理

磨床是常见的一种机床。在磨床中应用液压传动的地方很多。例如普通外圆磨床,它的工作台的直线往复运动差不多都是液压传动的。在具体的一台磨床中,工作台往复运动这一部分的液压传动系统是比较复杂的。本着由浅入深的原则,这里首先分析一台简化了的磨床工作台液压传动系统。它的工作原理见图 1-1a。

电动机带动液压泵 3 从油箱 1 吸油,并将有压力的油送入管路。从液压泵打出来的压力油就是推动工作台动作的能量来源。

压力油首先经过节流阀 4,再经过换向阀 6,然后进入液压缸 8。当换向阀处于图 1-1a 所表示的位置时,压力油经过阀芯左边的环槽,再经管路 11 进入液压缸 8 的左腔。液压缸 8 是固定在床身上不动的,因此在压力油的推动下,活塞 9 带动工作台 10 向右运动(工作台 10 是和活塞杆固定在一起的)。在这同时,液压缸右腔的油被排出,经油管 7、换向阀右边的环槽和油管 5 流回油箱。

磨床在磨削工件时,根据加工要求的不同,工作台运动的速度必须可以调整,同时为了连续进行磨削,工作台要作往复运动,也就是移动到一定位置后,需要换向。上面提到的节流阀 4 和换向阀 6 就是为了满足这些需要而设置的。节流阀的作用和自来水龙头相似,改变节流阀开口的大小,就能调节通过节流阀的油液流量,因而控制了工作台的运动速度。换向阀 6 是控制工作台运动方向用的。在图 1-1a 所示换向阀的位置,工作台是向

右移动。如果扳动手柄 12 使换向阀的阀芯移到左边位置,如图 1-1b 所示,压力油就通过阀芯右边的环槽经油管 7 进入液压缸的右腔,使工作台向左移动。从液压缸左腔排出的油液就经换向阀流回油箱。

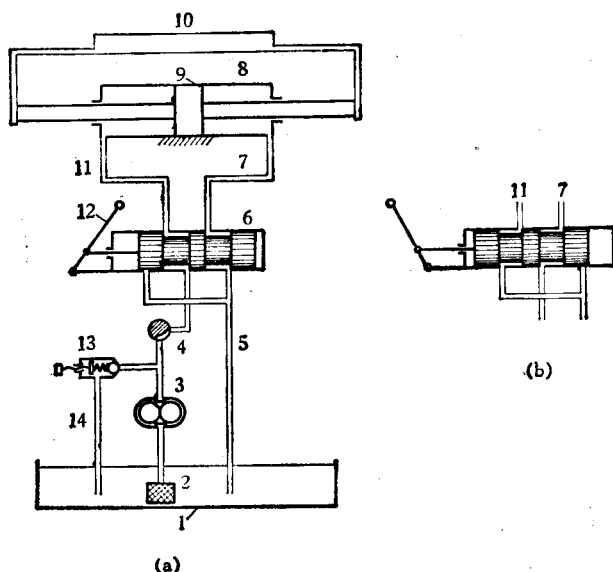


图 1-1 简单的磨床工作台液压系统原理图

磨床工作台在运动时要克服阻力,例如要克服磨削力和相对运动件表面之间的摩擦力等,这些阻力是由液压泵打出的压力油来克服的。根据工作情况的不同,泵打出油液的压力应当能够调整,在图 1-1 中这个功能是由溢流阀 13 来完成的。从泵 3 打出的压力油除通向节流阀 4 外,还有一个分路通向溢流阀 13。当溢流阀中的钢球在弹簧力的作用下将阀口堵住时,压力油不能通过溢流阀,如果油的压力增高到一定程度,能够克服弹簧的作用力而将钢球顶开时,压力油就通过溢流阀并经油管 14 流

回油箱,油的压力就不会继续升高。因此调节溢流阀中弹簧的压紧力,就可调节压力油顶开溢流阀钢球时压力的大小,这样也就控制了泵打出油液的最高压力。溢流阀在控制液压泵输出油液压力的同时,也起着把泵输出的多余油液排回油箱的作用。

图 1-1 中 2 为网式滤油器。液压泵从油箱吸进的油液先经过滤油器,以起到滤清油液的作用。

上面介绍的虽是简化了的磨床工作台的液压传动系统,但是通过它对于机床液压传动的基本工作原理可以有一个初步的了解。机床液压传动是以有压力的油液作为传递动力的工作介质。电动机带动液压泵输出压力油,是将电动机供给的机械能转换成油液的压力能。压力油经过管道及一些控制调节装置等进入液压缸,推动机床工作台运动,是将油液的压力能又转换成机械能。工作台运动时所能克服的阻力大小与油液的压力和活塞的有效工作面积有关。工作台运动的速度取决于单位时间内通过节流阀流入液压缸中油液容积的多少。这种借助于运动着的压力油的容积变化来传递动力的液压传动称为容积式液压传动,机床的液压传动系统基本上都是属于容积式液压传动。除容积式液压传动外,还有一种动力式液压传动,它是利用运动着的液体的动能来传递能量的,如离心式水泵等,这种传动方式在机床上没有被采用,所以在本书中所介绍的都属于容积式液压传动。

二、液压系统的组成

从上面的例子可以看出,液压传动系统由以下四个主要部分组成:

1) 液压泵：它供给液压系统压力油，将电动机输出的机械能转换为油液的压力能，用这压力油推动整个液压系统工作。

2) 液动机：在图 1-1 中就是液压缸，在压力油推动下，带动磨床工作台作直线运动。液动机也有作回转运动的，作回转运动的液动机叫作液压马达。

3) 控制调节装置：就是图 1-1 中的各种阀类，如换向阀、溢流阀、节流阀等，各起一定作用，使工作器官能够完成所要求的运动。

4) 辅助元件：如油箱、滤油器、油管 and 管接头等。

上述这些液压元件将在以下各章中分别介绍。

§1-2 液压系统图图形符号

如图 1-1 所示的液压原理图，其中各元件的图形基本上表示了它的结构原理，称为结构式原理图。这种原理图直观性强，容易理解，当液压系统发生故障时，根据原理图检查也比较方便，但图形比较复杂，特别是当系统中元件较多时，绘制更不方便。为了简化液压原理图的绘制，另有一种职能符号式液压原理图。在这种液压原理图中，各液压元件都用符号表示，这些符号只表示元件的职能，连接系统的通路，并不表示元件的具体结构和参数。我国制定的液压系统图图形符号（GB786-76）就是属于职能符号。国内应用的一般液压原理图都应按照我国制定的图形符号标准绘制。当无法用职能符号表示，或者有必要特别说明系统中某一重要元件的结构及动作原理时，也允许局部采用结构简图表示。现在世界各国液压原理图以采用职能符号式的较多，表示方法一般大同小异，极少数国家也有采用结构式原理图的。我国制订的液压系统图图形符号中比较常用的见附录。在以后讲述到各种液压元件时，还要提到。

图 1-1 所示的液压原理图如用职能符号表示如图 1-2。图中元件编号与图 1-1 中所示一致。因我国制订的液压系统图图形符号中规定，符号都以元件的静止位置或零位置表示，所以在图 1-2a 中，换向阀 6 是处于中间位置，这时工作台 10 不动。如操纵手柄 12 将换向阀 6 向右推，油路连通情况就如图 b 所示，这时管路 11 通压力油，管路 7 通油箱，液压缸活塞带动工作台向右运动。如将换向阀 6 推到左边位置，如图 c 所示，就实现了换向，工作台向左运动。图 1-2a 中 13 表示溢流阀。溢流阀上的虚线表示控制油路，当液压泵输出油的压力升高，控制油路中压力油的作用力能够克服弹簧力，压下溢流阀的阀芯，使泵输出油路与油管 14 相连通时，就实现溢流作用。

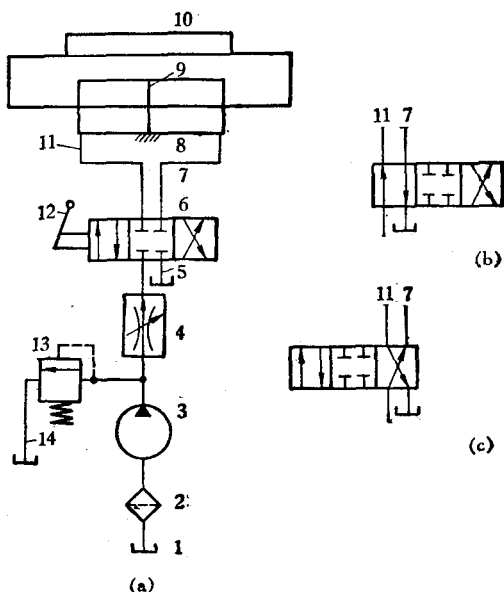


图 1-2 用职能符号表示的液压系统原理图

§1-3 液压传动的优缺点

液压传动的应用所以能得到迅速发展,是由于它存在不少优点,例如:

1) 液压传动与机械、电力等传动方式相比,在输出同等功率的条件下,体积和重量可减小很多,因此惯性小,动作灵敏,这对于液压自动控制系统具有重要意义。

2) 工作平稳,不象机械装置因加工和装配误差会引起振动和撞击,油液本身也有吸振能力,因此便于实现频繁的换向。这是机床中直线往复运动常用液压传动的原因。

3) 可以在比较大的调速范围内较方便地实现无级调速。

4) 操纵简单,便于实现自动化。特别是电液联合应用时,能够充分发挥两者的优点,易于实现复杂的自动工作循环。因此液压传动在自动、半自动机床以及自动线中得到广泛应用。

5) 液压传动易于实现过载保护,同时因采用油液为工作介质,相对运动表面间能自行润滑,故使用寿命较长。

6) 液压元件易于实现系列化、标准化、通用化,便于设计、制造和推广使用。

任何事物都是一分为二的,液压传动也存在一些缺点,例如:

1) 液压传动采用液体为介质,在相对运动表面间不可避免地要有泄漏。同时油液也不是绝对不可压缩的,油管等也会产生弹性变形,因此液压传动不宜用在传动比要求严格的情况下,例如螺纹加工机床中的螺纹系和齿轮加工机床中的范成系等。

2) 油液在管路中流动要有液压损失,当管路长和流速大时,液压损失也增大,因此不适于远距离传动。

3) 当油温(影响到油的粘度)或载荷变化时,往往不易保持运动速度的稳定。在低温和高温条件下,采用液压传动有一定困难。

4) 为了防止漏油,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。

5) 发生故障不易检查和排除。

随着生产的发展,有些缺点正在逐步加以克服,例如采用调速阀或温度补偿调速阀可以减小或基本消除载荷或油温变化对速度的影响,液压元件标准化和集中生产,便于保证质量和降低成本等。因此液压传动有着广泛的发展前途。

第二章 液压流体力学基础

机床液压传动主要是用油液作为传递能量的介质。油液作为一种液体，它具有许多特性。液压流体力学就是研究液体平衡与运动规律的一门科学。在本章中将叙述与机床液压传动有关的液压流体力学的一些基本内容，通过它可以了解液体的一些特性，弄清一些基本概念，这样有助于正确理解液压传动的基本原理和规律，从而可以更好地使用和设计液压传动机床。同时，它也是进一步深入研究液压传动性能的有关理论基础。

§2-1 液压油的性质和使用

一、液压油的密度和重度

单位容积中液体的质量称为该液体的密度，用 ρ 表示。对于均质液体

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 m ——液体的质量；

V ——液体的容积。

对于非均质液体，任意点处的液体密度为该点处微小质量 Δm 与其体积 ΔV 之比的极限值，即：

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}$$

单位容积中液体的重量称为该液体的重度，用 γ 表示。对于均质液体

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

式中 G ——液体的重量。

对于非均质液体，任意点处的液体重度为该点处微小重量 ΔG 与其体积 ΔV 之比的极限值，即

$$\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V} = \frac{dG}{dV}$$

在国际单位制(SI)中，密度的单位为千克/米³ (kg/m³)，重度的单位为牛/米³ (N/m³)，因为 $G = mg$ ，所以液体的重度和密度的关系为：

$$\gamma = \rho g$$

式中 g ——重力加速度(m/s²)， $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

液压油的密度和重度随温度和压力而变化，一般是随温度升高而减小，随压力增高而加大，但变化很小，所以在一般使用条件下，可近似地把液体的密度和重度当作常量。机床液压系统中常用的液压油为矿物油，在计算时一般可取油液的密度 $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ ，油液的重度 $\gamma = \rho g = 900 \times 9.81 = 8.8 \times 10^3 \text{ N/m}^3$ 。

在国际单位制中,计算时常应用密度 ρ 。在目前,应用得还较多的工程制(MKFS制)中,计算时常应用重度 γ 。在工程制中,重度的单位为公斤力/米³(kgf/m³) [或公斤力/厘米³(kgf/cm³)]。因此,一般取油液的重度 $\gamma = 900\text{kgf/m}^3$ (或 $0.9 \times 10^{-3}\text{kgf/cm}^3$)。这个数值和国际单位制中油液密度的数值是一致的,但这是属于两个不同的单位制,在计算时不要混淆。在工程制中,如有时在计算中要用到油液的密度 ρ ,则应当取 $\rho = \gamma/g = 900/9.81 = 92\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ (或 $0.92 \times 10^{-6}\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{cm}^4$)。

液压油的比重是油液的重度与4℃时水的重度的比值,它是没有量纲的。液压矿物油的比重可取为0.9。

二、液压油的粘性

当液体在外力作用下流动时,一般液体各层的运动速度不相等。由于分子间有内聚力,因此在液体的内部产生内摩擦力,以阻止液层间的相对滑动,液体的这种性质称为粘性。液体粘性的大小用粘度来表示。

(一) 粘 度

粘度是液体最重要的特性之一,在液压系统中所用的液压油常根据粘度来选择。粘度一般可用下面几种不同的单位表示:

1. 动力粘度 η

设如图2-1所示,有二平行平板,其中充满液体。下板静止不动,上板以速度 U 向右运动。由于液体与平板间有附着力,因此紧靠着下板的一极薄层液体与下板一起静止不动,紧靠着上板的一极薄层液体与上板一起以速度 U 运动。

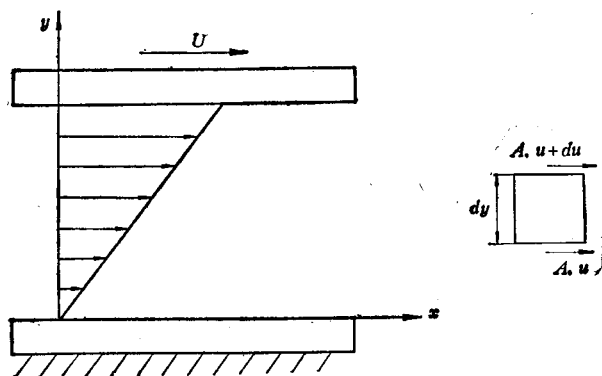


图2-1 液体粘性示意图

而两板之间的各液层则从上至下由速度为 U 递减至速度为零向右运动。现从中取出一微小薄层,设其上、下面积为 A ,距离为 dy ,下层的速度为 u ,上层的速度为 $u + du$ 。由实验结果可证明,两液层之间的内摩擦力 F 与液层间接触面积 A 及液层间相对速度 du 成正比,

与液层间距离 dy 成反比,即

$$F \propto \frac{A du}{dy}$$

应用比例系数 η ,则

$$F = \eta A \frac{du}{dy}$$