

高等学校教材

机床液压传动

南京工学院 章宏甲 主编
上海工业大学 黄 谊

机械工业出版社

本书是《液压传动及控制》编审小组推荐的大学机制专业本科生教材。内容共分十三章。1~3章介绍液压传动的基本理论, 4~7章介绍主要液压元件的作用原理、性能和用途, 8~11章介绍典型回路、典型系统和一般机床液压系统的设计步骤和方法, 第12和13章分别介绍液压装置的动态特性分析和液压伺服系统。每章末都附有习题。

本书在以下几点与同类型教材有所不同: 专门设立了“液压油”一章并讨论了油液污染问题; 在“液压泵”一章讨论了噪声问题; 在“动态特性分析”章中讨论了液压缸的爬行问题; 讲解液压元件着重作用原理而不纠缠于具体结构; 分析节流调速回路着重抓住实质而不注重形式异同; 在全书剪裁上注意传授知识和培养能力并重。

机 床 液 压 传 动

南京工学院 章宏甲 主编
上海工业大学 黄 谊

*

责任编辑: 孙祥根

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $12\frac{3}{4}$ · 字数 306 千字

1987年11月北京第一版·1987年11月北京第一次印刷

印数 00,001—22,000 · 定价: 2.15 元

*

统一书号: 15033·7049



前 言

本书是根据机械工业部教材编审委员会“液压传动及控制”编审小组1984年第二次会议通过的《机床液压传动》教材编写大纲编写的,其目的是使机制专业的学生学习后能获得设计和调试一般机床液压系统的知识。

本书内容包括液压传动的基本理论、液压元件、液压回路和系统,以及液压伺服系统等部分,涉及到液压流体力学基本概念,元件、回路、系统的作用原理和性能,一般机床液压系统的设计步骤和方法等方面。

本书专门设立了“液压油”一章,并叙述了油液的污染问题;在“液压泵和液压马达”一章中讲述了液压泵的噪声问题;在“动态特性分析”章中讨论了液压缸的爬行问题;在讲解液压元件时,着重于作用原理的说明而不纠缠在具体结构上;在分析节流调速回路时,注意抓住实质性的差别而不着眼于表面上的异同;在全书总的剪裁上,注意传授知识和培养能力并重等等;所有这些都是不同于以前的一些同类型教材的。

为了使學生能够较好地掌握住《机床液压传动》的知识,除了课堂教学这一主要教学环节外,还必须要有其它环节的密切配合。例如,通过现场教学使学生熟悉各类液压元件的结构,通过实验加深学生对基本概念的掌握,通过自学有关章节锻炼学生对问题的归纳、综合能力,通过习题培养学生分析问题、解决问题的能力,通过课程设计或毕业设计实现学生对液压传动知识的综合运用等,都须作好安排。

本书是“液压传动及控制”编审小组推荐的机制专业教科书,它也可作为其它有关专业的主要参考书。

本书由南京工学院章宏甲、上海工业大学黄谊主编,西安交通大学林廷圻主审。参加编写工作的有章宏甲、黄谊、杨林森、王积伟、唐光伟、姚有若、陆丕德等人。由于水平限制,教材中难免有失误、差错或不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者
1986年8月

主要符号表

A ——面积	r ——半径
a ——加速度	s ——拉氏算子
B ——阻尼系数	T ——转矩; 周期; 温度
b ——宽度	t ——温度; 时间
C ——液容; 定常系数	u ——点速度
c ——冲击波传播速度	V ——体积; 容积
C_c ——截面收缩系数	v ——平均流速
C_d ——流量系数	w ——面积梯度
c_r ——半径间隙	$W(s)$ ——开环传递函数
C_v ——速度系数	x ——位移
D ——直径; 每弧度排量	Z ——齿轮齿数; 叶片(或柱塞)数
d ——直径	z ——高度
E ——能量; 弹性模量	α ——动能修正系数
$^{\circ}E$ ——恩氏粘度	β ——动量修正系数
e ——偏心距; 误差量	β_r ——膨胀系数
F ——作用力	Δ ——开口量; 粗糙度
f ——摩擦系数	δ ——壁厚
$G(s)$ ——环节传递函数	ϵ ——相对偏心量
g ——重力加速度	ζ ——阻尼比; 局部阻力系数
h ——深度; 单位能量损失	η ——效率; 粘度
I ——动量	θ ——角度
i ——杠杆比; 电流	κ ——体积压缩系数
J ——惯性矩	λ ——导热系数; 沿程阻力系数
K ——液体体积模量; 放大系数	ν ——运动粘度
k ——系数; 刚度	ρ ——密度
l ——长度	σ ——流量脉动率; 应力
M ——质量	τ ——切应力
m ——质量; 齿轮模数	$\Phi(s)$ ——闭环传递函数
n ——指数; 安全系数	φ 、 ϕ ——节流阀指数; 角度
P ——功率	χ ——湿周
p ——压力	ψ ——柔性系数; 末端系数
Q ——流量	Ω ——角速度
q ——排量	ω ——角频率
R ——半径; 水力半径; 调节范围; 液阻	主要下角标
Re ——雷诺数	C ——系统

L ——负载
 l ——泄漏
 M ——液压马达
 m ——机械
 P ——泵
 Q ——流量
 s ——弹簧
 T ——节流阀, 管道

t ——理论
 V ——阀, 容积
 v ——速度
 0 ——零位
 如 K_{Q0} 表示零位流量放大系数, p_p 表示
 泵输出压力;
 Q_t 表示理论流量; η_{mM} 表示液压马达机
 械效率等

目 录

主要符号表

第一章 绪论 1

§ 1-1 液压传动发展概况 1

§ 1-2 液压传动的工作原理及其
组成部分 1

一、液压传动的工作原理 1

二、液压传动的组成部分 2

三、液压系统图的图形符号 2

§ 1-3 液压传动的优缺点 3

§ 1-4 液压传动在机械工业中的应用 4

第二章 液压油 6

§ 2-1 液压油的特性和选择 6

一、液压油的种类 6

二、液压油的性质 7

三、对液压油的要求 9

四、液压油的选择 9

§ 2-2 液压油的污染和防污 10

一、污染的危害 10

二、污染的原因 10

三、污染的测定 10

四、防止污染的措施 11

习题 12

第三章 液压流体力学基础 14

§ 3-1 液体静力学 14

一、压力及其性质 14

二、重力作用下静止液体中的压力分布 14

三、压力的表示方法及单位 15

四、帕斯卡原理 15

五、液体静压力作用在固体壁面上的力 16

§ 3-2 液体动力学 16

一、基本概念 17

二、连续方程 18

三、伯努利方程 19

四、动量方程 22

§ 3-3 管道中液流的特性 24

一、流态、雷诺数 24

二、圆管层流 25

三、圆管紊流 26

四、压力损失 27

§ 3-4 孔口和缝隙液流 31

一、薄壁小孔 31

二、短孔和细长孔 32

三、缝隙液流 33

§ 3-5 空穴现象 37

一、空气分离压和饱和蒸气压 37

二、节流口处的空穴现象 37

三、减小空穴现象的措施 38

§ 3-6 液压冲击 38

一、产生液压冲击的原因和危害性 38

二、液体突然停止运动时产生的
液压冲击 40

三、运动部件制动时产生的液压冲击 41

习题 41

第四章 液压泵和液压马达 44

§ 4-1 概述 44

一、作用和分类 44

二、压力、排量和流量 44

三、功率和效率 44

§ 4-2 齿轮泵 46

一、外啮合齿轮泵的工作原理 46

二、排量计算和流量脉动 46

三、外啮合齿轮泵的结构特点和优缺点 47

四、提高外啮合齿轮泵压力的措施 48

五、螺杆泵和内啮合齿轮泵 48

§ 4-3 叶片泵 49

一、单作用叶片泵 50

二、双作用叶片泵 51

三、限压式变量叶片泵 53

§ 4-4 柱塞泵 56

一、轴向柱塞泵 56

二、径向柱塞泵 56

§ 4-5 液压马达 57

一、工作原理 57

二、主要参数 58

§ 4-6 液压泵的噪声 58

一、产生噪声的原因 58

二、降低噪声的措施.....59	第七章 辅助装置103
§ 4-7 各类液压泵的选用59	§ 7-1 蓄能器.....103
习题.....59	一、功用和分类103
第五章 液压缸61	二、容量计算103
§ 5-1 液压缸的类型和特点61	三、使用 and 安装106
一、活塞缸.....61	§ 7-2 滤油器.....106
二、柱塞缸.....63	一、功用和类型106
三、摆动缸.....63	二、选用和安装108
四、其它液压缸.....63	§ 7-3 油箱.....110
§ 5-2 液压缸的典型结构和组成65	一、功用和结构110
一、液压缸的典型结构举例.....65	二、设计时的注意事项110
二、液压缸的组成.....65	§ 7-4 热交换器.....111
§ 5-3 液压缸的设计和计算70	一、冷却器111
一、液压缸设计中应注意的问题.....70	二、加热器112
二、液压缸主要尺寸的确定.....70	§ 7-5 密封装置.....112
三、强度校核.....70	一、功用和要求112
四、稳定性校核.....71	二、种类和特点112
五、缓冲计算.....71	三、选择和使用114
习题.....73	§ 7-6 管件.....114
第六章 液压阀74	一、油管114
§ 6-1 概述74	二、管接头115
一、液压阀的分类.....74	习题116
二、对液压阀的基本要求.....74	第八章 调速回路117
§ 6-2 滑阀的液动力和卡紧力75	§ 8-1 节流调速回路.....117
一、液动力.....75	一、定压式节流调速回路117
二、卡紧力.....76	二、变压式节流调速回路121
§ 6-3 方向控制阀78	三、节流调速回路工作性能的改进122
一、单向阀.....78	§ 8-2 容积调速回路.....122
二、换向阀.....79	一、泵—缸式容积调速回路123
§ 6-4 压力控制阀85	二、泵—马达式容积调速回路125
一、溢流阀.....85	§ 8-3 容积节流调速回路.....126
二、减压阀.....88	一、定压式容积节流调速回路126
三、顺序阀.....90	二、变压式容积节流调速回路127
四、压力继电器.....90	§ 8-4 各种调速回路的比较和选用.....127
§ 6-5 流量控制阀92	一、调速回路的比较127
一、普通节流阀.....92	二、调速回路的选用128
二、调速阀.....93	习题128
三、溢流节流阀.....95	第九章 其它基本回路131
§ 6-6 比例阀和插装式锥阀96	§ 9-1 压力控制回路.....131
一、比例阀.....96	一、调压回路131
二、插装式锥阀.....97	二、减压回路131
习题100	三、卸荷回路131

四、平衡回路	132	三、液压缸主要参数的确定	160
五、保压回路	132	四、液压系统图的拟定	160
§ 9-2 快速运动和速度换接回路	133	五、液压元件的选择	163
一、快速运动回路	133	六、液压系统的性能验算	165
二、速度换接回路	134	习题	166
§ 9-3 往复运动的换向回路	136	第十二章 液压元件和系统的	
§ 9-4 多缸工作回路	138	动态特性分析	169
一、顺序动作回路	138	§ 12-1 限压式变量叶片泵的动态特性	169
二、同步回路	138	§ 12-2 带管道的溢流阀的动态特性	170
三、多缸快慢速互不干扰回路	139	§ 12-3 带管道的液压缸的动态特性	173
习题	141	§ 12-4 “液压泵—蓄能器”组合的	
第十章 典型液压系统	144	动态特性	176
§ 10-1 组合机床动力滑台液压系统	144	习题	178
§ 10-2 外圆磨床液压系统	146	第十三章 液压伺服系统	181
§ 10-3 压力机液压系统	149	§ 13-1 液压伺服系统概述	181
习题	152	一、液压伺服系统的工作原理	181
第十一章 机床液压系统的		二、液压伺服系统的特点	182
设计和计算	154	三、液压伺服系统的分类	182
§ 11-1 液压系统的设计原则和依据	154	§ 13-2 典型的液压控制元件和系统	183
§ 11-2 主要参数的确定	155	一、典型的液压控制元件	183
§ 11-3 液压系统图的拟订和液压元件的		二、典型的液压伺服系统	185
计算及选择	156	§ 13-3 阀控缸系统的理论分析	187
一、液压系统图的拟订	156	一、伺服阀的特性	187
二、液压元件的计算和选择	157	二、系统的特性	190
§ 11-4 液压系统的性能验算	158	§ 13-4 电液伺服阀	193
§ 11-5 液压系统设计计算举例	158	习题	195
一、负载分析	158	参考文献	196
二、负载图和速度图的绘制	159		

第一章 绪 论

§ 1-1 液压传动发展概况

液压传动相对于机械传动来说，是一门新的技术。如果从十七世纪中叶巴斯卡提出静压传递原理、十八世纪末英国制成世界上第一台水压机算起，液压传动已有二、三百年的历史。然而，液压传动的真正推广使用却只是最近三、四十年的事。

十九世纪末，德国制成了液压龙门刨床，美国制成了液压六角车床和磨床。由于没有成熟的液压元件，一些通用机床直到本世纪30年代才开始采用液压传动，而且仍很不普遍。第二次世界大战期间，某些兵器用上了反应快、动作准、功率大的液压传动装置，推动了液压技术的发展。战后，液压技术迅速转向民用，在机床、工程机械、农业机械、汽车等行业中逐步推广。本世纪60年代以后，随着原子能、空间技术、计算机技术等的发展，液压技术得到了很大发展，渗透到国民经济的各个领域中去。当前，液压技术正向高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化等方向发展；同时，新的液压元件和液压系统的计算机辅助设计、计算机仿真和优化、微机控制等工作，也日益取得显著的成果。

我国的液压工业开始于本世纪50年代，其产品最初应用于机床和锻压设备，后来又用于拖拉机和工程机械。自1964年从国外引进一些液压元件生产技术，同时进行自行设计液压产品以来，我国的液压件生产已从低压到高压形成系列，并在各种机械设备上得到了广泛的使用。

§ 1-2 液压传动的工作原理及其组成部分

一、液压传动的工作原理

图 1-1 示一种驱动机床工作台的液压系统，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组成。它的工作原理如下：液压泵由电动机带动旋转后，从油箱中吸油。油液经滤油器进入液压泵，当它从泵中输出进入压力管后，在图 1-1 a 所示的状态下，通过开停阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔，推动活塞和工作台向右移动。这时，液压缸右腔的油经换向阀和回油管①排回油箱。

如果将换向阀手柄转换成图 1-1 b 所示的状态，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，推动活塞和工作台向左移动，并使液压缸左腔的油经换向阀和回油管①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，进入液压缸的油液增多，工作台的移动速度增大；当节流阀关小时，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。系统中输入液压缸的油液是通过节流阀调节的，泵所输出的多余的油液须经溢流阀和

回油管②排回油箱，这只有在压力支管中的油液压力对溢流阀钢球的作用力等于或略大于溢流阀中弹簧的预压力时，油液才能顶开溢流阀中的钢球流回油箱。所以，在图示系统中液压泵出口处的油液压力是由溢流阀决定的，它和缸中的油液压力不一样大。

如果将开停手柄转换成图 1-1 c 所示的状态，压力管中的油液将经开停阀和回油管③排回油箱，不输到液压缸中去，这时工作台就停止运动。

从上面这个简单的例子中可以看到：

1) 液压传动是以液体作为工作介质来传递能量的。

2) 液压传动用液体的压力能来传递动力，它与利用液体动能的液力传动是不相同的。

3) 液压传动中的工作介质是在受控制、受调节的状态下进行工作的，因此液压传动和液压控制常常难以截然分开。

二、液压传动的组成部分

液压传动装置主要由以下四部分组成：

1) 能源装置——把机械能转换成油液液压能的装置。最常见的形式就是液压泵，它给液压系统提供压力油。

2) 执行装置——把油液的液压能转换成机械能的装置。它可以是作直线运动的液压缸，也可以是作回转运动的液压马达。

3) 控制调节装置——对系统中油液压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置。例如上例中的溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等。这些元件的不同组合形成了不同功能的液压系统。

4) 辅助装置——上述三部分以外的其它装置，例如上例中的油箱、滤油器、油管等。它们对保证系统正常工作也有重要作用。

三、液压系统图的图形符号

图 1-1 a 所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理图，它的直观性强，容易理解，但绘制起来比较麻烦，系统中元件数量多时更是如此。图 1-2 示同一个液压系统用 GB786-76 液压及气动图形符号绘制成的工作原理图。使用这些图形符号可使液压系统图简单明了，便

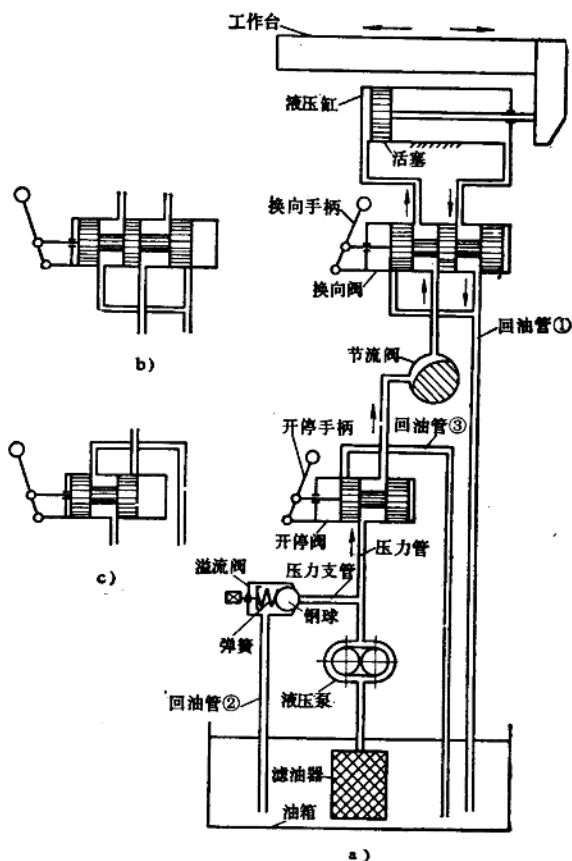


图 1-1 机床工作台液压系统的工作原理图

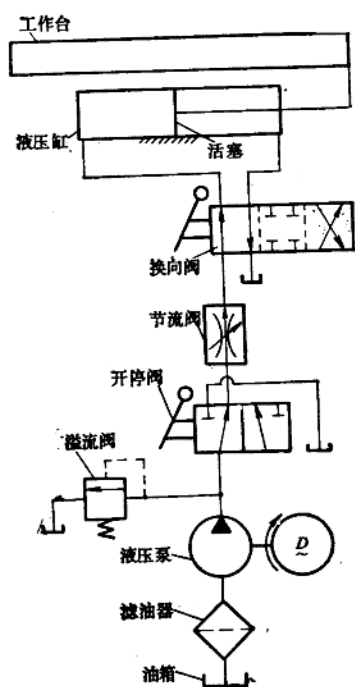


图1-2 机床工作台液压系统的图形符号图

于绘制。有些液压元件的职能如果无法用这些符号表达时，仍可采用它的结构示意图形式。

§ 1-3 液压传动的优缺点

液压传动有以下一些优点：

1) 在同等的体积下，液压装置能比电气装置产生出更大的动力，因为液压系统中的压力可以比电枢磁场中的磁力大30~40倍。在同等功率的情况下，液压装置的体积小，重量轻，结构紧凑。液压马达的体积和重量只有同等功率电动机的12%左右。

2) 液压装置的工作比较平稳。液压装置由于重量轻，惯性小，反应快，易于实现快速启动、制动和频繁的换向。液压装置的换向频率，在实现往复回转运动时可达每分钟500次，实现往复直线运动时可达每分钟1000次。

3) 液压装置能在大范围内实现无级调速（调速范围可达1:2000），还可以在液压装置运行的过程中进行调速。

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在一起使用时，能实现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。液压件能自行润滑，因此使用寿命较长。

6) 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、制造和使用都

比较方便。液压元件的排列布置也具有较大的机动性。

7) 用液压传动来实现直线运动远比用机械传动简单。

液压传动的缺点是:

1) 液压传动不能保证严格的传动比, 这是由液压油的可压缩性和泄漏等因素造成的。

2) 液压传动在工作过程中常有较多的能量损失(摩擦损失、泄漏损失等), 用作远距离传动时更是如此。

3) 液压传动对油温的变化比较敏感, 它的工作稳定性很易受到温度的影响, 因此它不宜在很高或很低的温度条件下工作。

4) 为了减少泄漏, 液压元件在制造精度上的要求都较高, 因此它的造价较贵, 而且对油液的污染比较敏感。

5) 液压传动要求有单独的能源。

6) 液压传动出现故障时不易找出原因。

总的说来, 液压传动的优点是突出的, 它的缺点将随着科学技术的发展而逐渐得到克服。

§ 1-4 液压传动在机械工业中的应用

机械工业各部门应用液压传动的出发点是不尽相同的: 例如, 工程机械、压力机械和航空工业采用液压传动的主要原因是取其结构简单, 体积小, 重量轻, 输出力大; 机床上采用液压传动是取其能在工作过程中实现无级变速, 易于实现频繁的换向, 易于实现自动化; 等等。

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可以采用液压传动。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保持恒定, 有的要求有良好的换向性能等等。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和标准丝杠校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, 采用液压传动后, 有利于简化机床结构, 提高机床自动化程度。

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。

液压传动在其它机械工业部门的应用情况见表 1-1 所示。

表1-1 液压传动在各类机械行业中的应用

行业名称	应 用 场 所 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、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	电炉炉顶及电极升降机、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、汽车中的转向器、减振器等

第二章 液 压 油

在液压系统中，液压油是传递动力和信号的工作介质。同时，它还起到润滑、冷却和防锈的作用。液压系统能否可靠有效地工作，在很大程度上取决于系统中所用的液压油。因此，在讨论液压系统之前，必须先对液压油有一清晰的了解。

§ 2-1 液压油的特性和选择

一、液压油的种类

液压系统中使用液压油的种类如表 2-1 所示。

矿油型液压油以机械油为原料，精炼后按需要加入适当添加剂而成。这种液压油润滑性好，但抗燃性差。

目前，我国在液压系统中仍大量采用机械油、汽轮机油。机械油是一种工业用润滑油，价格虽较低，但物理化学性能较差，使用时易生粘稠胶质，堵塞元件，影响系统的性能。压力越高，问题越严重。因此，只有在压力较低时和要求较低时才可应用。汽轮机油虽经精炼并加有某些添加剂，但这种油的使用有其针对性。

在合成型液压油中，磷酸酯型的润滑性可和矿油型液压油相比，但有毒，价格也较贵。

乳化型液压油原有油包水 (W/O) 型和水包油 (O/W) 型两种，前者含油 60% 左右，润滑性较好；后者含油 5~10% 左右，润滑性差。

近年来我国研制成了一整套液压油系列，主要有：通用液压油 (N32*、N46*、N68*、N32G*、N46G* 和 N68G*)、抗磨液压油 (N32*、N46*、N68*、N100*、N150* 和 N68K*)、低温液压油 (N15*、N32*、N46*、N68* 和 N46D*) 和抗燃液压油 (3*磷酸酯和 4*磷酸酯)。

国外在七十年代初发展起来的高水基液压油 (HWBF) 现在已演变到第三代。第一代是可溶性油，由 5% 的可溶性油和 95% 的水制成，即原始的水包油型乳化液。第二代是合成溶液，不含油，由无色透明的合成溶液和水按 5:95 的比例配制而成。第三代是微型乳化液，它既不是乳化液，也不是溶液，而是一种在 95% 水相中均匀地扩散着的水溶性抗磨添加剂的胶状

表 2-1 液压油种类

工业 液 压 油	矿 油 型	机械油	
		汽轮机油	
		通用液压油	
		专用 液 压 油	抗磨液压油
			低温液压油
			清净液压油
			高粘度指数液压油
	难 燃 型	合成 型	水—二元醇基液压油
			磷酸酯基液压油
		乳化型(水乳化液)	
		高水 基 型	可溶性油
			合成溶液
			微型乳化液

悬浮液。

二、液压油的性质

液压油的一些基本性质可在有关的资料中查到,例如,矿油型液压油在15℃时的密度为900kg/m³左右,且在实用中可认为不受温度和压力的影响;体积膨胀系数和比热分别为(6.3~7.8)×10⁻⁴K⁻¹和(1.7~2.1)×10³J/(kg·K);等等。在液压技术中,液压油最重要的性质是它的可压缩性和粘性。

1. 可压缩性

压力为 p ,时体积为 V_0 的液体,当压力增大 Δp 时,由于液体的可压缩性,体积要减小 ΔV 。液体的可压缩性用体积压缩系数 κ ,即在单位压力变化下的体积相对变化量来表示。

$$\kappa = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V_0} \quad (2-1)$$

由于压力增大时液体的体积减小,因此上式右边须加一负号,以使 κ 成为正值。

液体体积压缩系数的倒数,称为体积弹性模量 K ,简称体积模量。即 $K = 1/\kappa$ 。表2-2示各种液压油的体积模量。由表中矿油型液压油体积模量的数值可知,它的可压缩性是钢的100~150倍。

液压油的体积模量和温度、压力有关:温度增大时, K 值减小,在液压油正常的工作范围内, K 值会有5~25%的变化;压力增大时, K 值增大,但这种变化不呈线性关系,当 $p \geq 30 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时, K 值基本上不再增大。液压油中如混有气泡时, K 值将大大减小。

封闭在容器内的液体在外力作用下的情况极象一根弹簧:外力增大,体积减小;外力减小,体积增大。这种弹簧的刚度 k_k 在液体承压面积 A 不变时(图2-1),可以通过压力变化 $\Delta p = \Delta F/A$,体积变化 $\Delta V = A\Delta l$ (Δl 为液柱长度变化),和式(2-1)求出,即

$$k_k = -\frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{A^2 K}{V} \quad (2-2)$$

液压油的可压缩性对在动态下工作的液压系统来说影响极大;但当液压系统在静态(稳态)下工作时,一般可以不予考虑。

2. 粘性

液体在外力作用下流动(或有流动趋势)时,分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动而产生一种内摩擦力,这种现象叫做液体的粘性。液体只在流动(或有流动趋势)时才会出现粘性,静止液体是不呈现粘性的。

粘性使流动液体内部各处的速度不相等,以图2-2为例,若两平行平板间充满液体,下平板不动,而上平板以速度 u_0 向右平动。由于液体的粘性,紧靠着下平板的液体层速度为零,紧靠着上平板的液体层速度为 u_0 ,而中间的各层液体速度视它与下平板间距离的大小按曲线规律或线性规律变化。

实验测定指出,液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F ,与液层接触面积 A 、液层间的速度

表2-2 各种液压油的体积模量
(20℃, 大气压)

液压油种类	$K (\text{N/m}^2)$
矿油型	$(1.4 \sim 2.0) \times 10^9$
水—二元醇基	3.15×10^9
W/O型	1.95×10^9
磷酸酯型	2.65×10^9

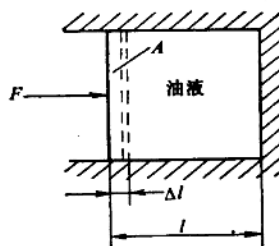


图2-1 油液弹簧的刚度计算简图

梯度 du/dy 成正比, 即

$$F_f = \eta A \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

式中 η 为比例常数, 称为粘性系数或粘度。如以 τ 表示切应力, 即单位面积上的内摩擦力, 则

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

这就是牛顿的液体内摩擦定律。

由上可知, 液体的粘度是指它在单位速度梯度下流动时单位面积上产生的内摩擦力。粘度是衡量液体粘性的指标。这里的粘度 η 又称绝对粘度, 或动力粘度, 它的法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$, 以前沿用的单位为 P (泊, $\text{dyne} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$), $1 \text{Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{P} = 10^3 \text{cP}$ (厘泊)。

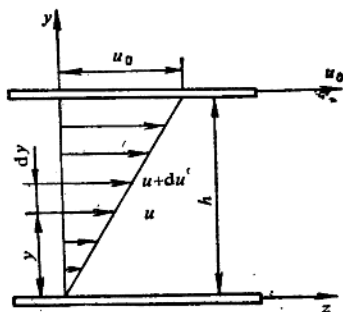


图2-2 液体粘性示意图

液体动力粘度与其密度的比值, 称为液体的运动粘度 ν , 即 $\nu = \eta / \rho$ 。运动粘度的法定计量单位为 m^2 / s , 以前沿用的单位为 St (施), $1 \text{m}^2 / \text{s} = 10^4 \text{St} = 10^6 \text{cSt}$ (厘施)。就物理意义来说, ν 不是一个粘度的量, 但习惯上常用它来标志液体粘度, 例如机械油的牌号就是用机械油在 50°C 时运动粘度 ν (以 m^2 / s 计) 的平均值来标志的。

液体粘度的测定, 在工程上常用测出液体“相对粘度”, 然后再根据关系式换算出动力粘度或运动粘度的方法。相对粘度又称条件粘度, 是根据一定的测量条件制定的。我国、德国、苏联等都采用恩氏粘度 $^\circ\text{E}$, 美国用赛氏粘度 SSU , 英国用雷氏粘度 R , 等等。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定, 即将 200mL 温度为 $t^\circ\text{C}$ 的被测液体装入粘度计的容器内, 由其下部直径为 2.8mm 的小孔流出, 测出液体流尽所需的时间 $t_1 (\text{s})$, 再测出 200mL 温度为 20°C 的蒸馏水在同一粘度计中流尽所需的时间 $t_2 (\text{s})$; 这两个时间的比值即为被测液体在 $t^\circ\text{C}$ 下的恩氏粘度: $^\circ\text{E}_t = t_1 / t_2$ 。一般以 20°C 、 50°C 及 100°C 作为测定液体粘度的标准温度, 由此而得来的恩氏粘度分别用 $^\circ\text{E}_{20}$ 、 $^\circ\text{E}_{50}$ 和 $^\circ\text{E}_{100}$ 标记。

恩氏粘度与运动粘度间的换算关系式为

$$\nu = \left(7.31^\circ\text{E} - \frac{6.31}{^\circ\text{E}} \right) \times 10^{-6} \quad (\text{m}^2 / \text{s}) \quad (2-5)$$

液体的粘度也可用旋转粘度计测定。

液体的粘度随液体的压力和温度而变。对液压油来说, 压力增大时, 粘度增大。但在机床液压系统使用的压力范围内, 压力增大时, 粘度增大的数值很小, 可以忽略不计。液压油粘度对温度的变化十分敏感: 温度升高, 粘度下降。这从图2-3所示一些原有国产液压油的粘度—温度曲线中可以看出。

3. 其它性质

液压油还有其它一些性质, 如稳定性 (热稳定性、氧化稳定性、水解稳定性、剪切稳定性等)、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性以及相容性 (标志它和密封材料、涂料等起作用的程度) 等, 都对它的选择和使用有重要影响。这些性质的含义较为明显, 不再多作解

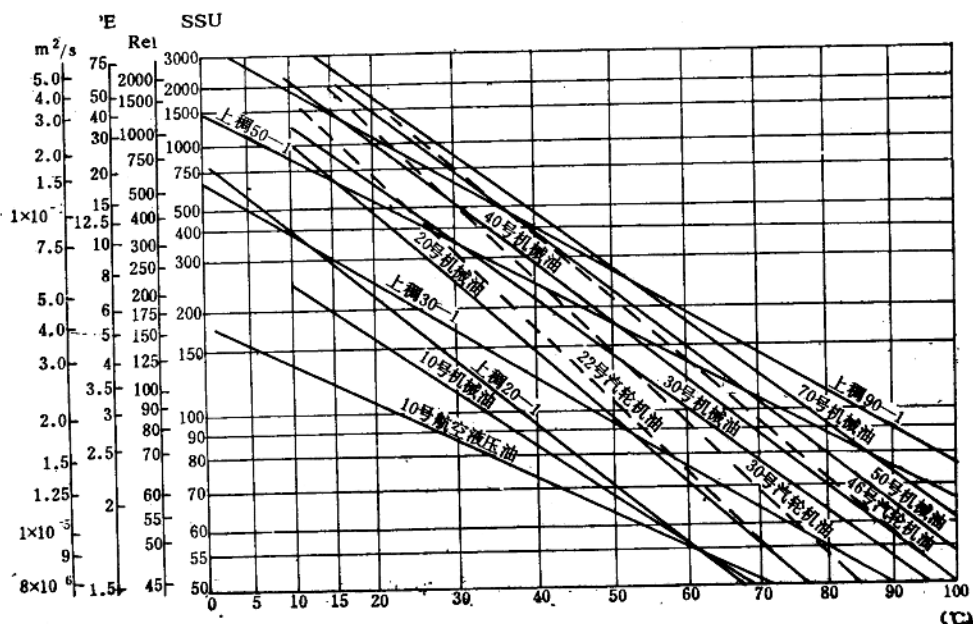


图2-3 几种国产液压油的粘度—温度曲线

降。

三、对液压油的要求

为了很好地传递运动和动力，机床液压系统使用的液压油应具备如下性能：

- 1) 合适的粘度， $\nu = (11.5 \sim 41.3) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 或 $2 \sim 5.8^\circ \text{E}_{50}$ ，较好的粘温特性；
- 2) 润滑性能好；
- 3) 质地纯净，杂质少；
- 4) 对金属和密封件有良好的相容性；
- 5) 对热、氧化、水解和剪切都有良好的稳定性；
- 6) 抗泡沫性好，抗乳化性

好，腐蚀性小，防锈性好；

- 7) 体积膨胀系数低，比热高；

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

- 9) 对人体无害、成本低。

四、液压油的选择

在机床液压系统中，目前使用

最多的是矿油型液压油。选用液压油时最先考虑的是它的粘度（粘度既影响泄漏，亦影响功率损失），同时再兼顾其它方面。选择时应注意的事项如下：

表2-3 各类液压泵的粘度适用范围

$\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (50°C) 环境温度		14~38°C	38~80°C
液压泵类型			
齿 轮 泵		18~38	36~80
叶片泵	$P < 70 \times 10^5 \text{ Pa}$	18~27	25~42
	$P \geq 70 \times 10^5 \text{ Pa}$	32~38	36~53
柱 塞 泵		18~38	36~110