

普通高等教育“十三五”规划教材

液压传动

HYDRAULIC TRANSMISSION

第3版

东南大学 王积伟 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

液压传动

第3版

主 编 王积伟
参 编 王晓卫 常 春 刘林宝
主 审 林廷圻

常州大学图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书是普通高等学校机械工程及自动化专业本科生教材,也适用于机械类其他专业。

全书共12章:第一章~第三章介绍了液压传动的理论基础,第四章~第七章介绍了液压元件的作用原理、性能和用途,第八章~第十一章介绍了典型液压回路、典型液压系统和液压系统的设计步骤和方法,第十二章介绍了液压元件和系统的动态特性。每章都有习题,书末附有习题参考答案。

本书在以下几点与同类型教材有所不同:专门设立了“液压液”一章;把传统的“开关型”系统及其有关元件与“调节型”系统及其有关元件有机地综合在一起,揭示出它们之间的共性和本质;凸显密封的重要性,并对液压技术中的节能、降噪、治污等问题有所阐述;详细分析了液压元件、回路和系统的动态特性;全书在选材上特别注重创新能力的培养。同时,可选择《液压与气压传动习题集》(王积伟主编,机械工业出版社出版,书号为978-7-111-18213-9)配套使用,该习题集包括了本书中的大部分课后习题,以及对重点、难点习题的详细解答过程,对学习液压传动会起到很大的帮助作用。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动/王积伟主编。—3版。—北京:机械工业出版社,2018.1

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-58285-4

I. ①液… II. ①王… III. ①液压传动系统-高等学校-教材

IV. ①TH137

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第253778号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:冯春生 责任编辑:冯春生 章承林 责任校对:张晓蓉

封面设计:张静 责任印制:张博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2018年1月第3版第1次印刷

184mm×260mm·19印张·452千字

标准书号:ISBN 978-7-111-58285-4

定价:48.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第3版前言

液压传动理论与工程是动力传动理论与工程的一个重要分支。近年来，液压技术在航空航天、军工、船舶、工程机械、车辆工程等领域得到了越来越广泛的应用，已经成为自动化生产中不可或缺的先进科学技术之一。随之而来的是对液压产品的性能和品质也提出了更高的要求。因此，作为理论基础的液压传动理论必须有相应的与时俱进的创新。

本书是由《金属切削机床液压传动》《机床液压传动》《液压传动》《液压传动》（第2版）等书发展而来的，历经了近40年的不断修订、不断完善和精益求精的过程。每本书的出版都得到了广大读者的认可，被众多高校选作大学本科或专科的教材，也常被工程技术人员用作参考书。《液压传动》（第2版）自2006年出版以来，已累计重印22次。

以上成绩的取得，首先要感谢本书的奠基人章宏甲先生和黄谊先生，他们早在20世纪70年代末，为了普及和推广液压传动和控制技术，在全国范围内举办学习班，并及时编写相应教材，为之不遗余力，率先垂范，为本书的日后发展打下了非常扎实的基础。同时，也要感谢机械工业出版社及其诸位编审和编辑的大力支持和协助。

为了保持和发扬优良传统，使之日趋完善，对本书适时修订是必须的。本次修订工作注重理论性、系统性、实用性的有机统一，并考虑读者（尤其是授课教师）的使用习惯，保持原有架构不变，体系上只做微调，增减了部分内容，对个别疏漏做了校正。全书采用最新国家标准和国际标准。书中插图按GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第1部分：用于常规用途和数据处理的图形符号》全部重新绘制。

本次修订工作由王积伟主持完成。西安交通大学林廷圻教授审阅了本书，提出了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心感谢。

由于水平所限，本书仍难免存在缺点和疏漏，恳请广大读者批评指正。

作者
于北京

第2版前言

本书第1版自1992年出版以来,受到同行的普遍认同,被众多高等院校所选用,先后重印17次,产生了良好的社会效益和经济效益。

但是,十几年来液压传动和控制技术进步很快,与微电子和计算机技术的结合更加密切,应用领域不断扩大;与此同时,教育和教学改革深入展开,对教材的要求越来越高。因此,在当前我国经济、科技和教育迅速发展的背景下,对本书进行必要的修订是适时的。这次修订工作体现在以下几个方面:

- 1) 尽量保持原有特色和风格,教材的框架结构和章节体系基本不变。
- 2) 删除一些陈旧的内容,增添了新型液压元件和密封件。
- 3) 对第十章典型液压系统进行调整和补充,适量加重了比例控制和数字控制等方面的内容,以拓宽读者视野,提升创新能力。
- 4) 对第十二章液压元件和系统的动态特性分析的内容有所补充,增加了节流调速和容积调速回路的动态特性分析,使该章更趋完整。
- 5) 改变本书第1版没有习题的状况,每章都配有经过精选的习题,书末附有习题参考答案,以方便读者使用。
- 6) 对书中插图进行全面整理,使图形符号完全符合最新国家标准 GB/T 786.1—2001 的规定。

东南大学王积伟主持本次修订工作。修订教材由王积伟、章宏甲、黄谊任主编,王晓卫、常春、刘林宝参加了本次修订,最后由王积伟定稿。

西安交通大学博士生导师林廷圻教授主审本书,提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心感谢。

由于时间和水平的限制,本书难免存在缺点和错误,恳切希望广大读者批评指正。

作者
于南京

第1版前言

近10年来,液压传动在防漏、治污、降噪、减振、节能和材质研究等各个方面都有长足的进步,它和电子技术的结合也由拼装、混合到整合,步步深入。时至今日,在尽可能小的空间内传出尽可能大的功率并加以精确控制这一点上,液压传动已稳居各种传动方式之首,无可替代。这种情况使液压传动的元件类型、油路结构、系统设计和制作工艺等都发生了深刻的变化,也改变了人们对它进行认识、分析和综合的方式方法。编者利用参加国际会议和旅居海外之便,收集了一些20世纪90年代的材料,并尽量把它引入到教材中去,以便更好地反映出这门技术的最新情况,避免对读者进行误导。但是考虑到这是一本教材,在教和学两方面都应该有它的连续性,而且不能脱离国内液压界的实际情况,因此在材料内容的选取和章节体系的变动上,反复斟酌,采取慎重的态度。

本书经机械制造工艺与设备专业教学指导委员会确定作为高等工业学校“八五”规划教材,并根据《机床液压传动》修改、编写。本书由章宏甲、黄谊编写,林廷圻参加审定。由于时间和水平的限制,书中难免存在缺点和错误,恳切希望广大读者批评指正。

编者

主要符号表

A ——面积	q ——流量
a ——加速度	R ——半径；水力半径；调节范围；液阻
B ——阻尼系数	Re ——雷诺数
b ——宽度	r ——半径
C ——液容；定常系数	s ——拉氏算子
c ——冲击波传播速度	T ——转矩；周期；温度
C_c ——截面收缩系数	t ——温度；时间
C_d ——流量系数	u ——点速度
C_r ——半径间隙	V ——体积；容积；几何排量（简称排量）
C_v ——速度系数	v ——平均流速
D ——直径；每弧度排量	w ——面积梯度
d ——直径；水力直径	$W(s)$ ——开环传递函数
E ——能量；弹性模量；过滤效率	x ——位移
$^{\circ}E$ ——恩氏黏度	z ——齿轮齿数；叶片（或柱塞）数
e ——偏心距；误差量	z ——高度
F ——作用力	α ——动能修正系数
f ——摩擦因数	β ——动量修正系数；过滤比
$G(s)$ ——环节传递函数	β_1 ——体胀系数
g ——重力加速度	Δ ——开口量；表面粗糙度
h ——深度；单位能量损失	δ ——壁厚
l ——动量	ε ——相对偏心量
i ——杠杆比；电流	ζ ——阻尼比；局部阻力系数
J ——惯性矩	η ——效率
K ——液体体积弹性模量；放大系数	θ ——角度
k ——系数；刚度	κ ——液体压缩率
l ——长度	λ ——导热系数；沿程阻力系数
m ——质量；齿轮模数	μ ——泊松比；绝对黏度（动力黏度）
N ——颗粒浓度	ν ——运动黏度
n ——指数；安全系数	ξ ——压力负载系数；经验数据
P ——功率；螺距	ρ ——密度
p ——压力	σ ——流量脉动率；应力



τ ——切应力
 $\Phi(s)$ ——闭环传递函数
 φ 、 ϕ ——节流阀指数、角度
 χ ——湿周
 ψ ——柔性系数；末端系数
 ω ——角速度；角频率

主要下角标

C——回路
 H——水力
 L——负载
 l——泄漏
 M——液压马达
 m——机械

P——液压泵
 q ——流量
 s——弹簧
 T——节流阀；管道
 t——几何
 V——阀
 V ——容积
 v ——速度
 0——零位

如 K_{q0} 表示零位流量放大系数； p_p 表示液压泵输出压力； q_t 表示几何流量； η_{mM} 表示液压马达机械效率等



目 录

第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
主要符号表	
第一章 绪论	1
第一节 液压传动发展概况	1
第二节 液压传动的工作原理及其组成部分	2
一、液压传动的工作原理	2
二、液压传动的组成部分	3
三、液压系统图的图形符号	3
第三节 液压传动的控制方式	4
第四节 液压传动的特点	6
第五节 液压传动在机械工业中的应用	6
习题	7
第二章 液压液	9
第一节 液压液的特性和选择	9
一、液压液的分类	9
二、液压液的物理性质	10
三、对液压液的要求	14
四、液压液的选择和使用	14
第二节 液压液的污染及其控制	16
一、污染物的种类及危害	17
二、污染的原因	17
三、污染的测定	17
四、污染的等级	18
五、液压液的污染控制	19
习题	20
第三章 液压流体力学基础	22
第一节 液体静力学	22
一、压力及其性质	22
二、重力作用下静止液体中的压力分布	22
三、压力的表示方法及单位	23
四、帕斯卡原理	24
五、静压力对固体壁面的作用力	24
第二节 液体动力学	26
一、基本概念	26
二、连续方程	28
三、能量方程	29
四、动量方程	32
第三节 管道中液流的特性	34
一、流态与雷诺数	34
二、圆管层流	36
三、圆管湍流	37
四、压力损失	37
第四节 孔口和缝隙液流	42
一、薄壁小孔	42
二、短孔和细长孔	45
三、缝隙液流	46
第五节 气穴现象	50
一、空气分离压和饱和蒸气压	50
二、节流口处的气穴现象	51
三、减小气穴现象的措施	52
第六节 液压冲击	52
一、管内液流速度突变引起的液压冲击	52
二、运动部件制动所产生的液压冲击	54
三、减小液压冲击的措施	54
习题	55
第四章 液压泵和液压马达	61
第一节 概述	61
一、作用和分类	61



二、压力、排量和流量	61	一、液压阀的作用	103
三、功率和效率	62	二、液压阀的分类	103
第二节 齿轮泵	64	三、对液压阀的基本要求	104
一、外啮合齿轮泵的工作原理	64	第二节 液压阀上的共性问题	104
二、排量计算和流量脉动	64	一、阀口形式	104
三、外啮合齿轮泵的结构特点和优缺点	65	二、液动力	105
四、提高外啮合齿轮泵压力的措施	66	三、卡紧力	107
五、螺杆泵和内啮合齿轮泵	66	四、阀的泄漏特性	109
第三节 叶片泵	68	第三节 方向控制阀	110
一、单作用叶片泵	68	一、单向阀	110
二、双作用叶片泵	69	二、换向阀	112
三、限压式变量叶片泵	70	三、多路换向阀	121
第四节 柱塞泵	73	第四节 压力控制阀	122
一、轴向柱塞泵	73	一、溢流阀	123
二、径向柱塞泵	76	二、减压阀	126
第五节 液压马达	77	三、顺序阀	129
一、工作原理	78	四、平衡阀	129
二、主要参数	79	五、压力继电器	130
第六节 摆动液压马达	79	第五节 流量控制阀	131
第七节 液压泵中的气穴现象	80	一、普通节流阀	131
第八节 液压泵的噪声	82	二、调速阀	132
一、产生噪声的原因	82	三、旁通式调速阀	134
二、降低噪声的措施	82	第六节 电液伺服阀	135
第九节 液压泵的选用	82	一、电液伺服阀的工作原理	136
习题	83	二、常用的结构形式	137
第五章 液压缸	85	三、伺服阀的特性分析	139
第一节 液压缸的类型和特点	85	四、电液伺服阀的选用	143
一、活塞缸	85	第七节 电液比例阀	143
二、柱塞缸	87	一、概述	143
三、其他液压缸	88	二、比例阀的结构	144
第二节 液压缸的典型结构和组成	89	三、比例阀的特点	148
一、液压缸的典型结构举例	89	四、比例阀的选用	148
二、液压缸的组成	89	第八节 电液数字阀	148
第三节 液压缸的设计和计算	96	一、数字阀的结构	149
一、液压缸设计中应注意的问题	96	二、数字阀的使用	149
二、液压缸主要尺寸的确定	97	第九节 叠加阀和插装阀	151
三、强度校核	97	一、叠加阀	151
四、稳定性校核	98	二、插装阀	152
五、缓冲计算	99	习题	157
六、拉杆计算	100	第七章 辅助装置	162
习题	101	第一节 蓄能器	162
第六章 液压阀	103	一、功用和分类	162
第一节 概述	103	二、容积计算	164



三、使用和安装	165	第三节 快速运动回路和速度换接回路	199
第二节 过滤器	165	一、快速运动回路	199
一、功用和类型	165	二、速度换接回路	201
二、过滤器的主要性能指标	167	第四节 换向回路和锁紧回路	202
三、选用和安装	168	一、往复直线运动换向回路	202
第三节 油箱	169	二、锁紧回路	203
一、功用	169	第五节 多缸动作回路	203
二、结构	169	一、顺序动作回路	203
三、容量	170	二、同步回路	204
四、设计时的注意事项	170	三、多缸快慢速互不干扰回路	205
第四节 热交换器	171	四、多缸卸荷回路	206
一、冷却器	171	习题	207
二、加热器	172	第十章 典型液压系统	211
第五节 管件	173	第一节 组合机床动力滑台液压系统	211
一、管道	173	第二节 万能外圆磨床液压系统	213
二、管接头	174	第三节 液压机液压系统	216
习题	175	第四节 汽车起重机液压系统	220
第八章 调速回路	176	第五节 电液比例控制系统	223
第一节 概述	176	一、塑料注射成型机电液比例控制	
第二节 节流调速回路	176	系统	223
一、定压式节流调速回路	176	二、数控折弯机电液比例控制液压同步	
二、变压式节流调速回路	181	系统	226
三、节流调速回路工作性能的改进	183	第六节 电液伺服控制系统	227
第三节 容积调速回路	184	一、带钢张力电液伺服控制系统	228
一、泵-缸式容积调速回路	184	二、带钢跑偏电液伺服控制系统	228
二、泵-马达式容积调速回路	185	习题	230
第四节 容积节流调速回路	187	第十一章 液压系统的设计和计算	234
一、定压式容积节流调速回路	188	第一节 概述	234
二、变压式容积节流调速回路	189	第二节 液压传动系统的设计	234
第五节 三类调速回路的比较和选用	190	一、明确系统设计要 求	234
一、调速回路的比较	190	二、分析系统工况，确定主要参数	235
二、调速回路的选用	190	三、拟定液压系统原理图	237
习题	190	四、选择液压元件	237
第九章 其他基本回路	195	五、验算液压系统性能	238
第一节 概述	195	第三节 液压系统设计计算举例	239
第二节 压力回路	195	一、负载分析	239
一、调压回路	195	二、负载图和速度图的绘制	240
二、减压回路	196	三、液压缸主要参数的确定	240
三、增压回路	196	四、液压系统图的拟定	241
四、卸荷回路	197	五、液压元件的选择	243
五、平衡回路	197	六、液压系统性能的验算	246
六、保压回路	198	习题	248
七、卸压回路	198		



第十二章 液压元件和系统的动态特性

分析	249
第一节 限压式变量泵的动态特性	249
第二节 带管道的液压缸的动态特性	251
第三节 “液压泵-蓄能器”组合的动态特性	254
第四节 带管道的溢流阀的动态特性	256
第五节 进口节流调速回路的动态特性	258
第六节 变量泵-定量马达容积调速回路的动态特性	260
第七节 机-液位置伺服系统的动态特性	263
一、预开口量和线性化流量方程	263
二、动态流量连续方程	264
三、液压缸运动方程	264
四、阀控缸系统的传递函数	265
五、机-液位置伺服系统的框图和稳定性分析	265
六、稳态误差的分析	266
习题	267
附录	269
附录 A 典型局部阻力的阻力系数	269
附录 B 特殊阀口的形式及通流截面的计算公式	271
附录 C 习题参考答案	272
附录 D 常用液压传动图形符号 (摘自 GB/T 786.1—2009)	285
参考文献	290



第一章

绪论

第一节 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技术，但如果从 1650 年帕斯卡提出静压传递原理、1850 年英国开始将帕斯卡原理先后应用于液压起重机、压力机等算起，也已有二百年历史了。而液压传动在工业上的真正推广使用，则是 20 世纪中叶以后的事，至于它与微电子和计算机技术密切结合，得以在尽可能小的空间内传递出尽可能大的功率并加以精确控制，更是近几十年内才出现的。

早期的液压传动以水作为传动介质，近代液压传动是由 19 世纪崛起并蓬勃发展的石油工业推动起来的。最早实践成功用油代替水作为传动介质的液压传动装置是 1906 年应用于舰艇上的炮塔转位器，其后才出现了液压转塔车床和磨床。由于缺乏成熟的液压元件，一些通用机床到 20 世纪 30 年代才用上了液压传动，而且还因为各搞一套而无法进行经验交流。第二次世界大战期间，在一些兵器上用上了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置，它大大提高了兵器的性能，也大大促进了液压技术的发展。第二次世界大战后，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，各类元件的标准化、规格化、系列化在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业中推广开来。20 世纪 60 年代后，原子能技术、空间技术、计算机技术、微电子技术等的发展再次将液压技术推向前进，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，使它在国民经济的各方面都得到了应用。液压传动在某些领域内甚至已占有压倒性的优势，例如，国外生产的 95% 的工程机械、90% 的数控加工中心、95% 以上的自动线都采用了液压传动。因此采用液压传动的程度现在已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

当前，液压技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、经久耐用、高度集成化、微型化、智能化等各项要求方面都取得了重大的进展，在完善比例控制、伺服控制、数字控制等技术上也有许多新成就。此外，在液压元件和液压系统的计算机辅助设计、计算机仿真和优化以及计算机控制等开发性研究方面，更日益显示出显著的优点。

我国的液压工业开始于 20 世纪 50 年代，其产品最初只用于机床和锻压设备，后来才用到拖拉机和工程机械上。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，我国的液压元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应用。20 世纪 80 年代起更加速了对国外先进液压产品和技术有计划引进、消化、吸收和国产化工作，以确保我国的液压技术能在产品质量、经济效益、人才培养、研究开发



等各个方面全方位地赶上世界先进水平。

今天，为了和最新技术的发展保持同步，液压技术必须不断创新，不断地提高和改进元件和系统的性能，以满足日益变化的市场需求。液压技术的持续发展体现在如下一些比较重要的特征上：

- 1) 提高元件性能，创新新型元件，不断小型化和微型化。
- 2) 高度的组合化、集成化和模块化。
- 3) 和微电子技术相结合，走向智能化。
- 4) 研究和开发特殊传动介质，推进工作介质多元化。

第二节 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 所示为一种驱动机床工作台的液压系统，它由油箱 1、过滤器 2、液压泵 4、溢流阀 7、开停阀 9、节流阀 13、换向阀 15、液压缸 18 以及连接这些元件的油管组成。它的工

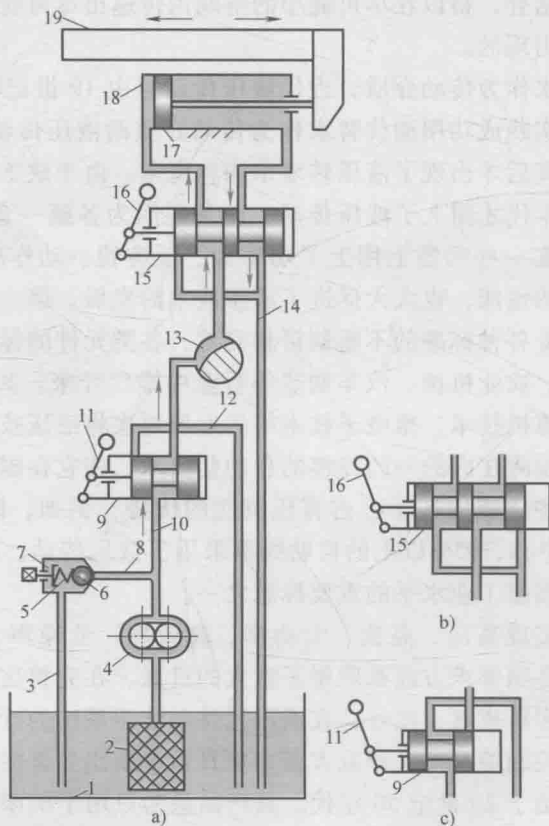


图 1-1 驱动机床工作台的液压系统

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

作原理如下：

液压泵 4 由电动机带动旋转后，从油箱 1 中吸油。油液经过滤器 2 进入液压泵，当它从泵中输出进入压力管 10 后，在图 1-1a 所示的状态下，通过开停阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 左腔，推动活塞 17 和工作台 19 向右移动。这时，液压缸 18 右腔的油经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。

如果将换向阀手柄 16 转换成图 1-1b 所示的状态，则压力管 10 中的油将经过开停阀 9、节流阀 13 和换向阀 15 进入液压缸 18 右腔，推动活塞 17 和工作台 19 向左移动，并使液压缸左腔的油经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。

工作台 19 的移动速度是由节流阀 13 来调节的。当节流阀开大时，进入液压缸 18 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，液压缸中的油液压力越高；反之，压力就越低。输入液压缸的油液是通过节流阀调节的，液压泵 4 输出的多余的油液须经溢流阀 7 和回油管 3 排回油箱，这只有在压力支管 8 中的油液压力对溢流阀钢球 6 的作用力等于或略大于溢流阀中弹簧 5 的预紧力时，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，它和液压缸中的油液压力大小不一样。

如果将开停手柄 11 转换成图 1-1c 所示的状态，压力管中的油液将经开停阀 9 和回油管 12 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可以看到：

- 1) 液压传动是以液体作为工作介质来传递动力的。
- 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。它可以是做直线运动的液压缸，也可以是做旋转运动的液压马达。
- (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他装置。例如上例中的油箱、过滤器、油管等。它们对保证系统正常工作也起重要作用。

三、液压系统图的图形符号

图 1-1a 所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理图，直观性强，容易理解，但绘制起来比较麻烦，系统中元件数量多时更是如此。图 1-2 所示为同一个液压系统用液压图图形符号绘制成的工作原理图。使用这些图形符号可以使液压系统图简单明了，便于绘制。

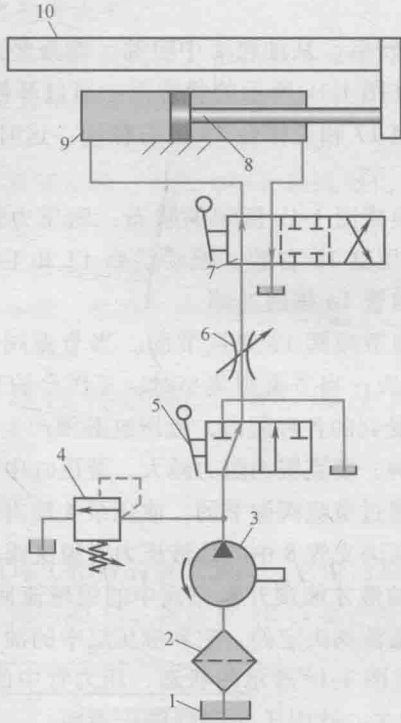


图 1-2 机床工作台液压系统的图形符号

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

我国现行的液压图形符号标准为 GB/T 786.1—2009。

第三节 液压传动的控制方式

所谓液压传动的“控制方式”有两种不同的含义：一种是指对传动部分的操纵调节方式；另一种是指控制部分本身的结构组成形式。

液压传动的操纵调节方式可以概略地归成手动式、半自动式和全自动式三种。凡需由人拨动手柄或按下按钮才能使系统实现其动作或状态的，便是手动式的，图 1-1 所示的系统就属于这一类。凡由人起动之后系统的各种动作或状态都能在机械的、电气的、电子的或其他机构操纵下顺序地实现出来，并在全部工作完成后自动停机的，便是半自动式的。如果连起动这一步操作也不需由人来参与，它便是全自动式的。

液压系统中控制部分的结构组成形式有开环式和闭环式两种，它们的概念和定义与“控制理论”中的描述完全相同。图 1-1 所示的液压系统就是开环式的（它的框图见图 1-3）。在这里，节流阀 13 上那个控制液压缸进油量多少的开口是事先调整好的，无法在工作过程中进行更改。开环控制的质量受工作条件（如油温、负载等）变化的影响很大，严重时甚至无法达到既定的目标。

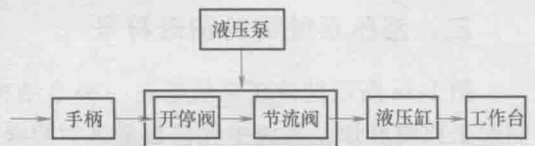


图 1-3 开环控制系统的框图

图 1-4 所示为一个简单的液压伺服系统的工作原理图，它是手动控制式闭环液压系统的例子。这里的伺服阀 5（它在结构上有些像图 1-1 中的换向阀 15）起着开停和节流双重作用。当将操纵手柄 6 的球头从图 1-4b 中①处向左拨到①'处时，操纵手柄绕点③转动，将阀杆上的点②移到②'处，使阀口打开。这时压力油就经伺服阀进入液压缸 8 左腔，推动活塞 7 和工作台 9 向右移动，液压缸右腔的油经伺服阀排回油箱 1。活塞移动时点③也被带着向右移动，这时操纵手柄通过绕点①'的转动，又将点②'不断移向右边。当点③移动到③'时，点②'正好返回到它原来的位置②处，把阀口关闭，使活塞的运动停下来。很明显，活塞移动过程中阀口不断关小，活塞移动速度不断减慢，这正是控制机制中负反馈作用的体现。这个系统的最终状态如图 1-4c 所示：阀口虽然关闭，但操纵手柄球头和活塞的位置都和图 1-4a 不一样了。如果将操纵手柄向右拨动，活塞也会相应地向左移过一段距离后再停下来。这种系统的框图如图 1-5 所示。

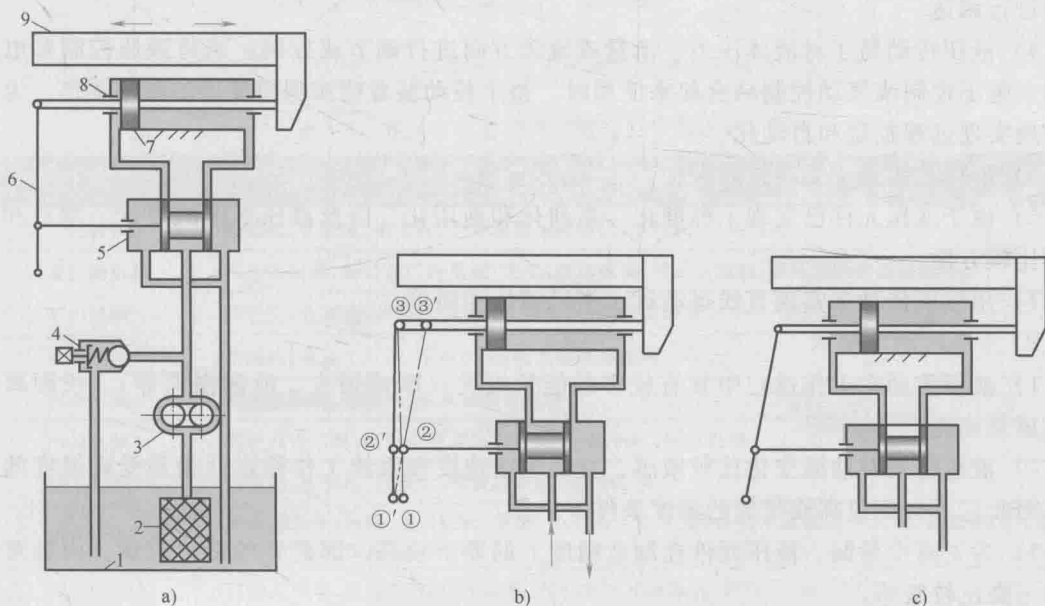


图 1-4 液压伺服系统的工作原理图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—溢流阀
5—伺服阀 6—操纵手柄 7—活塞 8—液压缸 9—工作台

图 1-4 所示的液压伺服系统能在工作过程中自动调节，其控制质量受工作条件（如油温、负载等）的影响较小，可以进行较精确的控制。

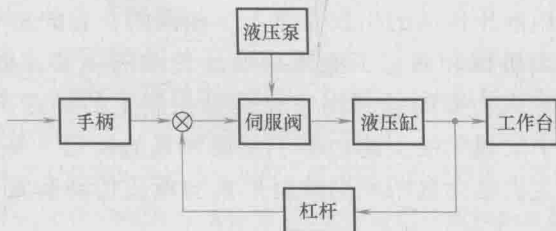


图 1-5 闭环控制系统的框图