



大机械系列 实用规划教材



液压传动

主 编 王守城 容一鸣
副主编 周国芬 金 昕
主 审 姜继海

中国林业出版社
China Forestry Publishing House

 北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TH137
130

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

液 压 传 动

主 编	王守城	容一鸣	
副主编	周国芬	金 昕	
参 编	郭秀云	王保卫	段俊勇
	郭克红	张卫锋	
主 审	姜继海		

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据 21 世纪高等教育的发展现状和人才培养目标编写的, 全书共分 10 章, 第 1、2 章主要介绍液压传动的基本知识、液压油和液压流体力学基础, 第 3 章至第 6 章主要介绍了液压元件的结构、原理、性能和选用, 第 7、8 章介绍液压基本回路、典型液压系统的组成、功能、特点以及应用情况, 第 9 章介绍液压系统的设计计算方法与应用实例, 第 10 章介绍液压伺服元件与系统的工作原理与应用实例。

本书适用于普通工科院校机械类、自动化类各专业的学生, 也适用于各类成人高校、自学考试等有关机械类、自动化类各专业的学生, 也可供从事流体传动与控制技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动/王守城, 容一鸣主编. —北京: 中国林业出版社; 北京大学出版社, 2006.8

(21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4441-8

I. 液… II. ①王… ②容… III. 液压传动—高等学校—教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 076954 号

书 名: 液压传动

著作责任者: 王守城 容一鸣 主编

策 划 编 辑: 李昱涛

责 任 编 辑: 郭穗娟 郑铁志

标 准 书 号: ISBN 7-5038-4441-8

出 版 者: 中国林业出版社(地址: 北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编: 100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话: 编辑部 66170109 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址: 北京市海淀区成府路 205 号 邮编: 100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 世界知识印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 429 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 27.00 元

《21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材》

专家编审委员会

名 誉 主 任 胡正寰*

主 任 委 员 殷国富

副主任委员 (按拼音排序)

戴冠军 江征风 李郝林 梅 宁 任乃飞

王述洋 杨化仁 张成忠 张新义

顾 问 (按拼音排序)

傅水根 姜继海 孔祥东 陆国栋

陆启建 孙建东 张 金 赵松年

委 员 (按拼音排序)

方 新 郭秀云 韩健海 洪 波

侯书林 胡如风 胡亚民 胡志勇

华 林 姜军生 李自光 刘仲国

柳舟通 毛 磊 孟宪颐 任建平

陶健民 田 勇 王亮申 王守城

魏 建 魏修亭 杨振中 袁根福

曾 忠 张伟强 郑竹林 周晓福

*胡正寰: 北京科技大学教授, 中国工程院机械与运载工程学部院士

丛书总序

殷国富*

机械是人类生产和生活的基本工具要素之一,是人类物质文明最重要的一个组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门,包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务,在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20 世纪 80 年代以来,以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生,极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度,改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式,产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。这些机械方面的新方法和系统的主要技术特征表现在以下几个方面:

(1) 信息技术在机械行业的广泛渗透和应用,使得现代机电产品已不再是单纯的机械构件,而是由机械、电子、信息、计算机与自动控制等集成的机电一体化产品,其功能不仅限于加强、延伸或取代人的体力劳动,而且扩大到加强、延伸或取代人的某些感官功能与大脑功能。

(2) 随着设计手段的计算机化和数字化, CAD/CAM/CAE/PDM 集成技术和软件系统得到广泛使用,促进了产品创新设计、并行设计、快速设计、虚拟设计、智能设计、反求设计、广义优化设计、绿色产品设计、面向全寿命周期设计等现代设计理论和技术方法的不断发展。机械产品的设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低,而是注重综合考虑质量、市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

(3) 传统机械制造技术在不断吸收电子、信息、材料、能源和现代管理等方面成果的基础上形成了先进制造技术,并将其综合应用于机械产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的机械产品制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力。

(4) 机械产品加工制造的精密化、快速化,制造过程的网络化、全球化得到很大的发展,涌现出 CIMS、并行工程、敏捷制造、绿色制造、网络制造、虚拟制造、智能制造、大规模定制等先进生产模式,制造装备和制造系统的柔性可重组已成为 21 世纪制造技术的显著特征。

(5) 机械工程的理论基础不再局限于力学,制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候都更紧密地依赖诸如现代数学、材料科学、微电子技术、计算机信息科学、生命科学、系统论与控制论等多门学科及其最新成就。

上述机械科学与工程特征和发展趋势表明,现代机械工程学科越来越多地体现着知识经济的特征。因此,加快培养适应我国国民经济建设所需要的高综合素质的机械工程学科人才的意义十分重大、任务十分繁重。我们必须通过各种层次和形式的教育,培养出适应世界机械工业发展潮流与我国机械制造业实际需要的技术人才与管理人才,不断推动我国机械科学与工程技术的进步。

为使机械工程学科毕业生的知识结构由较专、较深、适应性差向较通用、较广泛、适

*殷国富教授:现为教育部机械学科教学指导委员会委员,现任四川大学制造科学与工程学院院长

应性强方向转化,在教育部的领导与组织下,1998 年对本科专业目录进行了第 3 次大的修订。调整后的机械类专业变成 4 类 8 个专业,它们是:机械类 4 个专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、过程装备与控制、工业设计);仪器仪表类 1 个专业(测控技术与仪器);能源动力类 2 个专业(热能与动力工程、核工程与核技术);工程力学类 1 个专业(工程力学)。此外还提出了面向更宽的引导性专业,即机械工程及自动化。因此,建立现代“大机械、全过程、多学科”的观点,探讨机械科学与工程技术学科专业创新人才的培养模式,是高校从事制造学科教学的教育工作者的责任;建立培养富有创新能力人才的教学体系和教材资源环境,是我们努力的目标。

要达到这一目标,进行适应现代机械学科发展要求的教材建设是十分重要的基础工作之一。因此,组织编写出版面向大机械学科的系列教材就显得很有意义和十分必要。北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们通过对国内大学机械工程学科教材实际情况的调研,在与众多专家学者讨论的基础上,决定面向机械工程学科专业的学生出版一套系列教材,这是促进高校教学改革发展的重大决策。按照教材编审委员会的规划,本系列教材将逐步出版。

本系列教材是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作的教师立足于 21 世纪机械工程学科发展的需要,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写,以适应不同类型、不同层次的学校结合学校实际情况的需要。本系列教材编写的特色体现在以下几个方面:

(1) 关注全球机械科学与工程技术学科发展的大背景,建立现代大机械工程学科的新理念,拓宽理论基础和专业基础知识,特别是突出创造能力和创新意识。

(2) 重视强基础与宽专业知识面的要求。在保持较宽学科专业知识的前提下,在强化产品设计、制造、管理、市场、环境等基础理论方面,突出重点,进一步密切学科内各专业知识面之间的综合内在联系,尽快建立起系统性的知识体系结构。

(3) 学科交叉与综合的观念。现代力学、信息科学、生命科学、材料科学、系统科学等新兴学科与机械学科结合的内容在系列教材编写中得到一定的体现。

(4) 注重能力的培养,力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力以及不断自我更新知识的能力,促进学生向着富有鲜明个性的方向发展。

总之,本系列教材注意了调整课程结构,加强学科基础,反映系列教材各门课程之间的联系和衔接,内容合理分配,既相互联系又避免不必要的重复,努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索。当然,本系列教材还需要在内容的精选、音像电子课件、网络多媒体教学等方面进一步加强,使之能满足普通高等院校本科教学的需要,在众多的机械类教材中形成自己的特色。

最后,我要感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也要感谢北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之在我国机械工程类学科专业的教学改革和课程体系建设中起到应有的促进作用。

2006 年 1 月

前 言

根据 21 世纪高等教育的发展现状和人才培养目标,本书在编写过程中,力求贯彻少而精、理论与实践相结合的原则,紧密结合液压技术的最新成果,重点介绍了液压传动在机床工业、工程机械、橡塑机械、汽车工业等行业的应用实例。在元件选择上,突出了应用量较大的二通插装阀以及代表液压发展方向的电液比例阀;侧重了对工程技术应用方面的人才培养,适当淡化了纯理论分析,加强了学生创新能力的培养。本书元件的图形符号、回路以及系统原理图全部按照国家最新图形符号绘制,并摘录于附录中。本书教学课时建议为 40 课时。

本书由青岛科技大学王守城、武汉理工大学容一鸣担任主编;东北林业大学周国芬、北华大学金昕担任副主编;参编人员有河北建筑工程学院郭秀云、鲁东大学王保卫、青岛科技大学段俊勇、郭克红、张卫锋。全书由容一鸣、王守城负责统稿,哈尔滨工业大学姜继海教授主审。

本书的编写,得到了青岛科技大学赵海霞等老师的大力支持与帮助,研究生任海霞、任云、段塔塔、岳小鹤等担任了书中部分插图的绘制工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平、时间有限,书中难免存在缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 4 月

目 录

第1章 绪论.....1

1.1 液压传动的工作原理及组成.....1

1.1.1 液压传动的工作原理.....1

1.1.2 液压传动系统的组成.....3

1.2 液压传动系统的职能符号.....4

1.3 液压传动的优缺点、应用与发展.....5

1.3.1 液压传动的优缺点.....5

1.3.2 液压传动的应用.....6

1.3.3 液压传动的发展.....7

思考题.....8

第2章 液压油与液压流体力学基础.....9

2.1 液体的物理性质.....9

2.1.1 液体的密度和重度.....9

2.1.2 液体的可压缩性.....10

2.1.3 液体的黏性.....11

2.1.4 对液压油的要求、选用和使用.....14

2.2 液体静力学基础.....17

2.2.1 液体中的作用力.....17

2.2.2 静压力基本方程.....19

2.2.3 静压力传递原理.....20

2.2.4 液体作用于容器壁面上的力.....21

2.3 流动液体力学基础.....22

2.3.1 基本概念.....22

2.3.2 流量连续性方程.....24

2.3.3 伯努利方程.....26

2.3.4 动量方程.....31

2.4 管道内压力损失的计算.....36

2.4.1 液体的流动状态.....37

2.4.2 沿程压力损失.....41

2.4.3 局部压力损失.....42

2.4.4 管路中的总压力损失.....43

2.5 孔口和间隙的流量-压力特性.....44

2.5.1 孔口的流量-压力特性.....44

2.5.2 液体流经间隙的流量.....48

2.6 液压冲击和气穴现象.....53

2.6.1 液压冲击.....53

2.6.2 气穴现象.....57

思考题与习题.....60

第3章 液压泵与液压马达.....63

3.1 液压泵与液压马达概述.....63

3.1.1 液压泵的工作原理.....63

3.1.2 液压泵的主要性能参数.....64

3.1.3 液压马达的主要性能参数.....67

3.1.4 液压泵和液压马达的分类.....70

3.2 齿轮泵.....70

3.2.1 齿轮泵的工作原理.....71

3.2.2 齿轮泵的排量和流量计算.....71

3.2.3 齿轮泵的结构特点分析.....72

3.2.4 提高齿轮泵压力的措施.....73

3.2.5 内啮合齿轮泵.....74

3.2.6 螺杆泵.....74

3.3 叶片泵.....75

3.3.1 单作用叶片泵.....75

3.3.2 双作用式叶片泵.....76

3.3.3 限压式变量叶片泵.....78

3.4 柱塞泵.....79

3.4.1 径向柱塞泵.....80

3.4.2 轴向柱塞泵.....81

3.5 液压泵的选用.....84

3.6 液压马达.....85

3.6.1 叶片马达.....85

3.6.2 轴向柱塞马达.....85

思考题与习题.....87

第4章 液压缸	89	5.5 其他控制阀	151
4.1 液压缸的类型、特点和基本参数		5.5.1 逻辑阀	151
计算	89	5.5.2 电液比例控制阀	154
4.1.1 活塞式液压缸	90	5.5.3 电液数字阀	160
4.1.2 柱塞式液压缸	93	综合例题	163
4.1.3 摆动式液压缸	93	思考题与习题	165
4.1.4 其他液压缸	94	第6章 液压辅助元件	168
4.2 液压缸的典型结构	95	6.1 管道和管接头	168
4.2.1 缸体组件	96	6.1.1 油管的种类和选用	168
4.2.2 活塞组件	97	6.1.2 管接头的种类和选用	169
4.2.3 密封装置	97	6.2 密封件	171
4.2.4 缓冲装置	99	6.2.1 密封件的作用和分类	171
4.2.5 排气装置	100	6.2.2 橡胶密封圈的种类和特点	171
4.3 液压缸的设计计算	101	6.2.3 密封垫圈	173
4.3.1 液压缸的主要尺寸计算	101	6.3 过滤器	173
4.3.2 液压缸的校核	103	6.3.1 液压油的污染度等级和	
思考题与习题	104	污染度等级的测定	173
第5章 液压控制阀	107	6.3.2 过滤器的过滤精度	174
5.1 液压阀概述	107	6.3.3 滤油器的典型结构	175
5.1.1 液压阀的基本结构		6.3.4 过滤器的选用和安装	177
及工作原理	107	6.4 热交换器	179
5.1.2 液压阀的分类	107	6.4.1 液压系统的发热和散热	179
5.1.3 液压阀的性能参数	107	6.4.2 冷却器的结构与选用	179
5.1.4 对液压阀的基本要求	108	6.4.3 加热器的结构和选用	181
5.2 方向控制阀	108	6.5 液压油箱	182
5.2.1 单向阀	108	6.6 蓄能器	183
5.2.2 换向阀	111	6.6.1 蓄能器的作用	183
5.3 压力控制阀	124	6.6.2 蓄能器的类型	184
5.3.1 溢流阀	124	6.6.3 蓄能器的容量计算	185
5.3.2 减压阀	132	6.6.4 蓄能器的安装	187
5.3.3 顺序阀	137	思考题与习题	187
5.3.4 压力继电器	140	第7章 液压基本回路	188
5.4 流量控制阀	141	7.1 压力控制回路	188
5.4.1 节流阀	141	7.1.1 调压回路	188
5.4.2 调速阀	144	7.1.2 减压回路	189
5.4.3 溢流节流阀	147	7.1.3 卸荷回路	189
5.4.4 分流集流阀	148	7.1.4 保压回路	191

7.1.5 背压回路.....	192	8.3.2 汽车起重机液压系统的 特点	236
7.1.6 平衡回路.....	193	8.4 SZ-250 A 型塑料注射成型机液压 系统.....	236
7.1.7 增压回路.....	194	8.4.1 SZ-250 A 型塑料注射成型机 液压系统	236
7.2 调速回路	195	8.4.2 注塑机液压系统的特点	240
7.2.1 概述.....	195	8.5 加工中心液压系统	240
7.2.2 节流调速回路.....	196	8.6 M 1432B 型万能外圆磨床液压 系统.....	243
7.2.3 容积调速回路.....	202	8.6.1 M 1432B 型外圆磨床的液压 系统	244
7.2.4 容积节流调速回路.....	206	8.6.2 M 1432B 型外圆磨床液压 系统的特点	248
7.2.5 三种调速回路的比较.....	208	思考题与习题	249
7.3 速度换接回路	209	第 9 章 液压传动系统的设计计算	250
7.3.1 采用行程阀(或电磁换向阀) 的速度换接回路.....	209	9.1 液压系统的设计依据和工况分析	250
7.3.2 采用差动连接的速度换接 回路.....	209	9.1.1 液压系统的设计依据	250
7.3.3 采用双泵供油的速度换接 回路.....	210	9.1.2 液压系统的工况分析	251
7.3.4 两种工作速度的换接回路.....	210	9.2 液压系统主要参数的确定	253
7.4 方向控制回路	211	9.2.1 系统工作压力的确定	254
7.4.1 换向回路.....	211	9.2.2 执行元件参数的确定	254
7.4.2 锁紧回路.....	214	9.2.3 执行元件流量的确定	254
7.5 多缸动作回路	215	9.2.4 执行元件的工况图	255
7.5.1 顺序动作回路.....	216	9.3 液压系统原理图的拟定和方案 论证.....	255
7.5.2 同步回路.....	218	9.4 计算和选择液压元件	256
7.5.3 多缸工作时互不干涉回路.....	221	9.4.1 液压泵的确定与驱动功率的 计算	257
思考题与习题	222	9.4.2 液压控制阀的选择	258
第 8 章 典型液压传动系统	226	9.4.3 液压辅件的计算与选择	258
8.1 组合机床动力滑台液压系统	226	9.5 液压系统性能验算	259
8.1.1 YT 4543 型动力滑台液压 系统.....	226	9.5.1 液压系统压力损失验算	259
8.1.2 YT 4543 型动力滑台液压的 特点.....	229	9.5.2 液压系统发热和温升验算	259
8.2 压力机液压系统	229	9.6 绘制正式工作图、编制技术文件	261
8.2.1 YB 32-200 型液压机的液压 系统.....	230	9.6.1 绘制液压系统原理图的 要求	261
8.2.2 YB 32-200 型液压机 液压系统的特点.....	232	9.6.2 液压装置的结构设计	261
8.3 汽车起重机液压系统	233		
8.3.1 汽车起重机液压系统.....	233		

9.6.3 编制技术文件.....	262	10.2 典型的液压伺服控制元件	273
9.7 液压系统设计计算举例	263	10.2.1 滑阀	273
9.7.1 负载分析.....	263	10.2.2 射流管阀	275
9.7.2 液压缸主要参数的确定.....	264	10.2.3 喷嘴挡板阀	276
9.7.3 液压系统图的拟订.....	265	10.3 电液伺服阀	276
9.7.4 液压元件的选择.....	268	10.4 液压伺服系统实例	278
9.7.5 液压系统的性能验算.....	269	10.4.1 机械手伸缩运动伺服系统 ...	278
思考题与习题	270	10.4.2 钢带张力控制系统	279
第 10 章 液压伺服系统.....	271	10.4.3 液压助力器	279
10.1 概述	271	思考题	280
10.1.1 液压伺服系统的工作原理....	271	附录 常用液压与气动元件图形符号	281
10.1.2 液压伺服系统分类.....	273	参考文献.....	286
10.1.3 液压伺服系统的优缺点.....	273		

第 1 章 绪 论

一部机器主要由动力装置、传动装置、操纵或控制装置、工作执行装置 4 部分构成。动力装置的性能一般都不可能满足执行装置各种工况的要求,这种矛盾就由传动装置来解决。所谓传动就是指能量(动力)由动力装置向工作执行装置的传递,即通过某种传动方式,将动力装置的运动或动力以某种形式传递给执行装置,驱动执行装置对外做功。一般工程技术中使用的动力传递方式有机械传动、电气传动、气压传动、液体传动以及由它们组合而成的复合传动。

以液体作为工作介质进行能量(动力)传递的传动方式称为液体传动,液体传动分为液力传动和液压传动两种形式。液力传动主要是利用液体的动能来传递能量;而液压传动则主要是利用液体的压力能来传递能量。

本书主要介绍以液压油为工作介质的液压传动技术。液压传动利用液压泵,将原动机(马达)的机械能转变为液体的压力能,然后利用液压缸(或液压马达)将液体的压力能转变为机械能,以驱动负载,并获得执行机构所需的运动速度。液压传动的理论基础是液压流体力学。

与机械传动相比,液压传动具有许多优点,因此在机械工程中被广泛应用。本章介绍液压传动的工作原理、组成、优缺点及液压传动的应用。

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

1. 液压千斤顶的工作原理

液压千斤顶是常见的液压传动装置。图 1.1 为其工作原理示意图。图中,大小两个液压缸 2 和 11 内分别装有活塞,活塞可以在缸内滑动,且密封可靠。要举升重物 12 时,截止阀 8 应关闭。当向上提起杠杆 1 时,小活塞向上移动,液压缸 I 下腔的密封容积增大,腔内压力下降,形成一定的真空度,这时排油单向阀 3 关闭,油箱 5 中的油液在大气压力的作用下推开吸油单向阀 4 进入液压缸 I 的下腔,从而完成了一次吸油过程。接着,压下杠杆 1,小活塞下移,液压缸 I 下腔密封容积减小,油液受到挤压,压力上升,关闭吸油单向阀 4,压力油推开排油单向阀 3 进入液压缸 II 的下腔,从而推动大活塞克服重物 12 的重力 G 上升而做功。如此反复地提压杠杆 1,就可以将重物 12 逐渐升起,从而达到起重目的。若杠杆 1 不动,液压缸 II 中的液压力使单向阀 3 关闭,大活塞不动。当需要将大活塞放下时,可打开截止阀 8,液压油在重力作用下经截止阀 8 排回油箱 5,大活塞下降到原位。

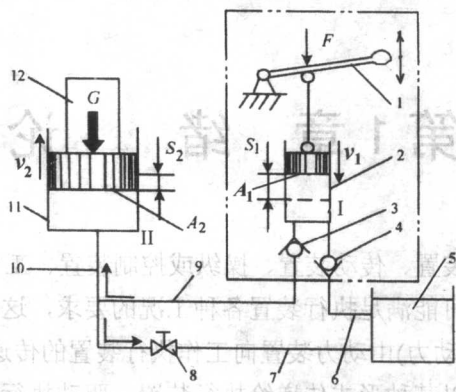


图 1.1 液压千斤顶的工作原理

1—杠杆；2—液压缸 I；3—排油单向阀；4—吸油单向阀；

5—油箱；6、7、9、10—油管；8—截止阀；11—液压缸 II；12—重物

2. 磨床工作台液压传动系统的工作原理

图 1.2 所示为磨床工作台液压传动系统的工作原理图。这个系统可克服各种阻力使工作台直线往复运动，并且工作台的运动速度可以调节。图中，液压泵 3 由马达驱动旋转，从油箱 1 中吸油，油液经过滤器 2 进入液压泵。当液压油从液压泵输出进入油管后，通过节流阀 4 流至换向阀 6。换向阀 6 有左、中、右三个工作位置。当换向阀的阀芯处于中位时如图 1.2(a)所示，由于所有油口 P 、 T 、 A 、 B 均封闭，油路不通，液压油不能进入液压缸 8，活塞 9 停留在某个位置上，所以工作台 10 不动。此时，液压泵输出的液压油只能在一定压力下通过溢流阀 5 流回油箱。

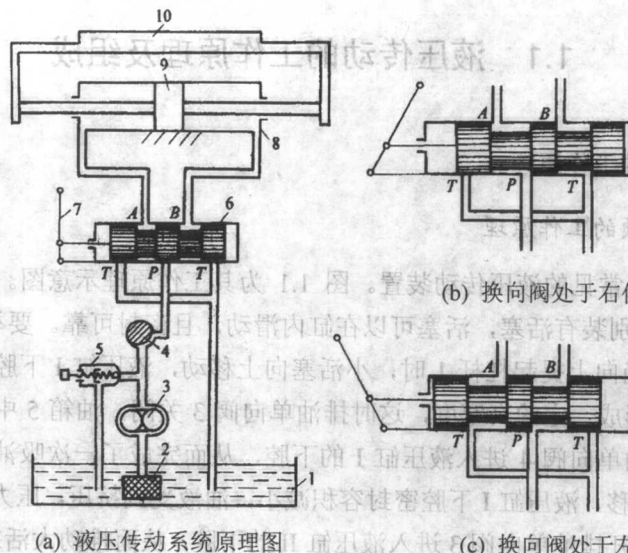


图 1.2 磨床工作台液压传动系统原理图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—节流阀；5—溢流阀；

6—换向阀；7—手柄；8—液压缸；9—活塞；10—工作台

若将阀芯推到右边如图 1.2(b)所示, 液压泵 3 输出的液压油将流经节流阀 4、换向阀 6 的 P 口、 A 口进入液压缸 8 左腔, 推动活塞(和工作台)向右移动。与此同时, 液压缸右腔的油液经换向阀 6 的 B 口、 T 口经回油管排回油箱。

若将阀芯推到左边如图 1.2(c)所示, 则液压油经 P 口、 B 口进入液压缸 8 右腔; 液压缸左腔的液压油经 A 口、 T 口排回油箱, 工作台向左移动。

由此可见, 由于设置了换向阀 6, 所以可改变液压油的流向, 使液压缸不断换向实现工作台的往复运动。

工作台的运动速度可通过节流阀 4 来调节。节流阀的作用是通过改变节流阀开口量的大小, 来调节通过节流阀油液的流量, 从而控制工作台的运动速度, 此时, 液压泵输出的多余的油液通过溢流阀 5 流回油箱。当节流阀口开大时, 进入液压缸的油液增多, 活塞(和工作台)移动速度增大, 当节流阀口关小时, 进入液压缸的油液减少, 活塞(和工作台)的移动速度减小。

工作台运动时, 要克服阻力, 主要是磨削力和工作台与导轨之间的摩擦力等, 这些阻力, 由液压油的压力能来克服; 要克服的阻力越大, 液压缸内的油压越高; 反之压力就越低。根据工作情况的不同, 液压泵输出油液的压力可以通过溢流阀 5 进行调整。另外, 由于节流阀有调节进入液压缸流量的作用, 泵排出的油液的流量往往多于液压缸所需的流量, 多余的油液经溢流阀 5 流回油箱。只有在液压泵出口处的油液对溢流阀 5 阀芯的作用力等于或略大于弹簧的预紧力时, 油液才能推开阀芯流回油箱。所以, 在图 1.2 所示液压系统中, 液压泵出口处的油液压力是由溢流阀决定的, 它和液压缸中的压力不一样大。图中 2 为过滤器, 用于滤去油液中的杂质。

综上所述, 可以得出如下结论: 液压传动系统是依靠液体在密封油腔容积变化中的压力能来实现运动和动力传递的。液压传动装置从本质上讲是一种能量转换装置, 它先将机械能转换为便于输送的液压能, 然后再将液压能转换为机械能做功。

1.1.2 液压传动系统的组成

液压传动系统主要由以下 5 部分组成:

(1) 动力元件。主要指各种液压泵。它的作用是把原动机(马达)的机械能转变成油液的压力能, 给液压系统提供压力油, 是液压系统的动力源。

(2) 执行元件。指各种类型的液压缸、液压马达。其作用是将油液压力能转变成机械能, 输出一定的力(或力矩)和速度, 以驱动负载。

(3) 控制调节元件。主要指各种类型的液压控制阀, 如上例中的溢流阀, 节流阀, 换向阀等。它们的作用是控制液压系统中油液的压力、流量和流动方向, 从而保证执行元件能驱动负载, 并按规定的方向运动, 获得规定的运动速度。

(4) 辅助装置。指油箱、过滤器、油管、管接头、压力表等。它们对保证液压系统可靠、稳定、持久地工作, 具有重要作用。

(5) 工作介质。指各种类型的液压油。

1.2 液压传动系统的职能符号

图 1.2 所示是采用半结构式图形表示的液压系统原理图。这种原理图，直观性强，容易理解，但图形较复杂，绘制很不方便。为简化原理图的绘制，在工程实际中，除某些特殊情况外，系统中各元件一般采用国家标准规定的图形符号来表示，这些符号只表示元件的职能，不表示元件的结构和参数，通常称为职能符号。我国国家标准 GB/T 786.1—1993 规定了液压传动图形符号。

如图 1.3 所示为用职能符号绘制的上述磨床工作台液压传动系统原理图。为便于读者看懂用职能符号表示的液压系统图，现将图 1.3 中出现的液压元件的职能符号介绍如下。

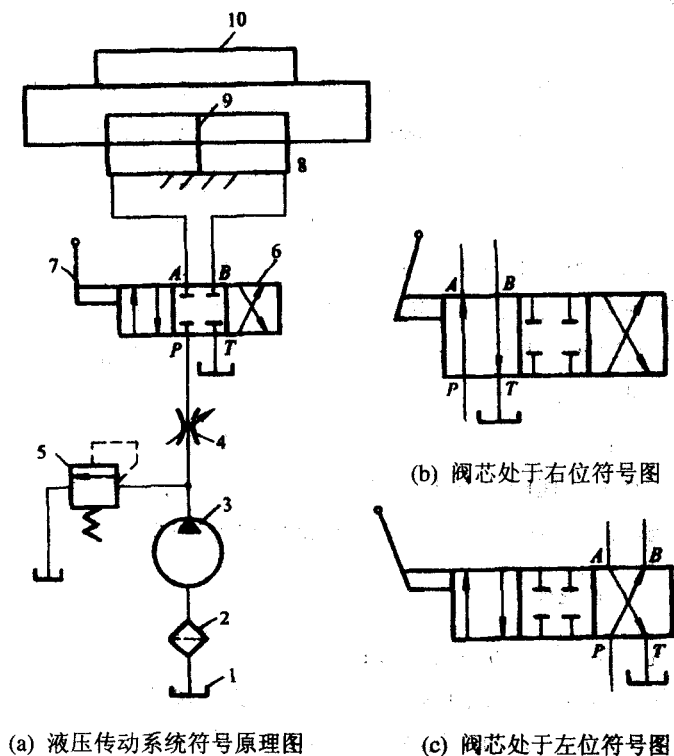


图 1.3 用图形符号绘制液压传动系统原理图

1. 液压泵图形符号

由一个圆加上一个实心等边黑三角来表示，三角箭头向外，表示向外输出油液。如箭头向里，则表示液压马达。图中无斜箭头，为定量泵；若有斜箭头，则为变量泵。

2. 换向阀的图形符号

为改变油液的流动方向，换向阀阀芯的工作位置要变换，它一般可变动 2 个~3 个工作位置，通常简称为“位”，换向阀阀芯有几个工作位置，就称为几位阀。换向阀阀体上

与外界通油的主油口数，通常简称为“通”，有几个主通油口，就称为几通。根据阀芯可变动的位置数和阀体上的通路数，可组成 $\times$ 位 $\times$ 通阀。其图形意义如下。

(1) 换向阀的工作位置用方格表示，有几个方格即表示几位阀。

(2) 方格内的箭头符号表示两个油口连通，“ $\perp$ ”或“ $\neg$ ”表示油路关闭，这些符号在一个方格内和方格的交点数即表示阀的通路数。

(3) 方格外的符号表示阀的控制方式，控制方式有手动、机动、电动和液动等。

图 1.3 中所示的换向阀称为三位四通手动换向阀。

3. 溢流阀图形符号

方格相当于阀芯，方格中的箭头表示油流的主通道，两侧的直线代表进出油管。图中的虚线表示控制油路。溢流阀就是利用控制油路的液压作用力与另一侧弹簧力相平衡的原理进行工作的。

4. 节流阀图形符号

节流阀图形符号中的两圆弧所形成的缝隙表示节流孔道，油液通过节流孔使流量减少，图中的箭头表示节流孔的大小可以改变，亦即通过该阀的流量是可以调节的。

需要说明的是，液压元件图形符号表示的是元件的常态(静止状态)或零位，未必是其工作状态。元件图形符号只表示元件的职能和连接系统的通路，不表示元件的具体结构和参数，也不表示系统管路的具体位置和元件的安装位置。

1.3 液压传动的优缺点、应用与发展

1.3.1 液压传动的优缺点

1. 主要优点

液压传动与机械传动、电力传动和气压传动相比，主要具有下列优点：

(1) 便于实现无级调速，调速范围比较大，可达 $100:1 \sim 2000:1$ 。

(2) 在同等功率的情况下，液压传动装置的体积小、质量轻、惯性小、结构紧凑(如液压马达的质量只有同功率电机质量的 $10\% \sim 20\%$)，而且能传递较大的力或转矩。

(3) 工作平稳、反应快、冲击小，能频繁启动和换向。液压传动装置的换向频率，回转运动每分钟可达 500 次，往复直线运动每分钟可达 400 次 $\sim$ 1000 次。

(4) 控制、调节比较简单，操纵比较方便、省力，易于实现自动化，与电气控制配合使用能实现复杂的顺序动作和远程控制。

(5) 易于实现过载保护，系统超负载，油液经溢流阀流回油箱。由于采用油液作工作介质，能自行润滑，所以寿命长。

(6) 易于实现系列化、标准化、通用化，易于设计、制造和推广使用。

(7) 易于实现回转、直线运动，且元件排列布置灵活。

(8) 在液压传动系统中，功率损失所产生的热量可由流动着的油带走，故可避免机械本体产生过度温升。

2. 主要缺点

(1) 液体为工作介质, 易泄漏, 且具有可压缩性, 故难以保证严格的传动比。

(2) 液压传动中有较多的能量损失(摩擦损失、压力损失、泄漏损失), 传动效率低, 所以不宜作远距离传动。

(3) 液压传动对油温和负载变化敏感, 不宜于在很低或很高温下工作, 对污染很敏感。

(4) 液压传动需要有单独的能源(例如液压泵站), 液压能不能像电能那样从远处传来。

(5) 液压元件制造精度高, 造价高, 须组织专业化生产。

(6) 液压传动装置出现故障时不易查找原因, 不易迅速排除。

总之, 液压传动优点较多, 其缺点正随着科学技术的发展逐步加以克服, 因此, 液压传动在现代工业中有着广阔的发展前景。

1.3.2 液压传动的应用

液压传动由于优点很多, 所以在国民经济各部门中都得到了广泛的应用, 但各部门应用液压传动的出发点不同。工程机械、压力机械采用液压传动的原因是结构简单, 输出力量大。航空工业采用的原因是质量轻, 体积小。

机床中采用液压传动的主要原因是可实现无级变速, 易于实现自动化, 能实现换向频繁的往复运动。为此, 液压传动常用在机床的如下一些装置中。

1. 进给运动传动装置

液压传动在机床的进给运动中应用最为广泛。如磨床的工作台、砂轮架, 普通车床、六角车床、自动车床的刀架或转塔刀架, 钻床、铣床、刨床的工作台或主轴箱, 组合机床的动力头和滑台等。这些部件有的要求快速移动, 有的要求慢速移动(2mm/min), 有的则要求快慢速移动。这些部件的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仍然能保持恒定; 有的要求有良好的换向性能; 所有这些采用液压传动是非常合适的。

2. 往复主运动传动装置

龙门刨床的工作台, 牛头刨床或插床的滑枕都可以采用液压传动来实现其所需的高速往复运动, 前者的运动速度可达 $60\text{m/min} \sim 90\text{m/min}$, 后者可达 $30\text{m/min} \sim 50\text{m/min}$ 。与机械传动相比, 采用液压传动, 可减少换向冲击, 降低能量消耗, 缩短换向时间。

3. 回转主运动传动装置

机床主轴可采用液压传动来实现无级变速的回转主运动, 但这一应用目前尚不普遍。

4. 仿形装置

车床、铣床、刨床的仿形加工可采用液压伺服系统来实现, 精度可达 $0.01\text{mm} \sim 0.02\text{mm}$ 。此外, 磨床上的成型砂轮修正装置和标准丝杆校正装置亦可采用这种系统。