



普通高等教育“十五”国家级规划教材



面向 21 世纪 课程 教材  
Textbook Series for 21st Century

# 液压元件与系统

第2版

华中科技大学 李壮云 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十五”国家级规划教材

面向21世纪课程教材

# 液压元件与系统

第2版

主 编 李壮云  
副主编 万会雄 贺小峰 聂松林  
参 编 廖义德 徐兴斋 刘永健  
主 审 吴根茂



机械工业出版社

本书共分四篇二十一章，书中提供了各类液压元件、介质、辅件和系统的基本理论和基础知识，内容包括基本概念、理论分析、结构特点、设计方法、静态特性及分析、使用与维护方法等；同时也反映了该学科国内外的最新研究成果及发展趋势，体现了基础性、系统性、先进性和工程应用性等特点。

本书可作为我国高等学校机械工程及自动化专业、机械电子工程专业流体传动与控制方向以及其他相关专业的教材。本书也可供从事液压技术的工程技术人员、研究人员和高等工科院校有关师生学习和参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

液压元件与系统/李壮云主编. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2005.6  
普通高等教育“十五”国家级规划教材. 面向21世纪课程教材  
ISBN 7-111-06871-8

I. 液... II. 李... III. ①液压元件-高等学校-教材②液压系统-高等学校-教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 040684 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: 邓海平 责任编辑: 倪少秋 版式设计: 冉晓华  
封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦 责任校对: 李秋荣  
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
2005 年 8 月第 2 版第 1 次印刷  
787mm × 1092mm 1/16 · 32.5 印张 · 805 千字  
定价: 46.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68326294  
封面无防伪标均为盗版

## 第 2 版 前 言

本书是根据全国高等学校机械工程及自动化专业指导委员会推荐，由教育部批准列为“十五”国家级重点教材出版规划而编写的；同时，本书也被批准列为我国面向 21 世纪的机械类专业教材。

由于液压技术本身所具有的独特技术优势，使得它在现代农业、制造业、能源工程、化学与生化工程、交通运输与物流工程、采矿与冶金工程、油气探测与加工、建筑与公共工程、水利与环保工程、航天与海洋技术、船舶与舰艇、生物与医学工程、科学实验装置、军事装备、国防工程等领域获得了广泛应用，成为农业、工业、国防和科学技术现代化进程中不可替代的一项重要基础技术，也是当代工程师希望掌握的重要基础技术知识之一。在当前科学技术全球化的环境下，特别是在我国加入 WTO 以后，培养高水平的液压技术人才，发展具有我国自主知识产权的液压技术，迅速改变我国液压基础件落后于主机设备发展需要的现状，使其能早日满足我国制造业向强国发展的迫切需求和适应对环境保护的挑战，对学科和行业都是十分紧迫和现实的历史使命。

基于上述原因，我们在认真总结和分析了《液压元件与系统》（第 1 版）一书在使用过程中所存在问题的基础上，将本书定位于为读者提供各类液压元件、介质、辅件和系统的有关基本理论和基础知识，内容包括基本概念、理论分析、结构特点、设计方法、静动态特性及分析、使用与维护方法等；同时也注意反映该学科国内外的最新研究成果及发展趋势，尽可能地体现液压技术的基础性、系统性、先进性和工程应用性等特点。

本书的重点是液压元件及传动技术，书中尽管也涉及到与电液比例技术相关的部分电液控制技术，但基本不涉及以闭环控制为主的电液伺服器件及系统。

本书可作为我国高等学校机械工程及其自动化专业、机械电子工程专业流体传动与控制方向以及其他相关专业本科生及研究生的教材。在教学过程中，可以针对不同专业的要求和特点，有所侧重地加以选用。书中还编入了一些思考题及习题，有利于学生复习巩固所学的基础知识，提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书也可供从事液压技术的工程技术人员、研究人员和高等工科院校有关师生学习和参考，以满足他们从事液压技术的工程应用、设计、制造、试验和维护时的需要。

本书由华中科技大学李壮云任主编、武汉理工大学万会雄、华中科技大学贺小峰和聂松林任副主编。全书编写分工如下：李壮云编写第一章及第四篇；聂松林编写第一篇；贺小峰编写第二篇；万会雄编写第三篇。廖义德、徐兴斋、刘永健等参加了部分编写工作。全书由李壮云和万会雄统稿。

浙江大学吴根茂教授为本书主审。吴根茂教授对本书原稿进行了细致、详尽地审阅，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

在本书的编写和出版过程中，机械工业出版社的汪光灿编辑给予了热心的支持、关心和帮助，提出了不少宝贵意见，在此谨致谢意。

由于编者水平有限以及液压技术发展迅速，书中难免存在错误、疏漏和不足之处，恳请广大读者指正。

编 者

2005年4月

# 第 1 版 前 言

本书是根据全国流体传动及控制专业教学指导委员会推荐，由国家教委批准列为我国高等教育“九五”国家级重点教材出版规划而编写的。本书系我国高校机械工程及自动化专业流体传动与控制专业方向的专业教材，同时也可供从事液压元件和液压系统的工程技术人员、研究人员和高等工程院校有关专业师生学生和参考。

本书包括液压元件和液压系统两大部分。根据教学改革的需要，并且基于编者多年的教学和科研实践，在本书的体系和内容安排上，着重考虑了下列几点：

1) 打破原有教材按液压元件和液压系统基本回路分章节的传统体系，改为从元件和系统的共性出发，应用理论力学、流体力学和控制理论等基础知识去分析各大类液压元件和液压系统的基本规律和主要性能，形成新的体系。

2) 着重叙述基本理论、控制机理和静动态特性，力求为学生打下坚实的基础。但对结构和设计也作了适当介绍。

3) 突出不同类型元件和系统的主要特征、特性及其分析方法，以利于提高学生分析问题和解决问题的能力。每章附有思考题和习题，便于学生复习巩固及培养学生设计、计算能力。

4) 为了扩充学生的专业基础知识，增加了液压介质、污染控制、液压可靠性和失效分析等方面的内容，供教学时选用。

5) 选材注意贯彻“少而精”的原则。并注意尽量反映国内外有关液压技术的最新发展状况。

6) 内容的阐述注意循序渐进，注意启发性，便于自学。

本书由华中理工大学李壮云、浙江大学葛宜远主编，华中理工大学陈尧明副主编，燕山大学韩屋谷参编。全书编写分工如下：李壮云编写第一、二、十二及十三章；陈尧明编写第三、四及十一章；葛宜远编写第五至第七章；燕山大学韩屋谷编写第八至第十章。

太原重型机械学院王明智为本书主审。主审对本书原稿进行了细致的审阅，提出了许多宝贵的意见。

由于编者水平所限，书中难免存在缺点和疏误，恳请广大读者批评指正。

编 者

1998 年 10 月

# 目 录

## 第 2 版前言

## 第 1 版前言

第一章 绪论 .....	1
第一节 液压传动的工作原理和基本特征 .....	1
第二节 液压传动系统的组成 .....	3
一、液压系统的组成 .....	3
二、液压系统的图形符号表示 .....	4
第三节 多种传动方式的比较及液压传动的特点 .....	5

一、多种传动方式的比较 .....	5
二、液压传动的主要优点 .....	5
三、液压传动的主要缺点 .....	6
四、液压传动的主要应用领域 .....	7
第四节 液压技术发展历史的回顾及发展趋势 .....	7
一、发展历史的回顾 .....	7
二、液压技术的发展趋势 .....	10
思考题和习题 .....	13

## 第一篇 液压泵、液压马达及液压缸

第二章 概述 .....	15
一、液压泵及液压马达分类 .....	15
二、主要性能参数 .....	16
三、液压泵的特性曲线 .....	20
第三章 齿轮泵 .....	21
第一节 外啮合齿轮泵的工作原理及流量公式 .....	21
一、外啮合齿轮泵的工作原理 .....	21
二、瞬时流量及排量 .....	22
三、流量不均匀系数 .....	24
四、齿轮的齿形修正 .....	25
第二节 外啮合齿轮泵的困油现象及卸荷措施 .....	26
一、困油现象 .....	26
二、卸荷措施 .....	26
第三节 外啮合齿轮泵的径向力 .....	31
一、径向力的计算 .....	31
二、减小径向力的措施 .....	33
第四节 中高压齿轮泵的结构特点 .....	34
一、提高容积效率的措施 .....	34
二、轴承 .....	39
第五节 内啮合齿轮泵 .....	41
一、月牙形隔板式内啮合齿轮泵 .....	41
二、摆线转子泵 .....	45

第六节 齿轮泵的设计要点 .....	46
一、齿轮泵参数的选择原则 .....	46
二、齿轮泵的设计概要 .....	47
三、齿轮泵的工艺、材料及技术要求 .....	48
思考题和习题 .....	49
第四章 叶片泵 .....	50
第一节 双作用叶片泵的工作原理和流量 .....	50
一、工作原理和结构特征 .....	50
二、瞬时流量和排量 .....	51
第二节 双作用叶片泵的定子曲线及叶片数 .....	53
一、对定子曲线的要求 .....	53
二、定子过渡曲线及其特点 .....	54
三、双作用叶片泵叶片数的选取 .....	55
第三节 双作用叶片泵的结构 .....	56
一、双作用叶片泵的结构特点 .....	56
二、中高压叶片泵 .....	57
第四节 双作用叶片泵的设计要点 .....	60
第五节 变量叶片泵 .....	62
一、变量叶片泵的工作原理 .....	62
二、排量的计算 .....	63
三、变量原理 .....	63

思考题和习题 .....	65	思考题和习题 .....	111
<b>第五章 柱塞泵</b> .....	66	<b>第六章 液压马达</b> .....	113
第一节 轴向柱塞泵的工作原理		第一节 高速液压马达 .....	113
及结构特点 .....	66	一、齿轮马达 .....	113
一、轴向柱塞泵的工作原理 .....	66	二、双作用叶片马达 .....	116
二、斜盘式轴向柱塞泵的结构特点 .....	67	三、轴向柱塞马达 .....	117
三、斜轴式轴向柱塞泵的结构特点 .....	69	第二节 低速大转矩液压马达 .....	120
第二节 斜盘式轴向柱塞泵的运动		一、连杆型径向柱塞马达 .....	120
学分析 .....	71	二、静压平衡马达 .....	126
一、柱塞运动学分析 .....	71	三、内曲线径向柱塞马达 .....	129
二、瞬时流量及脉动特性分析 .....	72	第三节 液压马达的几种变量	
三、轴向柱塞泵的困油现象 .....	75	调节方式 .....	135
第三节 斜盘式轴向柱塞泵的动力学		一、恒功率控制变量马达 .....	135
分析 .....	76	二、恒转矩控制马达 .....	136
一、柱塞滑靴的受力分析 .....	76	三、恒速控制马达 .....	137
二、缸体的受力分析 .....	80	思考题和习题 .....	138
第四节 轴向柱塞泵典型摩擦副		<b>第七章 液压缸</b> .....	140
及结构特点 .....	84	第一节 液压缸的分类及特点 .....	140
一、滑靴副的结构 .....	84	一、双作用单活塞杆液压缸 .....	140
二、配流盘结构 .....	86	二、双作用双活塞杆液压缸 .....	142
三、配流盘和缸体的自位结构 .....	88	三、增压液压缸 .....	142
四、几种关键零部件的设计计算 .....	89	四、柱塞缸 .....	142
五、主要零件的材料与技术要求 .....	94	五、伸缩式液压缸 .....	143
第五节 无铰式轴向柱塞泵 .....	95	六、摆动液压缸 .....	144
一、无铰式轴向柱塞泵的运动		第二节 液压缸的设计与计算 .....	145
学分析 .....	95	一、液压缸的典型结构 .....	145
二、无铰式轴向柱塞泵的排量 .....	97	二、基本参数的确定 .....	146
三、无铰式轴向柱塞泵的受力分析 .....	97	三、结构强度计算与稳定校核 .....	148
第六节 阀配流径向柱塞泵 .....	98	四、液压缸其他结构的设计 .....	150
一、阀配流径向柱塞泵的工作原理 .....	98	第三节 数值控制和模拟控制液压缸 .....	154
二、典型结构介绍 .....	99	一、数字控制液压缸 .....	154
第七节 轴向柱塞泵的变量机构 .....	100	二、模拟控制液压缸 .....	155
一、变量调节原理和分类 .....	100	思考题和习题 .....	156
二、典型变量机构 .....	101		

## 第二篇 液压控制阀

<b>第八章 液压控制阀概述</b> .....	157	第二节 液压阀上的作用力 .....	159
第一节 液压控制阀的分类 .....	157	一、液压力 .....	159
一、根据在液压系统中的功用分类 .....	157	二、液动力 .....	160
二、根据控制方式分类 .....	157	三、液压侧向力 .....	163
三、根据结构形式分类 .....	158	四、弹性力 .....	164
四、根据连接和安装方式分类 .....	158	五、重力和惯性力 .....	164



第三节 阀口压力流量特性 .....	165	第十章 流量控制阀 .....	215
一、滑阀的压力流量特性 .....	165	第一节 节流口的流量特性 .....	215
二、锥阀的压力流量特性 .....	165	一、节流孔的流量特性 .....	215
第四节 液压阻尼及其压力流量方程 .....	167	二、影响流量稳定性的因素 .....	216
一、液压半桥的构成和功能 .....	167	三、常用节流口的形式 .....	217
二、液压半桥的基本类型及其特性 .....	168	第二节 节流阀 .....	218
三、半桥构成的基本原则 .....	170	一、结构与工作原理 .....	218
四、对先导控制液压桥路的要求 .....	171	二、节流阀的刚度 .....	218
第五节 液压阀的级间耦合 .....	171	三、节流阀的主要性能指标 .....	219
一、液压力耦合 .....	171	四、节流阀的设计要点 .....	219
二、位置耦合 .....	172	第三节 调速阀 .....	220
三、位移—力耦合 .....	172	一、调速阀的结构及工作原理 .....	220
四、电信号耦合 .....	172	二、调速阀的静态特性分析 .....	221
五、复合耦合 .....	172	三、调速阀的主要性能指标 .....	223
第六节 液压阀的控制输入装置 .....	173	四、调速阀的设计计算 .....	224
一、控制放大器 .....	173	第四节 温度补偿调速阀 .....	230
二、电—机械转换器 .....	174	第五节 溢流节流阀 .....	231
第七节 液压控制阀的噪声 .....	180	第六节 分流集流阀 .....	232
一、液压控制阀的噪声 .....	180	一、分流阀 .....	232
二、噪声的测量 .....	181	二、分流集流阀 .....	233
第八节 水压控制阀 .....	182	三、分流精度及影响分流精度	
一、水压控制阀的关键技术难题 .....	182	的因素 .....	234
二、几种水压控制阀的结构及特点 .....	183	思考题和习题 .....	234
第九节 液压控制阀的材料及工艺		第十一章 方向控制阀 .....	236
要求 .....	186	第一节 单向阀 .....	236
思考题和习题 .....	186	一、普通单向阀 .....	236
第九章 压力控制阀 .....	188	二、液控单向阀 .....	237
第一节 溢流阀 .....	188	第二节 换向阀 .....	238
一、溢流阀的结构和工作原理 .....	188	一、换向阀的分类及结构介绍 .....	238
二、溢流阀的性能指标 .....	192	二、滑阀机能 .....	245
三、溢流阀的静态特性分析 .....	193	三、换向阀的压力损失分析及	
四、溢流阀的动态特性分析 .....	196	主要结构尺寸确定 .....	247
五、溢流阀的设计计算 .....	200	四、换向阀的换向可靠性及	
第二节 减压阀 .....	204	操作力计算 .....	248
一、定压减压阀 .....	205	五、换向阀的泄漏分析 .....	250
二、定差减压阀 .....	208	六、换向平稳性分析 .....	251
三、定比减压阀 .....	209	第三节 多路换向阀 .....	251
四、减压阀的主要静态性能指标 .....	209	思考题和习题 .....	253
第三节 顺序阀 .....	210	第十二章 插装阀 .....	254
一、直动式顺序阀 .....	210	第一节 二通插装阀控制技术的发展	
二、先导式顺序阀 .....	211	及其技术特点 .....	254
第四节 平衡阀 .....	212	一、二通插装阀控制技术的形成	
思考题和习题 .....	213		

和发展 .....	254
二、二通插装阀控制的技术特点 .....	255
第二节 二通插装阀的结构和	
工作原理 .....	255
一、二通插装阀的组成 .....	255
二、二通插装阀的工作原理 .....	256
三、插装件 .....	256
四、控制盖板 .....	260
五、先导控制阀 .....	261
第三节 二通插装阀的控制组件 .....	262
一、二通插装阀的方向控制组件 .....	262
二、二通插装阀的压力控制组件 .....	263
三、二通插装阀的流量控制组件 .....	265
四、二通插装阀的复合控制组件 .....	266
第四节 螺纹插装阀 .....	267
一、螺纹插装阀与二通插	
装阀的比较 .....	267
二、螺纹插装阀的功能类别 .....	267
三、压力控制螺纹插装阀 .....	267
四、流量控制螺纹插装阀 .....	269
五、方向控制螺纹插装阀 .....	270

思考题和习题 .....	274
第十三章 电液比例阀 .....	275
第一节 概述 .....	275
一、电液比例阀的分类和组成 .....	275
二、电液比例阀的特点 .....	276
三、电液比例阀的基本性能要求 .....	277
第二节 电液比例压力阀 .....	279
一、电液比例压力先导阀 .....	279
二、先导式比例溢流阀 .....	281
三、电液比例减压阀 .....	284
第三节 电液比例流量阀 .....	287
一、直动式比例流量阀 .....	287
二、先导式比例流量阀 .....	288
第四节 电液比例方向阀 .....	292
一、比例方向阀的特点 .....	292
二、比例方向阀的类型 .....	292
三、直动式比例方向阀 .....	292
四、先导式比例方向阀 .....	293
第五节 高性能电液比例方向阀 .....	294
思考题和习题 .....	296

### 第三篇 液压传动系统

第十四章 液压传动系统的分类	
与基本回路 .....	297
第一节 液压传动系统的分类 .....	297
一、按照工作介质的循环方式分类 .....	297
二、按一台液压泵向多个执行机构	
的供油方式分类 .....	298
三、按系统中所使用液压泵的	
数量分类 .....	300
第二节 液压传动系统的基本回路 .....	302
一、压力控制回路 .....	302
二、速度控制回路 .....	309
三、方向控制回路 .....	312
四、其他控制回路 .....	314
思考题和习题 .....	323
第十五章 液压传动系统的性能分	
析 .....	326
第一节 节流调速回路性能分析 .....	326
一、节流调速回路的静态特性 .....	326
二、节流调速回路的动态特性 .....	335

第二节 容积调速回路性能分析 .....	338
一、容积调速回路静态特性 .....	338
二、容积调速回路动态特性 .....	345
第三节 压力、流量及功率适应回路 .....	348
一、压力适应回路 .....	348
二、流量适应回路 .....	350
三、功率适应回路 .....	351
第四节 液压系统振动、噪声和	
爬行分析 .....	352
一、液压系统的噪声源 .....	352
二、液压系统噪声控制 .....	353
三、爬行现象及其消除 .....	355
思考题和习题 .....	357
第十六章 典型液压系统分析 .....	361
第一节 M1432A 型万能外圆磨床液压	
系统分析 .....	361
一、概述 .....	361
二、M1432A 型万能外圆磨床液压	
系统工作原理 .....	362

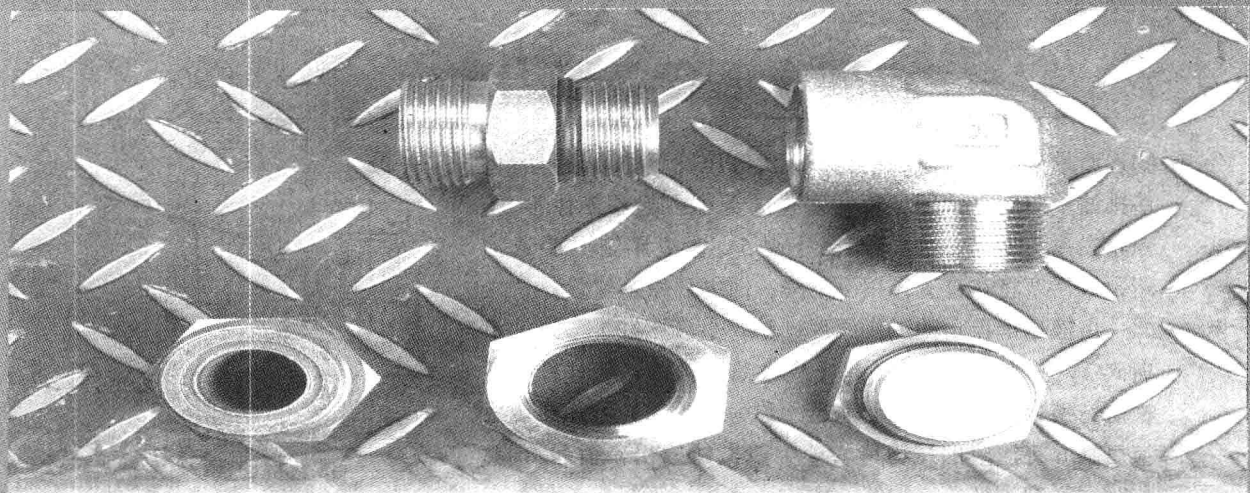
三、M1432A 型万能外圆磨床液压 系统特点 .....	365	第三节 拟定液压系统原理图 .....	383
第二节 液压机液压系统分析 .....	365	第四节 液压元件的计算和选择 .....	385
一、概述 .....	365	一、液压泵的选择 .....	385
二、5000kN 单动薄板冲压机插装阀 集成液压系统工作原理 .....	366	二、计算原动机的功率 .....	386
三、液压系统特点 .....	368	三、液压控制阀的选择 .....	386
第三节 挖掘机液压系统分析 .....	368	四、蓄能器的选择 .....	387
一、概述 .....	368	五、过滤器的选择 .....	387
二、液压系统工作原理 .....	369	六、冷却器的选择 .....	387
三、液压系统特点 .....	370	七、压力表与压力表开关的选择 .....	388
第四节 液压起货机液压系统分析 .....	371	八、列出液压元件明细表 .....	388
一、概述 .....	371	第五节 液压系统性能验算 .....	388
二、液压起货机液压系统 .....	371	一、液压系统压力损失的验算 .....	388
三、液压起货机液压系统特点 .....	373	二、液压系统总效率的验算 .....	389
第五节 导弹发射勤务塔架液压 系统分析 .....	373	三、液压系统发热温升的计算 .....	389
一、概述 .....	373	第六节 液压装置的结构设计 .....	390
二、平台液压系统工作原理 .....	373	一、液压装置的结构形式 .....	390
三、平台液压系统特点 .....	376	二、液压泵站类型及其组件 的选择 .....	390
思考题和习题 .....	376	三、油箱 .....	392
<b>第十七章 液压系统设计</b> .....	379	四、阀集成块 .....	392
第一节 明确设计要求, 进行工况 分析 .....	379	五、管路及管路布置 .....	393
一、明确设计要求 .....	379	第七节 绘制工作图、编写技术文件 .....	393
二、进行工况分析 .....	380	一、绘制工作图 .....	393
第二节 确定液压系统的主要参数 .....	381	二、编写技术文件 .....	394
一、初选系统的工作压力 .....	381	第八节 液压系统设计计算举例 .....	394
二、计算液压缸的工作面积和流量 .....	382	一、工况分析 .....	394
三、计算液压马达的排量 and 流量 .....	382	二、液压缸主要参数的确定 .....	394
四、绘制执行元件工况图 .....	383	三、液压系统图的拟定 .....	395
		四、液压元件的选择 .....	396
		五、液压系统的性能验算 .....	396
		思考题和习题 .....	398

## 第四篇 液压系统工作介质、污染控制及液压辅件

<b>第十八章 液压系统工作介质</b> .....	401	第三节 工作介质的分类 .....	411
第一节 工作介质的主要理化性能 .....	401	一、按品种分类 .....	411
一、密度 .....	401	二、按粘度分类 .....	412
二、压缩系数和体积弹性模量 .....	402	第四节 液压油(液)的主要品种及 技术性能 .....	412
三、油中混气与有效体积弹性模量 .....	403	一、矿物油型及合成烃型液压油 的主要品种及技术性能 .....	412
四、汽化压力 .....	403	二、难燃液的主要品种及技术 性能 .....	414
五、粘度 .....	403		
第二节 液压系统对工作介质的 主要性能要求 .....	409		

第五节 液压油(液)的选用 .....	416	三、过滤器尺寸的确定 .....	453
一、液压油的选用 .....	416	四、检测并确认能否达到目标 清洁度 .....	453
二、液压油粘度等级的选择 .....	418	第七节 液压系统污染控制与管理 .....	454
三、难燃液压液的选用 .....	419	一、污染控制平衡图 .....	454
第六节 液压油(液)的合理使用 和维护 .....	421	二、污染源及控制措施 .....	455
一、合理使用的要点 .....	421	三、液压元件和系统的清洗 .....	456
二、矿物油型液压油的更换 .....	422	四、液压系统污染控制管理规范 .....	457
三、难燃液压液的维护及监测 .....	423	思考题和习题 .....	457
第七节 水及可快速生物分解的液 压液 .....	425	<b>第二十章 液压密封装置</b> .....	458
一、水是最理想的工作介质 .....	425	第一节 密封件的分类和材料 .....	458
二、可快速生物分解的液压液 .....	426	一、密封件的分类 .....	458
思考题和习题 .....	427	二、对密封装置的基本要求 .....	459
<b>第十九章 工作介质的污染控制与     管理</b> .....	428	三、常用密封材料 .....	459
第一节 污染物的种类、来源及危害 .....	428	第二节 O形密封圈 .....	461
一、污染物的种类及来源 .....	428	一、O形圈的特点及用途 .....	461
二、固体颗粒污染物及其危害 .....	429	二、O形圈尺寸规格的合理选用 .....	462
三、空气侵入及其危害 .....	430	三、O形圈安装沟槽的合理设计 .....	462
四、水的侵入及其危害 .....	430	四、安装和使用中应注意的问题 .....	464
第二节 油液污染度等级及测定 .....	431	五、异形截面橡胶O形圈 .....	466
一、污染度等级 .....	431	六、非橡胶O形圈 .....	467
二、污染度测定方法 .....	433	第三节 唇形密封圈 .....	468
第三节 污染磨损、污染敏感度及 失效形式 .....	436	一、V形密封圈 .....	468
一、污染磨损机理 .....	436	二、Y形密封圈 .....	469
二、液压泵污染敏感度试验方法 .....	437	三、特殊形状唇形密封圈 .....	470
三、失效形式 .....	439	第四节 同轴密封圈(橡塑组合滑环 密封)及支承环 .....	471
第四节 过滤原理、过滤器结构及其 性能参数 .....	440	一、同轴密封圈(橡塑组合滑环 密封) .....	471
一、油液的净化方法 .....	440	二、支承环 .....	472
二、过滤原理及过滤介质 .....	440	第五节 旋转轴唇形密封及橡塑 组合旋转密封 .....	473
三、过滤器的分类及结构 .....	442	一、旋转轴唇形密封圈 .....	473
四、过滤器的性能参数 .....	444	二、橡塑组合旋转密封圈 .....	474
第五节 过滤系统的污染控制分析 .....	445	第六节 机械密封 .....	475
一、过滤系统污染控制方程 .....	445	第七节 防尘圈 .....	475
二、流量脉动对过滤性能的影响 .....	446	一、普通型防尘圈 .....	475
三、旁通泄漏对过滤性能的影响 .....	447	二、橡塑组合防尘圈 .....	475
第六节 过滤系统的设计 .....	448	三、旋转轴用防尘圈 .....	476
一、过滤器的设置位置 .....	448	思考题和习题 .....	476
二、过滤器精度的选择 .....	450	<b>第二十一章 液压辅件</b> .....	477
		第一节 蓄能器 .....	477

一、蓄能器的功用及分类 .....	477	一、冷却器的分类 .....	494
二、蓄能器的工作过程及原理 .....	480	二、冷却器的计算和选用 .....	495
三、蓄能器参数的计算 .....	481	三、冷却器的安装 .....	496
四、蓄能器的选择、安装及使用 .....	485	第四节 液压管路及接头 .....	497
第二节 油箱 .....	486	一、管路的种类及材料 .....	498
一、油箱的功用及类型 .....	486	二、油管内径和壁厚的确定 及受力分析 .....	498
二、油箱容积的确定 .....	488	三、管接头的结构及选择 .....	500
三、油箱的结构要点 .....	490	思考题与习题 .....	504
四、油箱附件 .....	492	<b>参考文献</b> .....	<b>506</b>
第三节 冷却器 .....	494		



# 第一章

## 绪 论

液压传动是以液体作为工作介质，通过各种液压元件实现能量转换、传递和控制的技术。它作为现代传动和控制的关键基础技术之一，已被广泛应用于各类机械装备中。

液压元件和系统是技术性很强，对主机性能影响极大的一类基础件。世界工业发达国家都将液压工业列为竞相发展的产业，其发展速度也远远高于机械工业的发展速度。现代液压元件、系统及其控制已发展成为综合的液压技术，其应用和发展被普遍认为是衡量一个国家的工业水平和现代工业发展水平的重要标志。

### 第一节 液压传动的工作原理和基本特征

一部机器通常由三部分组成，即原动机→传动装置→工作机。原动机的作用是把各种形态的能量转变为机械能，是机器的动力源；工作机是利用机械能对外做功；传动装置设在原动机和工作机之间，起传递动力和进行控制的作用。传动的类型有多种，按照传动所采用的机件或工作介质的不同主要可分为：机械传动、电力传动、气压传动和液体传动。

用液体作工作介质进行能量传递和控制的，称为液体传动。按其工作原理不同，又可分为液压传动和液力传动。前者主要利用液体的压力能来传递动力；后者主要利用液体的动能传递动力。

液压传动是利用液体静压传动原理来实现的。现以图 1-1 所示的液压千斤顶为例来说明液压传动的工作原理和基本特征。

如图 1-1 所示，当向上抬起杠杆时，小液压缸 1 中的小活塞向上运动，小液压缸下腔容积增大形成局部真空，排油单向阀 2 关闭，油箱 4 中的油液在大气压作用下经吸油管顶开吸油单向阀 3 进入小液压缸的下腔。当向下压杠杆时，小液压缸下腔容积减小，油液受挤压，压力升高，关闭吸油单向阀 3，顶开排油单向阀 2，油液经排油管进入大液压缸 6 的下腔，推动大活塞上移顶起重物。如此不断上下扳动杠杆，则不断有油液进入大液压缸下腔，使重

物逐渐举升。如杠杆停止动作，大液压缸下腔油液压力将使排油单向阀 2 关闭，大活塞连同重物一起被锁住不动，停止在举升位置。如打开截止阀 5，大液压缸下腔通油箱，大活塞将在自重作用下下移，恢复到原始位置。

由液压千斤顶的工作原理可知，小液压缸 1 与排油单向阀 2、吸油单向阀 3 一起完成吸油与排油，将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出，称为（手动）液压泵。大液压缸 6 将油液的压力能转换为机械能输出，抬起重物，称为（举升）液压缸。图中大、小液压缸等组成了最简单的液压传动系统，实现了力和运动的传递。

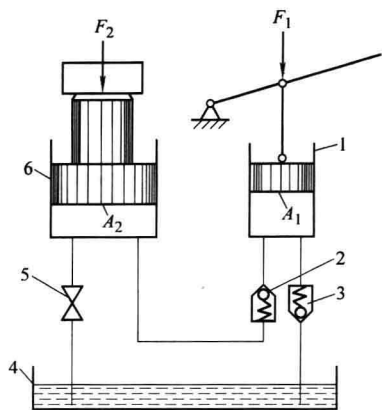


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—小液压缸 2—排油单向阀 3—吸油单向阀 4—油箱 5—截止阀 6—大液压缸

液压传动的基本特征是：

(1) 力的传递 设大液压缸活塞面积为  $A_2$ ，作用在大液压缸活塞上的负载力为  $F_2$ ，该力在大液压缸中所产生的液体压力为  $p_2 = F_2/A_2$ 。根据帕斯卡原理，“在密闭容器内，施加于静止液体上的压力将以等值同时传递到液体各点”，所以，液压泵的排油压力  $p_1$  应等于大液压缸中的液体压力  $p_2$ ，即  $p_1 = p_2 = p$ ，液压泵的排油压力又称为系统压力。由此可得

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = p \quad (1-1)$$

或

$$F_2 = pA_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (1-2)$$

式中  $F_1$ ——小液压缸活塞上的作用力；

$A_1$ ——液压泵活塞面积。

在  $A_1$ 、 $A_2$  一定时，负载力  $F_2$  越大，系统中的压力  $p$  也越大，所需要的作用力  $F_1$  也越大，即系统压力与外负载密切相关。这是液压传动工作原理的第一个特征：液压传动中工作压力取决于外负载（包括外力和液阻），并非取决于液压泵，泵只是按负载大小提供压力而已。

通过改变大液压缸活塞面积  $A_2$  和（或）系统工作压力  $p$ ，可以获得为驱动负载所需的任意大小的负载力  $F_2$ 。因此，利用液压传动很容易获得大型设备上所需要的很大的力和力矩。为了保证工作安全，液压系统中的工作压力不允许任意提高，而必须限定在某一额定值以内。

(2) 运动的传递 如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、管路的变形，液压泵排出的液体体积必然等于进入大液压缸的液体体积。设液压泵活塞位移为  $s_1$ ，大液压缸活塞位移为  $s_2$ ，则有

$$s_1 A_1 = s_2 A_2 \quad (1-3)$$

上式两边同除以运动时间  $t$ ，得

$$q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2 = q \quad (1-4)$$

式中  $v_1$ 、 $v_2$ ——液压泵中活塞、大液压缸中活塞的平均运动速度；

$q_1$ 、 $q_2$ ——液压泵输出的平均流量、大液压缸输入的平均流量。

由上述可见，液压传动是靠密闭腔工作容积变化相等的原理实现运动（速度和位移）的传递。调节进入大液压缸的流量  $q$ ，即可调节其活塞的运动速度  $v_2$ ，这是液压传动工作原理的第二个特征；活塞的运动速度只取决于输入流量的大小，而与外负载无关。如果活塞尺寸一定，只要连续改变泵的输出流量  $q$ ，就可以连续改变活塞的运动速度，从而实现无级调速。

从上面的讨论还可以看出，与外负载力相对应的流体参数是流体压力，与运动速度相对应的流体参数是流体流量。因此，压力和流量是液压传动中两个最基本的参数。

图 1-1 中，使大活塞上的负载力  $F_2$  上升所需要的功率为

$$P = F_2 v_2 = p A_2 \frac{q}{A_2} = pq \quad (1-5)$$

式中，若取压力  $p$  的单位为 Pa，流量  $q$  的单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ ，则功率  $P$  的单位为 W。由此可见，液压系统工作压力与流量之积就是功率，称之为液压功率。

由图 1-1 也可以看出，在小液压缸中，驱动小活塞所作的机械功变成排出液体的压力能；而在大液压缸中，进入大液压缸的液体压力能通过大活塞转变为驱动负载所需的机械能。所以在液压系统中要发生两次能量的转换。把机械能转变为液体压力能的元件或装置称为液压泵或能源装置；而把液体压力能转变为机械能的元件称为执行元件。

## 第二节 液压传动系统的组成

### 一、液压系统的组成

工程实际中的液压传动系统，在液压泵—液压执行元件（液压缸或液压马达）的基础上还应设置有控制执行元件运动方向、运动速度和最大作用力的装置以及其他辅件，下面以图 1-2 所示磨床工作台液压系统为例，说明其组成。

液压泵 3 由电动机驱动旋转，从油箱 1 经过滤器 2 吸油。当换向阀 5 的阀心处于图示位置时，压力油经流量控制阀 4、阀 5 和管道 9 进入液压缸 7 的左腔，推动活塞向右运动。液压缸 7 右腔的油液经管道 6、阀 5 和管道 10 流回油箱。使换向阀 5 的阀心处于左端工作位置时，液压缸活塞反向运动。

改变流量控制阀 4 的开口，可以改变进入液压缸的流量，从而控制液压缸活塞的运动速度。液压泵排出的多余油液经溢流阀 11 和管道 12 流回油箱。液压缸的工作压力取决于负载，液压泵的最大工作压力由溢流阀 11 调定，其调定值应为液压缸的最大工作压力及系统中油液流经阀和管道的压力损失的总和。因此，系统的工作压力不会超过溢流阀的调定值，溢流阀对系统还起着过载保护作用。

由上面的例子可以看出，一个正常工作的液压系统，一般都应具有下列五个主要部分：

(1) 动力源—液压泵站 它将电动机（或其他原动机）输出的机械能转变为工作液体的压力能。一般为液压泵。

(2) 执行元件 包括液压缸和液压马达。它把工作液体的压力能重新转变为往复直线运



动或回转运动的机械能，推动负载运动。

(3) 控制元件 包括对液压系统中液体压力、流量（速度）和方向进行控制和调节的压力阀、流量阀和方向阀，实现液压系统的工作循环。

(4) 辅助元件 为保证液压系统正常工作所需的上述三类元件以外的装置，在系统中起到输送、贮存、加热、冷却、过滤和测量等作用。包括管路、管接头、油箱、过滤器、蓄能器以及各种指示和控制仪表等。

(5) 工作介质 利用它进行能量和信号传递。

以上五个部分将在后续章节中分别进行深入介绍。

## 二、液压系统的图形符号表示

图 1-2 所示的磨床工作台液压系统是一种半结构式的工作原理图，其直观性强，容易理解，但绘制起来比较繁琐。为了简化液压系统的表示方法，通常采用图形符号来绘制液压系统原理图。元件的图形符号脱离了元件本身的具体结构，只表示其职能、操作（控制）方法及外部连接。用图形符号绘制的液压系统图表明组成系统的元件、元件间的相互关系及整个系统的工作原理，并不表示其实际安装位置及布管，具有简单明了，绘制方便等优点。我国已制订液压与气动图形符号标准 GB/T786.1—1993，图 1-3 就是按国标 GB/T786.1—1993 绘制的由图 1-2 所示的磨床工作台液压系统原理图。

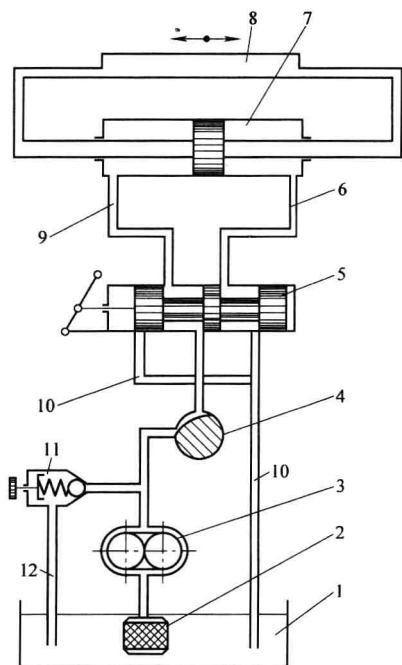


图 1-2 磨床工作台液压系统  
工作原理结构示意图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—流量  
控制阀 5—换向器 6、9、10、12—管道  
7—液压缸 8—工作台 11—溢流阀

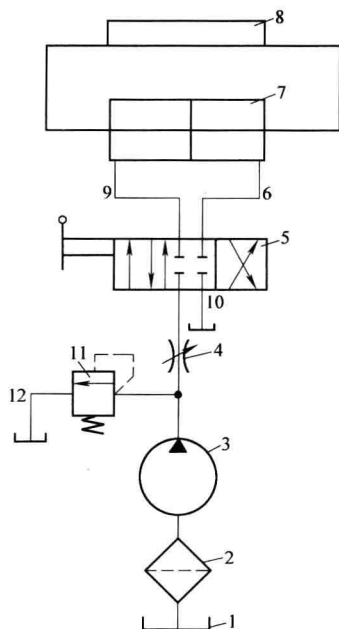


图 1-3 磨床工作台液压系统原理图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—流量  
控制阀 5—换向器 6、9、10、12—管道  
7—液压缸 8—工作台 11—溢流阀