

# 液压元件及应用

刘思远 石景林/主编



燕山大学出版社  
YANSHAN UNIVERSITY PRESS



图书分类◎高校教材

ISBN 978-7-5761-0578-0




9 787576 105780 >

定价：96.00元

# 液压元件及应用

刘思远 石景林 主编

 燕山大学出版社

· 秦皇岛 ·

图书在版编目(CIP)数据

液压元件及应用/刘思远,石景林主编. —秦皇岛:燕山大学出版社,2024.4  
ISBN 978-7-5761-0578-0

I. ①液… II. ①刘… ②石… III. ①液压元件 IV. ①TH137.5

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 211041 号

液压元件及应用

YEYA YUANJIAN JI YINGYONG

刘思远 石景林 主编

出版人:陈玉

责任编辑:朱红波

责任印制:吴波

封面设计:刘韦希

出版发行:  燕山大学出版社  
YANSHAN UNIVERSITY PRESS

电 话: 0335-8387555

地 址: 河北省秦皇岛市河北大街西段 438 号

邮政编码: 066004

印 刷: 涿州市般润文化传播有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 18.5

版 次: 2024 年 4 月第 1 版

印 次: 2024 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5761-0578-0

字 数: 438 千字

定 价: 96.00 元

版权所有 侵权必究

如发生印刷、装订质量问题,读者可与出版社联系调换

联系电话:0335-8387718

## 内 容 介 绍

本书共分为十章,书中介绍了各类液压元件、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、静动态特性及分析、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、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,也可供从事液压相关工作的工程技术人员、研究人员和高等工科院校有关师生学习和参考。

本书特点在于:

(1) 按照专业认证标准中对液压元件课程的要求进行编写,注重学生能力的培养;

(2) 书中明确体现了课程所培养的学生能力,明确了所培养的能力在专业认证中对毕业要求达成的具体支承关系;

(3) 突破了传统教材的内容体系,更加注重学生实践能力和专业素质的培养;

(4) 围绕液压元件有针对性地给出对应应用和案例,全方位地向学生展示液压元件的知识要点。

# 前 言

本书是为适应机械类和近机械类专业本科生学习“液压元件”课程而编写的,也适用于各类从事液压相关的工程技术人员学习和参考。

本书兼顾了液压元件技术传统体系和未来发展趋势,突出理论与实际应用相结合,精简了部分深奥的理论和复杂的公式推导,增加了液压元件实物图片、原理图以及具有代表性的应用案例,便于加深学生对于基础液压元件原理的理解,尤其注重基础知识传授和学生能力培养并重。

本书章节层次清晰,内容简洁,实例均为工业典型应用。各章均配有相应的习题,并对全部书后习题进行了详细解答。

为便于读者理解,书中涉及的实物图、结构图和原理图均以彩图为主,读者可以更直观地理解相关知识。

本书的第1章到第8章由燕山大学刘思远编写,第9章和第10章由徐州良贞教育科技有限公司石景林编写。全书由刘思远统稿。

燕山大学高殿荣教授详细审阅了全稿,并提出了许多宝贵意见和建议,在此谨向他表示诚挚的谢意。

由于笔者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 液压传动发展史及特点 .....	1
1.1.1 液压传动发展史 .....	1
1.1.2 液压传动的特点 .....	2
1.1.3 液压传动的应用 .....	3
1.2 液压传动的工作原理和基本特征 .....	3
1.2.1 液压传动的工作原理 .....	3
1.2.2 液压传动的的基本特征 .....	4
1.3 液压传动系统的组成及图形符号 .....	6
1.3.1 液压传动系统的组成 .....	6
1.3.2 液压传动系统的图形符号 .....	6
第 2 章 液压动力元件 .....	8
2.1 液压泵概述 .....	8
2.1.1 液压泵正常工作的条件 .....	8
2.1.2 液压泵的性能参数 .....	8
2.1.3 液压泵的图形符号 .....	11
2.2 齿轮泵 .....	11
2.2.1 外啮合齿轮泵 .....	12
2.2.2 外啮合齿轮泵的困油现象 .....	17
2.2.3 高压化需要解决的主要问题 .....	19
2.2.4 内啮合齿轮泵 .....	25

<b>2.3 叶片泵</b> .....	27
2.3.1 双作用叶片泵的原理 .....	28
2.3.2 瞬时流量、排量及流量计算 .....	29
2.3.3 定子曲线 .....	32
2.3.4 双作用叶片泵高压化要解决的主要问题 .....	35
2.3.5 单作用叶片泵 .....	39
<b>2.4 轴向柱塞泵</b> .....	43
2.4.1 柱塞泵概述 .....	43
2.4.2 柱塞泵工作原理 .....	45
2.4.3 斜盘式轴向柱塞泵的排量及流量计算 .....	47
2.4.4 斜盘式轴向柱塞泵的三大关键摩擦副 .....	52
2.4.5 轴向柱塞泵的变量调节机构 .....	61
<b>第3章 液压执行元件</b> .....	71
<b>3.1 常用液压马达的结构和工作原理</b> .....	71
3.1.1 液压马达性能参数 .....	71
3.1.2 高速液压马达的原理 .....	74
3.1.3 低速液压马达的原理 .....	77
<b>3.2 常用液压缸的工作原理</b> .....	86
3.2.1 柱塞缸 .....	87
3.2.2 活塞缸 .....	89
3.2.3 伸缩缸 .....	92
3.2.4 其他液压缸 .....	94
<b>3.3 常用液压缸结构</b> .....	95
3.3.1 缸体组件 .....	96
3.3.2 活塞组件 .....	98
3.3.3 液压缸的密封装置 .....	98
3.3.4 缓冲装置 .....	102
3.3.5 排气装置 .....	103
<b>第4章 压力控制元件</b> .....	106
<b>4.1 溢流阀</b> .....	106
4.1.1 直动式溢流阀 .....	106
4.1.2 先导式溢流阀 .....	107

4.1.3	电磁溢流阀	109
4.1.4	溢流阀功用	110
4.1.5	溢流阀的静态性能指标	111
4.2	减压阀	113
4.2.1	定压减压阀	113
4.2.2	定差减压阀	116
4.2.3	定比减压阀	116
4.3	顺序阀	117
4.3.1	直动式顺序阀	118
4.3.2	先导式顺序阀	119
4.4	压力继电器	120
<b>第5章 流量控制元件</b>		123
5.1	节流口的设计原理	123
5.1.1	节流口的流量特性	123
5.1.2	影响流量稳定性的因素	124
5.1.3	常用节流口的形式	125
5.2	节流阀	126
5.2.1	节流阀的结构与工作原理	126
5.2.2	节流阀的刚度	128
5.3	调速阀	129
5.3.1	调速阀的结构及工作原理	129
5.3.2	调速阀的静态特性分析	131
5.3.3	温度补偿调速阀	132
5.4	溢流节流阀	134
5.4.1	溢流节流阀的结构与工作原理	134
5.4.2	调速阀和溢流节流阀比较	135
5.5	分流集流阀	135
<b>第6章 方向控制元件</b>		138
6.1	单向阀	138
6.1.1	普通单向阀	138
6.1.2	液控单向阀	139
6.1.3	双液控单向阀	140

6.1.4	单向阀的应用	140
<b>6.2</b>	<b>换向阀</b>	<b>142</b>
6.2.1	换向阀的分类介绍	142
6.2.2	换向阀的工作原理	143
6.2.3	常用换向阀	144
6.2.4	滑阀的中位机能	150
6.2.5	多路换向阀	152
6.2.6	其他类型的方向控制阀	156
<b>第7章</b>	<b>液压辅助元件</b>	<b>162</b>
<b>7.1</b>	<b>蓄能器</b>	<b>162</b>
7.1.1	蓄能器的功用	162
7.1.2	蓄能器的分类及特点	164
7.1.3	蓄能器的容量计算	166
7.1.4	蓄能器的选择、安装和使用	167
<b>7.2</b>	<b>油箱</b>	<b>168</b>
7.2.1	油箱容积的确定	168
7.2.2	油箱的结构设计要点	170
<b>7.3</b>	<b>热交换器和热平衡</b>	<b>171</b>
7.3.1	冷却器	172
7.3.2	加热器	173
7.3.3	热平衡计算	174
<b>7.4</b>	<b>过滤器</b>	<b>176</b>
7.4.1	过滤器的结构	176
7.4.2	过滤器的性能参数	178
7.4.3	过滤器的安装和选用	178
<b>7.5</b>	<b>液压管路及管接头</b>	<b>182</b>
7.5.1	管路的种类和材料	182
7.5.2	油管的内径、壁厚的确定	183
7.5.3	管接头结构及选择	184
<b>7.6</b>	<b>密封件</b>	<b>186</b>

第 8 章 插装阀 .....	191
8.1 二通插装阀 .....	191
8.1.1 盖板式插装阀的基本组成及工作原理 .....	192
8.1.2 插装件 .....	193
8.1.3 控制盖板 .....	194
8.1.4 控制组件 .....	196
8.2 螺纹插装阀 .....	201
8.2.1 压力控制螺纹插装阀 .....	202
8.2.2 流量控制螺纹插装阀 .....	203
8.2.3 方向控制螺纹插装阀 .....	207
第 9 章 集成式液压元件 .....	209
9.1 集成式液压元件简介 .....	209
9.2 开式和闭式液压泵 .....	209
9.3 集成式液压马达 .....	214
9.4 负载敏感比例多路阀 .....	215
9.5 回转缓冲阀 .....	219
9.6 组合型平衡阀 .....	220
第 10 章 典型液压元件的应用案例 .....	221
10.1 概述 .....	221
10.2 摊铺机的液压系统 .....	222
10.2.1 摊铺机液压系统的构成及特点 .....	223
10.2.2 摊铺机液压系统的行走系统 .....	223
10.2.3 刮板输料系统 .....	228
10.2.4 螺旋分料系统 .....	229
10.2.5 振捣和振动系统 .....	230
10.2.6 油缸系统 .....	232
10.2.7 冷却系统 .....	233
10.2.8 摊铺机液压系统辅件介绍 .....	234
10.3 混凝土泵车的液压系统 .....	234
10.3.1 开式泵送液压系统 .....	236
10.3.2 闭式泵送液压系统 .....	239

10.3.3 泵车的臂架和其他系统 .....	244
<b>10.4 注塑机械的液压系统 .....</b>	<b>247</b>
10.4.1 注塑机的结构和工作原理 .....	248
10.4.2 液压系统典型回路 .....	249
<b>参考文献 .....</b>	<b>252</b>
<b>附录 常用液压元件图形符号 .....</b>	<b>254</b>
<b>部分习题参考答案 .....</b>	<b>260</b>

# 第 1 章 绪论

机械设备主机一般由原动机、传动装置和工作机三部分组成。原动机提供动力,把各种形态的能量转换成机械能;工作机利用获得的机械能对外做功;传动装置采用的传动方式通常分为机械传动、电气传动和流体传动。流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的传动方式,包括液压传动、液力传动和气压传动。液压传动和液力传动属于液体传动,前者是基于帕斯卡定律,以液体为工作介质利用液体压力能来传递动力,进行能量转换和控制的一种传动方式;后者是基于欧拉方程,利用液流的动能来传递动力的一种传动方式。

液压传动与其他传动方式相比具有许多优点,因此在机械工程中,液压传动被广泛应用。本章介绍液压传动发展史、特点、工作原理、基本组成及图形符号等内容。

## 1.1 液压传动发展史及特点

### 1.1.1 液压传动发展史

相对于机械传动,液压传动是一门新的技术。早在 1600 年,德国人开普勒就发明了齿轮泵,但最初并未获得应用。1663 年,法国人帕斯卡提出了静压传动的概念和液压机的原理。1795 年,英国人博拉玛利用帕斯卡原理制造了世界上第一台水压机。在蒸汽机能够实用后,英国和法国开始建设为驱动液压机械提供能量的高压水网。19 世纪下半叶,英国人阿姆斯强研发了许多液压机械和元件,主要用于船舶绞锚机和提升机。1880 年,奥地利在开凿阿尔卑斯隧道时第一次使用了液压钻机,那时使用的许多元件与现在的元件已经很相似了。1905 年,人们发现矿物油更适宜作为液压介质,因此,在很短的时间内矿物油就被普遍采用了。1925 年,维克斯(Vickers)发明了平衡式叶片泵并进行了商业应用,奠定了近代液压工业的基础。液压技术在两次世界大战期间被迅速推进,到 1940 年时,工作压力为 35 MPa 的液压泵就已经系列化生产了。

近几十年来,随着原子能、空间技术、微电子和计算机技术的迅速发展,液压技术也得到了很大的发展,并应用到各个工业领域中。当今液压技术正向着高速、高压、大功率、高效率、低噪声、长寿命、高度集成化、复合化、数字化、小型化、轻量化等方向发展;同时,新型液压元件和液压系统的计算机辅助测试(CAT)、计算机直接控制(CDC)、机电一体化技术、计算机仿真和优化设计技术、可靠性技术、基于绿色制造的水介质传动技术以及污染控制方面,也是当前液压技术发展和研究的方向。

我国液压技术开始于 1952 年,液压元件最初应用于机床和锻压设备,后来应用于工程机械。1964 年,我国开始从国外引进液压元件生产技术,同时自行设计液压产品,经过多年的努力和发展,在 20 世纪 80 年代初期引进了美国、日本、德国的先进技术和设备,使我国液压技术水平上升了一个新的台阶。目前,我国已经形成了门类齐全的标准化、系列化和通用化的液压元件系列产品,在消化和吸收国外先进技术的同时,大力研制、开发国产液压件

新产品,加强产品质量可靠性以及新技术应用的研究,积极采用新国家标准,不断调整产品结构;而对一些性能差的液压件产品,采用逐步淘汰的措施。由此可见,随着科学技术特别是控制技术和计算机技术的发展,液压传动与控制技术将得到进一步发展,应用范围将更加广泛。

### 1.1.2 液压传动的特点

与上述传动方式比较,液压传动具有独特的优越性,表 1-1 对各种传动方式的几种主要传动特性进行了比较。

表 1-1 各种传动方式的主要传动特性比较

传动方式	功率-质量比	转矩与转动惯量比	响应速度	可控性	负载刚度	调速范围
机械传动	小	小	低	差	中等	小
电气传动	小	小	中等	中等	差	中等
机电传动	小	小	中等	中等、好	差	中等、大
气压传动	中等	中等	低	中等	差	小
液压传动	大	大	高	好	大	大

主要优点:

(1) 功率-质量比大,控制灵活,响应速度快。液压马达或液压泵的重量只有同功率电动机重量的 10%~20%,而且能传递较大的力或扭矩。

(2) 速度易于调节,方便实现无级调速,调速范围大,低速性能好。液压传动的调速比可达 100:1~2 000:1。多作用内曲线液压马达可在 0.5~1 r/min 的转速下平稳运转。

(3) 操纵省力,控制、调节简单,易于实现自动化,与电气控制配合使用能够实现复杂的顺序动作和远程控制。

(4) 易于实现过载保护。在系统超载时利用溢流阀可实现油液溢流回油箱,起到安全保护的作用。

(5) 采用油液作为工作介质能够实现自行润滑和吸振作用,使液压系统工作平稳,使用寿命长。

(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) 易于实现回转运动、直线运动,且元件排列布置灵活。

(8) 功率损失产生的热量可被油液带走,避免局部温度过高。

主要缺点:

(1) 液压传动以液体作为工作介质,易泄漏,油液可压缩,且考虑到管路弹性变形等原因,故不能保证严格的传动比。

(2) 油液泄漏造成环境污染、资源浪费,油液燃烧可能导致重大事故。

(3) 液压传动对油温和负载变化敏感,不宜在低温和高温下使用,对污染很敏感。

(4) 液压能获得与传递不如电能方便,且由于压力损失等原因,液压能不宜远距离输

送。

(5) 传动效率较低。从机械能转化为液压能,在转回机械能的过程中有压力、流量损失。而机械传动没有能量转化,仅有摩擦损失。因此液压传动效率不如机械传动。

(6) 液压元件制造精度高,造价高,所以需要进行专业生产。

(7) 液压系统工作的封闭性使得故障征兆难以及时发现,不易迅速排除。

### 1.1.3 液压传动的应用

当前广泛应用液压技术的领域,各部门应用液压传动的出发点各不相同,例如:工程机械、压力机械采用液压传动主要是因其结构简单、输出力大;航空工业采用液压传动主要是因为它重量轻、体积小;机床中采用液压传动主要是因为它可实现无级变速,易于实现自动化,能实现频繁换向的往复运动。当前广泛应用液压技术的领域主要包括以下五个方面:

(1) 工业机械。液压技术可应用于锻压机械、注塑机、挤压机、冶金机械、矿山机械、包装机械、机床、加工中心、机器人、试验机以及其他生产设备等,一般称为工业液压技术。

(2) 行走机械。液压技术可应用于工程机械、建筑机械、农业机械、汽车以及其他可移动设备等,一般称为行走机械液压技术。

(3) 航空及航天。液压技术可应用于飞机、宇宙飞船、导弹液压舵机、火箭姿态控制及卫星发射装置等,一般称为航空航天液压技术。

(4) 舰艇(艇)。液压技术可应用于船舶、舰艇中的舵机、甲板机械、操作系统、控制系统、海水淡化及水雾灭火系统等,一般称为船舶液压技术。

(5) 海洋开发工程。液压技术可应用于海洋钻探平台、海底工作机械、海洋开发机械及水下作业工具等,一般称为海洋工程液压技术。

## 1.2 液压传动的工作原理和基本特征

### 1.2.1 液压传动的工作原理

以液压千斤顶为例来说明液压传动的工作原理。如图 1-1 所示,手柄带动小活塞上提,小液压缸容积扩大形成真空,排油单向阀关闭,油箱中的液体在大气压作用下经吸油单向阀进入小液压缸内;手柄带动小活塞下压,吸油单向阀关闭,小液压缸中的液体推开排油单向阀,进入大液压缸中,迫使大活塞克服阻力做功,使重物提升;当需要大液压缸的大活塞停止时,手柄停止运动,大液压缸中的液压力使排油单向阀关闭,大液压缸活塞就自锁不动;工作过程中,截止阀关闭,当需要大液压缸的大活塞放下时,打开截止阀,液体在重力作用下流回油箱。重复以上过程可实现对重物的连续提升,直到到达指定的工作位置。

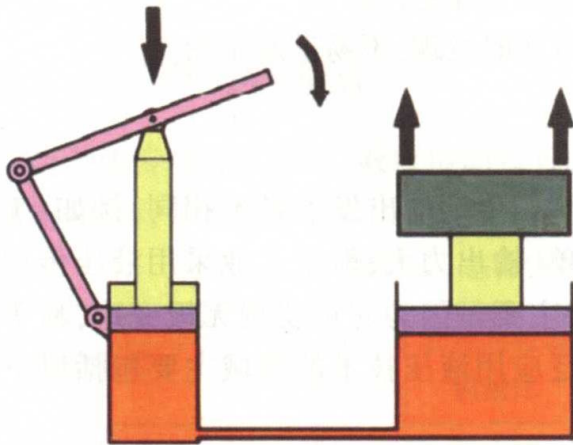
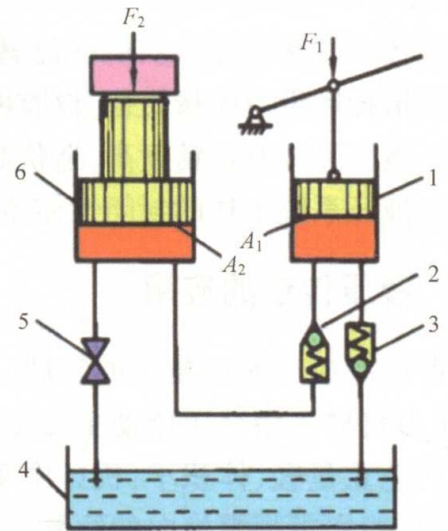


图 1-1 液压千斤顶



1—小活塞;2、3—单向阀;4—油箱;  
5—截止阀;6—大活塞

图 1-2 液压千斤顶结构形式的工作原理

### 1.2.2 液压传动的基本特征

由图 1-2 所示的简单液压系统可以得出液压传动具有四个基本特征:

(1) 容积式液压泵的工作压力  $p$  和流量  $q$  之间不具有相关性,而是具有刚性的压力-流量特征。如图 1-3 所示,由  $q=nV$  可得,在不考虑泄漏时,压力-流量特征的曲线为  $a$ ;在实际情况下考虑泄漏,曲线为  $b$ 。所以可以看出,液压传动具有抵抗负载变化的干扰,保持流量稳定的能力。

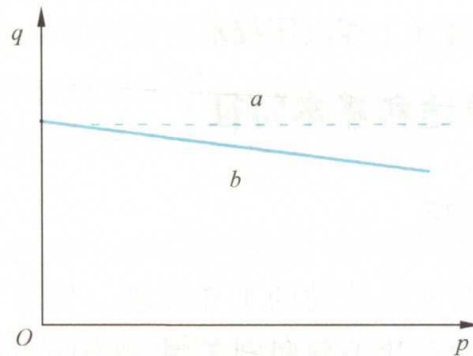


图 1-3 容积式泵的压力-流量特性曲线

(2) 容积式液压泵的工作压力主要取决于负载,与流量无关。在图 1-2 的手动液压千斤顶中,因为力的传递遵循帕斯卡定律,液压千斤顶工作时大小液压缸的压力  $p$  相等,所以可得

$$\frac{F_1}{A_1} = p_1, \frac{F_2}{A_2} = p_2 \quad (1-1)$$

$$p_1 = p_2 = p$$

式中

$p_1$ 、 $p_2$ ——小液压缸、大液压缸的压力(MPa);

$F_1$ ——作用在小液压缸活塞上的力(N);

$F_2$ ——作用在大液压缸活塞上的力(N);

$A_1$ 、 $A_2$ ——小液压缸和大液压缸活塞的作用面积( $m^2$ )。

当负载力一定时,  $F_2 = p \cdot A_2$ , 所以压力一定, 而与流量无关。

(3) 液压缸(或液压马达)的运动速度主要取决于输入的流量, 与负载无关。在图 1-2 的手动液压千斤顶中, 由连续性原理可得

$$A_1 \cdot s_1 = A_2 \cdot s_2$$

$$v_1 = \frac{s_1}{t} \quad (1-2)$$

$$v_2 = \frac{s_2}{t}$$

进而有

$$A_1 \cdot v_1 \cdot t = A_2 \cdot v_2 \cdot t \quad (1-3)$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

即

$$q_1 = v_1 \cdot A_1$$

$$q_2 = v_2 \cdot A_2 \quad (1-4)$$

$$q_1 = q_2 = q$$

所以

$$v_2 = \frac{q}{A_2} \quad (1-5)$$

式中

$s_1$ 、 $s_2$  ——小液压缸活塞的位移、大液压缸活塞的位移(m);

$v_1$ 、 $v_2$  ——小液压缸活塞的平均运动速度、大液压缸活塞的平均运动速度(m/s);

$q_1$ 、 $q_2$  ——输入小液压缸、大液压缸的流量( $m^3/s$ )。

(4) 液压功率等于压力与流量的乘积。在图 1-2 的手动液压千斤顶中, 不考虑功率损失时:

小液压缸输入功率为

$$P_1 = F_1 \cdot \frac{s_1}{t}$$

$$P_1 = F_1 \cdot v_1 \quad (1-6)$$

$$P_1 = p \cdot A_1 v_1$$

$$P_1 = pq$$

大液压缸输出功率为

$$P_2 = F_2 \cdot \frac{s_2}{t}$$

$$P_2 = F_2 \cdot v_2 \quad (1-7)$$

$$P_2 = p \cdot A_2 v_2$$

$$P_2 = pq$$