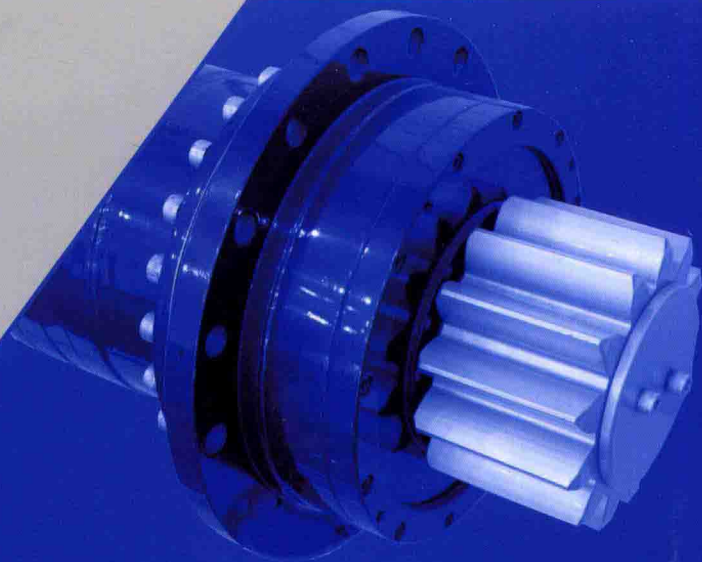


# 液压与气动技术

主 编 张 萌 李 波 康 红 梅

副 主 编 曾 鸣 徐 凯



科学出版社

# 液压与气动技术

主 编 张 萌 李 波 康红梅

副主编 曾 鸣 徐 凯

本书由“中国地质大学(武汉)本科教学工程”项目资助

科 学 出 版 社

北 京

版权所有，侵权必究

举报电话：010-64030229，010-64034315，13501151303

## 内 容 简 介

本书包括液压传动、气动技术以及实验介绍三部分，共13章。第1~9章为液压传动部分，包括液压与气压传动概述、液压油与液压流体力学基础、液压泵与液压马达、液压缸、液压控制阀、液压辅助元件、液压基本回路、典型液压系统以及液压传动系统设计计算。第10~12章为气动技术部分，包括气源装置、辅助元件及气动执行元件，气动控制元件及气动基本回路以及气压传动系统设计与应用实例。最后第13章为基本液压与气动实验介绍。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化专业以及其他机械类专业的教学用书，也可供企业技术人员作为参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术 / 张萌, 李波, 康红梅主编. —北京: 科学出版社, 2018.11  
ISBN 978-7-03-059206-4

I. ①液… II. ①张… ②李… ③康… III. ①液压传动 ②气压传动  
IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第240407号

责任编辑：闫 陶/责任校对：董艳辉

责任印制：彭 超/封面设计：彬 峰

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

武汉中科兴业印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

开本：787×1092 1/16

2018年11月第 一 版 印张：15 1/2

2018年11月第一次印刷 字数：364 000

定价：56.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

# 前 言

本书作者从事液压传动课程教学多年，在教学和实践过程中，深感液压传动与气动技术知识在机械类和近机械类专业知识体系建立中的重要性，对教学中的重点和难点也有较为深刻的认识。随着教改的深入进行，专业课和专业选修课开设门数增多而每门课程学时数相应减少。如何在相对有限的学时内，让学生能够抓住流体传动的核心脉络，深刻体会其中压力、流量及功率等重要参数之间关系的内涵，建立起该课程的知识体系架构，牢固掌握液压传动与气动技术中的基础理论知识、明确元件选型原则、领会系统分析设计方法以及具备基本的实验操作能力，是作者编写本书的初衷。因此，本书在内容的选取和编排上注重基本概念与原理的讲解，突出重点，力求章节层次清楚、内容简洁，特别强调知识点的归纳、对比和总结。此外，本书在叙述液压传动的基础理论时，通过引注方法适当介绍了经典理论的历史由来，在叙述有关液压传动术语时注意相关标准的参照和引用，以期望学生在学习课程专业知识的同时，能适当了解学科历史，树立在工程设计中重视标准化的理念。

中国地质大学(武汉)的张萌、李波、康红梅、曾鸣、徐凯参与了本书的编写，张萌编写第1、5、7、13章，李波编写第8、9章，康红梅编写第10~12章，曾鸣编写第3、4章，徐凯编写第2、6章。中国地质大学的李源冀参与了全书的统稿和校核工作。他们均为书稿的最终完成付出了辛勤的劳动，在此一并致以诚挚的谢意。科学出版社的领导和编辑对本书的出版给予了很大的帮助，在此也表示衷心的感谢！

由于作者水平和经验有限，本书难免有不足之处，恳请各位同行和广大读者批评指正。另外，在编写过程中参考和引用了不少参考文献和资料，在此对其作者和原创者表示衷心的感谢。

编 者

2018年4月于武汉南望山

# 目 录

<b>第 1 章 液压传动概述</b> .....	1
1.1 液压传动的发展概况 .....	1
1.1.1 液压传动的定义 .....	1
1.1.2 液压传动的发展历史 .....	2
1.1.3 液压传动的现状及展望 .....	2
1.2 液压传动的工作原理及组成部分 .....	3
1.2.1 液压传动的工作原理 .....	3
1.2.2 液压传动的组成部分 .....	4
1.3 液压传动的图形符号 .....	4
1.4 液压传动的工作特性 .....	5
1.5 液压传动的优缺点 .....	7
1.6 液压传动的应用 .....	8
课后习题 .....	8
<b>第 2 章 液压油与液压流体力学基础</b> .....	10
2.1 液压油 .....	10
2.1.1 液压油的种类和代码 .....	10
2.1.2 液压油的规格、性能及应用简介 .....	11
2.1.3 液压油的作用 .....	12
2.1.4 液压油的主要特性 .....	12
2.1.5 液压系统对液压油的要求 .....	16
2.1.6 液压油的选择和使用 .....	16
2.2 液压流体力学基础 .....	16
2.2.1 液压流体静力学基础 .....	17
2.2.2 液压流体动力学基础 .....	21
课后习题 .....	30
<b>第 3 章 液压泵与液压马达</b> .....	32
3.1 液压泵与液压马达概述 .....	32
3.1.1 液压泵与液压马达的作用 .....	32
3.1.2 液压泵与液压马达的工作原理 .....	32
3.1.3 液压泵与液压马达的分类 .....	33
3.2 液压泵与液压马达的主要性能参数 .....	33

3.2.1	压力	33
3.2.2	排量与流量	34
3.2.3	转速	34
3.2.4	功率	35
3.2.5	效率	35
3.3	齿轮泵与齿轮马达	37
3.3.1	齿轮泵的分类	37
3.3.2	外啮合齿轮泵的工作原理及结构	37
3.3.3	外啮合齿轮泵存在的问题及其解决结构措施	39
3.3.4	外啮合齿轮泵的排量和流量计算	41
3.3.5	内啮合齿轮泵介绍	42
3.3.6	外啮合齿轮泵与内啮合齿轮泵的比较	43
3.3.7	齿轮马达简介	43
3.4	叶片泵与叶片马达	44
3.4.1	叶片泵的分类及特点	44
3.4.2	双作用叶片泵	44
3.4.3	单作用叶片泵	49
3.4.4	叶片马达简介	53
3.5	柱塞泵与柱塞马达	54
3.5.1	轴向柱塞泵	54
3.5.2	径向柱塞泵	60
3.5.3	柱塞马达简介	61
3.6	液压泵的性能比较与选用	61
	课后习题	62
<b>第4章</b>	<b>液压缸</b>	<b>64</b>
4.1	液压缸的主要类型	64
4.2	液压缸的典型结构及特点	65
4.2.1	单杆双作用液压缸	65
4.2.2	双杆活塞式液压缸	69
4.2.3	柱塞式液压缸	69
4.2.4	其他类型液压缸	70
4.3	液压缸的设计与计算	72
4.3.1	液压缸设计的主要步骤	72
4.3.2	液压缸主要几何尺寸的确定	73
	课后习题	75
<b>第5章</b>	<b>液压控制阀</b>	<b>77</b>
5.1	液压控制阀概述	77

5.1.1	液压控制阀的作用	77
5.1.2	液压控制阀的分类	77
5.1.3	液压控制阀的基本参数	78
5.2	压力控制阀	78
5.2.1	溢流阀	78
5.2.2	减压阀	86
5.2.3	顺序阀	89
5.2.4	压力继电器	92
5.3	流量控制阀	93
5.3.1	流量控制原理及节流口形式	93
5.3.2	普通节流阀	94
5.3.3	节流阀的压力和温度补偿	96
5.3.4	分流集流阀	98
5.4	方向控制阀	101
5.4.1	单向阀	101
5.4.2	换向阀	103
	课后习题	111
<b>第 6 章</b>	<b>液压辅助元件</b>	<b>115</b>
6.1	过滤器	115
6.1.1	过滤器的功能与特性	115
6.1.2	过滤器的类型	117
6.1.3	过滤器的选用与安装	118
6.2	蓄能器	119
6.2.1	蓄能器的功能	120
6.2.2	蓄能器的种类	120
6.2.3	蓄能器的容量计算	121
6.2.4	蓄能器的安装与使用	123
6.3	油箱	123
6.3.1	油箱的结构	123
6.3.2	油箱设计与安装时的注意事项	124
6.4	热交换器	125
6.4.1	冷却器	125
6.4.2	加热器	126
6.5	管件	126
	课后习题	128
<b>第 7 章</b>	<b>液压基本回路</b>	<b>129</b>
7.1	压力控制回路	129

7.1.1	调压回路	129
7.1.2	减压回路	130
7.1.3	增压回路	131
7.1.4	卸荷回路	132
7.1.5	保压回路	133
7.1.6	平衡回路	134
7.2	调速控制回路	136
7.2.1	调速回路	136
7.2.2	快速回路	147
7.2.3	速度换接回路	149
7.3	方向控制回路	150
7.3.1	换向回路	150
7.3.2	锁紧回路	153
7.4	多缸动作控制回路	153
7.4.1	多缸顺序动作回路	153
7.4.2	多缸同步动作回路	156
	课后习题	159
<b>第8章</b>	<b>典型液压系统</b>	<b>162</b>
8.1	组合机床动力滑台液压系统	162
8.1.1	概述	162
8.1.2	液压动力滑台的工作原理	163
8.1.3	系统性能分析	166
8.2	挖掘机液压系统	167
8.2.1	概述	167
8.2.2	挖掘机液压系统工作原理	168
8.2.3	系统性能分析	169
8.3	工程钻机液压系统	171
8.3.1	概述	171
8.3.2	工程钻机液压系统工作原理	172
8.3.3	系统性能分析	174
	课后习题	174
<b>第9章</b>	<b>液压传动系统设计计算</b>	<b>176</b>
9.1	液压传动系统概述	176
9.2	液压传动系统的设计	176
9.2.1	液压系统的设计依据	176
9.2.2	液压系统的工况分析	177
9.2.3	确定液压系统的主要参数	179



9.2.4	拟定液压系统草图	180
9.2.5	计算与选择液压元件	181
9.2.6	验算液压系统的性能	183
	课后习题	185
<b>第 10 章</b>	<b>气源装置、辅助元件与气动执行元件</b>	<b>186</b>
10.1	气压传动系统的基本组成	186
10.2	气源装置	187
10.2.1	气源装置概述	187
10.2.2	空气压缩机	188
10.2.3	后冷却器	189
10.2.4	油水分离器	190
10.2.5	储气罐	191
10.2.6	空气干燥器	191
10.3	辅助元件	192
10.3.1	空气过滤器	192
10.3.2	油雾器	193
10.3.3	消声器	194
10.4	气动执行元件	195
10.4.1	气缸的分类	196
10.4.2	典型气缸结构	196
10.4.3	气动马达	198
	课后习题	199
<b>第 11 章</b>	<b>气动控制元件与气动基本回路</b>	<b>200</b>
11.1	压力控制阀及其基本回路	200
11.1.1	减压阀	200
11.1.2	安全阀	201
11.1.3	单向顺序阀	202
11.1.4	压力控制回路	202
11.2	流量控制阀及其基本回路	203
11.2.1	排气节流阀	203
11.2.2	柔性节流阀	204
11.2.3	速度控制回路	204
11.3	方向控制阀	207
11.3.1	单向型方向控制阀	207
11.3.2	换向型方向控制阀	209
11.3.3	换向回路	210
11.4	气动逻辑元件	211

11.4.1	气动逻辑元件的分类	211
11.4.2	高压截止式逻辑元件	211
11.5	其他常用回路	215
11.5.1	安全保护回路	215
11.5.2	顺序动作回路	216
	课后习题	217
<b>第 12 章</b>	<b>气压传动系统设计与应用实例</b>	<b>219</b>
12.1	气压传动系统设计	219
12.1.1	气压传动系统设计简介	219
12.1.2	多缸单往复行程程序回路设计	220
12.2	气压传动系统应用实例	224
12.2.1	门户自动开闭系统	224
12.2.2	工件夹紧气压传动装置	225
	课后习题	226
<b>第 13 章</b>	<b>基本液压与气动实验介绍</b>	<b>227</b>
13.1	实验设备简述	227
13.2	基本液压回路实验	228
13.2.1	调压和卸荷回路实验	228
13.2.2	节流调速回路实验	229
13.2.3	行程开关控制液压缸动作回路实验	231
13.3	气动基本回路实验	232
13.3.1	单缸单杆往复回路实验	232
13.3.2	单缸连续往复控制回路	233
	参考文献	235

# 第 1 章 液压传动概述

## 1.1 液压传动的发展概况

### 1.1.1 液压传动的定义

在了解液压传动的定义之前,先了解一下什么是“传动”。所谓“传动”是指利用能量做有用功,起到传递能量、转换能量形式或者改变能量运作方式,其目的是传动力使机器或机器部件运动或运转。自然界存在着广泛的传动现象,一切机械都有其相应的传动机构,并借助它来达到对动力的传递和控制的目的。总的来说,传动形式可以分为机械传动、电气传动和流体传动三类。机械传动是人们最为熟悉的,它是指通过齿轮、齿条、蜗轮、蜗杆等机件直接将动力传送到执行机构的传动方式。电气传动是指利用电力设备,通过调节电参数来传递或控制动力的传动方式。流体传动是指以流体为工作介质,以流体的压力能(或动能)进行能量转换、传递和控制的传动方式。流体传动根据其工作介质不同,又可以分成液体传动和气体传动两类。根据利用流体能量形式的不同,它又可以进一步细分:凡是利用流体的压力能的传动称为液压(或气压)传动;凡是利用流体的动能的传动称为液力(或气力)传动。流体传动的定义和分类如图 1-1 所示。根据流体传动的定义,可以方便地得到液压传动的定义:液压传动是指以液体为工作介质,利用其压力能进行能量转换、传递和控制的传动形式。同样,也可以方便地得到液力传动的定义:液力传动是指以液体为工作介质,利用其动能进行能量转换、传递和控制的传动形式。如此类推,还可以得到气压传动与气力传动的定义:气压传动是指以气体为工作介质,利用其压力能进行能量转换、传递和控制的传动形式;气力传动是指以气体为工作介质,利用其动能进行能量转换、传递和控制的传动形式。

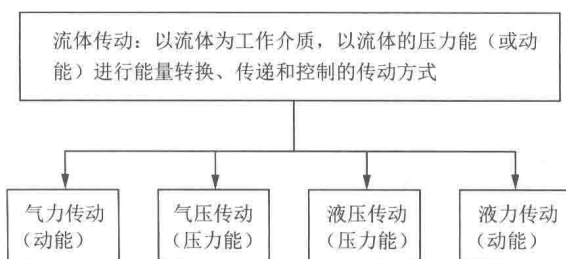


图 1-1 流体传动的定义和类型

### 1.1.2 液压传动的发展历史

液压传动技术至今已有 300 多年的历史，它是根据 17 世纪中叶帕斯卡(Pascal)提出的液体静压传递原理逐步发展起来的。1795 年，英国约瑟夫·布拉曼(Joseph Braman, 1749—1814)，在伦敦用水作为工作介质，以水压机的形式将其应用于工业上，发明了世界上第一台水压机。1905 年，其工作介质由水改为油，机器性能进一步提高。在机床工业上采用液压传动，可以追溯到 19 世纪末德国制造液压龙门刨床，美国制造液压六角车床、液压磨床，但由于当时还没有成熟的液压元件，因而液压技术并没有得到普遍应用。20 世纪 30 年代，各类机床(车、铣、磨、钻、镗、拉等机床)才刚刚开始采用液压传动，直到第二次世界大战以后，应用才逐渐普遍起来。其后，随着微电子技术、计算机、现代控制理论的发展，并与液压技术的紧密结合，液压传动与控制发展成为十分成熟的技术，渗透到国民经济的各个领域：从空中到水下，从军用到民用，从重工业到轻工业，到处都有液压传动与控制技术的应用。目前，液压技术正在向高压、高速、大流量、高效率、低噪音、集成化方向发展。新的液压元件和液压系统的计算机辅助设计、优化设计、数字仿真、微机控制等新技术也日益发展，并取得了许多显著成果。图 1-2 是液压系统发展概况图。

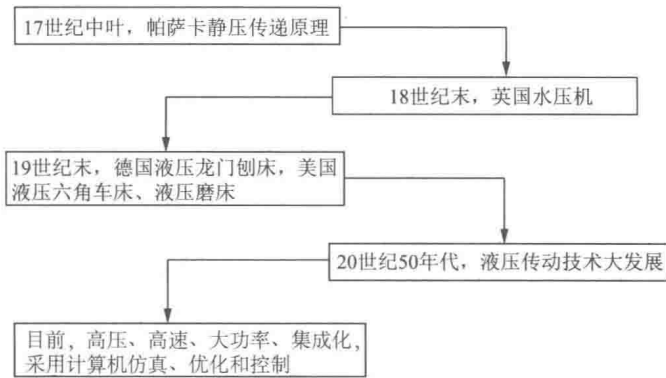


图 1-2 液压系统发展概况图

### 1.1.3 液压传动的现状及展望

目前，液压传动及控制技术不仅用于传统的机械操纵、助力装置，也用于机械的模拟加工、转速控制、发动机燃料进给控制，以及车辆动力转向、主动悬挂装置和制动系统，同时也扩展到航空航天和海洋作业等领域。

液压技术的发展前途是十分广阔的。今后发展的动向，主要有以下几个方面：

(1) 提高压力和增加流量。随着生产的发展，液压泵的额定压力和额定流量正在不断提高。对于液压泵来说，提高泵的转速是提高流量的一个有效方法。

(2) 微型化和集成化。随着自动化程度的不断提高，要求越来越复杂的控制系统向微型化发展。同时，系统的组成已经开始向集成化方向发展。

(3) 提高液压元件的性能和研制新的液压元件。

- (4) 降低液压系统的噪音。
- (5) 采用新的测试技术。

## 1.2 液压传动的工作原理及组成部分

### 1.2.1 液压传动的工作原理

千斤顶，是一种起重高度小的简单的起重设备，分为机械千斤顶和液压千斤顶两种。从原理上来说，液压千斤顶的工作原理为帕斯卡定律，即在密闭容器内，施加于静止液体上的压力将等值、同时地传递到液体各点。图 1-3 是液压千斤顶的工作原理图。大活塞 8 和大油缸 9 组成举升液压缸；杠杆手柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。当提起杠杆手柄 1 时，小活塞 3 向上移动，小活塞 3 下端的油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 4 打开，通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油；当用力压下杠杆手柄时，小活塞 3 下移，小活塞 3 下腔压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，下腔的油液经管道 6 输入举升大油缸 9 的下腔，迫使大活塞 8 向上移动，顶起重物。当再次提起杠杆手柄 1 吸油时，单向阀 7 自动关闭，使油液不能倒流，从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动杠杆手柄 1，就能不断地把油液压入举升大油缸 9 下腔，使重物逐渐地升起。当打开截止阀 11 时，举升大油缸 9 下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱，重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。

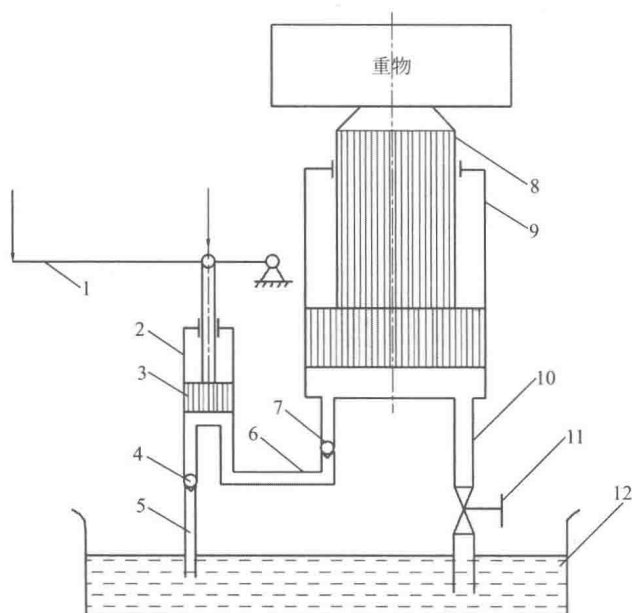


图 1-3 液压千斤顶工作原理图

- 1-杠杆手柄；2-小油缸；3-小活塞；4、7-单向阀；5-吸油管；6、10-管道；  
8-大活塞；9-大油缸；11-截止阀；12-油箱

通过上面对液压千斤顶工作过程的分析，可以初步了解液压传动的基本工作原理。

液压传动利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。当压下杠杆手柄 1 时,小油缸 2 输出压力油,是将机械能转换为油液的压力能;压力油经过管道 6 及单向阀 7,推动大活塞 8 举起重物,是将油液的压力能转换为机械能。大活塞 8 举升的速度取决于单位时间内流入大油缸 9 中油容积的多少。由此可见,液压传动是一个不同能量的传递、转换过程。

### 1.2.2 液压传动的组成部分

前文所述的液压千斤顶就是一个简单而完整的液压系统,一个完整的液压系统由 5 个部分组成,即动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件和液压油。

(1) 动力元件(液压泵)。动力元件的作用是将原动机的机械能转换为液体的压力能,指液压系统中的油泵,它向整个液压系统提供动力。液压泵的结构形式一般有齿轮泵、叶片泵和柱塞泵等。图 1-3 中小油缸 2、杠杆手柄 1、小活塞 3 等组成的手油泵即为动力元件。

(2) 执行元件(如液压缸和液压马达)。执行元件的作用是将液体的压力能转换为机械能,驱动负载作直线往复运动或回转运动。图 1-3 中大油缸 9、大活塞 8 组成的举升缸即为执行元件。

(3) 控制元件(即各种液压阀)。控制元件的作用是在液压系统中控制和调节液体的压力、流量和方向。根据控制功能的不同,液压阀可分为压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等。图 1-3 中的单向阀 4、7 以及截止阀 11 即为控制元件。

(4) 辅助元件。辅助元件包括油箱、过滤器、油管及管接头、密封圈、压力表、真空表、储能器、油位计、油温计等。从整个液压传动的工作原理来看,它们只是起辅助作用;但从保证完成液压系统传递功率的作用看,它们却是非常重要的。图 1-3 中管道 10、油箱 12 等即为辅助元件。

(5) 液压油。液压油是液压系统中传递能量的工作介质,有各种矿物油、乳化液和合成型液压油等几类。

## 1.3 液压传动的图形符号

图 1-3 所示的液压系统是一种半结构式的工作原理图,它有直观性强、容易理解的优点。当液压系统发生故障时,根据原理图检查十分方便;但图形比较复杂,绘制比较麻烦。国际标准化组织(ISO)制定了一种用规定的图形符号来表示液压原理图中的各元件和连接管路的标准,即 ISO 1219-1—2006《Fluid power systems and components-Graphic symbols and circuit diagrams-Part 1: Graphic symbols for conventional use and data-processing applications》。我国也制订了与该标准相对应的国家标准 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》。目前该标准已取代以前历次发布的标准版本:GB/T 786—1965、GB/T 786—1976 和 GB/T 786.1—1993。

对这些图形符号有以下几条基本规定：

(1) 元件符号的创建采用本部分规定的基本形态符号，并考虑为创建元件符号而给出的规则。

(2) 大多数符号表示具有特定功能的元件或装置；部分符号表示功能或操作方法。

(3) 符号一般不代表元件的实际结构。

(4) 元件符号表示的是元件未受激励的状态(非工作状态)。对于没有明确定义未受激励状态(非工作状态)的元件的符号，应按本部分中列出的符号创建的特定规则给出。

(5) 元件符号应给出所有的接口。

(6) 符号应有全部油口、气口/连接口标识以及参数或组合装置所需的空位，这些参数包括压力、流量、电气连接等。

图 1-4 所示为机床液压系统用该标准绘制的工作原理图。使用这些图形符号可使液压系统图简单明了、易读，且便于图形的绘制。

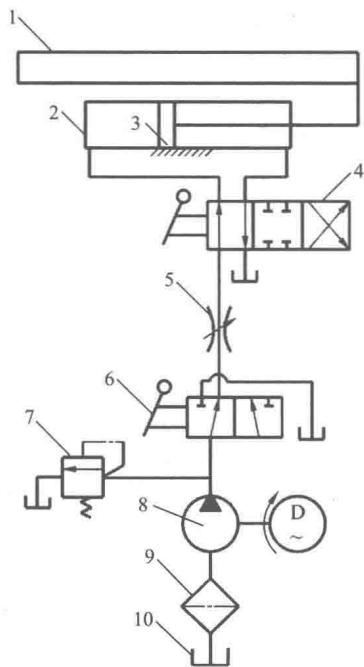


图 1-4 机床工作台液压系统结构原理图

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

## 1.4 液压传动的工作特性

液压传动所基于的基本工作原理为帕斯卡定律，液压传动中的主要工作特性可以用力比关系、速度关系和功率关系进行概括，这几个关系式反映了液压传动中最重要三个参数——压力  $p$ 、流量  $q$  及功率  $P$  之间的关系。下面仍然以液压千斤顶为例来介绍。图 1-5 为图 1-3 液压千斤顶的模型简化图。其中， $A_1$ 、 $A_2$  分别为小活塞面积和大活塞面积； $p_1$ 、 $p_2$  分别为小活塞和大活塞对应处的液压压力； $F$  与  $W$  分别为加在小活塞上的主动力与大活塞上承受的负载力，图 1-5 所示。

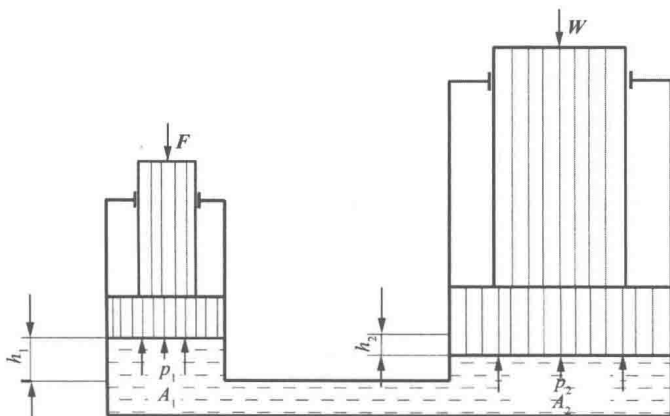


图 1-5 液压千斤顶模型简化图

## 1. 力比关系

当在小活塞上施加力  $F$  时, 小活塞下腔的油液就产生了压力  $p_1$ , 且  $p_1 = F/A_1$ 。根据帕斯卡定律, 在大活塞下端的油腔中也存在着相同的压力  $p_2$ , 当  $p_2 \cdot A_2 = W$  时, 就能使大活塞举起重物  $W$ , 故有

$$p_1 = \frac{F}{A_1} \text{ 且 } p_2 = \frac{W}{A_2}$$

由于  $p_1 = p_2$

$$\text{故 } \frac{F}{A_1} = \frac{W}{A_2} \quad (1-1)$$

式(1-1)是液压传动中力传递的基本公式, 因为  $p = W/A_2$ , 所以液压力高低是随负载  $W$  大小的变化而变化的。如果负载  $W$  很小, 压手柄并不费力, 说明液压力  $p$  很低; 如果负载  $W$  很大, 压手柄就很费力, 说明液压力  $p$  很高。由此可建立一个很重要的基本概念, 即液压缸中的压力值决定于负载, 而与流入液体的多少无关。

## 2. 运动关系

若不计液体的可压缩性、漏损和缸体、油管的变形, 则从图 1-5 可以看出, 被小活塞压出油液的体积必然等于大活塞向上升起后大油缸扩大的体积, 即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2 \quad (1-2a)$$

$$\text{或 } \frac{h_2}{h_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1-2b)$$

其中,  $h_1$ 、 $h_2$  分别为小活塞和大活塞的位移。

从式(1-2)可知, 两活塞的位移和两活塞的面积成反比。将式(1-2a)两端除以活塞移动的时间  $t$ , 得

$$A_1 \frac{h_1}{t} = A_2 \frac{h_2}{t}$$

$$\text{即 } \frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} \quad (1-3)$$

从式(1-3)可以看出, 活塞的移动速度和活塞的面积成反比。

$A \cdot h/t$  的物理意义是: 单位时间内, 液体流过截面积为  $A$  的体积, 称为流量  $q$ , 即

$$q = A \cdot v \quad (1-4a)$$

因此

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

若已知进入液压缸的流量为  $q$ , 则活塞的运动速度为



$$v = \frac{q}{A} \quad (1-4b)$$

调节进入液压缸的流量  $q$ ，即可调节活塞的运动速度，这就是液压传动实现无级变速的基本方法之一。从式(1-4b)可得到另一个重要的基本概念，即活塞的运动速度决定于进入液压缸中的流量  $q$ ，与工作压力  $p$  的高低无关。

### 3. 功率关系

将式(1-1)和式(1-3)联立求解，可得

$$F \cdot v_1 = W \cdot v_2 \quad (1-5)$$

式(1-5)左端为输入功率，右端为输出功率。这说明了在不计损失的情况下，输入功率等于输出功率。该液压系统的功率用  $P$  表示。

由式(1-5)可知

$$P = F \cdot v_2 = W \cdot v_2 \quad (1-6)$$

$$P = (p_1 A_1) v_1 = (p_2 A_2) v_2$$

$$P = p_1 (A_1 v_1) = p_2 (A_2 v_2) \quad (1-7)$$

$$P = p_1 q_1 = p_2 q_2 = pq$$

由式(1-7)可以得到第三个重要的基本概念，即压力  $p$  和流量  $q$  是流体传动中最基本、最重要的两个参数，它们的乘积即为功率，可以通过控制  $p$ 、 $q$  的值来调节液压系统功率的大小。

## 1.5 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动相比，具有以下优点和缺点。

液压传动的优点：

(1) 在相同的体积下，液压执行装置能比电气装置产生出更大的动力。在同等功率的情况下，液压执行装置的体积更小、重量更轻、结构更紧凑。

(2) 液压执行装置的工作比较平稳，并且可在大范围内实现无级调速。

(3) 液压传动在不改变电机旋转方向的情况下，可以较方便地实现工作机构旋转和直线往复运动的转换。

(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使用时，能实现较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，且液压件能自行润滑，因此其使用寿命长。

(6) 由于液压元件已实现了标准化、系列化和通用化，因而液压系统的设计、制造和使用都比较方便。