



高等职业教育“十一五”规划教材
高职高专机电类教材系列

朱怀忠 王恩海/主 编
孔凡杰/主 审

液 压与气动 技术



科学出版社
www.sciencep.com

● 高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专机电类教材系列

液压与气动技术

朱怀忠 王恩海 主编
乔秀春 巩桂洽 副主编
孔凡杰 主审

科学出版社

内 容 提 要

本书共 16 章,其主要内容为:液压传动与气压传动的基本原理、特点、应用;液压元件、液压辅件、气动元件、气动辅件的工作原理、基本结构、特点、使用和维护方法,常见故障及排除方法;液压及气动系统的基本回路及其在典型设备中的应用,常见故障及排除方法;液压气动系统的基本设计方法。

本书内容以“必须与够用为度”,在进行理论分析时,简化数学推导,重视理论的应用,突出学生应用能力和综合素质的培养。

本书主要适用于高职高专机械类专业和普通工院校非机械类专业,也可供有关的工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/朱怀忠,王恩海主编. —北京:科学出版社,2007
(高等职业教育“十一五”规划教材. 高职高专机电类教材系列)
ISBN 978-7-03-018586-0

I. 液… II. ①朱…②王… III. ①液压传动—高等学校:技术学校—教材②气压传动—高等学校:技术学校—教材 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 020816 号

责任编辑:王 彦 何舒民 张雪梅/责任校对:赵 燕

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

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>

世界知识印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 2 月第一次印刷 印张:19

印数:1—4 000 字数:440 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈世知〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154(VT03)

前 言

本书为全国高职高专规划教材,是根据国务院《关于大力推进职业教育改革与发展的决定》以及教育部《关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》中对高职高专人才培养目标的要求而编写的。

液压与气动技术是机械设备中发展速度最快的技术之一,特别是近年来,液压与气动技术和微电子、计算机技术相结合,进入了一个新的发展阶段,已广泛应用在各工业领域。目前,随着微电子和计算机技术的发展,液压与气动元件制造技术进一步提高,液压与气动技术不仅在传动方面占有日益重要的地位,而且以其优良的静态、动态性能在机械控制方面也占有重要位置。

基于本门课程在机械类专业知识、能力构筑中的位置及液压与气动技术的特点,按照高等技术应用型人才的培养目标,本书内容突出了适用性、实用性和针对性,并注意与相关课程内容的配合与衔接,努力突出对学生知识应用能力和综合素质的培养。

本书由朱怀忠、王恩海任主编,乔秀春、巩桂洽任副主编。参加编写的人员有巩桂洽(第1、2章),朱怀忠(第3、4章),牛同训(第5章),王秀梅(第6章),乔秀春(第7章),付师星(第8章),孙希禄(第9、10章),陈国华(第11章),韩道刚(第13章),刘畅(第14章),曹莉娜(第15章),王恩海(第12、16章)。山东工业职业学院孔凡杰教授在繁忙工作之余审阅了全书,在此表示感谢。

本书在编写过程中得到了山东工业职业学院、山东铝业职业学院等院校相关部门领导的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见,以便修正。

目 录

前言

第 1 章 液压传动概述	1
1.1 液压传动的工作原理	1
1.2 液压传动系统的组成及图形符号	2
1.2.1 液压传动系统的组成	4
1.2.2 液压传动系统图及图形符号	4
1.3 液压传动的特点	4
1.4 液压传动的应用和发展	5
习题	6
第 2 章 液压流体力学基础	7
2.1 液压油	7
2.1.1 液压油的主要性质	7
2.1.2 对液压传动工作介质的要求	10
2.1.3 工作介质的选择	10
2.1.4 液压系统的污染及危害	11
2.2 流体静力学	11
2.2.1 液体静压力及其特性	12
2.2.2 液体静压力基本方程	12
2.2.3 压力的表示方法	12
2.2.4 静止液体内压力的传递——帕斯卡原理	13
2.2.5 液体静压力对固体壁面的作用力	13
2.3 流体动力学	14
2.3.1 基本概念	14
2.3.2 连续性方程	16
2.3.3 伯努利方程	17
2.3.4 动量方程	19
2.4 液体在管路中流动时的压力损失	20

2.4.1 沿程压力损失	20
2.4.2 局部压力损失	23
2.4.3 管路系统的总压力损失	23
2.5 液体流经孔口及缝隙时的压力-流量特性	23
2.5.1 小孔流量	24
2.5.2 缝隙流量	25
2.6 液压冲击及气穴现象	28
2.6.1 液压冲击	28
2.6.2 气穴现象	29
习题	29
第3章 液压泵和液压马达	32
3.1 液压泵和液压马达概述	32
3.1.1 液压泵的工作原理和分类	32
3.1.2 液压泵的性能参数	33
3.2 齿轮泵	35
3.2.1 外啮合齿轮泵	36
3.2.2 内啮合齿轮泵	38
3.3 叶片泵	40
3.3.1 单作用叶片泵	40
3.3.2 双作用叶片泵	43
3.4 柱塞泵	44
3.5 液压泵常见故障及排除方法	46
3.5.1 常见故障分析及排除方法	46
3.5.2 液压泵的安装	47
3.5.3 液压泵维修后的首次启动	48
3.6 液压泵的选用	48
3.7 液压马达	50
3.7.1 液压马达的主要性能参数	50
3.7.2 液压马达的结构和工作原理	51
习题	53
第4章 液压缸	54
4.1 液压缸的类型和特点	54
4.1.1 液压缸的分类	54

4.1.2 各种液压缸的工作原理、特点和应用	54
4.2 液压缸的结构	59
4.2.1 缸体组件	60
4.2.2 活塞组件	61
4.2.3 密封装置	62
4.2.4 缓冲装置	65
4.2.5 排气装置	67
4.3 液压缸的设计与计算	67
4.3.1 液压缸主要尺寸的计算	68
4.3.2 液压缸的校核	69
4.4 液压缸常见故障及排除	70
习题	72
第5章 液压控制阀	74
5.1 液压控制阀概述	74
5.2 方向控制阀	75
5.2.1 单向阀	76
5.2.2 换向阀	77
5.2.3 方向控制阀的常见故障、产生原因及排除方法	82
5.3 压力控制阀	83
5.3.1 溢流阀	83
5.3.2 减压阀	85
5.3.3 顺序阀	87
5.3.4 压力继电器	88
5.3.5 压力控制阀的常见故障、产生原因及排除方法	88
5.4 流量控制阀	89
5.4.1 概述	89
5.4.2 节流阀	90
5.4.3 调速阀	90
5.4.4 流量控制阀的常见故障、产生原因及其排除方法	92
5.5 插装阀与叠加阀	93
5.5.1 插装阀	93
5.5.2 叠加阀	95
5.6 电液比例控制阀	96

5.6.1 电液比例阀的特点	97
5.6.2 比例电磁铁的吸力特性	97
5.6.3 电液比例压力阀	98
5.6.4 电液比例方向流量阀	98
5.6.5 电液比例流量阀	99
习题	99
第6章 液压辅助元件	101
6.1 蓄能器	101
6.1.1 蓄能器的结构与性能	101
6.1.2 蓄能器的功用	103
6.1.3 蓄能器的容量计算	103
6.1.4 蓄能器的安装	105
6.2 过滤器	105
6.2.1 过滤器的功用	105
6.2.2 过滤器的主要性能指标	105
6.2.3 过滤器的主要类型	106
6.2.4 过滤器的安装位置	108
6.3 压力计和压力计开关	109
6.3.1 压力计	109
6.3.2 压力计开关	109
6.4 油箱	110
6.4.1 油箱的功用与分类	110
6.4.2 油箱的设计要点	111
6.5 管件	112
6.5.1 管道	112
6.5.2 管接头	113
6.6 热交换器	116
习题	117
第7章 液压基本回路	118
7.1 压力控制回路	118
7.1.1 调压回路	118
7.1.2 减压回路	120
7.1.3 卸荷回路	121

7.1.4 增压回路	122
7.1.5 保压回路	123
7.1.6 平衡回路	124
7.2 速度控制回路	125
7.2.1 调速回路	125
7.2.2 快速运动回路	134
7.2.3 速度换接回路	136
7.3 多缸动作回路	137
7.3.1 顺序动作回路	137
7.3.2 同步回路	140
7.3.3 互不干扰回路	141
习题	142
第8章 典型液压传动系统	145
8.1 组合机床动力滑台液压系统	145
8.1.1 概述	145
8.1.2 YT4543 型动力滑台液压系统的工作原理	146
8.1.3 YT4543 型动力滑台液压系统的特点	148
8.2 汽车起重机液压系统	149
8.2.1 概述	149
8.2.2 液压系统的工作原理	149
8.2.3 液压系统的主要特点	152
8.3 机械手液压系统	152
8.3.1 概述	152
8.3.2 机械手实例	153
8.4 液压机液压系统	155
8.4.1 YA 32-200 型四柱万能液压机液压系统	156
8.4.2 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统的特点	158
第9章 液压传动系统的设计与计算	159
9.1 液压传动系统的设计步骤和内容	159
9.1.1 明确设计要求	159
9.1.2 确定执行元件	160
9.1.3 执行元件工况分析	160
9.1.4 执行元件主要参数的确定	162

9.1.5	液压系统原理图的拟订	165
9.1.6	液压元件的计算和选择	165
9.1.7	液压系统技术性能的验算	169
9.1.8	绘制正式工作图和编制技术文件	171
9.2	液压系统设计计算举例	172
9.2.1	明确液压系统设计要求	172
9.2.2	分析液压系统工况	172
9.2.3	确定液压缸的主要参数	173
9.2.4	拟订液压系统原理图	175
9.2.5	选择液压元件	176
9.2.6	液压系统性能的验算	178
9.3	CAD在液压系统设计中的应用	178
	习题	179
第10章	液压伺服系统	180
10.1	概述	180
10.1.1	液压伺服系统的工作原理	180
10.1.2	液压伺服系统的分类	181
10.1.3	液压伺服系统的优缺点	182
10.2	液压控制阀	182
10.2.1	滑阀	182
10.2.2	喷嘴挡板阀	183
10.2.3	射流管阀	184
10.3	电液伺服阀	185
10.3.1	力矩马达	185
10.3.2	液压放大器	186
10.4	液压伺服系统实例	186
10.4.1	车床液压仿形刀架	186
10.4.2	机械手伸缩运动伺服系统	188
10.5	对液压伺服系统的基本要求	189
	习题	190
第11章	液压系统的安装、使用和维修	191
11.1	液压系统的安装	191
11.1.1	油管的安装	191

11.1.2 液压元件的安装	192
11.2 液压系统的使用与维护	192
11.2.1 使用液压设备应具备的基本知识	193
11.2.2 正确使用说明书	193
11.2.3 使用与维护液压系统应注意事项	193
11.3 液压系统的调试	195
11.4 液压传动装置故障分析及排除	196
习题	199
第 12 章 气压传动概述	200
12.1 气压传动的工作原理及组成	200
12.1.1 气压传动的工作原理	200
12.1.2 气压传动系统的组成	201
12.1.3 气动系统的图形符号	202
12.2 气压传动的特点	203
12.2.1 气压传动的优点	203
12.2.2 气压传动的缺点	203
第 13 章 气动元件	204
13.1 气动执行元件	204
13.1.1 气缸	204
13.1.2 气马达	210
13.2 气动控制元件	211
13.2.1 方向控制阀	211
13.2.2 流量控制阀	226
13.2.3 压力控制阀	228
13.3 气源装置和辅助元件	232
13.3.1 气源装置	232
13.3.2 辅助元件	237
13.3.3 气动系统的管道设计	247
习题	249
第 14 章 气动基本回路	250
14.1 换向回路	250
14.1.1 单作用气缸换向回路	250
14.1.2 双作用气缸换向回路	251

14.2	速度控制回路	252
14.2.1	单作用气缸速度控制回路	252
14.2.2	双作用气缸速度控制回路	252
14.2.3	快速往复运动回路	254
14.2.4	速度换接回路	254
14.2.5	缓冲回路	254
14.3	压力控制回路	255
14.3.1	一次压力控制回路	255
14.3.2	二次压力控制回路	255
14.3.3	高低压转换回路	256
14.4	气液联动回路	256
14.4.1	气-液转换速度控制回路	257
14.4.2	气液阻尼缸的速度控制回路	257
14.4.3	气液增压缸增力回路	258
14.4.4	气液缸同步动作回路	258
第15章	气动系统设计	259
15.1	行程程序回路设计概述	259
15.1.1	程序控制的分类	259
15.1.2	行程程序回路的设计方法	260
15.1.3	常用的符号规定	261
15.2	多缸单往复行程程序控制回路	261
15.2.1	用X-D线图法设计行程程序控制回路的步骤	261
15.2.2	X-D线图法介绍	262
15.3	气动系统设计的主要内容及步骤	268
15.3.1	明确工作要求	268
15.3.2	设计气控回路	269
15.3.3	选择、设计执行元件	269
15.3.4	选择控制元件	269
15.3.5	选择辅助元件	270
15.4	气动系统实例	271
15.4.1	气液动力滑台	271
15.4.2	气动机械手	272
	习题	274

第 16 章 气动系统的安装调试及故障分析	275
16.1 气动系统的安装、调试、使用及维护	275
16.1.1 气动系统的安装	275
16.1.2 气动系统的调试	276
16.1.3 气动系统的使用	276
16.2 气动系统的常见故障及其排除方法	278
附录 常用液压元件图形与符号	284
参考文献	288

用液体作为工作介质来实现能量传递的传动方式称为液体传动。液体传动按其工作原理的不同可分为两类。主要以液体动能进行工作的称为液力传动（例如离心泵、液力变矩器等）；主要以液体压力能进行工作的称为液压传动。液压传动是本书要讨论的内容，它与单纯的机械传动、电气传动和气压传动相比，具有许多优点，所以在机械设备中，液压传动是被广泛采用的传动之一。特别是近年来，液压与微电子、计算机技术相结合，使液压技术的发展进入了一个新的阶段，成为发展速度最快的技术之一。

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和发展等内容。

1.1 液压传动的工作原理

液压传动的工作原理可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

图 1.1 是液压千斤顶的工作原理图。大油缸 9 和大活塞 8 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。如提起手柄使小活塞向上移动，小活塞下端油腔容积增大，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；用力压下手柄，小活塞下移，小活塞下腔压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，下腔的油液经管道 6 输入举升油缸 9 的下腔，迫使大活塞 8 向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，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。不断地往复扳动手柄，就能不断地把油液压入举升缸下腔，

使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11，举升缸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。

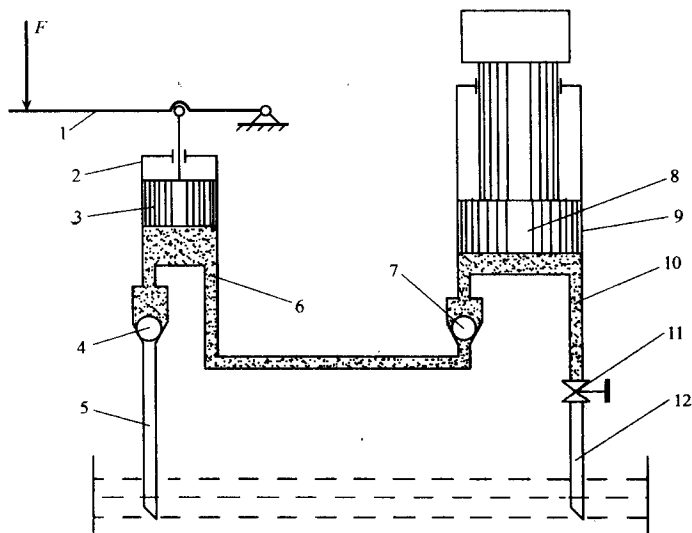


图 1.1 液压千斤顶工作原理图

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—油管

从上述可以看出，液压千斤顶是一个简单的液压传动装置。分析液压千斤顶的工作过程，可知液压传动是依靠液体在密封容积中的压力能实现运动和动力传递的。液压传动装置本质上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，后又将液压能转换为机械能做功。液压传动利用液体的压力能进行工作，它与利用液体的动能工作的液力传动有根本的区别。

1.2 液压传动系统的组成及图形符号

图 1.2（a~c）为一磨床工作台的液压传动系统工作原理图。液压泵 4 在电动机（图中未画出）的带动下旋转，油液由油箱 1 经过滤器 2 被吸入液压泵，由液压泵输入

的压力油通过手动换向阀 11、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 的左腔，推动活塞 17 和工作台 19 向右移动，液压缸 18 右腔的油液经换向阀 15 排回油箱。如果将换向阀 15 转换成如图 1.2 (b) 所示的状态，则压力油进入液压缸 18 的右腔，推动活塞 17 和工作台 19 向左移动，液压缸 18 左腔的油液经换向阀 15 排回油箱。工作台 19 的移动速度由节流阀 13 来调节。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。液压泵 4 输出的压力油除了进入节流阀 13 以外，其余的打开溢流阀 6 流回油箱。如果将手动换向阀 9 转换成如图 1.2 (c) 所示的状态，液压泵输出的油液经手动换向阀 9 流回油箱，这时工作台停止运动，液压系统处于卸荷状态。

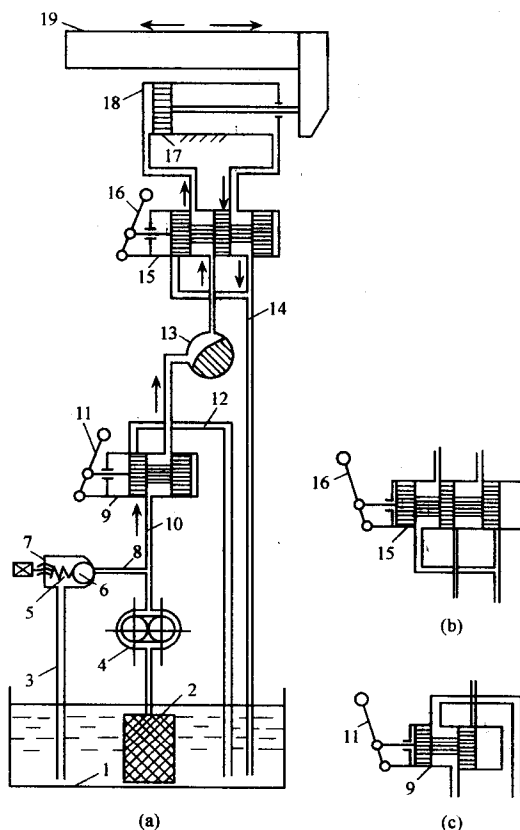


图 1.2 磨床工作台液压传动系统工作原理图

1—油箱；2—滤油器；3, 8, 10, 12, 14—油管；4—油泵；5—弹簧；6—钢球；
7—阀体；9, 15—手动换向阀；11, 16—手柄；13—节流阀；17—活塞；18—液压缸；19—工作台

1.2.1 液压传动系统的组成

从图 1.2 中可看出，一个完整的液压系统，有以下五部分组成：

1) 动力装置，是将原动机输出的机械能转换成液体压力能的元件，其作用是向液压系统提供压力油，液压泵是液压系统的核心。

2) 执行装置，把液体压力能转换成机械能，执行元件包括液压缸和液压马达。

3) 控制装置，包括压力、方向、流量控制阀，是对系统中油液压力、流量、方向进行控制和调节的元件，如换向阀 15 即属控制元件。

4) 辅助装置，上述三个组成部分以外的其他元件，如管道、管接头、油箱、滤油器等。

5) 工作介质，即传动液体，通常称为液压油。绝大多数液压油采用矿物油，系统用它来传递能量或信息。

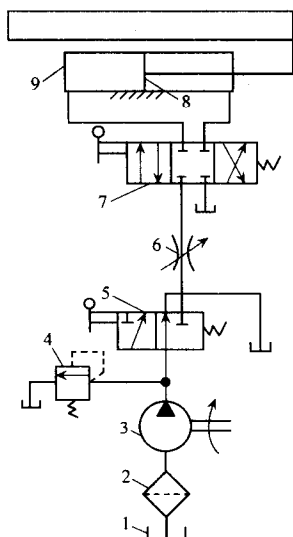


图 1.3 用图形符号表示的
磨床工作台液压系统图

- 1—油箱；2—过滤器；
3—液压泵；4—溢流阀；
5—手动换向阀；6—节流阀；
7—换向阀；8—活塞；
9—液压缸

1.2.2 液压传动系统图及图形符号

图 1.2 为液压系统原理图，各元件是用半结构式图形画出来的，这种图形直观性强，较易理解，但难以绘制，系统中元件数量多时更是如此。在工程实际中，一般都用简单的图形符号绘制液压系统原理图，如图 1.3 所示，国家标准 GB786.1—93 规定了各元件的图形符号，这些符号只表示元件的功能，不能表示元件的结构和参数。详细的液压元件图形符号在后面的章节及附录中有详细介绍。

1.3 液压传动的特点

液压传动之所以得到如此迅速的发展和广泛的应用是由于它具有许多优点：

1) 单位功率的重量轻，结构尺寸小。据统计，轴向柱塞泵每千瓦功率的重量只有