

国家级精品课程
普通高等教育“十一五”规划教材

液压与气动技术

简引霞 孙兆元 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

国家级精品课程

普通高等教育“十一五”规划教材

液压与气动技术

简引霞 孙兆元 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是根据高等职业技术教育、高等专科学校教育、应用型本科教育的要求而编写的,在编写理念上力求基础理论以应用为目的,以“必须、够用”为度,贯彻理论联系实际的原则,着重基本概念和原理的阐述,突出理论知识的应用,加强针对性和实用性,注重引入新技术内容。

全书共分10章,主要介绍液压流体力学基础,各类液压和气动元件的功用、结构、工作原理、特性、应用、常见故障及其排除方法,液压与气动基本回路和典型液压与气动系统的功用、组成、原理、特点、常见故障及其排除方法。每章后附有习题与思考题,以便于学生巩固提高;全书配有大量的工业应用图例,有利于提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书既可作为高等学校、高职高专院校、成人教育机械类、机电类专业的教材,也可供相关工程技术人员与使用维护人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/简引霞,孙兆元主编.——北京:国防工业出版社,2009.1
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-118-05966-3

I. 液... II. ①简...②孙... 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(2008)第 145375 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
北京奥鑫印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 字数 347 千字
2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 25.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

《液压与气动技术》编委会名单

主 编 简引霞 孙兆元

副主编 周小勇 郭军宏 邹哲维

编 委 王 芳 王晓辉

前 言

液压与气动技术是一种历史悠久、发展成熟、应用极其广泛的技术,特别是近年来与微电子技术、计算机技术相结合,使液压与气动技术进入了一个崭新的历史阶段。液压与气动技术已成为包括传动、控制、检测在内的,对现代机械装备技术进步有重要影响的基础技术,由于其独特的原理与性能,其应用遍布国民经济各个领域,如在机床、工程机械、交通运输、冶金机械、农业机械、塑料机械、锻压机械、航空、航天、航海、兵器、石油与煤炭等许多方面广泛采用。由于液压与气动技术的采用对机电产品质量和水平的提高起到了极大的促进和保证作用,因此采用液压与气动技术的程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志。

《液压与气动技术》共分 10 章,主要介绍液压流体力学基础,各类液压和气动元件的功用、结构、工作原理、特性、应用、常见故障及其排除方法,液压与气动基本回路和典型液压与气动系统的功用、组成、原理、特点、常见故障及其排除方法。

本书既可作为高职高专院校机械类、机电类专业的专业教材,也可作为应用型本科、成人教育、职大、夜大、函大等院校机械类、机电类专业的专业教材,还可供从事液压与气动技术的教师、工程技术人员与使用维护人员参考。

本书在编写过程中,主要考虑了以下几点。

1. 特色鲜明

本书的编写力求基础理论以应用为目的,以“必须、够用”为度,以掌握概念、强化应用为教学重点,增加生产现场的应用性知识,具有明显的职业教育特色,有利于高素质专门人才的培养。

2. 内容适当

在编写过程中,贯彻理论联系实际的原则,着重基本概念和原理的阐述,突出理论知识的应用,加强针对性和实用性,既兼顾了现有液压与气动元件,又反映了液压与气动技术的新发展,具有内容适当、浅显易懂、实践性强的特点。

3. 应用性强

为加强学生实际应用能力的培养,本书主要介绍了各种液压与气压元件的结构、原理、特性、应用和各种元件的常见故障及排除方法,以及液压与气动基本回路和系统,全书配有大量的工业应用图例,具有很强的实用性,有利于提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书计量单位均采用国际单位制,专业名词术语和图形符号均采用我国制定的相应

标准。

本书由简引霞、孙兆元任主编,周小勇、郭军宏、邹哲维任副主编,王芳、王晓辉等参编。全书编写分工如下:简引霞编写第1章、第5章(部分)、第8章;王芳编写第2章;孙兆元编写第3章、第5章(部分);郭军宏编写第4章、第9章;王晓辉编写第6章;邹哲维编写第7章;周小勇编写第10章。请登录 www.xihangzh.com/yykj 下载本书电子教案。

本书在编写过程中得到了西北工业大学、西安航空技术高等专科学校、陕西国防工业职业技术学院、武汉工业职业技术学院、陕西航空职业技术学院的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢!

由于编者水平所限,疏漏之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 液压传动的工作原理	1
1.1.1 液压千斤顶	1
1.1.2 液压传动的特点	2
1.2 液压传动系统的组成及图形符号	2
1.2.1 机床工作台液压传动系统	2
1.2.2 液压传动系统的组成和作用	3
1.2.3 液压传动系统的图形符号	3
1.3 液压传动的优缺点及其应用	3
1.3.1 液压传动的优点	3
1.3.2 液压传动的缺点	4
1.3.3 液压技术的发展和应 用	4
习题与思考题	4
第 2 章 液压流体力学基础	6
2.1 液压油	6
2.1.1 液压油的物理性质	6
2.1.2 对液压油的要求及选用	9
2.2 液体静力学	12
2.2.1 液体静压力及特性	12
2.2.2 液体静力学基本方程	12
2.2.3 压力的表示方法	13
2.2.4 静压传递原理	13
2.2.5 液体对固体壁面的作用力	14
2.3 液体动力学	15
2.3.1 基本概念	15
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 管路中液体的压力损失	20
2.4.1 液体的流动状态	20
2.4.2 沿程压力损失	21
2.4.3 局部压力损失	23
2.4.4 管路系统的总压力损失	23

2.5	液体流经小孔和缝隙的流量	24
2.5.1	液体流经小孔的流量	24
2.5.2	液体流经缝隙的流量	26
2.6	液压冲击和空穴现象	28
2.6.1	液压冲击现象	28
2.6.2	空穴现象	29
	习题与思考题	30
第3章	液压泵和液压马达	32
3.1	概述	32
3.1.1	液压泵的工作原理和特点	32
3.1.2	液压泵的主要性能参数	33
3.1.3	液压马达的主要性能参数	35
3.2	齿轮泵	36
3.2.1	结构和工作原理	36
3.2.2	流量和流量脉动	37
3.2.3	困油现象及其卸荷措施	38
3.2.4	径向不平衡力及改善措施	39
3.2.5	泄漏问题及高压化措施	40
3.3	叶片泵	40
3.3.1	双作用叶片泵的组成和工作原理	41
3.3.2	双作用叶片泵的流量计算	42
3.3.3	双作用叶片泵的定子曲线及叶片数	43
3.3.4	双作用叶片泵的叶片倾角	43
3.3.5	双联叶片泵	44
3.3.6	双作用叶片泵的高压化措施	45
3.3.7	单作用叶片泵的工作原理和流量计算	46
3.3.8	限压式变量叶片泵	47
3.4	柱塞泵	50
3.4.1	径向柱塞泵	50
3.4.2	轴向柱塞泵	51
3.5	其他类型液压泵简介	54
3.5.1	转子泵	54
3.5.2	螺杆泵	55
3.6	液压泵的选用	56
3.7	液压泵常见故障及其排除方法	57
3.8	液压马达	58
3.8.1	双作用叶片马达	59
3.8.2	柱塞马达	59
3.8.3	液压马达常见故障及其排除方法	61

习题与思考题	62
第4章 液压缸	64
4.1 液压缸的分类及特点	64
4.1.1 活塞式液压缸	65
4.1.2 柱塞式液压缸	69
4.1.3 增压液压缸	70
4.1.4 伸缩式液压缸	70
4.1.5 摆动液压缸	72
4.2 液压缸的结构设计	73
4.2.1 液压缸的典型结构	73
4.2.2 缸体组件	74
4.2.3 活塞组件	75
4.2.4 缓冲装置	75
4.2.5 排气装置	76
4.3 液压缸的设计计算	77
4.3.1 设计依据和步骤	77
4.3.2 基本参数的确定	78
4.3.3 液压缸强度校核	79
4.3.4 液压缸常见故障及其排除方法	80
习题与思考题	81
第5章 液压控制阀	83
5.1 概述	83
5.1.1 液压控制阀的基本共同点及要求	83
5.1.2 液压控制阀分类	83
5.1.3 液压控制阀的性能参数	84
5.2 方向控制阀	84
5.2.1 单向阀	84
5.2.2 换向阀	86
5.2.3 方向控制阀的常见故障及其排除方法	92
5.3 压力控制阀	93
5.3.1 溢流阀	93
5.3.2 减压阀	97
5.3.3 顺序阀	98
5.3.4 压力继电器	100
5.3.5 压力控制阀的常见故障及其排除方法	101
5.4 流量控制阀	101
5.4.1 常用节流口的结构形式与特征	102
5.4.2 节流阀	103
5.4.3 调速阀	103

5.4.4	温度补偿调速阀	104
5.4.5	流量控制阀的常见故障及其排除方法	104
5.5	电液比例控制阀	104
5.5.1	电液比例溢流阀	105
5.5.2	电液比例调速阀	105
5.5.3	电液比例换向阀	105
5.6	插装阀与叠加阀	106
5.6.1	插装阀的工作原理	106
5.6.2	方向控制插装阀	107
5.6.3	压力控制插装阀	107
5.6.4	流量控制插装阀	108
5.6.5	叠加阀	108
5.7	电液数字控制阀	109
	习题与思考题	110
第6章	辅助元件	112
6.1	蓄能器	112
6.1.1	功用	112
6.1.2	分类	112
6.1.3	安装和使用注意事项	114
6.2	过滤器	114
6.2.1	功用	114
6.2.2	分类	114
6.2.3	选用与安装	116
6.3	油箱与热交换器	117
6.3.1	油箱的功用和分类	117
6.3.2	油箱的容积计算	117
6.3.3	设计时的注意事项	118
6.3.4	热交换器	118
6.4	密封装置	119
6.4.1	密封装置的功用	120
6.4.2	对密封装置的要求	120
6.4.3	密封装置的类型和特点	120
6.5	管路与管接头	123
6.5.1	管路	123
6.5.2	管接头	124
6.6	压力表及压力表开关	125
6.6.1	压力表	125
6.6.2	压力表开关	126
	习题与思考题	126

第7章 液压基本回路	127
7.1 速度控制回路	127
7.1.1 调速回路	127
7.1.2 增速回路	134
7.1.3 速度换接回路	135
7.2 方向控制回路	136
7.2.1 换向回路	137
7.2.2 锁紧回路	137
7.3 压力控制回路	138
7.3.1 调压回路	138
7.3.2 减压回路	139
7.3.3 增压回路	139
7.3.4 卸荷回路	139
7.3.5 保压回路	140
7.3.6 卸压回路	141
7.3.7 平衡回路	142
7.3.8 缓冲回路	143
7.4 多缸动作回路	143
7.4.1 顺序动作回路	143
7.4.2 同步回路	146
7.4.3 互不干扰回路	146
习题与思考题	148
第8章 典型液压传动系统	151
8.1 组合机床液压传动系统	151
8.1.1 组合机床动力滑台液压传动系统概述	151
8.1.2 YT4543 型动力滑台液压传动系统的工作原理	152
8.1.3 YT4543 型动力滑台液压传动系统的特点	154
8.2 液压机液压传动系统	154
8.2.1 液压机液压传动系统概述	154
8.2.2 YA32-200 型四柱万能液压机液压传动系统的工作原理	155
8.2.3 YA32-200 型四柱万能液压机液压传动系统的特点	157
8.3 数控加工中心液压传动系统	158
8.3.1 数控机床液压传动系统概述	158
8.3.2 数控加工中心液压传动系统工作原理	158
8.4 塑料注射成形机液压传动系统	160
8.4.1 塑料注射成形机液压传动系统概述	160
8.4.2 SZ-250A 型注塑机液压传动系统的组成和工作原理	161
8.4.3 SZ-250A 型注塑机液压传动系统的特点	164
8.5 液压传动系统的安装调试和使用维护	165
8.5.1 液压传动系统的安装调试	165

8.5.2 液压传动系统的使用维护	166
8.5.3 液压传动系统的常见故障及其排除方法	168
习题与思考题	169
第9章 液压传动系统的设计计算	171
9.1 设计计算的内容和步骤	171
9.1.1 明确设计要求,确定系统方案	172
9.1.2 确定主要参数,进行工况分析	172
9.1.3 液压系统原理图的拟定	174
9.1.4 液压元件的计算和选择	175
9.1.5 液压系统性能验算	176
9.1.6 液压装置结构设计及技术文件编制	178
9.2 液压传动系统设计计算举例	179
9.3 CAD在液压传动系统设计中的应用	184
习题与思考题	185
第10章 气压传动技术	186
10.1 气压传动系统的组成和工作原理	186
10.1.1 气压传动系统的工作原理	186
10.1.2 气压传动系统的组成和作用	186
10.2 气压传动的优缺点	187
10.2.1 气压传动的优点	187
10.2.2 气压传动的缺点	188
10.3 气动元件	189
10.3.1 执行元件	189
10.3.2 控制元件	194
10.3.3 逻辑元件	203
10.3.4 气源装置及辅件	206
10.4 气动基本回路	212
10.4.1 方向控制回路	212
10.4.2 压力控制回路	213
10.4.3 速度控制回路	214
10.4.4 其他回路	215
10.5 气压传动系统	220
10.5.1 气液动力滑台气压传动系统	220
10.5.2 工件夹紧气压传动系统	221
10.6 气动系统的安装调试和使用维护	221
10.6.1 气动系统的安装调试	222
10.6.2 气动系统的使用维护	222
10.6.3 气动系统主要元件的常见故障及其排除方法	224
习题与思考题	227
附录 常用液压与气动元件图形符号	229
参考文献	235

第 1 章 概 述

利用流体作为工作介质来传递运动和动力的方式称为流体传动。流体传动按其所用介质不同可分为两大类。以气体作为工作介质实现能量传递的传动方式称气体传动,以液体作为工作介质实现能量传递的传动方式称液体传动。液体传动又可分为液力传动和液压传动,液力传动主要以液体动能进行运动和动力的传递,液压传动则以液体压力能进行运动和动力的传递。本书主要讨论液压与气压传动的有关内容。

1.1 液压传动的工作原理

1.1.1 液压千斤顶

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置,其工作原理如图 1-1 所示。图中大小两个液压缸 6 和 3 内分别装有活塞 7 和 2,活塞和缸体之间保持一种良好的配合关系,既可使活塞在缸体内滑动,又能实现可靠密封;4 和 5 是单向阀,用来控制油液的流动方向;9 为截止阀;10 为油箱,它们用管件连接在一起。工作时,首先将杠杆 1 提起,液压缸 3 下腔的密封容积增大,腔内压力下降,形成局部真空,此时单向阀 5 关闭,油箱中的油液在大气压力的作用下,经过吸油管顶开单向阀 4 的钢球,进入并充满液压缸 3 的下腔,完成一次吸油动作。接着,压下杠杆 1,活塞 2 下移,液压缸 3 下腔的密封容积减小,腔内压力升高,迫使单向阀 4 关闭,并使单向阀 5 的钢球受到一个向上的作用力。当这个作用力大于

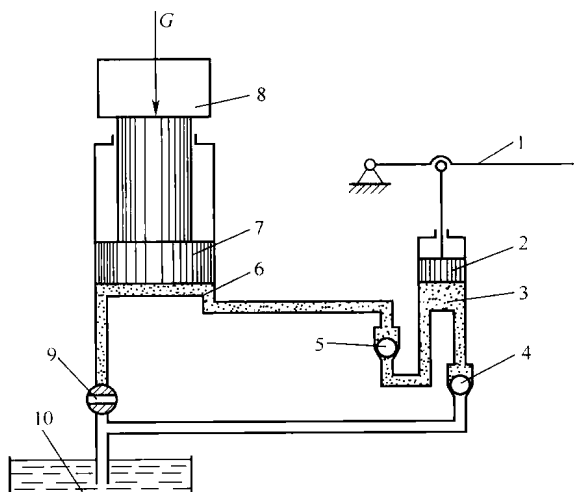


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—杠杆;2—小活塞;3、6—液压缸;4、5—单向阀;7—大活塞;8—重物;9—截止阀;10—油箱。

液压缸 6 下腔油液对它的作用力时,液压缸 3 中的油液便顶开单向阀 5,挤入液压缸 6 的下腔,推动活塞 7 上升,顶起重物 G 。如此反复提压杠杆,就可以使重物不断升起,达到起重的目的。将截止阀 9 旋转 90° ,使液压缸 6 的下腔与油箱接通,在重物 G 作用下液压缸 6 下腔油液流便回油箱,活塞 7 下降到原位。

1.1.2 液压传动的特点

从液压千斤顶工作原理可以看出,液压传动利用具有一定压力的液体来传递运动和动力;液压传动装置本质上是一种能量转换装置,它首先将机械能转换为便于输送的液压能,然后又将液压能转换为机械能而做功;液压传动必须在密封容器内进行,而且容积要发生变化。

1.2 液压传动系统的组成及图形符号

1.2.1 机床工作台液压传动系统

对于机床和其他液压机械,由于工作过程中动作复杂、性能要求比较高,所以液压传动系统也就复杂得多。图 1-2 (a) 所示为一台简单的机床工作台直线往复运动液压传动系统原理图。液压泵 3 由电动机(图中未画出)带动旋转,油液经过滤器 2 过滤后被吸入液压泵,液压泵输出的压力油经节流阀 5 和换向阀 6 进入液压缸 7 的左腔,推动活塞连同工作台 8 向右移动,液压缸右腔的油液通过回油管排回油箱。液压系统中设置了手动换向阀 6,用于改变进入液压缸油液的流动方向,以使工作台换向。为了改变工作台的运动速度,设置了节流阀 5,用于调节进入液压缸的流量以达到改变工作台运动速度的目的。为了克服工作台运动时所遇到的阻力即负载,如磨削力和摩擦阻力等,设置了溢流阀 4,用于调节液压泵出口压力以克服负载,并让多余的油液在相应压力下打开溢流阀,经回油管流回油箱,达到稳定液压泵供油压力的目的。图中:油箱 1 用于储存压力油,过滤器 2 用于过滤油中杂质,保持油液清洁。若把这些元件用油管 and 管接头连接起来,便组成了机

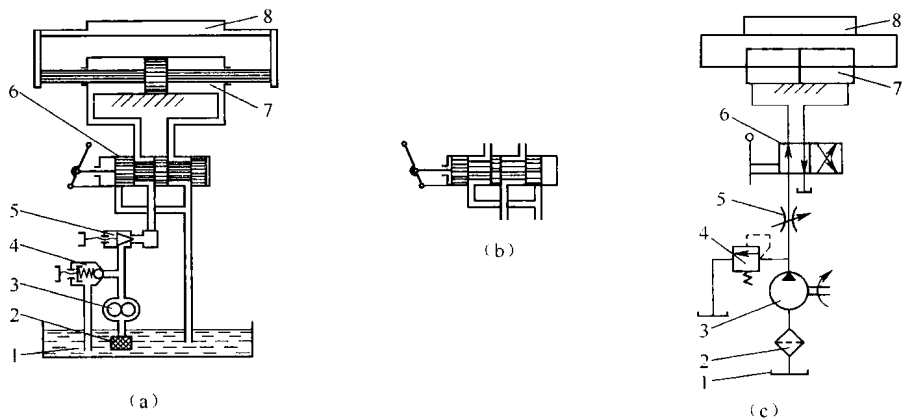


图 1-2 机床工作台液压传动系统原理图

1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4—溢流阀;5—节流阀;6—换向阀;7—液压缸;8—工作台。

床工作台液压传动系统。

若将换向阀的手柄置于图 1-2(b)所示位置,则压力油经换向阀进入液压缸的右腔,推动活塞连同工作台 8 向左移动,这时,液压缸左腔的油液通过回油管排回油箱。

由上可知,改变换向阀阀芯的位置,可以改变油液的流动方向,从而达到工作台换向的目的。调节节流阀,可以改变进入液压缸内油液的流量,以控制工作台的运动速度。调节溢流阀,可控制液压泵的出口压力。

1.2.2 液压传动系统的组成和作用

通过上述分析可以看出,液压传动系统由以下五个部分组成:

(1) 动力元件——液压泵。将原动机输入的机械能转换为液体的压力能,是一种能量转换装置,为液压系统提供压力油,作为整个系统的供油能源。

(2) 执行元件——液压缸或液压马达。将液体的压力能转换为驱动工作部件的机械能。它也是一种能量转换装置。

(3) 控制元件——各种液压控制阀,如方向控制阀、压力控制阀、流量控制阀等。用以控制液压系统中液体的压力、流量和流动方向,保证执行元件完成预期的工作任务。控制元件在液压系统中占有很重要的地位。

(4) 辅助元件——包括油箱、油管、过滤器、各种指示器和控制仪表等。它们的作用是创造必要条件、保证液压系统能够正常工作并便于监测控制。

(5) 工作介质——液压油。作为传递运动和动力的载体。

1.2.3 液压传动系统的图形符号

液压传动系统图有结构式原理图和图形符号原理图两种。结构式原理图如图 1-2(a)所示,这种图形直观性强,较易理解,但难于绘制,系统中元件数量多时更是如此。在工程实际中,除某些特殊情况外,一般都用国家标准规定的图形符号来绘制液压系统原理图。对于图 1-2(a)所示液压系统,按国标(GB/T 786.1—1993)规定的图形符号绘制的液压系统原理图如图 1-2(c)所示。图中的符号只表示元件的功能,不表示元件的结构和参数。因此,液压传动系统原理图简单明了,便于绘制。

1.3 液压传动的优缺点及其应用

1.3.1 液压传动的优点

液压传动与其他传动方式相比较,有如下主要优点:

- (1) 液压传动工作平稳、反应快、冲击小,便于实现频繁换向和高速启动。
- (2) 能方便地实现无级调速,且调速范围大。
- (3) 在相同功率情况下,液压传动装置的体积小、质量小、结构紧凑。
- (4) 操纵简单,便于实现自动化,特别是电液联合控制时易于实现复杂的自动工作循环。
- (5) 便于实现过载保护,而且工作介质能使传动零件自行润滑,故使用寿命较长。

(6) 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化。

1.3.2 液压传动的缺点

(1) 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性无法保证严格的传动比。

(2) 较大能量损失(泄漏损失、摩擦损失等)使液压传动效率不高,不宜作远距离传动。

(3) 对油温的变化比较敏感,不宜在很高或很低的温度下工作。

(4) 发生故障不易检查。

总之,液压传动的优点十分突出,其缺点将随着科学技术的发展而逐渐得到克服。

1.3.3 液压技术的发展和應用

液压技术有着悠久的发展历史,从 1795 年世界上第一台水压机诞生,到现在已有 200 多年的历史。但由于当时工艺制造水平低下,液压技术发展缓慢,几乎停滞不前。随着工艺制造水平的提高,到 20 世纪 30 年代,开始生产系列液压元件,并首先应用于机床。第二次世界大战的爆发,推动了军事工业的发展,同时也推动了液压技术的发展。当时,液压技术已广泛应用于航空、船舶、车辆、机床等各种机械上。战后,军事工业的巨大成就迅速转入民用工业,到 20 世纪 50 年代至 70 年代,液压技术已渗透到国民经济的各个领域。它是机械设备中发展速度最快的技术之一,其发展速度仅次于电子技术,是实现现代传动控制的关键技术,也是衡量一个国家工业水平高低的标志。目前,国外生产的 95% 的工程机械、95% 以上的自动生产线、90% 的数控加工中心,都采用了液压技术。

我国液压技术从 20 世纪 60 年代开始发展较快,并以其独有的强力输出的特点渗透到国民经济的各个领域,如航空航天、交通运输、工程建设、石油化工、农林机械、矿山机械、冶金机械、纺织机械以及海洋开发、地震预测等部门。正可谓“从蓝天到水下,从军用到民用,从重工业到轻工业,到处都有液压技术。”

当前,液压技术正向着高压、高速、大功率、高效率、低噪声、低能耗、经久耐用、高度集成化方向发展,并将与微电子技术、计算机技术、传感器技术等为代表的新技术紧密结合,形成一个完善高效的控制中枢,成为包括传动、控制、检测、显示乃至校正、预报在内的综合自动化技术。

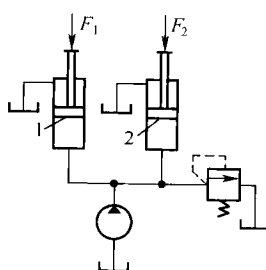
习题与思考题

1. 什么叫液压传动? 液压传动的特点是什么?

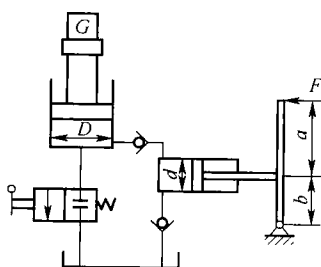
2. 液压传动系统通常由哪几部分组成? 各起什么作用?

3. 如题 3 图所示,已知 $F_1 = 10 \times 10^3 \text{ N}$, $F_2 = 15 \times 10^3 \text{ N}$, 液压缸活塞直径为 25cm, 当液压泵压油时,两缸活塞能否同时动作? 为什么? 液压泵的出口压力是多少?

4. 如题 4 图所示,设杠杆尺寸 $a = 30 \text{ cm}$, $b = 2.5 \text{ cm}$, 小活塞直径 $d = 1.6 \text{ cm}$, 液压缸活塞直径 $D = 12 \text{ cm}$, 若手的作用力 $F = 20 \times 10^2 \text{ N}$, 求液压缸活塞向上顶起的作用力是多少? 力放大了多少倍?



题 3 图



题 4 图