

国家级精品课程  
21世纪高等职业教育规划教材

# 航空液压与气动技术

简引霞 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

国家级精品课程

21 世纪高等职业教育规划教材

国防科工委职业教育“十一五”规划教材

# 航空液压与气动技术

简引霞 主编

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书根据高等职业教育的要求而编写,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。

全书共分9个模块,主要介绍液压与气动技术概述,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、典型液压与气动系统的功用、组成、原理、特点和常见故障及其排除方法。每个模块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。

本书既可作为高职高专院校航空机电设备维修专业的教材,也可作为高职高专院校、成人教育(如职大、夜大、函大等院校)机械类、机电类专业的教材,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。

### 图书在版编目(CIP)数据

航空液压与气动技术/简引霞主编. —北京:国防工业出版社,2008.2

21 世纪高等职业教育规划教材. 国家级精品课程

ISBN 978-7-118-05512-2

I. 航... II. 简... III. ①航空器—液压传动—高等学校:技术学校—教材②航空器—气压传动—高等学校:技术—学校—教材 IV. V227

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 006129 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 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 17¼ 字数 397 千字

2008 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422 发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535 发行业务: (010)68472764

# 高等职业教育航空机电设备维修专业 教材建设委员会

**主任委员** 蔡昌荣(广州民航职业技术学院副院长)

**副主任委员** (按姓氏笔画排序)

王俊山(海航集团总裁助理)

关云飞(长沙航空职业技术学院副院长)

李永刚(西安航空职业技术学院副院长)

杨 征(上海交通职业技术学院南校区主任)

杨涵涛(三亚航空旅游职业学院执行副院长)

张同怀(西安航空技术高等专科学校副校长)

陈玉华(成都航空职业技术学院副院长)

赵淑荣(中国民航大学职业技术学院院长)

贾东林(沈阳航空职业技术学院副院长)

唐庆如(中国民航飞行学院航空工程学院院长)

唐汝元(张家界航空工业职业技术学院院长)

雷建鸣(中国试飞院工学院副院长)

**委 员** (按姓氏笔画排序)

于 飞 付尧明 白冰如 刘建超 李长云

杨 杉 杨 勇 杨俊花 吴梁才 汪宏武

宋文学 张学君 陈 律 陈浩军 林列书

易磊隽 罗玉梅 罗庚合 夏 爽 郭紫贵

章 健 彭卫东

# 《航空液压与气动技术》

## 编委会

主 编 简引霞

副主编 孙兆元 周小勇 徐兰宝

编 委 田 巨 田 伟 郭军宏 赵忠宪

主 审 张嘉桢

员 委

云斗幸 强振欣 收水白 郎泰竹 广 干  
海志丑 卡乘吴 苏爵爵 庚 爵 爵 爵  
件既林 军哉利 翰 利 昔半湘 半文宋  
贵滋雅 爽 夏 合夷受 耕王受 贵器畏  
衣工道 爵 章

# 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》一书根据国防工业出版社“高等职业教育航空机电设备维修专业规划教材研讨会”的会议精神——建设一套航空机电设备维修专业的经典教材,并随着航空业的高速发展,不断地进行改进和修订,使其成为常盛不衰的经典教材和品牌——而编写的。全书共分9个模块,主要介绍液压与气动技术概述,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、典型液压与气动系统的功用、组成、原理、特点和常见故障及其排除方法。

本书既可作为高职高专院校航空机电设备维修专业的教材,也可作为高职高专院校、成人教育(如职大、夜大、函大等院校)机械类、机电类专业的教材,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,具有明显的航空职业教育特色,有利于高素质专门人才的培养。

## 2. 内容适当

在编写过程中,采用高校教师与企事业工程技术人员共同参与,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;既兼顾了航空液压与气动技术的应用特点,又反映了一般行业液压与气动技术的应用。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,以及通用和航空液压与气压传动的基本回路和系统。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。

本书采用国际单位制,专业名词术语和图形符号均符合我国制定的相应标准。书中带“\*”部分的内容其他专业可以不讲。

本书由西安航空技术高等专科学校简引霞任主编,西安航空技术高等专科学校孙兆元、周小勇和中国第一飞机设计研究院徐兰宝任副主编,广州民航职业技术学院田巨、西安航空职工大学试飞院工学院田伟、陕西国防工业职业技术学院郭军宏、兰州石油化工职业技术学院赵忠宪等参编。全书编写分工如下:简引霞编写模块一、模块五、模块八;田巨编写模块二、模块五、模块八;孙兆元编写模块三;郭军宏编写模块四;田伟编写模块六、模块八;赵忠宪编写模块七;徐兰宝编写模块八、模块九;周小勇编写模块九。

西北工业大学张嘉桢教授对本书原稿进行了细致的审阅,提出了许多宝贵的意见,在此深表谢意。

由于编者水平有限,疏漏之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者

本书在编写过程中,参考了有关文献,并得到了有关单位和个人的帮助,在此表示衷心的感谢。

编者

编者

本书在编写过程中,参考了有关文献,并得到了有关单位和个人的帮助,在此表示衷心的感谢。

编者

编者

本书在编写过程中,参考了有关文献,并得到了有关单位和个人的帮助,在此表示衷心的感谢。

# 目 录

|                      |    |
|----------------------|----|
| 模块一 概述               | 1  |
| 学习单元一 液压传动的工作原理      | 1  |
| 学习单元二 液压传动系统的组成及图形符号 | 2  |
| 学习单元三 液压传动的优缺点及其应用   | 4  |
| 习题与思考题               | 5  |
| 模块二 液压流体力学基础         | 7  |
| 学习单元一 液压油            | 7  |
| 学习单元二 液体静力学          | 14 |
| 学习单元三 液体动力学          | 18 |
| 学习单元四 管路内液体的压力损失     | 23 |
| 学习单元五 液体流经小孔及缝隙的流量   | 26 |
| 学习单元六 液压冲击及空穴现象      | 29 |
| 习题与思考题               | 31 |
| 模块三 液压泵和液压马达         | 34 |
| 学习单元一 液压泵和液压马达概述     | 34 |
| 学习单元二 齿轮泵            | 38 |
| 学习单元三 叶片泵            | 42 |
| 学习单元四 柱塞泵            | 52 |
| 学习单元五 其他类型液压泵简介      | 56 |
| 学习单元六 液压泵的选用         | 58 |
| 学习单元七 液压泵常见故障及其排除方法  | 60 |
| 学习单元八 液压马达           | 61 |
| 习题与思考题               | 65 |
| 模块四 液压缸              | 67 |
| 学习单元一 液压缸的分类及特点      | 67 |
| 学习单元二 液压缸的结构设计       | 76 |
| *学习单元三 液压缸的设计计算      | 80 |
| 习题与思考题               | 85 |
| 模块五 液压控制阀            | 87 |
| 学习单元一 概述             | 87 |
| 学习单元二 方向控制阀          | 88 |
| 学习单元三 压力控制阀          | 99 |

|                   |                                 |     |
|-------------------|---------------------------------|-----|
| 学习单元四             | 流量控制阀                           | 107 |
| 学习单元五             | 电液比例控制阀                         | 112 |
| 学习单元六             | 插装阀与叠加阀                         | 113 |
| 学习单元七             | 电液数字控制阀                         | 116 |
| * 学习单元八           | 液压伺服阀                           | 117 |
| 习题与思考题            |                                 | 124 |
| <b>模块六 辅助元件</b>   |                                 | 127 |
| 学习单元一             | 蓄能器                             | 127 |
| 学习单元二             | 过滤器                             | 131 |
| 学习单元三             | 油箱和热交换器                         | 135 |
| 学习单元四             | 密封装置                            | 140 |
| 学习单元五             | 管件和压力表                          | 143 |
| 习题与思考题            |                                 | 149 |
| <b>模块七 液压基本回路</b> |                                 | 150 |
| 学习单元一             | 速度控制回路                          | 150 |
| 学习单元二             | 方向控制回路                          | 160 |
| 学习单元三             | 压力控制回路                          | 163 |
| 学习单元四             | 多缸动作控制回路                        | 170 |
| 习题与思考题            |                                 | 175 |
| <b>模块八 典型液压系统</b> |                                 | 178 |
| 学习单元一             | 组合机床液压系统                        | 178 |
| 学习单元二             | 液压机液压系统                         | 181 |
| 学习单元三             | 数控加工中心液压系统                      | 185 |
| * 学习单元四           | 飞机液压系统                          | 187 |
| * 学习单元五           | 液压系统的常见故障及排除方法                  | 211 |
| 习题与思考题            |                                 | 213 |
| <b>模块九 气压传动技术</b> |                                 | 215 |
| 学习单元一             | 气压传动系统的组成和工作原理                  | 215 |
| 学习单元二             | 气压传动的特点                         | 217 |
| 学习单元三             | 气动元件                            | 218 |
| 学习单元四             | 气动基本回路                          | 242 |
| 学习单元五             | 气压传动系统                          | 250 |
| * 学习单元六           | 气动系统的安装调试和使用维护                  | 254 |
| 习题与思考题            |                                 | 260 |
| 附录                | 常用液压与气动元件图形符号(GB/T 786.1—93 摘录) | 262 |
| <b>参考文献</b>       |                                 | 268 |

## 模块一 概述

### □ 模块学习目标

了解液压技术的类型和定义；

掌握液压传动的工作原理、特点、组成和作用；

理解液压传动系统的表示方法和图形符号；

熟悉液压技术的发展方向和在国民经济特别是在航空中的应用。

### □ 模块学习内容

液压技术是在水力学、工程力学和机械制造基础上发展起来的一门应用科学技术,它包括液压传动技术和液压控制技术两大部分。利用液体压力能来传递运动和动力的方式称为液压传动,以液动力元件作驱动装置所组成的反馈控制系统即自动控制系统称为液压控制。液压技术至今已有 200 多年的发展历史,但是,用于飞机工业则开始于 20 世纪 40 年代。

目前,飞机上的收放系统、舵面控制系统、刹车系统、发动机的控制与操纵系统等,几乎都应用了液压技术。飞机和发动机的液压系统在飞机维修工作中占有很重要的位置。据统计,军用飞机中液压系统的故障约占机械总故障的 30%,液压系统的维修工作量占机械维修工作量的 1/3。因此,保持飞机液压系统的良好性能,是航空机电设备维修工作的重要内容。

## 学习单元一 液压传动的工作原理

### 一、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,然后用管件连接在一起。工作时,首先将杠杆 1 提起,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,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。当这个作用力大于缸 6 下腔油液对它的作用力时,缸 3 中的油液便顶开单向阀 5 挤入缸 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

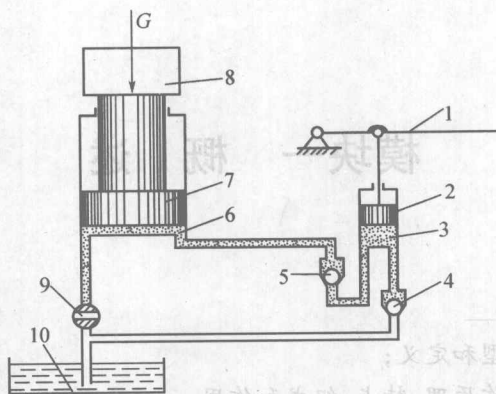


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

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。

90°，使缸6的下腔与油箱接通，在重物G作用下缸6下腔的油液流回油箱，活塞下降到原位。

## 二、液压传动的特点

从液压千斤顶的工作原理可以看出，液压传动是利用具有一定压力的液体来传递运动和动力的；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。

## 学习单元二 液压传动系统的组成及图形符号

### 一、机床工作台液压系统

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油液的压力以克服负载，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1-2(a)中1为油箱，用于储存压力油，2为过滤器，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，便组成了机床工作台液压传动系统。

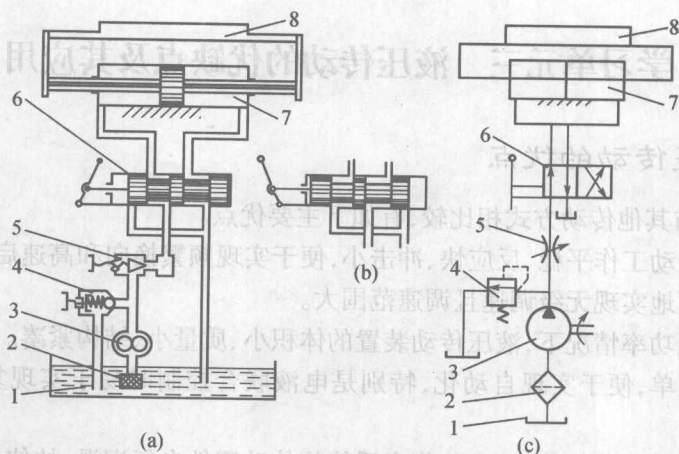


图 1-2 机床工作台液压传动系统

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。

由上述可知,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。

## 二、液压传动的组成和作用

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而驱动负载。它也是一种能量转换装置。

(3) 控制元件——各种阀类元件,如方向阀、压力阀、流量阀等。用以控制液压系统中油液的压力、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。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。

## 三、液压传动系统的图形符号

液压系统图有半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,其按国标(GB/T 786.1—93)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,液压系统简单明了,便于绘制。GB/T 786.1—93 图形符号见本书附录。

## 学习单元三 液压传动的优缺点及其应用

### 一、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。

### 二、液压传动的缺点

液压传动与其他传动方式相比,有如下主要缺点。

- (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,不宜在很高和很低的温度下工作。
- (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。

### 三、液压技术的应用和发展

液压技术是近年来发展最快的技术之一,也是衡量一个国家工业水平高低的标志。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。第二次世界大战后,军事工业的巨大成就迅速转人民用工业,到 20 世纪 50 年代至 20 世纪 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,也是实现现代传动控制的关键技术,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、机械制造、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。”

机电液一体化作为液压技术的发展目标,将信号检测、变换和运算交给电子部分承

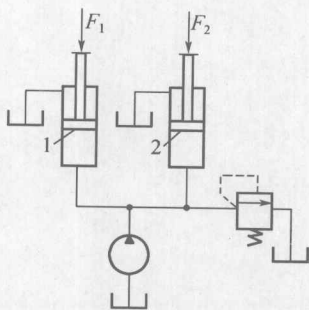
担,液压元件则主要作为执行机构,承受各种负载。液电互相结合,取长补短,达到系统优化。飞机的飞行控制系统是机电液一体化的典型应用,飞机姿态的检测、放大、运算综合以及操纵输入由电气部分完成,而舵面动力操纵由液压舵机完成。又如,机轮刹车系统、机轮的转速、旋转加速度都是由电气部分完成检测、运算并进行综合,再控制电液伺服阀,电液伺服阀控制刹车系统,使机轮在滑跑过程中得到最有效的刹车,又使机轮的磨损相应减小。

随着信息技术的发展,以可靠性为中心的维修得以发展和完善。以可靠性为中心的维修归根到底就是视情维修,即应用信息技术及时监测掌握系统附件的工作状态,在系统附件发生故障或将要发生故障时,提供告警信号或维修指示,充分发挥系统部件的固有可靠性,节省维修费用。美国飞机液压系统新规范已正式列入了状态监控与故障诊断,其状态监控与故障诊断设备以微机为中心,包括状态信号采集、数字信号处理、系统附件状态特征量提取以及故障诊断专家系统等。我国的新型飞机研制也将采用相应规范。

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?



题3图

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?

液压系统图。图中所示为一个典型的液压系统，由一个电动机驱动的液压泵（P）通过管道连接到两个液压缸（A和B）。系统还包括一个溢流阀（R）用于设定系统压力，以及一个单向阀（V）防止油液倒流。图中还标注了油缸的直径（D）和活塞杆的直径（d），以及作用在活塞上的力（F）和位移（s）。

图4-4 题4图

液压系统图。图中所示为一个典型的液压系统，由一个电动机驱动的液压泵（P）通过管道连接到两个液压缸（A和B）。系统还包括一个溢流阀（R）用于设定系统压力，以及一个单向阀（V）防止油液倒流。图中还标注了油缸的直径（D）和活塞杆的直径（d），以及作用在活塞上的力（F）和位移（s）。

## 思考题

1. 什么叫液压传动？液压传动的特点是什么？
2. 液压传动系统主要由哪几部分组成？各起什么作用？
3. 如图3图所示，已知  $F_1 = 10 \times 10^3 \text{ N}$ ,  $F_2 = 12 \times 10^3 \text{ N}$ , 液压缸活塞直径为  $25 \text{ cm}$ , 当液压泵压油时，两液压缸能否同时动作？为什么？液压泵的出口压力是多少？

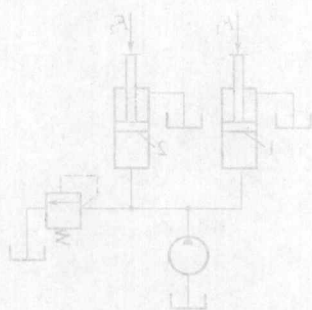


图3图

4. 如图4图所示，设缸杆尺寸  $a = 30 \text{ cm}$ ,  $b = 25 \text{ cm}$ , 小活塞直径  $d = 1.6 \text{ cm}$ , 液压缸活塞直径  $D = 12 \text{ cm}$ , 若杆的作用力  $F_1 = 20 \times 10^3 \text{ N}$ , 求液压缸活塞向上顶起的作用力是多少？杆放大多少倍？

## 模块二 液压流体力学基础

### □ 模块学习目标

了解液压流体力学基础知识；

掌握液压油的物理性质、液体静、动力学，小孔和缝隙流量计算；

理解液压传动系统压力损失的基本形式、液压冲击和气穴现象；

熟悉液压流体力学在液压传动系统中的应用。

### □ 模块学习内容

本章主要讲述液压油的物理性质、液压油的使用与污染控制；液体静力学的基本特性、液体流动时的运动特性、管路的压力损失以及流经小孔和缝隙的流量等液压传动的基础知识。

## 学习单元一 液压油

### □ 单元学习目标

了解液压油的密度、可压缩性和工作任务；

掌握液压油的黏性、黏度和选用原则。

### □ 单元学习内容

#### 一、液压油

##### 1. 液体的密度

单位体积液体的质量称为液体的密度，以  $\rho$  表示，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

密度是液体的一个重要物理参数，随着液体温度和压力的变化，其密度也会发生变化，但是在一般使用条件下，温度和压力引起的密度变化很小，所以液体的密度可近似视为常数，计算时可取  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ 。

##### 2. 液体的可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的性质称为液体的可压缩性。液体的可压缩性可以用体积压缩系数  $\beta$  或其倒数（液体的体积模量） $K$  来表示，即

$$\beta = -\frac{\Delta V/V_0}{\Delta p} \quad (2-2)$$

$$K = \frac{1}{\beta} = - \frac{\Delta p}{\Delta V/V_0} \quad (2-3)$$

式中  $V$ ——压力变化前的液体体积；

$\Delta p$ ——压力变化量；

$\Delta V$ ——在压力作用下液体体积的变化量。

液体体积压缩系数的物理意义是指单位压力所引起的液体体积的相对变化量，而体积模量是产生单位体积相对变化量所需要的压力增量。当压力增大时， $\Delta p$  为正值， $\Delta V$  为负值，为使体积压缩系数和体积模量值为正值，所以式(2-2)、式(2-3)中加入了负号。

实际上，液体的可压缩性很小，液压系统中液体  $K = 0.7 \times 10^9 \text{N/m}^2$ 。在分析中低压液压系统时，允许把液体看成是不可压缩的。但在分析液压系统动态性能或压力变化很大的高压系统时，必须考虑液体的可压缩性。另外，值得注意的是，由于空气的可压缩性很大，所以当工作介质中有游离气泡时， $K$  值将大大减小，这会严重影响液压系统的工作性能。故应采取措施尽量减少液压系统工作介质中游离空气的含量。

### 3. 液体的黏性

当液体在外力作用下流动时，由于液体分子之间的内聚力和液体分子与容器壁面之间附着力的作用，导致液体分子之间相对运动而产生内摩擦力，这种特性称为液体的黏性。

如果把水和油放置在两个同样的管道中，会发现二者的流动速度是不同的。这说明水和油的黏性不同。黏性是液体的重要物理性质，也是液压系统中选用油液的主要依据之一。

#### 1) 黏性的定义及物理意义

如图 2-1 所示，设两平行平板之间充满油液，上平板以速度  $u$  向右运动，而下平板则固定不动时，紧贴上平板的液体以相同的速度  $u$  随平板向右移动。紧贴下平板的液体则黏附于下平板而保持静止。当两平板之间的距离较小时，中间流体的速度呈线性分布。若将这种流动看作许多薄流体层的运动，由于各层的流动速度不同，流动快的流层会拖慢的流层，而流动慢的流层又会阻滞流动快的流层。各层之间相互制约，即产生内摩擦力。

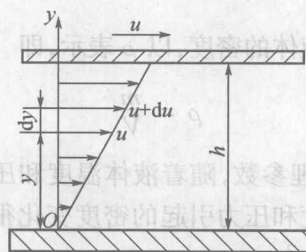


图 2-1 液体的黏性

实验结果表明：液体流动时，相邻流层之间的内摩擦力  $F$  与流层间的接触面积  $A$ 、流层间的相对运动速度  $du$  成正比，而与流层间的距离  $dy$  成反比，即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-4)$$