



中等职业学校机电类规划教材

机电技术应用专业系列

# 液压与气压传动技术

张林 主编



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

中等职业学校机电类规划教材

机电技术应用专业系列

# 液压与气压传动技术

张 林 主编

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

北 京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动技术 / 张林主编. —北京: 人民邮电出版社, 2008.5

中等职业学校机电类规划教材. 机电技术应用专业系列  
ISBN 978-7-115-17099-6

I. 液… II. 张… III. ①液压传动—专业学校—教材  
②气压传动—专业学校—教材, IV. TH137 .TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 011161 号

## 内 容 提 要

本书运用项目教学法, 分为上、下两篇。上篇介绍液压传动基本知识和运用, 如选择液压动力元件、执行元件, 使用方向控制阀、压力控制阀、流量控制阀及其典型回路, 综合分析液压传动系统。下篇介绍气压传动基本知识和运用, 如使用气动执行元件、方向控制阀、流量控制阀及其典型回路, 认识压力控制阀、其他典型气动控制元件及回路, 综合分析气压传动系统。书后附有必要的技术资料, 可供学生查阅。

本书适合作为中等职业学校机电类专业的教材, 也可作为工程技术人员的自学参考书与培训教材。

中等职业学校机电类规划教材

机电技术应用专业系列

液压与气压传动技术


- 
- ◆ 主 编 张 林  
责任编辑 郭 晶
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京艺辉印刷有限公司印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 10.25  
字数: 248 千字 2008 年 5 月第 1 版  
印数: 1—3 000 册 2008 年 5 月北京第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-115-17099-6/TN

定价: 17.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223  
反盗版热线: (010) 67171154



## 丛书前言

我国加入 WTO 以后,国内机械加工行业和电子技术行业得到快速发展。国内机电技术的革新和产业结构的调整成为一种发展趋势。因此,近年来企业对机电人才的需求量逐年上升,对技术工人的专业知识和操作技能也提出了更高的要求。相应地,为满足机电行业对人才的需求,中等职业学校机电类专业的招生规模在不断扩大,教学内容和教学方法也在不断调整。

为了适应机电行业快速发展和中等职业学校机电专业教学改革对教材的需要,我们在全国机电行业和职业教育发展较好的地区进行了广泛调研;以培养技能型人才为出发点,以各地中职教育教研成果为参考,以中职教学需求和教学一线的骨干教师对教材建设的要求为标准,经过充分研讨与论证,精心规划了这套《中等职业学校机电类规划教材》,包括六个系列,分别为《专业基础课程与实训课程系列》、《数控技术应用专业系列》、《模具设计与制造专业系列》、《机电技术应用专业系列》、《计算机辅助设计与制造系列》、《电子技术应用专业系列》。

本套教材力求体现国家倡导的“以就业为导向,以能力为本位”的精神,结合职业技能鉴定和中等职业学校双证书的需求,精简整合理论课程,注重实训教学,强化上岗前培训;教材内容统筹规划,合理安排知识点、技能点,避免重复;教学形式生动活泼,以符合中等职业学校学生的认知规律。

本套教材广泛参考了各地中等职业学校的教学计划,面向优秀教师征集编写大纲,并在国内机电行业较发达的地区邀请专家对大纲进行了多次评议及反复论证,尽可能使教材的知识结构和编写方式符合当前中等职业学校机电专业教学的要求。

在作者的选择上,充分考虑了教学和就业的实际需要,邀请活跃在各重点学校教学一线的“双师型”专业骨干教师作为主编。他们具有深厚的教学功底,同时具有实际生产操作的丰富经验,能够准确把握中等职业学校机电专业人才培养的客观需求;他们具有丰富的教材编写经验,能够将中职教学的规律和学生理解知识、掌握技能的特点充分体现在教材中。

为了方便教学,我们免费为选用本套教材的老师提供教学辅助光盘,光盘的内容为教材的习题答案、模拟试卷和电子教案(电子教案为教学提纲与书中重要的图表,以及不便在书中描述的技能要领与实训效果)等教学相关资料,部分教材还配有便于学生理解和操作演练的多媒体课件,以求尽量为教学中的各个环节提供便利。

我们衷心希望本套教材的出版能促进目前中等职业学校的教学工作,并希望能得到职业教育专家和广大师生的批评与指正,以期通过逐步调整、完善和补充,使之更符合中职教学实际。

欢迎广大读者来电来函。

电子函件地址: [guojing@ptpress.com.cn](mailto:guojing@ptpress.com.cn), [wangping@ptpress.com.cn](mailto:wangping@ptpress.com.cn)

读者服务热线: 010-67143005, 67143761, 67184065



# 前言

“液压与气动技术应用”是中等职业学校机械类及近机类各专业的一门重要的技术基础课程，是一门与实际生产紧密结合的课程。为了更好地满足中等职业学校教学改革的需要，按照“液压与气动技术应用”教学大纲的要求，我们精心编写了这本教材。

中职学生对知识点与技能点的掌握，必须以生产一线为依托。针对目前学生到企业实习时间少，理论知识与生产技能脱节的具体情况，本书力求解决以往教材中理论内容偏深、重点知识不突出、实践指导性差的问题，淡化理论知识的灌输，采用了项目教学法。书中突出了实践技能的训练，使用了大量实物图片说明。

全书分为上、下两篇。上篇介绍液压传动基本知识和运用，如选择液压动力元件、执行元件，使用方向控制阀、压力控制阀、流量控制阀及其典型回路，综合分析液压传动系统。下篇介绍气压传动基本知识和运用，如使用气动执行元件、方向控制阀、流量控制阀及其典型回路，认识压力控制阀、其他典型气动控制元件及回路，综合分析气压传动系统。每个项目结尾都安排了习题。书后附有必要的技术资料，可供学生查阅。

在编写过程中，本书以“简明、实用、够用”为原则来处理理论知识与技能训练的关系。内容上尽量做到少而精，突出重点，表述上力求通俗，方便读者学习。同时，在教学过程中，可以针对每一个项目，把课件教学与现场教学结合运用，使课本知识与实践知识融为一体，充分调动学生的学习积极性，达到融会贯通的目的，以提高学生实际动手能力和操作技能。本书是中等职业学校机电类专业的教材，也可作为工程技术人员的自学参考资料与培训教材。

本书由张林、黄欣、陈爽编写，项目1、3、4、12、13、14由张林编写，项目2、5、6、7、8由黄欣编写，项目9、10、11由陈爽编写。张林任主编并统校全书。本教材全部课件由黄欣、陈爽制作。本教材在编写过程中得到了有关院校的大力支持，在此谨表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和疏漏之处，欢迎广大读者批评指正。

编者

2008年3月

# 目 录

## 上篇 液压传动

项目 1 了解液压传动基础知识 .....	1
任务 1 了解液压传动系统的组成 .....	1
任务 2 了解液压传动的基础知识 .....	6
项目 2 选择液压动力元件 .....	13
任务 1 认识液压动力元件 .....	13
任务 2 选用液压泵 .....	19
项目 3 选择液压执行元件 .....	27
任务 1 选择液压缸 .....	27
任务 2 选择液压马达 .....	34
项目 4 使用方向控制阀及方向控制回路 .....	38
任务 1 使用单向阀及锁紧回路 .....	38
任务 2 使用换向阀及换向回路 .....	42
项目 5 使用压力控制阀及压力控制回路 .....	49
任务 1 使用溢流阀及调压回路 .....	49
任务 2 使用减压阀及减压回路 .....	55
任务 3 使用顺序阀及顺序动作回路 .....	58
项目 6 使用流量控制阀及速度控制回路 .....	65
任务 1 使用节流阀及节流调速回路 .....	65
任务 2 使用调速阀及典型速度控制回路 .....	70
项目 7 综合分析液压系统 .....	76
任务 1 分析组合机床动力滑台液压系统 .....	76
任务 2 分析液压压力机液压系统 .....	81

## 下篇 气压传动

项目 8 气动基础知识 .....	87
任务 1 认识气动系统 .....	87



任务 2 选择气源装置 .....	90
项目 9 使用气动执行元件 .....	97
任务 1 选择气缸 .....	97
任务 2 选择气动马达 .....	105
项目 10 使用方向控制阀及方向控制回路 .....	109
任务 1 使用方向控制阀 .....	109
任务 2 使用方向控制回路 .....	113
项目 11 认识压力控制阀及压力控制回路 .....	118
任务 1 认识压力控制阀 .....	118
任务 2 认识压力控制回路 .....	123
项目 12 使用流量控制阀及速度控制回路 .....	128
项目 13 认识其他典型气动控制元件及回路 .....	134
任务 1 认识逻辑元件及逻辑控制回路 .....	134
任务 2 认识其他典型气动回路 .....	138
项目 14 气压传动系统综合分析 .....	142
任务 1 分析气动钻床的气压传动系统 .....	142
任务 2 分析零件使用寿命检测装置气压传动系统 .....	144
附录 A 常用液压与气动图形符号 (摘录自 GB/T786.1—1993) .....	151
附录 B 液压控制阀型号说明 .....	155
参考文献 .....	157



# 上篇 液压传动

液压传动是以液体为工作介质，把原动机的机械能转化为液体的压力能，通过控制元件将具有压力能的液体输送到执行机构，由执行机构驱动负载实现所需的运动和动力，把液体的压力能再转变为工作机构所需的机械能。

## 项目 1

# 了解液压传动基础知识

流体传动包括液体传动和气体传动。以液体的静压能传递动力的液压传动是以油液作为工作介质的，为此必须了解油液的种类及物理性质，并应对油液的基本物理学规律以及液压传动相关的物理现象有一定的了解。

## 任务 1 了解液压传动系统的组成

### 知识要点

1. 液压传动原理
2. 液压传动系统的组成

### 技能要点

正确认识液压系统的各组成部分

### 一、任务分析

实际工作中使用的液压千斤顶是利用液压传动系统来完成重物的举升和降下；生产中磨床工作台的往复运动及运动过程中的换向、调速与磨削进给力的调节控制也是通过液压传动系统来实现的。那么，什么是液压传动系统？液压传动系统是如何带动机器完成工作的？它又是由哪些部分组成？下面就对液压传动系统作简单介绍。

### 二、相关知识

#### 1. 液压传动的工作原理

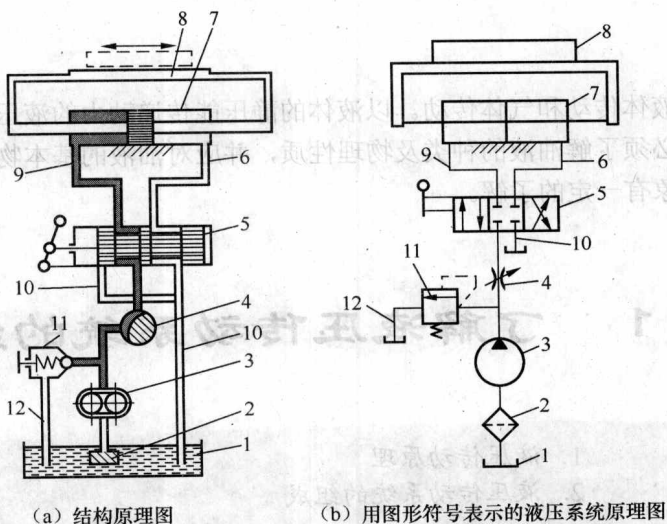
液压传动在机械中应用广泛，各种液压传动系统的结构形式各不相同，但其传动原理相





似。现以磨床工作台往复运动液压传动系统为例，概括说明液压传动的工作原理。

如图 1-1 所示，液压泵 3 由电动机带动，从油箱 1 中吸油，然后将具有压力能的油液输送到管路中，油液通过节流阀 4 和管路流至换向阀 5。换向阀 5 的阀芯有不同的工作位置（图示有 3 个工作位置），因此通路情况不同。当阀芯处于中间位置时，通向液压缸的油路堵死，液压缸不进压力油，所以工作台停止不动。若操作者将阀芯向右推（图示位置），换向阀 5 左位工作，压力油经进油路 9 进入液压缸 7 的左腔，与工作台 8 相连的活塞在液压缸左腔压力油的推动下带动工作台向右移动，液压缸右腔的油液通过换向阀 5 流回油箱。若将换向阀 5 的阀芯向左推，换向阀 5 右位工作，压力油经进油路 6 进入液压缸 7 的右腔，活塞带动工作台向左移动。因此调整换向阀 5 的工作位置就能改变压力油的通路，使液压缸不断换向，以实现工作台需要的往复运动。



(a) 结构原理图 (b) 用图形符号表示的液压系统原理图  
1-油箱 2-过滤器 3-液压泵 4-节流阀 5-换向阀 6、9-进、回油管路 7-液压缸  
8-工作台 10-主供油回路 11-溢流阀 12-溢流管路

图 1-1 磨床工作台液压传动系统原理图

根据加工要求的不同，工作台的移动速度可通过节流阀 4 来调节。利用改变节流阀开口的大小来调节通过节流阀的油液流量，以控制工作台的运动速度。

工作台运动时，由于工作情况不同，要克服的阻力（负载）也不同，不同的阻力（负载）都是由液压泵输出油液的压力能来克服的，系统的压力可通过溢流阀 11 来调节。当系统中的油压升高到稍高于溢流阀的调定压力时，溢流阀上的钢球被顶开，油液经溢流阀流回油箱，这时油压不再升高，维持定值。

为保持油液的清洁，设置了过滤器 2，它将油液中的污物杂质过滤掉，使系统正常工作。

通过以上分析，可以知道液压传动的工作原理是：以受压液体作为工作介质，通过元件密封容积的变化来传递运动；通过系统内部受压液体的压力来传递动力；液压传动系统工作时，可以通过对液体的压力、流量和方向的控制与调节来满足工作部件在力、速度和方向上的要求。即，液压传动系统实际上是能量转换装置。

## 2. 液压传动原理图

(1) 液压传动原理图是由代表各种液压元件、辅件及连接形式的图形符号组成，用以表



示一个液压系统工作原理的简图。图 1-1 所示的磨床工作台液压传动系统原理图即是一例。

图形符号有两种表达方式：一种用结构示意图，如图 1-1 (a) 所示，这样的图形比较直观，元件的结构特点清楚了，但图形太繁琐，绘图麻烦，一般很少用；另一种是图形符号图，即把各类液压元件用其图形符号表示，如图 1-1 (b) 所示。我国制订的液压气动图形符号标准为 GB786.1—93。

(2) 我国对液压元件的图形符号作出了规定和说明。

① 标准规定的液压元件图形符号，主要用于绘制以液压油为工作介质的液压系统原理图。

② 液压元件的图形符号应以元件的静态或零位来表示；当组成系统的动作另有说明时，可作例外。

③ 在液压传动系统中，液压元件若无法采用图形符号表达时，允许采用结构简图表示。

④ 元件符号只表示元件的职能和连接系统的通路，不表示元件的具体结构和参数，也不表示系统管路的具体位置和元件的安装位置。

⑤ 元件的图形符号在传动系统中的布置，除有方向性的元件符号（油箱和仪表等）外，可根据具体情况水平或垂直绘制。

⑥ 元件的名称、型号和参数（如压力、流量、功率和管径等）一般应在系统图的元件表中标明，必要时可标注在元件符号旁边。

⑦ 标准中未规定的图形符号，可根据本标准的原则和所列图例的规律性进行派生。当无法直接引用和派生时，或有必要特别说明系统中某一重要元件的结构及动作原理时，均允许局部采用结构简图表示。

⑧ 元件符号的大小以清晰、美观为原则，根据图样幅面的大小斟酌处理，但应保证图形符号本身的比例。

### 三、任务实施

#### 1. 液压传动系统的基本结构

从上面的例子可以看出，一个完整的液压传动系统主要由以下几个部分组成。

##### (1) 动力部分

它供给液压系统压力油，将原动机输出的机械能转换为油液的压力能（液压能）。其能量转换元件为液压泵，图 1-1 中的液压泵 3 就是动力元件。

##### (2) 执行部分

它将液压泵输入的油液压力能转换为带动工作机构运动的机械能，以驱动工作部件运动。执行元件有液压缸和液压马达，图 1-1 中的液压缸 7 就是执行元件。

##### (3) 控制部分

用来控制和调节油液的压力、流量和流动方向。控制元件有各种压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等，图 1-1 中的溢流阀 11、节流阀 4 和换向阀 5 就是控制元件。

##### (4) 辅助部分

它将前面 3 个部分连接在一起，组成一个系统，起储油、过滤、测量、密封等作用，以保证液压系统可靠、稳定、持久地工作。辅助元件有管路、接头、油箱、过滤器、蓄能器、密封件、控制仪表等，图 1-1 中的油箱 1，过滤器 2，进、回油管路 6、9，主供油回路 10，



溢流管路 12 都是辅助元件。

### (5) 传动介质

传递能量的流体, 常用的是液压油。

## 2. 液压传动系统的特点

### (1) 主要优点

液压传动与机械传动、电力传动、气压传动相比, 具有下列优点。

① 传动平稳。在液压传动装置中, 油液的可压缩量非常小, 在通常压力下可以认为不可压缩, 装置依靠油液的连续流动进行传动。油液有吸振能力, 在油路中还可以设置液压缓冲装置, 故不像机械机构因加工和装配误差会引起振动和撞击, 传动十分平稳, 便于实现频繁的换向。因此, 液压传动广泛地应用在要求传动平稳的机械上, 例如, 磨床传动机构几乎全部采用了液压传动系统。

② 质量轻、体积小。液压传动与机械、电力等传动方式相比, 在输出同样功率的条件下, 体积和质量可以减小很多, 因此惯性小、动作灵敏。这对液压仿形、液压自动控制和要求减轻质量的机器来说, 是特别重要的。例如, 我国生产的挖掘机在采用液压传动后, 与采用机械传动时的质量相比大大减轻。

③ 承载能力大。液压传动易于获得很大的力和转矩, 因此广泛应用于压制机、隧道掘进机、万吨轮船操舵机、万吨水压机等。

④ 容易实现无级调速。在液压传动中, 调节液体的流量就可实现无级调速, 并且调速范围很大, 可达 2 000 : 1, 很容易获得极低的速度。

⑤ 易于实现过载保护。液压系统中采取了很多安全保护措施, 能够自动防止过载, 避免发生事故。

⑥ 液压元件能够自动润滑。由于通常采用液压油作为工作介质, 液压传动装置能自动润滑, 因此元件的使用寿命较长。

⑦ 容易实现复杂动作。采用液压传动能获得各种复杂的机械动作, 如仿形车床的液压仿形刀架、数控铣床的液压工作台等, 可加工出不规则形状的零件。

⑧ 简化机构。采用液压传动可大大地简化机械结构, 从而减少了机械零部件数目。

⑨ 便于实现自动化。液压系统中, 液体的压力、流量和方向是非常容易控制的, 再加上电气装置的配合, 很容易实现复杂的自动工作循环。目前, 液压传动在组合机床和自动线上应用很普遍。

⑩ 便于实现“三化”。液压元件易于实现系列化、标准化和通用化, 也易于设计和组织专业性大批量生产, 从而可提高生产率和产品质量, 降低了成本。

### (2) 主要缺点

① 液压元件制造精度要求高。由于元件的技术要求高, 加工和装配比较困难, 使用和维护比较严格。

② 实现定比传动困难。液压传动是以液压油作为工作介质, 所以在相对运动表面间不可避免的有泄漏, 同时油液又不是绝对不可压缩的, 因此不宜应用在传动比要求严格的场合。例如, 螺纹和齿轮加工机床的传动系统。

③ 油液受温度的影响。由于油的粘度随温度的变化而改变, 故不宜在高温或低温的环境下工作。





- ④ 不适宜远距离输送动力。由于采用油管传输压力油，压力损失较大，故不宜远距离输送动力。
- ⑤ 油液中混入空气易影响工作性能。油液中混入空气后，容易引起爬行、振动和噪声，使系统的工作性能受到影响。
- ⑥ 油液容易污染。油液被污染后会影响到系统工作的可靠性。
- ⑦ 发生故障不容易检查与排除。



### 实验操作

1. 参观液压实习实训场地，认识和了解液压传动设备。
2. 识别液压传动系统中各组成部分。



### 知识链接

#### 液压技术的发展和應用

自 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机算起，液压技术已有 300 多年的历史了，但其真正的发展是在第二次世界大战后近 60 年的时间内。战后，液压技术迅速转向民用工业，在机床、工程机械、农业机械、汽车等行业中逐步推广。20 世纪 60 年代以来，随着原子能技术、空间技术、计算机技术的发展，液压技术得到了很大的发展，并渗透到各个工业领域。当前，液压技术正向高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。同时，新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助测试（CAT）、计算机直接控制（CDC）、计算机实时控制技术、机电一体化技术、计算机仿真和优化设计技术、可靠性技术、污染控制技术等也是当前液压传动及控制技术研究和发展的方向。

由于液压技术有许多突出的优点，因此，从民用到国防，由一般传动到精确度很高的控制系统，液压技术都得到了广泛的应用。

在国防工业中，陆、海、空三军的很多武器装备都采用了液压传动与控制，如飞机、坦克、舰艇、雷达、火炮、导弹、火箭等。

在机床工业中，目前，机床传动系统中普遍采用液压传动与控制技术，如磨床、铣床、刨床、拉床、压力机、剪床、组合机床等。

在冶金工业中，电炉控制系统、轧钢机的控制系统、平炉装料、转炉控制、高炉控制等都采用了液压技术。

在工程机械中，普遍采用了液压传动，如挖掘机、轮胎装载机、汽车起重机、履带推土机、轮胎起重机、自行式铲运机、平地机、振动式压路机等。

在农业机械中，采用液压技术也很广泛，如联合收割机、拖拉机、铧犁机构等。

在汽车工业中，液压越野车、液压自卸式汽车、液压高空作业车、消防车等均采用了液压技术。

在轻纺工业中，采用液压技术的有塑料注塑机、橡胶硫化机、造纸机、印刷机、纺织机等。

在船舶工业中，应用液压技术很普遍，如全液压挖泥船、打捞船、打桩船、采油平台、





水翼船、气垫船和船舶辅机等。

近几年，在太阳跟踪系统、海浪模拟装置、船舶驾驶模拟器、地震再现装置、火箭助飞发射装置、宇航环境模拟、高层建筑防震系统、紧急刹车装置等设备中，也采用了液压技术。

## 任务2 了解液压传动的基础知识

### 知识要点

1. 液体的静压力及其基本方程
2. 液压油的种类及选用原则

### 技能要点

液压传动系统压力的形成

如图1-2所示，左侧用一很小的力 $F_1$ 通过液压系统就可以将右侧一很重的负载 $W$ 顶起。为什么液压系统可以将力放大？

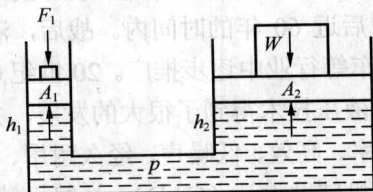


图1-2 液压系统受力关系示意图

### 一、任务分析

在日常生产工作中，仅靠人力是不可能举起重达几吨的汽车的。但利用液压千斤顶将人的力量放大，就可以实现。那么，液压系统如何将力放大，又是依靠什么工作介质来传递力？如何选用工作介质？下面对这些问题一一做介绍。

### 二、相关知识

#### 1. 静止液体的压力及其性质

##### (1) 静压力

静止液体在单位面积上所受的法向力称为静压力，如果在液体内某点处微小面积 $\Delta A$ 上作用有法向力 $\Delta F$ ，则 $\Delta F/\Delta A$ 的极限就定义为该点处的静压力，用 $p$ 表示。当在液体的单位面积 $A$ 上受到均匀分布的作用力 $F$ 时，则静压力 $p$ 可表示为

$$p = \frac{F}{A}$$

液体的静压力在物理学上称为压强，在工程实际应用中习惯上称为压力。液体静压力具



有以下特点：液体静压力垂直于其承压面，其方向和该面的内法线方向一致；静止液体内任一点所受的静压力在各个方向上都相等。

压力的国标单位是 Pa (帕,  $\text{N/m}^2$ ) 或 Mpa ( $1\text{Mpa} = 10^6\text{Pa}$ )。除此之外，还有暂被允许使用的 bar (巴)  $1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$ 。

## (2) 静力学方程

在重力的作用下静止液体所受的力，除了液体重力，还有液面上作用的外加压力（外负载），其受力情况如图 1-3 所示。如果计算离液面深度为  $h$  的某点压力，设液柱底面积为  $\Delta A$ ，高为  $h$ ，则体积为  $h\Delta A$ ，液柱的重力为  $\rho gh\Delta A$ ，且作用于液柱的重心上。液柱处于受力平衡状态，因此，在垂直方向上存在如下关系

$$p\Delta A = p_0\Delta A + \rho gh\Delta A$$

简化后得

$$p = p_0 + \rho gh$$

上式即为液体的静压力基本方程式，从方程式中可知，静止液体内任一点的压力由两部分组成：一部分是液面上的外加压力（外负载），另一部分是该点上液体自重所形成的压力。也就是说静止液体可将外加压力（外负载）等值地传递到液体中任意一点。

## 2. 帕斯卡原理

盛放在密闭容器内的液体，其外加压力  $p_0$  发生变化时，只要液体仍保持其原来的静止状态不变，液体中任一点的压力均将发生同样大小的变化。这就是说，在密闭容器内，施加于静止液体上的压力将以等值同时传到液体的各点。这就是静压传递原理或称帕斯卡原理。

下面以图 1-2 为例来说明液体的静压传递原理。图中左、右两个活塞的截面积分别为  $A_1$ 、 $A_2$ ，活塞上作用的负载为  $F_1$ 、 $W$ 。由于两活塞互相连通，构成一个密闭容器，根据帕斯卡原理，两个活塞下腔（包括整个容器内各点）产生的压力相等，因而有

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2} \quad \text{即} \quad W = \frac{F_1 A_2}{A_1}$$

由上式可知，由于  $A_2$  远远大于  $A_1$ ， $\frac{A_2}{A_1} > 1$ ，所以用一个相对很小的力  $F_1$ ，就可以推动一个相对很大的负载  $W$ 。

如果右侧大活塞上没有负载 ( $W = 0$ )，则当略去活塞重量及其他阻力时，不论怎样推动左侧的小活塞，也不能在液体中形成压力 ( $p = \frac{W}{A_2} = 0$ )。这说明液压系统中的压力是由外界负载决定的。

## 3. 压力的表示方法

压力的表示方法有两种，一种是以绝对真空作为基准所表示的压力，称为绝对压力；另一种是以大气压力作为基准所表示的压力，称为相对压力。由于大多数测压仪表所测得的压力都是相对压力，故相对压力也称表压力。绝对压力与相对压力的关系为

$$\text{绝对压力 } p_{\text{绝}} = \text{相对压力 } p + \text{大气压力 } p_{\text{气}}$$

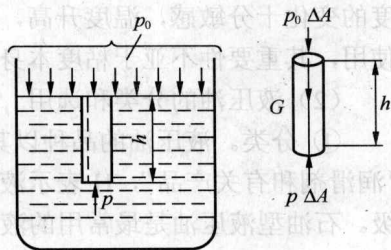


图 1-3 静止液体受力



如果液体中某点处的绝对压力小于大气压，这时在这个点上的绝对压力比大气压小的那部分数值叫做真空度，即

$$\text{真空度} = \text{大气压} - \text{绝对压力}$$

由此可知，当以大气压为基准计算压力时，基准以上的正值是表压力，（基准以下的负值就是真空度。绝对压力、相对压力和真空度的相互关系如图 1-4 所示。

## 4. 液压油

液体是液压传动的工作介质。最常用的工作介质是液压油。此外，还有乳化型传动液和合成型传动液。这里，主要介绍液压油。

### (1) 液压油的性质

① 密度。单位体积液体的质量称为该液体的密度。用“ $\rho$ ”表示。

密度是液体的一个重要参数。随着温度或压力的变化，其密度也会发生变化，但变化量一般很小，在实际应用时一般可忽略不计。

② 可压缩性。液体在压力作用下从而发生体积变小的性质称为液体的可压缩性。

对于一般液压系统，可认为液压油是不可压缩的。需要说明的是，当液压油中混入空气时，其可压缩性将明显增加，且会影响液压系统的工作性能。因此，在液压系统中必须尽量减少油液中的空气含量。

③ 粘性。液体在外力作用下流动时，液体内部分子间的内聚力会阻碍分子相对运动，即分子间会产生一种内摩擦力，这一特性称为液体的粘性。粘性也是选择液压油的一个重要参数。

液体粘性的大小用粘度来表示。常用的粘度有动力粘度、运动粘度和相对粘度 3 种。习惯上常用运动粘度来标志液体粘度。液压传动工作介质（液压油）的粘度等级是以 40℃ 时运动粘度（以  $\text{mm}^2/\text{s}$  计）的中心值来划分的，如某一种牌号 L—HL22 普通液压油在 40℃ 时运动粘度的中心值为  $22\text{mm}^2/\text{s}$ 。其数值越大越粘稠，流动性越差；数值越小越稀薄，流动性越好。

液体的粘度随液体的压力和温度的变化而改变。对液压油来说，压力增大时，粘度增大。在一般液压系统使用的压力范围内，增大的数值很小，可以忽略不计。但液压油的粘度对温度的变化十分敏感，温度升高，粘度下降。这个变化率的大小直接影响液压传动工作介质的使用，其重要性不亚于粘度本身。

### (2) 液压油的分类和选用

① 分类。液压油的品种以其代号和后面的数字组成，代号中 L 是石油产品的总分类号“润滑剂和有关产品”，H 表示液压系统用的工作介质，数字表示为该工作介质的某个粘度等级。石油型液压油是最常用的液压系统工作介质，其分类见表 1-1。

表 1-1 液压系统工作介质分类（摘自 GB/T11118.1—1994）

分 类	名 称	代 号	组成和特性	应 用
石油型	精制矿物油	L—HH	无抗氧化剂	循环润滑油，低压液压系统
	普通液压油	L—HL	HH 油，并改善其防锈和抗氧化性	一般液压系统
	抗磨液压油	L—HM	HL 油，并改善其抗磨性	低、中、高压系统，特别适合于有防磨要求带叶片泵的液压系统

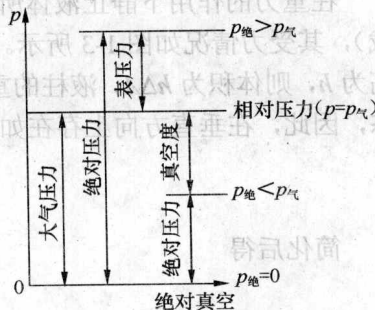


图 1-4 绝对压力、相对压力、真空度





续表

分 类	名 称	代 号	组成和特性	应 用
石油型	低温液压油	L—HV	HM 油, 并改善其粘温特性	能在-40℃~-20℃的低温环境中工作, 用于户外工作的工程机械和船用设备的液压系统
	高粘度指数液压油	L—HR	HL 油, 并改善其粘温特性	粘温特性优于 L—HV 油, 用于数控机床液压系统和伺服系统
	液压导轨油	L—HG	HM 油, 并具有粘—滑特性	适用于导轨和液压系统共用一种油品的机床, 对导轨有良好的润滑性和防爬性
	其他液压油		加入多种添加剂	用于高品质的专用液压系统

② 液压油的选用原则。粘度是液压油最重要的使用性能指标之一。它的选择合理与否, 对液压系统的运动平稳性、工作可靠性、灵敏性、系统效率、功率损耗、气蚀、磨损等都有显著影响, 所以选用液压油时, 要根据具体情况或系统要求选择合适的粘度和适当的油液品种。通常按以下几方面进行选用。

- 按工作机的类型选用: 精密机械与一般机械对粘度的要求不同, 为了避免温度升高而引起机件变形, 影响工作精度, 精密机械宜采用较低粘度的液压油。如机床液压伺服系统, 为保证伺服机构动作灵敏性, 宜采用粘度较低的油液。

- 按液压泵的类型选用: 液压泵是液压系统的重要元件, 在系统中它的运动速度、压力和温升都较高, 工作时间又长, 因而对粘度要求较严格, 所以选择粘度时应先考虑到液压泵。否则, 泵磨损过快, 容积效率降低, 甚至可能破坏泵的吸油条件。在一般情况下, 可将液压泵要求的粘度作为选择液压油的基准, 见表 1-2。

表 1-2 按液压泵类型推荐用液压油的粘度

液压泵类型	液压油粘度 $\nu_{40}$ ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	
	液压系统温度 5℃~40℃	液压系统温度 40℃~80℃
齿轮泵	30~70	65~165
叶片泵	$p < 7.0\text{MPa}$	30~50
	$p \geq 7.0\text{MPa}$	50~70
径向柱塞泵	30~80	65~240
轴向柱塞泵	40~75	70~150

- 按液压系统工作压力选用: 工作压力较高时, 宜选用粘度较高的油, 以免系统泄漏过多, 效率过低; 工作压力较低时, 宜用粘度较低的油, 这样可以减少压力损失。例如, 机床工作压力一般低于 6.3MPa, 采用  $(20\sim60) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$  的油液; 工程机械工作压力属于高压, 多采用较高粘度的油液。

- 考虑液压系统的环境温度: 矿物油的粘度受温度影响很大, 为保证在工作温度下有较适宜的粘度, 还必须考虑环境温度的影响。当环境温度高时, 宜采用粘度较高的油液; 当环境温度低时, 宜采用粘度较低的油液。

- 考虑液压系统的运动速度: 当液压系统工作部件的运动速度很高时, 油液的流速也高, 液压损失也随着增大, 而泄漏相对减少, 因此宜用粘度较低的油液; 反之, 当工作部件运动速度较低时, 每分钟所需的油量很小, 这时泄漏相对较大, 对系统的运动速度影响也较大, 所以应选用粘度较高的油液。





● 选择合适的液压油品种：液压系统使用的油液品种很多，主要有机械油、变压器油、汽轮机油、通用液压油、低温液压油、抗燃液压油、抗磨液压油等。机械油采用最为广泛。若温度较低或温度变化较大，应选择粘温特性好的低温液压油；若环境温度较高且有防火要求，则应选择抗燃液压油；若设备长期在重载下工作，为减少磨损，可选用抗磨液压油。选择合适的液压油可以保证液压系统的正常工作，减少故障发生，还可以提高设备寿命。

## 三、任务实施

如图 1-2 所示，当  $A_1 = 80\text{cm}^2$ ， $A_2 = 3\ 200\text{cm}^2$ ， $W = 1\ 600\text{N}$ ，那么输入端  $F_1$  需要多少？根据帕斯卡原理，可以推导出

$$F = \frac{WA_1}{A_2} = \frac{16000 \times 80}{3200} = 400(\text{N})$$



### 实验操作

在液压实验台完成液压系统中液压形成实验，完成以下要求。

1. 通过实验对液压系统的工况有所了解。
2. 通过实验了解在液压系统中油泵输出压力及油缸中压力的形成过程。
3. 了解液压系统中油泵输出压力的组成。



### 知识链接

#### 液压系统的异常现象

液压传动系统中常会出现异常的现象，了解这些现象产生的机理，对日后正常维护和使用液压系统非常重要。下面介绍液压传动系统中经常出现的几种典型现象。

##### 1. 薄壁小孔现象

在液压元件特别是液压控制阀中，对液流压力、流量及方向的控制通常是通过一些特定的孔口实现的，孔口对流过的液体形成的阻力称之为液阻。

当小孔的通流长度  $l$  与孔径  $d$  之比  $l/d \leq 0.5$  时，称为薄壁小孔。当液体经过管道由小孔流出时，由于液体的惯性作用，使其流过小孔后形成一个收缩断面然后再扩散，这一收缩和扩散过程产生很大的能量损失。薄壁小孔的流量与油液的粘度无关，对温度的变化不敏感。因此，薄壁小孔常用作调节流量的节流阀的阀口使用。

##### 2. 液压冲击

在液压系统中，因某些原因造成液体压力在瞬间突然升高，产生很高的压力峰值，这种现象称为液压冲击。液压冲击会引起振动和噪声，而且会破坏密封装置、管道和液压元件。有时还会使某些液压元件（压力继电器、顺序阀）产生误动作，影响系统的正常工作。

液压系统减小液压冲击所采取的主要措施有以下几点。

- (1) 限制管中液流的流速和运动部件的速度，减少冲击波的强度。
- (2) 开启阀门的速度要慢。