



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
教育部教改项目成果  
高职高专机械类专业基础课规划教材

赵波 王宏元 主编

# 液压与气动技术

## 第2版

免费提供  
电子教案

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



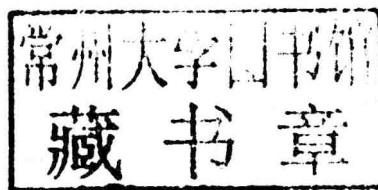
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
教育部教改项目成果

高职高专机械类专业基础课规划教材

# 液 压 与 气 动 技 术

第 2 版

赵波 王宏元 主编



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。是按照教育部对高职高专教育人才培养工作的指导思想,结合教育部新世纪课题《高职高专教育机械基础课程教学内容体系改革、建设的研究与实践》,在广泛吸取与借鉴近年来高职高专教学经验的基础上编写的。

本书主要介绍液压与气压传动的基本概念与理论;液压元件、液压辅件、气动元件、气动辅件的结构和使用、常见的故障与排除;液压与气动系统基本回路、常见的故障及排除,以及液压与气动系统的设计方法。

针对高职高专教学的特点,本书从工程应用的角度出发,在基本理论部分特别强调一些重要基本概念的物理意义。全书以液压传动为主线,力求做到液压与气压传动的紧密结合,强调理论与实际相联系。书中列举了大量实例,充分体现了理论内容“以必需够用为度”的原则,突出应用能力和综合素质的培养。同时,还介绍了一些新元件,如新型气缸等。

本书可供机械类、机电类专业的高等职业学校及成人职业教育的在校生,以及参加自学考试的学生使用,也可作为有关工程技术人员参考用书。

本书配有免费电子教案和习题集,下载网址为:机械工业出版社教材服务网 <http://www.cmpedu.com>, 咨询电话:010-88379534。

#### 图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/赵波,王宏元主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2008.6 (2011.7重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材,教育部教改项目成果. 高职高专机械类专业基础课规划教材

ISBN 978-7-111-16103-5

I. 液… II. ①赵…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(2008)第068055号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:何月秋

责任编辑:王振国 版式设计:霍永明 责任校对:程俊巧

封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011年7月第2版第9次印刷

184mm×260mm·12.25印张·296千字

标准书号:ISBN 978-7-111-16103-5

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页、由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

## 教育部教改项目成果

### “高职高专机械类专业基础课规划教材”编委会

主 任 汪德敏

副 主 任 (按姓氏拼音字母排序)

李凤云 (常务) 李铁成 王进军

赵 波 赵德申

委 员 (按姓氏拼音字母排序)

曹龙斌 何文平 何月秋 李焕锋

兰建设 吕素霞 卢艳军 李源生

刘自然 王宏元

本书主编 赵 波 王宏元

本书副主编 唐建生

本书参编 蔡共宣 李光林

本书主审 闫佐廷

# 序

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向21世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专新世纪的发展目标和改革措施，推进高职高专教学改革，培养“应用性”高技能人才，教育部高教司（2002）38号文件决定组织实施“新世纪高职高专教育机械基础课程教学内容体系改革、建设的研究与实践”课题的研究。本套“高职高专机械类专业基础课规划教材”正是河南工业大学（原郑州工业高等专科学校）、河南工业职业技术学院、辽宁省交通高等专科学校和济南职业学院根据教育部高教司精神，投入大量的人力、物力和财力，经过大量的研究、探索和实践所取得的丰硕成果。

20世纪90年代以来，党中央、国务院非常重视高职高专教育，在积极发展高等教育的同时，提出了大力发展高等职业教育的方针，并相继出台了一系列政策和措施，大大推动了我国高职高专教育的改革与发展。多年的改革实践形成了高职高专教育人才培养模式的共识，即“以培养高等技术应用性人才为根本任务；以适应社会需求为目标；以培养技术应用能力为主线”。根据这一形势和教育部的教改精神，课题组对目前国内外高职高专教育进行了广泛深入的调查研究。

新世纪高职教育的主要特点为：教育国际化、课程综合化和教育终身化。这些特点要求高职院校培养的学生应具有良好的综合素质，较全面的基础知识，必备的专业技能，面向市场的较强的竞争能力。新世纪是信息化的时代，以信息科学为代表的高科技向机械行业的渗透，使得现代化的机械制造是传统机械制造技术与信息、自动化和现代管理科学的有机融合。

课题组经过反复调研论证认为，高职高专培养的人才应是：具有良好的综合素质，“必需、够用”的理论基础知识，较全面的应用技术知识，熟练的操作及创新能力，解决实际技术问题能力的“现代技术实施的在线人员”。

根据这一培养目标，新世纪高职高专机械基础课教学内容体系改革的基本思路为：以创新应用为核心，以使用现代化的机械设备，加工出高质量的机械产品为主线，打破原技术基础与专业基础的界限，重组机械基础教学内容体系。根据目前高职高专院校大多没有行业背景，多数学生面向市场就业的现状，新世纪高职高专教育机械基础课程应由四大基础模块，即机械设计技术基础、机械制造技术基础、机械控制技术基础与机械检测技术基础组成。

根据此改革思路和研究成果我们组织编写了这套“高职高专机械类专业基础课规划教材”。该套教材首批编写了《现代机械制图》、《现代机械制图习题集》、《AutoCAD 绘图实训教程》、《实用电工学》、《单片机基本原理及应用系统》、《液压与气动技术》、《机械力学与设计基础》、《机械制造应用技术》共8种。这套教材具有以下特点：

1. 贯彻教育部高职高专两年制的要求。
  2. 采用新的课程体系：以职业需要为主线，体现基础性、实用性和专业性。
  3. 在内容的选取中紧紧围绕着为机械设计与制造服务这一宗旨，贯彻基本理论以“必需、够用”为度，简化传统知识，力争在内容上体现先进性、实用性。
  4. 在内容的构建中，考虑到现在就业状况需要学生持有“双证”的需要，将与技能鉴定考核有关的知识编入了教材。
  5. 21 世纪是国际间的合作与交流，因此在教材的编写中部分介绍了国际常用标准。
- 由于我们水平有限，加之时间仓促，书中可能存在不少缺憾，恳请广大读者和师生批评指正。

课题负责人 李风云

# 前 言

为了适应高等职业教育事业不断发展的需要,结合教育部新世纪课题《高职高专教育机械基础课程教学内容体系改革、建设的研究与实践》,本书是在广泛吸取和借鉴相关院校高职高专教学改革成果和编者多年的教学经验的基础上,针对高职高专机械类、机电类专业的人才培养目标和岗位技能需要而编写的。本教材在较全面地阐述液压与气动技术基本概念的基础上,依据理论内容以“必需够用为度”的原则,力求突出应用能力和综合素质的培养,尽力使教材的内容符合我国液压与气压传动技术发展的需要。

本书的特点是对液压与气压传动基本理论与基本概念的阐述力求简明、清晰,着重讲解其物理意义及在工程项目中的应用。全书以液压技术为主线,对相关流体传动理论也进行了简明、准确的介绍,并对液压与气压控制阀的结构及基本回路进行了重点讲述,使其与实际应用相结合。针对高职高专教学的特点,本书强调对基本技能加强训练,着重理论分析,增加了较多液压系统应用实例,并详细介绍了液压与气动系统的安装、调试与维修等有关知识。考虑到液压与气压传动之间存在较多的共性,为避免不必要的重复,教材中对气动技术的相关内容适当进行了删减。

本书第1版、第2版均由赵波、王宏元担任主编,唐建生担任副主编,参加编写的还有河南工业大学蔡共宣(第四章、第八章),河南工业职业技术学院唐建生(第三章的第一、二、三、四节、第七章),济南职业学院王宏元(第一章、第二章、第三章的第五、六、七节、第五章),辽宁省交通高等专科学校李光林(第六章),辽宁省交通高等专科学校赵波(第九章、第十章及第十一章)。全书由赵波修改定稿。由辽宁省交通高等专科学校闫佐廷教授主审,并对本教材提出了许多宝贵意见。

本书2007年被列为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”,藉此我们根据教材在使用中发现的问题进行了修订,并配备了电子教案和习题集,以使之更臻完善。

本书适合作为高职高专院校机械类、机电类专业的教材,也可作为各类业余大学、函授大学、电视大学及中等职业学校相关专业的教学参考书,并可供机械类工程技术人员和科技工作者参考使用。

在此我们要感谢广大高职院校师生对我们第1版教材的厚爱,也真诚希望您再次选用本教材,并为我们提出宝贵的意见和建议。

由于编者水平有限,书中难免有不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 序 前言

### 第一章 液压与气压传动概述 ..... 1

- 第一节 液压与气压传动的工作原理 ..... 1
- 第二节 液压与气压传动系统的组成 ..... 2
- 第三节 液压与气压系统的图形符号 ..... 4
- 第四节 液压与气压传动的特点 ..... 5
  - 一、液压传动的特点 ..... 5
  - 二、气压传动的特点 ..... 6
- 复习思考题 ..... 6

### 第二章 流体力学基础 ..... 7

- 第一节 流体传动的工作介质 ..... 7
  - 一、液压油的主要性质 ..... 7
  - 二、液压油的选用 ..... 9
  - 三、液压油的选择 ..... 10
  - 四、空气的主要性质 ..... 10
  - 五、气体状态方程 ..... 12
  - 六、气压传动系统对空气的要求 ..... 14
- 第二节 液体静力学 ..... 14
- 第三节 液体动力学 ..... 16
  - 一、液体动力学基本概念 ..... 16
  - 二、流量连续性方程 ..... 19
  - 三、伯努利方程 ..... 19
  - 四、动量方程 ..... 21
- 第四节 液体流动时的压力损失 ..... 21
  - 一、沿程压力损失 ..... 21
  - 二、局部压力损失 ..... 22
  - 三、管路系统的总压力损失 ..... 23
- 第五节 小孔和缝隙流量 ..... 23

- 一、小孔流量 ..... 23
- 二、缝隙流量 ..... 24
- 第六节 液压冲击和气穴现象 ..... 25
  - 一、液压冲击 ..... 26
  - 二、气穴现象 ..... 26
- 复习思考题 ..... 27

### 第三章 液压泵与液压马达 ..... 29

- 第一节 概述 ..... 29
  - 一、液压泵与液压马达的工作  
原理及分类 ..... 29
  - 二、液压泵与液压马达的性能参数 ..... 30
- 第二节 齿轮泵 ..... 32
  - 一、外啮合式齿轮泵的工作原理  
和结构 ..... 32
  - 二、高压齿轮泵的结构特点 ..... 32
  - 三、内啮合齿轮泵的工作原理 ..... 33
- 第三节 叶片泵 ..... 34
  - 一、定量叶片泵的工作原理 ..... 34
  - 二、YB1 型叶片泵的结构 ..... 35
  - 三、高压叶片泵的结构 ..... 36
  - 四、变量叶片泵 ..... 36
- 第四节 柱塞泵 ..... 37
  - 一、径向柱塞泵的工作原理 ..... 38
  - 二、轴向柱塞泵的工作原理 ..... 38
- 第五节 液压马达 ..... 40
  - 一、高速液压马达 ..... 40
  - 二、低速液压马达 ..... 41
  - 三、摆动液压马达 ..... 43

|                              |    |                              |    |
|------------------------------|----|------------------------------|----|
| 第六节 液压泵与液压马达常见的故障及排除方法 ..... | 43 | 三、减压阀 .....                  | 70 |
| 一、液压泵常见的故障及排除方法 .....        | 43 | 四、压力继电器 .....                | 72 |
| 二、液压马达常见的故障及排除方法 .....       | 45 | 第四节 流量控制阀 .....              | 72 |
| 第七节 液压泵与液压马达的选用 .....        | 46 | 一、节流阀 .....                  | 72 |
| 复习思考题 .....                  | 46 | 二、调速阀 .....                  | 73 |
| <b>第四章 液压缸</b> .....         | 48 | 第五节 插装阀与叠加阀 .....            | 75 |
| 第一节 液压缸的类型及特点 .....          | 48 | 一、插装阀 .....                  | 75 |
| 一、活塞式液压缸 .....               | 48 | 二、叠加阀 .....                  | 77 |
| 二、柱塞式液压缸 .....               | 50 | 第六节 电液比例控制阀 .....            | 78 |
| 三、组合式液压缸 .....               | 51 | 第七节 电液伺服阀 .....              | 78 |
| 第二节 液压缸的结构 .....             | 52 | 一、直接位置反馈型电液伺服阀 .....         | 79 |
| 一、缸体组件 .....                 | 52 | 二、力反馈型喷嘴挡板式电液伺服阀 .....       | 80 |
| 二、活塞组件 .....                 | 54 | 第八节 数字阀 .....                | 82 |
| 三、缓冲装置 .....                 | 54 | 复习思考题 .....                  | 82 |
| 四、排气装置 .....                 | 55 | <b>第六章 辅助元件</b> .....        | 84 |
| 第三节 液压缸的设计计算 .....           | 55 | 第一节 蓄能器 .....                | 84 |
| 一、液压缸主要尺寸的计算 .....           | 55 | 一、蓄能器的用途 .....               | 84 |
| 二、液压缸的校核 .....               | 56 | 二、蓄能器的结构及工作原理 .....          | 85 |
| 第四节 液压缸常见的故障及排除方法 .....      | 57 | 三、蓄能器的安装及使用 .....            | 86 |
| 复习思考题 .....                  | 57 | 第二节 过滤器 .....                | 86 |
| <b>第五章 液压控制阀</b> .....       | 59 | 一、对过滤器的基本要求 .....            | 86 |
| 第一节 概述 .....                 | 59 | 二、过滤器的类型及特点 .....            | 86 |
| 一、液压阀的基本结构与原理 .....          | 59 | 三、过滤器在液压系统中的安装位置及使用与维护 ..... | 88 |
| 二、液压阀的分类 .....               | 59 | 第三节 油箱 .....                 | 89 |
| 三、液压阀的性能参数 .....             | 60 | 一、油箱的用途及其容积的确定 .....         | 89 |
| 第二节 方向控制阀 .....              | 60 | 二、液压油箱的结构 .....              | 89 |
| 一、单向阀 .....                  | 60 | 第四节 热交换器 .....               | 90 |
| 二、换向阀 .....                  | 61 | 一、冷却器 .....                  | 90 |
| 第三节 压力控制阀 .....              | 65 | 二、加热器 .....                  | 91 |
| 一、溢流阀 .....                  | 65 | 第五节 密封装置 .....               | 91 |
| 二、顺序阀 .....                  | 68 | 一、O形密封圈 .....                | 92 |
|                              |    | 二、唇形密封圈 .....                | 92 |
|                              |    | 三、Y形密封圈 .....                | 92 |
|                              |    | 四、V形密封圈 .....                | 93 |
|                              |    | 五、油封 .....                   | 93 |

|                                    |            |                                  |            |
|------------------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| 第六节 油管与管接头 .....                   | 93         | 的特点 .....                        | 120        |
| 一、油管 .....                         | 93         | 第三节 汽车起重机液压系统 .....              | 121        |
| 二、管接头 .....                        | 94         | 一、概述 .....                       | 121        |
| 复习思考题 .....                        | 96         | 二、Q2—8 型汽车起重机液压系统的<br>工作原理 ..... | 121        |
| <b>第七章 液压系统基本回路</b> .....          | <b>97</b>  | 三、Q2—8 型汽车起重机液压系统<br>的特点 .....   | 124        |
| 第一节 压力控制回路 .....                   | 97         | 第四节 装载机液压系统 .....                | 124        |
| 一、调压回路 .....                       | 97         | 一、概述 .....                       | 124        |
| 二、减压回路 .....                       | 97         | 二、ZL50 型装载机液压系统的工作<br>原理 .....   | 124        |
| 三、卸荷回路 .....                       | 98         | 第五节 液压系统常见的故障及<br>排除方法 .....     | 127        |
| 四、平衡回路 .....                       | 99         | 一、液压系统故障产生的<br>原因 .....          | 127        |
| 第二节 速度控制回路 .....                   | 100        | 二、液压系统常见的故障分析<br>与排除 .....       | 128        |
| 一、调速回路 .....                       | 100        | 第六节 液压系统的设计计算 .....              | 129        |
| 二、快速回路 .....                       | 105        | 一、明确设计要求 .....                   | 129        |
| 三、换速回路 .....                       | 106        | 二、进行工况分析, 确定执行元件<br>的主要参数 .....  | 130        |
| 第三节 方向控制回路 .....                   | 107        | 三、拟定液压系统原理图 .....                | 132        |
| 一、换向回路 .....                       | 107        | 四、液压元件的计算和选择 .....               | 133        |
| 二、锁紧回路 .....                       | 108        | 五、液压系统的性能验算 .....                | 135        |
| 第四节 多缸工作控制回路 .....                 | 108        | 六、绘制工作图, 编写技术文件 .....            | 136        |
| 一、顺序动作回路 .....                     | 108        | 复习思考题 .....                      | 137        |
| 二、同步回路 .....                       | 110        | <b>第九章 气动元件</b> .....            | <b>138</b> |
| 三、互不干扰回路 .....                     | 110        | 第一节 执行元件 .....                   | 138        |
| 复习思考题 .....                        | 111        | 一、气缸的分类 .....                    | 138        |
| <b>第八章 典型液压传动系统</b> .....          | <b>113</b> | 二、常用气缸的特点 .....                  | 140        |
| 第一节 组合机床动力滑台液压<br>系统 .....         | 113        | 三、气缸的使用 .....                    | 142        |
| 一、概述 .....                         | 113        | 四、气马达的工作原理 .....                 | 142        |
| 二、YT4543 型动力滑台液压系统<br>的工作原理 .....  | 114        | 第二节 气动控制元件 .....                 | 142        |
| 三、YT4543 型动力滑台液压系统<br>的特点 .....    | 116        | 一、方向控制阀 .....                    | 143        |
| 四、YT4543 型动力滑台液压系统<br>的调整 .....    | 116        | 二、压力控制阀 .....                    | 145        |
| 第二节 液压机液压系统 .....                  | 118        | 三、流量控制阀 .....                    | 149        |
| 一、概述 .....                         | 118        | 第三节 逻辑元件 .....                   | 152        |
| 二、YB32—200 型液压机液压系统<br>的工作原理 ..... | 118        | 一、高压截止式逻辑元件 .....                | 152        |
| 三、YB32—200 型液压机液压系统<br>的特点 .....   | 120        | 二、逻辑元件的应用举例 .....                | 155        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第四节 气源装置及辅件 .....         | 156 |
| 一、气源装置 .....              | 156 |
| 二、气动辅件 .....              | 158 |
| 复习思考题 .....               | 160 |
| <b>第十章 气动系统基本回路</b> ..... | 161 |
| 第一节 方向控制回路 .....          | 161 |
| 一、单控换向回路 .....            | 161 |
| 二、双控换向回路 .....            | 161 |
| 三、自锁式换向回路 .....           | 161 |
| 第二节 压力控制回路 .....          | 162 |
| 一、调压回路 .....              | 162 |
| 二、增压回路 .....              | 162 |
| 第三节 速度控制回路 .....          | 162 |
| 一、节流调速回路 .....            | 162 |
| 二、缓冲回路 .....              | 163 |
| 三、气/液调速回路 .....           | 163 |
| 四、其他回路 .....              | 164 |
| 复习思考题 .....               | 165 |

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| <b>第十一章 气压传动系统</b> .....                       | 166 |
| 第一节 气压传动系统应用分析 .....                           | 166 |
| 一、气液动力滑台 .....                                 | 166 |
| 二、气动机械手 .....                                  | 167 |
| 三、气动伺服定位系统 .....                               | 168 |
| 第二节 气动系统的安装与调试、<br>使用及维护 .....                 | 168 |
| 一、气动系统的安装与调试 .....                             | 168 |
| 二、气动系统的使用及维护 .....                             | 169 |
| 三、气动系统主要元件的常见故障<br>及其排除方法 .....                | 170 |
| 复习思考题 .....                                    | 174 |
| <b>附录</b> .....                                | 175 |
| 常用液压及气动元(辅)件图形符号<br>(摘自 GB/T 786.1—1993) ..... | 175 |
| <b>参考文献</b> .....                              | 183 |

# 第一章

## 液压与气压传动概述

液压与气压传动是一门较新的技术。它是以流体（液体和气体统称为流体）作为工作介质进行能量传递和控制的一种方式。由于流体这种工作介质具有独特的物理性能，在能量传递、系统控制、支撑和减小摩擦等方面发挥着十分重要的作用，所以液压与气动技术发展十分迅速，现已广泛应用于工业、农业、国防等各个部门。目前，液压技术正在向高压、高速、大功率、高效率、低噪声和高度集成化、数字化等方向发展；气压传动正向节能化、小型化、轻量化、位置控制的高精度化以及机、电、液相结合的综合控制技术方向发展。

液压与气压传动实现传动和控制的方法基本相同，都是利用各种元件组成具有所需功能的基本控制回路，再将若干基本回路加以综合利用而构成能完成特定任务的传动和控制系统，实现能量的转换、传递和控制。因此，要掌握液压与气压传动技术就必须了解传动工作介质的基本物理性质及其力学特性，研究各类元件的结构、工作原理和性能，以及各种基本控制回路的性能和特点。这是进行液压与气压传动系统分析、故障诊断和设计计算的基础，是本学科的主要研究内容。

本章主要介绍液压传动与气压传动的基本原理和它们所采用介质的性能。通过对本章的学习，要求掌握和理解以下几点：液压与气压传动都是借助于密封容积的变化，利用流体的压力能与机械能之间的转换来传递能量的；压力和流量是液压与气压传动中两个最重要的参数，其中压力取决于负载，流量决定执行元件的运动速度；液压与气压传动系统的基本组成。

### 第一节 液压与气压传动的工作原理

液压系统以液体作为工作介质，而气动系统以气体作为工作介质。两种工作介质的不同在于：液体几乎不可压缩，气体却具有较大的可压缩性。液压与气压传动在基本工作原理、元件的工作机理以及回路的构成等诸方面是极为相似的。下面仅以图 1-1 所示液压千斤顶的工作原理为例来加以介绍。

图 1-1 所示为液压千斤顶的工作原理图。液压缸 9 为举升缸（大缸），手柄 1 操纵的液压缸 2 为动力缸（液压泵，即小缸），两缸通过管道 6 连接构成密闭联通器。当操纵手柄 1 上下运动时，小活塞 3 在液压缸 2 内随之运动，液压缸 2 的容积是密闭的，当小活塞 3 上行时，液压缸 2 下腔的容积扩大而形成局部真空，油箱 12 中的液体在大气压力作用下，通过吸油管 5 推开吸油阀 4，流入小活塞的下腔。当小活塞下行时，液压缸 2 的下腔容积缩小，在小活塞作用下，受到挤压的液体通过管道 6 打开单向阀 7，进入液压缸 9 的下腔（此时吸油阀 4 关闭），迫使大活塞 8 向上移动。如果反复扳动手柄 1，液体就会不断地送入大活塞下腔，推动大活塞及负载上升。如果打开截止阀 11，可以控制液压缸 9 下腔的油液通过管



道 10 流回油箱，活塞在重物的作用下向下移动并回到原始位置。

图 1-1 所示的系统不能对重物的上升速度进行调节，也没有设置防止压力过高的安全措施。但仅从这一基本系统，也能得出有关液压与气压传动的一些重要概念。

设大、小活塞的面积为  $A_2$ 、 $A_1$ ，当作用在大活塞上的负载和作用在小活塞上的作用力分别为  $G$  和  $F_1$  时，由帕斯卡原理可知，大、小活塞下腔以及连接导管构成的密闭容积内的油液具有相等的压力值，设为  $p$ ，如忽略活塞运动时的摩擦阻力，则有：

$$p = \frac{G}{A_2} = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} \quad (1-1)$$

或

$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (1-2)$$

式中  $F_2$ ——油液作用在大活塞上的作用力， $F_2 = G$ 。

式 (1-1) 说明，系统的压力  $p$  取决于作用负载的大小。

式 (1-2) 表明，当  $A_2/A_1 \gg 1$  时，作用在小活塞上一个很小的力  $F_1$ ，便可在大活塞上产生一个很大的力  $F_2$  以举起负载（重物）。这就是液压千斤顶的工作原理。

另外，设大小活塞移动的速度为  $v_2$  和  $v_1$ ，则在不考虑泄漏情况下稳态工作时，有

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_v \quad (1-3)$$

或

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} = \frac{q_v}{A_2} \quad (1-4)$$

式中  $q_v$ ——流量，定义为单位时间内输出（或输入）液体的体积。

式 (1-4) 表明，大缸活塞运动的速度（在缸的结构尺寸一定时），取决于输入的流量。使大活塞上的负载上升所需的功率为

$$P = F_2 v_2 = p A_2 \frac{q_v}{A_2} = p q_v \quad (1-5)$$

式 (1-5) 中， $p$  的单位为 Pa， $q_v$  的单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ ，则  $P$  的单位为 W。由此可见，液压系统的压力和流量之积就是功率，称之为液压功率。

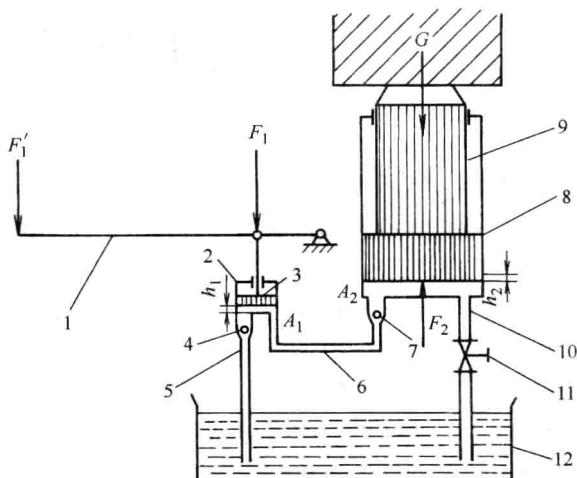


图 1-1 液压千斤顶的工作原理图

- 1—手柄 2、9—液缸 3—小活塞 4—吸油管  
5—吸油管 6、10—管道 7—单向阀  
8—大活塞 11—截止阀 12—油箱

## 第二节 液压与气压传动系统的组成

图 1-2 所示为一台简化的磨床工作台液压系统工作原理图。对液压缸动作的基本要求是：工作台实现直线往复运动，运动能变速和换向，在任意位置能停留以及承受负载的大小



可以调节等。它的工作原理如下:

电动机带动液压泵4旋转,经过滤器2从油箱1中吸油。油液经液压泵输出进入压力管10后(如图1-2a所示),通过换向阀9、节流阀13、换向阀15进入液压缸18左腔,推动活塞17和工作台19向右移动,而液压缸右腔的油液经换向阀和回油管14回流到油箱。如将换向阀手柄16转换成如图1-2b所示的位置,就改变了液压油进、出液压缸的方向,液压缸活塞带动工作台向左运动,从而实现工作台的换向。

工作台的移动速度是由节流阀来调节的。改变节流阀开口量的大小,便可调节流入液压缸油液的流量,以控制工作台的运动速度。液压泵输出的多余油液,经溢流阀和回油管3溢回油箱。

液压泵的输出压力由溢流阀7调节,其调定值应略高于液压缸的工作压力(由负载决定),以克服负载和油液流经换向阀9、节流阀13、换向阀15以及管道的压力损失。液压缸的工作压力不会超过溢流阀的调定值,因此溢流阀可以起到稳压和过载安全保护的作用。通过调节溢流阀调压弹簧的压紧力,便可调节液压泵的输出压力。

扳动手柄使换向阀9处于图1-2c所示“停”的位置,液压缸的进油管路被关闭。这时液压泵输出的油液不能流入液压缸,经换向阀和回油管3直接流回油箱,工作台停止运动。此种情况下液压泵没有带负载,泵输出的油液便没有压力(忽略管路压力损失),这种状态称为卸荷。

过滤器用以限制油液中的杂质进入液压泵和液压系统,保证油液的清洁。

图1-3所示为一用于实现断续生产过程的典型气动系统的组成原理图。其中的控制装置是由若干气动元件组成的气动逻辑回路。它可以根据气缸活塞杆的始末位置,由行程开关等发出信号,系统在进行逻辑判断后指令并控制气缸做下一步的动作,从而实现规定的自动工作循环。

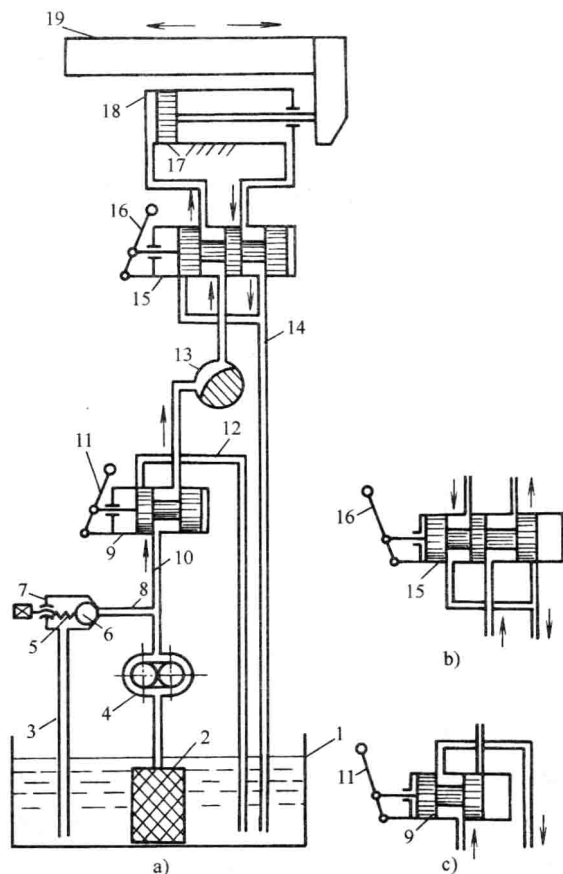


图 1-2 磨床工作台液压系统工作原理图

a) 工作原理 b) 改变换向手柄 16 的状态

c) 改变换向手柄 11 的状态

1—油箱 2—过滤器 3、12、14—回油管

4—液压泵 5—调压弹簧 6—钢球

7—溢流阀 8—压力支管 9、15—换向阀

10—压力管 11、16—换向手柄 13—节流阀

17—活塞 18—液压缸 19—工作台

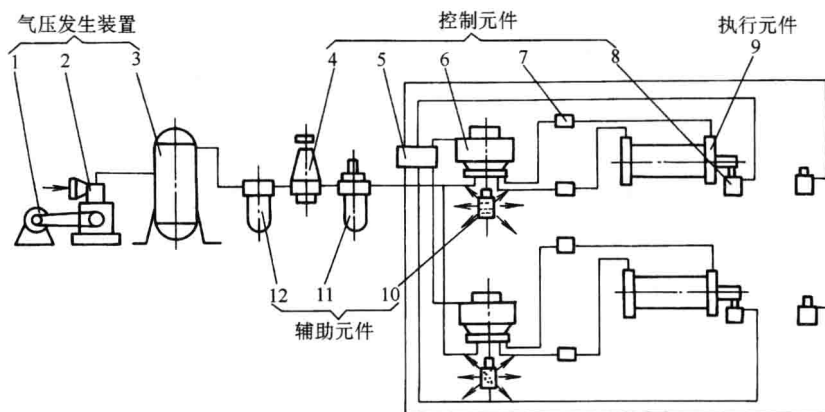


图 1-3 气动系统的组成示意图

1—电动机 2—空气压缩机 3—储气罐 4—压力控制阀 5—逻辑元件 6—方向控制阀  
7—流量控制阀 8—机控阀 9—气缸 10—消声器 11—油雾器 12—空气过滤器

从上面的例子可以看出，液压、气压传动系统除工作介质（液压油或压缩空气）外，一般由以下四部分组成：

（1）动力元件 液压泵或气源装置，它们是为液压、气动系统提供一定流量的压力流体的装置，将原动机输入的机械能转换为流体的压力能。

（2）执行元件 液压缸或气缸、液压马达或气马达，它们是将流体压力能转换为机械能的装置，以克服负载阻力，驱动工作部件做功。实现直线运动的执行元件是液压缸或气缸，它输出力和速度；实现旋转运动的是液压马达或气马达，它输出转矩和转速。

（3）控制元件 压力、流量、方向控制阀，它们是对液压、气压系统中流体的压力、流量和方向进行控制的装置，以及进行信号转换，逻辑运算和放大等功能的信号控制元件，以保证执行元件运动的各项要求。如溢流阀、节流阀、换向阀和逻辑元件等。

（4）辅助元件 辅助元件包括各种管件、油箱、过滤器、蓄能器、仪表和密封装置等。在系统中，它们起连接、储油、过滤、储存压力能、测量压力和防止流体泄漏等作用。

### 第三节 液压与气压系统的图形符号

如图 1-2a 所示，将组成液压系统的各个元件用半结构式图形表示出来的简图，称为结构原理图。这种原理图直观性强、容易理解，但图形比较复杂，难于绘制，系统元件数量多时更是如此。为此，除某些特殊情况外，通常采用职能符号来绘制液压系统原理图。用国家标准 GB/T786.1—1993 规定的液压元件图形符号绘制的磨床工作台液压系统图，如图 1-4 所示。这些图形符号只表示元件的职能，并不表示元件的结构和参数。使用图形符号，可使系统简单明了，便于绘制。其中，常用液压及气动元件的图形符号见附录。

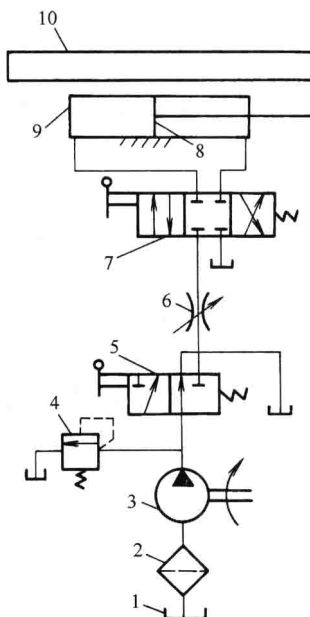


图 1-4 用图形符号表示的磨床液压系统

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

## 第四节 液压与气压传动的特点

### 一、液压传动的特点

#### (1) 液压传动的优点

1) 单位体积输出功率大。在同等的功率下，液压装置的体积小、重量轻。液压马达的体积和重量只有相同功率电动机的 12% 左右。

2) 液压装置工作比较平稳。由于重量轻、惯性小、反应快，液压装置易于实现快速启动、制动和频繁的换向。

3) 液压装置能在较大范围内实现无级调速。

4) 液压传动易于实现自动化。如将液压控制和电气、电子控制或气动控制结合起来，整个传动装置能实现很复杂的顺序动作，并能方便地实现远程控制。

5) 液压装置易于实现过载保护。

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

#### (2) 液压传动的缺点

1) 油液的泄漏、油液的可压缩性、油管的弹性变形会影响运动的传递正确性，故不宜用于要求具有精确传动比的场合。

2) 由于油液的粘度随温度而变化，从而影响运动的稳定性，故不宜在温度变化范围较大的场合下使用。



3) 由于工作过程中有较多的能量损失(如管路压力损失、泄漏等),因此,液压传动的效率不高,不宜用于远距离传动。

4) 为了减少泄漏,液压元件的制造精度要求高,故制造成本较高。

## 二、气压传动的特点

### (1) 气压传动的优点

1) 以空气为工作介质,来源方便,使用后可以直接排入大气中,处理简单,不污染环境。

2) 由于空气流动损失小,压缩空气便于集中供气 and 实现远距离传输和控制。

3) 与液压传动相比较,气压传动具有动作迅速,反应快等优点,液压油在管路中流动速度一般为  $1 \sim 5\text{m/s}$ ,而气体流速可以大于  $10\text{m/s}$ ,甚至接近声速,在  $0.02 \sim 0.03\text{s}$  时间内即可以达到所要求的工作压力及速度。此外,气压传动维护简单、管路不易堵塞,且不存在介质变质、补充和更换等问题。

4) 工作环境适应性强,特别是在易燃易爆、多尘埃、强辐射、振动等恶劣环境下工作时要比液压、电子、电气控制优越。

5) 结构简单、轻便、安装维护简单,压力等级低,使用安全可靠。

6) 空气具有可压缩性,气动系统能够实现自动过载保护。

### (2) 气压传动的缺点

1) 由于空气具有可压缩性,所以气缸的运动稳定性较差,动作速度易受负载变化的影响。

2) 工作压力较低(一般为  $0.4 \sim 0.8\text{MPa}$ ),系统输出力较小,传动效率较低。

3) 气动系统具有较大的排气噪声。

4) 工作介质空气本身没有润滑性,而且需要加油雾器进行润滑。

## 复习思考题

1. 何谓液压传动? 液压系统由哪些部分组成? 各部分的作用是什么?
2. 液压技术的主要优缺点是什么?
3. 气压传动与液压传动有什么不同?