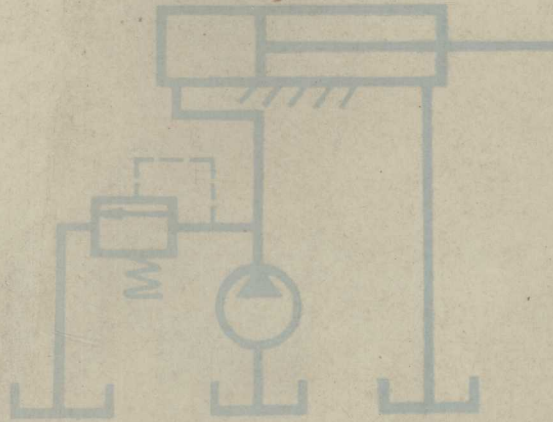


高等院校教材

# 液压技术

周国柱 王春荣 主编



吉林科学技术出版社

高等院校教材

# 液 压 技 术

周国柱 王春荣 主编

江苏工业学院图书馆  
藏书章

吉林科学技术出版社

## 编者名单

- 主编:** 周国柱 (湖北工学院)  
王春荣 (吉林农业大学)
- 副主编:** 侯映安 (甘肃农业大学)  
刘冀民 (湖南农学院)
- 作者:** 韩秉维 (吉林工业大学)  
刘顺安 (吉林工业大学)  
王义永 (河北农业大学)  
蹇一兵 (贵州农学院)  
张玉虎 (青海大学)  
张德恩 (佳木斯工学脱)  
赵永杰 (中国人民解放军兽医大学)  
胡大泽 (湖北工学院)  
董方来 (华中工学院汉口分院)  
董良杰 (吉林农业大学)  
张晓茹 (河北农业大学)  
王侠 (长春大学)  
康景峰 (山东农业大学)  
陈伯权 (沈阳农业大学)  
周国柱 (湖北工学院)  
王春荣 (吉林农业大学)  
侯映安 (甘肃农业大学)  
刘冀民 (湖南农学院)  
韩秉维 (吉林工业大学)

高等院校教材

**液压技术**

周国柱 王春荣 主编

责任编辑: 李洪德

封面设计: 董良杰

**出版  
发行**

吉林科学技术出版社

787×1092毫米32开本

19.5印张

430,000字

1990年11月第1版 1990年11月第1次印刷

印数: 1—4000册

定价: 7.00元

**印刷**

东北师范大学校办印刷厂

ISBN 7-5384-0685-9/O·39

# 前 言

1990年4月,在山东农业大学召开了联合编写流体力学及应用技术教材编写会议,参加会议的有北京农业工程大学、吉林工业大学、华中农业大学、沈阳农业大学、山东农业大学、湖北工业学院、华南热带作物学院、广西农学院、湖南农学院、贵州农学院、河南农业大学、河北农业大学、佳木斯工学院、甘肃农业大学、山西农业大学、中国人民解放军兽医大学、吉林农业大学等17所高等院校。

与会代表经过充分讨论,并根据各院校课程设置的需要,确定编《液压技术》和《流体力学及流体机械》两本教材。在吉林科学技术出版社的大力支持下,同意在1990年底同时出版这两本书,以满足各校教学之急需。

会后,经参编人员共同积极努力,以较快的速度完成了本教材的编写工作。

本书共分十二章。第一章绪论,第二章流体力学基础,第三章至第六章介绍常用的液压元件(包括液压泵、液压马达、液压缸、液压控制阀和液压辅件),第七章至第十章介绍液压回路及液压控制系统(包括基本回路、典型液压系统、液压设计计算和伺服控制系统),第十一章讲述了液压系统的安装、调试、维修保养及故障分析和排除,为适应高新技术在液压技术领域中的应用,我们在第十二章中介绍了微型电子计算机在液压系统中的应用。全书所用的名词、术语和符号都按国家标准规定,量纲统一采用国际单位制(SI)。各章均有例题和习题,便于巩固所学的基本理论。

本教材由吉林工业大学王焕德教授和沈阳农业大学陈伯权副教授担任主审。

由于时间比较仓促,加之我们学识水平有限,书中难免有缺点和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

一九九〇年八月

# 目 录

## 前言

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| <b>第一章 绪论</b> .....           | (1)  |
| § 1—1 概述 .....                | (1)  |
| 一、液压传动的基本概念 .....             | (1)  |
| 二、液压传动系统的工作原理 .....           | (1)  |
| 三、液压系统的组成 .....               | (3)  |
| 四、液压系统图及图形符号 .....            | (3)  |
| § 1—2 液压传动的优缺点 .....          | (4)  |
| § 1—3 液压传动的发展概况及发展动向 .....    | (4)  |
| 一、液压传动的发展概况 .....             | (4)  |
| 二、液压传动的发展动向 .....             | (5)  |
| <b>第二章 液压油和液压流体力学基础</b> ..... | (6)  |
| § 2—1 液压油的特性和选择 .....         | (6)  |
| 一、液压油的性质 .....                | (6)  |
| 二、对液压油的要求 .....               | (9)  |
| 三、液压油的选用 .....                | (9)  |
| 四、液压油的正确使用 .....              | (10) |
| § 2—2 液体静力学 .....             | (10) |
| 一、压力及其性质 .....                | (11) |
| 二、重力作用下静止液体中的压力分布 .....       | (11) |
| 三、压力的单位及表示方法 .....            | (11) |
| 四、液体静压力作用在固体壁面上的力 .....       | (12) |
| 五、帕斯卡原理的应用 .....              | (13) |
| § 2—3 液体动力学 .....             | (13) |
| 一、基本概念 .....                  | (13) |
| 二、连续方程 .....                  | (15) |
| 三、伯努利方程 .....                 | (15) |
| 四、动量方程 .....                  | (18) |
| 五、液压功率 .....                  | (19) |
| § 2—4 液压管路的压力损失 .....         | (20) |
| 一、流态、雷诺数 .....                | (20) |
| 二、圆管层流 .....                  | (21) |
| 三、圆管紊流 .....                  | (23) |
| 四、压力损失 .....                  | (23) |

|                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| § 2—5 孔口和缝隙液流 .....             | (25)        |
| 一、薄壁小孔 .....                    | (25)        |
| 二、短孔和细长孔 .....                  | (26)        |
| 三、缝隙液流 .....                    | (26)        |
| 四、缝隙液流理论的应用 .....               | (31)        |
| 五、有环隙活塞副的等效端面积; 缝隙液流的功率损失 ..... | (32)        |
| § 2—6 液压冲击 .....                | (33)        |
| 一、产生液压冲击的原因及危害性 .....           | (33)        |
| 二、液体突然停止运动时产生的液压冲击 .....        | (34)        |
| 三、减少液压冲击的措施 .....               | (34)        |
| § 2—7 空穴现象 .....                | (35)        |
| 一、空穴、气蚀现象及其危害 .....             | (35)        |
| 二、空气分离压和饱和蒸气压 .....             | (35)        |
| 三、减小空穴现象的措施 .....               | (36)        |
| 习题 .....                        | (36)        |
| <b>第三章 液压泵和液压马达 .....</b>       | <b>(39)</b> |
| § 3—1 概述 .....                  | (39)        |
| 一、液压泵和液压马达的工作原理和分类 .....        | (39)        |
| 二、液压泵和液压马达的主要性能参数 .....         | (40)        |
| § 3—2 齿轮泵和液压马达 .....            | (43)        |
| 一、工作原理 .....                    | (43)        |
| 二、流量计算 .....                    | (43)        |
| 三、结构中的几个问题 .....                | (44)        |
| 四、CB—B型齿轮泵 .....                | (46)        |
| 五、齿轮马达 .....                    | (48)        |
| § 3—3 叶片式液压泵和液压马达 .....         | (48)        |
| 一、工作原理 .....                    | (48)        |
| 二、流量计算 .....                    | (49)        |
| 三、结构中的几个问题 .....                | (50)        |
| 四、YB <sub>1</sub> 型叶片泵 .....    | (52)        |
| 五、变量叶片泵 .....                   | (53)        |
| 六、复合叶片泵 .....                   | (56)        |
| 七、叶片马达 .....                    | (57)        |
| § 3—4 柱塞泵和液压马达 .....            | (59)        |
| 一、轴向柱塞泵和液压马达 .....              | (59)        |
| 二、径向柱塞泵和液压马达 .....              | (65)        |
| § 3—5 其它液压泵 .....               | (67)        |
| 一、螺杆泵 .....                     | (67)        |
| 二、转子泵 .....                     | (68)        |
| § 3—6 液压泵和液压马达的选择 .....         | (68)        |
| 一、液压泵的选择 .....                  | (68)        |
| 二、液压马达的选择 .....                 | (70)        |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 习题 .....                    | (74)  |
| <b>第四章 液压缸</b> .....        | (76)  |
| § 4—1 液压缸的类型和特点 .....       | (76)  |
| 一、活塞缸 .....                 | (77)  |
| 二、柱塞缸 .....                 | (79)  |
| 三、摆动缸 .....                 | (79)  |
| 四、其它液压缸 .....               | (80)  |
| § 4—2 液压缸的结构及主要件材料 .....    | (82)  |
| 一、缸筒组件 .....                | (83)  |
| 二、活塞组件 .....                | (85)  |
| § 4—3 液压缸的设计计算 .....        | (86)  |
| 一、液压缸结构设计中应注意的几个问题及步骤 ..... | (86)  |
| 二、主要参数的确定 .....             | (86)  |
| 三、结构强度计算和稳定性验算 .....        | (89)  |
| 四、缓冲机构和排气装置的设计 .....        | (91)  |
| 习题 .....                    | (94)  |
| <b>第五章 液压控制阀</b> .....      | (96)  |
| § 5—1 概述 .....              | (96)  |
| 一、液压阀的分类 .....              | (96)  |
| 二、液压阀的基本要求 .....            | (96)  |
| § 5—2 方向阀 .....             | (96)  |
| 一、单向阀 .....                 | (97)  |
| 二、换向阀 .....                 | (98)  |
| § 5—3 压力阀 .....             | (108) |
| 一、溢流阀 .....                 | (108) |
| 二、减压阀 .....                 | (113) |
| 三、顺序阀 .....                 | (115) |
| 四、压力继电器 .....               | (117) |
| § 5—4 流量阀 .....             | (119) |
| 一、节流口的流量特性 .....            | (119) |
| 二、节流阀和调速阀 .....             | (120) |
| § 5—5 其它液压阀 .....           | (124) |
| 一、逻辑阀 .....                 | (124) |
| 二、比例阀 .....                 | (126) |
| 三、数字阀 .....                 | (129) |
| 习题 .....                    | (130) |
| <b>第七章 液压辅件</b> .....       | (132) |
| § 6—1 油箱 .....              | (132) |
| 一、油箱容积的确定 .....             | (132) |
| 二、油箱的结构 .....               | (132) |
| 三、油箱散热面积的计算 .....           | (133) |
| § 6—2 蓄能器 .....             | (133) |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 一、蓄能器的工作原理          | (133) |
| 二、蓄能器在液压系统中的作用      | (134) |
| 三、类型及应用             | (135) |
| 四、气体式蓄能器的容量计算       | (136) |
| § 6—3 滤油器           | (138) |
| 一、滤油器的作用及类型         | (138) |
| 二、对滤油器的基本要求         | (139) |
| 三、滤油器在液压系统中的安装位置    | (140) |
| 四、滤油器的选择            | (141) |
| § 6—4 油管及管接头        | (141) |
| 一、油管                | (141) |
| 二、管接头               | (143) |
| § 6—5 密封件           | (146) |
| 一、间隙密封              | (146) |
| 二、活塞环密封             | (147) |
| 三、密封圈密封             | (147) |
| 四、回转轴密封件            | (149) |
| § 6—6 热交换器          | (149) |
| 一、冷却器               | (149) |
| 二、加热器               | (151) |
| 习题                  | (152) |
| <b>第七章 液压基本回路</b>   | (153) |
| § 7—1 调速回路          | (153) |
| 一、调速原理和调速回路的分类      | (153) |
| 二、采用节流阀的节流调速回路      | (154) |
| 三、容积调速回路            | (160) |
| 四、容积—节流调速回路(联合调速回路) | (163) |
| 五、调速回路的比较           | (165) |
| § 7—2 快速运动和速度换接回路   | (166) |
| 一、快速运动回路            | (166) |
| 二、速度换接回路            | (167) |
| § 7—3 压力控制回路        | (169) |
| 一、调压回路              | (169) |
| 二、减压回路              | (170) |
| 三、卸荷回路              | (171) |
| 四、平衡回路              | (172) |
| § 7—4 多缸工作控制回路      | (173) |
| 一、顺序动作回路            | (173) |
| 二、同步回路              | (176) |
| 三、多缸快慢速互不干扰回路       | (178) |
| 四、多缸独立工作回路          | (178) |
| 习题                  | (182) |



|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| <b>第八章 典型液压系统</b> .....          | (188) |
| § 8—1 YT4543型液压他驱式动力滑台的液压系统..... | (188) |
| 一、概述.....                        | (188) |
| 二、工作循环分析.....                    | (188) |
| 三、液压系统的基本回路组成.....               | (190) |
| 四、液压系统的特点.....                   | (190) |
| § 8—2 M1432A型万能外圆磨床液压系统.....     | (190) |
| 一、概述.....                        | (190) |
| 二、液压系统的工作原理.....                 | (191) |
| 三、液压系统的结构分析.....                 | (195) |
| 四、液压系统的特点.....                   | (198) |
| § 8—3 YA79—250型液压机的液压系统.....     | (198) |
| 一、概述.....                        | (198) |
| 二、动作原理.....                      | (199) |
| 三、系统的组成及液压基本回路.....              | (201) |
| 五、结构特点.....                      | (201) |
| § 8—4 TY180推土机的液压系统.....         | (202) |
| 一、概述.....                        | (202) |
| 二、液压系统分析.....                    | (202) |
| 三、液压系统的结构特点.....                 | (203) |
| § 8—5 YW—100单斗挖掘机液压系统.....       | (203) |
| 一、概述.....                        | (203) |
| 二、液压系统分析.....                    | (204) |
| 三、液压系统的结构特点.....                 | (205) |
| § 8—6 ST4450拖拉机闭心式液压系统.....      | (206) |
| 一、概述.....                        | (206) |
| 二、液压系统分析.....                    | (206) |
| 三、液压系统的特点.....                   | (207) |
| <b>第九章 液压系统的设计与计算</b> .....      | (209) |
| § 9—1 液压系统的设计步骤.....             | (209) |
| § 9—2 明确设计依据, 进行工况分析.....        | (209) |
| 一、设计依据.....                      | (209) |
| 二、工况分析.....                      | (210) |
| § 9—3 液压系统参数的初步确定.....           | (212) |
| 一、初选液压缸的工作压力.....                | (212) |
| 二、液压缸主要结构尺寸的确定.....              | (213) |
| 三、液压缸所需的最大流量.....                | (214) |
| 四、绘制液压缸工况图.....                  | (214) |
| § 9—4 确定液压系统方案、拟定液压系统图.....      | (215) |
| 一、确定系统方案.....                    | (215) |
| 二、拟定液压系统图.....                   | (217) |
| § 9—5 液压元件的计算和选择.....            | (217) |

|   |              |
|---|--------------|
| (一、选定油泵和确定电动机功率.....                      | (217)        |
| (二、液压阀的选择.....                            | (218)        |
| (三、油管、油箱及其它辅助装置的选择.....                   | (219)        |
| § 9—6 液压系统验算及技术文件的编制.....                 | (219)        |
| (一、液压系统的验算.....                           | (219)        |
| (二、绘制工作图、编写技术文件.....                      | (222)        |
| § 9—7 液压传动系统设计计算实例.....                   | (223)        |
| (一、设计内容及要求.....                           | (223)        |
| (二、设计步骤及方法.....                           | (224)        |
| <b>第十章 液压伺服系统.....</b>                    | <b>(238)</b> |
| § 10—1 液压伺服系统概述.....                      | (238)        |
| (一、液压伺服系统的工作原理.....                       | (238)        |
| (二、液压伺服系统的特点.....                         | (239)        |
| (三、液压伺服系统的组成.....                         | (239)        |
| (四、液压伺服系统的类型.....                         | (240)        |
| § 10—2 电液伺服阀和电液伺服基本回路.....                | (242)        |
| (一、电液伺服阀的工作原理及分类.....                     | (242)        |
| (二、电液伺服阀的特性.....                          | (243)        |
| (三、电液伺服基本回路.....                          | (245)        |
| § 10—3 液压伺服系统的应用.....                     | (247)        |
| (一、液压仿形刀架.....                            | (247)        |
| (二、全液压转向机构.....                           | (247)        |
| <b>第十一章 液压设备的安装使用与维护.....</b>             | <b>(250)</b> |
| § 11—2 油液的污染及其控制.....                     | (250)        |
| (一、油液污染的途径及其危害性.....                      | (250)        |
| (二、油液的清洁度.....                            | (250)        |
| (三、油液污染的控制.....                           | (251)        |
| § 11—2 液压设备的安装与调试.....                    | (251)        |
| (一、液压设备的安装.....                           | (251)        |
| (二、液压系统的配管.....                           | (252)        |
| (三、液压设备的调试.....                           | (252)        |
| § 11—3 液压元件和系统的故障及其排除方法.....              | (253)        |
| (一、故障的发现.....                             | (253)        |
| (二、液压元件的常见故障及排除方法.....                    | (254)        |
| (三、液压系统故障分析.....                          | (252)        |
| <b>第十二章 微型计算机在液压技术中的应用.....</b>           | <b>(267)</b> |
| § 12—1 概述.....                            | (267)        |
| (一、应用微机进行液压元件和系统的设计.....                  | (267)        |
| (二、应用微机对液压传动系统和元件进行试验——计算机辅助试验 (CAT)..... | (267)        |
| (三、应用微机对液压系统进行控制.....                     | (268)        |
| § 12—2 液压元件及系统的计算机辅助设计 (CAD).....         | (268)        |
| (一、CAD的工作过程.....                          | (268)        |

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 二、CAD系统的组成.....                 | (268) |
| 三、液压CAD的功能.....                 | (269) |
| 四、数据的处理.....                    | (272) |
| § 12—3 液压产品的计算机辅助试验 (CAT) ..... | (275) |
| 一、液压CAT的任务.....                 | (275) |
| 二、液压CAT的类型.....                 | (275) |
| 三、液压CAT的特点.....                 | (276) |
| 四、液压CAT系统的硬件.....               | (277) |
| 五、液压CAT的软件.....                 | (279) |
| § 12—4 应用微型计算机对液压系统进行控制.....    | (281) |
| 一、液压传动微机控制系统的分类.....            | (281) |
| 二、微机控制液压系统的实例分析.....            | (281) |
| <b>附表 1</b> .....               | (285) |
| <b>附表 2</b> .....               | (286) |
| <b>附表 3</b> .....               | (297) |
| <b>附表 4</b> .....               | (297) |
| <b>附表 5</b> .....               | (297) |

# 第一章 绪 论

## § 1-1 概 述

### 一、液压传动的基本概念

传动的类型很多，有机械传动、电气传动、气压传动、液体传动和复合传动等。

那么，什么是液压传动呢？首先要知道什么是液体传动。

用液体作为工作介质进行能量传递，称为液体传动。液体传动按其工作原理的不同，又可分为“容积式液体传动”和“动力式液体传动”两类。前者是以液体的压力能进行工作；后者除压力能外，还以液体的动能进行工作。因此，一般将前者简称为“液压传动”，后者简称为“液力传动”，以资区别，本书只讨论前者。

用液体（液压油）作为工作介质，并以压力能的形式，进行能量的传递或转换，这种传动方式，便称之为液压传动。

液压传动是一门新兴的学科，近二十年来，这门技术得到了迅速的发展和广泛应用，并已成为自动控制系统中一个重要组成部分。

### 二、液压传动系统的工作原理

图 1-1 所示是一个磨床工作台系统工作原理图，形象地表示了系统中各元件的结构原理，易于初学者接受。下面用它来概括地说明机床液压传动的工作原理。

液压系统由油箱 1、滤油器 2、液压泵 4、溢流阀 8、开停阀 11、节流阀 13、换向阀 15、液压缸 19 等元件，以及连接这些元件的油管 3、5、9、10、12、14、18、27、29、和 30 等组成。液压泵 4 由电动机带动旋转，从油箱 1 中吸油。油液经滤油器 2 通过油管 3 进入液压泵后，被输送到油管 10，在图 1-1 (a) 所示的状态下，它流经开停阀 11、油管 12、节流阀 13、油管 14、换向阀 15、油管 18 进入液压缸 19 的左腔，推动活塞 25、活塞杆 26 以及和活塞杆相连的工作台 20（连同装夹在工作台上的工件 23）一起向右移动。这时，液压缸右腔的油液从油管 27、换向阀 15、油管 29 排回油箱。这样就实现了用液压来驱动机床部件的运动。

工作台的侧面装有档块 21 和 24，当工作台向右移动到其左档块 21 碰着换向杆 17 时，换向杆 17 绕其支点 16 顺时针方向转动，拨动换向阀阀芯 28，使之移向左位，成为图 1-1 (b) 所示的状态。这时，从油管 14 输来的压力油经换向阀 15 后，由油管 27 进入液压缸的右腔，推动工作台等向左运动，并使液压缸左腔的油液由油管 18、换向阀 15、油管 29 排回油箱。此后，当工作台向左移动到其右档块 24 碰着换向杆 17，使它逆时针方向转动而使阀芯 28 移向右位，回复到图 1-1 (a) 的状态时，工作台又向右移动。如此循环往复，工作台不停地左右移动，磨削加工就可以持续地进行下去。

工作台移动速度的快慢是通过节流阀13来调节的。节流阀可以开大，也可以关小。当它开大时，通入液压缸的油液增多，工作台移动速度就加快；当它关小时，移动速度就减慢。

工作台移动时，为了克服导轨的摩擦力、砂轮22和工件23间的切削力等，液压缸需要有一个足够大的推力，这个推力是由油液压力产生的。

另外，液压泵输出的油液除了通过油管10输向液压缸外，还通过油管9进入溢流阀8。当油液的压力升高到稍稍超过溢流阀中弹簧7的调定压力时，钢球6被顶开，油液经油管5排回油箱，这时油液的压力不再升高，维持定值。在这里，溢流阀在控制油液压力的同时，还起着把液压泵输出的多余油液排回油箱的作用。

当需要短期停止工作台运动时（例如在装卸工件或测量尺寸时），可以拨动开停阀11的操纵手柄，使其阀芯处于左位，如图1-1（c）的状态。这时，液压泵输出的油液由油管10、开停阀11、油管30直接排回油箱，不再输到液压缸中去，工作台就停止运动。

液压系统中的滤油器2的作用是滤去油中污物质，保证油液清洁，使系统工作正常。

从上面这个简单的液压传动系统例子中，可以看到：

1. 液压传动是依靠运动着的液体的压力能来传递动力的；它与依靠液体动能来传递动力的“液力传动”（例如：水轮机、液力变矩器等）不同。
2. 液压传动系统工作时，液压泵先把电动机传来的机械能转变成油液的压力能；油液在被输送入液压缸后，又通过液压缸把油液的压力能转变成驱动工作台运动的机械能。
3. 液压传动系统中的油液是在受调节、控制的状态下进行工作的，液压传动和液压控制常常是难以截然分割的。
4. 液压传动系统必须满足它所驱动的运动部件（在上例中是工作台）在力和速度方面提出的要求。

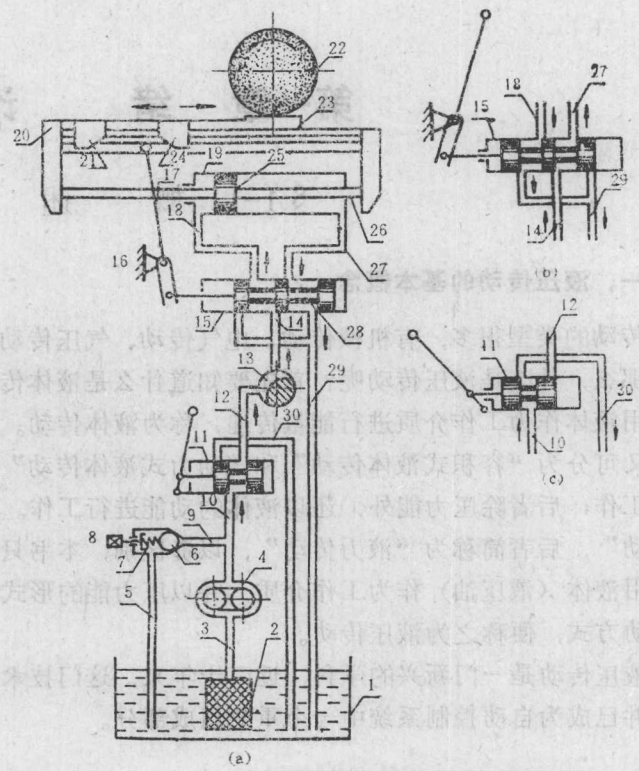


图1-1 磨床工作台液压系统原理图

### 三、液压系统的组成

由上例可以看出液压系统的基本组成为：

1. 能源元件——液压泵。使动力部分（电机或其它原动机）所输出的机械能转换成液压能，给系统提供压力油液；

2. 执行元件——液压缸（液压缸、液压马达），通过它将液压能转换成机械能，推动负载做功；

3. 控制元件——液压阀（流量阀、压力阀、方向阀等）。通过它们的控制和调节，使液流的压力、流速和方向得以改变，从而改变执行元件的力（或力矩）、速度和方向；

4. 辅助元件——油箱、管路、蓄能器、冷却器、管接头、压力表开关等。通过这些元件把系统联结起来，实现各种工作循环；

5. 工作介质——液压油。绝大多数是采用矿物油，用它来传递能量或信息。

上述这些液压元件将在以下各章中分别介绍。

### 四、液压系统图及图形符号

液压系统由许多元件组成，如果用各种元件的结构图来表示整个液压系统，虽然很直观、明显，但绘制起来非常复杂，而且往往难于将其原理表达清楚，因而实践中常以各种规定的符号表示元件的职能。将各种元件的符号用通路联接起来，组成液压系统图以表示液压传动及控制系统的原理。附录一中列出了我国目前采用的液压系统图图形符号（GB786-76）。

图 1-2 即是用职能符号表示的液压系统原理

现行的液压系统图图形符号，只表示元件的职能和连接通路，不表示元件的具体结构和参数，也不表示从一个工作状态转到另一个工作状态的过渡过程；系统图只表示各元件的连接关系，而不表示系统布管的具体位置或元件在机器中的实际安装位置。系统图中的符号通常以元件的静止位置或零位置表示。例如图 1-2 中的换向阀有三个位置，在系统图中一般则以其静止位置即不去操作时的中间位置表示。当需要标明元件的名称、型号和参数时，一般在系统图的零件表中说明，必要时可标注在元件符号旁边。对于标准中没有规定的图形符号，可以根据标准的原则和所列的规律进行派生，当无法直接引用或派生时，或者有必要特别说明系统中某

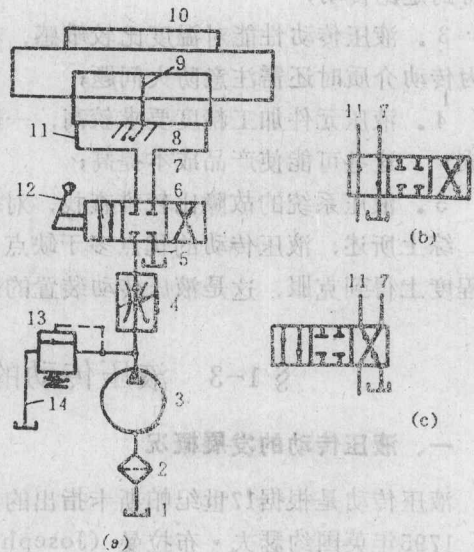


图 1-2 用职能符号表示的液压系统图

一元件的结构及动作原理时，均允许局部采用结构简图表示。

## § 1-2 液压传动的优缺点

与机械传动、电气传动相比，液压传动具有以下优点：

1. 可以在运行过程中实现大范围的无级调速；
  2. 在同等输出功率下，液压传动装置的体积小、重量轻、运动惯性小、能传递较大的力或扭矩，而且动态性能好。
  3. 采用液压传动时可实现无间隙传动，运动平稳，反应快，冲击小，能高速启动制动和换向；
  4. 便于实现自动工作循环和自动过载保护，能实现复杂的顺序动作和远程控制，是机械自动化的重要手段；
  5. 由于一般采用油作为传动介质，因此液压元件有自我润滑作用，有较长的使用寿命；
  6. 液压元件都是标准化、系列化的产品，便于设计、制造和推广应用；
  7. 液压传动装置易于实现直线运动和回转运动，液压元件的排列布置具有机动灵活性。
  8. 由功率损失等原因所产生的热量可由油流带走，可避免局部温升过高的现象。
- 液压传动的缺点为：

1. 在传动过程中能量需经过两次转换，总效率较低，而且还会引起油液温度升高，性能变化；
2. 液体具有一定可压缩性，配合面处也不可避免地有泄漏存在，因此液压传动不能得到定比传动；
3. 液压传动性能对温度比较敏感，在高温及低温下工作存在一定困难。当采用油作为传动介质时还需注意防火问题；
4. 液压元件加工精度要求较高，一般情况下要求有独立的能源（由电动机、泵等组成），这些可能使产品成本提高；
5. 液压系统的故障比较难查找，对操作、维修人员的技术水平有一定要求。

综上所述，液压传动的优点多于缺点，并且随着技术水平的提高，某些缺点已在不同程度上得到克服，这是液压传动装置的生产迅速发展和应用日益广泛的决定因素。

## § 1-3 液压传动的发展概况及发展动向

### 一、液压传动的发展概况

液压传动是根据17世纪帕斯卡指出的液体静压力传递原理而发展起来的一门新兴技术。1795年英国约瑟夫·布拉曼（Joseph Braman, 1749~1814），在伦敦用水作为工作介质，以水压机的形式将其应用于工业上，诞生了世界上第一台水压机。1905年将工作介质水改为油，又进一步得到改善。

第一次世界大战（1914~1918年）后液压传动广泛应用，特别是1920年以后，进展更为迅速。液压元件大约在19世纪末20世纪初的20年间，才开始进入正规的工业生产阶段。1925年维克斯（F. Vickers）发明了压力平衡式叶片泵，为近代液压元件工业或液压技术的逐步建立奠定了基础。20世纪初康斯坦丁·尼斯克（G. Constantinesco）对能量波动传递所进行的理论及实际的研究；1910年对液力传动（液力联轴节、液力变矩器等）方面的贡献，使这两方面领域得到了发展。

第二次世界大战（1941~1945年）期间，在美国机床中有30%应用了液压传动。

应该指出，日本液压技术的发展较欧美等国家晚了近20多年。在1955年前后，日本迅速发展液压技术，1956年成立了“液压工业会”。近20~30年间，日本液压技术发展之快，居世界领先地位。

我国液压技术在50年代刚刚兴起，60年代有较大的发展。1976年制订了元件型谱，设计了部分基型，近十几年液压技术得到普遍应用。目前应用范围之广，已涉及到各个领域。

## 二、液压传动的发展动向

应该特别提及的是，近年来，世界科学技术不断迅速发展，各部门对液压传动提出了更高的要求。液压传动与电子技术配合在一起，广泛应用于智能机器人、海洋开发、宇宙航行、地震预测及各种电液伺服系统，使液压技术的应用提高到一个崭新的高度。

目前，液压技术发展的动向，概括有以下几点：

1. 节约能源，发展低能耗元件，提高元件效率；
2. 发展新型液压介质和相应元件，如：发展高水基液压介质和元件，新型石油基液压介质；
3. 注意环境保护，降低液压元件噪声；
4. 重视液压油的污染控制；
5. 进一步发展电气—液压控制，提高控制性能和操作性能；
6. 重视发展密封技术，防止漏油；
7. 其它方面如元件微型化、复合化和系统集成化的趋势仍在继续发展，对液压系统与元件的可靠性设计、逻辑设计，与电子技术的高度结合，对故障的早期诊断、预测以及防止失效的早期警报等都越来越受到重视，在此不详细叙述了。





## 第二章 液压油和液压流体力学基础

现代液压系统大多采用矿物油作工作介质，液压传动的工作介质统称液压油，本章叙述液压油的物理、化学性质，以及与液压传动有关的流体力学基本内容，为以后分析、设计和使用液压传动系统提供必要的理论基础。

### § 2-1 液压油的特性和选择

在液压系统中，液压油是传递动力和信号的工作介质。同时，它还起到润滑、冷却和防锈的作用。液压油的正确选择和使用对液压系统性能有重要影响，所以首先必须了解液压油的一些主要特性及选择原则。

#### 一、液压油的性质

液压油的一些基本性质可在有关的资料中查到，例如，矿油型液压油在 $15^{\circ}\text{C}$ 时的密度为 $900\text{kg}/\text{m}^3$ 左右，且在实用中可认为不受温度和压力的影响；体积膨胀系数和比热分别为 $(6.3\sim 7.8)\times 10^{-4}\text{K}^{-1}$ 和 $(1.7\sim 2.1)\times 10^3\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ；等等。在液压技术中，液压油最重要的性质是它的粘性和可压缩性。

##### 1. 粘性

液体在外力作用下流动（或有流动趋势）时，分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动而产生一种内摩擦力，这种现象叫做液体的粘性。液体只在流动（或有流动趋势）时才会出现粘性，静止液体是不呈现粘性的。

粘性使流动液体内部各处的速度不相等，以图 2-1 为例，若两平行平板间充满液体，下平板不动，而上平板以速度 $u_0$ 向右平动。由于液体的粘性，紧靠着下平板的液体层速度为零，紧靠着上平板的液体层速度为 $u_0$ ，而中间各层液体速度视它与下平板间距离的大小按曲线规律或线性规律变化。

实验指出，液体流动时相邻液层间的内摩擦力 $F_1$ 与液层接触面积 $A$ 、液层间的速度梯度 $du/dy$ 成正比，即

$$F_m = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-1)$$

式中 $\mu$ 为比例常数，称为粘性系数或粘度。

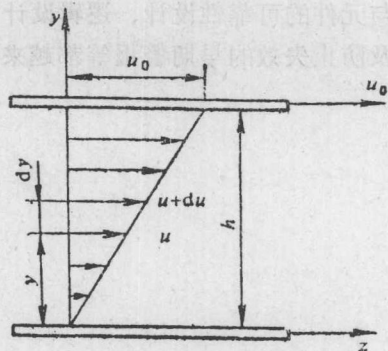


图 2-1 液体粘性示意图