



面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

液压与气压传动技术

YEYA YU QIYA
CHUANDONG JISHU

◎ 主 编 符林芳 李稳贤



面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

液压与气压传动技术

主 编 符林芳 李稳贤
副主编 高 凯 赵东辉



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要包括: 液压传动概述, 液压传动流体力学基础, 液压泵和液压马达, 液压缸, 液压控制阀, 液压传动辅助元件, 液压传动系统基本回路, 典型的液压传动系统, 液压传动系统的设计与计算, 液压系统的安装和使用及常见故障, 气压传动。

本书既可作为高等院校机电类相关专业的教材, 也可供广大工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动技术/符林芳, 李稳贤主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2010. 7

ISBN 978-7-5640-3695-9

I. ①液… II. ①符… ②李… 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. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 160831 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http: // www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京慧美印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 20

字 数 / 374 千字

版 次 / 2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑/ 赵 岩
王叶楠

印 数 / 1 ~ 1500 册

责任校对/ 陈玉梅

定 价 / 39.00 元

责任印制/ 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

面向“十二五”高等教育课程改革 项目研究成果机电系列编委会

主 任：翟瑞波

副主任：徐秀娟 王核心 李稳贤 侯会喜 袁世先

编 委 (按姓氏笔画为序)：

卜养玲	孔 敏	王颖娴	王亚平	王 兰
王周让	王保华	王从钗	牛方方	邓小君
邓树君	代美泉	石 枫	白娟娟	冯秀萍
孙鹏涛	李 俊	李 宁	李 燕	李俊涛
李妍缘	李丽娟	吕栋腾	朱劲松	朱敬超
朱永迪	闫存富	刘书群	刘 峙	刘 畅
刘光定	刘龙江	安 宏	许云兰	宋 芳
宋志峰	宋述林	宋育红	张运真	张俊勇
张保丰	张志军	张 俊	张怀广	张明颖
张 峰	张文革	冶君妮	时 寸	辛小丽
辛 梅	罗亚军	宗一妮	房贯军	赵亚英
赵东辉	赵章吉	赵 斌	庞应周	杨 辉
杨 琳	杨 维	杨汉嵩	杨 爽	郭新民
侯晓芳	徐 铭	徐雅娟	徐家忠	高 凯
高 葛	唐志祥	符林芳	黄明惠	黄金磊
曾 霞	雷伟斌	蒋爱云	蔺国民	潘爱民
薛媛丽				

本教材由符林芳、李稳贤担任主编并负责全书的统稿工作，高凯、赵东辉为副主编。

在参编的老师中，符林芳老师编写项目五、六，李稳贤、王颖娴老师编写前言、项目一、附录，高凯老师编写项目二、三、七，赵东辉老师编写项目十、十一，冶君妮老师编写项目八、九，徐铭老师编写项目四。参与编写工作的还有刘凯、马希云、庞应周、宗一妮、赵斌、代美泉等。为了尽量将其编写得完善，本书不仅吸收了最新的科研成果，而且还广泛参考了有关院校其他同类教材，注意吸收同类教材的优点和企业工程实际的案例。在此，对所有给予本书以直接或间接帮助的人表示衷心感谢。

尽管我们在探索教材建设的特色方面做出了许多努力，但由于编者水平有限，书中仍可能存在一些疏漏和不妥之处，恳请各教学单位和读者在使用本书时多提一些宝贵意见和建议。

编者

目 录

项目一 液压传动概述	(1)
课题一 液压传动系统的工作原理和组成	(1)
一、液压传动系统的工作原理	(1)
二、液压传动装置的组成	(2)
三、液压传动系统的图形符号	(4)
课题二 液压传动的特点	(5)
一、液压传动的优点	(5)
二、液压传动的主要缺点	(5)
项目二 液压传动流体力学基础	(9)
课题一 液压系统的工作介质	(9)
一、液压油的特性	(9)
二、液压油的类型、选择与使用	(15)
三、液压油的污染与防护	(18)
课题二 液压流体静力学	(19)
一、液体静力学及其特性	(20)
二、液体静压力基本方程	(20)
三、压力的表示方法	(21)
四、帕斯卡原理	(22)
五、液体静压力对固体壁面的总作用力	(23)
课题三 液压流体动力学	(24)
一、基本概念	(25)
二、连续性方程	(26)
三、伯努利方程	(28)
四、动量方程	(31)
课题四 管道中液流能量的损失	(33)
一、液体流动的两种流态	(33)
二、液体在流动中的压力损失	(35)
课题五 液体流经孔口的压力流量特征	(36)
一、薄壁小孔的压力流量特性	(37)

二、细长小孔的压力流量特性	(38)
三、各种孔口的压力流量特性	(38)
项目三 液压泵和液压马达	(47)
课题一 液压泵概述	(47)
一、液压泵的工作原理和特点	(47)
二、液压泵的主要性能参数	(48)
三、液压泵的分类	(51)
课题二 齿轮泵	(52)
一、外啮合齿轮泵	(52)
二、内啮合齿轮泵	(56)
课题三 叶片泵	(57)
一、双作用叶片泵	(57)
二、单作用叶片泵	(61)
三、叶片泵的性能、优缺点及使用	(65)
课题四 柱塞泵	(67)
一、径向柱塞泵	(67)
二、轴向柱塞泵	(68)
三、柱塞泵的优缺点及使用	(72)
课题五 液压泵的选用	(73)
课题六 液压马达	(73)
一、液压马达的特点及分类	(74)
二、液压马达的性能参数	(75)
三、液压马达的工作原理	(76)
项目四 液压缸	(81)
课题一 液压缸的类型及其特点和应用	(81)
一、活塞式液压缸	(82)
二、柱塞式液压缸	(85)
三、其他常见形式液压缸	(86)
四、液压缸的典型结构和组成	(90)
课题二 液压缸的设计计算	(97)
一、液压缸主要尺寸的确定	(98)
二、液压缸的强度计算与校核	(99)
三、液压缸设计应注意的问题	(100)
课题三 液压缸的常见故障及其排除方法	(101)
项目五 液压控制阀	(106)
课题一 控制阀的作用及分类	(106)

(101)一、液压控制阀的作用	(106)
(101)二、液压控制阀的分类	(106)
(101)三、液压控制阀的性能参数及对阀的要求	(107)
(10)课题二 方向控制阀	(107)
(101)一、单向阀	(107)
(101)二、换向阀	(110)
(10)课题三 压力控制阀	(119)
(101)一、溢流阀	(120)
(101)二、减压阀	(126)
(101)三、顺序阀	(128)
(101)四、压力继电器	(131)
(10)课题四 流量控制阀	(133)
(101)一、节流阀	(133)
(101)二、调速阀	(135)
(10)课题五 电液比例阀、插装阀	(137)
(101)一、电液比例阀	(137)
(101)二、插装阀	(139)
项目六 液压传动辅助元件	(148)
(10)课题一 滤油器	(148)
(101)一、滤油器的作用	(148)
(101)二、滤油器选用的基本要求	(148)
(101)三、常见滤油器的类型及应用	(149)
(101)四、滤油器的安装及使用	(152)
(10)课题二 蓄能器	(152)
(101)一、蓄能器的作用	(152)
(101)二、蓄能器的类型及特点	(153)
(101)三、蓄能器的安装及使用	(154)
(10)课题三 油管及管接头	(155)
(101)一、油管	(155)
(101)二、管接头	(156)
(10)课题四 液压油箱	(158)
(101)一、油箱的作用	(158)
(101)二、油箱的结构	(158)
(10)课题五 压力表及压力表开关	(159)
(101)一、压力表	(160)
(101)二、压力表开关	(160)

(课题六 密封装置.....	(161)
(一、密封装置的作用.....	(161)
(二、密封装置的要求.....	(161)
(三、密封装置的类型及特点.....	(161)
项目七 液压传动系统基本回路.....	(167)
(课题一 压力控制回路.....	(167)
(一、调压回路.....	(167)
(二、减压回路.....	(168)
(三、增压回路.....	(169)
(四、卸荷回路.....	(171)
(五、保压回路.....	(172)
(六、平衡回路.....	(174)
(课题二 速度控制回路.....	(175)
(一、调速回路.....	(175)
(二、快速运动回路.....	(186)
(三、速度换接回路.....	(188)
(课题三 方向控制回路.....	(191)
(一、换向回路.....	(191)
(二、锁紧回路.....	(194)
(课题四 多缸工作控制回路.....	(195)
(一、顺序动作回路.....	(196)
(二、同步回路.....	(198)
(三、多缸快慢速互不干涉回路.....	(200)
项目八 典型的液压传动系统.....	(207)
(课题一 组合机床动力滑台系统.....	(207)
(一、定义.....	(207)
(二、YT 4543 型动力滑台液压系统.....	(207)
(三、动力滑台液压系统的特点.....	(211)
(课题二 压力机液压系统.....	(211)
(一、YB 32—200 型液压机的液压系统.....	(211)
(二、YB 32—200 型液压系统的特点.....	(216)
(课题三 汽车起重机液压系统.....	(219)
(一、Q2—8 型汽车起重机液压系统.....	(219)
(二、Q2—8 型汽车起重机液压系统工作原理.....	(220)
(三、汽车起重机液压系统的特点.....	(223)
(课题四 M1432B 型万能外圆磨床液压系统.....	(225)

一、M1432B 型万能外圆磨床的液压系统	(225)
二、M1432B 型万能外圆磨床的液压系统工作原理	(226)
三、M1432B 万能外圆磨床液压系统的特点	(233)
项目九 液压传动系统的设计与计算	(237)
课题一 液压系统的设计步骤和设计计算	(237)
一、液压系统的设计步骤	(237)
二、液压系统的设计要求	(238)
课题二 工况分析和确定执行元件主要参数	(238)
一、运动分析	(239)
二、负载分析	(239)
三、液压缸主要参数的确定	(241)
四、绘制执行元件工况图	(241)
课题三 拟定液压系统原理图	(242)
课题四 选择液压元件并确定安装连接形式	(243)
一、选择液压泵	(243)
二、选择阀类元件	(244)
三、选择液压辅助元件	(244)
四、液压元件安装连接形式的确定	(245)
课题五 液压系统主要性能的验算	(247)
一、液压系统的压力损失及泵的工作压力	(247)
二、液压系统的总效率 η	(248)
三、液压系统发热及温升校核	(249)
课题六 绘制工作图和编制技术文件	(250)
一、绘制工作图	(250)
二、编制技术文件	(250)
课题七 液压系统设计计算举例	(251)
一、工况分析	(251)
二、运动分析	(252)
三、确定液压缸尺寸	(253)
四、绘制液压缸工况图	(253)
五、拟定液压系统原理图	(254)
项目十 液压系统的安装和使用及常见故障	(258)
课题一 液压系统的安装和调试	(258)
一、液压系统安装前的技术准备	(258)
二、液压系统安装	(259)
三、液压系统清洗	(259)

四、液压系统调试	(260)
课题二 液压系统的使用和维护	(262)
一、液压系统的使用和维护要求	(262)
二、定期维护内容与要求	(262)
课题三 液压系统的常见故障和排除	(263)
一、液压系统的故障诊断方法	(263)
二、液压系统常见故障诊断和排除	(264)
项目十一 气压传动	(267)
课题一 气压传动概述	(267)
一、气压传动的特点	(267)
二、气压传动系统的组成	(269)
三、气压传动系统的工作原理	(270)
课题二 气源装置和辅助元件	(271)
一、气源装置	(271)
二、气动辅助元件	(276)
课题三 气动执行元件	(278)
一、气缸	(278)
二、气压马达	(282)
课题四 气动控制元件	(285)
一、方向控制阀	(285)
二、压力控制阀	(289)
三、流量控制阀	(292)
课题五 气动基本回路	(294)
一、换向控制回路	(294)
二、压力控制回路	(295)
三、速度控制回路	(297)
附录	(301)
	二
	三
	四
	五
	十
	一
	二
	三

项目一 液压传动概述

学习目标

1. 掌握液压传动的工作原理；
2. 掌握液压传动系统的组成；
3. 熟悉液压传动结构与符号图的转换关系；
4. 了解液压传动的优缺点、应用范围和发展趋势。

课时分配 2 h

课题一 液压传动系统的工作原理和组成 1.5 h

课题二 液压传动的特点 0.5 h

课题一 液压传动系统的工作原理和组成

学习目标

1. 掌握液压传动的含义。
2. 掌握液压传动系统的工作原理和组成。

知识学习

一、液压传动系统的工作原理

液压传动是以液体为工作介质，并以压力能进行动力（或能量）传递、转换与控制的一种传动形式。现以如图 1-1 所示的液压千斤顶为例，说明液压传动系统的工作原理。

提起杠杆 1，小活塞 3 上升，小油缸 2 下腔的工作容积增大，形成局部真空，于是油箱 8 中的油液在大气压力的作用下，推开单向阀 4 进入油缸 2 的下腔（此时单向阀 7 关闭）；当压下杠杆 1 时，活塞 3 下降，油缸 2 下腔的容积缩小，油液的压力升高，打开单向阀 7（此时单向阀 4 关闭），小油缸 2 下腔的油液进入大油缸 12 的下腔（此时截止阀 9 关闭），使大活塞 11 向上运动，将重物顶起一段距离。如此反复提压杠杆 1，就可以使重物不断上升，达到顶起重物的目的。工作完毕，打开截止阀 9，使大油缸 12 下腔的油液通过管路直接流回油箱，大活塞 11 在外力和自重的作用下实现回程。这就是液压千斤顶的工作原理。

图 1-1 中，小油缸 2 的活塞面积为 A_1 ，驱动力为 F_1 ，液体压力为 p_1 ，大油

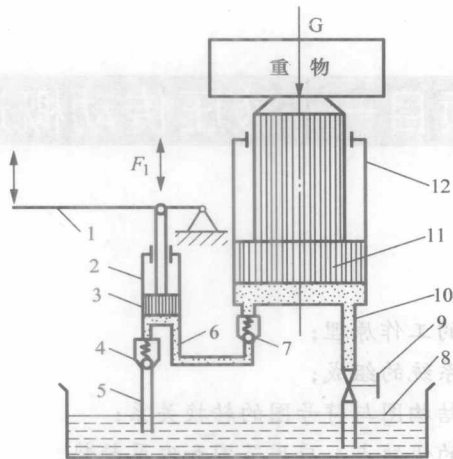


图 1-1 液压千斤顶的工作原理图

1—杠杆；2—小油缸；3—小活塞；4、7—单向阀；
5—吸油管；6、10—管道；8—油箱；9—截止阀；
11—大活塞；12—大油缸

缸 12 的活塞面积为 A_2 ，负载力为 G ，液体压力为 p_2 。

稳态时，小油缸 2 的活塞和大油缸 12 的活塞静压力平衡方程式分别为

$$\begin{cases} F_1 = p_1 A_1 \\ G = p_2 A_2 \end{cases}$$

如不考虑管道的压力损失，则 $p_1 = p_2$ ，于是输出力，即所能克服的外负载为

$$G = p_2 A_2 = p_1 A_1$$

由此可知

$$p_1 = G/A_2 = p_2$$

从以上分析可知，液压传动的基本工作原理如下。

- (1) 液压传动中的液体是传递能量的工作介质；
- (2) 液压传动必须在密闭的系统中进行，且密封的容积必须发生变化；
- (3) 液压传动系统是一种能量转换装置，而且有两次能量转换过程；
- (4) 工作液体只能承受压力，不能承受其他应力，所以这种传动是通过静压力进行能量传递的。

二、液压传动装置的组成

1. 机床工作台液压系统的工作过程

如图 1-2 所示为机床工作台液压系统的示意图。当液压泵 3 由电动机驱动旋转时，从油箱 1 经过过滤器 2 吸油。经换向阀 7 和管路 11 进入液压缸 9 的左腔，推动活塞杆及工作台 10 向右运动。液压缸 9 右腔的油液经管路 8、换向阀 7

和管路6、4排回油箱，通过扳动换向手柄12切换换向阀7的阀芯，使其处于左端的工作位置，则液压缸活塞作反向运动；切换换向阀7的阀芯的工作位置，使其处于中间位置，则液压缸9在任意位置停止运动。

调节和改变流量控制阀5的开度大小，可以调节进入液压缸9的流量，从而调节液压缸活塞及工作台的运动速度。液压泵3排除的多余油液经管路15、溢流阀16和管路17流回油箱1。液压缸9的工作压力取决于负载。液压泵3的最大工作压力由溢流阀16调定，其调定值应为液压缸的最大工作压力及液压系统中油液经各类阀和管路的压力损失之和。因此，液压系统的工作压力不会超过溢流阀的调定值，溢流阀对液压系统还有超载保护作用。

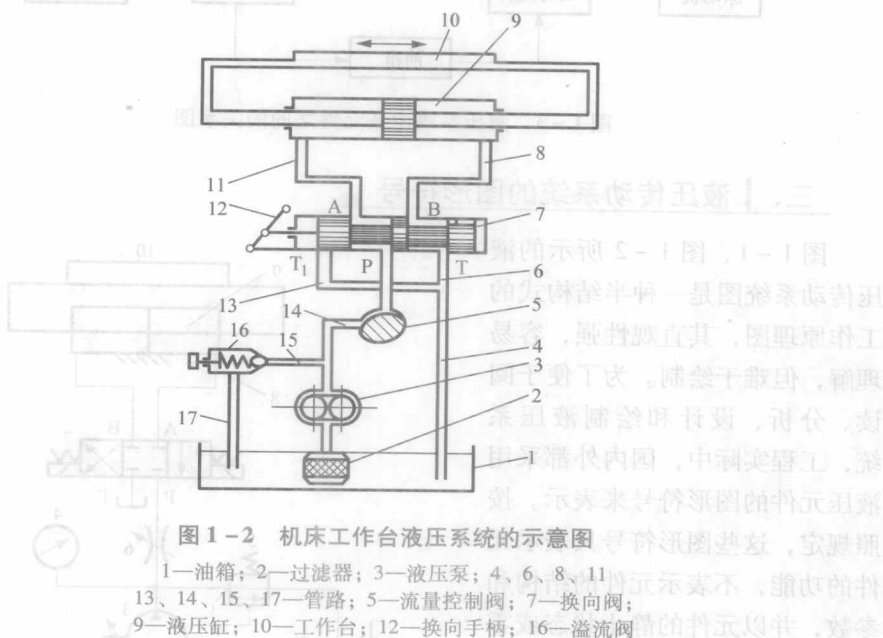


图 1-2 机床工作台液压系统的示意图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4、6、8、11、13、14、15、17—管路；5—流量控制阀；7—换向阀；9—液压缸；10—工作台；12—换向手柄；16—溢流阀

2. 液压传动装置的组成

从机床工作台液压系统的工作过程可以看出，一个完整的、能够正常工作的液压系统，应该由以下几个主要部分组成。

(1) 动力元件。动力元件供给液压系统压力油，把原动机的机械能转化成液压能。常见的是液压泵。

(2) 执行元件。执行元件是把液压能转换为机械能的装置。其形式有做直线运动的液压缸，有做旋转运动的液压马达。

(3) 控制调节元件。控制调节元件完成对液压系统中工作液体的压力、流量和流动方向的控制和调节。这类元件主要包括各种液压阀，如溢流阀、节流阀以及换向阀等。

(4) 辅助元件。辅助元件是指油箱、蓄能器、油管、管接头、滤油器、压

力表以及流量计等。这些元件分别起散热、储油、蓄能、输油、连接、过滤、测量压力和测量流量等作用，以保证系统能正常工作，是液压传动系统不可缺少的组成部分。

(5) 工作介质。工作介质在液压传动及控制中起传递运动、动力及信号的作用，包括液压油或其他合成液体，工作介质直接影响液压系统的工作性能。液压系统中各元件之间的关系如图 1-3 所示。



图 1-3 液压系统中各元件之间的关系图

三、| 液压传动系统的图形符号

图 1-1、图 1-2 所示的液压传动系统图是一种半结构式的工作原理图，其直观性强，容易理解，但难于绘制。为了便于阅读、分析、设计和绘制液压系统，工程实际中，国内外都采用液压元件的图形符号来表示。按照规定，这些图形符号只表示元件的功能，不表示元件的结构和参数，并以元件的静止状态或零位状态来表示。若液压元件无法用图形符号表述时，仍允许采用半结构原理图表示。我国制订有液压与气动元件图形符号标准 GB/T 786.1—1993《液压气动图形符号》，在液压系统设计中，要严格执行这一标准。

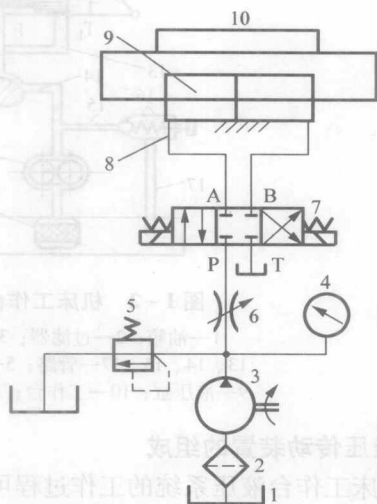


图 1-4 机床工作台液压系统的图形符号图

- 1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—压力计；
5—溢流阀；6—可调节流阀；7—换向阀；
8—油管；9—液压缸；10—工作台

如图 1-4 所示为用图形符号表达的图 1-2 所示的机床往复运动工作台液压传动系统的工作原理图。

学习目标

了解液压传动的特点。

知识学习

液压传动与机械传动、电气传动等其他传动方式相比,具有下述特点。

一、| 液压传动的优点

- (1) 液压传动的各种元件, 可根据需要方便、灵活地布置。

(2) 单位功率的质量轻, 体积小, 传动惯性小, 反应速度快。

(3) 液压传动装置的控制调节比较简单, 操纵方便、省力, 可实现大范围的无级调速 (调速比可达 2 000), 当机、电、液配合使用时, 易于实现自动化工作循环。

(4) 能比较方便地实现系统的自动过载保护。

(5) 一般采用矿物油为工作介质, 完成相对运动部件润滑, 能延长零部件的使用寿命。

(6) 很容易实现工作机构的直线运动或旋转运动。

(7) 当采用电液联合控制后, 容易实现机器的自动化控制, 可实现更高层次的自动控制和遥控。

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

二、| 液压传动的主要缺点

- (1) 由于液体流动的阻力损失和泄漏较大, 所以液压传动的效率较低。如果处理不当, 泄漏不仅污染场地, 而且还可能引起火灾和爆炸事故。

(2) 工作性能易受温度变化的影响, 因此不宜在很高的温度或者很低的温度条件下工作。

(3) 液压元件的制造精度要求很高, 因而价格较贵。

(4) 由于液体介质的泄露及可压缩性, 不能得到严格的定比传动; 液压传动出故障时不易找出原因, 要求具有较高的使用和维护技术水平。

(5) 在高压、高速、大流量的环境下工作时, 液压元件和液压系统的噪声较大。

总之,随着科学技术的不断进步,液压传动的缺点会得到克服,液压技术会日臻完善,液压技术与电子技术及其他传动技术的相互配合会更加紧密,其发展前途很大。