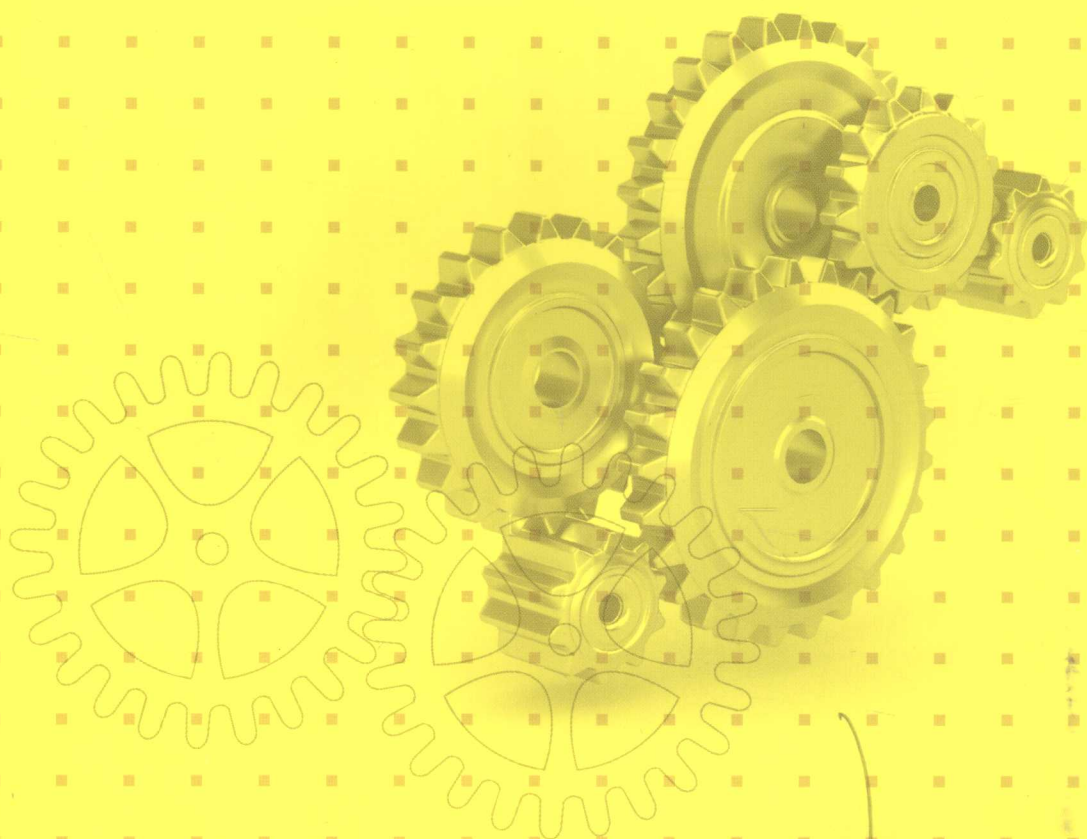




液压与气压传动技术

(第2版)

● 主编 符林芳 高利平

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

液压与气压传动技术 (第2版)

主 编 符林芳 高利平

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,高利平主编. —2 版. —北京:北京理工大学出版社, 2016. 7

ISBN 978 - 7 - 5682 - 2559 - 5

I. ①液… II. ①符… ②高… III. ①液压传动 - 高等学校 - 教材②气压传动 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 152987 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
(010) 82562903 (教材售后服务热线)
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 17

字 数 / 396 千字

版 次 / 2016 年 7 月第 2 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 49.00 元

责任编辑 / 张旭莉

文案编辑 / 张旭莉

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

随着高等教育改革的不断深入,改革课程内容、提高学生动手能力、培养高素质技能型人才是当前教育教学面临的一项重要任务。按照高等教育的培养目标和特点,结合多年的教学经验编写了本教材。本教材编写指导思想是:降低理论难度,加强动手能力训练;联系实际,注重解决实际问题能力的培养。

本教材出版以来,被许多院校采用,受到师生一致认可,取得了较好的教学效果。为了进一步提高教材质量,我们对教材进行细致的修订,使知识体系和概念逻辑更加合理,更符合高等院校学生的认知规律。通过修订,教材特色更加明显,更便于教和学。

本教材在编写过程中主要突出以下特色:

1. 精简液压基础知识内容。以液压传动原理为主线,介绍静力学、动力学相关概念及公式应用,精简繁琐的公式推导及计算。

2. 理论与实践技能相结合。在知识学习的基础上,增加了项目实施环节,强化学生动手能力的训练。

3. 采用项目化教学思路。本教材每个项目都有明确的学习性工作任务,通过工作任务制定学习目标和内容,根据所学知识制定项目实施计划。

4. 教材中还附有相当数量的习题,以便于学生复习与思考,且所附习题题型有填空、选择、问答、计算等,避免了单一的问答或计算现象,加深学生对课堂所学概念、原理的全面理解。

5. 同时力求反映我国液压与气动技术发展的最新动态。考虑高等教育人才的岗位(群)特点,增加了一些贴近工程实际的案例。

6. 本教材中的液压气动图形符号严格执行最新国家标准。

参与本教材编写及修订的有符林芳、高利平、代美泉、赵东辉、高凯、冶君妮、徐铭。本书由李稳贤教授主审。

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,教材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教材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	4
一、液压传动的优点	4
二、液压传动的主要缺点	5
项目二 液压传动流体力学基础	8
课题一 液压系统的工作介质	8
一、液压油的特性	8
二、液压油的类型、选择与使用	12
三、液压油的污染与防护	15
课题二 液压流体静力学	16
一、液体静力学及其特性	17
二、液体静压力基本方程	17
三、压力的表示方法	18
四、帕斯卡原理	19
五、液体静压力对固体壁面的总作用力	19
课题三 液压流体动力学	21
一、基本概念	21
二、连续性方程	23
三、伯努利方程	24
四、动量方程	26
课题四 管道中液流能量的损失	28
一、液体流动的两种流态	28
二、液体在流动中的压力损失	30
课题五 液体流经孔口的压力流量特征	31
一、薄壁小孔的压力流量特性	31
二、细长小孔的压力流量特性	32

三、各种孔口的压力流量特性	32
项目三 液压泵和液压马达	36
课题一 液压泵概述	36
一、液压泵的工作原理和特点	36
二、液压泵的主要性能参数	37
三、液压泵的分类	39
课题二 齿轮泵	40
一、外啮合齿轮泵	40
二、内啮合齿轮泵	44
课题三 叶片泵	45
一、双作用叶片泵	45
二、单作用叶片泵	48
三、叶片泵的性能、优缺点及使用	52
课题四 柱塞泵	53
一、径向柱塞泵	53
二、轴向柱塞泵	55
三、柱塞泵的优缺点及使用	58
课题五 液压泵的选用	58
课题六 液压马达	59
一、液压马达的特点及分类	59
二、液压马达的性能参数	60
三、液压马达的工作原理	61
项目四 液压缸	68
课题一 液压缸的类型及其特点和应用	68
一、活塞式液压缸	69
二、柱塞式液压缸	71
三、其他常见形式液压缸	72
四、液压缸的典型结构和组成	76
课题二 液压缸的设计计算	82
一、液压缸主要尺寸的确定	82
二、液压缸的强度计算与校核	83
三、液压缸设计应注意的问题	85
课题三 液压缸的常见故障及其排除方法	85
项目五 液压控制阀	89
课题一 控制阀的作用及分类	89
一、液压控制阀的作用	89

二、液压控制阀的分类	89
三、液压控制阀的性能参数及对阀的要求	89
课题二 方向控制阀	90
一、单向阀	90
二、换向阀	92
课题三 压力控制阀	100
一、溢流阀	100
二、减压阀	105
三、顺序阀	107
四、压力继电器	109
课题四 流量控制阀	110
一、节流阀	111
二、调速阀	112
课题五 电液比例阀、插装阀	114
一、电液比例阀	114
二、插装阀	116
项目六 液压传动辅助元件	123
课题一 滤油器	123
一、滤油器的作用	123
二、滤油器选用的基本要求	123
三、常见滤油器的类型及应用	124
四、滤油器的安装及使用	126
课题二 蓄能器	127
一、蓄能器的作用	127
二、蓄能器的类型及特点	127
三、蓄能器的安装及使用	129
课题三 油管及管接头	129
一、油管	129
二、管接头	130
课题四 液压油箱	132
一、油箱的作用	132
二、油箱的结构	133
课题五 压力表及压力表开关	133
一、压力表	134
二、压力表开关	134
课题六 密封装置	135
一、密封装置的作用	135
二、密封装置的要求	135
三、密封装置的类型及特点	135

项目七 液压传动系统基本回路	141
课题一 压力控制回路	141
一、调压回路	141
二、减压回路	142
三、增压回路	143
四、卸荷回路	144
五、保压回路	145
六、平衡回路	147
课题二 速度控制回路	148
一、调速回路	148
二、快速运动回路	157
三、速度换接回路	159
课题三 方向控制回路	162
一、换向回路	162
二、锁紧回路	165
课题四 多缸工作控制回路	166
一、顺序动作回路	166
二、同步回路	168
三、多缸快慢速互不干涉回路	170
项目八 典型的液压传动系统	175
课题一 组合机床动力滑台系统	175
一、定义	175
二、YT 4543 型动力滑台液压系统	175
三、动力滑台液压系统的特点	178
课题二 压力机液压系统	179
一、YB 32—200 型液压机的液压系统	179
二、YB 32—200 型液压系统的特点	183
课题三 汽车起重机液压系统	184
一、Q2—8 型汽车起重机液压系统	184
二、Q2—8 型汽车起重机液压系统工作原理	185
三、汽车起重机液压系统的特点	187
课题四 M1432B 型万能外圆磨床液压系统	189
一、M1432B 型万能外圆磨床的液压系统	189
二、M1432B 型万能外圆磨床的液压系统工作原理	190
三、M1432B 万能外圆磨床液压系统的特点	196
项目九 液压传动系统的设计与计算	198
课题一 液压系统的设计步骤和设计计算	198
一、液压系统的设计步骤	198
二、液压系统的设计要求	198

课题二 工况分析和确定执行元件主要参数	199
一、运动分析	199
二、负载分析	200
三、液压缸主要参数的确定	201
四、绘制执行元件工况图	201
课题三 拟定液压系统原理图	202
课题四 选择液压元件并确定安装连接形式	203
一、选择液压泵	203
二、选择阀类元件	204
三、选择液压辅助元件	204
四、液压元件安装连接形式的确定	205
课题五 液压系统主要性能的验算	207
一、液压系统的压力损失及泵的工作压力	207
二、液压系统的总效率 η	208
三、液压系统发热及温升校核	209
课题六 绘制工作图和编制技术文件	210
一、绘制工作图	210
二、编制技术文件	210
课题七 液压系统设计计算举例	210
一、工况分析	211
二、运动分析	211
三、确定液压缸尺寸	212
四、绘制液压缸工况图	213
五、拟定液压系统原理图	213
项目十 液压系统的安装和使用及常见故障	216
课题一 液压系统的安装和调试	216
一、液压系统安装前的技术准备	216
二、液压系统安装	216
三、液压系统清洗	217
四、液压系统调试	218
课题二 液压系统的使用和维护	219
一、液压系统的使用和维护要求	219
二、定期维护内容与要求	220
课题三 液压系统的常见故障和排除	220
一、液压系统的故障诊断方法	220
二、液压系统常见故障诊断和排除	221
项目十一 气压传动	224
课题一 气压传动概述	224
一、气压传动的特点	224

二、气压传动系统的组成·····	226
三、气压传动系统的工作原理·····	227
课题二 气源装置和辅助元件·····	227
一、气源装置·····	227
二、气动辅助元件·····	231
课题三 气动执行元件·····	233
一、气缸·····	234
二、气压马达·····	237
课题四 气动控制元件·····	239
一、方向控制阀·····	240
二、压力控制阀·····	243
三、流量控制阀·····	245
课题五 气动基本回路·····	247
一、换向控制回路·····	247
二、压力控制回路·····	248
三、速度控制回路·····	250
附录·····	253
参考文献·····	259

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. 熟悉液压传动结构图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。

项目引入

借助液压试验台，演示液压传动系统的组成及工作过程，引导学生自己动手演示，观察其结构特点及工作原理。

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。

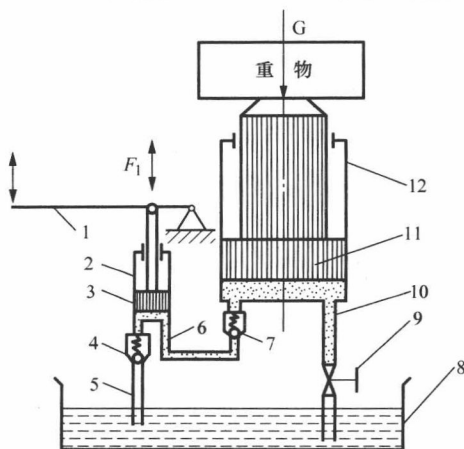


图 1-1 液压千斤顶的工作原理图

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

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进入小油缸2的下腔（此时单向阀7关闭）；当压下杠杆1时，小活塞3下降，小油缸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

$$G = p_2 A_2 = p_1 A_2$$

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。

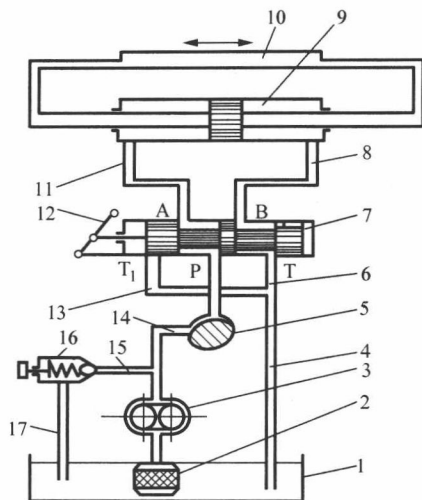


图 1-2 机床工作台液压系统的示意图

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。

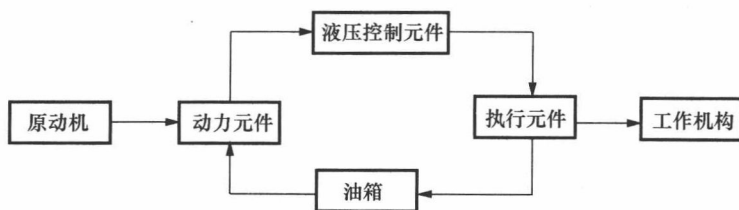


图 1-3 液压系统中各元件之间的关系图

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。

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。

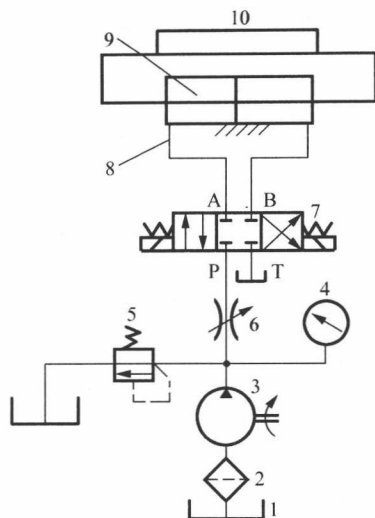


图 1-4 机床工作台液压系统的图形符号图

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

课题二 液压传动的特点

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，可实现更高程度的自动控制和遥控。
- (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。

拓展知识 液压传动的应用与发展

液压传动以其独特的优势成为现代机械工程、机电一体化技术中的基本构成技术和现代控制工程中的基本技术要素，在国民经济的各个行业中得到了广泛的应用。如图 1-5 和表 1-1 所示，列举了液压传动在机械工程中的一些应用。

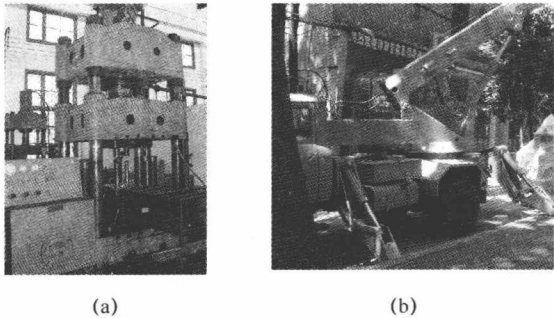


图 1-5 液压传动的应用
(a) 油压机；(b) 汽车吊

表 1-1 液压传动在机械工程中的应用

行业名称	应用场所举例
数控加工机械	数控车床、数控刨床、数控磨床、数控铣床、数控镗床、数控加工中心
起重运输机械	汽车吊、港口龙门吊、叉车、装卸机械、带式运输机等
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、压路机、铲运机等
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机、塔吊等
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等

续表

行业名称	应用场所举例
冶金机械	电炉炉顶及电极升降機、軋鋼機、壓力機等
轻工机械	打包機、注塑機、校直機、橡膠硫化機、造紙機等
矿山机械	凿岩機、开掘機、开采機、破碎機、提升機、液壓支架等
智能机械	折臂式小汽車裝卸器、數字式體育鍛煉機、模拟駕駛艙、机器人等
汽车工业	自卸式汽車、汽車吊、高空作業車、汽車轉向器、減振器等
国防工业	飛機、坦克、舰艇、火炮、導彈發射架、雷達、大型液壓機等
造船工业	船舶轉向機、液壓提升機、气象雷達、液壓切割機、液壓自動焊機等

我国的液压传动技术是在新中国成立后发展起来的，最初只应用于机床和锻压设备上。50 多年来，我国的液压传动技术从无到有，发展很快，从最初的引进国外技术到现在进行产品自主研制、开发国产液压新产品，并在性能、种类和规格上与国际先进产品的水平接近。

随着世界工业水平的不断提高，各类液压产品的标准化、系列化和通用化也使液压传动技术得到了迅速发展，液压传动技术开始向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、低能耗、长寿命、高度集成化等方向发展；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）、机电一体化技术、计算机仿真技术和优化设计技术、可靠性技术等方面也在不断发展和研究。可以预见，液压传动技术将在现代化生产中发挥越来越重要的作用。

课后习题

一、填空题

- 1. 液压传动的工作原理是：以_____作为工作介质，通过密封容积的变化来传递_____，通过油液内部的压力来传递_____。
- 2. 液压传动装置实质上是一种_____转换装置，是将_____能转换为便于输送的液压能，随后将_____能转换为机械能。
- 3. 液压传动系统由五部分组成，即_____、_____、_____、_____、_____。其中，_____和_____是能量转换装置。
- 4. 液压系统中的压力取决于_____。

二、选择题

- 1. 液压系统中，液压缸属于（ ），液压泵属于（ ）。
A. 动力部分 B. 执行部分 C. 控制部分
- 2. 下列液压元件中，（ ）属于控制部分，（ ）属于辅助部分。
A. 油箱 B. 液压马达 C. 单向阀

三、判断题

- 1. 液压元件易于实现系列化、标准化、通用化。（ ）

2. 辅助元件在液压系统中可有可无。()
3. 液压传动存在冲击, 传动不平稳。()
4. 液压元件的制造精度一般要求较高。()
5. 液压元件用图形符号表示绘制的液压系统原理图, 方便、清晰。()

四、简答题

1. 什么是液压传动? 液压传动的基本工作原理是什么?
2. 液压传动系统由哪几部分组成? 各部分的作用是什么?
3. 简述液压传动的优缺点。