



高等教育“十二五”应用型人才重点建设规划教材



液压与气压传动

A CHUANDONG

主 编 孙淑梅 蔡 群

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

高等教育“十二五”应用型人才重点建设规划教材

液压与气压传动

主 编 孙淑梅 蔡 群

副主编 刘 磊 崔远定 李旭东



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共包括 10 章, 分别为液压传动概述、液压传动的基本知识、液压泵和液压马达、液压缸、液压控制阀、液压辅助元件、液压基本回路、液压传动系统、液压伺服系统简介、气压传动。

本书适用于应用型本科、高等职业院校、高等专科学校和成人高等学校机械类专业及机电类专业, 对有关工程技术人员解决一些疑难问题, 亦可起到重要的指导作用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动/孙淑梅, 蔡群主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2011. 1

ISBN 978-7-5640-3690-4

I. ①液… II. ①孙… ②蔡… 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. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 160858 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>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京飞达印刷有限责任公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 17. 25

字 数 / 324 千字

版 次 / 2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 32.00 元

责任编辑/ 赵 岩

王叶楠

责任校对/ 陈玉梅

责任印制/ 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

课程建设和教学改革是全国应用型本科提高教学质量的核心内容。为了更好地贯彻执行教育部关于教学改革的重要精神,切实深化高校教材建设,根据教育部相关教学指导委员会制定的教学基本要求和标准,结合自身的办学特色以及学科优势,突出实用性,以培养应用型人才为教学目的,特编写本书。

本书共分十个章节,主要内容包括液压和气压传动的基础知识和基础理论,液压和气压元件的工作原理、结构、特点和选用,液压和气压基本回路,液压系统的分析、设计计算及液压伺服系统介绍等。

本书在编写过程中,本着“理实一体、工学结合”的方针,以液压为主线,力求理论联系实际,注重基本概念和原理的阐述,突出理论知识的应用,加强针对性和实用性。在较全面阐述液压传动与气压传动基本内容的基础上,着重分析了各类元件的工作原理、结构和选用原则;有针对性地对典型液压设备的工作原理进行了详细地阐述。在加强理论学习的基础上,通过具体系统的分析教学来提高读者液压系统的分析与设计能力。重点反映了基本原理在现代工业技术上的应用,并采用典型的数控机床等机电设备中的液压和气压系统为实例。本书力求反映我国液压与气动行业的最新情况,介绍了叠加阀、插装阀、电液比例阀、电液数字阀等。为了便于读者加深理解和巩固所学的内容,各章节后都附有知识拓展、应用例题和自我测评。

本书由江西蓝天学院孙淑梅、江西工业贸易职业技术学院蔡群任主编。江西渝州科技职业学院刘磊、江西应用工程职业学院崔远定、江西农业工程职业学院李旭东任副主编。参加编写的还有保定科技职业学院张少波、河北化工医药职业技术学院卢永霞、江西蓝天学院张美芸。

本书适用于应用型本科、高等职业院校、高等专科学校和成人高等学校机械类及机电类专业,对有关工程技术人员解决一些疑难问题,亦可起到重要的指导作用。

在本书编写过程中,曾得到兄弟学校的大力支持和帮助,很多有经验的教师提出了许多有益的建议,编者在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免存在错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

常用量及其符号

1. 主要物理量符号

A —— 面积	t —— 时间
D (d) —— 直径	u —— 流速
V —— 体积; 排量	v —— 平均流速
B (b) —— 宽度	ω —— 角速度
L (l) —— 长度	z —— 齿轮齿数; 叶片 (柱塞) 数
$^{\circ}E$ —— 恩氏黏度	F —— 作用力
μ —— 动力黏度	W —— 重力
ν —— 运动黏度	α —— 动能修正系数
g —— 重力加速度	β —— 动量修正系数
h —— 深度	ζ —— 局部阻力系数
ρ —— 密度	τ —— 切应力
Cq —— 流量系数	m —— 质量; 齿轮模数; 指数
f —— 摩擦系数	n —— 指数; 转速
K —— 液体体积模量; 系数	T —— 转矩
P —— 功率	η —— 效率
p —— 压力	λ —— 沿程阻力系数
q —— 流量 (体积流量 qv , 本书为使用简便, 均简化为流量 q)	
θ —— 角度	
κ —— 压缩率	
R —— 半径; 水力半径	h_w —— 单位液体的能量损失
Re —— 雷诺数	e —— 偏心距
δ —— 厚度; 节流缝隙	ε —— 相对偏心率

2. 主要下标符号

o —— 液面	s —— 弹簧
a —— 大气	t —— 理论
p —— 泵	V —— 容积
M —— 液压马达	n —— 公称
m —— 机械	y —— 液压

目 录

第 1 章 液压传动概述	1
1.1 绪论	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 液压传动的发展概况	2
1.2 液压传动的工作原理	2
1.2.1 液压传动系统的工作原理	2
1.2.2 液压传动系统的组成	4
1.3 液压传动系统的图形符号	4
1.4 液压传动的优缺点及应用	5
1.4.1 液压传动系统的主要优缺点	5
1.4.2 液压传动系统的应用	6
[自我测评]	6
第 2 章 液压传动的基本知识	8
2.1 液体的物理性质	8
2.1.1 液体密度	8
2.1.2 液体的可压缩性	9
2.1.3 液体的黏性	9
2.1.4 液压油的类型与选用	11
2.2 流体静力学基础	13
2.2.1 液体的压力及其性质	13
2.2.2 液体静力学基本方程及其物理意义	14
2.2.3 压力的表示方法及单位	14
2.2.4 压力的传递	16
2.2.5 液压静压力对固体壁面的作用力	16
2.3 流体动力学基础	17
2.3.1 基本概念	18
2.3.2 流体的连续性方程(液体质量守恒定律)	21
2.3.3 伯努利方程(能量守恒定律)	21

2.3.4 动量方程	23
2.4 液体流动时的压力损失	24
2.4.1 沿程压力损失	25
2.4.2 局部压力损失	27
2.4.3 管路系统中的总压力损失	27
2.5 液体流经小孔和缝隙的流量	27
2.5.1 液体流经小孔的流量	28
2.5.2 液体流过缝隙的流量	30
[知识拓展]	35
[应用举例]	36
[自我测评]	40
第3章 液压泵和液压马达	43
3.1 概述	43
3.1.1 液压泵和液压马达的工作原理及特点	43
3.1.2 液压泵和液压马达的分类	44
3.1.3 液压泵的主要性能参数	45
3.2 齿轮泵	48
3.2.1 外啮合齿轮泵的工作原理	48
3.2.2 齿轮泵的结构	49
3.2.3 齿轮泵存在的问题与优缺点	50
3.2.4 内啮合齿轮泵	51
3.3 叶片泵	52
3.3.1 单作用叶片泵	53
3.3.2 双作用叶片泵	54
3.3.3 限压式外反馈变量叶片泵	56
3.4 柱塞泵	57
3.4.1 径向柱塞泵	57
3.4.2 轴向柱塞泵	58
3.5 液压马达	61
3.5.1 轴向柱塞式液压马达	61
3.5.2 叶片式液压马达	63
3.6 液压泵和液压马达的选用	63
3.6.1 液压泵的选用	63
3.6.2 液压马达的选择	65
[知识拓展]	66
[应用举例]	67

[自我测评]	68
第4章 液压缸	70
4.1 液压缸的工作原理、类型与特点	70
4.1.1 液压缸的工作原理	70
4.1.2 液压缸的类型	71
4.1.3 液压缸的特点	71
4.2 液压缸的结构设计	76
4.2.1 液压缸的典型结构举例	76
4.2.2 液压缸的组成	77
4.3 液压缸的设计计算	82
4.3.1 液压缸的设计内容和步骤	83
4.3.2 计算液压缸的结构尺寸	83
4.3.3 强度校核	85
4.3.4 液压缸设计中应注意的问题	87
4.4 液压缸的常见故障与排除	88
[知识拓展]	89
[应用举例]	90
[自我测评]	92
第5章 液压控制阀	94
5.1 概述	94
5.1.1 液压阀的分类	94
5.1.2 液压阀的基本要求	95
5.1.3 液压阀的作用及特点	95
5.1.4 液压阀的基本参数	95
5.2 方向控制阀	96
5.2.1 单向阀	96
5.2.2 换向阀	98
5.3 压力控制阀	108
5.3.1 溢流阀	109
5.3.2 减压阀	114
5.3.3 顺序阀	117
5.3.4 压力继电器	119
5.3.5 压力控制阀的性能比较和使用场合	120
5.4 流量控制阀	120
5.4.1 节流口的形式及特点	121
5.4.2 普通节流阀	122

5.4.3 调速阀和温度补偿调速阀	124
5.4.4 溢流节流阀(旁通型调速阀)	126
[知识拓展]	127
[应用举例]	135
[自我测评]	135
第6章 液压辅助元件	138
6.1 过滤器	138
6.1.1 对过滤器的要求	138
6.1.2 过滤器的类型及特点	139
6.1.3 过滤器的选用和安装	142
6.2 蓄能器	143
6.2.1 蓄能器的作用	143
6.2.2 蓄能器的结构形式	143
6.2.3 使用和安装	144
6.3 油箱	145
6.3.1 功用和结构	145
6.3.2 油箱的容量	145
6.3.3 油箱体设计时的注意事项	146
6.4 热交换器	147
6.4.1 冷却器	147
6.4.2 加热器	148
6.5 管件	148
6.5.1 油管	149
6.5.2 管接头	150
[知识拓展]	151
[自我测评]	155
第7章 液压基本回路	157
7.1 方向控制回路	158
7.1.1 换向回路	158
7.1.2 锁紧回路	159
7.2 压力控制回路	159
7.2.1 调压及限压回路	159
7.2.2 减压回路	161
7.2.3 增压回路	161
7.2.4 卸荷回路	162
7.2.5 保压回路	163

7.2.6 平衡回路	164
7.3 速度控制回路	166
7.3.1 调速回路	166
7.3.2 快速运动回路	175
7.3.3 速度换接回路	177
7.4 多缸动作控制回路	179
7.4.1 顺序动作回路	179
7.4.2 同步回路	181
7.4.3 多缸快慢速互不干涉回路	183
[知识拓展]	185
[应用举例]	189
[自我评估]	190
第8章 液压传动系统	193
8.1 液压系统图的阅读方法	193
8.1.1 阅读、分析液压系统图的步骤	193
8.1.2 阅读液压系统图的注意事项	194
8.2 典型液压系统的分析	194
8.2.1 组合机床动力滑台液压系统	194
8.2.2 数控机床液压系统	198
[知识拓展]	200
[应用举例]	206
[自我测评]	210
第9章 液压伺服系统简介	211
9.1 液压伺服系统的简介	211
9.1.1 液压伺服系统的组成	211
9.1.2 液压伺服系统的主要类型	212
9.1.3 液压伺服系统的工作原理	212
9.1.4 液压伺服系统的特点	214
9.2 液压伺服阀及应用	215
9.2.1 机液伺服阀	216
9.2.2 电液伺服阀	219
9.2.3 液压伺服阀的应用	222
[自我测评]	223
第10章 气压传动	224
10.1 气压传动概述	224

10.1.1 气压传动的组成及工作原理	224
10.1.2 气压传动的优缺点	225
10.2 气源装置及辅助元件	226
10.2.1 对压缩空气的要求	226
10.2.2 压缩空气站的设备组成及布置	226
10.2.3 空气压缩机	227
10.2.4 气动辅助元件	228
10.3 气压执行元件	232
10.3.1 气缸	232
10.3.2 气马达	235
10.3.3 气缸与气马达的选用	236
10.4 气压控制元件	238
10.4.1 压力控制阀	238
10.4.2 流量控制阀	240
10.4.3 方向控制阀	242
10.5 气动基本回路	245
10.5.1 换向控制回路	245
10.5.2 压力控制回路	247
10.5.3 速度控制回路	248
10.5.4 位置控制回路	249
10.5.5 同步控制回路	250
[知识拓展]	252
[自我测评]	254
附录 常用液压与气动元件图形符号	255
参考文献	261

第1章

液压传动概述

【学习目标】

能力要求:

了解液压传动系统的发展趋势,熟悉液压传动系统的组成和特点。

知识要求:

了解液压传动的工作原理,熟悉液压传动系统的组成及各组成部分的作用,了解液压元件的职能符号及规定,了解液压传动的特点和应用。

1.1 绪论

1.1.1 基本概念

1. 液压传动

在传动装置中主要以液体(矿物油)为工作介质进行能量传递与控制的装置称为液压传动装置,简称液压传动。

2. 能量转换

在液体传递能量时,将经历由机械能转变为液体能,再由液体能转变为机械能的过程。

3. 液体能

液体能有三种形式:位能、压力能和动能。在液体传动中,液体的相对高度位置变化很小,故位能与压力能、动能相比,可以忽略不计,即液体传动中液体能量变换的主要形式为压力能和动能。

4. 液压元件

液压传动的工作元件称为液压元件。

5. 液压传动的定义

以液体为工作介质来进行能量传递的一种传动方式,它通过能量转换装置将原动机的机械能转换为液体的压力能,然后通过管道、液压控制及调节装置等,借助执行装置,将液体的压力能转换为机械能,驱动负载实现直线或回转运动。

1.1.2 液压传动的发展概况

从17世纪中叶帕斯卡提出静压传动原理,18世纪末英国制成第一台水压机算起,液压传动已有200~300年的历史。

第二次世界大战前后,成功地将液压传动装置用于舰艇炮塔转向器,其后出现了液压六角车床和磨床,一些通用机床到20世纪30年代才用上了液压传动。

近30年来,原子能技术、航空航天技术、控制技术、材料科学、微电子技术等学科的发展,再次将液压技术推向前进,使它发展成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术,在国民经济的各个部门都得到了应用,如工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床等。

采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

1.2 液压传动的工作原理

1.2.1 液压传动系统的工作原理

(一)机床工作台液压系统

机床工作时,要求其上放有工件的工作台作水平往复运动。其中机床工作台液压传动系统工作原理及结构如图1-1所示。

由液压泵输入的压力油通过手动换向阀9,节流阀13、换向阀15进入液压缸18的左腔,推动活塞17和工作台19向右移动,液压缸18右腔的油液经换向阀15排回油箱。

(二)液压千斤顶

液压千斤顶是常见的起重工具,多用于顶升重物,如顶起汽车以便拆换轮胎。如图1-2所示为液压千斤顶的工作原理。它由手动柱塞液压泵和液压油缸两大部分构成。大、小活塞与缸体及泵接触面之间保持良好的配合。工作时关闭放油阀,向上推起手柄1时,活塞3被带动上移,油腔4容积增大,形成局部真空,将油箱中的油液吸入油腔4。当手柄1下压时,活塞3下移,阀5关闭,这时阀7中的钢球被推开,油腔4中油液的压力就传递到油腔10,油液被压入油腔10,迫使它的密封容积变大,结果推动活塞11和重物一起上升[图1-2(b)],反复推压手柄1,就

会连续不断地将油液压入油腔 10,使活塞 11 和重物不断上升,从而达到起重的目的。

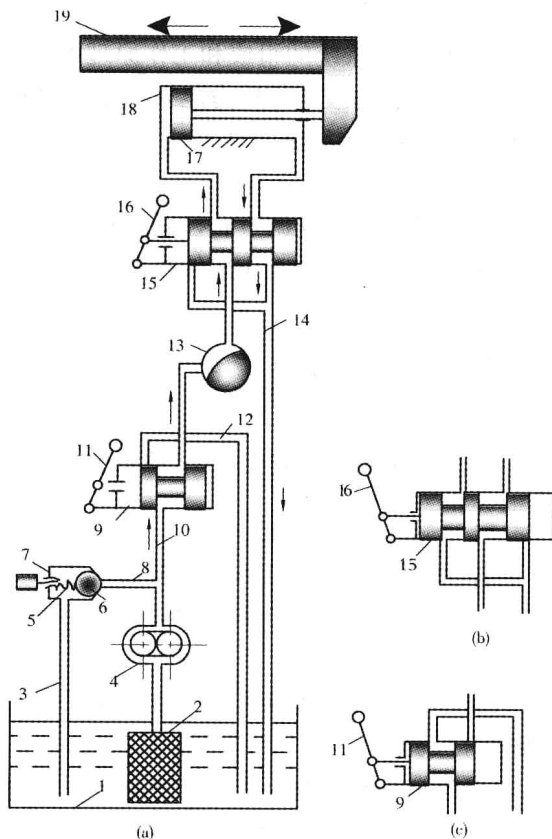


图 1-1 机床工作台

1—油箱;2—过滤器;3,12,14—回油管;4—液压泵;5—弹簧;6—钢球;7—溢流阀;
8,10—压力油管;9—手动换向阀;11,16—换向手柄;13—节流阀;15—换向阀;17—
活塞;18—液压缸;19—工作台

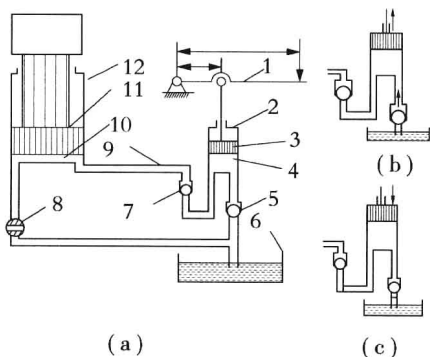


图 1-2 液压千斤顶工作原理

(a) 工作原理图;(b) 泵的吸油过程;(c) 泵的压油过程;

1—手柄;2—泵体;3,11—活塞;4,10—油腔;5,7—单向阀;6—油箱;8—放油阀;9—油管;12—缸体

1.2.2 液压传动系统的组成

从千斤顶和机床工作台液压系统的组成和工作原理可以看出：

(1) 液压传动是依靠运动着的液体的压力能来传递动力的。

(2) 液压系统工作时，液压泵将机械能转换成压力能，执行元件将压力能转换成机械能。

(3) 液压传动系统中的油液是在受调节和控制的状态下进行工作的。

(4) 液压系统必须满足它所驱动的工作部件在力和速度方面的要求。

(5) 有工作介质来传递。

液压系统一般由以下几个部分组成：



(1) 动力元件。将原动机所输出的机械能转换成液体压力能的元件。其作用是向液压系统提供压力油，最常见的形式是各种液压泵。液压泵是液压系统的心脏。

(2) 执行元件。把液体压力能转换成机械能以驱动工作机构的元件。执行元件包括各类液压缸和液压马达。

(3) 控制元件。用来控制或调节液压系统中油液的压力、流量、方向，以保证执行元件完成预期工作的元件。控制元件包括各种液压阀（压力、方向、流量控制阀）。

(4) 辅助元件。保证系统正常工作除上述三种元件以外的其他元件，如管道、管接头、油箱、滤油器等。

(5) 工作介质。工作介质的作用是传递能量和信息。主要是液压油或其它合成液体。

1.3 液压传动系统的图形符号

图1-1所示的机床工作台液压系统图是一种半结构式的工作原理图。它直观性强，容易理解，但难于绘制。在实际工作中，除少数特殊情况外，一般都采用液压与气动图形符号*（参看附录）来绘制，如图1-3所示。

* 注：(1) 液压与气动元件的图形符号均采用我国1993年制定的国家标准 GB/T 786.1—1993 液压与气动元件职能符号来表示。

(2) 图形符号只表示元件的功能、控制方式及外部连接口，而不表示元件的具体结构、参数及连接口的实际位置和元件的安装位置。即反映各元件在油路连接上的相互关系，不反映其空间安装位置。按照规定，液压元件均以元件的静止位置或零位表示，有些液压元件无法采用职能符号表示时，仍允许采用结构原理图表示。

1.4 液压传动的优缺点及应用

1.4.1 液压传动系统的主要优缺点

(一) 液压传动与机械传动、电气传动相比的主要优点

(1) 在同等功率情况下, 液压执行元件体积小、结构紧凑。

(2) 液压传动的各种元件, 可根据需要方便、灵活地布置。

(3) 液压装置工作比较平稳, 由于质量轻, 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。

(4) 操纵控制方便, 可实现大范围的无级调速(调速范围达 2 000: 1), 它还可以在运行的过程中进行调速。

(5) 一般采用矿物油为工作介质, 相对运动面可自行润滑, 使用寿命长。

(6) 容易实现直线运动。

(7) 既易实现机器的自动化, 又易于实现过载保护, 当采用电液联合控制甚至计算机控制后, 可实现大负载、高精度、远程自动控制。

(8) 液压元件实现了标准化、系列化、通用化, 便于设计、制造和使用。

(二) 液压传动系统的主要缺点

(1) 由于液压油的可压缩性和泄漏, 故液压传动不能保证严格的传动比。

(2) 工作性能易受温度和负载变化的影响, 因此不宜在很高或很低的温度条件下工作。

(3) 为了减少泄漏, 液压元件在制造精度上要求较高, 因此它的造价高, 且对液压油的污染比较敏感。

(4) 由于流体流动的阻力损失和泄漏较大, 所以效率低, 不宜作远距离传动。

(5) 液压传动故障不易排除。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。

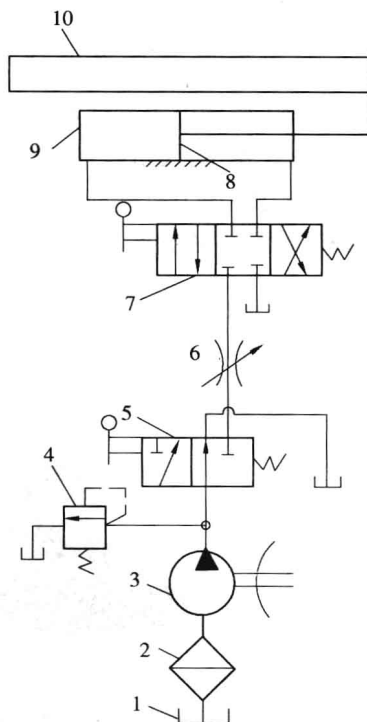


图 1-3 机床工作台

1—油箱; 2—过滤器; 3—液压泵;

4—溢流阀; 5—手动换向阀; 6—节流阀;

7—换向阀; 8—活塞; 9—液压缸; 10—工作台

1.4.2 液压传动系统的应用

液压传动由于其优点多,因此在国民经济的各个部门都得到了应用,如工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床等。工程机械、冶金机械、军工、农机、压力机械利用其结构简单,输出力量大的特点,而航空工业则利用其质量轻,体积小的优点。图 1-4 ~ 图 1-8 为各种实际应用实例。



图 1-4 液压挖掘机



图 1-5 液压翻斗车

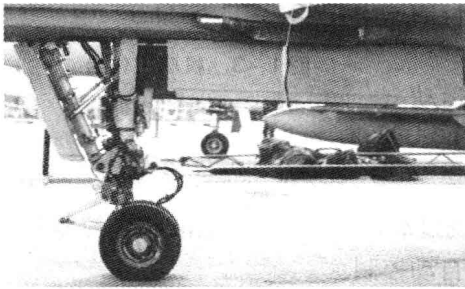


图 1-6 飞机起落架

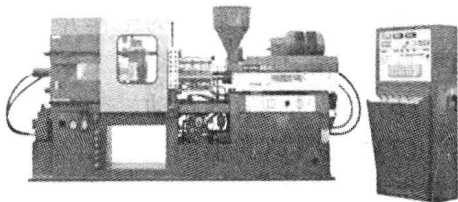


图 1-7 注塑机

自我测评

一、填空题

- (1) 液压传动是以_____为传动介质,利用液体的_____来实现运动和动力传递的一种传动方式。
- (2) 液压传动系统由_____,_____,_____,_____和_____五部分组成。
- (3) 在液压传动中,液压泵是_____元件,它可将输入的_____能转换成_____能,它的作用是向系统提供_____。
- (4) 在液压传动中,液压缸是_____元件,它将输入的_____能转换成_____能。
- (5) 各种控制阀用以控制液压系统所需的_____,_____和_____,以保证执