



国家开放大学

THE OPEN UNIVERSITY OF CHINA

机械制造装备及设计

张春林 主编

 中央广播电视大学出版社



国家开放大学
THE OPEN UNIVERSITY OF CHINA

机械制造装备及设计

张春林 主编



中央广播电视大学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造装备及设计 / 张春林主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2017. 1

ISBN 978 - 7 - 304 - 08370 - 0

I. ①机… II. ①张… III. ①机械制造—工艺装备—设计—开放教育—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 003637 号

版权所有, 翻印必究。

机械制造装备及设计

JIXIE ZHIZAO ZHUANGBEI JI SHEJI

张春林 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心 010 - 66490011 总编室 010 - 68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号 邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 李欣

版式设计: 赵洋

责任编辑: 李欣

责任校对: 赵洋

责任印制: 赵连生

印刷: 北京博图彩色印刷有限公司

印数: 0001~2000

版本: 2017 年 1 月第 1 版

2017 年 1 月第 1 次印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 15.25 字数: 340 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 08370 - 0

定价: 30.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

“机械制造装备及设计”是国家开放大学机械设计制造及其自动化（本科）专业的一门必修专业课，其任务是使学生了解常用机械制造装备的种类与功能、各类金属切削机床的组成及工作原理、机床典型部件及设计、金属切削刀具及设计、机床夹具及设计、工业机器人、机械加工生产线及设计以及机械制造装备管理等基本知识，其目的是使学生获得机械制造装备的设计、管理、应用、维护等多方面的能力，为培养机械工程领域的高级工程技术人员奠定专业基础。

本书是根据“教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会”推荐的教学基本要求编写的。为反映国内外先进制造技术和发展趋势，本书在机械制造装备内容中增加了工业机器人的内容；结合国家开放大学的办学特点，增加了机械制造装备维护与管理的内容。

本书是国家开放大学机械设计制造及其自动化（本科）专业的教材，也适合作为其他普通高等学校、各类成人高校、高等专科学校的机械类专业的教学用书，还可供从事机械专业的工程技术人员参考。

根据国家开放大学的办学特点，本书的内容编排与体系应符合远程教育的基本规律。本书具有以下特点：

1. 教材体系：按照机械制造装备的组成、总体设计、各组成部分及其设计、自动生产线与装备管理安排教材内容，形成系统、完整、特色鲜明的教材新体系。

2. 各类金属切削机床是机械制造的主要装备，本书从普通机床类的机械制造装备扩大到数控机床、工业机器人加工装备及一些特种加工装备，扩大了普通机械制造装备的范围，这不但反映了先进制造技术在生产中的应用，也开拓了读者的视野。

3. 理论教学、实验与实践教学相结合，理论联系实际，突出应用型人才的培养模式。

4. 教材中图形处理，尽量采用实物图片和经渲染的图形相结合，增加教材的可读性。

5. 为适应开放大学的教学特点，本书根据远程教学规律，适应“自主化学习”的理念，每章前设有“导言”“学习目标”“学习建议”；每章后有“本章小结”“思考题”等。

本书由北京理工大学张春林教授担任主编。参加编写的人员有张春林（第1、6章）、北京理工大学周兰英教授（第3、4、5章）、国家开放大学李志香副教授（第2、7、8章）。全书由国家开放大学李志香统稿，清华大学阎绍泽教授主审。阎绍泽教授对本书进行仔细审阅，并提出许多宝贵意见，在此编者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误及疏漏之处，恳请读者不吝赐教。

编者

2016年10月

第1章 绪论	1
1.1 机械制造装备概述	1
1.1.1 机械制造装备的组成	1
1.1.2 机械制造装备及设计的内容	5
1.2 机械制造装备与工业现代化	6
1.2.1 机械制造业是国民经济发展的支柱产业	6
1.2.2 机械制造装备促进工业现代化	6
1.3 机械制造装备的功能及发展趋势	7
1.3.1 机械制造装备的功能	7
1.3.2 机械制造装备的发展趋势	8
本章小结	10
思考题	10
第2章 金属切削机床及总体设计	11
2.1 金属切削机床的组成	11
2.1.1 机床组成分析	11
2.1.2 机床总体设计概述	13
2.2 金属切削机床设计的基本要求	14
2.2.1 性能指标要求	14
2.2.2 人机关系要求	16
2.3 金属切削机床的设计步骤	16
2.3.1 总体设计	16
2.3.2 详细设计	17
2.3.3 整机综合评价	17
2.3.4 定型设计	17
2.4 金属切削机床的总体布局	17
2.4.1 合理分配机床的各种运动	18
2.4.2 选择传动形式和支承形式	18

2.4.3	合理安排操作部位	19
2.4.4	提高动刚度的措施	20
2.4.5	造型设计	22
2.5	金属切削机床的主要技术参数	22
2.5.1	机床的主参数	22
2.5.2	机床的基本参数	23
	本章小结	31
	思考题	33
第3章	金属切削机床典型部件及设计	35
3.1	机床主轴	35
3.1.1	主轴部件的基本要求	36
3.1.2	主轴轴承	37
3.1.3	主轴	44
3.1.4	典型主轴部件	45
3.2	机床传动系统设计	48
3.2.1	主运动传动系统设计	48
3.2.2	进给传动系统设计	55
3.3	机床支承件及导轨	59
3.3.1	支承件	59
3.3.2	导轨	65
	本章小结	73
	思考题	74
第4章	金属切削刀具及设计	75
4.1	概述	75
4.1.1	金属切削刀具在机械制造工业中的作用、地位及发展趋势	75
4.1.2	刀具的分类	76
4.1.3	刀具材料及合理选用	76
4.1.4	刀具使用和设计应当注意的若干问题	78
4.2	车刀	78
4.2.1	车刀简介	78
4.2.2	可转位式车刀	80
4.2.3	成形车刀	81
4.3	孔加工刀具	84

4.3.1	麻花钻和钻削过程的特点	85
4.3.2	扩孔钻和铰钻	88
4.3.3	镗刀	89
4.3.4	铰刀	90
4.3.5	圆孔拉刀	91
4.3.6	复合孔加工刀具设计	93
4.4	铣削和铣刀	94
4.4.1	铣刀几何角度和铣削要素	95
4.4.2	常用的尖齿铣刀及其选用	98
4.5	螺纹刀具	99
4.5.1	丝锥	100
4.5.2	其他螺纹刀具	102
4.6	齿轮刀具	104
4.6.1	齿轮刀具的种类	104
4.6.2	齿轮滚刀及其选用	104
4.6.3	插齿刀及其使用	108
4.7	磨具	110
4.7.1	砂轮的特性及其选择	110
4.7.2	砂轮的形状、尺寸及用途	111
4.7.3	金刚石砂轮和立方氮化硼砂轮	112
	本章小结	112
	思考题	113
第5章 机床夹具与设计		115
5.1	概述	115
5.1.1	机床夹具的功用	116
5.1.2	机床夹具的组成	116
5.1.3	机床夹具应满足的基本要求	117
5.2	工件的定位及定位元件	118
5.2.1	定位原理	118
5.2.2	典型的定位方式及定位元件	121
5.2.3	定位误差的分析	128
5.3	工件的夹紧及夹紧装置	129
5.3.1	夹紧的基本要求	129
5.3.2	夹紧力的确定	130

5.3.3	常用的夹紧机构	132
5.3.4	夹紧机构的动力源	138
5.4	机床夹具的其他装置及元件	138
5.4.1	孔加工刀具的导向装置	138
5.4.2	对刀装置	140
5.4.3	夹具体及夹具与机床的连接装置	141
5.5	机床专用夹具的设计要点	143
5.5.1	机床专用夹具设计的一般方法	143
5.5.2	典型机床夹具及设计要求	144
5.5.3	设计实例	153
	本章小结	156
	思考题	156
第6章	工业机器人	158
6.1	工业机器人概述	158
6.1.1	工业机器人的组成	158
6.1.2	工业机器人的分类	159
6.1.3	工业机器人的表示方法	164
6.2	工业机器人的运动学基础	166
6.2.1	机器人机构自由度	166
6.2.2	机器人机构的正解与逆解简介	168
6.3	工业机器人机械结构及设计	170
6.3.1	工业机器人的底座	170
6.3.2	机械臂	171
6.3.3	腕关节	172
6.3.4	末端执行器	175
6.4	工业机器人在生产系统中的应用	178
6.4.1	搬运机器人	178
6.4.2	码垛机器人	179
6.4.3	焊接机器人	179
6.4.4	喷涂机器人	181
6.4.5	装配机器人	181
6.4.6	加工机器人	182
	本章小结	183
	思考题	185

第7章 机械加工生产线及设计	186
7.1 机械加工生产线概述	186
7.1.1 机械加工生产线及其基本组成	186
7.1.2 机械加工生产线的类型	187
7.1.3 机械加工生产线的设计原则	188
7.1.4 机械加工生产线的设计内容及步骤	188
7.2 机械加工生产线工艺方案的设计	189
7.2.1 生产线工艺方案的制定	189
7.2.2 生产节拍的平衡和生产线的分段	192
7.2.3 生产线的技术经济性能评价	193
7.3 机械加工生产线总体布局设计	195
7.3.1 生产线的工件输送装置	195
7.3.2 生产线总体布局形式	197
7.3.3 生产线总体联系尺寸图	201
7.3.4 机械加工生产线其他装备的选择与配置	204
7.4 柔性制造系统	205
7.4.1 概述	205
7.4.2 柔性制造系统的规划方法	208
7.4.3 FMS 总体设计	208
7.4.4 柔性制造系统实例	213
本章小结	214
思考题	215
第8章 机械制造设备管理	216
8.1 机械制造设备管理概述	216
8.1.1 机械制造设备管理的基本概念	217
8.1.2 机械制造设备管理的主要内容	217
8.1.3 机械制造设备管理制度	220
8.2 机械制造设备的购置、使用与维护管理	221
8.2.1 机械设备的购置	221
8.2.2 机械设备的合理使用	222
8.2.3 机械设备的维护	222
8.3 机械制造设备的维修管理	223
8.3.1 机械设备的故障分析	223

8.3.2 机械设备维修方式概述	225
8.4 机械制造设备的更新管理	226
8.4.1 机械设备的寿命	226
8.4.2 机械设备报废条件	226
8.4.3 机械设备更新方式	227
8.4.4 机械设备更新决策方案的选择	227
本章小结	227
思考题	229
参考文献	230
附录	231
附录1 实验内容和实验要求	231
附录2 课程设计	233

第1章 绪 论

导 言

机械制造业是实现工业现代化的基础,是发展国民经济的根本保证,是实现四个现代化的必备前提条件。因此,机械制造业已经成为一个国家综合国力的象征。机械制造装备是机械制造业的载体,因此“机械制造装备及设计”课程在培养机械工程技术人员的过程中有重要的作用。本章将介绍机械制造装备的基本概念、组成部分、功能、发展趋势及其与国民经济的关系等,进而使学生了解学习本课程的目的。

学习目标

1. 了解机械制造装备由机械加工装备、工艺装备、仓储及物料输送装备和辅助装备组成的概念。
2. 了解机械加工装备、工艺装备、仓储及物料输送装备和辅助装备的组成。
3. 了解机械加工装备、工艺装备、仓储及物料输送装备和辅助装备的种类及其应用。

学习建议

本章是绪论课程,主要介绍机械制造装备的基本概念以及本课程的学习内容,其目的是使学生了解为什么学习本课程,从而达到培养学习兴趣的目的。为此,建议学生多参观现代化的生产工厂,多了解现代化的机械制造装备;也可从网络下载国内外机械加工设备视频,为以后的具体学习奠定实践基础。

1.1 机械制造装备概述

准确地说,机械制造装备是指机械制造工艺装备,是机械制造过程中使用到的各种机床、设备、工装、夹具、刀具以及加工装配生产线等工艺装备的总称。机械制造装备的优劣,是一个国家机械制造水平高低的象征,也是工业现代化程度的具体体现。因此,机械制造装备对发展国民经济有重要作用。

1.1.1 机械制造装备的组成

机械制造装备包括机械加工装备、工艺装备、仓储及物料输送装备和辅助装备。它与制造方法、制造工艺紧密地结合在一起,是机械制造技术的重要载体。

1. 机械加工装备

机械加工装备主要是指各类金属切削机床，如车床、铣床、刨床、磨床、钻床、齿轮加工机床等；特种加工机床，如电火花加工机床、电化学加工机床、超声波加工机床、激光加工机床等；金属成形机床，如锻压机床、冲压机床、挤压机床等。随着科学技术的发展，各类数控机床，如数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心等，以及工业机器人，如焊接机器人、钻孔机器人等已经成为高精度加工领域中的主要机械加工设备。如图 1-1 所示为典型的金属切削机床，也是常用的机械加工设备；如图 1-2 所示为成形加工及特种加工设备。

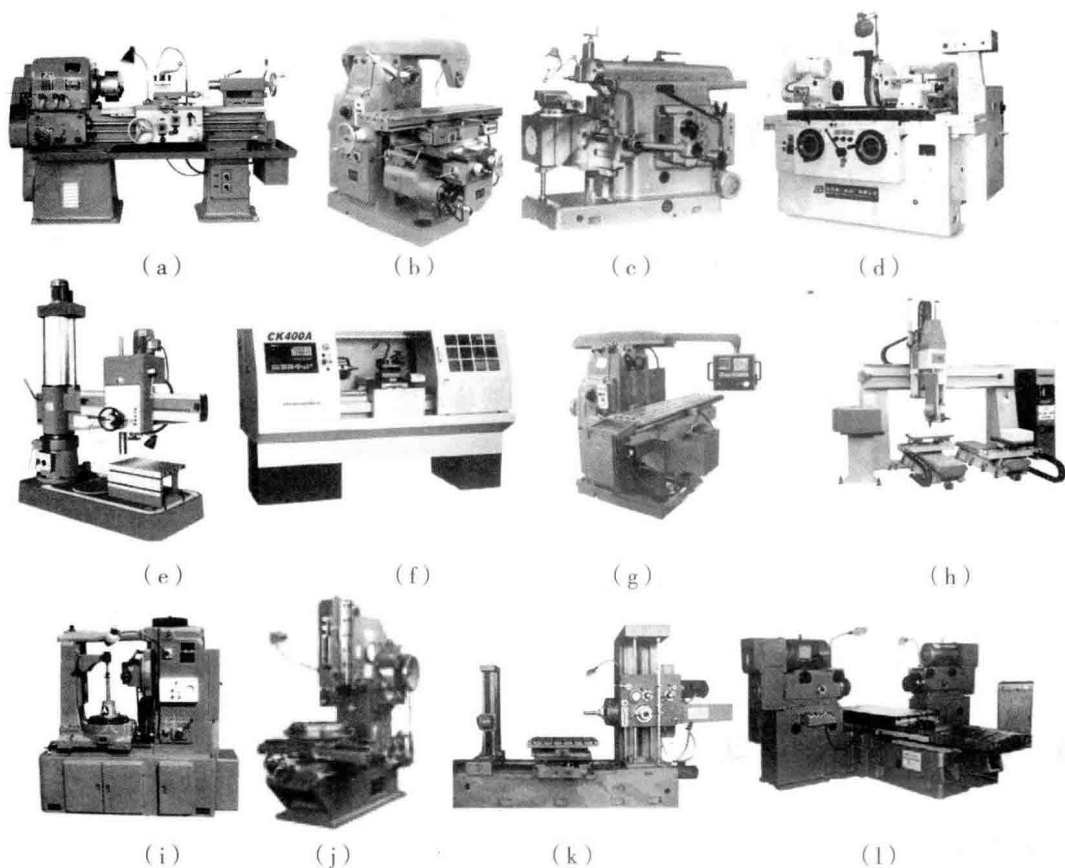


图 1-1 金属切削机床

(a) 普通车床；(b) 万能铣床；(c) 牛头刨床；(d) 外圆磨床；(e) 摇臂钻床；(f) 数控车床；(g) 数控铣床；
(h) 数控五轴加工中心；(i) 滚齿机；(j) 插齿机；(k) 卧式镗床；(l) 组合机床

图 1-1 (a) 所示为普通车床，图 1-1 (b) 所示为万能铣床，图 1-1 (c) 所示为牛头刨床，图 1-1 (d) 所示为外圆磨床，图 1-1 (e) 所示为摇臂钻床，图 1-1 (f) 所示为数控车床，图 1-1 (g) 所示为数控铣床，图 1-1 (h) 所示为数控五轴加工中心，图 1-1 (i) 所示为滚齿机，图 1-1 (j) 所示为插齿机，图 1-1 (k) 所示为卧式镗床，图 1-1 (l) 所示

为组合机床。图1-2 (a) 所示为冲床, 图1-2 (b) 所示为电火花加工机床, 图1-2 (c) 所示为激光加工机床, 图1-2 (d) 所示为工业机器人在进行雕刻加工。

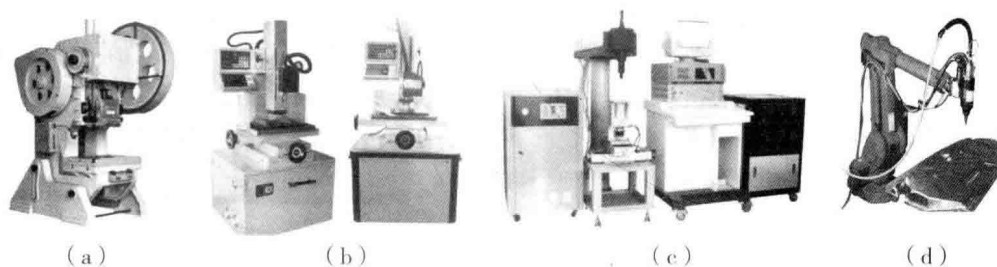


图1-2 成形加工及特种加工设备

(a) 冲床; (b) 电火花加工机床; (c) 激光加工机床; (d) 工业机器人

组合机床是根据工件的加工需要, 以标准化的通用部件为基础, 配以按工件特定形状和加工工艺设计的专用部件和夹具, 组成的半自动或自动化的专用机床。通用部件按功能可分为动力部件、支承部件、输送部件、控制部件和辅助部件五类。动力部件是为组合机床提供主运动和进给运动的部件, 主要有动力箱、切削头和动力滑台。支承部件是用以安装动力滑台、带有进给机构的切削头或夹具等部件, 主要有侧底座、中间底座、支架、可调支架、立柱和立柱底座等。输送部件是用以输送工件或主轴箱至加工工位的部件, 主要有分度回转工作台和往复移动工作台等。控制部件是用以控制机床的自动工作循环的部件, 主要有液压站、电气柜和操纵台等。辅助部件主要有润滑装置、冷却装置和排屑装置等。由于组合机床是应用模块化设计的原理, 按照工件的加工工序进行通用部件和专用部件组合而成, 因而具有生产的高效性。

由于加工零件的形状和尺寸不同, 组合方法很多, 因此组合机床的类型也很多。

2. 工艺装备

工艺装备是指在机械制造过程中所使用的各种刀具、模具、量具、机床夹具等, 合格的工艺装备不但可以保证制造质量和装配质量, 还可以提高产品的质量与生产效率。如图1-3所示为机床用的各种加工刀具。

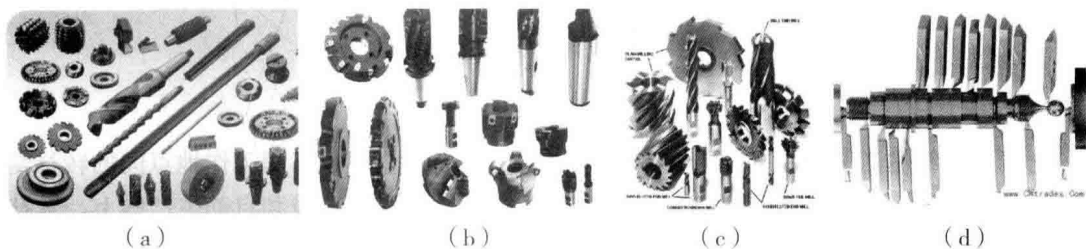


图1-3 机床专用刀具

(a) 成形刀具1; (b) 成形刀具2; (c) 成形刀具3; (d) 车刀

成形刀具主要应用在各种铣床、钻床、齿轮加工机床、拉床、磨床等机床的加工过程中。

模具在冲压、锻造、铸造、注塑等领域有广泛应用。模具的材料、制造精度等指标对产品质量有重要影响。因此，模具是机械制造技术领域中的重要工艺装备。如图 1-4 (a) 所示为某汽车配件模具，如图 1-4 (b) 所示为某制鞋厂模具。

量具是检验工件加工质量的重要工具，对保证产品质量有至关重要的作用。量具种类繁多，但主要用于尺寸测量、角度测量和表面粗糙度的测量。用于内外直径尺寸测量的量具如图 1-5 所示。

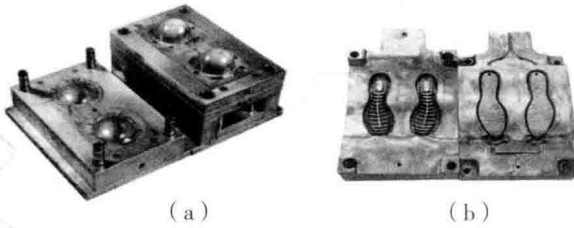


图 1-4 模具

(a) 汽车配件模具；(b) 鞋业模具



图 1-5 量具

机床夹具是指加工过程中对工件的夹紧装置，是机械加工过程中不可缺少的工艺装备，任何工件的加工都需要夹紧装置。夹紧装置的种类很多，如图 1-6 所示为几种典型的夹具。如图 1-6 (a) 所示为常用的台钳，如图 1-6 (b) 所示为机械手中常用的夹紧手指，如图 1-6 (c) 所示为流水生产线中常用的快速夹紧装置。

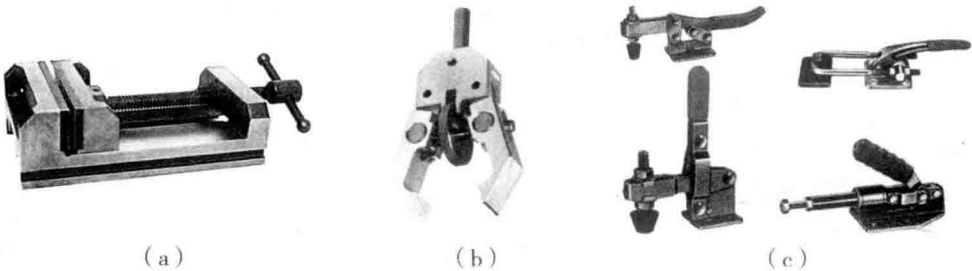


图 1-6 夹具

(a) 台钳；(b) 夹紧手指；(c) 快速夹紧装置

3. 仓储及物料输送装备

仓储及物料输送装备主要是指坯料、半成品或成品在仓库或车间工作地点间的转移输送装置以及机床的上下料装置。物料输送装置主要应用于流水生产线和自动生产线上。悬挂输送装置、辊道输送装置和带式输送装置是最常见的三种输送装置，汽车发动机的生产线经常使用辊道输送装置，汽车外壳的加工经常使用悬挂输送装置。如图 1-7 (a) 所示为汽车生产线上的悬挂输送装置，如图 1-7 (b) 所示为流水线上的辊道输送装置，如图 1-7 (c)

所示为流水线上的带式输送装置,如图 1-7 (d) 所示为搬运物品到输送装置的机器人,可减轻人的劳动强度。

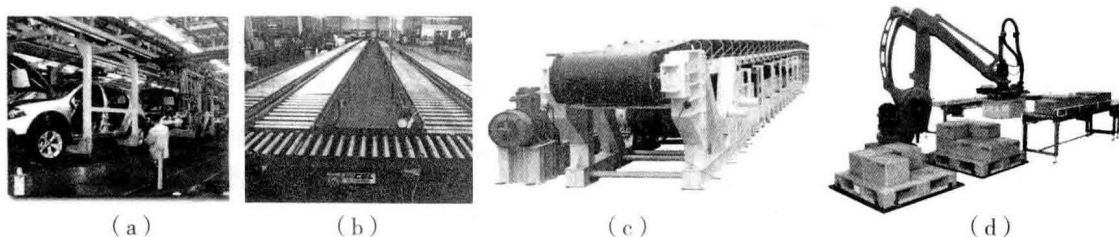


图 1-7 物料输送设备

(a) 悬挂输送装置; (b) 辊道输送装置; (c) 带式输送装置; (d) 机器人搬运装置

4. 辅助装备

辅助装备包括清洗机、排屑装置等。

设备清洗是对设备进行有效的清洁,除去其系统中的污垢、腐蚀物、微生物及其衍生物等,从而提高系统的使用寿命和工作效率。机械设备可用海绵之类的吸水物料涂些清洗剂进行擦拭,较大设备常用高压水冲洗机直接进行冲洗,然后用干物件擦干。如图 1-8 (a) 所示为高压水清洗机。较小工件可用如图 1-8 (b) 所示的超声波清洗机进行清洗。

排屑装置用于自动线或自动机床上,从加工区域将切屑清除,然后将其输送到机床外或自动加工生产线外的小车内。清除切屑常用压缩空气、切削液冲刷等方法。输送切屑的装置常用平带输送机、螺旋输送机、刮板输送器等。如图 1-8 (c) 所示为常见的排屑机。

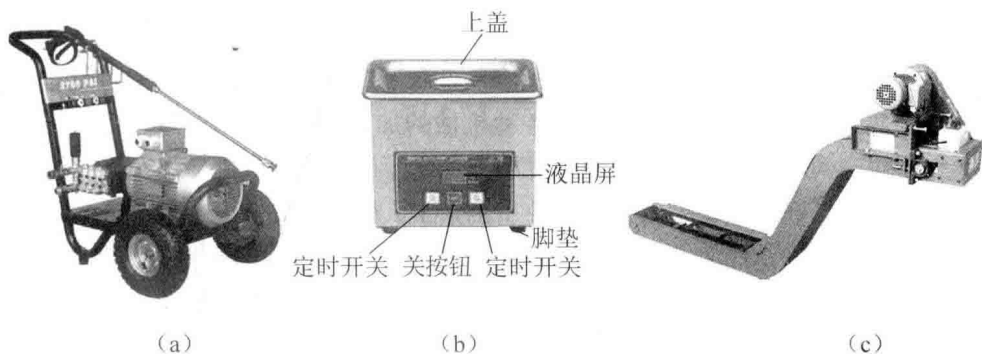


图 1-8 辅助设备

(a) 高压水清洗机; (b) 超声波清洗机; (c) 排屑机

1.1.2 机械制造装备及设计的内容

“机械制造装备及设计”是为培养机械制造专业领域中的高级工程技术人员而开设的一门专业课程,其内容包括机械制造装备的组成、金属切削机床及总体设计、金属切削机床典

型部件及设计、切削刀具及设计、机床夹具及设计、工业机器人、机械加工生产线及设计、机械制造装备管理，涵盖了机械制造技术领域中的全部内容。其目的是使学生在了解机械制造装备工作原理的基础上，初步掌握机床的总体设计、传动设计、结构设计以及简单工装设备的设计，学会制造装备的选用，为培养卓越工程师奠定技术基础和实践基础。

1.2 机械制造装备与工业现代化

机械制造装备是机械制造业的载体，是实现工业现代化的基础，是发展国民经济的根本保证，直接影响到国民经济各部门的发展，也影响到国计民生和国防力的建设。因此，世界各国都把机械制造业的发展放在首要位置。机械制造业已经成为一个国家综合国力的象征。

1.2.1 机械制造业是国民经济发展的支柱产业

国民经济中任何行业的发展，必须依靠机械制造业的支持和提供的装备；在国民经济生产力的构成中，制造技术的作用占60%以上。例如，机械制造业在美国社会财富的来源中占68%。当今影响世界经济与社会发展的制造科学、信息科学、材料科学、生物科学四大支柱科学相互依存、相互促进，但后三种科学必须依靠制造科学才能形成产业和创造社会物质财富。

任何机械，包括各种车辆、飞行器、舰船、农业机械、食品机械、化工机械、印刷机械、纺织机械、工程机械、动力机械、兵器等，都是用加工机械制造生产的。也就是说，当今时代是机械制造机械的时代。高精度的机械制造装备才能制造出高精度的先进机械。计算机科学、信息科学和材料科学的发展促进了机械制造装备的发展，例如，快速原型成形机、多轴加工数控机床、激光加工机床、机器人等智能机械，已经远远超出了传统机械的范畴，而是集机械、电子、控制、计算机、材料、信息等众多技术于一体的现代机械设备。当今社会的发展已经离不开机械，更离不开制造各种机械的加工设备。例如：农业生产的机械化，解放了大量农民，离开土地的农民进城谋发展，刺激了服务业的发展，缩小了城乡差别；工业生产的自动化，节省了大量一线工人，使得剩余工人转化到服务业领域，优化了城市产业结构，缩短了与世界发达国家产业结构的差别；另外，人们在办公和日常生活中享受着机械带来的繁荣。国家的富强和人民的幸福都离不开机械。因此，机械制造业不但是发展国民经济的支柱产业，也是国家谋发展的基础。

1.2.2 机械制造装备促进工业现代化

工业化和工业现代化一直是中国经济建设的追求目标。20世纪中国提出全面实现农业、工业、国防和科技现代化的战略目标，21世纪中国提出新型工业化、信息化、城镇化和农业现代化四化同步的新构想。没有机械制造装备的现代化，就不可能实现工业现代化的伟大目标。

根据国际通用的人均GDP（Gross Domestic Product，国内生产总值）所达到的美元数目、工业增加值占全部生产总值的比例和三次产业结构与就业结构等工业化评价指数，中国