



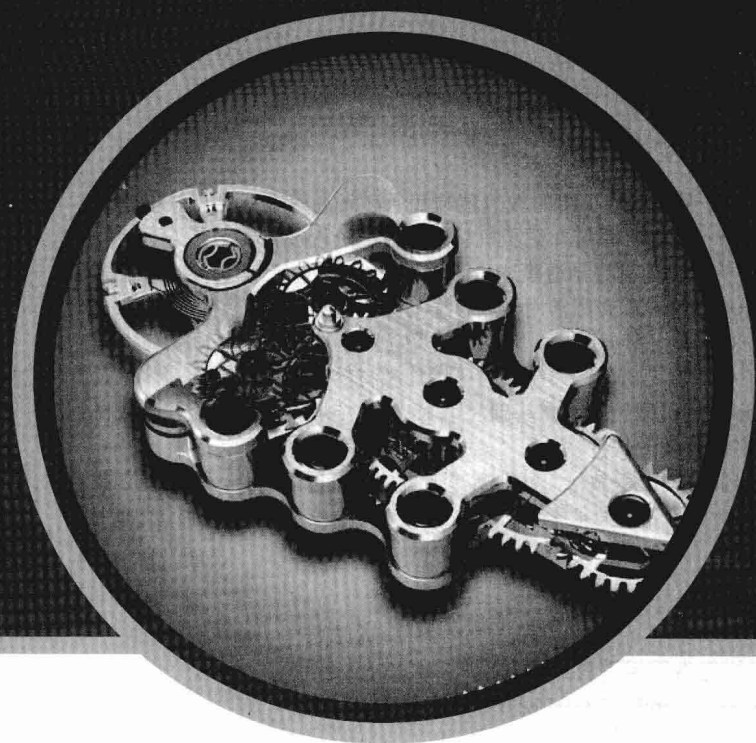
机械制造基础

张玉玺 主 编
祝水琴 曹亚玲 副主编

- 理论与工程实际相结合, 注重实践技能的培养
- 以减速器中各零件的制造为主线进行介绍
- 采用模块式内容结构, 可满足不同的培养目标
- 免费提供本书配套的PPT电子课件



清华大学出版社



机械制造基础

			张玉玺	主 编
		祝水琴	曹亚玲	副主编
李延芳	何润琴	郑鹏飞	赵晓云	编 著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是根据教育部工程材料与机械制造基础课程指导小组的教改精神和浙江省高等教育重点教材建设规划精神编写的普通高等教育规划教材。全书共 13 章,系统介绍了机械制造生产过程及主要工艺方法,同时分析了制造新工艺、新技术及其发展趋势。第 1 章为机械制造概述,第 2 章介绍金属材料的力学性能,第 3 章介绍铁碳合金相图,第 4 章介绍钢的热处理,第 5 章介绍常用金属材料与非金属材料及选用,第 6 章介绍铸造知识,第 7 章介绍金属压力加工,第 8 章介绍焊接知识,第 9 章介绍金属切削加工的基础知识,第 10 章介绍机械加工工艺与装备,第 11 章介绍机械加工质量与控制(为了增加教材的适用性和衔接性,特设本章,可视各校不同专业方向选用),第 12 章介绍机械装配工艺基础,第 13 章介绍现代制造新工艺。教材的编写考虑了多媒体教学手段的应用,配有多媒体教学软件。

本书为高等工科院校机械工程类专业的专业基础课程教材,可供高等工科院校机械工程类、近机类专业及其他工程类专业使用,也可供高等师范院校、高等职业技术学院、高等工业专科学校及其他大专院校师生以及相关工程技术人员使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/张玉玺主编. —北京:清华大学出版社,2010.9

ISBN 978-7-302-23822-5

I. ①机… II. ①张… III. ①机械制造 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 174226 号

责任编辑:朱英彪

封面设计:张 岩

版式设计:牛瑞瑞

责任校对:柴 燕

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18.25 字 数:421 千字

版 次:2010 年 9 月第 1 版 印 次:2010 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00 元

产品编号:035744-01

前 言

随着时代的发展,教材的形式不应再像过去那样只是一本书,而应该向立体化方向发展。大学培养的学生是应用型人才,因此教材的编写更应该注重培养学生的实践能力,基础理论需要贯彻“实用为主、够用为度”的教学原则,基本知识需要采用广而不深,点到为止的教学方法,基本技能的培养要成为教学全过程的核心。

“机械制造基础”是一门以培养学生综合应用能力为宗旨的特色课程,它将工程材料、金属材料热加工工艺、机械制造工艺等多方面的理论基础知识和实践知识有机结合,形成了完整的教学训练系统。它不但能复习巩固已学课程的理论知识,更能为后续课程的学习打下坚实的基础,同时也加强了工程实际应用的训练,进而锻炼和提高学生发现问题、分析问题和解决问题的能力,为将来从事专业工作做好准备。

本书的编写突出“应用型”特色,以“实用为主、够用为度”为教学原则,文字叙述力求简明扼要、通俗易懂。采用富有弹性的模块式内容结构,每个模块既是教材的有机组成部分,又是相对完整、独立的,可根据不同的培养目标将内容模块裁剪、拼接,使前后课程相互衔接,浑然一体。本书由具有双师型素质的骨干教师主编,特别注重理论知识与工程实际的结合,重视夯实基础,提倡引导学生思维,突出要点的掌握和实践技能的培养,旨在缩短学生初入工作岗位的磨合期。

本书由张玉玺主编,祝水琴、曹亚玲担任副主编,其他参与图书编写的人员还有李延芳、何润琴、郑鹏飞和赵晓云等老师。具体章节如下:第1、2章由曹亚玲,第3、12章由李延芳,第4、7章由赵晓云,第5、13章由郑鹏飞,第6章由张玉玺,第8、9章由祝水琴,第10、11章由何润琴编写。全书的统稿及主审工作由张玉玺完成。

宁波大红鹰学院软件学院祝水琴老师和宁波大红鹰学院机电学院涂晶洁副教授审阅了本书,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

同时感谢在本书的编写和出版过程中给予支持和帮助的众多同行。限于编者水平,书中难免存在不妥和错误之处,恳请广大读者批评指正(张玉玺 E-mail: yuxichoo@21cn.com)。

编 者

目 录

第 1 章 机械制造概述.....	1
1.1 机械的一般概念.....	1
1.1.1 机械的定义.....	1
1.1.2 机械产品的分类.....	2
1.1.3 机械产品的图例.....	3
1.2 机械制造的一般过程.....	4
1.2.1 几个相关的概念.....	4
1.2.2 自动化制造系统.....	5
1.2.3 零件的生产过程.....	7
1.2.4 零件的装配过程.....	8
1.3 机械制造的基本环节.....	9
1.3.1 认识毛坯的制造.....	9
1.3.2 认识机械加工方法.....	11
1.4 认识现代制造技术.....	13
1.4.1 了解现代加工中的新事物.....	13
1.4.2 了解数控技术.....	14
1.4.3 了解 CAD/CAM/CAPP/CAE/PDM 技术.....	16
本章小结.....	17
思考与练习题.....	17
第 2 章 金属材料的力学性能.....	18
2.1 减速器零部件材料性能的确定说明.....	18
2.1.1 减速器零部件构成.....	19
2.1.2 材料性能分析的关键要素.....	21
2.2 金属材料力学性能基础知识.....	22
2.2.1 强度.....	22
2.2.2 塑性.....	24
2.2.3 硬度.....	24
2.3 减速器零部件材料性能确定过程.....	27
2.4 拓展训练.....	31
2.4.1 知识拓展.....	31
2.4.2 训练内容.....	33



2.5 实践中常见问题解析	35
本章小结	36
思考与练习题	36
第3章 铁碳合金相图	38
3.1 生产中钢铁材料成分及成形时温度的选定说明	38
3.2 铁碳合金相图基础知识	39
3.2.1 纯金属与合金的晶体结构	39
3.2.2 铁碳合金的组织	41
3.2.3 铁碳合金相图	43
3.2.4 典型铁碳合金的平衡结晶过程	44
3.3 根据铁碳合金相图选用钢铁材料和制定加工工艺	48
3.3.1 在钢铁材料选用方面的应用	48
3.3.2 在铸造工艺方面的应用	48
3.3.3 在热锻、热轧工艺方面的应用	49
3.3.4 在热处理工艺方面的应用	49
3.3.5 铁碳合金相图的局限性	49
3.4 拓展训练	49
3.5 实践中常见问题解析	50
本章小结	52
思考与练习题	52
第4章 钢的热处理	54
4.1 减速器主要零件热处理工艺方法选定说明	54
4.2 钢的热处理基础知识	54
4.2.1 钢在加热时的组织转变	55
4.2.2 钢在冷却时的组织转变	56
4.2.3 钢的常规热处理工艺	58
4.2.4 钢的表面热处理	61
4.3 减速器零部件热处理工艺方法的选定过程	63
4.3.1 减速器轴的加工和热处理步骤	63
4.3.2 减速器齿轮的加工和热处理步骤	64
4.4 拓展训练	64
4.5 实践中常见问题解析	65
4.5.1 淬火	65
4.5.2 回火	66
4.5.3 退火	66
本章小结	67
思考与练习题	67



第5章 常用金属材料与非金属材料及选用	68
5.1 减速器主要零部件材料的选定说明	68
5.2 常用金属材料与非金属材料	69
5.2.1 常用金属材料	69
5.2.2 常用非金属材料	80
5.3 机械零部件材料的选定	84
5.3.1 机械零件的失效形式及原因	84
5.3.2 机械零件材料选择的原则	86
5.4 减速器零部件材料牌号的选定过程	87
5.5 拓展训练	91
5.6 实践中常见问题解析	92
本章小结	92
思考与练习题	93
第6章 铸造	94
6.1 减速器箱体成形工艺方法选定说明	94
6.2 铸造基础知识	95
6.2.1 认识铸造生产	95
6.2.2 合金的铸造性能	95
6.2.3 常用铸件材料	99
6.2.4 各种铸造工艺	100
6.2.5 铸件结构设计	101
6.2.6 铸件工艺设计	103
6.3 减速器箱体成形工艺方法及制造过程	103
6.4 拓展训练	108
6.5 实践中常见问题解析	109
本章小结	109
思考与练习题	110
第7章 金属压力加工	111
7.1 减速器主轴及齿轮成形工艺方法选定说明	111
7.2 金属压力加工基础知识	112
7.2.1 金属塑性变形的实质	112
7.2.2 塑性变形对金属组织与性能的影响	113
7.2.3 金属的可锻性	114
7.2.4 锻造工艺简介	115
7.2.5 板料冲压	118
7.2.6 锻压新技术	120



7.3	减速器齿轮、齿轮轴及轴成形工艺方法选定过程	121
7.4	拓展训练	124
7.5	实践中常见问题解析	126
	本章小结	127
	思考与练习题	127
第8章	焊接	128
8.1	容器焊接工艺方法选定说明	128
8.2	焊接基础	129
8.2.1	焊接的实质	129
8.2.2	焊接方法分类	129
8.2.3	焊接的特点	130
8.2.4	焊接的应用	131
8.3	焊接方法	131
8.3.1	焊接电弧	131
8.3.2	手工电弧焊	132
8.3.3	埋弧自动焊	133
8.3.4	气体保护焊	135
8.4	焊接接头和坡口形式	137
8.4.1	对接接头	137
8.4.2	T形接头、角接接头和搭接接头	138
8.5	焊接材料	140
8.5.1	手工电弧焊用焊接材料	140
8.5.2	埋弧自动焊用焊丝和焊剂	144
8.5.3	焊条、焊丝及焊剂的选用	144
8.6	焊接结构设计	145
8.6.1	焊接结构件材料的选择	145
8.6.2	焊接方法的选择	146
8.6.3	焊接接头工艺设计	148
8.6.4	焊接工艺设计实例	150
8.7	焊接缺陷与焊接质量检验	151
8.7.1	焊接缺陷	151
8.7.2	焊接的检验	153
8.8	拓展训练	154
8.9	实践中常见问题解析	155
	本章小结	155
	思考与练习题	156



第9章 金属切削加工的基础知识.....	157
9.1 金属切削加工方法选定说明.....	157
9.2 金属切削加工.....	158
9.2.1 切削运动.....	158
9.2.2 工件表面.....	159
9.2.3 切削用量.....	159
9.3 金属切削刀具.....	160
9.3.1 车刀的组成.....	160
9.3.2 刀具几何角度参考系.....	161
9.3.3 刀具标注角度定义.....	162
9.3.4 切削层参数.....	163
9.3.5 刀具材料.....	164
9.4 金属切削过程.....	164
9.4.1 切屑的形成过程.....	165
9.4.2 第I变形区.....	166
9.4.3 第II变形区.....	168
9.4.4 第III变形区.....	169
9.5 刀具磨损和刀具寿命.....	169
9.5.1 刀具的磨损形式.....	169
9.5.2 刀具磨损的原因.....	170
9.5.3 刀具的磨损过程.....	171
9.5.4 刀具寿命.....	171
9.6 典型零件加工方法选择过程.....	172
9.6.1 刀具几何参数的选择.....	172
9.6.2 切削用量的选择.....	175
9.6.3 切削液的选择.....	175
9.7 金属切削机床介绍.....	176
9.7.1 机床的分类及型号.....	176
9.7.2 机床传动的的基本组成和传动原理图.....	180
9.7.3 机床传动系统图和运动计算.....	181
9.7.4 工件表面成形方法与机床运动分析.....	184
9.7.5 机床运动分析.....	184
9.8 轴类零件加工工艺.....	185
9.8.1 轴类零件的特性及加工工艺分析.....	185
9.8.2 阶梯轴零件的加工工艺分析.....	188
9.9 拓展训练.....	189
9.10 实践中常见问题解析.....	190



本章小结	191
思考与练习题	191
第 10 章 机械加工工艺与装备	193
10.1 典型零件机械加工工艺规程的编制说明	193
10.2 基础知识	194
10.2.1 生产过程和工艺过程	194
10.2.2 零件的结构工艺性分析	201
10.2.3 毛坯的选择	201
10.2.4 定位基准的选择	202
10.2.5 工艺路线的拟定	206
10.2.6 工序尺寸及公差带分布	210
10.2.7 设备及工艺装备的选择	216
10.3 典型零件的加工工艺	217
10.3.1 轴类零件的加工工艺	217
10.3.2 箱体类零件的加工工艺	221
10.4 拓展训练	224
10.5 实践中常见问题解析	226
本章小结	227
思考与练习题	227
第 11 章 机械加工质量与控制	229
11.1 概述	229
11.1.1 机械加工表面质量的含义	229
11.1.2 表面质量对零件使用性能的影响	230
11.2 影响表面质量的工艺因素	231
11.2.1 影响切削加工表面粗糙度的因素及降低表面粗糙度的工艺措施	231
11.2.2 影响表面物理力学性能的工艺因素	232
11.3 控制表面质量的工艺途径	234
11.3.1 降低表面粗糙度的加工方法	234
11.3.2 改善表面物理力学性能的加工方法	236
11.4 机械加工振动对表面质量的影响及其控制	237
11.4.1 机械振动现象及分类	237
11.4.2 机械加工中的强迫振动及其控制	238
11.4.3 机械加工中的自激振动及其控制	239
11.5 磨削的表面质量	241
11.5.1 磨削加工的特点	241
11.5.2 影响磨削加工表面粗糙度的因素	241
11.5.3 磨削表面层的残余应力——磨削裂纹问题	242



11.5.4 磨削表面层金相组织变化——磨削烧伤问题	242
11.6 拓展训练	243
11.7 实践中常见问题解析	244
本章小结	245
思考与练习题	245
第 12 章 机械装配工艺基础	246
12.1 减速器装配工艺过程的说明	246
12.2 机械装配的主要内容	247
12.3 常用机械装配方法	248
12.3.1 常用连接件的装配	248
12.3.2 传动机构的装配	250
12.3.3 轴承的装配	252
12.4 减速器装配工艺	255
12.5 装配精度	257
12.6 拓展训练	260
12.7 实践中常见问题解析	261
本章小结	262
思考与练习题	263
第 13 章 现代制造新工艺	264
13.1 减速器制造新工艺方法选定说明	264
13.2 激光加工	265
13.2.1 激光加工的基本原理	265
13.2.2 激光加工的工艺特点	266
13.2.3 激光加工的应用	266
13.3 电子束加工和离子束加工	268
13.3.1 电子束加工	268
13.3.2 离子束加工	269
13.4 超声波加工	270
13.4.1 超声波加工的基本原理	270
13.4.2 超声波加工的特点	271
13.4.3 超声波加工的应用	271
13.5 电解加工	272
13.5.1 电解加工的基本原理	272
13.5.2 电解加工的工艺特点	273
13.5.3 电解加工的应用	273
13.6 高压水射流切割	274
13.6.1 高压水射流切割的原理	274



13.6.2	高压水射流切割的分类	274
13.6.3	高压水射流切割的特点	275
13.6.4	高压水射流切割的应用	275
13.7	粉末锻造成形工艺	276
13.7.1	粉末锻造成形的工艺方法	276
13.7.2	粉末锻造的工艺特点与应用	276
13.8	拓展训练	277
13.9	实践中常见问题解析	277
	本章小结	278
	思考与练习题	279

第1章 机械制造概述

知识目标

1. 了解机械的基本概念,熟悉日常生活中机械产品的分类模式。
2. 学会用系统的观点分析制造过程。
3. 掌握零件的基本生产过程和装配过程。
4. 掌握机械制造中常见的毛坯制造方法和机械加工方法。
5. 了解现代制造加工中的新事物,了解数控技术和计算机辅助技术。

技能目标

1. 对机械产品的分类方式有基本的认识,掌握各种分类的特点。
2. 熟悉零件的生产和装配过程。
3. 掌握毛坯制造方法和常见的机械加工方法及加工应用范围。
4. 对现代制造技术以及不断涌现的新技术有初步了解。

项目案例导入说明

机械制造过程涉及材料学、力学、机床与制造技术等多个学科和领域,对这些相关学科知识的深刻了解与掌握是学好本课程的基础。本章将采用抛砖引玉的方式介绍一些基础知识,更详细和全面的知识点读者可以参考相关的专业课程。

1.1 机械的一般概念

1.1.1 机械的定义

“机械”(Machine)一词,源自于希腊语中的 *Mechine* 及拉丁文中的 *Mecina*,原指“巧妙的设计”;而作为一般性的机械概念,则可以追溯到古罗马时期,主要是为了能和手工工具区分开而产生的。中文机械的现代概念多源自日语中的“机械”一词,日本的机械工程学对机械概念作了如下定义,即符合下面3个特征的就称为机械。

- 机械是物体的组合,假定力加到其各个部分也难以变形。
- 这些物体必须实现相互的、单一的、规定的运动。
- 把施加的能量转变为最有用的形式,或转变为有效的机械功。

一般认为机械是一切具有确定的运动系统的机器和机构的总称,如机床、拖拉机等。

机械产品指的是以金属材料作为主要原材料,通过铸造、锻造、车、铣、刨、磨和钳等各种机械加工方式加工而成的产品。



1.1.2 机械产品的分类

机械产品分类繁多,下面以一个人一生中可能用到的部分机械为例说明机械产品的类型。

1. 出生阶段

出生时,我们会用到 CT 机、蓝光机等设备。除此之外,还可能会用到自动化仪表、电工仪器仪表、光学仪器、成分分析仪、汽车仪器仪表、电料装备、电教设备和照相机等。所有这些设备都属于仪器仪表类机械产品。

2. 出生后的一生中

人必须吃饭,而粮食的生产过程中必然会用到拖拉机、播种机和收割机等,这些机械设备和产品属于农业机械。

人必须住宿,进入幼儿园、小学、中学,及至今天的大学教室,这些建筑物的建设过程中必然用到叉车、铲土运输机械、压实机械、混凝土机械等,这些机械设备属于工程机械。

建筑过程所需要的原材料如花岗石、沙石、水泥及矿石等的获取要用到冶金机械、矿山机械、起重机械、装卸机械、工矿车辆和水泥设备等,这些设备属于重型矿山机械。

人必须穿衣穿鞋,而大部分衣服和鞋都含有塑料制品,如纽扣、塑胶鞋底等,这些都是石油化工产品,这些产品的产出离不开石油钻采机械、炼油机械、化工机械、泵、风机、阀门、气体压缩机、制冷空调机械、造纸机械、印刷机械和塑料加工机械等,这些机械设备属于石化通用机械类。

人必须依靠交通工具外出学习、工作和旅游等,其中包括自行车、小型汽车、大型客车、改装汽车、摩托车、飞机等,这些机械设备属于交通工具类。

电视、电脑、空调、洗衣机等家用电器我们早已司空见惯,而这些设备的供电和维护过程将大量用到发电机械、变压器、电动机、高低压开关、电线电缆、蓄电池和电焊机等设备,这些都属于电工机械。

购物时,大部分都有包装,我们可以根据包装上的信息使用设备、利用包装进行运输保护,而包装必然涉及包装机、装箱机和输送机等设备,这类设备属于包装机械类。

衣食住行的各个环节必然会产生大量废弃物,如瓜皮果壳、纸屑笔头等,必须对其进行一系列的处理,以防止对环境造成危害。在此过程中就会用到水污染防治设备、大气污染防治设备和固体废物处理设备等,这类设备属于环保机械类。

所有这些设备上必然或多或少地存在轴承、螺丝、螺母、链条和齿轮等,也会有液压件、密封件、粉末冶金制品、标准紧固件和复杂的模具,这些都属于基础机械类。

人类发展到现在,和动物的根本区别在于人类会制造和使用工具。而上述这些设备的生产环节将必不可少地用到金属切削机床、锻压机械、铸造机械和木工机械等,这类设备属于机床类设备。

当然,随着科技和生活水平的日益提高,从小到精致的戒指,大到航空母舰,也都可以称为机械类产品,这些已经存在的和将要存在的机械类产品,统一归结为其他机械。



1.1.3 机械产品的图例

前面介绍了机械产品主要包括 12 类, 下面每种类型给出一个典型产品, 如图 1-1~图 1-12 所示。



图 1-1 联合收割机 (农业机械)

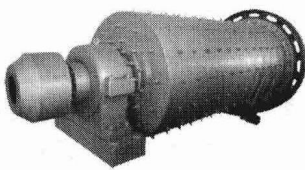


图 1-2 球磨机 (重型矿山机械)



图 1-3 叉车 (工程机械)



图 1-4 石油钻探泥浆泵 (石化通用机械)

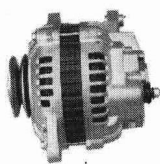


图 1-5 发电机 (电工机械)

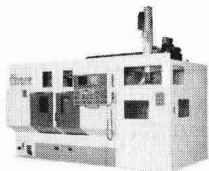


图 1-6 数控车床 (机床类)



图 1-7 宇通客车 (交通工具)



图 1-8 痕量烃分析仪 (仪器仪表)



图 1-9 轴承 (基础机械)



图 1-10 数控装盒机 (包装机械)

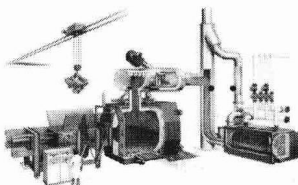


图 1-11 医疗垃圾处理流水线 (环保机械)

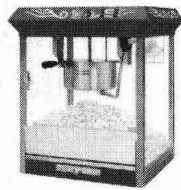


图 1-12 爆米花机 (其他机械)



1.2 机械制造的一般过程

1.2.1 几个相关的概念

首先了解机械制造中几个相关的概念。

- **生产过程**：指产品由原材料到成品之间各个相互联系的劳动过程的总和。
- **工艺过程**：在机械产品的生产过程中，通过改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为半成品或者成品的过程。
- **机械工艺过程**：指采用机械加工的方法，直接改变毛坯的形状尺寸和表面质量等，使其成为零件的过程。

从宏观上讲，机械制造就是一个输入/输出系统。系统理论认为：系统是由多个相互关联和影响的环节组成的一个有机整体，在一定的输入条件下，各个环节之间位置相对稳定、协调的工作状态。机械制造系统的工作原理如图 1-13 所示。

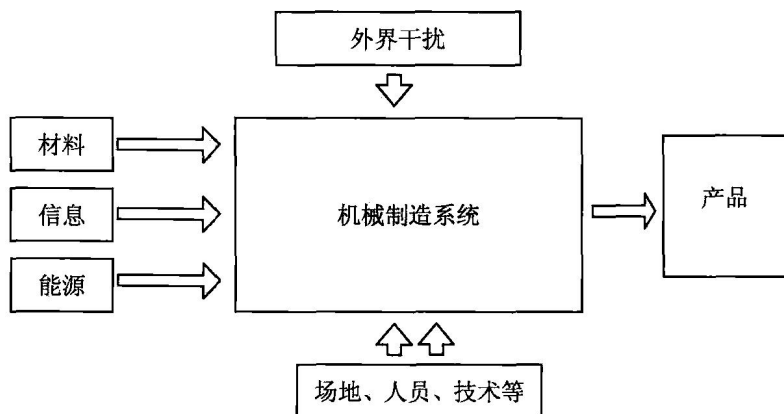


图 1-13 机械制造系统

具体介绍如下：

- (1) 机械加工的主要任务是将选定的材料变为合格产品，其中材料是整个系统的核心。
- (2) 能源用于为系统提供动力，在制造过程中不可或缺。
- (3) 信息用于协调系统各个部分之间的正常工作。随着生产自动化技术的发展，系统的结构日益复杂，信息的控制作用越来越重要。
- (4) 外界干扰是指来自系统外部的力、热、噪声及电磁等影响，这些因素会对系统的工作产生严重的干扰，必须加以控制。
- (5) 合格产品必须达到其使用时必需的质量要求，具体包括一定的尺寸精度、结构精度及表面质量。另外，还应尽量降低产品的成本。
- (6) 机械制造系统必须与场地、熟练的操作人员以及成熟的加工技术等支撑因素配合



起作用，才能生产出合格的产品。

采用系统的观点来分析机械制造过程有助于更好地理解现代生产的特点。一条生产线就构成一个相对独立的制造系统，如图 1-14 所示为产品在各个设备之间进行流水作业。这类系统结构清晰，但是不够紧凑。

当功能强大的数控机床出现以后，一台数控加工中心（如图 1-15 所示）可以取代一条生产线的工作，并且生产效率更高、质量更优，这样的制造系统更加优越。



图 1-14 生产线

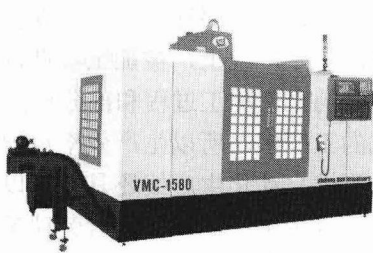


图 1-15 数控加工中心

1.2.2 自动化制造系统

自动化制造系统是指在较少的人工直接或间接干预下，将原材料加工成零件或将零件组装成产品。

自动化制造系统包括刚性制造和柔性制造。“刚性”的含义是指该生产线只能生产某种产品或生产工艺相近的某类产品，表现为生产产品的单一性。刚性制造包括组合机床、专用机床、刚性自动化生产线等。“柔性”是指生产组织形式和产品及工艺的多样性和可变性，具体表现为机床的柔性、产品的柔性、加工的柔性以及批量的柔性等。柔性制造包括柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）、柔性制造线（FML）、柔性装配线（FAL）、计算机集成制造系统（CIMS）等。下面依据自动化制造系统的生产能力和智能程度进行分类介绍。

1. 刚性自动化生产

（1）刚性半自动化单机

除上、下料外，机床可以自动地完成单个工艺过程的加工循环，这样的机床称为刚性半自动化机床。这种机床一般是机械或电液复合控制式组合机床和专用机床，可以进行多面、多轴、多刀同时加工，加工设备按工件的加工工艺顺序依次排列；切削刀具由人工安装和调整，实行定时强制换刀，如果出现刀具破损、折断，可进行应急换刀，如单台组合机床、通用多刀半自动车床、转塔车床等。从复杂程度讲，刚性半自动化单机实现的是加工自动化的最低层次，但是投资少、见效快，适用于产品品种变化范围和生产批量都较大的制造系统。缺点是调整工作量大，加工质量较差，工人的劳动强度也大。

（2）刚性自动化单机

这是在刚性半自动化单机的基础上增加自动上、下料等辅助装置而形成的一种自动化