

现代工程训练教材

机械制造 工程实训

周继烈 姚建华 编著
王家平 主审



科学出版社

www.sciencep.com

机械制造工程实训

周继烈 姚建华 编著

王家平 主审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍机械工程训练中的基本理论及上机实践操作,是适应现代工程训练要求的实训教材。内容上增加有关工程训练的新技术、新工艺、新材料等“三新”知识,体现“实践训练为主导”的原则。

本书内容主要包括工程生产概论、工程材料、铸造、压力加工、焊接、车削加工、钳工、钻削与镗削加工、刨削与铣削加工、磨削加工、机械制造自动化、特种加工、快速原型制造技术和 CAD/CAM 等部分。

本书可供本科和专科、高职高专、技校机械类专业进行工程训练教学之用,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程实训/周继烈,姚建华编著. —北京:科学出版社,2005
ISBN 7-03-014901-7

I.制… II.①周…②姚… III.机械制造工艺 IV.TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 004186 号

责任编辑:熊盛新 田悦红/责任校对:柏连海
责任印制:吕春珉/封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2005年2月第一次印刷 印张:18
印数:1—6 000 字数:405 000

定价:24.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138978-8001

前 言

本书作为工程训练的指导教材，适应了现代工程训练的要求，贯彻“增新删旧”的原则，内容主要体现工业生产的总体性、经济性、先进性，各章都增加了有关工程训练的新技术、新工艺、新材料等“三新”的内容。

本书在编写过程以体现实践训练为主导，增加了实测，并适当拓宽了知识面，让读者在工程训练中能了解更多的新知识，以适应时代发展的需要，同时尽量使读者有自主发挥的空间。本书可配合进行多媒体教学。

本书共分 15 章，主要介绍了工程生产概论、工程材料、铸造、压力加工、焊接、车削加工、钳工、钻削与镗削加工、刨削与铣削加工、磨削加工、机械制造自动化、特种加工、快速原型制造技术和 CAD/CAM 等内容，语言流畅，通俗易懂。

本书由周继烈、姚建华负责编写，由浙江大学王家平教授担任主审。参加本书编写的人员及其分工如下：第 1 章，浙江大学周继烈；第 2 章，浙江工业大学郑晓华、浙江大学周继烈；第 3 章，浙江大学陈培里；第 4 章，中国计量学院王晓林；第 5 章，浙江工业大学陈莉；第 6 章，杭州电子科技大学全小平、浙江大学徐建中；第 7 章，浙江大学徐志农；第 8 章，浙江大学倪益华；第 9 章，宁波大学林庆兰、任继国；第 10 章，浙江工业大学蔡戈坚；第 12 章，浙江大学倪益华、浙江工业大学游红武、浙江大学陈琪；第 11、13、14 章，浙江工业大学姚建华；第 15 章，浙江大学周继烈、姜琳、王平芳。

由于编者水平所限，书中难免有不妥甚至错误之处，望广大读者批评指正。

目 录

第1章 工业生产概论	1
1.1 概述	1
1.2 工业生产类型	2
1.3 机械制造方法及机械制造技术发展趋势	8
习题	14
第2章 工程材料	15
2.1 材料的力学性能	15
2.2 常用金属材料	16
2.3 钢的热处理	19
2.3.1 钢的退火和正火	19
2.3.2 钢的淬火	19
2.3.3 钢的回火	20
2.3.4 钢的表面热处理	21
2.4 非金属材料	21
2.5 新材料及应用	23
2.6 碳钢的热处理及硬度检测	23
习题	26
第3章 铸造	27
3.1 型(芯)砂	28
3.1.1 对型(芯)砂的性能要求	28
3.1.2 型(芯)砂的组成	29
3.2 铸造工艺	29
3.2.1 铸造工艺参数的确定	29
3.2.2 造型工艺	30
3.3 熔炼	32
3.3.1 铸铁	32
3.3.2 铸钢	34
3.4 特种铸造	34
3.5 铸造新技术及发展	37
3.6 铸造实习	38

3.6.1 造型工具及辅具.....	38
3.6.2 造型操作基本技术.....	39
3.6.3 造型方法.....	43
3.6.4 造芯.....	47
3.6.5 合箱.....	48
3.6.6 熔炼.....	48
3.6.7 浇注、落砂、清理和铸件缺陷分析.....	49
3.6.8 铸造实习成绩的评定.....	51
习题.....	52
第4章 压力加工	53
4.1 压力加工主要方法简介.....	54
4.2 常用锻造设备及使用.....	55
4.2.1 锻造加工设备.....	55
4.2.2 常用手工自由锻工具.....	56
4.2.3 加热设备.....	56
4.3 锻造工艺.....	58
4.3.1 锻件的加热.....	58
4.3.2 手工自由锻基本工序及操作.....	58
4.3.3 机器锻造的基本工序及操作.....	62
4.3.4 自由锻工艺规程要素简介.....	63
4.3.5 胎模锻.....	65
4.3.6 模锻.....	66
4.4 板料冲压.....	67
4.4.1 冲压设备.....	68
4.4.2 冲压基本工序和冲模结构.....	69
4.5 自由锻件的工艺分析与检验.....	71
4.5.1 锻件的内在质量缺陷.....	71
4.5.2 锻件的表面质量缺陷.....	72
4.6 典型锻件的锻造实习.....	73
习题.....	75
第5章 焊接	76
5.1 手工电弧焊.....	77
5.1.1 电弧焊的基本知识.....	77
5.1.2 手工电弧焊设备.....	79
5.1.3 手弧焊的焊条.....	81
5.1.4 焊接工艺规范.....	82
5.2 气焊与气割.....	84

5.2.1 气焊.....	84
5.2.2 气割.....	86
5.3 焊接实习	87
5.3.1 手工电弧焊.....	87
5.3.2 气焊.....	89
5.4 其他焊接方法简介及新技术发展.....	90
5.4.1 气体保护电弧焊.....	90
5.4.2 埋弧自动焊.....	92
5.4.3 电阻焊.....	92
5.4.4 钎焊.....	94
5.4.5 新技术发展.....	94
5.5 焊接缺陷与检验.....	95
5.5.1 焊接缺陷.....	95
5.5.2 焊接检验.....	97
习题.....	99
第6章 切削加工基础知识	100
6.1 零件加工精度和表面粗糙度	100
6.1.1 加工精度.....	100
6.1.2 表面粗糙度.....	101
6.2 切削运动和切削用量	103
6.2.1 切削运动.....	103
6.2.2 切削用量.....	104
6.3 切削刀具与量具.....	105
6.3.1 切削刀具的基本知识.....	105
6.3.2 常用量具.....	108
习题.....	111
第7章 车削加工.....	112
7.1 普通车床	113
7.1.1 普通车床的编号.....	113
7.1.2 普通车床的组成部分及功用.....	113
7.1.3 普通车床的传动系统.....	115
7.2 车削时工件的装夹方法.....	118
7.2.1 三爪卡盘装夹工件.....	118
7.2.2 四爪卡盘装夹工件.....	119
7.2.3 顶尖装夹工件.....	119
7.2.4 用花盘装夹工件.....	121
7.2.5 用心轴装夹工件.....	121

7.2.6 中心架及跟刀架的使用.....	122
7.3 车削基本工艺.....	122
7.3.1 车外圆.....	123
7.3.2 车端面及台阶.....	124
7.3.3 切槽及切断.....	125
7.3.4 孔加工.....	126
7.3.5 车圆锥.....	128
7.3.6 车成形面.....	130
7.3.7 车螺纹.....	130
7.4 其他类型车床.....	133
7.5 典型零件的车削工艺.....	135
7.5.1 制定零件加工工艺的内容、步骤和原则.....	135
7.5.2 轴类零件的加工工艺.....	136
7.5.3 盘套类零件的加工工艺.....	137
7.5.4 实测题及评分.....	138
7.6 先进车削加工技术及发展.....	139
习题.....	140
第8章 钻削与镗削加工.....	142
8.1 钻孔.....	142
8.1.1 钻床.....	142
8.1.2 刀具与附件.....	144
8.1.3 钻孔要领.....	146
8.2 扩孔与铰孔.....	147
8.2.1 扩孔.....	147
8.2.2 铰孔.....	147
8.3 镗孔加工.....	148
8.4 典型件的加工.....	149
8.4.1 法兰盘加工实例.....	149
8.4.2 实测题及评分.....	150
习题.....	151
第9章 铣削与刨削加工.....	152
9.1 铣床与铣削方式.....	152
9.1.1 铣床及其操作.....	153
9.1.2 铣刀及其安装方法.....	154
9.1.3 铣床的主要附件.....	156
9.1.4 铣削用量及切削液使用.....	158
9.1.5 铣削工艺.....	159

9.1.6 铣削技术发展简介.....	161
9.2 刨床与刨削方式.....	161
9.2.1 牛头刨床及其操作.....	162
9.2.2 刨刀及其安装方法.....	163
9.2.3 工件的安装.....	164
9.2.4 刨削工艺.....	164
9.3 拉削加工简介.....	165
9.3.1 拉床.....	165
9.3.2 拉刀.....	166
9.3.3 拉削工艺.....	167
9.4 典型件铣削加工.....	167
习题.....	169
第10章 磨削加工.....	170
10.1 磨床.....	171
10.1.1 外、内圆磨床.....	171
10.1.2 平面磨床.....	172
10.2 砂轮.....	173
10.2.1 砂轮的特性及选用.....	173
10.2.2 砂轮的形状和尺寸.....	175
10.3 磨削工艺.....	176
10.3.1 外圆磨削.....	176
10.3.2 内圆磨削.....	177
10.3.3 平面磨削.....	177
10.4 典型零件的磨削.....	178
10.4.1 套类零件的磨削.....	178
10.4.2 平面的磨削.....	179
习题.....	180
第11章 钳工.....	181
11.1 划线.....	181
11.1.1 划线的基本概念.....	181
11.1.2 划线工具及其用途.....	182
11.1.3 划线基准及其选择.....	185
11.1.4 划线的步骤和方法.....	185
11.2 錾削.....	186
11.2.1 錾削工具.....	186
11.2.2 錾削方法.....	187
11.3 锯削.....	188

11.3.1 锯削工具	188
11.3.2 锯削方法	189
11.4 锉削	191
11.4.1 锉削工具	191
11.4.2 锉削方法	192
11.4.3 质量检验	194
11.4.4 锉削时施力的控制	194
11.5 刮削	195
11.5.1 刮削工具与刮削精度检验方法	195
11.5.2 刮削方法	196
11.6 攻丝与套丝	196
11.6.1 攻丝	196
11.6.2 套丝	199
11.7 装配	201
11.7.1 装配工艺过程	201
11.7.2 组件装配示例	201
11.7.3 装配工作注意事项	203
11.7.4 典型零件装配方法	203
11.8 典型件加工	205
习题	206
第12章 机械制造自动化	207
12.1 概述	207
12.2 数控加工	208
12.2.1 数控机床	208
12.2.2 数控加工原理和工作方式	210
12.2.3 数控编程	212
12.2.4 数控车床的机床面板说明及操作	218
12.3 自动生产线	222
12.3.1 自动生产线的组成	222
12.3.2 自动生产线的分类	222
12.4 柔性制造技术	223
12.4.1 柔性制造系统	223
12.4.2 FMS的基本类型及应用	224
12.5 集成制造系统	224
12.6 工业机器人	226
12.6.1 概述	226
12.6.2 工业机器人的组成	226

习题	227
第 13 章 特种加工	228
13.1 电火花加工	229
13.1.1 电火花加工的基本原理	229
13.1.2 电火花加工工艺及设备	229
13.1.3 电火花加工的特点和应用范围	231
13.2 电解加工	232
13.2.1 电解加工的基本原理	232
13.2.2 电解加工的基本概念	232
13.2.3 电解加工的特点、方法和应用	233
13.3 激光加工	234
13.3.1 激光加工的基本原理	234
13.3.2 激光加工的特点、方法及应用	234
13.4 超声波加工	236
13.4.1 超声波加工的基本原理	236
13.4.2 超声波加工的特点、方法及应用	236
13.5 电子束加工	237
13.6 离子束加工	238
习题	238
第 14 章 快速原型制造技术	239
14.1 快速原型制造技术的原理与特点	239
14.2 RPM 技术	242
14.2.1 RPM 技术体系的基本环节	242
14.2.2 RPM 技术的应用	243
14.2.3 应用实例	243
习题	244
第 15 章 CAD/CAM	245
15.1 CAD/CAM 技术概述	245
15.1.1 CAD/CAM 的基本概念	245
15.1.2 CAD/CAM 的产生与发展	246
15.1.3 CAD/CAM 的特点、应用及软件组成	247
15.2 Mastercam 的使用	248
15.2.1 概述	248
15.2.2 Mastercam 9.0 功能简介	248
15.2.3 车削模块的使用	249
15.3 Cimatron 的使用	259

15.3.1 Cimatron E 简介	259
15.3.2 Cimatron E 的设计功能	260
15.3.3 Cimatron E 的数控加工	265
15.3.4 传输过程	271
习题	271
主要参考文献	273

第1章 工业生产概论

1.1 概 述

21 世纪,人类将逐步进入知识经济时代。知识经济是在知识化的工业社会中发展起来的经济。它改变了过去那种以资源和资本的总量及增量决定经济发展成败的模式,而将资源和资本的经营意识上升到创新知识的生产和消费,使知识从经济增长的外在因素转变成内在核心因素,为全球经济和制造业的持续发展提供推动力。

在知识经济时代,社会经济的制造领域将发生一系列变化,主要表现在:

(1) 知识密集产品将成为产品的主要形式,产品的知识含量将成为核心竞争力和决定胜负的关键。

(2) 科技先导型企业将成为经济活动中最具有活力的经济组织形式。

(3) 以数字化和网络化为代表的信息技术,使制造业在产品、服务、生产、流通、交易等概念和运作方面面临深刻的变革。

(4) 资产重点从有形资产开始转向无形资产,竞争的核心从有形竞争转向无形竞争。

但是,知识经济并不否定工业经济,而是促进其高科技化,节约自然资源,进一步发展生产力,就像工业化没有淘汰农业一样,高科技的知识经济会促进制造业的革命,但绝不会淘汰制造业。

在知识经济时代,制造业呈现出如下特点:

(1) 制造技术和产品的市场化。

(2) 制造技术和产品的高科技化。

(3) 制造技术和产品的新颖多样化。

(4) 经营和制造活动的全球化。

可以看出,制造科学形成了由机械、计算机、信息、材料、自动化、管理等学科有机结合的跨学科的综合工程科学,同时又是密切结合生产实际的科学。

在知识经济时代,制造业对人才的要求是:不仅具有扎实的基础,知识面宽厚,而且要能力强,素质高,具有创新能力。这里所谓的素质主要指工程素质,一般应包括工程技术人员应具备的市场意识、质量意识、安全意识、群体意识、社会意识、经济意识、管理意识、创新意识、法律意识等。

1.2 工业生产类型

1. 能源工业

能源是指能够产生和提供各种能量的资源。在一定条件下,利用能源可以转化成人们生产和生活所需的各种形式的能量。能源在国民经济中具有举足轻重的战略地位。

能源有直接来自自然界的能源——一次能源和经加工转化过的能源——两次能源之分,又可分为再生能源和非再生能源等。能源的分类如表 1.1 所示。不同的能源形式可通过一定方法相互转化,目前大多数一次能源都是首先经过热的形式,或者直接使用,或者通过一定设备转化为机械能和电能再被使用的。

表 1.1 能源分类表

类 别	第一类	第二类	第三类
一 次 能 源	再生能源	地 热 太阳能 风能 水能 生物质能 海水温差 海洋波能	潮汐能
	非再生能源	原子核能 煤炭 石油 天然气 油页岩	
二 次 能 源	焦炭、煤气、电力、氢、蒸汽、沼气、酒精、汽油、柴油、重油、液化气、电石		

能源必须组成能源系统才能发挥作用。这个系统包括一次能源的开发、运输、储存或者根据需要经加工,转化成两次能源,再传输、分配给用户使用的整个过程的各个环节。

能源在加工和转化工程中,能量必有损耗。同样,在运输、存储中的费用和损耗在能源成本中占有可观的部分,因此,提高技术、加强管理、提高效率、降低费用对国民经济具有重大影响。

能源开发也有其内在的规律性,如什么时候开发哪些地方的哪些能源,开发出来的能源如何输送、如何加工转换、如何储存并分配、如何利用,才能与国民经济相协调,取得最大的经济效益,诸如此类的问题都是一些很大的系统工程。它一般包括前期工程、开发基建、配套工程、人才队伍建设、资金保证等重要内容。

我国能源工业包括煤炭、石油、电力三大部门。煤炭生产包括了煤炭的开采、加工转换和运输。煤炭的加工转换分为物理加工和化学加工。煤的物理加工属初级加工,有洗涤、筛选、成型等。煤的化学加工是深度加工,内容丰富,过程众多,如焦化、气化、

液化、石墨化以及其他各种形式的热分解过程。煤的加工转换的目的，一是提高煤的热效率，减少污染，使煤炭变成优质能源、两次能源；二是大大减少无效运输；三是生产化学工业的重要原材料。

石油是液态的可燃矿物，有“工业血液”之美称。石油生产过程包括开采、运输和炼油等。采油方法有自喷开采、激产开采和机械开采等。石油的运输有船舶、管道、铁路油罐车和油罐卡车4种方式。石油的提炼有蒸馏、裂解、重整与异构等多种方式。石油在精馏塔中由轻而重分成挥发油、汽油、煤油、柴油和重油。重油经减压加热炉又可分出柴油、润滑油、石蜡和沥青。这些产品可分别用于飞机、机车、汽车、火箭的动力燃料，机械设备的润滑油等。此外，石油还可用于制造塑料、尼龙、涤纶、酒精、合成橡胶、油漆、化肥、洗衣粉等5000多种化工产品。

电力是由一次能源转换而得的两次能源，是一种现代化的能源。有的一次能源只有转换为电力，才能大规模开发利用，例如原子能和水力资源；有些能源以其原有形式输送分配是不合理的，如劣质燃料，只有就地发电再输送分配，经济上才合算。电能极其灵活，在供应时，既便于集中又便于分散，而且转变成其他的能源形式也比较方便。电力的广泛应用不仅引起了传统工业部门，如钢铁、采煤等生产工艺的重大变革，而且是自动化、光电子技术等最新技术的基础。在能源消费中，用电比重越大，能源使用的效率就越高。

发电厂的类型包括火力发电、水力发电和原子能发电等。火力发电厂是利用煤、石油、煤气等燃料的化学能来生产电能的工厂。火力发电厂的主要生产系统可概括为汽水系统、燃料及燃烧系统和发电及输配电系统。火力发电厂的建设要注意环境保护问题。

水电是一种可再生能源，集一次能源、两次能源于一身，发电成本低廉，技术成熟，污染较少。但大型水电站造价高，周期长。水力发电的基本生产过程可以分为4个阶段：一是集中能量，即取得河川的径流；二是输入能量，即集中水头并输送水能至水电站；三是变换能量，即将水能转变为电能；四是输出能量，即变换电能的参数输送到用户。

核能的发现，对人类展现了一个原先各种能源都无法比拟的威力巨大的能源。核燃料用于发电可以省下宝贵的石化能源，转作更合理的化工原料。如果进一步利用核电使水分解为氢，氢作为一种清洁燃料就完全可以代替石油、天然气，并且更好。如果实现了可控核聚变反应，一立方米海水中所含的氘就可以释放出相当于2000桶石油的热量，它几乎是取之不尽、用之不竭的，这能彻底解决人类的能源问题。核能发电是利用原子核裂变反应产生的原子能转变成热能，将水加热为蒸汽，然后同一般火力发电厂一样，用蒸汽推动汽轮机，带动发电机发电。原子能发电厂与火电厂在构成上最主要的区别是前者用核蒸汽系统（反应堆、蒸汽发生器、泵及管道等）代替了后者的锅炉。

2. 冶金工业

冶金工业是从矿石和其他含金属的原材料中制取金属的工业。

冶金工业与机械、化工、基建、运输、能源等重要部门相互制约、相互依赖、相互影响。

冶金工业包括钢铁工业和有色金属工业两部分，其中钢铁工业比重占90%以上。金

属的一般生产过程如图 1.1 所示。钢铁生产的主要过程如图 1.2 所示。

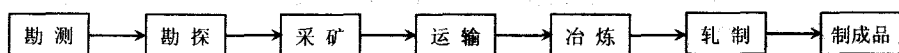


图 1.1 金属的一般生产过程

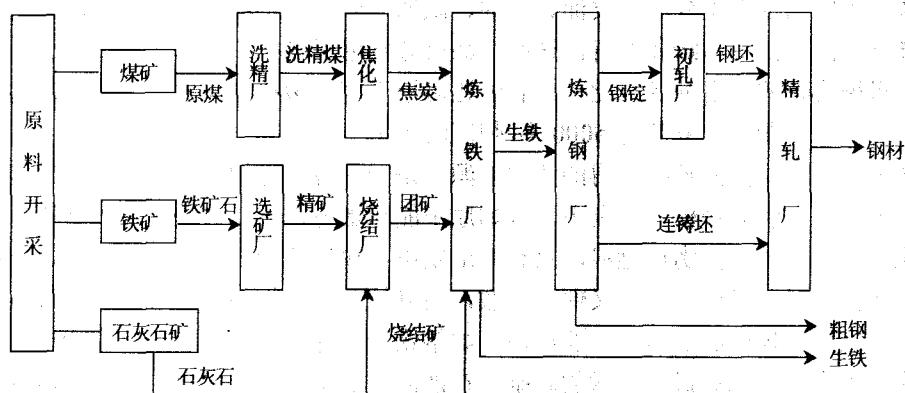


图 1.2 钢铁生产主要流程

有色金属与钢铁生产流程有很多相似之处，但由于其资源储存以及物理、化学特殊性上的特点，故在采掘、冶炼等生产环节上难度较大。有色金属冶炼分初炼和精炼，精炼多采用电解法，耗电量很大。冶金工业对环境影响极大，若处理不当，会造成很大危害。

3. 机械工业

机械工业部门通常分为一般机械、电工和电子机械、运输机械、精密机械和金属制品五大行业。

一般机械包括动力机械、拖拉机和农业机械、工程机械、矿山机械、金属加工机械、工业设备、通用机械、办公机械、服务机械等，是构成工业生产力的重要基础。

电工和电子机械包括发电、输配电设备和工业用电设备、电器、电线电缆、照明设备、电讯设备、电子元件、计算机、电视机、收音机等。电是现代社会不可或缺的二次能源，以计算机为基础的自动化更肩负着改造传统生产模式的任务。

运输机械包括汽车、铁路机车、船舶与航空航天设备等。

精密机械包括科学仪器、计量仪器、光学仪器、医疗器械、钟表等。

金属制品包括金属结构、容器、铸件、锻件冲压件、紧固件等。

机械行业的工作包含了品种、质量、成套、服务和用户实践等 5 个方面。质量是品种的生命；品种是成套的基础；成套是形成生产能力的手段；服务是使用和制造之间的桥梁；用户的实践是改进产品的依据。它们之间的关系如图 1.3 所示。相应地，一件产

品在其生命周期内包含了研究、试验、设计、制造、安装、使用、维修等7个环节。

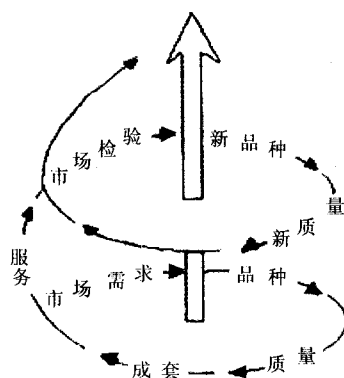


图 1.3 机械产品的发展

在机械产品的生产过程中，设计、材料、制造工艺是相互制约、相辅相成的。为了能经济地、高质量地进行生产，这三者必须恰当地组合，这个重要概念可用如图 1.4 所示来加以说明。

机械制造业的生产过程一般包括生产技术准备、基本生产、辅助生产、生产服务及附属生产等环节。在传统的企业运行系统中，企业的生产单位依据其所处环节而分为相应的部门，每一部门又根据所承担的任务成立相应的车间、科室、站、仓库等，并配备相应的人员、机器设备和其他必要装置。在现代企业制度下，企业的一切经营活动都以实现企业的发展战略目标为出发点和落脚点，以生产力诸要素的最佳组合和投入产出全过程的有效控制为基础，这正是新的企业运行系统的要旨。在这一系统下，企业由“三大部”组成：市场经营部，负责商品销售、市场预测、售后服务、宣传发布、传授技术、接受订货等；设计开发部，负责新产品的研究、试验和设计以及新材料、新工艺和新装备的开发，接受特种订货设计等；生产制造部，负责工艺编制、原材料及半成品库存管理、加工、装配、质量保证、设备维修、能源管理等。

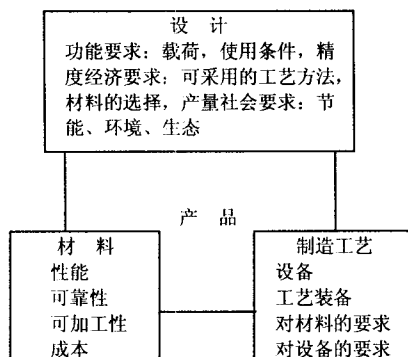


图 1.4 产品生成材料、设计与制造工艺之间的关系