



21st CENTURY

十一五规划

21世纪全国应用型本科

大机械系列 实用规划教材



金工实习

主 编	郭永环	姜银方
副主编	林 宪	雷 声
主 审	傅水根	

中国林业出版社
China Forestry Publishing House

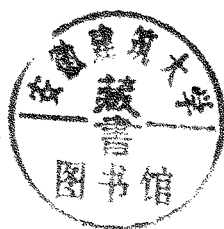


北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

金 工 实 习

主 编	郭永环	姜银方	
副主编	林 宪	雷 声	
参 编	陈士民	冯瑞宁	雷经发
主 审	傅水根		



中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本教材是依据国家教育部新颁布的“金工实习教学基本要求”，结合作者多年的金工实习教学经验编写的。全书分材料及成形、切削加工、现代制造技术及综合与创新训练三个模块，共 10 章。内容有工程材料及热处理、铸造、锻压、焊接、切削加工的基础知识、车削、铣削、刨削和磨削、钳工、数控车床、数控铣床、数控电火花加工和综合与创新训练。

本教材可作为机械类和近机械类各专业本科、专科金工实习教材，使用本教材时可根据各专业的具体情况进行调整。

图书在版编目(CIP)数据

金工实习/郭永环，姜银方主编. —北京：中国林业出版社；北京大学出版社，2006.8

(21 世纪全国应用型本科机械类系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4440-X

I. 金… II. ①郭…②姜… III. 金属加工—实习—高等学校—教材

IV. TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 075897 号

书 名：金工实习

著作责任者：郭永环 姜银方 主编

策 划 编 辑：李昱涛

责 任 编 辑：郭穗娟 肖基泮

标 准 书 号：ISBN 7-5038-4440-X

出 版 者：中国林业出版社(地址：北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编：100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话：编辑部 66170109 营销中心：66187711

北京大学出版社(地址：北京市海淀区成府路 205 号 邮编：100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话：邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者：北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者：北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者：新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 387 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价：24.00 元

《21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材》

专家编审委员会

名 誉 主 任 胡正寰*

主 任 委 员 殷国富

副主任委员 (按拼音排序)

戴冠军 江征风 李郝林 梅 宁 任乃飞

王述洋 杨化仁 张成忠 张新义

顾 问 (按拼音排序)

傅水根 姜继海 孔祥东 陆国栋

陆启建 孙建东 张 金 赵松年

委 员 (按拼音排序)

方 新 郭秀云 韩健海 洪 波

侯书林 胡如风 胡亚民 胡志勇

华 林 姜军生 李自光 刘仲国

柳舟通 毛 磊 孟宪颐 任建平

陶健民 田 勇 王亮申 王守城

魏 建 魏修亭 杨振中 袁根福

曾 忠 张伟强 郑竹林 周晓福

*胡正寰: 北京科技大学教授, 中国工程院机械与运载工程学部院士

丛书总序

殷国富*

机械是人类生产和生活的基本工具要素之一,是人类物质文明最重要的一个组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门,包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务,在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20 世纪 80 年代以来,以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生,极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度,改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式,产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。这些机械方面的新方法和系统的主要技术特征表现在以下几个方面:

(1) 信息技术在机械行业的广泛渗透和应用,使得现代机电产品已不再是单纯的机械构件,而是由机械、电子、信息、计算机与自动控制等集成的机电一体化产品,其功能不仅限于加强、延伸或取代人的体力劳动,而且扩大到加强、延伸或取代人的某些感官功能与大脑功能。

(2) 随着设计手段的计算机化和数字化, CAD/CAM/CAE/PDM 集成技术和软件系统得到广泛使用,促进了产品创新设计、并行设计、快速设计、虚拟设计、智能设计、反求设计、广义优化设计、绿色产品设计、面向全寿命周期设计等现代设计理论和技术方法的不断发展。机械产品的设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低,而是注重综合考虑质量、市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

(3) 传统机械制造技术在不断吸收电子、信息、材料、能源和现代管理等方面成果的基础上形成了先进制造技术,并将其综合应用于机械产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的机械产品制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力。

(4) 机械产品加工制造的精密化、快速化,制造过程的网络化、全球化得到很大的发展,涌现出 CIMS、并行工程、敏捷制造、绿色制造、网络制造、虚拟制造、智能制造、大规模定制等先进生产模式,制造装备和制造系统的柔性可与重组已成为 21 世纪制造技术的显著特征。

(5) 机械工程的理论基础不再局限于力学,制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候都更紧密地依赖诸如现代数学、材料科学、微电子技术、计算机信息科学、生命科学、系统论与控制论等多门学科及其最新成就。

上述机械科学与工程技术特征和发展趋势表明,现代机械工程学科越来越多地体现着知识经济的特征。因此,加快培养适应我国国民经济建设所需要的高综合素质的机械工程学科人才的意义十分重大、任务十分繁重。我们必须通过各种层次和形式的教育,培养出适应世界机械工业发展潮流与我国机械制造业实际需要的技术人才与管理人才,不断推动我国机械科学与工程技术进步。

为使机械工程学科毕业生的知识结构由较专、较深、适应性差向较通用、较广泛、适

*殷国富教授:现为教育部机械学科教学指导委员会委员,现任四川大学制造科学与工程学院院长

应性强方向转化,在教育部的领导与组织下,1998 年对本科专业目录进行了第 3 次大的修订。调整后的机械类专业变成 4 类 8 个专业,它们是:机械类 4 个专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、过程装备与控制、工业设计);仪器仪表类 1 个专业(测控技术与仪器);能源动力类 2 个专业(热能与动力工程、核工程与核技术);工程力学类 1 个专业(工程力学)。此外还提出了面向更宽的引导性专业,即机械工程及自动化。因此,建立现代“大机械、全过程、多学科”的观点,探讨机械科学与工程技术学科专业创新人才的培养模式,是高校从事制造学科教学的教育工作者的责任;建立培养富有创新能力人才的教学体系和教材资源环境,是我们努力的目标。

要达到这一目标,进行适应现代机械学科发展要求的教材建设是十分重要的基础工作之一。因此,组织编写出版面向大机械学科的一系列教材就显得很有意义和十分必要。北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们通过对国内大学机械工程学科教材实际情况的调研,在与众多专家学者讨论的基础上,决定面向机械工程学科专业的学生出版一套系列教材,这是促进高校教学改革发展的重大决策。按照教材编审委员会的规划,本系列教材将逐步出版。

本系列教材是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作的教师立足于 21 世纪机械工程学科发展的需要,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写,以适应不同类型、不同层次和学校结合学校实际情况的需要。本系列教材编写的特色体现以下几个方面:

(1) 关注全球机械科学与工程技术学科发展的大背景,建立现代大机械工程学科的新理念,拓宽理论基础和专业知识,特别是突出创造能力和创新意识。

(2) 重视强基础与宽专业知识面的要求。在保持较宽学科专业知识的前提下,在强化产品设计、制造、管理、市场、环境等基础理论方面,突出重点,进一步密切学科内各专业知识面之间的综合内在联系,尽快建立起系统性的知识体系结构。

(3) 学科交叉与综合的观念。现代力学、信息科学、生命科学、材料科学、系统科学等新兴学科与机械学科结合的内容在系列教材编写中得到一定的体现。

(4) 注重能力的培养,力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力以及不断自我更新知识的能力,促进学生向着富有鲜明个性的方向发展。

总之,本系列教材注意了调整课程结构,加强学科基础,反映系列教材各门课程之间的联系和衔接,内容合理分配,既相互联系又避免不必要的重复,努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索。当然,本系列教材还需要在内容的精选、音像电子课件、网络多媒体教学等方面进一步加强,使之能满足普通高等院校本科教学的需要,在众多的机械类教材中形成自己的特色。

最后,我要感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也要感谢北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之在我国机械工程类学科专业的教学改革和课程体系建设中起到应有的促进作用。

前 言

金工实习是机械类各专业学生必修的一门实践性很强的技术基础课。通过本课程的学习,能使学生了解机械制造的一般过程,熟悉典型零件的常用加工方法及其所用加工设备的工作原理,了解现代制造技术在机械制造中的应用。在主要工种上应具有独立完成简单零件加工制造的动手能力。对简单零件具有初步选择加工方法和进行工艺分析的能力。结合实习培养学生的创新意识,为培养应用型、复合型高级人才打下一定的理论与实践基础。并使学生在提高工程师素质方面得到培养和锻炼。

在编写过程中本教材注重把握与工程材料和机械制造基础课这两门课程的分工与配合,并注意单一工种的工艺分析。全书分材料及成形、切削加工、现代制造技术及综合与创新训练三个模块,共10章。每个模块的每个章节选取了生产中应用的实例,结合生产实践,以教学要求为基础,以实际应用为主线,把抽象零散的教材内容连接起来,说明该部分内容是什么,有什么作用。本教材在材料牌号、技术条件、技术术语等方面均采用最新国家标准和法定计量单位,编写中注重程序化,即教师教课与学生学习按规范化的程序进行,教师讲一点,学生练一点;教师再讲一点,学生再练一点,如此反复进行。这种程序化的教与学结合,既有助于教师教学,又有助于学生学习。

本教材的第5、6、7章由徐州师范大学郭永环编写,第1章第1节由江苏大学姜银方编写,第1章第2节由安徽建筑工业学院雷声编写,第8章由福建工程学院林宪编写,第2、4章由武汉理工大学陈士民编写,第9、10章由山东德州学院冯瑞宁编写,第3章由安徽建筑工业学院雷声和雷经发编写。郭永环、姜银方任主编,雷声、林宪任副主编,全书由郭永环负责统稿和定稿。

本教材由教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员兼机械基础课程指导分委员会副主任委员、《金工研究》副主编、清华大学基础工业训练中心主任傅水根教授主审。

限于编者的水平和经验,书中难免有欠妥甚至是错误之处,敬请广大读者批评指正,以便再版时修正和完善。

编者

2006年3月

《21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材》

参编学校名单 (按拼音排序)

- | | |
|-------------|---------------|
| 1 安徽建筑工业学院 | 30 黄石理工学院 |
| 2 安徽科技学院 | 31 吉林工程技术师范学院 |
| 3 安徽农业大学 | 32 江苏大学 |
| 4 北华大学 | 33 九江学院 |
| 5 北京建筑工程学院 | 34 军事交通学院 |
| 6 北京联合大学 | 35 兰州理工大学 |
| 7 长春大学 | 36 辽宁工程技术大学 |
| 8 长沙理工大学 | 37 鲁东大学 |
| 9 重庆工学院 | 38 内蒙古工业大学 |
| 10 重庆交通学院 | 39 南华大学 |
| 11 德州学院 | 40 南昌航空工业学院 |
| 12 东北林业大学 | 41 青岛科技大学 |
| 13 东华理工学院 | 42 山东理工大学 |
| 14 福建工程学院 | 43 上海工程技术大学 |
| 15 甘肃农业大学 | 44 上海水产大学 |
| 16 桂林工学院 | 45 上海理工大学 |
| 17 河北大学 | 46 沈阳大学 |
| 18 河北建筑工程学院 | 47 四川农业大学 |
| 19 河北农业大学 | 48 潍坊学院 |
| 20 河南工业大学 | 49 武汉工业学院 |
| 21 河南科技学院 | 50 武汉科技大学 |
| 22 湖北汽车工业学院 | 51 武汉理工大学 |
| 23 湖南工程学院 | 52 湘潭大学 |
| 24 湖南工学院 | 53 徐州师范大学 |
| 25 湖南工业大学 | 54 郑州航空工业管理学院 |
| 26 湖南理工学院 | 55 中北大学 |
| 27 江西理工大学 | 56 中国农业大学 |
| 28 华北水利水电学院 | 57 中南林业科技大学 |
| 29 华东交通大学 | |

目 录

第1章 工程材料及热处理.....1

1.1 工程材料.....1

1.1.1 工程材料概述.....1

1.1.2 金属材料.....2

1.1.3 非金属材料.....6

1.2 钢的热处理.....11

1.2.1 钢的热处理工艺.....11

1.2.2 钢的退火和正火.....12

1.2.3 钢的淬火和回火.....12

1.2.4 表面热处理.....13

1.2.5 热处理常用设备.....15

1.2.6 热处理常见缺陷.....17

小结.....17

复习思考题.....17

第2章 铸造.....18

2.1 铸造概述.....18

2.1.1 铸造工艺特点.....18

2.1.2 砂型铸造生产工序.....19

2.1.3 特种铸造.....19

2.2 造型与制芯.....21

2.2.1 铸型的组成.....21

2.2.2 型(芯)砂的性能.....22

2.2.3 型(芯)砂的组成.....23

2.2.4 型(芯)砂的制备.....24

2.2.5 模样、芯盒与砂箱.....24

2.2.6 手工造型.....25

2.2.7 机器造型.....29

2.2.8 制芯.....32

2.2.9 浇注系统.....35

2.2.10 冒口和冷铁.....36

2.3 熔炼与浇注.....37

2.3.1 铸铁.....37

2.3.2 铸铁熔炼.....38

2.3.3 浇注工艺.....43

2.4 铸造缺陷分析.....44

小结.....47

复习思考题.....47

第3章 锻压.....49

3.1 锻压概述.....49

3.2 金属的加热与锻件的冷却.....50

3.2.1 锻造加热设备.....50

3.2.2 锻造温度范围的确定.....51

3.2.3 坯料加热缺陷.....52

3.2.4 锻件冷却.....53

3.2.5 锻后热处理.....53

3.3 自由锻造.....53

3.3.1 自由锻的主要设备.....53

3.3.2 自由锻的基本工序 及其操作.....55

3.3.3 自由锻件常见缺陷 及产生原因.....58

3.3.4 典型自由锻件工艺举例.....59

3.4 模锻.....60

3.4.1 胎模锻.....61

3.4.2 锤上模锻.....62

3.5 板料冲压.....63

3.5.1 板料冲压.....63

3.5.2 板料冲压的基本工序.....63

3.5.3 冲压设备及冲模.....64

3.6 专用锻造工艺.....66

3.6.1 摆动辗压.....66

3.6.2 辊锻.....66

3.6.3 精密模锻.....67

3.6.4 挤压.....67

3.6.5 粉末锻造.....67

3.6.6 液态模锻.....68

小结	68	6.1.2 卧式车床的组成	105
复习思考题	68	6.1.3 车床传动	107
第4章 焊接	69	6.1.4 其他车床	108
4.1 焊接概述	69	6.2 零件的安装及车床附件	109
4.2 电弧焊	70	6.2.1 三爪自定心卡盘	109
4.2.1 焊接电弧	70	6.2.2 四爪单动卡盘	110
4.2.2 焊条电弧焊	71	6.2.3 顶尖、跟刀架及中心架	111
4.2.3 焊接设备	75	6.2.4 心轴	113
4.2.4 常用电弧焊方法	78	6.2.5 花盘及弯板	114
4.3 气焊与气割	81	6.3 车刀	114
4.3.1 基本原理	81	6.3.1 车刀的分类	114
4.3.2 气焊工艺	83	6.3.2 车刀的安装	116
4.3.3 气割	86	6.3.3 车刀的刃磨	116
4.4 电阻焊及其他焊接方法	88	6.4 车床操作要点	117
4.4.1 电阻焊	88	6.4.1 刻度盘及其手柄的使用	117
4.4.2 电渣焊	89	6.4.2 车削步骤	118
4.4.3 电子束焊	90	6.5 车削工艺	119
4.4.4 激光焊	91	6.5.1 车端面	119
4.4.5 钎焊	92	6.5.2 车圆柱面	120
小结	93	6.5.3 车圆锥面及成形面	121
复习思考题	93	6.5.4 车台阶面	123
第5章 切削加工的基础知识	95	6.5.5 车槽及切断	124
5.1 切削加工概述	95	6.5.6 车螺纹	125
5.1.1 切削运动	95	6.5.7 滚花	127
5.1.2 零件加工的三个表面	96	6.6 车削综合工艺分析	127
5.2 切削要素	97	6.6.1 轴类、套类零件的车削	127
5.2.1 切削用量三要素	97	6.6.2 车削综合工艺	128
5.2.2 切削层几何参数	98	小结	129
5.3 刀具材料及其几何角度	98	复习思考题	129
5.3.1 刀具材料	98	第7章 铣削、刨削和磨削	131
5.3.2 刀具的几何角度	99	7.1 铣削	131
5.4 零件切削加工步骤安排	101	7.1.1 铣削概述	132
小结	103	7.1.2 零件的安装及铣床附件	135
复习思考题	103	7.1.3 铣刀	140
第6章 车削	104	7.1.4 铣削工艺	143
6.1 车削概述	104	7.1.5 铣削综合工艺举例	147
6.1.1 车削加工的特点	105	7.2 刨削	149
		7.2.1 刨削概述	150

7.2.2 零件的安装.....	156	9.1.3 数控车床的编程方法	206
7.2.3 刨刀.....	156	9.1.4 数控车床的编程实例	213
7.2.4 刨削工艺.....	157	9.2 数控铣床加工	214
7.2.5 刨削综合工艺举例.....	160	9.2.1 数控铣床加工概述	214
7.3 磨削	162	9.2.2 数控铣床的编程基础	216
7.3.1 磨削概述.....	162	9.2.3 数控铣床的编程方法	218
7.3.2 零件的安装及磨床附件.....	166	9.2.4 数控铣床的编程实例	226
7.3.3 砂轮.....	168	9.3 数控电火花加工	227
7.3.4 磨削工艺.....	170	9.3.1 数控电火花加工概述	228
7.3.5 磨削综合工艺举例.....	173	9.3.2 数控电火花加工机床的 组成	228
小结	174	9.3.3 数控电火花加工的工艺 分析与实例	231
复习思考题	174	9.4 现代制造技术简介	234
第 8 章 钳工	176	9.4.1 现代制造技术概述	234
8.1 钳工概述	176	9.4.2 现代制造技术的发展	235
8.1.1 钳工的加工特点.....	176	小结	236
8.1.2 钳工常用的设备和工具.....	176	复习思考题	236
8.2 划线、锯削和锉削	178	第 10 章 综合与创新训练	238
8.2.1 划线.....	178	10.1 综合与创新训练概述	238
8.2.2 锯削.....	182	10.1.1 综合与创新训练简介	238
8.2.3 锉削.....	183	10.1.2 综合与创新训练的意义	239
8.3 钻孔、扩孔和铰孔	187	10.2 毛坯的选择	239
8.3.1 钻孔.....	187	10.2.1 毛坯的种类	239
8.3.2 扩孔与铰孔.....	190	10.2.2 毛坯的选择	240
8.4 攻螺纹和套螺纹	191	10.3 加工方法选择及经济性分析	242
8.4.1 攻螺纹.....	191	10.3.1 零件加工方法的选择	242
8.4.2 套螺纹.....	193	10.3.2 加工经济性分析	245
8.5 装配	194	10.4 典型零件的综合工艺过程分析	245
8.5.1 装配概述.....	194	10.4.1 轴类零件	245
8.5.2 典型联接件装配方法.....	196	10.4.2 盘套类零件	247
8.5.3 部件装配和总装配.....	198	10.4.3 箱体类零件	250
小结	199	10.5 创新实例	252
复习思考题	199	10.5.1 结合金工实习进行创新 过程.....	252
第 9 章 数控车床、数控铣床和 数控电火花加工.....	201	10.5.2 创新实例	253
9.1 数控车床加工	201	小结	256
9.1.1 数控车床加工概述.....	201	复习思考题	256
9.1.2 数控车床的编程基础.....	202	参考文献	258

第 1 章 工程材料及热处理

教学提示：本章涉及金属材料、非金属材料及复合材料的简介及常用的热处理方法。热处理是采用适当的方式，对金属材料进行加热、保温和冷却，改变其表面或内部的组织结构以及各种应力，以期获得所需要的组织结构与性能的一种加工工艺方法。其主要目的是消除毛坯缺陷，挖掘材料的力学潜力以及改善和提高零件与工模具的加工、使用性能，提高产品质量，延长使用寿命。

教学要求：本章使学生了解工程材料概述，工程材料的分类、牌号和应用，了解热处理的目的和作用、常用的热处理方法和热处理工艺过程、热处理常用生产设备的基本结构和操作方法。

1.1 工 程 材 料

1.1.1 工程材料概述

翻开人类进化史，我们不难发现，材料的开发、使用和完善贯穿其始终。从天然材料的使用到陶器和青铜器的制造，从钢铁冶炼到材料合成，人类成功地生产出满足自身需求的材料，进而使自身走出深山、洞穴，奔向茫茫平原和辽阔海洋，飞向广袤的太空。

人类社会的发展历史证明，材料是人类生产与生活的物质基础，是社会进步与发展的前提。当今社会，材料、信息和能源技术已构成了人类现代社会大厦的三大支柱，而且能源和信息的发展都离不开材料，所以世界各国都把研究、开发新材料放在突出的地位。

材料是人类社会可接受、能经济地制造有用器件(或物品)的固体物质。工程材料是在各工程领域中使用的材料。工程上使用的材料种类繁多，有许多不同的分类方法。按化学成分、结合键的特点，可将工程材料分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类，见表 1-1。

表 1-1 工程材料的分类举例

金 属 材 料		非 金 属 材 料			复 合 材 料
黑色金属材料	有色金属材料	无机非金属材料	有机高分子材料		
碳素钢、合金钢、铸铁等	铝、镁、铜、锌及其合金等	水泥、陶瓷、玻璃等	合成高分子材料(塑料、合成纤维、合成橡胶等)	天 然 高 分 子 材料(木材、纸、纤维、皮革等)	金属基复合材料、塑料基复合材料、橡胶基复合材料、陶瓷基复合材料等

金属材料可分为黑色金属材料和有色金属材料。黑色金属材料主要是铁基金属合金，包括碳素钢、合金钢、铸铁等；有色金属材料包括轻金属及其合金、重金属及其合金等。

而非金属材料可分为无机非金属材料 and 有机高分子材料。无机非金属材料包括水泥、陶瓷、玻璃等，有机高分子材料包括塑料、橡胶及合成纤维等。上述两种或两种以上材料经人工合成后，获得优于组成材料特性的材料称为复合材料。

工程材料按照用途可分为两大类，即结构材料 and 功能材料。结构材料通常指工程上对硬度、强度、塑性及耐磨性等力学性能有一定要求的材料，主要包括金属材料、陶瓷材料、高分子材料及复合材料等。功能材料是指具有光、电、磁、热、声等功能和效应的材料，包括半导体材料、磁性材料、光学材料、电介质材料、超导体材料、非晶和微晶材料、形状记忆合金等。

工程材料按照应用领域还可分为信息材料、能源材料、建筑材料、生物材料和航空材料等多种类别。

1.1.2 金属材料

金属材料是人们最为熟悉的一种材料，机械制造、交通运输、建筑、航天航空、国防与科学技术等各个领域都需要使用大量的金属材料，因此，金属材料在现代工农业生产中占有极其重要的地位。

金属材料是由金属元素或以金属元素为主，其他金属 or 非金属元素为辅构成的，并具有金属特性的工程材料。金属材料的品种繁多，工程上常用的金属材料主要有黑色及有色金属材料等。

黑色金属材料中使用最多的是钢铁，钢铁是世界上的头号金属材料，年产量高达数亿吨。钢铁材料广泛用于工农业生产及国民经济各部门。例如，各种机器设备上大量使用的轴、齿轮、弹簧，建筑上使用的钢筋、钢板，以及交通运输中的车辆、铁轨、船舶等都要使用钢铁材料。通常所说的钢铁是钢与铁的总称。实际上钢铁材料是以铁为基体的铁碳合金，当碳的质量分数大于 2.11% 时称为铁，当碳的质量分数小于 2.11% 时称为钢。

为了改善钢的性能，人们常在钢中加入硅、锰、铬、镍、钨、钼及钒等合金元素，它们各有各的作用，有的提高强度，有的提高耐磨性，有的提高抗腐蚀性能，等等。在冶炼时有目的的向钢中加入合金元素就形成了合金钢。合金钢中合金元素含量虽然不多，但具有特殊的作用，就像炒菜时放入少量的味精一样，含量不多但味道鲜美。合金钢种类很多，按照性能与用途不同，合金钢可分为合金结构钢、合金工具钢、不锈钢、耐热钢、超高强度钢等。

人们可以按照生产实际提出的使用要求，加入不同的合金元素而设计出不同的钢种。例如，切削工具要求硬度及耐磨性较高，在切削速度较快、温度升高时其硬度不降低。按照这样的使用要求，人们就设计了一种称为高速工具钢的刀具材料，其中含有钨、钼、铬等合金元素。普通钢容易生锈，化工设备及船舶壳体等的损坏都与腐蚀有关。据不完全统计，全世界因腐蚀而损坏的金属构件约占其产量的 10%。人们经过大量试验发现，在钢中加入 13% 的铬元素后，钢的抗蚀性能显著提高。如在钢中同时加入铬和镍，还可以形成具有新的显微组织的不锈钢，于是人们设计出了一种能够抵抗腐蚀的不锈钢。

有色金属包括铝、铜、钛、镁、锌、铅及其合金等，虽然它们的产量及使用量不如钢铁材料多，但由于具有某些独特的性能和优点，从而使其成为当代工业生产中不可缺少的材料。

由于金属材料的历史悠久，因而在材料的研究、制备、加工以及使用等方面已经形成了一套完整的系统，拥有了一整套成熟的生产技术和巨大的生产能力，并且经受了在长期使用过程中各种环境的考验，具有稳定可靠的质量，以及其他任何材料不能完全替代的优越性能。金属材料的另一个突出优点是性能价格比高，在所有的材料中，除了水泥和木材外，钢铁是最便宜的材料，它的使用可谓量大面广。由于金属材料具有成熟稳定的工艺，大规模的现代化装备以及高的性能价格比，因而具有强大的生命力，在国民经济中占有极其重要的位置。

此外，为了适应科学技术的高速发展，人们还在不断推陈出新，进一步发展新型的、高性能的金属材料，如超高强度钢、高温合金、形状记忆合金、高性能磁性材料以及储氢合金等。

1. 碳素钢

碳素钢是指碳的质量分数小于 2.11% 并含有少量硅、锰、硫、磷等杂质元素所组成的铁碳合金，简称碳钢。其中锰、硅是有益元素，对钢有一定强化作用；硫、磷是有害元素，分别增加钢的热脆性和冷脆性，应严格控制。碳钢的价格低廉、工艺性能良好，在机械制造中应用广泛。常用碳钢的牌号及用途见表 1-2。

表 1-2 常用碳钢的牌号、应用及说明

名 称	牌 号	应 用 举 例	说 明
碳素结构钢	Q215A 级	承受载荷不大的金属结构件，如薄板、铆钉、垫圈、地脚螺栓及焊接件等	碳素钢的牌号是由代表钢材屈服点的汉语拼音第一个字母 Q、屈服点(强度)值(MPa)、质量等级符号、脱氧方法四个部分组成。其中质量等级共分四级，分别以 A、B、C、D 表示
	Q235A 级	金属结构件、钢板、钢筋、型钢、螺母、连杆、拉杆等，Q235C 级、Q235D 级可用作重要的焊接结构	
优质碳素结构钢	15	强度低、塑性好，一般用于制造受力不大的冲压件，如螺栓、螺母、垫圈等。经过渗碳处理或氰化处理可用作表面要求耐磨、耐腐蚀的机械零件，如凸轮、滑块等	牌号的两位数字表示平均含碳量的万分数，45 钢即表示平均碳的质量分数为 0.45%。含锰量较高的钢，须加注化学元素符号 Mn
	45	综合力学性能和切削加工性能均较好，用于强度要求较高的重要零件，如曲轴、传动轴、齿轮、连杆等	
铸造碳钢	ZG200-400	有良好的塑性、韧性和焊接性能，用于受力不大、要求韧性好的各种机械零件，如机座、变速箱壳等	ZG 代表铸钢。其后面第一组数字为屈服点(MPa)；第二组数字为抗拉强度(MPa)。ZG200-400 表示屈服强度为 200MPa，抗拉强度为 400MPa 的碳素铸钢

2. 合金钢

为了改善和提高钢的性能，在碳钢的基础上加入其他合金元素的钢称为合金钢。常用

的合金元素有硅、锰、铬、镍、钨、钼、钒、稀土元素等。合金钢还具有耐低温、耐腐蚀、高磁性、高耐磨性等良好的特殊性能，它在工具或力学性能、工艺性能要求高的、形状复杂的大截面零件或有特殊性能要求的零件方面，得到了广泛应用。常用合金钢的牌号、性能及用途见表 1-3。

表 1-3 常用合金钢的牌号、性能及用途

种 类	牌 号	性 能 及 用 途
普通低合金结构钢	9Mn2, 10MnSiCu, 16Mn, 15MnTi	强度较高, 塑性良好, 具有焊接性和耐蚀性, 用于建造桥梁、车辆、船舶、锅炉、高压容器、电视塔等
渗碳钢	20CrMnTi, 20Mn2V, 20Mn2TiB	心部的强度较高, 用于制造重要的或承受重载荷的大型渗碳零件
调质钢	40Cr, 40Mn2, 30CrMo, 40CrMnSi	具有良好的综合力学性能(高的强度和足够的韧性), 用于制造一些复杂的重要机器零件
弹簧钢	65Mn, 60Si2Mn, 60Si2CrVA	淬透性较好, 热处理后组织可得到强化, 用于制造承受重载荷的弹簧
滚动轴承钢	GCr4, GCr15, GCr15SiMn	用于制造滚动轴承的滚珠、套圈

3. 铸铁

碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。由于铸铁含有的碳和杂质较多，其力学性能比钢差，不能锻造。但铸铁具有优良的铸造性、减振性及耐磨性等特点，加之价格低廉、生产设备和工艺简单，是机械制造中应用最多的金属材料。据资料表明，铸铁件占机器总质量的 45%~90%。常用铸铁的牌号、用途见表 1-4。

表 1-4 常用铸铁的牌号、应用及说明

名 称	牌 号	应 用 举 例	说 明
灰铸铁	HT150	用于制造端盖、泵体、轴承座、阀壳、管子及管路附件、手轮；一般机床底座、床身、滑座、工作台等	“HT”为“灰铁”两字汉语拼音的字头，后面的一组数字表示 $\phi 30$ 试样的最低抗拉强度。
	HT200	承受较大载荷和较重要的零件，如汽缸、齿轮、底座、飞轮、床身等	如 HT200 表示灰口铸铁的抗拉强度为 200MPa
球墨铸铁	QT400-18 QT450-10 QT500-7 QT800-2	广泛用于机械制造业中受磨损和受冲击的零件，如曲轴(一般用 QT500-7)、齿轮(一般用 QT450-10)、汽缸套、活塞环、摩擦片、中低压阀门、千斤顶座、轴承座等	“QT”是球墨铸铁的代号，它后面的数字表示最低抗拉强度和最低伸长率。如 QT500-7 即表示球墨铸铁的抗拉强度为 500MPa；伸长率为 7%
可锻铸铁	KTH300-06 KTH330-08 KTZ450-06	用于受冲击、振动等零件，如汽车零件、机床附件(如扳手)、各种管接头、低压阀门、农具等	“KTH”、“KTZ”分别是黑心和珠光体可锻铸铁的代号，它们后面的数字分别代表最低抗拉强度和最低伸长率

4. 有色金属及其合金

有色金属的种类繁多，虽然其产量和使用不及黑色金属，但是由于它具有某些特殊性能，故已成为现代工业中不可缺少的材料。常用有色金属及其合金的牌号、应用及说明见表 1-5。

表 1-5 常用有色金属及其合金的牌号举例、应用及说明

名 称	牌 号	应 用 举 例	说 明
纯铜	T1	电线、导电螺钉、贮藏器及各种管道等	纯铜分 T1~T4 四种。如 T1(一号铜)铜的质量分数为 99.95%；T4 含铜量为 99.50%
黄铜	H62	散热器、垫圈、弹簧、各种网、螺钉及其他零件等	“H”表示黄铜，后面数字表示铜的质量分数，如 62 表示铜的质量分数 60.5%~63.5%
纯铝	1070A 1060 1050A	电缆、电器零件、装饰件及日常生活用品等	铝的质量分数为 98%~99.7%
铸铝合金	ZL102	耐磨性中上等，用于制造载荷不大的薄壁零件等	“Z”表示铸，“L”表示铝，后面数字表示顺序号。如 ZL102 表示 Al-Si 系 02 号合金

5. 金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能，见表 1-6。

表 1-6 金属材料的性能

性 能 名 称		性 能 内 容	
使用性能	物理性能	包括密度、熔点、导电性、导热性及磁性等	
	化学性能	金属材料抵抗各种介质的侵蚀能力，如抗腐蚀性能等	
	力学性能	强度	在外力作用下材料抵抗变形和破坏的能力，分为抗拉强度 σ_b 、抗压强度 σ_{bc} 、抗弯强度 σ_{bb} 及抗剪强度 τ_b ，单位均为 MPa
		硬度	衡量材料软硬程度的指标，较常用的硬度测定方法有布氏硬度(HBS，HBW)、洛氏硬度(HR)和维氏硬度(HV)等
		塑性	在外力作用下材料产生永久变形而不发生破坏的能力。常用指标是断后伸长率 δ_5 、 δ_{10} (%)和断面收缩率 ψ (%)， δ 和 ψ 越大，材料塑性越好
		冲击韧度	材料抵抗冲击力的能力。常把各种材料受到冲击破坏时，消耗能量的数值作为冲击韧度的指标，用 α_k (J/cm ²) 表示。冲击韧度值主要取决于塑性、硬度，尤其是温度对冲击韧度值的影响更具有重要的意义
疲劳强度	材料在多次交变载荷作用下而不致引起断裂的最大应力		
工艺性能		包括热处理工艺性能、铸造性能、锻造性能、焊接性能及切削加工性能等	

1.1.3 非金属材料

1. 高分子材料

生活中有很多东西是用塑料做的,如包装用的塑料袋,装饮料的塑料瓶、塑料桶,计算机显示器外壳、键盘;各种车辆的轮胎都是用橡胶做的;钢铁的表面要涂涂料以防腐,家具的表面要刷油漆以美观,导线要有塑料或橡胶包皮以绝缘;人们穿的衣物是纤维做的,它们也许是天然的棉花、羊毛,也许是人造的涤纶、腈纶……所有这些都是高分子材料。高分子材料既包括我们日常所见的塑料、橡胶和纤维(它们被称为三大合成材料),也包括经常用到的涂料和黏合剂,以及日常较少见到的所谓功能高分子材料,如用于水净化的离子交换树脂、人造器官等。

有机高分子材料是以一类称为“高分子”的化合物(或称树脂)为主要原料,加入各种填料或助剂而制成的有机材料。高分子是由成千上万个原子通过共价键连接而成的分子量很大(通常几万,甚至几百万)的一类分子。它们可以是天然的,如蛋白质、纤维素,称天然高分子;也可以是人工合成的,如聚乙烯、有机玻璃,称合成高分子。组成高分子的原子排列不是杂乱无章的,而是有一定规律的。通常由少数原子组成一定的结构单元,再由这些结构单元重复连接形成高分子。图 1.1 所示为水分子和高分子(聚乙烯)结构示意图。

高分子通常是由一种或几种带有活性官能团的小分子化合物经过一定的反应而得到。如有机玻璃是由甲基丙烯酸甲酯上的双键打开而生成高分子,蛋白质是由各种氨基酸上的氨基和羧基脱水而形成的。

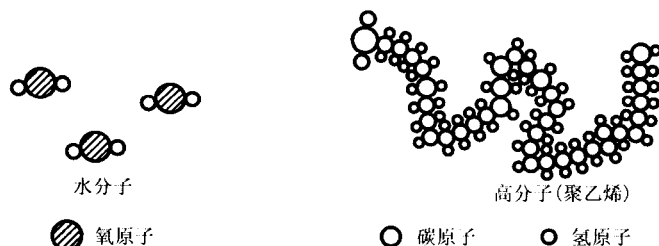


图 1.1 水分子和高分子(聚乙烯)结构示意图

1) 塑料

塑料是以合成树脂为主要成分,加入适量的添加剂后形成的一种能加热融化、冷却后保持一定形状不变的材料。合成树脂是由低分子化合物经聚合反应所获得的高分子化合物,如聚乙烯、聚氯乙烯、酚醛树脂等,树脂受热可软化,起粘结作用,塑料的性能主要取决于树脂。绝大多数塑料是以所用的树脂名称来命名的。

加入添加剂的目的是弥补塑料的某些性能的不足。添加剂有填料、增强材料、增塑剂、固化剂、润滑剂、着色剂、稳定剂及阻燃剂等。

塑料是一类产量最大的高分子材料,其品种繁多,用途广泛。仅就体积而言,全世界的塑料产量已超过钢铁。

塑料按使用性能可分为通用塑料、工程塑料和耐热塑料三类。通用塑料的价格低、产量高,约占塑料总产量的 3/4 以上,如聚乙烯、聚氯乙烯等。工程塑料是指用来制造工程