



应用型本科规划教材

FUNDAMENTALS OF  
ENGINEERING MATERIALS AND FORMING

# 工程材料及成形技术基础

◆ 主 编 张美琴

副主编 王殿梁 王春涛

潘玉良 王夏冰



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大學出版社

应用型本科规划教材

# 工程材料及成形技术基础

主 编 张美琴

副主编 王殿梁 王春涛

潘玉良 王夏冰

浙江大学出版社

## 内 容 提 要

本书对传统的材料及金属工艺学内容进行了精选,在系统介绍材料的基础理论知识、常用材料及成形技术的前提下,着重介绍了材料及成形技术的应用,力求使读者提高分析问题和解决问题的能力。全书共十一章,包括:材料的结构、种类与性能,材料的制备与相图,钢的热处理,常用金属材料,非金属材料及复合材料,机械零件失效分析及选材,铸造,锻造与冲压,焊接,非金属材料成形及复合材料成形方法简介,毛坯成形方法选择及应用。

本书可作为应用型本科院校机械类及近机类专业的教材,也可供有关技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形技术基础 / 张美琴主编. — 杭州: 浙江大学出版社, 2007. 3

应用型本科规划教材

ISBN 978-7-308-05063-0

I. 工... II. 张... III. 工程材料—成型—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 142578 号

## 工程材料及成形技术基础

张美琴 主编

---

丛书策划 樊晓燕

责任编辑 王波 魏文娟

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 杭州印校印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 17.5

字 数 426 千

版 次 2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

印 数 0001—3000

书 号 ISBN 978-7-308-05063-0

定 价 27.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

# 应用型本科院校机械专业规划教材

## 编委会

主任 潘晓弘

副主任 刘 桦 陈俊龙 胡夏夏

委员 (以姓氏笔画为序)

马 光 文和平 孙树礼

朱根兴 张玉莲 张 伟

张美琴 陈志平 胡国军

徐 立

# 总 序

---

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内涌现了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的全方位、持续、健康发展具有重大的意义。

应用型本科院校以着重培养应用型人才为目标,开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用于研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用型本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须有利于进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对机械工程专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。而这些专业的特点是课程内容较深、难点较多,学生不易掌握,同时,行业发展迅速,新的技术和应用层出不穷。针对这一情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校机械工程类专业的教师共同开展了“应用型本科机械工程专业教材建设”项目的研究,共同研究目前教材的不适应之

处,并探讨如何编写能真正做到“因材施教”、适合应用型本科层次机械工程类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校机械工程专业规划教材”系列。

本套规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想,以“应用型本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以就业为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。突出实用性、基础性、先进性,强调基本知识,结合实际应用,理论与实践相结合。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理,压缩繁琐的理论推导。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。还注意掌握教材的体系和篇幅能符合各学院的计划要求。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富的教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了 two 支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到广大院校的认可,对于应用型本科院校机械工程类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任 潘晓弘

2007年1月

# 前 言

---

本书为适应 21 世纪人才培养的需求,并根据当前本科机械类及近机类专业人员对材料及成形技术知识的要求,以及学生的接受能力构建出本教材的体系和结构。

本书对传统的材料及金属工艺学的内容进行了精选,在系统介绍材料的基础理论知识、常用材料及成形技术的前提下,着重介绍材料及成形技术的应用,力求使读者提高分析问题和解决问题的能力。全书共 11 章,每章后都附有一定量的复习思考题。

本书可作为高等工科独立院校本科机械类及近机类专业的教材,也可供有关技术人员参考。使用本书时,可结合各专业的具体情况进行调整,有些内容可供学生自学。

本书由张美琴副教授担任主编,参加本书编写的有(按章节顺序):浙江大学宁波理工学院张美琴副教授(绪论、第 6 章、第 11 章)、嘉兴学院南湖学院王殿梁副教授(第 1 章、第 8 章)、浙江海洋学院王春涛副教授(第 2 章、第 7 章)、绍兴文理学院元培学院王夏冰副教授(第 3 章、第 10 章)、杭州电子科技大学信息工程学院潘玉良副教授(第 4 章)、浙江大学城市学院邵威(第 5 章、第 9 章)。

本书在编写过程中参阅并引用了有关教材、手册及相关文献,在此对有关作者表示衷心的感谢,并把引用资料一并列举在参考文献中。

本书编写力求适应高等教育的改革和发展,但由于编者水平有限,难免出现错误和不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 11 月

# 目 录

---

---

绪 论	1
第 1 章 材料的结构、种类与性能	3
1.1 材料的结构	3
1.1.1 金属的晶体结构	3
1.1.2 三种典型的晶体结构	4
1.1.3 实际金属的晶体结构	6
1.2 材料的种类	8
1.2.1 金属材料	8
1.2.2 无机非金属材料	8
1.2.3 高分子材料	8
1.2.4 复合材料	8
1.3 材料的性能	9
1.3.1 材料的力学性能	9
1.3.2 材料的物理性能	17
1.3.3 材料的化学性能	17
1.3.4 材料的工艺性能	17
复习思考题	18
第 2 章 材料的制备与相图	19
2.1 材料的结晶	19
2.1.1 金属结晶的基本概念	19
2.1.2 金属的结晶	20
2.2 二元合金相图的建立	22
2.2.1 相图概述	22
2.2.2 二元合金相图的建立	22
2.3 二元相图的基本类型及应用	23
2.3.1 匀晶相图	23
2.3.2 共晶相图	25



2.3.3 包晶相图及其他相图·····	27
2.4 相图与合金性能之间的关系·····	28
2.5 铁碳合金相图·····	29
2.5.1 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图·····	29
2.5.2 典型铁碳合金的结晶过程分析·····	32
2.5.3 含碳量对铁碳合金组织性能的影响·····	36
2.5.4 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图的应用·····	37
复习思考题·····	38
<b>第3章 钢的热处理</b> ·····	<b>40</b>
3.1 热处理的基本概念·····	40
3.2 钢的热处理原理·····	41
3.2.1 钢在加热时的转变·····	41
3.2.2 钢在冷却时的组织转变·····	44
3.3 钢的普通热处理·····	50
3.3.1 退火·····	50
3.3.2 正火·····	51
3.3.3 淬火·····	53
3.3.4 回火·····	55
3.4 钢的表面热处理·····	56
3.4.1 表面淬火·····	56
3.4.2 钢的化学热处理·····	57
3.5 钢的其他热处理·····	60
3.5.1 可控气氛热处理·····	60
3.5.2 真空热处理·····	60
3.5.3 离子渗扩热处理·····	61
3.5.4 形变热处理·····	62
3.5.5 电子束热处理·····	62
3.5.6 激光表面改性·····	63
复习思考题·····	63
<b>第4章 常用金属材料</b> ·····	<b>66</b>
4.1 工业用钢·····	66
4.1.1 钢材的分类及编号方法·····	66
4.1.2 合金元素在钢中的作用·····	72
4.1.3 常见工业用钢的性能及用途·····	75
4.2 铸铁·····	92
4.2.1 铸铁的石墨化·····	92
4.2.2 常用铸铁的牌号、组织与性能·····	94

4.3 有色金属及其合金 .....	100
4.3.1 铜及其铜合金 .....	101
4.3.2 铝及铝合金 .....	103
4.3.3 滑动轴承合金 .....	105
复习思考题 .....	108
<b>第5章 非金属材料及复合材料</b> .....	<b>109</b>
5.1 高分子材料 .....	109
5.1.1 高分子化合物基本知识 .....	109
5.1.2 工程塑料 .....	112
5.1.3 橡胶 .....	116
5.1.4 合成纤维 .....	116
5.1.5 粘接剂 .....	117
5.2 陶瓷材料 .....	117
5.2.1 陶瓷材料的结构特点 .....	117
5.2.2 陶瓷的性能 .....	119
5.2.3 陶瓷的分类及应用 .....	119
5.3 复合材料 .....	120
5.3.1 概述 .....	120
5.3.2 复合材料的组成及分类 .....	121
5.3.3 复合材料的性能 .....	121
5.3.4 常用复合材料及应用 .....	123
复习思考题 .....	127
<b>第6章 机械零件失效分析及选材</b> .....	<b>128</b>
6.1 机械零件失效及分析 .....	128
6.1.1 零件失效的原因 .....	128
6.1.2 零件失效的形式 .....	130
6.1.3 失效分析的一般方法 .....	131
6.1.4 失效分析与选材 .....	131
6.2 选材的一般原则和方法 .....	132
6.2.1 选材的一般原则 .....	132
6.2.2 选材的一般方法 .....	134
6.3 通用行业的选材分析 .....	135
6.3.1 机床零件的用材分析 .....	135
6.3.2 汽车零件的用材分析 .....	136
6.3.3 热能装置的用材分析 .....	138
6.4 典型零件的选材实例 .....	139
6.4.1 轴类零件的选材 .....	139

6.4.2 齿轮类零件的选材 .....	141
复习思考题 .....	143
<b>第7章 铸 造</b> .....	145
7.1 合金的铸造性能 .....	145
7.1.1 合金的流动性 .....	145
7.1.2 合金的收缩 .....	147
7.2 砂型铸造 .....	150
7.2.1 造型方法 .....	150
7.2.2 砂型铸造工艺 .....	155
7.3 特种铸造 .....	159
7.3.1 熔模铸造 .....	159
7.3.2 金属型铸造 .....	161
7.3.3 压力铸造 .....	161
7.3.4 低压铸造 .....	163
7.3.5 离心铸造 .....	163
7.4 铸件结构设计 .....	164
7.4.1 铸件工艺对铸件结构的要求 .....	164
7.4.2 合金的铸造性能对铸件结构的要求 .....	167
7.5 现代铸造技术与发展趋势 .....	171
复习思考题 .....	173
<b>第8章 锻造与冲压</b> .....	174
8.1 金属的塑性变形与再结晶 .....	174
8.1.1 金属的塑性变形 .....	174
8.1.2 变形金属在加热时的组织和性能变化 .....	176
8.2 金属的锻造性能与变形规律 .....	178
8.2.1 金属塑性成型性能 .....	178
8.2.2 金属塑性成型的基本规律 .....	180
8.3 常用锻造方法 .....	180
8.3.1 自由锻 .....	181
8.3.2 模锻 .....	184
8.4 板料冲压 .....	189
8.4.1 冲裁 .....	190
8.4.2 弯曲 .....	192
8.4.3 拉深 .....	193
8.5 现代塑性加工技术与发展趋势 .....	197
8.5.1 板料成形方面 .....	197
8.5.2 体积成形方面 .....	199

复习思考题	200
<b>第 9 章 焊 接</b>	<b>202</b>
9.1 焊接概述	202
9.1.1 焊接基础知识	202
9.1.2 熔化焊化学冶金	204
9.1.3 熔池结晶和接头组织	206
9.2 常用焊接方法	207
9.2.1 手工电弧焊	207
9.2.2 气体保护焊	208
9.2.3 埋弧自动焊	210
9.2.4 电渣焊	211
9.2.5 电阻焊	212
9.2.6 超声波焊	213
9.2.7 摩擦焊	214
9.2.8 钎 焊	214
9.3 常用金属材料的焊接	215
9.3.1 金属材料的焊接性	215
9.3.2 碳素钢的焊接	216
9.3.3 低合金结构钢的焊接	216
9.3.4 铸铁的焊补	217
9.3.5 有色金属焊接	217
9.4 焊接件结构设计	218
9.5 现代焊接技术及其发展	224
9.5.1 高能束焊接	224
9.5.2 机器人焊接	226
复习思考题	227
<b>第 10 章 非金属材料成形及复合材料成形方法简介</b>	<b>228</b>
10.1 塑料的成形	228
10.1.1 概述	228
10.1.2 注射成形	229
10.1.3 压塑成形	229
10.1.4 挤出成形	230
10.1.5 吹塑成形	230
10.1.6 压 延	230
10.2 陶瓷的成形	231
10.2.1 概述	231
10.2.2 注浆成形	232

10.2.3	压制成形	232
10.2.4	等静压成形	233
10.2.5	热压烧结	234
10.2.6	其他成形方法	234
10.3	复合材料成形	235
10.3.1	概述	235
10.3.2	树脂基复合材料的成形方法	236
10.3.3	金属基复合材料成形	238
10.3.4	陶瓷基复合材料的成形方法	239
10.4	快速成形(现代新成形方法简介)	240
10.4.1	快速成形的基本原理	241
10.4.2	快速成型的主要工艺方法	242
10.4.3	快速成型技术特点及应用	244
	复习思考题	244
<b>第 11 章</b>	<b>毛坯成形方法选择及应用</b>	<b>245</b>
11.1	毛坯成形方法的选择原则	245
11.2	常用毛坯的选择	246
11.2.1	常用毛坯材料的比较	246
11.2.2	常用毛坯成形方法的比较	248
11.3	常用零件的成形方法	251
11.3.1	轴杆类零件	251
11.3.2	盘套类零件	252
11.3.3	机架、箱体类零件	254
11.4	毛坯成形方法选择实例	255
11.4.1	V 带轮零件	255
11.4.2	螺旋起重器	257
11.4.3	单级齿轮减速器	258
	复习思考题	260
	参考文献	262

# 绪 论

---

人类的周围到处都是材料,它们不仅存在于人类的现实生活中,而且也扎根于文化和思想领域。事实上,材料与人类的出现和进化有着密切的联系,在人类文明史上还曾以材料作为划分时代的标志,如石器时代、青铜器时代、铁器时代等。在当代,材料科学和制造科学同信息科学和生物科学一样,被认为是促进人类文明与发展的四大关键领域,对国民经济的发展起着重要作用。

工程材料与成形技术是机械制造生产过程的重要部分。机械制造的生产过程一般是先用铸造、压力加工或焊接等方法将材料制作成零件的毛坯(或半成品),再经切削加工制成尺寸精确的零件,最后将零件装配成机器。为了改善毛坯和工件的性能,常需在制造过程中穿插进行热处理。

毛坯材料和成形方法的选用直接影响零件的质量、成本和生产率。要合理选择毛坯的种类和制造方法,必须掌握各种材料的性能、特点、应用及其成形过程,包括各种成形方法的工艺实质、成形特点和选用原则等。

工程材料与成形技术是人类在长期生产实践中发展起来的一门科学。在材料生产及其成形工艺的历史上,我们的祖先有过辉煌的成就,为人类文明作出了重大贡献。我国在原始社会后期开始有陶器,在仰韶文化和龙山文化时期制陶技术已相当成熟;青铜冶炼始于夏代,至商周时代(公元前16世纪—公元前8世纪)冶铸技术已达到很高水平,形成了灿烂的青铜文化;公元前7世纪—公元前6世纪的春秋时期,我国已开始大量使用铁器,白口铸铁、麻口铸铁、可锻铸铁相继出现,比欧洲国家早了1800多年;大约在3000年前,我国已采用铸造、锻造、淬火等技术生产工具和各种兵器。大量的历史文物,如河南安阳出土的商代“司母戊”大鼎,重875kg,在大鼎四周,有蟠龙等组成的精致花纹;湖北江陵墓中发现的埋藏了2000多年的越王勾践的宝剑,至今仍异常锋利;陕西临潼秦始皇陵出土的大型铜马车和铜剑等等,均显示出中华民族在材料、成形方法及热处理等方面的卓越成就,以及对世界文明和人类进步所作出的贡献。直到明朝之前的2000多年间,我国的钢铁生产及金属材料成形工艺技术一直在世界上遥遥领先。与此同时,我国劳动人民在长期的生产实践中,总结出一套完整的金属加工经验。明朝宋应星所著《天工开物》,是世界上有关金属加工的最早的科学技术著作之一。但是到了18世纪以后,由于长期的封建统治和闭关自守,严重束缚了我国生产力的发展,使我国科学技术处于停滞落后状态,造成了与工业发达国家之间较大的差距。直到新中国成立以后,我国的科学技术才得到较快发展。

18世纪20年代初先后在欧美发生的产业革命极大地促进了钢铁工业、煤化学工业和

石油化学工业的快速发展,同时伴随着各类新材料不断涌现。20世纪80年代以来,一些新材料如信息材料、新型金属材料、先进复合材料、高性能塑料、纳米材料等的实用化,也给社会生产和人们的生活带来了巨大的变化。近年来,精密成形技术也不断产生,使毛坯形状、尺寸和表面质量更接近零件要求。当今之世,科学技术迅猛发展,微电子、计算机、自动化技术与传统制造工艺和设备相结合,构成了众多的先进制造技术。

尽管各种新技术、新工艺应运而生,新的制造理念不断形成,但铸造、锻压、焊接、热处理及机械加工等传统的常规成形工艺至今仍是量大面广、经济实用的技术。因此,常规工艺的不断改进和提高,并通过各种途径实现高效化、精密化、轻量化和绿色化,具有很大的技术经济意义。本课程也是学习上述基本知识的入门课程。

《工程材料与成形技术基础》(含工程材料及热加工)是机械类专业必修的一门主干技术基础课,也是近机类和部分非机类专业普遍开设的一门课程,旨在使学生建立生产过程的基本知识,了解新材料,掌握现代制造和工艺方法,培养学生的工程素质、实践能力和创新设计能力。

学生通过本课程的学习,应达到以下基本要求:

1. 建立工程材料和材料成形技术的完整概念,掌握必要的材料科学及有关成形技术的理论基础,培养良好的工程意识。
2. 熟悉各类常用结构工程材料的成分、组织、性能、应用特点及牌号表示方法;掌握强化金属材料的基本途径;了解新型材料的发展及应用。
3. 掌握各种成形方法的工艺特点和应用范围,掌握零件毛坯的结构工艺性,具有初步设计毛坯和零件结构的能力。
4. 掌握选择零件材料及成形工艺的基本原则和方法步骤,具有初步做到合理选择材料、成形工艺及强化方法并具有正确安排工艺路线的能力。
5. 了解与本课程有关的新材料、新技术、新工艺。

本课程融多种工艺方法于一体,信息量大,实践性强,叙述性内容较多,只有在金工教学实习获得感性认识的基础上进行课堂教学,才能收到预期效果。以课堂教学为主,同时辅之以电教片、多媒体CAI、实物与模型、课堂讨论、实验等多种教学手段和形式,以增强学生的感性认识,加深其对教学内容的理解;教学过程中应注意理论联系实际,使学生在掌握理论知识的同时,提高分析问题和解决问题的工程实践能力;学生应注意观察和了解平时接触到的机械装置,按要求完成一定量的作业及复习思考题;对于课程中结构工艺性内容,尚需在后继课程及课程设计、毕业设计中反复练习、提高,运用所学知识尝试解决有关问题,才能较好地掌握本课程内容,扩大课堂教学效果。

# 第 1 章 材料的结构、种类与性能

---

本章介绍了金属的晶体结构、材料的种类以及材料的各种性能。在晶体结构方面要求学生重点掌握晶体的概念、三种典型的晶体结构和实际晶体的缺陷等,在材料的性能方面重点掌握材料的力学性能。

## 1.1 材料的结构

材料的化学成分不同,其性能也不相同。但对于同一种材料,通过不同的处理,材料的内部组织结构会发生很大的变化,也就使材料的性能发生了变化。因此,材料的化学成分、组织结构是决定材料性能的主要因素。

### 1.1.1 金属的晶体结构

#### 1. 晶体的概念

晶体是指原子(或离子)按一定的几何形状作有规律的周期性重复排列的物体。人们比较熟悉的物质,如钻石、食盐、冰等,这些物质都具有一定的几何形状;但还有很多晶体是没有一定的几何形状的,如各种金属制品,其内部的原子是按一定的规律排列的。所以,晶体与非晶体的本质区别不在于外形,而在于内部的原子结构。

由于晶体中原子是规则排列,使晶体与非晶体存在很多性能上的差别。首先,晶体有一定的熔点,在熔点以上,晶体熔化为液体,成为非晶体;在熔点以下,凝固成固体,成为晶体。而非晶体没有一定的熔点。其次,晶体在不同的方向体现出不同的性能(如导电性、导热性、力学性能等),这种性能差异称为晶体的各向异性。而非晶体各个方向上的原子密度大致相同,表现出各向同性。另外,晶体和非晶体在一定条件下可以相互转化。

#### 2. 晶格与晶胞

人们为研究晶体的原子排列规律,把晶体中的原子想象为理想的固定不动的钢球,那么晶体就是由这些钢球堆垛而成的,图 1-1(a)所示就是原子堆垛模型。再将这些原子钢球简化为一个几何点(阵点),把阵点连接起来,就形成了一个三维空间格架,如图 1-1(b)所示。这种用以描述原子(离子、分子)排列规律的空间格架称为晶格。

由于原子排列具有周期性,人们往往选取一个能代表晶格特征的最小几何单元,用它来分析晶体的原子排列规律,这个最小的几何单元就是晶胞。如图 1-1(c)所示。

晶胞的大小以其各边的尺寸  $a, b, c$  表示,称为晶格常数,以  $\text{\AA}$  (埃)为单位来度量,晶胞



各边之间的夹角分别用  $\alpha, \beta$  及  $\gamma$  表示。

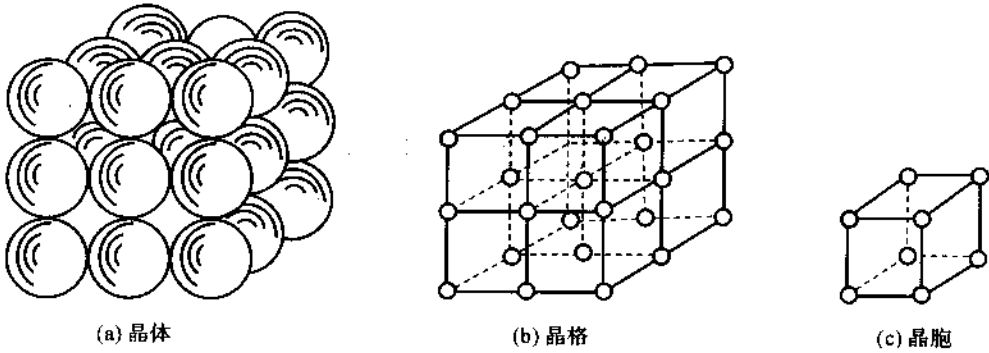


图 1-1 晶体中原子排列示意图

### 1.1.2 三种典型的晶体结构

自然界中的晶体结构种类繁多,晶体学家根据晶胞的三个晶格常数和三个边的夹角之间的相互关系对晶体进行分析,将晶体的晶格分为 14 种类型,而其中最常见的是以下三种类型。

#### 1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 1-2 所示。晶胞的三个棱边长度相等,三个轴间夹角均为  $90^\circ$ ,构成立方体。除晶胞的 8 个角上各有一个原子外,晶胞体中心还有一个原子。具有体心立方结构的金属有  $\alpha$ -Fe, Cr, V, Nb, Mo 等。



图 1-2 体心立方晶胞

#### 2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 1-3 所示。晶胞的三个棱边长度相等,三个轴间夹角均为  $90^\circ$ ,

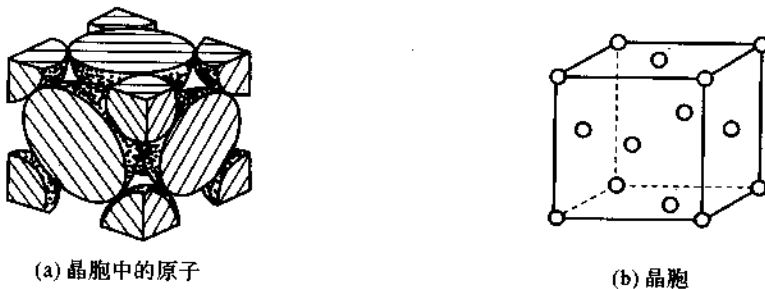


图 1-3 面心立方晶胞