



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
国家级精品课程教材  
北京高等教育教学成果二等奖

ENGINEERING MATERIALS Fifth Edition

# 工程材料

(第5版)

主编 朱张校  
主审 郑明新  
姚可夫



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家级精品课程教材

北京高等教育教学成果二等奖

清华大学工程材料系列教材

# 工 程 材 料

(第 5 版)

主 编 朱张校 姚可夫  
主 审 郑明新

清 华 大 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书根据高等工业学校机械工程材料及物理化学课程教学指导小组制定的机械工程材料课程教学大纲和教学基本要求编写。阐述了工程材料的结构、组织、性能及其影响因素等工程材料的基本理论和基本规律;介绍了金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料等常用工程材料以及它们的应用等基本知识;讨论了机械零件的失效与选材等内容。

本教材可作为高等院校机类专业学生用书,也可供报考机械类专业研究生的考生和有关工程技术人员学习、参考。

本教材为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本教材课程 2005 年被评为国家级精品课程,并荣获 2004 年度北京市高等教育教学成果二等奖。

与本书相配的《工程材料习题与辅导(第 5 版)》及与本书相配的《工程材料教师参考书(第 5 版)》、《工程材料多媒体教案(第 5 版)》也已经由清华大学出版社出版。

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

工程材料/朱张校,姚可夫主编. --5 版. --北京:清华大学出版社,2011.2

(清华大学工程材料系列教材)

ISBN 978-7-302-24907-8

I. 工… II. ①朱… ②姚… III. 工程材料—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 019679 号

责任编辑:宋成斌

责任校对:刘玉霞

责任印制:何 芊

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 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:22.75

字 数:536 千字

版 次:2011 年 2 月第 5 版

印 次:2011 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:36.00 元

---

产品编号:041436-01

---

## 第5版前言

---

《工程材料》课程是高等院校机类专业的一门技术基础课。《工程材料》课程的任务是从机械工程的应用角度出发,阐明机械工程材料的基本理论,了解材料的成分,加工工艺、组织、结构与性能之间的关系;介绍常用机械工程材料及其应用等基本知识。本课程的目的是使学生通过学习,在掌握机械工程材料的基本理论及基本知识的基础上,具备根据机械零件使用条件和性能要求,对结构零件进行合理选材及制定零件工艺路线的初步能力。由于能源、材料和信息是现代社会和现代科学技术的三大支柱,学习并掌握工程材料的基本知识,对于工科院校机械类专业的学生是十分必要的。国内外许多高等院校已把《工程材料》(或称《机械工程材料》)课程设置为机械类专业的一门十分重要的技术基础课。

本书根据高等工业学校机械工程材料教学大纲和教学要求编定,是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,可作为高等院校学生学习工程材料课程的教材,也可供报考机械类专业和材料科学与工程类专业研究生的考生和有关工程技术人员学习、参考。

本书是在清华大学出版社出版的郑明新教授主编的《工程材料》第1版(1983年)、第2版(1991年),以及朱张校教授主编的《工程材料》第3版(2001年)、朱张校、姚可夫教授主编的《工程材料》第4版(2009年)的基础上重编的。由于本书主要供机械类专业学生使用,因此重点在于阐明各种工程材料的组织结构、性能和应用,以及正确选材和用材的基本知识。近年来,我国的研究生教育事业发展很快,一些院校和研究单位把“工程材料”作为机械类专业研究生招生考试科目,并把清华大学的《工程材料》教材作为重要参考书。因此本书加强了材料学方面的内容,以利于加强学生的材料科学基础知识。同时重视材料学理论在工程实际中的应用,引入了大量工程应用实例,引导学生理论联系实际,掌握基本理论知识。

《工程材料》第5版由三部分内容组成。第一部分为基本理论部分,由第1章、第2章组成,阐述了工程材料学的概念和基本理论,其内容为工程材料的结构、组织和性能以及它们之间的关系;金属材料组织与性能的影响因素和规律。第二部分为工程材料知识部分,包括第3章至第7章。介绍了常用金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料的成分、组织、性能及其应用知识。同时对功能材料和其他新材料作了介绍,以扩展学生的材料知识面。第三部分为工程材料的应用部分,由第8章至第10章组成。介绍机械零件的失效与选材知识以及工程材料在汽车、机床、仪器仪表、热能设备、化工设备及航空航天器等领域的应用情况,其中“工程材料的应用”一章可根据不同专业的学生,有选择地讲授部分内容,其他内容可由学生自学。书中引入了较多的新材料、新技术知识,有利于培养学生的创新意识。本书的重点是第2、3章和第9章。

本书中介绍的材料牌号采用了最新的国家标准。考虑到读者对材料新牌号尚不熟悉,

因此保留了部分材料的旧牌号,文中用括号表明。例如不锈钢牌号 20Cr13(2Cr13)、铝合金牌号 5A05(LF5),其中 20Cr13、5A05 为新牌号,2Cr13、LF5 为旧牌号。

本教材体系科学合理,内容丰富新颖,理论性强,概念清晰,语言简洁,条理性强,注重理论联系实际,实例丰富。本书介绍的材料种类多,牌号新,材料知识面广,较为完整。本教材适用面广,可作为高等院校各机械类专业学生的教材或学习参考书。书末附有国内外常用钢号对照表及工程材料学常用词汇中英文对照表,可供读者阅读有关外文参考教材或文献时查阅。

配合本教材,作者另外编写了《工程材料习题与辅导(第5版)》一书作为《工程材料(第5版)》的配套教材。内容包括《工程材料(第5版)》各章重点、习题、课堂讨论指导书、实验指导书等,同时编写了《工程材料教师参考书(第5版)》,制作了《工程材料多媒体教案(第5版)》光盘,为工程材料课程教师提供了必要的教学资源。以上教学资源都已由清华大学出版社出版。

在教育部新世纪网络课程建设工程资助下,作者研制了《工程材料网络课程》,建设了工程材料课程网站。《工程材料网络课程》已由高等教育出版社、高等教育电子音像出版社出版。学生可以在网络环境下自主学习。

本书编写者分工如下:

绪论、第1章 1.1、1.2节、第2章 2.1节至 2.4节、第9章 9.3节至 9.5节由朱张校编改。

第1章 1.3节、第4章、第7章由张弓编改。

第1章 1.4节、第5章、第6章由张华堂编改。

第2章 2.5节、第3章 3.1、3.2节、第9章 9.1节、第10章 10.4节由王昆林编改。

第2章 2.6节、第8章、第10章 10.2、10.3节由张人佶编改。

第3章 3.3节、第9章 9.2节、第10章 10.1节由姚可夫编改。

第3章 3.4节由吴运新编改。

第10章 10.5、10.6节由巩前明编改。

附录 1、3、4、7、8 由朱张校整编,附录 2、5 由张欣整编,附录 6 由吴运新整编。

书中显微组织照片由丁莲珍、张欣、朱张校提供。

郑明新教授对本书的编写提出了非常宝贵的意见,并审阅了全书。全体编者对郑明新教授表示衷心的感谢。

本书的编写中引用了有关材料牌号方面的最新国家标准,参考了部分国内外有关教材、科技著作及论文,部分照片下载自互联网。在此特向有关作者致以深切的谢意。

由于编者水平有限,本书不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

朱张校 姚可夫

2011年1月于清华大学

# 目 录

绪论	1
0.1 中华民族对材料发展的重大贡献	1
0.2 材料的结合键	4
0.3 工程材料的分类	8
<b>第 1 章 材料的结构与性能特点</b>	<b>10</b>
1.1 金属材料的结构与组织	10
1.1.1 纯金属的晶体结构	10
1.1.2 合金的晶体结构	21
1.1.3 金属材料的组织	24
1.2 金属材料的性能特点	26
1.2.1 金属材料的工艺性能	26
1.2.2 金属材料的力学性能	28
1.2.3 金属材料的理化性能	33
1.3 高分子材料的结构与性能特点	36
1.3.1 高分子材料的结构	37
1.3.2 高分子材料的性能特点	41
1.4 陶瓷材料的结构与性能特点	47
1.4.1 陶瓷材料的结构	47
1.4.2 陶瓷材料的性能特点	52
<b>第 2 章 金属材料组织和性能的控制</b>	<b>56</b>
2.1 纯金属的结晶	56
2.1.1 纯金属的结晶	56
2.1.2 同素异构转变	59
2.1.3 铸锭的结构	59
2.1.4 结晶理论的工程应用	61
2.2 合金的结晶	63
2.2.1 二元合金的结晶	64
2.2.2 合金的性能与相图的关系	70
2.2.3 铁碳合金的结晶	71

2.3	金属的塑性加工	85
2.3.1	金属的塑性变形	86
2.3.2	金属的再结晶	90
2.3.3	塑性变形和再结晶的工程应用	92
2.4	钢的热处理	94
2.4.1	钢在加热时的转变	94
2.4.2	钢在冷却时的转变	97
2.4.3	钢的普通热处理	104
2.4.4	钢的表面热处理	112
2.4.5	钢的化学热处理	114
2.4.6	其他热处理技术	118
2.4.7	计算机技术在热处理中的应用	121
2.4.8	热处理的工程应用	122
2.5	钢的合金化	122
2.5.1	合金元素与铁、碳的作用	122
2.5.2	合金元素对 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图的影响	124
2.5.3	合金元素对钢热处理的影响	125
2.5.4	合金元素对钢的工艺性能的影响	127
2.5.5	合金元素对钢的性能的影响	128
2.5.6	合金化的工程应用	129
2.6	表面技术	129
2.6.1	电刷镀	129
2.6.2	热喷涂技术	131
2.6.3	气相沉积技术	133
2.6.4	激光表面改性	136
<b>第3章</b>	<b>金属材料</b>	<b>138</b>
3.1	碳钢	138
3.1.1	碳钢的成分和分类	138
3.1.2	碳钢的牌号及用途	139
3.2	合金钢	143
3.2.1	概述	143
3.2.2	合金结构钢	144
3.2.3	合金工具钢	159
3.2.4	特殊性能钢	169
3.3	铸钢与铸铁	179
3.3.1	铸钢	179
3.3.2	铸铁	182
3.4	有色金属及其合金	195
3.4.1	铝及铝合金	195

---

3.4.2	铜及铜合金	204
3.4.3	钛及钛合金	213
3.4.4	镁及镁合金	217
3.4.5	镍及镍合金	217
3.4.6	轴承合金	221
<b>第4章</b>	<b>高分子材料</b>	<b>225</b>
4.1	工程塑料	225
4.1.1	塑料的组成	225
4.1.2	塑料的分类	226
4.1.3	常用工程塑料	227
4.2	合成纤维	234
4.2.1	合成纤维的生产方法	234
4.2.2	常用合成纤维	236
4.3	合成橡胶	238
4.3.1	合成橡胶的分类和橡胶制品的组成	238
4.3.2	常用合成橡胶	239
<b>第5章</b>	<b>陶瓷材料</b>	<b>242</b>
5.1	普通陶瓷	242
5.1.1	普通日用陶瓷	242
5.1.2	普通工业陶瓷	243
5.2	特种陶瓷	244
5.2.1	氧化物陶瓷	244
5.2.2	碳化物陶瓷	245
5.2.3	硼化物陶瓷	247
5.2.4	氮化物陶瓷	247
<b>第6章</b>	<b>复合材料</b>	<b>250</b>
6.1	复合材料的复合原则	251
6.1.1	纤维增强复合材料的复合原则	251
6.1.2	颗粒增强复合材料的复合原则	252
6.2	复合材料的性能特点	253
6.2.1	比强度和比模量	253
6.2.2	抗疲劳性能和抗断裂性能	253
6.2.3	高温性能	254
6.2.4	减摩、耐磨、减振性能	254
6.2.5	其他特殊性能	254
6.3	非金属基复合材料	255
6.3.1	聚合物基复合材料	255
6.3.2	陶瓷基复合材料	257



6.3.3	碳基复合材料	258
6.4	金属基复合材料	259
6.4.1	金属陶瓷	259
6.4.2	纤维增强金属基复合材料	260
6.4.3	细粒和晶须增强金属基复合材料	260
<b>第7章</b>	<b>功能材料及新材料</b>	<b>262</b>
7.1	电功能材料	262
7.1.1	金属导电材料	262
7.1.2	金属电接点材料	263
7.1.3	电阻材料	264
7.1.4	导电高分子材料	264
7.1.5	超导材料	265
7.2	磁功能材料	267
7.2.1	软磁材料	267
7.2.2	永磁材料	267
7.2.3	信息磁材料	268
7.3	热功能材料	269
7.3.1	膨胀材料	269
7.3.2	形状记忆材料	270
7.3.3	测温材料	272
7.4	光功能材料	272
7.4.1	光学材料	272
7.4.2	固体激光器材料	272
7.4.3	信息显示材料	273
7.4.4	光纤	274
7.5	隐形材料及智能材料	274
7.6	纳米材料	274
7.6.1	纳米材料及其特性	275
7.6.2	碳纳米材料	275
7.6.3	纳米陶瓷材料	276
7.6.4	纳米复合材料	277
<b>第8章</b>	<b>零件失效分析与选材原则</b>	<b>278</b>
8.1	机械零件的失效	278
8.1.1	畸变失效	278
8.1.2	断裂失效	281
8.1.3	磨损失效	284
8.1.4	腐蚀失效	285
8.2	机械零件失效分析	286
8.2.1	零件失效基本原因	286
8.2.2	零件失效分析	286

8.3	机械零件选材原则	289
8.3.1	使用性能原则	289
8.3.2	工艺性能原则	290
8.3.3	经济及环境友好性原则	292
<b>第9章</b>	<b>典型工件的选材及工艺路线设计</b>	<b>293</b>
9.1	齿轮选材	293
9.1.1	齿轮的工作条件	293
9.1.2	齿轮的失效形式	293
9.1.3	齿轮材料的性能要求	294
9.1.4	齿轮类零件的选材	294
9.1.5	典型齿轮选材举例	294
9.2	轴类零件选材	297
9.2.1	轴类零件的工作条件	297
9.2.2	轴类零件的失效方式	298
9.2.3	轴类零件材料的性能要求	298
9.2.4	轴类零件的选材	298
9.2.5	典型轴的选材	299
9.3	弹簧选材	301
9.3.1	弹簧的工作条件	302
9.3.2	弹簧的失效形式	302
9.3.3	弹簧材料的性能要求	302
9.3.4	弹簧的选材	302
9.3.5	典型弹簧选材	303
9.4	刀具选材	304
9.4.1	刀具的工作条件	304
9.4.2	刀具的失效形式	304
9.4.3	刀具材料的性能要求	304
9.4.4	刀具的选材	304
9.4.5	刀具选材举例	305
<b>第10章</b>	<b>工程材料的应用</b>	<b>307</b>
10.1	汽车用材	307
10.1.1	汽车用金属材料	307
10.1.2	汽车用塑料	312
10.1.3	汽车用橡胶	314
10.1.4	汽车用陶瓷材料	314
10.1.5	汽车新材料发展趋势	315
10.2	机床用材	315
10.2.1	机身、底座用材	315
10.2.2	齿轮用材	316
10.2.3	轴类零件用材	316

10.2.4	· 螺纹联接件用材	317
10.2.5	· 螺旋传动件用材	317
10.2.6	· 蜗轮、蜗杆传动用材	317
10.2.7	· 滑动轴承材料	318
10.2.8	· 滚动轴承用材	319
10.3	· 仪器仪表用材	319
10.3.1	· 壳体材料	319
10.3.2	· 轴类零件用材	320
10.3.3	· 凸轮用材	320
10.3.4	· 齿轮用材	320
10.3.5	· 蜗轮、蜗杆用材	320
10.3.6	· 微型机电系统用材	320
10.4	· 热能设备用材	321
10.4.1	· 锅炉主要部件用钢	321
10.4.2	· 汽轮机主要零部件用钢	322
10.4.3	· 发电机转子用材	324
10.5	· 化工设备用材	325
10.5.1	· 化工设备用钢	325
10.5.2	· 化工设备用有色金属及其合金	328
10.5.3	· 非金属材料	329
10.5.4	· 复合材料	329
10.6	· 航空航天器用材	330
10.6.1	· 超高强度钢	330
10.6.2	· 轻金属及其合金	331
10.6.3	· 高温金属结构材料	333
10.6.4	· 先进金属基及无机非金属基复合材料	334
10.6.5	· 先进聚合物基复合材料	335
10.6.6	· 先进功能材料	335
附录 1	· 金属材料室温拉伸试验方法新、旧国家标准性能名称和符号对照表	336
附录 2	· 金属热处理工艺的分类及代号(摘自 GB/T 12603—2005)	337
附录 3	· 常用钢的临界点	341
附录 4	· 钢铁及合金牌号统一数字代号体系(摘自 GB/T 17616—1998)	342
附录 5	· 国内外常用钢号对照表	343
附录 6	· 常用铝及铝合金状态代号、说明与应用(摘自 GB/T 16475—1996)	345
附录 7	· 若干物理量单位换算表	346
附录 8	· 工程材料常用词汇表	347
参考文献		351

---

# 绪 论

---

材料是人类用来制造各种产品的物质,是人类生活和生产的物质基础。人类社会的发展伴随着材料的发明和发展。人类最早使用的材料是石头、泥土、树枝、兽皮等天然材料。由于火的使用,人类发明了陶器、瓷器,其后又发明了青铜器、铁器。因此历史学家常根据材料的使用,将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代。而今人类已跨进人工合成材料的新时代。金属材料以及高分子材料、陶瓷材料、复合材料等新型材料得到迅速的发展,为现代社会的发展奠定了重要的物质基础。

## 0.1 中华民族对材料发展的重大贡献

中华民族为材料的发展和应用作出了重大的贡献。在人类的发展史上,最先使用的工具是石器。我们的祖先用坚硬的容易纵裂成薄片的燧石和石英石等天然材料制成石刀、石斧、石锄。早在新石器时代(公元前 6000 年—公元前 5000 年)的磁山(河北)—裴李岗(河南)文化时期,中华民族的先人们用黏土烧制成陶器。在仰韶(河南)文化(公元前 4000 年—公元前 200 年)和龙山(山东、河南等)文化时期,制陶技术已经发展到能在氧化性气氛的窑中( $950^{\circ}\text{C}$ )烧制出红陶,在还原性炉气中( $1050^{\circ}\text{C}$ )烧制薄胎黑陶与白陶。在 3000 多年前的殷、周时期,发明了釉陶,炉窑温度提高到了  $1200^{\circ}\text{C}$ 。马家窑(甘肃)文化时期的陶器表面彩绘有条带纹、波纹和舞蹈纹等(图 0-1),制品有炊具、食具、盛储器皿等。我国在东汉时期发明了瓷器(图 0-2),成为最早生产瓷器的国家。瓷器于 9 世纪传到非洲东部和阿拉伯国家,

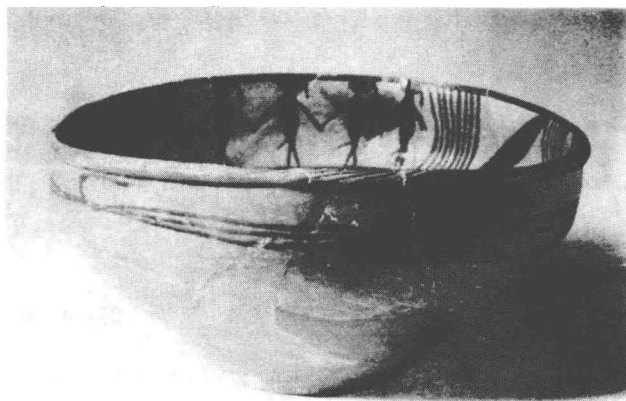


图 0-1 陶器

13 世纪传到日本,15 世纪传到欧洲。瓷器成为中国文化的象征,对世界文明产生了极大的影响。直到今天,中国瓷器仍畅销全球,名扬四海。

我国劳动人民创造了灿烂的青铜文化。我国青铜的冶炼在夏朝(公元前 2140 年始)以前就开始了,到殷、西周时期已发展到很高的水平。青铜主要用于制造各种工具、食器、兵器。从河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎重达 800 多千克,外形尺寸为  $1.33\text{ m} \times 0.78\text{ m} \times 1.10\text{ m}$ ,是迄今世界上最古老的大型青铜器(图 0-3),在制造时采用了精湛的铸造技术,在泥模塑造、陶范翻制、合范、熔炼、浇注等铸造全过程中,充分体现了中国古代劳动人民的聪明才智和优秀的技艺。从湖北江陵楚墓中发掘出的越王勾践的两把宝剑,长  $0.557\text{ m}$ ,宽  $0.046\text{ m}$ ,保存完好,基本上没有腐蚀,金光闪闪,锋利异常,剑体满饰菱形花纹,剑上铭刻八字“越王勾践,自作用剑”,是我国青铜器的杰作。在湖北大冶发现的春秋晚期的铜矿井遗址深达  $50\text{ m}$ ,炼铜炉渣有 40 多万吨,实属罕见。春秋战国时期《周礼·考工记》中记载了钟鼎、斧斤等六类青铜器中的锡质量分数,称为“六齐(剂)”。书中写道:“六分其金而锡居一,谓之钟鼎之齐;五分其金而锡居一,谓之斧斤之齐;四分其金而锡居一,谓之戈戟之齐;三分其金而锡居一,谓之大刃之齐;五分其金而锡居二,谓之削杀矢之齐;金、锡半,谓之鉴燧之齐”。这是世界上最古老的关于青铜合金成分的文字记载。这表明我们的祖先已经认识到了青铜的性能与成分之间的密切关系。从湖北隋县出土的战国青铜编钟共计 64 枚,分 3 层悬挂。造型壮观、音频准确。铸造精美,音律齐全,音域宽广,音色和美,乐律铭文珍贵,是我国古代文化艺术高度发达的见证(图 0-4)。

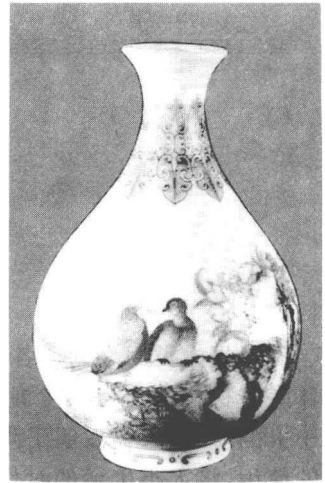


图 0-2 瓷器

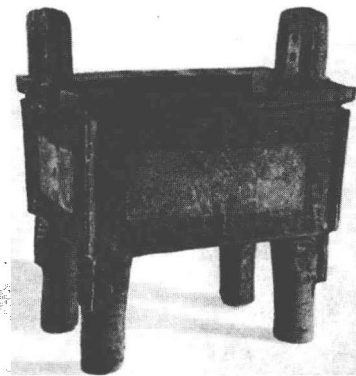


图 0-3 司母戊鼎

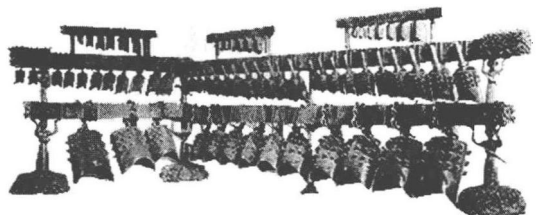


图 0-4 编钟

我国从春秋战国时期(公元前 770 年—公元前 221 年)已开始大量使用铁器。从兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇铸农具用的铁模,说明冶铸技术已由泥砂造型水平进入铁模铸造的高级阶段。到了西汉时期,炼铁技术又有了很大的提高,采用煤作为炼铁的燃料,这要比

欧洲早 1700 多年。在河南巩县汉代冶铁遗址中,发掘出 20 多座冶铁炉和锻炉。炉型庞大,结构复杂,并有鼓风装置和铸造坑。可见当年生产规模之壮观。1989 年在山西省永济县黄河东岸出土的唐开元十二年铸造的铁牛每尊高约 1.9 m,长约 3 m,宽约 1.3 m。最重的铁牛为 70 余吨。牛体之宏、分量之重、铁质之优、造型之美、数量之多、工艺之精、历史之久,实属千古佳作。铁牛曾是蒲津渡浮桥的地锚,是中国劳动人民对世界桥梁、冶金铸造技术、雕塑事业的伟大贡献,是世界桥梁史上的无价之宝。

我国古代创造了三种炼钢方法。第一种是从矿石中直接炼出自然钢。用这种钢做的剑在东方各国享有盛誉,东汉时传入了欧洲;第二种是西汉时期的经过“百次”冶炼锻打的百炼钢;第三种是南北朝时期生产的灌钢。先炼铁后炼钢的两步炼钢技术我国要比其他国家早 1600 多年。钢的热处理技术也达到了相当高的水平。西汉《史记·天官书》中有“水与火合为淬”一说,正确地说出了钢铁加热、水冷的淬火热处理工艺要点。《汉书·王褒传》中记载有“巧冶铸干将之朴,清水淬其锋”的制剑技术。明代科学家宋应星在《天工开物》一书中对钢铁的退火、淬火、渗碳工艺作了详细的论述。钢铁生产工具的发展,对社会进步起了巨大的推动作用。

在材料领域中还应该提到的是丝绸。丝绸是一种天然高分子材料,它在我国有着悠久的历史,于 11 世纪传到波斯、阿拉伯、埃及,并于 1470 年传到意大利的威尼斯,进入欧洲。中国丝绸质地柔软,色彩鲜艳,美观华丽,光彩夺目,深得世界各国人民喜爱。

历史充分说明,我们勤劳智慧的祖先在材料的创造和使用上有着辉煌的成就,为人类文明、世界进步作出了巨大贡献。

中华人民共和国成立以后,我国的钢铁冶炼技术有了突破性进展,目前钢产量已跃居世界首位。武汉长江大桥使用碳素结构钢 Q235 钢制造,而我国自行设计和建造的南京长江大桥则用强度较高的合金结构钢 Q345(16Mn) 钢制造,九江长江大桥则用强度更高的合金结构钢 Q420(15MnVN) 钢制造。我国的原子弹、氢弹的研制成功,火箭、人造卫星、飞船的上天,都以材料的发展为坚实基础。高分子材料和复合材料工业得到了飞速发展。

在当代,科学技术和生产飞跃发展。材料、能源与信息作为现代社会和现代技术的三大支柱,发展格外迅猛。

在材料中非金属材料发展迅速,尤以人工合成高分子材料的发展最快。从 20 世纪 60 年代到 70 年代,高分子材料以每年 14% 的速度增长,而金属材料的年增长率仅为 4%。到 70 年代中期,全世界的高分子材料和钢的体积产量已经相等。高分子材料已经在机械、仪器仪表、汽车工业中得到广泛应用。如制造汽车挡泥板、灯壳、座椅、门把、车内装饰件、仪器仪表的壳体、面板、齿轮等。高分子材料除了作为结构材料代替钢铁外,目前正在研究和开发具有良好导电性能和耐高温的有机合成材料。陶瓷材料的发展同样十分引人注目,它除了具有许多特殊性能作为重要的功能材料(例如可作光导纤维、激光晶体等)以外,其脆性和抗热震性正在逐步获得改善,是最有前途的高温结构材料。机器零件和工程结构已不再只使用金属材料制造了。

随着航空、航天、电子、通信等技术以及机械、化工、能源等工业的发展,对材料的性能提出越来越高、越来越多的要求。传统的单一材料已不能满足使用要求。复合材料的研究和应用引起了人们的重视。如玻璃纤维树脂复合材料(即玻璃钢)、碳纤维树脂复合材料已应用于宇航和航空工业中制造卫星壳体、宇宙飞行器外壳、飞机机身、螺旋桨等;在交通运输工业中制造汽车车身、轻型船、艇等,在石油化工工业中制造耐酸、耐碱、耐油的容器及管道等。

近年来,我国在新材料的研究和材料加工新工艺的研究工作中取得卓有成效的重大成果。研制成功性能优越、用途广泛的新型结构钢;能制备厚度仅为 $6\mu\text{m}$ 的超塑性铝箔;研制出零电阻温度为 $128.7\text{K}$ 的 $\text{Tl-Ca-Ba-Cu-O}$ 超导体(铊系超导体),我国新型碳材料碳纳米管的研究方面取得许多新的成果,例如,利用碳纳米管作为衬底,制备出均匀、致密的金刚石薄膜,并用碳纳米管作为晶须增强复合材料,制作纳米复合材料。

2003年中国第一艘载人飞船“神舟”五号成功飞行(图0-5)。2007年中国首颗探月卫星“嫦娥一号”成功发射(图0-6)。航空航天事业的迅速发展,带动了钛合金、铝合金、镍合金、高温陶瓷、复合材料等航空航天材料的发展。如铝镁合金材料应用于歼击机框架,直径达 $3.5\text{m}$ 的铝合金锻环用于“长征二号”火箭。

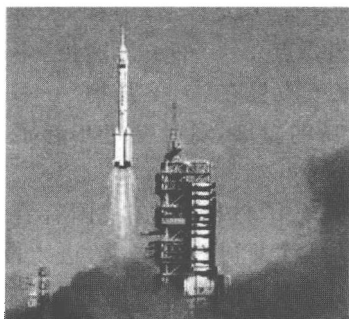


图 0-5 “神舟”五号

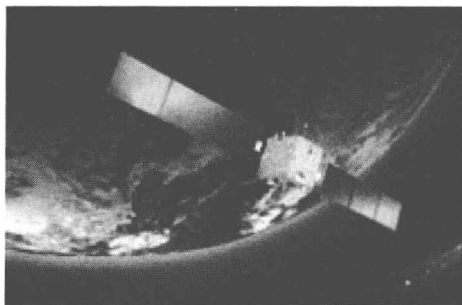


图 0-6 探月卫星“嫦娥一号”

材料快速成型技术和材料表面处理技术在我国得到迅速发展。激光表面淬火、激光熔涂技术已在汽车发动机缸套、凸轮轴、石油抽油管、纺织用锭杆等零件的表面强化上得到应用。化学气相沉积(CVD)可制造出高硬度、高耐磨性的金黄色 $\text{TiN}$ 薄膜,用于耐磨零件和装饰件的表面处理。

总之,材料科学和材料工程发展很快。我们需要掌握材料科学的基本理论和基本知识,研究和发明新的材料和新的工艺,合理地使用各种工程材料,为祖国现代化建设事业做出应有的贡献。

通过本门课程的学习,同学们应当掌握工程材料的基本理论及基本知识,具备根据机械零件使用条件、性能要求和失效形式,进行合理选材及制定零件工艺路线的初步能力。

## 0.2 材料的结合键

各种工程材料是由各种不同的元素组成,由不同的原子、离子或分子结合而成。原子、离子或分子之间的结合力称为结合键。一般可把结合键分为离子键、共价键、金属键和分子键四种。

### 1. 离子键

当元素周期表(表0-1)中相隔较远的正电性元素原子和负电性元素原子接触时,前者失去最外层价电子变成带正电荷的正离子,后者获得电子变成带负电荷的满壳层负离子。正离子和负离子由静电引力相互吸引;当它们十分接近时发生排斥,引力和斥力相等即形成

表 0-1 简化元素周期表

I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0		
1H 氢															2He 氦		
3Li 锂	4Be 铍													9F 氟	10Ne 氖		
11Na 钠	12Mg 镁													17Cl 氯	18Ar 氩		
19K 钾	20Ca 钙	21Sc 钪	22Ti 钛	23V 钒	24Cr 铬	25Mn 锰	26Fe 铁	27Co 钴	28Ni 镍	29Cu 铜	30Zn 锌	31Ga 镓	32Ge 锗	33As 砷	34Se 硒	35Br 溴	36Kr 氪
37Rb 铷	38Sr 锶	39Y 钇	40Zr 锆	41Nb 铌	42Mo 钼	43Tc 锝	44Ru 钌	45Rh 铑	46Pd 钯	47Ag 银	48Cd 镉	49In 铟	50Sn 锡	51Sb 锑	52Te 碲	53I 碘	54Xe 氙
55Cs 铯	56Ba 钡	57La *	72Hf 铪	73Ta 钽	74W 钨	75Re 铼	76Os 钨	77Ir 铱	78Pt 铂	79Au 金	80Hg 汞	81Tl 铊	82Pb 铅	83Bi 铋	84Po 钋	85At 砹	86Rn 氡
87Fr 钫	88Ra 镭	89Ac **															

过渡元素

共价键非金属

共价键金属

金属键

难熔金属

贵金属

惰性气体

\* 57~71 镧系

\*\* 89~103 锕系

104 Rf

105 Ha



稳定的离子键,如图 0-7 所示。

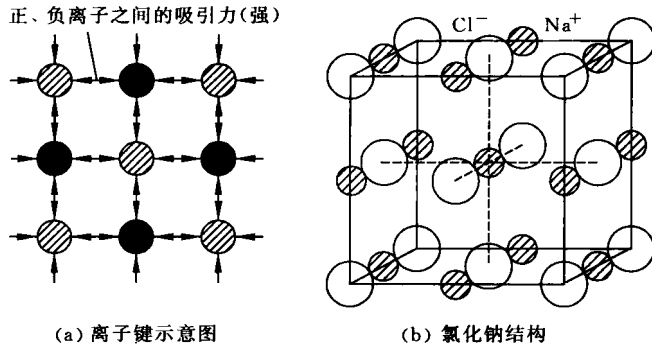


图 0-7 离子键(a)和离子晶体(b)

离子键的结合力很大,因此离子晶体的硬度高、强度大、热膨胀系统小,但脆性大。离子键中很难产生可以自由运动的电子,所以离子晶体都是良好的绝缘体。在离子键结合中,由于离子的外层电子比较牢固地被束缚,可见光的能量一般不足以使其受激发,因而不吸收可见光,所以典型的离子晶体是无色透明的。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{NaCl}$  等化合物都是离子键结合。

## 2. 共价键

处于元素周期表中间位置的 3、4、5 价元素,原子既可能获得电子变为负离子,也可能丢失电子变为正离子。当这些元素原子之间或与邻近元素原子形成分子或晶体时,以共用价电子形成稳定的电子满壳层的方式实现结合。这种由共用价电子对产生的结合键叫共价键[图 0-8(a)]。

最具代表性的共价晶体为金刚石,其结构见图 0-8(b)。硅、锗、锡等元素可构成共价晶体。 $\text{SiC}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{BN}$  等化合物也属于共价晶体。

共价键的结合力很大,所以共价晶体强度高、硬度高、脆性大、熔点高、沸点高、挥发性低。

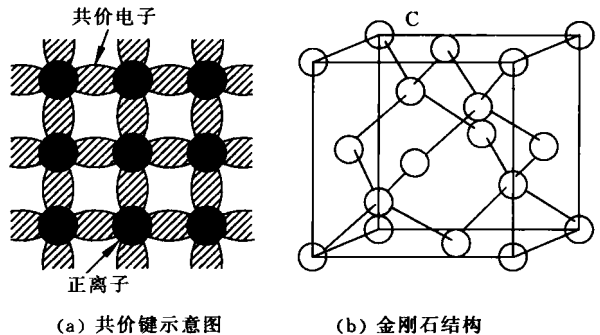


图 0-8 共价键(a)和共价晶体(b)

## 3. 金属键

元素周期表中 I、II、III 族元素的原子在满壳层外有一个或几个价电子。原子很容易丢失其价电子而成为正离子。被丢失的价电子为全体原子所公有,叫做自由电子。它们在正离子之间自由运动。正离子在空间规则分布,和自由电子之间产生强烈的静电吸引力,使全部离子结合起来。这种结合力叫做金属键,如图 0-9 所示。

金属由金属键结合,因而金属具有下列特性:

- ① 良好的导电性和导热性。当金属的两端存在电势差或外加电场时,自由电子可以定