

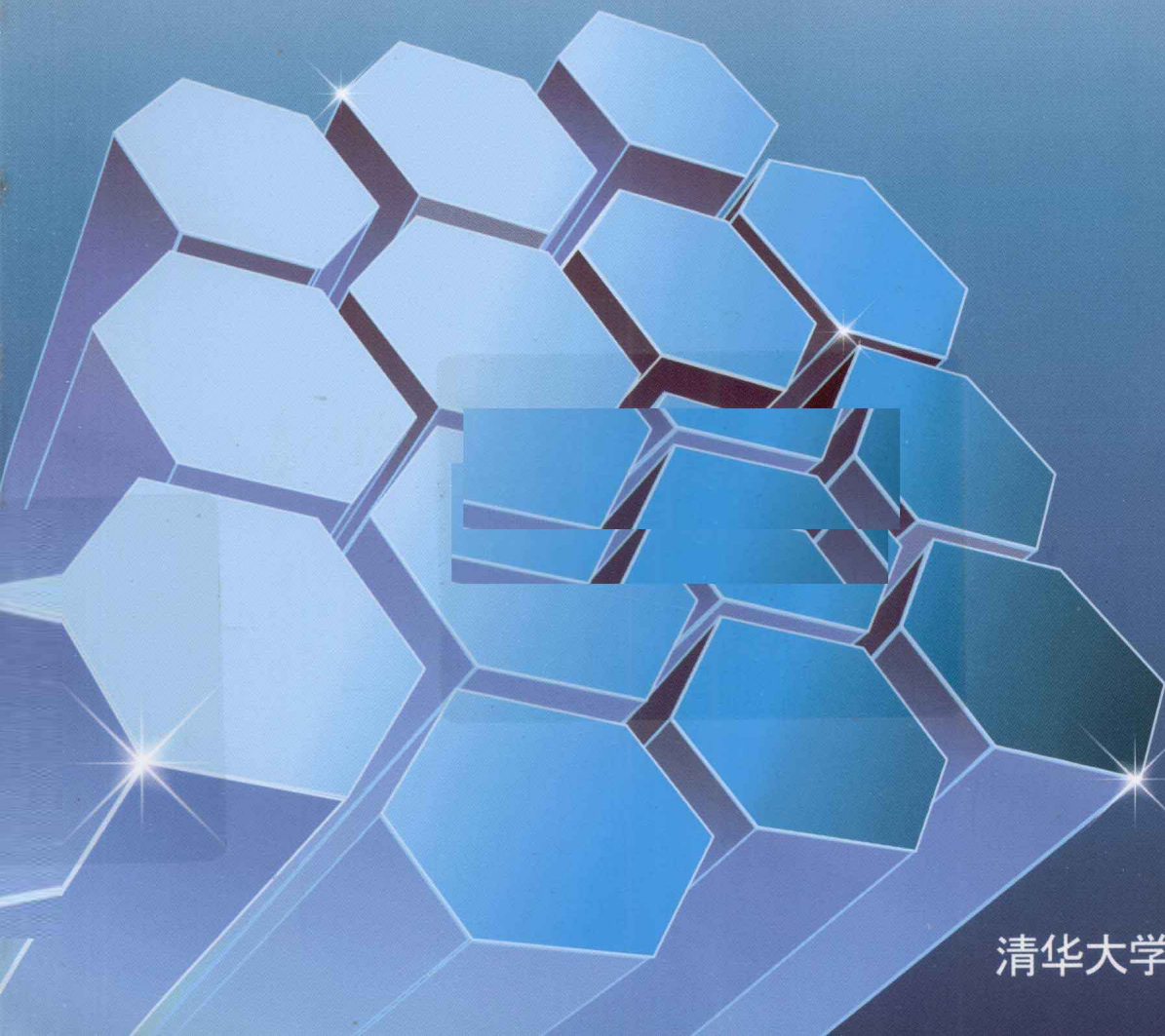
The background of the top half of the cover features a photograph of the iconic Tsinghua University Gate, a large white stone structure with multiple arches and columns. The gate is set against a clear blue sky with some greenery visible on the sides. The overall color palette is dominated by light blues and whites.

清 華 大 學

清华大学工程材料学系列教材

工程材料学

主编 朱张校 姚可夫

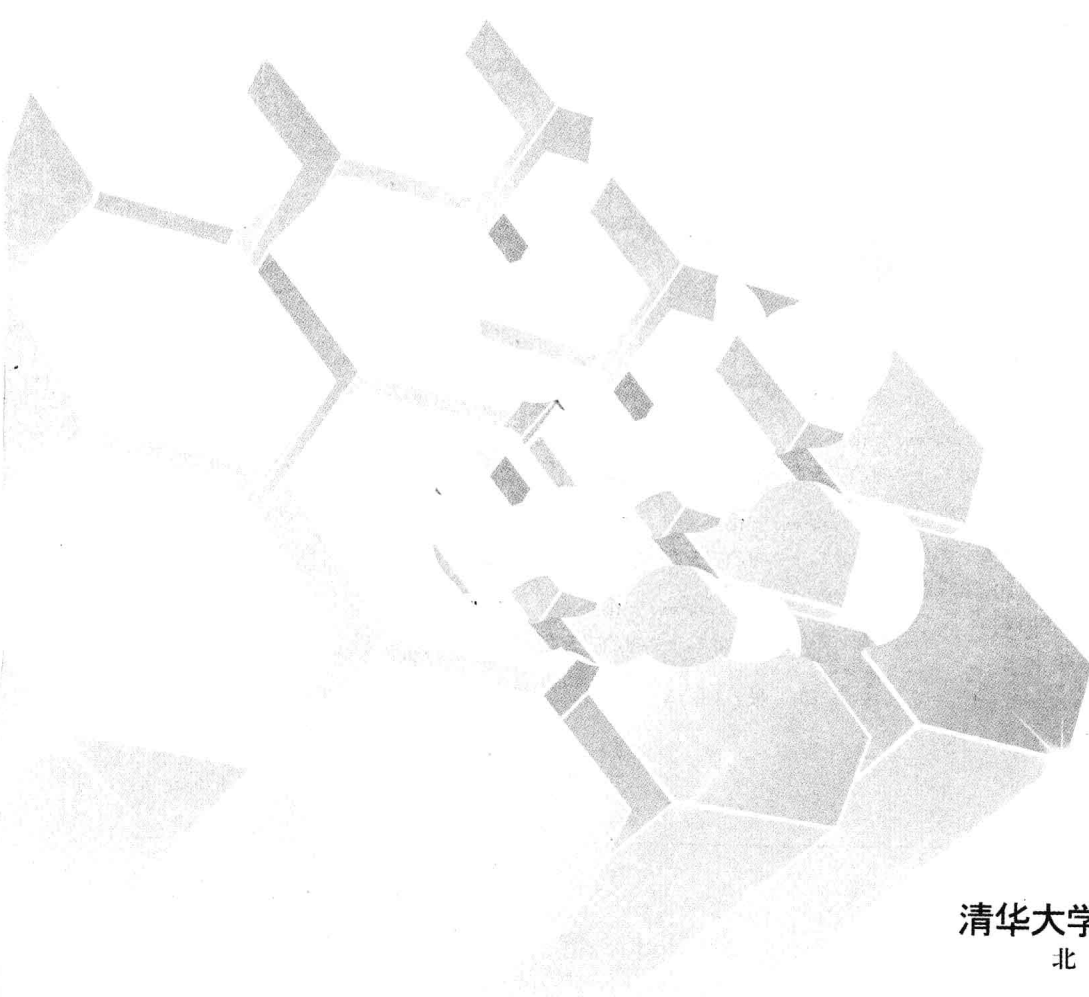


清华大学出版社

清华大学工程材料学系列教材

工程材料学

主编 朱张校 姚可夫



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是根据高等工业学校机械工程材料课程教学大纲和教学要求编写的。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。本书包括习题、实验与课堂讨论指导书。

本教材可作为高等院校机类专业学生用书，适用于30~40学时的工程材料课程使用，也可供有关工程技术人员学习、参考。

与本书配套的《工程材料学教师参考书》、《工程材料学多媒体教案》也已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

工程材料学/朱张校等主编. —北京：清华大学出版社，2012.5

(清华大学工程材料学系列教材)

ISBN 978-7-302-28408-6

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第055784号

责任编辑：宋成斌

封面设计：梁伟侠

责任校对：王淑云

责任印制：杨 艳

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>，<http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦A座 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：北京国马印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm

印 张：18.75

字 数：456千字

版 次：2012年5月第1版

印 次：2012年5月第1次印刷

印 数：1~5000

定 价：29.80元

产品编号：041434-01

前 言

《工程材料学》是根据高等工业学校机械工程材料教学大纲和教学要求编写的,可作为高等院校各机械类专业学生学习工程材料课程的教材,也可供有关工程技术人员学习和参考。

本书是在朱张校、姚可夫主编的《工程材料》第5版(清华大学出版社,2011年1月)的基础上改编而成的,保留了《工程材料》第5版的教材体系和重点内容,删减了一些非重点内容。本书适用于30~40学时的工程材料课程使用。

《工程材料学》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基本概念和基本理论,涉及工程材料的结构、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等领域的应用情况,其中“工程材料的应用”一章可根据学生不同专业的需要,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。

本教材力求体系更科学合理,内容更丰富新颖;尽量做到理论性强,概念清晰,语言简洁,条理性强,注重理论联系实际,注重实例。本书介绍的材料种类多,牌号新,材料知识面广,适用面宽。书末附有国内外常用钢号对照表及工程材料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《工程材料学教师参考书》,制作了《工程材料学多媒体教案》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。

本书编写者分工如下:

绪论、第1章1.1节、1.2节、第2章2.1节至2.4节、第9章9.3节、9.4节由朱张校编写。第1章1.3节、第4章、第7章由张弓编写。第1章1.4节、第5章、第6章由张华堂编写。第2章2.5节、第3章3.1节、3.2节、第9章9.1节、第10章10.4节由王昆林编写。

第2章 2.6节、第8章、第10章 10.2节、10.3节由张人佶编写。第3章 3.3节、第9章 9.2节、第10章 10.1节由姚可夫编写。第3章 3.4节、课堂讨论指导书由吴运新编写。第10章 10.5节、10.6节由巩前明编写。附录 1、3、4、6、7、8由朱张校编写,附录 2、5及实验指导书由张欣编写。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 zhuzhx@tsinghua.edu.cn

姚可夫 kfyao@tsinghua.edu.cn

2012年1月于清华大学

目 录

绪论	1
0.1 课程的任务与目的	1
0.2 中华民族对材料发展的重大贡献	1
0.3 材料的结合键与分类	4
0.3.1 材料的结合键	4
0.3.2 工程材料的分类	6
第1章 材料的结构与性能特点	8
1.1 金属材料的结构与组织	8
1.1.1 纯金属的晶体结构	8
1.1.2 合金的晶体结构	16
1.1.3 金属材料的组织	19
1.2 金属材料的性能特点	20
1.2.1 金属材料的工艺性能	21
1.2.2 金属材料的力学性能	22
1.2.3 金属材料的理化性能	27
1.3 高分子材料的结构与性能特点	29
1.3.1 高分子材料的结构	29
1.3.2 高分子材料的性能特点	32
1.4 陶瓷材料的结构与性能特点	36
1.4.1 陶瓷材料的结构	36
1.4.2 陶瓷材料的性能特点	38
习题	40
第2章 金属材料组织和性能的控制	41
2.1 纯金属结晶	41
2.1.1 纯金属的结晶	41
2.1.2 同素异构转变	44
2.1.3 铸锭的结构	44
2.1.4 结晶理论的工程应用	45
2.2 合金的结晶	47

2.2.1	二元合金的结晶	48
2.2.2	合金的性能与相图的关系	54
2.2.3	铁碳合金的结晶	55
2.3	金属的塑性加工	68
2.3.1	金属的塑性变形	68
2.3.2	金属的再结晶	73
2.3.3	塑性变形和再结晶的工程应用	75
2.4	钢的热处理	76
2.4.1	钢在加热时的转变	77
2.4.2	钢在冷却时的转变	79
2.4.3	钢的普通热处理	86
2.4.4	钢的表面热处理	94
2.4.5	钢的化学热处理	95
2.4.6	其他热处理技术	100
2.4.7	计算机技术在热处理中的应用	102
2.4.8	热处理的工程应用	103
2.5	钢的合金化	103
2.5.1	合金元素与铁、碳的作用	103
2.5.2	合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	104
2.5.3	合金元素对钢热处理的影响	105
2.5.4	合金元素对钢的工艺性能的影响	107
2.5.5	合金元素对钢的性能的影响	107
2.5.6	合金化的工程应用	108
2.6	表面技术	109
2.6.1	电刷镀技术	109
2.6.2	热喷涂技术	110
2.6.3	气相沉积技术	111
2.6.4	激光表面改性技术	112
习题	113
第 3 章	金属材料	117
3.1	碳钢	117
3.1.1	碳钢的成分和分类	117
3.1.2	碳钢的牌号及用途	118
3.2	合金钢	122
3.2.1	概述	122
3.2.2	合金结构钢	123
3.2.3	合金工具钢	137
3.2.4	特殊性能钢	146
3.3	铸钢与铸铁	156

3.3.1	铸钢	156
3.3.2	铸铁	158
3.4	有色金属及其合金	170
3.4.1	铝及铝合金	170
3.4.2	铜及铜合金	178
3.4.3	钛及钛合金	186
3.4.4	镁及镁合金	189
3.4.5	镍及镍合金	189
3.4.6	轴承合金	191
习题		194
第4章	高分子材料	196
4.1	工程塑料	196
4.1.1	塑料的分类	196
4.1.2	常用工程塑料	196
4.2	合成纤维	200
4.2.1	合成纤维的生产方法	200
4.2.2	常用合成纤维	201
4.3	合成橡胶	203
4.3.1	通用合成橡胶	203
4.3.2	特种合成橡胶	204
习题		205
第5章	陶瓷材料	206
5.1	普通陶瓷	206
5.1.1	普通日用陶瓷	206
5.1.2	普通工业陶瓷	206
5.2	特种陶瓷	207
5.2.1	氧化物陶瓷	207
5.2.2	碳化物陶瓷	208
5.2.3	硼化物陶瓷	210
5.2.4	氮化物陶瓷	210
习题		210
第6章	复合材料	212
6.1	复合材料的复合原则与性能特点	212
6.1.1	复合材料的复合原则	213
6.1.2	复合材料的性能特点	214
6.2	非金属基复合材料	215
6.2.1	聚合物基复合材料	215
6.2.2	陶瓷基复合材料	217

6.2.3	碳基复合材料	218
6.3	金属基复合材料	218
6.3.1	金属陶瓷	218
6.3.2	纤维增强金属基复合材料	220
6.3.3	细粒和晶须增强金属基复合材料	220
	习题	220
第7章	功能材料及新材料	221
7.1	电功能材料	221
7.1.1	金属导电与电接点材料	221
7.1.2	电阻材料	222
7.1.3	导电高分子材料	222
7.1.4	超导材料	222
7.2	磁功能材料	223
7.2.1	软磁材料	223
7.2.2	永磁材料	223
7.2.3	信息磁材料	224
7.3	热功能材料	225
7.3.1	膨胀材料	225
7.3.2	形状记忆材料	226
7.3.3	测温材料	226
7.4	光功能材料	226
7.4.1	光学材料	226
7.4.2	固体激光器材料	227
7.4.3	信息显示材料	227
7.4.4	光纤	227
7.5	纳米材料	228
7.5.1	纳米材料及其特性	228
7.5.2	碳纳米材料	228
7.5.3	纳米陶瓷材料	229
7.5.4	纳米复合材料	229
	习题	230
第8章	零件失效分析与选材原则	231
8.1	机械零件的失效	231
8.1.1	畸变失效	231
8.1.2	断裂失效	231
8.1.3	磨损失效	234
8.1.4	腐蚀失效	234
8.2	机械零件失效分析	235

8.2.1	零件失效基本原因	235
8.2.2	零件失效分析	235
8.3	机械零件选材原则	237
8.3.1	使用性能原则	237
8.3.2	工艺性能原则	238
8.3.3	经济及环境友好性原则	239
	习题	240
第9章	典型工件的选材及工艺路线设计	241
9.1	齿轮选材	241
9.1.1	齿轮的工作条件与失效形式	241
9.1.2	齿轮材料的性能要求与选材	242
9.1.3	典型齿轮选材	242
9.2	轴类零件选材	245
9.2.1	轴类零件的工作条件与失效形式	245
9.2.2	轴类零件材料的性能要求与选材	246
9.2.3	典型轴的选材	246
9.3	弹簧选材	249
9.3.1	弹簧的工作条件与失效形式	249
9.3.2	弹簧材料的性能要求与选材	250
9.3.3	典型弹簧选材	250
9.4	刀具选材	251
9.4.1	刀具的工作条件与失效形式	251
9.4.2	刀具材料的性能要求与选材	252
9.4.3	刀具选材举例	253
	习题	254
第10章	工程材料的应用	255
10.1	汽车用材	255
10.1.1	汽车发动机零件用材	255
10.1.2	汽车底盘零件用材	255
10.1.3	汽车配件用材	257
10.1.4	汽车新材料	257
10.2	机床用材	258
10.2.1	机身与底座用材	258
10.2.2	传动件用材	258
10.2.3	轴承用材	259
10.3	仪器仪表用材	259
10.3.1	壳体用材	259
10.3.2	轴类零件用材	260

10.3.3	凸轮与齿轮用材	260
10.3.4	蜗轮与蜗杆用材	260
10.3.5	微型机电系统用材	261
10.4	热能设备用材	261
10.4.1	锅炉用材	261
10.4.2	汽轮机用材	262
10.4.3	发电机转子用材	263
10.5	化工设备用材	263
10.5.1	压力容器用材	263
10.5.2	耐蚀设备用材	263
10.5.3	高温设备用材	264
10.5.4	低温设备用材	265
10.6	航空航天器用材	265
10.6.1	飞机用材	265
10.6.2	火箭与航天器用材	267
	习题	268
	课堂讨论指导书	270
	课堂讨论 1 铁碳相图	270
	课堂讨论 2 钢的热处理	270
	课堂讨论 3 材料的选择和使用	271
	实验指导书	272
	实验 1 金相试样的制备	272
	实验 2 铁碳合金平衡组织分析	273
	实验 3 钢的热处理及热处理后的显微组织观察	273
	附:洛氏硬度计的使用	275
	实验 4 常用工程材料的显微组织观察	276
	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	277
	附录 2 金属热处理工艺的分类及代号	278
	附录 3 常用钢的临界点	280
	附录 4 钢铁及合金牌号统一数字代号体系	281
	附录 5 国内外常用钢号对照表	282
	附录 6 常用铝及铝合金状态代号与说明	284
	附录 7 若干物理量单位换算表	285
	附录 8 工程材料常用词汇中英文对照表	286
	参考文献	290

结 论

0.1 课程的任务与目的

工程材料课程是高等院校机械类专业的一门必修的技术基础课。

工程材料课程的任务是阐明机械工程材料的基本理论,研究材料的成分、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的性能及应用等基本知识。

贯穿全课程的主线是:

材料的化学成分+加工工艺—组织结构—性能—选择材料—使用材料(零件)。

工程材料课程的理论性、实用性较强,学习时要注重分析和运用,做到理论联系实际,提高分析问题和解决问题的能力。

学生通过本课程的学习,应当达到如下目的:

- (1) 掌握金属与合金的结构、结晶、塑性变形、热处理、合金化等工程材料的基本理论。
- (2) 熟悉常用金属材料、高分子材料的性能和应用。
- (3) 了解陶瓷材料、复合材料、功能材料、零件失效分析基本知识,了解工程材料在汽车、机床、仪器仪表、热能、化工、航空航天等工程领域的使用情况。
- (4) 具备根据机械零件使用条件、性能要求和失效形式,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理论和基本知识,对于工科院校机械专业的学生是十分必要的。

0.2 中华民族对材料发展的重大贡献

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、高分子材料、陶瓷材料、复合材料等新型材料得到迅速发展,为现代社会的发展奠定了重要的物质基础。

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,中华民族的先人们就用粘土烧制成陶器。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。瓷器成为中国文化的象征,对世界文明产生了极大的影响。

我国劳动人民创造了灿烂的青铜文化。我国青铜的冶炼早在夏朝(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(又称后母戊鼎)重约 832 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)。从湖北江陵楚墓中发掘出的越王勾践剑是我国青铜器的杰作。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,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。湖北隋县出土的战国青铜编钟造型壮观、铸造精良、音色和美,是我国古代文化艺术高度发达的见证。

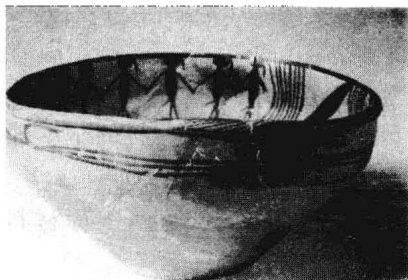


图 0-1 陶器

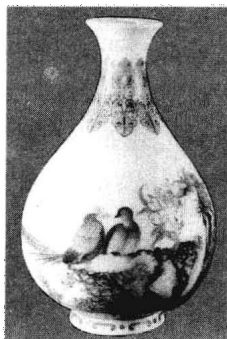


图 0-2 瓷器

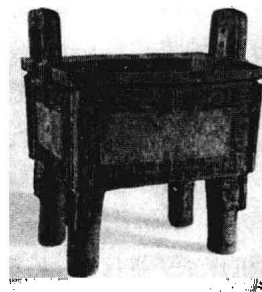


图 0-3 司母戊鼎

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。到了西汉时期,采用煤作为炼铁的燃料,这要比欧洲早 1700 多年。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。铁牛曾是蒲津渡浮桥的地锚,是我国人民对世界桥梁、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。

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。钢铁质量也得到显著提高。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。

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,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。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,其韧性和热稳定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。

复合材料的研究和应用得到了人们的重视。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,我国在新材料和材料加工新工艺的研究工作中取得了卓有成效的重大成果。研制出性能优越、用途广泛的多种新型结构钢;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 128.7K 的 Tl-Ca-Ba-Cu-O 超导体(铊系超导体),我国在新型碳材料——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年我国第一艘载人飞船“神舟五号”成功飞行(图0-4),标志着我国已进入载人航天时代。2007年我国首颗探月卫星“嫦娥一号”成功发射(图0-5)。2010年探月卫星“嫦娥二号”再次奔向月球。2011年成功实现了“天宫一号”目标飞行器与“神舟八号”的空间交会对接。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 3.5m 的铝合金锻环用于“长征二号”火箭等。

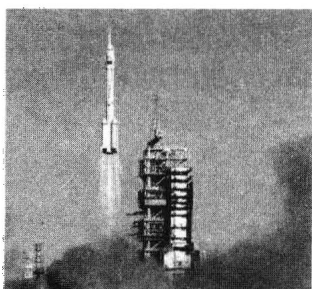


图 0-4 “神舟五号”

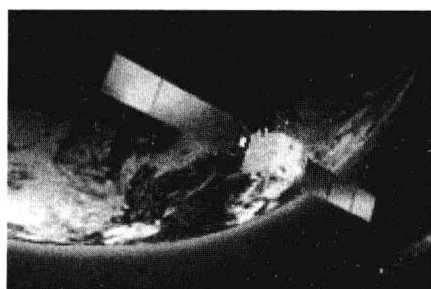


图 0-5 探月卫星“嫦娥一号”

总之,材料科学发展很快。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作出应有的贡献。

0.3 材料的结合键与分类

0.3.1 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。

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稳定的离子键,如图 0-6 所示。

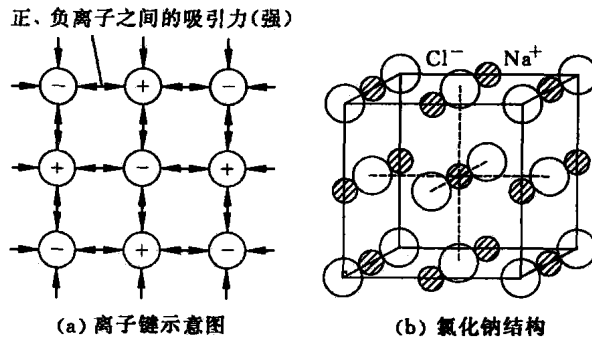


图 0-6 离子键(a)和离子晶体(b)

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。 Al_2O_3 、 TiO_2 、 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 0-7(a)]。

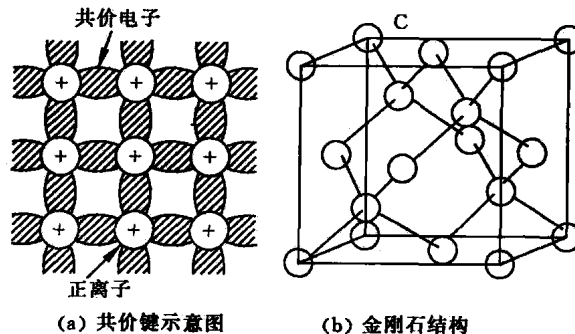


图 0-7 共价键(a)和共价晶体(b)

表 0-1 简化元素周期表

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

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 钅

105 Db 钅

最具代表性的共价晶体为金刚石,其结构见图 0-7(b)。硅、锗、锡等元素可构成共价晶体。SiC、Si₃N₄、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。

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 0-8 所示。

金属具有良好的导电性和导热性、正的电阻温度系数。金属不透明并呈现特有的金属光泽。金属具有良好的塑性变形能力,金属材料的强韧性好。

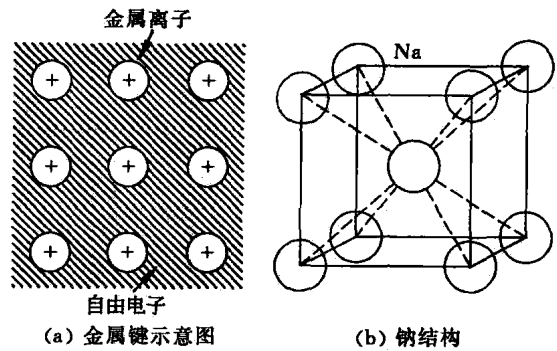


图 0-8 金属键(a)和金属晶体(b)

4. 分子键

甲烷分子在固态相互结合成为晶体。在结合过程中没有电子的得失、共有或公有化,原子或分子之间是靠范德瓦耳斯力结合起来。这种结合方式叫分子键。范德瓦耳斯力实际上就是分子偶极之间的作用力,如图 0-9 所示。含氢的聚合物中,一个氢原子可同时和两个与电子亲和能力大的、半径较小的原子(如 F、O、N 等)相结合,形成氢键。氢键是一种较强的、有方向性的范德瓦耳斯键[图 0-9(c)]。

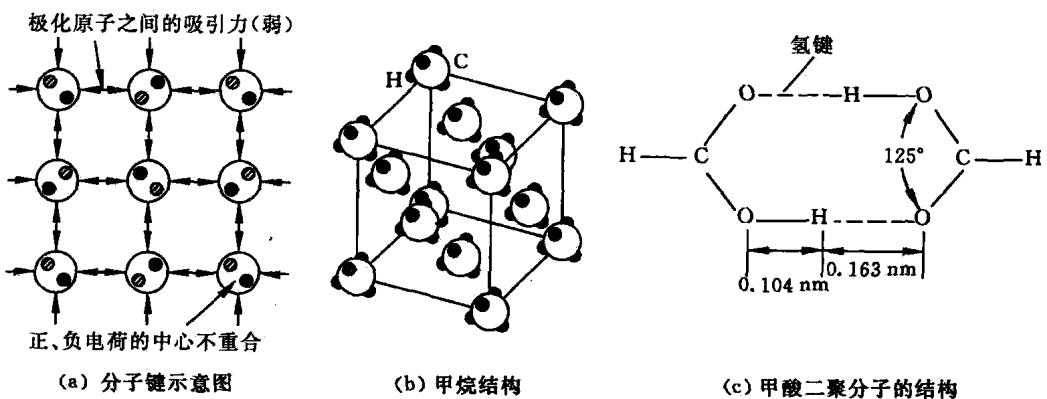


图 0-9 分子键(a)、分子晶体(b)和氢键(c)

由于范德瓦耳斯力很弱,因此由分子键结合的固体材料熔点低、硬度也很低,无自由电子,因此材料有良好的绝缘性。

0.3.2 工程材料的分类

工程材料主要是指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程