

高等学校“十二五”规划教材

# 工程材料

傅宇东 崔秀芳 高玉芳 主编  
方双全 主审

GONGCHENG  
CAILIAO



化学工业出版社

高等学校“十二五”规划教材

# 工 程 材 料

傅宇东 崔秀芳 高玉芳 主编  
方双全 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共 13 章, 主要包括: 原子结构与键合形式, 固体材料的结构, 工程材料的性能, 二元相图, 固态转变, 钢铁材料, 有色金属材料, 陶瓷材料, 高分子材料, 复合材料, 功能材料, 生态环境材料, 表面工程技术。

本书可作为机械工程、动力工程及化学工程各相关专业的本科生教材, 也可供从事机械设计与制造的工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料/傅宇东, 崔秀芳, 高玉芳主编. —北京:  
化学工业出版社, 2014. 8

高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-21336-5

I. ①工… II. ①傅…②崔…③高… 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 (2014) 第 161407 号

---

责任编辑: 宋林青

文字编辑: 向 东

责任校对: 陶燕华

装帧设计: 史利平

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$  字数 472 千字 2014 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

## Preface

材料是人类从事生产和保障生活的物质基础，也是社会经济发展的技术先导。科技进步不断对材料的种类和性能提出新的要求，而材料科学的进步又推动了科学技术的长足发展。由于材料在当代工业、农业、国防和科学技术现代化的进程中占有举足轻重的特殊地位，因此，材料科学和信息科学、生命科学一道被誉为支撑现代文明的三大支柱。

高等理工科学校的重要任务之一，是培养高素质的工程人才。一个优秀的工程设计人员，不仅要能够运用扎实的专业理论知识设计出产品蓝图，而且应该更多地掌握有关高技术新材料方面的知识，以保证产品具有良好的加工、制造性能和优异的使用性能。《工程材料》正是为了适应这种教学需求而编写的。

本教材在编写过程中借鉴了美、日等国同类教材的体系结构和章节设置，旨在促进我国工科高等院校《工程材料》教材的框架结构和体系编排与国际工程材料教学体系的接轨。本教材以原子结构与键合、固体材料结构、工程材料性能为主线，力求将金属材料、高分子材料和陶瓷材料的共性有机融合在一起，便于学生在整体上对工程材料有全面系统地了解。然后，再分章讲解各种材料的特殊性，有利于学生深刻、准确地理解和掌握所学的内容。同时，本教材注重反映当代材料科学研究中的新理论、新概念、新工艺和新技术，以开阔学生的视野，拓宽专业面，培养学生获取新知识和运用新知识的能力以及一定的知识创新能力。

本书共 13 章，其中，绪论、第 1 章至第 3 章、第 12 章、第 13 章由傅宇东编写，第 4 章、第 5 章及第 9 章至第 11 章由崔秀芳编写，第 6 章至第 8 章由高玉芳编写。全书由傅宇东主编，方双全主审。

感谢冯晓雪、闫锋、方博同学对本书的校对工作，尤其感谢哈尔滨工程大学教授席慧智先生，本书从构思、策划到具体章节的编写均体现了他的劳动和帮助。

由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者  
2014 年 7 月

# 目录

## Contents

|                     |    |
|---------------------|----|
| 绪论                  | 1  |
| 0.1 材料科学与工程         | 1  |
| 0.2 材料的分类           | 3  |
| 0.2.1 金属材料          | 3  |
| 0.2.2 陶瓷材料          | 4  |
| 0.2.3 高分子材料         | 4  |
| 0.2.4 复合材料          | 5  |
| 0.3 材料的成分、组织结构与性能   | 6  |
| 0.4 新材料的现状与发展       | 6  |
| 第1章 原子结构与键合形式       | 8  |
| 1.1 原子结构            | 8  |
| 1.1.1 近代原子结构理论进展    | 8  |
| 1.1.2 微观粒子的波粒二象性    | 9  |
| 1.1.3 波函数、电子云与量子数   | 10 |
| 1.2 原子核外的电子分布与周期表   | 13 |
| 1.2.1 原子核外的电子分布     | 13 |
| 1.2.2 周期表           | 14 |
| 1.2.3 电离能、电子亲和能及电负性 | 18 |
| 1.3 原子键合            | 21 |
| 1.3.1 离子键           | 21 |
| 1.3.2 共价键           | 24 |
| 1.3.3 金属键           | 27 |
| 1.3.4 二次键           | 27 |
| 1.4 主要工程材料的键合方式     | 29 |
| 第2章 固体材料的结构         | 31 |
| 2.1 晶体学基础           | 31 |
| 2.1.1 晶体与非晶体        | 31 |
| 2.1.2 晶体几何学         | 31 |
| 2.1.3 晶体结构          | 34 |
| 2.2 实际晶体结构          | 37 |
| 2.2.1 多晶体           | 37 |
| 2.2.2 晶体缺陷          | 38 |

|            |                      |           |
|------------|----------------------|-----------|
| 2.3        | 合金的相结构 .....         | 40        |
| 2.3.1      | 合金、组元及相 .....        | 40        |
| 2.3.2      | 固溶体 .....            | 41        |
| 2.3.3      | 金属间化合物 .....         | 43        |
| 2.4        | 陶瓷与聚合物晶体结构 .....     | 46        |
| 2.4.1      | 陶瓷晶体结构 .....         | 46        |
| 2.4.2      | 聚合物晶体结构 .....        | 46        |
| 2.5        | 非晶、准晶及微细晶合金结构 .....  | 47        |
| 2.5.1      | 非晶体与准晶体 .....        | 47        |
| 2.5.2      | 微晶与纳米晶 .....         | 49        |
| <b>第3章</b> | <b>工程材料的性能 .....</b> | <b>50</b> |
| 3.1        | 概述 .....             | 50        |
| 3.2        | 材料的力学性能 .....        | 50        |
| 3.2.1      | 弹性与刚度 .....          | 50        |
| 3.2.2      | 强度 .....             | 52        |
| 3.2.3      | 塑性 .....             | 52        |
| 3.2.4      | 断裂 .....             | 55        |
| 3.2.5      | 韧性 .....             | 56        |
| 3.2.6      | 硬度 .....             | 58        |
| 3.2.7      | 耐磨性 .....            | 59        |
| 3.2.8      | 疲劳 .....             | 60        |
| 3.3        | 材料的物理性能 .....        | 61        |
| 3.3.1      | 材料的密度与熔点 .....       | 61        |
| 3.3.2      | 材料的热性能 .....         | 62        |
| 3.3.3      | 材料的电性能 .....         | 63        |
| 3.3.4      | 材料的磁性能 .....         | 63        |
| 3.3.5      | 材料的光学性能 .....        | 63        |
| 3.3.6      | 材料的声学性能 .....        | 64        |
| 3.4        | 材料的化学性能 .....        | 64        |
| 3.4.1      | 化学腐蚀 .....           | 64        |
| 3.4.2      | 电化学腐蚀 .....          | 65        |
| 3.4.3      | 其它形式的腐蚀 .....        | 65        |
| <b>第4章</b> | <b>二元相图 .....</b>    | <b>68</b> |
| 4.1        | 概述 .....             | 68        |
| 4.1.1      | 相图 .....             | 68        |
| 4.1.2      | 相平衡与相律 .....         | 68        |
| 4.1.3      | 相图的建立 .....          | 69        |
| 4.1.4      | 杠杆定律 .....           | 70        |
| 4.2        | 二元相图 .....           | 70        |
| 4.2.1      | 匀晶相图 .....           | 70        |

|       |                           |    |
|-------|---------------------------|----|
| 4.2.2 | 共晶相图                      | 73 |
| 4.2.3 | 包晶相图                      | 76 |
| 4.2.4 | 其它相图                      | 80 |
| 4.2.5 | 根据相图判断合金的性能               | 82 |
| 4.3   | 凝固与结晶                     | 82 |
| 4.3.1 | 纯金属的结晶                    | 83 |
| 4.3.2 | 合金的结晶                     | 86 |
| 4.3.3 | 铸造组织的特点                   | 87 |
| 4.3.4 | 高聚物的凝固与结晶                 | 89 |
| 4.4   | 铁碳合金相图                    | 89 |
| 4.4.1 | 铁碳相图中的组元和相                | 89 |
| 4.4.2 | Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图分析 | 91 |
| 4.4.3 | 典型铁碳合金的平衡凝固               | 92 |
| 4.4.4 | 碳钢的组织 and 性能              | 97 |

## 第5章 固态转变 98

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 5.1   | 固体中的扩散        | 98  |
| 5.1.1 | 原子扩散          | 98  |
| 5.1.2 | 扩散机制          | 98  |
| 5.1.3 | 扩散的影响因素       | 100 |
| 5.2   | 固态转变基础        | 100 |
| 5.2.1 | 固态转变的分类       | 100 |
| 5.2.2 | 固态转变特点        | 102 |
| 5.2.3 | 固态转变的形核与核长大   | 103 |
| 5.3   | 固态转变类型        | 105 |
| 5.3.1 | 钢在加热时的奥氏体转变   | 105 |
| 5.3.2 | 过冷奥氏体转变曲线     | 107 |
| 5.3.3 | 珠光体转变         | 109 |
| 5.3.4 | 马氏体转变         | 113 |
| 5.3.5 | 贝氏体转变         | 119 |
| 5.4   | 回复与再结晶        | 122 |
| 5.4.1 | 金属冷塑性变形的组织与性能 | 122 |
| 5.4.2 | 回复            | 123 |
| 5.4.3 | 再结晶           | 124 |
| 5.4.4 | 再结晶后的晶粒长大     | 126 |
| 5.4.5 | 金属热塑性变形的组织与性能 | 127 |

## 第6章 钢铁材料 129

|       |         |     |
|-------|---------|-----|
| 6.1   | 钢铁材料的分类 | 129 |
| 6.1.1 | 钢的分类    | 129 |
| 6.1.2 | 铸铁的分类   | 130 |
| 6.2   | 钢的热处理   | 130 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 6.2.1 钢的淬火 .....           | 130 |
| 6.2.2 钢的回火 .....           | 133 |
| 6.2.3 钢的退火和正火 .....        | 134 |
| 6.3 钢的合金化 .....            | 135 |
| 6.3.1 合金元素对钢中基本相的影响 .....  | 136 |
| 6.3.2 合金元素对铁碳合金相图的影响 ..... | 136 |
| 6.3.3 合金元素对热处理的影响 .....    | 137 |
| 6.3.4 合金元素对钢的性能的影响 .....   | 139 |
| 6.4 碳素钢 .....              | 140 |
| 6.4.1 概述 .....             | 140 |
| 6.4.2 普通碳素结构钢 .....        | 140 |
| 6.4.3 优质碳素结构钢 .....        | 141 |
| 6.4.4 碳素工具钢 .....          | 142 |
| 6.5 合金钢 .....              | 143 |
| 6.5.1 概述 .....             | 143 |
| 6.5.2 合金结构钢 .....          | 144 |
| 6.5.3 合金工具钢 .....          | 149 |
| 6.5.4 特殊性能钢 .....          | 154 |
| 6.6 铸钢与铸铁 .....            | 159 |
| 6.6.1 铸钢 .....             | 159 |
| 6.6.2 铸铁 .....             | 160 |

## 第7章 有色金属材料 ..... 167

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 7.1 铝及铝合金 .....            | 167 |
| 7.1.1 工业纯铝 .....           | 167 |
| 7.1.2 铝合金的分类及热处理 .....     | 167 |
| 7.1.3 变形铝合金 .....          | 168 |
| 7.1.4 铸造铝合金 .....          | 171 |
| 7.2 铜及铜合金 .....            | 172 |
| 7.2.1 纯铜 .....             | 172 |
| 7.2.2 黄铜 .....             | 172 |
| 7.2.3 青铜 .....             | 174 |
| 7.2.4 白铜 .....             | 176 |
| 7.3 钛及钛合金 .....            | 176 |
| 7.3.1 纯钛 .....             | 177 |
| 7.3.2 钛合金 .....            | 177 |
| 7.4 轴承合金 .....             | 178 |
| 7.4.1 轴承合金的工作条件及性能要求 ..... | 178 |
| 7.4.2 锡基轴承合金 .....         | 178 |
| 7.4.3 铅基轴承合金 .....         | 179 |
| 7.4.4 铜基轴承合金 .....         | 179 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 7.4.5 铝基轴承合金 .....          | 179        |
| <b>第8章 陶瓷材料</b> .....       | <b>181</b> |
| 8.1 概述 .....                | 181        |
| 8.1.1 陶瓷材料的分类 .....         | 181        |
| 8.1.2 陶瓷材料的制作过程 .....       | 181        |
| 8.2 陶瓷的组织与结构 .....          | 183        |
| 8.2.1 陶瓷的组织 .....           | 183        |
| 8.2.2 晶体相 .....             | 183        |
| 8.2.3 玻璃相 .....             | 186        |
| 8.2.4 气相 .....              | 188        |
| 8.3 陶瓷的性能 .....             | 188        |
| 8.3.1 陶瓷的力学性能 .....         | 188        |
| 8.3.2 陶瓷的热性能 .....          | 190        |
| 8.3.3 陶瓷的化学性能 .....         | 191        |
| 8.3.4 陶瓷材料的电学性能 .....       | 191        |
| 8.4 典型陶瓷及其应用 .....          | 191        |
| 8.4.1 结构陶瓷 .....            | 191        |
| 8.4.2 利用电、磁性能的陶瓷 .....      | 192        |
| 8.4.3 化学化工用陶瓷 .....         | 193        |
| 8.4.4 光学、生物用陶瓷 .....        | 193        |
| 8.4.5 尖端工业用陶瓷 .....         | 193        |
| <b>第9章 高分子材料</b> .....      | <b>194</b> |
| 9.1 高分子材料概述 .....           | 194        |
| 9.1.1 高分子材料的基本概念 .....      | 194        |
| 9.1.2 高分子材料的命名 .....        | 195        |
| 9.1.3 高分子材料的分类 .....        | 196        |
| 9.2 高分子材料的结构与合成 .....       | 197        |
| 9.2.1 大分子内和大分子间相互作用 .....   | 197        |
| 9.2.2 大分子链的结构 .....         | 197        |
| 9.2.3 高分子的聚集态结构 .....       | 200        |
| 9.2.4 高分子材料的合成 .....        | 201        |
| 9.3 高分子材料的力学状态转变及性能 .....   | 202        |
| 9.3.1 高分子材料的分子运动与力学三态 ..... | 202        |
| 9.3.2 高分子材料的形变与温度的关系 .....  | 203        |
| 9.3.3 高分子材料的性能 .....        | 204        |
| 9.4 常用高分子材料 .....           | 204        |
| 9.4.1 塑料 .....              | 205        |
| 9.4.2 橡胶材料 .....            | 209        |
| 9.4.3 天然纤维和合成纤维 .....       | 212        |
| 9.4.4 黏合剂 .....             | 213        |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 9.4.5 涂料 .....       | 214 |
| 9.5 高分子材料的发展趋势 ..... | 216 |

## 第 10 章 复合材料.....218

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 10.1 概述 .....            | 218 |
| 10.2 复合材料的分类及性能 .....    | 218 |
| 10.2.1 复合材料的分类 .....     | 218 |
| 10.2.2 复合材料的性能 .....     | 219 |
| 10.3 常用复合材料 .....        | 222 |
| 10.3.1 玻璃纤维增强复合材料 .....  | 222 |
| 10.3.2 碳纤维增强复合材料 .....   | 223 |
| 10.3.3 硼纤维增强复合材料 .....   | 226 |
| 10.3.4 金属纤维增强复合材料 .....  | 227 |
| 10.3.5 晶须及颗粒增强复合材料 ..... | 228 |

## 第 11 章 功能材料.....231

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 11.1 概述 .....          | 231 |
| 11.1.1 结构材料与功能材料 ..... | 231 |
| 11.1.2 功能材料的分类 .....   | 231 |
| 11.2 磁、电功能材料 .....     | 232 |
| 11.2.1 电导体材料 .....     | 232 |
| 11.2.2 磁功能材料 .....     | 234 |
| 11.2.3 电介质材料 .....     | 237 |
| 11.3 光功能材料 .....       | 239 |
| 11.3.1 激光工作物质 .....    | 239 |
| 11.3.2 红外光学材料 .....    | 240 |
| 11.3.3 光电材料 .....      | 241 |
| 11.3.4 光导纤维 .....      | 241 |
| 11.4 能源转换材料 .....      | 242 |
| 11.4.1 热电材料 .....      | 243 |
| 11.4.2 太阳能电池 .....     | 243 |
| 11.5 智能材料简介 .....      | 244 |
| 11.5.1 智能材料 .....      | 244 |
| 11.5.2 智能材料的应用前景 ..... | 245 |

## 第 12 章 生态环境材料.....247

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 12.1 生态环境材料与环境负荷评价 LCA ..... | 247 |
| 12.1.1 生态环境材料 .....          | 247 |
| 12.1.2 生态环境负荷评价 LCA .....    | 248 |
| 12.1.3 LCA 的应用 .....         | 251 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 12.2 材料的再生循环利用 .....       | 253        |
| 12.2.1 再生循环利用 .....        | 253        |
| 12.2.2 钢铁材料的再生循环 .....     | 254        |
| 12.2.3 有色金属的再生循环 .....     | 255        |
| 12.2.4 塑料的再生循环 .....       | 257        |
| 12.3 材料的长寿命化 .....         | 257        |
| 12.3.1 金属材料的长寿命化 .....     | 257        |
| 12.3.2 陶瓷的长寿命化 .....       | 259        |
| 12.3.3 高分子材料的长寿命化 .....    | 259        |
| <b>第 13 章 表面工程技术</b> ..... | <b>260</b> |
| 13.1 概述 .....              | 260        |
| 13.1.1 表面工程技术的特点 .....     | 260        |
| 13.1.2 表面工程技术的分类 .....     | 260        |
| 13.2 表面工程技术基础 .....        | 261        |
| 13.2.1 表面与界面 .....         | 261        |
| 13.2.2 理想固体表面的晶体结构 .....   | 261        |
| 13.2.3 表面吸附与表面扩散 .....     | 263        |
| 13.2.4 表面工程用高能束热源 .....    | 265        |
| 13.3 高能束表面处理 .....         | 267        |
| 13.3.1 激光表面处理 .....        | 267        |
| 13.3.2 电子束表面处理 .....       | 270        |
| 13.3.3 离子束表面处理 .....       | 271        |
| 13.4 物理气相沉积 .....          | 274        |
| 13.4.1 物理气相沉积的分类及特点 .....  | 274        |
| 13.4.2 真空蒸镀 .....          | 275        |
| 13.4.3 离子镀 .....           | 277        |
| 13.4.4 离子溅射 .....          | 280        |
| 13.5 化学气相沉积 .....          | 283        |
| 13.5.1 原理、分类及特点 .....      | 283        |
| 13.5.2 CVD 工艺及设备 .....     | 284        |
| 13.5.3 CVD 沉积层的应用 .....    | 286        |
| <b>参考文献</b> .....          | <b>288</b> |

# 绪 论

## 0.1 材料科学与工程

回顾人类历史从古至今的发展历程,在每一个重要的历史阶段,无不伴随着新材料的发现以及新型工具的发明与使用。材料科学技术的每一次重大突破,都会引起生产技术的革命,使社会生产和人类生活产生巨大变化,提高了人类的物质文明程度,加速了社会发展的进程。人类社会发展的历史证明,材料是社会进步的物质基础和技术先导。

始于公元前 5000 年的青铜器时代,拉开了人工制造材料的序幕,实现了人类历史从利用石器、木材等天然材料进入到能够制造人工材料的第一次飞跃。公元前 1200 年,人类又迎来了铁器时代,开始时只能生产质量较差的铸铁,高炉的出现不仅大幅度提高了铁的质量,而且实现了工业化规模生产,为 18 世纪的第一次工业革命奠定了物质基础。

工业革命促进了生产模式由工厂手工业向机械大工业的过渡,使机器制造业不断改进和完善,并且由纺织业向金属工业和化学工业扩展。以蒸汽为动力的航海、铁路运输业的发展壮大,提高了矿石的运输能力,金属产量开始急剧增加。以煤炭为原料的大型反射炉和碱性底吹转炉的开发利用,使金属精炼技术有了实质性进展,从而促进了大功率锻压机械、轧机和冲压机械的相继问世,明显提高了钣金和精加工的技术水平,推动了各种测量仪器及钟表的小型化和精密化。

19 世纪末,发生了以电力的广泛应用、内燃机和新交通工具的创造、电话和无线电报等新型通信手段的发明为显著标志的第二次工业革命。电力工业的发展,为铝的工业化生产创造了条件。1854 年问世的纯铝,重量轻、电阻小,有良好的延展性,但由于造价较高,致使铝产品的价格与贵金属金、银相差无几,从而制约了铝作为工业材料的广泛应用。直到 1886 年发明了熔盐电解制铝法,形成了大规模的制铝工业后,铝的价格才大幅度下降;同时,由于威尔姆在 20 世纪初期发明了杜拉铝(铝-铜-镁硬铝合金),使铝及铝合金成为工业应用中仅次于钢的一种重要材料,在航空、航天、内燃机和电力工业中发挥着重要作用。

20 世纪初,相继发现了真空二极管(1904 年)的检波作用和真空三极管(1906 年)的增幅效应,并在通信和广播中得到应用。真空电子管的诞生及其应用,是电子技术的第一个里程碑;1948 年第一只具有放大作用的半导体晶体管的发明,标志着以微电子技术为代表的现代电子技术的开始;而大规模集成(LSI)和超大规模集成(VLSI)技术的出现,则是电子技术和电子工业划时代的开端。晶体管的发明和集成电路的出现,使微电子技术不仅在通信、信息处理、人工智能、航空和航天、能源输送与控制等领域发挥了重要作用,同时也使人类生活方式和生活质量发生了根本变化。

微电子技术发展的基础是电子材料。一般来说,电子技术中,硬件所具备的特性和能够

发挥出来的功能，在很大程度上取决于制造硬件的电子材料本身所具有的功能和特性。促成电子技术发生显著变化的关键因素之一，是 20 世纪 40 年代和 50 年代发展起来的制备极纯半导体材料的能力，以及能够精确控制其杂质含量的加工技术。电子薄膜材料的真空制备技术（CVD、PVD、分子线外延生长等），为半导体器件向集成、大规模集成或超大规模集成方向发展提供了有力的技术保障，从而实现了电子产品的小型化、低功率化、高速化和高可靠性。

虽然材料的应用可追溯到石器时代，但作为体系完整、相对独立的一门科学——“材料科学与工程”的提出、建立与发展，却是在 20 世纪 60 年代以后。20 世纪中叶以来，科学技术迅猛发展，在原子能、航空与航天、信息与通信、生物与医学、能源、交通等领域取得一系列令人瞩目的成就。这些科学技术日新月异的发展，对材料的力学性能、化学性质和物理功能提出了越来越苛刻的要求，从而有力地拉动了材料的研制与开发向新的高度和广度发展。同时，由于固体物理、无机化学、有机化学、物理化学等基础学科的长足进步，使与材料相关的基础理论、生产制造、成分与组织分析、性能检测与评定、工程应用、新材料设计、低环境负荷与循环再生利用等研究环节得以不断改进和完善，有力地促进了各学科之间的融会贯通，从而形成了特色鲜明、体系完整的一门学科——材料科学。

自然科学范畴的材料，是指具有一定的种类、性能和数量，能够制造实际可用的构件、器件或物品的固体物质。材料是人类从事生产和保障生活的物质基础，也是社会经济发展的技术先导。由于材料在当代工业、农业、国防和科学技术现代化的发展进程中具有举足轻重的特殊地位，因此，材料科学和信息科学、生命科学一道被誉为支撑现代文明的三大支柱。

材料科学的显著特点，在于它和工程技术之间有着密不可分的联系，所以人们往往把材料科学和工程技术联系在一起，称为“材料科学与工程”或“材料科学技术”。

材料科学与工程涉及的基础学科和工程技术领域十分广阔，并且相互交叉，融为一体。主要表现在原本独立的各种材料（金属、陶瓷、高分子材料等）及不同学科之间的交叉与渗透，以及构成材料科学与工程体系的四个基本要素之间的有机结合。材料科学与工程体系的四个基本要素包括：材料合成与加工、材料成分与组织结构、材料性质以及材料的使用性能，而材料科学与工程就是研究这四个基本要素的内在规律以及各要素之间相互关系的一门科学。

美国国家研究委员会早在 1989 年底发表的《90 年代材料科学与工程——如何在材料世纪中拥有竞争能力》的长篇报告中强调指出，材料科学与工程正进入一个史无前例的智能挑战和高产时期，在跨入下一世纪时，它将是高新技术发展的一个关键，并且对国计民生、国家安全以及增强国际市场的竞争能力都有举足轻重的影响。报告充分意识到材料科学新一代人才培养的重要性，提出了大学和研究生教育应重视开设普遍适用于所有材料的新课程，编写出新的教科书，并应在其中反映出材料领域的宽广基础以及合成和加工技术的重要性。我国高技术研究发展计划（863 计划）中，新材料领域的战略目标之一，是培养和造就一支高水平的从事新材料研究、开发和管理的科技人才队伍。

在新技术浪潮的推动下，机械产品和电子产品正朝着小型化、轻量化、多功能化、智能化和高可靠性方向发展，因此对工程设计人员的思维创新能力和综合运用高新技术的能力提出了新的挑战。高素质工程设计人才的培养，主要依靠高等教育。工程材料学旨在通过理论学习和实验操作，使非材料类工程技术人员了解工程需求与材料研究及开发之间的内在联系，掌握一定的有关材料的种类、成分及组织结构、性能特点、加工制造等方面的基础知识，学会获取新材料开发与应用的信息，把握新材料的发展动向，以提高他们在工程应用中

灵活运用材料学知识去分析问题、解决问题的能力 and 创新能力。因此,工程材料学是培养具有综合能力的高素质工程设计人才的必修课程。

## 0.2 材料的分类

材料有多种不同的分类方法。根据材料的性能特征,可分为结构材料 and 功能材料两大类,前者以力学性能为主,后者以化学性能和物理功能为主;根据材料的用途,可分为建筑材料、能源材料、航空航天材料、电子材料、生物材料等等。如果按材料的组成和结构特点分类,又可分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料。对工程材料而言,无机非金属材料主要指陶瓷材料。金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料构成了工程材料体系,为人类社会的发展提供了重要的物质基础。随着历史进程的推移,虽然四种材料的相对重要性有所变化(见图 0-1),但社会发展对材料的依存关系却是永恒不变的。

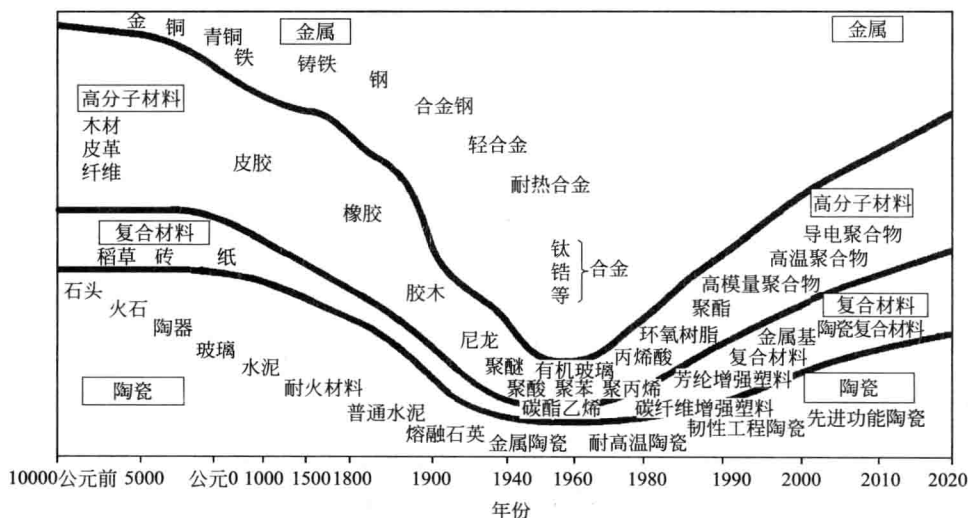


图 0-1 工程材料随时间推移的相对重要性示意图(时间是非线性的)

### 0.2.1 金属材料

金属材料是指以金属元素为基础的材料,包括纯金属和合金。纯金属在工程中很少应用,因此金属材料绝大多数以合金的形式出现。所谓合金,是指在纯金属中有意识地加入一种或多种其它元素,通过冶金或粉末冶金方法制成的具有金属特性的材料。金属材料可分为钢铁材料(或黑色金属)和非铁材料(或有色金属)两大类,前者是指以铁为基本元素的合金,后者指钢铁以外的各种金属材料。

图 0-2 是金属材料、高分子材料及陶瓷材料的性能比较。由图可以清楚地看出,金属的弹性模量比高分子材料的弹性模量高得多,同时韧性也远远优于陶瓷材料。因此,金属材料的显著特点是具有良好的弹、韧性配合。此外,金属材料还有优良的加工性能,如良好的冷、热塑性加工性能,以及焊接、铸造等性能。金属材料是工程材料中应用最广泛的基本材料。

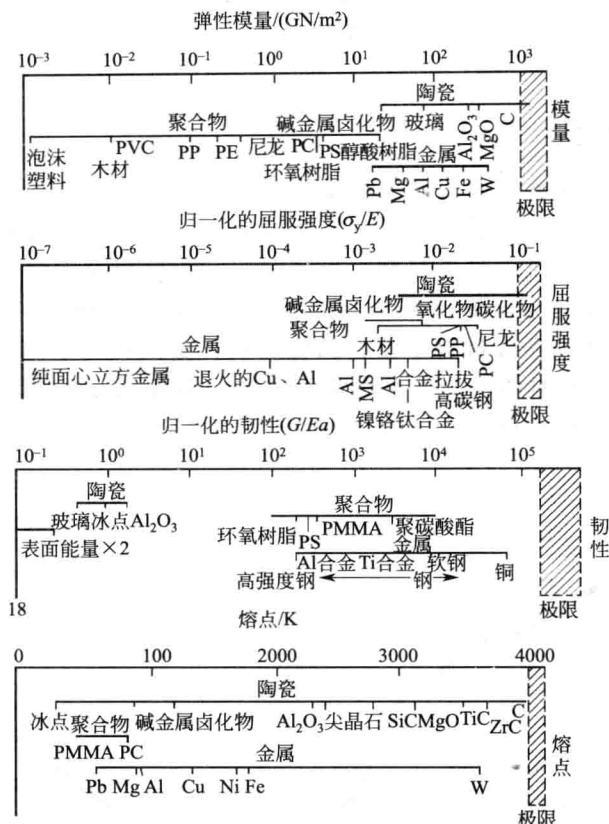


图 0-2 金属、高分子及陶瓷材料性能对比

## 0.2.2 陶瓷材料

陶瓷材料是以非金属天然矿物或以化工产品为原料，经过处理、成型、干燥和烧制等工序制成的产品。陶瓷的显微结构由结晶相、玻璃相和气相组成。陶瓷的基本性能是耐高温、耐磨、耐腐蚀、抗氧化、电绝缘、高强度和高硬度，但陶瓷的韧性差，脆性较大。

陶瓷分为传统陶瓷和先进陶瓷。传统陶瓷主要指陶器、瓷器、玻璃、水泥和耐火材料。先进陶瓷是指以精制的高纯、超细的人工合成无机化合物为原料，采用精密的制备工艺烧结而成的、性能远优于传统陶瓷的新一代陶瓷制品。先进陶瓷又称为高技术陶瓷、高性能陶瓷、精细陶瓷或工程陶瓷。

先进陶瓷按使用性能大致分为先进结构陶瓷和先进功能陶瓷，前者主要是利用材料本身具有的优异力学性能，制造机械结构中的零部件以及切削工具；后者主要指利用材料的电、磁、声、光、热、弹性等方面的直接效应或耦合效应，以获取某种特定使用性能的陶瓷。先进功能陶瓷的树结构如图 0-3 所示。

## 0.2.3 高分子材料

高分子也称聚合物或高聚物，是指分子量比一般有机化合物高得多的有机材料。一般有有机化合物的分子量为几十至几百，而合成高分子的分子量至少在 10000 以上，有的可达几百

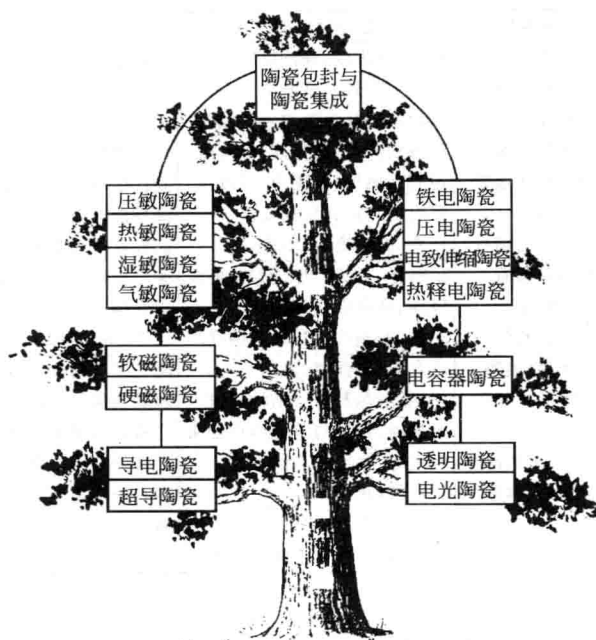


图 0-3 先进功能陶瓷的树结构

万至上千万。巨大的分子量使高分子经历了由量变到质变的过程，因而具有独特的、不同于低分子的物理性能、化学性能和力学性能。例如，高分子材料有较高的力学强度、高弹性和高塑性。此外，高分子材料还有较强的耐蚀性、良好的绝缘性以及较轻的重量等优点，某些高分子材料还有良好的吸震性和自润滑性。

高分子材料虽然种类繁多、性能各异，但基本归属于塑料、合成纤维、合成橡胶、黏合剂和涂料等几大类。高分子材料的分类有多种方法，例如按其分子链排列是否有序可分结晶聚合物和无定形聚合物；按受热后的状态又可分为热固性和热塑性两大类。

## 0.2.4 复合材料

复合材料是由有机高分子、陶瓷及金属等几种性质或性能不同的材料，通过复合工艺组合而成的新型材料。例如，金属基复合材料、陶瓷基复合材料和聚合物基复合材料等。它既保留了原组成材料的主要特性，又可通过复合效应获得原组成材料所不具备的性能。通过对不同结构、不同性能的原材料进行复合处理，可以制成增强、增韧或功能化的各种新型复合材料。

复合材料主要分为结构型复合材料和功能型复合材料。结构型复合材料是作为承载结构件使用的材料，基本上由增强材料和基体材料构成。增强体主要起承受载荷的作用，而基体材料则主要是把增强材料黏结成整体，同时又具有传递力的功能。增强材料包括各种颗粒状或纤维状的玻璃、陶瓷、碳素、金属和高聚物，基体材料则包括高聚物、金属、陶瓷、玻璃、碳和水泥等。

功能型复合材料，是指具有某种特殊物理性能或化学性能的复合材料，根据其功能可分为导电、磁性、阻尼、摩擦、换能等功能性复合材料。能源系统中使用的复合材料见表 0-1。

表 0-1 复合材料在能源系统中的应用

| 形式          | 所应用的系统  | 具体部件      | 对复合材料的要求       | 可能应用的复合材料的品种          |
|-------------|---------|-----------|----------------|-----------------------|
| 新<br>能<br>源 | 太阳光能发电  | 光电池组支架    | 轻质、高强度、高刚度     | 高性能纤维增强树脂基复合材料        |
|             | 太阳热能发电  | 聚光镜组支架    | 轻质、高强度、高刚度     | 高性能纤维增强树脂基复合材料        |
|             | 太阳热供暖系统 | 热交换器      | 表面层选择吸热与刚性结构   | 纤维增强树脂加吸热填料           |
|             | 波浪力发电   | 波浪力传送装置   | 耐海水腐蚀、高强度、高刚度  | 高性能纤维增强耐腐蚀树脂          |
|             | 潮汐力发电   | 潮汐力传送装置   | 耐海水腐蚀、高强度、高刚度  | 高性能纤维增强耐腐蚀树脂          |
|             | 地热发电    | 热交换器      | 耐腐蚀与符合结构要求     | 高性能纤维增强耐腐蚀树脂          |
|             | 风力发电    | 风车叶片与塔柱   | 轻质、高强度、高刚度     | 高性能纤维增强树脂混杂复合材料       |
| 核<br>能<br>源 | 原子反应堆   | 核燃料包覆管    | 耐辐射、耐高温与符合结构要求 | 碳纤维增强石墨(碳/碳)复合材料      |
|             | 铀离心分离机  | 离心机转子     | 轻质、高强度与高刚度     | 碳纤维增强耐热树脂             |
|             | 核融合炉    | 超导线圈及附件   | 超导、非磁性、耐热、高强度  | 超导功能金属基复合材料及高性能结构复合材料 |
| 节<br>能      | 高温气轮机   | 涡轮叶片、喷嘴   | 耐高温、高强度、高韧性    | 陶瓷基与金属基复合材料           |
|             | 磁流体发电   | 超导线圈与外壳   | 超导、耐热与符合结构要求   | 超导功能与高性能结构复合材料        |
|             | 废热发电    | 热交换器      | 耐腐蚀、耐热与符合结构要求  | 含有导热填料的纤维增强树脂         |
|             | 汽车轻量化   | 车体、传动轴、钢板 | 轻质、高强度与高刚度     | 高性能纤维增强树脂与金属基复合材料     |
|             | 供热系统    | 保温管道、容器   | 轻质、隔热          | 含有绝热填料的纤维增强复合材料       |
| 蓄<br>能      | 惯性飞轮    | 飞轮        | 高强度、高刚度        | 高性能纤维增强复合材料           |
|             | 二次燃料电池  | 电极        | 耐热、具有固体电解质性能   | 具有电解质性能(快离子导体)的复合材料   |

0.3 材料的成分、组织结构与性能

材料的性能包括力学性能、物理性能、化学性能和加工性能。力学性能是指材料在外加载荷作用下，或者外加载荷与环境因素（温度、介质和加载速率）联合作用下的力学行为。力学性能主要包括强度、硬度、塑性、韧性、耐磨性和缺口敏感性等。材料的物理、化学性能主要指电性能、热性能、抗高温氧化性和耐蚀性能。加工性能包括：铸造、锻压、焊接、热处理等热加工性能，以及冲压、裁剪、切削等冷加工性能。

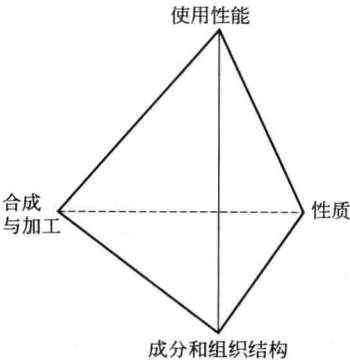


图 0-4 材料科学与工程四个基本单元之间的关系

材料的性质和材料的使用性能取决于材料的成分和组织结构，而成分的均匀性和组织结构又与材料的合成及制造方法密切相关。它们之间的相互关系可用图 0-4 所示的四面体来表示。

工程上通常采取改变化学成分和采用合理的加工方法等途径来改善材料的组织结构，进而保障材料的性质，提高材料的使用性能。比如我们熟知的纯铝具有良好的导电性、导热性和很高的塑性，有美丽的金属光泽和较小的相对密度，但纯铝的强度低，不能作为结构材料使用。如果在纯铝中加入合适的合金元素，通过合理的热处理即可制成比强度（强度与密度的比值）甚至超过钢的铝合金，成为航空航天工业、电力工业、内燃机制造业和民用产品的理想材料。

0.4 新材料的现状与发展

当代蓬勃发展的科学技术正在使人类社会进入一个崭新的时代。一系列新兴的高技术和高技术产业相继崛起，引起材料科学领域的深刻变革，同时，各种满足和适应高技术发展需