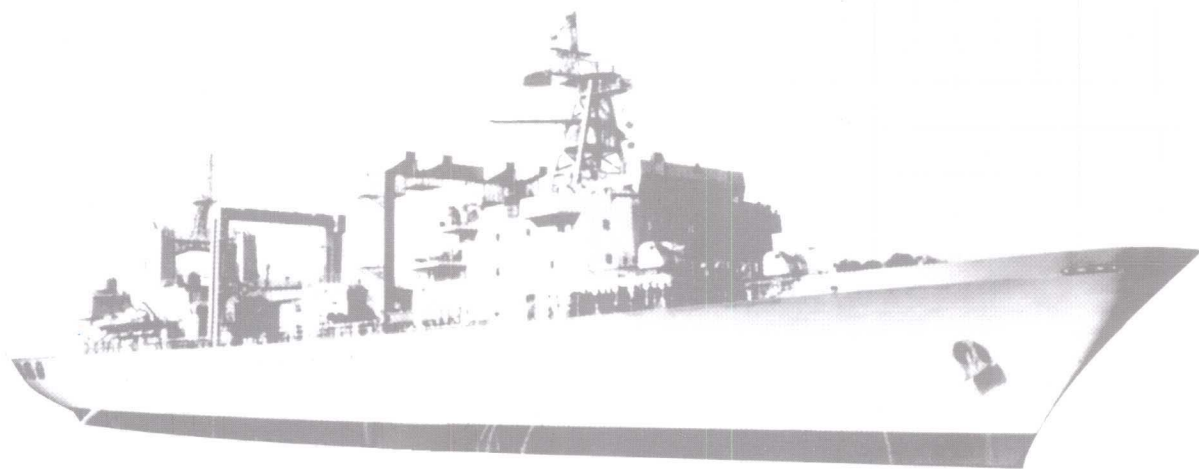




# 船舶工程材料

孔小东 主编



科学出版社

# 船舶工程材料

孔小东 主编

科学出版社

北 京

## 版权所有，侵权必究

举报电话：010-64030229；010-64034315；13501151303

## 内 容 简 介

本书为“海军院校重点教材”，涵盖的主要内容有工程材料的基本力学性能、金属的晶体结构、金属的结晶过程、合金的相结构与相图、金属的变形行为、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属、非金属材料、复合材料、金属失效分析、典型船舶材料的选用等。

本书可作为本科院校、高职高专等机械类、近机类、船舶与海洋工程等专业教材，也可供从事相关专业的工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

船舶工程材料/孔小东主编. —北京：科学出版社，2015.2

ISBN 978-7-03-043332-9

I. ①船… II. ①孔… III. ①船用材料 IV. ①U668

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 029364 号

责任编辑：吉正霞 罗 娟 / 责任校对：王晓茜

责任印制：高 嵘 / 封面设计：蓝 正

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市首壹印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015 年 3 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2015 年 3 月第一次印刷 印张：18 3/4

字数：426 000

定价：45.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

# 前 言

材料是人类用来制作各种产品的物质，是人类生存和发展、征服自然和改造自然的物质基础。纵观人类利用材料的历史，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，大大加速社会发展的进程，并给社会生产和人们的生活带来巨大的变化。

人类曾以石器作为主要工具，继而在寻找石器的过程中认识了矿石，并在烧陶生产中发展了冶铜术，开创了金属冶炼技术。公元前 5000 年，人类进入青铜器时代；公元前 1200 年左右，进入铁器时代。人类对材料的认识是一个由表及里、由浅入深的长期过程，早期主要停留在工匠、艺人的经验技术水平上，也总结了一些规律；如春秋时期，总结了“六齐”规律：“六分其金而锡居其一，谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居其一，谓之斧斤之齐；四分其金而锡居其一，谓之戈戟之齐；三分其金而锡居其一，谓之大刃之齐；五分其金而锡居其二，谓之削杀矢之齐；金、锡半，谓之鉴燧之齐。”随着经验的积累出现了“材料工艺学”，虽然比工匠的经验进了一大步，但也只是记录了一些材料的制作过程和宏观规律，仍然是知其然不知其所以然。

1863 年光学显微镜第一次用来研究金属，导致了“金相学”的出现。使人们对材料的观察步入了微观领域，并明确地提出了金属的性能取决于内部结构的概念。1912 年发现了 X 射线照射晶体时的衍射现象，由此开始了对晶体微观结构的测定。1932 年电子显微镜的发明以及后来出现的各种谱仪使人们对微观世界的认识进入了更深的层次。

进入 20 世纪以后，伴随着现代科学技术的进步，材料的发展格外迅猛，其中人工合成高分子材料的发展最快，从 60 年代到 70 年代，有机合成材料每年以 14% 的速度增长，到 70 年代中期，全世界有机合成材料与钢的体积产量已接近相等。陶瓷材料的发展十分引人注目，它除了具有许多特殊性能而作为重要的功能材料（如光导纤维、激光晶体等），其脆性和抗热震性也得到改善，可以用做高温结构材料。近几十年来，随着金属材料与非金属材料的不断发展、相互渗透和相互结合，逐步建立了一个完整的材料体系。与此同时，一些与材料有关的基础科学如化学、量子力学、固体物理等的发展，有力推动了材料研究的深入。于是以金属学、陶瓷学和高分子科学为基础，形成了跨学科的以固体材料为研究对象的材料科学。

工程材料是材料科学的实用部分，主要阐述用于制作工程结构和机器零件的结构材料的成分、组织、性能及应用方面的一般规律，其具体任务是为工程结构和机器零件的设计和使用提供正确选材和合理用材的基本原则、方法和知识；同时也为机类、近机类专业及相关学科提供必要的材料技术基础。实践证明，正确选择材料、科学使用材料对充分发挥材料的性能、节省材料、延长机器零件使用寿命等具有重要意义。

本书为“海军院校重点教材”，以工程材料在船舶中实际应用为编写基础，全书分三大部分：

第一篇为材料学基础，分材料的力学性能、材料的结构与结晶、合金相图、塑性变

第二篇为常用船舶材料，分碳钢和铸铁、合金钢、有色金属及其合金、高分子材料、无机非金属材料、复合材料等六章，主要介绍常用材料及其在船舶上的应用。

第三篇为材料的失效分析与选材，分断口分类及研究断口的方法、材料的失效分析、选材的基本原则、典型船舶结构的选材等四章。介绍材料的合理选用、材料失效机理、失效原因分析等。

其中，第三、第五章由李国明编写，第四、第八章由胡会娥编写，第六、第七章由胡裕龙编写，第十二、第十三、第十四章由熊征编写，其他各章由孔小东编写；全书由孔小东负责统编。

本书配套有《船舶工程材料实验与学习指导》，适用于机械类、近机类专业，特别是与船舶相关的建造、维修、动力、装置等专业，作为技术基础或专业基础课程学习。实际工作中，往往因选材不当或处理不妥使零部件的使用性能达不到规定的技术要求，导致发生变形、断裂或磨损等现象。船舶结构中涉及大量各类工程材料，从事相关工作的人员对工程材料的化学成分、组织结构、使用性能以及它们之间的相互关系有一个全面的了解是十分必要的。本书也可以作为从事船舶相关专业人员的参考材料。

由于编写经验不足、编写时间仓促等，书中难免存在一些疏漏之处，敬请批评指正，以便及时修改。

编 者

2014年7月于武汉

# 目 录

## 第一篇 材料学基础

|                |    |
|----------------|----|
| 第一章 材料的力学性能    | 3  |
| 第一节 静态力学性能     | 3  |
| 一、弹性和刚度        | 3  |
| 二、强度           | 4  |
| 三、塑性           | 4  |
| 四、硬度           | 5  |
| 第二节 动态力学性能     | 7  |
| 一、冲击韧性         | 7  |
| 二、多冲抗力         | 8  |
| 三、疲劳           | 8  |
| 四、断裂韧性         | 9  |
| 第二章 材料的结构与结晶   | 11 |
| 第一节 晶体学基本概念    | 11 |
| 一、晶格和晶胞        | 11 |
| 二、晶面、晶向        | 12 |
| 第二节 金属的晶体结构    | 13 |
| 一、常见的纯金属晶格类型   | 13 |
| 二、金属单晶体的各向异性   | 15 |
| 三、金属的实际结构和晶体缺陷 | 15 |
| 四、非晶态结构的特征     | 18 |
| 第三节 金属的结晶      | 19 |
| 一、金属结晶的过冷现象    | 19 |
| 二、结晶的一般过程      | 20 |
| 第四节 结晶晶粒大小的控制  | 21 |
| 一、晶粒大小对金属性能的影响 | 21 |
| 二、决定晶粒大小的因素    | 22 |
| 三、控制晶粒度的方法     | 22 |
| 第五节 铸锭的组织及缺陷   | 23 |
| 一、金属铸锭的宏观组织    | 23 |
| 二、铸锭结构的特性      | 24 |
| 三、铸造缺陷         | 24 |
| 第三章 合金相图       | 26 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一节 合金的相结构            | 26 |
| 一、固溶体                 | 27 |
| 二、金属化合物               | 28 |
| 第二节 二元相图              | 30 |
| 一、二元合金相图的建立           | 31 |
| 二、匀晶相图                | 32 |
| 三、共晶相图                | 34 |
| 四、包晶相图                | 38 |
| 五、其他类型相图              | 39 |
| 第三节 合金性能与相图的关系        | 40 |
| 一、合金使用性能与相图的关系        | 40 |
| 二、合金的工艺性能与相图的关系       | 41 |
| 第四章 塑性变形与再结晶          | 43 |
| 第一节 金属的塑性变形           | 44 |
| 一、单晶体金属的塑性变形          | 44 |
| 二、多晶体的塑性变形            | 49 |
| 第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响   | 52 |
| 一、微观组织的变化             | 52 |
| 二、残余内应力的产生            | 54 |
| 三、性能的变化               | 54 |
| 第三节 冷变形金属在加热时组织与性能的变化 | 57 |
| 一、冷变形金属在加热时的变化过程      | 57 |
| 二、再结晶后晶粒大小的控制         | 60 |
| 第四节 金属在热加工中组织与性能的变化   | 61 |
| 一、金属热加工的概念            | 61 |
| 二、热加工的特点              | 61 |
| 三、热加工对金属组织和性能的影响      | 62 |
| 第五章 钢的热处理             | 64 |
| 第一节 钢在加热时的转变          | 64 |
| 一、转变温度                | 64 |
| 二、奥氏体的形成              | 65 |
| 三、奥氏体晶粒大小及影响因素        | 66 |
| 第二节 奥氏体冷却时的转变         | 68 |
| 一、过冷奥氏体等温转变图          | 68 |
| 二、过冷奥氏体转变产物及其性能       | 72 |
| 三、过冷奥氏体的连续冷却转变        | 79 |
| 第三节 钢的退火和正火           | 80 |
| 一、退火                  | 80 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 二、正火 .....              | 82  |
| 第四节 钢的淬火 .....          | 83  |
| 第五节 钢的回火 .....          | 86  |
| 一、回火的目的 .....           | 86  |
| 二、淬火钢在回火时的转变 .....      | 86  |
| 三、回火的分类和应用 .....        | 89  |
| 第六节 钢的淬透性 .....         | 90  |
| 一、工件截面的冷却速度和淬透层深度 ..... | 90  |
| 二、影响淬透性的因素 .....        | 91  |
| 三、淬透性的测定方法 .....        | 91  |
| 四、淬透性曲线的应用 .....        | 92  |
| 五、淬透性的实际意义 .....        | 94  |
| 第七节 钢的表面淬火 .....        | 95  |
| 一、感应加热表面淬火 .....        | 96  |
| 二、火焰加热表面淬火 .....        | 97  |
| 第八节 化学热处理 .....         | 98  |
| 一、概述 .....              | 98  |
| 二、渗碳 .....              | 98  |
| 三、氮化 .....              | 100 |
| 四、氮碳共渗（软氮化） .....       | 101 |
| 五、碳氮共渗（氰化） .....        | 102 |
| 六、其他化学热处理 .....         | 102 |
| 第九节 其他的热处理技术 .....      | 103 |
| 一、可控气氛热处理和真空热处理 .....   | 103 |
| 二、形变热处理 .....           | 105 |
| 三、表面处理技术 .....          | 106 |

## 第二篇 常用船舶材料

|                  |     |
|------------------|-----|
| 第六章 碳钢和铸铁 .....  | 111 |
| 第一节 碳钢 .....     | 111 |
| 一、碳钢的成分 .....    | 111 |
| 二、碳钢的分类 .....    | 112 |
| 三、碳钢的牌号及用途 ..... | 113 |
| 四、碳素工具钢 .....    | 115 |
| 第二节 铸铁 .....     | 116 |
| 一、铸铁的成分及分类 ..... | 116 |
| 二、铸铁的石墨化 .....   | 117 |
| 三、常用铸铁 .....     | 118 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 第七章 合金钢                            | 124 |
| 第一节 概述                             | 124 |
| 一、合金钢的分类                           | 124 |
| 二、合金钢的编号                           | 125 |
| 第二节 合金元素在钢中的作用                     | 126 |
| 一、合金元素与铁、碳的相互作用                    | 126 |
| 二、合金元素对 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图的影响 | 128 |
| 三、合金元素对钢的热处理的影响                    | 129 |
| 四、合金元素对钢的力学性能的影响                   | 132 |
| 五、合金元素对钢工艺性能的影响                    | 133 |
| 第三节 低合金高强度结构钢                      | 134 |
| 一、低合金高强度结构钢                        | 134 |
| 二、船体结构钢                            | 136 |
| 第四节 机器零件用钢                         | 141 |
| 一、合金渗碳钢                            | 141 |
| 二、合金调质钢                            | 143 |
| 三、合金弹簧钢                            | 146 |
| 四、滚动轴承钢                            | 148 |
| 第五节 合金工具钢                          | 150 |
| 一、合金刃具钢                            | 150 |
| 二、合金模具钢                            | 153 |
| 三、合金量具钢                            | 154 |
| 第六节 特殊性能钢                          | 155 |
| 一、不锈钢                              | 155 |
| 二、耐热钢                              | 161 |
| 第八章 有色金属及其合金                       | 166 |
| 第一节 铝及铝合金                          | 166 |
| 一、纯铝                               | 166 |
| 二、铝合金的分类及热处理                       | 166 |
| 三、形变铝合金                            | 168 |
| 四、铸造铝合金                            | 171 |
| 五、铝合金的选用                           | 174 |
| 六、铝合金在船舶上的应用                       | 174 |
| 第二节 铜及铜合金                          | 175 |
| 一、纯铜                               | 175 |
| 二、黄铜                               | 176 |
| 三、青铜                               | 178 |
| 四、白铜                               | 181 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 五、铜合金的选用          | 182 |
| 六、船用铜和铜合金         | 183 |
| 第三节 钛及钛合金         | 184 |
| 一、概述              | 184 |
| 二、钛合金的分类及热处理      | 185 |
| 三、常用钛合金的牌号及应用     | 186 |
| 四、钛合金在船舶上的应用      | 187 |
| 第四节 轴承合金          | 187 |
| 一、概述              | 187 |
| 二、锡基及铅基轴承合金（巴氏合金） | 188 |
| 三、铜基轴承合金          | 188 |
| 四、铝基轴承合金          | 189 |
| 第九章 高分子材料         | 191 |
| 第一节 概述            | 191 |
| 一、高分子材料的基本概念      | 191 |
| 二、高分子材料的合成        | 192 |
| 三、高分子材料的分类和命名     | 193 |
| 第二节 高聚物的基本性能和改性   | 194 |
| 一、高聚物的基本性能        | 194 |
| 二、聚合物的改性          | 198 |
| 第三节 聚合物的失效与老化     | 199 |
| 一、大分子的交联反应        | 199 |
| 二、大分子的裂解反应        | 199 |
| 三、聚合物的老化和防老化      | 200 |
| 第四节 常用塑料          | 200 |
| 一、塑料的组成           | 200 |
| 二、塑料的分类           | 201 |
| 三、常用塑料简介          | 202 |
| 第五节 塑料在船舶上的应用     | 208 |
| 一、船用泡沫材料          | 209 |
| 二、船用工程塑料和通用塑料     | 210 |
| 第六节 橡胶及其在船舶上的应用   | 211 |
| 一、橡胶的特性           | 211 |
| 二、橡胶的组成           | 211 |
| 三、常用橡胶材料          | 211 |
| 四、橡胶在船舶上的应用       | 213 |
| 第十章 无机非金属材料       | 214 |
| 第一节 陶瓷材料概述        | 214 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 一、陶瓷的概念·····                  | 214        |
| 二、陶瓷的分类·····                  | 214        |
| 三、陶瓷的生产·····                  | 214        |
| 第二节 陶瓷的结构与性能·····             | 215        |
| 一、陶瓷的组织结构特点·····              | 215        |
| 二、陶瓷的相转变·····                 | 217        |
| 三、陶瓷的性能特点·····                | 217        |
| 第三节 常用陶瓷材料·····               | 218        |
| 一、普通陶瓷·····                   | 218        |
| 二、特种陶瓷·····                   | 219        |
| 三、陶瓷材料在船舶上的应用·····            | 221        |
| 第四节 其他无机非金属材料·····            | 221        |
| 一、水泥·····                     | 221        |
| 二、玻璃·····                     | 223        |
| 三、石棉制品及应用·····                | 225        |
| 四、防火隔热材料·····                 | 226        |
| <b>第十一章 复合材料·····</b>         | <b>228</b> |
| 第一节 概述·····                   | 228        |
| 一、复合材料的概念·····                | 228        |
| 二、复合材料的特点·····                | 228        |
| 三、复合材料的分类·····                | 229        |
| 第二节 常用复合材料·····               | 230        |
| 一、纤维增强复合材料·····               | 230        |
| 二、层叠复合材料·····                 | 231        |
| 三、细粒复合材料·····                 | 232        |
| 第三节 复合材料在船舶上的应用·····          | 232        |
| 一、船用纤维增强塑料·····               | 232        |
| 二、船用金属复合材料·····               | 233        |
| <b>第三篇 材料的失效分析与选材</b>         |            |
| <b>第十二章 断口分类及研究断口的方法·····</b> | <b>239</b> |
| 一、金属材料断口的分类方法·····            | 239        |
| 二、断口的分析·····                  | 241        |
| <b>第十三章 材料的失效分析·····</b>      | <b>251</b> |
| 一、失效的概念和形式·····               | 251        |
| 二、失效原因分析·····                 | 253        |
| 三、失效分析方法·····                 | 255        |
| 四、失效分析的基本试验技术·····            | 257        |

---

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第十四章 选材的基本原则 .....   | 260 |
| 一、选材的基本原则 .....      | 260 |
| 二、零件材料选择的步骤 .....    | 263 |
| 三、选材时应注意的几个问题 .....  | 264 |
| 第十五章 典型船舶结构的选材 ..... | 265 |
| 一、船体材料的选用 .....      | 265 |
| 二、轴类零件的选材 .....      | 276 |
| 三、齿轮类零件材料的选择 .....   | 279 |
| 四、弹簧类零件材料的选择 .....   | 283 |
| 主要参考文献 .....         | 287 |

# 第一篇 材料学基础



# 第一章 材料的力学性能

材料获得广泛应用，是因为具有优良的使用性能和工艺性能。材料的使用性能包括力学、物理和化学性能等；材料的工艺性能包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削性能等。在选择和应用材料时，首先应着眼于材料的使用性能。本章简要介绍一般工程材料常用的力学性能。

材料的力学性能是材料在承受各种载荷时所表现的性能；它关系到材料在使用过程中传递力的能力和使用寿命以及材料加工的难易程度。当材料受外力作用时，一般会出现弹性变形、塑性变形和断裂三个过程。根据载荷性质的不同（如拉伸、压缩、冲击等），这些过程的发生和发展是不同的，评价材料力学性能的指标也有其特定的物理意义。

## 第一节 静态力学性能

### 一、弹性和刚度

拉伸试验是应用最广泛的力学性能试验方法之一。在对标准试样两端缓慢施加拉伸载荷时，试样的工作部分因受轴向拉应力  $R$  作用，产生轴向应变  $\varepsilon$ ，随着应力的加大，应变也相应增加，直至断裂。可以把拉伸过程中相应的  $R$  和  $\varepsilon$  值绘成应力-应变曲线，并从图中读出其常规的力学性能指标。图 1-1 为低碳钢的应力-应变曲线。

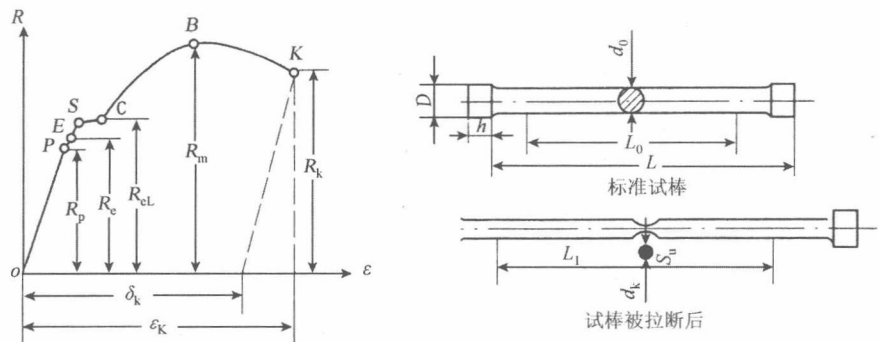


图 1-1 低碳钢拉伸时的应力-应变曲线

应力  $R=F/S_0$  (MPa)；应变  $\varepsilon=\Delta L/L_0$ ； $F$ -外力； $S_0$ -试样原始横截面积； $L$ -试样原始标长； $\Delta L$ -试样变形后的总伸长

在  $R$ - $\varepsilon$  曲线上， $OE$  段为弹性阶段，即去掉外力后，变形完全恢复，这种变形称为弹性变形，其应变值很小， $E$  点的应力  $R_e$  称为弹性极限。 $OE$  段中  $OP$  部分为一斜直线，因应力与应变始终成比例，所以  $P$  点的应力  $R_p$  称为比例极限。由于  $E$  点和  $P$  点很接近，一般不区分。

材料在弹性范围内应力与应变的比值称为弹性模量， $E=R/\varepsilon$  (MPa)。 $E$  标志材料抵

抗弹性变形的能力,用以表示材料的刚度。刚度越大,材料在一定应力下产生的弹性变形越小。

弹性模量与材料的本性有关,它对材料的组织状态和外界条件的变化不敏感。在材料选定的情况下,零件提高刚度的办法是增加横截面积或改变截面形状。金属的  $E$  随温度升高而逐渐降低。

## 二、强度

在外力作用下,材料抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。当试样承受拉力时,强度特性的指标主要是屈服强度和抗拉强度。

### 1. 屈服强度

指材料抵抗微量塑性变形的能力,用  $R_{eL}$  (或  $R_{p0.2}$ ) 表示。如图 1-1 所示,当试验应力超过  $E$  点时,试件除弹性变形外,还产生塑性变形,在  $SC$  段出现应力几乎不增加但应变增加的现象,称为屈服。屈服阶段  $SC$  内的最低应力值  $R_{eL}$  即屈服强度,又称为屈服极限。

有些材料的拉伸曲线没有明显的屈服点,如高碳钢,在这种情况下,工程上规定试样产生 0.2% 残余伸长时的应力值作为该材料的条件屈服强度,以  $R_{p0.2}$  表示 (图 1-2)。

机械零件及构件在服役时一般不允许发生塑性变形,否则将影响机器的正常工作,所以屈服强度是工程技术中评价材料承载能力最重要的力学性能指标。

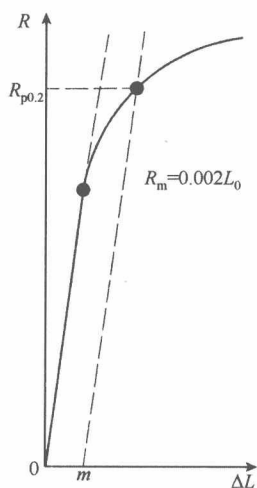


图 1-2 条件屈服极限

$$R_{p0.2} = F_{p0.2} / S_0 \text{ (MPa)}$$

### 2. 抗拉强度

指材料抵抗最大均匀塑性变形或断裂的能力,用  $R_m$  表示。

抗拉强度为试样拉断前的最大承载应力。图 1-1 中  $B$  点对应应力  $R_m$  即抗拉强度,又称为强度极限。 $B$  点以后,试样产生“颈缩”,迅速伸长,应力明显下降,并在  $K$  点断裂。

屈服强度与抗拉强度的比值在工程上称为屈强比。屈强比越小,工程构件的可靠性越高,说明即使外载荷或某些意外因素使材料屈服,也不至于立即断裂。但屈强比过小时,材料强度的有效利用率太低。

## 三、塑性

断裂前材料发生塑性变形的能力称为塑性,以材料断裂后塑性变形量的大小来表示。拉伸时以延伸率  $A$  和断面收缩率  $Z$  表示材料的塑性。

$$A = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中,  $L_0$  为标距原长;  $L_1$  为断裂后标距长度。

$$Z = (S_0 - S_u) / S_0 \times 100\%$$

式中,  $S_0$  为试件原始横截面积,  $S_u$  为断口处最小截面积。

$A$  和  $Z$  越大,材料的塑性越好。其中以  $Z$  更接近真实应变;而  $A$  则与试样尺寸有关,因此,比较  $A$  时,应注意试样规格一致。

图 1-3 给出了几种非金属材料拉伸时的  $R-\varepsilon$  曲线。比较可见, 不同类型材料的  $R-\varepsilon$  曲线有很大差异, 反映了它们的不同性能特点。

(1) 橡胶弹性模量小, 强度低, 断裂前一直是弹性变形, 弹性应变可达百分之几百, 是典型的应力与应变呈非线性关系的高弹体, 如图 1-3 (a) 所示。

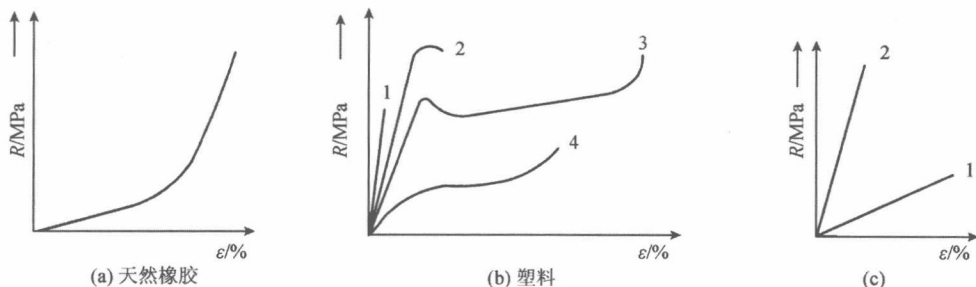


图 1-3 几种非金属材料拉伸时的  $R-\varepsilon$  曲线

(2) 塑料的  $R-\varepsilon$  曲线基本上可分四类, 如图 1-3 (b) 所示。第一类如曲线 1, 这类塑料硬而脆, 伸长率很小, 如聚苯乙烯、酚醛树脂等; 第二类如曲线 2, 这类塑料硬而强, 抗拉强度高, 如纤维、强的热固性塑料、某些硬聚氯乙烯等; 第三类属强而韧的塑料, 如尼龙、ABS、聚氯乙烯等, 其强度和伸长率均较好, 如曲线 3 所示; 第四类如曲线 4, 这类塑料软而韧, 伸长率大, 如有增塑剂的聚乙烯、聚四氟乙烯等。

(3)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (属陶瓷)、石英玻璃的变形是纯弹性, 如图 1-3 (c) 中线段 1 和 2 所示, 几乎不发生永久变形, 并在微量变形后就断裂, 为脆性材料, 但弹性模量和强度很高。

## 四、硬度

材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力称为硬度, 它反映了材料抵抗局部塑性变形的能力, 是一个综合的物理量。

通常, 硬度越高, 耐磨性越好。因此常将硬度作为衡量材料耐磨性的重要指标之一。测量硬度常用布氏法、洛氏法和维氏法。

### (一) 布氏硬度

用直径为  $D$  的硬质合金球加上一定压力  $F$ , 使其压入被测材料的表面, 保持一定时间后卸去载荷, 此时被测表面将出现直径为  $d$  的压痕, 如图 1-4 所示。在读数显微镜下测量压痕直径, 并根据所测直径查表, 即可得硬度。显然, 材料越软, 压痕直径越大, 布氏硬度越低; 反之, 布氏硬度高。

布氏硬度的标准单位为  $\text{MPa}$  (以前采用  $\text{N/mm}^2$ ), 但习惯上不予标注。按照 GB/T 231.1—2009《金属材料布氏硬度试验第一部分: 试验方法》, 以硬质合金球为压头所测出的硬度以 HBW 表示, 目前手册上用新老单位的都有,  $1\text{N/mm}^2=1\text{MPa}$ ; 适用于测量硬