

高等学校教材

# 机械工程材料

JIXIE GONGCHENG CAILIAO

(第三版)

杨瑞成 丁旭 胡勇 主编  
郭铁明 南雪丽



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

# 机械工程材料

(第三版)

杨瑞成 丁旭 胡勇 主编  
郭铁明 南雪丽

重庆大学出版社

## 内 容 简 介

机类、近机类专业的学生需要的是与工程设计制造紧密相关的材料知识,以及如何在具体零件的材料选择和加工工艺中应用这些知识。与从材料学出发的传统体系不同,本书以材料的概念知识为主,原理知识为辅,在精简传统理论知识的同时,将重点放在材料的性能与特征、材料选择以及应用上。因此,体系、框架与编写方式均与以往教材有很大的不同,注重工程背景、工程应用以及与机械设计制造的有机联系,既新颖又实用。全书分4篇10章,内容包括:机械工程对材料性能的要求、材料组成与结构、材料成形行为与性能、材料热处理与表面改性、金属材料、非金属材料、工程设计制造与材料选择,典型零构件(机器零件、工模具、压力容器等)和工程领域选材用材,以及机械工程用材情况及节材。

本书在第二版的基础上作了全面修改、补充,内容有所增减和更新,特别新增“进一步阅读材料”(共14篇),重新整合(原第9~13章)、新编“工程领域选材和应用专题”这一章(6个专题),以体现新颖性、时代性、工程性、实用性和拓展学生知识面的空间。

本书适用于机械设计及自动化专业本科学生使用,也可供大专生或有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/杨瑞成等主编. —3版. —重庆:重庆大学出版社,2009.1

(机械设计制造及其自动化专业本科系列教材)

ISBN 978-7-5624-3076-6

I. 机… II. 杨… III. 机械制造材料—高等学校—教材 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 195380 号

## 机械工程材料

(第三版)

杨瑞成 丁旭 胡勇 郭铁明 南雪丽 主编

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:秦巴达 责任印制:赵晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (营销中心)

全国新华书店经销

重庆市联谊印务有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:468千

2000年7月第1版 2009年1月第3版 2009年1月第6次印刷

印数:19 001—22 000

ISBN 978-7-5624-3076-6 定价:29.50元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

## 序

当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济已见端倪,综合国力的竞争日趋激烈。国力的竞争,归根结底是科技与人才的竞争。邓小平同志早已明确指出:科技是现代化的关键,而教育是基础。毫无疑问,高等教育是科技发展的基础,是高级专门人才培养的摇篮。我国高等教育在振兴中华、科教兴国的伟大事业中担负着极其艰巨的任务。

为了适应社会主义现代化建设的需要,在1993年党中央、国务院颁布《中国教育改革和发展纲要》以后,原国家教委全面启动和实施《高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划》,有组织、有计划地在全国推进教学改革工程。其主要内容是:改革教育体制、教育思想和教育观念;拓宽专业口径,调整专业目录,制定新的人才培养方案;改革课程体系、教学内容、教学方法和教学手段;实现课程结构和教学内容的整合与优化,编写、出版一批高水平、高质量的教材。

地处巴山蜀水的重庆大学,是驰名中外的我国重要高等学府。重庆大学出版社是一个重要的大学出版社,工作出色,一贯重视教材建设。从20世纪90年代初期开始实施“立足西部,面向全国”的战略决策,针对当时国内专科教材匮乏的情况,组织西部地区近20所院校编写、出版机械类、电类专科系列教材,以后又推出计算机、建筑、会计类专科系列教材,得到原国家教委的肯定与支持。在1998年教育部颁布《普通高等学校本科专业目录》之后,重庆大学出版社立即组织西部地区高校的数十名教学专家反复领会教学改革精神,认真学习全国的教育改革成果,充分交流各校的教学改革经验,制定机械设计制造及其自动化专业的教学计划和各门课程的教学大纲,并组织编写、出版机械类本科系列教材。为了确保教材的质量,重庆大学出版社采取了以下措施:

- 发挥教育理论与教育思想的指导作用,将教学改革思想和教学改革成果融入教材的编写之中。

- 根据人才培养计划中对学生知识和能力的要求,对课程体系和教学内容进行整合,不过分强调每门课程的系统性、完整性,重在实现系列教材的整体优化。

- 明确各门课程在专业培养方案中的地位和作用,理顺相关课程之间的关系。

●精选教学内容,控制教学学时数,重视对学生自主学习能力、分析解决工程实际问题能力和创新能力的培养。

●增强 CAD、CAM 的内容,提高教材的先进性;尽可能运用 CAI 等现代化教学手段,提高传授知识的效率。

●实行专家审稿制度,聘请学术水平高、事业心强、长期活跃在教学改革第一线的专家审稿,重点审查书稿的学术质量和是否具有特色。

这套教材的编写符合教学改革的精神,遵循教学规律和人才培养规律,具有明显的特色。与出版单科教材相比,有计划地将教材成套推出,实现了整体优化,这富有远见。

经过几年的艰苦努力,这套机械类本科教材已陆续面世了。它反映了西部高校多年来教学改革与教学研究的成果,它的出版必将为繁荣我国高等学校的教材建设作出积极的贡献,特别是在西部大开发的战略行动中,起着十分重要的作用。

高等学校的教学改革和教材建设是一项长期而艰巨的工作,任重道远,不可能一蹴而就。我希望这套教材能够得到读者的关注与帮助,并希望通过教学实践与读者不吝指教,逐版加以修订,使之更加完善,在高等教育改革的百花园中齐花怒放!我深深为之祝愿。

中科院院士 杨叔子

2000 年 4 月 28 日

## 第三版说明

自2004年7月本书第二版以来,持续受到国内同行和工程界有关院校的关注和欢迎,也继续在多所院校使用,并得到反馈意见。与此同时,“工程材料”的教改(主编学校)和本课程作为省级精品课程的建设一直在进行。尤其该书第二版出版4年来的实践,已进一步对其课程体系、教学内容等方面进行了探索与实践,积累了丰富的经验,为该教材第三版的修订奠定了基础。

全书的总体框架基本不变,但进行了全面的修订和编写。修订的重点为原第二版的第1~5章和第9~13章;并在相关章的章末新增“进一步阅读材料”共14篇,以体现新颖性、时代性;经重新整合(原第9~13章)、新编“工程领域选材和应用专题”这一章(6个专题),以体现工程性、实用性和拓展学生知识面的空间。此外,主要章(第1~5、7章)都在章末添加了例题,并进行了习题的更新。每章末加“本章小结”,起概括提高并承前启后的作用,其效果如何,敬请广大读者不吝指教。此外,要说明的是,由于本版第1~9章的基本内容未作大的变动,因此,第二版所附的多媒体课件无论对于教学还是学习仍有重要的参考作用,欲使用者可在重庆大学出版社教育资源网 [www.cqup.cn](http://www.cqup.cn) 查阅。

为最大限度地减少错误和锤炼内容,每章的修订工作都由2人完成。本书第三版的修订、编写者如下:南雪丽(第1,2,3,6章,绪论和2篇“进一步阅读材料”)、胡勇(第1,2,3,4,5章,3篇“进一步阅读材料”)、郭铁明(第4,5章,3篇“进一步阅读材料”)、丁旭(第6~9章,第10章的4个专题)、杨瑞成(第7~9章,第10章的2个专题和6篇“进一步阅读材料”)。全书仍由杨瑞成任主编并负责统稿、定稿。对本书的完成有所贡献的还有舒俊、孟威、杨娟、王彬、成佳辉、靳塞特、牛绍蕊、胡天雷、李杰、杨海歌、杨钊、杨新星等。

编 者

2008年10月

## 第二版说明

本书自 2000 年 7 月初版以来,在多所院校作为教材或参考书使用,反映良好。尤其对于其主思路、与工程实际的紧密结合以及该书的第四篇(共 8 章,涉及多类典型零构件和典型工况的选材与应用)等给予充分肯定,认为是与其他同类教材明显不同的主要特色。当然,在使用过程中,兄弟院校也提出了不少建设性的宝贵意见,也曾发现一些不足之处,如有的概念、原理方面的叙述过于简单,少数概念未给出明确的定义等。

新版保持初版的特点,体系未作大的变动,仅局部有所调整。如将原金属材料合金化部分归入第 4 章,并增添高分子改性,这样使该章更加充实、完整。在主要章节中,适当补充了相关内容,以便学生课后温习与自学,弥补课堂教学中学时偏少的矛盾。同时,增添了新材料的介绍,如超高强度钢、Ti 合金和 Mg 合金,工模具材料中增加了塑料模具钢等。全书的所有章节都进行了全面的修改和必要的补充。

为了适应教改需要和兄弟院校教师使用,以及便于学生自学与总结,本版特地制作了配套的 Authorware 多媒体课件,其内容不仅简洁、概括,并注意归纳总结,还有所外延和扩充。重要概念、名词均配备了英文关键词,并且增加了部分三维动画、现场情景、工程实例及课堂讨论题等。这也属于尝试与探索,敬请广大读者不吝指教。

本书的第二版工作主要由杨瑞成(第 2,3,4,6,7,8 章及统稿定稿)、丁旭(第 9~14 章)、季根顺(第 1,5 章)和羊海棠(其他相关工作)完成,多媒体课件系杨瑞成、羊海棠和邢振军制作。贺志荣对新版大部分内容进行了审阅,并提出了许多宝贵意见。当然,毫无疑问,原第一版编者刘昌明、张方、邓文怀、张希俊、谢海华和贺志荣等人的贡献和影响仍然存在,其他为此书作出贡献的还有袁晓波、陈奎、杨海歌、杨钊、付公维、彭采宇、王凯旋、袁大伟、李永清、魏波滢、刘树旺、刘贤斌、王爱娟、马玉兰。

编 者  
2004 年 7 月

# 前 言

本书是为机械设计制造及其自动化专业编写的一本主干技术基础课教材。

机类近机类专业使用的《工程材料》教材国内外可分为两大体系。传统体系是单纯从材料出发,立足材料学本身,遵循的主线为成分—热处理工艺—组织、结构、性能的关系,国内近20年来的教材大都如此。新的体系是将机械工程设计制造和选材结合起来,介绍工程材料的基本原理和知识及其工程应用。传统体系由于造成材料与机械设计制造的脱节,学生难以理解及掌握,并难以将所学的材料知识运用到机械设计制造中去。事实上,对材料知识的需求,设计与制造工程师与材料工程师是很不相同的。本专业学生需要的是与工程设计与制造紧密相关的材料知识,并如何在具体零件的材料选择和加工工艺路线中应用它们。为体现本教材与机械工程的紧密关系及相互作用,本书在内封上加上副标题:材料性能、选择与应用。

鉴于以上考虑,本教材的总思路是立足机械工程需求,以及如何从材料角度予以保证。主线为:机械工程要求—力学及其他负荷特征—对应的材料性能—材料选择—材料成形加工特征和提高材料性能的热处理与表面处理—常见的工程材料及其典型应用。全书分四篇共14章。

第一篇为工程材料的基本特征。包括工程构件对材料性能的要求(第1章)和各种类型材料组成及内部组织结构特征(第2章)。

第二篇为工程材料的加工特性与热处理。包括材料凝固成形与塑性成形过程中行为与性能变化(第3章),以及提高材料性能的主要途径(热处理、表面改性等,第4章)。

第三篇为常见机械工程材料。包括金属材料(第5章)与非金属材料(第6章)。内容简洁概括,依据最新国家标准,强调各类材料特点、共性以及主要应用场合。

第四篇为机械工程材料的选择与应用。一般教材无此部分,或仅书末一章,且由于学时等原因,或不讲或匆匆而过。本书基于主思路则大为扩充,视为重点之一。首先是内容丰富的第7章,旨在介绍机械设计制造中材料选择和各种热处理工艺选择原则的同时,将它们纳入机械设计制造的流程中去,使材料与材料加工处理更好地为机械工程服务。然后用6章的篇幅介绍不同工作条件下典型零构件的选材与应用情况,具体为机器零件、工模具、磨损、腐蚀、高温及压力容器等。这6章可供不同性质院校与专业选用。最后(第14章)为机械工业用材情况与比较,并介绍与选材用材相关的、体现经济性与产业政策的节材问题。

总之,本书从机类近机类教材的性质与实际需求出发,加强工程背景,以材料学的概念知识为主,原理知识为辅,注重材料知识的工程应用。

根据各院校的教学具体情况,使用本书时建议保证基础章(第1,2章)及重点章(第3,4,5,6,7章),其他章节教师可采用选讲、略讲或学生自学(包括讨论)相结合的方法。

本书由杨瑞成担任主编并编写第4,14两章,刘昌明(编写第1,2章)和张方(编写第9,13章)担任副主编。参编人员为邓文怀(第6,7章)、张希俊(第3章)、谢海华(第10,11章)、季根顺(第5章)、贺志荣(第8章)和丁旭(第12章)。最后由杨瑞成负责统稿。

由于本书是适应教育部1998最新专业目录及专业改革、教学改革的教材,在体系与内容上均有较大的改变。其中必有不少缺点与不足之处,恳请读者批评指正。

编 者  
2000年4月

# 目 录

|           |   |
|-----------|---|
| 绪 论 ..... | 1 |
|-----------|---|

## 第 1 篇 工程材料的性能和基本特征

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 机械工程对材料性能的要求 .....    | 4  |
| 1.1 工程构件与机械零件所受各种负荷概述 ..... | 4  |
| 1.2 工程设计与加工工艺所需要的材料性能 ..... | 7  |
| 1.3 工程材料类型及主要特征 .....       | 17 |
| 小结 .....                    | 19 |
| 思考题与习题 .....                | 19 |
| 进一步阅读材料 1 结合键和工程材料的键性 ..... | 20 |
| 进一步阅读材料 2 工程材料主要性能的比较 ..... | 23 |
| 第 2 章 材料的组成和内部结构特征 .....    | 26 |
| 2.1 材料的结构 .....             | 26 |
| 2.2 晶体材料的相图与相变 .....        | 33 |
| 2.3 材料的组织与性能 .....          | 50 |
| 小结 .....                    | 54 |
| 思考题与习题 .....                | 54 |
| 进一步阅读材料 1 钢铁的冶炼 .....       | 55 |
| 进一步阅读材料 2 高分子材料的制备 .....    | 60 |

## 第 2 篇 工程材料的加工特性及改性

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 3 章 工程材料成形过程中的行为与性能变化 ..... | 64 |
| 3.1 金属的凝固 .....               | 65 |
| 3.2 铸造、焊接过程中的材料行为及性能变化 .....  | 69 |
| 3.3 冷塑性变形过程中的材料行为及性能变化 .....  | 73 |
| 3.4 热塑性变形过程中的材料行为及性能变化 .....  | 76 |
| 3.5 高分子材料的物理状态 .....          | 78 |
| 小结 .....                      | 80 |
| 思考题与习题 .....                  | 81 |
| 进一步阅读材料 陶瓷的成型 .....           | 81 |
| 第 4 章 改善材料性能的热处理、合金化及改性 ..... | 84 |
| 4.1 提高工程材料性能的主要途径 .....       | 84 |
| 4.2 金属材料在加热与冷却过程中的主要变化 .....  | 85 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 4.3 改善材料成形加工组织与性能的热处理工艺(预先热处理) ..... | 93  |
| 4.4 提高材料性能的热处理工艺(最终热处理) .....        | 98  |
| 4.5 工程材料的表面改性 .....                  | 103 |
| 4.6 钢的合金化 .....                      | 109 |
| 小结 .....                             | 112 |
| 思考题与习题 .....                         | 113 |
| 进一步阅读材料1 高分子材料的改性 .....              | 115 |
| 进一步阅读材料2 陶瓷的相变增韧 .....               | 118 |

### 第3篇 常用机械工程材料

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第5章 常用金属材料及性能 .....         | 121 |
| 5.1 工业用钢分类与牌号 .....         | 121 |
| 5.2 结构钢 .....               | 125 |
| 5.3 滚动轴承钢、工具钢、不锈钢和耐热钢 ..... | 136 |
| 5.4 铸铁 .....                | 144 |
| 5.5 有色金属及其合金 .....          | 149 |
| 5.6 粉末冶金材料 .....            | 157 |
| 小结 .....                    | 159 |
| 思考题与习题 .....                | 160 |
| 进一步阅读材料1 超级钢 .....          | 161 |
| 进一步阅读材料2 高性能轻合金 .....       | 165 |
| 进一步阅读材料3 高温结构材料 .....       | 168 |
| 第6章 非金属材料 .....             | 172 |
| 6.1 高分子材料 .....             | 172 |
| 6.2 工程陶瓷 .....              | 181 |
| 6.3 复合材料 .....              | 185 |
| 小结 .....                    | 188 |
| 思考题与习题 .....                | 189 |
| 进一步阅读材料1 超硬材料 .....         | 189 |
| 进一步阅读材料2 碳纤维材料 .....        | 192 |
| 进一步阅读材料3 纳米材料 .....         | 195 |

### 第4篇 机械工程材料的选择与应用

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第7章 工程设计制造中的材料选择 .....      | 199 |
| 7.1 零件失效与失效类型 .....         | 199 |
| 7.2 零件设计中的材料选择 .....        | 202 |
| 7.3 热处理工艺方案与零件加工工艺路线 .....  | 206 |
| 7.4 热处理结构工艺性与零件变形开裂倾向 ..... | 212 |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| 小结 .....                                     | 217        |
| 思考题与习题 .....                                 | 218        |
| 进一步阅读材料 现代选材方法 .....                         | 219        |
| <b>第 8 章 常用机器零件选材 .....</b>                  | <b>224</b> |
| 8.1 轴类零件选材 .....                             | 224        |
| 8.2 齿轮类零件材料选择 .....                          | 228        |
| 8.3 弹簧类零件材料选择 .....                          | 234        |
| 8.4 箱体支承类零件材料选择 .....                        | 236        |
| 小结 .....                                     | 238        |
| 思考题与习题 .....                                 | 238        |
| <b>第 9 章 常用机械用材情况与机械工业节材 .....</b>           | <b>240</b> |
| 9.1 常用机械用材情况与趋向 .....                        | 240        |
| 9.2 机械工程中的节材 .....                           | 244        |
| 小结 .....                                     | 245        |
| 思考题与习题 .....                                 | 246        |
| <b>第 10 章 工程领域选材用材专题与应用实例 .....</b>          | <b>247</b> |
| 10.1 专题 1 刀具的选材 .....                        | 247        |
| 10.2 专题 2 塑料模具的选材 .....                      | 252        |
| 10.3 专题 3 磨损工况选材及防护 .....                    | 256        |
| 10.4 专题 4 高温工况选材及防护 .....                    | 262        |
| 10.5 专题 5 腐蚀工况选材及防护 .....                    | 267        |
| 10.6 专题 6 压力容器的选材 .....                      | 272        |
| <b>附录 .....</b>                              | <b>277</b> |
| 附录 1 常用钢材在水、油中的临界淬透直径 .....                  | 277        |
| 附录 2 常用金属材料的相对价格 .....                       | 278        |
| 附录 3 常用工程塑料的相对价格 .....                       | 278        |
| 附录 4 常用热处理方法的相对加工费用 .....                    | 279        |
| 附录 5 金属热处理工艺的分类及代号(GB/T<br>12603—1990) ..... | 279        |
| 附录 6 本书涉及的部分(引进)新钢号对照表 .....                 | 283        |
| 附录 7 钢铁及合金牌号统一数字代号体系 .....                   | 284        |
| <b>参考文献 .....</b>                            | <b>285</b> |

# 绪 论

## 0.1 材料与人类文明

材料是人类用来制造各种产品、物件的物质,是人类社会赖以生存和发展的物质基础,也是社会经济发展的技术先导。人类社会的进步和文明离不开工程材料的发展和应用。

纵观整个人类社会的发展历史,不难发现其与材料的密切关系。人类最早使用的材料是一些天然材料,如石头、树枝、泥土、兽皮、兽骨等,其中以石器为代表,可以说,人类文明是从石头上写起的。由于火的使用,人类首先创造并应用的材料——陶器出现,现代人可以从仰韶文化、马家窑文化,以及日本的绳纹文化、弥生文化中感受陶文化的无限魅力。其后,青铜器的出现标志着人类进入以金属材料设计造物的时代,随后铁冶炼技术的问世进一步推动了金属材料的进步,并为大规模近代工业的发展打下了基础。到了近代,由于工业革命的推动和先进科学技术的发展,水泥、钢、硅等材料很快兴起,之后各种新材料,诸如高分子材料、新型陶瓷材料、功能材料、生物材料、纳米材料等不断地涌现并得到迅速发展,成为社会发展的重要物质基础。因此,历史学家以材料作为标志人类文明进步的里程碑来划分人类社会的发展阶段:旧石器时代→新石器时代→青铜器时代→铁器时代。到了近现代,有“钢铁时代”、“高分子时代”、“新型陶瓷时代”、“电子材料时代”、“纳米时代”或“新材料时代”等等的提法。但是,由于大量新型材料的涌现,往往很难用某一种材料来代表其时代特征,而这并不意味着材料在人类社会发展中的重要地位和作用降低了,相反,材料发展对人类社会文明的推动作用却赋予了更为深远的内涵。

现代社会人们将信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱,而新材料技术、新能源技术、信息技术和生物技术并列为全球新技术革命的重要标志。这主要是因为材料与国民经济建设、国防建设和人民生活密切相关,在一定的历史时期,材料的发展水平影响着政治、经济、军事等活动,决定了历史进程。每一项重大技术的突破与创新在很大程度上都依赖于相应新材料的发展,而每一种重要材料的发展和广泛应用都会将人类支配和改造自然的能力提高到一个新的水平,使社会生产力和人类生活水平发生巨大变化,把人类的物质文明和精神文明向前推进一步。以电子技术的发展历史为例,新材料研制与开发起了举足轻重的作用。1906年发

明了电子管,从而出现了无线电技术、电视机、电子计算机;1948年发明了半导体晶体管,实现了电子设备的小型化、轻量化、节能化及成本的降低,以及可靠性的提高与寿命的延长;1958年出现了集成电路,使计算机及各种电子设备的发展发生了一次飞跃。此后,集成电路发展十分迅速,进入20世纪90年代,集成电路的集成度进一步提高,加工技术达到 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ (研究水平已达 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ ),使每位存储器的价格降低了。这些都与硅单晶体的生长和硅片的加工技术密切相关,即对单晶纯度与缺陷的要求不断提高,单晶直径不断增加,晶片的加工精度和表面质量提高,使芯片成品率大为提高,而价格急剧降低。这就是硅材料研究与加工水平提高的直接结果,也就是为什么计算机的功能越来越好而其价格却不断下降的重要原因。半导体材料的发展促使人类进入“信息时代”,随着计算机速度与容量的增加,以电子作为传输媒介受到限制,因而考虑光传输更为理想,即利用光子而不是利用电子作为携带信息的载体,于是发展了光电子材料,实现了计算机的大容量、高速度且向智能化发展的目标。现在一台微型计算机如果其功能和第一台电子管计算机相当,其运行速度却快了几百倍,体积仅为原来的三十分之一,质量仅为六万分之一。又如航天航空技术,这是一个国家综合国力和先进科技水平的代表,而新材料的开发是推动其发展的重要基础。镍基高温合金的出现,将金属材料的使用温度由约 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 提高至约 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,使飞机能够以超音速飞行;高温结构陶瓷的研制成功,促使表面温度高达 $1\text{ }000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的航天飞机的发展;具有高比强度、比刚度的复合结构材料和钛合金等轻质金属材料的发展,使得航天飞行器的速度得到大幅度的提高。我国“两院”院士师昌绪先生曾说:“没有材料是做不成飞机的,材料占飞机质量的69%,发展大飞机,材料要先行。”我国的“两弹一星”、“航天工程”以及“嫦娥探月工程”等尖端技术的发展和所取得的成功也离不开材料的重要作用。众所周知,美国“挑战者”号和“哥伦比亚”号航天飞机的失事,无疑堪称是人类探索太空史上的巨大灾难性事件,据事故原因调查,美国“挑战者”号航天飞机的爆炸是由一个O型封闭环失效所致;而“哥伦比亚”号航天飞机的失事是从机身下部主燃料箱上脱落的泡沫绝缘材料击中了左侧机翼前端,造成直接“外伤”,最后导致其在返航进入地球大气层途中因超高温空气从“伤口”入侵,致使内部线路和金属部件融化,甚至机毁人亡。这样的悲剧不禁发人深省:科学技术的迅猛发展对材料的性能要求越来越高,任何先进科学技术的构想与实现必然要依赖于先进材料的发展。

总之,人类创造了材料,材料也造福于人类。科学技术的进步促进材料发展的同时,人类的文明、社会的发展、科学技术的突破都需要有先进材料作支撑,都离不开材料的发展和进步。

## 0.2 材料与机械工程

机械工程是以相关的自然科学和技术科学为理论基础,结合生产实践中的技术经验,研究和解决在开发、设计、制造、安装、运用和修理各种机械中的全部理论和实际问题的应用学科。机械是现代社会进行生产和服务的五大要素(人、资金、能源、材料和机械)之一,机械工业是为国民经济提供装备的基础工业,它几乎包括了国民经济各个领域中的所有机械产品,这些机械都是由多种不同性能的材料加工成的零件组装而成的,显然,正确地选择和合理使用材料十分重要。

目前,我国机械工业中应用的材料仍以金属材料为主,而其中以钢铁材料的应用最为广

泛。在非金属材料中,塑料的应用已遍及机械工业的各个领域和国民经济的各个部门,例如制作各类容器、阀件等;陶瓷材料因具有优良的耐热性、耐磨性、耐蚀性和电绝缘性等特性,成为机械工业某些领域中不可替代的重要材料,例如制作内燃机的火花塞、陶瓷刀具等。粉末冶金材料由于其成形方法比较简单,成分和结构容易调整,并具有某些特殊性能,其应用范围正在逐步扩大。复合材料是极其具有发展前途的新型结构材料,可根据使用要求调整材料组分而获得满意性能,因而应用范围越来越广。材料的进步在不断地推动机械工业的发展,适用材料的开发和使用带动了机械工业设计、制造技术的不断革新与提高。

随着科学技术的飞速发展,机械工业中机电一体化的进程正在加快,机械设备多功能化、智能化和自动化程度迅速提高,现代机械工业正朝着大型、高速和耐受多种恶劣环境影响等的多方向发展,因此,对材料性能的要求也越来越高、越来越多样化,这也势必引起材料在研制、生产和应用方面发生重大变化,使对材料性能的要求将向综合性和功能化发展,以适应现代机械工程的要求。

### 0.3 工程材料课程的基本任务和要求

《工程材料》(或《机械工程材料》)是高等学校机类、近机类专业必修的专业技术基础课。对于该类专业的学生来说,以后所从事的工作主要是:根据工程需求,进行零部件设计,然后进行加工制造和组装使用。其中零部件设计的过程不仅包括结构设计、应力计算,而且还涵盖了材料选择的问题。材料选择的重点不仅在于很好地实现和保证设计零部件的使用性能,也要考虑材料是否有利于加工制造(即材料的工艺性)和是否满足合理的性价比要求(即选材的经济性)。此外,还要有资源、能源和环保方面的考虑(所谓绿色选材)。因此,本课程的教学任务和目的是,使学生获得有关工程材料的基础理论知识,掌握常用工程材料的种类、成分、组织、性能和改性方法,并理解材料成分、加工工艺、组织结构和应用之间的关系和规律,以具备合理选用常用工程材料和合理排布相应加工工艺的初步能力,为学习其他相关课程及以后从事机械设计和加工制造工作奠定必要的基础。

学习本课程的基本要求是:掌握工程材料的基本特征和性能、材料的加工性能及在加工过程中性能的变化规律,掌握常用钢铁材料和其他金属材料的特点及应用,了解非金属材料的特性及应用,了解机械零件的主要失效形式,熟悉选材原则、合理选用材料和选择相应的热处理工艺,掌握机械工程领域典型零件的选材、用材和工艺路线的排布,以及了解节材情况。学习本课程的过程中应牢牢把握“材料的成分、工艺、组织结构与性能、应用之间的关系与变化规律”这条主线,合理运用多种学习方法,以达到对该课程内容的系统掌握,获得较佳的学习效果。

# 第 1 篇 工程材料的性能和基本特征

## 第 **I** 章

### 机械工程对材料性能的要求

---

#### 1.1 工程构件与机械零件所受各种负荷概述

工程构件与机械零件(以下简称零件或构件)在工作条件下可能受到力学负荷、热负荷或环境介质的作用。有时只受到一种负荷作用,更多的时候将受到两种或三种负荷的同时作用。在力学负荷作用条件下,零件将产生变形,甚至出现断裂;在热负荷作用下,将产生尺寸和体积的改变,并产生热应力,同时随温度的升高,零件的承载能力下降;环境介质的作用主要表现为环境对零件表面造成的化学腐蚀,电化学腐蚀及摩擦磨损等作用。

##### 1.1.1 力学负荷

按载荷随时间变化的情况,可把载荷分成静载荷和动载荷。若载荷缓慢地由零增加到某

一定值以后保持不变或变动很不显著,即为静载荷,机器的重量对基础的作用便是静载荷。若载荷随时间而变化,则为动载荷,按其随时间变化的方式,动载荷又可分为交变载荷与冲击载荷。交变载荷是随时间作周期性变化的载荷。例如,齿轮转动时,作用于每一个齿上的力都是随时间按周期性变化的。冲击载荷则是物体的运动在瞬时内发生突然变化所引起的载荷,例如,急刹车时飞轮的轮轴、锻造时汽锤的锤杆等都受到冲击载荷的作用。

作用在机械零件上的静载荷分为四种基本形式,即拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲。

### (1) 拉伸或压缩载荷

图 1.1(a) 表示一简易吊车,在载荷  $P$  作用下,  $AC$  杆受到拉伸载荷作用(图 1.1(b)),而  $BC$  杆受到压缩载荷作用(图 1.1(c))。拉伸载荷和压缩载荷是由大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对力引起的。这类载荷使杆件的长度发生伸长或缩短。起吊重物的钢索、桁架的杆件、液压油缸的活塞杆等在工作时都受到拉伸载荷或压缩载荷的作用,产生拉伸或压缩变形。

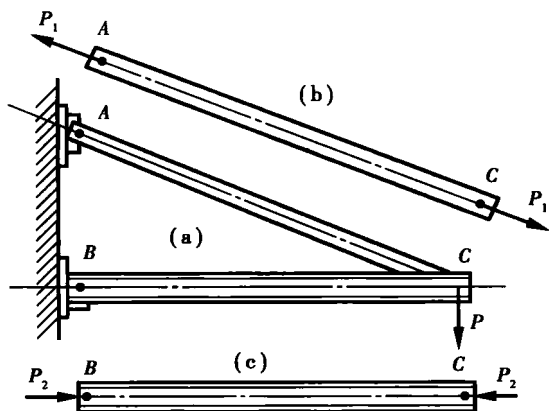


图 1.1 受力杆件

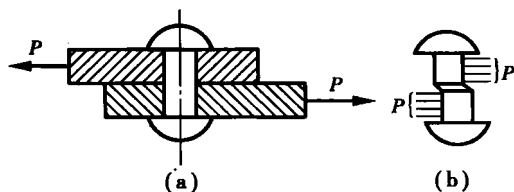


图 1.2 铆钉连接

### (2) 剪切载荷

图 1.2(a) 表示一铆钉连接,在  $P$  力作用下,铆钉连接中的铆钉受到剪切载荷作用。剪切载荷是由大小相等、方向相反、作用线垂直于杆轴且距离很近的一对力引起的。剪切载荷使受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对的错动(图 1.2(b))。机械中常用的连接件(如键、销钉、螺栓等)都受剪切载荷作用,产生剪切变形。

### (3) 扭转载荷

图 1.3(a) 所示为汽车转向轴在工作时发生扭转载荷作用。扭转载荷是由大小相等、方向相反、作用面垂直于杆轴的一对力偶引起的(图 1.3(b)),扭转载荷使杆件的任意两个横截面发生绕轴线的相对转动。汽车的传动轴、电机和水轮机的主轴等都是受扭转载荷作用,产生扭转变形。

### (4) 弯曲载荷

图 1.4(a) 所示为火车轮轴发生弯曲变形。弯曲载荷是由垂直于杆件轴线的横向力,或由作用于包含杆轴的纵向平面内的一对大小相等、方向相反的力偶引起的(图 1.4(b))。弯曲载荷使杆件轴线由直线变为曲线即发生弯曲。在工程中,杆件受弯曲载荷作用是最常遇到的情况之一。桥式吊车的大梁、各种心轴以及车刀等都受弯曲载荷作用,产生弯曲变形。