

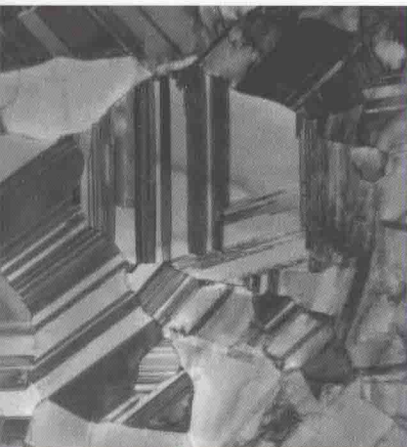
材料科学经典著作选译

CAMBRIDGE

第二版

材料力学行为

Mechanical Behavior of Materials
(second edition)



Marc Meyers Krishan Chawla 著

张哲峰 卢磊 等 译
王中光 校

高等教育出版社

材料科学经典著作选译

第二版

材料力学行为

Mechanical Behavior of Materials
(second edition)

Marc Meyers Krishan Chawla 著



张哲峰 卢磊 等 译
王中光 校

高等教育出版社·北京

图字：01-2014-1902 号

Mechanical Behavior of Materials, 2nd Edition, by Marc André Meyers, Krishan Kumar Chawla, first published by Cambridge University Press in 2009.

All rights reserved.

This Simplified Chinese Translation edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom. © Cambridge University Press 2009

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press or Higher Education Press Limited Company.

This edition is for sale in the mainland of China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan, and may not be bought for export therefrom.

此版本仅限于中华人民共和国境内(但不允许在中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)销售发行。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学行为：第二版 / (美) 梅耶斯
(Marc Meyers), (美) 查瓦拉 (Krishan Chawla) 著;
张哲峰, 卢磊译; 王中光校. --北京: 高等教育出版社,
2017. 2

(材料科学经典著作选译)

书名原文: *Mechanical Behavior of Materials* (second edition)

ISBN 978-7-04-046336-1

I. ①材… II. ①梅… ②查… ③张… ④卢… ⑤王…
III. ①材料力学性质-研究 IV. ①TB303. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 199759 号

策划编辑	刘剑波	责任编辑	卢艳茹	封面设计	杨立新	版式设计	王艳红
插图绘制	杜晓丹	责任校对	陈 杨	责任印制	韩 刚		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京汇林印务有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm × 1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	59	版 次	2017 年 2 月第 1 版
字 数	1100 千字	印 次	2017 年 2 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	179.00 元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 46336-00

译 序

结构材料指具有足够受力能力的材料。它不仅被用于制造飞船、潜艇等高端产品，承载人类上天入海的梦想，也被用来建造房屋，制造汽车、家用器具等用品，伴随我们日常生活的左右。力学行为之于材料，特别是结构材料，正如流动之于水，热之于火，是主要特征，也是性能保障的基础。在人们不断追求更强的材料的进程中，对于材料力学行为的研究由来已久。从1755年现代混凝土的发明到1856年被誉为工业文明基石的钢铁材料的大吨位冶炼技术的出现，从1807年弹性模量的提出到1934年位错机制的诞生，这些材料科技史上的重大时刻无一不与人们对材料力学行为的需求和研究进展有关。

材料在不同加载条件下呈现出多样的力学行为，包括弹性变形、塑性变形、加工硬化、蠕变、疲劳、断裂等。载荷的大小与加载方式（拉、压、扭转、弯曲等）、速率、梯度、环境温度等均会影响材料的力学响应，而这些响应又与材料的原子结构、晶体结构、结构单元尺寸、相组成等显微组织密切相关。因而，材料力学行为的研究内容十分繁杂，内涵异常丰富。近年来，一些新型结构材料，例如纳米材料、非晶合金、薄膜材料、多孔材料、构筑材料等的出现更是极大地拓展了材料力学行为研究的内涵，为材料力学行为的研究开辟了新的空间，也带来了新的机遇。

Marc André Meyers 教授从事材料力学行为的研究与教学工作多年，在此方面造诣精深。*Mechanical Behavior of Materials* 于1999年首次出版，2009年该书进行了再版。这本书融合了材料和力学两大学科，结合宏观力学唯象理论与材料变形微观机制，深入浅出地阐述了材料的力学行为。同时，书中涵盖的材料也非常丰富，不仅分析了金属、陶瓷、聚合物和复合材料等传统材料，也涉及了电子材料和生物材料等前沿热点材料。另外，此书中对于理论的现状描述之清晰也颇使我印象深刻，哪些问题已尘埃落定，而哪些问题仍在开放的讨论和研究之中，都给予了评述，这也许与 Meyers 教授本人一直从事该领域的前沿研究有关。

当前，制造业的发展和转型升级成为我国经济发展的关键，而高性能结构材料是制造业的重要物质基础，也是目前国际上竞争最激烈的高技术领域之一。

鉴于我国高端制造业对材料力学行为研究的迫切需求，同时得益于与 Meyers 教授多年的合作，沈阳材料科学国家(联合)实验室在 Meyers 教授和英国剑桥大学出版社的授权下组织翻译了此书。希望能对我国从事材料力学行为研究的学者以及从事材料应用的工程技术人员有所启发和裨益。

卢 柯

中国科学院金属研究所，沈阳材料科学国家(联合)实验室

2016年8月28日

译者的话

《材料力学行为》一书由美国加州大学圣地亚哥分校机械与航空航天工程系 Marc André Meyers 教授和阿拉巴马大学伯明翰分校材料科学与工程系 Krishan Kumar Chawla 教授所著，2009 年由英国剑桥大学出版社出版第二版。第二版中系统地介绍了各种典型材料的力学行为，不仅涵盖了金属、陶瓷、聚合物及复合材料等传统材料，同时也介绍了最新发展的生物材料和电子材料。从材料宏观力学和微观机制两条线索介绍了不同材料在各种条件下的变形、损伤与破坏行为及其机理，内容深入浅出、生动形象，是一本描述材料力学行为的经典著作，非常适合机械工程及材料科学相关专业高年级本科生和研究生学习使用。

2008 年，该书作者之一 Meyers 教授获得中国科学院金属研究所李薰讲座奖，并于 2008—2012 年期间多次访问金属研究所，为金属研究所的同仁及研究生讲授了《材料力学行为》的部分内容，受到大家的广泛好评。Meyers 教授来访期间曾与两位主要译者张哲峰研究员和卢磊研究员就材料的力学行为、新型结构材料的变形损伤及断裂机制进行过多次深入、细致的讨论与交流。同时，两位译者承担着金属研究所“材料力学性质”课程的授课任务，正苦于目前国内缺乏系统、全面介绍各种不同材料力学行为的权威著作，英文版《材料力学行为》的出版犹如雪中送炭。为此，两位译者认为很有必要将该书翻译成中文，以满足国内广大读者的需求。经卢柯院士和王中光研究员的推荐，Meyers 教授和英国剑桥大学出版社同意将该书的中文翻译版权授权给高等教育出版社。

本书的前言、目录、附录、索引等由张哲峰翻译，第四至六章由卢磊翻译，第一、十一章由金海军、邵军超翻译，第二章由张广平翻译，第九、十五章由韩忠翻译，第十、十二章由张洪旺翻译，第三、七章由张哲峰、屈瑞涛翻译，第八章由张哲峰、张鹏翻译，第十三、十四章由张哲峰、李鹏、庞建超翻译，第十六章由张哲峰、王强翻译。全书由王中光研究员作全面、细致的校对及审阅。

在本书翻译过程中，根据作者提供的勘误表，经作者同意后，我们对原书中的一些错误在中文版中已作相应修改。

由于时间仓促，且限于译者的学识，错误之处在所难免，敬请读者多加指正。

译者

2016 年 8 月

中文版序

我们十分高兴看到《材料力学行为》中文版的出版。该书的翻译是一项巨大的工程，中国科学院金属研究所的同仁们付出了十分的勤奋、耐心和智慧。我们非常感谢以下人员：

卢磊研究员负责协调工作以及翻译了本书的四分之一。张哲峰研究员及其课题组部分成员翻译了本书的三分之一之多。

王中光研究员校正了全书并提供了宝贵的建议、意见和帮助。

金属研究所其他参与翻译工作的研究人员有：张广平博士、金海军博士、韩忠博士、张洪旺博士、屈瑞涛博士、张鹏博士、李鹏博士、庞建超博士、王强博士及邵军超博士，在此一并感谢。

该翻译工作源于2012年，本书作者之一(Meyers教授)在金属研究所接受李薰讲座奖期间为研究生讲授了该书部分内容。中国巨大的科技进步更多基于教科书发挥重要作用的广泛教育框架。金属研究所一直是中国的主要研究机构，在国际上享有较高声誉。其深厚的根基可以追溯到20世纪50年代，如早年的李薰先生、师昌绪先生，以及近期的卢柯院士。

我们希望这本书的出版能够加强研究人员之间的协作，并指导年轻一代的中国学生。

M. A. Meyers
K. K. Chawla
2016年8月

《材料力学行为》

新版《材料力学行为》是该领域内现有的最详尽、最通俗的高年级本科教材，它采用了力学与材料均衡的叙述方法，并且涵盖了生物材料和电子材料领域的新进展。由于数学上简单且不需要广泛的材料学背景，因此本书是该学科的入门级教材。

新版的变化：

- 每章都经过校订、重组和更新，以便既融合现代材料学内容，又保持理论逻辑的流畅，便于课堂学习。
- 全书从头到尾强调了生物材料包括多孔材料，以及电子材料的力学原理。
- 本书包含一个关于环境效应的新章节，描述了外部条件、显微结构及行为之间的重要关系。
- 每章章末都含有新的家庭作业问题。

本书通过强调各种材料在微米尺度和纳米尺度下运行的基本机制，并通过大量显微图片和实例给予证实，为材料的力学行为提供一个概念性的理解。可以说，这是一本在机械工程及材料科学专业领域内关于材料力学行为的完美教科书。

Marc Meyers 是加州大学圣地亚哥分校机械与航空航天工程系教授，EXPLOMET 会议的联合创始人和共同主席。他撰写了很多教材，并荣获了多项国际荣誉，包括洪堡资深科学家奖(德国)、TMS 杰出材料科学家/工程师奖(美国)和李薰奖(中国)。

Krishan Chawla 是阿拉巴马大学伯明翰分校材料科学与工程系教授及前院长，美国机械工程师协会国际会员，*International Materials Reviews* 期刊编辑。他曾在美国和欧洲的很多研究机构工作过，撰写了很多教材，并因个人的研究和教学工作荣获了多项荣誉。

谨以此书献给我挚爱的父母：Henri 和 Marie-Anne。

Marc André Meyers

谨以此书献给我挚爱的父母：Manohar L. 和 Sumitra Chawla。

Krishan Kumar Chawla

我们围着圈跳舞，心里揣度，
秘密则端坐其中，洞悉一切。

Robert Frost

第一版前言

材料力学行为是机械工程专业和材料科学与工程专业的标准课程。这门课程通常在本科的大三或大四阶段讲授。本书以一种力学与材料均衡的叙述方法介绍了材料力学行为，所以对机械工程和材料工程的学生都适用。

本书涵盖了金属、聚合物、陶瓷和复合材料的内容，含有超过一个学期课程的充足信息。因此，它使得授课教师能够选择最适合年级(大三或大四)及背景(机械工程或材料工程)的授课方法。

全书分为 15 章，每一章对应于一周的授课内容。通常的情况是用几个理论来解释特定效应，而本书只提出主要观点。本科阶段应该强调简单概念，而研究生课程则应该给学生介绍不同的观点。因此，本书常常省略一些活跃和重要的研究领域。

第一章介绍了材料方面的信息，学习过材料性能课程的学生应该熟悉这部分内容。此外，它还使不熟悉材料的学生得以“加速跟进”。晶体理论强度部分的章节，所有学生都应该学习。第二章针对本科生的需求，对于弹性和黏弹性的内容作了很初级的处理。大多数金属和陶瓷是线弹性的，而聚合物由于具有较强的黏性组分往往表现出非线性弹性。第三章给出了塑性变形、流变和断裂准则的一般处理，机械工程专业的学生对这些概念应当十分熟悉，因此，他们可以跳过 3.2 节，而材料工程的学生则应该学习这些内容。同时本章也描述了用于材料的两个很常见的试验——单轴拉伸和压缩试验。

第四章至第九章关于缺陷、断裂及断裂韧性是理解材料力学行为必不可少的环节，因此构成了本书的核心，同时也讨论了点缺陷、线缺陷(第四章)，以及面缺陷、体缺陷(第五章)，采用了介绍性和描述性的处理方法。缺陷的数学处理非常复杂，而且对工程专业的学生而言，这部分处理对材料力学行为的理解并不十分重要。在第六章中，我们使用了位错的概念来解释加工硬化。我们介绍了对这一现象的理解，包括从 20 世纪 30 年代开始加工硬化现象的提出，直到当代的发展过程。第七章和第八章分别从宏观(主要是力学的)和微观的视角来处理断裂。在脆性材料中，其断裂强度在拉伸和压缩条件下可以相差 10 倍，我们对这种差异进行了讨论。试样与试样之间强度的变化也非常显著，我们采用 Weibull 统计进行了分析。第九章描述了材料断裂阻力的不同试验方法。

第十章介绍了固溶强化、沉淀析出强化和弥散强化这三个非常重要的金属强化机制。第十一章分别讲解了马氏体相变及增韧对金属和陶瓷的显著效果。虽然这种效应已经使用了超过 4 000 年，但直到 20 世纪下半叶才得到科学上的真正理解。因此，出现了许多新的应用，从形状记忆合金到强度高于 2 GPa 的马氏体时效钢。第十二章介绍了在新材料中具有独特性质并且已被发展作为先进应用的含有有序结构的金属间化合物。第十三章、第十四章给出了关于蠕变和疲劳基本机制的详细处理，并通过标准试验和数据分析方法的描述对这两种现象加以补充。本书的最后一章涉及复合材料，在一些学校，这一重要题目是一个独立的学科专业，如果是这种情况，该章可以省略。

本书是 Prentice-Hall 出版社于 1984 年出版的《力学冶金》的续作。《力学冶金》曾在美国和海外获得相当大的成功，并被翻译成中文。当前这一版主要修改和补充了 20 世纪八九十年代材料领域的迅猛发展。本书也全面介绍了陶瓷、聚合物、复合材料及金属间化合物等在当今具有先进应用的重要结构材料。每一章最后都有推荐读物，读者如果需要对某一特定知识点进行扩充或者想扩大该领域知识面，可将其作为参考资料。在此我们对书中出现的所有表格及示意图的出处进行致谢。在最终的书中，我们可能在不经意间忘记引用一些出处，如果这种情况出现，我们致以最真诚的歉意。所有章节都包含了已解答例题和习题，这些应该可以有效帮助学生掌握提出的概念。

通过提出聪明的问题和有价值的批评，我们的学生向本书提供了最重要的信息，非常感谢他们的贡献。我们还要感谢我们的同事和同行科学家，他们经过艰苦的努力和无私的奉献提出概念，开展关键试验，发展理论，形成了材料力学行为的一个新兴的定量理解框架。为了使本书易于阅读，我们选择尽量减少使用参考文献。在一些地方，我们将这些文献置入本书中。Jennifer Natelli 耐心并出色地完成了手稿输入这一工作，Jessica McKinnis 起草，H. C. (Bryan) Chen 和 Elizabeth Kristofetz 编辑，对他们表示感谢。Krishan Chawla 要感谢这些年来从海军研究办公室、美国橡树岭国家实验室、洛斯阿拉莫斯国家实验室和桑迪亚国家实验室得到的研究支持。他也很感谢他的妻子 Nivedita、儿子 Nihilesh 和女儿 Kanika，是他们使这一切都很值得。他非常感谢 Kanika 在文字处理方面的帮助。

Marc Meyers 向持续支持其研究的美国国家科学基金会（尤其是 R. J. Reynik 和 B. MacDonald）、美国陆军研究办公室（特别是 G. Mayer、A. Crowson、K. Iyer 和 E. Chen）以及海军研究办公室致射。与他同为冶金学家的祖父 Jean-Pierre Meyers 和父亲 Henri Meyers 一生致力于自己的专业，给予了 Marc Meyers 莫大的启迪。在 1993—1996 年期间，加州大学圣地亚哥分校的机械与材料研究所在本书写作过程中提供了慷慨的资助，在这里对该研

究所所长 R. Skalak 教授提供的帮助再次表示感谢，该研究所是由美国国家科学基金会资助的。作者还要感谢 B. Ilshner 教授在本书的最后准备阶段于瑞士洛桑的热情款待。

Marc André Meyers
加利福尼亚州拉荷亚
Krishan Kumar Chawla
阿拉巴马州伯明翰

第二版前言

《材料力学行为》第二版针对领域内发生的变化对每一章都进行了修订和更新。鉴于生物工程的重要性日益增加，在第二版中特别强调了生物体材料和生物材料的力学性能，还增加了一个环境效应的章节。Fine 教授和 Voorhees 教授^①有说服力地把生物材料学整合到材料科学与工程课程中，这种趋势已经在美国和欧洲的许多大学里流行开来。我们第二版也充分认识到这一重要趋势，但抵制住了把生物体材料和生物材料单独成章的诱惑。相反，我们将这些材料与金属材料如金属、陶瓷、聚合物等放在一起。除此之外，认识到电子材料的重要性，我们还强调了这些材料在力学行为方面的显著特征。

本书第二版的基本主题与第一版的相同。教材把基本机理与大量不同材料在各种环境下的力学性能联系起来。这本书独特的地方在于它以统一的方式提出了涵盖不同材料的重要力学行为原理，包括金属、聚合物、陶瓷、复合材料、电子材料及生物材料。贯穿整体的统一思路是纳米/微米结构控制材料的力学性能。丰富的显微照片和示意图能够有效地厘清概念。全书还提供了已解答的例题及章末习题。

本书专为高年级本科生及研究生在机械工程和材料科学与工程课程中所使用。它同时也是一个可以有效训练与材料力学行为相关的工程师的参考工具。本书不以任何具有材料方面相关知识为前提，并且数学方面也很简单。实际上，第一章提供了必要的背景，因为此章涵盖了一般的材料，所以我们请读者时时查阅此章。

除了上述重大变化之外，还纳入了蜂窝材料和电子材料的力学行为。材料的重大重组变化为以下几部分：弹性、莫尔圆处理、纤维增强复合材料的弹性常数、生物体材料和生物材料的弹性性质、复合材料的失效准则、纳米压痕技术及其在获取材料性能中的使用等。并且增加了已解答的例题及章末习题，提供了显微照片和曲线图以厘清概念。

我们感谢将本书第一版应用于课堂并且十分热情地提供反馈的众多同仁们。我们也感谢从一些学生那里得来的反馈。MAM 要感谢 Kanika Chawla 和

^① M. E. Fine and P. Voorhees, "On the evolving curriculum in materials science & engineering," *Daedalus*, Spring 2005, 134.

Jennifer Ko 在生物材料方面的帮助，Marc H. Meyers 和 M. Cristina Meyers 也提供了非常宝贵的帮助。KKC 要感谢 K. B. Carlisle、N. Chawla、A. Goel、M. Koopman、R. Kulkarni 和 B. R. Patterson 的帮助。KKC 感谢德国柏林材料与测试研究所的 P. D. Portella 博士，他在那里休假时得到了热情的款待。与往常一样，他非常感谢他的家人 Anita、Kanika、Nikhil 和 Nivi，感谢他们的耐心和理解。

Marc André Meyers

加州大学圣地亚哥分校

Krishan Kumar Chawla

阿拉巴马大学伯明翰分校

给读者的信

我们编写《材料力学行为》的目标是创作出一本成为这一学科基础知识卓越来源的书籍，我们期望这本书能够成为超越学生大学生涯的一本指南。本书显然有比正常覆盖一学期课程还多出许多的内容。我们想让本书不仅是一本课堂教材，更是一本训练该领域的科学家、研究人员及工程师的实用参考书，对此我们问心无愧。

特别地，关于本书的主题：结构、力学性能与使役行为，我们还有一个介绍性的章节。这一部分介绍了一些后续章节会详细介绍的关键术语和概念。我们建议读者将这一章节作为一个方便的参考工具，并在需要时查阅。我们强烈推荐教师将第一章作为自学资源。当然，如果需要的话，可以把各个章节、例题和习题添加到后续材料中。

尽情畅读！

目 录

第一章 材料：结构、性能和使役行为	1
1.1 引言	1
1.2 单一、复合以及多级材料	3
1.3 材料的结构	15
1.3.1 晶体结构	16
1.3.2 金属	20
1.3.3 陶瓷	27
1.3.4 玻璃	32
1.3.5 聚合物	35
1.3.6 液晶	44
1.3.7 生物体材料和生物材料	45
1.3.8 多孔和泡沫材料	47
1.3.9 生物体材料的纳米结构和显微结构	50
1.3.10 海绵骨针：生物体材料的一个例子	60
1.3.11 活性(或智能)材料	61
1.3.12 电子材料	62
1.3.13 纳米技术	64
1.4 真实材料的强度	66
推荐读物	69
习题	70
第二章 弹性和黏弹性	77
2.1 引言	77
2.2 纵向应力与纵向应变	78
2.3 应变能(或变形能)密度	83
2.4 切应力与切应变	85
2.5 泊松比	88
2.6 更复杂的应力状态	90
2.7 双轴应力状态的图解：莫尔圆	93
2.8 纯剪切： G 与 E 的关系	98