

材料与环境

节能优选法

Materials and the Environment

Eco-Informed Material Choice

因地选材，定制环保。阿诗笔地图，63种材料的基本性能和环保信息，教你成为环保材料的“设计师”

[英] 阿诗笔 (Michael F. ASHBY) 著

[法] 张 葵 (ZHANG Kui) 译



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



材料与环境

节能优选法

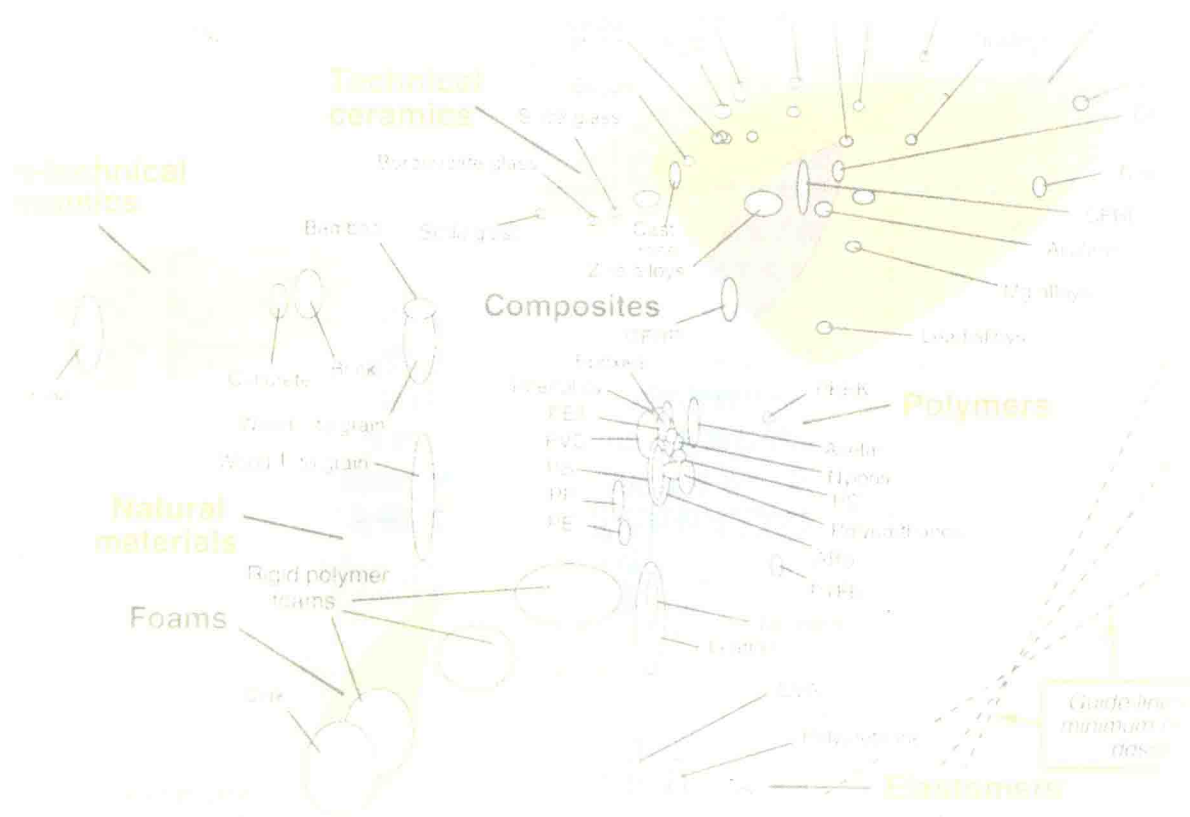
[英] 阿诗笔 (Michael F. ASHBY) 著

[法] 张 葵 (ZHANG Kui) 译



Materials and the Environment

Eco-Informed Material Choice



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书是国际著名材料与工程权威、剑桥大学教授阿诗笔(Michael F. ASHBY)撰写的教科书。从天然资源的消费及其派生、产品材料的节能优选及其使用周期到符合环保标准的回收利用率和可持续性发展的前景,涉及内容广泛而深入。本书为 63 种原材料建立起世界上第一个基本性能和环保信息数据库,其中最具环保特色的新物理量“(原材料生产)隐焓能 H ”值的引入,使得人们对“何为耗能材料”及其相应“排碳量的计算”有了更明确、更具体的理解。本书所提供的第一手大量详实的材料生态性能数据和评估方法可以使中国的环保事业少走许多弯路。

本书不仅适用于材料与工程学科的前沿教学,还可作为工程技术人员乃至决策机构的参考工具手册。

图书在版编目(CIP)数据

材料与环境/(英)阿诗笔(Ashby, M. F.)著;(法)张葵译. —上

海:上海交通大学出版社,2016

ISBN 978-7-313-14831-5

I. ①材… II. ①阿… ②张… III. ①材料科学 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 081156 号

材料与环境

——节能优选法

著 者:[英]阿诗笔

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:上海锦佳印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:702 千字

版 次:2016 年 6 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-14831-5/TB

定 价:198.00 元

译 者:[法]张葵

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:28.5

印 次:2016 年 6 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-56401314

序

材料是国民经济、社会进步与国家安全的物质基础与先导。材料技术已成为现代工业、国防和高科技发展的共性基础技术,是当前最重要、发展最快的科学技术领域之一。发展材料技术将促进高新技术产业的形成与发展,同时又将带动传统产业和支柱产业的改造及产品的升级换代。

材料的使用与环境密切相关。材料的设计、制造、使用越来越需要考虑可持续发展这一重要因素。世界人口在不断增长,材料的消费也随之增长。我们赖以生存的环境受到的破坏越来越严重。我国“十三五”计划强调坚持绿色发展的道路,着力改善生态环境,造福于子孙后代。

材料的使用都是以产品形式出现,任何材料产品要经历原材料提取、产品制造和加工并运输到使用部门,最后是废材料的回收或作为垃圾被填埋。在这些过程中,都会产生能源消耗和环境污染。作者创造性地提出,只要正确选择使用材料就可以最大限度地减少对环境的危害。

在人类社会中材料与环境共存并互动。以往我们主要关注环境对材料使用的影响,即材料在环境作用下发生各种形态的腐蚀破坏,从而缩短材料的使用寿命。为了减轻材料腐蚀造成的巨大经济损失、资源损失和安全隐患,腐蚀与防护学科起着重要的作用。本书作者从另外一个角度,着重关注材料对环境的影响。怎样通过材料的设计和使用来设法补救其对环境生态平衡所造成的破坏性影响。为了达到此目的,在书中提供了相应的研究方法、软件和翔实的数据,包括 63 种材料的基本性能和环保信息。作者列举了大量应用实例,反复强调能源消耗和二氧化碳排放在材料产品生命周期的各个阶段紧密相联但各不相同。我们只要抓住了这个“牛鼻子”就能在材料设计中做出准确判断,有助于材料优选决策的制定。

《材料与环境——节能优选法》一书内容丰富,紧跟材料与环境领域研究的新进展,涉及面广而深,全书深入浅出,图文并茂,通俗易懂,是知识创新的范例,不仅适用于材料与工程学科的前沿教育,还可以作为材料科学家和工程师有用的参考书。

毫无疑问,本书中译本的出版,一定会成为我国材料与工程领域的优秀教科书,使广大学生和工程技术人员受益匪浅。



2016.5.28

作者序

环境是一个系统(system),人类社会也是一个系统,这两个系统共存并互动。其交互作用时强时弱,但如此复杂的两个系统互动的后果是很难预测的,其中一个众所周知的事实即人类社会的不断工业化对人类赖以生存的环境和生态平衡造成了巨大的破坏。一个多世纪以来,在社会不停步地迅速发展工业的同时,人们也在想尽补救办法以减少这些显而易见的负面影响。尽管其中有些获得了成功,但总是有新的破坏现象出现,其中一个最令人意想不到的结果便是整个地球的气候变化。倘若这样继续下去,这一破坏性的后果所造成的危害将是非常可怕的。环境和人类社会互动的结果以及其他许多生态问题均与我们使用能源和使用材料的方式有关。因此,如果我们要承担起管理和控制这两个因素的责任,则必须事先了解人类使用能源和材料的起因、规模和后果,而这一切均需要用事实来说话。

关于本书 本书旨在对能源和材料使用的起因、规模以及对自然环境所产生的负面影响给出一个严谨的答案,并对这方面的许多研究中所存在的“问题过分简单化”和“信息误传”等现象给予纠正。本书首先解释我们为何赖以材料而生存和使用材料的后果,然后介绍设计各种新材料的方法。这些方法尤其适用于在设计环保新材料时需要考虑的主要因素——如何“最大限度地减少对环境的负面影响”,而这一因素往往与设计时需要考虑的另一重要因素“最大限度地降低成本”发生冲突”。本书的目的不是要提供最终的解决方案——这是未来科学家、工程师、设计师、乃至政治家们应该考虑的问题。我们仅试图提供研究背景、研究方法、前景展望以及研究所需要的庞大数据库。换句话说,我们仅试图为在能源和材料使用领域的研究者和决策者们提供一个“**环保工具箱**”。每位读者可以根据自身对能源和材料的需求以及自身环境的特性,借助本书所提供的方法、工具和数据,逐渐培养自己的独特判断,并建立起自己独特的“环保工具箱”。

《材料与环境》一书最初是作为材料与工程学院的大学教材而编写的。它分为两个部分:第一部分(第1至13章)主要是向未来的材料科学家和工程师们介绍“应对环境所需要的材料之背景和研究工具”。第二部分(第14章)主要提供分析具体材料所需要的具体数据。这两部分的共同使用有助于读者对具体实例进行分析,帮助学生自行解答每章末尾的习题,甚至借此进一步探讨自我研究领域中与环保相关的材料问题。

温故而知新。本书第1章将回顾历史,介绍人类社会越来越依赖于能源和材料的演变过程。大部分天然材料的形成都是来自于不可再生的资源,来自于在地质和生物时代所形成的物质。如同保护所有人类遗产一样,保护自然资源并将其完好地传给下一代,使我们的子孙后代能够像我们一样,从这些宝贵的人类遗产中得到直接的启发并满足自己的意愿——是我们每个人都必须尽到的职责。尽管自然资源的数量是巨大的,但人类消耗使用它们的速率也高得惊人。因此,正确规划“资源使用”的未来需要建立模型和阐述原因。这将是第2章的内容。

社会上所有销售和使用的产品都离不开原材料的生产和加工。如同植物和动物,产品也是有“生命周期”的,它可以分为几个阶段:首先是“出生阶段”,即原材料的萃取和提炼;然后是“成熟阶段”,即产品的加工制造和运输至使用部门;最后是“死亡阶段”,即废料的回收或垃圾填埋。一个公认的事实是:产品整个生命周期中总有某一阶段上的能量耗损和废物(气)排放量要比其他阶段之总和还要大。关键问题是要找出这种现象发生在哪一阶段上。适用于节能减排、设计环保新产品的“生命周期评估方法(简称 LCA)”由此在国际上应运而生。然而,具体实施“完整 LCA”价格昂贵且速度缓慢,加之这种评估方法所给出的结果对工程设计人员帮助甚微,所以其使用范围并不广泛。另一种为环保而创建的产品评估方法是将评估重点放在破坏环境的两个主要因素上:把“耗能”作为资源枯竭的主要原因,把“二氧化碳排放”作为环境污染的罪魁祸首。就材料本身而言,“原材料的生产制造阶段”需要消耗大量能源,与此同时不可避免地释放二氧化碳。当然,产品生命周期中的其他阶段也会耗能排碳。在一个工业化程度很高的社会中,任何与“加热”、“制冷”以及“运输”相关的部门都是能量吞噬和二氧化碳释放的大户。正确地选择和使用材料,可以做到最大限度上的节能减排。这是我们在第 3 和第 4 章要讨论的问题。顺延这一思路并制定材料环保的有关战略决策,将是本书其他章节的主要内容。

世界上各国政府在制定环保政策时所采取的策略大都为“胡萝卜加大棒”^{〔1〕}——用官方语言来说,是“指挥加调控”,并借用“市场手段和方法”为其作补充。其结果是越来越多的立法条文出现。不管人们赞同与否,法律条文总是要遵守的。这部分内容将在第 5 章中进行回顾和综述。

作为工程师和科学家,我们的首要职责是运用所学到的专业技能,在新材料的设计阶段就最大限度地减少乃至消除产品对生态环境的破坏。要做到这一点,关键是要对所选材料的属性有一个精确、正确和全面的了解,特别需要掌握这些材料的“生态特性”第一手数据和资料。需要指出的是,尽管能源的耗损、二氧化碳的排放、废料的回收以及材料的毒性等等都与生态平衡息息相关,但是我们在做工程材料设计时,着重需要考虑的却不是这些显而易见的问题,而是如何减少新材料的机械性能、热性能或电性能对环境所产生的负面影响。本书第二部分(第 14 章)的数据图表即为材料设计时所需要考虑的种种工程和环境因素而提供的。人人皆知,查看一大堆的数据表格是非常枯燥的事情。倘若把它们转换成相应的图表,则会给人以良好的视觉感,枯燥的数据之研究也许会变得有趣些。本书第 6 章的内容即介绍一些典型的材料性能图表的使用方式。

接下来让我们来谈新材料的“设计”问题。在进行具体规划前,设计师的头脑中一定会有不同的设计方案,但他们不可能等待(或负担不起)每个设计方案的完整 LCA 评估结果,再来决定哪种方案为最佳。产品设计师们需要的是一个“生态审计”工具,这一工具应能满足对新产品的生命周期中每一阶段都能进行快速评估的需要,还必须具有迅速应变的能力。当某一设计方案被否定后,生态审计方法能够迅速地对其替代品进行新的评估。本书第 7 章将介绍一些生态审计方法,第 8 章将给出相应的实例分析。

生态审计的目的是为了筛选出产品生命周期中最为耗能和最多排放二氧化碳气体的阶段。一旦这一阶段被确认,我们应该做些什么以达到降低产品对环境破坏程度的目标呢?本

〔1〕 原文“大棒加胡萝卜(sticks and carrots)”一英语成语,即“软硬兼施”之意(译者注)。

书第9章主要介绍相关的材料优选法(这一战略主题已经在第3章中提及到了),第10章则专门给出具体的实例分析(随后的练习题是实例分析的继续),以帮助读者从理论学习的课堂走向实际应用的场所。

本书截止第10章,其内容主要是介绍经过实践检验而完整建立起来的一整套分析方法和解决问题的答案。它们通俗易懂,适用于任何一个有工程学科背景、同时关注环境保护的读者。在此基础上,我们可以拓展知识面,并研究更广泛的材料与环保问题。比如,可持续发展的问题和可持续发展的关键问题——“如何提供高效低碳的能源问题”将在第11章中讨论。继而在第12章中,我们将深入探讨如何最大限度地提高材料效率以促使可持续发展。最后在第13章中,我们以“未来发展的选择”为主题,探讨人类社会未来发展的种种驱动力以及可能产生的相关后果。

本书的第二部分(第14章)由63种工程材料(如金属、塑料、陶瓷、复合材料和天然材料)的综合数据和图表组成,主要介绍这些材料的机械、热、电性能以及与环境问题相关的生态属性。这些数据和图表有助于读者解答习题并将该书的分析方法运用到其他领域。

CES软件^[1]为配合本书内容的理解和应用,剑桥格兰塔(Granta)教育软件公司特意制作了名为CES的教学软件。本书中的“生态审计”和“材料优选”等内容均可借助于该软件进行电化教学,工程师们也可以利用CES软件进行具体的产品材料设计。软件中所提供的材料性能数据和图表比本书所介绍的范围要广泛得多、数量也要大得多,而且使用软件可以迅速给出评估结果,这是仅靠读教科书并手动心算而力所不能及的。当然,CES软件只是一个非常有效的辅助工具,理解和运用本书的内容与CES软件的配备是既相辅相成、又相互独立的。

本书是《材料与环境》的第2个版本(发行于2013年)。那么,它与4年前发行的第1个版本有何不同呢?应当说,这两个版本的基本结构是一样的,但作者根据第1版发表后的读者信息反馈,在第2版中补添了许多新内容,主要是为了适应材料与环境研究领域的迅速发展。补添内容综述如下:

- 所有章节都被重新修订、扩大,并更新了数据库。
- 对书中所列举的实例分析和理论公式给予了进一步的解释和推导。
- 每章末尾习题的内容大大增加。
- 在所有章节中新添加了“新闻剪辑”的内容^[2]。这些内容是从世界各大媒体2011年所发表的信息中精选出来的,它们有助于读者从更广泛的角度上去研究材料问题。
- 新添的第8章主要介绍快速审计方法和实例。
- 新添的第11章主要介绍研发“低碳能源”需要使用的基本材料(这一专题本身就是材料与环境研究领域中的一个范例)。
- 新添的第12章主要探索材料的高效使用问题,这与材料的设计和加工管理有关。

[1] 剑桥格兰塔教育软件公司联系方式:Granta Design, 300 Rustat House, 62 Clifton Road, Cambridge CB1 7EG, UK. www.grantadesign.com。

[2] 为读者讨论方便,译者把“新闻剪辑”的内容均纳入“实例分析”中,并对每一章的实例分析进行了排序。

- 第 14 章的数据表格已全部更新,并添加了天然和人造纤维的基本性能及其生态特性。

- 每一章末尾的“拓展阅读”内容补添了 2009、2010 和 2011 年的信息。

毫无疑问,读者对本书第 1 版的反馈意见是促使第 2 版问世的主要驱动力。作者殷切地希望读者们能够及时反馈您对第 2 版内容的批评和建议,以推动材料与环境这一重大命题的研究和教学的进一步发展。

鸣谢

该教科书的出版倘若没有他人的建设性批评意见和无私帮助是不可能取得成功的。我的众多同事为之慷慨地奉献出自己的宝贵时间和独特见解。我尤其希望感谢的是以下诸位(他们直接或间接地为本书的写作提供了卓有成效的建议和启示):剑桥大学的 Dr. Julian Allwood, Prof. David Cebon, Dr. Patrick Coulter, Dr. Jon Cullen, Prof. David MacKay, Dr. Hugh Shercliff, 法国格勒诺布尔综合理工学院的 Prof. Yves Bréchet, 美国达特茅斯学院的 Prof. Ulrike Wegst, 密歇根大学的 Prof. John Abelson, 伦敦南岸大学的 Dr. Deborah Andrews, 以及剑桥大学的研究生 Julia Attwood, Fred Lord, James Polyblank。我同样需要感谢的是剑桥格兰塔(Granta)教育软件设计公司的成员们,他们创建的 CES 材料教育软件为本书图表的制作和实例分析提供了巨大的帮助。

Michael Fitzhby

2011.9 于剑桥

译者前言

我对环保问题的真正重视和行动源于 2010 年仲夏的北极之行。当世界(核动力)破冰船之最——俄国《卫国战争胜利 50 周年》号耀武扬威地载着考察学者和探险者们朝北极点快速行驶时,我们惊诧地发现北极圈内那厚厚浮冰的绝美景色已不多见,温度也升至接近冰点……毫无疑问,气候的确在逐步变暖!那么,作为材料领域的科研工作者,我能够为环保具体做些什么呢?带着这种焦虑的思考,我参加了 2012 年 4 月英国剑桥大学工程系组织举办的“国际材料工程教育研讨会”。会上,我不仅发现世界许多领军大学已开始把环保教育纳入了工程技术学科的教学大纲,还有幸拜读了剑桥的两本新作:能源专家 D. Mackay 的《可持续能源——不讲空话》^{〔1〕}和材料大师 M. Ashby(中文译名:阿诗笔)的《材料与环境——节能优选法》(以下简称《材料与环境》)。我如获至宝,当即向阿诗笔教授表达了将这本前沿教科书译成中文的愿望。大师不仅欣然接受,还毫无保留地把他刚刚脱稿的《材料与环境》第二版电子稿以及所有的图片原件全部邮寄来法国(据出版社行家们讲,能够同步跟进国际前沿信息并同时得到图片原版,是件很不容易的事情)。

初看本书的题目,一般人会认为这是一本“仅与材料学界有关”的教科书,其实不然。首先,发达西方国家的工程教育涉及面极广,学生们不仅要了解工程造物所必须依赖的各种原材料的资源储备情况及其机械、物理、化学等性能,还要培养丰富的想像和设计新产品的能力,而后者与文化底蕴以及工程师们的创造性是分不开的(巴黎中央理工大学毕业的埃佛尔为 1889 年世博会创建闻名遐迩的铁塔就是典型的一例)。相比之下,目前国内大多数院校的教学专业化分过细,以至于稍稍偏离本专业即显示出知识匮乏,走出校门后学非所用的现象比比皆是。其次,当今世界已完全进入环保阶段,无论是新材料的科技研发、还是工程领域的人才培养,若与保护战略物资和节能环保相脱节,顶多只能在科学杂志上发表数篇论文,造就一批“学术带头人”,但对于人们赖以生存的自然环境以及对于国家战略资源的保护则毫无贡献。正因为如此,享有材料工程领域头号国际大师盛誉的阿诗笔教授近 10 年来主动放弃了提高专一材料性能的纯学术研究,竭尽全力投入了保护地球环境与资源的大事业中。

何类材料(包括元素)属于战略物资?如何进行节能环保?《材料与环境》一书从地球上的资源分布、各国的优势与劣势给出一系列的综合数据分析,目的是使读者清醒地意识到:一个材料的性能再好,如果其原材料供应链无法得以保证(或因其价格昂贵而失去商业价值),则工程师是不会采用其来设计生产新产品的。而一个有社会责任心的工程师在着手设计新产品的

〔1〕 该书 2009 年出版后颇受国际学术界和政府部门的青睐,被哈佛、剑桥等世界名校用做教材。网上可以免费下载英文全文 <http://www.withouthotair.com>,也可以购买其中文版《可持续能源——事实与真相》<https://www.amazon.cn>,由中国科学院组织翻译、《科学出版社》2013.10. 出版发行。

材料优选过程中,还必须预估原材料生产、部件加工、产品运输和使用、直至废品处理这 5 个阶段上的耗能和排碳情况,以便在最大程度上优选产品原材料,从而实现“节能减排”的目标——这就是书中重点介绍的国际前沿环保手段之一:“产品整个生命周期耗能排碳评估法(简称 LCA)”。

使用 LCA 及其衍生的各种“产品生态审计评估”方法来进行科学意义上的“定量”环保评估,是需要有大量数据作支撑的。鉴于全世界的环保研究尚处于起步阶段,极有英明预见的阿诗笔教授数年来一直在通过各种渠道(阅读国际公约、国际和欧盟组织的标准和指令、英美等国的权威资料,乃至英、美、法各大报刊的环保信息报道)收集环保数据,并为 63 种原材料建立起世界上第一个基本性能和环保信息数据库,其中最具环保特色的新物理量“(原材料生产)隐含能 H ”值的引入,使得人们对“何为耗能材料”及其相应“排碳量的计算”有了更明确、更具体的理解。举例来说,“炼钢炼铁即耗能又排碳”是人人皆知的事实,岂不知同样大量使用的铝合金之提炼要比炼钢炼铁更耗能更排碳,因为 $H_{\text{低碳钢}} = 25 \sim 28 \text{ MJ/kg}$, $H_{\text{铝合金}} = 200 \sim 220 \text{ MJ/kg}$; $\text{CO}_2_{\text{低碳钢}} = 1.7 \sim 1.9 \text{ kg/kg}$; $\text{CO}_2_{\text{铝合金}} = 11 \sim 13 \text{ kg/kg}$ 。总之,用上海交大出版社杂志洪老师的话来说,本书所提供的**第一手大量宝贵数据与资料**可以使中国的环保事业少走许多弯路——译者初衷即如此。

如何进行以环保为目的的材料优选?是《材料与环境》一书的另一个重要主题(参见第 3、9、10 章的内容),更适合于做具体工作的工程师和科研工作者们学习使用。您不仅会从实例分析中得到许许多多的启发,也许还会领悟到“创造性思维是从哪里来的?”这一中国人苦苦思索而依旧颇感困惑的问题之答案。正如上海交通大学化工学院老教授(本书中译本的科学审稿人)黄永昌先生所说:**该书本身即知识创新的范例**。“作为工程师和科学家,我们首要的责任是运用所学到的专业技能,在新材料的设计阶段就最大限度地减少、乃至消除产品对生态环境的破坏。要做到这一点,关键是要对所选材料的工程属性有一个精确、正确和全面的了解,以尽量减少新材料的机械性能、热性能或电性能对环境所产生的负面影响”(参见本书的《作者序》)。人人皆知,查看一大堆的数据表格是非常枯燥的事情。倘若把它们转换成相应的图表,则会给人以良好的视觉感,枯燥的数据研究和对外显示也会变得有趣和更具吸引力一些。阿诗笔大师正是将信息如海、读来令人眼花缭乱而又理不出头绪的各种材料数据分类转换成近 10 个“材料性能图表”的第一人——国际同行称之为“**阿诗笔地图**”。它正在领军指导着世界新材料研究领域的方向和创新。

最后要提到的是阿诗笔教科书的写作风格:“该书涉及面广而深,深入浅出、图文并茂、通俗易懂”(黄永昌教授语);“作为编辑,我发现国际名牌大学的教科书并不追求表面上的内容深奥,而是化繁为简、化难为易。而国内大多数教科书的写作风格与之正相反”——该书责任编辑崔霞老师如是说。我本人不仅非常赞同以上两位专家的观点,而且执教法国大学 27 年来为学生们所选的教科书多为英、美和法国精英们“化繁为简、化难为易”后的杰作,因为法国的物理、乃至材料物理教科书中均大量使用数学语言来描述和推导定律及现象,自然培养出一批十分严谨的理论学家,但却让普通学生望而生畏,达不到预期的效果。搞工程的人知识面要宽,搞科研的人可以适当的“专”(但千万不要以为“窄=精”)。《材料与环境》二者兼有,表达风格也自始至终是“深入浅出”。但读者要留心:“魔鬼藏身在于细节中(The devil is in the details)”。

鸣谢

《材料与环境》中文版一书,如果没有上海交通大学出版社余志洪、崔霞老师的伯乐识马,如果没有上海交通大学材料学院王敏老师、北京科技大学高等工程师学院李欣欣老师、中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家(联合)实验室卢柯院士、南京大学物理系都有为院士的鼎力相助,如果没有加拿大马克马斯特大学材料系 Embury 院士、法国巴黎中央理工大学 William Yu 同学的科技辅佐……是不可能成功问世的。

北京科技大学高等工程师学院、重庆科技大学冶金与材料工程学院、上海交通大学材料学院以及英国剑桥 Granta 教育软件公司也对本书出版给予了大力支持,是对我们旨在尽最大努力将此书制作成教育精品、并借机向海外显示中国人实力的最大鼓励和鞭策。在此深表谢意!

张英

2016.4 于巴黎

目 录

第 1 章 导论:人类社会对材料的依赖	1
1.1 概述	2
1.2 材料发展简史	2
1.3 人类对不可再生材料的依赖	6
1.4 材料与环境	6
1.5 本章小结	9
1.6 拓展阅读	9
1.7 习题	11
第 2 章 自然资源的消耗缘由及其定量评估	13
2.1 概述	14
2.2 天然材料来自何处	14
2.3 自然资源的耗费	16
2.4 指数型增长和倍增时间	25
2.5 资源储量、基数和寿命	26
2.6 材料—能源—碳排放的三角关系	34
2.7 本章小结	35
2.8 拓展阅读	36
2.9 习题	37
第 3 章 材料的生命周期	40
3.1 概述	41
3.2 产品的设计过程	41
3.3 产品的生命周期	42
3.4 生命周期评估(细节和难点)	44
3.5 简化 LCA 和生态审计	49
3.6 评估策略	54
3.7 本章小结	56
3.8 拓展阅读	57
3.9 附录: LCA 软件介绍	59
3.10 习题	61

第4章 废材料:一个棘手的问题还是再生资源	64
4.1 概述	65
4.2 是什么决定了产品的使用寿命	65
4.3 废品处理	66
4.4 产品包装	68
4.5 回收处理(材料的第二生命)	69
4.6 本章小结	74
4.7 拓展阅读	75
4.8 附录:回收使用标志一览表	76
4.9 习题	78
第5章 废物处理:一个漫长的立法过程	80
5.1 概述	81
5.2 社会逐渐形成的意识和法律回应	81
5.3 国际议定书、协议和公约	83
5.4 国家立法:标准与规范	83
5.5 用经济手段加强环保:税收、补贴和交易	89
5.6 立法后效	91
5.7 本章小结	92
5.8 拓展阅读	93
5.9 习题	94
第6章 环保库:数据及其来源和精度	96
6.1 概述	97
6.2 数据的精度	97
6.3 材料的生态特性	98
6.4 产品运输和使用过程中的耗能及碳排放量	113
6.5 挖掘数据的使用潜力:材料性能图表	119
6.6 本章小结	126
6.7 拓展阅读	126
6.8 习题	138
第7章 生态审计和生态审计工具	142
7.1 概述	143
7.2 生态审计框架	143
7.3 生态审计软件	149
7.4 本章小结	150
7.5 拓展阅读	150
7.6 附件:生态审计软件工具	151

7.7 习题	152
第 8 章 生态审计的实例研究	155
8.1 概述	156
8.2 一次性和重复性使用水杯	156
8.3 载物袋	157
8.4 电热水壶	159
8.5 咖啡机	161
8.6 A 级洗衣机	162
8.7 理光复印机	164
8.8 便携式空间加热器	166
8.9 窑烧制陶箱	167
8.10 汽车保险杠——探索替代材料	168
8.11 家庭用车	170
8.12 吹风机——计算机辅助审计	171
8.13 本章小结	173
8.14 习题	174
第 9 章 材料的优选	179
9.1 概述	180
9.2 产品优选策略	180
9.3 材料优选原理	182
9.4 优选标准和材料性能图表	187
9.5 替代比例方程式	189
9.6 用折衷法解决目标冲突	191
9.7 7 种常用的材料性能图表	195
9.8 利用软件工具进行材料优选	201
9.9 本章小结	202
9.10 拓展阅读	202
9.11 附录:材料指数的推导	203
9.12 习题	211
第 10 章 环保材料的优选实例	214
10.1 概述	215
10.2 视最佳单位功能而优选饮料容器用材	215
10.3 汽水瓶的原材料优选	217
10.4 建筑结构用材之优选	220
10.5 建筑物的初建耗能和周期性耗能	221
10.6 加热和制冷系统(1):制冷耗能	223

10.7	加热和制冷系统(2):被动式太阳能取暖用材	225
10.8	加热和制冷系统(3):窑炉和循环加热耗能	227
10.9	运输系统(1):概述	229
10.10	运输系统(2):车辆安全用材	233
10.11	运输系统(3):车辆轻质用材	234
10.12	运输系统(4):环保材料取代传统材料	239
10.13	本章小结	243
10.14	拓展阅读	243
10.15	习题	244
第 11 章	低碳发电系统及其用材	247
11.1	概述	248
11.2	电力系统的资源强度	250
11.3	火力发电	257
11.4	核能发电	258
11.5	太阳能(热能、热电能和光伏能)发电	260
11.6	燃料电池发电	264
11.7	风能发电	266
11.8	水力发电	269
11.9	波浪能发电	271
11.10	潮汐能发电	272
11.11	地热能发电	274
11.12	生物质能发电	275
11.13	本章小结	276
11.14	拓展阅读	276
11.15	附录 1. 电力系统专用术语的定义和通用单位	285
11.16	附录 2. 电力系统的材料强度	286
11.17	习题	295
第 12 章	材料的使用效率	298
12.1	概述	299
12.2	提高材料效率的必要性	299
12.3	提高材料效率的方式(1):工程手段	302
12.4	提高材料效率的方式(2):社会变革	305
12.5	增效阻力和应对策略	307
12.6	本章小结	308
12.7	拓展阅读	308
12.8	习题	310

第 13 章 描绘未来的大图像	312
13.1 概述	313
13.2 被忽略的材料价值	314
13.3 能源、碳排放和 GDP	318
13.4 GDP 是否代表一个国家的真正财富	320
13.5 威胁来临	321
13.6 变威胁为机遇	323
13.7 本章小结	325
13.8 拓展阅读	325
13.9 习题	327
第 14 章 63 种材料的基本性能和环保信息	329
14.1 概述	330
14.2 金属与合金材料	331
14.3 聚合物材料	352
14.4 陶瓷和玻璃材料	379
14.5 复合材料, 泡沫, 木材和纸张	391
14.6 人造纤维和天然纤维	408
索引	427

第 1 章

导论:人类社会对材料的依赖



内 容

- 1.1 概述
- 1.2 材料发展简史
- 1.3 人类对不可再生材料的依赖
- 1.4 材料与环境
- 1.5 本章小结
- 1.6 拓展阅读
- 1.7 习题

以上两图给出“可再生”(印第安人的部落村庄)和“不可再生”(日本东京的住所)性房屋的建造

(上图由 Kevin Hampton 提供 <http://www.wm.edu/niahd/journals>, 下图见 <http://www.photoeverywhere.co.uk/index>)