

[加]瓦茨拉夫·斯米尔 (VACLAV SMIL) 著

WILEY

潘爱华 李丽 译

材料简史 及材料未来

材料减量化新趋势

Making the Modern World: Materials and Dematerialization



比尔·盖茨撰写读书笔记倾情品鉴著作

我是在读完我最喜欢的作者、历史学家瓦茨拉夫·斯米尔 (Vaclav Smil) 的著作《材料简史及材料未来》之后开始考虑这些事情。这本书不仅阐述了一些令人震惊的事实，还使我对所有构筑当前生活的材料有了一种全新的认识。

我要说的是，我之所以喜欢斯米尔的著作是因为他从不进行那些大而空的概念炒作。他是一个具有独创精神的思想家，从来不会对复杂的问题轻下结论。在每天的第一听健怡可乐之前，他的很多想法都值得我在上班的路上咀嚼思考。

——比尔·盖茨

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

材料简史 ② 材料未来

材料减量化新趋势

Making the Modern World:
Materials and Dematerialization



[加]瓦茨拉夫·斯米尔 (VACLAV SMIL) 著
潘爱华 李丽 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

Making the Modern World and Dematerialization
ISBN: 978-1-119-94253-5, VACLAV SMIL
This edition first published 2014
Copyright©2014 John Wiley & Sons, Ltd
All rights reserved. This translation published under license.
No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of
John Wiley &, Ltd.
Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal

本书中文简体中文字版专有翻译出版权授予电子工业出版社。
未经许可，不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字：01-2014-7302

图书在版编目 (CIP) 数据

材料简史及材料未来：材料减量化新趋势 / (加)
斯米尔著；潘爱华，李丽译. —北京：电子工业出版社，2015.7

书名原文：Making the modern world: materials
and dematerialization

ISBN 978-7-121-25306-5

I. ①创… II. ①斯… ②潘… ③李… III. ①材料科学 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 307127 号

材料简史及材料未来

Making the Modern World

作者：[加] 瓦茨拉夫·斯米尔 (VACLAV SMIL)

译者：潘爱华 李丽

策划编辑：刘声峰 刘娴庆

责任编辑：刘九如 特约编辑：王纲

印刷：三河市鑫金马印装有限公司

装订：三河市鑫金马印装有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开本：720×1000 1/16 印张：24 字数：276 千字

版次：2015 年 7 月第 1 版

印次：2015 年 7 月第 1 次印刷

定 价：65.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店
售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至
dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

序言 | 毛伟伟

当前，中国经济发展进入新常态，经济发展动力从要素驱动、投资驱动转向创新驱动。从材料行业的角度看，中国是原材料生产大国，钢铁、水泥、玻璃等产量超过全球的一半。适应新常态、引领新常态，就是要改变以往资源能源利用效率较低的粗放式、外延式增长方式，提高生产效率和质量效益，走资源节约型、环境友好型的转型发展之路。一方面要大力发展新材料，自从第三次科技浪潮席卷全球以来，新材料同信息、能源一起，被称为现代科技的三大支柱。新材料的诞生会带动相关产业和技术的迅速发展，甚至会催生新的产业和技术领域。另一方面，要通过精细化管理和创新应用技术，提升资源和材料的利用效率，这其中涉及技术、工艺、管理，乃至观念更新等多个方面。

《材料简史及材料未来》这本书让我眼前一亮。美国从事能源、环境、技术创新、风险评估和公共政策等跨学科研究的著名学者瓦茨拉夫·斯米尔（Vaclav Smil）推出的这本新书，从独特的角度，研究了材料的发展历程、材料产业发展规律与新材料的未来，以及正在出现的“材料减量化”浪潮，对当前材料创新和提升材料应用效率的相关

热点话题进行了深入探讨和解答。

该书考察了整个人类历史进程中出现的各种重要材料，从木材、石料，到金属、合金、塑料和硅。作者用通俗易懂的语言，描述了上述材料的提取、生产及主要应用的历史变迁，并翔实研究了推动生产力大发展的重要材料的提取、加工、合成、精修和配送，以及能源成本和环境因素对材料消费增长的影响。最后以“未来展望”作为总结，探讨了材料科学的潜在约束及“材料减量化”的内在潜质和发展前景。

斗转星移，矛盾丛生。现代社会已经完全依赖于前所未有的材料流。当前，即便是拥有最高效的新材料和最有效的生产流程和材料使用的循环系统，我们也难以抵消由于人口的持续增长和生活水平的不断提高，所引发的对材料需求的不断增加。对此，瓦茨拉夫·斯米尔（Vaclav Smil）在书中提出，“随着科技的不断创新和发展，我们能够以更少的材料能源，更有效率地制造现有产品。幸运的是，我们已经看到，由于技术创新，目前我们能够比以往更有效率地制造包括钢铁、水泥在内的工业品；平均而言，现在生产1吨钢铁所要耗费的能源是1950年的1/3，碳排放量却降低了10%。”斯米尔结合大量的实例，阐述了“材料减量化”方面已经成熟的四种基本方式：一是通过管理和工艺的改进，逐步提升材料使用效率；二是通过创新材料实现置换，即尽快构建比原有材料更轻或更耐用的替代品；三是强化循环利用，形成巨大的节能潜力；四是通过创新设计，减少特定物质投入而不损害

产品的性能。作者通过大量的调查和具体示例，为我们展示了“材料减量化”的诱人前景。正如比尔·盖茨读完该书的感慨，“我之所以喜欢斯米尔的著作，是因为他从不进行那些大而空的概念炒作。按照他的提醒，只要我们大胆地创新开发新材料，并认真仔细地把握‘材料减量化’进程，我们就不必在诸如50年内耗尽材料等这类问题上失眠担忧。”

《材料简史及材料未来》一书，不仅在未来材料创新和“材料减量化”等众多热点问题上给我们提供调查事例和参照，让我们警醒，给我们启示。更有意义的是，曾被《国外政策》杂志推选为著名的50位全球思想家之一的瓦茨拉夫·斯米尔（Vaclav Smil）以资源经济学、环境学、能量分析、矿物地质学、产业组织学、制造业及材料科学等为研究背景，为我们提供了跨学科的众多新鲜研究观点和研究成果，有利于我们创新思路，在经济新常态下更好地推动新型工业化发展。

同时，《材料简史及材料未来》一书，还是一本站在全新角度，用大量数据和活泼生动的语言，脉络清晰地梳理材料发展历史的科普性读物。由此，无论从哪个角度，该书都值得相关政府主管部门、研究机构、各类工业企业主管及社会大众认真阅读。

毛伟明（工业和信息化部副部长）

你今天拥抱混凝土柱子了没？^[1]

文 / 比尔·盖茨（2014年6月）

译 / 陈志伟

我上班时开的车大约由 2600 磅钢铁、800 磅塑料和 400 磅轻型金属合金构成。从我家到办公室的地面道路距离，大约是 4 英里，也就是说我每天早上会驾车经过至少 15 000 吨的混凝土。

到办公室之后，我通常会打开一听健怡可乐，平均一天会喝 3~4 听。这样的生活方式又导致某些数字的增加，比如一年大约 35 磅的铝。

我是在读完我最喜欢的作者、历史学家瓦茨拉夫·斯米尔（Vaclav 斯米尔）的著作《材料简史及材料未来》之后开始考虑这些事情。这本书不仅阐述了一些令人震惊的事实，还使我对当前所有构筑使用的材料有了一种全新的认识。

这并非只是无聊的好奇心而已。仔细想来，“用了多少材料”和

[1] 读书笔记英文版源自 <http://www.gatesnotes.com/Books/Making-the-Modern-World>。

“需要多少材料”这两个话题虽然看起来有些老生常谈，但却是能够帮助世界上那些最贫穷的人群提高其生活水平的关键。说起来，在过去的100年里，美国和其他发达国家在生活质量上实现了令人赞叹的提升；在接下来的50年里，我们也期望大多数此类奇迹会发生在所有人身上。毕竟，随着越来越多的人跻身中产阶级，能消费得起的清洁能源、更丰富的肉类食品都将是他们的需求所在；他们自然也将需要更多的材料——制造汽车和冰箱的钢铁，铺设公路和跑道的混凝土，以及用于通信的铜线。

我之前读过斯米尔其他有关能源和食物的著作。在《材料简史及材料未来》一书的开篇，斯米尔说他不会在这些问题（包括气候变化）上着墨太多；他更有兴趣的是那些用来满足当代生活需求的材料——我们能否造出足够多的钢铁来生产汽车，以及足够多的混凝土来铺路？这样做有什么不可预知的后果？换句话说，我们是否能够在不破坏环境的前提下，将数十亿人带至富饶之境？

虽然这些貌似都是大问题，但斯米尔擅长回答这类提问。他的预测通常不会太多，但方法却意义非凡——认真梳理过去。他会告诉你，我们是如何走到当前这一步的，并将继续前往何方。我就是通过斯米尔的历史故事来理解未来的。

他认为无论是在我们每年生产的数量上，还是在已经使用的总量上，混凝土都是最重要的人造材料。在过去的数十年里，混凝土可以说是大规模城镇化的基础；而城镇化的扩展又是1990年以来极端贫困率大幅下降（50%）的重要因素之一。在1950年，全世界的

钢铁产量与水泥（混凝土的关键成分）产量还几乎一样多；到2010年，钢铁产量大约增长了8倍，但水泥产量却增长了25倍！

斯米尔认为其著作中最令人震惊的数据如下图所示，从中你也可以看出混凝土的重要性。

中国在过去3年里使用的水泥总量超过了美国在整个20世纪的使用量



纸张，是我个人比较感兴趣的一种材料（纸张在年产量方面远低于水泥和钢铁，位居第三）。多年来，我一直在说，随处可用的计算方式将会使人们不再需要纸张，所以我很好奇斯米尔是如何看待现状的。根据他的研究，纸张生产自20世纪90年代中期开始，在美国呈现下降的趋势，日本在几年后也是如此。但全球的纸张消费量却仍在上涨，原因出在中国和其他发展中的亚洲国家身上。2011年，仅中国供应的纸张总量就超过全球总量的25%；同时，中国也是世界上回收废纸的最大进口国。我敢打赌，你昨晚扔进垃圾箱里的广告邮件或许正在运往中国的途中。

基于纸张使用量在美国和其他地方呈现的下降趋势，以及普适计

算的快速发展，我坚信我们的办公室会在某一天实现无纸化办公。但斯米尔提醒了我，纸张的消亡将会是个漫长的过程。不得不说，这也是我喜欢读他的著作的另一个原因——他时刻在提醒我不能过于乐观。

在谈完这些趋势之后，斯米尔又提出了一个出人意料且似乎不合常理的观点，他称之为材料相对减量化——随着科技的不断创新和发展，我们能以更少的材料或能源，更有效率地制造现有产品，同时还带来价格的下降和消费的上升。有些人会想出如何用更少的金属来制造手机，从而使它们的价格更低廉，也能被更多的人使用。尽管单个手机的金属含量变少，但手机数量会越来越多，因此金属的总体耗费也会更多。斯米尔认为：“更少，因此促成了更多。”

下图是苏打饮料罐所呈现的数据。

我们如何从这张图上的数据来解读未来？

首先是好消息，多亏有了技术发展，我们能够比以往更有效率地制造包括钢铁、水泥在内的工业品。平均而言，现在生产一吨钢铁所要耗费的能源是1950年的1/3，碳排放量也降低了10%。

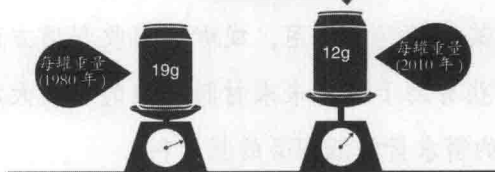
同时，关于材料相对减量化这一问题，目前看来人们对材料的需求还在不断增长。尽管发达国家的需求开始趋缓，但其他一些国家却有追赶之势。斯米尔指出，即便以发达国家人民所享受的生活水平的1/3为基准，这个星球上最贫穷的那80%的人想要达到这种生活水准，也意味着我们还将会使用越来越多的材料。

这是否意味着如果消费趋势在短期内不会趋于平稳，那些满足我们当代生活的物质材料注定会被消耗殆尽？与往常一样，斯米尔并没

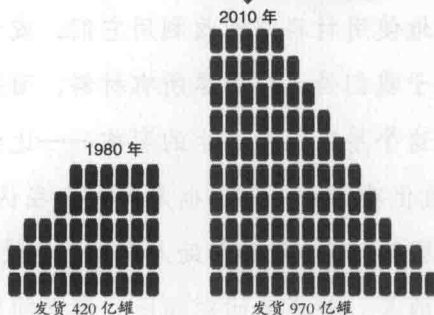
铝罐上的数学题

不断提高效率是如何使我们消费更多，而非更少的？

当饮料罐变轻时



我们生产更多的饮料



尽管我们在每罐上节省了不少铝

如果沿袭 1980 年时的罐重，那么在 2010 年我们所需的铝量要比实际情况多出 68 万吨



我们用于制罐的铝，总量仍然在不断增加



饮料罐制造中使用的铝

有给出言之凿凿的预测。但他也表示，我们没必要在诸如 50 年内耗尽材料等这类问题上失眠担忧，毕竟事情的发展取决于很多因素，但或许我们应该限制某些材料的使用，或者在回收利用方面做得更好。斯米尔在书中对某些有助于避免未来材料短缺的发明大加赞赏，比如能够使我们在水泥的需求量降低 65% 的新材料。

我认可斯米尔的说法——人类在设法解决短缺方面具有惊人的能力，这包括更有效地使用材料并回收利用它们，或者寻找替代品。所以最大的问题不在于我们是否将用尽所有材料，而是应该重视提取和使用这些材料时对这个星球正在产生的影响——比如水泥工业现在产生了大约 5% 的二氧化碳排放——这也是为什么我认为开发零碳排放、支付得起的能源，是我们所能做的帮助人们脱困的最重要的事情之一。

同样令我惊讶的是，与环境问题相比，海洋问题极少被关注，而我认为不应如此。海洋现在面临过度捕捞和水质变酸等问题，世界各地的珊瑚礁都因此几近灭绝。根据斯米尔引用的数据估计，每年至少有 640 万吨塑料废弃物进入海洋——我们可能已经对这些珍贵的资源造成了不可挽救的破坏。

最后，我要说的是，我之所以喜欢斯米尔的著作，是因为他从不进行那些大而空的概念炒作。他是一个具有独创精神的思想家，从来不会对复杂的问题轻下结论。在每天的第一听健怡可乐之前，他的很多想法都值得我在上班的路上咀嚼思考。

为何？如何？

人类的故事——我们物种的进化；从史前觅食到永久性农业的转化；古希腊、古罗马、中世纪和近代早期文明的兴起和衰亡；过去两个世纪的经济增长；农业机械化；工业贸易的多样化和自动化；能源消费的巨量增长；新的通信和信息网络的传播；以及生活质量的大幅提高——离不开规模不断扩大、品种错综复杂的材料使用。人类智慧第一次把这些材料转化为简单的衣服、工具、武器和庇护所，后来又转化为更复杂精美的住所、宗教及墓葬建筑结构、纯金属及合金，并在最近的几十年转化为广大的工业和交通基础设施、特大城市、合成纤维和合成化合物，并使之成为构建新的电子世界的基础和助推器。

这种材料的进步并不是直线前进的，而是包括了两个不同的阶段。首先是非常缓慢的兴起，从史前时期延伸到经济快速现代化的发端。也就是说，第一阶段在欧洲大部分地区一直持续到18世纪，在美国、加拿大和日本持续到19世纪，在拉丁美洲、中东和中国持续到20世纪的下半叶。在现代社会到来之前，绝大多数人的生活中只拥有数量

有限的简单家当，他们自给自足，或者通过手工劳动生产独特的或大批量的产品——而大批量制造的产品，如金属制品、烧制的砖瓦或水杯，因太昂贵而难以被广泛拥有。

对于这些材料的获取受限，能源约束是其主要原因。千百年来，我们提取、处理和运输生物材料和矿物质的能力受限于生命体的原动能力（人和动物的肌肉），尽管有简单机械设备和缓慢改进的古代三大机械性原动机——风帆、水轮和风车的辅助。只有将化石燃料中的化学能源转化为动能的低成本和普遍采用的机械原动机（首先是通过煤的燃烧为蒸汽机提供动力，然后通过液体和气体的内部燃烧来推动汽油和柴油发动机，再后来发展为燃气轮机）带来了根本性的变化，并且迎来了第二个阶段，即材料消耗迅速上升的阶段，一个通过电力生产，以及生产从化肥到塑料和药物等种类繁多化合物的商业化学合成的兴起进一步加速的时代。

这样一来，世界就被分成了少数的发达国家和大多数的低收入国家。少数发达国家控制大宗材料的流动，并且使它们在持久性结构，以及耐用品和快速消费类产品中得到应用——而大多数低收入国家的材料拥有量只是发达国家材料储备和流量的很小一部分。当今大多数美国人声称他们生活中离不开的产品目录包括汽车、微波炉、家用计算机、洗碗机、干衣机和家用空调——而且他们已经忘记仅仅在 50 年前这些物品中的许多都是罕见或不存在的。在 1960 年，所有的美国家庭中只有不到 20% 拥有洗碗机、干衣机或空调，第一台彩电才刚刚出现，并且没有微波炉、录像机、计算机、手机和越野车。

相反，在那些贫穷的低收入国家，能生活在一个自己拥有的较差

的土制、砖或木质结构的小屋里，仅有一张床、几个锅和一些破旧衣服就已经是很幸运的事情了。那些对巨大的材料鸿沟没有具体印象的读者应当读一下 Peter Menzel 的《材料世界：一张全球家庭的肖像》，其中有来自 30 个国家的家庭，他们都在自己的住所门口，在自己所有家居用品的环抱下留下了照片。而且这种私人方面的物质反差也相应地体现在公共领域，富裕世界拥有覆盖面广和投入高昂的基础设施（通信网络、完善的城市功能、大批量生产粮食的农业、自动化大工业），而贫穷世界只拥有不足和质量较差的基础设施。

这些对比显著揭示，急需一种巨大的材料改造，旨在缩小这两类世界之间的差距。同时，材料消耗一直是目前环境污染和退化的主要原因，而其需求的进一步倍增可能会带来令人担忧的对生态圈完整性的威胁。这些影响也带来了分析范围的问题：分析中的理性选择是必然的，因为包括各种可能的材料流^[1]将是不切实际的，对于哪些材料应当包括在现代材料使用的相当全面的评价中，尚不存在能被普遍接受的定义。这种标准的缺乏被一种事实进一步复杂化，即一些分析已经采用最复杂（总资源流）的方法，并已包括每一种可能的投入和废弃物流，包括与矿物质提取、农作物生产、燃烧所需氧气相关的“隐性”材料流，以及由其引发的气态排放物、排入水体的废弃物或消散于陆地的废弃材料。

相比之下，其他研究将其分析范围限定于能够更加可靠地进行计量的国民经济所需的有机和无机材料投入的直接使用量。我会按照后一种

[1] 材料流，也称物质流，与“信息流”构成产业关联的一般基础之要素。英文为 material flows.

方式，集中分析现代经济体所消耗关键（因为其规模或者不可替代的品质）材料的一些详细情况。它们巨量的材料需求导致我们提出了一些基本问题——发达国家还会在多大程度上扩展材料消耗？材料消耗的进一步增加到底有没有真正引发生活质量的改善？在多大程度上能够将经济增长和生活平均标准的改善与材料消耗相分离？换句话说，材料相对减量化（减少每单位产品或性能的材料耗费）导致了材料需求的绝对下降吗？

为了以一个令人信服的方式给出答案，我必须回顾人类材料使用的演变历程；描述所有主要材料的提取、生产，以及其主要应用；并且对开采、加工、合成、整理、分装环节不断演进的生产效率，以及不断增长的材料消耗的能源成本 and 环境影响进行更深入的分析。而且，与我的其他专著一样，我不会在本书中提供有关未来全球和国家材料使用的任何针对具体时间的预测。相反，我会关注可以减少我们对材料的依赖并同时保持良好生活质量，以及缩小富裕经济体和低收入经济体之间差距的可能行动。

我们必须认识到，从长远来看，即使是最高效的生产流程、设计和制造的最小浪费形式及（对于那些可回收利用的材料）最高的实际回收率，也不足以产生足够高的材料减量化率以遏制不断增长的材料需求，这些需求源于持续的人口增长、生活水平的不断提高，以及人类积累财富的普遍偏好。因此，为了在我们的愿望与生物圈的整体性保护之间进行调和，我们将极有可能不得不深思熟虑，做出有助于我们降低材料消耗绝对水平的选择，从而重新定义现代社会的概念，使其存在和发展不再以不间断和大规模的材料流为前提。

内容概览

在解释现代社会材料流的复杂性、其先决条件以及所产生的后果时，任何研究都应做到全方位覆盖，应该不折不扣地“包罗万象”。这种观点说起来简单，却面临着关键的范畴界定问题：完整的现代材料体系到底由什么构成？我们既没有显而易见的选项，也没有普遍认可的清单，有的只是或宽或严的研究包含项。通过回顾以往的综合性的研究以及国内外先进材料流数据库所采用的项目，我们对这种现状就会有所了解。

在国家材料流方面，最早出现的比较研究是“工业经济的物质基础”。这项研究将水和空气排除在外，但包含了所有的农产品（不只是农产品原材料，还有粮食和饲料）、林产品、水产品、开采的矿物和化石燃料，以及对环境产生影响却没有明显经济价值的隐性流——如材料的开采、运输或损耗。这些隐性材料流主要包括采矿时须移除的覆盖层（尤其是露天的煤炭和矿石开采），被处理掉的废弃物（从岩矿中提取稀有金属），建设大型项目时必须被清理的土、沙、石，以及田地和种植园流失的土壤。这些隐性流不受监控，其量化不过是一种近似