



联合国  
环境规划署



国际资源  
委员会

# 资源效率与气候变化

面向低碳未来的材料利用效率策略

针对政策制定者的摘要

# 鸣谢

**主要作者:** Edgar Hertwich、Reid Lifset、Stefan Pauliuk和Niko Heeren。

**共同作者:** Saleem Ali、Qingshi Tu、Fulvio Ardente、Peter Berrill、Tomer Fishman、Koichi Kanaoka、Joanna Kulczycka、Tamar Makov、Eric Masanet、Paul Wolfram。

**研究助理、反馈和数据提供者:** Elvis Acheampong、Elisabeth Beardsley、Tzuya Calvão Chebach、Kimberly Cochran、Luca Ciacci、Martin Clifford、Matthew Eckelman、Seiji Hashimoto、Stephanie Hsiung、Beijia Huang、Aishwarya Iyer、Finnegan Kallmyer、Joanna Kul、Nauman Khursid、Stefanie Klose、Douglas Mainhart、Kamila Michalowska、Rupert Myers、Farnaz Nojavan Asghari、Elsa Olivetti、Sarah Pamentier、Jason Pearson、Adam Stocker、Laurent Vandepaer、Shubhra Verma、Paula Vollmer、Eric Williams、Jeff Zabel、Sola Zheng 和 Bing Zhu。本报告系在联合国环境规划署（环境署）国际资源委员会主持下编写。我们感谢国际资源委员会联合主席亚内兹·波托奇尼克和伊莎贝拉·泰克赛拉，以及国际资源委员会及其指导委员会的各位成员。

作者们感谢评审编辑、国际资源委员会成员Anders Wijkman和Ester van der Voet在外部评审过程中给予的引领和支持。他们还感谢Andreas Frömel、Shinichiro Nakamura、Wenji Zhou及其他无名专家审稿人提供的外部专家评审。

他们感谢设在联合国环境规划署的国际资源委员会秘书处，特别是Maria Jose Baptista为本报告的编写提供协调和技术支持。他们还感谢Systemiq公司的Julia Okatz为国际资源委员会秘书处提供支持。

**推荐引用:** 国际资源委员会（2020年），《资源效率与气候变化：面向低碳未来的材料利用效率》，E. Hertwich、R. Lifset、S. Pauliuk、N. Heeren，国际资源委员会报告，联合国环境规划署，肯尼亚内罗毕。

设计和排版: Marie Moncet 和 Yi-Ann Chen

图标: Freepik 通过www.flaticon.com制作

印刷: 联合国教科文组织

封面照片: Colors of Humanity Series - Marthadavies, iStock / Getty Images

---

**版权 © 联合国环境规划署，2020年**

为教育或非营利目的，可不经著作权人特别许可，全部或部分及以其他形式制作本出版物，但应注明出处。凡以本出版物为资料来源的出版物，联合国环境规划署均希望得到一册。未经联合国环境规划署事先书面许可，不得将本出版物用于转售或任何其他商业目的。

## 免责声明

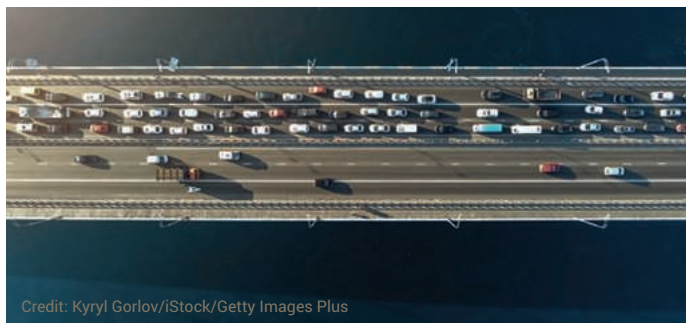
本出版物所用名称及其材料的编制方式并不意味着联合国环境规划署对于任何国家、领土、城市、地区或其当局的法律地位，或对于其边界或界线的划分，表示任何意见。此外，本出版物所表达的观点不一定代表联合国环境规划署的决定或既定政策，对商品名或商业程序的引用也不构成为其背书。

Job No: DTI/2269/PA ???

ISBN: 978-92-807-3771-4 ???

DOI: 10.5281/zenodo.3542680 ???





针对政策制定者的摘要

# 资源效率与 气候变化



## 面向低碳未来的 材料利用效率策略



由国际资源委员会编写

本文件重点介绍相同标题的正式报告的主要研究结果，因此应结合正式报告阅读本文件。报告所依据的研究和审查等参考文献列于正式报告。正式报告可在以下网址下载：

<https://www.resourcepanel.org/reports/resource-efficiency-and-climate-change>

# 前言

今年，联合国环境规划署（环境署）发布了第十期《排放差距报告》，其中说明全世界必须立即着手实施更加深入、快速的温室气体减排，将全球气温升幅控制在1.5°C以内。为达到这一目标，我们需要利用一切减排选项，包括实施材料利用效率战略。

2007年以来，国际资源委员会不断就人类如何能更好地管理资源提出深刻见解。其研究表明，90%以上的全球生物多样性丧失和水资源短缺现象，以及近一半全球温室气体排放量，都是自然资源开采和加工所致。七国集团委托国际资源委员会编写的这份新报告，即《资源效率与气候变化：面向低碳未来的材料利用效率策略》，指出了一些令人兴奋的新契机，可通过提高住房和汽车的材料利用效率减少上述种种影响。

减缓气候变化的努力历来侧重于提高能效和加快向可再生能源转型。这一点仍然至关重要，但本报告说明，提高材料利用效率也能带来巨大收益。根据国际资源委员会的模型，通过采取一系列材料利用效率策略，到2050年，七国集团和中国住宅建筑材料循环产生的排放量至少可以减少80%。最有前途的策略包括更集约地使用住房、设计节省材料的建筑和改进建筑材料的回收利用。

同样，提高材料利用效率也可以大幅减少汽车生产、使用和处置过程中的温室气体排放量。具体而言，材料利用效率策略可使七国集团国家2050年乘用车材料循环所产生的排放量减少多达70%，并使中国和印度减少50%至60%。通过改变车辆使用模式（顺风车和汽车共享），以及朝着更集约的车辆使用和适宜出行的较小型车辆转变，可最大限度减少排放量。

本报告阐明，自然资源对于我们的福祉、住房、运输和粮食至关重要。高效利用自然资源是未来能够普遍获得可持续和负担得起的能源、排放中性的基础设施和建筑、零排放运输系统、高能效产业和低废社会的关键所在。本报告重点介绍的那些策略可以在实现这样一个未来中发挥重要作用。



**英格·安德森**

联合国环境规划署执行主任

# 序言

我们处在全球变暖的危机之中，这一危机对到本世纪中叶数量将超过90亿的世界人口的福祉造成巨大威胁。与此同时也存在重大机遇，可借机以尊重生态红线并支持社会福祉的方式重塑我们的生产和消费系统。材料利用效率策略将在这一努力中发挥不可或缺的作用，例如通过提供低碳住房和出行服务。

国际资源委员会成立于2007年，旨在就自然资源的状况、趋势和未来进行独立、权威和与政策相关的科学评估。委员会在28份报告中，就社会如何能使经济发展和福祉与环境退化和资源利用脱钩提出了真知灼见。

近十年来，在循环经济、可持续材料管理和无害材料循环社会等框架内，政策制定工作更加关注自然资源。可是，正如本报告所显示，材料使用政策仍然主要关注废物管理，而非减少温室气体排放。关于自然资源的政策和研究必须更加贴合减缓和适应气候变化的迫切需要。

国际资源委员会很荣幸为七国集团提供关于可持续资源管理的知识。早在2017年，国际资源委员会就发布了七国集团委托编写的、题为“资源效率：潜力与经济影响”的报告。该报告提供的科学证据表明，提高资源效率不仅是切实可行的，而且有助于经济增长、就业机会创造和气候变化战略。作为这项工作的后续行动，七国集团要求国际资源委员会进一步细致研究资源效率对温室气体减排的贡献。

因此，这份新报告，即《资源效率与气候变化：面向低碳未来的材料利用效率策略》，研究了在住宅建筑和轻型车辆的制造和使用中提高材料利用效率所带来的减缓气候变化机会。

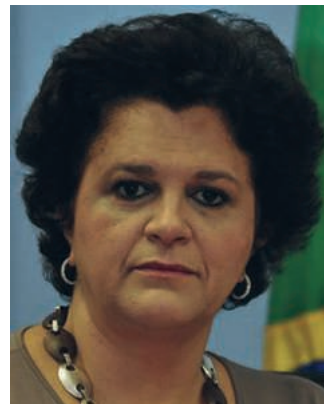
本报告自下而上综合建模，这是前所未有的。其结果表明，到2060年，这些策略可以大幅减少住宅建筑材料循环的温室气体排放量。更具体地说，该模型告诉我们，该行业2016年至2060年的温室气体减排量为：中国3.5亿吨、印度2.7亿吨、七国集团国家1.7亿吨。应用于汽车的材料利用效率策略机会也很大。更好的消息是，材料利用效率策略是以当今可用的成熟技术为基础，因此为实现1.5°C目标提供了多种实际选项。

本报告认为，需要从不同角度进行政策干预才能实现上述减排。政策能够影响人们的生活方式、使用的材料以及使用材料的方式。征税、分区和土地使用监管等工具固然会起到作用，但消费者的偏好和行为也不无影响。

我们感谢Edgar Hertwich及其团队全力以赴提出对材料与气候关系的新见解。材料利用效率是解决气候难题的一个重要要素，尤其是在当下亟需采取更加雄心勃勃、快节奏和以影响为导向的行动确保全人类拥有繁荣的未来。



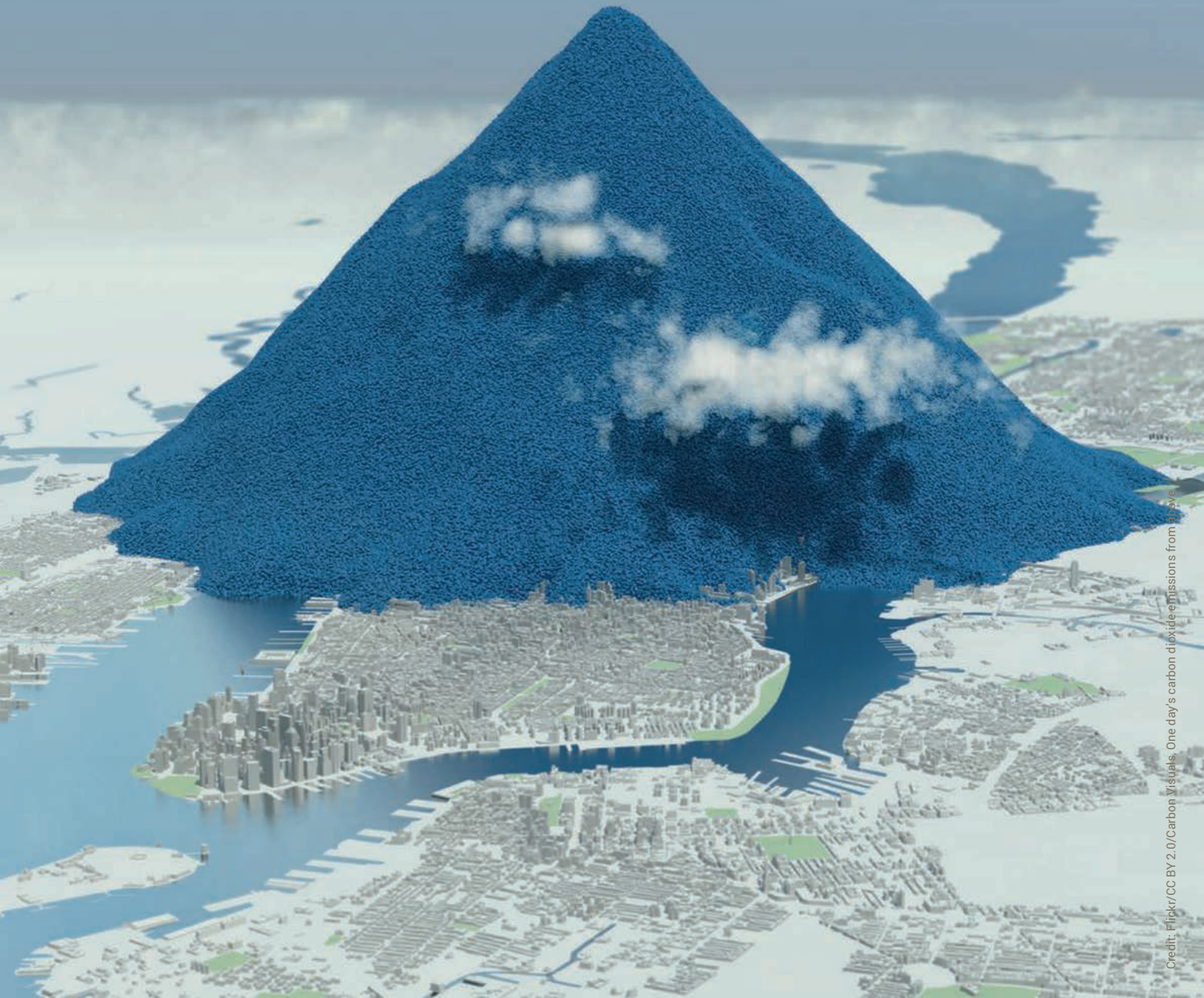
亚内兹·波托奇尼克  
国际资源委员会联合主席



伊莎贝拉·泰克赛拉  
国际资源委员会联合主席



# 关键信息





## 1. 提高材料利用效率是实现《巴黎协定》设定的1.5°C目标的关键机遇

如果确实志在实现《巴黎协定》的目标，政策制定者就必须对减排作出更具雄心的承诺。根据政府间气候变化专门委员会提出的总碳预算，（如果排放量在全球人口中均分）七国集团需要将其剩下的二氧化碳排放量限制在500亿吨，才能将气温升幅控制在1.5°C之内。减少材料生产、使用、消费和处置所产生的排放量，可以帮助各国不突破这一碳预算。

材料生产所产生的排放量在全球温室气体中所占比例，从1995年的15%增至2015年的23%。这相当于农业、林业和土地利用变化所产生的温室气体排放量的总和，但其受到的关注却少之又少。材料生产所产生排放量的大约80%与建筑和制成品的材料使用有关。在本文中，材料应理解为固体材料，包括金属、木材、建筑矿产品和塑料，但不包括燃料、食物或化学物质。

建筑业和制造业最重要的产品是住房和汽车，减少其所需材料的温室气体排放量，能使七国集团国家2016-2060年材料生命周期累积二氧化碳当量排放量减少多达250亿吨。如今已经具备提高材料利用效率的技术。

## 2. 减少与住宅建筑相关的温室气体排放量可能性很大

在七国集团国家，材料利用效率策略（包括再生材料的使用）有可能将2050年**住宅建筑材料循环的温室气体排放量**减少80%-100%。2050年，中国的潜在减排量可能达到80-100%；印度达到50%-70%。

潜力巨大的策略包括：更集约地使用住房（2050年七国集团减排可达70%）；设计节省材料的建筑（2050年七国集团减排8%-10%）；以及使用可持续采伐的木材（2050年七国集团减排1%-8%）。改进回收利用可使七国集团2050年的温室气体排放量减少14%-18%。总体而言，七国集团通过这些策略，可在2016-2050年期间累计减少50亿-70亿吨二氧化碳当量排放量。

材料利用效率策略还会影响**住宅建筑生命周期内的其他阶段**，带来能源使用的同步减少。纵观建筑的整个生命周期，到2050年，材料利用效率策略可使七国集团住房建筑、运行和拆除所产生的排放量减少35%-40%。中国和印度的同类减排可能高达50%-70%。

### 3. 减少与乘用车相关的温室气体排放量可能性很大

除了改用清洁能源以及逐渐采用电动和氢燃料汽车预期会带来的减排外，提高材料利用效率也能显著减少温室气体排放量。到2050年，材料利用效率策略可使七国集团国家**乘用车材料循环产生的温室气体排放量减少57%–70%**，中国减少29%-62%，印度减少39%-53%。

材料利用效率策略还能减少**运行能耗所产生的温室气体排放量**。到2050年，材料利用效率策略可使七国集团汽车制造、运行和报废管理的温室气体排放总量减少30%-40%。中国和印度减排将达到20%-35%。

通过改变车辆使用模式（顺风车、汽车共享）和改用适宜出行的较小型车辆，可以最大限度地减少生命周期内的排放量，主要是因为这样不仅减少了对材料的需求，还减少了车辆运行过程中的能源消耗。

### 4. 提高材料利用效率需要政策干预

现行政策过分侧重于垃圾填埋转移和物理质量，而不是减少生命周期内的温室气体排放量。住房和车辆的设计决定了材料用量、制造和运行中的能源消耗、耐用性以及再利用和再循环的难

易程度。建筑规范和标准是连接建筑设计政策的桥梁，既可能鼓励提高，也可能制约材料利用效率。

横向政策有可能对材料利用效率产生显著影响，但这方面的量化估计数基本上没有。此类政策包括修订建筑标准和规范、政府采用建筑认证系统、进行绿色公共采购、征收纯净原材料税、取消原始资源补贴以及有关再生成分的强制规定。

### 5. 有多种政策（包括间接政策）途径可以改变材料利用效率

使用集约度的提高，将政策侧重点从材料的选择和使用转向了人们的生活方式。征税、分区和土地使用监管等政策工具固然会起到作用，但消费者的偏好和行为也不无影响。

材料利用效率很容易受到反弹效应的影响，因为资金节省会导致消费增加——使用P2P住宿（如AirBnb）所节省的资金会导致更多的旅游和温室气体排放。直接或间接提高生产或消费成本的政策工具，例如征税或限额交易制度，可以减少反弹效应。

另一种潜在的政策路径可能是将材料利用效率方面的考量纳入《巴黎协定》现有的国家自主贡献当中。

目前，国家自主贡献仅包括对材料利用效率的有限承诺，很少涉及到资源效率、资源管理、材料利用效率、循环经济或消费侧工具，只有日本、印度、中国和土耳其的国家自主贡献中将它们作为明确的减缓措施。在国家自主贡献中作出废物管理承诺（与材料利用效率策略存在一定程度的重叠）的也不多，而建筑能效规范在国家自主贡献中却起着较大作用。建筑能效规范是一种与多个方面紧密关联的资源政策形式，也许就是材料利用效率政策的前身。提高材料利用效率，不仅可以通过拓宽国家自主贡献的目标范围，还可以通过增强减缓气候变化的雄心。

## 6. 应以生命周期为基础进行政策评估，以揭示生命周期各阶段和各产业部门之间的负担转移和协同作用

仅凭监测和指标系统，无法说明政策是否有效。对于以高效率的材料使用、产品再利用以及翻新和再循环为目标的政策对温室气体排放的影响，几乎没有系统的定量研究。对政策进行更加严格、全面的分析，可以推动政策的成功制定。



Credit: fotolupa/Stock/Getty Images Plus



## 方框1 本报告的术语和范围说明

材料利用效率、循环经济、3R视角（减量、再用、循环）和可持续材料管理，在不同程度上指社会为减少对原生材料的需求并促进繁荣而应采取的资源利用方式。不过，这些术语之间有些细微差别。

以下是本报告中使用的主要定义：

- **材料利用效率**指使用较少材料提供相同水平的便利。它是通过每单位材料使用所获得的服务量来衡量的。材料包括生物质、水泥、矿物燃料、金属、非金属矿物、塑料、木材等。
- **资源效率**包含材料利用效率，但其所涉范围更广，其中包括材料、水、能源和土地。国际资源委员会《2019年全球资源展望》将资源效率定义为以较低的投入实现较高的产出，并可以通过诸如资源生产率（包括国内生产总值/资源消耗）之类的指标反映出来。因此，从自然资源的角度来看，资源节约型经济包括最优化的生产和消费系统。该术语涵盖以循环经济的全系统方法实现的去物质化（节约、减少材料和能源使用）和再物质化（再利用、再制造和再循环）战略。
- **可持续材料管理**是通过在材料的整个生命周期中以最有成效和可持续的方式对其加以利用/再利用从而满足人类需求的一种方法，这种方法通常会使所涉及的材料量和所有相关影响最小化（US EPA, 2015）。
- **循环经济**是指将产品、材料和资源的价值尽可能长期保持在经济体系之中并尽量减少废物产生的经济。
- **3R（减少、再用、循环）**概念涵盖上述概念中包含的类似策略。它们源于废物管理政策，但影响到产品生命周期内的生产和使用阶段，并受这两个阶段所发生情况的影响。

在博洛尼亚举行的七国集团环境部长会议公报要求国际资源委员会进一步评估资源效率政策有可能带来的温室气体减排量，以期通过确定减少温室气体潜力最大的资源效率措施，谋求共同效益。为响应这一要求，本文作者设定了几种排放情景，对七国集团住房和汽车材料利用效率提高所带来的潜在温室气体减排进行量化，同时也显示了中国和印度的结果。本文作者还审查了旨在鼓励这些产业采取或强制执行材料利用效率策略的政策。住房和汽车尤为重要，因为建筑业和制造业在材料使用所产生的全球温室气体排放量中各占40%。为了建立可靠的自下而上模型，需要了解这两个产品类别的特异性和某种程度的同质性。

七国集团还要求国际资源委员会考虑与实施几个资源相关框架（资源效率；循环经济；减量、再用、循环；可持续材料管理）有关的低碳技术。在为本报告进行情景建模中，本文作者考虑了背景能源结构和相关温室气体排放的变化，以及低碳技术在两个选定产业（住房和乘用车）的日益普及，例如被动式房屋和电动汽车。



Credit: ian Anupong/Stock/Getty Images Plus







## 1. 引言

### 1.1 材料与气候变化的关系

正如国际资源委员会以往的评估所示，全球经济体系管理自然资源的方式对地球气候具有深度影响。我们如何开采自然资源以及使用多少自然资源，决定了温室气体的排放量。如不显著提高资源效率，将全球变暖控制在 $1.5^{\circ}\text{C}-2^{\circ}\text{C}$ 以下几无可能，而且成本也会飙升。

材料生产和使用与气候变化以多种方式相互作用。材料生产会导致温室气体排放，而温室气体排放是人为气候变化的原因所在。减少温室气体排放和适应气候变化反过来又影响着材料需求。更具体地说：

- 减缓工作可能需要更多、更稀有的材料。与传统的化石燃料发电相比，通过光伏、风能、核能以及采用二氧化碳捕获与封存技术（CCS）的化石燃料燃烧进行的低碳发电所使用的材料，要么用量更大，要么不常见。
- 适应气候变化的各种选项可能致使材料的需求量更大。建造海堤和沿海保护结构、改造运输和道路基础设施或建筑环境中的应对措施（包括保温层和制冷）等选项，可能会增加材料的开采和使用及相关温室气体排放量。

### 1.2 材料需求量和温室气体排放量与日俱增

鉴于纯净原材料产量的增加，材料生产所产生的温室气体排放量已从1995年的50亿吨二氧化碳当量增至2015年的逾110亿吨二氧化碳当量，增加了一倍以上。材料利用效率策略能够在不影响人类福祉的情况下，减少对能源密集型纯净原材料的需求。资源效率和循环经济也许能成为改变我们的材料使用模式的有效政策框架。

1995-2015年期间，材料生产在全球温室气体排放量中所占比例从15%增至23%（图1）。材料的碳足迹一半以上属于材料生产过程中的直接排放。整个价值链的能源供应占排放总量的35%，采矿占2%，其他经济流程占9%。温室气体排放最多的材料是：钢铁（32%）；水泥、石灰和石膏（25%）；橡胶和塑料（13%）；以及其他非金属矿物（13%）（图2）。建筑业和制造业在材料初次使用所产生的温室气体排放量中各占40%。住宅建筑是建筑业最重要的产品，而汽车则是制造业最重要的产品。

图1. 1995年和2015年材料生产造成的温室气体排放量在全球总排放量中的占比

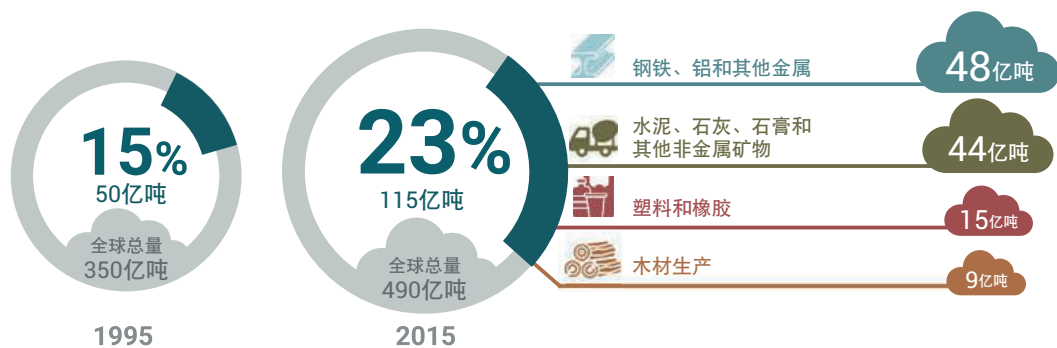
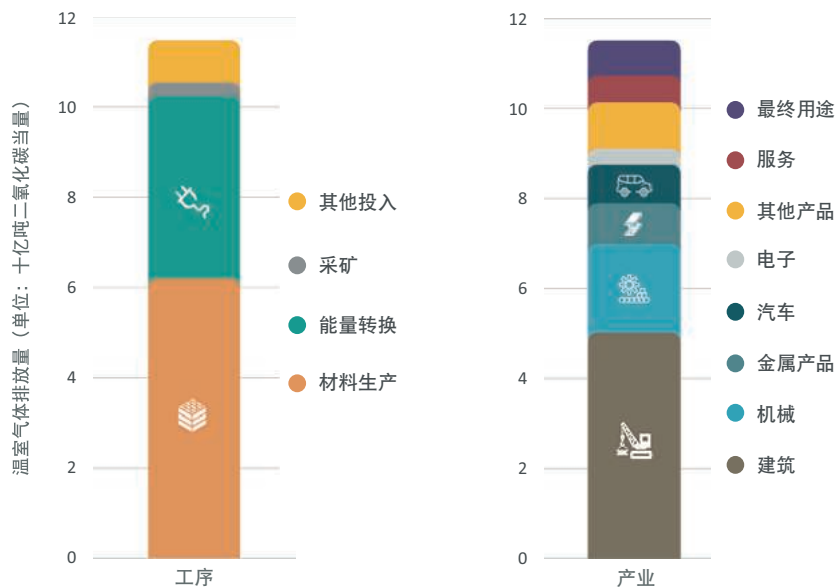


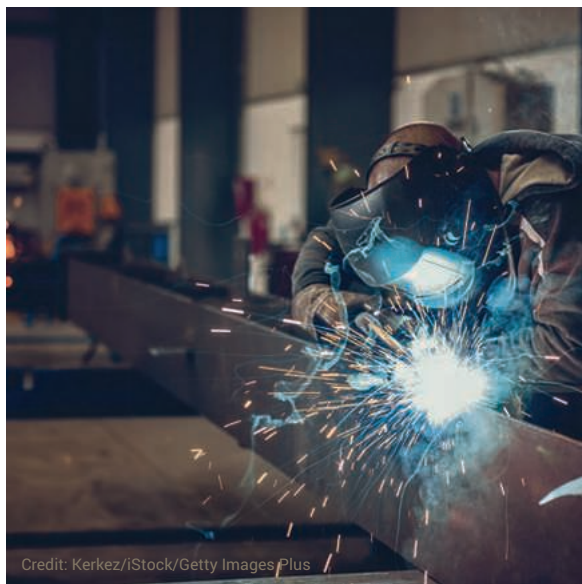
图2. 2015年全球材料碳足迹：

(A) 排放过程，(B)下游生产工序对材料的初次使用。



资料来源：Hertwich, E.G., Ali, S., Ciacci, L., Fishman, T., Heeren, N., Masanet, E., Asghari, F.N., Olivetti, E., Pauliuk, S., Tu, Q., Wolfram, P., 2019. Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics—a review. Environ. Res. Lett. 14, 043004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0fe3>.

大部分材料被用于生产资本货物。材料使用的发展变化是由建筑物和基础设施等资本建设驱动的，而此类建设主要发生在新兴经济体。因此，新兴经济体对全球材料使用的贡献大于对全球能源消耗的贡献。自1995年以来，七国集团国家与材料相关的温室气体排放量一直相当稳定，保持在20亿吨二氧化碳当量上下。七国集团国家是依赖非经合组织国家所生产材料的产品和服务的净进口国。金砖国家（巴西、俄罗斯、印度、中国、南非）的生产和消费增长最为强劲。



Credit: Kerkez/iStock/Getty Images Plus

### 1.3 材料利用效率策略：减少温室气体排放量的新契机

纵观历史，与材料相关的去碳化工作主要侧重于减少材料生产中各工序的能耗和温室气体排放量。这类以生产为导向的策略包括能效、燃料和原料转换、与工序有关的二氧化碳减排、以及碳捕获与封存。然而，利用此类策略进一步大幅减少温室气体排放量，往往成本高昂且难以实施。

材料生产和使用所产生的温室气体排放量也可以通过需求侧策略来减少（见方框2中的材料利用效率策略）。举例而言，可以通过提高材料利用效率的设计，选择低碳和轻质材料，提高制造和回收的产出，以及更集约地使用建筑物和车辆。

通过提高材料利用效率来减少原生材料需求量，有助于降低与工业生产去碳化相关的总体财务成本和环境成本，并加快实现去碳化的速度。

本报告介绍的模型指出了通过需求侧材料利用效率策略减少材料所产生的温室气体排放量的重大契机。该模型也揭示了材料利用效率与运行能耗之间的协同效应。提高材料利用效率所减少的排放量，将远远超过通过电力供应去碳化、家用能源电气化和改用电动和混合动力汽车所实现的减排量。



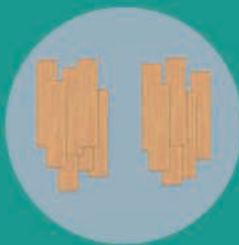
## 方框2. 材料利用效率策略促进气候行动

本报告考量了下列材料利用效率策略：



### 通过设计使用较少材料

设计提供相同服务的更轻、更小产品，可以减少产品中所含材料量，还往往能减少操作产品所需要的能源。在本报告中，我们探讨了较轻结构（在多户型住宅的承重结构中使用较少钢材和混凝土）的建造和车辆的小型化，即从大型车辆（轻型卡车、运动型多用途车）向较小型车辆（乘用车、微型车）的转变。



### 材料替代

在建筑物中用木材替代水泥和钢材以及在汽车中用铝材替代钢材，可以减少生命周期排放量。减排机制各不相同。在建筑业中，木质结构需要的碳较少，甚至可以存储碳，而汽车中的铝材会造成与材料相关的排放量增加，但会减少运行能耗，从而减少生命周期排放量。



### 提高加工产出

减少加工和制造过程中所用材料的废料，可以降低材料投入需求量。例如，减少汽车制造中的下脚料或所需加工量。



### 更集约地使用

这意味着需要较少的产品来提供相同的服务。就车辆而言，顺风车和汽车共享意味着为特定人群提供运输服务所用的车辆减少了，但车辆的使用更加集约。对于建筑物而言，提高利用率（例如通过P2P住宿或设计更节省材料的较小住宅单元）以及扩大家庭规模/共同居住，均可减少所需要的建筑空间。



### 加强材料的 报废回收和再循环

这样会提高可用再生材料的数量或质量，从而减少生产相同或其他产品所用的原生材料量。住房和车辆中的更多材料可以回收利用，但可能需要较多拆卸/解构工作，以避免不同材料之间相互污染。



### 零部件的回收、 再制造和再利用

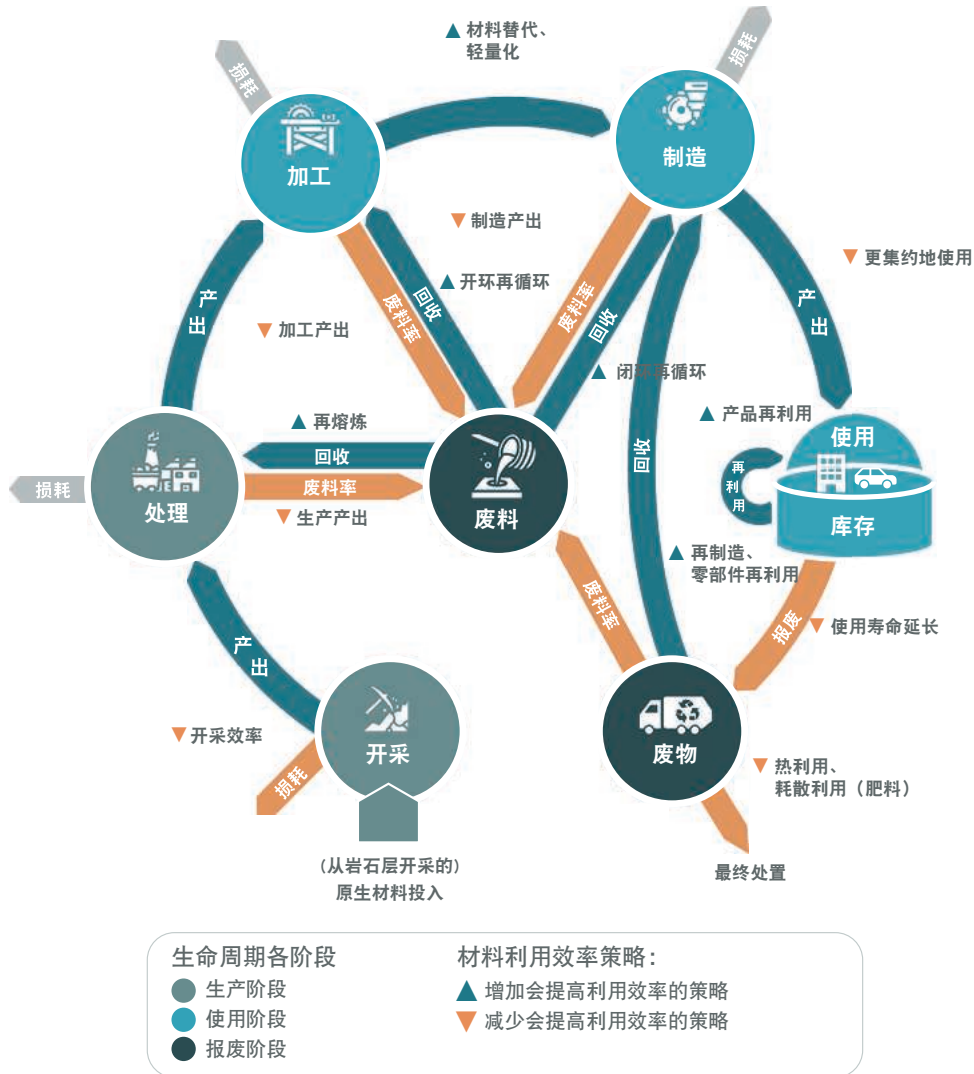
取代备件甚至初级产品的生产。例如，楼房的工字梁可以再利用。



### 延长产品使用寿命

通过改善设计、增加维修和提升二级市场。举例而言，通过灵活的设计可以延长建筑物的使用寿命，因为灵活的设计使改造内墙更容易，从而适应不断变化的使用格局。

图3. 产品生命周期中的材料利用效率策略





为抓住上述减缓气候变化的机会，政策必须鼓励采用材料利用效率策略。这类策略必须减少材料的使用，而减少材料使用又必然导致减少排放量。衡量政策带来的材料利用效率成果，需要运用生命周期评估来揭示整个产品生命周期的协同效应与此消彼长。

在今天的政策环境中，大部分材料利用效率政策都缺乏减缓气候变化的视角，而大部分气候政策也缺乏材料利用效率视角。材料利用效率政策通常属于改善废物管理的环境和资源方面的努

力，与减缓气候变化的联系有限。气候变化政策主要侧重于能源效率，而不是作为减少温室气体排放核心策略的材料利用效率。应把材料利用效率作为减少温室气体排放量的推手。目的明确且有意进行政策改变，对于将材料利用效率与减缓气候变化联系起来至关重要。

本摘要的表1、表2和表3介绍一些国家和地方政府推出的、涉及多种材料利用效率策略的政策实例。

### 方框3. 方法学说明

本文作者通过基于建筑空间和汽车运输需求、人口和经济预测以及叙事逻辑设定的情景，对材料利用效率策略的影响进行量化。这些要素与气候情景建模中广泛使用的共享社会经济途径1和2相一致。两种参考情景包括能源结构去碳化和改用电动汽车，它们适合于将全球变暖控制在2°C以内的目标。第三种情景主要取决于需求减少、能源和材料利用效率，以便去碳化达到1.5°C。总体而言，该模型着眼于温室气体排放的四个视角，这四个视角对于气候政策的综合决策不可或缺。

图4. 本报告探讨的温室气体排放的四个视角





## 2. 节约材料的住房

### 2.1 了解潜力

相比提高能源效率和低碳能源结构将会达到的减排量，本报告指出的材料利用效率策略能使七国集团2050年住宅建筑建造、运行和拆除所产生的温室气体排放量多减少35%-40%。材料利用效率策略可以：（1）减少建造新楼房对纯净原材料的需求量；（2）向其他市场提供再生材料，从而减少为这些市场生产纯净原材料的需求；（3）提高使用集约度，从而减少供热和制冷需求，减少建筑面积，并相应减少运行能耗所产生的排放量。

由于过度使用钢材、水泥和玻璃等碳密集型材料，当前占主导地位的建筑方法和设计导致碳足迹超出必要量。重量较轻并更严格按技术规范设计的建筑所使用的材料较少，并可使七国集团国家2050年的相关排放量降低8%-10%。中国和印度的减排可以达到12%-20%。为实现这些减排，工程师可以计算出建筑构件（如承重梁）的推荐尺寸，而建筑师可以筑模并使用轻型结构（如横梁桁架）。

鉴于使用木材既可以减少排放量，也可以将碳储存在木材中，七国集团通过**更多地使用木材**，能将建筑材料的材料循环排放量减少1%-8%。中国和印度由于新建工程量更大并且更广

泛——且以碳密集型方式——使用钢筋混凝土，减排量可以达到5%-31%。加拿大、日本、北欧国家和美国在建造独户型住宅中普遍使用木材，但在多户型住宅中或七国集团的欧洲国家里使用木材的并不那么常见。目前，建筑领域近来取得的进步已使在高层建筑中使用木框架成为可能，拓展了木材替代碳密集型建筑材料的能力。然而，许多气候变化减缓分析的土地利用竞争建模表明，木材供应量有限，只有可持续来源的木材产品才会产生气候效益。为了能够实施这一策略，需要朝着更密集的人工林发展，并改善森林管理。

与参考情景相比，**将建筑面积需求量最多减少20%**，就会减少七国集团对新建筑的需求。这样还能使七国集团2050年住宅建筑中建材材料循环所产生的温室气体排放量降低多达73%（其中包括由于在经济体其他领域使用再生建材而实现的减排）。中国和印度的减排将在6%-59%之间。当人们选择居住在多户型住宅的较小单元里而非独户型住宅时，就能实现更集约的使用。此外，可以鼓励人们共享住房和相关居住设施（如共同居住），以及在家庭规模缩小时（例如子女搬离时）搬到较小的住宅。更集约的使用一旦与城市生活方式相联系并且更便于进入就业市场和利用公共设施，也可能具有吸引力。

2016年，建材回收利用使七国集团住宅建筑材料循环所产生的排放量减少了15%-20%。根据乐观的假设，加强回收利用可使七国集团另外减排14%-18%。

更集约地使用住宅建筑，可以减少供暖和制冷的能源消耗所产生的排放量。减排量与减少的建筑面积成正比。

如果所评估的这些材料利用效率策略的技术潜力得到充分发挥，与未实施材料利用效率的情

况相比，到2050年它们可使七国集团国家和中国与住宅建筑材料循环相关的年度温室气体排放量减少80%-100%（其中包括使用再生材料所产生的效益）。到2050年，印度将减排50%-70%。这意味着七国集团2050年的年度温室气体减排量为1.3亿-1.7亿吨，中国为2.7亿—3.5亿吨，印度为1.1亿—2.7亿吨。该模型表明，减少建筑面积也会减少供热和制冷需求，其结果是七国集团在2050年大约减排1.2亿—1.3亿吨。

图5. 七国集团国家、中国和印度实施和不实施材料利用效率策略的2050年住房生命周期排放量

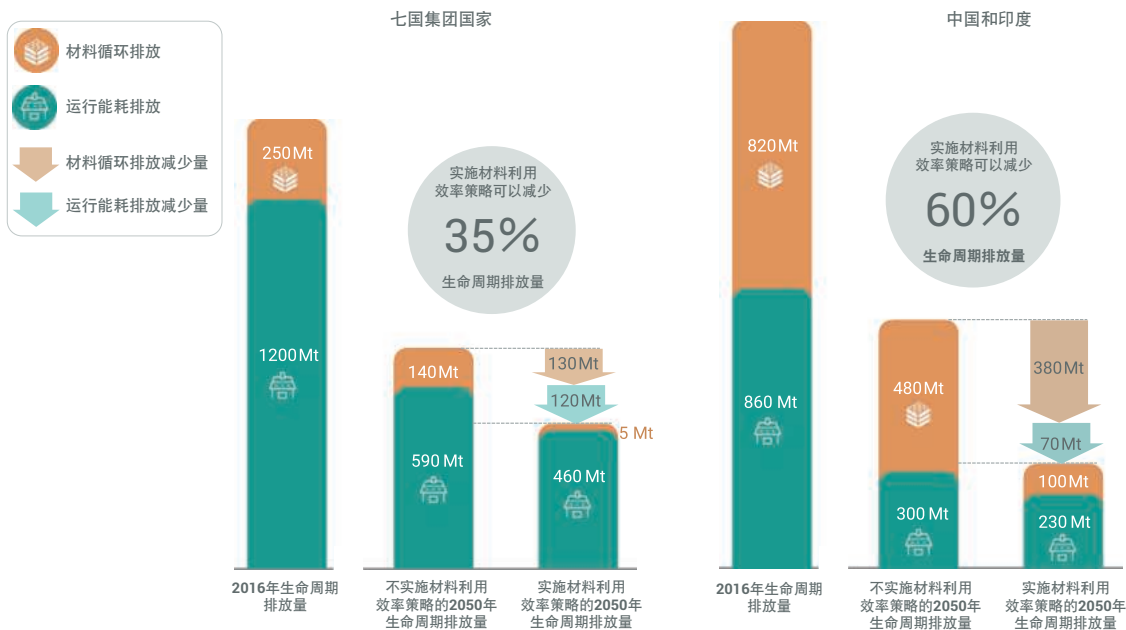
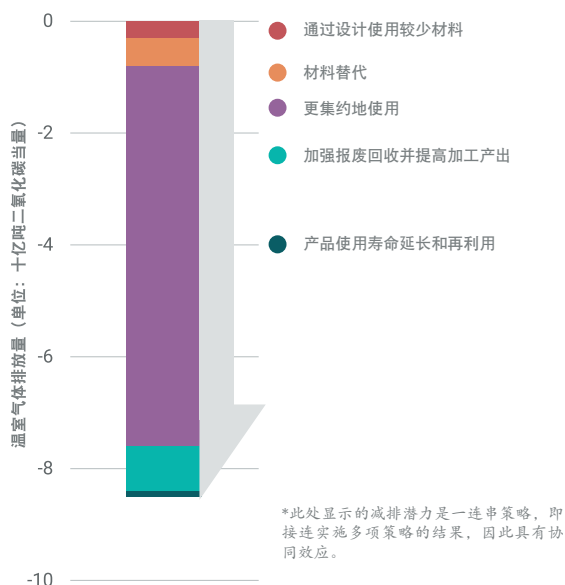




图6. 七国集团住房材料利用效率策略有可能实现的温室气体减排（2016-2060年）



## 2.2 政策考量

建筑业各层面（材料、构件和建筑）都有提高材料利用效率的机会。设计、材料或构件生产、建筑工地活动、建筑的使用和维护、现有建筑的翻新、修复和再利用以及报废管理等方面均有可干预之处。

对于许多材料利用效率策略而言，设计是一个至关重要的干预点。政策主要通过建筑规范间接影响设计。设计阶段的决策影响着材料的选

择、建筑施工方法、延长建筑物使用寿命的机会，以及包括解构、组件再利用和拆建回收在内的报废策略。这意味着需要认真注意建筑标准和规范的具体规定，以及公共当局传播并采用的标准和规范。在消除妨碍提高材料利用效率的创新性做法的障碍方面，能够起关键作用的是绩效，而不是规定标准。

加强建筑信息管理软件和预制件的使用，能促进采取减少材料使用的做法和技术。在某些国家，建造较大型建筑物时必须使用它们。报废管理政策，即拆建废物的再利用和再循环政策，已经十分普遍，但这类政策通常侧重于垃圾填埋转移。如果提高材料利用效率要取得减缓气候变化的效果，政策目标就需要改为或至少包括温室气体减排目标。

不仅是建筑规范，还有分区和土地使用条例、财产税、碳税及其他税收、城市化、人口趋势和消费者的偏好，都会对通过共享和缩小住房提高住宅建筑的使用集约度产生影响。共享和缩小住房可以通过修改法规和税收规定来鼓励，但也需要改变人们的行为和生活方式。

下表总结了住房的材料利用效率策略、相关政策工具和实例，它们均被列入本报告有关政策的章节中。

表1. 住房的材料利用效率策略、温室气体减排潜力和政策选项

材料利用效率策略	政策工具 <sup>1</sup>	说明	地区/国家/地方层面实例 <sup>2</sup>
通过设计使用较少材料	未发现直接针对轻量化的政策工具		
	强制性预制和模块化施工	• 强制性预制和模块化施工能促进轻量化。	• 新加坡建筑管控条例 <a href="https://www.bca.gov.sg/emailsender/buildSmart-022018/microsite/">https://www.bca.gov.sg/emailsender/buildSmart-022018/microsite/</a> • 中国“十三五”规划规定, 30%的新建筑应为装配式建筑 <a href="http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201705/W020170504041246.pdf">http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201705/W020170504041246.pdf</a>
	强制使用建筑信息建模	• 设计过程中使用建筑信息建模, 可以帮助确定中低结构载荷区域, 从而实现轻量化。	• 英国标准协会和商务部 <a href="https://www.bsigroup.com/en-GB/Building-Information-Modelling-BIM/">https://www.bsigroup.com/en-GB/Building-Information-Modelling-BIM/</a>
材料替代	修订建筑和消防规范中有关大型木结构框架的规定	• 与混凝土和砖相比, 木结构建筑的生命周期排放量通常会较少。由于历史上的消防安全原因, 许多建筑规范都对木材结构加以限制。 • 目前正在修订某些建筑和消防规范中有关建造大型木结构的规定。	• 国际规范委员会高层木结构建筑特设委员会 <a href="https://www.iccsafe.org/products-and-services/i-codes/code-development/cs/icc-ad-hoc-committee-on-tall-woodbuildings/">https://www.iccsafe.org/products-and-services/i-codes/code-development/cs/icc-ad-hoc-committee-on-tall-woodbuildings/</a>
	允许以熟料替代水泥的标准	• 波特兰水泥的生产造成大量温室气体排放。目前正在研究替代粘合剂。	• 欧洲水泥标准化 <a href="https://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=00000000030391002">https://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=00000000030391002</a>
	修订建筑规范, 以解决材料固有的影响	• 绩效而非基于规定的标准, 有助于使用替代材料(例如波特兰水泥含量较低的混凝土)。	• 加利福尼亚州拟议低碳混凝土建筑规范 <a href="https://www.bruce-king.com/building-codes">https://www.bruce-king.com/building-codes</a>
提高加工产出	强制推行预制构件	• 预制构件可以提高自动化程度, 并对构件的生产和使用加以更好的规划, 从而避免浪费。 • 有时对公共建筑和得到补贴的建筑强制推行预制构件。	• 新加坡建筑管控条例 <a href="https://www.bca.gov.sg/emailsender/buildSmart-022018/microsite/">https://www.bca.gov.sg/emailsender/buildSmart-022018/microsite/</a> • 中国“十三五”规划规定, 30%的新建筑应为装配式建筑 <a href="http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201705/W020170504041246.pdf">http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201705/W020170504041246.pdf</a>
	强制推行建筑信息建模	• 建筑信息建模能使建筑规划人员更好地协作, 并提高数字化和自动化程度。这两方面都有助于在规划过程中及早发现潜在浪费, 并通过预制构件和其他技术最大限度地减少废料的产生。	• 英国标准协会和商务部 <a href="https://www.bsigroup.com/en-GB/Building-Information-Modelling-BIM/">https://www.bsigroup.com/en-GB/Building-Information-Modelling-BIM/</a>

1- 关于材料利用效率或与其相关的政策工具。有些并非旨在鼓励提高材料利用效率的政策被列入该表, 是因为它们对材料利用效率具有重要影响。

2- 该栏中例举的法律、条例和其他形式政策不一定是有效政策的实例, 有些是构成障碍的政策实例。

材料利用效率策略	政策工具 <sup>1</sup>	说明	地区/国家/地方层面实例 <sup>2</sup>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>建筑信息建模主要用于大型建筑。未发现有关强制性规定对材料利用效率的影响的评估。</li> </ul>	
更集约地使用	减少出售住房的交易成本和税收	<ul style="list-style-type: none"> <li>对出售住房征税或征收财产增值所得税，会限制家庭人口变化后的住房规模缩减。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>英国土地印花税 <a href="https://www.gov.uk/stamp-duty-land-tax">https://www.gov.uk/stamp-duty-land-tax</a></li> </ul>
	放宽独户型住宅分区制	<ul style="list-style-type: none"> <li>土地使用方面有关最小地皮和结构范围的限制，制约了多户型住宅的建设，导致住房规模加大。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>明尼阿波利斯2040年规划 <a href="https://www.brookings.edu/blog/the-avenue/2018/12/12/minneapolis-2040-the-most-wonderful-plan-of-the-year/">https://www.brookings.edu/blog/the-avenue/2018/12/12/minneapolis-2040-the-most-wonderful-plan-of-the-year/</a></li> <li>俄勒冈州第639章 <a href="https://olis.leg.state.or.us/liz/2019R1/Measures/Overview/HB2001">https://olis.leg.state.or.us/liz/2019R1/Measures/Overview/HB2001</a></li> </ul>
	修订限制加建附属住宅单元和填充性建筑的法律	<ul style="list-style-type: none"> <li>加建附属住宅单元和填充性建筑，使现有建成地区的空地能得到利用，导致城市密度加大，通常还会缩小住房面积。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>美国马里兰州优先资助区域 <a href="https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195380620.013.0022">https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195380620.013.0022</a></li> </ul>
加强材料的报废回收和再循环	对拆建废物进行分类和处理	<ul style="list-style-type: none"> <li>加强分类工作可以更好地处理和分离废物，便于回收利用和替代原生材料。</li> <li>强制分类有助于保持材料价值，提高回收利用的可能性。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>挪威规划和建筑法规则</li> <li>日本建筑材料回收利用法 <a href="https://www.env.go.jp/en/laws/recycle/09.pdf">https://www.env.go.jp/en/laws/recycle/09.pdf</a></li> </ul>
	强制执行填埋禁令	<ul style="list-style-type: none"> <li>填埋禁令往往与配套政策一同出台。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>佛蒙特州自然资源管理局第148号和第175号法令 <a href="https://cswd.net/recycling-old/construction-demolitionwaste/act-175/">https://cswd.net/recycling-old/construction-demolitionwaste/act-175/</a></li> </ul>
材料和构件的再利用	强制性预制和模块化施工可拆卸/解构设计指导标准	<ul style="list-style-type: none"> <li>预制件和模块化施工便于可拆卸设计和构件再利用。</li> <li>可拆卸设计能提高有价值构件的分离和再利用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新加坡建筑管控条例 <a href="https://www.bca.gov.sg/emailsender/buildSmart-022018/microsite/">https://www.bca.gov.sg/emailsender/buildSmart-022018/microsite/</a></li> <li>中国“十三五”规划规定，30%的新建筑应为装配式建筑 <a href="http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201705/W020170504041246.pdf">http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201705/W020170504041246.pdf</a></li> </ul>
延长产品使用寿命	未发现有关坚固耐用建筑的政策遗产名录	<ul style="list-style-type: none"> <li>对拆除或改造加以限制的历史建筑保护政策，可能制约建筑能源效率。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>美国国家历史保护法案 <a href="https://www.nps.gov/history/local-law/nhpa1966.htm">https://www.nps.gov/history/local-law/nhpa1966.htm</a></li> <li>纽约市第97号地方法律 <a href="https://www1.nyc.gov/assets/buildings/local_laws/l197of2019.pdf">https://www1.nyc.gov/assets/buildings/local_laws/l197of2019.pdf</a></li> </ul>





### 3. 节约材料的乘用车

#### 3.1 了解潜力

轻型车辆建模，是为了评估提高材料利用效率措施对车辆制造中的材料和能源使用、车辆运行中的能源消耗以及报废材料的回收利用的影响。这一模型纳入了车辆总数的变化以及报废车辆可回收利用的时间。报废车辆中未用于制造新车的材料大部分会降级给建筑部门使用，并为其假设一个相应的回收利用积分。

与未实施新的材料利用效率策略的情景相比，到2050年，所模拟的材料利用效率策略可使七国集团材料循环每年减排多达2500万吨二氧化碳当量。中国和印度也能实现类似减排，分别减少2500万-3000万吨。七国集团与减少运行能耗形成的协同减排，为每年2.8亿-4.3亿吨二氧化碳当量。中国和印度的这类减排分别为2.4亿-2.7亿吨。

在七国集团国家，从报废车辆中回收的材料得到了广泛的再生利用。使用再生材料可以抵消汽车用材料生产带来的一半温室气体排放量。不过，用现有技术通过车辆回收获得的再生钢被铜污染了，随着市场条件的发展变化有可能会制约废料的利用。未来需要创新型废料回收方法。

七国集团**通过提高制造产出、改进加工废料的利用和报废回收**，到2050年可将汽车材料循环所产生的温室气体排放量减少37%。中国减少34%，印度减少26%。七国集团车辆使用寿命的延长和零部件再利用的增多，可以使这些国家另外减排5%-13%，中国的这一数字则为14%，印度为9%。

通过**材料替代**减轻车辆重量，可在车辆运行期间节省燃油。车辆材料成分从钢材到铝材的变化表明，车辆制造过程中与材料相关的温室气体排放量增加，而整个车辆生命周期内的总排放量却减少了。高强度钢材和碳纤维等其他材料的使用也显示了类似的此消彼长。

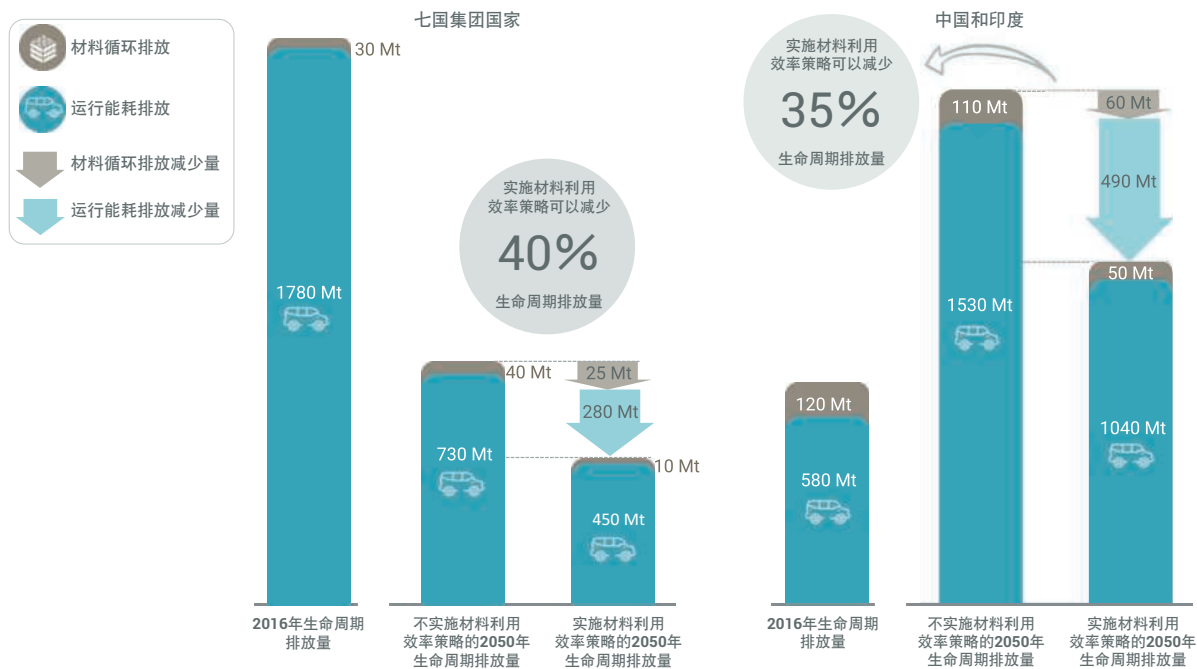
有几种材料利用效率策略意味着**车辆使用模式的改变**：顺风车、汽车共享以及改用较小型车辆。顺风车和汽车共享都有可能减少满足旅行需求所需的车辆总库存，从而降低汽车制造的材料需求量。如果七国集团近25%的旅行是拼车进行的，那么材料循环的排放量将减少13%-20%。中国和印度的减排量也基本相同。在一定程度上改用较小型汽车，七国集团将减排11%-14%，中国减排4%，印度减排3%。

总体而言，材料利用效率的提高可使七国集团2050年汽车材料循环的排放量减少57%-70%；中国减少29%-62%；印度减少39%-53%。技术性策略（如零部件再利用）和使用模式的变化（如增加顺风车和使用较小型车辆）起着重要作用。

多种材料利用效率策略可同时减少车辆制造和运行中的能源消耗。减少运行能耗所带来的

减排量，将数倍于甚至是在逐渐改用电池电动汽车和燃料电池汽车情况下的材料循环减排量。到2050年，所研究的这些材料利用效率策略可使七国集团汽车制造、运行和报废管理所产生的温室气体排放总量减少30%-40%，即3亿-4.5亿吨二氧化碳当量。中国和印度减少20%-35%。减少整个生命周期排放量的最重要策略，是顺风车、汽车共享和改用较小型车辆。

图7. 七国集团国家、中国和印度实施和不实施材料利用效率策略的2050年乘用车生命周期排放量



### 3.2 政策考量

与汽车相关的材料利用效率政策主要涉及材料选择和报废管理。通过轻量化设计减少材料消耗，历来是旨在减少车辆运行中的油耗和温室气体排放的政策副效应，但是许多国家的政策过于薄弱，无法应对车辆大型化、重型化的趋势。某些形式轻量化的结果则可能是此消彼长，即生产中的碳排放增加，而使用期间的碳排放减少。

目前汽车共享、顺风车和约车服务等形式的共享出行政策适当注重了公司和驾驶员的行为、对使用公共交通的影响以及交通拥堵等问题。虽然车辆出行所产生的排放量已经成为政策讨论的一问题，但有关材料使用的讨论却很少见，激励机制也不够强大。除非有强有力的激励措施鼓励拼车，否则约车服务往往会增加材料的使用和排放量。政策应引导共享出行使用未充分利用的运力，而不是采购和使用其他车辆。

汽车报废管理侧重于消除污染，以及提高车辆粉碎后产生的非金属残留物的再循环和回收率。政策一向较少注重报废管理目标对温室气体的影响。值得关注的是，调整报废政策以减少降级循环并利用随之而来的温室气体减排机会。

图8. 七国集团乘用车材料利用效率策略有可能实现的温室气体减排（2016-2060年）

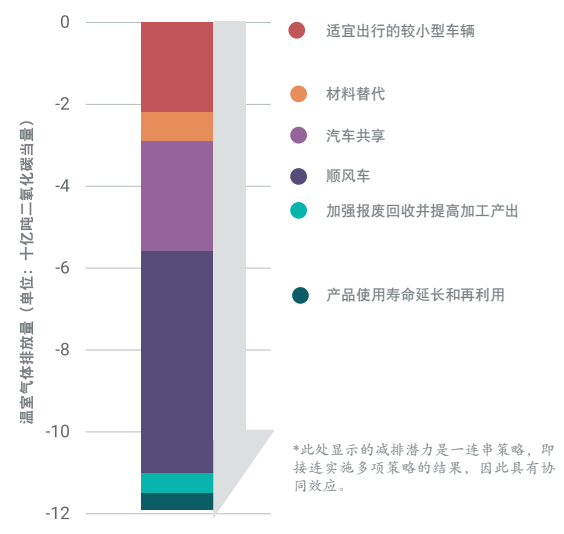


表2 乘用车的材料利用效率策略与政策工具

材料利用效率策略	政策工具 <sup>3</sup>	说明	地区/国家/地方层面实例 <sup>4</sup>
通过设计使用较少材料	通过节油产品等措施	• 七国集团各国均对燃油经济性加以普遍管制，结果为达到目标减轻了材料重量。未发现直接针对轻量化的政策实例。	• 美国公司平均燃油经济性标准 <a href="https://www.transportation.gov/mission/sustainability/corporate-averagefuel-economy-cafe-standards">https://www.transportation.gov/mission/sustainability/corporate-averagefuel-economy-cafe-standards</a> • 盟关于轻型车辆排放性能标准的条例 <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32007R0715&amp;from=en">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32007R0715&amp;from=en</a>
	征收二氧化碳浓度税	• 挪威根据二氧化碳浓度计算的“一次性登记税”鼓励选择更加节油和轻便的车辆。	• 挪威车辆登记税
材料替代	通过节油产品政策 <sup>5</sup>	• 七国集团各国均对燃油经济性加以普遍管制，结果增加了铝材、塑料和新型材料的使用。未发现直接针对材料成分的政策。	• 美国公司平均燃油经济性标准 <a href="https://www.transportation.gov/mission/sustainability/corporate-averagefuel-economy-cafe-standards">https://www.transportation.gov/mission/sustainability/corporate-averagefuel-economy-cafe-standards</a> • 欧盟关于轻型车辆排放性能标准的条例 <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32007R0715&amp;from=en">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32007R0715&amp;from=en</a>
更集约地使用：			
顺风车 <sup>5</sup>	高乘载车道	• 顺风车是政府早就鼓励的一种做法，其目的是减少拥堵、能耗和污染。与其他形式的共享出行一样，数字平台也助长了这一做法的使用。	• 哈里斯县都市交通局 (METRO) 高乘载车道 (休斯敦) <a href="https://www.ridemetro.org/Pages/HOVHOTLanes.aspx">https://www.ridemetro.org/Pages/HOVHOTLanes.aspx</a>
汽车共享 <sup>6</sup>	停车、分区和建筑规范方面的优惠待遇。未发现针对材料利用效率的政策	• 政策主要通过放宽与停车、房地产开发和城市规划有关的法规，来鼓励汽车共享。	• 旧金山街上共享汽车许可证方案 <a href="https://www.sfmta.com/projects/street-shared-vehicle-parking-permitprogram">https://www.sfmta.com/projects/street-shared-vehicle-parking-permitprogram</a> • 温哥华街上汽车共享停车政策 <a href="https://vancoouver.ca/streets-transportation/car-sharing-carpooling-andride-sharing.aspx">https://vancoouver.ca/streets-transportation/car-sharing-carpooling-andride-sharing.aspx</a>
约车服务 <sup>7</sup>	许可证和费用 驾驶员和车辆要求 乘客保护 数据报告	• 大部分法规侧重于约车服务的安全和有序运行、减少拥堵以及地方政府收入，并未明确涉及与材料利用效率相关的问题。	• 纽约市出租车和豪华轿车委员会规则，约车服务许可证 <a href="https://www1.nyc.gov/site/tlc/businesses/high-volume-for-hire-services.page">https://www1.nyc.gov/site/tlc/businesses/high-volume-for-hire-services.page</a> • 芝加哥约车服务税 <a href="https://www.chicago.gov/city/en/depts/bacp/provdrs/edu/news/2019/october/Mayor_Lightfoot_Announces_New_Regulations_to_Ease_Traffic.html">https://www.chicago.gov/city/en/depts/bacp/provdrs/edu/news/2019/october/Mayor_Lightfoot_Announces_New_Regulations_to_Ease_Traffic.html</a>
加强材料的报废回收和再循环	加大生产者对于再循环和回收目标的责任	• 有关报废车辆的政策注重汽车粉碎残余物 (汽车残骸被粉碎后残留的非金属材料)。如果采用生命周期方法并更加关注再生金属的最终用途，则可以提高材料利用效率。	• 欧盟报废车辆指令 <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0053-20130611&amp;qid=1405610569066&amp;from=EN">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0053-20130611&amp;qid=1405610569066&amp;from=EN</a>

3- 关于材料利用效率或与其相关的政策工具。有些政策并非旨在鼓励提高材料利用效率但却被列入表内，是因为它们对材料利用效率具有重要影响。

4- 该栏中列举的法律、条例和其他形式政策不一定是有效政策的实例，有些是构成障碍的政策实例。

5- 顺风车 (ride-sharing，在有些国家被称为 car-pooling) 是指目的地相同或相近的人乘坐同一辆车旅行的旅程共享。顺风车不同于约车服务 (例如 Uber 和 Lyft)，后者是改头换面的出租车服务。

6- 汽车共享既包括拥有向会员出租的车辆和中央化数字平台的公司 (例如 Zip Car 和 Car2Go)，也包括用于 P2P 直接租用另一个人或实体所拥有车辆的平台。

7- 研究表明，约车服务目前并未提高材料利用效率，因此没有为其建模。



材料利用效率策略	政策工具 <sup>3</sup>	说明	地区/国家/地方层面实例 <sup>4</sup>
	有关汽车回收利用所产生污染的法规	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 美国和加拿大的报废车辆政策注重减少因报废车辆管理实践而产生的风险/污染，没有明确关注材料利用效率。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 美国清洁空气法案有关制冷剂的规定</li> <li>• 美国清洁水法案有关雨水管理的规定 <a href="https://www.epa.gov/compliance/clean-water-act-cwa-compliance-monitoring">https://www.epa.gov/compliance/clean-water-act-cwa-compliance-monitoring</a></li> </ul>
零部件的再利用和再制造	强制推行再利用和再循环费用和目标	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 预防并管理拆解和回收利用过程中的污染。</li> <li>• 发动机和轮胎的再制造可以延长车辆和零部件的使用寿命，但这主要限于重型车辆。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本汽车回收利用法 <a href="https://www.env.go.jp/en/laws/recycle/11.pdf">https://www.env.go.jp/en/laws/recycle/11.pdf</a></li> </ul>
	再利用和再制造的标准和定义	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 不同行业和国家对二手和再造商品的标准和定义不同，这会阻碍贸易。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 《巴塞尔公约》<a href="http://www.basel.int/?tabid=4499">http://www.basel.int/?tabid=4499</a></li> <li>• 欧盟废弃物框架指令<a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098</a></li> <li>• 美国联邦贸易委员会<a href="https://www.ftc.gov/enforcement/rules/rulemaking-regulatory-reform-proceedings/rebuilt-reconditioned-otherused">https://www.ftc.gov/enforcement/rules/rulemaking-regulatory-reform-proceedings/rebuilt-reconditioned-otherused</a></li> </ul>
延长产品使用寿命	对维修服务获取或修理服务质量作出规定的法规	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 汽车维修政策的共同关注点是保护消费者，而非延长产品使用寿命。维修可能会延长产品使用寿命，从而提高材料利用效率，但会使燃油效率较低的车辆继续运行。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 欧盟第715/2007号条例 <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02007R0715:20121231&amp;from=EN">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02007R0715:20121231&amp;from=EN</a></li> <li>• 2015年美国联邦汽车修理成本节约法案 <a href="https://www.congress.gov/bills/114th-congress/senate-bill/565">https://www.congress.gov/bills/114th-congress/senate-bill/565</a></li> </ul>



Credit: MarioGuti//Stock/Getty Images Plus





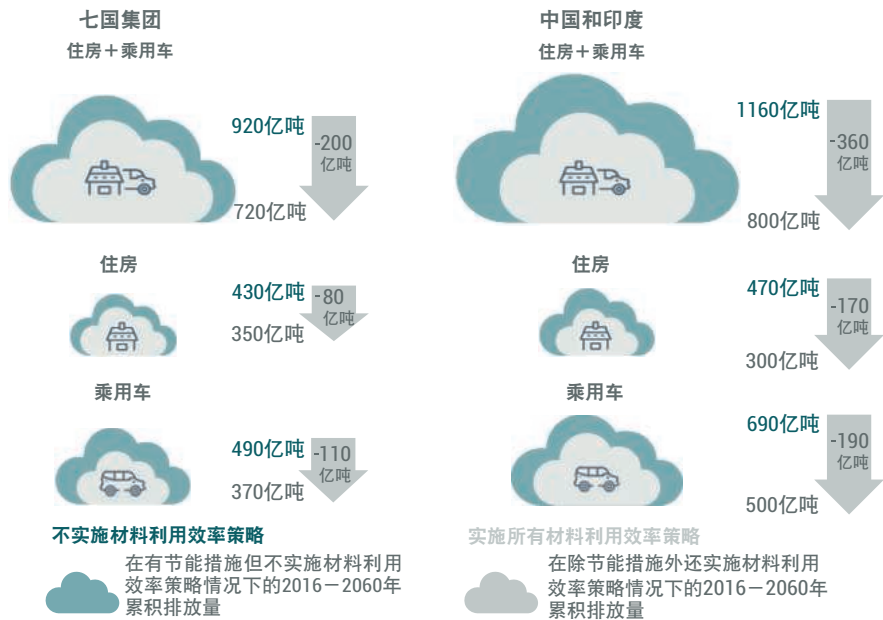
# 4. 累积结果

## 4.1 了解潜力

在为本报告设定的乐观情景中，选定的材料利用效率策略将使七国集团国家汽车生产、运行和废物处理的累积排放量，在2016-2060年期间从490亿吨减少到370亿吨，这主要是由于运行能耗的减少。住房建筑、使用和拆除的累积排放量将从430亿吨减少到350亿吨，这主要是由于节省了材料。该情景分析表明，虽然提高材料利用效

率可以大幅降低累积排放量，但要将全球变暖的升幅控制在1.5°C以下，还需要采取其他措施。本报告中未考虑的其他选项，例如对建筑物进行深度节能改造、从私人交通向公共交通转型、加速引入电动汽车和清洁能源、以及减少材料生产中温室气体排放的技术，都是不可或缺的。

图9. 七国集团、中国和印度住房和乘用车生命周期内累积温室气体排放量的减少（2016-2060年）



资料来源: International Resource Panel, 2019

4.2 横向政策考量

与专门针对一个部门（即住房或乘用车产业）或单方面问题的政策相比，适用于多个部门或具有横向性质的政策可能会产生更大影响。这类措施包括建筑认证、绿色公共采购、纯净原材料税、有关再生成分的强制规定，以及取消对纯净原材料的补贴。建筑认证具有潜在杠杆作用，可促进采用与建筑设计和报废管理相关的许多材料利用效率策略。绿色公共采购在七国集团各国的多级政府中得到广泛采用，因此材料利用效率的纳入将是渐进的。绿色公共采购在材料和温室气体方面的惠益没有得到例行性评估，但如果要有效利用该政策工具，就需要这种评估。强制规定再生成分的情况相对罕见，但在探讨废塑料管

理时对这个问题的讨论日益增多。纯净原材料税有别于资源开采的特许使用费，没有得到广泛采用，只是对建筑矿石征收了不高的税。减少对原始资源的补贴具有政治挑战性，但有可能带来双重利好，即提高材料利用效率和增加政府收入。



表3. 横向政策工具

政策工具	说明	相关材料利用效率策略	实例
绿色公共采购	公共实体优先采购在设计上考虑了材料利用效率、更集约使用或包含低碳或再生材料的产品和材料。	<ul style="list-style-type: none"><li>• 更集约使用</li><li>• 加强报废回收利用</li><li>• 再生成分</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 不来梅市采用本地汽车共享 <a href="https://clean-fleets.eu/fileadmin/files/documents/Publications/case_studies/Clean_Fleets_case_study_-_Bremen_Car-Sharing_integration.pdf">https://clean-fleets.eu/fileadmin/files/documents/Publications/case_studies/Clean_Fleets_case_study_-_Bremen_Car-Sharing_integration.pdf</a></li><li>• 荷兰的道路和建筑系统 <a href="http://www.oecd.org/gov/ethics/gpp:procurement:Netherlands.pdf">http://www.oecd.org/gov/ethics/gpp:procurement:Netherlands.pdf</a></li><li>• 日本的绿色采购法 <a href="https://www.env.go.jp/en/laws/policy/green/index.html">https://www.env.go.jp/en/laws/policy/green/index.html</a></li></ul>
征收纯净原材料税/取消补贴	尽管资源使用费历史悠久，但纯净原材料税并不常见。	<ul style="list-style-type: none"><li>• 成本变化可以支持各种材料利用效率策略</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 欧洲征收矿物税 <a href="http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/policy-instrument-database/">http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/policy-instrument-database/</a></li></ul>
有关再生成分的强制规定	未被广泛采用，但就塑料提出的此类规定日益增多	<ul style="list-style-type: none"><li>• 再生成分增多</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 日本的绿色采购法 <a href="https://www.env.go.jp/en/laws/policy/green/index.html">https://www.env.go.jp/en/laws/policy/green/index.html</a></li></ul>



政策工具	说明	相关材料利用效率策略	实例
修订建筑标准和规范	建筑规范既能抑制也能促进材料利用效率策略。	<ul style="list-style-type: none"> <li>改变材料成分</li> <li>轻量化</li> <li>材料和构件再利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国际规范委员会高层木结构建筑特设委员会  <a href="https://www.iccsafe.org/products-and-services/i-codes/code-development/cs/icc-ad-hoc-committee-on-tall-wood-buildings/">https://www.iccsafe.org/products-and-services/i-codes/code-development/cs/icc-ad-hoc-committee-on-tall-wood-buildings/</a></li> <li>美国混凝土学会关于最低胶凝材料含量的标准  <a href="https://www.ocapa.net/assets/Documents/329.1T-18%20minimum%20cementitious%20materials.pdf">https://www.ocapa.net/assets/Documents/329.1T-18%20minimum%20cementitious%20materials.pdf</a></li> <li>俄勒冈州第639章  <a href="https://olis.leg.state.or.us/liz/2019R1/Measures/Overview/HB2001">https://olis.leg.state.or.us/liz/2019R1/Measures/Overview/HB2001</a></li> </ul>
政府采用建筑认证系统	认证系统通过提供多种提高材料利用效率的选项, 可以鼓励选用低碳材料、再生材料或使用较少材料。	<ul style="list-style-type: none"> <li>加强报废回收利用</li> <li>再生成分</li> <li>改变材料成分</li> <li>材料和构件再利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>美国各州和地方政府采取、支持或促进LEED</li> </ul>

使用横向政策工具的实例

● 绿色公共采购

● 征收纯净原材料税/取消补贴

● 有关再生成分的强制规定

● 修订建筑标准和规范

● 政府采用建筑认证系统

● 俄勒冈州第639章

● 国际规范委员会高层木结构建筑特设委员会

● 美国混凝土学会关于最低胶凝材料含量的标准

● 美国各州和地方政府采取、支持或促进LEED

● 欧洲征收矿物税

● 不来梅市采用本地汽车共享  
● 荷兰的道路和建筑系统

● 日本的绿色采购法







## 5. 结论

本报告以住宅建筑和轻型车辆为例，说明材料利用效率为通过现有技术显著减少温室气体排放量带来了机会。这类策略对常规气候战略予以补充，从而向低碳能源转型，或者说是提高能源效率。

通过更完善的设计和制造，可以实现与材料相关的减排。本报告还说明，更集约的使用以及产品轻量化和小型化不仅能减少材料需求量，还能减少能源需求量，从而在各种气候变化减缓方法之间形成明显的协同效应。在商业建筑、运输系统和其他制成品方面，也很有可能实现类似的减排。需要开展进一步研究，以为这些领域的政策提供指导。

社会和技术发展可以促进本报告中研究的策略，在它们之间形成协同效应。多户型住宅规模较小，设计得更加节省空间，并更有可能共享设施（如客厅和娱乐空间）。在以多户型住宅为主的人口稠密地区，共享汽车更容易利用，也更有吸引力。智能手机能够便于共享汽车和顺风车，而新软件则使各种私营公交系统更容易实现一体化，从而带来更多减排机会。为了更集约地使用，可能需要改变社会规范和个人偏好，不过共用和紧凑型住宅在城市地区的年轻人中已越来越受欢迎。

本报告指出了能够提高住房和私人交通工具材料利用效率的政策变化，其中既有横向的，也有针对特定策略的。材料利用效率政策若要行之有效，必须应对几个关键挑战。效率提高所节省的资金被用于其他消费时出现的反弹效应，会抵消温室气体排放量的减少。直接或间接提高生产或消费成本的经济手段，例如税收和限额交易制度，能缓解这种效应。

有关材料利用效率政策的效力的全面研究非常有限。事后评价、实验研究和反事实分析可以帮助政策制定者评估材料利用效率政策的效力。在七国集团国家很常见的结果监测表明，即使实现了目标，也不能说明这一结果是否是实施相关政策的成果。

与监测方案或参与者的数量相比，结果（包括材料使用和温室气体排放量的减少）评估能为政策评价提供更好的依据。此外，减排策略评估必须以生命周期为基础进行，考虑各个部门之间的协同效应和此消彼长。政策指南应更加着重说明如何确定协同效应并进行利弊权衡。举例而言，延长建筑物的使用寿命是一种很吸引人的策略，但在许多情况下，只有对相关建筑物进行深度节能改造后，才能减少排放量。

目前与材料有关的政策大多侧重于垃圾填埋转移和物理质量，而不是减少生命周期内的温室气体排放量。住房和车辆设计是一个关键的撬动点。设计决定了材料用量、制造和运行中的能源消耗、耐用性以及再利用和再循环的难易程度。举例而言，建筑规范和标准是针对建筑设计的政策工具，既能鼓励提高也能制约材料利用效率。

提高材料利用效率的贡献可以帮助各国不突破本国碳预算。只有限定可以排放的二氧化碳数量，大气浓度才不会达到使全球平均气温升高 $1.5^{\circ}\text{C}$ 的水平（高于工业化之前的水平）。需要以数以十亿吨计的规模减少排放量，才能不突破政府间气候变化专门委员会建议的碳预算。材料利用效率能为这种减排作出贡献。









更多信息请联系：

**Secretariat of the International Resource Panel  
(IRP)**

Economy Division

United Nations Environment Programme

1 rue Miollis

Building VII

75015 Paris, France

电话：+33 1 44 37 14 50

传真：+33 1 44 37 14 74

电子邮件：resourcepanel@unep.org

网址：www.internationalresourcepanel.org



### 资源效率与气候变化：

#### 面向低碳未来的材料利用效率策略

##### 针对政策制定者的摘要

成立国际资源委员会，是为了就自然资源在整个生命周期中的使用及其对环境的影响提供独立、一致和权威的科学评估。该委员会旨在帮助人们更好地理解如何使经济增长与环境退化脱钩，同时增进福祉。

秘书处设在联合国环境规划署。自2017年以来，国际资源委员会已发布28份评估报告。这些报告表明，政府、企业和社会各界有机会共同努力，制定并实施最终实现可持续资源管理的政策，包括通过更好的规划、技术创新、以及战略性激励措施和投资。

本报告是在大力提倡资源效率是可持续发展的核心要素的背景下，应七国集团领导人要求，由国际资源委员会编写。它对于材料利用效率对温室气体减排战略的贡献进行了严格评估。更具体地说，它评估了在住宅建筑和轻型车辆方面应用材料利用效率策略所带来的温室气体减排潜力，并审查了有关这些策略的政策。

委员会认为，到2050年，通过更集约地使用住房、设计节省材料的建筑、改进建筑材料的回收利用及其他策略，七国集团和中国住宅建筑材料循环所产生的温室气体排放量至少可以减少80%。

在乘用车的生产、使用和处置方面，也可以大幅减少温室气体排放量。国际资源委员会建模显示，到2050年，通过顺风车、汽车共享以及改用适宜出行的较小型汽车等措施，七国集团国家乘用车材料循环所产生的温室气体排放量可以减少多达70%，中国和印度可以减少60%。

提高材料利用效率是实现《巴黎协定》之目标的关键契机。材料对现代社会至关重要，但材料生产是温室气体的一大来源。如今，材料生产所产生的排放量与农业、林业和土地利用变化的排放量总和不相上下，但是气候政策界对这方面的关注却少之又少。正如国际资源委员会的估计数所示，要减少全球碳足迹，应该从现在开始不仅仅关注能源效率。

Job No: DTI/2269/PA

ISBN: 978-92-807-3771-4

#### 更多信息请联系：

Secretariat of the International Resource Panel (IRP)  
Economy Division

United Nations Environment Programme

1 rue Miollis - Building VII - 75015 Paris, France

Tel: +33 1 44 37 14 50 - Fax: +33 1 44 37 14 74

电子邮件: [resourcepanel@unep.org](mailto:resourcepanel@unep.org)

网址: [www.internationalresourcepanel.org](http://www.internationalresourcepanel.org)