

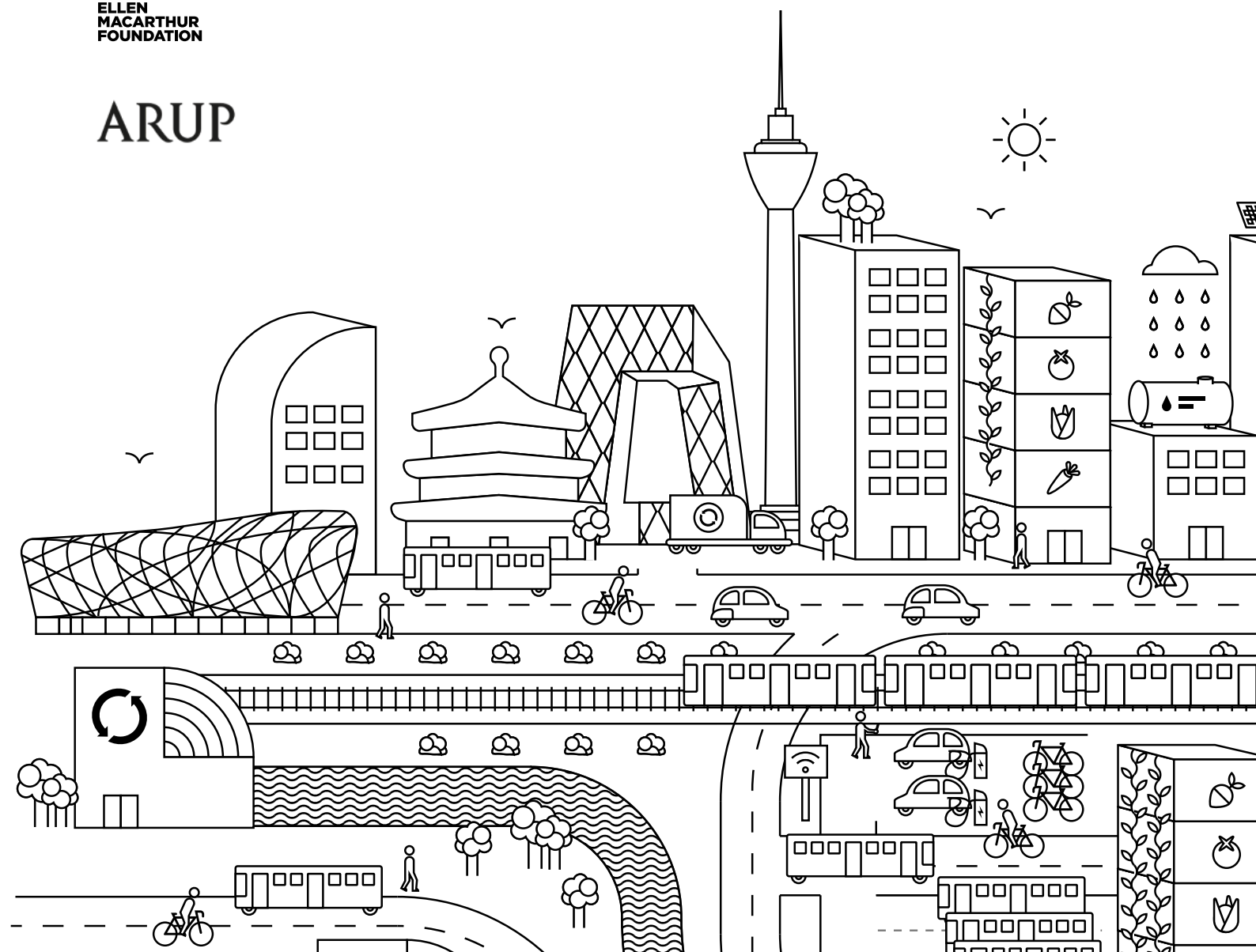
循环经济

—— 中国城市与工业的创新机遇



ELLEN
MACARTHUR
FOUNDATION

ARUP



前言

古往今来，中国城市一直是诸多突破性技术和城市规划理念的发轫之地。例如，北京最初的方正布局正是遵循了公元前 5 世纪《周礼·考工记》中的城市规划理念。书中对城市的大小、朝向及形制都做出了规范，以期从设计上直观地体现天地之时气宇宙之奥妙。

如今，中国城市再次跻身于世界最大城市之列，并且在全球经济中发挥着主导作用。在固有印象里，这些大城市是充满活力、欣欣向荣的经济中心，但同时也面临着工业发展带来的巨大环境挑战。毋庸置疑，大城市的这些特征仍旧鲜明，本报告在此基础上提出了一系列系统的解决方案。报告也发现，中国正重拾其创新中心的地位。例如，在中国，移动支付的规模比美国大一个数量级，预计到 2020 年，共享经济将占国内生产总值的 10% 以上。

本报告提供了了解未来发展目标并采取相应行动的途径。此外，报告还构建了一个框架，以便在广义的循环经济理念中继续发扬中国的创新精神和系统性思维。循环经济可以帮助中国城市重新定义经济的价值增长点，且让城市更加宜居。在马可·波罗的描述中，13 世纪的北京是“如此恢弘、如此富饶、如此美丽，世上再也没有人能够设计出比它更好的城市了”。21 世纪的中国城市可以在秉承传统的基础上，采用循环经济原则，从而实现一个更加辉煌的未来。

艾伦·麦克阿瑟女爵

艾伦·麦克阿瑟基金会
创始人

华强森

麦肯锡咨询公司
全球资深董事合伙人

卢卡斯·阿松桑

联合国贸易和发展会议
贸易、环境、气候变化
与可持续发展部主管

郭家耀

奥雅纳工程顾问公司
东亚区总裁

赠言

武汉是华中地区的重要城市，承载了 3500 年悠久历史。武汉不仅是钢铁、汽车、纺织等传统工业基地，还是电子、能源服务、生物经济等新兴产业的发展重地。循环经济响应了可持续发展的战略思想，既是一条实现经济效益与社会效益双赢的新路子，也是解决资源匮乏的重要途径。循环经济是生态文明建设的重要因素，我们还需从科技创新的角度推进其发展。

田雁，资源节约与环境保护处处长，武汉市发展和改革委员会

循环经济是实现生态文明社会建设的重要途径。推进循环经济是杭州市“十三五”期间的重要发展目标。杭州市将着力深化循环经济试点，提高资源综合利用率，全面提高循环经济发展水平。

来群英，资源节约和环境保护处处长，杭州市发展和改革委员会

C40 研究报告《期限 2020：城市如何兑现承诺》计算得出，若要完成《巴黎协定》的气候目标，全球各个特大城市必须立即行动起来，在 2020 年达到碳排放峰值，并在 2030 年之前将人均碳排放当量减半，由当前的 5 吨/人减至 3 吨/人。实现这一目标需要全球所有城市及其公民重新考虑如何尽最大可能地发掘各种资源的潜力，最大限度地减少污染和浪费。在不断发展的过程中，中国城市也迎来了巨大的机遇，即在循环经济的基础上建立一个繁荣、可持续的发展新模式。正如报告指出，这些城市如果取得成功，将会对落实《巴黎协定》的各项目标、防止气候发生灾难性变化做出巨大贡献。

马克·瓦特，执行董事，C40 城市气候领导联盟

过去几十年来，中国经济发展迅速，国内生产总值增速达到两位数，但与此同时，高速增长也带来了一些后果。生态环境破坏、食品安全隐患、城市基建压力仅是其中一二，循环经济思维和规划能够解决凡此种种系统性挑战，给中国带来更具可持续性的高价值增长。

查尔斯·海耶斯，亚洲区执行董事兼合伙人，艾迪欧咨询公司（IDEO）

致谢

项目资助方



知识合作伙伴

ARUP

McKinsey&Company

机构合作伙伴

联合国贸易和发展会议 (UNCTAD)

项目团队

艾伦·麦克阿瑟基金会

Andrew Morlet, 执行总监

Jocelyn Blériot, 执行主任, 编辑与公共事务主管

Stephanie Hubold, 智库合作伙伴主管领导

Dr. Eva Barteková, 中国项目经理

Łukasz Holec, 项目经理

Dr. Xiaoshuai Liu, 高级顾问

周婕, 项目研究员

于杨今奇, 项目研究员

Soukeyna Gueye, 项目研究员

Annika Wulkop, 实习生

奥雅纳工程顾问公司

Carol Lemmens, 董事

刘伟棠, 董事

黄维杰, 副董事, 总工程师

庄宏曦, 副董事

谢文思, 高级顾问

卢希岚, 助理顾问

麦肯锡咨询公司

Jonathan Woetzel, 全球资深董事合伙人

吕文博, 全球董事合伙人

Eric Hannon, 全球董事合伙人

Helga Vanthournout, 资深专家

钱欣欣, 项目经理

史思怡, 项目经理

陆昕清, 咨询顾问

汤嘉诚, 咨询顾问

Alessa Perotti, 咨询顾问

Dennis Fan, 咨询顾问

杨宇, 行业专家

联合国贸易和发展会议

Guillermo Valles, 前任总监, 物资、服务与商品国际贸易部

Lucas Assunção, 主管, 贸易、环境、气候变化与可持续发展部

Bonapas Onguglo, 主管, 贸易分析部

Henrique Pacini, 经济事务官员

Riddhima Yadav, 实习生

朱晓鸥, 实习生

专家委员会

Dr. Jon Creyts, 常务董事, 落基山研究所

段红霞, 高级顾问, 国际可持续发展研究院

耿涌, 院长, 上海交通大学环境科学与工程学院

刘宇, 教授, 中国科学院科技战略咨询研究院

Mushtaq Ahmed Memon - Ph.D, 博士, 资源能效区域协调官, 联合国环境署亚太办公室

James Pennington, 世界经济论坛

钱京京, 中国区主任, 自然资源保护协会

石磊, 清华大学副教授, 国家环境保护生态工业重点实验室副主任

Zachary Tofias, 城市规划与发展部总监, C40 城市气候领导联盟

温宗国, 主任, 清华大学中国循环经济产业研究中心

吴玉锋, 教授, 北京工业大学循环经济研究院副院长

徐明, 副教授, 密西根大学环境与可持续性学院及土木与环境工程系

赵凯, 副会长兼秘书长, 中国循环经济协会

诸大建, 主任, 同济大学可持续发展和新型城镇化智库

贡献者

安周, “清洁始于设计”项目技术主任, 自然资源保护协会

Samantha Anderson, 联合国开发计划署驻华代表处

Neal Carlin, 中国区气候变化主管, 英国驻华大使馆

陈安, 项目咨询部项目经理, 天津泰达低碳经济促进中心

周柔, 编制物料经理, H&M

Djavan De Clercq, 在读博士生, 清华大学

Sander Defruyt, 项目经理, 艾伦·麦克阿瑟基金会

Nolwenn Foray, 研究分析师, 艾伦·麦克阿瑟基金会

James Full, 国际合作部副主任, 友成企业家扶贫基金会

顾明明, 常务副秘书长, 废旧纺织品综合利用产业技术创新战略联盟

胡可华, 社会责任办公室副主任, 中国纺织工业联合会

Keith James, 纺织品交付经理, 废弃资源与行动项目

Nick Jeffries, 项目经理, 艾伦·麦克阿瑟基金会

江玉林, 副主任, 交通运输部科学研究院学术委员会

Stephen L. Kang, 产品经理, 爱勒康

Doris Ke, 市场主管, 衣二三

来群英, 资源节约和环境保护处处长, 杭州市发展和改革委员会

李子健, 国际项目负责人, 清华大学中国循环经济产业研究中心

李婷, 公关部, 摩拜单车

李繁, 市场部总经理, 江苏洁净环境科技有限公司

林慧, 总经理办公室主任, 浙江佳人新材料有限公司

蔺梓馨, 项目分析师, 自然资源保护协会

刘宗巍，副研究员，博士，清华大学汽车产业与技术战略研究院

刘丽丽，主任特别助理，巴塞尔公约亚太区域中心

刘岱宗，中国交通项目主任，中国可持续城市项目主任，EMBARQ 项目主任，世界资源研究所

马义和，董事长，盈创建筑科技（上海）有限公司

马金津，国际合作部副主任，中国循环经济协会

Dawn McGregor，纺织品部负责人，中国水风险

Pailak Mzikian，商业发展与创新主管，SOEX 集团

Craig Morley，气候变化与能源首席领事，英国驻广州总领事馆

William Morris，研究经理，Collective Responsibility

潘支明，资深建筑能效专家，自然资源保护协会

任翔宇，生态工程师，上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

石言强，总经理助理，乐祺纺织

寿国辉，亚太区环境事务负责人，苹果公司

Dr Michiel De Smet，项目经理，艾伦·麦克阿瑟基金会

Hugo Spowers，企业设计师，Riversimple 新能源汽车公司

田雁，资源节约与环境保护处处长，武汉市发展和改革委员会

王云生，副总经理，浙江佳人新材料有限公司

程迈，副总领事，英国驻武汉总领事馆

谢鹏飞，东亚中区区域副总监，C40 城市气候领导联盟

徐俊杰，高级顾问，中国城市科学研究会智慧城市联合实验室

杨膺鸿，董事长，上海缘源实业有限公司

杨钊，亚太区高级经理，全球产品合规及环境事务部，戴尔（中国）有限公司

余新健，总工程师，浙江佳人新材料有限公司

于可利，电子产品回收利用分会秘书长，中国物资再生协会

曾现来，副研究员，清华大学

朱安琪，国际合作事业部副部长，天津泰达低碳经济促进中心

编辑团队

Ian Banks，编辑主管，艾伦·麦克阿瑟基金会

Lena Gravis，编辑，艾伦·麦克阿瑟基金会

Mimi Quaife，审校，艾伦·麦克阿瑟基金会

Sarah Churchill-Slough，设计与品牌经理，艾伦·麦克阿瑟基金会

Rory Waldegrave，见习设计，艾伦·麦克阿瑟基金会

Joanna de Vries，编辑，Conker House 出版社

Emma Parkin，编辑，Conker House 出版社

执行摘要

多年的经济快速增长让中国成为了全球最大的产品制造国与出口国，以及全球最活跃的数字化经济体之一。作为一个中高收入国家，中国有着全球最多的中产阶级。然而，经济高速发展也让中国的不可再生资源压力与日俱增，环境与社会面临一系列挑战，在急速的城市化进程下，城市承受的压力尤为明显。目前，中国有 57% 的人口居住在城市地区（到 2030 年，预计将达到 67%），贡献了 82% 的经济产出。

因此，城市将成为中国政府统筹协调经济发展与环境治理最重要的舞台。过去 15 年里，中国政府一直是循环经济政策的领跑者，聚焦污染治理、资源提效，以及工业生态建设等问题。2017 年，中国又颁布新政，以产品再设计与共享经济等理念为核心，强调循环经济模式下的创新与价值创造机遇，尤其在城市地区。按照艾伦·麦克阿瑟基金会（Ellen MacArthur Foundation，后文简称“基金会”）的定义，循环经济是一种具备修复性和再生性的经济模式。在该模式下，“废物垃圾”这一概念不复存在，创造经济价值的新机遇层出不穷，社会与环境效益也会随之而来。

本报告试图阐明，中国城市要实现上述可能性，不妨在以下五大关键领域系统性地落实循环经济：三大城市系统——建成环境、移动交通与城市给养；两大工业系统——纺织行业与电子工业。基金会分析，在中国各大城市落实循环经济可大幅降低商品与服务的总体通达成本（TCA），与中国现行发展路径相比，到 2030 年，可为企业与家庭节省约 32 万亿元人民币的高质量产品与服务支出（到 2040 年节省约 70 万亿元人民币），分别占到该年度预测 GDP 的 14% 和 16%，并且让更多人享受到中产阶级生活方式。

循环经济模式还有望缓解生活方式带来的环境污染问题。如果能在上述五大关键领域落实循环经济，与现行发展路径相比，可以带来各种社会环境效益：大气环境和水环境质量提升，交通拥堵减缓，出行安全系数提升，公众健康有保障。基金会的研究显示，中国城市温室气体排放量将显著降低（到 2030 年将下降 11%，到 2040 年将下降 23%），可吸入颗粒物 PM2.5 也将明显减少（到 2030 年将减少 10%，到 2040 年将减少 50%），交通拥堵也能得到缓解（到 2030 年将下降 36%，到 2040 年将下降 47%）。能源与材料消耗的减少，交通系统能效的提高，将减缓中国对原材料进口的依赖。纵观这五大关键领域，发展“使用”型商业模式（而非传统的产品销售模式）可最大程度地降低成本。该商业模式通过数字技术提升资产利用率，减少中间交易和所有权成本，最终实现价值保留的最大化。

中国的发展现状有利于循环经济的发展，比如大量投资转向可再生能源、数字技术快速发展，以及资产共享平台蓬勃增长等。然而，经济、市场、监管、社会旧习等因素都可能制约循环经济的全面落实。中国要想从全面经济转型中受益，可进一步理解经济机遇的规模，促进政府社会各部门之间的协同联动，价值链各环节、公私领域之间也可架起沟通合作的桥梁。近年来，城市试点项目与创业活动如雨后春笋，为上述目标的有效落实提供了丰富的参考案例。本报告对上述系统性转型，以及这些转型将如何推动中国的城市与工业创新进行了详尽分析。

中国循环城市愿景

在未来数字化的循环城市里，中国居民可享受到高性价比的居住空间、交通、食品和日用品（如服装和电子产品）。此外，高生活水平将不再需要以环境与社会为代价，未来的城市环境将更加清洁和健康。

建成环境

- 未来建筑将采用更加耐用的模块化设计，使用后可拆卸，以大幅提升资源利用率，住户的选择更灵活，还能享受共享型解决方案。
- 未来居住与办公场所的运营和使用成本也将下降。这些空间不仅将能效更高，而且还可以远程控制，其使用寿命内的环境污染也会降低。
- 在建成环境中，资产共享已在数字技术的帮助下实现。

移动交通

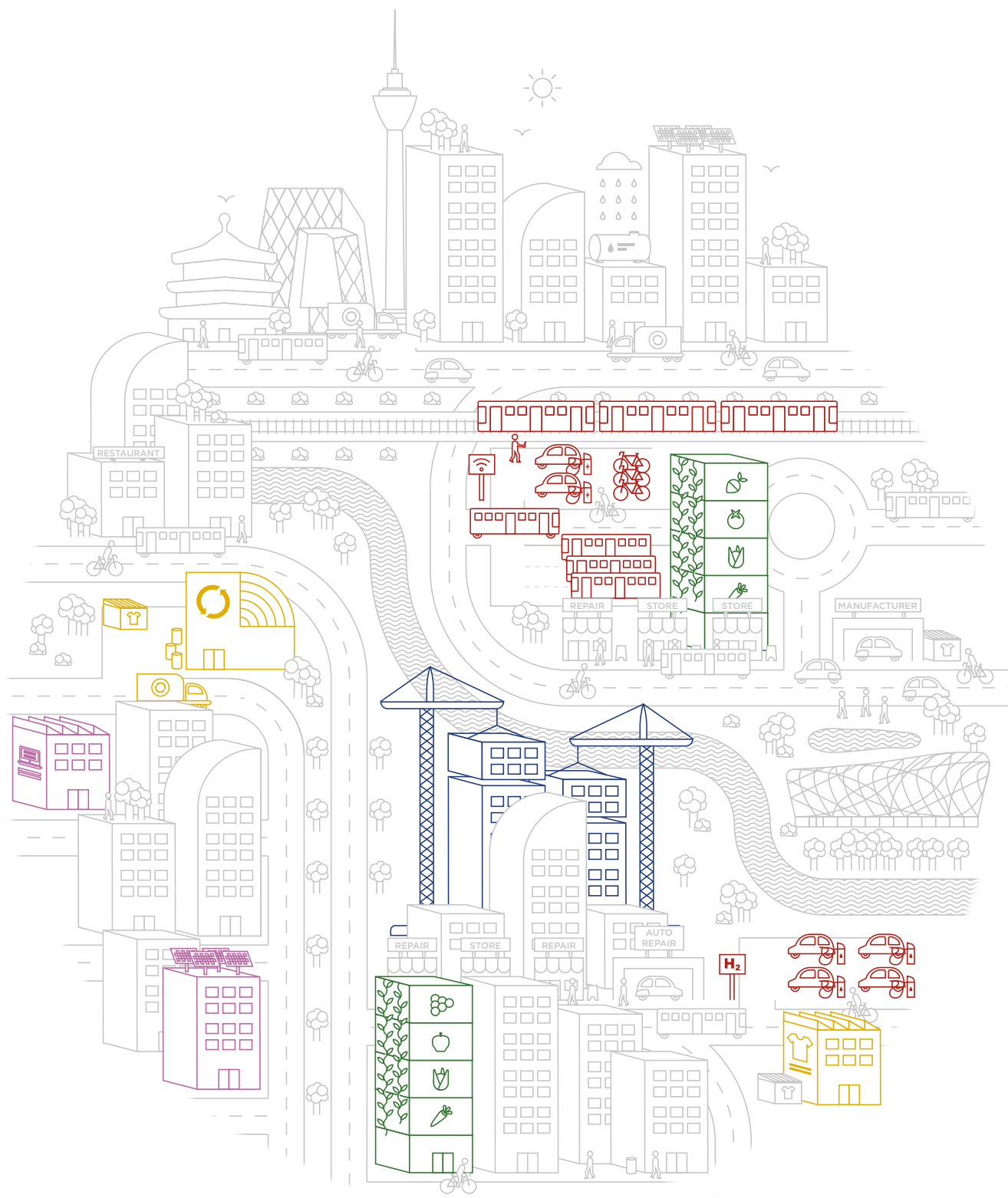
- 共享型多元数字化集成系统将成为城市交通的核心，车辆将实现零排放，并由再生零部件与可回收材料制成。
- 居民出行将更加便利，成本更低，且无需忍受交通拥堵和空气污染。
- 共享出行平台如今在中国城市已遍地开花。

城市给养

- 城市食物系统将利用数字化解决方案，减少价值链各环节上的浪费和营养损失，比如发展城市农业，让营养物质回归土地。
- 在该再生系统中，中国城市居民可更便捷地获取更多营养健康的无公害食品。
- 数字化农业模式和在线平台能够更好地预测市场需求，实现农作物的按需生产。

纺织行业 和 电子工业

- 日用消费品（比如纺织服装与电子产品）的设计、生产与使用将集中在同一系统，以延长产品及其零部件的使用年限，同时实现材料的回收再利用。
- 在保持便利性的同时，城市家庭的产品获取渠道将更加多元，成本更低。
- 如今已有企业可利用化学解聚，将废弃纺织品变废为宝，使再生环保丝与原生丝具有相同品质。



ELLEN
MACARTHUR
FOUNDATION

循环经济发展机遇

发现中国及其城市循环经济发展的机遇



建成环境

- 延长建筑使用寿命
- 建筑流程工业化
- 共享空间提高资产利用率
- “绿色建筑”提高能效
- “智慧建筑”提高资产利用效率
- 扩大建筑与拆迁废弃物再利用与再回收利用率



移动交通

- 促进多元共享交通系统
- 扩大再制造产业规模，提升可回收再利用材料的利用率
- 设计符合循环交通系统的机动车
- 扩大零排放规模
- 鼓励远程灵活办公



城市给养

- 利用城市食品废弃物与废水修复土壤
- 扩大有效农业供应链商业模式范围
- 优化食品储存、运输和加工
- 从设计源头消除零售系统中的食物损失和浪费
- 优化健康与环境友好型食品消费模式



纺织行业

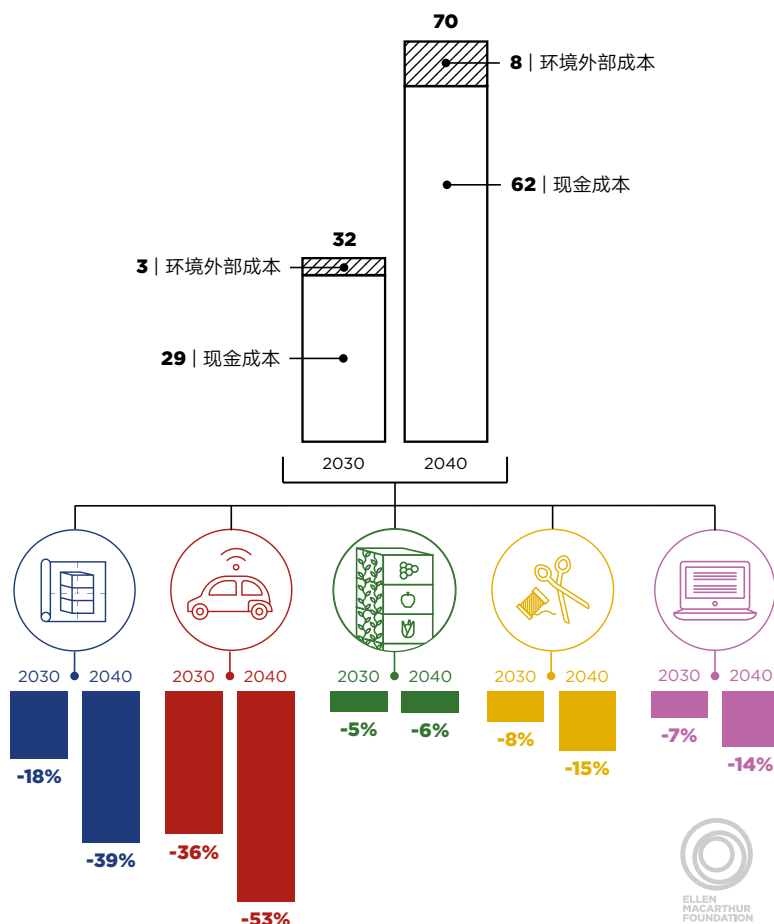
- 推崇有益于提高耐用纺织品使用率的模式
- 扩大回收再利用率
- 引入能效提升措施



电子工业

- 通过循环利用，捕捉电子废弃物价值
- 产品的再利用翻新及零部件再制造
- 鼓励“产品即服务”模式

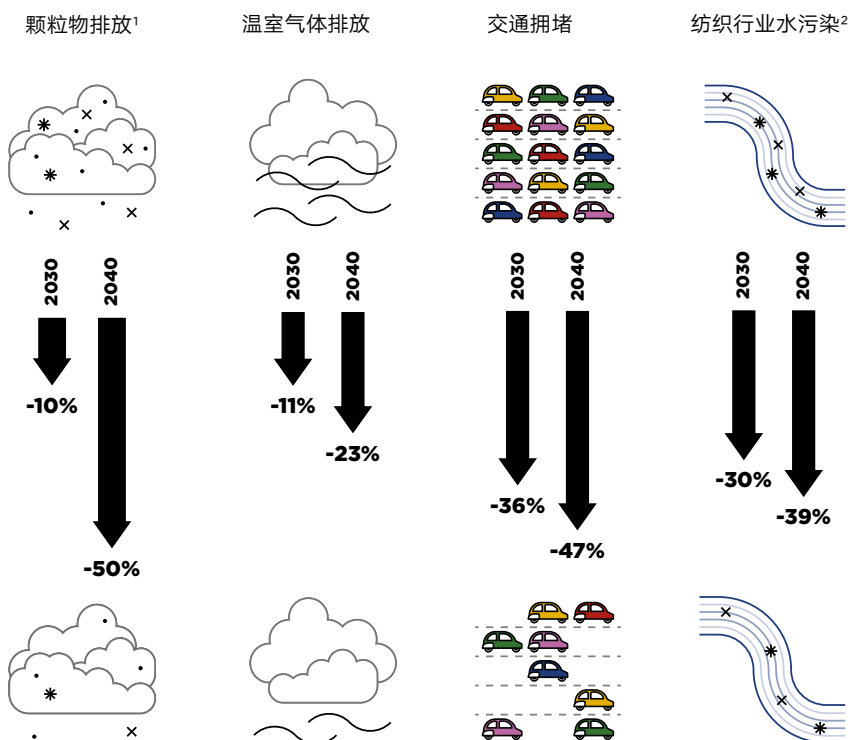
循环经济效益



在中国及其城市循环经济发展的五大重点领域，降低了所需产品与服务的通达成本

中国城市总经济效益
(人民币：万亿元)

五大重点领域
成本缩减 (%)



降低负面外部成本

降低率 (%)

* 此处提及的降低率是基于循环经济路径与现有发展路径的比较

1 主要指 PM2.5 在五大重点领域的排放量

2 在此计算为污水的处理成本



报告概览



关于本报告

本报告讨论的循环经济发展机遇主要覆盖三大城市系统（建成环境、移动交通和城市给养）及两大工业领域（纺织行业和电子工业）。之所以选择这些领域，是出于它们在国民经济中的重要地位及巨大的循环发展潜力¹。总体来看，2015年这五大领域在中国经济总增加值中的占比已超过50%。此外，我们还根据循环经济原则，考察了城市与工业系统中水资源与塑料产品流转带来的环境和社会影响。艾伦·麦克阿瑟基金会团队对中国城市进行了相关性和适用性评估，找到了一系列循环经济发展机遇。报告还包含了艾伦·麦克阿瑟基金会及其合作伙伴在过去所做的定量与定性分析。

通过对比现有发展路径与循环经济模式两种情境在2030年与2040年的社会成本，我们对循环经济的降本潜力进行了详细的定量分析。分析的相关假设来自大量的案头研究和对关键利益相关方的采访，包括40多位来自国内和跨国企业、高校、政府组织和非政府组织（NGO）的地方与国际行业专家。方法论与研究假设详见技术附录。

报告概览

中国推行循环经济政策恰逢其时——城市为最佳出发点

在连续数十年的高速增长后，中国经济进入“新常态”。昔日的世界工厂成为了今日的创新与先进技术中心。在经济转型带来的机遇与挑战面前，中国不妨抓住这个好时机，重新思考未来的经济发展规划。如今，第四次工业革命已经到来ⁱ，科学技术有望全面融入实体、数字和生物等各个领域。与此同时，全球低碳经济转型的步伐也在逐步加快。面对这样的变化与挑战，中国的选择显得尤为重要。¹

中国处于经济发展的关键时期

自 1978 年改革开放以来，中国已成为全球第一制造大国和第一出口国，并逐渐从低收入国家发展至中高收入国家。数亿中国人民成功脱贫，中产阶级人口总数也大幅增长。随着财富的不断积累，人们对高质量产品与休闲活动的需求发生了变化。此外，由于人口结构的变化、外商直接投资的增加，以及政策扶植力度的加大，中国的经济结构开始向高附加值制造业与服务业转型。

经济发展与城市化互为动力

快速的城市化进程是经济改革的重要一环，是推动和维持中国发展的关键力量，也是过去 30 年中国 GDP 增长的重要动力。城市凭借丰富的经济机遇持续吸引着大量农村劳动力进城务工²，但大城市的吸引力慢慢减退，二三线城市逐渐成为他们的目标就业地。这也说明，中国的城市经济

发展开始趋向均态化³。2016 年，中国的城市化水平为 57%⁴，随着越来越多的城市家庭踏入中产阶级，城市预计将成为拉动内需的主要力量。麦肯锡研究预测，到 2022 年约有 76% 的中国城市家庭跻身中产阶级，人数之多，相当于世界第三人口大国⁵。在意识到了城市化的巨大经济推动力后，中国正向高效服务型经济转型，“十三五”规划纲要草案中提出，到 2020 年我国常住人口城镇化率达到 60%。

中国已经朝着循环经济迈出了积极步伐

作为全球制造业中心，中国享受了多年快速增长与转型，面对工业化和城市化带来的种种环境和社会挑战，中国的决策者们几十年前就已开始探索绿色发展的道路⁶。上世纪 90 年代就有中国学者提出，循环经济是中国经济可持续发展的全新发展模式。自那时起，循环经济理念就是国家经济发展战略的重要组成部分，并在过去的三个“五年规划”中不断发展。

2008 年，《中华人民共和国循环经济促进法》的颁布和实施（后文简称《促进法》），标志着中国成为了探索循环经济立法的领跑者⁷。《促进法》主要关注的领域有城市废弃物管理、工业副产品再利用，以及生产流程减排等产业末端管理⁸。《循环发展引领行动》（2017）则尝试系统性地解决造成环境和社会外部性的根本原因，并迈出了重要一步⁹。这部行动纲领强调利用新型数字解决方案推动循环经济的发展，并强调通过在设计阶段融入循环经济理念和新型循环经济商业模式广泛地

i “第四次工业革命”这一概念由世界经济论坛创始人兼执行主席克劳斯·施瓦布（Klaus Schwab）教授提出。第四次工业革命涉及一系列新型技术，以实体、数字和生物世界，对所有学科、经济体和行业都将产生影响。详见 K·施瓦布，《第四次工业革命》（2017 年 1 月 3 日），<https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab>。

影响价值链。

虽然现有循环经济立法，环境改革措施及相关政策，与宏观经济发展都在朝同一目标迈进，它们之间的协同联动仍有待改善：使不同领域和价值链各环节的目标协调统一还有赖于相关政策在同一框架下的相辅相承。此外，政府部门、企业和民间组织可相互合作，促进循环经济潜力的全面发挥。

城市是落实循环经济发展潜力的最佳场所

城市在应对中国经济发展带来的环境挑战方面潜力巨大，也是开展循环经济商业活动的沃土。因此，城市可以成为实现循环经济机遇的首选场所。

城市是落实国家政策最有效的地方。中国的地、市级政府在城市规划、交通系统与城市基础设施设计、地方产业开发、税收及地方劳动力市场等方面有着直接影响力，能够发挥积极作用并将循环经济落实到各项城市功能与政策中。

城市是创新循环经济商业活动的发展沃土。中国的城市不仅是人才¹⁰和消费者的聚集地，也是高端技术的主要市场及物流中心，这让城市成为大规模推广创新循环经济的温床。近年来，数字化产业欣欣向荣，让共享经济在中国取得了长足发展。预计到2020年，该产业将占GDP的10%以上¹¹。如今中国已经成为全球最大的电子商务市场，其线上交易量占全球电子商务交易总量的40%以上，移动支付交易总额更是达到美国同业水平的11倍¹²。

城市是开发基础设施的地方。在持续快速的城市化进程中，中国可从一开始便在城市落实循环经济，避免落入发达国家“开发—制造—废弃”的发

展路径陷阱。中国正计划在未来20年新建四百亿平方米建筑，需要新建2万到5万座摩天大厦。到2025年，计划新建的城市空间将相当于10个纽约市¹³。若能在开发阶段便采纳循环经济模式，中国城市在设计环节就能进入修复性、再生性发展，减少商品与服务的获取成本，提高资产利用率。

在中国城市地区系统推广循环经济模式益处良多

循环经济转型将为中国带来巨大的经济、环境与社会效益。针对中国城市循环经济发展机遇，报告总结了以下关键洞见：

循环经济模式能够降低物品和服务的总体通达成本（TCA）

向循环经济成功转型，中国城市居民的生活质量将大大提高，同时这种高质量生活方式带来的环境污染也将大幅度减少。此外，削减关键商品与服务成本有多种方式，比如提供“使用而非拥有”的新型商业模式，或用高质量的二手材料代替初级材料，或用数字技术解决供应链中的结构性浪费等。

与现有发展路径相比，到2030年和2040年，上述循环经济机遇可分别为中国节约32万亿元人民币和70万亿元人民币的经济价值，大致分别相当于2030年和2040年中国预计GDP的14%和16%ⁱⁱ。这些效益将主要来自总体通达成本的降低。总体通达成本这一概念与总所有权成本一脉相承，但“通达”（可理解为获取/使用）不意味着拥有相关商品和资产的所有权。总体通达成本（Total Cost of Access，以下简称TCA）由两部分组成：一是获得商品与服务的现金成本支出，

ii 2030年的效益包括29万亿元人民币（约4.7万亿美元）的现金支出成本和3万亿元人民币（约0.5万亿美元）的外部效益；2040年包括62万亿元人民币（约10万亿美元）现金支出，和8万亿元人民币（约1.3万亿美元）外部效益。

二是商品与服务生产、使用和用后处置过程中的负面环境社会成本。TCA 越低，在循环经济模式下获取一定量商品与服务的成本也会越低ⁱⁱⁱ。

建成环境和移动交通对降低成本贡献最大，因为这两个系统的循环经济发展机遇遍布城市各个角

落。与之相比，纺织行业和电子工业的供应链则往往集中在城市外围地区。因此，本报告只对上述领域价值链的部分环节进行了研究，没有将电子工业的生产环节、纺织行业的原料采购环节，以及城市给养系统的乡村农业部门纳入考量^{iv}。

投资循环经济机遇

投资要求会如何影响对循环经济发展机遇的决策？报告首先提出的一组循环举措基本没有投资需求，因此报告中提及的效益可有效反映执行成本。此外，这些举措还包括为改变消费者行为做出的相关努力。此外，一些举措有适度 and 明确的投资要求，比如许多致力于优化产品与材料末期处理的工作。本报告分析发现，效益最大的领域往往也是需要投资最多的领域，即移动交通和建成环境。在做出任何投资决策前，投资人都必须先细致考察目标机遇，然后再决定是否进行下一步的复杂评估环节。为了避免混淆这些举措会给单一领域和跨领域带来的效益，本报告的分析未包括所需的增量资本支出。

循环经济将同时带来环境、社会与资源效益

循环经济发展路径能提升城市生活质量并降低其负面影响。预计到 2030 年和 2040 年：

- 可吸入颗粒物 PM_{2.5}^v 的排放量将分别下降 10% 和 50%。
- 建筑施工建设过程中的可吸入颗粒物 PM₁₀^{vi} 的排放将分别下降 18% 和 72%。
- 交通系统的氮氧化物 (NO_x) 排放是威胁公众健康和形成酸雨的主要物质，这类污染将分别下降 9% 和 19%。
- 交通拥堵及相关的时间与经济损失将分别下降 36% 和 47%。

- 交通事故及伤亡人数（包括相关医疗成本）将分别下降 20% 和 28%^{vii}。
- 纺织行业污染排放的处理成本将分别下降 30% 和 39%。

与现阶段发展路径相比，循环经济模式还会带动温室气体排放在 2030 年和 2040 年分别下降 11% 和 23%。这意味着，循环经济能够成为帮助中国履行其巴黎气候承诺及其他温室气体减排承诺的有效机制。此外，循环经济带来的各种环境与社会效益将有助于中国尽早实现联合国的可持续发展目标。中国若能拿出一个宏大的循环经济系统规划，则有可能在 20 国集团、世界贸易组织和联合国等国际论坛中发挥领导力量，从而成为其他国家、组织和机构学习的典范。

iii 总体通达成本由现金成本和外部效用成本两部分组成。现金成本不包括政府补贴和增量资本支出（即循环经济转型所需额外投资）。外部效用成本代表的是经济成本，比如温室气体和悬浮颗粒物排放所导致的相关收入损失和健康医疗支出。详细内容参见技术附录。

iv 根据报告估算，导致城市给养领域的循环经济收益相对较小的另外一个原因在于饮食结构变化等行为习惯的改变没有在研究模型中得到体现。

v 直径小于等于 2.5 微米的悬浮颗粒物一般都由固体或液体燃料燃烧产生，主要来源为电厂、家用采暖设备和机动车引擎等。

vi 直径为 10 微米的微粒。

vii 成本在 2030 年到 2040 年间保持不变。

落实循环经济模式还将降低中国对包括化石燃料在内的不可再生资源的消费。取决于具体关注领域，到 2030 年和 2040 年，中国不可再生资源消费降幅将大约分别在 3%-49% 之间和 8%-71% 之间。总体来说，循环经济模式将极大地降低中国对原材料进口的依赖。

大规模城市创新机遇将带来更多新领域的竞争优势

随着中国从世界工厂转变为创新中心，中国的中产阶级也在不断壮大，其财富积累的途径将更多集中在服务行业和高附加值制造业。中国的城市坐拥大量优秀人才，是创新商业模式落地生长的沃土。在城市中心，生产者与消费者比邻而居，使得逆向物流、材料收集基础设施和共享商业模式都变得更加高效。此外，各种资源的体量和集中也为经济的规模化发展提供了可能。加快循环经济转型将给中国城市带来大量机遇，使其有望在某些次级领域走在全球前列，续写中国在电动车领域的辉煌成就。从更加宏观的角度来看，这些城市未来以“循环模式”快速应对挑战的丰富经验，将为全球城市发展提供灵感。

利用数字平台推动共享扩大资产通达渠道

虽然所有的循环经济发展机遇都能带来效益，但是在城市层面影响最大的却是“使用而非拥有”的商业模式。多元共享交通、共享居住和工作空间，以及纺织品的“使用而非拥有”新模式将在 2030 年和 2040 年分别削减 16 万亿元人民币和 38 万亿元人民币的 TCA。数字平台技术推动了共享经济的发展，提高了资产利用率，不仅创造了价值，也满足了人们在生活中和工作对灵活性的更高要

求。此外，循环经济还帮助我们跨越与所有权相关的管理与财政壁垒。

在 2030 年和 2040 年的交通系统中，数字化共享与多元交通模式在 TCA 削减上的贡献率将分别为 89% 和 80%。便捷的公共交通和出行共享平台可提高出行工具的利用率，加上电动、低耗材出行工具，可降低未来车辆的单位里程运营成本。共享服务将为人们提供多样的出行选择，再加上自动驾驶汽车等新技术的入局，未来人们可随意按需选择出行模式，或单一，或组合。

数字化多元共享交通系统也是减少二氧化碳排放的重要推力之一。如抓住这个机会，到 2030 年和 2040 年，中国城市交通系统的二氧化碳排放总量预计将分别减少 22% 和 37%。出行服务和共享平台可使交通系统更加多元，在这个多元交通系统中，公共交通将成为更多人出行的首选，或将有助于缓解交通拥堵。

如何实现这些城市中的机遇

城市所处发展阶段与产业比重将决定其循环经济的优先发展项目

虽然在循环经济发展机遇前各城市机遇均等，但城市决策者可根据城市自身特点来选择优先发展的领域。本报告根据各城市特点与循环经济发展的重合点制定了一个框架，并按其对城市进行了分类。分析显示，城市所处的发展阶段（按照城市规模、GDP 增长速率和人口划分）和其行业重点影响了其循环经济发展的优先项目。

比如，发达大城市的优势在于拥有更多的中产阶级消费者，他们：1) 对高品质食品的需求可带动

城市和城郊^{viii}有机农业的发展；2) 对数字技术的广泛应用为数字化共享及按次付费机制的发展创造了条件；3) 也可为扩大二手衣物和电子产品的回收利用提供充足资源储备。欠发达城市则有很大的机会一步到位，在设计环节便引入循环经济原则，实现跨越式发展。比如在建设初期就将零排放、共享与多元交通系统纳入设计规划，将公共交通导向型设计、自行车道和电动车充电桩融为一体。

从产业重心来看，服务产业发达的城市可推动某些关键技术的创新发展，以此带来循环经济机遇，摆脱经济发展所带来的负面环境影响。比如利用大数据为共享出行提供信息支持，或利用数字技术来追溯材料来源。另一方面，以制造业为发展重心的城市则可提高产品及原材料的利用率或重复利用率，从而实现产业升级，降低产业基地面临的风险。

虽然落实循环经济模式存在困难， 但政策制定者可知往鉴今从而抓住机遇

循环经济转型效益可观，但具体落实势必道阻且长。本报告在《落实循环经济：政策制定者指南》中的框架基础上¹⁴，考察了四类主要障碍，即经济障碍、市场失灵、监管失效和社会因素。为克服这些障碍，本报告还提出了六大干预手段，供国家、地区和城市各级政策制定者选择，即：监管框架、财政框架、政府采购与基础设施投资、商业支持机制、协作平台，以及教育、信息和意识培养。

上述障碍的显著性在报告提到的三大城市系统和两大行业领域中各不相同。基于对五大领域业内专家的采访以及深入的研究，我们对主要的障碍进行了初步的优先性分析，并总结了现阶段中国在相应领域的政策性应对措施，同时列举了其他国家采

取的类似应对手段。报告发现的主要障碍有：

缺乏融资渠道，偿还期限不明。这些因素不仅制约了3D打印建筑的发展，也阻碍了有机材料、纺织材料和电子产品等行业循环利用机制的形成。

针对该问题，中国政府出台了各类应对措施，比如：

- PPP：中国政府一直在建立相应的信息平台 and 监管条例，用以推广政府和社会资本合作（Public Private Partnerships，简称PPP）¹⁵。中国的PPP服务平台会提供项目数据库、政策信息、成功案例等一系列信息来吸引投资者¹⁶。
- 政府绿色采购：北京市成功通过该机制为不少建筑的预制构件提供了支持¹⁷；山东省政府也尝试通过退税和补贴等优惠政策支持装配式建筑企业¹⁸。
- 为提高能效，中国又出台了一项非常重要的机制——能源服务企业（Energy Service Companies，简称ESCO），又叫能源管理企业（Energy Management Companies，简称EMCo）。在中国，这些企业采用“全面服务”模式，能够明确、设计、资助和监控节能项目的落实，并从节约的能源收益中提成。随着此类企业的发展 and 银行业的改革，能源服务企业未来或有望直接从地区银行获得资金支持¹⁹。

负面外部成本无法定价。这对各领域及价值链各环节发展循环经济都是一种障碍。如果一种材料的价格中没有包括其负面影响的真实成本（如垃圾填埋的价格没有考虑甲烷排放或有毒物质泄露给周边水土造成的破坏），那将缺乏足够的经济刺激使商家对这些材料进行循环再利用。放眼国际，碳定价一直被视为创造公平竞争环境的经济手段²⁰。在城市层面，全球出现了越来越多的低排放地区，城市规划者也在引入更多的内燃机机动车限制管理条

viii 城郊，城市和郊区中间的过渡区域。

例。它们都有着相似目标：将外部环境效应纳入内燃机交通体系的成本，以降低环境影响²¹。

法律框架有待进一步明晰。该类问题有多种表现形式。最明显的一个例子就是，在食品和制造行业，对“废弃物”的定义可能会限制副产品的使用与回收再利用。针对该问题，政府可对副产品的处理、投入产出的质量出台更明确的定义、指导和标准。在欧洲，欧盟通过引进废弃物终端处理标准来促进“废弃”材料的回收。行业也应制定此类标准。以施堆肥为例，含有重金属、有毒物质的肥料可能会损失其潜在的应用和市场价值。为解决该问题，慈善机构国际社会责任认证组织（Worldwide Responsible Apparel Production，简称 WRAP）和英国有机物回收再利用协会携手在英国推出了一项名为《公共可用规范》的指导文件²²。

社会风俗与习惯。无论是人们对产品和资产所有权的观念转变，还是建立对二手产品的信任，都需要很长的时间。在这方面，私营领域数字共享平台已经建立了一些培养信任的全新机制。通过对相关审核流程的逐步优化，让未来用户不必为担心信任问题而不使用类似服务。政府可对零售商、服务人员和其他一线消费者接触方施加影响，引导和强化其合理行为。比如，法国政府就颁布了一条法令，汽车修理店必须告知消费者其有权选择使用再制造零部件，从而推动关于减少废弃物、降低资源使用量和降低终端用户消费价格的议题²³。

跨公私领域和跨价值链协作至关重要

在循环经济转型过程中，所有利益相关方都要积极行动。无论是现在还是未来，设计师、工程师、战略家、营销者都应具备成功开发循环经济解决方案的能力和技能，按照循环经济的思路进行思考。而学术界的关键任务就是填补学术空白，教育和启发下一代。

企业可创造支持循环经济的环境和服务，这样一来，消费者就会主动提高对产品质量和安全性的需求，增强对二手产品和原料的信任，进而慢慢理解和接纳“使用而非拥有”的全新服务模式。

值得一提的是，不同领域利益相关方的协作是推动循环经济成功转型最有效的方式。这样的交流互动对于克服“孤岛效应”非常关键，具体合作形式有以下三大项：

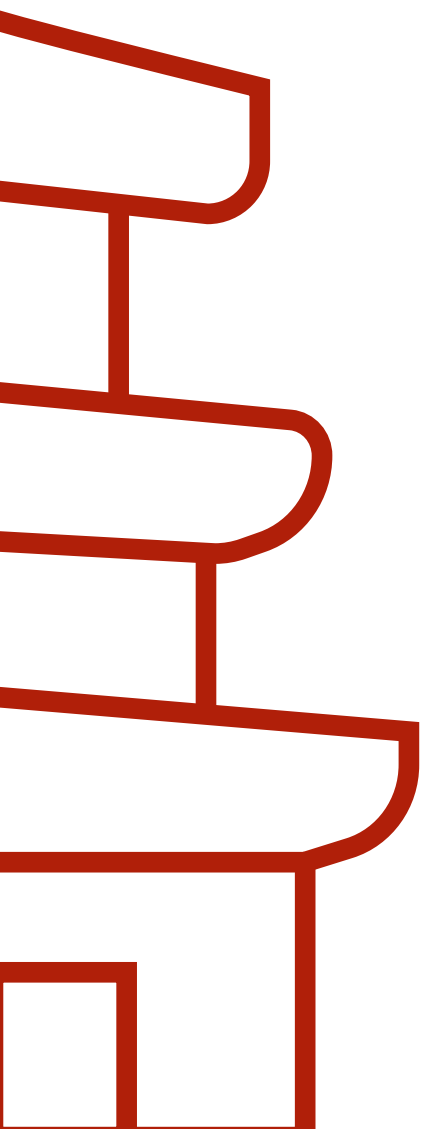
- **跨政府机构协作：**例如，在国家生态环境部（原环境保护部）、国家发展和改革委员会，以及市财政部门的支持下，上海市政府对电器行业收取相关费用、设立专项基金并将其用于补贴电子废弃物处理企业。
- **价值链全覆盖：**例如，由基金会发起的“新塑料经济倡议”聚集全球的消费品企业、零售商、塑料生产商和包装制造企业，以及投身收集分类与再处理事业的城市与企业，推动塑料产业链进入价值创造的良性循环，取得更加优异的经济环境效益²⁴。
- **政府与产业携手：**例如，为推动城市循环经济与清洁生产项目的发展，上海市政府支持上海缘源实业有限公司开发回收技术，注册为特定纺织品回收企业，并给予该公司相应的增值税减免优惠。

总而言之，循环经济的系统化转型需要国家与地方各级政府在统一框架下，密切展开跨领域的政策合作。地方、国家和国际示范项目及最佳实践计划可让这些宏伟目标更加切实可行。各类企业，无论大小，都应将循环经济视为一种全新的创新与价值创造框架。

中国是创新大国，中国的城市完全有机会在这次经济转型中秉轴持钧，成为国内外循环经济发展的成功典范。



1. 背景： 循环经济宏伟规划 应运而生



背景： 循环经济宏伟规划应运而生

经过几十年的 GDP（国内生产总值）高速增长阶段²⁵，中国经济进入“新常态”ⁱ。一改原先“世界工厂”的角色，中国现已成为创新大国，为世界源源不断地输送前沿技术。如今，重新思考中国经济的未来恰逢其时。随着第四次工业革命的深入发展²⁶（自然规律、数字技术和生物技术相互融合、渗透），社会不断向低碳经济加速转型，新的挑战 and 机遇不断迸发。

中国处于经济发展的 关键时刻

中国自 1978 年开始实行改革开放政策。经历了几十年的高速发展后，中国现已成为全球第一制造大国和第一出口大国，并逐渐从低收入国家发展至中等偏高收入国家，数亿人成功脱贫，中产阶级人口总数也大幅增长²⁷。2015 年，中国成为世界上中产阶级人口最多的国家，并一直居世界之首²⁸。城镇人口人均可支配收入从 1995 年的 3912 元（约合 628 美元）增至 2015 年的 31195 元（约合 5007 美元）²⁹。

收入的增加带来了消费行为的变化。消费者到达中产阶级收入水平后，会将消费更多地用于汽车、耐用品、高质量商品、奢侈品和休闲活动上。预计到 2022 年，中国的中产阶级家庭将占城镇家庭的 76%，将进一步带动国内消费³⁰。扣除物价因素影响，中国城市人均消费支出从 1995 年的 3538 元（约合 568 美元）增加到了 2014 年的 16691 元（约合 2679 美元），翻了两番多³¹。

社会经济变化、外商直接投资的增加，以及中央和地方政府政策扶持力度的加大，催生了中

国经济的结构性转型。三大产业（第一产业、第二产业和第三产业）ⁱⁱ对 GDP 的贡献比例分别从 1995 年的 19.6%、46.8% 和 33.7% 变化为 2015 年的 8.8%、40.9% 和 50.2%³²。2015 年以来，第二产业和第三产业一直是中国 GDP 增长的主要驱动力。尽管第一产业和物质生产部门的贡献在逐渐缩小，工业活动依然不容小觑，2015 年贡献了 34.3% 的 GDP 增长，居三大产业之首。中国另外两个最重要的产业部门是批发零售和金融中介，其产值分别占 GDP 的 9.7% 和 8.4%³³。近年来，共享经济在中国飞速发展。其背后推手是创新，是消费者对价格的敏感，以及民众对新技术和新商业模式的日益认可。中国在全球电子商务市场独占鳌头，占世界电子商务交易总额的 40%，而中国的移动支付交易额更是达到美国同业水平的 11 倍³⁴。新的共享模式不断涌现，飞速占据市场份额。预计到 2020 年，共享经济产值将占中国 GDP 的 10% 以上³⁵。

经济发展与城镇化互为动力

快速的城镇化进程是经济改革的重要一环。截至 2017 年 4 月，中国的城镇化率达到 56.1%³⁶，

i 全球金融危机后，中国的 GDP 增速调整到 7% 左右。

ii 第一产业指那些直接从自然获取产品的产业，如农业；第二产业指那些对原材料进行加工的产业，如制造业；第三产业指其余的产业，如物流、旅游、金融、教育等。

并有望在 2030 年达到 70%³⁷。过去三十年中，这一变化对 GDP 的贡献率超过 20%³⁸。城市是经济机遇产生和财富积累之地。因此，城镇化虽然不能持续推动 GDP 增长，但却是激励和支撑中国发展的一个关键要素³⁹。麦肯锡研究预测，到 2022 年，约有 76% 的中国城市家庭跻身中产阶级，人数之多，相当于世界第三人口大国。城市的扩张将进一步释放内需⁴⁰。到 2016 年年底，中国有 12 个城市的 GDP 超过 1 万亿元（约合 1600 亿美元）⁴¹。同年，中国排名最靠前的 100 个城市贡献了 GDP 总量的 75.7%，其中绝大多数ⁱ的增长率高于全国平均水平⁴²。展望未来，随着工资上调和可支配收入的增多，中国新兴的城市消费市场ⁱⁱ将进一步推动城市经济发展⁴³。

几十年来，中国农村劳动力连绵不断流向城市，寻求城市中的发展机会。这一趋势在未来有望继续，只是重点略有不同⁴⁴。根据预测，从农村到城市的人口迁移速度不会发生变化，但过去只涌向一ⁱⁱⁱ、二线城市^{45,iv}的农村劳动力也会向更小的内陆城镇转移⁴⁶。中国迄今的城镇化水平令人叹为观止，但是，与其他和中国现有人均收入水平相同的国家比，中国的城镇化率仍低于平均水平（70%）⁴⁷。中国领导层认识到，城镇化能够继续推动经济向高产出、服务业为导向的方向发展。通过继续大力促进和鼓励城镇化，实现“十三五”规划中提出的到 2020 年城镇化率达 60% 的目标指日可待。

中国有能力加速 循环经济进程

中国之所以推广循环经济，是旨在获取最大经济社会效益的同时，使资源消耗和负面环境影响最小化，实现经济发展与环境保护之间的“和谐”⁴⁸。受到欧洲和日本工业生态学的启发，中国学者在二十世纪九十年代首次提出循环经济的概念，希望借此商业模式来帮助中国探索出一条更可持续的经济发展道路⁴⁹。此后，循环经济逐渐成为国家经济发展战略的一个关键部分。早期行动的焦点是“3R 原则”，即坚持“减少原料（Reduce）、重新利用（Reuse）、物品回收（Recycle）”的方式来解决问题（如改进市政废弃物管理模式、通过工业共生深入利用工业副产品，以及减少生产过程中的排放等）。相比之下，后来提出的循环经济政策则更集中在政策的设计方面，希望利用新的商业模式提升资源利用率，从而系统性地解决环境和社会外部性问题。

中国政府最早在 2002 年全球环境基金第二届成员国大会开幕式上提出了循环经济的概念：只有走以最有效利用资源和环境保护为基础的循环经济之路，可持续发展才能得以实现⁵⁰。中国政府认识到经济发展、环境退化与社会关切方面存在矛盾。再加上建设小康社会的需要，大力支持和諧发展与生态文明已然刻不容缓⁵¹。生态文明如今已成为中国共产党长远可持续发展愿景的基石，旨在消除环境治理的系统性障碍⁵²。近期政策中，循环经济已经被视为建设生态文明的重要路径。

就实际执行情况而言，1993 年，原国家环境保护总局（现生态环境部）在世界银行的支持

i 在这 100 个城市中，88 个的 GDP 增长率高于全国平均水平（6.7%），其中 6 个的增速超过 10%。

ii 从 1995 年到 2014 年，中国的人均可支配收入增长了约 600%。到 2022 年，76% 的中国家庭将达到中产水平，收入比 2010 年翻番。

iii 普遍所说的“一、二、三线”城市原本是中国政府早年的分级体系，但如今按照 GDP、人口、零售额等新的指标划分。

iv 从 2000 年到 2010 年，每年进入最大城市的农民工多达 1000 万。

下，围绕“清洁生产”建立了示范项目，并在十年后开始建设生态工业园试点，以推动循环经济发展⁵³。截至本文撰写时，中国的循环经济试点和示范项目已有 2300 多个⁵⁴。除了这些项目，各种针对污染防治（如固体废弃物和水污染）、自然资源（如矿产资源、水和土壤）和具体产业的专门政策也纷纷出台。这些政策构成中国搭建支撑循环经济的法律框架的基础⁵⁵。

自 2006 年以来，每一个五年规划期间都会出台加快中国向循环经济转型的政策，同时，还会建立一个全面的综合指标体系，以便政府跟踪相关进展情况（参见文本框 1）：

- “十一五”规划（2006—2010 年）首次明确了发展循环经济的战略意义。该规划提出，要在三个层面落实循环经济：企业—小循环、区域—中循环和社会—大循环。规划在 2008 年落地为《促进法》，这是世界上首部以“3R 原则”为重点的关于循环经济的法律。
- “十二五”规划（2011—2015 年）期间，国家发展和改革委员会（后文简称“国家发改委”）从企业、工业园和区域三个层面的试点项目中总结出了六十条最佳实践⁵⁶，并扩大了发展战略中循环经济的示范规模。国务院于 2013 年发布了《循环经济发展战略及近期行动计划》（后文简称“行动计划”），将循环经济升级为国家发展战略。行动计划明确提出如何落实“十百千”示范行动，即实施循环经济十大示范工程，创建百个循环经济示范城市（县），培育千家循环经济示范企业（园区）。
- 当前“十三五”规划（2016—2020 年）将继续将循环经济和低碳经济作为政策重点领域，为循环经济制定了强制性目标，强调了生产者责任延伸制度（EPR）的重要性，提出要进一步强化市政废弃物管理和再制造业。

2017 年中国又出台数项新政策，成为中国循环经济法律框架建设的又一里程碑。首先，《生产者责任延伸制度推行方案》明确指出了从设计到废弃物管理的产品生命周期中，生产者在资源保护和环境保护方面必须发挥的作用。电器电子、汽车、铅酸蓄电池和包装物被列为落实该方案的优先领域。2017 年 5 月出台的《循环发展引领行动》通过强调与循环经济相关的新型数字化解决方案，向系统性解决环境和社会外部性⁵⁷的根源问题迈出了重要一步。这一文件旨在影响更广泛的价值链，强调在产品阶段就纳入循环经济原则，开发新型循环经济商业模式。此外，为了应对蓬勃发展的共享经济，中国于 2017 年 7 月下发了第一份关于促进其发展的指导性意见。这份文件不仅承认了共享模式对中国经济的影响，还指出这种“使用而非拥有”的新型商业模式可以提高资源使用效率。文件提出，政府、商家、行业协会和消费者可以进行联合治理，为共享经济的未来发展创造一个公平且安全的环境⁵⁸。中国政府于 2017 年年底宣布⁵⁹，要禁止从外国进口 24 个种类的固体废弃物，如塑料和未分类的废纸。这一政策已于 2018 年 1 月生效⁶⁰。

正如我们所见，近期的政策变化预示着中国正在从以前的“治乱”模式转向一种更具全局观的模式，以解决目前“开发—制造—废弃”的线性发展方式所固有的环境和社会外部性问题。

文本框 1: 循环经济发展评价指标体系

为了评估循环经济的实践效果，国家发改委、原国家环保总局和国家统计局一起，在 2007 年制定了首个循环经济评价指标体系，⁶¹并在 2017 年 1 月发布了修订版。这些指标基于物质流分析方法 (Material Flow Analysis, 简称 MFA) 制订⁶²，目的是按照“3R 原则”⁶³在宏观（大循环）和中观（中循环）层面上评估循环性。这个新体系的架构更加复杂，包含了三个相辅相成的主要类别：

- **综合指标：**衡量化石燃料、钢铁、矿产和生物资源等主要资源的生产率，以及来自农业、工业、城市建设和城市食品等方面的主要废弃物回收率。
- **专项指标：**衡量特定资源生产率、废弃物回收率，以及回收业的附加值。
- **参考指标：**聚焦工业废弃物、固体废弃物和废水等市政废弃物的终端处理，以及主要污染物排放。

上述各类指标共同构成了一个总体指标——循环经济发展指标，用于衡量和追踪中国向循环经济转型的整体进展。⁶⁴与 2005 年的基线值 100 相比，2013 年指标值达到 137.6。其中最显著的改进包括：

- 主要污染物处理率指标提高 74%。
- 废物排放强度指标改进 46.5%。
- 资源消耗强度指标改进 34.7%。
- 废弃物利用指标提高 8%⁶⁵。

“十二五”期间，市政废弃物处理率达 94%，城市废水处理率达 92%。全国的化学需氧量、二氧化硫和氮氧化物排放分别下降了 13%、18% 和 19%。⁶⁶2016 年的空气质量也比 2015 年有所改善，空气质量良好天数增加了 2.1%，重度污染天数减少了 0.6%，PM2.5 和 PM10 浓度均下降了约 6%。“十三五”规划提出加快建设城市餐厨废弃物、建筑垃圾和废旧纺织品等资源化利用和无害化处理系统。⁶⁷

这一愿景转化为具体行动后，可以解决特定材料流面临的问题。比如，2008 年国务院颁布了“限塑令”⁶⁸，有效执行一年后就让塑料袋的使用量减少了 66%（节省约 400 亿个塑料袋）⁶⁹。中国政府自 2013 年起开始实施“绿篱”行动，旨在控制进口的可回收物质量，限制出口到中国的受污染二次材料总量⁷⁰。这一行动第一年中就控制了 70% 的进口可回收废弃物的集装箱，前六个月就因质量问题拒收了 80 万吨可回收废弃物或废料⁷¹。“国门利剑 2017”行动旨在进一步打击蓄意走私或加工进口违规固体废物现象^{v,72}，并禁

止进口塑料^{vi}等特定废弃材料^{73,74}。

中央政府近年来也出台并细化了多部法律法规，推进水污染防治工作⁷⁵。2014 年，政府评估了 17 个生态工业园区 2 ~ 4 年的用水绩效。尽管淡水消耗量的绝对值有所增加，但所有园区的淡水消耗量与经济产出都实现了相对脱钩，提高了水生产率。“海绵城市”^{vii}等设计理念在深圳也得到落实，实现了更好的降水渗透、储存和处理，补充蓄水层并减少洪灾风险⁷⁶。

中国也加大了对可再生能源的支持力度，得

v 重点关注工业废料、电子废物、废塑料和其他固体废物。

vi 包括电子废物、生活垃圾、农用地膜和塑料管、塑料瓶等等。不当处理指的是小作坊等无法用恰当的污染控制方式进行处理。这一计划还将与环保部门合作采取行动。

vii “海绵城市”的理念旨在蓄集雨水，尤其是在强降雨期间，以防止洪涝并在干旱时期放水为居民造福。

到全球认可并朝着实现 2015 年巴黎气候大会提出的 COP21（第 21 届联合国气候变化大会）目标大步迈进。中国已经成为全球可再生能源投资中不可替代的“压舱石”，每年引导相当于 1000 多亿美元投资进入该领域⁷⁷。2015 年，中国在这一领域的投资为 1030 亿美元，占全球总投入的三分之一，是美国的两倍。国内非化石燃料的比重也在稳步提高，从 2010 年⁷⁸的 8.6% 增加到 2016 年的 13.2%⁷⁹。国务院已经正式制定了到 2020 年非化石一次能源消费占比达到 15% 的目标⁸⁰。中国的二氧化碳排放有望在 2030 年达到峰值，能源强度（单位 GDP 所消耗的能源量）将比 2015 年下降 60% ~ 65%⁸¹。2016 年 12 月，中国第一份气候变化更新报告发布，报告指出其 2030 年目标已经完成了 40% 以上⁸²。

此外，中国在高科技制造业和服务业上也进行了大力投入。2003—2013 年间，投资增长了 19.5%。在科学和工程研发上，中国的支持力度也令人叹为观止^{viii}，2016 年的投资额占全球总量的 20%⁸³。同年提出的“中国制造 2025”是技术创新的另一力证，涵盖了新一代信息技术产业、节能与新能源汽车、新材料等十大领域。这一政策与在亚洲和更广泛地区促进贸易、刺激经济增长的“一带一路”倡议相辅相成^{ix,84,85}。“一带一路”倡议创造了一个机遇，让中国能在推动循环经济发展的过程中，将经验分享给重要的贸易伙伴和未来价值链的参与者们，尤其是东南亚、中亚、中东、欧洲和非洲各国的建筑和工业部门。

显然，这些现有政策都旨在加速向循环经济转型。它们与经济发展议程和更广泛的环境改革一起，构成了中国长期经济发展现代化战略的关

键部分。但是，尽管大方向一致，这些政策的协同联动仍有待改善。为了实现不同部门经济目标的协调，尤其是实现产业链的对接，各项政策需要相互促进，在一个更具全局性的框架下彼此融合。为了实现和谐发展，并进一步加快和深化向循环经济的转型，政府部门、企业和民间组织需要广泛参与、通力合作。

不过，商业模式和技术上的创新、支持性政策框架的引进，以及消费者对变化日益提升的接受程度，都意味着目前中国抓住机遇加快循环经

城市是实现潜力的主战场^x

随着中国城镇化进程的推进，越来越多的城市居民也感受到随之而来的环境和社会问题。值得庆幸的是，挑战之处常有机遇。城镇化迅猛发展的同时，本身已是经济中心的城市也有望大幅提升系统效率⁸⁶。这是因为随着基础设施的相互连接，城市也汇集了更多物质和科技资源。因此，城市是中国释放循环经济更大潜力的关键。若实现循环经济，中国的城市（无论是单个还是群体）都能成为创新之地和卓越运营之地，在全球循环技术市场上站稳脚跟。

国家政策在城市中可以得到最有效的执行

中国的省级和市级政府直接影响城市规划、交通系统设计、基础设施建设、地方商业发展、税收和地方就业市场。因此，政府可以发挥积极作用，帮助循环经济原则渗透进城市所有的功能和政策之中。很多中国城市已经建立了依产业和

viii 这使得中国在这些领域的投资仅次于美国。

ix “一带一路”倡议让中国在海陆与东南亚和中亚联通，并连接中东、欧洲和非洲。

x 我们承认中国农村存在众多挑战和机遇，但在这个报告中我们将城市选为切入点，是因为这里关于循环经济实施和最佳实践的数据更易获取，例子更为充分。

城市特色量身定制的循环经济示范项目（如上海的电子垃圾回收产业、广州的有机废弃物收集和處理项目，见第 111 页，案例研究 5）。

抓住建成环境、移动交通、城市给养、纺织行业和电子工业的关键循环机遇，中国城市完全可以实现积极转型，并在全中国实现连带效应。

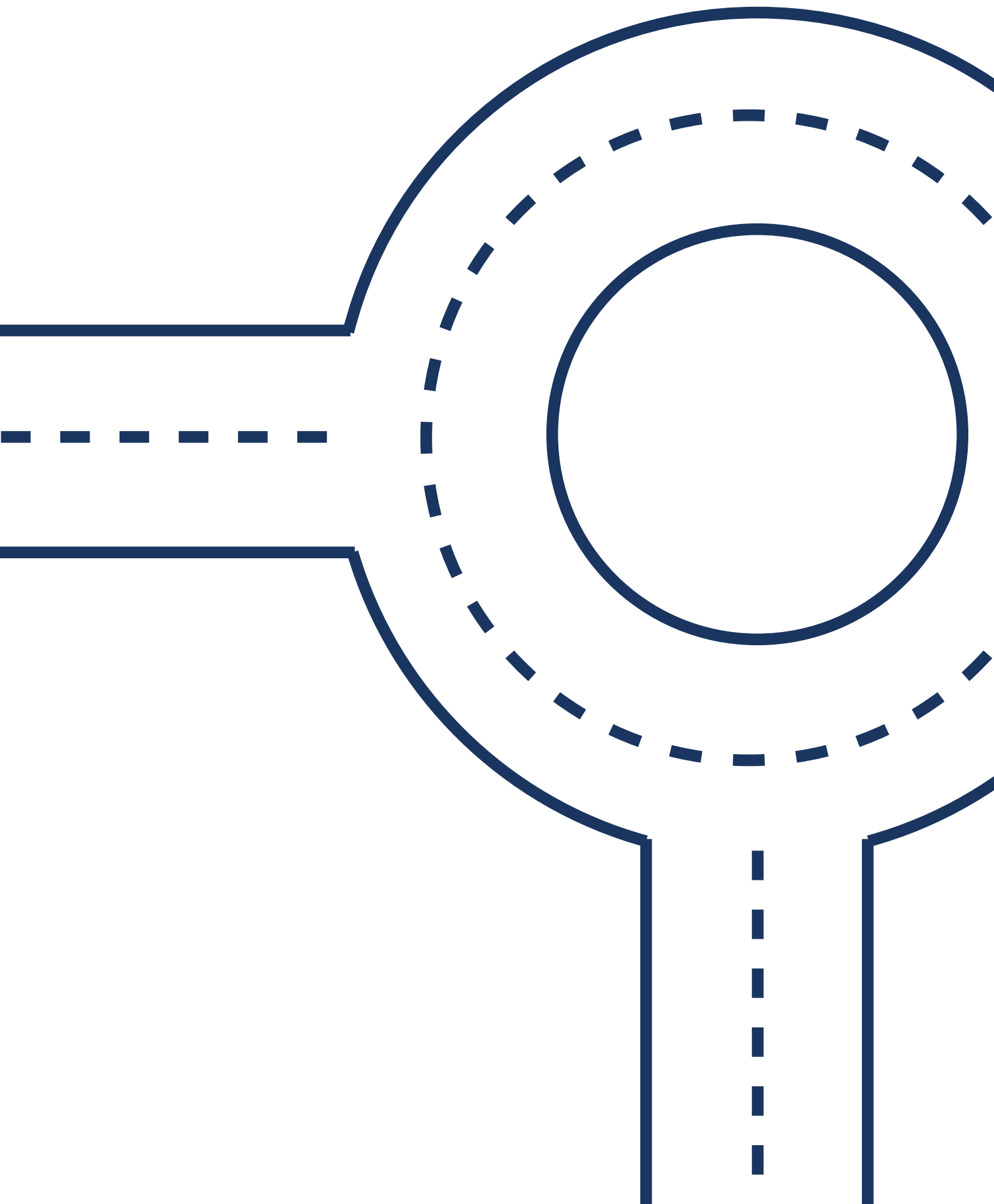
城市可以成为 创新循环产业的沃土

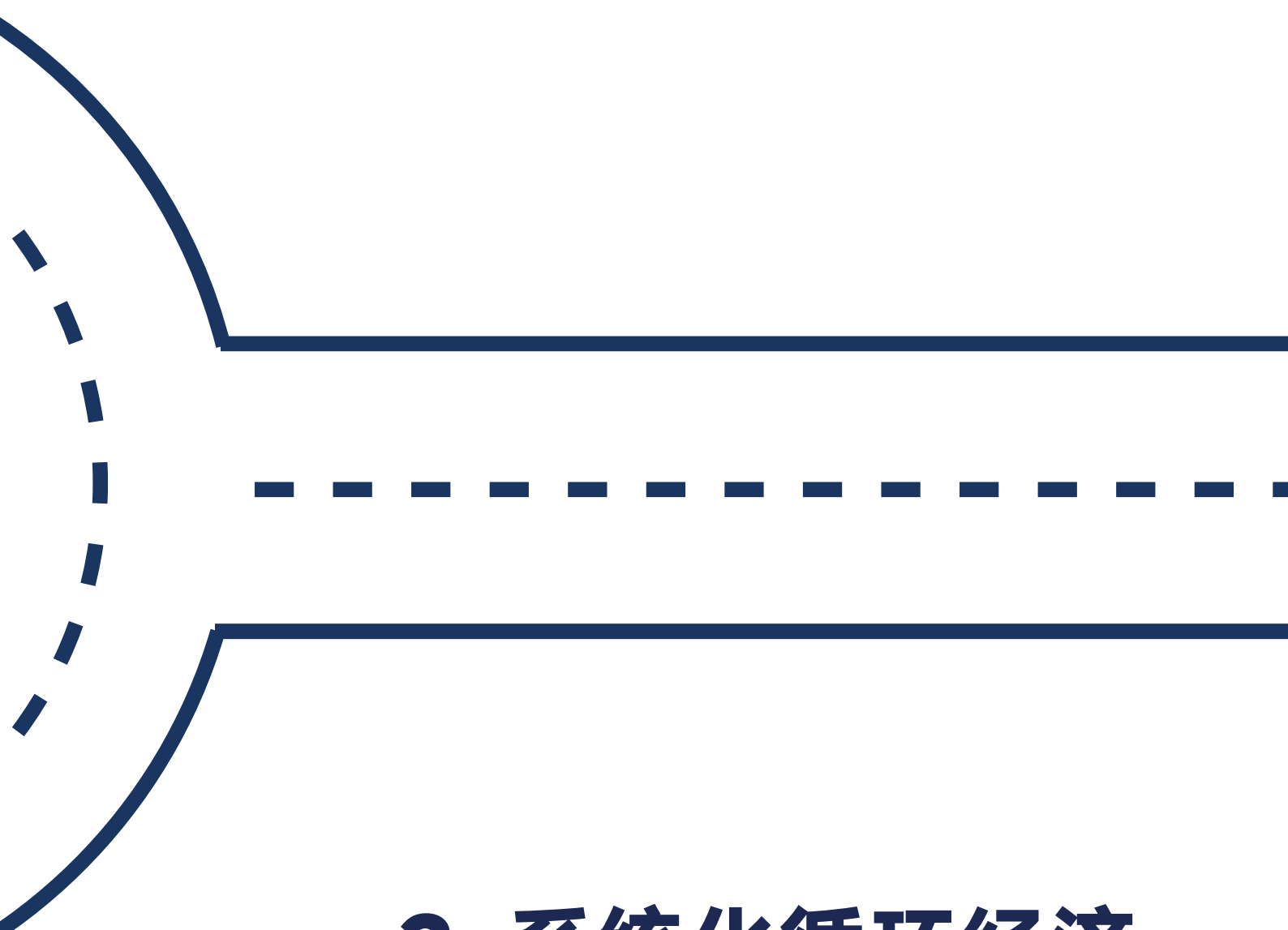
中国城市拥有创新型的技术人才及组织⁸⁷，是创新商业模式落地生长的沃土。在城市中心，生产者与消费者比邻而居，使得逆向物流、材料收集基础设施和共享商业模式都变得更加高效。这可为基于再利用和收集的商业模式创造更多机遇。此外，日益提升的资源体量和集中度也为经济的规模化发展提供了可能。随着第四次工业革命到来，数字化将进一步推进规模经济的发展。

城市是新基础设施发展之地

持续快速的城镇化给中国带来了巨大的机会，可以彻头彻尾地贯彻循环经济原则，有助于规避目前在发达国家市场出现的“开发—制造—废弃”线性方式。此外，如果提前规划并妥善管理，中国城市就可以避免线性经济带来的资产搁浅风险^{xi}。中国正计划在未来 20 年新建 400 亿平方米建筑，需要新建 2 万 ~ 5 万座摩天大厦。到 2025 年，计划新建的城市空间将相当于 10 个纽约市⁸⁸。若能在开发阶段便采纳循环经济模式，中国城市在设计环节就能进入修复性、再生性发展，降低商品和服务的获取成本，提高资产利用率。比如，雄安新区作为京津冀经济三角的一个新发展中心，很快会建起可以容纳两三百万居民的基础设施和交通网络⁸⁹。这是一个在城市规划中贯彻循环经济原则的巨大良机，最终会带来更高的生活水平、更积极的发展和更强的抵抗力。

xi 循环经济措施语境下的搁浅资产风险在基金会的“Achieving Growth Within”报告的第 37 页有所阐述。





2. 系统化循环经济的 组成部分

系统化循环经济的组成部分

循环经济是一种系统的经济发展模式，能够促进经济发展，造福商业、社会和环境。与“开发—制造—废弃”的线性经济发展模式不同，循环经济从本质上便具有可恢复性和再生性，旨在使经济增长摆脱对有限资源消耗的依赖。

具体来说，循环经济包括以下三个基础原则：

1. 从设计源头解决资源浪费和污染问题。经济活动可能会对人体健康和自然系统造成破坏，通常是因为温室气体和有毒物质排放，大气、土地和水源污染，以及类似交通堵塞的结构性问题。循环经济不仅认识到了上述问题，还在设计之初便着重解决这些问题。

2. 保留产品与材料。循环经济能够保留更多的能源、劳动力和原料，以此创造更多价值。这就意味着，在循环经济中，产品、部件与材料的利用率、持久度更高，再制造与回收再利用也更频繁。

3. 自然系统再生。循环经济倾向于使用可再生资源，并重视对可再生能源的保护与开发。比如：给土地提供营养，增加土壤再生能力；或者放弃化石燃料，使用可再生能源。

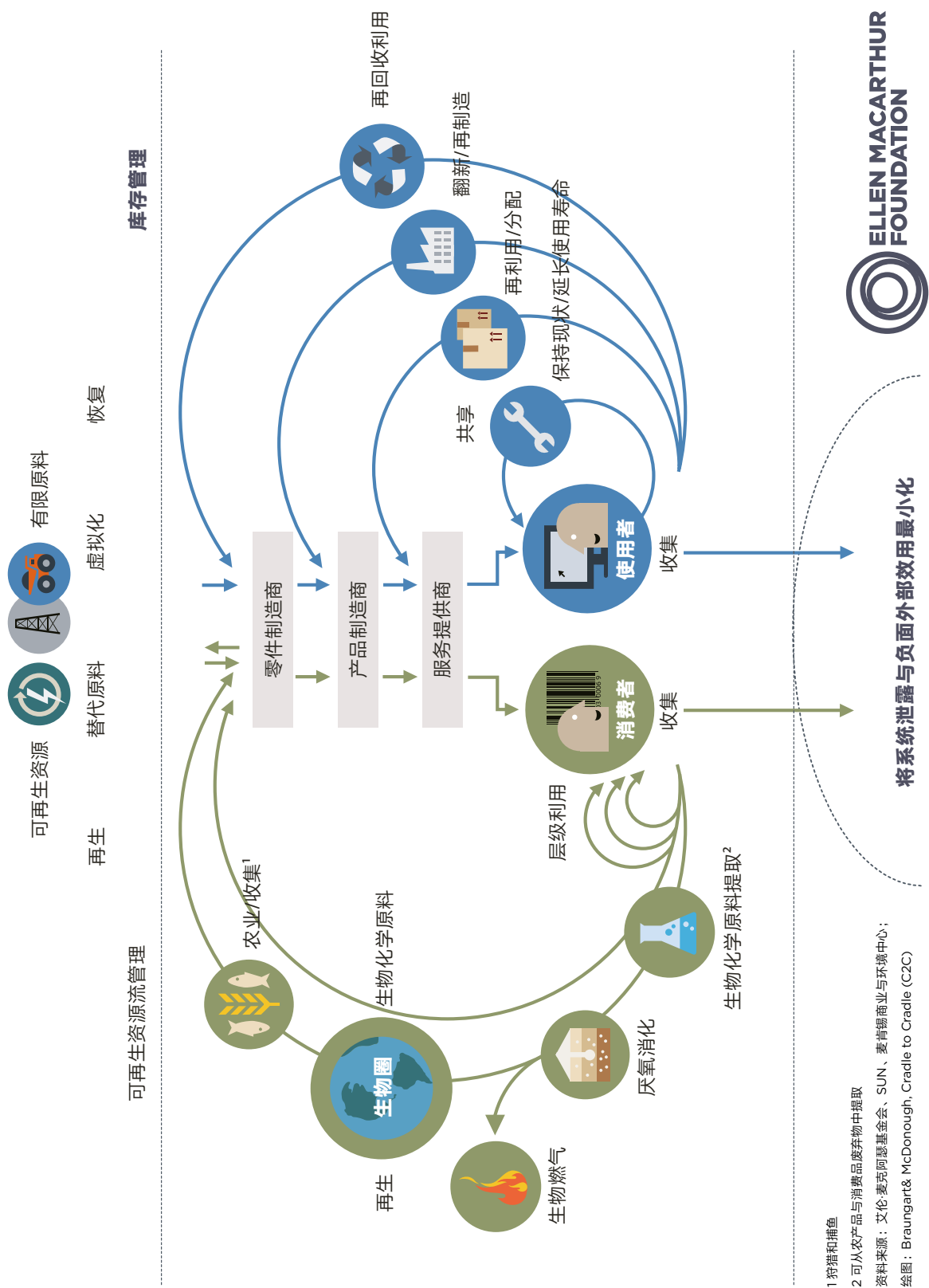
循环经济旨在构建和重建系统健康。该宗旨确保了经济在任何规模下都能高效运作，无论是大企业还是小企业，组织还是个人，全球经济抑或地区经济。

成功的循环经济转型，不仅要减少线性经济模式带来的负面影响，还强调从系统上进行根本转变，增强经济的长期抵抗力，创造更多的商业与经济机遇，进一步造福环境与社会。

在循环经济中，技术循环与生物循环二者有别。资源消耗仅存在于生物循环，因为食品和其他生物原料（比如棉花和木材）都要经由堆肥和

厌氧消化再回归到生态系统中。这些循环可推动生命系统（比如土壤）的再生，为经济发展提供可再生能源。而技术循环则是通过再利用、再修复、再制造和再循环等方式，实现产品、部件和原料的恢复与还原。

图 1: 循环经济系统图释



废物利用

如果用循环经济原则来改变资源利用方式，废物利用或许就是其中一种最著名的实践。目前，大多数材料只用一次，而且常常用不了多长时间就被处理掉，其价值从经济中彻底消失。如今越来越多的商界人士意识到在循环中更长久地利用资源是一种明智的做法。比如，一家企业可以将其生产并销售的产品回收，分解配件后把材料用于新的产品。对大多数人来说，此类行动应该是实现更高级循环经济和更多价值保存行动的第一步。如果不积极融入个体产品周边更广泛的系统，这一方法的好处是有限的。但是，为了其材料价值而回收产品可以成为一个尝试循环经济实践的起点。

产品的循环设计

目前，大多数产品都没有按照循环经济原则设计。恰恰相反，这些产品的设计更多是为了满足线性生产和分配模式的需求，如降低成本、装配速度和减轻重量。如果将循环经济作为指导目标，产品设计就会改变。按照循环经济观念，产品的优先要务就是适应更广泛的系统。

这意味着产品的使用期更长或更易维护，以便继续在共享和再利用等工业循环的“内部循环”中使用。通过将额外的交通、劳动力、材料或能源使用保持在最低，产品的完整性和价值可以得到保存。另一条可能途径是为了多重连续循环而设计产品。这种思路不是单纯地为了效率，也不只是为了生产轻便而廉价的商品，制造商从一开始就用更多的能源和材料去生产可以一次次再制造的产品，从长远看这样的资源效率更高。设计者们也按照“串用”思路，考虑到其产品接下来的使用。这为一次产品使用期结束后提供了多重价值创造来源，即由同一或其他商家通过很多要

求较低的用途“串用”资源，直至最终对材料进行回收。在材料回收阶段，产品和材料应该被设计成不含有毒物质或不会将不同物质不可逆地混合在一起，因为这会降低资源的可利用性，减少资源价值，并会在工业和生态循环中引发更多问题。

商业模式

为了释放循环经济中的更多价值，产品设计应该与商业模式创新相结合。即使一个产品设计得当，耐久、便于修理、不含有毒材料等等，但如果商业模式无法把握这些好处，其影响也很有限。对工业循环中的产品来说，有一系列选择可以帮助产品和材料全程保持最高价值。比如，对耐用品收取押金保证其返还，建议将其再次出售给另一位顾客。某些产品可以通过使用者的维护延长使用时间，只要有多余的零件和证明材料即可。汽车、自行车和电动工具等公用产品，可以在多个用户之间或通过一个集中化的“图书馆”或对等平台进行共享。一些商家可能选择从商品销售转向“服务化”，提供使用权而非所有权。只要保持对产品的负责，企业就可以实现产品使用的最优化，应对其维护、再制造、调度和用后阶段的材料回收。

尽管这些商业模式创新的效益会由于环境而有所不同，但有很大潜力可以促进资源利用、节能节水以及通过更低价格提供更好服务与顾客建立更紧密的联系。

作为战略的循环经济

循环经济带来了整个经济运行方式的根本变化。就其本身而言，“循环商家”的概念是一个误称。但是，这并不会阻止商家将循环经济原则作为引导激励措施、投资、研发和整体战略的视角。

循环经济转型的核心是从以开采和消费为基础的行为向以再生和恢复转变。商家要重新设想他们创造价值的方式，这种方式符合让产品和材料保持使用状态、消除浪费和污染以及恢复自然系统的原则，将在循环经济中蓬勃发展。在组织层面，循环经济能够成为韧性、繁荣和构建健康经济体系的一项战略。通过让产品和材料保持循环，它可以让自身的经济活动与不断的原材料开采脱钩；由于靠可再生能源驱动，它在未来不确定性面前似乎比依靠产量的经济更有韧性。

全球物流

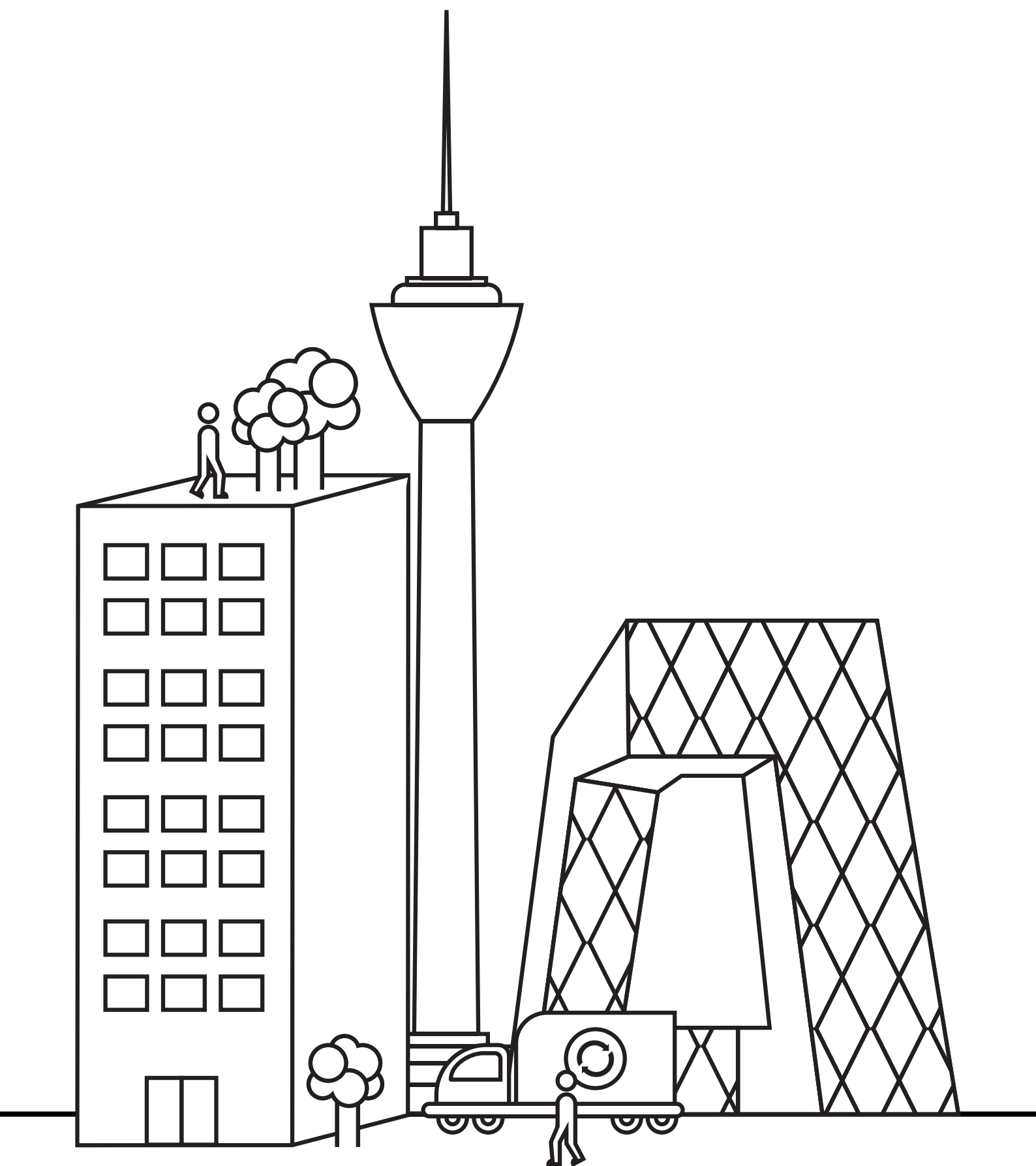
就算有了最好的意图，如果只是单打独斗，大多数商家的循环经济努力也很有限。为了获得成功，（行业）组织必须重新考虑合作事宜，与其他机构共同实现系统层面的改变。这意味着要在全价值链不同的利益相关方之间建立新的反馈机制。比如，设计者和制造商必须与废物管理供应商、城市规划者和各级政府密切合作，保证他们做的事情不但能被重新估价，还要有相关的基础设施和机制来让这些目标具有实际可行性。

除了纵向合作，向循环经济转移也需要在新层面上的竞争前合作。说到巨大而复杂的全球性物料流，如塑料、纺织品和食品，只有当材料使用相关方作出承诺才可能建立循环型流动。况且，竞争前合作的前提下会让一些循环经济活动在技术上更可行，在经济上更有利。举个例子，如果时尚品牌与零售商加入一个共同的衣物收集计划，就能回收更多的材料来抵消在逆向循环中的投入。

循环城市

作为实现系统层面变化的一个方法，循环城市的原则被城市规划者、政策制定者和各政府机构用来指导创新并创立繁荣宜居的城市。同理，城市在推动向循环经济的全球转型中也被置于独一无二的地位，这是因为它们在小片区域内拥有高度集中的资源、资本、数据和人才，而且从这个转型的成果中获益巨大。

循环城市将循环经济的原则融入其所有功能，建立起一个在设计上鲜活、便利和丰富的城市体系。这些城市旨在消除废物的概念，永远保持所有资产的最高价值，并通过数字技术将其实现。循环城市力求制造繁荣、提升宜居度，并增加城市及其居民的韧性，同时将价值创造与有限资源消费脱钩。



3. 三大城市体系 与两大行业领域中的 机遇



建成环境： 设计可高效施工、可共享、可再利用的建筑

中国的城市人口预计将在 2040 年翻番，这将会在住房和基础设施方面创造大量的需求。仅 2016 年，全国房屋在建面积和建成面积分别达 126 亿平方米和 42 亿平方米，占当年全球新建房屋面积的一半⁹⁰。在未来二十年里，中国还要新建数以亿计的房屋，而它们的建造方式将影响这个国家的中长期发展。目前，中国在空气污染和建筑垃圾方面面临着严峻的挑战（仅 2013 年中国就制造了 10 亿吨建筑垃圾）^{91,92}。在整个建筑产业价值链上贯彻循环经济原则将有助于解决上述问题，并带来经济、环境和社会效益。中国的建成环境领域ⁱ在设计、建造、使用和拆除阶段共拥有设计长寿化、建造过程工业化、共享空间高效利用房屋、推广绿色建筑提升能效、运用数字化倡导智能建筑，以及扩大建筑垃圾回收利用规模这六大循环经济机会。协调推进上述举措可在建成环境领域释放巨大潜力，到 2030 年可以创造 12.4 万亿元（约合 2 万亿美元）的收益（与目前的发展路径相比），是本报告五大研究领域中的潜能最大的。

建筑业是中国经济的基石之一。2016 年，建筑业贡献了 7% 的城市 GDP 并提供了 5000 万个就业岗位⁹³。因此，该行业具有巨大潜力抓住循环经济带来的机遇，创造更高的经济社会效益，同时消除行业自身在设计、建造、使用及用后由于能耗高、浪费大所造成的负面影响。

宏观趋势正在塑造中国城市建成环境的未来。1995—2016 年，中国快速城镇化已经让城市人口比例从 29% 飙升至 57%⁹⁴，建成环境所占的城市土地面积大幅增加。按照这一发展趋势，截至 2025 年，中国将有 221 座城市人口超过 100 万，23 座城市人口超过 500 万。如果城镇化持续以这一前所未见的速度推进，预计到 2030 年，中国城市人口将达到 10 亿。政府统计数据也表明，中国城市“流动人口”将很快达到 1.47 亿，其中绝大部分是收入低、需要租房的农民工⁹⁵。由于这

一需求，城市房价高企，在一二线城市尤其如此，房租已经成为城市外来人口主要关注的问题。租不起房让很多外来务工人员被迫挤在脏、乱、差的“城中村”⁹⁶。低技能、低收入的农民工寻找租金低廉的房屋，而越来越多的城市中产阶级也在渴望住上更宽敞、更优质的住房。因此，对于高质量住房的需求也就越来越多。所有这些需求一起催生了繁荣的城市住房市场，在可预见的未来还会继续蓬勃发展。

中国的房屋建筑寿命较短、灵活性较差。在中国，建筑的平均寿命为 25 ~ 30 年，而在英国则高达 132 年⁹⁷。建筑寿命的巨大差异源自于设计和建造阶段的不同选择。在中国，建筑的设计使用年限就只有 50 年⁹⁸，设计的建筑使用范围通常也很有限，并且缺乏模块化和灵活性来满足房主需求的变化。这种短期思维在建筑企业也很普遍，

i 本报告中的“建成环境”指的是城市地区所有居住、商用和公共建筑（不包括公共基础设施），但进行数量建模的只有住宅。建筑的生命周期从设计算起，包括材料制造和建设，经过使用期直到最后的拆除和填埋阶段。

它们倾向于选择低质材料以降低建造成本。类似的降成本措施导致某些房屋质量下降，造成了一定的负面社会影响⁹⁹。

传统建造技术需耗费大量原材料。与很多国家一样，中国的建筑行业在接受累积制造技术、场外制造技术和模块化制造技术等创新建造手段时十分保守、谨慎¹⁰⁰。这种态度可能导致原材料的消耗量（及浪费量）居高不下（例如，中国的水泥生产和消费量占全球的 55% 左右）¹⁰¹。这种高消耗的后果之一便是温室气体排放量大¹⁰²，中国建筑行业二氧化碳排放量（直接与间接）目前已占到全球的 18% 以上¹⁰³。

建筑在使用阶段能源消耗大。从整个生命周期来看，一座建筑 80% 的能源消耗发生在使用阶段，其中取暖和家用电器的消耗最大，分别占 52% 和 30%¹⁰⁴。在 2012 年，中国建成环境能源消费量占全球的 16%¹⁰⁵，是仅次于美国的第二大能源消费国。国家颁布和制定了《居住建筑节能设计标准》和《绿色建筑评价标准》¹⁰⁶ 等标准来应对高能耗问题，并推广高能效住房。但是，经济成本过高、消费者意识薄弱等问题让建筑行业很难实现实质性的转变。

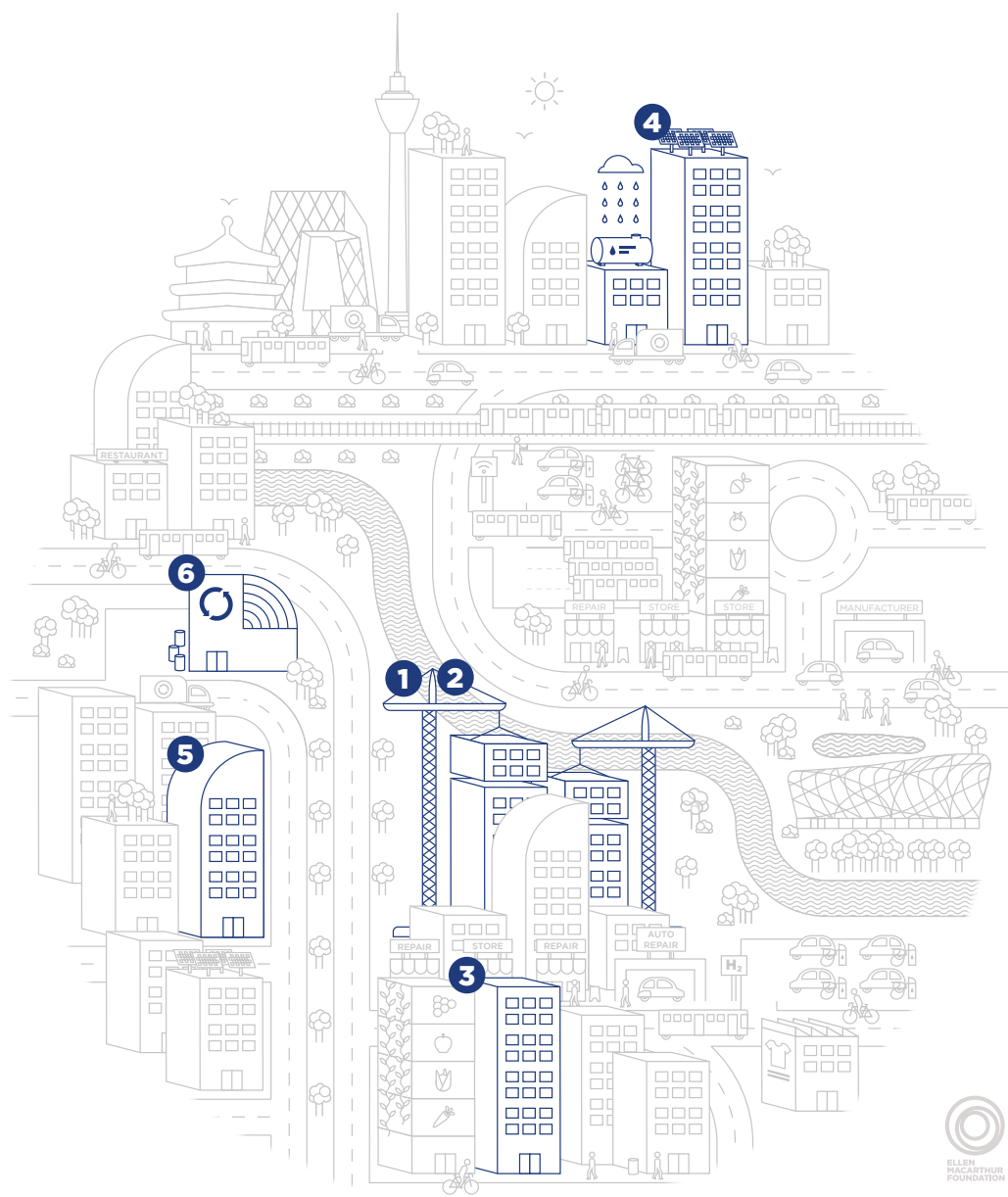
拆建产生大量垃圾，回收率依然较低。由于缺乏市场刺激和旨在激励垃圾回收的政策措施，中国目前产生的大量建筑垃圾都被运往传统的垃圾填埋或倾倒场¹⁰⁷。根据住房和城乡建设部（后文简称“住建部”）的数据，中国每年产生的建筑垃圾总量达到 20 亿吨，且以每年 10% 的速度增长¹⁰⁸。数量如此庞大，而中国目前建筑垃圾的回收率仅有 5%，较之于日本的 95%、荷兰的 94% 和英国的 87%，实在是相形见绌¹⁰⁹。并且，这 5% 中的大部分都被用作路基填料，而非重新进入建筑行业。同时，倾倒的有毒建筑垃圾还造成了土壤、水和空气污染¹¹⁰，而建筑垃圾在运往填埋场途中产生的扬尘也是城市地区 PM2.5 的主要

来源之一。

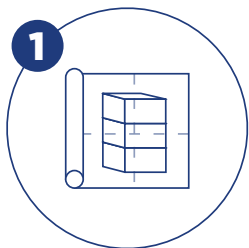
要纠正建筑行业这些根深蒂固的惯常做法，需要采取再生性和修复性都更强的措施。通过贯彻循环经济原则，中国建筑行业具有六大推行循环经济的机遇。

中国城市建设循环建成环境的愿景

在循环经济中，建筑应该具备模块化、耐久性和灵活性。建成环境数字化的好处远远不止提高能效和整体的生产效率。建设一个循环的建成环境将重塑房屋利用率和材料管理，居民也能呼吸到更清洁的室内外空气。



循环经济机遇



延长建筑使用寿命

面对未来二三十年间中国在新建房屋上的大量需求，设计使用寿命长的建筑——包括采用模块化、灵活、耐用的设计——有潜力创造可观的经济、环境和社会效益。创新材料、产品和服务等的设计都注重耐久性、灵活性，力求维修简便、更新灵活、拆卸轻松，有助于降低维护成本，延长建筑物的使用期限，确保房屋在生命周期中得到优化利用。例如，通过设计灵活的建筑内核，开发商可以在之后的使用周期中调整房屋布局，适应不同用户的不同需求。灵活的模块化建筑也更容易拆除，重复使用原有材料可保持材料价值，减少原始资源的浪费和消耗。位于荷兰阿姆斯特丹市的 Park 20|20 可持续城市就是将这些原则付诸实践的一个例子¹¹¹。其建筑外部的铝制框架可以拆卸，重复用于诸多用途。Park 20|20 的设计初衷就是为了重复利用废料，降低二氧化碳排放，并尽量减少材料消耗。其 92000 平方米的建筑面积上有办公空间和超市、托儿所、健身房、餐馆等服务设施。建筑和周围的景观也经过特别设计，旨在提升员工的工作满意度，提高工作效率，并激发创造力。

利益相关方之间的协作对于成功的设计而言至关重要，而数字技术是一个重要工具。例如，建筑信息模型（BIM）¹¹² 集设计、建模和规划于一体，让建筑设计企业可以用数字化方式向所有利益相关者展示建筑物的特征，不仅限于设计阶段，

还可以贯穿整个项目的生命周期，从一开始就可以探索建筑的不同使用功能，并挖掘其部件和材料在未来循环利用的潜力¹¹³。

国际上不断有这样的新型建筑设计问世。其中一个就是位于伦敦“科创中心”（Tech City）的白领工厂（White Collar Factory）。该项目由奥雅纳工程顾问公司（Arup）、开发商 Derwent London 和建筑事务所 Allford Hall Monaghan Morris 合力打造¹¹⁴。白领工厂的设计是一个包含商业、住宅和公共空间等多种业态的多功能园区。灵活的平面规划和各种设施配件预先安装，对各功能区进行区分，保证后续各区域之间的交互性和适应性。这一前瞻性的设计让建筑可以分为多个使用阶段。



建造流程工业化

工业化制造并现场组装标准化和模块化的建筑部件，可降低成本、缩短工时、减少浪费。模块化可让所有组件易于拆卸和 / 或更换，还有助于降低运营和维护（O&M）成本。位于伦敦格林尼治的“千年穹顶”（Millennium Dome）是一个众多零售商家和办公企业入驻的综合性建筑¹¹⁵，该项目就展示了模块化建造的益处。所有模块都是预先制造出来的，在建筑拆除后还可以用于其他工程项目，材料价值得以保存。

远大住宅工业集团股份有限公司（远大住工）是一家专门从事模块化施工的中国建筑企业，已成功将生产、安装和物流效率提高了六到十倍。通过独特的设计方法，其在建造过程中材料浪费几乎为零，建造总成本降低了 40%¹¹⁶。运用模块化的建筑

技术，即预先生产，工地组装，远大住工已经建造了 30 多座可持续建筑，并曾经在短短 19 天内建造了一座 57 层高的大楼。像京津冀、长三角、珠三角地区，以及其他常住人口 300 万以上的城市，很可能对这种新型建筑模式有很高的需求。这类建筑足够灵活，能适应不断变化的城市环境^{117,118}。

3D 打印技术则是另一种可以让建造过程更高效、更工业化的技术。2014 年，中国的盈创建筑科技（上海）有限公司在 24 小时内 3D 打印并组装了 10 栋 195 平方米的房屋。与传统方法相比，这一技术可以减少 30% ~ 60% 的材料消耗，从而降低成本和材料浪费。打印所用的“油墨”是干水泥和建筑垃圾的混合物，该企业计划开设 100 家回收工厂，

帮助将废料转化为高性价比的原料（“油墨”）¹¹⁹。

在循环经济中，除了使用新技术外，可再生材料和本地材料也可广泛应用于城市建设中。例如，竹子就是一种生长快速的可持续建筑材料。成本低廉、收割简单和运输轻便等优点让竹子重新受到青睐¹²⁰。作为全球最大的竹子产地，中国可以充分利用这一自然资源。用竹子建房的成本可比混凝土低 60%，并且可以采用模块化的方式建造，便于调整和改建。奥雅纳工程顾问公司与 GXN 创新公司共同设计了世界上首款生物复合材料外墙挂板。与传统建筑方式相比，这种方法可以使外墙系统的能耗减少 50%。

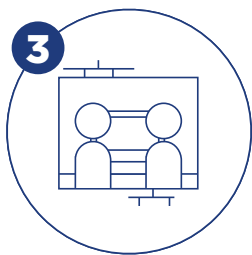
文本框 2: 实现建筑模块化和预制式施工

建筑业的工业化不是一个新概念，早在 20 世纪 50 年代就已出现，当时的关注点是建筑设计标准化。从循环性的角度来看，模块化的施工技术可以减少施工过程中产生的粉尘和垃圾，并降低能源和材料的消耗。一项研究比较了北京两栋结构体系和建筑面积几乎相同的建筑——一栋采用传统方法建造，另一栋所用混凝土中约 38% 是预制模块。研究结论显示，预制可以减少能源消耗（20%）和污染物排放，如二氧化硫（11%）和氮氧化物（4%）等。尽管钢材消耗量没变，混凝土消耗量增加了 10%，但其他材料消耗量均减少了 26% ~ 83% 不等，废物量也降低了 25% ~ 81% 不等。¹²¹

中国政府的目标是到 2026 年前后，预制房屋要占到新建房屋的 30%。¹²² 为了实现这一目标，住建部拟定了一份预制建筑示范项目清单，意在促进该技术的发展。例如，在山东省济南市，预制混凝土构件已开始运用到公共经济适用房、私人住宅和商业建筑项目中。预制钢结构也已用于一所小学和一个私人住宅项目。¹²³

文本框 3: 加快 3D 打印技术在建筑领域的应用

2016 年，数栋 3D 打印别墅亮相苏州工业园区，生产厂家盈创建筑科技（上海）有限公司也因此备受关注。这几栋别墅是使用高 6.6 米、宽 10 米的“打印机”打印出来的，“墨水”则是一种由玻璃纤维、钢筋、水泥、固化剂和建筑垃圾组成的混合物。其中一栋六层别墅占地面积为 1100m²，但其所用的材料只用一天就打印完成，组装也只花了不到一周的时间。相比传统建筑方式，这节省了 30% ~ 60% 的建筑材料，以及 50% 左右的建筑成本。¹²⁴ 不仅如此，这项技术对环境的负面影响也较小。由于使用了更为统一的材料，建筑质量也更高。尽管 3D 建筑具有很多优势，但目前还未得到广泛应用。原因之一就是公众对这种“过于完美”的技术还心存疑虑，会有安全性上的考量。除了与住建部一起共同制定行业安全标准之外，盈创建筑科技（上海）有限公司目前还在设计师、建筑师、开发商中间积极推广该技术（该公司不同产品线在国内外共拥有 136 项专利）。此外，该公司还组织公众参观工厂，建立开放的产品云平台，并在上海附近建了另外一栋 100 米高的示范建筑。¹²⁵



共享空间提高资产利用率

近年来，中国一线城市的房地产热一直在向二三线城市蔓延，使这些地区的建筑需求也迅速高涨¹²⁶。然而，在一些新的小区，一半住房都被房主空置¹²⁷。空间共享可以有效提升住房使用率，无需新建房屋。中国的空间共享市场正在快速发展。2016年，住房和办公室共享领域的总营业额达243亿元（约合39亿美元），比2015年增长了131%¹²⁸。

多家中外企业成功搭建了多个平台，满足人们对灵活租用办公场所的需求。公众对爱彼迎（Airbnb）等平台都不陌生，该平台采用C2C的模式出租闲置的住宅空间，这种模式在办公空间领域也取得了快速的发展。在办公空间共享市场，联合办公计划让自由职业者、创业者和初创企业能在中央商务区拥有一间小办公室，租金更便宜、灵活性更强，还可以使用多种办公设施。多家中外企业都进入了这个市场，并在大城市开设了办公空间，包括SOHO 3Q、优客工厂（UR Work）、裸心社（Naked Hub）、联合创业办公社（People Squared）、WeWork、WE+和酷窝（COWORK）¹²⁹。在联合办公模式下，最基本的办公桌可能每月只要1000元（约合160美元），价格非常具有竞争力。与传统办公租赁相比，联合办公空间还提供额外的福利，例如，为租户之间增进了解而组织各种社交活动，这一点对创业者很有吸引力。

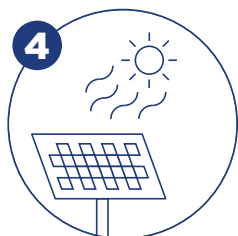
在“大众创业、万众创新”政策之下，中国政

府通过补贴和简化注册程序来支持初创企业¹³⁰。政府尤其热衷于鼓励联合办公空间和孵化器的发展，相信这些环境在培育创新方面发挥着重要作用¹³¹。包括We+和酷窝在内的一些企业正在专攻这一领域，并提供一个数字化平台，用户可以在平台上相互联系，寻求合作机会¹³²。中国许多城市也在积极推动联合办公的发展。例如，从2015年到2017年，杭州市政府每年为每个联合办公空间提供20～30万元（约合3.2～4.8万美元）的补贴，鼓励他们组织活动，吸引初创企业，并支持成立杭州联合办公联盟¹³³。目前，杭州共有100多处联合办公场所，容纳了2300多家企业¹³⁴。随着中国创业热潮的兴起（2016年平均每天有15000家新企业注册）¹³⁵，共享办公模式已经在北京、上海、广州等一线城市迅速扩张，并开始向苏州和乌鲁木齐等较小城市延伸¹³⁶。

在度假房屋短期租赁市场上，途家网开发了自己的B2C模式，以更好地满足中国游客的需求。这一需求十分庞大——据国家旅游局的数据显示，2016年中国国内旅游人数达44.4亿人次¹³⁷，部分原因在于新兴中产阶层可支配收入增加，交通基础设施也得到了改善。途家网聘请自身或第三方物业管理人员，通过对在其网站上登记的物业进行现场检查来确保房屋质量，以此向用户提供保证并赢得客户的信任。提供日租或短租服务的小猪短租也在国内市场强势崛起，目前在超过20座大城市设有办公室，35万套房源供选择¹³⁸。租金依设施而定，加上房源地理位置优良，租期灵活，小猪短租在年轻人中非常有吸引力。

这个市场还有进一步发展的巨大潜力。从供给角度看，房屋共享平台让成千上万私人房东有机会利用其闲置房屋赚取额外的收入——在一二线城市每天的租金可达350～500元（约合56～80美元）不等¹³⁹。从需求角度看，游客对住宿和更地道旅行体验的需求增长助推了这一市

场的繁荣。与大型连锁酒店不同，房屋共享平台的主要卖点之一就是提供多样化的设施和体验，能满足现代游客的各种需求。



“绿色建筑”提高能效

绿色建筑创新不仅可以降低建筑运行成本到最低，还有利于促进用户的健康和福祉。根据《绿色建筑评价标准》¹⁴⁰，绿色建筑在其整个生命周期中，不论是结构建造还是房屋使用，都采用对环境负责和资源高效的方式。绿色建筑的好处体现为能源和水资源消耗更少，运营和维护（O&M）成本也更低。确实，绿色建筑可将能耗减少 30% ~ 50%^{141,142}。例如，光伏建筑一体化（BIPV）和并网发电技术可以为中国人口密集的城市利用太阳能提供一个解决方案。全球最大的一体化光伏系统单体建筑就是上海虹桥火车站。安装在其 6.1 万平方米的屋顶上的 2 万多块太阳能电池板每年能发电 630 万千瓦时（度）¹⁴³。如果该技术能得到推广，将可成为循环城市能源规划的重要组成部分。灰水再利用技术也应得到重视，可以用来解决中国饮用水供应日益缩减的问题。这项技术的潜力无穷，因为建筑废水占中国废水排放总量的 60%，而其中的七成都是灰水（即相对清洁的非粪便污水），可重复使用。此外，还可通过屋顶花园或雨水蓄水池等雨水收集系统，收集雨水供大楼使用。

在北京、上海、深圳等中国一线城市，绿色

建筑市场已经成熟。然而，二三线城市购房者的收入往往低于平均水平，当地政府对提高能效的激励也较少，这就让绿色建筑对购房者和开发商来说都没多大吸引力。经过认证的绿色建筑在售价和租金上会分别高出 26% 和 28%¹⁴⁴。这一差异让一线城市与其他城市之间出现一条“绿色鸿沟”，如果未来相关条件具备，将为二三线城市发展绿色建筑提供一个机会。

中国绿色建筑的其中一个具体例子就是被动房ⁱ。被动房是指采暖或制冷方面能耗很少的住房。与传统房屋相比，被动房能节省 80% 的采暖能耗和 50% 的制冷及除湿能耗。研究表明，被动房在中国不同的气候区都是可行的^{ii,145}。不过，目前只有少数新建筑是被动房，可见其未来发展潜力巨大，可以创造可观的经济效益和环境效益。

i “被动房”是一项严格的自愿性建筑能效标准，旨在降低房屋的生态足迹。被动建筑采用超绝缘材料和技术，通过墙壁、屋顶和地面的热传递大大少于传统建筑。

ii 中国幅员辽阔，涵盖了六个不同气候带：寒温带、暖温带、温带、亚热带、热带和青藏高原气候区。

文本框 4: 绿色建筑：通过设计实现循环

根据住建部制定的《绿色建筑评价标准》，于 2013 年委托建造的深圳证券交易所广场获得三星级绿色建筑认证。这座 245 米高的地标性建筑融合了多种绿色建筑设计，包括可以自动遮蔽建筑以减少窗户通风需要的自遮阳外墙、设计严谨的水资源综合利用系统、太阳能热水系统，以及节能的水冷空调系统。这些设计明显提高了大楼的资源利用率，比传统设计方式节约 40% 的水和 20% 的能源。¹⁴⁶ 绿色建筑不仅能保持或改善环境质量，还能通过建筑设计降低运营成本。

另一个类似的案例是中国最高的（截至英文版报告发布时）摩天大楼——上海中心大厦，也采用了一系列绿色技术。该建筑同时获得了住建部三星级绿色建筑认证和美国 LEED 绿色建筑认证的铂金评级。¹⁴⁷ 屋顶的风力涡轮机可以为建筑提供 10% 的电力。大楼采用的绿色技术还包括双层中空玻璃、冷热电三联供系统、雨水收集系统和灰水回收系统。

文本框 5: 智能控水系统

使用传感器、通信技术和数据分析所带来的资源效益并不仅限于建成环境。饮用水供应系统是城市基础设施的另一个关键组成部分，但由于供水管道渗漏，且往往得不到足够重视，会造成大量的水资源损耗。低端仪表无法收集实际用水量和损耗量的数据，更是加剧了这一问题。2015 年一份对中国 603 个城市的调查充分暴露了数据缺乏这一现实问题，调查显示总供水量比水表总用水量的读数高出 21%，即在供水过程中的损耗高达 86 亿立方米。智能仪表可持续传输管道中水流的常规数据，让异常消耗模式得以凸显，能更快确定渗漏发生的时间和地点。提高计量精度还可避免对水费进行估算，提高收缴水费的有效性。由于不再需要人工查表和收费，成本也可得到进一步控制。深圳水务集团已经采用智能计量技术对其水务管理系统进行了全面升级，已在深圳市盐田区的南方明珠花园和其他居民区安装了约 1200 台窄带物联网智能水表。

智能控水系统在全球工业设施方面的成功案例进一步证实了它的强大。位于美国佛蒙特州伯灵顿的 IBM 工厂安装了一套智能控水系统，测量流经工厂的水资源数据。该系统由 5000 个电子传感器组成，每天收集 4 亿个数据点，涵盖 80 个参数（包括温度、流速、水压、pH 值和清澈度）。数据分析让 IBM 可以调整用水模式和走向，尽量充分利用每一滴水。由此，2000—2009 年，IBM 的用水量每年减少 29%，相当于每年节约了 450 万元（约合 72 万美元）的开支。除此之外，他们还在化学品和过滤成本方面节省了 420 万元（约合 67 万美元），并在能源和电力成本方面节约了 1900 万元（约合 300 万美元）。基于该项目，IBM 发展出了一项围绕智能水资源管理的全新业务。如果这项技术可以应用到城市居民区中，将为利益相关者提供非常准确的信息，让他们更好地理解水资源的消耗，包括哪些地方供水过多，哪些地方供水不足，以及智能控水在协同调配、提升效率和节约开支方面的潜力。



“智慧建筑”提高资产利用效率

随着数字技术特别是物联网的发展，“智慧城市”的概念在中国越来越受欢迎。智能建筑技术——如传感器、数据存储和计算服务——是智慧城市概念的先决条件，并逐渐成为人们日常生活的一部分。智能电表和天然气表可以让居民随时了解能源使用量并相应作出调整，最终大幅节省支出。例如，上海中心大厦的智能照明系统每年可节省电费 388 万元（约合 62 万美元）。在智能建筑中，数据分析也用于能源和水资源管理的优化。比如，瑞典建筑和开发商斯堪雅集团（Skanska AB）就使用传感器记录温度和振动等数据，使用无线设备存储和传输数据。利用这些智能设备和技术可以减少 40% 的用电量和 87% 的燃气消耗量¹⁴⁸。推广这些技术可以显著提高中国整个建成环境的能源效率和生产效率。



扩大建筑与拆迁废弃物再利用与再回收利用率

修建 1 万平方米的建筑会产生 500 ~ 600 吨的废料，但拆除同等面积的建筑所产生的垃圾则多达 7000 ~ 12000 吨，因此，妥善解决建筑物用后阶段的废料问题十分必要。在中国，建筑垃圾主要包括混凝土（48%）、废砖石（21%）、废陶瓷（10%）和其他材料（21%）¹⁴⁹。这些废弃的材料可以通过多种方式进行回收和再利用，比如可用作碎石、修路材料或地面材料。以混凝土为例，它是一种耐用的可回收建筑材料。从建筑垃圾中回收的混凝土可以粉碎之后用作集料，也可回收并用于制作新的混凝土¹⁵⁰。通过这样的方式最大限度利用回收的建筑材料和部件，可降低对原始材料的需求，并减轻城市环境中由建筑材料造成的污染。

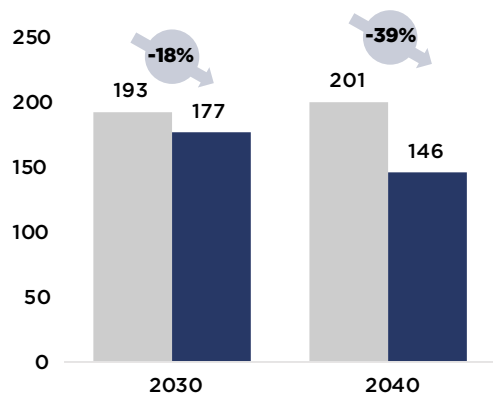
如今，大多数常见的建筑材料都有可回收利用的替代品。瓷砖、砖块和竹子这些中国的传统建筑材料完全可以再次利用，即使用在新建筑中也是可以的。中国建筑师们已经探索出了多种方案，将这些建筑废料和传统成功融入新建筑的设计之中^{151,152}。宁波历史博物馆就是这一趋势的其中一个案例。该博物馆由建筑师与当地工匠合作建成¹⁵³，既使用了新的建筑材料，也有拆除旧的村庄遗留下来的废料。这种融合减少了建造过程中对昂贵的新材料的需求，而且这些材料在之后都可以再次循环利用，既降低了造价，又减少了博物馆的环境足迹。

循环建成环境对中国城市的益处

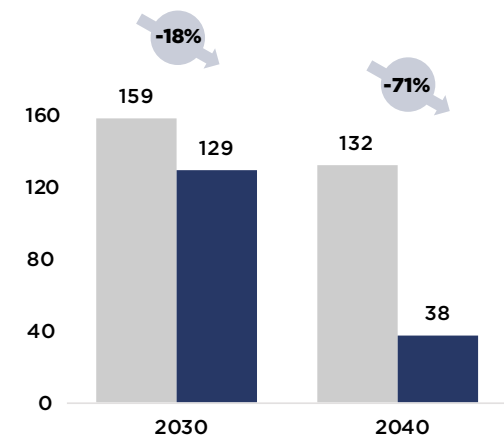
■ 现阶段发展路径 ■ 循环经济路径

基线 2015 = 100

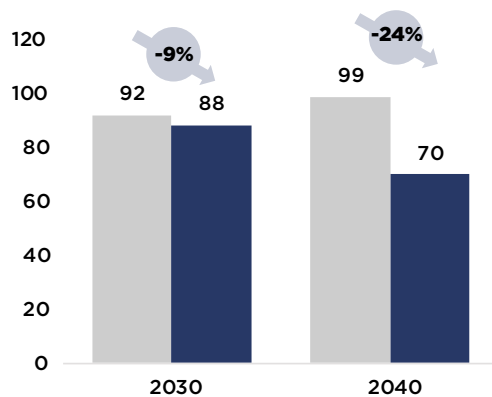
总体通达成本



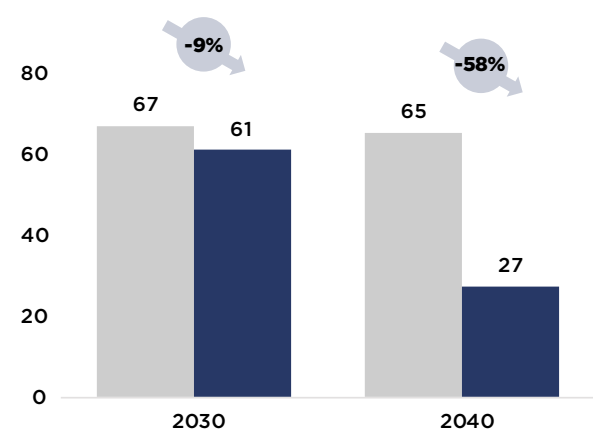
初级资源开支



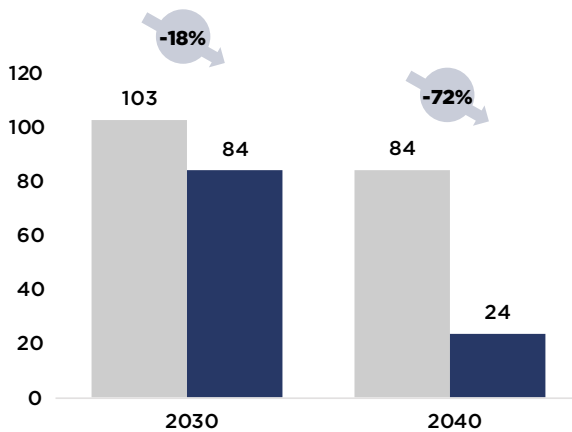
温室气体排放



PM2.5排放的社会负面影响成本



PM10排放的社会负面影响成本



量化收益

现行发展路径

按照现阶段发展路径，随着中产阶级对于住房空间的需求不断加大，城市住宅公寓的平均面积预计将从 2015 年的 60 平方米扩大到 2030 年的 90 平方米¹⁵⁴。与“十三五”规划和各项具体的建筑施工政策相呼应，政府预计将更加重视提高能源效率和治理环境污染。政府很可能会提供大量的财政支持用于修建廉租房，为城市低收入家庭和外来人员提供一个体面的生活空间。按照这样的推测，到 2030 年，50% 的城市新修建筑将是绿色建筑，30% 的城市建筑垃圾将得以回收再利用，而 20% 的城市建筑将采用预制或 3D 打印等工业化手段建造。

循环经济情境

在循环经济情境下，多种机会将影响到价值链的不同环节，彼此相互作用并放大各自对整体建成环境的影响。建筑的设计使用年限都很长，适于广泛共享，运用工业化手段建造，并采用智能家居 / 办公室技术。耐久性、模块化和可共享是未来建筑的关键属性。在这一情境下，到 2030 年，70% 的城市新修建筑将是绿色建筑，60% 的城市建筑垃圾将得到回收再利用，而 25% 的城市建筑将采用预制或 3D 打印等工业化手段建造。

如果能抓住全部六大机遇，到 2030 年，总体通达成本（TCA）ⁱⁱⁱ可降低 17%，到 2040 年则可降低 39%，相当于节省 34.5 万亿元（约合 5.5 万亿美元）。到 2030 年，97% 的开支节省将来源于用户套利成本的降低，其余 3% 则源自二氧化碳和颗粒物排放等环境负面外部性成本的下降（2040 年这一组数据将为 98% 和 2%）。此外，扩大回收再利用规模，到 2040 年将有 320 亿吨城市建筑垃圾得到循环利用。得益于垃圾的减少，到 2040 年，垃圾填埋量与目前发展路径相比将减少 81%。

到 2040 年，用户的套利成本——包括建造和拆除建筑物，以及房屋运营为家庭和其他用户带来的成本——在循环经济情境中可比在现阶段发展路径下降低 39%。

到 2040 年，循环经济路径下的建筑造价成本可比现阶段发展路径下降低 61%。这一成本的减少主要源自于采用工业化的建造技术，并更多地采用现场模块组装，提高建造阶段的资源生产效率。从建造过程全部采用新原料向回收再利用建筑垃圾转型，可大幅降低材料成本，进一步放大这些创新

所带来的效益。

材料转型带来的益处不仅在于降低了开发商和建筑商的成本，还能减少居民的房屋运营成本和维护支出。确实，较之于现阶段发展路径，城市建筑的运营和维护（O&M）成本到 2030 年将减少 10%，到 2040 年将减少 28%。具体来说，由于绿色建筑和智能建筑的普及，家庭能源开支——包括水、电、天然气和燃油——将会大幅减少。只要有适当的融资机制，这些长期的效益将超过前期的额外投资，对投资者产生吸引力。

iii 总体通达成本（TCA）由现金支出和外部成本组成。现金支出成本不包括政府补贴和增量资本支出（转向循环经济情景所需的额外投资）。外部成本代表相关的经济成本，例如温室气体和微粒的排放导致的收入损失和医疗保健支出。详细信息可在技术附录中找到。

与现阶段发展路径相比，到 2040 年二氧化碳排放将减少 24%，细颗粒物排放将减少 61%。

与现阶段发展路径相比，到 2030 年二氧化碳排放将减少 9%，到 2040 年可减少 24%。推广绿色建筑技术、智能建筑和空间共享是达成这一成果的动力。绿色建筑到 2030 年对二氧化碳减排的贡献率为 85%，到 2040 年将达到 89%。同样，到 2030 年细颗粒物（PM2.5 和 PM10）排放将减少 11%，到 2040 年将减少 61%。增材制造和预制等场外施工手段能使建筑扬尘这一 PM10 主要成分降到最低，是达到减排效果的主要驱动因素。

采用先进的建造技术，并对建筑垃圾进行回收和再利用，到 2030 年可以将中国城市建成环境的原始材料消耗量减少 18%，到 2040 年将减少 71%。

与现阶段发展路径相比，到 2030 年循环经济情境下的原始材料消耗将减少 18%，到 2040 年将减少 71%。到 2030 年，空间共享将提高建筑利用率，从而达到这一成果。到 2040 年，扩大建筑垃圾回收再利用将进一步降低原材料的消耗水平。

提升建筑垃圾回收和再利用的规模也能大大减少对原始材料的需求¹⁵⁵。“十二五”期间，国家发改委印发的《大宗固体废物综合利用实施方案》¹⁵⁶设定了大中型城市建筑垃圾再利用达到 30% 的目标。这些政策的重点是在建筑整个使用周期的多个阶段解决资源效率低下的问题。在这一政策的基础上，在循环经济发展路径下可通过将建筑组件和材料循环利用或分级运用到新的用途，延长建筑的使用周期。



移动交通： 用更少的车辆帮助更多的人出行

过去 30 年间，中国城市化持续推进，民众也愈加富足。这使得个人对出行的需求呈爆炸式增长，许多人将拥有汽车视为身份的象征。短短 20 多年，中国的汽车保有量就增加了 11 倍之多。这也导致中国部分城市出现了交通拥堵和污染问题。汽车的大规模使用会对经济、环境和人类健康带来负面影响，进而导致中国发展进程放缓。为了解决这一问题，移动交通部门需要实现系统性转变，采取一种可再生和恢复性更强的模式。我们的分析找到了可以加快这一转变的五大关键循环经济机遇：

- 促进多元共享交通；
- 扩大再制造产业规模，提升可回收再利用材料的利用率；
- 设计符合循环交通系统的机动车；
- 扩大零排放规模；
- 鼓励远程灵活办公。

若能抓住这五个循环经济机遇，2030 年便有望将交通总成本减少 12.6 万亿元（约合 2 万亿美元），拥堵成本到 2030 年会降低 36%，到 2040 年则降低 47%。此外，到 2030 年，道路交通事故造成的伤亡损失将减少 20%，到 2040 年将减少 28%。若能实施和整合所有循环解决方案，整个移动交通部门将会充满活力。这不仅能为用户提供更多选择，也能为中国城市的未来带来更切实可行的经济和环境效益。

由于中国日新月异的经济增速和城市化进程，大城市汽车数量空前增长。仅从 2000 年到 2015 年，中国汽车保有量就从 1610 万辆增至 1.72 亿辆¹⁵⁷，预计到 2020 年底将超过 2 亿辆¹⁵⁸。如此快速的增长带来的后果是，全球最拥挤的 25 个城市中，有 10 个都在中国¹⁵⁹。国际金融机构瑞银（UBS）的研究显示，中国的道路上，平均每公里就有 200 辆汽车，与美国交通最糟糕的城市洛杉矶相当¹⁶⁰。如此高密度的交通不仅进一步减少了城市居民生活的愉悦感，也降低了通勤效率。2017 年，北京市的平均通勤距离为 17.4 公里，平均通

勤时间为 52.9 分钟，东莞市和深圳市两个广东城市分别是 17.3 公里 / 48.5 分钟和 16.8 公里 / 47 分钟¹⁶¹。情况已然不妙，但中国的汽车保有量仍低于 140 辆 / 千人的全球平均水平。事实上，2015 年中国的汽车保有量仅为 120 辆 / 千人，相当于美国 1920 年的水平。目前，欧洲主要国家的汽车保有量为 550 ~ 600 辆 / 千人，美国则高达 825 辆 / 千人¹⁶²。中国要想在这方面和美国比肩，就必须再增加 10 亿辆汽车¹⁶³。

中国城市巨大的交通量影响着居民健康和环境。空气污染已成为中国主要的环境和社会问

题——目前中国 500 个最大的城市中，只有不到 1% 达到了世界卫生组织（WHO）提出的空气质量标准¹⁶⁴。有研究表明，糟糕的空气质量会导致心血管疾病和肺癌病例数量不断攀升¹⁶⁵。经合组织（OECD）近期的报告显示，2010 年，中国室外空气污染带来的健康损失约为 10.6 万亿元（约合 1.7 万亿美元），其中约三分之一由移动交通导致¹⁶⁶。除空气污染外，中国的移动交通也带来了大量的二氧化碳排放，2011 年的排放量约为 6.23 亿吨，占中国总排放的 7.5% 左右，而且按照目前的趋势，这个数字只会继续上升^{167,168}。交通量增加还会带来更直接的危害——据世界卫生组织统计，中国每年至少有 20 万人死于交通事故¹⁶⁹。

中国城市正在积极采取措施，消除当前移动交通系统带来的负面影响。为了解决交通拥堵和空气污染等问题，越来越多的中国城市正在出台政策，限制汽车保有量，进而限制上路车辆数。有些政策是从经济角度出发，如提高停车费标准。另一些政策则从行政方面着手，例如，上海每个月只发放 9000 ~ 10000 副新车牌进行拍卖，平均拍卖价格为 82000 元（约合 13400 美元），这就提高了购车成本¹⁷⁰。随着越来越多的城市对车辆牌照发放设定上限，中国私家车销量的增速有望放缓^{i,171}。

用户青睐共享交通的趋势已经显现。尽管许多中国人仍将拥有汽车视为社会地位的象征，但对很多中国特大城市居民来说，汽车的吸引力正在消退。目前，中国城市居民大多青睐安全、准时、灵活、可靠的出行方式，并非一定要用私家车。2015 年的一项调查显示，如果交通拥堵持续加剧，空气质量继续恶化，中国特大城市中多达 30% 的车主会考虑放弃私家车。受访者还表示，很多因素都会进

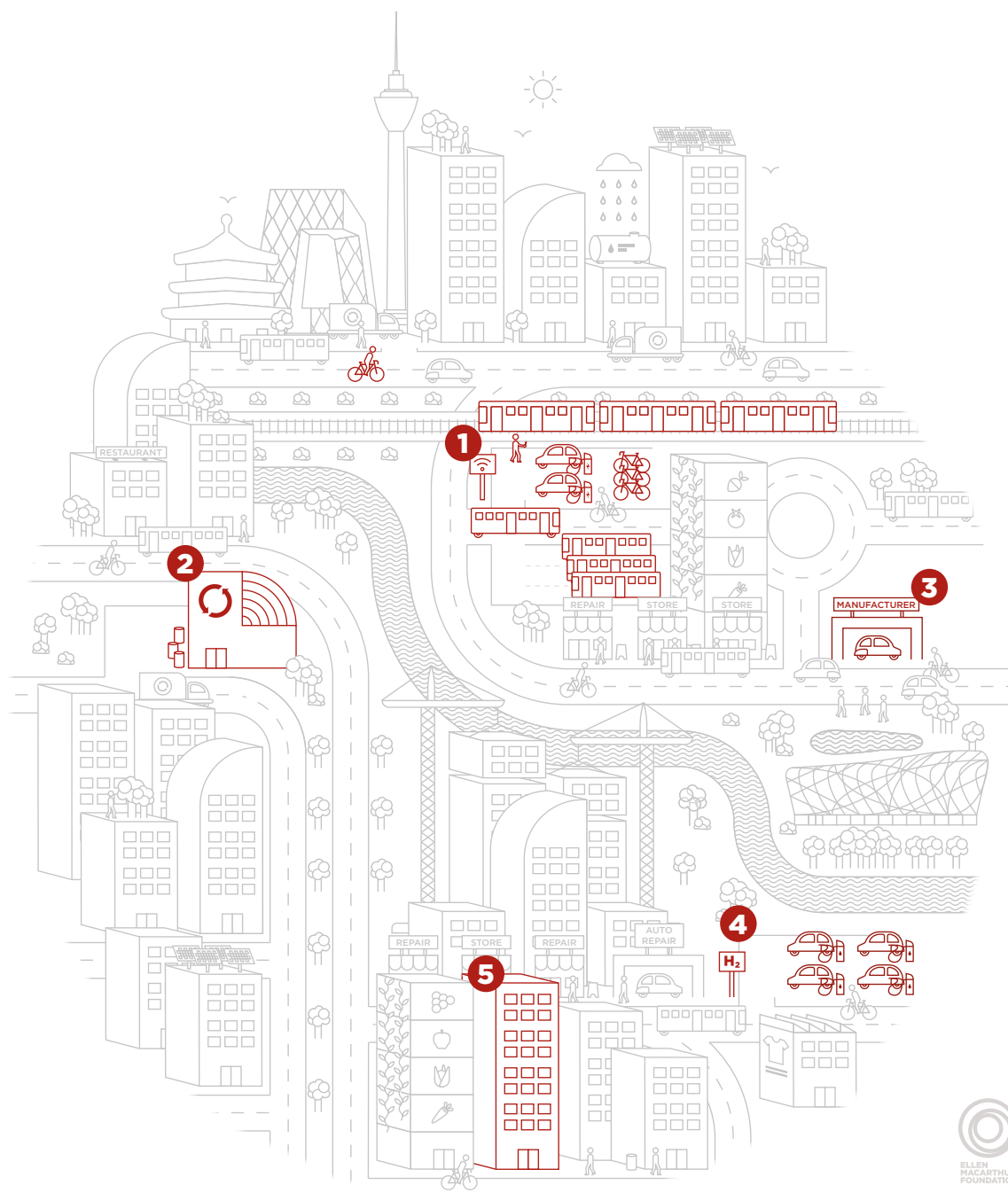
一步促使他们做出此决定，比如公共交通体系日益完善、出租车数量及灵活度不断增加、汽车租赁便利程度逐渐提升，以及智能手机应用支持的新型移动出行解决方案等¹⁷²。

突破性技术的融合、社会趋势和新型商业模式等因素已经开始改善中国和世界各地的移动交通境况¹⁷³。从传统的汽车原始设备制造商（OEM）到阿里巴巴¹⁷⁴和百度¹⁷⁵等技术企业，广大利益相关方都在努力研发未来的汽车。事实上，中国城市的出行模式很可能在接下来 20 年发生改变。以下五项循环经济机遇若能得到落实，便可加速这一积极变化。

i 中国汽车流通协会（CADA）估计，2020 年二手车的交易量将与新车相当，达到 2920 万辆。根据这一预期，2017 年中国每售出 100 辆新车就会有 75 辆二手车售出，而 2020 年该比例将达到 1:1，但与大多数发达国家每出售一辆新车就会有 2 到 3 辆二手车成交的水平还有明显差距。

中国城市的循环移动交通系统愿景

中国城市的循环移动交通系统将具有多元和共享的特征。按照循环经济原则，未来的汽车将实现零排放，城市居民也可以轻松地远程工作，享受更大的灵活度。所有这些循环解决方案结合起来，可以使城市移动交通更具活力，不仅能为用户提供更多选择，而且还能为城市建设一个更具经济和环境韧性的未来。



循环经济机遇

面对日益增长的客运需求，移动交通系统既要满足市民所需，又要节省成本、减少资源消耗、减轻排放，并极力降低对健康和社会的负面影响。移动交通是整个城市基础设施的重要组成部分，因此，在进行城市规划时，各种交通方式都要被纳入考量，建成环境等其他城市功能的需求也要得以体现。

我们的分析找到了可能重塑中国城市未来移动交通系统的五大循环经济机遇：促进多元共享交通；扩大再制造产业，使用更多回收材料；设计适合循环交通系统的车辆；扩大零排放规模；鼓励远程灵活办公。这些举措相得益彰，可能会超出预想，加速改变移动交通模式。



促进多元共享交通系统

城市人口数量激增导致了需求的不断上涨。为适应这一现状，城市移动交通系统整合了公共交通（如地铁、轨道电车、火车、公共汽车）、类公共交通（如私人运营出租车、共享汽车）和私人交通（如自行车、私家车）等交通方式。这样的系统将得到数字平台的支持，实现出行规划和单次支付，从而为用户提供便捷的体验。一些新型共享交通方式呈现出的爆炸性增长，显示了新型移动交通系统的吸引力和潜力。然而，要实现这一潜力，就必须为用户量身定制一套协调、连贯、全面的方案。这一方案将促使多元交通系统加速发展。

当前，由于智能手机、大数据和新型商业模式的日益普及，共享经济在中国发展得如火如荼。

中国近期一项调查显示，有 47% 的受访者听说过拼车，76% 的受访者表示对拼车感兴趣¹⁷⁶。车辆（包括汽车和自行车）的共享可以有多种形式：可以由原始设备制造商拥有和管理（如戴姆勒的即行 car2go 模式）；可以由第三方管理，由原始设备制造商支持（如 Gofun 出行）¹⁷⁷；或者由第三方技术供应商单独管理（如点对点汽车共享平台 zuche.com）¹⁷⁸。在这样的共享方案下，原始设备制造商或服务供应商就有动力去运营一个持久、高效的车队，因为成本很低¹⁷⁹。

滴滴出行是这个领域的领军者。作为“网约车”的先驱，滴滴出行平台让用户得以远程请求即时顺风车和预订出租车，同时还能找到汽车共享、小巴出租甚至自行车租赁的机会。滴滴出行成立于 2012 年，到 2016 年已有 5.5 亿注册乘客和 2100 万注册司机/车主，每天平均有 2000 多万笔订单通过该网站预订¹⁸⁰。滴滴出行拥有海量关于乘客需求和车辆使用的数据，若能得到政府和其他企业的强力支持，将有助于改善城市内部的交通管理¹⁸¹。

最近几年，共享单车风靡中国城市。摩拜单车成立于 2015 年，是全球最大的智能共享单车运营平台。它在超过 180 个城市拥有 700 万辆自行车，日订单量超过 3000 万¹⁸²。摩拜单车和它的竞争对手为用户提供了高度灵活的骑行方案，因为自行车可以停放在任何地方¹⁸³。从近期的报道来看，“随处可停”的理念在中国得到了“切切实实”的践行。一些自行车甚至被停放在绿地里，或者像垃圾一样被堆在一起。为此，地方政府正与企业密切合作，以从法律规范方面解决这一问题¹⁸⁴。

公共交通也是共享交通的一种形式。在地方需求和中央政府要求的推动下，中国城市已在这一领域进行了投资。近年发布的“十三五”规划涵盖了 2016 年至 2020 年中国城市交通的发展方案，目标是到 2020 年，基本建成安全、便捷、高效、绿

色的现代综合交通运输体系，部分地区和领域率先基本实现交通运输现代化。例如，2014年北京地铁有18条线路，总长度为527公里；2020年北京地铁将延伸至1000公里，是伦敦地铁当前长度的两倍多¹⁸⁵。2015年洛杉矶中美气候领导峰会上，中国证实，到2020年公共交通将占中国城市机动车出行总量的30%¹⁸⁶。“公交都市”是一项覆盖37个试点城市的国家级战略，旨在通过鼓励和支持城市改善公共交通系统来实现这一目标¹⁸⁷。公共交通的进一步发展也将极大受益于城市建成环境的精心管理，因为移动交通系统本身已被纳入这一环境之中。的确，一个设计精良的公共交通系统可以大大提高城市空间的利用效率。

自动驾驶汽车是另一种能够实现多元并向个性化交通迈进的发展方式。未来十年，自动驾驶汽车将在交通服务中扮演重要的角色，特别是为城市居民提供门到门服务和“最后一公里”解决方案。2016年，工业和信息化部与中国汽车工程学会出台了一份详细的发展规划，旨在到2025年，中国市场上能买到高度自动或全自动的汽车¹⁸⁸。互联互通的自动驾驶汽车网络可以减少拥堵，提高道路利用率，并改善交通管理，让市民可以更高效地利用时间。完全自动化的汽车还可以减少道路交通事故伤亡人数。

然而，现阶段想要完全理解自动驾驶汽车的好处和挑战还为时过早，因为该技术尚在开发和安全测试中。事实上，近期的一项研究表明，对便捷、廉价交通工具的需求增加将使得乘客公里数到2030年增长25%，而大部分的新增距离都要归功于自动驾驶汽车提供的“最后一公里”解决方案¹⁸⁹。因此，可以通过制定合适政策来减轻潜在的负面影响，进而支持自动驾驶汽车的发展。自动驾驶汽车也可以从其他潜在的政策变化中获益。例如，当一辆汽车处于自动驾驶模式时，事故责任就从驾驶员转移到了汽车制造商。此外，要想大规模推广

自动驾驶汽车，一份技术含量高、内容详尽的城市交通图不可或缺，但目前中国还没有城市具备这样的条件。不过，这些新进展确实为更灵活、更合适的交通系统提供了机会，可以缓解中国道路的压力。

文本框 6: 从停车场到交通导向设计：移动交通的系统性思考

随着收入和生活水平的提高，中国城市掀起了一股私家车购买热潮。到 2015 年，北京等大城市已有 60% 的家庭拥有汽车，这一数字预计在未来还会上涨。¹⁹⁰ 汽车数量与停车位供应之间的巨大差距已经凸显——大城市的汽车与车位之比为 1:0.8，中小城市为 1:0.5。¹⁹¹ 现有车位的利用不足进一步加剧了这一状况：车主经常把私人车位锁起来，即便白天他们把车停在单位，也不愿让这些车位为他人所用。¹⁹²

为了应对这一局面，市场上开始出现各种停车位共享解决方案。例如，北京的丁丁停车使用了智能车位锁，可以通过智能手机应用程序，用蓝牙技术操纵其升降。该系统是一个车位共享平台，私人车位拥有者可将自己的车位（不使用）出租给其他注册用户。¹⁹³ 这种共享方案最适合城市的多功能区域，这些区域既有住宅也有商业设施，因此形成了互补的停车需求。对城市来说，这个平台有助于缓解车位短缺并提高空间利用率。来自北美洲的一些研究表明，司机若使用共享停车系统，对车位的需求会减少 20% ~ 40%。¹⁹⁴ 这种共享方案可为司机和停车场业主创造一个双赢的局面，未来发展潜力无限。

除了修建更多车位，北京等城市还对每年发放的新牌照数量进行了限制，并采取各种措施来限制非本地私家车进入市区。^{195,196} 这些法规也许能有效阻止当前形势的恶化，但这只是治标；通过设计的力量来解决问题——即减少对汽车的需求才是治本之策。城市规划可以在促进公共交通的使用、抑制私人车辆的需求方面发挥重要作用。这对中国正处在规划阶段的新城市尤为重要。以交通为导向设计（以下简称：“TOD”）原则就是一个很好的例证，它提倡围绕公共交通节点发展高密度、可步行和多用途的城市空间布局。

TOD 提高了可步行性，使非机动车与公共交通得以更好地结合，这反过来又可以减少私家车的使用。中国的一项研究显示，到 2030 年，这样的城市规划可以使人均二氧化碳排放量减少 38% ~ 53%，其作用在人口超过 100 万的城市尤为显著。¹⁹⁷ 这些方案还可以减少 PM2.5 的排放，并能解决拥堵和车位不足的问题。2009 年，昆明市呈贡区推出了基于 TOD 的总体规划，将该地区划分为数个多功能小街区，彼此通过便捷的快速公交、地铁和高速铁路相连。呈贡区的目标是在 90% 的地区实现 500 米内必有公交车站。¹⁹⁸ 该规划还旨在建设一系列开放的空间和社区，方便自行车和行人进出。

想要充分实现如此大规模项目的效益，政府、城市规划机构和房地产开发商之间的合作不可或缺。城市规划和交通基础设施是城市发展的主心骨，但政府对 TOD 原则的持续支持也至关重要，因为要将城市规划从蓝图变为现实，通常需要几十年的时间。

案例研究 1: 宜昌市的多元移动交通

宜昌市是长江沿岸的一座中型城市，城市人口约为 200 万。¹⁹⁹ 中国虽有许多规模类似的城市，但宜昌市一直是创新交通领域的典范。全长 24 公里的快速公交（以下简称“BRT”）纵贯城市南北，是城市交通基础设施的支柱。这一公交走廊直穿市中心，连接火车站、高铁站和长途汽车站等主要运输节点。该系统具有专用 BRT 车道、场外收费、路面水平乘车等特点，通过提高乘车效率和行驶速度，为乘客提供了顺畅的交通体验。目前，BRT 每天要接待乘客 24 万人次，使城市私家车每天的出行距离减少了 30 万公里。²⁰⁰ 调查显示，自 BRT 系统投入使用以来，人们的出行选择明显从私家车转向了公共交通。私家车出行的比例从 42% 降至 30%，选用公交车和 BRT 的比例从 18% 升至 32%。²⁰¹

宜昌市 BRT 成功的另一个关键因素是，在“最后一公里”交通中，整合了自行车和行人友好型设施。市政府正在建立一个公共自行车系统，在市中心周围每隔 400 米就设置一个自行车点，将 BRT 车站与周围环境连接起来。²⁰² BRT 沿线的行人环境也得到了改善。障碍清除后，行人拥有了更多绿色空间、能遮阳的人行道、艺术品和户外环境设施。这些新增服务减少了周围交通和天气带来的烦恼，还提高了道路整体的美感。人行过街设施的改善提高了安全性和行人体验。所有这些变化都使 BRT 路线沿线地区更有魅力、更方便、更以人为本，促进了非机动车在“最后一公里”交通中的使用和公共交通在长途旅行中的使用。

在推广综合公共交通系统规划时，关键性的最后一点就是社会的接受和支持。若要将 BRT 打造成为一种受欢迎的交通方式，速度并不是唯一的考量——愉快的用户体验同样重要。在改善行人环境的同时，数字化有助于增加公众的参与程度。乘客可以通过手机应用程序和 BRT 站的显示屏获取实时信息，以便规划行程（这在广州、昆明等诸多城市也有实施）。海外研究表明，²⁰³ 提供此类信息可以增加客流量，并能减少乘客的实际等待时间和预期等待时间。^{204,205}

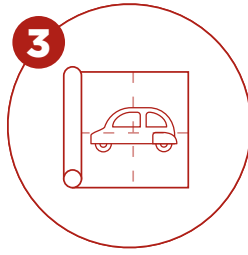
这样一个大规模项目的成功，在很大程度上需要依靠各利益相关方的协作。宜昌市政府是 BRT 项目和相关工程背后的主要推手，不过，交通与发展政策研究所（ITDP）和其他项目顾问也应邀，就如何加强 BRT 设计，并与城市环境更好地结合建言献策。

从经济角度来看，BRT 建设属于资金密集型项目，大量的资金投入保障至关重要——宜昌市 BRT 项目总成本超过 20 亿元（约合 3.2 亿美元）。²⁰⁶ 除了由宜昌市政府和宜昌城建投资控股集团提供的政府和社会资本合作（PPP）融资外，亚洲开发银行的额外资金支持也大大减轻了宜昌市政府的财务压力，加快了项目的实施。



扩大再制造产业规模， 提升可回收再利用材料的利用率

扩大汽车零部件的再制造，利用回收材料生产新汽车，有望促成材料循环，减少对原材料和能源投入的需求。随着汽车零部件使用期的延长，它的再制造与租赁或“汽车即服务”模式的结合可能尤其大有可为。在这些情况下，必要的逆向物流相对更容易管理。如雷诺的舒瓦西勒鲁瓦再制造工厂所示，在保证与新零件质量相同的情况下，使用重新制造的变速箱、喷射泵和汽缸头等零件，可以降低 30% 以上的成本。事实上，相较于生产全新零部件，雷诺用再制造零部件可以节能 80%、节水 88%、化学投入减少 92%，同时，产生的废料减少了 70%²⁰⁷。再制造产业的经济和环境效益是在中国经营的 OEM 巨头投资新设施的主要原因。例如，沃尔沃中国有一个用于客车和卡车的再制造工厂，预计梅赛德斯和通用汽车等企业也会在 2018 年底前建立再制造工厂²⁰⁸。如果这些措施得到鼓励和强化，会创造一系列新机遇，以改善当前移动交通生产系统的经济和环境影响。



设计符合循环交通系统的机动车

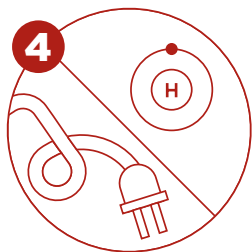
循环移动交通需要符合其要求的车辆，也就是按照循环经济原则所设计的车辆。在实践中，这意味着设计可以再制造的车辆，以适应共享和多元系统，并且要模块化，以便于改装。设计还应注重轻量化，以节约能源。

大多数汽车都为五座，但每辆车的平均乘客数不到两人²⁰⁹，这是汽车普遍存在的典型结构性浪费问题。除了要使用更多的材料，较大、较重的车辆显然也要消耗更多燃料。基于特定用途所打造的车辆，例如只有两座的车型，是一种更省油的交通工具，成本也会更低ⁱⁱ。

除去材料的使用外，采用更综合的方法设计车辆和车辆共享系统，可以实现城市移动交通的系统性转变。例如，车辆共享系统可以提高特定用途交通系统的灵活性，因为有共享需求的人只有在需要更多空间或座位的情况下，才会选择更大的汽车。另一种汽车设计的创新能够更进一步实现这个理念，那就是模块化。使用模块化系统，车辆可以很容易地从个人汽车改装为皮卡或货车。例如，Open Motors 是一家 B2B 公司，其目标是实现交通 100% 模块化。这意味着该公司可以维修、更换和调整零部件，延长产品寿命，降低汽车的通达成本，并提高其可回收性。它还提供了一个现成的硬件平台，使企业只需花上传统汽车制造成本的六分之一和一半的时间，就能生产出完整的电动汽车²¹⁰。

ii 基于每位乘客计算。

生产特定用途、可再制造和模块化的车辆，构成一个综合性的移动交通系统，可以为消费者提供更多选择，同时降低资金和环境成本。



扩大零排放规模

在中国，想要解决对化石燃料依赖所带来的经济和环境问题，并满足人们日益增长的出行需求（尤其是通勤需求），研发氢动力汽车和电动汽车等无污染、零排放的车辆至关重要。

电动汽车已经成为汽油车和柴油车的重要替代品。电动汽车的一个明显好处是每公里消耗的燃料（电）要比汽油便宜得多，因此运行起来要比内燃机成本更低。此外，它们的运转部件较少，因而降低了维护要求，不需要传动液，也不需要调整发动机或换油，而且由于使用了再生制动系统，刹车磨损也会大大减少²¹¹。它们拥有较低的运营成本和总保有成本，对环境的负面影响也会大大降低，这意味着电动汽车可能会主导共享交通的发展。

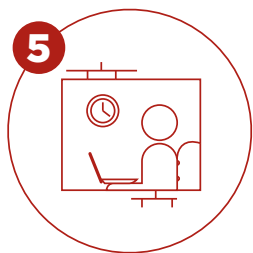
中国一直希望开启电动汽车革命。部分城市已经严格限制、甚至完全禁止燃油双轮机动车上路行驶，鼓励使用电动车辆作为替代。由此，中国已成为最大的电动双轮机动车市场，其制造商也在全球居领先地位²¹²。2016年，国家发改委放宽了对外商投资电动汽车的法规限制，以推动实现到2020年，中国道路上有500万辆电动汽车的目标。2018年，在滴滴出行平台上注册的电动汽车已达26万辆，并且预计2020年前将扩大至100万辆²¹³。北京也计划投资90亿元（约合15亿美元），把7万辆传统出租车替换成电动汽车²¹⁴。这一转变

需要解决废旧电动汽车电池的问题。2015年，中国锂离子汽车电池产量为16.9GWh，而2020年的需求预计将达到125GWh^{215,216}。这就为再制造商和回收商提供了大施拳脚的机会。中国城市道路上的电动汽车越多，碳排放就越有望大幅减少。若想真正实现电动汽车的潜在效益，中国电力行业也需要向着可再生能源转型。根据国家统计局的数据，2015年有超过73%的电力来源于化石燃料。过去十余年中，中国对化石燃料的依赖在2006和2007年达到峰值（占发电量的83.3%）。但此后逐年下降，2015年仅为73.0%——相当于10年下降了10%。对于这样一个庞大的技术体系（而且它正在迅速发展）而言，这是一个非常可观的转变。它为实现到2020年热电只占发电量的63%、到2030年低于50%的目标打下了基础²¹⁷。2017年1月，习近平主席在达沃斯世界经济论坛上发表了具有历史意义的主旨演讲，他再次重申中国会致力于推进《巴黎协定》。要实现这一承诺，中国到2030年将要实现8到10亿千瓦的新增可再生发电装机容量——这相当于整个美国的发电能力²¹⁸。

燃料电池技术是中国移动交通行业的另一个关键机遇，有望获得政府补贴，尤其是针对公交车和大型轿车的补贴²¹⁹。技术的进一步发展可以降低成本，从而有助于推广具有零排放、迅速储能和足够续航里程等特性的新型氢动力汽车。在政府的大力支持下，一些城市已在测试市内和城际公交车的燃料电池²²⁰（一辆大型燃料电池公交车可以获得高达100万元的补贴）²²¹。乘用车也被囊括在补贴计划内，有望得到长足发展——全国运行的氢燃料电池汽车预计会在2019年将达到1万辆，到2020年达到1.3万辆²²²。

公交车服务电动化

在应对石油危机的恶化和道路能源需求增加方面，深圳市的做法值得借鉴。²²³ 该市在 2017 年已实现全市公交车的电气化，这对改善城市空气质量至关重要。²²⁴ 由于电气化，深圳市的雾霾天数从 2010 年的 115 天减少到 2015 年的 35 天，2016 和 2017 两年均成功实现空气质量改善目标。²²⁵ 从 2010 年到 2015 年，深圳市 PM2.5 的平均浓度降幅超过 50%，同时碳排放量也下降。²²⁶ 从经济角度来看，电气化也节省了约 70% 的燃料费用，降低了运营成本。²²⁷ 深圳市快速转型的背后有政府各项配套措施的强大支持。²²⁸ 例如，补贴电动公交车的运营、修建充电站以供沿线司机使用等。²²⁹ 此外，公交车制造商还为车辆和电池提供终身保修服务，这可以帮助公交车运营商降低因机械故障而增加成本的风险。²³⁰



鼓励远程灵活办公

通过远程工作和虚拟会议，技术革命已使虚拟办公成为现实。向弹性工作制转变可能会减少中国城市道路上的乘客公里数量。仅在上海，2450 万居民中就有 60% 的人每天进出城市²³¹。通勤人数的下降可以减少拥堵，并改善空气质量。

远程灵活办公是技术创新和组织变革相互作用的结果。以后要想更多地在家工作，就需要在工作安排上有所调整，还要有在单位、家中或其他地点都能负担得起的便捷技术²³²。如果这些技术到位，办公人员便可以选择在家工作，或者在家完成部分工作，避免在上下班高峰期间通勤。这会尽量减少车辆受困于交通拥堵的时间，从而减少空气污染。

新型信息和通信应用程序，以及服务的普及将使工作更具移动性。这些技术可以创造虚拟办公室，促进各种灵活办公形式的实现，同时也能提高工作效率²³³。例如，移动设备、高速互联网和云存储系统的普及，会使越来越多的工作在办公室外，或利用家中的掌上设备就能完成²³⁴。

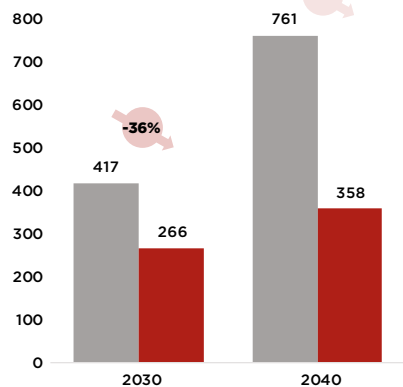
重要的是，中国领先的综合性旅游服务机构的研究显示，在家工作可以改善员工绩效、提高工作满意度并避免消极怠工²³⁵。

循环移动交通系统：惠及中国城市

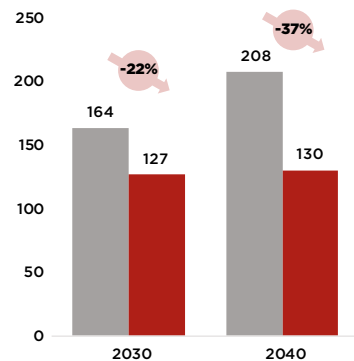
■ 现阶段发展路径 ■ 循环经济路径

基线 2015 = 100

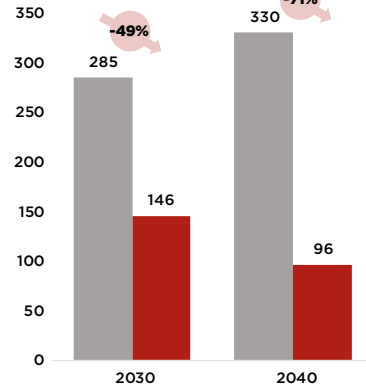
总体通达成本



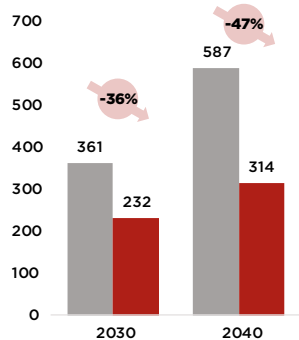
温室气体排放



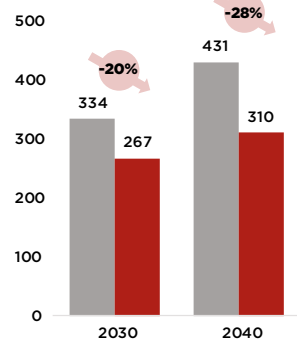
初级资源开支



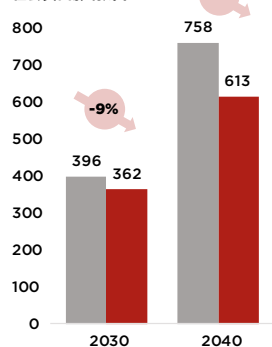
拥堵的社会负面影响成本



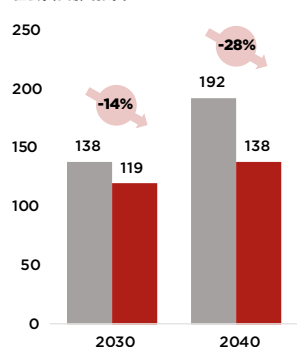
因交通事故造成的伤亡的社会负面影响成本



氮氧化物排放的社会负面影响成本



PM2.5排放的社会负面影响成本



量化收益

现行发展路径

在人口增长、城市化和收入增长的推动下，从 2015 年到 2030 年，中国的交通需求预计将增长 400%。在“十三五”规划中，政府提出要到 2020 年，基本建成安全、便捷、高效、绿色的现代综合交通运输体系，因此成本和排放预计都将有所改善。现阶段发展路径也体现出决策层要不断创新技术，不断降低排放水平的决心。他们还将出台一系列发展城市公共移动交通系统的投资计划。但是，非系统性的城市交通规划难以在系统层面上进行多元交通整合。尽管共享出行将保持强势增长，但私家车的受欢迎程度仍将居高不下。

循环经济情境

循环经济路径反映了一种以系统性思维为基础的方法，将移动出行高度融入城市规划，方便市民利用各种交通方式。循环移动交通系统将有多元和共享的特征，采用专门为该系统设计的车辆，以便远程灵活办公的人使用。这样，城市居民将乐于转向便利的公共交通、共享交通或骑行。该系统还将受益于数字技术，以解决拥堵和道路交通事故等问题。新的数字技术还将为工作的虚拟化带来更多可能，进而减少交通需求。

抓住五个循环经济机遇，可在 2030 年将交通总体通达成本（TCA）ⁱⁱⁱ 降低 12.6 万亿元（约合 2 万亿美元），较之现阶段发展路径提高 36%^{iv}。其中，有 83% 来源于现金支出的直接减少，17% 来源于对社会负面影响成本的降低，如细颗粒物（PM_{2.5}）和氮氧化物（NO_x）排放的减少、交通拥堵的缓解，以及因交通事故造成的伤亡人数的下降。进一步落实这些机遇可在 2040 年带来 33.5 万亿元（约合 5.4 万亿美元）的效益，其中 87% 为用户成本节约，13% 为社会负面影响成本的降低。此外，在涵盖了化石燃料的不可再生资源方面，实现循环经济将使其消耗到 2030 年减少 49%，到 2040 年减少 71%。在已经打造为循环经济的 2030 年，服务主导的移动交通模式会贡献大部分机遇。到 2040 年，随着办公模式向更加远程灵活的方向转变，人们对移动交通的总体需求也会减少。

到 2030 和 2040 年，分别会有 89% 和 80% 的总效益源于多元共享移动交通的发展。

采用综合和多元方法发展数字化的共享交通，

利用便利的公共交通服务和车辆共享平台，可以提高现有车辆的整体使用率。比如，在已经打造为循环经济的 2030 年，会有 42% 的汽车里程由共享车辆完成，到 2040 年这一数字将增至 52%，显

iii 总体通达成本（TCA）由现金支出和外部成本组成。现金支出成本不包括政府补贴和增量资本支出（转向循环经济情景所需的额外投资）。外部成本代表相关的经济成本，例如温室气体和微粒的排放导致的收入损失和医疗保健支出。详细信息可在技术附录中找到。

iv 总获取成本由现金支出成本和外部成本构成。现金支出成本除去了政府补贴和增量资本支出（为了向循环经济情况转变的新增投入）。外部成本包括温室气体和颗粒物排放等造成的收益损失和医疗支出等。详情请参见技术附录。

著降低交通的通达成本^v。

与现阶段发展路径相比，循环经济路径可大幅减少车辆有害气体排放。

若能落实全部五个循环经济机遇，到2030年细颗粒物（PM_{2.5}）排放的相关社会成本将会减少14%，氮氧化物（NO_x）排放将会减少9%，到2040年将分别减少28%和19%。此外，到2030年，二氧化碳排放量将减少22%，2040年将减少37%。这些下降趋势主要得益于零排放推进方式的引入，如电力、氢或生物来源的压缩天然气（CNG）。到2030年，43%的车辆将使用上述推进方式，这一数字到2040年将增至85%。

循环经济机遇到2030年可降低36%的拥堵成本，到2040年降低47%。此外，道路交通事故造成的伤亡损失到2030年会减少20%，到2040年减少28%。

发展车辆自动化等新技术，进一步促进多元共享交通是这一趋势的主要推手。到2040年，联网的自动驾驶汽车将为城市居民提供门到门和“最后一公里”的交通服务。同时，由于与其他车辆的互联互通，自动驾驶汽车将有助于减少15%的交通拥堵和25%的道路交通事故。鼓励远程灵活办公可使中国城市人口在2040年减少3万亿公里的出行，从而减少交通事故和拥堵。

^v 城市居民总交通成本的下降表明，循环经济机遇和整个交通系统外部成本的下降给用户省钱了。开支减少背后有多个驱动因素，包括开车距离、拥堵、二氧化碳排放和资源消费等各项指标的下降，这些结果在当前发展路径下是不可能全都实现的。



城市给养： 向再生型城市食品系统转变

未来十年，中国农业将会面临严峻的考验：一方面，要能生产足够的粮食，满足城市人口不断增长和变化的需求；另一方面，又不能对环境造成过度的负面影响。据估计，目前中国生产的供居民消费用食物中，约有三分之一是被浪费掉的，其数量足以养活五亿人口。不仅如此，中国超过 40% 的耕地出现了中度或重度的土壤退化现象。与此同时，中国城市人口的膳食结构中，肉类的比重越来越大，对资源的需求也日益增加。中国并没有忽视这些问题，政府已经表明了决心，力求提高农业生产率，减少粮食损失，确保即使不能做到完全自给自足，也能够将粮食安全保持在较高水平。在努力实现目标的过程中，循环经济原则可以提供有益的指导。该报告就介绍了五种循环经济机遇，若能够多管齐下，将有潜力优化中国的食品供应系统，在让它变得更高效的同时，也与国家经济、环境和社会的要务达成协调一致。这些机遇分别是：利用城市食品废弃物与废水修复土壤；扩大有效农业供应链商业模式范围；优化食品存储、运输和加工；从设计源头消除零售系统中的食物损失和浪费；优化健康与环境友好型食品消费模式。

与现阶段发展路径相比，到 2030 年，抓住这些机遇将创造 4000 亿元（约合 640 亿美元）的经济效益。以这种方式降低健康饮食的成本，将能够带来巨大的环境和社会收益。例如，到 2030 年，温室气体排放将减少 6%，PM2.5 排放将减少 85%。其中一些成果将体现在农业生产系统中，例如，用城市餐厨垃圾堆肥取代部分合成肥料^{vi}。

农业和粮食生产仍然是中国最重要的产业之一。从大约 4000 年前夏朝建立，到 19 世纪中期，农业一直是中国经济增长的主要驱动力。尽管在 2000—2015 年²³⁶，农业对中国国内生产总值（GDP）贡献减少了一半，但整体规模依然可观，占了 GDP 的 10% 左右，提供了 30% 的就业岗位。整个食品和农业领域的估值为 10.6 万亿元（约合 1.7 万亿美元）²³⁷。中国同时也是食品消费大国——

每年有 1.8 万亿元（约合 3000 亿美元）的支出用于肉类（其中三分之二是猪肉），这使中国成为全球最大的肉类消费国²³⁸。

农业生产率一直在提高，进一步改善也指日可待。2004—2014 年，中国农业复合年增长率稳定在 11%²³⁹。麦肯锡全球研究院预计，2015—2030 年，中国农业的复合年增长率将进一步提高 7%²⁴⁰。这一进步很大程度上要归功于运营上的改

vi 这一分析着眼于城市系统，并未将农业中的循环机遇考虑在内。在农机共享和广泛采用再生农业措施等方面，农业不会轻易受到城市家庭和决策者的影响。

变，如机械化水平的提升，以及农场规模的扩大和效率的提高。目前，中国主要的食品供应商是小型农场，平均面积为 0.65 公顷（相比之下，美国为 179 公顷）²⁴¹。小型农场由于规模限制，很难获得技术和贷款，而这两者可以帮助农民提高生产率并进入市场，进而提高农产品的价格。

目前的食品体系仍充斥着浪费和不环保的现象。

中国农场生产的食物中，有 34% 被浪费了，这足以养活 5 亿人²⁴²。例如，案例研究显示，平均 5% ~ 9% 的谷物和油料作物，以及 20% ~ 30% 的蔬菜和水果都在收获过程或后续处理中损耗²⁴³。和许多国家一样，粮食损失的一部分原因是批发商和投机者囤积农产品希望推高价格，导致农民下一季生产过剩。不仅如此，食品精炼（即筛选并丢弃不符合质量或外观标准的食物）是造成浪费的又一原因。与此同时，中国的食品体系带来了一些环境外部成本如温室气体排放、大量水源消耗和污染、以及土壤退化。这背后的原因之一是农药的大量使用，其用量从 1978 年的不足 800 万吨，增长到 2013 年的 5300 万吨。此外，中国每公顷化肥的施用量是全球平均水平的四倍²⁴⁴。然而，被农作物吸收的化肥还不到总量的 30%，其余的或者进入空气中，或者溶入地表水，或者污染当地土壤²⁴⁵。更甚，中国畜牧业的迅速发展产生了大量直接粪便排放，加剧了这一状况。目前，中国北方河流中超过三分之二的富养物质和中南部河流中高达 95% 的富养物质都归因于此²⁴⁶。化肥的消费和损耗也会导致温室气体的排放，再加上杀虫剂的使用，导致了非灌溉作物（例如橘子和桃子）排放量的 90% 以上²⁴⁷。最后，中国的可耕种土壤中，超过 40% 的退化程度在中度到重度之间，因此，有很大面积的土地需要被替换或恢复²⁴⁸。

中国城市人口的营养摄取模式正在改变。在过去十年里，中国家庭的购买力有了显著的提升，消费支出激增 149%，人均 GDP 增长 125%^{249,250}。同一时期，中国人对多种食品的人均需求也大幅增长——乳制品增长了 33%，农作物增长了 51%ⁱ。中国人饮食中最明显的变化之一是动物蛋白的消耗增加。如今，中国人均每年消费 63 公斤肉类，这是 1978 年的 6 倍。预计到 2030 年，中国的人均肉类消费量还将增加 30 公斤²⁵¹，其中 10% 将来自牛肉²⁵²。据悉，中国政府计划控制牛肉消费增长，因为它可能会对人类健康和气候造成负面影响²⁵³。

总体来说，中国的食品体系还不够健全。尽管中国在改善人口营养不良方面取得了令世界瞩目的成就，1990—1992 年，营养不良人口占总人口的 23.9%，2014—2016 年该比例下降到 9.3%²⁵⁴，但如今，肥胖每年给中国造成的损失超过 5800 亿元（约合 930 亿美元），相当于 GDP 的 1.1%²⁵⁵。肥胖症在中国城市地区比其他地区更为普遍（肥胖症的全国发病率为 6.9%，在城市地区的发病率是 10.3%）。中国城市的饮食习惯正迅速接近西方发达国家，热量过剩，蛋白质和脂肪摄入过多。如果任其发展，到 2030 年，中国城市的肥胖率将增长至 25% 左右²⁵⁶。

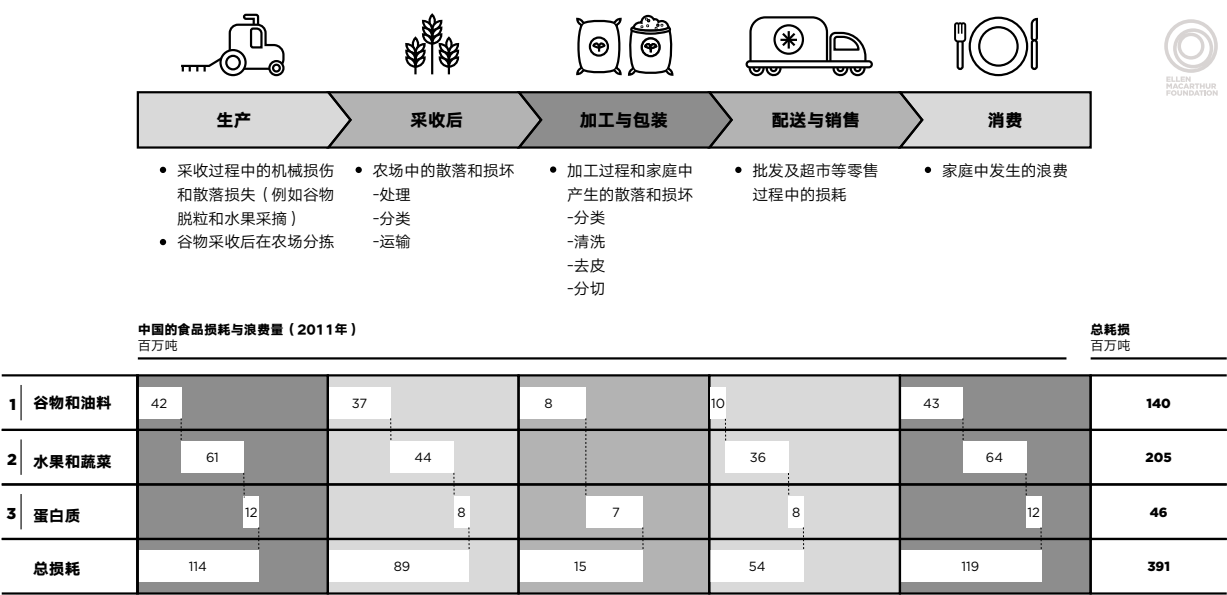
中国的粮食安全面临威胁。上述问题的一个主要后果，是在未来十年，中国食品供需之间微妙的平衡可能会被打破。很多农作物在中国的种植成本高于其他国家，因此，进口是一个必然的趋势，大豆最为突出。1964—2017 年²⁵⁷，大豆需求的复合年增长率高达 9%。如今，大豆约 90% 的总需求依靠进口来满足^{ii,258}。对于食品级大豆交易商（可能是中小型企业）而言，在花园和小型农场中种植

i 数据来自麦肯锡全球研究院对 2005 年到 2015 年的统计，其中家庭消费支出增长数据为 2004 年到 2014 年。

ii 从 2001 年到 2016 年，大豆进口的复合年增长率为 12.7%。国际贸易中心（ITC），“贸易地图——国际贸易统计”

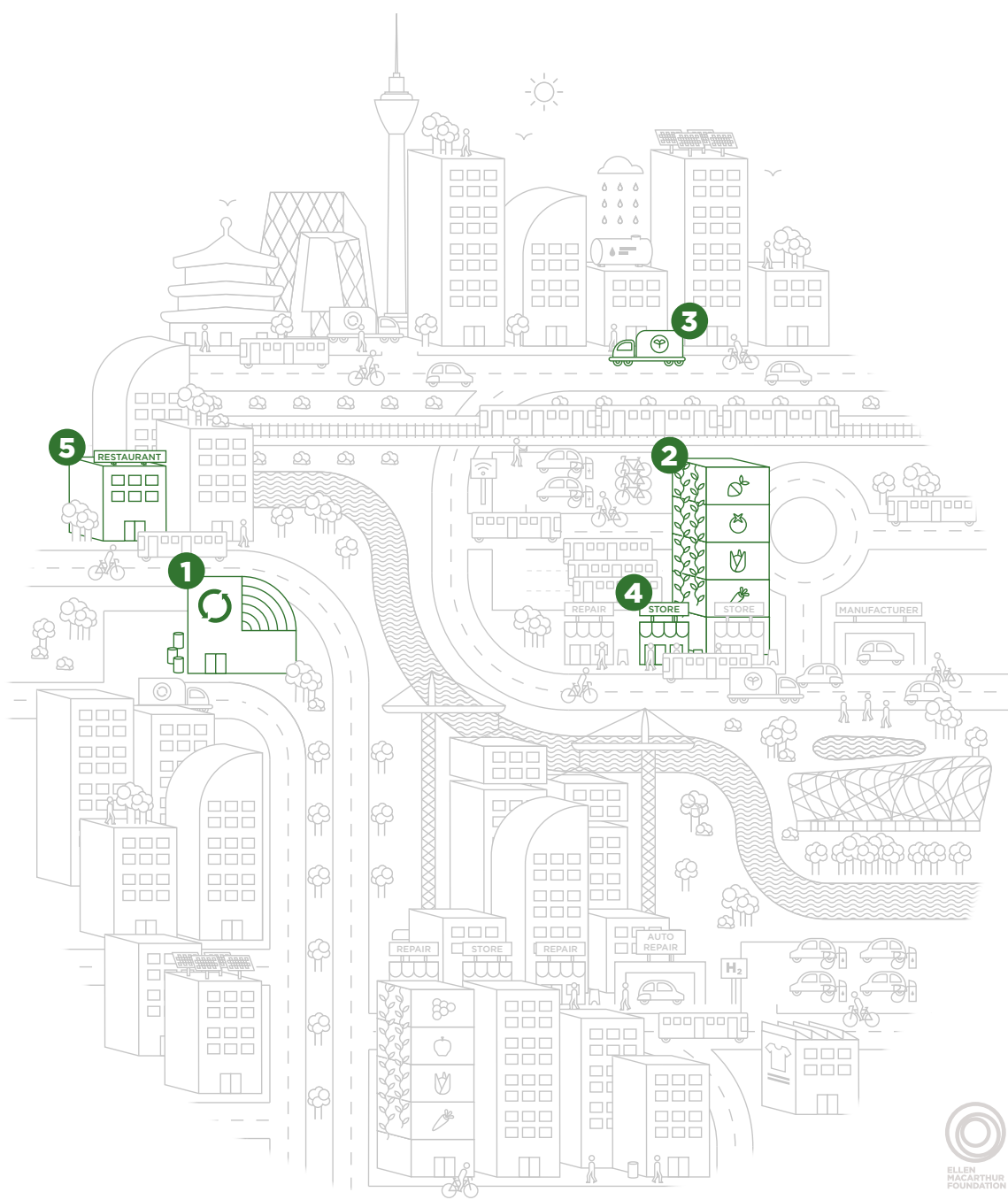
大豆不切实际且效率低下，这导致中国食品制造商只得转向进口商²⁵⁹。面对这一趋势，政府认为，保证一定程度的粮食安全至关重要，因此，提高生产力，减少粮食损耗/浪费迫在眉睫。

图 2: 中国食品损耗和浪费的原因和要素



中国循环营养系统前景展望

在未来几十年中，通过建立一个可再生、有韧性、无浪费且健康的营养系统，中国将能够直面挑战。该系统将建立在工业化带来的技术进步之上，但保留甚至重新引入传统营养价值链的要素。新的系统将改善营养循环，从而恢复土地，并利用数字化解决方案，拉近食品生产商与城市家庭的距离，避免价值链上的浪费。最重要的是，新型营养系统将鼓励推广健康食品。



循环经济机遇



利用城市食品废弃物 与废水修复土壤

将营养物质从城市运回农耕系统的第一步，是根据源头不同对城市有机垃圾进行分类收集和处理。2016 年，习近平主席在中央财经领导小组第十四次会议上强调，要加快建立分类投放、分类收集、分类运输、分类处理的垃圾处理系统，形成以法治为基础、政府推动、全民参与、城乡统筹、因地制宜的垃圾分类制度，努力提高垃圾分类制度覆盖范围。例如，在据源头分类的有机垃圾收集费上予以优惠。下一步，是提高堆肥质量，以便获准进入高价值市场。分类不当或不完全成熟的堆肥只能用于填埋等无价值的用途，或道路施工中预防侵蚀等低价值的用途。最后一步，是改进工艺流程和农业技术，增加农业系统对这些营养的吸收。对有机营养物质价值进行创新优化的一个范例，便是成功创收的有机废物处理企业——江苏洁净环境科技有限公司（见案例研究 2）。

采用可分解包装改善有机垃圾回收

食品和塑料包装密不可分。塑料包装占全球塑料市场的 26%，是塑料最重要的用途，其中食品包装占了一半²⁶⁰。因此，塑料在食品保存和运输方面发挥着越来越重要的作用。城市化以及随之而来在生活方式和消费上发生的改变，使得中国对软

包装的需求增加，尤其是食品和饮料的包装。预计到 2019 年，中国软包装需求的复合年增长率将超过 8%²⁶¹。

在特定的环境和应用中，可分解包装可以锁住有机垃圾的营养价值，这也是包装最初的用途。在有些用途中，包装使用后容易留下较多的食品废物，例如活动场地、快餐店和食堂中的外卖包装或食品包装。虽然包装本身所含营养成分很少，但包装的内容物通常是有价值的有机养料。因此，可分解包装的作用至关重要，可以促进更多未消耗的营养物质重返土壤。基金会的《城市有机循环》报告显示了可分解包装的多个好处²⁶²。咖啡胶囊就是一个很好的例子，它正是随着工业可分解塑料包装的增加而产生。2015 年，意大利乐维萨咖啡公司推出了可降解塑料咖啡包，由野生蓟和咖啡豆制成，完全可以生物降解，且通过了有机分解认证。如果能建立食品垃圾收集系统，或专门的咖啡废料收集系统，这一应用就可以在中国得到推广。2016—2019 年，中国的咖啡消费增长速度预计高达 18%²⁶³，因此，中国将成为咖啡消费大国²⁶⁴。一般来说，可分解食品包装应与适当的收集和分解基础设施结合使用，以确保它们能够高效地分解。此外，为了避免对经济、公共卫生和环境造成负面影响，应该只使用符合标准的包装材料ⁱⁱⁱ。

随着广州市和苏州市等众多中国城市纷纷落实措施，建立收集、分类和处理系统以获取有机垃圾的价值，城市管理者正在积极寻找新的方法，希望获得更好的项目成果。使用可分解塑料袋来收集垃圾不失为一个不错的补充方法。意大利一贯在有机废物管理方面表现良好，米兰市发现可分解塑料袋有助于从家庭收集更多的食品垃圾。2011 年，米

iii 关于可降解包装在循环经济中作用的更多详情请参见基金会的报告《新塑料经济：重新思考塑料的未来》。

兰市推出了通过厌氧消化或工业分解认证的可分解塑料袋，用于上门收集有机垃圾，并为各家配备了一个厨房垃圾桶。通过这一举措和其他措施，米兰市的有机垃圾处理率增长了两倍以上，从 2011 年的每人 28 公斤增至 2015 年的每人 95 公斤²⁶⁵。

从污水淤泥中回收营养及其他基础物质

中国已经在污水处理基础设施和技术投资方面提供了强有力的政策支持，最引人注目的是，“十二五”规划中，政府设定了城市污水处理率到

2015 年达到 85% 的目标。此外，“十三五”规划重点关注加快城镇污水处理设施和管网建设改造，推进污泥无害化处理和资源化利用，实现城镇生活污水、垃圾处理设施全覆盖和稳定达标运行，城市、县城污水集中处理率分别达到 95% 和 85%（见案例研究 3）。通常被视为负担的污水也可以按值计价，将废水处理从一个消耗巨资的过程变成一个收支相抵甚至可以盈利的“生物工厂”，创造出从能源到生物聚合物等各种有用的终端产品。（见表 1）

案例研究 2: 城市有机垃圾变废为宝

苏州市是一座人口上千万的城市，拥有一个示范性的餐厨垃圾处理项目，由江苏洁净环境科技有限公司运营，其日处理能力达到 400 吨²⁶⁶。

苏州市政府为促进垃圾处理项目的成功发挥了重要作用。政府要求餐馆只有将有机垃圾送到江苏洁净环境科技有限公司，来年才有资格更新营业执照。这一政令保障了处理厂进料的数量和质量。

苏州市的垃圾收集能力极为强大，还设置专门团队负责垃圾收集和处理。通过统一行动方案，政府简化了整体过程，并解决了前期由于缺乏激励导致的收集和分类管理效果不佳的难题。他们成立了自己的物流部门，包括 2.2 万个装有数字传感器的垃圾箱、22 台专用车辆和 130 名专职工作人员，专门负责收集和转移有机垃圾²⁶⁷。

目前，中国许多有机垃圾处理项目都获得了政府的经济支持。但长远来看，争取财务独立至关重要，江苏洁净环境科技有限公司便是其中的一个典范。通过与顶尖大学合作，该公司的技术创新获得了 20 项专利²⁶⁸，并且开发了多种实用且易推广的产品。例如，固体和液体垃圾经过处理后得以分离，液体被用于沼气生产，部分固体被制成有机肥料用于农田，而另一些固体垃圾则被用来饲养苍蝇。苍蝇幼虫含有丰富的蛋白质，作为饲料，可以卖出每吨 7500 元（约合 1200 美元）的高价，对于维持这一商业模式的经济来源做出了重大贡献。

案例研究 3: 半集中式资源回收中心

循环经济的运作就像自然界的运作一样，没有浪费，只有原料和养分。将这种观念应用于城市污水和餐厨垃圾，意味着排放温室气体的垃圾填埋场和昂贵的废水处理厂将会变成高效的生物处理厂，带来一系列实用的产品和可观的收入（见表 1）。

这一可喜的变化正在中国东部城市青岛市发生着。2014 年，青岛市实施了一项新的城市基础设施建设方案，至今成果颇丰。半集中式资源回收中心可收集 12500 人产生的废水和餐厨垃圾，将有机物质转化为电力、热能、肥料和非饮用水。该资源回收中心的收集范围包括居民区、宾馆、办公室、食堂、旅馆和世园村。

青岛市的可再生淡水资源只有全国平均水平的七分之一，对这个缺水的沿海城市来说，保存饮用水资源尤为重要。2016 年，该资源回收中心就成功地循环利用了所有城市废水，使得市政供水的饮用水需

求减少了 40%。经过处理和消毒的废水虽无法达到饮用水标准，但仍可用于其他要求较低的情况，例如冲洗厕所和灌溉园林。除了生产非饮用水之外，该资源回收中心还利用厌氧消化产生的沼气来发电，将食品垃圾作为原料集成到厌氧消化工厂中，增加了沼气和电力的产量，有助于能源的自给自足。多余的电力还可以输出到电网，提供额外的收入。在能源生产后，剩余的沼渣则由农民收集起来，作为农田的肥料。

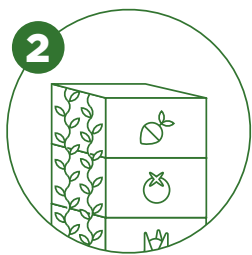
单独来看，支持该资源回收中心的技术相当成熟。真正的创新是集结各行各业，形成强有力的协同效应。当前，行业面临的挑战是如何获得多个政府部门的支持和批准，以及如何培养运营商跨地区管理各项技术（包括膜处理、污水淤泥厌氧消化、热发电和收益管理）的能力和技巧。

推广这一做法能够优化资本支出，降低规划成本。然而，由于半集中式模型主要针对的是再利用家庭用水，如果人口过于庞大，就可能会失去某些优势。例如，长距离输送灰水可能会造成额外的管道成本或热量损失，这意味着在生物处理阶段需要输入更多的能量。因此，10 万人的规模被认为是最理想的状态，这也正是中国快速发展的郊区和住宅区的普遍规模。

青岛市半集中式资源回收中心和其他此类工厂的举措为未来指明了道路。它们结合废水处理与能源生产，能够高价值转化餐厨垃圾，推动土壤再生，并大幅减少饮用水需求。所有举措综合应用，建立了一个面向未来的模型。这种综合方法可能是一种范式转变，有望极大降低中国城市与供水、能源和垃圾处理服务相关的环境和经济成本。

表 1: 废水不应被浪费——可开发资源列表

门类	产品	用途	技术成熟度
水	饮用水和非饮用水	工业、冷却水、园林绿化、农业和水产养殖	高
能源	沼气	采暖或发电	高
处理后淤泥	生物固体、生物浆液、生物碳	土壤改良、土地开垦、建筑材料和养分	高
氮和磷	磷酸盐、洗涤剂 and 磷酸	肥料	高
纤维素	再生纤维素 (Recyllose™)	塑料、绝缘材料、硬纸板和建筑材料	中 - 高 (全球配置数量)
藻类	生物柴油、海藻酸盐	燃料、动物饲料、造纸工业 (海藻酸盐)、制药和化妆品	低 - 中 (旋转藻类生物反应器——美国各地的原型)
商用化学品	琥珀酸、乙酸乙酯、乙酸甲酯、丁酸	用于聚合物和生物塑料等多个行业的平台化合物	低
浮萍	生物质	罗非鱼饲料	高
数据	公共卫生数据集	预测疾病暴发、社区卫生	理论上



扩大有效农业供应链 商业模式范围

利用现代技术和新颖的合作模式及合同架构来提高农业供应链效率，机遇就在眼前。数字化可以通过网络平台连接生产者和消费者，现代农业技术可在小规模土地上建立高效的农场，从而实现更有效的城郊和城市农业。要想使中国城市具备可再生、运作佳的营养系统，可以使用以下几个模式：

- **从农场到用户 (F2C)：**这种食品直采模式（例如京东生鲜）可以缩短运输距离，更好地保证质量和营养水平，同时减少食品和燃料的浪费。这种模式为城市家庭带来了透明可靠、近在咫尺的食品供应商，也刺激了对可持续农业的需求。近年来，中国的社区支持农业（以下简称“CSA”）有所增加。社区支持农业通过分担食品生产的风险并分享收益，拉近了消费者和农民的距离。目前，中国有超过 800 个 CSA 项目，服务了超过 10 万名消费者，其中大部分项目位于城郊，且采用有机种植模式²⁶⁹。
- **按需农业模式，**如阿里巴巴“聚土地”和“一亩田”等透明的交易平台。该模式更善于预测需求，从而减少生产过剩。尽管合同农业自身存在问题，如对农产品大小和外观要求过高，最终导致丢弃或浪费现象，但如果辅以损失规避机制，加之食品加工业的发展，这种农业模式能给农民带来更稳定的收入和就业。
- **城郊农业**可以成功满足城市居民对高质量的食物

品和更透明的供应链的需求，并在市中心触手可及的范围内提供农场和自然休闲活动。城郊和都市农业方式缩短了交通距离，同时增加了城市有机废物（例如餐厨垃圾和富养水体）的使用，并节约了大量的水。托尼农场是中国历史最久、规模最大的城郊有机农场之一，在上海郊外两处种植了 225 公顷的有机作物。农场雇佣了约 200 名员工，吸引了约 2.5 亿元（约合 4000 万美元）的投资——包括自有资金、政府资金和风险投资。农场还通过家庭订购、连锁超市、大约 20 家餐厅和食堂等多种渠道进入市场²⁷⁰。事实上，上海的城郊农业向来就很成功。在 20 世纪 80 年代以前，全部的蔬菜需求都由本市农田满足。2012 年，上海的农业生产供应了本市 55% 的蔬菜和 90% 的绿叶蔬菜²⁷¹。

- **在垂直农业模式中，**作物（迄今大多数高价绿叶蔬菜都是如此）都栽培在严格控制环境条件的室内。因此不需要使用任何杀虫剂，并且相较传统农业，城市农业的用水量减少了 70% ~ 90%²⁷²。由于种植面积的叠加，单位面积的产量可以比传统农业高出十倍²⁷³。至于水培食品^{iv}的营养价值，目前还没有定论。许多人对无土栽培持批评态度，他们认为土壤可以提供有价值的微量元素。但也有一些证据表明，水培作物的营养价值可能更高。例如，一项研究发现，水培莴苣的生育酚含量比土培莴苣高 229% ~ 497%，维生素 C 含量比土培莴苣高 93% ~ 216%²⁷⁴。垂直农业目前的一大问题是成本较高，这主要是因为大多数垂直农场都依靠人工照明来种植作物，因此需要大量的能源投入。根据光合作用波长，进一步研发适合植物的特殊 LED，提高照明技术的能效，都可以

iv 水培法是溶液培养的一种，即不用土壤而是用溶解在水中的矿物养分来栽种植物。

降低能源成本²⁷⁵。持续改善可再生能源发电，也可以节约能源成本，使碳排放最小化。如果无法立竿见影地降低垂直农场等高密度生产系统的成本，其他形式的城市农业可能更容易实行。虽然城市空间拥挤，社区和屋顶花园在产量上的潜力有限，但相关的运营成本可能要低得多。研究还显示，在中国南方等气候温暖的地区，利用屋顶生产水培食品在经济上切实可行，能够为城市地区提供当地种植的食品²⁷⁶。

这些新兴商业模式可以为农民带来巨大的经济效益。例如，绿园天星生态农场有 580 名农民，

每人每年可获得 22500 元 / 公顷（约合 3600 美元 / 公顷）的租金和年终分红，同时受雇于农场进行劳作和管理。绿园天星生态农场的年收入约 3000 万 ~ 4000 万元（约合 480 万 ~ 640 万美元）。收入不仅包括城市俱乐部会员缴纳的会费，还包括长期直接向沃尔玛和家乐福销售水果和蔬菜的收入²⁷⁷。通过这样的合作方式，农民不仅可以提前领薪，还能迎合市场需求，按需种植。因此，这种方式可以避免种植不需要的食物，从根源上减少食品浪费，从而降低市场需求预测不准确带来的风险。

拥抱中国城市之外的农业循环机遇

营养价值链在城市之外提供了更多的循环经济机遇^v。其中有一些广为人知，如资源节约型农业，但仍需要进一步扩大规模。还有一些，如再生农业，都植根于中国传统农耕之中，需要辅以新型技术进行复兴改造（如利用机器人和大数据，追求精确度的农业模式）。我们也有机会将共享和获取模式应用到农业上，造福中国广大的农牧民。

实行再生型农业。再生性技术，如免耕、覆盖作物一体化和农业废料增值等已被证明可以提高土壤肥力并改善水循环功能。在用水方面，采用再生耕作方式可以提高土壤渗透率和保墒能力，既能降低洪水风险，又能减少灌溉需求。位于北京市大兴区的绿园天星生态农场就是一个典范。该农场占地约 100 公顷，集中生产中草药、水果和蔬菜，并坚持实行再生和有机耕作。鸭子在果树下漫步，以害虫和杂草为食。它们和其他畜禽的粪便代替化肥，被用作农作物的肥料。农场不使用化学杀虫剂，而是用一种获得专利的草药配方来控制害虫²⁷⁸。

将共享经济概念应用到农业中。设备共享模式（如合作社）可以使农民更易获得先进的技术，同时降低他们的债务风险。共享模式还能让农业设备物尽其用，消除了资产密集型行业的固有浪费。将机械和农业设备共享付诸实践的例子包括 Ravgo 和 MachineryLink。农机帮、E 田科技和各种农业合作社也已经在推行农业机械共享计划。

采取资源高效型农业措施。这类做法和技术都切实可行，中央政府也正在鼓励这些措施的实施。然而，小户农民获得资金的渠道有限，因为他们无法将土地作为贷款的抵押品。因此，改善资金渠道，使农民能够负担滴灌和精准农业等机械和技术，就显得至关重要。和讯及合众思壮等中国企业目前正在提供这类服务。此外，优化信息获取渠道，更好地了解天气变化和市场价格趋势，了解更多的先进农业实践，将有助于小户农民提高资源效率。2012 年的一项试验表明，对农民进行适当的培训，可以使无机氮肥的使用量减少 20% 以上²⁷⁹。不仅如此，合理检测土壤以改进肥料管理也是一例。这一努力加上中国为了在 2020 年实现化肥使用量零增长采取的一系列举措，将有助于改善地表和地下水质量，减少土壤酸化。

v 下列模型并不包括循环经济工具，因为城市家庭、企业或决策者在这里的影响微乎其微。



优化食品储存、运输和加工

造成采收后粮食损失的主要原因，一是仓储和运输条件差，二是中间商和代理商过多，导致运输时间过长。城市和郊区农业模式的扩大将有助于解决这些问题，缩短食品到顾客的运输距离。此外，有四种方法可以改善循环营养系统：

改善储存^{vi}。采收后储存不当，会造成最严重的食品损失²⁸⁰，尤其是谷物、水果和蔬菜。例如，采收后的谷物需要经过干燥，确保储存安全。然而，超过 15% 的谷物的储存条件并不理想。造成这一现象的原因多种多样，可能是没有条件进行机械干燥，也可能是缺乏合适的粮仓，谷物被转移到简单的露天仓储设施进行储存²⁸¹。国家发改委、原农业部和财政部已下令，到 2020 年，中国要消除 95% 以上露天存粮现象。据报道，中国的粮食储存能力在 2011—2015 年期间新增了 7500 万吨²⁸²。

投资建设更全面的冷链基础设施。冷链是指一系列不间断的温控生产、储存和配送活动。在中国，冷链采用率很低，蔬菜、肉类和水产品的冷链使用率分别为 5%、15% 和 23%，损耗率分别为 25%、12% 和 15%²⁸³。相比之下，欧盟成员国和美国等发达国家肉类产品的冷链使用率达到了 100%，蔬菜和水果的冷链使用率达到 95% 以上。这保证了整个物流链中，食物损耗率只有

1% ~ 2%^{vii}。对上、下游冷链基础设施的投资，以及推广下游冷链仓储的共享理念，显然潜力巨大。过去几年，荣庆和郑明等冷链企业一直大举投资冷链基础设施²⁸⁴。中国“蔬菜之乡”山东省寿光市的寿光鑫乐农业科技有限公司创建了一个蔬菜水果产业园区，提供一体化产区服务。这些服务包括生产示范、预冷藏仓储、加工、贸易和温控运输。

简化食品配送链^{viii}。运输或储存时间过长会造成明显的营养流失。举例来说，蔬菜存放一周，会失去 15% ~ 55% 的维生素 C²⁸⁵。由于中国的小户农民通常不能直接进入市场，因此食品要长途跋涉并辗转多个中间商。具体来看，食品要从当地的收购商到批发商，再到零售市场（菜市场），最后才能送到每家每户。与从仓库到家庭的直接配送渠道相比，多重中间商不仅增加了运输时间，还增加了货箱或袋子处理不当的几率。合作社为农民提供了必要的谈判权，以便在价值链的更下游建立联系，为个体农民提供更好的渠道，并修改零售合同，这些都可以省去一个或多个交易环节。

扩大关键食品的加工和包装基础设施。中国的加工产业在附加值和资源效率上仍处于起步阶段。由于加工设备制造业高度分散，中小型企业超过 45 万家，用于研发和设备的投资明显滞后²⁸⁶。事实上，据估计，农业部门超过 80% 的研发预算用于生产阶段²⁸⁷，而加工技术创新却被束之高阁。此外，粮食和农业设备进口总额高达 81 亿元（约合 13 亿美元），其中用于加工设备的不到一半，其余的则用在了种植和采收机械上²⁸⁸。

在循环给养系统中，扩大和升级加工基础设施能够惠及农民和家庭。由于物流或商业中的种种不足，加工能力提高将导致大部分作物无法在收获之

vi 不包括在本报告的量化模型之中。

vii 上有加工/包装环节中的损耗率，以蔬菜和水果为例。来源：联合国粮农组织

viii 不包括在本报告的量化模型之中。

后直接进入城市生鲜市场，与此同时，大部分作物仍将在加工之后进入市场。此外，技术和设施升级可以弥补由于不合格的工艺和做法而造成的巨大损耗。加工损耗因产品而异，谷物的损耗率约为 5%，根和块茎约为 10%²⁸⁹。损耗的关键原因是没能充分利用食物副产品，如边角和果皮。以橘子为例，尽管橘皮是一味中药，也可被制成零食，但橘皮仍常常被丢弃，丧失了循环的机会²⁹⁰。



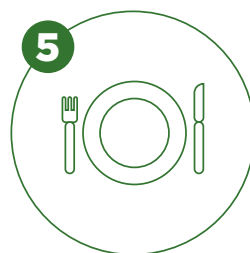
从设计源头消除零售系统中的食物损失和浪费

改善经营，改变外观和其他质量要求，减少零售市场的食品损耗。菜市场、杂货店和超市产生的食物损耗主要是经营不当和质量问题造成的。由于库存规划不合理，大多数食品就被白白浪费了。诸如供应商库存管理、基于大数据的需求预测等先进的供应链管理技术，还未能在中国的城市食品批发市场普及。

此外，人们对食品安全问题日益重视，对新鲜度和外观等质量标准要求普遍较高。根据食品法规，食品必须在保质期内出售，但在保质期过半之时，食物就往往需要下架停止出售。比如，进口牛奶通常需要 3 个月的时间进行加工、运输，并经过检验检疫才能到达超市货架出售。而经过加工的液态奶保质期为 10 ~ 12 个月，一旦达到 6 个月的时限，就必须下架处理。因此，其真正的出售时间只有 3 个月²⁹¹。

最大化利用目前无法上市的产品。那些不符合尺寸和外观标准的农产品和作物，品质通常丝毫不

受影响。将这些和其他“不够理想”的食品推向市场是推广循环的重要举措。扩大外观不理想食品（比如合同农业中的）和临期食品的销售渠道，捐献给慈善机构，努力改变人们对于质量和外观的普遍观念（如法国 Intermarc 超市等在欧洲开展的“丑陋食品”运动），都是实现这一目标的有效途径。在北京和其他城市，部分超市设立了临期食品专柜。



优化健康与环境友好型食品消费模式

改变零售和营销措施，避免无意浪费。中国大部分的食品浪费出自家庭消费。家庭食物浪费中大约有 85% 是在烹饪之前的生鲜阶段被扔掉的，往往是由于储藏不当、缺乏规划、冲动和大量购买。这些问题都是可以解决的。零售商和菜市场在推广销售时，可以减少使用批量购买的策略（如“买一送一”），不要诱导顾客进行冲动消费，从而减少家庭的食物浪费。政策制定者和零售商可以展开合作，制定更明确的日期标签，避免消费者混淆如“最佳销售日期”、“最佳赏味期”和“最佳使用期”等不同标签，导致过早地扔掉食物²⁹²。推广来自经过认证且高效的供应链的食品，也能进一步减少浪费。中国消费者逐渐趋向于“花高价”购买质量更好的商品和品牌。麦肯锡最近的一份调查显示，超过一半的消费者都表示愿意这么做²⁹³。目前，中国有机蔬菜等高质量食品的消费量有进一步增长的潜力，虽然与一些国家相比相对较低，但可以通过引入一种城市居民信任的食品质量认证和评级体系来

刺激这类消费^{294,295}。

通过教育和技术支持，解决中国家庭在外消费食品（FAFH）浪费惊人的问题。在中国，家庭在外消费的食物占食物消费总量的 20%，但却占了食品浪费总量的 30% ~ 40%。这主要是由于中国普遍存在的“宴席文化”，这是新主流消费者一种奢侈的消费和饮食习惯，占了所有家庭在外食品消费的 25%。这些习惯虽然根深蒂固，但也是可以改变的。

2013 年发起的“光盘行动”就是一个良好的开端^{ix}。通常，在饭店用餐的人都会剩下 11% ~ 17% 的食物，或者是因为有点太多，或者是因为食物分量太多。新的餐食概念可以选择提高食物的质量而不是数量，并鼓励客人把剩菜打包回家，来解决餐厅菜量大且缺乏灵活性的问题。

餐食浪费可能占有宾客接待和食品服务行业浪费的 75%，但这不是唯一的浪费源头，其原因还可能是供应链管理不善、为保证菜品丰富而导致的食品供应压力，以及缺乏员工培训和教育，而这些问题都是可以解决的。要想减少损失，就必须在厨房中有效利用高科技，探索最佳实践，从而解决配菜部门在预测食品需求和时间限制上的难题。英国初创企业 Winnow Solutions 证明了这一点是可以做到的。该公司通过提供技术支持和分析，来改变厨房员工和管理层的行为，在全球机构和餐厅厨房减少浪费方面取得了显著成果。

抵制过度消费等膳食趋势，促进可持续饮食习惯。如上所述，肥胖已经成为了中国的一大社会问题，并预计会在未来日益严重。《中国食物与营养发展纲要（2014—2020 年）》建议，到 2020 年，人均每日热量摄入应保持在 2200 ~ 2300 千卡。

该纲要的目标之一，是建立一个定期监测营养摄入水平和膳食结构的机制。事实证明，分量控制是一项有效的举措，且与其他循环经济目标直接相关。进一步的干预举措包括减少在商店、学校和工作场所供应高热量食品和饮料，或与食品生产商和餐馆合作重新制定产品配方，降低食物中糖和脂肪的含量，使其更加健康。事实证明，通过量身定做的学校课程，以及向父母传授营养和健康饮食知识，进而影响孩子的饮食习惯，不失为一个极其有效的方法²⁹⁶。

城市的饮食偏好可以在其他方面促进再生农业。有机作物可能是改良食品体系的生力军。虽然中国的有机作物人均消费较低（中国的市场规模是 156 亿元，约合 25 亿美元，而美国和欧盟市场分别为 175 亿美元和 140 亿美元）²⁹⁷，但中国整体上仍是全球第三大市场，且有可能进一步增长²⁹⁸。超过三分之一的中国消费者将“有机”视为安全食品的关键指标，重要性高于品牌声誉和官方或第三方认证²⁹⁹。这一趋势具有创收潜力。中高收入阶层的中国消费者似乎愿意为有机食品支付高价（例如有机芦笋的价格是非有机芦笋的四倍），主要是因为他们相信有机食品更加安全³⁰⁰。目前为止，一二线城市有机食品市场的增长最为显著，但就像人们在 2008 年北京奥运会期间看到的那样，国内消费不断猛增，人们对有机食品的接触和了解也提高了消费者的接受度。随着有机食品进入中小城市，这一市场的增长更值得期待。

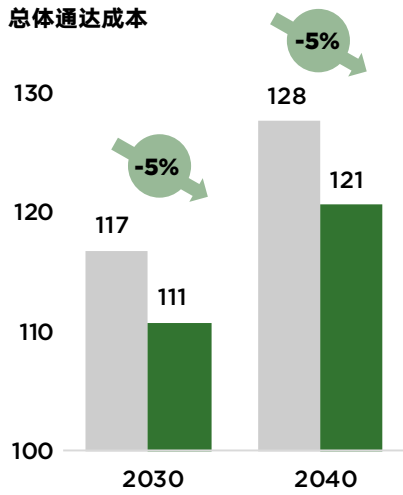
ix 尽管没有关于“光盘行动”影响的完整评估，但有基于学校和公司食堂发起行动后食品浪费减少的案例研究。参见：<http://www.xijing.com.cn/info/1108/4290.htm>及http://www.thepaper.cn/newsDetail_forward/1696578。加上近年来的反腐运动，原来作为交易必需环节的奢华饭局大大减少，对减少家庭外就餐情况下的食品浪费有积极影响。

再生营养系统：助力城市中国

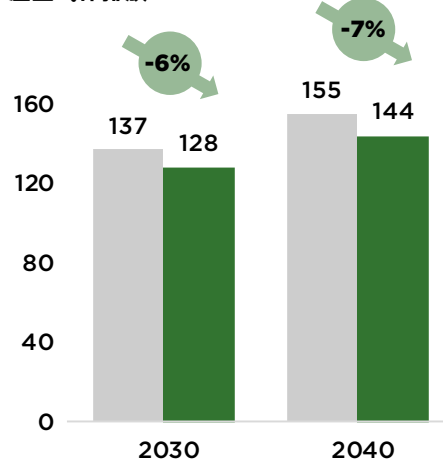
■ 现阶段发展路径 ■ 循环经济路径

基线 2015 = 100

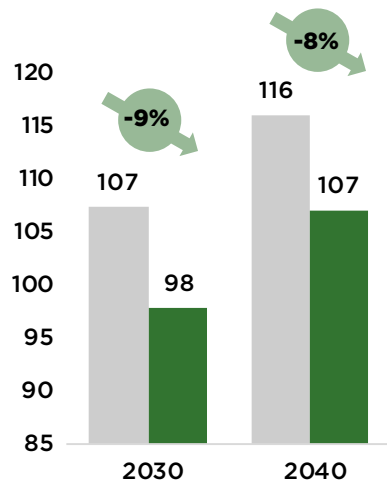
总体通达成本



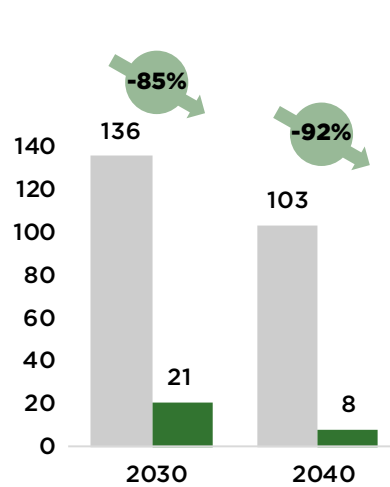
温室气体排放



初级资源开支



PM2.5排放的社会负面影响成本



量化收益

现行发展路径^x

在人口增长、城市化和收入增长（以及伴随而来的消费和膳食变化）的推动下，如果维持现阶段发展路径不变，中国城市人口的饮食成本将从 2015 年的 7.8 万亿元（约合 1.25 万亿美元）增加到 2030 年的 10.1 万亿元（约合 1.6 万亿美元），增加 30%，再到 2040 年的 11.5 万亿元（约合 1.8 万亿美元），增加近 50%。从绝对意义上说，这种增长的主要驱动力是现金支出成本的增加，除去自然资源，这一成本涵盖了价值链的所有方面。现阶段的发展路径中，全面落实《中国食物与营养发展纲要（2014—2020 年）》的影响深远，该纲要的举措包括补贴特定作物种植，争取到 2020 年实现食品加工技术的显著提升，并保持食品工业附加值每年至少增长 10%³⁰¹。此外，工业和信息化部还鼓励食品企业在其供应链中推行物联网技术。这些政策共同协作，不仅能够提高营养价值链的绩效，还能在未来将成本降低 40% 以上。

循环经济情境

在循环经济的愿景下，在重大技术发展的推动下，针对蔬果的垂直农业等新商业模式将得到广泛应用。同时，技术的发展也将促进减少储存、运输和加工过程中的食物损耗。各类宣传活动也能给目前未使用的农产品找到用武之地，防止食品的损耗和浪费，到 2030 年，中国将可以达到英法等国的先进水平，到 2040 年将能达到最佳水平（即消除所有可避免的店内食品损耗）。沿着这一路径继续发展，中国在 3 年内可实现供应链食品和包装垃圾减少近 10%，家庭食品垃圾减少 15%，与英国并驾齐驱。为了实现营养物质循环，到 2030 年，中国源头分离有机材料收集率将要达到 90%。

将中国的营养系统转向循环经济模式，可以减少甚至消除可避免的食品浪费和损失，同时减轻环境外部性，改善人口健康状况，尤其是预防肥胖。对于城市居民来说，这意味着到 2030 年，人们获得营养食品的总体通达成本（TCA）^{xi} 将减少 4000 亿元（约合 640 亿美元），其中近五分之一归功于负面外部性的减少，包括到 2030 年，温室气体排放将减少 6%、PM2.5 排放将减少 85%。这些预期收益中的大部分，将会来自城市农场和其他先进商业模式的扩展。

在中国的营养系统中全面落实循环经济模式，将减少 4000 亿元（约合 640 亿美元）的食品总成本，同时降低环境和社会外部成本。

到 2030 年，如果循环经济得以实行，可能节约的食品总成本达 4000 亿元（约合 640 亿美元）以上，超过继续实行当前营养政策规划可能获得的

收益。大约四分之三的循环经济效益将通过降低农产品的劳动、运输和处理成本实现，不仅如此，防止价值链上的食品浪费和损耗也节约了成本。但相对而言，从当前发展路径转向循环经济路径，最大的收获还是外部性的降低和原材料消耗的减少。

循环营养系统增加了供应链各环节的收益。

^x 鉴于我们对城市杠杆和影响的关注，农业生产不包括在这个部门的范围内，无论对于基线和未来情境都是如此。在这些情境中，上面所述的资源效益措施没有被量化。唯一例外的是新的农业商业模式，这对城市环境尤其重要。对于所有量化的杠杆，本报告均在技术附录中通过价值树列出其计算逻辑。

^{xi} 总体通达成本（TCA）由现金支出和外部成本组成。现金支出成本不包括政府补贴和增量资本支出（转向循环经济情景所需的额外投资）。外部成本代表相关的经济成本，例如温室气体和微粒的排放导致的收入损失和医疗保健支出。详细信息可在技术附录中找到。

如果循环经济原则能够应用到食品生产和消费系统中，将能给整个价值链带来巨大的环境和社会效益。而价值链下游的优化，将有可能最为有效。实际需求减少了，生产及其相关成本也就降低了。采取循环经济措施可以减少约 1100 亿元（约合 176 亿美元）的初级资源开支，包括水、杀虫剂、农地、合成肥料和能源。这主要是由于消除了价值链上的食品浪费和损耗，因为目前的食品供应水平依然过高。

循环价值链的各个环节都能产生环境效益，但全新的农业供应和先进的废物处理带来的好处却是独一无二的。与现阶段发展路径相比，转型循环经济后，营养部门可减少约 1.2 亿吨二氧化碳当量的排放，最明显的就是餐厨垃圾填埋释放的甲烷将会大幅减少。

确保最终真正进入用户手中的农业产出比例增加，并利用餐厨垃圾作为再生农业系统中的土壤改良剂，可以减少对合成肥料的需求。此外，循环经济还将改善水平衡，因为采收后价值链的食品数量损失减少，也将从总体上减少农业所需的用水量。不仅如此，使用堆肥作为土壤添加剂有利于保持土壤水分，因而也可以进一步减少灌溉需求^{xii}。

此外，针对城市固体废物和污水处理进行技术改进，可以减少 PM2.5 细颗粒物排放。与现阶段发展路径相比，粉尘可减少 20 万吨之多，减少成本约 610 亿元（约合 98 亿美元）。

尽管城市农业和其他现代商业模式仍面临诸多挑战，但它们对循环城市食品体系的影响可能最为深远。建设基础设施尤为重要，因为在该产业中，融资上的困难不应该阻碍中国的城市以及那些力求满足自身需求的人从这个系统中获得更多价值。

到 2030 年，城市中营养产业 40% 的循环经济潜力要靠新的商业模式来实现。尽管通过农场到用户（F2C）采购模式和按需农业，该模式简单地提高了市场渗透度，但果蔬业的城市立体农场仍需要进一步的技术改进，从而彻底提高新鲜度、减少污染和抵消城市热岛效应^{xiii,302}。

长期来看，人们对食品需求的变化将带来额外的好处。到 2040 年，由于家庭和食品服务行业对于垃圾的处理方式不同，改变将在全国范围内发生。中国的营养系统将会从经济、社会和环境三个方面得到进一步改善。这让企业家和创新者有机会通过技术和数据驱动的解决方案来促进行为的转变，从而产生更快、更大的影响。然而，商业带来的行为改变需要时间，特别是要改变长期以来保持的传统行为。

循环营养系统也可以促进更健康的生活方式，减少肥胖发生。中国攀升的肥胖率带来的直接损失，将会是超过 5000 亿元（约合 800 亿美元）的额外医疗费用。然而，如果通过制定政策、开发产品和服务来促进饮食习惯的转变，推动循环经济，在保持当前热量摄入水平不变的前提下，就可以减少约 3430 亿元（约合 550 亿美元）的外部成本。

xii 此处未经量化。

xiii 城市热岛效应之所以产生，是因为城市道路上的沥青和城市建筑材料等高密度的深色表面在白天积聚和储存热量，然后在晚上释放出来。



纺织行业： 提高回收利用率及资源效率

中国是全球纺织品生产和出口领军国家。随着中国经济高速增长、城市化进程不断加快、中产阶级日益壮大，国内纺织品需求量已经增长了两倍，且在未来 10 年还将再增长两倍，纺织行业正在经历着重大的结构调整和转型。城市居民愈发喜爱快时尚消费^{xiv,303}，同时更富有的群体对高品质产品和名牌奢侈品的需求量也在不断增加。然而，这些发展趋势却给水资源储备、水和空气质量，以及公众健康带来负面的影响。通过在行业内践行循环经济的原则，纺织品需求的高速增长以及生产和消费过程中传统的“开发—制造—废弃”线性模式所带来的负面影响得以缓解。在一个循环的纺织行业中，服装从设计到生产都将耐用性放在首位，根据个人的不同需求定制服装，同时会建立让服装和纺织品实现多次回收利用的新型商业模式。中国的纺织品市场和服装制造业可借此机遇寻求提高耐用纺织品使用率的商业模式、扩大回收利用规模并提高资源效率。同现阶段发展路径相比，若在纺织行业实施此类循环举措，到 2030 年和 2040 年，中国城市的总体通达成本（TCA）预计可分别降低约 5000 亿元（约合 800 亿美元）和 1.2 万亿元（约合 2000 亿美元）。在行业内采取全面、系统的手段，从设计之初就确保各项措施的可修复性和可再生性，将会创造额外的效益。

全球最大的纺织行业正在经历的结构调整可能会对国际纺织市场造成影响。中国是全球纺织服装行业的领导者，2014 年中国纺织行业产量占全球总产量的 55%³⁰⁴。其中合成纤维占了很大比例，2014 年中国的合成纤维产量达 4400 万吨，占全球总产量的 70%³⁰⁵。中国不仅是全球最大的纤维生产国^{xv,306}，也是全球最大的纺织品出口国^{xvi,307}和纺织机械制造国³⁰⁸。从原材料生产，天然和人造纤维、布料的制造，到纺织成品，价值链的每个环节中都有中国的参与。2015 年，纺织行业占中国 GDP 的 7%，并占总出口额的 7.7%^{309,310}。

然而，近几年中国纺织行业的增长速度开始放缓。2011—2015 年，工业增加值的年均增长率从 2009—2010 年的 10.3% 下滑至 8.5%^{311,312}。就未来的发展趋势而言，《纺织工业发展规划（2016—2020 年）》中提出了“十三五”期间，规模以上纺织企业工业增加值年均增速保持在 6% ~ 7% 的目标³¹³。尽管如此，中国纺织行业的增势依旧强劲，并将保持全球领先地位³¹⁴。

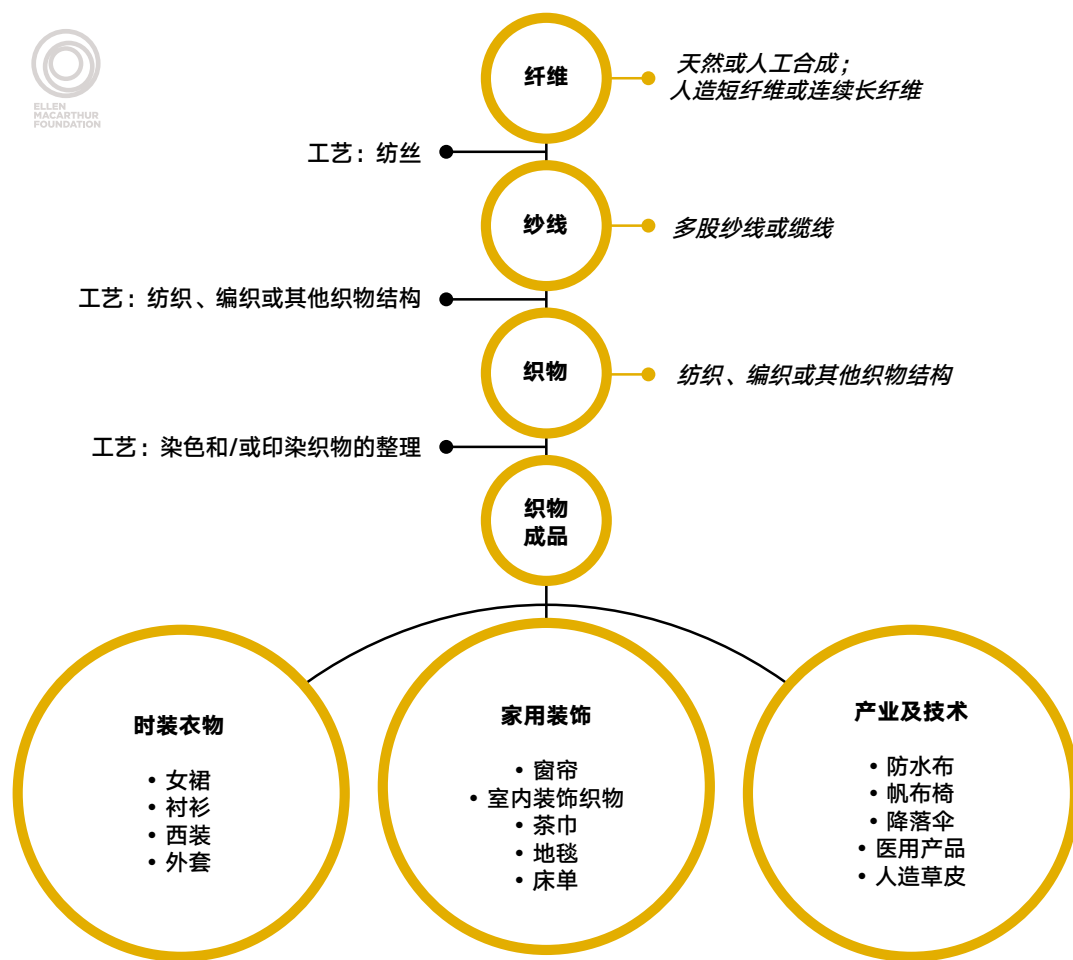
为了应对不断上涨的薪资和生产成本给出口带来的不利影响，中国已经采取措施将部分纺织生产企业从东部搬迁至中西部地区。此外，纺织行业也

xiv 快时尚是指交货周期异常短的时尚产品，为的是能够随着新潮流的出现，立即向市民提供流行时尚的商品
xv 2014 年纤维产量超过了 5000 万吨。
xvi 2015 年，中国在全球纺织品和服装出口市场所占的份额分别为 37.4% 和 39.3%。

正在从低附加值的模式向附加值更高的技术密集型模式转型³¹⁵。这一转型体现在服装、家用纺织品及产业用纺织品产量占比的变化上。2010—2014年，服装和家用纺织品的产量分别下降了4.2%和0.4%，而产业用纺织品的产量则增加了4.6%³¹⁶。《纺织工业发展规划（2016—2020年）》预计

产业用纺织品的产量占比将持续上升，到2020年，服装产量将占40%，产业用纺织品占33%，而家用纺织品占27%³¹⁷。随着移动交通、医疗和建成环境等领域使用量的稳步增长，产业用纺织品已成为中国纺织行业增长的主要驱动力^{318,319}。图3展示了纺织品制造的主要阶段。

图 3: 服装、家用纺织品、产业用纺织品生产过程中的不同步骤³²⁰



经济高速增长正在刺激国内市场对服装和家用纺织品的需求，同时助推快时尚和电子商务的发展势头。在时装产品领域，中国不仅是一个生产大国，同时也在日益成为一个纺织产品的主要市场，是名副其实的领军国家。中国现已是世界第三大纺织品进口国，预计到2025年，中国将成为全球最大的服装市场，规模高达3.4万亿元（约合5000

亿美元）³²¹。中国的服装需求在过去的十年间已增长两倍，在接下来的十年中预计还会再增长两倍^{322,323}。欧睿国际预测，在同一时期，中国的服装销售额将达2.1万亿元（约合3330亿美元），超过美国的1.7万亿元（约合2670亿美元）³²⁴。服装支出的快速攀升主要源自于中国人民平均可支配收入的稳步增长。预计到2022年，中国75%

的城镇居民将成为中产阶级，家庭年均可支配收入将达到 6 万 ~ 22.9 万元（约合 9631 ~ 36758 美元）³²⁵。当前，中国居民用于服装的平均开销比美国人少将近四分之三^{xvii,326}。然而，预计到 2020 年，无论是半必需品支出（例如服装、医疗保健、日用品）还是自主性支出（例如旅游、休闲、时尚服装）都将进一步增长^{327,328}。

可支配收入的提高也加快了服装消费向快时尚的转变——消费者倾向于购买更多反映短期时尚潮流变化的一次性、季节性服装。这一转变让中国的服装销量超过了人均 5 公斤的全球平均水平，达到人均 6.5 公斤³²⁹。预计到 2030 年，中国的人均服装销量将达 11 ~ 16 公斤，与北美地区不相上下³³⁰。中国本土的服装品牌在服装市场占据着主导地位，牢牢控制着中低端服装市场，这让他们在这一快速增长的趋势中受益良多。由于新技术颠覆了品牌和消费者之间的互动方式，中国的快时尚行业已经不再局限于实体店。正如本报告第一章中所述，中国已经成为全球领先的电子商务大国，其市场规模在 2015 年已经达到约 4.2 万亿元（约合 6800 亿美元），超过美国将近 80%^{331,332}。网购商品中最受欢迎的品类之一就是服装，普及率已达 60%³³³。中国三线城市（以及更小的城市）³³⁴ 居民的网络购物花销已经超过了一二线城市^{xviii,335}，主要原因是三线城市没有某些商品或品牌的实体店铺³³⁶。

相比之下，可支配收入更高的中国消费者对名牌奢侈品的需求也越来越高。如今中国已经成为全球最大的奢侈品消费市场，消费者主要购买国际知名奢侈品牌的产品³³⁷。然而，几年前消费者只关注

品牌和商标，而如今变得更加注重产品的附加值和是否绿色环保，要求个性、创意及更高的品质和服务³³⁸。在一二线城市，尽管电子商务发展得如火如荼，商品的主要销售渠道依旧是购物中心和实体店^{339,340}。

纺织品需求不断增长正在威胁水资源储备、水和空气质量，以及公众健康。产量提高和快时尚发展所造成的一个主要影响就是纺织品废弃物大量增加，每年来自工业和家庭的废弃纺织品已高达 2000 万 ~ 2600 万吨^{341,342}。这超出了目前中国的废弃物处理能力，许多大城市的填埋场都已经趋于饱和³⁴³。因此，政府开始出台措施鼓励回收利用，解决纺织品废弃物激增所带来的问题^{344,345}。

此外，纺织行业也给当地环境和水等自然资源带来了巨大的压力。例如，中国已面临着严峻的水资源匮乏问题，人均可用水资源仅为全球平均水平的四分之一³⁴⁶。纺织行业已经成为中国第三大用水行业，每年用水大约 3 万亿升，单件产品的平均耗水量是其他国家的 3 ~ 4 倍^{xix,347,348}。纺织品印染和其他处理环节造成的水污染占工业水污染的 17% ~ 20%^{349,350}。事实上，在受污染水体发现的有毒化学物质中，有 72 种来自于纺织品印染，而其中 30 种是无法通过废水处理得到清除的³⁵¹。若成品布料中含有这类化学物质，可能会对人体健康造成直接危害³⁵²。由于大量使用化工产品，纺织品和服装行业已成为中国耗氧污染物和废水的第二大来源^{xx,353}。这是一个非常严峻的问题，因为在中国，每年都有人由于饮用水受到污染而患病^{354,355}。

xvii 目前，中国居民用于服装的平均开销为每年240美元，而美国为815美元。

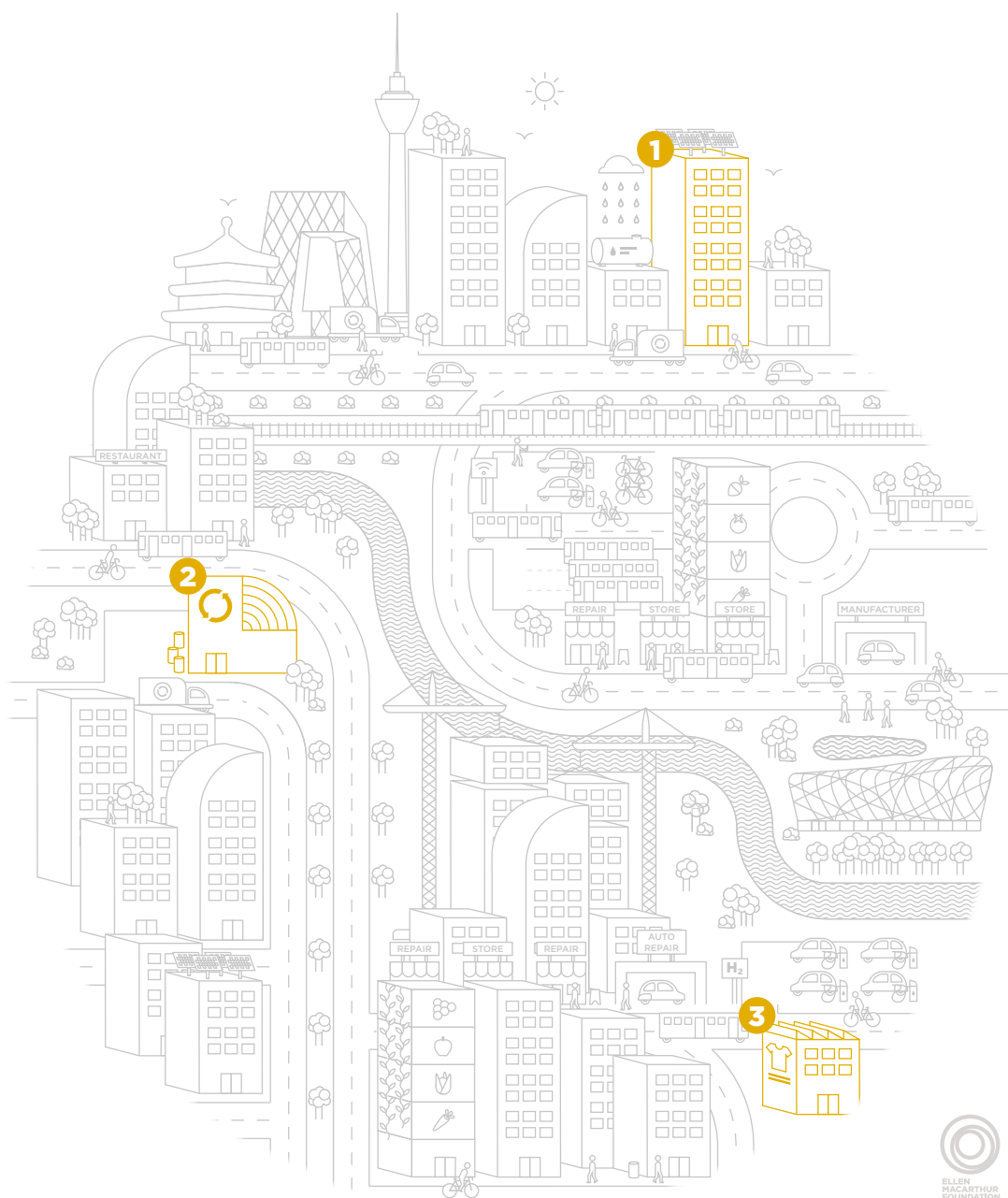
xviii 二三线城市目前的网络消费者人数要比一线城市多出7400万。

xix 印染是能源密集度最高的工艺环节，耗水、耗能、化学物质排放分别占85%、80%及65%。

xx 化学需氧量（COD）是有机化学总负荷的一个指标。COD对水域生态系统的破坏性很大，因为它能够消耗水体中溶解的氧，导致鱼类等水生生物缺氧。COD是最常见的一种导致河流、湖泊、溪流中鱼类死亡的污染物。

中国城市的循环纺织行业愿景

中国纺织行业的未来可以通过价值的创造、保持和再利用来驱动，同时依旧满足中国消费者对服装的需求。通过“使用而不拥有”的商业模式让纺织原料在多个用户之间流转，是提升纺织品使用率、减少纺织废料、减轻环境资源压力的关键所在。在循环经济体系下，服装从设计、制造到养护都以持久耐用为目标，同时保存布料的内在价值。要限制原始资源的价值损失，可扩大回收再利用规模，提高整个价值链上的资源效率并将各环节的污染降到最低。



循环经济愿景蕴藏的机遇



推崇有益于提高耐用纺织品使用率的模式

在设计上注重品质、可实现长期使用的纺织品多次重复循环使用。共享、长租、短租等商业模式为用户提供产品的使用权，而非所有权。通过这样的方式，纺织品的平均使用频次增加了，消费者能以更便捷、更实惠的价格使用纺织品，而企业则可以获得更高的客户忠诚度和更稳定的收入来源。耐用型设计让这样的商业模式成为可能，且通过延长织物的使用寿命，让企业获得更大的收益。若在纺织行业推广这一理念，即可摆脱当前消费者买断服装所有权的线性模式，摆脱衣物的“一次性”特质。

提升纺织品的使用次数需要建立一个能够快速送达和回收的逆向物流体系，还需一个使购买服装更便捷、更实惠的网络购物平台，以及最大限度提升客户满意度的服务。其好处不仅在于可以节省布料生产的成本，还在于可以降低服装制造成本及外部成本。

中国服装市场机遇实例

在滴滴出行等企业的带领下，中国已经成为全球共享经济规模最大的国家³⁵⁶。但或许是出于对卫生情况和产品质量方面的担忧，共享经济对服装

市场的影响还十分有限。然而，几个极具潜力的服装再利用模式已在中国悄然兴起，尤其是在奢侈品牌时装市场^{357,358}。女神派、良衣汇等企业建立了在线二手奢侈品租赁和交易平台。另外像衣二三等企业^{359,360}，则创建了付费会员制的共享平台，消费者支付月费后，可以随时租赁或换穿平台上的时装。衣二三在2017年获得3.12亿元（约合5000万美元）的融资³⁶¹，会员每月支付499元（约合80美元）的会员费，即可挑选平台上的各式中高端时装^{362,363}。根据该公司的统计，时髦又耐穿的服装（例如耐洗的衣物）租赁人次最高可达40人，反之，质量较差衣物的租赁人次只有3~4人。上述案例及数据有力地证明了“产品即服务”这一模式在中国服装行业的巨大潜力。由于二三线城市中产阶级的崛起、网购群体的壮大，以及实体零售店的缺乏，此类商业模式在二三线城市将会尤其受欢迎³⁶⁴。

此外，由于生产过剩所积压的库存滞销品服装^{xxi}也能为品牌提供商机³⁶⁵。尽管针对这一问题的研究不多，但荷兰循环企业Circle Economy发现，服装制造中大约有10%~30%的服装因积压而无法出售³⁶⁶，积压服装随后被销毁，以避免市场受到冲击。然而，可将这些衣物进行翻新，并和新款服装一起进行再次销售，这将有助于品牌对二级市场控制权的掌握。被城市居民所丢弃的质量尚好的服装也可采用类似做法，替代当前捐赠或转卖到国外的处理方式。

中国家用纺织品和产业用纺织品市场机遇实例

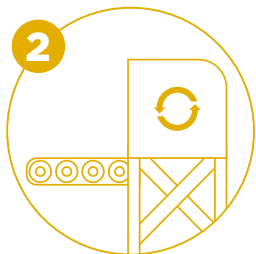
家用纺织品^{xxii}和产业用纺织品^{xxiii}的重复利用在

xxi 库存滞销品是指整个12个月里都没有销售出去的产品。库存滞销品不仅上时间占用库存空间，还增加了存货成本。供大于求造成库存滞销的原因。

xxii 家用纺织品包括地毯、床垫、床上用品等。

xxiii 产业用纺织品包括医用、运输、建筑等行业用的高性能纤维。

世界范围内并不普遍。然而，随着中国产业用纺织品市场的迅猛发展，重复利用模式的潜力巨大并正逐渐发展。在 B2B 市场，主打产品租赁的服务商业模式或许更具吸引力。例如，荷兰地毯生产商戴索（Desso）的商业模式就是租赁可循环使用的方块地毯，提供包括地毯的安装、清洗、维护和拆除的服务³⁶⁷，使方块地毯在用后便于回收并重新进入生产环节。由于高性能纤维等产业用纺织品通常品质都较高，这就为使用这类纺织品的企业提供了类似的机遇。在租赁商业模式中，产品的质量和耐久性至关重要。因此，发挥产业用纺织品的耐久性、高强度、耐高温等特性，可充分挖掘这一模式的巨大潜力。例如，MEWA 就是一家出租工作服、防护服，并提供取货、质控、递送、更换等服务的企业³⁶⁸。像戴索、MEWA 这样的企业利用“使用而不拥有”的商业模式，减少了对初级原材料的需求，帮助企业节约成本并减轻给环境带来的不利影响。



扩大回收利用率

扩大纺织品回收利用的规模是将这些材料的价值更长久地保留在经济体系内的重要因素。下文将介绍两种回收利用的方式，分别为物理回收和化学回收。为了能够扩大纺织品回收利用的规模，纺织品的设计和回收技术需要彼此契合。此外，分拣和回收技术上的创新也必不可少。这样才能提高回收利用率以及产出质量。加大市场对回收材料的需求将有助于加快回收材料的广泛应用，并扩大规模效应（参见第 101 页“关于纺织行业如何抓住这些效益的思考”）

物理回收

物理回收包括对废弃纺织品进行裁剪、重新缝制（布料回收）、拆散（纱线回收）、粉碎及再加工（纤维回收）或者熔化并重新纺纱（聚合物回收）。回收利用纤维和聚合物等可为原生纤维提供替代品。然而，纤维的回收处理过程会令纤维长度变短，这就意味着需要和原生纤维或回收的聚酯纤维混合使用，以达到一定的质量标准^{369,370}。值得一提的是，许多企业正在这一领域进行创新研究。例如，Mud Jeans 公司现在已经能够在 100% 纯棉的牛仔裤中使用 40% 的再生棉，这促进了再生纤维的大规模使用³⁷¹。一方面，对于聚合物而言，经过若干轮的回收利用后，尽管质量会出现一定的累积性下降，但将其价值保持在原有水平还是可实现的。另一方面，对于布料而言，通常则是降级回收再利用，只能用于生产抹布等更低等级的一次性产品。纤维的回收利用通常也是如此。尽管纤维回收相对普遍，但是粉碎的过程会降低纤维质量，最终产出的材料通常只能用于价值更低的用途，如作为绝缘材料或者填料^{372,373}。

在中国，废弃物回收和收集的基础设施建设仍处于起步阶段。据中国循环经济协会（CACE）的统计，废弃纺织制品中得到回收利用的仅有 10% ~ 15% 左右^{374,375}，其中 40% ~ 50% 被物理回收，其余的则被捐赠或作为二手产品在国外进行二次销售。然而，中国的废弃纺织品每年高达 2000 ~ 2600 万吨，可通过回收再利用来避免材料价值的损失。德国的经验证明，高达 74% 的纺织废品收集率是可实现的，其中三分之一可以得到回收再利用³⁷⁶。目前中国的试点项目主要集中在服装的回收利用上，而非家用纺织品和产业用纺织品。下面列举了中国在该领域开展的一些项目。

为了回收再利用而收集

任何形式的回收再利用若要取得成效，关键在于一个有效的从居民手中回收废弃纺织品的收集或回收物流体系。一些中国企业已经瞄准这一商机。例如：绿袋和飞蚂蚁已经创建了在线回收平台，居民可以在线上填写适合上门回收纺织品的时间和地址，^{377,378}。H&M 等企业则为那些将废旧衣物带回门店的顾客提供折扣³⁷⁹。

中国政府在近期发布的政策性文件《循环发展引领行动》中强调了建立收集和回收体系的重要性^{380,381}。此外，由政府扶持的城市试点项目（如由上海绿源实业有限公司牵头的项目）提供了良好的基础设施，方便居民分类丢弃废旧纺织品。通过与当地的学校、政府机构、社区和慈善组织进行合作，上海绿源实业有限公司已经在全市范围内设置了 2000 个回收箱。收集到的纺织品有的捐赠给希望工程（3% ~ 4%），有的运往国外进行二次销售（10% ~ 12%），有的则进行机械回收（84% ~ 87%）^{382,383}。其中，与行业合作伙伴鼎缘（杭州）纺织品科技有限公司和浙江华鼎纺织科技有限公司回收再利用的纺织品中，33% 被制成纱线，用于制作制服，其余的则通过降级回收再利用，用于制造价值更低的产品。

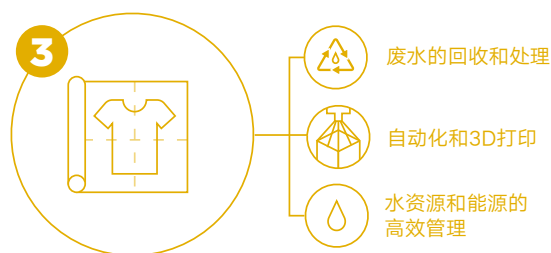
化学回收

化学回收是指运用两道化学工序来对纺织品纤维进行回收的方法，即解聚法和聚合物再循环。如今，用解聚和再聚合方法处理塑料已经得到广泛采用。在处理过程中，通过将纤维分解成其基础化学成分——纤维单体——来改变原材料的性质。从理论上讲，只要原料纯净或者清除再生材料中的污染物，运用这种技术可以不断地生产出可回收利用的纤维。

中国已经有一家采用解聚合及再聚合工艺的企业——浙江佳人新材料有限公司，这是一家与日本帝人集团合资的企业，该集团的 ECO CIRCLE™ 技术能够生产出高质量的纤维。这是为数不多的凭借这项技术用废弃纺织品生产出优质纤维的实例之一。目前，浙江佳人新材料有限公司每年可以将 4 万吨的废弃纺织品转化成聚酯纤维和芯片，这一产能有望于 2021 年达到 100 万吨³⁸⁴。

相比之下，聚合物回收需要对以纤维素为基础的纺织品进行分解，或对以塑料为基础的纺织品进行熔化。纤维变成了聚合物，尽管形态被破坏，但是材料的化学结构依旧完好。然而，这一回收方式会造成质量的累积下降，意味着只能对材料进行有

限次数的回收利用，随后聚合物将被严重破坏，并无法在循环使用中保有同等价值。如今，已经有企业在测试大规模采取这种回收利用方式的可行性。例如，尼龙生产商 Aquafil 已经生产出一种再生尼龙，价格比原生尼龙更具竞争力³⁸⁵。尽管再生聚酯的经济效益还不够有吸引力，但是这种有潜力达到原生材料品质的“纤维到纤维”回收再利用方式，依旧在全球范围内获得广泛关注。总体来说，中国化工纺织品行业的目标是提高利用废弃纺织品生产合成纤维的产量³⁸⁶。



引入能效提升措施

采取提高资源效率的措施，将有助于限制整个纺织品产业价值链上的材料浪费、危险化学品的使用，以及水资源和能源消耗。在降低生产成本的同时，也能降低对人类健康和环境方面的负面影响。

供应链中的资源效率

自动化和 3D 打印

自动化和 3D 打印技术能在制造过程中为提高生产质量、生产效率和成本竞争力起到关键作用³⁸⁷。运用这些技术设计有效的材料生产系统能够极大提升产品产量。当前有约 35% 的纺织品在供应链中被浪费，其中 10% ~ 15% 是散落在地上的裁剪边角料^{388,389}。然而，自动化、机器人、先进机械等技术在中國发展势头迅猛，这些技术可以提高生产率并减少纤维浪费。例如，有研究表明，计算机控制的系统能够优化产量，将资源生产效率提高 5%³⁹⁰，而劳动生产率提高所带来的好处则完全不在一个量级。据一名纺织厂厂主估计，如果采用机器人生产，一年只需 200 ~ 300 名工人就可以创造 10 亿元（约合 1.61 亿美元）的销售额，相当于将每个工人的生产率提高 20 倍³⁹¹。此外，尽管 3D 打印技术才刚刚兴起，但却可能给制造业带来颠覆性的变化。3D 打印不但可以制造更加个性化的纺织产品，还可以将生产时间由几周缩短至几个小时，并且几乎不会造成任何原料浪费^{392,393}。

水资源和能源的高效管理

价值链上的水和能源消耗可以降到最低。中国政府已经采取了一系列举措，鼓励和强制工厂业主采取行动。例如，《纺织工业发展规划（2016—2020 年）》中明确表示，纺织行业每单位的年均耗水和耗能应分别降低 20% 和 18%³⁹⁴。根据《水污染防治行动计划》（简称“水十条”）的规定，到 2016 年，未能达到国家污染防治标准的印刷、印染企业将全部关停³⁹⁵。受此规定影响的纺织企业达 90%³⁹⁶。位于缺水地区的企业甚至被要求对水资源实现 100% 重复利用³⁹⁷。“水十条”还规定，到 2017 年，纺织行业应实现技术升级，引入排污监测设施。在中国纺织大省浙江，政府已经投入约 150 亿元（约合 24 亿美元）支持多个技术项目升

级³⁹⁸。

为了帮助纺织行业找到循环经济解决方案，自然资源保护协会（Natural Resources Defence Council, NRDC）与荷兰禾众基金会（一家推广可持续能源和粮食生产的非营利性国际组织）在多家印染厂推出了试点项目，以期找到资源节约型的商业模式（参见案例研究 4）。试点项目关注的重点领域包括资源效率、材料浪费、废水废气排放、化学品管理、工人健康和安全，以及公众意识等³⁹⁹。在节能最多的一家印染企业，用水和能耗分别减少了 42%⁴⁰⁰ 和 22%⁴⁰¹。在节约能源方面，成效最显著、成本效益最高的措施是改良蒸汽系统（包括疏水阀），并对废气、废水、废油的余热进行回收⁴⁰²。这类试点项目还表明，最大限度降低环境影响与创造经济效益是不矛盾的。例如，自然资源保护协会的一个试点印染厂在项目中采取措施提高了发动机和照明效率，重复利用工艺用水，并对废气余热进行回收，第二年就创造了 2280 万元（约合 370 万美元）的收益⁴⁰³，投资回收期仅 13 个月。实际上，荷兰禾众基金会 70% 的试点印染项目前期投入都仅需 5 万元（约合 8000 美元），很多项目的投资回收期都不到两年⁴⁰⁴。荷兰禾众基金会表示，加强运营管理最能提升资源效率。

废水的回收和处理

工厂对废水进行回收可对厂内工艺用水进行再利用，从而减少自来水用量和废水排放量。中国一些企业和组织已开始考察纺织行业废水再利用的效益。成衣制造商晶苑集团和李维斯公司的废水回收率已经达到 60% ~ 65%，处理后的水主要用于生产过程、土地灌溉和清洁用水等⁴⁰⁵。自然资源保护协会的试点项目表明，经过对各种节水措施进行试验，重复用水和灰水再利用是成效最显著、成本效益最高的节水办法⁴⁰⁶。

在对纺织行业排放的工业废水进行处理时，运

用了多个污染参数来测量并控制水质。其中最关键的工业污水污染参数包括化学需氧量、生物需氧量，以及悬浮固体、氮、磷含量等。在中国，确保污水达标排放越来越具有现实意义。2015年，修订后的《中华人民共和国环境保护法》开始施行，将化学需氧量超标的污水按日计罚金额提高了30倍⁴⁰⁷。根据新的标准，化学需氧量超标一吨，每日罚金额可高达8.4万元（约合1.35万美元）⁴⁰⁸，直至违规行为得到整改为止。根据违规排放行为的严重程度，可以采取查扣资产、限产甚至停产等处罚措施。此外，还引入了排污许可证制度，对企业年排污量进行控制。如今，与废水处理相比，排污在成本方面已经不占优势，小型工厂通常采取成本较低的污水集中处理方式。更好地遵守污染排放标准可以显著地改善水质，从而降低高昂的环境成本和社会成本。2015年，排放进入黄河的化学需氧量高达312万吨，导致黄河水化学需氧量浓度超出国家标准21%⁴⁰⁹。据黄河流域水资源保护局和专家的统计，过去几年中工业废水污染造成的经济损失每年都在130亿~150亿元（约合21亿~24亿美元）⁴¹⁰。这一数据涵盖农业损失（产量下滑）、水资源价值损失、公众健康成本及污水处理设施的额外投入等。

家庭资源效率

提高衣物洗护效率

高效洗护指的是家庭采取资源高效的办法对衣物进行洗护。京沪两地开展的一项调查显示，家庭年均洗涤用水为3万升，手洗和机洗的用水量各占一半^{xxiv,411}。其中，漂洗用水占洗涤用水总量的

80%左右⁴¹²。人们普遍认为衣物清洁产品中的化学物质对身体有害，为了将衣物中的残留物质彻底清洗干净，平均会在洗涤过程中漂洗4次⁴¹³。随着中国经济的进一步发展，预计城市家庭的日常耗水量还会增长。因此，智能水表可以起到一定的作用。

要减少家庭洗衣用水^{xxv}需要提高居民对节水型洗衣方式的认知⁴¹⁴，包括选择洗涤容量更大、资源效率更高的洗衣机，并且厂家要在衣物吊牌、广告或衣物洗涤产品包装上注明最佳洗涤时长。这些措施不仅能够节水，还有助于保养衣物。

xxiv 假定洗衣机的平均水容量为50升，而手洗所用的洗衣盆的平均水容量是8升。尽管中国65%的城市家庭拥有了洗衣机，但大多数仍倾向于手洗和机洗并用。花王所作的一份研究显示，手洗的频率几乎为每天1次，甚至是每天2次，而洗衣机的使用频率为每周1到2次。

xxv 目前，中国每个家庭洗衣的年用水量约为3万升，其中漂洗的总耗水量约占8成。消费者认为，如果衣物未彻底清洗干净，会对身体或皮肤产生不好的影响。因此，为了确保彻底去除衣物上洗涤剂的化学残留，平均的漂洗次数为4次。中国消费者习惯用手清洗衣物，当需要清除污渍或洗涤小件衣物时，很多人会选择浸泡和手搓的方式清洗衣物。而针对洗衣机用户的一项调查显示，大约50%的城市家庭主要使用洗衣机的经济清洗模式。

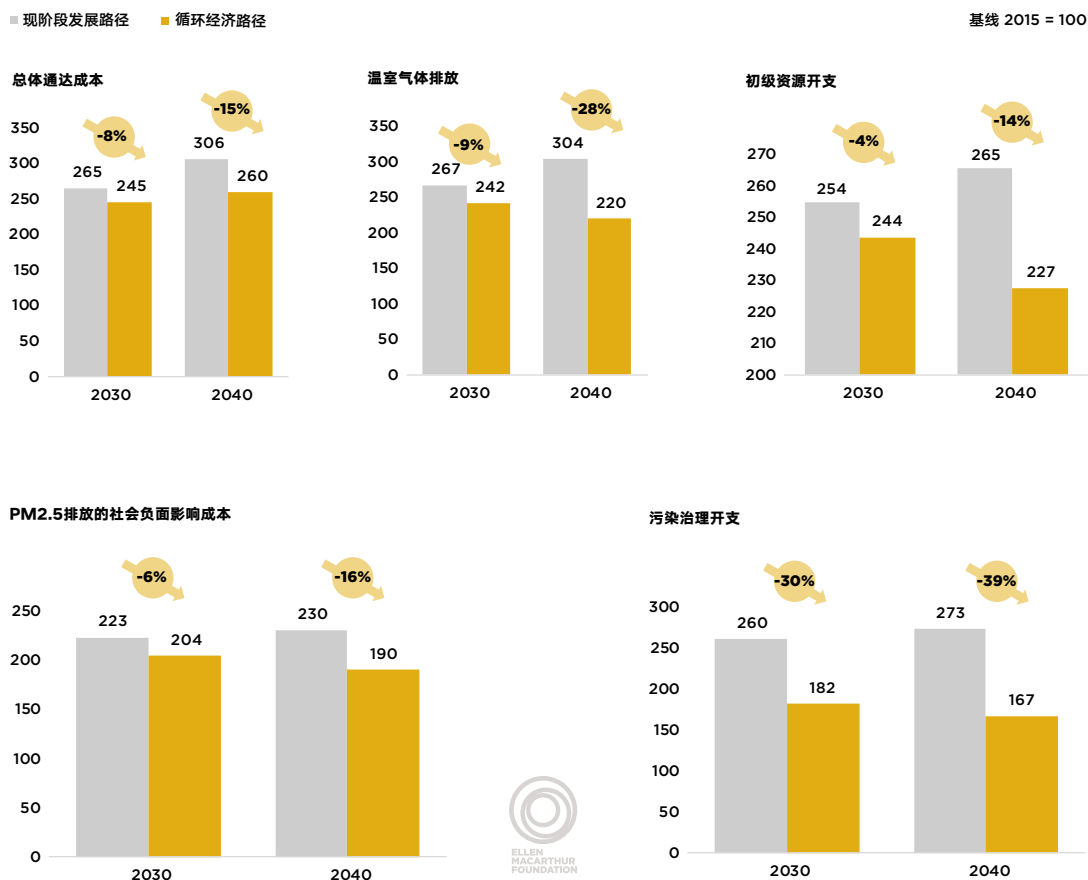
案例研究 4: 清洁始于设计

“清洁始于设计”项目是由自然资源保护协会中国办公室在绍兴、广州等地发起的，项目很好地诠释了如何通过推广循环经济手段（具体指项目城市的纺织企业对用水系统进行的循环改造）帮助纺织行业获得更大的经济效益。循环用水带来了多方面的好处——减少了用水量，节省了能源及化学物质，同时也增加了收益。

该项目的核心是“十项最佳实践”，是由专家对 5 家中国试点印染企业的经验进行总结，然后经过大范围试验发展而来的，其特点为易实施、投资少、投资回收期短，不仅提升经济效益，还能降低对环境的影响⁴¹⁵。依托于智能水表，这些最佳实践中大部分都涉及循环用水系统或废水回收利用，具体包括冷凝水的回收、冷却水和工艺用水的重复利用、热水热量回收等。绍兴和广州两地有 33 家印染企业参与了该项目。项目要求所有企业必须主动跟踪自己的水电系统，设定用电用水的基准，并根据“清洁始于设计”的原则制定和落实相关规划。该项目中共计有 53 个节水项目，在多个运营领域创造了可喜的效果。企业平均节水 9%，节水量最高达到 20%，节水总量达到 300 万吨。企业平均能耗降低了 6%，其中最高的企业节能达 10%，总的节能量相当于减少了 6.1 万吨的煤炭消耗，带来 9160 万元（约合 1470 万美元）的经济效益，投资回收期为 6 ~ 38 个月不等⁴¹⁶。这些运营上的调整，也把化学品的用量减少了 400 吨，不仅节约了成本，还降低了环境污染的风险⁴¹⁷。

中国其他地区大约还有 1.5 万家纺织企业。如果绍兴、广州这 33 家企业的经验能够得到推广，那么整个纺织行业将节约 50% 左右的用水。未来几年中，全球纺织行业将不可避免地与发展中国家转移。中国纺织企业若能够掌握企业内部节水节能的做法，那么很可能会向其他发展中国家输出循环发展模式的相关经验，确保柬埔寨等国的纺织业从一开始便遵循循环经济原则。

循环纺织行业：对中国的益处



量化收益

现行发展路径

在当前发展路径下，我们假定中国人口增长趋势、中产阶级数量变化趋势，以及可支配收入发展趋势对家庭纺织品消费模式的影响，将与发生在欧美国家的情况类似。比如说，经济的繁荣会刺激消费和浪费⁴¹⁸。我们进一步假设下列关键政策得到落实，目标得以实现：

- “水十条”：国务院将纺织行业列为重点开展循环经济的十个行业之一。“水十条”于2015年出台，制定了2020年的水污染防治目标，旨在整治高耗水和高污染的行为。
- “十三五”规划（2016—2020年）：“十三五”规划针对纺织行业制定了明确的节水、节能目标，以及严格的化学需氧量标准。

循环经济情境

循环经济路径反映的是纺织行业的循环经济机遇到2030年和2040年所产生的影响。假定到2030年，一些切实的短期成就已经实现。而到2040年，基于较高的普及率、利益相关方之间及行业间合作、技术和材料创新，以及行为方面的转变，会取得更多、更大的成就。例如，到2030年中国纺织品收集率为41%（以当前英国的回收率为参照），而2040年的预期纺织品回收率为56%（为当前德国74%回收率的四分之三）⁴¹⁹。

通过开展循环实践，中国城市人口的纺织品总体通达成本（TCA）^{xxvi} 在 2030 年和 2040 年将分别减少 5000 亿元（约合 800 亿美元）和 1.2 万亿元（约合 1930 亿美元），比坚持当前发展路径要分别减少 8% 和 15%。能够取得这样的成果，主要在于推广那些能够提高耐用纺织品使用率的商业模式，以及提高工业废水的回收处理和循环使用水平。外部成本和套现成本的缩减，分别占到 2040 年减少的通达成本的 55% 和 45%，其中 76% 应该归功于抓住了上述机遇。

提高耐用纺织品的使用率将极大降低通达成本，到 2040 年能够节约 5000 亿元（约合 800 亿美元），并减少总套现成本中的 76%

到 2040 年循环经济通达成本的降低，主要原因是通过新的商业模式提高纺织品的使用率，即通过设计让纺织品的使用寿命更长，同时新的商业模式能提高其平均使用或穿着次数。然而，到 2030 年，我们认为只有少数人和企业会重复使用纺织品。目前人们对于二手衣物卫生方面的担忧，以及社会对快时尚和高品质商品的浓厚兴趣，都是阻碍二手服装或服装租赁发展的社会因素。从企业方面来看，租赁纺织品、服装、织物或纱线仍处于起步阶段。因此，到 2030 年，纺织品使用率的增长不会非常明显。

到 2040 年，共享经济在中国各个领域的普及率预计都已大幅上升。人们将对这个概念习以为常，伴随着中产阶级的不断壮大和电子商务的不断发展，高档服装租赁将变得越来越方便，越来越具有吸引力。预计到 2040 年，20% ~ 30% 的人口所用的纺织品有三分之一左右都是重复利用的⁴²⁰。随着个性化意识的增强，人们或许还会越来越多地光顾那些提供定制化或个性化服装的零售商，这将限制过量生产，并能延长衣物的使用寿命。随着奢侈品牌和特殊场合服装租赁市场规模的扩大，人们对其他品类服装租赁的兴趣也会日渐浓

厚，例如婴儿服饰和运动装这类穿着时间较短的衣物。在家用或产业用纺织品领域，会有更大的机遇出现在 B2B 市场。这些机遇预计与耐用纺织品生产有关。

到 2040 年，随着回收处理废水规模的扩大，将节约 4000 亿元（约合 640 亿美元）的通达成本，并减少 60% 的外部效应成本

抓住纺织行业的每一个循环经济机遇将显著降低由外部效应造成的成本。与当前发展路径相比，循环经济路径能够到 2030 年和 2040 年分别减少 4000 亿元（约合 640 亿美元）和 7000 亿元（约合 1120 亿美元）的外部效应成本。

虽然这一影响是所有循环经济活动共同作用的结果，但主要原因还是水资源循环处理的提高。2040 年节约的成本中有 60% 要归功于水资源循环处理（相对于当前发展路径，2030 年节约的成本为 3000 亿元 [约合 480 亿美元]，2040 年为 4000 亿元 [约合 640 亿美元]）。上述结果是假定 2030 年和 2040 年的回收率分别为 37% 和 40%，且完全遵守污水排放质量标准的情况下得出的。之所以能够节约这么多的成本，是因为纺织行业目前是中国污染最严重、耗水量最大的行业之一，这也就意味着它有很大的改善空间。循环经济情境之所以为水资源循环处理设定一个很大胆的提升空间，是因为中国已经出台了强制性措施、严

xxvi 总体通达成本（TCA）由现金支出和外部成本组成。现金支出成本不包括政府补贴和增量资本支出（转向循环经济情景所需的额外投资）。外部成本代表相关的经济成本，例如温室气体和微粒的排放导致的收入损失和医疗保健支出。详细信息可在技术附录中找到。

格的标准、政策、以及试点项目，也就是说，中国已经基本上具备了相应的条件和技术。

推行自动化和 3D 打印、节水节能、纺织品回收利用，不仅能降低对初级原料及其他资源的需求，到 2040 年，还能节约成本达 3000 亿元（约合 480 亿美元）

循环经济情境中，自动化和 3D 打印^{xxvii}、节水节能^{xxviii}、纺织品回收利用^{xxix}能在 2030 年和 2040 年分别节约成本 1000 亿元（约合 160 亿美元）和 3000 亿元（约合 480 亿美元）^{xxx}，惠及广大城市居民。激励创新并在行业内扩大推广此类技术和实践，能够确保高效地利用资源，并同时降低外部效应成本。目前，自动化是中国产业革命的前沿阵地，预计到 2040 年可在纺织行业全面实现自动化。更高的工艺精度能够减少浪费，降低原材料成本，从而提高产出收益⁴²²。除了降低成本之外，与当前发展路径相比，自动化和 3D 打印、节水节能、纺织品回收利用到 2040 年还能减少 2 亿吨二氧化碳排放。

关于纺织行业如何抓住这些效益的思考

利用设计来帮助创造价值和保存价值

抓住回收利用的经济效益，需要通过跨价值链合作，将纺织品的设计、回收和可循环性统一起来。

用设计让纺织品更易拆解

创新解决方案可以使纺织品易于拆解，有助于提高其耐用性和回收利用率。例如，在制衣过程中要使用切割、蚀刻、粘合等技术时，利用新的激光及水力喷射剪裁技术可以让衣物更易拆解。因为使用这些技术可以对织物进行焊接缝合⁴²³，而不用线来进行缝合固定。此外，拉链、纽扣和衣物装饰品在回收利用之前也很难拆下来。为了应对这个问题，Dutch Spirit 就设计了一种可分成两片安装在织物上的纽扣⁴²⁴，这样在回收前就可以很轻松地取下纽扣。同样的原则也可以用于其他产品上的织物。以汽车上用的产业用纺织品（安全带、座椅、安全气囊、脚垫等）为例，只有在这些织物和相关汽车配件都设计成可拆卸的情况下，才能对其进行回收^{425,426}。这种方法还可以用于延长织物的使用寿命。从其中一个衣物设计难点上可以看出，可灵活调整的对襟、腰头、底边等，可以让穿着者自如调整衣服的尺寸、肥瘦和长度⁴²⁷，使衣物可以根据需要和品味的变化而调整，从而有可能延长衣物的使用寿命。

用设计让纺织品更易回收

大多数纺织品在设计时都没有考虑回收的问题。相反，设计师考虑更多的是外观、舒适度、性能等功能性和流行趋势方面的要求。为了达到这类需求，纺织品通常是用不同纤维^{428,429}混纺出来的布料^{xxx}。对于大多数混纺面料来说，目前还没有相应的回收技术。为了确保纺织品的可回收性，纺织品设计和现有回收技术之间相互匹配是非常关键的⁴³⁰。例如，Dutch Awearness 开发出了一种名为 Returnity® 的布料，可以实现 100% 回收。与

xxvii 假设到 2040 年，纺织行业 70% 的企业都能达到荷兰合众基金会和自然资源保护协会试点项目（参见“水资源和能源的高效管理”第 94 页）节水节能潜力最高的水平。

xxviii 预计到 2040 年，服装及家用和产业用纺织品将分类收集和回收。各市的收集系统、技术创新、分类及回收实践在中国将屡见不鲜。假设收集率达到 56%，而回收利用率则达到 28%。

xxix 假设到 2040 年资源生产率能够达到 3%~5%。

xxx 对于地毯、床垫这种体量很大的家用纺织品来说，混纺材料面临的挑战尤为艰巨。这些纺织品由多层不同的聚合物和无机填充物混合而成。回收效益低，而且由于材料复杂、体积大，所以，回收和运输的成本都很高。

普通的布料相比，这种布料还可以减少 64% 的能耗、95% 的用水、73% 的二氧化碳排放和 61% 的原材料需求⁴³¹。

推动回收产业技术创新，提高产出质量

确保纺织品回收原料的高品质是保障产出质量的关键，也是抓住回收材料价值的关键。然而，现如今，回收纺织品的分类主要依赖人工，仅靠观察和触摸对材料类别进行判断⁴³²。此外，纺织品的标签并没有完全准确地标明其中的纤维含量⁴³³，而且消费者通常都会在购买后将标签剪掉。因此，材料识别错误的情况时有发生，导致原料回收质量降低。此外，如今使用的绝大多数纺织品回收技术都会降低材料的质量，限制了其市场范围⁴³⁴。因此，为了能让回收材料在成本和质量方面同原生材料相媲美，在分类和回收技术领域的创新将起到至关重要的作用。需要重点提高混纺面料的回收利用并防止降低纤维质量。如果无法找到在功能性或者成本方面可代替混纺面料的产品，那么用后技术方面的创新就必不可少。用后技术的创新可以大幅提高回收率和回收质量。创业公司 Worn Again 已经开发出一项工艺，可以从纯棉和混纺面料中分离提取出聚酯纤维和棉，并制成与原生材料同等质量的聚酯纤维，以及可以用于制造莱赛尔纤维或纤维胶的纤维素浆料⁴³⁵。该公司称，绝大多数非服装面料均可作为这一技术工艺的原料。香港纺织及成衣研发中心同 H&M 基金会最近也研发出了一项可以分离涤棉混纺材料的工艺⁴³⁶。在分类技术环节已经取得了一些可喜的进展。例如：Valvan 已经开发出了一项名为 FIBERSORT 的自动化近红外光谱

技术，可以同时按照颜色和某些纤维混纺面料品类对服装进行分类^{437,438}。如果这类技术可以应用于产品护照、材料标识、产品追溯与跟踪均已规范的体系中，那么绝大多数类型的纺织品就都能以一种更透明、更高效、更准确的方式得以分类⁴³⁹。

刺激回收材料的市场需求

创造有效的回收材料市场的关键在于回收材料要能满足买方对质量和价格的要求。为了达到这一目标，在质量、价格和材料特性方面都要做到公开、透明，这样才能培养买方对回收原料的信任^{xxxix}，实现供需双方更好的匹配⁴⁴⁰。服装品牌具备充分的条件来拉动这一市场需求。决策部门则可以利用激励政策进一步鼓励使用回收材料⁴⁴¹。例如，政府采购可以向回收材料倾斜，并对回收材料相关信息进行介绍。需求量增加能够为回收材料的生产带来规模效应，增强同原生材料的竞争力^{xxxix,442}。

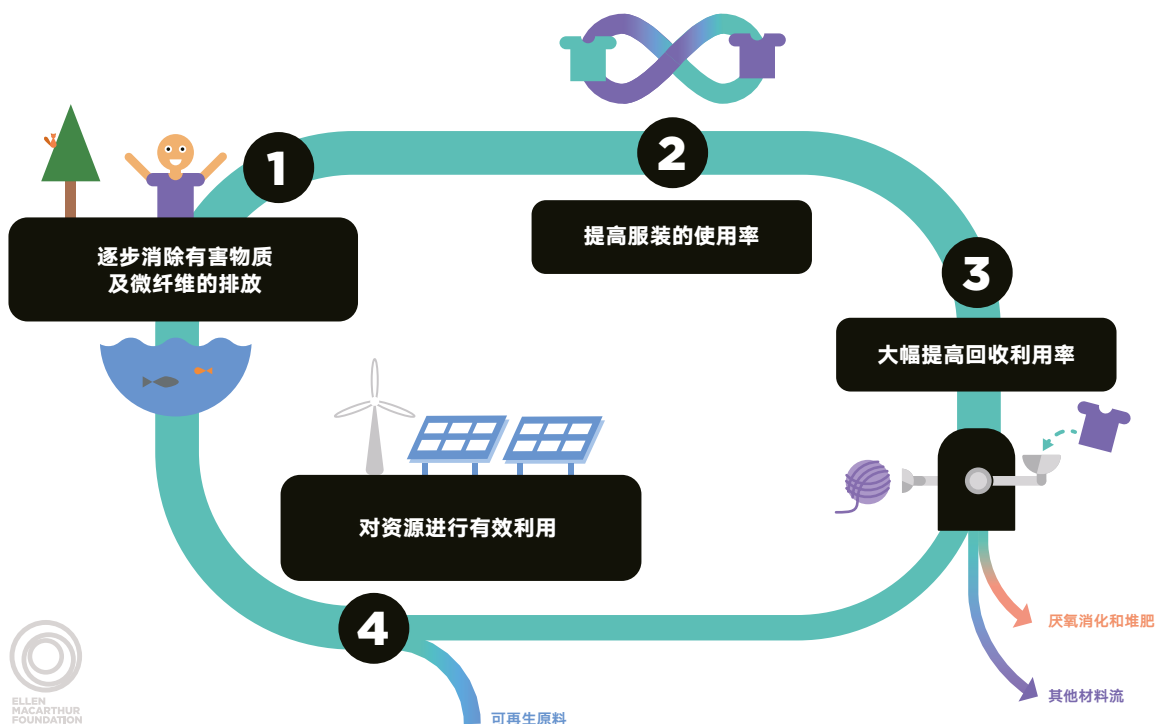
xxxix 如果能够确保回收材料在质量、性能、材料成分等方面的透明度，那么初级原材料品质的回收纤维在产业用纺织品部门的应用就能够得到提升。产业用纺织品部门所用的高性能纤维在质量和功能方面都经过仔细的选择。尽管回收行业的技术仍有待提高，但初级原材料品质的回收纤维仍是一个尚未开发的具有很大潜力新市场。

xxxix 化学回收，浙江佳人新材料有限公司在三年时间里已经将回收纤维的价格降低了50%左右。他们有信心在未来几年让回收纤维变得比初级原材料更有价格竞争力。

建设新纺织经济的系统性方法

这一章重点阐释的是循环经济可以给中国纺织行业带来的机遇，但是全球范围内采取行动将会带来更多的效益。基金会发布的报告《新纺织经济》（A new textiles economy）⁴⁴³ 以时尚行业为重点，描绘了全球纺织业一个系统性的愿景。在这个新的纺织经济中，服装、织物、纤维在使用过程中保持最高的价值，并在使用后重新进入经济体系，永远不会成为废料。这样的体系不仅能帮助自然资本再生、通过设计减轻污染、使用可再生资源 and 能源，还能同时为不断增长的全球人口提供高品质、低价格及个性化的服装。这一新的纺织经济天生善于合理分配，也就是说，价值将在行业内各种不同规模的企业间流通，这样整个价值链上的各个环节就都能为工人支付可观的报酬，并为他们提供良好的工作环境。这一系统性的愿景包含四个与循环经济准则高度一致的核心构想，图 4 对此进行了阐释。

图 4: 新纺织经济的四大构想



来源：艾伦·麦克阿瑟基金会，《新纺织经济：重塑时装的未来》，（2017 年）



电子工业： 设计可使用、可回收、可再利用的产品

中国已是全球消费电子产品和家用电器生产第一大国，其产量约占全球总产量的40%。同样的，中国也是该领域最大的市场之一。随着中国国民收入的不断提升，中产阶级的不断壮大，预计未来对此类产品的需求也会继续增长。然而，稳步提升的电子产品消费也会带来一些不良影响。每年，中国都有大约600万吨家用电器产品被废弃，尽管中国最常见的电子垃圾处理方式能够回收一些有价值的材料，但还是会给环境和公共卫生带来有害影响。为了充分回收电子产品的价值，并最小化负面影响，中国的城市可以抓住循环经济的机遇。

- 首先，通过完善电子垃圾的回收、构建有序的非正式电子垃圾回收从业者网络、采用现代化回收手段等措施，提高电子垃圾的回收价值。
- 其次，扩大回收处理能力，保存使用价值，加强废弃电子电器产品再利用。即使产品不再具有使用价值，也应回收再利用有用的零部件，并利用最新的循环产品设计，提高整体流程的利润。
- 最后，应用循环设计，促进新型商业模式的发展，减少一次性产品的消费，在处理原材料和产品时，鼓励回收再利用。着重推广“产品即服务”的理念，鼓励个人和家庭为电子电器产品付费时，是为了使用它们，而不是为了拥有它们。

及时把握机遇可以大幅改变中国电子产业的资源需求量大但浪费不止的现状，使其成为一个走在世界前列、思维超前、创新能力强，且注重产品的使用和用后回收的产业。

中国是消费型电子产品和电器的生产大国，占全球电子产品产量的40%⁴⁴⁴，拥有海尔、华为、小米、联想等诸多重量级电子产品制造商。中国生产的电子产品中，有近三分之一用于出口，主要面向欧美国家^{445,446}，产地高度集中于山东、江苏、广东等东部沿海省份⁴⁴⁷。

中国产能巨大，意味着对原材料需求也巨大。相比于汽车制造业和建筑业，虽然电子行业对钢铁

和有色金属的需求可能较小，但却是贵金属、稀土及镓、钴等被全球各国政府高度重视的资源的主要消费行业之一。传统的中国电子产品制造商都是从国内采购大部分所需原材料。在所有对世界经济发展举足轻重并最受欢迎的投资型矿产中，中国有18种的产量在全球数一数二。然而，如此水平的国内开采活动存在“燃耗率”。该指标显示，未来几十年中，中国这些矿产的探明储量将进入瓶

颈⁴⁴⁸。因此，中国原材料战略着重关注寻找和获取新的海外资源供给⁴⁴⁹。不仅如此，中国正尝试从电子垃圾中回收更多材料，替代进口资源。通过发展电子垃圾回收产业和规范二次材料流动双项并举，中央政府旨在增加材料供应。例如，收集旧硬盘，回收其中的磁性材料（固态硬盘上市后，逐渐取代了这种磁性硬盘），这些磁性材料中含有贵重金属，是中国制造业不可或缺的原料，因此，它们不能通过合法渠道出口。

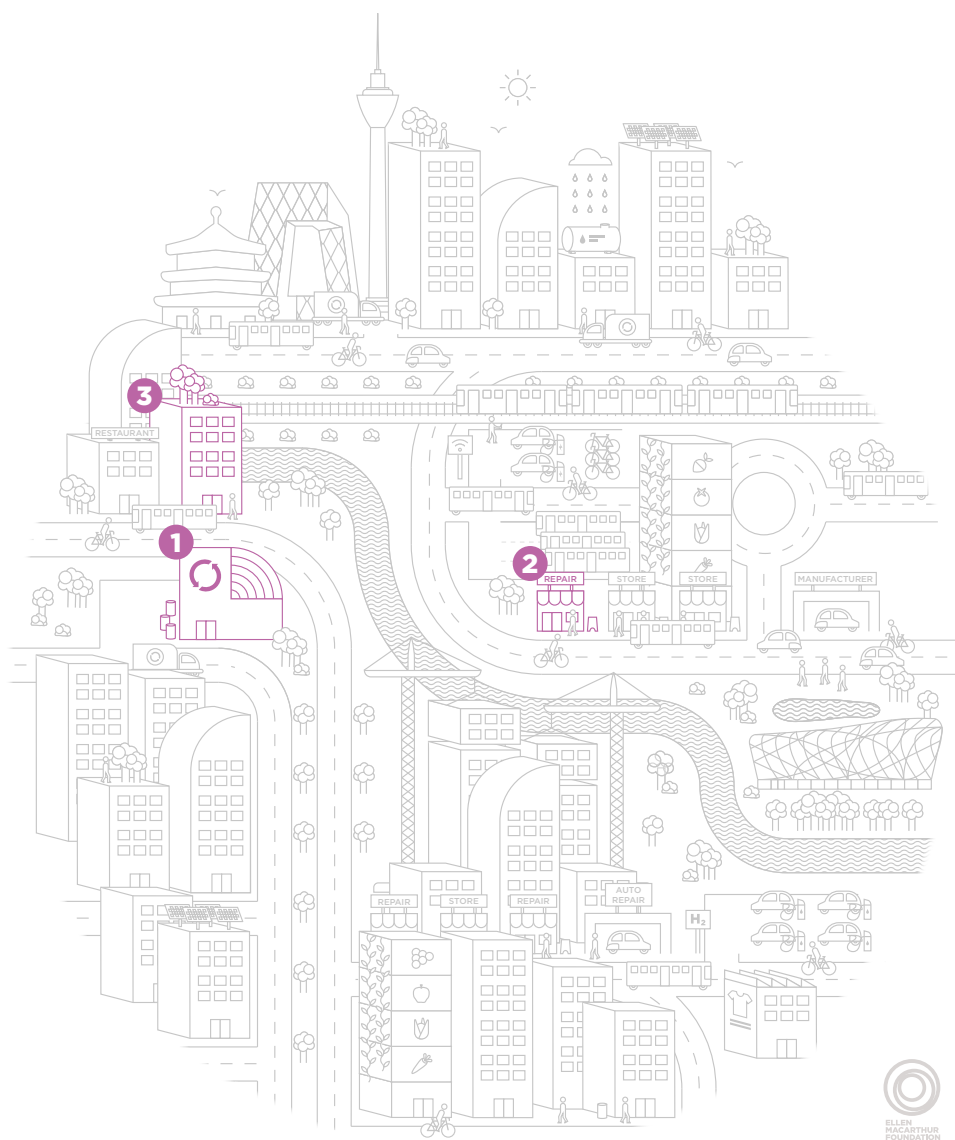
中国是全球最大的电子电器市场之一。随着人口结构的变化和经济水平的提高，中国的新兴中产阶级不断壮大，他们的消费喜好为国内制造商创造了一个日益强大的国内市场。例如，目前中国城市居民智能手机保有量达到 71%⁴⁵⁰；2005—2015 年间，中国的电视机市场增长了大约 50%⁴⁵¹；近年，中国家庭每年新增洗衣机 3500 万 ~ 4000 万台⁴⁵²。不出意料，新增消费多数集中在大城市，主要是沿海地区。在这些地区，电子产品及其他产品的生产快速推动了城镇化和收入增长。在“一带一路”倡议的引领下，中国继续向西开发，这意味着会有越来越多的工人选择留在或回到家乡附近的生产基地。虽然这些发展推动了电子产品普及率的提高，但现今仍落后于欧美地区，因此，未来有望进一步增长。此外，近年来，中国城市中产阶级品位不断提升，生活方式不断更新，不仅使电子产品销量大增，还拉高了其质量和价格。

中国正在打响国产和进口电子垃圾攻坚战。据估计，中国国内每年大约会产生 600 万吨废弃的电子产品⁴⁵³。此外，过去出台的诸多法律法规（例如，2000 年中央政府出台禁令，禁止进口电子垃圾），“绿篱”行动虽有成效，但很难彻底遏制电子洋垃圾进入中国。这些主要来自欧美和日本电子洋垃圾和国产电子垃圾通常都会进入回收渠道，但仅有少数几个城市提供回收服务，且往往设备简陋，缺少监管。因此，回收可利用材料的过程往往

损害了公众健康，破坏了生态环境。举例来说，为了获取废电缆中的金属铜，就需要剥离电缆外面的绝缘层，而通常的做法是在露天环境中用明火将其烧掉。这个过程中，绝缘层中的阻燃剂可能会散发有毒烟气⁴⁵⁴。不仅如此，电解废旧主板回收其中的金、银、钯等金属，往往也需要用到有害化学品，若也没有采取环境保护手段，就会严重污染所在城镇及周边地区的土壤。近期，政府出台了一系列政策措施，如“国门利剑 2017”行动，正是为了应对挑战，妥善回收国产和进口电子垃圾⁴⁵⁵。

中国电子电器循环产业前景展望

中国电子产品生产在地域上的集中和国人对电子电器产品的热衷使中国城市地区的大环境非常适合电子产品循环产业的发展。在循环系统中，通过延长产品和零部件的有效使用寿命，电子产品和电器等消费品的生产效率将会显著提升。在此类循环系统中，中国城市家庭成为了使用者，而不是消费者。在不牺牲便捷性的同时，他们可以通过各种相对廉价的方式获得产品。当产品不再具有任何使用价值时，他们可以在城市周围采取多种切实可行的方法处理它们，进行安全回收。



循环经济机遇



通过循环利用， 捕捉电子废弃物价值

升级和改进中国电子产品回收产业整个价值链，将大有裨益。正规渠道的回收价格将有所提升，预处理部门也将趋于统一和完善，业务质量提升，终端处理也会从人工处理改为工业化处理。

提高正规渠道的废品回收价格。尽管中国的电子垃圾回收产业已颇具规模，但价值链各个环节都面临诸多挑战。在回收行业中，非正规回收渠道占有相当大的比重。过去，政府曾采取多项措施，力求使回收活动正规化。例如，财政部出台了《家电以旧换新实施办法》，将旧家电交于享受政府补贴的回收企业，能在购买新家电时享受一定的折扣。但由于缺少完善的回收体系，确保废旧家电来源稳定，该项目在操作过程中严重受阻⁴⁵⁶。

要想提高正规渠道的回收价格，使其和非正规回收渠道相辅相成，方法有三。首先，让基于回收业务并经营翻新或循环利用业务的新企业进入市场。“爱回收”就是一个典范，这是一家通过再购入回收旧手机的网站。目前，“爱回收”平均每天回收超过13000部手机⁴⁵⁷。其次，出台公共政策，让制造企业考虑设备用后处理（EoU），承担更多责任。最后，业内的原始设备制造商（OEMs）还可以基于环境和供应链，推出补充性回收方案。

优化预处理市场的结构及操作流程。非正规的废品回收渠道已经站稳脚跟，要想让它们规范化绝

非易事，因此，最近政府开始改变重心，致力于规范价值链的其他环节。回收利用过程分为预处理和处理两个阶段。在预处理阶段，为了获取各种材料，需要对废旧产品进行破碎和拆解；而在处理阶段，黑色金属、有色金属（包括贵金属）和其他材料都将得到回收。如果操作不当，这两个阶段对环境和人类健康的危害都不容小觑。

中国的预处理市场较为分散，除了109家持有执照的企业之外，还有大量小型私营企业和非正规从业者。就处理量和提取价值而言，这些企业的表现千差万别，对环境的考虑，对工人和公众健康的关心程度也并没有统一标准。预处理企业能接触到所有回收废品，通过现金交易，所以正规渠道和非正规渠道的废品都可以获得。提高处理后电子垃圾的收购价格，并规范和整合电子垃圾预处理行业将极大地增加黑色金属和有色金属（包括贵金属）的供应，并大幅降低非正规处理造成的污染及其他负面外部效应。无论是对上游企业还是下游企业，该行业都有很高的现金流要求，并且同地区预处理企业之间对电子垃圾原料的竞争非常激烈。因此，这种整合无论如何都势在必行。

要实现整合，优化预处理流程必不可少。首先，在合适的情况下，需要在全自动化破碎环节之前进行手工筛检，分检出价值高的废品。此外，还需要规范预处理和处理流程，双管齐下，目的均在于提高产出，特别是贵金属的产出。2012—2015年间，109家持有执照的企业共获得164亿元（约合26亿美元）⁴⁵⁸的转型补贴⁴⁵⁹。

中国已有数家企业开始投资这一领域。在政府研发资助的激励下，城市资源开采及电子垃圾回收利用企业格林美股份有限公司正在部署尖端技术，希望提高提取率，并从收集废旧产品的供应商手中获取原材料（电子垃圾）。此举得到了政府的

大力支持。不仅如此，政府还采取了其他措施，比如限制能够合法预处理空调、计算机、智能手机（新增）等特定电子垃圾的企业数量^{460,461}。如此一来，这些合法企业就能够获得更多的原材料，从而使他们加大投入，利用技术提高处理量，并积极进行环境治理。

规范化电子垃圾价值链的最终处理阶段。专业化和规范化不仅有益于预处理环节，也会优化处理环节。中国市场上所有废旧印制电路板（PCB）中，大约有 99% 是在国内回收处理的。在中国，正规的废旧印制电路板处理渠道每年的处理能力为 34.2 万吨，但实际处理能力目前尚不明确。格林美股份有限公司、中再生、启迪桑德环境资源股份有限公司（Sound Recycling）三家企业的处理能力占市场总处理能力的 25%。目前，家庭作坊式处理模式的处理能力远远比不上工业化处理模式。例如，家庭作坊式处理模式的贵金属提取率通常只能达到 25%，而国内铜冶炼厂的提取率能够达到 70%，通过特定的电子垃圾处理方式，欧洲和日本同类企业甚至可以使贵金属的提取率达到 95%⁴⁶²。此外，同样重要的是，工业冶炼企业在环境污染防治上投入了大笔资金，而家庭作坊式回收企业不仅给当地水土造成了不可挽回的损失，还损害了工人和他们住在附近的家人的身体健康。

深入创新可以改善废品处理产业格局，提升行业整体表现。例如，闭环湿法冶金工艺的实施可以使终端处理环节去中心化（目前，由于冶炼企业需要大量投资，所以终端处理环节高度集中）。这样一来，就给垂直整合和其他形式的地区/区域合作带来了机会，进而从反方向降低整个价值链的成本。

最后，对于价值较低的材料，我们也要考虑如何进行回收处理ⁱ。普通电器或电子设备的塑料含量为 30% 左右⁴⁶³。而在 2014 年，中国国内产

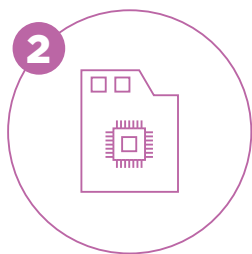
生了 200 万吨塑料电子垃圾⁴⁶⁴。虽然一些塑料零部件拆解后得以再次利用，通过正式回收渠道收集和处理的应回收电子垃圾（包括塑料）却只有 28%⁴⁶⁵。

i 未包括在本报告的量化模型中。

案例研究 5: 上海：汇集多方，通过多渠道进行城市电子垃圾回收

上海首创了新型模式，通过线上平台和线下物流相结合，提高了正规渠道的回收率⁴⁶⁶。不仅如此，上海还建立了综合回收系统⁴⁶⁷，同时也在试用新型线上到线下电子垃圾回收平台。

- 私营部门先行。**上海金桥再生资源市场经营管理有限公司是上海首个获准接受基金补贴的废弃电器电子产品处理企业。该公司创建了电子垃圾网上回收平台——阿拉环保网（<http://www.alahb.com/>）。市民既可以将废弃物投放到 2643 个指定回收点中的任何一个，也可以线上预约上门回收服务。作为回报，市民可以获得阿拉环保卡的积分。此卡是上海金桥再生资源市场经营管理有限公司与光大银行联合发行的银行卡，卡上的积分可以提现⁴⁶⁸。强大的线上平台固然重要，高效的线下物流同样关键。森蓝环保（上海）有限公司是中国第一家在全市范围内建立了有效的回收服务站点网络的企业（目前遍布上海 16 个区和 104 个工业园区）。该公司利用商业零售网点和便利店的优势，让市民将废弃电子产品交给零售商店，并通过便利店安排取件服务，收集大型电器。目前，该公司共设立了 527 个传统回收点，覆盖 2400 万人口。此外，为了解决回收过程中的“最后一公里”问题，公司还建立了 4 个仓储中心，配备了 40 多辆专业回收车辆⁴⁶⁹。
- 政府全面大力支持。**上海市政府积极参与，为当地电子垃圾的回收和处理提供了极大的支持。上海是中国首个开展电子垃圾回收行动，并将“建立电子垃圾回收网络”纳入市政规划的城市⁴⁷⁰。市政府各部门还联合开展工作，推动电子垃圾处理产业的发展：上海市环境保护局牵头市、区级监管部门，重点关注打通回收环节和处理环节之间的联系，还密切监控处理行业的流程，确保其符合规定的环境标准；上海市发展和改革委员会从全局角度监督循环经济政策的落实情况；上海市商务委员会则将重心放在电子垃圾上，总体负责二次资源循环系统的建设。毋庸置疑，金融部门也至关重要，他们负责保障和分配活动所需资金⁴⁷¹。
- 充分调动市民参与。**上海电子垃圾回收取得成功，还要归功于充分地调动了市民的参与。为了提高公众意识，森蓝环保（上海）有限公司已经举办了 2000 多场宣传活动⁴⁷²。该公司与中国光大银行合作，从经济角度鼓励市民将电子垃圾与其他垃圾分开，并利用线上和线下回收渠道网络，降低了市民的参与门槛。



产品的再利用翻新及零部件再制造

安全有效的电子垃圾回收利用产业在循环生产和消费系统中至关重要，但这并非是最大的经济收

益窗口。正如第二章中所述，循环经济创造的价值，不仅体现在它将材料保留在系统之内，更多地体现在它留住了制造过程中的附加价值。电器电子产品的原材料在最终产品的总价值中所占份额相当有限，对于这种复杂产品来说，附加价值显得更加重要。举例来说，一个普通智能手机的原料价值还不到 100 元（约合 16 美元）。所以，不局限于仅回收材料，才能产生巨大价值。

近年来，“爱回收”等企业的出现，在中国开辟了电子产品用后处理的新途径。在对每部会被回

收的手机进行评估之后，“爱回收”会根据手机的情况，要么翻新后重新投放市场，要么重新制造并将有用的部件卖给中间商和制造商，以便重新投入生产过程。截至本文撰写时，“爱回收”已获得 5 亿元（约合 8000 万美元）投资⁴⁷³。中国政府也愿意加大力度，“收紧循环”。除了着力改善回收产业环境和财务绩效之外，政府还致力于推动电子垃圾的再利用和再制造，发展新途径。由于再利用/翻新和再制造对电子电器产业极为有利，所以这两个循环经济中的主要方法脱颖而出。通过在二手产品供应链中进行质量控制，以及在产品设计环节进行简化，降低拆解、重组、故障诊断和修理难度，上述两种再利用方式都能得以巩固和加强。

鼓励电子电器产品的再利用和再翻新。以这些做法为前提，废弃或返修产品会经过检测，确定其整体磨损程度。状况较好的产品，则通过各种不同的分销渠道重返（二手）市场。为了确保销售质量，可能还要对产品进行一些清洁和简单的翻新，但通常，都只需要找到这些产品的销售渠道而已，特别是那些由于包装破损（如恶劣的运输条件所致）而导致无法销售的产品，或是经授权退货的产品。这种情况下，只需重新对产品进行包装即可；也可以直接拓展销售渠道，简单来说，就是让这些产品的价格更具吸引力，来吸引那些不在乎包装是否完好的消费者。这种方法可以让更多的家庭用上电子电器产品。

扩大电子电器产品再制造和零部件回收规模。通过再制造和零部件回收，就算是那些无法简单进行再利用的产品和零部件（在逆向物流计划中通常称之为“旧件”），消费者和企业也可以回收其价值。然而，一些有价值的零部件（如智能手机的摄像头、咖啡机的加热器或水泵），仍然可以发挥它们的原有功能，或用于他用。因此，制造商及第三方服务提供商可以回收这些零部件，并将它们重新投入到自己或其他厂商的生产过程。

显而易见，有了这些更加紧凑的循环方法，并不意味着表现良好的回收产业彻底失去了存在的必要。虽然向高端渠道再利用和再制造废弃产品能够最大限度地利用其价值，但仍有大量产品会再次变成废弃产品，在这种情况下，从环境和经济的角度来说，材料回收即是最佳处理方式。



鼓励“产品即服务”模式

造成电器电子设备低效浪费的最主要根源是当前的使用模式。消费者一般想用什么就买什么，却不考虑使用的频率。例如，从全球平均数据来看，在洗衣机的整个使用寿命中，超过 80% 的时间都处于闲置状态。而在中国，很多家庭即便买了洗衣机，也仍旧经常手洗衣物，所以洗衣机的闲置时间更长。

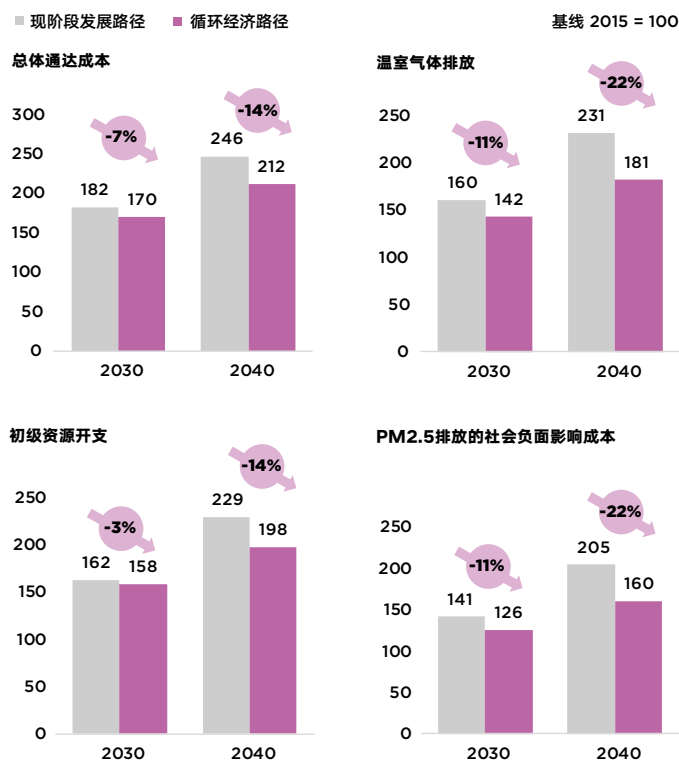
这种传统的产品保有模式是可以被其他方法淘汰的。“产品即服务”的理念既可以满足特定用户群体的需要，也节约了大量产品。原始设备制造商（OEMs）和/或中间商并不直接出售产品本身，而是在保留产品所有权的同时出售服务。与该产业最为相关的干预措施有两个，即向共享模式转变和向按次付费模式（PPU）转变。这两种模式不一定是相互独立的：例如，洗衣机之类的产品可以通过按次付费，同时让不同的用户使用（共享）。尽管政府总体上支持共享模式，李克强总理也曾多次提到共享模式⁴⁷⁴，但到目前为止，出台的相关规章制度或政策还十分有限。

在按次付费模式中，使用者不必成为产品所有者。消费者不用一次性购买产品，提前支付所有费

用，而是基于使用次数，在一段时间里分次支付。这也是这种付费模式通常被称为“通达模式”的原因。一直以来，相当多的创业活动都集中发展这类模式。一些汽车、自行车、住房甚至是雨伞供应商正努力扩大分享市场。在电子产品领域，手机共享充电吸引了大量的投资。在 2017 年春的短短两个月里，来电、小电、街电这三家当时排在共享充电领域前三位的企业共吸引了超过 7.9 亿元（折合 1.27 亿美元）的投资⁴⁷⁵。“街电”就是按次付费模式（PPU）应用于电子设备领域的范例。它在商场中投放了一些充电宝，无论是谁，只要在应用程序

中预存 100 元（折合 16 美元），就可以随时使用。使用者不需要购买充电宝，只需注册并按次付费即可，这种方法既便捷又降耗。“街电”则全权负责这些充电宝的日常运营和维护。而在电器领域，智能共享洗衣机近日出现在了上海中心城区的街头，上海市民通过微信或支付宝就可以付费使用洗衣机。虽然看到洗衣店出现在街面上，而不是隐身在门店里或栖身于居民区，人们会质疑洗衣服务的质量，但无论如何它都凸显了中国最新的支付系统所带来的变革力量。

循环电子电器产业：中国城市如何受益



量化收益

现行发展路径

如果不采取专门的干预措施，中国电子产品的生产和城市消费将在人口和经济变化的推动下如预期增长，同时将伴随着总体通达成本（TCA）的大幅上升，到 2030 年达到当前水平的两倍。与此同时，资源需求将提高一倍以上，相关的外部性也将增加 50%。中国政府针对用后（EoU）电子设备的流动所出台的政策——旨在防止废弃电子设备成为垃圾，以此保护环境，同时也是为了提供更多可行的材料回收方案——越来越多，但由于其中大部分政策并未纳入“十三五”规划，它们对现阶段发展路径的影响十分有限。

循环经济情境

循环经济发展情境放大了“五年规划”政策和目标影响下三大机遇的影响范畴和渗透度。在某种程度上，这是研究了国际上这类使用后举措的影响，并且考虑了新型商业模式中产品和产品使用的特点后得出的结论。循环经济模式立足于两个关键的假设。对于释放电子垃圾的价值（回收和处理）和收紧产品循环（翻新和再制造）来说，2030 年—2040 年间循环经济的快速增长主要归功于收集率翻番，以及回收及翻新和再制造两个环节之间电子垃圾分配份额的变化（两个环节之间相对分配份额由 2015 年的 100/0 变为 2030 年的 76/24，再变为 2040 年的 25/75）。对于重新设计商业模式，为了对共享和按次付费（PPU）模式下影响评价模型中的 25 种产品的适应性进行评估，根据普通用户与产品之间关系的私密程度、产品的利用率，以及“使用”的定义，为每种产品指定了一个具体的商品。并在此基础上，计算出按次付费和共享模式的理论普及率，并进而推算出这两种模式消减每个商品销售量的潜力。

在电子电器产业推行产品循环，能够为中国城市减少总体通达成本（TCA）ⁱⁱ。预计到 2030 年，通达成本大约会减少 2000 亿元（约合 320 亿美元），到 2040 年则大约能减少 6000 亿元（约合 969 亿美元）。与现阶段发展路径（CDP）相比，相当于分别减少 7% 和 14% 的通达成本。纵观所有循环经济举措，2030 年和 2040 年减少的 TCA 中，有 82% 是降低变现成本的结果，18% 是降低外部效应的结果。举例来看，温室气体排放及细颗粒物（PM2.5）等将在 2030 年和 2040 年分别减少 11% 和 22%。

电子产业发展循环经济，收益将远超当前的政策效应。与现阶段发展路径相比，将循环经济的三大机遇（更好的回收利用、再生产等价值更高的用后选择方案、替代商业模式）结合起来，到 2030 年可以减少近 7% 的 TCA。到 2040 年，可以减少 14%，其中有将近一半可通过替代商业模式来实现。到 2030 年，二氧化碳排放量也将减少 2400 万吨，细颗粒物（PM2.5）将减少 11%。很重要的

一点是，采用循环经济发展模式，到 2040 年，电子行业对贵金属等关键原材料的需求量将降低 14%。

电子产业发展循环经济，经济效益将十分可观。

若能着力提高回收价格，并以更佳的方式处理用后电子产品和家用电器，那么用后产品回收利用是绝对有利可图的。提高回收价格可以带来规模效应，

ii 总体通达成本（TCA）由现金支出和外部成本组成。现金支出成本不包括政府补贴和增量资本支出（转向循环经济情景所需的额外投资）。外部成本代表相关的经济成本，例如温室气体和微粒的排放导致的收入损失和医疗保健支出。详细信息可在技术附录中找到。

从而降低用后回收企业的成本。最终，通过将电子设备引入正确的用后回收流程，可获得更高的材料附加值和经济效益。当前正规渠道回收家用电器、计算机及其周边设备、手机和其他个人电子产品的利润率为 15% ~ 45%，如果能将利润率提高并稳定在 45%，到 2030 年，发展循环经济为整个电子行业带来的收益可达到 2000 亿元（约合 320

亿美元）。

电子产业发展循环经济，将为中国注入新的竞争力。向循环经济转型将给中国带来更多的机会。例如，水资源在半导体产业内不同用途之间循环使用，或者将质检未过关的电路板上的零件拆下来重新利用，这些由循环利用激发的供应链自身的改善可以为电子产业创造额外的价值。

关于电子电器产业如何实现获益的思考

利用数字技术开发新型商业模式

中国城市居民早已对共享经济带来的机遇展现了开放的姿态，但并非对所有产品的共享都如此开放。在某些特定的产品类别上，人们在卫生方面的态度和习惯严重阻碍了发展共享模式的可能性，甚至比在很多西方国家都要严重。这对于服装共享来说是一个挑战，还可能会影响涉及服装护理及食品制备和保存等功能的电器和设备。

这就为工程技术和市场营销人员创造了机会，去寻求能够让消费者放心使用二手物品的物流和商业模式。而创新的机会远远不止克服这一种特殊的障碍。总而言之，最实用的创新将是那些能够消除个人心理障碍、推动人们积极参与共享或即用即付（PPU）经济模式的方案。便捷性是一个关键因素。以居民楼地下室里的共享洗衣机为例，如果可以用硬币支付，或者洗衣机闲下来时用户能收到远程提醒，那么共享洗衣机的吸引力就会有所增强。

在世界范围内，尤其是在中国，社会固有的一些循环经济行为传统在今天面临着消失的威胁，这为中国提供了一个运用现代技术和新商业模式来保住这些传统的独特机遇。例如，共享自行车就是基于中国人过去骑车出行的习惯，对这一传统进行了保护。电器电子设备的共享模式可以建立在中国社会强烈的集体观念的基础上，通过技术的运用和聪

明的营销，能获得并保有日益壮大的城市中产阶级的关注。

技术和创新还可以借助中国城市人口对在线应用程序和访问模式的需求，激发更多用后回收解决方案。2014 年，联合国开发计划署（UNDP）驻华代表处与互联网企业百度合作，通过双方共建的大数据联合实验室推出了一款应用。该应用将企业和个人终端用户与经过合法认证的电子垃圾处理企业对接，实现电子垃圾的安全处理和回收利用。该应用自发布以来，覆盖的产品和城市不断增加，用户数量和产品搜索量也在稳步增长⁴⁷⁶。用户无需支付大量费用即可轻松了解到有关更优产品设计、用后选择方案和共享机会等信息。阿里巴巴也已将其中一些信息添加到了自己数量庞大的消费品目录中。各种线上到线下（O2O）的应用程序和网站正在中国各大城市不断涌现，市民可以预约工作人员上门回收废弃的电器电子产品，最有名的要数深圳、武汉、天津等城市的“回收哥”和北京的“香蕉皮”，但此外还有无数创新企业，在经过进一步的实验和调整之后，有望为该领域创造可观的效益。时刻关注废品回收的行业领先预处理企业中，最活跃的是由格林美股份有限公司开发的“回收哥”和由华新绿源环保股份有限公司开发的“香蕉皮”。

改进产品设计,助力循环商业模式

目前, 电器电子设备的设计方式让维修及其他需要拆机进行的操作难以进行。某制造企业发现, 其生产的多种小家电产品都要花整整六分钟才能拆开, 而在最后两分钟才能取出其中值得回收的三个部件。之所以采用这种设计, 有的是出于方便监管, 有的是出于成本考量, 还有的是出于战略考虑。为了对更多的电子设备进行循环利用, 并增加每件产品或材料的回收利润, 产品设计方案不能只考虑产品首次使用的情况, 还要考虑如何顺利实现循环利用。

设计创新在提高用后回收的成效方面发挥着关键作用。为了建立一个从经济和技术层面都可行的闭环循环模式, 设计师们在设计过程中必须考虑如何提高产品的耐用性, 让维修和零件更换无压力, 让拆机和零件回收更轻松, 并且使用可回收的安全材料助力材料的回收。让这些想法真正落实可采用以下做法: 诸如电源线、显示器、摄像头等零部件在不同型号、不同系列甚至不同品牌(最后这点可通过制定行业标准来推动)的产品之间实行标准化; 在开发产品线或产品系列时采用模块化和平台化的方法; 改用易拆卸的封装和紧固方式(如易于检修的卡扣式而非黏合式的组装方式); 尽可能准确预测各零部件的故障发生率, 并让最易损坏的部件能实现轻松检修或更换; 明确区分需要定期更换的磨损零件和只需要清洁或抛光的耐用核心部件; 内置故障跟踪软件可以判定返厂产品中哪些零部件需要更换, 从而大大提高二手和返厂产品的分拣效率, 进一步提高利润空间。

鼓励此类创新的政策出台相对较晚, 不过华为、海尔、小米等企业早已开始向市场推出易于回收的产品。如果这些企业能为可回收/再制造性设计制定出一套完整、成熟的方案, 那么他们的大多数产品很快就能实现“二次利用”。

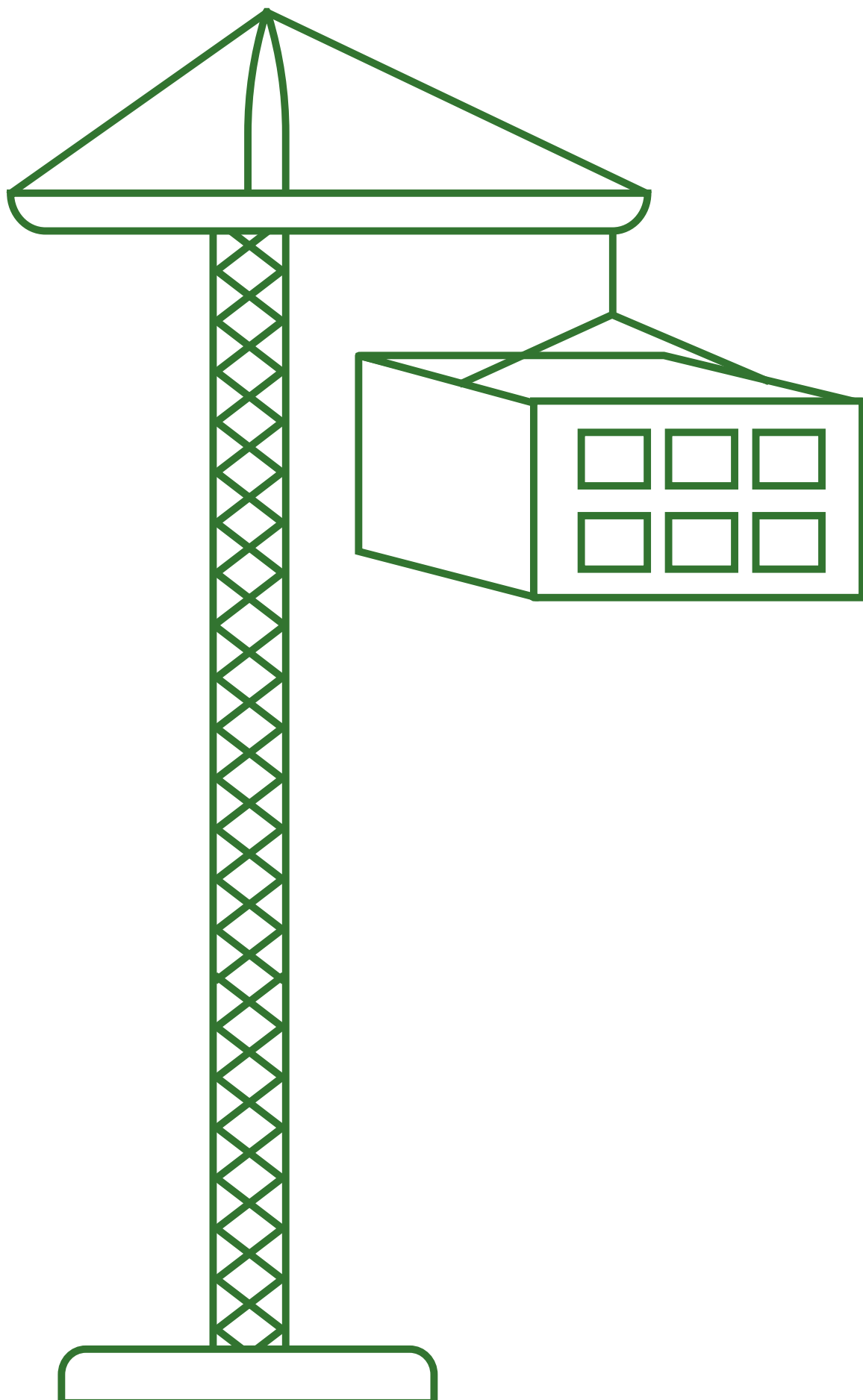
要想提高新型商业模式的盈利能力, 设计也发

挥着重要的作用。值得注意的是, 必须先设计或选择某种商业模式, 然后围绕这一商业模式进行产品设计。例如, 共享设备或供多用户使用的产品不仅需要更加坚固耐用、更加便于清洁和升级, 可能还需要具备单用户产品不需要的便于获取、身份认证和安全方面的功能。这些设计选择方案有时候还牵涉到权衡取舍。比如说, 采用一种最适合回收的材料可能会导致产品不便于维修或再制造。再比如, 针对共享模式专门设计一款更耐用的产品, 非官方售后维修点就更难了解产品的内部构造。

消除心理障碍,信任二手产品零件

要构建成功的循环经济, 企业需要消费者打消在质量管控方面的疑虑, 这种不信任正在阻碍二手电子电器市场的发展。为了避免二手产品或包含二手零部件的新产品出现质量问题, 关键是要对加工水准和产出质量进行明确的规定和有效的监控。目前, 针对二手产品和零部件的监管措施各不相同, 这让消费者很难建立起对它们的信任。例如, 当电子电器产品被整机回收处理时, 是允许对其进行翻新的, 一台计算机就可以整体翻新后重新投放回市场。此外, 一旦产品经过预处理被拆分为不同的部件, 持有执照的预处理企业如果愿意, 可以将拆解下来的塑料、玻璃、金属框架(如电视或DVD机的金属壳)再用于相同的用途, 而不是将其当做材料进行回收。但是, 印制电路板(PCB)由于包含有害物质, 是不能进行部件回收、再制造或再用于相同用途的。尽管如此, 在非正规市场上回收印制电路板(PCB)部件和印制电路板重复使用的情况仍然屡见不鲜。

不过, 像卡特彼勒和飞利浦这样拥有良好的再制造/翻新记录的企业, 已经制定了详细的检测流程和其他内部质量控制程序, 还建立了针对整个二手价值链的跟踪与追溯制度作为补充。这些举措都大大增强了市场和制造企业对二手产品和零部件的信心。



4. 如何在城市层面 抓住机遇

4. 如何在城市层面抓住机遇

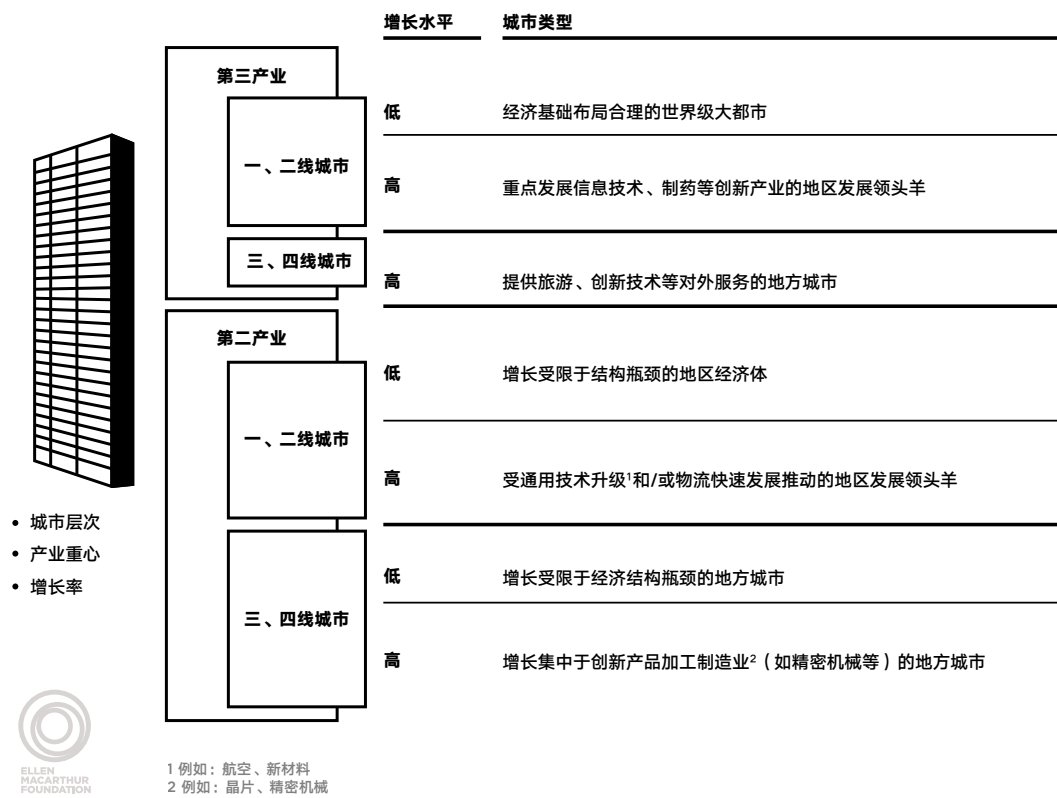
循环经济解决方案能支持中国城市实现远大抱负

中国的城市中既有以服务业为导向的世界级大都市，又有以制造业为重心的地方城市群。虽然所有类型的城市中都存在循环经济的机遇，但城市规模、发展阶段和产业重心决定了不同城市能抓住的机遇或多或少都有些不同。根据城市与循环经济发展相关的共性可将其分为几种类型。图 5 从三个维度展示了八种不同的城市类型。这三个维度分别是：按 GDP 划分的城市层次、增长水平（高于或低于全国平均水平）和产业重心（相对于全国平均水平）。

不同类型城市的特点将决定其更适宜的循环经济发展机遇。例如，发达大城市的优势在于中产

阶级消费者占比较高，他们对高质量食品的需求可以支持市区和郊区发展有机农业；他们熟悉数字技术，为基于数字技术的共享和即用即付（PPU）商业模式创造了条件；他们还可以提供足量的二手纺织品和电子产品，让扩大回收和闭环处理规模成为可能。另一方面，一个处于发展和扩张中的城市很有可能以循环经济原则为基础进行城市设计，实现跳跃式发展，在先进技术的基础上提高资产利用率并催生更多的共享模式。城市道路系统可以从一开始就设计得适合电动汽车、共享模式及多种形式的交通工具（例如，以公共交通为导向的设计、自行车道、电动汽车充电桩等）。而一个主要依靠制造业创造经济价值的城市，则可投资于效率更高的生产方式，建立再制造方面的强大优势，从而对当前的线性产业实现升级，降低风险。

图 5: 城市类型



例如，北京是一线城市，经济增长率为 6.7%（2016 年），且服务业在经济结构中占主导地位。作为成熟的世界级大都市，完善的城市基础设施旨在为居民提供既实惠又便捷的生活环境，并以此吸引人才。因此，对于北京来说，循环经济带来的机遇可偏向基于循环经济原则建设交通基础设施，并对现有住建环境进行翻修。北京已经开始这方面的探索：共享办公室、共享自行车甚至是共享汽车如雨后春笋般大量涌现，市政规划也越来越注重自行车相关的基础设施，甚至在纺织品和电子产品回收及二手交易方面也有增长的迹象。

另外一个例子是杭州。杭州是著名的旅游胜地和宜居城市，现在正在成为大数据和云服务尤其繁荣的信息技术中心。杭州的服务业非常发达，可从减少经济发展带来的负面环境外部效应上着手，通过采用产品和材料数字化跟踪等关键技术，来支持相关的循环经济模式。杭州一直大力支持信息技术领域的创新和创业（如与阿里巴巴联合开展培训项目等）⁴⁷⁷，还利用交通管理等领域的技术资源让市民享受实惠。正因如此，2016 年杭州的信息技术产业贡献了全市 GDP 的 24%⁴⁷⁸。

政策干预能为把握循环经济机遇扫除障碍

虽然循环经济能够带来诸多益处，但真正要落地可能还是会面临各种阻碍。正如基金会在其报告《实现循环经济——决策者的工具包》（Delivering the circular economy）中所归纳的，这些阻碍主要分为四大类：经济障碍、市场失灵、监管失灵和社会因素⁴⁷⁹。在本报告考察的三个城市系统和两个产业部门中，这些阻碍的严重程度各有不同。本研究在行业访谈和案头调研的基础上作了初步的优先级分析，并将研究成果以热图的形式呈现出来（见第 126 页，表 2）。分析还列举了一些中国目

前由政府主导的旨在克服这些障碍的举措，以及其他国家采取的类似干预措施。

报告《实现循环经济——决策者的工具包》还给出了国家、地区和城市层面的决策者为了克服这些障碍可以采取的六大类干预措施：监管框架、财政框架、公共采购和基础设施投资、商业支持计划、合作平台，以及教育、信息与公众意识建设。决策者们可以从国内外成功案例中汲取灵感，出台指引和激励措施，为向循环经济转型创造合适的条件。

经济障碍

以往研究表明，循环经济往往对企业的利润，以及国家的经济地位和竞争力都能做出积极的贡献⁴⁸⁰。然而，当循环经济的机遇受限于早期扩大规模的难度（这也是创新的必经之路），加之由于缺乏资金和合适的技术而无法盈利时，便会出现经济方面的担忧。值得注意的是，循环经济缺乏盈利能力，往往是由于没有考虑外部成本。

在有些情况下，尤其是当一个应用循环商业模式的企业还刚刚起步，市场和技术成熟度都不足以规模化时⁴⁸¹，盈利可能是一个挑战。例如，由于目前无法保证原料的质和量达到上游水准，产出也不能迎合市场，中国城市里的一些有机废物处理厂正面临危机。短期来看，政府的补贴能够维持这些工厂的运营，但要想实现长远的财务独立，仍需要努力开发技术，改善原料和产出的经济性。

融资渠道缺乏和投资回报期限不确定阻碍了循环经济的大规模实践。例如，对于绿色建筑和 3D 打印房屋这样的项目而言，投资（如能效投资）和收益之间存在时间滞后，对相关受益方激励不统一（如房东节能投资的受益对象是承租人）也会带来问题。初期投入高通常也是房地产开发商和建筑商面临的障碍。此外，回收利用及其他闭循环计划要想成功，就要更新基础设施，这就需要在初期投入

充足的资本。如果处理厂的设备升级与投资的自然周期不协调，投资收益期限与行业的发展周期无法同步，就会格外有挑战性⁴⁸²。

实际上，要想跨越这些障碍，有诸多可行的措施。举例来说，为了保证建筑行业有足够的资金，中央及地方政府可以促进建立信息平台，推进政府和社会资本合作（PPP）。实际上，中国早在2014年就已经开展了相关工作⁴⁸³，财政部和国家发改委都出台了政府和社会资本合作的运营指导及合同指南⁴⁸⁴。例如，政府和社会资本合作（PPP）综合信息平台⁴⁸⁵就是集项目数据库、政策信息、成功案例研究于一体的综合性服务平台，旨在吸引投资者。

另一个方法是绿色采购，例如北京市政府出台一系列政策，支持发展预制式建筑。北京市政府要求所有政府投资的新建建筑、政府廉租房项目及大型商业住宅项目都采用预制式房屋配件⁴⁸⁶。此外，税收返还和补贴等经济激励手段也付诸实践。例如，山东省政府就规定，与预制配件制造相关的企业可享受增值税即征即退的优惠政策，使用预制墙体的房屋享受成本补偿政策，对企业研发给予财政补助，还降低了预制式建筑项目的质量保证金⁴⁸⁷。

在能效投资方面，欧盟计划通过提供更长的还款期，或降低抵押要求，利用公共资金来降低私营产业的资金花费。这种方法主张全面打开能效市场的投资渠道，引导公共资金流向，尤其关注消费者处于弱势或市场失灵领域⁴⁸⁸。这一方法也可以应用于中国。实际上，中国的能源服务企业（ESCOs）和能源管理企业（EMCOs）早已建立了一个重要机制，为能效措施上的投资充分松绑。在中国，这些企业采用的是“一条龙服务”模式，即全面负责能效项目的确定、设计、融资和安装监督。作为补偿，这些企业可以从项目的节能成果中获得部分利益。有人认为，随着中国能源管理行业的发展，以及银行产业改革的不断推进，能源管理

企业将逐渐可以从当地银行直接获得融资。类似的机制还有合同能源管理（EPC），该机制关注的是建筑物的能源强度，而不是能耗。在深圳市，当合同能源管理项目降低了公共建筑的能源强度之后，市政府并不会削减建筑物的能源预算，而是维持预算不变，以涵盖电费和支付给合同能源管理企业的费用。这一模式对产权所有人和私人承包商来说都很有吸引力。并且，风险共担就意味着可以深化节能措施，从而获得外部融资方的支持⁴⁸⁹。

市场失灵

未定价的外部成本和交易成本这两个问题相互关联，阻碍了循环企业的规模升级。除此之外，市场失灵还包括激励不统一、信息不完备、公共产品或基础设施不足、竞争不足等。

从采购廉价原材料到低价填埋垃圾，**未定价的负面外部成本影响了各个产业及价值链各个环节**，是实现循环经济转型的障碍。这种做法的后果显而易见。举例来说，中国的纺织行业过去几乎没有考虑过给当地地表水资源造成的不良影响。与之类似，传统农业体系过量使用复合肥带来恶果，机动车使用化石燃料引发全球气温上升，垃圾填埋场的甲烷排放和有毒物质渗漏等诸多后果目前都没有定价。这就意味着，市场还没有认识到循环实践的益处，而是更倾向于成本较低的直线型消费体系，因为还没有认识到从中期和长期来看，直线型消费体系伴随而来的环境和社会成本反而更高。

政府为解决这一问题出台了诸多举措，“水十条”是其中之一。它包括了多项政策与法规，旨在降低十个主要污染行业带来的负面外部效应。另一个为循环经济模式创造公平竞争环境的途径就是给外部效应定价。比如过去十年逐渐在全球备受关注的碳定价机制⁴⁹⁰。与此同时，针对环境成本较高的活动减少补贴也会有所成效。就城市而言，不仅低

排放区的数量快速增多，全球各国的市政规划者们还出台了一些限行规定，旨在通过将外部效应加入驾驶化石燃料汽车的成本而降低外部效应⁴⁹¹。除了政策干预之外，企业在内部决策过程中可以考虑用影子价格（编者注：又称最优计划价格或计算价格）为外部效应定价。“碳排放披露项目”（CDP）的数据显示，2015 年有 435 家企业采用了内部碳定价机制，涉及的领域从工具制造到矿产开采。这种方法可以在能效和可再生能源等领域刺激减排措施的出台和投资的引入，并进一步缓冲未来碳价升高或新减排法规出台带来的风险⁴⁹²。

交易成本是指在寻找二手材料消费者和供应商及竞价过程中产生的成本。通常，难以获得可循环机会的相关信息是产生交易成本的主要原因。例如，由于非正规回收产业的普及和公众对正规回收渠道的了解不足，即便是大城市的正规电子产品处理行业也很难确保通过 B2C 模式获得足够的循环原料⁴⁹³。如此一来，正规的电器电子产品回收产业要想取得成功，就必须建立创新有效的回收渠道。借鉴数字共享平台的经验不失为一个好的选择，比方说，中国房屋共享平台途家网就有效地匹配了市场中的需求和供给。

为了更全面地弥补差距，政府和私营产业可以带头搭建平台以连接二手材料的供需双方。比如，为了支持当地循环经济产业的发展，新乡市积极引入在材料投入和产出上能与现有产业互补的企业⁴⁹⁴。国外也有类似的举措，“丹麦产业共生项目”就是一个很好的范例。该项目鼓励私营企业提高可用物资流转的透明度，从而增加副产品的交流⁴⁹⁵。上海市则另辟蹊径，通过一体化线上平台和线下物流，容纳多方参与，建立多种渠道，在城市中进行电子垃圾的收集。除了政策中指明的举措之外，逆向物流企业还可以利用线上、线下平台，探索不同的回收渠道。

监管失灵

法律框架中的缺陷和现有法规带来的意外后果也会阻碍循环经济的实践。其他潜在的监管失灵还有目标不明确、落实和执行不到位等。

现有法规引发的**意外后果**会影响一些循环经济举措的效果。例如，食品安全法规是为了保护公共健康不受食品供应链上不安全操作的影响，但它同时也阻碍了供应链副产品或餐厨垃圾的利用，以及食品系统中营养的循环利用。虽然保障食品安全不容妥协，理应是供应链上的第一要务，但仍应尽可能使营养能够在闭路中得到循环。

汽车零部件再造也存在类似的问题。目前，中国汽车行业政策不允许将再造零部件用于保修期内的零件更换，并且也限制了再造零部件的进口⁴⁹⁶。未来几年，汽车再造行业的需求将不断增加，因此政府的支持是释放整个行业潜力的关键⁴⁹⁷。全球制造企业在中国设厂的意向越来越强，因此，取消保修期内再造零部件的使用限制并放宽进口政策，将极大有利于再制造行业的发展。由于技术的进步和制造企业经验的不断积累，人们对于再造零部件安全性的担忧也在逐渐减少。例如，沃尔沃有 80% ~ 85% 的原材料都会被用于循环再造⁴⁹⁸。同样，从 1949 年起，雷诺就开始了零部件的再制造和使用，再造零部件的种类也越来越多，其中包括喷射泵（1989 年）、变速箱（2003 年）、喷油嘴（2010 年）及涡轮压缩机（2013 年）⁴⁹⁹。

法律框架中的缺陷有时也会阻碍变“废”为宝。在很多领域中，建立一个全面的、与现有行动计划相配套的政策和监管体系是极具挑战性的。这是因为废弃物管理涉及回收、运输、再利用等多个环节的很多参与者。不同的参与者对“废弃物”的定义和标准也各不相同，这就会给再利用带来极大的障碍，建筑垃圾和拆建废料的再利用就遇到了这样的问题⁵⁰⁰。

有力且统一的垃圾填埋监管体系、考虑到废弃物价值链的行动计划、清晰的垃圾分类方法，以及有关废弃物处理的指令和标准都有助于消除这个障碍。中国开展的“国门利剑”行动，就是通过政策干预发起行动的典型例子。一方面，这项行动致力于提高进口原料质量，得到了国际社会的积极响应；另一方面，这项行动也旨在取缔国内的非法处理企业和不达标的回收设施⁵⁰¹。在欧洲，欧盟委员会计划出台《废弃物终端标准》，希望推动“废弃”材料重回经济体系。该标准明确了一系列具体的处理步骤，如果希望将某材料归类于非废弃物，则需严格执行以上步骤。目前为止，此类标准已经应用于废铁、废钢材、废铝、废铜和碎玻璃等各种材料⁵⁰²。垃圾处理行业也应该制定此类标准。以堆肥为例，重金属等污染物可能极大地限制了它的应用，从而也限制了其市场价值。美国加利福尼亚州和加拿大安大略省的决策者就对重金属的使用制定了标准。在英国，资源行动计划（WRAP）和非营利机构英国有机回收协会一起，共同制定了可堆肥物料的《公共可用规范 100（BSI PAS 100）》⁵⁰³。

社会因素

即便没有其他障碍，社会因素也能给循环经济转型带来额外的挑战。例如，公民和商人的某些惯例和习俗可能会使推广循环经济变得异常困难；他们也会因为能力和技术不足错失很多循环经济的良机。在现有的产业中，后者已经有所体现。如果所需的能力和技术在整个行业得到普及，那么耐用、灵活的设计、建筑工业化等有助于推广循环实践的颠覆性技术，就可以得到更广泛的应用。如果政府和社会在这方面加大投入，并加强对建筑师、工程师、建筑工人等价值链各个环节参与者的培训，将会大有裨益。

惯例与习俗。即便技术进步已经实际上解决了

公众的顾虑，但一些举措要想得以开展，仍需要花费相当长的时间使人们在思维或行为上做出改变。例如，在农业食品产业，农民需要改变思维模式，从土壤长期肥力的角度考虑，采取更具再生性的耕作方式；消费者也要改变思维，支持此类实践，这样才能加快此类转型的速度。无论是想让人们接纳共享模式，不再试图拥有产品和资产，还是让人们对二手产品建立信任，都需要时间。私营产业的数字共享平台已经确立了新的机制，来构建必要的信任。目前，途家等企业就建立了双方互评机制，从而建立彼此的信任。虽然途家的点评程序仍面临着初期发展阶段会出现的一些商业挑战。可参考 eBay、爱彼迎等老牌平台，他们让点评程序上升到一个新的高度，增强了互信，鼓励了参与。政府可以影响零售商、服务人员和其他与消费者打交道的一线人员，引导他们的行为，使其成为习惯。例如，法国政府就颁布法令，强制汽车修理厂告知顾客可以选择再造零部件，并说明选择再造零部件可以减少废弃物，节约资源，并降低终端用户的价格⁵⁰⁴。

在中国，汽车是社会地位的象征，这一观念使人们不愿意选择公共交通出行⁵⁰⁵。为了改变这一现状，循环交通系统可以利用数字技术优化公共交通，使其变得更加便捷，从而鼓励城市居民选择公共交通出行，放弃自驾。城市还可以发展多模式共享交通，使其成为大众的优先选择。宜昌市就身体力行，不仅美化了人行道路，还为市民提供数字化公共交通信息服务，方便市民乘坐公共交通工具。最终效果非常不错，这一以人为本的多模式公共交通系统也因此备受欢迎。

该热图在业内采访和调研的基础上对中国循环经济发展机遇进行了优先级分析，展示出了最终结果。按照对循环经济发展影响程度的大小，该图将具体的障碍分为了关键影响、重要影响、有限 / 没有影响三个层次，用表 2 中单元格的颜色深浅加以区分。

[illegible]

11

[illegible]

决策者和企业在实现循环经济中扮演着重要角色

事实证明，中国已经能够肩负重任，担当低碳新技术发展的先锋，电动汽车和可再生能源生产规模的迅速扩大充分地说明了这一点。鉴于中国城市的发展规模和速度，以及众多利益相关方和大量人才储备的存在，城市可以成为加速循环经济转型的中坚力量。要想实现这个愿景，需要承诺、创新思维，以及所有政府和社会参与者的通力合作。各级决策者可以确立发展方向，制定激励措施，从而创造一个赋能的环境；企业主可以利用循环经济原则来鼓励创新；学术界、智库机构、行业协会可以开展研究，传播知识，从而提高公众意识。

决策者

国家、地区、城市各级决策者可以通过制定政策发挥主导作用，建立政策和财政框架，推动企业实现循环经济愿景。六大干预措施有助于消除循环经济面临的主要障碍：

- **监管框架：**政府（产业）关于资源生产率和循环经济的战略和相关目标；产品法规，包括设计、延长保修、产品“护照”等；废弃物法规，包括回收和处理标准及目标、废弃物的定义、生产者责任延伸制度、召回体系；行业、消费者、竞争、贸易监管条例（如有关食品安全的监管条例）；会计、报告、财务管理条例（包括自然资产和资源的核算）。
- **财政框架：**降低循环产品和服务的增值税（VAT）或消费税；征收“资源税”而不是“劳务税”。
- **公共采购和基础设施投资：**通过绿色公共采购将绿色目标纳入政策。将再循环性、产品生命周期、所有权总成本等纳入标准⁵⁰⁶。
- **商业支持计划：**为企业 提供财政支持（如直接

补贴、提供资金、财务担保）、技术支持、咨询机构、企业培训、最佳实践示范。

- **合作平台：**在国家、地区和城市各个层面开展公私合作；鼓励自发建立行业合作平台，发起跨价值链、跨产业的倡议，进行信息共享；联合研发项目。
- **教育、信息和意识建设：**将循环经济 / 体系思维融入学校课程；大众传播和信息宣传活动。

图 6 举例说明了上述六大干预手段

图 6: 决策者实现循环经济的六大干预措施

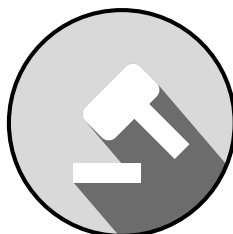


公共采购和基础设施



为了支持预制建筑，北京出台了绿色公共采购计划

监管框架



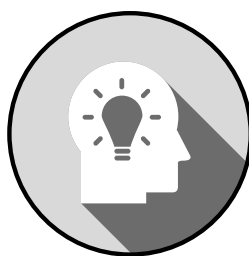
苏州市要求餐饮企业对有机垃圾进行回收处理

财政框架



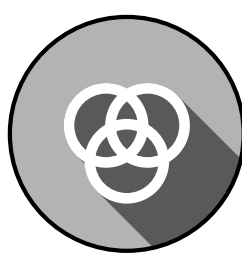
上海市为废旧纺织品回收企业上海缘源实业有限公司提供减税优惠政策

信息和意识



为了提高公众意识，将电子废弃物与普通垃圾分开，森蓝环保（上海）有限公司举办了2000多场教育活动

合作平台



财政部成立政府与社会资本合作中心，支持和推广PPP项目

商业支持系统



中国中央政府为电子废弃物回收行业提供补贴

中国中央政府履行承诺，一直在开展循环经济实践，积极出台法律框架和指引，并制定具有约束力的全国性目标⁵⁰⁷，下放至省、市各级政府层层落实。在中国，国家发改委肩负着落实循环经济的重任，针对体量不一、行业特征各异的城市，在落实国家政策、发展自身循环经济模式上，提供高层指导，协助能力建设。

中央政府的一项重要职能，就是搭建平台，打破行业界限，贯穿整个价值链，促进对话与合作，提高公共意识，并充分调动学术界、智库组织、行业协会的参与和贡献。中国循环经济协会便是一个优秀的跨产业平台。在中国再生资源回收利用协会下，也有针对不同行业的专业分会，如电子废弃物回收处理分会等。中央政府还可以推动教育，将循

环经济理念融入学校课程，促进设计师、工程师等职业群体的能力建设，带头发起大众信息传播活动，鼓励社会接纳循环商业模式（如共享交通和高端服饰租赁服务等）。

在推动循环商业上，**各级政府的作用不容小觑**，相关商业活动也层出不穷。除了公共采购、政府投资和其他形式的财政支持（例如研发）外，各级政府还能通过提供咨询、开展行业培训、进行最佳实践展示等各种方法，为企业提供技术支持。各级政府还可以通过与企业紧密合作，建立合适的回收处理基础设施，不断完善逆循环，进一步助力循环经济转型。

企业

循环经济无论规模大小，均能发挥作用，多元化的解决方案也能让经济更具韧性。企业不论大小、不论私营还是国有，都是线性经济向循环经济转型过程中的中坚力量。政府大力扶持，并引入创新循环经济框架，能够为循环企业创造收入、节约成本。企业家们在中国城市中的成功，要归功于对价格敏感的消费者、数字化的发展、高物质需求和人口密度。在这样的环境中，创新者能够快速发现现有商业模式未能满足的利基市场。

新型技术、循环设计、商业模式创新使得私营产业能够控制环境和社会外部效应，同时为人们提供更健康、更便捷的选择。在设计过程中考虑的因素包括可拆解性、可回收性、模块化及灵活性；商业模式包括“使用而不占有”和“产品即服务”两种。商业驱动的数字化解方案是线性经济向循环经济转型的重要推动因素。这方面的例子包括消费性电子产品回收平台“有得卖”和“爱回收”、蒸蒸日上的阿里巴巴二手产品/材料网上商城⁵⁰⁸、以及淘宝的C2C消费品网上市场“闲鱼”。同时，微信等社交平台也参与其中，让包括成都奥北环保科技有限公司在内的数十家初创二手产品/材料企业能够花费极低成本或零成本找到买家，在买卖双方间建立联系⁵⁰⁹。数字平台除了为二手产品交易提供场所，还带动了共享自行车（例如摩拜）和共享房屋（例如途家）的风靡。

企业交流和公众教育宣传活动鼓励消费者主动提高对产品质量和安全性的需求，赢得了公众认可，从而建立起消费者对二手产品和材料的信任，帮助用户接受并赞同“使用而不占有”的模式。英特尔 Net-Works® 项目就是一个很好的例子。该项目回收废弃渔网并重新制成地毯，使公众意识到了海洋塑料污染的严重性⁵¹⁰。

学术界、智库机构、行业协会

要想使循环经济生态系统繁荣发展，给当代和未来的设计师、工程师、战略师和市场营销人员配备相应的能力和技能至关重要。如此，他们就能够制定出成功的循环经济解决方案，并且放眼全局，从系统的角度思考问题。包括学校和更高层次的学术机构在内的整个学术界，发挥着启迪下一代和填补研究空白的关键作用。不仅如此，学术界还肩负着为决策者建言献策的重任。例如，为了满足中央政府的需要，提供技术和政策战略方面的支持⁵¹¹，2009年成立了清华大学中国循环经济产业研究中心。此外，行业协会、智库机构和多方利益相关者平台也是重要的媒介，能够帮助利益相关方理解集体经验、数据和循环经济举措的进展，不断进行积极的思考和借鉴。

合作

仅凭一方之力，循环经济无法实现。摒弃各自为营，各领域、各产业之间展开合作，是抓住本报中所讨论的循环经济机遇的关键所在：

- **政府和社会资本合作（PPP）**。在国家、地区、城市各个层面，政府和社会资本合作都能够将参与各方的技术、视角、资金有效地结合起来，是实施大规模项目的有力举措。中国一直积极地鼓励和探索各种形式的PPP。例如，中国“政府和社会资本合作（PPP）综合信息平台”不仅仅连接了公私投资者与项目，还是一个搜集和分享PPP实施案例的平台，让所有参与方都能够从他人的经验中吸取教训。杭州地铁1号线就是市级PPP项目的一个范例。该项目由杭州市地铁集团有限责任公司和香港铁路有限公司合资兴建，经营年限为25年⁵¹²。
- **决策者和企业**。如果能就循环经济政策与私营产业协商，这些政策就能得以完美落实。例如，菜鸟网络科技有限公司就与政府展开合作，共同制定快递业塑料包装标准。

- **跨价值链实践。**跨价值链实践能够联系通常少有机会合作的关键利益相关方，建立新型合作关系，共同落实系统目标。例如，基金会发起的“新塑料经济倡议”就召集了全球的消费品企业、零售商、塑料生产及包装厂家、城市，以及参与回收、分类和再处理的企业。该倡议的目标是让塑料价值链进入良性循环⁵¹³，更有效地获取价值，发展更强健的经济，对环境更友好。
- **城市网络。**可以建立城市网络，实现逆向物流，共享回收行业产能。小型城市二手材料存量（如电器电子产品）不够充足，无法保障本市处理厂的需求。因此，这些城市可以利用相邻较大城市的处理能力（例如，汨罗市电子废弃物回收处理企业旗下的回收网络，就覆盖附近14个地市）⁵¹⁴。此外，产业发展重心和/或所处发展阶段相似的城市之间还可以分享循环经济实践经验，这也正是国家发改委总结出60个循环经济典型案例的目的⁵¹⁵。
- **跨部门合作。**循环经济规划在城市范围内要想取得成功，就需要从国家政府到市级政府从上到下展开产业通力合作。在上海市电子废弃物回收的例子中，我们就看到了各部分各司其职的作用。首先，发展和改革部门及商务部门负责落实国家政策和监督电子废弃物的循环利用；其次，财政部门负责中央政府资金的保障和落实；最后，环境保护部门则负责回收处理过程中废弃物和排放的监管⁵¹⁶。
- **国际社会。**中外城市及国际机构可以互相借鉴经验、技术和专业知识。相互借鉴在当下有着重要意义。李克强总理在访欧期间，与欧洲达成共识，决定共同推动循环经济转型。昆明

市呈贡区“公共交通城市规划试点项目”就是此类合作落地的良好案例。该项目是昆明市政府、当地开发商、美国卡尔索普规划事务所ⁱ和能源基金会的国际城市交通专家共同努力的成果⁵¹⁷。

归根结底，中国和其他希望加快循环经济转型的国家都需要更好地整合国家、地区和各产业的政策规划，在一个主次分明的统一循环经济框架之下进行实施，从而为循环企业的发展建立正确的激励措施和支持条件。要想从系统层面全面实现变革，就需要开展多层次、跨行业的公私合作。地方、国家、国际上的试点项目和最佳实践可以让宏伟目标变得切实可行。中国城市创新力强、利益相关方多样、规模庞大，有机会成为这一转型的主场，成为国内外循环经济发展的指路明灯。

i 美国一家区域设计、城市规划和建筑企业。

技术附录

循环经济机遇优先级

该附录详细说明了本报告在进行影响评估时所做的基本假设和使用的建模方法，简要概括了重点领域和机遇选择，并在五个重点领域中以移动交通和城市给养为例，阐述了报告中使用的量化所产生影响的方法。

重点领域

选择重点领域的方法源自基金会的报告《迈向循环经济》⁵¹⁸。基于该报告，确定优先级时，我们从两个方面入手，即在经济中发挥的作用和实现循环的潜力。在中国经济背景下，国民经济影响这个参数是以就业及各个产业增加值总额（GVA）的加权和来计算的，而循环潜力的计算基于直接材料消耗（DMC）及循环量（原料中回收材料所占的比例）。虽然这只是循环潜力的两个指标，但它们突出了两个不同的方面，即资源强度和循环程度（表明某种特定形式的循环）。此外，选择这两个指标的另一原因，是当内部一致性（如产业之间）良好的数据出现时，它们能够从中获益。因此，我们认为这两个指标适合作为筛选重点领域的考量指标。

机遇

针对每个产业，基金会的诸多报告中都确定了一长串循环经济机遇，这些报告包括《印度的循环经济：反思长期繁荣增长》及《内部增长：循环经济在竞争激烈的欧洲的前景》。接下来，基于中国的城市环境，从相关性和适用性出发对这些机遇进行了筛选。然后，考量这些机遇的潜在影响及实施可行性，又进行了优先排序。最后，咨询业内专家，共同敲定入选机遇。

表 3: 每一个产业的考察范围都是根据全球贸易分析项目（GTAP）的分类方法确定的

重点领域	组成部分	GTAP 代码	GTAP 细分
建成环境	建筑	cns	建筑：房屋建设（不包括厂房、办公室及道路）
	房地产和租赁	obs	其他商务服务：房地产、租赁及商务活动
移动交通	交通运输 / 交通运输基础设施	otp	其他交通运输方式：公路、铁路（仅限于旅客运输，不包括货物运输）
	交通运输设备	otn	其他交通设备：其他交通设备的制造（仅限于旅客运输，不包括货物运输）
	机动车	mvh	机动车及零部件：汽车、卡车、拖车、半挂车（仅限于旅客运输，不包括货物运输）
城市给养	农业	pdr wht gro v_f osd ctl oap rmk	水稻 小麦 其他谷物 蔬菜和水果 油料籽 家畜 其他动物产品 生乳
	食品和饮料	cmt omt vol pcr ofd	牛肉 其他肉类 植物油 加工大米 其他食物
纺织行业	纺织品和服装	tex, wap	衣服：服装、皮毛制品的处理及染色 纺织品：纺织面料和人造纤维
电子工业	电子设备	ele	电子设备：办公室、会计和电脑设备、广播和电视、通信设备和装置
	其他机械设备	ome	其他机器和设备：不另外分类的电力机械和装置、医疗设备、精密光学仪器、手表和钟表

：

各重点领域的影响评估

影响的量化

为了展示城市的影响是如何量化的，图 A1 和图 A2 列举了我们认为对分析有用的建模方法：分别为一张地图和一张动因图，利用国家统计局数据中的城镇化率，并根据中国城市的具体情况，对模型进行了校准。

通过考察总体通达成本（TCA），对这些机遇产生的影响进行量化。TCA 由现金流出成本和外部效应成本构成。现金流出成本不包括政府补贴和增量资本支出（循环经济转型所需的额外投资）。外部效应成本是指收入损失、温室气体及 PM2.5 和 PM10 等细颗粒物排放产生的医药费支出等经济成本。

报告在分析中并未纳入落实循环经济机遇所需的增量资本支出，这是为了避免模糊行业内和跨行业的循环经济机遇产业收益。首先，第一组机遇投资需求少或不需要投资，因此，报告各章节中显示的相应净收益能够反映一个项目的实际情况。这些机遇包括在优化行为上所作的努力，比如，为提倡更健康的饮食习惯，减少粮食浪费而开展的宣传活动等。它们的成本在本报告的城市给养一章中进行了概述。其次，有一些机遇的投资需求适当且投资要求清晰。这些机遇大多是为了让产品能够在最终阶段得到良好的处理。例如，处理城市垃圾中的食物残渣需要一套年处理能力达到 10 万吨的垃圾处理系统，建成该处理系统需要投资约 1.13 亿元（约合 1800 万美元）。最后，是需要大笔投资的机遇与措施。同预期一样，需要如此大笔投资的产业大多也是交通和建设这种收益最大的产业。例如，要想建立一个综合型交通体系，成本可能极为高昂：每公里轻轨的造价为 4000 万元（约合 642 万美元），每建设一座电动汽车快速充电站的成本大约

为 7 万元（约合 11235 美元）。任何投资决策在进入复杂的评估程序之前，都要先对需要投资的机遇进行更加细致入微的分析。令人欣慰的是，所有这些要素，甚至是电动汽车这种新兴技术的成本，都在现有的文献中有相当详细的估算。

人工成本包括在现金支出成本之中，在零售价格中体现。在循环经济中，劳动强度会有所变化（从初级生产变为二级制造，从以产品销售为主转变为以服务为主），但是，劳动强度如何变化，变化有多快，目前尚不明确。因此，我们在报告中并未对此作出假设。更多关于劳动力影响的详细讨论，参见基金会的《内部增长：循环经济在竞争激烈的欧洲的前景》报告⁵¹⁹。

城市背景是报告分析的重点。一方面，这首先意味着循环经济举措是否能够适用于城市环境成了此举措被重视的条件，因此分析没有包括产业大部分生产活动。而另一方面，城镇化率（即城市人口 / 总人口）被用来帮助计算从全国到城市体量缩小的程度。

机遇分析是以国内消费为基础的，也就是说其中包括了进口而没有包括出口。选择这一方式，让我们可以重点研究城市消费阶段的浪费水平和低效程度，分析为中国城市居民推出的新型商业模式和服务。对于城市给养、电子工业和纺织行业来说，这么做不仅让我们集中精力重点研究影响城市的价值链环节的机遇，计算出的循环经济影响也是保守估计。分析过程中所考虑的（少数几个）生产举措是基于服务本地消费的产品产量。

我们在分析中考虑了特定重点领域各个机遇之间的相互作用。有时各机遇共同实施的影响会小于各自影响的叠加，我们需要避免在这种情况下的重复计算；而有时情况正相反，即机遇的组合会放大影响。以移动交通为例，在建立了多模式共享交通系统的情况下，只需较少的驾车里程就可以满足交

通需求，因此，远程工作和弹性工作制带来的积极影响就会相对较小。相反，如果能够结合多模式共享交通体系，设计适合循环交通系统的机动车并投入使用，该举措带来的积极影响就会被放大。

我们分门别类，区分当前发展路径和循环经济情境，分别对 2030 年和 2040 年可能会出现循环机遇进行了量化。前者考虑了政府出台的关键政策 / 目标，以及技术进展和不断出现的政策优化（如机动车排放标准的落实）。后者则展示了循环经济机遇带来的额外影响。每种情境下所做的基本假设，都基于业内顶尖专家的观点。

在每种情境下，我们都对各个机遇的潜在单位影响及普及率进行了估算。例如，针对移动交通机遇中的“扩大再制造规模和增加回收材料的使用”这一举措，我们首先估算了一辆汽车在制造过程中可以使用的再造零部件和回收材料分别是多少。其次，我们预测了单位基础上的影响，并乘以重点领域的整个范围，即再造零部件乘以各选定的机动车种类。最后，我们确定了普及率，即在当前发展路

径和循环经济情境下，使用此类零部件 / 材料的新车比例分别是多少。循环经济情境下的普及率要高于当前路径下的普及率。并且在循环经济情境下，2040 年的普及率高于 2030 年。然而，由于缺少长期政策目标，当前发展路径下 2030 年和 2040 年的普及率保持不变。我们认为，尤其是未成熟技术，单位影响将会得到改善。针对两种情境作出的具体假设请参见表 4。

对大多数消费产业而言，需求会随着价格的降低而增长。虽然我们在报告中并未对此进行量化，但之前的研究显示，循环经济体系可以减缓这种反弹效应。详情请参见《内部增长：循环经济在竞争激烈的欧洲的前景》报告⁵²⁰。以移动交通为例，与液体燃料相比，电力的价格更低（假设电动汽车基础设施的基本建设费用将进一步降低），越来越多的人会选择电动汽车，进而增加私家车的需求。但如果这种变化能够与多模式共享交通体系相结合，汽车的使用率和行驶里程都能够得到提升，弥补经济上的损失。

表 4: 针对各产业的主要假设

	单位	2015 年	2030 年	2040 年
人口	百万	1,376	1,416	1,428
城镇化率	%	54%	67%	67%
实际 GDP	10 亿元	78,324	221,286	430,750
城市 GDP 占总 GDP 的百分比	%	81.5%	94.6%	94.6%
电力生产结构：				
天然气发电	%	3%	8%	8%
煤炭发电	%	69%	57%	57%
水力发电	%	3%	8%	8%
核能发电	%	20%	15%	15%
可再生能源发电	%	5%	12%	12%
汇率	美元 / 人民币	6.23	6.23	6.23

表 5: 建成环境

举措		
	2015 年基线年	2030 年（假设在现阶段发展路径下）
与所有举措相关	<ul style="list-style-type: none"> 90% 的城市住宅建筑是平均面积为 60m² 的商品房 10% 的城市住宅建筑是平均面积为 50m² 的经济适用房 	<ul style="list-style-type: none"> 93% 的城市住宅建筑是平均面积为 90 m² 的商品房 7% 的城市住宅建筑是平均面积为 75m² 的经济适用房（根据“十三五”规划，国家将对城市低收入家庭住房给予经济支持，为低收入家庭及外来务工人员提供舒适的居住空间） （根据“十三五”规划，政府将着力提高效率、加强污染防治）
延长建筑使用寿命 灵活、耐用的模块化设计	<ul style="list-style-type: none"> 2015 年后所有新建建筑的寿命均包括在模型期内（从 2015 年到 2040 年） 	<ul style="list-style-type: none"> 维护费用节约 20%
建筑流程工业化 模块化的标准构件在其他地方预制完成后，可以很容易地在现场进行组装	<ul style="list-style-type: none"> 1% 的新建筑采用先进的施工技术 	<ul style="list-style-type: none"> 10% 的城市建筑将采用新的施工技术 施工过程中减少 20% 的垃圾
共享空间提高资产利用率 提高空间利用率可以使利用率低下的资产产生收益	<ul style="list-style-type: none"> 共享居住空间的人口占城市人口的 4.8% 	<ul style="list-style-type: none"> 城市住宅中有 10% 为共享住宅
“绿色建筑”提高效率 绿色建筑力求尽可能地降低负面环境影响，并通过设计提高建筑的能效和资源效率，从而创造积极的环境影响	<ul style="list-style-type: none"> 城市新建建筑中有 15% 为绿色建筑 	<ul style="list-style-type: none"> 城市新建建筑中有 50% 为绿色建筑 我们的模型中并未包括耗水量 绿色建筑的能耗降低 50%
“智慧建筑”提高资产利用效率 广泛采用智能建筑设备和技术，如传感器、数据存储、计算服务	<ul style="list-style-type: none"> 智能建筑普及率达到 5% 	<ul style="list-style-type: none"> 智能建筑普及率达到 20% 能耗降低 20% 4.8% 的商品房和 6.3% 的经济适用房将是绿色智能建筑（参见模型中绿色智能建筑存量的模拟）
扩大建筑与拆迁废弃物再利用与再回收利用率 建筑构件和材料的循环再利用。可通过建筑材料库、模块化、易于组装的设计等方式来实现	<ul style="list-style-type: none"> 5% 的建筑垃圾和拆迁废料被循环（缺少有关回收材料再次用于新建筑的数据，所以假设上述 5% 被再次利用） 	<ul style="list-style-type: none"> 30% 的城市建筑垃圾和拆迁废料将被循环 14% 的建筑垃圾和拆迁废料被再次用于新建筑 减少 16% 的垃圾填埋

关键假设		涉及内容
2030 年 循环经济情境	2040 年循环经济情境	模型和 / 或文字描述
<ul style="list-style-type: none">举措仅关注占 2015 年城市建设用地 31.56% 的城市住宅	<ul style="list-style-type: none">90% 的城市住宅建筑是平均面积为 90 m² 的商品房10% 的城市住宅建筑是平均面积为 75m² 的经济适用房	
<ul style="list-style-type: none">维护费用节约 40%	<ul style="list-style-type: none">维护费用节约 60%	建立模型并且用文字加以描述： <ul style="list-style-type: none">商业及公共建筑
<ul style="list-style-type: none">25% 的城市建筑将采用新的施工技术施工过程中减少 25% 的垃圾	<ul style="list-style-type: none">55% 的城市建筑将采用新的施工技术施工过程中减少 55% 的垃圾	建立模型并且用文字加以描述： <ul style="list-style-type: none">商业及公共建筑现有建筑
<ul style="list-style-type: none">城市住宅中有 15% 为共享住宅	<ul style="list-style-type: none">城市住宅中有 40% 为共享住宅	建立模型并且用文字加以描述： <ul style="list-style-type: none">商业及公共建筑空间共享只不过是空间利用优化解决方案中的一种数字化（虚拟工作、数字平台）与交通相结合
<ul style="list-style-type: none">绿色建筑的能耗降低 50%	<ul style="list-style-type: none">绿色建筑的能耗降低 70%	建立模型并且用文字加以描述： <ul style="list-style-type: none">商业及公共建筑
<ul style="list-style-type: none">智能建筑能耗降低 20%10% 的商品房和 14% 的经济适用房将是绿色智能建筑（参见模型中绿色智能建筑存量的模拟）	<ul style="list-style-type: none">智能建筑能耗降低 40%21% 的商品房和 33% 的经济适用房将是绿色智能建筑（参见模型中绿色智能建筑存量的模拟）	建立模型并且用文字加以描述： <ul style="list-style-type: none">商业及公共建筑
<ul style="list-style-type: none">60% 的城市建筑垃圾和拆建废料将被循环20% 的建筑垃圾和拆建废料被再次用于新建筑减少 40% 的垃圾填埋	<ul style="list-style-type: none">90% 的城市建筑垃圾和拆建废料将被循环45% 的建筑垃圾和拆建废料被再次用于新建筑减少 45% 的垃圾填埋	建立模型并且用文字加以描述： <ul style="list-style-type: none">建立关于建筑垃圾和拆建废料的模型，应用于新建及拆除的建筑

表 6: 移动交通

举措		
	2015 年基线年	2030 年（假设在现阶段发展路径下）
与所有举措相关 模型仅包括了城市客运，没有包括货运	<ul style="list-style-type: none"> 假设 2015—2030 年间，受人口增长、城镇化、收入水平提高等因素的推动，交通需求增长了 400% “十三五”规划：2016—2020 年全面发展城市交通，计划到 2020 年完成城市智慧交通基础设施建设，全国城市公交年出行总量将达 1200 亿人次左右 工业和信息化部和中国汽车工程学会联合发布详细路线图，确保到 2025 年实现高度 / 完全自动驾驶汽车上市销售。2030 年自动驾驶汽车市场占有率达到 10%。 为推进 2020 年全国电动汽车保有量达 500 万辆的目标，2016 年国家发改委放松了对电动汽车领域外商投资的政策限制 	
促进多元共享交通系统 交通即服务：公共交通、租赁、共享汽车；通过公共平台实现多模式融合	<ul style="list-style-type: none"> 汽车客公里比例为 57% 共享汽车车公里比例为 15% 	<ul style="list-style-type: none"> 汽车客公里比例为 52% 共享汽车车公里比例为 17%
扩大再制造产业规模、提升可回收再利用材料的利用率 例如，变速箱和转向柱、可拆解设计、使用回收 / 可回收的材料	<ul style="list-style-type: none"> 所用材料中再造材料占比为 7% 所用材料中回收材料占比为 19% 	<ul style="list-style-type: none"> 所用材料中再造材料占比为 9% 所用材料中回收材料占比为 55%
设计符合循环交通系统的机动车 提高发动机性能、使用轻量化材料、目的化设计		<ul style="list-style-type: none"> 车辆减重 11%
扩大零排放推进系统的生产规模	<ul style="list-style-type: none"> 电动汽车车公里占 0.5% 汽油车车公里占 95.5% 氢动力车车公里占 0% 燃气汽车车公里占 4% 	<ul style="list-style-type: none"> 电动汽车车公里占 14% 汽油车车公里占 80% 氢动力车车公里占 1% 燃气汽车车公里占 5%
鼓励灵活的远程办公		<ul style="list-style-type: none"> 虚拟工作可以使交通需求降低 5%

关键假设		涉及内容
2030 年 循环经济情境	2040 年循环经济情境	模型和 / 或文字描述
<ul style="list-style-type: none">汽车客公里比例将进一步降至 47%共享汽车车公里比例为 30%	<ul style="list-style-type: none">汽车客公里比例将进一步降至 43%共享汽车车公里比例为 49%	模型中包括的交通模式：城际公交、城市轨道交通、汽车、两轮交通工具、自行车等 额外进行文字描述的有： 城市设计—建成环境和交通系统之间有所重叠—只有文字描述
<ul style="list-style-type: none">假设政府将对当前阻碍再制造业发展的政策进行改革。根据目前的法律，发动机、转向柱、变速箱、前后轮轴等汽车零部件使用结束后必须作为废品进行回收处理，而不能进行再造所用材料中再造材料占比为 15%所用材料中回收材料占比为 60%	<ul style="list-style-type: none">所用材料中再造材料占比为 23%所用材料中回收材料占比为 65%	模型中包括再造和回收
<ul style="list-style-type: none">进一步提高最新版节能标准，目的化设计和轻量化设计可以发挥重要作用车辆减重 18%	<ul style="list-style-type: none">车辆减重 21%	模型中包括了轻量化设计、可再造设计和目的化设计 文字描述中还涵盖了模块化设计
<ul style="list-style-type: none">电动汽车车公里占 34%汽油车车公里占 57%氢动力车车公里占 3%燃气汽车车公里占 6%	<ul style="list-style-type: none">电动汽车车公里占 60%汽油车车公里占 25%氢动力车车公里占 9%燃气汽车车公里占 6%	模型包括的机动车驱动方式有： 电力、蓄电池 / 燃料 / 电池、混合动力、压缩天然气
<ul style="list-style-type: none">虚拟工作可以使交通需求降低 7%	<ul style="list-style-type: none">虚拟工作可以使交通需求降低 15%	

表 7: 城市给养			
举措			
	2015 年基线年	2030 年（假设在现阶段发展路径下）	
与所有举措相关			各类 所有超 料，需 城市 见，但 驱动因 如果片
利用城市食品废弃物与废水修复土壤 对城市垃圾进行源头分流收集及垃圾分类 使用可降解塑料，提高食品废品回收率 污水污泥中营养物及其他基本物质的回收		到 2030 年实现源头分流收集达到 90% 的目标； 处理措施应遵循城市固体废物无害化处理政策； 可以获得食品处理试点能力	到 20 物柴油 费用降
扩大有效农业供应链商业模式范围 （在城市范围之外）		<p>（仅限于模型中包括的举措——新的商业和经营模式）</p> <p>假设在当前发展路径（CDP）下，到 2030 年，新型商业模式的普及率至少占到供给侧的一半，并且到 2040 年达到领先水平</p> <p>农村合作社发展缓慢：一方面农民缺乏动力，另一方面，土地转让制度的严格限制导致社会资本准入门槛过高</p> <p>合同法执行不严</p> <p>成本过高导致城郊农业和城市农业可行性低：垂直农产品成本是非垂直农产品的十几倍</p>	<p>（仅限于模型中包括的举措——新的商业和经营模式）</p> <p>假设在 2030 年的水平下，垂直农业将占 90% 的农产品和 90% 的蔬菜</p> <p>关键挑战</p> <ul style="list-style-type: none">• 土地• 加强• 到 2030 年

关键假设		涉及内容
2030 年 循环经济情境	2040 年循环经济情境	模型和 / 或文字描述
食品价值链上每一个环节的材料。 以这一阶段初期粮食损失和浪费在粮食获得总量中所占的比例为基础: 超过 6.8% 的粮食损失和浪费 (根据 153 个国家各类食品价值链的粮食损失比例的中间数) 都被视为材料, 需要自下而上地开展工作; 所有低于 6.8% 粮食损失和浪费需要采用自上而下的方法。 背景。 粮食损失和浪费总量随着城镇化率 (即城市人口 / 总人口) 的提高而降低。实际上, 为了简便起见, 假设城乡人口的饮食结构相同。 因素。 确定粮食损失和浪费率严重领域的驱动因素。确定材料假设中可量化的关键驱动因素。 用自下而上的方法很难对关键驱动因素进行量化, 那就改用自上而下的方法 (如教育宣传)		
2030 年, 实现源头分流收集达到 90% 的目标; 到 2040 年, 零售环节和家庭垃圾中的油脂被转化成生物柴油; 剩余的经厌氧处理 (AD) 转化成能源及土壤改良剂; 随着技术改良, 企业非传统处理方式的经营成本降低 20%		建立模型且用文字加以描述
限于模型中包括的举措—新的商业和经营模式) 比 CDP 情境下的发展速度要快 (即 2030 年达到 CDP 情境下 2040 年水平) 。此外, 新鲜水果和蔬菜 将是 城市农业 的主打品类 (假设通过补贴, 城市农业的生产成本可以降到与田间农产品相同的水平) 和油籽作物 (G&O) 、蛋白质产品的新模式普及率将达到 85%, 水果和蔬菜则达到 90% 驱动因素包括: • 土地流转制度允许社会资本参与 • 严格执法, 丰富农业融资和保险工具 2030 年和 2040 年, 技术突破将使垂直农业成本分别降低 50% 和 20%	G&O 及蛋白质产品新模式的普及率将达到 90%, 水果和蔬菜将达到 100%	“新模式”: 建立模型并用文字加以描述 文字叙述中涉及的内容有 <ul style="list-style-type: none">• 降低农业产出的损失• 采用资源效率高的农业生产方式• 采用再生农业实践• 运用共享经济理念

<p>优化食品储存、运输和加工</p> <p>粮食存储能力建设</p> <p>利用共享理念，通过整合需求、提高利用率来发展水果蔬菜采收后及下游冷链配送的能力</p> <p>投资处理和包装技术及设备，对在生鲜市场卖不出去的产品进行加工，从而降低由于经营处理不善导致的损失</p>		<p>基线：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 当前中国水果蔬菜冷链普及率为 22%，肉类为 34%，水产品为 41%，而北美、西欧、日本的冷链普及率为 95%，食品损失率仅为 2% • 总体而言，相对于下游市内配送及“最后一公里”配送，上游冷链基础设施相对薄弱 • 冷链市场分散，排名前 15 位的冷藏仓储经营企业的市场占有率仅为 12% • 由于初期投入巨大，大多数冷链市场参与者的净利润率不到 10%、甚至为负利润 <p>当前发展路径：</p> <p>当前发展路径下，冷链仓储及运输的普及率将在 2030 年达到发达国家平均水平。因此，食品在存储、运输、加工过程中的损害将降低至 2%，到 2040 年将（从水果和蔬菜的 15% 及蛋白质产品的 9%）进一步降至 0.5%，达到一流水平</p> <p>关键驱动因素：</p> <p>增长趋势：2008—2014 年，中国冷库仓储能力年均增长 35%；2015 年，冷藏车运能增长 10%；到 2020 年，市场整体规模年均增长 15%</p> <p>优惠政策：2010 年国家发改委发布了《农产品冷链物流发展规划》，明确制定了冷链物流的发展目标；“十三五”规划中又再次提到要大力发展冷链物流</p> <p>需求增长：消费者对食品安全和新鲜程度要求的不断提高，推动产地直采等新商业模式的发展，而产地直采又促进了冷链运输投资；2010—2013 年，生鲜食品在网上零售食品销售总量中所占的比例由 3% 增长至 18%</p>	<p>假设 B</p> <p>关键驱动因素：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 加强供应链管理 • 消除浪费 • 提升企业效率
<p>从设计源头消除零售系统中的食物损失和浪费</p> <p>改善经营，提高审美需求，从而降低零售市场的食品损失</p> <p>最大限度地利用目前未上市推广的产品</p>		<p>店内损失与基线年相同</p>	<p>店内损失</p>
<p>优化健康与环境友好型食品消费模式</p> <p>改变城市家庭的消费行为</p> <p>解决家庭食品消费浪费严重的问题</p> <p>放缓饮食结构改变，避免过度消费尤其是牛肉过度消费，推广可持续的饮食理念</p>		<p>教育宣传活动将达到英国（试点）的平均水平（全国平均每年降低 2%）</p>	<p>损失/浪费</p>

<p>比当前发展路径的发展速度要快</p> <p>驱动因素包括：</p> <p>强监管和执法：例如，加强消费环节之外价值链上游环节的食品安全管</p> <p>；建立以科学计量为基础的标准</p> <p>费者更愿意付高价购买安全性和新鲜度更高的食品：从而使高质量冷链</p> <p>运输有利可图</p> <p>高经营能力：参与市场的应该是更专业的冷链经营者，而不是下游用户</p> <p>业</p>	<p>损失维持在 2030 年的 CE</p> <p>水平上，因为 2030 年的 CE</p> <p>水平是最佳水平</p>	<p>建立模型的有：</p> <ul style="list-style-type: none">• 冷链• 加工和包装投资 <p>包括在文字叙述中的有：</p> <ul style="list-style-type: none">• 谷物存储（模型中没有包括的原因是谷物存储在很大程度上不属于城市范畴）
<p>损失相比基年（及当前发展路径）减少 20%</p>	<p>店内损失相比基年（及当前</p> <p>发展路径）减少 30%</p>	<p>建立模型且用文字加以描述</p>
<p>减少 12%</p>	<p>损失减少 20%</p>	<p>建立模型且用文字加以描述</p>

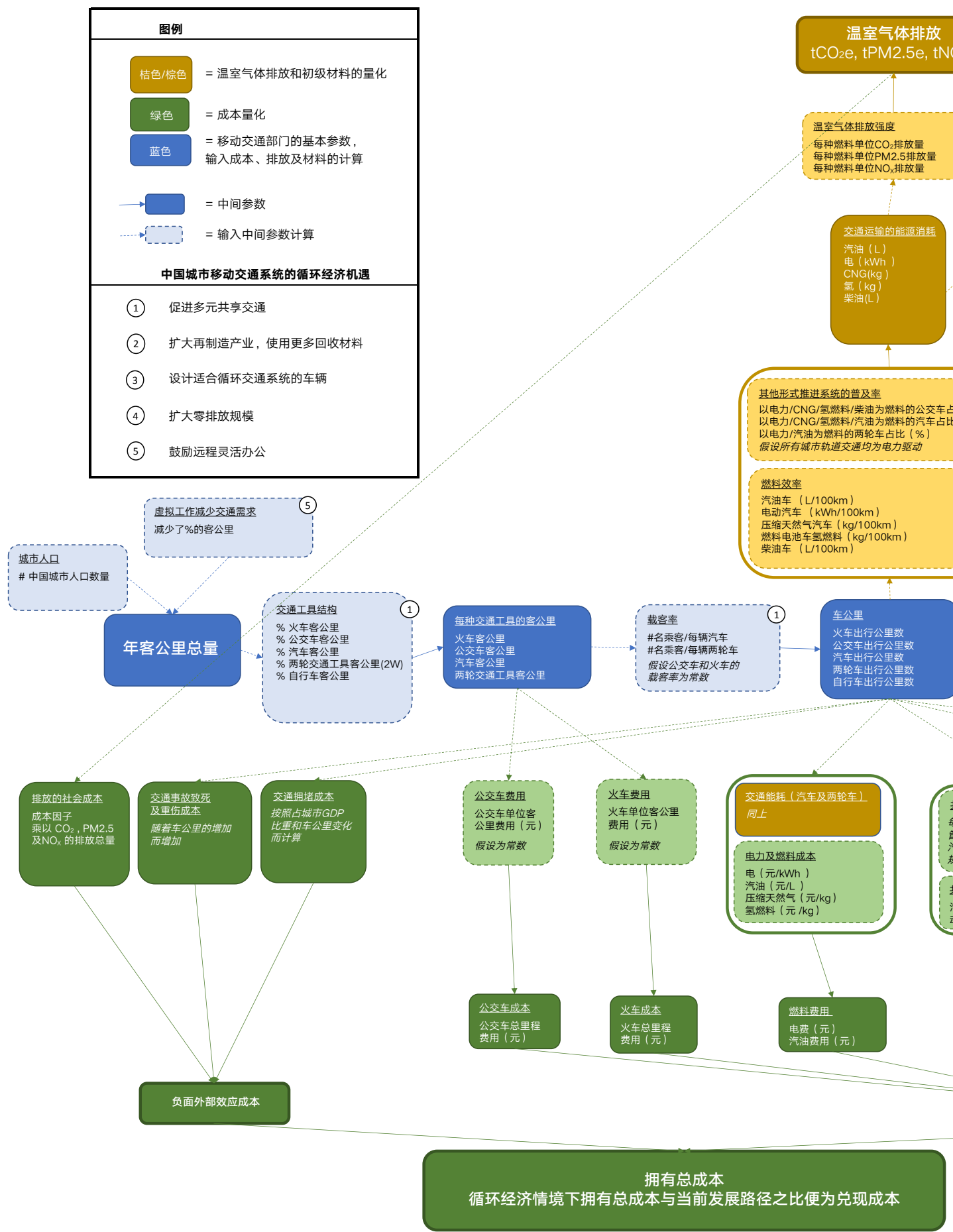
表 8: 纺织行业		
举措		
	2015 年基线年	2030 年（假设在现阶段发展路径下）
推崇有益于提高耐用纺织品使用率的模式 提高耐用服装的利用率 耐用服装的出租、租赁和再销售 提高耐用纺织品的利用率 家用及产业用耐用纺织品的出租、租赁和再销售	<ul style="list-style-type: none"> 假定 2015 年，通过新的商业模式，服装利用率提高不到 1%（服装再利用率达 15% 的人口占 1%） 	<ul style="list-style-type: none"> 假定到 2030 年，服装利用率提高仍不到 1%
扩大回收再利用率 机械回收 废弃纺织品经过拆解、切割和粉碎后生产出更短的纺织纤维，其质量要低于原生纤维 化学回收 通过解聚和重聚，将消费前或消费后的回收纤维分解成单体。生产的纤维与原生纤维质量相同且可以无限次回收利用	<ul style="list-style-type: none"> 纺织品和服装总回收率在 10% 左右；通过城市试点项目或作为慈善组织的一部分 机械回收率低（模型中对其进行了计算） 	<ul style="list-style-type: none"> 纺织品和服装总回收率在 10% 左右；通过城市试点项目或作为慈善组织的一部分 机械回收率低（模型中对其进行了计算）
	<ul style="list-style-type: none"> 纺织品和服装总回收率在 10% 左右；通过城市试点项目或作为慈善组织的一部分 化学回收率不到 1% 各利益相关方之间缺乏一致，市场需求有限 	<ul style="list-style-type: none"> 纺织品和服装总回收率在 10% 左右；通过城市试点项目或作为慈善组织的一部分 化学回收率不到 1% 各利益相关方之间缺乏一致，市场需求有限
引入能效提升措施 以如下方式表示：自动化和 3D 打印、节水节能实践、水回收处理、高效清洗处理方式	<ul style="list-style-type: none"> 产品收得率达到 65% 单位工业增加值用水量降低 30%（“十二五”规划） 能效提高 20%（“十二五”规划） 行业回收率达到 15%（假定行业内有 50% 的企业的水资源回收利用率达到 30%） 完全遵守（污水排放）水质标准 高清洗频率。假设洗衣机保有率达到 61%（每周机洗 2 次），手洗率为 78%（每天手洗 2 次） 	<ul style="list-style-type: none"> 产品收得率达到 65% 落实和遵守“十三五规划”中的政策和目标，例如，节水效率提高 20%，能效提高 18% 行业水资源回收率达到 15%，与 2015 年相同 完全遵守（污水排放）水质标准 由于机洗和手洗次数高，家庭用水增加

关键假设		涉及内容
2030 年 循环经济情境	2040 年循环经济情境	模型和 / 或文字描述
<ul style="list-style-type: none">• 倾向于附加值更高的产品和服务• 到 2030 年，耐用服装利用率将升至 2.3%（服装再利用率达 15% 的人口占 15%）	<ul style="list-style-type: none">• 出租 / 租赁服装的社会接受度更高• 到 2030 年，耐用服装利用率将升至 9%（服装再利用率达 30% 的人口占 30%）	<ul style="list-style-type: none">• 耐用设计• 保养服务• 定制化和个性化的服装
<ul style="list-style-type: none">• 市场需求增加，新商业模式的发展• 到 2030 年，家用及产业用纺织品利用率将升至 1%（通过其业务，5% 的企业的家用及产业用纺织品再利用率达到了 15%）	<ul style="list-style-type: none">• 共享 / 出租 / 租赁服装的社会接受度更高• 到 2030 年，家用及产业用纺织品利用率将升至 7%（通过其业务，23% 的企业的家用及产业用纺织品再利用率达到了 30%）	<ul style="list-style-type: none">• 耐用设计• 保养服务
<ul style="list-style-type: none">• 假定以下方面将不断取得进展：基础设施、扶持政策和激励措施、技术创新、市场需求• 纺织品和服装总回收率可增长至 41%	<ul style="list-style-type: none">• 假定以下方面将不断取得进展：基础设施、扶持政策和激励措施、技术创新、市场需求• 纺织品和服装总回收率可增长至 56%（根据德国目前 75% 的回收利用得出）	
<ul style="list-style-type: none">• 假定以下方面将不断取得进展：基础设施、扶持政策和激励措施、技术创新、市场需求• 适配当前回收技术的回收设计• 化学回收率增至 6%	<ul style="list-style-type: none">• 技术创新和突破，市场需求增加• 适配当前回收技术的回收设计• 化学回收率增至 16%	<ul style="list-style-type: none">• 回收设计• 材料设计与回收技术相统一• 先进的分类
<ul style="list-style-type: none">• 全供应链推广降低能耗和用水的技术和实践• 自动化技术的广泛使用增加了产出• 行业平均水资源回收率为 37%• 完全遵守（污水排放）水质标准• 家庭意识提高，更加注重纺织品和衣物的洗护，洗衣用水减少	<ul style="list-style-type: none">• 全供应链推广降低能耗和用水的技术和实践• 自动化及 3D 打印技术的广泛使用增加了产出• 行业平均水资源回收率为 40%• 完全遵守（污水排放）水质标准• 洗衣机保有量增加，家庭意识提高，更加注重纺织品和衣物的洗护	<ul style="list-style-type: none">• 从设计中剔除危险物质• 微纤维

表 9: 电子工业		
举措	2015 年基线年	
	2030 年（假设在现阶段发展路径下）	
与所有举措相关	消费： 基线率以预测零售额为基础；假设所有产品的城市消费占比相同 成本： 一件电子设备的成本构成被视为等于其每个零部件的成本构成的和 分类尺度： 所有范围的产品类型被整合成 11 种具有相似分析特征的产品类别	整体的产品价格、商品价格、以及能源成本以 2015 年基线为基准 在影响开始起作用后，所有举措的普及率 / 强化率以 2030 年规划中的具体目标为依据
		提高： 提高率（如下）是以“十三五”规划中的具体目标为依据
通过循环利用，捕捉电子废弃物价值	收集率（相对于使用寿命终止的产品量）： 15% 回收率（相对于收集量）： 100%	收集率（相对于使用寿命终止的产品量）： 40% 回收率（相对于收集量）： 88%
产品的再利用翻新及零部件再制造	翻新及再造： 由于 2015 年（该部门）的翻新和再造活动几乎可以忽略不计，所以假设基线情境中不存在此类活动	翻新产品出现在产品使用寿命终止后的那一年，其数量等于该年份市场投放量中包括翻新产品，不包括再造产品（不包括翻新和再造产品）
		翻新： 8% 再造： 4%
鼓励“产品即服务”模式	PAAS 模式： 由于 2015 年该模式的市场份额几乎可以忽略不计，所以假设基线情境中不存在该模式	普及率 共享： <ul style="list-style-type: none"> • 加热 / 制冷设备、家用洗衣机、吸尘器为 5% • 所有其他类别为 0% 即用即付： <ul style="list-style-type: none"> • 厨房电器及个人护理设备为 21% • 家用洗衣机和吸尘器为 5% • 所有其他类别为 0%

关键假设			涉及内容
2030 年 循环经济情境		2040 年循环经济情境	模型和 / 或文字描述
2015 年的市场数据为代表			
效应呈线性增长			
收集率（相对于使用寿命终止的产品量）： 45% 回收率（相对于收集量）： 76%——之所以低于 CDP 情境，是因为收集的废弃物中进行翻新和再造的比例越来越高		收集率（相对于使用寿命终止的产品量）： 65% （ 2030—2040 年间增长迅速的原因是 2015—2030 年间补贴产品的收集率增长乏力，以及小规模循环的增加） 回收率（相对于收集量）： 51%	建立模型： 收集和回收
并在同年进行销售			建立模型： • 再造 • 翻新
因为回收的只有零部件）			
翻新： 16% 再造： 8%	翻新： 50% 再造： 25%		
共享 / 每件设备的分享人数： 家用洗衣设备和吸尘器为 50；所有其他类别为 3——这一比率不随时间的变化而变化，因为假设这一数字由实用性而不是由使用率决定的			建立模型： • 共享模式 • 即用即付（PPU）
PPU/ 对产品使用寿命的影响： 以德国和中国的更换周期为基础。对技术陈旧程度高的产品类别没有影响（例如手机、个人电脑等），而对非常成熟的产品会产生加倍的影响（例如钢铁、吸尘器等）			
普及率： 每个模式，即产品分类组合的普及率是以如下一些因素的得分为基础得出的：与所有者关系的密切程度、利用率、是否可以被描述为一次性“使用”、技术陈旧程度、资本支出要求等。传统商业模式有自己的普及率，最初设定为 100%；从 100% 中减去新商业模式的普及率则为传统模式新的普及率。在某些情况下，新旧两种商业模式估计会出现重叠——通过乘以每一种模式的普及率来进行大致的估算			
普及率 共享： • 加热 / 制冷设备、家用洗衣机、吸尘器为 9% • 所有其他类别为 0% 即用即付： • 厨房电器及个人护理设备为 35% • 家用洗衣机和吸尘器为 9% • 所有其他类别为 0%			

图 A1: 移动交通图，中国移动交通部门材料和成本



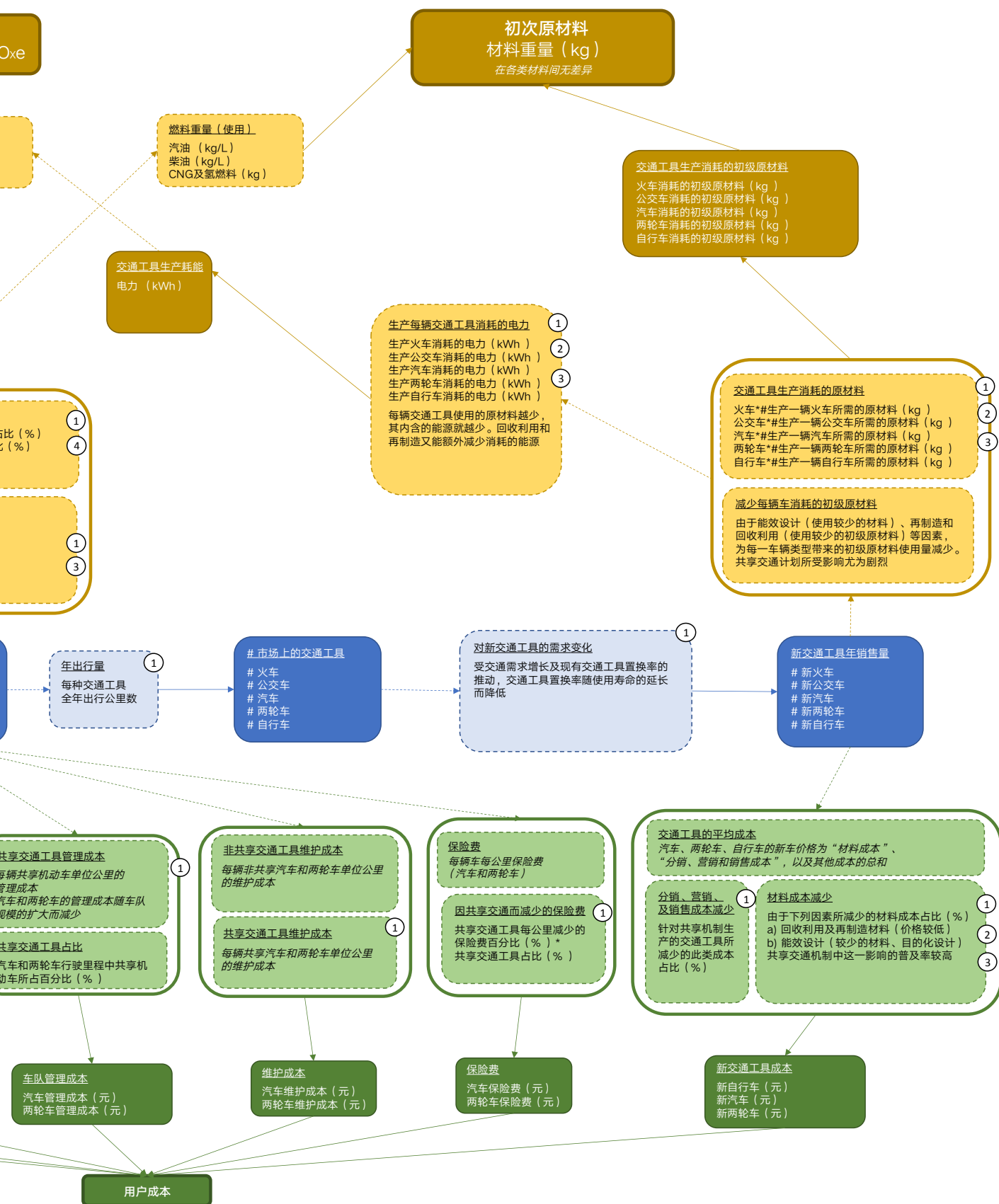


图 A2: 城市给养驱动因素图，总体通达成本

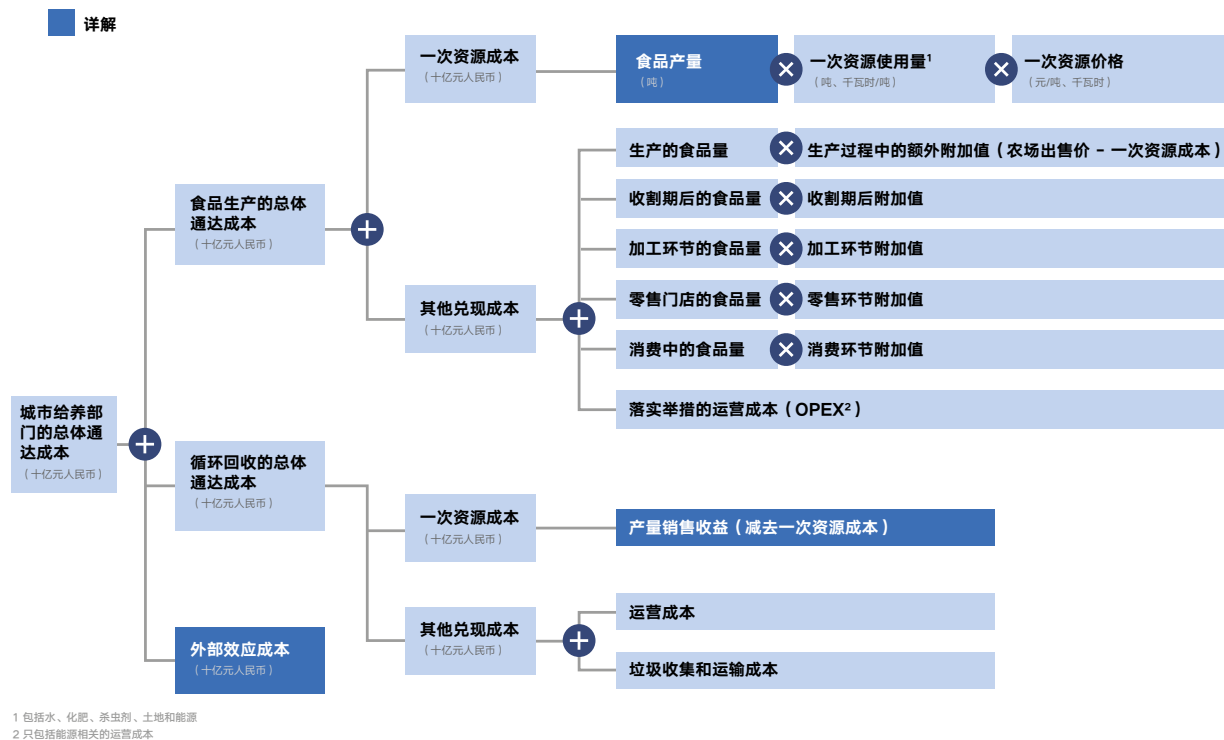
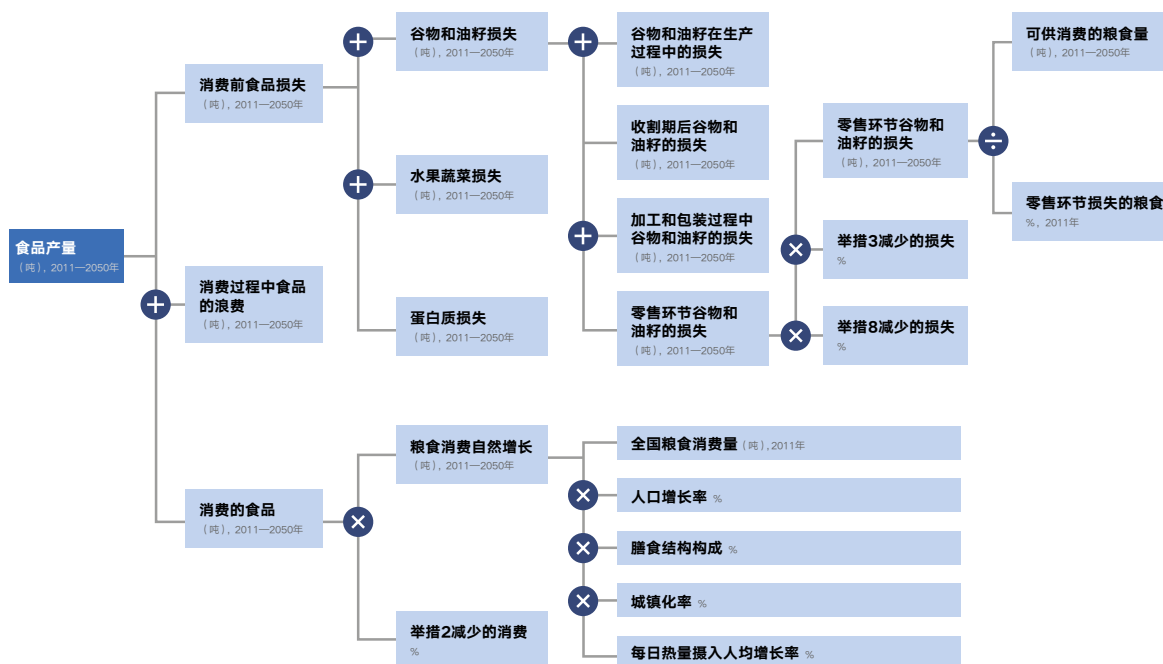


图 A3: 城市给养驱动因素图，食物生产



关于艾伦·麦克阿瑟基金会

艾伦·麦克阿瑟基金会成立于 2010 年，致力于加速向循环经济的过渡转型。自创立以来，基金会已成为全球思想领袖，并推动循环经济纳入企业，政府和学术界决策者的议程。在其核心公益资助机构 SUN 和知识合作机构（奥雅纳，IDEO，麦肯锡公司，以及 SYSTEMIQ）支持下，基金会主要关注以下四个相互关联的领域：

洞见和分析

——为循环经济转型的益处和意义提供有力的证据

基金会的工作致力于量化循环经济模式的经济潜力，并研究捕获此价值的方法。通过与合作伙伴——麦肯锡的共同合作，我们发布了一系列的经济研究报告，阐明了加快向循环经济转型的理论依据，探索它能为不同利益相关者和部门带来的潜在利益。基金会坚信循环经济是一个不断演化的概念，所以基金会还在持续的扩展研究范围，促进与国际顶尖专家的不断合作。我们持续追踪项目进展，更新各类项目报告以及出版物，具体的内容可以在 circulatenews.org、基金会的官方网站中查阅。

企业与政府

——催化循环创新，为循环经济的发展创造条件

自创立以来，基金会重点关注循环经济框架的现实相关性，并强调商业创新是循环经济过渡的核心这一事实。基金会与其全球合作伙伴（达能、谷歌、H & M、意大利联合圣保罗、耐克、飞利浦、雷诺和联合利华）共同合作制定循环经济商业计划并应对实施过程中面临的挑战。2013 年，在全球合作伙伴的支持下，基金会引领了世界上第一个致力于循环经济创新的项目——“循环经济 100 项目（Circular Economy 100）”。项目的会员包括产业界的领军人物，新兴的中小创新企业，区域以及城市级别的政府合作方。“循环经济 100 项目（Circular Economy 100）”是一个特殊的合作沟通平台，旨在加强循环经济的发展能力，解决项目推进过程中的种种障碍，最终实现多方的合作共赢。

教育

——鼓励受教育者通过循环经济框架重新思考未来

基金会已经建立了一个以循环经济框架为中心的
全球教育、学习、培训平台，其中包括了正式和
非正式教育学习。基金会以在线学习为重点，提供
前沿的见解和内容来支持循环经济教育，并提供促
进加速转型所需的系统性思维。基金会的正式教育
项目包括与欧洲、美国、印度、中国以及南美洲的
合作大学、研究机构策划并开展的各项课程。在非
正式教育的领域，基金会积极的开设了开放日活动、
Disruptive Innovation Festival (DIF)、以及
全球范围内线上面对面对话，多途径探索经济发展的
机遇以及如何更好地把握这些机遇。

沟通

——与循环经济全球受众进行交流

基金会通过循环经济研究，报告，案例研究和
出版书籍来传播交流对这一领域的前沿思想和见
解。并利用最新的相关数字媒体来吸引可以加速全
球循环经济转型的听众。基金会集合信息，策划和
制做了在线网站 circulatenews.org。通过网络信
息平台提供循环经济领域及相关领域的最新信息和
独特见解。

艾伦·麦克阿瑟基金会合作伙伴



法律声明

本出版物仅供用于一般信息分享，其所含信息均来自于当前可得且被认为可靠的来源（但无法保证信息的准确性），所有信息均按“原样”提供。本出版物不应被视为法律、法规、财务、投资、商业或者纳税方面的建议，也不应据此行事。读者应根据自身的具体情况寻求专业的建议。

本出版物的筹备过程细致且谨慎，在适用法律和 / 或法规允许的最大程度内，艾伦·麦克阿瑟基金会不承担与此出版物相关的，以明确表达、暗示、法令或其他任何形式所进行的陈述、保证、条款和担保，不承担由于本出版物而对任何人的任何责任，不应为由于使用或者信赖本出版物所带来的损失或破坏承担任何责任，不保证或代表本出版物中所包含的观点或信息是准确或完整的，或者适用于某一具体目的。

艾伦·麦克阿瑟基金会对为本出版物贡献了建设性意见的机构表示感谢（参见 6、7、8 页）。为本出版物或者其中任何章节做出贡献的机构和个人，均不应被视为与艾伦·麦克阿瑟基金会之间存在任何形式的合作伙伴或代理关系，也不应被视为对其中的结论或建议进行了背书。

本出版物中所陈述的观点、发现或结论属于作者，并不一定反映艾伦·麦克阿瑟基金会或任何报告贡献者的官方意见。

本出版物仅供用于个人和非商业用途。

© 艾伦·麦克阿瑟基金会 2018

参考文献

- 1 K·施瓦布,《第四次工业革命》(2017年1月3日)
- 2 国务院发展研究中心,世界银行(2014年),“中国:推进高效、包容、可持续的城镇化”,<http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/EAP/China/urban-china-overview-cn.pdf>
- 3 Li, Xiaojiang, Conference session at World Economic Forum, Dalian (June, 2017)
- 4 世界银行数据, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=CN>
- 5 麦肯锡, Atsmon, Y. & Magni, M., Meet the 2020 Chinese Consumer (March, 2012); McKinsey & Company, Barton, D., et al., Mapping China's middle class (June, 2013)
- 6 国家发展和改革委员会, 国家环境保护总局, 国家统计局, 关于《循环经济评价指标体系》的说明(2007年)
- 7 中华人民共和国第十一届全国人民代表大会常务委员会第四次会议,《中华人民共和国循环经济促进法》(2008年8月29日)
- 8 Weng, X., Dong, Z., Wu, Q., & Qin, Y. *China's path to a green economy - Decoding China's green economy concepts and policies*. International Institute for Environment and Development. International Institute for Environment and Development (IIED) (2015)
- 9 国家发展和改革委员会, 关于印发《循环发展引领行动》的通知(2017年5月4日)
- 10 Stokes, R., How cities are innovating towards Circular Economy (10th July 2016)
- 11 世界经济论坛(World Economic Forum), The numbers that make China the world's largest sharing economy (25th June 2017)
- 12 麦肯锡全球研究院, Woetzel, J., et al., China's digital economy: A leading global force (August 2017)
- 13 麦肯锡全球研究院, Preparing for China's urban billion. (March 2009)
- 14 艾伦·麦克阿瑟基金会,《实现循环经济:决策者的工具包》(2015年)
- 15 新浪网,周凯波:PPP项目的各类法律关系应有清晰界定(2017年8月20日), <http://finance.sina.com.cn/meeting/2017-08-20/doc-ifykcypq0994080.shtml>
- 16 中国PPP服务平台, PPP项目库(2017年10月)
- 17 北京市住房和城乡建设委员会, 关于印发《北京市保障性住房预制装配式构件标准化技术要求》的通知(2017年1月25日)
- 18 山东省人民政府,《山东省人民政府关于落实中华人民共和国国务院办公厅(2016)71号文件大力发展装配式建筑的实施意见》(2017年1月13日)
- 19 Taylor, R.P. et al., Financing Energy Efficiency: Lessons from Brazil, China, India, and Beyond, World Bank (2008). See also China Energy Service Company (ESCO) market study, World Bank (2017)
- 20 世界银行, State and Trends of Carbon Pricing, (September 2015)
- 21 Urban Access Regulations In Europe. Overview. (2016)
- 22 国际社会责任认证组织(WRAP), BSI PAS 100: producing quality compost
- 23 Legifrance, Code de la consommation - Article L121-117 (1st July 2016)
- 24 艾伦·麦克阿瑟基金会,《新塑料经济》(2017年)
- 25 Trading Economics, Taborda, J., China GDP Annual Growth Rate 1989-2018 (18th January 2018)
- 26 Schwab, K., The Fourth Industrial Revolution (3rd January 2017)
- 27 世界银行, Urban China - Toward Efficient, Inclusive, and Sustainable Urbanization. World Bank (2014)
- 28 Credit Suisse. Global Wealth in 2015: Underlying Trends Remain Positive. (13th Oct 2015) <https://www.credit-suisse.com/corporate/en/articles/news-and-expertise/global-wealth-in-2015-underlying-trends-remain-positive-201510.html>
- 29 国家统计局:《中国统计年鉴(2017)》, <http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=城镇居民人均可支配收入>
- 30 麦肯锡, Meet the 2020 Chinese consumer (2012)
- 31 国家统计局,《中国统计年鉴》,“人口普查”及“迈向小康”
- 32 据国家统计局2015年数据编成。
- 33 同上
- 34 麦肯锡, China's digital economy: a leading global force. (Aug 2017)
- 35 世界经济论坛, The numbers that make China the world's largest sharing economy (25th June, 2017)
- 36 Hsu, S., China's Urbanization Plans Need To Move Faster In 2017 (28th December 2016)
- 37 《中国日报》, City White Paper by Chinese Academy of Social Sciences (2016)
- 38 世界银行, Urban China - Toward Efficient, Inclusive, and Sustainable Urbanization. (2014).
- 39 同上
- 40 麦肯锡, Meet the 2020 Chinese Consumer (2012); 麦肯锡, Mapping China's middle class (2013),
- 41 新华社,《中国12城市GDP跻身万亿俱乐部 每个城市都有亮点》(2017年2月24日) http://news.xinhuanet.com/fortune/2017-02/24/c_1120520329.htm
- 42 The Jakarta Post. Unlocking the potential of Chinese Cities. (Apr. 5th, 2017) <http://www.pressreader.com/indonesia/the-jakarta-post/20170405/281590945413346>
- 43 新华社,《未来十年的中国中产阶级》(2014年)
- 44 世界银行, (2014). Urban China - Toward Efficient, Inclusive, and Sustainable Urbanization.
- 45 Nexus-Pacific. Chinese city tier system: How it works and why it's useful (2013)
- 46 同3
- 47 世界银行, (2014). Urban China - Toward Efficient, Inclusive, and Sustainable Urbanization. World Bank.
- Desjardins, J., China Consumes Mind-boggling Amounts of Raw Materials (10th September 2015)
- The Brenthurst Foundation., Fuelling the dragon: Natural resources and China's development (2012) https://www.files.ethz.ch/isn/161626/SR_Fuelling_the_dragon_120912.pdf
- A. and Kirchherr J., Will China run out of water by 2030? (29th November 2012) http://www.chinadaily.com.cn/opinion/2012-11/29/content_15969860.htm
- 《自然》, Matthews, John, Hao Tan. Circular Economy : Lessons from China. Nature. (23rd March, 2016) <http://www.nature.com/news/circular-economy-lessons-from-china-1.19593>

- 联合国环境规划署, China outpacing rest of world in natural resource use. (2nd Aug, 2013)
- Andrews-Speed, P., et al., The Global Resource Nexus (May 2012)
- 联合国环境规划署, China outpacing rest of world in natural resource use (2nd August 2013) <http://www.unep.org/newscentre/china-outpacing-rest-world-natural-resource-use>
- 搜狐, 《中国超过 2.8 亿人存在饮用水安全隐患》
- 《经济学人》, The most neglect threat to public health in China is toxic soil. (2017)
- 同上
- Techweb 网, 《670 万吨! 中国人电子垃圾产生量 5 年增长一倍》(2017 年)
- C. A. Velis, Global recycling markets: plastic waste(September 2014); Plastics Today, Global Plastics Issue: China moves from export driven to consumption focused (20th December 2013)
- J.R. Jambeck 等撰: "Plastic waste inputs from land into the ocean" (2017 年 2 月 24 日)。Jambeck 的研究方法涵盖了全世界沿海 50 公里范围内居民制造的塑料垃圾, 它们缺乏妥善管理而流入大海, 成为海洋垃圾。192 个沿海国家中, 每一个国家都有至少 100 名永久居民住在大西洋、太平洋、印度洋、地中海和黑海沿岸。此为 2010 年数据
- 2015 年, 中国生产了 7500 万吨塑料, 相当于全球总产量的 28% (2015 年全球总产量 2.69 亿吨, 占 27.8%)。PlasticsEurope (PEMRG) / Consultic, Plastics - the Facts 2016: An analysis of European plastics production, demand and waste data; 占 2013 年全球塑料材料生产的 24.8%, 仅限于热塑性塑料和聚氨酯, 不包括其他塑料(热固性塑料、黏合剂、涂料和密封胶), 也不包括 PET、PA、PP 和聚丙烯纤维
- 联合国商品贸易统计数据库, data for 2012 and 2016; and Plastic Expert website, Chinese Recycling Industry | Part Three - Import Recycling Market (6 June 2016, www.plasticexpert.co.uk/chinese-import-recycling-market) + C. A. Velis, Global recycling markets - plastic waste: A story for one player - China. Report prepared by FUELogy and formatted by D-waste on behalf of International Solid Waste Association - Globalisation and Waste Management Task Force. ISWA, Vienna (2014)
- 联合国商品贸易统计数据库, data 2016; In 2012, it also corresponded to 87% of EU-27 plastics exports
- C. A. Velis, Global recycling markets - plastic waste: A story for one player - China. Report prepared by FUELogy and formatted by D-waste on behalf of International Solid Waste Association - Globalisation and Waste Management Task Force. ISWA, Vienna (2014). Trade value decreased, as in 2012, 8.8 million tonnes imported were worth USD 6.1 billion in trade value.
- 国家统计局, 《中国统计年鉴》(2017)》, <http://data.stats.gov.cn/index.htm>
- 国家统计局, 《我国居民收入差距研究》, (2016 年 7 月 26 日) http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjsj/tjcb/dysj/201608/t20160808_1385893.html
- 中国新闻网, 《扶贫办: 中国尚有 7 千万贫困人口 6 年内全部脱贫》(2015 年 10 月 12 日), <http://www.chinanews.com/gn/2015/10-12/7564518.shtml>
- 国家统计局, 《中国统计年鉴》, “迈向小康社会的中国人口”
- 经合组织, economic survey, China, overview, (21st March 2017)
- 国家统计局: 《中国统计年鉴》, “迈向小康社会的中国人口”
- The Brenthurst Foundation. Fuelling the dragon: Natural resources and China's development. Johannesburg: The Brenthurst Foundation. (2012).
- 世界银行, Urban China: Toward Efficient, Inclusive, and Sustainable Urbanization
- 联合国开发计划署, China Sustainable Cities Report 2016: Measuring Ecological Input and Human Development (30th November 2016)
- 人民网, 《全国 657 城中有 300 多属严重缺水或缺水城市》
- 网易, 《中国每年因环境污染损失 2.6 亿人民币》(2012 年 3 月 16 日), <http://discovery.163.com/12/0316/09/7SN5DHST000125LI.html>
- 美联社, Beijing spending \$2.7 billion to clean up air pollution (19th January 2017)
- 世界银行, Hoornweg, D. & Bhada-Tata, P., What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management (March, 2012)
- 网易, 《城市垃圾清运量增速快回收率低》(2015 年 5 月 8 日), <http://news.163.com/15/0508/06/AP2SBESJ00014AEE.html>
- 世界经济论坛, 艾伦·麦克阿瑟基金会, 麦肯锡, 《新塑料经济: 反思塑料的未来》(2016)
- 网易, 《大部分城市交通拥堵情况恶化 北京成 2015 年中国最堵城市》(2016 年 1 月 20 日) <http://news.163.com/16/0120/11/BDP514BE00014JB5.html>
- 《中国日报》网, 《谁来拯救中国糟糕的城市交通》
- 48 同 6
- 49 Zhu, D. Background, Pattern and Policy of China for Developing Circular Economy, Chinese Journal of Population, Resources and Environment (2008), Volume 6, pp.3-8
- 50 Mathews, J. A., Tang, Y., & Tan, H. China's move to a Circular Economy as a development strategy. Asian Business & Management, 10(4), 463-484. (2011).
- 51 中国共产党新闻网, 《建设生态文明 推进和谐发展》(2014 年 1 月 25 日), <http://theory.people.com.cn/n/2014/0125/c107503-24223444.html>
- 52 光明日报, 《生态文明建设夯实中国自信》(2017 年 7 月 24 日)
- 53 Qi, J., et al., Development of Circular Economy in China, Singapore: Springer (2016)
- 54 Weng, X., et al., International Institute for Environment and Development (IIED), China's path to a green economy: Decoding China's green economy concepts and policies (February, 2015)
- 55 中国环境与发展国际合作委员会, 《循环经济报告(2004)》(2014 年 10 月 30 日), http://www.china.com.cn/tech/zhuanti/wyh/2008-01/11/content_9519138.htm
- 56 国家发展和改革委员会, 《循环经济典型模式案例》, 2011 年
- 57 国家发展和改革委员会, 关于印发《循环经济引领行动》的通知(2017 年 5 月 4 日), http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201705/t20170504_846514.html
- 58 同上
- 59 央视网, 《今年年底我国将禁止进口 24 类固体废物》(2017 年 7 月 21 日), <http://news.cctv.com/2017/07/21/ARTIsPqfGzvsGfWHIBJAGcmW170721.shtml>
- 60 《金融时报》, China recyclers grind to halt amid crackdown on imported waste. (2018 January 15th) <https://www.ft.com/content/63cf220c-f8ee-11e7-9b32-d7d59aace167>
- 61 欧洲世界, Zhu, D., 中国发展循环经济的政策和工具(2014 年 6 月 15 日)
- 62 Geng, Y., et al., 《中国的循环经济指标体系: 评价与分析, 清洁生产杂志, 第 23 卷, 第 216-224 页》(2012 年 3 月)
- 63 同 6
- 64 McDowall, W., et al., 中国和欧洲的循环经济政策, 工业生态学杂志(2017 年 5 月 4 日)
- 65 国家统计局, 2013 年中国循环经济指数为 137.6, (2015 年)

- 66 国务院, 关于印发循环经济发展战略及近期行动计划的通知, (2016 年)
- 67 北极星电力网, 餐厨废物: “十三五”规划要求突破(2016 年 12 月)
- 68 《纽约时报》, China bans free plastic shopping bags (9th January 2013) www.nytimes.com/2008/01/09/world/asia/09iht-plastic.1.9097939.html?mcubz=0; Eye of the Earth, Worldwatch Institute, China Reports 66-Percent Drop in Plastic Bag Use www.worldwatch.org/node/6167
- 69 World Watch website, announcement of the National Development and Reform Commission (NDRC) (May 2017; <http://www.worldwatch.org/node/6167>)
- 70 E. Perchard, Resource Magazine, China Starts National Sword Campaign to target ‘foreign waste’ smuggling (23th February 2017)
- 71 《卫报》, Earley, K., Could China’s ‘green fence’ prompt a global recycling innovation? (27th August 2013) Waste 360 Website, W., , What Operation Green Fence has Meant for Recycling (10th February 2016)
- 72 同 110
- 73 同上
- 74 路透社, Miles, T., China says it won’t take any more foreign garbage (18th July 2017)
- 75 水利部, 《中国的水政策和法律法规》 <http://www.tnmc-is.org/wp-content/uploads/2016/07/7.WATER%20POLICIES,%20LAWS%20AND%20REGULATIONS%20IN%20CHINA.pdf>
- 76 Qiu Baoxing. “Sponge city” is green, smart and will rule in the future. (2nd July 2015) http://www.chinadaily.com.cn/opinion/2015-07/02/content_21158985.htm
- 77 新华网, 《投资占到全球总量 1/3 中国新能源领跑全球》(2017 年 1 月 19 日), http://news.xinhuanet.com/world/2017-01/19/c_129453106.htm
- 78 网易, 《2016 年能源工作定调: 非化石能源占比提高 13.2%》(2015 年 12 月 30 日), <http://money.163.com/15/1230/05/BC2G3MBE00253B0H.html>
- 79 搜狐财经, 《“十三五”年均能源增速 3% 左右 可再生能源比重将大幅提高》(2015 年 11 月 18 日), <http://business.sohu.com/20151118/n426787485.shtml>
- 80 国务院办公厅, 《国务院办公厅关于印发能源发展战略行动计划(2014-2020 年)的通知》(2014 年 11 月 19 日)
- 81 《卫报》, Duggan, J., China makes carbon pledge ahead of Paris climate change summit (30th June 2015)
- 82 世界资源研究所, Ross K. & Song R., China Making Progress on Climate Goals Faster than Expected (9th March 2017)
- 83 中国社会科学网, 《“2016 年科学与工程指标”发布: 中国科研投入大幅增加》(2016 年 1 月 30 日)
- 84 《卫报》, Phillips, T., The \$900bn question: What is the Belt and Road initiative? (12th May 2017)
- 85 《财富》, 路透社, China’s Investments in Countries Along Its ‘Belt and Road’ Project Are Soaring (16th August 2017)
- 86 Chalmers University of Technology, Yu, Y., Two Urban Metabolism Based Approaches to Implement Circular Economy at the Urban Scale (2017)
- 87 《卫报》, Stokes, R., How cities are innovating towards Circular Economy (10th July 2016)
- 88 麦肯锡全球研究院, Preparing for China’s urban billion. (March 2009)
- 89 财新网, 《雄安新区未来或发展到两三百万人口》(2017 年 4 月 5 日), <http://china.caixin.com/2017-04-05/101074701.html>
- 90 Building Research & Information, Zhang J., et al., Governance strategies to achieve zero-energy buildings in China (6th April 2016), Volume 44, Issue 5-6, pp.604-618
- 91 国家发展和改革委员会, 《中国资源综合利用年度报告(2014)》, <http://www.ndrc.gov.cn/xwzx/xwfb/201410/W020141009609573303019.pdf>
- 92 European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, Supporting Environmentally Sound Decisions for Construction and Demolition (C&D) Waste Management (2011), p.21
- 93 住房和城乡建设部计划财务与外事司, 《2016 年建筑业发展统计分析报告》, <http://www.mohurd.gov.cn/xytj/tjzljsxytjgb/xjxxqt/w02017052321346623070743428.pdf>
- 94 世界银行, Urban population <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS>
- 95 Lincoln Institute of Land Policy, Yanyun Man, J., Affordable Housing in China (January 2011)
- 96 麦肯锡, Meeting China’s Affordable Housing Challenge (2015)
- 97 Hartmann, P., The Green Delusion (28th August 2012)
- 98 人民网, 《住宅设计使用年限应从 50 年提升到 70 年》
- 99 《中国日报》, Short-lived buildings create huge waste (2010) http://www.chinadaily.com.cn/china/2010-04/06/content_9687545.htm
- 100 世界经济论坛, Shaping the Future of Construction: Inspiring innovators redefine the industry (1st March 2017)
- 101 EU SME Centre, The construction sector in China (2013) http://www.ccilc.pt/sites/default/files/report_the_construction_sector_in_china.pdf
- 102 刘竹, 《哈佛中国碳排放报告(2015 年)》
- 103 国际能源署, Building Energy Use in China: Transforming Construction and Influencing Consumption to 2050 (2015)
- 104 同上
- 105 同上
- 106 住房和城乡建设部, 《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2006), 标准号变更为 GB/T 50378—2014
- 107 能源基金会(中国), Policy Research on Construction Waste Recycling and Reutilization (2014) http://www.efchina.org/Reports-en/report-20140630-en?set_language=en
- 108 人民网,《中国建筑垃圾“年产”超 20 亿吨 管理长期缺口》(2017 年 4 月 27 日), <http://finance.people.com.cn/n1/2017/0427/c1004-29238954.html>
- 109 中国产业技术创新战略联盟, 《建筑垃圾回收业的创新》(2014 年), 《中国建筑拆迁废弃物回收行业发展报告》(2014 年)
- 110 Wang, G., et al., X-ray fluorescence spectrometry analysis of heavy metals in the construction waste, Nucl. Elec. Det. Tech. 7 (2013) 22.
- 111 Blekinge Institute of Technology, Circular Economy in Cities around the World: A Selection of Cases Studies (2017)
- 112 AUTODESK, BIM: Building Information Modelling
- 113 ARUP, Building information modelling (BIM) http://www.arup.com/services/building_modelling
- 114 ARUP, White Collar Factory (London)-A model for a new type of office building http://www.arup.com/projects/white_collar_factory

- 115 The Steel Construction Institute, Value and Benefits Assessment of Modular Construction (2000) <http://www.designforhomes.org/wp-content/uploads/2012/03/ModularSteel.pdf>
- 116 远大集团,《远大工厂化可持续建筑概要(2016)》
- 117 中国政府网, China to promote prefabricated construction (2016) http://english.gov.cn/policies/latest_releases/2016/09/30/content_281475455281032.htm
- 118 《中国日报》, Beijing to encourage prefab buildings in construction sector (2017) http://www.chinadaily.com.cn/china/2017-01/05/content_27873828.htm
- 119 Boston Consulting Group as part of the Future of Construction Project at the World Economic Forum, Winsun: Demonstrating the Viability of 3D Printing at Construction Scale (2016)
- 120 Dezeen, Fairs, M., Bamboo “becoming increasingly popular” in Chinese architecture (17th July 2014)
- 121 Xinying, C., et al., A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China, Journal of Cleaner Production (16th December 2015), Volume 109, pp.131-143
- 122 中国政府网,《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》(2016年9月27日) http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-09/30/content_5114118.htm
- 123 住房和城乡建设部,《装配式建筑科技示范项目》(2016年6月) <http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201608/W020160804040702.pdf>
- 124 3D 打印, 上海盈创 3D 打印 6 层公寓楼和住家 (2015 年 1 月 18 日)
- 125 采访盈创 CEO 马义和 (2017 年)
- 126 路透社, Chen, Y. & Woo, R., Real estate booms in China's small cities, but construction outpaces demand (30th July 2017)
- 127 《卫报》, 'Half these apartments are empty': Mao's former home city struggles with growth (2017)
- 128 国家信息中心,《中国分享经济发展报告(2016)》, <http://www.sic.gov.cn/archiver/SIC/UpFile/Files/HtmlEditor/201602/20160229121154612.pdf>
- 129 Startup Living China, Top 10 co-working spaces in China (2016)
- 130 《南华早报》, Premier Li Keqiang's innovation push proves no miracle cure for China's economy (9th March 2017)
- 131 中国政府网,《国务院办公厅关于加快众创空间发展服务实体经济转型升级的指导意见》(2016年2月14日) http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-02/18/content_5043305.htm
- 132 大公报,《携香港经验闯内地 80 后港青年进军联合办公行业》(2016年6月8日), <http://news.takungpao.com.hk/hkol/topnews/2016-06/3330751.html>
- 133 杭州市政府,《杭州市人民政府办公厅关于发展众创空间推进大众创业万众创新的实施意见》(2015年11月6日) http://www.hangzhou.gov.cn/art/2015/11/6/art_1060012_395083.html
- 134 中国科技部火炬高技术产业开发中心:《杭州众创空间晒出 2016 成绩单: 百家注册 两千入驻》(2017 年 1 月 12 日), <http://www.chinatorch.gov.cn/kjb/dfdt/201701/e4c6c471afa14dff8f27f6f4fb4b5e3f.shtml>
- 135 中国网(英文版), SCIO Briefing on 2017 Government Work Report (2017) http://china.org.cn/china/2017-03/06/content_40415925_4.htm
- 136 中国网(英文版), China's Startup Boom: 7 New Firms Every Minute (2015), http://www.china.org.cn/business/2015-06/09/content_35775291.htm
- 137 环球旅讯(英文版), China's domestic tourism growing faster than outbound traffic in H1 2017 (2017), <https://www.chinatravelnews.com/article/116748>
- 138 TechCrunch, Hugh Harsono, Embracing the sharing economy for growth in China (11th April 2016)
- 139 同 168
- 140 住房和城乡建设部,《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2014), http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201508/t20150829_224219.html
- 141 Bisagni Environmental Enterprise, China's Growing Green Building Industry and How U.S. Companies Can Get Involved (July 2015)
- 142 U.S. Green Building Council, Benefits of Green Building (2017), <http://www.usgbc.org/articles/green-building-facts>
- 143 Inhabitat, Meinho, B., World's Largest Integrated Photovoltaic (BIPV) Project Online (21st July 2010)
- 144 CBRE Research, The New Era of Green Buildings in China (June 2015)
- 145 Passive House Institute, Passive Houses in Chinese Climates (2016)
- 146 奥雅纳, 深圳证券交易所: 建筑旨在实现最高的绿色建筑标准 (2017 年)
- 147 美国绿色建筑委员会 Crea, J., World's second largest building, Shanghai Tower, achieves LEED Platinum (14th December 2015)
- 148 Skanska, How we measure green (2016), <http://www.skanska.co.uk/about-skanska/sustainability/green/how-we-measure-green/>
- 149 Zheng, Lina et al. Characterizing The Generation and Flows Of Construction And Demolition Waste In China. Construction and Building Materials 136 (2017): 405-413.
- 150 World Business Council for Sustainable Development, The Cement Sustainability Initiative, Recycling Concrete (2015)
- 151 ArchDaily, Rawn, E., Material Masters: The Traditional Tiles of Wang Shu & Lu Wenyu (2015), <http://www.archdaily.com/638948/material-masters-amateur-architecture-studio-s-work-with-tile>
- 152 Dezeen, Hobson, B., Wang Shu's Ningbo History Museum built from the remains of demolished villages (18th August 2016)
- 153 同上
- 154 国际能源署, Building Energy Use in China: Transforming Construction and Influencing Consumption to 2050 (2015)
- 155 能源基金会, Policy Research on Construction Waste Recycling and Reutilization (30th June 2014)
- 156 中国政府网,《国家发展改革委关于印发“十二五”资源综合利用指导意见和大宗固体废物综合利用实施方案的通知》, http://www.gov.cn/zwggk/2011-12/30/content_2033653.htm
- 157 《中国日报》, China's car ownership reaches 172 million (26th January 2016)
- 158 CNet, Will the China's Car Population Peak With Regulatory Caps? (5th January 2016)
- 159 商业内幕网站, Shead, S., The 25 most congested cities in the world (21st February 2017)
- 160 《华尔街日报》, In China, Air Pollution Rules Spur Big Car Purchases (7th August, 2013), <https://www.wsj.com/articles/in-china-air-pollution-rules-spur-big-car-purchases-1375906386?tesla=y>

- 161 China Plus, Hu, Y., Beijing tops China's longest commutes in 2017: study (27th January 2018)
- 162 EU SME Centre, China-Britain Business School, The Automotive Market in China (June 2015) https://www.ccilc.pt/sites/default/files/eu_sme_centre_sector_report_-_the_automotive_market_in_china_update_-_may_2015.pdf
- 163 《经济学人》, Where India's and China's energy consumption is heading (24th November 2016)
- 164 亚洲开发银行, Zhang, Q. & Crooks, R., Toward an Environmentally Sustainable Future: Country Environmental Analysis of the People's Republic of China (2012)
- 165 《南华早报》, Air pollution suspected for sharp rise in China lung cancer rate (11th August 2017)
- 166 Hunt, A., et al., Social Costs of Morbidity Impacts of Air Pollution, OECD Environment Working Papers, No. 99, OECD Publishing, Paris (19th January 2016)
- 167 Eichhorst, U. & Bongardt, D., Draft MRV Blueprint for Urban Passenger Transport NAMAs (8th November 2015)
- 168 Hao, H., et al., Regional disparity of urban passenger transport associated GHG (greenhouse gas) emissions in China: A review (31st January 2014)
- 169 International Business Times, Whitman, E., China Traffic Deaths: More Than 200,000 Annual Fatalities [sic] In Road Accidents, World Health Organization Says (6th May 2015)
- 170 《哈佛商业评论》, Car Density on China's Roads Rivals That of Los Angeles (August 2013), <https://hbr.org/2013/08/car-density-on-chinas-roads-ri>
- 171 同 198
- 172 Bain & Company, Tsang, R. & Boutot, P.-H., China New Mobility Study 2015 (24th March 2015)
- 173 麦肯锡, Heck, S., et al., Resource Revolution: How to Capture the Biggest Business Opportunity in a Century (2014)
- 174 TechCrunch, Russell, J., Alibaba unveils its first smart car — and it's available for pre-order now (6th July, 2016)
- 175 美国全国广播公司财经频道, Kharpal, A., Chinese tech titan Baidu is opening up its driverless car tech to challenge Google, Tesla (19th April 2017)
- 176 Roland Berger, Think: Act: Car-sharing in China (2017) https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_tab_car_sharing_china.pdf
- 177 《中国日报》, Car-sharing services taking the fast lane in China (15th February 2017)
- 178 友友用车, 《友友用车获得 1000 万美元的 A 轮融资, 一年内将渗透到所有一线城市》(2014 年 9 月 24 日)
- 179 Amsterdam Round Tables and McKinsey & Company, Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase? (April 2014)
- 180 滴滴研究院和第一财经, 《中国智能出行 2015 大数据报告》(2016 年 1 月 20 日)
- 181 《南华早报》, He, H., China's ride-hailing market hits a speed bump after subsidies cut, regulations imposed (28th December 2016)
- 182 《金融时报》网站, China's bicycle-sharing boom poses hazards for manufacturers (4th May 2017), <https://www.ft.com/content/bfba9f6e-299c-11e7-9ec8-168383da43b7>
- 183 《卫报》, Van Mead, N., Uber for bikes: how 'dockless' cycles flooded China — and are heading overseas (22nd March 2017)
- 184 《福布斯》, Hsu, S., New Regulations May Help China's Bike Sharing Companies To Thrive (7th August 2017)
- 185 Eichhorst, U., and Bongardt, D., Draft MRV Blueprint for Urban Passenger Transport NAMAs (8th November 2015)
- 186 白宫, FACT SHEET: The US and China Issue Joint Presidential Statement on Climate Change with New Domestic Policy Commitments and a Common Vision for an Ambitious Global Climate Agreement in Paris (25th September 2015),
- 187 Eichhorst, U. & Bongardt, D., Draft MRV Blueprint for Urban Passenger Transport NAMAs (8th November 2015)
- 188 Techwire Asia, Vella, H., China's new roadmap: A clear sign autonomous vehicles are going to be huge? (27th October 2016)
- 189 麦肯锡, Hannon, E., An integrated perspective on the future of mobility (October 2016)
- 190 中国政府网, 2015 年中国私人汽车保有量达到 1240 万 (2016 年 1 月 26 日)
- 191 中国政府网, 中国的停车位至少缺五千万 (2015 年)
- 192 中国中小企业信息网, “互联网和停车场”开辟了市场, 专注于四种发展模式 (2016 年)
- 193 北欧半导体, Wireless smart occupancy platform employs Nordic Bluetooth low energy technology to enable parking space control for rental and sharing (25th January 2017)
- 194 运输与发展政策研究所, 什么是停车位共享? (2014 年)
- 195 纽约时报, Guo, O., Want to Drive in Beijing? Good Luck in the License Plate Lottery (28th July 2016)
- 196 北京市政府, 北京工作日高峰时段交通管理措施 (2017 年)
- 197 He, D., et al., Energy use of, and CO2 emissions from China's urban passenger transportation sector — Carbon mitigation scenarios upon the transportation mode choices, Volume 53, pp.53–67 (July 2013)
- 198 昆明市呈贡区人民政府, 昆明呈贡新区建设低碳城市实践 (2016 年 5 月)
- 199 Duan, X., 宜昌 BRT 案例研究 - 亚行网络研讨会材料 (2016 年)
- 200 宜昌交通运输与发展政策研究所 (2017 年)
- 201 宜昌交通运输与发展政策研究所, 宜昌 BRT 走廊发展战略 (2016 年)
- 202 同上
- 203 Lei, T. & Thakuriah, P., Ridership effects of real-time bus information system: A case study in the City of Chicago (2012)
- 204 Brakewood, C., et al., The Impact of Real-Time Information on Bus Ridership in New York City (19th November 2014)
- 205 Watkins, K., et al., Where Is My Bus? Impact of mobile real-time information on the perceived and actual wait time of transit riders (October 2011)
- 206 宜昌交通运输与发展政策研究所 (2017 年)
- 207 艾伦·麦克阿瑟基金会, The Circular Economy Applied to the Automotive Industry, (24th July 2013)
- 208 Kripli, J., 6th China Remanufacturing Summit (27th May 2016), https://c.ymcdn.com/sites/apra.org/resource/resmgr/Events/6th_China_Reman_Summit_5-27-.pdf
- 209 同 208
- 210 艾伦·麦克阿瑟基金会, Open Motors, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>
- 211 Hovis M., Inside Evs, EV vs ICE Maintenance — The First 100,000 miles, (2013)

- 212 Fu, A., The Role of Electric Two-Wheelers in Sustainable Urban Transport in China: Market analysis, trends, issues, policy options (2014)
- 213 TechNews, Didi-Uber Works with China Rental Services to Bring 20,000 Electric Cars on the Road (15th September 2016)
- 214 Electrek, Lamburt, F., Beijing wants to replace its 70,000 taxis with electric vehicles to fight local air pollution (28th February 2017), <https://electrek.co/2017/02/28/beijing-electric-taxis-air-polution/>
- 215 Futurism, Sanders, R., Get Ready. Electric Cars are About to Takeover China(23rd December 2016)
- 216 《中国日报》, Jing, S., China further opens auto batteries, electronics to foreign investment (12th August 2016)
- 217 Energypost, Mathews, J., China's continuing renewable energy revolution – can it save the world? (13th September 2016)
- 218 自然资源保护协会, Finamore, B., Paris Climate Agreement Explained: Next Steps for China (12th December 2015)
- 219 International council on clean transportation, Adjustment to subsidies for new energy vehicles in china (May 2017)
- 220 Ballard, Ballard Inks \$11M Deal With Broad-Ocean For 200 Fuel Cell Engines in China Market (6th April 2017)
- 221 Bloombury Live, Pearson, N., China's Buses Bolster Ballard's Three-Decade Quest for Hydrogen (27th March 2017)
- 222 中国客车 (英文版), Foton AUV Leads Hydrogen Fuel Cell Buses (17th January 2017)http://www.chinabuses.org/2017/buses_0117/10853.html
- 223 ASC Publications, Hou, H., et al., Environmental Implication of Electric Vehicles in China (24th May 2010)
- 224 新浪, 《深圳成全球首个公交全电动化大城市》(2017年12月28日)
- 225 世界资源研究所, Lu, L., et al., How Did Shenzhen, China Build World's Largest Electric Bus Fleet? (4th April 2018)
- 226 新华社, 《深圳明年底将全面电动化公交车》(2016年)
- 227 REPIC, Grütter, J., Real World Performance of Hybrid and Electric Buses (2014)
- 228 深圳市发展和改革委员会, 《深圳市2016年新能源汽车推广应用财政支持政策》(2016年)
- 229 深圳市人民政府, 《深圳市新能源公交车示范推广期运营补贴办法》(2016年)
- 230 同 265
- 231 Williams, M., Mobility in a global city: Making sense of Shanghai's growing automobile-dominated transport culture (February 2016) https://shanghai.nyu.edu/sites/default/files/urban_stud-2016-williams-0042098016637568.pdf
- 232 Alexander, B., et al., Working from 9 to 6? An analysis of in-home and out-of-home working schedules (10th January 2010)
- 233 Valenduc, G. & Vendramin, P., ICT, flexible working and quality of life (2001)
- 234 Wiley Online Library, Messenger, J.C. & Gschwind, L., Three generations of Telework: New ICTs and the (R) evolution from Home Office to Virtual Office (15th November 2016)
- 235 Bloom N., et al., Does Working from Home Work? Evidence from a Chinese Experiment (18th December 2012)
- 236 麦肯锡全球研究院, Woetzel, J., et al., China's choice: capturing the \$5 trillion productivity opportunity (June 2016)
- 237 IHS Global Insight WIS data; McKinsey & Company analysis
- 238 麦肯锡, Goedde, L., et al., Global agriculture's many opportunities (2015)
- 239 麦肯锡全球研究院, Woetzel, J., et al., China's choice: capturing the \$5 trillion productivity opportunity (June 2016)
- 240 同上
- 241 Singh, A., et al., Farm Size and Productivity: Understanding the Strengths of Smallholders and Improving Their Livelihoods, Economic and Political Weekly (25th June 2011), Volume 46, Issue 26-27
- 242 麦肯锡, Analysis based on its Global Food Loss & Waste tool
- 243 麦肯锡, Analysis based on Liu, G., Food losses and food waste in China: a first estimate (15th June 2013)
- 244 世界银行 / 联合国粮农组织, Fertilizer consumption statistics (visited 9th October 2017), <https://data.worldbank.org/indicator/AG.CON.FERT.ZS>
- 245 路透社, Patton, D., China farm pollution worsens, despite moves to curb excessive fertilisers, pesticides (14th April 2015)
- 246 Strokal, M., et al., Alarming nutrient pollution of Chinese rivers as a result of agricultural transitions, Environmental Research Letters (19th February 2016), Volume 11, Number 2
- 247 Yan, M., et al., Farm and product carbon footprints of China's fruit production—life cycle inventory of representative orchards of five major fruits, Environmental Science and Pollution Research (23rd March 2016)
- 248 路透社, Patton, D., More than 40 percent of China's arable land degraded: Xinhua (4th November 2014)
- 249 世界银行, Household final consumption expenditure (constant 2010 US\$) <https://data.worldbank.org/indicator/NE.CON.PRVT.KD?locations=CN>
- 250 世界银行, GDP per capita, constant 2010 US\$ <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KD?locations=CN>
- 251 《卫报》, Milman, O. & Leavenworth, S., China's plan to cut meat consumption by 50% cheered by climate campaigners (20th June 2016)
- 252 Beef consumption is expected to rise by 47% in the period to 2030. Wild Aid, Eating for tomorrow – How China's food choices can help mitigate climate change (2016)
- 253 《卫报》, Milman, O. & Leavenworth, S., China's plan to cut meat consumption by 50% cheered by climate campaigners (20th June 2016)
- 254 世界银行, Prevalence of undernourishment (% of population) <https://data.worldbank.org/indicator/SN.ITK.DEFC.ZS?locations=CN>
- 255 麦肯锡全球研究院, Overcoming obesity: An initial economic analysis (November 2014)
- 256 据本报告所做分析
- 257 美国农业部对外农业服务局, Production, Supply & Distribution, China Soybean Domestic Consumption
- 258 《中国日报》, China's soybean imports account for 90% of total demand (14th April 2016)
- 259 美国农业部对外农业服务局, China: Growing Opportunities in China for U.S. Food-Grade Soybeans (24th August 2017)

- 260 Zion Research, Plastic Packaging (Rigid Plastic Packaging and Flexible Plastic Packaging) Market for Food & Beverages, Industrial, Household Products, Personal Care, Medical and Other Applications – Global Industry Perspective, Comprehensive Analysis and Forecast, 2014–2020 (2016)
- 261 PackWebAsia.com, Chinese flexible packaging market to hit US\$12bn by 2019 (16th May 2016)
- 262 艾伦·麦克阿瑟基金会, Urban Biocycles (28th March 2017), www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/urban-biocycles
- 263 Marketing China, The coffee market explodes in China (5th July 2016)
- 264 International Coffee Organization, Coffee in China (10th August 2015), www.ico.org/documents/cy2014-15/icc-115-7e-study-china.pdf
- 265 米兰市政府, Food waste recycling in a densely populated European city: the case study of Milan (2015) http://uk.novamont.com/public/Documentation/The_case_study_of_Milan.pdf
- 266 对江苏洁净环境科技有限公司李凡（音）的采访
- 267 环卫科技网:《餐厨垃圾处理“苏州模式”是怎样炼成的》(2016年5月10日), <http://www.cn-hw.net/html/china/201605/53230.html>
- 268 同上
- 269 Hitchman, J, Community supported agriculture thriving in China (9th June 2015)
- 270 Health and Safety in Shanghai, Shanghai Organic Farm
- 271 世界自然基金会, Jacobson, M., Shanghai urban farming (1st March 2012)
- 272 Ensia, Royte, E., Urban farming is booming, but what does it really yield? (27th April 2015)
- 273 Sustania, A guide to 100 sustainable solutions (2016)
- 274 Buchanan, D. & Omaye S., Comparative Study of Ascorbic Acid and Tocopherol Concentrations in Hydroponic- and Soil-Grown Lettuces, Food and Nutrition Sciences (October 2013), Volume 4, No. 10, pp.1047–1053
- 275 EcoWatch, Chow, L., 5 Ways Vertical Farms Are Changing the Way We Grow Food (10th March 2015)
- 276 Liu, T., et al., Rooftop production of leafy vegetables can be profitable and less contaminated than farm-grown vegetables, Agronomy for Sustainable Development (September 2016), 36: 41
- 277 对绿源天兴（音）生态农场总裁张志旭（音）的采访
- 278 同上
- 279 Huang, J., et al., Long-term reduction of nitrogen fertilizer use through knowledge training in rice production in China, Agricultural Systems (May 2015), Volume 135, pp.105–111
- 280 Liu, G., Food loss and waste in China: A first estimate (2014)
- 281 路透社, Gu, H., China to eliminate most open air grains storage to cut losses (3rd November 2016)
- 282 同上
- 283 Liu, B.-I., et al., Contemporary Logistics in China, Current Chinese Economic Report Series (2014)
- 284 中商情报网,《2015 冷链物流企业百强排名》, (2015年11月13日) <http://www.askci.com/news/chanye/2015/11/13/145158jff0.shtml>
- 285 Chicago Tribute, Eng, M., Most produce loses 30 percent of nutrients three days after harvest (10th July 2013)
- 286 中国农业信息网,《爱尔兰农业科技创新的成功经验对中国的借鉴与启示》(2016年1月4日), www.agri.cn/V20/ZX/sjny/201601/t20160104_4974312.htm
- 287 农业部 2016 年部门预算 (2016 年)
- 288 联合国商品贸易统计数据库, <https://comtrade.un.org/>
- 289 Gustavsson, J., et al., Global food losses and food waste, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2011)
- 290 Rafiq, S., et al., Citrus peel as a source of functional ingredient: A review, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences (5th August 2016)
- 291 中国新闻网,《专家: 超市不妨设临期食品专柜 应尽到提醒责任》, <http://www.chinanews.com/cj/2017/02-14/8149247.shtml>
- 292 联合国粮农组织, Date marking and food waste
- 293 麦肯锡,《2016 年中国消费者调研报告——加速前行: 中国消费者的现代化之路》(2016 年 3 月)。该报告是在对 1 万名 18-44 岁城市居民调查基础上写成的, 样本范围覆盖中国大部分地区和一、二、三、四线城市
- 294 Yin, S., et al., Consumer trust in organic milk of different brands: the role of Chinese organic label, British Food Journal (2016) Volume 118, Issue 7, pp.1769–1782
- 295 欧睿国际, Organic food sales by country (2017)
- 296 麦肯锡全球研究院, Overcoming obesity: An initial economic analysis (November 2014)
- 297 同 335
- 298 同 335
- 299 麦肯锡, Insight China, Annual Consumer Studies (2012, 2015)
- 300 同上
- 301 中国政府“学生营养改善计划”, <http://tsf.cdrf.org.cn/Content/Detail/58/48/851>
- 302 Lehmann, S., Low carbon districts: Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure, City, Culture and Society (March 2014), Volume 5, Issue 1, pp.1–8
- 303 Choi, T.-M., Fast Fashion Systems: Theories and Applications, Institute of Textiles and Clothing (2017 年 4 月 16 日)
- 304 2014 年纤维产量超过 5000 万吨。Lu, S., FASH455 Global Apparel & Textile Trade and Sourcing, State of China's textile and Apparel (T&A) Industry, (2016 年 1 月)
- 305 新华财经, 中国化学纤维工业协会将于 9 月底完成化学纤维行业 2016-2020 计划 (2015 年 9 月 14 日)
- 306 Lu, S., FASH455 Global Apparel & Textile Trade and Sourcing, State of China's textile and Apparel (T&A) Industry (2016 年 1 月)
- 307 同上
- 308 FPT Securities, Van Tot, B., Textile & Apparel Industry Report – Opportunities for Breakthrough (2014 年 4 月)
- 309 商务部综合司,《进出口简要情况》(2017 年)
- 310 国际贸易促进委员会纺织行业分会,《统计数据》(2017 年)
- 311 Lu, S., FASH455 Global Apparel & Textile Trade and Sourcing, State of China's textile and Apparel (T&A) Industry, (2016 年 1 月)
- 312 同上
- 313 同上
- 314 荷兰王国, China's Fashion Industry: An overview of trends, opportunities, and challenges, Shanghai (2014)
- 315 Lu, S., FASH455 Global Apparel & Textile Trade and Sourcing, State of China's textile and Apparel (T&A) Industry, (Updated in January 2016)

- 316 同上
- 317 同上
- 318 Messe Frankfurt Exhibition GmbH, Jänecke, M., Technical Textiles & Nonwovens – a global market overview (2016)
- 319 美国国际贸易署, 2016 Top Markets Report – Technical Textiles Country Case Study (2016)
- 320 伦敦艺术大学, Textile resource guide – Textile Supply Chain (2012)
- 321 FPT Securities, Van Tot, B., Textile & Apparel Industry Report – Opportunities for Breakthrough (April 2014)
- 322 荷兰王国, China's Fashion Industry: An overview of trends, opportunities, and challenges, Shanghai (2014)
- 323 The Boston Consulting Group, Lui, V., et al., Dressing Up – Capturing the Dynamic Growth of China's Fashion Market (July 2011)
- 324 同 351
- 325 麦肯锡, Barton, D., et al., Mapping China's middle class (June, 2013)
- 326 同 351
- 327 麦肯锡, Atsmon, Y. & Magni, M., Meet the 2020 Chinese Consumer (March, 2012)
- 328 The Boston Consulting Group, Lui, V., et al., Dressing Up – Capturing the Dynamic Growth of China's Fashion Market (July 2011)
- 329 绿色和平, Cobbing, M. & Vicaire, Y., Timeout for fast fashion, Hamburg (2016)
- 330 同上
- 331 麦肯锡, Wang, K., et al., How savvy, social shoppers are transforming Chinese e-commerce (April 2016)
- 332 麦肯锡全球研究院, Woetzel, J., et al., China's digital economy: A leading global force (August 2017)
- 333 同 371
- 334 《南华早报》, China's tiered city system explained (2013)
- 335 同 371
- 336 同 372
- 337 同 362
- 338 同 371
- 339 同上
- 340 荷兰王国, China's Fashion Industry: An overview of trends, opportunities, and challenges, Shanghai (2014)
- 341 中国循环经济协会, 中国每年产生 2600 万吨垃圾 (2016 年)
- 342 《中国循环经济》, 《废旧纺织品回收空间巨大》(2017 年)
- 343 《经济学人》, Waste disposal: Keep the fires burning (25th April 2015)
- 344 集思共利企业管理咨询公司, 《中国垃圾填埋场走向末路: 垃圾将何去何从?》(2017 年 2 月 14 日)
- 345 中国网(英文版), Zhang, Y., Beijing running out of landfill space (2009 年 6 月 9 日)
- 346 公众环境研究中心, Green Choice Apparel Supply Chain Investigation – Draft Report: Cleaning up the Fashion Industry (2012 年 4 月 9 日)
- 347 自然资源保护协会, Greer, L., et al., The textile industry leaps forward with Clean by Design: less environmental impact with bigger profits (April 2015)
- 348 同 386
- 349 同上
- 350 自然资源保护协会, Genasci, L., Sustainable Apparel's Critical Blind Spot (2012 年 10 月 10 日)
- 351 同上
- 352 同 386
- 353 自然资源保护协会, Greer, L., et al., The textile industry leaps forward with Clean by Design: less environmental impact with bigger profits (April 2015)
- 354 中国水风险, The Environmental Cost of Clothes (2011 年 4 月 18 日)
- 355 同 386
- 356 世界经济论坛, 彭宁顿, J., The numbers that make China the world's largest sharing economy (2017 年 6 月 25 日)
- 357 MarketMedia, Chinese Online Dress Rental Platform MSParis Raises US\$18 Million Funding Led By Northern Light Venture (2017 年 2 月 16 日)
- 358 36Krypton, The sharing economy: cars, rooms, and tables can be shared, so why not a dress? (2015 年 4 月 24 日)
- 359 NextUnicorn, Chinese women's clothing rental platform – Dora's Dream closes US\$12 million series A (2nd March 2017)
- 360 CrunchBase, 衣二三 (2017)
- 361 《南华早报》, Tao, L., China clothes sharing start-up YCloset secures US\$50m in new funds (7th September 2017)
- 362 中金投(英文版), Yue, P., Legend Leads \$12M Round In Chinese Women's Clothes Rental Platform Dora's Dream (2nd March 2017)
- 363 采访 Doris Ke, 衣二三 (2017 年)
- 364 麦肯锡, Wang, K., et al., How savvy, social shoppers are transforming Chinese e-commerce (April, 2016)
- 365 Pearson, Murphy, P.R. & Knemeyer, A.M., Contemporary Logistics, 12th Edition (2018)
- 366 Circular Economy, Circle Textiles – closing the loop for post consumer textiles (2017)
- 367 DESSO, Carpet leasing (2016)
- 368 MEWA, MEWA Service System: A single source for everything – rent from MEWA (2017)
- 369 H&M 集团, Recycle your clothes (2017)
- 370 Hilaturas Ferre, Certificate of Compliance (2016)
- 371 艾伦·麦克阿瑟基金会, Mud Jeans, Pioneering a lease model for organic cotton jeans (2017)
- 372 Oakdene Hollins, Closed loop fibre recycling – current status and future challenges (2013 年 3 月)
- 373 Fletcher, K., Sustainable fashion and textiles: design journeys (2014)
- 374 中国循环经济协会, 《纺织业废品回收空间巨大》(2017 年)
- 375 新浪网, 《2011 年我国扔掉的旧衣服约有 2600 万吨》(2011 年)
- 376 艾伦·麦克阿瑟基金会, 《新纺织经济》(2017 年)
- 377 搜狐, 《我们每年产生上千万吨的旧衣服, 到底该怎么办?》(2017 年)
- 378 今日头条, 《服装零废弃 – “绿袋”让丢弃的衣服展开可持续的关怀之旅》(2015 年)
- 379 赫芬顿邮报, Campbell, L., How You Can Give Your Old Clothes To H&M For Recycling (30th January 2017)
- 380 国家发展和改革委员会, 关于印发《循环发展引领行动》的通知(2017 年 5 月 4 日), http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201705/t20170504_846514.html

- 381 中国循环经济协会,《回鱼——废旧纺织品互联网+交易平台》(2017年)
- 382 采访上海缘源实业有限公司(2017年)
- 383 好奇心日报,《那些你不要的衣服都去哪儿了?》(2016年3月3日)
- 384 采访浙江佳人新材料有限公司
- 385 Floor Covering Weekly, Herlihy, J., From fishnets to carpet, Aquafil's newest nylon is 100% recycled (2014年5月22日)
- 386 中国化纤信息集团(英文版), Recycled chemical fiber developing direction in the 13th 5-year plan (2015年11月10日)
- 387 Rieter, Five reasons why automation is the future of textile manufacturing (2016)
- 388 WRAP, Valuing Our Clothes: The True Cost of How We Design, Use and Dispose of Clothing in the UK (2012)
- 389 Circle Economy, Circle Textiles – closing the loop for workwear (2016)
- 390 麦肯锡, Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector (2015)
- 391 Aljazeera, Middlehurst, C., Robotics revolution rocks Chinese textile workers (16th June 2015)
- 392 《经济学人》, 3D printing scales up (7th September 2013)
- 393 Loughborough University, Revolutionary 3D printed fashion to be developed at Loughborough University (18th April 2016)
- 394 Lu, S., FASH455 Global Apparel & Textile Trade and Sourcing, China's 13th Five-Year Plan for Its Textile and Apparel Industry: Key Numbers (4th October 2016)
- 395 中国水风险, Water Ten & Fashion: 8 Reasons to Leap or Fall (16th June 2015)
- 396 Ecotextile, Mowbray, J., Pollution regulations hit China textile output (16th June 2015)
- 397 同 435
- 398 Aljazeera, Middlehurst, C., Robotics revolution rocks Chinese textile workers (2015年6月16日)
- 399 Solidaridad, Better Mill Initiative – Phase 1 Results (2015)
- 400 同上
- 401 自然资源保护协会, Greer, L., et al., The textile industry leaps forward with Clean by Design: less environmental impact with bigger profits (April, 2015)
- 402 同上
- 403 同上
- 404 Solidaridad, Better Mill Initiative – Phase 1 Results (2015)
- 405 《华尔街日报》, Chu, K., Chinese Apparel Makers Face Pressure to Reduce Water Pollution (2nd June 2015)
- 406 自然资源保护协会, Greer, L., et al., The textile industry leaps forward with Clean by Design: less environmental impact with bigger profits (April, 2015)
- 407 中国水风险, Pollution: It Doesn't Pay to be Naughty (10th December 2014)
- 408 同上
- 409 《中国环境统计报告》
- 410 《人民日报》,《我国水污染现状调查: 3.6亿人难寻安全饮用水》(2005年)
- 411 花王,《中国洗衣实际情况调查 报告 I (以 852 户城市家庭为调查对象)》(2010年)
- 412 同上
- 413 花王,《中国洗衣实际情况调查 报告 II (以 852 户城市家庭为调查对象)——洗衣的具体情况》(2010年)
- 414 同 451
- 415 自然资源保护协会, Greer, L., et al., The textile industry leaps forward with Clean by Design: less environmental impact with bigger profits (April, 2015)
- 416 同上
- 417 同上
- 418 世界银行, Hoornweg, D. & Bhada-Tata, P., What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management (March, 2012)
- 419 艾伦·麦克阿瑟基金会,《新纺织经济》(2017年)
- 420 The Globe and Mail, Sinopoli, D., How a 'creativity revolution' is changing China's cheap-clothing reputation (22nd May 2015)
- 421 麦肯锡, Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector (2015)
- 422 Rieter, Five reasons why automation is the future of textile manufacturing (2016)
- 423 Fletcher, K., Sustainable fashion and textiles: design journeys (2014)
- 424 Refinity, Raincoat – Dutch Spirit (November 2009 – January 2011)
- 425 The Textile Institute, Handbook of Technical Textiles (2000)
- 426 WRAP 的采访
- 427 WRAP, Graduate designer has it all sewn up and wins sustainable clothing design award (12th March 2015)
- 428 绿色和平, Cobbing, M. & Vicaire, Y., Timeout for fast fashion, Hamburg (2016)
- 429 Lancaster University, Sotayo, A., et al., Carpet recycling: a review of recycled carpets for structural composites (2015)
- 430 Fletcher, K., Sustainable fashion and textiles: design journeys (2014)
- 431 欧盟, Eco-innovation Action Plan, Clothing project explore the circular economy for textiles (18th March 2014)
- 432 WRAP, Technologies for sorting end of life textiles – A technical and economic evaluation of the options applicable to clothing and household textiles (19th May 2014)
- 433 采访 H&M
- 434 Fletcher, K., Sustainable fashion and textiles: design journeys (2014)
- 435 采访 Cyndi Rhoades, Worn Again 创始人兼 CEO
- 436 H&M 集团, Technological breakthrough: Successful method found for recycling blend textiles into new fibres (11th September 2017)
- 437 Valvan, FIBERSORT
- 438 Valva, Introducing the FIBERSORT! (2017)
- 439 IVL, New technology may revolutionize textile recycling (28th March 2017)
- 440 Circle Economy, Circle Market: Case Study (2017)
- 441 ECO TLC, Metteurs en Marché (2017)
- 442 采访浙江佳人新材料有限公司
- 443 艾伦·麦克阿瑟基金会,《一个新的纺织品经济: 重新设计时尚的未来》(2017年)

- 444 Reed Electronics Research, Yearbook of World Electronics Data (2017)
- 445 Chinese electronics and appliances industry (6th April 2017) China Industry Information, 2016 analysis of export market for the Chinese electronics and appliances industry (6th April 2017)
- 446 Yuandai, Y., 2016: What is the status of the electronics and appliances market in China? (30th March 2017)
- 447 Xiaozhao, L., The capability distribution for producing electronics and appliances in China: Guangdong is number one, followed by Anhui, Jiangsu, and Shandong (25th April 2017)
- 448 Mining.com, Basov, V., China is burning through its natural resources (26th April 2015)
- 449 国家发展和改革委员会,《关于进一步引导和规范境外投资方向的指导意见》(2017年8月4日)
- 450 Pew Research Center, Poushter, J., China outpaces India in internet access, smartphone ownership (16th March 2017)
- 451 欧睿国际
- 452 欧睿国际
- 453 联合国大学, Baldé, C.P., et al., The global e-waste monitor – 2014: Quantities, flows and resources (2015)
- 454 StEP, Wang, F., et al., E-waste in China: A country report (5th April 2013)
- 455 Resource, Perchard, E., China starts National Sword Campaign to target 'foreign waste' smuggling (23rd February 2017)
- 456 StEP, Wang, F., et al., E-waste in China: A country report (5th April 2013)
- 457 China Money Network, Li, D., Cathay Capital, Fortune Venture Lead \$58M Series D Round In Aihuishou (21st December 2016)
- 458 采访于可利,中国物资再生协会电子产品回收利用分会(2017年)
- 459 财政部,《废弃电器电子产品处理基金征收使用管理办法》(2012年11月6日) http://www.gov.cn/gzdt/2012-05/30/content_2149195.htm
- 460 商务部,电子废弃物管理基金(2009年2月25日)
- 461 环境保护部,《废弃电器电子产品处理企业资格审查和许可指南》(2010年12月9日)
- 462 Research Gate, Meskers, C. & Hagelücken, C., The impact of different pre-processing routes on the metal recovery from PCs, (September 2009)
- 463 DG Environment News Alert Service, Plastics Composition of WEEE and Implications for Recovery (3rd May 2007)
- 464 联合国大学, Baldé, C.P., et al., The global e-waste monitor – 2014: Quantities, flows and resources (2015)
- 465 同上
- 466 上海金桥再生资源市场经营管理有限公司,《互联网+:推广电子废弃物回收》(2015年9月18日)
- 467 《上海电子废弃物回收》(2013年)
- 468 上海金桥再生资源市场经营管理有限公司,概览(2015年9月18日)
- 469 CRR, Revealing '5H recycling system' (13th January 2017)
- 470 再生,《上海实践》
- 471 新浪,《杭州新设大数据资源管理局》(2017年6月)
- 472 中国物资再生协会,揭秘“5H回收体系”(2017年1月13日)
- 473 China Money Network, Li, D., Cathay Capital, Fortune Venture Lead \$58M Series D Round In Aihuishou (21st December 2016)
- 474 国务院总理李克强部署促进共享经济健康发展;2017年7月国家发展和改革委员会公布共享经济指导意见;该指导意见并非正式出台的政策或制度
- 475 Chen, N., Three Shared-Battery Companies Announce Investments on Same Day (10th May 2017)
- 476 联合国开发计划署亚太区, China: Turning E-Trash into Cash (19th August 2016)
- 477 51CTO,《杭州信息产业助推经济转型》(2017年5月9日)
- 478 新浪,《杭州新设大数据资源管理局》(2017年6月)
- 479 艾伦·麦克阿瑟基金会,《实现循环经济——决策者的工具包》(2015年)
- 480 艾伦·麦克阿瑟基金会, SUN and McKinsey Center for Business and Environment, Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe (2015); 艾伦·麦克阿瑟基金会, Circular Economy in India: Rethinking growth for long-term prosperity (2016); 艾伦·麦克阿瑟基金会, Towards the Circular Economy Vol. 1 (2012); 艾伦·麦克阿瑟基金会, Towards the Circular Economy Vol. 2 (2013); The Club of Rome, Wijkman, A. & Skånberg, K., The Circular Economy and Benefits for Society (April 2015); IVA, Resource Efficiency: Facts and Trends Towards 2050 (2015); 荷兰政府, A Circular Economy in the Netherlands by 2050 (14th September 2016); Sitra, Leading the cycle: Finnish road map to a circular economy 2016-2025 (2016)
- 481 凤凰网,《餐厨垃圾处理市场初具规模,行业壁垒仍需打破》(2017年1月13日)
- 482 采访行业专家(2017年)
- 483 新浪,《PPP需要明确的界限》(2017年8月20日)
- 484 Construction Economics and Building, Ke, Y., et al., Factors Influencing the Private Involvement in Urban Rail Public-Private Partnership Projects in China (4th March 2017)
- 485 中国PPP服务平台, PPP项目库(2017年10月)
- 486 北京市住房和城乡建设委员会,《北京市装配式建筑专家委员会管理办法》(2017年1月25日)
- 487 山东省人民政府,《山东省人民政府办公厅关于贯彻国办发[2016]71号文件大力发展装配式建筑的实施意见》(2017年)
- 488 欧盟委员会, Financing energy efficiency (30th November 2016)
- 489 世界资源研究所, Layke J., New Pilot Program Aims to Expand Energy Efficiency in Chinese Cities (29th January 2015)
- 490 Carbon Tax Center, Where Carbon is Taxed (2017)
- 491 Urban Access Regulations In Europe, Impact of Low Emission Zones (2016)
- 492 碳排放披露项目, Putting a price on risk: Carbon pricing in the corporate world (September 2015)
- 493 Feijiu, Government's involvement will help advance e-waste recycling (15th January 2014)
- 494 新乡市人民政府,《新乡市2016年循环经济推进计划》(2016年9月9日)
- 495 Grøn Omstilling, Green Industrial Symbiosis (2015)
- 496 University of Brighton, Wang, Y., Remanufacturing Mission to China (May 2016)
- 497 Kripli, J., 6th China Remanufacturing Summit, Remanufacturing Global Outlook (27th May 2016)
- 498 沃尔沃集团杂志, p36 (January 2016),

- 499 艾伦·麦克阿瑟基金会, The Circular Economy Applied to the Automotive Industry (2013)
- 500 中央人民政府, 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2005年6月21日), 中央人民政府, 《中华人民共和国循环经济促进法》,(2008年8月29日), 住房和城乡建设部,《绿色建筑评价标准》,(2014年)
- 501 Paben J., China announces 'Sword' crackdown on illegal recyclable material imports, Resource Recycling (21st February 2017)
- 502 路透社, Yiu, P., China ban on waste imports leads to piles of paper abroad surging prices in China (28th September 2017)
- 503 Wrap, BSI PAS 100: producing quality compost
- 504 Legifrance, Code de la consommation - Article L121-117 (1st July 2016)
- 505 Trefis Team, Forbes, Is General Motors Looking to expand 'Maven' to China? (November 2016)
- 506 艾伦·麦克阿瑟基金会, Denmark: Public procurement as a circular economy enabler
- 507 新华网,“十三五”规划纲要(2016年3月18日)
- 508 Technode.com, Lew, L., Gadget recycling platforms go for gold with old smartphones (6th March 2017)
- 509 同上
- 510 GreenBiz, Dietz, H., Interface's Net-Works program brings fish net recycling to Africa (14th October 2014)
- 511 清华大学,清华大学循环经济研究院教师建言柴达木绿色循环发展(2017年)
- 512 铁路技术,浙江杭州地铁(2017年)
- 513 世界经济论坛,艾伦·麦克阿瑟基金会,麦肯锡,《新塑料经济:反思塑料的未来》(2016年)
- 514 Sound Recycling, E-waste treatment
- 515 国家发展改革委员会,《中国循环经济最佳实践》(2011年)
- 516 浙江省再生资源回收利用协会,上海电子垃圾回收(2013年)
- 517 Calthorpe Associates, A New Livable China (2011)
- 518 艾伦·麦克阿瑟基金会,《实现循环经济——决策者的工具包》(2015年)
- 519 艾伦·麦克阿瑟基金会, SUN and McKinsey Center for Business and Environment, Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe (2015)
- 520 同上

© 艾伦·麦克阿瑟基金会 2018

详情请见官方网站：

www.ellenmacarthurfoundation.org/cn/