



COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

白皮书

利用第四次工业革命 创新成果推动生产系统 可持续发展

与埃森哲联合呈现

2018年1月



目录

序言	3
前言	4
执行摘要	5
简介	7
研究方法	9
第一章：第四次工业革命产业发展成果与 联合国可持续发展目标	10
汽车行业	10
电子行业	13
食品与饮料行业	15
纺织品、服装和鞋类行业	17
第二章：区域发展机遇	21
欧洲（波兰）	22
非洲（肯尼亚、埃塞俄比亚）	23
亚太地区（印度、泰国、越南）	24
拉丁美洲（阿根廷、墨西哥）	26
第三章：促进可持续生产框架	28
附录	31
附录1：第四次工业革命可持续生产发展成果	31
附录2：研究范围、术语、定义和研究方法	39
尾注	43
致谢	47
参考书目	50

©世界经济论坛

©2018版权所有。

禁止以任何形式或手段复制或传播本出版物的任何部分，
包括影印和录制，或通过信息存储和检索系统进行复制及
传播。

本文所述观点仅代表相关与会者的言论，并不代表本届世
界经济论坛所有参与者的一致意见。

编号190118 - 案例00039558

序言

生产是商业发展的核心命脉，同时也是一把双刃剑，在为人类提供一切生活必需品和便利设施的同时，也在一步步耗尽地球生灵赖以生存的公共资源。“促进可持续生产”项目旨在利用制造业助力实现联合国的可持续发展目标（SDGs），并为企业注入源源不断的竞争活力。第四次工业革命带来的技术进步让我们有更多底气去实现这一目标——它所构建的技术生态体系涵盖海量的数字、物理和生物创新成果。随着创新成果数量激增，高端技术的成本直线下降。以基因组测序技术为例，人类首次基因组测序花费高达27亿美元，而如今只需1,000美元。

在技术进步与技术成本骤降的双重作用下，社会发展进程明显加快。但在实现可持续发展目标和提升企业竞争力方面，哪种因素的影响更甚？这正是本白皮书探讨的核心问题，也是当前世界经济论坛与埃森哲共同致力的事业。本白皮书全面考察了技术发展在助力（或阻碍）“从生产到出库”全流程实现可持续生产方面的作用，并在此基础之上构建了一套全新的工业发展框架，重点突出第四次工业革命中涌现的各项创新成果。该框架不仅有助于量化可持续发展在价值创造方面的潜力，协助政府和企业制定更具针对性的增长战略，还能够助力这些机构为联合国《2030年可持续发展议程》作出更多贡献，全面提高经济和产业竞争力。

本白皮书深入阐述了各国应如何利用第四次工业革命带来的技术进步，在全球各大工业集聚区推动四大制造业部门实现可持续创新并创造更多价值。上述四大制造业部门和工业集聚区是我们研究的立足点，对指导各国从生产系统角度探索可持续发展具有一定的示范性作用。

我们的目标是将研究发现与相关资源用于各国政府主导的可持续生产价值评估试点工作中。时至今日，本项目已步入第三个年头。未来，我们计划在深度区域分析的基础之上，逐步推进相关扶持措施的范围界定工作。

海伦娜·劳伦特（Helena Leurent）

世界经济论坛“制造业的未来”系统行动倡议负责人兼执行委员会成员

安博奥（Omar Abbosh）

埃森哲全球通信、媒体与高科技事业部首席执行官

*安博奥此前担任埃森哲首席战略官

前言

当前，我们面临诸多发展机遇，制造业的“春天”随时可能到来。早在数十年前，科学研究就指出人类经济活动和消费模式可持续性不足。随着经济发展日益全球化，“获取、制造和弃置”的线性商业模式大行其道，全球消费增长逐步抵消了资源效率提升带来的优势。我们发现，全球经济存在消耗资源过度的问题，其资源消耗量是地球每年可再生资源近两倍，这一趋势显然有悖于我们减缓气候变化的目标以及地球资源有限的实际情况。此外，我们还发现了诸多外部社会性问题：许多市场中的就业岗位已流失或被取代，而市场需要很长一段时间才能孕育出新的岗位。此时此刻，我们必须坚定信心，并发扬乐观主义精神，从容解决上述问题。现如今，我们已经培育了足够的社会发展动力，同时获得了公共部门的理解与支持，以及相关技术资源和投资，为制造业打造、实施和变革相应的社会经济系统势在必行。对许多国家而言，2018年至2030年无疑将迎来大好发展契机。未来，各种挑战仍将继续存在并不断变化，但最大的挑战还是我们自身思维方式、想象力和意志力方面的不足。我很荣幸受邀为本白皮书撰写前言，本报告是众多利益相关者通力合作的成果。希望能够借此机会，激励各位同仁携手共建“与地球和谐相处的制造业的未来”。时不我待，立即行动。

安特妮·克莱顿（Annette Clayton），施耐德电气北美地区首席执行官、总裁兼首席供应链官，美国

第四次工业革命不仅能够通过技术为我们创造更多价值、提高生产效率，还能够在全球范围内推进可持续生产和消费，确保惠及全球。各国在这一领域的表现一直不尽如人意。过去，以牺牲地球环境换来的利益为私人攫取，而环境破坏的代价却需要整个社会共同承担。当前，我们正处于扭转这一发展模式的十字路口。政府和企业必须进一步加强合作，共同助力实现联合国《2030年可持续发展议程》制定的共同目标，采取更有效的解决方案应对可持续发展相关议题，确保惠及更多消费者。本白皮书标志着我们已经朝着这一目标迈出了关键的一步，同时也提出了极具前瞻性且切实可行的解决方案，有望推动环境保护和企业竞争力提升齐头并进。

本白皮书所述内容是对2018年世界经济论坛年会主题“在分化的世界中创造共同的未来”的延伸。本次大会旨在邀请各国政商界精英人士共聚一堂，求同存异，携手应对全球当前面临的最大挑战。

一直以来，可持续发展往往被视作一种成本负担。我们必须转变这一观点，承认可持续发展也能带来重大业务机遇，应当成为所有现代商业蓝图的重要组成部分。在某些领域，我们已经逐步走上了正轨。自2016年以来，全球在太阳能和风能技术方面的投入超过了煤炭和石油，但仍需再接再厉。这些成绩能够帮助我们以联合国可持续发展目标为指南，引导全球各国共同迈向更加可持续的未来。

阿朗查·冈萨雷斯·拉亚（Arancha González Laya），国际贸易中心执行董事，日内瓦

第四次工业革命有望彻底颠覆当前的经济发展进程和财富分配状况。新技术正在不断提高社会生产力和生产效率。与此同时，中低技术要求的工作岗位越来越容易被取代。政府领导人必须确保绝不让任何一个人掉队。助力工业中小企业转型，并整合中小型技术供应商以充分挖掘其发展潜力是当今各国面临的重要议题。与此同时，弥合数字化能力差距也是一项重大挑战。各国政府以及相关国际策略应当确保这一重大变革能够惠及全球。

马泰乌什·莫拉维茨基（Mateusz Morawiecki），波兰总理兼财政与发展部长

制造业未来将依托技术创新和可持续发展，借助精心设计的供应链提供优质产品和服务，致力于满足不断变化的消费者需求。宝洁始终致力于提供优质产品和服务，让生活更美好。我们坚信，拥护联合国的可持续发展目标能够帮助企业提高竞争力并创造更多价值。

我们应当充分利用数字、物理与生物技术发展成果，准确预测并把握消费者需求，实现生产运营和物料采购流程无缝连接，尽可能降低对环境的影响。这就要求我们对员工提供辅导和培训，以充分利用新技术。通过以负责任地态度履行上述义务，我们将实现资源的可持续利用并促进社区繁荣发展，从而在整个供应链中创造更多价值。

穆罕默德·萨米尔（Mohamed Samir），宝洁公司印度、中东和非洲地区总裁，阿联酋

概要

就世界经济论坛“塑造制造业的未来”系统行动倡议下“促进可持续生产”项目而言，其最终目标是利用创新增强竞争力、提高效率、增进人类福祉并减少环境破坏。要实现这一目标，必须深化公私部门之间的合作，利用生物、物理和数字技术进步，取得前所未有的发展成果。

本项目将指导全球各国充分利用第四次工业革命的各项发展成果，帮助各个国家/地区和企业积极探索生产系统转型方法，以推动可持续增长、助力实现联合国可持续发展目标并增强自身竞争能力。

第四次工业革命产业发展成果与联合国可持续发展目标

在项目初始阶段，我们重点研究了四大工业部门。从项目研究样本和环境生产力增长潜力角度考虑，研究对象中既有低端制造业部门也有高科技行业¹。基于联合国可持续发展目标，我们发现了一系列能够创造更多价值的新技术²。第二阶段和第三阶段将侧重运用已经掌握的信息来量化创造的经济价值并开展实地项目。

第四次工业革命的哪些技术成果在促进可持续生产方面最具潜力？大部分技术成果均适用于特定行业或地域，本白皮书第一章将对这部分内容进行详细论述。没有任何一项技术足以应对所有制造业部门面临的可持续生产挑战，但以下五大跨行业趋势日益突出：

先进的再制造：物理和数字技术创新实现了高性价比的退货处理、机器人拆卸以及先进的物料分类工艺，可助力打造闭路系统。联网设备能够为设计和工程人员提供反馈信息，以提升产品性能及其耐用性。通过整合这些技术创新成果、优化后的员工系统、人机协作技术以及用于逆向物流管理的数字化追踪系统，可助力提升品牌声誉并降低日益严峻的供应链风险。

新材料：包括新型包装材料、绿色电子产品以及塑料、皮革及肉类的替代品。由于纳米和生物技术、绿色化学与智能实验室技术进步，这些新材料的性能（和性价比）远胜传统材料，很快就会在各行各业发挥更大作用。然而，上述技术进步还取决于新材料加工技术与相关投资从研发到商业化生产阶段的发展步伐。

先进农业：有机原材料生产（例如生物塑料）对土地和水资源的需求日益上升，使得农业食品生产系统成为一个跨行业议题。精准农业、自动化农业和生物技术领域的创新成果最为瞩目。通过整合物联网、数据、分析技术与作物科学，促进从施肥、灌溉、收割到排种全流程的决策优化。先进农业技术不仅能够大幅提升作物产量，还可以通过合理规划解决粮食短缺的问题，确保人类和整个生态系统实现良性发展。

工厂效率：“准黑灯工厂”采用从智能仓储到先进的增材制造等一系列自动化流程，以提高资源生产效率、缩短供应链并降低不可再生资源的消耗量。尽管自动化流程可以助力制造业逐步向需求市场靠拢，我们仍需审慎应对劳动力市场变化。

可追溯性：集成海量传感器和数据标签的区块链等技术可用于从追踪汽车零部件供应源到咖啡果生长时间戳等多个应用场景，助力企业提供关于产品原料、生产工艺和生产人员的多项验证信息。推动数据在整条供应链中自由流通对于构建信任关系、消除低附加值流程、保障小型供应商享有公平收益以及利用逆向物流应用实现再制造和循环利用至关重要。

区域发展机遇

第四次工业革命的发展成果覆盖数字化技术、新材料，以及闭环制造和工厂自动化的创新运营模式等。鉴于第四次工业革命发展成果的覆盖范围之广，我们必须发掘最适合大规模推广的新技术并采取相关措施。

世界经济论坛国家准备状况指数框架的数据和我们的案例研究分析表明，我们必须针对各区域的特殊情况采取相应的第四次工业革命创新成果。我们还探讨了在各区域推广可持续生产实践的具体可能性。为了确保分析对象兼具特殊性和代表性，我们对以下区域进行了深入研究：欧洲（波兰）、非洲（肯尼亚、埃塞俄比亚）、亚太地区（印度、泰国、越南）和拉丁美洲（阿根廷、墨西哥）³。虽然一两个国家的情况分析无法代表整个区域，但我们可以从中发掘一些明显趋势，从而由点到面，根据区域特殊情况采用相应的新技术。

- 在欧洲地区，波兰国内的生产结构相当复杂、贸易网络四通八达、需求强劲且消费者关于生产对环境影响的意识迅速提高。协作机器人、供应链可追溯性等行业创新技术将为该市场带来更多发展机遇。

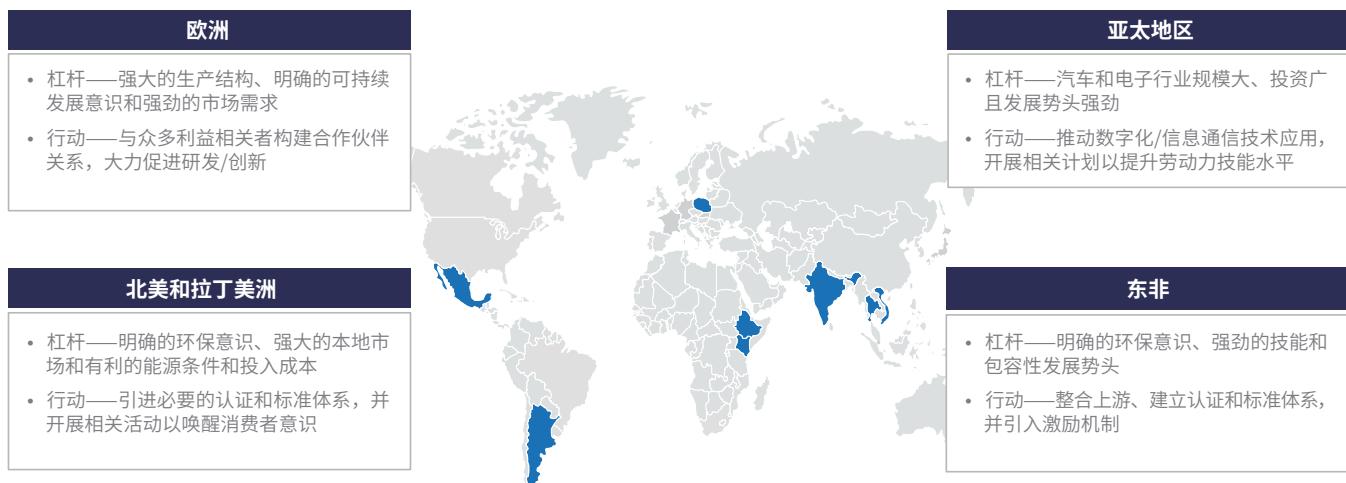
- 在非洲经济区，相比其他国家，肯尼亚和埃塞俄比亚两国更专注提升劳动力的敏捷性、适应能力和可持续性。像肯尼亚这样积极采用农业科技的地区正是推行农业创新成果的沃土。

- 印度、泰国和越南等主要亚太经济体具备规模化生产、较强的外资流入和制造业中心等特点。这些经济体之间的贸易联系十分紧密，可以在对牵制区域经济发展的汽车和电子行业中引进新技术。纺织、服装和农业食品生产等技术应用水平普遍较低的行业也将迎来新发展。

- 墨西哥、阿根廷等拉丁美洲经济体消费需求强劲，实体和技术方面的基础设施均较为完善。这些国家还拥有庞大的肉类加工市场，可以在食品与饮料行业积极引进新技术。

图1总结了各个区域的潜在杠杆点以及相关行动措施。此外，第二章还将提供相关案例分析、企业领导者和政策制定者需要采取的相关行动以及影响。

图1：能够促进可持续生产的区域发展机遇



资料来源：科尔尼研究、埃森哲战略分析

促进可持续生产框架

相比空谈可持续生产，衡量项目进展需要大量投入。2018年，联合国可持续发展高级别政治论坛将对可持续消费和生产领域的12个可持续发展目标进展进行审核。这一即将到来的重要里程碑将促进我们积极开展各项工作。

为确保各国政府和企业圆满完成可持续发展任务，我们构建了首个在线框架以评估第四次工业革命发展成果的商业和可持续发展潜力。该框架旨在：（1）衡量在生产系统中应用特定技术能够创造的所有价值；以及（2）确定可持续发展目标的影响及其相关目标和衡量指标。从而在战略层面凸显可持续发展目标与行业价值创造之间的联系，并进一步扩大第四次工业革命创新成果为整个生产体系带来的诸多优势。

简介

背景

促进可持续生产项目旨在构建合理的生产体系，从而提高生产力和生产效率，同时不断造福社会和环境。

作为世界经济论坛关于“塑造制造业的未来”系统行动倡议的一部分，本项目为制造业各部门领导人提供了一个合作平台，以包容性和可持续性经济增长为出发点塑造制造业的未来。要想实现这一增长目标，必须依托技术创新与推广、高效利用全球公共资源和以人为本的劳动力战略。自2016年成立以来，塑造制造业未来的系统行动倡议全球社区日益多元化，由来自18个行业的50多家企业、27位工业部长及来自顶尖工科大学、工会与相关民间团体的代表构成。该系统行动倡议的其他项目如下：

- **《塑造制造业的未来——国家准备状况》**：揭示推动第四次工业革命创新成果应用与规模化的关键成功因素。
- **《塑造制造业的未来——员工和技能》**：研究不断变化的制造业、技术发展和宏观趋势，突出全球技术供需失衡引发的诸多风险。
- **《塑造制造业的未来——科技与创新》**：基于互联、智能化和灵活自动化三大趋势，研究下游制造业的数字化发展机遇。
- **《塑造东盟地区制造业的未来》**：分析影响东盟成员国制造业的各项趋势以及各国当前的竞争力状况。

本白皮书与上述项目相辅相成，特别需要指出的是，国家准备状况指数框架帮助我们构建并审核了推广区域可持续生产的各项机遇。

目标

本白皮书深入探讨了极具影响力的新技术、区域推广机会和跨部门利益相关者风险价值三大议题，为促进可持续生产项目开展第二、三年工作提供了关键洞察和有效工具。上述工作的核心是构建合理战略框架，助力政府和企业利用生产领域的创新成果推动可持续发展并提高自身竞争力。如何实现这一目标？

必须充分认识新技术对于在特定区域实现可持续发展目标的可能性。本项目的第一份白皮书旨在回答以下三个问题：

- 第四次工业革命将给生产系统带来哪些变化？这些变化又将如何影响可持续发展？
- 哪些地理发展机会可助力大规模利用并拓展可持续发展机遇？
- 第四次工业革命创新成果为企业、社会和环境创造了哪些价值？将如何助力实现可持续发展目标？

我们研究成果表明，必须针对各重点行业制定一系列按照优先顺序排列的新技术并阐明其将为全球可持续发展带来的影响。

范围

本项始于2017年在柏林、大连和纽约举行的社区会议，会议确定了与各利益相关者休戚相关的四个制造业部门，兼顾低端与高技术制造业。这些产业拥有较强的环境生产力、终端用户洞察和未来转型潜力。我们参考经合组织（2005年）的产业技术分类方法（基于研发密度带来的增收和总产量数据）进行了产业技术划分⁴：

- 汽车行业
- 电子行业
- 食品与饮料行业
- 纺织品、服装和鞋类行业

为了确保分析对象兼具特殊性和代表性，我们对以下区域进行了深入研究：欧洲（波兰）、非洲（肯尼亚、埃塞俄比亚）、亚太地区（印度、泰国和越南）和拉丁美洲（阿根廷、墨西哥）。本文附录的研究方法部分确定了研究范围、术语和相关定义。

定义可持续生产

根据1994年奥斯陆专题研讨会定义：

可持续生产是指通过以下方式制造产品并提供服务：
在满足消费者和市场的需求、提升生活品质的同时，尽量减少自然资源和有毒物质的使用、降低废弃物和污染物的排放，避免损害下一代的需求。

结构

本白皮书第一章全面剖析了能够促进可持续生产的40项颠覆性技术成果。

第二章对上述技术成果助力实现可持续生产并提升竞争力的成功案例进行了研究，并发现了在不同区域大规模推行此类最佳行业实践的一系列机遇。

第三章构建了一套定量框架来评估第四次工业革命技术成果为企业带来的益处以及对可持续发展的影响，从而对相关措施划分优先级，并为各国、地方政府和企业战略带来积极影响。

目标群体

本报告主要面向企业领袖、国家与地方政府领导人，从而协助这些决策者规划并引导实施第四次工业革命技术成果，实现经济增长与社会和环境改善两大目标。

后续措施

本项目旨在促进商界、政府和民间团体之间的对话，共同探索工业化与实现可持续发展目标之间的联系，从而切实推动各项以行动为导向的协作项目、解决各类挑战并增进人类福祉。

方法

第一章：第四次工业革命产业发展成果与联合国可持续发展目标

本报告评估框架以联合国可持续发展目标和相关指标为基础。我们采取案头研究与采访的方式，结合相关可持续发展目标对第四次工业革命技术发展成果进行了评估，并阐述其潜在机遇和风险。我们选择了其中14个可持续发展目标（共17个），并将其主要归类为经济、社会和环境三大领域（见图2），用于可持续性评估。上述相关目标和指标已根据目标行业的相关生产系统进行适应性调整。

有关第一章研究方法的完整介绍，请参见附录2。

图2：基于上述三大评估领域划分的生产活动的可持续发展目标

经济影响：



社会影响：



环境影响：



资料来源：埃森哲战略分析

第二章：区域发展机遇

促进可持续生产区域发展机遇评估框架以基于数据的世界经济论坛“制造业的未来”准备状况评估报告为基础，涵盖两个维度：制造业结构（即当前的生产基准）和制造业驱动力（即利用新兴技术推动制造业体系转型的关键因素）。

为发掘推动可持续生产的区域发展机遇，我们收集了相关的案例研究、识别了关键成功因素并根据评估框架的各项杠杆进行调整。随后，我们根据生产数据驱动因素的基准表现，确定了在特定国家推广可持续生产创新的相关变革。

有关第二章研究方法的完整介绍，请参见附录2。

第三章：促进可持续生产框架

促进可持续生产框架可以说是本项目的核心内容（制造业的未来社区成员可使用这一在线可视化工具）。该框架旨在为企业提供能够对可持续发展目标尽享战略管理的方法，全面提高自身的市场竞争力。该框架具备一定的灵活性，其构建方法允许研究人员基于不同的技术影响因素对其进行适应性调整。

该框架采用了专为世界经济论坛数字化产业转型项目所开发的风险价值方法，并将范围扩展到了物理和生物技术，并对其进行适应性调整以解决制造业领域的特殊事项。

通过对可持续发展目标的指标和定义进行深入分析，我们在风险价值框架的最低水平价值杠杆与可持续发展目标之间建立起了联系。我们的目标是发现价值杠杆和可持续发展目标指标之间的因果联系，即证明价值杠杆变更可助力可持续发展目标。

有关第三章研究方法的完整介绍，请参见附录2。

第一章：第四次工业革命产业发展成果与联合国可持续发展目标

在世纪之交到来前的四十年里，人们曾一度认为全球商业将朝着以下方向发展：大宗商品价格随经济增长而下跌、大众生活水平日益提高、股东因公司发展而获益，经济发展一派欣欣向荣。

但随着城市人口和中产阶级消费上升，上述模式发生逆转：导致许多资源严重短缺，水和肥沃的土地等其他资源面临的压力日增。尽管企业在资源利用效率方面有所进步，但在资源保护方面却仍然较为落后。

如今，我们（至少大部分人）已经认识到：当前的全球制造业发展模式难以为继。“获取、制造和弃置”的线性经济发展模式导致严重的资源利用效率低下问题。

我们不妨看看以下数据：全球制造业能源消耗占全球能源消耗总量的54%⁵，其温室气体排放占全球排放总量的五分之一⁶，且产生的工业废料高达全球每年新增废弃物的半数⁷。其生产活动占用了大量天然能源，例如，在过去的三十年里，金属矿石的开采量增加了133%⁸；与此同时，不可再生资源的开采量日益增长，而可再生资源利用量却不断下滑⁹。

提倡绿色增长的创新型生产模式可以大大减轻对环境的破坏，彻底颠覆国内生产总值（GDP）依赖自然资源消耗的传统增长路径。《经合组织2050年环境展望》指出，技术进步确实可以在未来几十年减轻经济发展对资源的依赖程度¹⁰。虽然没有任何一项技术成果能够以一敌百，全面解决上述问题，但我们可以通过构建一系列解决方案以维护全球公共资源并培育产业竞争力。本章将探讨在促进汽车、电子、食品与饮料、以及纺织、服装和鞋类4个产业可持续生产方面最具潜力的第四次工业革命发展成果。

汽车

背景

虽然近年来，汽车行业销售势头强劲，业绩增长迅猛¹¹，但仍然受到了全球经济宏观发展趋势的冲击，包括所有权模式的演变、供需向新兴市场的转移、供应链动态变化以及电动和自动驾驶汽车的发展。相关创新挑战正在颠覆传统利润分配格局，打破原始设备制造商（OEM）和一、二级供应商之间的界限，让车企能够接触到更多新技术。例如，特斯拉最近决定抛开供应商，自行生产Model 3的座椅¹²，颠覆了过去30年以来的合同制造模式¹³。

发达国家和发展中国家的健康、安全和排放法规都在逐步收紧。虽然可持续性往往体现于终端产品的使用，但可持续采购和循环经济对汽车行业的重要性与日俱增¹⁴。电动汽车逐步将行业焦点由废气排放转移到汽车制造、电池生命周期和废弃车辆的环境影响上来，这些领域的技术进步提高了资源利用效率、生产力并降低了生产物料对环境的影响。借助预测型维护、动态流程调整和自动化技术，轻资产型制造模式可提高机器利用率、降低投资需求与碳排放量。

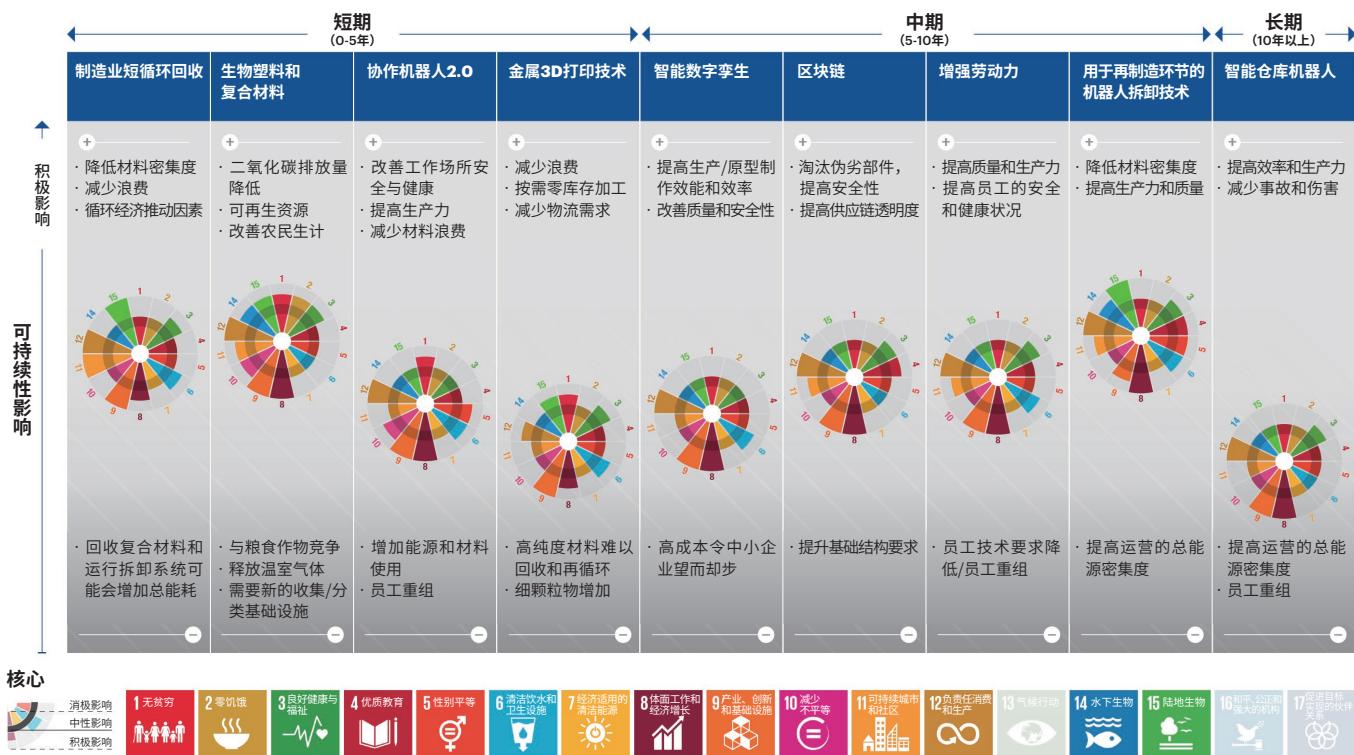
虽然汽车行业遍及全球，但其本质上仍属于区域性产业。经合组织的数据显示，“欧盟国家从其他欧洲国家采购大部分零部件，而北美自由贸易协定成员主要在北美自由贸易区内进行采购。同样的，亚洲制造商通过主要从该地区内部采购零部件，形成了明确的区域一体化现象”¹⁵。基于当前的区域结构，制造商有必要考虑零部件的物流和重量比成本。第四次工业革命技术进步催生了一批规模更小、更灵活、更接近需求中心且有助于降低供应链流量的微型工厂，有望进一步推动本地化生产。

第四次工业革命发展成果

汽车生产流程进步是体现技术创新提高企业效率、竞争力和可持续性的一个典型案例。本研究明确了第四次工业革命利用数字、物理和生物技术创新推动汽车行业生产系统变革的9种方式（图3）。

在下文中，我们将考察最有可能实现汽车行业可持续发展目标并创造更多价值的三大技术（图4）及相应的业务和可持续性发展机遇与挑战。这三项技术分别是短循环回收、生物塑料和复合材料以及用于再制造环节的机器人拆卸技术。

图3：第四次工业革命汽车行业发展的可持续性评估



资料来源：埃森哲战略分析

图4：汽车行业最具发展潜力的三大技术及其简介

进展	简要概述
制造业短循环回收	短循环（即所有回收过程均保留在汽车行业）旨在利用数字平台和就近原则建立多个合作伙伴关系来回收可以（再）制造的材料。当前建立这种短循环进行原材料回收的例子包括钢、铜、纺织品和塑料等，最大限度将回收处理流程保留在当地的汽车行业内部。
生物塑料和复合材料	将较重的金属和塑料部件替换为工程级生物聚合物和/或较轻的天然纤维增强的塑料（全部或部分采用植物原料生产）。例如，结构件可以采用由亚麻纤维和生物环氧树脂与碳纤维进行混合后生成的复合材料，比传统聚合物更轻、更便宜、也更环保。这些材料和部件适用于多种车辆系统，包括动力传送系统。
用于再制造环节的机器人拆卸技术	机器人现已广泛用于汽车制造，但在再制造领域，特别是在关键的拆卸阶段尚未普及。这一领域的进步意味着未来用于再制造的报废产品拆卸流程将变得更容易、更快捷和更具成本效益，从而推动有效的资源利用并实现本行业的循环经济。

资料来源：埃森哲战略分析

在不久的将来，用于再制造环节的**短循环回收技术**最有希望促进可持续生产。在短循环中，回收流程仍限于汽车行业范围内，可通过邻近供应链合作伙伴回收物料并用于制造与再制造环节。要想有效利用这一技术，企

业必须全面整合物理和数字技术（特别是用于监控和管理物料和组件流通状况的数字追踪技术），同时充分利用先进的材料分类加护和高效的机器人技术、协作机器人或工人辅助拆卸系统。

雷诺公司的促增长项目ICARRE 95就是一个典型范例。该项目表明，报废车辆有95%的部件可以回收，85%的部件可再循环利用，从而惠及所有利益相关者^{16、17}。项目创新成果包括专业拆卸工具、车辆和部件可追溯性以及优化后的物流和人工辅助系统（用于识别和拆卸汽车部件）。

“追求汽车产业原材料的高效和循环利用，其意义远大于环境问题。面对有限的自然资源，这是满足日益增长的汽车购买需求的唯一途径。在过去的五年里，循环经济领域的创新成果为提升雷诺集团的行业竞争力和净利润作出了持续性贡献。”

让-菲利普·埃尔米纳（Jean-Philippe Hermine），法国雷诺-日产联盟战略环境规划副总裁

报废车辆回收往往较为分散，主要依赖小型专业供应商。从积极方面来看，促进区域回收有助于降低对区域环境的影响，同时提升企业的总体物料生产力。从其缺点来看，复杂复合材料的回收、额外的库存跟踪和管理工作，以及运行部件拆卸系统需要企业对固定资产进行大规模投资，导致工厂能耗上升。

从长远来看，再制造领域的机器人拆卸技术（在关键拆卸环节采用自动化技术）将在未来将得到更为广泛的应用。这一技术进步意味着用于再制造的报废产品拆卸流程将变得更简单快捷，且成本效益与资源利用效率更高，有助于推动行业循环经济的发展。

生物基塑料和复合材料以可再生资源为基础，在减少温室气体和实现闭环物料使用方面极具潜力。亚麻纤维、碳纤维生物环氧树脂复合材料等生物材料可用于生产比传统聚合物更轻、更便宜、更环保的汽车零部件。与玻璃纤维（48.3MJ/kg）相比，天然纤维在生产过程中能耗更低（11.4 MJ/kg），能够将产品重量降低5-15%，从而减少二氧化碳的排放量¹⁸。用于多种车辆系统，包括动力总成。

未来，生物聚合物产量预计将出现两倍增长，从2013年的510万吨增长到2020年的1700万吨¹⁹。该领域的创新应用案例不断涌现。佛吉亚（Faurecia）和三菱化学控股株式会社（Mitsubishi Chemical）合作开发的BioMat是一种纯生物材料，可用于取代用于生产汽车内饰的石油基塑料²⁰。佛吉亚与法国标致雪铁龙汽车集团（Peugeot-Citroën）合作开发的单向、无纺亚麻的轻型复合材料Flaxpreg可用于生产汽车后座舱的结构地板²¹。此外，奥迪（Audi）、巴斯夫（BASF）和科思创（Covestro）开发了含70%生物质的车身涂层材料²²。这些迅速发展的

领先工艺应归功于绿色化学和化学工程领域取得的进展，其研发阶段的智能实验室技术加速了新型复合材料的开发、制造和测试流程。

“在传统制造业中，产量是可以预计的，因为库存、投入和产出都是固定的。然而，在再制造流程中，生产系统的供需存在着更多的不确定性。电池等电动汽车部件面临的挑战更为严峻，因为电池的库存量必须满足交付需求，但库存剩余的电池会不断老化。”

倪军，美国密歇根大学机械工程教授

瑞典电力公司Vattenfall正在寻找资源利用率更高的碳纤维。在欧洲，汽车二氧化碳排放标准正在促使制造商纷纷寻求新材料，在保证安全性的前提下降低车身重量。Vattenfall还在探索利用再生能源发电生产碳纤维的替代性方法。制造一辆汽车产生的碳污染不亚于行车中的尾气排放²³，原始碳纤维蕴含的能量相对较高，约为200MJ/kg²⁴。最可行的解决方案是利用再可生能源发电产生氢，氢与二氧化碳作用产生甲醇，再用甲醇代替石油生产丙烯。通过这种方式，我们可以利用二氧化碳生产有用的资源，而不是直接将其排放到大气中去。

然而，生物基聚合物和复合材料的应用同样面临诸多挑战。首先，种植用于汽车制造业的作物会与粮食作物的生产构成竞争关系，或将加剧全球、尤其是发展中国家的饥饿、缺水和贫困问题。在进一步推广生物基聚合物应用之前，各利益相关者应当充分考虑这一举措可能带来的更广泛的影响。此外，以生物基塑料取代石油基塑料无法确保降低温室气体排放。生物材料的分解过程以及种植用于汽车制造业作物的过程中产生的农业废弃物，都会释放出甲烷。要全面采用生物聚合物，我们就必须制定有效的回收和再利用计划，尽可能降低对环境的影响。

其他亮点：3D打印技术通过“自下而上”的方式制造产品，从而减少生产废料。相较于传统生产方式，每利用3D打印技术生产一磅产品，就可节省30磅原材料。这一技术还极具成本优势，尤其是在钛、镍合金钢等珍稀金属材料的生产过程中。增材制造（即根据数字设计模型制作3D产品）可以将材料成本降低90%并节约高达50%的能源成本²⁵。到2025年，3D打印有望节约5,930亿美元的制造成本²⁶。

在汽车行业，3D打印技术的应用主要集中在模具、快速制造、原型设计和零部件制造上。例如，奥迪采用3D打印技术按需生产车辆零部件，本田则利用该技术根据客户需求打造定制化产品²⁷。此外，3D打印技术还可以用于生产替换件，及时更换生产线中关键机器上的故障部件，以缩短停机时间。

Local Motors等公司纷纷开始将3D打印技术用于汽车制造²⁸。该公司只需6个月就能研发出一款定制汽车。该公司采用轻资产运营模式，打造全面融合的数字化设计、工程和制造环节，从而缩短产品上市时间并降低了工程成本、资产和资源消耗。

到2019年，这一技术在汽车行业的应用有望创造11亿美元的价值²⁹。到2021年，这一数据将上升至23亿美元³⁰。但目前这一技术尚未完全走向成熟，例如金属3D打印的处理能力较低，反复循环可能会破坏高纯度材料和金属粉末。尽管塑料回收的问题更为严峻，业内已经出现了一些替代性解决方案，例如聚乳酸回收。

加快可持续生产的机遇

随着技术和商业创新日趋融合，汽车产业的再制造已然成为行业焦点，进一步深度整合大有可为。要想实现产业规模化，企业必须把握在逆向物流基础设施和工艺创新方面的投资平衡，并要求整车厂与供应商之间建立起更紧密的合作伙伴关系。在这一全新价值等式中，整车厂应当与供应商共同推进行业变革，并为创新和流程变革提供平台，实现互惠互利。我们可以利用汽车产业区域性分布的特点，推进地方政策扶持的再制造规模化发展计划，推动清洁经济增长。

随着生物基塑料不断接近甚至是超过了预期的性能和成本要求，结合全球粮食安全和土地使用相关挑战，我们必须充分挖掘该技术带来的可持续性优势，趁势推进生物基塑料的规模化应用。因此，有必要促进新材料研发、加大生物材料供应链投资并制定合理的报废品处理计划。行业内和跨行业企业联盟能够为生物基零部件的采购和报废处理提供支持，促进规模化发展。通过为第四次工业革命科技提供跨行业支持，各国政府将有效促进农业食品行业发展。

结合当前工业生产体系的物料流动情况，企业可以考虑采用增材制造技术，打造定制化增材制造网络安全解决方案，以降低知识产权侵权风险。此外，必须执行针对报废品处理计划的监管规定，充分发挥增材制造技术的优势并尽可能降低风险。

电子

背景

电子行业拥有基于高价值产品的复杂全球价值链。该价值链由遍布世界的多家企业构成，这些企业基本上可分为两类：拥有自主品牌的行业领军企业以及负责为这些企业装配产品的合同制造商。大多数行业领军企业位于以日本为代表的发达国家，其竞争对手主要来自新兴市场，中国和其他东亚国家是这一阵营的主力军。据估计，近90%的电子产品研发工作是在亚洲进行的，亚洲在全球电子行业举足轻重的地位由此可见一斑。

电子行业目前面临严峻的环境挑战，包括能源和物料密集度过高，以及化学品使用过量。实际上，70%-80%的个人电子设备温室气体排放都发生在制造阶段³¹。随着个人电子设备的数量日益增加以及设备复杂性提高，电子行业的温室气体排放量还将持续增加。近期研究显示，行业面临缺乏透明度、金属材料采购与追踪管理不善（导致假冒产品泛滥）以及物料循环利用程度过低等挑战。

第四次工业革命发展成果

本研究明确了8项能够为电子行业生产系统及其可持续性生产带来显著影响的第四次工业革命发展成果（图5）。

在下文中，我们将考察最有望促进行业发展的三大技术（图6），即半导体Fab 4.0、自动拆卸技术和绿色电子材料，以及潜在发展机遇和挑战。

半导体Fab 4.0技术即时影响力强且不确定性小。该技术是指将先进的制造技术应用于电子元件，从而显著降低能源和资源消耗。集成电路制造环节占设备平均使用周期内消耗能源的近50%³²，半导体Fab 4.0技术能够利用生产线数据分析降低能源消耗，利用增强现实技术管理零部件库存以实现高效的资源管理，从而有效保护环境，并提高制造商的成本竞争力。

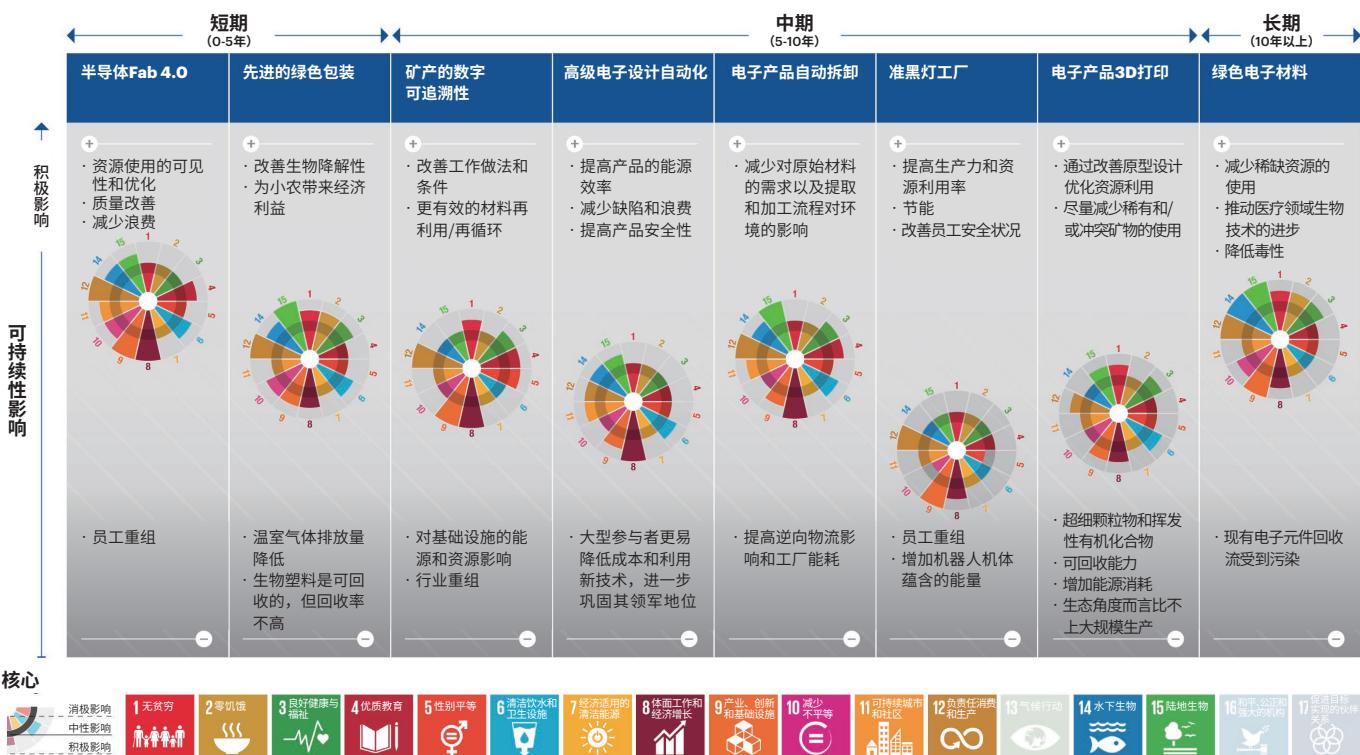
自动拆卸技术能够降低行业对原材料的需求，形成材料循环闭环。苹果公司（Apple）的Liam机器人项目将促进iPhone的自动拆卸，帮助公司减少有害的电子垃圾，同时还能回收黄金、铂、银和稀有金属等贵金属³³。该项目通过提高资源利用率提高了企业竞争力。机器人只需11秒左右就能拆卸一部iPhone，按照这个速度，每年可拆卸约240万部手机³⁴。

绿色电子材料指提倡使用有机资源，减少对不可再生资源及潜在有害物质的依赖，从而保护环境。技术发展成果还可以为农民提供更多创收机会，从而促进经济增长。例如，我们可以在廉价有机原料上栽培能够生产生物导线（bio-wire）的地杆菌³⁵。借助该技术，农民能够将农作物残渣作为原料来培育细菌。

其他亮点：戴尔（Dell）和惠普（HP）等公司采用的**先进绿色包装技术**不仅能够为企业带来盈利，还能够保护地球环境³⁶。用麦秸制成的绿色材料可通过有机过程由特种酶分解。研究表明，这种绿色包装可以在整个生产流程中节约40%的能源和90%的水资源³⁷。

准黑灯工厂（无人或极少人工值守的工厂）的数量正在增加，但行业仍需采取审慎态度。从积极方面来看，准黑灯工厂可以将产品缺陷率降低80%并将工厂生产力提高250%³⁸。但从负面影响来看，该技术可能会导致生产回归到邻近市场，进一步加剧收入不平等问题，或导致发展中国家的员工队伍缩减。作为一家总部位于中国的领先电信制造商，剑桥工业集团（Cambridge Industries Group）在将生产基地改造成准黑灯工厂的过程中，预计将裁掉三分之二的员工（共3,000多人）³⁹。

图5：电子行业在第四次工业革命发展成果的可持续性评估



资料来源：埃森哲战略分析

图6：电子行业最具发展潜力的三大技术及其简介

技术进展	简要概述
半导体Fab 4.0	应用先进制造技术进行硅晶圆制造以及半导体和微芯片等电子元件的生产，传统流程需要耗费大量能源和资源。优化运营有助于大幅提高可持续性，重点是在晶圆前端制造和后端制造环节中采用工业物联网、大数据、高级分析、机器学习和协作机器人等技术，在有望大幅提升能源和资源效率的新兴市场中更是如此。
电子产品自动拆卸	指拆卸电子产品以实现电子元件再利用和回收，从而降低对原材料的需求，实现材料闭环和循环经济业务模式。这一发展成果离不开适用于小型拆卸厂的模块化设计技术以及先进的机器人和自动化技术。这不仅能够降低供应链风险以及电子产品和冲突矿产的名誉风险，还能够确保原材料的持续再利用和增值。
绿色电子材料	由细菌和微生物等有机物制成的合成生物材料能够助力打造体积更小、功能更强大的设备。这些材料目前可用于制作电线、晶体管和电容器，减少人们对不可再生资源的依赖以及在电子元件中使用有毒物质，且极具成本效益。这些材料可用于制造生物兼容性传感器、计算设备和太阳能电池板组件。

资料来源：埃森哲战略分析

加快可持续生产的机遇

考虑到电子行业的特殊性质，创新对于构建差异化竞争优势至关重要，电子企业应当充分利用这些创新技术带来的积极影响，同时与学术界和研究机构打造战略性合作伙伴关系，助力实现这一目标。

要想培育自动拆卸等技术成果，则需要上下游供应链业务模式的同步创新。除了与客户共同制定回收激励政策并加强基础设施建设，制造商还需要与下游价值链的关键参与者合作，投资推动供应商网络转型，并利用产品使用数据来提高生产系统的效率。智能设备可以将现场数据反馈到工程和制造流程中，以减少报废量，延长产品的使用寿命。

企业必须确保其基础设施能够满足快速发展的市场需求。部署机器人技术的基础设施（如准黑灯工厂和自动拆卸等发展成果）、提高数字可追溯性的区块链解决方案，或3D打印电子产品的数字资产，都需要企业进行资本投资。领军企业正在寻找战略投资机遇，以培育竞争优势。苹果公司iPhone的制造商富士康（Foxconn）推出了一个区块链试点项目，向其制造供应链合作伙伴拨付了一笔价值650万美元的营运资本贷款⁴⁰。

从政策角度来看，制定激励机制有望吸引资本投资所需的全部资金。各国政府应当考虑全自动化生产设施对于当地经济的影响，并实施切实可行的工业战略以降低风险。

食品与饮料行业

背景

食品与饮料行业的特征之一是，只需少数跨国企业就能将世界各地的小型生产商与消费者联系起来⁴¹。

鉴于发展中经济体和新兴经济体都是本行业的关键参与者，可持续性问题显得愈发重要。该行业的技术含量较低（根据经合组织基于研发密度带来增收的技术分类法），但能在不给社会造成重大负面影响的情况下吸收创新科技。事实上，联合国工业发展组织（UNIDO）的分析表明，该行业的劳动生产率持续增长速度与人均GDP的增长速度相当，且就业率的下降速度十分缓慢，因此，该行业能够在经济发展的各个阶段保持附加值增长⁴²。

中短期内，粮食和农业面临的可持续性挑战尤为严峻。农业占淡水消耗量的80%-90%⁴³以及全球温室气体排放量的24%⁴⁴。四分之一（按卡路里计）的食物在“从农场到餐桌”的过程中被浪费，8%的食物则在上游价值链中被浪费⁴⁵。由于使用化肥与杀虫剂、滥伐森林和过度灌溉，农业食品生产系统已成为土壤侵蚀和污染的根源之一。国际食物政策研究所（International Food Policy Research Institute）指出，每年有500万到1,000万公顷的农田因土壤严重退化而消失，同时更多农田面临着产量下降的问题⁴⁶。

到2050年，由于人口增长以及中产阶级扩张带来的消费趋势变化，全球粮食总需求量将增长70%⁴⁷，同时红肉和奶制品的需求量也将增长80%⁴⁸。我们必须充分利用第四次工业革命带来的机遇，确保全球粮食生产系统能够有效把握增长、创新和发展机遇，同时在减轻环境负担的情况下解决相关挑战。商业与可持续发展委员会（Business and Sustainable Development Commission）预计，到2030年，农业食品价值链中每年有望为可持续发展目标创造2.3万亿美元的价值⁴⁹。

第四次工业革命发展成果

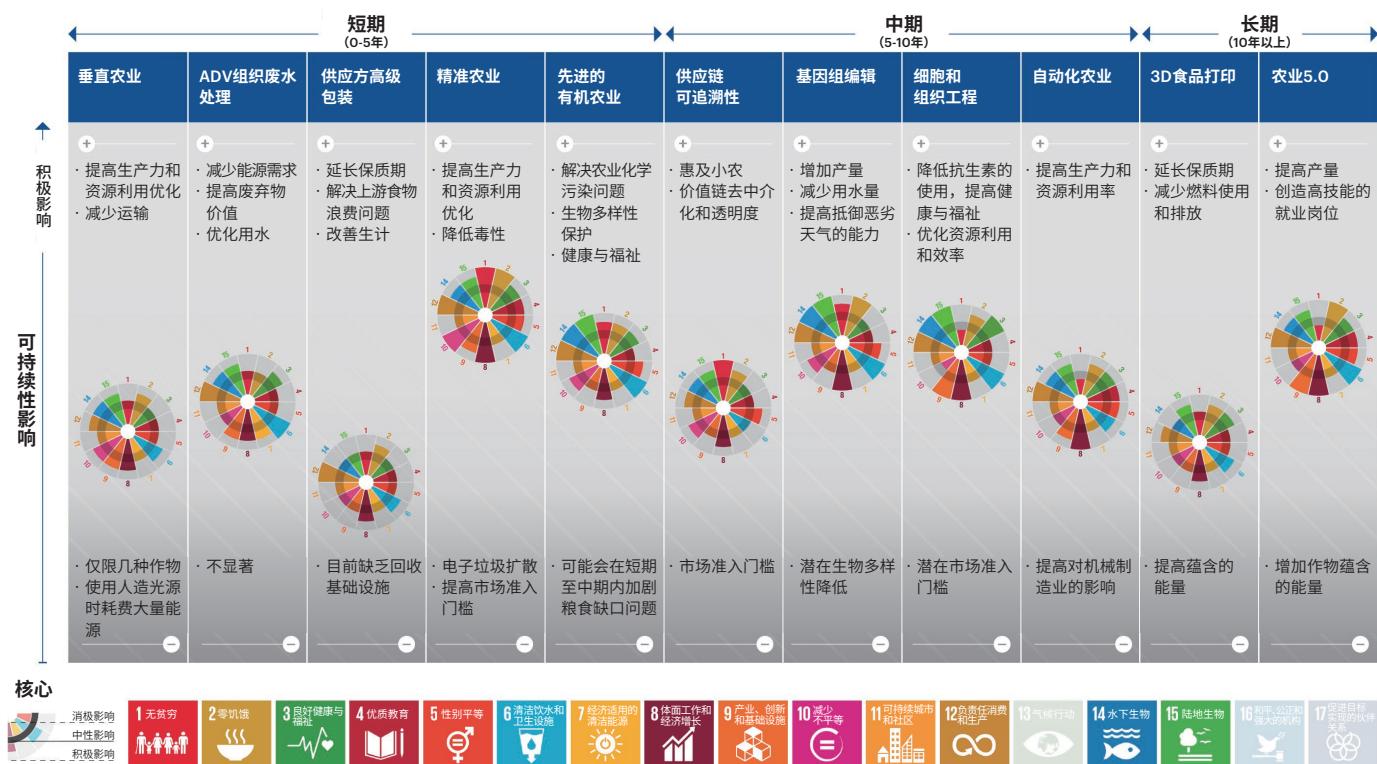
鉴于食品与饮料加工和生产的技术含量低且提高农业食品生产活动效率极具潜力，该分析主要侧重于上游价值链细分市场。本研究明确了第四次工业革命的各项发展成果利用数字、物理和生物技术创新推动食品与饮料行业生产系统变革的11种方式（图7）。

我们在下文中考察了食品与饮料行业最具可持续发展目标价值创造潜力的三项进展（图8），即精准农业、先进生物农业和粮食作物基因组编辑，还指出了相应的业务和可持续性机遇与挑战。例如，在自动灌溉系统中部署湿度传感器并分析数据就是精准农业的范例之一。

精准农业需要在自动灌溉系统中部署湿度传感器并分析数据。利用这一技术，加利福尼亚州某杏树种植园的用水量降低了20%⁵⁰。目前的分析显示，种植一棵杏树需要消耗3.8升水，因此，用水量降低能带来极大的环境收益⁵¹。

IBM研究表明，90%的作物损失是由于天气因素造成的⁵²。预测建模和精准农业技术能够将天气原因造成的作物损失减少25%⁵³。这一成就意义非凡，尤其是对于那些高度依赖农业食品生产的国家和区域经济体而言。2016年，农业科技领域投资额达到了创纪录的250亿美元，由此可见精准农业的重要性非比寻常⁵⁴。

图7：食品与饮料行业在第四次工业革命发展成果的可持续性评估



资料来源：埃森哲战略分析

图8：食品与饮料行业最具发展潜力的三大技术及其简介

技术成果	简要概述
精准农业	精准农业将数据、分析技术与作物科学相结合，作出科学的农业决策。利用GPS、土壤传感器、天气数据和物联网等技术制定施肥、灌溉、收获时间、播种间距等相关决策，适用于整个农业生产系统，可在优化资源利用的同时大幅提高产量。
先进生物农业	先进生物农业将精准农业技术与利用先进的绿色化学（例如生物刺激剂和生物杀虫剂）开发的农业生物解决方案相结合。先进生物农业涵盖了源自天然微生物的各类产品，可在作物收获前后使用。这些解决方案减少了对土壤和水的化学污染，有助于防止生物多样性下降，减轻传统农业化学品给人类健康和福祉带来的风险。
基因组编辑	基因组编辑技术使得科学家能够修改基因组，精确切割并将所需的性状插入作物基因。相反，传统的基因改造技术会改造DNA以添加来自其他生物体的基因，从而生成所需性状。基因组编辑可以改进作物的耐旱性、提高作物产量和农业设备的工作效率。

资料来源：埃森哲战略分析

然而，精准农业本身也存在一定的不足。这一技术可能会加剧全球不平等，因为欠发达经济体往往无力投资兴建农村互联网基础设施，无法为农民提供他们负担得起的融资和电子技能培训项目。此外，设备的大规模部署可能会导致电子垃圾增加和集中堆放，尤其是在缺少废物管理基础设施的地区。

先进生物农业将精准农业技术与利用先进的绿色化学和微生物技术开发的农业生物解决方案相结合。

人工肥料尽管在提高农业生产力方面大获成功，然而，农业废水中的氮和磷影响了各大海洋生态系统，使

全球10%的海域变成了人造“死亡地带”⁵⁵，密西西比河三角洲附近墨西哥湾中面积达到8,500平方英里的“死亡地带”就是一个有力例证⁵⁶。

大规模部署生物解决方案能够带来巨大的环境、社会和经济效益。21世纪的有机农业应当利用土壤和作物微生物群落，结合精准农业技术，实现生产系统的突破性发展，以缩小与传统有机农业的产量差距（目前约为19%⁵⁷）并保护生物多样性。这一机遇已吸引了来自初创企业和跨国公司的数十亿美元投资，开辟了全新的农业食品生产发展方向⁵⁸。

基因组编辑有望以极具成本效益的方式有效加快传统选育进程并改进农业耕作方式⁵⁹。在CRISPR/Cas 9等全新基因编辑工具的帮助下，原本需要几十年甚至几个世纪才能完成的基因改造在几个月内就能完成。与之前的基因工程技术相比，基因组编辑的风险也相对较小⁶⁰。

这一技术能够创造巨大的商业价值。转基因作物的批准流程十分复杂且耗资巨大。迄今为止，玉米和大豆等大宗商品作物的转基因项目已经大获成功⁶¹。这项技术可以推动由市场调节生物工程领域的决策，扩展对经济和环境有重要影响的关键作物的转基因项目规模，削减成本，提高产量，确保行业参与者共享转基因技术创造的价值。在欧洲，猪繁殖与呼吸综合征病毒导致猪农每年损失近16亿美元。在美国，这一数据为6.64亿美元⁶²。基因组编辑技术可用于家畜饲养，保障动物健康、提高产量并降低动物患病造成的经济损失。

在环境可持续性方面，基因组编辑技术可用于培育更耐旱、资源利用率更高、更适应气候变化的作物。此外，这一技术还可改进热带地区原生家畜的基因⁶³，改善数亿以畜牧业为生的小农家庭的生活水平。要想实现并共享这一技术的经济、社会和环境价值，适当地监管并利用这一技术可谓至关重要。

其他亮点：细胞和组织工程技术可用于改良肉类、蛋类和奶类等最终产品。与其他蛋白质来源（如植物或鱼类）相比，动物性食品（特别是牛肉）属于资源密集型产品，资源生产率较低。事实上，虽然动物性食品生产占全球食品生产用地的75%以及农业温室气体排放量的三分之二，但其提供的蛋白质只占人类蛋白质总摄入量的27%⁶⁴。即使在最理想的情况下，我们也需要几十年时间才能改变现有的文化和饮食习惯。全球社会要想从容应对未来粮食需求对全球公共资源带来的挑战，推动技术发展很可能是最佳的、甚至唯一的选择。

加快可持续生产的机遇

世界资源研究所（World Resources Institute）指出，到2050年，全球人口数量将达到98亿⁶⁵，在养活这么多人口的同时推动农村发展、减少温室气质排放量并保护宝贵的生态系统已成为目前最严峻的挑战⁶⁶。因此，在食品与饮料行业取得成功的关键因素已经悄然发生变化：衡量企业的竞争力时需要综合考虑经济价值、环境和社会影响等因素，把握战略平衡。仅仅依靠提高农场所产和逐步优化产品加工流程推动食品与饮料行业发展的策略已经过时。第四次工业革命为农业食品生产系统转型提供了机遇，同时也推动了可持续发展目标的实现。

要想充分发掘这些技术的潜在价值，我们需要推进研发工作、投入大量资本、并提供制度支持、人才支持以及物理和数字基础设施。很少有企业具备足够的资源和能力独立完成上述工作。但是，基因编辑实验室和农业技术制造商可以携手合作，加快开发能够快速适应现有或新型农业机器人的新型食品种类。数字化农业解决方案供应商可以与当地融资机构合作，为目标客户提供可行的融资方案。在全球范围内定制、推广和部署精准农业解决方案离不开融资和技能培训项目的规划与实施。这两大领域都十分强调合作的重要性；在化学和生物技术产业中塑造有机食品生产的未来也需要各大企业倾力合作。

“关键在于，行业和政府必须精诚合作，打造以风险为导向的监管环境，推动新技术的商业化，以及在从播种到包装的整个农业价值链中进行投资。”

丽莎·施罗特（Lisa Schroeter），陶氏化学公司（Dow Chemical Company）贸易与投资政策全球总监，美国

政府必须制定政策以刺激并促进发展。为此，政府需要及时了解行业技术进步，并根据实际情况审慎评估社会经济影响和必要的支持环境。例如，农业数字化转型离不开由政府提供支持的融资和技能培训项目。第四次工业革命和气候变化所造成的农业食品系统地理格局变化引发了许多担忧，对于随时面临发展滞后风险的发展中国家而言，农业数字化转型显得尤为重要。

纺织品、服装和鞋类行业

背景

《多种纤维协定》（已于2005年终止）奠定了行业的竞争格局。该协定对发展中国家可出口至发达国家的纱线、织物和服装的数量实行配额制度，导致相关生产活动从发达国家转移至发展中国家。因此，在许多以经济发展为核心的国家，该行业占制造业总就业岗位的比例很高⁶⁷。

全球纺织品、服装和鞋类行业的整体趋势一直由市场力量决定，并由少数大型企业主导，服装品牌和精益零售商正在推动产品价格下降。除了设计、产能和上市速度这三大领域，本行业鲜少出现技术革新，整个行业均面临可持续发展问题。

过去，可持续发展工作的重点是提供安全平等的工作条件，消除童工现象。近年来，人们越来越关注行业对环境造成的影响，具体取决于采用的纤维类型。我们目前面临的主要挑战包括加工矿物燃料生产合成纤维时导致的资源消耗和温室气体排放问题，与种植纤维作物有关的水资源和化学品滥用问题，以及成品制造阶段产生的有毒/有害废料和废水⁶⁸。例如，仅在2015年，生产聚酯纤维产生的温室气体排放量就相当于185个煤电厂一年的排放量⁶⁹。此外，生产一件棉衬衫需要2,700升水⁷⁰，到2050年，全球纺织品消费量预计将比2015年增长两倍⁷¹。

尽管如此，全球服装生产量在2000年至2014年间还是翻了一番⁷²。当前风靡的“快时尚”潮流意味着每年有50个服装生产周期，而传统情况下一年只有两个周期⁷³。众多认证标准表明，消费者已经具备了时尚价值链意识，希望服装企业能够逐步实现可持续生产。这为企业带来了严峻挑战：如何把握极具洞察力的消费者难以捉摸的多样化需求，同时在技术转型逐步向上游转移的背景下打造更加环保、流程更精简的服装产业。

第四次工业革命发展成果

鉴于行业技术含量低特性以及纤维取材、生产和加工对于可持续性的影响，该分析侧重于行业上游价值链市场。我们在研究中梳理了第四次工业革命利用数字、物理和生物技术创新推动纺织品、服装和鞋类行业生产系统变革的12种方式（图9）。

我们在下文中考察了纺织品、服装和鞋类行业最具可持续发展目标价值创造潜力的三项发展成果（图10），即替代性天然纤维、基因编辑纤维作物和生物制造皮革，同时指出了相应的业务和可持续性机遇与挑战。事实上，近期最具促进可持续生产潜力的是替代性天然纤维以及纤维作物精准农业技术。（由于食品与饮料行业部分已经对精准农业进行了论述，本部分将重点讨论替代性天然纤维。）

替代性天然纤维可利用可再生、可降解的原材料生产出性能优良的纺织品。根据近期的市场动态（例如纸张消耗量下降）和相关科学依据，源于林木的纺织纤维也可归为这一类⁷⁴。

借助绿色化学和酵素科技，创新人员已经解决了亚麻、大麻或黄麻等韧皮纤维过硬的问题⁷⁵。种植大麻的需水量低于棉花，而且生长更快，其根系能够疏松土壤，为之后栽种的作物提供肥沃的土壤。此外，每公顷大麻

的纤维产量约为棉花的三倍⁷⁶。虽然林木纤维生产的可持续性主要取决于木材来源和所用的化学处理方式，但这一材料能够带来极大的环境收益⁷⁷。更重要的是，替代性天然纤维占用的土地面积少，几乎不会带来滥伐森林的风险。

扩大替代性天然纤维的规模化生产能够为全球发达和发展中国家农民带来显著的社会经济效益，同时带来更多机遇，例如利用废弃物（例如菠萝叶）创造价值或培育更多棉花替代品，因为种植棉花的成本甚至高于石油基合成纤维⁷⁸。石油基合成纤维也为我们带来了严峻挑战，其大规模使用对环境的深远影响已在城市水域和海洋中逐渐显现。

“Refibra™纤维以棉花废料的浆状物为原料，是实现再循环生产的一项突破性创新，最终目标是循环利用消费后废物。目前，化工和机械技术已经取得了显著进步，确定纤维废弃物化学成分的相关挑战。数字化技术能够帮助我们在整个价值链中应对这一挑战。”

杜博思（Stefan Doboczky），兰精集团（Lenzing）首席执行官，[奥地利](#)

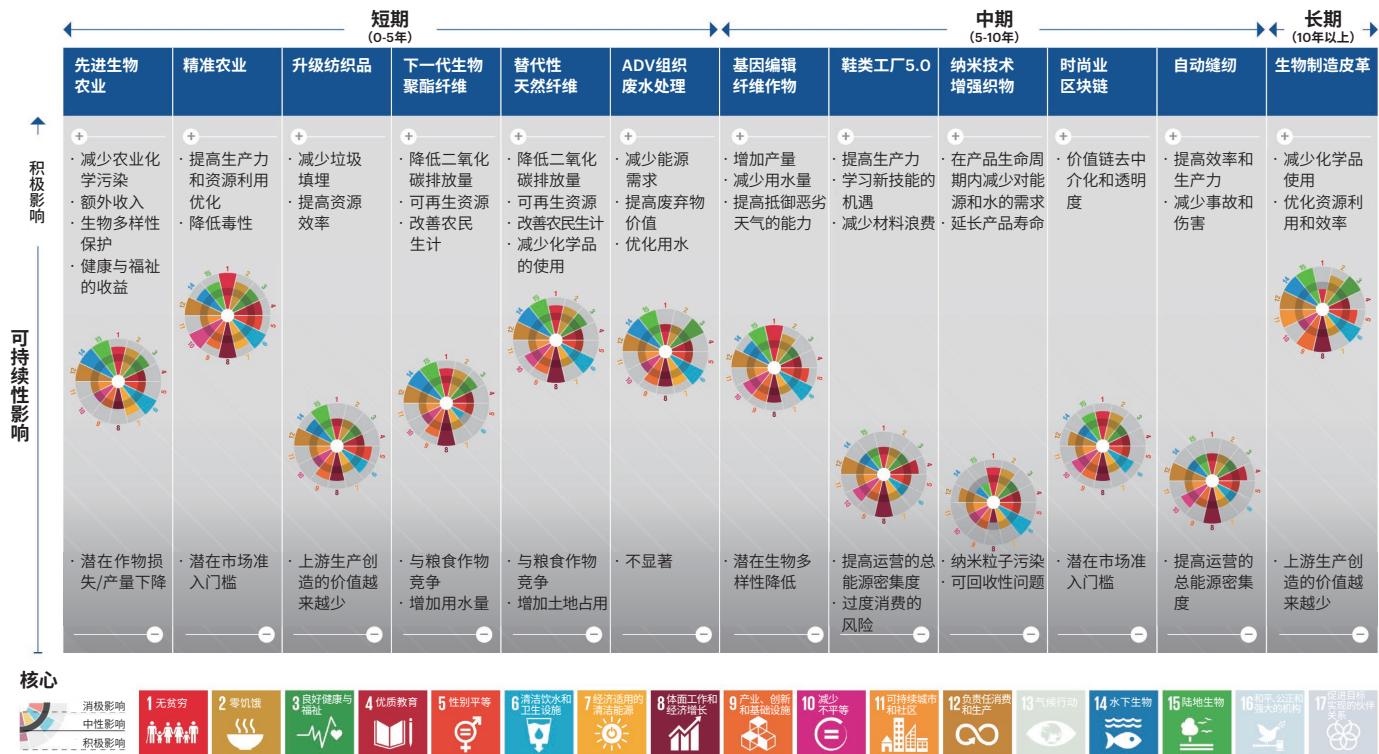
近期检测显示，全球有数十亿人正在饮用被微塑料污染的水，83%的调查样本显示水源已被污染⁷⁹。绿色化学的进一步发展有助于缓解合成纤维服装带来的微塑料污染。

基因编辑纤维作物则采用了本白皮书“食品与饮料行业”章节讨论的技术。基因编辑技术能够提高纤维作物的产量，同时调整纱线和织物的物理性质。

经非遗传性改良的高地棉能够创造更多增值产品⁸⁰。异源四倍体棉花复杂的基因组特征⁸¹极具挑战性，但最新的研究表明，尽管基因改造的遗传性仍需进一步观察，但以CRISPR/Cas9诱导棉花产生基因突变具有一定的可行性⁸²。考虑到全球有2.4%的农田种植棉花，且使用的杀虫剂和农药分别占全球总量的24%和11%⁸³，逐步完善棉花培育工作能够有效推动可持续性发展。

这一发展成果为将基因组编辑技术用于棉花和其他天然纤维植物指明了前进之路。棉花基因改造能够降低杀虫剂使用率，提高棉花产量，但也会导致降低生物多样性和种子供应垄断等问题⁸⁴。提供商用植物基因组数据和编辑技术的开源平台可以帮助更多群体获得改良型纺织纤维，提高资源利用效率。

图9：纺织品、服装和鞋类行业在第四次工业革命发展成果的可持续性评估



资料来源：埃森哲战略分析

图10：纺织品、服装和鞋类行业最具发展潜力的三大技术及其简介

技术成果	简要概述
替代性天然纤维	即由不可食用或具有高纤维素的植物器官（例如菠萝叶、椰子壳、香蕉茎杆）制成的纺织纤维。纤维来源一般是不具备商业价值的农场残留物。其中还包括可用于替代棉花和石油基纺织品、纯纺织品或混合纺织品的天然纺织纤维，如亚麻、大麻、竹子和海藻。这些植物可以提供性能优良且可再生、可降解的纤维。
基因编辑纤维作物	利用CRISPR/Cas9基因组编辑来改良纤维作物，尤其是棉花。该技术有望解决因土壤侵蚀、降雨强度和农业化学品过度使用而导致的产量下降问题，同时还能为行业领导者和中国、印度和美国等主要棉花出口国提供创收机会。
生物制造皮革	指的是通过内部培育的胶原细胞在实验室培养生物制造组织以用于非动物皮革生产的活动。采用简化的鞣制工艺提纯并加工胶原蛋白，化学物质含量较低。根据设计规划尺寸和形状，因此不会造成浪费；纹理等物理特性均可定制。整个过程更迅速、更清洁，能够生产对环境影响不大的产品。

资料来源：埃森哲战略分析

在众多皮革替代品中，**生物制造皮革**是最新的技术成果。然而，目前的动物皮革替代品大多属于无机物，不支持生物降解且不耐用，而且容易造成严重的环境污染⁸⁵。据估计，到2025年，每年需要屠宰4.3亿头奶牛才能满足全球时尚需求，这可能会对人造材料产生重大影响。（这些估值不包括汽车等行业的需求⁸⁶。）从经济角度而言，皮革是肉类行业最重要的副产品⁸⁷。皮革对于环境的影响主要在于工业养殖和皮革加工，而皮革加工往往会产生大量有毒物质。

例如，印度卡普尔（Kapur）附近的恒河中与鞣制流程相关的毒素含量约为每升6.2毫克，远远超出了政府规定的每升0.05毫克的标准⁸⁸。

除了能够解决与皮革生产有关的伦理道德和环境问题，人造皮革（即生物制造皮革）还具有更轻、更薄、更耐用的优势⁸⁹。企业可以针对环保道德意识较高的消费者，开发模仿稀有或已灭绝动物特性的新产品。事实上，人造皮革可以弥补传统皮革供应不足的问题⁹⁰。然而，

尽管该行业预计将在许多发展中国家和新兴工业化国家持续发展⁹¹，过快推广这一技术可能会对现有的行业工作者造成冲击。（值得注意的是，除此之外，并无其他行业使用牲畜皮革。）

加快可持续生产的机遇

虽然没有任何一种替代性天然纤维能够取代棉花或抢占石油基合成纤维的大量市场份额，但各类替代性天然纤维的规模化应用以及旨在提升终端用户环保意识的活动能够在推动行业增长的同时减轻对生态环境的影响。当前的技术水平已然能够实现这一目标，但仍需开展进一步研究。此外，政府也可效仿传统的纤维作物补贴政策（例如美国的棉花补贴项目），为当前的规模化协作项目提供支持⁹²。

为了提高产量、降低维护成本并增加农民收入，我们可以大规模种植基因编辑纤维作物品种。这一举措将推动国家经济发展和GDP增长，同时降低该行业的供给侧和名誉风险。从长期商业发展角度来看，生物制造皮革是一个新兴领域。虽然生物制造皮革在社会效益方面仍存在不足，但其能够在不增加现有牲畜数量的前提下满足全球迅速增长的皮革需求。对初创企业而言，借助各大服装品牌赢得销量、打造口碑的能力至关重要。我们需要构建专门的知识产权保护协作平台助力初创企业实现这一目标。

第二章：区域发展机遇

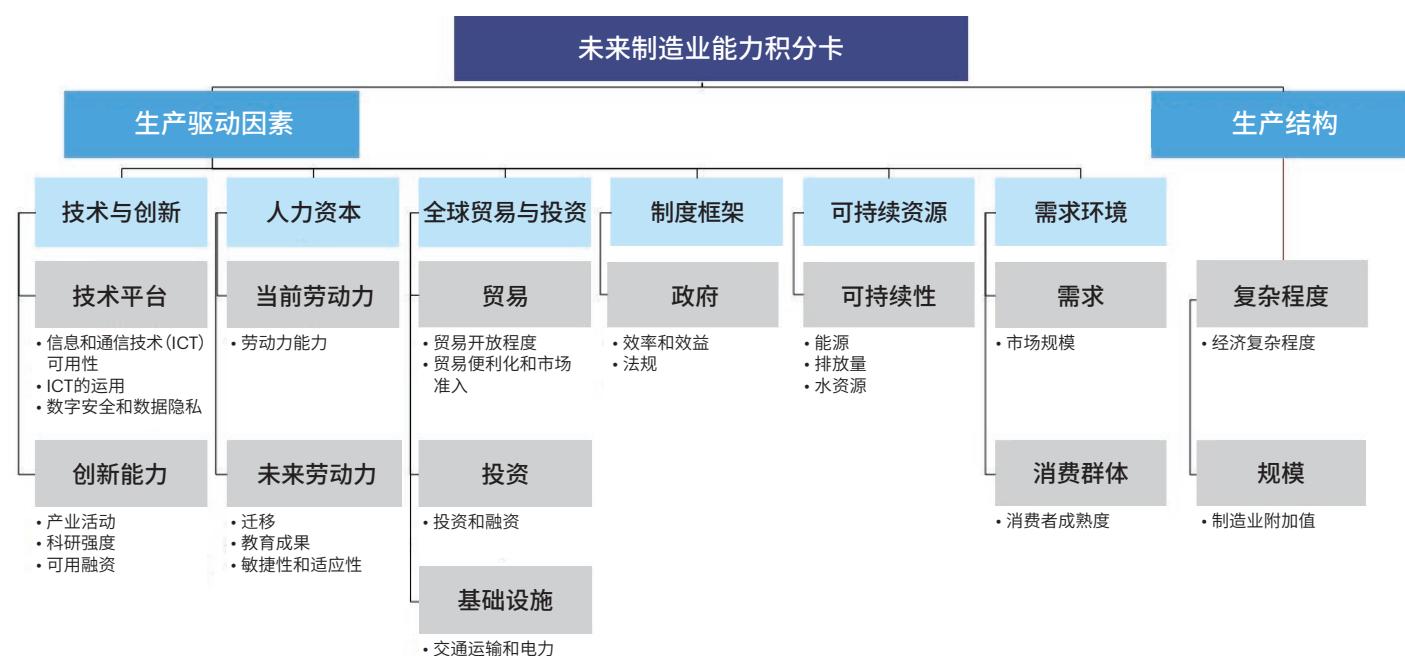
第四次工业革命在不同区域的发展速度和规模可能截然不同，例如，有的区域已拥有丰富的发展资源，而有的区域则需要从零开始。从农业社会过渡至工业社会再到后工业社会这一典型的发展轨迹已经过时。整合技术、轻资产流程和全新商业模式将助力工业直接进入最具可持续性和竞争力的发展阶段。

本章探讨了如何在了解区域背景的基础上（基于世界经济论坛2017-2018年“制造业的未来”准备状况评估

报告）促进可持续生产实践，并通过案例分析确定取得可持续生产发展成果的关键成功因素。

这一极具前瞻性的各国准备状况评估采用了基于两大维度构建的框架（图11）：制造业结构（即当前的生产基准）和制造业驱动力（即利用新兴技术推动制造业体系转型的关键因素）。

图11：用于评估制造业未来发展潜力的国家制造业准备状况指数框架

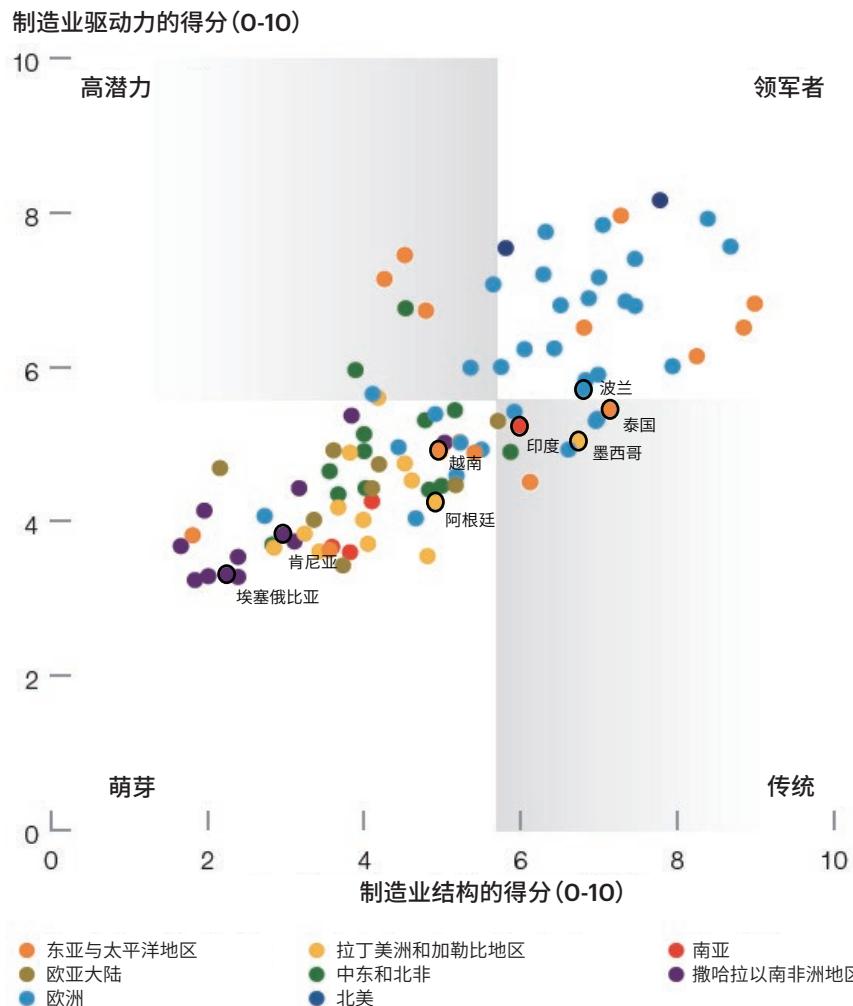


资料来源：科尔尼（A.T. Kearney）/世界经济论坛分析

本框架利用数据驱动法绘制了四类典型国家（图12） –
(1) 全球领军者：当前实力强劲，为未来做好了充分准备； (2) 传统胜利者：当前实力强劲，但未来面临发展风险； (3) 高潜力者：当前实力有限，但为未来做好了充分准备； (4) 追随者：当前实力有限，未来面临发展风险。

为了确保分析对象兼具特殊性和代表性，我们对以下区域进行了深入研究：欧洲（波兰）、非洲（肯尼亚、埃塞俄比亚）、亚太地区（印度、泰国和越南）和拉丁美洲（阿根廷、墨西哥）。

图12：各国未来制造业准备状况（8个样本国家）



资料来源：科尔尼 (A.T. Kearney) /世界经济论坛分析

欧洲（波兰）

区域背景

从框架区域背景（图13）来看，波兰拥有以下优势：

- **强大的贸易基础设施**（稳固的贸易关系网络和市场准入渠道）
- **健全的物理基础设施**
- **复杂的生产结构**（跨价值链和跨行业协作十分成熟）
- **注重可持续发展**

波兰消费者的可持续发展意识不断增强⁹³，对于产品追溯、打击假冒产品和获取真实产品信息的需求也愈加强烈。

推广机遇

鉴于复杂的生产结构和对可持续发展的关注，波兰非常乐于采用工业生产领域的创新技术。例如，ABB公司开发的YuMi协作机器人能够通过持续操作进行设计和测试，从而提高产品质量和车间生产力，并将车间调试时间缩短25%⁹⁴。总部位于德国的电子生产设备制造商Kurtz Ersa是首家利用YuMi协作机器人执行中小规模重复性焊接工作的公司⁹⁵。

德国自动化协作机器人：协作式自动化生产

作为一款协作式双臂机器人，YuMi采用人形设计，重达38公斤。YuMi动作精准，行动迅速，能够不断折返回同一地点，误差不超过0.02毫米，最高移动速度可达每秒1,500毫米。YuMi售价为40,000美元，每只手臂的有效载荷为0.5公斤，可与工作站轻松集成。

图13：国家准备状况指数框架得分 - 波兰



资料来源：科尔尼（A.T. Kearney）/世界经济论坛分析

从应用角度来看，促进协作机器人等技术的发展要求国家更多地关注研发和创新能力。在本框架中，波兰的研发创新指标得分相对较低，仍然有待改进。

对于有潜力满足**本土消费者规模化需求**的生产创新而言，不断提高的消费者意识堪称一大助力。阿迪达斯的高速工厂（Speedfactory）是一家位于德国的鞋厂，可根据消费者的规模化需求调整鞋品设计⁹⁶。通过高速工厂，阿迪达斯推出了为伦敦、巴黎、洛杉矶、纽约、东京和上海定制的城市专属运动鞋⁹⁷。

阿迪达斯的高速工厂：数字化和柔性制造

阿迪达斯的高速工厂在生产鞋品时使用了自动化技术、增材制造技术和智能数字孪生技术。高速工厂的构想是直接将原材料灵活转化成产品部件，取代配件订购，从而缩短生产价值链。高速工厂能够帮助阿迪达斯将开发、制造到上市的时间周期从数月缩短至数天，同时缩小产品批量至500对，甚至最终实现个性化定制产品。阿迪达斯借此实现了本地化设计。传统供应链中也开始采用高速工厂技术，以提高生产灵活性和速度。

波兰消费者意识的不断增长，有望大力推动技术创新，增强**消费者信任和透明度**。例如，沃尔玛（Walmart）与IBM合作推出了基于区块链的可追溯系统，旨在追踪其食品供应链中产品的原产地。凭借该系统，沃尔玛在2.2秒内就能追踪到墨西哥芒果的原产地⁹⁸；在此之前，则需要将近一周才能查到这一信息。从执行角度来看，协作机器人生产系统、高速工厂或基于区块链的可追溯系统

等创新技术均离不开供应链创新的支持。YuMi协作机器人是在YuMi与其最终用户通过生态系统协作进行广泛研发和创新合作的基础上设计而成。

影响和行动

对波兰而言，促进第四次工业革命发展的机遇集中在研发和产业合作领域。企业可以考虑与学术机构和研发中心合作开发最先进的技术。目前，700多家公司正在与麻省理工学院的教师和学生合作解决各个行业中的具体问题。其中包括BAE、英国石油（BP）、波音（Boeing）、杜邦（Du Pont）、埃尼（Eni）、福特汽车（Ford Motor）、谷歌（Google）、英特尔（Intel）、洛克希德·马丁（Lockheed Martin）、诺华（Novartis）、广达电脑（Quanta Computer）、雷神（Raytheon）、三星（Samsung）、赛诺菲（Sanofi）、壳牌（Shell）、西门子（Siemens）和道达尔（Total）⁹⁹。

相应政策机遇包括利用激励机制促进跨国联盟和合作伙伴关系，例如，欧盟委员会的循环经济一揽子计划（Circular Economy Package）能够帮助欧洲企业和消费者打造更强大的循环经济¹⁰⁰。此类政策有助于波兰借助法国、德国等邻近国家的雄厚研发实力。（根据2018年“制造业的未来”准备状况评估报告，法国和德国在研究强度和创新能力等指标的得分约为6-7，总分为10）。

非洲（肯尼亚、埃塞俄比亚）

区域背景

肯尼亚和埃塞俄比亚的国家准备状况平均得分（图14）表明该区域在以下方面优势显著：

- **可持续性**（高度重视有效利用自然资源并积极采取措施尽可能减少生产活动对环境的负面影响）
- **技术平台**（为制造业技术提供先进、安全、互联的信息通信技术基础设施）

此外，子类别数据（图中并未涉及）显示，两国在劳动力灵活性和适应性上的表现也可圈可点。事实上，虽然肯尼亚和埃塞俄比亚在大部分子类别的平均得分都不足4分，但在灵活性和适应性方面的平均得分分别为5.0和4.3。另外，农业活动对于这两个国家乃至整个非洲大陆都至关重要。本研究注意到，肯尼亚的农业产值占该国GDP的25%左右，占用了约75%的劳动力¹⁰¹。

图14：国家准备状况指数框架得分 - 肯尼亚和埃塞俄比亚的平均值



资料来源：科尔尼（A.T. Kearney）/世界经济论坛分析

鉴于上述区域性的细微差异，肯尼亚和埃塞俄比亚可以充分利用本国灵活的大规模农业劳动力来推动农业创新，例如垂直农业、精准农业和非食用性生物纺织品。

推广机遇

南非Clean Air Nurseries (CAN-SA) 等企业已在大力推广农业创新技术。该公司在南非各地兴建了**垂直农业**生产基地，这一举措减少了对环境的负面影响，有助于改进民众的健康状况。

利用Pinatex纤维制造皮革需要利用到创新技术将菠萝废弃物制成皮革，同时避免对环境造成不利影响¹⁰²。这一创新技术对于菠萝种植面积不断扩大的埃塞俄比亚而言意义非凡¹⁰³。

Pinatex纤维：利用菠萝叶制造皮革

Pinatex是一种源自菠萝叶、用于制造皮革的纤维的商用名称。首先需要通过皮质剥除工艺从菠萝叶中提取长纤维，在菲律宾接受脱胶加工处理，变成无纺布。随后半成品会被运至西班牙，制成结实耐用的皮革。16棵菠萝作物的叶子能够制成1平方米大小的Pinatex皮革，售价为18英镑。

全球菠萝种植业会产生约1,300万吨废弃物，其中很大一部分可转换成Pinatex纤维。皮质剥除工艺产生的废物也可用作肥料或生产沼气。

精准农业的发展也能为本区域带来收益。例如，孟山都公司 (Monsanto) 于2013年斥资约10亿美元收购了Climate公司 (Climate Corporation)¹⁰⁴。本次收购可助力孟山都收集关于地形和天气条件的海量数据，将这些数据作为实时情报分享给农民，帮助农民在干旱、暴雨等恶劣天气条件下保障农作物健康生长。这一计划能够帮助农民提高产量并降低歉收风险，而孟山都也能利用海量数据培育更优质的农产品。

影响和行动

企业能够通过推动上游一体化和协作在促进农业创新方面发挥独特作用。同时利用其规模化和灵活性优势，打造由农民、非政府组织和学术界组成的农业生态系统，集众人之智，采众家之长，推动行业发展。

决策者可以采取以下措施：

- **制定全新认证和标准**，确保满足安全需求，增强消费者意识。例如，美国一家动物权益机构善待动物组织 (People for the Ethical Treatment of Animals, 简称 PETA) 将Pinatex认证为零残忍 (cruelty-free) 产品¹⁰⁵。在非洲地区，制定类似认证制度具有重大意义。
- **促进机制**能够利用孵化中心、创新中心和资助机制，鼓励创业活动，并充分利用该地区劳动力灵活敏捷、适应力极强的优势，促进产业发展。

亚太地区（印度、泰国、越南）

区域背景

图15表明，在亚太地区范围内，印度、泰国和越南在以下方面尤为突出：

- **需求**（国内外需求巨大，消费群体复杂，有利于开展多样化产业活动）
- **规模**（制造业附加值占GDP的比重较高）
- **物理基础设施**

除了上述特征，各大产业也发挥着举足轻重的作用。亚洲的电子产品出口占全球出口额近三分之一¹⁰⁶。虽然迄今为止大部分出口来自中国，但越南和印度的上升势头不容小觑¹⁰⁷。在汽车行业，亚洲的轿车产量占全球总产量的近一半，而印度和泰国分别是全球第五大和第十二大汽车制造国¹⁰⁸。

从区域角度来看，亚太区域内的企业对制造业创新接受度更高，尤其是在汽车行业和电子行业。亚太国家彼此建立了稳固的贸易关系网络，有助于推广从发达国家传承的最佳实践。

推广机遇

在汽车行业，丰田（Toyota）在新款车型中采用了生物聚合物部件¹⁰⁹，这一举措值得本地制造商深思。丰田希望借此用生物塑料取代部分传统塑料部件。

在欧洲，雷诺（Renault）的短循环回收利用计划则是另一例证。这一颠覆性项目是雷诺循环经济战略的一部分。借助全法工业合作伙伴和汽车拆卸中心网络，雷诺成功实现了95%报废汽车的再利用¹¹⁰（85%用于材料回收，10%用于能源生产）。目前，雷诺在欧洲制造的汽车有36%（以质量计）的原材料是可回收材料¹¹¹。

丰田试水生物聚合物部件：以生物质取代塑料

丰田表示，其20%的塑料部件将更换为全部由生物或有机材料制成的生物塑料。为了实现这一目标，负责丰田集团贸易业务的丰田通商（Toyota Tsusho）已与总部位于美国的阿内洛公司（Anellotech）开展合作。后者专注生产纯生物塑料，能够利用专业技术将非食用生物质转化为用于生产聚合物的塑料。目前，测试设施已经交付，预计到2020年，生产生物聚合物部件的商用级别生产设施即可获批。

福特斥巨资投入美国业务，以期转型成为电气化、自动化和机动化领域的巨头¹¹²。而转型离不开互联技术的支持。利用这些投资，福特的业务模式逐渐从以产品销售为核心转向为以结果销售（即车辆机动性）为核心。到2020年，该整车厂将推出13种新车型，实现40%以上系列车型的电气化¹¹³。

对亚太地区的规模化经济体而言，电子行业在推广创新技术领域也极具潜力。目前，亚太地区已在全球电子研发领域占据了举足轻重的地位，而且十分乐于吸纳技术创新，利用美国马萨诸塞大学（University of Massachusetts）研发的生物纳米线即是例证¹¹⁴。

生物纳米线：美国的电子行业创新

地杆菌（一种细菌）可以将电子转移到电极表面。利用该技术制成的生物纳米线导电性高、毒性低且生产能耗低。地杆菌纳米线可以产生类似于碳纳米线的电荷，还可与电子设备和传感器相集成。

图15：国家准备状况指数框架得分

印度



泰国



越南



资料来源：科尔尼（A.T. Kearney）/世界经济论坛分析

在美国，3D打印器官芯片¹¹⁵是一项颇具前景的创新技术。器官芯片技术能够模仿消化、呼吸和心肺系统等人体功能，扩大疾病检测、毒理学和药物筛选的研究途径，从而取代动物试验。利用3D打印技术制造器官芯片不仅能够推动自动化制造，还能以更低的成本生产更复杂的产品。

影响和行动

跨国合作能够加快越南、泰国和印度等国采用汽车和电子行业技术创新的步伐。本土汽车和电子制造企业可以与来自技术更为成熟地区的行业参与者开展合作或建立合资企业。

各国政府和决策者可考虑采取以下行动：

- **推动数字化技术和信息通信技术基础设施的应用：**各国政府和决策者可考虑制定政策机制以推动数字化技术的采用和针对信息通信技术基础设施的投资，打造高度连通的生态系统。例如，印度已通过“数字印度”（Digital India）倡议等项目制定了此类机制¹¹⁶，但仍有许多国家的宽带互联网尚未普及，无法充分发挥相应潜力。
- **加强劳动力技能培训：**鉴于亚太地区在“未来劳动力”这一类别得分较低（约4.1），加强劳动力技能培训有望进一步推动该区域的发展。劳动者必须对创新技术有基本的认识，并从小学阶段开始了解创新技术。各区政府可以通过发布技能培训项目发挥重要作用，比如印度政府推出的Pradhan Mantri Kaushal Vikas Yojana倡议¹¹⁷，旨在确保年轻人获得行业相关技能，从而提高生活水平。

拉丁美洲（阿根廷、墨西哥）

区域背景

在北美和拉丁美洲，墨西哥和阿根廷在框架中的以下方面拥有明显优势（图16）：

- **需求**（国内外需求巨大，消费群体复杂，有利于开展多样化产业活动）
- **健全的基础设施和技术平台**

美洲的食品与饮料行业侧重肉类产品。事实上，阿根廷的人均肉类消费量居世界首位¹¹⁸。

孟菲斯肉类公司（Memphis Meats）：推出环保人造肉类食品

美国食品技术初创公司孟菲斯肉类正在大力研发人造肉。该公司从活体动物身上提取初始细胞，置于生物反应器内的生长培养基上进行增殖。初步味道测试表明，牛肉、鸡肉和鸭肉的味道均可以接受。该公司声称，人造肉有望将温室气体排放量以及土地和水资源使用量降低至仅10%。截至2017年3月，一磅肉的生产成本为9,000美元。该公司预计，到2021年，人造肉的价格将降至消费者可承受的水平。

图16：国家准备状况指数框架得分 - 阿根廷和墨西哥的平均值



资料来源：科尔尼（A.T. Kearney）/世界经济论坛分析

推广机遇

该区域在食品与饮料行业的上游创新方面优势十分明显。例如，美国杜邦公司（DuPont）利用**CRISPR基因编辑工具**¹¹⁹开发了多个淀粉含量较高、需水量较少的玉米品种。这项技术还可用于减少作物生长中的疾病。杜邦计划到2020年实现该技术商业化落地。

目前美洲还在引入一些更前沿的创新，为各行各业带来可持续发展实践。美国孟菲斯肉类公司所开发**人造肉**的口味测试¹²⁰已经在多种动物制品验证中取得了好成绩。人造肉类也能为传统产品提供有利于环保和动物保护的替代产品。天丝（Tencel®）溶剂型纤维采用可再生资源木材制成，这是另一个潜力巨大的发展方向。这些纤维来源于天然生态原料，在生产过程中对水、溶剂、染料和漂白剂的需求非常少，极大降低了对环境的影响¹²¹。该技术未来可以扩大到其它地区，例如墨西哥和阿根廷，这两个国家都拥有茂密的桉树林。

兰精集团Tencel®专有天丝纤维：环保纺织品

奥地利兰精公司（Lenzing）利用木材开发出了Tencel®天丝溶剂性纤维。这些树木不需要灌溉，杀虫剂则来自于天然可持续的森林和种植园。将木材压碎成碎片并进行溶解，经过溶剂沉析纺丝流程即可产生纤维。这种纯白色纤维不需要漂白，并且由于吸收性好只需少量染料。在生产过程中，99%以上的溶剂可以回收再利用，从而形成一个闭环流程。制造一吨天丝纤维需要砍伐0.3公顷（0.7英亩）林地的树木；而从棉花中生产相同数量的纤维则需要四倍的土地和20倍以上的水。

影响和行动

消费者的怀疑论和惯性思维往往会阻碍食品饮料行业的创新。因此，企业应该考虑开展一些旨在**提高消费者认知度的活动**：人造肉生产商可以大力宣传生产流程的益处，减轻人们对“人造”产品的担忧。

政策制定者可以考虑**开发新的认证机制和标准**，以推广并监督这些可持续的新型纤维产品。例如，如果没有Ecocert认证，环保纤维可能会受到消费者的质疑¹²²。制定类似的标准可以帮助提振消费者和行业信心。

第三章：促进可持续生产框架

无论是在工业生产还是日常生活中，科学技术的飞速发展有目共睹。但是，要让人们理解并量化这些变革所创造的价值以及为可持续发展目标（2015年制定）所做的贡献，则要困难得多。这从一个侧面反映了促进可持续生产框架所面临的挑战。

联合国可持续发展问题高级别政治论坛将于2018年7月审查目标12（可持续消费和生产）的进展情况。生产系统有望助力实现更广泛的可持续发展目标。促进可持续生产框架将帮助企业和政策制定者深入了解第四次工业革命的创新成果与可持续发展目标之间的联系，从而制定出连贯一致的发展战略，推动可持续发展目标进展。

构建框架时的第一项任务是衡量在生产系统内实施第四次工业革命发展成果可能为行业带来的价值。研究团队利用世界经济论坛数字化产业转型项目所开发的风险价值方法，并将范围扩展到了数字化技术以外的物理和生物技术。在框架的这一部分共阐述了六个行业价值杠杆：对行业运营利润（增值）的潜在影响；行业参与者之间的利润转移（价值迁移）；客户利益，以及对劳动力、社会和环境的影响。

此外，还探讨了这些行业价值杠杆与可持续发展目标之间的联系。其间重新审查了17项可持续发展目标，并详细审查了232项基本指标及其定义。随后，我们根据可持续发展目标的最低标准绘制出六种价值杠杆并建立了因果关系，有助于大家了解各行各业可借助哪些杠杆推动实现可持续发展目标（见图17，以汽车行业为例）。

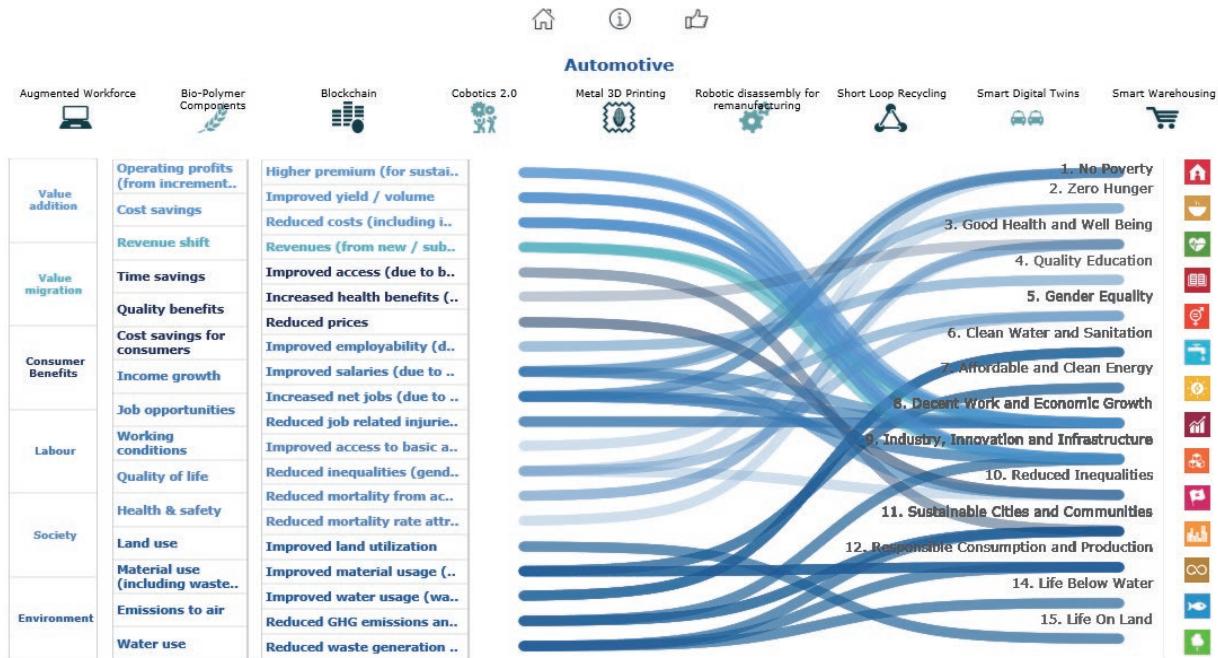
最后，成功将本白皮书中确定的40项可持续生产发展目标与风险价值杠杆和可持续发展指标联系起来。这样才形成了一个框架，不仅可用于衡量本文确定的第四次工业革命发展成果对企业价值和可持续发展目标所做的贡献，也可用于了解本文未作讨论的创新效果。（附录2提供了该框架采用研究方法的相关信息。）

该框架现已被转化成为一项交互工具。各国领导者可以结合本国制造业领域的创新成果，借助该框架来把握第四次工业革命带来的可持续性影响和机遇。此外，他们还可以从战略层面利用该框架，从而实现三重底线价值。该工具还可以帮助各利益相关者评估本文中未涉及的其他创新成果进行场景研究。

企业领导者在制定可持续发展目标时可以综合考虑各种复杂的影响关系，从而了解哪一杠杆可用于推动特定的可持续发展目标。此外，企业领导者还可以相互理解和交流自身对“联合国2030年可持续发展议程”的贡献。想象一下，如果从事汽车行业，您可能希望了解区块链的影响（图18）。利用该工具可揭示第四次工业革命发展成果与可持续发展目标之间的联系，凸显与价值创造驱动因素之间的联系，并提供有关时间范围、所涉技术以及相关利益和风险等信息（图19）。

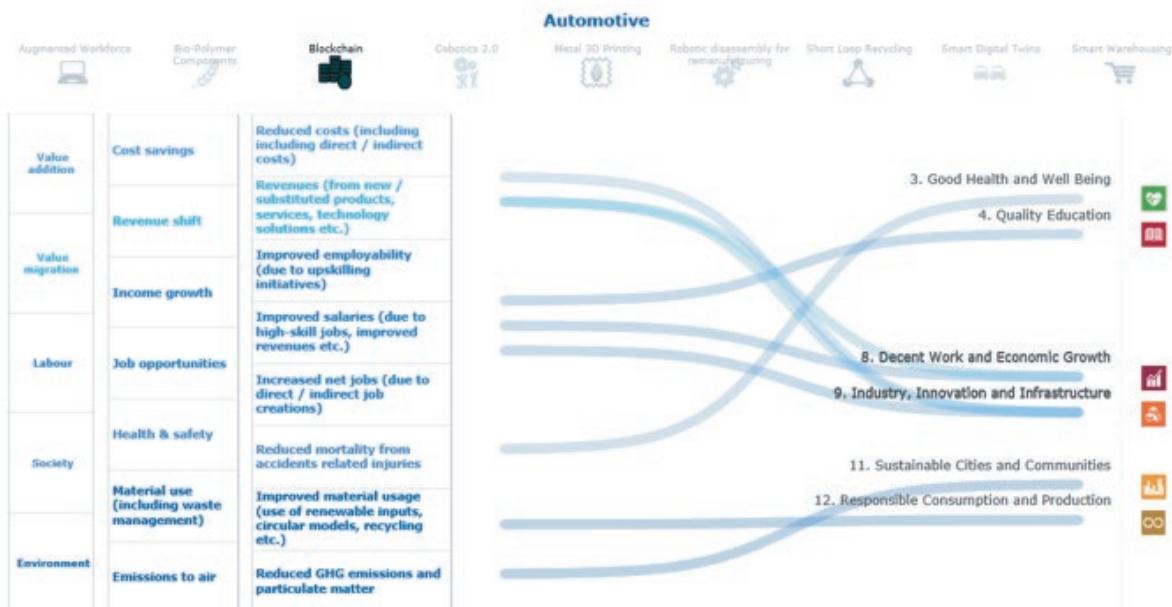
该项目的下一步是在合作国家和组织中应用该模型，以量化可持续发展目标的价值和贡献。

图17：促进可持续生产框架工具——汽车行业价值驱动因素与可持续发展指标的联系（截图）



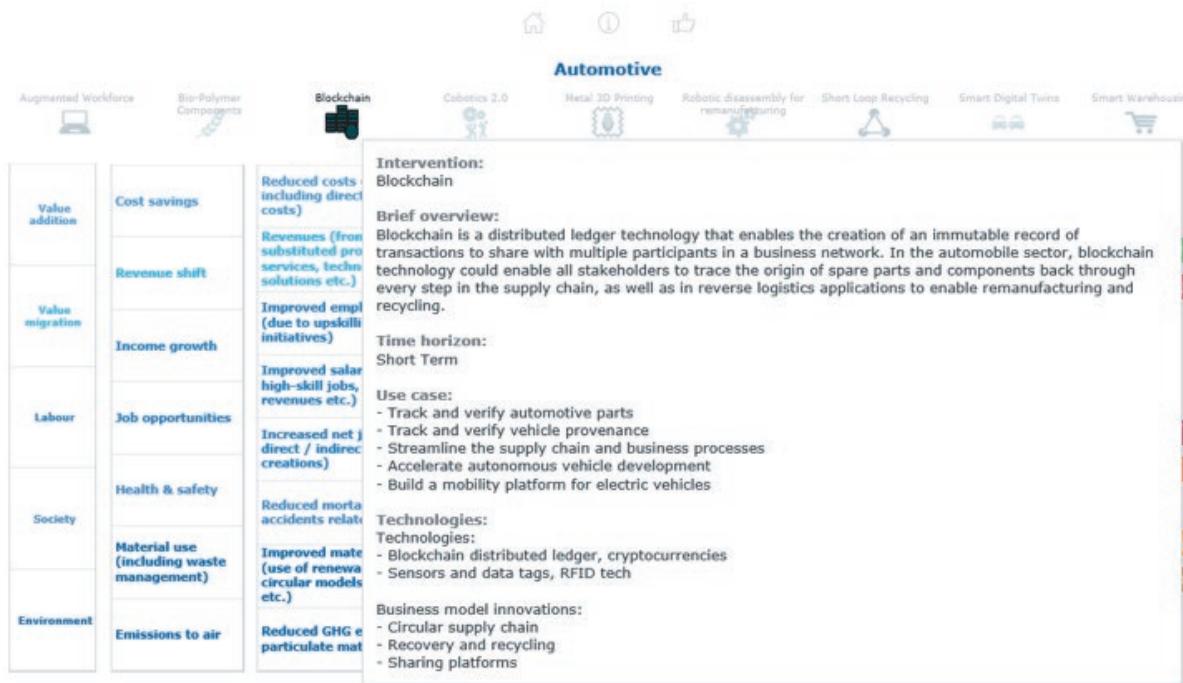
资料来源：埃森哲战略

图18：促进可持续生产框架工具——汽车行业第四次工业革命特定发展成果（区块链）影响下，价值驱动因素与可持续发展目标指标的联系（截图）



资料来源：埃森哲战略

图19：促进可持续生产框架工具——第四次工业革命某一特定发展成果（区块链）的详细说明（截图）



资料来源：埃森哲战略

附录

附录1：第四次工业革命可持续生产发展成果

汽车

图20：汽车行业可持续生产技术的发展成果和说明

进展	简要概述
短循环回收利用	 短循环（即所有回收过程均保留在汽车行业）旨在利用数字平台和就近原则建立多个合作伙伴关系来回收利用可（再）制造的材料。当前利用短循环进行原材料回收的例子包括钢、铜、纺织品和塑料等，最大限度将回收处理流程保留在本土汽车行业。
生物塑料和复合材料	 将较重的金属和塑料部件替换为工程级生物聚合物和/或较轻的全部或部分采用植物原料生产的天然纤维增强塑料。例如，结构件可以采用由亚麻纤维和生物环氧树脂与碳纤维进行混合后生成的复合材料，比传统聚合物更轻、更便宜、也更环保。这些材料和部件适用于多种车辆系统，包括动力传送系统。
智能数字孪生	 将现有的数字孪生技术与工业物联网和机器学习技术相融合，通过机器传感器提供近乎实时的更新和数字资产可视性。数字孪生模式可让制造商大幅提高工厂运营效率并及时了解最终产品的性能。
协作机器人2.0	 机器人系统采用人机合作的方式执行任务，不仅大幅提高生产效率，同时保护人类远离存在潜在危险的工作（比如事故发生频率较高的工作）。由于传感器和视觉技术的进步以及计算能力的提高，新一代重量更轻、即插即用型移动产品即将面市，从而安全开展各类人机协作。
金属3D打印技术	 将3D打印技术应用于金属材料可以提升通用和特殊用途型材料的灵活性。3D金属打印技术在汽车行业的应用涉及大规模的生产模具、备件和定制零件的增材制造以及最终产品组件打印。自下而上构建产品并按需用料可以显著减少材料浪费并降低产品重量，且极具成本优势，尤其是在使用钛合金和镍合金钢等材料的情况下。
区块链	 区块链是一种分布式账本技术，可以创建可与业务网络中多个参与者共享但不可更改的交易记录。在汽车领域，区块链技术可以使所有利益相关者通过供应链中每个步骤追溯组件的来源，并可通过逆向物流应用实现物料回收和再制造。
智能仓储	 自主移动机器人（AMR）技术的进步使在仓库中使用机器人成为现实，它们通常可与仓库工人合作，支持大批量小型多行订单操作。这样可以显著提高生产效率，减少工伤和事故，并提供更多技能培养和再培训机会。目前的研究重点是将机器学习纳入AMR解决方案。
增强劳动力	 增强现实技术（AR）现已广泛用于车辆生产的各个环节。AR技术在汽车行业可以支持复杂装配、机器维护、专家支持需求和质量保证等多个流程。它也是一种协作工具，可促进车间自动化，提高生产率，提高资源利用效率并推动健康安全事项改善。
用于再制造环节的机器人拆卸技术	 机器人现已广泛用于汽车制造，但在再制造领域，特别是在关键的拆卸阶段尚未普及。这一领域的进步意味着未来用于再制造的报废产品拆卸流程将变得更容易、更快速和更具成本效益，从而推动有效的资源利用并实现行业内的循环经济。

资料来源：埃森哲战略研究

图21：汽车行业可持续生产技术的发展成果和说明

进展	影响时间范围	关键技术和创新特征（简述）	关键商业因素
短循环回收利用	短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：先进的物料分类、机器人拆卸 数字技术：跟踪技术、机器视觉、云计算、大数据 其他：商业模式创新（回收和循环利用、循环供应链） 	<ul style="list-style-type: none"> 垂直整合 逆向物流 生态系统适应性调整
生物塑料和复合材料	短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：纳米技术（指轻质材料中的纳米粒子使用）、先进的科学仪器、微纤维技术（例如纤维素微纤维复合材料） 数字技术：用于研发的智能实验室技术、大数据、云计算 生物技术：先进的绿色化学和化学工程 	<ul style="list-style-type: none"> 需要监管部门批准 研发投入 可回收能力
智能数字孪生	中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：传感器和执行器，计算技术 数字技术：工业物联网、仿真软件、机器学习/AI（用于预测分析和仿真）、大数据、云计算 其他：工厂车间的实时仿真和诊断 	<ul style="list-style-type: none"> 数据存储功能和网络安全 资本投资 互联产品和服务
协作机器人2.0	短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：机器3D传感、传感器和执行器、机电设计工具 数字技术：适用于工业机器人的高级软件、工业物联网 其他：基于传感器和机器感知的新型安全解决方案 	<ul style="list-style-type: none"> 员工培训 流程变更 资本投资
金属3D打印技术	短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：3D打印机和打印方法、新材料（例如金属添加剂制造） 数字技术：CAD设计的进步，网络安全的改进 其他：材料科学的进步 	<ul style="list-style-type: none"> 知识产权与网络安全 利益相关者准备程度 可回收能力
区块链	中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：传感器和数据标签，RFID技术 数字技术：区块链（分布式账本）、加密货币 其他：商业模式创新（循环供应链、共享平台） 	<ul style="list-style-type: none"> 网络安全 透明度和可追溯性 人才招聘/能力培养
智能仓储	长期 (10年以上)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：自主移动机器人 数字技术：机器学习、视觉传感、软件技术 其他：有效支持物流装配线的启动 	<ul style="list-style-type: none"> 资本投资 员工培训 流程变更
增强劳动力	中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：显示技术、移动设备 数字技术：工业物联网、云计算、数据分析、软件技术 其他：用于机器维护、质量控制、复杂装配等的工艺创新 	<ul style="list-style-type: none"> 资本投资 人才招聘（设计师） 员工培训
用于再制造环节的机器人拆卸技术	中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：机器人和协作机器人技术、机器3D传感和机器视觉、传感器和执行器、机电设计 数字技术：工业物联网、云计算、数据分析 其他：商业模式创新（回收和循环利用、循环供应链） 	<ul style="list-style-type: none"> 资本投资 员工培训 流程变更

资料来源：埃森哲战略研究

电子

图22：电子行业可持续生产技术的发展成果和说明

进展	简要概述
矿产的数字可追溯性	 用于贵金属和工业金属市场的区块链软件，可防止“冲突矿产”进入电子产品价值链。私人许可的区块链技术可以按时间顺序永久记录从可由多个合作方访问的计算机网络中复制来的信息。涉及矿石来源的交易可以与之前的销售交易相关联。
半导体Fab 4.0	 指应用先进制造技术进行硅晶圆制造以及半导体和微芯片等电子元件的生产（传统生产流程会耗费大量能源和资源）。优化运营有助于大幅提高可持续性，重点是在晶圆前端制造和后端制造环节中采用工业物联网、大数据、高级分析、机器学习和协作机器人等技术，在有望大幅提升能源和资源效率的新兴市场中更是如此。
高级电子设计自动化	 EDA是电子设计领域的一项仿真技术，可以计算并预测材料和组件的性能，从而创建最佳的产品配置。这项以往只用于芯片设计的技术，现在已扩展到电子设备的整个开发过程，结合机器学习技术，可以提高设计和生产的效率和准确性，加快原型设计步伐，减少批次缺陷和产品召回机率，缩短产品上市时间。
准黑灯工厂	 自动化工厂采用机器人作业来生产电子产品，只需有限的或甚至无需人工干预。虽然真正的黑灯生产仍在少数，但越来越多流程只需少量人机交互即可顺畅运行。这样可以显著提高生产效率，提高生产能力和总产能，同时尽可能减少错误和浪费。
电子产品自动拆卸	 指拆卸电子产品以实现电子元件再利用和回收，从而降低对原材料的需求，实现材料闭环和循环经济业务模式。这一发展成果离不开适用于小型拆卸厂的模块化设计技术以及先进的机器人和自动化技术。这不仅能够降低供应链风险以及电子产品和冲突矿产的名誉风险，还能够确保原材料的持续再利用和增值。
电子产品3D打印	 即使用3D打印技术生产电子产品的硬件组件。使用3D打印的印刷电路板（PCB），设计人员可以加速完成原型设计，从而加快产品上市时间并确保资源的有效利用。这种3D打印技术应用方才兴起，目前仅限于原型设计，但不少公司已经在尝试使用导电油墨以适应传统金属在用于电子产品时的特性。
绿色电子材料	 由细菌和微生物等有机物制成的合成生物材料能够助力打造体积更小但功能更强大的设备。这些材料目前可用于制作电线、晶体管和电容器，减少人们对不可再生资源的依赖以及电子元件中的有毒物质，十分经济高效。这些材料还可用于制造生物兼容性传感器、计算设备和太阳能电池板组件。
先进的绿色包装	 材料科学创新让行业领先的电子产品公司能够在出厂的产品中使用可持续包装，例如基于菌丝体的保护泡沫、使用AirCarbon®绿色材料和酶加工小麦秸秆等，从而提高企业声誉并降低碳排放量。

资料来源：埃森哲战略研究

图23：电子行业可持续生产技术的发展成果——时间范围、关键技术和商业因素

进展	影响时间范围	关键技术和创新特征（简述）	关键商业因素	
矿产的数字可追溯性		中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> • 数字技术：区块链、云计算、在线平台 • 物理技术：RFID、移动技术 • 其他：商业模式创新（共享平台、循环供应、回收和循环利用） 	<ul style="list-style-type: none"> • 网络安全 • 企业声誉 • 人才招聘/能力发展/协作
半导体Fab 4.0		短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> • 数字技术：云计算和大数据、高级分析、协作机器人系统和机器学习 • 其他：精益计划 	<ul style="list-style-type: none"> • 资本投资 • 长期竞争力
高级电子设计自动化		中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> • 数字技术：电子设计自动化工具、云计算、大数据、工业物联网、机器学习 • 其他：研发流程再设计 	<ul style="list-style-type: none"> • 网络安全 • 资本投资 • 人才招聘/能力发展
准黑灯工厂		中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> • 物理技术：机器人和智能自动化、传感器和执行器 • 数字技术：工厂平面规划工具、工业物联网、云计算和存储、分析 	<ul style="list-style-type: none"> • 网络安全 • 资本投资 • 利益相关者准备程度
电子产品自动拆卸		中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> • 物理技术：先进的机器人和自动化、传感器和执行器、移动设备 • 数字技术：数字化退货物流、云计算 • 其他：商业模式创新（循环供应）、工艺设计 	<ul style="list-style-type: none"> • 员工培训 • 研发 • 资本投资
电子产品3D打印		中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> • 物理技术：打印机和打印方法/墨水、纳米技术 • 数字技术：CAD软件、电子设计自动化工具 • 其他：材料科学、机械工程、印刷电路板印刷和导电油墨等专有工艺 	<ul style="list-style-type: none"> • 资本投资 • 内部能力 • 创新驱动力
绿色电子材料		长期 (10年以上)	<ul style="list-style-type: none"> • 物理技术：纳米技术、先进的科学仪器 • 生物技术：生物混合系统/合成生物学和生物工程、先进的绿色化学 • 其他：材料科学 	<ul style="list-style-type: none"> • 合作机会 • 创新驱动力 • 与生物科技的联系
先进的绿色包装		短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> • 物理技术：先进的科学仪器 • 生物技术：先进的绿色化学、酶解决方案 • 其他：材料科学 	<ul style="list-style-type: none"> • 合作机会 • 成本吸收 • 供应链就绪

资料来源：埃森哲战略研究

图24：食品与饮料行业可持续生产技术的发展成果和说明

进展	简要概述
精准农业	 <p>精准农业将数据、分析技术与作物科学相结合，作出科学的农业决策。利用GPS、土壤传感器、天气数据和物联网等技术制定施肥、灌溉、收获时间、播种间距等相关决策，适用于整个农业生产系统，可在优化资源利用的同时大幅提高产量。</p>
先进生物农业	 <p>先进生物农业将精准农业技术与利用先进的绿色化学（例如生物刺激剂和生物杀虫剂）开发的农业生物解决方案相结合。先进生物农业涵盖了源自天然微生物的各类产品，可在作物收获前后使用。此解决方案减少了对土壤和水的化学污染，有助于防止生物多样性下降，减轻传统农业化学品给人类健康和福祉带来的风险。</p>
基因组编辑	 <p>基因组编辑技术使得科学家能够修改基因组，精确切割并将所需的性状插入作物基因。相反，传统的基因改造技术是通过改造DNA来添加来自其他生物体的基因，从而生成所需性状。基因组编辑可以改进作物的耐旱性、提高作物产量和农业设备的工作效率。</p>
垂直农业	 <p>通过部署可对农业环境各种因素（例如湿度、温度、灌溉施肥、曝光角度等）进行控制的技术，采用垂直的堆叠层在有阳光或无阳光的室内生产各种食物。技术和能源方面的进步可帮助加快粮食生产速度，提高产量，减少作物浪费和物流成本。</p>
自动化农业	 <p>利用机电一体化技术（如农业机器人）推动上游生产活动提升自动化水平，提高运营效率和资源生产率。例如机器人采摘、农用无人机播种/喷洒、奶牛机械化挤奶、自主拖拉机等。这一技术可带来诸多优势，包括但不限于提高生产率、提高资源效率以及降低发达经济体的劳动力短缺风险。</p>
农业5.0	 <p>这一发展成果是指通过将采用下一代农业机器人系统增强的精准农业与机器学习和农业生物工程进行深度融合，打造未来农场，最大限度提高生产力和作物产量，同时将投入降至最低。这一技术成果目前仍处于试验阶段，由学术和行业合作伙伴共同推动。</p>
细胞与组织工程	 <p>使用生物技术从细胞培养物中提取组织以用于最终产品（例如肉类），或使用细胞/微生物作为“工厂”来生产脂肪和/或蛋白质，从而构成最终食品（例如蛋和牛奶）。如果适当扩大规模，这一技术成果则有可能大幅减少土地和水资源使用，降低温室气体排放，并解决人类的抗生素耐药性问题。</p>
3D食品打印	 <p>可大规模打印烹饪和供应食品的机器。3D食品打印技术可以通过整合喷嘴技术、机器人技术和新鲜配料处理流程，制造各种复杂食品。该技术可以提高加工食品的营养价值，延长保质期，减少食物浪费。</p>
供应链高级包装	 <p>即产品包装可与内部环境变化进行交互或作出反应，以尽可能延长将产品保持在最佳参数范围内的时间，或者将相关信息传达给价值链参与者。包装中使用生物技术和数字传感器系统，例如时间温度指示器、爆震指示器和RFID标签。它可以配合分布式账本技术，帮助减少上游食品生产浪费。</p>
供应链可追溯性和控制	 <p>即分布式账本解决方案，通过跟踪技术、加密货币和数字技术来消除中间环节，增强食品价值链的可追溯性和透明度，追溯产品源头，增加农民收入，提高农民生活水平。</p>
先进的有机废水处理	 <p>利用污水-能源生化转换流程、先进的膜解决方案和生物催化剂，加速有机废弃物的生物降解，同时收集能源。该技术可去除99%以上污染物，实现水资源循环再利用，同时从沼气中收集可再生能源供加工厂使用。</p>

资料来源：埃森哲战略研究

图25：食品与饮料行业可持续生产技术的发展成果——时间范围、关键技术和商业因素

进展	影响时间范围	关键技术和创新特征（简述）	关键商业因素	
精准农业		短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: GPS、传感器、无人机、移动技术 数字技术: 物联网、大数据和分析、云计算 其他: 作物科学 	<ul style="list-style-type: none"> 负担能力/低成本解决方案需求/融资渠道 技能需求/能力建设
先进生物农业		短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: GPS、传感器、无人机、移动技术、绿色化学 数字技术: 物联网、大数据和分析、云计算 生物技术: 生物催化、生物修复、微生物组技术 	<ul style="list-style-type: none"> 市场增长 产品溢价 规模经济
基因组编辑		中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: 基因组测序芯片、3D打印工具 数字技术: 大数据、分析、模拟建模、AI（在部分实验案例中） 生物技术: CRISP-R/Cas9基因编辑工具 	<ul style="list-style-type: none"> 政策和法规 消费者意识 早期创新（基因目标有限）
垂直农业		短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: 传感器和执行器、农业工程 数字技术: 大数据、云计算、分析、移动技术 生物技术: 溶液培养、气雾培养、鱼菜共生 其他: 循环经济商业模式 	<ul style="list-style-type: none"> 能源密集度 技能/能力建设
自动化农业		中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: GPS、无人机、农业机器人、传感器和执行器 数字技术: 大数据、云计算、分析、移动技术、机器感知和机器视觉 	<ul style="list-style-type: none"> 负担能力/融资渠道 市场增长
农业5.0		长期 (10年以上)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: GPS、无人机、农业机器人、传感器和执行器 数字技术: 大数据、云计算、高级分析、移动技术、机器感知和机器视觉、机器学习 生物技术: 基因组编辑 	<ul style="list-style-type: none"> 负担能力/融资渠道 技能需求/能力建设 利益相关者准备程度
细胞与组织工程		中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: 先进的科学仪器、3D打印工具 数字技术: 大数据、分析技术、云计算 生物技术: 生物制造、生物催化、基因组编辑 	<ul style="list-style-type: none"> 培育市场、降低成本 建立伙伴关系扩大经营规模 消费者接受程度
3D食品打印		长期 (10年以上)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: 3D打印机和打印方法、新材料（例如食品盒和可食用粘合剂） 数字技术: CAD设计的进步 其他: 食品与营养科学、亲水胶体 	<ul style="list-style-type: none"> 高端低本解决方案 消费者意识 早期创新
供应链高级包装		短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: 新型包装材料 数字技术: 芯片、数据标签、RFID、区块链、传感器、数据、云计算 生物技术: 生物活性技术 	<ul style="list-style-type: none"> 上游适用性 负担能力/低成本解决方案需求 价值链整合
供应链可追溯性和控制		中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: GPS 数字技术: 区块链/分布式账本解决方案、加密货币（在某些情况下）、RFID和数据标签、数字平台 其他: 循环经济商业模式 	<ul style="list-style-type: none"> 研发投入 建立伙伴关系扩大经营规模 价值链整合
先进的有机废水处理		短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术: 废水处理厂/生物反应器、膜解决方案、能量收集 数字技术: 控制仪表板、数据、分析、云计算 生物技术: 生物催化剂、电生物学、厌氧和好氧处理 	<ul style="list-style-type: none"> 废液适用性 资本投资 规模经济

资料来源：埃森哲战略研究

纺织品、服装和鞋类行业

图26：纺织品、服装和鞋类行业行业可持续生产技术的发展成果和说明

进展	简要概述
基因编辑纤维作物	 利用CRISPR/Cas9基因组编辑来改良纤维作物，尤其是棉花。该技术有望解决因土壤侵蚀、降雨强度和农业化学品过度使用而导致的产量下降问题，同时还能为行业领导者和中国、印度和美国等主要棉花出口国提供创收机会。
先进生物农业	 先进生物农业将精准农业技术与利用先进的绿色化学（例如生物刺激剂和生物杀虫剂）开发的农业生物解决方案相结合。先进生物农业涵盖了源自天然微生物的各类产品，可在作物收获前后使用，可以减少对土地和水的污染，降低对当地生物多样性的负面影响。
精准农业 (纤维作物)	 精准农业将数据、分析技术与作物科学相结合，作出科学的农业决策。利用GPS、土壤传感器、天气数据和物联网等技术制定施肥、灌溉、收获时间、播种间距等相关决策，适用于整个农业生产系统，可在优化资源利用的同时大幅提高产量。
升级纺织纤维	 化学技术已经成功从木浆中提取出升级版纤维素，可用于生产优于目前市售粘胶纤维的生物纤维。该技术最近已成功应用于商业规模的棉纤维生产。该方法可大幅减少水资源和化学品用量，降低二氧化碳排放并延长原材料的投入使用周期，为服装行业的物料闭环提供可行的商业解决方案。基于这一流程，研究人员现在通过化学创新已经找到了可对棉-聚酯混合物进行类似处理的方法。
生物制造皮革	 指的是通过内部培育的胶原细胞在实验室培养生物制造组织以用于非动物皮革生产的活动。采用使用少量化学剂的简化鞣制工艺提纯并加工胶原蛋白。根据设计规划尺寸和形状，因此不会造成浪费；纹理等物理特性均可定制。整个过程更迅速、更清洁，能够生产对环境影响不大的道德产品。
下一代生物基聚酯	 生物单体长期用于生产纺织用的高性能化学器和聚合物。但现在由化工行业领军企业进行的最新创新成果可以实现极具成本效益、100%可再生和回收利用（玉米桔杆）的高性能生物聚酯纤维。生物降解性和原料长期供应仍是一个难题，但研究表明未来极有可能开发出非石油衍生产品的混合解决方案。
替代性天然纤维	 即由不可食用或具有高纤维素的植物器官（例如菠萝叶、椰子壳、香蕉茎秆）制成的纺织纤维。纤维来源一般是不具备商业价值的农场残留物。其中还包括可用于替代棉花和石油基纺织品、纯纺织品或混合纺织品的天然纺织纤维，如亚麻、大麻、竹子和海藻。这些植物可以提供性能优良且可再生、可降解的纤维。
鞋类工厂5.0	 具有市场需求且可缩短供应链的新式微型生产工厂。这些工厂采用高度自动化的生产流程，例如适用于大规模生产的电脑针织、机器人剪裁和高级添加剂制造等。与此同时，原型机可由计算机通过数字孪生技术进行设计和测试。此外，这些微型工厂通过规模化定制和快速投放市场等，大幅提高资源生产效率，提升环境保护绩效。
纳米技术 增强面料	 经过纳米颗粒处理的面料不会沾染污渍和灰尘，甚至具有自净功能，减少洗涤、干燥和熨烫环节，可以在产品整个生命周期内降低能源和水资源消耗。这项技术可为服装制造商带来实现产品差异化和优质化的重大机遇。
时尚业区块链	 分布式账本解决方案融合移动技术和嵌入电子技术，不仅可以增强纺织纤维价值链的透明度和可追溯性，还可以提高产品可信度、企业信誉度和品牌忠诚度，贯穿产品整个生命周期。该技术还可用于验证物料的上游源头、工人的生产条件、织物成分和所用化学品等。
先进的有机 废水处理	 利用污水-能源生化转换流程、先进的膜解决方案和生物催化剂，加速有机废弃物的生物降解，同时收集能源。该技术可去除99%以上污染物，实现水资源循环再利用，促进各类加工厂的可再生能源应用。
自动缝纫	 机器人技术、机器视觉等技术进步以及各类新型工艺创新为服装制造这个目前仍大量依赖手工作业的行业带来了全新的自动缝纫工艺流程。目前已臻成熟的解决方案适用于包括服装在内的多个行业，可让制造商们以更低成本推动行业升级，让供应链更加接近消费者。可持续性收益表现在可大幅降低运输成本和资源浪费。

资料来源：埃森哲战略研究

图27：纺织品、服装和鞋类行业可持续生产技术的发展成果—时间范围、关键技术和商业因素

进展	影响时间范围	关键技术和创新特征（简述）	关键商业因素
基因编辑纤维作物	中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：基因组测序芯片、3D打印工具 数字技术：大数据、分析、模拟建模、AI（在部分实验案例中） 生物技术：CRISP-R/Cas9基因编辑工具 	<ul style="list-style-type: none"> 政策和法规 消费者意识 早期创新（棉花实验证据）
先进生物农业	短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：GPS、传感器、无人机、移动技术、先进的绿色化学 数字技术：物联网、大数据和分析、云计算 生物技术：生物催化、生物修复 	<ul style="list-style-type: none"> 市场增长 产品溢价 规模经济
精准农业 (纤维作物)	短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：GPS、传感器、无人机、移动技术 数字技术：物联网、大数据和分析、云计算 其他：作物科学 	<ul style="list-style-type: none"> 负担能力/低成本解决方案需求/融资渠道 技能需求/能力建设
升级纺织纤维	短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：专有闭环化学解决方案、机械工程技术 数字技术：数字平台和供应链工具 其他：循环经济商业模式 	<ul style="list-style-type: none"> 逆向物流 规模/能力建设 上游集成
生物制造皮革	长期 (10年以上)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：先进的科学仪器、3D打印工具 数字技术：大数据、分析技术、云计算 生物技术：生物制造和工程、基因组编辑 	<ul style="list-style-type: none"> 蓝海市场 规模/能力建设 产品优质化机遇
下一代生物基聚酯	短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：先进的绿色化学和工业生物科学 数字技术：大数据、分析技术、云计算 其他：循环经济商业模式 	<ul style="list-style-type: none"> 上游集成 规模/能力建设 农民赋权
替代性天然纤维	短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：先进的绿色化学和工业生物科学 数字技术：大数据、分析技术、云计算 其他：循环经济商业模式 	<ul style="list-style-type: none"> 上游集成 规模/能力建设 原材料聚合 农民赋权
鞋类工厂5.0	中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：工业物联网、传感器和执行器、3D打印、机器人、新材料 数字技术：云计算、供应链数字化、数字孪生 其他：生产回流 	<ul style="list-style-type: none"> 资本投资 新的技能需求/能力建设
纳米技术增强面料	中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：纳米织物涂料、新材料 数字技术：云计算、大数据 	<ul style="list-style-type: none"> 研发投入 监管环境 价值链整合
时尚业区块链	中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：GPS、微芯片/可穿戴电子产品 数字技术：区块链/分布式账本解决方案、加密货币（在某些情况下）、数字平台 其他：循环经济商业模式 	<ul style="list-style-type: none"> 研发投入 建立伙伴关系扩大经营规模 价值链整合
先进的有机废水处理	短期 (未来5年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：废水处理厂/生物反应器、膜解决方案、能量收集 数字技术：控制仪表板、数据、分析、云计算 生物技术：生物催化剂、电生物学、厌氧和好氧处理 	<ul style="list-style-type: none"> 废液适用性 资本投资 规模经济
自动缝纫	中期 (5-10年)	<ul style="list-style-type: none"> 物理技术：传感器和执行器、机器人技术 数字技术：机器视觉、机器感知、M2M通信 其他：化学科学 	<ul style="list-style-type: none"> 研发投入（早期开发） 资本投资 流程重新设计

资料来源：埃森哲战略研究

附录2：研究范围、术语、定义和研究方法

范围

适用于可持续生产的第四次工业革命各项技术的研究范围主要基于以下标准：

- 能源和原材料的提取均假定在本分析范围之外
- 成为主流普及产品的时间：未来10年或更长
- 上游价值链适用性（从摇篮到工厂到大门）
- 重点关注生产领域，包括但不限于制造活动
- 推动可持续发展的积极因素，从而实现一个或多个可持续发展目标
- 处于创新或早期应用阶段的第四次工业革命先进技术（根据罗杰斯的“创新扩散理论”）

我们选择国家时，主要基于其市场发展重点、相关产业对国民经济的相对经济重要性、联合国工业发展组织（UNIDO）关于制造业增加值（MVA）在国内生产总值中所占份额的数据，以及该国对世界MVA和制造业贸易的影响。

我们在选择制造业时主要基于UNIDO分类系统研究，重点是为消费者提供最终产品的产业。同时还参考了相关行业在经济、社会和环境方面对于全球经济的重要性等数据。随后，我们选择了“一揽子”能够反映UNIDO研究结果，包括低端和高科技的行业，即这些行业通常应具有更高的环境生产力（即每生产1美元附加值的碳排放量低于同行）。本方法中的基本假设是选择最容易受到可持续技术干预影响的行业。在最终确定四个行业时，我们还充分考虑了项目社区的利益。

主要术语和定义

- **生产：**任何既定行业价值链中从摇篮到工厂到大门这部分所有的产品增值活动，不包含假定不属于本分析范围的活动。
- **可持续生产：**产品的制造和产品投入以及相关服务的创建，应能满足消费者需求和市场需求，提高人们生活品质，同时最大限度减少自然资源和有毒物料的使用。在此过程中，还应将废弃物和污染物的排放量降至最低，避免危及后代的生存与发展（根据1994年奥斯陆专题研讨会有关可持续消费和生产的定义）。

- **第四次工业革命可持续生产发展成果：**一整套数字、物理和/或生物的第四次工业革命技术融合在一起，用于改变制造行业的投入、流程和产出，然后打造新型商业模式，力争在坚守三重底线（经济，社会和环境）基础上创造更大价值。

- **第四次工业革命发展成果时间范围：**预计实现全面的技术成熟和主流普及的时间，根据埃森哲分析、中小企业的行业调查和媒体搜索结果而确定（短期：0-5年；中期：5-10年；长期：10年以上）。

- **循环经济：**英国废品与资源行动计划组织（Waste and Resources Action Programme）定义为“替代传统线性经济（制造-使用-处理），尽可能长期地维系利用资源，在使用中获取最大价值，在每次使用寿命结束时实现产品和材料的回收与再生产的一种经济模式。”

研究方法

第四次工业革命产业发展成果与联合国可持续发展目标

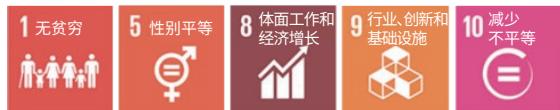
联合国可持续发展目标（SDGs）将作为本框架的基础，用来确定从经济、社会和环境角度对可持续发展具有最大促进作用的第四次工业革命科技成果。在17个可持续发展目标中，我们选出了14个目标组成三个可持续发展评估领域，并将相关子目标和指标的完整列表缩小至研究范围内工业领域相关的生产系统。根据初级和二级研究证据，对已确定的科技成果与14个可持续发展目标之间的联系（有可能不存在）进行评估。如果可以确认两者之间的直接联系，那么将展开进一步研究，确定特定科技在所有相关可持续发展目标上获得的总分及其上升潜力和下行风险。

选定的可持续发展目标以及基于经济、社会和环境维度的分组结果如图28所示。

我们的研究随后确定了涵盖价值链各环节——从“摇篮到大门”（原材料开采到下游制造业）——以及四个目标行业的40个技术领域。然后，对每一项技术进行评分，更加精准地确定各项技术对于促进可持续生产的预期影响。评分依据对文献的回顾以及针对业界和学术界领导人的采访。考虑到可承受能力、技术应用率与技术发展途径等因素，我们界定了评分标准。共有5个等级，从-2到+2。

图28：基于上述三大评估领域划分的生产活动的可持续发展目标

经济影响：



社会影响：



环境影响：



资料来源：埃森哲战略研究

区域发展机遇

促进可持续生产机遇的区域评估工作基于世界经济论坛国家准备指数框架（见图29），涉及以下相关因素：

- 生产结构 — 这些因素可反映生产活动当前基准，用于衡量其经济复杂程度和制造业增加值占国内生产总值的百分比

- 生产驱动因素 — 这些因素可反映各国对于利用新兴技术改造其生产系统的准备状况

总而言之，这个框架包含的一系列杠杆不仅可用于确定特定国家的第四次工业革命科技发展状况，并且还能用来帮助这些国家识别促进各项科技发展所需的行动。

图29：用于识别区域发展机遇的国家准备指数框架

生产结构	生产结构	复杂程度	经济复杂程度
		规模	制造业附加值
生产驱动因素	技术与创新	技术平台	ICT可用性
			ICT的运用
			数字安全和数据隐私
	创新能力		行业活动
			科研强度
			可用融资
	人力资本	当前劳动力	劳动力能力
			迁移
		未来劳动力	教育成果 敏捷性和适应性
	全球贸易与投资	贸易	贸易开放程度
			贸易便利化和市场准入
		投资	投资和融资
	组织机构	基础设施	交通运输和电力
			效率和效果
		政府	法规
	可持续资源	可持续性	能源
			排放量
			物料
	需求环境	需求	市场规模
			消费者成熟度

资料来源：科尔尼（A.T. Kearney）/世界经济论坛分析

在进行区域评估时，遵循了以下步骤：

- 第一步，利用世界经济论坛国家准备指数框架来了解相关区域背景。这一步有助于我们理解区域内可能会对某一地区第四次工业革命科技发展状况产生影响的细微差别。
- 其后，收集创新案例，进一步深入研究本报告所确定的第四次工业革命核心科技。案例研究的选择主要考虑涵盖本研究范围内的四个工业领域及本研究确定的关键主题科技。
- 根据对区域背景（源自框架）及案例研究中关键成功因素的理解，确定区域机会。
- 最后，确定对企业和政策制定者的潜在行动和影响，帮助它们及时把握短期区域发展机遇。

促进可持续生产框架

该框架建立在作为世界经济论坛制造业数字转型(DTI)项目组成部分的风险价值基础上，并将范围扩展到了物理、生物及数字技术。

初始框架经调整后，可以应对制造业的特殊性问题。特别值得一提的是，我们将环境因素与社会因素相分离，以突出前者的重要性，同时还在框架内加入了若干非财务影响的新领域。

该框架具有双重目的：(1)衡量在生产系统中应用特定技术能够创造的总价值；(2)确定可持续发展目标的影响来源及其基本目标和指标。我们采用了以下方法来构建框架并选择指标：

1. 验证制造业数字化转型风险价值框架中所用的价值杠杆
2. 进行全面的文献综述回顾，确定能够准确反映社会经济和环境影响的指标
3. 审查可持续发展目标指标——对所有可持续发展目标指标和跨机构专家组制定的可持续发展目标研究方法(IAEG-可持续发展目标)进行详细审查
4. 建立初步框架描绘第四个工业革命科技的潜在影响。该框架作为本流程的组成部分得到了进一步的细化完善。

框架结构

价值杠杆

以数字转型项目的初始风险价值框架为基础，开发促进可持续生产框架结构。为了强调可持续性重点，我们对初始框架结构进行了调整：将社会因素从环境因素中分离出来，增加额外的价值杠杆，确保指标反映出所有的潜在负面影响。

促进可持续生产框架(图30)将价值与工业(增加值和迁移)和社会价值(客户利益、劳动、社会和环境)区分开来：

- **增加值** — 目标行业应用第四次工业革命科技所获得的益处可分成两大部分：(1)提升营业利润，从相同的投入中获得更多产出或是增加产品溢价；(2)降低成本，包括直接投入成本(例如，投入品与劳动力)和间接成本(例如，公用设施或设备)
- **价值转移** — 经营利润主要通过两种形式在不同行业之间转移：(1)技术供应商的收入增加，(2)被替代产品的供应商和投入品供应商蒙受收入损失。其结果就是，人们开始考虑被替代零件的经济效益
- **对客户的好处** — 客户得以使用因技术进步而变得更为完善的产品，产品改进主要表现在三个方面：时间、成本和质量
- **劳动力** — 由于其在生产过程中的重要作用而被列为独立分支，可带来以下三大主要价值来源：(1)就业机会(来自就业变化或培训)；(2)薪酬；(3)工作条件
- **社会** — 该类别包含了工厂改进或新产品变更为社区带来的附带收益，主要包括两大形式：(1)健康与安全，致力于降低死亡率/提高预期寿命；(2)改善生活质量(例如，安全用水和安全用电)或减少不平等(劳动力相关)
- **环境** — 包括四大类：(1)温室气体排放和颗粒物；(2)水的使用(提高利用率，改善废水排放)；(3)土地利用(提高土地利用率)；(4)材料使用，包括废弃物管理(假定气候影响已经反映在了排放量的预计成本中，与水和土地相关的影响不包括在内。)

图30：用于分析单项可持续生产技术发展风险价值的框架



资料来源：埃森哲战略分析

对可持续发展目标的影响

最后，我们建立了最低水平价值杠杆和可持续发展目标指标之间的联系。为此，我们对可持续发展目标指标及其定义进行了详细分析。

可持续发展目标指标由IAEG-SDG制定，并经联合国统计委员会批准。整个制定过程耗时一年，众多成员国参与其中，还邀请了各地区机构和国际机构作为观察员。我们所使用的指标清单基于2017年4月的IAEG-SDG最新版本。

我们的目标是发现价值杠杆和可持续发展目标指标之间的因果联系，即证明价值杠杆变更可助力可持续发展目标。采用这种方式之后，一旦加入了计算元素，就可以对特定发展成果如何帮助具体区域更快实现目标进行量化。我们从整个行业或行业巨头的角度进行分析，因为许多经济指标（主要是可持续发展目标8和9）都涉及宏观经济的变化。

这项工作能够协助政策和商业领导者制定战略，还有助于列出不同投资机遇要素对可持续发展目标的贡献度。因此，领导者可以在进行定性分析的同时，全方位地了解具体影响。未来，这项工作将为详细的经济模型奠定基础，以量化持续创新在不同市场中创造价值的潜力。

尾注

¹《2016年工业发展报告——技术和创新在包容性和可持续行业发展中 的作用》，联合国工业发展组织，2015年12月，
https://www.unido.org/fileadmin/user_media_upgrade/Resources/Publications/EBOOK_IDR2016_FULLREPORT.pdf

² 我们从17个可持续发展目标中挑选出了14个，并分成三大可持续性评估领域（经济、社会和环境价值）。上述相关目标和指标已根据目标行业的相关生产系统进行适应性调整。有关更多详细信息，请参阅附录。

³ 我们选择国家时，主要基于其市场发展重点、相关产业对国民经济的相对经济重要性、联合国工业发展组织关于制造业增加值（MVA）在国内生产总值中所占份额的数据，以及该国对世界MVA和制造业贸易的影响。

⁴《2016年工业发展报告——技术和创新在包容性和可持续行业发展中 的作用》，联合国工业发展组织，2015年12月，
https://www.unido.org/fileadmin/user_media_upgrade/Resources/Publications/EBOOK_IDR2016_FULLREPORT.pdf

⁵《2016年国际能源展望：工业部门能源消耗》，美国能源情报署，2016年，
<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/industrial.pdf>

⁶《温室气体排放源》，美国国家环境保护局，
<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-green-house-gas-emissions#industry>

⁷ 托马斯·M·阿伯克龙比（Thomas M. Abercrombie），《工业废弃物统计与趋势》，《电子废弃物处理》（eWaste Disposal），2014年8月<http://ewastedisposal.blogspot.in/2014/08/10-industrial-waste-statistics-and.html>

⁸ 米莉恩·林斯特（Myriam Linster），《物料资源、生产力和环境：主要发现》，经合组织，2013年，
http://www.oecd.org/greengrowth/MATERIAL%20RESOURCES,%20PRODUCTIVITY%20AND%20THE%20ENVIRONMENT_key%20findings.pdf

⁹ 同上。

¹⁰《2050年经合组织环境展望：不作为的后果》，经合组织，2012年6月，
http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/environment/oecd-environmental-outlook-to-2050_9789264122246-e#page75

¹¹ 伊万·赫什（Evan Hirsh）、约翰·朱伦斯（John Jullens）和迦纳什·卡尔蒲迪（Ganesh Kalpundi），《汽车行业的真正挑战》，《战略+商业》（Strategy + Business），2016年9月，
<https://www.strategy-business.com/article/The-Auto-Industries-Real-Challenge?gko=31542>

¹² 亚历山大·萨格（Alexandria Sage），《特斯拉的座椅策略在当前显得不合时宜》，路透社，2017年10月，
<https://www.reuters.com/article/us-tesla-seats/teslas-seat-strategy-goes-against-the-grain-for-now-idUSKBN1CVODS>

¹³ 摘自论文评审反馈，密歇根大学倪军教授

¹⁴《2017年英国汽车行业可持续发展报告》，汽车制造商和贸易商协会，
<https://www.smmt.co.uk/wp-content/uploads/sites/2/SM-MT-Sustainability-Report-2017-online.pdf>

¹⁵ 塞巴斯蒂恩·米罗多特（Sébastien Miroudot），科沃恩·德·巴克尔（Koen De Backer），“绘制全球价值链”，经合组织，2012年12月，
https://www.oecd.org/dac/aft/MappingGlobalValueChains_web_usb.pdf

¹⁶《汽车制造业塑料短循环回收》，艾伦·麦克阿瑟基金会，
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/short-loop-recycling-of-plastics-in-vehicle-manufacturing>

¹⁷ 来自雷诺集团回收和循环经济经理吉恩·丹尼斯·科特（Jean-Denis Curt）的邮件。

¹⁸ A.·哈罗（A. Halou）, D.·伊奥斯福（D. Iosif），《汽车行业的生物源复合材料》，皮特什蒂大学，2013年9月，
https://www.automotive.upit.ro/index_files/2014/2014_8_.pdf

¹⁹ 多米尼克·斯蒂芬（Dominik Stephan），《生物聚合物快速增长：到2020年产量增长两倍》，Process Worldwide网站，2016年1月，
<https://www.process-worldwide.com/fast-growth-of-biopolymers-production-to-triple-by-2020-a-494754/>

²⁰《对于佛吉亚而言，农业将在汽车行业的未来发挥关键作用》，佛吉亚集团，2016年3月，
<http://www.faurecia.com/en/innovation/experts-voice/for-faurecia-agriculture-will-play-key-role-future-automotive-industry-03032016>

²¹《佛吉亚FlaxpregTM赢得2015年欧洲JEC复合材料展半成品类别创新奖》，佛吉亚集团，2015年3月，
<http://www.faurecia.com/en/faurecia-flaxpregtm-wins-jec-europe-2015-innovation-award-semi-products-category>

²²《追求可持续发展之路》，科思创，
<https://www.covestro.com/en/ecs-2017/automotive/bio-based-hardener>

²³ 迈克·伯纳斯·李（Mike Berners-Lee）和邓肯·克拉克（Duncan Clark），《一辆新车的碳排放量有多少？》，《卫报》，2010年9月，
<https://www.theguardian.com/environment/green-living-blog/2010/sep/23/carbon-footprint-new-car>

²⁴ 杰克·豪沃思（Jack Howarth）、萨达·S.R.·马莱迪（Sada S.R. Mareddy）和保罗·马蒂维加（Paul Mativenga），《碳纤维复合物机械回收的能源密集度和环境分析》，ResearchGate网站，2014年6月，
https://www.researchgate.net/publication/263201013_Energy_Intensity_and_Environmental_Analysis_of_Mechanical_Recycling_of_Carbon_Fibre_Composite

²⁵ John Chu，《打造可持续的美国经济：美国的制造业竞争力》，能源部，2012年8月，
<https://energy.gov/articles/building-american-economy-last-american-competitiveness-manufacturing>

²⁶ 杰西卡·里昂斯·哈德卡斯特尔（Jessica Lyons Hardcastle），《3D打印是可持续制造的未来？》，Environmental Leader网站，2015年11月，
<https://www.environmentalleader.com/2015/11/is-3d-printing-the-future-of-sustainable-manufacturing/>

- ²⁷ 竹森洋 (Takemori Hiroshi) , 《速度驱动力》, Stratasys公司, http://global72.stratasys.com/~/media/Case-Studies/Automotive/CS_PJ_AU_HondaAccess_1215.ashx#_ga=2.90124251.1346263622.1510058775-1482476064.1510058775
- ²⁸ 《全球首款3D打印汽车第一次试驾》, 洛克汽车公司, 2014年9月, <https://localmotors.com/press-release/worlds-first-3d-printed-car-takes-inaugural-drive/>
- ²⁹ 《汽车行业的增材制造机遇：十年预测》, Smartech Markets公司, 2014年12月, <https://www.smartechpublishing.com/reports/additive-manufacturing-opportunities-in-the-automotive-industry-a-ten-year>
- ³⁰ 杰夫·克恩斯 (Jeff Kerns) , 《3D打印如何改变汽车制造业》, 机械设计网站 (Machine Design) , 2016年11月, <http://www.machinedesign.com/3d-printing/how-3d-printing-changing-auto-manufacturing>
- ³¹ Xuyen N., “科技行业的隐藏问题：解决电子废弃物问题”, CGTN, 2017年11月, https://news.cgtn.com/news/31517a4d33597a6333566d54/share_p.html
- ³² 凯瑟琳·德比舍尔 (Katherine Derbyshire) , 《实现芯片制造业可持续发展》, 半导体工程网站 (Semiconductor Engineering) , 2016年9月, <http://semiengineering.com/making-chip-manufacturing-sustainable/>
- ³³ 凯莉·迈克锡尼 (Kelly McSweeny) , 《苹果的机器人Liam拆卸iPhone的方法和原因》, ZD Net网站, 2017年4月, <http://www.zdnet.com/article/how-and-why-apples-robot-liam-disassembles-iphones/>
- ³⁴ 卡瑞莎·瑞佳娜弗奇 (Charissa Rujanavech) , 乔·莱萨德 (Joe Lessard) , Sarah Chandler (莎拉·钱德勒) , Sean Shannon (肖恩·香农), 杰弗里·达玛斯 (Jeffrey Dahmus) , 罗布·古佐 (Rob Guzzo) , “Liam机器人——创新故事”, 苹果公司, 2016年9月, https://www.apple.com/environment/pdf/Liam_white_paper_Sept2016.pdf
- ³⁵ 珍妮特·拉斯罗普 (Janet Lathrop) , 《合成生物学带来的“绿色”电子材料》, 麻省大学阿默斯特分校, 2016年7月, <https://www.umass.edu/newsoffice/article/%E2%80%99green%E2%80%99-electronic-materials-produced>
- ³⁶ YFWJupiter公司, <http://www.yfyjupiter.com/>
- ³⁷ 拉米雷斯·M. (Ramirez M.) , 《全球最大消费电子制造商的环境可持续设计实践》, PLATE网站, <http://www.plateconference.org/environmentally-sustainable-design-practices-amongst-worlds-largest-consumer-electronics-manufacturers/>
- ³⁸ 米海·安德烈 (Mihai Andrei) , 《中国工厂用机器人代替了90%的人工, 产量增加250%, 失误减少80%》, ZME科学网, 2017年2月, <https://www.zmescience.com/other/economics/china-factory-robots-03022017/>
- ³⁹ 《已有30家公司正在用机器人取代人工》, MSN, 2017年2月, <https://www.msn.com/en-us/money/companies/30-companies-already-replacing-humans-with-robots/ss-BBy4YrB#image=4>
- ⁴⁰ 安德鲁·索沃斯 (Andrew Sawers) , 《富士康耗资650万美元进行试点后, 将区块链应用于新型SCF平台》, 供应链金融简报 (SCF Briefing) , 2017年3月, <http://www.scfbriefing.com/foxconn-launches-scf-blockchain-platform/>
- ⁴¹ 塞巴斯蒂恩·米罗多特 (Sébastien Miroudot) , 科沃恩德巴克尔 (Koen De Backer) , “绘制全球价值链”, 经合组织, 2012年12月, https://www.oecd.org/dac/aft/MappingGlobalValueChains_web_usb.pdf
- ⁴² 《技术和创新在包容性和可持续行业发展中的作用》, 联合国工业发展组织, 2015年12月, [https://www.unido.org/fileadmin/user_media_upgrade/Resources/Publications/EBOOK_IDR2016_FULLREPORT.pdf \(p35\)](https://www.unido.org/fileadmin/user_media_upgrade/Resources/Publications/EBOOK_IDR2016_FULLREPORT.pdf)
- ⁴³ 珍妮特·兰加纳森 (Janet Ranganathan) , 《全球粮食挑战的18个图解》, 世界资源研究所, 2013年12月, <http://www.wri.org/blog/2013/12/global-food-challenge-explained-18-graphics>
- ⁴⁴ 《2013年粮农组织统计年检》, 联合国粮食及农业组织, 2013年, <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>
- ⁴⁵ 何塞·格拉齐亚诺·达·席尔瓦 (José Graziano da Silva) , 《拯救粮食: 减少粮食损失与浪费的全球倡议》, 联合国粮食及农业组织, 2016年8月, <http://www.fao.org/save-food/news-and-multimedia/news/news-details/en/c/429182/>
- ⁴⁶ 莎拉·J.·谢尔 (Sara J. Scherr) , 沙雅·N.·雅达夫 (Satya N. Yadav) , 《发展中国家的土地退化问题》, 国际食物政策研究所, <http://www.ifpri.org/publication/land-degradation-developing-world-0>
- ⁴⁷ 《2050年全球农业发展》, 联合国粮食及农业组织, 2009年10月, http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf
- ⁴⁸ 蒂姆·瑟钦格 (Tim Searchinger) , 克雷格·汉森 (Craig Hanson) , 珍妮特·兰加纳森 (Janet Ranganathan) , 布赖恩·利平斯基 (Brian Lipinski) , 理查德·怀特 (Richard Waite) , 罗伯特·温特伯顿 (Robert Winterbottom) , 阿耶莎·丁肖 (Ayesha Dinshaw) 和拉尔夫·海姆利希 (Ralph Heimlich) , 《大平衡》, 世界资源研究所, 2013年5月, http://scholar.princeton.edu/tsearchi/files/Searchinger%20et%20al.%2C%20great_balancing_act%20%282013%29.pdf
- ⁴⁹ 《基金经理视角: 包容性农业企业投资大幅变动》, 小农融资倡议 (The Initiative for Smallholder Finance) , 2017年5月, https://www.raflearning.org/sites/default/files/may_2017_ifsf_briefing_15_fund_landscape_0.pdf?token=ZVJn4TCn
- ⁵⁰ 《科技季刊——农业未来》, 《经济学人》 (The Economist) , 2016年6月, <http://www.economist.com/technology-quarterly/2016-06-09/factory-fresh>
- ⁵¹ 同上。
- ⁵² 《格鲁吉亚Flint River合作伙伴关系借力IBM的数据驱动农业解决方案》, IBM, 2014年4月, <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/43745.wss>
- ⁵³ 《为下一代提供食物》, IBM, 2012年10月, https://www.flickr.com/photos/ibm_research_zurich/8091229846/in/photostream?cm_mc_uid=07708286225315012434667&cm_mc_sid_50200000=1501243466
- ⁵⁴ 施鲁蒂·辛格 (Shruti Singh) , 《农业科技投资增长至创纪录的250亿美元》, 彭博社, 2016年10月, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-10-25/agricultural-technology-investment-rises-to-record-25-billion>
- ⁵⁵ 李·布莱恩特 (Lee Bryant) , 《海洋死亡地带: 日益严峻的一场鱼类灾难》, 物理学家组织 (Phys Org) , 2015年4月, <https://phys.org/news/2015-04-ocean-dead-zones-disaster-fish.html>
- ⁵⁶ 《是什么导致了海洋死亡地带?》, 《科学美国人》 (Scientific American) , <https://www.scientificamerican.com/article/ocean-dead-zones/>

⁵⁷ Sarah Yang, 《有机作物能与工业农业竞争吗?》, 加州大学伯克利分校, 2014年12月, <http://news.berkeley.edu/2014/12/09/organic-conventional-farming-yield-gap/>

⁵⁸ Sarah Zhang, 《再见, 化学药剂: 微生物成了新兴的农业杀虫剂》, 《连线》(Wired), 2016年3月, <https://www.wired.com/2016/03/good-riddance-chemicals-microbes-farmings-hot-new-pesticides/>

⁵⁹ 迪伦·弗内斯 (Dylan Furness), 《从玉米到牛, 基因编辑即将为农业带来颠覆性变化》, Digital Trends网站, 2017年4月, <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/crispr-gene-editing-and-the-dna-of-future-food/>

⁶⁰ 海蒂·莱德福德 (Heidi Ledford), 《CRISPR: 颠覆者》, 国际科学周刊《自然》杂志 (Nature), 2015年6月, <http://www.nature.com/news/crispr-the-disruptor-1.17673>

⁶¹ 同上。

⁶² 迪伦·弗内斯 (Dylan Furness), 《从玉米到牛, 基因编辑即将为农业带来颠覆性变化》, Digital Trends网站, 2017年4月, <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/crispr-gene-editing-and-the-dna-of-future-food/>

⁶³ 同上。

⁶⁴ 珍妮特·兰加纳森 (Janet Ranganathan) 等, 《为建设可持续食品未来而改变饮食习惯》, 世界资源研究所, 2016年, <http://www.worldresourcesreport.org>

⁶⁵ 在2100年达到112亿, 联合国经济和社会事务部, 2017年6月, <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html>

⁶⁶ 世界经济研究所, <http://www.wri.org/>

⁶⁷ 《2016年工业发展报告》, 联合国工业发展组织, 2016年, <http://www.unido.org/publications/flagship-publications/industrial-development-report-series/industrial-development-report-2016.html>

⁶⁸ 《纺织行业可持续性》, 零售业可持续发展论坛 (Retail Forum for Sustainability), 2013年8月, http://ec.europa.eu/environment/industry/retail/pdf/issue_paper_textiles.pdf

⁶⁹ 德博拉·德鲁 (Deborah Drew), 吉纳维夫·耶霍梅 (Genevieve Yehounme), 《服装行业环境影响的6个图解》, 世界资源研究所, 2017年7月, <http://www.wri.org/blog/2017/07/apparel-industries-environmental-impact-6-graphics>

⁷⁰ 同上。

⁷¹ 《采用纤维素制造的环保纺织品》, 《科学日报》(Science Daily), 2017年4月, <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/04/170427110920.htm>

⁷² 《追求美观可能会对地球带来负面后果》, 《经济学人》(The Economist), 2017年4月, <https://www.economist.com/news/business-and-finance/21720200-global-clothing-production-doubled-between-2000-and-2014-looking-good-can-be?zid=293&ah=e50f636873b42369614615ba3c16df4a>

⁷³ 德博拉·德鲁 (Deborah Drew), 吉纳维夫·耶霍梅 (Genevieve Yehounme), 《服装行业环境影响的6个图解》, 世界资源研究所, 2017年7月, <http://www.wri.org/blog/2017/07/apparel-industries-environmental-impact-6-graphics>

⁷⁴ 《采用纤维素制造的环保纺织品》, 《科学日报》(Science Daily), 2017年4月, <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/04/170427110920.htm>

⁷⁵ 利亚·博罗梅奥 (Leah Borromeo), 《科技可使麻纤维和亚麻打破棉花在全球纺织业中的霸主地位》, 《卫报》, 2014年4月, <https://www.theguardian.com/sustainable-business/hemp-flax-bast-cotton-crailar>

⁷⁶ 《麻纤维和棉花之间的对比》, How Stuff Compares网站, <http://www.howstuffcompares.com/doc/h/hemp-vs-cotton.htm>

⁷⁷ 《创新平衡——2016年可持续发展报告》, 兰精 (Lenzing), 2016年, http://www.lenzing.com/fileadmin/template/pdf/konzern/nachhaltigkeit/LENZING_Sustainability_Report_2016_EN.pdf

⁷⁸ 《印度棉花的真实价格》, IDH和True Price, www.business-biodiversity.eu/bausteine.net/f/8455/TP-Cotton.pdf?fd=3

⁷⁹ 达米安·卡林顿 (Damian Carrington), 《研究显示, 全球自来水中均发现了塑料纤维》, 《卫报》(The Guardian), 2017年9月, <https://www.theguardian.com/environment/2017/sep/06/plastic-fibres-found-tap-water-around-world-study-reveals>

⁸⁰ 《商业棉花基因组成功开发》, Keygene公司, <http://www.keygene.com/fiber-crop/>

⁸¹ 带有单倍体生物四倍染色体组的复合体。

⁸² Wei Gao, Lu Long, Xinquan Tian, Fuchun Xu, Ji Liu, 普拉尚·K·辛格 (Prashant K. Singh), 何塞·R·博特拉 (Jose R. Botella) 和 Chunpeng Song, 《通过CRISPR/Cas9系统进行的棉花基因组编辑》, 美国国立卫生研究院国立医学图书馆, 2017年8月, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5541054/>

⁸³ 《棉花: 耗水作物》, 世界自然基金会, http://wwf.panda.org/about_our_earth/about_freshwater/freshwater_problems/thirsty_crops/cotton/

⁸⁴ 《卫报关于转基因棉花的观点: 谨慎处理》, 《卫报》(The Guardian), 2016年9月, <https://www.theguardian.com/commentisfree/2016/sep/04/the-guardian-view-on-gm-cotton-handle-with-care>

⁸⁵ 斯蒂芬妮·赫本 (Stephanie Hepburn), 《实验室培育的皮革即将问世, 但业界准备好了吗?》, 《卫报》, 2015年7月, <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/july/10/lab-grown-leather-modern-meadow-ceh-suzanne-lee>

⁸⁶ 瑞秋·亚瑟 (Rachel Arthur), 《人造皮革和蜘蛛丝? 这就是可持续时尚》, 《连线》(Wired), 2016年12月, <http://www.wired.co.uk/article/desired-fashion>

⁸⁷ 卡罗琳·列侬 (Caroline Lennon), 《皮革不仅是肉类工业的副产品》, One Green Planet网站, 2013年3月, <http://www.onegreenplanet.org/animalsandnature/leather-is-more-than-a-by-product-of-the-meat-industry/>

⁸⁸ 约翰·布伦南 (John Brennan), 《皮革工业和污染》, Sciencing网站, 2017年4月, <https://sciencing.com/leather-industry-pollution-23249.html>

⁸⁹ Karen Hao, 《你愿意穿一件人造皮夹克吗?》, Quartz Media, 2017年2月, <https://qz.com/901643/would-you-wear-a-leather-jacket-grown-in-a-lab/>

⁹⁰ 《全球皮革和皮革制品行业和贸易情况的未来趋势》, 联合国工业发展组织, 2010年, https://leatherpanel.org/sites/default/files/publications-attachments/future_trends_in_the_world_leather_and_leather_products_industry_and_trade.pdf

⁹¹ 同上。

- ⁹² 克莱尔·德尔普修齐 (Claire Delpeuch) , 安托万·勒布洛瓦 (Antoine Leblois) 和本·谢普赫德 (Ben Shepherd) , 《渔利棉花：西非能与美国的补贴竞争吗？》, 《卫报》 (The Guardian) , 2014年6月,
<https://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/2014/jun/19/farming-us-subsidies-west-africa-cotton>
- ⁹³ 波格丹·默鲁兹 (Bogdan Mroz) , 《消费与可持续发展：波兰出现新的消费趋势》，Pol Int网站，2016年10月，
<https://www.pol-int.org/en/salon/consumerism-vs-sustainability-emergence-new-consumer-trends-poland>
- ⁹⁴ 《ABB推出全球首个真正的协作双臂机器人》，ABB, 2015年4月, [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/5869f389ad26c612c1257e26001c974c/\\$file/15_23+GPR+YuMi+Hannover+pr.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/5869f389ad26c612c1257e26001c974c/$file/15_23+GPR+YuMi+Hannover+pr.pdf)
- ⁹⁵ 《自动通孔设置》，Kurtz Ersa公司，
<http://www.kurtzersa.com/electronics-production-equipment/news-media/news-topics/detail/beitrag/automating-through-hole-placement-colleague-robot-assumes-repetitive-placement-tasks.html>
- ⁹⁶ 《阿迪达斯的高科技工厂重新在德国开展生产活动》，《经济学人》 (The Economist) , 2017年1月, <https://www.economist.com/news/business/21714394-making-trainers-robots-and-3d-printers-adidass-high-tech-factory-brings-production-back>
- ⁹⁷ 斯蒂芬妮·潘多夫 (Stephanie Pandolph) , 《阿迪达斯通过高速工厂实现鞋品本地化设计》，Business Insider网站，2017年10月, <http://www.businessinsider.com/adidas-uses-speedfactory-to-localize-shoe-designs-2017-10?IR=T>
- ⁹⁸ 罗杰·艾特肯 (Roger Aitken) , 《IBM与雀巢及沃尔玛在全球食品安全区块链上达成协作》，《福布斯》 (Forbes) , 2017年8月, <https://www.forbes.com/sites/rogeraitken/2017/08/22/ibm-forces-blockchain-collaboration-with-nestle-walmart-for-global-food-safety/#2c3540523d36>
- ⁹⁹ 《与整个行业协作》，麻省理工学院行业指南，
<http://web.mit.edu/industry/industry-collaboration.html>
- ¹⁰⁰ 弗兰斯·蒂默曼斯 (Frans Timmermans) , 于尔基·卡泰宁 (Jyrki Katainen) 和埃尔茨比塔·比恩科斯卡 (Elzbieta Bienkowska) , 《迈向循环经济》，欧洲委员会，
https://ec.europa.eu/commission/priorities-jobs-growth-and-investment/towards-circular-economy_en
- ¹⁰¹ 《肯尼亚：农业》，export.gov网站，2017年11月，
<https://www.export.gov/article?id=Kenya-Agriculture>
- ¹⁰² Pinatex, <https://www.ananas-anam.com/responsibility/>
- ¹⁰³ 乌迪内·赞内比 (Wudineh Zenebe) , 《埃塞俄比亚：南部地区尝试菠萝种植》，All Africa网站，2006年8月，
<http://allafrica.com/stories/200608081183.html>
- ¹⁰⁴ 布鲁斯·乌普宾 (Bruce Upbin) , 《孟山都公司斥资9.3亿美元收购Climate Corp公司》，《福布斯》 (Forbes) , 2013年10月, <https://www.forbes.com/sites/bruceupbin/2013/10/02/monsanto-buys-climate-corp-for-930-million/#4194f78f177a>
- ¹⁰⁵ 《菠萝皮革会是时尚业的未来吗？》，Pet Asia杂志，
<https://www.petaasia.com/living/fashion/is-pineapple-leather-the-future-of-fashion/>
- ¹⁰⁶ 《亚洲电子产品供应链的快速发展》，香港贸易发展局，2017年10月, <http://hkmb.hktdc.com/en/1XOABJSN/hktdc-research/Rapid-Development-of-Asia%20%99s-Electronics-Supply-Chain>
- ¹⁰⁷ 《推动印度电子制造业发展》，Make in India网站，2017年6月, <http://www.makeinindia.com/article/-/v/fuelling-electronics-manufacturing-in-india>
- ¹⁰⁸ 《2016年生产统计》，国际汽车制造商协会，2017年, <http://www.oica.net/category/production-statistics/2016-statistics/>
- ¹⁰⁹ 杰西卡·里昂斯·哈德卡斯特尔 (Jessica Lyons Hardcastle) , 《丰田通商在竞争中选择用生物塑料技术为市场开发100%植物基PET》，Environmental Leader网站，2016年7月, <https://www.environmentalleader.com/2016/07/toyota-tsusho-backs-bioplastic-tech-in-race-to-bring-100-plant-based-pet-to-market/>
- ¹¹⁰ 同上。
- ¹¹¹ 同上。
- ¹¹² 《福特的未来：成长为最受信赖的交通供应商，为智能世界设计智能汽车》，Business Wire网站，2017年10月, <http://www.businesswire.com/news/home/20171003006487/en/Ford%20%99s-Future-Evolving-Trusted-Mobility-Company-Designing>
- ¹¹³ 米奇·迪尔伯恩 (Mich Dearborn) , 《福特斥资45亿美元开发电气化汽车解决方案，重新定义未来汽车用户体验》，福特媒体中心，2015年12月, <https://media.ford.com/content/fordmedia/fea/us/en/news/2015/12/10/ford-investing-4-5-billion-in-electrified-vehicle-solutions.html>
- ¹¹⁴ 《不同微生物中发现的蛋白质纳米线》，地杆菌项目网站 (Geobacter Project) , <http://www.geobacter.org/>
- ¹¹⁵ 《首个3D打印的器官芯片与集成传感器》，WYSS学院，2016年10月, <https://wyss.harvard.edu/first-entirely-3d-printed-organ-on-a-chip-with-integrated-sensors/>
- ¹¹⁶ 维哈尔·米什拉 (Vaibhav Mishra) , 《印度政府的“数字印度”运动》，Digital Vidya网站，2016年1月, <http://www.digital-vidya.com/blog/digital-india-campaign-by-govt-of-india/>
- ¹¹⁷ PMKVY计划，印度政府技能发展和创业部，
<http://www.pmkvyofficial.org/>
- ¹¹⁸ 尼尔·麦卡锡 (Niall McCarthy) , 《哪个国家每年肉类食用量最大？》，《福布斯》 (Forbes) , 2015年8月, <https://www.forbes.com/sites/niallmccarthy/2015/08/05/which-countries-eat-the-most-meat-each-year-infographic/#1f077a704f95>
- ¹¹⁹ 美乐蒂·M.·伯姆加德纳 (Melody M. Bomgardner) , 《CRISPR：培育更优质作物的新工具箱》，化学和工程新闻网站 (Chemical & Engineering News) , 2017年6月, <https://cen.acs.org/articles/95/i24/CRISPR-new-toolbox-better-crops.html>
- ¹²⁰ 孟菲斯肉类公司, <http://www.memphismeats.com/>
- ¹²¹ 克里斯蒂娜·斯特本 (Christina Sterbenz) , 《我买了一件用这种豪华纤维做的纯白色衬衣，我超喜欢它》，Business Insider网站，2015年9月, <https://www.businessinsider.in/I-bought-a-plain-white-button-up-made-of-this-luxury-fabric-and-now-I'm-hooked/articleshow/49128929.cms>
- ¹²² 《天丝®获得ECOCERT认证》，兰精 (Lenzing) , 2014年2月, <https://www.lenzing.com/en/press/press-releases/2014/detail/article/2014/1/19/tencelR-nach-ecocert-zertifizierbar.html>

鸣谢

世界经济论坛促进可持续生产项目团队衷心感谢以下项目社区成员在编写本报告时所做的无私贡献、评论和见解。另外，我们还要感谢广大系统行动倡议社区成员对“塑造制造业未来”的坚持与支持，以及其解决全球制造业问题所做的不懈努力。

最后，我们由衷感谢埃森哲战略的知识合作伙伴和所有在本出版物编写期间提供支持的世界经济论坛同事们。

约翰·里维斯 (John Revess)	可持续部门负责人	ABB
德克·弗斯特 (Dirk Voeste)	可持续发展战略负责人	BASF
托尔斯滕·平克潘克 (Thorsten Pinkepank)	可持续关系总监	BASF
阿隆·克莱默 (Aron Cramer)	总裁兼首席执行官	商务社会责任国际协会 (BSR)
马克·埃斯波西托 (Mark Esposito)	循环经济中心研究员	剑桥大学法官商学院
伊凡娜·迪杜尔 (Ivanna Didur)	研究员	剑桥大学
米哈拉·乌里厄尔 (Mihaela Ulieru)	研究教授	卡尔顿大学
西蒙·霍夫麦尔·博斯 (Simon Hoffmeyer Boas)	集团可持续部门总监	嘉士伯
艾里卡·福克斯 (Erica Fuchs)	工程与公共政策学教授	卡内基梅隆大学
穆罕默德·卡西姆·里德 (Mohammed Kasim Reed)	美国亚特兰大市市长	亚特兰大市
丽莎·施罗特 (Lisa Schroeter)	贸易与投资政策全球总监	陶氏化学公司
约书亚·恩茨明格 (Joshua Entsminger)	研究员	法国国立路桥大学商学院
西蒙·辛塞尔 (Simon Sinsel)	可持续与科技负责人	苏黎世联邦理工学院
L·百利·托克塔 (L Beril Toktay)	雷·C·安德森 (Ray C. Anderson) 可持续业务中心主任；布兰迪家族运营管理负责人	佐治亚理工学院
阿特雷·阿塔苏 (Atalay Atasu)	可持续发展与环境学教授	佐治亚理工学院
詹妮弗·摩根 (Jennifer Morgan)	执行董事	绿色和平
乔纳森·徐 (Jonathan Xu)	研究员	哈佛大学
安·艾瓦瑟克 (Ann Ewasechko)	企业事务总监	慧与科技公司

阿隆·喜拉达拉玛尼 (Aroon Hirdaramani)	总监兼执行委员会成员	Hirdaramani集团
苏珊·塔卡·桑切斯 (Susan Tarka Sanchez)	董事	伦敦帝国理工学院
布莱恩·科勒 (Brian Kohler)	医疗卫生、安全和可持续部门总监	IndustriAll全球联盟
阿兰查·冈萨雷斯 (Arancha Gonzales)	执行董事	国际贸易中心 (ITC)
伊恩·塞耶斯 (Ian Sayers)	企业与机构发展部门负责人	国际贸易中心
马科斯·雅各布·奥尔赫·托莱达诺·砝埃那 (Marcos Jacob Holger Toledano Vaena)	企业竞争力部门主管	国际贸易中心
沙兰·伯罗 (Sharan Burrow)	秘书长	国际工会联盟 (ITUC)
格拉德·博斯 (Gerard Bos)	全球商业和生物多样性计划总监	国际自然保护联盟 (IUCN)
阿卡·阿克索 (Ayca Aksoy)	可持续与利益相关者关系经理	Koç控股
Heekyung Park	研究所副主任	韩国先进科技学院 (KAIST)
Lee Sang-Yup	杰出教授兼院长	韩国先进科技学院 (KAIST)
彼得·巴奇 (Peter Bartsch)	可持续部门主管	兰精
杜博思 (Stefan Doboczky)	管理委员会主席/首席执行官	兰精
克利斯汀·范·弗利特 (Krystyn Van Vliet)	材料科学与工程学迈克尔和 索尼娅科尔纳教授	麻省理工学院
丹尼尔·萨博 (Daniel Szabo)	默克数字办公室主任	默克公司
欧蒂·宏卡图奇亚 (Outi Honkatukia)	首席谈判代表	环境部
安德拉斯·佛格克 (Andras Forgacs)	首席执行官	Modern Meadow公司
大卫·罗梅罗·迪亚兹 (David Romero Diaz)	下一代与知识转移战略联盟主管	墨西哥蒙特雷高等教育和技术学院 (ITESM)
赛勒斯·瓦迪亚 (Cyrus Wadia)	可持续商业和创新副总裁	耐克公司
彼得·博基 (Peter Borkey)	环境首席管理负责人	经济合作与发展组织 (OECD)
沙杜尔·阿格华尔 (Shardul Agrawala)	气候变化首席经济学家	经济合作与发展组织 (OECD)
费迪南德·格拉珀豪斯 (Ferdinand Grapperhaus)	首席执行官	Physee公司
克里斯多夫·豪赛尔 (Christoph Hausser)	快消品制造与工程全球主管	宝洁公司
维吉尼·赫利亚斯 (Virginie Helias)	全球可持续部门副总裁	宝洁国际运营有限公司
穆罕默德·萨米尔 (Mohamed Samir)	印度、中东和非洲大区总裁	宝洁公司
让·菲利普·埃尔米纳 (Jean-Philippe Hermine)	战略环境规划副总裁	雷诺-日产联盟

马克斯·劳彻 (Markus Laubscher)	循环经济项目经理	皇家飞利浦公司
弗兰克·普拉特 (Frank Platt)	数字制造高级总监	SAP公司
赛维尔·霍特 (Xavier Houot)	环境事务全球主管	施耐德电气
安妮特·克莱顿 (Annette Clayton)	施耐德电气首席执行官兼主席	施耐德电气
托尔斯滕·杰利内克 (Thorsten Jelinek)	主任	太和智库
汤姆·扎奇 (Tom Szaky)	创始人兼首席执行官	TerraCycle公司
Jung Moo-Young	校长	蔚山科学技术大学 (UNIST)
查尔斯·阿登·克拉克 (Charles Arden-Clarke)	经济司十年方案框架秘书处负责人	联合国环境规划署 (UNEP)
艾丽莎·通达 (Elisa Tonda)	工业与价值链单位负责人	联合国环境规划署 (UNEP)
嘉杰特·辛格·斯莱 (Jagjit Singh Srai)	制造业研究所国际制造中心主任	剑桥大学
帕万·莫纳查 (Pavan Manocha)	副教授兼博士研究员	剑桥大学
倪军	工学院“吴贤铭”冠名教授； 上海交大密歇根学院荣誉院长	密歇根大学
汤姆·墨菲 (Tom Murphy)	高级常驻学者, Joseph C. Canizaro/Klingbeil 家族城市发展主席	城市土地学会
凯思琳·萨尔耶尔 (Kathleen Salyer)	资源对话与回收办事处副主任	美国国家环境保护局
拉姆斯科德·安妮卡 (Ramskold Annika)	企业可持续发展副主席	Vattenfall
劳伦特·奥古斯特 (Laurent Auguste)	开发、创新与市场高级执行副主席	威立雅集团
克里斯托夫·润德 (Christoph Runde)	总经理	虚拟维度中心 (Virtual Dimension Center)

项目团队

安博奥 (Omar Abbosh)	埃森哲全球通信、媒体与高科技事业部首席执行官 <small>*安博奥此前担任埃森哲首席战略官</small>	埃森哲
海伦娜·劳伦特 (Helena Leurent)	“制造业的未来”系统行动倡议负责人	世界经济论坛
昆汀·德鲁威尔 (Quentin DREWELL)	可持续部门首席战略官	埃森哲战略
阿提拉·图罗斯 (Attila Turos)	“制造业的未来”可持续项目负责人	世界经济论坛
托尼·墨哲夫 (Tony Murdzhev)	可持续发展业务战略顾问, 借调至世界经济论坛	埃森哲战略

参考书目

Advanced Enzymes公司, <http://advancedenzymes.com/>

《食品包装业：2016年及以后》，斯道拉恩索，2014年1月，http://assets.storaenso.com/se/renewablepackaging/Documents/Food%20viewpoint_140120_branded.pdf

玛丽安娜·戴维斯（Mariane Davids），《迎接下一代机器人制造》，Robotiq，2017年2月，<http://blog.robotiq.com/meet-the-next-generation-of-robotic-manufacturing>

Cambrian Innovation, <http://cambrianinnovation.com/industries-we-serve/>

Cambrian Innovation, <http://cambrianinnovation.com/products/>

《酿酒用水与生产管理：在厌氧处理溶液中发现黄金环保机遇》，Cambrian Innovation，2017年，<http://cambrianinnovation.com/wp-content/uploads/2017/03/TQ-54-1-0264-01.pdf>

奥雷利昂·苏迦拉（Aurélien Susnjara），《出行工具的未来：衡量方法》，Circulate News网站，2016年3月，<http://circulatenews.org/2016/03/the-future-of-mobility-the-importance-of-measurement/>

《最终报告总结 - BIONEXGEN（开发工业化合成的下一代生物催化剂）》，曼彻斯特大学，2014年1月，http://cordis.europa.eu/result/rcn/156472_en.html

《汽车市场中的生物塑料：显著优势，强劲性能》，欧洲生物塑料网站（European Bioplastics），2015年1月，http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EuB_P_fs_automotive.pdf

Ecolastane, <http://ecolastane.eu/project/>

ECWRTI - 纺织工业的总回收水量, <http://ecwrti.eu/>

《丰田：为无人驾驶汽车探索区块链解决方案》，路透社，2017年5月，<http://fortune.com/2017/05/22/toyota-mit-blockchain-driverless-cars/>

英国机器人周（UK Robotics Week），2017年6月，<http://hamlyn.doc.ic.ac.uk/roboticsweek2017/events/2017-international-workshop-autonomous-remanufacturing>

千禧年生态系统评估, <http://millenniumassessment.org/en/About.html#>

MIMOSI Peer Ledger, <http://mimosi.peerledger.com/>

《服装和鞋类行业负责任供应链》，经合组织, <http://mneguidelines.oecd.org/responsible-supply-chains-textile-garment-sector.htm>

《杜邦先锋科学家证实了CRISPR-Cas对农业发展的潜力》，杜邦先锋，2016年8月，<http://news.agropages.com/News/NewsDetail--19033.htm>

Sarah Yang, 《有机作物能与工业农业竞争吗？》，加州大学伯克利分校，2014年12月，<http://news.berkeley.edu/2014/12/09/organic-conventional-farming-yield-gap/>

帕勒姆·阿齐米（Parham Azimi）；Dan Zhao；克莱尔·博泽特（Claire Pouzet），尼尔·E·克雷恩（Neil E Crain）；布伦特·斯蒂芬斯（Brent Stephens），《商用桌面三维多丝打印机的超细颗粒和挥发性化合物排放》，《环境科学与技术》（Environmental Science & Technology），2016年，<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.5b04983>

米海·伊里米亚·弗拉杜（Mihai-Irimia Vladu），《绿色电子：可持续未来的生物降解及相容性材料和设备》，英国皇家化学学会，2013年7月，<http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/cs/c3cs60235d>

Renew Cell, <http://renewcell.se/>

《与机器人一起耕作》，SPARC，2016年5月，<http://robohub.org/farming-with-robots/>

凯瑟琳·德比舍尔（Katherine Derbyshire），《实现芯片制造业可持续发展》，半导体工程网站（Semiconductor Engineering），2016年9月，<http://semiengineering.com/making-chip-manufacturing-sustainable/>

凯瑟琳·德比舍尔（Katherine Derbyshire），《在Fab中节约能源》，半导体工程网站（Semiconductor Engineering），2016年11月，<http://semiengineering.com/saving-energy-in-the-fab/>

《杜邦公司和Adm公司提名2017年生物塑料分子技术创新奖》，杜邦Sorona，2017年8月，<http://sorona.com/press-release/dupont-and-adm-named-winners-of-2017-innovation-in-bioplastics-award-for-bio-based-molecule-technology/>

罗谢尔·玛驰（Rochelle March），《3D打印：探索该技术的可持续性潜力》，SustainAbility，2015年12月，<http://sustainability.com/our-work/insights/3d-printing-exploring-a-technology-and-its-sustainability-potential/>

坦尼娅·刘易斯（Tanya Lewis），《通过基因修改我们食物的新技术可能打造新的转基因生物》，Business Insider网站，2016年2月，<http://uk.businessinsider.com/difference-between-genetically-edited-crops-and-gmos-2016-2>

艾玛·托马森（Emma Thomasson），亚历山大·米哈尔斯卡（Aleksandra Michalska），“阿迪达斯与硅谷初创公司大规模生产3D打印鞋”，路透社，2017年4月，<http://uk.reuters.com/article/us-adidas-manufacturing-idUKKBN1790F6>

《可回收纤维素是持续面料的未来》，Unfair Fashion公司，2015年，<http://unfair.fashion/journal/2015/december/recycled-cellulose-fibers-are-the-future-of-sustainable-fabrics/>

克里斯·柯伦（Chris Curran），《3D打印的前进之路》，普华永道，2016年8月，<http://usblogs.pwc.com/emerging-technology/the-road-ahead-for-3d-printing/>

《新技术为制造业带来先进的机器人解决方案》，美国西南研究院，2017年3月，http://whma.org/2017Presentations/PresentationFiles/New_Techologies_Enabling_Advance_Robotics_Solutions_for_Industry.pdf

《智能包装：泄漏和新鲜度指标》，AIMPLAS塑料技术中心，2016年7月，<http://www.aimplas.net/blog/smart-and-active-packaging-leakage-and-freshness-indicators>

H.B.·杜兰（H.B. Duran），《增强现实促进汽车行业发展》，A List Daily网站，2017年3月，<http://www.alistdaily.com/digital/augmented-reality-driving-automotive-industry/>

《生物刺激素简介及其优势》，EBIC，<http://www.biostimulants.eu/about/what-are-biostimulants-benefits/>

大卫·博格文森（David Bergvinson），《数字农业为农民提供支持》，《今日商业》（Business Today），2017年1月，<http://www.businesstoday.in/magazine/features/digital-agriculture-empowers-farmers/story/242966.html>

凯赛生物，2016年6月，http://www.cathaybiotech.com/en/docs/ICB_27%20June%202016-bio-based%20fibres.pdf

《高价值制造业的未来》，Cambrian Investment Research，2011年2月，<http://www.cir-strategy.com/blog/?p=177>

《农场视角：卡内基大学研究人员致力于用更少的资源提高作物产量》，卡内基梅隆大学，<http://www.cmu.edu/work-that-matters/farmview/>

《负责任矿物质量保证流程》，负责任矿物计划，<http://www.responsiblemineralsinitiative.org/responsible-minerals-assurance-process/>

丽莎·艾伯森（Lisa Emberson），《有机棉有助于养活世界》，土壤协会，<http://www.cottonedon.org/Portals/1/CottonFood-Security.pdf>

黑格尔·马瑟（Hogel Masser），《宝马结合机器人与人工，推动汽车行业数字化变革》，《数字化从业者杂志》（Digitalist Magazine），2016年4月，<http://www.digitalistmag.com/digital-economy/2016/04/18/robots-humans-team-up-at-bmw-to-digitally-disrupt-auto-industry-04149156>

Dropel Fabrics公司，<http://www.dropelfabrics.com/>

《推动汽车行业可持续发展》，杜邦公司，<http://www.dupont.com/products-and-services/plastics-polymers-resins/articles/supporting-sustainable-mobility.html>

吉田纯子（Junko Yoshida），《芯片设计引入机器学习技术》，《EE时报》（EE Times），2017年6月，http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1331564

詹姆斯·莫拉（James Morra），《西门子收购明导国际，致力于打造每个产品的数字孪生》，电子设计网站（Electronic Design），2016年11月，<http://www.electronicdesign.com/dev-tools/siemens-targets-every-products-digital-twin-mentor-graphics-deal>

伊恩·赖特（Ian Wright），《增强现实对制造业有哪些用处？》，Engineering.com，2017年5月，<http://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/14904/What-Can-Augmented-Reality-Do-for-Manufacturing.aspx>

《智能仓库》，《工程评论》（Engineering Review），2014年11月，<http://www.engrreview.com/smart-warehouses/>

杰西卡·里昂斯·哈德卡斯特尔（Jessica Lyons Hardcastle），《3D打印是可持续制造的未来？》，2015年11月，<http://www.environmentalleader.com/2015/11/is-3d-printing-the-future-of-sustainable-manufacturing/>

《无浪费染色技术：开发有利于纺织业节约用水的流程》，Euronews，2017年3月，<http://www.euronews.com/2017/03/20/dyed-without-waste-developing-a-process-to-save-water-in-the-textile-industry>

《精准农业：欧盟农民的机遇 – 2014-2020年共同农业政策潜在助力》，欧洲议会，2014年，http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI-NT%282014%29529049_EN.pdf

《全球粮食损失与浪费 – 状况、原因和预防措施》，粮农组织，2011年，<http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf>

《2013年粮农组织统计年鉴》，粮农组织，2013年，<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>

伊丽莎白·肯德（Elizabeth Kenward），《3D打印 – 食物的未来？》，Food Ingredients First网站，2016年4月，<http://www.foodingredientsfirst.com/news/SPECIAL-REPORT-3D-Printing-The-Future-of-Food.html>

《Fouriertransform公司投资回收公司Renewcell》，Fouriertransform公司，<http://www.fouriertransform.se/en/Media/Press-releases/2016/Fouriertransform-invests-in-the-recycling-company-renewcell/>

《区块链技术颠覆汽车行业》，沙利文公司，2017年3月，<http://www.frost.com/sublib/display-report.do?id=K13A-01-00-00-00>

凯西·帕涅塔（Kasey Panetta），“2017年Gartner的十大战略技术趋势”，Gartner，2016年10月，<http://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017/>

马克·伊根（Mark Egan），“通用电气新工厂是制造业的未来蓝图”，通用电气，2016年8月，<http://www.ge.com/reports/new-brilliant-factory-offers-blueprint-north-american-manufacturing/>

《精准农业：用技术养活世界》，高盛，2016年9月，http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/precision-farming.html?cid=PS_01_63_07_00_01_16_01&mkwid=JYjGntWo

《芬兰国家技术中心和阿尔托大学推动纺织废料转化为消费品》，Good News From Finland网站，2016年5月，<http://www.goodnewsfinland.com/vtt-alto-university-help-transform-textile-waste-consumer-products/>

《2017年绿色电子指南》，绿色和平，2017年10月，<http://www.greenpeace.org/usa/reports/greener-electronics-2017/>

卡莎·冈法查德（Kasha Ghaffarzadeh），《2017-2027年农业机器人与无人机：技术、市场和参与者》，IDTechEx，2017年3月，<http://www.idtechex.com/research/reports/agricultural-robots-and-drones-2017-2027-technologies-markets-players-000525.asp>

《棉和涤纶混纺分离和回收工艺的进步》，IFAI，2015年7月，<http://www.ifai.com/2015/07/15/progress-in-separating-recycling-cotton-and-polyester-blends/>

《全球纺织品和服装行业：信息和通信技术在价值链利用过程中的作用》，启蒙经济学（Enlightenment Economics），2008年6月，http://www.infodev.org/infodev-files/resource/InfodevDocuments_582.pdf

奥利维亚·索伦（Olivia Solon），《协作机械人：让人类与机器人肩并肩地安全工作》，彭博社，2015年8月，<http://www.insurancejournal.com/news/national/2015/08/25/379514.htm>

马修·卡尔（Matthew Carr），《黑灯工厂带来的制造业变化及如何盈利》，牛津俱乐部，2017年3月，<http://www.investmentu.com/article/detail/53769/dark-factories-changing-manufacturing-profit#.Wa-8VsgjGM8>

艾伦·C·李（Ellen C. Lee），《制造耐用汽车部件的生物材料》，福特汽车公司，<http://www.lawbc.com/share/bcs2013/Molecules%20to%20Market/lee-presentation.pdf>

本杰明·菲茨杰拉德（Benjamin Fitzgerald），《欧洲投资海藻纤维纺织生产农场》，Le Souk网站，<http://www.lesouk.co/articles/tex-style-news/europe-invests-in-seaweed-fiber-farms-for-textile-production>

杰夫·克恩斯（Jeff Kerns），《3D打印如何改变汽车制造业》，机械设计网站（Machine Design），2016年11月，<http://www.machinedesign.com/3d-printing/how-3d-printing-changing-auto-manufacturing>

杰夫·克恩斯（Jeff Kerns），《3D打印技术揭秘》，机械设计网站（Machine Design），2017年5月，<http://www.machinedesign.com/3d-printing/who-s-who-3d-printing-electronics>

贾斯汀·坎宁安（Justin Cunningham），《天然纤维复合材料与碳纤维：设计出更轻量化的汽车》，工程材料网站（Engineering Materials），2016年3月，<http://www.materialsforengineering.co.uk/engineering-materials-features/natural-fibre-composites-vs-carbon-fibres-for-car-engineering/116544/>

《精准农业技术为温室气体减排、农业生产力和经济增长作出贡献》，MDPI，2017年7月，<http://www.mdpi.com/2071-1050/9/8/1339/pdf>

Modern Meadow公司，<http://www.modernmeadow.com/our-technology/>

特雷西·斯凯尔梅蒂克（Tracey Schelmetic），《生物材料和纳米技术承载着汽车塑料的未来》，ThomasNet新闻，2014年9月，<http://www.mypurchasingcenter.com/purchasing/industry-articles/auto-plastics-future-biomaterials-and-nanotechnology/Nano Dimension公司，http://www.nano-di.com/3d-printer>

《纳米技术在纺织废水处理中的应用》，环境纳米技术杂志（Journal of Environmental Nanotechnology），<http://www.nanoient.org/Conference-Proceedings/NANO-TECHNOLOGY-IN-TEXTILE-EFFLUENT-TREATMENT/53>

海蒂·莱德福德（Heidi Ledford），《CRISPR：颠覆者》，《自然》杂志（Nature），<http://www.nature.com/news/crispr-the-disruptor-1.17673>

《玉米纤维是如何制造的？》，NatureWorks公司，<http://www.natureworksllc.com/What-is-Ingeo/How-Ingeo-is-Made>

《塑料业的未来》，澳大利亚科学院，<http://www.nova.org.au/earth-environment/future-plastics>

《杜邦和Adm公司新FDME技术赢得生物塑料创新奖》，欧洲塑料新闻（Plastic News Europe），2017年8月，<http://www.plastics-newseurope.com/article/20170825/PNE/170829929/new-duPont-adm-fdme-technology-wins-innovation-in-bioplastics-award>

M.·拉米雷斯（M. Ramirez），《全球大型消费电子产品制造商的环境可持续设计实践》，PLATE，<http://www.plateconference.org/environmentally-sustainable-design-practices-amongst-worlds-largest-consumer-electronics-manufacturers/>

《三赢：再制造业的社会、经济和环境案例》，政策互联组织（Policy Connect），2014年12月，http://www.policyconnect.org.uk/sites/site_pc/files/report/604/fieldreportdownload/apsrgapmg-triplewin.pdf

戴夫·葛森（Dave Gershgorn），《全面推行无人汽车将减少90%的排放量》，《大众科学》（Popular Science），2015年7月，<http://www.popsci.com/green-argument-driverless-cars>

Precision Hawk公司，<http://www.precisionhawk.com/>

马修·H·耐托夫（Matthew H. Naitove），托尼·德里吉奥（Tony Deligio），《从机器人到协作机器人：塑料加工下一代自动化趋势》，塑料技术网站（Plastics Technology），2016年1月，<http://www.ptonline.com/articles/from-robots-to-cobots-next-generation-automation-arrives-in-plastics-processing>

《精准农业》，IBM研究，http://www.research.ibm.com/articles/precision_agriculture.shtml

《绿色时装》，《化学世界》（Chemistry World），2008年3月，http://www.rsc.org/images/Synthetic%20fabrics_tcm18-114532.pdf

戴健龙（音），董合忠，《中国密集棉花种植技术：成就、挑战和对策》，《作物研究》（Field Crops），2013年9月，<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429013003237>

布伦特·斯蒂芬斯（Brent Stephens），法汗·阿奇米（Parham Azimi），赛内布·阿尔·奥奇（Zeineb El Orch），蒂凡尼·罗马思（Tiffanie Ramos），《桌面3D打印机的超细颗粒物排放》，《大气环境》（Atmospheric Environment），2013年11月，<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013005086>

K.L.·皮克林 (K.L. Pickering) , 阿鲁安·M.G.·伊凡迪 (Aruan M.G. Efendi) , 勒·T.M. (Le T.M.) , 《天然纤维复合材料及其力学性能最新进展综述》, 《复合材料》 (Composites) , 2016年4月, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X15003115>

埃马努埃莱·皮尔鲍莉 (Emanuele Pierpaoli) , 贾科莫·卡利 (Giacomo Carli) , 艾瑞卡·皮尼亚蒂 (Erika Pignatti) , 奥利齐奥·卡纳瓦里 (Maurizio Canavari) , 《精准农业技术驱动因素: 文献综述》, 《Procedia技术》 (Procedia Technology) , 2013年, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017313000728>

凯瑟琳·韦伯 (Kathleen Webber) , 《纳米技术是否能显著降低服装业对环境的影响?》, Sustainable Brands公司, 2015年10月, http://www.sustainable-brands.com/news_and_views/chemistry_materials/kathleen_webber/could_nanotechnology_dramatically_reduce_clothing

《Fairphone达成四种冲突矿物供应可追溯目标; 您的行动, 行业》, Sustainable Brands公司, 2016年6月, http://www.sustainable-brands.com/news_and_views/supply_chain-sustainable_brands/fairphone_achieves_traceable_supply_all_for_conflict

K.P.·雷迪 (K.P. Reddy) , 《缝纫业机器人自动化的兴起》, 《纺织世界》 (Textile World) , 2016年5月, <http://www.textileworld.com/textile-world/knitting-apparel/2016/05/the-rise-of-robotic-automation-in-the-sewing-industry/>

简·李 (Jan Lee) , 《可持续纺织业最新动态》, Triple Pundit公司, 2014年2月, <http://www.triplepundit.com/special/sustainable-fashion-2014/round-sustainable-textiles/>

《案例研究: 菲律宾Del Monte公司从食物生产用水中采集能量》, 《工业水的世界》 (Industrial Water World) , 2017年3月, <http://www.waterworld.com/articles/iww/2017/03-case-study-del-monte-philippines-harvests-energy-from-food-process-water.html>

《半导体生产工艺: 前端和后端》, PSIT, 2008年7月, [http://www.wikinvest.com/stock/PSI_Technologies_Holdings_\(PSIT\)/Semiconductor_Production_Process_Front-end_Back-end](http://www.wikinvest.com/stock/PSI_Technologies_Holdings_(PSIT)/Semiconductor_Production_Process_Front-end_Back-end)

《先进绿色化学第一部分: 绿色有机反应和过程》, 《世界科学》 (World Scientific) , <http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/10657>

珍妮特·兰加纳森 (Janet Ranganathan) , 《全球粮食挑战的18个图解》, 世界资源研究所, 2013年12月, <http://www.wri.org/blog/2013/12/global-food-challenge-explained-18-graphics>

德博拉·德鲁 (Deborah Drew) , 吉纳维夫·耶霍梅 (Genevieve Yehounme) , 《服装行业环境影响的6个图解》, 世界资源研究所, 2017年7月, <http://www.wri.org/blog/2017/07/apparel-industries-environmental-impact-6-graphics>

凯莉·迈克锡尼 (Kelly McSweeney) , 《苹果的机器人Liam拆卸iPhone的方法和原因》, ZD Net网站, 2017年4月, <http://www.zdnet.com/article/how-and-why-apples-robot-liam-disassembles-iphones/>

《引领装配工程》, Valor公司, 2006年1月, http://www3.hamk.fi/EISFO/GWF_06/pdf/Johnsson.pdf

迈克尔·默里奇霍 (Michael Moulitch-Hou) , 《特斯拉汽车创始人专注于3D打印技术专利》, 3D打印行业网站 (3D Printing Industry) , 2013年9月, <https://3dprintingindustry.com/news/tesla-motors-founder-gives-3d-printing-that-patented-pungent-musk-16873/>

大卫·谢尔 (David Sher) , 《ABS和PLA的烟雾有多毒? 3dsafety.org检查VOC》, 3D打印行业网站 (3D Printing Industry) , 2015年10月, <https://3dprintingindustry.com/news/toxic-abs-pla-fumes-3dsafety-org-inquires-vocs-60796/>

约瑟夫·拜伦 (Joseph Byrum) , 《人工智能在农业领域的挑战》, AgFunderNews网站, 2017年2月, <https://agfundernews.com/the-challenges-for-artificial-intelligence-in-agriculture.html>

埃里克·泰格勒 (Eric Tegler) , 《军队正在着手研究电子产品中的细菌应用》, ARS Technica网站, 2016年12月, <https://ars-technica.co.uk/science/2016/12/the-armys-looking-into-putting-bacteria-into-its-electronics/>

梅根·盖斯 (Megan Geuss) , 《IBM宣布企业级区块链服务将推广至货币领域之外》, ARS Technica网站, 2017年3月, <https://arstechnica.com/information-technology/2017/03/canadian-banks-chinese-energy-company-to-use-ibms-blockchain-service/?comments=1&post=33012909&mode=q uote>

福尔肯·H·伊斯克格 (Furkan H. Isikgor) , 雷姆济·C·贝瑟 (Remzi C. Becer) , 《木质纤维素生物质: 生物基化学品和聚合物可持续生产平台》, ARXIV网站, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1602/1602.01684.pdf>

卡伦·迈克康德里斯 (Karen McCandless) , 《宝马着眼未来》, 汽车制造业解决方案 (Automotive Manufacturing Solutions) , 2015年1月, <https://automotivemanufacturingsolutions.com/technology/seeing-into-the-future>

布鲁斯·朋 (Bruce Pon) , 《汽车制造商如何使用区块链》, BigchainDB公司, 2017年6月, <https://blog.bigchaindb.com/how-automakers-can-use-blockchain-adab79a6505f>

《汽车行业中的协作机器人 - 汽车制造》, 通用机器人网站 (Universal Robots) , 2017年2月, <https://blog.universal-robots.com/cobots-in-the-automotive-industry-universal-robots>

《利用TALEN和CRISPR进行植物基因组编辑》, 《细胞生物科学》 (Cell & Bioscience) , 2017年4月, <https://cellandbioscience.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13578-017-0148-4>

莫妮卡·马托 (Monica Mahto) , 布莱娜·斯奈德曼 (Brenna Sniderman) , 《电子产品的3D机遇》, 德勤公司洞察 (Deloitte Insights) , 2017年5月, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/3d-opportunity/additive-manufacturing-3d-printed-electronics.html#endnote-15>

西奥·莫里莱斯-西班牙 (Théo Moulières-Seban) , 吉恩-马克·萨罗蒂 (Jean-Marc Salotti) , 伯纳德·柯拉维 (Bernard Claverie) , 大卫·比通尼 (David Bitonneau) , 《工业应用的协作机器人系统分类》, <https://fja.sciencesconf.org/conference/fja/Moulieres.pdf>

《若得公众认可，CRISPR作物或将使农业实现更可持续发展》，遗传素养项目（Genetic Literacy Project），2016年9月，<https://geneticliteracyproject.org/2016/09/12/crispr-crops-could-make-agriculture-more-sustainable-if-public-accepts-them/>

《你想知道：3D打印有哪些环境影响？》，EarthTalk，2016年5月，<https://livегreen.recyclebank.com/because-you-asked-what-s-the-environmental-impact-of-3d-printing>

乔丹·皮尔逊（Jordan Pearson），《这家初创公司声称人工智能可以预测基因编辑的影响》，Motherboard公司，2015年7月，https://motherboard.vice.com/en_us/article/4x394p/this-start-up-says-ai-can-predict-the-effects-of-gene-editing

《智能包装需要供应链》，Network Packaging公司，<https://networkpack.co.uk/smart-packaging-need-supply-chain/L19>

《可降解塑料变得越来越便宜环保》，Phys Org网站，2015年7月，<https://phys.org/news/2015-07-biodegradable-plastic-cheaper-greener.html>

《合成生物学开发的“绿色”电子材料》，Phys Org网站，2016年7月，<https://phys.org/news/2016-07-green-electronic-materials-synthetic-biology.html>

《“快时尚”升级，减少浪费和污染》，Phys Org网站，2017年4月，<https://phys.org/news/2017-04-upcycling-fast-fashion-pollution.html>

莉亚·舍林（Leah Sheline），《不伤害动物：动物皮革的可持续替代品》，Prescouter公司，2017年4月，<https://prescoutier.com/2017/04/sustainable-animal-leather-alternatives/>

Karen Hao，《你愿意穿一件人造皮夹克吗？》，Quartz公司，2017年2月，<https://qz.com/901643/would-you-wear-a-leather-jacket-grown-in-a-lab/>

厄纳特·基巴鲁格鲁（Onat Kibaroglu），《东南亚工业4.0》，Richtopia公司，<https://richtopia.com/emerging-technologies/industry-4-0-southeast-asia>

弗兰克·托比（Frank Tobe），《为什么协作机器人将成为机器人行业重要的创新和增长驱动力》，IEEE Spectrum杂志，2015年12月，<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/collaborative-robots-innovation-growth-driver>

乔伊塔·慕克吉（Joyeeta Mukherjee），穆尼施瓦·纳斯古普塔（Munishwar Nath Gupta），《生物质稳定性的生物催化剂》，2015年6月，<https://sustainablechemicalprocesses.springeropen.com/articles/10.1186/s40508-015-0037-2>

劳拉·科劳德尼（Lora Kolodny），《Blackboard创始人迈克尔·奇森担任PrecisionHawk首席执行官》，Tech Crunch公司，2017年1月，<https://techcrunch.com/2017/01/25/blackboard-co-founder-michael-chasen-takes-ceo-reigns-at-precisionhawk/>

The Circulars，<https://thecirculars.org/archive>

苏珊娜·科尔布林（Susanna Koelblin），《区块链和时尚业》，MarketMogul网站，2017年8月，<https://themarketmogul.com/blockchain-and-the-fashion-industry/>

《智能生产 - 探索前进的道路：制造商如何充分利用工业物联网》，埃森哲，2015年，https://www.accenture.com/t20160119T041002Z_w/us-en/_acnmedia/PDF-5/Accenture-804893-Smart-Production-POV-Final.pdf

《阿迪达斯在德国的第一个高速工厂》，阿迪达斯，2015年12月，<https://www.adidas-group.com/en/media/news-archive/-press-releases/2015/adidas-first-speedfactory-lands-germany/>

《Liam机器人：创新故事》，苹果公司，2016年9月，https://www.apple.com/environment/pdf/Liam_white_paper_Sept2016.pdf

《冲突矿物仍然是一个供应链挑战》，科尔尼公司，https://www.atkearney.com/metals-mining/featured-article/-asset_publisher/S5UkO0zyOvnu/content/conflict-minerals-yet-another-supply-chain-challenge/10192

加里·霍夫曼（Gary Hoffman），《汽车碰撞测试流程》，Autoblog网站，2007年10月，<https://www.autoblog.com/2007/10/19/how-crash-tests-work/>

杜安·斯科特（Duann Scott），《合辑：2017年五大工业增材制造趋势》，Redshift（AUTODESK出版），2017年1月，<https://www.autodesk.com/redshift/industrial-additive-manufacturing-trends/>

珍妮·施韦德（Jeanne Schweder），《关掉工厂车间的灯》，《自动化世界》（Automation World），2017年2月，<https://www.automationworld.com/article/technologies/robotics/turning-out-lights-factory-floor>

A.·哈罗（A. Haloiu），D.·伊奥斯福（D. Iosif），《汽车行业中的生物源复合材料》，皮特什蒂大学，2013年5月，https://www.automotive.upit.ro/index_files/2014/2014_8_.pdf

《天然即最佳？寻找制造业新的生物基原材料》，BASF Global，<https://www.bASF.com/en/we-create-chemistry/creating-chemistry-magazine/resources-environment-and-climate/naturally-good-searching-for-new-bio-based-raw-materials-for-industry.html>

马克·查克金（Mark Chafkin），伊恩·金（Ian King），《英特尔公司如何制造芯片》，彭博社，2016年6月，<https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-06-09/how-intel-makes-a-chip>

加百列·加西亚·乔弗（Gabriel Garcia Jover），《邂逅Liam机器人：苹果的自动化拆卸技术》，循环经济俱乐部，<https://www.circulareconomyclub.com/disassembly-technology/>

蒂姆·史蒂文斯（Tim Stevens），《我、我的妻子和朱利亚：路上的爱》，CNET路演，2017年8月，<https://www.cnet.com/roadshow/news/me-my-wife-and-giulia-lamore-on-the-road/>

安图·吉德温（Antuan Goodwin），《沃尔沃工程师使用微软HoloLens设计数字汽车》，CNET路演，2016年10月，<https://www.cnet.com/roadshow/news/volvo-is-the-first-automaker-to-add-microsoft-hololens-to-its-engineering-toolkit/>

斯坦·希金斯（Stan Higgins），《汽车制造商雷诺尝试利用区块链保护汽车维修数据》，Coindesk公司，2017年7月，<https://www.coindesk.com/automaker-renault-trials-blockchain-bid-secure-car-repair-data/>

贝利·鲁泽尔（Bailey Reutzel），《区块链科技如何助力自动驾驶汽车驶入快车道》，Coindesk公司，2017年5月，<https://www.coindesk.com/blockchain-move-self-driving-cars-fast-lane/>

斯坦·希金斯（Stan Higgins），《保时捷寻求区块链公司助其进行创业》，Coindesk公司，2017年4月，<https://www.coindesk.com/porsche-seeks-blockchain-companies-startup-competition/>

《可持续产业的生物催化剂》，CSIRO，<https://www.csiro.au/en/Research/LWF/Areas/Environmental-contaminants/Environmental-industrial-biotechnology/Biocatalysts>

罗布·斯皮格尔（Rob Spiegel），《数字孪生技术突破设计领域，走向制造业和实地应用》，Design News网站，2017年2月，<https://www.designnews.com/automation-motion-control/digital-twin-moves-beyond-design-manufacturing-and-field/209542298147437>

凯尔·威尔格斯（Kyle Wiggers），《从像素到餐盘，食物已经成为3D打印的美味新领域》，Digital Trends网站，2017年4月，<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/3d-food-printers-how-they-could-change-what-you-eat/>

迪伦·弗内斯（Dyllan Furness），《从玉米到牛，基因编辑即将为农业带来颠覆性变化》，Digital Trends网站，2017年4月，<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/crispr-gene-editing-and-the-dna-of-future-food/>

卢克·多梅尔（Luke Dormehl），《科学家希望利用农业人工智能养活不断增长的人口》，Digital Trends网站，2017年4月，<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/future-of-food-carne-mellon-farming-project/>

卢克·多梅尔（Luke Dormehl），《Modern Meadow公司最受期待的人造皮革终于面世》，Digital Trends网站，2017年10月，<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/modern-meadow-leather-here/>

N.L.·海尔伦（N.L. Heerlen），《DSM 和 Syngenta 公司开发农业商业化生物解决方案》，DSM，2015年11月，<https://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2015/11/32-15-dsm-and-syngenta-to-develop-and-commercialize-biological-solutions-for-agriculture.html>

《阿迪达斯的高科技工厂重新在德国开展生产活动》，《经济学人》（The Economist），2017年1月，<https://www.economist.com/news/business/21714394-making-trainers-robots-and-3d-printers-adidass-high-tech-factory-brings-product-on-back>

西蒙·弗莱德（Simon Fried），《当3D打印与PCB结合》，Nano Dimension公司，2016年4月，https://www.eetimes.com/author.asp?doc_id=1329449

《智能资产：释放循环经济潜力》，艾伦·麦克阿瑟基金会，2016年，https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/news/EllenMacArthurFoundation_Intelligent_Assets_Case_Studies_v4.1.pdf

《汽车制造业塑料短循环回收》，艾伦·麦克阿瑟基金会，<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/short-loop-recycling-of-plastics-in-vehicle-manufacturing>

《食品加工废水处理实例》，日本环境省，https://www.env.go.jp/earth/coop/coop/document/male2_e/007.pdf

《了解手机材料》，Fairphone公司，<https://www.fairphone.com/en/project/understanding-materials-mobile-phones/>

《智能手机材料档案》，Fairphone公司，2017年5月，https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2017/05/SmartphoneMaterialProfiles_May2017.pdf

里娜·拉斐尔（Rina Raphael），《缝纫机器人是时尚业的未来吗？》，Fast公司，2017年1月，<https://www.fastcompany.com/3067149/is-this-sewing-robot-the-future-of-fashion>

本·席勒（Ben Schiller），《区块链小店让咖啡种植者赚到更多钱，还能验证您的咖啡豆真伪》，Fast公司，2017年4月，<https://www.fastcompany.com/40405379/these-blockchain-enabled-kiosks-make-coffee-farmers-more-money-and-let-you-verify-your-beans>

兰迪·比恩（Randy Bean），托马斯·H·达文波特（Thomas H. Davenport），《人工智能和机器学习是如何帮助推动通用电气数字转换》，《福布斯》（Forbes），2017年6月，<https://www.forbes.com/sites/ciocentral/2017/06/07/how-ai-and-machine-learning-are-helping-drive-the-ge-digital-transformation/#b578d811686b>

吉姆·雷斯尼克（Jim Resnick），《对汽车制造商而言，大型3D打印技术是下一个强大的工具箱》，《福布斯》（Forbes），2017年3月，<https://www.forbes.com/sites/jimresnick/2017/03/08/for-the-automakers-large-scale-3d-printing-is-the-next-powerful-toolbox/#6213d30a7ee0>

史蒂夫·班克（Steve Banker），《仓库机器人技术：不仅仅应用于亚马逊》，《福布斯》（Forbes），2016年1月，<https://www.forbes.com/sites/stevebanker/2016/01/11/robots-in-the-warehouse-its-not-just-amazon/#278b772b40b8>

《金融时报》（Financial Times），<https://www.ft.com/content/916b93fc-8716-11e7-8bb1-5ba57d47eff7>

《金融时报》（Financial Times），<https://www.ft.com/content/b5b1a5f2-5030-11e7-bfb8-997009366969>

希瑟·克兰西（Heather Clancy），《区块链在可持续发展中扮演的角色》，GreenBiz公司，2017年2月，<https://www.greenbiz.com/article/blockchains-emerging-role-sustainability>

马修·琼斯（Matthew Jones），《汽车区块链》，IBM，2017年3月，<https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/block-chain-for-automotive/>

马塞罗·尼科莱蒂（Marcello Nicoletti），保罗·德尔·塞罗内（Paolo Del Serrone），《智能和智能包装》，2017年10月，<https://www.intechopen.com/books/future-foods/intelligent-and-smart-packaging>

克莉丝汀·扬（Christine Young），《利用机器学习缩短设计周期》，Maxim Integrated公司，2017年2月，<https://www.maximintegrated.com/en/design/blog/machine-learning-can-speed-up-design-cycle.html>

科恩·德·巴克尔（Koen de Backer），马特奥·曼奇尼（Matteo Mancini），阿耆尼·夏尔玛（Aditi Sharma），《通过工业4.0优化后端半导体制造》，麦肯锡公司，2017年2月，<https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/optimizing-back-end-semiconductor-manufacturing-through-industry-4.0>

翁德雷·博卡奇（Ondrej Burkacky），马克·巴特尔（Mark Patel），尼古拉斯·塞金特（Nicholas Sergeant），克里斯托弗·托马斯（Christopher Thomas），《重塑晶圆厂：半导体制造先进分析法》，麦肯锡公司，2017年3月，<https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/reimagining-fabs-advanced-analytics-in-semiconductor-manufacturing>

安德鲁·库西亚克（Andrew Kusiak），《智能制造必须结合大数据》，nature.com，2017年4月，<https://www.nature.com/news/smart-manufacturing-must-embrace-big-data-1.21760>

吉约姆·沙普龙（Guillaume Chapron），《环境需要加密治理》，nature.com，2017年5月，<https://www.nature.com/news/the-environment-needs-cryptogovernance-1.22023>

《通过CRISPR/Cas9系统进行棉花基因组编辑》，《植物科学前沿》（Frontiers in Plant Science），2017年8月，<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5541054/>

《通过CRISPR/Cas9系统进行棉花定向基因诱变（Gossypium hirsutum L.）》，Sci Rep，2017年3月，<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28287154>

科林·巴拉斯（Colin Barras），《合成细胞制造电子产品》，《新科学家》（New Scientist），2009年6月，<https://www.newscientist.com/article/dn17325-synthetic-cells-get-together-to-make-electronics/>

琳达·葛迪斯（Linda Geddes），《合成生物学：重写生命代码》，《新科学家》（New Scientist），2008年6月，<https://www.newscientist.com/article/mg19826603-600-synthetic-biology-rewriting-the-code-for-life/>

保罗·马克思（Paul Marks），《电子行业的肮脏秘密：血矿》，《新科学家》（New Scientist），2014年6月，<https://www.newscientist.com/article/mg22229734-800-blood-minerals-are-electronics-industrys-dirty-secret/>

《绘制全球价值链》，经合组织，2012年12月，https://www.oecd.org/dac/aft/MappingGlobalValueChains_web_usb.pdf

《推动下一个生产革命：制造业和服务业的未来——中期报告》，经合组织，2016年6月，<https://www.oecd.org/mcm/documents/Enabling-the-next-production-revolution-the-future-of-manufacturing-and-services-interim-report.pdf>

《行业观察者称：汽车中的塑料使用量到2020年将增长75%》，Plastics Today网站，2015年3月，<https://www.plasticstoday.com/automotive-and-mobility/plastics-use-vehicles-grow-75-2020-says-industry-watcher/63791493722019>

理查德·布朗（Richard Brown），《陷入冲突：科技矿物金融战争》，Racounter公司，2017年7月，<https://www.raconteur.net/business/descending-into-conflict-tech-minerals-finance-war>

阿普里尔·格莱泽（April laser），《首双几乎完全由机器人制造的阿迪达斯鞋》，recode公司，2016年9月，<https://www.recode.net/2016/9/27/13065822/adidas-shoe-robots-manufacturing-factory-jobs>

《机器人拆卸技术是自动化再制造业发展的关键驱动力》，Remanufacturing网站，<https://www.remanufacturing.eu/robotic-disassembly-technology-as-a-key-enabler-of-autonomous-remanufacturing-2/>

《全新复合材料掀起汽车轻量化新兴趋势》，科学出版社，2016年1月，https://www.researchgate.net/profile/Mohini_Sain/publication/292343209_Emerging_Trends_in_Automotive_Lightweighting_through_Novel_Composite_Materials/links/56bc6d3b08ae513496ec1a80/Emerging-Trends-in-Automotive-Lightweighting-through-Novel-Composite-Materials.pdf

《反CRISPR基因编辑》，Cell出版社，2016年12月，<https://www.sciencedaily.com/releases/2016/12/161208143535.htm>

《3D打印技术推动汽车工业转型》，Sculpteo公司，2016年，<https://www.sculpteo.com/blog/2016/01/20/3d-printing-transforms-the-automotive-industry/>

《电子行业的3D打印：下一场革命是什么》，Sculpteo公司，2016年，<https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/07/3d-printing-for-electronics-industry-whats-the-next-revolution/>

《棉、麻与涤纶的生态足迹和用水分析》，BioRegional发展集团，2005年，<https://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-Report-EcologicalFootprintAndWaterAnalysisOfCottonHempAndPolyester-2005.pdf>

《全球制造业的经济转变》，波士顿咨询公司，2015年2月，<https://www.slideshare.net/TheBostonConsultingGroup/robotics-in-manufacturing>

圣吉夫·斯里瓦斯塔瓦（Sanjeev Srivastav），《见证数字孪生与工业物联网的未来》，Smart Industry公司，2017年5月，<https://www.smartindustry.com/blog/smart-industry-connect/why-digital-twins-are-the-future-of-iiot/>

《2016年-2020年全球生物催化和生物催化剂市场》，technavio公司，February 2016，<https://www.technavio.com/report/global-bio-chemicals-and-bio-materials-biocatalysis-market>

克里斯·安德森（Chris Aderson），《具备成像能力与先进传感器的平价无人机为农民提高产量、减少作物损失的新方法》，《麻省理工学院评论》，2014年6月，<https://www.technologyreview.com/s/526491/agricultural-drones/>

布拉德利·伯曼（Bradley Berman），《平价碳纤维汽车何时问世？》，《麻省理工学院技术评论》，2015年8月，<https://www.technologyreview.com/s/539971/wheres-the-affordable-carbon-fiber-automobile/>

奈特·威尔（Will Knight），《中国正在建设一支模范工作机器人队伍》，《麻省理工学院技术评论》，2016年4月，<https://www.technologyreview.com/s/601215/china-is-building-a-robot-army-of-model-workers/>

赛尼·布鲁斯特（Signe Brewster），《缝纫机器人是否能杜绝血汗工厂》，《麻省理工学院技术评论》，2016年9月，<https://www.technologyreview.com/s/602423/a-bot-that-sews-could-take-the-sweat-out-of-sweatshops/>

伊丽莎白·沃克（Elizabeth Woyke），《通用电气构建人工智能员工队伍》，《麻省理工学院技术评论》，2017年6月，<https://www.technologyreview.com/s/607962/general-electric-builds-an-ai-workforce/>

凯瑟琳·博扎克（Katherine Bourzac），《用碳打印出惊人的材料》，《麻省理工学院技术评论》，2017年6月，<https://www.technologyreview.com/s/607964/carbon-prints-amazing-materials/>

《利用自然：能源、创新和商业的未来》，Terrapin Bright Green公司，2015年，<https://www.terrapinbrightgreen.com/wp-content/uploads/2015/03/Tapping-into-Nature-2016p.pdf>

格林·加勒克（Glynn Garlick），《研究具有拆卸、再制造零部件和产品功能的自主机器人》，The Engineer网站，2016年4月，<https://www.theengineer.co.uk/research-aims-for-autonomous-robots-that-disassemble-and-remanufacture-parts-and-products/>

迈克尔·J·卡瓦纳（Michael J. Kavanagh），《初创公司利用区块链保证矿物来源符合道德标准》，《环球邮报》，2017年5月，<https://www.theglobeandmail.com/report-on-business/small-business/startups/startup-uses-blockchain-to-ensure-minerals-come-from-ethical-sources/article35022916/>

斯蒂芬妮·赫本（Stephanie Hepburn），《实验室培育的皮革即将问世，但业界准备好了吗？》，《卫报》，2015年7月，<https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/jul/10/lab-grown-leather-modern-meadow-ceh-suzanne-lee>

马克·冈瑟（Marc Gunther），《英特尔推出无冲突处理器：业界会效仿吗？》，《卫报》，2014年1月，<https://www.theguardian.com/sustainable-business/intel-conflict-minerals-ces-congo-electronics>

利奇·麦凯克伦（Rich McEachran），《忘记棉花吧，我们有可能利用香蕉和菠萝来生产纺织品》，《卫报》，2015年3月，<https://www.theguardian.com/sustainable-business/sustainable-fashion-blog/2015/mar/03/wearable-pineapple-banana-fruit-fashion-material>

尼克·斯塔特（Nick Statt），《人工智能的下一个飞跃可能从仓库机器人开始》，The Verge网站，2017年6月，<https://www.theverge.com/2017/6/1/15703146/kindred-orb-robot-ai-startup-warehouse-automation>

凯瑟琳·马丁克（Katherine Martincko），《哪种面料最具有可持续性？》，treehugger网站，2014年5月，<https://www.treehugger.com/sustainable-fashion/do-you-know-which-fabrics-are-most-sustainable.html>

马修·赫伯特（Matthew Herbert），《为智能包装做好准备》，流程创新中心，2016年4月，<https://www.uk-cpi.com/blog/get-ready-for-smart-packaging>

《全球制造业新兴趋势》，联合国工业发展组织，2013年，https://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/PSD/Emerging_Trends_UNIDO_2013.PDF

《技术创新在包容性和可持续行业发展中的作用》，联合国工业发展组织，2016年，https://www.unido.org/fileadmin/user_media_upgrade/Resources/Publications/EBOOK_IDR2016_FULLREPORT.pdf

《工业4.0工业化进程中心的协作机器人UR10，将转换时间缩短50%》，Universal Robots公司，<https://www.universal-robots.com/case-stories/continental/>

萨蒂亚·克里希南（Satya Krishnan），《黑灯工厂—美国和中国制造业的未来》，The Undergraduate Business Journal，2017年2月，<https://www.uofcbusinessjournal.com/single-post/2017/02/05/Dark-Factories%20-%20the-Future-of-American-and-Chinese-Manufacturing>

《增强现实的运作方式》，虚拟现实协会（Virtual Reality Society），<https://www.vrs.org.uk/augmented-reality/how-it-works.html>

凯尔·威恩斯（Kyle Wiens），《苹果的回收机器人需要你的帮助来拯救世界》，《连线》（Wired），2016年3月，<https://www.wired.com/2016/03/apple-liam-robot/>

Sarah Zhang，《再见，化学药剂：微生物成了新兴的农业杀虫剂》，《连线》（Wired），2016年3月，<https://www.wired.com/2016/03/good-riddance-chemicals-microbes-farmings-hot-new-pesticides/>

《可持续农业与传统农业》，石溪大学，<https://you.stonybrook.edu/environment/sustainable-vs-conventional-agriculture/>

杰克·豪沃思（Jack Howarth）、萨达·S.R.·马莱迪（Sada S.R. Mareddy）和保罗·马蒂维加（Paul Mativenga），《碳纤维复合物机械回收的能源密集度和环境分析》，曼彻斯特大学，2014年8月，https://www.researchgate.net/publication/263201013_Energy_Intensity_and_Environmental_Analysis_of_Mechanical_Recycling_of_Carbon_Fibre_Composite

迈克·伯纳斯·李（Mike Berners-Lee）和邓肯·克拉克（Duncan Clark），《一辆新车的碳排放量有多少？》，《卫报》，<https://www.theguardian.com/environment/green-living-blog/2010/sep/23/carbon-footprint-new-car>



COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

世界经济论坛是一个致力于改善世界状况，努力实现公私合作的国际性组织。

论坛邀请政界、商界和社会其他领域最重要的领袖，共同制定全球性、区域性和行业议程。

世界经济论坛
地址：91-93 route de la Capite
CH-1223 Cologny/Geneva
Switzerland (瑞士日内瓦)

电话：+41 (0) 22 869 1212
传真：+41 (0) 22 786 2744

contact@weforum.org
网址：www.weforum.org