



China-Britain
Business Council
英中贸易协会

中英 绿色制造 报告



英国国际贸易部

Department for
International Trade





目录

前言.....	4
1. 摘要.....	6
1.1 英国绿色制造.....	6
1.2 中国绿色制造.....	7
2. 英国绿色制造.....	8
2.1 英国绿色制造概览.....	8
2.1.1 英国绿色制造背景.....	8
2.1.2 英国绿色制造概览.....	9
2.1.3 英国低碳制造与工业战略.....	10
2.1.4 英国产业战略与循环经济.....	10
2.1.5 达到平衡——经济可持续、环境可持续与社会可持续三难困境.....	11
2.1.6 低碳制造之路.....	11
2.1.7 绿色制造商业模式.....	13
2.1.8 英国绿色制造市场.....	14
2.1.9 绿色制造的利益相关方.....	14
2.1.10 工业4.0对绿色制造的影响.....	15
2.2 英国政府政策与计划.....	16
2.2.1 英国政府工业政策.....	16
2.2.2 英国清洁增长战略.....	18
2.2.3 英国《净零排放法案》与COP26.....	19
2.2.4 英国政府计划.....	20
2.3 英国绿色制造研究能力.....	19
2.3.1 英国绿色制造业的特点.....	19
2.3.2 绿色制造领域的主要研究项目.....	21
2.3.3 绿色制造领域的主要商业创新项目.....	24
2.3.4 绿色制造研究中心.....	28
2.4 英国绿色制造业与企业机遇.....	29
2.4.1 绿色制造路线图.....	29
2.4.2 英国世界级绿色制造企业.....	31
2.4.3 精选案例研究.....	39
3. 中国绿色制造.....	41
3.1 绿色制造定义及体系.....	41
3.1.1 绿色制造定义.....	41
3.1.2 绿色制造主要内容.....	41
3.2 中国绿色制造概览.....	41
3.2.1 市场概览.....	41
3.2.2 行业相关机构.....	42

3.3 中国政府政策及规划	42
3.3.1 中国政府政策	42
3.3.2 中国政府规划	43
3.3.3 中国绿色制造主要标准	45
3.3.4 中国绿色制造的监管制度	45
3.4 中国绿色制造关键行业领域及公司	48
3.4.1 关键行业及领域	48
3.5 绿色制造有效合作机制及案例	51
3.5.1 国际合作有效机制	51
3.5.2 相关案例	54
4. 结论	57
4.1 中英商业和技术合作机遇	57
4.1.1 中英投资和商业机遇	57
4.1.2 中英技术合作机遇	58
4.2 给政策制定者的建议	58
4.2.1 中英技术合作机遇	58
4.2.2 给各行各业的建议	59
4.2.3 给研究人员的建议	59
4.2.4 针对未来几年中英行动计划的建议	59
主编单位与作者	61
参考文献	62

前言



当今世界，资源与环境问题是人类面临的共同挑战，实现绿色发展已成为全球共识。《2030年可持续发展议程》和《巴黎协定》奠定了世界各国广泛参与发展的基本格局，为全球绿色转型发展提供了宝贵机遇。

中国政府高度重视绿色发展，将生态文明建设作为中华民族永续发展的千年大计，“两山理论”、“美丽中国”、3060双碳目标等都是中国践行绿色发展的生动实践；同时，大力推动绿色发展国际合作，主动与相关国家、国际组织和机构携手打造绿色命运共同体。英国作为绿色发展的先行者，也是最早提倡“绿色经济”发展理念的国家之一，在应对气候变化、循环经济、绿色技术、绿色金融等方面走在全球前列，引领着全球绿色发展。

近年来，在中英两国政府的指导下，工业和信息化部国际经济技术合作中心联合英国工商业联合会、英中贸易协会、捷豹路虎等机构和企业，推动建设“中英现代产业合作伙伴关系”，深化中英两国在绿色制造等领域务实合作，取得积极进展。同时，中心与英国国际贸易部、英中贸易协会、曼彻斯特大学、利物浦大学、埃克塞特大学联合编制了《中英绿色制造发展报告》，研究梳理了中英两国在绿色制造领域的政策进展、产业现状和企业实践，分析了两国产业合作的潜力，并提出了具体合作建议，可以为两国政府、行业协会、企业之间的合作提供参考。

中心期待与英国商协会、企业、研究机构、高校等开展更加深入务实的合作，推动中英在绿色制造政策、产业、技术、标准等领域的交流合作，为建设美丽“地球村”作出自己应有的贡献。

郑红

工业和信息化部国际经济技术合作中心主任



英国是第一个通过全经济体《净零排放法案》的主要经济体。这意味着在 2050 年之前，英国会将所有温室气体排放量降至零。绿色制造和清洁发展是英国工业战略的核心。中国是世界上最大的制造业经济体，并设定了在 2030 年之前达到碳排放峰值，在 2060 年之前实现碳中和的目标。

因此，发展绿色供应链是两国的重要议程。在新冠疫情后，重建全球工业供应链为绿色制造提供了机遇。我很高兴看到中英两国政府、学术界、行业协会和企业共同努力，深化国际合作，促进双边贸易和投资。国际贸易部委托完成这份绿色制造报告将合作提升到一个新的水平。感谢中国工业和信息化部、国际经济技术合作中心、中英商务委员会、利物普大学、曼彻斯特大学、埃克塞特大学等所做出的杰出贡献。

本报告有助于中英两国的政策制定者、研究人员和行业专业人士了解相关的市场趋势、政府政策、标准和监管制度。本报告还简要介绍了英国和中国的绿色制造行业和领域。我希望本报告中分享的合作机制和案例研究能够加速绿色制造业的未来发展，加强国际合作。

随着中英两国从新冠疫情中复苏，向更加绿色的未来转型，双方有着巨大的合作机会。我鼓励企业依靠政府的支持和所有可用的资源来实现创新和改进绿色制造。我希望看到中英两国确保相关政策以协调互利的方式发展。国际贸易部将在两国分享最优实践，支持商业网络，促进绿色制造合作。

我们共同努力，为大家建设一个绿色、可持续的未来！

吴侨文

英国驻华贸易使节
国际贸易部

1. 摘要

中英两国分别是世界第一大和第九大制造大国，两国大力发展绿色制造业；目前，中英两国仍然拥有巨大的合作潜能。本报告旨在探索两国绿色制造的范围、特点和优势，识别机会，并为各级政府、各行各业和研究人员提供建议，以加强中英两国的贸易、投资和国际合作。

1.1 英国绿色制造

英国的绿色制造不仅仅关注其生产的产品或产品的生产方式，还关注生产这些产品的人和生产这些产品的空间、地区和生态系统。英国重视产品的质量、创新、基于场地优势的生产议程和生命周期影响。

在清洁技术、能源效率、生态设计和新型可持续商业模式等方面，英国制造业引领世界。英国的绿色制造企业正在迅速应对大规模脱碳新挑战，旨在生产具有经济、社会和环境效益的产品。这些企业实施各项战略，力争实现物质资源价值最大化，长期致力于打造循环经济，以避免对生物多样性或人类健康及福祉造成不利影响。在此过程中，他们不断寻求独立的外部进度验证，包括获得关于工厂、运营、能源足迹、碳足迹和资源足迹或产品标签的认证。

英国政府大力支持面向循环经济的绿色制造。本报告涵盖了政府战略、预测、计划和市场工具等内容，包括《英国政府白皮书（2017 年）》、《关于制造业未来的报告》、《清洁增长战略报告》及《净零排放法案》。英国政府资金不仅投资了英国公司牵头的创新方法和研究项目，在英国基础研究和研究生培养中也发挥了重要作用；其中的代表包括英国研究与创新署 (UKRI) 的主要理事会英国工程与自然科学研究理事会 (EPSRC)。

根据政府资金、国家奖项、可持续发展进程记录或在工业界中的引用次数，本报告确定并列出了英国 30 家世界级绿色制造公司，涵盖了从食品到家具、从航空航天到咨询等制造企业。在清洁技术、能源效率、创意产业和商业模式创新等领域，英国 11 家全球领先的公司被选为示范企业。

为了展示英国实现绿色制造的各种途径，本报告研究了三个案例：**Riversimple** 汽车公司，**SGMA** 公司和 **Notpla** 公司。**Riversimple** 致力于开发氢燃料电池电动汽车；**SGMA** 专门从事溶胶-凝胶涂料和先进材料研究；**Notpla** 致力于研究新型可持续包装。

1.2 中国绿色制造

2010 年，中国的制造业产值超过美国，成为全球最大的制造业大国。目前，中国是唯一一个拥有联合国《全部经济活动的国际标准产业分类（ISIC）》中所列全部工业门类的国家。中国的制造业创造了巨大的财富，但也造成了严重的生态和环境问题；人们对能源和资源的需求越来越大，污染物排放与日俱增。资源与环境约束已经成为限制中国经济和社会长期发展的主要瓶颈，因此中国需要推动绿色产业发展，才能让实现可持续发展。

中国将绿色制造视为综合考虑环境影响和资源效益的现代化制造模式。绿色制造的目标是使产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个产品生命周期中对环境的影响最小，资源利用率最高，并使企业经济效益和社会效益协调优化。

中国的绿色制造主要聚焦三大领域：节水节能、清洁生产和资源综合利用。这与三个重点紧密结合：推动传统产业绿色转型；加快能源、环保、新型节能技术等绿色产业发展；促进绿色制造服务的发展。中国的绿色制造主要包含绿色工厂、绿色生产、绿色工业园区和绿色供应链。

中国的绿色制造由工业和信息化部（简称 MIIT 或工信部）牵头，其他部委则在相关领域的具体工作中与其开展合作。工信部节能与综合利用司专门负责推动与绿色制造相关的工作。

《工业绿色发展规划（2016-2020 年）》以创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念为中心，是促进中国绿色产业发展的指导性国家政策。在工信部的指导下，行业协会和科研机构开展了许多研究项目，制修订了一批节能、节水、综合利用和绿色制造标准。

在绿色产业发展领域，中国积极与各国开展合作；灵活新颖的项目合作成效显著。中欧、中法、中意、中韩等双边交流机制运行顺畅，定期就政策、标准、技术和产业开展交流。与西班牙、希腊、捷克共和国的对话也在积极进行。

2. 英国绿色制造

2.1 英国绿色制造概览

2.1.1 英国绿色制造背景

2019年，英国的产值达3966亿英镑，是全球第九大制造大国。英国制造业的产值占全国研发总额的三分之二、出口的45%、企业投资的15%，创造了270万个高价值就业机会，高于平均薪资水平。[1]

在英国，绿色制造的基本原则众所周知。但为达到表述目的，本文交替使用了“可持续制造”与“绿色制造”，且通篇总体更多地使用了前一术语。“低碳制造”、“材料资源效率”等其他表述均与“绿色制造”同义。

绿色制造的早期提出可追溯到20世纪60年代；1972年，《增长的极限》出版，将这一意识推向了新高。[2]大约在同一时间，可口可乐公司于1969年进行了首次生命周期评估（LCA）。ISO14000系列出版物全面阐释了LCA的过程，大众对绿色制造的兴致达到了高潮。

此后，制造业意识到了工业可持续发展的重要性，例如：壳牌于1997年出版了第一份可持续发展报告。自2013年4月起，所有大型公司都必须做出报告，说明如何将可持续性发展纳入其业务发展战略。

在意识到可持续发展这一概念的重要性之后，英国皇家工程院于1998年发起了一项全民倡议：为可持续性发展聘任工程设计客座教授。在年轻工程师的培养过程中，该倡议进一步推广了可持续发展理念与LCA。在特许工程学会的要求下，此类原则已成为工程教学大纲中不可或缺的部分。

2015年，联合国大会宣布了17个可持续发展目标（SDGs），这是工业可持续发展进程中又一个重要里程碑。尽管早在20世纪60年代就出现了循环经济的概念，但直到2016年，英国工程与自然科学研究理事会（EPSRC）才发起了一场名为“迈向循环经济”的主题研究计划。值得注意的是，一家名为艾伦·麦克阿瑟基金会的非盈利组织以“加速循环经济转型”为己任，并且积极致力于将这一理念推广到工业领域。图1很好地展示了循环经济的概况。[3]事实上，早在20世纪80年代，英国的工业领导者就已经采用了可持续发展的理念。举个例子，英国糖业公司（现为AB糖业）的威辛顿工厂就被认为是践行循环经济的世界级典范。[4]

英国制定了全球首个碳足迹标准 PAS 2050 规范。该标准旨在实现商品、服务和产品碳足迹的可比性，以便企业便能够更好地了解其供应链的效率，消费者则可更了解与其所购商品相关的碳排放情况。[5]



图1. 传统线性经济模式（中间）与分散到生物循环和技术循环中的循环经济模式[3]

2.1.2 英国绿色制造概览

在英国，绿色制造不仅涉及商品或生产方式，也与商品制造商、商品生产空间、地域和生态系统息息相关。正是这些因素及其相互作用使得英国绿色制造（即低碳可持续制造）如此独特、与众不同。英国十分重视产品的质量、创新以及生命周期影响。

绿色制造具有许多战略性特点，包括但不限于以下特点：

1. 绿色制造企业直面大规模脱碳挑战；致力探索实现零碳或碳中和的路径、达成相应目标。
2. 绿色制造产品具有经济、社会和环境效益。
3. 绿色制造企业采用循环经济和其他相关战略，实现材料资源价值最大化，从而实现以少得多。
4. 绿色制造企业及其产品不会对生物多样性和人类健康福祉产生不利影响。
5. 绿色制造企业寻求独立的外部进度验证，包括获得关于工厂、运营、能源足迹、碳足迹和资源足迹或产品标签的认证（ISO 14001、ISO 45001 和 ISO 50001）。

绿色制造是一场旅程而不只是一个目的地，这意味着不同的企业处旅程中的不同阶段。绿色成熟指标要求独立验证与可持续发展相关的产品、设备或服务指标，借此判断企业在绿色旅程中取得的进展。英国绿色制造企业或可持续制造企业所遵循的相关标准如下：

- » ISO 14025-2006：III 型生态标签，用于环保产品声明；
- » PAS2050：英国公用的产品碳足迹标准；
- » 温室气体核算体系：企业温室气体排放量评估标准。

绿色制造企业致力于减排工作，也清楚自身的减排进展。根据标准 PAS 2050:2011、产品、工艺和服务足迹，温室气体核算（GHG）体系给出了三个排放范围。范围 1 指的是直接温室气体排放；范围 2 指的是外购能源产生的温室气体排放；范围 3 指的是供应链上其它所有间接排放。应该注意的是，根据范围 1 和范围 2 温室气体排放，许多选择这一挑战的创新领导者和组织旨在特定某年步入零碳或碳中和的正轨。

2.1.3 英国低碳制造与工业战略

透过英国产业战略、清洁增长战略、其他配套措施及相关区域战略工具就可了解英国对绿色制造的态度和举措。[6][7] 英国产业战略中并不没有“绿色制造”一词；该战略关注的是“低碳”，这个词被提及了 21 次。确定为可推动绿色制造的关键领域包括生态创新与低碳科技、低碳生物基产品与流程、低碳经济、低碳能源、低碳氢能、低碳工业流程、低碳工业、低碳基础设施系统、低碳创新、现代与未来低碳电能、低碳科技、低碳运输、资源效率经济及智能科技。

2.1.4 英国产业战略与循环经济

英国产业战略致力于迈向再生循环经济，以修复和再生替代提取和浪费。当产品、成分及物料流向生态圈和技术圈时，使用可保留其用途与价值的方式进行再利用。这意味着在循环经济中资源使用会被尽可能地延长，从而获得其最大价值，并在每一个生命周期的结尾实现产品和材料的恢复与再生。因此，制造商应扩大其制造系统的范围与影响，抓住和利用循环经济的效益。英国产业战略推荐为制造业提供以下支持：

- » 推动自然资本再生的基础设施投资方法；
- » 推动循环利用，打造强大的二级材料市场，其产品设计兼顾效率和可循环性；
- » 履行“考陶尔德承诺”到 2025 年将减少人均 20% 的食物浪费；

- » 制定新型生态经济策略，打造增长框架，研发新型低碳生物基产品与工艺；
- » 出台各项符合国家宏伟目标的政策，到 2050 年实现可避免废弃物零废弃、资源生产力翻番；
- » 制定新型战略，解决资源与浪费问题。

2.1.5 达到平衡——经济可持续、环境可持续与社会可持续三难困境

毋庸置疑，绿色制造企业要通过平衡可持续发展三难困境（如图 2 所示）来追求可持续性发展。可持续发展造福当代，利好千秋，在满足现今发展需求的同时并不会损害子孙后代的发展利益。可持续发展具有三大支柱：经济可持续、环境可持续和社会可持续，其目标就是寻求三者之间的平衡。

在产品的整个生命周期中，其设计应遵循以下理念：产品的生产、供应、使用及报废都应符合商业目标，且具备最大社会价值、最小或零环境负担。

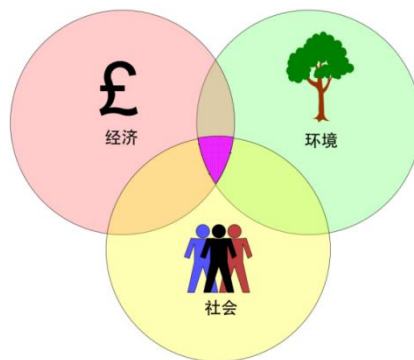


图 2. 可持续发展三难困境

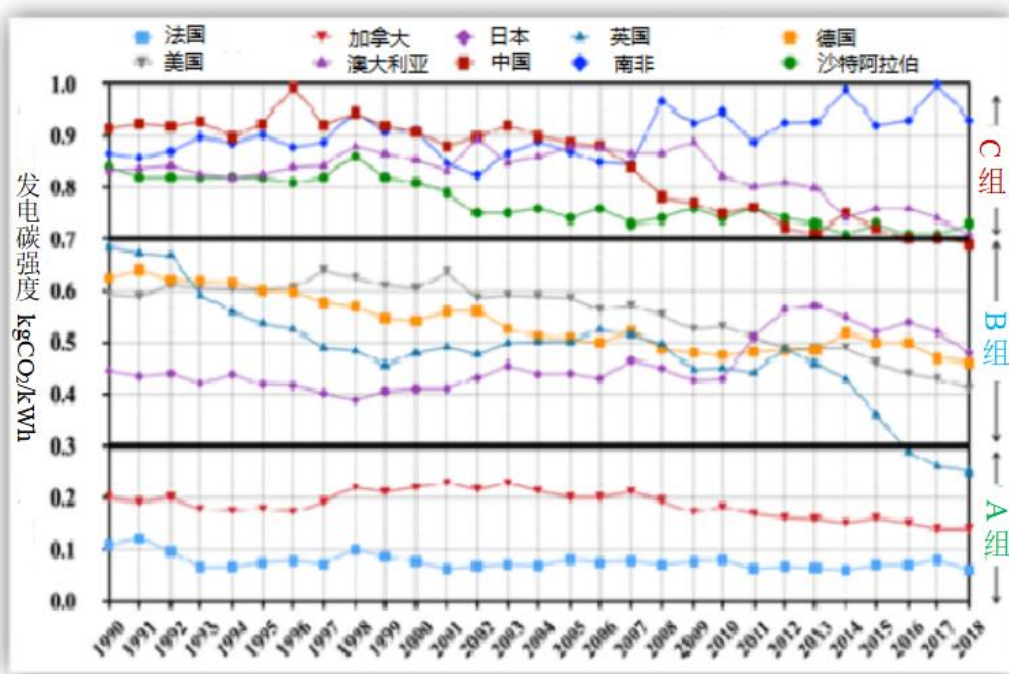
2.1.6 低碳制造之路

在碳中和或零碳这一清晰里程碑的驱动下，绿色制造企业致力于寻求迈向低碳制造的道路。英国有许多社会和法律因素正在大力驱动这一转型。2008 年，英国颁布了《气候变化法案》，设定具有法律约束的“碳预算”，其目标为到 2050 年英国的碳排放量比 2008 年的基准线下降至少 80% [8]，这一举措使英国成为以立法推动转型的先驱。之后，许多组织陆续设定了 2028 年、2038 年、2040 年以及 2050 年碳中和或零碳目标。

绿色制造面临的主要挑战是在减少排放和坚持走脱碳道路的同时推动制造、实现增值。在制造业中，在生产现场使用化石燃料会直接排放二氧化碳（CO₂）；除此之外，发电驱动生产设备工作也是导致 CO₂ 排放的主要因素。鉴于脱碳速率低下，所以绿色制造商降低制造过程中的能耗强度至

关重要。在整个生产过程中，制造工厂需要消耗电力与能源才能维持机器、办公与服务等系统的运行。在机械与制造工厂中，上述能源被称作基础能源，减少其使用量对可持续发展而言意义重大。设备、机械工具及制造工厂的设计会大幅影响基础能源的消耗与操作性排放（尤其是范围 2 中的排放）。因此，绿色设计和绿色产品可重点关注节能（可选级别内最佳的）设备与设施。推动此类设备、绿色设计能力与产品的贸易与交流可成为中英两国的合作版块，共同发展绿色制造。

如公式（1）所示，直接能耗 E 乘以碳强度 e_{CO_2} ，可估算出耗电产生的碳排放量。碳排放量以 $kgCO_2$ 为单位，制造中的直接能耗以 kWh 为单位，碳强度以 $kgCO_2/kWh$ 为单位。发电过程中富碳初级能源¹（以化石燃料为主）的占比会影响碳强度。根据国际能源署 2018 年提供的数据，可知中英两国的发电碳强度分别为 0.69 和 0.25 $kgCO_2/kWh$ 。1990-2018 年年间，各国的发电碳强度[2]如图 3 所示。



$$\text{碳排放} = E \times e_{CO_2} \text{ 公式 (1)}$$

图 3. 不同国家的发电碳强度 (数据来源: IEA)

① 初级能源包括化石/生物燃料与绿色能源，前者包括煤、石油和天然气，后者包括氢能、太阳能、风能、地热能、土地能、波浪能与潮汐能。

根据发电碳强度，不同国家可分为三大组：A组，碳强度在 0.29 kgCO₂/kWh 以下（绿色区域：C层）；B组，碳强度为 0.30—0.69 kgCO₂/kWh（蓝色区域：B层）；C组，碳强度在 0.70 kgCO₂/kWh 以上（红色区域：A层）。按照这一分类，英国属于 A 组，中国属于 B 组。值得注意的是，两国在减少其发电 CO₂ 强度上都取得了巨大的进步，且就将清洁能源用于制造业这点而言，两国也在向着更低的组别移动。绿色制造企业不应该对其现有能源供应感到沾沾自喜，而应寻求更加综合有效的方法实现脱碳，例如投资现场再生能源或更换供应商获取更加清洁的能源。这也就意味着，只要能源的获取方式正确，中英两国的企业都能更加绿色清洁。

中国不断加大可再生能源尤其是水力发电（占其可再生能源的 67%）的使用量，使得碳排放量不断减少。英国大幅减少煤炭的使用、不断增加风能和生物质能（占其可再生能源的 82%）的使用，大大减少了 CO₂ 的排放量。

为了减少碳排放，强烈建议各企业将其降低能源需求战略与能源智能制造相结合；也可通过绿色设备、绿色设施及绿色工厂等方式提高能源效率。如图 4 所示，若不能将能源中的碳移除或最小化，实施上述举措也不够。这意味着，脱碳需要考虑的第三个也是最大的因素便是可再生能源或低碳/零碳排放能源的使用。

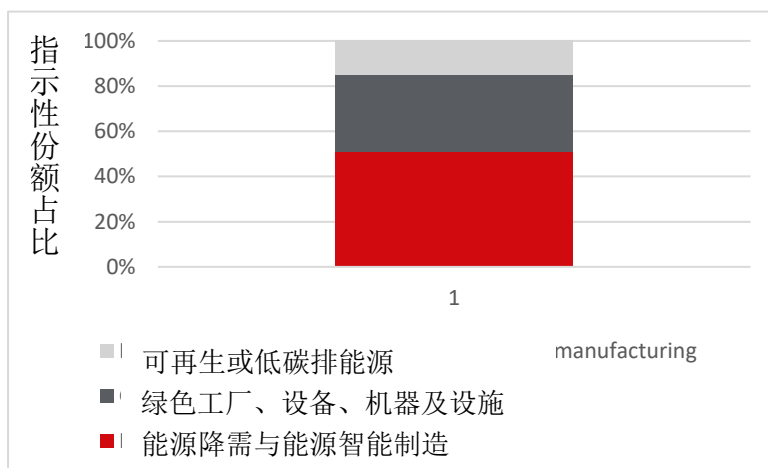


图 4. 制造业脱碳支持清洁增长面临的相关指示性挑战与重点

2.1.7 绿色制造商业模式

2017 年英国产业战略白皮书中提到，商业模式的转变将涉及以下因素：

- » 随着海量数据库的配置，人工智能（AI）、机器学习及数据分析等新型产业凭借其自身条件可跨多个版块实现商业模式的转变，可用于绿色制造及智能制造。

- » 在英国未来出行被定义为绿色制造的驱动者。新的市场参与者及出行商业模式会为绿色产品与服务带来很多新机遇。
- » 重新构思商业模式，支持各企业践行的循环经济以及相关的商业转型目标与系统。

2.1.8 英国绿色制造市场

英国的议会报告指出，推动英国经济循环，到 2030 年可创造价值 90 亿到 290 亿英镑/年，创造 1-1.75 万个不同技术水平的就业机会。[10]同时，国家统计局的一份调查也指出，2018 年，低碳制造业的价值约为 150 亿英镑，为 8.36 万人提供了就业机会。还有报道指出，2018 年英国绿色经济以 5% 的速率健康增长。[11]

英国制造技术协会（MTA）是英国制造技术公司的贸易代表协会，在其 2020 年的报告《脱碳：制造业的未来增长》中也给出了相似的信息。[12]据气候变化委员会估计，到 2050 年，每年新投入到绿色科技中用于实施净零目标的资金占 GDP 的 1-2%。新增投资对 GDP 的积极影响将体现在：英国制造及其供应链的产量预计可增长 80 亿到 200 亿英镑。这也会对就业产生重大影响，将创造：

- » 40 万到 100 万个服务于整体经济的就业机会；
- » 3.7 万到 9 万个服务于英国制造业的就业机会；
- » 3.4 万到 8.3 万个服务于供应链的就业机会。

2.1.9 绿色制造的利益相关方

制造业对可用资源、能源和碳排放均具有重大影响，因此许多机构已经开始制定政策方案、开展相关活动，支持绿色制造的实施、研究与开发（R&D）和知识转移。绿色制造的主要利益相关方列举如下：

- a. 政府部门：商业、能源与工业战略部；环境、食品与农村事务部；全党议会制造小组和科学与地方管理政府办公室；
- b. 研究和技术开发机构：高校；高价值制造弹射中心（包括7个中心）和苏格兰再制造研究所；
- c. 资助机构：英国工程与自然科学研究理事会（EPSRC）、“创新英国”项目和碳信托有限公司；
- d. 专业机构：皇家工程学院、制造技术协会、联合会和董事协会；
- e. 慈善组织：艾伦·麦克阿瑟基金会和废弃物回收行动组织（WRAP）。

在可持续性发展和绿色制造的背景下，任何的利益相关方分析都必须在负责任的创新和评估及减轻回弹效应的理想引导下考虑现在和未来、直接和间接的利益相关方和影响。

图 5 列出的是绿色制造的主要利益相关方。每一个利益相关方都会和与其互联的利益相关方发展出现今与未来网络关系。必须要制定考虑到特定条件和当地环境，为特定行业、产品和公司制定主要网络分析和二级网络分析。

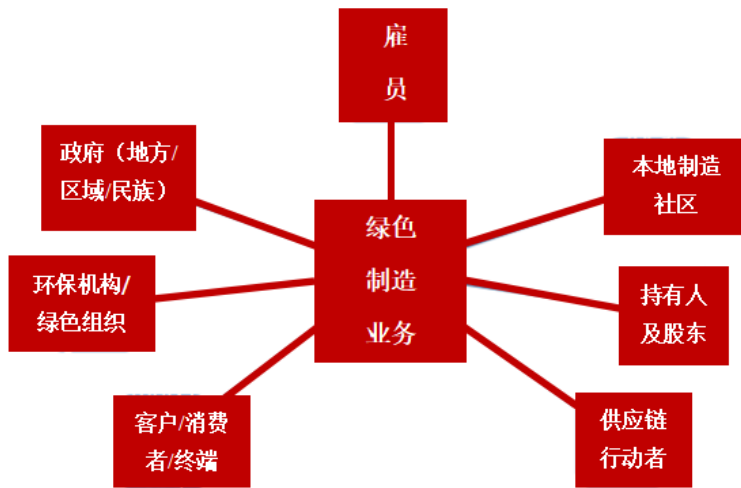


图 5. 绿色制造的主要利益相关方

在英国，除了商业、能源与工业战略部以外，艾伦·麦克阿瑟基金会、未来论坛、绿色联盟、废弃物回收行动组织（WRAP）、苏格兰零废弃物组织、高速可持续制造研究所（HSSMI）、RSA（大复苏）、皇家工程学院、高等院校、高级制造中心（AMRCs）以及弹射中心等机构也为发展绿色制造业务提供了关键研究基地、技术和不定时的支持。

2.1.10 工业 4.0 对绿色制造的影响

据预计，工业4.0的发展将为实现清洁和绿色制造目标带来机遇，这令人兴奋。工业4.0的范畴有以下特征：

- a. 跨整个绿色制造价值创造网络的横向整合；
- b. 跨产品全生命周期的端对端工程；

c. 纵向整合及网络化的制造系统。

跨整个绿色制造价值创造网络的横向整合可为实现物料和能源的可视性、建模以及流程链的优化提供条件。跨产品全生命周期的端对端工程不仅可以实现绿色产品管理，还能提供必要的知识框架和反馈以推进改良，进而达到产品的更新、系列产品的进化和创新的提升。纵向整合及网络化的制造系统是提供支持的关键；比如，在数字化构架中，实现零碳制造设施的转型将需要一个完全整合的制造系统。

工业 4.0 有助于拓宽系统边界，实现绿色制造、达到实时指标监控，并利用大数据的力量和人工智能（AI）算法推进创新，使绿色制造日臻卓越。

2.2 英国政府政策与计划

2.2.1 英国政府工业政策

英国政府的 2017 年《产业战略》白皮书是实现绿色制造增长的主要政策工具。一篇题为《制造业的未来》的报告也划定了该进程的时间线。[14]此外还有一些补充性的政策工具，表 1 列出了部分文件，结合了战略、预测和市场工具。

表 1. 英国绿色制造政府政策概览

英国相关政策文件	政策重点
2010 至 2015 年的政府政策：降低工业、商业以及公共领域的能源需求。 https://www.gov.uk/government/publications/2010-to-2015-government-policy-energy-demand-reduction-in-industry-business-and-the-public-sector	支持英国碳计划以减少其温室气体的排放。这需要提高各个领域的能源效率。为达目的该政策将支持工业、商业以及公共领域减少能源使用，这项举措还将削弱能源价格上涨造成的影响。
政策文件：《清洁增长策略——英国低碳未来的雄壮蓝图》	该策略阐述了全面的政策与提案，旨在加速清洁增长，即实现减排与经济增长。

<p>https://www.gov.uk/government/publications/clean-growth-strategy/clean-growth-strategy-executive-summary</p>	
<p>绿色投资银行：政策与金融背景</p> <p>https://www.gov.uk/government/publications/green-investment-bank-policy-and-finance</p>	<p>英国商业、创新与技能部（BIS）要求该报告重点关注英国绿色经济形态及其所需资金。该报告遵循市场经济投资规则，是绿色投资银行（GIB）干预的高级案例。</p>
<p>政策文件：《绿色金融策略》</p> <p>https://www.gov.uk/government/publications/green-finance-strategy</p>	<p>该报告以《英国清洁增长》、《25 年环境计划》以及《工业策略》为中心，阐述了绿色金融提案以及该提案会如何助力英国经济政策实现强健、持续、平衡增长。</p>
<p>政策文件：《循环经济一揽子计划政策声明》</p> <p>https://www.gov.uk/government/publications/circular-economy-package-policy-statement</p>	<p>《循环经济一揽子计划》（CEP）采用了修改后的立法框架，明确了减少浪费的步骤，走上宏伟可靠的废弃物管理和循环再生长远道路。</p>
<p>政策文件：《英格兰资源与浪费战略》</p> <p>https://www.gov.uk/government/publications/resources-and-waste-strategy-for-england</p>	<p>该战略阐述了英国将如何通过最小化浪费、提高资源效率、迈向循环经济来保护英格兰的材料资源。</p>
<p>战略/计划—《持续到底：苏格兰的循环经济战略》</p>	<p>《坚持到底》是苏格兰政府的循环经济战略，于 2016 年出版，展现了一幅经济更为循环的清晰愿景以及为该目标优先付出行动的意愿；苏格兰为推进循环制定了一系列雄伟目标。</p>

<https://www.gov.scot/publications/making-things-last-circular-economy-strategy-scotland/>

2.2.2 英国清洁增长战略

《清洁增长战略报告》指出，自 1990 年以来，英国的商业及工业排放已几乎减半，这主要得益于效率增益、制造业使用清洁能源的转变以及英国经济工业结构的改变。这也强调了在通往绿色增长的道路中需要考虑生产力、结构和强度。许多因素都能影响工业、公司或生产线的能量消耗或碳足迹，表 2 列出了其中一些因素。在绿色制造业中，表 2 列出的主要因素是包括特定行业及其所在领域的产量、行业组成的变化（其结构）和各领域能源或碳强度的变化。

表 2 各行各业清洁增长道路能耗影响因素

影响因素	推论
生产	当特定领域的产量增加、生产的产品更多时，总能耗及碳足迹也会不可避免地增长。
结构	制造领域的组成会因时期不同而发生改变。当工业向能源需求更低或碳强度更低的领域转变时，能耗和碳排放量也会降低。在这种情况下，总能效或碳强度似乎有所改善，但实际上是结构发生了变化。反之亦然。
能源强度	能源强度指生产特定单位产量或碳足迹时所需要消耗的单位能源单元。当技术或制造系统发生改变时，生产同样产量所需能耗和碳足迹也会发生或多或少、或大或小的变化。

如果产业或公司结构没有明显改变，那么要实现转型、使制造业更清洁，强度提高速度就要超过生产率提高速度。

《英国清洁增长战略》重在提高商业和产业效率，获得了以下支持：

1. 培养绿色金融工作组等世界领先的绿色融资能力，制定自愿性绿色和可持续金融管理标准，获得清洁技术早期投资基金、获得绿色抵押；
2. 出台支持商业发展的一揽子措施，计划到 2030 年将商业能源生产率提高至少 20%；
3. 制定《工业能源效率计划》，帮助大型公司整合措施，减少其能耗与支出；
4. 制定工业脱碳与能源效率行动计划，覆盖能源最为密集的七个工业板块；
5. 为发展先进碳捕获、利用与封存（CCUS）和引领全球 CCUS 工业创新投资 1 亿英镑，与全球伙伴共同合作以降低成本；
6. 通过与新 CCUS 委员会建立合作伙伴关系，直接实现英国国内大范围配置 CCUS 的计划，并能使其工业机会最大化；
7. 制定战略方法推动温室气体消除技术，制定政府研发计划，消除障碍，实现长期技术应用；
8. 在 21 世纪 20 年代逐步淘汰供气网外的高碳化石燃料供热在新型及现有商业中的安装，并启动新建设备的使用；
9. 循环使用工业流程中产生的热能，减少商业能源费用、惠及当地社区；
10. 追求创新，增加对能源、资源与流程能效研究的投资，从而鼓励使用低碳燃料。

2.2.3 英国《净零排放法案》与 COP26

2019年6月，英国成为了首个通过《净零排放法案》的主要经济体。该法律承诺要求，截止到2050年，英国将实现所有温室气体的净零排放，且与2008年《气候变化法案》相比，更加雄心勃勃的目标是到2050年温室气体排放将减少80%。2021年，第26届联合国气候变化缔约方大会将在英国格拉斯哥举行，这也会进一步支持净零排放的开展与前进。COP26主席、英国商业、能源和工业战略秘书长阿洛克·夏尔玛表示英国政府把握了其中的势头和关键：

“尽管现今的当务之急是要与新冠疫情奋力抗争，但我们也不能就此忽视气候变化带来的巨大挑战。现在，随着COP26新日期的一致达成，我们正在与我们的国际伙伴合作，为从现在到2021年11月的全球气候行动制定一份雄心勃勃的路线图。我们为重建经济所采取的方法将对我们社会未来的可持续性、恢复力和福祉产生深远的影响，而且全世界为了恢复清洁和强韧而团结一心，也成就了COP26这一非凡时刻。”

2.2.4 英国政府计划

英国制造对 2050 年达到净零目标以及推动全民走向真正的循环经济起着重要作用。为使国内制造业更为清洁地增长，英国政府颁布了多种计划，为支持发展研究和工业活动提供方向。图 6 总结了英国可持续制造战略计划的概况。为了使英国制造实现可持续发展，2.1.9 中所提及的主要利益相关方需要互相协作，尽可能为研究、创新和商业的繁荣创造最好的环境。

2013 年，英国政府科学办公室发布了一篇名为《制造业的未来：新时代下英国的机遇与挑战》的前瞻报告，该文从战略角度研究了制造业发展到 2050 年的情况。投入到可持续制造领域与循环经济研究与创新的资金已经超过两亿英镑。有关专家表示，英国制造实现可持续发展需要完成以下三个层面的转型：

1. 高效节能制造（工厂层面）：该层面侧重于发展新型科技与方法的使用，从而使材料、能源及水资源的效率最大化；该目标可通过废弃物识别与工厂资源流动建模等方式实现。
2. 可持续商业创新（企业层面）：该层面侧重于设计可持续的商业模式，用新方式创造、捕捉新价值。尽管英国被誉为制造业服务化的世界先驱（如劳斯莱斯的“保修合同”模式），但在很大程度上主要采用的还是制造和销售产品的传统商业模式。要实现可持续制造，就需要英国制造商重新思考其商业模式并打造能够从循环经济概念（如回收利用、再制造和减排等）中获利的新型模式。
3. 工业系统转型（工业层面）：该层面使用系统方法进行模拟、绘制并设计英国未来工业系统，实现价值最大化。

英国的可持续制造的关注重点仍然是在工厂层面应对节能增效挑战；预计这种情况在 2020-2030 期间也会一直持续，抵消日益脆弱的供应链的影响。虽然企业与工业层面也至关重要，但由于二者涉及更多的利益相关方且相关研究不够充分，因此会带来更多挑战。这也意味着或许需要向这两个层面投入更多的努力。

2015 年，全党议会制造小组（APMG）的制造委员会发布了一篇名为《工业进化：让英国制造业可持续发展》的报告。该报告概述了为使英国制造发展更可持续，政府和各行各业应采取的重要措施与计划。为帮助英国政府制定战略计划（图 6），该报告就五大关键领域提出了 24 条具体建议：领导、韧性、创新、合作及系统变化。

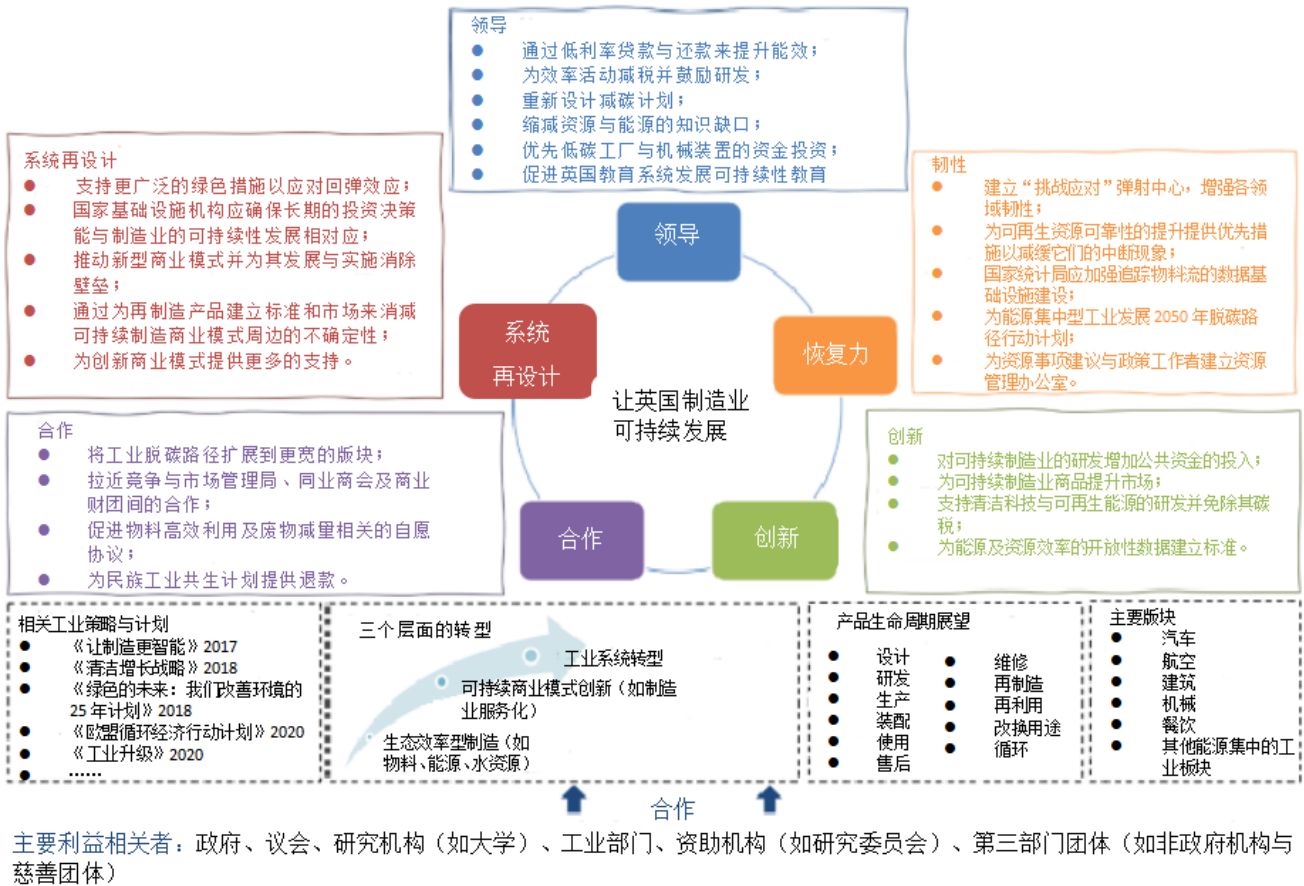


图6. 英国可持续制造战略计划概览（来源：APGM 报告 2015；EPSRC 工业可持续性创新制造中心；《预测报告：制造业的未来（2013 年）》；《可持续发展与制造业》论证报告（2013 年）；《下一次制造业革命（2013 年）》

2.3 英国绿色制造研究能力

2.3.1 英国绿色制造业的特点

自 2008 年金融危机以来，英国政界和公众越来越关注制造业。制造业已经重返英国经济中心；2018 年，对 GDP 的贡献率达到 10% 左右。目前，在清洁技术、生态设计和新型可持续商业模式等领域，英国制造均处于世界领先地位[16]；现在全球市场对可持续产品的需求不断增长，因此预计英国会有越来越多的机会。英国的可持续制造具有以下特点[16]：

1. 英国制造在以下四大领域领先世界：
 - » 清洁技术：在清洁生产方面，英国拥有强大的技术知识和管理能力；在新材料、自动化和燃料电池等领域，拥有巨大的增长机会。
 - » 能源效率：英国拥有全球最高效的工厂。
 - » 创意产业：英国创意产业蓬勃发展，可以按照系统设计思维来应对可持续制造面临的挑战。
 - » 商业模式创新：在使用新型商业模式探索实现可持续制造方面，英国制造领先世界。
2. 英国的可持续制造活动主要由中小型企业 and 初创企业开展。但是，中小型企业通常缺乏内部技能，不能利用自身核心业务以外的机会；或规模不足，不能实现外部援助（如咨询）的价值。帮助小型企业在可持续制造领域试验创新，英国政府发挥着至关重要的作用。
3. 英国许多制造商把可持续发展视为自身业务中的基本要素。大部分制造商具有强烈的社会责任感，将可持续发展融入到公司业务中，并积极寻找创新方法让生产制造更具可持续性。英国 90% 的制造商都知道 2050 年净零排放目标，其中 50% 的制造商承诺会采取具体行动。在新冠疫情爆发之前，英国 30% 的制造商就已经进行了能源效率投资，且投资利润有所增长。
4. 在推动英国制造实现可持续发展方面，政府、议会、制造商、甚至 NGO 等各利益相关方都发挥着重要作用。举个例子，在循环经济领域，具有全球影响力的英国慈善机构艾伦·麦克阿瑟基金会就已经影响了全球众多研究人员、决策者和企业。再举个例子，创新英国项目设立的“高价值制造弹射中心”旨在弥合企业与学术界之间的鸿沟，目前正在引领英国绿色制造革命并为其牵线搭桥。
5. 英国制造从整个产品生命周期角度出发，应对可持续发展所面临的挑战，重点关注研发、设计、服务和报废策略等高价值活动。尽管英国最近尝试将其转回国内，但目前大部分相关工作还是

外包给了其他国家。在此背景下，重要的是，英国制造商必须开发可持续的商业模式，用新的方式创造价值、获取价值，打造可以最大限度减少温室气体排放的供应链。

6. 英国已经把采用数字技术视为实现可持续制造的重要途径，已经对研究和工业活动进行了大量投资，结合商业模型和供应链创新探索增材制造、物联网、数据科学等应用。
7. 英国制造要实现可持续发展就需要各个部门之间开展合作。尽管多年来一直面临材料、能源和制造技能短缺等问题，但目前英国的技能、劳动力和行业妥善结合，可以从迈向循环经济的过程中受益。[17]当然，英国制造商并非孤军奋战，正与零售商、分销商和金融等领域开展密切合作；学者、政府和制造商之间也开展了强有力的合作。

表 3：在可持续制造四大领域中领先世界的英国公司

公司	行业	清洁技术	能源效率	创意产业	商业模式创新
Riversimple 汽车公司	汽车	*	*		*
丰田英国工厂	汽车	*	*		
庄信万丰	化学品和 可持续技术	*			
塔塔钢铁英国分公司	钢铁	*	*		
捷豹路虎	汽车		*		
埃尔维斯与克莱斯	时尚				*
亚德纳姆	饮料	*	*		
维松	家具		*	*	*
AB 糖业	食品	*	*		*

2.3.2 绿色制造领域的主要研究项目

英国研究与创新署（UKRI）主要理事会——英国工程与自然科学研究理事会（EPSRC）是英国工程和物理科学研究领域基础研究和研究生培训的主要出资机构。EPSRC 已经划拨了 3.414 亿英镑（占投资总额的 6.56%），用于资助 46 个研究机构的 266 个研究项目，项目主题为“自 2010 年以来制造业未来展望”。多个研究领域的可持续制造研究均已获得资助，包括资源效率、制造技术、材料工程、运营研究和工程设计。表 4 列出的是一些近年来由 EPSRC 资助的与可持续制造相关的基础研究项目；表 5 列出的是中英两国在可持续制造领域获得了资助的合作项目。这些项目以研究为导向，由大学与工业合作伙伴联合牵头。

表 4：EPSRC 资助的与可持续制造相关的研究项目

项目编号	项目名称	项目时间	教育机构	项目规模
EP/N011368/1	探索实现可持续钢铁制造的基本机制	2016-2021	华威大学	116 万英镑
EP/P027393/1	高性能间断式纤维复合材料——通往下一代复合材料的可持续途径	2017-2020	布里斯托大学	100 万英镑
EP/P027490/1	可持续可生物降解微珠的先进制造——生物微珠	2017-2021	巴斯大学	110 万英镑
EP/R011168/1	可持续钛合金熔模铸造耐火材料研究	2018-2021	伯明翰大学	45 万英镑
EP/R01213X/1	可持续通用化学品新型制造工艺	2018-2023	杜伦大学	87.7 万英镑

EP/R022518/1	通过软化处理实现低冲击强度、可持续无机材料和先进无机半导体复合材料生产	2018-2021	曼彻斯特大学	47.4 万英镑
EP/R027129/1	中心“科学”3：循环经济和可持续制造催化	2018-2023	巴斯大学	400 万英镑
EP/R031401/1	用于制造 2D 先进功能材料（EcoUltra2D）的可持续可扩展超声液相剥离技术	2018-2022	牛津布鲁克斯大学	26.1 万英镑
EP/R031665/1	用于制造 2D 先进功能材料（EcoUltra2D）的可持续可扩展超声液相剥离技术	2018-2022	伦敦布鲁内尔大学	41.1 万英镑
EP/R031819/1	用于制造 2D 先进功能材料（EcoUltra2D）的可持续可扩展超声液相剥离技术	2018-2021	赫尔大学	33.1 万英镑
EP/R032041/2	循环 4.0：循环经济中的数据驱动智能	2019-2022	埃克塞特大学	72.8 万英镑
EP/P012272/1	具有能源韧性的制造 2：小而美二期（SIB2）	2017-2021	克兰菲尔德大学	75.6 万英镑
EP/R025983/1	功能纳米材料的设计与绿色制造	2018-2023	谢菲尔德大学	100 万英镑
EP/R027129/1	中心“科学”4：循环经济和可持续制造催化	2018-2023	巴斯大学	400 万英镑

<u>EP/P008917/2</u>	重建——循环经济中的再生建筑和产品	2017-2021	埃克塞特大学	92.2 万英镑
<u>EP/P027121/1</u>	终身性能：从科学到仪器仪表	2017-2022	克兰菲尔德大学	120 万英镑
<u>EP/R001715/1</u>	LightForm：轻合金制造中的包埋材料工程设计	2017-2022	曼彻斯特大学	480 万英镑
<u>EP/R004226/1</u>	设计未来 2：通过预测性 CAD 实现设计重用	2017-2022	思克莱德大学	58.7 万英镑
<u>EP/R013179/1</u>	设计未来：培养具有韧性的跨学科设计工程师	2017-2023	巴斯大学	180 万英镑
<u>EP/S036091/1</u>	英国制造共生网络 Plus (UKMSN+)	2019-2022	阿斯顿大学	89.3 万英镑
<u>EP/N018427/1</u>	制造与再制造中的自动化检测 (AIMaReM)	2016-2020	思克莱德大学	200 万英镑
<u>EP/N018524/1</u>	推动自动化再制造的机器人拆卸技术	2016-2021	伯明翰大学	200 万英镑
<u>EP/L016389/1</u>	EPSRC 可持续材料与制造博士培训中心	2014-2022	华威大学	330 万英镑

表 5：中英两国在可持续制造领域的研究合作

项目编号	项目名称	项目时间	教育机构	项目规模
EP/J007870/1	中英可持续全球制造网络	2012-2015	利物浦大学	13.3 万英镑
EP/S018190/1	面向低碳制造的激光加工工艺及系统优化基础理论与关键技术（激光光束）	2019-2022	曼彻斯特大学	81.3 万英镑
EP/S018573/1	多级固相剪切碾磨装备及高值高效回收利用难再生废弃高分子材料相关基础研究	2019-2021	布拉德福德大学	80.4 万英镑
EP/S018204/1	可持续处理废弃物制备能源材料	2019-2022	伦敦玛丽女王大学	81.3 万英镑
EP/S018352/1	面向循环经济的碳纤维增强复合材料回收与再制造（GRACE）	2019-2022	曼彻斯特大学	78.4 万英镑
EP/S018204/2	可持续处理废弃物制备能源材料	2019-2022	伦敦帝国理工学院	81.3 万英镑

2.3.3 绿色制造领域的主要商业创新项目

除了由 EPSRC 资助的、技术准备水平（TRL）为 1-3 的基础研究之外，英国政府还投资了英国公司牵头的创新和研究项目。大部分 TRL 3-5 业务驱动项目由英国研究与创新署的创新英国项目资助。自 2007 年以来，该项目已投资约 25 亿英镑，助推英国企业创新。通常，企业需要提供一定的配套

资金，并与大学开展合作。创新英国项目已成功创造了大量工作机会（近 7 万个），并加速了研究成果的商业转化。表 6 列出了创新英国过去三年在可持续制造领域的项目计划。

表 6：自 2018 年以来在可持续制造领域中的创新英国项目计划（精选）

创新英国项目计划	成功项目 链接
ISCF 智能可持续塑料包装：可行性研究与工业研究，100 万英镑，2020 年	Link
可持续创新基金：第一轮，7500 万英镑，2020 年	Link
可持续创新基金：SBRI 一期，1000 万英镑，2020 年	Link
APC 12：提高英国低碳汽车研发能力，2500 万英镑，2019 年	Link
IDP15：汽车零排放之路可行性研究，200 万英镑，2019 年	Link
清洁增长创新基金：第一轮，400 万英镑，2019 年	Link
APC 10：提高英国低碳汽车研发能力，3000 万英镑，2018 年	Link
APC 11：提高英国低碳汽车研发能力，2000 万英镑，2018 年	Link
塑料创新：迈向零浪费，300 万英镑，2018 年	Link

下表列出了过去三年在可持续制造领域创新英国资助的一些成功项目。

表 7：创新英国资助的成功项目

项目名称：塔塔零排放氢能发动机（ZETE）

参与机构：塔塔汽车欧洲技术中心、庄信万丰、Revolve Technologies 有限公司、乌莱姆科有限公司和布莱顿大学

项目描述：该项目要应对的挑战是大幅减少重型货车（HGV）的碳排放和大气污染物排放。在重型货车行业中，拥有车辆的成本对于业务运营能否成功至关重要。具体的市场机遇在于通过为卡车和车队运营商提供经济实用的解决方案，满足全球关键能源和环境要求，减少排放。[Link](#)

项目名称：EV-LIFT（电动汽车轻量化未来牵引总成系统）

参与机构：YASA 公司、HSSMI、路特斯汽车有限公司和考文垂大学

项目描述：该项目旨在为下一代电池电动汽车（BEV）生产一流的电驱动单元（EDU）。该项目将利用一流的电机、SiC 逆变器和变速箱技术，大幅减轻下一代 BEV 的重量、大大提高效率。[Link](#)

项目名称：使用再生航空碳纤维制备 BMC

参与机构：丰田通商（英国）有限公司、Fiba 科技有限公司、NCC 运营有限公司

项目描述：该项目旨在使用从报废（EOL）飞机和航空航天生产废料中回收的再生碳纤维来研发一系列复合材料（即团状模塑料）。该复合材料可使用目前送往垃圾填埋场或焚烧掉的材料来大规模量产轻量化汽车零部件。与生产新的碳纤维相比，该方法将通过减少制造过程中的能源消耗量来减少汽车对环境的影响。该项目所有联合体成员均位于英国，但其产品具有大规模出口潜力，可创造大量就业机会。GKN 可提供航空 CFRP 废弃物，并进行加工，从而形成供应链闭环。FTI 集团会开发 BMC 材料，而 TTUK 会提供再生纤维。[Link](#)

项目名称：自动化城市配送零排放能力准备（ZERAUD）

参与机构：克莱尔沃有限公司、Tetra 设计服务有限公司

项目描述：该项目会在传统柴油卡车上增加电驱动桥，将电能存储在双层拖车下层甲板前部空位。与全长拖车相比，城市阶梯式双层拖车价格本就已经比较高昂。ZERAUD 项目会重新设计车桥或底盘，使其无需单独轮端便可拥有足够的车轮动能，

借此为典型的高成本低地板独立悬架（通常比一对标准车桥贵 1-1.2 万英镑）提供替代方案。这将有助于抵消动力混合成本。[Link](#)

项目名称：Tucana

参与机构：捷豹路虎有限公司、宝尔捷自动化公司英国有限公司、CCP Gransden Ltd、Expert Tooling & Automation Ltd、麦格纳国际（香港）有限公司、东丽国际英国有限公司、华威大学

项目描述：在 Tucana 项目中，捷豹路虎正领导着一个由学术和行业合作伙伴组成的联合体，项目成员贯穿整个供应链，旨在研制大型复合材料组件并实现全球领先的车身结构轻量化。该联合会利用全球最先进的工业化材料、设计和制造概念，将负担得起的轻量化碳纤维复合材料应用到高级汽车量产中，同时还将加深对这些全球业务和英国研究基地的了解。Tucana 项目致力于推动零排放电动汽车平台，可减少汽车 CO₂ 排放、增加行驶距离、改善空气质量。通过整合现有汽车轻量化技术、加强研发来打造面向全球的、具有成本竞争优势的碳纤维复合材料新型供应链，该项目会为外来资金提供投资机会，并增强英国的实力。[Link](#)

项目名称：打造英国零排放公共汽车和商用车一级动力总成供应商

参与机构：阿尔科拉能源公司、艾维科技公司、伊顿公司、Terragenic 公司

项目描述：该项目会加速零排放动力总成和零配件的开发和市场准备，并加强英国各种商用车和公共汽车的一级供应。该项目旨在研发成套燃料电池动力总成并将其推向市场、开发一流的高度集成电机驱动器、加强英国在供应动力电池组方面的能力、首次展示颠覆性的商用车氢气储存技术。两类零排放汽车的开发将进入到生产原型阶段，包括双层巴士和 12 吨卡车，展示整个动力总成和各种商用车关键零部件的能力和性能。

2.3.4 绿色制造研究中心

自 2010 年以来，英国研究与创新署就一直在投资建设研究中心和研究打造更具可持续性的英国制造的国家枢纽。在 2011-2016 年年间，英国投资了 530 万英镑，用于建设 EPSRC 创新制造-工业可持续研究中心：

EPSRC 创新制造-工业可持续研究中心（EP/I033351/1，2011.7-2016.12，5,233,278 英镑）

牵头单位：剑桥大学

合作伙伴：亚德纳姆、碳信托有限公司、EEF、通用汽车公司、IBM、玛莎百货、Riversimple 汽车公司、Shearline 精密工程公司、丰田、英国工会联盟、联合利华、维松。

项目概述：该中心与各行各业中已经在积极应对这一挑战的领先公司开展紧密合作，包括各种规模的公司。该中心主要开展两大方面的工作：迅速降低现有商品生产中的资源和能源强度，研究工业系统全面再设计的方案。

2016 年以来，英国政府还投资兴建了诸多制造中心，其中一个中心重点关注钢铁行业的可持续制造（1050 万英镑）。

可持续制造中心（EP/S018107/1，2019-2026，1050 万英镑）

牵头单位：国家钢铁创新中心、斯旺西大学

合作伙伴：ADS Group Limited、制造技术中心、建筑产品协会、英国钢铁有限公司、谢菲尔德锻造工程有限公司、塔塔钢铁英国分公司、英国自由钢铁公司、亨利·罗伊斯研究所、Kubal Wraith、SPECIFIC 创新和知识中心、Subcoal International BV、英国普锐特冶金技术有限公司、英国钢铁公司、知识转移网络有限公司、高价值制造（HVM）发射中心、Celsa 钢铁英国公司、英国钢结构协会、威尔士政府。

项目概述：可持续制造中心旨在提高生产率、增加产品多样性、改善英国钢铁供应链的环境绩效。该中心将牵头开展碳中和钢铁、炼铁和智能钢加工等研究项目，应对重大挑战。

2020 年，为了进一步推动英国迈向循环经济，英国研究与创新署向各个研究委员会投资了 3000 万英镑，资助成立国家跨学科循环经济中心和五个循环经济中心。每个中心都会开展跨学科研究，

加深对资源循环流动（材料、材料系统、产品和服务）的理解，加速提供解决方案，重复使用建筑、纺织、化工和金属等行业的废弃材料。

UKRI 国家循环经济中心

牵头单位：埃克塞特大学

项目概述：英国首个循环经济观测站的设立将打造国家资源流动数字系统视图，为建模和量化潜在利益、机会和干预举措提供依据，为国家领导和行业决策提供信息，产生相应的影响。该观测站是首个开展以下工作的国家级研究中心：带头支持循环经济实践；跟踪材料和废弃物；采用创新方式创造遗留材料、副产品和废弃物的价值；使用有力叙述吸引利益相关群体，加深其对循环经济原则的理解。

2.4 英国绿色制造业与企业机遇

2.4.1 绿色制造路线图

英国政府没有制定自上而下的绿色制造业路线图；不过，这方面的政府政策可以从相关正式文件中摘录，特别是以下与绿色制造的核心原则高度相关的文件：

1. 《产业战略》白皮书（2017年11月）：列出了四大产业挑战——推动 AI 和数据驱动型经济的发展、清洁增长、未来交通运输和老龄化社会。其中，清洁增长与绿色制造直接相关。
2. 《智能化制造》（2017年10月）：该报告重点关注了实现工业数字化的障碍、好处和进程。
3. 《绿色未来：英国改善环境 25 年规划》（2018年1月）。
4. 《清洁增长战略》（2018年4月）。

除了政府关于未来制造业的报告以外，工业团体（英国玻璃公司）、研究中心和工会也发表了一些相关研究。[18-20]

在绿色制造方面，英国的首要目标是实施《气候变化法案》（2008年），该法案开创了处理和应对气候变化的全新途径。该法案承诺，英国将在 2050 年将温室气体排放量在 1990 年基础上减少 80%；而 2019 年的《净零排放法案》（第 2.2.3 节）把原定目标 80%修改为了 100%。因此，主要耗能领域制造业需直接参与相关工作，提高能源效率。各种政策文件仅公布了一些高级别目标：

- » 制定一系列措施，支持企业到 2030 年将其能源生产率提高至少 20%； [7]
- » [21]努力在 2050 年前消除所有可避免的废弃物，在 2042 年底之前消除所有可避免的塑料废弃物。 [21]

总的来说，英国统筹兼顾、提高能源效率，而不是只关注制造技术。例如，2018-2024年工业能源转型基金主要用于以下领域：

- » 改进过程控制；
- » 提高热交换效率；
- » 提高干燥效率；
- » 余热回收；
- » 余压回收；
- » 优化资源过程。

在未来五年甚至更长的时间里，对绿色制造原则（即能源、材料和生活效率）的关注会涵盖以下主题：

- a. 循环经济；
- b. 能源效率；
- c. 气候变化和环境可持续性；
- d. 脱碳、低碳行业和清洁增长（巨大挑战）。

据预计，学术界、研究机构和各行各业将提出富有想象力和创新性的想法，响应政府倡议。就与绿色制造直接相关的技术主题而言，预计英国将继续在以下领域发挥其研究优势：

- a. 包装材料和技術；
- b. 高级材料和轻量化；
- c. 增材制造和混合制造；
- d. 业务建模和数字化；
- e. 创新型制造工艺。

2.4.2 英国世界级绿色制造企业

根据政府资金、国家奖项、可持续发展进程记录或在工业界中的引用次数，表 8 确定并列出了英国 30 家世界级绿色制造公司。这些公司涉及各行各业，包括食品、家具、汽车、航空航天、咨询和其他行业；不仅包括历史悠久的公司，还包括创新型初创公司。应当指出的是，该列表并不详尽，因为英国在绿色制造领域的顶尖公司远不止 30 家；还可以进一步识别更多的公司，并进行分类。

表 8 英国 30 家世界级绿色制造公司

公司名称/网站/地址	业务性质	应用行业	在绿色制造领域的竞争地位
AB 糖业 www.absugar.com 彼得伯勒 PE7 8QJ	糖业和循环经济	农业和糖业	全球绿色制糖领导者，每生产一吨糖仅产生 200 克垃圾。
Alvant 公司 www.alvant.com 贝辛斯托克 RG24 8GT	材料和轻量化	航空航天、医疗保健、运输和高性能产品	研制轻量化铝合金金属基复合材料，替代钛碳复合材料，采用生产 AMC 强化部件的新型重力铸造工艺。
Autocraft Solutions Ltd www.autocraftsg.com 格兰瑟姆 NG32 2LY	发动机再制造	汽车	欧洲最大的独立发动机再制造商，专门研究等离子体转移金属丝电弧/旋转单线气缸孔喷涂工艺。；荣获 2018 年度 APRA 再制造商（最佳工艺优化）奖。

<p>英国碳足迹有限公司</p> <p>http://www.carbonfootprint.com</p> <p>贝辛斯托克</p> <p>RG21 4HG</p>	<p>咨询</p>	<p>制造、物流和多领域</p>	<p>专业从事企业、产品和服务的碳足迹分析，制定碳中和标准。</p>
<p>Carwood</p> <p>carwood.co.uk</p> <p>考文垂</p> <p>CV3 2RQ</p>	<p>柴油喷射器再制造</p>	<p>汽车</p>	<p>专业制造柴油喷射器和柴油泵；荣获 2018 年 APRA 最具可持续性商业模式奖。</p>
<p>David Luke Ltd</p> <p>www.davidluke.com</p> <p>曼彻斯特</p> <p>M12 6LB</p>	<p>校服和再利用</p>	<p>服装</p>	<p>通过再制造用垃圾、垃圾填埋场和海洋中的一次性塑料制作校服；荣获 2020 年女王企业可持续发展奖。</p>
<p>埃尔维斯与克莱斯</p> <p>www.elvisandkresse.com</p> <p>肯特</p> <p>ME9 9AP</p>	<p>再利用</p>	<p>时尚</p>	<p>利用英国消防队的报废消防水带来设计制造奢侈品包包、精美钱包和时尚皮带。</p>
<p>Grainger & Worrall</p> <p>www.gwcast.com</p>	<p>浇铸</p>	<p>汽车、发动机和船舶</p>	<p>从事下一代铝合金铸造和有色金属铸造、砂型铸造设计</p>

<p>布里奇诺斯</p> <p>WV15 5HP</p>			<p>与模拟、数字化砂型打印以及完整性验证；荣获 2020 年女王企业创新奖；拥有英国最大的工业 CT 扫描仪。</p>
<p>Graphene Composites</p> <p>graphenecomposites.com</p> <p>蒂斯河畔斯托克顿</p> <p>TS21 3FD</p>	<p>纳米材料与技术</p>	<p>航空航天、装甲和电力</p>	<p>使用石墨烯、气凝胶和其他材料制备最坚硬、最轻和最有弹性的复合材料；从事轻量化应用。</p>
<p>Impact Recycling</p> <p>impact-recycling.com</p> <p>纽卡斯尔</p> <p>NE28 6HH</p>	<p>材料回收再利用</p>	<p>塑料、地毯和渔具</p>	<p>回收混合型硬塑料、层压材料和多层塑料薄膜、渔网和地毯纤维；采用冷冻切割技术缩小塑料尺寸；开发使用塑料废料回收物进行管道重衬的技术，在滚塑应用中使用难以回收的塑料。</p>
<p>Keronite</p> <p>www.keronite.com</p> <p>黑弗里尔</p> <p>CB9 8PJ</p>	<p>表面处理</p>	<p>航空航天、汽车、电子和消费技术、医疗、石油和天然气及运动器材</p>	<p>使用等离子体电解氧化涂层来延长镁、铝、钛和轻质铝制制动器的使用寿命并减轻其重量。</p>
<p>Lucideon Ltd.</p> <p>www.lucideon.com</p>	<p>材料技术和咨询</p>	<p>陶瓷</p>	<p>原英国陶瓷研究协会。使用场强化烧结法生产固体氧化物燃料电池陶瓷（省时节</p>

<p>特伦特河畔斯托克</p> <p>ST4 7LQ</p>			能) 和无机可持续塑料微珠替代品。
<p>国家复合材料中心</p> <p>www.nccuk.com</p> <p>布里斯托尔</p> <p>BS16 7FS</p>	<p>研究和技术开发机构、轻量化和重复使用</p>	<p>航空航天、汽车、轮船和风力涡轮机</p>	<p>研发用于生产轻量化风力涡轮机叶片的可持续复合材料，可以延长叶片使用寿命。使用接头分解新技术重新使用复合材料。</p>
<p>Notpla</p> <p>www.notpla.com</p> <p>伦敦</p> <p>E9 5EN</p>	<p>包装材料</p>	<p>食品</p>	<p>研制创新型可消化海藻包装材料、可生物降解包装、矿泉水包装和零废弃包装。</p>
<p>Oakdene Hollins 咨询公司</p> <p>www.oakdenehollins.com</p> <p>艾尔斯伯里</p> <p>HP19 8HT</p>	<p>咨询</p>	<p>航空航天、汽车、床垫和液压</p>	<p>该公司还有一个再制造和再利用中心，专门开展再制造和循环经济项目。</p>
<p>Pavegen</p> <p>pavegen.com</p>	<p>路面铺装系统</p>	<p>可再生能源与智慧城市</p>	<p>研制特殊铺地砖，用电磁发电机将脚步转换为动能。</p>

<p>伦敦</p> <p>WC1H 8LS</p>			
<p>Perceptive Engineering</p> <p>www.perceptiveapc.com</p> <p>达斯伯里</p> <p>WA4 4AB</p>	<p>咨询</p>	<p>制药、配方产 品、水、纸浆和 纸张</p>	<p>从事过程监控和优化、集成 诊断和分析、智能连续生物 制造。</p>
<p>PVOH Polymers Ltd</p> <p>www.pvohpolymers.co.uk</p> <p>赛伦塞斯特</p> <p>GL7 1YZ</p>	<p>Polymer 聚合物</p>	<p>医疗、农业、化 工、渔业和制药</p>	<p>研制可生物降解水溶性聚合 物，减少保护性包装的使 用，降低回收利用复杂的多 层容器/薄膜的难度。</p>
<p>Recoturbo</p> <p>www.recoturbo.co.uk</p> <p>唐克斯特</p> <p>DN5 8PT</p>	<p>涡轮增压器再制 造</p>	<p>船舶、铁路、汽 车和农业</p>	<p>专业从事涡轮增压器再制 造，符合 OEM 规格，采用七 步 Recoturbo 再制造工艺。</p>
<p>Riversimple 汽车公司</p> <p>www.riversimple.com</p> <p>兰德林多德威尔斯</p>	<p>可持续汽车设计</p>	<p>汽车</p>	<p>从事轻量化氢燃料电池汽车 (580Kg) 的可持续设计，采 用分布式制造。</p>

Wells LD1 6DF			
<p>Rype Office</p> <p>www.rypeoffice.com</p> <p>伦敦</p> <p>NW10 7SU</p>	再制造和循环经济	办公家具	从事高品质二手家具再制造，用废塑料制造家具。
<p>苏格兰再制造研究所</p> <p>www.scot-reman.ac.uk</p> <p>格拉斯哥</p> <p>G1 1XJ</p>	再制造和循环经济	汽车、电力和喷墨打印机	研制玻璃纤维和碳纤维增强聚合物复合材料、柴油机微粒过滤器清洁技术、气缸罩盖。
<p>SGMA</p> <p>sol-gel.co.uk</p> <p>吉灵厄姆</p> <p>ME7 1RZ</p>	纸张涂布技术	替换一次性塑料、食品和饮料包装	研制可生物降解、可堆肥和可回收的溶胶-凝胶涂料，用于增强纤维材料；荣获 2019 年“创新英国”项目女性创新奖。
<p>Spinko Ltd t/a Harrison Spinks</p> <p>www.harrisonspinks.co.uk</p> <p>利兹</p>	床垫制造	家具	全球最具可持续性的新型床垫和舒适组件制造商，垂直整合整个床垫产业；荣获 2019 年女王可持续发展奖。

LS11 5SB			
<p>Teer Coatings Ltd</p> <p>www.teercoatings.co.uk</p> <p>德罗伊特威奇</p> <p>WR9 9AS</p>	表面涂层和涂层系统	切削刀具、能源、材料和纳米技术	致力于延长微型刀具的使用寿命并重复使用，研制改善耐磨性的纳米复合涂层和新型制氢双极板涂层。
<p>W.H. Tildesley</p> <p>www.whtildesley.com</p> <p>威伦霍尔</p> <p>WV13 2AN</p>	Forging 锻造	航空航天、汽车、船舶、电力、石油和天然气	属于场辅助烧结技术（联合体）的一部分，用于切削 Ti-6Al-4V 合金，制造发动机零件；是近终成形可持续制造。
<p>TRB 轻量化结构公司</p> <p>trbls.com</p> <p>亨廷顿</p> <p>PE29 7EN</p>	面板制造和轻量化	航空航天、汽车、国防、船舶和铁路	研制碳纤维、玻璃纤维、聚芳酰胺纤维复合材料（单向织物）和生物基材料；生产纤维蒙皮铝蜂窝夹芯板。
<p>TWI</p> <p>www.twi-global.com</p> <p>剑桥</p> <p>CB21 6AL</p>	研究和技术开发机构、焊接、连接、涂层和再制造	航空航天和汽车	生产复合材料（CCM）涂层，具有耐氢脆性、耐 CO2 腐蚀性和耐磨性，在高温下具有稳定性，用于清洁能源生产；从事激光熔覆再制造。

<p>Worn Again Technologies https://wornagain.co.uk/</p> <p>诺丁汉</p> <p>NG1 1GF</p>	<p>废弃物回收再利用</p>	<p>纺织和循环经济</p>	<p>开发聚酯和涤棉混纺织物和PET 塑料的再生技术。</p>
<p>Xtrac Ltd http://www.xtrac.com/</p> <p>萨彻姆</p> <p>RG19 4ZA</p>	<p>赛车和轻量化电动汽车</p>	<p>顶级超跑和传动系统</p>	<p>研发一体化轻型电动汽车变速箱系列，面向不断增长的单速电动汽车市场；荣获2020 年女王企业奖。</p>

2.4.3 精选案例研究

精选案例 1: RIVERSIMPLE 汽车公司

公司网站: <https://www.riversimple.com/>

Riversimple 是英国一家初创公司,从事氢燃料电池电动汽车制造,由前赛车工程师和赛车手 Hugo Spowers 创立。该公司正在为下一代汽车开发革命性技术,旨在生产轻量化、快速且可持续的汽车。Riversimple 的汽车设计与传统设计完全不同,目的是打造更轻、更小的汽车。

自创立以来,该公司就一直遵循独特的价值主张——“系统消除个人交通对环境的影响”。该公司认为,要实现可持续发展,仅有技术创新还不够,还需要进行系统变革,需要商业模式创新才能使汽车制造更具可持续性。Riversimple 投入了大量精力来开发可持续的业务模型。这是一家汽车公司,但不出售汽车;而是出售出行服务(如汽车使用和客户使用里程)。汽车用户向公司支付行驶里程费用和月费或者固定的三年租赁费用(涵盖所有服务,如维护、道路税、保险和燃料)。公司保留汽车所有权,会出台更多措施激励员工设计使用寿命更长、更易于重复使用、再制造和回收的汽车。Riversimple 是汽车行业绿色制造的先驱之一,其目标是“不以地球为代价,提供出行服务”。

精选案例 2: SGMA

公司网站: <https://sol-gel.co.uk/>

为推动平等、多样性、包容性和创新提供全面支持是英国和创新英国战略与投资的关键部分;而女性创新奖则是其中一个模范计划。英国有许多女性创新者,本案例研究选中了其中一位从事绿色制造的女性,对其进行重点关注。创新英国的创新女性奖得主是变革性创新先驱,她们适时创新、应对社会所面临的巨大挑战。

Fanya Ismail 博士是 SGMA 的创始人兼 CEO。该公司专门研究溶胶-凝胶涂料和先进材料。SGMA 采用名为“溶胶-凝胶”的化学工艺,使一次性咖啡杯具有防水性,而无需使用塑料。一次性塑料、塑料材料和其他产品难以回收利用,该工艺旨在应对这一挑战。通过利用先进的研究进展,这项创新会促进绿色产品、制造和可持续发展,确保饮食安全,同时最大限度减轻对生物体和环境的负面影响。

精选案例 3：替代包装专家 NOTPLA

公司网站：<https://www.notpla.com/>

Notpla 是一家创新型可持续包装公司，由罗德里戈·加西亚·冈萨雷斯和皮埃尔·帕斯利尔于 2013 年共同创立，原名为跳跃岩石实验室，当时他们分别在伦敦帝国理工学院和皇家艺术学院学习创新设计工程。

他们发明了具有突破性的“可食用水球”，运输和饮用时不用塑料瓶。简而言之，少量的水被“包装”在可食用的包装内；制作理念源自称为球形化的已知烹饪技术。水包含在基于两种成分的双层膜内：海藻酸钠、藻类天然增稠剂（E-401）和氯化钙（E-509）。两种化合物结合形成一个透明的凝胶壁，其强度足以保留内部液体，如图 7 所示。[22]

将冰块浸入膜溶液进行封装制成水球，每个水球 20-150 毫升，生产成本约为 1.5 便士/个。相关机器将在 2021 年起可以租赁。这种新技术将替代需要 1000 年才能生物降解的 PET 水瓶。PET 造成的环境影响十分巨大；据估计每天约有 6000 万个塑料瓶被送往垃圾填埋场。[23] 目前，Notpla 公司不断萌生新的包装想法，包括密封小袋、网袋和外卖盒。



图 7：可食用水球/袋

3. 中国绿色制造

3.1 绿色制造定义及体系

3.1.1 绿色制造定义

绿色制造是一个综合考虑环境影响和资源效益的现代化制造模式。其目标是使产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个产品全寿命周期中，对环境的影响（负作用）最小，资源利用率最高，并使企业经济效益和社会效益协调优化。

3.1.2 绿色制造主要内容

（1）主要任务：推动工业领域的节能、节水、清洁生产、资源综合利用等与绿色发展相关的工作。

（2）产业方向：一是传统产业的绿色化改造；二是发展节能环保、新能源装备等绿色产业；三是发展绿色制造服务产业。

（3）重点内容：绿色工厂、绿色产品、绿色园区、绿色供应链。其中，绿色工厂、绿色产品、绿色园区、绿色供应链是绿色制造体系建设的主要内容，在建设中各有侧重，协同推进。绿色工厂是制造业的生产单元，是绿色制造的实施主体，属于绿色制造体系的核心支撑单元，侧重于生产过程的绿色化。绿色产品是以绿色制造实现供给侧结构性改革的最终体现，侧重于产品全生命周期的绿色化。绿色园区是突出绿色理念和要求的生产企业和基础设施集聚的平台，侧重于园区内工厂之间的统筹管理和协同链接。绿色供应链是绿色制造理论与供应链管理技术结合的产物，侧重于供应链节点上企业的协调与协作。

3.2 中国绿色制造概览

3.2.1 市场概览

改革开放以来，中国工业发展迅速，总体规模不断扩大，2010年制造业产出超越美国，成为全球第一制造大国，实现了由小向大的历史性转变。中国是全世界唯一拥有联合国产业分类当中全部工业门类的国家，在500余种主要工业产品中，有220多种产量位居世界第一；2019年中国制造业增加值占全球比重达28.1%，连续10年保持世界第一制造大国地位。工业在创造社会财富的同时，

也带来了不少生态环境问题。工业作为能源资源消耗和污染物排放的“主阵地”。在工业化进程中，能源资源需求不断扩大，污染物排放也随之增多，资源环境的承载能力已经接近极限，区域性环境污染、生态破坏现象频发。资源环境约束已经成为制约工业绿色发展的主要瓶颈。为确保工业的可持续发展，需要推动工业绿色发展转型。

3.2.2 行业相关机构

在中国，绿色制造工作采取了主管与分管相结合的管理方式。工业和信息化部牵头绿色制造工作，其他部委配合做好相关领域的具体工作。在工业和信息化部内部，节能与综合利用司具体推动绿色制造相关工作，主要工作有拟订并组织实施工业、通信业的能源节约和资源综合利用、清洁生产促进政策，参与拟订能源节约和资源综合利用、清洁生产促进规划和污染控制政策，组织协调相关重大示范工程和新产品、新技术、新设备、新材料的推广应用。工业和信息化部国际经济技术合作中心、中国电子信息产业发展研究院、工业和信息化部电子第五研究所、中国电子技术标准化研究院参与绿色制造领域的课题研究和标准制定等工作，中国绿色供应链联盟、中国绿色制造联盟通过凝聚行业资源，搭建交流合作平台，开展项目对接、政策标准宣贯等工作。

3.3 中国政府政策及规划

3.3.1 中国政府政策

1978 年以来，中国开始重视与工业发展相伴而生的资源环境问题。随着法律实践成熟，相关规定趋严趋实，推动了工业绿色转型发展。

第一阶段，法律政策探索期(1978 年至 2000 年)。1979 年 9 月，通过的《环境保护法(试行)》有大量涉及工业污染防治的规定，标志着我国工业发展进入一个新阶段，开始重视生产活动带来的环境影响。随后，出台的《水污染防治法》《矿产资源法》《大气污染防治法》等一系列法律，均有大量与工业绿色发展相关的规定。在这一时期，相关法律政策管制的重点是污染防治，对能源资源利用问题关注不够；主要采用行政手段，市场化手段欠缺，而且重于末端管制。

第二阶段，法律政策发展期(2001 年至 2011 年)。2001 年中国加入世界贸易组织后，我国制造业进军国际市场的步伐加快，环境保护类立法工作也明显加快。《环境影响评价法》《清洁生产促进法》《排污费征收使用管理条例》等相继出台，并对《固体废物污染环境防治法》等进行了修订，配套出台了相关标准。法律政策从重点关注污染防治工作转向全面关注工业发展带来的生态环境影

响，与能源利用相关的立法明显加强；从重视末端治理转向源头预防、过程控制、末端治理并重；从以行政管制为主转向行政管制和市场管制并重。在这一时期，中国企业的转型步伐明显加快，不少工业产品突破国外绿色贸易壁垒，占领国际市场。

第三阶段，法律政策成熟期(2012 年至今)。2012 年以来，生态文明建设上升国家战略，我国工业发展进入全面绿色转型的新时期。2015 年，随着制造强国战略实施，工业绿色发展被提升至新的战略高度，绿色制造被作为重点推动的五大工程之一。在法律层面，《环境保护法》《水污染防治法》等重要法律得到修订，法律保障体系日益完善。在政策层面，出台了制造强国战略以及《工业绿色发展规划(2016~2020 年)》《绿色制造工程实施指南(2016-2020 年)》等政策，推出了《绿色产品评价通则》《绿色工厂评价通则》《绿色产业园区评价导则》《绿色制造 制造企业绿色供应链管理导则》等标准，实施了绿色制造系统集成、绿色制造示范等支持项目，为企业绿色转型营造了良好氛围。在这一时期，环境保护工作受到前所未有的重视，出台或者修订的相关法律政策都体现了生态文明建设的要求，而且与法律配套的政策标准出台或修订步伐加快。这一时期更加注重市场化手段的应用，特别是环境保护税在多个领域得以实施。生态环保督察、节能监察等工作的开展，有效促进了法律政策的落实。这都营造出有利于绿色发展的竞争环境，越来越多的企业开始关注并参与到绿色发展实践中，工业绿色转型步伐加快。

3.3.2 中国政府规划

在推进绿色制造方面，《工业绿色发展规划（2016-2020 年）》作为“十三五”时期指导工业绿色发展的专项规划，举起了工业绿色发展的大旗，推动加快形成全面推进绿色发展的工作格局。

《规划》围绕创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念，从横、纵两个维度提出了十大主要任务。一方面，为落实绿色发展理念，考虑节能减排工作的传承与深化，提出节约、清洁、循环、低碳发展 4 项任务；另一方面，结合贯彻落实五大发展理念要求及国家重大战略，从科技支撑能力提升、绿色制造体系构建、区域绿色协调发展、绿色制造+互联网、服务平台建设、国际交流合作等角度，提出了 6 项任务。十大任务既是落实绿色发展理念、推进工业绿色发展的重要举措和有力保障，也是对创新、协调、绿色、开放和共享理念的具体体现。

一是推进能效提升。在推进能效提升方面，主要从结构节能、技术节能和管理节能三方面开展工作，重点推进节能技术改造，淘汰落后产能和设备，推广高效节能产品，开展重点行业能效对标达标，完善节能监管体系和市场化机制，构建政府、企业和社会团体有序参与的节能发展长效机制。

二是推进清洁生产。在推进清洁生产方面，围绕重点污染物开展清洁生产技术改造，以源头削减污染物产生为切入点，组织实施清洁生产技术示范与推广，大力推进工业产品绿色设计，开展有毒有害原料（产品）替代，创新政策引导方式，加大政策支持力度，实现了工业清洁生产水平从点、线、面的多维度的提升。

三是加强资源综合利用。在加强资源综合利用方面，大力推进工业固体废物综合利用，推动再生资源高效利用及产业规范发展，积极发展再制造，全面推行循环生产方式，促进企业、园区、行业、区域间链接共生和协同利用，培育绿色发展新动能。

四是削减温室气体排放。工业是应对气候变化的重点领域，工业领域通过控制工业过程温室气体排放，推进重点行业低碳转型，开展工业低碳发展试点示范，促进工业低碳发展。

五是构建绿色制造体系。从绿色产品研发设计、绿色工厂改造提升、绿色工业园区创建、绿色供应链建立等方面，打造制造业绿色发展典型，夯实绿色制造基础，构建高效、清洁、低碳、循环的立体化绿色制造体系。创建百家绿色工业园区、千家绿色示范工厂，推广万种绿色产品，绿色制造市场化推进机制基本形成。

六是提升科技支撑能力。推动绿色技术不断创新，重点突破传统产业绿色化改造和绿色制造产业关键共性技术，增加绿色科技成果的有效供给。推动绿色科技成果产业化应用，积极组织实施能够统筹节能、降耗、减排、治污的集成化、系统化绿色解决方案。促进工业依靠科技创新、管理创新和商业模式创新实现绿色升级，提高制造业的国际竞争力，打破贸易壁垒。

七是发挥区域比较优势。在区域工业发展中贯彻绿色理念，发挥地区比较优势，加强区域协同，促进区域工业绿色发展。比如，印发了《京津冀及周边地区工业资源综合利用产业协同发展行动计划(2015-2017)》，推动京津冀地区绿色协同发展，构建区域资源综合利用协同发展体系，提升区域资源能源利用效率，降低污染物排放。

八是实施绿色制造+互联网。推动互联网与绿色制造融合发展，提升能源、资源、环境智慧化管理水平，促进绿色制造数字化提升。一是推动能源管理智慧化。鼓励企业通过物联网、大数据、云计算、先进过程控制等技术应用，对能源消耗情况特别是大型耗能设备，实施动态监测、控制和优化管理，提高企业能源分析、预测和平衡调度能力，实现企业能源管理数字化和精细化。我部开展了工业能耗在线监测试点，推进全国工业节能监测分析平台建设。二是创新资源回收利用方式。发展“互联网+”回收利用新模式，支持利用物联网、大数据开展信息采集、数据分析、流向监测。支持利用电子标签、二维码等物联网技术，跟踪废弃电器电子产品流向。按照从源头上扭转生态环境

恶化趋势的要求，组织实施生态环境保护信息化工程，充分利用物联网、互联网及移动网络，并最大限度地利用已经存在的生态环境保护信息，动态汇集工业企业产品全生命周期与生态环境相关的信息，提升工业环境信息的评估和监测能力。

九是强化标准引领约束。围绕绿色产品、绿色工厂、绿色园区和绿色供应链构建绿色制造标准体系，加快能耗、水耗、碳排放、清洁生产等标准制修订，提升工业绿色发展标准化水平。工信部先后发布了《绿色制造标准体系建设指南》和《工业节能与绿色发展标准化行动计划》，初步建立了绿色制造综合标准化体系。

十是开展国际交流合作。积极加强国际合作，广泛开展先进节能减排技术和政策法规交流培训，探索促进技术转移、推广的有效机制。在中欧、中法、中意、中美相关合作框架下，增强双边及多边政府部门、研究机构、行业协会、相关企业间的交流互动。中欧合作开展了绿色生态产品设计政策研究，与意大利环境部合作实施“中意工业能效培训”项目。与美国商务部连续举办三届中美再制造对话，围绕再制造贸易和市场准入法规环境、再制造技术与标准、再制造产业政策等进行了深入交流。在“一带一路”等国际合作中贯彻绿色发展理念，着眼于全球资源配置，采用境外投资、工程承包、技术合作、装备出口等方式，推动绿色制造和绿色服务率先走出去。

3.3.3 中国绿色制造主要标准

按照《绿色制造标准体系建设指南》设计的标准体系，重点围绕绿色工厂、绿色产品、绿色供应链管理等重点领域以及节能减排的关键环节，我国发布或者正在制定的绿色制造国家标准、行业标准、团体标准、企业标准约近千项。其中，在工业和信息化部指导下，钢铁、建材、轻工等重点行业的行业协会、标准化研究机构实施了数百亿项标准研究项目促进节能、节水、综合利用、绿色制造等领域标准制修订。比如，《绿色工厂评价通则》《绿色产品评价通则》《绿色工业园区评价通则》《绿色制造 制造企业绿色供应链管理导则》绿色制造相关标准多为推荐性标准，其与污染防治、能效等方面的标准相互配套，形成了推动工业发展的标准体系。随着标准体系的建立完善，为企业开展工业绿色发展工作提供了必要的模式参考。

3.3.4 中国绿色制造的监管制度

一是环境影响评价。环境影响评价是指对规划和建设项目实施后可能造成的环境影响进行分析、预测和评估，提出预防或者减轻不良环境影响的对策和措施，进行跟踪监测的方法与制度。该制度贯彻了风险预防原则的相关要求，广泛用于减少工业专项规划及建设项目所产生的环境不利影响。

一方面，与工业有关的专项规划。国务院有关部门、设区的市级以上地方人民政府及其有关部门所编制的与工业有关的专项规划，应当在该专项规划草案上报审批前，组织进行环境影响评价，并向审批该专项规划的机关提出环境影响报告书。该报告书中应包括实施该规划对环境可能造成影响的分析、预测和评估、预防或者减轻不良环境影响的对策和措施、环境影响评价的结论等内容。另一方面，与工业发展相关的建设项目。根据工业建设项目对环境影响程度的差异，采取了分类管理办法，即：可能造成重大环境影响的，应当编制环境影响报告书，对产生的环境影响进行全面评价；可能造成轻度环境影响的，应当编制环境影响报告表，对产生的环境影响进行分析或者专项评价；对环境影响很小、不需要进行环境影响评价的，应当填报环境影响登记表。建设项目的环境影响报告书主要包括以下内容：建设项目概况；建设项目周围环境现状；建设项目对环境可能造成影响的分析、预测和评估；建设项目环境保护措施及其技术、经济论证；建设项目对环境影响的经济损益分析；对建设项目实施环境监测的建议；环境影响评价的结论。开展环境影响评价工作，需要委托专业机构。

二是“三同时”制度。“三同时”制度是指一切新建、改建和扩建的基本建设项目（包括小型建设项目）、技术改造项目以及一切可能对环境造成污染和破坏的工程建设和自然开发项目，都必须严格执行防治污染和生态破坏的措施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产。同时，这些防治污染的设施应当符合经批准的环境影响评价文件的要求，不得擅自拆除或者闲置。“三同时”制度是我国环境保护工作的一项创新，其与环境影响评价相辅相成，强调建设与保护的配套及同步，旨在将相关项目的环境影响降至最低。

三是许可证。许可证是指有关环境资源主管部门依据环境法及相关法律规定，对提出申请的单位和个人颁发许可证、资格证书或者执照等文件，允许其从事某项对生态环境有不良影响活动的法律制度。许可证是行政许可的法律化，把企业事业单位和其他生产经营者污染物排放行为纳入了国家统一管理的轨道，便于国家掌握排污情况，并进行有针对性的环境管理。在工业领域，排放工业废气或排放国家规定的有毒有害大气污染物、直接或间接向水体排放工业废水、运营集中供热设施，以及进行工业污水集中处理、垃圾集中处理处置、危险废物处理处置等业务的单位应申领排污许可证。许可事项包括允许排污单位排放污染物的种类、浓度和总量，规定其排放方式、排放时间、排放去向，并载明对排污单位的环境管理要求。按照法律规定，排污单位应当取得排污许可证，并按要求排放污染物；应当取得排污许可证而未取得的，以及超出许可证范围的排污为违法排污。

四是环境信息公开。环境信息包括政府环境信息和企业环境信息两种类型。政府环境信息，是指环保部门在履行环境保护职责中制作或者获取的，以一定形式记录、保存的信息；企业环境信息，是指企业以一定形式记录、保存的，与企业经营活动产生的环境影响和企业环境行为有关的信息。

《环境保护法》、《环境信息公开办法（试行）》、《企业事业单位环境信息公开办法》、《关于加强企业环境信用体系建设的指导意见》、《中国上市公司环境责任信息披露评价报告》等都对企业环境信息公开问题做出了规定，做到有法可依、有章可循。就工业企业而言，目前依法需要公开环境信息的主要是重点排放企业及上市公司，其应公开的内容是主要污染物的名称、排放方式、排放浓度和总量、超标排放情况。除了上述强制性的环境信息公开外，我国还鼓励企业公开以下环境信息：企业环境保护方针、年度环境保护目标及成效；业年度资源消耗总量；企业环保投资和环境技术开发情况；企业环保设施的建设和运行情况；企业在生产过程中产生的废物的处理、处置情况，废弃产品的回收、综合利用情况；与环保部门签订的改善环境行为的自愿协议；企业履行社会责任的情况；企业自愿公开的其他环境信息。推动企业公开环境信息，有助于维护公民、法人和其他组织获取环境信息的权益，加强政府及社会对其排污企业的监督。

五是淘汰落后。对落后的工艺、设备和产品进行淘汰，其目的是通过改进技术，提高能源资源使用效率和减少污染物排放。现阶段，国家主要淘汰两类技术和装备：一是严重污染环境的技术和装备。《环境保护法》第46条明确规定，“国家对严重污染环境的工艺、设备和产品实行淘汰制度。任何单位和个人不得生产、销售或者转移、使用严重污染环境的工艺、设备和产品。”二是高耗能技术装备。《节约能源法》明确规定：国家对落后的耗能过高的用能产品、设备和生产工艺实行淘汰制度；禁止生产、进口、销售国家明令淘汰或者不符合强制性能源效率标准的用能产品、设备；禁止使用国家明令淘汰的用能设备、生产工艺。依据上位法规定，一般通过名录及实施办法，明确淘汰技术装备的名单及操作规则。如工业和信息化部出台的《高耗能落后机电设备（产品）淘汰目录》和《高耗能老旧电信设备淘汰目录》。

六是环保督查。2016年，中共中央、国务院启动中央环境保护督察工作，对省级党委和政府及其有关部门开展环保督察巡视，推动地方党委政府落实保护生态环境的主体责任。2018年，中央环境保护督察改名为中央生态环境保护督察。督察的对象主要是省、自治区、直辖市党委和政府及其有关部门，并可以下沉至有关地市级党委和政府及其有关部门；承担重要生态环境保护职责的国务院有关部门；从事的生产经营活动对生态环境影响较大的有关中央企业；其他中央要求督察的单位。督察的内容是学习贯彻落实习近平生态文明思想以及贯彻落实新发展理念、推动高质量发展情况；

贯彻落实党中央、国务院生态文明建设和生态环境保护决策部署情况；国家生态环境保护法律法规、政策制度、标准规范、规划计划的贯彻落实情况；生态环境保护党政同责、一岗双责推进落实情况 and 长效机制建设情况；突出生态环境问题以及处理情况；生态环境质量呈现恶化趋势的区域流域以及整治情况；对群众反映的生态环境问题立行立改情况；生态环境问题立案、查处、移交、审判、执行等环节非法干预，以及不予配合等情况；其他需要督察的生态环境保护事项。

七是节能监察。节能监察是指依法开展节能监察的机构对能源生产、经营、使用单位和其他相关单位执行节能法律、法规、规章和强制性节能标准的情况等进行监督检查，对违法违规用能行为予以处理，并提出依法用能、合理用能建议的行为。节能监察的内容主要有：建立落实节能目标责任制、节能计划、节能管理和技术措施等情况；落实固定资产投资项目节能评估和审查制度的情况，包括节能评估和审查实施情况、节能审查意见落实情况等；执行用能设备和生产工艺淘汰制度的情况；执行强制性节能标准的情况；执行能源统计、能源利用状况分析和报告制度的情况；执行设立能源管理岗位、聘任能源管理负责人等有关制度的情况；执行用能产品能源效率标识制度的情况；公共机构采购和使用节能产品、设备以及开展能源审计的情况；从事节能咨询、设计、评估、检测、审计、认证等服务的机构贯彻节能要求、提供信息真实性等情况；节能法律、法规、规章规定的其他应当实施节能监察的事项。在工业领域，工业和信息化部组织实施国家重大工业专项节能监察。

3.4 中国绿色制造关键行业领域及公司

3.4.1 关键行业及领域

3.4.1.1 节能减碳技术

一是节能工业锅炉。中国是当今世界锅炉生产和使用最多的国家。按照用途，可将工业锅炉分为热水锅炉和蒸汽锅炉。按照产品性能，可将工业锅炉分为钢制工业锅炉、冷凝工业锅炉和真空锅炉。目前，中国市场需要热效率超过 94%、超过 1 级能效标准的清洁燃料和洁净燃烧技术的节能低污染工业锅炉。

二是节能型变压器。电子变压器是一种新型的电能转换设备，它不仅具备传统电力变压器所具有的电压变换、电气隔离和能量传递等基本功能，还能够实现电能质量的调节、系统潮流的控制以及无功功率补偿等其它附加功能。随着我国经济的快速发展，电力需求的不断增加，作为输变电系

统中的主要设备变压器也得到了长足的发展。目前，中国市场需要大容量、高电压、低噪声、无渗透、能降解回收、超过 1 级能效、空载和负载损耗更低的节能型变压器。

三是节能电动机。电动机是把电能转换成机械能的一种设备。它是利用通电线圈(也就是定子绕组)产生旋转磁场并作用于转子(如鼠笼式闭合铝框)形成磁电力旋转扭矩。目前，中国市场生产的大多是低效耗能的普通电机，需要高效化、专业化、集成化、小电机化、节能化的新型节能电动机。

四是节能型泵。泵主要用来输送水、油、酸碱液、乳化液、悬乳液和液态金属等液体，齿轮油泵也可输送液、气混合物及含悬浮固体物的液体。目前，中国市场需要节能，低噪声、小型，轻便，自动化的节能型泵。

五是节能型空气压缩机。中国是世界上主要的空气压缩机生产基地，但能生产高端空气压缩机产品的企业较少。目前，中国市场需要大型化、系统化、节能化的节能型空气压缩机。

六是节能风机。风机是依靠输入的机械能，提高气体压力并排送气体的机械，它是一种从动的流体机械。目前，中国市场需要高压、强动力、耐高温、低噪、体积小的节能风机。

七是绿色数据中心。绿色数据中心是指数据机房中的 IT 系统、制冷、照明和电气等能取得最大化的能源效率和最小化的环境影响。目前，中国市场需要大型、PUE<1.3 的新型绿色数据中心。

八是二氧化碳捕集与封存。中国的 5 年规划则将碳捕获与储存列入了优先政策事项。目前，中国市场需要吸收高效、无腐蚀性、再生能耗低、副产物可资源化的 CCUS 的捕集技术。

3.4.1.2 工业节水和非常规水资源利用技术

一是循环水处理。中国国内传统循环水处理企业以传统工艺为主，市场需要更为先进的无磷/低磷水处理药剂、可生物降解等方面的技术。

二是污水处理回用(再生水)。将废水或污水经二级处理和深度处理后回用于生产系统或生活杂用被称为污水回用。中国再生水(污水回用)行业起步较晚，目前进入稳步发展阶段。目前，中国市场需要膜分离及膜浓缩工艺、添加分散剂等方面的先进污水回用技术。

三是智慧水管理。中国智慧水务行业发展尚处于成长探索阶段，行业保持稳定增长势头。目前，中国市场需要“互联网+节水”、“大数据+节水”的智慧水管理领先技术。

四是海水淡化。淡水危机已严重威胁着许多国家的生存和发展，海水淡化技术受到前所未有的重视。海水淡化技术主要包括海水淡化、地表苦咸水淡化和工业用水除盐。当前中国对海水膜组器、能量回收装置、高压泵及一些化工原材料、耐海水腐蚀管材、蒸汽喷射装置等的市场需求较大。

3.4.1.3 环境保护技术

一是水污染防治装备。近几年，中国水污染防治装备制造处于快速发展阶段，水污染防治装备总体技术水平有了大幅度提升，主要产品分离设备、氧化消毒设备和生活处理设备，基本能满足一般工业废水和生活污水的处理需求。目前，中国市场需要生物强化、低能耗高效率先进膜处理技术。

二是大气污染防治装备。在国家一系列节能环保政策密集出台的环境下，以及国内市场强劲需求的推动下，中国大气污染防治设备产业整体保持平稳较快增长。未来，随着产业投入加大、技术突破与规模积累，大气污染防治设备将迎来发展的加速期。目前，中国市场对高端环境空气及污染源监测仪器设备、工业行业超低排放技术装备、低排放车辆制造技术、清洁燃烧技术装备、固定源VOCs净化技术装备、扬尘污染控制技术装备等存在较大需求。

三是土壤污染修复装备。污染土地治理是亟待解决的重要环境问题之一。中国对土壤污染控制和修复起步较晚，当前对于用于污染土壤修复的热脱附、化学淋洗和氧化还原技术的需求较大。

四是固体废弃物处置。中国固体废弃物处置行业起步晚，市场化程度低，还处于发展初期。但随着环保政策的不断完善，近几年，中国固废处置行业市场规模快速增长。中国固废处理处置设备技术水平有待提高，对污泥处理技术、垃圾高效厌氧消化技术等需求较大。

五是噪声与振动控制装备。随着《环境噪声污染防治法》修订工作的开展，噪声与振动控制产业进一步发展。目前，轨道交通隔振技术装备等是重点发展方向。

六是环境监测专用仪器仪表。随着“十三五”环保规划的出台，以及在各项新的环保政策的指引下，中国环境监测仪器行业得到稳步发展，行业集中度呈逐步上升趋势。未来，中国环境监测专用仪器仪表将向高质量、多功能、集成化、自动化、系统化和智能化方向发展。市场对高质量的分析仪、专用监测仪器和自动监测系统存在较大需求。

3.4.1.4 资源综合利用技术

一是资源再生利用装备制造。近些年，中国再生资源产业规模不断扩大，一大批再生资源企业发展壮大，在一些地区形成了初具规模的产业集聚园区。未来，中国将推动再生资源产业绿色化、循环化、协同化、高值化、专业化、集群化发展，对无害化、精细化、高值化再生利用技术需求较大。

二是工业固体废物综合利用装备。在国家绿色经济发展目标及相关政策的促进下，中国工业固体废物综合利用产业迅猛发展，工业固废综合利用规模逐步扩大，综合利用率逐年提升。高技术加工、高性能化、高值化是未来主要发展方向。中国市场需要融合物理、化学、生物等学科的复合型工业固废综合利用技术，以及工业固废综合利用产品高值化技术。

三是矿产资源综合利用装备。近年来，中国矿产资源开发利用强度快速提高，采选工艺技术和装备不断进步，综合利用水平大幅提高。值得注意的是，再生有色金属产业快速发展，产业规模不断扩大，已进入回收再用的窗口期。目前，中国需要高效低耗的选矿冶金加工工艺技术及装备。

四是再制造装备。中国再制造产业发展相对较晚，但发展势头良好，已成为世界上最重要的再制造中心之一，在基础理论研究与技术应用开发方面走在了世界前列。目前，中国已初步形成一批具有自主知识产权的再制造技术成果，并开始在再制造企业进行示范试点应用。未来，中国再制造产业将向规模化方向发展，需要等离子、电子束增材制造、3D打印再制造等重点技术。

五是餐废无害化利用装备。随着餐饮行业的快速发展和餐厨垃圾的快速增长，餐厨废弃物无害化利用市场需求巨大。但中国餐废无害化利用产业规模相对较小，产能缺口较大。中国市场对餐废肥料化、饲料化、能源化处理的核心技术及其高端配套设备存在较大需求。

六是包装废弃物回收处理装备。作为世界包装制造和消费大国，中国包装废弃物回收处理行业具有较大的发展潜力。中国市场对于大型高效、成套的废纸回收处理技术装备存在较大需求。

3.5 绿色制造有效合作机制及案例

近年来，中国工业绿色发展领域国际合作持续深化。一方面，交流合作机制逐渐完善。中欧、中法、中意、中韩等双边交流机制顺利运行，定期开展政策、标准、技术、产业的对接，交流层次和水平不断提升，合作日益紧密。与西班牙、希腊、捷克等许多国家也在积极开展对话。同时，通过绿色制造合作伙伴倡议、全球气候大会等活动与世界 500 强企业 and 全球相关各方进行积极互动，不断丰富多元化多层次的国际交流体系。另一方面，务实合作稳步推进。依托多元主体的积极互动、合作方式的创新灵活、合作内容的聚焦务实，工业绿色发展领域国际合作取得了显著成效，形成了一批可借鉴可复制的案例和经验。

3.5.1 国际合作有效机制

3.5.1.1 双边政策交流机制逐步建立

中韩方面，2014 年 7 月，中国工业和信息化部部长苗圩与韩国产业通商资源部部长尹相直在两国领导人共同见证下签署两部间产业合作谅解备忘录，并建立部级对话机制，合作领域涉及工业政策、节能减排、汽车、机械、新材料、石化、IT 等多个方面。目前，已成功举办三次中韩产业合作部级对话，相关产业交流日渐深入。2017 年 12 月，中国工业和信息化部与韩国产业通商资源部签署

了《绿色-生态产业开发领域战略合作的谅解备忘录》，明确两国将加强绿色生态园区等领域合作。双方将加强两国在绿色工业园区、清洁生产、能源效率等领域合作，共同促进两国产业可持续发展。

《备忘录》的签署对促进两国在工业节能与绿色发展领域互利合作、增进对接与互补、共同推动共赢发展有着重要意义。在该合作框架下，双方已经召开了三次工业绿色发展合作交流会，围绕绿色制造政策进展、执行平台建设、产业合作、绿色供应链、展览培训、绿色园区等话题进行了广泛的交流和探讨。双方商定在江苏盐城和山东肥城共同创建中韩绿色园区。

中欧方面，2009年11月中欧领导人会晤期间，我部与欧盟企业和工业总司签署了《关于建立中欧工业对话磋商机制的谅解备忘录》，正式建立了双方政府主管部门间副部级对话机制。在该机制下建立了中小企业、工业能效与减排、原材料、汽车、造船五个工作组。其中，工业能效与减排工作组作为五个工作组之一由工业和信息化部与欧盟内部市场、工业、创业与中小企业总司共同主持，每年轮流在中国和比利时开展政策交流，现已成功举办了11次会议，主要围绕中欧最新发布的绿色工业政策和循环经济行动计划，以及工业能效提升、新能源汽车动力蓄电池回收利用、塑料回收利用战略、绿色设计、废物管理、机电产品再制造等议题进行深入交流。其中2013-2014年，中欧合作举办了生态设计和产品政策项目；2017年在第八次工作组会议上决定联合开展工业产品生态设计培训班项目，项目总共三期。

中法方面，2009年12月30日，法国总理菲勇访华期间，与温家宝总理共同见证我部与法国原经济、工业和就业部签署了合作谅解备忘录，建立了中法工业、通信业和信息化合作机制。双方商定，在该机制下先建立中小企业、工业能效与减排和汽车三个工作组。其中工业能效与减排工作组作为三个工作组之一由工业和信息化部与法国经济和财政部企业总署共同主持，每年轮流在中国和法国开展政策交流，现已成功举办了7次会议，主要围绕中法最新发布的绿色工业政策，以及生态设计政策实践、绿色工厂创建、工业垃圾资源化再利用、绿色供应链管理 etc 等议题进行深入交流。在2018年12月7日举行的第六轮中法高级别经济财金对话上，双方就发展绿色工业达成共识，明确提出，在中国工业和信息化部与法国经济和财政部建立的绿色制造工作组框架下，双方鼓励企业和科研机构等在绿色制造设备标准化，以及绿色园区和绿色工厂建设等方面的合作。双方欢迎并支持中国工业和信息化部国际经济技术合作中心与施耐德电气关于绿色和智能制造领域的战略合作。

中意方面，为落实工业和信息化部与意大利共和国环境、领土与海洋部签署的《工业能效合作谅解备忘录》，2016年4月7日，中意工业能效合作指导委员会第一次会议在京举行。双方为加强两国在工业节能与绿色发展领域的政策交流和技术合作，于2017年11月和2018年11月分别在中

国北京和意大利米尼举办了两届中意工业绿色发展论坛，围绕能效提升促进政策、光伏和汽车行业发展趋势及技术需求、先进节能环保技术经验和综合解决方案、节能环保金融服务机制等议题进行深入的交流。根据双方签署的合作谅解备忘录，工业和信息化部组织地方主管部门、科研院所、相关机构和企业负责工业节能减排的同志参加在中国和意大利举办的中意工业能效培训班。

中英方面，2017年12月发布的第九次中英经济财金对话成果第57条明确提出中国工业和信息化部与英国商业、能源和产业战略部将开展合作，鼓励双方开展交流与对话。目前双方正在就建立机制进行交流。同时，双方产业研讨也在积极开展。利用在中国举办的中英绿色制造与再制造产业发展峰会和在英国举办的中英未来制造研讨会暨再制造研讨会等活动，双方政府主管部门、研究机构、行业协会、企业等进行了有益的交流。

除以上机制交流外，中国与美国、西班牙、希腊、捷克、等许多国家围绕工业绿色低碳发展也在积极开展对话。

3.5.1.2 多双边交流合作全面铺开

国际履约方面，中方认真做好联合国气候变化框架公约、斯德哥尔摩公约、水俣公约等国际公约履约工作。积极利用联合国第23届和24届气候大会等多边交流平台举办中国角等活动，围绕工业绿色低碳转型促进工业经济高质量发展的做法同与会的国际机构和组织代表进行有益的交流。

各领域交流方面。工业能效领域，中方积极参加和主办相关会议、论坛，与意大利、美国、巴西、英国、德国、智利等国家围绕工业能效、电机系统能效、汽车工业能效、绿色数据中心等议题广泛进行交流与探讨；资源综合利用领域，积极参加美国、中东等回收国际会议，围绕生产者责任延伸、汽车行业资源回收利用、再生资源循环利用等议题与英国、法国、荷兰、瑞典、比利时、芬兰、英国、韩国、日本等进行深入交流；再制造领域，在多边（APEC）、双边（中英等）平台上积极开展政策和技术交流；节水领域，与澳大利亚、新加坡等国就工业节水相关问题进行交流与研讨。

3.5.1.3 国际合作项目有序推进

中方与倡导可持续发展的国际组织积极接洽，共同开发合作国际合作项目，如与联合国开发计划署（UNDP）、全球环境基金（GEF）联合开展的中国高效电机推广项目（Promoting Energy Efficient Electric Motors in Chinese Industries, PREMCI）通过政策研究、试点示范、培训等项目活动提升我国高效电机生产能力，加快工业领域高效电机推广应用，助推工业绿色发展，目前该项目正在执行；与世界银行合作开展中国经济改革促进与能力加强项目（TCC6）政府绿色制造管理机制创新研究项目，通过政府管理机制创新、市场化推进机制创新、互联网+绿色制造融合发展等

研究及公共服务能力提升等活动探索绿色制造管理机制创新发展，目前该项目正在执行；与联合国工业发展组织合作开展节能环保产业南南合作项目，通过举办研讨、企业对接等活动，向印尼、泰国等“一带一路”国家推广我国水泥窑余热利用、食品行业高效制冷等先进节能环保技术装备，为提升“一带一路”国家工业绿色发展水平，进一步带动区域的绿色发展作出贡献。

3.5.2 相关案例

3.5.2.1 创建合作执行平台，融合产学研用资源

在政府主管部门交流机制框架下，由双方指定机构建立产业合作执行平台，有助于务实推动中外产业对接合作。中韩方面，2018年5月，在第三次中韩产业合作部级对话期间，在工业和信息化部苗圩部长和韩国产业通商资源部白云揆部长的见证下，中国工业和信息化部国际经济技术合作中心与韩国国家清洁生产中心负责人签署了合作谅解备忘录，双方将共同建设中韩绿色工业合作执行平台，加强在绿色工业园区、清洁生产、绿色制造合作伙伴等领域的务实合作。目前中韩绿色工业合作执行平台正在积极推动中韩（盐城、肥城）绿色园区建设，并促进双方研究机构、行业组织和企业开展交流。中法方面，根据中国工业和信息化部 and 法国经济部企业总署在中法合作机制联委会框架下达成的共识，中法双方指定工业和信息化部国际经济技术合作中心、法国未来工业联盟作为中法工业合作执行平台，负责协调产学研各界资源，开展对接合作，并宣传中法工业合作成果。中法平台成功建立中法现代产业合作伙伴关系，并发布智能制造、绿色制造、教育培训等领域的中法工业合作示范项目三批，举办了中法产业合作圆桌会。中英方面，为落实两国领导人和产业主管部门达成的共识，推动两国现代产业战略对接和务实合作，工业和信息化部国际经济技术合作中心与英国工商业联合会共同发起成立中英现代产业合作伙伴关系，搭建两国现代产业交流合作平台，实现共赢发展。

3.5.2.2 推动绿色园区建设，夯实产业合作载体

为落实中韩两国签署《绿色-生态产业开发领域战略合作的谅解备忘录》，中国工业和信息化部与韩国产业通商资源部正在务实推动江苏盐城和山东肥城绿色园区创建工作。推动规划编制，在两国政府主管部门的支持下，中国工业和信息化部国际经济技术合作中心、中国社会科学院、清华大学、韩国国家清洁生产中心、韩国蔚山大学、蔚山生态产业开发中心等机构专家成立专家组，积极推动盐城、肥城中韩绿色园区建设方案编制。开展调查研究，2019年7月中韩专家组赴盐城、肥城，调查了解园区发展现状、行业特点、中韩合作基础，并与地方政府和相关企业就创建中韩绿色园区

的思路进行探讨。11月，中方组织专家和盐城、肥城有关负责同志赴韩国，拜访了韩国清洁生产中心、蔚山大学和蔚山生态工业园区等。促进项目对接，11月11-12日，韩国蔚山生态产业开发中心专家赴肥城，实地考察石横特钢和一腾新材料2家企业，推动韩国产业共生技术在生产废水COD碳源替代利用项目和高炉矿渣硅肥转化项目上应用。开展标准研讨，2019年7月，中韩双方在北京组织召开中韩绿色园区评价标准交流研讨会，两国研究机构 and 高校专家充分交流了两国的绿色园区评价标准，深入探讨了中韩绿色园区评价标准制定工作，初步形成了园区管理绩效、经济绩效、环境绩效、社会绩效四大类指标。

3.5.2.3 实施系列培训项目，促进知识人才交流

中欧工业产品生态设计培训班项目，是中欧工业对话磋商机制的重要合作成果。自中欧工业对话第八次会议以来，我司和欧盟委员会内部市场、工业、创业与中小企业总司联合开展了三期培训。第一期于2019年7月在昆明举办；第二期于2019年9月在布鲁塞尔举办；第三期因疫情影响采用线上方式进行，分别于2020年10月到11月举行了专家研讨会和线上培训会。三期培训项目均设计了讲授环节，中欧双方的专家分别介绍了各自在生态设计政策法规、标准制定、市场监管措施等方面的最新进展，分享了联想、纳爱斯、博世等中欧企业开展生态设计的良好实践。第二、三期培训项目下，双方专家就中欧在政策和方法上的共性与差异、中欧生态设计/能源标签市场监管、双方合作潜力等问题进行了积极和有益的探讨。

中意工业能效培训项目，旨在加强中意工业能效领域的交流合作，学习交流欧盟及意大利工业能效管理的经验和做法，提升中国工业企业能效管理水平。培训班在中国和意大利共举办了6次，让学员们系统了解了意大利政府部门在推进工业能效方面的做法、欧盟工业能效政策及其执行情况，意大利能源经理制度，意大利工业能源审计的管理、技术与方法、零能耗建筑的应用、能源管理体系的实际应用、节能项目与融资机制等实践，工业领域的热电联产和热电冷联产等技术，进行了莱奥纳尔多-芬梅卡尼卡集团节能等案例研究，实地考察了多洛米特陶瓷卫浴洁具制造厂、意大利多博登公司等节能减排领域的先进企业。培训对于中方代表加深对国外能效管理政策及先进技术的了解，拓宽国际视野、提升管理能力、创造合作机遇具有积极意义。

4.5.2.4 凝聚龙头企业共识，打造绿色制造典范

2017年7月，“绿色制造合作伙伴”倡议在京发布，旨在鼓励绿色制造能力强、国际化程度高、产品覆盖面广、行业带动性强的龙头企业，以发布自我声明或自愿性承诺的方式响应倡议，提出践行社会责任、加快绿色发展的具体目标和方案。倡议发布后在社会上引起了积极反响，得到了在绿

绿色发展领域具有先进经验、取得显著成就的行业龙头企业的广泛关注。2019年7月5日，中法产业圆桌会举办期间，在工业和信息化部副部长辛国斌与法国经济和财政部企业总署署长古尔贝的见证下，施耐德电气集团和东风汽车集团宣读了响应“绿色制造合作伙伴”倡议的文件，提出了企业下一步加快绿色发展的目标，成为中法合作领域首批响应“绿色制造合作伙伴”倡议的典范企业。施耐德与东风汽车均承诺，企业在中国境内所有工厂都应用最先进绿色设计和制造技术，执行最领先的绿色制造标准；主动发挥龙头带动作用，积极推进绿色供应链管理工作，带动上下游企业实现共同绿色发展；推进绿色国际合作，推动绿色制造先进技术装备“引进来”和“走出去”的有效结合，实现国内外绿色制造理念、技术、标准、管理等方面的优势互补，努力成为绿色制造的实践者和引领者，为工业绿色发展贡献力量。

中国工业和信息化部国际经济技术合作中心与施耐德电气签署关于绿色和智能制造领域的战略合作，并成为第六次中法财金对话成果之一。2018-2019年，双方合作举办了绿色制造引领可持续发展主题研讨活动和中法绿色供应链管理政策解读宣贯与技术创新培训活动，加强了中法企业间的信息沟通、经验交流、合作对接，为两国企业合作搭建了平台。2019年10月28日，为落实“绿色制造合作伙伴”倡议，加强中法绿色制造技术交流与产业合作，工业和信息化部国际经济技术合作中心、法国施耐德电气集团在北京联合举办了“绿色制造合作伙伴”典范经验交流会。

4. 结论

中国是全球最大的制造业大国。在工业化方面取得巨大成就的同时，中国也面临着巨大的挑战，如能源消耗量大、环境恶化以及空气、水和土壤污染等。中国将绿色制造确定为实现可持续发展的必由之路。中国认为，推动绿色制造的关键领域包括：节能、减碳、工业节水、非常规水资源利用、环境保护以及技术和资源的综合利用。英国是全球第九大制造大国。纵观整个产品生命周期，英国制造的优势在于早期强大的研发、设计和技术、后期服务化、报废创新（如重新利用和升级改造）以及高价值制造。另一方面，中国的制造优势与生命周期中间阶段（如生产和分销）相关，也与低成本和大规模生产的好处相关，导致碳足迹更大。除政府扶持以外，两国均存在巨大的资源利用潜力，可激励各利益相关方共同努力，促进创新，推动中英两国的可持续制造。

4.1 中英商业和技术合作机遇

4.1.1 中英投资和商业机遇

在不断努力迈向绿色制造的过程中，中英两国可以融合两国的优势，形成协同合作伙伴关系，从而加快推动工业可持续发展和减少废弃物的进程。针对中国和英国的商业和投资机遇，提出以下建议：

1. 编制英国绿色制造企业名单：该名单会让中国相关方在搜索所需产品、技术和服务的时候更简单。通过英国提供的相关市场规模和需求优先级信息，中方将会获益。
2. 候选公司：第一步，2.4.2 部分列出的 30 家英国公司可以作为第一批绿色制造合作企业，开展贸易或投资。鉴于当前发布的新冠疫情形势，为了保障短期现金流和长期新品开发，大多数公司会欢迎外来投资。新建创新型企业投资需求最大，可以多加关注。
3. 在华业务代表处：表 8 中列出的少数公司已在中国设有分支机构。尚无在华分支机构的公司可以探索在中国建立合伙关系或拥有独家代理的可能性。若有合适的产品，中国可以提供巨大的市场机会。
4. 商业风险：鉴于社会文化差异，中英两国的商业环境不尽相同，并非每个英国绿色制造公司都可以引进到中国。在投资阶段必须充分考虑客户需求、业务风险等问题。

4.1.2 中英技术合作机遇

英国拥有强大的科学和工程基础，活跃于新思想和新技术的前沿。中英两国在材料和能源效率方面有着共同的利益，存在巨大的技术合作机遇。相关合作可以涵盖绿色制造的方方面面；但是考虑到实际因素，循序渐进更现实、更能实现合作。开展技术合作需要考虑如下因素：

1. 确定绿色制造的主题：绿色制造涉及的范围非常广泛，从业务模型到服务化、从设计到虚拟现实、从制造业到再制造。建议从这长长的清单中选择一小部分相关技术、建模或分析主题进行合作，如绿色产品设计、多生命周期建模和绿色制造经济学。
2. 制定合作框架：两国开展的协作很可能是竞争前的协作，所以技术准备水平较低。合作单位可以采取双方联合项目和多方联合网络的形式。研究中心、RTO（研究和技术开发机构，如制造技术中心）、大学院系、工业企业均可参与合作，这些机构亦可联合参与。中英两国分别牵头同等数量的项目，实现合作平衡，将会是一个好的起点。
3. 推动互相兼容、沟通与协调（3C）：技术合作是以人为中心的活动，因此，合作伙伴互相兼容（即与志同道合的企业结成伙伴关系）至关重要。高水平沟通技巧是建立合作伙伴关系的先决条件（最有可能要用英语沟通）。在远程项目环境中，使用现代IT支持进行协调以跟踪交流进程、动态更新文档、开展非正式沟通将非常有益。

4.2 给政策制定者的建议

4.2.1 中英技术合作机遇

1. 制定一体化战略和政策：制定长期战略计划，整合现有不同政策，支持实现绿色制造愿景的最佳体系。这将把产业战略、清洁增长、循环经济和其他工具联系起来，旨在进一步考虑资源联系、捕获和管理相互依赖性。
2. 打造配套国际供应链：将全国循环经济的概念扩展到国际循环中。国际政策和市场工具的协同作用有助于实现绿色制造，考虑到范围3排放以及产品和材料跨国的具体影响时更是如此。在考虑循环经济中的产品时，这也会拓宽解决方案的空间，拓展商机。
3. 推进负责任的创新和可持续发展的三大支柱：真正的可持续政策框架必须考虑这三大支柱以及如何同时推进这三大支柱，同时还要最大限度地降低所考虑的系统对外部造成的计划外影

响。建议政策框架和市场工具包括考虑当前和未来需求的负责任创新、回弹效应反思评估以及未来可持续发展长期愿景。

4. 推动创新机会、多样性、包容性和平等：政策制定者和市场工具应在促进创新和经济中的机会、多样性、包容性和平等中发挥作用。发展绿色制造和数字化会为民族国家及时提供机会，促进和支持多维度多样性，并为创新的社会效益奠定更坚实的基础。创新英国项目设立的“女性创新奖”就是其中一个可以进一步推广的模范奖项。

4.2.2 给各行各业的建议

1. 推动实现全面净零目标：考虑范围 1 和 2 排放以及基于范围 1、2 和 3 排放的低碳目标（近零），做出承诺、制定零碳目标和实现途径。
2. 以循环经济为准则：循环经济会为支持绿色制造提供机会，同时也会为产品和服务创新提供平台。实现循环经济愿景可以让公司充分利用清洁增长战略。
3. 应对可见和不可见塑料废弃物挑战：循环经济面临的其中一个最大挑战是要应对塑料废弃物以及不可见的微塑料和纳米塑料对环境和水系统的影响及其对食品的潜在影响。

4.2.3 给研究人员的建议

1. 发展净零碳制造和建筑环境科学：发展基础科学、制定路线图能推动公司实现从国家目标或行星边界到本地目标和零碳制造系统的过渡。
2. 制定指标和标准：为绿色产品、服务、供应链和工厂的评估和对标制定指标和国际标准、达成共识。
3. 打造具有韧性的智能绿色产业：工业 5.0 的下一步是发展科学基础、打造具有韧性的智能绿色产业，整个产业将会充分利用 AI、计算和循环经济的新发展成果。
4. 关注绿色设计：循环经济是研究人员关注的重点领域。产品和各种材料的设计和组装对实现循环经济提出了根本性挑战。研究人员急需考虑循环设计和制造，确保在循环经济中优化绿色产品和绿色能源解决方案。

4.2.4 针对未来几年中英行动计划的建议

1. 召开年度高级别政府会议，在后新冠疫情时代经济背景下，制定在具有韧性的数字化智能绿色制造以及循环经济领域中关于贸易/技术/教育问题的三年计划。制定、实施协调新举措，并对其影响进行衡量和评估，再确定第二个三年计划。

2. 中英两国各选派至少 50 家公司，举办绿色制造虚拟展览会。每个参与公司提供一个视频，重点介绍其最新/最佳产品/服务。此外，该虚拟展览会还包括 20 个演示文稿。这项活动的唯一目的便是促进绿色制造各个方面的商业贸易活动。
3. 编制绿色制造虚拟名录，涵盖产品、技术、服务、教育和培训等方面，加强对英国绿色制造专有技术的宣传和国际推广。
4. 为两国学术界、工业界研究人员举办中英绿色制造虚拟论坛，促进中英绿色制造企业/研究和技术开发机构/大学开展研发合作。

主编单位与作者

主编单位：

英国国际贸易部

英中贸易协会

工业和信息化部国际经济技术合作中心

英方执笔人：

利物浦大学 **Bernard Hon** 教授

曼彻斯特大学 **Paul Mativenga** 教授

埃克塞特大学 **Mi Ying Yang** 博士

中方执笔人：

工业和信息化部国际经济技术合作中心国际合作处

毛涛：处长、研究员

工业和信息化部国际经济技术合作中心能源资源环境研究所

宋晓明：副所长、高级经济师

高浚淇：副研究员

彭一然：副研究员

张政：助理研究员

房增强：副研究员

任祎卓：副研究员

卞东钦：干部

杨思诚：实习生

参考文献

1. Anon, UK Manufacturing: The facts 2019/20
<https://www.makeuk.org/insights/publications/uk-manufacturing-the-facts-2019-20>
2. Meadows, D.H., et.al., 1972, The Limits to Growth, Potomac Associates.
3. Anon, Towards the Circular Economy, 2013, Ellen MacArthur Foundation
4. Short, S.W., et al, 2014, From Refining Sugar to Growing Tomatoes: Industrial Ecology and Business Model Evolution, J Industrial Ecology, 18/5, 603-618.
5. Arup, 2009, Carbon Management PAS2050
<https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/carbon-management-pas-2050>
6. HM Government, 2017, Industrial Strategy Building a Britain fit for the future, HM Stationery Office
7. HM Government, 2018, The Clean Growth Strategy Leading the way to a low carbon future
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/700496/clean-growth-strategy-correction-april-2018.pdf
8. HM Government, 2008, Climate Change Act 2008
https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/pdfs/ukpga_20080027_en.pdf
9. International Energy Agency (IEA), 2019, Global Energy & CO₂ Data
<https://www.iea.org/countries>.
10. UK Parliament, 2016, Designing a circular economy, Postnote no 536
11. UK green economy grows five percent
<https://environment-analyst.com/register?o=89497&productID=6&layout=main>
12. The Manufacturing Technologies Association, 2020, Decarbonisation: Future Growth for Manufacturing
13. ISO, 2010, ISO 26000:2010 Guidance on social responsibility
14. Government Office for Science, 2013, The Future of Manufacturing: A new era of opportunity and challenge for the UK Project Report
15. Government Office for Science, 2013, Sustainability and Manufacturing: Evidence Paper for Foresight
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/283909/ep35-sustainability-and-manufacturing.pdf

16. All-Party Parliamentary Manufacturing Group (APMG), 2015, Industrial evolution: Making British manufacturing sustainable 2015, Manufacturing Commission
https://www.policyconnect.org.uk/apmg/sites/site_apmg/files/industrial_evolution_final_single-paged.pdf
17. EPSRC, 2015, Manufacturing a Circular Economy
<https://epsrc.ukri.org/files/funding/calls/2015/circulareconomypositionstatement/>
18. British Glass, 2014, A Clear Future – UK Glass Manufacturing Sector Decarbonisation roadmap to 2050
<https://www.britglass.org.uk/knowledge-base/resources-and-publications/clear-future-uk-glass-manufacturing-sector-decarbonisation>
19. Anon, 2014, Laser-based Manufacturing Applications: UK Roadmap 2014 Final Report, EPSRC
<https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/uploads/Roadmapping/Laser-based-Manufacturing-Applications-Roadmap.pdf>
20. Unite, 2019, Manufacturing Matters
<https://unitetheunion.org/media/2740/191118-manufacturing-matters.pdf>
21. HM Government, 2018, A Green Future: Our 25 Year Plan to Improve the Environment
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/693158/25-year-environment-plan.pdf
22. Anon, 2020, Ooho Water, the Edible Water
<http://www.oohowater.com/>
23. Anon, 2020, Bottled History
https://www.theworldcounts.com/stories/Bottled_Water_Waste_Facts