



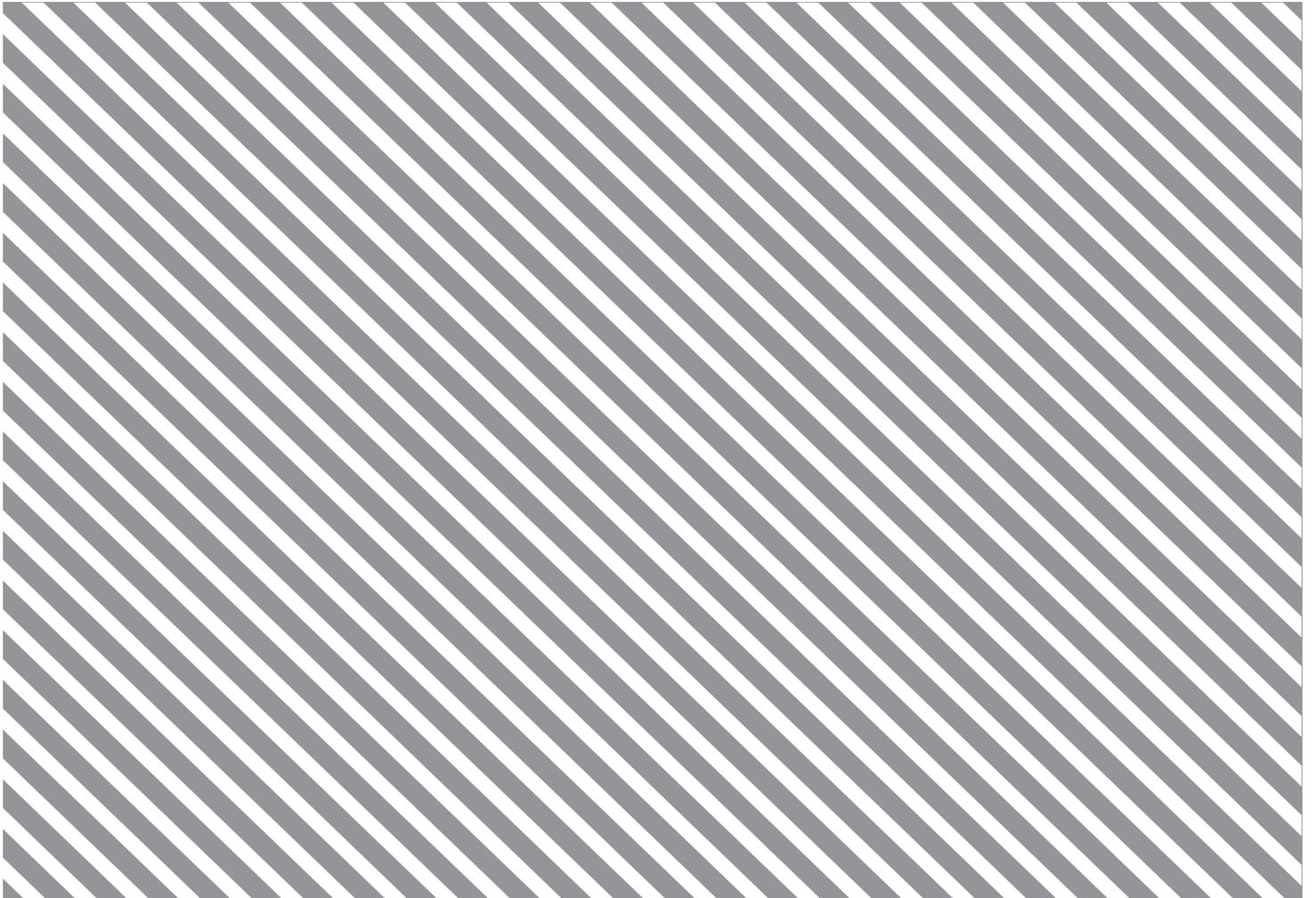
COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

白皮书

中国城市重大绿色技术 及其实施机制

为中国环境与发展国际合作委员会专题政策研究项目3.2提供支持

2020年9月



关于中国环境与发展国际合作委员会（国合会）

中国环境与发展国际合作委员会（简称国合会）成立于1992年，是经中国政府批准的高层政策咨询机构。国合会由中国和国际高级官员和专家组成，由中国国务院副总理韩正担任主席，负责研究中国的环境与发展并向中国政府提供政策建议。

关于世界经济论坛

世界经济论坛是推动公私合作的国际组织，致力于汇聚政界、商界、文化界等社会各界重要领袖，共同制定全球、区域和行业议程。世界经济论坛成立于1971年，是一个非营利性基金会，总部设在瑞士日内瓦。作为中立组织，论坛不介入任何政治、党派或国家利益。论坛致力于彰显企业家精神，造福全球公众利益，同时坚持最高的治理标准。

“专题政策研究项目”国际专家成员

- **Dominic Waughray**，世界经济论坛执行董事，专题外方组长
- **Susan Bazilli**，国际妇女权利项目主任
- **樊胜根**，中国农业大学讲席教授
- **Charles Godfray**，牛津大学马丁学院院长
- **Arjan Harbers**，荷兰环境评估署研究员
- **Christian Hochfeld**，AgoraVerkehrswende执行董事
- **Khee Poh Lam**，新加坡国立大学设计与环境学院院长
- **林伯强**，厦门大学中国能源政策研究院院长、世界经济论坛能源与物资平台管理委员会成员
- **林江**，劳伦斯伯克利国家实验室Nat Simons讲席科学家（中国能源政策）
- **Carlo Ratti**，麻省理工学院敏感城市实验室主任
- **Claudia Sadoff**，国际水资源管理研究所（IWMI）所长

世界经济论坛
91-93 route de la Capite
CH-1223 Cologny/Geneva
瑞士
电话: +41 (0) 22 869 1212
传真: +41 (0) 22 786 2744
电子邮件: contact@weforum.org
网站: www.weforum.org

©2020世界经济论坛。本报告的出版发表适用于知识共享公共许可协议（CCPL）条款，即必须保留原作者署名、禁止用于商业用途且不允许修改 4.0 非移植协议。点击 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>，查看许可协议。

目录

前言	5
序言	6
第一章：政策建议	7
第二章：绿色技术清单	10
领域1：能源	10
领域2：建筑	16
领域3：交通出行	21
领域4：土地使用	25
领域5：食物	31
领域6：水资源	35
第三章：跨领域议题	41
议题1：第四次工业革命	41
议题2：数据治理	43
议题3：循环经济	44
议题4：性别平等	47
结束语与后续措施	50
致谢	51
尾注	53

前言



Dominic Waughray
世界经济论坛执行董事



李晓江
中国城市规划设计研究院名誉院长



Scott Vaughan
国合会外方首席顾问

在过去的十年里，全球城乡结构发生了历史性的变化，城镇人口数量第一次超过了农村人口。未来几十年，这一趋势还将继续下去。联合国预测，到2050年将有超过三分之二的世界人口在城市居住。¹尽管全球城市面积仅占地球表面积的2%，但城市创造了全球80%的GDP，城市毋庸置疑地成为经济发展的重要动力。²与此同时，城市也是全球粮食的消费主力军，到2050年将消耗80%的粮食生产，这就意味着大部分的农村经济活动与城市密切相关。³

中国的城镇人口数量在过去的十年里也首次超过了农村人口。在过去的四十年间，中国的城镇化发展速度惊人，城镇化率从17.92%上升到60.6%。这一趋势还将继续下去，预计到2035年，中国的城镇人口将从2019年末的8.4843亿人增长到10亿人，约占人口总数的70%。⁴⁵

在未来的几十年里，全球的城镇化进程会继续推进，城市将面临若干挑战。在此背景下，必须采取迅速和变革性的行动才能避免全球气候灾难。城市消耗了64%的全球一次能源，排放的二氧化碳占全球排放总量的70%。城市是落实《巴黎协定》、实现“可持续发展目标”和建设生态文明的前沿阵地。⁶C40城市集团预测，全球城市消费的碳排放量必须在2020年达到历史峰值，并到2030年实现碳排放减半，只有如此，方能避免气候灾难。⁷

城市极易遭受气候变化的影响：全球20个特大城市中有15个位于受海平面上升和风暴潮威胁的沿海地区。随着台风和热浪等极端天气事件的不断增加，必须高度关注城市的抗灾和复原能力。⁸

新冠疫情给人类造成了毁灭性影响，进一步凸显出城市健康的重要性。城市设计、建筑和空气污染等问题都与城市健康息息相关，例如，鼓励步行和降低空气污染的城市可以降低非传染性疾病的发病率，而这些疾病可能危及城市健康，并给医疗系统带来压力。

同时，技术持续变革的步伐要快于以往任何时候。世界经济论坛的创始人兼执行主席克劳斯·施瓦布（Klaus Schwab）将这一技术变革称之为“第四次工业革命”，并将其描述为“融合物理、数字和生物世界的一系列创新技术。”⁹

正如本报告所述，技术的快速创新和有效部署可以助推城市加速改革，促进绿色转型升级。然而，技术利用需要方式得当。决策者和其他利益相关者需要共同努力，实施有效方案与合理架构，实现技术服务于城市，推动智慧城市建设，而非让城市发展受制于技术创新。

例如，汽车虽然给数百万人带来了出行便利，但同时也加剧了城市扩张和空气污染。¹⁰在推动未来技术发展之际，我们需要系统地看待新技术的影响，有的放矢地发挥技术优势，更好地服务于民。

报告同时指出，加速城市转型不能单独依赖于某一技术，而是需要发挥诸多互补技术的协同效应。例如，太阳能发电本身是一项重要技术，然而，当太阳能发电与风力发电强强联合时就能生产更多的电力——冬季的风力很大，但阳光不足；通过长期和短期储能技术就可平衡能源供应的日变化或季节变化；超高压输电技术将电力从高发电量地区输送到城市中心；智能电网能够以最有效方式平衡电力供需。构建强大的技术系统或一体化绿色能源网才能创造最大效益。

因此，城市领导者需要从系统的角度综合考虑城市的技术改造，而非局限于一系列的孤立问题或技术解决方案。循环经济、第四次工业革命、数据治理和性别包容等议题，无论是作为系统方法，还是作为至关重要的驱动因素，都将贯穿于城市技术发展的所有领域。

最重要的是，要想实现习近平主席建设生态文明的愿景“绿水青山就是金山银山”，中国城市必须立即行动起来，团结所有利益相关者，携手打造有利环境，推动绿色技术不断发展创新。

序言

本白皮书是世界经济论坛为支持重大绿色技术及其实施机制专题政策研究项目3.2，提交给中国环境与发展国际合作委员会（国合会）的报告。本研究出自权威专家小组，重点关注影响中国和世界其他国家绿色城市发展的系列技术创新，涉及能源、建筑、交通出行、土地使用、食物和水资源等六大领域。

本研究亦携手上述专家小组，通过国合会向中国国务院提供“十四五”期间发展和推广绿色技术的政策建议。这些政策建议以及本报告的很多结论在专题政策研究项目3.2的官方报告中有很多体现。专题政策研究项目3.2的官方报告由中国城市规划设计研究院与世界经济论坛共同撰写，已经提交给中国国务院，并在国和会官网上发布。本白皮书并非专题政策研究项目3.2的官方提交报告，其观点并不一定代表国和会观点。

本报告遵照国合会首席顾问的指导，探求可以在下一个五年计划期间大力推广的创新技术，因此其中所讨论的诸多技术已经发展颇为成熟。本报告的关注重点并不局限于特定技术，而是能够发挥协同效应的技术组合，以及可以支持技术发展或由技术提供支持的标准和概念；这些也可被视为城市创新。

针对每一项技术创新，本报告先是进行简要描述，然后介绍中国部署此项技术所要解决的问题或挑战，最后探讨采用技术可能产生的影响以及技术推广实施的障碍。这种形式便于明确为克服关键障碍所需解决的优先事项并提出有效建议，进而有助于为国务院拟定政策建议。

第一章：政策建议

以下政策建议由世界经济论坛代表专题政策研究建议3.2国际专家成员提交给中国环境与发展国际合作委员会（国合会）。

中国政府将生态文明建设作为指导未来发展的基本战略，为了实现这一美好愿景，下列政策建议旨在加大支持力度，坚定以人为本的发展目标，促进中国城市的生态可持续发展，提升中国城市的韧性、公平公正和生活质量；同时帮助平衡中国的经济发展，特别是通过投资新基建和绿色技术实现高质量增长。

1. 为城市和建筑设计制定指引

加快建立以公共交通为导向的城市发展模式，以适应未来城镇化的发展需要。对于新开发项目，根据国际最佳实践制定和推广绿色建筑标准。

1.1. 城市层面：为了应对城镇化的持续快速发展，大多数新建筑应按照规划在明确划定的城市边界内开工建设，沿现有交通路线发展密集城市区域或重新开发棕色地带。如果无法做到这一点，城市规划者应推动城市沿交通走廊扩张延伸，规划高密度的混合功用街区。城市的密集型发展应以人为本，保留完整绿地，改善人行道和自行车道，同时做好换乘衔接，从而使非机动车成为优先选择。

1.2. 建筑层面：在中国制定并推广绿色、零能耗的健康建筑标准，综合考虑各种现有标准（LEED、WELL、2019中国绿色建筑评估标准等）以及当地不同的气候因素，适用于住宅和商业建筑。绿色建筑应采用多种技术，包括适应场地和气候的被动建筑设计，供需匹配的最优能源管理，以及仅可使用可再生能源。有必要进一步培训建筑管理人员，以保证建筑效率，并在未来通过采用人工智能技术来提升工作质量。

2. 投资新型（城市）基础设施建设

继续推进新基建计划，刺激后疫情时代的经济发展。在新基建投资清单中增加三项关键的绿色城市技术：光伏建筑一体化技术（BIPV）、水处理技术和储能技术，并为每项技术制定宏伟目标。为了打造一体化绿色能源网（IGEG），每年在风能、太阳能和储能方面均需加倍投资。

2020年3月，中共中央政治局常务委员会宣布加快“新型基础设施”建设。新基建包括专题政策研究建议3.2中提到的创新技术，如人工智能、5G、新能源汽车充电桩、物联网（大数据）和城市交通。这些技术将推动中国绿色城市化的快速发展，是后疫情时代经济刺激计划的核心部分，应在“十四五”规划中予以优先考虑。

除上述技术外，新基建计划还应纳入三项基础设施技术——光伏建筑一体化技术、水处理技术和储能技术：

2.1. 光伏建筑一体化（BIPV）技术：依托现有的光伏产业和高建筑率，中国有望成为该项技术的全球领导者。“十四五”规划可以为光伏产业设定宏伟目标，实施补贴和税收优惠等助推光伏产业发展的激励政策，同时出台行业政策，通过建筑规范和目标，或通过创新金融产品降低初始安装成本，鼓励建筑行业广泛采用光伏建筑一体化技术，从而扩大国内市场规模。

此外，需要鼓励开发商和建筑师积极参与其中，以展示光伏建筑一体化的经济效益和美学价值。“十三五”规划明确了城镇绿色建筑面积占50%新建建筑面积的目标；建议在“十四五”规划中**设定50%的新建建筑需采用光伏建筑一体化技术的宏伟目标，特别是高层商业和住宅建筑。**

2.2. 水处理技术：加大废水处理（包括废水管理、处理和再循环）投资，认识到水是城市最重要的可回收资源。在“十四五”规划中**设定污泥处理处置的目标、标准和程序，鼓励采用循环经济方法，通过循环利用水和磷，从污泥中获取能源，最大限度地发挥废水作为重要资源的潜力。通过智能技术对管道和天然水系统进行水质监测，确保饮水安全。**

2.3. **储能技术**：发展一体化绿色能源网（IGEG）是建设绿色城市的重中之重。能源网是由智能电网或能源互联网支持的技术组合，包括太阳能、风能、高压输电以及能源存储技术。虽然太阳能和风能技术已经较为成熟，但包括锂电池在内的储能技术作为一体化绿色能源网的关键要素还有待开发。中国在锂电池技术方面已经走在世界前列，如果在此关键发展阶段能够加大投资就可显著降低成本，从而使锂电池技术能够在中国和全球得以广泛应用。储能技术亦可向产业化迈进，成为推动后疫情时代经济复苏的重要支柱。建议在“十四五”规划期间，**中国每年新增电池储能能力翻一番，并将其作为新基建投资计划的关注重点。**

除将上述三项新技术纳入新基建计划外，建议中国政府在“十四五”期间巩固中国作为全球最大绿色能源投资国的领先地位，设定**每年新增太阳能和风电装机容量（以及储能量）翻番目标**，在不新增燃煤发电量的情况下满足电力需求，由此推进一体化绿色能源网的加速发展。能源价格改革正当其时，将进一步助推绿色能源发展。

3. 继续推动电动汽车的普及，大力发展共享汽车

加快基础设施建设，发展共享电动出行技术，着力打造高里程商务用车，实施交通需求管理。

在“新基建”计划的助推下，充电桩的建设投资将进入发展“快车道”。充电桩包括**慢充桩与快充桩**，由可再生能源提供动力，是一体化绿色能源网的组成部分。汽车电动化应从**高里程商业用车**（包括网约车服务和出租车服务）的分阶段电气化着手，逐步转向通过在城市建立零排放区和道路定价等交通需求管理方法的政策措施。

4. 食品价值链的创新与数字化发展

建立健全创新生态系统，加速数字创新的应用，连接整个食品价值链，提高食品供应链的可追溯性，促进生产和采用更健康、更有营养和更可持续的饮食，包括替代蛋白质和室内食材种植。

数字工具可以提升食品系统的信息流，有助于缩短农民和消费者之间的供需链条、降低成本、提高效率、增强食品供应链的韧性、通过暴露缺陷和损失最大限度地减少食品损失和浪费以及通过更好地了解供应链和消费者反馈提高食品安全。此外，数字工具还可通过信息支持强化中国城市居民的新行为规范，推动消费者选择可持续的健康饮食。

数字技术应用的基本要求是农村地区实现互联互通。**持续推动农村移动无线宽带建设应被视为新基建投资的一项重要支柱。**但是，仅靠互联互通不足以推动变革。必须培养农民使用数字工具的能力，以采用可持续的农业实务和优化投入，以及与消费者建立直接联系，更好地了解消费者的需求。

政府、企业、研究机构、创新者、社会组织和其他机构应协调配合，充分利用数字技术的积极影响，制定可以推广的解决方案、治理框架和激励措施，打造健康的创新生态系统。此外，还需要发布更加明确的标签标准，进一步优化膳食指南，加大对主要领域的研究投资，例如影响采购决定、收集汇总数据、识别发展瓶颈、促进研究和发展的。

此外，要实现《中国居民膳食指南（2016）》的既定目标，即到2030年肉类消费量减少50%，需要**增加对替代蛋白质和室内种植的创新投资**，依托数字工具推动新型消费规范，研究新的肉类替代品，实现可持续、健康地满足日益增长的蛋白质需求。

5. 实施系统方法，打造低碳循环社区

围绕打造低碳循环社区的明确目标和共同路线图，团结包括政府部门和私营部门在内的所有利益相关者。

成功打造**低碳循环社区（CNC）**的关键在于协调团结不同领域的决策者和利益相关者。

只有**土地利用与规划、交通出行、能源、水、食物和固体废物领域相互促进，以及公共和私人行为体加强合作**，中国才能成功打造低碳循环社区。为实现碳中和目标，中国各省市应在清洁能源转型和向净零排放过渡的长期目标上达成一致，并明确实现净零排放的发展路线，如，设定使用可再生能源的中期目标以及到2050年实现零排放的长远目标。

同样，推行循环经济可以为诸多领域的绿色发展奠定基础。由于钢铁和混凝土等材料的生产会产生碳排放，因此循环方法是建筑和材料行业脱碳的唯一途径。随着电动汽车和能源存储日益普及，需要建立锂电池回收系统并制定标准，促进废旧电动汽车电池重新用于电网存储。

就水资源而言，有必要建立再循环利用系统，也可结合食物垃圾堆肥，用于能源或肥料生产。“十四五”规划可通过扩大“无废城市”试点方案、制定城市行动计划以及超越废物管理的宏伟目标，促进循环经济的快速发展。鉴于循环经济对于打造绿色经济的重要意义及其在诸多领域的广泛应用，可以将循环经济作为专题政策研究项目课题。

6. 交付机制

助推中国城市实现绿色转型的三大战略包括试点城市和政策沙箱、绿色技术跨境合作以及公众积极参与。

- 6.1. **试点城市和政策沙箱：**在“十四五”规划期间，应选择能够率先采用本报告所建议技术的试点城市。与企业合作试行新技术和新方案的城市，甚至是经济特区，可以作为政策沙箱为明智决策提供信息支持。
- 6.2. **建立跨境绿色技术与创新联盟，**为国际国内企业、决策者和专家搭建合作平台，促进持续沟通，共同解决中国城市面临的挑战。继续开展项目，加强次国家行为体（如加利福尼亚州和珠江三角洲）之间的联系。
- 6.3. 利用社交媒体、排名前十的城市报告以及公众宣传活动展示采用绿色技术的重要性和发展潜力，包括行为改变如何助推绿色发展，吸引公众积极参与其中。

第二章：绿色技术清单

为了支持中国城市的绿色转型，世界经济论坛与在城市发展和技术领域的全球知名专家一起，在以下六个领域筛选了能对中国城市产生最大影响的技术创新清单。这六个领域包括：能源，建筑，交通，土地规划，食物和水。

领域 1：能源

根据官方说法，中国计划 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值。有专家表示，最早将能够在 2022 年实现这一目标。

¹¹2017 年，中国二氧化碳排放量为 92 亿吨，其中 46% 来自能源和热能的生产。中国已经大幅降低了其经济的二氧化碳排放强度，单位国内生产总值二氧化碳排放量由 1990 年的 2.5 下降到 2017 年的 1.0，并且这一趋势仍在持续。¹²

为了达到巴黎协定的目标，需要以各能源部门为首，大规模减少碳排放。中国在可再生能源的开发和利用上投入了大量资金。在能源部门继续脱碳的过程中，我们可以通过系统地实施新能源技术来扩大和提高其脱碳减排的能力，从而创建一个以清洁能源为基础、以零排放供热和制冷为补充的、面向未来的智能电网。

技术 1：一体化绿色能源电网

描述：一体化绿色能源网(IGEG)是一系列技术的集合，当这些技术一起使用时，可以大幅度降低能源部门的二氧化碳排放，同时保持稳定和可以负担的电力供应。这些技术包括太阳能光伏发电、陆上和海上风力发电、能源储存和超高压能源传输(UHV)。

综合利用上述三项技术有助于发挥季节优势，即冬季利用风能，夏季利用太阳能，来分别满足供热和制冷高峰时期的需求，并借助短期电池储能实现弹性供给，借助氢能或抽水蓄能等可长期储存的能源来应对供过于求的状况。UHV 可以将清洁能源从具有高可再生发电能力的地区(如沙漠)传输到具有高能源需求的地区(如大城市)。

近些年来，随着技术方案成本的迅速下降，风能和太阳能是公认的较为成熟的技术。在世界上许多地方，这些技术已经成为最经济的电力供应方式。¹³ 要促进下一阶段的能源转型，以及扩大风能和太阳能发电使用规模，能达到实用规模的电池存储系统将发挥关键作用，但这项技术目前还没有达到像风能和太阳能那样成熟和普及的程度。

针对问题：2017 年，中国的碳排放 46% 来自于电力和热力生产。¹⁴ 脱碳的唯一途径就是向 IGEG 过渡，充分利用太阳能和风能等能源，并解决电压波动和能源供应短缺等问题。¹⁵

影响：2019 年，中国的太阳能发电量为 224.3 太瓦时¹⁶，是 2014 年的 9 倍，减少了 6900 万吨二氧化碳的排放。¹⁷ 同时，中国 2019 年的风力发电量为 405.7 太瓦时，减少了 1.24 亿吨二氧化碳的排放。^{18,19}

中国提出要大幅减少并最终全部关闭煤电设施，即从 2020 年到 2025 年，每年增加 50-70 千兆瓦的太阳能装机容量，14 千兆瓦的 4 小时和 6 小时电池储能系统，55-75 千兆瓦的陆上风电装机容量和 9 千兆瓦的海上风电容量；从 2025

年到 2040 年，每年增加 80-127 千兆瓦的太阳能装机容量，55-89 千兆瓦的 4 小时和 6 小时电池储能系统，47-80 千兆瓦的陆上风电装机容量和 30-50 千兆瓦的海上风电容量。²⁰

储能能力一直是 IGEG 实施中较为欠缺的一环，提高储能能力也可以减少产能过程中所需的煤，特别是在需求高峰期间，从而提高系统的风险抵御力。除此之外，储能还能提高电网的灵活性，减少能源浪费。²¹ 正是由于电网处理能量和妥善储存能量的能力不足，过剩的能量才常常流失。²² 阿拉斯加为一个 4.5 兆瓦风力发电设施安装了 3 兆瓦的铅酸电池储能系统，从而使并网风力发电量增加了 8 百万千瓦时。²³

实施障碍：风能和太阳能技术的成本效益均经过验证，可以与燃煤发电并驾齐驱。借助大规模生产，与 2016 年相比，储能技术（如锂离子电池）的成本预计可在 2030 年前降低至少 50%。其他储能技术（如氢基储能）需要进一步投资，才能具备商业可行性。此外，智能电网也需要投资，来整合风力和太阳能发电并实现大幅增长（见下文“能源互联网”部分）。

随着风能、太阳能和储能技术部署的扩大，政府部门需要出台新政策，提高整个系统的效率和灵活性。此外，还需制定政策发展电力市场（及相关制度），促进低边际成本发电，提升灵活性，实现宏伟的碳相关目标。²⁵

政府必须分析能源转型风险，考虑煤矿所有者和工人的潜在失业和资本损失。在地方和全国层面，政府可提供社会福利和再培训/技能升级项目，缓和潜在的失业冲击。对于提前关闭的污染工厂，可向投资者提供补偿，并采取激励措施，鼓励投入已开始盈利的环保项目。

电池回收和最终报废环节也不可忽视，政府需要制定相关政策，促进化学储能技术的发展。从循环经济角度，旧的汽车锂电池可重新用于电网，在最终使用后进行回收。中国公司格林美每年从回收电池中提炼 3000 多吨钴。目前，只有 10% 的旧电池被正规回收企业（如格林美）收集处理，如按这一速度增长，再提高新电池中回收材料的使用比例，将极大地促进提高电池的循环经济效益。²⁶

关键要素：建筑与交通：建筑与交通运输分别占最终能源使用量的 36%²⁷ 和 28%²⁸。清洁、可再生能源与储能技术可促进建筑与交通领域的电气化。

案例：鼓励一体化绿色能源网开发的政策

2018 年，美国联邦能源监管委员会（FERC）批准 FERC 第 841 号令，鼓励发展储能技术，使储能资源加入批发电力市场的竞争，并取消对装机容量、能源、辅助服务的市场准入限制。²⁹

2019 年，欧盟委员会修订 2019 电力市场指令，设计新型市场，为储能提供技术和市场条件，包括引入智能电网和智能电表。³⁰ 此外，输电系统运营商在规划电网开发时，必须将储能作为扩展电网的替代方案。³¹

2017 年初，宜家购入在北美的第二个风电场，直接拥有的自行风力发电能力达到约 400 兆瓦时。³² 此外，越来越多中国企业和在华经营的国际企业承诺，使运营使用的可再生能源比例达到 100%。通过与地方政府和电网运营商合作，这些企业更容易从发电厂直接购买可再生能源。

在苏格兰，政府设立了 1480 万美元的转型培训基金，对培训油气行业工人的项目提供资助。培训内容主要是可再生能源和低碳技术，完成培训后，工人也会得到就业支持，获得必要的技能，从而可以帮助他们在风能行业找到新工作。³³

《欧洲绿色新政》（European Green New Deal）³⁴ 要求将欧盟 2030 年的气候目标提高 50%³⁵，并计划到 2050 年让欧洲成为首个气候中性大陆。《欧洲绿色新政》的目标是“不让任何人掉以轻心”，它还提出了一个公平过渡机制，在绿色过渡期间支持不同地区和行业中最脆弱的群体，目前正在筹建一个 75 亿欧元的公平过渡基金。³⁶

案例：《气候变化法案》，英国³⁷

背景：2008 年，英国多个机构设定目标，在 2050 年前将温室气体排放减少 80%（以 1990 年为基线），并以安全、可负担的方式提供能源。支持可再生能源的政策也有利于电池储能技术的发展。

措施：

- 对发电量低于 5 兆瓦时的电厂实施固定电价制度（向使用可再生技术自行发电的家庭付款）；
- 对发电量高于 5 兆瓦时的供应商实施配额制度，规定可再生能源电力在供电总量中须达到一定比例；
- 对工商业的化石燃料用户征税；
- 为“智能电网储能”项目提供 1870 万英镑资金，旨在储存可再生能源电力，支持高峰期的配电网供电。
- 为“先进快速调频相应服务”提供发电补贴，目标是在电网频率波动后最多一秒内，实现 100% 有功功率输出。

研究显示，英国储能项目在过去十年呈增长态势。³⁸

技术 2：能源互联网

描述：能源互联网包括一系列广泛的技术，将物联网技术及流程应用到能源行业，从而以成本效益最高的方式来平衡电力的供应和需求（包括提高效率和减少浪费）。这些技术包括智能计量、远程控制和自动化系统、智能传感器、需求响应系统、优化和聚合平台、智能电器和设备等。

针对问题：传统电力系统结构的设计以少数大规模集中发电资产为核心，将发电资产连入电网，向客户单向供电，并依托价值链上的不同角色形成若干孤岛。

分布式发电则使配电网提高效率并形成双向电流，需要管理更多活跃客户，有了更为动态的价格信息和双向电流，就可以调整客户负载，以实现更好的供需平衡（需求响应程序）。

影响：随着技术与创新颠覆传统的实用发电、计量等模式，电力系统也迎来转型，从集中式电网到分布式微型电网。客户有机会成为系统的活跃要素，并要求密切协调合作。数字化技术将进一步增强控制能力，包括自动实时优化消费、生产以及与客户的相互影响。

研究表明，采用先进的灵活措施（如需求侧响应和电力储存）可将电力系统的运营成本降低 2-11%，化石燃料发电需求降低 30%。³⁹ 加强电力系统的智能化、去中心化和连通程度，有助于提高可靠性、安全性、环境可持续性和资产利用率，同时开拓服务和业务发展的新机遇。

实施障碍

技术：数字技术提高了互联水平，但也带来网络风险，需要能源生态系统中的所有组织共同应对。随着电力网络连通性的增强、运营技术与信息技术的融合、物联网设备的普及以及业务模式的数字化，电网的风险漏洞也越来越多，容易遭到不法分子的恶意攻击。⁴⁰

政策：在现有的电力市场中推动能源互联网的发展，关键措施之一是建立更灵活的电力价格体系，依据供需情况和地理位置实时改变价格，鼓励消费者通过智能设备和人工智能来调整能源的利用，减少高峰时段的能源需求。⁴¹

例子：电网的网络风险抵御力

2019 年 4 月，欧盟委员会建议，要维护能源系统（尤其是电网）的网络安全，需要采取专门方法，解决实时性的要求与先进技术带来的挑战，并应对网络安全技术发展和监管变化带来的连锁冲击。⁴²

进入数字化和技术创新时代，意味着组织面临更加频繁和复杂的网络攻击。意大利国家电力集团组织结构复杂，牵涉环境众多（数据、人员和工业），资产面临广泛的网络攻击风险。

为此，Enel 集团采用“系统性”的网络风险管理模式，整合传统的信息技术、与工业生产联系最紧密的运营技术以及与智能产品联网相关的物联网。⁴³

例子：灵活定价

在瑞典哥得兰岛，数百位电力客户参与了一个项目，通过智能手机的应用软件接收价格信号（如非高峰时段价格下调），从四个预设级别中进行选择。

项目启动时，总用电量中有 23% 发生在价格最高的五个小时；在项目开展后第一年和第二年，这一数字分别降至 19% 和 20%。

此外，企业开始提供更先进的需求响应方案。Opower 通过短信或电子邮件向客户提示高峰时间。EnerNOC 则向公用事业、电网运营商和工商企业提供“交钥匙”需求响应方案。

例子：加利福尼亚州公用事业委员会（PUC）需求响应方案。⁴⁴

背景：作为美国能源消耗量最高的州之一，加利福尼亚州不断提高需求响应方案的标准。他们通过短信、电子邮件或电话向居民和工商业用户发送提示，鼓励他们减少在高峰时段的能源使用，并提供资金奖励。

措施：

- 如果客户自愿让公用事业公司循环利用其交流负载，可享受能源账单年度优惠（部分高温天优惠高达 50% 或 100%）；
- 参与者参与需求响应，最高可获得每月 28.65 美元/千瓦的奖励，具体金额取决于减少的时长、响应时间和天数；
- 如果工商业客户承诺在活动期间（即指定时间段，通常会事先要求客户在这些时段调整能源消耗模式，如在“部分高温天”）减少能源消耗，则可确定“公司服务水平”（最低负载要求），并获得月度电量奖励；
- 账单减免根据下午 2 点到 6 点之间减少的负载计算。在计算时，依据具体客户的参考值，即过去五个工作日下午 2 点到 6 点用电量最高的三个工作日的平均用电量；
- 鼓励客户在自己家中配置需求响应技术。

采取上述方法后，加利福尼亚州 2008-2018 年的电力负荷大幅减少，需求响应对平衡能源供需的贡献也有所增加。

技术 3：净零排放制冷与供热

描述：净零排放制冷与供热包括用于降低能源消耗，提高能源效率，为制冷和供热系统提供可再生能源供应的所有措施、技术和做法，无论是对住宅还是工业生产，例如工业和住宅的太阳能光伏和太阳能热发电系统，热电联产和使用废热，地源热泵，改进隔热和建筑质量。

针对问题：中国快速城市化，人民生活水平不断提升，经济飞速发展，这意味着巨大的能源需求空间。用于供暖供冷的能源消耗项目如下：

- **住宅：**2016 年，中国北方城市建筑消耗的能源中，约有 24% 用于供热。^{45,46} 同时，约 60% 的中国人口现在享有制冷系统，预计到 2030 年会增加到 85%。⁴⁷
- 在夏季高峰期，制冷系统消耗 40% 的电力，这使得用电需求超出装机容量水平，而其他三季的发电量则供过于求。根据气候与清洁空气联盟（Climate and Clean Air Coalition）的数据，尤其是在发展中国家，氢氟碳化物（HFCs）的排放每年将增加约 10-15%，到 2050 年将占全球二氧化碳排放总量的约 9-19%。⁴⁸
- **工业：**过去 25 年，中国钢铁和水泥等重工业的快速发展及其对高温热能的需求，导致整体热能需求增长约 66%。随着中低温热能（热输入量分别低于 80 度和 200 度的工业工艺）在工业能源消耗中占到 50-70%（2018 年）^{49,50} 并继续增加，上述趋势正在发生变化。
- **数据中心：**数据中心正在成为能源需求大户。随着用户对数据中心服务需求的上升，持续提升的效率可抵消能耗增长的影响。但随着摩尔定律的终结，这种情况可能会改变。2018 年，全球数据中心的电力需求几乎占到用电需求总量的 1%，部分原因在于数据中心对冷却系统的需求。⁵¹

影响：采用净零排放的制冷和供热解决方案，可将建筑和工业领域产生的大部分温室气体排放降至零。根据清华大学 2016 年的一项研究，中国有 2 亿吨二氧化碳排放来自于建筑行业，而根据国际能源署的测算，中国工业部门产生的排放占全国总量的 32%（2.9 亿吨）。^{52,53,54}

实施障碍

技术：现有技术已能使建筑制冷和供热达到零排放，如中国北方正在测试的低温热泵。工业过程中用于提供高温热源的技术还需要进一步研究。

经济：高效冷却设备通常需要较高的前期（购买）成本，同时在其寿命期内使用时需要节约能源成本。面向消费者的这些高效产品的激励措施以及提供冷却服务的计划将有助于克服这一障碍。

政策：节能标准和标签是推广高效制冷和供热设备的有效工具。虽然中国从上世纪 80 年代末就开始采用这类项目，但随着技术的进步，需要定期提高这些项目的目标。制冷效率的长期目标（类似于日本的 top runner 计划）可以在很大程度上克服惯性，并激励制造商进行创新，生产更高效的产品。⁵⁵

此外，通过要求迅速实施《蒙特利尔议定书》基加利修正案，将进一步缓解全球变暖的影响。

行为：低收入人口（特别是农村人口）无力承担城市中采用的清洁以及高效的供热和制冷技术。城市中收入较高人口（通常是城市人口）则存在浪费能源的行为，如在供热的建筑中，特别是在办公或商业建筑中，由于经营管理不善，存在不关门窗的现象。因此，相关方应考虑能源浪费的行为和观念，制定整体方针进行改善。麦肯锡 2010 年的一项研究显示，美国家庭如改变能源使用行为，全国可节省高达二成的非交通能源使用量。⁵⁶

要改变民众的能源使用习惯，可采用温和的助推方式。在印度班加罗尔，世界资源研究所印度分所联手“技术信息

设计行动”（TIDE），于 2015 年开展了一项计划，向消费者提供个性化家庭能源节约报告，对比其家庭与邻居的用电量，对消费者形成节能的压力。初步结果显示，这一计划使 45% 的参与者节省了 17% 的用电量。⁵⁷2014 年，美国南加州也进行了类似实验，使得用电需求显著降低，效果相当于峰值负载情况下将电价提高约 70%。⁵⁸

关键要素：城市要在未来实现碳中和，必须推进系统性转型，而净零排放的供热和制冷将发挥重要作用。相关技术能够降低排放量、能源消耗量、用水量和空气污染水平。

制冷与供热行业的创新

2018 年，落基山研究所、印度政府与“创新使命”发起全球制冷技术创新大奖赛，旨在降低因制冷产生的对发电能力的新增需求。大赛邀请全球创新者提交可负担、突破性的制冷解决方案，气候影响不得高于印度市场最畅销家用空调的五分之一。

部分方案包括：

- 采用智能混合技术，优化效率，独立控制温度和湿度；
- 全球变暖潜力（GWP）较低或为零的气候友好型制冷剂；
- 再利用系统产生的废热和废水；
- 采用智能控制、传感器和自动化，优化制冷系统在户外和室内的混合运行；

技术 4：碳捕集、利用与封存（CCUS）

描述：碳捕集、利用与封存技术是一组技术的统称，即捕集源头（包括化石燃料发电，生物燃料发电，钢铁、水泥、石化产品等难以脱碳的工业生产过程和大气）产生的二氧化碳排放，并无限期封存（避免进入大气层），或作为原料用于其他生产过程。

这项技术已有 40 年历史。但截至 2019 年，全球仅有 51 个碳捕集与封存（CCS）设施和 2 个大型利用设施。其中 19 个 CCS 设施正常运作，主要用于提高石油采收率，而 2 个大型利用设施分别位于美国和加拿大，可在全球范围内每年捕集 3200 万吨二氧化碳。^{59,60}

CCUS 到目前为止，尤其是在电力行业（建筑物和 IGEG，见上述）还没有被证明是一项成熟的技术，也不是低碳替代品的选择。然而，扩大这项技术的规模势在必行，据国际气候变化专门委员会（IPCC）报道，CCUS 将在保持全球变暖在 1.5°C 或 2.0°C 以下的许多途径中发挥重要作用，IPCC 特别指出了水泥、钢铁等重工业的重要性，这些行业与电力行业不同，目前还没有低碳替代能源。⁶¹

化学、石油和天然气等许多行业已着手开发技术，将二氧化碳从排放物（或通常存储在地下废弃材料）转变为可在化学工业或食品、饮料行业中使用的原料，但这项技术尚未成熟。二氧化碳原料制成的塑料等材料价格高昂，需要大幅降价才能与原始材料竞争。

针对问题：尽管中国的可再生能源发电世界领先，但主要能源依然是煤炭和石油，约占初级能源的 80%。2018 年，中国的煤炭消耗量达 2813.7 百万吨标准煤。2019 年，中国电力行业温室气体排放量占全球能源相关二氧化碳排放的 13-15%。如前所述，工业生产中每年排放的二氧化碳达 2.9 亿吨，可再生能源很难彻底取代现有的能源。⁶²

影响：CCUS 的主要作用是直接减少电力和工业生产中的二氧化碳排放。欧盟一项针对工业脱碳的研究发现，长期来看，到 2050 年欧盟每年可从工业生产中捕集 232 吨二氧化碳。⁶³

实施障碍：

经济：较高的资金要求，在政策激励缺位的情况下缺乏有效商业模式，技术成本高，投资周期长，短期回报低。此外，相关方对 CCUS 的长期可持续性和技术发展可行性存在分歧，导致公私部门之间的猜疑，增加了融资难度。⁶⁴

技术和基础设施：需要建设大型基础设施来运输和存储大量二氧化碳，供整体产业使用。此外，为了在钢铁等工业生产中高效利用 CCUS 技术，需要进行重大流程创新，将二氧化碳集中到单一源点。在水泥行业，分散与小规模的特点也是一项挑战。⁶⁵

政策：政策体系和财政机制欠完善，缺乏政策指导和激励措施。波士顿咨询公司的一项研究发现，过去，各国政府多未能对 CCUS 技术提供配套政策，以致技术成本高昂，缺乏商业可行性。⁶⁶

中国政府可针对 CCUS 提供适当的激励措施，降低技术成本；扩大参与度，加快技术的学习和发展速度；并通过碳定价进一步提高低碳竞争力。政府还可以推动发电与重工业中 CCUS 的协调发展。

例如，化工行业排放的二氧化碳浓度高，具有良好的低成本捕集潜力，有利于发展 CCUS 技术并培育产业链。其他 CCUS 项目中也实施了一些政策措施，包括拨款支持、税收减免和监管要求。⁶⁷

例子：美国和英国的 CCUS 案例

Petra Nova 是美国仅有的一个大型 CCUS 发电设施，通过燃烧后捕集，可去除发电机组废气中 90% 的碳，年捕集能力达 140 万吨的二氧化碳。

2018 年，美国发布 45Q 税收减免政策，刺激对 CCUS 的投资。政策规定，若能明确证实减排量，将对永久存储的二氧化碳提供每吨 50 美元的奖励，对用于提高石油采收或其他工业用途的二氧化碳，提供每吨 35 美元的奖励。⁶⁸

英国的“净零蒂赛德”项目旨在利用 CCUS 打造国内第一个脱碳产业集群。项目部署了大量英国主要能源密集型产业，可为该地区创造多达 5500 个直接岗位，并帮助许多行业实现低碳发展。⁶⁹

领域 2：建筑

建筑建设和管理能耗占中国能源消耗的 40% (各 20%)。⁷⁰ 在关注中国城市和整体经济绿化的过程中，建筑业是关键。建筑，就像它们所在的城市一样，是非常复杂的，可以为居住者提供热、光、电和新鲜空气，也可以为社交、生活或工作提供场所。因此，这里强调的技术不一定是单一的技术，而是标准和系统上的创新，以促进多种技术协同工作，打造绿色和健康的建筑。

技术 1：净零能耗建筑 (NZEBs)

描述：净零能耗建筑 (NZEBs) 是近零能耗建筑 (NeZEBs) 的高级形式。NZEBs 是指能够适应气候特征和场地条件的建筑，首先，利用自然条件和自然的力量，采用适当的被动式建筑设计来减少对供暖、空调和照明的需求，其次，进一步采取积极的技术措施，最大限度提高能源设备和系统的使用效率，生产并充分利用可再生能源，从而在打造舒适室内环境的同时实现最低能耗。⁷¹

NZEBs 的室内环境参数与近零能耗建筑 (NeZEBs) 相同。其充分利用建筑本身以及周围的可再生能源资源，使每年的可再生能源产量不少于建筑每年消耗的能源总量。

针对问题：中国的建筑面积仍在持续增长，建筑业的能耗和碳排放量也随之大幅增长。目前，中国的年度建筑施工能耗占全国总能耗的 20%。⁷²

通过大规模推行 NZEBs 技术，中国的能耗和 CO₂ 排放量将显著降低。

影响：2016 年，中国 CO₂ 排放量达 100 亿吨。其中，建筑施工产生的 CO₂ 排放量超过总排放量的 20% (> 20 亿吨)。^{73,74} 倘若在推行 NZEBs 技术之后中国建筑业的 CO₂ 排放量减少 10%，中国的 CO₂ 总排放量将减少 2 亿吨 (占中国 CO₂ 总排放量的 2%)。⁷⁵

此外，2016 年，中国的年度建筑施工能耗为 986 Mtce⁷⁶ (百万吨级煤当量)，这相当于 8.027 万亿千瓦时或电量，按照目前的住宅价格，减少 10% 的用电量将节省 4180 亿元 (594 亿美元)。⁷⁷ 真实的例子表明，通过实施 NZEBs，建筑物的能源消耗可以减少 60%，剩余的电力可以就地利用可再生能源来进行发电。

2017 年，中国的 NeZEBs 面积将近 200 万平方米。截至 2020 年，预计中国将建成至少 5000 栋 NZEBs。此类建筑相关产业的价值将达到 143 亿美元，从而创造大量就业岗位。⁷⁸

阻碍因素：首先，中国有五个不同的气候区，每个气候区的气象条件和随之产生的建筑冷热需求存在显著差异。因此，必须因地制宜采取应对举措。再者，中国的 NZEBs 建造标准是根据德国 NZEBs 建造标准制定的，但德国的气候条件与中国相去甚远，这也让中国在推行 NZEBs 技术上面临更多困难。⁷⁹ 此外，国际实践和技术标准多适用于低矮建筑，但中国的绝大多数城市人口普遍居住于高层公寓建筑内。⁸⁰

衡量性能：由于建筑的能效会随着时间的推移显著降低，因此 NZEBs 一旦建成，必须尽快测定其性能和监测建筑使用状态。目前，传感器价格明显下跌，有利于扩大使用量，但其性能评价方法仍有待完善。例如，人类对温度的感知基于湿度、空气流速和辐射热等六个因素，理论上所有这

些因素均可通过智能传感器测定，但目前有且只有温度实现了智能传感器测定。此外，有必要对所有建筑管理人员提供技能指导和进行合理培训，这点可借鉴新加坡的做法。⁸¹

位于阿姆斯特丹的 Edge 大厦 (德勤会计师事务所荷兰阿姆斯特丹总部大楼所在地) 是采用传感器测定建筑性能的典范。为跟踪大厦能耗和用户需求，建筑商在大厦的中央仪表板上整合了用于测定运动、光线和温度等参数的传感器，让设施管理人员能够实时了解相关动态。⁸²

人工智能技术 (AI) 人才通常流向高薪酬行业，因此这一技术在建筑业尚未被广泛应用。尽管如此，无论是预估能耗还是提高能源效率，AI 技术在建筑领域的发展潜力仍然十分可观。

其他要素：能源：减少公共建筑、商用建筑和城市住宅的化石能源和电力能源消耗量。

技术 2：光伏建筑一体化（BIPV）

定义：BIPV 一般是指建筑周围的集成光伏组件。这可以是“建筑附加”（也就是所谓的建筑附加光伏，或 BAPV），如光伏涂层或遮阳设备；或“建筑一体化”（狭义的 BIPV），如光伏幕墙、天窗或半透明窗户。光伏发电技术是一项将光能转化为电能的技术。BIPV 是指使用特殊材料取代标准建筑材料，将其装于屋顶或建筑立面，以促进建筑的光电转化效果。因此，BIPV 可以被视为建筑能源系统的重要组成部分。

针对问题：除了减少 CO₂ 排放量，BIPV 技术还能够增加可用于太阳能光伏发电的区域，特别是在城市化进程较快的城市。与此同时，BIPV 将缓解空间竞争的问题，例如屋顶光伏与机电设备或绿色屋顶的竞争，在城市周边地区地面光伏与农业的竞争。它能够在需要的地方产生可持续性的能源，从而减少电力网络中的传输损耗。

影响：哥本哈根国际学校（CIS）拥有目前世界上最大的 BIPV 立面系统，拥有 1.2 万块彩色太阳能电池板，它们按照略微不同的倾斜角度集成在立面上。⁸³ 该系统每年产生约 300 兆瓦时，相当于学校所需电力的 50%。超过这一系统的是瑞士的 Umweltarena，那里拥有一个高度集成的 BIPV 围护结构，每年产生大约 54 万千瓦小时的电力，实现了“能源建筑+”的目标⁸⁴。

BIPV 系统的投资回报率一般取决于该光伏组件所替代的传统建筑材料。对于包层或幕墙，传统包层的回报时间可能是 8 年左右，即使在低纬度地区，能够到达其立面的阳光较少。⁸⁵ 考虑到输电线路的电能损失、电力输送成本、碳的社会成本以及材料成本，研究显示，中国环境和社会优势的净现值可能为 1.570 美元/瓦。⁸⁶

阻碍因素：多项调查表明，推行 BIPV 技术的最大阻碍在于人们对其经济可行性存在偏见，主要有两个方面：前期成本较高，照射到建筑垂直部分的光较少（即使没有周围环境的阴影）⁸⁷。过去 8 年的时间里，BIPV 得益于光伏组件成本的大幅降低（超过 85%），但规划者和开发人员并没有获得更高的经济效益。

另一种偏见是在考虑设计和美学时的灵活性较低：有时建筑师发现 BIPV 在建筑视觉上没有吸引力，这影响了他们在设计和规划建筑时的态度。⁸⁸ 与此同时，BIPV 组件可以有各种颜色来供选择，包括纯黑和纯白（比较极端的情况），任何设计都可以通过用于 BIPV 前玻璃的数字打印来实现。值得注意的是，如果经济规模足够大，这一技术或可按照太阳能光伏发电的发展途径得以推行。在政策和激励措施的双重作用下，太阳能光伏发电的成本从 1977 年的 76 美元下降到 2020 年的 0.30 美元。⁸⁹

其他要素：能源：在使用可再生能源的过程中减少化石能源的使用。

技术 3：WELL 认证建筑

描述：WELL 建筑标准是一个基于建筑性能的认证工具，它通过空气、水、营养、光线、健康、舒适度和理念等方面测定、认证和监控影响人类健康和福祉的建筑环境特征。WELL 立足于医疗研究机构，探索建筑与居住者健康和福祉之间的关系。WELL 建筑标准由国际 WELL 建筑研究院（International WELL Building Institute，简称 IWBI）进行管

理；该研究院是一个公益组织，旨在通过建筑环境改善人类的健康和福祉。⁹⁰

针对问题：研究表明，人们 90% 的时间都是在室内度过的。空气质量差、光线暗、室内外不够畅通、建筑内部环境不理想、水质混浊等问题不仅会影响人体健康，同时也会降低员工的生产效率。⁹¹ 而经过 WELL 认证的空间则有助于改善人们的营养、健康、心情和睡眠习惯。⁹²

影响：WELL 建筑标准特别适用于办公室和工作场所，因此其积极影响也主要体现在此类空间。例如，投资公司 Landsec 报告称，人们对 WELL 认证建筑的空气质量和照明的满意度分别提高了 40% 和 25%；奥雅纳波士顿分公司的能源成本降低了 12.6%。⁹³

此外，WELL 认证还对员工工作生活的其他方面产生影响。例如，网络安全公司赛门铁克表示，该公司 30% 的员工感觉在这样的建筑内办公能使自己更具创新精神；伦敦 One Carter Lane 的员工考勤分数提高了 19%，相当于员工投入的工作时间增加了 16%。^{94,95} 2015 年，中国引入了 WELL 建筑标准。⁹⁶ 2018 年，全世界共拥有 871 座 WELL 认证建筑，其中有 220 座 WELL 认证建筑坐落于中国。⁹⁷

阻碍因素：推广 WELL 建筑标准的其中一个挑战是缺乏当地认证的专业人员（WELL 认证的专业人员）。他们能够更好地满足客户日益增长的需求，而目前大多数认证都是针对成本更高的海外专业人员，因此也限制了这一标准的推广机会；其他的阻碍来源于对获得建筑认证所需的高昂的初始投资成本的误解，因为人们倾向于直接拥有顶级（白金）认证。事实上，根据建筑的类型、运营性质等，认证的级别可以有适当的针对性（银、金、白金），可以取决于设计的优先级和可用的预算，而不是“全或无”的情况。

技术 4：碳中和社区(CNC)

描述：碳中和社区是指二氧化碳和温室气体排放量为净零的社区。一般来说，通过使用新能源、应用清洁技术、以及减少污染的产生和降低污染的影响，从而实现碳中和。⁹⁸

针对问题：碳中和社区可以被视为将上述所有技术以及二氧化碳和温室气体排放、能源消耗、人类健康和生活质量等相关问题的解决方案结合起来的一个整体框架。

影响：目前，国际上引领前沿的两个碳中和社区分别位于瑞典（亚马碧湖城 HammarbySjostad）和澳大利亚（布朗格鲁保留区南部 Barangaroo South）。尽管现在难以衡量上述两个碳中和社区的确切影响，但值得一提的是它们的目标。通过推行循环经济，这两个社区成功减少了二氧化碳和温室气体排放量。例如，布朗格鲁保留区南部的目标是保护水资源，并回收利用 97% 的建筑废弃物和 80% 的工作用品废弃物。亚马碧湖城的目标是将用水量减少 50%，并将噪音的噪声值降至 40 分贝以下，同时提高公共交通的利用率。^{99,100}

示例：《新加坡第 3 个绿色建筑总体规划》¹⁰¹

背景：绿色建筑总体规划的目标是，到 2030 年新加坡至少 80% 的建筑为绿色建筑。该总体规划旨在促进可持续建筑的建设，提高市民生活质量，促使新加坡成为全球绿色建筑的领先国度。此外，绿色建筑总体规划还按照 3 个目标（持续领先；更广泛的合作及参与；被认可的可持续性能）提出多项行动计划。

行动举措：

- 开展培训，统筹兼顾，全面提高建筑业在绿色建筑设计、维护和管理方面的能力。有资料显示，新加坡建筑业的主要劳动力为来自邻国的外来民工，他们大多数只拥有农业生产方面的经验（中国建筑业的多数劳动力来自农村和欠发达地区）。因此，新加坡面向刚入行的建筑工人实施强制性培训计划，促使其具备提高城市整体建筑质量所需的必备技能。
- 政府采取激励措施，支持开发和采用能够节约能源且成本效益高的解决方案和技术。
- 在学校安装光伏板，将太阳能转化为电能，以实现零能耗。
- 强制要求提交建筑信息和能耗数据，以跟踪建筑能耗，从而鼓励居民采取可持续的能耗行为。

2017 年，新加坡的绿色建筑占比“仅”为 30%。许多建筑商和业主并没有完全意识到市场提供的各种绿色产品。为了在 2030 年之前将绿色建筑占比提高至 80%，政府应推进行业对话，提高了人们对能源效率重要性的认识。¹⁰²

阻碍因素：成功建造碳中和社区（CNC）的关键因素在于协调不同领域的众多决策者和利益相关者。建造碳中和社区首先属于治理问题，然后才是沟通和教育问题，涉及建筑商、政策制定者和居民等相关群体，所有相关人员必须遵从更为严苛的标准，同时彼此之间保持透明。倘若工人和利益相关者缺乏培训，提高绿色建筑质量和运作效率的进程将会面临重重困难。

示例：河北省石家庄市如何推行 ZEB 技术¹⁰³

背景：石家庄市政府从规划要求，核心实施策略，配套政策及保障措施等方面推动了 2018 年石家庄市被动式超低能耗建筑的发展。

行动举措：

- 设定目标：到 2020 年，在建被动式超低能耗建筑面积至少达 100 万平方米。
- 要求：在一定区域内，凡建筑面积大于 20 万平方米的建筑，至少 10% 的建筑应属于被动式超低能耗建筑，否则不予批准。
- 用地支持：被动式超低能耗建筑项目优先获得土地开发许可。
- 建设激励措施：9% 的建筑面积不计入建筑容积率，因此土地和城市相关费用以及附加成本减少 9%。
- 流程优化：在申请“商品房预售许可”时，被动式超低能耗建筑项目可快速通过监管审批。
- 能源成本降低：供暖成本等于固定收费和差别化收费之和，对于被动式超低能耗建筑的居民而言，由于差别化收费减少 80%，因此供暖成本将显著降低。
- 财政补贴：2018 年和 2019 年开工建设的被动式超低能耗建筑项目，每平方米可获补贴人民币 200 元，单个项目最高可获补贴 300 万元；2020 年之后开工建设的被动式超低能耗建筑项目，每平方米可获补贴 100 元，单个项目最高可获补贴 200 万元。
- 媒体推广：政府将在主流媒体和社交媒体上协助推广被动式超低能耗项目。

截至 2019 年 9 月，河北省共建成超低能耗建筑 67 栋，总建筑面积达 316.2 万平方米。¹⁰⁴ 这意味着该地区已完成 100 万平方米在建超低能耗建筑的目标。

事实证明，选择试点城市或地区加快推行绿色技术是一种非常成功的方法，且该方法已广泛应用于本报告所涉及关键领域的所有技术。例如，可以选择多个城市作为每个关键领域的试点城市。

领域 3：交通

交通仍是中国城市 PM_{2.5} 的主要来源(占北京市 2019 年 PM_{2.5} 排放量的 45%)，是中国政府“对抗污染的战斗”的重要组成部分。在过去的 10 年里，交通行业经历了一场巨大的变革，包括对牌照的限制，对电动汽车的大规模投资，以及向共享和多模式交通转变的快速发展。

此外，中国一直是按需交通转型的中心，有滴滴(打车服务)等公司和摩拜(共享单车)等微型交通工具公司。本章节中涉及的技术包括单个技术创新以及一系列技术创新组，通过加速现有的变革(例如电气化或共享交通工具)，或提供一个平台，使公民可以方便地使用多模式、低碳交通系统，从而促进推广这些现有的重大转型。

技术 1：出行需求管理 (TDM)

技术描述：出行需求管理系统是一系列出行策略和技术的组成，通过了解人们出行决策的方式，促进人们高效地选用不同的出行方案（换乘、共乘、步行等），通过系统性的设计来鼓励人们选择其他的驾驶工具。¹⁰⁵ 相比于传统的交通方式，采用出行需求管理技术可减少温室气体排放以及空气污染。例如，根据不同的时间和使用类型来调整道路规划或限制交通工具的使用以满足实际需求，而不是仅仅是提供服务。¹⁰⁶

推动 TDM 实施的政策措施之一是道路收费。道路收费是指向道路使用者收取费用，以减少交通拥挤、碳排放和空气污染等问题，同时促进整体公平性和经济生产力的提高。道路收费包括基于位置的收费方法，如针对中央地区收费(如纽约)，基于时间或需求的收费模型，如针对拥堵城市收费(如伦敦，新加坡，斯德哥尔摩，米兰)，和基于排放水平的收费政策(如伦敦超低排放区)。

其他策略包括灵活的控制管理体系和数字化的停车解决方案，根据实时数据（固定或移动监测系统来源的信息）提供的停车位信息来提高交通流量的效率，减少驾驶时间，灵活进行停车定价，减少高峰时段的驾驶，从而降低排放。

针对问题：截至 2019 年年底，中国约有机动车 3.48 亿辆，其中小汽车 2.6 亿辆。过去五年间，小汽车数量平均每年增长 1966 万辆。^{107,108} 随着汽车拥有率的上升，温室气体排放、交通拥堵等。

潜在影响：基于道路和排放进行收费可能不利于交通驾驶，应鼓励大众采用更加可持续的替代方案和多种出行模式（灵活的通勤方式、微出行和公共交通）。在实施道路收费的城市中，伦敦和斯德哥尔摩的二氧化碳排放量分别减少 20% 和 10-14%，新加坡二氧化碳排放日均降低达 80 吨。¹⁰⁹

实施障碍：实施出行需求管理的障碍多为制度障碍。为应对日益增长的出行需求，政府通常会拓展交通网络。但道路通行能力的提高会直接导致汽车数量的增加，引发“诱导需求”的现象，结果适得其反。例如，墨西哥城市道路网络的扩张，以及公共交通基础设施的改善，导致私家车的持有数量迅速增加，因此，除了空气污染问题严重之外，墨西哥也成为 2017 年全球最拥堵的城市。¹¹⁰

因此，政府应鼓励并补贴多种出行模式（灵活出行、微出行和公共交通），出行需求管理工具是实现这一点的基础，同时确保实现收支平衡甚至有所盈余。在伦敦等地，出

行需求管理起初没能完全获得公众舆论的支持，但随着时间流逝，逐渐得到广泛认可。关键在于促进与公众的沟通，阐明优点，丰富公共交通的选择如公共汽车等，¹¹¹ 以及积极投资于交通系统的升级，鼓励多出行模式和出行即服务体系 (MaaS)。

其他要素：土地利用：更有效的城市交通方式及其设计与整合可能影响整个城市及其交通网络的规划方式。

技术 2：新能源汽车和智能充电系统

技术描述：“新能源汽车”指完全或主要由新型清洁能源驱动的车辆，包括插电式混合动力汽车（含增程式电动车）、纯电动汽车（BEVs）和燃料电池电动汽车（FCVs）。¹¹²

过去两年里，电动汽车的行驶里程一直在增加。然而，在当前的经济条件与趋势下，[高昂的前期成本](#)、[波动性大的充电成本](#)和[未知的折旧成本](#)仍然是电动汽车使用推广的重要障碍。¹¹³

自 2009 年以来，中国已成功地在技术、商业模式和政策方面开展了相关试点。¹¹⁴2018 年，中国新能源汽车销量达 130 万辆（占市场销售总量的 4.6%），较上年增长 62%。¹¹⁵ 中国政府在新能源汽车领域一直提供丰厚的补贴，这也是维持这一销量的主要推动力。¹¹⁶

缺乏必要的充电基础设施，就无法扩大新能源汽车的规模；不使用可再生能源充电，就无法保证脱碳化。新型智能充电基础设施利用物联网、人工智能和能源需求管理，在必要时限制能源使用量，更好地平衡电网负载。新一代智能电池设计包括车网融合技术（V2G），将电动汽车融入储能基础设施，高峰时段接入电网，即可为电网的其余部分供电。

针对问题：空气污染、噪音污染和温室气体排放是现代城市的通病，给市民生活带来了严重的影响。新能源汽车和智能充电系统规模化采用可再生能源供电，能够显著改善空气质量，减少二氧化碳排放和对进口石油的依赖，提高能源安全性。

新能源汽车可用于客运以及重型货物的运输。事实上，中国卡车车队向新能源动力系统转型所带来的好处与它们的数量并不成比例。尽管柴油卡车仅占中国汽车总量的 7.8%，但其排放的二氧化氮却占中国总排放量的 57%。¹¹⁷ 电动卡车面临的一个挑战是，由于电池容量的限制，它们的行驶里程较短，因此，虽然有一些电池驱动的卡车正在研发之中，但氢燃料有可能更适合作为重型车辆的燃料。¹¹⁸

潜在影响：2017 年，中国汽车排放的污染物约为 4.36 亿吨。¹¹⁹ 根据一项在北京、上海和广州开展的研究，电动汽车使用寿命内的排放量比同类内燃机汽车低 43%，当然这一结果很大程度上取决于充电所用的能源。2030 年，电动汽车普及率有望达到 20%，仅此一项就能使交通领域的温室气体排放减少 6.2%。¹²⁰

对氢能而言，即便是取自天然气（可持续性最差的能源之一），但相比使用汽油的汽车和卡车，现在的氢燃料电池汽车也能使温室气体排放减少 30% 以上。¹²¹ 有一种更清洁的氢生产方法是利用非高峰需求期的可再生能源，例如在春季无需用于制热或制冷的太阳能，如果不用来生产氢，这类能源也同样会流失。

根据世界经济论坛全球电池联盟的一份报告，到 2030 年，电动汽车智能充电和车网融合应用一年可减少 17 兆吨二氧化碳排放，产生 220 亿美元的收益。¹²²

实施障碍：缺乏关键技术、高效电池成本的竞争力低下和配套设施系统（尤其是充电站）的缺失，是新能源汽车规模化推广的主要障碍。如果新能源汽车数量增加，就需要迅速建设大量配套设施，这将给资金投入、能源需求和土地利用带来挑战。新能源汽车高昂的购买成本、战略基础设施的部署和转换率也是其推广和应用需要解决的关键问题。

燃料电池电动汽车方面，要开发良好的基础设施来生产和运输氢，需要长达数年的时间和数十亿的投资，但如果仅为燃料电池汽车建造这种设施，经济效益很低。理想情况下，应将汽车整合到更广泛的“氢基”经济中，开发氢能源的多种用途，如用来生产家用能源。¹²³

智能充电和车网融合行业需要标准化，包括电动汽车内双向逆变器的大规模开发和部署、智能电网的搭建（参阅能源领域章节），财政刺激措施的出台以及鼓励车队和车主参与车网融合。

其他要素：能源：有助于为新能源汽车电池充电提供更清洁的解决方案，进而促进可再生能源的发展。此外，氢燃料电池汽车也需要能源工厂生产必需的氢。

土地利用：充电站或加氢站等配套设施需占用现有城区的大量空间。

技术 3：共享交通工具和出行模式

技术描述：“共享交通工具和出行模式”指的是广泛的交通解决方案，这些方式中的交通工具是共享的（共享汽车、共享单车、共享电单车），并且出行模式是共享的（合用交通工具、共享交通工具）。这些车辆可由多位用户同时共享，或是依次单独使用。

针对问题：研究发现，小汽车 95% 的时间都处于闲置状态，剩下的时间通常也只运载一位乘客。考虑到全球有大约 10 亿辆汽车，如果能提高其使用效率，将能显著改善环境效益（如减少温室气体排放）和经济效益（如降低出行成本）。¹²⁴

从全球来看，到 2050 年，人口流动产生的碳排放预计将增加一倍。驾驶机动车辆排放的温室气体占了这些机动车辆的 70%，造成了城市 50% 以上的空气污染。根据新国际交通联盟（GNMC）¹²⁵，结合电气化技术手段，鼓励共享交通工具和自主交通方式的推行，可以形成一种集成系统化的交通出行模式，到 2050 年，汽车的数量可以从预计的 21 亿减少到 5 亿，二氧化碳的排放量从 4600 兆吨降低到少于 700 兆吨，同时带来了不断增长的流动性需求和经济增长。¹²⁶ 通过开发和测试融合了共享、电力和自主交通（SEAM）的新且独特的政策，GNMC 组织的 140 名交通领域的专家建议，到 2050 年，可以推广建立一个更清洁的城市，碳排放可以减少 95%。SEAM 还可以将交通的效率提高 70%，同时将通勤的成本降低 40%。

潜在影响：共享交通工具和出行模式可为城市带来环境和经济效益。2017年，麻省理工学院研究人员通过研究发现，在纽约，如果拼车出行（载客量更多）得到普及，只需现有出租车总量的25%就能解决99%的出行需求，而且平均等待时间不超过3分钟。¹²⁷

在另一项经常被引用的研究中，研究者模拟了里斯本市及葡萄牙的交通工具利用情况。如果以共享汽车（假定为六座共享出租车）替代所有私家汽车，路面车辆可减少90%。¹²⁸ 2017年，咨询公司AlphaBeta在印度尼西亚开展研究，模拟印尼在2020年普及共享交通，发现可减少159,000公吨二氧化碳排放，相当于保护4,150平方公里的森林免遭毁灭，并减少8%的空气污染。此外，还可节省460平方公里用于建设停车场的土地。¹²⁹

实施障碍：大规模推广共享及拼车出行的主要障碍是缺乏有效的匹配平台、文化、习惯，以及可能损害部分群体的利益，因此需要充分建立“交通即服务”的观念。对于和陌生人共乘私家车，调整个人日程来适应不够灵活且耗时较长的共享出行模式，人们的态度可能还有所保留。¹³⁰

如果不公平地对待交通服务提供商，这个系统就有可能损害一部分人的利益，比如出租车司机。通过将服务模式数字化，平等对待所有的共享交通工具和出行模式，就能形成成功的商业模式。政府可能需要向社会宣传共享和集中交通服务的好处，以在更大程度上促进低碳出行在普通大众群体中的推广与实现。还可以对高乘坐率的共享交通工具（而非单人交通工具）的快速充电技术进行投资，这不仅将鼓励交通工具的电气化，而且还能提高路上每辆汽车的利用率。

技术 4：无缝集成出行系统（SIMSystem）或出行即服务（MAAS）

技术描述：SIMSystem意为“无缝集成出行系统”，或者也可以称为出行即服务（MAAS），可以整合汽车、公交车、自行车和人行道等交通资源，采用动态定价等技术，根据不同交通资源的运行方式来进行治理，从而提高人们的出行效率。

SIMSystem将信息集成到数字平台，来实时显示交通工具的供需状态，同时提供天气、交通状况等详细系统信息。SIMSystem整合不同交通方式，使人们能高效利用实体交通资源及基础设施，充分发挥其在消费者和交通技术之间的连接和支持作用。¹³¹

针对问题：在中国，许多城市的交通问题越来越严重。如2010年到2016年，北京的交通拥堵增加了9%。¹³²人口的增加以及交通需求的增长可能会加剧现有情况，使得噪音和空气污染问题更为严重。SIMSystem有效整合资源和基础设施，有助于实现更加快速、便宜和可持续的交通出行。¹³³

潜在影响：研究表明，SIMSystems在成本、交通和时间方面比传统交通系统更清洁高效。如能实施整套SIMSystem，单次出行成本可降低25% - 35%，运力提高30%，行程时间缩短10%。^{134,135}此外，若使用无人驾驶电动车，SIMSystem还可使温室气体排放减少85%。¹³⁶

实施障碍：实施SIMSystem系统需要公共部门、企业和基础设施管理机构进行紧密协作。此外，系统利益相关者之间需要实现数据的标准化与共享，打造价格实时变动的交通市场，例如，在高峰期提高对私人拼车的收费，可以鼓励更

多人选择公共交通，而在清晨实行公交车免费，可以有助于调节通勤客流。¹³⁷

其他要素：能源：如SIMSystem以新能源车为主体，可进一步促进减排。若推广新能源车采用有效的政策框架，SIMSystem的优势将更为明显。

案例：挪威：推行激励措施，鼓励购买电动车。¹³⁸

背景：根据欧洲的气候目标，挪威设定了交通行业减排 35-40% 的目标。¹³⁹2017 年，挪威 39% 的新车为电动车，而在 2010 年，电动车仅占挪威新车数量的 0.3%。推广电动车的政策对降低二氧化碳排放至关重要。

推广电动车技术的政策举措：

- 长期以来，挪威采取了一系列政策鼓励民众购买电动车：
 - 取消购置税（1990 年）；
 - 免收注册税、年度流转税（此前挪威这两项税率位于全球前列），取消过路费（1996/7 年）；
 - 免费停车（1999 年）；
 - 可使用公交车道（2003 年）。¹⁴⁰
- 此外，为建设充电基础设施，政府在 2008 年出台鼓励政策，出资安装 1800 个充电点，后来还出资扩展快速充电网络（2010-14 年）。到 2017 年，快速充电设施的大部分后续开发成本已由私营部门承担；^{141,142}
- 奥斯陆最近在市中心建设了一个电动车专用停车场，内设快速充电设施；¹⁴³
- 在城市实施交通需求管理，包括对非电动车征收拥堵费；
- 挪威大部分电力采用水力发电，进一步降低对环境的影响；

挪威能成功转向电动车，不仅是由于采取了激励措施，也是因为提升了空气质量。该国大部分电力采用水力发电，因此增加电动车能产生显著的环境效益。

案例：伦敦 TRUE 计划：有效实施遥感技术。¹⁴⁴

背景：2017 年 11 月到 2018 年 2 月，伦敦市与“真实城市排放”（TRUE）计划合作，在汽车排气管中安装遥感装置，收集汽车在城市中产生的温室气体排放信息，并与历史数据进行对比。

遥感技术汇集的关键信息：

- 符合欧五标准和更早排放标准的柴油车占伦敦 60% 以上的氮氧化物（NO_x）排放量；
- 同等排放标准下（如欧五标准），使用柴油的黑色出租车产生的氮氧化物排放高于其他柴油车；
- 柴油车排放的氮氧化物比汽油车高出六倍；
- 较新的汽车产生的一氧化碳排放量较低；
- 目前的公交车和汽车排放的氮氧化物低于五年前。

遥感技术可用于收集汽车排放的重要信息。如政府能根据收集到的数据采取行动，推广采用适当技术，就能对症下药，减少危害最严重的污染物，产生非常显著的环境效益。

领域 4：土地利用

土地利用和城市规划是城市的支柱。城市的形状和布局对能源消耗、空气污染和温室气体排放（特别是与交通有关的排放）有重大影响。在强烈的“锁定效应”的影响下，一旦一个城市被规划和建造，要改变它就非常困难，其影响可能会持续几个世纪。

在城市规模上，城市的形态很重要(技术 1a)。在社区规模上，城市密度和混合土地使用可能会产生显著影响(技术 1b)。在不同的维度上，将这些技术于公共交通基础设施相结合，在公共交通导向型开发模式的理念下，相互促进，能够提供一个良好的解决方案，推动形成一个积极的交通模式，减轻相关副作用，如噪声危害、当地交通拥堵，城市热岛效应、日光和绿色空间缺乏等。

技术 1：公共交通导向型开发模式 (TOD)

描述：TOD 是一种旨在沿着交通站点和走廊建设高密度多功能商业中心和住宅中心的规划方法。¹⁴⁵

针对问题：预计到 2030 年，中国 70% 的人口（约 10 亿）将生活在城市，因此现有城市正在不断扩张，新增城市也正在在建。¹⁴⁶ 近年来，为减少环境污染和有害气体排放量，中国制定了一系列创新城市规划战略。尽管如此，一些遗留问题仍然存在，例如，现有开发模式依然采用“公共交通临近点开发模式 (transport adjacent development)”而非“公共交通导向型开发模式 (TOD)”。2015 年，交通运输业占中国石油消费的 55%，并且与 2016 年中国约 9 亿吨的二氧化碳排放量息息相关。¹⁴⁷

影响：推行 TOD 可带来一系列福利，减少运输过程的能源消耗、改善空气质量、保证休憩用地的规划和使用。¹⁴⁸ 还可以提高绿色出行（如步行与骑行）安全程度以及缓解交通拥堵。¹⁴⁹

TOD 通过混合型土地利用，将住宅区、商业区、公共机构和娱乐设施等不同用地相邻而建，确保居住区靠近社区、街区和建筑层面上的各类便利设施。^{150,151}

研究表明，居住在公交车站附近的居民乘坐公交车通勤的概率是同一地区其他居民的五至六倍。仅 2017 年中国的汽车污染气体排放量就达约 4.36 亿吨，因此从减少温室气体排放量的角度来看，TOD 将极大帮助改善这一问题。^{152,153}

TOD 的设计和规划良好，能够为广大居民提供便捷的交通和优质的物业供应，提升物业价值和公私部门对其的兴趣，从而推动 TOD 的良性循环发展。

阻碍因素：推行 TOD 主要面临财政、政治和组织三个方面的阻碍。财政阻碍包括缺乏融资、建设成本高、开发费用高以及存在其他不可预知支出（场地清理、环境修复和基础设施升级等相关费用）。¹⁵⁴

政治阻碍可能包括市民拒绝沿着城市线性轴提高居住密度所做的整改。居民们通常担心，整改之后，交通会变得更加拥堵、日常用品购置耗时更长、学校拥挤等。¹⁵⁵

最后，组织阻碍主要是因为利益相关者群体庞大且往往代表不同的利益。公共部门、地方政府和开发商通常具有不同的利益诉求，因此不易协调一致。¹⁵⁶ 此外，如果公交机

构、再开发部门或市政当局在现有或计划筹建的车站附近没有足够面积的土地，征地也可能面临重重困难。^{157,158}

由于 TOD 涉众颇多，且需要大笔改造资金，因此，为实现可持续 TOD，应设置经济激励机制，并营造可预知的监管环境，从而吸引投资，保证对各利益相关方的承诺。此外，高级别政府部门应制定相关政策，以推广城市试点项目，并为利益相关者提供合理运作所需的资源、空间和弹性政策。在此方面，市政府和国家政府之间不断进行双边沟通交流，将有助于双方交流反馈，共同实现政策目标。¹⁵⁹

技术 1a：城市形态

描述：紧凑型城市是一种非常流行的可持续化城市概念：与分散的城市相比，紧凑型城市的能源消耗更低，而且自然环境和农村地区都能够得到保护。在有利的城市形态中，人口高度集中分布在线性交通走廊沿线，如，“星型城市”或哥本哈根的“手型城市”。以哥本哈根的“手型城市”为例，其市中心位于“手掌”部位，5 个高密度交通走廊往西延伸。相较于常见的环状城市形态，此种城市形态中公共交通的效率更高，在“手指”部位的绿色或蓝色坡道可以缩短到乡村和自然区域的距离。

众所周知，瑞士的城市通常有着良好的公共交通网络。这在一定程度上得益于瑞士的山谷和湖泊将城市建设限制在了狭窄的线性模式中，能够适应高密度的线性公共交通。

另一个特定城市形态的例子是多核城市，阿姆斯特丹附近的荷兰新城阿尔米尔就是这种特殊形状的一个例子。阿尔米尔的城市并不是连续的，而是由 6 个核心组成，通过绿色空间相互分隔，并通过专用公交车道相互连接。这种模式下，阿尔米尔能够给每个人的周围留出绿色空间，同时又能够方便获得公共交通。

研究证明，为了缓解城市交通拥堵和减少温室气体排放量，城市布局应该更加紧凑化。¹⁶⁰ 然而，紧凑型城市布局可能会加剧城市热岛效应 (UHI)，严重影响公共卫生。随着城市规模和密度的不断增大，城市热岛效应也日益严重。¹⁶¹ 2013 年，中国东部地区遭受严重的热浪袭击，仅沿海城市宁波就有 1260 人因与高温直接有关的疾病住院就诊。^{162,163} 因此，是选择以减少温室气体排放量为目的的的城市形态，还是选择以减轻城市热岛效应为目的的城市形态，值得再三权衡。¹⁶⁴ 还有一个事实就是，大城市和紧凑型城市的空气质量都相对更差。紧凑城市的另一个副作用是屋顶上的太阳能板空间有限。与低层住宅相比，高层公寓能够提供的人均屋顶空间面积更少，邻近的建筑也会给城市中的屋顶造成更多的阴影。

针对问题：密集的城市会因为绿色空间而变得更有吸引力。圆形的“饼状”城市的城市边缘相对较少，使得自然和乡村更难以接近，且社区也缺乏新鲜空气的渗透。此外，“饼状”城市没有按照线性模式来规划公共交通基础设施，因此公共交通没有得到很好的优化。

影响：沿着线性交通轴组建的城市（尤其是“星型城市”），在解决二氧化碳排放量和城市热岛效应所带来的问题上表现颇佳，“该优先应对哪一方面的问题”也就不再是问题了。¹⁶⁵ 经深思熟虑规划的创新城市形态，有助于沿着交通站点和走廊建设高密度多功能商业区和社区，从而达到改善环境的目的，如改善空气质量和减少交通运输对环境造成的影响。^{166,167}

库里蒂巴（Curitiba）是巴西全国人均汽车拥有量最高的城市。¹⁶⁸ 尽管如此，由于其城市布局沿着高密度线性交通轴展开，因此，该市乘坐公共交通工具的通勤者人次居全国之最，其燃料消耗量比该国国内的 8 个同类城市低 30%。¹⁶⁹

阻碍因素：推行特定的城市形态的关键阻碍在于，多数情况下，创新城市形态的开发无法通过改造现有城市来实现，只能采用规划新城市或对小城市进行大规模扩张的做法。中国的城市化率依然非常高，因此有机会扩大现有城市，或根据上述原则创建新的城市。

在有可能开发特定的城市形态的情况下，采用自上而下的做法至关重要。因为该做法有利于快速实施决策，促进政府部门协调一致。值得注意的是，应长期坚持不懈地推行开发计划原则，这对实现最初计划的愿景具有重要意义。在此方面，哥本哈根的“手指规划”（Copenhagen Finger Plan）树立了良好的榜样（坚持推行超过 60 年）。

关键要素：交通运输：应用星型城市设计方案有助于减少交通运输业的二氧化碳排放量。食品：特定的城市形态能够缩短获得食品的距离。

示例：哥本哈根的“手指规划”^{170,171}

背景：该规划最初于 1947 年提出，从那时起就一直被作为哥本哈根城市开发治理的风向标并被执行至今。它代表了一种城市发展的模型，旨在基于整体区域结构合理规划城市。

行动举措：

- 主要沿着与铁路系统和放射状道路网络相连的“手指”部分进行城市开发；
- “手指”部分利用绿色植物隔开，使其不受城市开发的影响；
- 对于“手指”部分的城市开发和新增城市功能，在规划其方位时，始终考虑现有已获批的基础设施以及是否有助于改善公共交通运输；
- 这一规划深受哥本哈根居民喜爱，尤其是那些搬到郊区喜欢拥抱自然、享受新鲜空气以及便捷公共交通的居民；
- 从行动举措的执行持久度来看，该规划的主要原则被坚持推行了超过 60 年；
- 区域规划委员会（现为“哥本哈根城市委员会”）由有关城市代表组成，负责执行哥本哈根地区的区域规划；
- 多年来，“手指规划”的新增要求和调整均以灵活的方式提出，并接受多位公私利益相关者审议。

通过推行这一规划，哥本哈根成功避免了无规划的城市蔓延，确保哥本哈根所有居民可以便捷地进出休闲娱乐区，乃至整个哥本哈根地区的居民都可以进出哥本哈根市中心。

技术 1b: 高密度和混合土地利用

描述: 较高的建筑密度往往意味着更近的距离, 总体而言, 与汽车使用相比, 由于交通需求下降, 主动出行模式是更合适的选择。此外, 更高的密度为公共交通发展提供了广泛的基础, 使其成为与汽车一样发达的交通方式。

如果到公共交通枢纽的距离很近, 并且土地使用(如住房、工作、便利设施、休闲设施)以混合配置方式布局, 那么汽车交通甚至会进一步减少。^{172,173} 这种混合布局不包括重工业, 因为噪音和空气污染应该被排除在外。

提高空间利用率以及规避建筑密度带来的挑战的其他方法是智能空间分配和多重利用。智能空间分配是指将不适合某些用途的建筑物部分(例如采光不好的住宅)分配给可在此类建筑部分适用的其他用途(餐厅, 健身房或仓库等)。

多重利用是指根据时间规划某些建筑物的不同用途, 减少对新建筑物数量的需求。例如, 体育场馆可以在早上或下午早些时候用作老年人社区中心, 学校可以在夜间或周末用来举办活动。比如坐落在佛罗里达州迈阿密市林肯路 1111 号的多层停车场, 在白天用做停车场, 但可以很容易地进行改造, 在晚上举办剧院表演(可容纳三层楼的高度和)和营销活动。¹⁷⁴

针对问题: 低密度土地利用比高密度建筑消耗更多的土地, 留给自然、娱乐和农业的空间更少。此外, 在低密度地区, 区域间平均距离较远, 更多通过驾车出行, 而很少选择公共交通和主动出行方式, 因而在交通上浪费更多的能源。与混合配置土地相比, 单一用途的土地也会导致更远的距离。

在中国, 一些城市地区不太适合步行, 例如, 大型街区的住宅区往往只有一两个入口, 增加了步行距离。还有一些城市将居住区和商业区分开, 需要开车往来, 这些因素都增加了汽车的使用。¹⁷⁵

影响: 土地混合利用对环境的益处是多方面的。对于居住在具有良好交通网络的混合社区的家庭来说, 尾气排放更少。较短的出行距离在减少汽车使用的同时可以增加步行和骑行。¹⁷⁶ 研究表明, 土地混合利用地区的汽车出行会减少 5-15%, 土地混合使用每增加 1%, 车辆行驶里程就会减少 0.01-0.17%。^{177,178,179} 在荷兰, 城市化程度的提高导致了总出行距离的减少, 与非城市地区相比, 城市化地区的总出行距离要低 14%。¹⁸⁰

阻碍: 从第一次工业革命开始, 由于卫生、健康和噪声污染等原因, 住宅区和工作区就被分隔开。长期以来, 城市地区一直被规划为居住、工作或娱乐场所。这些职能在许多城市的政府部门名称中仍有体现。每个部门都有自己的目标和预算, 这使土地混合利用很难启动。

然而, 在大多数情况下, 工业活动性质的工作越来越少, 取而代之的是更多的办公室工作, 噪音污染非常低。随着中国持续向服务型经济转型, 这一点愈发明显。此外, COVID-19 可能会加速远程工作生活方式的趋势, 进一步减少工作和住房分离的需要。然而, 将分区计划中的单一功能区域改为混合用途区域可能会遇到阻力, 因此可能需要规划相应的财务补偿方案。现有地区的高密度建筑区域也面临同样的挑战, 人们可能会担心其对宜居性和生活成本造成负面影响。

关键要素: 交通: 城市交通系统的设计与混合用地和高密度建筑的设计同时进行, 混合用地和建筑的密度越高, 可以为公共交通提供更好的商业案例。建筑: 建筑物的类型需要一定的条件要求, 才可以达到所需的建筑密度并具有混合用途的功能。

示例：中国天津生态城¹⁸¹

背景：中新天津生态城是一座沿海新城。从城市规划的角度来看，该新城具备可持续城市的所有特征，包括高密度 TOD、混合型土地利用、可再生能源和水处理等。

该项目于 2008 年奠基开工，具有一定的可复制性和可扩展性。

行动举措：

- 通过中央生态岛对废水进行自然净化；
- 建造连接公园与海洋的生态走廊，并使其分支贯穿于住宅区之间；
- 通过附近的风力发电厂为该城市供电；
- 铺设宽阔的自行车道和人行道；
- 建造轻轨系统，并在轻轨不覆盖的地区配置混合动力巴士；
- 在生态城内建造 5 个商业园区，并开发综合项目；
- 建造符合绿色建筑标准的建筑物（房屋自然采光良好等）；
- 制定法律规定，确保对环境敏感或高度优先的绿化区域受公众管制。

示例：日本六本木六丁目地区（Roppongi 6-chome）再开发项目¹⁸²

背景：耗资 24.7 亿美元打造的六本木山（Roppongi Hills）项目是日本迄今完成的最大的私营部门再开发项目。该项目已成为城市开发典范。受该项目的影

响，六本木山被誉为全球最有影响力的多功能社区之一。六本木山绿化面积大，出入方便，空间宽敞；公共交通便捷，道路通畅；餐厅和奢侈品店林立，吸引消费者和职场人员为之驻足。

行动举措：

- 使用基于无追索权的银团贷款，使贷款人只能使用贷款资助项目产生的利润偿还贷款；
- 在项目规划之前，现有的土地所有者和地权持有人成立协会，以促进重建项目的有关对话，并在地权持有人（近 80% 的地权持有人为个体户）之间达成共识；
- 该协会作为项目领导组织，负责处理 400 多名成员的意见。它成功解决了地权持有人的问题，如将地权转为项目权利等；

六本木山在工作日接待的游客量为近 10 万人次，其办公室和商业机构约有 2 万名员工，当地居民为 2000 名左右。

技术 2：互连互通的街道网络

描述：互连互通的街道网络和小型网络设有大量短程通道和十字路口。¹⁸³ 街道连通性是衡量街道网络连通密度和路径直达程度的标尺。

针对问题：交通运输业的温室气体排放量日益增多，为应对这一挑战，可以建造快捷高效的交通运输系统和互连互通的街道网络。研究证明，在给定收入水平、能源使用量和二氧化碳排放量的情况下，采取该举措有助于减少出行车次。^{184,185} 尽管如此，自 1975 年以来，在人口总数排行榜靠前的 134 个国家中，90% 的国家的街道连通性呈不断下降状态。¹⁸⁶ 由于出行者没有其他路径可选，导致交通拥堵加剧，因此街道连通性也随之下降。¹⁸⁷

与都灵、巴塞罗那和巴黎等欧洲城市相比，中国城市的十字路口往往更少，十字路口之间的距离也 longer。¹⁸⁸ 一个由超级街区组成的中国社区，其街道连续性也往往比曼哈顿或罗马少 5-20 个。¹⁸⁹

影响：2016 年，中国交通运输业的二氧化碳排放量达 9 亿吨，而通过提高街道连通性有助于减少交通运输业的二氧化碳排放量。¹⁹⁰

事实上，研究表明，建造互连互通的街道网络可带来诸多好处，如，改善交通流的分布，增大街道网络容量，同时减少机动车的出行车次。¹⁹¹ 犹他州街道连通性研究的一项分析显示，推行街道连通性替代方案可显著缩短街道网络出行时间，减少延误时间和车辆行驶里程数。可以说，经优化升

级的互连互通的街道网络所产生的效果可以和拓宽道路相互媲美，多数情况下，甚至会比拓宽道路更令人满意。¹⁹²

阻碍因素：专家认为，街道网络在本质上与城市中有赖于它们的许多其他资产（如房屋、办公室和桥梁等）相互关联。因此，从成本和可行性角度来看，整改街道网络并非易事。快速的政策响应（包括监管和定价工具）是避免在城市化进程的最后阶段建设更多连通性更差的街道网络的先决条件。能够为城市规划者提供道路网络规划和其他措施方面的指导。¹⁹³

关键要素：交通：公路网与交通问题有直接相关关系。

示例：荷兰乌特勒支豪登（Houten）¹⁹⁴

背景：荷兰豪登市的设计和建设都体现其优先考虑骑行者和行人，在此方面是一座堪称完美的新型化城镇。

行动举措：

- 选择性优先通行：是一种城市规划和设计方式，允许绿色出行者比汽车驾驶员优先通过某些区域；利用积极的交通方式和公共交通代替机动车辆来连接街道网络；
- 制定混合型土地利用政策，支持绿色出行方式；
- 制定共享单车和共享汽车相关法律规定；
- 设置自行车停车位；
- 动员企业加入绿色出行行列，开展绿色骑行宣传教育活动；

豪登市在落实上述行动举措之后，实现了公共交通便利化，减少了机动车出行车次，提高了绿色出行安全水平，同时也增大了居民的活动量。

领域 5：食物

到 2050 年，城市将消耗 80% 的粮食，这意味着世界上大部分的农村活动都与城市息息相关。¹⁹⁵ 粮食系统作用不可小觑，其生产造成了全球高达 30% 的排放，并被认为是生物多样性丧失的主要驱动因素之一。^{196,197} 此外还伴随着营养不良和肥胖等健康问题，《饮食与柳叶刀》委员会在一份具有里程碑意义的报告指出：“食物是优化地球上人类健康和环境可持续性唯一且最强有力的杠杆。”¹⁹⁸

在城市中推广实行的技术将在推动这一杠杆走向更加可持续和更健康的未来方面发挥重要作用。数字技术和第四次工业革命技术可以通过塑造需求、促进价值链联系和创建高效的生产系统来加速粮食系统的变革。

技术 1：替代蛋白

描述：替代蛋白是一种能够复制出动物源蛋白（肉类、牛奶、鸡蛋、鱼类）的味道、纹理、外观和营养成分的食物产品。替代蛋白不含任何动物成分¹⁹⁹，旨在替代传统动物源蛋白食品。替代蛋白种类繁多，包括传统水果和蔬菜（如豆类和坚果）、植物源加工替代品（例如中国传统食物豆腐和最近新开发的 Impossible Burg²⁰⁰ 或 OmniPork²⁰¹，此类新开发的食品是以大豆或豌豆为基础的替代食品）以及尚处于发展初期的人造肉（在实验室里培养出来的肉）。²⁰² 在本研究中，我们重点关注两个领域。第一个领域是已在市场上普及并且较为成熟的新型植物源肉类替代品。生产这类食品需要用到挤压加工等先进加工技术。第二个领域是人造食品。人造食品在可控的实验室环境下，通过对活体动物细胞进行体外喂养与培养而获得，尚未在市场上普及。Beyond Meat 和 Impossible Foods 等企业正在大规模生产植物源肉食品，且愈发受到消费者欢迎。相比之下，人造肉依然是一项不太成熟的技术。

针对问题：当前中国人平均每年摄入 60.59 千克肉制品，远远低于美国人（约 124.1 千克）和西欧人（60 至 100 千克）的肉类摄入量，但增速较快，且中国肉类总消费量十分庞大。²⁰³ 然而，《饮食与柳叶刀》委员会²⁰⁴ 最近的研究对这些数据有一些新的解释：研究表明，每天减少 14 克或每年减少 5.1 公斤的红肉摄入量，以及每天减少 29 克或每年减少 10.6 公斤的家禽摄入量，将对人类健康和地球资源的保护产生积极的影响。

因此，2016 年中国居民膳食指南建议人们少吃肉，并制定了在 2030 年前将肉类消费量降低 50% 的目标。²⁰⁵ 这一 2016 年的建议虽然是从膳食健康的角度出发，但它有可能帮助中国应对当前面临的多项挑战。

首先，动物源蛋白属于资源密集型产品。一般来说，用于生产动物的与基于植物的蛋白质相比有着较高的饲料转化率（将饲料转换为食物的效率衡量指标），来源于鸡肉、鲑鱼、猪肉和牛肉的蛋白质之间差异很大，转化率分别为 1:1.7、1:1.2、1:3.9 和 1:8。²⁰⁶ 动物源蛋白生产同时需要消耗大量水源，且高度依赖原料，而原料的生产会导致土地退化和森林砍伐。在全球范围内，畜牧业生产约占全球人为温室气体排放的 15%。^{207,208}

其次，中国需要从全球进口大量动物食品和动物饲料以满足中国人口的动物食品和粮食需求，造成中国对进口的严重依赖。这一问题由于非洲猪瘟和禽流感等新出现的病媒传

播疾病而进一步恶化，因为这些疾病给中国的猪肉和鸡肉供应带来了直接冲击。²⁰⁹

影响：植物源肉类和人造肉均能帮助降低温室气体排放，减少土地向牧场和饲料的转化，并减少对水等其它自然资源的消耗，进而显著缓解传统肉类生产技术给环境造成的负面影响。例如，每天用一份 200 千卡的牛肉代替植物蛋白，可以减少 26% 的排放量。²¹⁰ 此外，根据中位数统计，植物源肉类生产能够分别将水资源消耗和土地资源消耗降低 95.5% 和 93%；²¹¹ 而人造肉对土地资源和水资源的消耗比动物源肉类分别低 99% 和 82%-96%。²¹² 对肉类替代品的生命周期评估工作还在进行中，且将高度依赖是否使用可再生能源模型来实现持续增长。²¹³

阻碍因素：肉类具有重要的社会功能，在许多社会中，肉类消费象征着地位或好客。除此之外，植物源替代蛋白的普及面临销售、价格和消费者接纳度/偏好等方面的阻碍因素。

政府需要开展投资并制定政策来支持植物源替代蛋白的销售和合理定价，同时还需要通过调整监管框架，为生产商提供动力以加速替代蛋白的开发和普及，尤其是那些能够带来环境和健康裨益的替代蛋白。人造肉的开发尚未具备商业化条件。根据各国对可再生能源的投资范围，政府为人造肉提供大量投资和补贴能够推动人造肉的商业化进程。

在替代蛋白的消费者接纳度方面，禽流感和非洲猪瘟爆发后的调查研究显示，许多消费者对替代蛋白的看法有所改观。²¹⁴

因此，政府可以采取以下做法：

- 促进相关研究，获取更多替代蛋白的健康和环境裨益的相关数据，例如提供津贴以及/或帮助对接私营部门和投资者；
- 开展针对投资者和消费者的沟通计划；
- 进一步完善膳食指南，支持个人蛋白质摄入来源的多元化；
- 增加对替代蛋白产品的政府采购力度，将其用于政府资助的餐点和宴会；
- 进行财政和政策干预，如重新分配公共投资，促进低外部性食品的生产，取消有利于高外部性食品生产的不当激励，或突出产品差异的标签要求。²¹⁵

技术 2：食品价值链的数字化和第四次工业革命技术

技术 2a. 数字食品平台

描述：数字食品平台将从生产到消费的各个供应链环节连接起来，使客户与生产商直接对接，以此保障新鲜农产品的便利供应。包括食品订购和支付在内的所有操作，均可借助微信和支付宝等平台在线完成。将生产商（供应端）与消费者（需求端）直接对接，可以营造高度信任的环境，并保障资源的高效配置。各类数字食品平台如今正在兴起，包括

针对农产品和食品采购的 B2B 平台，以及可使农民轻松将产品直接卖给消费者和餐饮供应商的农产品销售平台。

在 COVID-19 爆发之前，网络食品配送业务在中国占有 650 亿美元的市场，在 COVID-19 流行期间，中国领先的本地食品和配送服务团购网站美团（Meituan）的在线食品销售额飙升了 400%；²¹⁶ 同时京东的新鲜食品的销售额也增长了 215%。²¹⁷

针对问题：国际食物政策研究所称，从食物生产到消费的整条价值链上，尽管存在着显著的不确定性和区域差异，全球食物浪费率仍高达约 30%。²¹⁸ 当生产商和消费者之间存在多层中间商时，就很难保障食物新鲜度，也很难减少食物浪费。在这种情况下，许多商店会出现产品过剩的情况，并最终导致浪费。²¹⁹

影响：如果实施得当，数字食品供应链可将粮食损失率降低 50%。考虑到中国每年生产 8.35 亿吨玉米、大米、蔬菜、甘蔗和小麦，减少粮食损失率可节省多达 1.25 亿吨上述农产品。²²⁰ 此外，具有较高价值的农作物，如水果和蔬菜，以及奶制品和肉类，在供应链上更容易出现食物的损失和浪费，这意味着经济效益将会按比例增大。

数字平台还能为农民提供技术支持，在提高粮食生产效率以及传达需求方面（尤其是在供应链中断的时候）为农民提供建议。通过将消费者与农民直接联系起来构建一个高效的体系，进而在生产商和消费者之间建立信任。

小毛驴市民农园是首家将这一模式应用到中国的农场，旨在为消费者提供新鲜健康的食物。该企业通过社交网络将消费者和生产商连接起来，并为那些有意采用这一模式且希望使用更具可持续性的技术的农民提供咨询。截至 2017 年 11 月，中国有超过 500 家农场采用小毛驴市民农园建议的模式。²²¹

人工智能(AI)通过分析环境温度、降雨、土壤盐度等数据，帮助农业专业人员合理规划生产，并最终提高作物产量。腾讯正积极参与“人工智能+农业”，并已取得初步进展。在“互联网+农业”、“互联网精准扶贫”等政策的推动下，深圳武谷网络科技推出了在线平台，帮助农民解决传统农资销售渠道单一、农业技术知识匮乏等问题。食品数字平台美菜(Meicai)帮助农民向餐馆销售产品，在今年最大的一笔农业科技交易中筹集了 4.5 亿美元。

阻碍因素：该技术的大规模部署面临的主要障碍就是农民不能充分利用数字化工具，缺乏应用知识。政府应投入相关资源，加强基础设施和能力建设，通过现代化技术来提高农民对相关知识和信息的掌握。

此外，政府还需要努力保障数据和信息的公平传播，不仅打造一个有竞争性的市场，而且还能保证小规模平台的生存空间。更为重要的是，数字化平台能够增强整个食品系统中不同利益相关者之间的协作，从而增强包容性，并赋予整个供应链中的小规模生产者和分销商权力。

技术 2b. 促进食品溯源和透明度的技术

描述：通过用技术手段进行食品溯源，可以帮助我们将当前粮食系统中“不可见”的因素变得“可见”。如此一来，我们便可以对粮食生产、销售和消费等各个环节的环境、经济、健康和社会影响进行全面跟踪，进而提高整个粮食系统的透明度。

具体而言，食品溯源技术能够：

- 使食品企业和政府更高效地“发现、隔离和处理食品安全问题来源”，从而更好地识别、应对甚至预防食品安全问题；
- 满足消费者对食品透明度的需求，使他们能够做出知情购买决定，帮助他们降低买到非法、不道德或假冒产品的风险。
- 3) “帮助有效识别供应链中的薄弱环节，促进供应链优化并减少粮食损失”；
- 通过“验证食品来源声明”来验证食品可持续性声明，督促企业和政府履行承诺，并以更低成本更加准确地实时衡量粮食生产带来的社会和环境影响。²²²

技术创新能够改善食品供应链的可追溯性。物联网（IOT）技术可用于实时、全面、连贯地收集数据。区块链技术可用于有效跟踪、整合和分享供应链数据，而食品感应技术可用于识别有关食品结构的信息并甄别食品真伪和安全性。

例如，IBM 和沃尔玛联手开展试点研究，展示了在区块链上进行食品跟踪的优越性。该试点研究显示，用区块链跟踪信息只需要 2.2 秒，而用之前的方法需要大约七天时间。借助区块链信息跟踪流程，食品企业可以更快回应食品污染事件，并对污染食品进行选择性召回。IBM 如今推出了 IBM Food Trust 平台，旨在吸引更多的食品和农产品企业加入其区块链食品溯源系统。²²³

针对问题：“由于全球供应链的高度复杂性，很少有农业企业或杂货商能够沿着供应链对食品进行无缝跟踪。”²²⁴

食品缺乏可追溯性除了会引发食品安全问题，还会导致消费者难以验证食品来源。提高食品可追溯性可以打击假冒伪劣并实现健康、营养和环保的目标。²²⁵ 消费者如今愈发关注食品的来源和安全性。研究表明，71% 的中国民众认为食品安全是一个大问题或比较大的问题。²²⁶

影响：食品溯源技术可以帮助解决粮食系统中存在的诸多问题。这些技术将能够提高供应链的透明度，加强食品生产实践透明度，完善对消费者的食品信息披露，减少假冒伪劣，保障食品安全，以及优化食品供应链透明度，并且包括减少粮食损失。²²⁷

阻碍因素：食品溯源技术在改善食品供应链方面拥有巨大潜力。但是，“部署这些技术可能会对企业有着较高的要求，包括会产生额外成本。”在缺乏有效政策支持的情况下，“这些要求将有利于发达国家的大型生产商或企业，因为它们

更有能力承担额外成本并进行相应调整”。为了最大限度地发挥食品溯源技术的作用，我们需要沿着“政策，标准，经济模型”这一推广路径，循序渐进地实现规模化部署，这样才能使欠发达地区的小规模生产商和消费者从食品溯源技术的应用中获益。²²⁸

技术 3：室内/垂直农业

描述：为了在城市内高效开展农业生产工作，人们借助水耕栽培、城市垂直农业、现代 LED 照明和种子选育等创新技术，培植适合在室内生长的作物。这些农业技术是指在室内，通常是垂直堆叠的层面上种植作物，有助于节省种植空间，并运用 LED 照明和水耕栽培等创新技术。²²⁹

水耕栽培是指在富含矿物营养的液体中种植作物的一种种植方法。像气雾栽培这样的育种方法是在作物的根部喷上一层薄雾。该种植技术不需要使用土壤，而水资源可被循环利用。此外，该种植技术还可以控制营养水平，从而减少浪费，降低成本，并避免产生某些意外后果，例如肥料流失进入江河。²³⁰ 在城市环境中，水耕栽培可在屋顶上或室内农场中进行。

LED 照明是一种非常高效的光照来源，能量消耗极低。LED 灯泡价格在近几年剧降，而功效已从 2010 年的 40 流明/瓦增长为今天的 150 流明/瓦（相比之下，白炽灯为 16 流明/瓦），并且到 2030 年有可能达到 200 流明/瓦²³¹。

这两个趋势将进一步从经济学的角度来促进室内农业发展。如今，借助 LED 灯，农民能够种植比某些室外作物单株产量更高、更具营养价值的蔬菜和其他作物，并且农民能按照正确的频率来产生光合作用所需的光，从而最大化地提高种植效率。

针对问题：2011年，中国的城镇化率突破50%。²³²因此，中国城镇居民对食品供应和粮食安全的需求在不断增长。此外，中国人均耕地面积约为0.08公顷，仅为世界人均耕地面积的40%；中国农业用地面积正在以每年300平方千米的速度减少。²³³室内农业在促进低杠杆城市的土地利用、可持续性和健康及营养食品获取方面也有巨大的潜力。

影响：室内/垂直农业可为城市当地居民提供价值含量高的新鲜农产品，如沙拉、草药、水果和蔬菜等，这些都可以使饮食更加均衡。²³⁴

一些早期的研究表明，全球有7万平方千米的土地可用于城市农业项目，其中80%的面积来源于空置的城市土地。中国有1.4万平方千米的土地可用于城市农业项目：如果将这些土地全部投入农业生产，中国将每年额外产出3600万吨食品。²³⁵室内种植可以在改造后的仓库中进行，从而能更好地对水泥等高嵌套排放材料进行循环利用。²³⁶

举例：新加坡如何制定城市农业项目拓展计划^{241,242}

背景：为改善本国粮食安全状况，去年新加坡食品局（SFA）已制定目标，将在2030年前将本地生产的粮食比例提高至30%（目前该数据略低于10%），进而减少气候变化、出口禁令和运输路线中断等影响全球粮食市场的因素给自身造成的风险。

实现目标的举措：

- 借助自动系统、机器人和传感器等技术，用更少的土地种植更多作物。
- 鼓励在屋顶或空置建筑物等另类场地开展城市农业。
- 以人才培养为目的，与当地高校合作开启水产和农业科技、城市农业和规划等领域的学位课程和专家项目。政府同时也已采取措施引进国际最佳实践。例如，2017年，新加坡农民组队参观中国数家高科技农场和挪威的某个水产科技展。
- 动员消费者支持本土农产品，开展教育类和公关宣传活动，例如与超市联手在当地举办农产品展览会。

在落实现代城市农业支持政策时，政府可以将城市视作整体食品系统的一部分（该生态系统也包含农村地区），否则就容易将环保目标和粮食自给自足目标混为一谈，并且影响农村地区农民的生计。在落实这些政策时，应考虑建立更为清晰和深入的城乡联系。

上述种植技术和方法一旦成功部署，就可以促进蔬菜消费，为所有城市居民提供健康、可持续和安全的食品。如果这些创新技术在城市取得了很好的效果，那么它们就会同样适用于农村地区。

在过去的几年里，已经出现了一些室内和垂直农业的例子，一些城市和初创企业正在尝试使用这些技术。例如，广州人口数量预计将在2020年达到1517万（约为2017年的两倍），²³⁷如今，该城市已在屋顶上安装了14个水耕栽培系统，总面积达1600平方英尺（大约149平方米），每年可生产价值6000美元的蔬菜——相当于该城市2015年最低年工资标准的两倍。²³⁸另一个例子是格陆谷公司（Galuku），通过向中国销售水耕栽培系统，为中国农民提供农业生产支持，帮助他们将作物产量提高50%-150%。²³⁹

阻碍因素：除了高昂的初始投资成本（在发展规模和其他因素的影响下已开始下降），水耕栽培的应用还面临诸多其他障碍，包括：需要对相关人员进行专业培训；某些潜在传播的病原体；某些作物会对营养不良的情况作出快速反应；适合这些先进种植技术的作物种类数量有限。²⁴⁰

领域 6：水

中国拥有世界 21% 的人口，但淡水资源仅占世界总量的 7%，这意味着多年来，水资源保护和再利用一直是中国政治议程上的重要议题。²⁴³ 水可以被认为是城市中最重要资源，这就意味着，尽管这一问题经常被忽视，但必须创建循环经济，优先考虑水的再利用而不是淡水的使用。

这种循环体系不仅将保障水资源的安全性，而且还将减少能源的使用，在某些情况下，还能产生能源。本节中的这些技术展示了城市如何通过废水再利用、更好地吸收和储存水、减少诸如渗漏等低效现象，来建立水循环经济。

技术 1：污水处理(WWT)，水循环经济

描述：污水处理是指采取物理、化学和生物的综合处理方法，去除污水中的固态物质和有机物，有时还有营养物和病原体。²⁴⁴ 污水处理通常包括三个阶段：一级处理，固态废弃物在水中物理沉降；二级处理，采用生物过滤、曝气和氧化的方式，旨在进一步净化污水；三级处理，去除污水中的磷酸盐和硝酸盐，从而使经过三级处理后的污水可以排入脆弱的生态系统（如河口、低流量河流、珊瑚礁）。^{245,246}

针对问题：根据联合国 2017 年的一项研究，全球超过 80% 的用水最终成为污水。废水未经处理就排放到环境中，必然会造成健康危害，并对经济活动产生潜在的负面影响。²⁴⁷

近二十年来，由于中国的城市化和经济快速发展，中国的污水排放量大幅增加，从 2000 年的 415 亿立方米上升到 2018 年的 699 亿立方米。^{248,249,250} 中国政府目前还应努力解决地下水井的污染问题。²⁵¹

影响：污水处理可以对社会和环境产生积极影响，降低健康风险，保护生物多样性并创造可观的经济效益。如果实施得当，污水处理可以实现以下成效：

- 清除污染物；
- 增加再生水并改善再生水水质；
- 利用污水处理产生的副产物获取能源；
- 降低下游水的处理消耗成本；
- 完善城市垃圾循环，向循环经济顺利过渡。

此外，我们必须认识到，污水是唯一正在“增长”并可解决缺水地区（城市）燃眉之急的水资源。

扩大污水处理网络并优化污水处理工厂可以帮助中国解决“黑臭水体”问题；为防止污水直接排入城市河流，中国将需要约 1,500 亿美元来建造庞大的污水管道网络。²⁵² 优化后的污水处理厂可回收高达 90% 的甲烷气体，生成城市清洁发电资源，同时完善城市垃圾循环系统。^{253,254}

阻碍因素：有效实施污水处理战略需要积极投入，全面覆盖，同时制定长期计划，推动系统管理以及安全可靠和富有成效的污水回收利用体系。当前的主要挑战是确定适当的污水处理和再利用商业模式，实现“变废为宝，让污水成为经济产品”的目标。²⁵⁵

推广污水处理的主要障碍是缺乏充足的资金支持来支付基础设施建设的前期成本以及化学品和工厂维护和运营的常规成本，这是有效实施污水处理战略的必要条件。目前，污

水处理的主要投资来自公共预算，但是专项政府投资基金还未到位。

此外，监管能力也是一个障碍。清华大学和华东师范大学的研究表明，中国尚未完善有关污水处理厂运行以及污水管控的相关立法；²⁵⁶ 同时没有明确的政策或机制来落实“污染者付费原则”，从而使污水处理厂重要的收入来源难以得到保障。

关键要素：

- **能源：**污水处理厂采用污泥厌氧消化技术，就地供热发电。在厌氧消化过程中，微生物分解污水中的有机物，在这个过程中产生的甲烷气体随后被用于供热发电，为工厂运转提供动力。
- **建筑：**污水处理过程可以分离其他有用的副产品，例如能够用于制砖的石膏。
- **食品：**污水处理也可以促进养分捕捉流程，变废为肥。比较有代表性的例子就是威立雅（Veolia，法国跨国废弃物加工集团）和雅苒（Yara，化肥制造商）达成合作，从欧洲各地的副产品、剩余材料和废弃物中回收肥料矿物质。²⁵⁷

示例：eMalahleni 成为南非污水回收利用的参考模式^{258,259}

背景：受英美资源集团（Anglo American plc）委托，eMalahleni 在 2007 年推出污水处理计划，对活跃的采矿作业产生的矿井水进行回收处理。该计划对废水排放进行合理管理，以可持续的方式对矿井废水进行回收利用，兼顾了矿企与当地社区的双重利益。截至 2015 年底，eMalahleni 每天可以净化废水 30 立方米，满足该地区高达 20% 的饮用水需求。

行动举措：

- 采用高效回收沉淀反渗透（HiPRO）工艺，以遵循世界卫生组织（WHO）的“饮用水质量指南”和南非水务林业局（DWAF）的“水务生态系统指南”；
- 推出双重质量控制系统，确保饮用水符合 SANS241 标准；不符合 SANS241 标准的水不会进入市政供水系统，而是返回污水处理厂进行重新处理；
- 水库分批储存；
- 与南非电力公司 Eskom 合作开发研究项目；
- 吸引高地草原煤田的矿业竞争对手及地方政府参与污水处理，建立共赢合作关系。

技术 2：城市防洪和雨水管理

描述：城市防洪和雨水管理包括旨在减少雨水流入街道、草坪和其他场所以及改善水质的多种技术与工艺，²⁶⁰ 包括海绵城市、湿地管理系统、50L 家庭和适应性城市设计。

海绵城市是一种城市设计理念，旨在利用多种生态友好型技术，被动吸收、净化和利用过量降水，并将防洪纳入城市规划。这些技术包括透水道路、屋顶花园、雨水收集、雨水花园、池塘和湖泊。^{261,262} 中国在 2014 年启动海绵城市试点项目，涉及上海、迁安、镇江、萍乡、武汉等 30 个大都市。^{36,263}

湿地管理包括保护、改造和管理湿地，同时控制城市洪水、改善水质和保护环境。

适应性城市设计是一种基于城市复原力的规划理念，以更加灵活的方法管理洪水，使城市具备调节和适应城市洪水的综合能力。²⁶⁴

针对问题：全球气候变化引发“暴雨或持续降雨、风暴潮和突发性融雪”，加剧了城市洪涝等“城市病”。^{265,266} 城市排水（防洪和雨水管理）不畅可能对城市居民和经济造成毁灭性影响。在中国 654 个大城市中，有 641 个经常遭受洪水袭击，而沿海城市的情况更加糟糕。²⁶⁷

到目前为止，在市政水务工程师的指导下，地方政府仍然通过灰色基础设施和加固工程来应对城市的防洪问题。²⁶⁸ 然而，灰色基础设施让大量洪水远离市区倾斜而下，往往会加剧下游风险，由于增大的水量将能源和电力引入河流，生态和基础设施安全也会受到威胁。

影响：海绵城市理念可以对中国大城市产生两大积极影响，一是改善城市的水资源管理，二是缓解城市化对自然生态系统的影响。通过采取“改善渗水、滞水、蓄水、净水、排水、节水和回用水”等措施，海绵城市可以缓解洪水，减少雨水径流，促进地下水补给，以及提升各种用途（工业、农业、家庭）的可用性。^{269,270}

在 2017 年对 30 个试点海绵城市的调查证实，雨水的回用性可达到 70% 至 90%。²⁷¹ 此外，香港城市大学的一项研究表明，实施这一理念可以周边气温最多将降低 1.3 摄氏度，这也为应对大城市的气候变化和气温上升带来了新的机遇。^{272,273}

阻碍因素：城市防洪和雨水管理倡议的实现需要系统且持续的行动，以成功应对技术、物理、财政和监管等若干挑战。

目前至少存在四种技术和物理阻碍因素：一是地理位置，即某些技术可能不适合部分地区的地理和天气特征；二是城市土地稀缺，中国城市人口密集，每平方公里平均人口密度为 153 人，约为世界平均水平的六倍；三是城市规划赤字，即城市增长速度超过规划速度；四是土壤条件，例如，粘土土壤不适合采用上述技术。^{274,275}

财政障碍主要是指融资困难。虽然中央政府每三年都为各试点城镇拨款 6,000-9,000 万美元，约占总成本的 15-20%，但是海绵城市项目的实施成本很高，大部分仍需地方政府独立承担。^{276,277}

关键要素：能源：湿地和城市园林可以降低城市温度，减少为建筑物降温的能源需求。²⁷⁸

示例：临港地区引领海绵城市理念的全面实施

背景：2014年，中国启动海绵城市倡议，积极投资洪水蓄水项目，最初包括上海、武汉和厦门在内的30个城市参与试点项目。该项倡议将助力试点城市到2020年至少可以吸收和再利用70%的雨水。⁵⁷在2017年对30个海绵城市试点的调查证实，雨水的回用性可达到70%至90%。²⁷⁹

上海临港地区的海绵城市项目最为突出。为了打造中国最大的海绵城市项目，临港地区投资了1.19亿美元进行改造和创新，上海市市政工程设计院表示，这些改造和创新可以为中国大多数缺乏现代化水务基础设施的城市树立学习典范。^{58,59,280}临港地区海绵城市项目总占地79平方公里，其中新建公园5平方公里，水路40公里，人工湖51万平方米，总蓄雨水量达到90万立方米。²⁸¹

行动举措：

- 实施被动设计（如透水道路、透水砖）和雨水园林设计（如草沟、绿化屋顶），以吸收和储存雨水
- 利用智能管理系统（物联网、大数据分析、云计算技术）更好地输送和排放储存的雨水

示例：斯里兰卡科伦坡被列为《拉姆萨尔公约》（RAMSAR）保护区^{282,283}

背景：为了应对科伦坡日益频繁和严重的洪水灾害（平均每年因洪水灾害造成的经济损失高达国内生产总值的1%），斯里兰卡政府在过去十年制定了综合战略，强化城市湿地管理。

项目实施为科伦坡带来诸多好处，包括：

- 减轻城市地区的洪涝灾害；
- 湿地周边环境的气温降低，大大节省人工冷却系统的能源消耗；
- 改善污水处理和再利用；
- 采访碳封存技术，减轻环境污染。

该项目取得良好效果，科伦坡在2018年被列为《拉姆萨尔公约》湿地保护区。²⁸⁴

行动举措：

- 通过整合自然湿地和人工湿地，提高城市水资源系统的存储能力；²⁸⁵
- 建立三个城市湿地公园（其中一个儿童湿地公园还处于规划阶段），从休闲娱乐活动中获取额外收入——专家认为，每年最高创收1,300万美元；²⁸⁶
- 除了自上而下推动项目进展外，采用多方利益相关者参与的方法，鼓励社区积极参与保护湿地；²⁸⁷
- 加强法律保护，促进机构间协调，为城市湿地综合体保驾护航。²⁸⁸

技术 3: 含水层补给管理 (MAR)

描述: MAR 是一种“基于自然”的储水方案, 它利用地下自然形成的蓄水层作为活水水库, 从而可以在干旱季节保障充足的水流。与地面水库相比这一方案需要的土地面积更少, 并且能够减少因为蒸发而造成的水的损失。MAR 可以提供饮用水、灌溉用水和工业用水, 并且有助于实现环境治理目标, 如地下水的平衡与恢复。^{289,73}

针对问题: 采用含水层补给管理技术主要是为了解决中国城市存在的水资源短缺、水资源存储、水资源过度开发以及地下水失衡问题。随着经济的快速发展以及生活水平的提高, 中国的水资源压力指数 (即淡水抽取量占淡水资源总量的比例) 从 2008 年的 20% 上升到 2018 年的 23%。^{290,291,292} 此外, 中国有 50 多个大城市 (包括上海和北京) 发生地面沉降, 即由于地下蓄水层枯竭造成的地表下沉。²⁹³

影响: 如果城市本身或周边地区存在地下含水层, 采用含水层补给管理技术将颇有价值。在中国各大城市中采用含水层补给管理技术可以保障和增加供水, 缓解地下水短缺或失衡问题。²⁹⁴ 印度、荷兰和澳大利亚等国家大力推广这项技

术, 它们的实践证明, 含水层补给管理技术在地下水系统遭受破坏的地区成效斐然, 能够满足高达 10% 的用水需求。^{295,296,297}

然而, 含水层补给管理技术在中国实践的效果仍然微乎其微 (仅占地下水使用的 0.1%)。根据《水文地质学杂志》(the Hydrogeology Journal) 发表的一项研究, 中国对饮用水和灌溉用水的需求很大, 地下水被广泛应用, 而且中国幅员辽阔, 地质地貌复杂, 气候类型多样, 因此含水层补给管理技术在中国有着广阔的发展前景。²⁹⁸

阻碍因素: 实施含水层补给管理技术存在经济、操作和管理三大障碍。

除了需要雄厚的资金支持, 选址是实施含水层补给管理技术的首要前提。只有掌握当地的水文地质知识才能确定是否存在含水层以及它们是否适合应用含水层补给管理技术。同时应当根据天然补给潜力对土地进行评估分级, 在这个过程中可以借助地理信息系统工具 (GIS), 通过分析诸如坡度、入渗率、地下水埋深、水质和土地利用等数据来识别可以进行补给的具体位置。^{299,300,301}

示例: 索尔斯伯里 (南澳大利亚) 含水层补给管理项目: 利用绿色技术增加饮用水供应

背景: 索尔斯伯里 (南澳大利亚) 在 2005 年启动含水层储存、运移和回采 (ASTR) 项目, 并于 2006 年至 2009 年间进行了首次测试, 这是含水层补给管理项目通过绿色技术和天然补给生产饮用水的良好示范。³⁰²

为了解决雨水难以收集的问题 (索尔斯伯里年平均降雨量少且夏季蒸发率高), 澳大利亚政府启动了含水层储存、运移和回采项目, 以重新平衡地下水, 增加淡水供应。³⁰³ 到目前为止, 该系统能够收集 20 万立方米的雨水, 索尔斯伯里短暂而强烈的雨水径流也得以被成功储存。^{89,93}

行动举措:

- 被动处理实施 (雨水收集, 含水层储存、运移和回采)⁹³
- 利用绿色技术和天然补给 (例如通过水井、湿地、池塘), 以自然方式预处理、注入和提取雨水, 提高成本效益⁹³
- 积极投资先进的水处理技术 (如压力膜渗透、改进氧化工艺)⁹³
- 与公众进行有效沟通, 确保环境和公共健康问题得到妥善解决⁹³

技术 4: 无收益水 (NRW) 管理

描述: 如世界银行所述,“无收益水是指进入配水系统但未向用户收费的水”。无收益水的产生是因为存在窃水现象以及基础设施缺陷,即用户计量点、公用蓄水池或输配管道(物理损失)发生泄漏。^{304,305} NRW 管理是一种全面和积极的方法,旨在减少水在到达用户之前的流失量。无收益水管理技术包括泄漏检测、管道评估、压力管理和水力建模。³⁰⁶

针对问题: 根据《2016 年城市供水统计年鉴》,中国的年平均失水率为 12-14%。³⁰⁷ 虽然这一比例远低于 34%的世界平均水平,但远高于哥本哈根等主要城市保持的 5%。³⁰⁸ 无收益水是城市供水系统最严重的问题之一。³⁰⁹

影响: 推广无收益水管理技术至少可以从四个方面助力中国的城市发展:

1. 减少水的消耗: 有效实施无收益水管理技术可以严格控制配水网络的泄漏,大大减少水的消耗;
2. 降低能源需求: 当水的损失减少时,对地下水的需求就会随之减少,抽水作业也会有所放缓,⁹⁵ 进而节约能源并降低温室气体排放。巴西和阿布扎比的管理实践证明,每减少 1 立方米的水损失就可以节约 0.75 到 4 千瓦时的能源消耗;
3. 增强气候复原力: 增加能源节约与降低温室气体排放和水消耗的协同效应有助于减缓气候变化;³¹⁰
4. 提高水务公司的财务绩效:³¹¹ 水务公司的财务业绩提高取决于业务改进: 根据伯利兹水务局 (Belize Water Service) 的研究分析,减少无收益水可以增加营业收入(通过销售节约的水)并降低营业成本(涉及水的生产和抽取)。

阻碍因素: 水务公司存在的具体问题和系统性问题是采用无收益水管理技术的主要障碍。水务公司能力薄弱,缺乏严格的财务管理,而且与建造新的水处理设施相比,检测和修复泄漏付出的努力与成效不成比例,因为上述种种原因,在减少无收益水方面并没有取得有效进展。⁹⁶ 系统性障碍则涉及激励机制低效(即需要起草更加完善的绩效合同)。
98,99,312,313

关键要素: 能源: 随着无收益水的减少,水务公司只要生产更少的水就可满足用户需求,这就大大降低了能源消耗。

第三章：跨领域议题

以上所述的技术和技术组合可以有效地帮助中国实现城市的绿色转型。然而，这些技术和领域本身都不能孤立存在。城市是一个系统，因此，一些重要的框架和主题将贯穿绿色技术应用和实施的各个方面。基于社会和环境回报的规模以及绿色增长和创造就业的潜力，循环经济、第四次工业革命、数据管理和性别问题被列为跨领域议题的优先事项。

议题 1：第四次工业革命

第四次工业革命对绿色城市发展的重要性

第四次工业革命（4IR）是创新技术的跨界融合，包括人工智能、机器人、物联网（IoT）、无人驾驶车辆、3D 打印、纳米技术、生物技术、材料科学、能量储存和量子计算，³¹⁴ 它们彻底改变了人们的生活、工作、社交以及获取城市服务的方式。第四次工业革命将会推动城市加速可持续发展，为人类创造美好未来。然而，这种积极变革并非水到渠成，城市领导层必须具有前瞻性，以及敏锐的视角，从而推动这场变革更好地造福社会各界。

发展速度快、覆盖范围广和系统影响大是第四次工业革命的主要特征。世界经济论坛创始人克劳斯·施瓦布认为：“与人类以往经历的数次工业革命截然不同，第四次工业革命不再以线性速度发展，而是以指数级速度增长。此外，第四次工业革命广泛融合创新技术，并且正在日益淡化物理世界、数字世界和生物世界之间的界限，几乎颠覆了所有国家的各行各业”。³¹⁵

对城市而言，第四次工业革命可以被视为一系列的创新技术，可以推动城市基础设施快速融入数字化建设。互联网的普及与 5G 网络的高带宽让互联互通无处不在；物联网技术的发展为智慧城市建设赋能，通过传感器网络可以监测建筑物温度、管道泄漏以及污水中病毒传播等城市管理的方方面面，进而推动数字化的全面发展。物理空间的数字化以数据流的形式创造了数字孪生城市，可以借助人工智能算法进行管理，亦可通过区块链技术进行记录和交易。对数字数据的处理操作反过来又会影响城市的物理基础设施，从而释放无限可能。

第四次工业革命对六大领域的交叉影响

第四次工业革命可以在诸多方面对城市建设产生积极影响：首先，第四次工业革命技术可以显著促进混合**土地使用**。事实上，数字技术可以帮助重新规划、调整和优化城市空间，最大限度地发挥空间效益。例如，人工智能技术与在线平台的结合可以根据当地居民的生活习惯和消费需求来监控和调整空间使用。³¹⁶

其次，智能城市资产可以释放**循环经济**潜力，减少浪费，提高社会资源利用率。³¹⁷ 物联网可以提供资产位置、状况和可用性的相关数据（如共享单车的位置和可用性，以及供水管道状况等），这些数据有助于延长资产的使用寿命（通过预见性维护）、提高利用率（通过共享）或增加使用周期（通过产品再利用）。³¹⁸

再次，如“**能源领域**”中所述，第四次工业革命技术可以通过分散式可再生能源发电系统（包括光伏建筑一体化）推动向智能电网或能源互联网的顺利过渡。区块链等创新技术

进一步改善了分散式能源网络，包括实现本地能源点对点交易、动态定价和供需平衡最优化。³¹⁹

区块链也有助于解决**水资源短缺**问题。基于区块链的智能水资源市场可以通过提供会计、审计和交易平台，取代中介机构，有效配置水资源。根据洛杉矶一项模型研究，由区块链驱动交易可以促进盈余系统和赤字系统开展水交易以减少水资源不平等；推动水资源系统探寻额外的水源供应源，如雨水和废水；提升水资源供应的多样化；并针对废水回收建立激励机制。³²⁰

另外，更智能的风险预测和可再生材料可以预测和减少相应的气候冲击和自然灾害造成的负面影响。³²¹ 预见性人工智能分析、物联网和传感器可以帮助及早识别城市的震动或海平面变化，从而预测地震、飓风、洪水和龙卷风，并快速触发城市作出适当的应对措施。³²² 自愈混凝土等先进材料可以吸收能量，帮助建筑物抵御地震。³²³ 在新冠病毒大流行期间，这些技术也被应用于强制隔离、接触跟踪和流动建模领域，以控制和预防疾病传播。³²⁴

最后，在不久的将来，新一代量子传感器也将大大提升城市的“感知力”，推动数字化发展。量子传感器能够通过操作和感应原子来监测引力和磁场的微小变化，初期可以用于监测地下深处，绘制现有地下管道和电缆的位置图，以便更好地进行城市建设和维护；之后可用于开发基于光子而非激光的激光雷达（无人驾驶汽车的基础技术），大大提升雷达性能；最终可以用于监测单个神经元活动，实现直接的脑机交互。³²⁵

在中国城市部署第四次工业革命技术

受益于中国政府强大的投资能力和清晰的长期愿景，中国已经成为全球积极部署第四次工业革命技术，快速向智慧城市发展过渡的大国。中国是全球最大的数字技术投资国和采用国之一。³²⁶ 世界三大互联网巨头，即百度、阿里巴巴和腾讯，正在打造包罗万象的颠覆性数字生态系统，深刻改变了电子商务，支付和数字互联规则。³²⁷ 发展“突破性”创新一直是中国的专长，由此诞生了诸多人工智能和 5G 技术公司，例如全球领先的电信硬件供应商华为。³²⁸

迄今为止，中国 31 个省份已投资超过 7 万亿美元，推进 2.2 万个新型智能基础设施建设项目。2020 年 3 月，中国重申“新型基础设施建设”行动倡议，重点投资七大领域项目，涵盖 5G 网络、大数据、特高压输电、城际交通、人工智能、工业物联网和新能源汽车充电桩。除此之外，中国三大电信运营商还计划建设 55 万个 5G 基站，为在公共领域部署人工智能、物联网和机器学习技术提供技术支持。

适当治理，成功推进第四次工业革命

第四次工业革命具有复杂性、变革性和动态性特征，因此需要新型治理方法以应对新兴技术相互关联的发展动态，加速数字化转型的积极社会影响，同时尽量减少潜在的相关风险。³²⁹

在未来几年，中国的治理方法将不可避免地面临两大挑战：

- 围绕集成技术制定以人为本的长期愿景；
- 采用灵活的方法，推动而非阻碍创新发展。

第四次工业革命推动技术快速变革，因此需要开发更具目的性且以人为本的全新技术整合模式。³³⁰ 例如，无人驾驶汽车的应用与推广让人们可以住得更远，把通勤时间用来工作或睡觉，这就有可能促使城市扩张的发展更为极端。规划者需要预见到这一点，并为人口更加稠密的城市制定计划，从而更好地服务于所有人群，**以人为本，追求长远发展。**

其次，第四次工业革命技术发展成熟的速度很快，因此需要采用灵活的治理方式，对新技术试点落地，同时与私营部门和学术界等其他利益相关者开展密切合作，并根据结果进行调整。中国可以采取**灵活的方法积极利用第四次工业革命技术**。有助于达成这一目标的部分有效措施如下所示：

- **试点城市：**被选为新技术或成套新技术孵化器的城市。通过与私营部门和学术界开展合作，政策制定者可以利用在试点城市收集的数据在其他地方进行创新成果复制并制定相应的支持政策。试点城市也可以是检验本报告中所述新技术的一种创新方式。

- **政策实验室：**该项行动倡议旨在设计新型政策和公共服务，引导创新向可持续性和包容性发展。³³¹ 英国内阁办公厅下设政策实验室，通过打造创新空间，推动政策团队以更加开放、数据驱动、数字化和以用户为中心的方式开发相关知识和技能，为英国政府提供新型政策工具和技术。^{332,333}

- **监管沙盒：**公司测试创新产品、服务和商业模式的安全空间，无需考虑开展实验活动面临的常规监管和财务障碍（即行政许可）。³³⁴ 瑞典的无人驾驶汽车（Drive Sweden）、巴林的金融科技以及新加坡的能源创新均是司法管辖区监管沙盒的成功案例。^{335,336,337}

系统效率

全球一次性能源产量（约 14035 Mt³³⁸）中，能转化为有用能源的仅占 33%。剩下的 67%则是在发电、运输、重工业和建筑的低效中损失掉了。可以通过部门优化（如提高电气化、电网效率、建筑和工业能源效率）和跨部门优化（如通过更好的部门交叉设计来优化能源的组合使用）来解决这些低效率问题。以系统性的方式来解决这些低效率相关的问题被称为系统效率，即通过跨部门的能源优化来创造净零碳未来。

城市是系统效率展示优势的主要平台之一。为了实现联合国可持续发展目标、巴黎协定和新城市议程，在能源系统和建筑中建立以城市为中心的能源三角原则（可持续性、恢复力和可承受性）非常重要。

城镇化、人口增长和气候变化是城市必须应对的关键挑战。城市可以通过反思其城市规划、能源政策和建成的居住环境来确保可持续性生态系统和人类健康，而这样的机会是非常有限的。城市地区的人口日益增长，城市也将面临更加频繁和极端的天气事件，以及不断上升的平均气温，因此这一点至关重要。

城市人口不断增长，导致建设和改善基础设施所需原材料的增加，从而引发能源需求的增长。因此，建筑和工程设计的解决方案中也必须解决隐含碳问题并遵循循环经济原则。

为了加快城市向更加可持续的未来过渡，利益相关方确定了以下关键领域来激活系统效率：

- 改善灵活性和能源优化措施，以减少能源、建筑和交通领域的能源需求，包括供暖和制冷解决方案
- 加速终端应用的电气化，特别是在建筑和交通领域，以清洁、可再生能源为动力，并与现代数字化电网相连接，以提高整体系统的弹性
- 数字化使城市基础设施的使用变得更加灵活，并且重新定义了电力的生产、分配和消费方式
- 面临当前前所未有的挑战，数字化平台在城市服务中的应用能够满足城市的转型需求
- 建筑材料的循环性

议题 2：数据治理

数据治理对于绿色城市发展的重要意义

现在，数据已被称为“新的石油”，其对于第四次工业革命的重要性，犹如蒸汽机之于第一次工业革命。³³⁹ 全球每天产生 2.5 个五万亿字节数据，其中大部分来自城市的物联网设备。这些数据蕴藏着丰富的信息，可用于改善城市服务水平、城市系统管理和市民生活质量。

不过，目前只有极少的数据（不足 1%）被用来助力决策和价值创造。数据分散在不同使用者手中，储存于不同系统，缺乏互操作性，因此无法充分释放内在潜力。³⁴⁰ 为了发挥数据对城市的巨大社会经济价值，可以建立结构完善、监管有效的可靠框架来改善数据治理，实现数据的开放、连通和共享。

借助智慧数据治理，城市管理者、私营部门、学术界和其他机构能够收集、分析和解析数据，做出更加明智的决策，解决诸多绿色发展的挑战，例如土地限制、资源效率、废物回收、交通拥堵。³⁴¹

数据治理对六大领域的交叉影响

城市产生的数据分为两类：**公域数据**，是指“国际、国家、区域和地方政府及其他公共机构产生、收集和储存的数据，以及外部机构为政府制作或是与政府计划及服务相关的数据”；**私域数据**，是“私营企业或个人产生、收集和拥有的信息，如客户活动数据、个人数据、商业运营数据和工业数据。”³⁴²

针对公域数据，政府可建立开放平台，免费共享重要数据，如地理、气候、水资源、道路结构、交通图、建筑、能源、空气污染等数据，德国、荷兰、美国、加拿大、巴西、印度等国家已在一定程度上做到这一点。³⁴³ 开放的数据共享可有力改善本报告中提及的各大领域的现状，例如：

柏林通过“开放数据倡议”创建开放数据平台，免费公开 935 个数据集。例如，**交通**数据集就涵盖了从实时公共交通数据到自行车事故地点等各种数据。借助这一平台，企业可为市民开发应用程序，用于城市导航。在阿姆斯特丹，所有交通数据一应公开，包括可用的停车位、拥堵情况、自行车道的位置和出租车停靠点等。³⁴⁴ 数据共享也是“无缝集成出行系统”（SIMSystem）的重要环节。

在美国，“五大湖观测系统”开发平台，共享了伊利湖的浮标和 underwater 探测器所收集的数据，以便使人们获得与有害藻华相关的实时数据。当水污染数据超过一定阈值时，安装在浮标和 underwater 探测器的水传感器就会生成短信并发送给用户。通过这一机制，平台有望帮助伊利湖周边依赖伊利湖为其提供饮用水源的 1100 万民众，从而降低饮用水污染和有害藻类毒素对他们的威胁。³⁴⁵

关于私域数据，与私人拥有的资产一样，这些数据经常在企业或个人之间进行交易。也有一些公司直接参与绿色科技与城市规划，并提供了很多私域数据共享的成功案例。例如：

Uber Movement 软件向城市规划者和会员免费开放从全球 700 多个城市数百万次 Uber 出行中收集的匿名数据，帮助城市规划者更好地应对城市交通挑战，针对一系列问题做出明智的决策，如缓解交通拥堵、减少温室气体排放和加强道路安全。³⁴⁶

建设能源互联网方面，能源公用事业单位不仅需要管理能源网，还需要管理数据网；而数据网必须与不同制造商的大量物联网设备之间实现互操作。智能电器、智能电表、电动汽车以及可再生能源（来自建筑或住宅）均会产生数据，公用事业单位需要解析这些数据。因此，为了促进设备网络、公用事业单位和第三方之间的数据共享，必须建立完善的数据治理和相关标准。³⁴⁷

政府有效实施数据治理可采取的行动

只有利益相关者信任数据共享平台，才可能实现有效的数据治理。因此，推行良好的数据管理需要采取**必要的约束和监管**。³⁴⁸事实上，如果开放公域数据而不加约束，或是允许私域数据交易而不加监管，都会降低相关者对数据共享平台的总体信任度。

一个可靠的数据监管框架至少包含下列关键要素：

- **数据隐私**：在数据采集、共享和使用全程均需保障数据隐私。例如，明确声明授权使用的范围以及共享数据的使用周期；
- **数据安全**：避免网络威胁，如越权访问数据和数据损害。例如，采取传输层安全协议或 IP 安全协议等安全协议举措，降低数据篡改或损失的风险；
- **数据互操作性**：实现跨系统、跨平台、跨地点和跨司法辖区的数据共享和使用。例如，制定和采用关于数据格式与结构的标准；
- **数据问责**：通过“验证和公开数据提供方，评估潜在误差，确保数据来源和数据流的透明度和可追溯性”。例如，实施风险评估流程，确定可以用作决策参考的数据的可靠性；
- **运营者的资格**：确保平台的运营者具有相应的合法权利，并始终受到法律监督；
- **持续释放数据价值**：为共享私域数据建立平台，加强城市的绿色发展。同时，鼓励企业和行业协会促进数据共享。³⁴⁹

议题 3：循环经济

循环经济对绿色城市发展的重要作用

循环经济是一种生产与消费系统，旨在始终保持所有产品与原材料的最高效用与最高价值，并让某一个环节的产出投入于另一个环节，从而杜绝该体系出现浪费现象，最大限度地减少对原材料提取的需求，并同时避免有毒材料的使用。³⁵⁰因此循环经济与城市的关系也显得尤为密切。从 2010 年至 2040 年，全球城市的材料消耗量将从 400 亿吨增至 900 亿吨，增幅超过两倍。³⁵¹中国于 2009 年起便开始实施《循环经济促进法》，成为世界上最早出台循环经济相关法律的国家之一，目前也仍在该领域保持着领先地位。³⁵²

循环经济对六大领域的交叉影响

循环经济涉及本报告中提及的所有领域，因为本报告主要论述的便是与城市相关的资源流。这些资源流均是极为复杂的系统，可以说渗透到了城市的方方面面。因此，实施和发展循环经济离不开系统性的分析与思考；这一过程不仅需要统观全局、找出系统要害，还要在不同地方实施干预措施，从而使系统实现循环。这种方式在食品、建筑和生活垃圾等方面的应用实例已经展示了循环周期中不同阶段的各种变化是如何改变整个系统的。

例如，城市**粮食系统**涉及**粮食、水、交通运输与能源等领域**，是应用与实践循环经济模式的极佳案例。粮食生产过程中需要的主要原料包括氮、磷和钾；2015年，中国这些原料的使用量达到了5416万吨。³⁵³虽然中国的氮肥和磷肥能够确保自给自足，但钾肥则主要依赖于俄罗斯、加拿大和白俄罗斯的进口钾肥（2017年的进口依存度为43.8%）。^{354,355}如果过度施用，磷肥等肥料就会变成有机废弃物，对河流、湖泊和海洋造成污染，并导致世界各地的**水质下降**。

随后，**粮食**需要通过卡车被运进城市，会增加交通压力并加剧污染，从而对**交通运输**造成了影响。从全球来看，三分之一的粮食热量会在运输、加工或零售等食用前阶段，或在家中以食物垃圾的形式流失。²⁵⁶在全球范围内，粮食生产方法和消费模式正在给社会带来巨大的经济成本：在粮食上每花1美元，社会就要在健康、环境和经济方面付出2美元。³⁵⁷

在以绿色技术为支撑的循环系统中，**土地资源与水资源**将得到更有效的利用——在未得以充分利用的城市空间中，建造一定程度的垂直农场，并通过在闭式给水系统中采用水培法来节约**用水**，同时减少**交通流量**。通过使用数字平台，**食物垃圾**会在价值链以及家庭中最大程度地减少。任何不可避免的食物垃圾都将被转化为有用的产品，或者通过厌氧消化技术进行工业处理。在这一过程中，会产生可用于可再生**能源**生产的甲烷气体，以及可用于粮食生产的堆肥。³⁵⁸

此外，还能产生可用于农业生产的污水污泥。例如，荷兰的阿默斯福特污水处理厂可在净化废水供城市重复使用的同时，每年生产900吨的高级肥料。³⁵⁹据政府数据显示，中国的污水中含有近12万吨的磷；如能妥善采用合理技术，便能更好地对其进行提取。³⁶⁰

在**建筑领域**，循环式的方法也有很大的施展与应用空间，特别是在借助一些新兴技术的情况下。从全球范围来看，建筑业是材料用量最大的行业之一，每年用量达424亿吨，而且该行业产生的排放量占全球排放量的20%。到2050年，中国的建筑存量预计将进一步增长135%。然而，综合全球来看，建筑垃圾的回收利用率非常低，仅占全球垃圾填埋量的35%。^{361,362}

目前有多项干预措施和技术可有助于提升建筑垃圾的利用率，例如利用建筑废料对全新建筑进行3D打印。³⁶³然而，最重要的一环则是来自于设计阶段。诸如Circl（位于阿姆斯特丹的一栋餐厅与办公楼一体的综合大楼）这样的建筑，在设计与建造阶段便都考虑到了最终的拆卸问题，这一概念被称作为“建筑即材料库”（buildings as material banks）。³⁶⁴为了建造这些建筑，并记录里面有价值的材料，开发商还为此发明了“材料通行证”（materials passport），用于记录建筑蓝图，包括有价值部件的价值与位置，以便于拆卸，并对所使用材料的价值进行评估，从而提高回收利用率。目前，这种材料通行证的方法已经在欧盟内部进行了试点，例如建筑即材料库平台（Buildings as Material Banks Platform）与荷兰Madaster公司。^{365,366}

循环施工法是降低建筑行业排放量、节约资源、减少浪费，以及最大限度减少所用材料对环境影响的一项重要手段。³⁶⁷例如，使用回收钢材的能耗仅为原钢的16-20%；而铝材的这一比例更是降到了5%。³⁶⁸

小智研发（Miniwiz）等公司已经研发出了将使用后废料用作建筑材料的全新应用方法。例如，位于天津的成家班国际动作训练基地便是由一家老电影院改造而成，而其建筑材料则是由旧DVD、汽车轮胎和塑料袋制成的。³⁶⁹

循环经济模式在城市中的另一个常见应用是**城市与工业废弃物管理**。中国是全球最大的垃圾制造国之一，每年产生的用后垃圾和工业废弃物分别达到了2.1亿吨和33亿吨。^{370,371}

许多城市绿色技术都依赖于物联网设备、基站和移动电话等电子产品的互联互通。然而，全球只有20%的废弃电子电气设备（WEEE）得到了合理的收集与回收利用。³⁷²这些废弃产品中含有多种稀缺与贵重材料。全球的废弃电子电气设备的价值预计将超过600亿美元。³⁷³

世界经济论坛与清华大学联合开展的一项研究发现，在中国，从废弃电子产品中回收的铝、锡、钴和稀土比例仅占10%、6%、0.6%和0%。如果这些金属的回收率能够达到100%，那么到2030年，仅这些材料的价值就可达到33亿美元。³⁷⁴据艾伦·麦克阿瑟基金会预测，如能采取循环商业模式（如产品即服务）、使用循环设计原则设计产品，并提升再利用率与回收率，那么到2040年，中国建筑行业的排放量将减少22%。³⁷⁵

中国还针对**产业循环经济发展**制定了多项宏伟政策。例如，国务院设定了一个目标，即在2025年前，将重点产品的回收利用率提升至50%，并将所有新产品中的回收材料使用率提升至20%。许多在中国拥有生产设施的企业也都承诺发展循环经济模式，并将回收材料用于全新产品中。公私领域的利益相关者则可以借此契机开展合作，以实现这一目标。³⁷⁶

将循环经济理念融入城市规划之中

将循环经济理念融入城市规划、绿色技术应用中的方法有很多。

第一，很重要的一点就是要制定一项基于城市的系统性分析的总体规划，其中需要列出所有利益相关者（包括初创企业、研究机构、政府部门、城市规划者及私营部门）可因此获得的机遇，并积极吸引公众参与循环经济发展。

例如，《伦敦循环经济路线图》（London Circular Economy Roadmap）为加快伦敦向循环经济型城市的转型提供了指导。其中的指导方针包括：明确宣传循环经济的益处，以确保这一模式得到更广泛的应用；保证供应链上的每个人都能成为这一转变的受益者（例如，通过创建交流中心来促进企业、公共部门与学术界之间的沟通交流）；提升可负担资本（affordable capital）的可用性（例如，通过孵化、风险资本和私人股本资金等方式，为采取循环经济模式的中小型企业提供扶持，帮助其从初创企业发展为成熟企业）；通过提供循环经济发展方法，激励企业获取竞争优势；并通过成功项目与商业模式试点，展现循环经济方法的积极影响。到2036年，该路线图每年将为伦敦带来70亿英镑的净收益，这些收益主要集中在建筑、食品、纺织、电子和塑料等行业。³⁷⁷

第二，相关政策与税收应与循环经济目标保持一致。例如，针对会产生负外部性的塑料袋等一次性物品予以收费；针对产品中使用回收材料的情况予以税收减免；建立激励机

制，例如生产者责任延伸制度。诸如禁止垃圾进出生产区域、针对废弃物征收税费，或对原料进行补贴等非高效的政策，会使得回收材料的生产活动停滞或遭到替代，进而可能会阻碍循环经济的发展，因此需要对此类政策予以重新审查。

第三，利用政府资金促进循环经济创新投资，可为循环经济模式或混合型融资模式的发展提供支持。在这种模式下，政府资金可有助于降低循环型商业模式的投资风险。³⁷⁸此外，还可以鼓励银行设立创新基金或企业创新挑战项目，从而刺激创业。

循环经济的治理

正如上文所述，城市中的材料流通会涉及到多个领域、多个部门，因此循环经济的治理工作也会十分复杂。改变整个系统以在城市中施行循环经济模式，需要与多方利益相关者展开合作，其中包括负责大部分创新成果开发与落实工作的私营部门；需要改变资源使用方式的公民；以及富有专业知识的专家学者。

由于循环经济模式的这一跨领域性质，多个城市、地区及国家都采用了平台构建的方式——以结构化方式汇集所有的核心参与者，使其在一个城市/地区或围绕某个特定挑战，合作发展循环经济模式。例如：

- 欧洲磷可持续平台（**European Sustainable Phosphorus Platform, ESPP**）：虽然磷是土壤肥力与作物生长所必需的一种有限资源，但由于未能以可持续利用方式对其进行处理，它正不断威胁着全球粮食安全。在这一背景下，**ESPP** 与多方利益相关者开展合作、确保实现知识共享、在磷资源管理领域搭建社交网络与沟通桥梁，并着手应对监管障碍。³⁷⁹
- 建筑即材料库平台：该平台汇集了来自 7 个欧洲国家的 15 个合作伙伴，旨在为建筑行业打造循环解决方案，从而避免额外浪费。由于建筑设计存在不足，循环不断的建造、拆除和重建便成为了城市的一大特点。建筑即材料库平台的宗旨是推动线性、静态的建筑环境实现向循环、动态的系统转变。此外，该平台还主张通过设计与循环价值链，提升建筑材料的价值。这样，在建筑生命周期结束时，还能成为有价值的材料库，而不是被白白浪费。³⁸⁰
- 加速循环经济平台（**Platform for Accelerating the Circular Economy, PACE**）：该平台于 2017 年在达沃斯正式发起，现由荷兰主办。作为全球性的召集平台和项目加速器，**PACE** 旨在帮助加快实现向循环经济的转变。该平台不仅为首席执行官、各国部长与国际组织负责人提供了一个领导平台，还为其提供了一个良好的合作契机。该平台的运营范围辐射全球，为高影响力项目提供支持，并与合作伙伴分享知识和经验。目前，该平台已成功地在尼日利亚开展了电子垃圾项目；在印度尼西亚、加纳和越南开展了塑料项目；并在中国开展了电子产品循环制造项目。³⁸¹
- 艾伦·麦克阿瑟基金会粮食倡议（**Ellen MacArthur Food Initiative**）召集关键参与者，以共同刺激全球关注基于循环经济原则的可再生粮食系统。倡议邀请伦敦、纽约和圣保罗等重要城市、当地和全球企业以及资源管理人开启新的合作方式，推动系统性变革。

采取类似的平台构建方法可有助于中国城市实现循环经济转型。其中，政府机构和私营部门的目标与学术界的重要专业知识之间需要保持高度的一致性。

议题 4：性别平等

性别平等对绿色城市发展的重要性

联合国一直在强调有效应对气候变化需要重视性别问题，尤其是要强调女性在可持续发展和向普惠绿色经济过渡中的重要作用。

《里约环境与发展宣言》³⁸²也认可女性在环境管理和可持续发展中扮演着关键角色。在此背景下，绿色城市化不仅意味着绿色技术、城市规划与设计，更意味着其深刻理解对两性的潜在影响和机遇。

此外，联合国开发计划署认为性别平等是可持续发展的“倍增器”，缩小性别差距将有助于推动绿色城市建设和经济增长。³⁸³因此，为了确保整个社区都能从绿色城市发展中有所受益，积极采取性别敏感政策势在必行。³⁸⁴

女性赋权会显著影响绿色城市化的三大领域：自然资源的可持续消费、可再生能源以及自然灾害的预防与管理。

首先，女性是自然资源可持续消费的重要行为体，因为通常情况下，她们负责管理家务活动，如洗菜做饭、饮用水获取、清洗打扫、采购食品杂货、以及规划家庭活动等。事实上，从全球范围来看，女性控制着高达 70% 的家庭支出，在所有消费支出中所占比例超过 60%。^{385,386,387}

绿色消费不应完全被视为女性特权：由于环保运动和产品主张主要针对女性受众，所以广告商甘愿冒险制造所谓的“生态性别差距”，这可能会产生错误的暗示，即选择可持续生活方式的责任应由女性独自承担。

其次，可再生能源亦是推动女性更有效地缓解气候变化的有力工具。³⁸⁸国际能源机构的数据显示，能源部门的性别多样性至关重要，因其有助于创造更具创新性和包容性的解决方案，促进世界各地加速清洁能源转型。^{389,390}然而，事与愿违，女性在能源领域的代表性严重不足：她们通常不担任有影响力的重要职务，女性职员人数仅占该领域劳动力的 32%，而且在能源相关的专利申请中所占比例不到 11%。^{391,392,393}

再次，女性还可大大提升自然灾害的预防与管理，包括但不限于以下三点原因：

- 女性的实际专长以及与男性对风险的不同观点有助于降低危机发生的可能性；
- 女性可以提高灾后应对效率，促进救灾和重建工作；
- 作为社区凝聚力的促进者，女性可以增强社会复原力。

世界银行在阿根廷、萨尔瓦多、莫桑比克、印度、印度尼西亚和越南支持开展了一系列项目倡议，推动女性参与洪灾后重建方案的设计和执​​行，显著提升了社区复原力。此类项目倡议旨在了解灾害影响的性别层面并在灾害恢复过程中促进性别平等。

世界银行以从此类项目中获取的经验建议为基础，制定了规范化指导方针，明确了三个关键要素：

- 将性别问题作为切入点纳入政策制定和项目周期管理；

- 监测和评估性别问题的工具应用；
- 将性别问题纳入社区灾害风险管理的实用工具。

中国城市性别问题的成就与挑战

近年来，中国在男女平等方面取得了重大进展。2015 年的调查数据显示，2015 年中国女性劳动力对中国 GDP 的贡献率为 41%，高于 37% 这一世界平均水平。³⁹⁴

中国在教育 and 就业方面都取得了女性赋权的巨大进步。例如，2016 年，女性在中国研究生中所占比例为 50.6%，首次超过男性，^{395,396}而且这一差距还在逐渐扩大。有趣的是，中国男性人口实际上要多于女性。

截至 2019 年，女性占中国劳动力总人数的 43.7%，超过了《中国妇女发展纲要（2011-2020 年）》所设定的 40% 的目标。^{397,398}政府数据显示，中国 55% 的初创互联网公司由女性创办，超过四分之一的企业家是女性，远远高于其他任何国家。³⁹⁹

中国下一波“新基建”技术浪潮将带来颠覆性创新，以难以想象的方式改变人们的生活，但技术发展是一把双刃剑，既可以通过跨领域部署覆盖整个价值链的性别平等行动，赋权女性推动绿色经济发展，也可以设置无形障碍，阻挠女性成为绿色创新的推动力以及绿色消费的领军者。

例如，人工智能行业可以通过让更多的女性参与数据收集来增强性别平等，包括对数据采集样本的设计和调查；此外，通过招募更多的女性来构建算法可以更好地满足女性对新产品和新服务的需求。

对中国而言，当前的主要挑战是需要设计、实施和评估绿色发展政策时全方位地考量性别平等问题，推动女性参与决策，倾听女性声音，并提供工具和资源，促进女性广泛参与绿色发展项目。政府高层未能充分认识到女性在绿色发展事业中的重要作用，因此也就不能彻底落实到具体的行动计划。

六大领域中的性别问题

城市规划塑造了我们的居住环境；技术发展渗透了我们生活的方方面面，两者都深深影响着我们的工作、出行与休息方式，决定了人们参与、决策和赋权的社会机遇。⁴⁰⁰

然而，在大多数情况下，城市规划和技术发展历来都是由男性设计，服务于男性利益，往往反映了传统保守的性别角色分配，更倾向于维护异性恋和身体健全的男性的利益，而不是女性和残障人士。性别平等面临的挑战在城市中无处不在，例如城市经济中持续存在性别偏见（例如工作参与率和工资差距）、基础设施匮乏、公共场所对女性的暴力行为居高不下以及政府机构中女性代表严重不足。

本研究探讨的六大领域均涵盖性别问题：

- 在**出行**方面，根据世界银行的研究结果，公共交通系统通常只满足男性劳动力的需求，为往返于工业和商业区工作场所的通勤提供服务，而忽视了女性需要在非高峰期的频繁出行。⁴⁰¹ 汽车的生产设计也只考虑了男性的安全问题：碰撞测试假人按照典型的成年男性身材开发而成，导致女性在车祸中的受伤概率要高于男性 73%。
- 在**土地利用和规划**方面，混合使用区域将商业和住宅结合起来，缩短了出行距离，较少使用汽车的女性和青年人可以从中受益。混合使用区域也有助于市民（通常为女性）兼顾家庭和工作。进一步改进公共空间设计和管理也会增强女性的安全感。
- 联合国人居署（UN Habitat）和国际城市妇女组织（Women in Cities International）启动跨国研究，探讨城市规划与女性安全问题，就提升女性安全意识和公共空间利用给出建议：首先，改善建筑环境的各种要素，其次，改变社区行为和地方政府政策。“女性安全审计”是评估城市环境的有效工具，可以帮助决策者了解对男性和女性的不同影响，并推动市民积极参与地方治理。⁴⁰²
- 在**建筑**方面，专家们指出了更多例证，例如建筑物的温度通常根据男性的需求进行调整；楼梯的台阶对于女性来说太高太宽。更为普遍的是，手机的屏幕尺寸通常根据男性手掌大小进行校准；急救课程一般是利用男性人体模型进行教授。
- 总之，建筑部门的性别包容规划和设计需要进行根本性调整，包括时间、专业知识和资源等等，以便在整个项目规划、设计和实施以及运营阶段确立性别平等原则。联合国的研究报告显示，普及无障碍设施增加的建设成本不足 1%。⁴⁰³

将性别平等纳入中国城市规划

为促进性别平等，释放女性推动绿色发展的巨大潜力，必须推进以下三项关键步骤：（1）中国政府的最高层领导人应**认识到女性在绿色城市化中的重要作用**，并颁布高层政策文件来指导实施和评估；（2）社会要充分认识到女性和男性**虽然需求不同，但是权利平等**；⁴⁰⁴（3）采用**重视性别平等的方法来规划女性参与方式**，解决女性问题。

- **第一步是采取自上而下的方法，在高层政策文件（如“五年规划”）中强调女性在绿色城市化中的重要作用**，在政府制定政策的过程中增加“性别分析”，指导各省和地方各级具体政策和项目实施与评估。分析国家和区域层面上面临的挑战和机遇，确定优先部门和介入点，并评估所有相关领域的现行政策。
- **第二步与文化相关**：在城市规划时未明确考虑多样性问题可能导致无法充分利用城市基础设施和服务，尤其会对女性和其他少数群体造成负面影响。⁴⁰⁵ 在此必须提及“为城市赋权”的概念，采用“将城市视为城市公地”的包容性方法管理城市发展。
- **第三步涉及城市设计与规划的具体操作**：世界各地的性别包容性项目的成功案例表明，女性积极参与城市项目能够推进提出创新解决方案，更好地服务于所有人群，即女性、男性和少数群体。⁴⁰⁶ 以加拿大温哥华为例。温哥华启动气候行动计划，旨在成为“世界上最环保的城市。”温哥华政府十分重视一个赋权女性的机构⁴⁰⁷，即妇女咨询委员会，该部门被授权“就增加机会和包容性，推动妇女和女孩充分参与城市服务和市民生活，并鼓励她们向理事会和工作人员提供建议”。⁴⁰⁸

近年来，中国的新型基础设施建设技术突飞猛进，移动平台数据收集技术和性别数据分析技术的快速发展可以发挥关键作用，为促进机会平等和利益平等创造条件。⁴⁰⁹ 这些数据和信息至关重要，有助于根据女性对城市发展的贡献出台政策文件，并寻求行之有效的方法推动女性参与城市决策。

410

联合国建议，包括中国在内的世界各国决策者应采取多方利益相关者的多层面综合方法，超越部门和国界的限制，设计有效工具，制定促进性别平等的国家政策和干预措施⁴¹¹，以推动绿色城市发展，加快实现可持续发展目标。

结束语与后续措施

本白皮书将作为对重大绿色技术及其实施机制专题政策研究项目3.2的支持文件，以及世界经济论坛和中国城市规划设计研究院官方合作成果的补充文件呈交给中国环境与发展国际合作委员会（国合会）。本白皮书中的政策建议作为素材被纳入国合会向中国国务院提交的年度政策建议。

在本报告发布之际，新冠疫情肆虐全球，对诸多国家的人民健康和经济发展造成毁灭性影响。世界各国正在逐步启动走出这场史无前例疫情危机的重建工作，包括实施一揽子经济刺激计划，绿色城市技术可以提供宝贵的投资机会，既刺激经济发展，又改善人民生活，同时亦可创造积极的环境成果。

正如本报告所示，落实政策建议并非是选择一种技术或方法，而是建立适当的结构框架、技术标准和以人为本的方法，将城市体系作为一个整体，找到看似毫不相干的不同部分之间的联系。

不断演变的疫情危机彻底改变了世界秩序，在此关键时刻，各方利益相关者应凝聚力量，共同推动实现“世界的复兴”。⁴¹²世界经济论坛期待继续与国合会和中规院以及参与这项研究的所有专家精诚合作，携手并进，共同塑造中国和世界其他各国城市在日新月异环境中的未来发展。

致谢

世界经济论坛核心项目组：

James Pennington，世界经济论坛全球公共产品中心循环经济与中国合作伙伴关系负责人

Qiuping Li，世界经济论坛中国合作伙伴关系项目主管

Sha Song，世界经济论坛全球公共产品中心中国合作伙伴关系主管

Antonia Gawel，世界经济论坛循环经济与创新总监兼全球公共产品中心副总监

Qingru Li，全球公共产品中心实习生

Nicolo' Andreula，世界经济论坛研究员

Mario De Pinto，世界经济论坛研究员

Luciano Di Loreto，世界经济论坛研究员

世界经济论坛内部专家：

Louise Anderson，世界经济论坛电力行业社区负责人

Maya Ben Dror，世界经济论坛汽车与无人驾驶出行项目负责人

Roberto Bocca，世界经济论坛“塑造能源与材料的未来”总监

Saswati Bora，世界经济论坛食品系统创新总监

Alice Charles，世界经济论坛城市、基础设施与城市服务平台项目负责人

Sean de Cleene，世界经济论坛“粮食的未来”总监

Noopur Desai，世界经济论坛粮食系统倡议社区专员

Anne Marie Engtoft Larsen，世界经济论坛第四次工业革命促进可持续发展负责人

Peng He，世界经济论坛汽车与无人驾驶出行项目负责人

Alex Mung，世界经济论坛水资源和环境韧性总监

Jeff Merritt，世界经济论坛物联网、机器人与智慧城市总监

Kristen Panerali，世界经济论坛电力行业总监

Callie Stinson，世界经济论坛水资源倡议项目负责人

Natalia Suescun Pozas，世界经济论坛饮食新科技负责人

Lisa Sweet，世界经济论坛商业战略与合作总监

Levi Tillemann，世界经济论坛循环汽车倡议项目负责人

Margi Van Gogh，世界经济论坛“塑造交通出行的未来”供应链和交通运输总监

Christoph Wolff，世界经济论坛“塑造交通出行的未来”总监

Yamin Xu，世界经济论坛物联网、机器人与智慧城市项目负责人

知识合作伙伴：全球能源社区——中国

为了加速全球能源转型，世界经济论坛于2019年初推出总部设在中国的全球平台：“全球能源社区——中国”。该平台促进全球能源企业高管加强对话，搭建沟通桥梁，将推进能源转型的项目和联盟与愿意提供支持的政府和组织紧密联系起来。该平台组建了由30个国际组织、政府部门和学术机构组成的多方利益相关者社区，秉持中立立场，定期开展对话会议。

顾问专家：

Lukasz Holec，艾伦·麦克阿瑟基金会（Ellen MacArthur Foundation）中国项目负责人

于可利，中国物资再生协会秘书长

中国环境与发展国际合作委员会（国合会）核心团队：

刘世锦，国合会中方首席顾问

魏仲加（Scott Vaughan），国合会外方首席顾问

张慧勇，国合会秘书处处长

刘侃，国合会秘书处副处长

张敏，国合会秘书处

Joe Zhang，国际可持续发展研究院（IISD）高级法律顾问

Samantha Zhang，国际可持续发展研究院（IISD）政策分析师

Brice Li，国际可持续发展研究院（IISD）项目经理

Knut Alfsen，外方首席顾问支持团队

Robyn Kruk，外方首席顾问支持团队

Dimitri de Boer，外方首席顾问支持团队

1. 联合国 (2018年), “联合国预计到2050年全球68%的人口将在城市居住,” (68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN), 参见: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018revisionofworldurbanizationprospects.html>
2. 世界银行 (2020年), “城市发展概览” (Urban Development Overview), 参见: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>
3. 艾伦·麦克阿瑟基金会, 世界经济论坛 (2018年), “城市与粮食循环经济” (Cities and the Circular Economy for Food), 参见: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/cities-and-circular-economy-for-food>
4. 新华社 (2018年), “中国稳步推进城市化进程”, 参见: http://www.xinhuanet.com/english/201809/10/c_137458990.htm
5. 新华社 (2018年), “中国城镇化率达到60.6%”, 参见: http://www.xinhuanet.com/english/2020-01/19/c_138718450.htm
6. 国际能源署 (2016年), “城市处于能源转型的前沿” (Cities are at the Frontline of the Energy Transition), 参见: <https://www.iea.org/news/cities-are-at-the-frontline-of-the-energy-transition>
7. C40城市集团 (2019年), “开展城市行动, 应对气候危机” (City Action to Address the Climate Emergency), 参见: <https://www.c40.org/other/city-commitments>
8. RMS (2006年), “世界上最易受沿海洪水影响的城市排名” (Ranking of the World's Cities Most Exposed to Coastal Flooding), 参见: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/publications/ranking-of-the-worlds-cities-to-coastal-flooding/11240357>
9. 克劳斯·施瓦布 (2016), “第四次工业革命: 它意味着什么, 应该如何应对” (The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond), 参见: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
10. 地球政策研究所 (2001年), “生态经济: 发展地球经济” (Eco-Economy: Building an Economy for the Earth)
11. 国际能源署 (2019), “2022年碳排放达到峰值” (Carbon Emissions to Peak in 2022). 详情参见: <https://www.iea-coal.org/carbon-emissions-from-china-to-peak-sooner-than-expected-in-2022/>
12. 国际能源署 (2020), “中国”. 详情参见: <https://www.iea.org/countries/china>
13. Fraunhofer ISE, 能源图表, 2019年每月发电量, [https://www.energycharts.de/energy.htm?source=allsources&period=monthly&year%20=2019%20\(Link%20as%20of%2006/01/2020\)%20](https://www.energycharts.de/energy.htm?source=allsources&period=monthly&year%20=2019%20(Link%20as%20of%2006/01/2020)%20)
14. 国际能源署 (2020), “中国” 详情参见: <https://www.iea.org/countries/china>
15. R. Wile (2013), “太阳能可能完全改变游戏规则——但他们仍然需要弄清楚一件事”. 详情参见: <https://www.businessinsider.com/renewable-energy-storage-problem-2013-11?IR=T>
16. http://www.nea.gov.cn/2020-02/28/c_138827923.htm
17. 1 千瓦时=0.00012284 吨标准煤, 1 千克标准煤=2.493 千克二氧化碳。
18. http://www.nea.gov.cn/2020-02/28/c_138827910.htm
19. J. Yang, Q. Liu, X. Li, X. Cui (2017), 《中国风电概况: 现状与未来》. 详情参见: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/8/1454>
20. F. Kahrl, J. Lin, X. Liu, J. Hu (2019), “中国煤电, 夕阳产业”, <https://eta.lbl.gov/publications/working-paper-007-sunsetting-coal>
21. C. Vest (2017), “中国转向储能推动可再生能源发展”, <https://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/9635-China-turns-to-energy-storage-to-push-renewables>
22. Z. Boren (2017), “数据: 中国浪费大量可再生能源”, <https://unearthed.greenpeace.org/2017/04/19/china-wind-solar-renewable-curtailment-energy-wasted/>
23. 国际可再生能源署 (2019), “可再生能源助力未来的创新图景: 整合可再生能源的解决方案”, <https://www.irena.org/publications/2019/Feb/Innovation-landscape-for-a-renewable-powered-future>
24. 国际可再生能源署, 电力储存与可再生能源, 2017, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017_Summary.pdf?la=en&hash=2FDC44939920F8D2BA29CB762C607BC9E882D4E9
25. N Abhyankar, J Lin*, X Liu, F Sifuentes, 2020, 《中国电力体制市场化改革的经济效益和环境效益——以南方电网为例》资源、保护和循环利用。
26. 世界经济论坛与清华大学, 2019, “中国电子行业关键金属的回收利用”, http://www3.weforum.org/docs/Recovery_Key_Metals_Electronics_light.pdf
27. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30950/2019GSR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
28. https://iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA_Chapter9_transport_hires.pdf
29. R. Ray (2018), “为能源存储去除电池”, <https://www.power-eng.com/2018/02/22/removing-barrier-for-energy-storage/>
30. 世界能源理事会 (2019), “能源储存跟踪: 能源储存最新趋势”, https://www.worldenergy.org/assets/downloads/ESM_Final_Report_05-Nov-2019.pdf
31. 欧洲议会研究服务 (2019), “内部电力市场的共同规则”
32. 国际可再生能源署 (2019), “未来风电: 部署、投资、技术、并网与社会经济层面 (全球能源转型白皮书)” https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf
33. 国际可再生能源署 (2018), “可再生能源效益: 利用地方产能, 促进离岸风能”, <https://www.irena.org/publications/2018/May/Leveraging-Local-Capacity-for-Offshore-Wind>
34. 欧洲绿色协议, https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf
35. 《2030年气候与能源框架》, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en
36. 提议对欧洲议会进行监管, 建立公正过渡基金, <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12113-Fast-track-interservice-consultation-on-the-SEIP-including-a-JTM-and-the-JTF->
37. Batstorm (2018), “部分成员国的电池推广政策”, <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/energy-storage/batteries#documents>
38. 国际智能能源机构 (2019), “研究显示英国储能项目大幅增长”, <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/storage/research-shows-massive-growth-in-uk-energy-storage-projects/>
39. 国际能源署 (2019), “中国电力系统转型”, <https://www.iea.org/reports/china-power-system-transformation>
40. Bartol, Nadya and Michael Coden, 2017, “我们的关键基础设施从未如此脆弱”, <https://www.bcg.com/enus/publications/2017/engineeredproductscriticalinfrastructurevulnerabledoesnthavetobethatway.aspx> (链接访问时间 2018 年 11 月 26 日)

41. 欧洲监管中心(2019),“能源互联网中的明智消费者”, <https://www.cerre.eu/publications/smart-consumers-internet-energy>
42. G. Erbach, J. O'Shea(2019),“关键能源基础设施的网络安全”,
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/642274/EPRS_BRI\(2019\)642274_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/642274/EPRS_BRI(2019)642274_EN.pdf)
43. 意大利国家电力,《可持续发展报告》,2018, <https://sustainabilityreport2018.enel.com/en/sustainable-value-created/open-innovability-and-digitalization/cyber-security>
44. D. Gagne, E. Settle, A. Aznar, R. Bracho(2018),“需求响应补偿方法:墨西哥案例研究”,
<https://www.osti.gov/biblio/1452706-demand-response-compensation-methodologies-case-studies-mexico>
45. 清华大学建筑节能研究中心(2018),“中国建筑能源使用2018”, <https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2018.pdf>
46. D. Benazeraf(2017),“为中国城市供暖,同时改善空气质量”, <https://www.iea.org/commentaries/heating-chinese-cities-while-enhancing-air-quality>
47. 国际能源署,2019,“中国制冷的未来”, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling-in-china>
48. The Climate and Clean Air Coalition, <https://ccacoalition.org/en/initiatives/hfc>
49. 国际可再生能源署/国际能源署—ETSAP技术简报(2015),“用于工业生产的太阳能供热”,
<https://www.irena.org/publications/2015/Jan/Solar-Heat-for-Industrial-Processes>
50. T. Jia, J. Huang, R. Li, P. He, Y. Dai(2018),“中国工业生产中太阳能供热的现状与展望”,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118301643>
51. E. R. Masanet 等人,《全球数据中心能源使用:分布、构成与近期展望》,伊利诺伊州埃文斯通,2018
52. 清华大学建筑节能研究中心(2018),“中国建筑能源使用2017与中国建筑节能能源使用2018”,
<https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2018.pdf>和 <https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2017.pdf>
53. STATISTA(2018),“中国区域性二氧化碳排放,2001-2017”, <https://www.statista.com/statistics/239093/co2-emissions-in-china/>
54. 国际能源署,2019,国别报告-中国, <https://www.iea.org/countries/china>
55. Amol Phadke, Nihar Shah, Jiang Lin, Won Young Park, Yongsheng Zhang, DurwoodZaelke, Chao Ding and NihanKarali, 2019,“中国的政策领导力对全球制冷空调的影响”,BTJRC工作报告005, LBNL
56. 麦肯锡公司(2013),“评估美国住宅市场行为能效措施的潜力”,
<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/electric%20power%20and%20natural%20gas/our%20insights/giving%20us%20energy%20efficiency%20a%20jolt/sizing%20the%20potential%20of%20behavioral%20energy%20efficiency%20initiatives%20in%20the%20us%20residential%20market.ashx>
57. S. Malaviya, S. Chandiwala(2018),“行为科学如何促进家庭能效提升”, <https://www.wri.org/blog/2018/06/how-behavioral-science-can-boost-household-energy-efficiency>
58. R. Metcalfe(2018),“使用多种社会助推方式,减少高峰能源需求”, <https://www.behavioraleconomics.com/using-multiple-social-nudges-to-reduce-peak-energy-demand/>
59. 全球碳捕集与封存研究所,“全球碳捕集与封存状况”,2019, <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>
60. 波士顿咨询公司,2019,“碳捕集商业论证”, <https://www.bcg.com/en-ch/publications/2019/business-case-carbon-capture.aspx>
61. 联合国政府间气候变化专门委员会(2018),“全球变暖的1.5°C”,详情参见: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
62. 国际能源署,2019,国别报告-中国, <https://www.iea.org/countries/china>
63. Material Economics, 2019,“工业转型2050——欧盟重工业的净零排放之路”, <https://www.climate-kic.org/wp-content/uploads/2019/04/Material-Economics-Industrial-Transformation-2050.pdf>
64. 波士顿咨询公司,2019,“碳捕集商业论证”, <https://www.bcg.com/en-ch/publications/2019/business-case-carbon-capture.aspx>
65. Material Economics, 2019,“工业转型2050——欧盟重工业的净零排放之路”, <https://www.climate-kic.org/wp-content/uploads/2019/04/Material-Economics-Industrial-Transformation-2050.pdf>
66. 波士顿咨询公司,2019,“碳捕集商业论证”, <https://www.bcg.com/en-ch/publications/2019/business-case-carbon-capture.aspx>
67. 全球碳捕集与封存研究所,“全球碳捕集与封存状况”,2019, <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>
68. <https://www.iea.org/reports/tracking-power-2019/ccus-in-power#abstract>
69. <https://www.netzeroteesside.co.uk/news/bp-eni-equinor-shell-and-total-form-consortium-to-develop-the-net-zero-teesside/>
70. 清华大学建筑节能研究中心(2018),《中国建筑节能年度发展研究报告2017》和《中国建筑节能年度发展研究报告2018》,可登录 <https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2018.pdf> 和 <https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2017.pdf> 了解详情
71. 中国标准(2019),《近零能耗建筑技术标准》(GB/T51350-2019)
72. 清华大学建筑节能研究中心(2018),《中国建筑节能年度发展研究报告2017》和《中国建筑节能年度发展研究报告2018》,可登录 <https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2018.pdf> 和 <https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2017.pdf> 了解详情
73. 清华大学建筑节能研究中心(2018),《中国建筑节能年度发展研究报告2017》和《中国建筑节能年度发展研究报告2018》,可登录 <https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2018.pdf> 和 <https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2017.pdf> 了解详情
74. STATISTA(2018),《2001-2017年中国二氧化碳排放量》(Territorial carbon dioxide emissions in China from 2001 to 2017),可登录 <https://www.statista.com/statistics/239093/co2-emissions-in-china/> 了解详情
75. 团队分析(Team analysis)
76. STATISTA(2018),《2003年至2018年中国秦皇岛煤炭现货价格》(China Qinhuangdao coal spot price from 2003 to 2018),可登录 <https://www-statista-com.easyaccess1.lib.cuhk.edu.hk/statistics/383534/asian-coal-marker-price/> 了解详情
77. <https://www.convert-me.com/en/convert/energy/mtce/mtce-to-kwh.html?u=mtce&v=986>
78. 《可再生与可持续能源评论(2019)》,《对中国近零能耗建筑的定义、发展和政策进行全面分析》(A comprehensive analysis on definitions, development, and policies of nearly zero energy buildings in China),可登录 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119305222> 了解详情
79. 《可再生与可持续能源评论(2019)》,《对中国近零能耗建筑的定义、发展和政策进行全面分析》(A comprehensive analysis on definitions, development, and policies of nearly zero energy buildings in China),可登录 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119305222> 了解详情
80. 美国能源与环境行业新闻网站(2015)(E&E News),《中国开发商积极建造被动式能源住宅》(Chinese developers get active building passive energy homes),可登录 <https://www.eenews.net/stories/1060012314> 了解详情

81. 新加坡建筑学院 (BCA) 和新加坡政府 (2014), 《新加坡建筑学院第 3 个绿色建筑总体规划》 (3rd Green Building Masterplan, Building and Construction Authority), 可登录 https://www.bca.gov.sg/GreenMark/others/3rd_Green_Building_Masterplan.pdf 了解详情
82. 世界经济论坛 (2018), 《敏捷城市: 为第四次工业革命做好准备》 (Agile cities: preparing for the Fourth Industrial Revolution), 可登录 http://www3.weforum.org/docs/WP_Global_Future_Council_Cities_Urbanization_report_2018.pdf 了解详情
83. 瑞士洛桑联邦理工学院(2017), 《拥有世界上最大的太阳能立面的学校》 (The school with the largest solar facade in the world), 可登陆 <https://actu.epfl.ch/news/the-school-with-the-largest-solar-facade-in-the--5>
84. <https://www.vaillant.info/architects-planners/reference-projects/green-arena-zurich/>
85. V. Shabunko, M. Bieri, T. Reindl. 《在新加坡建造集成光伏立面: 在线 BIPV LCC 计算器》 (Building integrated photovoltaic facades in Singapore: Online BIPV LCC Calculator). 2018 年 IEEE 第七届世界光伏能源转换大会论文集 (Proceedings of the 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC)), pp. 1231-1233
86. 《能源与建筑》 (2019), 《建筑整合太阳能 (BIPV) 系统的整体经济分析: 案例研究评估》 (Holistic economic analysis of building integrated photovoltaics (BIPV) system: case studies evaluation), 可登录了解 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819315907> 详情
87. Lu, Y., Chang, R., Shabunko, V., & Yee, A. T. L. (2019). 《新加坡建筑与光电一体化的实施: 驱动与障碍》 (The implementation of building-integrated photovoltaics in Singapore: drivers versus barriers). *Energy*, 168, 400-408.
88. 欧洲建筑能效门户网站 (The European Portal for Energy Efficiency in Buildings) (2019), 《推行建筑整合太阳能 (BIPV) 技术是可再生能源使用的可行方案》 (Building integrated photovoltaics (BIPV) as a viable option among renewables), 可登录 <https://www.buildup.eu/en/news/overview-building-integrated-photovoltaics-bipv-viable-option-among-renewables> 了解详情
89. Bloomberg New Energy Finance(2019), “New Energy Outlook 2019”. Available at: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>
90. 美国绿色建筑委员会 (2015), 《何为 WELL? 》, 可登录 <https://www.usgbc.org/articles/what-well> 了解详情
91. 西木网络租赁顾问 (Westwood Net Lease Advisors) (2018), 《WELL 认证是否确实有用? 》 (Does WELL certification really pay off?), 可登录 <https://westwoodnetlease.com/well-certification-really-pay-off/> 了解详情
92. 美国绿色建筑委员会 (2015), 《何为 WELL? 》, 可登录 <https://www.usgbc.org/articles/what-well> 了解详情
93. 世界绿色建筑委员会 (2018), 《善待地球和人类: 绿色建筑中居民健康与福祉的商业案例》 (Doing right by planet and people: the business case for health and wellbeing in green building), 可登录 https://www.worldgbc.org/sites/default/files/WorldGBC%20-%20Doing%20Right%20by%20Planet%20and%20People%20-%20April%202018_0.pdf 了解详情
94. C. 霍尔斯特姆 (C. Hallstrom) (2019), 《WELL 认证成本: WELL 的投资回报率是多少? 》, 可登录 <https://www.alpinme.com/well-certification-cost/#:~:text=WELL%20has%20a%20direct%20and,on%20employees%20and%20their%20productivity.> 了解详情
95. 世界绿色建筑委员会 (2018), 《善待地球和人类: 绿色建筑中居民健康与福祉的商业案例》 (Doing right by planet and people: the business case for health and wellbeing in green building), 可登录 https://www.worldgbc.org/sites/default/files/WorldGBC%20-%20Doing%20Right%20by%20Planet%20and%20People%20-%20April%202018_0.pdf 了解详情
96. J. 马托斯 (Matos) (2015), 《中国引入 WELL 建筑标准》, 可登录 <https://resources.wellcertified.com/articles/well-building-standard-introduced-in-china/> 了解详情
97. 《卫报》 (2018), 《在实验对象居住的北京“办公室”里》 (Inside the Beijing 'office' inhabited by human guinea pigs), 可登录 <https://www.theguardian.com/cities/2018/jul/18/inside-the-beijing-office-where-humans-are-monitored-like-guinea-pigs> 了解详情
98. 元老会 (The Elders) (2014), 《何为“碳中和”以及我们怎么做才可在 2050 年之前实现碳中和目标? 》 (What is 'carbon neutrality' – and how can we achieve it by 2050?), 可登录 <https://www.theelders.org/news/what-carbon-neutrality-%E2%80%93-and-how-can-we-achieve-it-2050> 了解详情
99. 世界绿色建筑委员会 (2018), 《布朗格鲁保留区南部荣获世界绿色建筑委员会亚太地区绿色建筑领袖奖》 (Barangaroo South honoured in WorldGBC Asia Pacific Leadership in Green Building Awards), 可登录 https://www.worldgbc.org/sites/default/files/PRESS%20RELEASE%20-%20APN%20Awards%20-%20Barangaroo%20South_FINAL.pdf 了解详情
100. 中国国家开发银行金融公司 (2015), 《哈马碧湖城: 瑞典斯德哥尔摩哈马碧湖城的城市发展案例研究》 (Hammarby Sjöstad: an urban development case study of Hammarby Sjöstad in Sweden, Stockholm), 可登录 https://hammarbysjostad20.se/wp-content/uploads/2019/06/Hammarby-Sjostad_report_eng.pdf 了解详情
101. 新加坡建筑学院 (BCA) 和新加坡政府 (2014), 《新加坡建筑学院第 3 个绿色建筑总体规划》 (3rd Green Building Masterplan, Building and Construction Authority), 可登录 https://www.bca.gov.sg/GreenMark/others/3rd_Green_Building_Masterplan.pdf 了解详情
102. 《生态商务》 (Eco-business 2018), 《新加坡绿色建筑缺失的一块拼图》 (The missing piece in Singapore's green building puzzle), 可登录 <https://www.eco-business.com/news/the-missing-piece-in-singapores-green-building-puzzle/> 了解详情
103. 石家庄市人民政府文件 (2018), 《关于加快开发被动式超低能耗建筑的实施意见》 (Implementation opinions on accelerating the development of passive ultra-low-energy buildings), 可登录 <http://www.sjz.gov.cn/col/1520233915276/2018/03/07/1520410483452.html> 了解详情
104. 新华网 (2019), 《中国微镜头: 国际努力推行低能耗建筑》 (China Focus: Int'l efforts push for low-energy building), 可登录 http://www.xinhuanet.com/english/2019-10/11/c_138461784.htm 了解详情
105. 交通出行实验室, “什么是出行需求管理?”, <https://mobilitylab.org/about-us/what-is-tdm/>
106. Shaheen, Susan and Cohe, Adam (2020) “出行按需服务(MOD)和出行即服务(MaaS): 共享交通的影响和公共交通伙伴关系的初步理解”, <https://src.berkeley.edu/publications/chapter-3-mobility-demand-mod-and-mobility-service-maas-early-understanding-shared>
107. Gasgoo (2020), “中国私家车保有量首次突破 2 亿辆”, <http://autonews.gasgoo.com/m/Detail/70016758.html>
108. Ben Dror, Maya; Qin, Lanzhi and An, Feng (2019) “在中国, 通过手机应用程序数据测量的认证车辆和真实乘用车燃料消耗之间的差距” <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421518308449> 《能源政策》, 第 128 卷, 2019 年 5 月, 第 8-16 页
109. 美国联邦公路总署 (2019), “拥堵收费: 环境效益”, https://ops.fhwa.dot.gov/congestionpricing/resources/enviro_benefits.htm#:~:text=Congestion%20pricing%20can%20improve%20the,generated%20by%20accelerations%20and%20decelerations
110. Nearshore Americas, “墨西哥是世界上交通最拥堵的地方”, <https://nearshoreamericas.com/mexico-city-traffic-congested-country-earth/>
111. 公共影响力中心 (2016), “伦敦的拥堵收费”, <https://www.centreforpublicimpact.org/case-study/demand-management-for-roads-in-london/>
112. 国际清洁交通理事会 (2018), “中国新能源汽车政策 (最终规定)”, https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_China-NEV-mandate_policy-update_20180111.pdf

113. 零排放驾驶 (Drive to Zero) (2019), 详情参见: <https://globaldrivetozero.org/tools/zero-emission-technology-inventory/>
114. Ben Dror, An (2018),“中国客运新能源汽车的政府政策和监管框架” <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2018/04/OEF-112.pdf> p.38
115. 路透社 (2019), “中国希望到 2025 年使新能源汽车销量达到汽车总销量的 25%”, <https://www.reuters.com/article/us-china-autos-electric/china-wants-new-energy-vehicle-sales-in-2025-to-be-25-of-all-car-sales-idUSKBN1Y70BN>
《金融时报》(2019), “氢能: 中国支持燃料电池技术发展”, <https://www.ft.com/content/27ccfc90-fa49-11e8-af46-2022a0b02a6c>
116. 路透社 (2020), “中国表示, 2020 年新能源汽车补贴不会大幅削减”, <https://www.reuters.com/article/us-china-autos/china-says-no-significant-cut-in-new-energy-vehicle-subsidies-in-2020-idUSKCN1ZA09Z>
117. B. Wang (2019), “中国先净化北京空气, 现在治理大卡车污染”, 详情参见: <https://www.nextbigfuture.com/2019/01/china-cleaned-up-beijing-air-first-and-now-targets-big-truck-pollution.html#:~:text=Particulate%20air%20pollution%20kills%20about%201%20million%20people%20per%20year.&text=Tackling%20truck%20emissions%20has%20become,just%207.7%20percent%20in%202017.>
118. Saarinen (2018), “氢燃料电池: 氢汽车有未来吗?”, 详情参见: <https://www.autoexpress.co.uk/car-news/electric-cars/93180/hydrogen-fuel-cell-do-hydrogen-cars-have-a-future>
119. GBTimes (2018), “车辆排放已成为中国空气污染的主要来源”, <https://gbtimes.com/vehicle-emissions-become-major-source-of-air-pollution-in-china>
120. Belfer Center (2019), “电动汽车在中国交通运输行业脱碳中的作用”, <https://www.belfercenter.org/publication/role-electric-vehicles-decarbonizing-chinas-transportation-sector>
121. 忧思科学家联盟 (2014), “氢燃料电池汽车有多清洁?”, <https://www.ucsusa.org/resources/how-clean-are-hydrogen-fuel-cell-vehicles>
122. 世界经济论坛 (2019), “2030 年可持续电池价值链愿景”, http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf
123. Saarinen (2018), “氢燃料电池: 氢汽车会有未来吗?”, <https://www.autoexpress.co.uk/car-news/electric-cars/93180/hydrogen-fuel-cell-do-hydrogen-cars-have-a-future>
124. 加州大学伯克利分校交通可持续发展研究中心 (2018), “召车与拼车的潜力”, <https://escholarship.org/uc/item/46p6n2sk#:~:text=Shared%20mobility%20with%20pooled%20rides,to%20create%20livable%20urban%20communities.&text=Innovative%20mobility%20services%20premised%20on,and%20reduce%20greenhouse%20gas%20emissions.>
125. 新交通联盟 (New Mobility Coalition) (2020). Available at: <https://www.weforum.org/projects/global-new-mobility-coalition>
126. 世界经济论坛 (2019) “SEAM 迁移治理框架”, 详情参见: <https://www.weforum.org/whitepapers/shared-electric-and-automated-mobility-seam-governance-framework-prototype-for-north-america-and-europe>
127. 美国国家科学院论文集 (2018), “通过动态行程派车实现按需高载容量车辆共享”, <https://www.pnas.org/content/114/3/462>
128. 国际交通论坛 (2016), “城市出行系统升级”, https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15cpb_self-drivingcars.pdf
129. AlphaBeta (2017), “反思印度尼西亚城市交通: 共享出行服务的角色”, https://www.alphabeta.com/wp-content/uploads/2018/08/fa-uberreport-indonesia_english.pdf
130. S. Shaheen, “北美共享出行: 过去、现在和未来交通评论”, https://www.researchgate.net/publication/232849706_Ridesharing_in_North_America_Past_Present_and_Future
131. 世界经济论坛, 德勤 (2018), “设计无缝整合的出行系统: 客运及货运转型宣言”, http://www3.weforum.org/docs/Designing_SIMSystem_Manifesto_Transforming_Passenger_Goods_Mobility.pdf
132. 麦肯锡公司 (2019), “通往无缝城市出行之路”, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-road-to-seamless-urban-mobility>
133. 世界经济论坛, 德勤 (2018), “设计无缝整合的出行系统: 客运及货运转型宣言”, http://www3.weforum.org/docs/Designing_SIMSystem_Manifesto_Transforming_Passenger_Goods_Mobility.pdf
134. 麦肯锡公司 (2019), “关于未来出行的整体视角, 第三章: 确定无缝出行的方向”, <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/sustainability/our%20insights/the%20road%20to%20seamless%20urban%20mobility/an-integrated-perspective-on-the-future-of-mobility-part-3-vf.ashx>
135. 麦肯锡公司 (2019), “通往无缝城市出行之路”, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-road-to-seamless-urban-mobility>
136. 麦肯锡公司 (2019), “关于未来出行的整体视角, 第三章: 确定无缝出行的方向”, <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/sustainability/our%20insights/the%20road%20to%20seamless%20urban%20mobility/an-integrated-perspective-on-the-future-of-mobility-part-3-vf.ashx>
137. 世界经济论坛, 德勤 (2018), “设计无缝整合的出行系统: 客运及货运转型宣言”, http://www3.weforum.org/docs/Designing_SIMSystem_Manifesto_Transforming_Passenger_Goods_Mobility.pdf
138. 欧洲环境局 (2019), “优待电动车 (相比传统汽车) 的财政工具更加环保”, <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/electric-vehicles/taxes-and-incentives-promoting-electric>
139. 荷兰王国驻挪威大使馆, “挪威的电动交通”
140. E. Lorentzen, P. Haugneland, C.Bu, E. Hauge (2017), “挪威的充电基础设施经验——世界上最先进的电动车市场”, <https://elbil.no/wp-content/uploads/2016/08/EVS30-Charging-infrastructure-experiences-in-Norway-paper.pdf>
141. E. Lorentzen, P. Haugneland, C.Bu, E. Hauge (2017), “挪威的充电基础设施经验——世界上最先进的电动车市场”, <https://elbil.no/wp-content/uploads/2016/08/EVS30-Charging-infrastructure-experiences-in-Norway-paper.pdf>
142. 世界经济论坛 (2018), “奥斯陆模式: 如何使城市为电动车浪潮做好准备”, <https://www.weforum.org/agenda/2018/08/the-oslo-model-how-to-prepare-your-city-for-electric-vehicles/>
143. 世界经济论坛 (2018), “奥斯陆模式: 如何使城市为电动车浪潮做好准备”, <https://www.weforum.org/agenda/2018/08/the-oslo-model-how-to-prepare-your-city-for-electric-vehicles/>
144. 真实城市排放计划 (2018), “2018年伦敦在用车辆尾气排放”, <https://www.trueinitiative.org/media/597545/true-london-summary-fact-sheet.pdf>
145. 国会区政府理事会 (CRCOG), 《最佳实践手册第 5 章: 公共交通导向型开发模式》(Best Practices Manual, Chapter 5 Transit Oriented Development) (可登录 https://crocog.org/wp-content/uploads/2016/07/Ch05_FactSheet_TOD.pdf 了解详情)。
146. 世界银行和中华人民共和国国务院发展研究中心, 《城市中国: 迈向高效、包容和可持续的城市化》(Urban China : Toward Efficient, Inclusive, and Sustainable Urbanization), 2014 年 (可登录 <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18865> 了解详情)。
147. 世界银行, 减少中国城市的交通拥堵和排放 (*Reducing Traffic Congestion and Emission in Chinese Cities*), 2018 年 11 月(可登录 <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2018/11/16/reducing-traffic-congestion-and-emission-in-chinese-cities> 了解详情)。

148. 交通合作研究项目,《美国公共交通导向型开发模式:经验、挑战和前景》(Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects),2004年(可登录https://www.valleymetro.org/images/uploads/general_publications/TCRP-Report-102_TOD-in-the-US-Experiences-Challenges-and-Prospects_10-04.pdf了解详情)。
149. 交通合作研究项目,《美国公共交通导向型开发模式:经验、挑战和前景》(Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects),2004年(可登录https://www.valleymetro.org/images/uploads/general_publications/TCRP-Report-102_TOD-in-the-US-Experiences-Challenges-and-Prospects_10-04.pdf了解详情)。
150. 国会区政府理事会(CRCOG),《最佳实践手册第5章:公共交通导向型开发模式》(Best Practices Manual, Chapter 5 Transit Oriented Development)(可登录https://crocog.org/wp-content/uploads/2016/07/Ch05_FactSheet_TOD.pdf了解详情)。
151. Swilling, M., Hajer, M., Baynes, T., Bergesen, J., Labbé, F., Musango, J.K., Ramaswami, A., Robinson, B., Salat, S., Suh, S., Currie, P., Fang, A., Hanson, A., Kruit, K., Reiner, M., Smit, S.和 Tabory, S.,《城市的权衡:未来城市化的资源要求》(The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization),此报告由国际资源委员会提出,联合国环境规划署,肯尼亚内罗毕,2018年(可登录https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/the_weight_of_cities_full_report_english.pdf了解详情)。
152. 交通合作研究项目,《美国公共交通导向型开发模式:经验、挑战和前景》(Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects),2004年(可登录https://www.valleymetro.org/images/uploads/general_publications/TCRP-Report-102_TOD-in-the-US-Experiences-Challenges-and-Prospects_10-04.pdf了解详情)。
153. Li, W.,《车辆尾气排放已成为中国大气污染的主要来源》(Vehicle emissions become major source of air pollution in China),《环球时报》,2018年6月4日(可登录<https://gbtimes.com/vehicle-emissions-become-major-source-of-air-pollution-in-china>了解详情)。
154. Barklage IV, T.E.,《攻克障碍以成功实施公共交通导向型开发模式》(Overcoming Obstacles to Successfully Implementing Transit-Oriented Development),2013年5月(可登录https://cmt-stl.org/app/uploads/2011/10/Barklage_Capstone_FINAL.pdf了解详情)。
155. 交通合作研究项目,《美国公共交通导向型开发模式:经验、挑战和前景》(Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects),2004年(可登录https://www.valleymetro.org/images/uploads/general_publications/TCRP-Report-102_TOD-in-the-US-Experiences-Challenges-and-Prospects_10-04.pdf了解详情)。
156. 交通合作研究项目,《美国公共交通导向型开发模式:经验、挑战和前景》(Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects),2004年(可登录https://www.valleymetro.org/images/uploads/general_publications/TCRP-Report-102_TOD-in-the-US-Experiences-Challenges-and-Prospects_10-04.pdf了解详情)。
157. 全美州议会联合会(National Conference of State Legislatures),《美国公共交通导向型开发模式》(Transit-Oriented Development in the States),2012年(可登录https://www.ncsl.org/documents/transportation/TOD_final.pdf了解详情)。
158. Barklage IV, T.E.,《攻克障碍以成功实施公共交通导向型开发模式》(Overcoming Obstacles to Successfully Implementing Transit-Oriented Development),2013年5月(可登录https://cmt-stl.org/app/uploads/2011/10/Barklage_Capstone_FINAL.pdf了解详情)。
159. Swilling, M., Hajer, M., Baynes, T., Bergesen, J., Labbé, F., Musango, J.K., Ramaswami, A., Robinson, B., Salat, S., Suh, S., Currie, P., Fang, A., Hanson, A., Kruit, K., Reiner, M., Smit, S.和 Tabory, S.,《城市的权衡:未来城市化的资源要求》(The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization),此报告由国际资源委员会提出,联合国环境规划署,肯尼亚内罗毕,2018年(可登录https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/the_weight_of_cities_full_report_english.pdf了解详情)。
160. Brittlebank, W.,《紧凑型城市如何应对气候变化》(Compact cities to address climate change),2014年1月(可登录http://www.climateaction.org/climate-leader-papers/compact_cities_to_address_climate_change了解详情)。
161. A.J. Arnfield (2003),《20年的城市气候研究:回顾湍流、能源和水的交换以及城市热岛》(Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island)(可登录<https://doi.org/10.1002/joc.859>了解详情)。
162. Zhou, B., Rybski, D., Kropp, J.P.,《城市规模和城市形态对地表城市热岛的影响》(The role of city size and urban form in the surface urban heat island),2017年7月(可登录<https://www.nature.com/articles/s41598-017-04242-2>了解详情)。
163. Bai, L., Ding, G., Gu, S., Bi, P.,《2011-2013年中国沿海城市夏季气温和热浪对高温相关疾病的影响》(The effects of summer temperature and heat waves on heat-related illness in a coastal city of China, 2011-2013),2014年4月(可登录https://www.researchgate.net/publication/262226597_The_effects_of_summer_temperature_and_heat_waves_on_heat-related_illness_in_a_coastal_city_of_China_2011-2013了解详情)。
164. Pierer, C., Creutzig, F.,《“星型城市”布局有助于权衡是该缓解气候变化还是适应气候变化》(Star-shaped cities alleviate trade-off between climate change mitigation and adaptation),2018年4月(可登录<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab2081>了解详情)。
165. Pierer, C., Creutzig, F.,《“星型城市”布局有助于权衡是该缓解气候变化还是适应气候变化》(Star-shaped cities alleviate trade-off between climate change mitigation and adaptation),2018年4月(可登录<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab2081>了解详情)。
166. 国会区政府理事会(CRCOG),《最佳实践手册第5章:公共交通导向型开发模式》(Best Practices Manual, Chapter 5 Transit Oriented Development)(可登录https://crocog.org/wp-content/uploads/2016/07/Ch05_FactSheet_TOD.pdf了解详情)。
167. 交通合作研究项目,《美国公共交通导向型开发模式:经验、挑战和前景》(Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects),2004年(可登录https://www.valleymetro.org/images/uploads/general_publications/TCRP-Report-102_TOD-in-the-US-Experiences-Challenges-and-Prospects_10-04.pdf了解详情)。
168. Sanford, C.,《负责任的企业:重塑可持续性和成功》(The Responsible Business: Reimagining Sustainability and Success),2011年(可登录https://books.google.it/books?id=rTcxBwAAQBAJ&pg=PA235&lpg=PA235&dq=Curitiba+has+more+car+owners+per+capita+than+anywhere+else+in+Brazil&source=bl&ots=o1krmCzs9P&sig=ACfU3U2xNv0ufuqy9_ljs71jyK9XkQgCw&hl=it&sa=X&ved=2ahUKewi94Py-kYt0AhWMsKQKHXTBhgQ6AEwDnoECAoQAQ#v=onepage&q=Curitiba%20has%20more%20car%20owners%20per%20capita%20than%20anywhere%20else%20in%20Brazil&f=false了解详情)。
169. Friberg, L.,《创新公共交通解决方案——库里蒂巴:巴西可持续开发城市国际第4版》(Innovative solutions for public transport; Curitiba, Brazil Sustainable Development International 4th edition),2000年。
170. 丹麦环境部,《“手指规划”》(The Finger Plan),丹麦,2015年(可登录https://danishbusinessauthority.dk/sites/default/files/fp-eng_31_13052015.pdf了解详情)。
171. Sørensen, E.和 Torfing, J.,《哥本哈根大都市“手指规划”》(The Copenhagen Metropolitan ‘Finger Plan’),2019年9月(可登录<https://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/oso/9780198843719.001.0001/oso-9780198843719-chapter-12?print=pdf>了解详情)。
172. Van Wee, B. (2011).《评估土地使用对旅游行为的影响:环境与可及性》(Evaluating the impact of land use on travel behaviour: The environment versus accessibility).交通地理学杂志(Journal of Transport Geography),19(6),530–1533. doi:10.1016/j.jtrangeo.2011.05.011
173. Echenique, M., Barton, H., Hargreaves, T., & Mitchell, G. (2010).《解决方案最终报告:外围社区的土地使用和交通可持续性》(

- SOLUTIONS final report:sustainability of land use and transport in outer neighbourhoods.) 可登录 <http://www.suburbansolutions.ac.uk/findings.htm>. Accessed 10 January 2017. 了解详情
174. Herzog, De Meuron (2010), 《“1111 年林肯路”》 (“1111 Lincoln Road”). 可登录 <https://www.herzogdemeuron.com/index/projects/completer-works/276-300/279-1111-lincoln-road.html> 了解详情
 175. Curien, R., 中国城市规划 (*Chinese Urban Planning*), 2014 年 3 月 (可登录 <https://journals.openedition.org/chinaperspectives/6528?file=1> 了解详情).
 176. Litman, T., Steele, R., 《土地利用对交通的影响: 土地利用如何影响出行行为》 (*Land Use Impacts on Transport How Land Use Factors Affect Travel Behavior*), 2019 年 11 月 (可登录 <https://www.vtpi.org/landtravel.pdf> 了解详情).
 177. Wang, X., Khattak, A., Zhang, Y., 《智慧发展与二氧化碳排放的增长和减少有关吗?》 (*Is Smart Growth Associated with Reductions in Carbon Dioxide Emissions?*), 交通研究记录, 交通研究委员会期刊 (Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board), 2013 年 12 月 (可登录 https://www.researchgate.net/publication/270208120_Is_Smart_Growth_Associated_with_Reductions_in_Carbon_Dioxide_Emissions 了解详情)
 178. Litman, T., Steele, R., 《土地利用对交通的影响: 土地利用如何影响出行行为》 (*Land Use Impacts on Transport How Land Use Factors Affect Travel Behavior*), 2019 年 11 月 (可登录 <https://www.vtpi.org/landtravel.pdf> 了解详情).
 179. Spears, S., Boarnet, M.G., Handy, S., Rodier, C., 《土地使用结构对乘客用车和温室气体排放的影响》 (*Impacts of Land-Use Mix on Passenger Vehicle Use and Greenhouse Gas Emissions*), 2014 年 9 月 (可登录 https://ww3.arb.ca.gov/cc/sb375/policies/mix/lu-mix_brief.pdf 查询详情).
 180. Fernandez, R.A., Zubelzu, S., Martinez, R., 《碳足迹和工业生命周期》 (*Carbon Footprint and the Industrial Life Cycle*), 2017 年.
 181. Harbers, A., Bakkes, J., 城市转型 (Cities in transition), 《迈向以人为本的城市化》 (*Towards a People-Oriented Urbanisation*), 2015-2025, 2015.
 182. 城市土地协会 (ULI) 开发案例研究, 《六本木山》 (Roppongi Hills), 2003 年 (可登录 <https://casestudies.uli.org/wp-content/uploads/2015/12/C033017.pdf> 了解详情)。
 183. 维多利亚交通运输政策研究所 (Victoria Transport Policy Institute), 《道路连通: 打造连通性更高的道路网络》 (*Roadwayconnectivity: Creating more connected roadway and pathway networks*), 2017 年。
 184. Barrington-Leigh, C.和 Millard-Ball, A., 《城市街道网络扩张的全球趋势》 (*Global trends towardurbanstreet-network sprawl*), 2019 年 10 月 (可登录 <https://www.pnas.org/content/pnas/117/4/1941.full.pdf> 了解详情)。
 185. Barrington-Leigh, C.和 Millard-Ball, A., 《对街道网络扩张进行的全球评估》 (*A global assessment of street-network sprawl*), 2019 年 11 月 (可登录 <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0223078&type=printable> 了解详情)。
 186. Barrington-Leigh, C.和 Millard-Ball, A., 《城市街道网络扩张的全球趋势》 (*Global trends towardurbanstreet-network sprawl*), 2019 年 10 月 (可登录 <https://www.pnas.org/content/pnas/117/4/1941.full.pdf> 了解详情)。
 187. Alba, C.A.和 Beimborn, E., 《分析局部街道连通性对主干道交通的影响》 (*Analysis of the effects of local streetconnectivity on arterialtraffic*), 2005 年 1 月 (可登录 https://www.researchgate.net/publication/228931445_Analysis_of_the_effects_of_local_street_connectivity_on_arterial_traffic 了解详情)。
 188. 世界银行和中华人民共和国国务院发展研究中心, 《城市中国: 迈向高效、包容和可持续的城市化》 (*Urban China : Toward Efficient, Inclusive, and SustainableUrbanization*), 2014 年 (可登录 <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18865> 了解详情)。
 189. Gipouloux, F., 《中国的城市世纪: 治理、环境和社会经济的必要性》 (*China's Urban Century: Governance, Environment and Socio-EconomicImperatives*), 2015 年 (可登录 https://books.google.it/books?id=TXXhCgAAQBAJ&pg=PA107&lpg=PA107&dq=street+connectivity+china&source=bl&ots=y4BmDAkDe8&sig=ACfU3U330p_HdHBjIXmUo2cQNqjmwniEJw&hl=it&sa=X&ved=2ahUKewjYpLXWsoXoAhXRAXAIHYL0AugQ6AEwBnoECAoQAQ#v=onepage&q=street%20connectivity%20china&f=false 了解详情)。
 190. 世界银行, 《缓解中国城市的交通拥堵和减少温室气体排放量》 (*Reducing Traffic Congestion and Emission in Chinese Cities*), 2018 年 11 月 (可登录 <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2018/11/16/reducing-traffic-congestion-and-emission-in-chinese-cities> 了解详情)。
 191. Zlatkovic, M., Zlatkovic, S., Sullivan, T., Bjornstad, J.和 Shahandashti, S., 《通过交通模拟评估街道连通性对社区交通性能和可持续性的影响》 (*Assessment of effects of streetconnectivity on traffic performance and sustainabilitywithincommunities and neighborhoodsthroughtraffic simulation*), 2019 年 (可登录 <https://wfr.org/PublicInvolvement/InTheNews/AssessmentOfEffectsOfStreetConnectivity.pdf> 了解详情)。
 192. Zlatkovic, M., Zlatkovic, S., Sullivan, T., Bjornstad, J.和 Shahandashti, S., 《通过交通模拟评估街道连通性对社区交通性能和可持续性的影响》 (*Assessment of effects of streetconnectivity on traffic performance and sustainabilitywithincommunities and neighborhoodsthroughtraffic simulation*), 2019 年 (可登录 <https://wfr.org/PublicInvolvement/InTheNews/AssessmentOfEffectsOfStreetConnectivity.pdf> 了解详情)。
 193. Barrington-Leigh, C.和 Millard-Ball, A., 《城市街道网络扩张的全球趋势》 (*Global trends towardurbanstreet-network sprawl*), 2019 年 10 月 (可登录 <https://www.pnas.org/content/pnas/117/4/1941.full.pdf> 了解详情)。
 194. Foletta, N., 《豪登》 (Houten) (可登录 https://itdpdotorg.wpengine.com/wp-content/uploads/2014/07/22.-092211_ITDP_NED_Desktop_Houten.pdf 了解详情)。
 195. 艾伦·麦克阿瑟基金会, 世界经济论坛 (2018), “城市与粮食循环经济” (Cities and the Circular Economy for Food), 参见: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/cities-and-circular-economy-for-food>
 196. 国际农业研究磋商组织 (2020), “粮食部门的碳排放量” (Emissions from the Food Sector), 参见: <https://ccafs.cgiar.org/bigfacts/#theme=food-emissions>
 197. 联合国 “生物多样性和生态系统服务政府间科学与政策平台” (2020), “模拟生物多样性生态系统变化的驱动因素” (Models Drivers of Biodiversity Ecosystem Change), 参见: <https://ipbes.net/models-drivers-biodiversity-ecosystem-change>
 198. EAT-Lancet Commission (2019), 《地球健康饮食指南》 (Food Planet Health), 第5页, 参见: https://eatforum.org/content/uploads/2019/01/EAT-Lancet_Commission_Summary_Report.pdf
 199. Medical News Today (2019), “何为最佳肉类替代品 (What are the best meat substitutes)?” 访问链接: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/325608#popular-meat-substitutes>
 200. Impossible Foods (2020), 可登录 <https://impossiblefoods.com/food/> 查询详情
 201. OmniPork (2020), Available at: <https://omnipork.co/>
 202. 《“在膳食指南中考虑环境可持续性的重要性”》 (‘Importance of considering environmental sustainability in dietary guidelines’), 柳叶刀 (The Lancet), <https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196%2818%2930174-8/fulltext>

203. 《“我们的数据世界”》‘Our World in Data’, 牛津大学马丁学院 Oxford Martin School, <https://ourworldindata.org/search?q=china+meat+consumption>
204. EAT-Lancet Commission (2019), 《人类的食物：健康饮食-柳叶刀委员会可持续食品系统》(Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems). 可登录 [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(18\)31788-4/fulltext#t=0](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(18)31788-4/fulltext#t=0) 了解详情
205. 联合国粮食及农业组织 (2016), “中国居民膳食指南”。访问链接：
<http://www.fao.org/nutrition/education/food-based-dietary-guidelines/regions/countries/china/fr/>
206. 食物链研究网络 (Food Chain Research Network) (FCRN) (2020), 《水产养殖中的饲料转化效率：我们测量得正确吗?》(“Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly?”) 可登录 <https://www.fcrn.org.uk/research-library/feed-conversion-efficiency-aquaculture-do-we-measure-it-correctly> 了解详情
207. Gerber, P. J. et al. 《通过畜牧业来应对气候变化：对排放和减排潜力的全球评估》(Tackling Climate Change Through Livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities). 联合国粮农组织 (Food and Agriculture Organization), 2013 年.
208. 联合国粮农组织 (FAO). 畜牧业的长期阴影 (Livestock’s Long Shadow). FAO, Rome, 2006 年
209. Nuveen, “非洲猪瘟对农业的影响：一道难题(The impact of African Swine Fever on the agricultural industry: a complex puzzle)”。访问链接：
<https://www.nuveen.com/en-us/thinking/alternatives/the-impact-of-african-swine-fever-on-the-agricultural-industry>
210. Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E. J., Smith, P. and Haines, A. 《“饮食变化对温室气体排放、土地利用、水利用和健康的影响：系统综述”》(“The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: A systematic review”) 可登录
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0165797#sec005> 了解详情
211. GFI (2020), 《“可持续性肉类简报”》(“Sustainable Meat Fact-Sheet”) <https://www.gfi.org/sustainable-meat-fact-sheet>
212. IFPRI (2019), 《“肉类替代品可以维持粮食系统运转”》(“Alternative meat can sustain food systems”) 可登录
<https://www.ifpri.org/blog/alternative-meat-can-sustain-food-systems> 了解详情
213. 世界经济论坛 (2019), 《“肉类的未来系列：可替代蛋白质”》(“Meat the Future Series: Alternative Proteins”) 可登录
http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Alternative_Proteins.pdf 了解详情
214. 经济日报, 中国经济网 (2020), “2019 食品安全热点三：人造肉风潮来袭专家解读：安全是“人造肉”科研与创新发展的根本”。访问链接：
http://www.ce.cn/cysc/sp/info/202001/03/t20200103_34038916.shtml
215. 世界经济论坛 (2019) 《“食品系统创新”》(“Incentivizing Food Systems”) <https://www.weforum.org/reports/incentivizing-food-systems-transformation>
216. 时代周刊 (2020) <https://time.com/5803803/china-delivery-driver-ecommerce-covid19/>
217. 彭博 (2020), 《冠状病毒的爆发促进了中国在线销售的需求》(Coronavirus Outbreak Drives Demand for China’s Online Grocers) <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-02-10/coronavirus-outbreak-drives-demand-for-china-s-online-grocers>
218. 国际食物政策研究所 (访问链接：<https://www.ifpri.org/topic/food-loss-and-waste>).
219. ¹
220. Beef2Live (2020), “中国产量最高的 25 种食品 (Top 25 Most Produced Foods in China)”。访问链接：<http://beef2live.com/story-top-50-produced-foods-china-0-120692#:~:text=China%20produces%20more%20than%20100,most%20produced%20food%20in%20China.>
221. 自给自足策略 (Strategies for Self-Sustainability) (2017), “小毛驴市民农园”访问链接：
<http://strategiesforsustainability.viainteraxion.org/en/little-donkey-farm-%E5%B0%8F%E6%AF%9B%E9%A9%B4%E5%B8%82%E6%B0%91%E5%86%9C%E5%9B%AD-%E2%88%97-china/>
222. 世界经济论坛, 麦肯锡咨询公司 (2019), “有目的的创新：通过技术创新提高食品价值链的可追溯性 (Innovation with a Purpose: Improving Traceability in Food Value Chains through Technology Innovations)”。访问链接：
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Traceability_in_food_value_chains_Digital.pdf
223. IBM News (2017), “IBM 宣布与 Dole、Driscoll、Golden State Foods、Kroger、McCormick and Company、McLane Company、雀巢、泰森食品、联合利华和沃尔玛大规模开展区块链合作，共同应对全球食品安全问题 (IBM Announces Major Blockchain Collaboration with Dole, Driscoll’s, Golden State Foods, Kroger, McCormick and Company, McLane Company, Nestlé, Tyson Foods, Unilever and Walmart to Address Food Safety Worldwide)”。访问链接：<https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/53013.wss>
224. 世界经济论坛 (2019), “我们的食物从何而来？我们需要了解这些事实 (Where does our food come from? Here’s why we need to know)”。访问链接：<https://www.weforum.org/agenda/2019/01/where-does-our-food-come-from-heres-why-we-need-to-know/>
225. 世界经济论坛 (2019), “我们的食物从何而来？我们需要了解这些事实 (Where does our food come from? Here’s why we need to know)”。访问链接：<https://www.weforum.org/agenda/2019/01/where-does-our-food-come-from-heres-why-we-need-to-know/>
226. 皮尤研究中心 (2015), “腐败、污染和不公平问题是中国的首要问题” (Corruption, Pollution, Inequality Are Top Concerns in China), 访问链接：<https://www.pewresearch.org/global/2015/09/24/corruption-pollution-inequality-are-top-concerns-in-china/>
227. 世界经济论坛, 麦肯锡咨询公司 (2019), “有目的的创新：通过技术创新提高食品价值链的可追溯性 (Innovation with a Purpose: Improving Traceability in Food Value Chains through Technology Innovations)”。访问链接：
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Traceability_in_food_value_chains_Digital.pdf
228. 世界经济论坛, 麦肯锡咨询公司 (2019), “有目的的创新：通过技术创新提高食品价值链的可追溯性 (Innovation with a Purpose: Improving Traceability in Food Value Chains through Technology Innovations)”。访问链接：
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Traceability_in_food_value_chains_Digital.pdf
229. WhatIs.com (2017), “垂直农业”。访问链接：<https://whatis.techtarget.com/definition/vertical-farming.>
230. AZO Cleatech (2014), “水耕栽培技术简介 (An introduction to hydroponic technology)”。访问链接：
<https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=492>
231. 美国能源信息署, 2014 年度能源展望早期版本 (Annual Energy Outlook 2014 Early Release)。访问链接：
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=15471.>
232. C. Jianming (2014), “城市农业使中国城市更宜居 (Urban agriculture makes China’s cities more livable)”。访问链接：
<https://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/7091-Urban-agriculture-makes-China-s-cities-more-liveable>
233. SmartCitiesDive (2017), “中国如何引领全球室内农业 (How China leads the world in indoor farming)”。访问链接：
<https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/chinas-indoor-farming-research-feed-cities-leads-world/409606/>
234. 国际食品信息委员会 (2019), “向上生长：关于垂直农业的问答 (Growing Upwards: Q&A on Vertical Farming)”。访问链接：
<https://foodinsight.org/growing-upwards-q-a-on-vertical-farming/>

235. E. Bryce (2018), “全球城市农业的经济价值如何? (What’s the monetary value of urban farming – at a global scale?)”。访问链接: <https://anthropocenemagazine.org/2018/01/whats-the-monetary-value-of-urban-farming-at-a-global-scale/#:~:text=Specifically%2C%20they%20homed%20in%20on,and%20vacant%20plots%20of%20land.&text=By%20insulating%20buildings%20from%20heat,a%2Dhalf%20million%20American%20homes.>
236. 福布斯 (2017), “5 个由仓库改造的室内农场, 不需要土壤和阳光就可以种植作物 (5 Repurposed Warehouses Turned Indoor Farms That Need No Land Or Sun To Grow Crop)”。访问链接: <https://www.forbes.com/sites/bisnow/2017/06/16/5-repurposed-warehouses-turned-indoor-farms-that-need-no-land-or-sun-to-grow-crops/#7d007cf92ec9>
237. K. Woodward (2017), “水耕栽培: 农业的未来 (Hydroponics: the future of farming)”。访问链接: <https://www.foodprocessing-technology.com/features/featurehydroponics-the-future-of-farming-5901289/>
238. Quartz (2015), “屋顶水耕栽培系统比乡村农场更能生产出廉价、健康的蔬菜 (Rooftop hydroponic systems in cities produce vegetables that are cheaper and healthier than rural farms)”。访问链接: <https://qz.com/863358/rooftop-hydroponic-systems-in-cities-produce-vegetables-that-are-cheaper-and-healthier-than-rural-farms/>
239. HortiDaily (2015), “中国初尝水耕栽培: 作物产量提高 150% (China: first steps into hydroponics brought 150% yield increase)”。访问链接: <https://www.hortidaily.com/article/6017274/china-first-steps-into-hydroponics-brought-150-yield-increase/>
240. CRC Press (2004), “水耕栽培: 无土种植实用手册 (Hydroponics: A practical guide for the soilless grower)”。
241. 亚洲新闻台 (2019), “新加坡计划在 2030 年前将粮食自给自足率从不足 10% 提高至 30% (Singapore aims to produce 30% of its nutritional needs by 2030, up from less than 10%)”访问链接: <https://www.channelnewsasia.com/news/singapore/singapore-produce-30-own-food-up-from-10-nutritional-needs-11320426>
242. 新加坡食品局 (2020), “粮食与农业” (Food and Farming), 访问链接: <https://www.sfa.gov.sg/food-farming>
243. 世界银行 (2018), “中国: 水治理的分水岭时刻” (China: A Watershed Moment for Water Governance), 可登录 <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2018/11/07/china-a-watershed-moment-for-water-governance> 了解详情
244. M.B. Pescod (1992), “联合国粮食及农业组织” (Food and agriculture organization of the United Nations), 可登录 <http://www.fao.org/3/t0551e/t0551e05.htm#3.2%20conventional%20wastewater%20treatment%20processes> 了解详情
245. Organica (2017), “一级、二级和三级污水处理: 具体如何运作?” (Primary, Secondary, And Tertiary Wastewater Treatment: How Do They Work?), 可登录 <https://www.organicawater.com/primary-secondary-tertiary-wastewater-treatment-work/> 了解详情
246. Khopkar, S.M. (2007), “环境污染监测与控制” (Environmental Pollution Monitoring And Control), 可登录 https://books.google.it/books?id=TAk21grzDZgC&redir_esc=y&hl=it 了解详情
247. 联合国 (2017), “2017 联合国世界水发展报告: 污水——待开发的资源” (2017 UN World Water Development Report, Wastewater: The Untapped Resource), 可登录 <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/> 了解详情
248. 中国水风险 (China Water Risk) (2017), “珍惜每一滴水” (Good to the last drop), 可登录 <http://www.chinawaterrisk.org/resources/analysis-reviews/wastewater-good-to-the-last-drop/> 了解详情
249. STATISTA (2018), “数据中心” (DataHub), 可登录 <https://www.statista.com/statistics/282548/china-wastewater-discharge/> 了解详情
250. 世界银行 (2019), “数据中心” (DataHub), 可登录 <https://data.worldbank.org/country/china> 了解详情
251. 公共与环境事务研究所 (The Institute of Public and Environmental Affairs) (2019), “蓝色之城水质指数” (The Blue City Water Quality Index), 可登录 http://wwen.ipe.org.cn/reports/report_19918.html 了解详情
252. 路透社 (2018), “官方报道, 中国需要约 1,500 亿美元来治理严重的河流污染” (China needs nearly \$150 billion to treat severe river pollution: official), 可登录 <https://www.reuters.com/article/us-china-pollution-water/china-needs-nearly-150-billion-to-treat-severe-river-pollution-official-idUSKBN1KG091> 了解详情
253. Metrovancouver (2015), “将污水转化为能源” (Turning wastewater into energy), 可登录 <http://www.metrovancouver.org/services/liquid-waste/innovation-wasterwater-reuse/wastewater-energy/Pages/default.aspx> 了解详情
254. 世界卫生组织 (2015), “改善城市垃圾管理” (Improved urban waste management), 可登录 <https://www.who.int/sustainable-development/cities/strategies/urban-waste/en/> 了解详情
255. 联合国 (2017), “2017 联合国世界水发展报告: 污水——待开发的资源” (2017 UN World Water Development Report, Wastewater: The Untapped Resource), 可登录 <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/> 了解详情
256. Meishu Wang, Hui Gong (2018), “邻避主义: 中国发展地下污水处理厂的立法要求与经济分析” (Not-in-My-Backyard: Legislation Requirements and Economic Analysis for Developing Underground Wastewater Treatment Plant in China), 可登录 <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/11/2339/htm> 了解详情
257. 农业贸易新闻 (AgriTrade News) (2019), “雅苒和威立雅达成合作, 变废为宝” (Yara partners with Veolia to recycle plant nutrients), 可登录 <https://agritradenews.co.uk/news/2019/02/04/yara-partners-with-veolia-to-recycle-plant-nutrients/> 了解详情
258. 联合国 (2012), “eMalahleni: 污水回收工厂” (eMalahleni: Water Reclamation Plant), 可登录 <https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/lighthouse-activities/emalahleni-water-reclamation-plant> 了解详情
259. 国际水协会 (The International Water Association) (2015), “南非 eMalahleni 污水回收工厂” (The eMalahleni Water Reclamation Plant in South Africa), 可登录 https://iwa-network.org/filemanager-uploads/WQ_Compendium/Cases/The%20eMalahleni%20Water.pdf 了解详情
260. 环境经济学国际研讨会 (EEC Environmental) (2018), 可登录 [https://www.eecenvironmental.com/what-is-stormwater-management/#:~:text=Stormwater%20management%20is%20the%20effort,Environmental%20Protection%20Agency%20\(EPA\).](https://www.eecenvironmental.com/what-is-stormwater-management/#:~:text=Stormwater%20management%20is%20the%20effort,Environmental%20Protection%20Agency%20(EPA).) 了解详情
261. Harris, Mark (2015), “中国的海绵城市: 通过吸收雨水减少洪涝灾害” (China's sponge cities: soaking up water to reduce flood risks)。《卫报》检索于 2019 年 8 月 24 日, “什么是海绵城市?” (What is a Sponge City?)。Simplicable., Biswas, Asit K; Hartley, Kris. “中国的海绵城市旨在回收利用 70% 的雨水——具体操作介绍” (China's 'sponge cities' aim to re-use 70% of rainwater – here's how)。The Conversation., Harris, Mark (2015 年 10 月 1 日) “中国的海绵城市: 通过吸收雨水减少洪涝灾害” (China's sponge cities: soaking up water to reduce flood risks)。《卫报》
262. Xiaoning Li 和 Xing Fang (2016), “中国海绵城市规划案例研究” (Case Studies of the Sponge City Program in China), 可登录 https://www.researchgate.net/publication/303362681_Case_Studies_of_the_Sponge_City_Program_in_China 了解详情
263. 参阅案例研究

264. Johanna Sörensen, Andreas Persson, Catharina Sternudd, Henrik Aspegren, (2016), “借改革之际, 重新思考城市防洪管理”(Re-Thinking Urban Flood Management—Time for a Regime Shift), 可登录 https://www.researchgate.net/publication/305891441_Re-Thinking_Urban_Flood_Management-Time_for_a_Regime_Shift 了解详情
265. 路透社 (2019), “暴雨和洪水迫使中国撤离近 8 万民众”(Heavy rain and flooding in China force evacuation of nearly 80,000), 可登录 <https://www.voanews.com/east-asia-pacific/heavy-rain-flooding-china-force-evacuation-nearly-80000> 了解详情
266. 北大西洋公约组织 (NATO) (2019), “洪水和气候变化: 你需要知道的一切”(Flooding and climate change: everything you need to know), 可登录 <https://www.nrdc.org/stories/flooding-and-climate-change-everything-you-need-know> 了解详情
267. 世界经济论坛 - <https://www.weforum.org/agenda/2019/06/how-china-s-sponge-cities-are-preparing-for-sea-level-rise>
268. Faith Ka Shun Chan, James A.Griffiths, David Higgitt, Shuyang Xu, Fangfang Zhu, Yu-TingTang, Yuyao Xu, Colin R.Thorne (2018), “中国的海绵城市: 城市发展规划与洪水风险管理的突破口”(Sponge City in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context), 可登录 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837717306130> 了解详情
269. 美国有线新闻网 (2018), “中国的海绵城市旨在回收利用 70% 的雨水”(China's 'sponge cities' aim to re-use 70% of rainwater), 可登录 <https://edition.cnn.com/2017/09/17/asia/china-sponge-cities/index.html> 了解详情
270. 《卫报》(The Guardian) (2019), “中国领先的“海绵城市”: 武汉的水资源之战”(Inside China's leading 'sponge city': Wuhan's war with water), 可登录 <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/oct/01/china-sponge-cities-los-angeles-water-urban-design-drought-floods-urbanisation-rooftop-gardens> 了解详情
271. Hui Li, Liuqian Ding, Minglei Ren, Changzhi Li 和 Hong Wang, “中国海绵城市建设: 挑战与机遇综述”(Sponge City Construction in China: A Survey of the Challenges and Opportunities), 可登录 www.mdpi.com 了解详情
272. Kyoung Jin An, Yun Fat Lam, Song Hao, “多用途雨水收集推动水资源回收并抑制气温上升”(Multi-purpose rainwater harvesting for water resource recovery and the cooling effect), 可登录 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135415301421> 了解详情
273. 路透社 (2017), “海绵城市、城市森林和空中走廊: 大自然如何为城市降温”(Sponges, urban forests and air corridors: how nature can cool cities), 可登录 <https://www.reuters.com/article/us-heatwave-cities-nature/sponges-urban-forests-and-air-corridors-how-nature-can-cool-cities-idUSKCN1C100Q> 了解详情
274. Worldometers (2019), “年报”(Annual Report), 可登录 <https://www.worldometers.info/demographics/china-demographics/> 了解详情
275. 牛津大学 (2019), “用数据看世界”(Our World in Data Report), 可登录 <https://ourworldindata.org/most-densely-populated-countries> 了解详情
276. Hui Li, Liuqian Ding, Minglei Ren, Changzhi Li 和 Hong Wang, “中国海绵城市建设: 挑战与机遇综述”(Sponge City Construction in China: A Survey of the Challenges and Opportunities), 可登录 www.mdpi.com 了解详情
277. 荷兰王国驻华大使馆 (The Embassy of the Kingdom of Netherlands in China) (2016), “中国海绵城市建设概况”(Factsheet Sponge City Construction in China), 可登录 www.nederlandenu.nl 了解详情
278. Kyoung Jin An, Yun Fat Lam, Song Hao (2015), “多用途雨水收集推动水资源回收并抑制气温上升”(Multi-purpose rainwater harvesting for water resource recovery and the cooling effect), 可登录 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135415301421> 了解详情
279. Hui Li, Liuqian Ding, Minglei Ren, Changzhi Li 和 Hong Wang, “中国海绵城市建设: 挑战与机遇综述”(Sponge City Construction in China: A Survey of the Challenges and Opportunities), 可登录 www.mdpi.com 了解详情
280. 《卫报》(The Guardian) (2017), “中国的“海绵城市”通过街道绿化抗击洪水”(China's 'sponge cities' are turning streets green to combat flooding), 可登录 <https://www.theguardian.com/world/2017/dec/28/chinas-sponge-cities-are-turning-streets-green-to-combat-flooding> 了解详情
281. Shine News (2019), “临港海绵城市即将竣工”(Lingang sponge city nears completion), 可登录 <https://www.shine.cn/news/metro/1908220642/> 了解详情
282. 世界银行 (2018), “科伦坡城市湿地管理”(Urban Wetland Management in Colombo), 可登录 <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/FINAL%20-%20Results%20in%20Resilience%20-%20Urban%20Wetlands%20Management%20in%20Colombo%20-%204.2.18.pdf> 了解详情
283. 《每日金融时报》(Daily FT) (2018), “拉姆萨尔公约将科伦坡列为湿地城市”(Ramsar accreditation of Colombo Wetlands: Rebranding Colombo as a Wetland City), 可登录 <http://www.ft.lk/columns/Ramsar-accreditation-of-Colombo-Wetlands--Rebranding-Colombo-as-a-Wetland-City/4-667241?fbclid=IwAR1CmsR6VZHxJh5YHxDdWD3sZJdYCDx8FysvQ70BMkKzP3okyX56xcYgNMMU> 了解详情
284. Environmental Foundation Ltd. (2019), 可登录 <http://www.ft.lk/columns/Ramsar-accreditation-of-Colombo-Wetlands--Rebranding-Colombo-as-a-Wetland-City/4-667241?fbclid=IwAR1CmsR6VZHxJh5YHxDdWD3sZJdYCDx8FysvQ70BMkKzP3okyX56xcYgNMU> 了解详情
285. 世界银行 (2018), “科伦坡城市湿地管理”(Urban Wetland Management in Colombo), 可登录 <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/FINAL%20-%20Results%20in%20Resilience%20-%20Urban%20Wetlands%20Management%20in%20Colombo%20-%204.2.18.pdf> 了解详情
286. 世界银行 (2018), “科伦坡城市湿地管理”(Urban Wetland Management in Colombo), 可登录 <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/FINAL%20-%20Results%20in%20Resilience%20-%20Urban%20Wetlands%20Management%20in%20Colombo%20-%204.2.18.pdf> 了解详情
287. 《每日金融时报》(Daily FT) (2018), “拉姆萨尔公约将科伦坡列为湿地城市”(Ramsar accreditation of Colombo Wetlands: Rebranding Colombo as a Wetland City), 可登录 <http://www.ft.lk/columns/Ramsar-accreditation-of-Colombo-Wetlands--Rebranding-Colombo-as-a-Wetland-City/4-667241?fbclid=IwAR1CmsR6VZHxJh5YHxDdWD3sZJdYCDx8FysvQ70BMkKzP3okyX56xcYgNMMU> 了解详情
288. 世界银行 (2018), “科伦坡城市湿地管理”(Urban Wetland Management in Colombo), 可登录 <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/FINAL%20-%20Results%20in%20Resilience%20-%20Urban%20Wetlands%20Management%20in%20Colombo%20-%204.2.18.pdf> 了解详情
289. 西澳大利亚政府水和环境法规部 (2010), “蓄水层补给管理”. 可登录: <http://www.water.wa.gov.au/urban-water/water-recycling-efficiencies/managed-aquifer-recharge> 了解详情
290. 团队分析
291. 世界银行, “数据中心”(DataHub), 可登录 <https://data.worldbank.org/country/china> 了解详情
292. STATISTA, “数据中心”(DataHub), 可登录 <https://www.statista.com/statistics/281633/china-freshwater-resources/> 了解详情
293. 中国水风险 (China Water Risk) (2017), “整体趋势——地下水正在走向枯竭”(The Big Picture – Groundwater Depletion), 可登录 <http://www.chinawaterrisk.org/the-big-picture/groundwater-depletion/> 了解详情

294. Elias Salameh, Ghaida Abdallat, Michael van der Valk (2019), “约旦含水层补给管理项目的规划考虑”(Planning Considerations of Managed Aquifer Recharge (MAR) Projects in Jordan), 可登录 www.mdpi.com 了解详情
295. Peter Dillon, Joanne Vanderzalm, Jatinder Sidhu, Declan Page, Devinder Chadha (2014), “印度含水层补给管理水质指南”(A Water Quality Guide to Managed Aquifer Recharge in India), 可登录 <https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=csiro:EP149116&dsid=DS2> 了解详情
296. PJ Stuyfzand (2018), “荷兰含水层补给管理的发展历史”(History of Managed Aquifer Recharge in Netherlands), 可登录 <https://recharge.iah.org/files/2018/03/Netherlands-Stuyfzand-MAR-19sep16.pdf>
297. Vanderzalm, J.L. (2015), “澳大利亚利用再生水进行含水层补给管理的经济效益与相关经验”(Economics and experiences of managed aquifer recharge (MAR) with recycled water in Australia), 可登录 <https://core.ac.uk/download/pdf/77983989.pdf> 了解详情
298. P. Dillon, P. Stuyfzand, M. Sapiano (2018), “全球六十年的含水层补给管理发展历程”(Sixty years of global progress in managed aquifer recharge), 可登录 <https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-018-1841-z> 了解详情
299. Bahram Malekmohammadi, Majid Ramezani Mehrian, Hamid Reza Jafari (2012), “使用模糊规则进行含水层补给管理选址: 整合地理信息系统 (GIS) 工具和多元标准决策”(Site selection for managed aquifer recharge using fuzzy rules: integrating geographical information system (GIS) tools and multi-criteria decision making) 可登录 https://www.researchgate.net/publication/232416461_Site_selection_for_managed_aquifer_recharge_using_fuzzy_rules_Integrating_geographical_information_system_GIS_tools_and_multi-criteria_decision_making 了解详情
300. Xiaosi Su, Wei Xu, Shanghai Du, “利用废弃河床进行原位渗透试验: 中国石家庄含水层补给管理”(In situ infiltration test using a reclaimed abandoned river bed: managed aquifer recharge in Shijiazhuang City, China) — <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-013-2893-y>
301. Declan Page, Elise Bekele, Joanne Vanderzalm, Jatinder Sidhu (2018), “城市可持续水管理中的含水层补给管理”(Managed Aquifer Recharge (MAR) in Sustainable Urban Water Management), 可登录 www.mdpi.com 了解详情
302. Joel Casanova, Nicolas Devau, Marie Pettenati (2016), “含水层补给管理: 问题和方案概述”(Managed Aquifer Recharge: An Overview of Issues and Options), 可登录 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-23576-9_16#Sec2 了解详情
303. Jie Yuan, Michele I. Van Dyke, Peter M. Huck (2016), “通过含水层补给管理推动水的回收利用: 法规和指南评估及案例研究”(Water reuse through managed aquifer recharge (MAR): assessment of regulations/guidelines and case studies), 可登录 <https://iwaponline.com/wqrj/article/51/4/357/21646/Water-reuse-through-managed-aquifer-recharge-MAR#1041910> 了解详情
304. 世界银行 (2016), “利用绩效合同减少无收益水”(Using Performance-Based Contracts to Reduce Non-Revenue Water), 可登录 <https://library.pppknowledge.org/PPIAF/documents/3531> 了解详情
305. Open (2017), “无收益水管理——水务和污水处理公司面临的挑战”(Non-revenue water management, the challenge facing water and sewage companies), 可登录 <https://www.openintl.com/non-revenue-water-management-the-challenge-facing-water-and-sewage-companies/> 了解详情
306. 国际水协会 (International Water Association) (2015), “减少世界各地的无收益水”(Reduction of Non-Revenue Water Around the World), 可登录 <https://iwa-network.org/reduction-of-non-revenue-water-around-the-world/> 了解详情
307. 中国城镇供水排水协会 (China Urban Water Association) (2016), “中国城镇供水统计年鉴”(China Urban Water Supply Statistical Yearbook), 可登录 <https://www.purpleculture.net/china-urban-water-supply-statistical-yearbook-bs-1448/> 了解详情
308. “通过减少城市失水来满足日益增长的用水需求”, https://web.archive.org/web/20160427210612/http://www.rethinkwater.dk/sites/default/files/whitepaper_nrw_rethinkwater_ver_1.1_0.pdf
309. Erin Ress, J. Alan Roberson (2016), “水流失的经济和政策影响”(The Financial and Policy implications of Water Loss), 可登录 <https://awwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.5942/jawwa.2016.108.0026> 了解详情
310. Climate Adapt (2016), “私人投资渗漏监测项目, 应对里斯本的缺水问题”(Private investment in a leakage monitoring program to cope with water scarcity in Lisbon), 可登录 <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/private-investment-in-a-leakage-monitoring-program-to-cope-with-water-scarcity-in-lisbon> 了解详情
311. Bill Kingdom, Gerard Soppe, Jenima Sy (2016), “什么是无收益水? 我们应该如何减少无收益水, 提升供水服务?”(What is non-revenue water? How can we reduce it for better water service?), 可登录 <https://blogs.worldbank.org/water/what-non-revenue-water-how-can-we-reduce-it-better-water-service> 了解详情
312. 亚洲开发银行 (The Asian Development Bank) (2010), “减少无收益水面临的问题和挑战”(The issues and challenges of reducing non-revenue water), 可登录 <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/27473/reducing-nonrevenue-water.pdf> 了解详情
313. 国际水协会 (the International Water Association) 和亚洲开发银行 (the Asian Development Bank) 认为, 缺乏适当的激励合同是减少无收益水的主要障碍之一: 问题在于目标合同与绩效合同存在显著差异。虽然目标合同也对超过和未达到目标进行奖励和惩罚, 这是这种奖惩往往任意生硬, 不能有效提升水务公司管理的积极性和主动性, 而绩效合同却是量身定制, 绩效奖励与无收益水的减少直接挂钩, 且无需考虑具体的上限和下限。资料来源: 亚洲开发银行 (The Asian Development Bank) (2010), “减少无收益水面临的问题和挑战”(The issues and challenges of reducing non-revenue water), 可登录 <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/27473/reducing-nonrevenue-water.pdf> 了解详情
314. 世界经济论坛 (2016), “第四次工业革命: 意味着什么以及如何应对”(The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond)。参见 <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
315. 世界经济论坛 (2016), “第四次工业革命: 意味着什么以及如何应对”(The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond)。参见 <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
316. 世界经济论坛 (2016), “第四次工业革命: 意味着什么以及如何应对”(The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond)。参见 <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
317. 世界经济论坛 (2016), “智能资产释放循环经济潜力”(Intelligent Assets Unlocking the Circular Economy Potential)。参见 http://www3.weforum.org/docs/WEF_Intelligent_Assets_Unlocking_the_Circular_Economy.pdf
318. 世界经济论坛 (2016), “智能资产释放循环经济潜力”(Intelligent Assets Unlocking the Circular Economy Potential)。参见 http://www3.weforum.org/docs/WEF_Intelligent_Assets_Unlocking_the_Circular_Economy.pdf
319. 世界经济论坛 (2018), “发展区块链技术, 打造更美好的星球”(Building Block (chain) s for a Better Planet)。参见 http://www3.weforum.org/docs/WEF_Building-Blockchains.pdf

320. New America, “利用区块链技术发展智能水务市场” (The Development of Smart Water Markets Using Blockchain Technology)。参见 <https://www.newamerica.org/fellows/reports/anthology-working-papers-new-americas-us-india-fellows/the-development-of-smart-water-markets-using-blockchain-technology-aditya-k-kaushik/>
321. 世界经济论坛 (2018), “利用第四次工业革命建设可持续发展的新兴城市” (Harnessing the Fourth Industrial Revolution for sustainable emerging cities)。参见 http://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_the_4IR_for_Sustainable_Emerging_Cities.pdf
322. 世界经济论坛 (2018), “利用第四次工业革命建设可持续发展的新兴城市” (Harnessing the Fourth Industrial Revolution for sustainable emerging cities)。参见 http://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_the_4IR_for_Sustainable_Emerging_Cities.pdf
323. Flextegrity。参见 <http://www.flextegrity.com/>
324. “简讯: 疫情与国家” (Briefing The pandemic and the state), 《经济学人》, 2020年3月28日, <https://www.economist.com/briefing/2020/03/26/countries-are-using-apps-and-data-networks-to-keep-tabs-on-the-pandemic>
325. Battersby (2019), “核心概念: 量子传感器探测从地壳到人脑的诸多未知领域” (Core Concept: Quantum sensors probe uncharted territories, from Earth’s crust to the human brain) PNAS 2019年8月20日 116 (34) 16663-16665; <https://doi.org/10.1073/pnas.1912326116>
326. 麦肯锡全球研究院 (2017), “中国数字经济: 全球领先力量” (China’s Digital Economy: A Leading Global Force)。参见 <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/China/Chinas%20digital%20economy%20A%20leading%20global%20force/MGI-Chinas-digital-economy-A-leading-global-force.aspx>
327. 《经济学人》(2018), “中国科技与美国科技: 在两大世界超级大国中, 最强大的科技产业将花落谁家?” (Chinese Tech vs American Tech: which of the world’s two superpowers has the most powerful technology industry?)。参见 <https://www.economist.com/business/2018/02/15/how-does-chinese-tech-stack-up-against-american-tech>
328. 《经济学人》(2018), “中国科技与美国科技: 在两大世界超级大国中, 最强大的科技产业将花落谁家?” (Chinese Tech vs American Tech: which of the world’s two superpowers has the most powerful technology industry?)。参见 <https://www.economist.com/business/2018/02/15/how-does-chinese-tech-stack-up-against-american-tech>
329. 世界经济论坛 (2018), “敏捷治理: 第四次工业革命中的决策重塑” (Agile Governance: Reimagining Policy-making in the Fourth Industrial Revolution)。参见 http://www3.weforum.org/docs/WEF_Agile_Governance_Reimagining_Policy-making_4IR_report.pdf
330. 世界经济论坛 (2018), “对第四次工业革命中技术发展的再思考” (Rethinking Technological Development in the Fourth Industrial Revolution)。参见 http://www3.weforum.org/docs/WEF_WP_Values_Ethics_Innovation_2018.pdf
331. <https://openpolicy.blog.gov.uk/category/policy-lab/>
332. <https://openpolicy.blog.gov.uk/category/policy-lab/>
333. 世界经济论坛 (2018), “敏捷治理: 第四次工业革命中的决策重塑” (Agile Governance: Reimagining Policy-making in the Fourth Industrial Revolution)。参见 http://www3.weforum.org/docs/WEF_Agile_Governance_Reimagining_Policy-making_4IR_report.pdf
334. <https://openpolicy.blog.gov.uk/category/policy-lab/>
335. <https://www.drivesweden.net/en> and <https://www.testsitesweden.com/en/projects-1/driveme>
336. <http://www.cbb.gov.bh/assets/Regulatory%20Sandbox/Regulatory%20Sandbox%20FrameworkAmended28Aug2017.pdf>
337. <https://www.ema.gov.sg/Sandbox.aspx>
338. “世界能源平衡2019” (World Energy Balances 2019), 国际能源署, 来源: <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-2019>
339. 《经济学人》(2017) “数据将取代石油, 成为最具价值的资源”, 来源: <https://www.economist.com/leaders/2017/05/06/the-worlds-most-valuable-resource-is-no-longer-oil-but-data>
340. SmartImpact (2018), “针对智慧城市的数据治理与整合”, 来源: https://smartimpact-project.eu/app/uploads/2018/02/SmartImpact_Data-Gov-and-Intergration_A4_AW.pdf
341. 世界经济论坛 (即将发布), “协议—利用可靠平台, 发挥动态物联网数据对智慧城市的价值”。
342. 世界经济论坛 (即将发布), “协议—利用可靠平台, 发挥动态物联网数据对智慧城市的价值”。
343. 公域数据指“国际、国家、区域和地方政府及其他公共机构产生、收集和储存的数据, 以及外部机构为政府制作或与政府计划及服务相关的数据”。来源: 世界经济论坛 (即将发布), “协议—利用可靠平台, 发挥动态物联网数据对智慧城市的价值”。
344. 欧盟数据端口(2017) “6号分析报告”, 来源: https://www.europeandataportal.eu/sites/default/files/edp_analytical_report_n6_-_open_data_in_cities_2_-_final-clean.pdf
345. Great Lakes Echo (2020), “水传感器、数据合作让五大湖更加智慧”。来源: <https://greatlakesecho.org/2020/02/21/water-sensors-data-collaboration-make-great-lakes-smarter/>
346. Uber Movement, 来源: <https://movement.uber.com/?lang=en-US>
347. Kotagiri, Sunil (2019) “数据质量与治理对公用事业至关重要”, 来源: <https://www.tdworld.com/smart-utility/data-analytics/article/20972300/data-quality-and-governance-critical-for-utilities>
348. 世界经济论坛 (即将发布), “协议—利用可靠平台, 发挥动态物联网数据对智慧城市的价值”。
349. 世界经济论坛 (即将发布), “协议—利用可靠平台, 发挥动态物联网数据对智慧城市的价值”。
350. 世界经济论坛和艾伦·麦克阿瑟基金会 (2014年), 《迈向循环经济》 (Towards the Circular Economy) http://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf
351. M. Swilling, M. Hajer, T. Baynes, J. Bergesen, F. Labbé, J.K. Musango, A. Ramaswami, B. Robinson, S. Salat, S. Suh, P. Currie, A. Fang, A. Hanson, K. Kruij, M. Reiner, S. Smit, S. Tabory (2018年), 《城市的重要性: 未来城市化的资源需求》 (The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization), 国际资源委员会报告。联合国环境规划署, 肯尼亚内罗毕。网址: <https://www.resourcepanel.org/reports/weight-cities>
352. 艾伦·麦克阿瑟基金会 (2018年), 《循环经济——中国城市与工业的创新机遇》 (The Circular Economy Opportunity for Urban and Industrial Innovation in China)。网址: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/chinareport>
353. J. Cai, X. Xia, H. Chen, T. Wang, H. Zhang (2018年), 《中国粮食生产过程中肥料施用强度及其环境风险解析》 (Decomposition of Fertilizer Use Intensity and Its Environmental Risk in China’s Grain Production Process)。网址: <https://www.researchgate.net/publication/323152227>
354. S. Dong (2019年), 《降低中国钾肥进口依存度》 (Reduce Potash Import Dependence in China)。网址: https://iad.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk4906/files/inline-files/Sisi%20Dong_capstone%202019_1.pdf
355. 海湾石化和化学品协会 (GPCA) (2018年), 《中国化肥行业展望》 (China Fertilizer Industry Outlook)。网址: <https://gpca.org.ae/wp-content/uploads/2018/07/China-Fertilizer-Industry-Outlook.pdf>
356. 联合国粮食及农业组织 (FAO) (2020年), 《粮食损失和粮食浪费》 (Food Loss and Food Waste)。网址: <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/>
357. 世界经济论坛和艾伦·麦克阿瑟基金会 (2017年), 《主流城市生物循环项目》 (Project MainStream Urban Biocycles)。网址:

- http://www3.weforum.org/docs/WEF_Project_MainStream_Urban_Biocytes_2017.pdf
358. 世界经济论坛和艾伦·麦克阿瑟基金会（2017年），《主流城市生物循环项目》（Project MainStream Urban Biocytes）。网址：http://www3.weforum.org/docs/WEF_Project_MainStream_Urban_Biocytes_2017.pdf
359. 营养平台（Nutrient Platform），《阿默斯福特污水中的磷》（Phosphorus From Wastewater In Amersfoort）。网址：<https://www.nutrientplatform.org/en/success-stories/phosphorus-from-wastewater-in-amersfoort/>
360. 《中国统计年鉴》（2018年）。网址：<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2018/indexeh.htm>
361. 循环经济（Circle Economy）（2019年），《循环性差异》（The Circularity Gap）。网址：<https://www.legacy.circularity-gap.world/built-environment>
362. 《对话》（The Conversation）（2019年），《如何回收更多建筑》（How Can we Recycle More Buildings）。网址：<https://theconversation.com/how-we-can-recycle-more-buildings-126563>
363. 盈创公司（2020年）。网址：http://www.winsun3d.com/En/Product/pro_inner/id/1
364. 《地产周报》（Property Week）（2020年），《荷兰开发商如何应对气候危机》（How developers in the Netherlands are addressing the climate crisis）。网址：<https://www.propertyweek.com/insight/how-developers-in-the-netherlands-are-addressing-the-climate-crisis/5106718.article>
365. 建筑即材料库平台（2020年），《材料通行证》（Materials Passports）。网址：<https://www.bamb2020.eu/topics/materials-passports/>
366. Madaster公司，《Madaster公司的起源：材料》（Madaster Origination: Material Matters）。网址：<https://www.madaster.com/en/about-us/why-a-materials-passport>
367. 美国环境保护署（US EPA），《可持续材料管理》（Sustainable Materials Management）。网址：<https://www.epa.gov/smm/basic-information-about-built-environment>
368. 建筑即材料库平台（2019年），《金属价值链报告》（Metals Value Chain Report）。网址：<https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/02/Metals-Value-Chain.pdf>
369. 小智研发（2020年）。网址：<http://www.miniwiz.com/about.php>
370. 世界经济论坛（2018年），《中国产生的废弃物超世界其它国家。如何应对这一问题？》（China generates more waste than any other country. How does it deal with it?）。网址：<https://www.weforum.org/agenda/2018/12/no-chopsticks-with-my-takeaway-how-china-is-tackling-food-waste-with-digital-innovation/>
371. 《中国统计年鉴》（2018年）。网址：<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2018/indexeh.htm>
372. 国际电信联盟（ITU）（2017年），《全球电子垃圾监测报告》（Global E-waste Monitor）。网址：<https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Pages/Global-E-waste-Monitor-2017.aspx>
373. 世界经济论坛（2019年），《电子产品循环经济新愿景》（A New Circular Vision for Electronics）。网址：Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf
374. 世界经济论坛（2019年），《中国电子工业关键金属的回收》（Recovery of Key Metals in the Electronics Industry in the People's Republic of China）。网址：<https://www.weforum.org/reports/recovery-of-key-metals-in-the-electronics-industry-in-the-people-s-republic-of-china>
375. 艾伦·麦克阿瑟基金会（2018年），《循环经济——中国城市与工业的创新机遇》（The Circular Economy Opportunity for Urban and Industrial Innovation in China）。网址：<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/chinareport>
376. 世界经济论坛（2019年），《中国电子工业关键金属的回收》（Recovery of Key Metals in the Electronics Industry in the People's Republic of China）。网址：<https://www.weforum.org/reports/recovery-of-key-metals-in-the-electronics-industry-in-the-people-s-republic-of-china>
377. 伦敦废弃物循环利用理事会（LWARB）（2017年），《伦敦循环经济路线图》（London's circular economy route map）。网址：https://www.lwarb.gov.uk/wp-content/uploads/2015/04/LWARB-London%E2%80%99s-CE-route-map_16.6.17a_singlepages_sml.pdf
378. 世界经济论坛（2019年），《利用第四次工业革命，推动消费电子与塑料包装行业实现循环经济》（World Economic Forum (2019), Harnessing the Fourth Industrial Revolution for the Circular Economy Consumer Electronics and Plastics Packaging）。网址：http://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_4IR_Circular_Economy_report_2018.pdf
379. 欧洲磷可持续平台，《关于欧洲磷可持续平台》（About the European Sustainable Phosphorus Platform）。网址：<https://www.phosphorusplatform.eu/platform/about-espp>
380. 建筑即材料库平台（2020年），《关于建筑即材料库》（About BAMB）。网址：<https://www.bamb2020.eu/about-bamb/>
381. 《关于加速循环经济平台》（About PACE）（2020年）。网址：<https://pacecircular.org/>
382. 《里约环境与发展宣言》，里约热内卢，1992年6月3日至14日，原则20，参见 https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_CONF.151_26_Vol.I_Declaration.pdf
383. 联合国开发计划署（2018年），“可持续发展目标”。参见 <https://www.sdfinance.undp.org/content/sdfinance/en/home/sdg/goal-5--gender-equality.html>
384. 企业发展捐助委员会（2012年），“女性参与绿色增长——潜力是否充分挖掘？”（Women's participation in green growth – a potential fully realised?）。参见 https://www.enterprise-development.org/wp-content/uploads/Womens_participation_in_Green_Growth.pdf
385. 协力管理咨询有限公司“中国简报”（2012年），“消费趋势与定位中国女性消费者”（Consumption Trends and Targeting China's Female Consumers）。参见 <https://www.china-briefing.com/news/consumption-trends-and-targeting-chinas-female-consumer/>
386. 《中国日报》（2016年），“60%的中国女性管理家庭财务”（60 percent of Chinese women control family finances: report）。参见 https://www.chinadaily.com.cn/china/2016-08/31/content_26656826.htm
387. 联合国开发计划署（2015年），“性别平等、经济发展和环境可持续性的强大协同作用”（powerful synergies gender equality economic development and environmental sustainability）。参见 <https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/womens-empowerment/powerful-synergies.html>
388. 联合国妇女署（2016年），“人人共享的可持续能源：性别层面”（ustainable energy for all: the gender dimension）。参见 https://www.unido.org/sites/default/files/2014-02/GUIDANCENOTE_FINAL_WEB_s_0.pdf
389. 国际能源署（2020年），“能源领域的性别多样性：我们的已知与未知”（Gender diversity in energy: what we know and what we don't know）。参见 <https://www.iea.org/commentaries/gender-diversity-in-energy-what-we-know-and-what-we-dont-know>
390. 国际能源署（2018年），“能源领域的性别多样性对清洁能源转型至关重要”（Gender diversity in energy sector is critical to clean energy transition）。参见 <https://www.iea.org/commentaries/gender-diversity-in-energy-sector-is-critical-to-clean-energy-transition>
391. 联合国妇女署（2016年），“人人共享的可持续能源：性别层面”（Sustainable energy for all: the gender dimension）。参见 https://www.unido.org/sites/default/files/2014-02/GUIDANCENOTE_FINAL_WEB_s_0.pdf
392. 国际能源署（2017年），“能源和性别：能源领域就业和能源获取的关键问题”（Energy and gender: a critical issue in energy sector employment and energy access）。参见 <https://www.iea.org/topics/energy-and-gender>

393. 国际能源署（2020年），“能源领域的性别多样性：我们的已知与未知”（Gender diversity in energy: what we know and what we don't know）。参见 <https://www.iea.org/commentaries/gender-diversity-in-energy-what-we-know-and-what-we-dont-know>
394. “截至2015年，按地区划分的女性劳动力对国内生产总值的贡献比例”。参见 <https://www.statista.com/statistics/523838/women-share-of-gdp-region/>
395. 新华网（2018年），“中国进一步促进性别平等”（China further boosts gender equality）。参见 http://www.xinhuanet.com/english/2018-10/29/c_137566727.htm
396. 人民网（2017年），“女性主导中国高等教育”（Women dominate higher education in China）。参见 <http://en.people.cn/n3/2017/1028/c90000-9285962.html>
397. 《催化》（2019年），“女性劳动力——中国：快速赶超”（Women in the Workforce – China: Quick Take）。参见 <https://www.catalyst.org/research/women-in-the-workforce-china/>
398. 中华人民共和国国务院新闻办公室（2015年），《中国妇女发展规划（2011-2020年）》。参见 http://www.scio.gov.cn/zfbps/ndhf/2015/Document/1449894/Image/201509221449894_336090.pdf
399. “女性如何在中国风险投资行业中赢得领导地位”（How Women Won a Leading Role in China's Venture Capital Industry）。参见 <https://www.bloomberg.com/news/features/2016-09-19/how-women-won-a-leading-role-in-china-s-venture-capital-industry>
400. 科学、技术和政策研究中心（2016年），“通过城市规划工具在南亚实现性别平等目标”（Localising the gender equality goal through urban planning tools in South Asia）。参见 <http://southernvoice.org/localising-the-gender-equality-goal-through-urban-planning-tools-in-south-asia/>
401. “将性别问题纳入世界银行运输战略”（Including Gender in the World Bank Transport Strategy），世界银行，2006年，参见 <http://documents.worldbank.org/curated/en/968841468147567926/pdf/841800WP0Trans0Box0382094B00PUBLIC0.pdf>
402. “女性安全审计，如何以及在何处应用？”（Women's safety audits, what Works and Where?）联合国人居署，2009年，参见 <https://unhabitat.org/womens-safety-audit-what-works-and-where>
403. “残障人士”（Disabilities），人权事务高级专员办事处，联合国，2007年，参见 <https://www.ohchr.org/Documents/Publications/training14en.pdf>
404. 科学、技术和政策研究中心（2016年），“通过城市规划工具在南亚实现性别平等目标”（Localising the gender equality goal through urban planning tools in South Asia）。参见 <http://southernvoice.org/localising-the-gender-equality-goal-through-urban-planning-tools-in-south-asia/>
405. 世界银行（2020年），“性别包容性城市规划和设计手册”（Handbook for Gender-Inclusive Urban Planning and Design）。参见 <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/publication/handbook-for-gender-inclusive-urban-planning-and-design>
406. 世界银行（2020年），“性别包容性城市规划和设计手册”（Handbook for Gender-Inclusive Urban Planning and Design）。参见 <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/publication/handbook-for-gender-inclusive-urban-planning-and-design>
407. 温哥华（2015年），“2020年最环保城市行动计划”（Greenest City 2020 Action Plan）。参见 <https://vancouver.ca/files/cov/greenest-city-2020-action-plan-2015-2020.pdf>
408. 温哥华（2015年），“妇女咨询委员会”（Women's Advisory Committee）。参见 <https://vancouver.ca/your-government/womens-advisory-committee.aspx>
409. 联合国亚洲和太平洋经济社会委员会（2017年），“亚洲及太平洋的性别、环境和可持续发展”（Gender, The Environment and Sustainable Development in Asia and the Pacific）。参见 <https://www.unescap.org/publications/gender-environment-and-sustainable-development-asia-and-pacific>
410. 妇女政策研究所（2015年），“性别城市化和本土治理白皮书”（Gender Urbanization and Local Governance White Paper）。参见 <https://www.ndi.org/files/Gender%20Urbanization%20and%20Local%20Governance%20White%20Paper.pdf>
411. 联合国亚洲和太平洋经济社会委员会（2017年），“亚洲及太平洋的性别、环境和可持续发展”（Gender, The Environment and Sustainable Development in Asia and the Pacific）。参见 <https://www.unescap.org/publications/gender-environment-and-sustainable-development-asia-and-pacific>
412. 《电讯报》（2020年），“查尔斯王子启动‘世界的复兴’倡议”（Prince Charles to Launch Great Reset Initiative），参见：<https://www.telegraph.co.uk/royal-family/2020/05/22/prince-charles-launch-great-reset-project-rebuild-planet-wake/>



COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

世界经济论坛是推动公私合作的国际组织，致力于改善世界状况。

论坛汇聚政界、商界等社会各界重要领袖，共同制定全球、区域和行业议程。

世界经济论坛
91-93 route de la Capite
CH-1223 Cologny/Geneva
瑞士
电话: +41(0)228691212
传真: +41(0)227862744
电子邮件: contact@weforum.org
网址: www.weforum.org