

助力可持续发展的数字化转型

国合会专题政策研究项目前期研究报告



中国环境与发展国际合作委员会
China Council for International Cooperation
on Environment and Development

本报告应引述为：

国合会（2022 年）. 国合会专题政策研究项目前期研究：助力可持续发展的数字化转型. 中国环境与发展国际合作委员会.

项目前期研究负责人：



德克-梅森纳

德国联邦环境署（UBA）署长



安东尼娅-加维尔

世界经济论坛执行委员会成员，全球气候总负责人，气候与自然中心副主任

致谢：

该项目前期研究获得了国合会外方首席顾问魏仲加（Scott Vaughan）先生和中方首席顾问刘世锦教授的支持。项目协调小组由德国联邦环境署的 Anna Rosenbaum、赵丽智，世界经济论坛的李秋苹，以及德国国际合作机构的 Christian Stürz、Jan-Hendrik Eisenbarth 和代敏组成。项目小组感谢国合会秘书处郝小然对本项目的协助。

项目小组在此感谢参与编制本报告的专家：德国联邦环境署的 Christian Löwe、Marcel Dorsch，世界经济论坛“塑造数字经济未来与创造新价值”平台战略负责人 Manju George、“科技促进可持续发展目标”负责人 Eric White。还要特别感谢研究团队，包括联合国贸易和发展会议资深经济学家梁国勇博士，Disal 咨询公司的 Nicolò Andreula、Mario De Pinto 和 Alessandro Meneghella，以及 Vincenzo Gesumaria、Andrea Ticchi 和 Davide Vandini。

目录

一、序言	4
二、推进数字行业的绿色转型	5
（一）中国的数字行业	5
（二）数字行业的绿色转型现状	6
三、促进双转型	9
（一）数字化与可持续发展之间“缺失的联结”	9
（二）双转型的社会维度	11
（三）从性别视角看双转型	12
（四）加强数字化与可持续发展之间的联结	13
四、促进绿色转型的创新数字解决方案	15
（一）低碳发展与可持续发展的核心数字能力	15
（二）各行业的绿色和数字化转型	16
1. 智能制造	16
2. 绿色消费 4.0	17
3. 可持续交通	18
4. 智慧农业、智慧能源和水资源管理	19
五、政策、路径及未来专题政策研究的潜在研究方向	20
（一）政策和路径	20
（二）未来专题政策研究的潜在研究方向	21
附件：双转型趋势	23
附件 1：利用工业 4.0 提高生产效率、减少环境负担	23
附件 2：智慧城市	24
参考文献	26

一、序言

数字化已经深入到人们日常生活的方方面面，极大的改变了**经济、社会和文化形态**。与此同时，**碳中和、生物多样性保护和可持续发展承诺**，要求重塑现有的治理模式、商业行为和生活方式。这对于**中国**来说更是如此，因为中国将为探寻创新与可持续发展的新兴经济体树立榜样力量。

中国约有 **10 亿互联网用户**（比美国和欧盟的互联网用户总和还要多）以及很多先驱型互联网企业。中国政府出台了多项具有前瞻性的政策，正在创建一个**多层面、跨行业的数字生态系统^[1]**。这种演变促进了中国的经济增长，重塑了中国的商业形态，也将影响扩展到了国界之外。中国的“十四五”规划特别强调追求更高质量、技术更先进的发展模式，重点领域包括数字化、电信（5G）、人工智能（AI）、大数据和量子计算。“十四五”规划进一步提出到 **2025 年，核心数字产业对 GDP 的贡献应达到 10% 的目标**。与此同时，可持续发展理念已经深入地融合到生态文明建设，并被视为是高质量发展的重要方面。因此，促进数字化与可持续发展之间的联结非常重要。

数字发展与绿色经济是当今的两大趋势，它们将成为促进中国经济发展的新动力。因此，有必要将这两个目前相互独立的领域战略性地结合起来：事实上，数字经济对于中国实现其发展目标、兑现其**碳达峰、碳中和承诺**至关重要。数字化转型对**可持续发展**也会产生较大的影响，因此需要研究数字和绿色技术如何引导经济和社会走向公平、繁荣的未来。

在此背景下，本项目前期研究报告旨在探讨数字化与可持续发展之间的联结，探索中国如何应对推进数字化转型、实现可持续发展过程中面临的主要挑战，包括减轻其对环境和社会的不良影响，并为未来专题政策研究提出建议和方向。本报告的结构如下：

第 1 章归纳了中国数字化有关的最新趋势，分析了促进数字化与可持续发展有机融合的挑战和机遇，并讨论了数字化如何赋能中国的可持续发展。

第 2 章简要回顾了中国数字行业的发展，探讨了其实现可持续发展的主要挑战，并强调了推进数字行业绿色转型的必要性。

第 3 章提出了数字化与可持续发展之间“**缺失的联结**”，强调了“绿色”与“数字化”双转型（以下简称“双转型”）与实现**联合国可持续发展目标（UN SDGs）、减少社会不平等和改善性别平等**之间的关系，并呼吁采用全局、系统的方式，**将数字创新与可持续发展结合起来**。

第 4 章介绍了中国和国际上对促进绿色与数字化转型的一系列应用场景的看法。

第 5 章描述了**中国政府**在推进数字化转型、实现可持续发展方面发挥的作用，**建议国合会重点关注促进数字化与可持续发展之间的联结**，最后提出了**未来研究的潜在方向**。

二、推进数字行业的绿色转型

数字化正逐步深入到我们社会经济的各个领域。快速发展的数字技术，如人工智能、大数据和虚拟现实，不仅将在未来的经济社会活动中发挥越来越大的作用，而且可能成为向可持续发展转型的重要推力，同时还将释放数字行业自身的巨大绿色转型潜力。我们必须考虑数字化潜在的直接和间接生态影响以及其对环境政策的意义。本节将概述中国数字行业的绿色转型现状及全球最佳实践。

（一）中国的数字行业

在过去的十年里，快速的数字化进程大大地促进了中国生产力的提高和经济的增长，同时与中国污染防治及碳中和行动产生了诸多协同效益^[2]。中国在电子商务和移动支付等多个领域达到了世界领先地位。事实上，中国已经成为全球最大的网络零售市场：2020年，网络零售占据全国零售总额的24.9%（2019年为20.7%）；中国的电子商务占全球网络零售额的50%以上。相比之下，美国占全球电子商务销售额的19%，而英国仅占5%。此外，中国有五分之四的交易通过数字支付方式完成。

由于缺乏标准的定义，数字经济的估算对世界各地的学者提出了挑战^[3-4]。根据国际货币基金组织（IMF）的数据，2008年，所谓的“数字化经济”（既包括数字行业，也包括数字化传统产业）规模占中国GDP的15%。政府智库中国信息通信研究院（CAICT）发现，在2020年这一比例飙升至40%，预计未来几年还将进一步增长^[5-6]。

中国政府采用的“数字经济”定义相对狭隘。2021年5月，中国政府发布了《数字经济及其核心产业统计分类（2021）》^[7]，将数字经济产业范围确定为五大类：

- 1) 数字产品制造业，包括计算机、通讯设备、机器人和电子元器件等制造。
- 2) 数字产品服务业，如数字产品批发、零售、租赁和维修等。
- 3) 数字技术应用业，如软件开发、互联网相关服务、信息技术服务等。
- 4) 数字要素驱动业，包括互联网平台、电子商务、互联网金融和信息基础设施建设等。
- 5) 数字化效率提升业，包括智能制造、智慧农业、智能交通和智慧物流等。

其中，该分类系统中的1至4类被定义为数字经济核心产业，针对该核心产业，2022年1月发布的《“十四五”数字经济发展规划》提出了以下目标：到2025年，核心数字产业GDP占比达到10%。第5类产业在实现绿色和数字化社会的双转型过程中发挥着重要作用，因此，我们建议扩大核心数字产业的定义，将第5类产业纳入其中，并制定相应的目标，以促进各经济行业的效率提升。本项目所说的“数字行业”包含所有5类产业。中国数字行业的环境足迹很大，因此在研究领域受到越来越多的关注。2021年发表的一项研究在分析了中国多个地区之后发现，数字经济发展水平每提高1%就可

能使该地区的**雾霾浓度降低约 0.2%**^[8]。同年，另一项研究分析了中国各省的数据，结果表明数字经济与空气质量（大气颗粒物浓度）之间存在正相关性^[9]。

数字化尽管可以给可持续发展带来诸多益处，但来自**企业层面的数据大量缺乏**阻碍了对这些影响进行系统评估。事实上，在中国数字行业排名前 50 的上市公司中，有 30% 的公司**在 2020 年没有发布任何环境、社会与治理（ESG）报告**，而在发布报告的公司中，有些仍然仅限于履行传统的企业社会责任（CSR），并未提供**足够的数据**来评估其在可持续发展指标方面的表现。

（二）数字行业的绿色转型现状

数字技术也带来了**全新的挑战**，如环境问题、劳动力中断、电子垃圾、隐私侵犯、新兴的寡头垄断和金融风险^[10]。其中一些是全球性挑战，而另一些在中国表现得更为突出。数字化的生态足迹很大。例如，德国联邦环境、自然保护、核安全与消费者保护部（BMUV）的一项研究表明，全球 4% 的二氧化碳排放可归因于数字化，且数字化能耗每年上升约 9%。有关数字化生态足迹的更多信息，可以参见图 1-1。

数据中心是数字部门的核心，负责存储和处理大多数业务数据，在推动数字化转型中发挥着重要作用。这些数据中心的用电量十分巨大，是全球温室气体（GHG）排放的主要来源。2019 年，**Facebook 数据中心的排放量占其总排放量的 80% 以上**，而全球的数据中心整体则消耗了**全球用电总量的 1% 左右**^[11]。

在中国，由于巨大的用电需求，数据中心通常被称为“电老虎”。2020 年，中国数据中心的用电量超过**2000 亿千瓦时**，占全国用电总量的**2.7%**。这一比例远高于全球水平，并且未来可能会维持这种增长的趋势^[12]。2022 年，中国国家发改委（NDRC）批准了一个涉及建设**8 个国家算力枢纽**的大型项目，并计划建设**10 个国家数据中心集群**，这表明中国政府正全面实施将更多的算力资源从东部地区转移到欠发达但资源丰富的西部地区的战略^[13]。国家“东数西算”工程将允许企业和机构在充分利用西部丰富可再生能源的同时，满足东部发达地区的算力需求。例如，华为已将其部分数据中心转移到贵州贵安新区，每年帮助其节省**超过 10 亿千瓦时的电力并减少 81 万吨的碳排放**^[14]。从更宏观的角度来看，如果中国的所有数据中心都使用绿色电力，那么**每年可帮助减少 3.2 亿吨的碳排放**。

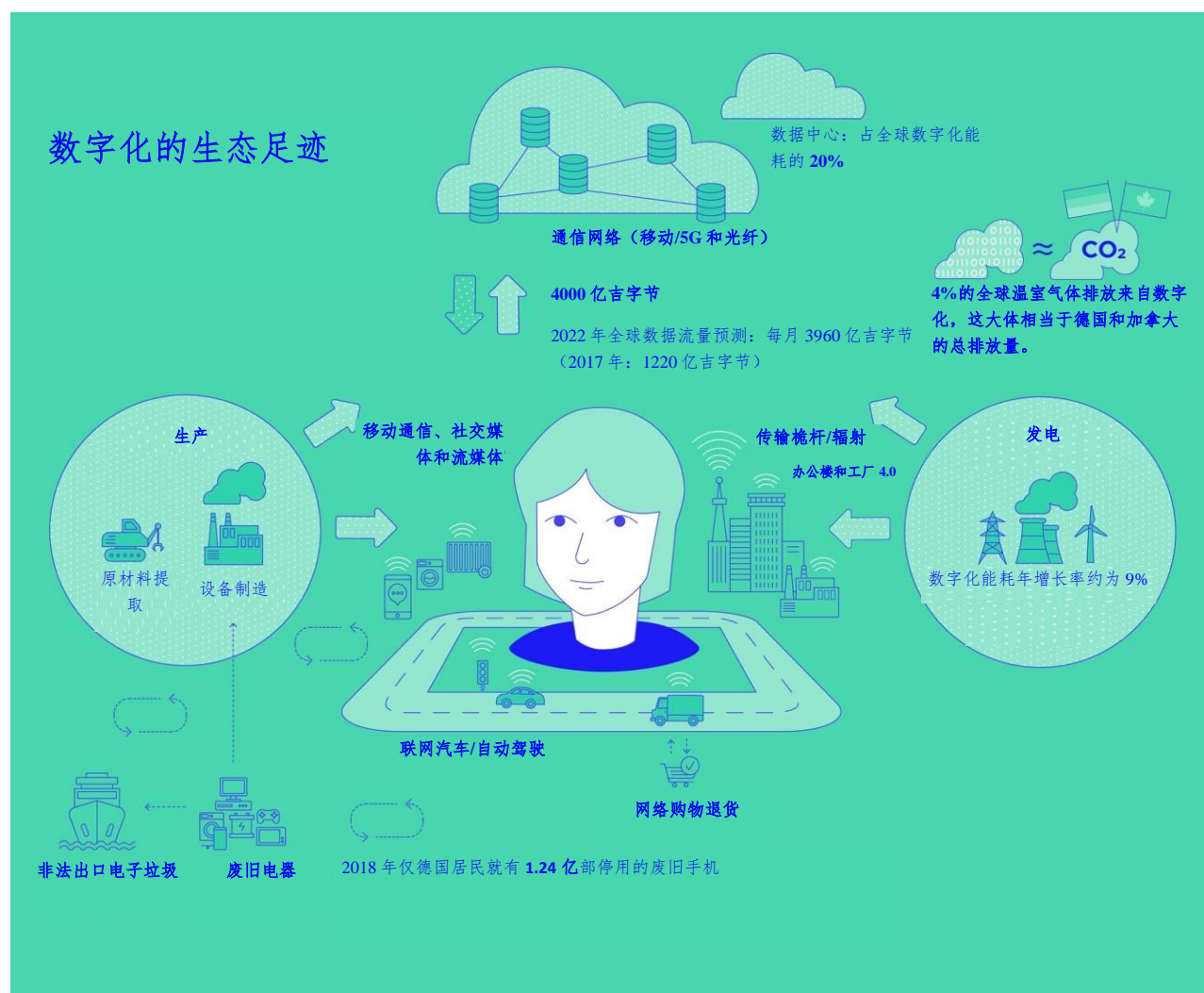


图 1-1: 数字化的生态足迹^[15]

另外，中国之外的许多政府和企业正通过促进**可持续发展举措**来帮助加快数字行业的绿色转型进程。例如，2021 年，26 家信息通信技术（ICT）企业高管成立了“**欧洲绿色数字联盟**”（EGDC），并签署了一份声明，以支持欧盟的绿色和数字化转型。在这份声明文件中，他们承诺投资开发提高数字部门效率的解决方案，并开发有效的工具来评估数字部门的环境影响^[16]。

由于市场对数据中心的监管，谷歌、微软、Green Mountain 和 DigiPlex 等一些公司，已经将其服务器集群搬到了挪威等基于**可再生能源**的地区。在过去的几年里，挪威政府为数据中心行业提供更便宜的电力，并采用与铁工等电力密集型行业相同的税收模式^[17]。

除了第 2.1 节已经提到的益处外，近期发表的一篇论文指出，2002-2017 年，（传统）数字产业有关的生产要素对中国的**隐含碳排放产生了明显的负面影响**^[18]。此外，一项分析中国西北地区可再生能源生产的研究发现，由于数字技术的进步和深入渗透，可再生能源产出的**短期预测准确性**逐年提高，从 2012 年的 84.2% 提高到 2019 年的 91%。因此，2016-2019 年，可再生能源的使用大幅增加。总的来说，无论是从能源需求侧还是能源供应侧来看，作为气候行动核心的能源转型，都与数

字技术密切相关。除了提高能源系统的运行效率外，数字化还连接了能源系统的各个部分，并为全面的能源系统转型提供了巨大潜力^[19]。

专栏 1-1：欧洲气候中立数据中心-自我监管倡议

为了实施“气候中立数据中心自我监管倡议”，欧洲云基础设施服务提供商联盟（CISPE）与欧洲数据中心联盟（EUDCA）创建了一个名为《欧洲气候中立数据中心公约》的管理机制。该《公约》是欧洲数据中心运营商与贸易协会签署的一项倡议；目的是履行《欧洲绿色协议》，到 2030 年实现数据中心的完全可持续^[20]。

为实现气候中立目标，《公约》采取了以下行动：

- 1) **能效**：欧洲的数据中心和服务器机房将达到高能效标准，这将体现为积极的电力使用效率（PUE）目标。
- 2) **清洁能源**：数据中心将通过购买清洁能源来满足其电力供应需求。到 2025 年 12 月 31 日，数据中心的电力需求将由 75% 的可再生能源或每小时零碳能源来满足，到 2030 年 12 月 31 日，这一比例将达到 100%。
- 3) **水**：到 2022 年，数据中心运营商将为用水效率（WUE）或其他节水指标设定年度目标，新数据中心将在 2025 年实现这一目标，现有数据中心将在 2030 年实现这一目标。
- 4) **循环经济**：数据中心将提出高标准的循环经济实践，并评估旧服务器设备再利用、维修或回收率是否达到 100%。数据中心运营商将增加维修或再利用的服务器材料数量，并将设定一个 2025 年维修和再利用目标比例。
- 5) **循环能源系统**：数据中心运营商将探索与区域供热系统和其他热能用户互联的可能性，以确定将新数据中心捕获的热能输入附近系统的机会是否切合实际、环保且具有成本效益。

三、促进双转型

（一）数字化与可持续发展之间“缺失的联结”

数字化为支持可持续发展提供了无限的可能性。然而，到目前为止，数字资源和项目主要用于以国际竞争为特征的既有市场的常规增长。就此来看，可持续发展并不是数字化进程的主要目的；数字化目前主要的关注点在娱乐、便利、安全，尤其是短期经济收益。总的来说，当前的数字化进程充当了“助燃剂”的作用，加剧了现有的不可持续趋势，例如，许多国家过度使用自然资源且社会不平等加剧。图 1-2 阐明了数字化与可持续发展相关的各类潜在收益和风险。鉴于数字化大趋势给我们这个时代带来的广泛、颠覆性变革，我们必须考虑以下问题：数字化如何改变我们的社会和可持续发展需求，甚至如何改变我们的“人类发展”理念。

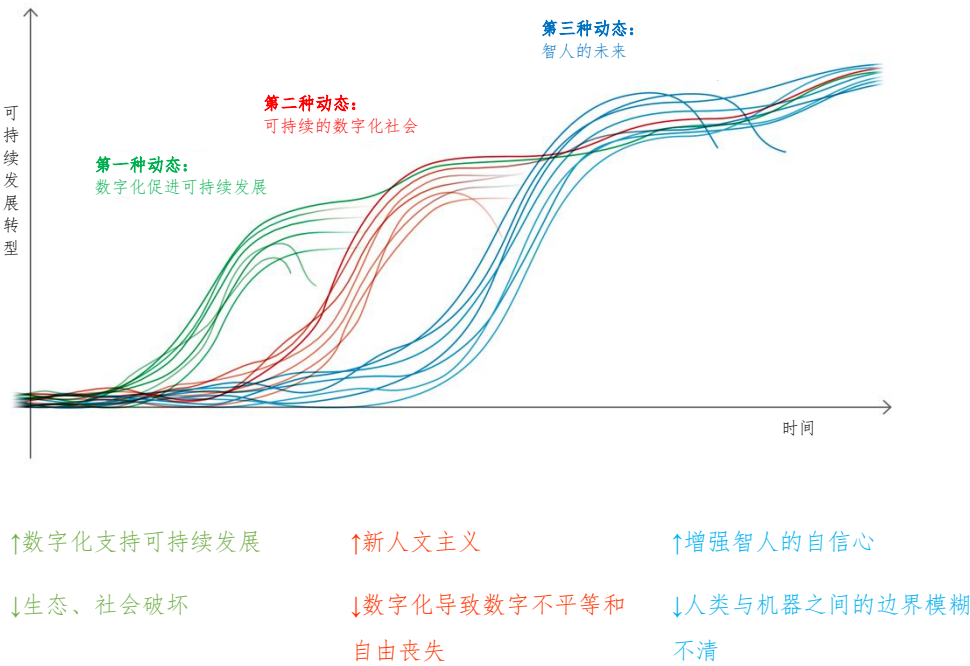
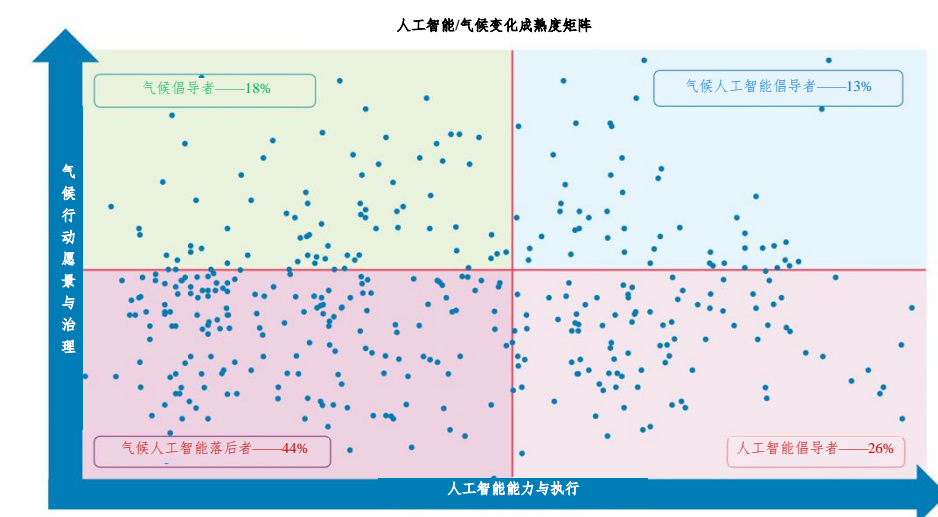


图 1-2：数字时代的三种动态，资料来源：WBGU

- **第一种动态：“数字化促进可持续发展”**——利用数字化保护地球系统，确保社会凝聚力。该动态的重点是，实现《2030 年议程》及其可持续发展目标。一方面，希望数字化为改善和加速解决全球环境发展问题做出宝贵贡献；另一方面，如果不采取有效应对措施，数字化也会大规模地加剧现有的可持续发展问题，并导致严重的社会扭曲。

- **第二种动态：“可持续的数字化社会”——实现新人文主义：**该动态的重点是，应对数字化变革引发的基本社会动荡。这里显然需要关注积极、消极的发展机遇以及如何应对由此带来的相应挑战。从积极的角度来看，希望数字化能使我们更接近数字时代可持续社会的人文主义愿景；然而，从消极的角度来看，数字化导致的数字不平等和自由丧失风险，将摧毁所有先前的可持续发展成果。
- **第三种动态：“智人的未来”——关于划定边界的论述。**该动态的重点是，解决最基本的可持续发展问题：人类自身在未来的生存能力，及其在社会及其改造的环境中的身份。这里，德国全球变化咨询委员会（WBGU）提出了一些听起来很遥远，但在当前已经非常热门的问题。

这三种动态表明了数字化对社会、经济和人类的短中长期影响。在人工智能的支持下，企业具有巨大的潜力采取连贯的气候战略。然而，现实情况是，只有极少数企业将气候目标和战略与人工智能开发目标相结合，如图 1-3 所示。



气候倡导者

虽然他们拥有强大的气候变化愿景和执行能力，但他们缺乏人工智能能力来实现这些愿景（18%的受调查组织）。

气候人工智能倡导者

他们拥有成熟的气候变化愿景、战略，以及利用人工智能实施气候行动方面的丰富经验（13%的受调查组织）。

气候人工智能落后者

他们既缺乏气候变化愿景和执行能力，也不具备必要的人工智能能力（44%的受调查组织）。

人工智能倡导者

他们拥有强大的人工智能能力，但是缺乏气候变化治理、愿景和执行能力（26%的受调查组织）。

图 1-3：只有 13% 的受调查组织将气候目标制定和执行与人工智能开发结合起来^[21]

过去十年中，随着人工智能逐渐成为一个普遍关注的话题，政府间、国家和区域组织也纷纷制定了人工智能治理政策和战略。这些行为主体主要受到这样一种认识的驱动，即必须找到方法解决人工智能有关的伦理和社会问题，同时最大限度地发挥其效益。积极、知情的人工智能技术治理，已成为全球许多政府的一个优先事项。然而，人工智能与环境、能源和可持续发展研究领域之间的联结仍然很薄弱。2021 年，在人工智能课题中，最受关注的热点研究领域是隐私、安全和安保；创新和技术；以及伦理（图 1-4）。与能源和环境、人文、物理科学以及社会和行为科学有关的课题关注相对较少。

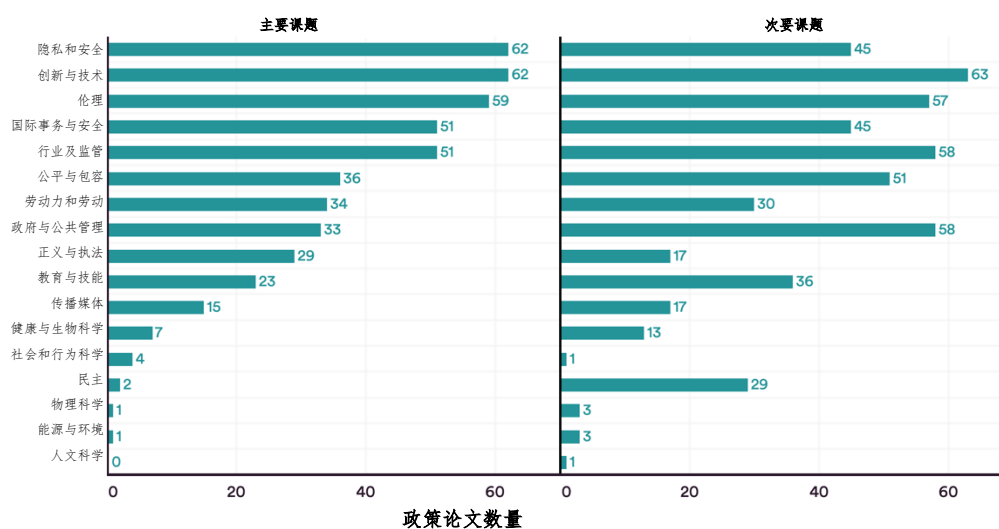


图 1-4：2021 年美国组织按课题划分的人工智能相关政策论文数量 [22]

（二）双转型的社会维度

智能工具和新技术的发展，在促进经济繁荣发展的同时，也有望提高中国社会的包容性、改善生态环境。国际货币基金组织 2019 年发布的一份报告显示，数字化可通过降低交易成本、减少信息不对称、更好地匹配供需、以及提高生产效率来提高生产力。

仔细观察中国的就业状况，我们可以发现，数字化转型正带来重大变化。一方面，技术创新导致了所谓的“技术性失业”——即从业人数减少，特别是生产线上的工人^[23]。事实上，2021 年发表的一篇论文指出，2012 年以来，工业部门从业人数减少了 **900 万**。另一方面，在过去几年里，数字经济在宏观层面上产生了重要的效益^[24]。前面提到的国际货币基金组织研究表明，数字化为**电子商务和共享经济领域创造了一些新的职业**——例如，阿里巴巴平台涉及近 1100 万家中小企业，这些企业在过去十年中创造了超过 **3000 万个就业机会**^[25]。此外，数字化转型**大大增加了灵活工作岗位的数量**，特别是在中国失业率最高的年轻人（16-24 岁）当中。总体而言，数字化对中国的就业产生了**积极的净影响**^[26]。

就收入不平等而言，数字化的影响尚不清楚。数字化可以通过连接偏远地区的供应商与城市中心的消费市场来帮助减贫——例如，阿里巴巴的淘宝村有助于改善农村互连，提高当地收入。数字化还有助于提高中国的金融普惠性，使拥有智能手机的农村居民也能轻松获得各种金融服务^[27]。一项基于《北京大学数字普惠金融指数（2011-2018年）》数据的实证研究表明，数字化赋能缩小了中国的城乡收入差距^[28]。然而，总体来看，数字化的传播可能以牺牲低技能劳动者为代价，因而可能扩大不平等问题^[29]。

数字经济领域劳动者的工作条件，也受到了越来越多的关注。事实上，快速增长的电子商务行业和共享经济创造了数百万个就业机会，但雇佣条件往往存在一定问题。例如，外卖平台需要大量的骑手，但平台与骑手之间的雇佣关系往往并不固定，且涉及其他实体。因此，平台可能不需要承担作为雇主的必要责任。此外，在计算配送时间时，可能会遇到算法方面的问题，有时会“吃掉”几分钟，给骑手带来了很大压力。提出这些问题并不是要求停止这些平台运营，而是要求制定更明确的规定，在激励创新与保护利益相关者和劳动者权利之间取得平衡。中国政府已经开始关注改善数字化背景下的劳动者工作条件。2021年7月，中国人力资源和社会保障部与其他七个部门联合发布了《关于维护新就业形态劳动者劳动保障权益的指导意见》，强调要保护新就业形态劳动者的劳动权益。

中国的数字金融服务已通过移动设备渗透到受排斥和服务不足的群体，特别是低收入群体。数字普惠金融为这些群体提供了支付、储蓄、信贷、保险等服务，而这将积极地提高他们从金融系统^[30]中获益的能力^[31]。

总的来说，数字化可以助力中国实现一系列可持续发展目标（SDGs），包括：清洁饮水和卫生设施（SDG 6）、廉价和清洁能源（SDG 7）、体面工作和经济增长（SDG 8）、可持续城市和社区（SDG 11）、负责任的消费和生产（SDG 12）、气候行动（SDG 13）。数字化在促进实现 SDG 5（性别平等）方面也显示出巨大的潜力。

（三）从性别视角看双转型

改善数字技术的使用，可帮助解决性别平等有关的问题。事实上，中国女性在劳动力参与方面仍然落后于男性——参与劳动力活动的女性与男性比率为 81%，而提高性别平等有望到 2025 年为中国带来 13% 的 GDP 增长。从这个角度来看，电子商务和零工经济可以促进工作的灵活性，帮助女性平衡工作和家庭事务。数字技术也可以使女性获得进入更大市场及更好的经济机会。例如，2015 年，中国有 55% 的新互联网企业是由女性创办。

中国女性的数字文化水平可以通过组织培训和交流活动的公私合作伙伴关系来提高。例如，近年来，领先的企业软件供应商 **SAP**（思爱普）与联合国合作，为中国，特别是中小城市的 **10 万名女性创业者** 提供数字技术与商业技能培训^[32]。

专栏 1-2：数字化赋能女性创业

仅仅通过让发展中国家的 60 万名女性接入互联网，数字技术就有可能使发展中国家的年 GDP 总额增加 **130-180 亿美元**。数字技术可从以下方面影响性别平等：扩大经济机会，提高女性在商业活动中的参与率，使女性有能力参与政治和社会活动，并发展她们的专业技能^[33]。

2016 年，微软中国组织了一系列研讨会，旨在激发对科技感兴趣的年轻女性，并支持计算机专业毕业的女学生顺利完成从学生到职场人的转换。微软中国举办了 4 次年度活动，另外还在中国高校举办了 10 次 “Ada Workshop” 活动，邀请优秀女性榜样分享她们的故事。2020 年，有 **1300 多名学生** 参加了年度研讨会活动，6000 余名观众在线参与，2900 余条弹幕热烈互动^[34]。

（四）加强数字化与可持续发展之间的联结

本报告指出了**数字创新如何联结所有行业**，并对中国的整个经济、社会 and 可持续发展产生影响。然而，无论是在政策制定还是企业战略层面，数字化与可持续发展往往朝着不同的方向发展，并被分开管理。因此，随着本研究范围的扩大，有必要收集更多资料，来研究如何让这两个宏观趋势在**治理、商业、研究**三个领域产生进一步的联系。

为了加强数字化与可持续发展之间的联结，**国家和政府间组织**应通过实施**专项政策**，提高经济的整体数字化水平以及环境效率，从而提高环境可持续性水平。例如，欧盟发起了“双转型：数字化与绿色转型”进程，领先企业承诺推进该双转型进程，同时也涉及国家层面的行动，24 个欧盟国家加上挪威和冰岛，也承诺支持欧盟的绿色和数字化转型进程。

从政府的角度来看，可以考虑采用以下宏观框架将数字化与可持续发展联结起来：

- 推动先驱型数字企业的**创新愿景**和**模式转向**可持续发展至关重要。这些先驱型企业可以影响信息通信技术（ICT）行业生态，从而将数字发展的叙述转变为服务可持续发展。
- **调动市场**是另一个需要考虑的重要视角，例如，通过绿色税收改革。这也包括调整市场路线图和目标，以减少排放和资源消耗。
- 作为数字变革治理的前提条件，通过建设数字能力来实现**国家现代化**。

- **建立数字化与可持续发展研究领域之间的强大网络。**
- **建立民间团体、国家、私营企业与科学之间的对话结构，以塑造数字化与可持续未来。**

对于组织机构来说，还可以寻找机会**发挥组织之间及其专业领域内的协同效益**。例如，世界经济论坛发布的一份文件指出，企业可以利用数字化来提高其绿色效率，具体方法是制定数据分析战略，**收集各业务部门的可持续性数据**；实现流程自动化，**以实现明显的效率提升并改善资源利用效率**；利用数字平台**收集客户反馈**，以实现环境可持续的数字商业模式创新^[35-36]。

分析数字化与可持续发展之间的关系，是研究领域一个相对较新的趋势。事实上，正如一项研究表明，研究侧重点往往放在数字化的某一特定要素上，或者仅涉及一种可持续发展形式（生态、经济或社会）^[37]。

因此，在许多情况下，这两个研究群体仍然**非常分散**。将这些学科联系起来并促成直接合作，可以获得新的视角和深入见解。在该方向上，**习近平主席**在2020年9月22日第75届联合国大会上宣布，中国将建立一个**可持续发展大数据国际研究中心**。该中心将通过发挥公共科技平台的作用，帮助联合国机构和联合国会员国实施《2030年议程》；它还将作为大数据与可持续发展智库，以及人才培养和能力建设中心（提供教育和培训）。德国联邦环境署（UBA）增加了拥有IT、人工智能或一般数字化教育背景的员工数量。

专栏 1-3：数字环境可持续发展联盟（CODES）

CODES 是一个于2021年3月创建的国际多方利益相关者联盟。**CODES**的主要目标是，在实现联合国可持续发展目标的过程中，重新定位并优先采用数字技术落实《2030年议程》。经过协商，**CODES**制定了一个行动计划，旨在促进数字化转型，积极推动可持续发展。该计划提出了一套优先事项、目标和时间表，以将社会和环境可持续发展纳入数字革命。该计划确定了三个转变，为了实现联盟目标，应同时推进这些转变。第一个转变是，使数字化的愿景、价值和目标与可持续发展的愿景、价值和目标保持一致；第二个转变是，通过减轻数字化的负面影响来确保可持续的数字化；第三个转变侧重于引导创新促进实现可持续的数字化^[38]。

四、促进绿色转型的创新数字解决方案

考虑到中国在数字化领域的规模，数字化对可持续发展的影响在中国应当收到格外关注。作为仅次于美国的**第二大数字经济体**，中国正快速巩固其国际地位^[39-40]。本章概述了政策研究应关注的**关键领域和案例研究**，以了解数字化进展如何帮助中国实现其可持续发展目标。

（一）低碳发展与可持续发展的核心数字能力

技术推动的**二氧化碳减排**可帮助应对气候变化影响。全球电子可持续发展倡议组织（GeSI）的一项研究表明，到**2030年**，数字化将帮助**减少20%的全球二氧化碳排放**。具体来说，到2030年，智能电网和综合能源管理系统等能效技术，预计将帮助避免高达**1.8吉吨（Gt）**的全球二氧化碳排放当量^[41]。如图1-5所示，GeSI研究估计如果在不同经济部门实施数字解决方案，那么到2030年可减少**12吉吨**的全球二氧化碳排放当量，创造可持续增长路径。

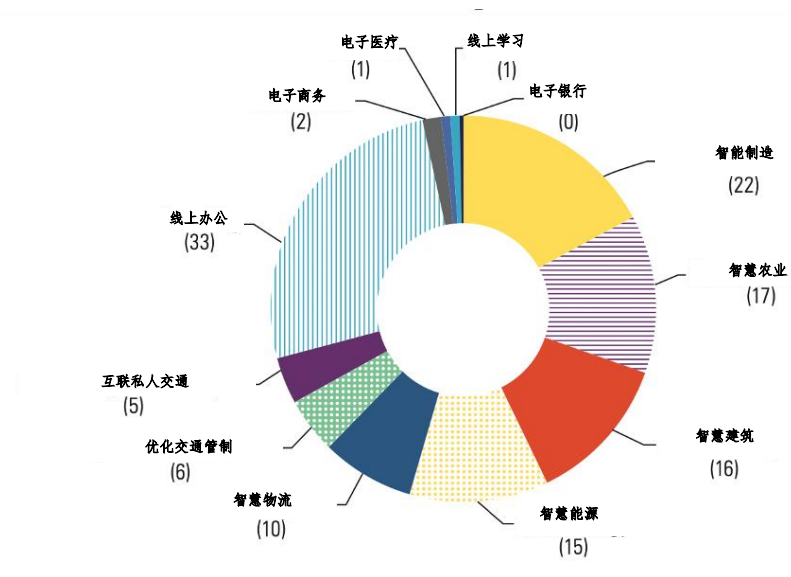


图 1-5：各类数字解决方案到 2030 年的二氧化碳减排潜力。资料来源：GeSI

表 1-1：可持续发展解决方案的核心数字能力

主要功能	技术	应用
绘图、集成、分析、可视化数据	人工智能、机器学习、数据科学、可视化工具...	了解和管理复杂系统（VC、城市等）；数据库管理：温室气体、生态系统、资源
优化和预测	人工智能、机器学习	所有经济部门；生态系统——改善可持续性治理

模拟	数字孪生、人工智能、机器学习	智能电网、建筑、价值链、生态系统
感知、连接和引导	5G、物联网、传感器、卫星、人工智能、机器学习	构建、了解和推动高连接性系统；自动化系统
追踪和核实	区块链、可视化工具、人工智能、机器学习	监测和管理资源流、绿色足迹、循环经济
跨部门	一系列技术	治理、去物质化和虚拟化的绿色潜力

（二）各行业的绿色和数字化转型

本节列出了可以加快向可持续企业和社会转型的几个领域，描述了数字化可以在这些领域产生的效益，并通过国际案例研究提供了相关证据。具体将探讨：**智能制造；可持续交通；城市与基础设施的数字化转型；气候智能型农业；能源和水消费。**

1. 智能制造

工业 4.0 技术的应用可帮助中国大幅**减少碳排放**。更具体地说，到 2030 年，数字技术带来的**减排量**预计将达到**每年 1.12 亿吨二氧化碳当量**^[42]。

2018 年发表的一篇学术论文指出，数字技术在工业生产过程中的应用可通过以下创新增强可持续性^[43]：

- **实时数据**可帮助掌握资源消耗情况，从而做出更积极有效的改变；
- **物联网（IoT）**可帮助获取能耗数据。机器和生产线性能分析有助于改善具有节能意识的决策；
- 应用于生产过程的**优化软件**可帮助节约能源；
- 由于**增材制造**能够重新利用废弃材料，通过 3D 打印创造物体，因此比传统方法更能节约资源；
- **区块链技术**与工业 4.0 创新相融合，可以促进新的商业模式，因为它可以创造可靠的信息。

专栏 1-4：循环经济解决方案公司的再制造项目

再制造，即废旧（工业）产品的再加工和再利用，是循环经济的一个重要组成部分。再制造面临的最大挑战之一，是如何可靠地识别从市场返回的工业产品并评估其状况。循环经济解决方案公司正在开展 EIBA 项目，与合作伙伴合作，开发一个基于人工智能的报废零部件识别和评估系统。许多工业产品已经适用于循环经济。然而，到目前为止，企业往往缺乏激励措施和必要的专业知识，无法真正对相应的零部件进行回收和再加工。而这正是 C-ECO 工业 4.0 商业模式的意义所在。它开发的服务以结构化的方式从市场上返回要进行再加工的报废零部件，并对其进行评估。根据它自己提供的信息，C-ECO 每年通过全球 22 个物流基地网络返回约 300 万个报废零部件。目前，零部件的识别工作仍主要由人工完成。

最大的挑战是，确保对全球范围内的所有零部件采用相同的标准和评估基准。产品由什么组成？怎样是能用的？哪种再加工策略是合适的？为了回答这些问题，必须明确识别和评估产品。专家们往往只有几秒钟的时间来完成这项工作。但是，许多型号之间只有微小的差别，而污垢和磨损会使得评估更加困难。人工智能未来可能为此提供支持。该项目正在开发一种观察和评估产品的机器。传感器，如深度摄像机或传感秤，可以识别废旧零部件并评估其状况。

2. 绿色消费 4.0

在价值 1 万亿美元的全​​球消费电子产品市场中，只有不到 20% 的电子垃圾被回收利用^[44]。这种回收利用的不足也造成了 570 亿美元的原材料损失。此外，新电气和电子设备（EEE）的生产造成了严重的温室气体排放，而这些排放原本是可以大幅减少的。

特定的技术可以**改善生产和消费模式**，实现向循环经济和智能制造的转型——例如，工业物联网（IIOT）技术、机器对机器（M2M）设备、数据分析和云计算^[45]。

专栏 1-5：数字产品护照

欧盟正计划在 2025 年之前开发和引进“数字产品护照”，以加强面向消费者的数字可持续性产品信息。在欧盟层面，这将作为欧洲所有产品信息要求的基础。

“数字产品护照”指的是一组数据，汇总了产品部件、材料、化学物质和/或关于可修复性、替换零部件和适当处置的信息。这些数据来自产品生命周期的各个阶段，并可用于所有这些阶段（设计、制造、使用、处置）的各种目的。以标准化、可比较的格式构建数据，有助于价值链和供应链中的所有利益相关者能够共同迈向循环经济。与此同时，“数字产品护照”是可靠的消费信息与可持续的消费选择（实体和网络零售）的重要基础。

3. 可持续交通

研究预测，到 2030 年，应用于交通领域的数字创新每年将为中国避免 **1.61-2.34 亿吨的二氧化碳排放**^[46]。更确切地说，**出行即服务（MaaS）**可以通过促进共享出行和绿色交通解决方案的使用，帮助**减少拥堵和排放**。增加公共交通的使用，也可帮助每年避免超过 **3,500 万吨的二氧化碳排放**——相当于超过 15 亿棵成熟树木所吸收的二氧化碳量^[47]。

因此，智能交通控制系统的实施，以及最佳路线搜索应用程序使用的增加，将**提高交通效率**，并**降低每辆车的行驶距离**。据 GeSI 估计，更高效的路线和交通控制每年可帮助减少 **2400 万吨的二氧化碳排放**，而增加智能电动车充电点每年可帮助进一步减少近 **400 万吨的二氧化碳排放**，但前提是充电设施由可再生能源驱动^[48]。

在中国，持续的城市化进程、对更快更便宜出行方式的需求，以及日益扩展的数字化推动了**共享出行系统的普及**，如共享汽车、共享单车及叫车服务^[49]。一项调查显示，与其他交通方式相比，有 **33%**的中国人更喜欢共享出行方式；这与另一项研究结果相一致，该研究显示，2020 年，中国的共享出行支出占**城市居民交通费用的 11.3%**。同年，超过 **95%**的共享汽车是**新能源汽车（NEVs）**，这使得共享汽车成为中国可持续交通的主要贡献者^[50]。

目前，中国是世界上最大的电动汽车（EV）市场：仅在 2020 年就售出了近 129 万辆电动汽车，占**全球销量的 40.5%**，同比增长 8.3%。这些数据说明了这类汽车对中国可持续未来的重要性。伦敦经济学院的政策研究员谢春平博士指出，电动汽车的全生命周期排放量比汽油车**低 19%到 34%**^[51]。同时，必须指出的是，电动汽车的发展可能对全球采矿业产生重大影响。据估计，为了满足电动汽车行业的需求，全球可能需要开采价值 **10 万亿美元**的锂、钴、镍和铜资源，因此相关的环境影响也应加以考虑^[52]。

专栏 1-6：慕尼黑“Easyride”项目：按照规定的当地客运路线自动驾驶

目前，许多德国城市正在举行客运自动驾驶交通系统测试，测试的范围包括从纯粹的私人使用到当地公共交通部署。自动驾驶出租车和公共汽车（也被称为“大众运输工具”）正推动客运公司根据个人需求定制交通出行方式。目前，在德国的三个州：北莱茵-威斯特法伦州、巴登-符腾堡州和柏林，有近 40 条大众运输工具的自动驾驶测试路线。其中一个试点项目是慕尼黑的**“Easyride-未来体验”**项目。市政公用事业公司 SWM 与当地的客运公司 MVG 在奥林匹克公园的两条预定路线上试行**自动驾驶穿梭巴士**；项目部署了 e.GO Mover 型穿梭巴士（来自 e.GO Moove 公司，亚琛 E.GO Mobile 的子公司，成立于 2018 年）。

在第一个试点测试阶段，小型巴士还没有采用自动驾驶技术，而是使用传感器技术以匿名形式收集环境数据。在第二个试点阶段，小型巴士将基于这些数据进行自动驾驶测试。最初的目标是到 2020 年底在现场实践中测试自动

驾驶和互联驾驶。技术开发的重点是个性化的公共交通和自动化拼车车队。后者将由与现有交通系统有接口的算法控制，因此有助于优化路线和集合。除此之外，希望试点项目能够深入了解客户对这些解决方案的接受程度。

4. 智慧农业、智慧能源和水资源管理

正如世界银行 2021 年的数据所表明，中国的农业在职从业人员达到 **25%**^[53]。根据《2021 中国与世界食物政策报告》：2018 年，农业部门占中国温室气体排放的 **5.4%**，而农业用地排放和肠道发酵占该部门温室气体排放的 **60%** 以上；2017 年，28% 的农业排放由合成肥料造成^[54]。

中国国务院指出，自动化农业机械可帮助提高 **50%** 以上的工作效率，减少 **30%** 以上的农药和化肥使用，对农业生产和可持续发展起到非常积极的作用。2020 年上半年，中国自动驾驶农业机械设备和系统的销量达到 11,700 多台，同比强劲增长 **213%**^[55]。

其他创新农业实践可帮助进一步加强农业部门的可持续性。例如，大数据技术可以实现对土壤、天气和生产过程的数据分析，提高农民预测作物产量的能力。数字工具可帮助改善耕作过程中的时间安排，实现作物产量的最大化。此外，通过分析投入产出变量（如自然灾害、气候或土壤），数字技术可帮助农民选择最适合特定地区的作物。

数字化有助于提高能效，提供更平价的能源，并促进可再生能源的产生和使用，而这主要归功于智能电网、传感器、需求响应系统、预测分析等技术。据 GeSI 估计，到 2030 年，数字化可为全球节约 **13 亿兆瓦时的电力**^[56]。此外，2016-2040 年，数字化措施的实施可使全球每年节省约 **800 亿美元** 的发电成本，约占年发电总成本的 **5%**^[57]。

根据美国能源信息署（EIA）的数据，中国是世界上最大的能源消费国。2019 年，中国的能耗量达到 **150,000 千兆 BTU**，比美国多 50%，占全球能耗总量的四分之一^[58]。同年，中国的用水量达到近 **6020 亿立方米**——相当于全球用水总量的约六分之一^[59]。

智能电表等数字工具可以通过测量消耗量、提高资源利用效率来帮助减少能源和水浪费。更确切地说，智能电网使用智能电表，实时记录电力消耗和使用可再生资源的离网能源生产情况。这增强了通过实时监测、自动化和动态存储优化配电网络的可能性，允许配电网络以更高的容量运行^[60]。智能电表也可用于追踪用水情况，并提供更精确的测量。通过这种方式，可以及时发现漏水，准确测量用水量，同时实现更精确的计费^[61]。

五、政策、路径及未来专题政策研究的潜在研究方向

（一）政策和路径

2013 年之前，中国政府并未对数字经济进行过多干预。因此，互联网用户能够在国内市场获得免费的数字内容，这增加了**数字服务的渗透率**。同时创新者也有足够的空间来测试其产品方案^[62]。不过，这种放任数字经济自行发展产生的影响既有积极的也有消极的。

近年来，政府机构大大**加强了对数字行业的监管**，更多地关注数字经济的发展和中国经济的数字化。在过去的十年里，中国政府通过扮演政策制定者、投资者和可持续发展资助者这三个关键角色，产生了越来越大的影响。

随着“十三五”规划（2016-2020 年）的出台，中国政府实施了一系列举措来**升级中国的数字基础设施**，例如，加强高速传输、跨境电缆基础设施、无线网络（4G/5G），或与阿拉伯国家合作开发“网上丝绸之路”。“十四五”规划（2021-2025 年）进一步强调了创造更高质量的数字、一体化经济的重要性，同时将可持续发展纳入生态文明思想中。事实上，中国政府明确表示打算促进国内数字产业发展，鼓励主要经济部门采用新技术，以提高中国的效率和可靠性^[63]。**数字化与可持续发展目标**之间尚未建立明确的联结，尽管两者都是“十四五”规划的一部分，是中国高质量发展的重要支柱。

为了到 2060 年实现“碳中和”目标，中国政府在过去几年推出了各种**绿色举措**。但是，预计中国需要再投入 6.4 – 19.4 万亿美元来推动绿色转型进程，因此中国正在寻找额外的资金来源。除了试图吸引更多的**绿色投资**外，中国还通过征收**碳税**来帮助实施气候变化政策^[64]。

中国可以通过主导**塑造数字化与可持续发展的关系**来巩固其在数字领域的领导地位。这需要对**数字行业的环境和社会影响**进行全面客观的评估，以解决国内优先事项与国际议程、公共目标与企业战略、学术研究与企业研发之间**缺失的联结**。项目前期研究建议国合会进一步探讨数字化与可持续发展关系的以下方面，以支持中国的绿色转型议程：

1. 了解双转型的各个方面，包括数字化如何推动经济和社会变革，以及如何利用数字化的潜力作为可持续经济和社会发展的工具。
2. 将数字化视为一个跨领域学科，通过有影响力的创新创造长期价值和利益，将不同团体连接起来。这些团体既来自数字和环境研究领域，也来自公共和私营部门以及民间团体。
3. 研究数字-社会-环境转型的机会，这超出了提高生产力的范畴。数字化如何推动可持续实践、减少不平等（数字鸿沟）并改善人类和环境的福祉？
4. 如何能从环境资源视角减少颠覆性技术产生的负面影响？

5. 中国如何减少信息通信技术（ICT）以及数字基础设施（数字部门的核心）对环境的危害？

（二）未来专题政策研究的潜在研究方向

基于“推进可持续发展的数字化转型”项目前期研究的成果，德国联邦环境署（UBA）、德国国际合作机构（GIZ）与世界经济论坛提议开展一项专题政策研究（SPS）项目，研究数字化技术促进可持续发展和生态文明建设的路径与方法，为建设绿色、低碳和循环的社会经济助力。数字化并不能自发地助力可持续发展转型。

在过去的二十年里，数字化成为了基于化石能源和资源开采为主的经济的加速器。然而，数字化对可持续发展的颠覆性影响，可用来加速和加强可持续发展转型。数字化和环境转型都将日益影响我们的经济和社会。拟议 SPS 项目将探讨如何创建数字化与可持续发展之间“缺失的联结”，分析数字行业的现状、面临的挑战和机遇，同时关注正经历数字化转型的传统产业。此外，拟议 SPS 项目还会聚焦最新的关键数字创新成果，并分析其对环境 and 发展的影响。最后，拟议 SPS 项目还会搜集全球最佳案例，并探讨在中国推广这些案例的利好条件。因为数字化是一个重要的跨领域课题，拟议 SPS 项目还将与其他 SPS 项目共同开展实地研究工作。

潜在研究角度 1：如何加快数字部门本身的绿色转型，包括在数据中心和区块链技术的资源和能源使用方面让 IT 更加绿色低碳，以及如何利用数字和“第四次工业革命”（4IR）技术，推动能源、建筑、交通、农业、制造业等传统部门及其价值链实现绿色转型。“第四次工业革命”（4IR）的特征是融合了物理、数字和生物领域（这些领域之间的界限模糊不清）的技术，如人工智能、物联网、纳米技术、材料科学等。为此，拟议 SPS 项目将研究：1）这些部门的现状、趋势和面临的挑战，4IR 技术带来的新绿色解决方案，以及助力其大规模推广的有利政策环境；2）如何利用数字化助力碳减排，同时保持数字行业的低碳足迹；3）这些颠覆性的数字创新成果在绿色经济转型中的突出表现，重点关注与新绿色产品，服务和低碳商业模式相关的机遇与趋势，尤其是以跨领域视角探索综合一体化解决方案；4）路径错误的风险；5）利用 4IR 技术进行环境和气候治理，以改善政策制定过程。

拟议 SPS 项目的一个研究亮点是数字化与占中国 GDP 1/4 以上的制造业的联结。制造业转型的关键是使智能制造和绿色制造相辅相成，以提高生产力和效率、减轻环境影响，包括建立绿色价值链。首先，可以通过案例分析，概述生产端数字化对低碳发展的总体影响。例如，我们可以评估将人工智能（AI）纳入决策对资源管理和环境的影响。其次，拟议 SPS 项目可以通过选择国内外具有启发性的案例研究，探索生产部门数字化转型在促成新管理模式、新商业模式、新生产模式方面的潜力。更具体地说，拟议 SPS 项目将关注生产和加工领域的数字化解决方案，包括流程自动化、数字化工厂、需求和生产能力的预测分析、企业对企业平台、部件打印、可追溯性等。最后，快速成型和 3D 打印等产品设计、企业-消费者产品设计合作平台及其与生态设计的结合，也是值得研究的角度。

潜在研究角度 2：以近期的数字创新与突破为主要切入点，研究其对环境、气候、经济和治理的意义，拟议 SPS 项目包括：1) 确定最新的数字技术趋势清单，并评估各项创新技术对环境和发展的潜在影响，例如，研究数字孪生技术对环境数据使用或在可持续循环经济方面的有利与不利影响；2) 分析部署数字创新技术在互联互通、投融资和部署指导等方面的具体机遇与障碍；3) 分析数字创新在综合治理、减少不平等实现包容性社会方面的作用；4) 识别和分析环境和可持续性管理方面的关键创新，基于可持续性治理跨学科的重要特征，分析如何通过引入人工智能和数据科学来释放可持续性治理的巨大潜力；5) 提供技能再培训，以支持数字和绿色创新。由于目前的应用性数字/人工智能研究与环境 and 可持续发展研究领域之间缺乏联结，拟议 SPS 项目将研究中国将这两大研究群体联系起来的潜力，以显示这些群体如何以及在哪些领域可以有针对性地进行良好合作。

潜在研究角度 3：拟议 SPS 项目还可以将研究范围扩大到未来城市，如何借助数字和 4IR 技术减少城市对环境的负面影响、提高社会福祉、激发城市经济活力，从而实现低碳、可持续和有韧性的城市。在这方面，拟议 SPS 项目将研究：1) 用借助数字和 4IR 技术来助力新的城市生产、消费、出行、工作和生活系统，改善城市的公众健康、可持续性和包容性；2) 部署智慧城市技术面临的机遇与挑战；3) 智慧城市的最佳实践案例和推广智慧城市的有利政策环境。

附件：双转型趋势

过去十年中，在大量研发支出、蓬勃发展的创业活动，以及不断增加的风险资本投资的推动下，中国的数字化加速发展。新的商业模式和技术不断涌现，并以极快的速度发展，在许多领域产生了创新成果。本节探讨了**中国的主要演变趋势**，以确定未来研究的方向。

所有这些领域充分融合了“**第四次工业革命**”（4IR）技术，包括所有这些进步：“以创造巨大前景和潜在风险的方式融合物理、数字和生物领域[.....]，迫使我们重新思考国家如何发展，组织如何创造价值，甚至对人类的意义”^[65]。

附件 1：利用工业 4.0 提高生产效率、减少环境负担

“工业 4.0”是指在信息通信技术（ICT）的帮助下，实现工业机器与生产过程之间的智能连接。这种数字化系统通过更高效、可持续和数据驱动的生产过程，确保操作技术与信息技术的融合，从而优化制造业的生产力^[66]。此外，数字技术和服务的采用，可通过升级工业生产过程、优化资源配置和创造高质量工作岗位来改善产业绩效和经济状况^[67]。

企业有很多方法可以利用智能连接来提高生产效率，从而减少对环境和气候的负担。例如，这些可能性包括：

- **灵活生产**：在产品制造过程中，许多企业会参与一个逐步的产品开发过程。在完成数字化连接后，可以**更好地协调**这一过程的不同环节，并更好地规划机器负荷。
- **可转换工厂**：未来的生产线可以进行模块化建造，并快速组装完成任务。这可帮助**提高**生产力和**生产效率**；并以可承受的价格小批量生产个性化产品。
- **以客户为导向的解决方案**：消费者与生产者之间将建立起更紧密的联系。客户可以根据自己的意愿**设计产品**——例如，根据客户的独特脚型设计和定制运动鞋。同时，已经交付和使用的智能产品可以向制造商发送数据。有了这些使用数据，制造商可以改进他们的产品，并为客户提供创新服务。
- **优化物流**：算法可以计算出**理想的运送路线**；机器可独立报告新材料需求——智能连接推动实现**最优货物流通**。
- **数据使用**：将整合分析生产过程和产品状况数据。数据分析将为如何提高产品效率提供指导。更重要的是，它是**全新商业模式和服务**的基础。例如，电梯制造商可以为他们的客户提供“预测性维护”：为电梯配备传感器，持续发送有关电梯状况的数据。在电梯系统出现故障之前，检测出并纠正产品磨损问题。

- **资源节约型循环经济：**在数据的支持下，可以考虑产品的整个生命周期。设计阶段就能够确定可以回收利用哪些材料。

专栏 1-7：工业 4.0

中国：中国航天科工集团公司（CASIC）开发了 INDICS 平台，面向政府和传统产业的中小企业，为他们提供基于云的工具和智能制造解决方案，实现项目对接和资源共享。CASIC 的数据表明，该平台在 2018 年有 160 万注册用户，总交易额超过 640 亿美元。中国汽车公司上汽集团（SAIC）建立了一个数字平台，允许买家通过 3D 数字汽车模拟来定制订单。然后，车辆配置信息会传输给供应商以便其启动生产过程，帮助缩短了 35% 的上市时间。人工智能工具持续监测生产进度，以识别错误：为此，上汽汽车公司的订单配置准确性提高到了 99.8% [68]。

国际：世界经济论坛与麦肯锡公司合作推出的“全球灯塔工厂网络”，展示了“第四次工业革命”（4IR）技术推动制造业转型的真正潜力；在 90 个“灯塔工厂”中，有三分之一来自中国。

德国“工业 4.0”平台由德国联邦经济事务和气候行动部（BMWK）、德国联邦教育及研究部（BMBF），以及来自工业、科学与工会的高级代表指导和领导。来自企业、科学、协会和工会的专家与联邦各部委专题工作组的代表共同开发运营解决方案。

附件 2：智慧城市

在过去三十年中，中国约有 6 亿人从农村地区迁入城市。因此，中国已成为世界上百万人口城市最多的国家。预计在未来三十年内，还有 3 亿中国人将迁往城市中心，这一现象将增加对环境的压力 [69]。主要原因是污染增加、交通拥堵加剧、资源供需紧张，因此，中国正专注于创建智慧城市。

智慧城市可以提高城市生态效率，这主要是由于三个方面的效应。首先，**技术效应**可以促进节能和清洁生产技术，减少污染和资源消耗；其次，由于**产业结构提升效应**，创新将为研发、设计、开发软件、信息和商业服务创造新的机会；最后，**资源配置效应**：技术系统可以有效解决资源管理问题，并将其部署在影响最大、效率最高的领域 [70]。总之，“智慧城市”概念旨在改善城市管理，实现城市的可持续发展，利用技术提高居民的生活质量。

目前，中国有约 500 个智慧城市——占全球智慧城市总数的一半。这背后的原因之一是，中国政府在为智慧城市发展提供政策和指导方面发挥积极作用。目前，智慧城市投资额约达到 260 亿美元，预计 2023 年将突破 400 亿美元，约有 800 个中国城市中心准备进行智慧城市转型 [71]。

未来，研究不仅应关注提高城市能源消费、水资源管理和交通解决方案效率的最佳工具和技术，而且应关注如何确定哪些城市领域应“更智能”而哪些领域不需要转型。

专栏 1-8：“柏林 lebenswert 智慧城市”示范项目——5 个试点项目^[72]

作为“柏林 lebenswert 智慧城市”示范项目的一部分，柏林市正通过一项新的“智慧城市战略”，并且于 2020 年 1 月启了 5 个具体的试点项目。参与式过程将在项目前期以及实施阶段发挥重要作用。

- ▶ **智慧城市空间：**重新设计智慧灵活的夏洛滕堡-威尔默斯多夫的哈登贝格广场，一个典型的高使用率车站前空地——即根据事件、日子、天气和季节，提供所有形式的出行方式。
- ▶ **数据治理与数据驱动管理：**柏林市正与爱因斯坦数字未来中心（ECDF）和西门子公司数据治理部合作开展智慧城市示范项目，为试点地区开发示范性概念，在平衡共同利益的基础上，整合市政和私营部门的利益和进程。
- ▶ **社区预算编制和智能参与：**对于参与式过程，低参与度往往会导致利益扭曲。Reallabor StadtManufaktur、BBBlockchain、CityLAB 和移动 CityLAB 可通过激活数字化参与服务更多的人。
- ▶ **智慧水务—建模与治理：**极端天气事件的影响显而易见，但对决策者和公众来说却难以理解。项目将对空间异质性和同质性对水循环的影响进行建模，并开发一个参与式数字墙面板。
- ▶ **日常和危机数据—Kiezbox 2.0：**当地的气候、空气质量等数据一般在日常运行期间获得。在危机发生期间（如停电），例如，太阳能或电池供电热点可以形成一个紧急 Wifi 网络，通知当地居民。

参考文献

1. McKinsey & Company. The future of digital innovation in China[R/OL]. (2021-10). <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/china/the%20future%20of%20digital%20innovation%20in%20china%20megatrends%20shaping%20one%20of%20the%20worlds%20fastest%20evolving%20digital%20ecosystems/future-of-digital-innovation-in-china.pdf>.
2. ZHAO, M., LIU, R. and DAI, D., Synergistic effect between China's digital transformation and economic development: a study based on sustainable development[J]. Sustainability, 2021, 13(24), 13773.
3. Barefoot, K., D.Curtis., W.Jolliff., Nicholson,J., Omohundro,R., Defining and measuring the digital economy[J]. BEA Working Paper, 2018.
4. Xu,X., Zhang,M., Research on the scale measurement of China's digital economy — based on the perspective of international comparison[J]. China Industrial Economics, 2019(5): 23-41.
5. PIIIE. China's tech crackdown affects only a small share of its digital economy and total GDP[EB/OL]. (2021-10-20). https://www.piie.com/research/piie-charts/chinas-tech-crackdown-affects-only-small-share-its-digital-economy-and-total#_ftn2.
6. CAICT. White paper on China's digital economy development[EB/OL]. (2021-4). <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202104/P020210424737615413306.pdf>.
7. Gov.cn. Statistical classification of the digital economy and its core industries[EB/OL]. (2021-05-27). http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5625996.htm.
8. Zhou, J., Lan, H., Zhao, C., Zhou,J., Haze pollution levels, spatial spillover influence, and impacts of the digital economy: empirical evidence from China[J]. Sustainability, 2021, 13(16), 9076.
9. Li, Z., Li, N., Wen, H., Digital economy and environmental quality: evidence from 217 cities in China[J]. Sustainability, 2021, 13(14), 8058.
10. Zhang, L., and Chen, S., China's digital economy: opportunities and risks[J]. IMF Working Paper NO. 19/16, 2019.
11. Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S. & Koomey, J., Recalibrating global data center energy-use estimates [J]. Science, 367: 984–986.
12. China Electronic Energy Saving Technology Association and China Electricity Council. Note: The amount of national electricity consumption in 2022-2025 is forecasted based on a consecutive annual growth rate of 5% from the level of 2021
13. Xinhua. China approves mega project for greater computing power, digital future[EB/OL]. (2022-02-18). <https://english.news.cn/20220218/21d502ee0f884c00948f408820767d06/c.html>.
14. National Development and Reform Commission. China empowers green, digital future with mega data project[EB/OL]. (2022-02-22). https://en.ndrc.gov.cn/news/mediar/sources/202202/t20220222_1316586.html.
15. BMUV. Digital policy agenda for the environment[EB/OL]. <https://www.bmuv.de/en/digital-policy-agenda-for-the-environment/>.
16. European Commission. European Green Digital Coalition[EB/OL]. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-green-digital-coalition>.
17. Oeyvann, S., Microsoft, Google and VW pile in, so what's behind Norway's data center boom?[EB/OL]. (2019-12-02). <https://www.zdnet.com/article/microsoft-google-and-vw-pile-in-so-whats-behind-norways-data-center-boom/>.
18. Wang, J., Dong, X., Dong, K., How digital industries affect China's carbon emissions? Analysis of the direct and indirect structural effects[J]. Technology in Society, 2022, 68, 101911.
19. Zhao,Y., Xia,S., Zhang,J., Hu,Y., Wu,M., Effect of the digital transformation of power system on renewable energy utilization in China[J]. IEEE Access, 2021, 9: 96201-96209.
20. Climate Neutral Data Centre Pact. Self-Regulatory Initiative[EB/OL]. <https://www.climateutraldatacentre.net/self-regulatory-initiative/>.
21. Capgemini Research Institute. Climate AI: how artificial intelligence can power your climate action strategy[R/OL]. <https://www.capgemini.com/gb-en/wp-content/uploads/sites/3/2020/11/Climate-AI-Report-1.pdf>.
22. Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence. Artificial Intelligence Index Report 2022[R/OL]. https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2022/03/2022-AI-Index-Report_Master.pdf.

23. Cao,T., Examining the impact of advanced digital economy on employment in China under COVID-19[J/OL]. Atlantis Press, 2021. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.211209.266>.
24. Hu,J., Creutzig,F., A systematic review on shared mobility in China[J/OL]. International Journal of Sustainable Transportation, 2021, 16:4, 374-389. <https://doi.org/10.1080/15568318.2021.1879974>.
25. IMF China's digital economy: opportunities and risks[J]. IMF Working Paper NO. 19/16, 2019.
26. Cao,T., Examining the impact of advanced digital economy on employment in China under COVID-19[J/OL]. Atlantis Press, 2021. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.211209.266>.
27. McKinsey & Company. The future of digital innovation in China[R/OL]. (2021-10). <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/china/the%20future%20of%20digital%20innovation%20in%20china%20megatrends%20shaping%20one%20of%20the%20worlds%20fastest%20evolving%20digital%20ecosystems/future-of-digital-innovation-in-china.pdf>.
28. Xiao,P., The regional heterogeneity impact of digital inclusive finance on urban-rural income gap in China: empirical research based on provincial panel threshold model[J]. ICITEE2020: Proceedings of the 3rd International Conference on Information Technologies and Electrical Engineering, 2020, 410-415.
29. Zhou,J., Lan,H., Zhao,C., Zhou,J., Haze pollution levels, spatial spillover influence, and impacts of the digital economy: empirical evidence from China[J]. Sustainability, 2021, 13(16), 9076.
30. Li,J., Jing,Y., Xiao,J., The impact of digital finance on household consumption: evidence from China[J]. Economic Modeling, 2020, 86: 317-326.
31. Wang,Z., Zhang,D., Wang,J., How does digital finance impact the leverage of Chinese households?[J]. Applied Economic Letters, 2021, 29(6): 555-558.
32. McKinsey Global Institute. The power of parity: advancing women's equality in Asia Pacific[R/OL]. (2018-04-23). <https://www.mckinsey.com/featured-insights/gender-equality/the-power-of-parity-advancing-womens-equality-in-asia-pacific>.
33. UNEP. SDG ICT playbook: from innovation to impact[R/OL]. (2015). https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9813/-SDG_ICT_Playbook_From_Innovation_to_Impact-2015SDG_ICT_Playbook_2015.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=1.
34. ESCAP. The future is equal: gender equality in the technology industry[R/OL]. (2021). https://www.unescap.org/sites/default/d8files/knowledge-products/Report_Gender%20Equality%20in%20the%20Technology%20Industry_0.pdf.
35. The Business Times. Companies must align digitalization, sustainability plans[EB/OL]. <https://www.businesstimes.com.sg/opinion/companies-must-align-digitalization-sustainability-plans>.
36. WEF. Bridging digital and environmental goals: a framework for business action[R/OL]. (2021-03). https://www3.weforum.org/docs/WEF_Bridging_Digital_and_Environmental_Goals_2021.pdf.
37. Brenner,B., Hartl,B., The perceived relationship between digitalization and ecological, economic, and social sustainability. Journal of Cleaner Production, 2021, 315, 128128.
38. CODES. Action plan for a sustainable planet in the digital age[R/OL]. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/38482/CODES_ActionPlan.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
39. ITIF. Chinese competitiveness in the international digital economy[EB/OL]. (2020-11-23). <https://www2.itif.org/2020-china-digital-economy.pdf>.
40. McKinsey Global Institute. Digital China: powering the economy to global competitiveness[R/OL]. (2017-12-03). <https://www.mckinsey.com/featured-insights/china/digital-china-powering-the-economy-to-global-competitiveness>.
41. GeSI. Protecting the environment[EB/OL]. <https://systemtransformation-sdg.gesi.org/environmental-protection>.
42. GeSI. Digital solutions for climate action[R/OL]. <https://gesi.org/public/research/download/52>.
43. Bonilla, S., Silva, H., Terra da Silva, M., Franco Gonçalves, R., Sacomano, J., Industry 4.0 and sustainability implications: a scenario-based analysis of the impacts and challenges[J]. Sustainability, 2018, 10(10), 3740.
44. GeSI. Circular economy: the state of play within GeSI[EB/OL]. (2021-06-28). <https://gesi.org/events/gesi-internal-report-launch>.
45. GeSI. Protecting the environment[EB/OL]. <https://systemtransformation-sdg.gesi.org/environmental-protection>.
46. GeSI. Digital solutions for climate action[R/OL]. <https://gesi.org/public/research/download/52>.

47. European Environment Agency. Trees help tackle climate change[EB/OL]. (2012-01-06). <https://www.eea.europa.eu/articles/forests-health-and-climate-change/key-facts/trees-help-tackle-climate-change>.
48. GeSI. Digital solutions for climate action[R/OL]. <https://gesi.org/public/research/download/52>.
49. Hu,J., Creutzig, F., A systematic review on shared mobility in China[J/OL]. International Journal of Sustainable Transportation, 2021, 16:4, 374-389.
50. Li,J., Ma, M., Xia,X., Ren,W., The spatial effect of shared mobility on urban traffic congestion: evidence from Chinese cities[J]. Sustainability, 2021, 13, 14065.
51. Wang, M., EVs help nation drive toward climate goals[EB/OL]. (2021-11-09). http://english.www.gov.cn/news/topnews/202111/09/content_WS618a1cf7c6d0df57f98e4b43.html#:~:text=%22In%20China%2C%20though%20with%20a,on%20a%20life%2Dcycle%20assessment.
52. McGee,P., Investors bet on tech revolution to disrupt global mining[EB/OL]. (2022-02-10). <https://www.ft.com/content/6984328c-fe0f-48f1-a6cd-cd3912b5eac9>.
53. World Bank. Employment in agriculture[EB/OL]. (2021-01). <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS?locations=CN>.
54. Li,S., Gong,Q., Yang,S., Analysis of the agricultural economy and agricultural pollution using the decoupling index in Chengdu, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(21): 4233.
55. Gov.cn. Intelligent technologies drive China's agriculture modernization[EB/OL]. (2021-01-01). https://english.www.gov.cn/news/topnews/202101/01/content_WS5fef1e82c6d0f7257694313a.html.
56. GeSI. Protecting the environment[EB/OL]. <https://systemtransformation-sdg.gesi.org/environmental-protection>.
57. IEA. Digitalization and energy[R/OL]. (2017-11). <https://www.iea.org/reports/digitalization-and-energy>.
58. EIA. Country overview: China[EB/OL]. (2020-09-30). <https://www.eia.gov/international/overview/country/CHN>.
59. The World Counts. Water, water everywhere... but not a drop to drink[EB/OL]. <https://www.theworldcounts.com/stories/average-daily-water-usage>.
60. GeSI. Digital solutions for climate action[R/OL]. <https://gesi.org/public/research/download/52>.
61. Solvay. A guide to smart water meters[EB/OL]. <https://www.solvay.com/en/chemical-categories/specialty-polymers/construction/water-meter/smart-water-meters-guide#:~:text=What%20are%20smart%20water%20meters%3F%20Smart%20water%20meters,facilitates%20communication%20between%20the%20meter%20and%20the%20supply>.
62. McKinsey Global Institute. Digital China: powering the economy to global competitiveness[R/OL]. (2017-12-03). <https://www.mckinsey.com/featured-insights/china/digital-china-powering-the-economy-to-global-competitiveness>.
63. Gov.cn. Plan focuses on digital economy development during 14th Five-Year Plan period[EB/OL]. (2022-01-12). https://english.www.gov.cn/policies/latestreleases/202201/12/content_WS61de9a35c6d09c94e48a385f.html#:~:text=Plan%20focuses%20on%20digital%20economy%20development%20during%20the%2014th%20Five%2DYear%20Plan%20period,-Updated%3A%20Jan%202012&text=By%202025%2C%20the%20digital%20economy,for%2010%20percent%20of%20GDP.
64. WEF. Here's how China is going green[EB/OL]. (2018-04-26). <https://www.weforum.org/agenda/2018/04/china-is-going-green-here-s-how/>.
65. WEF. Fourth industrial revolution[EB/OL]. <https://www.weforum.org/focus/fourth-industrial-revolution#:~:text=The%20Fourth%20Industrial%20Revolution%20is,inclusive%2C%20human%2Dcentred%20future>.
66. WEF. Global lighthouse network: unlocking sustainability through fourth industrial revolution technologies[R/OL]. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Lighthouse_Network_Unlocking_Sustainability_Through_4IR.pdf.
67. WEF. Global lighthouse network: unlocking sustainability through fourth industrial revolution technologies[R/OL]. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Lighthouse_Network_Unlocking_Sustainability_Through_4IR.pdf.
68. McKinsey & Company. The future of digital innovation in China[R/OL]. (2021-10). <https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/featured%20insights/china/the%20future%20of%20digital%20innovation%20in%20china%20megatrends%20shaping%20one%20of%20the%20worlds%20fastest%20evolving%20digital%20ecosystems/future-of-digital-innovation-in-china.pdf>.
69. Hitachi, China's city of the future: Xiong'an new area[J/OL]. Innovations to Improve People's Quality of Life, 2021, 70(1). https://www.hitachi.com/rev/archive/2021/r2021_01/gir/index.html.

70. Yao,T., Huang,Z., Zhao,W., Are smart cities more ecologically efficient? Evidence from China[J].Sustainable Cities and Society, 2020, 60, 102008.
71. Huang,K., Luo,W., Zhang,W., Li,J., Characteristics and problems of smart city development in China[J]. Smart Cities, 2021, 4(4):1403-1419.