

人工智能对碳排放的影响研究：机制解析与路径展望

朱云飞 汪邦捷

中国科学技术大学，安徽合肥，230026；

摘要：在“双碳”战略背景下，人工智能作为推动绿色低碳转型的重要技术力量，越来越多地被应用于工业、能源、交通等关键减排领域。本文聚焦人工智能对碳排放的影响，通过理论分析与案例研究相结合的方法，系统梳理了人工智能对碳排放的正向与负向作用机制，并深入探讨了其赋能低碳发展的具体路径。以谷歌“DeepMind 节能计划”等典型实践为例，揭示了人工智能在能源效率提升、碳监测智能化、绿色治理优化等方面的巨大潜力。基于中国的政策背景与发展优势，本文提出应构建绿色 AI 标准体系、推动产业融合应用、强化跨部门协调机制，并重视人工智能自身的碳足迹评估与治理。

关键词：人工智能；碳排放；低碳转型；绿色技术；政策启示

DOI：10.69979/3029-2727.25.04.043

引言

在全球气候变化日益加剧的背景下，碳排放问题已成为各国政府和国际社会关注的核心议题。为应对温室气体排放带来的环境危机，中国在第 75 届联合国大会一般性辩论上提出，“力争 2030 年前二氧化碳排放达到峰值，2060 年前实现碳中和”^[1]。习近平总书记在中央政治局第三十六次集体学习时强调：“要紧紧抓住新一轮科技革命和产业变革的机遇，推动互联网、大数据、AI、第五代移动通信等新兴技术与绿色低碳产业深度融合，建设绿色制造体系和服务体系，提高绿色低碳产业在经济总量中的比重^[2]。”这不仅意味着传统能源和高碳产业结构的深刻调整，也为以 AI 为代表的新兴技术提供了广阔的发展与应用空间。

AI 正以前所未有的速度深刻改变着社会各领域的运行逻辑，其应用场景不断丰富，使用先进信息技术进行数字化改造已成为传统行业转型升级的必然选择^[3]，尤其是在能源调度、交通优化、智能制造和城市管理等领域排放密集型行业中，AI 的广泛介入为碳减排提供了新的路径和可能。

然而，AI 并非天然的“绿色技术”。其本身的高能耗计算需求、大规模数据训练过程以及庞大的算力基础设施，也可能成为新的碳排放源。这种看似悖论的现象使得

学术界和政策制定者对“AI 是否有助于碳减排，或者会导致碳排放反弹”这一问题产生了浓厚的兴趣。

目前，关于 AI 与碳排放关系的研究尚处于起步阶段。一方面，有研究认为 AI 能够通过优化能源系统、提升工业效率和改进交通路径等方式实现显著的节能减排效果^[4]；另一方面，也有观点指出，AI 所依赖的技术基础设施消耗大量电力，在一些能源结构仍以化石能源为主的地区，可能反而带来“反绿色化”的负面效应。

本文试图围绕“AI 对碳排放的影响机制与路径”展开探讨。通过梳理相关文献，总结 AI 在不同领域的典型应用案例，并在此基础上分析其减排与增排的可能路径，本文旨在呈现一个更加系统、客观的分析框架，以期为政府制定绿色发展政策、企业构建低碳技术路径、科研界深入开展相关实证研究提供理论参考与现实启发。

1 AI 影响碳排放的作用机制

在“双碳”目标的宏观引导下，AI 不仅被视为促进传统行业绿色转型的重要工具，也在政策与学界中被赋予了“技术解方”的期待。然而，AI 对碳排放的影响并非单向度的“减排工具”，其实际效应具有显著的双重性，即既可能带来碳减排的正向效果，也存在引发新增碳排放的潜在风险。本文从两个维度出发，探讨其作用机制。

1.1 正向机制：AI 对碳排放的抑制效应

第一, 优化能源结构与调度效率。AI 在电力系统中的广泛应用正显著提升可再生能源的接入与利用效率。通过大数据预测与机器学习模型, AI 可以准确预测风电、光伏等波动性强的清洁能源的发电输出, 优化电力调度和负荷分配, 减少对化石能源的依赖。例如, 智能电网系统借助 AI 实现了对用户用电行为的预测和峰谷调控, 从而减少了能源浪费, 提高了整体系统的能源利用效率。

第二, 提高工业生产与制造效率。在制造业和传统工业领域, AI 通过对生产流程的实时监控、设备故障预测、能耗控制等方式, 实现了生产效率的提升和资源的节约。例如, 人工智能技术通过对智能设备赋能, 全面优化生产设备, 实现人机互联, 促进工业自动化控制、智能化管理、精益化生产, 在提升产品质量中最大限度地节约资源、降低能耗^[5]。

第三, 交通系统智能化。AI 在交通领域的应用, 尤其是在智能交通系统中的推广, 对减少车辆拥堵、提升通行效率发挥了重要作用。通过交通流数据分析与路径优化算法, AI 可以实现信号灯智能调控、出行路线规划、无人驾驶调度等, 有效降低了交通拥堵时间和车辆空驶率, 进而减少尾气排放。

第四, 助力城市绿色治理与绿色节能。智能城市平台通过 AI 对城市用能数据、交通流量、建筑能耗等多源数据进行实时整合与分析, 为政府提供精准治理决策支持。在建筑管理中, AI 被用于智能暖通空调系统的控制, 根据天气、人员密度等因素动态调节能耗, 实现“按需供能”, 提升建筑节能水平。随着不同类型建筑与社区能耗、碳排放数据的积累, 通过机器学习自下而上地预测区域碳排放将在速度和准确性上获得更大的优势^[6]。

1.2 负向机制: AI 对碳排放的激励效应

第一, 算法模型训练中的高能耗问题。运行人工智能训练所需的算力自 2012 年以来呈指数级上升, 随之而来的是与日俱增的能源消耗^[7]。AI 模型训练过程对算力的要求极高, 往往需要调用大量 GPU 或 TPU 设备, 在长时间内持续运行, 这一过程伴随着显著的电力消耗和碳排放。

第二, 数据中心碳足迹持续上升。支撑 AI 运行的云计算平台与数据中心正迅速扩大规模。这些数据中心不仅需要强大的计算资源, 还需持续运行冷却系统以维持设备

稳定, 导致巨大的能源消耗。若能源结构仍依赖煤电等传统能源, 数据中心本身便可能成为新的高排放源。

第三, 技术扩张与“反弹效应”。当 AI 技术在多个行业中快速普及, 带动生产效率大幅提升的同时, 也可能引发能源消费总量的“反弹”——即单位产出能耗虽下降, 但总产出规模扩张导致碳排放总量上升。这一“技术效率悖论”在历史上多次出现, 也提示我们 AI 节能效应并非线性, 而是受到规模效应与制度调控的共同影响^[8]。

2 典型案例分析: AI 在碳排放中的实践表现

以下选取三个具有代表性的案例, 分别体现 AI 在节能减排、效率优化和碳排放反弹等方面的作用, 以期呈现其影响的多样性与复杂性。

2.1 谷歌 DeepMind 优化数据中心能效案例: AI 助力能源调度

谷歌 DeepMind 在数据中心能源管理方面的成功实践, 是 AI 技术在绿色治理中的典范。2016 年, DeepMind 利用深度强化学习算法对谷歌数据中心的冷却系统进行优化。该系统通过传感器收集温度、风速、负载等数据, 构建环境模型并预测冷却需求, 进而动态调整冷却策略。优化系统上线后, 谷歌宣布其数据中心能耗降低了约 40%, 在相同工作负荷下实现了显著的节能效果。该项目不仅提升了运维效率, 更关键的是减少了由电力消耗所带来的间接碳排放。该案例表明, AI 若与高耗能基础设施深度融合, 具备显著的节能减排潜力, 尤其是在大型互联网企业与数据基础设施管理中意义深远。

2.2 国家电网“AI+电力调度”系统: 推动可再生能源消纳

中国国家电网公司近年来持续推进 AI 与电网系统的深度融合, 构建了包括智能配电、负荷预测、能效分析在内的多项 AI 赋能项目。其中, “AI+负荷预测”技术尤为关键, 它基于用户行为数据、天气变化等多源信息, 通过深度学习模型提升电力需求预测精度, 为调度中心提供科学参考。在新能源占比快速上升的背景下, 该系统帮助提高了风电、光伏等可再生能源的消纳率, 降低了备用火电机组的启动频次, 从系统层面减少了碳排放。这一实践展示了 AI 技术在推动电力系统低碳转型方面的关键作用,

也突出了其作为系统优化工具的政策价值。

2.3 Open AI 大模型能耗争议：AI 本身的碳足迹问题

随着 ChatGPT、GPT-4 等大型语言模型的普及，关于其能耗与碳排放问题的讨论也日益激烈。据研究估算，训练 GPT-3 所需的电力消耗超过 1.2GWh，排放碳足迹相当于一辆汽车行驶数十万公里。而随着模型参数量与推理调用次数的快速增长，其碳排放呈指数式上升。

从上述案例中可以看出：首先，AI 在实际应用中具备明显的减排潜力，特别是当其与能源调度、工业流程等高碳场景结合时；第二，然而，AI 本身所依赖的算力基础设施和模型规模化发展，也可能带来新的碳排放压力；第三，AI 对碳排放的影响呈现出“技术与应用共生”的特点，既要推动绿色应用场景拓展，也需警惕“自身碳足迹”过快增长所带来的负面溢出效应。

3 AI 赋能低碳转型的路径

AI 正逐步嵌入社会生产与治理各环节，其在推动减排和低碳发展的潜力愈发受到各国重视。中国作为全球最大的碳排放国和 AI 发展最快的国家之一，面临“双碳”目标下经济转型的巨大压力与机遇。

3.1 AI 赋能低碳发展的主要路径

首先，行业赋能：推动高碳行业绿色智能升级。在工业、建筑、交通等碳密集型行业，AI 可通过智能感知、预测优化与流程控制等方式，降低能耗与碳排放。如在钢铁、水泥等传统工业中，AI 可监测关键工艺节点，优化能源使用结构，减少生产过程中的浪费与排放。

其次，平台赋能：构建智能能源与碳排放管理系统 AI 能够构建城市级或国家级的“碳排放大脑”，通过对能源流、碳流、物质流等进行实时监控、模拟预测，为政府与企业提供科学决策依据。

最后，治理赋能：提升环境治理和政策响应能力。AI 在遥感识别、污染溯源、生态监测等方面的应用，能够大幅提高环境治理效率。同时，AI 可帮助政府在政策模拟、公众行为预测、排放趋势评估等方面构建决策辅助系统，形成“数据驱动、预测引导”的治理逻辑，强化政府

对碳排放的全过程监管能力。

3.2 中国在推进绿色 AI 过程中的优势与挑战

优势方面：第一，政策导向明确：绿色转型具备风险大、长期收益高和较大的不确定性，缺乏政府有效指导将难以达到社会最优水平^[9]。中国政府高度重视 AI 与绿色低碳发展的融合，《新一代人工智能发展规划》等顶层设计文件已将 AI 视为绿色转型的重要支撑技术，形成了较为明确的政策支持体系；第二，应用场景丰富：中国拥有世界上最大规模的制造业体系和城市群，为 AI 的绿色场景落地提供了广阔空间。从智能电网到绿色建筑、从智慧交通到绿色金融，AI 可嵌入多个减排关键领域，释放联动效益；第三，数据与算力基础雄厚：中国在 5G、云计算、超算中心建设等方面处于全球领先地位，为 AI 模型训练与绿色应用提供了基础设施保障。

挑战方面：第一，AI 本身的能耗问题未受足够重视：当前中国 AI 产业的发展以“更快更大”为导向，对模型能耗和碳足迹的考量相对滞后，缺乏绿色标准与审计机制，亟需引入“绿色 AI”理念；第二，制度协调机制尚不健全：AI 与环保、能源、工业等部门的政策融合程度不高，存在部门壁垒和资源整合难题，影响了整体协同效能。第三，区域发展不均衡：从区域分布特征上看，现阶段人工智能技术创新对中国不同区域的碳排放影响存在较大差异，东部地区减排效果显著，而中西部地区的减排效应尚未充分展现^[10]。

4 结论与展望

为实现 AI 助力碳中和的最大化潜力，未来中国应在以下几个方面着力推进：其一，构建绿色 AI 发展的政策与标准体系，加强对算法能耗与碳排放的监管；其二，推动 AI 在工业、建筑、交通、能源等重点领域的深度嵌入，加快产业绿色智能化升级；其三，强化跨部门协同和制度保障机制，打通政策壁垒，实现系统性协同治理；其四，加快绿色基础研究和前沿技术的突破，积极参与全球规则制定与技术合作，提升绿色 AI 的话语权与竞争力。

未来，AI 将不仅是数字经济的推动力，更可能成为绿色发展的关键杠杆。让“智能”真正服务于“绿色”，才能实现中国式现代化与生态文明建设的协同共进。

参考文献

- [1] WANGY, CHENL, ZHANGW. China's Nationally Determined Contributions and Their Implementation: Progress and Challenges [J]. Sustainability, 2021, 13 (3): 1509.
- [2] 新华社. 习近平主持中共中央政治局第三十六次集体学习并发表重要讲话[EB/OL]. https://www.gov.cn/xinwen/202201/25/content_5670359.html
- [3] 张秀武, 沈洋. AI 对减污降碳协同治理的影响效应及作用机制研究[J/OL]. 现代财经(天津财经大学报), 2025, (05): 77-94.
- [4] 卢娜, 王为东, 王淼, 等. 突破性低碳技术创新与碳排放: 直接影响与空间溢出 [J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29 (5): 30-39.
- [5] 陈素梅, 李晓华. 数字经济驱动制造业绿色发展的作用机理[J]. 企业经济, 2022(12): 140-150
- [6] 潘浩之, 施睿, 杨天人. 人工智能在城市碳达峰、碳中和规划与治理中的应用[J]. 国际城市规划, 2022, 37 (06): 26-34.
- [7] 刘深, 曹玉娟. 数字碳中和: 人工智能推动产业降碳的双重效应探析[J]. 江苏大学学报(社会科学版), 2025, 27 (02): 26-39.
- [8] 薛飞, 刘家旗, 付雅梅. 人工智能技术对碳排放的影响[J]. 科技进步与对策, 2022, 39 (24): 1-9.
- [9] 邹甘娜, 袁一杰, 许启凡. 环境成本, 财政补贴与企业绿色创新 [J]. 中国软科学, 2023, (02): 169-180.
- [10] 孙振清, 杨锐. 人工智能技术创新对区域碳排放的影响——机制识别与回弹效应[J]科技管理研究, 2024, (5): 175-176.

第一作者简介:

姓名: 朱云飞 (出生年月 1999-02-25), 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 安徽合肥人, 学历: 研究生, 职称无, 研究方向: 公共管理。

第二作者简介:

姓名: 汪邦捷 (出生年月 1996-04-08), 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 安徽合肥人, 学历: 研究生, 职称无, 研究方向: 公共管理。