

人工智能治理  
联盟

WORLD  
ECONOMIC  
FORUM

与埃森哲合作

人工智能时代的产业转型

# 人工智能的 能源悖论：平衡 挑战和机遇

白皮书

2025年1月

# 内容

阅读指南	3
前言	4
执行摘要	5
介绍	6
1 人工智能的电力消耗	7
1.1 人工智能生命周期	7
1.2 数据中心的作用	8
1.3 减少人工智能系统耗电量的机会	9
2 人工智能驱动的能量转型	11
2.1 AI技术提供的非尽如人意的机会示例 用电量减少	11
2.2 样例应用案例	12
3 主要挑战和生态系统支持者	14
3.1 基础设施挑战	14
3.2 环境挑战	14
3.3 生态系统推动因素概述	15
3.4 监管与政策推动因素	16
3.5 金融激励推动因素	16
3.6 技术创新推动因素	17
3.7 市场发展推动因素	17
4 人工智能能源影响的未来展望	18
4.1 部署和合作格局	18
4.2 人工智能与能源 - 2024年至2025年展望	22
结论	23
贡献者	24
注脚	26

## 免责声明

本文件由世界经济论坛出版

作为一个项目、见解领域或互动的贡献。本处所表达的发现、解释和结论源自世界经济论坛促进和支持的协作过程，但其结果未必代表世界经济论坛的观点，也不一定代表其全部成员、合作伙伴或其他利益相关者的观点

© 2025年世界经济论坛保留所有权利。 未经允许，本出版物的任何部分均不得以任何形式传播或传输，包括复印和录音，或任何信息存储和检索系统

# 阅读指南

世界经济论坛的 AI 产业转型倡议旨在通过探讨促进人工智能（AI）驱动创新在商业模式和运营模式中的战略影响、机遇和挑战，推动负责任的产业转型。

本系列白皮书探讨了人工智能在各行业中的转型作用。通过广泛分析和深入探讨行业特定和区域性深入挖掘，提供了洞察。本系列包括：



## 跨行业

对产业生态系统的影响



AI实践：超越实验  
转变行业



利用  
生成式人工智能用于工  
作增强和  
劳动力生产率



人工智能的  
能源悖论：  
平衡挑战与机遇

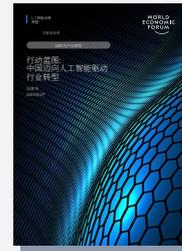


人工智能  
和网络安全：  
平衡风险与回报



## 区域特定

对地区的影响



行动蓝图：  
中国迈向人工智能  
驱动的产业转型



## 行业或功能特定

对行业、部门和职能的影响

先进制造和供应链



前沿技术  
在工业中  
运营：  
人工智能的崛起  
情报代理

金融服务



人工智能  
在金融服务中

媒体、娱乐和  
体育



媒体、娱乐和体育中  
的人工智能

医疗保健



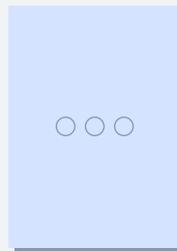
未来的  
AI-Enabled健康：  
引领潮流

交通

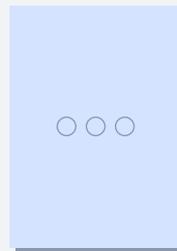


智能交通  
绿色未来：  
AI作为催化剂  
以减碳为目标  
全球物流智能

电信消费品



即将推出的行业  
报告：  
电信领域



即将推出的行业  
报告：  
消费品

更多报告即将公布

随着人工智能以前所未有的速度发展，本系列论文每篇都捕捉了人工智能的独特视角，包括撰写时的全景图。认识到正在进行的变革和进步，旨在通过与世界经济论坛合作伙伴和从事人工智能战略和实施的利益相关者社区深化和更新对人工智能影响和应用的理

解。这些论文共同展示了人工智能当前的发展和采纳情况，以及其未来潜在影响。

每篇论文可以独立阅读，也可以和其他一起阅读，并且会在各行业中出现共同主题。

# 前言



罗伯托·博卡  
能源中心主管  
经济论坛成员  
执行委员会  
世界经济论坛



杰里米·尤尔根斯  
世界董事总经理  
执行委员会



Cathy Li  
人工智能、数据和元宇宙负责人;  
中心负责人  
第四次工业革命  
委员会成员  
执行委员会  
世界经济论坛



James Mazurek  
美国公用事业部总监  
战略主管, 安永

在当今经济中, 人工智能 (AI) 系统既带来挑战又提供机遇。作为数字基础设施的重要组成部分, 支持AI的数据中心可用于各种应用, 从云计算到复杂数据处理。

然而, 随着AI的迅速扩张, 伴随而来的是不断增长的电力需求, 世界上最大的设施使用与小城市相同的电量以确保持续运行。数据中心的规模各不相同, 从拥有超过1千兆瓦 (GW) 功率容量的大型超大规模设施, 到可能仅需不到10千瓦 (kW) 电力的较小的微边缘部署。

有一项估计预计, 与全球电力需求的大约1%相比, 与数据中心相关的电力消耗将在2026年增长到超过2%, 如果预测的增长持续下去, 到2030年可能达到3%。这样的预测引发了有关如何支持这一需求同时又满足净零承诺的担忧。同时, 人工智能可以成为支持更广泛的能源系统转型的有力工具。例如, 它已被用于改善各行业的能源效率, 加速可再生能源的整合并使电网更具韧性。

这就是人工智能能源悖论 - 在AI带来的机遇中平衡这些挑战

然而, 目前关于AI能源影响的估计各不相同, 电力需求增长的幅度仍不清楚。其他问题包括标准分类法和定义的缺乏。

电力需求增长能否被效率提升所抵消 - 通过技术进步 (如芯片、算法等)、数据中心设计和地区动态的改变

- 也是不确定的。尽管预计AI的电力消耗会在短期内上升, 但由于实现效率收益, 未来这种增

长的幅度可能会下降。为实现这一目标, 关键是要了解创新的缓解策略和有效促进这种平衡的解决方案。

在过去一年里, 世界经济论坛的人工智能治理联盟已将行业、政府与公民社会和学术界团结起来, 建立了一个全球多利益相关者的努力, 以确保人工智能能为广大人民造福的同时保持责任、包容性和问责制。来自整个AI价值链的参与者聚集在一起, 就新兴的AI问题展开有意义的对话。

在Accenture担任知识合作伙伴的情况下, 联盟的AI能源影响社区 (由40多个全球成员组成) 促进了跨行业的讨论达成共识, 并提出了有关AI能源影响的应用案例。

本文从一个多样化的利益相关者群体中突显了跨行业的见解, 以概述缓解策略:

- 为AI系统识别降低电力使用的策略
- 触及到人工智能在更广泛能源转型中的潜力
  - 概述关键合作伙伴关系、框架和政策以支持可持续的AI采用

AI采用的增加, 连同其他市场因素同时增加了电力使用量。

全球年度电力需求增长现在预计将在未来几年达到近3.5%。3,4 这一挑战受到全球各地区AI项目竞争的加剧。这将需要价值链各方利益相关者在平衡可持续目标、电网约束和社区影响的市场压力中导航。

# 执行摘要

## 人工智能呈现能源机遇和挑战-战略缓解有助于最大限度地发挥利益，同时减轻负担。

人工智能（AI）正在推动新的创新时代，将近四分之三的公司将AI用于至少一个业务功能。这种创新带来了许多好处，包括提高生产率、新的工作方式和收入增长。预计从2023年到2030年，AI相关的电力消耗每年将增长多达50%。尽管AI数据中心的耗电量增长迅速，但预计仍将占全球电力需求的一小部分，从2023年的仅0.04%开始（见图4）。然而，当与其他市场因素结合（如交通、建筑等领域对电力需求的增长）时，AI的加速采用可能会增加电网和电力提供商的压力。

不过，这种预测可能存在变化。AI的整体能源影响有多深刻和哪些策略可以缓解可能出现的挑战或开启新的解决方案机会仍存在不确定性。在这种情况下，评估AI如何可以加速符合净零目标的能源转型至关重要，以及哪些支持生态系统促进因素可以支持这一点。本文重点关注AI的电力影响，同时解决更广泛的能源格局，包括支持AI的发电和燃料来源。

AI治理联盟（AIGA）下的工作

人工智能能源影响倡议已经提出了关键见解。该倡议与来自九个以上行业的40多个全球组织合作推动人工智能的采用。

这项分析强调了与人工智能在改变能源系统方面扮演的角色相关的三个不同领域的关键发现

### 1 人工智能的用电量：审查人工智能的生命周期、减少其用电量的策略和过程数字化的新机会

- 各行业对人工智能的采用存在差异，预计用电需求将大幅增加。然而，预测仍然不确定，强调需要持续评估。

- 优化人工智能的消耗包括利用诸如节能人工智能芯片硬件和人工智能优化冷却解决方案等技术创新。

- 公司通过操作策略，如基于人工智能的环境控制、服务器虚拟化和工作负载分配，减少数据中心的用电量。

-

### 2. AI启用的能源转型：探索创新的新兴公司用例和跨行业规模化的潜力

- 现有用例显示在某些情况下能耗降低了10-60%，并具有进一步优化的潜力。

- 通过能量存储、增强电池效率和智能电网，AI正在帮助电力供应商优化运营。

- 人工智能可以支持减碳，有助于降低排放、减少浪费和改善资源利用。

### 3. 首要挑战和生态系统推动因素：分析可持续人工智能规章、政策和伙伴关系，以实现规模化采纳

- 实现可持续人工智能需要跨越多方面的方法，包括：规章和政策、财政激励、技术创新和市场发展。

- 规章、政策和财政推动因素可以通过合规框架和资金机制激励负责任的人工智能。

- 技术创新和市场发展促进研究、协作和可持续的人工智能采纳。

这份白皮书初步探讨了人工智能在能源方面的影响，并概述了随着人工智能在各行业中的采用逐渐增长而出现的挑战机会。最后，分享了四个监控的领域，以持续了解人工智能不断演变的能源影响。

- AI部署用于减碳

- 透明且高效的人工智能用电

- 技术和设计创新

- 有效的生态系统协作

# 介绍

人工智能正在革命各行各业，导致日益增长的电力需求，但预测人工智能特定能源影响仍然复杂

## 不同行业对人工智能的需求增长

### 整体电力需求增长的驱动因素

人工智能正在改变日常生活的多个方面。从自动化简单任务到实现复杂问题解决，人工智能推动创新，提高效率，改变社会运作方式。尤其是生成式人工智能已成为强大的转型催化剂，能够自动化任务，重新设计价值链上的流程，从而提高性能和竞争力

基于人工智能的增长预测具有挑战性，由于技术进步和不同的采用速率使预测变得更加复杂

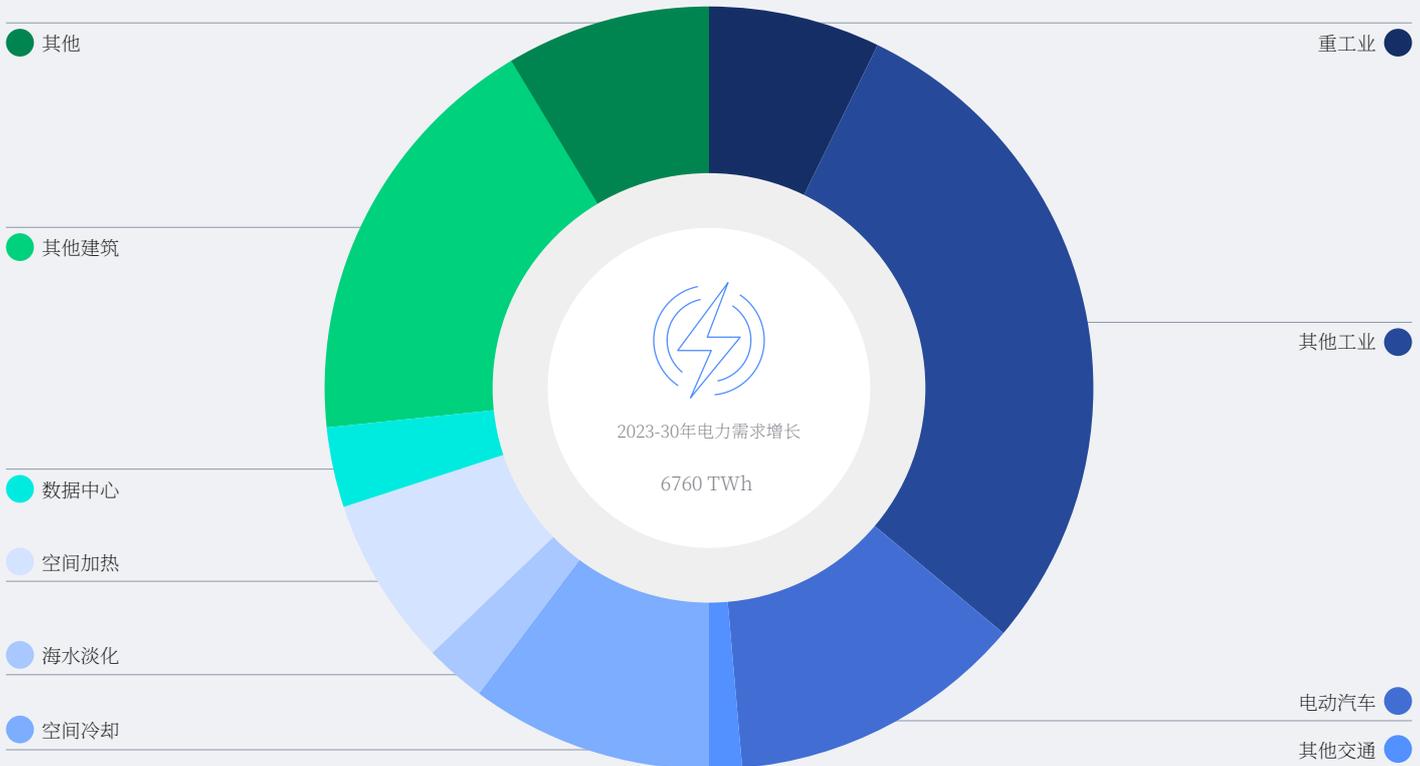
几个市场因素导致全球电力需求增加。除了人工智能、交通和建筑物电气化之外，其他增长驱动因素包括工业向电动马达转变、城市化、人口增长以及数字经济解决方案的日益采用

尽管图1提供了一些指示，但需要进一步研究来阐明人工智能相关电力需求增长在全球能源趋势背景下的作用

图 1

图 1

在国家政策情景（STEPS）2023-2030年各终端用途电力需求增长，以及数据中心敏感性案例



来源：国际能源署（IEA）。（2024）。世界能源展望。

1

# 人工智能的电力消耗

模型部署是人工智能最耗能的阶段（约占60%）-创新策略可以减少耗电。

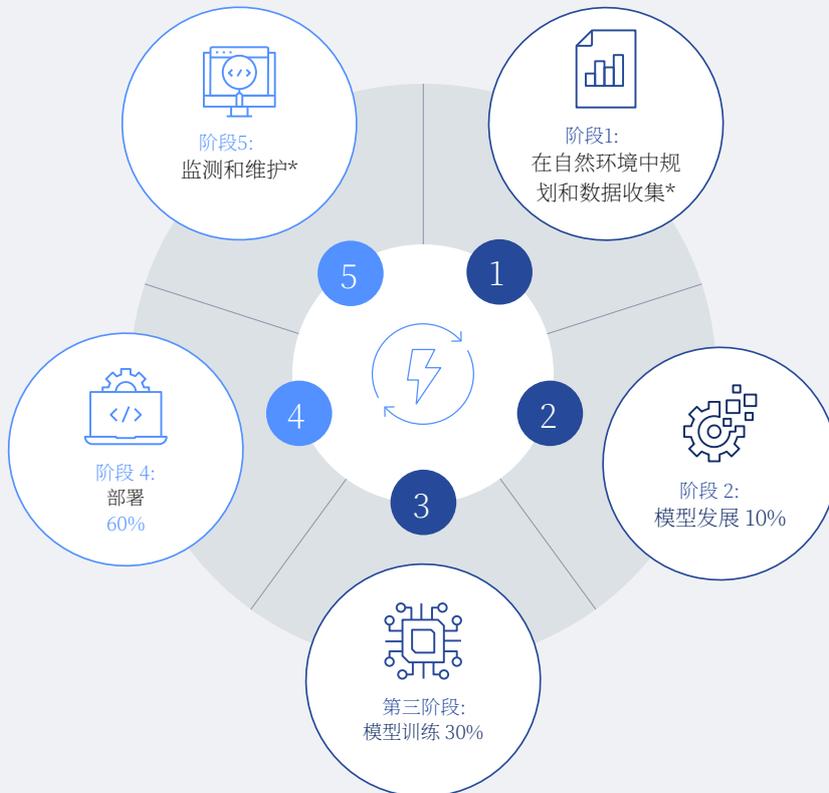
## 1.1 人工智能生命周期

人工智能的生命周期始于规划和数据收集阶段，在此阶段收集、处理和存储数据。接下来，模型开发阶段包括设计、问题分析和数据准备。模型训练通过迭代数据暴露优化模型。模型部署后将模型开放供实际应用。最后，监控和维护支持持续改进。

需要进一步研究来估计第1和第5阶段的能耗，但对第2-4阶段已有估算。在这三个阶段中，模型部署是最耗能的（约占组合电力消耗的60-70%），但长期内可能会继续增长。模型训练是第二高耗能的，约占消耗的20-40%，其次是模型开发，最高可达10%。然而，这些估算可能会因不同的人工智能模型类型而有所不同。

图2

人工智能生命周期中的电力消耗



\*估计数据不足

来源: 电力研究所 (EPRI). (2024). 为智能供电: 分析人工智能和数据中心能耗. 国际能源署 (IEA). (2023). 数据中心和数据传输网络的跟踪. <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>; D. Patterson 等. (2022). 机器学习培训的碳足迹将达到顶峰, 然后下降. 计算机, 卷 55, 第 7 期, 页码 18-28.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9810097>.

## 1.2 数据中心的作用

数据中心利用强大的服务器、专业硬件和先进的网络能力，实现了所需的人工智能高速计算和数据处理。

在数据中心中，电力消耗包括三个主要组成部分：10

- IT设备（40-50%），包括服务器、存储和网络系统。

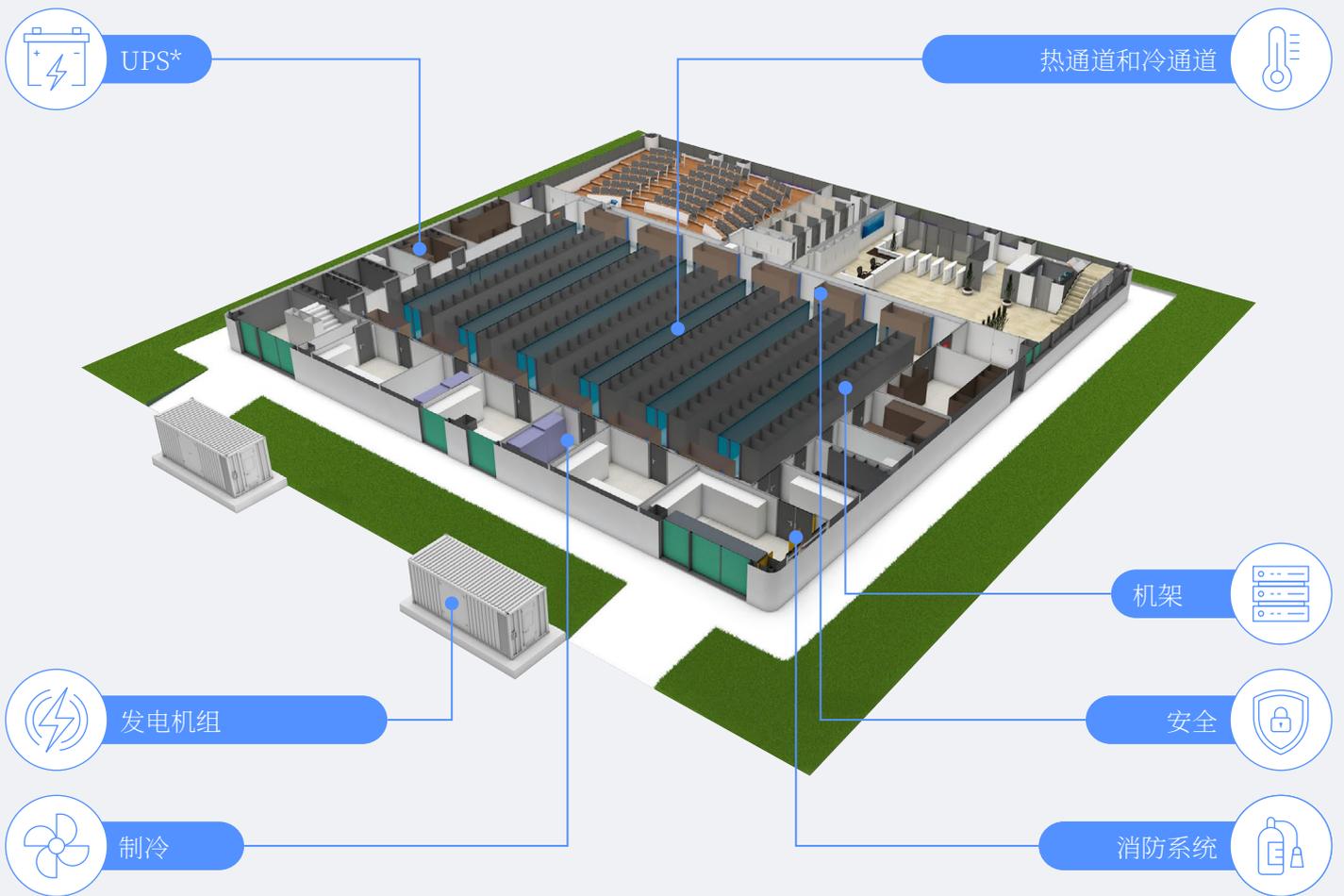
- 冷却系统（30-40%）用于保持最佳温度。

- 辅助组件（10-30%），包括电源、安全和照明。

请注意，随着人工智能的普及，这些比例将随时间演变。

图3

示例数据中心布局



\*不间断电源

来源：Vianova。 (n.d.)。数据中心提供。 <https://www.vianova.it/en/data-center/>

## 1.3 降低人工智能消耗的机会 系统的电力消耗

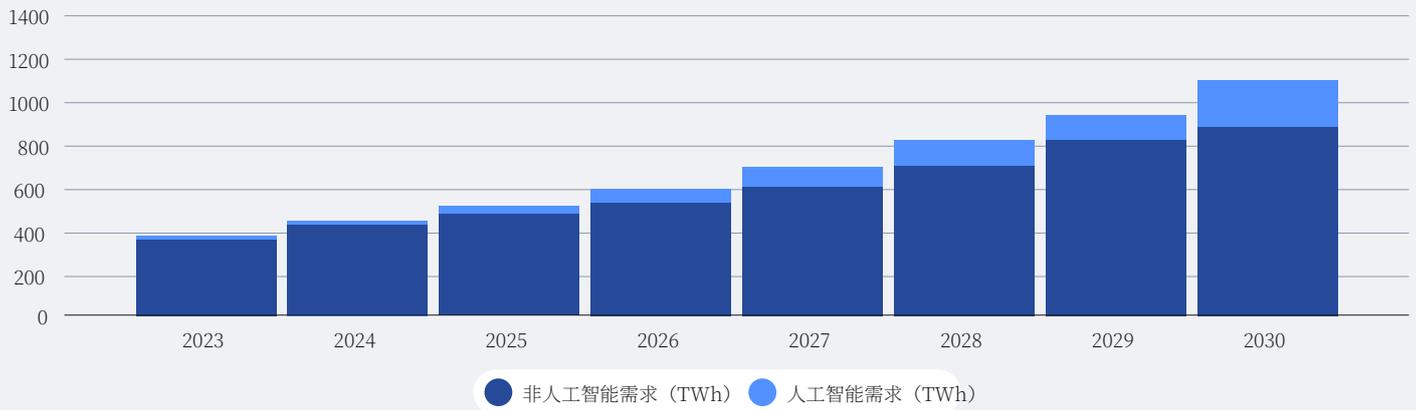
数据中心的消耗包括人工智能和非人工智能元素。人工智能处理，特别是生成式人工智能，由于模型复杂性大、训练时间长和数据处理量大而能耗更高。

然而，这种能源密集度的增加伴随着像生成式人工智能这样的能力带来的额外好处，包括执行更复杂的工作和启用拓展价值机会的能力。

图 4

随时间变化的数据中心需求

数据中心需求（万千瓦时）：非人工智能与人工智能



备注：这是一个推断情景，通过将国际能源署（IEA）从2023年到2026年的预测延伸至2030年，使用2021年至2023年的历史增长和他们从2023年至2026年的预期增长率的结合。

来源：国际能源署（IEA）；高盛（Goldman）；安永（Accenture）。

实现更节能的人工智能系统包括探索数据中心内降低电力消耗的机会。因此，下面探讨了一些示例策略，列表并非详尽。

### 数据管理策略

在人工智能的第一个阶段（规划和数据收集）中，“数

字减碳化”技术可以解决“黑数据”问题，黑数据占用服务器空间并消耗电力却没有提供价值。对于一些组织而言，潜在数据可能占存储数据的60-75%。<sup>11</sup>

数字减碳战略可以识别和消除黑数据，减少存储和电力消耗。也可以有机会重新利用黑数据以创造价值。

表1

特色数据管理用例

拉夫堡大学：汽车行业合作：解锁可持续工业维护的黑数据		
情境/背景	方法	结果
“黑暗数据”保留在存储中，由于结构不良的格式而未被充分利用	开发了带有数据抓取和丰富技术的知识管理系统，用于整合和结构化黑暗数据，将其组织成有价值的数据集供决策，并分类为可处理废物的类别。	总共有10-20%的黑暗数据转化为可操作的知识，改善了故障分析和维护，提高了数据可靠性，减少了停机时间，降低了环境足迹，并突出了废弃数据。

来源：社区咨询。

技术策略

几种技术策略可以帮助实现可持续人工智能

- 节能硬件（例如芯片）和模型可减少整个人工智能生命周期中的电力消耗
- 创新的隔热建筑材料减少了对暖通空调（HVAC）的需求

- 数据中心基础设施管理软件优化电力使用，改善系统运行和维护
- 先进的冷却技术可以降低能耗，与传统方法相比

TABLE 2 特色技术用例

Virgin Media O2: 由人工智能驱动的冷却优化		
情境/背景	方法	结果
Virgin Media O2与EkkoSense合作，以提高数据中心效率	Virgin采用EkkoSense的人工智能增强方法，在20个数据中心中优化热、电力和性能	包括每年节省超过1百万英镑的冷却成本，冷却电力降低15%，节约760吨二氧化碳等好处

来源：社区咨询

运营策略

还有几种运营策略可以支持可持续人工智能：

- 将目标最终用途（模型开发与训练与部署）纳入选址，有助于根据工作负载优化效率。

- 虚拟化技术减少了物理服务器的需求和消耗。
- 温度优化和湿度管理可以降低过度制冷和耗能。
- 动态功耗管理可调整处理能力基于工作量，降低消耗

使用可扩展的建筑设计，随着需求增加而增长可缓解过度规模  
逐渐增加规模的建筑设计可以降低过度规模

表3 特色操作用例

SAP: 力争打造“绿色”数据中心		
情景/背景	方法	结果
绿色数据中心是SAP可持续发展战略的关键	SAP数据中心通过使用热成像摄像头来优化气流和隔热，同时实施冷热巷隔离来节省能源，从而跟踪资源使用并最大程度减少浪费。	2023年，SAP实现碳中和，并计划在2030年实现价值链的净零排放目标。

来源：社区咨询。

# AI启动的能源转型

## 人工智能解决方案可以推动跨行业的能源效率，通过优化运营和减少资源消耗提供脱碳机会。

随着人工智能的发展，出现了广泛的脱碳机会。利用这些机会可以支持全球气候目标的实现和宏观电力需求目标。<sup>12</sup>

正如本文所展示的特色案例所示，人工智能可以通过优化资产、推动创新和实现可持续技术来在能源转型中发挥关键作用。在可再生电力生产中，人工智能可以增强预测模型，而在电网运营中，它可以

改善能源分配、故障管理，提升系统可靠性。

人工智能还可以帮助加速清洁能源的采用和整合到现有基础设施中。

在建筑、交通和工业等终端使用领域，人工智能已经被用来优化能源消耗，实现预测性维护并增强能源价值链的效率。

### 2.1 非尽述机会示例

#### 用于AI启动的电力节省减少的例子

“人工智能可以根据电网需求和电价优化电动汽车充电，降低成本和提高电网稳定性。

- 建筑管理：AI-enabled HVAC  
通过学习用户习惯并相应调整操作，优化能耗。

- 制造质量控制：AI-enabled “机器视觉”快速识别缺陷，减少因额外人工工作和材料浪费而导致的不必要电力消耗。

- 预测性维护：AI分析设备数据，预测故障，减少因设备故障而导致的停机时间和能源浪费。  
使用数据预测故障，减少由机器故障造成的停机时间和能源浪费。

- 物流和车队管理：AI启用的路径规划利用交通、燃料和路线数据来优化产品交付，减少消耗和排放。

- 电动车（EV）充电：AI可以根据电网需求和电价优化EV充电，降低成本，增强电网稳定性。

\* 电网优化：AI可以优化电网操作、故障管理以及可再生能源和储能整合。在储能方面，AI可实时提高电池充电效率，预测电池寿命并改善储能系统布局，提高效率和可靠性。

运营、停机管理以及可再生能源和储能整合。在储能方面，人工智能实时改善电池充电，预测电池寿命，改善储能系统布置，增强效率和可靠性。

通过抓住这些机会，组织可能能够实现节省电力，从而抵消或甚至超过与启用人工智能相关的增加电力消耗。在这方面，需要进行更多研究以了解潜在的机遇。



## 2.2 示例用例

本文重点介绍了一些AI用例，以提高能源效率。然而，这些例子并不代表所有潜在AI应用的全面清单。

表 4

按行业分类的应用案例

行业：建筑和空间供暖/制冷AI智能建筑管理		
情景/背景	方法	结果
该解决方案实现了跨多栋建筑的暖通空调运营的宏观优化。	这种自治AI解决方案超越了简单的传感器，结合内部和外部数据（能耗、天气、占用等），同时优化位置。	针对每个暖通空调区域使用独立预测模型，使电力消耗降低了9-30%，每年节省成本10万-15万美元。
领域：通讯		
康卡斯特：面向能效的AI驱动网络转型		
情况/背景	方法	结果
康卡斯特实施了一个网络转型，采用虚拟化、基于云的技术，结合AI/机器学习（ML）。	康卡斯特实施了一个全面的网络转型倡议，利用尖端的云计算、AI/ML技术、虚拟化和数字光学，彻底改变了网络运营。	结果是，数据传输所需的电力消耗减少了40%。
领域：制造业		
强生公司：增强制造		
情况/背景	方法	结果
<p>为了满足不断增长的能源需求并减少环境影响，强生公司实施了先进能力，包括用于流程控制的人工智能算法、基于物联网的智能清洁和数字孪生技术</p> <p>强生公司建造了一座现代化制造基地</p>	强生公司采用了包括AI算法、基于物联网的智能清洁和数字孪生技术在内的先进能力，已经实现了废料减少47%，温室气体排放减少26%和用电消耗减少23%	此后，物料浪费减少了47%，温室气体排放减少了26%，用电消耗减少了23%
施耐德电气公司：减少站点排放		
情况/背景	方法	结果
Schneider的海德拉巴网站旨在在2030年前实现范围1和2排放零碳。	<p>该系统由实时数据生成和云分析驱动</p> <p>以便与间接与厂房运营相关的设施资产通过工业物联网(IIoT)能力和基于人工智能的预测监控相互连接。</p>	因此，电力消耗减少了59%，排放减少了61%，水消耗减少了57%，废物产生减少了64%。
西门子：设施能源管理		
情况/背景	方法	结果
要成为零碳先锋，西门子在成都工厂采用了先进技术和能力	该公司部署了数字能源管理系统、预测性维护能力、基于人工智能的自动化，并应用生态设计功能，提高了循环性和非物质化	这减少了单位产品的电耗24%，生产废料减少了48%

表格 4 | 按部门分类的使用案例 (续)

部门: 能源 Enel		
合作		
情景/背景	方法	结果
Enel 在处理和获取操作智能 KPI 延迟控制全球运营绩效方面面临业务挑战。	Enel 与一家技术公司合作, 为公司利益相关者提供实时见解。该对话式人工智能解决方案在全球八个国家被采用, 在五种语言中可用, 并在 400 个发电装置中部署。	具有90%更低资本支出的对话式人工智能, 提高了业务效率, 存储和计算能力节省了50%。
Moeve: “绿色人工智能”		
情况/背景	方法	结果
Moeve 使用 ML 和生成式 AI 加速能源转型, 赋能员工和客户	他们监控和优化 ML 和生成式 AI 模型的碳排放  然后, 他们支持生成式 AI 工厂开发快速、安全的用例, 确保资源有效利用。根据成本、准确性和能源效率选择最佳的大型语言模型 (LLMs)	因此, Moeve 看到成本优化 (50%), 以及利用最佳 LLMs 减少开发时间 (65%) 和电力消耗 (15%)
Aker BP: 数据驱动的碳效率		
情况/背景	方法	结果
挪威Aker公司, 一家大型石油公司, 旨在成为世界上最具碳效率的运营商之一。	他们与一家软件即服务 (SaaS) 公司合作, 部署了一种先进的人工智能平台, 用于基于数据驱动和自主能力的更安全、更高效的海上操作。	挪威Aker BP旨在实现Yggdrasil的自主操作。这些操作将定期无人值守, 并由两名在岸运营商远程管理, 进行实时数据集成。
美国能源提供商: 改变能源分析		
情景/背景	方法	结果
电力配电系统的目视检查通常是手动的。	该公司利用机器学习进行高效的电气基础设施检查, 实现了无人机图像存储、数据归因和模型评估, 以便更快地采取纠正行动	公司结束到结束的新计算机视觉模型构建和部署周期时间缩短超过50%

来源: 社区咨询

# 主要挑战 和生态系统的推动因素

在 AI 的潜力与其不断增长的能源需求之间取得平衡，需要多利益相关者的合作和可扩展解决方案来应对挑战。

跨行业合作是解决挑战、促进可持续 AI 发展所必需的。为了平衡 AI 的价值转化与成本及负面影响，必须解决两个关键元素：基础设施和环境挑战。

## 3.1 基础设施挑战

“考虑到基础设施升级需求，融资问题已引起利益相关者之间的辩论，涉及公平地为支持数据中心扩展在客户群体间分配成本。”

随着 AI 需求增长，开发数据中心的 가司可能面临难题，尤其是在寻找足够量的电力时，特别是来自无碳发电源。新建的大型数据中心通常具有巨大的电力需求，这根据目标建设司法管辖区而异，可能需要昂贵、费时的新基础设施解决方案。由于可再生能源的可变性和储存问题，使其整合也具有挑战性，这阻碍了稳定的供电。输电还带来复杂性，因为有些地区的高压线接近容量。在美国，一些公用事业公司甚至已经停止了新的服务请求或开始配给电力。

超大规模计算 (Hyperscalers) 正在探索利用可再生能源为数据中心供电的机会，这对一些行业参与者可能并非可行。

根据行业反馈，石油和天然气行业参与者对投资于可再生能源增加了兴趣。

考虑到基础设施升级需求，融资问题也引起利益相关者之间的辩论，涉及公平地为支持数据中心扩展在客户群体间分配成本。因此，公用事业公司在设计可能支持这种增长的客户费率定价结构方面面临重大挑战，同时平衡诸如公平性、可负担性和可持续性等因素。

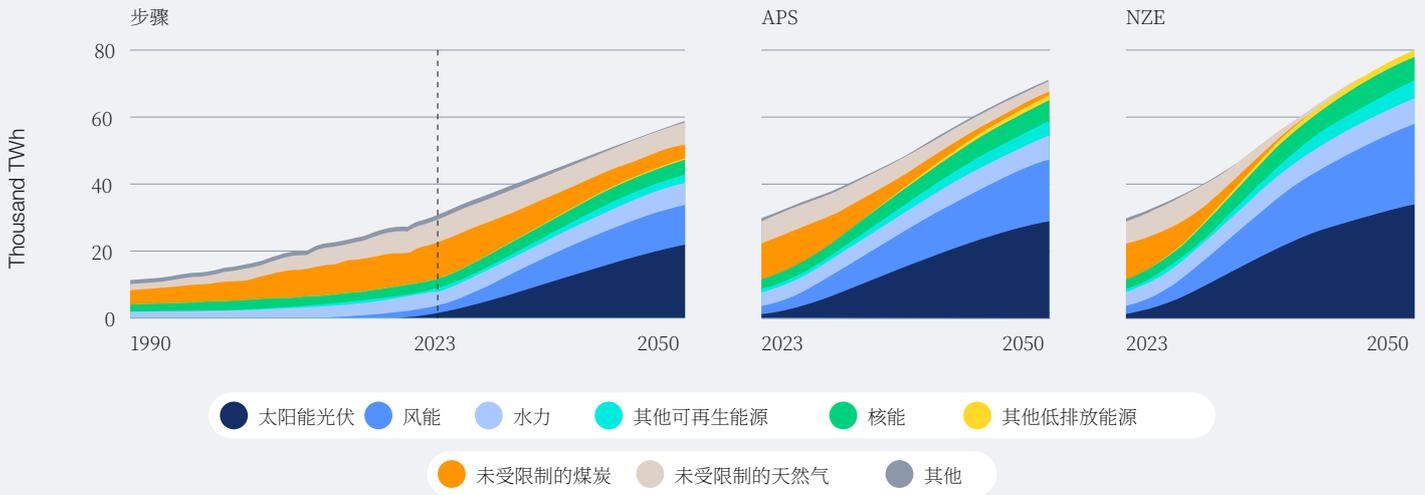
还必须分析电网的影响，因为管理数据中心负荷可能需要先进的需求响应和负载平衡。监管、环境和供应链问题，如关键电网资产的延迟，也可能延长批准和建设时间表。

## 3.2 环境挑战

拓展人工智能解决方案的另一个基本挑战是解决其环境影响。所有能源，即使是清洁能源，都会对环境产生影响。<sup>16</sup> 随着人工智能在生活的各个方面变得越来越重要，考虑能源稀缺性作为发展人工智能未来基础设施的关键设计原则至关重要（而不是假定资源无限）。这一做法将有助于确保人工智能支持能源转型。

为促进可持续人工智能发展，保持在优化市场目标进展速度与优先考虑净零排放目标或24/7无碳能源目标之间的平衡将至关重要。随着全球数据中心需求的增长，以及其他新兴能源市场因素，可能会导致2050年预测排放与净零排放目标之间存在差距。

在化石燃料主导世界电力生产数十年后，可再生能源将成为电力供应的主要支柱



注：TWh = 兆瓦时；STEPS = 表述政策情景；APS = 公布承诺情景；NZE = 2050 年净零排放情景。  
“其他可再生能源”包括生物能源、地热、聚光太阳能和海洋能；“其他低排放能源”包括具有CCUS的化石燃料、氢气和氨。“其他”包括非可再生废物。

来源：国际能源署（IEA）。（2024）。世界能源展望。

随着数据中心需求的增长，需要有稳定的发电装置。考虑到发电基础设施方面的挑战和净零目标，这需要在无碳解决方案方面进行创新和投资。

可再生能源，如风能和太阳能，支持可持续性，但缺乏足够的能量存储能力，其间歇性可能导致可用性波动，这对数据中心来说是一个麻烦，因为它们需要稳定、高需求的能源以及可靠的电能质量。其他相关选择包括核能、地热和长周期储能，以及利用能源（如天然气和生物能源）以及碳捕集和储存（CCS）。

在核能领域，一些公司正在通过利用核解决方案支持数据中心的生长，提供无碳能源，这是在COP28期间建立的势头和到2050年将全球核能容量扩大三倍的宣言中构建的。这包括围绕使用的各种策略。

包括大型电厂和小型模块反应堆（SMRs）在内的解决方案，提供了灵活、低碳的能源，减少了土地使用和建设时间。例如在美国，亚马逊、谷歌和微软都在探讨核能选项，每个选项都有不同的好处和复杂性。

除了间歇性问题，数据中心和发电/电网基础设施之间存在其他相关不匹配，使得清洁能源采购具有挑战性。其中包括数据中心位置和可再生能源发电地点之间的地理断裂，这可能导致低效和高传输成本。除了能源之外，对自然资源问题的更广泛理解和研究工作对于实现可持续人工智能也至关重要。

探讨以下部分中描述的一系列可帮助解决上述挑战的几个促进因素。

### 3.3 生态系统推动因素概述

实现可持续人工智能将需要采取跨越四个关键领域的行动的多面手段。

- 促进负责任人工智能开发和使用的监管和政策支持措施  
建立促进负责任人工智能开发和使用的政策和框架，确保符合环保标准和能源政策

- 可提供资金和投资机制以支持可持续人工智能倡议的财务激励推动因素

- 聚焦促进研究和开发(R&D)的技术创新支持，推动前沿科技，增强人工智能应用的可持续性

- 可促进市场发展的生态系统条件  
创造有利于可持续人工智能解决方案的环境，鼓励各利益相关者间的合作，并促进绿色技术的采用

- 这些生态系统条件可以为推进可持续人工智能提供强大基础。虽未在本文中探讨，以上内容也可能包括伦理和治理考虑。在论坛2024年白皮书中了解更多：《治理时代的

生成式人工智能：弹性  
政策与规章。20

### 3.4 监管和政策推动者

“在基础设施领域，监管机构可以推广费率设计，确保数据中心在维持客户可负担性的同时帮助升级成本。

在生态系统推动者中，监管机构和政策制定者尤为关键，以确保可持续人工智能未来。在考虑规定时，政府规定和产业主导的倡议同样至关重要，因为政府规则提供法律框架，而产业主导的倡议和自愿行动则依赖自我执行。

它们共同在促进人工智能方面发挥着不同但互补的作用。

一个例子是欧盟人工智能法案，通过根据风险对AI系统进行分类，对高风险应用提出严格的安全、透明和问责要求，同时促进创新。尽管这些法规旨在提高效率和问责性，但可能会带来合规成本和意想不到的后果。另一方面，良好设计的激励措施可以促进持续改进和创新，强调了需要采取平衡的监管方法。

另一个关键考虑因素是在数据中心附近寻找清洁能源源头的同时平衡数据主权要求。尽管可再生能源能够降低环境影响，但数据法律往往要求本地存储以确保隐私和安全。这在尽量减少排放和满足监管需求之间造成紧张，需要战略规划来实现这两个目标的协同。

在基础设施领域，监管框架和政策能够支持包括输电系统规划和选址、改进电力市场结构和提高获取无碳电源的途径等几个关键领域。客户可负担性也是一个值得注意的重要领域，因为费率设计旨在实现对客户费用的公平分配，同时确保合理的费率。在数据中心增长的费率设计中一个关键挑战是在可扩展的、具有成本效益的电力定价需求与保护客户可负担性的目标之间取得平衡。随着对人工智能的需求增加，费率需要被设计以支持大规模的电力需求，而不会给客户带来不必要的费用负担，同时还促进效率和可持续性。然而，这是具有挑战的，可能采取多种形式。22,23

此外，建立绿色法规，与区域排放目标保持一致，改善可再生能源获取途径也是可持续性的关键步骤，同时实施水资源保护和能源减排政策。

采取这些措施可以促进更具可持续性的人工智能。

### 3.5 金融激励助推

可持续人工智能的金融支持可以采取多种形式（例如税收抵免），包括为使用可再生能源和选择环境友好场所提供激励措施。像Crusoe这样的公司正在利用激励措施（如加拿大的C-59法案）来支持碳捕获与封存活动。随着类似金融激励的推出，框架可以扩展以要求社会效益，如就业创造、经济发展和社区投资。

政府对基础设施的投资和对土地开发以及环境缓解的金融支持可以进一步增强数据中心位置的吸引力并促进增长。

与相关利益相关者适当设计这些激励措施可以增强数据中心的整体经济影响并促进更环保的未来。

### 3.6技术创新推动因素

未来的创新可能包括专门的处理器，以减少电力使用，新兴技术如量子计算和神经形态计算可增强效率。

量子计算提供更快的解决方案，神经形态计算实现低功耗人工智能处理，为下一代应用程序改造数据中心。

可持续数据存储方面的技术创新也可以支持可持续人工智能。随着这些推动因素的进展，它们为可持续人工智能提供了各种途径，例如通过使用合成DNA进行生物数据存储等突破性

技术可能彻底改变存储和计算，实现了大规模可扩展性而不会过分耗费能源供应。

奖励节能数据中心解决方案的竞赛可以推动创新，而数据中心向可再生能源转变的案例研究可以通过展示经济、运营和环境效益，激励更广泛采用可持续实践。

随着这些推动因素的进展，它们为可持续人工智能提供了各种路径，平衡了性能和环境足迹。

### 3.7市场发展推动因素

在市场发展方面，努力可以潜在地专注于支持数据中心成为更活跃的电网参与者。此外，还可以探索更广泛的机会，如利用自动化能源管理技术来增强电网灵活性、需求响应和峰值削减。

鼓励先进的清洁能源采购（例如，通过将逐小时的用电量与当地清洁能源相匹配）也可以成为优先考虑的事项。

这种方法认识到清洁能源何时何地进入电网的重要性，以及电力如何被消耗（这是对能源转型有益的一个因素）。

此外，确定数据中心发展区域可能非常有价值，特别是如果与电网规划和支持政策努力结合。最后，可以探讨设备升级以及负责任的IT资产回收激励措施，以应对不断增长的电子废物产生量（到2030年可能达到每年250万吨）。<sup>25</sup>

通过采纳这些策略，企业可以在推进人工智能解决方案的同时减少环境影响。



# 人工智能能源影响的未来展望

人工智能的能源影响仍然不确定；主动监测其不断发展的交汇点可以澄清挑战，发现机遇并引导变革性解决方案。

## 4.1 部署和协作格局

更清晰地了解人工智能的能源影响所涉及的机遇和挑战可能有助于开启机会并消除障碍。正如前文所强调的，公司已经开始部署具有能源影响的人工智能解决方案。表 5 描述了几种现有的创新，包括通过实时监控实现网络现代化、通过网络性能优化和数据中心冷却优化。

能源影响可能有助于释放机遇并消除障碍。正如前面所强调的，一些公司已经在部署具有能源影响的人工智能解决方案。表5中展示了几项现有创新，包括电网现代化、通过实时监控进行网络性能优化以及数据中心冷却优化。

图 6

全球公司部署的跨行业人工智能解决方案和项目的快照



### 人工智能驱动的合作关系生态系统合作



非洲能源公司实时数据访问的数字化转型合作

获得的收益:  
推出的协作创新项目, 优化供应链, 加强政策一致性对话

#### 示例解决方案:

AKER - 供应链联盟

Moeve - 工业合作伙伴关系

欧洲技术公司与国际组织合作 - 非洲数字化转型合作项目

### 智能电网和电力系统的数字化转型和人工智能

50%

通过实时数据访问实现的能源公司节约

获得的收益:  
增强电网稳定性, 高效能量储存, 智能电网管理, 积极的维护计划

#### 示例解决方案:

美国科技公司与欧洲公用事业合作 - 欧洲实时电网调度

各自欧洲先进能源解决方案公司的样本服务 - 电池储存优化, 可再生能源和电池数字孪生AI预防性维护

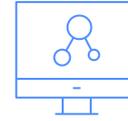
南方公司 - 电网现代化

欧洲科技和能源公司合作 - 实现全球热电世代的能源效率

注: 需要进一步研究以区分可扩展的解决方案和可在公司级别部署的解决方案。  
欧洲工程建筑公司 - 在欧洲进行电网现代化

在《表6》中概述了部分推动能源可持续性AI解决方案的关键障碍。这些问题涉及政策对齐、行业合作以及运营和技术问题。

### 相关政策和决策工具



研究的数字减碳评估工具

获得的收益:  
支持净零抱负, 研究洞察和加强利益相关方对话, 以就减排战略和全球政策达成一致

#### 示例解决方案:

拉夫堡大学 - 研究脱碳工具

GEIDCO - 与行业, 国际组织, 大学和政府进行多方利益相关方政策研究和对话活动

注意: 需要进一步研究区分可扩展解决方案与可在公司层面部署的解决方案。

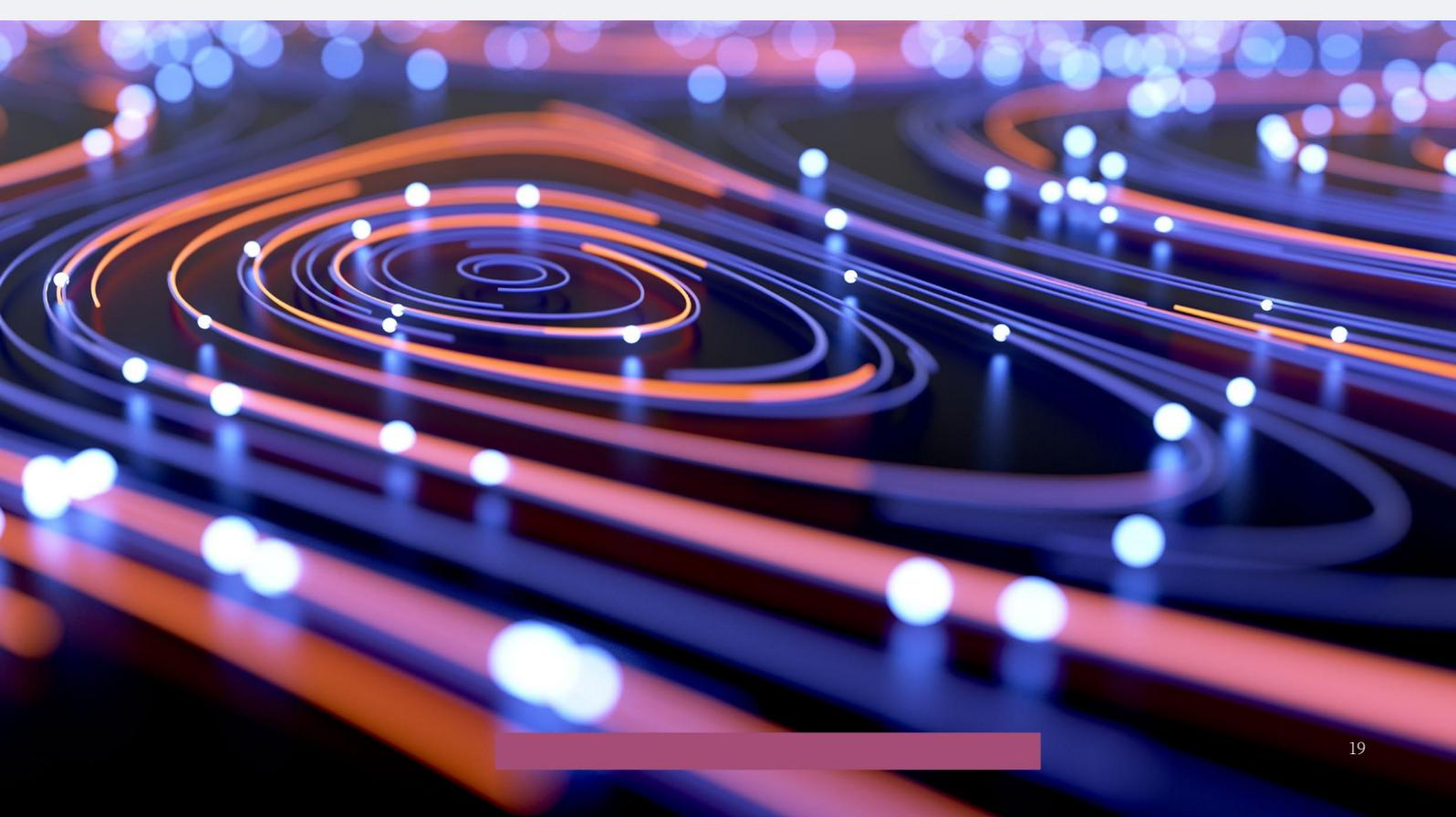


表 5

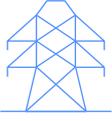
可持续人工智能应用面临的挑战

挑战	挑战细节
<p>能源基础设施和可用性</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 供电可靠性: 延迟的公用设施升级以满足数据中心需求可能会影响操作, 当所需需求无法得到满足时。</li> <li>- 制冷需求: 由于气候变化导致温度升高, 制冷需求增加,</li> <li>- 在夏季高峰月份, 需求增加, 给电力带来压力。</li> </ul>
<p>数据和计算</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 数据流动与优化: 尽管数据处理可以在不同位置之间移动, 但根据能源供应情况优化数据工作量仍然复杂。</li> <li>- 数据质量: 数据质量差可能会降低人工智能的能源效率, 例如由于模型性能低效而需要频繁重新训练。</li> <li>- 法规和政策 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 缺乏标准: 对于人工智能能源使用和数字系统缺乏统一的全球标准、分类法和定义, 造成了在扩展规模和评估影响方面的挑战。</li> </ul> </li> </ul>
<p><small>- 法规复杂性: 地区性法规的不同使得合规变得更加复杂, 特别是随着以人工智能为中心的法规的出现。</small></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 行业特定法规: 一些法规 (例如建筑效率和可再生能源采用) 在不同行业之间存在较大差异。系统在扩展和评估影响方面存在挑战</li> <li>- 法规复杂性: 各地区法规的差异使合规变得复杂, 特别是在以人工智能为重点的情况下 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 行业特定法规: 有些法规 (例如建筑效率和可再生能源采用的法规) 存在较大差异</li> </ul> </li> <li>- 行业特定法规: 有些法规, (如建筑效率和可再生能源采用的法规) 差异很大跨行业和地区</li> </ul>
<p>行业合作和伙伴关系</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 复杂的价值链: 难以映射供应链和收集供应商数据对合作造成影响</li> <li>- 依赖关键参与者: 研发集中在少数公司限制了创新的可及性</li> <li>- 缺乏当地能力: 当地基础设施不足, 缺乏高技能合作伙伴来实施全球人工智能系统。另外, 缺乏既擅长人工智能又擅长能源的人才, 限制了创新和实施速度</li> <li>- 风险规避: 电信和能源部门不愿采用颠覆性技术而是集中精力于渐进性变革</li> </ul>
<p>心态、意识和文化转变</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 意识障碍: 对可持续人工智能的财务收益认识不足</li> <li>- 心态转变: 在整个供应链中, 出于恐惧对采用节能实践犹豫不决在打破已建立的利润边界周围。</li> <li>- 态度的地理变化: 不同地区根据其社会经济和环境背景优先考虑人工智能和可持续发展目标 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 运营和技术挑战</li> </ul> </li> </ul>
<p><small>- 数据隐私和安全: 由于人工智能模型需要大量数据, 隐私和安全问题成为一个重要的障碍, 尤其是在有严格法规的地区。</small></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 数据隐私和安全: 由于人工智能模型需要大量数据, 隐私和安全问题变得极为重要 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 能源安全问题: 依赖外部能源来源以及由于地缘政治问题导致的能源可靠性担忧可能在人工智能应用中造成障碍。</li> </ul> </li> <li>- 实时预测和优化: 需要准确的预测工具来优化资源分配并识别能源热点。 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 在预测和优化方面的实时性: 有需要准确预测工具来完成资源分配以及确定能源热点。</li> </ul> </li> <li>- 实时预测和优化: 需要准确的预测工具来优化资源分配并识别能源热点及能耗。 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 分配并确定能源热点</li> </ul> </li> </ul>

来源: 利益相关者磋商

尽管不是详尽无遗的，但图6中概述的主题领域，根据迄今观察到的努力，正在成为全球合作的潜在机会。

FIGURE 7 可视化 AI 能源可持续应用的潜在合作机会



### 电网弹性和能源基础设施

合作的电网现代化和可再生能源项目，以改善弹性

与可再生能源供应商和科技公司合作，确保电力可靠性和可持续增长



### 数据管理和标准化

跨境数据管理框架，用于安全且优先保护隐私的能源高效数据迁移

共享平台用于数据标准化和质量改进，特别是全球价值链内



### 监管和政策一致性

在欧盟和美国尤其是跨地区协调监管框架，以简化合规

与政策制定者合作，支持可持续的人工智能监管发展和资金倡议

建立跨行业人工智能能源指标标准（例如每操作焦耳）



### 资源共享以及区域合作

协作努力，与缺乏基础设施的地区保障和分享计算资源

鼓励科技巨头、能源提供商和本地企业之间的合作伙伴关系，以增强能力和资源获取

多利益相关者倡议，改善供应链透明度和数据共享

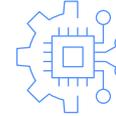


### 技能发展和文化转变

跨行业倡议，填补人工智能-能源技能鸿沟，尤其是在专业知识有限的地区

教育项目和宣传活动，强调可持续人工智能的经济利益

培养朝向可持续人工智能实践的文化转变



### 操作效率和技术创新

共同投资实时预测和其他优化工具，以提高运营效率

与电信服务提供商合作，整合基于人工智能的预测性维护和监控解决方案

来源：利益相关方磋商



## 4.2 人工智能和能源 - 2024年至2025年展望

“合作伙伴  
人工智能开发者、  
能源利益相关者和  
政策制定者之间的  
合作可以帮助减少  
低效，解决监管漏  
洞，并推动区域碳  
中和。

正如前文所探讨的，人工智能的迅速扩张和增加的电力需求可能会带来能源系统方面的挑战。然而，该技术也带来机遇和好处，包括加强可再生基础设施、电网稳定性和需求管理，从而减少电力消耗，支持碳中和。监控以下四个重点领域对评估这些影响将至关重要。

### 碳中和的人工智能部署

优先考虑在能源管理领域的人工智能应用可能会极大地支持气候和环境目标，帮助电网满足不断增长的电力需求，同时推进碳中和目标。在这些领域增强研究和协作可能会通过提高效率 and 加速可再生能源的整合，带来实质的环境和经济效益。

### 透明且高效的人工智能用电

对人工智能的电力需求和能源效率进行可靠的数据收集和研究将对制定现实的人工智能增长框架至关重要。了解生成式人工智能和传统机器学习之间的能源差异，可以支持平衡人工智能的益处与环境影响之间的法规和创新。有效的数据管理也可以在尚未应用更大规模解决方案之前在一定程度上减少人

工智能的能源足迹。

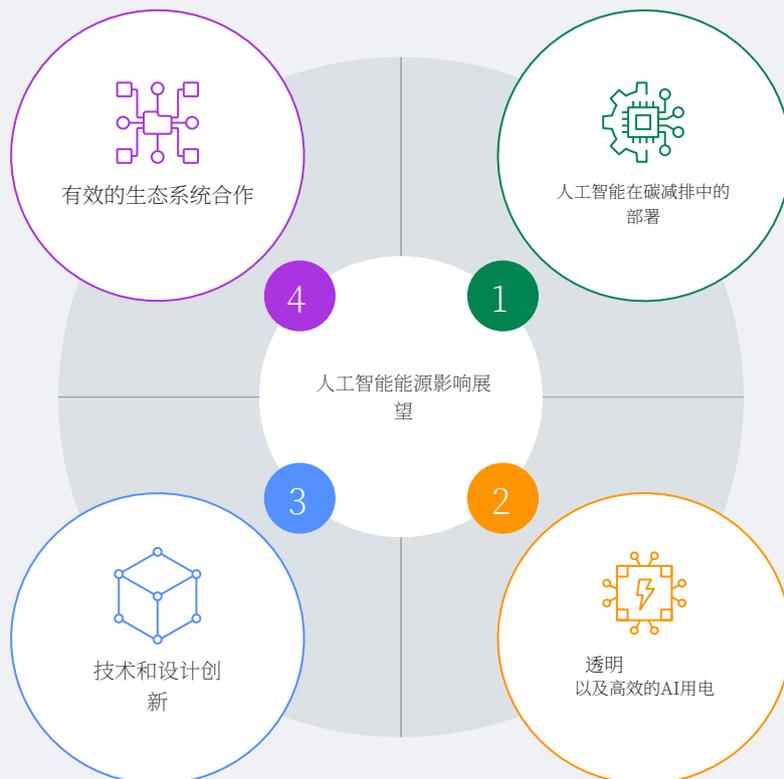
### 技术和设计创新

节能创新，涉及芯片开发、模型设计、数据中心设计和运营以及冷却等领域，将有助于管理不断增长的电力需求，减少人工智能的碳足迹。

有效的生态系统合作：合作伙伴关系、政策支持和全球协调

合作与政策支持是可持续人工智能的关键。人工智能开发者、能源利益相关者和政策制定者之间的合作可以帮助减少低效，解决监管漏洞并推动区域碳中和。例如，借助论坛的全球人工智能能源影响倡议的支持，第四次工业革命阿塞拜疆中心正在领导工作，将全球用例适应成符合能源转型目标的多利益相关者试点项目。全球协调与本地化解决方案的结合对于推动透明度、构建接受度，并为人工智能驱动的能源创新铺平道路至关重要，同时确保适应性，并加强人工智能的社会运营许可。了解更多详情，请参阅论坛的2025年《智能经济蓝图》白皮书。

FIGURE 8 关注人工智能能源影响的关键领域，2024-2025展望



# 结论

在分析这些主题后，仍然有两个主要问题。首先，人工智能的能源影响将有多大，有哪些解决方案可以减轻挑战并释放优化机会？另外，人工智能如何加速能源过渡以实现净零目标，以及需要哪些生态系统支持者来支持这一转变？

新兴解决方案已经开始为这些问题提供见解，但仍需要进一步研究人工智能能源影响关键领域。随着人工智能在各行业的采用继续加速，报告中概述的几个例子显示，这种增长正在被新技术、运营和数据管理策略带来的电力消耗降低所抵消。

随着人工智能系统效率的提高，新解决方案将需要扩展规模，以抵消不断增长的电力消耗。随着电力提供商采用人工智能进行电网管理，以及公司利用人工智能和机器学习优化用电，新兴跨行业案例将突显人工智能在推动安全、可持续和公平能源过渡中的转型作用

存在着巨大的机会可以推动可持续人工智能发展。在基础设施方面，电力提供商正在解决发电和输电方面的挑战，确保向数据中心而非脆弱客户进行公平成本分摊。实现净零排放的抱负也至关重要，各公司正在探索减少排放的策略。多利益相关者的合作将是至关重要的，以最大化人工智能的转型价值，同时将成本和负面影响最小化。

根据本白皮书中分享的内容，通过对下文提到

的四个关键领域的持续评估以及对一些突出倡议的进展，对提出的问题的答案将继续发展。

## 1 用于减碳的人工智能部署

- 鼓励在电力网络、数据中心和工业领域内集成人工智能，以优化电力消耗，提高电网稳定性并减少浪费。

## 2 透明而高效的人工智能用电

- 建立框架来量化节省电力潜力，推广优化数据存储和处理的实践，并减少消耗

## 3 技术和设计创新

- 推动数据中心硬件、冷却和电力管理方面的创新，以减少消耗同时支持不断增长的人工智能需求

## 4

## 有效生态系统合作

- 推动电力提供商、人工智能开发者、政府和学术界之间的合作，支持能源转型。

监测这些领域将在短期内带来有价值的见解，随着趋势的变化和新的人工智能发展的出现，解决关键问题的主要指标也可能发生变化。

因此，主动监测人工智能和能源交叉领域的发展将有助于理解新兴挑战并开启转型机遇。

# 贡献者

## 首席作者

**Ginelle Greene-Dewasmes**  
人工智能和能源倡议领导者  
世界经济论坛C4IR数字科技部

**Michael Higgins**  
项目研究员，人工智能治理联盟，战略  
首席董事，美国公用事业战略，埃森哲

**Thapelo Tladi**  
能源倡议负责人，世界经济论坛能源与材料中心

## 项目团队

**Maria Basso**  
数字科技项目经理  
第四次工业革命中心  
世界经济论坛

**Kathryn White Krumholz**  
董事总经理，埃森哲，  
创新孵化；行政研究员，  
人工智能治理联盟

# 致谢

我们向以下社区成员表示诚挚感谢，他们提供了关键反馈和用例贡献。

**Uthman Ali**  
BP全球负责人工智能官员

**Soltan Bayramov**  
C4IR阿塞拜疆执行董事副手

**威尔·卡文迪什**  
阿鲁普全球数字服务主管

**Kelsi Doran**  
思科可持续发展策略总监

**Simon Evans**  
全球数字能源总监兼全球数字孪生体负责人，Arup  
**Peter Nemmert**

**安东尼娅·加韦尔**  
全球可持续发展与合作伙伴关系全球总监，  
谷歌

**Benedikt Gieger**  
AI产业转型项目研究员  
SAP数字技术中心

**Ian Hodgkinson**  
洛夫堡商学院教授  
洛夫堡大学

**Thomas W. Jackson**  
洛夫堡商学院教授  
洛夫堡大学 BridgeAI 项目

**玛丽亚·肯尼迪**  
微软全球能源与可持续性总监

**Astrid Kristoffersen**  
研发集团总监，  
DNV.

**Chase Lochmiller**  
首席执行官兼联合创始人，  
Crusoe

**Gulmine Melikzade**  
项目管理部门负责人  
C4IR阿塞拜疆

**Shashi Menon**  
数字发展副总裁

**Dionis Minev**  
首席科学家，CATALOG

清洁空气解决方案销售与市场总监，Johnson Matthey  
**Antonia Gawel**  
可持续发展与合作伙伴关系全球总监，

**Anne Nguyen**  
自由全球战略总监

**Andreas Proesch**  
战略AI发展副总裁  
Cognite副总裁；Cognite AI部门负责人

**Chris Pennington**  
Iron Mountain 能源与可持续发展主管  
信息管理

**Michael Quirk**  
Southern 公司媒体关系策略师

**萨姆·拉马多里**  
Brainbox AI首席执行官

乌利扬·沙卡  
首席执行官, iGenius

萨凯特·辛格  
资深副总裁兼全球负责人  
云和基础设施服务, Mahindra

斯里达·斯图  
副总裁, Schneider Electric的AI产品

David Villaseca  
首席数字官, Moeve

Chris Pennington  
能源和可持续发展主管, Iron Mountain  
信息管理

还要诚挚地感谢以下社区成员, 他们就草案提供了  
重要意见和反馈。

Andreas Birnik  
Evroc战略与可持续发展副总裁

Taraque Choudhury  
科技副总裁, 迪拜机场

Mark Gorenberg  
董事总经理兼主席, 马萨诸塞  
理工学院

Jacob Hawkins  
公共关系负责人, Southern Company

Baoyang Jiang  
全球灯塔网络项目成员  
世界经济论坛

罗希  
GEIDCO欧洲办公室高级经理

罗斯·麦肯齐  
首席, 员工及高级副总裁企业事务和业务发展, Elimini  
人工智能能源悖论: 平衡挑战与机遇

约瑟夫·斯卡莱斯克  
商业发展, CATALOG

让·保罗·斯基特  
数字供应链和运营管理副教授, 卡迪夫大学卡迪  
夫商学院

Joey Striker  
副总裁, iGenius合作关系

Jonathan Sultoon  
副总裁, 电力和可再生能源  
Wood Mackenzie

田中省二  
三菱电机高级总经理

Marco Terruzzin  
Energy Vault首席商务官

Amogh Umbarkar  
SAP工业4.0副总裁

Eke Vermeer  
公共事务副总裁, 自由环球公司

## 生产

Louis Chaplin  
编辑, Studio Miko

Laurence Denmark  
创意总监, Studio Miko

Jay Kelly  
设计师, Studio Miko

# 注释

- 1 基础设施工程师。(2024年)。数字基础设施行业现状-2024年年度报告。<https://imasons.org/blog/state-of-the-digital-infrastructure-industry-report-2024/>
- 2 高盛股票研究。(2024年)。美国电信服务和基础设施启动:对无线和数据中心持乐观态度[通过内部门户网站访问]
- 3 国际能源署(IEA)。(2024年)。2024年电力。<https://www.iea.org/reports/electricity-2024/executive-summary/>
- 4 国际能源署(IEA)。(2024年)。IEA数据服务。<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-statistics-and-balances/>
- 5 福布斯(2024年)。2024年22个人工智能统计和趋势。<https://www.forbes.com/advisor/business/ai-statistics/>
- 6 国际能源署(IEA)。(2024年)。世界能源展望。<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
- 7 IBM(2024年)。什么是人工智能(AI)? <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence>
- 8 电力研究所(EPRI)。(2024年)。动力智能:分析人工智能和数据中心能耗。[https://www.wpr.org/wp-content/uploads/2024/06/3002028905\\_Powering-Intelligence-Analyzing-Artificial-Intelligence-and-Data-Center-Energy-Consumption.pdf](https://www.wpr.org/wp-content/uploads/2024/06/3002028905_Powering-Intelligence-Analyzing-Artificial-Intelligence-and-Data-Center-Energy-Consumption.pdf); 国际能源署(IEA)。(2023年)。世界能源展望。<https://iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf>; Haakman, Cruz, M.等(2021年)。需要修订AI生命周期模型。经验软件工程,卷26,第95页。[http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-993-1\\_10](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-993-1_10)
- 9 国际能源署(IEA)。(2023年)。数据中心和传输网络。<https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>
- 10 电力研究所(EPRI)。(2024年)。供电智能:分析人工智能和数据中心能耗。[https://www.wpr.org/wp-content/uploads/2024/06/3002028905\\_Powering-Intelligence-Analyzing-Artificial-Intelligence-and-Data-Center-Energy-Consumption.pdf](https://www.wpr.org/wp-content/uploads/2024/06/3002028905_Powering-Intelligence-Analyzing-Artificial-Intelligence-and-Data-Center-Energy-Consumption.pdf)
- 11 Gartner。(2024年)。黑数据。<https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/dark-data#:~:text=Gartner%20定义黑数据为,商业关系和直接获利化>; IBM。(2024年)。什么是黑数据? <https://www.ibm.com/topics/dark-data>
- 12 Geman, B. (2024)。大科技巨头如何将AI数据中心转变为电力网盟友。Axios。<https://www.axios.com/2024/10/30/ai-data-centers-grid-power-demand>
- 13 Hiller, J. (2024)。‘价值三个纽约城市’的能量:人工智能正在挑战电网。《华尔街日报》。[https://www.wsj.com/business/energy-oil/ai-data-center-boom-spurs-race-to-find-power-87cf39dd?mod=Searchresults\\_pos1&page=1#comments\\_sector](https://www.wsj.com/business/energy-oil/ai-data-center-boom-spurs-race-to-find-power-87cf39dd?mod=Searchresults_pos1&page=1#comments_sector)
- 14 The Economist. (2024)。石油老板对人工智能繁荣充满希望。<https://www.economist.com/business/2024/11/07/oil-bosses-have-big-hopes-for-the-ai-boom>
- 15 Patteson, C. (2024)。大科技核能交易遇到重大监管障碍。《华盛顿审查者》。<https://www.washingtonexaminer.com/policy/energy-and-environment/3215397/big-tech-nuclear-power-deal-hits-major-regulatory-hurdle>; DSIREinsight. (2024)。随着负荷增长和对不断上涨的公用事业账单的担忧,低收入客户得到保护吗?。<https://www.dsireinsight.com/blog/2024/7/9/with-load-growth-and-fear-of-rising-utility-bills-are-low-income-customers-protected>
- 16 美国能源部(n.d.)。清洁能源的环境影响。<https://www.energy.gov/eere/environmental-impacts-clean-energy>
- 17 世界经济论坛(2024年)。现代化工业能源需求:实现工业领域24/7清洁能源采购和消费。[https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_MODERNIZING\\_INDUSTRIAL\\_ENERGY\\_DEMAND\\_2024.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_MODERNIZING_INDUSTRIAL_ENERGY_DEMAND_2024.pdf)
- 18 C2ES(2024)。碳捕集。<https://www.c2es.org/content/carbon-capture/#:~:text=碳捕集、使用和储存,工业部门脱碳化中的关键角色>
- 19 美国能源部(2023)。在COP28上,各国发起声明,计划到2050年将核能容量提高三倍,认识到核能在实现零净排放中的关键作用。<https://www.energy.gov/articles/cop28-countries-launch-declaration-triple-nuclear-energy-capacity-2050-recognizing-key>
- 20 世界经济论坛(2024)。生成式人工智能时代的治理:强韧政策和监管的360°方法。[https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Governance\\_in\\_the\\_Age\\_of\\_Generative\\_AI\\_2024.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Governance_in_the_Age_of_Generative_AI_2024.pdf)
- 21 欧洲联盟(2024年)。AI法案高层摘要。<https://artificialintelligenceact.eu/high-level-summary/>
- 22 Utility Dive (2024年)。AEP Ohio提出数据中心、加密金融要求,涉及30吉瓦的服务询问。<https://www.utilitydive.com/news/aep-ohio-data-center-crypto-rates-puc/>

- 23 哥伦布调度报。(2024)。不要那么快: AEP Ohio挑战数据中心客户达成的电力协议。<https://www.dispatch.com/story/business/energy-resource/2024/10/15/aep-ohio-challenges-electricity-settlement-reached-by-tech-giants/75632699007/>
- 24 全球CCS研究所。(2024)。加拿大议会通过C-59号法案, 提供CCUS投资税收抵免。<https://www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/canadian-parliament-passes-bill-c-59-providing-ccus-investment-tax-credit/>
- 25 电气和电子工程师学会(IEEE)。(2024)。生成式人工智能存在大规模电子废物问题。<https://spectrum.ieee.org/e-waste>