

与埃森哲合作

WORLD  
ECONOMIC  
FORUM

# 从悖论到进步：一个净正人工智能能源框架

洞察报告 2025年12月



# 内容

阅读指南4

前言 5

执行摘要 6

1 正向人工智能能源紧迫性 7

2 净正人工智能能量框架 12

2.1 以效率为设计目标 14

2.2 为影响而部署 17

2.3 明智地塑造需求 19

3 战略赋能 23

3.1 消费者教育与劳动力技能提升 24

3.2 生态协作 27

3.3 透明度测量与问责制 30

下一步和行动号召 34

贡献者 35

尾注

37

免责声明

本文件由世界经济论坛作为对某项目、洞察领域或互动的贡献而发布。此处表达的研究发现、解释和结论是经世界经济论坛促进和认可的合作过程的结果，但其结果不一定代表世界经济论坛的看法，也不一定代表其全体成员、合作伙伴或其他利益相关者的整体观点。

2025世界经济论坛。版权所有 ©版权所有。本出版物之任何部分均不得以任何形式或通过任何方式复制或传播，包括影印和录音，或通过任何信息存储和检索系统。

# 阅读指南

世界经济论坛的AI能源影响计划旨在推动更高效的AI应用，在最大程度发挥AI对更绿色、更经济、更安全的能源未来的贡献的同时，最小化能源使用。

本报告系列考察了AI在全球的变革性能源影响，通过宏观分析和聚焦区域深入剖析提供见解。随着AI持续快速发展，本系列每篇报告旨在提供其能源影响和当时形势的快照。

该系列旨在通过与制定人工智能战略和实施数据的论坛合作伙伴和利益相关者持续合作，加深对人工智能能源影响的理解。这些论文共同为人工智能在变革能源系统中所扮演的角色提供了当前和前瞻性的视角，并构成了“智能时代行业”跨行业系列的一部分，该系列探讨人工智能的全球影响。

系列包括：



## 跨行业

对工业生态系统的影响



人工智能的能源悖论：平衡挑战与机遇

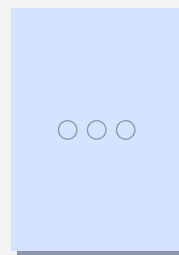


能源框架

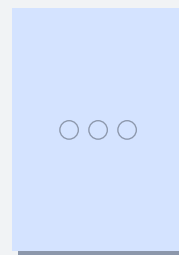


## 地域特定

对区域的影响



即将推出：引领未来：阿塞拜疆推出：《谈权力：中东和北非-能源用例到商业案例行动手册区的AI和超大规模数据中心基础设施优化》



2025年1月，论坛联合其人工智能与能源影响社区以及埃森哲发布了该系列的第一篇论文 [人工智能的能源悖论：平衡挑战与机遇](#)。那篇论文引发了关于人工智能双重性的全球对话，其加速脱碳的潜力以及迅速增长的能源需求。该报告呼吁对人工智能的能源影响给予紧急关注，并为其新方法奠定了基础。

这份洞察报告在原有基础上提出了一种战略转变，从悖论转向进步，使人工智能的扩展能够与国家和企业的能源转型路径保持一致。它介绍了一种实现净正人工智能能源的实用框架：一个人工智能带来的能源和资源节约超过其整个生命周期所消耗能源的未来。<sup>1</sup> 这不是一个理论上的抱负。它是确保人工智能为能源系统的韧性、可持续性和公平性做出贡献而非构成妥协的战略必要性。

# 前言



**罗伯托·博卡**  
能源与材料中心主任；世界经济论坛  
执行委员会成员



**李茜**  
负责人，人工智能，数据与元宇宙；  
副负责人，人工智能卓越中心；执行  
委员会成员，世界经济论坛



**詹姆斯·马祖尔克**  
美国公用事业公司董事总经理；  
埃森哲战略负责人

人工智能（AI）正快速改变经济和社会。然而，从人工智能中提取可衡量的价值仍然是一个障碍。大约74%的公司仍然难以实现和扩展人工智能的价值。已出现的AI能源使用案例表明，通过嵌入可持续性，企业可以从人工智能中解锁可衡量的价值，例如更快的部署和效率节约。<sup>2</sup>

从优化供应链和加速科学发现，到赋能更智能的基础设施和更高效的能源系统，人工智能正成为经济竞争力、能源安全和创新的基础性技术。然而，随着其能力的增长，其能源足迹也随之增加，这就提出了一个问题：人工智能能否在不耗尽能源系统的情况下驱动可持续性和韧性？

风险很高。如果没有有意的设计和管理，由人工智能驱动的电力需求可能会抵消一些可再生能源部署所取得的收益，并增加发电和输电系统的运营压力。如果不受控制，人工智能可能会成为系统压力、基础设施瓶颈、能源市场波动和负面气候影响的潜在贡献者。<sup>3</sup>所有这些都可能破坏经济竞争力和系统可靠性工作。然而，利用最新的创新，并正确地设置杠杆，人工智能

可以加强能源系统，而不是使其负担加重，提高可靠性，优化电网和其他能源资产，减少排放，并实现更智能、更高效决策。

人工智能的扩张是不可避免的。当前的挑战在于确保其发展与其支撑系统的容量和可持续性保持一致。

本文提供了一个以影响为先的AI蓝图，将节能、负责任部署、需求侧治理嵌入到AI发展中 并使用。它借鉴了来自现实世界的见解。 以及跨越行业、政府、学术界和民间社会的全球组织网络。

由世界经济论坛的AI能源影响计划牵头开发，并与埃森哲及顶尖专家合作，该框架是一个行动号召，也是协调发展的指南。它反映了一种日益增长的共识：将人工智能与能源和可持续发展目标相结合，不仅是一种道义责任；它也是经济竞争力、能源安全及包容性繁荣的战略优势。

今天的抉择将塑造人工智能在我们能源未来的作用。一种净正面的方法，从设计上讲，可以确保人工智能成为能源安全、公平发展和能源转型的催化剂。

# 执行摘要

实现净正的AI能源成果需要有意向的利益相关者就AI的增长与能源效率、韧性和可持续性达成一致。

人工智能（AI）正在重塑产业，释放新的效率并加速创新。然而，其快速增长带来了不断增长的能源需求，这可能会使基础设施承压、削弱竞争力并抵消气候收益。在一些地区，数据中心需求的上升导致家庭和企业的电力价格上涨，凸显了将人工智能增长与可负担性和公众接受度相协调的重要性。到2035年，全球数据中心电力使用量可能达到1,200太瓦时（TWh），从2024年的420 TWh增长而来。<sup>4</sup> 如果没有战略干预，人工智能可能会成为系统压力和气候风险的潜在因素。

管理人工智能的能源影响已不再是未来的担忧——它是一个当下的创新必然。正能量的人工智能意味着确保人工智能带来的能源和资源节约超过其生命周期消耗——使负责任的扩展成为竞争力和韧性的来源。虽然人工智能可以优化各行业的能源使用，但其增长必须与系统容量和可持续发展目标相一致。问题不在于人工智能是否会增长，而在于它是否负责任地、与能源转型同步增长。



正和人工智能框架围绕三个行动驱动构建：

- 以效率为设计目标
- 为影响而部署
- 明智地塑造需求



这些得到了三个战略使能者的支持：

- 消费者教育与劳动力技能提升
- 生态协作
- 透明度测量与问责制

它们共同构成了一份协调人工智能发展与能源、经济 and 气候目标的连贯蓝图。该框架借鉴了来自15多个国家的130多个实际应用案例，展示了组织如何已经开始实现成本节约、电网可靠性和减少等方面的效益。二氧化碳（CO<sub>2</sub>）

风险很高。Transformer短缺，延迟电力连接<sup>5</sup>以及基础设施瓶颈正出现在各个地区。<sup>6,7</sup> 若缺乏有意的设计与治理，人工智能可能会加剧数字鸿沟，将能力集中于能源丰富的地区，而使其他地区落后。

然而，机会是明确的。人工智能可以显著减少数据中心冷却能耗，<sup>8</sup> 提高供暖、通风和空调（HVAC）效率，<sup>9,10</sup> 并优化网格、物流和工业流程。<sup>11,12,13</sup> 将效率嵌入人工智能设计中的公司正在看到性能、弹性和可持续性方面的可衡量收益。

本报告为高管、政策制定者和技术领导者提供了一份负责任地扩展人工智能的战略蓝图。通过将业务目标与可持续能源成果相结合，组织可以加速实现净积极的人工智能能源，将负责任的设计转化为持久的竞争优势。

1

# 正人工智能能量必要性

构建一个净正人工智能能源生态系统，确保人工智能强化而非削弱能源安全、竞争力和气候进程。



“净正AI能源”指的是一个未来，其中AI带来的能源和资源节约超过了AI系统整个生命周期中所消耗的能源和资源。

#### 是什么：定义净正AI能源

“净正AI能量”指的是人工智能带来的能源和资源节约超过整个AI系统生命周期所消耗的能源和资源的一种未来。这个概念不仅包括能源和资源的节约，还包括更广泛的系统级效益，包括提高能源安全、增强电网可靠性、优化容量和降低运营成本。<sup>14</sup> 这些对于建立一个有弹性和可持续的能源未来都至关重要。

实现这一成果需要认识到更广泛的AI与能源的关联，AI对电力、水、土地和关键矿产的需求之间的相互联系，以及维持它们的生态系统。虽然本文承认这些交织的资源影响，但其主要重点在于能源维度以及AI如何以加强能源安全、竞争力和可持续性的方式来实现规模化。扩大数据中心会增加能源消耗和排放，并加剧冷却对水的需求；矿产开采会影响土地和生物多样性。通过整体化的、有资源意识的设计来解决这些级联压力，确保AI的增长为经济、环境和 общество 同时带来净效益。

#### 为什么重要：挑战的规模

为满足AI加速需求，近期估计全球已有超过2万亿美元的数据中心项目正在规划或建设中。

下一个十年。<sup>15</sup> 为这些设施提供动力和连接所需的基础设施正在以类似的步伐扩张。仅在美国，公用事业公司预计未来五年将在发电和电网容量方面投资1.1万亿美元，主要目的是服务数据中心和不断增长的AI工作负载。<sup>16</sup> 这笔资金注入将推动一项历史性的基础设施扩建，重塑全球电力需求、电网规划和投资优先级。

这种增长可能开始抵消年度可再生能源的增长。<sup>17</sup> 而同时扰乱国家能源规划并使电网承压。在许多地区，快速建设新的可再生能源、核能和电网容量以满足人工智能驱动的需求是不可行的，这意味着这部分扩张可能仍然依赖化石燃料。即使供应增加，基础设施升级也可能滞后，可能会限制能源供应并阻碍人工智能发展。<sup>18</sup> 因此，必须采取一种净正面的方法，不仅要解决排放问题，还要解决清洁能源如何分配的问题，以确保人工智能支持而不是与更广泛的脱碳工作竞争。

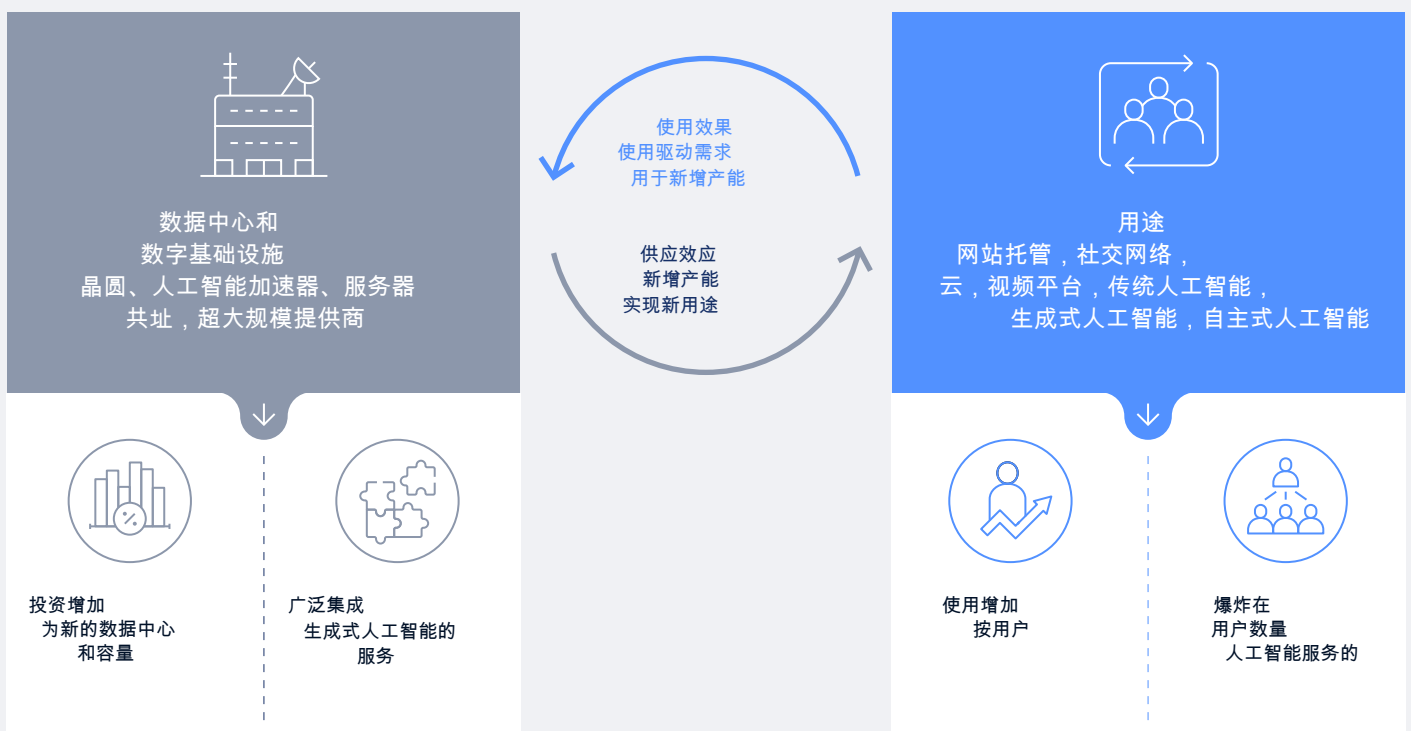
#### 理解人工智能能耗的潜在驱动因素

虽然有几个因素塑造了AI不断增长的能源使用，但有两个主要的（但并非排他的）驱动因素是：

当AI变得越 杰文斯悖论<sup>1</sup>  
随着其可用性及其使用范围扩大，一个关键挑战将是确保效率提升能创造真实价值，而不是引发更多人工智能使用，从而抵消能源和资源的节约。<sup>19</sup>

图1

人工智能数据中心能源与气候影响

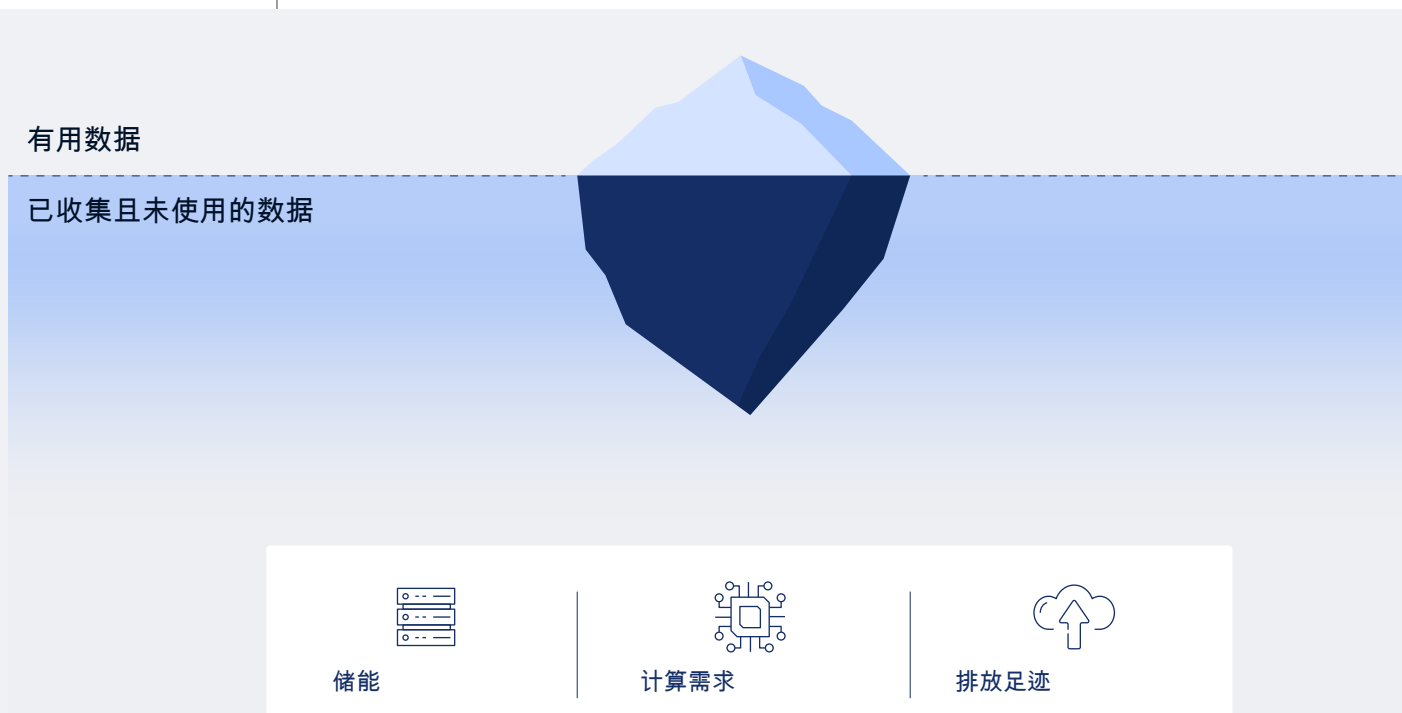


2 许多AI查询和训练运行发生  
无法洞察他们的能源或碳排放

暗数据与无意识浪费造成浪费的计算和不断增长的“暗数据”体积，这些数据通过持续的存储和冷却消耗电力。<sup>2</sup>

图2

人工智能的隐藏数据影响



“与过去的数字化转型不同，当今的人工智能繁荣是在明确资源约束下展开的，这提出了有意识地设计能源使用的责任和机遇。”

前沿模型的计算需求以及超大规模数据中心能源使用的集中加剧了这些动态。与过去的数字化转型不同，如今的AI繁荣是在明确资源约束下展开的，这带来了一种责任和机遇，即有意地设计能源使用。

#### 净正差距的风险

生成式人工智能鸿沟的风险是一个真正的忧虑。拥有集中技术能力和大规模数据中心的国家正在赶超，而其他国家则面临结构性障碍。这种不平衡可能会加剧经济和创新差距，形成一个两速世界，其中人工智能驱动的利益分配不均。现有的出版物和文章<sup>21</sup>证明高级人工智能的计算能力正日益集中在少数地区，引发了关于人工智能经济中公平参与问题的担忧。

避免这种情况的措施可能包括：

- 投资南北合作和共享基础设施
- 支持量身定制的区域创新中心到地方能源环境
- 确保可持续的公平获取计算以防止数字鸿沟

随着能源成为限制因素，AI能力可能会集中到电力充足且基础设施完善的地域或企业。这种动态可能加剧数字鸿沟，并在创新获取方面造成不对称性，有可能会将能源丰富的地区转变为主导性枢纽，而让其他地区落后。<sup>2</sup>

#### 实现净正AI能源的障碍

实现净正AI能源需要克服六个维度上的一系列复杂挑战：



技术

— 能源密集型模型训练和部署— 冷却和基础设施低效— 供应受限的硬件限制和缓慢的刷新周期



测量与透明度

— 缺乏标准化的能源使用指标— 能源报告不透明或不完整— 数据碎片化和基准缺失



### 行为和需求侧

- 无意识消费和反弹效应 - 来自低边际成本的弹性需求
- 节能行为的激励有限



### 监管和政策

- 地区政策框架不一致 - 慢慢适应人工智能政策
- 自愿能源标准和规范的应用有限



### 劳动力与产能

- 人工智能与能源领域中的技能差距
- 对高效人工智能的教育有限 - 区域准备程度不均



### 生态系统破碎化

- 单一部门创新和互操作性差距 (技术、监管等)
- 利益相关者之间激励失调 - 低信任阻碍合作

应对这些挑战将需要跨相关市场领域的合作、投资和问责制。

机遇：人工智能作为能源和气候资产

尽管存在这些挑战，人工智能在加速清洁能源转型的同时，也能提升竞争力，具有巨大潜力。负责任地部署人工智能，可以实现许多好处，包括：

“机遇十分明确：如果怀着意图进行部署，人工智能可以带来净正能量和气候效益，其效益将超过其能源消耗。”

- 将数据中心冷却能耗降低 40%<sup>23</sup>

— 提高商业建筑暖通空调(HVAC)能效 15 ~ 40%<sup>24,25</sup>

— 简化复杂的审批流程<sup>26</sup>

— 优化电网运行，减少损耗并提高可靠性<sup>27</sup>

- 提高可再生能源并网的预测能力<sup>28</sup>

—— 简化物流和工业流程以减少排放<sup>29</sup>

机会很明确：如果以明确的目的投入使用，人工智能可以实现净正能量的能源和气候成果，其中收益超过其能源消耗。

### 为什么需要一个新的框架

当前人工智能发展的轨迹主要集中在增长上，强调规模速度和能力。<sup>30</sup> 这种方法不再足够。<sup>31</sup> 根据行业利益相关者，生态参与者必须转而采用以影响为先的范式，该范式优先考虑可衡量的成果而非原始性能。

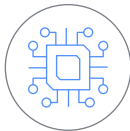
这个框架并非要求约束，而是要求战略协同，确保人工智能的快速增长推动创新，支持可持续性，并增强长期韧性。

实现净正人工智能能源需求需要集体行动。该框架帮助利益相关者确保人工智能的能源影响成为一个战略优势，而不是一个负债。

拥有成熟人工智能系统的企业正以比其他企业快数倍的速度将它们应用于可持续性成果，并且更注重长期价值创造。<sup>32</sup> 跨行业和跨区域构建这种能力对于实现大规模净正能效益至关重要。

图3 人工智能对能源的影响的利害关系者

共同地，这些利益相关者能够确保人工智能的增长强化而不是制约全球能源和气候系统。



### 技术提供方

开发人员、芯片制造商和平台架构师通过设计、训练、硬件、基础设施和透明度选择塑造人工智能的能源足迹。

#### 关键行动

— 部署节能AI系统和硬件 — 提供面向用户的能源透明度工具 — 发布可持续性基准和生命周期披露



### 行业领袖

人工智能可以帮助企业减少能源使用和排放，通过明确的市场信号推动创新。

#### 关键行动

— 将人工智能融入脱碳和能源效率战略 — 制定分阶段能源和电网集成路线 — 培训团队负责任、具有能源意识的AI使用



### 政府和监管机构

政策、激励和基础设施规划决定了人工智能是成为一种气候资产还是一种负债。

#### 关键行动

—— 制定选址和政策护栏的效率标准  
—— 强制要求生命周期能源和排放报告  
—— 支持共享基础设施和创新中心



### 学术界和公民社会

学术和民间社会组织制定方法、监督和培训，以加强衡量、劳动力队伍准备和包容。

#### 关键行动

-- 研究人工智能消费指标和方法 --  
-- 开发人工智能能源素养课程 -- 倡导透明度和问责制



### 消费者和最终用户

用户的选择和期望塑造了AI的能源影响、市场和政策。

#### 关键行动

— 选择节能型AI工具 — 支持透明平台  
— 践行数字节俭和负责任使用

## 2 正净人工智能能量框架

要实现净正的AI能源，组织必须高效设计、部署产生实际影响并有意塑造需求。



要从悖论走向进步，本文介绍了一个围绕三个直接驱动可衡量能源影响的行动驱动的实用框架：为效率而设计、为影响而部署和明智地塑造需求。这些行动由三个战略赋能者支持，它们概述了

使其驱动因素有效的根本条件：消费者教育和工作技能提升、生态系统合作以及透明衡量和问责制。它们共同构成了一个蓝图的框架，用于使人工智能的增长与能源、气候和经济目标保持一致。

图4

正净人工智能能量框架



绘制AI能源价值链

虽然对于人工智能能源价值链的确切阶段存在不同观点，<sup>33,34,35</sup> 它们通常包含三个核心组件，这些组件说明了人工智能如何以及在哪里与更广泛能源系统连接：

表1

人工智能能源价值链

|  阶段 |  描述 |  相关<br>动作驱动器 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 上游输入                                                                                   | 原材料、芯片、服务器、数据中心                                                                        | 以效率为设计目标                                                                                          |
| 生命周期操作                                                                                 | 模型训练、部署、存储                                                                             | 高效设计，明智塑造需求                                                                                       |
| 下游应用                                                                                   | 网格和建筑物中的人工智能赋能节能行业等。                                                                   | 为影响而部署，明智地塑造需求                                                                                    |

每个行动驱动映射到特定的价值链阶段，从而实现精准干预。所有战略赋能者贯穿价值链，提供

测量、合作和教育所需要的从基础设施到应用程序推动进展。

## 2.1 设计效率



数据中心电力消耗将在2030年翻一番以上，达到约945太瓦时（TWh）……（基准情景）将上升到约1200TWh（基准情景）。

7 国际能源署 (IEA). (2025). 能源与人工智能。

### 使人工智能本身更高效

第一个行动驱动器，“为效率而设计”，从开始就将可持续性嵌入人工智能模型、硬件和基础设施中。它同时支持大型

<sup>36</sup> 方法 通过改进算法、硬件使用和系统设计方面的效率，实现规模系统和小型、节俭型人工智能，使模型能够在最小的能源和材料使用下实现其目的。更多内容请参见论坛洞察报告《自然积极：科技行业的角色》。

效率也必须反映能源是如何被消耗的。训练过程简短但电力密集型，而广泛推理随时间推移可能超过它。这些模式因AI类型而异，并决定了优化能产生最大影响的领域。由于AI需要大量电力、水、土地和材料，因此早期建立效率能够

可持续增长。这反过来最终支持了本文的第三行动驱动器，即明智地塑造需求，通过推广为每个应用使用适当规模的模型。

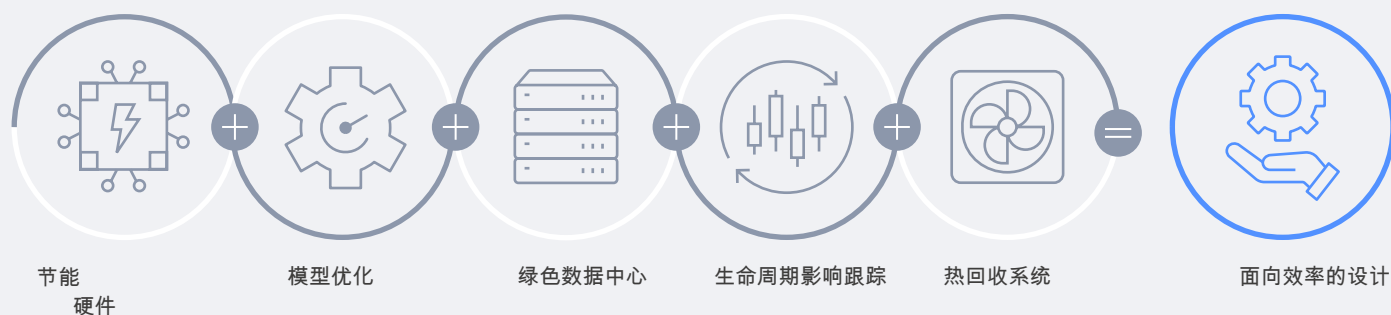
### 关键杠杆包括：

— 节能硬件（低功耗芯片、加速器、神经形态处理器）  
— 模型优化（稀疏模型、量化、剪枝、联邦学习）  
— 绿色数据中心（可再生能源驱动、优化水冷、模块化设计）  
— 生命周期影响追踪（碳、水、材料）  
— 热回收系统（废热再利用）

“第一个行动驱动器，“为效率而设计”，从一开始就将可持续性嵌入人工智能模型、硬件和基础设施中。”

图 5

为效率而设计——关键杠杆



### 用例见解和要点：

在当前（但正在扩展）的库存中的37%的使用案例中，组织正在应用各种杠杆来提高AI效率。然而，很少有人持续衡量或披露生命周期影响。进展仍然不均衡，透明度至关重要。

### 战略建议：

— 将能源关键绩效指标（KPIs）嵌入人工智能采购和设计。  
— 使硬件更新和创新与可持续性目标保持一致。  
— 跟踪人工智能整个生命周期的能源和碳强度。

|                                                                                                    |                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 表2                                                                                                 | 效率用例示例的新兴设计                                                                          |
|  能量-<br>高效<br>硬件  | 更高效的数量处理单元（TPU）芯片设计已经导致了谷歌（AI芯片超过两代）：<br>人工智能工作负载的碳效率提升了三倍                           |
|  模型<br>优化         | 重新设计的架构和 TPU 调整减少了训练全局软件公司（CodeGen 2.5 优化）：<br>提高40%的能量效率，同时不损失性能，通过改进的模型设计和硬件调优     |
|  绿色数据<br>中心       | 配备第二生命电动汽车Crusoe和Redwood Materials（可再生能源<br>(EV)电池储能，预期二氧化碳(CO <sub>2</sub> )和运营成本节约 |
|  生命周期<br>冲击<br>追踪 | 采用生命周期原则重新设计的数字服务，通过布鲁塞尔环境削减网页碳强度：<br>约80%且通过可持续设计展示效率提升                             |
|  热<br>恢复<br>系统    | 将计算废热用于供暖，为该区域提供40%的需求北欧区域：                                                          |

AI能源影响公共用例数据库。来源：

|                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 框1                                                                                                                                                                                                            | 超级计算机：为监管行业提供的主权、绿色AI数据中心                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <div><div><div><div><div><div></div></div></div><div>应用</div></div><div><div><div></div></div></div><div>部分应用</div></div><div><div><div></div></div></div><div>未应用</div></div> <div>此键适用注意：<br/>在所有箱子中。</div> | <div>挑战<div>!=</div></div> <div>在受监管领域，人工智能的增长正超越可用的计算能力。构建主权-等级，高性能基础设施仍然复杂且有限，限制访问负责任且节能的计算能力。</div> <div>解<div>💡</div></div> <div><div><div>— 模块化高性能人工智能数据中心具有先进的设施管理以及液体冷却</div><div>— 热流和电流传导的3D建模用于预测优化和可扩展性</div><div>— 基于可再生能源运行以确保长期效率和低碳性能</div></div><div>影响<div>⚙️</div></div><div><div>近期影响已实现或预期(少于一年)</div><div><div><div>— 部署速度提升50%到传统构建</div><div>— 高性能计算</div><div>— 20%节能</div></div></div></div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <div>进一步实现或预期的影响(超过一年)</div> <div><div><div>— 额外效率和碳减排从持续优化中</div><div>— 可扩展的低碳设计支持人工智能基础设施的扩展</div></div></div> <div>审视杠杆的作用<div>✓</div></div> <div><div><div><div><div><div></div></div></div><div>液体冷却机架</div></div><div>先进的节能硬件：</div></div><div><div><div><div><div><div></div></div></div><div>提供</div></div><div>模块化、可再生-绿色数据中心</div></div><div><div><div><div><div><div></div></div></div><div>构建模型的机遇：模型优化：在基础设施驱动的能源减少方面通过软件效率改进*</div></div><div>机会 生命周期影响跟</div></div><div><div><div><div><div><div></div></div></div><div>整合实时生命周期评估 ( LCA ) *减少隐含碳排放</div></div><div>回收热的机会系统：</div></div><div><div><div><div><div><div></div></div></div><div>部署以抵消本地供暖需求*</div></div></div></div></div></div></div></div> |
|                                                                                                                                                                                                               | <div><div><div>*参见表2获取相关的“效率设计”用例示例。Kahil, H., et. Al. (2025). 强化学习用于数据中心能效优化：系统文献 来源：审查和研究路线图。应用能源，第389卷，125734。 <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261925004647?">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261925004647?</a> ；Makin, Y., Malia kkal, R. (2025). 通过硬件-软件协同设计在NVIDIA、AMD和新兴GPU架构上进行可持续AI训练。康奈尔大学。 <a href="https://arxiv.org/abs/2508.13163?">https://arxiv.org/abs/2508.13163?</a> ；Lescuyer, L. (2024). 借助生命周期分析揭示数据中心完整环境面貌。——<a href="https://www.datacenterdynamics.com/en/opinion/revealing- full-data-center-environmental-faces-thanks-to-life-cycle-analysis/?">https://www.datacenterdynamics.com/en/opinion/revealing- full-data-center-environmental-faces-thanks-to-life-cycle-analysis/?</a> ；国际可再生能源署。(2025)。数据中心余热回收。<a href="https://www.irena.org/Innovation-landscape-for-smart-electrification/Power-to-heat-and-cooling/31-Waste-heat-recovery- from-data-centres?">https://www.irena.org/Innovation-landscape-for-smart-electrification/Power-to-heat-and-cooling/31-Waste-heat-recovery- from-data-centres?</a> .</div></div></div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                               | <div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                               | <div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

此键适用注意：  
在所有箱子中。



2. 数据forall：面向智能能源系统的AI准备基础设施

挑战

决策者缺乏可靠、易于获取、高质量的數據。結構化數據集稀少以及方法不一致限制了跨行業的透明度、可信度和基於證據的政策。

解

- 聚合和标准化来自超过100个来源以增强可靠性和可访问性
- 提供实时交互式仪表板跨关键领域，包括能源，健康与贸易
- 整合机器学习（ML）的计划用于预测分析和向前-决策支持

影响

近期已实现或预期的影响（一年以内）

- 增强透明度和可访问性跨多个领域的国家数据

\*参见表2获取相关的“效率设计”用例示例。AI能源影响公共数据库；Domyn；阿塞拜疆第四次工业革命中心。来源：

— 提升基于证据的决策制度能力

进一步实现或预期的影响（超过一年）

- 为未来预测实施机器学习和预测模型 – 跨行业扩展数据覆盖范围和用户采用率

审视杠杆的作用

- ✓ 未来机器学习模型 模型优化：提高分析效率
- ✓ 支持更好 生命周期影响跟踪：政策与可持续发展评估\*
- ✓ 依赖 节能硬件：未来计算架构\*
- ✓ 潜在对齐 绿色数据中心：通过可持续云基础设施\*
- ✓ N/A 热回收系统：

商业案例

近期主权计算和数据基础设施建设举措显示了面向效率的AI如何提升性能和可持续性。优化的硬件和透明的数据

治理能够使人工智能系统更快、更便宜、更清洁，从而增强数据和计算价值链中的能源安全、竞争力和可持续性。

## 2.2 采取行动产生效果

“第二个行动驱动，“为影响而部署”，是AI驱动可衡量的可持续性增长，促进效率、可再生能源整合和脱碳，实现净正能。

### 利用人工智能跨领域降低能耗

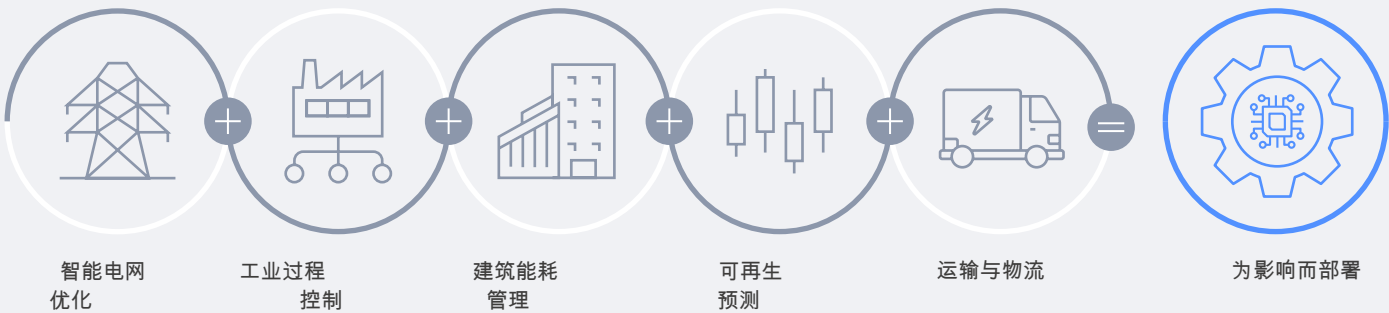
第二行动驱动，“为影响而部署”，是人工智能驱动可衡量能源系统与可持续发展收益、可再生能源整合和脱碳实现净正能量的地方。人工智能优化电网、储能、工业、建筑和物流，以减少需求、提高可靠性和降低排放。当前的任务是将成熟解决方案从试点扩展。随着电气化加速，挑战不是可行性，而是作为可持续能源结构化使用者的人工智能的大规模部署。

### 关键杠杆包括：

- 实时 智能电网优化：调度、故障预测、负载均衡、未解锁容量
- 预测工业过程控制：维护，能源优化
- 人工智能驱动 建筑能耗管理：暖通空调、照明、基于占用的控制
- 改进的太阳能/可再生能源预测：风力预测
- 路径优化，交通和物流：车队电气化，运输方式转换规划

图6

为了产生影响而部署——关键杠杆



### 用例洞察和要点：

大约83%的使用案例反映了为产生影响而部署，这是最常见的驱动力。它们展示了人工智能在实现可持续性成果方面的作用，从直接的能源节省到系统级的收益，例如更好的停机预测、负载均衡和成本优化，这些都增强了电网的韧性。

### 战略建议：

— 通过公私合作扩大成熟的解决方案。— 将人工智能集成到国家脱碳战略中。— 为高影响部门制定互操作性标准。

表 3 新兴部署用于影响用例示例

|                                                                                   |         |                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 智能电网优化  | 应用于3000万客户，降低大型欧洲能源公用事业（AI赋能电网优化）：<br>损失，提高可靠性并减少网络能源浪费                                             |
|  | 工业过程控制  | 为流程控制量身定制的AI可降低24%的用电量和48%的浪费 西门子（成都智能工厂）：                                                          |
|  | 建筑能量管理  | 交通、照明和楼宇控制的协调人工智能减少了城市能源使用35%（智慧城市试点）：日本                                                            |
|  | 可再生能源预测 | AI集成提高了可再生能源的产量15%，减少了限电并增强了智利（太阳能电站优化）<br>网络可靠性<br>利用人工智能工具，能源价格预测精度提高了20%。Hitachi Energy（智能价格预测）： |
|  | 运输和物流   | 人工智能赋能的物流优化车队路线，消除3000万全球零售商（车队路线优化）：<br>不必要的里程驾驶，降低燃料使用和供应链排放                                      |

AI能源影响公共用例数据库。来源：

框3 AIoT赋能的工业脱碳

挑战

鄂尔多斯，中国一个重工业区  
依赖煤炭，旨在向净-  
零次操作。挑战包括管理  
可再生能源的间歇性，保持能源稳定  
并实现碳可见性和合规性。

解

- 部署了物联网人工智能 (AIoT)平台作为工业园区的数字化  
大脑，集成风、光、储能和  
工业负载
- 支持实时多能源预测  
风场调度和碳核算  
太阳能、氢能、储能和电动汽车
- 嵌入式人工智能用于产品级碳排放  
可追溯性与生命周期排放验证
- 建立了协作生态系统  
连接政府、公用事业和产业  
合作伙伴同步能源和碳数据

影响

5%峰值需求减少

80%预测准确率

进一步实现或预期的影响  
(超过一年)

20万千瓦时节能

10%峰值需求降低

100万吨二氧化碳当量 (CO<sub>2</sub>e) 避免

审视杠杆的作用

实时调度，智能电网优化：  
预测，以及电网平衡

人工智能驱动的工业过程控制：  
效率优化和碳减排

智能建筑能源管理：  
监控系统和设施优化系统

增强可靠性 可再生能源预测：  
由间歇性风能和太阳能发电组成

协调车队 运输和物流：  
使用可再生能源充电和停放  
能量负载

## 挑战

工业能源设施面临设备退化  
在涡轮机和锅炉中，导致非计划的  
停机和中断低碳电力  
生成。传统维护仍然  
反应性的，增加低效和停机风险。

## 解

— 基于人工智能的预测性维护，在某英国能源公司部署 — 互联网物联网（IoT）传感器数据和异常检测模型识别“良好行为”模式 — 实时偏差警报实现早期干预和优化调度

## 影响

近期影响已实现或预期  
(少于一年)

- 更早的设备退化检测
- 更高效地利用维护资源

\*参见表3，了解相关的“为产生影响而部署”用例示例。AI能源影响公共数据库提交，Envision；AVEVA。来源：

进一步实现或预期的影响  
(超过一年)

— 130万英镑的运营成本节约 — 45万英镑的  
零部件和人工节约

## 审视杠杆的作用

- ✓ 预测工业过程控制：  
维护和能源优化  
工业设施
- ✓ 间接效益 智能电网优化：  
通过可靠性改进\*
- ✓ 应用于建筑节能管理：  
设施管理模块\*
- ✓ N/A 运输和物流：
- ✓ N/A 可再生能源预测：

## 商业案例

人工智能正在降低各项运营的能源强度。预测分析减少了停机时间，延长了资产使用寿命，并优化了可再生能源、储能和需求，从而提升了高耗能行业在经济竞争力、能源安全性和可持续性方面的水平。

## 2.3 明智地塑造需求

“明智地塑造需求”重点  
关注人工智能的使用如何  
受到管理、定时和激励，  
以使能源需求与可持续性  
目标保持一致。

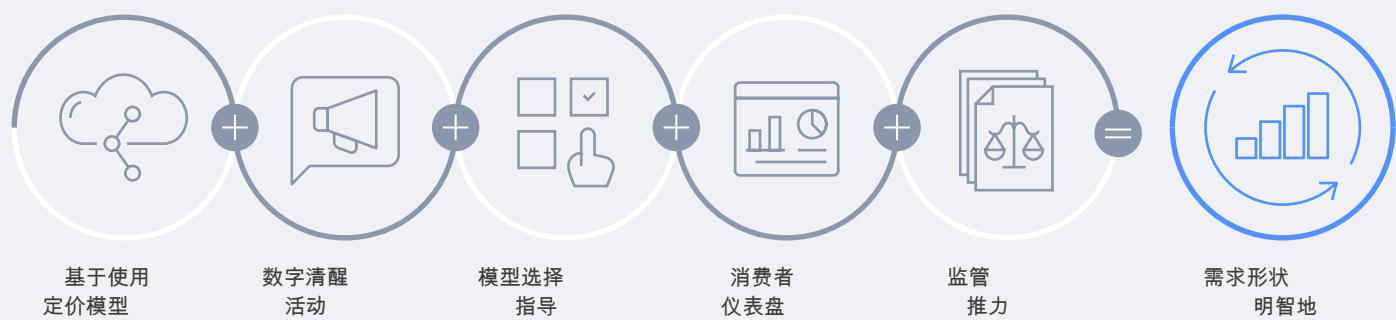
避免不必要的或无意识的 AI 使用

第三个行动驱动因素，“明智地塑造需求”，重点是如何管理、调度和激励人工智能的使用，以使能源需求与可持续性目标相一致。在效率驱动因素的设计基础上，它强调按比例、有目的的部署，在可能的情况下使用较小的模型和自适应调度，并为高价值需求保留大规模系统。通过激励和赋能更灵活和条件响应的人工智能消耗，需求可以被智能地塑造，而不是简单地限制。

关键杠杆包括：

- 价格信号 基于使用量的定价模式：以及激励效率的分层模型 — 教育 on 数字戒酒活动：查询和建模能源影响 — 促进更小， 模型选择指南：适用性模型 — 实时洞察 消费者仪表盘：能源影响 — 效率默认值 监管引导：以及信息披露标准

图7 精明地塑造需求——关键杠杆



用例洞察和要点：

只有10%的使用案例反映了形状需求明智地，强调一个差距或有限的可见性在这里进行生态系统活动。这些例子旨在影响AI消费模式并促进选择性的、节能的应用。没有更加关注这个驱动器，效率提升存在风险由持续的AI需求增长所抵消。

战略建议：

- 建立AI可持续性标签和能源披露。
- 提供可选择的公共仪表板透明度。
- 推广负责任默认设置和用户意识。

表4 新形态需求明智用例示例

|  |          |                         |                                                  |
|--|----------|-------------------------|--------------------------------------------------|
|  | 基于使用定价模型 | 调节需求                    | 将成本与能源强度挂钩，激励高效 AI 使用和云服务提供商试点（分层定价）：            |
|  | 数字清醒活动   | 和审查以减少不必要的计算并提高能效       | 这个项目推动了数字可持续性意识。全球咨询公司（数字清醒项目）：                  |
|  | 模型选择指导   | 和服务器副本67%               | 每周检测到36亿个冗余API调用，将错误响应减少了72% Leboncoin（API流量优化）： |
|  | 消费者仪表盘   | 帮助用户选择低能耗工作流程           | 一个显示每个查询能源影响的仪表板，全球软件公司（AI能源分数原型）：               |
|  | 监管推力     | 优化网络操作，减少能耗约40%，并满足效率标准 | 监管合作 全球媒体、娱乐和体育公司（网络）                            |

AI能源影响公共用例数据库。来源：



框 5 基于人工智能的能源预测与调度排程平台

挑战

快速可再生能源增长给电网可靠性带来压力  
工业区域。可变的供需关系使  
很难实现一致且实惠的清洁  
缺乏精确的短期预测的能量。

解

- 云平台优化能源使用  
管理分布式能源
- 人工智能赋能的需求预测、发电  
和定价
- 优化调度计划，存储  
管理和供需平衡

影响

近期影响已实现或预期  
(少于一年)  
  
- 10-20% 可再生利用提升 - 90-95% 预测准确  
率 - 95% 储存利用效率

进一步实现或预期的影响  
(超过一年)

- 5-10%峰值需求降低

审视杠杆的作用

✓

通过能量关联性能的信号  
指标和基准测试

启用基于成本的计费模式：

✓

可见性和排放追踪

实时能源消费者仪表盘：

✓

节能配置和工作负载  
优化消耗的时机

推荐 模型选择指南：

✓

主动，不在范围内\*

内部数字清醒活动：

✓

框架，但不是政策驱动\*

与 ESG 监管助推一致：

\*参见表4以获取相关“明智地塑造需求”用例示例。

|                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>挑战</div> <div>人工智能数据中心导致电力需求上升并且作为刚性负载运行。没有自适应管理，这种增长风险会导致电网压力过大。更慢的脱碳。目标是<br/>如何以及在何时使人工智能基础设施更智能消耗电能。</div>                         | <div>进一步实现或预期的影响<br/>(超过一年)</div> <div>– 提升系统运行时间 – 来自灵活性服务的额外收入 – 扩大峰荷削减和避免的碳排放</div>                                                                                                                                                                            |
| <div>解</div> <div><div>– 平台使数据中心能够优化基于电网条件的电力使用</div><div>– 预测模型安排工作负载实时平衡能源需求</div><div>– 安全应用程序编程接口 ( api ) 和治理框架确保合规、负责任的运营</div></div> | <div>审视杠杆的作用</div> <div><div>✓ 根据能量供给计算强度<br/>驾驶效率激励</div><div>✓ 实时可见性 消费者仪表盘：<br/>进入工作负载时间和能耗</div><div>✓ 预测模型选择指南：<br/>模型优化调度和电力使用</div><div>✓ 内部 数字清醒活动：聚焦效率，而非面向公众*</div><div>✓ 遵循国家监管引导：<br/>美国国家标准与技术研究院 (NIST)/<br/>国际标准化组织<br/>(iso)标准，非政策驱动*</div></div> |
| <div>影响</div> <div>近期影响已实现或预期<br/>(少于一年)</div> <div>– 40%峰值需求降低 – 1,080千瓦时 ( kWh ) 节约 – 0.68吨二氧化碳减排/MWh) 每兆瓦时 (tCO<sub>2</sub></div>       |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <div>*参见表4了解相关“明智地塑造需求”用例示例。AI能源影响公共用例数据库，Infosys；Emerald AI。 源码：<br/>翻译文本：</div>                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |

商业案例

人工智能的需求通过设计和治理来塑造。企业将效率嵌入系统、优化数据和模型大小、并跟踪资源使用，而政策和教育则促进数字清醒，使人工智能的发展与信任和

可持续性目标。更智能的需求管理也增强了经济竞争力和能源安全，确保人工智能的扩张支持系统可靠性和可持续增长。

### 3 战略赋能

教育、协作和透明度赋予行动驱动者权力，将战略转化为可衡量、可扩展的正向AI能源成果。





这些使能者是框架的连接组织，支持每个行动驱动器，并实现规模、信任和协调。

### 3.1 消费者教育和劳动力技能提升

消费者教育和劳动力技能提升使人们和组织具备扩展高效、负责的AI的知识。

#### 提升各领域的能力和准备

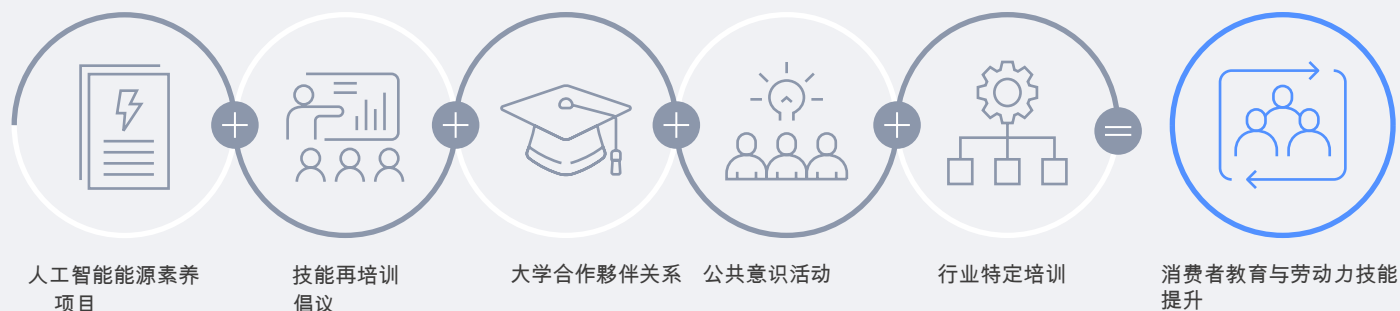
第一个战略推动因素，消费者教育和劳动力技能提升，使人们和组织具备扩展高效、负责的AI的知识。可持续发展取决于知情的用户和具备技能的专业人士，他们设计和治理系统时注重能源和环境意识。结合技术和可持续发展素养的培训有助于弥合这一差距，而关于AI资源影响的透明沟通则赋予负责任的用途，并将增长与共享的可持续发展目标保持一致。

#### 关键杠杆包括：

- 针对人工智能能源素养计划：工程师、政策制定者和商业领袖
- 转型传统技能再培训计划：能源工人转向AI赋能岗位
- 课程 大学合作：高效人工智能赋能的发展
- 公众意识教育活动：关注能源的AI使用者
- 定制项目 行业特定培训：用于制造、公用事业等

图 8

消费者教育和劳动力技能提升的关键杠杆



#### 用例见解和要点：

只有大约21%的使用案例涉及此使能器。人类能力落后于技术进步的相关实例凸显了加强培训和教育的必要性。

#### 战略建议：

— 资助教育、奖学金和工作力培训—与大学合作开发与行业相关的课程—启动国家负责任AI使用活动

表 5 新兴消费者教育和劳动力技能提升用例示例

|                                                                                               |                              |                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
|  AI 能源读写能力项目 | 流程优化                         | 培训能源专业人员使用人工智能进行增强规划 全球能源服务提供商（人工智能学院）： |
|  技能再培训倡议     | 服务设计原则                       | 培训数字团队应用生命周期和可持续性法国文化部（系统设计工作坊）：        |
|  大学合作关系      | 进入工程与设计教育，推进跨学科可持续性学习        | 整合生命周期能源评估与环境保护责任北美学术联盟：                |
|  公开意识活动      | 足迹和效率潜力，为政策制定者、企业和研究人员提供共享见解 | 开放公共平台提升人工智能的能源意识国际能源署（IEA）和人工智能观测站：    |
|  扇区-具体训练     | 降低数据量99%并提升故障检测              | 培训技术人员使用人工智能驱动的数字孪生进行检测，猛禽地图（太阳能劳动力计划）： |

AI能源影响公共用例数据库。来源：

7.方框 7 ADEME国家级负责任数字消费活动

挑战

不断增长的数字能源需求已经超过公众对其环境影响的认识。许多组织缺乏评估的框架降低数字运营的能源足迹。

解

- 公众意识与教育宣传活动倡导负责任的数字消费
- 数字清醒指南，培训材料以及政策建议以整合将可持续性融入IT和人工智能实践
- 企业、学校工作坊并与公共机构建立识字能力可持续数字行为

影响

近期影响已实现或预期（少于一年）

- 全国参与数字戒酒教育和意识
- 早期采用生态设计实践

进一步实现或预期的影响（超过一年）

- 数字戒毒指南更广泛地整合
- 人工智能和数字能源的可见度提高影响

审视杠杆的作用

- ✓ 对数字能源使用的理解决策者与专业人士 构建AI能源素养项目：
- ✓ 通过全国面向广大观众参与和沟通。 公众意识宣传活动：
- ✓ 学术使用的教育资源\* 提供开放大学合作伙伴关系：
- ✓ 鼓励未来的再培训计划：可持续IT\*中的人力资源发展
- ✓ 行业设置的指导\* 适用于通用部门特定培训：

\*参见表5，了解相关的“消费者教育和劳动力技能提升”用例示例。

挑战

工业运营通常依赖于孤立的  
人工监控，限制实时优化  
并增加排放和运营成本

解

– 跨能源园区流程部署了20个预测模型 – 实时预测与  
集中式工厂控制集成 – 人工智能平台和模块化架构支持  
扩展和集成

影响

近期已实现或预期的影响（一年以内）

– 24% 生产率提升 – 一年内实现 510 万欧元节省  
– 全厂采用，超过 30 名活跃用户

进一步实现或预期的影响（超过一年）

– 在多个场所预计每年产生 6000 万至 8000 万欧元的  
影响 – 额外的节能和减少排放 – 在其他设施中复制

审视杠杆的作用

✓

培训人工智能能源素养项目

解读人工智能驱动的运营洞察  
效率

✓

劳动力转型 技能再培训计划：从人工到人工  
智能辅助操作

✓

定制化 行业特定培训：  
操作和工业培训模块  
能源管理

✓

与大学合作关系的见解分享：  
通过应用项目的技术院校。  
与圣保洛合作的学术主席  
ceu (马德里)专注于绿色数字。  
与阿尔卡拉大学合作  
(Madrid), 位于物联网技术中心

○

– 不适用 公众意识宣传活动

ADEME. (2025). 做聪明的选择，重新握住主导权：我们负责任数字化的宣传活动。 源码：  
翻译文本：  
<https://altimpact.fr/soyons-malins-reprenons-la-main-notre-nouvelle-campagne-pour-un-numerique-plus-responsable/>；ADEME. (2  
025). 数字化：夺回主导权，实现负责任的使用。 [https://infos.ademe.fr/magazine-janvier-2025/numerique-reprendre-la-main-pour  
des-usages-responsables/](https://infos.ademe.fr/magazine-janvier-2025/numerique-reprendre-la-main-pour-des-usages-responsables/)；AI能源影响公共用例数据库，Moeve。

商业案例

建立高效的AI技能需要公共和专业行动。教育提高了人们对AI能源影响的认识，而培训则使工程师能够推动高效化和碳减排，为负责任的采用创造人力资源基础。



## 3.2 生态系统合作

“生态系统合作与治理使公共部门、私营部门、研究机构和社会组织协同合作，以加速负责任、节能的AI应用。”

协调标准、激励措施和基础设施

第二个战略推动力，生态合作与治理，协调公共部门、私营部门、研究机构和社会组织，以加速负责任、节能型人工智能的采用。合作协调各方努力，共享风险，并扩大任何单一参与者都无法独立实现的解决方案，同时确保对低碳计算和可靠连接的公平获取。

有效的治理取决于共同的标准、透明的数据交换和协调的基础设施投资。跨部门合作提高模型效率、清洁能源整合和数字基础设施规划，同时减少重复。产业群组说明了这种潜力，人工智能同步能源流动，

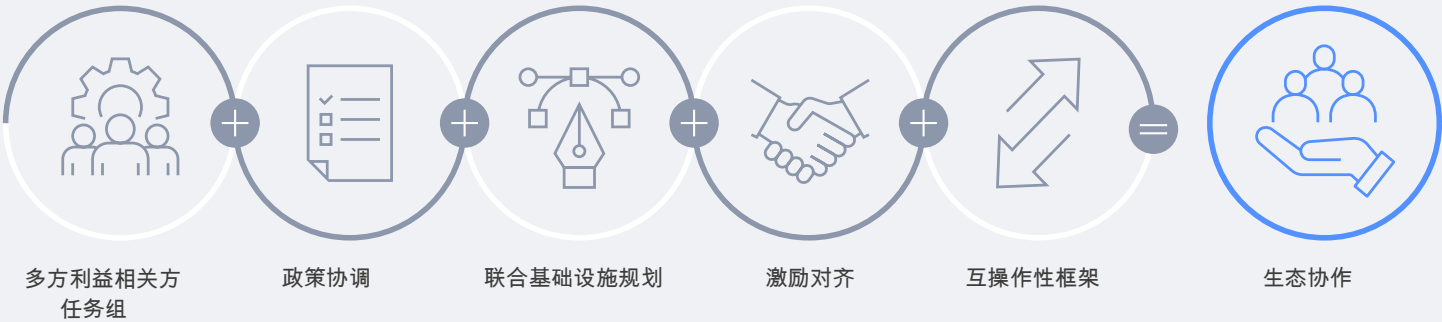
余热与物质交换，解锁跨连接产业的更高效率、灵活性及循环性。<sup>38</sup>

关键杠杆包括：

- 行业，多方利益相关方工作组：学术界与政府协同 跨境标准 政策协调：针对人工智能能源问责制 - 共享 联合基础设施规划：对绿色计算区的投资 - 税收抵免、补助金和 激励对齐：采购偏好 - 常见 互操作性框架：具有能源感知功能的AI系统的协议

图9

生态系统协作关键杠杆



🔍 用例见解和要点：

约57%的被审查的使用案例强调了此使能因素。例子从合作可再生能源采购到共享电网集成平台不等，说明集中资源和协调治理可以加速采用。

战略建议：

- 通过资金和召集平台促进联盟形成 - 使项目与国家清洁能源战略保持一致 - 推广平衡创新和公平的治理模式

|                                                                                              |                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 表6                                                                                           | 新生态系统合作用例示例                                                         |
|  多方利益相关者任务组 | 一个由城市、大学和企业组成的联盟通过澳大利亚（可再生能源项目）聚合了需求：一份联合可再生能源购电协议，确保长期清洁电力，并支持电网脱碳 |
|  策略协调       | 欧盟引入自愿可持续性承诺 欧盟（政策合作）：跨成员国，作为未来人工智能能源治理标准的基础                        |
|  联合基础设施规划   | 将人工智能应用于物流，提高运营效率并减少西班牙（智能港口基础设施计划）：船舶周转时间缩短30%                     |
|  激励对齐       | 联合飞行员运用人工智能协调优化电信网络能源使用 全球电信-公用事业伙伴关系：在网格条件下，提高效率并减少高峰期需求           |
|  互操作性框架     | 跨行业投资组合合作伙伴关系标准化可扩展的暖通空调优化，北美全球创新者：降低能源使用量20-30%                    |

方框 9

公私合作共建负责任的人工智能生态系统

挑战

公共机构间碎片化协调  
初创企业和行业限制人工智能的潜力  
可持续发展。没有共享框架  
和标准，欧洲的人工智能生态系统面临风险  
发展不平衡和资源浪费。

解

- 跨部门合作  
技术提供方，政策制定者和科研机构
- 欧洲范围的负责任框架  
人工智能采用
- 监管准备情况评估，数据  
基础设施和劳动力技能，提供  
政策与投资指导
- 结果反映了区域竞争力  
战略与协调可持续发展  
利益相关方目标

影响

- 近期影响已实现或预期  
(少于一年)
- 在15个国家开展业务往来  
28000名参与者
  - 提升了人工智能采用的可视化程度  
基础设施差距和劳动力准备

进一步实现或预期的影响  
(超过一年)

- 政府间更强的协调  
和企业在负责任的AI治理
- 可持续发展整合增强  
国家人工智能路线图中的考量

审视杠杆的作用

- ✔ 生态系统利益相关方 坐标AI多利益攸关方工作组：
- ✔ 人工智能治理框架 构建共享互操作性框架：
- ✔ 国家人工智能中心和创新集群 连接联合基础设施规划：
- ✔ 监管讨论但不定义 支持协调政策协调：独立\*标准
- ✔ 实现共享洞察 奖励一致性：和资金对话，尽管直接的共同投资仍然有限\*

\*参见表6以获取相关的“生态系统合作”用例示例。注意：

挑战

传统电池分级测试通过每个电芯完全充放电循环——缓慢，耗能，高强度的工艺，限制了规模，提高了成本，阻碍可持续、高效生产。

解

— 使用AI模型预测电池容量  
实际生产数据

— 人工智能驱动性能学习改进  
预测准确性和减少  
手动干预

— 人工智能赋能制造业优化  
提高吞吐量并降低  
环境影响

影响

近期影响已实现或预期  
(少于一年)

每吉瓦时 ( GWh ) 生产节省 750,000 千瓦时 ( kWh )  
生产周期缩短 32%  
需要的人工监督低于 1%

进一步实现或预期的影响  
(超过一年)

— 750万元人民币的年节省成本 – 跨多个地点的200至300名内部用户

审视杠杆的作用

✓ 协作 多利益相关方工作组：与利益相关方共同推进人工智能赋能电池系统

✓ 与地区政府和能源  
代理机构扩展基础设施

✓ 技术集群中链接人工智能的参与者  
移动性和可再生能源整合

✓ 有助于电池 政策协调：安全与数据共享标准\*

✓ 示范项目；更广泛的融资  
合作仍然有限\*

联合倡议 互操作性框架：

主动联合基础设施规划：

联合资助 激励对齐：

\*参见表6获取相关的“生态系统协作”用例示例。亚马逊网络服务 ( AWS )。(2025). 在数字十年2025年解锁欧洲的人工智能潜力。 来源：  
<https://www.unlockingeuropesaipotential.com/>；MINDS 2025.

商业案例

跨部门合作推动成本和节能型人工智能。政府、产业界和研究人员协调投资、基础设施和治理，以创建共享标准、建立信任并促进负责任、可持续增长。



### 3.3 透明测量与问责

实现可见性、基准测试和信任

第三项战略赋能器，透明的测量并问责，建立了一致的指标量化人工智能的资源使用和环境冲击。如果没有共享标准，就无法取得进展被跟踪或比较，使组织对效率的零碎见解和有限理解能源使用如何与成本相关联水、材料以及土地利用，以及排放。

一个多维度的度量标准，例如埃森哲的可持续人工智能商数（SAIQ），<sup>39</sup> 展示了其中一种可能方法。它衡量了人工智能系统将金融、能源、碳和水投入转化为有用性能的效率，提供一个综合评分，以支持可比基准测试，并为更高效的人工智能的运营和管理决策提供信息。

图 10

埃森哲的SAIQ

$$\text{SAIQ} = w1. \frac{\$}{\text{token}} + w2. \frac{\text{兆瓦时能量}}{\text{token}} + w3. \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{token}} + w4. \frac{\text{m}^3\text{水}}{\text{token}}$$

图 11

SAIQ框架：评估人工智能的成本、能耗和环境足迹贯穿价值链

最小化功耗并且成本  
低功耗AI芯片。AI优化架构，边缘AI以高效计算，智能负载均衡  
能源比例计算

成本效益  
(\$/token)  
生存能力，可负担性

降低 AI 成本和碳足迹  
基于消耗的 AI 定价模型  
碳感知模型部署  
人工智能用于减少排放

能源效率  
(MWh/令牌)  
韧性，安全性  
of supply

碳和水  
效率  
(tCO<sub>2</sub>e/token, m<sup>3</sup>/token)  
可持续性，净零  
目标，立法

使用更低的成本实现最优Alpha性能  
电力使用和排放  
开放合作与去中心化人工智能  
实时能源跟踪和碳效率

最小化电力使用和碳排放  
轻量模型和更智能的算法  
AI 在循环经济中，碳感知的 AI  
治理，节水型冷却系统

将此类措施嵌入报告和监督系统中，可以促进资源使用的可比性、问责制和持续改进。反过来，这为透明、数据驱动的、迈向更高效人工智能的进步奠定了基础。

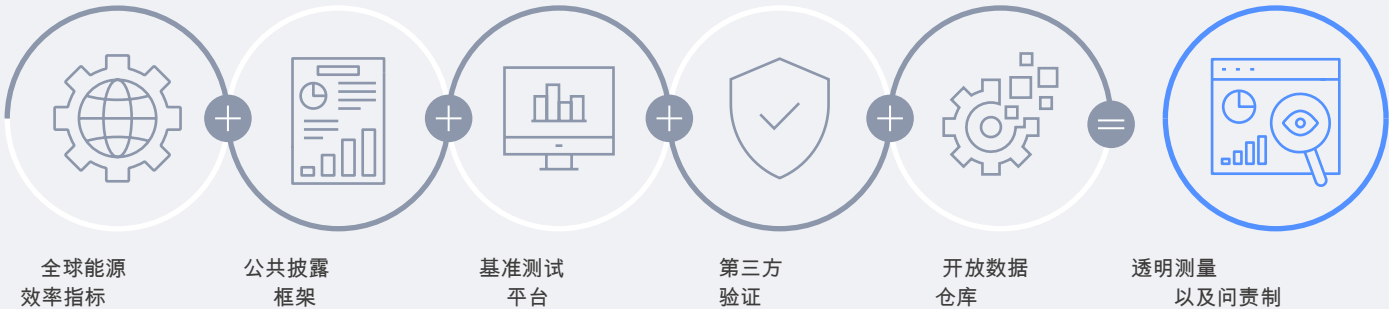
– AI能源使用 公共披露框架：ESG报告标准 – 跨行业工具 基准测试平台：用于比较AI工作负载 – 独立审计 第三方验证：人工智能基础设施和模型 – 共享数据集 开放数据存储库：用于能源影响研究

关键杠杆包括：

- 根据推理，生命周期碳排放强度
- 焦耳 全球能源效率指标

图12

透明测量与问责制是关键杠杆



用例见解和要点：

有81%的使用案例包含这项启用者。许多人依赖仪表板或碳-跟踪系统。然而，很少有系统扩展到标准化报告或外部验证。建立全球标准和开放平台对于扩大影响力和建立信任至关重要。

战略建议：

- 建立AI能源效率与碳强度全球标准
- 需要基准符合公共采购
- 支持开放数据平台和第三方审计

表 7

新兴透明测量与问责用例示例

|  |                    |                                                                 |                                         |
|--|--------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|  | 全球能源效率指标           | 未充分利用的服务器通过停用节省了10,475兆瓦时和3,506吨二氧化碳<br>会计与效率基准测试               | 监控识别出北美信息科技公司（自动化服<br>务器），展示生命周期能源      |
|  | 公开披露框架             | 使用数据；创建了一个AI能源评分排行榜，为公共报告和问责设定了基准                               | 已发布模型排放和资源北美及欧洲创新者（透明度和效率）              |
|  | Bench-<br>标记<br>平台 | 跨数字运营商的排放数据，为环境问责制创建透明的基准                                       | 研发了一个国家平台，用于测量和发布能源及ARCEP法国（ICT可持续性基准）： |
|  | 第三方<br>验证          | 通过功能下线 and 界面重新设计提高了产品效率，减少了资源消耗。卡托维兹，法国：<br>使用和示范数字清醒在可持续软件设计中 |                                         |
|  | 开放数据<br>仓库         | 共享可持续性基准                                                        | 策划公共案例研究，实现跨行业的透明比较和全球可持续发展联盟：          |

AI能源影响公共用例数据库。来源：

|                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>挑战</div> <div>AI模型训练和推理消耗大量大量的能源和水。综合数据对它们环境影响有限，使效率测量变得困难。</div>                                             | <div>进一步实现或预期的影响<br/>(超过一年)</div> <div><div>— 提供可复制的测量方法告知更广泛的可持续发展实践</div><div>— 支持用户意识并负责部署</div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <div>解</div> <div><div>— 谷歌开发了一种衡量杰尼米推理模型能源和水资源使用和碳排放</div><div>— 使用户能够理解环境每个提示的成本</div></div>                     | <div>审视杠杆的作用</div> <div><div><div>✔</div><div>推理和模型层面的效率发布每查询的能量改进</div><div>报告 全球能源效率指标</div></div><div><div>✔</div><div>报告包括人工智能和数据中心的ESG能源信息披露</div><div>可持续性 公开披露框架：</div></div><div><div>✔</div><div>打开基准研究*</div><div>贡献基准测试平台：</div></div><div><div>✔</div><div>操作验证，但独立模型审计新兴*</div><div>数据中心有限 第三方验证：</div></div><div><div>✔</div><div>N/A 开放数据存储库：</div></div></div> |
| <div>影响</div> <div>近期影响已实现或预期(少于一年)</div> <div><div>— 能量降低33倍，降低44倍每个提示的碳减排量</div><div>— 模型层面的透明报告环境影响</div></div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

\*参见表7以了解相关的“透明度测量与问责”用例示例。



挑战

社交媒体的传统人工智能方法分析依赖于高性能深度学习对数据不加区别处理的模型。这些系统是高能耗、不透明的计算上低效。

解

——集成基于规则的推理、监督式机器学习和由定制化情感本体引导的自然语言处理的混合式AI架构

一种语义过滤层，确保仅处理与情感相关的内容，支持在超低功耗硬件上部署

影响

近期已实现或预期的影响（一年以内）

——显著减少不必要的数据处理——在低能耗设备上运行，计算开销最小——节约能源，避免碳排放

进一步实现或预期的影响（超过一年）

—部署规模和可复制性—提升存储利用效率—增强用户参与度并改进采用指标

审视杠杆的作用

✓模型效率 基准测试平台：以及现实世界应用的透明度

✓共享数据集 开放数据仓库：以及评估工具，以推进人工智能能源影响评估的开放性和可重复性

✓全球能源效率指标：标准化的模型级指标和性能指标\*

✓研究 公开披露框架：影响披露框架的输出和方法\*

✓同行评审 第三方验证：验证与独立评估\*

\*参见表7，了解相关的“透明测量与问责”用例示例。Gomes, B. (2025). 我们在能源创新和AI的环境足迹方面的方法。谷歌。 <https://blog.google/来源：outreach-initiatives/sustainability/google-ai-energy-efficiency/>；人工智能能源影响公共数据库，拉夫堡大学。

商业案例

透明度使人工智能能源使用负责任化。共享指标、开放基准和已验证的披露使影响变得可见且可比较，建立问责制并将测量转化为实用的、系统性的信任。

整合在一起

正能量的AI框架并非清单，而是一个协调利益相关者行动的蓝图。三个行动驱动器优化能源使用，而三个战略使能器创造规模的条件。

一起，它们形成一个增强系统。例如：

—设计效率要求透明的生命周期测量和熟练的团队，并得到消费者教育和劳动力技能提升以及透明测量和问责制的支持。

——为产生影响力而部署需要生态系统协同和政策支持，由生态系统合作驱动。

—明智地塑造需求可从消费者意识与监管引导中获益，并由三者共同支撑。

协同部署，这些驱动程序和赋能工具确保人工智能的可持续增长，并推进更富有韧性、高效和公平的能源未来。

一个正网络人工智能能量框架：从悖论到进步：32

# 下一步和行动号召

实现净正人工智能能源的道路清晰，但这需要协调的跨部门行动。从洞察到实施的时间就是现在。无论是技术供应商、制造商、公用事业公司、政策制定者还是学术机构，以下是可以立即采取的步骤：

## 短期（0-12个月）：

- 评估您的AI能源和物料足迹：开展AI系统生命周期分析，包括训练、部署、基础设施和嵌入式材料。
- 建立 基准测试和披露：透明的报告标准，并为开放数据存储库做出贡献。
- 优先考虑节能 效率设计：硬件、模块化数据中心设计和模型优化。
- 教育用户， 明智地塑造需求：实施定价模型，并将节能默认设置嵌入平台。
- 加强 提交您的用例： 论坛的公共存储库<sup>40</sup> 展示实现净正AI能源的业务案例的最佳实践，请提交您的用例进行 [全球人工智能能源影响行业应用案例提交表单](#)。虽然当前的库存提供了宝贵的洞察力，以便了解新兴创新，但它仍未完全具有全球代表性。扩大它能够实现更广泛的代表性，加深集体理解，并有助于加速全球进展。

## 中期（一至三年）：

- 将AI集成到效率中 为产生影响而部署：跨运营、供应链和基础设施的战略。
- 加入 跨部门协作：多利益相关方工作组，例如 [AI能源影响](#) 主动作为，与区域框架保持一致，并共同投资共享基础设施。

- 投资人才和消费者教育：启动人工智能能源素养计划、再培训计划和大学合作项目。

## 长期（超过三年）

- 复制高影响 扩大有效的规模：利用资源如论坛即将推出的AI能源洞察工具的地域和部门用例。
- 支持 推进标准和治理：可执行全球人工智能能源问责制框架的发展。<sup>41</sup>
- 投资下一代 驱动创新：降低能耗的技术（例如：神经形态计算、量子AI）。

## 最终召集

人工智能是提升竞争力、韧性和气候行动的战略杠杆。然而，缺乏有意的规划、治理和协作，其能源足迹可能会破坏它所促进的进程。时间将证明哪种轨迹占上风——稳步转型还是投机性过度，而持续的研究必须引导这种平衡，随着生态系统的演变。

当前生态系统标志着从以增长为先转向以影响为先的人工智能的关键转折点，这并非道德要求，而是战略必要。规模化资源高效且符合能源现实的人工智能系统可以解锁新的盈利、竞争力和韧性路径。实现净正人工智能能源未来并非偶然；它需要有意设计、审慎合作和目标明确的规模化。

# 贡献者

## 主要作者

- 埃里克·恩塞尔梅  
世界经济论坛人工智能卓越中心执行研究员
- 格林内尔·格林-德瓦梅斯  
人工智能与能源倡议负责人，人工智能卓越中心，世界经济论坛
- 迈克尔·希金斯  
人工智能与能源研究员，人工智能治理联盟；战略主管总监，美国公用事业战略，埃森哲

## 项目团队

- 玛丽亚·巴索  
头部，人工智能应用与影响，世界经济论坛人工智能卓越中心

## 致谢

- 向以下行业合作伙伴致以诚挚的感谢，他们提供了关键性反馈和使用案例贡献。
- 路易斯·安德森  
能源公司政府与机构关系副副总裁
- Sara Axelrod  
副总统，公共事务与政府关系，克鲁索
- 哈梅特·巴瓦  
集团高级副总裁；全球政府及机构关系负责人，日立能源
- 荟文禅  
高级总监，可持续发展，克鲁索
- 塔旺达·奇霍塔，通讯负责人，AIQ
- 阿蒂·加格  
执行副总裁，首席技术官，AVEVA集团
- 安东尼奥·高威尔  
首席可持续发展与合作伙伴关系官，谷歌
- 耶稣·奥利瓦·冈萨洛 头，数据和人工智能，Moeve

- 埃斯彭·梅卢姆  
头部，能源，能源与材料中心，世界经济论坛
- 卡罗琳娜·奥列什丘克  
专家，人工智能责任产业采纳，人工智能卓越中心，世界经济论坛
- 世界经济论坛
- 海伦·伯德特  
头部，行星解决方案，C4IR物理技术
- 瓦列京·戈洛夫琴科  
铅，气候技术，C4IR物理技术
- 杰里米·尤根斯 董事总经理，管理委员会

- 格伦·古  
新西兰知识产权产品与发展高级总监，远景集团
- 瑞安·哈丁  
高级经理，能源转型，MYCentre4IR
- 贝丝·哈特曼  
联邦科学与研究行业高管，谷歌公共部门
- 伊恩·霍奇金森  
洛厄布罗大学劳厄布罗商学院战略学教授
- 法里兹·贾法罗夫  
头部，工业4.0中心 阿塞拜疆
- 大卫·维拉斯埃卡·莫拉莱斯 首席策略官，Moeve
- 凯瑟琳·墨菲  
人工智能商业赋能，罗克韦尔自动化
- 西里尔·佩尔杜卡  
高级副总裁兼首席技术官，罗克韦尔自动化
- 乌尔扬·沙尔卡  
创始人兼首席执行官，Domyn

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>萨克特·辛格<br/>高级副总裁；云、基础设施和安全服务全球负责人，Tech Mahindra</p> <p>瓦伦·西瓦拉姆<br/>创始人兼首席执行官，Emerald AI</p> <p>乔伊·斯特雷克 合作伙伴副总裁，多米恩</p> <p>大卫·蒂米斯<br/>全球传播与公共事务经理，世代：你受雇</p> <p>约翰·特伦布尔<br/>高级项目经理，可持续发展与合作伙伴关系，谷歌</p> <p>托马斯·w·杰克逊<br/>洛夫堡商学院，桥人工智能计划，洛夫堡大学教授</p> <p>丽莎·维<br/>AVEVA集团的可持续发展主管</p> <p>伍尔文<br/>数字化转型总监，MYCentre4IR</p> <p>Carol Yan<br/>欧洲、中东和非洲能源转型与可再生能源负责人；亚马逊网络服务能源与公用事业总经理</p> <p>鲁斯兰·泽扬拉泽德<br/>人工智能项目主管，阿塞拜疆第四次工业革命中心</p> <p>同时，我们也向以下行业合作伙伴表示感谢，他们提供了关键的跨行业见解，为最终稿提供了信息：</p> <p>吉亚内什·乔杜里<br/>董事长兼首席执行官，Vikram Solar</p> <p>凯尔斯·多兰<br/>全球可持续发展战略负责人，思科公司</p> <p>马修·菲茨帕特里克<br/>首席执行官，无形技术公司</p> <p>tej gidda<br/>副总裁兼全球领导者，未来能源，GHD集团</p> <p>朱曼娜·哈沙尔<br/>联合创始人兼首席执行官，Volt Air Technologies</p> <p>本赫兹-沙格尔<br/>全球负责人，电网边缘，伍德麦肯兹</p> <p>邓宏浩<br/>首席执行官兼联合创始人，Butlr Technologies</p> <p>徐山<br/>快思纳尔公司董事会成员</p> | <p>卢克胡克<br/>联合创始人兼首席执行官，Electroder</p> <p>凯瑟琳·莱斯利<br/>高级执行董事，TCW集团</p> <p>安德鲁·麦克劳林 首席运营官，SandboxAQ</p> <p>本·蒙特兰博诺<br/>首席技术官，ESG，Schellman合规</p> <p>阿迪布·纳斯勒<br/>联合创始人兼首席执行官，XENDEE公司</p> <p>雷米·帕科<br/>施耐德电气可持续发展研究总监</p> <p>联想集团可持续服务全球总监詹姆斯·佩宁顿</p> <p>杰弗里·普里切斯特<br/>研发总监，电力研究院</p> <p>谢里德哈·西图<br/>副总裁，人工智能产品，施耐德电气</p> <p>让·保罗·斯凯特<br/>副教授，数字供应链与运营管理，卡迪夫商学院，卡迪夫大学</p> <p>劳伦·斯马特<br/>椅子，苏门答腊猩猩保护协会</p> <p>乔纳森·苏尔顿 头衔：市场、转型与情景，P&amp;R，伍德麦肯兹</p> <p>约瑟夫·韦洛内 首席执行官，ChargeScape</p> <p>Eric Zie<br/>首席研究官，查尔斯菲尔德研究 &amp; Advisory</p> <p>生产</p> <p>玫瑰·奇尔弗斯 设计师，Miko工作室</p> <p>劳伦斯·丹尼尔森<br/>创意总监，Miko工作室</p> <p>李利<br/>编辑器，Studio Miko</p> <p>向 Salesforce 和 Lovelytics 表示诚挚感谢，它们的合作支持了本报告和仪表板工具中 tableau 可视化的开发。</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

1. 世界经济论坛。(2025)。人工智能的能源悖论：平衡挑战与机遇。  
[https://reports.weforum.org/docs/WEF\\_Artificial\\_Intelligences\\_Energy\\_Paradox\\_2025.pdf](https://reports.weforum.org/docs/WEF_Artificial_Intelligences_Energy_Paradox_2025.pdf) 2. 波士顿咨询集团 (BCG)。(2024)年人工智能采用：74%的公司难以实现和扩展价值。  
<https://www.bcg.com/press/24october2024-ai-adoption-in-2024-74-of-companies-struggle-to-achieve-and-scale-value> 3. 列维特, B. (2024)。人工智能与能源：大局观。S&P全球。  
<https://www.spglobal.com/en/research-insights/special-reports/look-forward/ai-and-energy> 4. 国际能源署 (IEA)。(2025)。能源与人工智能。  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/601eae9-ba91-4623-819b-4ded331ec9e8/EnergyandAI.pdf> 5. 木村研究社。(2025年)。电力变压器和配电变压器将在2025年面临30%和10%的供应短缺。  
<https://www.woodmac.co.uk/press-releases/power-transformers-and-distribution-transformers-will-face-supply-deficits-of-30-and-10-in-2025/> 6. Moss, S. (2025)。克鲁索开始建设阿比林 (德克萨斯) 数据中心校园的第二阶段, 将增加六座建筑。数据中心动态 (DCD)。  
<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/crusoe-begins-construction-on-second-phase-of-abilene-texas-data-center-campus-will-add-six-buildings/> 7. 斯基德莫尔, Z. (2025)。计划在Stargate AI数据中心园区建设天然气厂——报告。数据中心动态 (DCD)。  
<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/natural-gas-plant-planned-for-stargate-ai-data-center-campus-report/> 8. Evans, R.和J. Gao. (2016年)。DeepMind人工智能将谷歌数据中心冷却费用降低40%。谷歌。  
<https://deepmind.google/discover/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-by-40/> 9. 脑盒人工智能。(2025)。卡梅比国际实现暖通空调能耗和成本降低15.8%。  
<https://brainboxai.com/en/case-studies/cammebys-achieves-15.8-reduction-in-hvac-energy-use-and-costs> 10. brainbox ai. (2025)。多层住宅建筑在不到6个月内将电力消耗减少42%。  
<https://brainboxai.com/en/case-studies/multi-residential-building-reduces-electricity-consumption-by-42-in-less-than-6-months> 11. Christy Juliet, B. B.戴维什·库马尔, G.迪维娅, S.卡维拉吉, 等。(2024)。基于人工智能的智能电表用于数据分析。国际科学与工程趋势杂志, 第10卷, 第6期。  
[https://ijsret.com/wp-content/uploads/2024/11/IJSRET\\_V10\\_issue6\\_617.pdf](https://ijsret.com/wp-content/uploads/2024/11/IJSRET_V10_issue6_617.pdf) 12. Wetselaar, M. (2024)。能源行业的AI。MOE VE。  
<https://www.moeveglobal.com/en/planet-energy/sustainable-innovation/ai-an-opportunity-in-the-energy-industry> 13. Burnham, K. (2024)。人工智能如何变革物流。麻省理工学院 (MIT)。  
<https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/how-artificial-intelligence-transforming-logistics> 14. 马库特, J. 和 L. 阿布拉姆斯。(2025)。网络人工智能：机遇、风险和保障措施。战略与国际研究中心 (CSIS)。  
<https://www.csis.org/analysis/ai-grid-opportunities-risks-and-safeguards> 15. 布鲁克菲尔德(2025)。构建人工智能的骨干。  
[https://www.brookfield.com/sites/default/files/documents/Brookfield\\_Building\\_the\\_Backbone\\_of\\_AI.pdf](https://www.brookfield.com/sites/default/files/documents/Brookfield_Building_the_Backbone_of_AI.pdf) 16. 爱迪生电气协会 (EEL)。(无日期)。加强美国的能源基础设施以提高可靠性 & 降低成本。  
<https://www.eei.org/-/media/Project/EEI/Documents/Issues-and-Policy/Finance-And-Tax/IndustryCapexReport.pdf> 17. 国际能源署(IEA)。(2025年)。《可再生资源2025》  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/11fa0e66-6309-4fa7-a108-1f29da2707bc/Renewables2025.pdf> 18. 泽默曼, L. (2025)。面对人工智能/能源困境。麻省理工学院能源倡议。  
<https://energy.mit.edu/news/confronting-the-ai-energy-conundrum/?utm> 19. 迪亚布, R. (2025)。杰文斯悖论使规范人工智能可持续发展成为必要。科技政策出版社。  
<https://www.techpolicy.press/jevons-paradox-makes-regulating-ai-sustainability-imperative/> 20. 洛桑堡商学院。(2024)。洛桑堡专家聚焦暗数据所带来的气候变化影响。  
<https://www.lboro.ac.uk/schools/business-school/digital-decarbonisation/news/climate-change-impact-of-dark-data/> 21. 霍金斯, Z. J., V. 莱登维塔 和 B. 乌 (2025)。人工智能计算主权：跨地域、云服务提供商和加速器的基础设施控制。  
[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=5312977](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5312977) 22. Makala, B.和T. Bakovic. (2020)。电力行业的Artificial Intelligence。国际金融公司 (IFC)。  
<https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/mgrt/emcompass-note-81-05-web.pdf> 23. Evans, R.和J. Gao.(2016)。DeepMind人工智能将谷歌数据中心冷却费用降低40%。  
<https://deepmind.google/discover/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-by-40/> 24. Brainbox AI. (2025)。Cammeby's International实现暖通空调能耗和成本降低15.8%。  
<https://brainboxai.com/en/case-studies/cammebys-achieves-15.8-reduction-in-hvac-energy-use-and-costs> 25. 脑盒人工智能。(2025年)。多住宅建筑在不到6个月内将电力消耗减少42%。  
<https://brainboxai.com/en/case-studies/multi-residential-building-reduces-electricity-consumption-by-42-in-less-than-6-months> 26. 太平洋西北国家实验室 (PNNL)。(2024)。PermitAI。  
<https://www.pnnl.gov/projects/permitai>

27. Taseen, M., 王毅和E. Ali. (2023). 针对可再生能源供应链中的人工智能集成需求预测和资源分配. 美国电气和电子工程师协会(IEEE). <https://ieeexplore.ieee.org/document/10465757> . 28. 同上. 29. Wetselaar, M. (2024). AI在能源行业. MOEVE. <https://www.moeveglobe.com/en/planet-energy/sustainable-innovation/ai-an-opportunity-in-the-energy-industry> . 30. Banipal, I. S.和S. Mazumder. (2024年). 如何使人工智能可持续.《印度自然》 <https://www.nature.com/articles/d44151-024-00024-8> . 31. Bhardwak, E., R. Alexander和C. Becker . (2025). 人工智能增长的局限：规模扩张带来的生态与社会影响。 <https://arxiv.org/abs/2501.17980> . 32. 贝恩公司. (2024). 企业家可持续发展指南2024。 <https://www.bain.com/insights/topics/ceo-sustainability-guide/> . 33. 库法诺, G. (2025). 人工智能价值链. 商业工程师。 <https://businessengineer.ai/p/the-ai-value-chain> . 34. 洛朗蒂斯, P. (2024). 人工智能价值链：一个全面的端到端框架. Medium. <https://medium.com/@paulomla/the-ai-value-chain-a-comprehensive-end-to-end-framework-e49f4a10a247> . 35. 奥唐奈尔, J. 和 C. 克朗哈特. (2025). 我们计算了人工智能的能源足迹。这是你没听过的故事. MIT 技术评论。 <https://www.technologyreview.com/2025/05/20/1116327/ai-energy-usage-climate-footprint-big-tech/> . 36. 阿尔加, L., 贝尔奥尔吉, F., 布劳德, A., 卡布, 等 (2025). 节俭人工智能：介绍、概念、发展与开放问题. HAL. [https://hal.science/hal-05049765/file/Frugal\\_AI\\_Introduction\\_Concepts\\_Development\\_and\\_Open\\_Questions\\_HAL.pdf](https://hal.science/hal-05049765/file/Frugal_AI_Introduction_Concepts_Development_and_Open_Questions_HAL.pdf) . 37. 金王, C. (2025). 追踪人工智能的影响：Salesforce的人工智能能源分数. 可持续发展杂志。 <https://sustainabilitymag.com/articles/tracking-the-impact-of-ai-salesforces-ai-energy-score> . 38. 世界经济论坛. (2025). 工业园区数字化协作五步法。 [https://reports.weforum.org/docs/WEF\\_Five\\_Steps\\_for\\_Digital\\_Collaboration\\_in\\_Industrial\\_Clusters\\_2025.pdf](https://reports.weforum.org/docs/WEF_Five_Steps_for_Digital_Collaboration_in_Industrial_Clusters_2025.pdf) . 39. jamison, s., s. podder, a. burden, b. ghosh, et al. (2025). 驱动可持续的人工智能. 安克捷。 <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/corporate/corporate-initiatives/sustainability/document/Powering-Sustainable-AI.pdf#zoom=40> . 40. 世界经济论坛. (不适用). 全球人工智能能源影响行业用例提交表格。 [https://wefglobal.eu.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_e8TwphOLjaOX4O](https://wefglobal.eu.qualtrics.com/jfe/form/SV_e8TwphOLjaOX4O) . 41. 世界经济论坛. (2025). 促进负责任的AI创新：一本指南。 <https://www.weforum.org/publications/advancing-responsible-ai-innovation-a-playbook/> .



---

COMMITTED TO  
IMPROVING THE STATE  
OF THE WORLD

---

世界经济论坛致力于改善世界  
状态，是公私合作国际组织。  
该论坛联合社会首屈一指的政治、  
商业及其他领域的领袖，  
塑造全球、区域和行业议程。

世界经济论坛  
91-93 拉卡比特大路 CH-12  
23 科隆尼/日内瓦 瑞士

电话：+41 (0) 22 869 1212  
传真：+41 (0) 22 786 2744  
contact@weforum.org www  
.weforum.org