

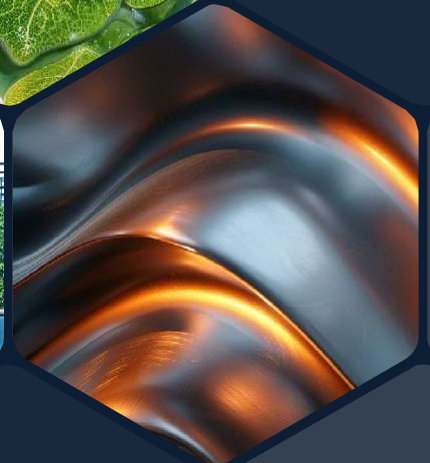
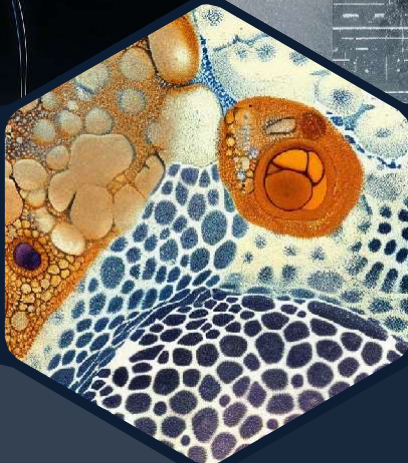
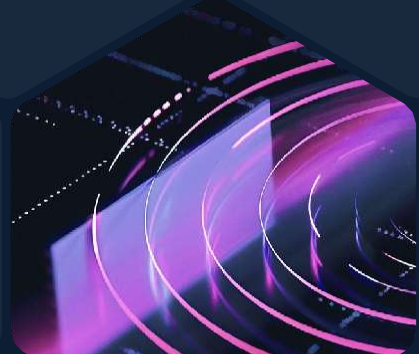
Centre for the  
Fourth Industrial  
Revolution

WORLD  
ECONOMIC  
FORUM

与边境合作

# 新兴十大 2024 年技术

FLAGSHIPREPORT  
JUNE 2024



# Contents

1	AI 科学发现	8
2	隐私增强技术	11
3	可重构智能表面	14
4	高空站台	17
5	集成传感和通信	20
6	建筑世界的沉浸式技术	23
7	Elastocalorics	26
8	碳捕获微生物	29
9	替代牲畜饲料	32
10	基因组学移植	35
	附录	38

## 免责声明

### 本文档由

世界经济论坛是对项目，见解领域或互动的贡献。此处表达的发现，解释和结论是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观点，也不是其成员、合作伙伴或其他利益攸关方的整体观点。

© 2024 世界经济论坛。保留所有权利。本出版物的任何部分不得以任何形式或任何方式复制或传播，包括影印和记录，或通过任何信息存储和检索系统。

# 前言



Frederick Fenter 首席执行编辑，前沿



Jeremy Jurgens 世界经济论坛董事总经理

组织在了解塑造未来的因素时做出更好的选择。自 2011 年以来，《十大新兴技术报告》已成为专业人士战略情报的重要来源。该报告借鉴了科学家、研究人员和未来学家的见解，确定了 10 项技术有望在三到五年内对社会和经济产生重大影响。

在第 12 版中，我们扩大了分析的范围和深度。我们从论坛的全球未来委员会和 **Frontiers** 的全球总编辑网络中吸收了 300 多名世界领先的学者的专业知识，确保了多元化和全面的视角。此外，我们引入了创新趋势分析方法，包括学术文献、资助趋势和专利申请，加强了我们的选择过程的严谨性和准确性。

通过这些增强功能，今年的报告重点介绍了具有巨大潜力的技术，可以彻底改变连接，应对气候变化的紧迫挑战并推动创新

从材料科学的进步到医疗保健及其他领域的变革性技术，该报告展示了各种各样的解决方案有望塑造未来。

如果没有我们的新兴技术指导小组的联合主席 **Mariette DiChristia** 和 **Berard Meyerso**，他们的领导才能和专业知识的塑造内容并确保其相关性和影响力方面发挥了重要作用。我们衷心感谢指导小组的所有敬业成员——他们中的许多人十多年来一直是坚定的合作者——坚定不移地致力于倡导行业领先和社会服务技术。

未来既是学习的领域，也是塑造的景观。我们希望这份报告将成为各行各业专业人士采取行动的关键呼吁和区域共同建设一个未来，在这个未来，技术可以改变和丰富全球社会和经济。

# Introduction

来自十大新兴技术指导小组联合主席的信息。



Mariette DiChristina 院长，  
波士顿大学传播学院



Bernard Meyerson IBM 首  
席创新官

世界经济论坛改善世界状况的使命的核心在于对人类创造力，企业家精神，创新与合作的力量信念。在今年的十大新兴技术报告中，这种力量得到了充分展示。

人工智能（AI）的突破，例如深度学习，生成AI和基础模型，在加强人类创新方面取得了显著进步。世界正处于由AI驱动的科学发现革命的风口浪尖。能够吸收和组织庞大的

大量的信息，人工智能的发现可能会改善疾病管理，提出新材料，并更好地了解我们的身心。同时，合成数据可以保护个人隐私，同时提供新的全球数据共享和协作机会。

当然，合作依赖于连接，前十名中的一些预示着向更具适应性、高效和包容性的连接的转变。可重构智能表面（RIS）动态改变形状以优化无线通信链路；它们结合了超材料，智能算法和高级信号处理来控制电磁波。高空平台站，通过飞机、飞艇甚至简单的气球，可以将移动网络接入到缺乏部署地面系统所需基础设施的偏远地区。这种技术可以弥合数字鸿沟，为截至2023年仍缺乏互联网服务的100个国家的26亿多人提供互联网接入。随着6G系统的出现，网络现在可以发挥作用。

作为传感器，使用无线电信号扫描物理世界，提高通信性能，实现集成的传感和通信。

改善世界状况也意味着保护我们的地球和人民。今年，人类健康看到第一个基因工程器官从猪成功植入人体，给数百万等待移植的人带来希望。沉浸式技术结合了计算能力和虚拟方法，有望快速改善我们日常依赖的系统和物理基础设施。

在环境方面，前十名中的许多人展示了技术如何发挥

在应对气候变化方面的多方面作用，包括缓解战略、可持续基础设施发展和促进节能解决方案。弹性力学在机械应力下释放热量并在放松时吸收热量，比当前技术承诺更高的效率和更低的能源使用。同样，另一个积极的环境发展是替代牲畜饲料的出现，减少了农业工业的废物或残留物，减少了本地作物的枯竭和相关的资源消耗。此外，解决全球变暖的直接问题，将排放物转化为生物燃料等产品的工程生物为减轻二氧化碳水平的增加提供了希望。

以下页面深入研究了2024年十大新兴技术的规格，以及它们如何帮助改善世界状况。我们邀请您参与并欢迎您的反馈。

# Methodology

2024 年清单的潜在技术是通过一项调查确定的，该调查分布在世界经济论坛的全球未来理事会网络和大学与研究网络中，该网络由 2,000 多名负责人组成来自全球顶级机构的编辑，以及十大新兴技术指导小组成员。

受访者被要求提供有关他们提出的技术的详细信息，包括技术名称和描述，潜在影响，以及为什么该技术应该在 2024 年名单上的令人信服的理由。

该调查收到了来自 29 个国家 / 地区的 300 多项有效技术提名。为了处理不断增加的响应量，实施了 AI 辅助工具 - 由 Frontiers 构建的 AI 趋势分析器，以自动进行初始筛选调查答案。该工具根据近年来通过对学术出版物的分析确定的趋势主题对响应进行分类和聚类。

然后向指导小组提交了一份精选的 70 项技术清单，从中选择了最后 10 项技术。该小组根据以下标准审查并选择了这些技术：

- 新颖性：该技术正在兴起，处于发展的早期阶段，但尚未广泛使用。
- 适用性：该技术对社会和经济具有潜在的重大用途和益处。
- 深度：该技术由多家公司开发，重点是增加投资兴趣和兴奋。
- 力量：这项技术可能会改变既定的方式和行业。

Figure 1

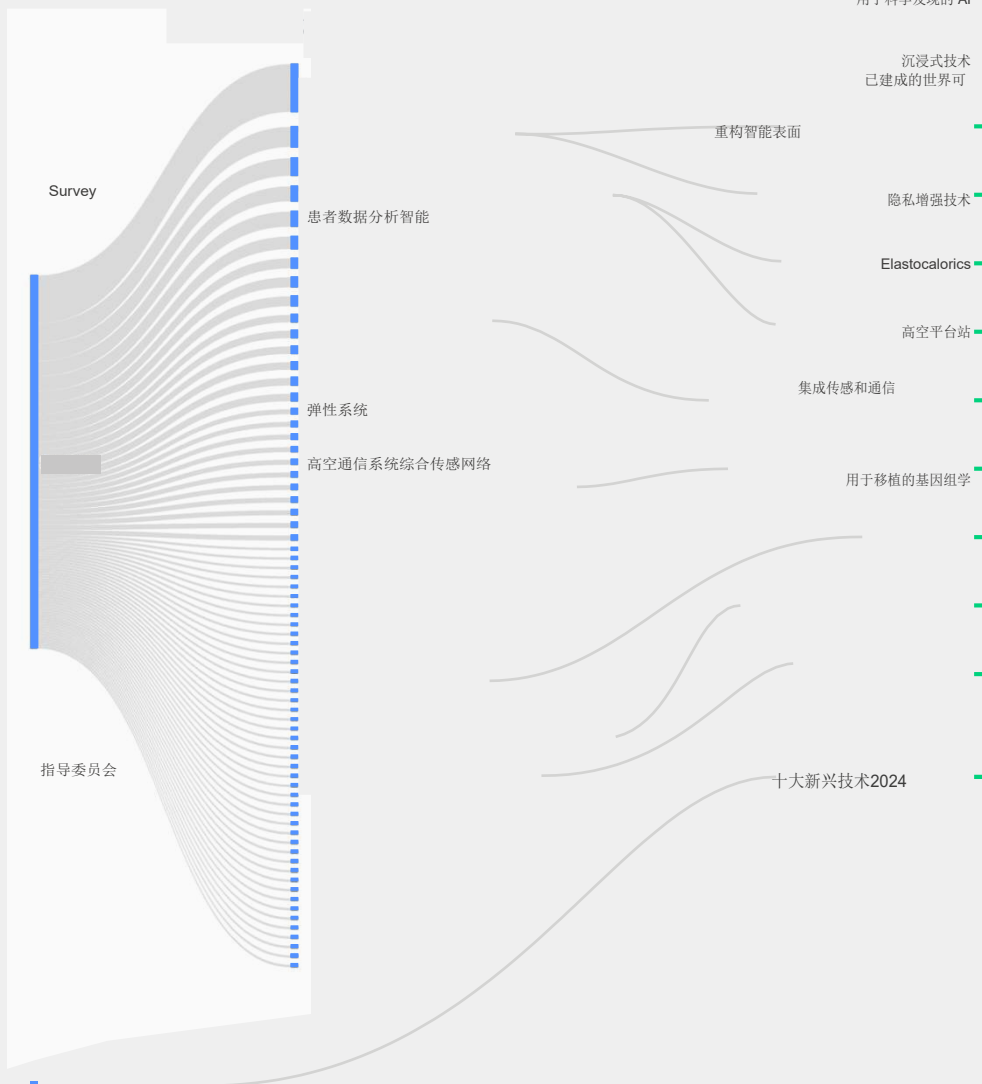
十大选择过程

## BERTopic 分组

智能机器学习  
蛋白质合成生物学神经技术  
高级数据和语言建模临床人工智能系统智能  
感官交流  
量子信息科学  
可持续航空和燃料  
用于绿色制氢 6G 集成装置的水电解

## 报告技术

替代牲畜饲料  
碳捕获微生物  
用于科学发现的 AI



These final 10 technologies through further evaluation, leveraging available data on patents, funding and geographic distribution, with data drawn from CB Insights. The report also used data on academic grant funding drawn from Dimensions.

This edition delves into the technologies' ramifications across sectors, including industry, economy, society, environment, recent advancements and critical requirements essential for successful technologies. To meet the dynamic of these emerging techn

平台。读者可以了解有关每种技术的关键问题以及它如何与全球议程上的其他主题联系的更多信息，并从可信赖的来源找到有关该主题最新文章。

描述主要基于本报告中的文章。关键问题是根据转向指南确定的  
集团作者和来自 Frontiers 编辑的意见。这些描述是由 Frontiers 的编辑研究和撰写的。您被邀请继续探索和监控推动经济、行业和全球问题转型变革的技术。在这里探索更多信息。

Figure2

战略情报转换图示例



## 方框 1 构建战略情报：读者指南

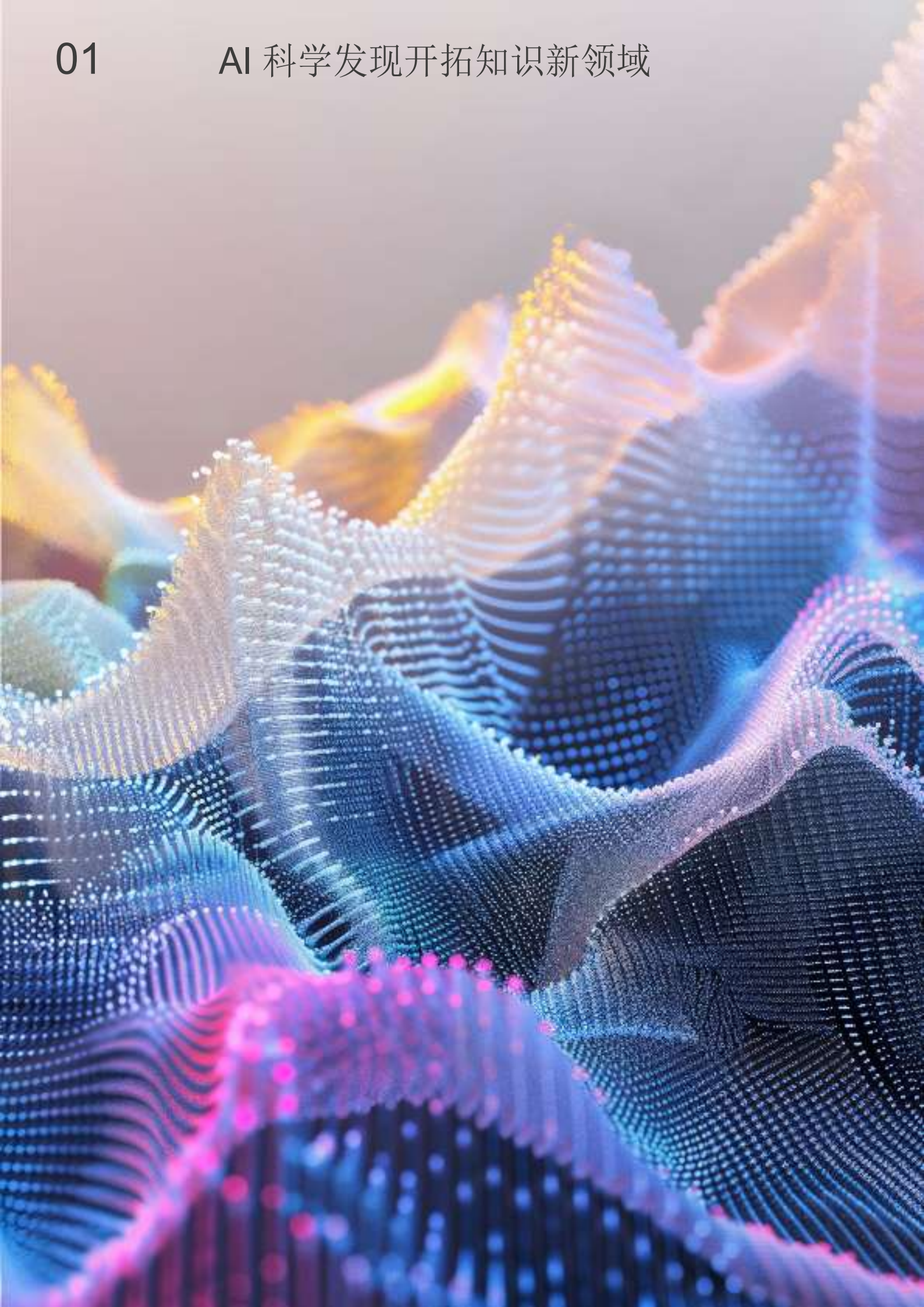
新兴技术有可能重塑行业、经济和社会结构，为各种规模和类型的组织带来机遇和挑战。

以下问题旨在帮助更深入地了解十大新兴技术如何影响您的组织，并确定创新和增长的战略途径。

考虑到您组织的独特背景和目标，我们鼓励您以开放的心态来处理这些问题。无论您是业务领导者，技术专家，学者还是决策者，该框架都旨在作为组织内部战略讨论和决策过程的起点。

- 如果这项技术达到规模，它将如何影响我的组织的运营和目标？

- 这项技术在我的组织当前或未来的重点领域有哪些潜在应用？
- 我的组织可以采取哪些步骤来将自己定位为有效使用和应用此技术的关键参与者？
- 在这个快速发展的技术环境中，什么样的伙伴关系或协作对于成功至关重要？
- 采用这项技术是否意味着我们组织的核心业务、人才结构或运营流程发生重大变化？
- 我的组织如何调整其当前战略，以利用这项新技术作为创新、增长和 / 或影响驱动力的潜力？



## Olga Fink

助理教授， 智能维护  
和操作系统， 瑞士洛桑联邦理工学院

## 托马斯·哈东

约翰·霍普金斯大学彭博公共卫生学院教授

人工智能 (AI) 的突破 —— 如深度学习、生成 AI 和其他基础模型 —— 使科学家能够做出否则几乎不可能的发现， 并更广泛地加快科学发现的速度。

在过去的几年中， AI 在科学发现中的使用方式发生了变化。从 Deep Mind 的 AlphaFold - 一种准确预测蛋白质结构的 3D 模型的 AI 系统 - 到发现用于更高效电池的新抗生素和材料家族， 世界正处于 AI 驱动的革命的风口浪尖。发现和使用新知识。<sup>1,2,3</sup>根据美国总统科技顾问委员会最近的一份报告，“人工智能有潜力改变每一个科学学科和我们进行科学的许多方面。”<sup>4</sup>

虽然人工智能已经在研究中使用了很多年，但深度学习、生成人工智能和基础模型的最新进展是革命性的。科学家们正在构建和使用大型语言模型来挖掘科学文献，与人工智能聊天机器人合作，集思广益新的假设，创建能够分析大量科学数据的人工智能模型，并使用深度学习来做出发现。他们还在探索如何将人工智能和机器人技术与基于实验室的方法相结合，以创新的方式加速研究。

因此， 人工智能正在成为科学研究中一种变革性的通用技术， 可以发掘原本隐藏的发现。以目前的创新速度， 这些可能会导致以下领域的进步：

- 诊断、治疗和预防疾病。
- 使下一代绿色技术成为可能的新材料。
- 生命科学领域的突破， 扩展了当前对生物学的理解。
- 如何理解人类的思想， 以及更多的变革飞跃。

### ↑ 图像:

AI 在深度学习和生成模型方面的突破正在改变科学发现。

图片来源： Midtry  
和 Studio Miko 。

提示（缩写）：“复杂的数据点聚集在一起并被简化”

### 阅读更多：

有关更多专家分析， 请访问

[AI 为科学发现转换图。](#)

## Sang Yup Lee

高级副总裁， 研究； 韩国高级科学技术学院特聘教授

## 安德鲁·梅纳德

亚利桑那州立大学未来社会创新学院教授

科学家预测， 通用人工智能将在未来几年内改变科学发现过程的每个部分。研究人员可以利用过去的发现来设想新的可能性 - 人工智能允许建立连接， 并得出超出只有人类的思想。

道德考虑和挑战仍然存在 - 个人隐私， 自主权和身份的风险程度以及这些强大技术造成的社会破坏的可能性尚不完全清楚。<sup>5</sup>此外， 还必须考虑维持人工智能增长所需的能源消耗和资源开采对环境的影响。

同样， 需要更多的研究来有效管理技术的影响。<sup>6</sup>例如， 解决数据集中的固有偏差并增强模型生成内容的可靠性对于科学完整性至关重要。确保道德数据使用和和保护研究主题隐私需要严格的安全措施。导航知识产权， 特别是模型生成内容的所有权和版权对于协作环境至关重要， 必须加以解决。

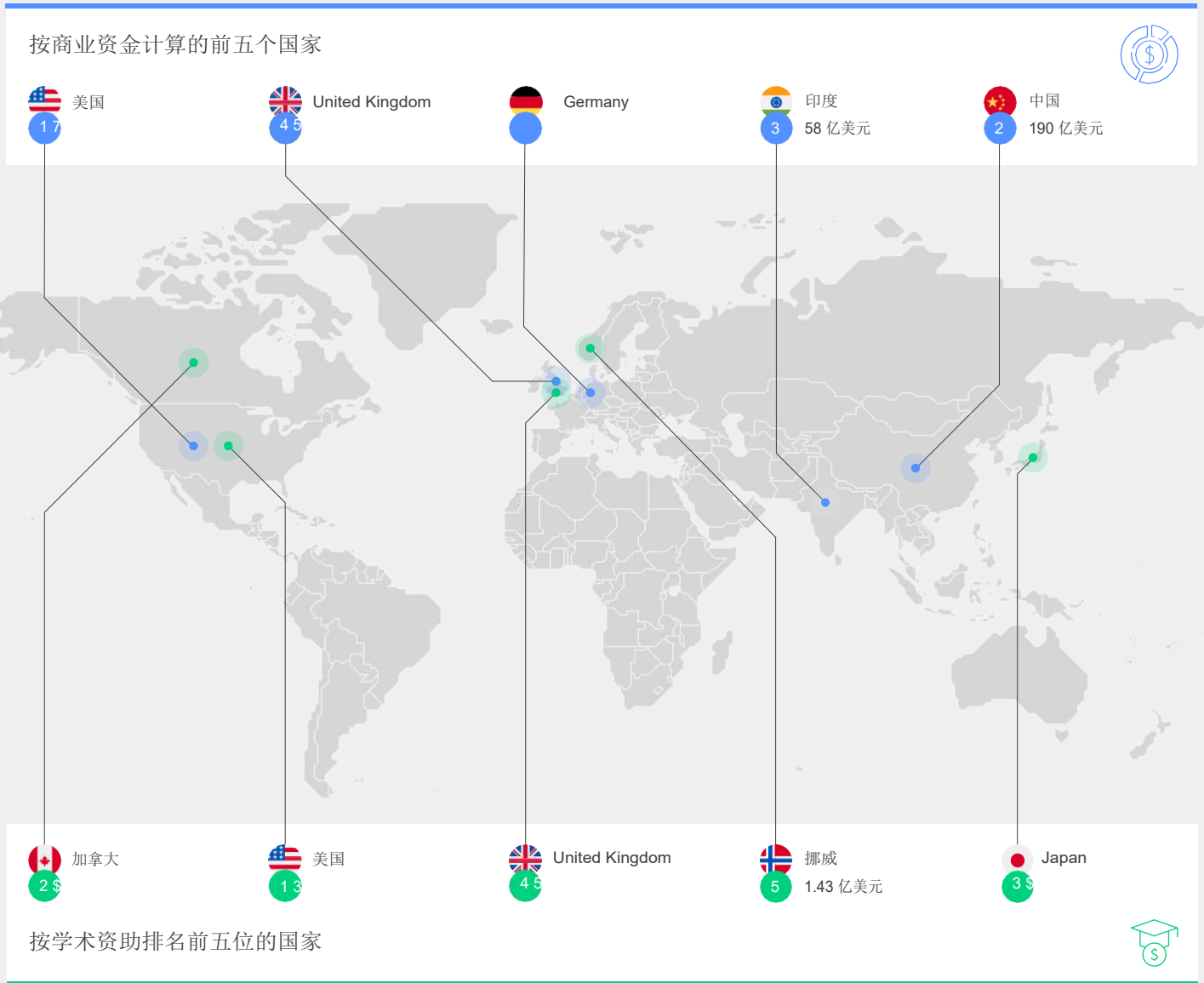


科学家正在构建和使用大型语言模型来挖掘科学文献， 与 AI 合作

聊天机器人集思广益， 创建能够分析大量科学数据的人工智能模型， 并使用深度学习做出发现。

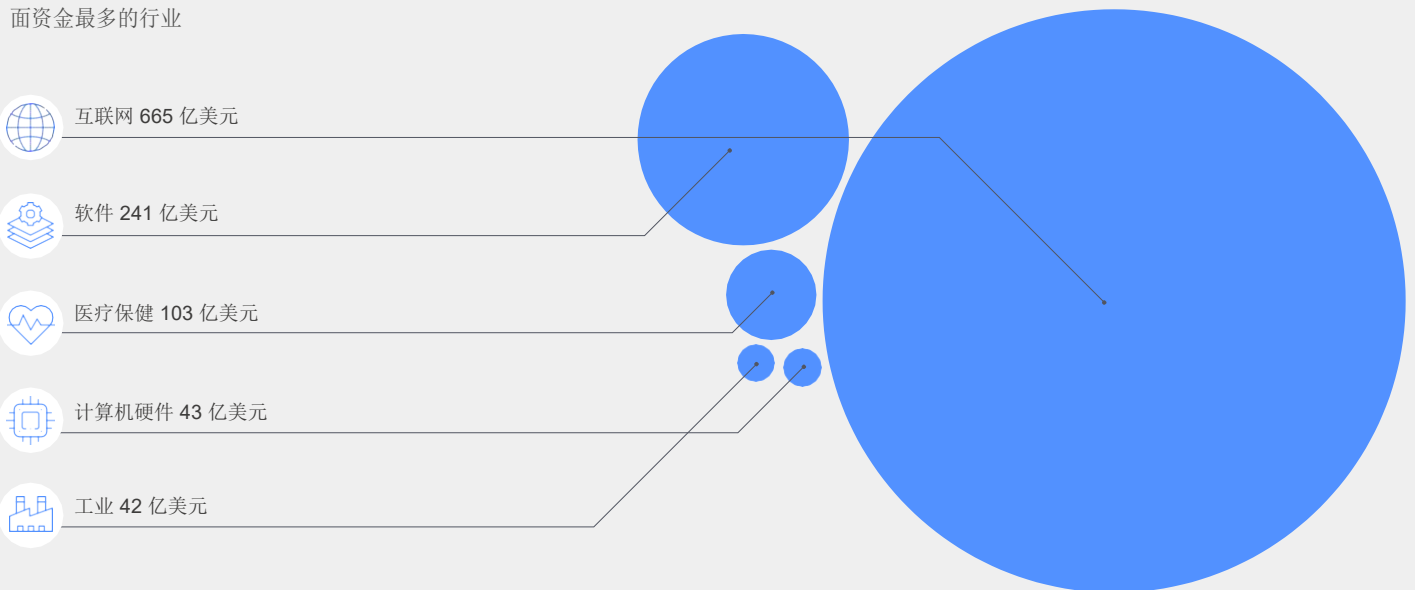
# 创新区域

从 2021 年到 2023 年，人工智能科学发现的商业和学术资助最多的国家



# 领先的行业

从 2021 年到 2023 年，人工智能在科学发现方面资金最多的行业





## Olga Fink

助理教授， 智能维护和操作系统， 瑞士洛桑联邦理工学院

## Lisette van Gemert - Pijnen

特温特大学教授， 说服健康技术

访问越来越大的数据集 - 尤其是在使用 AI 时 - 改变了研究， 发现和创新的。但是， 围绕隐私的担忧， 安全性和数据主权限制了高价值数据可以在全国和全球范围内共享和使用的程度。新兴的强大技术套件使共享和使用敏感数据成为可能， 以解决这些问题。

近年来， 人们对“合成数据”的兴趣与日俱增。<sup>7</sup> 这些数据复制了敏感数据集中的模式和趋势， 但不包含可能与个人或组织或政府的特定信息。

在人工智能的进步的推动下， 合成数据消除了使用敏感数据的许多限制， 并为全球数据共享和生物现象、健康相关研究、训练人工智能模型等合作研究开辟了新的可能性。然而， 即使在国家层面上出现了合成数据， 来源国家的健康趋势也会暴露出来， 这种担忧需要克服。

同态加密也重新引起了人们的兴趣， 这是 1970 年代的一项技术。<sup>8,9</sup> 同态加密不是重新创建具有与原始数据相同特征的数据集， 而是允许对编码数据进行分析， 而无需直接访问原始数据。虽然有前途， 但这种加密需要更多的能量和时间来实现安全结果。

随着人工智能的进步改变了数据的价值， 预计合成数据生成和同态加密等技术将实现对数据的共享和访问， 同时确保隐私， 安全和数据主权。在与健康相关的研究中， 特别是以各种方式访问数据

### 个 图像:

隐私增强技术可实现敏感数据的安全共享和使用。

图片来源： Midtry 和 Studio Miko。

提示（缩写）：“被磨砂玻璃蚀刻掩盖的数据点”

### 阅读更多：

有关更多专家分析， 请访问 [隐私 - 增强技术](#) 转换图。

## 东原李

宾夕法尼亚州立大学教授

## 安德鲁·梅纳德

亚利桑那州立大学未来社会创新学院教授

## Bastiaan van Schijndel

ZORGTPP 创新经理

不损害个人和社区的权利和安全已经显示出加速疾病检测、治疗和预防进展的希望。<sup>10</sup>

如果要实现 AI 的新兴潜力， 保护隐私， 安全和数据主权的有效数据共享和利用技术至关重要。然而， 尽管有其潜力， 合成数据和同态加密有几个局限性。这些包括在合成数据的情况下潜在重要的边缘情况或异常值的不良表示， 以及推断或重建敏感数据的潜在能力， 尽管这两种技术固有的去识别。为了确保其成功， 有必要对技术及其周围的使用政策进行进一步的工作。<sup>11</sup>

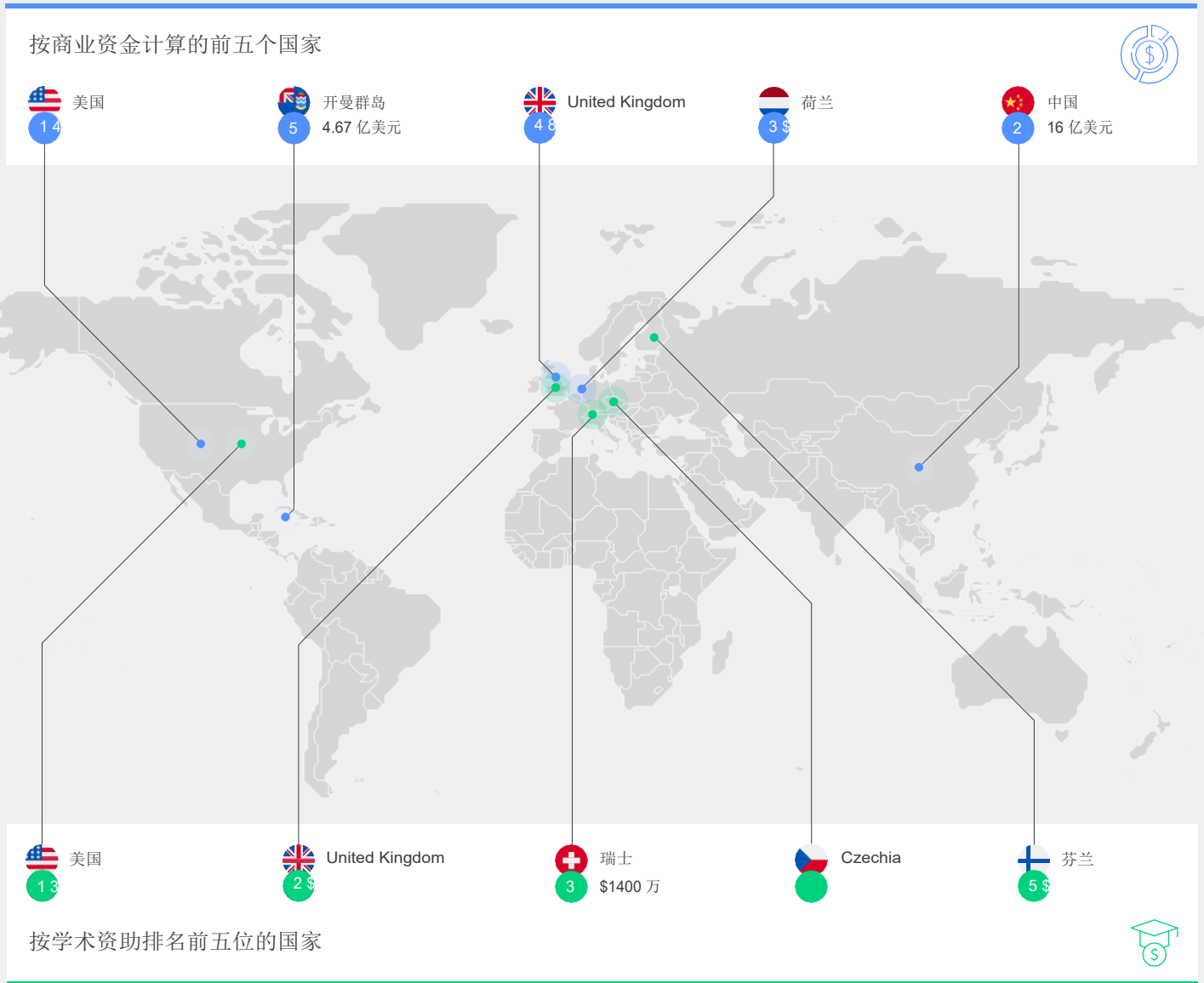


在人工智能的进步的推动下， 合成数据消除了使用敏感数据的许多限制， 并为全球数据共享和生物现象、健康相关研究的合作研究开辟了新的可能性。

训练 AI 模型等。

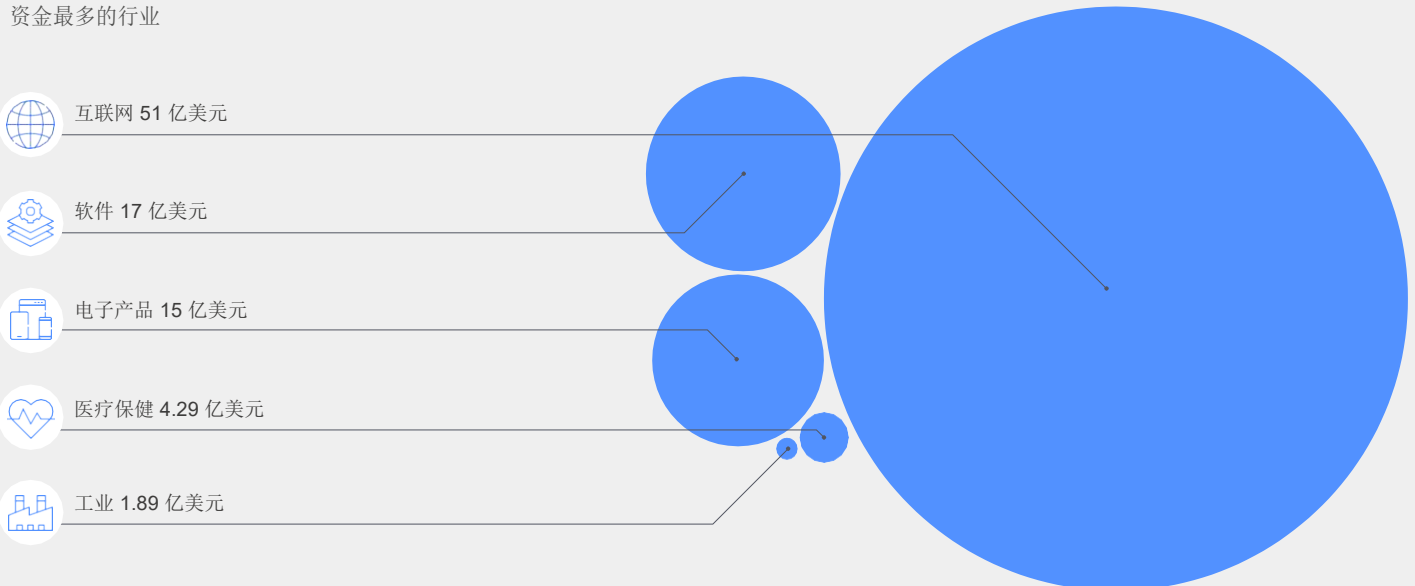
# 创新区域

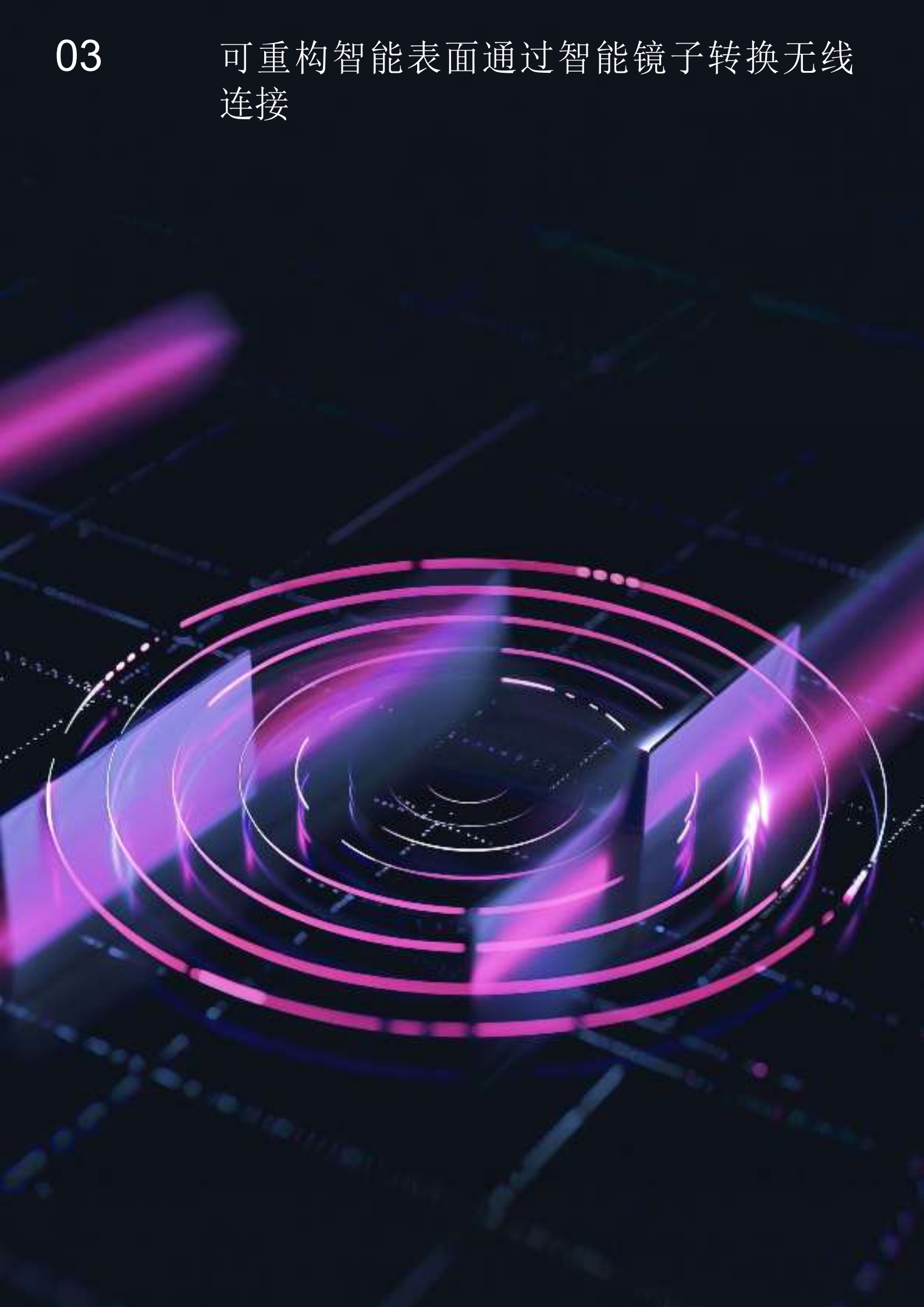
从 2021 年到 2023 年，在隐私增强技术方面拥有最多的商业和学术资助的国家



# 领先的行业

从 2021 年到 2023 年，在隐私增强技术方面获得资金最多的行业





# Mohamed - Slim Alouini

AI - Khwarizmi 杰出电气教授  
阿卜杜拉国王科技大学计算机工程专业

# 约瑟夫·科斯坦丁

贝鲁特美国大学电气与计算机工程副教授

# Marco Di Renzo

巴黎 - 萨克莱大学信号与系统实验室 (L2S) CNRS 研究主任

# 哈维尔·加西亚 - 马丁内斯

阿利坎特大学教授，化学和分子纳米技术实验室主任

全球对更高数据速率、更低延迟和节能连接的需求正在飙升。<sup>12</sup> 预计到 2030 年推出 6G 将进一步加剧这种压力。为了应对这些挑战，未来的网络将需要进行设计，以增强容量和连接性，并高度重视环境可持续性。进入可重新配置的智能表面 (RIS)，使用超材料，智能算法和高级信号处理的平台，将普通墙壁和表面变成无线通信的智能组件。

类似于“智能镜”的思想，RIS 实现了对电磁波的精确聚焦控制，减少了干扰和对高发射功率的需求。同样，RIS 具有很高的自适应，可以根据实时需求动态调整配置。这种适应性可以有效利用资源，提高无线网络的能效。<sup>13,14,15</sup>

硬件平台的开发和 RIS 领域实验计划的激增引起了电信利益相关者的极大兴趣，他们热衷于探索其在下一代无线网络中的潜力。一个重要的里程碑是将 RIS 有效地集成到现有的无线网络中。几个 RIS 平台从硬件角度展示了该技术令人印象深刻的功能。<sup>16</sup>

RIS 的增长可能会广泛影响几个工业部门。<sup>17</sup>例如，在智能工厂中量身定制的无线电波传播可以确保在高度复杂的环境中进行可靠的通信。RIS 允许传感器传输数据

物联网 (IoT) 的功耗最小，这需要相当大的能源。对于车载网络，RIS 通过在车辆和基础设施之间实现强大的通信来增强安全性。为了提高农业环境中的覆盖范围，RIS 是具有低能耗和高成本效率的有前途的解决方案。<sup>18</sup>

市场情报报告显示，RIS 正处于指数级采用和增长的风口浪尖。包括罗德与施瓦茨，华为，中兴，英特尔和三星在内的几家公司都在投资 RIS，这发出了强烈的信号，表明 RIS 将在未来几年成为电信领域的核心。<sup>19</sup>

然而，在这种情况下发生之前，必须解决几个突出的挑战，包括高昂的硬件成本以及对安全和道德使用技术。<sup>20</sup>

个 图像:

RIS 可提高数据速率和能源效率，同时减少干扰，对下一代无线网络。

图片来源：Midtry 和 Studio Miko。

提示 (缩写)：  
“模块化无线发射器的特写 3D 渲染”

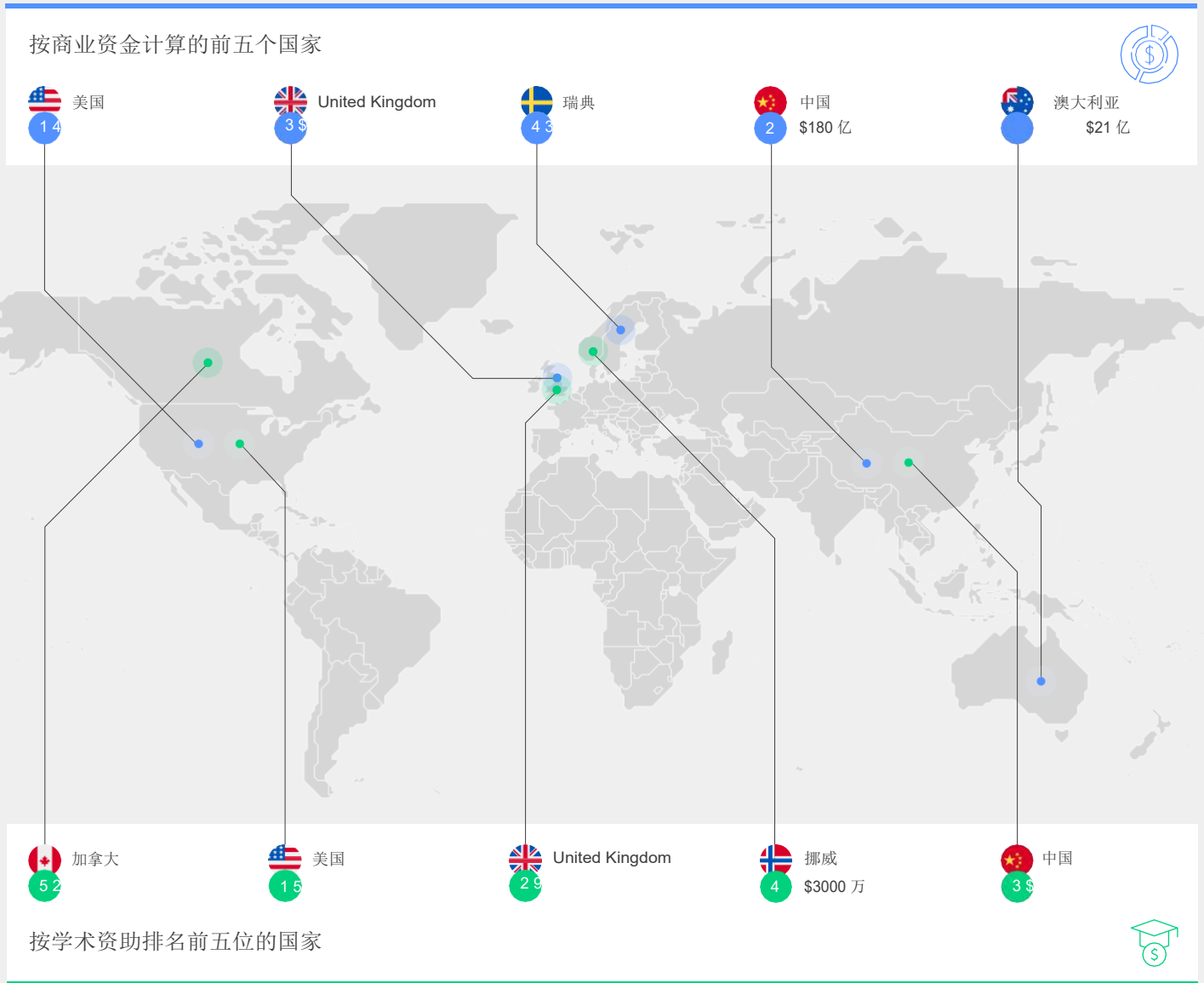
阅读更多：  
有关更多专家分析，请访问 [RIS](#) 转换图。



RIS 具有高度适应性，可以根据实时需求动态调整配置。这种适应性能够有效利用资源，并提高能源效率无线网络。

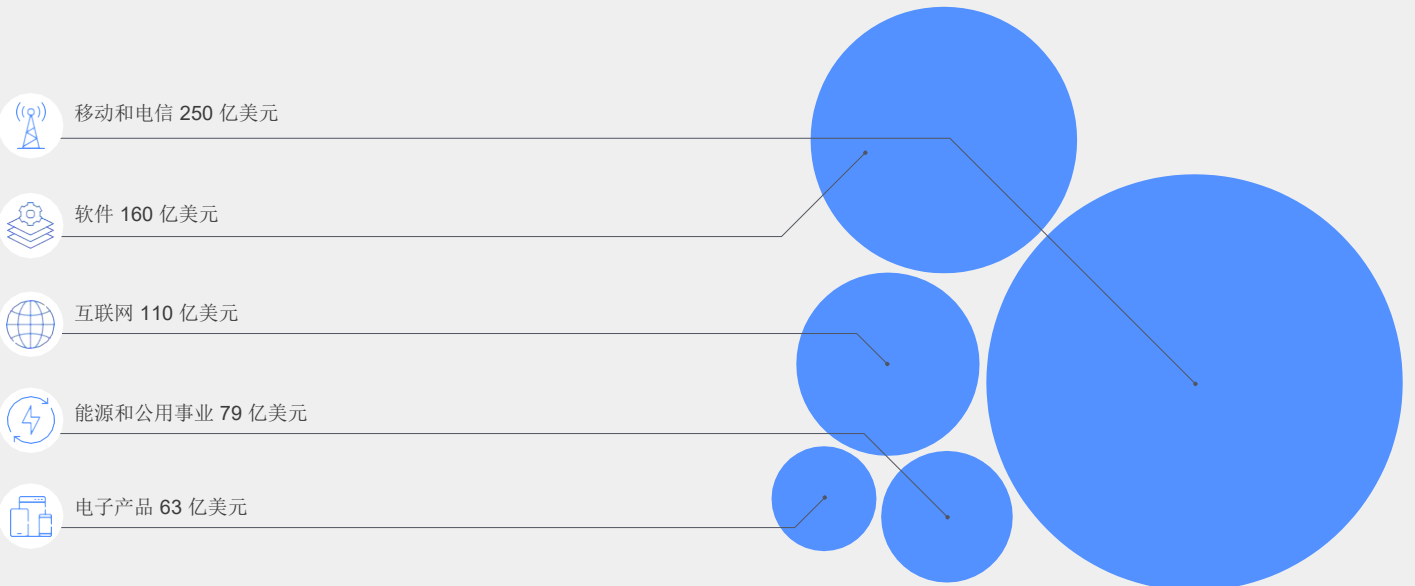
# 创新区域

2021 - 2023 年在可重构智能表面领域获得商业和学术资助最多的国家



# 领先的行业

2021 - 2023 年可重构智能表面领域资金最多的行业





# Mohamed - Slim Alouini

阿卜杜拉国王科技大学电气与计算机工程杰出教授

# Mariette DiChristina

波士顿大学传播学院新闻实践系主任兼教授

高空平台站 (HAPS) 在平流层高度运行， 距离地球约 20 公里。通常采用气球、飞艇或固定翼飞机的形式， 它们为观测和通信提供了稳定的平台， 可以运行数月。太阳能电池板效率、电池能量密度、轻质复合材料、自主航空电子设备的进步和天线， 再加上频带的扩展和新的航空标准， 使 HAPS 在短期内可行。HAPS 可以提供卫星和地面塔无法匹配的连通性， 覆盖范围和性能增强， 特别是在山区， 丛林或沙漠等地形困难的地区。<sup>21</sup>

进入互联世界是通向未来的桥梁， 为繁荣和新的教育机会创造了道路， 并加强了社会连通性。然而， 根据国际电信联盟 (ITU) 的数据， 全球约有三分之一的人仍处于离线状态。妇女和老年人受到的影响不成比例。<sup>22</sup> 应对这一挑战的关键要素是更好的基础设施。

HAPS 可以改善传统通信基础设施服务不足的社区的连通性， 特别是在偏远地区。COVID - 19 大流行强调了互联网接入的关键性质， 揭示了连通性差异如何使社会经济不平等长期存在。通过弥合这一数字鸿沟， HAPS 技术可以获得教育、医疗保健和经济机会。

除了提供互联网访问， 这些适应性平台还可以在各种关键应用程序中发挥重要作用， 从支持灾难管理到增强宽带覆盖和环境监测。HAPS 快速部署和适应不断变化的条件的能力可以使它们成为管理紧急情况的宝贵工具， 及时的信息和通信可以挽救生命。<sup>23</sup>

航空航天工程领导者对 HAPS 的投资创造了材料、推进系统和太阳能电池技术的进步。<sup>24</sup>HAPS 现在在经济上可行， 可用于商业和现实世界的部署。组织拥有丰富的知识和资源， 可用于开发可靠， 持久的 HAPS 帮助了它在通信基础设施未来的发展和作用。

行业例子包括空客和波音、泰雷兹的 Stratobus 和波音 Aurora 项目。更低的延迟、更低的成本、更高的容量、更容易的硬件升级和更快的部署是有吸引力的商业主张。2023 年的市场规模价值为 7.833 亿美元， 预计从 2023 年到 2033 年将以 10.4% 的复合年增长率增长。<sup>25</sup>

然而， HAPS 在平流层高度运行极长的持续时间， 在几个方面与传统的载人飞机不同， 目前的监管框架不适合目的。国际民用航空组织 (ICAO) 等组织正在积极讨论新的政策和指导， 以实现 HAPS 的负责任部署。<sup>26</sup>

## ↑ 图像:

HAPS 在偏远和服务不足的地区提供增强的长期连接和通信。

图片来源：Midtry 和 Studio Miko。

提示 (缩写): “高空科学航空气球。数字信号连接”

## 阅读更多:

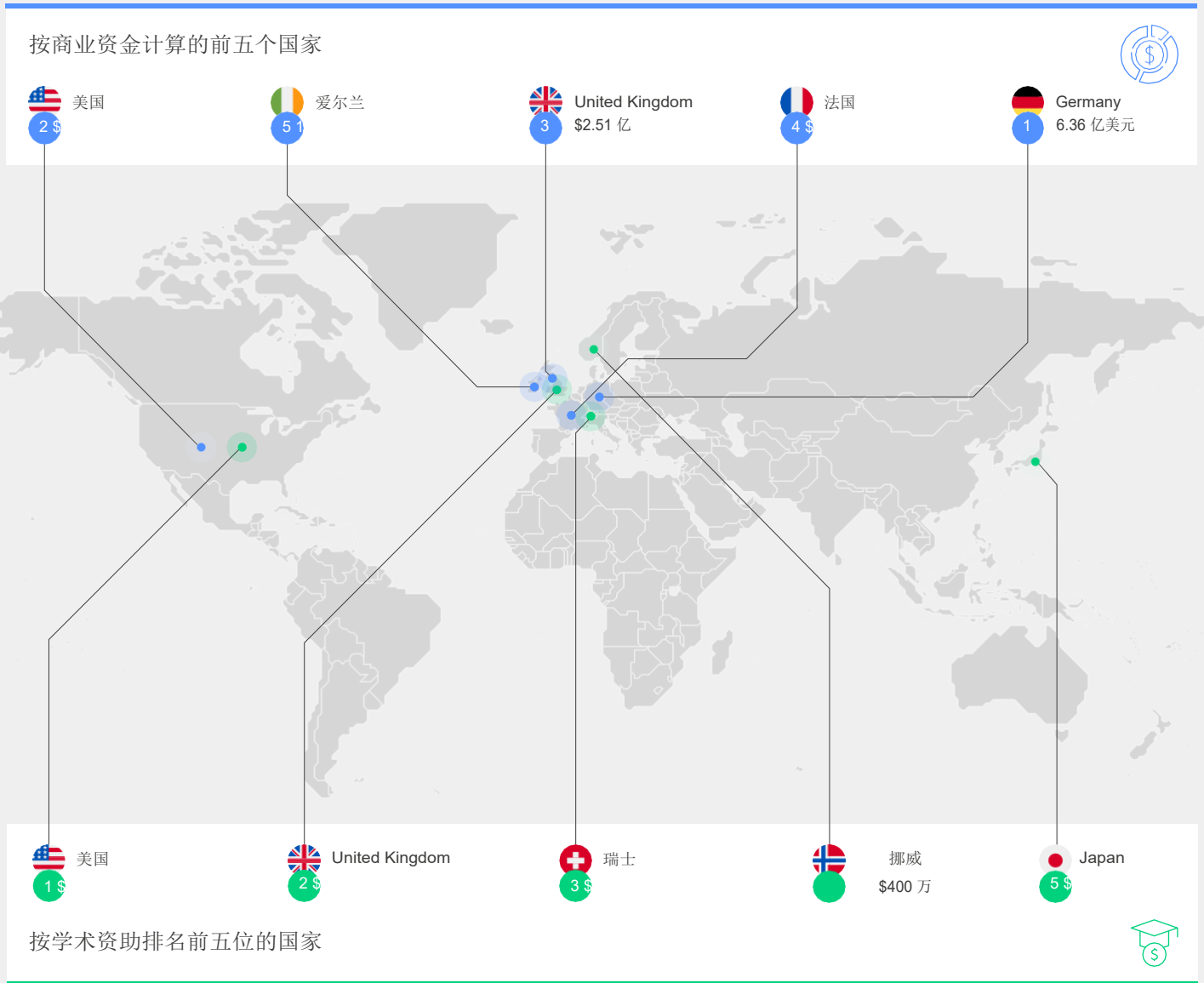
有关更多专家分析， 请访问[HAPS](#)转换图。



HAPS 可以提供卫星和地面塔无法匹配的连接， 覆盖和性能增强， 特别是在地形困难的地区， 例如山脉、丛林或沙漠。

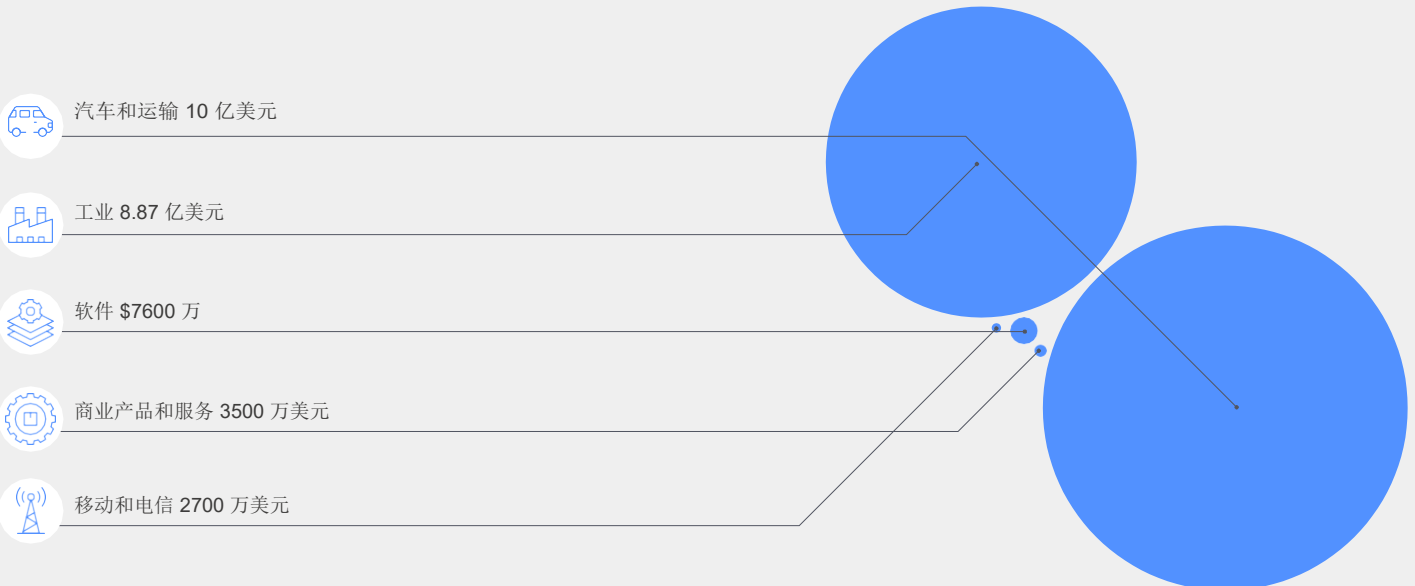
# 创新区域

2021 - 2023 年高空台站商业和学术资助最多的国家



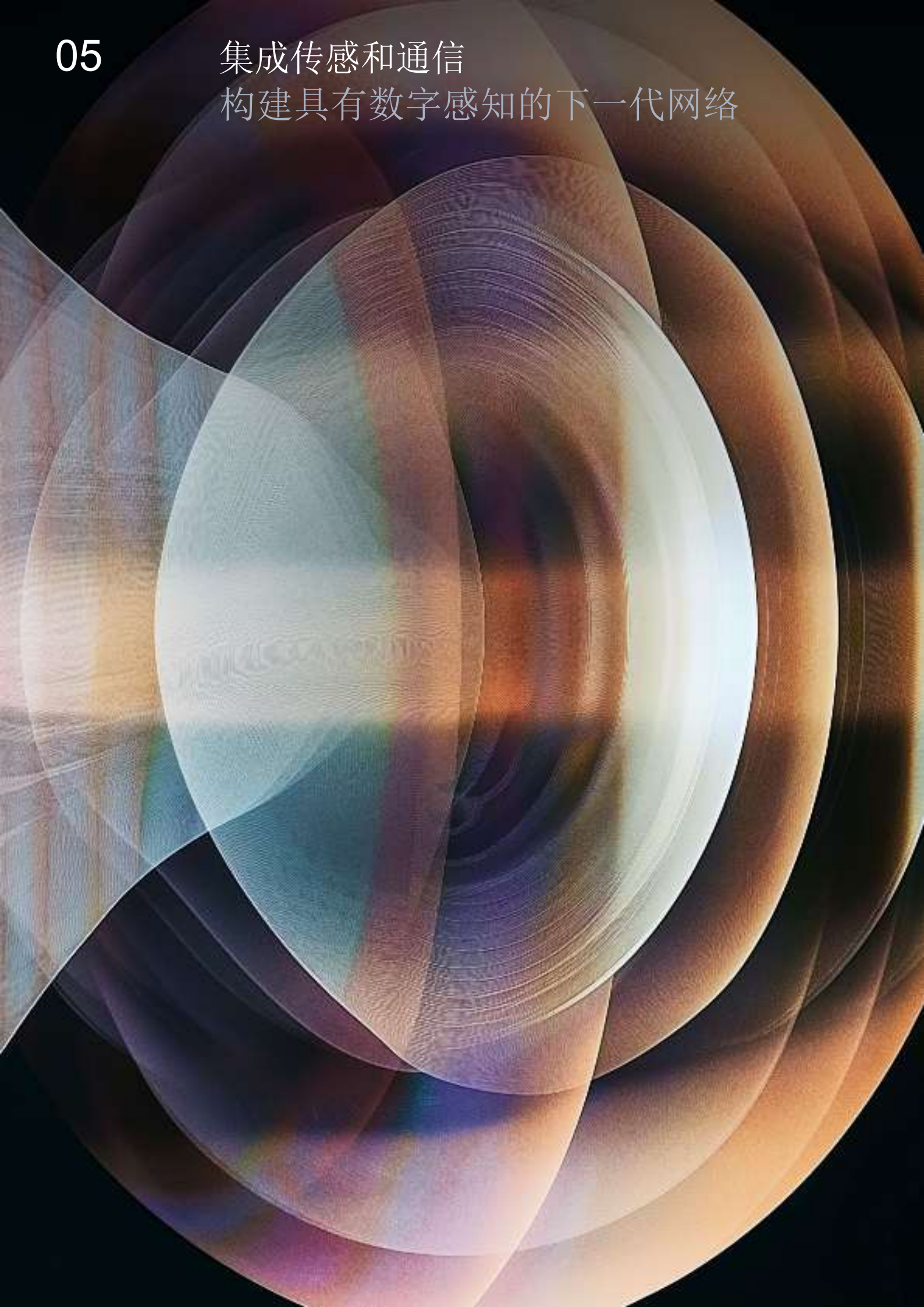
# 领先的行业

2021 - 2023 年高空台站资金最多的行业



05

集成传感和通信  
构建具有数字感知的下一代网络



# Mohamed - Slim Alouini

AI - Khwarizmi 杰出电气教授  
阿卜杜拉国王科技大学计算机工程专业

# 约瑟夫·科斯坦丁

贝鲁特美国大学电气与计算机工程副教授

# Christos Masouros

教授， 信号处理和无线通信， 伦敦大学学院

传感和通信技术几十年的独立发展功能重叠的设备过剩， 导致设备拥塞、频谱效率低下和财务损失。<sup>27</sup>集成传感和通信 (ISAC) 通过将传感和通信功能引入这种集成优化了硬件、能源和成本效率， 同时也实现了超越传统通信范式的新颖应用。<sup>28</sup>

ISAC 使无线网络具有环境感知能力，可实现本地化、环境映射和基础设施监控等功能。这方面的例子包括环境监测系统，使用传感器和数据分析来监测空气和水质，土壤湿度和天气条件。这些系统有助于智能农业、环境保护和城市规划。此外，智能电网将传感器和通信技术集成到电网中，提高效率和可靠性，同时实现对电力消耗和发电的监控。<sup>29,30</sup>

采用 ISAC 还有望使器件利用率更可持续。潜在的好处包括减少能源和硅消耗， 以及改进器件重复使用、回收或再利用的选择。<sup>31</sup>

光 - 无线 ISAC 技术代表了一个特别令人兴奋的进步。通过集成传感和通信功能，照明和显示系统可以无缝地成为无线生态系统的一部分。被照射的表面可以用作网络节点，便于通信和感测，而不会产生电磁干扰。这在智能医疗保健和工业制造等敏感环境中尤其有利。<sup>32</sup>

但是， 实现 ISAC 的潜力取决于克服技术障碍， 建立通信标准和确保网络级协调。从联网汽车到电子健康， 它的成功将取决于其在各个行业的采用。<sup>33</sup>这强调了在这一领域持续创新和合作的必要性。

## ↑ 图像:

ISAC 将数据收集和传输结合到单个系统中， 优化效率并实现创新应用。

图片来源： Midtry 和 Studio Miko。

提示（缩写）：“重叠， 脉动的声波”

## 阅读更多：

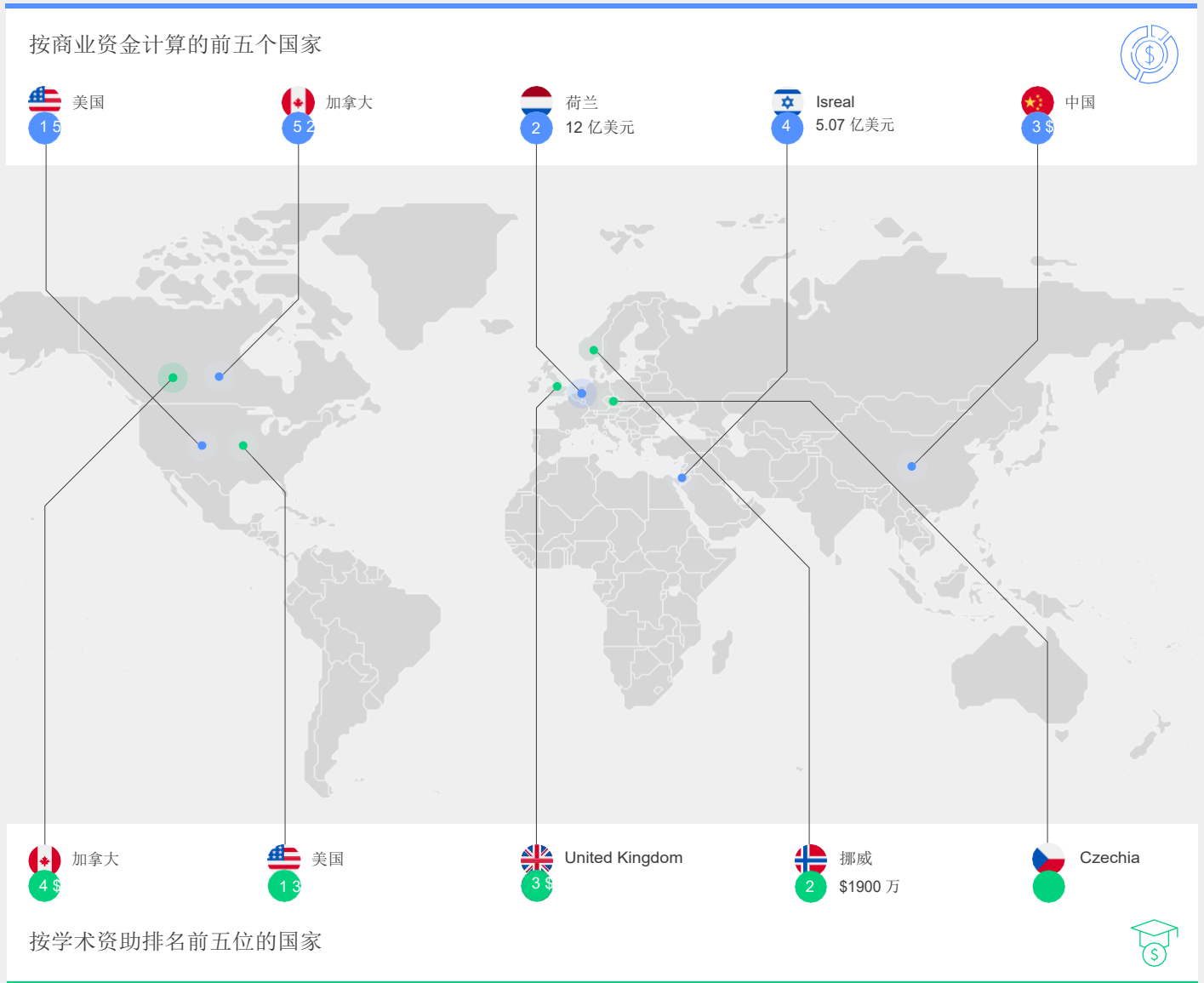
有关更多专家分析， 请访问[ISAC](#)转换图。



ISAC 使无线网络具有环境感知能力， 支持本地化、环境映射和基础设施监控。

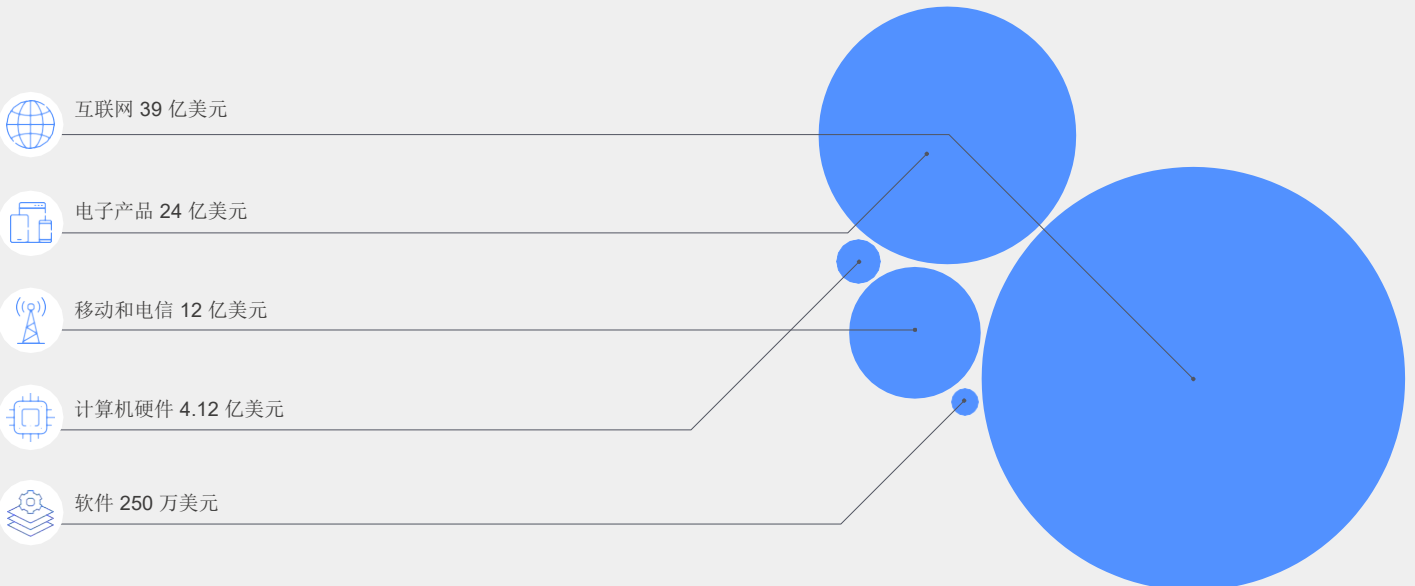
# 创新区域

2021 - 2023 年在综合传感和通信领域获得商业和学术资助最多的国家



# 领先的行业

2021 - 2023 年集成传感和通信领域资金最多的行业





## 卡洛·拉蒂

麻省理工学院城市技术教授

## 兰德里·西德

亚利桑那州立大学雷鸟全球管理学院教授

## Izuru Takewaki

京都工艺美术学院校长、教授京都大学建筑工程名誉教授

随着主要技术平台在隐喻中寻找实用性，一个行业正准备进行转型：建筑。用于建筑世界的沉浸式和 AI 驱动的沉浸式现实工具使设计师和建筑专业人员能够检查物理和数字之间的一致性，确保准确性和安全性并提高可持续性。

建筑业是世界上最大和最具影响力的行业之一，贡献了全球 40% 的二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 排放量。<sup>34</sup> 尽管其足迹巨大，但该行业在接受数字革命方面进展缓慢。然而，沉浸式技术有望改变这一格局。

沉浸式设计体验通过测试假设、识别潜在错误并在施工开始之前提供解决方案来帮助预测施工过程中可能出现的挑战。虚拟原型设计和实验提高了准确性。已经广泛使用的数字孪生可用于

模拟更复杂的城市发展项目提案的结果，更好地发展基础设施并为选民服务，并提高效率和效力。至关重要的是，这将简化从设计到实施的建设过程，允许识别和消除浪费，提高效率 and 可持续性。<sup>35</sup>

同样，对于一个蓬勃发展的行业来说，技能和劳动力短缺正出现到现在供应严重不足的地步。仅在美国，国家贸易协会联合建筑商和承包商协会估计，到 2025 年，该行业将需要在正常招聘的基础上引进近 454,000 名新员工，以满足行业需求。<sup>36</sup>

隐喻有可能通过创造身临其境的学习和培训环境来缓解技能和劳动力短缺，无论位置，为建筑，工程和建筑行业的专业人士。<sup>37</sup>

隐喻还可以提高维护和检查的效率。例如，一家日本建筑公司估计，在全国范围内，仅旅行检查就花费了 100 万小时。<sup>38</sup> 如果 metaverse 提供强大而可靠的远程检测功能，那么这百万时间可以重新分配给其他关键工作。

可以说，该领域的下一个飞跃将是生成 AI 与文本到建筑物的信息建模相结合。将文本提示直接转换为详细的三维建筑模型，包括建筑规范、安全信息和其他元数据。<sup>39</sup>

尽管风险可能包括隐私和能源获取，特别是在发展中国家，但积极主动和协作的方法将鼓励创新，同时使其具有包容性和安全。减少概念化和实施之间差距的承诺可能最终会使设计领域中一些最具技术性的专业人物过时，从而呼吁采取新颖的培训途径和提高技能的计划。

### 个 图像:

沉浸式技术通过整合数字和物理世界来改变建筑，提高准确性、安全性和可持续性。

图片来源：Midtry 和 Studio Miko。

提示（缩写）：“摩天大楼的明亮蓝色横截面”

### 阅读更多：

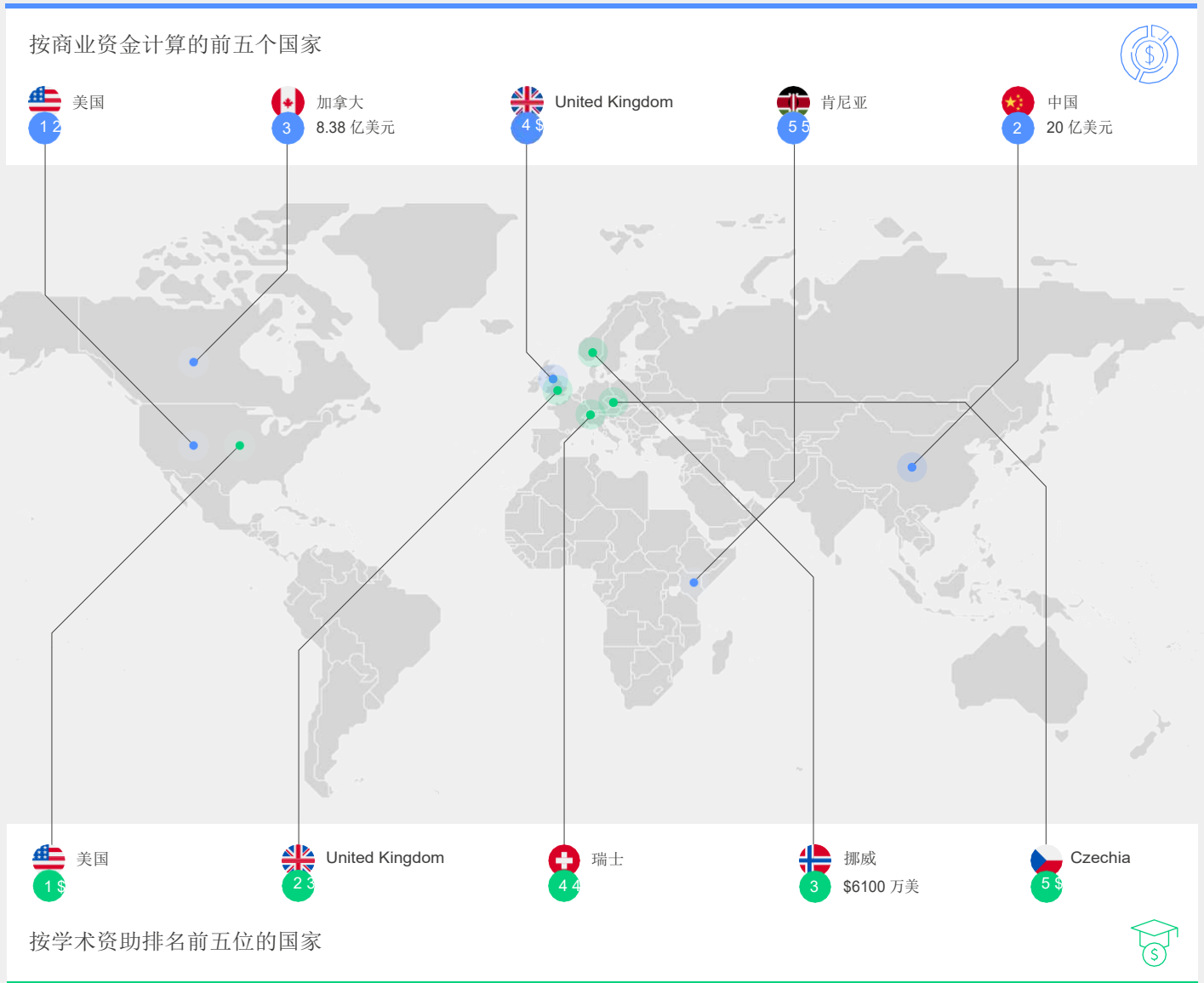
有关更多专家分析，请访问 [沉浸式技术转换图](#)。



至关重要的是，这将简化从设计到实施的施工过程，允许识别和消除浪费，改善效率和可持续性。

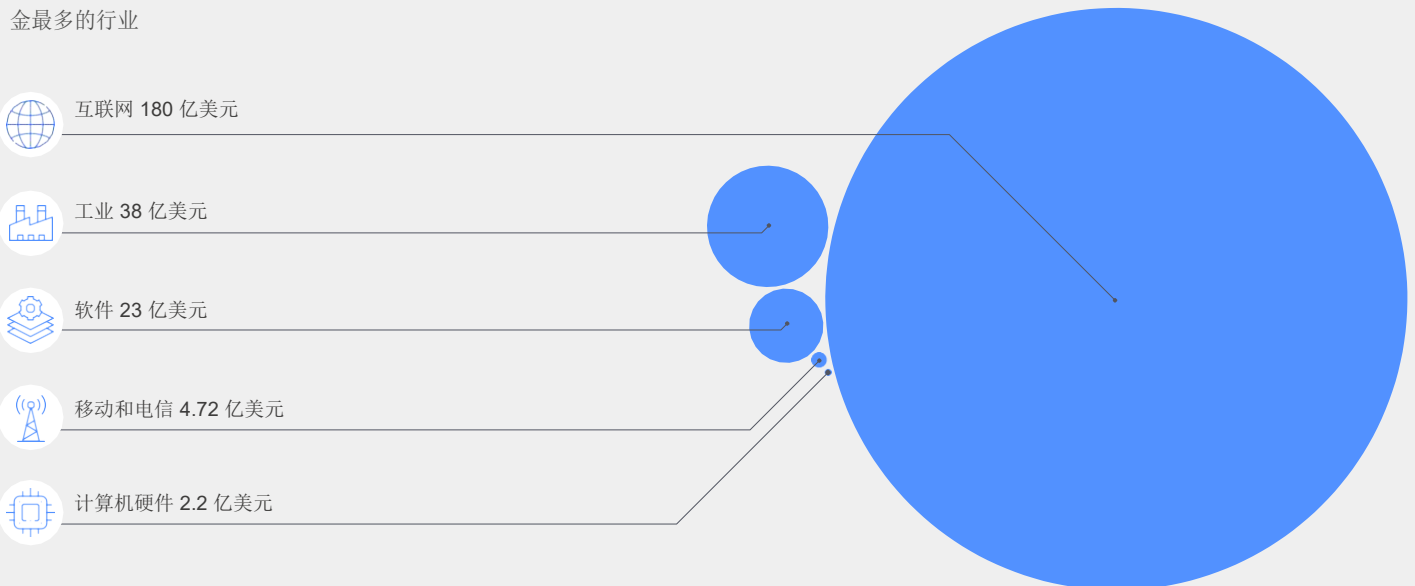
# 创新区域

从 2021 年到 2023 年，为建成世界提供沉浸式技术的商业和学术资助最多的国家



# 领先的行业

从 2021 年到 2023 年，为建筑世界提供沉浸式技术资金最多的行业



07

Elastocalorics 为热系统提供动力，使其像肌肉一样工作



# Orlu 矿

教授，药剂学，伦敦大学学院

## 威尔弗里德·韦伯

莱布尼茨新材料研究所科学主任

随着全球气温的升高，对制冷解决方案的需求将飙升。国际能源署（IEA）估计，未来30年，全球空间制冷的能源需求将增加两倍以上，到2050年，约占全球电力需求增长的37%。<sup>40</sup>弹性热泵是一项创新技术，可以大大减少加热和冷却所需的能量数倍。<sup>41</sup>

弹性热泵的潜在影响，特别是在对冷空气需求增加的背景下，是巨大的。美国能源部的一项研究将它们列为当前系统最有前途的替代品。<sup>42</sup>这项技术的核心

弹性材料是弹性材料，当受到机械应力时会发热，当应力松弛时会冷却。这允许它们在连续的应力和松弛循环下操作。弹性热泵的附加优点是它们不依赖于制冷剂气体，制冷剂气体可能对环境造成损害。相反，它们使用广泛可用的金属，如镍和钛。

总之，满足温控的新兴能源需求对环境的影响可以通过弹性热技术显著降低。在社会上，该技术可以在电力有限或没有电网的地区增强冷却能力，从而改善生活质量并解决气候变化影响的关键方面。<sup>43</sup>

该领域的研究和发展正在迅速推进，科学出版物的速度每22个月翻一番。专利申请的激增，汽车和冷却行业处于领先地位，突显了对该技术日益增长的商业利益。在技术方面，材料和设备设计一直在稳步改善；新的原型能够证明弹性热泵的能力。

实现。同样，大学和企业引入了几种功能弹性热泵模型，探索使用互补材料和创新的生产技术。<sup>44</sup>

缩放弹性热泵涉及克服一些大的障碍。这些泵需要的材料可以持续数百万次的拉伸和放松周期而不会损坏 - 这一过程正在通过试验不同的金属合金和制造技术来解决。工程师正在研究可以使用液压系统有效移动能量的系统，以帮助挤压或拉伸材料，从而触发加热或冷却。<sup>45</sup>

此外，为了使这些热泵变得广泛可用，这些材料的生产需要显著扩大规模，以适应在全球变暖的情况下预测的对冷却的不断增长的需求。

然而，随着越来越多的商业兴趣和技术创新，弹性热泵的广泛采用前景广阔，开创了高效和环保冷却解决方案的新时代。

个图像：Elastocalorics 提供了开创性的冷却解决方案，大大减少了能源使用

没有有害的制冷剂。

图片来源：Midtry 和 Studio Miko。

提示（缩写）：  
“关闭金属弯曲的3D渲染。释放热量”

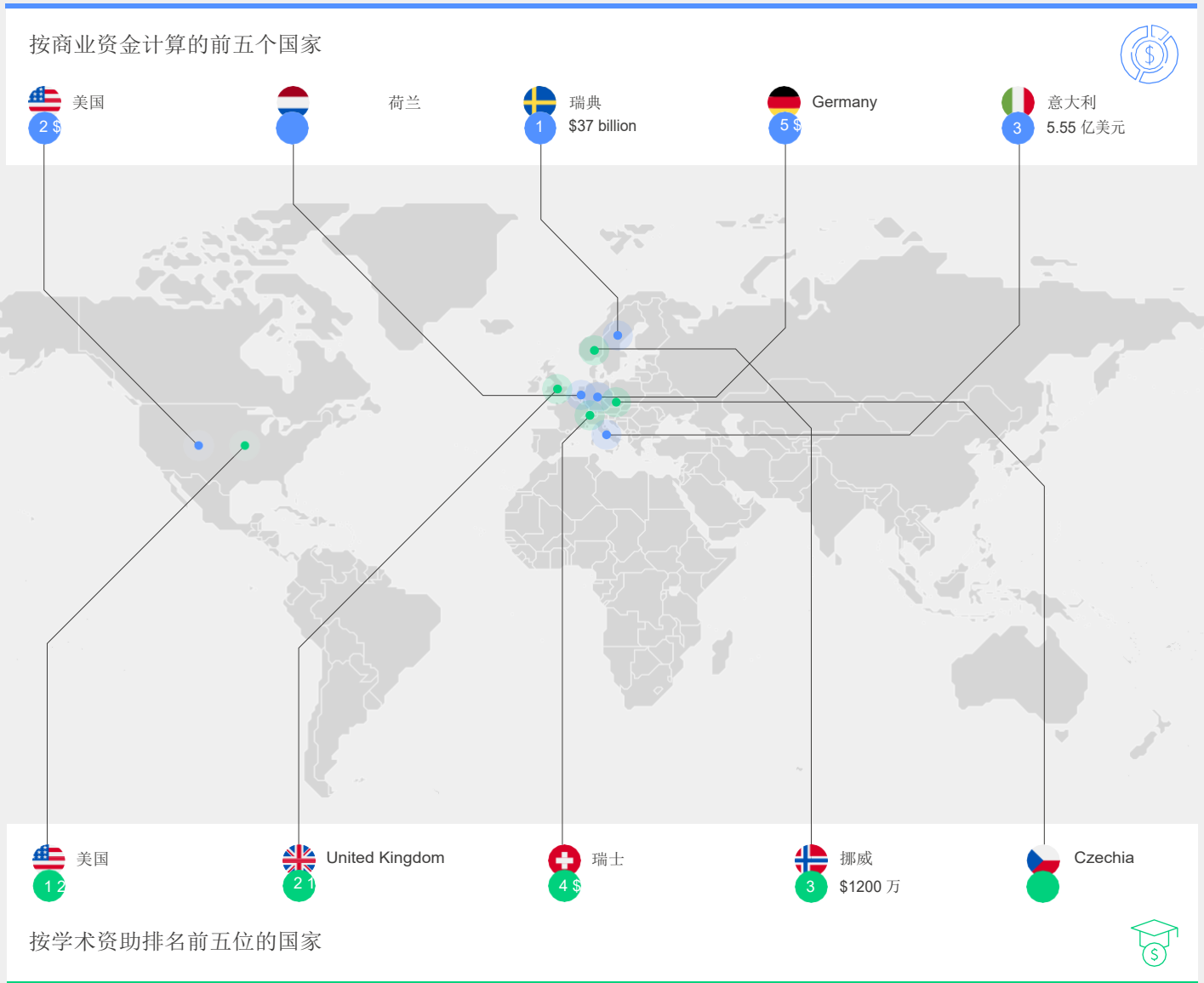
阅读更多：  
有关更多专家分析，请访问 [弹性力学](#) 转换图。



迎合新兴的能源需求对温度控制的环境影响可以显著降低弹性热技术。

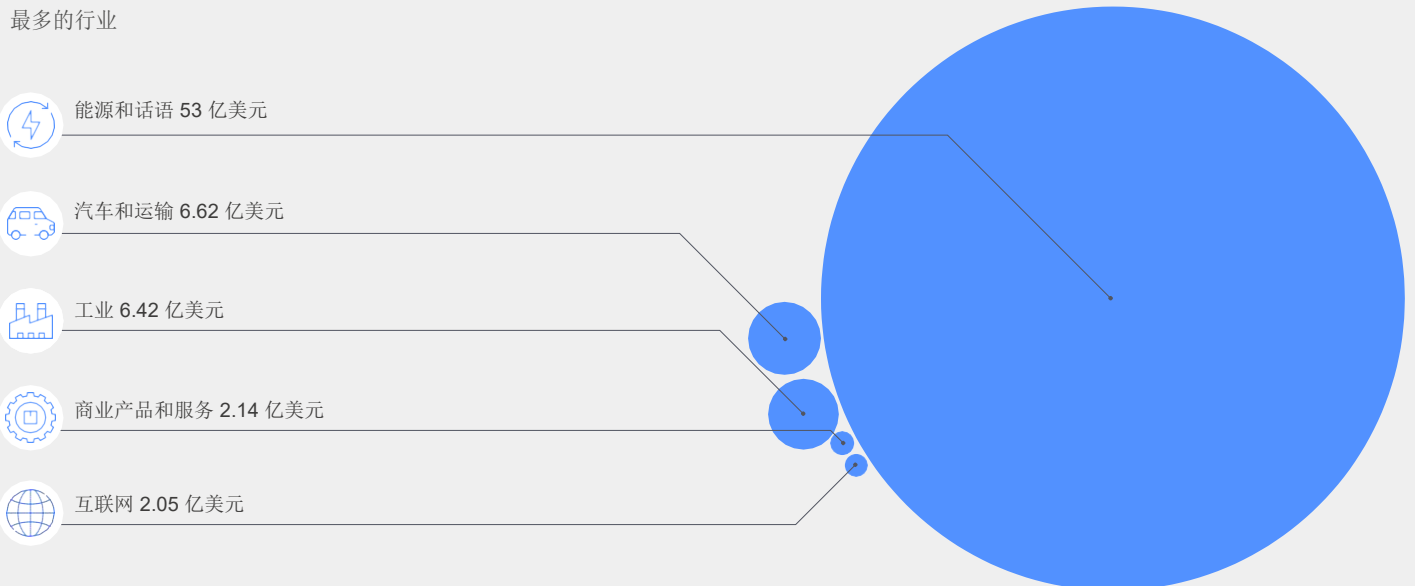
# 创新区域

2021 - 2023 年弹性力学商业和学术资助最多的国家



# 领先的行业

2021 - 2023 年在弹性力学领域获得资金最多的行业





## Sang Yup Lee

高级副总裁， 研究； 韩国高级科学技术学院特聘教授

## 李海龙

能源科学学院教授  
中南大学科技学院

在气候变化的紧迫性下， 一场无声的革命正在酝酿： 微生物被用来从空气或废气中捕获温室气体， 并将其转化为高价值产品。为了推动这一过程， 生物使用阳光或化学能， 如氢。改造生物承诺提供广泛的可持续产品， 同时减少全球变暖。

微生物碳捕获正在成为控制大气二氧化碳和缓解全球变暖的一种有前途的策略。<sup>46</sup>同时， 它可以生产具有巨大市场潜力的各种产品， 例如燃料， 肥料和动物饲料。为了实现这一目标， 研究人员正在开发微生物 - 包括细菌和微藻 - 利用阳光或可持续的化学能来吸收和转化气体。

微生物碳捕获有两种主要设计。第一种是光生物反应器， 使用

光合生物， 如蓝藻和微藻， 以捕获 CO<sub>2</sub>， 利用阳光处理充满 CO<sub>2</sub> 的气体， 通过含有这种生物的浴鼓泡。第二个当微生物通过使用来自氢气， 有机废物流或使用可再生能源从 CO<sub>2</sub> 衍生的其他化学物质的能源捕获 CO<sub>2</sub> 时。<sup>47</sup>不管他们是使用阳光还是化学物质作为能源， 两者系统改变生物体， 将二氧化碳转化为新产品， 如生物柴油或富含蛋白质的动物饲料。<sup>48</sup>每个系统的产品价值差异很大； 选择使用哪种系统取决于实施公司的具体需求和能力， 如可用资源。这也意味着公司一旦实施， 就可以为市场生产新产品， 而不是支付每吨二氧化碳 50 至 100 美元来抵消其排放。

该技术由专门从事细胞修饰的组织驱动， 以促进特定物质的生产。<sup>49</sup>经过一系列成功的论证和概念验证，

## 威尔弗里德·韦伯

莱布尼茨新材料研究所科学主任

## Zequn Yang

中南大学能源科学与技术学院副教授

微生物碳捕获现在已经准备好从试点过渡到全面生产。到 2022 年， 全球对该技术的投资已经达到 64 亿美元， 突显了其将被推向市场的准备。<sup>50</sup>以色列的 Seabiotic， 西班牙的 Alga Energy 和美国的 Bio Process Algae 等公司已经部署了中试规模的设施， 以探索微生物碳捕集系统的商业可行性。

尽管取得了重大进展， 但微生物碳捕获系统仍然面临着阻碍其广泛采用和商业化的挑战。

首先， 微生物大多适应低温条件， 效果较差。优化需要研究如何提高微生物对工业废气热水平的抵抗力， 以及对酸性杂质的抵抗力。<sup>51</sup>其次， 现有的微生物碳捕获系统仍然非常昂贵。<sup>52</sup>但是， 产品的高价值至少可以抵消部分成本。最后， 生产场所需要充足的阳光和可再生能源或清洁能源， 而这并不能在全球所有地区得到保证。<sup>53</sup>只有克服这些挑战， 这项技术的全部潜力才能实现， 作为实现净零排放世界的全球努力的一部分。

个图： 用于捕获碳的微生物可以将温室气体转化为有价值的产品， 如燃料和肥料。

图片来源： Midtry 和 Studio Miko。

提示（缩写）：“明亮的个体绿色 DNA 包裹在正方形网格中。”

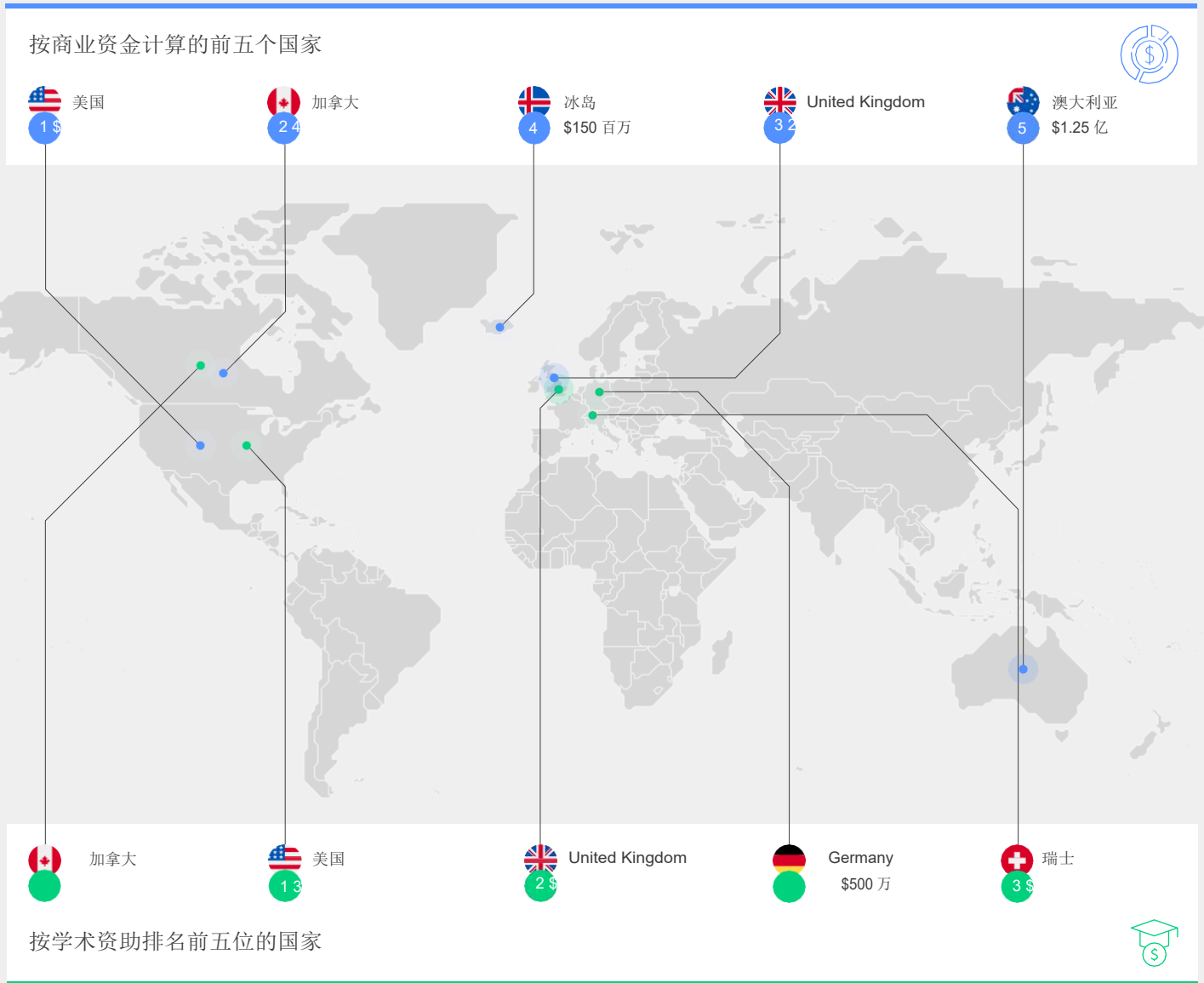
阅读更多：  
有关更多专家分析， 请访问 [微生物碳捕集转换图](#)。



一旦实施， 公司可以为市场生产新产品， 而不是在每吨 50 美元和 100 美元的二氧化碳来抵消它们的排放。

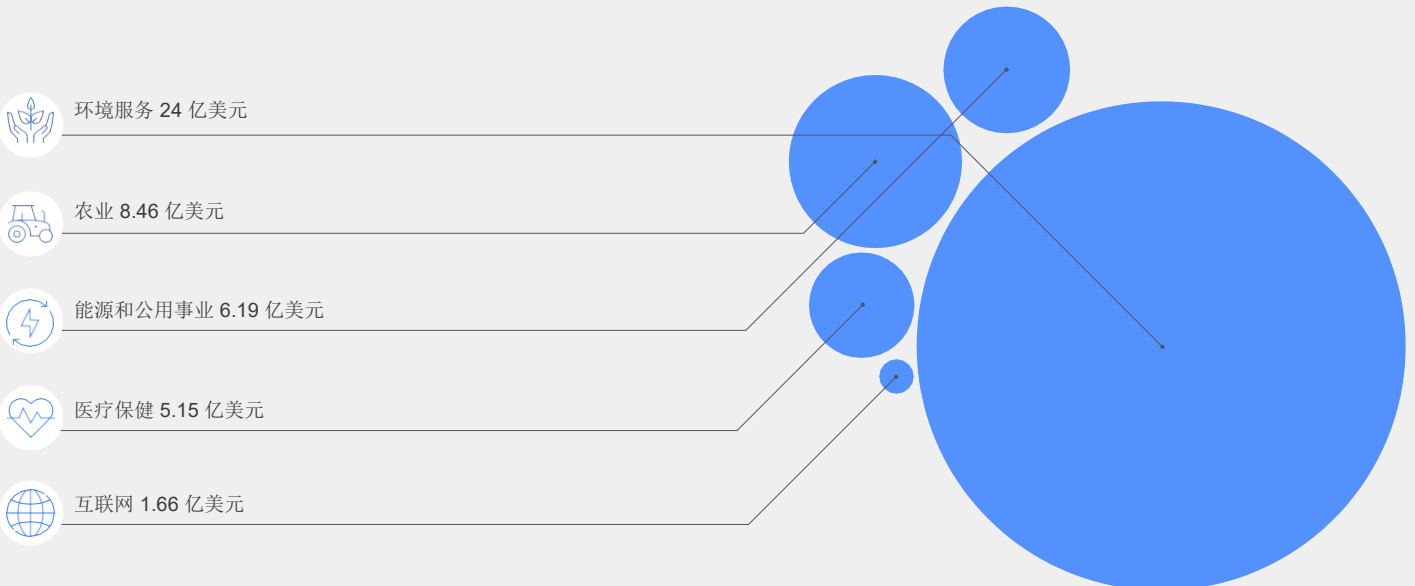
# 创新区域

2021 - 2023 年碳捕获微生物商业和学术资助最多的国家



# 领先的行业

2021 - 2023 年碳捕获微生物资金最多的行业





## Mariette DiChristina

波士顿大学传播学院院长

## 哈维尔·加西亚 - 马丁内斯

阿利坎特大学教授，化学和分子纳米技术实验室主任

替代牲畜饲料提供了可持续的解决方案，以满足畜牧业对蛋白质日益增长的需求。这些饲料来自昆虫，单细胞蛋白，藻类和食物废物，为大豆，玉米和小麦等传统成分提供了可行的替代品。<sup>54</sup>

饲料替代品提供了实质性的可持续性改进。目前，近 80% 的大豆生产被用作动物饲料，导致显著的负面环境后果。<sup>55</sup>这种需求推动了森林砍伐、生物多样性丧失、过度施肥和土地利用变化带来的温室气体排放。转向替代牲畜饲料可以减轻这些挑战，并促进畜牧业更环境可持续的做法。

替代动物饲料的另一个优点是它增加了多样性和营养价值，这可以在保护动物福利方面发挥关键作用。它可以提供比传统饲料更广泛的营养素，改善动物健康和福祉，并可能提高农产品本身的质量。<sup>56</sup>例如，昆虫可以在工业规模上生产以产生高质量的蛋白质，而单细胞蛋白或藻类可以为几种动物提供必需的蛋白质和脂肪。此外，捕获人类食物废物或使用藻类，**azolla**，鹰嘴豆和橙浆等成分正在成为有希望的替代品。<sup>57</sup>

这些替代来源的成本效益也是一个关键因素。它们的生产和获得往往更便宜。使用黑兵蝇幼虫 (BSFL) 是一个例子：研究表明，将 BSFL 添加到动物饮食中可以减少与饲料相关的成本。这主要是因为 BSFL 可以从有机废物中种植，减少对

传统的，更昂贵的饲料成分，如鱼粉或豆粕。<sup>58</sup>

饲料替代原料市场充满活力，全球多家公司现已成功推出优质替代方案。<sup>59</sup>2023 年，全球动物饲料替代蛋白市场价值 39.6 亿美元，预计未来十年价值将大幅增长，到 2033 年将增至 82 亿美元。<sup>60</sup>

然而，替代动物饲料不仅仅是一种一刀切的解决方案。其可行性因当地的可用性、制造成本以及环境和社会条件而异。其他挑战，包括环境法规、道德问题和竞争，仍然存在。可持续饲料资源

例如，与可持续燃料生产的竞争越来越激烈。这种竞争可能会限制牲畜饲料的供应，可能会推高价格并阻碍广泛采用。替代动物饲料行业的未来成功取决于其应对这些挑战并适应对更可持续和有效饲料选择的需求的能力。

### ↑ 图像:

替代牲畜饲料提供可持续传统动物的营养替代品饲料，并减少对环境的影响。

图片来源：Midtry 和 Studio Miko。

提示（缩写）：“单细胞，藻类”

### 阅读更多：

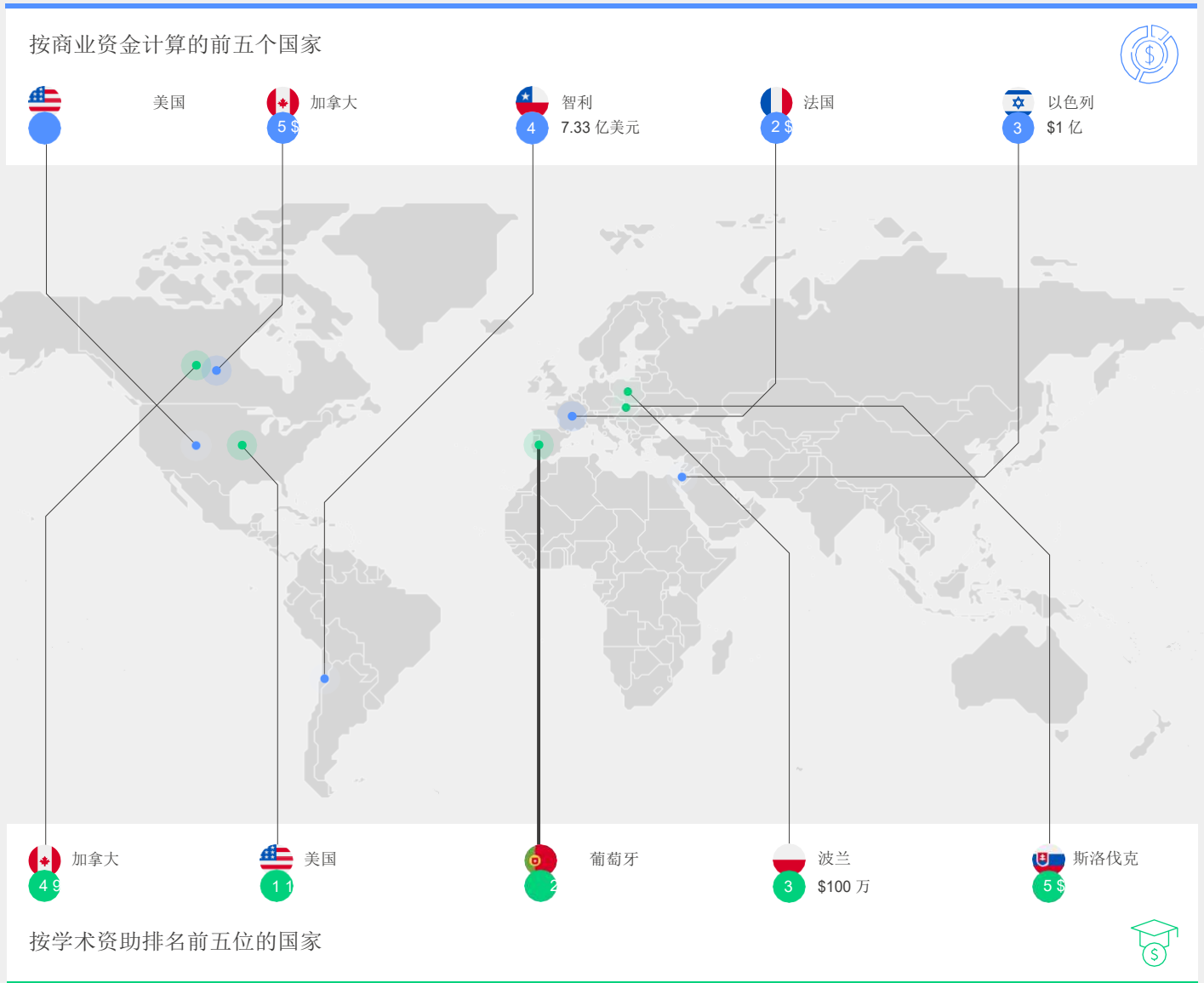
有关更多专家分析，请访问[替代牲畜饲料转换图](#)。



过渡到替代牲畜饲料可以促进更环境可持续的做法  
动物农业。

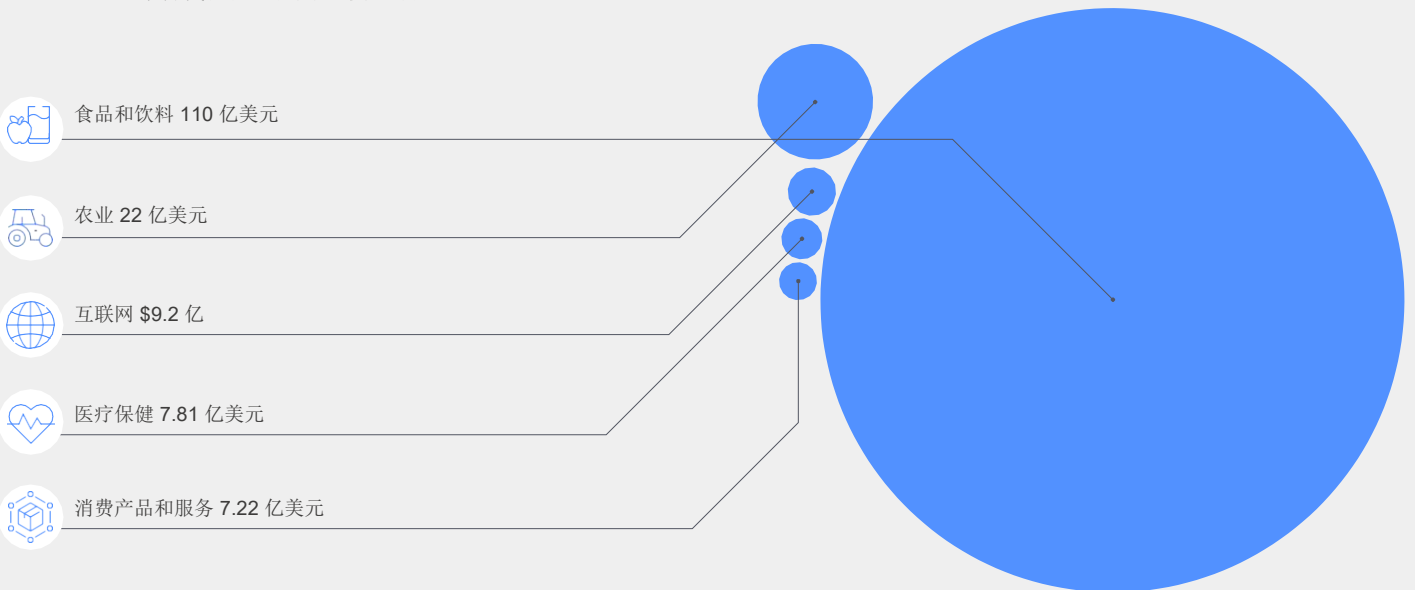
# 创新区域

从 2021 年至 2023 年，替代牲畜饲料的商业和学术资助最多的国家

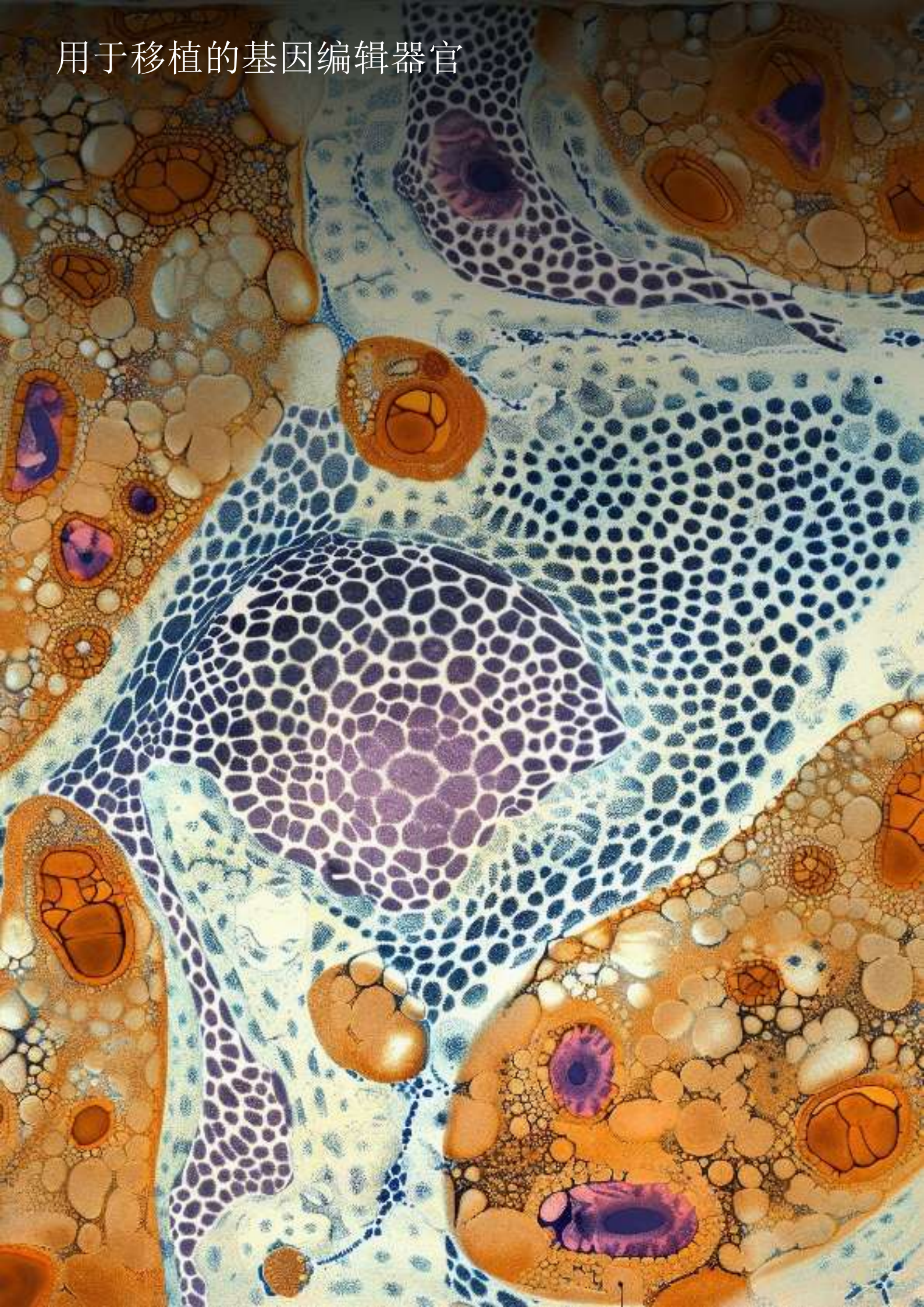


# 领先的行业

2021 - 2023 年替代牲畜饲料资金最多的行业



# 用于移植的基因编辑器官



# 大卫·K·库珀

哈佛医学院麻省总医院移植科学中心高级研究员

## Emanuele Cozzi

帕多瓦大学医院移植免疫学教授

器官移植， 重大进步

在 20 世纪下半叶的医学中， 一直在继续进步。2024 年 3 月， 一个非凡的里程碑强调了这一正在进行的演变: 第一次成功的移植

将非人（猪）肾脏转化为活人受体。<sup>61</sup>这一进展是由基本因素推动的， 例如我们理解和精确编辑基因组的能力。

器官移植挽救了生命 - 但需求远远超过了可用的供体库。仅在美国， 就有超过 100,000 名患者正在等待器官移植， 但今年只有大约 30,000 个器官可用。<sup>62</sup>

为了满足这一需求， 三十多年来， 在处理动物器官移植到人类的科学方面取得了稳步进展。多亏了像 CRISPR - Cas9 这样的技术， 现在有可能在单只猪中创建多个遗传操作来克服免疫（排斥）障碍。这些包括插入基因

这可能会影响移植猪器官的功能， 并删除可能的病毒基因感染接受猪移植的患者。虽然一些猪经历了多达 69 个基因编辑， 但大多数猪大约有 10 个基因编辑。<sup>63</sup>

这种理解和精确编辑基因组的能力， 加上新的免疫抑制药物方案， 使非人灵长类动物的生存与生命支持猪的肾脏或心脏， 现在延长数月甚至数年的肾脏移植的情况下。

此外， 了解基因组提供的不仅仅是移植器官。在美国， 超过 100 万患者患有 1 型糖尿病（青少年糖尿病）， 估计有 3000 万患有 2 型糖尿病， 可以通过移植猪胰岛细胞（产生胰岛素）来治愈。<sup>64</sup>美国有超过一百万的病人

患有衰弱的帕金森病； 植入专门的猪细胞可以改善他们的病情。<sup>65</sup>

如果“异种移植”或将动物器官移植到人体内成为一种常见的治疗方式， 它不仅会影响数百万患者的生活质量， 而且会影响

could also bring about changes in the healthcare economy. For example, there could be significantly reductions in the number of staff involved in deiliation

# 杰弗里·玲

教授， 神经病学， 约翰霍普金斯医院

## Bernard Meyerson

IBM 首席创新官

programmes and an increase in those involved in all aspects of organic and cell translation, including pig breeding. Although foreotspluttation will initially be expensive, it might soon firm cost than maintaining a patient on long - term diaph 需要经常急诊入院的心力衰竭患者。

实验室的进展令人鼓舞， 使美国食品和药物管理局（FDA）批准了两名活着的患者的猪心脏移植（2022 年和 2023 年）和一名患者的猪肾脏移植（2024 年）。<sup>66,67,68</sup>尽管这三个人收件人

移植手术后不幸去世， 人体器官捐赠的轨迹表明， 随着研究的进步和技术的进步， 存活率将显著提高。

异种移植提出了需要进一步探索的道德考虑， 理想情况下是由政策， 商业和社会空间的各种领导者进行。此外， 仍然需要从最初的患者试验中获取大量数据， 以确保最大化治疗效果。然而， 从已建立的移植技术中获得的可靠的先验知识， 再加上基因编辑技术的能力不断提高和成本不断下降， 表明有充分的理由对种间移植的未来持乐观态度， 以防止每年数十万人的不必要的生命损失。这些变化在医疗保健和行业中发生的速度有多快。

还将取决于监管当局和社会如何应对这一新疗法领域。

个图片： 用于移植的基因组学可以可能彻底改变移植并解决器官短缺问题。

图片来源： Midtry 和 Studio Miko。

提示（缩写）：“单元格”

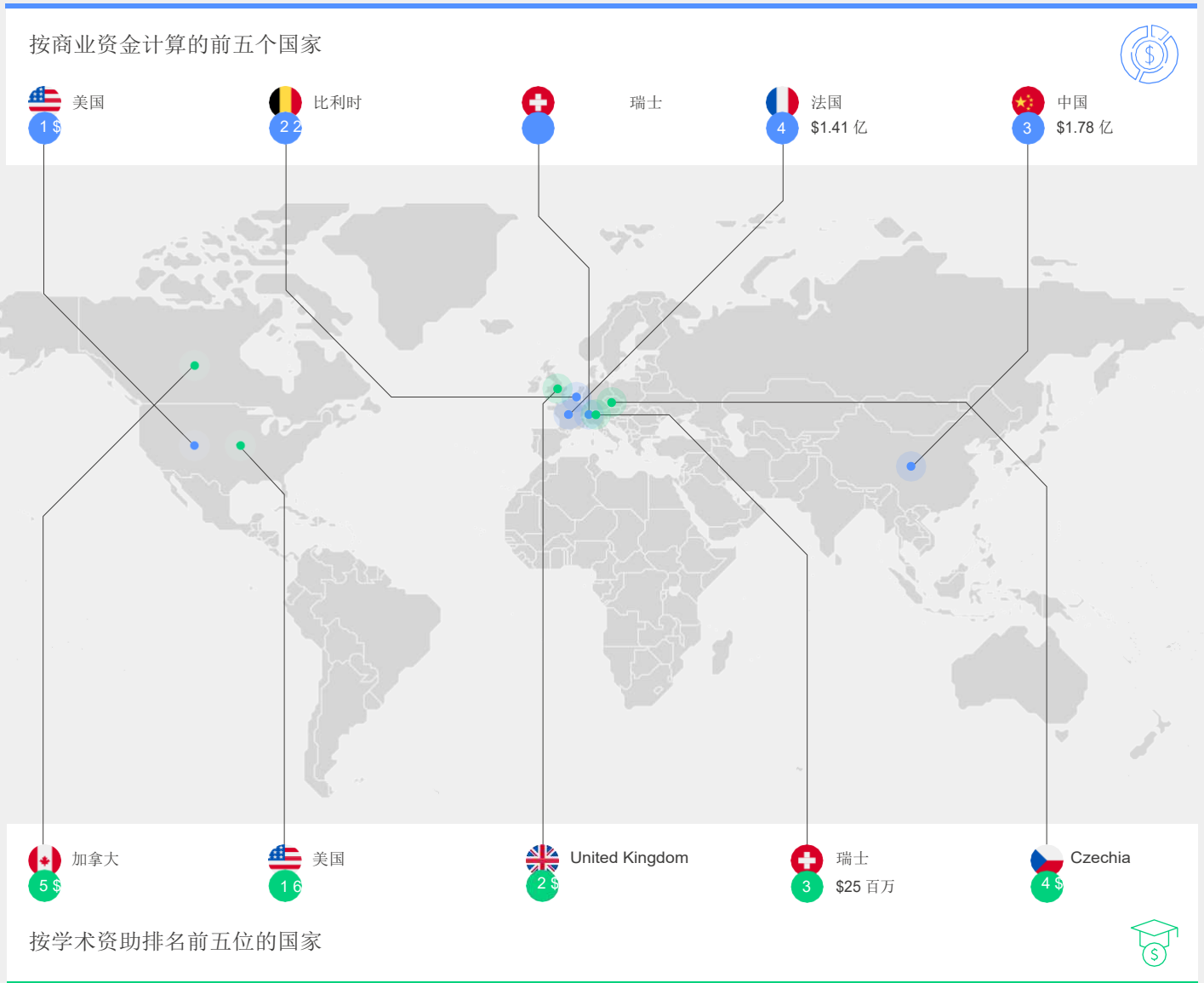
阅读更多： 有关更多专家分析， 请访问 [基因组学移植转换图](#)。



这种理解和精确编辑基因组的能力， 加上新的免疫抑制药物方案， 使非人类灵长类动物的生存与维持生命的猪肾脏或心脏的时期延长数月甚至数年。

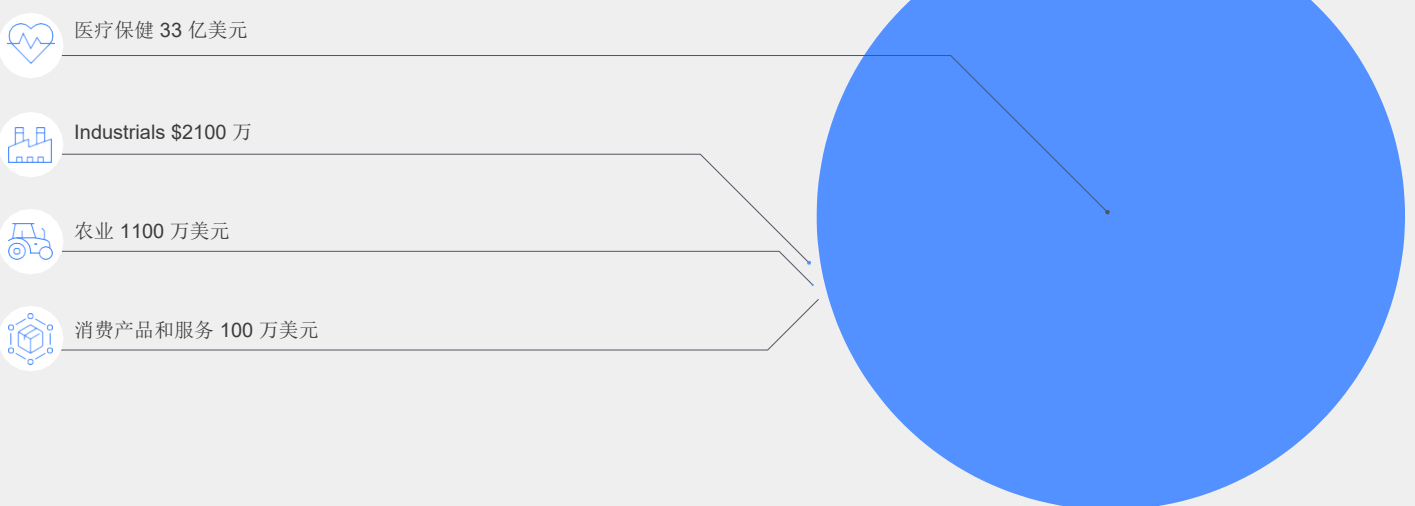
# 创新区域

从 2021 年至 2023 年在基因组学移植中获得最多的商业和学术资助的国家



# 领先的行业

从 2021 年到 2023 年，在基因组学中获得最多的移植资金的行业



# 附录：数据方法

## A1 引言

本附录提供了数据来源、收集方法、处理步骤、分析技术、假设和

此信息对于理解图形中显示的数据的上下文和可靠性至关重要。

## A2 数据源

学术资助资金：数据来自 2021 年至 2023 年之间所有资助的 Dimensions。

- 商业资金：数据来自 CB Insights，用于 2021 年至 2023 年的总资金。

## A3 数据收集方法

根据以下标准收集数据：

- 地理范围：对于学术赠款资金，使用受赠人的主要附属机构的位置。对于资金数据，考虑了获得资金的公司的位置。

- 时间段：数据收集时间为 2021 年 1 月至 2023 年 12 月。

- 行业范围：使用关键词匹配对赠款和资金记录的标题和摘要进行分析。

## A4 数据处理

采取以下步骤处理数据：

- 清洁和准备：赠款  
No funding amounts were excluded from the counts and sums. Similarly, data entries  
没有相关资金的金额被排除在分析之外。

- 转换：针对标题和摘要执行关键词匹配以识别相关记录。

- 软件和工具：数据处理是使用 Python 等软件工具进行数据清理和转换的。

## A5 分析技术

采用了以下分析技术和方法：

- 统计方法：按地区和行业分析赠款数量和资金总额。

- 可视化工具：可视化是使用 CB Insights 创建的，以说明按地理和行业划分的资金趋势。

A6

## 假设和限制

- 假设：假设数据 - 限制：由于 Dimensions 和 CB Insights 提供了潜在的偏见is 从运行开始， 赠款和资金记录的准确性 and 最新性排除date. 没有资金。可用性和数据粒度可能因地区和行业而异。

## 参考文献

A7

Dimensions Database, 2024. Data retried on 24 / 04 / 24. CB Insights Database, 2024. Data retried on 24 / 04 / 24.

科技行业的关键短语匹配

TABLE 1

### 技术关键短语

AI for科学发现 (人工智能或大型语言模型) 和 (科学发现或研究或科学)

隐私增强合成数据或数据模拟或数据生成或数据匿名技术 或增强隐私的数据

可重构智能表面或智能城市 可重构智能表面或 6G 或无线通信

集成传感 and 通信 集成传感或通信集成或传感器融合或遥测或无线传感器网络或多传感器系统

高海拔平台 高空平台系统或航空工程或高空站台或平流层或高空或飞艇技术

沉浸式技术 辅助现实或建筑环境或建筑信息建模或设计对于建筑世界的复杂性或建筑技术或数字孪生或空间计算

弹性热或热泵或冷却系统或热管理

碳捕获微生物系统或微生物碳捕获或生物修复微生物 或微生物聚生体或微生物代谢

替代方案 替代动物饲料或动物营养或植物性饲料或家畜饲料昆虫饲料

基因组学for 移植 基因工程器官或基因工程或器官工程或转基因器官或器官移植或组织工程

# 贡献者

## 世界经济论坛

### 第四次工业革命中心

**Kimmy Bettinger**  
领导， 战略影响，  
第四次工业革命中心

**Sebastian Backup**  
第四次工业革命中心联席主任； 执行委员会成员

**Alicia Patterson - Waites**  
专家， 战略影响，  
第四次工业革命中心

### 战略情报平台

**Stephan Mergenthaler**  
战略情报主管； 执行委员会成员

**Minji Sung**  
专家、内容和合作伙伴关系

## Acknowledgements

第四次工业革命中心要感谢指导小组和论坛专家网络的成员，他们裁定了十大技术并撰写了报告中的文章。

### 顾问

**Martin Wezowski**  
SAP 首席未来学家

### 指导小组

共同主席

**Mariette DiChristina**  
波士顿大学传播学院新闻实践系主任兼教授

## 前沿

**杰米·巴克莱**  
顾问

**雪莉·丹特**  
公共关系主管

**Toby Dore**  
高级分析经理

**琥珀色 Lanham**  
专家, 公共事务

**乔治·托马斯**  
公共事务经理

### 参与日记帐:

动物科学前沿大数据中的人工智能前沿  
建筑环境的前沿  
数字健康的通信和网络前沿  
能源前沿研究前沿材料前沿信号处理  
移植国际

**伯纳德·S·迈尔森**  
IBM 首席创新官

### 成员

**约瑟夫·科斯坦丁**  
贝鲁特美国大学电气与计算机工程副教授

**莎拉·福塞特**  
开普敦大学海洋学高级讲师

**弗雷德里克·芬特**  
首席执行官编辑， 前沿

**Olga Fink**  
助理教授， 智能维护  
和操作系统， 瑞士洛桑联邦理工学院

哈维尔·加西亚 - 马丁内斯  
阿利坎特大学教授，化学和分子纳米技术实验室主任

**Daniel E. Hurtado**  
智利天主教大学副教授

**Jeremy Jurgens**  
世界经济论坛总裁

**Sang Yup Lee**  
高级副总裁，研究；韩国高级科学技术学院特聘教授

杰弗里·玲  
约翰·霍普金斯大学教授

安德鲁·D·梅纳德  
亚利桑那州立大学未来社会创新学院教授

露丝·摩根  
跨学科创业副院长；犯罪与法医学教授；  
伦敦大学学院法医学中心主任

**Elizabeth O'Day**  
首席执行官兼创始人 Olaris

**Orlu 矿**  
副教授，药剂学，伦敦大学学院

卡洛·拉蒂  
麻省理工学院城市技术教授

兰德里·西格妮  
布鲁金斯学会全球经济与发展计划高级研究员

威尔弗里德·韦伯  
莱布尼茨新材料研究所新材料科学主任、教授

## 专家网络

**Mohamed - Slim Alouini**  
Al - Khawarizmi 特聘教授，电气和计算机工程，阿卜杜拉国王科技大学

大卫·K·库珀  
资深研究员，移植科学中心，麻省总医院 / 哈佛医学院

**Emanuele Cozzi**  
帕多瓦大学医院移植免疫学教授

**Marco Di Renzo**  
巴黎 - 萨克莱大学信号与系统实验室 (L2S) CNRS 研究主任

**Lisette van Gemert - Pijnen**  
特温特大学教授，说服健康技术

**Adriana Greco**  
那不勒斯费德里科大学工业工程系教授

大卫·哈蒙  
肯塔基大学动物与食品科学系研究生教授兼主任

托马斯·哈东  
约翰·霍普金斯大学彭博公共卫生学院教授

詹姆斯·克洛茨  
研究动物科学家，美国农业部，农业研究服务

东原李  
宾夕法尼亚州立大学信息科学与技术学院博士课程教授兼主任

李海龙  
中南大学能源科学与工程学院教授、副院长

**Christos Masouros**  
通信研究所信号处理与无线通信教授  
和连接系统，伦敦大学学院

**Claudia Masselli**  
那不勒斯费德里科大学工业工程系教授

**Bastiaan van Schijndel**  
ZORGTP 创新经理

**Izuru Takewaki**  
京都工艺美术学院校长、教授，京都大学名誉教授

汉斯·范·弗兰德伦  
ZORGTP 主任

**Zequn Yang**  
中南大学能源科学与技术学院副教授

## 世界经济论坛

玛丽亚·阿隆索  
领导, 自治系统

Vidhi Bhatia  
专家, 通信, 数字包容

Helen Burdett  
地球技术负责人

Valentin Golovtchenko  
铅, 气候技术

安德烈亚斯·哈德曼  
航空航天、航空和旅游行业经理

尼古拉·赫里斯托夫  
铅, 空间技术

Jitka Kolarova  
Lead, Health & Healthcare Innovation

本杰明·拉森  
铅, 人工智能和机器学习

Cathy Li  
AI、数据和 Metaverse 负责人；执行委员会成员

Pierre Maury  
战略整合专家, 流动性

凯利·奥蒙森  
数字包容负责人；执行委员会成员

Brynne Stanton  
Lead, 生物经济

Karla Yee Amezaga  
Lead, 数据政策

## 生产

玫瑰 Chilvers  
设计师, Studio Miko

劳伦斯丹麦  
米科工作室创意总监

Sophie Ebbage  
设计师, Studio Miko

玛莎·豪利特  
首席编辑, Studio Miko

# 尾注

1. 谷歌。 (n. d.)。 *DeepMind AlphaFold*. <https://deepmind.google/technologies/alphafold/>。
2. Wong, F., E.
3. Conover, E. (2024)。 人工智能帮助科学家创造了一种新型的电池。 科学新闻。 <https://www.sciencenews.org/article/artifact-intelligence-new-battery>。
4. 总统科技顾问委员会。(2024)。 增压研究： 利用人工智能应对全球挑战。
5. Ibid.
6. Maynard, A. D. & S. M. Dudley。 (2023年)。 使用纳米技术的经验教训导航先进的技术转型。 *《自然纳米技术》*, 第18卷, 第1118-1120页。
7. Jordon, J., L. Szpruch, F. Houssiau, M. Bottarelli, et al. (2022). *Synthetic Data -- what, why and how?* arXiv. <https://arxiv.org/abs/2205.03257>.
8. Williams, E. A. (2024). From Promising to Practical: The Transformative Impact of Homomorphic Encryption. <https://techspective.net/2024/04/04/from-promised-to-practical-the-transformative-impact-of-homomorphic-encryption/#google>
9. R. L. Rivest, L. Adleman, M. L. Dertouzos, et al. (1978). On data bank and privacy homomorphisms. *《安全计算基础》*, 第4卷, 第11号, 第169-180页。
10. Gonzales, A., G. Guruswamy & S. R. Smith. (2023). Synthetic data in health care: A narrative review. *PLOS digital health*, vol. 2, issue 1, e0000082. <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0082>.
11. Bartell, J. A., S. B. Valentin, A. Krogh, H. Langberg & M. B. Øgsted. (2024). A primer on synthetic health data. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2401.17653>.
12. *International Energy Agency*. (n. d.). *Data Centres and Data Transmission Networks*. <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>.
13. Basar, E., M. Di Renzo, J. De Rosny, M. Debbah, et al. (2019). Wireless communications through reconfigurable intelligent surfaces. *IEEE Access*, vol. 7, pp. 116753 - 116773.
14. Di Renzo, M., A. Zappone, M. Debbah, M. S. Alouini, et al. (2020). Smart radio environments empowered by reconfigurable intelligent surfaces: How it works, state of research, and road ahead.
15. Abdelhady, A., A. Salem, O. Amin, B. Shihada, & M. S. Alouini. VLC via intelligent reflecting surfaces: Metasurfaces vs mirror array. *IEEE Open Journal of Communication Society*, vol. 2, pp. 1 - 20, January 2021.
16. Feng, Y., Q. Hu, K. Qu, W. Yang, et al. (2023). Reconfigurable Intelligent Surfaces: Design, implementation, and Practical Demonstration. *Electronic Science*, vol. 1, no. 2, pp. 1 - 21, <https://www.emscience.org/en/article/do>
17. Syed, M. S. B., H. M. Attaullah, S. Ali, & M. I. Aslam. (2023). Wireless Communications beyond Antennas: The Role of Reconfigurable Intelligent Surfaces. *Engineering Proceedings*, vol. 32, no. 10. <https://doi.org/10.3390/engproc2023032010>.
18. Nie, S. & M. Can Vuran. (2023). AgRIS: 毫米波频谱下弹性无线农业网络的风自适应宽带可重构智能表面。 *通信和网络前沿*, 第4卷。 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frmn.2023.1169266/full>。
19. Wood, L. (2022)。 2022 - 2023 年和 2043 年全球 6G 通信可重构智能表面材料和硬件市场。 商业。 <https://www.businesswire.com/news/home/20220726005634/en/Global-6G-通信-可重构-智能-表面-材料-硬件-市场-2022-2023-2043---ResearchAndMarkets.com>
20. 欧洲电信标准协会 (ETSI)。 (n. d.)。 可重构智能表面。 <https://www.etsi.org/technologies/reconfiguration-intelligent-surfaces#:~:text=RIS%20can%20be%20possibly%20deployed,RIS%20ai%20可持续%20technology%2020>
21. Belmekki, B. E. Y. et al. (2024). Cellular Network From the Sky: Toward People - Centered Smart Communities. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 5, pp. 1916 - 1936.
22. 洛佩兹, E. (2024)。 COVID - 19 加剧了老年人面临的数字不平等。 加泰罗尼亚大学。 <https://www.uoc.edu/en/news/2024/老年人面临的数字不平等>。
23. GSMA。 (2021)。 滑雪中的高空平台系统塔。 <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/networks/wp-content/uploads/2021/06/GSMA-HAPS-Towers-in-the-skies-Whitepaper-2020.pdf>。
24. GSMA。 (2021)。 高空平台系统。 [https://hapsalliance.org/wp-content/uploads/强大/12/Driving\\_the\\_potential\\_of\\_the\\_stratosphere\\_HAPSAlliance\\_082021.pdf](https://hapsalliance.org/wp-content/uploads/强大/12/Driving_the_potential_of_the_stratosphere_HAPSAlliance_082021.pdf)。

25. 大观研究。 (2022)。高空平台市场规模和趋势。 <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/高空平台-市场报告>。
26. International Civil Aviation Organization (ICAO). (2022). Aviation Safety and Air Navigation Standards. [https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/WP/wp\\_085\\_en.pdf](https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/WP/wp_085_en.pdf).
27. Sweeney, M. (2021)。计算机芯片的全球短缺“达到危机点”。监护人。 <https://www.theguardian.com/business/2021/mar/21/global-shorts-in-computer-chip-reach-crisis-point>
28. Haider, M. A., & Y. D. Zhang. (2023). RIS 辅助集成传感和通信: 一个小型评论。《信号处理前沿》，第3卷。 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsip.2023.1197240/full>。
29. Liberato Ullo, S. & G. R. (2020)。使用物联网和传感器的智能环境监测系统的进展。《传感器》，第20卷，第11期。 <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/11/3113>。
30. 美国能源部。(n.d.)。智能电网：什么是智能电网？ <https://www.energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>。
31. Liu, Y., & K. Yang. (2022). 智能城市中的通信、传感、计算和能量收集。IET 智能城市，第4期，第265-274页。 <https://doi.org/10.1049/smc2.12041>。
32. Metin, T., M. Emmelmann, M. Corici, V. Jungnickel, et al. (2020) Integration of Optical Wireless Communication with 5G Systems. IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9367502>.
33. ETSI. (n.d.). Industry Specification Group (ISG) Integrated Sensing and Communications (ISAC). <https://www.etsi.org/committee/2295-isac>.
34. United Nations Environment Programme. (2023). Building Materials and The Climate: Constructing A New Future. <https://www.unep.org/resources/report/building-materials-and-climate-constructing-new-future>,
35. Digital Twin Consortium. (n.d.). Why Sustainability for Buildings? <https://www.digitaltwinconsortium.org/the-why-and-the-what-of-digital-twin-building-performance-and-sustainability-owners-perspective-form>
36. 相关的建筑商和承包商。(2024)。ABC：2024年建筑劳动力短缺达到50万[新闻稿]。 <https://www.abc.org/News-Media/News-Releases/abc-2024-construction-workforce-shrapsy-top-50万>。
37. McKinsey & Company. (2022). What is the metaverse? <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-the-metaverse>.
38. 清水。(2024)。Metaverse 中在建建筑物的远程检查。 <https://www.shimz.co.jp/en/company/about/news-release/2024/2023063.html>。
39. Babalola, A., S. Musa, M. T. Akinlolu, & T. C. Haupt. (2023). A bibliometric review of advances in building information modeling (BIM) research. Journal of Engineering, Design and Technology, vol. 21, no. 3, pp. 690 - 710.
40. International Energy Agency. (2018). The Future of Cooling. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>.
41. 美国能源部。(2014)。非蒸汽压缩 HVAC 技术的节能潜力和研发机会。p.7。 <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/非蒸汽%20Compression%20HVAC%20Report.pdf>。
42. Ibid.
43. Wang, Y., Y. Liu, S. Xu, G. Zhou, et al. (2023). Towards practical elastocaloric cooling. Communication Engineering, vol. 2, no. 79. <https://doi.org/10.1038/s44172-023-00129-5>.
44. 同上；钱，S. D.Catalii, J.Mehlbaer, B.Li, et al.(2023)。高性能多模弹性冷却系统。科学，第一卷。380号，不。6646页。722 - 727. <https://doi.org/10.1126/science.adg7043>; Tse, J., K.Egelbrecht, D.Erise, S.Dall'Olio 等.(2016)。一种再生式弹性热泵自然能源，第一卷。1、不16134. <https://doi.org/10.1038/eergy.2016.134>; Kirsch, S - M., F.Welsch, N.米迦勒斯, M.施密特等人。(2018)。NiTi - 基于宏观尺度的弹性冷却：从基本概念到实现。能源技术，第一卷。6、不第8页。1567 - 1587. <https://doi.org/10.1002/ete.201800152>; Zho, G., Y.Zh, S.姚, & Q.太阳(2023)。弹性再生器中的巨大温度跨度和冷却功率。焦耳，卷。7、不9页。2003 - 2015年。 <https://doi.org/10.1016/j.jole.2023.07.004>； Exergy。(D.)SMA 技术。 <https://www.Exergy.com/technology/>。
45. Wang, Y., Y. Liu, S. Xu, G. Zhou, et al. (2023). Towards practical elastocaloric cooling. Communication Engineering, vol. 2, no. 79. <https://doi.org/10.1038/s44172-023-00129-5>.
46. Yaashikaa, P. R, A. Saravanan, P. Senthil Kumar, P. Thamarai, & G. Rangasamy. (2024). 微生物碳捕获细胞在废水处理过程中的碳固存和能源生成中的作用: 清洁环境的可持续解决方案。《氢能国际期刊》，第52卷, D部分, 第799 - 820页。 <https://doi.org/10.1016/j.hydro.2024.100000>。
47. Lim, J., S. Y. Choi, J. W. Lee, S. Y. Lee, & H. Lee, H. (2023)。用于从 CO2 直接合成聚酯的生物混合 CO2 电解。美国国家科学院院刊，第120卷，第14期，e2221438120。 <https://doi.org/10.1073/pnas.2221438120>。
48. 在该领域活跃的公司的例子：使用光合生物：藻类系统 (<https://www.algaesystems.com>)，CyanoCapture (<https://www.cyanocapture.com>)，Photanol (<https://photanol.com>)，Phytonix (<https://phytonix.com>)；使用其他微生物：Cemvita (<https://www.cemvita.com>)，Deep Branch Biotechnology (<https://deepbrank.com>)，新营养素 (<https://www.novonutrients.com>)。
49. Ibid.
50. 彭博财经(2024)。碳捕获投资创历史新高6.4亿美元。 <https://about.bnef.com/blog/碳捕获-投资-命中-创历史新高-6-40亿/>。

51. Bhatia S. K. 等人 (2019 年)。使用生物系统进行二氧化碳捕获和生物能源生产 - 综述。  
《可再生和可持续能源审查》，第 110 卷，第 143 - 158 页。
52. Hong, W. Y. (2022). A techno - economic review on carbon capture, utilization and storage systems for achieving a net - zero CO2 emissions future. CCST, vol. 3, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.cccst.2022.100044>.
53. Nappa, M., M. Lienemann, C. Tossi, P. Blomberg 等人。(2020)。使用微生物生产食品和饲料的太阳能碳固定 - 比较技术经济分析。ACS Omega, 第 5 卷, 第 33242 - 33252 页。ps://dx.doi.org/10.1021/acsomega.0c492626。
54. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (n. d.). FAOSTAT - Food and Agriculture Data. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.
55. 世界自然基金会 (WWF)。(n. d.)。森林砍伐和食物：您的问题回答。<https://www.wwf.org.uk/food/deforestation-and-food-your-questions-answered>。
56. Guo, R., et al. (2021). Microalgal - based feed: profestive alternative feedstock for histan and public production. Journal of Animal Science and Biotechnology, vol. 12, no. 5. <https://jasbsci.biomedcentral.com>.
57. Altman, A. W., et al. (2024). Review: utilizing industrial hemp (Cannabis sativa L.) by - products in historal.  
《动物饲料科学与技术》，第 307 卷，第 115850 号。
58. Li, H., & A. Chaudhuri. (2022). Animal Design through functional Dieteral Diversity for Future Productive Landscapees. Frontiers in Sustainable Food Systems, vol. 6, no. 933571.
59. 已验证的市场报告。(n. d.)。可食用昆虫市场中的顶级公司。<https://www.verifiedmarketreports.com/blog/top-companies-in-the-edible-insects/>。
60. Future Market Insights. (n. d.). Animal Feed Alternative Protein Market Report. <https://www.futurmarketinsights.com/reports/animal-feed-alternative-protein-market>.
61. Chase, B. (2024). World 's first genetically - edited pig kig transplant to live recipient performed at Massachusetts General Hospital. <https://www.massgeneral.org/news/press-release/world-first-generated-pig-kinto-li>
62. 美国卫生与人类服务部。(n. d.)。器官捐赠统计。<https://www.organdonor.gov/learn/organ-donation-statistics>。
63. Anand, R. P., J. V. Layer, D. Heja 等人 (2023) 用于异种移植的人源化猪供体的设计和测试。  
《自然》，第 622 卷，第 7982 页，第 393 - 401 页。<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37821590/>。
64. American Diabetes Association. (n. d.). Diabetes Statistics. <https://diabetes.org/about-diabetes/statistics/about-diabetes>.
65. Parkinson 's Foundation. (n. d.). Parkinson 's Disease Statistics. <https://www.parkinson.org/understanding-parkinsons/statistics>.
66. Griffith, B. P., C. E. Goerlich, A. K. Singh, et al. (2022). Genetically - modified phine - to - human cardious formotbutation.  
新英格兰医学杂志，第 387 卷，第 35 - 44 页。
67. Cooper, D. K. C., & E. Cozzi. (2024)。临床猪心脏异种移植 —— 我们从这里去哪里？移植国际，第 37 卷，第 12592 号。
68. Mallapaty, S., & M. Kozlov. (2024). First pig kiren transport in a person: what it means for the future. Nature, vol. 628, no. 8006, pp. 13 - 14.



---

COMMITTED TO  
IMPROVING THE STATE  
OF THE WORLD

---

世界经济论坛致力于改善  
世界的状态，是国际公私合作  
组织。

论坛吸引了最重要的政治，商  
业和社会其他领导人，以制定  
全球，区域和行业议程。

---

世界经济论坛 91 - 93 号路线  
de la Capite CH - 1223 科隆 /  
瑞士日内瓦

电话：+ 41 (0) 22 869 1212  
传真：+ 41 (0) 22 786 2744