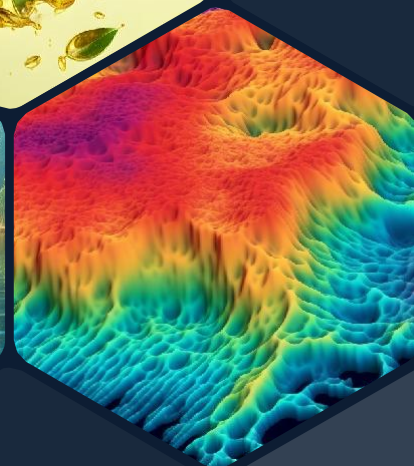
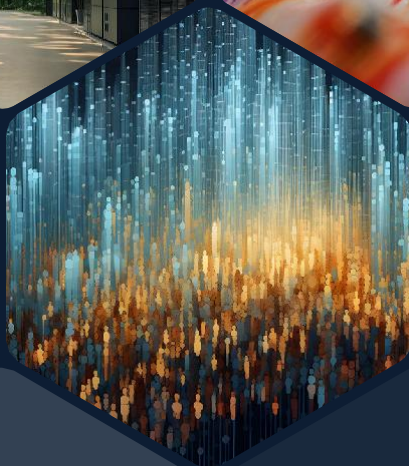
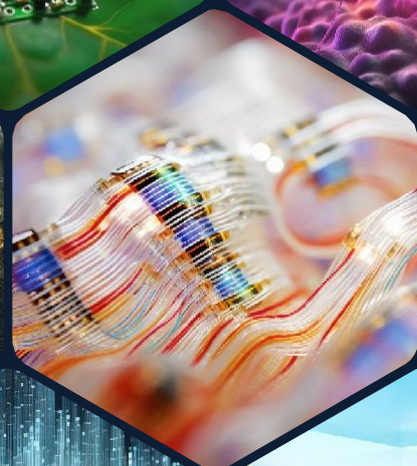


Centre for the
Fourth Industrial
Revolution

WORLD
ECONOMIC
FORUM

2023年 十大新兴技术

2023年 6月



内容

前言	3
导言	4
方法论	5
1 软电池	8
2 生成人工智能	10
3 可持续航空燃料	12
4 设计噬菌体	14
5 心理健康元宇宙	16
6 可穿戴植物传感器	18
7 空间组学	20
8 柔性神经电子学	22
9 可持续计算	24
10 人工智能医疗	26
贡献者	28
尾注	31

免责声明
本文档由世界经济论坛作为对项目、洞察领域或互动的贡献。本文所述的调查结果、解释和结论是世界经济论坛推动和认可的合作进程的结果，但其结果不一定代表世界经济论坛的观点，也不代表其全体成员、合作伙伴或其他利益攸关方的观点。

©2023世界经济论坛。保留所有权利。不得以任何形式或手段（包括影印和记录）或任何信息存储和检索系统复制或传播本出版物的任何部分。

前言



Jeremy Jurgens世界经
济论坛常务董事

十多年来，该论坛一直在调查学者、行业领袖和未来学家关于将改变经济和社会的新兴技术的情况。在这样做的时候

《2023年十大新兴技术报告》旨在帮助各行各业的专业人士预测指数级技术，解释其影响，并支持塑造行业和服务社会的应用。

自2011年第一版以来，该年度报告已经确定了一些鲜为人知的技术，这些技术已经产生了全球影响。例如，精确的基因工程工具CRISPR-Cas9 2015年，五年后，它成为获得诺贝尔奖的科学，现在正被用于在世界各地恶劣的生长条件下创造抗虫和抗旱作物。信使核糖核酸（mRNA）疫苗在2017年的报告中赢得了一席之地，成为支撑大多数保护全球生命的新冠肺炎疫苗的技术。在人工智能主导的分子设计登上2018年名单的几年里，Deepmind的AlphaFold已经预测了2亿种蛋白质的结构，第一批人工智能发现的药物已经进入临床试验。

《2023年十大新兴技术》报告现已进入第11个年头，概述了未来三到五年将对社会产生积极影响的技术。该报告将其范围从描述十大技术及其相关风险和机遇扩大到包括对每项技术如何影响人类、地球、繁荣、行业和公平的定性评估。每种技术都是独一无二的，这些“影响指纹”意在激发进一步的分析和辩论

技术——其中一些你可能从未听说过——能够并将在未来几年塑造我们共同的未来。2023年版的新内容还包括论坛战略情报平台的转型地图集，通过展示每项技术如何与全球议程上的其他主题相联系，并展示最新的可信出版物以供进一步阅读，提供了关于每项技术的更深入的见解和背景。

今年的报告汇集了来自世界各区域20个国家的90多位专家的观点。没有他们的开放态度，就不可能提出这份报告，我们真诚地感谢他们所有人。我们也非常感谢十大新兴技术指导小组共同主席Murielle DiChristina的领导

以及Bernard Meyerson，他和许多成员自十大新兴技术报告系列开始以来一直是忠实合作者。此外，我们还要感谢我们今年版的知识合作伙伴Frontiers，感谢他们的期刊编辑在文章、影响指纹和转化图方面的深厚专业知识和科学严谨性。我们还要感谢项目团队：Greta Keenan, Saemoon Yoon, Minji Sung和Sebastian Buckup作为第四次工业革命中心的更广泛的团队。

如果负责地设计、扩展和部署，新技术有能力颠覆工业、增长经济、改善生活和保护地球。我们希望，今年的报告将成为商界领袖和政策制定者的有力工具，以释放新兴技术的变革潜力，并塑造他们的包容性收养。

导言

十大新兴技术报告指导委员会联合主席的致辞。



Mariette DiChristina
学院院长兼教授
波士顿大学传播学院新闻
学实习

克^劳斯·施瓦布在他2016年的著作《第四次工业革命》的导言中建议，人类应该“将戏剧性的技术变革视为反思我们是谁以及我们如何看待世界的邀请”。《2023年十大新兴技术报告》是对这一邀请的持续回应，旨在改善世界状况和居住在其中的人类。这份特别报告中提到的创新背后的驱动力是全球连通性的加速，人工智能的兴起，以及物理、数字和生物世界的融合。

与第四次工业革命一致，引用的几项技术使用数据和计算来增强公共健康。该榜单探讨了人工智能如何改善医疗保健服务，尤其是对那些活着的人

在资源较少的地区；柔性电池如何为可穿戴技术和可弯曲显示器提供动力，从而实现可穿戴医疗设备和生物医学传感器；以及下一代神经电子设备，可以更安全地同时与数百万个细胞互动。随着精神健康问题在大流行后的世界变得更加紧迫，元宇宙的虚拟共享空间正在促进全球外联，为有需要的人服务。



Bernard Meyerson IBM
荣誉退休首席创新官

在这份报告中，您将了解空间组学如何创建新一代分子水平的“细胞图谱”来帮助解开生命之谜。在一种新的治疗方法中，研究人员正在改造被称为噬菌体的病毒，以增强人类、动物和植物的健康。

除了对疾病的理解 and 治疗，人工智能（AI）的快速公开出现显示了极大地增强人类知识的获取和实施的潜力。体现在ChatGPT和Bard中的生成式AI已经展示了在几秒钟内创建原创社交和技术内容的能力。这些能力是根据从网络上获取的大量信息内容训练的模型发展而来的。然而，重要的是要认识到这些“超人”能力所造成的社会问题。

人类福祉最终也需要一个健康的地球。为了满足这一需求，“十大”包括可穿戴植物传感器，通过改善植物健康来增加粮食产量。随着气候变化的影响越来越严重，两项创新带来了进步：由生物或非生物来源制造的可持续航空燃料，以及为实现净零碳数据中心铺平道路的可持续计算。然而，要减轻这种对人类的生存威胁，还需要更多的创新。

方法论

选择2023年十大榜单

供2023年审议的技术

名单是通过向指导小组和更广泛的专家网络以及世界经济论坛创新者社区分发的调查从2022年12月至1月收集的

2023年。调查对象被要求填写以下字段：

- 技术名称
- 技术说明
- 受技术影响的领域
- 描述技术对这些领域的影响，包括对社会的益处和风险
- 为什么这项技术应该出现在2023年的名单上。

指导小组对95项有效技术提名进行了审查、辩论和排序

2023年1月至2月期间的三次会议，最终根据评判标准将名单削减至最后10名：

- 新颖性：该技术正在出现，处于初期发展阶段，尚未广泛使用。
- 适用性：有可能在未来对社会和经济产生重大用途和益处；不仅仅是无关紧要的问题。
- 深度：由多家公司开发，是不断增加的重点专家群体中的投资兴趣和兴奋；可能在未来3-5年内产生重大影响。
- 权力：在改变既定的方式和行业方面具有潜在的强大和破坏性。

指导小组成员自愿撰写报告中的文章

专家在他们的网络中增加投入。所有文章都经过Frontiers的事实核查和编辑。

“冲击指纹”

2023年十大新兴技术报告的内容基于这些贡献来自学术界和工业界的专家。这一版本的方法基于前10个版本，但首次纳入了“影响指纹”调查数据。

为了实现这一目标，为2023年报告中列出的10项技术中的每一项技术都策划了由学者和行业领袖组成的专家组。然后，他们被要求预测各自技术的未来影响，如果这些技术在未来3-5年内被广泛采用，他们将预测的影响从1到10进行评级。该调查旨在通过五个不同的指标评估这些技术的潜在影响：

A. 人

参加者评价了他们对每项技术在提高安全和尊严方面的潜力的期望

作为未来十年的食品安全、清洁水的获取和医疗保健结果的改善。

B. 行星

与会者评估了他们设想的技术在多大程度上有助于保护和恢复我们的星球。这包括恢复生物多样性、尽量减少废物和减少温室气体排放等考虑因素。

C. 繁荣

调查受访者被要求评估每项技术改善全球个人生活质量的潜力。考虑的因素包括创造就业机会、增强连通性和增加休闲时间。

D. 工业

与会者评估了这些技术在未来十年颠覆现有产业和创造新市场的潜力。

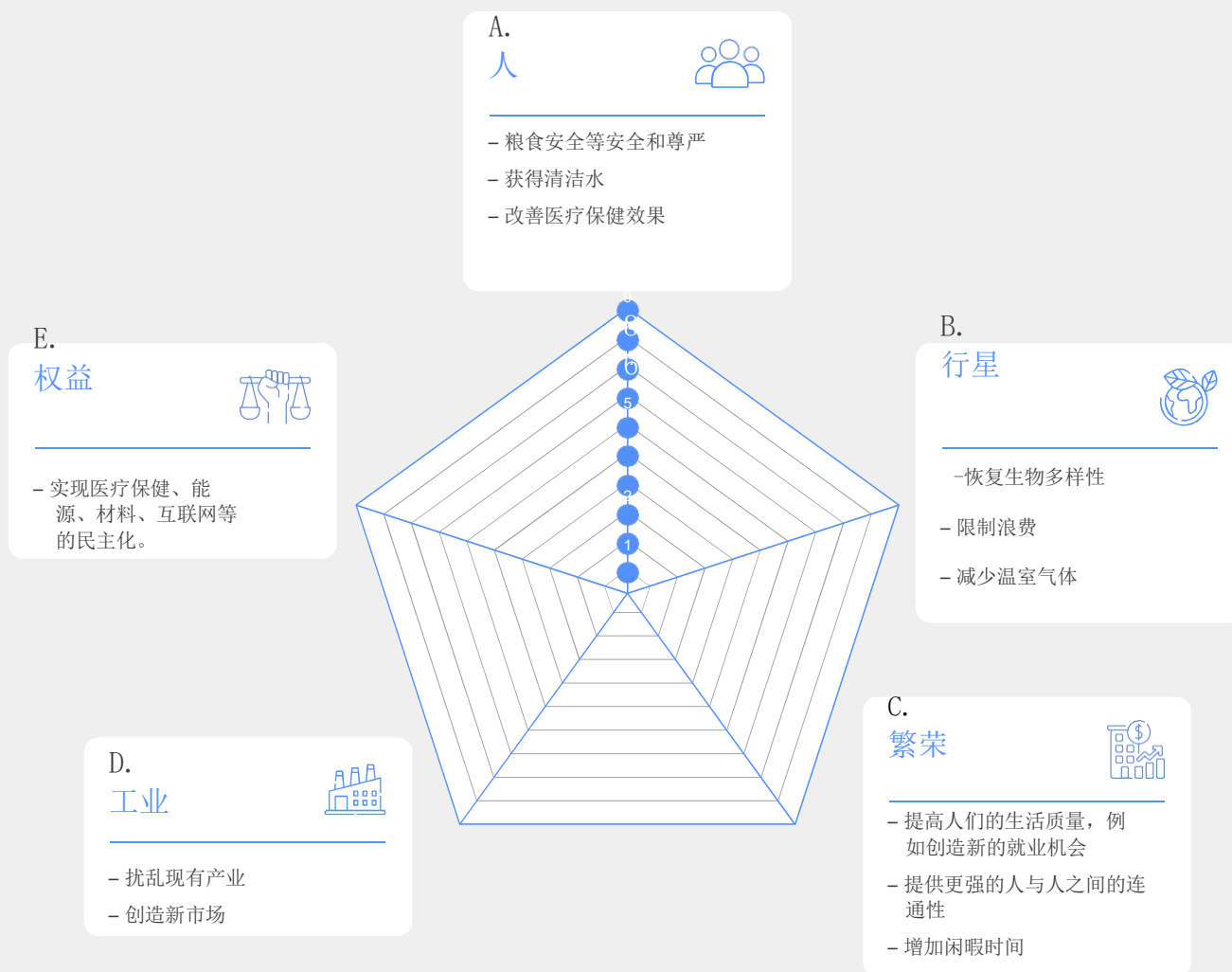
E. 权益

最后，调查要求参与者对这些技术促进全球社会公平的潜力进行评级。这涉及到评估它们使获得以下服务的机会民主化的能力：医疗保健、能源、材料和互联网等基本资源和服务。

学者主要从前沿的科学期刊编辑网络中挑选，而行业领袖则从论坛的创新者社区中挑选。

在应邀参与10项技术调查之一的100多名专家中，来自18个国家的69名受访者贡献了他们的评估。对每种技术的影响指纹的每个维度的得分进行平均，与可选的评论整理额外的上下文分数。

结果已经使用雷达图可视化（见图1），并出现在每个部分。



方法上的限制

这种方法被设计成在一系列限制范围内是严格的。

首先，鉴于清单上的一些技术是真正的新兴技术，论坛和前沿扩展网络中的学者和行业领导者的数量是有限的

考虑让这些主题的专家参与影响指纹调查。

第二，不同技术的答复率不同，来自工业界和学术界的答复者比例不同。

第三，技术内部的定性得分各不相同，部分原因是影响维度的不同解释，部分原因是不同的有利位置。

总的来说，impact指纹数据可视化今年报告中每项技术的文章提供了一个补充的定性维度，并促进了关于以下方面的进一步分析和辩论：新兴技术可能如何塑造未来几年的集体未来。

战略情报转换图

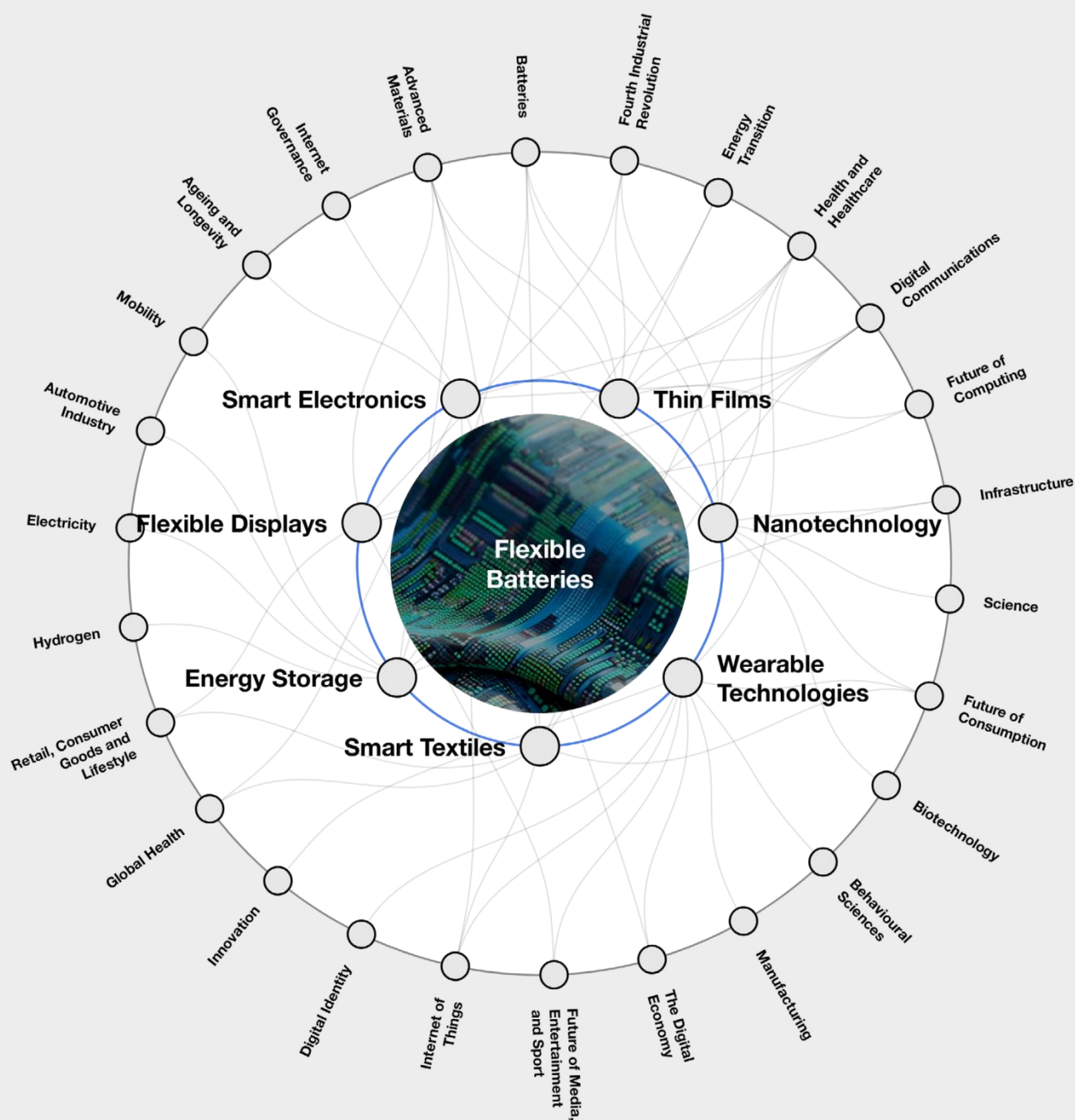
该报告第11版的另一个目标是促进读者更深入地参与短文之外的每一项技术。为了实现这一目标，Frontiers共同策划了每项技术的转型地图，这些地图位于论坛的战略情报平台上

读者可以更多地了解每项技术的关键问题，以及它如何与全球议程上的其他主题相联系，并从可靠的来源找到关于该主题的最新文章。

这些描述主要基于本报告中的文章。关键问题是根据指导小组作者的指导和Frontiers编辑的意见确定的。关键问题描述由Frontiers的编辑研究和撰写。

图2

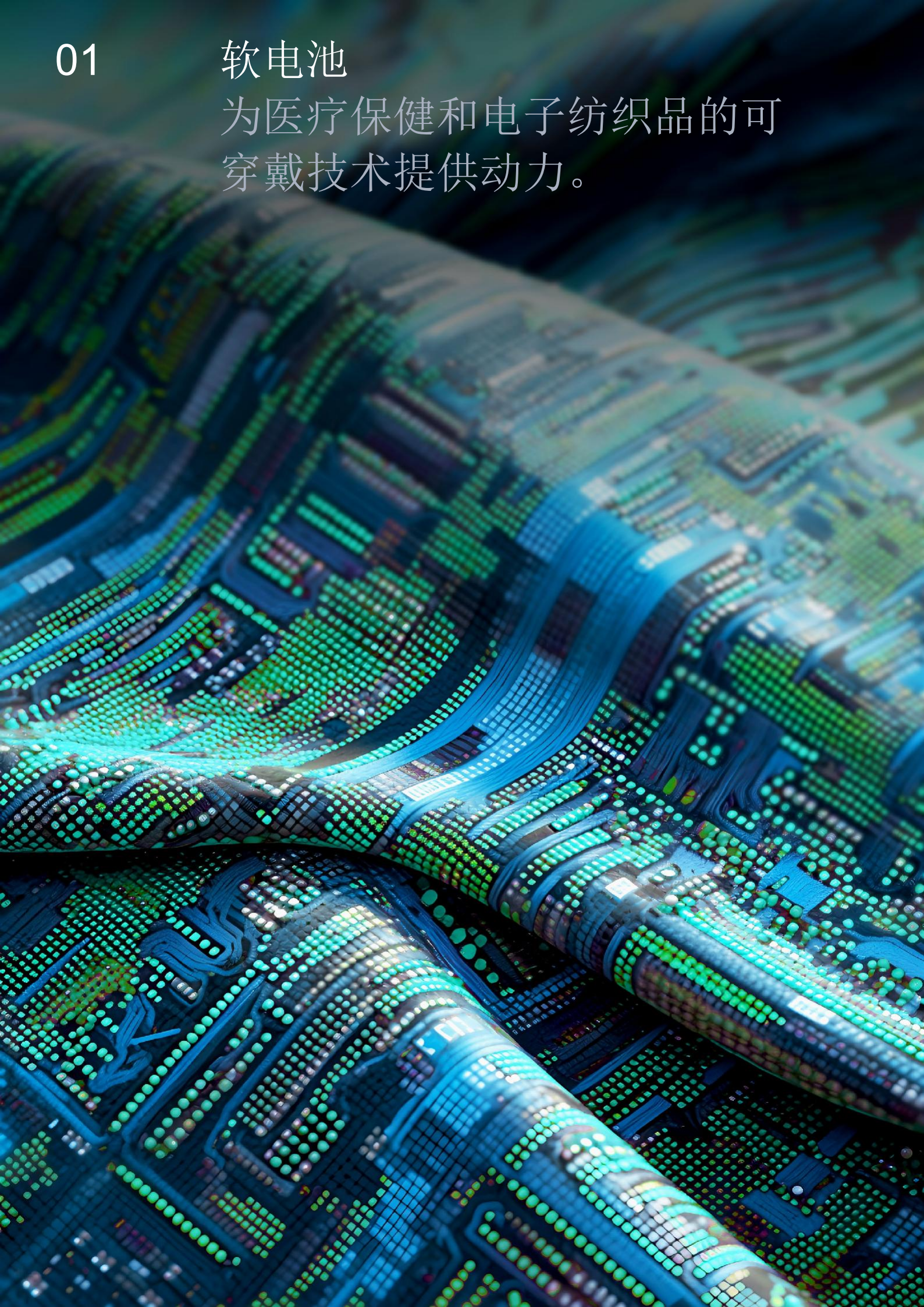
战略情报转换图示例



01

软电池

为医疗保健和电子纺织品的可穿戴技术提供动力。



哈维尔·加西亚·马丁内斯

阿利坎特大学化学教授兼分子纳米技术实验室主任

约瑟夫·科斯坦丁

贝鲁特美国大学电气和计算机工程副教授

从可卷起的电脑屏幕到“智能”服装，电子产品的未来看起来越来越灵活。可穿戴设备、柔性电子设备和可弯曲显示器的快速发展需要与这些系统的灵活性相匹配的电源。随着薄而柔韧的电池——由易于扭曲、弯曲或拉伸的轻质材料制成——进入市场，标准的刚性电池可能很快就会成为过去。

目前有几种类型的柔性电池可供选择。这些电池是可充电的，包括放置在导电聚合物集电器上的锂离子或锌碳系统。在某些情况下，添加剂可以增强导电性和柔韧性。1柔性电池的电极可以涂覆甚至印刷在柔性基板上，包括石墨烯、碳纤维或布等碳基材料。

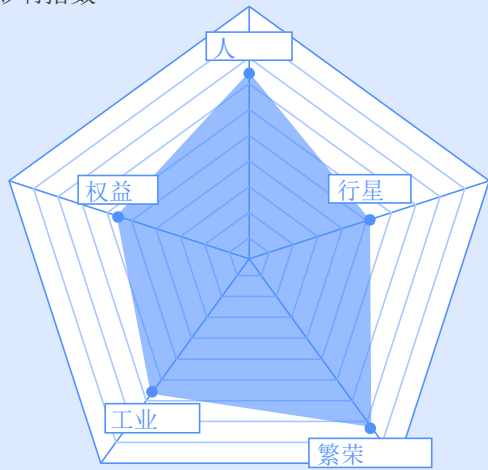
柔性电池在越来越多的领域都有应用，包括可穿戴医疗设备和生物医学传感器、柔性显示器和智能手表。由这些电池供电的健康相关应用可以向医疗保健提供商无线传输数据，从而促进远程患者监控。此外，可集成到夹克、衬衫的织物中的柔性电池或者需要其他服装来为新兴的基于纺织品的电子设备供电，这些电子设备的功能从内置加热系统到健康监测。

柔性电池市场预计将在未来几年快速扩张。一项研究预测，全球柔性电池市场将增长2022-2027年为2.4047亿美元，在此期间以22.79%的复合年增长率加速增长。2预计增长的主要驱动力是对可穿戴设备不断增长的需求以及电子产品小型化和灵活性的增长趋势。

多家公司正在积极开发柔性电池技术并将其商业化，包括LG化学、三星SDI、苹果、诺基亚、Front Edge Technology、意法半导体、Blue Spark Technologies和Fullriver Battery New Technology。这一领域的创新，随着技术的发展，新的参与者可能会进入市场。

柔性电池能够弯曲、扭曲和拉伸，非常适合用于可穿戴设备。随着可穿戴技术的市场需求持续增长，柔性电池的未来充满希望，并有可能取得进一步的进展。与所有电池一样，需要克服的一个障碍是它们的安全处置和回收，这应该随着技术和相关应用的循环而到来。柔性电池技术及其伴随产业的革命性进步预计将在未来许多年继续下去。

影响指数



22.79%

2022-2027年复合年增长率

2.4亿美元

2022-2027年全球柔性电池市场增长预测

↑ 图像：
新一代柔性电池可以将技术无缝集成到织物中还有衣服。
鸣谢：中途和巫女工作室。
提示（缩写）：
“交织数字元素的技术织物”。
阅读更多内容：
在战略智能平台[上](#)发现与柔性电池相关的专家分析。



奥尔加·芬克

EPFL智能维护与操作系统教授

朱利安·韦森贝格

创始人，Deep Tech Experts

生成式人工智能（AI）是一种强大的人工智能类型，它可以通过学习数据中的模式来创建新的原创内容，使用复杂的算法和受人脑启发的学习方法。虽然生成式人工智能目前仍专注于产生文本、计算机编程、图像和声音，⁴但这项技术可以应用于一系列目的，包括药物设计、建筑和工程。

例如，在撰写本文时，已经发表了关于产生针对特定条件的候选药物分子的初步工作⁵和创造[想象建筑的图片或产生室内](#)设计。美国宇航局的工程师目前正在开发可以构建轻型航天仪器的人工智能系统，实现开发时间减少10倍，同时提高结构性能。⁶生成式人工智能技术甚至可能影响食品行业和日常物品的设计，从家具到电器。在科学研究，生成模型可以通过改进实验设计，识别数据元素之间的关系来促进突破创造新的理论。例如，最近开发的人工智能[算法可以将数学公式翻译成简单的英语](#)，或者分析大脑活动数据，以生成人类参与者脑海中的物体的图画。⁷，⁸

高中生和大学生越来越频繁地使用生成式人工智能，一些机构禁止使用它们，而另一些机构正在将生成式模型集成到教学实践中⁹或甚至训练学生掌握这些工具。如果使用得当，生成式人工智能可以创建个性化的课程，适应学生的技能和学习进度，同时鼓励批判性思维，激发创造力和利用新颖的想法。

在工作场所，使用基于人工智能的语言模型，如最近流行的ChatGPT或其继任者，可以提高生产率和输出质量，将人类任务重组为想法生成和编辑，而不是粗略的绘图。¹⁰生成性人工智能技术特别有利于低能力的工人，并可以提高工作满意度和自我效能。鉴于采用这些新技术可能会提高生产率，承认失业的可能性至关重要。因此，政策支持工人努力提高技能和再技能的计划对于确保技术创新的好处被广泛分享以及工人具备在不断变化的就业市场中茁壮成长所需的技能至关重要。

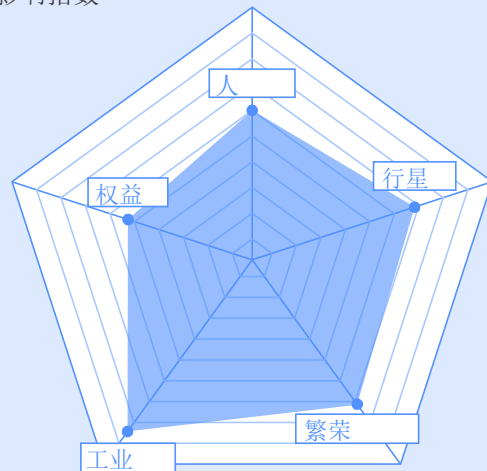
最新的发展涉及自主人工智能系统，可以做出重要的决定或采取重大行动。例如，AutoGPT是一个使用GPT-4语言模型的自主人工智能应用程序。AutoGPT可以自动完成

用户确定的目标，将目标分成更小的任务，并使用互联网搜索或文本到语音转换技术等工具。生成性人工智能技术，特别是自主人工智能，越来越多地融入人们日常生活的多个方面，这引起了公众的兴奋和关注。

为了建立公众对生成性人工智能的信任，应用程序应该符合公认的专业和道德标准。生成性人工智能系统代表了他们接受训练的数据和当时管理社会的惯例。应该注意减轻基于训练数据的人工智能偏见，重点是包括“异常”数据和新的社会习俗。此外，应用程序的决策过程应该易于理解，应用程序的目标应该清楚地向运营商和最终用户披露，个人隐私应该得到尊重。道德准则和治理结构必须开发以减轻潜在危害，并确保技术进步与负责任的使用相平衡。最后，必须解决版权归属问题，以便给予人工智能设计者、训练数据的创造者和作者适当的荣誉使用应用程序的说明。

有了正确的控制，生成性人工智能可以为创造力提供更多的时间，展示知识的边界，并作为挑战传统思维的陪练。

影响指数



↑ 图像:

生成型人工智能可以综合它从庞大数据集中学到的东西

以新颖的方式创造和直觉地获取新信息。

鸣谢：中途和巫女工作室。

提示（缩写）：“覆盖各种风格的绘画、摄影和3D渲染的毛刺图像”。

阅读更多内容:

在战略智能平台[上发现与生成式人工智能相关的专家分析。](#)

可持续航空燃料推动航空业实现净零碳排放。



Mariette DiChristina

波士顿大学传播学院院长兼新闻学实践教授

李相玉

韩国高级科学技术研究所负责研究的高级副所长

劳伦·乌平克·考尔德伍德

世界经济论坛自然与气候中心气候战略主任

航空业每年占全球二氧化碳排放量的2-3%，预计2022-2050年间“一切照旧”排放量为390亿吨。^{11, 12}虽然电动汽车在地面运输中的使用正在迅速增加，但航空业一直在努力实现脱碳，因为长途运输需要高能量密度燃料航班。此外，更换飞机的高昂价格意味着目前的机队将继续运营几十年，电动或氢燃料飞机无论如何都不适合长途飞行。

进入一个不需要对现有航空基础设施和设备进行大规模改变的解决方案：可持续航空燃料，由生物（如生物质）和非生物（如二氧化碳）资源产生。结合其他脱碳战略，包括全系统运营效率、新技术和碳抵消，SAF应能推动航空业在未来几十年实现净零碳排放。

今天，SAF占全球喷气燃料需求的不到1%，但这一比例必须在2040年前增加到13-15%，才能使航空业在2050年前走上净零的道路。¹³这样的增长将需要建立300-400个新的SAF工厂；航空公司、制造商和燃料公司正在夜以继日地工作，以实现这种规模。

幸运的是，使用可再生能源从生物原料生产SAF的数量正在稳步增加。根据国际航空运输协会的数据，2022年SAF产量至少达到3亿升（乐观地说是4.5亿升），几乎是2021年产量的三倍。¹⁴越来越多的航空公司承诺使用SAF，这一趋势将通过全球努力加速，如世界经济论坛的[明日清洁天空倡议](#)¹⁵和先行者联盟。

美国测试与材料协会（ASTM）已经批准了九种SAF与传统石油基喷气燃料的混合比例高达50%。¹⁶ ASTM在2009年批准的第一种SAF是通过转换合成气（一氧化碳和氢气的混合物）生产的通过一系列化学物质转化成碳氢化合物

反应。合成气可以从生物质或废物中制备，或者更好的是，使用可再生能源从捕获的二氧化碳和绿色氢气中制备。

第二种SAF于2011年获得批准，由植物油和动物脂肪制成。原材料的可用性和收集，以及对可持续生产的绿色氢的需求，仍然是这一选择的主要挑战。能够分解大量不可食用生物量的代谢工程微生物有可能减少对植物油和动物脂肪的依赖。¹⁷

在过去的几年里，又有七个SAF获得批准，还有其他令人兴奋的候选项目仍在积极开发中。一个例子是使用工程细菌来改善SAF的能源状况。¹⁸ 2023年，英国的一个参与者财团准备交付首次仅使用可持续航空燃料的净零跨大西洋飞行，展示这一快速发展的技术的潜力，并使世界更接近净零航空。

↑ 图像：

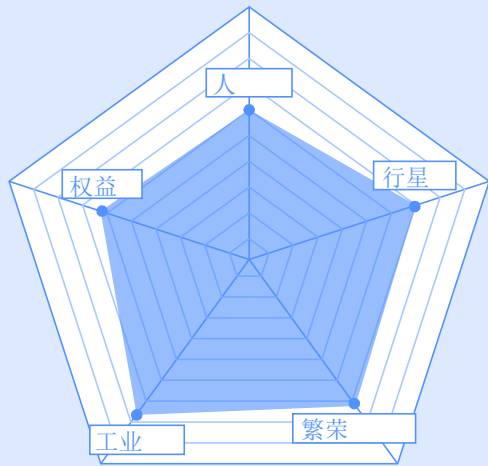
可持续航空燃料，由生物质制造并与其他脱碳策略，规划一条可靠的净零航空路线。

鸣谢：中途和巫女工作室。

提示（缩写）：“树叶形状的燃料水滴飞溅”。

阅读更多内容：

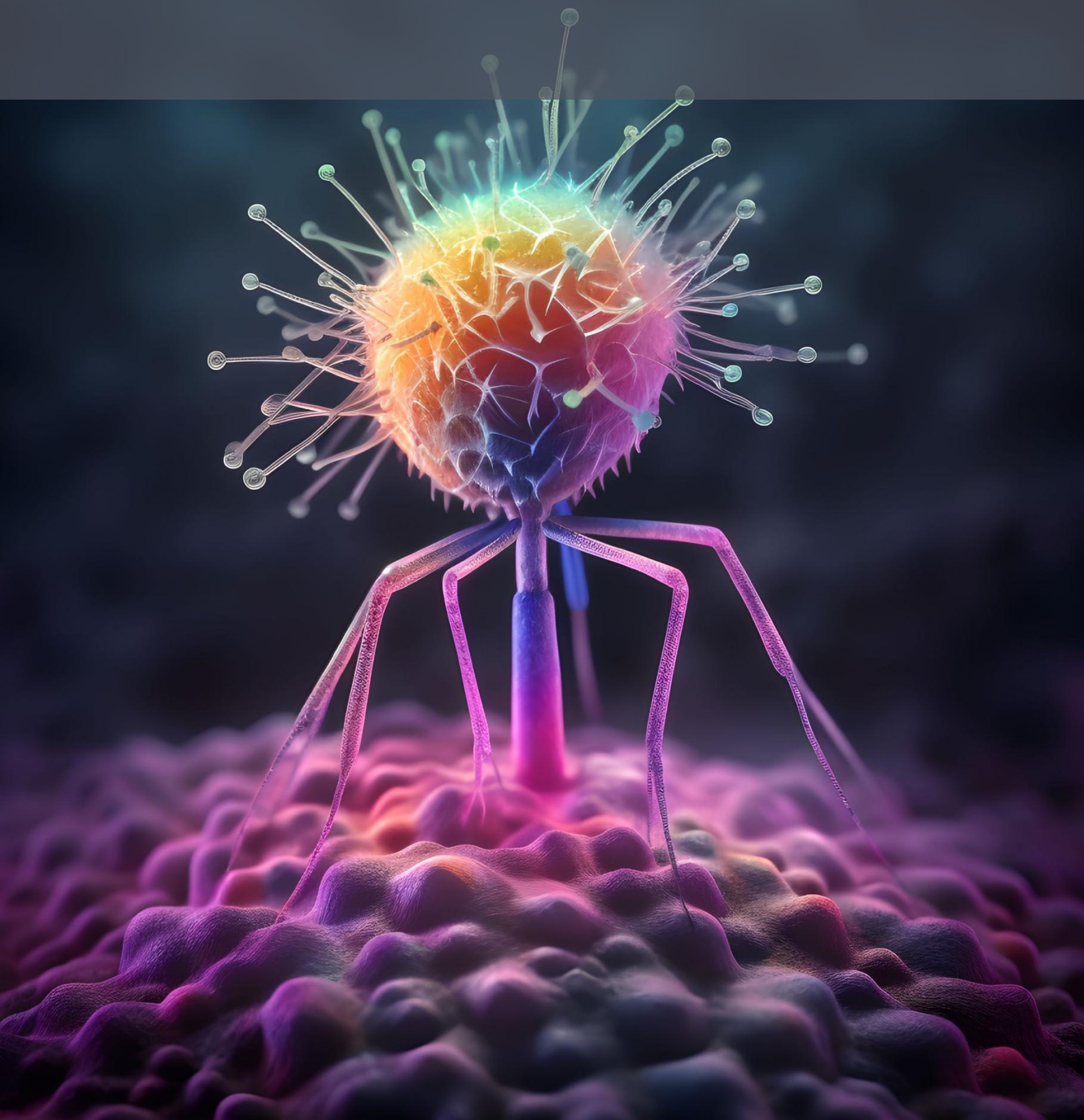
在战略情报平台上[发现与可持续航空燃料相关的专家分析](#)。



2-3%

全球每年的二氧化碳排放量中有10%来自航空业

改造病毒以增强人类、动物和植物的健康。



威尔弗里德·韦伯

莱布尼茨新材料研究所科学主任

生活在人体内的微生物数量与人体细胞数量相当，甚至可能超过人体细胞数量。19 一个生物体所含的微生物被称为其微生物组，人类、动物和植物的微生物组在这些生物体的健康中起着重要作用。20，21

最近的进展使得微生物组的工程造福于人类福祉和农业生产力。这项工程的关键是噬菌体——选择性感染特定类型细菌的病毒。感染后，噬菌体将其遗传信息注入细菌。使用合成生物学工具，噬菌体的遗传信息可以被重新编程，以便受感染的细菌执行一套生物工程的遗传指令。通过生物工程噬菌体，科学家可以改变细菌的功能，例如，使其产生治疗分子或对某种药物敏感。由于噬菌体通常只感染一种类型的细菌，因此可以靶向复杂微生物组中的单个细菌物种。

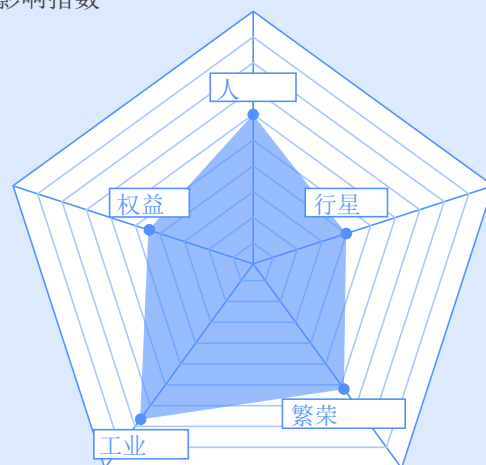
设计的噬菌体显示出治疗微生物群相关疾病的潜力，如溶血性尿毒症综合征（HUS）——一种罕见但严重的影响肾脏的疾病和凝血功能，由某种大肠杆菌引起。科学家改造了一种感染大肠杆菌的噬菌体的遗传物质编码基因“剪刀”，可以切碎导致HUS的大肠杆菌基因。动物研究表明，施用这些设计的噬菌体显著减少了引起HUS的毒株的存在大肠杆菌和缓解HUS症状。22这种方法最近被美国食品药品监督管理局授予孤儿药称号，为临床试验做好准备。23噬菌体还被设计为饲料补充剂，以促进牲畜的生长，治疗某些植物疾病，并消除食品供应链中的危险细菌，与世界卫生组织的“同一健康”方法保持一致。

↑ 图片：工程病毒可以允许超-可以选择性影响特定细菌的靶向治疗。鸣谢：中途和巫女工作室。提示（缩写）：“病毒攻击细胞的显微图像”。
[阅读更多内容：](#)
在战略情报平台上[发现与](#)设计噬菌体相关的专家分析。

设计噬菌体疗法的有希望的早期结果正在吸引大量的风险资本，这将有助于促进工程噬菌体的临床测试。

设计噬菌体的潜在应用是多种多样的。Locus Biosciences正在使用工程噬菌体来对抗抗生素抗性细菌，而Eligo Biosciences正在寻求类似的方法来降低某些细菌的致病性。在44项具有治疗目的的噬菌体相关临床试验中，自2020年初以来已发布了29项。24涉及天然噬菌体和设计噬菌体的基于噬菌体的疗法将继续成为工程微生物组的强大方法，增强人类、动物和植物的健康。

影响指数



噬菌体显示出治疗微生物组相关疾病的潜力，动植物健康。



科琳娜·莱桑

AnthroTronix联合创始人兼前首席执行官

杰佛瑞·林

约翰霍普金斯医院神经病学教授

美国卫生局局长最近就他所谓的“我们这个时

代美国最紧迫的公共卫生问题之一”宣战。过多的屏幕时间和社交媒体会降低心理健康，25但当负责任地使用时，它们也可以提高健康水平。26在共享虚拟空间中建立联系的屏幕时间可能有助于应对日益严重的心理健康危机，而不是加剧危机。

虚拟共享空间是人们可以进行专业和社交互动的数字环境。这些空间的未来通常被称为元宇宙，可能包括通过增强或虚拟现实（AR/VR）增强的虚拟共享空间。正如目前存在多个共享的虚拟平台一样，可能会有多个元诗句，在目的和沉浸程度上有所不同。

在新冠肺炎疫情之前存在的心理健康危机已经增加到前所未有的水平，27使得元宇宙支持的精神健康治疗的条件已经成熟。心理健康服务提供者的数量不足以应对不断升级的危机，28在美国，正在为远程心理健康服务提供联邦补偿机会，以解决这一短缺问题。29理想情况下，以心理健康为中心、以技术为基础的基础设施将支持心理健康的所有方面：预防、诊断、治疗、教育和研究。

游戏平台已经被用于精神健康治疗。这种平台不仅增加了患者的参与，也有助于消除心理健康问题的污名。例如，DeepWell Therapeutics创造了治疗抑郁症和焦虑症的视频游戏；英国Xbox工作室忍者理论已经将心理健康意识融入大众市场游戏，并计划通过他们的Insight项目扩展到治疗领域；

特里普还创造了正念元宇宙，它通过虚拟现实引导的正念和冥想来提高幸福感。30

成熟的界面技术可以进一步增强远程参与者之间的社会和情感联系。例如，Emerge Wave 1是一种桌面设备，使用超声波来模拟触摸，增强用户的社交体验。非侵入性神经技术甚至可以根据用户的情绪状态提供反馈。例如，Neurable耳机使用电极来测量情绪，并可以相应地调整音乐。最终，元宇宙还将连接到治疗性神经技术，如直接脑刺激治疗顽固性抑郁症。31

利用元宇宙满足精神卫生保健需求可能是双赢的。不仅患者会受益，而且将元宇宙建立在实际的、必要的应用基础上可以推动这种先进的虚拟空间的出现。

↑ 图像：

元宇宙可用于提供共享虚拟空间，供人们联系和访问治疗。

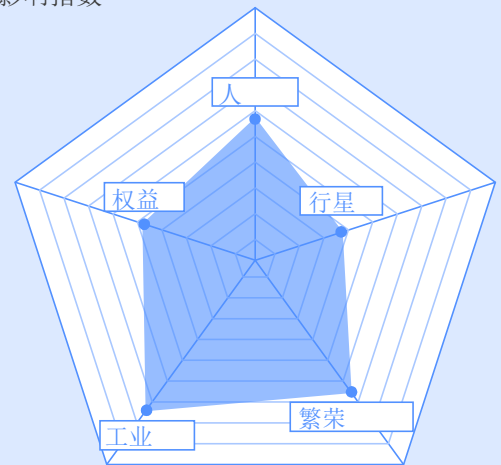
鸣谢：中途和巫女工作室。

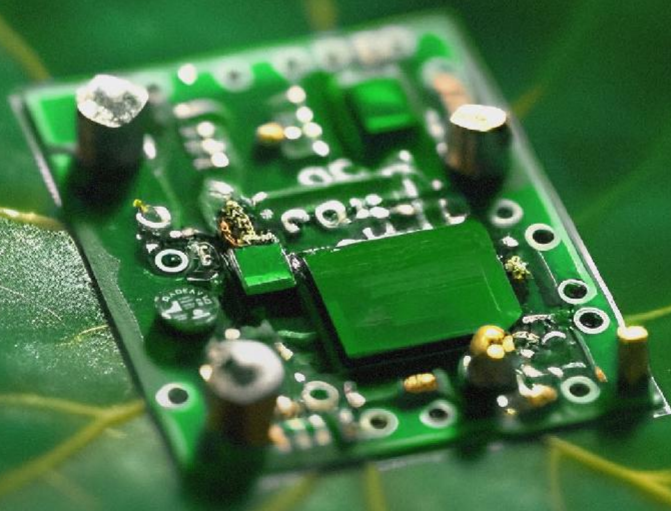
提示（缩写）：“人们在玻璃立方体中在湖上划船”。

阅读更多内容：

在战略情报平台上发现与心理健康元宇宙相关的专家分析。

影响指数





罗娜·钱德拉瓦蒂

新南威尔士大学副教授

卡洛·拉蒂

麻省理工学院可感知城市实验室主任

联合国粮食及农业组织指出，到2050年，世界粮食产量需要增加70%才能养活世界人口。32农业技术创新将是应对这一急剧增长和改善世界粮食安全的关键一步。

传统上，作物是通过土壤测试和目视检查来监测的，这两种方法既昂贵又耗时。最近的技术进步提高了作物监测的便利性，使农民能够在更大范围内监测作物状况。几年来，农田的健康状况一直使用低分辨率卫星数据进行监测。33现在，配备传感器的无人机和拖拉机正在提供有关作物状况的更高分辨率信息。34，35所有形式监测的结果信息都可以使用人工智能进行处理。作物监测的下一个前沿是更高的分辨率：对单个植物的监测。

可穿戴植物传感器有望改善植物健康，提高农业生产率。这些传感器是小型、非侵入性设备，可以连接到作物上，用于连续监测温度、湿度、水分和养分水平。来自植物传感器的数据可以优化产量，减少水、化肥和农药的使用，并检测疾病的早期迹象。

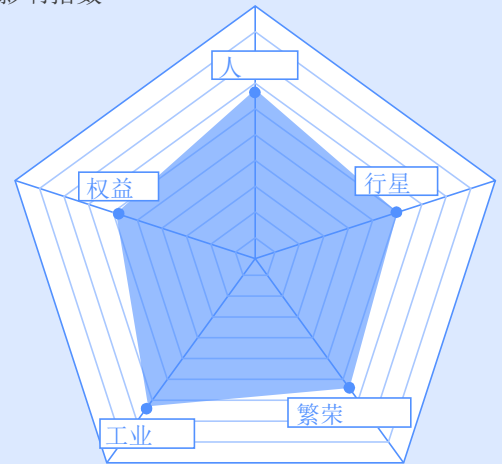
Growvera和Phytech两家公司已经独立开发了微型针传感器，可以插入植物的叶子或茎中测量电阻的变化。数据被无线传输到计算机或移动设备，在那里它们被分析以产生关于植物健康的见解。因此，农民可以监测并根据植物的具体需求进行精确干预，例如根据水分水平或养分数据调整灌溉或施肥。

还有许多工作要做。可穿戴传感器的安装和维护可能很昂贵，并且解释

可能需要专业知识。需要改进的数据分析工具来帮助农民根据传感器数据做出明智的作物管理决策。可穿戴传感器对植物生长发育的长期影响也值得研究。

尽管面临这些挑战，可穿戴植物传感器仍有望彻底改变作物生产和管理。通过提供关于植物健康和环境条件的实时数据，这些设备可以帮助农民优化农业生产率，减少浪费，最大限度地减少农业对环境的影响，同时帮助养活世界上不断增长的人口。

影响指数



70%

到2050年，需要增加世界粮食产量来养活全球人口。

↑ 图像：

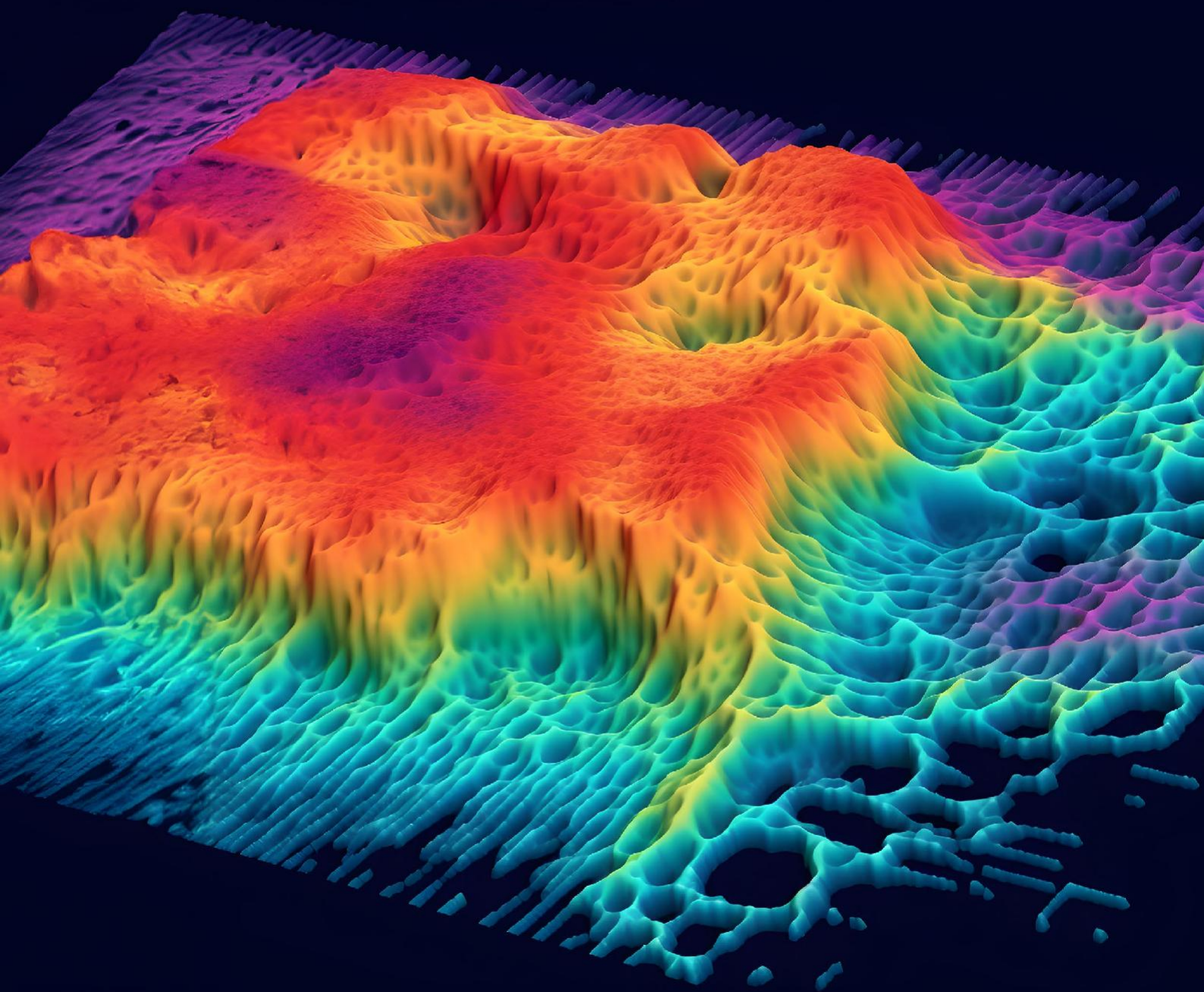
对个别植物进行监测将有助于收集关于以下方面的高分辨率数据农民的庄稼。

鸣谢：中途和巫女工作室。

提示（缩写）：“附在叶子上的微芯片”。

阅读更多内容：在战略情报平台上发现与可穿戴植物传感器相关的专家分析。

揭开生命奥秘的生物过程
的分子水平绘图。



伊丽莎白·欧戴

Olaris首席执行官兼创始人

吴若豪

香港科技大学副教授

徐勋

华大基因研究总监

人体大约由37.2万亿个细胞。他们是如何共同努力让我们活着并保持健康的？空间组学可以给研究人员提供一个答案。通过将先进的成像技术与DNA测序的特异性和分辨率相结合，这种新兴的方法能够在分子水平上绘制生物过程的内容、地点和时间。从感兴趣的器官（如老鼠的大脑）开始，科学家将组织切成只有一个细胞厚的切片。然后使用创新技术以可视化每个切片中特定生物分子的位置。36，37，38空间组学允许以前不可观察的细胞结构和生物学事件将以前所未有的细节被观察。

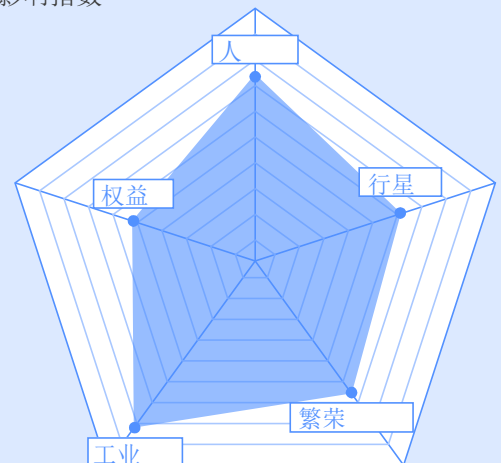
借助空间组学，新一代分子水平的“细胞图谱”正在开发中，详细描述了发生在人类和其他物种身上的无数生物过程。39，40例如，利用空间组学，科学家们构建了一个果蝇幼虫的三维细胞图谱，并解开了小鼠胚胎器官发育的黑匣子。41，42，43另一项研究显示，受伤的两栖动物蝾螈大脑使用反映大脑发育期间激活的机制进行自我愈合。44空间组学也显示了治疗发现的前景。利用这种技术，科学家们在脊髓损伤后负责恢复的脊髓。刺激瘫痪小鼠的这些神经元可以加速它们恢复行走。45其他与健康相关的应用包括表征一种肿瘤，用于定制治疗和揭示阿尔茨海默病和类风湿性关节炎等复杂疾病的机制。46传染病也可以使用空间组学进行研究。例如，对死于新冠肺炎的人的样本进行的空间组学研究显示，新型冠状病毒导致所有组织的细胞通路广泛中断。47

实现空间组学技术民主化和规模化的需求迫在眉睫。2021年的总市值为2.326亿美元，2030年的估计收入为5.872亿美元，越来越多的上市公司和私营公司正在寻求提供空间组学解决方案。48而学术和转化研究中心

到2020年，该市场增长了89%，49该市场正在急剧扩张，包括制药和生物技术行业。

为了实现空间组学的全部前景，必须解决围绕数据采集、处理、存储和标准化报告的技术挑战。此外，应扩展应用以绘制其他生物分子（例如代谢物）和包括植物在内的其他生物体和无脊椎动物，以进一步阐明潜在的生物学。自《自然方法》选择空间组学作为2021年的年度方法以来的短暂时间里，50它已经从一种利基技术发展成为一种即将标准化和广泛应用的技术，彻底改变了对生命的理解。

影响指数



2.32亿美元

2021年空间组学技术总市值

5.87亿美元

2030年预计收入

↑ 图像：

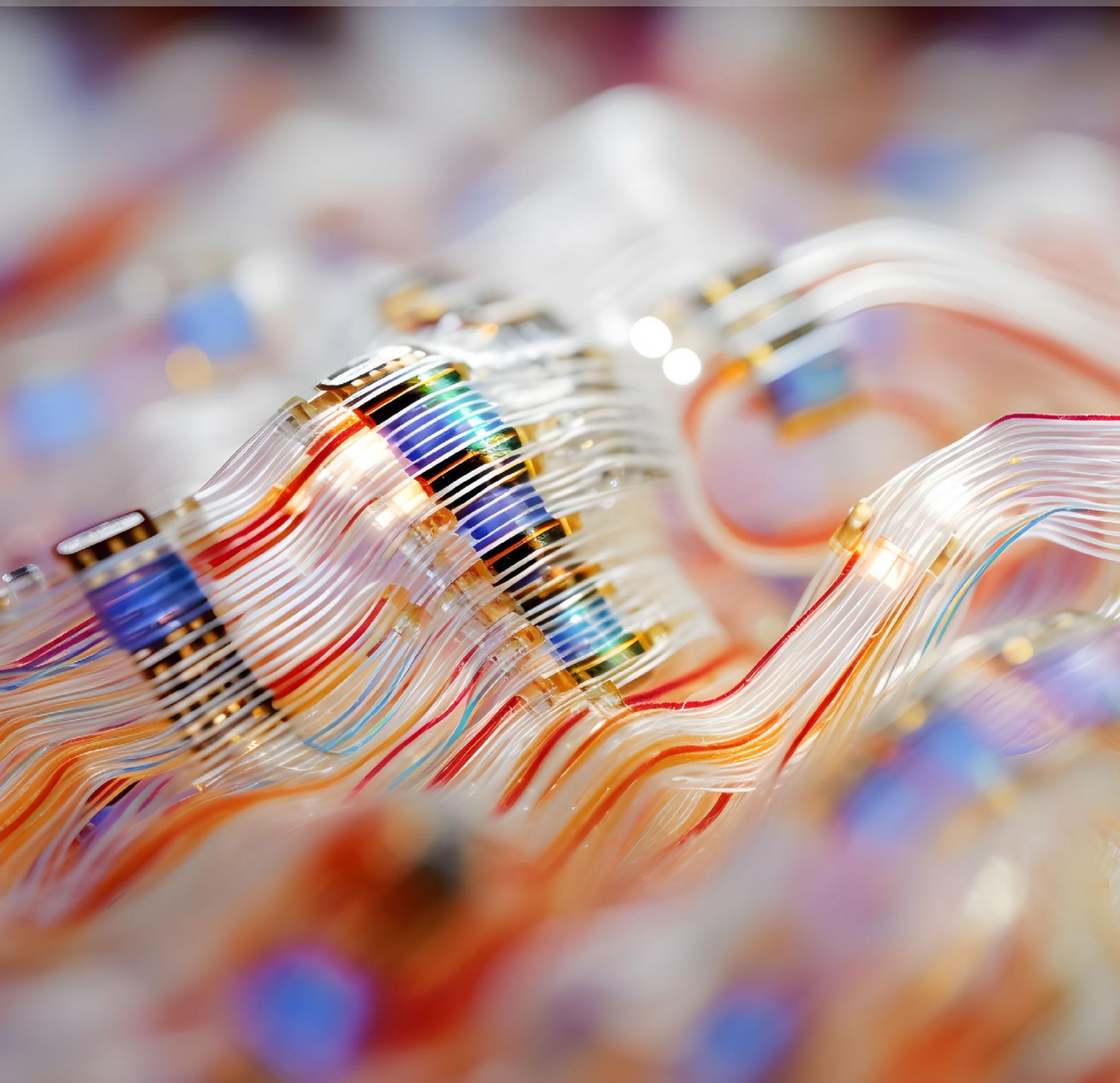
新的成像技术可以以前所未有地接触到以前无法观察到的东西。

鸣谢：中途和巫女工作室。

提示（缩写）：“通过热图样式的显微成像在分子水平上拍摄的有机细胞结构”。

[阅读更多内容：](#)

在战略情报平台上[发现](#)与空间组学相关的专家分析。



朱温蒂

康乃尔理工大学副教授

杰佛瑞·林

约翰霍普金斯医院神经病学教授

露丝·摩根

伦敦大学学院工程科学学院副院长（跨学科创业）

吴若豪

香港科技大学副教授

近年来，脑机接口（BMI）已经获得了可见性，点燃了关于有朝一日用思想控制机器的力量和潜力的集体想象。

BMI允许大脑产生的电信号被传感器硬件捕获。然后，算法将这些电信号解码成计算机可以理解和执行的指令。

类似BMI的系统已经被用于治疗癫痫患者，在神经修复术中——假肢使用电极与神经系统连接。51，52

尽管取得了初步成功，但这些技术仍面临挑战。当前使用的植入物

医生是由坚硬的材料制成的，就像笔记本电脑或手机内部的芯片一样，它们可能会引发长期疤痕，并导致严重的不适。

它们不能弯曲或适应大脑运动，因此，随着时间的推移，它们在位置上“漂移”，降低了捕获信号的准确性。非侵入性方法，如放置在颅骨外部的电极，不需要外科植入，但

只提供低沉的、难以解码的信号——比如戴着厚厚的面罩听一个人说话。

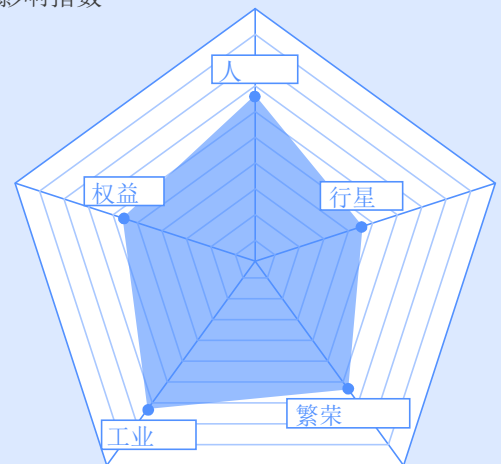
研究人员最近在柔软灵活的生物相容性材料上开发了大脑接口电路。柔性电路可以顺应大脑，减少疤痕和传感器漂移，它们可以装有足够多的传感器，可以同时刺激数百万个脑细胞，大大超过硬探头的规模和时间范围。53

当用于神经科学研究时，灵活的BMI可以加深对痴呆症和自闭症等神经疾病的理解。在临床上，灵活的BMIs可以提供更好的神经修复控制，而不需要频繁的

重新校准。54柔性BMIs55，56的应用已经在美国食品和药物管理局进行管理局（FDA）批准的临床试验，迅速使这项技术成为现实。在未来，其他植入式设备，如心脏起搏器，可以采用类似类型的材料。

展望未来，材料制造和软电路印刷的进步可能会进一步改善灵活的身体质量指数技术，最终导致真正的人-人工智能接口。与许多新兴技术一样，在广泛实施这些接口之前，必须考虑广泛的伦理问题。潜在的健康结果必须与公众的接受和信任相平衡。此外，鉴于大脑数据的敏感性，隐私和道德使用指南必须确定如何在短期、中期和长期使用这些数据。

影响指数



↑ 图片：柔性电子技术的突破可能为神经治疗铺平道路。

鸣谢：中途和巫女工作室。

提示（缩写）：“亮白色，柔性电子设备”。

阅读更多内容：在战略情报平台[上发现](#)与柔性神经电子学相关的专家分析。



奥尔加·芬克

EPFL智能维护与操作系统教授

安德鲁·梅纳德

亚利桑那州立大学高级技术转型教授

虽然地球无可争议地面临着日益恶化的环境危机，但对数据的日益依赖似乎并没有起到太大的作用。然而，数据中心，方便谷歌搜索，电子邮件，元宇宙，人工智能和无数其他方面的一个日益以数据为基础的社会，消耗了全球约1%的电力，57并且随着对数据服务需求的增长，这一数字只会增加。虽然没有单一的“绿色数据”灵丹妙药，但预计随着新兴技术以创新的方式组合和集成，未来十年将朝着净零能耗数据中心迈出实质性步伐，这将迅速实现净零能耗数据中心是可以实现的现实。

首先，为了解决热管理问题，正在开发使用水或电介质冷却剂散热的液体冷却系统，多余的热量被重新用于包括空间加热、水加热和工业过程在内的应用。例如，斯德哥尔摩市正在实施利用数据中心的废热为家庭供暖的项目。58

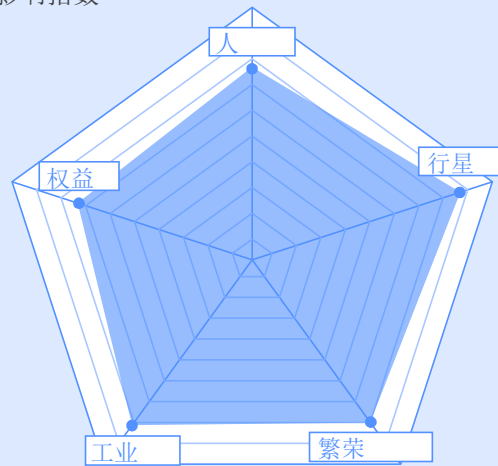
其次，人工智能正被用于实时分析和优化能源使用，在不影响性能的情况下最大限度地提高效率。DeepMind成功地展示了人工智能驱动的能源管理，实现谷歌数据中心高达40%的能源消耗削减。59

第三，支持净零能耗数据中心的技术基础设施正变得更加模块化和基于需求。例如，云计算和边缘计算系统允许数据处理和存储分布在多个设备、系统甚至位置。60，61例如，Crusoe Energy将其模块化数据中心安装在甲烷燃烧发生的地点，以使云计算基础设施能够由甲烷气体提供动力，否则甲烷气体会直接释放到大气中。这些和其他预制单元可以很容易地部署、扩展或重新定位，使数据中心运营商能够优化能源使用，并适应其公司不断变化的需求。软件和硬件方面的其他创新包括新颖的计算体系结构，如片上系统62和优化

如能量比例计算，在这种计算中，计算机使用的能量与所执行的工作量成比例。63

实现净零能耗数据中心将涉及将上述方法与新的发电、存储和管理技术相结合的创新方法。鉴于这一领域的创新和投资浪潮，有理由对未来几年保持乐观。

影响指数



数据中心为谷歌搜索、电子邮件、元宇宙、人工智能和日益以数据为基础的社会无数其他方面提供了便利，估计消耗了1%的全球生产电力，实现梦想净零能耗数据中心是可以实现的现实。

↑ 图像：

热管理和能源优化方面的创新可以帮助数据中心转换到更环保的未来。

鸣谢：中途和巫女工作室。

提示（缩写）：“内部和周围有自然的未来数据中心”。

阅读更多内容：

在战略情报平台上[发现与可持续计算相关的专家分析](#)。

人工智能医疗

提高医疗保健系统效率的新技术。



丹尼尔·乌尔塔多

智利天主教大学副教授

安德鲁·梅纳德

亚利桑那州立大学高级技术转型教授

伯纳德·迈耶森

IBM名誉首席创新官

在新冠肺炎早期，世界各地医疗保健系统的缺陷变得非常明显，令人震惊。疫情当时许多医院的可持续工作量迅速超过。作为回应，政府和学术团队已经成立，将人工智能和机器学习（ML）集成到医疗保健中——两者都是为了预测即将到来的。64、65这些紧急努力旨在提高国家和全球卫生保健系统在面临重大卫生危机时的效力，以及将高质量的数据整合到人工智能和人工智能模型中，将迅速扩大规模。66

基于人工智能的技术还可以帮助解决一个相关的挑战——许多患者在试图通过医疗保健系统获得医疗护理时经历的长时间延迟。67令人惊讶的是，延迟往往不是由于缺乏能力造成的，但由于获得现有设施的机会不均衡——以及由此导致的利用不足。当应用于现有医疗设施的精选数据集、人工智能、人工智能和数据分析时，这些技术极大地改善了患者获得治疗的机会。CloudMD的子公司Medical Confidence使用这种技术来优化患者的治疗需求和设施可用性，从而大幅减少治疗等待时间，在某些情况下，从几个月缩短到几周。68一种基于人工智能的优化护理获取的方法正在加拿大被广泛采用，并可能其他地方复制。

基于人工智能的医疗保健对发展中国家的影响可能更加深远，这些国家往往缺乏基础设施和人员来为大部分人口提供医疗服务。帮助识别、监测和治疗新的或正在进行的医疗状况的智能工具——例如基于人工智能的系统，以促进放射数据的读取69——是利用人工智能和人工智能在目前护理不足的地方增强医疗保健能力的第一步。例如，印度人口分散，超过14亿

我的Orlu

生命科学学院药学院药剂学教授

兰德里·西格纳

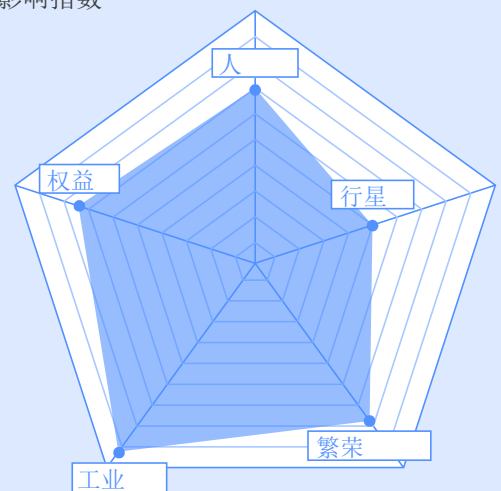
布鲁金斯学会高级研究员

已经采用了基于人工智能的方法来加强医疗推广。印度政府已经使医生能够通过辅助技术参与偏远社区，并采取必要的隐私保护措施。

除了保护数据隐私和收集产生这些见解所需的高质量数据，实施人工智能促进的医疗保健方法的其他挑战包括促进公众接受和普遍采用这些技术，确保患者合规和解决可能的国家安全问题。虽然这些剩余的障碍可能难以克服，但无所作为的风险是显而易见的。

此外，任何管理大量人口健康和福利个人数据的系统都必须在精心制定的法律和道德框架范围内运行。这种考虑已经成为广泛讨论的主题，70随着人工智能和人工智能在医疗保健领域的全球应用，法律框架开始出现。基于人工智能的医疗保健解决方案将在未来三到五年内变得越来越普遍，对人类健康大有裨益——特别是对那些得不到充分服务的人群。

影响指数



图像：
新兴人工智能系统可能影响医疗保健的最有效方式之一是通过数据和分析的处理。
鸣谢：中途和巫女工作室。
提示（缩写）：“抽象人口数据”。
阅读更多内容：
在战略智能平台上发现与[人工智能促进的医疗保健](#)相关的专家分析。

贡献者

世界经济论坛

第四次工业革命中心

塞巴斯蒂安·巴库普
网络和伙伴关系主管

格里塔·基南
战略影响和沟通领导

尹世文
领导创新者社区

战略情报平台

詹姆斯·兰代尔
内容和伙伴关系主管

约翰·莱津
数字编辑

斯蒂芬·梅根塔勒
头部

宋敏基
专家、内容和伙伴关系

自然与气候中心

劳伦·乌平克·考尔德伍德
气候战略主管

边疆

苏珊·德巴德
顾问

弗雷德里克·芬特
总编辑

乔治·汤姆斯
公共事务经理

参与期刊：
人工智能前沿
电池和电化学前沿细胞信号
Frontiers in Chemical Biol
ogy Frontiers in Computer
Science Frontiers in Energ
y Efficiency Frontiers in
Fuels
Frontiers in Lab on a Chip Technol
ogies Frontiers in Medical Technol
ogy Frontiers in Medical Engineeri
ng
膜科学与技术前沿微生物学前沿
植物科学前沿系统生物学前
沿虚拟现实前沿

生产

劳伦斯·丹麦
Miko工作室创意总监

索菲·埃比奇
Miko工作室设计师

玛莎·豪利特
Miko工作室编辑

乔治·梅塞尔
Miko工作室设计师

致谢

第四次工业革命中心要感谢指导小组的成员，他们评出了十大技术并撰写了报告中的文章。另外感谢其他作出贡献的学者

-许多人来自前沿的科学编辑网络-和来自论坛创新者社区的商业领袖，通过“影响指纹”调查对十大技术进行影响评估。

指导小组

共同主席

Mariette DiChristina
波士顿大学传播学院院长兼新闻学实践教授

伯纳德·迈耶森
IBM名誉首席创新官

成员

埃纳斯·阿波-哈米德
H2GO Power首席执行官

杰夫·卡贝克
伊士曼公司企业创新副总裁

罗娜·钱德拉瓦蒂
新南威尔士大学副教授

陈黎明
世界经济论坛大中华区主席

约瑟夫·科斯坦丁
贝鲁特美国大学电气和计算机工程副教授

P. Murali Doraiswamy
杜克大学医学院精神病学和医学教授

莎拉·福塞特
开普敦大学高级讲师

奥尔加·芬克
EPFL智能维护与操作系统教授

哈维尔·加西亚·马丁内斯
阿利坎特大学化学教授兼分子纳米技术实验室主任

丹尼尔·乌尔塔多
智利天主教大学副教授

朱温蒂
康乃尔理工大学副教授

杰里米·尤尔根斯
世界经济论坛常务董事

科琳娜·莱桑
AnthroTronix联合创始人兼前首席执行官

李相玉
韩国高级科学技术研究所负责研究的高级副所长

杰佛瑞·林
约翰霍普金斯医院神经病学教授

安德鲁·梅纳德
亚利桑那州立大学高级技术转型教授

露丝·摩根
伦敦大学学院工程科学学院副院长（跨学科创业）

伊丽莎白·欧戴
Olaris首席执行官兼创始人

我的Orlu
生命科学学院药学院药剂学教授

卡洛·拉蒂
麻省理工学院可感知城市实验室主任

巴里·舒普
库珀科学与工程促进联盟艾伯特·内尔肯工程学院工程系院长

兰德里·西格纳
布鲁金斯学会高级研究员

威尔弗里德·韦伯
莱布尼茨新材料研究所科学主任

吴若豪
香港科技大学副教授

徐勋
华大基因研究总监

学术

马克·比林赫斯特
南澳大利亚大学教授

克里斯蒂娜·博特拉
Jaume I大学正教授

约翰·布特
国家科学研究中心研究主任

金·布洛克
斯坦福大学临床教授

穆卢德·德奈
赫特福德郡大学高级讲师

阿尼班·杜塔
林肯大学生物医学工程副教授

伊萨姆·纳卡
莫菲特癌症中心主席和高级成员

Sanket Goel
BITS Pilani教授，海得拉巴校区

顾成红
巴斯大学读者

托马斯·哈东
约翰霍普金斯大学教授

保罗·海曼
亚什兰大学生物学教授

金秀良
中国农业科学院作物研究所教授

Kumaran Kannaiyan
广东以色列理工学院副教授

法拉·基德瓦伊-汗
耶鲁大学高级数据科学家

乔治·库瓦斯
Wyss生物和神经工程中心首席技术官

奥利弗·克勒彻
Paul Scherrer研究所生物能源和催化实验室主任

李恩杰
阿贡国家实验室科学家

乔永良
阿德莱德大学研究员

黛博拉·理查兹
麦考瑞大学教授

斯特凡诺·里纳尔迪
布雷西亚大学副教授

德韦恩·罗奇
圣地亚哥州立大学助理教授

菲利普·鲁
蒙特利尔大学教授

亚西尔·萨利姆
Aberystwyth大学计算机科学
讲师

迈克尔·肖特
提赛德大学教授

雷书
南京农业大学教授

梅尔·斯莱特
巴塞罗那大学杰出研究员

莉娜·斯米尔诺娃
约翰·霍普金斯大学助理教授

道碧利格苏
中国农业大学副教授

陈国惠
蒙特利尔大学临床助理教授

朱利安·韦森贝格
创始人，Deep Tech Experts

Alicja Wegrzyn
格但斯克大学教授

徐耀林
柏林亥姆霍兹材料与能源中心研究员

郭昭
南京农业大学副教授

创新者社区成员

玛丽莎·鲁比·布洛克
Sourcemap政策和政府事务高级主任

杰米·布伦斯
Vertical Future创始人兼首席执行官

艾萨克·卡斯特罗
Emerge联合创始人兼联合首席执行官

吉姆·弗拉特
Brightseed Bio联合创办人兼首席执行官

亚当·希尔德瑞斯
Crisp创始人

伊戈尔·贾布罗科夫
Pryon首席执行官

金武基
标准能源公司首席执行官

斯基·库尔茨
Pure Harvest智能农场创始人兼首席
执行官

本·拉姆
庞生物科学公司首席执行官

凯文·朗
Agerpoint首席执行官

马尔滕·米歇尔森
EnergyVision创办人兼行政总裁

尾田刚
Alesca Life Technologies创始人
兼首席执行官

乔·帕卢斯卡
首席营销官，一个问题

乔里斯·普特
Rescale创始人兼首席执行官

费利克斯·赖因沙根
NavVis首席执行官

乌梅什·萨赫德夫
Uniphore首席执行官

吉米·萨马尔齐斯
LanzaJet首席执行官

里特维克·辛哈
战略分析师，我们的下一个能源（一）

迪迪埃·图比亚
Aleph Farms联合创始人兼首席执行官

拉吉·维尔马
SingleStore首席执行官

埃莉·伍德
LanzaTech首席执行官办公室主任

约瑟夫·赞科维兹
Canvass AI企业发展副总裁

1. 孔, 龙, , 贾和, “储能中柔性电池的先进能源材料: 综述”, SmartMat, 第一卷。1, 2020年第1期, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/smm2.1007>。
2. 英菲尼迪研究, 2023年全球柔性电池市场, 2023年, https://www.report-linker.com/p_06419157/global-flexible-battery-market.html。
3. Grand View Research, 2019年至2025年按应用划分的柔性电池市场规模、份额和趋势分析报告、区域展望、竞争战略和细分市场预测, 未注明日期, <https://www.Grand-View-Research.com/industry-analysis/flexible-battery-market>。
4. 戈萨洛-布里苏埃拉、罗伯托和爱德华多·加里多-默昌, “ChatGPT不是你需要的全部。大型生成式人工智能模型的最新综述”, 康奈尔大学arXiv, 2023年, <https://arxiv.org/abs/2301.04655>。
5. Anstine, Dylan M. 和Olexander Isayev, “作为化学科学新兴范式的生成模型”, 《美国化学学会杂志》, 第一卷。145, 2023年第16期, 第8736-8750页, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.2c13467>。
6. 瑞安·麦克莱兰, 《创成式设计和数字制造: 使用人工智能和机器人制造轻型仪器, 透镜设计和光学工程的当前发展》, 2022年, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220012523/downloads/麦克莱兰-创成式%20Design%20spie%202022.pdf>
7. 泰勒、罗斯、马尔钦·卡尔达斯、吉列姆·库库鲁尔、托马斯·夏洛姆等, 《卡拉狄加: 科学的大型语言模型》, arXiv (预印本), 2022年, <https://arxiv.org/abs/2211.09085>。
8. Takagi, Yu和Shinji Nishimoto, 基于人脑活动潜在扩散模型的高分辨率图像重建, 计算机视觉与模式识别会议, 2023年, <https://sites.google.com/view/stable-diffusion-with-brain/>。
9. Baidoo-Anu, David和Leticia Owusu Ansah, “生成式人工智能 (AI) 时代的教育: 理解ChatGPT在促进教学和学习方面的潜在好处”, 社会科学研究网络, 2023年, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4337484。
10. Noy, Shakked和Whitney Zhang, 生成性人工智能生产率效应的实验证据, 社会科学研究网, 2023年, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4375283。
11. 李博士; 大卫法赫·斯科龙先生Allen等人, “2000年至2018年全球航空对人为气候作用力的贡献”, 《大气环境》, 第一卷。244, 没有。117834, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>。
12. 任务可能伙伴关系 (MPP), 使净零航空成为可能: 一个行业支持的, 1.5摄氏度一致的过渡战略, 2022年, <https://MissionPossiblePartnership.org/wp-content/uploads/2023/01/Making-Net-Zero-Aviation-possible.pdf>。
13. 同上。
14. 国际航空运输协会, 2022年SAF产量增加200%——需要更多激励措施才能达到净零, 【新闻稿】, 2022年12月7日, <https://www.iata.org/en/Press-room/2022-releases/2022-12-07-01/>。
15. 世界经济论坛, 明天的清洁天空: 可持续航空燃料作为实现净零航空的途径, 2020年, https://www.weforum.org/reports/clean-skies-for-tomorrow-sustainable-aviation-fuels-as-a-pathway-to-net-zero-aviation?DAG=3&clid=c.j0kcqjw2v-gbhclarisaoqdkylwxkhh-k6hwvuojbsc2t-bawxsfl_8_bkxzuyd-hyzbeov_9_xcicfhowaarthearlw_wcb。
16. 美国试验和材料学会, 含合成碳氢化合物的航空涡轮燃料标准规范, 2022年, <https://www.astm.org/d7566-21.html>。
17. Kim, Hye Mi, Tong Un Chae, So Young Choi, Won金俊和Sang Yup Lee, “用于生产脂肪酸和燃料的含油细菌工程”, 《自然化学生物学》, 第一卷。2019年15期, 第721-729页, <https://doi.org/10.1038/s41589-019-0295-5>。
18. 克鲁兹-莫拉莱斯, 巴勃罗, 凯文尹, 亚历山大兰德拉, 约翰科特和罗伯特·扬等人, “多环丙烷高能生物燃料的生物合成”, 《焦耳》, 第一卷。6, 2022年, 第1590-1605页, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.05.011>。
19. Looi, Mun-Keat, “人类微生物组: 关于以我们身体为家的39万亿种微生物, 你需要知道的一切”, BBC科学焦点, 2020年7月14日, <https://www.ScienceFocus.com/the-human-body/human-microbiome/>。
20. Peixoto, Raquel, Derek Harkins和Karen Nelson, “动物健康微生物组研究进展”, 动物生物科学年度评论, 第一卷。9, 2021年, 第289-311页。
21. Trivedi, Pankaj, Jan Leach, Susannah Tringe, Tongmin Sa和Brajesh Singh, “植物-微生物组相互作用: 从群落组装到植物健康”, 《自然评论微生物学》, 第一卷。2020年18期, 第607-621页。
22. 彭博, Eligo提供临床前数据, 首次证明通过递送CRISPR核酸酶调节肠道微生物群【新闻稿】, 2021年6月15日, <https://www.bloomberg.com/press-releases/2021-06-15/eligo-呈现临床前数据,首次证明通过递送crispr核酸酶调节肠道微生物群>。
23. 埃利戈生物科学公司, 埃利戈生物科学公司获得FDA孤儿药指定【新闻稿】, 2022年10月11日, <https://eligo.bio/eb003-odd-rdp-fda/>。
24. 斯特拉斯迪, 斯特芬妮, 格雷厄姆·哈特富尔, 维韦克·穆塔利克和罗伯特·斯库利, “噬菌体疗法: 从生物学机制到未来方向”, 《细胞》, 第一卷。186, 没有。1, 2023年, 第17-31页。

25. Twenge, Jean和W.Keith Campbell, “儿童和青少年屏幕时间与较低心理健康之间的联系: 来自一项基于人群的研究的证据”, 《科学指导》, 第一卷。12, 2018, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211335518301827>。
26. “屏幕时间可以是生命线……” 家庭地带, 未注明日期, <https://www.FamilyZone.com/anz/families/blog/screen-time-can-be-a-lifeline>。
27. 韦塞拉、泽维尔、安德里亚·帕尔姆、丽贝卡·哈法吉、一月·孔特雷拉斯等人, “解决国家的行为健康危机: 整合行为健康的HHS路线图”, 《健康事务前沿》, 2022年12月2日, <https://www.HealthAffairs.org/内容/前沿/解决-国家-行为-健康-危机-hhs-路线图-整合-行为-健康>。
28. Weiner, Stacy, “日益增长的精神科医生短缺和对精神卫生服务的巨大需求”, 美国医学院协会, 2022年8月9日, <https://www.aamc.org/news-insights/growing-精神病学家-短缺-巨大-需求-心理健康-服务>。
29. Barsky, Troy, Jodi Daniel, Stacie Heller和Allison Kwon, “拜登总统签署年终立法, 包括远程医疗、医疗保险和医疗补助、精神健康、疫情防备和其他医疗保健条款”, 《卫生法》, 2023年1月25日, <https://www.cmhealthlaw.com/2023/01/president-biden-signs-年终立法-包括-远程医疗-医疗保险-医疗补助-精神健康-疫情-准备和其他-医疗保健-规定/>。
30. Schrepf, Matthias, Julian Petzold, Morten Petersen, Tim Arndt等人, “基于虚拟现实的放松用于提高围手术期健康、情绪和生活质量的随机试点试验”, 《科学报告》, 第一卷。12, 没有。12067, 2022。
31. Rao, Vikram, Kristin Sellers, Deanna Wallace, Morgan Lee等人, “眶额外侧皮层的直接电刺激可显著改善有抑郁症状的个体的情绪”。28, 2018年第4期, 第3893-3902页, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.10.026>。
32. “到本世纪中叶, 世界必须可持续地生产70%以上的粮食——联合国报告”, 联合国新闻, 2013年, <https://news.un.org/en/story/2013/12/456912>。
33. 张, 崇远, Afef Marzougui和Sindhuja Sankaran, “高分辨率卫星图像在作物表型分析中的应用: 概述”, 农业中的计算机和电子, 第一卷。175, 没有。105584, 2020, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169920309194>。
34. 丹尼尔·奥尔森; 安德森詹姆斯。 “无人驾驶飞行器、遥感器、图像处理及其在农业中的应用综述”, 《农学杂志》, 第一卷。113, 第2期, 2021年, 第971-992页, <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.20595>。
35. “精准农业: 传感器驱动农业效率”, Sensors&Systems, 2013年1月21日, <https://sensorsand systems.com/precision-agriculture-sensors-drive-agricultural-efficiency/>。
36. Marx, Vivien, “年度方法: 空间分辨转录组学”, 《自然方法》, 第一卷。18岁, 没有。1, 2021年, 第9-14页。
37. 摩西, 拉姆达和利奥帕切特, “空间转录组学博物馆”, 《自然》, 第一卷。19, 没有。5, 2022年, 第534-546页。
38. Williams, Cameron, Hyun Jae Lee, 田崎敬浩Asatsuma, Roser Vento-Tormo和Ashraf Haque, “生物医学研究的空间转录组学导论”, 《基因组医学》, 第一卷。14, 2022年, 第1-18页。
39. 蒲慕明, “灵长类动物大脑的转录组、连接组和神经调节”, 细胞, 第一卷。185, 2022年, 第2636-2639页。
40. 埃尔门泰特、拉萨; Cecelia Domínguez Conde, Lu Yang和Sarah Teichmann, “单细胞图谱: 跨人体器官的共享和组织特异性细胞类型”, 《自然评论遗传学》, 第一卷。23, 没有。7, 2022年, 第395-410页。
41. 杨, 彭义, 谭, “单细胞分辨率的小鼠器官发生图谱”, 细胞, 第一卷。185, 2022年, 第1625-1627页。
42. Pour, Maayan和Itai Yanai, “空间转录组学的新冒险”, 《发育细胞》, 第一卷。57年, 2022年, 第1209-1210页。
43. 琳达·科赫, “小鼠器官发生的全景”, 《自然评论遗传学》, 第一卷。23, 没有。7, 2022年, 第393-393页。
44. Lust, Katharina, Ashley Maynar, Tomás Gomes, Jonas Simon Fleck等, “蝶螈端脑组织、神经发生和再生的单细胞分析”, 《科学》, 第一卷。377, 第6610期, 2022年, 第377, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abp9262>。
45. 凯瑟, 克劳迪娅, 迈克尔·斯金尼德, 托马斯·赫特森, 尼古拉·雷加齐等人, “瘫痪后恢复行走的神经元”, 《自然》, 第一卷。611, 没有。7963, 2022年, 第540-547页。
46. 张, 贾军, 尹建华, 杨恒, 谢肯等, “时空组学-精准医学的精准景观”, 生命医学, 第一卷。1, 2022年第2期, 第84-102页, <https://doi.org/10.1093/lifemedi/lnac053>。
47. Park, Jiwoon, Jonathan Foox, Tyler Hether, David Danko等人, “新冠肺炎尸检和空间组学组织图中揭示的新型冠状病毒感染引起的全身组织和细胞破坏”, bioRxiv, 2021年, <https://doi.org/10.1101/2021.03.08.434433>。
48. “2030年前价值5.872亿美元的空间组学解决方案市场——InsightAce Analytic的独家报告”, InsightAce Analytic, 2022年8月10日, <https://www.prnewswire.com/news-releases/spatial-omics-solutions-market-worth-587-2-million-by-2030-exclusive-report-by-Insightace-Analytic-301603401.html>。
49. Grand View Research, 按技术(转录组学、基因组学、蛋白质组学)、按产品、按工作流程、按样本类型、按最终用途、按地区和细分市场预测的空间组学市场规模、份额和趋势分析报告, 2021-2028年, 未注明日期, <https://www.GrandViewResearch.com/industry-analysis/spatial-omics-market>。
50. Marx, Vivien, “年度方法: 空间分辨转录组学”, 《自然方法》, 第一卷。18岁, 没有。1, 2021年, 第9-14页。

51. 秦, , , 胡长正, , 胡, “一种用于癫痫疾病的无线通用脑机接口系统”, 2022年第五届国际电路、系统与仿真会议, 2022, pp. 156-160, <https://doi.org/10.1109/ICCS55260.2022.9802412>.
52. Vattendahl Vidal, Gabriel, Matthew Rynes, Zachary Kelliher和Shikha Goodwin, “通过信号分解方法从体感反馈的新角度回顾神经修复术中使用的脑机接口”, *Scientifica (开罗)*, 2016年, <https://doi.org/10.1155/2016/8956432>.
53. 唐, 辛, , , 赵思燕, , , “灵活的脑机接口”, *自然电子学*, 第一卷. 6, 2023, 第109-118页。
54. 赵, 思源, , , 田, 等, “跟踪小鼠整个成年期相同细胞的神经活动”, 《自然神经科学》, 第一卷. 26, 2023, 第696-710页, <https://www.nature.com/articles/s41593-023-01267-x>.
55. BioSpace, WISE完成用于大脑监测的新型神经电极的关键临床研究的注册【新闻稿】, 2020年1月23日, <https://www.bio-space.com/article/WISE-完成-注册-用于-大脑-监测-的新型-神经-电极-的关键-临床研究/>.
56. 霍尔特, 克里斯, “FDA批准Synchron的脑机接口设备用于人体试验”, Engadget, 2021年7月28日, <https://www.engadget.com/FDA-脑机接口-临床-试验-同步-stentrode-190232289.html?guccounter=1>.
57. Rooks, Timothy, “数据中心在大幅增长的情况下保持能源使用稳定”, 德国之声, 2022年1月24日, <https://www.dw.com/en/data-centers-energy-consument-steady尽管大幅增长, 因为效率提高/a-60444548>.
58. 艾琳·比巴, “互联网温暖人们家园的城市”, 英国广播公司, 2017年10月13日, https://www.bbc.com/future/article/2017_1013-where-data-centres-store-info-and-heat-homes.
59. 埃文斯、理查德和吉姆·高, “DeepMind AI将谷歌数据中心冷却账单降低40%”, Deep Mind, 2016年7月20日, <http://www.deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-by-40>.
60. Katal, Avita, Susheela Dahiya和Tanupriya Choudhury, “云计算数据中心的能效: 软件技术调查”, *集群计算*, 2022年, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10586-022-03713-0>.
61. 大卫·弗劳尔, “机器学习和边缘计算如何实现可持续性”, 福布斯, 2022年3月18日, <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/03/18/how-machine-learning-and-edge-computing-power-sustain-ability/?sh=78055e4e5fab>.
62. 斯蒂芬·辛普森, “片上系统来到数据中心”, 麦肯锡数字, 2022年3月8日, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/tech-forward/片上系统来到数据中心>.
63. Barroso, Luiz和Urs Hölzle, “能量比例计算的案例”, 《计算机》, 第一卷. 40岁, 没有. 12, 2007年, 第33-37页, https://www.researchgate.net/publication/2962080_The_Case_for_Energy-Proportional_Computing.
64. Malik, Yashpal Singh, Shubhankar Sircar, Sudipta Bhat, Mohd Ikram Ansari等人, “人工智能如何帮助新冠肺炎疫情: 未来的陷阱和教训”, 《医学病毒学》, 第一卷. 31, 没有. 5, 2021年, 第1-11页。
65. “用人工智能为未来的疫情做准备”, 太平洋西北国家实验室, 2021年9月21日, <https://www.pnnl.gov/news-media/preparing-future-疫情-人工智能>.
66. 马哈詹、阿布舍克、坦维·瓦伊迪亚、阿努拉格·古普塔、斯瓦普尼尔·雷恩和苏迪普·古普塔, “发展中国家医疗保健中的人工智能”, 《癌症研究、统计和治疗》, 第一卷. 2, 没有. 2, 2019年, 第182—189页。
67. “比较各国医疗保健的及时性和协调性”, 英联邦基金, 2021年10月4日, <https://www.CommonwealthFund.org/publications/surveys/2021/oct/comparing-nations-timeliness-and-coordination-health-care>.
68. 安吉拉·约翰逊, “减少对护理的等待: 案例研究”, HRR记者, 2019年12月9日, [com/focus-areas/补偿和福利/减少等待护理案例研究/323823](https://www.hrrjournal.com/focus-areas/补偿和福利/减少等待护理案例研究/323823).
69. 马哈詹、阿布舍克、坦维·瓦伊迪亚、阿努拉格·古普塔、斯瓦普尼尔·雷恩和苏迪普·古普塔, “发展中国家医疗保健中的人工智能”, 《癌症研究、统计和治疗》, 第一卷. 2, 没有. 2, 2019年, 第182—189页。
70. 欧洲医学科学院联合会, 用于研究的个人健康数据的国际共享, 2021年, https://www.feam.eu/wp-content/uploads/International-Health-Data-Transfer_2021_web.pdf.



COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

世界经济论坛致力于改善世界的状态，是公私合作的国际组织。

该论坛让最重要的政治、商业和其他社会领袖参与制定全球、区域和行业议程。

世界经济论坛91-93 route
de la Capite CH-1223
科隆尼/日内瓦，瑞士
电话: +41 (0) 22 869 121 2
传真: +41 (0) 22 786 274 4
contact@weforum.org www.weforum.org