

麻省理工
科技评论
洞察

与西门子合作发布

SIEMENS

一个连接现实和数字世界的接口，
将彻底改变我们工作、生活
和交互的方式

新兴的 工业元宇宙



序

《新兴的工业元宇宙》是西门子赞助，由麻省理工科技评论洞察发表的报告。本报告基于2022年9月和10月期间对全球技术专家、行业分析师和学者的采访编制而成，分析了工业元宇宙的出现和应用、未来的挑战和机遇，及其将对企业和日常生活产生的影响。本报告由Cindy Waxer撰写，由Teresa Elsey编辑，Nicola Crepaldi出版。本报告由麻省理工学院独立编辑，谨代表麻省理工科技评论洞察的观点。

特此感谢以下人士为本报告付出的时间以及提供的洞察：

Veronika Bienert, 西门子金融服务公司首席执行官

Ian Fisher, 西门子数字化工业软件产品管理可视化主管

Michael Grieves, 数字孪生研究院执行董事兼首席科学家

Annika Hauptvogel, 西门子技术与创新管理主管

Stefan Kögl, 西门子城项目总经理

Selim Köklü, 西门子交通交钥匙系统工程数字化负责人

Danny Lange, Unity Technologies人工智能高级副总裁

Kevin O'Donovan, 工业元宇宙与数字孪生委员会VR/AR协会联合主席

Hemdat Sagi, 大众集团Konnnect开放创新中心首席战略与业务开发官

Leslie Shannon, 诺基亚趋势与创新侦察主管

Landry Signe, 雷鸟全球管理学院执行董事兼教授，布鲁金斯学会高级研究员

Matthias Ziegler, 埃森哲技术创新执行董事

CONTENTS

01 执行摘要.....5

02 工业的未来：元宇宙.....8

03 工业元宇宙的应用：案例.....10

04 工业元宇宙构建模块：
数字孪生.....12

05 重塑体验：
元宇宙的影响与价值.....15
体验与改善人类环境.....15
打造未来型工作场所.....16
追求可持续发展.....16

06 赋能构建新兴的工业元宇宙18

07 结论：打造虚拟未来.....20
警惕画地为牢.....20
明确目标.....20
赋能员工建立工业元宇宙.....21
建立合作伙伴关系和强大的生态系统.....21

我们今天的生活和未来正在被一些强大的趋势所塑造。一方面，要减少排放，节约利用宝贵资源，以守护我们文明的基础。另一方面，需要为不断增长的全球人口创造新的机遇，为日益扩大的城市和大都市营造美好的生活空间。平衡这两者是一项巨大的挑战。这意味着，我们必须使用更少的资源创造更多的东西，尤其在面对全球政治和经济秩序发生巨变的今天，我们更要这么做。

幸运的是，有一个趋势可以帮助我们应对并塑造这一挑战——数字化。从经济和社会发展的前瞻视角来看，这个趋势就是工业元宇宙。

虽然说到“元宇宙”，很多人会联想到一个供娱乐和购物的多彩虚拟世界，但实际上，工业元宇宙能够以其他技术无法实现的方式彻底改变现实世界。通过在数字世界里映射和模拟现实世界的机器、工厂、建筑、城市、车辆以及整体交通系统，工业元宇宙使虚拟测试成为可能，从而有效节省资源。这将有助于开发可持续产品，打造更加高效和可持续的工厂、建筑和城市，并助力工程民主化——通过免除风险或高附加成本，赋能每一个人开拓创新。

通过连接数字与现实世界形成反馈闭环，企业可以不断优化生产和流程。数字世界和现实世界的融合将改变我们的工作和协作方式，实现在现实世界中那样的人人与人机之间的实时交互。

本报告对工业元宇宙展开了深入探索，解释了其将如何推动数字孪生、人工智能、边缘计算等现代技术的进步并与之融合，并描述了全球社会和企业为实现这一愿景以及创建真正可持续和开放的工业元宇宙所将面临的挑战和决策。作为数字化成功的重要因素，互操作性和强大的生态系统对于构建工业元宇宙同样至关重要。

虽然本报告并没有提供如何成功打造工业元宇宙的所有答案，但它为企业和社会如何开启他们的未来旅程提供了宝贵的指导。本报告为围绕工业元宇宙开展更深入的对话建立了重要的基础，因为目前我们仍处于这一颠覆性变革的初始阶段。因此，本报告的出发点在于启发关于“如何共同塑造工业元宇宙未来”的探讨。

Peter Körte, 西门子股份公司首席技术官兼首席战略官



01

执行摘要



工业元宇宙——一个映射和模拟真实世界机器、工厂、城市、交通网络和其他高度复杂系统的元宇宙领域——旨在为参与者提供对真实世界的完全沉浸式、实时、交互式、持久性和同步性的映射和模拟。

现有以及正在发展中的技术，包括数字孪生、人工智能和机器学习、扩展现实、区块链、云和边缘计算，将成为工业元宇宙的基石。这些技术的融合将创建一个连接现实世界和数字世界的强大接口，实现协同效应。

西门子技术和创新管理主管Annika Hauptvogel将工业元宇宙描述为“沉浸式体验，让用户感觉置身于真实的环境中；支持实时协作；为不同应用程序之间实现无缝交互提供足够的开放性；获得参与个人和企业的信任”——远不止是一个数字世界。

工业元宇宙将彻底改变工作方式，并为企业和社会创造重要的新价值。在工业元宇宙中，企业可以在为项目投入物理和人力资源之前，在基于现实世界的沉浸式环境中，创建模型和原型，开展实时测试，实现数十次、数百次甚至数百万次的迭代。工业元宇宙工具将开创一个以数字化方式解决现实世界问题的新时代。

“现实世界非常混乱、嘈杂，有时我们难以真正理解它”，Unity Technologies人工智能高级副总裁Danny Lange表示，“工业元宇宙致力于在现实世界和虚拟世界之间建立起更简洁的联系，因为在虚拟世界中，工作更容易完成，成本也更低。”Unity Technologies是创作和运营实时3D互动内容的领先平台。

元宇宙领域

尽管元宇宙通常被描述为一个单一的、包罗万象的数字世界，但它可以划分为三个不同的领域，即工业元宇宙、企业元宇宙和消费者元宇宙。这些元宇宙部门的发展速度尚不确定，但所有分析都预测，在这十年内，工业元宇宙及其使能技术将快速增长。

工业元宇宙

模拟的机器、工厂、运输网络和其他复杂系统，赋能工业和制造业解决现实世界中的问题。

市场预测（ABI研究）



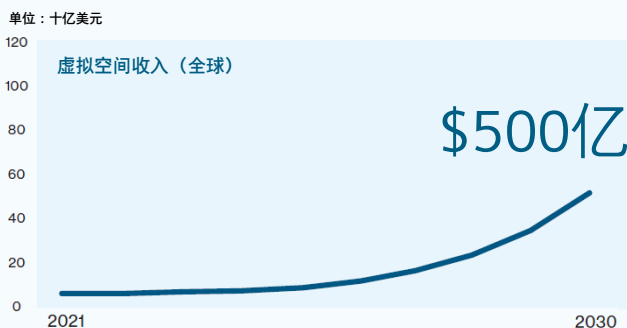
企业元宇宙

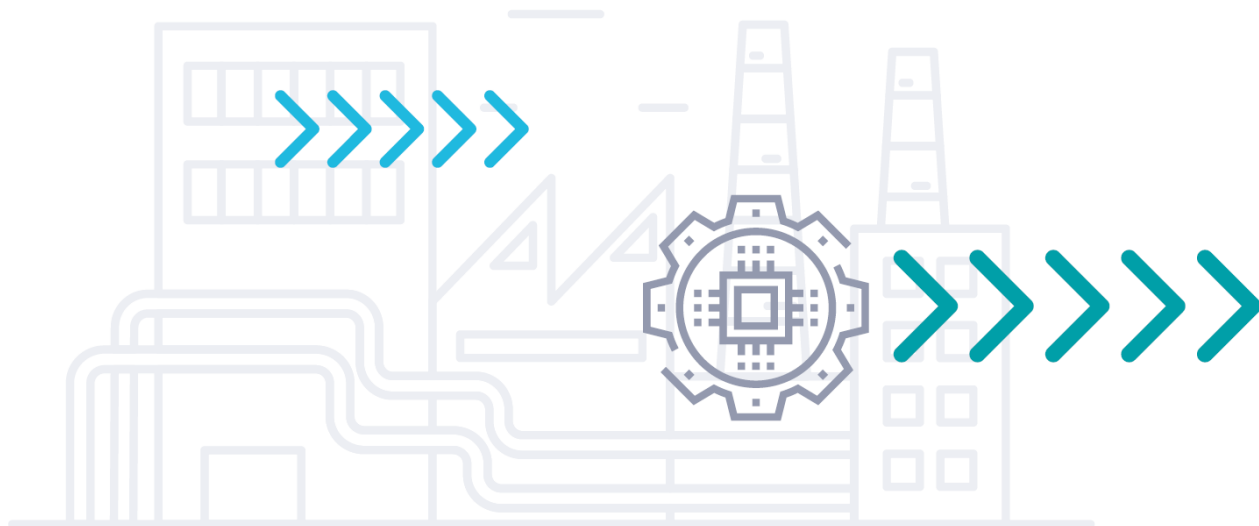
生产工具、虚拟办公空间等技术，赋能企业实现沉浸式业务协作。



消费者元宇宙

为消费者创建供其购物、游戏、社交和娱乐的多样化数字世界和沉浸式空间。





消费者元宇宙的实际应用仍在发展中，而工业元宇宙的应用由目的驱动，能够针对性解决现实世界的问题，满足业务需求。工业元宇宙解决方案赋能企业优化资源效率，提高企业竞争力的同时，助力企业不断实现可持续性、韧性、去碳化和非物质化等关乎人类繁荣发展的重要目标。

本报告探讨了创建工业元宇宙需要什么，它对企业和社会的潜在影响，未来面临的挑战，以及其将塑造未来的创新应用。本报告形成了以下关键洞察：

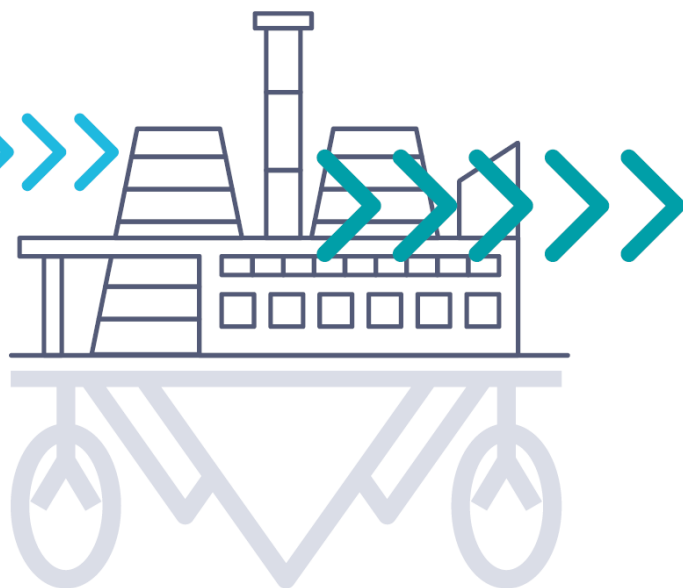
- **工业元宇宙将数字世界和现实世界连接在一起。**它将实现信息、数据和决策的持续交换，赋能行业以数字化方式解决极其复杂的现实世界问题，改变组织的运作方式，创造巨大的社会效益。
- **数字孪生是元宇宙的核心组成部分。**元宇宙中的虚拟模型是对真实世界的细致模拟。下一代数字孪生将是高度保真的、基于物理的、由人工智能驱动，且在元宇宙生态系统中相互联系。
- **工业元宇宙将改变每个行业。**现有的数字孪生体现了工业元宇宙在彻底改变设计和工程、测试、运营和培训方面的实力和潜力。
- **日常生活将发生颠覆性变化。**工业元宇宙将改变我们体验物理环境的方式，以及我们工作、生活、制造商品和旅行的方式。它将帮助我们解决实际问题，推动世界迈向更加可持续的未来。
- **构建元宇宙的关键能力和生态系统正在显现。**包括连通性、计算能力、数字孪生保真度、互操作性以及隐私性和安全性。同时，必须针对元宇宙工具和应用程序设计和构建对应的市场、支付系统和监管框架。
- **合作伙伴关系至关重要。**在标准和基础设施方面开展实质性的跨行业合作是构建工业元宇宙的必要条件。组织可能需要与供应商、竞争对手或客户合作，以建立复杂的技术栈，为玩家参与元宇宙奠定基础。从老牌公司到初创公司，从政府到个人爱好者，各类元宇宙玩家都将为工业元宇宙带来新的想法和声音。

02

工业的未来：元宇宙

就像科幻小说里描述的那样，元宇宙旨在模糊物理和数字空间之间的界限，打造一个数字世界，为人们会面，买卖商品和参加活动提供高度沉浸式、高度个性化的环境。在某些方面，这个元宇宙已经存在了。例如，电子游戏《堡垒之夜》为青少年玩家们创造了一个自由探索的虚拟世界。雷鸟全球管理学院执行董事兼教授、布鲁金斯学会高级研究员Landry Signe将其形容为“一个使用三维平台的互联虚拟世界网络。通过不同技术的融合，物理、生物和数字世界之间的界限被模糊，形成了一个供人类与数字内容和其他人类互动的生态系统。”

可以说，这些沉浸式互动空间的最大潜力在于工业元宇宙。通过将高保真模拟、扩展现实、人工智能、机器学习、物联网、区块链、云和5G/6G等现有技术与仍处于开发过程中的技术相结合，工业元宇宙将创建一个与现实世界完全实时同步的沉浸式虚拟世界。



“通过不同技术的融合，物理、生物和数字世界之间的界限被模糊，形成了一个供人类与数字内容和其他人类互动的生态系统”

Landry Signe,

雷鸟全球管理学院执行董事兼教授

“就像手机革命改变了我们消费媒体的方式一样，元宇宙也将改变我们与真实和虚拟世界互动的方式。”

Hemdat Sagi,

大众集团Konnnect开放创新中心首席战略与业务开发官

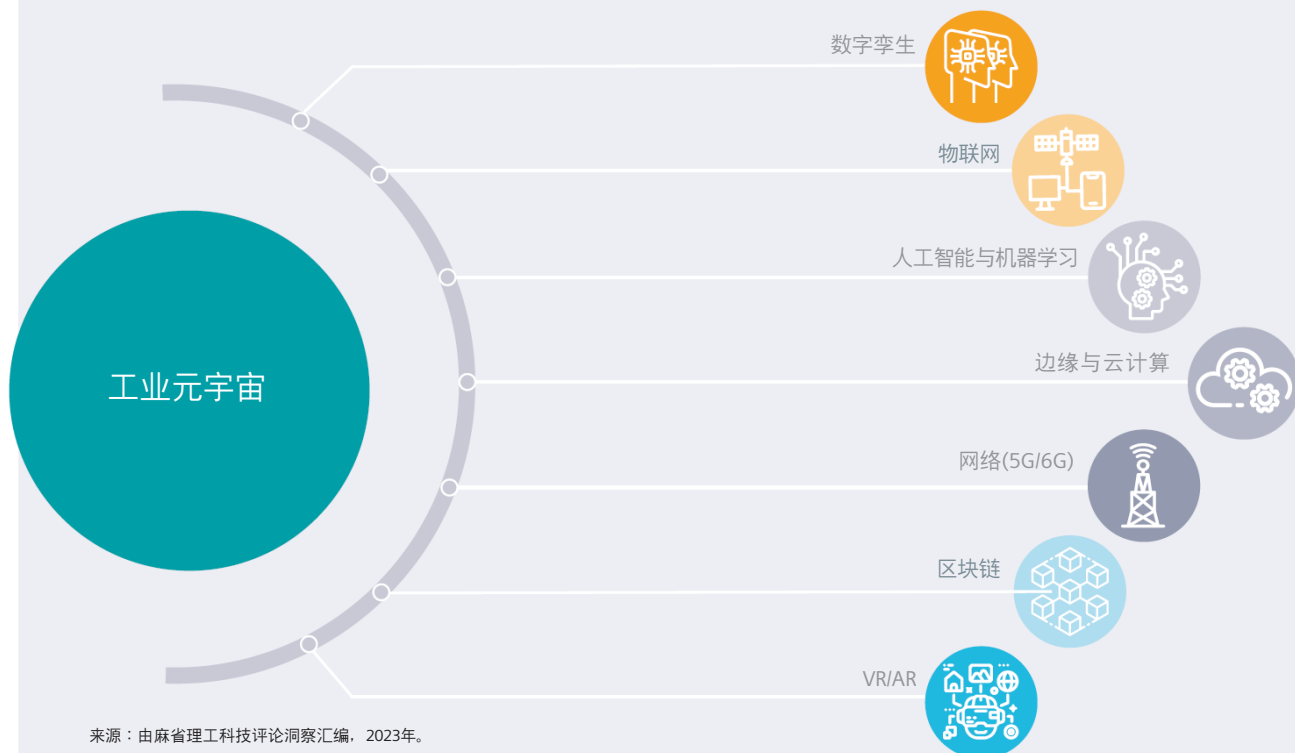
分析师们对这一新兴市场的范畴有不同的定义，但他们都预测，元宇宙关键组成部分——数字孪生技术的相关投资将迅速增长。Allied Market Research的调查数据显示，2021年，全球数字孪生市场的规模约为65亿美元，并将于2030年达到1257亿美元¹。Gartner发布了类似的预测，称2031年，数字孪生的市场规模预计将增长至1830亿美元²，并指出，2020年至2021年期间，对数字孪生初创公司的风险投资增长了20%³。

在许多方面，工业元宇宙都预示着长达数十年的工业数字化之旅，即工业4.0——第四次工业革命的发展趋势。

工业4.0致力于通过将基于物理的、由数据驱动的自主系统与生产设施全面集成并嵌入关键流程中，提高生产速度和灵活性。

“就像手机革命改变了我们消费媒体的方式一样，元宇宙也将改变我们与真实和虚拟世界互动的方式”，大众集团位于特拉维夫的Konnnect 开放创新中心的首席战略与业务开发官Hemdat Sagi表示，“在工业层面上，这将为新技术和创新成果的融合带来更大的灵活性。”

关键技术的进步和融合将使工业元宇宙成为可能



03

工业元宇宙的
应用：案例

工业元宇宙将极大地改变当今竞争激烈的市场。通过在数字世界中映射和模拟真实世界的机器、工厂、城市和其他复杂系统，工业元宇宙将赋能汽车、医疗等行业以数字化方式解决极其复杂的现实世界问题。

在这一数字化新阶段将出现能够预测设备故障的虚拟传感器、改善物流效率的自动驾驶卡车、提高生产力的协作机器人以及精细的供应链优化升级。其影响力将远远超出产品开发和机械维护，赋能所有利益相关者超越地理限制开展合作，为产品设计和制造提供新的洞见。“你可以在工业生命周期的任一环节找到应用场景，并通过工业元宇宙对其进行优化”，西门子数字化工业软件产品管理可视化主管Ilan Fisher表示。

工业元宇宙的一系列应用领域正在不断涌现，令人印象深刻。从制造业和运输业，到公用事业和城市发展，其带来的许多新功能将为各行各业创造价值。以下是元宇宙在不同行业的部分用例：

优化设计和工程建设：来自不同部门、不同地点甚至不同行业的团队成员将能够在协作环境中与客户互动、设计新产品并获得实时反馈，免去耗时、昂贵和资源密集型旅行的需要，也无需开发多个物理原型。此外，工业元宇宙创造了一个公平的工作环境。这意味着，分布式的跨学科团队能够平等地为项目做出贡献，每个人都能成为创新者，无需承担现实世界的风险和成本。

更广泛的测试和验证：在高保真、多物理模拟环境中，各行业可以在测试大量不同场景的同时，通过机器学习和合成数

“你可以在工业生命周期的任一环节找到应用场景，并通过工业元宇宙对其进行优化。”

Ian Fisher,

西门子数字化工业软件产品管理可视化主管

据训练赋能自主系统，从而缩短新产品的开发周期，改善新设施的设计效率，或在产品设计中尽早融入循环经济理念。

虚拟调试：使用制造系统的虚拟模型有助建立韧性，在早期阶段即可检测和纠正设计和软件的错误，无需担心中断生产线或浪费物理资源。

强化运营能力：通过模拟工厂或其他工作场所，团队成员可以在数字世界中收集数据。这些信息可以用于为各类人工智能用例提供支持，如虚拟工厂规划、自主机器人、预测性维护和大数据分析。此外，沉浸式实时模拟将为一线员工提供支持，提高他们在现实世界中的运营效率。

提供培训机会，留住人才：在当今劳动力市场紧张的情况下，组织无法承担因无法提供培训和职业发展机会而失去人才的损失。幸运的是，正如Signe所说，“元宇宙提供了技能提升和培训的独特机会”。因为元宇宙可以超越地理位置的限制为员工提供远程访问专家技能和虚拟培训模块的机会。未来，这些技术将可能有助于缓解老龄化社会中劳动力短缺的问题。

工业元宇宙中，从整体制造工厂和交通网络，到不断发展的城市和高度复杂的人类系统，下一代数字孪生技术将运用到万事万物中。通过连接物理世界和数字世界，工业元宇宙不仅将改变组织的运作方式和员工的工作方式，还将通过推动可持续发展和改善人类生活，为社会带来重大利益。

工业改革大事年表

第一次工业革命 始于1760年

劳动力从人力或动物力向蒸汽动力转变蒸汽机被应用于纺织机、纺纱机、蒸汽船和机车

进入电气化和机械化时代
生产线、电气化铁路和电报等技术提高了生产力和连通性

第二次工业革命 始于1880年

第三次工业革命 始于1947年

随着晶体管、集成电路、家庭计算机和互联网的出现，进入计算机、自动化和数字化时代

通过互联网、数据和人工智能，以及由物联网和数字孪生驱动的数字和物理世界的互联，实现技术的沉浸式、嵌入式使用

第四次工业革命 始于2000年

来源：由麻省理工科技评论洞察汇编，2023年。

04

工业元宇宙构建模块：
数字孪生

工业元宇宙的核心将是数字孪生——一个准确反映真实世界物体的虚拟模型。数字孪生整合了一个物理物体全生命周期的所有数据。实际上，数字孪生可以精确地模拟物体的各个方面，模拟之准确和细致达到了无异于真实物体的程度。

尽管工业元宇宙的基础仍在建立过程中，但数字孪生已经在改变我们的工作方式。例如，西门子利用数字孪生技术在中国南京规划和模拟了一座7.3万平方米工厂的建设过程。通过整合工厂、生产线和性能数据以及建筑信息，西门子能在实际投建前测试和验证工厂的性能和效率。数字孪生还被用于优化工厂生产效率：新工厂的生产效率比传统工厂高出20%，生产灵活性高出30%，空间利用效率高出40%。

“实际上，构建物理物体的数字版本只是一个开始”

Danny Lange,

Unity Technologies人工智能高级副总裁



美国国家航空航天局（NASA）的“毅力号”火星车是数字孪生技术的另一个产物。在以超过每小时12000英里的速度将太空探测器发射到火星大气层之前，NASA创建了探测器的数字孪生，用来检测概念设计中的潜在问题，并预测可能影响火星车安全着陆的障碍。

构建一个与实物完全同步的数字孪生尽管已经显示出诸多优势，但仍存在创新的空间。Lange指出，“实际上，构建物理物体的数字版本只是一个开始。”

通过数字孪生，团队可以通过在假设场景中运行模拟模型，为更复杂的商业案例提供更丰富、更精细的洞察。自动驾驶汽车可以在具有真实感的模拟环境中接受训练，并基于在运行过程中收集的真实世界数据改进初始训练模型。

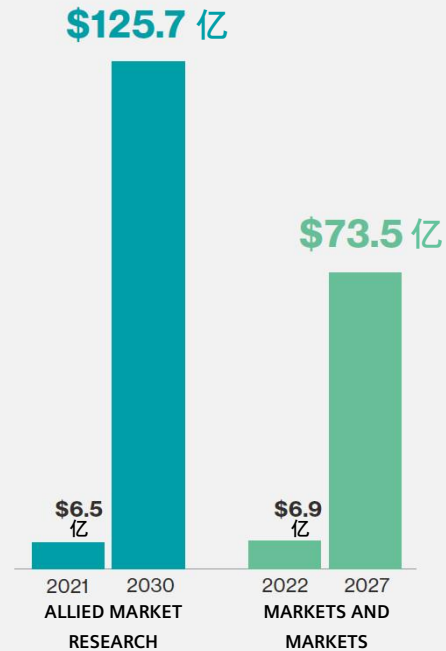
Lange以自动驾驶汽车的为例做出假设，称自动驾驶汽车会“不断地将传感器数据反馈给它的数字孪生，而数字孪生则会不断地分析、学习和改进这些数据，并将更新后的结果反馈给物理世界。”

数字孪生技术带来的另一大进步是创造快速、逼真、基于物理的数字孪生。这将为参与者提供更沉浸的体验，并在他们与数字资产或其他参与者的互动中为其提供实时反馈。在一个像真实世界一样的数字世界中工作时，参与者将获得做出快速决策所必须的信心。

最后，通过在一个环境中连接多个数字孪生，企业将为工业元宇宙建立支柱。凯捷咨询公司将以以人地合作、数字孪生和模拟环境为特色的下一阶段称为“孪生互联网”。若干数字孪生之间的互联将赋能企业模拟不同对象之间的复杂关系，从而弥合数字和物理世界之间的差距，并在此过程中创建工业元宇宙。

全球数字孪生市场蓬勃发展

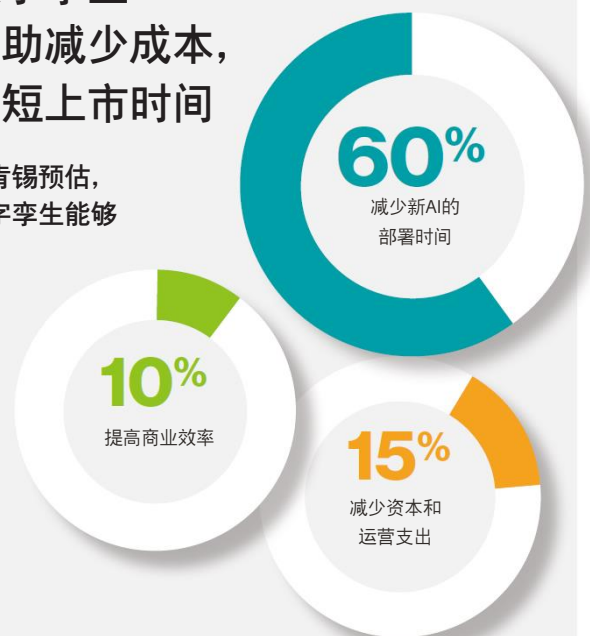
两家研究公司预计，这十年内数字孪生市场将大幅增长。



来源：由麻省理工科技评论洞察基于 Allied Market Research 和 Markets and Markets 的数据汇编，2022年。

数字孪生 有助减少成本， 缩短上市时间

麦肯锡预估，
数字孪生能够



来源：由麻省理工科技评论洞察基于麦肯锡《数字孪生：企业元宇宙的基础》中的数据汇编，2022年。

数字孪生的应用

西门子关于在使用中数字孪生应用的案例分析证实了连接现实和数字世界的潜力。

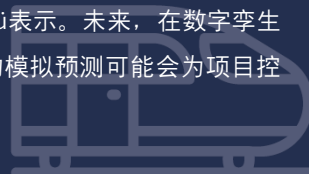


机床 领先数控机床生产商Heller通过应用可执行数字孪生技术，进一步提高机床效率。

Hauptvogel解释称，“他们需要一种解决方案对与现有工厂兼容的工具开展误差检测，而西门子可执行数字孪生(executable digital twin)可以实现这一点”。在这一解决方案支持下，Heller无需借助额外的硬件就可以在400毫秒的时间内检测到20微米的误差，从而大幅提高自动换刀装置的效率，同时降低机器的振动。



铁路 西门子交通正在为埃及建设一条全长2000公里的高速铁路网络，并通过覆盖全项目的端到端数据集成，为铁路网络搭建数字孪生，赋能300名项目工作人员开展工作。“例如，它将指导项目工作人员识别和跟踪技术变化的影响，监控项目实施情况，并自动生成报告。这将有助于侦测错误，避免错误对项目产生实际影响”，西门子交通交钥匙系统工程数字化负责人Selim Köklü表示。未来，在数字孪生中，基于人工智能的模拟预测可能会为项目控制提供新的视角。



生产线 全球个人护理产品制造商联合利华经常需要为新产品或新版产品测试和生产新的瓶子——通常，针对不同的市场，包装设计也有所不同。然而，修改生产线以适应新设计既耗时又昂贵，在小批量测试阶段尤其如此。通过创建新产品和新产线的数字孪生，联合利华可以在几个小时内快速识别对零件的必要修改，并通过3D打印完成修改，生产线更新速度大大加快，产品上市时间从9个月缩短到5个月，同时，资本支出也降低了70%。



城市景观 西门子为2020年迪拜世博会开发了一款智慧城市应用程序，用于监控和运营经过数字化互联的迪拜世博会现场，包括130多栋建筑。该应用程序基于一个能够提供实时数据的数字孪生运作，通过部署在20多万个数据点的传感器收集、监测、关联并分析能源、用水和空气质量相关数据，且这些数据能够实时访问。该应用程序的用户还可以虚拟行走在世博会现场，并通过AR/VR技术参观特定区域。



05

重塑体验： 元宇宙的影响与价值



显然，工业元宇宙将重塑经济。与互联网一样，它也将从根本上改变世界各地人们的日常体验。工业元宇宙将显著改变我们体验物理环境的方式、我们的工作方式以及我们影响地球的方式。

体验与改善人类环境

2022年，谷歌地图通过集成数十亿计的街景和航空图像，创建了我们所处世界的数字孪生，并基于此推出了沉浸式视图功能。该功能利用先进的计算机视觉和人工智能技术，为用户提供了城市或热门地标等某一区域的多维视角和关键细节，包括最新天气和交通情况，重塑了用户对物理世界的体验。

工业元宇宙的进步甚至会对我们所走的街道和依赖的公共服务产生影响。例如，位于柏林的西门子施塔特广场开发项目将在2030年前将一个面积达76公顷的封闭工业区改造成一个面向未来的碳中和城区。为了监测和优化进度和运营，项目通过一个独特的数字孪生生态系统收集并整合其开放空间、建筑、基础设施、能源和交通的静态和动态数据。

楼宇可持续发展

数字孪生可以被用于：

减少楼宇碳排放

50%

优化楼宇运营效率

35%

提高楼宇内工作人员的生产力

20%

来源：由麻省理工科技评论洞察基于EY《元宇宙：创造一个虚拟世界是否意味着建立一个更可持续的世界？》中的数据汇编，2022年。

通过将该区域的数字孪生进一步整合到沉浸式元宇宙中，用户能够更直观地访问这些数据，从而超越我们已知物理空间的限制，打造一个协作的环境。“数据模型是应对城市现在和未来生态和经济挑战的必要基础”，西门子施塔特广场项目总经理Stefan Kögl表示，“数字孪生是实现这一目标的中坚力量，而元宇宙将使海量重叠数据变得透明且实时可用。这将赋能我们超越空间边界，拓展合作，而这是我们今天所无法想象的。”

打造未来型工作场所

未来，元宇宙的应用将可能改变客户体验。Sagi将这样的未来描述为，“客户将能够在虚拟展厅中选择和购买汽车”，足不出户即可完成购买、试驾、功能选择和支付等程序。

不仅是虚拟购车，元宇宙还将为工作场所带来改变。受新冠肺炎疫情影响，网络会议和远程办公得到普及，推动了工作方式的巨大转变。然而，Fisher 表示，问题仍然存在：“在虚拟环境中一起工作的员工如何能够在无需移动的情况下获得真正的沉浸式体验？”他指出，“这将是元宇宙带来的关键变化之一——人们能够在无需出行的情况下更紧密地合作。”

此外，工业元宇宙将增加不受地理位置限制的工作类型，进一步将就业与地理因素脱钩，并为目前仍需面对面互动或基于物理基础设施的职业创造“在家办公”的可能性。与此同时，工业元宇宙将改变公司新设施选址的考虑因素。工作场所的安全性也将发生根本性的变化：如在安全的沉浸式数字世界中，培训工程师维护危险的机械，或帮助现场团队解决危及生命安全的潜在问题。当你能够真实地看到并体验环境时，你将能够更直观地探测潜在的危險，例如火灾或伤情。

元宇宙也将为实验性项目提供试验场：“在仓库启用叉车前或让自动驾驶汽车上路前，公司必须证明这些产品的安全性”，Lange表示，“元宇宙真的能帮助我们做到这一点吗？在这个空间里，多个用户在试验这些使用场景，并检验他们是否能在数字世界中完成其工作。

埃森哲技术创新执行董事Matthias Ziegler表示，数字世界模拟物理交互过程中人性化特征的能力具有重要意义。他指出，“如果在房间里移动时，你能够听到周围人的声音，并判断他们在你身后还是面前，这将创造一种更加沉浸式的体验，为我们在虚拟环境中建立信任并更加自然地互动提供必要的依据。”

追求可持续发展

一个由可再生能源驱动的节能元宇宙将有可能通过授权公司利用数据的力量，助力加速可持续转型的进程。

数字孪生可以使建筑项目在建造过程中以及整个建筑生命周期内显著提高资源效率。例如，通过收集在数字世界中生成的数据，并根据这些信息对工厂的数字孪生进行结构性修改，组织可以节省资源和材料，甚至在施工开始之前就能最小化项目的环境影响。此外，制造商可以实时集成工程、制造和服务相关数据，提高运营效率和可持续性。

“信息将取代物理资源的浪费”，数字孪生研究院执行董事兼首席科学家Michael Grieves表示。数字世界可以引导人们优化使用物理资源，同时推动非物质化转型，用数字对象或服务取代原有的物理产品。

消费者可以购买他们喜爱产品或服务的数字对等物，或至少可以在数字世界中测试和验证这些产品和服务，为可持续发展作出贡献。“在购物前，他们可以先测试一下这些东西对他们是否真的有效”，Lange表示，“我们的社会将变得更加高效，浪费也将更少。”

“信息将取代物力资源的浪费”

Michael Grieves

数字孪生研究院执行董事兼首席科学家



元宇宙的关键影响：赋能可持续发展

统计数据令人震惊：到2050年，世界人口预计将从今天的80亿增加到超过90亿。随之而来的将是对能源、清洁水和其他资源不断增加的需求⁵。为了推动人类未来的繁荣发展，我们必须改变我们的生活方式。

目前的碳排放和废弃物制造主要来自工业生产。通过提高工业过程的效率，元宇宙将有助于打造一个更可持续的世界。工业元宇宙依赖无限可用的数据，而非化石燃料和自然资源运作，因此也将有助于加快净零碳转型，提高资源效率。

然而，作为元宇宙技术的“燃料”，计算能力本身需要大量的能源得以运行。确保我们以可持续的方式满足这一需求是一项不容忽视或低估的挑战，生态系统参与者必须确保能源核算的完全透明化，以证实其环境影响。

以下是工业元宇宙推动可持续发展的方式：

- 工业元宇宙可以通过减少建筑和工业生产中的物理废弃物，帮助减少对环境有害和不可回收材料的使用。它也有可能推动商业模式的实质性转变，即用数字服务和资产取代实物的生产和生命周期管理。
- 数字孪生可以支持我们在现实生活中做出更智能、更快的决策，从而优化流程以降低成本。这些经过精简的流程及其基于实时反馈不断调整的能力将大大减少能源和物理资源的浪费。
- 实验是创新的先驱，但它很可能成本高昂且浪费资源。然而，在数字世界中，组织可以在不使用任何物理资源的情况下试验新材料和工艺。这一优势可以应用于可持续项目本身。例如，生物材料、更高效的风力涡轮机和电动汽车等创新想法将以更快、更容易的方式推向市场，以进一步推动可持续发展。在初始开发阶段即可从产品全生命周期的视角指导产品开发，并在设计中鼓励重复使用和改造利用。
- 推动能源结构从化石燃料向绿色电力转变很有必要。工业元宇宙可以通过提升运输效率、提高建筑的能源效率以及优化工业流程，为减少运输、供暖和制冷等温室气体排放最严重的用能需求提供有力的支持。

工业元宇宙拥有帮助人类解决可持续发展问题的巨大潜力。埃森哲的一项研究显示，以目前的技术成熟度，数字孪生可以在大约10年内减少全球7.5亿吨的二氧化碳排放⁶。



06

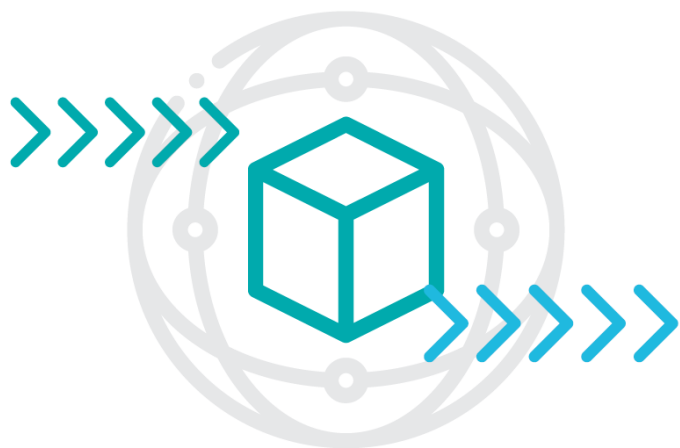
赋能构建新兴的工业元宇宙

作为元宇宙毋庸置疑的构建模块，数字孪生的价值已经得到了证明，但让工业元宇宙变得真正的沉浸、持久且能够提供实时反馈所需的关键能力仍在不断涌现。

连通性：Hauptvogel表示，要想成为一个将物联网的互动和协作提升到新水平的连贯实体，工业元宇宙不仅需要合适的硬件和软件，还需要合适的结缔组织。

Hauptvogel指出，元宇宙的关键组件包括“数字孪生、人工智能以及传输至虚拟应用程序中的真实数据”，她补充道，“我们还需要连接解决方案，如5G或6G。边缘计算和区块链也是必要的，以确保环境的安全性。所有这些技术都已经存在了，但棘手的部分是将它们结合在一起并连接起来。”

计算能力：另一个挑战是获得实时、沉浸式体验所需的计算基础设施。“你需要极其强大的计算能力”来支持工业元宇宙，Grieves表示。幸运的是，他指出，“计算能力正在快速增长。



当初我工作使用的第一台超级计算机，其计算能力为2500万次。橡树岭国家实验室最近安装的超级计算机，其处理能力是它的400亿倍。世界正在发生巨大变化。”

数字孪生保真度：各行业还必须找到创建和验证具有超高保真度模型的方法。为了拥有可靠的预测能力，数字孪生必须表现得与其在现实世界中的对应物一模一样。“确保完全准确地模拟物理对象是一项巨大的挑战”，Grieves表示。组织还必须充分捕捉数字孪生物理对应物周围的数据，并整合真实世界实时产生的信息。Köklü补充道，“构成数字孪生的不是一个看起来非常优秀且全面的三维模型，而是它背后的数据。就像面对一个基础设施设备，你会想知道：它的序列号是什么？有哪些功能？它是如何与其他资产连接的？哪些流程依赖于它？因为除此之外，它不过是一个广告效果图。

“所有这些技术都已经存在了，但棘手的部分是将它们结合在一起并连接起来。”

Annika Hauptvogel

西门子技术与创新管理主管

互操作性：构建和培育工业元宇宙的公司需要具备开放性和互操作性的解决方案，以实现无缝、实时和同步协作。为此，他们需要建立开放的API、兼容的数据格式和协议，正如今天的互联网协议套件一样。这么做的目标在于使用通用的语言集成工业元宇宙。这样，用户仅需通过拖放操作即可将他们的数字孪生与数十个甚至数百个其他的数字孪生相连。

目前，大多数数字孪生都是通过漫长而复杂的设计和开发过程定制而成。这意味着实现这一目标并不容易。然而，在可互操作的开放系统和标准化平台支持下，各行业将能够将其数字孪生与合作伙伴和供应商的数字孪生连接在一起，从而创建更大的生态系统，形成更深入的洞察。中小型企业也将受益于互操作性和标准化，因为这将有助于开发成本较低的即插即用解决方案，从而加速其参与元宇宙。

下一个经济时代：工业元宇宙也将需要并创造新的商业模式。“构成工业元宇宙最重要的其中一部分是，它受到参与元宇宙的个人和企业的信任”，Hauptvogel表示。适当的监管不仅是为了确保并鼓励协作和互操作，同时也有助于解决隐私和安全问题，并保护数字资产的知识产权。

因此，Signe警告称，“政策制定者和商业领袖应该以目的为导向打造一个基于元宇宙的未来。”

区块链可能是提高元宇宙安全性和隐私的关键因素。Ziegler表示，区块链数字身份技术可以帮助行业更好地了解“他们在与谁互动，无论是作为一家想向人类出售服务和产品的公司，还是在不同机器和数字组件之间的互动中。”此外，基于区块链技术的不可替代代币（NFT）可以用于证明工业元宇宙中内容和资产的存在、真实性和所有权。这将实现数字资产全生命周期的价值创造，并催生新的商业模式，如数字孪生交易。

数字平台和市场将成为关键的赋能要素，为各种规模的公司提供全面、开放和灵活的元宇宙解决方案。为数字世界专门设计新的融资工具同样重要。“很多时候，技术并不是阻碍企业快速转型的原因”，西门子金融服务公司首席执行官Veronica Bienert表示，“通常，金融障碍才是严重阻碍进步的原因。”大规模提供必要的融资产品需要金融和技术知识的结合，以及金融机构、机器制造商、终端客户以及整个生态系统中技术和服务合作伙伴之间的合作。

“因此，在元宇宙时代处于领先的公司，其理念、文化和优先事项将有助于决定未来比现在更好还是更糟，而不仅仅是更虚拟或更有利可图。”

《元宇宙：以及它将如何彻底改变一切》

Matthew Ball



07

结论： 打造虚拟未来

尽管挑战重重，但毫无疑问，工业元宇宙即将到来。“元宇宙腾飞的时候到了，并将真正实现我们过去几年来所追求的突破”，Ziegler表示。

“工业元宇宙仅仅是我们下一阶段数字化的结果”，工业元宇宙与数字孪生委员会VR/AR协会联合主席Kevin O'Donovan表示，“不要把它当作最新的流行趋势而忽视它”，他指出，“你需要制定一个计划”。在应对这些挑战时，早期采用者将需要一些建议以从中获益。

警惕画地为牢

数字解决方案的互操作性和开放性是构建和参与工业元宇宙的基本前提，也是当前实现成功数字化的基本前提。试图将他人拒之门外的企业只会画地为牢。尽管如此，Ziegler表示，“目前各行其是的局面和做法仍很常见。接口、互操作性，甚至标准都很缺乏。”

幸运的是，一些实体正在采取一系列重大举措，致力于建立参与元宇宙的通用标准和协议。例如，元宇宙标准论坛旨在通过鼓励标准组织和企业之间的合作，“推动开放性元宇宙的互操作性标准建立”。世界经济论坛也致力于促进关键利益相关方之间的合作，“以综合和开放的方式构建元宇宙”。

“元宇宙腾飞的时候到了，并将真正实现我们过去几年来所追求的突破。”

Matthias Ziegler,

埃森哲技术创新执行董事

尽管具有挑战，但为元宇宙建立开放标准，并确保其互通性，这为组织创造有意义的技术和社会变革带来了绝佳机会。“政策制定者拥有独特的机会从以往的技术发展和颠覆性创新中借鉴经验，以创造一个更美好的世界，一个更美好的元宇宙，构建我们想要的世界”，Signe表示。

明确目标

然而，即使是目前缺乏通用标准的情况下，组织仍必须决定如何制定和实施明确的工业元宇宙战略，包括投资边缘硬件、工业5G网络、数字孪生、人工智能和机器学习等基础技术，或与元宇宙服务或应用程序供应商合作。

组织还必须为其工业元宇宙计划确定价值主张或用例。与任何新兴技术一样，围绕元宇宙及其彻底改变企业运营和人们生活方式的潜力也有许多天花乱坠的讨论。通过在明确的目标范围内工作——例如，最大限度地减少浪费或加快产品开发周期——组织可以明确关于工业元宇宙的讨论中，“什么是真实的、什么不是真实的以及什么是炒作”，Grieves表示。

赋能员工建立工业元宇宙

组织还必须考虑员工对其元宇宙战略的反应。例如，Sagi警告说，“员工可能担心他们的工作会被元宇宙提供的技术或解决方案替代。”对此，组织可以强调工业元宇宙将如何创造新的工作机会：例如，普通人也可以像工程师一样操控高度复杂的机械。混合现实技术和专家的实时反馈可以指导员工为复杂的系统提供服务。不仅如此，培训和提高技能有助员工做好准备，在元宇宙领域执行新的任务并寻求新的职业道路。

帮助员工接受工业元宇宙的另一个策略是消除员工对未知事物的恐惧。“这是一项新技术，人们自然会持怀疑态度”，Lange表示，“这真的行得通吗？你必须说服员工以新的方式做事。”

为元宇宙项目寻找人才还需要发掘新的技术人员招募渠道。“企业必须深入游戏开发者群体，在建立工业元宇宙方面获得他们的帮助”，Lange表示，“他们已经在为游戏创作3D内容。游戏开发社区积累的专业知识也可以应用于工业案例中。例如，我们可能需要在元宇宙中创建机器人，而游戏开发者早已习惯了做这种工作。”团队成员还必须整合他们的专业知识才能在这个新的领域取得成功。“要创造有意义的数字孪生，你需要借助数据和领域知识的力量”，Köklü表示，“必须把领域专家和数据工程师安排在一起工作，方便他们相互学习，并形成具有商业影响力的洞见。”

建立合作伙伴关系 和强大的生态系统

同样，组织将越来越需要寻求外部合作伙伴来共同推动元宇宙的创新。例如，位于特拉维夫的大众集团Konnect开放创新中心促进大众与以色列企业家和初创公司的合作在开发自动驾驶汽车、电动化、脱碳和工业4.0技术等方面开展合作。“初创企业知道如何根据客户的需求调整解决方案”，Sagi表示，“这是成功的关键。”Konnect开放创新中心就是一个很好的例子。该中心一直在探索如何将混合现实技术应用于满足虚拟环境中的制造、培训和零件设计等需求。

诺基亚趋势与创新洞察主管Leslie Shannon表示，“我们正在考虑在未来发展多方合作伙伴关系，这意味着参与工业元宇宙最重要的因素之一是企业的灵活性。”她补充道，“除非大公司变得更加敏捷，否则他们将无法有效地参与这些能够创造真正强大解决方案的合作生态系统。”



“协作和开放对于未来的每一项数字化战略都至关重要”

Annika Hauptvogel, 西门子技术与
创新管理主管



西门子还将合作伙伴关系视为构建强大元宇宙生态系统的重要因素。“没有人能独自做到这一点，”Hauptvogel表示，“协作和开放对于未来的每一项数字化战略都至关重要。”除单个项目外，西门子还希望在平台层面建立合作伙伴关系和生态系统。西门子于2022年7月推出的Xcelerator数字商业平台旨在通过连接客户、开发商和服务提供商，并由各类合作伙伴提供开放、可互操作、灵活且更易于扩展的解决方案，帮助其他公司参与工业元宇宙。

目前看来，元宇宙技术正在迅速变成主流。如今，公司已经可以从这些进步带来的潜力中获益，并集结参与新兴工业元宇宙所需的人才、技术和战略。随着现实世界和数字世界日渐互联，其产生的结果将永远地改变消费者、员工、工业和人文要素图谱。

“参与工业元宇宙最重要的因素之一是企业的灵活性。除非大公司变得更加敏捷，否则他们将无法有效地参与这些能够创造真正强大解决方案的合作生态系统。”

Leslie Shannon

诺基亚趋势与创新洞察主管



关于麻省理工科技评论洞察

麻省理工科技评论洞察（“洞察”）是全球最古老的科技杂志《麻省理工科技评论》的定制出版部，由世界顶尖科技机构麻省理工学院支持，致力于围绕当今世界主要的技术和商业挑战开展现场活动和研究。洞察在美国和海外开展定性和定量研究与分析，发布文章、报告、信息图表、视频和播客等多样化内容。通过不断壮大的麻省理工科技评论洞察全球小组，洞察面向世界各地的高级管理人员、创新者和思想领袖开展研究和深入采访。

关于西门子

西门子股份公司是一家专注于工业、基础设施、交通和医疗等经济和社会支柱性行业的科技公司。从更高效节能的工厂、更具韧性的供应链、更智能的楼宇和电网，到更清洁、更舒适的交通以及先进的医疗系统，西门子携手超过30万名员工，致力于让科技有为，为客户创造价值。通过融合现实与数字世界，西门子赋能客户推动产业和市场变革，帮助数十亿计的人们，共创每一天。如今，西门子提供业界最全面的数字孪生技术，并致力于将其发展成为沉浸式、同步性、持久性和实时性工业元宇宙的关键组成部分。

SIEMENS

脚注

1. J. Pankaj, M. Neha,和V. Vitika,《数字孪生市场：2021-2030年全球机遇分析和行业预测》, Allied Market Research, 2022年7月
2. Alfonso Velosa和Peter Middleton,《新兴技术：数字孪生的收入机会预测》, Gartner, Inc., 2022年2月16日
3. Alfonso Velosa,《新兴技术：数字孪生风险投资增长洞察》, Gartner, Inc., 2022年9月21日
4. Jacques Bacry,《什么是工业元宇宙?》, 凯捷咨询, 2023年2月6日
5. 《经合组织2050年环境展望：不作为的后果——关键事实和数据》, 经合组织环境展望, 经济合作与发展组织, 2001年4月5日
6. Simon Bentley和Tony Murdzhev,《以虚拟双胞胎加速可持续发展》, 埃森哲, 2021年1月26日

图表

所有图表均由Chandra Tallman Design制作。所有图标均由The Noun Project提供。

尽管本报告中信息的准确性已经过最大程度的验证，但麻省理工科技评论洞察对任何使用本报告或本报告中列出的任何信息、意见或结论的行为不承担任何责任。



麻省理工科技评论洞察

www.technologyreview.com

insights@technologyreview.com