



新型工业化 数字工业世界

深圳国家高技术产业创新中心 | 深圳市工赋数字化促进中心
联合西门子（中国）有限公司携手编制



粤港澳大湾区工业互联网公共技术服务平台
GBA Industrial Internet Public Technology Service Platform

SIEMENS

前言

工业化是技术革命的产物，每一次新技术革命，又是推动工业向“新”前行的驱动力。

从蒸汽机到计算机再到人工智能，技术革命极大地改变了人类的生产和生活方式，也带着各个阶段的“传统”向“新型”的跃迁。

1948年，香农的《通信的数学理论》，奠定了现代信息论的基础。比特，不仅是信息量的度量单位，也是数字化过程中用来表示任何类型数据的基础单位。今天，我们站在一个新的历史起点上，新型工业化正成为这个时代的主旋律，以数字化、智能化、绿色化、融合化为特点的工业化浪潮正在快速推进。在新型工业化的道路上，你我都是进入“无知之幕”的成员，我们始终需要“摸着石头”向前探索。数字化，已经成为了各行各业的共识，但揭开这个名词，“打破砂锅问到底”，究竟什么是数字化？正因为如此，我们有必要了解数字化从何而来，更有必要预见数字化将走向何去。

基于这样的初心，深圳国家高技术产业创新中心、深圳市工赋数字化促进中心与西门子（中国）有限公司携手，共同编制了《新型工业化——数字工业世界白皮书》（以下简称《白皮书》）。

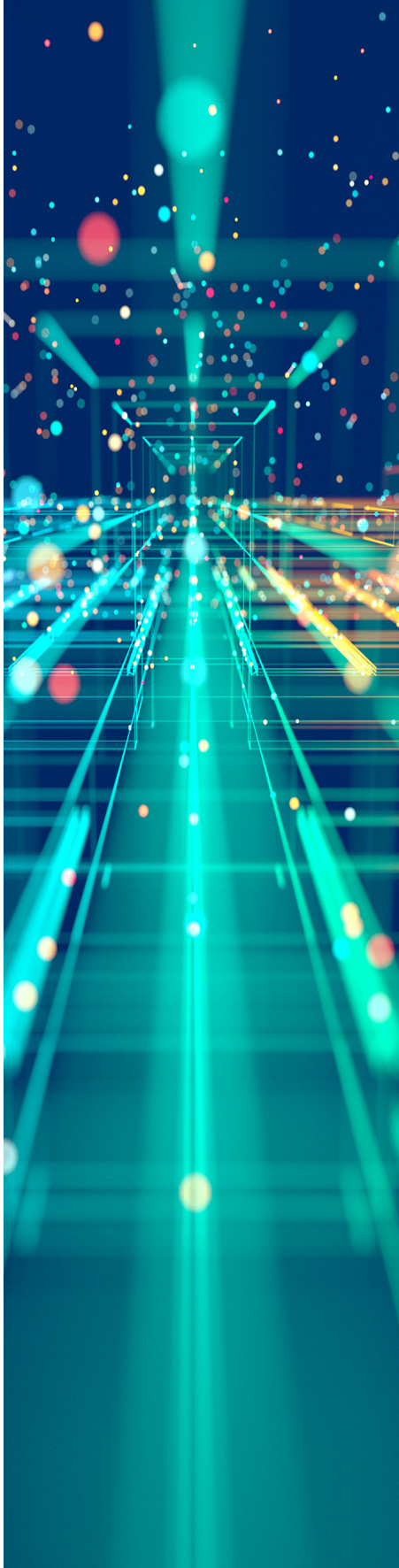
面向未来、愿景驱动，数字工业世界正是我们对未来的期望。

《白皮书》探讨了数字技术如何推动工业的创新与发展，以及它为未来带来的无限可能。同时，我们也基于现有的技术创新成果，深入分析了数字技术在工业生产中的应用，以及数字技术如何推动传统工业的转型升级，如何催生新的产业形态和商业模式，如何为解决环境、资源等全球性问题提供新的可能。

我们希望，《白皮书》可以帮助业界凝聚共识，在工业数字化的茫茫征程中提供些许指引，为所有投身工业数字化的人士提供有益的参考和启示。

让我们一同迎接数字工业世界的到来，共同开拓新型工业化道路上的广阔前景！





目录

01 前言

02 因何而起：数字化的动因

- 人口结构转型
- 城市化进程加快
- 全球化与地方化融合
- 环境和资源的挑战
- 数据的爆炸式增长

03 从何而来：数字化的内涵

- 物理世界数字化
- 数字世界中的推理
- 数字反馈物理世界

04 走向何处：数字工业世界

- 数字工业世界的特征
- 数字工业世界的价值

05 动力引擎：技术的集成和融合

- 数字孪生
- 工业人工智能
- 软件定义自动化
- 重组创新

06 共同打造数字工业世界

- 遵循标准，协作的前提
- 开放组件，激发创新活力
- 依托平台，实现共赢共生

07 数字工业世界评估体系

因何而起： 数字化的动因

我们正身处一个VUCA时代——易变性、不确定性、复杂性与模糊性相互交织，全球工业格局正经历一场前所未有的深刻变革。在这纷繁复杂的不确定性之中，有若干宏观趋势是清晰而确定的，它们正以强大而广泛的影响力，深刻地塑造并引领着全球工业的走向。

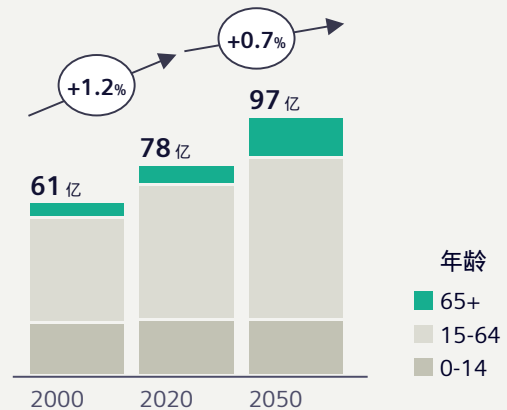


来源：Siemens (2023), Managing Megatrends
<https://www.siemens.com/global/en/company/about/strategy/siemens-megatrends.html>



人口结构转型

全球人口将持续增长。非洲的人口将在2000年至2050年间几乎翻一番。尽管一些地区的人口增长正在放缓，但同期全球65岁以上人口的比例将几乎增长两倍。面对这一双重挑战，经济增长模式将越来越依赖于通过数字化等先进技术推动生产效率提升，而非单纯依赖于人口数量的增加。在新技术的创新应用中，人工智能、自动化和机器人技术将承担原本由劳动年龄人口承担的工作，极大提升现有生产效率。



老龄化社会

按年龄分组的人口发展（复合年增长率）^①

- 世界人口增长迅猛，但老龄化趋势明显
- 65岁及以上人群增长相对更为明显（2000年至2050年：2.7%）

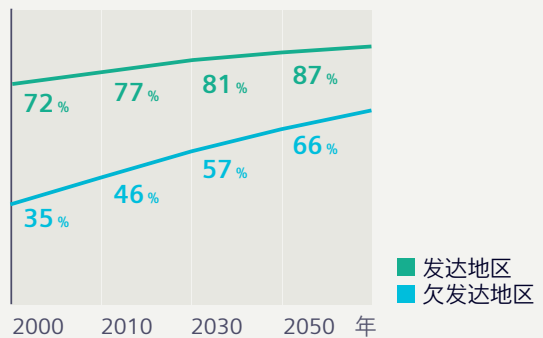
① 来源：联合国经济和社会事务部人口司（2022年，《2022年世界人口展望》）



城市化进程加快

特大城市的崛起是城市化的显著标志。目前，全球有33座人口超过1000万的城市，其中上海、东京、新德里等特大城市人口更是超过了2000万。预测显示，到2030年，特大城市总数将达到43座，且大多数新兴特大城市将诞生于发展中国家。

挑战与机遇并存，城市化的进程不仅为工业带来了巨大需求来源，还为工业发展提供了更好的基础设施，但与此同时伴随而来的是对能源、清洁水源及其它自然资源激增的需求。



城市化主要发生在欠发达地区

%：随时间推移，居住在城市/农村地区的人口占比^②

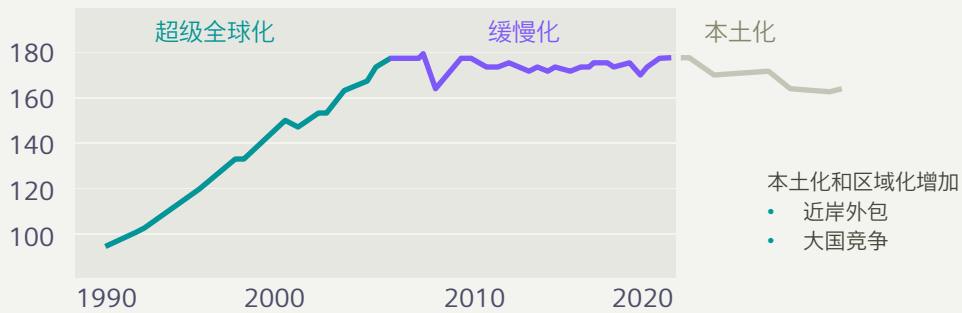
② 来源：联合国《世界城市化展望》（2018年）



全球化 与地方化融合

全球化进程的促进了供应链的高效运转，也使其变得愈发冗长与复杂。供应链高度依赖国际合作的同时，也暴露了全球化供应链面对突发事件时的脆弱性。地缘政治冲突、自然灾害、疫情等外部因素均可能成为供应链中断的导火索，对全球生产稳定性构成威胁。加之贸易保护主义的抬头、贸易争端的频发及各国对关键技术与资源控制力度的增强，供应链的稳定性正面临前所未有的挑战。与此同时，地方化需求又要求供应链更加灵活，以快速响应本地市场变化。融合的多样需求使得供应链更加复杂和多元化。

全球商品贸易占全球工业生产比例（指数 01/1991 = 100）^③



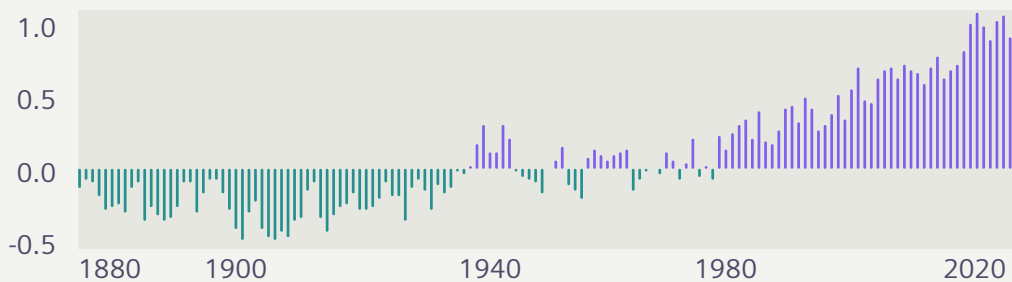
③ 来源：全球贸易警报，经济政策分析局



环境和资源 的挑战

环境恶化与资源枯竭是全球面临的共同挑战。目前每年约有900亿至1000亿吨原始矿物被开采，这一数字在2060年将翻一番达到1900亿吨。海洋生态系统中的塑料垃圾也将在2030年增加65%。全球城市地区的水资源短缺情况正在加剧。全球气候变暖也是显著的挑战，尽管在解决人为全球变暖的许多方面已经取得了进展，但还不足以将全球变暖限制在+1.5°C以内。工业生产作为碳排放与废弃物产生的主要源头，其绿色化转型迫在眉睫。

气候变化持续
全球年均温度变化 (°C) ^④



当前的政策不足以将全球变暖限制在本世纪的+1.5°C以内

④ 来源：美国国家海洋和大气管理局（2022年），与全球20世纪平均值的偏差



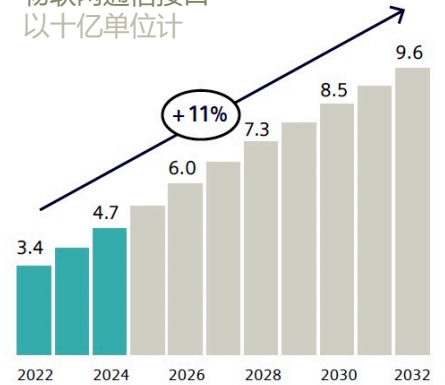
数据的爆炸式增长

当下全球数据量的激增速度令人瞠目结舌。据权威机构国际数据公司（IDC）的预测，至2025年，全球数据量将震撼性地达到175泽字节（Zetabytes），相当于175万亿亿字节，其年复合增长率（CAGR）更是高达惊人的61%。

我们正步入一个前所未有的数据密集型时代。在数据爆炸的浪潮中，工业领域尤为显著。比如，遍布全球工厂的西门子工业控制产品，其每小时产生的数据量高达100太字节（Terabytes），这一数字放在十几年前是不可想象的。

数字化转型的蓬勃发展

物联网通信接口^⑤
以十亿单位计



⑤ 来源：由西门子根据Gartner研究创建并进行计算。

Gartner®是Gartner, Inc.及其附属公司在美国和国际上的注册商标和服务商标，并在此处得到授权使用。保留所有权利。

Gartner®预测2023年：物联网、端点和通信，全球范围内，2022年至2032年，2023年第二季度更新 - 按部门划分的全球物联网端点装机量，包括医疗保健提供商、制造业和自然资源、智能建筑、交通。

人口结构变化、城市化、全球化与地方化融合、环境与资源的挑战，以及数字化带来的数据量大爆炸这五大趋势，将对转变全球经济，改变地缘政治力量的平衡，优化全球劳动力结构产生深远影响。与此同时，数字化浪潮为我们带来了无限机遇，我们从未拥有过如此多强大的技术，它渗透到每一个行业，并为上述许多挑战提供解决方案。

从何而来： 数字化的内涵

数字化用更少的物理资源创造更多价值，实现了物理与虚拟世界的无缝融合，通过各种数字技术的应用，改造企业的业务流程、组织结构、管理策略及服务体系。



物理世界数字化

通信的本质在于把一处的信息精确地或者近似地重现到另外一处。

The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point.

克劳德·艾尔伍德·香农(1948)
Claude Shannon(1948)

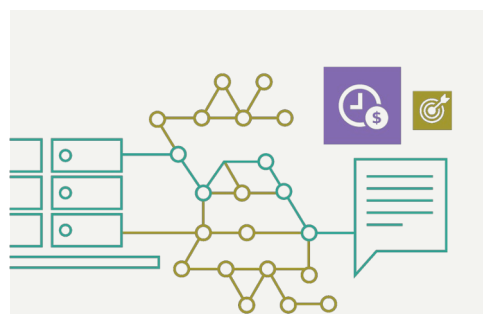
数字化需要从原子到比特，将物理世界映射至计算机等数字设施中的过程。要实现数字化，我们首先要做的是将物理世界的事物、信息转换为数字形式的表达，存储在数字设施中。

在信息领域，奈奎斯特-香农（Nyquist-Shannon）采样定律扮演着至关重要的角色。奈奎斯特（Nyquist）在1928年的论文《Certain Topics in Telegraph Transmission Theory》，揭示了将一个信号（例如时间或空间上连续的函数）转换为数字序列（时间或空间上离散的函数）的过程。具体的采样定理是由香农在1949年发表的《Communication in the Presence of Noise》中提出：如果周期函数 $x(t)$ 不包含高于 B cps（次/秒）的频率，那么一系列小于 $1/(2B)$ 秒的 $x(t)$ 函数值将会受到前一个周期的 $x(t)$ 函数值影响。上述定律告诉我们，只要选择合适的采样频率，就能够确保物理世界中的连续信号在转换为数字信号的过程中不丢失任何信息，使我们能够获取到准确反映物理世界的的数据。

物理世界的数字化过程具有丰富性。除了对信息的采样之外还有其他方式，比如，直接对各类信息进行编码，以软件的形式进入数字世界。

在工业中，通常依赖于传感器和自动化系统，它们能够精准地捕捉物理世界中的温度、压力、速度、流量等细微变化。这些原本连续不断的模拟信号，在经过精细的测量、采样、量化和编码流程后，被转化为一连串离散的数值。

开展数字化就是需要利用计算机的算力对数字化后的信息进行加工、处理和重构，替代或部分替代原本是物理世界的过程，通过数字资源创造更多价值。



知识图谱

数据可以被分为结构化和非结构化两大类。结构化数据以明确的格式存储，如数据库或电子表格中的信息，其数据元素之间的关系一目了然。非结构化数据则缺乏固定的格式和结构，如视频、文档等。知识图谱可以整合不同渠道的多样化异构数据源，包括结构化和非结构化数据，使得数据检索、分析和推理更加高效。

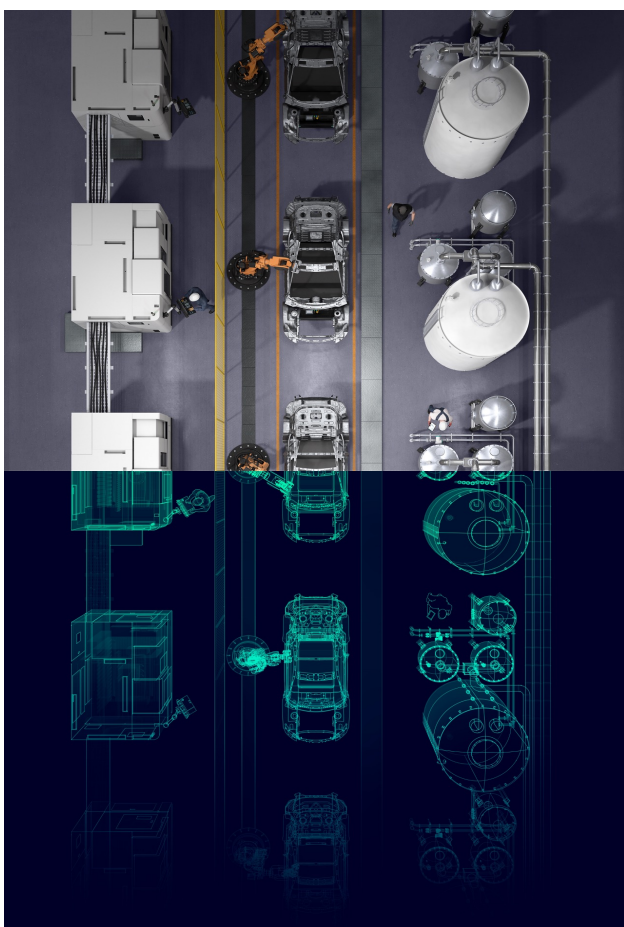
数字世界中的推理

在数字世界中的推理是根据已知的信息或前提，通过数字化技术，对数据进行加工和挖掘，进而深化对物理世界的认识，挖掘新的知识和规律，并推导出结论或做出判断的过程。

演绎和归纳是两种基本推理方法，它们在人类认识和改造物理世界的过程中发挥着不可替代的作用。

演绎植根于物理世界的第一性原理，通过严谨的逻辑链条，将已知的物理世界的规律应用于不同情境，从而推导出必然性的结论。

归纳则是从纷繁复杂的具体现象中，提炼出普遍性的特征或规律。归纳推理可以是完全归纳，即观察了某一类别全部对象后得出的结论，也可以是基于部分观察的不完全归纳，其结论虽然带有一定的或然性，却为探索未知提供了宝贵线索。



在数字世界中，演绎和归纳的两种推理方法体现为两条并行不悖的技术路线。

基于物理

基于物理的数字孪生技术，它通过构建物理实体的精准数字副本，集成全方位数据，成为数字世界中的权威信息来源。利用物理规律作为数字世界的第一性原理进行仿真，能够精确演绎出实体在不同条件下的行为轨迹，其结论具有高度的必然性。

基于数据

它运用先进算法从大量复杂数据集中归纳出可能对人类来说并不明显的趋势、相关性、异常与深层规律。这一路径虽依赖于样本的代表性与全面性，结论带有一定的或然性，但为探索未知领域、发现新规律提供了强大动力。

两者相辅相成，在数据资源有限的情况下，基于物理的方法可以基于第一性原理进行前瞻性的假设分析，而并不依赖于从物理世界当中获得的数据。以产品设计为例，计算机辅助工程（CAE）技术的应用显著提升了性能评估与优化效率，有效减少了依赖物理试验的次数与成本，展现了物理方法在数据稀缺环境下的独特价值。

面对认知边界的局限时，数据驱动的方法则凭借海量数据的丰富性与多样性，展现出强大的探索能力与规律发现潜力。机器学习等先进算法在预测性维护等领域的广泛应用，正是数据技术在复杂系统中挖掘隐藏规律、实现精准预测的有力证明。

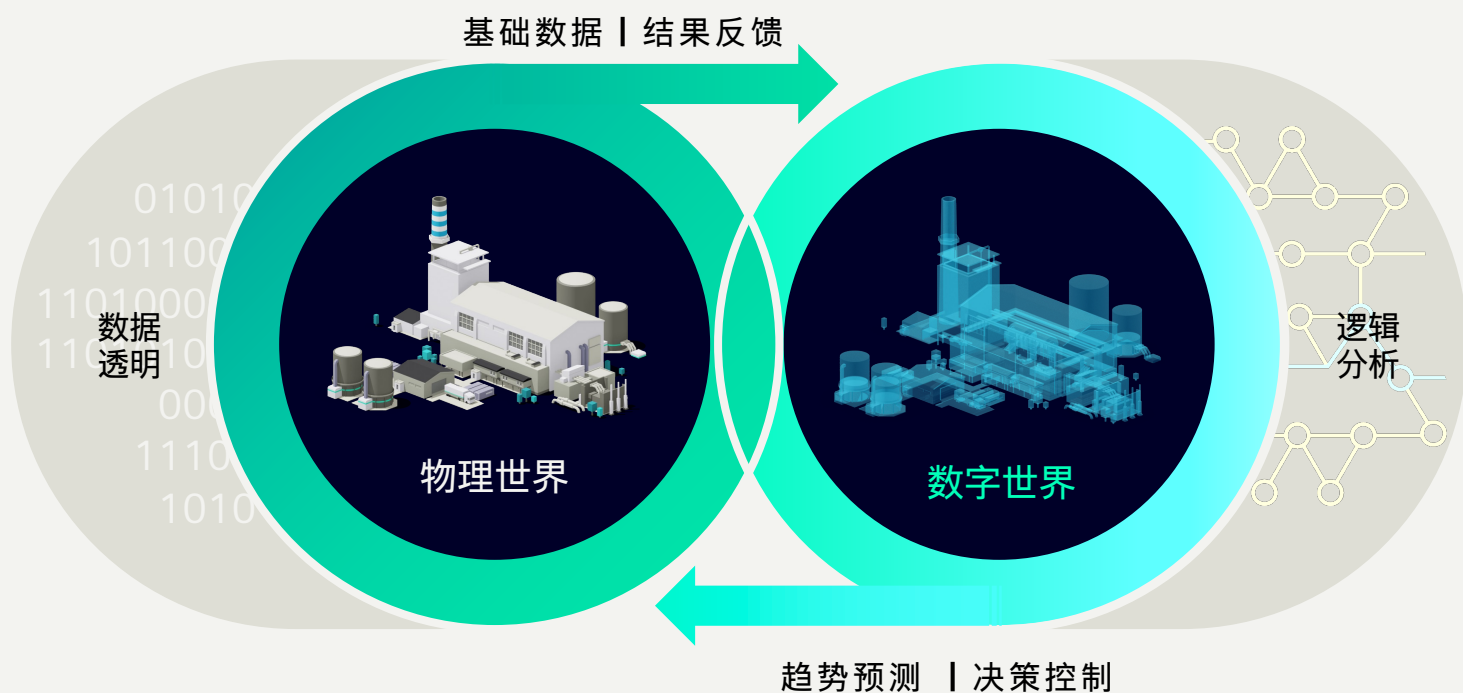
这两种技术路径并非孤立存在，而是能够深度融合和相互促进。数据技术能够巧妙地填补仿真模型在机理不明确或关键变量缺失时的空白，通过数据驱动的分析弥补物理仿真的不足。反之，仿真技术也在不断为数据技术提供丰富的数据资源与支持。通过高精度仿真生成的海量数据，不仅丰富了数据驱动模型的训练素材，还增强了模型的泛化能力与鲁棒性。以自动驾驶为例，利用图像合成技术模拟多样化的驾驶场景，为自动驾驶算法提供了充足且高质量的训练数据，加速了自动驾驶技术的成熟与落地。

数字反馈物理世界

数字世界存在的意义，不仅在于数据的处理和分析，更在于将洞察转化为实际行动，从而对物理世界产生积极的影响。这一过程需要依赖于严密的闭环机制，确保从数字到物理的无缝对接与高效转化。

在工业领域中，决策和控制是实现其价值输出的核心机制。决策是基于推理的结果，制定出理想的行动方案或策略的过程，包括供应链的调度策略，产品的设计方案，生产计划，设备的运行参数，设备维护计划等，既可由数字世界自主完成，亦能融合人类的智慧与判断力。数字技术以其强大的数据推理能力，为人的决策提供坚实的数据支撑。

控制是将决策转换为具体的行动指令，直接驱动自动化设备或智能体在物理世界中作业。这些设备和智能体不仅能够根据数字世界的输出，执行相应的任务或操作，还能够通过反馈机制，将执行结果汇报给数字世界，维持闭环的顺畅运行。



数字世界将物理世界编码为数据，通过推理形成洞察，并驱动决策与控制，形成数字世界和物理世界双向循环的闭环机制，实现数据到行动的高效转化。

走向何处： 数字工业世界

数字工业世界是工业全面数字化的高级形态，而其构建历程也正是工业领域全面数字化转型的过程。在数字工业世界中，各类产品、资产和业务活动等信息均被系统地编码成数据，构成了一个庞大的数据资源库。依托数字化技术强大的数据处理能力，这些数据资源转化为富含价值的洞察，直接驱动价值链各环节的自主优化与高效运作。



数字工业世界的特征



1 生产资源重塑

随着数字工业领域的蓬勃发展与广泛应用，生产资源的格局正经历着深刻变革。其中，数字资源已跃居产品开发、制造及运营等各流程的核心位置，引领着生产资源的全面重塑。

以汽车制造业为例，依赖实体原型车进行迭代优化的方式，耗时漫长，资源消耗巨大。但是现在，得益于数字孪生技术的革新，工程师们能够在虚拟的数字工业环境中，构建起与实物几无二致的汽车数字原型。通过高精度的仿真测试，预先洞察潜在问题，从而极大地缩短了产品开发周期，实现了成本的有效控制。

通过从物理世界向数字世界的转变，数字资源展现出两大核心优势：首先是高度的灵活性，例如设计阶段的任何外观调整，仅需简单修改数字模型参数即可完成，无需重新制作物理部件，极大提升了设计效率。其次是无限的可复用性，在数字领域内，汽车碰撞测试等复杂场景可以无数次重复模拟，既确保了产品的安全性，又显著减少了实体测试车辆的消耗。

总而言之，数字资源凭借其灵活性、可复用性等显著特性，为企业带来了成本效益与运营效率的双重提升，更打破了物理世界的局限，开辟了创新设计与实践的无限可能。



2 生产工具革新

在数字工业世界中，算法与算力已悄然成为引领变革的全新生产工具。它们以数字资源为基石，通过精细的加工与创造，不断识别出深藏于数据之中的新洞察。相较于物理世界中的传统生产工具，数字工业世界的算力展现出了前所未有的拓展潜力。

硬件能力的快速迭代为算力的强大奠定了坚实基础，而算法效率的不断提升更进一步提升了硬件的使用效率。例如，代理模型的引入加速了计算流体力学（CFD）的验证过程，在确保计算精度的同时，更显著缩短了计算周期。软件底层架构在实现大规模并行计算后，更是使得计算效率呈现出几何倍数的增长。算法与算力相辅相成，形成了一种相互促进、无限拓展的良性循环。高效算法在强大算力的支撑下充分发挥优势，强大算力为复杂算法的运行提供了坚实的保障，两者协同作用，共同突破了物理世界的生产能力上限。



3 时空限制突破

在数字工业世界中，技术的进步已极大模糊了时间和空间的界限。

时间维度上，仿真算法和强大算力让我们能精准预测未来趋势，为生产规划提供智慧指引。同时，数字技术能详尽重现历史生产流程，轻松追溯问题原因，推动工业生产智能化和高效化。

空间维度上，地理界限已逐渐消失，全球各地的专家、技术人员与决策者能轻松跨时空合作，共享知识，无界创新。这种协作不再局限于人与人之间，更延伸至人与智能体，乃至不同智能体之间的深度交融与协同作业。人工智能在虚拟空间中，不断学习领悟各领域知识，算法持续优化升级，与现实世界各智能体实现无缝对接与实时互动，共同编织智慧的未来。

在数字世界里，借助尖端的仿真技术与算力支持，产品设计工程师在概念设计阶段可以直观获悉不同设计方案对产品最终性能的影响，工艺工程师也能在工艺编制初期提前了解不同加工工艺对产品质量详细评估。

数字世界可以逼真重现设备故障的瞬间，让全球的工程师能够迅速接入，观察设备发生异常行为的全过程，精准定位问题根源——是传感器的失灵？还是算法在特定情境下的误判？通过对历史场景的深度复盘，设备设计与控制算法得以不断优化，设备的可靠性与性能因此跃升至全新高度。



4 数实共同进化

同样随着数字化技术的深入探索与广泛应用，数字世界除了打破时空的限制，其自身与物理世界的界限也将愈发模糊，两者携手步入一个前所未有的协同进化时代。

在工业领域，越来越多的物理世界信息被精准且高效地映射至数字世界中。从单一设备到整条产线，从独立企业的运营到整个产业集群的协同，乃至所有个体活动的方方面面，都能在数字世界中找到其对应的代理。这些代理不仅实时反映物理世界的动态变化，还蕴含了相对应的物理实体在物理世界的运作规律。

在数字世界中，我们得以超越物理世界的局限，以超乎寻常的能力和效率进行探索、改进、优化与升级。数字世界可以不知疲倦的挖掘新的可能性，探索如何为物理世界创造更多的价值，并将这些成果实实在在地反馈给物理世界。这种数字世界与物理世界之间双向互动与协同演进，正推动着工业领域向更加智能化、高效化、可持续发展的方向发展。

数字工业世界的价值

未来，数字工业世界不仅是对物理世界的简单镜像复刻，更是对内在逻辑与规律的深度挖掘与拓展，引领我们步入一个既基于现实又超越物理世界的全新维度。

相较于传统工业，数字工业世界以数字资源为核心，以强大的算法和算力为引擎，打破物理时空固有界限，并与真实工业世界相辅相成，共生共进。数字工业世界将以前所未有的方式消融虚拟与现实世界的边界，塑造出一个既根植于现实又超越现实边界的全新虚拟空间。

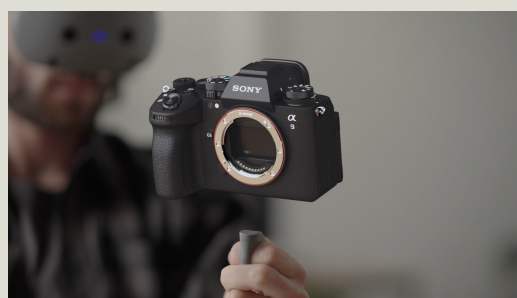
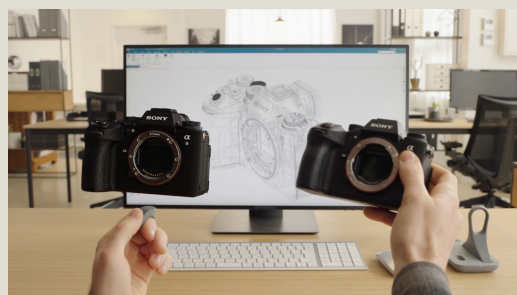
工业体验的革新

借助快速发展的交互技术，数字工业世界将会提供前所未有的沉浸式体验并革新用户的感知。通过空间计算技术和实时渲染技术的结合，革命性的沉浸感彻底改变我们体验物理世界的方式。

在危险的工业现场，空间计算技术和实时渲染技术的结合，使得维修工程师能够在安全的虚拟环境中，以第一人称视角进行故障诊断和模拟维修。维修工程师不再需要直接面对高风险的操作，而是通过精确的数字化模拟和远程控制技术，安全地执行维护任务。

在跨领域合作的场景中，数字工业世界为非专业人才提供了接触和理解工业研发、生产、运营等各个环节的机会。用户将有机会参与到专业产品的设计过程中，成为个性化设计的重要一环。包容的环境促进了知识的共享和创新思维的产生，使得不同背景的用户能够共同探索和创造。

如同真实世界一般，数字工业世界中用户观察和管理各种场景的体验将会被彻底革新，用户更能够作出高效精准的决策。全新的交互方式不仅提升了工作效率，还为工业生产的安全性、灵活性和创新性开辟了新的可能性。更为重要的是，数字技术的不断提升，除了直观地革新了工业领域用户的体验，最终甚至能改变现有角色的定位，重塑整个工业的分工格局。



案例

Siemens NX Immersive Explore

革新工业设计体验，将游戏级别的沉浸式体验融入工业设计评审、虚拟调试及流程确认等环节。设计师在数字工业世界的无限画布上，依托特制的Sony手柄进行精确操控与编辑，实现与3D模型的全息互动，让数字与现实世界的界限模糊难辨。它打破地域限制，让全球团队能即时连线，共同作出高效精准的决策。



协同化生产网络

数字工业世界彻底挣脱了传统产业地理空间的桎梏，构建起一个虚实交融、开放透明、全价值链贯通的数字产业集群，实现生态范围内的所有组织和个人在统一的虚拟平台上无缝协作。

在数字工业世界中，生产资源变成某种程度的公共资源。企业依据广泛的市场大数据，精准定制产品设计任务，并灵活发包给全球范围内的研发团队。研发完成后，企业凭借先进的预测订单技术和对生产资源的精准配置能力，直接向合适的制造团队下达生产任务。产品下线即进入智能物流系统，该系统自动匹配合适的运输方案，确保产品快速、低成本的送达客户手中。从需求到交付的全过程，各成员间实现信息共享、资源整合以及协同规划。这种紧密的协作不仅提高了资源利用效率，大幅减少了冗余和浪费，还赋予了供应链在面对外部风险时的强大应变能力。即使面对市场波动或突发事件，供应链也能够迅速调整策略，确保生产活动连续稳定进行。

在这样的数字工业世界里，距离不再是障碍，合作与创新的边界被无限拓宽，逐渐形成一副无边、高协同的新型产业集群图景。供应链不再是线性的链条，而是一个动态的、相互连接的协同化生产网络。企业、供应商、分销商和消费者都在这个生态系统中相互作用，共同推动着整个价值链向更高层次的协同和创新迈进。

案例

Catena-X^⑥

在欧洲，Catena-X汽车网络联盟正在构建一个开放的生态网络，目的是为整个汽车价值链端到端数据链的创建、运营和协作使用提供一个共享开放、健康的环境，使得所有参与者能安全地进行跨公司的数据交换，以达到加强韧性、提高可持续性、实现大规模定制并提高汽车供应链的效率的目标。这个平台链接了用户和供应商，囊括行业内的中小企业和集团大公司，资源供应商和回收商。生态成员利用行业数据创造新的价值。该项目旨在整合并扩展现有的标准，形成一个全面、开放的数字平台，为工厂装备商和运营商提供一站式的数字化解决方案，实现工程、设备信息及状态监测的上下游产业链数据一致性，推进整个汽车行业的产业链韧性和可持续发展能力。



汽车工业价值链
更可持续



安全的数据传输
数据透明与标准化



汽车价值链
更具韧性

⑥来源：<https://catena-x.net/en>

资源的绿色高效



数字工业世界中，大量的信息和数据、算法算力等成为新的劳动对象，通过对信息的深度挖掘和高效利用逐步改善传统生产模式下对物理资源的过度消耗与不必要浪费。

数据表明，产品相关的80%环境影响都集中在产品的设计和研发阶段^⑦，数字工业世界将低碳设计理念融入产品的核心设计考量之中。设计师能够在产品开发的早期阶段，对环境影响进行评估，确保每一款产品的材料选型、结构设计、工艺设计等环节都能在降低碳排放的同时，又满足功能和性能要求。

在生产试制阶段，企业依靠高度仿真的虚拟环境和智能算法来不断优化生产工艺。这种方法极大地减少了实物试验和材料消耗，实现了资源的优化调度。通过智能化的生产规划，企业能够实时调整生产流程，确保每一道工序都能以节能、高效的方式运行，大幅度提升资源的利用效率，实现“一次成功”的制造理念。

到了运营运维阶段，数字化的手段同样发挥着至关重要的作用。通过实施预测性维护和实时监控，企业能够有效减少非计划停机事件，避免由此带来的资源浪费。智能化的运维系统可以提前识别潜在的故障点，及时进行干预，确保生产线的连续稳定运行。这样的运维模式不仅提高了生产效率，也进一步促进了资源的节约和环境的保护。



西门子全球首座原生数字化工厂^⑧

西门子数控（南京）有限公司工厂是西门子首座基于数字化企业概念从零打造的工厂，并采用了全系列数字化解决方案。

新工厂设计初衷是打造一个高效率且可持续的工厂，在建设阶段充分使用了数字化技术，在建造之前就在数字世界中完成了规划、仿真和优化，有机结合了工厂数据、产线数据、绩效数据甚至建筑模型等数据以实现完整的数字孪生，从而大幅提高了工厂的生产效率和绩效，使其成为西门子在德国之外最大的 CNC 控制器、驱动器以及电机的研发和制造中心。

节能减排预估值（与旧工厂相比）：每年节水6300立方米，减排降碳3300吨，每年节约用电500万千瓦时。

^⑦ 来源：<https://newsroom.sw.siemens.com/en-US/teamcenter-carbon-footprint-emissions/>

^⑧ 来源：<https://www.siemens.com/cn/zh/company/topic-areas/digital-enterprise/digital-native-factory.html>

更具活力的创新

案例

尼莫的花园^⑨



海洋水下作物种植的初创公司“尼莫的花园”团队，专注于充分利用海洋资源并打造出一个适宜各类植物生长的海底温室——“尼莫的花园”。团队在初始阶段已经证明了该项技术的可行性，并且还发现在海底温室中生长的植物比传统种植的营养价值更高。然而在加速将试验原型推广成一个全球可部署的解决方案时，受限于海底环境和政策、生物生长周期的影响，团队需要漫长的物理测试和长周期的温室环境监测，这严重制约了团队产品工业化和规模化的进程。

在采用了西门子Xcelerator软件和产品组合后，团队成功为尼莫的花园构建了一个全面生物圈数字孪生体，不仅能够模拟生物圈内的生长条件、设备对水体的影响，还帮助团队了解到太阳辐射、温度和所有物理因素是如何影响植物的生长，极大加速了团队的创新周期，并帮助其更快地向工业化和规模化迈进。



在虚拟而又高度逼真的数字工业世界中，企业可以构建出与真实世界几乎无异的研发环境，让工程师们能够摆脱物理世界的限制，自由探索各种创新可能。

在数字工业世界里，产品创新得到了前所未有的加速，创新的概念能够迅速转化为实际的产品。借助先进的数字工具，设计团队可以在虚拟空间中快速迭代设计方案，利用快速仿真技术实时、准确地评估产品性能与制造成本，极大地缩短了从概念到产品的转换周期。

通过自动化和自主化工作流程，企业将大大减少冗余步骤，实现企业流程的创新。这种创新缩短了工作流，使得原有串行的信息传递可以变为并行执行，决策过程从而更加高效。从研发到生产，再到销售和物流，流程的自动化和自主化带来的创新将让企业的各环节变得更加紧密和灵活。

商业模式的创新也在数字工业世界中得到了体现。未来，企业将不仅仅以单一产品的形式存在，而是更多地以“即服务”的模式为其他企业创造价值。这种转变意味着产品的形态将不再局限于物理实体，而是扩展到提供持续的服务和解决方案。企业借此开辟新收入来源，提升客户忠诚度。客户则能减少前期投资，专注核心业务，实现双赢发展。从产品到服务的转变，不仅为企业带来了新的增长机遇，也为客户提供了更加灵活和高效的解决方案。

总而言之，数字工业世界的影响正深度渗透并显著提升企业价值链上的每一个环节，通过应用数字技术来充分结合人的领导力和创造力，优化企业的业务流程、组织结构、管理策略及服务体系。这些影响和提升将会覆盖所有的个体和集体，实现更敏捷易得的创新平台、更高效节能的工厂、更具韧性的供应链。通过融合现实与数字世界，数字工业世界将会推动产业和市场变革，帮助企业乃至整个社会走向更加可持续发展的道路。

^⑨ 来源：<https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-enables-underwater-farming-revolution-digital-twin-solutions>

动力引擎 技术的融合和集成



In recent decades, digital technologies have matured at a phenomenal pace and are now being combined to solve every conceivable problem in the real world. The opportunities are boundless.

近几十年来，数字技术以惊人的速度成熟发展，现在正在被结合起来解决现实世界中的各种问题。机遇是无限的。

Dr. Peter Körte
西门子股份公司董事会成员
首席技术官兼首席战略官

数字工业世界是现有技术体系持续进化与深度融合的必然产物。我们认为，数字孪生、工业人工智能与软件定义自动化，三者共同构筑了数字工业世界的坚实技术支柱。



数字孪生 是数字工业世界的基础组件。它精准地构筑了物理世界在数字维度中的镜像，承载着和物理实体相关的所有细节信息，反映了物理世界的运作法则与内在规律，为数字世界的精准推演奠定了基础。



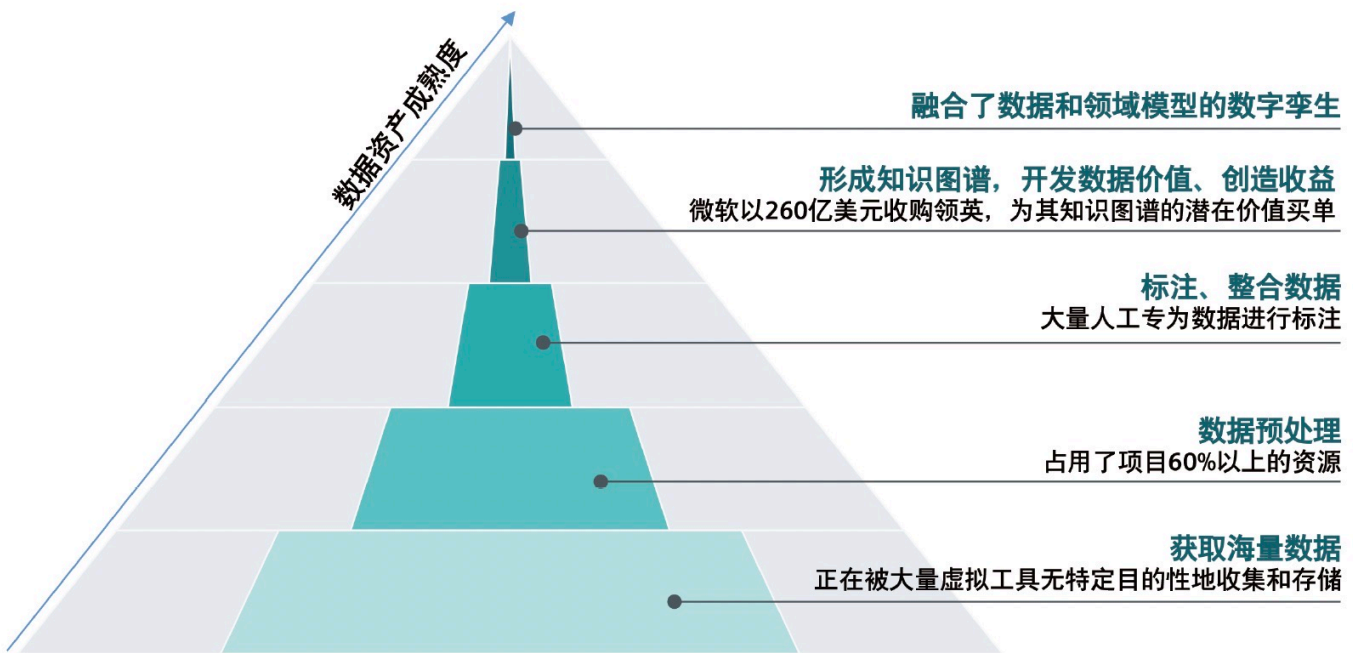
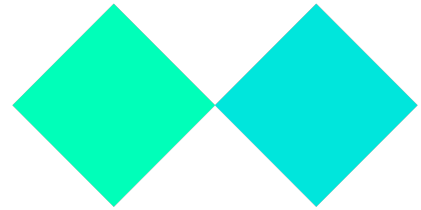
工业人工智能 是数字工业世界的强大引擎。AI凭借超乎寻常的数据处理能力，在数字领域内不断拓展延伸智能的边界，快速获取新的知识，并且可以灵活运用这些知识以解决工业领域的复杂难题，实现智能决策与高效优化，帮助工业实现智能化转型。



软件定义自动化 无缝衔接数字工业世界与物理世界。它赋予了数字世界对物理世界进行精准控制与优化的能力，使得数字世界的决策能够直接作用于物理实体，极大地提升了生产流程、运维管理各个环节的效率与灵活性。

数字孪生

数字孪生，作为物理实体在数字世界中的镜像，汇聚了贯穿价值链全生命周期的丰富信息，既包括通过工业软件构建的设计模型与仿真模型，数据库和电子表单中记录的信息，还能实时接收传感器、工控设备采集到的现场真实数据，确保数字世界与物理世界的同步更新。将一个物理实体相关的所有信息关联起来，就成为了该物理实体的全面数字孪生体。孪生体不仅再现了物理实体的当前状态与信息，更能够全面反映对应的物理实体在物理世界中的运行逻辑和动态规律。



来源：西门子艾闻达 西门子中国研究院 《数据战略——让数据资产创造价值》

数字工业世界的权威信息来源

在数字工业世界中，信息的准确性和一致性是确保价值链各系统、各环节高效协同运作的前提。特别是在复杂多变的工业场景下，面对跨部门、跨企业间普遍存在的信息不对称与理解鸿沟，这些问题尤为棘手。

数字孪生为企业各部门提供了一个共同的事实基础，即一个基于真实物理世界的、高度一致且可量化的数字模型，使得各部门能够基于同一套数据进行决策、分析和协作。此外，数字孪生作为权威信息来源，不仅在于其包含的数据，更在于其内置了第一性原理，即最基础、不可动摇的物理世界规律。这些原理被嵌入到模型之中，成为仿真和验证的基础。

以产品的数字孪生为例，它全面集成了产品全生命周期相关的各类关键数据，如设计模型、多物理仿真模型、规格说明、材料清单、生产流程等。借助产品生命周期管理系统(PLM)的集中管理和协调，企业能够轻松实现数据的集中管理与共享。团队成员无需受限于地理位置或时间差异，均可通过PLM系统实时访问数字孪生模型，共同参与讨论、深入分析并作出决策。

用仿真实现近乎零成本的试错

数字孪生实现了在数字世界对物理世界开展预测、验证及优化的能力。

从产品设计、产线布局、供应链调度、设备控制参数调整，乃至楼宇与工厂的节能减排方案等多个维度，数字孪生通过仿真不同场景下的表现，能够提前洞察潜在问题，预见未来变化，帮助我们在价值链的各个环节做出精准乃至自主的优化决策。

数字孪生强大的演绎过程，依托于广泛的物理领域仿真技术，包括但不限于机械仿真、流体动力学仿真、电磁仿真、热力学仿真、机电一体化仿真、能源系统仿真、分子动力学仿真、产线仿真、人体工学仿真以及能耗仿真等。

数字孪生能够精准映射物理世界的复杂性与多样性，服务于产品全生命周期。比如，在产品的定义和设计阶段，工程师可以通过多物理仿真全面验证产品性能。比如，锂离子动力电池包的设计是否安全？如何通过优化设计减少电磁力引起的机械振动？产品的机械、电子、软件和系统性能等，各类问题都可以通过数字孪生进行提前测试和优化，确保了产品的安全性和鲁棒性。

在生产过程中，通过整合MES数据与传感器实时信息，数字孪生可以动态预测生产过程和物料流动，为运营决策提供量化支持。在产品运行阶段，数字孪生源源不断地获得实时数据，包括设备的状态数据，能耗数据等，（辅助）制定控制和预测性维护策略、有效降低运行成本和维护成本。

案例

宝马发动机有限公司产线仿真优化^⑩

宝马发动机有限公司集团通过西门子软件 Plant Simulation在不干扰实际工厂运营的前提下，对多种生产规划方案进行了深入的可行性与盈利性分析。这一做法不仅保证了工厂生产的灵活性，优化了产线吞吐量、缓解生产瓶颈、减少了在制品库存，更充分验证了不同的节能策略。成功实现每年节省300万千瓦时的电力，每年减少了550吨二氧化碳当量排放量。



在创新的过程中，数字孪生基于事实和第一性原理的推演，使我们能够接近“一次成功”的理想目标，极大地降低了试错成本。数字世界带来的高效低成本的试错机制，不仅节省了财务与时间资源，更在物理资源的节约与绿色生产方面展现出了巨大的潜力与价值。

工业人工智能

《人工智能标准化白皮书（2018年）》将人工智能定义为“利用数字计算机或者数字计算机控制的机器模拟、延伸和扩展人的智能，感知环境、获取知识并使用知识获得最佳结果的理论、方法、技术及应用系统。”人工智能将计算机科学与数字工业世界中丰富的数据集相结合，为现实世界中的复杂问题解决和决策制定提供了有力支持，使人得以摆脱繁琐且耗时的任务，并从数据中挖掘出宝贵价值。有研究发现，人工智能的使用可降低制造商最高20%的加工成本。到2035年人工智能将推动劳动生产力提升27%，拉动制造业GDP高达27万亿美元^①，制造业将成为人工智能应用蓝海。

工业数据处理与洞察的强力引擎

马里兰大学教授李杰表示：



人工智能在工业领域的真正价值是替人找到工业系统中不可见世界的参数的关系与变化，预测并有效避免问题的发生。当工业人工智能渗透愈发深入，当它的潜力在工业智能化进程中被充分释放时，整个工业应该是‘无忧’的。

人工智能技术在工业领域已实现深度渗透，特别是设备运维、自主优化控制及高级诊断等典型应用场景中，展现出了卓越的能力。

针对关键工业设备和流程的预测性与主动性维护，人工智能技术能够显著减少非计划停机时间，并提升流程的稳定性。在关键设备故障发生前，过程变量往往会出现异常，但这些异常的评估通常需要领域专家的深度参与。而通过先进的机器学习算法，我们可以基于多个过程变量之间的关联性，归纳出设备故障前的数据特征模式，从而实现潜在异常的推理和故障的提前预判。

在工厂环境中，深度学习和强化学习为机器人赋予了认知的能力，使它们能够应对复杂且不确定的仓库和生产环境。操作人员无需编程，机器人即可自行执行高级命令，如识别和拣选未经分类的零部件，或将直径仅有几分之一毫米的导线精确插入印刷电路板的小孔中。这不仅极大地提高了生产效率，还将工厂员工从枯燥乏味且重复性的工作中解放出来。

机器视觉在产品的质量控制在方面发挥着重要作用。通过图像识别技术，机器视觉系统能够快速准确地识别产品外观缺陷，及时发现并处理质量问题，从而有效避免不良品流出。

人工智能具备强大的数据处理能力，同时其普及和应用也极大程度上依赖于数据。高质量的数据是决定人工智能模型训练和优化结果优劣的关键要素。然而，在当前工业场景中，数据的采集仍然面临诸多挑战。数据往往分散在各个环节和流程中，涉及多个部门和系统，且可能因为标准不统一等问题而难以整合。此外，即使数据能够被收集，其质量和完整性也经常成为问题。例如，设备正常运行的数据可能很容易收集到，但设备故障的数据却相对较少。这种缺少样本数据或者样本分布不平衡问题会严重影响模型的训练效果和泛化能力。特别是对于一些专业性强的数据，如设备故障数据、产品质量检测数据，还需要具备相应专业知识的专家进行标注。

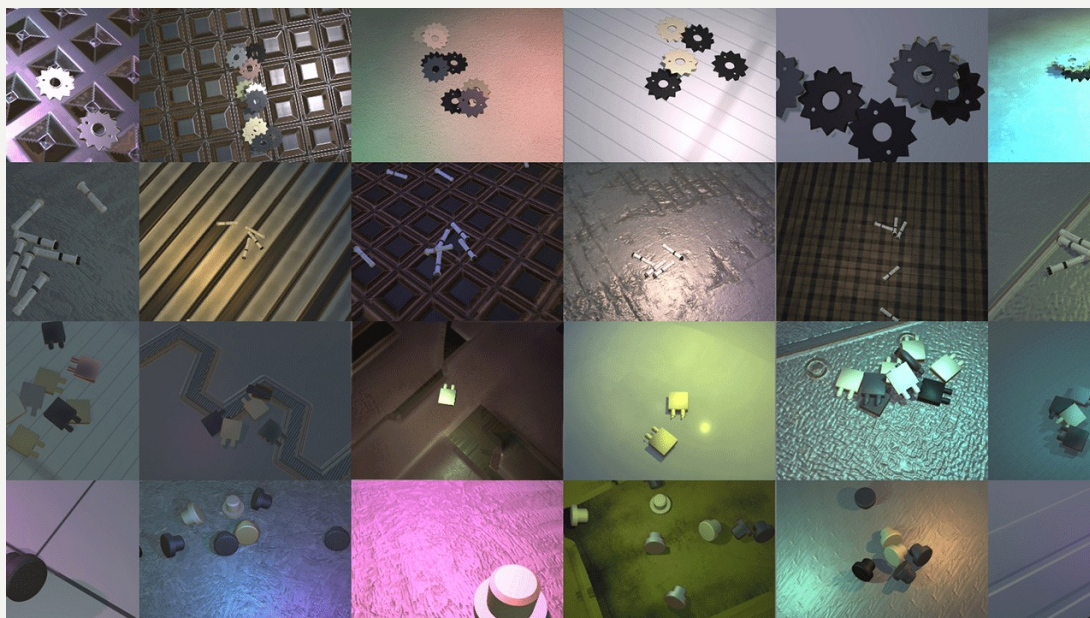
为应对这些挑战，技术上我们可以通过算法生成高质量的合成数据，来提高模型的训练效果和泛化能力。合成数据的应用能够将现实世界中的数据需求降低高达90%。每个企业也需要制定全面的数据战略，确保关键数据的准确性、完整性、及时性和可用性，从而更好地发挥人工智能技术的潜力。

^①来源：《中国人工智能产业白皮书》，德勤 <https://www2.deloitte.com/cn/zh/pages/innovation/articles/china-ai-industry-whitepaper-intelligence-driven-by-innovation.html>

案例

利用合成数据训练机器视觉算法

SynthAI是一款基于Web的应用程序，它接受简单的CAD文件，在几分钟内即可生成数千张随机标注的合成图像，而无需通常所需的专业知识。此外，它还提供了一个易于下载的、已训练好的机器学习算法，供用户直接下载、测试和部署。



生成式人工智能丰富数字工业世界的交互体验

近年来，生成式人工智能取得了令人瞩目的突破。2023年更是被称为该领域的突破之年。作为人工智能的一个重要分支，生成式人工智能专注于内容的创造。它超越了传统机器学习的方法，不仅能够识别模式并根据现有数据进行预测，还能够从数据中学习并生成全新的内容，涵盖文本、图像、代码等多种形式。尽管生成式人工智能在工业中的应用仍处于起步阶段，但它作为一种极具潜力的通用技术，有望深刻改变企业价值链的每一个环节。

然而，在工业领域，生成式人工智能的应用面临着比其他商业场景更为严格的要求与挑战。生成式AI在处理复杂情况下，可能会产生“幻觉”，即生成与实际情况不符或具有误导性的内容。这一现象的主要原因在于，尽管生成式AI的大模型蕴含了海量数据形态表达的通用知识，但这些知识被高度压缩，AI并不能完全理解这些其真实含义及其上下文关系。因此，在面对新的、不常见的或模糊的信息输入时，生成式AI可能会基于部分匹配或概率最高的模式进行推断，从而导致内容生成的错误。这种情况在高标准、严要求的工业领域是不允许的，因为任何微小的误差都可能对生产流程及产品质量等造成重大影响。



In the consumer software Internet, we could train a handful of machine learning models to serve a billion users. In manufacturing, you might have 10,000 manufacturers building 10,000 custom AI models.

在消费软件互联网领域，我们可以训练少量的机器学习模型来服务十亿用户。而在制造业中，10,000家制造型企业则需要构建10,000个定制的人工智能模型来满足其需求。

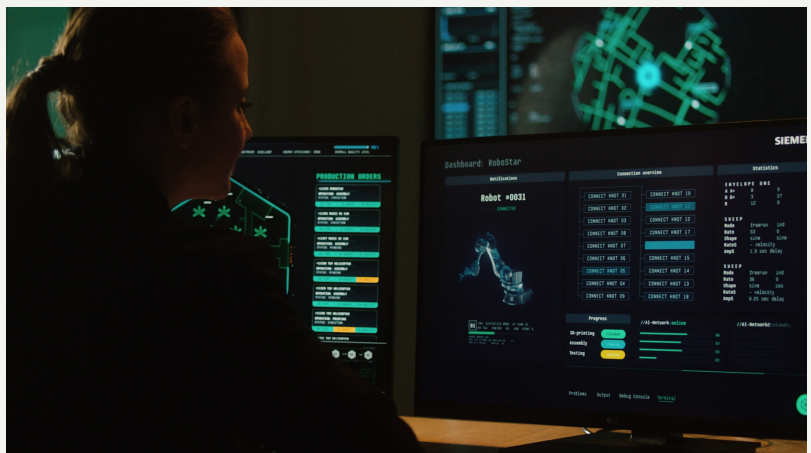
Andrew Ng

吴恩达 | 斯坦福大学副教授，人工智能实验室主任
DeepLearning.AI创始人

为了确保人工智能生成的内容准确无误，有据可依，我们需要将确切的领域知识融入大模型中。检索增强生成（RAG）技术就是一个行之有效的领域知识与通用知识融合手段。它结合了信息检索技术与语言生成模型，能够精准地从企业构建的知识库中检索出相关信息，生成准确且符合上下文的答案，在防止“幻觉”产生的同时，也加强了模型的可解释性，以便工业从业者能够理解和信赖模型的输出结果。

此外，在工业环境中应用人工智能时，数据保护和安全也是至关重要的。我们必须确保所有敏感数据都得到妥善保护，防止未经授权的访问和泄露。同时，我们还需要考虑如何使人工智能系统与现有系统和流程实现无缝集成，以确保整个生产过程的顺畅运行。总之，工业领域的AI必须达到工业级的品质标准，以满足企业对高效、准确、可靠和安全的智能解决方案的迫切需求。

在2024年工博会上，西门子展示了首款面向工程领域的生成式人工智能产品—西门子Industrial Copilot。这款生成式人工智能助手，能够快速生成复杂的PLC代码，形成HMI图形化界面，极大地减轻了自动化工程师的工作负担，减少重复性工作，并显著缩短了开发周期。此外，操作人员还可以通过自然语言与出现故障的机器的Copilot进行无障碍沟通，共同探讨解决方案。这种人与人工智能之间的交互仿佛与一位精通技术的同事面对面交流一般自然流畅，这无疑将为数字工业世界带来交互体验上的显著提升。



软件定义自动化

自动化技术是现代工业的基础，也是推动工业4.0实现的前提。为提升生产力和效率，众多生产过程已广泛采用可编程逻辑控制器（PLC），数据采集与监控系统（SCADA）等自动化系统替代人工操作，实现了对工业生产流程的自动化控制，显著增强生产效能。各行各业领先的企业都在充分探索和利用自动化应用技术，例如，上海的特斯拉超级工厂仅需不到45秒即可下线一辆新车，充分展示了自动化技术的强大威力。

然而，经过近半个世纪的发展，自动化技术的传统模式已难以完全适应现代工业的复杂性和动态性。以往，我们主要聚焦于自动化重复性任务，但在当前这个需求瞬息万变的世界里，我们需要一个更加灵活、适应性更强的自动化模式。这一新模式需深度融合数字孪生、人工智能等前沿数字化技术，以实现生产流程的更高灵活性和适应性。自动化的理念正经历从硬件主导到软件定义的深刻转变，这就是软件定义自动化的核心理念。

案例

工易魔方

工易魔方（Workflow Canvas，简称 WFC）作为一款全面的开发工具包，其强大功能让用户能够迅速构建灵活多变的柔性生产线，并轻松开发出创新的工业物联网应用。

在西门子数控（南京）有限公司，工程师利用工易魔方将已经具有标准化模块化的工站进行解耦，打通了工作站和IT系统的联系，实现了上下游数据的无缝传输，将整个产线各个工站都变成了适配于工厂需求的“基础服务单元”。

在这里当发现有一个瓶颈工站需要优化时，不需要修改任何代码，只需要通过“拖拉拽”就可以完成产线工艺的优化。当需要增加一道工序时，只需要添加这道工序的模块化工站资源即可完成。



用软件开发的最佳实践加速自动化领域的创新

传统的自动化系统在设计与实施过程中，为了确保稳定可靠，通常采用深度绑定的专用硬件和软件。这种高耦合度的软硬件配置，无疑增加了系统升级和维护的复杂度。然而，在IT领域，虚拟化技术的广泛应用已经为软硬件的有效解耦提供了范例，使得应用程序能够独立于底层硬件和操作系统顺畅运行。当硬件或操作系统需要升级或更替时，应用程序可以轻松迁移至新环境，无需进行大幅调整，从而显著提升了系统的灵活性和开放性。

如今，软件定义自动化的趋势正逐渐将虚拟化技术引入到了自动化领域。例如将PLC虚拟化，使其可以在Windows或Linux环境下运行，且不受硬件供应商限制。在同一硬件平台上，可以安装虚拟化控制器的多个实例，并且这些实例可以同时且独立地进行配置、部署和维护。

然而，这并不意味着PLC会立即退出历史舞台。在实时性和安全性要求极为苛刻的工业场景中，虚拟控制器目前尚无法完全替代实体PLC。但在PLC的编程方式上，我们已看到了显著的变革趋势。软件开发的先进理念和实践正在逐步融入自动化项目中。

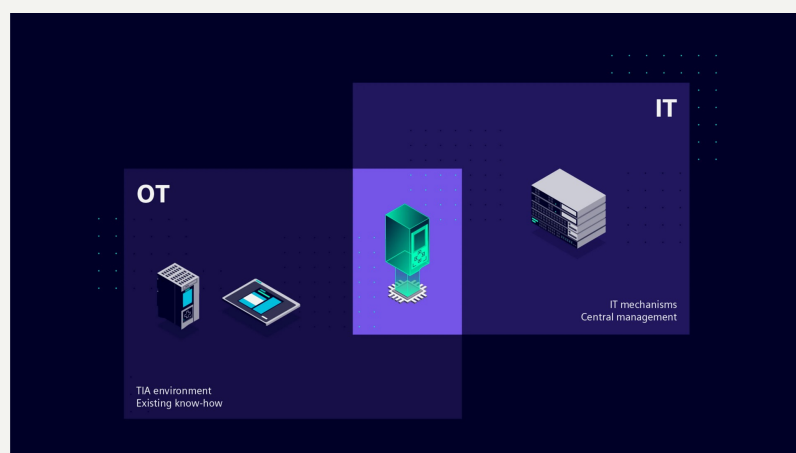
传统的PLC编程通常是在孤立的环境中开发的。工程师们通常会在计算机上使用PLC供应商提供的特定集成开发环境（IDE），逐行编写PLC代码，然后将代码下载到实体PLC中进行测试。但是今天工厂需要频繁重新编程，来适应生产需求的变更。传统的PLC工程流程有很大的改进空间。而现在工程师可以采用在软件开发领域广受欢迎的开源代码编辑器Visual Studio Code来编写PLC代码，并借助原生的Git系统实现版本控制。这不仅提升了编程效率，还使得团队成员能够高效协作，实现持续集成（CI），从而打造出更加高效、灵活的PLC工程流程。

工业边缘应用的开发则更加灵活。西门子的工业边缘采用了基于Docker的容器虚拟化技术。单个工业边缘设备可以承载多个独立的软件应用，每个应用都在自己的容器中独立运行，互不干扰，确保系统稳定高效。工程师和开发者可以自由选择Python、Node.js、Java或C++等任何高级编程语言来开发新的边缘应用，并轻松地与其它机构和个人共享应用程序，甚至通过线上市场进行销售。这些多样化的程序可以在广泛的工业边缘设备或者云端平台上运行，极大地丰富了工业应用的生态系统。

西门子SIMATIC S7-1500V^⑫

是一款完全虚拟的PLC。它基于SIMATIC S7-1500 PLC的功能和操作，同时独立于其硬件。这款虚拟PLC可以作为工业边缘应用下载，并直接集成到IT环境中。

受益于其独特的架构，终端使用者将能够根据实际需求更加的灵活选择控制器的数量，也能够传统的IT环境中快速调整底层OT设备的配置和参数，以实现工作流程的优化和效率的显著提升。



⑫ 扩展阅读：

<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500/virtual-plc.html>

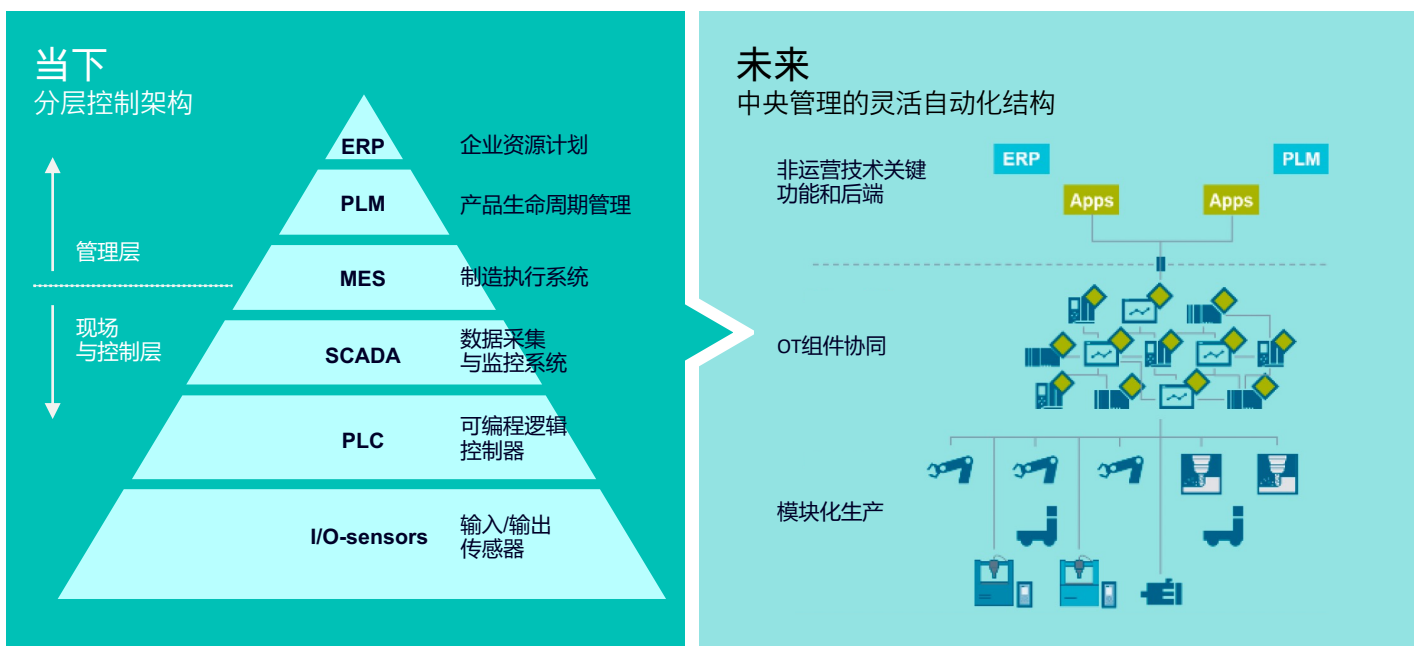
软件定义自动化搭建数字世界与物理世界之间控制和反馈的桥梁

信息技术（IT）与运营技术（OT）的深度融合，是数字工业世界重塑物理世界的关键，也是工业界长期探索的课题。尽管IT技术日新月异，但如何将其有效融入工厂环境，以增强灵活性和适应性，依然面临诸多挑战。

要真正实现软件定义自动化，系统必须兼顾IT和OT的不同需求，即在开放灵活与稳定可靠之间找到平衡。工业边缘智能为传统的解决方案提供了一个新的选择。它能轻松融入现有工厂体系，通过将应用程序部署在独立的工业边缘设备上，实现现场数据的即时读取与处理，仅产生微小延迟。这些边缘设备不仅能直接协调控制现场设备，如PLC和执行器，还能将筛选和处理后的关键信息持续反馈至云端，以便进行存储和进一步分析。而应用程序的升级可以直接通过over-the-air模式完成，无需中断生产。这种云边协同的机制，不仅提升了数据处理效率，还有效保障了企业机密数据的安全。



随着软件定义自动化的普及，传统的制造自动化金字塔分层结构正逐步向更加扁平、灵活的方向发展。数据可以在云、边、端自由流动，IT与OT深度融合，数字孪生、人工智能等前沿技术应用与服务融入生产一线。物理世界的变化被精确捕捉，并即时反馈至数字世界，从而在真正意义上实现数字工业世界与物理世界的无缝衔接与深度融合。



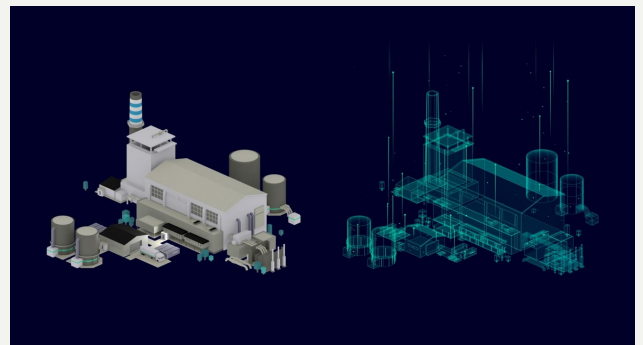
重组创新

创新往往蕴藏于对现有概念的创造性融合之中，而非单一技术的孤立突破。重组创新将不同领域或背景下的技术和概念汇集在一起，创造出前所未有的新生事物。

在工业领域，重组创新一直是推动生产力跃升的关键力量。18世纪第一次工业革命见证了蒸汽动力与纺织机械的结合，极大提升了生产效率。19世纪第二次工业革命中电力与流水线技术的结合，使大规模生产成为可能。再到后来，计算机技术与自动化的深度融合，孕育了机器人和数字化制造的诞生。时至今日，技术重组创新已经跨越了现实世界与数字世界的原有边界。

比如，在工艺方面，复杂生产工艺优化长期以来被视为一项艰巨挑战，而多项技术的融合应用将提供一种新的解决路径。

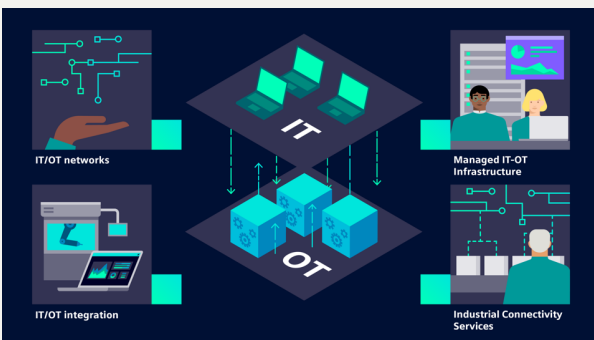
首先，依据已知的数据与机理，可以建立一个仿真模型，旨在数字工业世界中重塑生产过程。针对复杂机理导致的仿真耗时过长问题，可以引入代理模型技术，例如物理信息神经网络（PINN）技术，该网络通过直接嵌入物理规律，并利用包含仿真数据与实测数据在内的大量数据源进行训练，实现模型的轻量化与实时性能提升。



如果遇到工艺机理不完全清晰或者数据获取受限的难题，我们也可以在物理建模仿真的基础上，结合实测数据与AI算法，构建灰盒模型，填补知识盲区。



依托5G的强大能力，我们可以实现生产参数的实时采集与云端数字孪生的同步更新，通过持续优化与校准确保模型与生产实际的高度契合。



随后，我们将这些经过精细调校的模型封装为可执行数字孪生小程序，依托软件定义自动化技术部署于边缘控制器，实时生成工艺参数，优化设备控制。



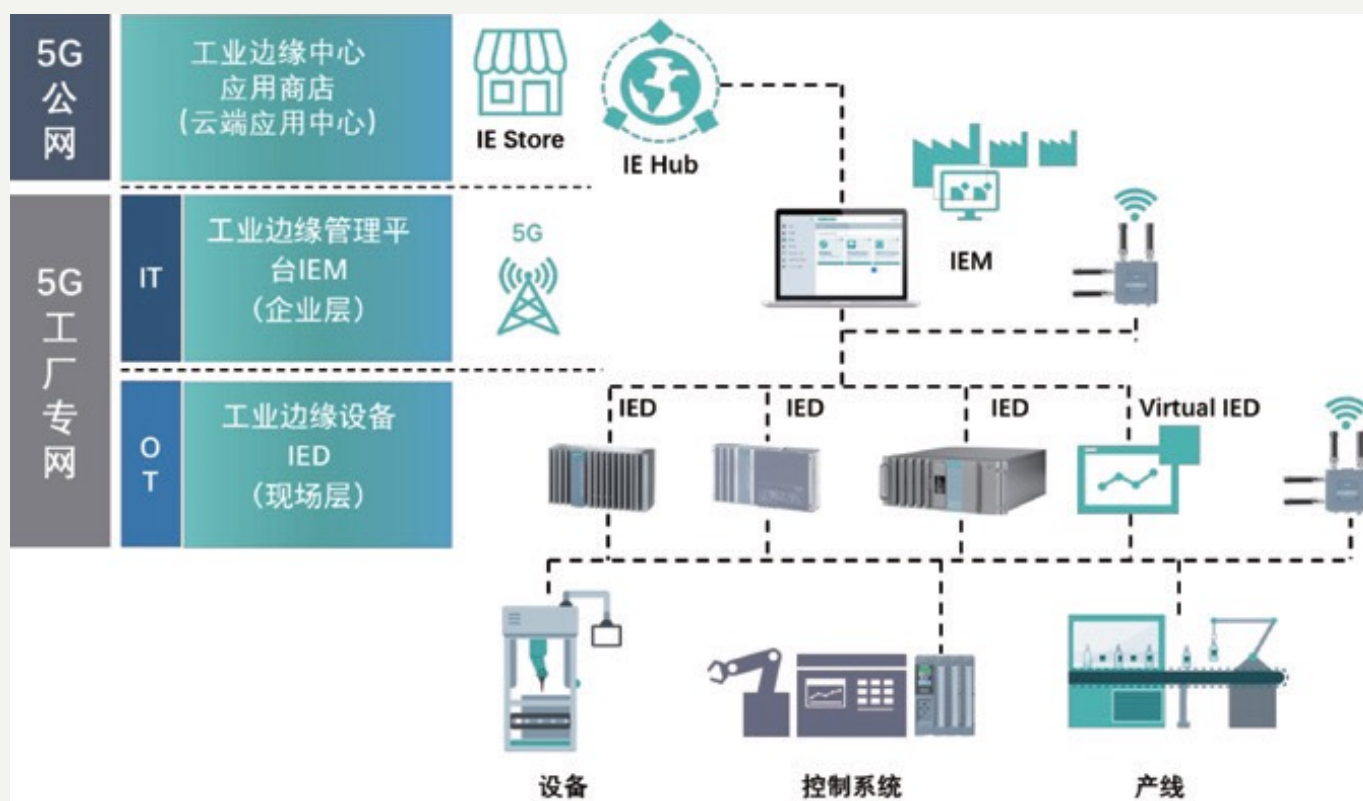
此外，还可以引入AR的技术，把数字孪生中的关键参数和变量，叠加在实际的生产设备上，为现场操作人员提供直观的视觉辅助，使他们能够迅速掌握难以直接观测的信息，提升决策效率与准确性。

作为重组创新的杰作之一，具身智能将机器学习、机器人学、计算机视觉、生成式AI、控制理论、人机交互及传感器技术等多学科的前沿技术整合。它们不仅仅是物理实体，更是一个拥有高度智能化内核的复合体，具备数字与物理的双重属性。在物理层面，具身智能拥有实体形态，能够直接与现实世界中的物体、环境进行交互，执行各种复杂任务。而在数字层面，它内嵌了高度智能化的信息处理与决策中枢，能够实时接收、分析并响应来自数字工业世界的的数据与任务，实现自主、精准的决策和执行，从而实现物理世界与数字世界的高效协同和无缝融合。

在数字工业世界中，数字孪生、人工智能、软件定义自动化与其它前沿技术的深度融合，正孕育着无数重组式创新的可能，这标志着前所未有的重大机遇已然到来。然而，这也对企业领导者与技术人员提出了新的、更为严苛的挑战——他们不仅需要在本专业领域内拥有深厚的专业知识，还需广泛涉猎、洞悉其他技术的近期进展与发展趋势，实现知识体系的深度与广度双重飞跃。

案例

5G+软件定义自动化



5G与软件定义自动化等技术的结合将驱动一个面向行业的局域生态系统，以满足企业和工厂的网络、计算和数据处理需求，促进行业的数字化创新。这将带来计算模式的改变，网络中的每一个节点都将成为一个完整的分布式计算机，既转发数据，又完成计算，以实现网络基础设施和计算基础设施的融合。

工业边缘云计算系统依托相应的平台，借助平台可以对其能力方向进行基本划分。在平台的南向，可以借助5G技术来做好内置云化驱动工作，将其和工业设备有效连接在一起，这样可以实现对各类信息数据的有效采集，同时也可以帮助企业迅速对采集到的信息进行反馈。在平台的北面，可以进行工业应用赋能操作，如节拍分析、云边协同、OEE分析、异常检测、数据透明运维、节能分析以及预测性维护等应用。^③

③ 来源：《西门子工业5G全连接工厂》 <https://www.siemens.com/cn/zh/products/automation/industrial-communication/industrial-5g.html>

携手共建： 打造数字工业世界

技术革新推动产业重塑，不是单一力量所能完成的壮举，而是需要一个多元化、开放的、协同的生态系统。

在这个生态系统中，每个企业都扮演着不可或缺的角色，既是技术的受益者，也是技术的贡献者。尽管各企业的发展轨迹千差万别，但正是这些多元化的努力和贡献，汇聚成了打造数字工业世界的强大合力。因此，积极投身于这一生态系统的构建，不仅是企业自身成长的内在需求，更是携手共创未来数字工业世界的明智战略抉择。



遵循标准，协作的前提

数字工业世界协同合作的愿景离不开标准化的先行支撑。标准化确保了不同系统、平台间遵循统一的格式与交互协议，从而简化了企业运营中的集成流程，避免了繁琐的修改与复杂的适配工作。

在实施标准化的过程中，数据标准化，通讯协议标准化与接口标准化更是不可或缺的关键要素。数据标准化确保了信息能够按照一致的数据结构与规范进行传递，提高了数据的一致性，促进了数据资源地有效整合与利用。通讯协议标准化为不同设备和系统之实现相互兼容。例如，目前工业中常见的通讯协议OPC UA、Modbus、PROFINET等。而接口标准化则进一步强化了系统间的互联互通能力，通过提供标准化的接口，使得不同的技术系统、设备和应用程序能够进行无缝的数据交换和功能调用，从而提升了平台之间的互操作性和协作能力。

当企业遵循标准化时，用户可以对其可靠性、准确性和性能更加有信心。同时，标准化还会推动围绕数字工业世界的强大生态系统的发展，促进服务开发者、软件供应商、服务提供商和用户在内的利益相关者之间的协作。而这种协作不仅提升了产业链的运作效率，还加强了跨企业间的信息流通与共享，有效降低了沟通与交易成本。此外，这种协作模式还加速了技术迭代与创新，为整个行业的持续发展提供了强劲动力。

开放组件，激发创新活力

为了实现数字工业世界的重组创新，需要生态系统的参与者共同打造开放协同的技术组件。这些组件是企业基于自身的业务需求和技术发展趋势，遵循标准化原则，自主研发的具有一定功能的轻量化基础服务。

在数字工业世界中，技术组件以其独特的优势发挥着至关重要的作用。技术组件的高度灵活性和独立性，使得它们能够像积木般根据实际需求进行自由组合。这种模块化设计不仅提高了系统的可扩展性和可维护性，还降低了开发成本和时间。同时，组件秉承开放的API设计原则，确保了跨平台集成的便捷性，进而实现了无缝的互操作性。而较好的互操作性使得参与构建数字工业世界的企业得到一个无缝，实时和同步协作的环境。例如，这些组件可以是精密的排程算法，用于高效调度生产资源或任务执行，优化整体运作流程，也可是一个集成了详尽信息的设备模型，精准模拟物理设备的行为，助力故障预测与设备预防性维护。

这些组件如同数字工业世界的桥梁，促进了企业之间技术资源的共享与协同，加速了不同技术之间的融合，从而在更深层次上激发新技术的产生和新场景的应用。

工业元宇宙中的工业生产



西门子新推出的Tecnomatix连接器无缝集成Process Simulate与Omniverse，用户能够轻松地将Process Simulate中的高精度几何模型和仿真数据直接导入Omniverse。Tecnomatix连接器为用户搭建起一座桥梁，一端是强大的工业生产流程验证工具Process Simulate，另一端则是提供高度逼真可视化效果的Omniverse。这一创新，不仅简化了跨平台工作流程，更使得用户在任一环境下进行的仿真运行或布局调整，都能实时、准确地同步至另一平台，确保了数据的一致性与操作的连贯性。

工业元宇宙中的产品开发



西门子公司与NVIDIA携手，为可持续船舶制造的领军者HD Hyundai展示了其先进的实时、高清可视化技术。HD Hyundai专注于开发氨气和氢气动力船舶，这是一个需要对可能包含超七百万独立部件的船舶进行全面监督的复杂过程。西门子凭借行业领先的基于云的PLM软件Teamcenter X——作为西门子Xcelerator平台的一部分，结合NVIDIA Omniverse技术，为工程团队赋能，使其能够创建超直观、逼真、实时且基于物理的数字孪生，从而显著提升工作效率，减少流程中的浪费和错误。通过Teamcenter X，HD Hyundai得以统一并交互式地可视化这些规模庞大的工程数据集。

依托平台，实现共赢共生

平台，作为建设数字工业世界的过程中的核心驱动力正悄然兴起，以一种全新的模式重新绘制工业生态系统的版图。

作为一个动态的融合中心，平台里角色的界限逐渐消融，设备制造商、软件提供商、各类服务商不再是单一的角色，他们既是解决方案的提供者，也是需求的发起者，与企业用户、系统集成商等群体相互交织。参与者随时在供给与需求之间转换，这种角色间的灵活转换，使得整个生态系统更加活跃，更加适应不断变化的市场需求。

在平台中，企业作为产销者，既是解决方案的提供者也是消费者，兼具双重角色。企业将开发的组件或者解决方案发布到一个开放式的平台上，使其他参与者能够通过平台快速且精准地获取符合其需求的解决方案，同时企业也在寻求外部资源来填补自身的需求缺口。这种精准匹配不仅提高了解决方案的使用率，还减少了信息不对称，缩短了交易时间，使得供需双方都能在平台上找到适合自己的合作伙伴。

与此同时，在实现供需匹配的过程中，平台将逐渐构建出一个多方共赢的生态系统。在这个生态系统中，各合作伙伴、开发者、企业和用户都能从中获益，相互赋能，共同实现成长。这样的平台共赢机制不仅为各参与方开辟了新的商业契机，更通过资源共享、技术互通和知识共享，促进了利益共同体的构建。

粤港澳大湾区工业互联网公共技术服务平台



粤港澳大湾区工业互联网公共技术服务平台，由深圳国家高技术产业创新中心建设，深圳市工赋数字化促进中心负责专业化运营。平台作为深圳市在十四五期间规划的新型工业化战略基础设施，建设在深圳市宝安区大铲湾蓝色未来科技园，通过构建知识中心、中试中心、联合创新中心，沉淀数字化公共技术能力，汇聚工业数据，联合国内外优秀数字技术企业构建行业服务商生态，培育信息、制造、网络、数据4T融合的技术体系，依托平台建设服务载体数字化转型促进中心，形成行业服务商-平台-中小企业三级协同合作的技术服务范式，支撑粤港澳大湾区优势制造业产业集群数字化转型升级。

西门子Xcelerator平台^⑭，是这一生态系统理念的典范。作为一个开放的数字业务平台，它提供了灵活的解决方案，能够无缝融入现有系统。该平台不仅解决了技术扩展和数据集成方面的挑战，还通过其市场板块和开发者门户，营造了一个促进创新的协作环境，让用户能够轻松访问丰富的专业知识库、资源和开放API。

^⑭ 了解更多Xcelerator：<https://xcelerator.siemens.com/global/en.html>

数字工业世界评估体系

尽管各企业迈向数字化工业世界的路径千差万别，但其中仍不乏一些共性的规律可循，能为我们在数字工业世界的航行中提供宝贵的指引。

工业数字化评估体系，正是旨在为工业企业提供清晰的技术定位和发展方向，明确自身在数字化进程中的位置，帮助制定出既具前瞻性又切实可行的数字化路线图，确保每一步都朝着既定的目标稳步前行。

L 0	<h3>数字世界未辅助决策支持和控制优化</h3> <p>企业内部研发设计、生产制造、运营管理等环节尚未实现基本的数字化手段管理，数据收集与处理效率低下，决策和控制完全依赖决策者个人的经验，数字化对工业流程的优化作用并未显现。</p>
L 1	<h3>数字世界辅助决策支持和控制优化</h3> <p>企业内部研发设计、生产制造、运营管理部分关键业务环节采用数字化手段进行数据收集、管理或有限加工，实现了基本的数据透明化。决策者基于有限加工的数据进行决策和控制，决策和控制仍大部分依赖决策者的经验，数字化初步融入工业流程。</p>
L 2	<h3>数字世界实现部分自动决策和自主控制</h3> <p>企业内部研发设计、生产制造、运营管理核心体系部分关键数据采用数字化手段进行收集和管理，数字世界基于收集到的数据产生洞察。在部分场景中，数字世界能够提供自动的决策和控制。在大部分情况中决策者仍需根据数字世界提供的信息和洞察进行决策和控制，决策和控制的质量即依赖决策者的经验也部分依赖数字世界的洞察。</p>
L 3	<h3>数字世界提供有条件的自动决策和控制</h3> <p>企业内部研发设计、生产制造、运营管理核心体系所有关键数据采用数字化手段进行收集和管理。在大部分场景中，数字世界提供有条件的自动决策和自主控制。在其他场景中，数字世界提供决策的建议，由决策者做出选择。</p>
L 4	<h3>数字世界高度的自动决策和控制</h3> <p>企业内部研发设计、生产制造、运营管理核心体系所有关键数据采用数字化手段进行收集和管理，且企业能够与其他生态伙伴共享数据。数字世界利用这些数据提供高度的自动决策和自主控制，数字世界做出请求时决策者需要参与决策和控制。</p>
L 5	<h3>数字世界提供完全自主决策和控制</h3> <p>数字世界实时同步了所有企业的研发设计、生产制造、运营管理核心体系的数据，完全自主的控制企业的研发设计、生产制造、运营管理的业务环节。</p>

深圳国家高技术产业创新中心

深圳国家高技术产业创新中心（以下简称“创新中心”），是国家发展改革委员会与深圳市人民政府共同组建的公共技术服务机构、企业化管理的事业单位、深圳市法定机构试点单位、深圳市重点企业事业单位，归口深圳市发展和改革委员会管理。

创新中心以“粤港澳大湾区科技产业协同创新的引领者”为发展愿景，以“智库平台建设”为抓手，致力打造“国际有影响力、国内一流的新型智库”，于2022年加挂“深圳发展改革研究院”牌子。近年来，创新中心承担国家/省/市/区级课题超过400项，多次获得国家级领导人、省市级主要领导的正面批示和肯定。

创新中心建立了包含5000多个项目、3000多家企业、4000多位专家（其中院士、“千人”等高端专家上百人）的数据库系统，为智库工作提供强大支撑。目前，创新中心利用大数据、人工智能等最新技术，搭建包含产业政策库、企业库、项目库、技术库、人才库、招商库等数据库。

同时，创新中心面向行业所需，立足深圳所长，现已完成建设并持续运营了一批产业协同公共技术服务平台，包括粤港澳大湾区工业互联网公共技术服务平台、粤港澳大湾区大数据中心、国际创新产业信息服务平台等，为产业转型升级和未来产业发展提供多方位、定制化技术服务。

更多信息
请关注
创新中心
官方公众号



深圳市工赋数字化促进中心

深圳市工赋数字化促进中心是由深圳国家高技术产业创新中心联合华为云计算技术有限公司、中国联合网络通信有限公司深圳市分公司发起成立的第三方公共服务机构，负责运营被列入深圳市先行示范区重点工作任务和“十四五”规划的重大产业基础设施——粤港澳大湾区工业互联网公共技术服务平台，旨在助力深圳市制造业高端化、智能化、绿色化发展，打造具有国际竞争力的先进制造业集群和数字产业集群。

更多信息
请关注
工赋中心
官方公众号



西门子在中国

西门子股份公司（总部位于柏林和慕尼黑）是一家专注于工业、基础设施、交通和医疗领域的科技公司。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。

百年坚守，扎根中国。秉持150余年矢志不渝的合作与创新精神，西门子已经成为中国社会和经济不可或缺的一部分，并将持续面向未来，深度融入中国新发展格局，为中国经济和社会可持续发展作出新的贡献。西门子中国研究院正式成立于2006年，目前已成为西门子中央研究院德国总部以外最大的研究机构。超过300名优秀的研究人员在北京、上海、苏州、青岛、武汉、无锡等地的创新实验室中工作。西门子中国研究院致力于研究和开发贯穿公司业务的核心技术，包括数据分析与人工智能、仿真与数字孪生、软件系统与开发流程、自动化、网络与信息安全、互联与边缘设备、可持续能源和基础设施、增材制造与材料技术等，帮助公司实现业务持续增长。目前，由研究院主导研发的工易魔方、知识中台、闭环式智能运营、生产数字化升级套件、自定义智能制造系统等个性化解决方案已得到广泛应用。此外，西门子中国研究院也在积极从事工业“元宇宙”研究，通过现实世界和数字世界的结合，创造一个虚拟协作空间，为企业提供沉浸式体验和实时交互，提高产品设计和制造效率，为经济和产业转型释放无限潜能。同时，研究院也研发出绿色制造及碳中和相关领域的众多解决方案。

更多信息
请关注
西门子
官方公众号



声明

所有图表、图像、图标均由西门子制作

西门子公司版权所有

尽管本报告中信息的准确性已经经过最大程度的验证，但西门子公司、深圳国家高技术产业创新中心、深圳市工赋数字化促进中心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。