



## 数字孪生与智能企业

Ron Beck,  
Aspen Technology 石油天然气部门行业市场总监

## 超越性能界限的工程设计

在全球范围内，各领先组织正在接纳并实施先进的数字化技术。现在，令人兴奋的问题是：我们可以将这些可能性扩展到多远？这些企业是否有利用新经济机会的远见和组织卓越性？

要从通常的业务过渡到数字化，资本密集型企业需要将其工业设施和价值链转变为一个智能、自我优化、相互关联的半自主性资产系统，从而释放更高水平的运营绩效、敏捷性和盈利增长，同时创建重要的新业务模型。

数字化转型之旅将改变资产密集型行业（尤其是能源和化工企业）的性质。在这种情况下，**数字孪生**（实物资产及其操作行为的虚拟副本）将发挥关键作用。它们还将从根本上改变人类的工作方式，与智能系统和虚拟模型（“孪生”）交互；检查趋于改变的行动、预测未来后果以及在复杂情况下更快地制定战略决策以实现业务目标。

## 但是，数字孪生究竟是什么？它将如何演变？

AspenTech认为您的企业应从广义上界定“数字孪生”。任何数字孪生的业务影响都将比今天的分析师和顾问所预测的更大、更广泛。如今，数字孪生已成为优化业务绩效，提高敏捷性，在保留利润的同时最大化可持续性以及优化所有资本密集型资产的重要工具。未来，数字孪生的重要性和影响将会增加。

数字孪生是一种重要的**实物资产及其行为和性能模型**，可供技术人员安全地探索假设情景，而不会使人员或资产面临风险。它提供一种重要的**资产健康模型**，可以预测并建议避免性能下降和资产故障事件的措施。也许最重要的是，数字孪生融合代表产品创建、运营、供应链、交易、资产有效利用率、风险、客户满意度和利润场景的**业务模型**。



最早是在小说 - 尤其是威廉·吉布森具有里程碑意义的论著《神经漫游者》中设想了由数据驱动并由人工智能赋能的广泛虚拟环境的可能性。昨天，技术无法支持这些愿景，而今天便存在技术解决方案。领先公司在虚拟环境方面取得成功。更广泛的行业寻求了解在何处投资以及如何使公司转型以向其员工提供数字孪生提出的智能化建议。

在当今的VUCA（不稳定、不确定、复杂和模糊）商业环境中，利润、可持续性、质量等因素之间权衡的复杂性，大量信息以及对敏捷性和场景开发的需求使数字孪生战略和实施计划对资产密集型企业而言至关重要。未来，员工和高管的互联将把运营敏捷性和有效性提高到新水平。

## 定义

数字孪生是有关物理对象或过程的历史、当前和未来行为的不断发展的数字化资料，有助于优化业务绩效。

它基于跨多个维度的模型和实时数据，包括业务绩效、资产规划、实物资产、设备状况和可靠性、化工过程绩效、安全和风险、能源与可持续性、项目时间跨度等等。

数字孪生会创建对象或过程的不断发展的资料，从而提供有关系统性能的见解，指导物理世界中的操作，例如过程设计、操作、安

数字孪生会创建对象或过程的不断发展的资料，从而提供有关系统性能的见解，指导物

理世界中的操作，例如过程设计、操作、安装、安全性和维护方面的变化。数字孪生可实时或定期更新，以利用资产数据保持最新状态，并通过人工智能代理使其智能化。



# 范围

在资产密集型企业中，数字孪生需要涵盖从设计和运营到维护和战略业务规划的整个资产生命周期和价值链。AspenTech数字孪生解决方案跨越“整个工厂数字孪生”、“运营卓越性数字孪生”和“运营完整性数字孪生”的13个不同的建模和分析领域。

AspenTech可通过这些数字孪生领域以及它们之间的整合提供包括跨越整个资产生命周期、垂直整合型生产以及端到端价值链技术的解决方案。

**工厂数字孪生：**流程工厂使用工程模型进行严格建模，并通过具有嵌入式成本和风险模型的人工智能技术进行增强。它们可以离线和在线部署，并通过模型自主调整进行校准以适应工厂的运行条件。用于设备监控、操作员提出“开环”建议或自主优化，范围包括单台设备到机组运行（例如催化裂化）和全厂（例如能源和公用事业系统）或整个企业（例如涵盖多个工厂和地点的风险模型）。



图1：数字孪生的广度





从单台设备到机组运行（例如催化裂化），乃至全厂范围（例如能源和公用事业系统）或整个企业（例如涵盖多个工厂和地点的风险模型）。可以动态模拟它们以提供操作员培训。

#### 运营卓越性数字孪生：

从业务级别到控制级别的工厂运营都经过建模并虚拟地视为计划、调度、控制和实用程序模型。该数字孪生可以指导商业决策，例如原油选择和产品交易；以及指导技术决策，例如优化质量、吞吐量、能源使用、排放合规性和安全性。

#### 运营完整性数字孪生：

该数字孪生可就规范性维护提供战术和战略决策方面的指导，提供实时建议以最大化正常运行时间，调整生产以应对故障设备，将环境影响降至最低，减轻生产损失并优先考虑安全性。此外，质量和风险评估可提供有关设备和资产运行状况、风险概况以及故障根源的未来视图，以改善正常运行时间和运营完整性。同样，范围也涵盖单台设备、单个过程机组、全厂或整个企业。





## 架构

AspenTech的数字化参考架构可以帮助企业构建、组织和确定其数字孪生实施的优先顺序，从而支持跨业务职能的协作和整合，支持生产优化、价值链优化、性能工程和资产性能管理。



图2: AspenTech的资产优化数字化参考架构。这是客户和AspenTech创新研发的蓝图。这种数字化参考架构与AspenTech数字孪生解决方案的广度保持一致(第4页上的图片)。上图中的左侧方框代表工厂数字孪生,中间方框代表运营卓越性数字孪生,右侧方框代表运营完整性数字孪生。

# 数字孪生模型的类型

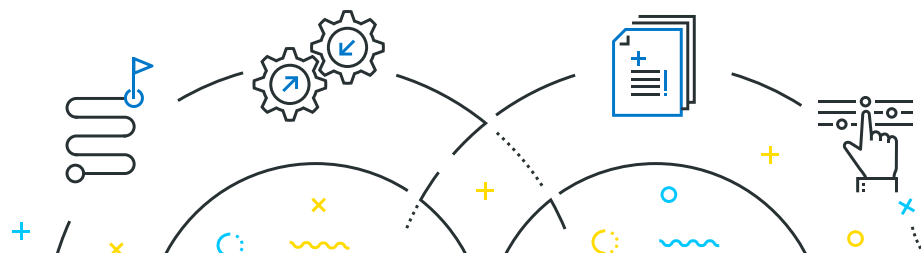
有几种与过程制造环境有关的优化范例。

每个组织都必须根据其业务流程，它们之间的相互作用以及企业的价值驱动力，确定开发数字孪生的范围。企业还必须为每个数字孪生制定创建和维护计划。组织将根据其价值确定优先制作企业数字化副本的位置。从实际角度来看，将会多次实施数字孪生。他们最终将连接并结合起来，变得更加智能化。我们认为人工智能是在决策过程中理解多种数字化模型中的信息并以可理解的方式向人们展示信息的关键推动力。

## 工厂数字孪生

**过程模型：**严格的过程模拟模型可精确表示化工过程。当已知化学和物理原理并针对工厂运行对模型进行校准时，严格的第一性原理模型始终会更加准确。随着运行改变机组行为，机器学习和深度人工智能在复杂流程中起着关键作用。新兴的AspenTech混合模型采用这两种方法中的最佳方法，同时应用了两种方法（第一性原理和人工智能），以进一步提高保真度。动态假设分析模型是确保过程安全和有效的操作员培训以最小化人为错误的键操作工具。此外，高级数据分析使用可模拟和优化化工过程质量的多变量分析，构成实证过程机组模型的基础。

**资产：**资产模型表示资产的功能元素，物理实例以及工艺流程、物理连接和相关基础结构方面的连通性。除了3D物理模型（通过与Hexagon PPM集成提供），资产数据还包括操作程序，例如数据表和配方；逻辑连接，例如过程流程图（PFD）以及管道和仪表图（P&ID）。



**项目：**时间和成本可视为数字孪生的第四和第五维度。有效地表示和仿真项目执行的设计、资源、时间和成本的数字孪生模型对实现最小资本支出和最大生命周期价值至关重要。可视化和自主设定型 workflow 提供一种将机器学习应用于数字孪生项目的突破性方法，从而使项目工作人员能够洞悉其复杂性。

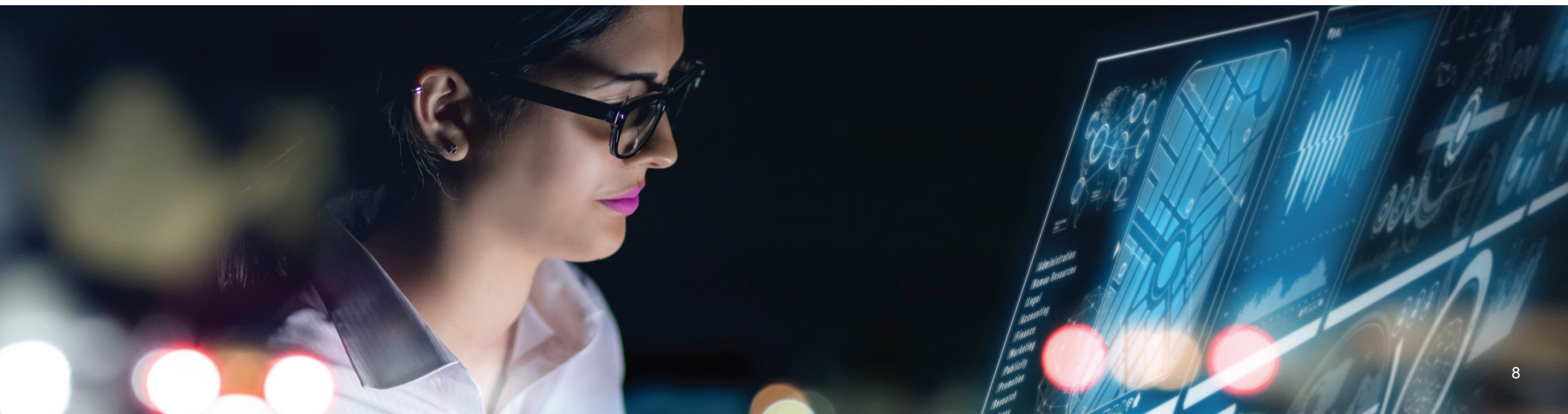
**风险、成本和经济性：**风险和成本模型一起将资产和企业作为一个相互联系的受约束系统进行检查，以识别最大过程、安全和经济风险，预测成本并确定投资可用资本的最佳方式。字孪生。

**安全性：**安全模型希望通过对系统的各个方面（过程和物理）进行建模来最大程度地减少资产中的过程安全事件，从而以最敏捷的方式分析最坏的情况并制定可访问和可更新的应急响应策略。


### 运营数字孪生

**计划和调度：**计划和调度模型是炼油、大宗化学品、特种化学品、金属、采矿和相关业务中具有价值的极强动力。规划数字孪生不仅仅限于电子表格，还可以快速评估多种情况，并在整个资产供应链网络中和/或针对特定地点进行优化。通过提供将过程和计划模型结合在一起的自动化 workflow，跨多个目标优化计划并提高计划准确性、操作保真度并提高利润，它们在电子表格和手动方法的基础上完成进一步改善。

**需求：**需求模型用于协作需求规划和管理业务流程，是炼油、大宗化学品、特种化学品和相关业务中数字孪生计划、调度和分配模型的关键因素。这可提供帮助制造商更好地预测客户及其市场的未来需求的强大流程。高级需求模型使用需求细分功能来识别可以基于数据和更高级别的人工输入进行预测的模式。







最佳预测方法选择功能使该工具可以确定最佳预测方法。

**分配：**分配模型可安排产品从源位置转移到中间工厂或仓库进行进一步处理和/或储存，以及转移到客户处，以确保物料在正确的时间放置在正确的位置。分配模型可以使用优化功能，基于需求优先级确定标准（例如已确认/未确认的客户订单、公司内部需求、预测和安全库存）确定供应受限时的库存装运地点。

**能源供需：**能源模型用于优化能源密集型资产（例如炼油、大宗化学品、化肥和金属精炼中的资产）的供求。这些模型可以发现减少碳足迹的机会；可视化仪表盘描绘了每个操作决策对资产能源强度的影响。

**控制/优化：**控制和动态资产优化模型采用最先进的自学习和自修复（包括传统方法和人工智能方法）式高级过程控制（APC）技术和动态优化，提供闭环优化和操作建议，以更接近其经济和技术极限自主运行资产。集成数字孪生将假设过程模型和APC模型相结合，以实现最大价值。

## 运营完整性数字孪生

**资产状况：**来自物理和过程数据馈送的数据流，以及相关机器学习规范性维护工具，可提供资产状况数字孪生、预测过程、设备和环境异常，并诊断原因和可用的预防措施。人工智能用来处理使这些模型可行所需的大量数据流。有些与计划和调度集成，以识别运营调整，从而最大程度地减少设备维修和/或故障的影响。



**可持续性：**在线实施的资产的水模型和公用事业模型显示了企业和单个资产的即时和长期可持续性指标，其中包括用水、公用事业的选择、能源使用和成本以及排放物，如燃除、硫氧化物和氮氧化物的捕获。结合过程模型，它们可以更全面地描述可持续性绩效。

## 有多少数字孪生？

LNS Research采访了许多公司，并分析了完全模拟典型炼油厂运营所需的数字孪生。LNS保守地估计，单个此类资产可能存在1,000多个数字孪生模型。公司可以构建数字化孪生满足其市场、运营策略和资本回报率方面的要求，而这些要求会在充满多种可能的领域内不断

变化。显然，尽管最好的数字孪生会强调创建和维护的简便性，但公司并不会全部构建。

最富有成效的实施策略将确定数字孪生解决方案的范围和领域，该解决方案将满足关键业务需求以早日赢得胜利。例如，重点可能是质量或客户供应方面的挑战，可靠性和正常运行时间方面的挑战，水或能源使用可持续性的必要事项。首先要重点关注获得卓有成效的成果的领域，在设备正常运行时间、产量优化、能源最小化和计划等领域证明其有效性和具有短期可实现的价值。

## 迈向集成数字孪生

如今，资产或企业的实用数字孪生始于界定范围，解决有意义且可衡量的业务问题，例如安全性或可持续性问题或利润流失的来源。明天，技术创新的步伐可能会实现更大范围的组合式数字孪生。

AspenTech已整合数个关键的数字孪生领域，并通过称为模型联盟的概念取得进展，该模型联盟将通向自主系统的模型整合在一起，这些系统可以了解资产行为并改善日益复杂的虚拟副本。可视化和自动执行层将来自数字孪生的信息合并为运营、安全和资本决策方面的可操作见解。



## 跨企业共享

大多数领先企业均在企业内考虑数字孪生。除此之外，数字孪生还作为战略桥梁，将各组织联系起来，以实现新水平的业务协作和敏捷性。在整个资产生命周期中，跨越设计师、技术供应商、承包商、制造商和资产所有者之间的界限可带来巨大的生产力和资本支出收益。

引入可视化和可操作工作流程（如Aspen Enterprise Insights等工具）提供重要方法，即：在不破坏单个企业数据和知识产权安全

性的情况下实现跨企业的效率和敏捷性。数据、机器学习代理和人工智能均可以在企业之间共享，但要遵守商务和商业边界保护。

## 数字孪生的规模

当一家公司考虑未来智能企业、智能资产和潜在的数字孪生时，领导者应考虑将提供最佳价值的数字孪生的规模。从详细、小型到大型，再到整个企业，存在多个评估级别。如今，创建更大规模和更高精度的数字孪生的成本更高。

**设备级：**这可以反映设备的当前、未来和历史表现。设备级成为重中之重的示例包括超级压缩机（故障的高经济成本）、大型泵和压缩机（备件和维护的高成本）、换热器（对产量的影响）等。

**机组级：**过程资产的经济价值通常基于机组级创建。对于涉及过程、资产状况、控制和优化的数字孪生，诸如裂化、烯烃反应器和化学蒸馏等机组级模型通常是具有极高价值且具有高回报率的领域。

**工厂级：**工厂级数字孪生以数字化方式表示一个工厂、多个工厂或整个地点；它们可能涵盖所涉及系统的一部分。对能源、炼油厂和大宗化学品计划以及特种化学品调度进行优化，以提高该级别的经济性。

**企业级：**企业级数字孪生是重要的新兴领域。该模型可以快速分析企业获利机会，并有效地向执行层提供可操作信息。示例包括企业风险模型，调度和供应链组合模型或多资产计划模型，以优化工厂、运输和仓储设施网络的利用率，以实现最大的利润和客户满意度。

## 数字孪生对成功企业的价值

数字孪生对于创造未来的商业价值至关重要。当焦点与数字化技术的采用相匹配并创造价值时，便会成功。以下为部分真实示例：

**上游产量：**玻利维亚上游公司YPFB Andina就其气井、天然气收集以及天然气生产和运输网络（基于Aspen HYSYS和Aspen MES）构建资产范围内的数字孪生模型，并实现连续3年每年产量增加且收入达2.08亿美元的成绩。

**正常运行时间：**一家位于美国的国际化大型炼油厂采用机器学习数字孪生来改善炼油厂和石化产品的正常运行时间和利润率。为提高正常运行时间和利润率，该公司对规范性维护工具进行了为期一年的测试。在首个测试年中，他们因避免发生的泵故障而节省数千万美元，现在正在全球铺开实施解决方案。



**能源和水的可持续性：**阿布扎比国家石油公司（ADNOC）聘请数字孪生咨询公司Equinox构建了资产范围内的数字孪生，包括数百口气井，阿布扎比最大的天然气厂（GOSP）以及涵盖能源、公用事业和生产的多种模型，以及可视化仪表盘。该仪表盘使所有操作人员可以查看有关用水、能源使用和碳氢化合物损失的资产指标。结果：做出更好决策并实现可持续性的里程碑。

**订单履行和营运资金：**特种化学品生产商Momentive通过将AspenTech的高保真生产和库存转移调度解决方案用作数字孪生，每天优化其供应链。这项技术使Momentive能

够在关键约束和成本基础上优先考虑需求。多个地点的库存下降了**25%**，同时将订单足量准时交付率（OTIF）指标提高**20**个点，供应提前期减少**40%**。

**质量：**面对常规超标批次的聚合物生产商实施多变量数据分析，以监控和分析**80**多个过程变量，识别变量和相关的过程操作策略，以复制好批次并最大程度地减少浪费的产品。基于多变量分析的数字孪生方法对产品质量是关键且经常发生问题的各种特种化学应用具有战略意义。

## 数字孪生的位置在哪里？

数字孪生是本地托管于资产生产堆栈中，托管于防火墙之后还是在云中托管，属于单项资产和企业决策。我们描述的资产密集型企业的数字孪生的各个方面可以是本地、云部署（具有多个云排列）或某种混合方法。组织的决策过程与数字孪生功能无关，而与基础设施、部署成本和资源、业务模型敏捷性、信息和咨询延迟以及其他关键因素（如网络安全性）有关。



# 未来

## 为什么是数字孪生？事实与虚构

几年前，数字孪生是一个可以畅想未来的好素材。今天，它已成为任何企业数字化转型战略的重要组成部分。

科幻作家威廉·吉布森具有先见之明，预测和设想了数字孪生所带来的巨大价值和力量。该愿景具有启发性，因为它展现的是真实企业的虚拟副本，远不止3D可视化或视图；吉布森将该副本介绍为一种利用数据价值的前瞻性方法。在他的作品中，人工智能在帮助人们深入了解大量令人困惑的多维数据方面发挥着至关重要的作用。

对于今天我们可以为企业创建的数字孪生，一个关键概念是人工智能在提供虚拟数据相关见解和建议方面的作用。Hanson Robotics备受瞩目且备受争议的人工智能机器人“Sophia”使人工智能的机会更加受关注。该人工智能平台在过去几年中的进步带来了机会。

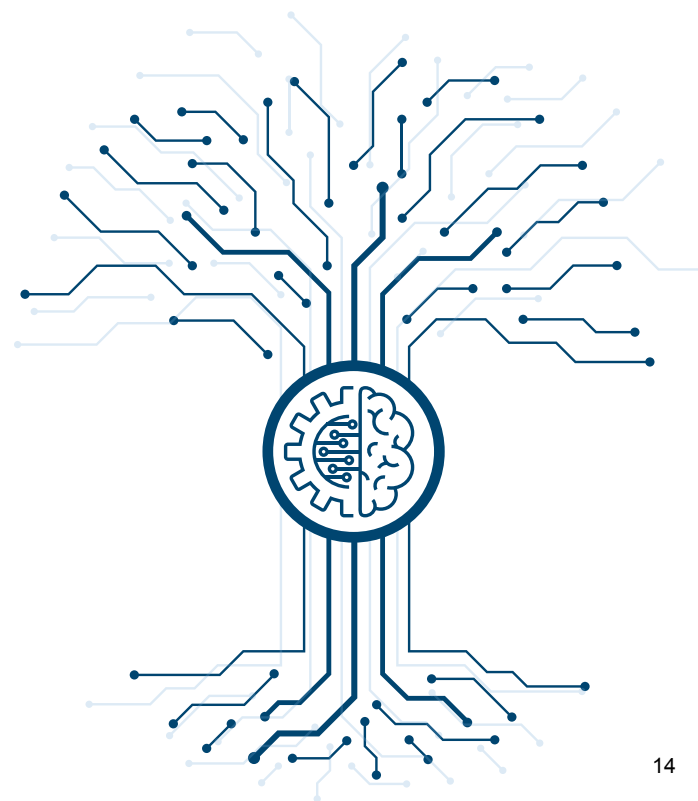
从这一开创性的小说预告片和发人深省的Sophia机器人/人工智能平台中，您可能会获得两项重要的学习成果。首先，数字孪生对企业的未来价值可能会比您委托进行首次应用时所设想的更广泛。有望快速发生变化。

其次，工作性质以及人们与企业数据的交互方式将发生变化。因此，专注于如何可视化该数据以及如何帮助组织进行适应非常重要。

当您投资数字孪生时，构想这将如何帮助您的企业超越竞争对手至关重要。同样，数字孪生概念作为数字化转型的关键部分，既关乎技术实施，也同样关乎组织变革和演进。必须每天支持组织的适应性、热情和就绪度。最后，认识到商业价值创造推动技术发展，而不是技术发展推动商业价值创造。

AspenTech的数字孪生模型的广度、深度和规模正在为资产密集型行业创造重大的商业价值。我们计划继续沿着融合数据、分析、严格模型、人工智能和深度领域专业知识的

积极道路前行，在使行业实现智能企业方面迅速创新并保持领导地位。AspenTech定位为技术合作伙伴，它将最有效地帮助您应对不断加速的不确定性和变化，从如今可靠的系统发展成为未来功能更强大、更强有力、更具适应性和更智能的技术。





49.9%

95.9%

49.9%

95.9%

## 关于Aspen Technology

Aspen Technology (AspenTech) 是资产绩效优化的领先软件供应商。我们的产品能够在复杂的工业环境中茁壮成长，在此类环境下，优化资产设计、操作和维护生命周期至关重要。AspenTech 将数十年的流程建模专业知识与机器学习相结合。我们专门设计的软件平台通过在整个资产生命周期中提供高回报，可实现知识工作的自动化并建立可持续竞争优势。因此，资本密集型行业的公司可以最大限度地延长正常运行时间，提升性能水平，以更安全、更环保、更长久、更快的方式运行资产。访问AspenTech.com以了解更多信息。

[www.aspentech.com](http://www.aspentech.com)

引用作品：“[Momentum通过详细调度和有限产能优化来提高客户服务和盈利能力。](#)”Michael Reifer (SIOP卓越中心负责人) 和Aaron Hunt (SCM高级技术经理)，可点播的在线研讨会，2018年。

© 2019 Aspen Technology, Inc. AspenTech®, Aspen®, aspenONE®, Aspen leaf标识、AspenONE 标识和 OPTIMIZE 是 Aspen Technology, Inc.的商标或注册商标。保留所有权利。AT-05512-1119

