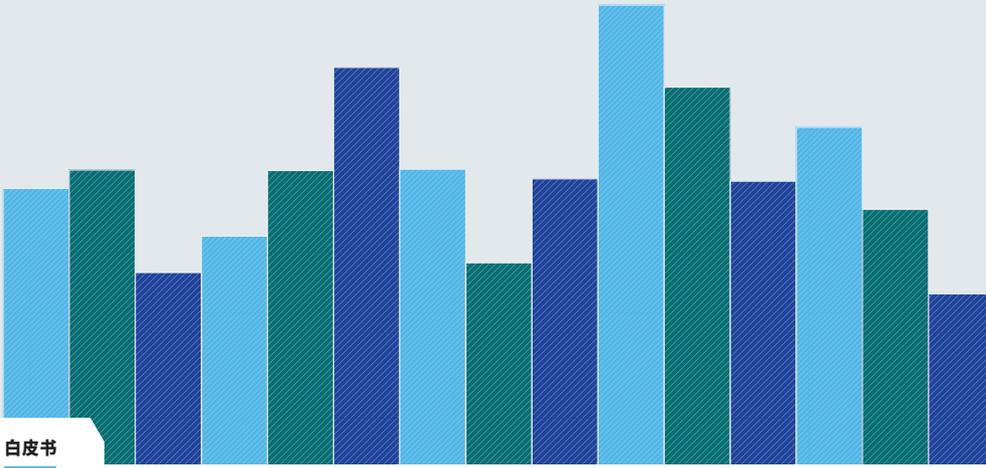




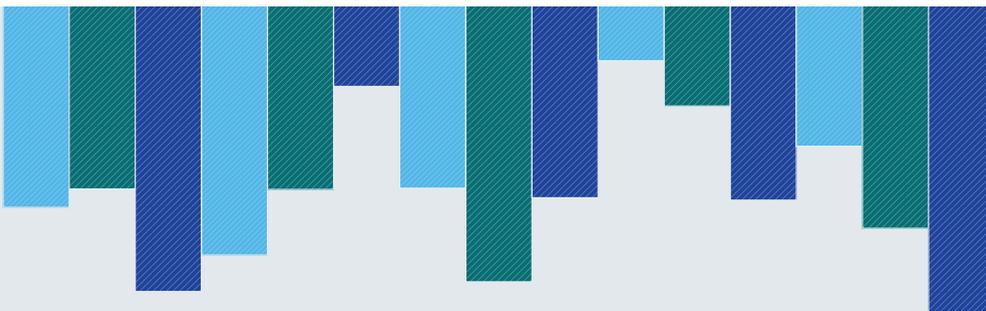
**Harvard
Business
Review**

ANALYTIC SERVICES



白皮书

打破障碍，开展更具 合作性的工厂项目



赞助商

 **AUTODESK**

无论是企业对企业行业还是企业对消费者行业，客户对产品和服务个性化、功能及可持续性的期望都在大幅增高。

为应对越来越快的速度和日益增加的复杂性，许多公司都已经调整了设计、开发和建造产品的方式，从生命周期的角度对它们进行考虑，并经常采用敏捷开发方法、并行工程和系统工程。

出人意料的是，工厂的设计和建造方式依然非常传统，运行和维护期间处理数据的方式也因循守旧，逐领域、学科、数据库独立进行。

客户期望增高，将不可避免地导致批量规模缩小和频繁的转变，这就意味着具有适应性和弹性的生产运营比以往更为重要。

我们相信，在产品设计和工程方面采取的集成和协作措施也将引领生产运营。工厂基础设施和建筑信息等需要与生产系统数据进行集成，以发掘综合性工厂数字孪生体的全部潜力。此外，还需要跨整个生产生命周期重复使用数据，即使（或正是因为）不同阶段涉及不同的利益相关者；这样才能避免冗余和非增值任务。

数字化正在促使制造商将其工厂引入这个新时代。Harvard Business Review Analytic Services 通过这项研究提供了关于行业现状的一些有用见解，并带来了指导意见，您可以根据这些信息做好准备，通过使用集成工厂模式为现有或规划中的生产运营业务打造成功的未来。欢迎读者考虑本报告提及的行业领导者的示例，他们都是响应不断变化的市场环境的典范。



Srinath Jonnalagadda
设计与制造行业战略副总裁
Autodesk

打破障碍，开展更具合作性的工厂项目

随着新产品、客户期望和竞争压力促使制造商通过改造或绿地建设不断对当前业务进行重构，工厂也将不断发生变化。在这些项目的实施过程中，由于设立了新目标，将使按时、按预算实现传统目标变得越来越复杂，从可持续性目的到更高效地使用劳动力，再到工业 4.0 要求，各个方面都会受到影响。

这些项目的复杂性在增加，但用于规划和管理工厂项目的流程并没有同步变化。工厂项目涉及多个团队，包括从制造商自身内部到一系列设计和施工合作伙伴等多个环节，他们均专注于建筑规划、生产工程和持续运营。通常情况下，这些团队以及用于完成工作的工具和数据更多的是在独立运营，而不是协作进行，这会导致成本增加、预算超支和时间延迟。

EDAG Production Solutions 是一家位于德国富尔达的汽车行业工程服务提供商，其智能工厂规划方法高级技术专家 Frank Breitenbach 表示：“建筑和工厂工程是两个独立的领域，目前还未很好地进行协调。为了让这些领域高效地共同发展，大多数公司几乎都需要进行一次重大转变。”

需要采用一种协调良好的多学科方法来开展工厂设计和施工项目，以缩小这些差距，并确保建筑、运营、机械、电气和管道项目团队密切协作，从而大幅降低延迟、成本和误解，同时最大限度实现与项目相关的长期运营业务目标。为此，制造商和工业建筑公司将努力采用新的规划和 workflows 范式，更智能地使用数据，并开发更具合作性的 workflows 技术，以在施工完成后很长时间内对建筑物发挥影响力。如果他们的愿景得以实现，未来的工厂将更加容易进行变动且具有弹性，能够灵活适应市场变化，同时最大程度降低维护成本，优化使用率。

重点

在工厂施工项目中，越来越多的提案申请开始纳入对可持续性和数字化的期望，以及打造支持工业 4.0 概念的**智能工厂的渴望**。

尽管需求在不断发生变化，**但用于规划和实施工厂**新建或改造项目的**工作流程**并非一直与需求保持同步。

事实证明，要帮助制造商及其规划和生产合作伙伴**打破工具和数据孤岛，合作完成任务**，以更顺畅、高效的方式规划和建设工厂，那么技术是关键驱动力。

Viessmann Group 是一家加热、冷却和气候解决方案制造商，位于德国阿伦多夫，其首席执行官 Maximilian Viessmann 表示：“要使工厂高效运营，必须有实时数据才能在适当的环境下做出明智的决策。如果我们面向合作伙伴和用户迅速行动，就能扩展我们的市场地位。工业 4.0 是获得这种速度的助推器，因此也是赢得未来的引擎。”

新的世界，新的压力

工厂必须不断转变，调整设备、生产线、开发流程和运营方式，才能满足当今社会的需求。推动这些新建或改造的典型因素包括：发布新产品、需要提高产品质量或生产效率、需求发生变化、持续进行改进或更换设备。特定于行业的趋势可能也是其影响因素，如需要缩小批量或基础产品衍生品的规模、提高大规模个性化水平、从化石燃料转向更可持续的能源，或需要适应材料短缺、贴近市场进行生产或在劳动力短缺的情况下最大限度减少劳动力需求。

根据 McKinsey & Co. 2020 年 6 月进行的研究“建筑业的下一个常态”，87% 的受访者认为熟练工短缺对行业的影响最大。但超过 75% 的受访者认为，10 年内，可持续性、工作地点安全规则和更灵活的数字化高效建筑将对行业产生大规模的影响。**图 1**

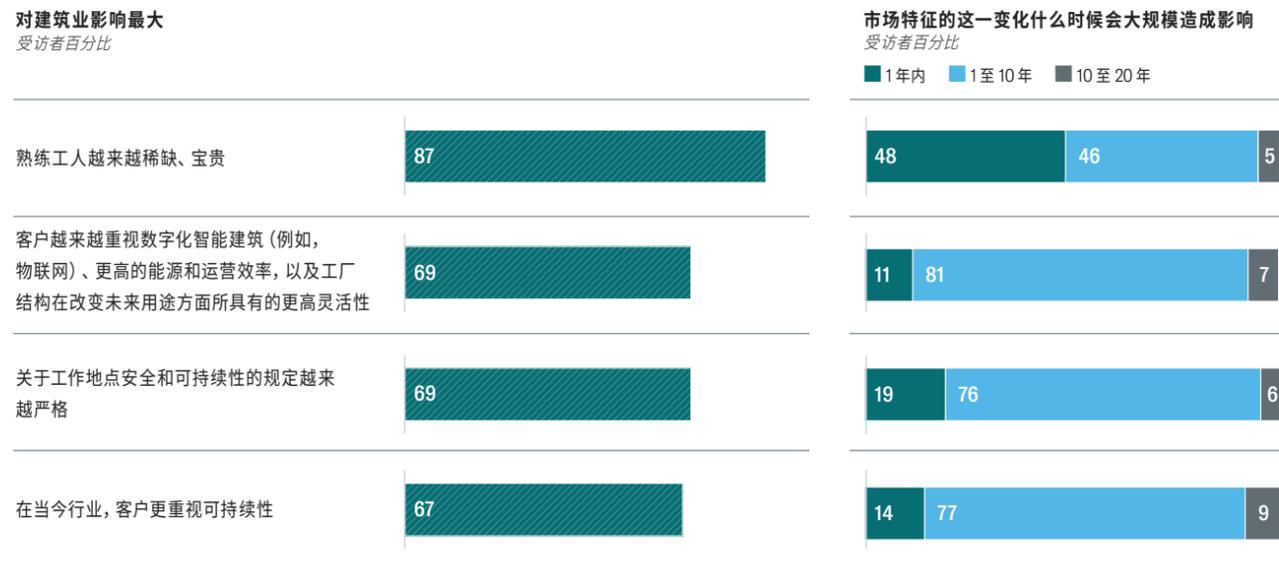
然而，在这些驱动因素之外，还有一系列其他需求对设计团队提出了更多要求。在工厂施工项目中，越来越多的提案申请 (RFP) 开始纳入对可持续性和数字化的期望，以及打造支持工业 4.0 概念的智能工厂的渴望。制造商也希望以更快的速度完成项目，尤其是对于改造项目；最大限度减少停机时间和加快上市速度，已成为开展竞争的必需条件。

io-consultants 是一家位于宾夕法尼亚州伯利恒的管理咨询公司，项目包括综合咨询、设计和生产规划服务，其总经理兼合伙人 Rupert Hoecherl 表示：“与以往相比，可持续性占据了越来越多的中心位置。前些年，它更像是一种自愿的方法。如今，它逐渐变得更明确、更制度化，在某些领域，已经成为了法规要求。”

图 1

导致施工项目复杂化的市场因素

缺少劳动力、智能建筑以及安全和可持续性规定是首要问题



数据来源：McKinsey & Co., 2020 年 6 月



Kingspan Group 的 BIM 战略负责人

Brian Glancy 表示：“数字化的作用是帮人们复制信息，但只是复制，而不进行管理，这意味着会失去对信息的信任。”

这些不仅仅是内部问题。工厂项目需要内部和外部团队配合完成，通常分为负责建筑本身的团队及专注于内部流程和设备的团队。一般情况下，每个团队都会使用自己的工具和数据存储来完成工作。

Dannapfel 表示：“每个人都使用不同的软件工具，我们没有明确的接口能提供信息，或将信息从一种工具传输至另一种工具。因此，我们会损失大量信息，同时还要传递人工返工或人工通信信息，以确保我们想要传递的所有信息都传送到下一个团队及后面的团队。这个过程效率非常低。”

Magna Steyr 的 Ostermann 补充道：“我们能做得更好的是，对流程进行通信、开展模型协调，以及推动工厂设计的演变。通信需要直接在模型上进行，而不是在无法很好通信的不同系统中分开进行。”

解决通信问题的一种方法是转换不同的数据，从而将其收集在单一计算机辅助设计 (CAD) 环境中，但这个步骤成本很高。通信和变更请求往往发生在这种环境之外，因此会导致延迟和错误，并且一个系统中的变更不能自动适用于其他系统。即使努力练习对不同规划流程进行同步工程，在发生通信故障时，效果也会不尽人意。

自 20 世纪 90 年代以来，大多数工厂已经在很大程度上实现了数字化，但很多数据并未得到使用，并且在规划、建造和维护工具中建立单一数据标准的工作也进展缓慢。

Kingspan Group 是一家位于爱尔兰金斯考特的建筑材料制造商，其 BIM 战略负责人 Brian Glancy 表示：“数字化的作用是帮人们复制信息，但只是复制，而不进行管理，这意味着会失去对信息的信任。因此，我们要努力确保关于信息的治理流程。”

越来越多的制造企业还提出需要数字化、智能工厂或工业 4.0 概念。EDAG 的 Breitenbach 表示，客户对这些术语的定义各不相同，这个问题必须在项目初始阶段得到解决。他补充道，工业 4.0 需求越来越关注可持续性。

“工业 4.0 最终将在我的生产系统内，以及在更多系统中，创建出一致的水平垂直网络。我认为这是一个新概念，它最近已经包括建筑领域。毕竟是建筑为我的工厂提供了空间、容量和运营材料。建筑必须应对排放问题，反过来，它也会对我的机器产生环境影响。”

出乎意料的市场和供应链挑战，再加上最近的疫情，加剧了人们对速度的需求。Viessmann Group 的 Viessmann 表示：“疫情期间，由于区域或国际限制，我们经历了极端波动。这次波动使我们特别难以确定暂停生产，以实施改造项目的适合时间。”

工厂规划过程中的缺口

尽管需求在不断发生变化，但用于规划和实施工厂新建或改造项目的工作流程并非一直与需求保持同步。事实上，根据定义，工厂是一个复杂的系统，而随着自动化和技术的进步，它将变得愈加繁复。不断增加的复杂性与脱节的工作流程叠加在一起，也使施工协调比以往更加困难。

位于奥地利格拉茨的汽车制造厂 Magna Steyr 的工厂设计师 Robert Ostermann 表示：“工厂不仅仅是建筑。还有很多传送系统，以及很多钢结构、机械设备等。因此，工厂运行不仅仅是一个 BIM（建筑信息建模）过程，协调或维护这种完整的数字频谱目前还不常见。”

传统方法通常是在很大程度上按顺序进行，一个团队先完成工作，然后将工作成果交给下一个团队。他们使用的数据和工具通常也是独立的，需要昂贵的格式转换和大量电子邮件来管理变更和后续操作。通信缺口不可避免，尤其是在从一个步骤向下一个步骤交接时。

出现通信缺口的原因各不相同。德国亚琛工业大学的工厂规划总工程师 Matthias Dannapfel 表示，中小型企业的新工厂项目通常间隔 10 至 15 年，因此，他们的规划流程可能会过时或不存在。企业通常“很难决定如何提出长期需求，以及如何将这些需求转化至工厂结构。因为市场环境在不断发生变化，他们必须放弃旧的假设。他们需要挑战自己的思维方式和设想工厂的方式。”



“只有跨学科团队能够管理无缝整合所有运营流程时面临的复杂问题和挑战。定期检查整个价值链的关键数据，并经常模拟这些流程，可以确保达到所需的标准，并实现项目目标。” Viessmann Group 的首席执行官 Maximilian Viessmann 如此表示。

一种常见的模式是，某些科技公司在生成设计数据时，将其作为工具集的一部分，而这些工具集会抵制设立其他开发商支持的开放标准。Breitenbach 表示：“我认为这是最大的问题之一。也是我们谈到整体工厂观时，以及想要获得 BIM 和数字工厂带来的所有好处时，必须解决的一个问题。”

根据亚琛工业大学的学术论文“通过规划和统计计算来分析工业建设项目延误原因的方法”，BIM 专门用于解决建筑规划与施工规划流程之间的脱离问题，但它在住房和公共建筑施工方面的用途远不止工厂规划。为该论文提供支持的研究发现，“由于 (1) 缺少成熟度规范和 (2) 缺少数据管理标准，工厂规划项目很少实施。”

Breitenbach 称，并非所有挑战都是技术方面的。除了转向更多的数据分享及随之而来的更紧密协作之外，不同的团队还必须致力于更新的工作方式。“我们的项目需要一种会议文化和会议结构，举行定期会议，以使人们互相交流，交换信息。”

规划缺口的成本

工厂规划和施工流程中的缺陷会在多个方面给制造商造成损失，不仅影响项目本身，而且还会影响工厂的运营和维护。

io-consultants 的 Hoecherl 表示：“最终，影响始终会涉及范围、时间和预算。如果问题被忽视，在项目后期需要进行调整的情况下，将影响时间安排，并且很可能也会影响预算。一种应对方式是，重新考虑范围，以减轻影响。重大失误或设计缺陷可能会无意之中减少装机容量，并且可能限制建筑的可用性和寿命。”

他补充道，在一个项目可以容纳的设备或技术的数量或类型方面进行权衡，可能意味着雇佣更多劳动力，或失去技术优势，幸运的是，产品本身的质量通常不受影响。

其他影响可能包括供应商集成失败、需要重新调整，更常见的是效率损失。

如果按照传统方式生产，即使是在成功完成的施工项目中，工厂设计也不足以对建筑的持续寿命产生最大影响。建模、为工厂及其生产设备的构建方式制定可视化计划、数字孪生体、创建准确的实体资产数字副本等新概念带来了种种优势；如果不对这些优势进行利用，将更难为进入设计选择的决策和详细情况维持数字记录。数据的缺失将使未来的修改更费钱、更困难。

集成工厂愿景

全集成工厂设计流程的概念基于未来工厂本身的愿景而提出。工厂的创建方式对其是否能实现目标发挥着越来越大的作用，其中包括与灵活性、可持续性和智能相关的目标。

Viessmann 表示：“我们必须拥有在以下各个方面都高效、灵活的工厂：可持续性、效率和全球基础设施。效率和灵活性是恢复能力的基础。”这些目标的实现与规划流程直接相关。

“集成协作式工厂规划的影响非常大，” Viessmann 继续说道。“只有跨学科团队能够管理无缝整合所有运营流程时面临的复杂问题和挑战。定期检查整个价值链的关键数据，并经常模拟这些流程，可以确保达到所需的标准，并实现项目目标。”

工厂数字表象还可以减轻潜在规划问题的风险，如两个管道互相干扰，或对正确设计占用空间至关重要的机械几何数据不正确。在早期阶段通过跨团队协作解决此类问题，就可以避免问题出现在施工阶段，从而节省现场处理问题的数千美元费用。除了施工流程本身外，对集成式设计流程进行无缝集成和数字化，也会改善工厂初始运营情况和工厂持续使用。

Kingspan 的 Glancy 表示：“我们正开始探索您在创建实体对等物之前将一切实物数字化这一想法。如果您有数字表象，随着增强现实、虚拟现实等技术的进步，我们可以移动这些建筑，甚至培训操作员使用设备，然后将其用于实体工厂。这种能力有助于大幅提升初始状况，改善培训效果，并提高质量。”

只要数字模型随着工厂变化而不断更新，这些优势就会继续存在，并成为设施历史的生活日志。完全实现的模型，如数字孪生体，对各个方面都有推动作用，包括支持预测性维护、加快改造、模拟拟议修改的影响、分析材料性能和设计等各个环节。

Glancy 表示：“我认为人们未来会比现在更重视从更多方面了解建筑。”

简化工厂设计流程

即使未来工厂的愿景已经发生变化，对于规划和执行工厂设计和施工而言，其最终状态与当前流程之间依然存在差距。多年来，制造商设计出许多解决方案来集成和简化这一流程，目前，规划流程的许多步骤都已实现自动化、计算机辅助、数字化以及条件检查。这些进步是当今创新的基础，即使这些创新遥遥领先于推出时人们高效工作所需的技术能力。

Breitenbach 表示：“上世纪 90 年代，他们谈到了计算机集成制造 (CIM)。他们的想法是构建 3D 模型、CAD 模型，并将其直接导入生产部件的机器，这个想法非常好。但在 90 年代，软件还没有达到所需的成熟度。我们在 20 世纪 90 年代开始建立数字工厂。数字工厂体现了整体工厂观，它将产品、制造流程、员工、机械、机器人和其他资源相结合，实现工厂运营。”

如今，软件、数据和通信技术已经赶上这些概念。专家们期待利用建筑信息建模流程、数字孪生体、相机、传感器、人工智能 (AI)、机器学习 (ML)、增强现实和虚拟现实技术，从而支持集成协作式工厂设计流程向前推进。企业越来越能实时协调设计活动。

亚琛工业大学的论文将 BIM 定义为，通过管理共享建筑相关数据库，整合施工项目的所有利益相关者，从而在运营过程中促进规划、施工和设施管理的一种方法。

根据 Dodge Data & Analytics 的研究，工作范围包括高频或超高频使用 BIM 的设计师表示，与 BIM 使用频率适中的设计师相比，他们获得的优势高得多，包括提高团队协作 (67% 对 27%)、提高数据移交速度 (61% 对 27%)，以及提高工作负载能力 (55% 对 28%)。图 2

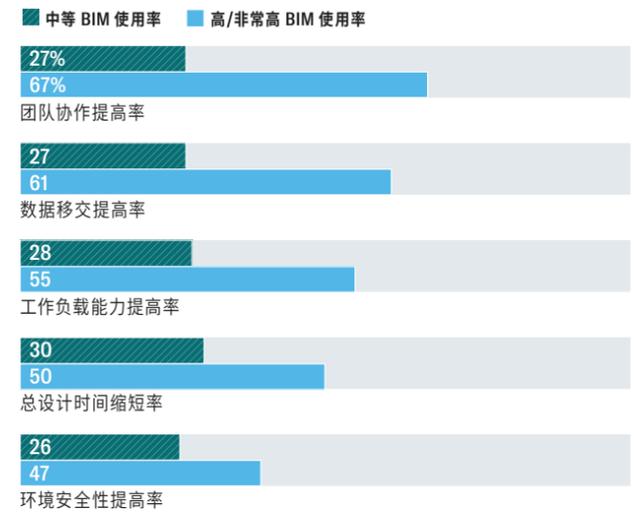
但某些人认为 BIM 是一种不能延伸至生产领域的流程。Magna Steyr 的 Ostermann 表示：“我们拥有 BIM 流程，但 BIM 流程从建筑开始，也以建筑告终，我们 Magna 有自己的工厂。BIM 能为建筑做的，正是我们想要为整个工厂设计过程所实现的。”

然后，我们需要通过一种方式将 BIM 的优势延伸至整个项目，将建筑规划与建筑内部的机器和设备集成在一起。

图 2

BIM 的设计优势以协作为首

高级别/超高级别使用建筑信息模型的设计师得到的优势最多



数据来源：Dodge Data & Analytics, 2021



Kingspan 的 Glancy 表示：“数字孪生体是行业和 BIM 变革的核心，是一个变革的过程。如果我们利用它们来以数字化方式交付完美的项目，那么也可以复制出实体对等物。”

进入集成工厂模型

数字孪生体和 3D 工厂模型已成为从当前工厂设计状态转向全集成设计流程所需的宝贵工具。根据 Juniper Research 的研究成果，¹ 2021 年，制造业将成为进行数字孪生体部署的单一最大领域，占技术总花费的 34%。

数字孪生体在制造业中有多种定义；有人称之为数字孪生体，也有人称之为高级/3D 模型。Digital Twin Consortium 召集专家一起定义这个术语。² 该定义将数字孪生体描述为现实实体和/或流程的虚拟表示，二者以指定的频率和保真度同步。数字孪生体利用实时和历史数据表示过去和现在，然后模拟受预期结果启发且通常根据特定用例定制的预测未来情况。数字孪生体由集成技术支持，以数据为基础，受专业知识指导，在 IT/OT 系统中实现。

专家认为，数字孪生体有望通过加速全面理解、最优决策制定和有效行动，从而使业务和工厂项目发生转变。

根据 McKinsey & Co. 的研究，“企业可以利用建筑信息模型 (BIM) 提高效率，将设计阶段与价值链的其余部分集成在一起，从而在项目早期阶段（而非等完成设计且施工正在进行时）创建全三维模型（“数字孪生体”），并添加更多层次，如时间表和成本。”³ McKinsey 称，使用 BIM 和数字孪生体将大幅改变施工项目中的风险和决策顺序，并对传统工程、采购和施工 (EPC) 模型提出质疑。

利益相关者可以利用这种高级模型进行工厂设计，然后在 2D 和 3D 环境下从任何角度导航和查看结构，以可视化的方式向下钻取，以查看特定功能，访问与任何给定项目相关的规格，跟踪对给定元素的任何变更的历史等。

Hoecherl 表示，在 io-consultants，工厂设计师“决策流程更及时，并且能够在设计流程的各个阶段解决假定场景问题，对此感到非常激动。”

在“真正的”数字孪生体中，嵌入至工厂的传感器会持续收集数据，以确保始终与实体建筑保持同步，从而支持施工后用例。工厂运营数字孪生体的其他持续用例包括：了解哪些空间可能受设备故障影响，以及比较资产和系统的实际性能与预期性能。这些

信息有助于预测事件，以提高可用性并为制定决策提供信息，从而实现投资回报最大化。

Viessmann 表示，他的企业正在利用数字孪生体，为波兰莱格尼察的加热泵新生产基地改进规划、设计及建筑阶段的通信和协作。能够看到实际工厂布局，有助于公司在项目早期阶段就确定并解决涉及空间使用的冲突、瓶颈以及数字世界的潜在内部“交通堵塞”，避免了由于只能后期发现这些问题所带来的高昂成本或风险。他们还利用数字孪生体来持续监控建设进展和计划遵守情况，而且无需开展额外的工作。

Viessmann 表示：“我们都基于相同的基础、相同的商定状态进行规划，所有参与者之间都不存在版本冲突，如工业工程团队、建筑师、环境健康和规划师，以及可能导致代价高昂的误解、误报或误释的各个生产部门。”

Glancy 称：“数字孪生体是行业和 BIM 变革的核心，是一个变革的过程。如果我们利用它们来以数字化方式交付完美的项目，那么也可以复制出实体对等物。”他表示道，他的企业已在“按模型制造”方法中采用数字孪生体，用来创建尽可能接近完工模型的可制造数字孪生体，以便对拟议的细节进行故障排除，如可能影响镀层/封装的钢结构，或放在计划中立柱位置的机器。

数字孪生体和 3D 工厂模型也将减少改造项目所需的停机时间，促进团队之间更好的协作，整合多个规划学科的观点，从而支持集成式工厂建模，最终实现总体目标，而不仅仅从一个角度进行优化。在建造过程中，数字孪生体可以模拟施工顺序，这有助于加快安装速度并减少变更操作。另一个重要用例是，允许在从规划到运营的整个工厂生命周期内，对任何供应商进行结构化集成，以此推动实现轻松快速的供应商集成。专家希望，数字孪生体通过减少浪费，并围绕效率、可靠性、可持续性和相关目标进行优化，最终能够从根本上改进工厂规划和运营。

EDAG 的 Breitenbach 表示：“一方面，这些方法和工具有助于我在工程设计阶段创建工厂，或是更改生产系统。BIM 和数字工厂可以绘制出结构，即产品-过程-资源，而数字孪生体能够确保我提前安全地检查这些场景。在运营阶段，数字孪生体可以记录和



专家希望，数字孪生体通过减少浪费，并围绕效率、可靠性、可持续性和相关目标进行优化，最终能够从根本上改进工厂规划和运营。

事实证明，要以共享方式轻松访问工厂规划流程所生成的大量数据，云技术至关重要；这些数据可以持续存在，也可在工厂发生变化时随时修改，用于支持维护活动和简化翻新与重新规划。规划数据必须得到妥善管理，以确保完整性以及在多个团队和工具间的可用性。

Ostermann 表示：“对我们来说，数据管理系统曾经是最大的挑战。数据管理系统对我们的工厂影响巨大，因为在过去，有时很难在正确的时间找到数据。”目前正在通过 Digital Twin Consortium 和 CESMII—The Smart Manufacturing Institute 等行业组织向数据标准转变，⁴ 应该会让数据管理变得更加顺畅。

Breitenbach 称：“我认为人们会赢下 [标准之战]，软件公司将公开他们的信息并宣布，这是我们的结构。通过这种数据格式，您可以将它与我的软件结合使用，也可以与其他软件协作。交换数据时，您不会丢失任何信息。”

集成通信和协作是这些新解决方案的重要组成部分，利用它们，所有团队都可以访问单一的共享实时工厂模型视图。重要的是，变更请求、信息请求和问题讨论等通信活动必须在协同设计平台上进行，以确保信息随时更新、可供所有人访问且每次变更都有记录。

Viessmann 表示：“再怎么强调与所有利益相关者保持持续通信的重要性都不为过。为了做出正确的决策，需要掌握正确的背景，并且有正确的理解。我的经验是，讨论方式发生了巨大变化。在过去，由施工部门规划建筑，由生产部门规划建筑内的流程。如今，这个方向已经发生改变；许多建筑主要围绕生产流程进行规划。根据通信和模拟情况，我们可以实现最佳结果，并达到最高性能。”

评估运营数据，为我提供了巨大的支持。然后，质量衡量或维护衡量之类人工智能应用为我带来了主动开展行动的机会。”

亚琛工业大学的 Dannapfel 补充道：“BIM 和数字孪生体是我们的技术驱动力，但我们需要先确定流程、信息流和职责。在我们完成这些操作后，[这些技术] 即可展示它们真正的实力，因为我们已经拥有了这种基于模型的规划方法。我们拥有单一信任数据源，可以据此制定计划。”3D 工厂模型和数字孪生体等工具具有可视化特性，能让协作过程变得丰富。

Glancy 表示：“我们通过视觉来感知世界，喜欢用技术展示事物，让人们能够更清晰地理解基础、关系和布局。我认为这对理解成果具有重要的意义。如果能在虚拟环境中使用数字孪生体，将更容易谈论具体情况会有什么结果及其原因。因为成功的一半其实是帮人们理解问题。这种沉浸式体验将强化与利益相关者的沟通。”

与数字孪生体和 3D 工厂模型互补的相关技术是创成式设计，它也在寻找实现更高效的简化工厂设计流程的方式。创成式设计是一种设计探索技术，受一系列约束条件制约，提供过滤选项，直至得到最终设计。虽然它已广泛应用于制造业，但到目前为止，一直较少用于建筑领域。

Glancy 表示，利用机器学习参与设计，“您可以评估多行布局，甚至是利用创成式设计创建的两三行工厂布局，并理解这是对空间的充分利用，以及操作员如何根据布局在该环境中进行操作。当您看到这些技术均已流行时，尤其是它们已成为应届毕业生的工具包的一部分时，您会发现变革已经在呈爆发式状态发生。我认为这只是三五年后的事。既令人印象深刻，也让人害怕。”

集成度更高的工厂设计驱动因素

BIM、创成式设计和数字孪生体并不是用于加速和简化设计与施工流程的仅有技术。向全集成工厂设计转型时，也将受到激光扫描、增强现实和虚拟现实 (AR/VR)、物联网、AI 以及 ML 等技术的驱动。其他必需构建要素包括云、共享数据模型以及设计平台本身的内置协作功能。

激光扫描和摄像技术越来越多地用于生成数据，如为改造项目收集和上传测量结果，以便远程规划师做出规划决策。AR 和 VR 技术有助于团队成员以虚拟方式访问进行中的建筑模型。从部分工厂规划和维护任务的自动化，到质量管理，人工智能和机器学习在各个方面都具有提升作用。



集成通信和协作是这些新解决方案的重要组成部分，利用它们，所有团队都可以访问单一的共享实时工厂模型视图。

重塑 21 世纪的工厂规划

按时、按预算已不再是评判工厂施工项目的标准。如今，规划和施工流程必须迅速且充分集成，并支持实现围绕可持续性和工业 4.0 的新目标。除了实现这些目标之外，工厂还必须容易适应未来用途，而且能够最大限度地减少其自身的维护 and 环境影响。

事实证明，要帮助制造商及其规划和生产合作伙伴打破工具和数据孤岛，合作完成任务，以更顺畅、高效的方式规划和建设工厂，那么技术是关键驱动力。很多人提倡集成度更高的工具和数据，以及对工厂设计、建造和运营团队成功运用这些工具至关重要的流程和文化；他们对集成工厂设计流程的潜力持乐观态度，这些流程可以减少风险，节省时间和成本，创造有弹性且容易进行变动的设施，从而为不断变化的目标提供支持，满足未来的需求。

Hoecherl 表示：“我相信，规划流程的集成度将越来越高。我认为协作将更加简单，哪怕是在不同的合作伙伴组织之间。要通过提供对最新信息的访问功能，从而在不同主题专家之间实现无缝协作，数字平台是关键所在。再加上数字孪生体技术和模拟方面的进步，让我们拥有了触手可及的驱动力，有望以合理的成本将项目重点前置，从而减少实施风险。”

尾注

- 1 Juniper Research, “为什么数字孪生体对行业至关重要,” 2020 年 6 月。 <https://www.juniperresearch.com/whitepapers/why-digital-twins-are-critical-to-the-industrial>.
- 2 Digital Twin Consortium, “数字孪生体的定义。” <https://www.digitaltwinconsortium.org/hot-topics/the-definition-of-a-digital-twin.htm>.
- 3 Maria João Ribeiros, Jan Mischke, Gernot Strube, Erik Sjödin, Jose Luis Blanco, Rob Palter, Jonas Biörck, David Rockhill 和 Timmy Andersson, “建筑业的下一个常态,” McKinsey & Co., 2020 年 6 月。 <https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/The%20next%20normal%20in%20construction/The-next-normal-in-construction.pdf>.
- 4 Digital Twin Consortium 和 CESMII—The Smart Manufacturing Institute, “Digital Twin Consortium 宣布与 CESMII—The Smart Manufacturing Institute 联合, 2021 年 11 月。 <https://www.digitaltwinconsortium.org/press-room/11-02-21.htm>.



**Harvard
Business
Review**

ANALYTIC SERVICES

关于我们

Harvard Business Review Analytic Services 是 Harvard Business Review Group 旗下的一个独立商业研究机构，主要针对重大管理挑战和新兴商业机遇进行研究和比较分析。该机构致力于提供商业智能和同行见解，其发布的每一份报告都以原创定量和/或定性研究及分析的结果为依据。定量研究由该机构与 HBR 的全球研究小组 HBR 咨询委员会联手进行，定性研究由该机构与来自《哈佛商业评论》作者社区和外界的企业高管和主题专家联手进行。我们的联系电子邮箱是：hbranalyticservices@hbr.org。

hbr.org/hbr-analytic-services