

Digital Twin 数字孪生 | 工四 100 术语 (编号 308)

工四术语 (编号 308) Digital Twin 数字孪生其他译法: 数字镜像, 数字双胞胎, 数字化映射本词条由知识自动化《工四 100 术语编写组》收录, 版权所有。欢迎业内提出建议。

“到了 2035 年, 当航空公司接收一架飞机的时候, 将同时还验收另外一套数字模型。每个飞机尾号, 都伴随着一套高度详细的数字模型。” [美国](#)《航空周报》两年前就迫不及待地做出这样的预测。是的, 每一特定架次的飞机都不再孤独。因为, 它有一个忠诚的影子, 从不消失, 伴随一生。这就是数字孪生。美国国防部最早提出利用 Digital Twin 技术, 用于航空航天飞行器的健康维护与保障。首先在数字空间建立真实飞机的模型, 并通过传感器实现与飞机真实状态完全同步, 这样每次飞行后, 根据结构现有情况和过往载荷, 及时分析评估是否需要维修, 能否承受下次的任务载荷等。

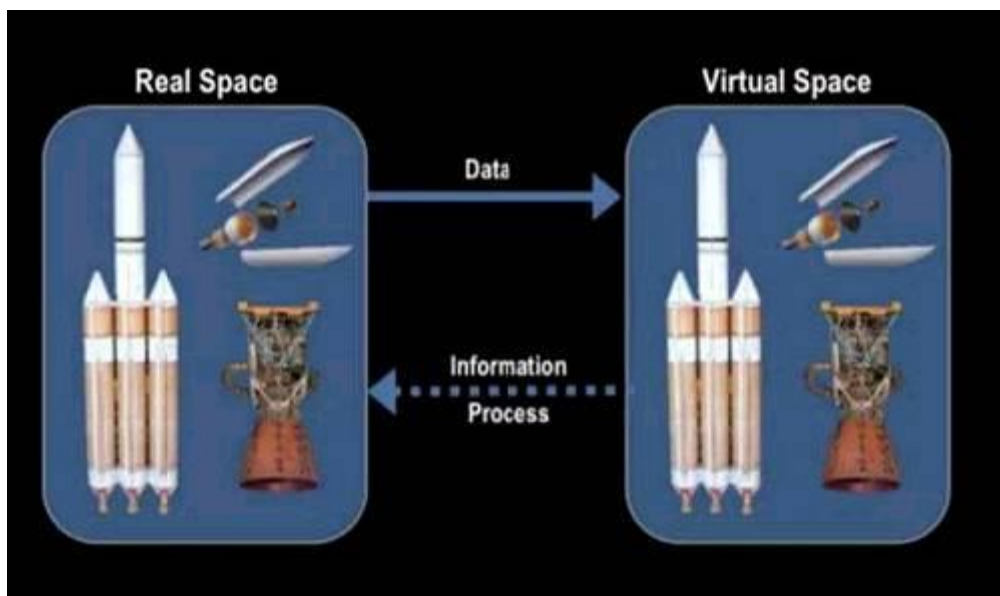


图 1 数据流动与信息镜像这一概念显然是在现有的虚拟制造、数字样机（包括几何样机、功能样机、性能样机）等技术基础上发展而来。现有的虚拟制造或数字样机也是建立在真实物理产品数字化表达的基础上的。然而现有的数字样机建立的目的是描述产品设计者对这一产品的理想定义，用于指导产品的制造、功能性能分析（理想状态下的）。而真实产品在制造中由于加工、装配误差、和使用、维护、修理等因素，并不能与数字化模型保持完全一致。从而，数字样机并不能反应真实产品系统的准确情况，在这些数字化模型上的仿真分析，其有效性受到了明显的限制。工四 100 术语定义 Digital Twin 数字孪生：是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。——美国国防采办大学 DAU 的术语 Digital Twin 是一种超越现实的概念，可以被视为一个或多个重要的、彼此依赖的装备系统的数字映射系统。以飞行器为例，可以包含机身、推进系统、能量存储系统、生命支持系统、航电系统以及热保护系统等。它将物理世界的参数，重新反馈到数字世界，从而可以完成仿真验证和动态调整。

数字孪生，有时候也用来指代将一个工厂的厂房及产线，在没有建造之前，就完成数字化模型。从而在虚拟的赛博空间中对工厂进行仿真和模拟，并将真实参数传给实际的工厂建设。而工房和产线建成之后，在日常的运维中二者继续进行信息交互。

也可以被称为“数字镜像”，“数字双胞胎”或“数字化映射”。

值得注意的是：

Digital Twin 不是

- 构型管理的工具
- 不是制成品的 3D 尺寸模型
- 不是制成品的 MBD 定义

对于 Digital Twin 的极端需求，同时也将驱动着新材料开发，而所有可能影响到装备工作状态的异常，将被明确地进行考察、评估和监控。Digital Twin 正是从内嵌的综合健康管理系统（IVHM）集成了传感器数据、历史维护数据，以及通过挖掘而产生的相关派生数据。通过对以上数据的整合，Digital Twin 可以持续地预测装备或系统的健康状况、剩余使用寿命以及任务执行成功的概率，也可以预见关键安全事件的系统响应，通过与实体的系统响应进行对比，揭示装备研制中存在的未知问题。Digital Twin 可能通过激活自愈的机制或者建议更改任务参数来减轻损害或进行系统的降级，从而提高寿命和任务执行成功的概率。数字孪生与 Digital Thread 的关系

Digital Twin 是与 Digital Thread，既相互关联，又有所区别的一个概念。

Digital Twin 是一个物理产品的数字化表达，以便于我们能够在这个数字化产品上看到实际物理产品可能发生的情况，与此相关的技术包括增强现实和虚拟现实。

Digital Thread 在设计与生产的过程中，仿真分析模型参数，可以传递到产品定义的全三维几何模型，再传递到数字化生产线加工成真实的物理产品，再通过在线的数字化检测/测量系统反映到产品定义模型中，进而又反馈到仿真分析模型中。

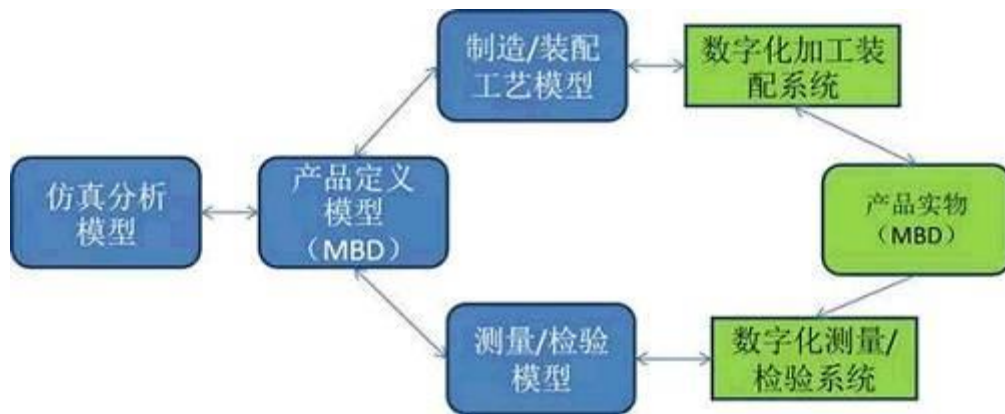


图 2 数据经由 Digital Thread 流动依靠 Digital Thread，所有数据模型都能够双向沟通，因此真实物理产品的状态和参数将通过与智能生产系统集成的赛博物理系统 CPS 向数字化模型反馈，致使生命周期各个环节的数字化模型保持一致，从而能够实现动态、实时评估系统的当前及未来的功能和性能。

而装备在运行的过程中，又通过将不断增加的传感器、机器的联接而收集的数据进行解释利用，可以将后期产品生产制造和运营维护的需求融入到早期的产品设计过程中，形成设计改进的智能闭环。这就是 Digital Twin 的领域。然而，并不是建立了全机有限元模型，就有了数字孪生，那只是问题的一个角度；必须在生产中把所有真实制造尺寸反馈回模型，再用 PHM（健康预测管理）实时搜集飞机实际受力情况，反馈回模型，才有可能成为 Digital Twin。

Digital Twin 描述的是通过 Digital Thread 连接的各具体环节的模型。可以说 Digital Thread 是把各环节集成，再配合智能的制造系统、数字化测量检验系统的以及赛博物理融合系统的结果。

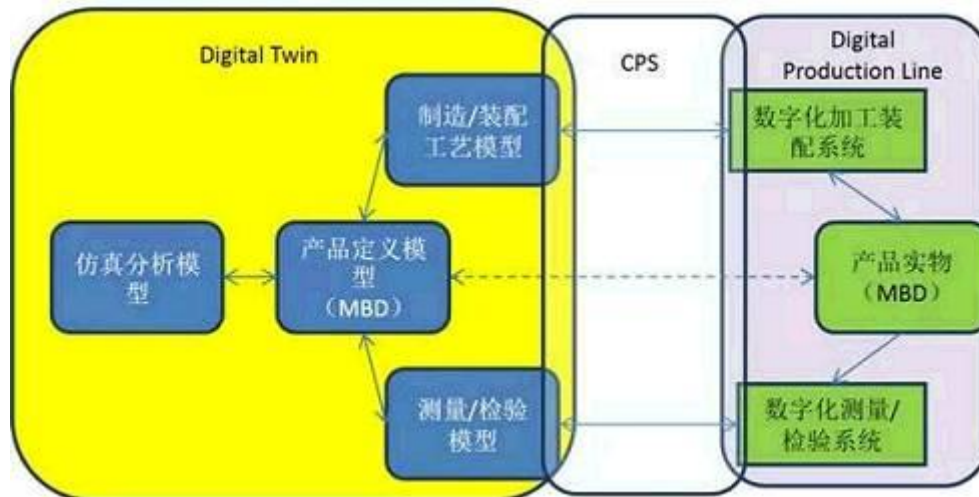


图3 数字孪生与数字生产线通过 Digital Thread 集成了生命周期全过程的模型，这些模型与实际的智能制造系统和数字化测量检测系统进一步与嵌入式的赛博物理融合系统(CPS)进行无缝的集成和同步，从而使我们能够在这个数字化产品上看到实际物理产品可能发生的情况。简单说，Digital Thread 贯穿了整个产品生命周期，尤其是从产品设计、生产、运维的无缝集成；而 Digital Twin 更像是智能产品的概念，它强调的是从产品运维到产品设计的回馈。它是物理产品的数字化影子，通过与外界传感器的集成，反映对象从微观到宏观的所有特性，展示产品的生命周期的演进过程。当然，不止产品，生产产品的系统（生产设备、生产线）和使用维护中的系统也要按需建立 Digital Twin。Digital Twin 的应用和进展实现 Digital Twin 的许多关键技术都已经开发出来，比如多物理尺度和多物理量建模、结构化的健康管理、高性能计算等，但实现 Digital Twin 需要集成和融合这些跨领域、跨专业的多项技术，从而对装备的健康状况进行有效评估，这与单个技术发展的愿景有着显著的区别。因此，可以设

想 Digital Twin 这样一个极具颠覆的概念，在未来可以预见的时间内很难取得足够的成熟度，建立中间过程的里程碑目标就显得尤为必要。美国空军研究实验室（AFRL）2013 年发布的 Spiral 1 计划就是其中重要的一步，已与通用电气（GE）和诺思罗普·格鲁曼签订了 2000 万美元的商业合同以开展此项工作。计划以现有美国空军装备 F15 为测试台，集成现有最先进的技术，与当前具有的实际能力为测试基准，从而标识出虚拟实体还存在的差距。

当然，对于 Digital Twin 这么一个好听好记的概念，许多公司已经迫不及待地将其从高尖端的领域，拉到民众的眼前。

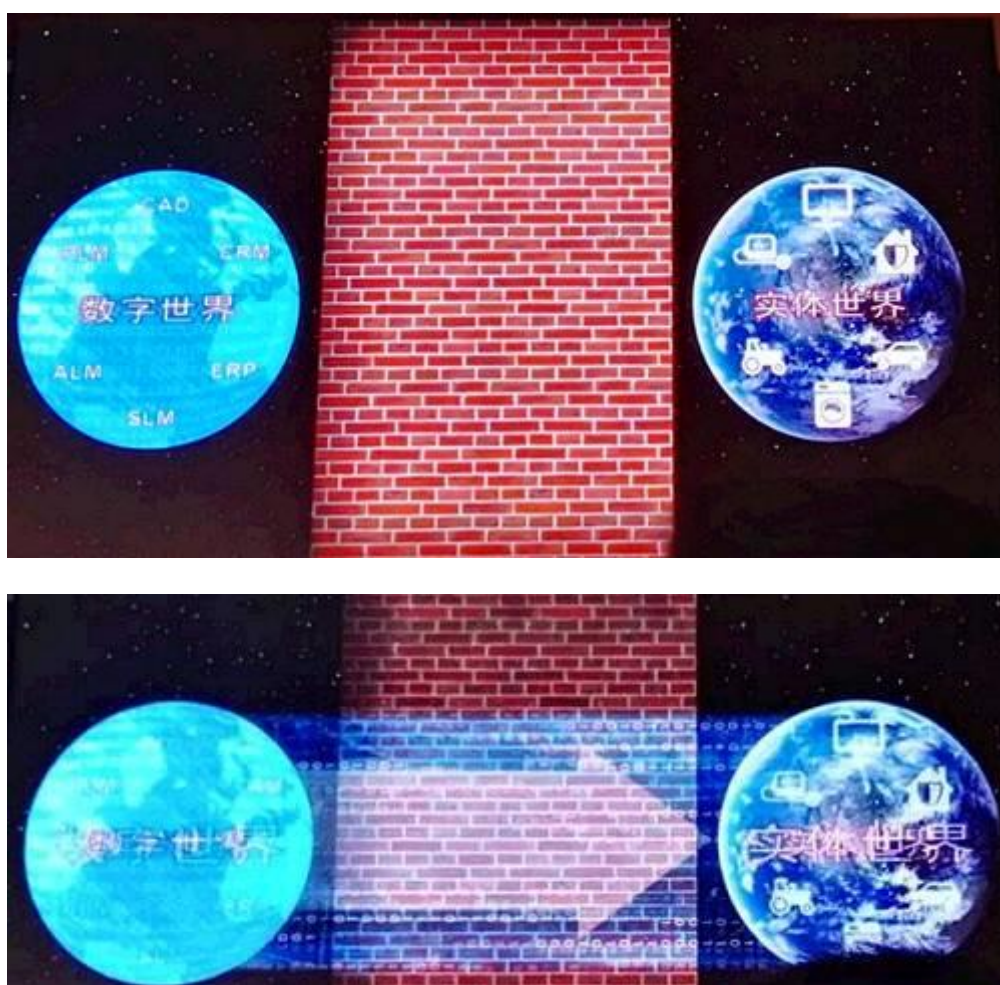


图 4 数字世界和实体世界的融合

GE 将其作为工业互联网的一个重要概念，力图通过大数据的分析，可以完整地透视物理世界机器实际运行的情况；而激进的 PLM 厂商 PTC 公司，则将其作为主推的“智能互联产品”的关键性环节：智能产品的每一个动作，都会重新返回设计师的桌面，从而实现实时的反馈与革命性的优化策略。

Digital Twin 突然赋予了设计师们以全新的梦想。它，正在引导人们，穿越那虚实界墙，在物理与数字模型之间自由交互与行走。Digital Twin 是智能制造系统的基础 Digital twin 最为重要的启发意义在于，它实现了现实物理系统向赛博空间数字化模型的反馈。这是一次工业领域中，逆向思维的壮举。人们试图将物理世界发生的一切，塞回到数字空间中。只有带有回路反馈的全生命跟踪，才是真正的全生命周期概念。这样，就可以真正在全生命周期范围内，保证数字与物理世界的协调一致。各种基于数字化模型进行的各类仿真、分析、数据积累、挖掘，甚至人工智能的应用，都能确保它与现实物理系统的适用性。这就是 Digital twin 对智能制造的意义所在。

智能系统的智能首先要感知、建模，然后才是分析推理。如果没有 Digital twin 对现实生产体系的准确模型化描述，所谓的智能制造系统就是无源之水，无法落实。

后记 Digital Twin 这个词让我们编写组颇费周折，前后历时三个多月反复琢磨。考虑到这是理解美国制造业的关键性词汇，因此需要格外打磨其含义。首先要谈 Digital Twin，就躲不开 Digital Thread。后者是前者的使能因素。

Digital Thread 被我们“工四 100 术语”编写组，最早翻译成“数字主线”。但感觉仍然有些不太满意。后来“数字线”，以及专家提出的“数字链”，都让我们在选择上颇费踌躇。

（读者如果有更好的翻译建议，欢迎在原文下方直接留言。）

而从 Digital Twin 翻译成中文的角度，我们一直特别喜欢“数字双胞胎”这个词，太上口了。但感谢英诺维盛公司[赵敏](#)先生提供的辨析思路，使得我们最后还是采用了“数字孪生”作为正式用语，而将“数字双胞胎”作为可选词条。数字双胞胎、数字孪生与数字镜像(by 赵敏)“双胞胎”说的是两个一模一样的事物，无论是形状，还是质地。而 Digital Twin 想要表达是形状上完全相似，而在质地上差异极大。

数字孪生，仅仅是说明数字产品与物理产品它们之间长得非常像而已。不使用“体”这个词，主要是为了强调，数字虚拟体和物理实体之间，是有着本质的差别的。因此数字双胞胎，或者双胞胎体，都会引起错误的联想。

实际上，数字镜像，应当算是一个最准确的翻译。当你看镜子里面的你的时候，镜子里面的“你”是你吗？当然不是，只是一个光学镜像而已。同样，数字世界中的数字产品，真的是物理产品吗？显然也不是。

最后：

特别鸣谢 PLCopen 中国组织名誉主席彭瑜教授，他为该术语进行了详细的修改和编辑，并指出许多特别有价值的分析。彭教授精益求精

精的治学理念和博大精深的知识结构，给我们留下了深刻的印象。

同时感谢航空制造业与信息化专家黄迪生高工对该文稿进行了最后的编审和多处润色。

编者王鸿庆，[沈阳](#)飞机设计研究所副总师；杨雨辰，[北京](#)联讯动力咨询公司特邀研究员；林雪萍，《工四 100 术语编写组》（本文为原创，转载请标明出处：微信公众号“知识自动化”