

团 体 标 准

T/CPUMT 035—2025

工业数字孪生 应用和服务要求

Industrial digital twin—Application and service requirements

2025 - 03 - 12 发布

2025 - 03 - 12 实施

中国和平利用军工技术协会 发 布

目次

前言..... II

引言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体架构..... 1

 4.1 概述..... 1

 4.2 数据融合层 2

 4.3 应用层 2

 4.4 服务层 2

5 应用要求..... 2

 5.1 产品设计 2

 5.2 试验..... 3

 5.3 生产制造 3

 5.4 使用保障 3

 5.5 供应链管理 3

6 服务要求..... 4

 6.1 基础服务 4

 6.2 可视化服务 4

 6.3 仿真服务 4

 6.4 分析服务 5

 6.5 预测服务 5

 6.6 优化服务 5

 6.7 决策服务 5

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

T/CPUMT 035《工业数字孪生 应用和服务要求》与T/CPUMT 031《工业数字孪生 总体框架》、T/CPUMT 032《工业数字孪生 通用要求》、T/CPUMT 033《工业数字孪生 建设与运维管理要求》、T/CPUMT 034《工业数字孪生 数字模型与数据集成交换要求》、T/CPUMT 036《工业数字孪生 应用成熟度评估方法》、T/CPUMT 037《工业数字孪生 跨企业工业数字孪生平台技术规范》等7份文件共同构成工业数字孪生系列标准。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国和平利用军工技术协会提出并归口。

本文件起草单位：中国航空工业集团公司成都飞机设计研究所、成都愿景仿视科技有限公司、成都凯迪飞研科技有限责任公司、深圳积木易搭科技技术有限公司、三一重工股份有限公司、中国运载火箭技术研究院、苏州铨鑫电子科技有限公司、成都飞机工业（集团）有限责任公司、航天科工广信智能技术有限公司、北京零重宇航技术有限公司、北京轩宇信息技术有限公司、成川科技（苏州）有限公司、南昌临空通讯科技有限公司、成都九系机器人科技有限公司、北京中城汇标准化技术院、国信正通（北京）检验认证有限公司、嵩嘉标准化技术服务（北京）有限公司、宁夏企业合规促进会、中质认证（北京）有限公司、蓝象标准（北京）科技有限公司。

本文件主要起草人：高洪波、郑幸、严增锐、花斌、丁勇、郗永军、赵志春、钱长林、江海凡、林沐、李振宇、张澍裕、张磊、朱静、李凯、晁永庆、唐寅、曾炜、杨海洋、李雄亮、毛凯、李龙岩、张德保、顾丽娟、姜冰、方海鸥、邱天、杨霜、王致远、段小莉、徐成利、隋妍、张红艳、乔华阳。

本文件为首次发布。

引 言

随着物联网、大数据、云计算和人工智能等技术的快速发展，数字孪生已成为推动制造业转型升级的重要工具。数字孪生通过构建物理实体的虚拟模型，实现对现实世界的实时监控、预测分析与优化决策。尤其在工业领域，工业数字孪生不仅能够模拟和优化生产流程，还能提供故障预测、能耗管理以及产品性能提升等功能，极大地提高了生产效率和产品质量。

尽管工业数字孪生展现出巨大的潜力，但其实施过程中仍面临诸多挑战，主要体现在数据采集、建模精度、实时性、安全性和标准化等方面。在现有的标准体系中，缺乏统一的工业数字孪生标准，导致不同系统之间的互操作性差，数据格式不一致，难以形成有效的数据共享和协同工作环境，这不仅增加了系统的复杂性和成本，还限制了工业数字孪生的广泛应用。

为解决上述问题，促进工业数字孪生的健康发展，有必要建立一套全面的工业数字孪生标准体系，以提高系统的互操作性，降低实施成本，确保数据安全，同时推动技术创新。通过系列标准的实施，可以显著提升平台运维效率，减少因数据不兼容带来的损失，加速产业链上下游的整合，从而为社会和产业带来显著的经济效益。

本文件旨在明确工业数字孪生的服务方向，指导企业在工业产品全生命周期的各个阶段应用数字孪生技术，在数字孪生数据的驱动下，利用已有物理产品与虚拟产品的协同，不断挖掘产生新颖、独特、具有价值的产品数据和能力，不断降低产品实际行为与设计期望行为间的不一致。通过全生命周期的虚实融合，以及超高逼真度的虚拟仿真建模等方法，全面提高工业产品设计的效率和质量；基于集成所有产线/设备的物联网，实现生产过程物理世界与信息世界的深度融合，通过智能化服务平台及工具，实现生产过程的精准控制，全面提高生产产能，从而提升企业的竞争力和可持续发展能力。

工业数字孪生 应用和服务要求

1 范围

本文件给出了工业数字孪生应用与服务的总体架构，规定了工业数字孪生的应用和服务要求。本文适用于工业数字孪生的应用与服务。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 43441.1 信息技术 数字孪生 第1部分：通用要求

T/CPUMT 031 工业数字孪生 总体框架

T/CPUMT 032 工业数字孪生 通用要求

3 术语和定义

GB/T 43441.1、T/CPUMT 031界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

数字孪生 digital twins

由物理资产、数字替身和接口组成的复合模型。

[来源：GB/Z 44267—2024, 3.1.4]。

3.2

数字模型 digital model

将系统、实体、现象、过程、知识、业务、机理等转变为计算机可识别、处理、分析与应用的数字化表达。

3.3

物理空间 physical space

真实世界中的实体对象或系统。

3.4

虚拟空间 virtual space

由计算机系统构建的数字空间环境。

3.5

工业产品 industry product

在工业生产过程中，通过设计、加工、制造、组装等手段生产出来的产品。

4 总体架构

4.1 概述

工业数字孪生应用与服务架构构建出数字孪生数据融合、服务和应用的三层结构，是工业数字孪生项目开展应用的重要依据。工业数字孪生应用与服务总体架构见图1。工业数字孪生应用和服务应符合T/CPUMT 032的要求。

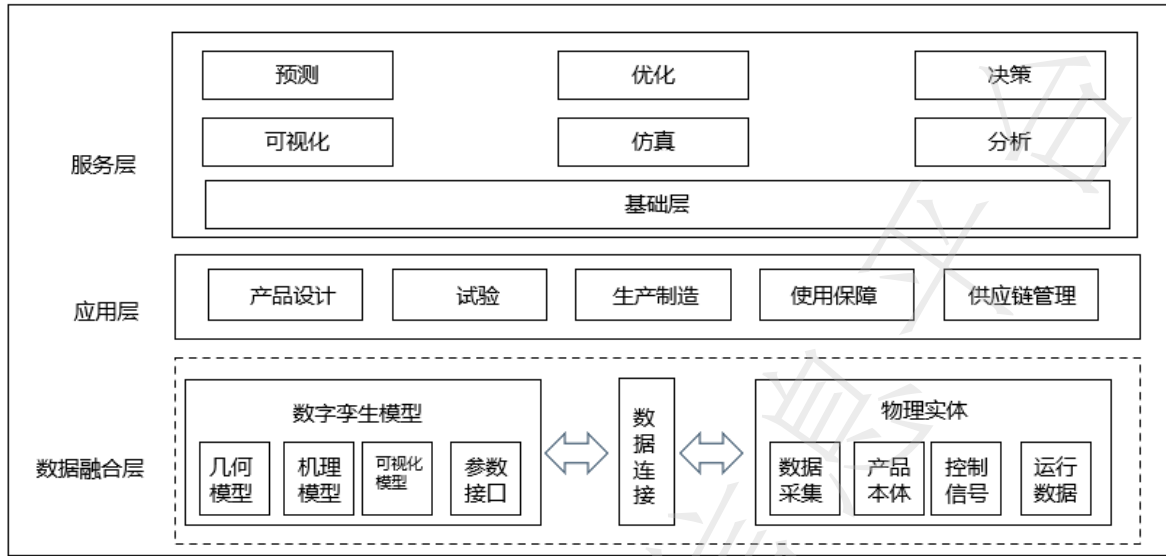


图1 工业数字孪生应用与服务总体架构

4.2 数据融合层

负责构建物理空间和虚拟空间的映射关系，实现物理实体和数字孪生体模型的同步关联，为数字孪生应用与服务提供数据基础。

4.3 应用层

负责根据工业产品在全生命周期中的不同阶段，明确数字孪生应用场景，通过数字孪生数据服务，在产品设计、试验、生产制造、使用保障、供应链管理各环节开展数字孪生应用。

4.4 服务层

负责对从物理实体采集到的数据和虚拟对象仿真的数据进行清理、对比分析，提供预测、优化、决策、可视化等服务。

5 应用要求

5.1 产品设计

在工业产品初步/详细设计阶段，构建产品数字孪生模型，快速开展设计方案优化迭代，提高设计效率和质量，应符合下列要求。

- a) 概念推演。通过构建工业产品总体性虚拟模型及其使用场景虚拟空间，以同系产品的历史数据或全新的概念仿真数据，模拟工业产品的使用过程，验证关键指标的合理性。
- b) 外形设计。支持在虚拟空间中，创建工业产品外形模型。
- c) 结构/系统设计。支持在虚拟空间中，创建工业产品结构、系统等零部件模型。
- d) 设备布置布局。支持在虚拟空间中，对工业产品内部设备布置布局与调整，快速生成多个布置布局方案，并提供最优方案。
- e) 性能仿真。支持在虚拟空间中，对工业产品的气动、强度、温度等性能指标进行仿真。
- f) 维修性仿真设计。支持在虚拟空间中接入人机交互设备，采用“人在回路”的方式，对工业产品内部设备进行拆装仿真，验证可视性、可达性、维修时间、维修通道等维修性指标，并提供优化改进方案。
- g) 设计评审。支持在虚拟空间中，开展多专业联合设计评审，确保设计方案符合要求。
- h) 成本预测。基于工业产品数字孪生体模型，能预测生产制造和使用维护的成本，在设计早期进行成本控制。

5.2 试验

在工业产品试验阶段，分别在物理空间和虚拟空间构建试验台和试验对象，虚拟空间中的试验台和试验对象，通过实时获取物理空间中试验产生的数据，以多类型可视化方式同步驱动虚拟试验过程，帮助用户监控试验过程、分析试验结果，应符合下列要求。

- a) 本体性能试验。支持对工业产品本体的气动、强度、温度、电磁等物理特征的试验数字孪生，支持对场、流体、载荷等试验数据的清洗、提取与可视化。
- b) 系统运行试验。支持对工业产品的控制、动力、机电、供电等功能逻辑的试验数字孪生，支持对管路、线束、电信号等试验数据的清洗、提取与可视化，以及支持对工业产品大系统（多个系统）联调联试的试验数字孪生。

5.3 生产制造

在工业产品生产制造阶段，分别在物理空间和虚拟空间构建生产设备和生产件。虚拟空间中的生产设备和生产件通过实时获取物理空间中生产产生的数据，以多类型可视化方式同步驱动虚拟生产过程，帮助用户监控生产过程、统计生产结果，应符合下列要求。

- a) 数字工厂。支持生产产线及相关设备与所对应的虚拟模型进行实时互动、指令与信息同步，支持生产设备生产计划定义、运行状态监控、生产量统计。
- b) 装配工艺规划。支持通过建立超高逼真度的产品、资源和工艺流程等虚拟仿真模型，以及全要素、全流程的虚实映射和交互融合，实现面向生产现场的工艺设计与持续优化。
- c) 生产分析与决策。支持模拟工业产品生产制造全过程，对于设备使用、损耗、产能、成本等生产因素进行预评估分析，支持生产决策；当产线中的设备发生故障时，支持开展基于数字孪生的生产影响分析，提供评估结果，支持维修决策。
- d) 装配。支持零部件、产品和装配过程的精准控制，对复杂工业产品转配过程进行统一高效地管控，实现转配系统的自组织、自适应和动态响应。
- e) 生产过程回溯。支持生产过程的数字化回放，智能分析异常点数据，并支持异常数据的快速追溯。
- f) 交付。支持向用户同步交付技术状态匹配的物理产品和虚拟产品，支持用户进行接装培训。

5.4 使用保障

在工业产品使用保障阶段，在虚拟空间构建产品使用场景，通过实时获取物理空间中产品使用产生的数据，同步驱动虚拟产品，在虚拟空间中真实映射物理产品的使用状态，应符合下列要求。

- a) 使用状态监控。支持实时获取关键设备信息，及设备级、系统级、整机级使用状态实时监控。
- b) 任务规划。支持在虚拟空间中指定产品后续的使用计划并维护任务序列，优化产品的使用任务分配，确保产品在全生命周期稳定运行，提高使用效益。
- c) 健康管理。支持分析关键设备信息，能基于虚拟产品内置的机理模型，推测工业产品健康状态。
- d) 预测性维护。能根据健康管理数据提前判断工业产品使用过程中存在的隐患，提出预测性维护方案。
- e) 排故支援。支持虚拟空间实时获取物理产品的故障代码或故障表征，能基于故障库，快速分析、定位故障，确定排故方案，基于增强现实（AR）类设备，引导用户排除故障。

5.5 供应链管理

在工业产品供应链管理方面，全面采集并管理采购、生产、物流、售后等过程中的物料信息，在虚拟空间中构建产品流、信息流和资金流，帮助企业及时调整优化生产和采购计划，减少库存积压和缺货现象，应符合下列要求。

- a) 采购管理。支持工业产品生产所需物料及其供应商管理，包括供应商的产品质量、价格、交货期、信誉等。建立采购预测模型，具备库存不足和供应商风险预警能力，并形成应急预案。
- b) 物流管理。支持实时跟踪工业产品及其物料的运输和仓储信息。根据紧缺程度和成本，预测最优运输方案；建立数字化仓库模型，根据合理的仓库布局和库存管理方法提高仓储效率。

- c) 售后管理。建立客户反馈和售后支持机制，支持从客户端获取工业产品使用信息，包括日常使用、维护保养、故障维修等，支持预测工业产品健康状态，提前准备替换件和人力资源，保障客户长期、稳定使用工业产品，从而提升客户满意度。

6 服务要求

6.1 基础服务

提供数字孪生数据的基础功能服务，应符合下列要求。

- a) 数据管理。综合管理数字孪生系统中涉及到的数据，如几何模型、机理模型、可视化模型、物理实体运行数据、操作指令等。
- b) 数据检索。允许用户根据特定条件查询和检索数据。
- c) 数据备份与恢复。定期将数据备份到其它存储介质或数据中心；在数据损坏或丢失时，能及时恢复数据。
- d) 授权。采用不同的授权方式，对数字孪生系统内的各个对象授予指定的权限，使数字孪生系统稳定、可控运行，如人机授权、机对机授权、系统对系统授权等。
- e) 日志记录。记录系统运行相关数据，如用户操作、指令发送、运行状态等。
- f) 系统运维。支持用户方便地开展系统运行、维护、监控等工作。
- g) 系统升级。支持系统整体或局部的改进和升级，系统局部升级应不影响其它部分的功能使用。

6.2 可视化服务

使用计算机图形和图像处理技术构建出包含工业产品数字模型和使用场景的三维虚拟空间，以二维或三维的数字化表达方式，显示工业产品的功能、性能特征或者运行参数等，帮助用户直观看到在产品实物上的信息，应符合下列要求。

- a) 信息可视化。支持使用图片、文字、视频、音频等方式实现产品的功能、指标、构成、使用说明信息可视化。
- b) 数据分析可视化。支持通过圆饼图、折线图、散点图等图形表达方式实现工业产品运行过程产生的各类数据的可视化。
- c) 运行场景可视化。支持工业产品运行时周围环境场景可视化，包括昼夜、天气、光照等方式的运行场景可视化。
- d) 运行状态可视化。支持工业产品运行时自身运行过程与状态可视化，如管线类、阀门类、屏显类、机构运动类等方式的运行状态可视化。
- e) 性能特征可视化。支持工业产品自身物理性能特征可视化，如重力、疲劳强度、热传导、受力载荷等方式的性能特征可视化。
- f) 故障表征可视化。支持对工业产品发生故障时的表征可视化，如超限告警、故障代码、折损、变形等方式的故障表征可视化。
- g) 装配/维修过程可视化。支持工业产品装配/维修过程中零部件运动过程、工具/工装选用、操作流程、人员分工站位可视化，如旋转、位移、隐藏、显示、碰撞警示等方式的装配/维修过程可视化。

6.3 仿真服务

采用数字化手段，模拟工业产品内在的物理特性、运行机理以及外在的使用场景，支持虚拟空间中的工业产品数字模型具备与产品实体等同的内在、外在特征，使虚拟空间更准确地匹配真实空间，应符合下列要求。

- a) 物理特性仿真。支持模拟工业产品在电、磁、热、力、流体等物理场中不同工况下的性能变化过程。
- b) 运行机理仿真。支持模拟工业产品各组成系统的运行过程，包括单一系统运行仿真和多系统联合运行仿真。
- c) 使用场景仿真。支持模拟工业产品在多种场景中的使用过程，包括环境仿真、体系仿真等。

6.4 分析服务

对物理实体对象在运行过程中产生的数据进行清洗、提取及研究，实现实时运行状态检测、故障定位等；对比物理实体对象和虚拟对象的同步数据，检测数据差异，应符合下列要求。

- a) 运行状态分析。支持利用从物理实体采集到的运行状态数据，分析工业产品运行状态是否正常。
- b) 故障分析。支持利用从物理实体采集到的故障数据，分析故障原因，确定故障点位。
- c) 数据校验分析。支持通过对比物理实体采集的数据和数字孪生体模型产生的同步数据，分析数据一致性，改进数字孪生体机理模型，提升数字孪生体模型置信度。

6.5 预测服务

通过分析物理实体对象产生的历史数据及实时运行数据，预先推测该对象后续可能发生的状态，包括目标实体的性能状态、安全状态、工作状态等，可用于健康状态预测、预测性维护、故障预警等，应符合下列要求。

- a) 健康状态预测。支持利用从物理实体采集到的数据，结合温度、湿度、海拔等不同使用环境，预测工业产品后续的性能变化和潜在故障。
- b) 预测性维护。支持预测工业产品故障的时间和性质，提前排除故障隐患。
- c) 故障预警。支持根据数据异常分析，提前定位故障，并提出警示。

6.6 优化服务

通过在数字空间进行仿真、分析和预测，对物理实体对象进行改进和完善，并实时、动态和持续作用于物理空间，包括造型优化、性能优化、功能优化、制造过程优化、供应链优化等，应符合下列要求。

- a) 造型优化。支持优化工业产品关键零部件的形状、尺寸、装配关系等，找到最优的产品配置。
- b) 性能优化。支持优化工业产品的外形、材料选用等，以保证产品能在指定环境中稳定运行。
- c) 功能优化。支持优化工业产品运行逻辑等，以保证产品能在使用期限内稳定运行。
- d) 制造过程优化。支持模拟工业产品制造过程，优化生产流程，减少原材料浪费。
- e) 供应链优化。支持模拟工业产品从原料到到成品的整个供应链，优化库存管理与物流。

6.7 决策服务

基于目标实体和数字实体相关信息进行分析与推理，针对预设目标提出科学合理的解决方案，并向决策人员提供实施建议或向目标实体下达及时、准确的控制指令，应符合下列要求。

- a) 定型决策。在工业产品正式投产前，根据数字孪生仿真分析的数据，帮助决策者掌握产品的使用场景、功能、性能等信息，以决策该型产品是否定型。
 - b) 风险决策。通过数字孪生模拟工业产品不同的使用场景以及预测潜在的问题，帮助决策者评估风险，并制定风险缓解策略。
 - c) 应急响应决策。在紧急情况下，支持快速模拟不同响应措施的效果，辅助快速决策。
-