

团 体 标 准

T/CPUMT 031—2025

工业数字孪生 总体框架

Industrial digital twin—Overall framework

2025-03-12 发布

2025-03-12 实施

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 总体原则.....	1
4.1 先进性.....	1
4.2 系统性.....	2
4.3 准确性.....	2
4.4 安全性.....	2
4.5 实用性.....	2
4.6 可扩展性.....	2
5 总体架构.....	2
5.1 概述.....	2
5.2 物理层.....	3
5.3 资源层.....	3
5.4 数据层.....	3
5.5 服务层.....	3
5.6 应用层.....	4
5.7 运营运维.....	4
5.8 安全.....	4
5.9 标准.....	4
参考文献.....	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 031《工业数字孪生 总体框架》与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 035《工业数字孪生 应用和服务要求》、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：国网湖北省电力有限公司、成都飞机工业（集团）有限责任公司、探月与航天工程中心、北京航空航天大学、中国运载火箭技术研究院、苏州榷鑫电子科技有限公司、三一重工股份有限公司、航天科工广信智能技术有限公司、哈尔滨工业大学（深圳）、清云智通（北京）科技有限公司、北京轩宇信息技术有限公司、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：罗弦、刘顺涛、关锋、董雷霆、贾丽、赵志春、胡丙垚、郟永军、赵昌木、高林、王建、张澍裕、郑俞红、晁永庆、林海峰、谢刚、杨海洋、周轩、顾丽娟、张志强、李龙岩、段小莉、张德保、张红艳、姜冰、方海鸥、邓雨凝、王致远、隋妍、杨霜、邱天、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。

本文件作为工业数字孪生的框架性标准，旨在为后续标准的制定提供了基础框架和理论支撑。通过本文件，可以全面理解工业数字孪生的核心要素和技术路径，为后续标准打下坚实的基础。

工业数字孪生 总体框架

1 范围

本文件给出了工业数字孪生的总体原则和总体架构。

本文件适用于制造业、能源、交通运输、农业等行业开展工业数字孪生系统构建、规划、设计、应用、运营、运维等活动。

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 23031.1 工业互联网平台 应用实施指南 第1部分：总则
T/CPUMT 032 工业数字孪生 通用要求
T/CPUMT 035 工业数字孪生 应用和服务要求

3 术语和定义

GB/T 23031.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业数字孪生 industrial digital twin

适用于工业制造可观测元素的数字表示，能够实现元素与其数字同步。

[来源：ISO 23247-1:2021, 3.2.3]

3.2

数字孪生 digital twin

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]

3.3

数据采集 data acquisition

从物理世界获取实时数据的过程。

注：包括传感器数据、设备状态等。

3.4

虚拟映射 virtual mapping

在进行外网访问内网或反向访问的过程中，借助系统工具实行对某一个外网IP地址虚拟映射到内网路由器之中，从而实现外网对内网访问的过程。

4 总体原则

4.1 先进性

贯彻以用户、知识、效益为中心的新发展理念，结合国家长期发展目标，能够提供从虚拟到现实的精确映射、实时数据处理、预测性分析、自动化优化等多个方面，运用人工智能、大数据、物联网等先进技术，构建创新引领的工业数字孪生系统。

4.2 系统性

综合考虑工业数字孪生系统物理层、资源层、数据层、服务层、应用层横向各层关键因素，同时也包括运营运维、安全要求、标准要求纵向各方面主要内容，从而保障框架内容系统全面。

4.3 准确性

充分利用物理模型、传感器、运行历史等数据，按照物理世界中的各项参数在虚拟空间中完成映射，反映相对应的实体装备的全生命周期过程。

4.4 安全性

按照国家相关安全保密要求，落实物理环境、物联感知、网络传输、计算存储、业务应用和保密安全管理等方面的安全防护技术措施和规定，核心软硬件设备冗余备份，不同网域间信息传递设置技术安全措施和相应策略机制。

4.5 实用性

围绕各领域工业数字孪生使用需求，以解决现实问题为导向，确保工业数字孪生系统建设针对各领域用户特点，力求功能实用、层次简约、操作简便等，有效推动工业数字化转型，提高生产效率、降低成本、优化资源配置。

4.6 可扩展性

在总体设计、体系结构等方面，充分考虑后续发展，预留与未来新模块的交互接口，同时在新需求实现、新应用拓展时，不改变系统总体架构；采用模块化、服务化设计，各分系统、功能模块能够柔性组合。

5 总体架构

5.1 概述

工业数字孪生应以工业各场景为基础，构建真实世界的虚拟映射，实现对设备全生命周期管理，及多类数字化技术集成融合和创新应用，对工业生产进行规划、管理、诊断，从而实现生产高效率、低成本、高质量发展，工业数字孪生系统包括物理层、资源层、数据层、服务层、应用层五个核心层面，以及运营运维、安全要求、标准要求三个贯穿始终的纵向要求，共同构成了工业数字孪生的基石。工业数字孪生总体架构如图1所示，包括以下内容。

- a) 物理层：包括但不限于数据采集与集成、双向控制、数据传输与通信、设备可靠性等。
- b) 资源层：包括但不限于计算资源、存储资源、网络资源、可靠性与可用性等。
- c) 数据层：包括但不限于数据汇聚与集成、知识库构建、模型开发、智能分析等。
- d) 服务层：包括但不限于可视化、预测、优化、决策等。
- e) 应用层：包括但不限于产品设计、试验、生产制造、使用保障和供应链管理等。
- f) 运营运维：包括但不限于系统监控、恢复措施、故障记录与分析、性能优化、软件升级管理等。
- g) 安全要求：包括但不限于身份认证、访问控制、数据加密、容错设计等。
- h) 标准要求：包括但不限于接口标准化、数据格式、互操作性、兼容性等。

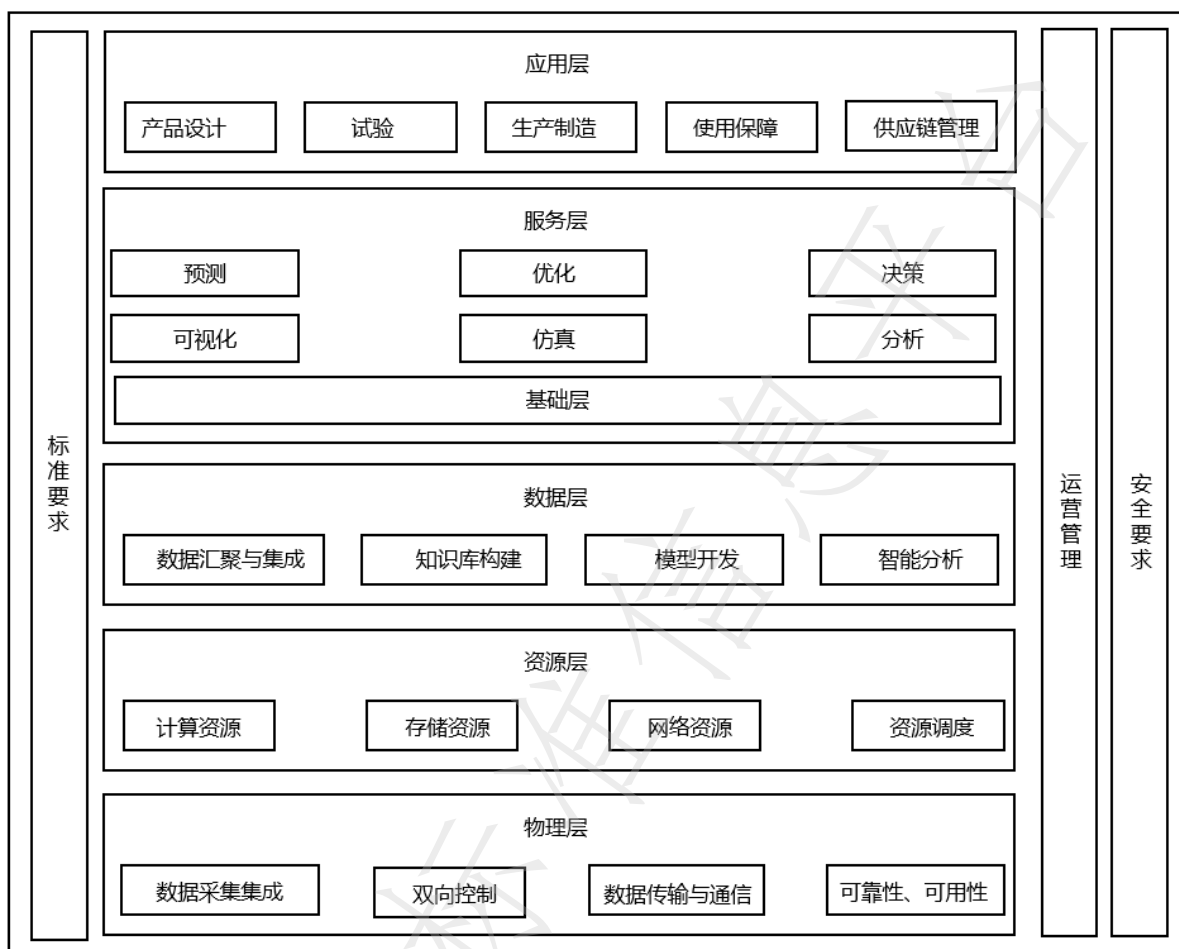


图1 工业数字孪生总体架构

5.2 物理层

物理层作为数字孪生与物理世界互动的起点，负责收集来自工业现场的实时数据，采用工业通信协议、工业物联网（IoT）技术、传感器和前端智能设备，实现数据的全面捕捉；确保数据采集的准确性和实时性，为后续的数据处理和分析奠定基础。具体应符合T/CPUMT 032的要求。

5.3 资源层

资源层提供计算与存储资源、数据处理和存储、网络基础设施以及用户终端设备的支持；承载数据的初步处理和存储任务，确保数据的可用性和网络的畅通无阻；应构建弹性、可靠的基础设施，支撑上层的数据深度处理和应用服务。具体应符合T/CPUMT 032的要求。

5.4 数据层

数据采集通过现场设备接口、传感器、工控系统等实现，各边缘侧将数据进行汇聚，通过接入网关接入到工业云内部，进行统一分析处理。数据层涉及数据的深度处理、知识库构建、模型开发和智能分析；应通过建立数据关系，开发通用与专用模型库，运用数据智能分析中台进行高级分析；应支持从海量数据中提取有价值的信息，为决策提供数据支持。

5.5 服务层

服务层提供一系列面向用户的增值服务，包括预测、优化、可视化、仿真、决策和分析服务；支持个性化服务请求，实现人机授权、机器对机器授权和系统间授权；通过丰富的服务，满足工业场景下的多元化需求。具体应符合T/CPUMT 035的要求。

5.6 应用层

应用层面向工业生产和管理，覆盖产品全生命周期的各个环节；支持从产品设计、生产制造到使用保障和供应链管理，提供全方位的应用支持；优化产品设计，提升生产效率，加强质量控制，确保生产安全；支持实现产品概念推演、产品设计、产品试验、产品生产制造、产品使用保障、产品生产安全、产品供应链、产品质量控制等。具体应符合T/CPUMT 035的要求。

5.7 运营运维

运营运维方面应符合T/CPUMT 032的要求，并符合下列要求：

- a) 明确系统运营和运维的目标、范围与责任，确保各层面的有效管理和维护；
- b) 具备系统监控、故障恢复、性能优化和软件升级等功能；
- c) 支持系统稳定运行，提高服务质量和用户体验。

5.8 安全

安全要求应符合T/CPUMT 032的要求，并符合下列要求：

- a) 物理安全：包括设备设施、环境控制、容灾机制等；
- b) 网络安全：包括数据加密、访问控制和安全审计机制等；
- c) 数据安全：包括访问控制、数据脱敏脱密、数据备份、安全审计和监控等；
- d) 服务安全：包括服务监控和审计、服务容错和高可用性、漏洞管理和安全更新等；
- e) 应用安全：涵盖应用程序的整个生命周期，从开发到部署，再到维护，确保应用程序的安全性。

5.9 标准

标准要求应符合T/CPUMT 032的要求，并符合下列要求：

- a) 遵循行业标准和国际标准；
- b) 确保系统的标准化、规范化，满足不同系统间的互操作性；
- c) 实现系统成熟度的持续提升，符合行业最佳实践。

参 考 文 献

- [1] GB/T 41723 自动化系统与集成 复杂产品数字孪生体系架构
- [2] IEC 62264 工业自动化系统与集成——制造执行系统（MES）
- [3] ISO 23247-1: 自动化系统和集成. 制造业的数字双框架. 第1部分：概述和一般原理
(2021Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 1: Overview and general principles)
- [4] ISO/IEC 29100:2024信息技术—安全技术—隐私框架 (Information technology—Security techniques—Privacy framework)