

团 体 标 准

T/CPUMT 033—2025

工业数字孪生 建设与运维管理要求

Industrial digital twin—Requirements of construction and maintenance management

2025 - 03 - 12 发布

2025 - 03 - 12 实施

目 次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	4
4 缩略语.....	4
5 场景调研.....	4
6 可行性评估.....	5
7 系统开发.....	5
8 系统验证.....	6
9 系统部署.....	6
10 日常运维.....	6
参考文献.....	8

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 033《工业数字孪生 建设与运维管理要求》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 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 应用成熟度模型与评估方法》、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：中国汽车工程研究院股份有限公司、嵩嘉标准化技术服务（北京）有限公司、中国运载火箭技术研究院、苏州榷鑫电子科技有限公司、北京零重宇航技术有限公司、航天科工广信智能技术有限公司、成川科技（苏州）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、成都飞机工业（集团）有限责任公司、中质认证（北京）有限公司、宁夏企业合规促进会、蓝象标准（北京）科技有限公司。

本文件主要起草人：刘成豪、乔华阳、钱长林、付琰、郭峰、蒋忠林、张磊、田李明、晁永庆、朱雷、卢浩田、杨海洋、顾丽娟、李龙岩、张红艳、张德保、徐成利、方海鸥、杨霜、姜冰、隋妍、王致远、邱天、段小莉。

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。

本文件旨在为工业数字孪生系统的开发和运维提供一套通用要求和指导原则，帮助企业建立和维护高效、可靠的数字孪生系统，从而实现工业过程的数字化转型和优化。

工业数字孪生 建设与运维管理要求

1 范围

本文件规定了工业数字孪生系统场景调研、可行性评估、系统开发、系统验证、系统部署、日常运维要求。

本文件适用于工业数字孪生的建设和运维等活动。

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 25069 信息安全技术 术语

T/CPUMT 31 工业数字孪生 总体框架

T/CPUMT 32 工业数字孪生 通用要求

3 术语和定义

GB/T 25069、T/CPUMT 031界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

验证 validation

从预期使用用途角度，评估模型、仿真及其相关数据表征真实世界的准确程度的过程。

3.2

耦合度 coupling

模块或对象之间相互依赖的程度。

3.3

解耦 decoupling

通过设计和实现手段降低模块之间的耦合度（3.2），使得模块之间的依赖性最小化的过程。

3.4

耦合 coupling

两个或多个模块、组件或系统之间形成依赖，增加耦合度（3.2）的过程。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ERP：企业资源计划（Enterprise Resource Planning）

MES：制造执行系统（Manufacturing Execution System）

IT：互联网技术（Internet Technology）

SCADA：数据采集与监视控制系统（Supervisory Control And Data Acquisition）

5 场景调研

场景调研是对当前运营环境、工作流程和预期结果的深入研究，应符合下列要求：

- a) 确定具体的应用场景，如特定的设备、生产线、车间或工厂整体；
- b) 分析当前的工作流程、数据流和决策过程，了解现有系统的运作方式；
- c) 明确的数字孪生建设业务目标，例如提高生产效率、降低维护成本、优化资源配置等。

6 可行性评估

可行性评估旨在评估该场景是否具备建设工业数字孪生系统的客观实施条件，应符合下列要求。

- a) 物理层分析——物理层分析包括以下内容：
 - 1) 运营环境具备覆盖所有关键领域的实时采集和监控物理设备和环境数据的能力；
 - 2) 工作流程上的数据采集频率稳定，不存在空采、漏采、数据解析错误等问题；
 - 3) 工作流程中使用的控制系统（如 SCADA、MES、ERP 等）与设备之间接口互通，具备数据流畅传输、业务流程协同的通信条件。
- b) 数据层分析——数据层分析应包括以下内容：
 - 1) 运营环境中各数据类型（如传感器数据、生产数据、环境数据等）及其来源应完整且可信；
 - 2) 数据存储架构能支撑海量数据的存储、检索和管理，并保证数据安全性。
- c) 资源层分析——资源层分析包括以下内容：
 - 1) 考虑到数据量大及计算需求高，现有 IT 系统和设备应满足大规模数据处理和存储需求；
 - 2) 分析应用场景中存在可能干扰数据通信的其他因素。
- d) 服务层分析——服务层分析包括以下内容：
 - 1) 服务接口所有模块提供标准化接口；
 - 2) 具备根据业务需求动态扩展的能力；
 - 3) 具备完善的身份认证、授权管理机制；
 - 4) 仿真模型与业务场景需求匹配；
 - 5) 仿真模型具备优化手段，以及对噪声与异常数据处理能力；
 - 6) 仿真模型覆盖所有物理关键过程、设备交换与环境影响因素，能达到业务场景的精度要求，并在限定时间内完成计算；
 - 7) 仿真结果输出形式适配应用层需求，应支持图形化可视化和结果分析。
- e) 应用层分析——应用层分析包括以下内容：
 - 1) 所选用的仿真模型能全面满足业务需求；
 - 2) 应用操作界面操作简便；
 - 3) 确认目标在应用环境下运行性能、响应速度、处理能力以及稳定性；
 - 4) 确认应用对数据的依赖与数据层及服务层能力相符情况。

7 系统开发

系统开发包括在构建数字孪生系统过程中，从初始设计到最终部署所涉及的一系列开发和测试活动，应符合下列要求。

- a) 系统架构——系统架构包括以下内容：
 - 1) 系统的整体架构模块化、可扩展、可替代、易维护；
 - 2) 系统物理层、数据层、资源层、服务层、应用层之间的数据格式统一，各层之间通信接口标准化；
 - 3) 系统具备数据采集模块、可视化模块、数据库模块、孪生模型计算模块、交互模块和监控模块等；
 - 4) 系统设计支持水平和垂直扩展，预留冗余接口。
- b) 系统功能——系统功能包括以下内容：
 - 1) 数据采集模块具备数据清洗、排序等功能；
 - 2) 可视化模块能快速响应用户操作和查询，展示实时数据，提供分析建议；
 - 3) 数据库模块支撑大规模数据存储及数据高并发访问；
 - 4) 孪生模型计算模块所使用的虚拟模型支持基于实际场景部分历史数据进行可行性验证。
- c) 系统可靠性——系统可靠性包括以下内容：
 - 1) 具备数据安全措施，包括数据加密、访问控制和审计机制；
 - 2) 具备监控功能，支持按日、周、月、年等时间跨度保存运行日志；
 - 3) 具备停止功能，遭遇或预测重大错误时应及时停止并通知工作人员检查。

d) 系统便捷性：界面需简洁、直观，操作流程应合理，易于不同层次的工作人员使用。

8 系统验证

系统验证是对建设的数字孪生系统的各个功能性模块进行解耦、耦合功能性验证，应符合下列要求。

- a) 模块解耦测试验证。对各个功能模块进行单独测试，确保其按预期功能运行，并符合设计规范。
- b) 模块耦合测试验证。在系统集成后，进行集成测试，验证各模块之间的接口和数据流是否正确，验证整个系统在集成后的整体功能和性能，确保系统各部分协同工作。
- c) 仿真场景验证。对孪生模型计算模块的仿真模型在不同工况下进行验证，确保其能准确反映物理系统的行为。
- d) 用户场景测试。支持工作人员在真实的业务场景下使用系统，系统需满足业务需求，并进行必要的修正和优化。
- e) 安全与性能测试。支持对系统进行安全性测试，识别潜在的漏洞并采取相应的防护措施，确保系统在处理 and 存储敏感数据时，符合相关的隐私保护法规；在高负载条件下测试系统性能，确保系统在峰值负载下能稳定运行。

9 系统部署

系统部署是将数字孪生系统应用至生产环境的过程，应符合下列要求：

- a) 系统部署前确认开发、测试、预生产和生产环境的一致性，以避免因环境差异导致的系统故障；
- b) 确保部署环境中的硬件资源（如服务器、存储设备）和网络带宽能满足系统的运行需求；
- c) 系统部署方式支持跨平台部署需求；
- d) 系统部署方式能快速进行版本管理以及资源隔离；
- e) 系统部署具备冗余机制和故障切换策略，确保系统在部分组件故障时仍能继续运行；
- f) 系统具备容错能力，能在故障发生时快速恢复。制定并测试数据备份和恢复计划，确保在发生数据丢失或灾难性事件时能恢复正常运行；
- g) 完成部署后应在生产环境中进行全面的系统测试，包括功能测试、性能测试和安全测试，确保系统成功部署；
- h) 部署后应形成详细功能操作文档并对相关人员进行培训，以确保能有效地使用和维护系统。

10 日常运维

日常运维包括系统的系统监控、数据管理、故障恢复、性能优化及升级维护5个基本方面，应符合T/CPUMT 032以及下列要求。

- a) 系统监控——系统监控包括以下内容：
 - 1) 配置专门的实时监控人员；
 - 2) 支持实时监控系统的性能指标；
 - 3) 支持实时监控网络和数据流，确保系统的可靠性和数据传输的完整性；
 - 4) 当系统出现重大异常时，及时通知开发人员进行处理。
- b) 数据管理——数据管理包括以下内容：
 - 1) 支持定期检查数据在多个系统或数据库之间同步时的一致性，避免因数据不同步导致的分析结果不准确；
 - 2) 制定并执行定期数据备份计划，确保在发生数据损坏或丢失时能迅速恢复。备份数据存储在不同的物理位置以防灾难性损坏；
 - 3) 支持定期进行数据恢复演练，验证备份和恢复机制的有效性，确保在实际故障发生时能快速恢复数据；
 - 4) 具备数据归档策略，支持根据数据的生命周期和业务需求，定期将不再需要实时访问的历史数据归档存储，减少系统负担；
 - 5) 具备数据淘汰策略，支持根据业务价值和合规要求，定期清理过时数据，确保系统存储资源的有效利用。

- c) 故障恢复——故障恢复包括以下内容：
- 1) 制定并定期更新故障恢复计划，包括应对硬件故障、网络中断、数据丢失等可能影响系统运行的突发事件；
 - 2) 具备冗余系统和数据备份机制，确保在故障发生时系统能迅速切换到备份环境，并在最短时间内恢复正常运行；
 - 3) 具备定期演练灾难恢复计划，评估和改进恢复流程的有效性；
 - 4) 当系统出现重大异常时，支持及时切换到备份环境或停止系统，防止进一步损失。
- d) 性能优化——性能优化包括以下内容：
- 1) 支持定期进行系统健康检查，及时发现并修复潜在问题，预防系统崩溃或性能下降；
 - 2) 支持实施定期系统维护和安全更新，确保系统始终处于最佳状态，防止潜在的安全威胁；
 - 3) 确保系统在流量高峰期间稳定运行；
 - 4) 支持定期分析系统性能瓶颈，优化数据处理算法和系统架构，以提高系统的响应速度和吞吐量；
 - 5) 支持定期进行压力测试，验证系统在高负载情况下的性能，并根据测试结果进行优化。
- e) 升级维护——升级维护包括以下内容：
- 1) 配置专门的版本工程师；
 - 2) 制定年度或季度的系统升级计划，确保系统始终使用最新的稳定版本；
 - 3) 升级前应在隔离环境中进行充分的测试和验证，确保新版本的兼容性和稳定性；
 - 4) 采用灰度发布或逐步升级的方式，确保升级过程中不影响正常业务，将系统升级的风险降至最低；
 - 5) 采用版本控制系统，确保每次升级都有明确的版本号和变更日志，方便追溯和管理；
 - 6) 避免系统在升级过程中的停机或服务中断，确保系统的连续性；
 - 7) 升级前具备完整的数据和系统配置备份机制，确保能在升级失败时系统快速恢复到升级前的状态；
 - 8) 支持定期检查系统的安全补丁，防止已知漏洞被利用；
 - 9) 升级后对日常运维人员和系统使用人员进行培训，确保其熟悉新功能和操作流程，减少因升级带来的操作失误或使用问题。

参 考 文 献

- [1] GB/Z 44267 自动化系统与集成 工业数据 数字孪生的可视化元素
-