ICS 35.240.50
CCS L 67

中华人民共和国国家标准

GB/T 45626—2025

信息技术　装备数字孪生系统　通用要求

Information technology—Equipment digital twin system—General requirements

2025-04-25 发布　　2025-11-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

资料整理
火龙果科技 荐

目　　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　缩略语 …… 2
5　系统组成 …… 2
5.1　概述 …… 2
5.2　目标装备 …… 3
5.3　孪生互动 …… 3
5.4　数字实体 …… 4
5.5　孪生服务 …… 4
6　技术要求 …… 5
6.1　仿真 …… 5
6.2　可视化 …… 5
6.3　状态监控 …… 6
6.4　故障诊断 …… 6
6.5　状态预测 …… 6
6.6　质量特性 …… 7
7　系统建设 …… 7
7.1　概述 …… 7
7.2　模型构建 …… 8
7.3　模型验证 …… 9
7.4　连接交互 …… 9
7.5　虚实验证与评估 …… 10
参考文献 …… 11

资料整理
火龙果科技 荐

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。

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。

本文件由全国信息技术标准化技术委员会(SAC/TC 28)提出并归口。

本文件起草单位：中国电子技术标准化研究院、深圳赛西信息技术有限公司、中国电子技术标准化研究院华东分院、北自所(北京)科技发展股份有限公司、金航数码科技有限责任公司、广东利元亨智能装备股份有限公司、北京交通大学、安世亚太科技股份有限公司、天津市特种设备监督检验技术研究院、无锡物联网创新中心有限公司、北京石油化工学院、浙江西图盟数字科技有限公司、武汉工学智联科技有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司、浙江晶日科技股份有限公司、中国烟草机械集团有限责任公司、西门子(中国)有限公司、中建科技集团有限公司、北京和利康源医疗科技有限公司、上海天臣微纳米科技股份有限公司、北京优锘科技股份有限公司、浙江正泰居家科技有限公司、上海逸迅信息科技有限公司、西南石油大学、苏州格比智能科技有限公司、中国科学院自动化研究所、上海智能制造功能平台有限公司、厦门盈趣科技股份有限公司、中国质量认证中心有限公司、中兴通讯股份有限公司、重庆邮电大学、西安华云智联信息科技有限公司、腾讯云计算(北京)有限责任公司、株洲中车时代电气股份有限公司、深圳华龙讯达信息技术股份有限公司、西安华盛通信有限公司、石化盈科信息技术有限责任公司、云南昆船设计研究院有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、西安航天自动化股份有限公司、北京航空航天大学、机械工业第六设计研究院有限公司、中国科学院空天信息创新研究院、南京维拓科技股份有限公司、喀什地区电子信息产业技术研究院、北京电信规划设计院有限公司、征图新视(江苏)科技股份有限公司、电子科技大学、华中科技大学、昆仑数智科技有限责任公司、三一重机有限公司、江苏北数睿新科技服务有限公司、广州鲁邦通物联网科技股份有限公司、无人智境(北京)技术有限公司、中国电子科技集团公司第五十四研究所、长沙眸瑞网络科技有限公司、凌云光技术股份有限公司、四川观想科技股份有限公司、中核武汉核电运行技术股份有限公司、上海大学、浙江大学、杭州九友智能科技有限公司、启迪数字科技(深圳)有限公司、浙江链捷数字科技有限公司、北京图安世纪科技股份有限公司、中车大连机车车辆有限公司、潍柴动力股份有限公司、中广核(上海)仿真技术有限公司、中核核信信息技术(北京)有限公司、东方电气集团东方汽轮机有限公司、中国石油天然气管道工程有限公司、中国科学院沈阳计算技术研究所有限公司、中国烟草总公司郑州烟草研究院、航天晨光股份有限公司、上海中车瑞伯德智能系统股份有限公司、深圳市轴心自控技术有限公司、上海宽带技术及应用工程研究中心、八维通科技有限公司、北京世冠金洋科技发展有限公司、富泰华工业(深圳)有限公司、卡奥斯工业智能研究院(青岛)有限公司、浙江正云智能科技有限公司、广州天奕技术股份有限公司。

本文件主要起草人：胡琳、韩丽、李佳、郭楠、张晖、胡成林、马立群、周阳、王勇、张晓梅、周俊雄、宿帅、段海波、李菊峰、董接莲、何智勇、李振轩、张智慧、蒋志超、陶飞、王忠凯、沈杰、黄雅琳、朱国良、曾涛、虞日跃、周立雄、李鉴、缪祺、郑德生、曹义军、何赛克、丁强、陈建成、许可嘉、王红钢、刘海军、黄旭炜、任志刚、李建慧、陈志漫、龙小昂、夏明、索寒生、沈超、蔡苗、商都、杨旭、王巍、杨会甲、刘莹、项波、丁亮、尚小磊、李家京、朱文魁、吴健雄、李晓瑜、付根利、路松峰、罗俊、王梓行、卢阳光、王梦露、汤松柏、王淼鑫、李爽、罗明、于雷、杨宏旭、曹西飞、刘东庆、邓国栋、魏强、吴俊义、仵大奎、赵博、黄海滨、李佳乐、李青、李飞、胡淮兵、孙石栋、王海宁、李爽、何春常、吴通、平艳、王学军、王鸿亮、魏朕、常雪梅、李高勇、胡兰芳、谷利文、宁岩、胡淑燕、张学琴、刘佳昕、何宝东。

资料整理
火龙果科技 荐

信息技术　装备数字孪生系统　通用要求

1　范围

本文件描述了装备数字孪生系统的组成，规定了系统的技术要求以及建设要求。

本文件适用于装备数字孪生系统的开发、使用、维护。

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—2023　信息技术　数字孪生　第1部分：通用要求

3　术语和定义

GB/T 43441.1—2023 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

装备　equipment

实施和保障生产经营活动所配备的设备、设备系统等的统称。

注：在某些特定场景，装备也称为设备。

[来源：GB/T 41251—2022，3.1.1，有修改]

3.2

目标装备　target equipment

被选中进行数字化映射的装备。

3.3

数字实体　digital entity

目标实体的数字化映射。

[来源：GB/T 43441.1—2023，3.3]

3.4

装备数字孪生系统　equipment digital twin system

实现目标装备与其数字实体间各要素动态迭代的系统。

3.5

模型　model

实体或实体集合的抽象表达。

注：模型能够在感兴趣的条件或情况下描绘、理解或预测该实体或实体集合的属性。

[来源：ISO/IEC/IEEE 42020:2019，3.13，有修改]

3.6

几何模型　geometry model

描述目标装备几何特征及其附加属性的模型。

资料整理
火龙果科技 荐

3.7

机理模型　principle model

利用数学公式或方程描述目标装备工作原理的模型。

3.8

行为模型　behaviour model

描述目标装备工况、故障、交互等过程的模型。

3.9

控制模型　control model

描述数字世界对目标装备操控机制的模型。

4　缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CAD:计算机辅助设计(Computer Aided Design)

CAE:计算机辅助工程(Computer Aided Engineering)

CAM:计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing)

5　系统组成

5.1　概述

装备数字孪生系统包括目标装备、数字实体以及目标装备和数字实体之间的孪生互动过程,对外提供仿真、可视化等孪生服务,系统组成见图1。

a)　目标装备:被选定进行数字化映射的装备。

b)　数字实体:在装备数字孪生系统中,数字实体是目标装备的数字化映射,包括孪生模型和孪生数据。

c)　孪生互动:采集目标装备信息指导数字实体的构建,并通过数字实体产生的分析数据直接控制目标装备或辅助目标装备优化,包括测量与感知、反馈与控制。

d)　孪生服务:包括仿真、可视化、状态监控、故障诊断、状态预测等。

资料整理
火龙果科技 荐

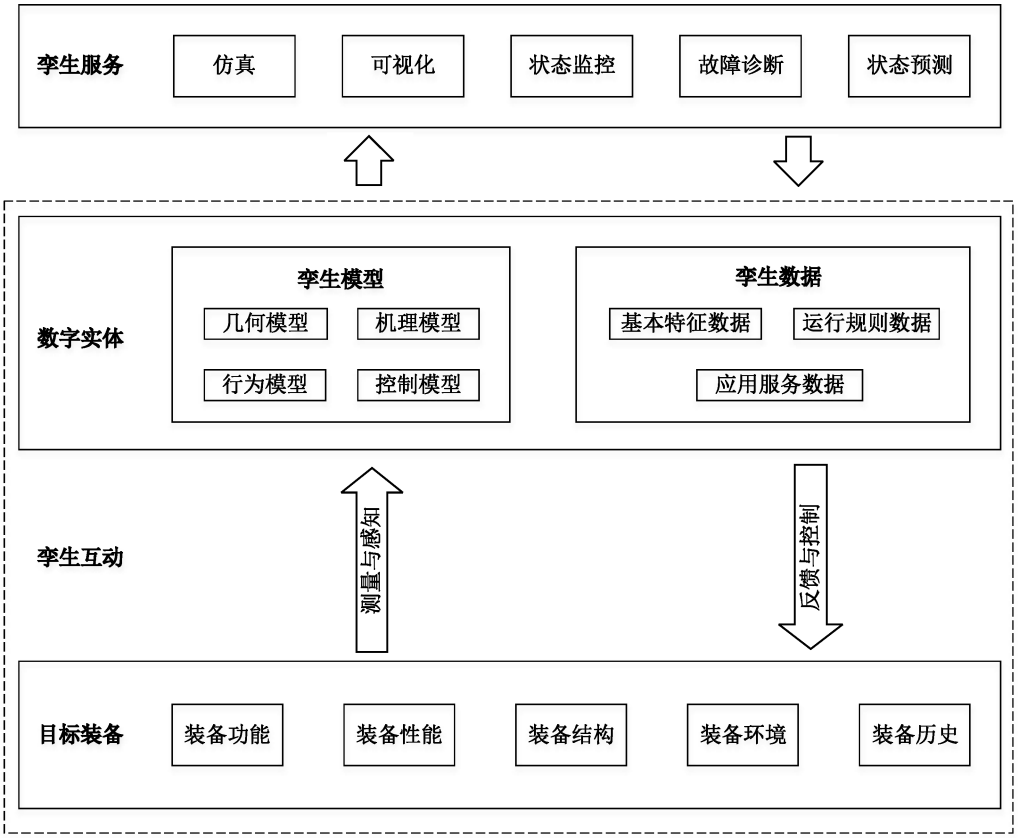


图 1　装备数字孪生系统组成

5.2　目标装备

在构建装备数字孪生系统过程中，应关注以下能反映目标装备的信息。

a）　装备功能：目标装备实现特定任务的能力，如遥控、自动报警、自锁、车、铣、刨、镗、焊和装配等。

b）　装备性能：评价目标装备实现特定任务的质量参数，如效率、速度和准确性等。

c）　装备结构：目标装备及其单元/部件的几何特征、结构，如尺寸、颜色、位置、装配关系等。

d）　装备环境：与目标装备安装、运行、维护等相关的环境因素，如温度、湿度、亮度、其他关联系统等。

e）　装备历史：目标装备功能、性能、结构以及环境等相关历史记录信息，如结构修正历程、功能改进历程、运维记录和环境变化等。

5.3　孪生互动

5.3.1　测量与感知

测量与感知是基于多种传感器、采集终端及信息系统，实现目标装备的几何特征、工序动作、状态、环境等数据的收集，承接目标装备与数字实体之间的感知数据采集、传输、存储。主要流程可包括：

a）　依据目标装备类型，确定应测量或感知的数据范围、类型、采集周期等要求；

b）　依据装备设计和运行原理，确定测量/感知的方式和实现方案；

c）　数字实体与目标装备建立通信连接，明确或校验信息来源安全性；

d）　通过感知、测量及读取，获取目标装备相关数据；

e）　对获取的装备数据进行预处理、分析、整理等；

资料整理
火龙果科技 荐

f) 传输流程 e)处理后的数据到数字实体，形成虚实数据映射；
g) 存储数据。

5.3.2 反馈与控制

反馈与控制是实现数字实体向目标装备的信息传递和控制的过程，主要流程可包括：
a) 确定反馈与控制的对象；
b) 获取数字实体在仿真、可视化、状态监控、故障诊断、状态预测等过程中产生的结果数据；
c) 将数字实体的决策与反馈结果通过接口、交互组件等传输至目标装备；
d) 执行控制指令，该指令可由装备控制系统接收反馈并执行或由操作人员通过操作面板手动执行；
e) 识别执行反馈指令后目标装备的实时状况。

5.4 数字实体

5.4.1 孪生模型

孪生模型包括几何模型、机理模型、行为模型和控制模型。
a) 几何模型：描述目标装备尺寸形状、位置公差、表面粗糙度、材料及热处理要求等，几何模型的创建和演化通常由 CAD、CAE、CAM 等计算机辅助软件工具实现。
b) 机理模型：描述目标装备的能量转换和输出、控制、测量、主要功能的执行等工作原理，机理模型通常以物理和或化学等学科原理效应构建。
c) 行为模型：描述目标装备正常或非正常的运行行为，如典型工况行为、极限工况行为、故障行为、变频/伺服电机控制行为、液压/气压控制行为、换热器交换行为等。
d) 控制模型：描述数字世界对目标装备的控制机制，包括控制系统和控制过程。

5.4.2 孪生数据

孪生数据是数字世界中目标装备相关信息的总称，包括基本特征数据、运行规则数据和应用服务数据。
a) 基本特征数据：表示目标装备标识、尺寸、颜色、形状、材料、精度、参数、结构、拓扑、衔接关系等的数据。
b) 运行规则数据：目标装备工艺、运行、经验、维护保养等数据。
c) 应用服务数据：数字实体基于目标装备开展仿真、可视化、状态监控、故障诊断、状态预测等应用服务所产生的数据。

5.5 孪生服务

孪生服务包括仿真、可视化、状态监控、故障诊断、状态预测。
a) 仿真：通过时空计算、业务场景模拟等手段，将包含确定性规律、机理、行为、控制机制的模型转化为虚拟方式来模拟目标装备。
b) 可视化：使用计算机图形和图像处理技术及 CAD、CAE、CAM 等工具呈现目标装备的状态和特征，包括建立模型、场景编辑、渲染服务、脚本制作、虚实融合等。
c) 状态监控：通过采集实时数据驱动数字实体运动，对目标装备的运行状态进行监视和控制，掌控目标装备的运行参数、传感器状态、工作状态、故障报警信息等实时运行信息。
d) 故障诊断：基于装备的孪生模型和数据，采用信号处理等诊断方法，实现装备故障检测、故障定位等。

资料整理
火龙果科技 荐

e) 状态预测：通过采集目标装备的历史数据和实时运行数据，结合预测算法和孪生模型，预先推测目标装备的状态，实现目标装备健康状态、寿命、故障和安全性的评估和预测。

6 技术要求

6.1 仿真

仿真服务具体如下。

a) 设计阶段仿真：
   1) 应按业务需要支持需求、设计、工艺等不同类型仿真；
   2) 应对装备的工艺作业过程、时间节拍、物料输送、器件选型、控制与制造工艺流程等进行仿真；
   3) 宜对装备核心部件或工艺模块的性能进行仿真；
   4) 对装备的各模型连接进行仿真时，宜支持软件在环或硬件在环等仿真方式；
   5) 宜支持多设计方案的仿真与对比分析，有效评估装备设计的合理性、科学性、经济性，并提供装备的效能改进和优化建议。
b) 运行与维护阶段仿真：
   1) 应关联目标装备进行虚实结合的仿真；
   2) 应按照孪生互动的同步速率和精度要求，对目标装备进行实时仿真；
   3) 应具备以孪生模型映射目标装备的能力，能够根据目标装备运行数据更新算法和模型，以满足新的仿真需求。
c) 宜通过仿真支持对装备进行可靠性评估和风险分析。
d) 支持与装备数字孪生其他组件及外部系统集成应用，具体包括：
   1) 仿真应满足映射实体装备与外界系统集成运行的模拟计算需求；
   2) 宜分行业定义仿真数据接口规范，使仿真进一步标准化、模块化；
   3) 仿真结果可输出给可视化、状态监控、故障诊断、状态预测等各种应用。

6.2 可视化

可视化服务具体如下。

a) 可视化展示：
   1) 应展示装备的外观与结构等静态信息、行为与运行状态等动态信息及相关辅助决策信息；
   2) 应满足具体应用场景下的清晰度要求；
   3) 根据业务需要，不同部件显示信息的更新频率应可配置。
b) 通过可视化，进行仿真、状态监控、故障诊断、状态预测等多项数字孪生功能服务的综合集中控制，具体包括：
   1) 应具备目标装备及其各部件查看与详细信息查询功能，如选中装备的某一部件结构，能根据操作者的要求定位并展示该部件的相关属性等信息；
   2) 应具备条件查询、模糊查询以及反向查询的功能；
   3) 应具备对同一目标装备多页面内容同时操作的功能，如同时展示装备某部件服役状态监控页面及该部件的结构设计信息展示页面；
   4) 应具备装备及部件结构的多角度剖分查看功能，从装备及部件外观到内部的具体结构逐级下钻，支持具体部件各级的详细参数信息查询、视点调整及场景切换等操作；
   5) 应具备装备及部件服役数据的播放、暂停、跳转等展示控制，及倍速播放调整、瞬时及累积数值展示等多种模式控制功能；

资料整理 火龙果科技 荐

6） 宜支持通过拓扑图，进行装备或部件之间关联关系的可视化，并支持拓扑图中的图元（装备或部件）与二维显示图标或三维场景中的模型的双向联动。

c） 支持面向不同使用环境及不同人员的可视化，具体包括：

1） 应具备在电子沙盘、立式触控台、个人计算机（PC）端、平板电脑等多种控制设备上进行可视化的能力；

2） 应支持装备设计和运维不同场景中使用人员的操作权限管理。

d） 宜具备可视化使用引导功能。

e） 宜根据不同用户习惯或业务需求配置不同布局的交互界面。

f） 宜通过增强现实（AR）、虚拟现实（VR）等交互方式，实现与目标装备的数据叠加，及其运动变化的视效呈现。

g） 具备可视化的技术指导功能，展示由装备研发机构、相关专业技术人才所提供的装备运维专业知识：

1） 宜通过文字、图表、视频等多种形式展现装备运维专业知识；

2） 宜展示装备运维专业知识的更新状态。

6.3 状态监控

状态监控服务具体如下：

a） 应对装备的作业环境、运行状态、作业信息、报警信息、过程参数信息等进行定期或连续的监控；

b） 根据目标装备管理需要，应对历史或实时数据通过可视化形式，进行分类、分区展示；

c） 应通过设定阈值、对比往期数据等方式，对人、机、料、法、环等方面出现的异常进行报警，报警方式如灯光、声音、消息通知、报表等；

d） 依据对目标装备的实时状态监测结果，应具备操作指令触发、参数调整、订单切换、装备切换等远程控制能力。

6.4 故障诊断

故障诊断服务具体如下。

a） 故障检测：实时检测目标装备数据，提取特征值，并与数字实体的仿真数据进行比较，当特征值超出仿真的合理范围时，应发出故障报警，并启动故障诊断程序。

b） 故障类型识别：数字实体应具备模拟各类常见故障，生成故障仿真数据的能力，在检测到故障时，将目标装备中实时提取的特征与故障仿真特征进行匹配分析，辅助判断故障类型。

c） 故障分析：数字实体应具备整合故障现象、特征参数、历史处理数据及推理规则等故障数据，构建故障诊断模型的能力，在故障发生时，调用该模型分析特征参数，并结合历史诊断数据给出处理建议。

d） 故障报告：应支持可视化展示，包括故障类型、位置、严重程度及影响范围等信息。

e） 诊断优化：数字实体宜记录故障诊断数据和准确度，并对自身模型进行迭代优化，从而提升故障诊断的效率和准确性。

6.5 状态预测

状态预测服务具体如下。

a） 性能预测：应具备基于孪生模型和实时运行数据，模拟装备的运行状态，预测性能状况的能力，并支持对性能偏差程度的量化评估。

b） 寿命预测：应具备基于孪生模型、状态监测数据、环境工况、运行情况及更换历史，仿真推演装备在不同工况下剩余使用寿命的能力。

c） 故障预测：应具备结合装备状态监测数据、退化特性、历史故障和运行工况，实现基于数据和孪

资料整理 火龙果科技 荐

生模型双驱动的装备故障预测，及时预警潜在故障。

6.6 质量特性

6.6.1 同步性

同步性要求如下：

a) 数字实体与其目标装备间的指令交互响应时间应满足实际应用需求；
b) 数字实体与其目标装备的状态数据应以实际应用场景要求的速率进行同步；
c) 数字实体应按照实际应用需求映射目标装备的结构、功能、性能、运行环境、关联关系等；
d) 数字实体与其目标装备间的基本特征数据、运行规则数据和应用服务数据等各类数据信息应进行双向同步，同步速率应符合实际应用需求。

6.6.2 系统可靠性

系统可靠性具体如下：

a) 数字实体接收到的测量与感知数据与其目标装备发出的应一致，无丢失或损坏；
b) 目标装备接收到的反馈与控制数据与其数字实体发出的应一致，无丢失或损坏；
c) 随着运行时间变化，装备数字孪生系统的其他性能应保持不变；
d) 应具备系统故障或中断时，数据自动保存功能，故障修复后能迅速恢复、还原和加载故障前的数据；
e) 当部分组件出现故障时，宜支持其他功能的正常运行。

6.6.3 精度

精度要求如下。

a) 对目标装备的几何特征、运动位置等进行测量与感知的精度应满足实际应用需求。
b) 数字实体的精度应满足实际应用需求，包含但不限于尺寸规模、数据体量、应用结合度、应用集成广度：
   1) 尺寸规模：元器件级、零件级、构件级、模块级、整机级等；
   2) 数据体量：元数据、知识、信息、过程、流程等；
   3) 应用结合度：展示描述、感知交互、动态驱动、模拟仿真、洞察决策等；
   4) 应用集成广度：零件、构件、单装备、多装备等。

6.6.4 安全性

安全性要求如下：

a) 应通过数据加密、身份验证和访问控制等方式，防止未经授权的访问、篡改或数据泄露；
b) 装备数字孪生系统的安全性应符合 GB/T 43441.1—2023 第 8 章规定的环境物理安全、数据安全、网络安全、访问控制等安全要求。

7 系统建设

7.1 概述

装备数字孪生系统的建设包括模型构建、模型验证、连接交互、虚实验证与评估，流程见图 2。

a) 模型构建：通过数据采集、建模等实现目标装备的数字化映射。
b) 模型验证：通过仿真工具等进行模型验证与优化，当模型验证不通过时，分析原因并回到模型

资料整理
火龙果科技 荐

构建环节进行优化。

c) 连接交互：模型验证通过后，实现目标装备、数字实体之间以及数字实体各模型之间的连接和信息交互。

d) 虚实验证与评估：验证装备数字孪生系统的功能、性能等，并不断修正，具体如下：

1) 虚实验证与评估不通过时，分析原因，按照实际原因选择回到连接交互环节或模型构建环节进行优化；

2) 虚实验证与评估通过后，按照实际场景需求进入集成应用环节。

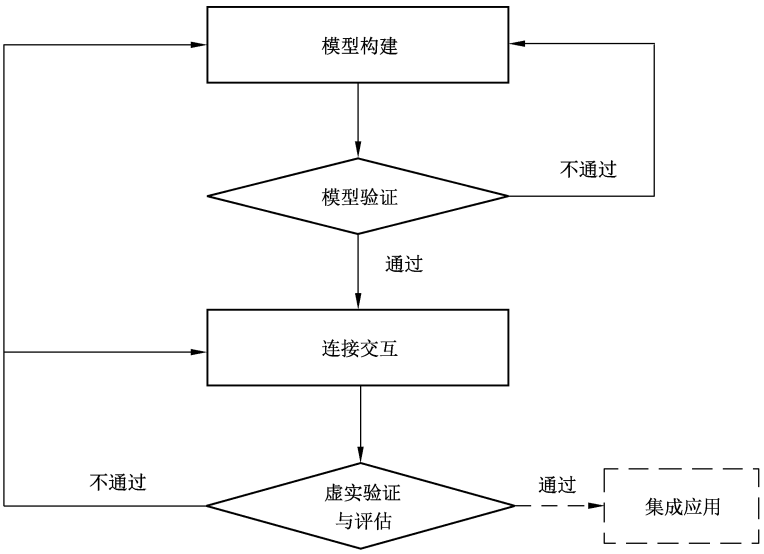


图 2 装备数字孪生系统建设流程

7.2 模型构建

7.2.1 通用要求

7.2.1.1 模型宜具有兼容性，可转换成不同格式供其他场景应用。

7.2.1.2 模型宜进行模块化构建，可基于场景的复杂程度对模型进行灵活配置、拆分及组合。

7.2.1.3 应保证数据在数据采集、存储、传输和使用等过程中的机密性和完整性。

7.2.1.4 应设置模型的访问控制机制。

7.2.1.5 应保证模型在运行过程中的可靠性。

7.2.2 几何模型构建

几何模型构建要求如下：

a) 几何模型应含有绝对坐标系，即统一参考坐标系；

b) 几何模型应完整，包括几何要素、约束要素和工程要素等；

c) 几何模型构建在满足应用场景需求的情况下，应遵循模型最小化原则。

7.2.3 机理模型构建

机理模型构建要求如下：

a) 机理模型应采用开放结构和统一的数据接口定义装备组件的关系；

b) 机理模型应能表征目标装备或部件的运行机理，如运动、重力、摩擦、变形、散热、溢出、化学反应等；

资料整理 火龙果科技 荐

c) 机理模型应具备根据应用场景需求设定不同的机理维度及精度阈值的能力。

7.2.4 行为模型构建

行为模型构建要求如下：

a) 行为模型应设置初始状态，其他状态可由初始状态模型派生；
b) 行为模型应能准确地反映装备实体的运行状态；
c) 行为模型应具备根据应用场景设置精度阈值的能力；
d) 行为模型应支持多物理领域的集成。

7.2.5 控制模型构建

控制模型构建要求如下：

a) 控制模型应提供基础功能组件，用于逻辑控制或运动控制程序的编写、仿真或调试；
b) 控制模型应提供数据通信相关的配置，用于控制系统与设备、控制系统间以及控制系统与其他软件间的通信。

7.3 模型验证

7.3.1 模型验证

装备数字孪生系统模型验证要求如下。

a) 单元级验证：在数字实体的单元级模型构建后，应验证其功能符合性，包括通信能力、同步能力、反馈能力等，以保证基本单元模型功能的有效性。
b) 组装验证：通过单元级验证后，应对组装或融合的模型进行联合验证，包括各个功能单元相互通信功能、各个功能单元工作的协同性、各个功能单元数据信息交互的实时性和完整性等。
c) 试运行验证：应在实际应用环境中，按照实际情况运行一定时间后分析相关日志，验证该数字孪生系统的功能、性能、安全性等指标是否满足要求。
d) 收敛验证：应明确数字孪生仿真中模拟收敛的要求，有效展示监测残差，并在必要时进行调整，以确保仿真结果收敛于合适的残差水平。

7.3.2 模型校正

装备数字孪生系统模型校正要求如下：

a) 应根据目标装备的形状、位置、行为、状态、机理等校正数字实体相关模型；
b) 修正后的模型应再次进行验证是否满足实际应用需求。

7.4 连接交互

7.4.1 信息感知

装备数字孪生系统信息感知要求如下。

a) 全面感知：全面感知目标装备的状态和行为，应覆盖目标装备的各种状态和行为特征。
b) 实时感知：应按照实际应用场景的同步性要求，及时获取目标装备的实际状态和行为信息。
c) 信息融合：应整合来自不同源的信息，包括传感器数据、历史数据、实时数据等。

7.4.2 通信

装备数字孪生系统通信要求如下。

a) 实时性：应实时获取和处理数字实体及其目标装备的数据，包括传感器数据、运行状态、控制指

资料整理
火龙果科技 荐

令、报警信息等。

b) 可靠性：应具备可靠的数据传输和存储能力。

c) 安全性：连接通信过程中应保证数据传输的安全性。

d) 可扩展性：应支持数字实体通信需求的变化和扩展。

7.4.3 虚实映射

装备数字孪生系统虚实映射要求如下。

a) 持续优化：应不断校验虚实映射关系的准确性、完整性和可靠性，若映射关系不符合实际应用需求，则应进行映射关联关系的更新与修正，直至其满足要求。

b) 时空数据映射：数字实体的整体或部分构件应与真实物理时间、空间位置信息进行映射。

c) 生产过程数据映射：数字实体应与装备生产过程如上料、机械臂位置、启停状态、加工时间、报警等进行映射。

7.5 虚实验证与评估

7.5.1 数据联动

装备数字孪生系统数据联动要求如下。

a) 初始阶段：应根据目标装备及环境的静态特征对数字实体状态初始化，使二者状态一致。

b) 联动阶段：结合装备数字孪生系统动态运行特征及应用需求，应确定驱动方法及数据更新频率，实现数字实体对其目标装备的实时、动态、精准驱动。

c) 修正阶段：应校验虚实空间的符合程度，若联动过程存在冲突或延迟，应重新分析并更新调整联动机制，直至实现冲突消解并满足应用需求。

d) 联动数据源绑定：应具备联动数据源绑定能力，绑定数据源包括静态数据以及动态数据。

e) 联动事件绑定：应具备联动事件绑定能力，绑定联动事件包括鼠标点击、鼠标移入、设备告警等。

f) 联动动效绑定：应具备联动动效设置能力，动效的效果包括但不限于平滑移入移出、放大缩小、高亮提示等。

7.5.2 交互融合

装备数字孪生系统交互融合要求如下。

a) 实时交互性：应实现各个模型之间的实时交互，实时获取目标装备的状态变化，并提供调整和优化的决策支持。

b) 多维度交互：应实现多维度的交互，包括数据交互、状态交互、控制交互等，以满足不同场景和应用的需求。

7.5.3 系统评估

装备数字孪生系统评估要求如下。

a) 功能评估：应具备可视化、仿真、状态监控、故障诊断、状态预测等服务能力。

b) 性能评估：应评估同步性、可靠性、精度等。

c) 风险分析：应进行风险分析，包括故障概率、寿命评估、生命周期成本等指标的计算和分析。

资料整理
火龙果科技 荐

参 考 文 献

[1] GB/T 41251—2022 生产过程质量控制 生产装备全生命周期管理

[2] ISO/IEC/IEEE 42020:2019 Software,systems and enterprise—Architecture processes

资料整理
火龙果科技 荐