ICS 35.240.50
CCS L67

中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

信息技术 数字孪生能力成熟度模型

Information technology — Maturity model of digital twin capability

（点击此处添加与国际标准一致性程度的标识）

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2024 年 6 月）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布　　XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目 次

前 言 II
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 成熟度模型构成 2
6 成熟度等级 3
7 成熟度能力要素要求 3
7.1 概述 3
7.2 基础要素要求 3
7.2.1 模型 3
7.2.2 数据 4
7.2.3 交互 5
7.3 应用能力要素要求 5
7.3.1 可视化 5
7.3.2 仿真 6
7.3.3 预测 6
7.3.4 优化 7
7.3.5 控制 7
7.4 扩展能力要素要求 8
7.4.1 功能更新 8
7.4.2 系统集成 8
7.4.3 新技术融合 9
7.5 管理能力要素要求 9
参 考 文 献 10

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。

本文件由全国信息技术标准化技术委员会(SAC/TC28)提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

信息技术 数字孪生能力成熟度模型

1 范围

本文件规定了数字孪生能力成熟度模型构成、成熟度等级和成熟度要求。

本文件适用于用户、供应商等利益相关方规划、识别和提升数字孪生系统水平，也适用于第三方机构评估数字孪生系统水平。

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

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

实体 entity

具体或抽象的事物，包括这些事物之间的关联。

[来源：GB/T 43441.1-2023，定义3.1]

3.2

目标实体 target entity

现实世界被选中进行数字化映射的实体。

[来源：GB/T 43441.1-2023，定义3.2]

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，定义3.3]

3.4

数字孪生 digital twin

具有保证物理状态和虚拟状态之间以适当速率和精度同步的数据连接的特定目标实体的数字化表达。

[来源：GB/T 43441.1-2023，定义3.4]

3.5

几何模型 geometric model

用于描述目标实体外形、内部结构、尺寸大小和空间位置的模型。

3.6

物理模型 physical model

用于描述目标对实体物理属性和运行机理的模型。

3.7

行为模型 behavior model

用于描述目标实体状态转移、属性变化和响应机制的模型。

3.8

规则模型 rule model

用于描述目标实体相关规律、规则、标准、准则和约束的模型。

3.9

数字孪生系统 digital twin system

基于数据驱动来实现目标实体与数字实体间各要素动态迭代的系统。

注：数字孪生系统由目标实体、数字实体,两者之间的数据连接以及数据连接过程中涉及的模型、数据和接口等要素组成。

[来源：GB/T 43441.1-2023，定义3.5]

3.10

功能重构 function reconfiguration

对现有功能进行的组合、拆解、增强和选择性裁剪操作。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

MR：混合现实（Mixed Reality）

VR：虚拟现实（Virtual Reality）

5 成熟度模型构成

数字孪生能力成熟度模型由能力域、成熟度等级和成熟度要求构成，能力域由能力子域组成，能力子域由能力要素组成。其中，能力域包括基础能力、应用能力、扩展能力和管理能力等4项；系统集成、新技术融合2个能力要素直接从属于扩展能力域，安全管理、资源管理2个能力要素直接从属于管理能力域，其余20个能力要素从属于对应的能力子域。见图1。

模型给出5个成熟度等级。见第6条。

每个成熟度等级由相应的能力要素及其要求予以衡量。见第7条。

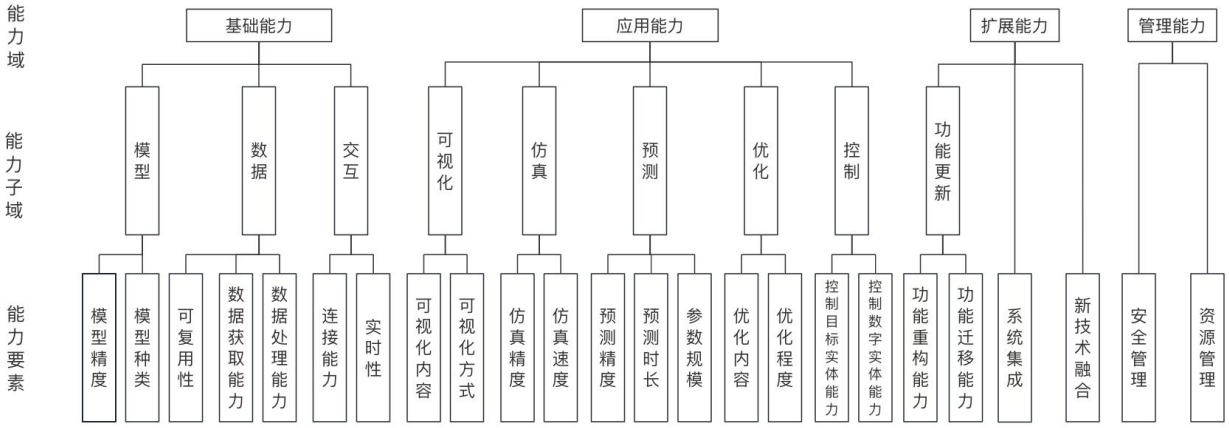

图 1　成熟度模型

6　成熟度等级

数字孪生能力成熟度等级分为五个等级，自低向高分别为：一级（虚拟建模）、二级（以虚映实）、三级（双向交互）、四级（智能管控）、五级（自主演化）。各层级呈递进关系，较高层级涵盖了较低层级的各项能力要素要求。五个成熟度等级基本含义如下：

——一级（虚拟建模）：利用建模技术实现对目标实体结构外观、属性特征、能力、行为等的定义与数字化描述。

——二级（以虚映实）：基于单向数据实时传输实现数字实体动态跟随目标实体的运行过程。

——三级（双向交互）：基于双向数据实时传输实现数字实体与目标实体间的双向交互，即可实现数字实体对目标实体运行过程的实时监测与管控。

——四级（智能管控）：基于数字实体实现对目标实体的预测性分析和智能决策，实现对目标实体的智能管控。

——五级（自主演化）：实现数字实体和目标实体在全生命周期中的自主学习和迭代优化。

各个成熟度等级覆盖有不同的能力要素，并且对所覆盖的能力要素有不同的要求。见第 7 条。

7　成熟度要求

7.1　概述

本条中，按图1的能力要素逐条描述各个成熟度等级对应的要求。

用列表形式给出不同成熟度等级下的能力要素要求。列表最左边一列是能力子域或能力域下面的能力要素。每个能力要素名称右边一行给出等级对应的成熟度要求。给出的要求可能是一对一，即该要求只适用于某一个成熟度等级；也可能是一对多，即该要求适用于两个或更多个成熟度等级。

7.2　基础能力要求

7.2.1　模型

模型能力子域包括模型精度、模型种类和可复用性 3 个能力要素。相应等级的成熟度要求见表 1。

表 1　模型能力子域的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
模型精度	a)　构建出的模型应能够正确描述目标实体几何结构、物理属性、行为的某一方面	a)　构建出的模型应能够精准描述目标实体几何结构和运行状态	a)　构建出的模型应能够精准描述目标实体行为变化过程	a)　构建出的模型应能够精准描述目标实体的运行机理； b)　构建出的模型应具备模型精度调节能力，可根据实际管控需求加载轻量化或高精度模型	a)　构建出的模型应具备模型精度可调整的能力； b)　构建出的模型应能够精准描述目标实体几何、物理、行为、规则四个方面的全部信息
模型种类	a)　应包含几何模型、物理模型、行为模型、规则模型的任一类	a)　应包含几何模型和行为模型		a)　应包含几何模型、物理模型、行为模型和规则模型； b)　应包含算法模型、优化模型和知识模型	
可复用性	a)　模型部分内容可基于人工配置的形式复用			a)　算法模型、优化模型和知识模型可基于人工配置的形式复用； b)　物理模型和行为模型可基于人工配置的形式复用； c)　行为模型可自主复用	a)　全部模型可自主复用

7.2.2　数据

数据能力子域包括数据获取和数据处理 2 个能力要素。相应等级的成熟度要求见表 2。

表 2　数据能力子域的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
数据获取	a)　应具备人工手动获取数据能力； b)　应具备获取目标实体静态参数的能力； c)　应具备从历史运行过程或经验中获取数据的能力	a)　应具备利用传感器自动获取数据能力； b)　应具备获取目标实体运行过程中动态数据的能力	a)　应具备获取数字实体运行过程中动态数据的能力； b)　应具备获取目标实体与数字实体交互过程中动态数据的能力	a)　应具备获取知识库中数据的能力	a)　应能具备获取目标实体全生命周期数据的能力； b)　应具备获取数字孪生系统外部数据的能力
数据处理	a)　应具备人工方式辨识目标实体参数能力； b)　应具备明确现有数据间显性关系的能力	a)　应具备实时整合不同来源、不同格式数据的能力； b)　应具备通过实时分析目标	a)　数据处理正确率与速度应满足对目标实体进行实时管控的需求； b)　应具备通过实时分析数字实	a)　应具备基于历史数据实时提取特征的能力； b)　应具备基于历史数据和当前数据实现数值实时预测的能力；	a)　应具备实时解析、归类、存储和利用各种类型和来源数据的能力

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
		实体运行数据，将其转化为数字实体所需输入参数或状态变量的能力	体运行数据，生成目标实体控制指令数据的能力	c） 应具备实时分析和拆解复杂管控方案的能力	

7.2.3 交互

交互能力子域包括连接能力和实时性2个能力要素。相应等级的成熟度要求见表3。

表 3 交互能力子域的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
连接能力	a） 应具备人工管控配置数字实体的能力； b） 应具备人工管控配置目标实体的能力	a） 应具备在目标实体与数字实体重要动态参数之间建立连接的能力	a） 应具备应对常规高并发和高吞吐情况的能力； b） 存在针对连接的动态检测、评估或预警机制； c） 应具有相对稳定的连接能力	a） 应具备自适应配置或容错机制； b） 应具备连接人和知识库的能力	a） 应具备对连接关系进行重构的能力； b） 应具备自动识别和新增连接关系的能力
实时性	a） 无要求	a） 平均交互时延应为分钟级	a） 平均交互时延应为秒级	a） 平均交互时延应为毫秒级	a） 平均交互时延应为毫秒级； b） 可根据实时性需求自适应调整交互时延

7.3 应用能力要求

7.3.1 可视化

可视化能力子域包括可视化内容和可视化方式2个能力要素。相应等级的成熟度要求见表4。

表 4 可视化能力子域的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
可视化内容	a） 应支持模型基础信息的呈现，包含但不限于数据标签、标识信息	a） 应支持对动态数据的实时呈现； b） 应支持对动态数据驱动的模型状态的实时呈现	a） 应支持对目标实体管控结果的实时呈现	a） 应支持对预测结果的实时呈现； b） 应支持对优化结果的呈现； c） 应支持对管控方案实施过程的呈现	a） 应支持对演化内容的呈现，包括但不限于物理实体的变化过程、数字实体的变化过程、交互关系的变化过程、推动演化进行的各种措施的执行过程和演化结果

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
可视化方式	a） 应支持2D或3D可视化展示； b） 应支持通过动态图表实现数据的连续呈现	a） 应支持将动态数据、模型信息和模型变化过程等进行联动显示； b） 应支持根据可视化需求调整呈现方式			

7.3.2 仿真

仿真能力子域包括仿真精度和仿真速度2个能力要素。相应等级的成熟度要求见表5。

表 5 仿真能力子域的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
仿真精度	a） 应满足对目标实体进行仿真分析的基本需求			a） 应满足实时决策对于预测内容精度的要求	a） 应保证唯一仿真结果与实际运行结果一致，或实际运行结果与多个仿真结果之一一致
仿真速度	a） 无要求			a） 应满足实时决策对于预测仿真速度的要求	a） 应大于目标实体实际演化的速度

7.3.3 预测

预测能力子域包括预测精度、预测时长和参数规模3个能力要素。相应等级的成熟度要求见表6。

表 6 预测能力子域的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
预测精度	a） 无要求			a） 应具备基于真实的动态数据进行较为精准的数值预测的能力； b） 应具备基于历史数据和模型进行较为精准的运行过程预测能力	a） 应具备基于历史数据、实时数据、现有知识、现有模型对目标实体的状态、性能、运行过程和变化趋势进行精准预测的能力
预测时长	a） 无要求			a） 应能基于动态数据进行秒级预测； b） 预测时长应不少于智能决策与管控过程所需的总时长	a） 应能基于动态数据进行分钟级预测； b） 预测时长应不少于目标实体与数字实体演化过程趋于平稳所需的

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
					总时长
参数规模	a） 无要求			a） 应包括大部分与管控需求相关的参数	a） 应包括数字孪生系统中全部已明确意义的参数

7.3.4 优化

优化能力子域包括优化内容和优化程度2个能力要素。相应等级的成熟度要求见表7。

表 7 优化能力子域的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
优化内容	a） 无要求			a） 应包括被管控实体在未来一段时间内的行为	a） 应包括数字孪生系统在未来一段时间内的行为； b） 应包括数字孪生系统在未来一段时间内的组成和结构； c） 应包括使数字孪生系统在未来一段时间内组成和结构按照预期变化所需的实际措施
优化程度	a） 无要求			a） 应优于被管控实体依据原方案运行的最终效果； b） 应不显著影响除被管控实体以外的其它实体的运行结果	a） 应优于数字孪生系统依据原方案运行的最终效果

7.3.5 控制

控制能力子域包括控制目标实体和控制数字实体2个能力要素。相应等级的成熟度要求见表8。

表 8 控制能力子域的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
控制目标实体	a） 可基于人工操作的形式控制和配置目标实体		a） 可基于对数字实体的虚拟控制和配置实现对目标实体的及时控制与配置； b） 控制精度应满足目标实体的应	a） 可将智能管控方案拆解为被控制目标实体可执行的简单控制指令	a） 应能对目标实体进行改造，包括但不限于目标实体的外观、内部结构、功能、与其数字实体的交互关系和与其它目标实体的关联

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
			用需求		关系
控制数字实体	a） 可基于人工操作的形式控制和配置数字实体	a） 可基于目标实体的运行数据实现对数字实体的一致性控制	a） 应具备在目标实体运行数据对数字实体进行一致性控制时，人工操作可无缝接管数字实体控制权的能力	a） 可将智能管控方案拆解为被控制数字实体可执行的简单控制指令	a） 应能对数字实体进行改造，包括但不限于数字实体的模型内容、模型结构、模型间关联关系和数据

7.4 扩展能力要求

7.4.1 功能更新

功能更新能力子域包括功能重构能力和功能迁移能力2个能力要素。相应等级的成熟度要求见表9。

表 9 功能更新能力子域的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
功能重构能力	a） 无要求		a） 应具备对目标实体管理和控制功能进行人工配置的能力	a） 应具备对可视化、仿真、预测、控制功能的人工重构能力	a） 应具备对可视化、仿真、预测、控制和优化功能的自动重构能力
功能迁移能力	a） 无要求				a） 应具备将数字孪生系统功能自动迁移至目标实体与数字实体演化过程所需场景，并实现相关功能自动部署的能力

7.4.2 系统集成

系统集成能力要素的成熟度要求见表10。

表 10　系统集成能力要素的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
系统集成	a)　应能够导入利用其它建模软件构建的模型，或可将其它软件建模功能作为插件集成在数字孪生系统中	a)　应能够集成传感器系统功能或与传感器系统实时交互； b)　应能够集成通信系统功能或与通信系统实时交互	a)　应能够集成目标实体控制系统功能或与目标实体控制系统实时交互	a)　应能够集成智能分析系统功能或与智能分析系统实时交互； b)　应能够集成决策系统功能或与决策系统实时交互	a)　应具备自主集成新接入的数字孪生系统的能力或与新接入的数字孪生系统实时交互的能力； b)　应能够集成机器学习系统功能或与机器学习系统实时交互

7.4.3　新技术融合

新技术融合能力要素的成熟度要求见表11。

表 11　新技术融合能力要素的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
新技术融合	a)　应具备与MR、VR等相关技术融合的能力基础或已有实际应用		a)　应具备与脑机接口、大数据、大模型、机器学习、预测分析算法、知识图谱等新技术融合能力，根据技术融合应用后系统能够实现的功能确定成熟度等级		

7.5　管理能力要求

管理能力域包括安全管理和资源管理2个能力要素。相应等级的成熟度要求见表12。

表 12　管理能力域的成熟度要求

能力要素	一级（虚拟建模）	二级（以虚映实）	三级（双向交互）	四级（智能管控）	五级（自主演化）
安全管理	a)　应具备与该等级功能相应的系统安全管理能力，包括物理和数字实体安全、数据安全、内容安全、行为安全等				
资源管理	a)　应具备与该等级功能相应的模型、数据、算法、系统、平台等资源管理能力，并根据管理需要配置相应的人力、设备、平台等资源				

参 考 文 献

[1] GB/T 39116-2020 智能制造能力成熟度模型