

团 体 标 准

T/CPUMT 036—2024

工业数字孪生 应用成熟度模型与评估方法

Industrial digital twin—Application maturity model and evaluation method

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..... IV

引言..... V

1 范围..... 6

2 规范性引用文件..... 6

3 术语和定义..... 6

4 模型框架..... 6

5 成熟度等级..... 7

5.1 等级划分..... 7

5.2 一级（规划级）..... 7

5.3 二级（模型级）..... 7

5.4 三级（集成级）..... 8

5.5 四级（优化级）..... 8

5.6 五级（引领级）..... 8

6 能力域..... 8

7 成熟度要求..... 8

7.1 组织..... 8

7.2 模型..... 9

7.3 资源..... 10

7.4 应用..... 10

8 评估方法..... 11

8.1 评估流程..... 11

8.2 评估准备..... 11

8.3 现场预评估..... 12

8.4 正式评估..... 12

8.5 发布评估报告..... 13

9 成熟度等级判定..... 13

9.1 评分方法..... 13

9.2 评估域权重..... 14

9.3 计算方法..... 14

9.4 成熟度等级判定方法..... 15

参考文献..... 16

图1 工业数字孪生应用成熟度模型框架..... 7

图2 工业数字孪生应用成熟度等级..... 7

图3 工业数字孪生应用成熟度评估流程..... 11

表 1	工业数字孪生应用成熟度模型能力域	8
表 2	组织成熟度要求.....	8
表 3	模型成熟度要求.....	9
表 4	资源的成熟度要求.....	10
表 5	应用的成熟度要求.....	11
表 6	工业数字孪生应用成熟度等级条件满足程度与对应得分	13
表 7	工业数字孪生应用成熟度评估域推荐权重.....	14
表 8	评分结果与工业数字孪生应用成熟度等级对应关系	15

CPUMT

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 036《工业数字孪生 应用成熟度模型与评估方法》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 035《工业数字孪生 应用和服务要求》、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：成都飞机工业（集团）有限责任公司、三一重工股份有限公司、中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所、中国运载火箭技术研究院、合肥市太泽透平技术有限公司、苏州榧鑫电子科技有限公司、航天科工广信智能技术有限公司、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、蓝象标准（北京）科技有限公司、中质认证（北京）有限公司、宁夏企业合规促进会、嵩嘉标准化技术服务（北京）有限公司。

本文件主要起草人：牟文平、郗永军、王少华、贾丽、林海峰、于游、朱雷、徐宇、李凯、晁永庆、祁小苑、李龙岩、隋洪涛、王晓丹、杨海洋、顾丽娟、张德保、姜冰、隋妍、王致远、方海鸥、杨霜、徐成利、张红艳、段小莉、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。

本文件旨在提供工业数字孪生应用成熟度模型与评估方法，为准确评估企业等组织的工业数字孪生应用成熟度提供指导。

工业数字孪生 应用成熟度模型与评估方法

1 范围

本文件给出了工业数字孪生应用成熟度模型框架，规定了成熟度等级、能力域、成熟度要求、评估方法、成熟度等级判定等内容。

本文件适用于企业等组织的工业数字孪生应用的成熟度评估。

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 43439 信息技术服务 数字化转型 成熟度模型与评估

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

3 术语和定义

GB/T 43441.1、GB/T 43439、T/CPUMT 031界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

能力域 ability domain

用于表征工业数字孪生应用成熟程度所需具备的相应能力的集合。

3.2

评估域 assessment domain

用于开展工业数字孪生应用成熟度评估的能力域或能力子域集合，通过对能力域进行剪裁得到。

3.3

评估准则 assessment criteria

用于与评估证据进行比较的方针、程序或要求。

3.4

工业数字孪生应用成熟度 industrial digital twin application maturity

企业对工业数字孪生应用实施能力的成熟程度。

3.5

工业数字孪生应用成熟度模型 industrial digital twin application maturity model

用于评估企业对工业数字孪生应用实施能力成熟程度的模型。

4 模型框架

工业数字孪生应用成熟度模型框架见图1，模型框架由成熟度等级、能力域、能力子域和成熟度要求组成。其中，能力域包括组织、模型、资源、应用四个模块。

- a) 组织能力域包括战略规划、组织建设两个能力子域。
- b) 模型能力域包括几何模型、机理模型、数据模型三个能力子域。
- c) 资源能力域包括人才与知识储备、资金投入、应用支撑资源三个能力子域。
- d) 应用能力域包括应用广度、应用深度两个能力子域。

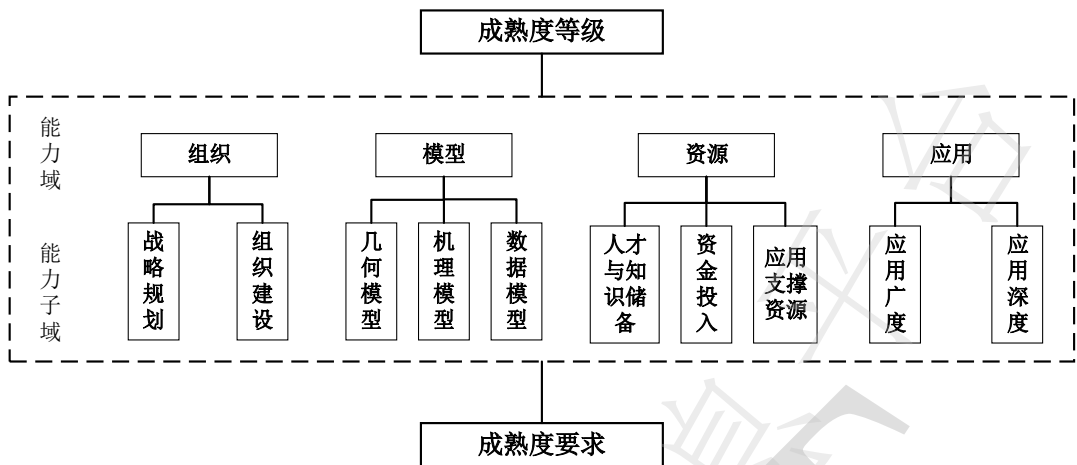


图1 工业数字孪生应用成熟度模型框架

5 成熟度等级

5.1 等级划分

工业数字孪生应用成熟度等级适用于根据组织现状和数字化发展目标明确工业数字孪生应用所要达成的成熟度等级目标,并根据目标等级的分级特征和要求制定详细的转型工作路径和各细项目标。成熟度等级分为五个等级,自低向高分别为一级(规划级)、二级(模型级)、三级(集成级)、四级(优化级)和五级(引领级),见图2。

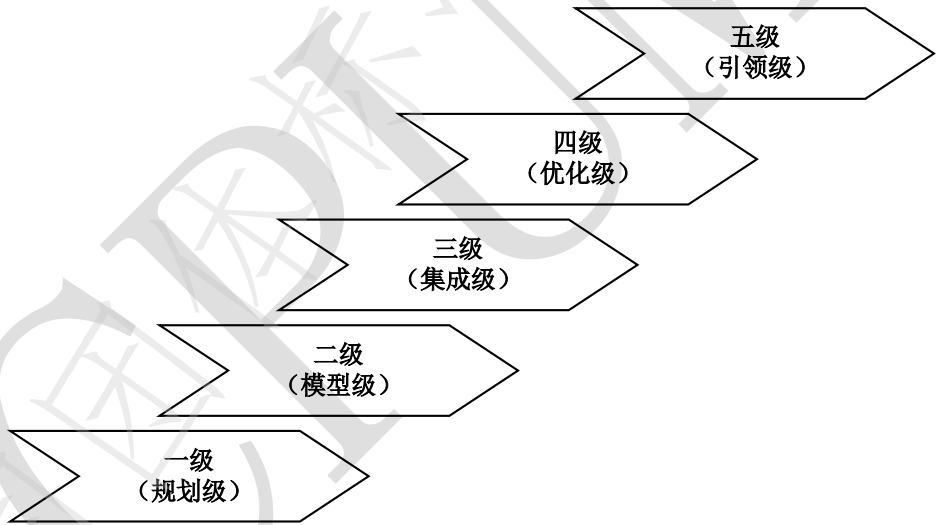


图2 工业数字孪生应用成熟度等级

5.2 一级(规划级)

组织应对实施工业数字孪生应用的基础和条件进行规划,在设计、生产、运维等业务领域基于内外部需求开展工业数字孪生应用探索。

5.3 二级(模型级)

组织应对工业数字孪生应用的组织、模型、数据和资源进行规划,完成局部业务的模型构建、数据收集与应用,初步具备基于模型的应用和优化能力。

5.4 三级（集成级）

组织应支持几何、数据、机理等多个模型的集成应用，并在关键业务场景形成了工业数字孪生应用，形成了清晰的工业数字孪生应用规范和流程。

5.5 四级（优化级）

组织应将模型和数据作为智能制造、数字化能力提升优化的核心要素，工业数字孪生应用覆盖主线业务，并达到一定的深度和广度。

5.6 五级（引领级）

组织应基于模型和数据持续推动业务活动的优化和创新，在组织内部取得较好的应用成效，并向供应链上下游企业推广应用能力。

6 能力域

工业数字孪生应用成熟度模型能力域见表1。

表1 工业数字孪生应用成熟度模型能力域

能力域	能力子域
组织	战略规划
	组织建设
模型	几何模型
	机理模型
	数据模型
资源	人才和知识储备
	资金投入
	应用支撑资源
应用	应用广度
	应用深度

7 成熟度要求

7.1 组织

组织能力域包括战略规划、组织建设2个能力子域。组织成熟度要求见表2。

表2 组织成熟度要求

能力子域	成熟度等级要求				
	一级	二级	三级	四级	五级
战略规划	1. 应明确工业数字孪生应用的重点和方向 2. 组织管理者应具备工业数字孪生应用意识	1. 应制定域组织发展相契合的工业数字孪生应用战略框架 2. 信息化建设主要负责人应具备模型分析、数据分析等能力	1. 应落实完善工业数字孪生应用战略，包括目标、愿景、策略、技术路线等文件 2. 应统筹工业数字孪生团队，开展评估、指导、监督组织的工业数字孪生应用活动	1. 应基于工业数字孪生战略形成具体的技术路线和计划，并通过信息化工具对计划进行监控 2. 应从效率提升、管理创新、技术进步等方面评估工业数字孪生各方面成效	1. 应具备顶层战略规划能力，具备对外输出的规划策略 2. 具备通过工业数字孪生应用推动智能制造的能力 3. 应基于信息化、数字化建设历史经验和历史数据，预测、模拟工业数字孪生应用的预期成效，明确工业数字孪生应用需求

表2 组织成熟度要求（续）

能力子域	成熟度等级要求				
	一级	二级	三级	四级	五级
组织建设	1. 应积极培育信息化相关人员数字孪生应用能力 2. 应能识别工业数字孪生应用所需的人才	1. 应在组织层面设立有工业数字孪生相关专业和岗位 2. 应积极开展工业数字孪生相关技术培训 3. 应配备满足工业数字孪生应用需求的相关技术人员	1. 应在主要专业领域配备至少一名工业数字孪生相关职责岗位，并将相关职责纳入岗位绩效考核 2. 应建立满足工业数字孪生专业持续发展的人员队伍、考核机制和培训体系 3. 应培育相关技术人员数字孪生建模、数据分析、模型分析能力，能识别数字孪生应用场景，掌握数字孪生应用方法、主要步骤和工具 4. 应逐步建立数字孪生专家库，指导数字孪生应用	1. 应在主要专业领域建立起能应用数字孪生解决实际问题的技术团队 2. 应能基于模型和数据分析和解决对象或系统的问题，并对对象或系统进行优化 3. 应形成了本组织数字孪生应用相关技术要求、规范；应能独立培育本组织的数字孪生专业人才及专家	1. 应结合数字孪生应用战略，建立相关岗位评价优化机制，持续优化岗位设置和岗位职责 2. 应具备工业数字孪生自主研发能力并能对外输出 3. 应持续推进工业数字孪生技术生态建设 4. 应建立专门的专家团队、管理团队、建模与应用团队，支撑工业数字孪生技术生态建设与发展

7.2 模型

模型能力域包括几何模型、机理模型、数据模型3个能力子域。模型成熟度要求见表3。

表3 模型成熟度要求

能力子域	成熟度等级要求				
	一级	二级	三级	四级	五级
几何模型	1. 应具备或规划采购满足工业数字孪生几何建模的软件工具 2. 应能识别工业数字孪生几何建模所需的人员、工具和能力	1. 应具备使用相关建模工具开展几何建模的人员和能力 2. 应能根据应用对象、应用场景和需求构建相应的几何模型	1. 应至少在设计、生产、运维等领域中的一个场景构建了相应的几何模型 2. 应实现了几何模型与机理模型或数据模型的集成与联动	1. 应具备满足工业数字孪生应用需求的几何建模、机理建模、数据建模专业人员、能力、工具 2. 应至少在设计、生产、运维等领域中的三个不同场景构建了相应的几何模型、机理模型、数据模型 3. 应实现几何模型与机理模型、数据模型的集成与联动	1. 应具备专业化工业数字孪生建模团队，能基于应用需求构建相应的工业数字孪生模型 2. 应具有统一的数字孪生模型管理工具或平台，能实现几何模型、机理模型、数据模型的统一管理 3. 应形成工业数字孪生建模的相关技术要求、标准规范，可指导工业数字孪生建模
机理模型	1. 应具备或规划采购满足工业数字孪生机理建模的软件工具 2. 应能识别工业数字孪生机理建模所需的人员、工具和能力	1. 应具备使用相关建模工具开展机理建模的人员和能力 2. 应能根据应用对象、应用场景和需求构建相应的机理模型	1. 应至少在设计、生产、运维等领域中的一个场景构建了相应的机理模型 2. 应实现了机理模型与几何模型或数据模型的集成与联动		

表3 模型成熟度要求（续）

能力子域	成熟度等级要求				
	一级	二级	三级	四级	五级
数据模型	1. 应具备或规划采购满足工业数字孪生数据建模的软件工具 2. 应能识别工业数字孪生数据建模所需的人员、工具和能力	1. 应实现企业运营相关信息管理系统结构化数据采集、存储和治理 2. 应具备使用相关建模工具开展数据建模的人员和能力 3. 应能根据应用对象、应用场景和需求构建相应的数据何模型	1. 应实现信息管理系统结构化数据、设备运行时序数据、现场视频监控等非结构化数据的采集、传输、存储和治理 2. 应至少在设计、生产、运维等领域中的一个场景构建了相应的数据模型 3. 应实现数据模型与机理模型或几何模型的集成与联动	1. 应具备满足工业数字孪生应用需求的几何建模、机理建模、数据建模专业人员、能力、工具 2. 应至少在设计、生产、运维等领域中的三个不同场景构建了相应的几何模型、机理模型、数据模型 3. 应实现几何模型与机理模型、数据模型的集成与联动	1. 应具备专业化工业数字孪生建模团队，能基于应用需求构建相应的工业数字孪生模型 2. 应具有统一的数字孪生模型管理工具或平台，能实现几何模型、机理模型、数据模型的统一管理 3. 应形成工业数字孪生建模的相关技术要求、标准规范，可指导工业数字孪生建模

7.3 资源

资源能力域包括人才与知识储备、资金投入、应用支撑资源3个能力子域。资源成熟度等级要求见表4。

表4 资源的成熟度要求

能力子域	成熟度等级要求				
	一级	二级	三级	四级	五级
人才与知识储备	应建立有工业数字孪生技术图谱，有工业数字孪生相关技术人才招聘规划和招聘要求	应具备在单点、局部实施工业数字孪生的人才和知识储备	应具备在设计、制造、运维中某一领域实施工业数字孪生的人才和知识储备	应具备工业数字孪生系统自主开发与运维的相关人才和知识储备	1. 应构建有工业数字孪生相关的模型库、算法库、构件库和知识库 2. 应具备在同行业实施工业数字孪生项目的人才、能力、工具和知识储备
资金投入	应安排专项资金计划支持工业数字孪生应用	应在局部业务中落实资金计划并设立工业数字孪生建设专项资金管理办法	应建立于行业特点、数字化水平等相匹配的工业数字孪生建设专项资金的投入预算与管控机制	应围绕工业数字孪生战略规划，保持计划性、持续性资金投入	应建立工业数字孪生研发与应用生态建设相关的资金预算
应用支撑资源	应具备局部工业数字孪生建设所需的基本应用支撑材料	应对工业数字孪生建设所需的应用支撑资源进行系统性规划	应具备实施工业数字孪生的信息化、数字化基础	应具备支撑快速构建工业数字孪生系统的企业级建模与应用平台	应建立应用支撑资源的供应链上下游生态协同，引领应用支撑资源平台和服务发展

7.4 应用

应用能力域包括应用广度、应用深度2个能力子域。应用成熟度等级要求见表5。

表5 应用的成熟度要求

能力子域	成熟度等级要求				
	一级	二级	三级	四级	五级
应用广度	应有较为明确的应用对象、应用场景和应用需求	应在单点、局部实现工业数字孪生应用	应在设计、制造、运维中某个领域至少三个不同场景实现了工业数字孪生应用	应在设计、制造、运维中某个领域主要场景和环节实现了工业数字孪生应用	应在组织内所有关键环节、重要场景实现了工业数字孪生应用
应用深度	应有较为明确的应用目标和应用功能、性能指标以及应用成效预期规划	1. 所开展的工业数字孪生应用应在几何维度的精细度、逼真度、流畅度等指标相较于传统信息系统得到较大改善 2. 模型精度达到园区等区域级，满足区域三维可视化需求 3. 实现结构化业务系统数据集成与可视化 4. 数据实时性达到小时级	1. 所开展的工业数字孪生应用应在数据维度的数据采集、数据传输、数据分析和数据应用等方面相较于传统信息系统得到较大改善 2. 模型精度达到车间等场景级，满足场景三维可视化需求 3. 实现工业时序数据集成与可视化 4. 数据实时性达到分钟级	1. 所开展的工业数字孪生应用应在机理维度的模型构建、仿真分析、参数优化和反馈控制等方面相较于传统信息系统得到较大改善 2. 模型精度达到设备等构件级，满足构件三维可视化需求 3. 实现视频、文件等非结构化数据集成与可视化 4. 数据实时性达到秒级	1. 所开展的工业数字孪生应用应在生产效率、产能、生产透明度、系统预测与控制、系统智能化程度等方面取得显著成效 2. 模型精度达到零件级，满足部件、零件三维可视化需求 3. 实现制造大数据集成、可视化与分析 4. 数据实时性达到毫秒级

8 评估方法

8.1 评估流程

工业数字孪生应用成熟度评估流程包括评估准备、现场预评估、正式评估、发布评估报告等环节，如图3所示。

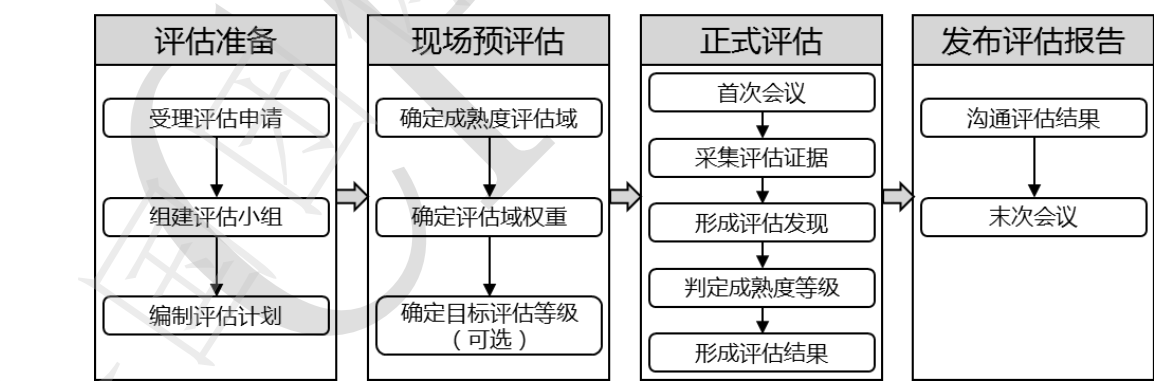


图3 工业数字孪生应用成熟度评估流程

8.2 评估准备

8.2.1 受理评估申请

在成熟度评估准备阶段，评估方宜对受评估方提交的材料进行评审，确认受评估方所从事的活动符合法律法规规定，并根据受评估方所申请的评估范围及其它影响评估活动的因素，综合确定是否受理受评估方评估申请。

首次评估等级为被评估方自行申请，但首次评级最高只能申请第三级（集成级）评估。非首次评估只能申请已到达应用成熟度级别的下一级等级评估。

8.2.2 组建评估小组

8.2.2.1 概述

宜组建有经验、经过培训、具备评估能力的评估小组实施成熟度现场评估活动。评估小组由一名组长和多名评估组员组成，评估小组人数宜为奇数。

8.2.2.2 评估组员职责

评估组员宜履行的主要职责如下：

- a) 掌握成熟度模型框架、成熟度等级、成熟度要求、评估方法和评估流程；
- b) 根据评估计划开展应用成熟度评估；
- c) 通过访谈、查看文件与记录、采集数据等方式获取评估证据；
- d) 确认评估证据的有效性和充分性，以支持评估发现和评估结果；
- e) 确保信息、数据、文件和记录等的保密性和安全性；
- f) 将评估发现形成文件，并编制评估报告。

8.2.2.3 评估组长职责

评估组长除了履行评估组员职责，还履行如下职责：

- a) 对评估组员进行成熟度模型框架、成熟度等级、成熟度要求、评估方法、评估流程等内容的培训；
- b) 编制成熟度评估计划；
- c) 负责成熟度评估活动的实施；
- d) 确定成熟度评估结果；
- e) 向受评估方报告评估发现，包括强项、弱项和改进项；
- f) 在评估总结会议时发布评估报告。

8.2.3 编制评估计划

成熟度评估分为现场预评估和正式评估两个阶段。评估前宜编制预评估计划和正式评估计划，并与受评估方确认。评估计划包括评估目的、评估范围、评估任务、评估时间、评估人员、评估安排等。

8.3 现场预评估

8.3.1 确定成熟度评估域

评估组围绕受评估方的需求，了解受评估方与工业数字孪生应用相关的基本情况，了解受评估方可提供的直接或间接证据。评估组在受评估方的协助下，确定是否需要成熟度能力域和能力子域进行裁剪，并确定评估所需的成熟度评估域。

8.3.2 确定评估域权重

评估组根据成熟度评估域，确定评估域的权重系数。评估域权重的确定方法参见第9章。

8.3.3 确定目标成熟度等级

评估组对受评估方从组织、模型、资源、应用等方面进行调研，根据调研所获得的信息，对照应用成熟度模型和成熟度要求，确定目标成熟度等级。

8.4 正式评估

8.4.1 首次会议

首次会议的目的包括：

- a) 确认相关方对评估计划的安排达成一致；
- b) 介绍评估人员；

- c) 确保策划评估活动的可执行。
- 会议内容包括但不限于说明评估目的、介绍评估方法、确认评估等级和范围以及评估日程等事项。

8.4.2 采集评估证据

在正式评估过程中,应通过适当的方法收集并验证与评估范围、成熟度要求有关的证据,包括与工业数字孪生相关的活动和过程信息。采集的证据应予以记录,采集方式包括但不限于人员访谈、观察、现场巡视、文件与记录评审、信息系统演示、数据采集等。

8.4.3 形成评估发现

评估组基于第7章成熟度要求,对比采集的证据与其满足程度形成评估发现。具体的评估发现宜包括具有证据支持的符合事项、改进方向以及弱项。评估组对评估发现达成一致意见,必要时进行组内评审,遵循“少数服从多数”的决策原则。

8.4.4 判定成熟度等级

评估组宜依据第7章成熟度要求表2~表5中的每一项打分结果,结合各评估域权重值,计算受评估方得分,并最终判定工业数字孪生应用成熟度等级。成熟度等级判定方法参见第9章。

8.4.5 成熟度级别判定

评估组根据评估发现及判定的成熟度等级,形成评估结果。评估结果宜包括当前成熟度等级、评估强项及评估弱项。评估组将评估结果与受评估方代表进行通报,给予受评估方再次论证的机会,并由评估组确定最终评估结果。

8.5 发布评估报告

8.5.1 沟通评估结果

在完成评估活动后,评估组应将评估结果与受评估方代表进行通报,并由评估组确认最终结果。

8.5.2 末次会议

- 末次会议的目的:
- a) 总结评估过程;
 - b) 发布评估发现和评估结论。

末次会议内容包括但不限于预评估内容、评估结果、评估弱项及改进方向等。

9 成熟度等级判定

9.1 评分方法

评估小组宜将采集的证据与待评估的成熟度等级条件进行对照,按照满足程度对评估域的每一条等级条件进行打分,成熟度等级条件满足程度与对应得分情况见表6。当成熟度等级条件满足程度为“大部分满足”时,根据采集的证据情况,得分取0.7~0.9区间的某一固定值;当成熟度等级条件满足程度为“部分满足”时,根据采集的证据情况,得分取0.4~0.6区间的某一固定值。

表6 工业数字孪生应用成熟度等级条件满足程度与对应得分

成熟度等级条件满足程度	特征	得分
完全满足	① 存在准确且全面的直接证据 ② 有其他间接证据和观察、访谈的验证支持 ③ 实施了标准的全部内容	1
大部分满足	① 存在准确的直接证据 ② 有其他间接证据和观察、访谈的验证支持 ③ 实施了标准的大部分内容	0.7~0.9

表6 工业数字孪生应用成熟度等级条件满足程度与对应得分（续）

成熟度等级条件满足程度	特征	得分
部分满足	① 缺少直接证据或证据不够充分 ② 实施了部分标准内容	0.4~0.6
不满足	① 没有直接或间接的证据表明实施了标准的内容 ② 无法提供观察、访谈的验证支持	0

9.2 评估域权重

工业数字孪生应用成熟度评估域的推荐权重如表7所示。在现场预评估阶段，评估小组可根据受评估方的实际情况对权重进行调整。

表7 工业数字孪生应用成熟度评估域推荐权重

能力要素	能力要素权重	能力子域	能力子域权重	评估域	评估域权重
组织	10%	战略规划	50%	战略规划	100%
		组织建设	50%	组织建设	100%
模型	30%	几何模型	20%	几何模型	100%
		机理模型	40%	机理模型	100%
		数据模型	40%	数据模型	100%
资源	20%	人才和知识储备	40%	人才和知识储备	100%
		资金投入	30%	资金投入	100%
		应用支撑资源	30%	应用支撑资源	100%
应用	40%	应用广度	50%	应用广度	100%
		应用深度	50%	应用深度	100%

9.3 计算方法

工业数字孪生应用成熟度等级的得分为该等级下能力要素的加权求和，成熟度等级的得分按式（1）计算：

$$X = \sum (A \times \alpha) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

X ——成熟度等级得分；

A ——能力要素得分；

α ——能力要素权重。

能力要素得分 A 为该要素下能力域的加权求和，能力要素得分按式（2）计算：

$$A = \sum (B \times \beta) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

A ——能力要素得分；

B ——能力子域得分；

β ——能力子域权重。

能力域的得分为该域下评估域的加权求和，能力域得分按式（3）计算：

$$B = \sum (C \times \gamma) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

B ——能力子域得分；

C ——评估域得分；

γ ——评估域权重。

评估域的得分为该评估域每项条件得分的算术平均值，评估域得分按式（4）计算：

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

C ——评估域得分；

D ——评估域条件得分；
 n ——评估域的条件个数；
 i ——第 i 项评估域条件。

9.4 成熟度等级判定方法

9.4.1 概述

当被评估对象在某一等级下的成熟度得分达到或超过评分区间的最低分，视为满足该等级条件；反之，则视为不满足。在计算总体分数时，已满足的等级的成熟度得分取值为1，不满足的等级的成熟度得分取值为该等级的实际得分。

9.4.2 评分结果与成熟度等级对应关系

工业数字孪生应用成熟度总体分数为各等级评分结果的累计求和，用 S 表示。评分结果与工业数字孪生应用成熟度等级对应关系如表8所示。根据表8给出的分数与成熟度等级的对应关系，结合实际得分 S ，即可直接判断航空制造企业当前所处的工业数字孪生应用成熟度等级。

表8 评分结果与工业数字孪生应用成熟度等级对应关系

成熟度等级	对应评分区间
五级（引领级）	$4.8 \leq S \leq 5.0$
四级（优化级）	$3.8 \leq S < 4.8$
三级（集成级）	$2.8 \leq S < 3.8$
二级（模型级）	$1.8 \leq S < 2.8$
一级（规划级）	$0.8 \leq S < 1.8$

参 考 文 献

- [1] GB/T 39116 智能制造能力成熟度模型
 - [2] GB/T 39117 智能制造能力成熟度评估方法
 - [3] DB5101/T 171 航空零部件制造企业制造运行管理软件应用成熟度模型
 - [4] DB5101/T 172 航空零部件制造企业制造运行管理软件应用成熟度评估指南
-