

团体标准

T/CMES XXXX—2026

数字试验验证 第2部分：成熟度模型

Digital Experiment and Validation - Part 2: Maturity Model
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 成熟度模型构成 2

5 成熟度等级 2

6 成熟度要求 3

 6.1 概述 3

 6.2 试验验证要素数字化覆盖度 3

 6.3 试验验证科目数字化覆盖度 3

 6.4 数实交互度 4

参考文献 5

图 1 数字试验验证成熟度评价体系 2

表 1 试验验证对象数字化覆盖度的各级成熟度要求 3

表 2 试验验证场景数字化覆盖度的各级成熟度要求 3

表 3 数字试验验证科目数字化覆盖度的各级成熟度要求 3

表 4 试验验证对象数实交互度的各级成熟度要求 4

表 5 试验验证场景数实交互度的各级成熟度要求 4

表 6 试验验证过程数实交互度的各级成熟度要求 4

表 7 试验验证过程数实交互度的各级成熟度要求 4

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。

本文件是 T/CMES XXXX《数字试验验证》的第2部分。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。中国机械工程学会不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工程学会提出。

本文件由中国机械工程学会工业大数据与智能系统分会/工作组归口管理。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

试验验证是用于明晰产品或系统属性、功能、特征的系统性方法，应用于产品或系统全生命周期各阶段，为推动新理论、新技术、新产业的加速涌现提供了强大动力。传统的试验验证方法多以纯物理形式开展，高度依赖物理空间中的真实对象、环境、设备和工具，虽然物理试验验证结果准确，但实施过程耗时长、成本高、且难以覆盖全工况场景。随着基础科学理论的创新突破、高精度物理设备的研发、测量与控制方法的不断进步，数字试验验证成为了试验验证发展必然趋势。标准化工作是助推数字试验验证技术创新发展、引领产业数字化转型升级的核心抓手。制定数字试验验证系列标准，旨在指导数字试验验证相关技术的实施与应用。

T/CMES 提供了数字试验验证实施的一系列基本要求，由六个部分构成：

——第 1 部分：参考架构，目的是明确数字试验验证实施所需的物理空间要素、数字空间要素和要素间的关联关系及交互机制；

——第 2 部分：成熟度模型，目的是明确数字试验验证的数字化程度等级，并确立不同数字化程度下数字试验验证的模式和量化计算方式；

——第 3 部分：通用流程，目的是明确数字试验验证的实施流程，并规范实施流程中需遵循的原则和相关规定；

——第 4 部分：数字模型构建，目的是规范数字试验场景模型、数字试验对象模型、数字试验任务模型构建过程中需遵循的原则和相关规定；

——第 5 部分：数实融合实施，目的是规范数字试验验证实施过程中数实融合实施需遵循的原则和相关规定；

——第 6 部分：结果评价，目的是规范数字试验验证实施过程中试验验证结果评价的方法与基本要求。

本文件规定了数字试验验证的成熟度模型构成、成熟度等级和成熟度要求。通过本文件的制定，明确了数字试验验证的成熟度等级要求，为数字试验验证的实施提供参考。

。

数字试验验证 第2部分：成熟度模型

1 范围

本文件规定了数字试验验证的成熟度模型构成、成熟度等级和成熟度要求。
本文件适用于数字试验验证的设计和实施。

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。

T/CMES XXXX—2025 数字试验验证 第1部分 参考架构

3 术语和定义

T/CMES XXXX—2025 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

数字试验验证 digital experiment and validation

数字试验验证的主体，通常是一个完整产品、系统、方案，或者具有产品或系统的全部或部分属性、功能和性能特征的组成部分。

[来源：T/CMES XXXX—2025，3.1]

3.2

试验验证对象 object for experiment and validation

数字试验验证的主体，通常是一个完整产品、系统、方案，或者具有产品或系统的全部或部分属性、功能和性能特征的组成部分。

[来源：T/CMES XXXX—2025，3.2]

3.3

试验验证场景 scenario for experiment and validation

试验验证对象进行试验验证的真实或数字环境。

[来源：T/CMES XXXX—2025，3.3]

3.4

试验验证任务 task for experiment and validation

实施试验验证的总体目标。
[来源：T/CMES XXXX—2025，3.4]

4 成熟度模型构成

数字试验验证成熟度模型是由成熟度评价体系、成熟度等级和成熟度要求构成。成熟度评价体系由试验验证要素数字化覆盖度、试验验证科目数字化覆盖度和数实交互度组成，见图 1。
数字试验验证成熟度包括 5 个等级，见第 5 条。
每个成熟度等级应符合的成熟度要求，见第 6 条。

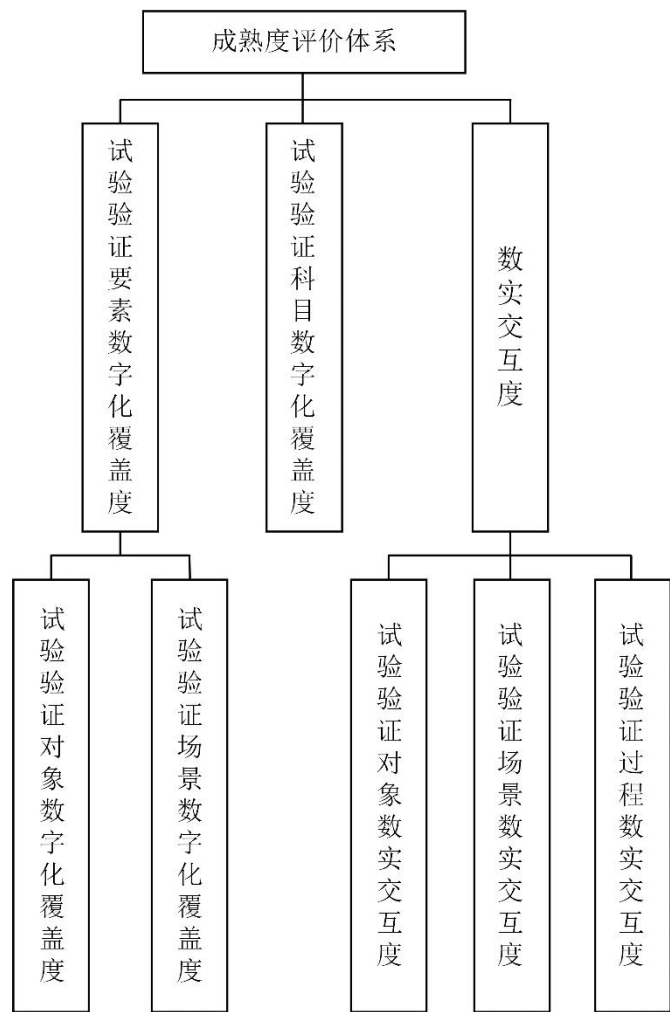


图 1 数字试验验证成熟度评价体系

5 成熟度等级

数字试验验证成熟度等级分为五个等级，自低向高分别为：一级（以数辅实）、二级（以数补实）、三级（数实融合）、四级（以数领实）、五级（以数替实）。各层级呈递进关系，较高层级涵盖了较低层级的各项要求。
数字试验验证五个成熟度等级基本含义如下：

- 一级（以数辅实），试验验证过程以物理手段为主、数字手段为辅；
- 二级（以数补实），试验验证过程以物理手段为主，数字手段为实物试验验证过程和结果提供补充；
- 三级（数实融合），试验验证过程由物理手段和数字手段通过实时交互共同完成；
- 四级（以数领实），试验验证过程以数字手段为主导，通过数字化形式完成大部分试验验证内容并引领必要的实物试验验证精准高效执行；
- 五级（以数替实），全部试验验证过程为纯数字手段，通过数字手段替代物理手段的理想数字试验验证模式。

6 成熟度要求

6.1 概述

按图 1 的数字试验验证成熟度评价体系各项内容逐条描述各个成熟度等级对应的要求。

6.2 试验验证要素数字化覆盖度

6.2.1 试验验证对象数字化覆盖度

试验验证对象数字化覆盖度的各级成熟度要求见表 1。模型置信度程度由试验验证科目具体界定。

表 1 试验验证对象数字化覆盖度的各级成熟度要求

等级	一级（以数辅实）	二级（以数补实）	三级（数实融合）	四级（以数领实）	五级（以数替实）
要求	试验验证对象为物理实体形式或低置信度模型	试验验证对象由物理实体和高置信度数字模型共同组成		试验验证对象以高置信度数字模型为主，局部可为物理实体	试验验证对象为高置信度数字模型形式

6.2.2 试验验证场景数字化覆盖度

试验验证场景数字化覆盖度的各级成熟度要求见表 2。

表 2 试验验证场景数字化覆盖度的各级成熟度要求

等级	一级（以数辅实）	二级（以数补实）	三级（数实融合）	四级（以数领实）	五级（以数替实）
要求	试验验证场景为物理实体形式或低置信度模型	试验验证场景由物理实体和高置信度数字模型共同组成		试验验证场景以高置信度数字模型为主，局部可为物理实体	试验验证场景为高置信度数字模型形式

6.3 试验验证科目数字化覆盖度

数字试验验证科目数字化覆盖度的各级成熟度要求见表 3。

表 3 数字试验验证科目数字化覆盖度的各级成熟度要求

等级	一级（以数辅实）	二级（以数补实）	三级（数实融合）	四级（以数领实）	五级（以数替实）
----	----------	----------	----------	----------	----------

要求	物理手段为主，数字手段仅用于辅助试验验证科目	物理手段为主，数字手段用于补充试验验证科目的数据	试验验证科目以物理手段和数字手段融合实施	数字手段为主，部分试验验证科目以物理手段实施	全部试验验证科目以数字手段实施
----	------------------------	--------------------------	----------------------	------------------------	-----------------

6.4 数实交互度

6.4.1 试验验证对象数实交互度

试验验证对象数实交互度的各级成熟度要求见表4。

表4 试验验证对象数实交互度的各级成熟度要求

等级	一级（以数辅实）	二级（以数补实）	三级（数实融合）	四级（以数领实）	五级（以数替实）
要求	试验验证对象的实体部分具备向数字模型部分单向传递数据的能力	试验验证对象的实体部分与孪生模型部分具备双向交互能力			无物理实体，本条无要求

6.4.2 试验验证场景数实交互度

试验验证场景数实交互度的各级成熟度要求见表5。

表5 试验验证场景数实交互度的各级成熟度要求

等级	一级（以数辅实）	二级（以数补实）	三级（数实融合）	四级（以数领实）	五级（以数替实）
要求	无要求	试验验证场景的实体部分与孪生模型部分具备双向交互能力			无物理实体，本条无要求

6.4.3 试验验证过程数实交互度

试验验证过程数实交互度的各级成熟度要求见表7。

表6 试验验证过程数实交互度的各级成熟度要求

等级	一级（以数辅实）	二级（以数补实）	三级（数实融合）	四级（以数领实）	五级（以数替实）
要求	无要求	数字空间实施的试验验证过程与物理空间实施的试验验证过程具备双向交互能力			无物理实体，本条无要求

6.4.4 试验验证结果数实交互度

试验验证过程数实交互度的各级成熟度要求见表8。

表7 试验验证过程数实交互度的各级成熟度要求

等级	一级（以数辅实）	二级（以数补实）	三级（数实融合）	四级（以数领实）	五级（以数替实）
要求	无要求	通过数字手段得到的试验验证结果与通过数字物理手段得到的试验验证过程具备双向交互能力			无物理实体，本条无要求

参 考 文 献

- [1] 陶飞,高鹏飞,张辰源,等.数字试验测试验证:理论、关键技术及应用探索[J].机械工程学
报,2024,60(15):227-254.
- [2] 陶飞,张贺,刘蔚然,等.空天装备数字试验验证理论与关键技术[J].航空学报
-