

ICS 35.240
CCS L 65



团 体 标 准

T/AIITRE 21004-2022

制造业数字化仿真 建模过程规范

Digital simulation in manufacturing industry—Modeling process
specification

2022-04-18 发布

2022-04-18 实施

中关村信息技术和实体经济融合发展联盟 发布

目 次

前 言.....	II
引 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总则.....	2
5 建模需求分析.....	2
5.1 概述.....	2
5.2 明确问题.....	2
5.3 需求定义.....	3
5.4 资源筹划.....	3
6 模型构建.....	3
6.1 概述.....	3
6.2 概念模型构建.....	3
6.3 模型架构设计.....	3
6.4 数学模型构建.....	4
6.5 仿真模型实现.....	4
6.6 模型集成.....	4
7 模型评估.....	4
7.1 模型验证、校核和确认（VV&A）.....	4
7.2 风险分析.....	5
8 模型改进.....	5
8.1 概述.....	5
8.2 人主导的离线模型改进.....	5
8.3 模型自适应的在线模型改进.....	5
参 考 文 献.....	6

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》的规则起草。

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。

本文件由中关村信息技术和实体经济融合发展联盟提出并归口。

本文件起草单位：北京航空航天大学、国家工业信息安全发展研究中心、北京临近空间飞行器系统工程研究所、上海汇众汽车制造有限公司、中国航天科工集团二院北京仿真中心、安世亚太科技股份有限公司、北京华如科技股份有限公司、重庆川仪调节阀有限公司、中船工业系统工程研究院、中信戴卡股份有限公司、。

本文件主要起草人：张霖、李君、文莎、王昆玉、铁鸣、盛云、施国强、田锋、黄志新、唐毅强、蒋永兵、陈敏杰、罗永亮、何武、郝娇山、彭真。

引 言

数字化仿真是借助于计算机，围绕数字化模型所开展的一系列活动。数字化仿真的本质目的是帮助企业正确决策、解决问题。因此，模型在数字化仿真过程中具有十分重要的作用。构建满足需求的可信模型是获得可信仿真结果的基本保障。本标准旨在归纳总结制造行业建模过程的共性特征，形成一套通用的建模过程管理规范，为企业数字化仿真提供可供参考的标准的建模过程开发流程、文档说明和操作规范，从建模过程各个阶段的精细化管理入手，确保模型的可信程度，保障数字化仿真顺利开展。制造业数字化仿真系列标准拟组成如下：

- 制造业数字化仿真 分类。目的在于对制造业正在使用和最新涌现的数字化仿真进行分类、梳理和描述，引导制造企业系统认识从而深入开展数字化仿真实践。
- 制造业数字化仿真 分级。目的在于确定制造业数字化仿真等级划分要素，确立制造业数字化仿真分级模型，规定各等级的具体要求，引导制造企业逐级提高数字化仿真应用水平与能力。
- 制造业数字化仿真 通用管理要求。目的在于给出制造业数字化仿真的通用管理要求，为制造企业科学开展数字化仿真全过程有效管控提供依据。
- 制造业数字化仿真 建模过程规范。目的在于对制造业数字化仿真中建模的各个阶段活动给出统一规范，为制造企业科学规范地开展满足业务需求的仿真建模活动提供依据与指引。
- 制造业数字化仿真 仿真环境要求。目的在于对制造业数字化仿真环境的构建与应用提出要求，引导制造企业根据差异化的仿真需求构建适宜的仿真环境。

制造业数字化仿真 建模过程规范

1 范围

本文件规定了制造业数字化仿真建模过程中包含的建模需求分析、模型构建、模型评估、模型改进四个基本阶段以及每个阶段所需遵守的行为规范。

本文件适用于制造企业、研究机构、高校及第三方咨询服务机构，可为制造企业、研究机构、高效提供管理建模过程的规范性指导，为第三方咨询、评级机构开展关于仿真建模的咨询服务提供依据。

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/AIITRE 21001-2022 制造业数字化仿真 分类

T/AIITRE 21002-2022 制造业数字化仿真 分级

T/AIITRE 21003-2022 制造业数字化仿真 通用管理要求

T/AIITRE 21005-2022 制造业数字化仿真 仿真环境要求

3 术语和定义

T/AIITRE 21001-2022、T/AIITRE 21002-2022、T/AIITRE 21003-2022 和 T/AIITRE 21005-2022 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

概念模型 conceptual model

通过对现实制造活动进行模拟和定义，辅助制造企业认识和理解制造对象的模式和型别。

3.2

数学模型 mathematical model

运用数学思想和数学语言对研究对象的一种描述，通常由关系与变量及对应的约束条件组成。

3.3

仿真模型 simulation model

针对制造活动的仿真需求，在特定的开发环境下，通过编程语言工具生成的，可以供计算机直接进行运算的可执行模型。

3.4

模型校核、验证和确认 (VV&A) model verification, validation and accreditation

为提高仿真系统的可信度而开展的一系列活动。

注：校核是确定模型是否准确反映开发者的概念描述和技术规范的过程；验证是从预期应用角度确定模型再现真实世界的准确程度；确认是对模型相对于预期应用来说是否可接受的认可。

3.5

人主导的离线模型改进 human oriented offline model improvement

以相对静态的实际物理对象为模型参照，针对模型存在的不足，重新校正设计方案或者具体参数，使得模型更能满足用户的需求。

3.6

模型自适应的在线模型改进 model adaptive online model improvement

以动态变化的实际物理对象为模型参照，模型通过自我演化，自适应地调整自身结构及参数，与实际物理对象保持一致，如数字孪生体模型的在线自演化过程。

4 总则

从精细化管理入手，以确保模型的可信度为目标，制造业数字化仿真建模过程包含建模需求分析、模型构建、模型评估、模型改进四个阶段，见图1。特定的建模过程不必包含所有的阶段，对于简单的建模活动，其中的某些环节可以略过。

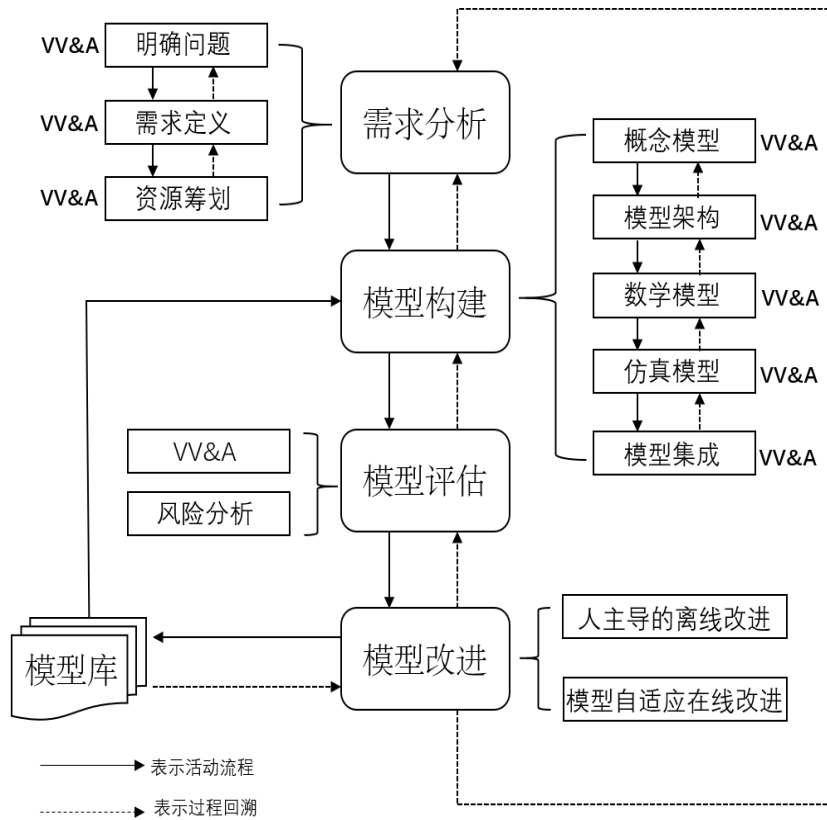


图1 建模过程示意图

5 建模需求分析

5.1 概述

在需求分析阶段，应以用户的需求作为输入，以规范的需求文档、建模策划方案为输出，需求分析分为明确问题、需求定义与资源筹划三个步骤。

5.2 明确问题

应在建立模型前对问题进行准确的描述，在确定问题阶段遵循以下规则：

- a) 明确问题的边界，确定问题所属的领域范围；
- b) 收集问题边界内的数据和相关信息；
- c) 确定模型使用者和决策者对模型的使用目的和目标；

- d) 明确建模过程中需要遵循的实际约束（内部约束和外部环境约束等）；
- e) 合理、清晰地确定建模所需要的各种假设。

5.3 需求定义

企业应基于准确的问题描述，形成准确、清晰、完整、一致的需求文件，包括但不限于如下要求：

- a) 基于明确的问题以及问题边界，进行需求阐述和分析，进一步识别建模的用途和目标；
- b) 评估各项需求的可行性；
- c) 明确模型的意向用途、简单用例以及非功能性需求；
- d) 确定模型的功能性需求（包含各类技术指标）；
- e) 记录正式、全面的需求，形成权威的需求文件；
- f) 组织专家对需求文件准确性进行评估。

5.4 资源筹划

企业应依据形成的需求文件，在建模任务前期对资金、人、组织、工具等各类资源进行统一筹备，具体包括但不限于如下要求：

- a) 成立建模任务工作组，并对组织架构、人员安排做出统一规划；
- b) 准备建模所需要的各类硬件、软件工具；
- c) 对建模任务进行资金预算、筹备。

6 模型构建

6.1 概述

模型构建应以需求文档为输入，经过创建概念模型、模型架构设计、数学模型构建、仿真模型实现以及模型集成等操作后，输出完整的模型。

6.2 概念模型构建

企业应明确概念模型层级结构，支持多团队协作开发模型，包括但不限于：

- a) 遵循易于理解、高效表达的原则，进行概念模型创建和维护；
- b) 概念模型的创建支持问题边界内的各类模型设计；
- c) 概念模型支持整个模型项目开发团队的人员进行高效的交流和沟通；
- d) 概念模型详细记录关于模型各类假设和抽象办法；
- e) 概念模型对子模型的拆分应遵循子模型间最大程度交互能力、最小程度依赖的基本原则；
- f) 概念模型支持模型配置和重用；
- g) 概念模型进行可信评估。

6.3 模型架构设计

应自顶而下进行任务划分，将复杂模型拆解为容易实现各类子模型，包含功能模型建模和逻辑模型建模两个过程，模型架构设计应遵循以下原则：

- a) 功能模型构建：依据概念模型，按照建模对象的结构组成、学科或领域的组成、功能等进行模型拆解，并对分解后的每个子模型确定输入、输出、边界条件，确定各子模型之间的互操作关系及接口标准；
- b) 逻辑模型构建：在功能模型建模的基础上，参照建模仿真对象运行逻辑、时序等，设计各子模型的仿真求解逻辑、时序和数据流等；
- c) 模型架构进行可信评估。

6.4 数学模型构建

企业应基于模型架构设计文件，对拆解、划分后的每一个子模型进行数学建模，形成数学模型（包括三维几何模型、多物理场模型、机理模型、人工智能模型等各类数学模型），进一步实现对子模型的具体设计，具体要求包括但不限于：

- a) 详细记录每一个数学模型的假设条件及简化方法；
- b) 详细记录模型的输入、输出，所需的衡量单位、矢量坐标框架等；
- c) 详细记录模型的基本结构、初始条件、边界条件、求解方法、适用范围等；
- d) 详细记录模型所使用的数据集以及其他实际参考信息；
- e) 详细说明模型的使用指南；
- f) 详细记录全部参数校准以及校准范围；
- g) 详细记录模型开发过程中的更新信息；
- h) 保持与概念模型及模型架构的一致性；
- i) 数学模型支持重用；
- j) 数学模型进行可信评估；
- k) 对于装配、加工等的仿真，还对外形、特征部位、内部结构等进行几何建模。

6.5 仿真模型实现

企业应选择合适的仿真开发环境，利用合适的编程语言，借助于求解算法和流程，将数学模型转换为计算机直接执行的仿真模型，具体要求包括但不限于：

- a) 详细记录仿真模型所使用的数据集以及所依赖的软件环境信息；
- b) 详细记录仿真模型各个部分的功能、初始条件、使用方法、适用范围等；
- c) 详细记录仿真模型的操作指南；
- d) 详细记录仿真模型的更新信息；
- e) 仿真模型该支持方便地参数配置、代码重构等功能；
- f) 详细记录仿真模型构建过程中可能产生的不确定性；
- g) 保持与概念模型、模型架构及数学模型的一致性；
- h) 仿真模型支持重用；
- i) 仿真模型进行可信评估；
- j) 对于各类难以获得解析解的物理场，仿真建模需进行时间、空间、速度空间等尺度的离散化，利用数值模拟求解算法和流程进行模型实现。

6.6 模型集成

企业应依据模型间互操作接口规范、关联关系、时序逻辑等，对由各类工具构建或生成的仿真模型进行统一集成，使之协同运行，包括但不限于：

- a) 遵循模型架构设计文档开展模型集成；
- b) 确定、说明模型之间的接口规范；
- c) 在模型集成之后进行总体、全面的可信评估。

7 模型评估

7.1 模型验证、校核和确认（VV&A）

企业应从建模过程（事前）和建模之后（事后）两个方面确保模型是可信的，包括但不限于：

- a) 从建模过程的标准化、规范化管理、模型开发能力成熟度评估入手，对整个建模过程各个阶段进行全面的可信评估，保障开发的模型可信；

- b) 针对模型的各项输出，进行模型验证、校核和确认，开展模型事后评估，分析其与真实系统各项输出的相似程度。

7.2 风险分析

企业应进行全面的模型开发风险管理，记录模型开发各个阶段所引入的不确定性，评估不确定性因素对模型可信度、项目进度以及项目成本的影响，进而对各类风险进行管控，保障建模过程顺利开展，具体包括但不限于：

- a) 依据模型架构、模型拆解以及任务划分等，设定每个子模型的风险阈值，确保集成后的模型失效概率在容许的范围内；
- b) 识别建模过程中存在的各类风险，分析导致风险发生的根本原因，给出风险发生的概率描述；
- c) 分析各类风险发生将导致的结果，包括对模型性能的影响、对建模任务进度的影响以及对建模任务成本的影响等；
- d) 依据各类风险发生的概率以及其造成的后果，对各类风险进行量化评级，进而对各类风险进行有序地、针对性地管控。

8 模型改进

8.1 概述

企业应适时对模型进行改进升级，确保模型持续可信，按照模型自身的特点，模型改进可以分为人主导的离线模型改进和模型自适应的在线模型改进两大类。

8.2 人主导的离线模型改进

开展以人为主导的、相对于实际物理对象离线进行的模型改进，应满足以下要求：

- a) 对当前模型存在的不足进行详细说明，并回溯定位，分析其可能的原因；
- b) 设计一套模型改进方案，形成模型改进说明文档；
- c) 做好模型库维护，对模型库中各类模型按照检索索引分类存放，保障模型开发过程中改进和演化；
- d) 模型库中应包含对模型关键信息的描述，包含使用场景、模型参数、模型版本等，支持模型依据上下文关系进行适配，以便于模型的重用；
- e) 详细记录对模型库中模型进行修改的信息，包括修改时间、修改人员、修改内容等，支持问题回溯定位。

8.3 模型自适应的在线模型改进

在线进行模型自我演化，应满足以下要求：

- a) 设定并记录好传感器采集数据的频率以及与在线模型的交互协议；
- b) 设计详细完善的数据预处理方法，如数据滤波、数据清洗、数据对齐、数据加密等，保障交互数据可信；
- c) 设计模型自演化的驱动机制，如周期性时间驱动、离散事件驱动等及相关算法，并形成技术文档；
- d) 定期对在线模型的自适应改进过程进行可信评估，确保模型改进过程科学、合理以及可信。

参 考 文 献

- [1] GB/T 23000 信息化和工业化融合管理体系 基础和术语
 - [2] GB/T 23002 信息化和工业化融合管理体系 实施指南
 - [3] T/AIITRE 10001-2020 数字化转型 参考架构
 - [4] T/AIITRE 10002-2020 数字化转型 价值效益参考模型
 - [5] T/AIITRE 20001-2020 数字化转型 新型能力体系建设指南
 - [6] ITU-T Y.4906 Assessment framework for digital transformation of sectors in smart cities
 - [7] ITU-T Y Suppl.52 Methodology for building digital capabilities during enterprises' digital transformation
 - [8] 周剑, 陈杰, 金菊, 邱君降, 张迪, 赵剑男. 数字化转型 架构与方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2020.9
 - [9] 建模与仿真技术词典, 中国仿真学会. 2018年
-