

团 体 标 准

T/GITIF XXX—2021

基于信息物理系统（CPS）的产线设备 数字孪生模型数据规范标准

Digital twin model standard of production line equipment
based on Information physical system (CPS)

（征求意见稿）

2021-XX-XX 发布

2021-XX-XX 实施

广东省电子信息联合会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 数字孪生 Digital Twin	1
3.2 数据平台	1
3.3 物料清单 BOM	1
3.4 赛博空间 Cyberspace	1
3.5 实时状态认知精度	1
3.6 CPS-PHM	1
3.7 数字孪生展现平台	2
3.8 数字孪生模型数据管理平台	2
3.9 设备型号	2
3.10 设备逐号	2
4 数字孪生目标	2
4.1 概况	2
4.2 目标	3
5 设备数字孪生模型组成	3
5.1 概况	3
5.2 模型类型定义	3
5.2.1 设备级数字孪生模型	3
5.2.2 产线级数字孪生空间	3
5.3 数字孪生模型组成	4
5.3.1 设备设计资料	4
5.3.2 静态三维模型	4
5.3.3 部件组成结构	5
5.3.4 虚实交互数据采集接口	5
5.3.5 仿真运行服务	5
6 数字孪生模型数据管理平台	5
6.1 概况	5
6.2 数据结构设计原则	6
6.3 模型数据结构	6
6.4 管理平台主要功能	8
6.4.1 数据存储	8
6.4.2 入库管理	8
6.4.3 版本管理	8
6.4.4 数据应用	9

7 设备数字孪生集成.....	9
7.1 概述.....	9
7.2 集成应用结构.....	9
7.3 CPS-PHM 设备集成标准.....	9
7.3.1 CPS-PHM 设备数据层集成标准.....	9
7.3.2 CPS-PHM 设备表示层集成标准.....	9
7.4 数字孪生展现平台接口协议.....	10
7.5 数字孪生展现平台验证标准.....	11

前 言

本标准按照 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。

本标准由工业和信息化部电子第五研究所提出。

本标准由广东省电子信息联合会归口。

本标准起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、广州赛宝腾睿信息科技有限公司、广东省电子信息联合会、中航通飞华南飞机工业有限公司等。

本标准主要起草人：朱亮标、蒋海苏、梁斌、麦海荣、李庆萌、沈明明、毛建平、黄领才、耿雷铭、陈峻瑜、杨富钦。

引 言

数字孪生模型是信息物理系统必不可少的组成部分。通过构筑信息空间与物理空间数据交互的闭环通道，能够实现信息虚体与物理实体之间的交互联动，以物理实体建模产生的静态模型为基础，通过实时数据采集、数据集成和监控，动态跟踪物理实体的工作状态和工作进度（如采集测试结果、追溯信息等），将物理空间中的物理实体在信息空间进行全要素重建，形成具有感知、分析、决策、执行能力的数字孪生构建了信息空间。

由于数字孪生模型及其技术具有多源性、多样性和复杂性的特点，导致模型组成和展示形式无法统计，难以推广到其他企业中，数字孪生技术、知识、经验和成果难以固化和复用，模型的价值得不到充分的挖掘。为此，开展《基于信息物理系统（CPS）的产线数字孪生模型数据规范》标准的研究和制定，实现“信息物理系统应用项目”的数据孪生模型模块化、标准化，并为推广应用到行业其他单位提供数据支撑。

基于信息物理系统（CPS）的产线设备数字孪生模型标准

1. 范围

本标准规定了 CPS-PHM 平台产线设备数字孪生模型的设计标准。

本标准适用于工业和信息化部电子第五研究所开展 CPS-PHM 领域业务研究过程中对装设备数字孪生模型研究的技术指导，孪生模型成果库的入库标准以及标准规范。

2. 引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GBT 16656.1-2008 工业自动化系统与集成 产品数据表达与交换

3. 术语和定义

确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1. 数字孪生 Digital Twin

数字孪生作为实现虚实之间双向映射、动态交互、实时连接的关键途径，可将物理实体和系统的属性、结构、状态、性能、功能和行为映射到虚拟世界，形成高保真的动态多维/多尺度、多物理量模型，为观察物理世界、认知物理世界、理解物理世界、控制物理世界、改造物理世界提供了一种有效手段。

3.2. 数据平台

数字平台是综保中心为基于产线 CPS-PHM 系统开发的数据服务管理平台，提供基础数据、设备数据、模型数据、运行数据等集中维护管理服务。

3.3. 物料清单 BOM

物料清单（Bill Of Materials，简称 BOM）是描述产线装设备组成的清单。其最小单元为可供采集状态数据的设备或设备组成部件。

3.4. 赛博空间 Cyberspace

赛博空间是指计算机及计算机网络的虚拟现实。

3.5. 实时状态认知精度

实时状态认知精度包括虚实映射过程中展现和控制两个方面。一、赛博空间建设与物理空间尺寸和位置的误差。二、设备运行过程中，物理空间状态数据与赛博空间状态数据的一致程度。

3.6. CPS-PHM

CPS-PHM 指基于信息物理系统(CPS)的故障预测与健康服务系统。该系统具体为《2019 年工业互联网创新发展工程--信息物理系统应用项目》第 2 包。

3.7. 数字孪生展现平台

数字孪生展现平台是 CPS-PHM 的组成部分,是 CPS-PHM 在数字孪生技术的集成和展现平台。该平台直接和物理设备进行交互。并可以通过接口的方式获取 PHM 系统诊断数据。

3.8. 数字孪生模型数据管理平台

数字孪生模型数据管理平台是 CPS-PHM 数据管理平台的组成模块,负责 CPS-PHM 相关设备或产线的虚拟实体及虚拟空间信息管理软件。提供设备模型、产线模型的标准化、规范化管理功能。

3.9. 设备型号

设备型号是统一规格型号的设备品种,用于区分设备不同规格型号。相同型号设备应具有相同的外形、材质、部件构成、运行参数、运行机理等特征,可以用同一数字孪生模型进行虚拟实体建模。

3.10. 设备逐号

设备逐号是所属型号的具体设备,用于区分相同型号下不同出厂编号设备。设备逐号是物理空间中部署和运行的设备实体,具有明确的物理位置、运行状态、运行参数等信息。

4. 数字孪生目标

4.1. 概况

数字孪生技术构筑信息空间与物理空间数据交互的闭环通道,能够实现信息虚体与物理实体之间的交互联动。以物理实体建模产生的静态模型为基础,通过实时数据采集、数据集成和监控,动态跟踪物理实体的工作状态和工作进度(如采集测试结果、追溯信息等),将物理空间中的物理实体在信息空间进行全要素重建,形成具有感知、分析、决策、执行能力的数字孪生。

数字孪生不同维度下包括以下特征:

- 模型维度:理想的数字孪生模型涉及几何模型、物理模型、行为模型规则模型等多维多时空多尺度模型,具有高保真、高可靠、高精度的特征。
- 数据维度:数据是数字孪生的核心驱动力,包含贯穿全生命周期的全要素、全流程、全业务的相关数据,以及虚实融合、多源异构融合等。
- 连接维度:理想的数字孪生支持跨接口、跨协议、跨平台的互联互通。
- 服务维度:可用于仿真、虚拟验证、可视化等领域。在产品设计、运行监测、能

耗优化、智能管控、故障预测与诊断、设备健康管理、循环与再利用的方面提供功能与服务。

- 物理维度：模型因对象而异、数据因特征而异、服务因需求而异。

4.2. 目标

在 CPS-PHM 系统中，最终将建设 CPS-PHM 相关设备的数字孪生展现平台。该平台的建设包括三个目标：

一、实现从“实”到“虚”的能力。构建信息空间，对 CPS-PHM 设备资源信息进行建模，通过实时采集设备运行数据进行全要素展现。

二、实现从“虚”控制“实”的能力。建立信号控制机制，根据 CPS-PHM 不同设备的安全管理机制实现通过虚拟实体的开关、动作控制从而物理实体做出相应开关、动作的能力。

三、扩充“虚”的分析决策能力。数据是数字孪生的核心，利用 CPS-PHM 的数据分析处理能力扩展虚拟实体的数据要素。通过接口模式接收融合 PHM 健康数据，增强信息空间的分析、决策能力。

5. 设备数字孪生模型组成

5.1. 概述

数字孪生模型库涵盖两个层面的对现实实体数字孪生建设成果。一、设备级数字孪生模型。二、产线级数字孪生空间。

每一个数字孪生模型由设备设计资料、静态三维模型、部件组成结构、虚实交互数据采集接口、仿真运行服务五方面组成。

5.2. 模型类型定义

5.2.1. 设备级数字孪生模型

设备是产线的主要组成单元，包括专用设备和通用设备。产线设备物理实体相应的虚拟实体，为设备模型。设备模型是 CPS-PHM 数字孪生模型的重要组成部分，是后期组件产线虚拟空间建设的模型素材来源。因此，设备模型将纳入 CPS-PHM 数字孪生模型成果库进行统一管理和维护。

5.2.2. 产线级数字孪生空间

基于产线的数字孪生模型是由产线设备虚拟实体组成、可独立采集产线设备、可稳定运行、可供外部业务系统调用的虚拟空间。常见的产线模型开发工具包括：Demo3D、Unity3D、PostEngineer 等。产线模型应具有以下特点：

- 虚拟实体与物理实体同步展示：

- 独立引擎运行：
- 无缝对接 CPS-PHM 集成接口：

5.3. 数字孪生模型组成

5.3.1. 设备设计资料

设备设计资料作为设备设计信息的备份，可以辅助数字孪生模型的建设和应用。设计资料包括但不限于以下内容：

A、设计文件类：

1) 机械方面 装配图 零件图 零件清单 标准件外购件清单（包括外购件样本图片等）

2) 电气方面 原理图 电子元件清单 电子元件图纸 技术参数

3) 液压方面 原理图 液压配件清单 液压配件图纸 技术参数

B、技术标准类

1) 国外标准

2) 国家标准

3) 法律法规

C、检测文件

1) 测试资料（原材料检测、标准件外购件的检测报告，合格证等）

2) 单项测试规范（电气 液压 机械单独测试） 测试报告

整体测试规范 测试报告

D、产品说明书及标贴，客户提供的样板

E、与客户沟通的重要邮件、与工厂来往的涉及产品改进、改动的文件

F、产品开发协议书

G、会议记录 由项目负责人项目及其进行阶段进行分类归档

H、BOM 表物料清单

5.3.2. 静态三维模型

静态三维模型是支撑构建虚实孪生模型的素材，也属于设备设计资料的组成部分。在基于产线 CPS-PHM 系统中，支持大部分的三维模型类型。包括以下模型格式：

- CAD
- U3D
- FBX
- OBJ

- STL
- 其他主流三维模型

5.3.3. 部件组成结构

部件组成结构类似物料清单（BOM），主要用于描述设备和产线信息空间的组成元素，是建立物理实体与虚拟实体的映射关系的技术依据。

根据物理实体的数据采集、展现需要，设备需进行分解为部件列表，并对部件组成结构和部件代码进行标识，从而形成设备部件组成结构。

部件组成结构建议包括以下内容：

- 部件组成结构根节点为设备自身。
- 组成节点可包括可采集数据的参数清单。
- 可独立采集部件状态数据，可在信息空间高亮显示其状态数据的部件。例如：发动机、显示屏等。
- 根据 CPS-PHM 系统故障诊断模型输出结果，需要对关键部件进行状态显示的。一般是现场可更换单元级的部件。
- 物理实体发生动作指令时，需要信息空间相应运动的部件。如机械臂三轴在抓取动作时各轴需要做相应动作。
- 信息空间与物理空间交互过程中需要响应人机交互动作的部件。如按钮、开关等，用户可在信息空间操纵该部件获取该部件代码，并根据该部件代码匹配物理空间实体进行控制。

5.3.4. 虚实交互数据采集接口

虚实交互数据采集接口是连接设备数字孪生模型和实物的桥梁，数据采集接口应建立在部件组成结构数据信息上，保障数据采集接口的可跟踪性。

5.3.5. 仿真运行服务

数字孪生模型运行平台采用分布式部署方式，不同设备的数字孪生模型独立运行在不同的服务器，其仿真运行服务是可供数字孪生模型数据管理平台访问的数字孪生模型服务应用。

6. 数字孪生模型数据管理平台

6.1. 概述

数字孪生模型数据管理平台采用模型库管理的方式对不同企业、不同产线、不同设备的数字孪生模型进行分类管理。为保证模型的可识别性和完整性，将明确数字孪生模型的数据结构。

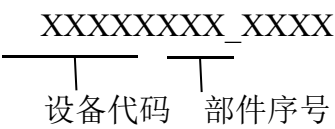
6.2. 数据结构设计原则

6.2.1.1. 编码原则

- **唯一性：**每一型部件只有一个部件代码，每一个部件代码只代表一型部件。
- **稳定性：**部件代码一旦赋予，在满足唯一性和未被使用的前提下，不得更改。
- **可扩充性：**部件代码应有足够的容量，以适应不断扩充的赋码需要。

6.2.1.2. 代码规则

部件代码由设备代码、下划线、部件序号组成，其中部件序号采用 4 位阿拉伯数字组成，代码结构见下图：



6.3. 模型数据结构

表 1 产线基本信息表

序号	属性名称	属性类型	长度	填写说明
1	产线代码	字符串	8	与《维护决策模型》标准匹配。
2	产线名称	字符串	50	
3	部署单位	字符串	50	
4	是否有数字孪生模型	判断	1	
5	技术状态	字符串	1000	
6	描述	字符串	200	

表 1 设备基本信息表

序号	属性名称	属性类型	长度	填写说明
1	设备代码	字符串	8	与《维护决策模型》标准匹配。
2	设备名称	字符串	50	
3	规格型号	字符串	50	
4	生产厂家	字符串	50	
5	是否有数字孪生模	判断	1	

	型			
6	技术状态	字符串	1000	
7	描述	字符串	200	

表 2 部件组成结构表

序号	属性名称	属性类型	长度	填写说明
1	设备代码	字符串	8	与《维护决策模型》标准匹配。
2	部件代码	字符串	16	设备内唯一
3	层次码	字符串	8	2 位一层，支持 4 层结构
4	部件名称	字符串	50	
5	部件型号	字符串	50	
6	描述	字符串	200	

表 3 参数信息表

序号	属性名称	属性类型	长度	填写说明
1	参数代码	字符串	8	与《维护决策模型》标准匹配。
2	参数名称	字符串	50	
3	参数类型	字符串	20	
4	参数范围	字符串	50	
5	是否有效	字符串	50	
6	描述	字符串	200	

表 4 设备设计资料信息表

序号	属性名称	属性类型	长度	填写说明
1	设备代码	字符串	8	与《维护决策模型》标准匹配。
2	资料名称	字符串	50	
3	资料类型	字符串	20	
4	资料存储位置	字符串	500	采用文件存储模式
5	资料版本	字符串	50	

6	描述	字符串	200	
---	----	-----	-----	--

表 5 设备三维模型信息表

序号	属性名称	属性类型	长度	填写说明
1	设备代码	字符串	8	与《维护决策模型》标准匹配。
2	模型类型	字符串	50	
3	模型文件 存储位置	字符串	500	采用文件存储模式
4	模型缩略 图	字符串	500	采用文件存储模式
5	版本信息	字符串	100	
6	简介	字符串	200	

表 5 设备仿真服务信息表

序号	属性名称	属性类型	长度	填写说明
1	设备代码	字符串	8	与《维护决策模型》标准匹配。
2	模型类型	字符串	50	
3	模型仿真 部署位置	字符串	200	
4	运行状态	字符串	100	
5	简介	字符串	200	

6.4. 管理平台主要功能

6.4.1. 数据存储

设备数字孪生模型使用文件存储，数字孪生模型信息采用关系数据库存储，便于扩展，方便管理。

平台提供卡片列表的方式进行展示，提供模型信息的维护管理功能。

6.4.2. 入库管理

提供功能包括模型上传、上传校验。

6.4.3. 版本管理

提供功能包括版本发布、变更、历史版本归档，新版本数据向上兼容。

6.4.4. 数据应用

提供功能包括模型在线查看、部署应用等功能。

7. 设备数字孪生集成

7.1. 概述

设备数字孪生集成主要是针对设备数字孪生模型应用层的解决方案。数字孪生模型展现平台作为微服务可以独立运行，也可以作为 CPS-PHM 系统的组成部分，为 CPS-PHM 系统或其他业务系统提供数字孪生模型集成服务。

7.2. 集成应用结构

基于产线设备的数字孪生集成应用集成结构见下图：

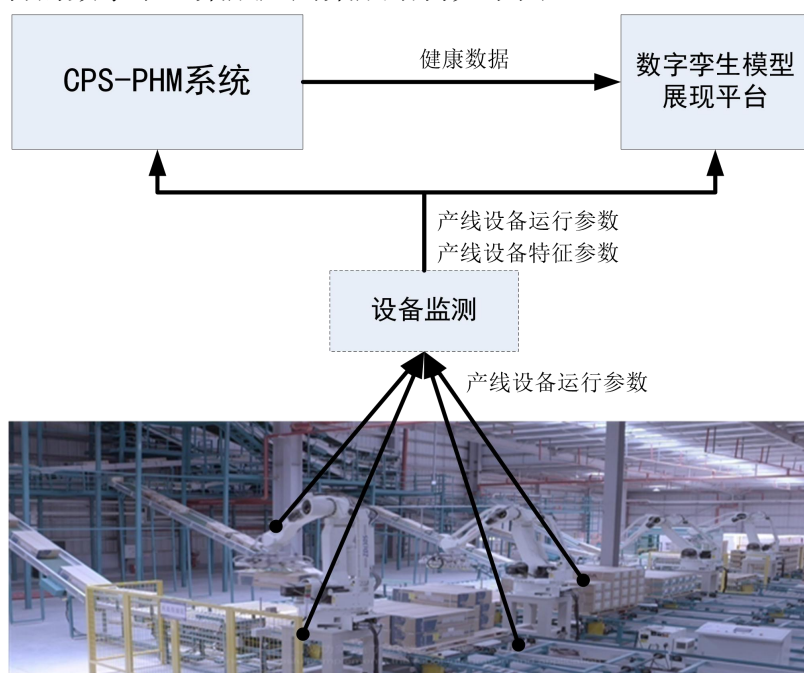


图 数字孪生展现平台集成模式图

如图，数字孪生展现平台满足接收设备监测平台采集的数据和 CPS-PHM 系统运算数据两种模式，从而解决检测数据不足、检测数据不直观的问题。

7.3. CPS-PHM 设备集成标准

CPS-PHM 系统采用数据层集成和表示层集成两种集成模式。

7.3.1. CPS-PHM 设备数据层集成标准

要求采用统一的数字孪生模型格式(DEMO3D 或 Unit3D 编制的模型文件)，数字孪生展现平台获取模型文件，并在网页展示。

数据层集成的模型具有受版本控制性、可复用性。可提供导出设计开发产线数字孪生空间的能力。

7.3.2. CPS-PHM 设备表示层集成标准

针对无法提供数字孪生模型的情况，数字孪生模型仿真服务采用分布式运行的方式。CPS-PHM 系统通过网络地址的方式直接访问指定设备代码的仿真服务。

7.4. 数字孪生展现平台接口协议

数据孪生展现平台采用 SpringBoot 微服务架构，接口采用 RESTful 方式实施，接口列表如下：

- 获取模型清单
 - 类型：GET
 - 路径：http://127.0.0.1/DigITwinSys/getEquipmentList
 - 参数：
- 获取模型详细信息
 - 类型：GET
 - 路径：http://127.0.0.1/DigITwinSys/getEquipmentDetail/{code}
 - 参数：code 设备代码
- 获取模型文件
 - 类型：GET
 - 路径：http://127.0.0.1/DigITwinSys/getEquipmentModel/{code}
 - 参数：code 设备代码
- 获取模型展示网页内容
 - 类型：GET
 - 路径：http://127.0.0.1/DigITwinSys/getEquipmentView/{code}
 - 参数：code 设备代码
- 模型仿真运行展示
 - 类型：POST
 - 路径：http://127.0.0.1/DigITwinSys/runEquipmentView
 - 参数：Json 运行参数

```
{  
  
    "EquipmentNo": "0000000",  
  
    "Para": [  
  
        {
```

```

        "paraName": "p1",
        "paraType": "number",
        "paraValues": [
            {
                "time": "2021.03.01
12:00:00"
                "value": 1
            }
        ]
    },
    "status": "running",
}

```

7.5. 数字孪生展现平台验证标准

数字孪生展现平台验证可采用仿真数据验证和实物数据采集验证两种模式。

- 仿真数据验证模式：

通过导入仿真数据集的方式开展数字孪生

- 实物数据采集验证模式：

通过配置数据采集服务的方式采集设备参数信息。