

ICS 35.240.50

CCS L67

登记号: 51310000501782151B

团 体 标 准

T/S10T 029-2022

# 基于数字孪生技术的 离散行业数字车间参考架构

Reference architecture for digital twin technology based  
digital workshop in discrete industry

2022-02-25 发布

2022-03-25 实施

上海市物联网行业协会 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 缩略语 .....	3
5 数字孪生车间参考架构 .....	4
5.1 物理车间 .....	4
5.1.1 物理实体层 .....	4
5.1.2 感知执行层 .....	5
5.2 虚拟车间 .....	5
5.2.1 孪生模型 .....	5
5.2.2 孪生数据 .....	5
5.3 功能层 .....	5
5.3.1 制造执行系统 .....	5
5.3.2 工业智能应用 .....	5
6 数字孪生车间支撑平台要求 .....	6
6.1 数据传输管理要求 .....	6
6.2 数据管理要求 .....	6
6.3 模型管理要求 .....	6
6.4 云服务管理要求 .....	7
附录 A（资料性） 基于数字孪生的数字车间成熟度模型示例 .....	8
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。

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。

本文件由上海市物联网行业协会提出并归口。

本文件内容主要起草单位：上海计算机软件技术开发中心、上海九物互联网科技有限公司、上海联泉智能科技有限公司、上海纳铁福传动轴有限公司、苏州罗想软件股份有限公司、上海中车瑞伯德智能系统有限公司、上海西码智能科技股份有限公司、上海工程技术大学、宝钢工程技术集团有限公司、上海帆一尚行科技有限公司、慧镭电子系统工程股份有限公司、上海湃睿信息科技有限公司、上海庆科信息技术有限公司、上海市物联网行业协会、上海旋思智能科技有限公司、上海电气数智生态科技有限公司、上海宝信软件股份有限公司、上海复旦微电子集团股份有限公司、励元科技（上海）有限公司、上海泰峰检测认证有限公司、上海宝景信息技术发展有限公司。

本文件主要起草人：郑树泉、周礼达、黄燕、宋光照、李兔、王祥、沈戍麟、陈勇、谢晓芮、刘安菊、潘君才、方锴、林劲松、方志军、万卫兵、高永彬、魏玲、曾祥宇、高槿航、魏巍、何真元、汪姗姗、王海涛、何绮青、孙晶炜、黄钰梅、刘丽、尹琦、时美、李斌、张冬冬、许华、李镇宁、王裕敏、温忠、李磊、姚耀、欧阳树生。

# 基于数字孪生技术的离散行业数字车间参考架构

## 1 范围

本文件规定了基于数字孪生技术的离散行业数字车间的术语和定义,规定了基于数字孪生技术的离散行业数字车间的架构、功能要求及支撑平台要求。

本文件适用于数字车间的建设,可用来为相关的设备制造商、设计单位、系统集成商等单位进行系统设计、系统集成、建设实施的参考依据。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**数字孪生 digital twin**

利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据,集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,在虚拟空间中完成映射,从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。

### 3.2

**数据挖掘 data mining**

从大量的数据中自动搜索隐藏于其中的有着特殊关系性的信息的过程。

### 3.3

**离散制造 discrete manufacturing**

产品往往由多个零件经过一系列并不连续的工序的加工最终装配而成

注:加工此类产品的企业可以称为离散制造型企业。

## 4 缩略语

以下缩略语适用于本文件。

**BOM:** 物料清单 (Bill of Material)

**DTS:** 数字孪生车间 (Digital Twin Shop-floor)

**ERP:** 企业资源管理 (Enterprises Resource Management)

**MES:** 制造执行系统 (Manufacturing Executing System)

**PLM:** 产品生命周期管理 (Product Lifecycle Management)

**SCM:** 供应链管理 (Supply-Chain Management)

**SPC:** 统计过程控制 (Statistical Process Control)

## 5 数字孪生车间参考架构

数字孪生车间(DTS)是物理车间（物理实体层、感知层、执行层）、虚拟车间（孪生数据、数字模型）、服务系统（制造执行系统、工业智能应用）和支撑平台的集成融合。其中感知层采集物理车间人、机、料、环、测数据，车间孪生数据不仅包含当前的实时数据也包含历史数据，车间孪生数据可以用来对数字模型进行计算和优化，从而实现描述、诊断、预测、处置等工业智能功能。执行层可以对物理车间进行反馈控制构成生产控制闭环，从而实现实时交互和双向虚实映射。数字孪生车间参考架构如图1所示。

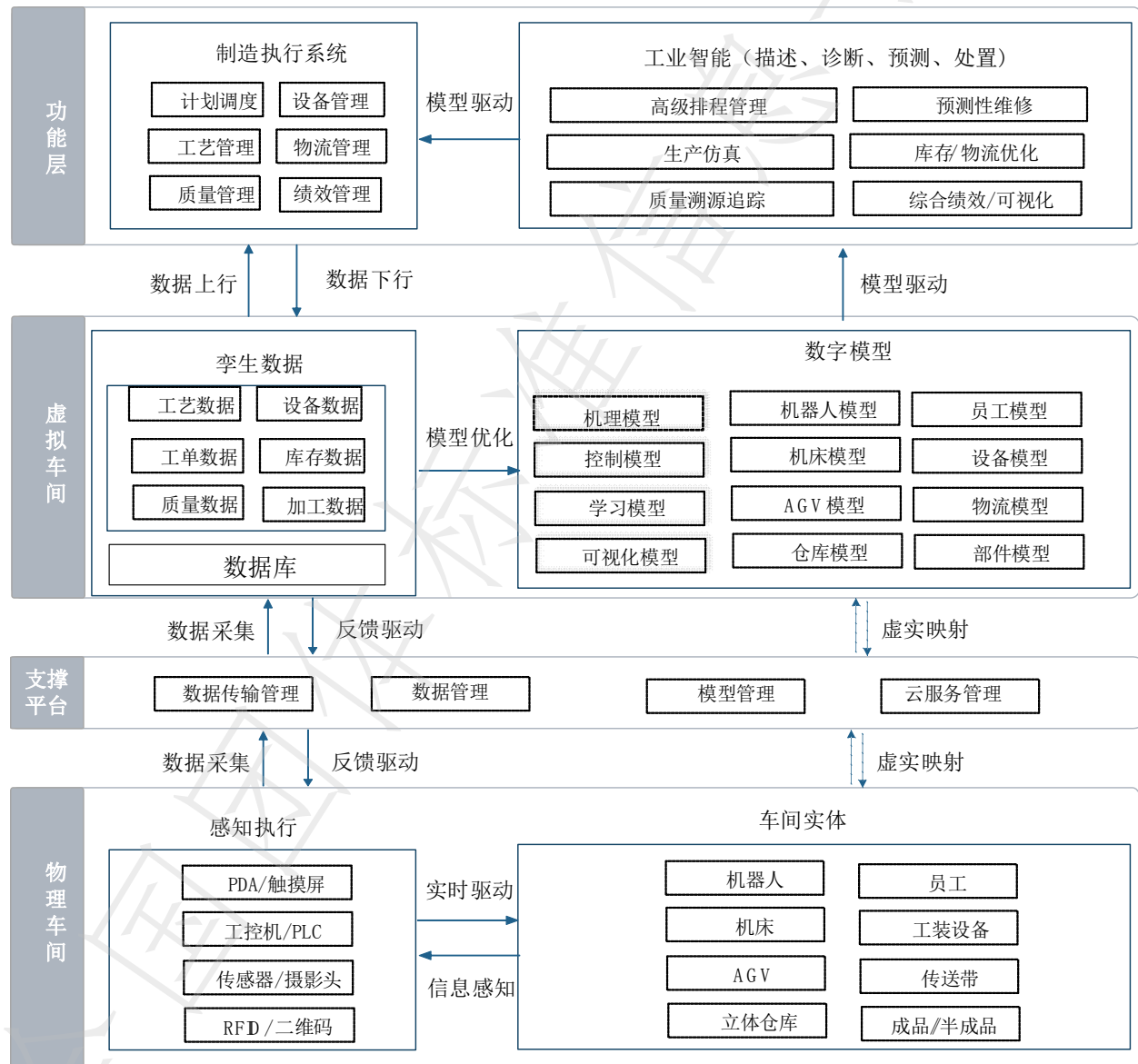


图1 数字孪生车间参考架构

### 5.1 物理车间

#### 5.1.1 物理实体层

物理实体层是制造车间的主体，主要包括人、机、料、法、环、测六大类。人指制造产品的人员，包括操作工人、维修工人等；机指制造产品所用的设备、工装等辅助生产用具；料指制造产品所使用的物料，包括半成品、原料等用料；法指制造产品所使用的方法，包括工艺指导书、标准工序指引、生产计划表、检验标准、各种操作规程等；环指产品制造过程中所处的环境，包括各种设备的布局，温度、湿度、噪音等要求；测是指各类测量设备及仪表。

### 5.1.2 感知执行层

感知执行层包含感知层和执行层。感知层主要通过传感器、RFID、激光扫码、机器视觉等先进传感技术及工业网络通信技术，实现车间多源异构数据的实时采集、传递与预处理；执行层主要通过PDA、工控机、看板等设备展示目前状态、下传工艺参数和设备控制指令等。

## 5.2 虚拟车间

### 5.2.1 孪生模型

孪生模型的建立需要构建不同领域实体的统一逻辑结构，针对不同类型的物理实体和功能，以及实体产生的数据，构建相应虚拟空间孪生模型。这些模型包含静态模型，如生产线、工位、设备、人员、产品、测量设备相关属性的描述，如BOM清单、生产线/设备3D模型及各类属性等。动态模型是对历史数据进行加工、分析、学习后得到的知识如SPC控制图、设备预测性维护模型，这些模型随数据的积累不断进行优化。

### 5.2.2 孪生数据

孪生数据是指在生产过程中动态产生的数据，如物料移动、加工和消耗数据、员工生产数据、质量检测数据、设备运维及维修数据等。

## 5.3 功能层

### 5.3.1 制造执行系统

制造执行系统(MES)主要包含工艺管理模块、生产计划管理、生产调度管理、质量管理、物料管理、仓储管理、制造资源管理等核心模块。制造执行系统还与经营层系统(如PLM、ERP、SCM)进行集成和数据交换。

### 5.3.2 工业智能应用

工业智能应用基于大数据和人工智能技术对制造执行系统的基本功能实现增强和优化，实现描述、诊断、预测、处置等功能。

离散行业典型工业智能应用包含以下应用场景：

——工艺规划及优化：工艺设计规划确定从毛坯到产品的加工路线和工艺参数。实作模型

(As-Build Model)是在虚拟空间建立的、反映和记录工件实时制造状态和制造过程的数据集合。实作模型通过对工件的实测数据和加工工艺数据建模而生成，并随工件的加工过程动态更新和迭代。实作模型反映了产品的实时加工过程和加工状态，是实时工艺决策的基础和对象。数字孪生环境下三维工艺设计系统可以通过建立实作模型实现实时工艺修正与优化、工艺过程优化、工艺知识提炼与总结、沉浸式工艺设计等；

——生产调度优化：物理车间主动感知生产状态、实时监控各生产要素，虚拟车间基于先进排产调度的算法模型进行调度状态解析、调度方案调整、调度决策评估，实现对异常情况的自动决

策和优化调度，快速确定异常范围、敏捷响应、智能决策，自动给出满足多种约束条件的优化排产方案；

- 产品质量分析与追溯：产品质量分析与追溯指在设计正确合理的制造工艺的同时，对生产过程中加工精度、所受应力等因素综合考虑实现产品的加工质量分析。基于数字孪生技术的在线质量分析算法模型预测生产过程异常并实时预警；
- 生产物流精准配送：依据实际生产状态实时拉动物料配送；建立仓储模型和配送模型，实现最小库存和最优路径；从而满足个性化、柔性化生产实时配送需求；并通过与上游供应链的集成优化，实现最优库存或即时供货；
- 设备健康管理：采集设备运行数据、报警信息、故障信息等设备运行的状态数据，建立虚拟模型对物理设备全部生产要素的物理刻画和行为表述，通过物理设备现场数据进行建模，直观地展现物理设备的运行状态。利用数据分析算法与数据模型，预测设备故障及剩余使用寿命；
- 基于 XR 技术的可视化：以车间三维模型动态映射为基础，在事件驱动车间状态变化的基础上建立车间、设备和产品三个层次的三维映射规则。车间层次根据产品工艺流程确定工件在车间工位间的物流走向，使用车间实时感知数据驱动工件在不同工位间的物流；设备层次通过采集物理设备实时动作数据，驱动虚拟设备模型动态映射；产品层次根据工件在车间中的物流位置和工位上的工序，使用工序间物料标签信息驱动工件模型变化。在虚拟车间三维模型动态映射基础上，针对车间、设备、产品三个层次建立了车间状态实时展示看板，辅以状态看板监控车间要素状态信息，逼真且透明地展示车间作业现场。

## 6 数字孪生车间支撑平台要求

### 6.1 数据传输管理要求

数据传输管理要求如下：

- 异构网络支持：基于工业以太网、工业总线等工业通信方式，以太网、光纤等有线通信方式，3G/4G/5G、NB-IoT、ZigBee 等无线通信方式，支持将物理实体、异构系统的数据汇聚到信息空间，实现泛在、可靠、海量、实时、高效的数据传输；
- 协议转换：运用协议解析、中间件等技术兼容 ModBus、OPC-UA、CAN、Profibus 等各类工业通信协议和软件通信接口，实现车间各类信息数据格式转换和统一。

### 6.2 数据管理要求

数据管理要求如下：

- 数据存储：通过分布式文件系统、并行数据库、NoSQL 数据库、关系数据库、时序数据库等不同数据管理引擎实现海量工业数据高速、实时的存储管理；
- 数据处理：运用分布式处理架构，支撑海量数据实时批处理和实时流处理的计算要求。

### 6.3 模型管理要求

模型管理要求如下：

- 数据建模：面向结构化数据和非结构化数据，支持运用数学统计、回归、分类、聚类、推荐、关联和预测分析等机器学习算法，建立数据模型，快速挖掘车间海量工业数据中的价值；
- 机理建模：根据机械、电子、物理等领域专业知识，或根据领域知识与经验，结合三维可视化建模、三维动画等，将物理实体映射为镜像虚拟模型；

- 业务建模：支持对车间生产单元间业务流程、业务关系、几何原理等进行数字建模，充分模拟产线动态使用状况、运行状态，支撑面向全车间生产的制造测试。

#### 6.4 云服务管理要求

云服务管理要求如下：

- 资源调度：基于虚拟化、分布式存储、软件定义网络、负载均衡等技术，可靠感知平台应用业务量的变化动态，监测虚拟资源和物理资源，支持利用调度算法并根据业务需求弹性分配资源；
- 平台安全：保障平台全域安全，提供数据加密、安全认证、访问控制、身份鉴别、数据完整性保护、入侵检测、行为审计等安全保障服务。

## 附录 A

(资料性)

## 基于数字孪生的数字车间成熟度模型示例

数字孪生车间成熟度可分成五级，见表A.1。其中一级和二级是实现数字孪生车间的基础。可根据需要确定数字孪生车间的覆盖范围，可以包含工艺、采购、计划与调度、生产作业、设备管理、仓储与配送、安全与环保等车间关键流程的全部或子集，高级别的数字孪生功能的实现需要车间全部流程的集成并且需要与其他工厂关键流程（如设计、物流管理和产品服务）进行集成。

表A.1

级别	要求
1级 (规划级)	对核心业务活动实现流程化管理，已建立作业文档和数据的管理机制，能够对生产信息进行记录、查阅和执行。
2级 (规范级)	对核心装备和业务活动进行数字化改造和规范，实现单一业务活动的数据共享，能够实现生产情况的跟踪、报警，对生产指标进行量化管理。
3级 (集成级)	对核心装备和系统等开展集成，实现跨业务活动的数据共享，能对异常情况进行分析和追溯。 工艺：基于计算机辅助三维工艺设计及仿真优化，实现工艺设计与产品设计间的信息交互、并行协同； 采购：基于内部信息系统集成自动提出采购需求，建立供应商管理系统； 计划与调度：实现多重约束条件下的优化详细生产计划自动编制，通过对生产过程监控，实现计划失效预警并支持人工调整； 生产作业：实现对生产环节关键数据的动态监测和数据应用，生产全过程中的质量信息可追溯； 设备管理：实现基于在线状态检测及其数据的分析处理，和维修管理系统关联，实现基于数据的闭环管理； 仓储与配送：基于内部信息系统集成实现仓储配送全过程可视化及配送自动化； 安全与环保：建立环保设施的集成监控系统并形成基于知识库的安全风险识别和自动预警；
4级 (优化级)	能对人、机、料、法、环、测等进行数据挖掘，形成知识、模型等，实现对核心业务活动的精确预测和优化。 工艺：基于三维模型的工艺全过程仿真优化和基于专家知识库的工艺优化，并实现工艺设计与制造间的协同； 采购：建立基于与供应商信息系统集成的采购信息协同和供应商评价模型； 计划与调度：基于系统数据协同，实现高级优化排产和调度，实时处理生产过程波动； 生产作业：实现全面生产过程数据应用及驱动业务优化； 设备管理：实现基于预测的设备管理优化，并实现设备全生命周期管理； 仓储与配送：基于产线实际生产情况，实时拉动物料配送，实现作业计划与仓储配送的实时协同动态调整； 安全与环保：基于模型开展环保设施的动态监测、分析与优化；
5级 (引领级)	能基于模型持续驱动业务活动的优化和创新，实现全价值链的优化和自动决策。 工艺：基于知识库的工艺创新推理及在线自主优化，实现多领域、多区域、跨平台的全面协同，提供即时工艺设计服务； 采购：实现供应链实时协同并开展基于智能技术的采购管理优化； 计划与调度：实现基于智能算法的计划与调度，并应用大数据实现持续优化，预测并提前处理生

级别	要 求
	<p>产波动和风险；</p> <p>生产作业：实现智能化高柔性自适应生产；</p> <p>设备管理：实现基于智能模型的设备预测和自适应、自学习；</p> <p>仓储与配送：优化仓储配送模型，实现最优库存和最优配送方案；</p> <p>安全与环保：基于知识库及大数据分析的安全作业管理和环保设施优化。</p>

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 37393-2019 数字化车间 通用技术要求
  - [2] GB/T 39116-2020 智能制造能力成熟度模型
  - [3] SJ/T 11666.3-2016 制造执行系统(MES)规范 第3部分：功能组件
  - [4] T/31SIOT 001.1-2017 工业物联网应用开发组件规范 第1部分：模型和术语
  - [5] T/31SIOT 002.1-2017 工业物联网应用开发组件规范 第2部分：系统间通信协议
-