



# 工业元宇宙 模式、技术与应用初探

Primary Exploration on Mode, Technologies and Applications of Industrial Metaverse

李伯虎<sup>1</sup>, 柴旭东<sup>1</sup>, 李潭<sup>2</sup>

1.中国航天科工集团 2.南昌大学

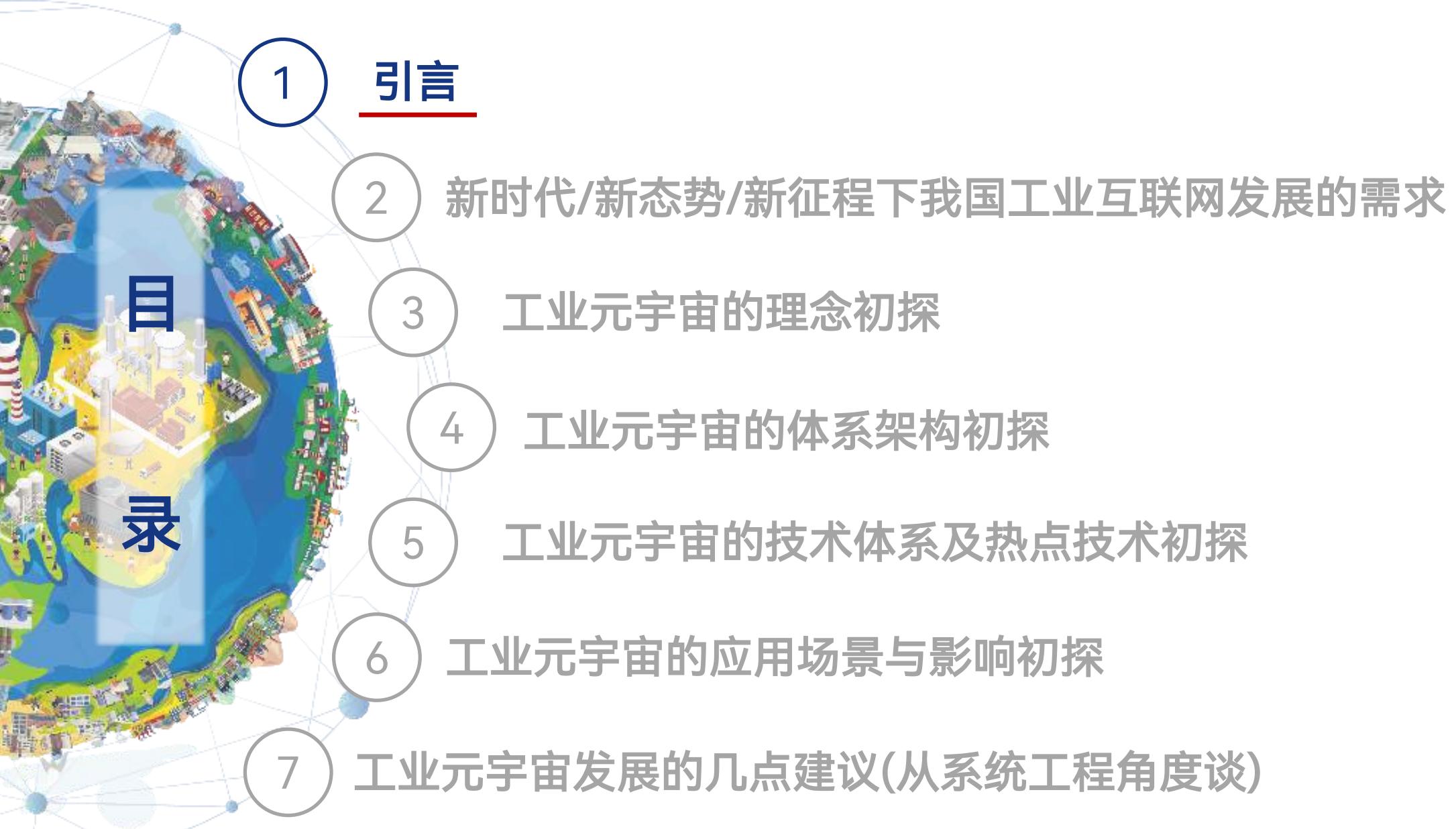
2022年8月26日





# 目 录

- 1 引言
- 2 新时代/新形势/新征程下我国工业互联网发展的需求
- 3 工业元宇宙的理念初探
- 4 工业元宇宙的体系架构初探
- 5 工业元宇宙的技术体系及热点技术初探
- 6 工业元宇宙的应用场景与影响初探
- 7 工业元宇宙发展的几点建议(从系统工程角度谈)



## 1.1引言：当今世界的新时代/新态势/新征程



| 新时代



| 新态势



正步入“智能+”时代与后疫情时代交叉影响的新时代

正面临多边主义与单边霸凌主义长期复杂斗争的新形势

我国正迈进开启全面建设社会主义现代化国家的新发展阶段、贯彻“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念、构建“以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进”的新发展格局的新征程。

## 1.2引言：开启万物智联的“智慧工业互联网系统——工业互联网2.0”新阶段



工业是国民经济的主体，是立国之本，兴国之器，强国之基。因此，工业的发展必须适应新时代、新态势、新征程。

众所周知：在我国，近五年来，作为工业发展关键支撑的“工业互联网(系统)”，在国家统一领导下，经各方共同努力，已取得显著成绩。但是为适应新时代、新态势、新征程，

我们认为：我国工业互联网(系统)必须进一步迈上快速发展的新征程<sup>[2]</sup>：开启万物智联的“智慧工业互联网系统——工业互联网2.0”新阶段；贯彻“创新、协调、绿色、开放、共享”新理念；构建“技术、产业、应用、人才、政策及保障体系一体化创新”新格局。

## 1.2引言：开启万物智联的“智慧工业互联网系统——工业互联网2.0”新阶段（续）



当前，“工业元宇宙”正成为工业领域科技界对新理念和新技术发展竞相探讨和产业界对新产业方向思考与实践的热点。我们认为：工业元宇宙能为新阶段----“智慧工业互联网系统——工业互联网2.0”的实现在技术、模式、业态、特征、要素/流及目标等方面提供崭新的拓展。



为此，本报告将基于我国工业互联网发展的需求<sup>[1]</sup>，初探工业元宇宙的理念、体系架构、技术体系、热点技术及应用场景与影响，最后给出工业元宇宙发展的几点建议。

[1] 《工业互联网创新发展行动计划（2021-2023年）》（工信部信管〔2020〕197号）。2020。

[2] 李伯虎,柴旭东,侯宝存,刘阳.一种新型工业互联网——智慧工业互联网[J].中国工业和信息化,2021(06):54-61.



## 2.1 工业互联网已成为国家战略，是工业数字化转型智能化升级的关键路径

- “工业互联网”连续五年（2018-2022）写入政府工作报告，2020年工业互联网和5G、AI等一同被纳入国家“新基建”战略
- 2021年3月，国家十四五规划纲要发布，提出要培育形成具有国际影响力的工业互联网平台，推进“工业互联网+智能制造”产业生态
- 我国工业互联网进入快速发展期，全国“5G+工业互联网”在建项目总数达到2400个。打造了车间级、企业级、集群级等新标杆
- 工业互联网加速企业数字化转型智能化升级，激发工业大数据价值，提升制造业数字经济高质量发展
- 工业互联网已经成为促进工业转型升级、推动经济高质量发展的重要力量。



我国工业互联网产业规模已超过万亿元大关；

探索出协同研发设计、远程设备操控等20大典型应用场景。

从行业看，工业互联网已在45个国民经济大类中得到应用。

——中国信息通信研究院数据

## 2.2 我国工业互联网发展的需求

### 工业互联网创新发展行动计划（2021-2023年）

《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》印发以来，在各方共同努力下，我国工业互联网发展成效显著，2018-2020年起步期的行动计划全部完成，部分重点任务和工程超预期，网络基础、平台中枢、数据要素、安全保障作用进一步显现。2021-2023年是我国工业互联网的快速成长期。为深入实施工业互联网创新发展战略，推动工业化和信息化在更广范围、更深程度、更高水平上融合发展，制定本计划。

到2023年，工业互联网新型基础设施建设量质并进，新模式、新业态大范围推广，产业综合实力显著提升。**必须做到5个“进一步”：**

**——新型基础设施进一步完善。**覆盖各地区、各行业的工业互联网网络基础设施初步建成，在10个重点行业打造30个5G全连接工厂。标识解析体系创新赋能效应凸显，二级节点达到120个以上。打造3~5个具有国际影响力的综合型工业互联网平台。基本建成国家工业互联网大数据中心体系，建设20个区域级分中心和10个行业级分中心。

**——融合应用成效进一步彰显。**智能化制造、网络化协同、个性化定制、服务化延伸、数字化管理等新模式新业态广泛普及。重点企业生产效率提高20%以上，新模式应用普及率达到30%，制造业数字化、网络化、智能化发展基础更加坚实，提质、增效、降本、绿色、安全发展成效不断提升。

**——技术创新能力进一步提升。**工业互联网基础创新能力显著提升，网络、标识、平台、安全等领域一批关键技术实现产业化突破，工业芯片、工业软件、工业控制系统等供给能力明显增强。基本建立统一、融合、开放的工业互联网标准体系，关键领域标准研制取得突破。

**——产业发展生态进一步健全。**培育发展40个以上主营业务收入超10亿元的创新型领军企业，形成1~2家具有国际影响力的龙头企业。培育5个国家级工业互联网产业示范基地，促进产业链供应链现代化水平提升。

**——安全保障能力进一步增强。**工业互联网企业网络安全分类分级管理有效实施，聚焦重点工业领域打造200家贯标示范企业和100个优秀解决方案。培育一批综合实力强的安全服务龙头企业，打造一批工业互联网安全创新示范园区。基本建成覆盖全网、多方联动、运行高效的工业互联网安全技术监测服务体系。

## 2.3 我国数字经济发展迫切需要发展工业互联网

“发展数字经济是把握新一轮科技革命和产业变革新机遇的战略选择”。

□ 我国“十四五”数字经济发展规划提出：要大力发展战略包括“产业数字化及数字产业化”等11项重大工程。其中，

- 工业互联网是实现“产业数字化”的关键基础。  
.....
- 工业互联网的有关产业是“数字产业化”的重要组成。





# 目 录

- 1 引言
- 2 新时代/新形势/新征程下我国工业互联网发展的需求
- 3 工业元宇宙的理念初探**
- 4 工业元宇宙的体系架构初探
- 5 工业元宇宙的技术体系及热点技术初探
- 6 工业元宇宙的应用场景与影响初探
- 7 工业元宇宙发展的几点建议(从系统工程角度谈)

### 3.1 元宇宙是数字技术群综合运用构建的虚/实场景

## 元宇宙



科幻小说《雪崩》



维基百科



陈刚(北大新闻学院院长)



元宇宙是一个梦幻般的虚拟世界，人们通过控制自己的替身去工作，以争夺更高的社会地位。



一种通过虚拟增强的物理现实，并具有收敛性和物理持久性特征的3D虚拟空间，它基于未来互联网，具有连接感知共享的特性



元宇宙是一种利用科学技术手段与现实世界进行映射和交互的虚拟世界，是一个具有新社会系统的数字生活空间。

### 3.1 元宇宙是数字技术群综合运用构建的虚实场景(续)

#### 元宇宙(从互联网发展角度看)【3】

- 是下一代互联网，是继Web1.0、Web2.0之后Web3.0的应用与社会形态。
- 是一种去中心化、用户沉浸式参与、数据资产可拥有、虚实融合的三维化互联网。

Web1.0

(可读)

YAHOO!



Web2.0

(可写)



Web3.0

(可拥有)



- 元宇宙是整合多种新技术而产生的新型虚实相融的互联网应用和社会形态。
- 它使虚拟世界（模拟全部现实世界要素）与现实世界在人、经济系统、社交系统、环境等方面密切融合，并且允许每个用户进行内容生产和对世界编辑，进而能超越现实的世界。

【3】德勤,德勤元宇宙行业深度研究报告：愿景、技术和应对, 2022

## 3.2 工业元宇宙的内涵



### 虚实共生、综合集成的新型工业数字空间

- 是工业现实物理空间与其虚拟平行空间的合集
- 对工业实体及生产过程的数字化映射、模拟
- 构建了新型数字化应用环境



### 虚实协同、全沉浸式的新型工业智慧互联网系统

- 工业互联网中新型数字化工业系统，人与机器、机器与机器、机器实体与数字虚拟体的全面智慧互连，互操作
- 使工业互联网中实体空间向虚体空间延伸、时空一致向预测性时间延伸和价值延伸



### 数字经济与实体经济融合发展的新型载体

- 工业过程和场景的虚拟空间全面部署
- 虚实映射、虚实交互、虚实融合、以虚强实、以虚促实
- 促进数/实融合的工业高质量新发展



工业元宇宙是元宇宙在工业领域的落地与拓展：是新型工业数字空间；新型工业智慧互联网系统；数字经济与实体经济融合发展的新型载体。



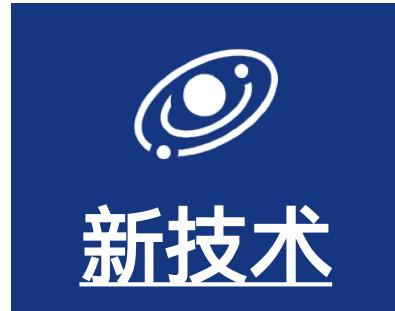
### 3.2 工业元宇宙的内涵（续）



**定义(内涵):** 工业元宇宙是指在新发展理念指引下，在新一代人工智能技术引领下，借助新时代各类新技术群跨界融合，实现工业领域中“人、虚拟空间与现实空间”虚实映射/交互/融合、以虚促实、以虚强实的工业全要素链、全产业链、全价值链(三链)智慧、协同、开放、服务、互联的复杂数字工业经济系统。

## 2.3 工业元宇宙的“6新”,拓展了[2]中提出的工业互联网2.0的“6新”

**“6新”----”新技术、新模式、新业态，新特征、新要素/流及新目标”**



基于新型互联网，在新发展理念指引下，在新一代人工智能技术引领下，借助新网络技术、新信息通信技术、新智能科学技术及新工业领域专业技术等4类新技术群跨界深度融合的数字化、网络化、云化、智能化技术为支撑技术，特别是

借助沉浸式VR/AR/MR、用户内容创作人工智能、去中心化结算体系区块链/ NFT(非同质化代币)、6G/天地一体网络等新通信基础设施、自然语言处理/脑机接口、数据湖处理、云边协同计算等支撑技术，“虚实映射、虚实交互、虚实融合、以虚强实、以虚促实”地将工业领域人、虚拟空间与现实空间中的工业全要素链、全价值链、全产业链(三链)智慧地连接融合在一起，提供虚实融合的智慧资源、智慧产品与智慧能力随时随地按需服务的一种新型智慧服务互联工业经济系统。

### 3.3 工业元宇宙的“6新”,拓展了[2]中提出的工业互联网2.0的“6新”(续)



新模式

一种虚实映射、虚实交互、虚实融合、以虚强实、以虚促实,工业全要素链、全价值链、全产业链(三链)”数字化、物联化、服务化(云化)、协同化、定制化、柔性化、绿色化和智能化”的去中心化的云边协同的智慧协同互联新模式



新业态

万物互联、智能引领  
数(据)/知(识)驱动  
虚实融合,虚实互动,  
协同服务,跨界创新



新特征

对全系统及全生命周期活动中虚实融合的要素/流自主智能地感知、互联、协同、学习、分析、认知、决策、控制、执行与创新



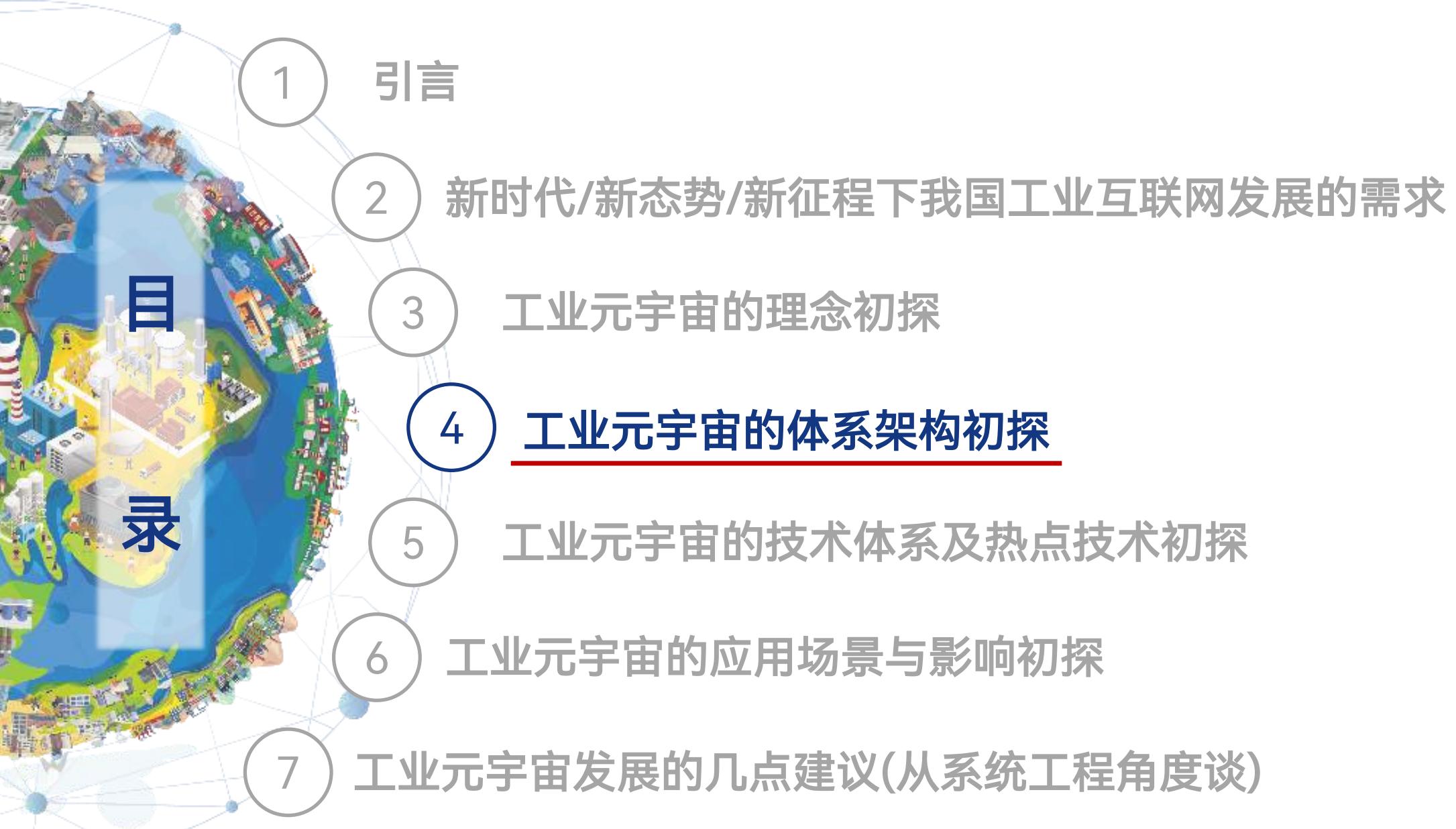
新要素/流

工业全系统及全生命周期活动中虚实融合的人、技术/设备、组织、数/知、材料、资金(六要素)及人才流、技术流、产业流、数/知流、物流、资金流(六流)



新目标

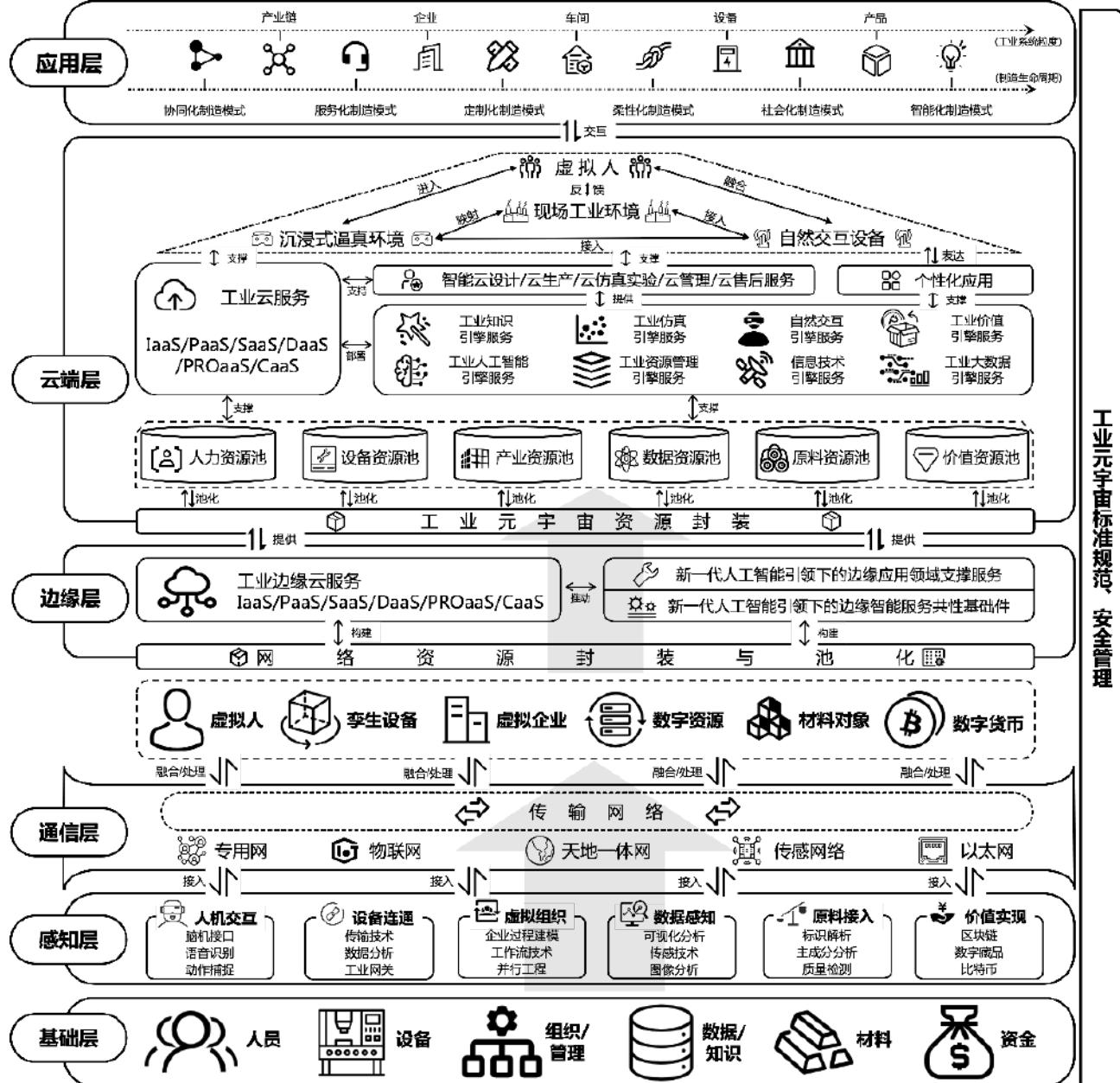
支持工业系统数字化转型与智慧化升级,实现“创新、绿色、开放、共享、个性”制造产品及服务



## 4. 工业元宇宙的体系架构

口 **工业元宇宙是复杂先进的新数字化工业经济系统，其体系架构如图，自下而上包括：**

- ✓ **基础层：虚实融合的人、技术/设备、组织、数/知、材料、资金等工业六要素**
- ✓ **感知层：面向工业虚实融合的六要素的各类感知与接入技术**
- ✓ **通信层：软件定义网络、天地一体网等未来互联网技术**
- ✓ **边缘层：新一代人工智能引领下的工业边缘云服务及应用支撑服务**
- ✓ **云端层：新一代人工智能引领下的工业高级云端服务、各类工业元宇宙引擎服务以及应用支撑服务**
- ✓ **应用层：全系统全生命周期创新应用**



## 4.工业元宇宙的体系架构(续)

### **口体系结构新特色：**

- ①新一代人工智能技术引领：AI驱动工业元宇宙中三链智慧融合
- ②边缘/云/端协同新架构；
- ③新信息通信技术与新工业技术融合：云计算/人工智能/大数据/新互联网/区块链/建模仿真等为代表；
- ④全系统虚拟化、服务化：尤其是感知/接入/通讯层虚拟化、服务化；
- ⑤各层具有新时代“新”内涵及内容；
- ⑥用户为中心的虚实融合六要素的智慧共享服务；
- ⑦虚实融合、以虚强实，能使系统跨域再创新。

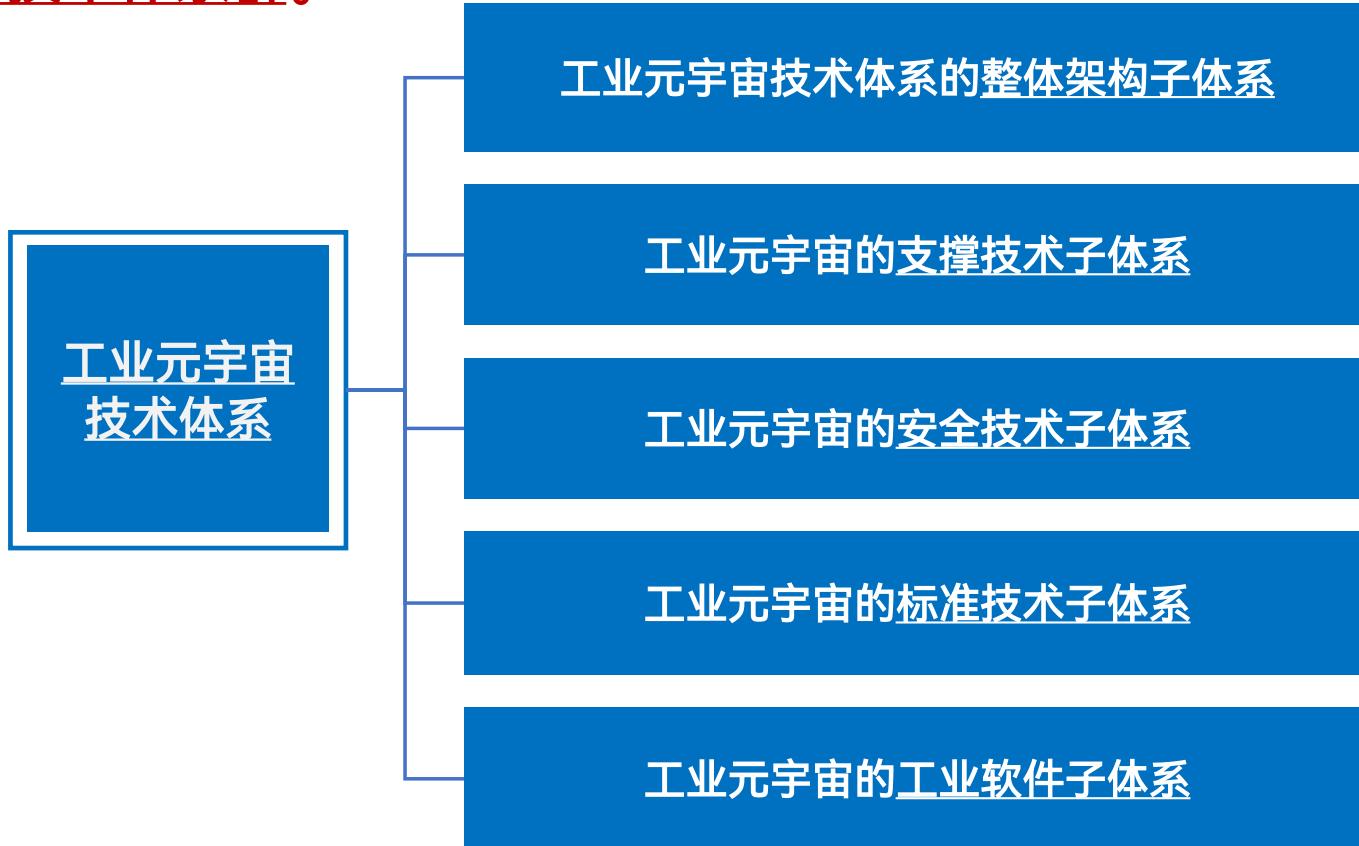


# 目 录

- 1 引言
- 2 新时代/新形势/新征程下我国工业互联网发展的需求
- 3 工业元宇宙的理念初探
- 4 工业元宇宙的体系架构初探
- 5 **工业元宇宙的技术体系及热点技术初探**
- 6 工业元宇宙的应用场景与影响初探
- 7 工业元宇宙发展的几点建议(从系统工程角度谈)

## 5.1 工业元宇宙的技术体系

**工业元宇宙技术体系是由多种技术群综合而成，尚处于不断演进与发展的阶段。它是五维的技术体系群。**



## 5.1 工业元宇宙的技术体系（续）

### 5.1.1 工业元宇宙整体架构子体系(新一代人工智能技术引领)



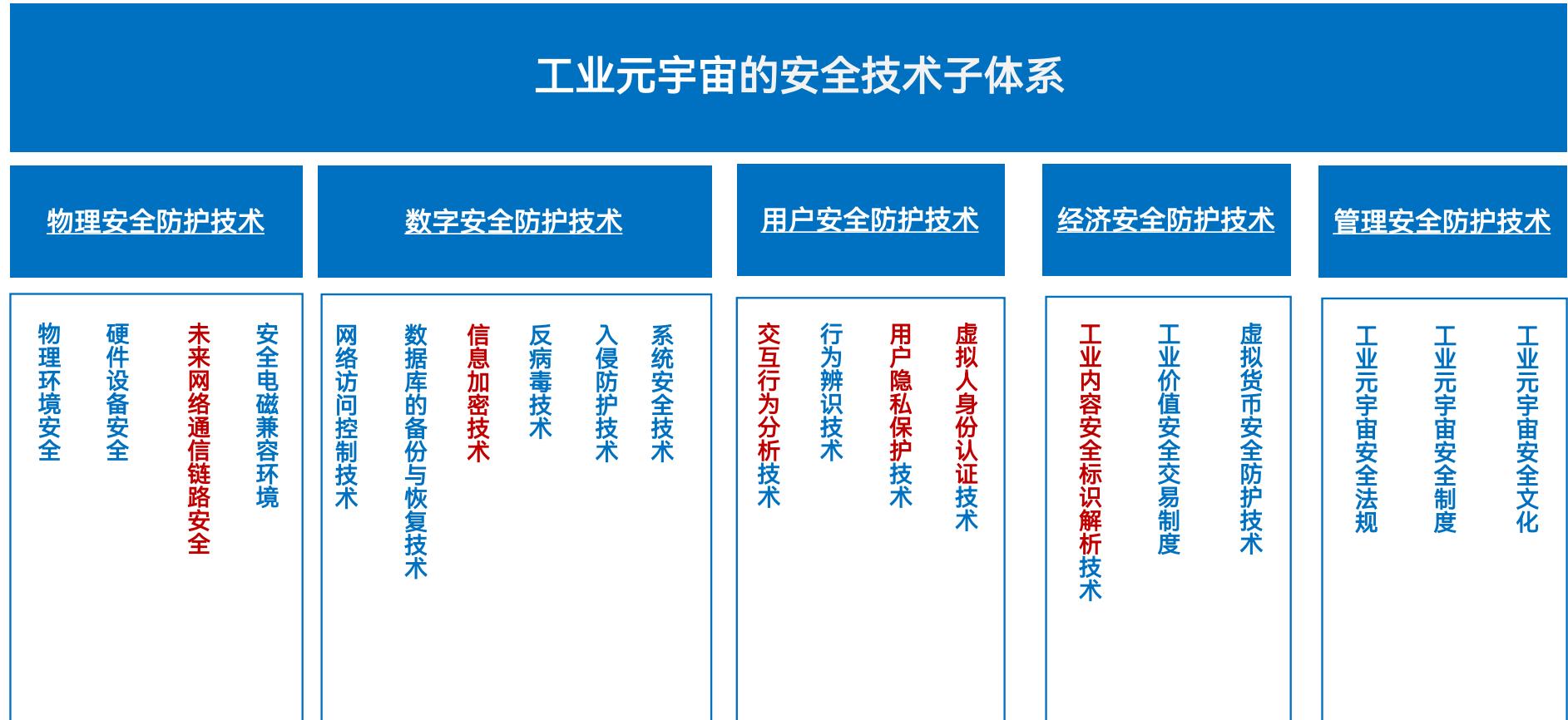
## 5.1 工业元宇宙的技术体系（续）

### 5.1.2 工业元宇宙支撑技术子体系



## 5.1 工业元宇宙的技术体系（续）

### 5.1.3 工业元宇宙安全技术子体系（新一代人工智能技术引领）



## 5.1 工业元宇宙的技术体系（续）

### 5.1.4 工业元宇宙标准技术子体系（新一代人工智能技术引领）



## 5.1 工业元宇宙的技术体系（续）

### 5.1.5 工业元宇宙工业软件子体系（新一代人工智能技术引领）



## 5.2 工业元宇宙的热点技术



- 1 ----- • 工业数字孪生
- 2 ----- • 工业智能
- 3 ----- • 工业灵境
- 4 ----- • 工业区块链
- 5 ----- • 工业网络
- 6 ----- • 工业元宇宙平台及先进计算

## 5.2.1 工业数字孪生

### 工业数字孪生是工业系统的数字化镜像

- 为工业元宇宙提供虚实交互、虚实协同提供技术支撑。
- 通过多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真，反映相对应的工业实体系统的全生命周期过程。
- 是产品/产线/产业链仿真、预测、优化、执行的重要技术手段。



## 5.2.1 工业数字孪生（续）

1

### 工业元宇宙催生数字孪生向沉浸式、交互式、智能化拓展--新工业数字孪生

- 融合脑机接口、虚拟人、沉浸式交互等数字技术，向协同共生、自主迭代技术方向拓展
- 具有数字人、产品/设备、产线/车间、工厂/企业、产业链多层级数字孪生体的构建与协同运行

2

### 工业元宇宙虚实融合、推进新数字孪生人机共融、以虚促实、以虚强实

- 数字孪生通过数字副本接收物理实体的实时数据，还原真实物理世界
- 工业元宇宙以人为核心并基于现实工业空间场景的复现，强调人的沉浸式体验以及虚拟世界的去中心化等优势
- 特别是工业元宇宙的虚拟世界中的新数字孪生可以拓展创造新实体、新方案、新活动

3

### 新工业数字孪生在工业产品全生命周期的各个环节发挥重要新作用,如

- 产品设计仿真：交互式模拟工业产品的结构性能、工作原理以及使用情况等各种内外因素
- 生产调度仿真：沉浸式获得设计参数与生产设备之间的定量关系
- 物流规划仿真：智能化制定并实施调度计划以协调物流快速运行
- 人机工程仿真：沉浸式、交互式、智能化模拟现实工业产品的使用环境，实现人、机、环境三要素的良性互动



## 5.2.2 工业智能

### 工业智能是工业元宇宙的智能引擎和场景生成器



深度学习绕过机理障碍，  
解决高计算复杂度工业  
问题



知识图谱基于已有工业  
知识有效组织实现可靠  
管理与决策



边缘智能在边缘侧提供  
高级数据分析、场景感知、  
实时决策与协同



新智能科学以信息处理、  
模式识别与控制理论为  
核心，进行数据处理

#### 主要技术：

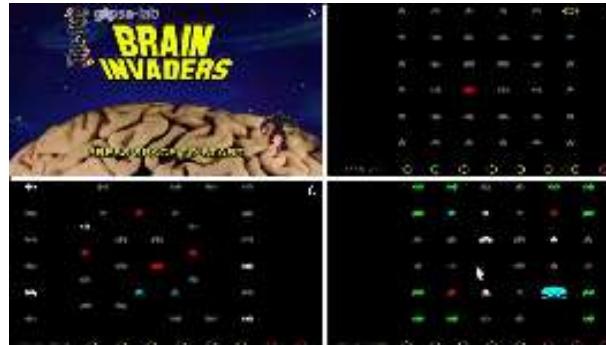
- 通过深度学习技术，挖掘数据价值，支持产品质量检测、设备复杂控制等场景应用
- 通过知识图谱技术，进行复杂任务推理，支持供应链风险管理应用场景应用
- 通过边缘智能技术，实现工业智能从云端下沉，支持企业低延迟、高并发生产现场应用
- 通过新智能科学技术，处理全系统、全生命周期活动中三链的集成与协调
- 工业智能：
  - 为工业元宇宙生成虚拟世界自动、随机生成内容和事件
  - 为工业元宇宙生成丰富的虚拟场景
  - 为工业元宇宙实现三链的集成、协同与拓展

## 5.2.3 工业灵境【4,5,6】

### 工业灵境是工业从业者主动广泛接入工业元宇宙的核心使能



信息感知



意识交互



视觉输出



以人工智能为主体的**智能感知技术**，  
如**语音识别、计算机视觉、传感技术**  
等在工业元宇宙中已得到广泛应用<sup>[3]</sup>。



**脑机接口和虚拟现实技术**能够使  
得人们在工业元宇宙中无限的逼  
近现实的感受<sup>[4]</sup>。



视觉输出将数字空间中的信息通  
过视觉反馈至人体<sup>[5]</sup>，是自然交  
互环节中的重要一步，常用的主要有**增强现实(AR)和渲染技术**等。

【4】 Yu Y, Li H, Yang X, et al. An automatic and non-invasive physical fatigue assessment method for construction workers[J]. Automation in construction, 2019, 103: 1-12.

【5】 Andreev A, Barachant A, Lotte F, et al. Recreational applications of OpenViBE: Brain invaders and use-the-force[J]. 2016.

【6】 Yashin G A, Trinitatova D, Agishev R T, et al. Aerovr: Virtual reality-based teleoperation with tactile feedback for aerial manipulation[C]//2019 19th International Conference on Advanced Robotics(ICAR). IEEE, 2019: 767-772.

## 5.2.4 工业区块链<sup>[7,8,9]</sup>

工业区块链是工业元宇宙去中心化经济体系和工业价值实现的底层支撑



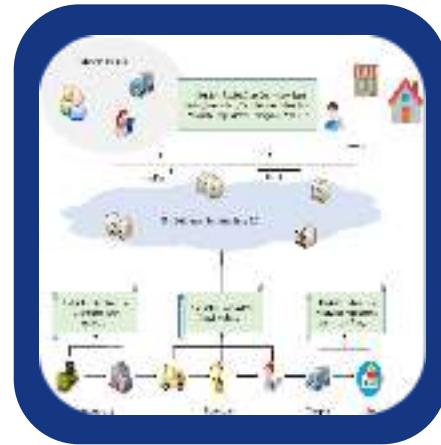
NFT

NFT作为一种非同质化代币在工业元宇宙中使用时，让一个产品不可被复制和替换，对原创者的版权起到很好的保护作用。



区块链

区块链技术作为一种分布式账本，为工业元宇宙去中心化的运作方式提供了充分保障。



标识解析

标识解析技术，将工业设备和工业原料等一切要素连接起来，以构建工业价值对应的唯一数字替身。

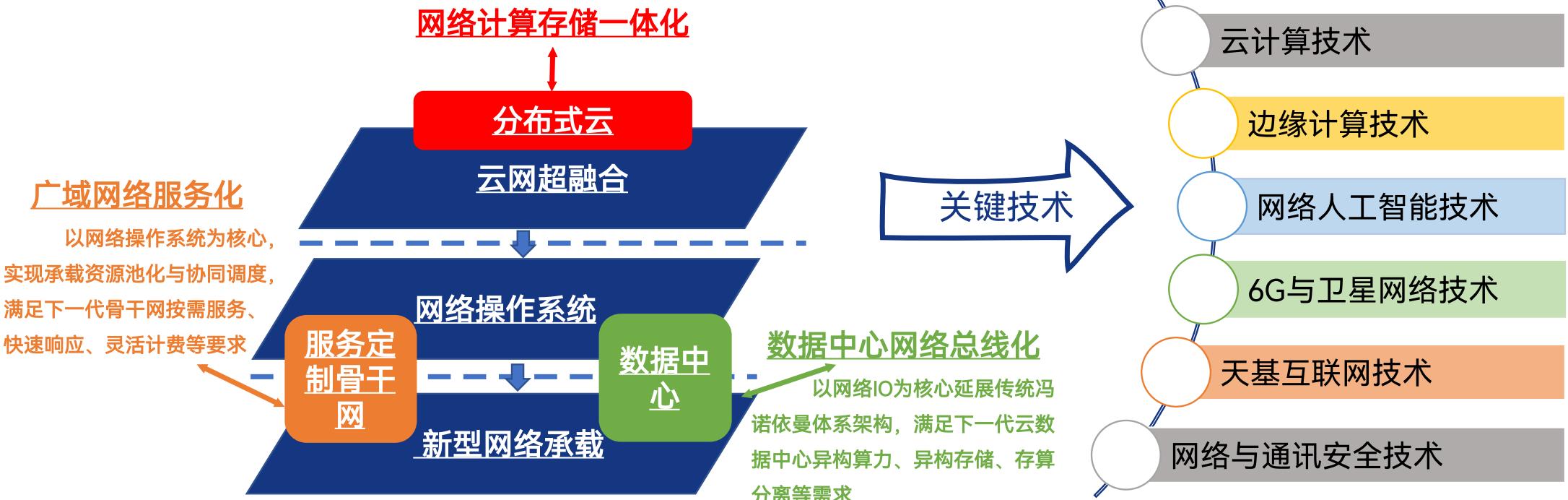
[7] Bamakan S M H, Nezhadsistani N, Bodaghi O, et al. Patents and intellectual property assets as non-fungible tokens: key technologies and challenges[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 1-13.  
[8] Shahbazi Z, Byun Y C. Improving transactional data system based on an edge computing-blockchain-machine learning integrated framework[J]. Processes, 2021, 9(1): 92.  
[9] Ren Y, Xie R, Yu F R, et al. Potential identity resolution systems for the industrial internet of things: A survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2020, 23(1): 391-430.

## 5.2.5 工业网络

**工业网络是工业元宇宙实现随时随地高效普适接入的关键基础设施**

- 移动网络（5G/6G, 卫星网络, 天地一体化网络等）
- 未来工业网络<sup>[10]</sup>

以SCN体系架构为底座，原创性构建分布式云技术体系，使能各种ICT服务与资源在广域范围内的智能动态分布、按需连接协同，与可信多方共治



[10]刘韵洁院士：服务定制网络助力工业互联网发展

## 5.2.6 工业元宇宙平台及先进计算

### 工业元宇宙平台及先进计算是构建工业元宇宙系统的核心支撑服务

口 工业元宇宙平台由工业元宇宙智慧云端服务平台和工业元宇宙智慧边缘处理平台协同组成

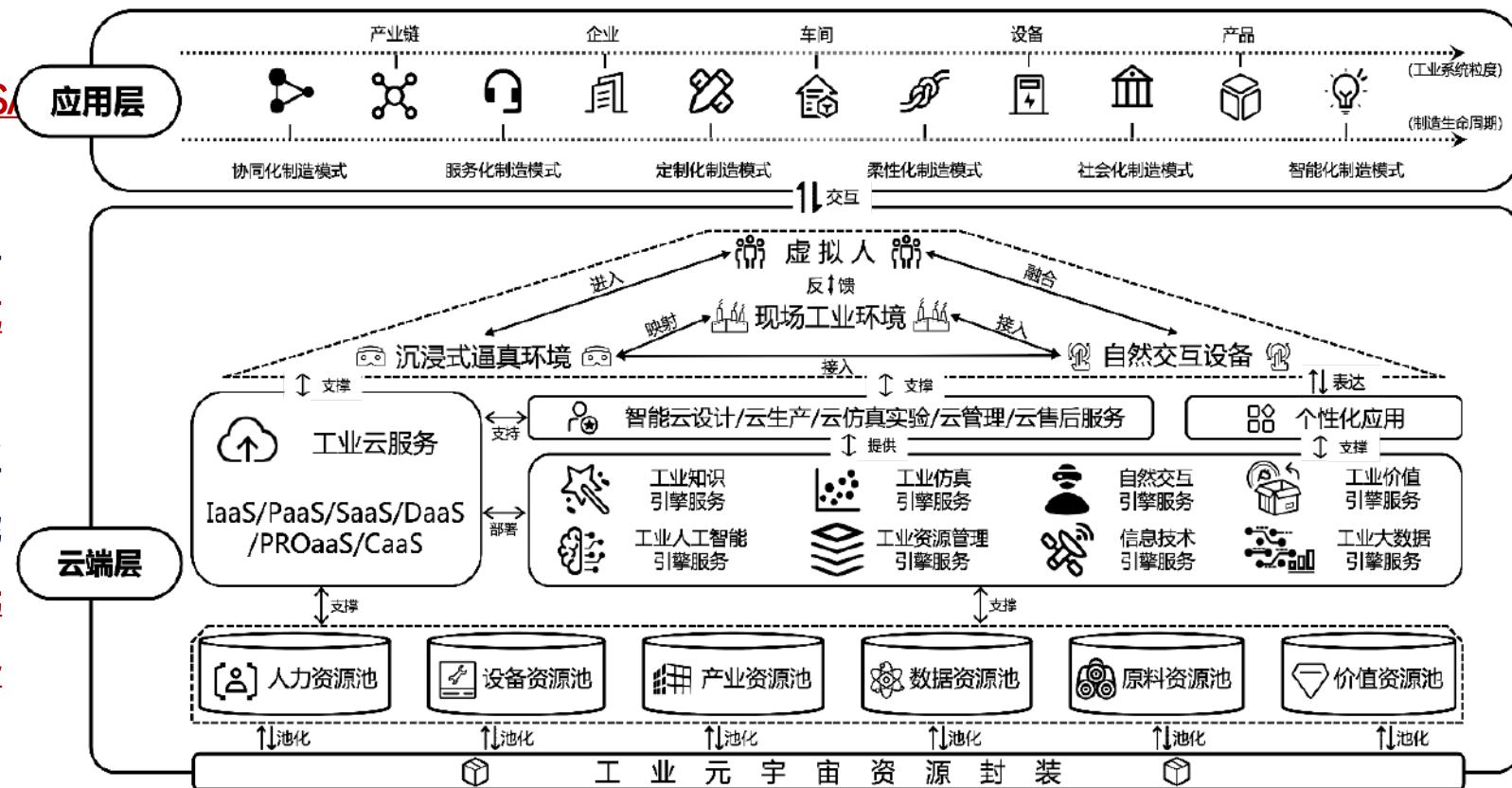
➤ 智慧云端平台：

主要包括：云端IaaS/PaaS/

SaaS/DaaS/PROaaS/CaaS

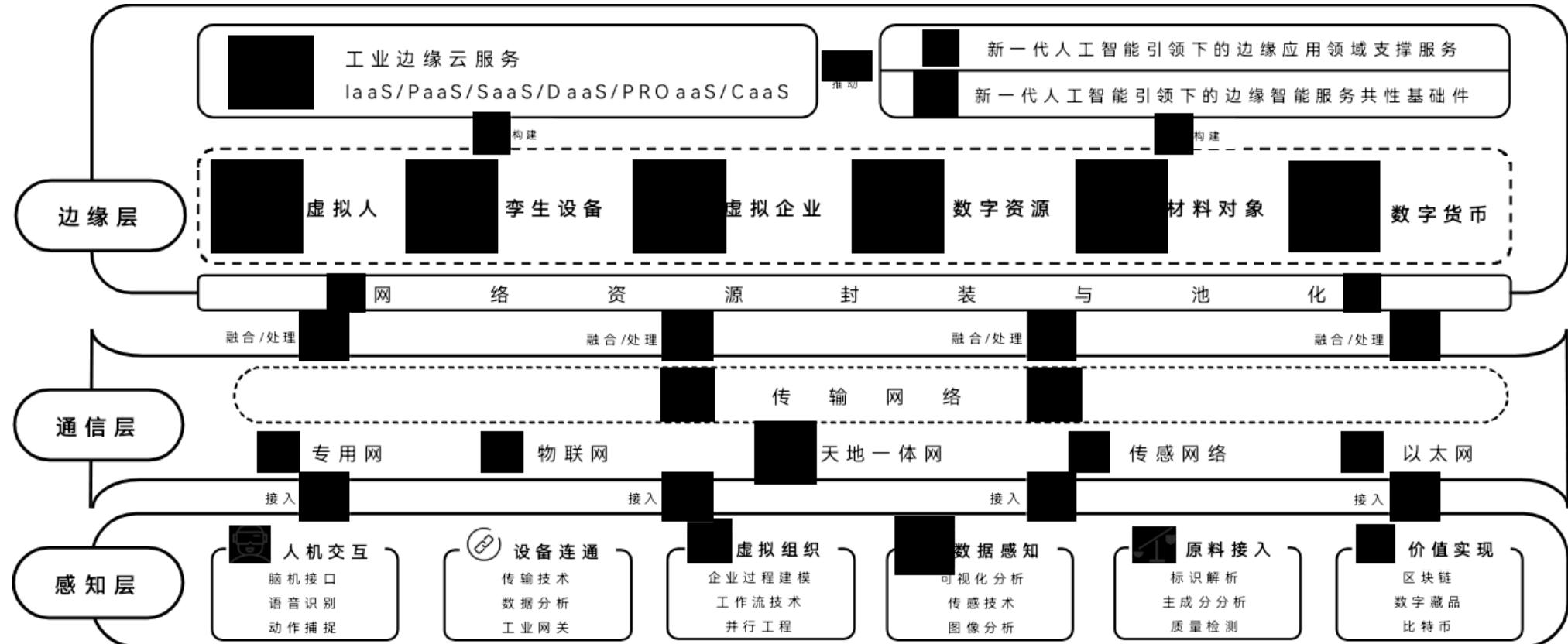
等工业云服务、新一代人工智能技术引领下的应用领域

支撑服务，以及工业知识、  
工业仿真、自然交互、工业  
价值实现等新一代人工智能  
技术引领下的一系列工业元  
宇宙虚实融合相关引擎服务



## 5.2.6 工业元宇宙平台及先进计算（续）

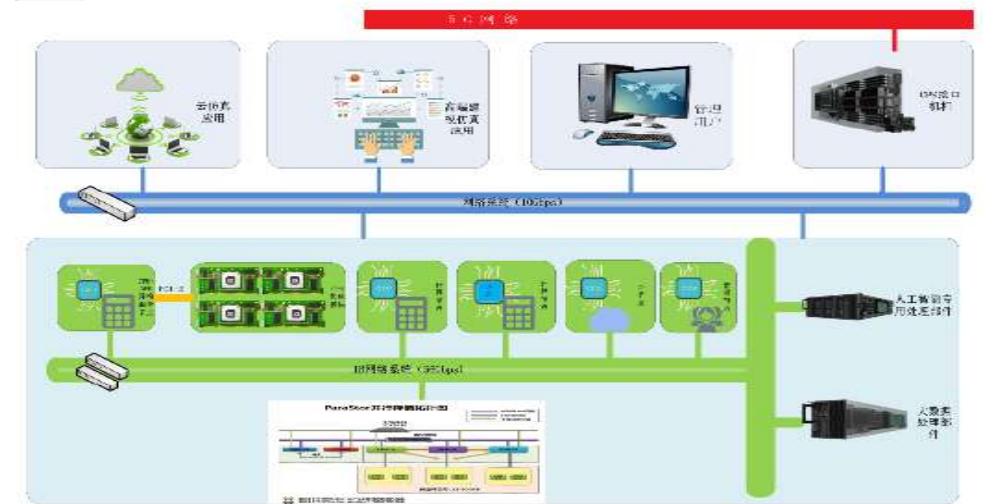
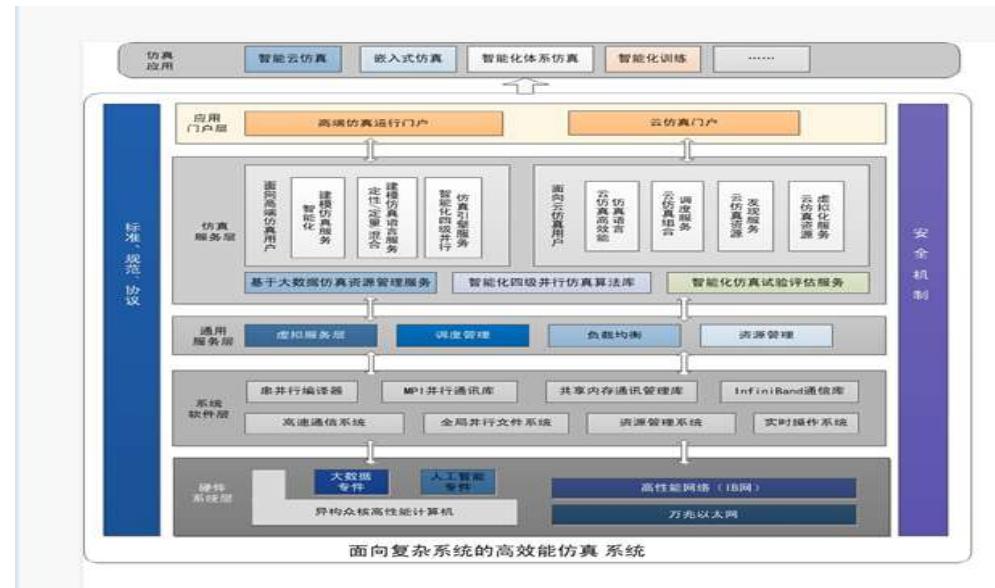
► **智慧边缘处理平台：**主要包括面向工业六要素的虚拟化感知接入和网络通信层，以及智慧边缘服务支撑共性/服务功能（包括边缘端IaaS/PaaS/SaaS/DaaS/PROaaS/CaaS，即新一代人工智能技术引领下的边缘智慧服务共性基础件）及新一代人工智能技术引领下的边缘应用领域支撑服务



## 5.2.6 工业元宇宙平台及先进计算（续）

### □ 先进计算

- “计算力就是生产力”已成为全球共识。
- 先进计算技术包括算力、算法、算据以及“计算+”四大部分技术群【11】。
- 先进计算系统是算力、算法、算据以及“计算+”的集成系统【12】（如右图）
- 面向工业元宇宙需求的先进计算系统是先进计算技术研究与产业的新课题（如AI计算、边缘计算、数据算/存、量子计算）。



【11】 [中国电子信息产业发展研究院，“先进计算产业发展白皮书”，2022]

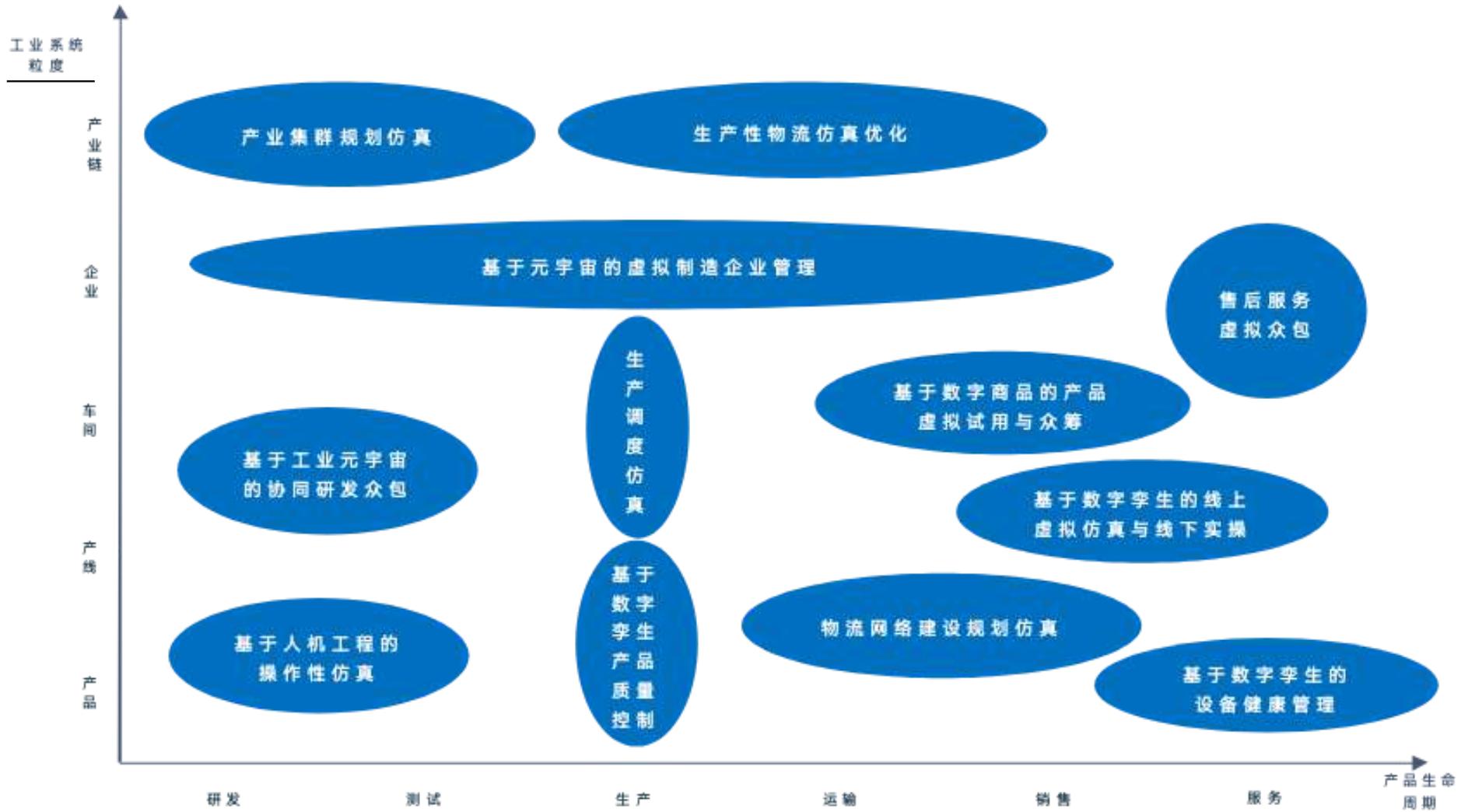
【12】 Bo Hu Li,Duzheng Qing,Han Zhang et al.Research on cloud edge collaboration high performance simulation computer system,World Industrial Internet Conference(keynote speech),2022]



# 目 录

- 1 引言
- 2 新时代/新形势/新征程下我国工业互联网发展的需求
- 3 工业元宇宙的理念初探
- 4 工业元宇宙的体系架构初探
- 5 工业元宇宙的技术体系及热点技术初探
- 6 工业元宇宙的应用场景与影响初探**
- 7 工业元宇宙发展的几点建议(从系统工程角度谈)

## ■ 工业元宇宙应用场景案例

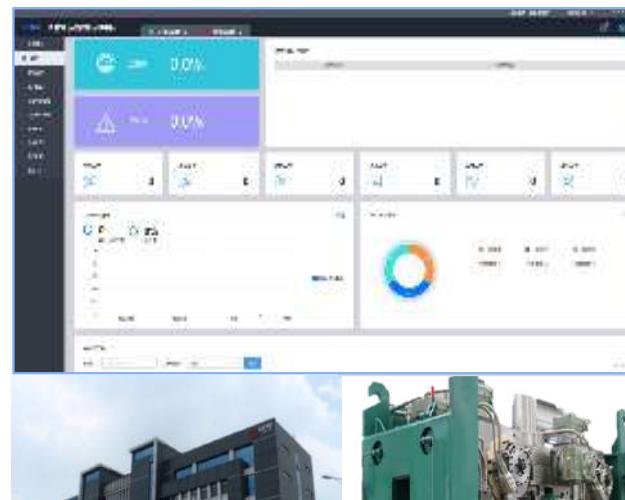


## 6.1 工业系统粒度：设备级应用——**设备数字孪生**，支持设备远程预测性维护，为装备生产厂家提供“卖产品到卖服务”转型



瑞松科技机器人运维监控

- ① 大幅减少售后人员，人力成本减少15%
- ② 部分故障可远程调试，售后成本降低15%
- ③ 客户黏性增强，原厂维保率提高20%



汉威广园轧机远程运维

- ① 实现电机预测性维护，降低电机故障概率
- ② 监控备件生命周期，及时维护和更换，保障生产安全
- ③ 支撑“诊断服务”、“备件销售”等新的盈利模式



重庆轨道交通工业智能维护

- ① 对轨道交通设备的关键部件（包括电机、控制单元、PEDC、电磁锁、电源系统）故障进行诊断、预测
- ② 设备故障诊断预测能力将提升50%，故障处理时间降低15%，运维效率提升20%，安全事故发生率降低40%

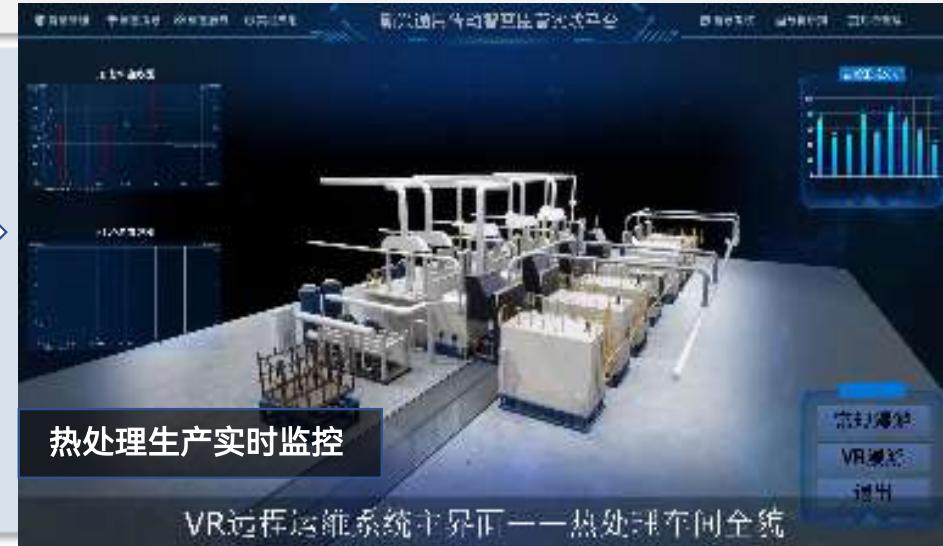
## 6.1 工业系统粒度（续）：产线级应用——如：热处理工艺数字孪生，优化工艺过程与质量

目标  
用户

制造业企业/热处理炉工厂

需求  
痛点

难以掌握工艺核心机理、工艺稳定性差、产品报废率高



5G+VR远程巡检：炉内温度场分布，渗碳过程可视化，降低人工作业风险；

数字孪生：预测碳势分布，实时调整整炉内参数，提高工艺稳定性，降低产品报废率。

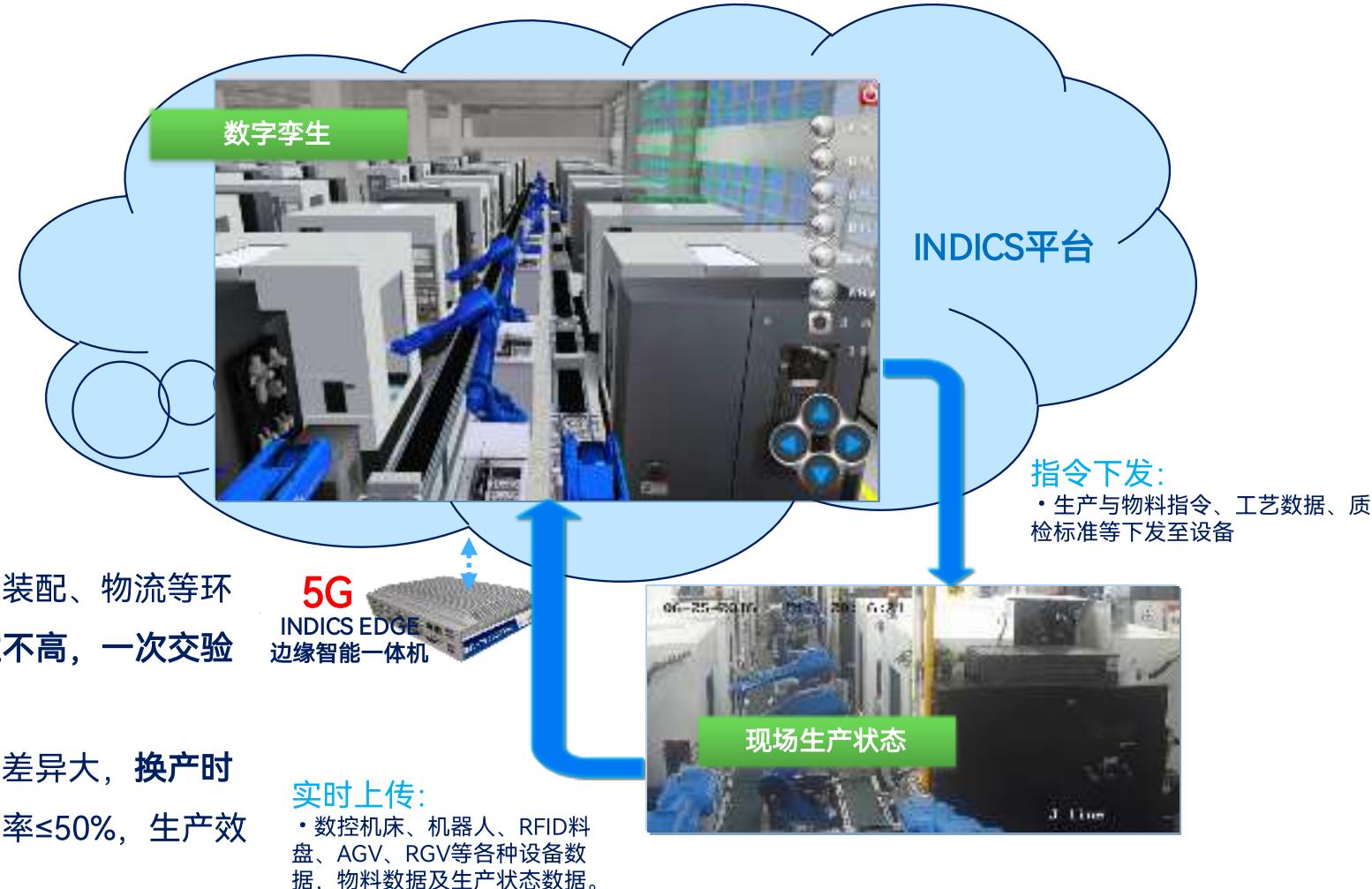
方案  
价值

以重庆新兴通用传动有限公司的智能工厂为例，通过建设“5G+VR+数字孪生”的热处理工厂，设备运维效率提高了25%，一次检验合格率达到98%，安全事故发生率降低了95%。

## 6.1 工业系统粒度（续）：工厂级应用——数字孪生驱动的黑灯工厂

### 1. 满足多品种小批量柔性混线生产模式

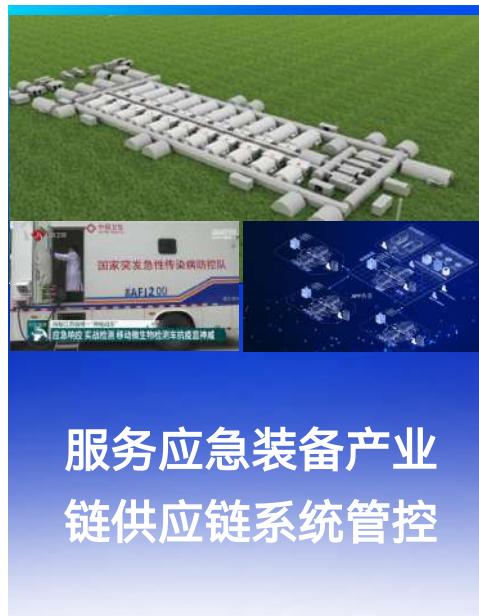
- - 
  -
- ### 2. 建成高端液压气动元件数字孪生工厂
- - 
  -
- **产品质量和可靠性要求高**，机加、装配、物流等环节大部分为人工操作，产品一致性不高，一次交验合格率不高（≤90%）；
  - **产品定制化程度高**，工艺制造路线差异大，换产时间长，目前为混线生产，机床利用率≤50%，生产效率低，生产计划准时完成率≤70%。



## 6.1 工业系统粒度（续）：产业链级应用——构建产业级数字大脑，使能服务产业链治理与供应链优化



支持抗击疫情  
及企业复工复产



服务应急装备产  
业链供应链系统管控



机械产业链供需对  
接平台  
服务政府产业链分析监测



筹划建立国防科技工业  
供应链应急体系

由虚到实：做到产业链、供应链管理实时、准确、可控、可调；通过工业互联网平台上的龙头企业带动上下游企业的整体配套、全面复工达产，“打通堵点、疏通难点”；提升产业链水平，助力企业推进供应链转型，提高企业应变和协同能力。

国资布局与产业链分析监测平台，建立了汇集97家央企，超过15万家国企经营和产业链数据，覆盖20门类，1382个行业小类，1219条产业链的产业数字大脑，识别出400多种卡脖子产品和200多个薄弱环节，支撑了“十四五”国资布局与结构战略性调整规划。已成为央企链长单位的“链长助手”。

## 6.2 产品全生命周期：研发阶段应用——虚拟研发众包



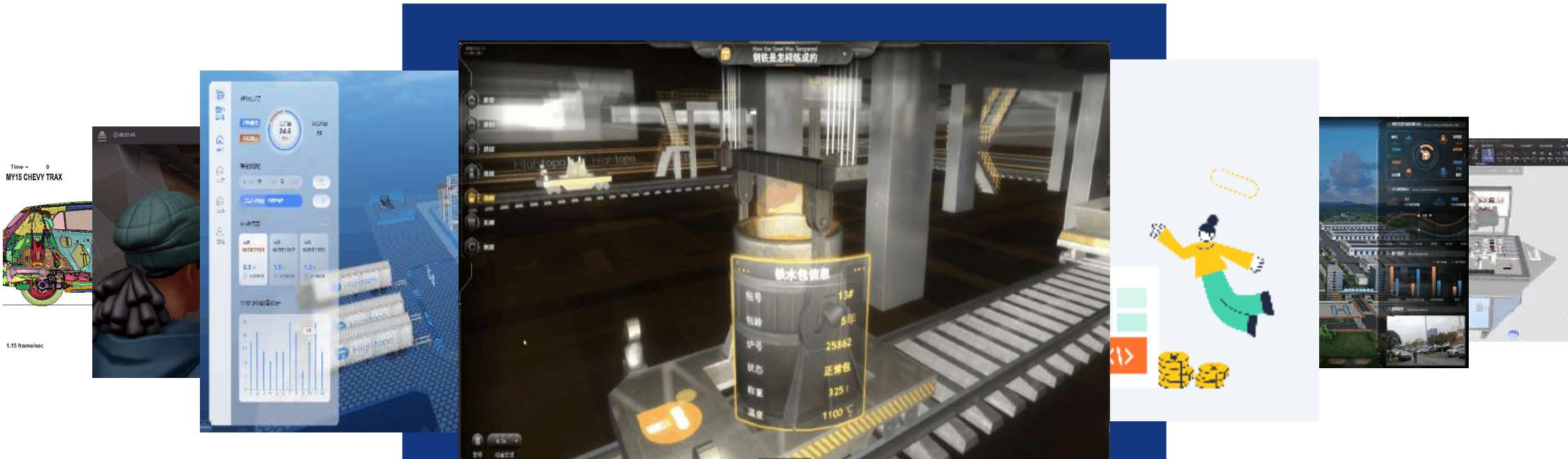
工业元宇宙平台可支持众包式的产品设计方式，  
设计师和用户在元宇宙中虚拟协同，并根据反馈  
进行设计迭代，构建协同化的产品创新体系。

## 6.2 产品全生命周期（续）：生产阶段应用——生产性物流规划仿真



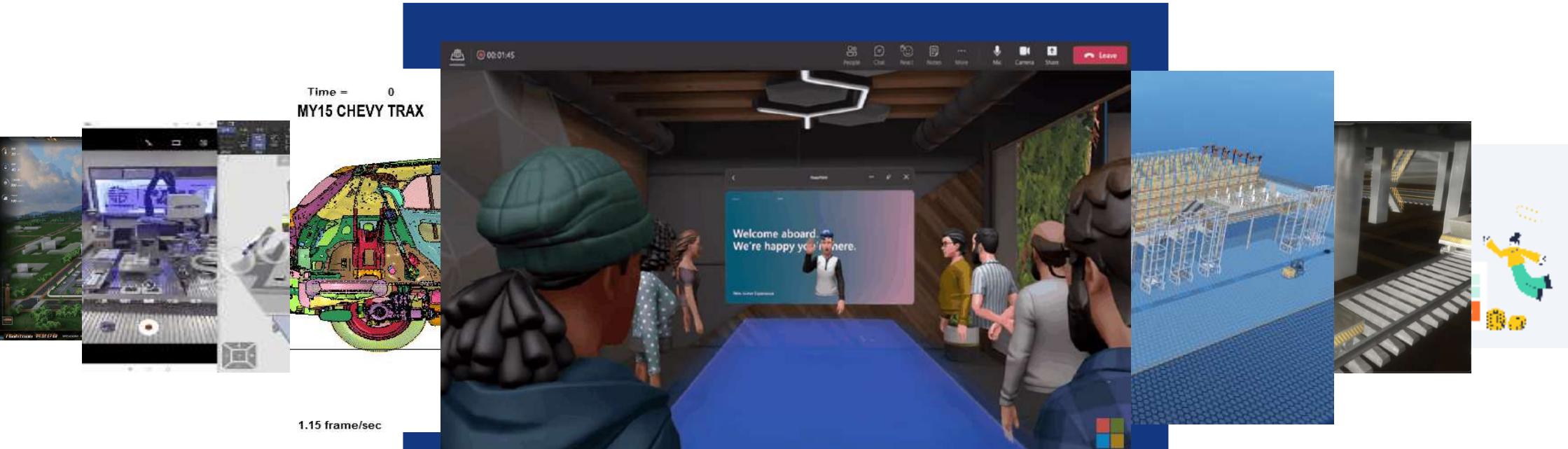
利用工业元宇宙的相关技术能实现物流全过程自动感知识别，各环节信息系统交互集成，生成精确的调度配置方案，提高生产过程的效率。

## 6.2 产品全生命周期（续）：生产阶段应用——产品质量控制



质量工作人员除了可以通过查看相关参数反馈来控制产品质量外，也可以利用VR、AR、MR等工业元宇宙方式进行产品质量评估与诊断优化

## 6.2 产品全生命周期（续）：管理阶段应用——虚拟企业



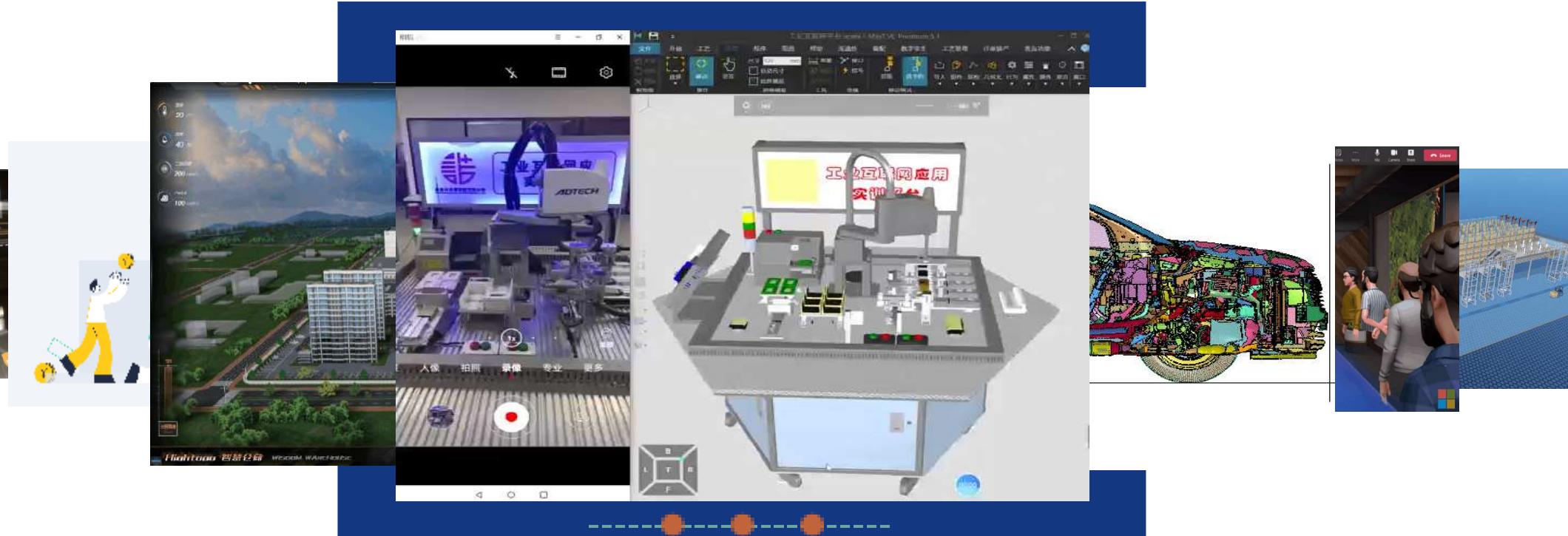
通过工业元宇宙将企业信息数字化和物理企业经营结合起来，以虚拟企业的方式构建更易于跨学科、跨地域、跨组织的多方互动的开放式协同与管理平台。

## 6.2 产品全生命周期（续）：销售阶段应用——数字产品试用



所有工业产品，尤其是涉及人机交互的商品均可以数字化并通过虚拟人作为替身进行数字化试用，进而判断用户操作的友好性同时反馈给设计进行优化

## 6.2 产品全生命周期（续）：使用阶段应用——虚拟实训（大会A430展位有实际系统展示）

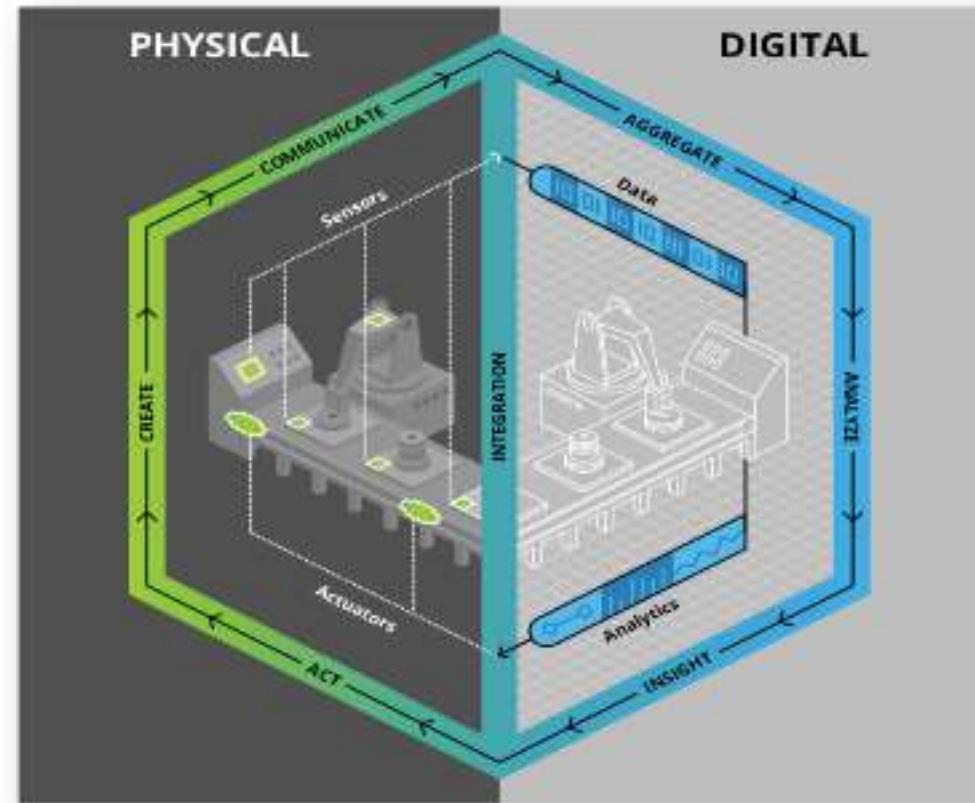


在工业元宇宙中，所有工业设备的培训和上机操作之前都可以进行反复的沉浸式培训，通过交互式虚拟现实技术搭建体验式虚拟培训，减少实训设备投入

## 6.3 工业元宇宙的影响1——工业元宇宙提升工业价值创造

### 1. 工业元宇宙加速形成虚实互动的智能制造新模式

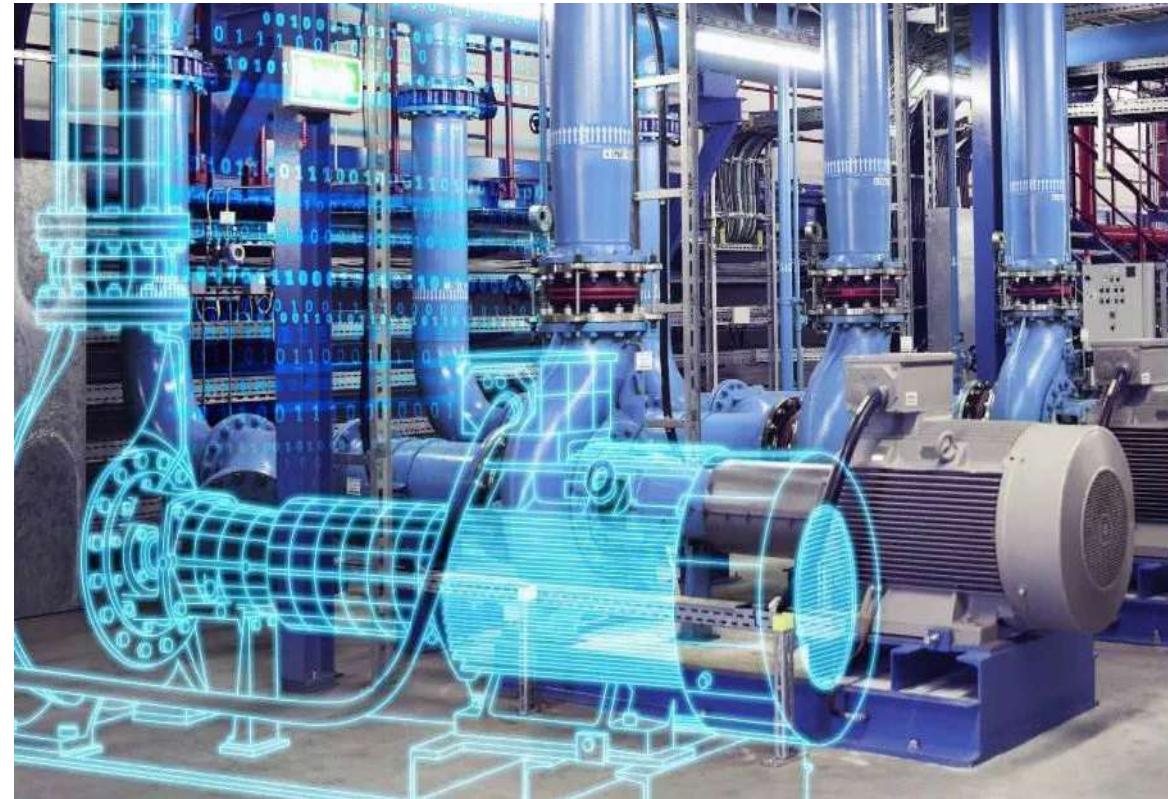
■ **工业元宇宙能够服务于研发设计、生产制造、运维保障、企业经营、市场销售等工业全过程，并面向这些环节提供虚拟交互设计、虚拟化模拟设计、实时联动生产排程、远程XR运行维护、XR模拟场景培训等新工具新手段，有效推动产品提质降本增效，形成虚实协同的新一代的智能制造模式。**



## 6.3 工业元宇宙的影响1——工业元宇宙提升工业价值创造（续）

### 2. 工业元宇宙将变革未来产品与服务的交付形态，推动业务效能不断提升

■ 工业元宇宙带来了全场景和数实融合应用，汇聚了丰富的数字资产。这些数字资产价值的持续释放，包括产品数字孪生与虚拟服务等，将进一步支持产品设计、研发、生产、使用服务全流程及产品数字化交付，实现产品与服务物理数字双交付，更好地支撑产品虚实协同、实现软件定义产品，加速工业元宇宙连接和驱动的产品智能化和服务迭代。



## 6.3 工业元宇宙的影响1——工业元宇宙提升工业价值创造（续）

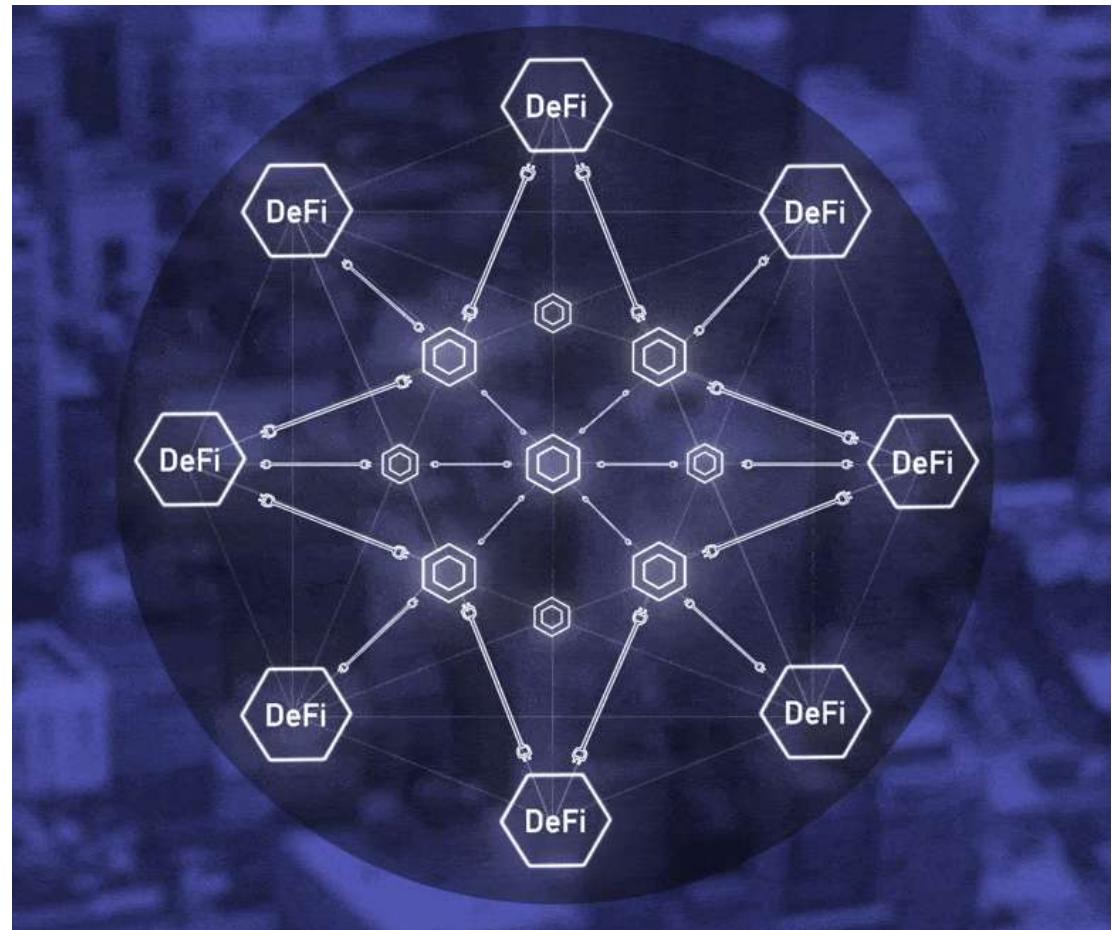
### 3. 工业元宇宙能够重构数字工业发展新生态

- 工业元宇宙能够打破传统产业链资源组织方式在时间、空间以及相关资源束缚，更大范围地将围绕业务需求的资源、组织、管理等要素快速汇聚，实现管理模式和商业模式的变革，加速各类用户、制造商、服务商、开发者更敏捷的组织、合作，打造工业发展新生态。



## 6.4 工业元宇宙的影响2——推动工业互联网向未来高级形态发展

- 以工业数据、工业模型、工业知识、数字孪生等为代表的数字内容是未来工业元宇宙竞争的焦点
  - 这些数字工业内容决定工业元宇宙商业价值
  - 数字内容促进数字生产要素化的程度更高，基于NFT加速数据资产化，数据价值持续得以释放
- 数据确权、估价、交易、隐私保护等数字监管技术也是当前支撑工业元宇宙的研究重点





# 目 录

- 1 引言
- 2 新时代/新形势/新征程下我国工业互联网发展的需求
- 3 工业元宇宙的理念初探
- 4 工业元宇宙的体系架构初探
- 5 工业元宇宙的技术体系及热点技术初探
- 6 工业元宇宙的应用场景与影响初探
- 7 工业元宇宙发展的几点建议(从系统工程角度谈)

## 7.1宏观发展建议 ---6个注重

一要注重企业为中心的“政、产、学、研、金、用”结合的各级技术创新体系的建立。

二要注重产业链的完善布局，特别是芯片与工业软件产品及其服务链的布局。

三要注重各类人才培养，特别是跨学科人才的培养。

四要注重国家/地方基础建设，特别是5G/6G网络、未来网络与数据库/模型库/算法库和算力的建设。

五要注重国家/地方新政策的引导与支持，特别是工业元宇宙文化的建设与对中小企业的财政政策支持等。

六要注重数字化、网络化/云化、智能化“技术、应用、产业”的协调发展。

## 7.2技术发展建议---8个重视

**一要重视工业数字孪生，工业智能，工业灵境，工业区块链，工业网络，工业元宇宙平台及先进计算等热点技术的创新发展。**

**二要重视加强工业系统中的设计、生产、管理、试验、保障服务等的新模式、新流程、新技术（硬/软）、新业态的研究。**

**三要重视数据库、算法库、模型库、知识库、大数据平台、计算能力等基础能力研究与建设。**

**四要重视符合工业“分享经济”的商业模式技术研究。**

**五要重视安全技术（系统安全及商业安全技术）及相关标准和评估指标体系技术研究。**

**六要重视新一代人工智能技术的新发展，它正向“强人工智能、通用人工智能及超人工智能”发展。**

**七要重视打造我国自主行业 / 通用标准体系，并参与国际标准体系构建。**

**八要重视工业元宇宙相关理念与技术的新发展。**

## 7.3产业与应用发展建议 ---4个加强与4个突出



产业发展建议

一要加强工具集（硬件/软件）和平台的产业

二要加强智能产品的产业

三要加强工业元宇宙系统（行业、企业、车间及产业链上各阶段的工业元宇宙系统）的构建与运行产业

四要加强工业元宇宙系统运营中心的运营服务产业。



应用发展建议

一要突出行业、企业特点

二要突出以问题为导向的工业元宇宙系统模式、技术手段和业态变革

三要突出系统的六要素、六流的综合集成化、优化和智慧化

四要突出系统工程的实施原则，如“一把手挂帅”，“创新驱动，总体规划，突出重点，分步实施”的指导思想，制定好发展规划与阶段性实施方案等。



感谢聆听！请批评指正！

特别感谢团队成员对报告的贡献：

侯宝存、林廷宇、杨晨、宋伟宁、  
刘阳、陈南江、林燕文、宿春慧、  
郑智茗、周宇琪

