

ICS 35.240
CCS L70

团 体 标 准

T/CESA 1433—2025

工业元宇宙 参考架构

Industrial metaverse — Reference architecture

2025-11-12 发布

2025-11-12 实施

中国电子工业标准化技术协会 发布



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构，除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 工业元宇宙参考架构和视图.....	2
4.1 工业元宇宙参考架构框架.....	2
4.2 工业元宇宙参考架构视图.....	2
5 共同关注点.....	3
5.1 概述.....	3
5.2 数据融合.....	4
5.3 场景还原.....	4
5.4 知识推演.....	4
5.5 决策模拟.....	4
5.6 决策反馈.....	4
5.7 服务拓展.....	4
5.8 隐私保护.....	4
6 用户视图.....	4
6.1 概述.....	4
6.2 工业元宇宙客户.....	5
6.3 工业元宇宙提供方.....	7
6.4 工业元宇宙关联方.....	9
7 功能视图.....	10
7.1 概述.....	10
7.2 基础域.....	11
7.3 核心域.....	11
7.4 交互域.....	13
7.5 应用域.....	13
7.6 跨层功能.....	14
参考文献.....	16

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。

本文件由中国电子技术标准化研究院提出。

本文件由中国电子工业标准化技术协会元宇宙工作委员会归口。

本文件起草单位：中国电子技术标准化研究院、西门子（中国）有限公司、中兴通讯股份有限公司、中科云创（北京）科技有限公司、合肥谷器数据科技有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、广州联成检测服务有限公司、朗坤智慧科技股份有限公司、研祥智慧物联科技有限公司、浪潮云洲工业互联网有限公司、中移（上海）信息通信科技有限公司、卡奥斯数字科技（上海）有限公司、四川长虹佳华信息产品有限责任公司、北京联合大学、深圳前海微众银行股份有限公司、杭州趣链科技有限公司联通在线信息科技有限公司、西北工业大学、北京津发科技股份有限公司、憨猴科技集团有限公司、浙江大学、北京航空航天大学、杭州高新区（滨江）区块链与数据安全研究院。

本文件主要起草人：邱硕涵、赵立华、王凯、王程安、王典威、傅玲、邵伟翔、周北川、石龙、陈烜垒、程俊骞、潘惠梅、陈志列、罗涛、周威、丁兆增、刘亭杉、周子茗、李良、马岩、李成博、张一剑、王芮莹、单伟、苍天竹、毛超逸、贾晓亮、赵起超、庞建青、杨白雪、刘廷钰、蔡虹霞、韩子奇、陈昀亮。

工业元宇宙 参考架构

1 范围

本文件确立了工业元宇宙参考架构，包括工业元宇宙角色、工业元宇宙活动、工业元宇宙功能组件及其之间的关系。

本文件适用于指导工业元宇宙的相关方选择和使用工业元宇宙服务；工业元宇宙的相关方建设工业元宇宙系统和应用；工业元宇宙相关方参与工业元宇宙活动。

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

元宇宙 Metaverse

经由人体感知与人机交互设备，使用户通过专属数字身份互联，在其中实现社交、工作、娱乐、生产、消费等活动，并实现与现实社会交互、映射和影响的数字虚拟空间和叙事融合社区，具备永续时空、虚拟共生、沉浸交互、开放生态等特点。

[来源：GB/T 45993-2025，3.1]

3.2

架构 Architecture

通过系统元素、元素间的关系，以及系统设计和进化原则体现出来的一个系统在其环境中的基本概念或属性。

[来源：ISO/IEC/IEEE 42010:2011，3.2]

3.3

工业元宇宙 industrial metaverse

由工业领域研发、生产、供应、销售、服务、协同等多环节子系统构成的，具有高度沉浸、实时永续、自主创造、开放互联等特征的，虚拟与现实融合交互的新型工业生态系统。

3.4

人机交互 Human-Machine Interaction

通过人（用户）与计算机之间的通信点或接口，实现视觉、听觉、触觉等多模态感知信息的有效交互。

注：交互方式包括但不限于文字交互、图像交互、视频交互、音频交互、脑机交互、情感交互、体验交互等。

4 工业元宇宙参考架构和视图

4.1 工业元宇宙参考架构框架

工业元宇宙参考架构由关注点、用户视图和功能视图组成，见图1。

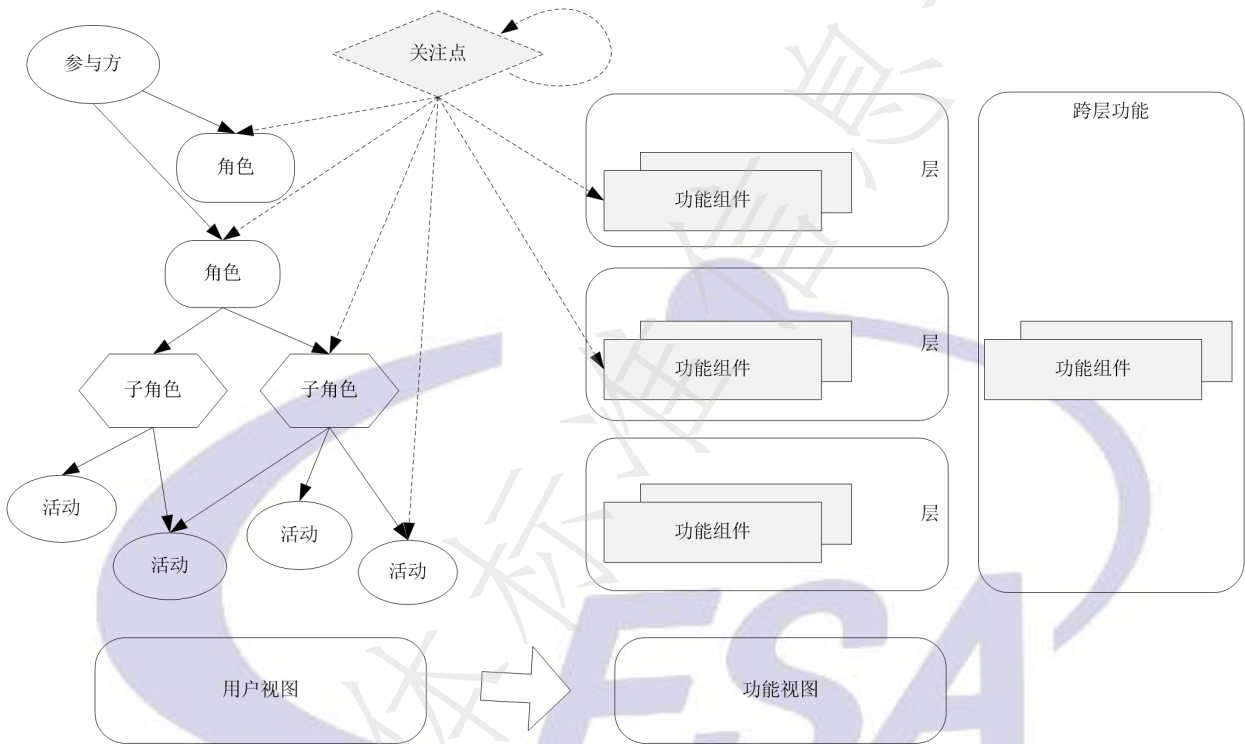


图 1 工业元宇宙参考架构框架

4.2 工业元宇宙参考架构视图

工业元宇宙参考架构采用视图方法进行描述，包括用户视图、功能视图、实现视图和部署视图，见图2。

- a) 用户视图；
- b) 功能视图；
- c) 实现视图；
- d) 部署视图。

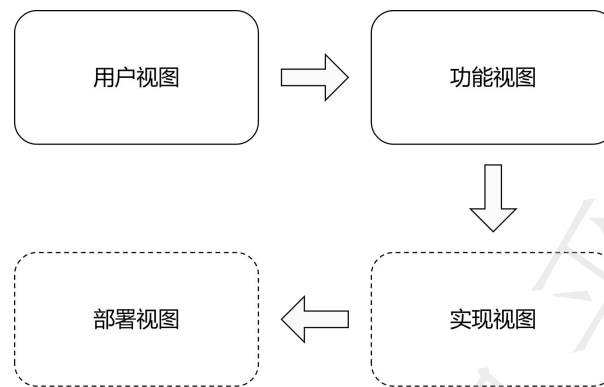


图 2 不同视图之间的转换

针对工业元宇宙参考架构采用表1对各视图进行描述。

表 1 工业元宇宙参考架构视图

工业元宇宙视图	视图描述	范围
用户视图	系统环境、参与方、角色、子角色和工业元宇宙相关活动	范围内
功能视图	支撑工业元宇宙相关活动的所需功能	范围内
实现视图 ^a	描述工业元宇宙功能或界面具体实现的过程，实现服务、基础设施部件内的工业元宇宙服务所需的功能	范围外
部署视图 ^a	描述系统物理组件（硬件、网络设备等）的分布及软件与硬件之间的映射关系，是基于已有或新增的基础设施，对工业元宇宙服务功能的技术实现	范围外

注：^a虽然本文件不包含对实现视图和部署视图的详细描述。

5 共同关注点

5.1 概述

共同关注点既适用于工业元宇宙的用户视图，又适用于工业元宇宙的功能视图，包括：

- a) 数据融合;
- b) 场景还原;
- c) 知识推演;
- d) 决策模拟;
- e) 服务拓展;
- f) 隐私保护。

5.2 数据融合

应具备多源数据采集及集成、实时数据处理、数据清洗与预处理、异构数据融合、大数据分析、数据安全与隐私保护、数据标准化与互操作、数字孪生与模型融合、跨域知识融合等数据融合的能力。

5.3 场景还原

应具备将已有工业设备、人员、活动映射在虚拟空间中，还原实体生产场景的能力。

5.4 知识推演

应具备工业知识发现、知识挖掘和推演分析的能力。

5.5 决策模拟

应具备通过预测功能为工业场景提供决策辅助的能力和通过模拟仿真能力实现对决策效果的判断的能力。

5.6 决策反馈

应具备通过实时数据交互与模拟推演，将虚拟空间的验证结果反向作用于现实决策的闭环机制。

5.7 服务拓展

应具备服务于工业的各个核心环节并向经营管理和行业融合进行服务拓展的能力。

5.8 隐私保护

应具备数据、模型、功能、网络等隐私保护能力。

6 用户视图

6.1 概述

工业元宇宙的用户视图包括工业元宇宙客户、工业元宇宙提供方、工业元宇宙关联方，见图3。

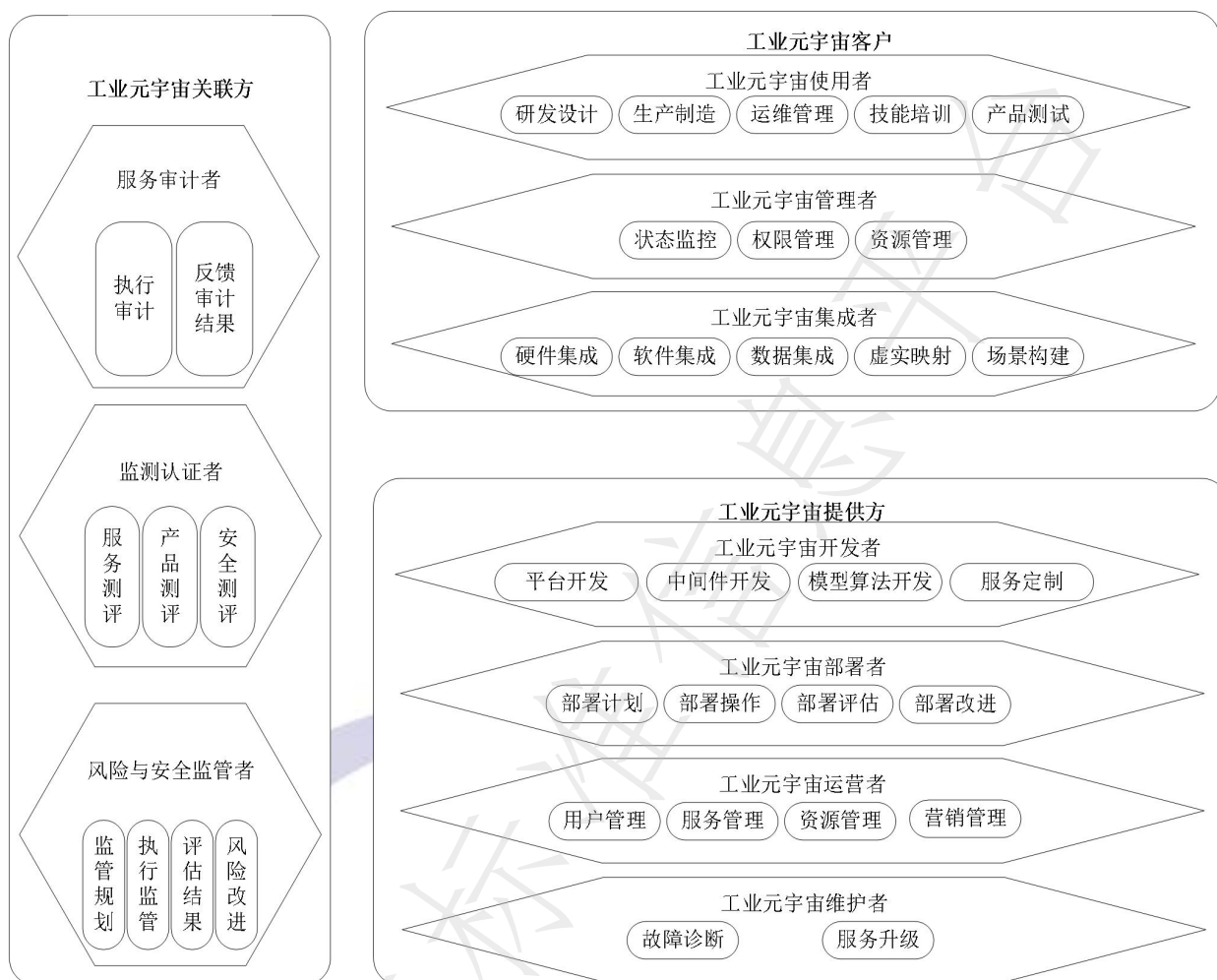


图 3 用户视图

工业元宇宙客户、工业元宇宙提供方、工业元宇宙关联方之间的关系包括：

- 工业元宇宙客户负责向提供方提出工业元宇宙业务需求和使用、故障中的信息反馈，并向关联方提出工业元宇宙检测认证、审计等需求，以及面向工业场景完成工业元宇宙的集成；
- 工业元宇宙提供方根据工业元宇宙客户需求，完成工业元宇宙服务开发、部署、实施、运维，并交付给客户使用，同时配合关联方完成工业元宇宙测试、审计等工作；
- 工业元宇宙关联方负责为工业元宇宙客户、工业元宇宙提供方提供审计、测试和安全管理等服务。

6.2 工业元宇宙客户

6.2.1 子角色

工业元宇宙客户包括工业元宇宙使用者、工业元宇宙管理者、工业元宇宙集成者。如图4所示。

6.2.1.1 工业元宇宙使用者

应具备对工业元宇宙相关服务进行具体操作和应用的能力。

6.2.1.2 工业元宇宙管理者

应具备对资源、功能、权限进行监督、监测和管理。

6.2.1.3 工业元宇宙集成者

应具备面向工业场景，集成硬件资源、软件资源、数据资源等，在元宇宙中构建工业人员、设备、活动的映射并生成工业场景等能力。

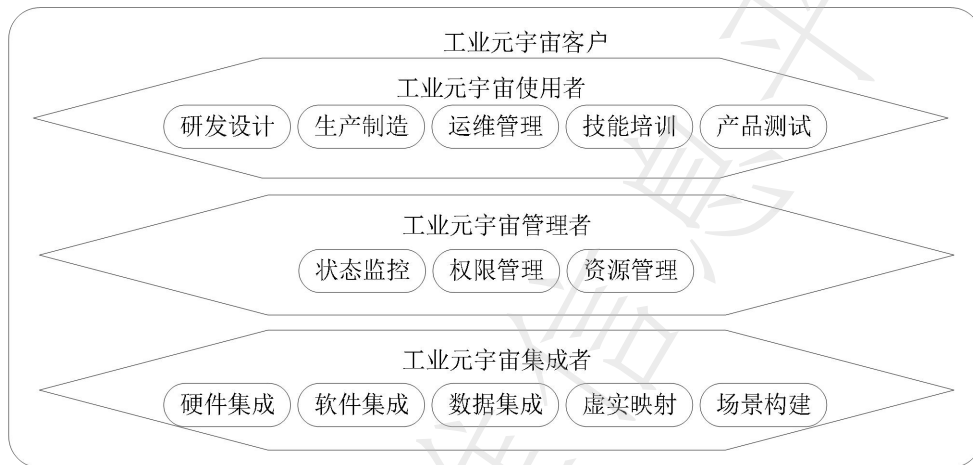


图 4 工业元宇宙客户角色与子角色

6.2.2 活动

6.2.2.1 工业元宇宙使用者活动

工业元宇宙使用者活动包括：

- a) 应具备能实现产品、工厂模型化，精准模拟生产流程，有效验证产品性能，同时打破地域限制，支持多方协同设计，提升用户设计体验的研发设计类工业元宇宙应用；
- b) 应具备能促进虚实融合，提升生产系统敏捷感知、实时分析、自主决策能力，全面降本增效的生产制造类工业元宇宙应用；
- c) 应具备能够打通生产过程数据壁垒、构建多维数据的设备孪生体，实现设备全生命周期管理以及工业知识显性化、可视化，降低运维人员技术和知识门槛的运维管理类工业元宇宙应用；
- d) 应具备能够通过搭建沉浸式体验平台，指导学员更加直观地操作，提高教学培训效率的技能培训类工业元宇宙应用；
- e) 应具备能够提供虚拟环境，开展试验验证和产品性能测试，通过虚实结合，实现物理空间和虚拟空间的同步验证，提高测试认证效率和准确性的产品测试类工业元宇宙应用。

6.2.2.2 工业元宇宙管理者活动

工业元宇宙管理者活动包括：

- a) 应具备对工业设备和生产过程进行全过程模拟还原，进行全方位无死角实时监控和智能分析的状态监控能力；
- b) 应具备在工业元宇宙活动中，对用户访问和操作资源的能力进行控制、监控和授权的一系列措施和规则，确保系统的安全性、数据的保密性和业务流程的合规性；

- c) 应具备在工业元宇宙活动中，对各种虚拟资源进行有效地规划、分配、监控和维护，以确保资源的优化利用和系统的稳定运行的资源管理能力。

6.2.2.3 工业元宇宙集成者活动

工业元宇宙集成者活动包括：

- a) 应具备将物理硬件设备与虚拟世界中的系统、平台或应用相结合的硬件集成能力；
- b) 应具备将不同的软件系统、应用程序或服务融合在一起，以便它们可以在工业元宇宙环境中协同工作的软件集成能力；
- c) 应具备将来自不同来源、格式和类型的数据统一整合到一个中央访问点或平台中，以便在工业元宇宙环境中实现数据的互操作性、共享和分析的数据集成能力；
- d) 应具备将现实世界中的实体、系统、过程和操作与其在虚拟世界中的数字孪生或模拟对应起来的虚实映射能力；
- e) 应具备设计和创建虚拟环境中的具体场景，模拟现实世界的工业过程、操作、事件或交互，以便在元宇宙中进行各种模拟、训练、展示和分析活动的场景构建能力。

6.3 工业元宇宙提供方

6.3.1 子角色

工业元宇宙提供方包括工业元宇宙开发者、工业元宇宙部署者、工业元宇宙运营者、工业元宇宙维护者。见图5。

6.3.1.1 工业元宇宙开发者

应具备开发满足用户具体需求的工业元宇宙服务能力。

6.3.1.2 工业元宇宙部署者

应具备按照应用架构部署工业元宇宙服务的能力。

6.3.1.3 工业元宇宙运营者

应具备工业元宇宙的商务运营能力。

6.3.1.4 工业元宇宙维护者

应具备工业元宇宙的运行维护能力。

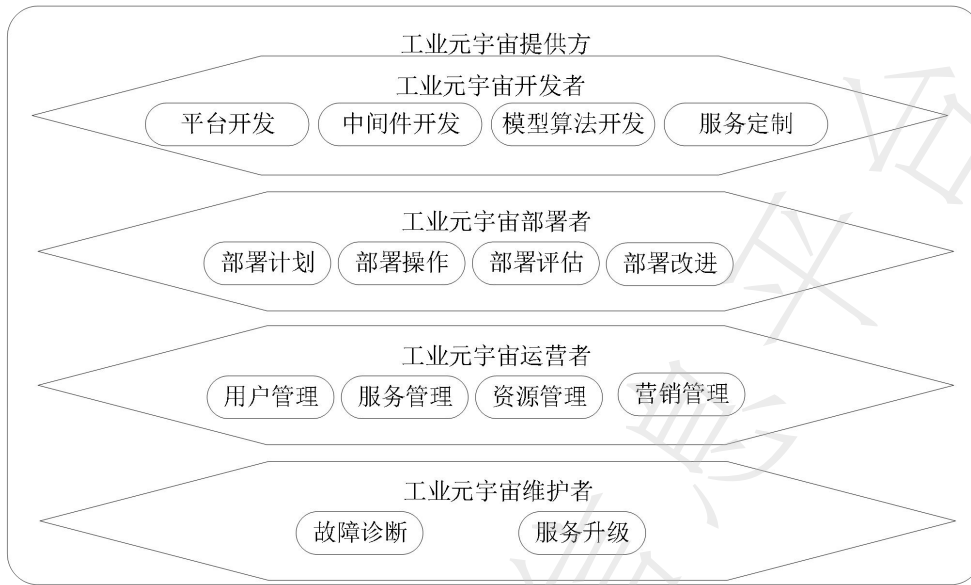


图 5 工业元宇宙提供方角色与子角色

6.3.2 活动

6.3.2.1 工业元宇宙开发者活动

工业元宇宙开发者活动包括：

- 应具备针对工业元宇宙的业务架构、技术架构、数据架构、应用架构等进行设计、构建和维护的平台开发能力；
- 应具备针对工业元宇宙的通用业务进行相应中间件的设计、构建、开发和维护的中间件开发能力；
- 应具备针对通用工业场景设计、创建、开发和维护相应的算法和模型的模型算法开发能力；
- 应具备针对客户定制化的需求开发工业元宇宙服务的服务定制能力。

6.3.2.2 工业元宇宙部署者活动

工业元宇宙部署者活动包括：

- 应具备规划工业元宇宙部署计划，构建部署环境，制定部署步骤，并确保工业元宇宙部署的合规性的能力；
- 应具备根据前期定义的部署流程及部署环境进行部署操作的能力；
- 应具备针对工业元宇宙的前期规划评估部署后的功能、运行效果是否达到预期目标的能力；
- 应具备针对部署评估中发现的问题进行改进，保证平台客户能正常使用工业元宇宙的能力。

6.3.2.3 工业元宇宙运营者活动

工业元宇宙运营者活动包括：

- 应具备针对工业元宇宙的用户进行关系管理的能力，包括用户账号、角色定义、身份识别和权限分配等；
- 应具备依托工业元宇宙服务目录管理平台进行服务管理的能力；
- 应具备对客户在工业元宇宙的资源进行统计分析与管理的能力；

d) 应具备针对客户关系、资源和能力进行全过程追踪和管理的营销管理能力。

6.3.2.4 工业元宇宙维护者活动

工业元宇宙维护者活动包括：

- a) 应具备对支撑工业元宇宙运行的各个系统和组件的运行状态进行持续监测和管理的状态监控能力；
- b) 应具备对工业元宇宙进行故障分析并给出结论的故障诊断能力；
- c) 应具备对工业元宇宙中的物理和数据资产进行定期或必要的维护、修理和优化，以确保系统持续运行和最佳性能的维修与养护能力；
- d) 应具备针对系统以及各项服务版本进行升级和管理的服务升级能力。

6.4 工业元宇宙关联方

6.4.1 子角色

工业元宇宙客户关联方包括服务审计者、监测认证者、风险与安全监管者三个子角色。见图6。

6.4.1.1 服务审计者

应具备为服务组件的功能、操作、性能、安全、使用等提供一系列的审计服务，验证服务组件是否满足审计要求，并报告审计结果的能力。

6.4.1.2 检测认证者

应具备为平台服务、功能、性能等提供检测服务和资质认证的能力。

6.4.1.3 风险与安全管理者

应具备为平台的安全风险提供策略与监管保障的能力。

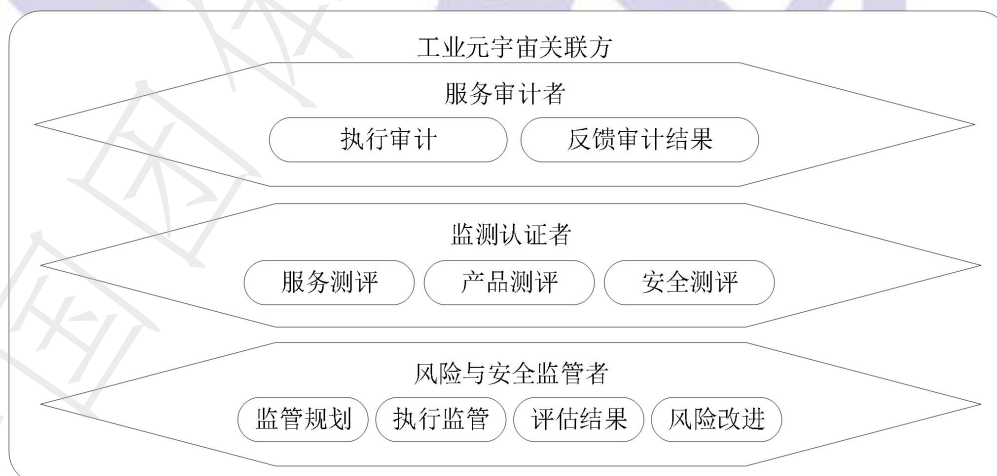


图 6 工业元宇宙关联方角色与子角色

6.4.2 活动

6.4.2.1 服务审计者活动

服务审计者的主要活动包括：

- a) 应具备获取和收集审计证据，并根据使用的审计准则条目或标准来对照分析获得的审计证据信息的能力；
- b) 应具备根据审计分析结果形成审计报告，反馈审计结果的能力。

6.4.2.2 检测认证者活动

检测认证者的主要活动包括：

- a) 应具备针对工业元宇宙提供的服务进行测评的能力，测评可依据签订的协议进行；
- b) 应具备针对工业元宇宙提供的产品进行性能、功能测评的能力；
- c) 应具备针对工业元宇宙的安全性能、安全策略等进行测评的能力。

6.4.2.3 风险与安全管理者活动

风险与安全管者的主要活动包括：

- a) 应具备与工业元宇宙提供方讨论确定平台监管指标、监管方案等内容的规划能力；
- b) 应具备按照法定职权、规划内容对工业元宇宙进行监督检查的能力；
- c) 应具备在发现与监管方案不一致或者违法违规现象时，评估并得出结果，对相关责任主体提出监管意见的能力；
- d) 应具备根据整改意见跟踪监督检查整改的结果是否达到要求的能力。

7 功能视图

7.1 概述

功能视图包括基础域、核心域、交互域、应用域以及跨域功能五种功能域及相关功能组件，见图7：

- a) 基础域负责为工业元宇宙提供基础设施和核心资源支持；
- b) 核心域负责为工业元宇宙的业务实现提供数字要素和数字能力支持。数字要素包括人员、机器、物料、工艺和环境等，数字能力包括组织治理、数字身份、数字工厂和数据资产等；
- c) 交互域负责实现虚拟世界与现实世界的信息交互；
- d) 应用域负责使用者相关活动，包含研发设计、生产制造、运维管理、产品测试、技能培训功能组件；
- e) 跨域功能是支撑和贯穿各域运行的相关功能组件。

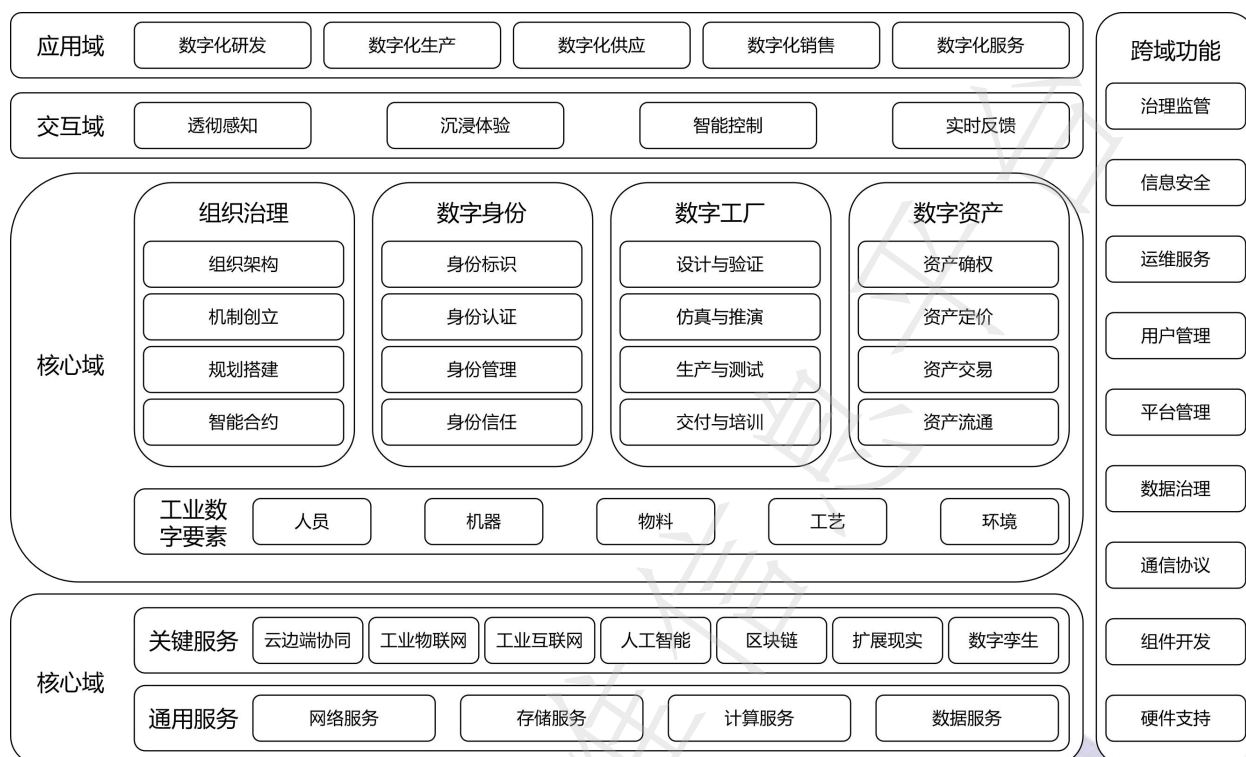


图7 工业元宇宙功能视图

7.2 基础域

7.2.1 通用服务

支持工业元宇宙活动的基础设施服务，包括网络服务、存储服务、计算服务和数据服务等。

7.2.2 关键服务

支持工业元宇宙功能实现的技术能力，包括云边端协同、工业互联网、人工智能、区块链、扩展现实、数字孪生等关键技术服务。

7.3 核心域

7.3.1 工业数字要素

工业数字要素主要包括：

- 人员：在工业元宇宙虚拟工业环境中参与各种活动和流程，扮演各种角色、执行任务、进行协作和创新的个体，包括但不限于真实员工的数字化代表、AI驱动的虚拟助手等；
- 机器：在虚拟环境中模拟或表示的工业设备和机械，可以是实际物理设备的数字孪生体，也可以是完全虚拟化的设备；
- 物料：在虚拟环境中表示的各种原材料、组件、产品和其他物理对象，可以是实际物理物品的数字表示，也可以是纯粹虚拟的元素；
- 工艺：在虚拟环境中对制造过程、操作步骤、生产方法和技术流程的数字表示和模拟，可以是现实世界中工业生产的虚拟复制，也可以是在元宇宙中创造的新工艺；

- e) 环境：在虚拟空间中构建的、模拟现实世界工业活动所涉及的各种条件和背景因素的数字表示，可以是物理的、社会的、经济的或技术的基础设施。

7.3.2 组织治理

组织治理主要包括：

- a) 组织架构：为虚拟层面组织提供一个清晰的管理框架，确保组织能够高效、透明地运作，适应快速变化的数字环境。同时要求组织结构与现实实现组织进行有效映射和职能匹配；
- b) 机制创立：设计和管理工业元宇宙中的组织时，建立一套规则、程序和体系，以确保组织的有效运作和持续发展。工业元宇宙的机制创立是一个动态的过程，需要不断地调整和完善，以适应不断变化的虚拟环境和组织需求；
- c) 规则搭建：为了确保工业元宇宙中组织运作的秩序、效率和合法性，而建立的一系列规章制度和行为准则。这些规则是组织内部成员以及与组织互动的外部实体必须遵守的指导原则；
- d) 智能合约：指基于区块链技术的一种自动执行合约。智能合约是区块链上的代码，它们在满足特定条件时自动执行合约条款。

7.3.3 数字身份

数字身份主要包括：

- a) 身份标识：用于在虚拟环境中唯一识别个人、设备、资产或组织的编码或凭证。这种身份标识是工业元宇宙中实现安全、隐私保护和互操作性的关键组成部分；
- b) 身份认证/身份识别：对一个实体（包括个人、设备、资产或组织）所声称的身份进行核实的过程，保障了系统的安全性、数据的完整性和服务的可靠性；
- c) 身份管理：对元宇宙中实体（包括个人、设备、系统、资产等）的身份信息进行创建、维护、使用和注销的一系列过程，确保了工业元宇宙中身份信息的准确性、安全性和一致性；
- d) 身份信任：对数字身份的真实性、可靠性和安全性的信赖程度，是确保工业元宇宙中各种交互和交易安全、可靠的基础，是工业元宇宙信用的关键组成部分。

7.3.4 数字工厂

数字工厂主要包括：

- a) 设计与验证：利用虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、数字孪生（Digital Twin）和其他数字技术，在虚拟环境中对工厂的设计进行创建、模拟和验证的过程；
- b) 仿真与推演：利用计算机模拟技术，在虚拟环境中对工厂的生产流程、操作过程、设备性能等进行详细的模拟和预测；
- c) 生产与测试：在一个虚拟的、数字化的环境中模拟实际工厂的生产过程，对生产过程进行测试与分析的相关活动；
- d) 交互与培训：利用虚拟现实（VR）、增强现实（AR）和其他交互技术，在数字化的工厂环境中进行的操作互动和员工培训活动。

7.3.5 数据资产

数据资产主要包括：

- a) 资产确权：通过区块链技术或其他分布式账本技术，对数据资产的所有权、使用权和其他相关权益进行确认和证明的过程；

- b) 资产定价：基于资产的特点、市场需求、稀缺性、预期效用和其他经济因素确定虚拟资产在工业元宇宙平台上的价值；
- c) 资产交易：在一个虚拟的工业环境中，用户可以买卖、交换或转让数据资产的过程，这些数据资产可以由企业拥有或者控制的，能够为企业带来未来经济利益的，以物理或电子方式记录的数据资源，如文件资料、电子数据等；
- d) 资产流通：数据资产在工业元宇宙内的流转和使用过程，包括资产的所有权转移、使用权分配、价值交换和资产在虚拟环境中的各种应用。

7.4 交互域

7.4.1 透彻感知

应具备通过高级的传感器技术、数据分析方法和人工智能算法，实现对工业环境中各种信息的全面、深入和实时感知，使得工业元宇宙能够模拟和反映现实世界中复杂工业系统的能力。

7.4.2 沉浸体验

应具备通过虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）等技术，使得用户能够在虚拟环境中获得与真实世界相似或更丰富的感官体验的能力。包括但不限于触觉反馈、动作捕捉、语音交互、多感官融合、空间定位与追踪、大规模多人协同等。

7.4.3 智能控制

应具备利用人工智能（AI）、机器学习、自动化技术和智能算法等技术手段，对虚拟环境中的对象和过程进行监测、分析、决策和操作的能力。

7.4.4 实时反馈

应具备系统或环境对用户操作或输入的即时响应和反馈的机制，确保用户能够与虚拟环境进行有效互动的能力。

7.5 应用域

7.5.1 数字化研发

应具备利用虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）以及数字孪生等技术，在数字环境中进行产品设计、原型测试、工艺开发、系统模拟和其他研发活动的的能力。

7.5.2 数字化生产

应具备利用数字技术和元宇宙概念来改造和优化传统的生产流程和工厂运营，或者通过虚拟世界来增强物理世界生产活动的的能力。

7.5.3 数字化供应

应具备利用数字技术和元宇宙的概念来改造和优化供应链管理过程，或者通过虚拟环境来增强物理供应链运作的的能力。

7.5.4 数字化销售

应具备利用元宇宙的技术和概念来转变传统的销售流程和体验,创造新的销售渠道和市场机会的能力。包括但不限于沉浸式营销、虚拟销售代表、跨边界销售、数据驱动的销售策略、客户社区和反馈等

7.5.5 数字化服务

应具备利用元宇宙的技术和平台来提供和支持服务相关活动的的能力,包括但不限于面向客户的服务和内部运营支持服务等。

7.6 跨层功能

7.6.1 治理监管

应具备在虚拟环境中实施管理和监督机制的能力。包括但不限于合规性监管、安全和风险管理、权限和身份管理、透明度和问责制、伦理和道德规范、技术标准制定、监督和审计、争议解决等。

7.6.2 信息安全

应具备保护工业元宇宙中的数据、系统、网络和服务的完整性、可用性和保密性的措施和实践活动的的能力。包括但不限于数据保护、网络安全、访问控制、加密技术、应用程序安全、隐私保护、威胁检测和响应、灾难恢复和业务连续性等。

7.6.3 运维服务

应具备支持工业元宇宙平台运行、维护和优化的服务,确保工业元宇宙的环境稳定、可靠、高效,并且能够满足用户和企业的的需求的能力。包括但不限于系统监控、故障管理、性能优化、备份与恢复、更新与升级、用户支持、资源管理等。

7.6.4 用户管理

应具备实现对工业元宇宙平台上的用户进行识别、认证、授权、监控和服务等管理功能的能力。包括但不限于用户注册与认证、身份验证、权限控制、用户角色管理、用户行为监控、个人资料管理、用户反馈、用户支持、数据分析、社交互动等。

7.6.5 平台管理

应具备实现对工业元宇宙平台进行监督、维护、优化和扩展的功能的能力,包括但不限于系统监控、性能优化、安全性管理、内容管理、用户支持、更新与维护、数据管理、合规性管理、服务级别协议(SLA)管理等。

7.6.6 数据治理

应具备对工业元宇宙中产生的、存储的和使用的数据进行管理和监督的能力。包括但不限于数据质量控制、数据安全、数据架构、数据生命周期管理、元数据管理、数据共享和交换、数据所有权和责任、数据访问和使用、数据分析和洞察等。

7.6.7 通信协议

应具备定义数据在不同的系统、设备或网络之间进行传输和交换的规则和标准的能力,确保了各种数字实体(如虚拟工厂、机器、传感器、控制系统等)能够高效、可靠地互相通信。

7.6.8 组件开发

应具备创建和定制各种软件和硬件元素的能力。软件元素包括但不限于开发用于模拟、分析、控制、可视化等目的的软件模块和库、框架、插件、微服务或其他可重用的软件资产。硬件元素包括但不限于传感器、执行器、接口设备等可以与虚拟环境交互的物理设备。

7.6.9 硬件支持

应具备构建和维护工业元宇宙所需的各种物理设备和基础设施的能力，包括但不限于计算硬件、网络硬件、感知和交互硬件、存储硬件、接口和连接硬件、安全硬件等。



参 考 文 献

- [1] GB/T 45993—2025 元宇宙 参考架构
- [2] GB/Z 38623—2020 智能制造 人机交互系统 语义库技术要求
- [3] GB/T 43441.1—2023 信息技术 数字孪生 第1部分：通用要求

