

工业元宇宙创新城市白皮书

(2023年)

工业元宇宙协同发展组织
工业和信息化部工业文化发展中心
2023年12月

主要参编单位与组织

工业和信息化部工业文化发展中心
工业元宇宙协同发展组织
工业云制造（四川）创新中心有限公司
成都市新经济发展研究院
四川见山科技有限责任公司
大连市人工智能产业协会
投资北京投资顾问有限公司
广东省电信规划设计院有限公司
广州博日信息科技有限公司
苏州海赛人工智能有限公司
广州壹宸宇宙文化传播有限公司

（排名不分先后）

编写说明

本白皮书是在工业和信息化部工业文化发展中心和工业元宇宙协同发展组织的指导和组织下，由工业和信息化部工业文化发展中心工业元宇宙实验室会同工业云制造（四川）创新中心有限公司等单位编写完成。其中，工业元宇宙概念、技术体系等内容是基于在调研了工业元宇宙协同发展组织内外近百家企业，以及咨询清华大学、北京航空航天大学、中国传媒大学、大连理工大学等高校院所相关专家的基础上编写形成，并得到李伯虎院士团队的指导和支持。

工业元宇宙协同发展组织组建了专题研究组，在广泛调研并查阅公开资料和数据的基础上，选取发布了支持元宇宙发展政策和布局了相关产业园区的十个典型城市进行深入研究，城市之间不予排名，只根据研究需要进行归类。本白皮书的亮点在于尝试提出了工业元宇宙城市发展实施框架，专题研究组对这一框架进行了广泛的讨论和征求意见，得到了成都市经济和信息化局市新经济发展委员会、大连市工业和信息化局、苏州市工业和信息化局等单位元宇宙相关部门的支持和反馈，在此一并致谢！

此外，受编写时间仓促、编写人员知识积累有限、产业发展尚在初期等因素的影响，内容或有疏漏，敬请指正。

版权声明

本白皮书版权由工业和信息化部工业文化发展中心、工业元宇宙协同发展组织共有。

使用说明：未经工业和信息化部工业文化发展中心或工业元宇宙协同发展组织同意，不得以任何方式复制、抄袭、影印、翻译本文档的任何部分。凡转载或引用本文的观点、数据，请注明来源：工业和信息化部工业文化发展中心或工业元宇宙协同发展组织。

违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。

前 言

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》（以下简称“十四五”规划纲要）提出，要发展壮大战略性新兴产业，着眼于抢占未来产业发展先机；加快数字化发展，以数字化转型整体驱动生产方式、生活方式和治理方式变革。“十四五”规划纲要明确了数字经济七大重点产业：大数据、云计算、物联网、工业互联网、区块链、人工智能、虚拟现实与增强现实；数字化十大应用场景：智能交通、智慧能源、智能制造、智慧农业及水利、智慧教育、智慧医疗、智慧文旅、智慧社区、智慧家居、智慧政务。元宇宙是数字与物理世界融通作用的沉浸式互联空间，是新一代信息技术集成创新和应用的未来产业，是数字经济与实体经济融合的高级形态，对推动产业链、技术链、创新链全面提升至关重要。

今年九月，工业和信息化部、教育部、文化和旅游部、国务院国资委、广电总局联合印发《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025 年）》，将从科技创新、产业融合、人才培养等多维度为中国元宇宙发展带来重要影响。支撑元宇宙实现的技术储备和装备基础来自工业产业，元宇宙技术和装备能促进传统制造业转型升级，在这个过程中不断产生新的应用场景，乃至拓展到交通、能源、教育、医疗、文旅、农业等其他行业。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，是新型工业智慧互联网系统，是数字经济与实体经济融合发展的新型载体。工业元宇宙技术体系是由多种技术群综合而成，其热点技术包括大数据处理、云计算、物联网/CPS、工业互联网、区块链、人工智能、虚拟现实与增强现实、网络通讯、新材料等。

工业元宇宙的主要技术与“十四五”规划纲要中数字经济七大产业有着高度的交叉与融合，能够赋能数字化十大应用场景；工业元宇宙作为数实融合的新载体，与现代产业体系有着紧密关联，有助于推进新型工业化，是未来产业的代表性方向之一。通过工业元宇宙发展相关产业，可以促进数字技术迭代升级与深化应用，加强数字基础建设、推动数字经济与实体经济深度融合。

城市是随着社会分工而形成、随着工业发展而不断发展的，是现代经济社会发展的重要承载空间，是数字经济发展的物理空间和重要载体。“十四五”

规划纲要提出推进新型智慧城市建设，推进城市数据大脑建设，探索建设数字孪生城市。许多城市敏锐地捕捉到了元宇宙产业与智慧城市、数字化城市建设之间的紧密联系，纷纷发布支持元宇宙发展的政策，从不同角度和侧重点对元宇宙相关产业进行布局。可以预见，未来几年内，元宇宙相关产业将进入快速而有序的发展阶段，工业元宇宙相关技术和创新产品将在交通、能源、制造、教育、医疗、文旅、社区、政务等诸多场景得到大量应用，逐步成为智慧化、数字化城市发展的重要方向和城市竞争力的重要体现。

由工业和信息化部工业文化发展中心牵头成立的工业元宇宙协同发展组织，致力于推动新技术与新场景的结合、新业态与新价值的探索，致力于推动工业元宇宙相关产业基础高级化、产业链现代化。为全面了解我国城市元宇宙产业发展情况，推动工业元宇宙有效促进各地经济高质量发展，工业元宇宙协同发展组织组建了专题研究组，选取发布了元宇宙相关发展行动计划、政策和布局相关产业园区的各类典型城市共十个进行了广泛调研，联合相关单位编制了《工业元宇宙创新城市白皮书》。本白皮书阐述了工业元宇宙与城市创新发展、数字经济发展之间的关系，系统研究了典型城市工业元宇宙相关产业的技术路径、基础设施、融合应用、发展特点，梳理了其工业元宇宙场景建设与产业生态建设情况，总结了工业元宇宙发展现状、发展趋势、面临的问题与挑战。在此基础上，本白皮书探索构建了工业元宇宙城市发展实施框架，从政策环境、技术支撑、应用场景、安全协同、运营运维五个维度分析了十个典型城市及相关企业案例，梳理了城市工业元宇宙发展现状、发展趋势、面临的问题与挑战，以为地方数字经济的发展及投资者提供参考。

目录

一、工业元宇宙概述与发展态势	1
(一) 工业元宇宙概述	1
1. 工业元宇宙的定义	1
2. 工业元宇宙技术体系与发展趋势	2
3. 工业元宇宙融合应用	4
(二) 工业元宇宙的发展态势	5
1. 工业元宇宙发展现状	5
2. 工业元宇宙基础设施与产业生态	6
3. 工业元宇宙发展阶段	8
(三) 工业元宇宙应用场景	9
1. 工业系统各层级的应用	10
2. 产品全生命周期的应用	12
3. 跨行业、全场景应用	16
二、工业元宇宙与城市创新发展	18
(一) 工业元宇宙与产业创新	19
1. 工业元宇宙创新应用	19
2. 工业元宇宙自身发展将塑造新的产业	20
3. 改变产业的生产方式和效率	21
4. 带来新的产业机会和市场	22
5. 改变产业结构和组织形式	22
6. 产业的需求和趋势反过来影响技术的发展	23
(二) 工业元宇宙与消费创新	24
(三) 工业元宇宙与智慧城市建设	25
(四) 工业元宇宙城市发展实施框架	30
三、代表城市工业元宇宙发展情况	37
(一) 科研创新及人才驱动型	38
1. 上海	39
2. 广州	41
3. 合肥	42

(二) 市场投融资及政策驱动型	43
1. 武汉	44
2. 大连	46
3. 济南	47
(三) 文旅及消费场景驱动型	49
1. 成都	49
2. 苏州	52
3. 杭州	55
4. 厦门	58
四、工业元宇宙发展趋势及面临问题	59
(一) 城市工业元宇宙的发展趋势	59
1. 城市数字化转型加速	59
2. 人工智能与自动化高度融合	59
3. 智慧城市数据共享与合作生态系统建立	60
4. 跨行业和跨领域的应用将被拓展	61
(二) 工业元宇宙发展面临的问题与应对办法	61
1. 关键技术有待突破	61
2. 高成本制约应用规模	62
3. 缺乏标准与互操作性	63
4. 数据安全和隐私保护	63
(三) 工业元宇宙在城市中创新发展的建议	64
1. 智慧城市规划与设计	64
2. 数字基础设施建设	65
3. 工业元宇宙与智慧产业的融合	65
4. 创新应用场景开发，拓展应用领域	65
5. 人才培养和技术创新	66
6. 数据安全和隐私保护	66
7. 智慧治理与公共服务	66
8. 跨界合作与交流	67
参考文献	68

一、工业元宇宙概述与发展态势

（一）工业元宇宙概述

1. 工业元宇宙的定义

2023年9月8日，工业和信息化部、教育部、文化和旅游部、国务院国资委、广电总局等五部委联合印发《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025年）》，指出：元宇宙是数字与物理世界融通作用的沉浸式互联空间，是新一代信息技术集成创新和应用的未来产业，是数字经济与实体经济融合的高级形态，提出“构建工业元宇宙、赋能制造业为主要目标”。

中国工程院院士李伯虎认为，工业元宇宙是元宇宙在工业领域的落地与拓展。工业元宇宙协同发展组织发布的《工业元宇宙创新发展三年行动计划（2022-2025年）》中，采纳并扩展了李伯虎院士这个观点，将工业元宇宙定义为：在新发展理念指引下，在新一代信息技术引领下，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，是元宇宙在工业领域的落地与拓展，是数字经济与实体经济融合发展的新型载体。

本书中关于工业元宇宙的论述均基于这个定义展开。这与李伯虎院士团队于2022年12月在《前沿科学》发布的文章《工业元宇宙：工业发展新阶段的赋能者》中的观点大体一致。该文还对一些针对元宇宙的流行异议做出了回应。有部分学者认为元宇宙概念与近年来数字孪生技术无明显差别。事实上，任何新技术、新应用的诞生都不是空中楼阁、凭空创造。工业元宇宙与仿真、数字孪生、元宇宙及工业物理世界，是一脉相承、密不可分却又各自侧重的关系。工业元宇宙继承了仿真技术对“现实物理时间的逼真模拟”，也强化了数字孪生关注的“数据/模型”及“虚实交互”，并充分吸收了元宇宙作为一种数字经济系统在自然人机交互、数字化资产及社交网络等方面的特点，实现了对工业现实世界中六要素（人、技术/设备、组织、数/知、材料、资金）、六流（人才流、技术流、产业流、数/知流、物流、资金流）的虚实有机融合，如图1所示。



图1 本书关于工业元宇宙与仿真、数字孪生、元宇宙及工业物理世界关系的理解

一些来自产业界的研究者对工业元宇宙提出了更加具体的定义。四川省工业云制造创新中心研究所所长张星智在2023中国数字经济创新发展大会上提出，工业元宇宙是一种数字化、虚拟化的工业生态系统，它通过连接物理设备、传感器、人员和系统，将实时数据收集、处理和分析与物理制造过程紧密结合，它的核心理念是将现实世界与虚拟世界无缝集成，使得在虚拟世界中对物理设备进行仿真、优化和控制成为可能。他还简单阐述了工业元宇宙的四个发展阶段：虚实映射、虚实结合、以实控虚、以虚强实。

2. 工业元宇宙技术体系与发展趋势

工业元宇宙主要由五大体系构成，包括技术体系、标准体系、产品体系、服务体系和保障体系等。

工业元宇宙的技术体系目前主要由“时空引擎+实时渲染+大规模建模技术”、自然交互技术、区块链技术、网络通讯与算力技术、人工智能技术、物联网/传感技术、数字孪生技术等构成。其中，工业元宇宙的热点技术包括5G/6G、算力网络、虚拟现实/增强现实技术、数字孪生技术、人工智能技术、区块链技术、工业元宇宙平台及先进计算等。

2023年9月，国家知识产权局印发了《关键数字技术专利分类体系（2023）》，文件涉及的元宇宙技术分类体系也适用于对工业元宇宙领域关键数字技术专利发展状况进行宏观统计监测，适用于各地方有关部门和社会各界结合实际需要开展相关产业专利统计分析工作。元宇宙技术体系包括沉浸式计

算、WEB3.0、新型基础设施3个一级技术分支，下设13个二级技术分支，45个三级技术分支，79个四级技术分支，54个五级技术分支，共计194个技术分支，是人工智能、高端芯片、量子信息、物联网、区块链、工业互联网和元宇宙等七大关键技术中技术分支最多的技术体系，如图2所示。



图2 元宇宙技术分支架构《关键数字技术专利分类体系（2023）》

工业元宇宙技术体系参照图2的元宇宙技术分支架构，尚处于不断演进与发展的阶段，其发展趋势从以下几个方面阐述。

首先，技术成熟度和普及度不断提高。随着虚拟现实、增强现实、人工智能等技术的不断发展，工业元宇宙技术体系将逐渐成熟，并得到更广泛的应用和普及。

其次，工业元宇宙技术体系将与工业制造领域的数字化转型深度融合，成为数字化转型的关键技术。通过数字孪生、人工智能等技术，实现生产过程的自动化、智能化和可视化，提高生产效益和降低成本。

人工智能、5G/6G、数字孪生等技术将深度融合成统一的元宇宙技术生态系统，在未来的发展中，工业元宇宙技术体系将与人工智能、5G/6G、物联网等技术深度融合，形成更加强大、智能、高效的工业制造生态系统。这些技术的融合将有助于实现工业制造的全面数字化、智能化和网络化。

此外，工业元宇宙技术体系的发展将促进工业制造领域的优化和升级。通过数字孪生、人工智能等技术实现对生产过程的实时监控、预测和优化，提高生产效率和产品质量，同时降低能源消耗和环境污染。

通过工业元宇宙技术体系，构建全新的工业制造服务模式。在传统的生产过程中，企业主要关注生产效率和产品质量，而在新的服务模式下，企业通过数字孪生、人工智能等技术，提供更加个性化、智能化和高效化的服务模式。

3. 工业元宇宙融合应用

工业元宇宙是数字经济与实体经济融合发展的新型载体，带来了全场景和数实融合运用。工业元宇宙通过数字孪生技术将现实世界的工业场景进行虚拟化，构建虚实融合的场景，包括工厂环境、设备运行状态、产品研发设计流程等，如图 3 所示。



图 3 工业元宇宙的融合应用

工业元宇宙通过扩展现实技术提供沉浸式体验，让人们身临其境地感受工业场景中的各个环节和细节，提供更加广阔的创意空间。在工业元宇宙场景中，设计师通过虚拟现实技术进行交互式创作，对虚拟化的工业场景进行修改、调整和优化。这种交互式创作使得设计师更加便捷地进行创作，同时提高了创作的灵活性和准确性。

工业元宇宙的融合应用使得实体经济不再局限于传统的表现形式，而是向多元化方向发展。例如，创作者通过虚拟现实技术将工业场景转化为数字艺术作品，或者通过增强现实技术将虚拟元素与现实场景进行结合，创造出全新的

艺术形式。可见，工业元宇宙与内容创造的融合应用使得创作变得更加多元化、智能化和高效化，同时也为工业领域提供了更加丰富的创意空间和艺术表达形式，见图 4。



图 4 《真实加工厂》作品

目前认为，互联网经过 Web 1.0、Web 2.0 阶段，正在向 Web 3.0 与元宇宙时代发展，工业元宇宙的内容创造方式也在不断地变化，内容产业也将迎来数字化转型的关键时期。内容创造方式更加依赖 AI 技术生成内容，即 AIGC（AI-Generated Content，AI 生成内容）技术，内容的生产主体不再是人类，而是人工智能。从应用场景来看，工业元宇宙与 AIGC 的相通之处很多，不仅着力于数字世界的创建，更着力于影响及改造现实世界。在数字原生领域，AIGC 能通过 AI 创作工具提升 UGC 创作能力，而在数字孪生领域，AIGC 能够通过自动创作、设计、渲染等提升数字孪生模型生产效率。总之，AIGC 的融合应用将为工业元宇宙产业带来巨大变革。它提高了元宇宙内容生产效率，丰富其多样性，提供可交互的个性化、定制化元宇宙场景。同时也降低了元宇宙的应用门槛，实现大规模应用，弥补内容生产缺口，助力工业元宇宙内容智能生产和各种场景的实现。

（二）工业元宇宙的发展态势

1. 工业元宇宙发展现状

工业元宇宙的发展现状可以从以下几个方面来看。

技术发展：目前，工业元宇宙已经集合了多种前沿技术，包括虚拟现实、增强现实、5G 通信、大数据分析、AI 智能等，这些技术为工业元宇宙的发展提供了强大的支撑。同时，量子计算等领域也在不断发展，在未来将大大推动工业元宇宙的技术进步。

投资活跃度波动：中国元宇宙行业的融资活跃度在 2022 年达到高峰后有小幅震荡，但一直保持在较高的位置，部分投资者对工业元宇宙产业有信心，未来将继续支持该领域的发展，从而进一步提升工业元宇宙产业发展水平。

全球发展：随着技术的发展，工业元宇宙产业及其应用正在全球范围内发展，不仅在国内拥有广泛的应用，而且还在全球范围内获得广泛的关注和支持。

应用场景不断扩大：目前，工业元宇宙的应用场景已经涵盖了能源管理、制造过程优化、产品设计和创新、供应链管理、设备维护和故障预测等多个领域。随着技术的不断进步和应用的深入挖掘，工业元宇宙的应用场景范围还将不断扩大。

未来，工业元宇宙将以赋能制造业为主要目标，大力探索虚实互促的制造业创新变革，在工业关键流程的元宇宙化改造、重点行业工业元宇宙布局和探索工业元宇宙创新应用模式三个方向发力。基于当前现状的发展方向，为建设工业元宇宙基础通用模型数据库，打造高精度、可交互、沉浸式的工业虚拟映射空间。部分城市的产业园区和企业已经开始探索基于元宇宙的产线运维、产品监测新模式，打造工业元宇宙的营销平台和虚拟培训系统。未来会开发面向不同产品的个性化全生命周期管理系统，围绕资产设备、订单数据等开展供应链金融服务等，这也是通过发展工业元宇宙赋能新型工业化的重要措施。

2. 工业元宇宙基础设施与产业生态

(1) “硬性”与“软性”基础设施

工业元宇宙的基础设施包括“硬性”和“软性”基础设施两大类。“硬性”基础设施主要体现为硬件及底层基础设施的技术支撑，“软性”基础设施主要体现为保障体系、标准体系和服务体系的建设，如图 5 所示。



图 5 工业元宇宙基础设施

在硬件及底层基础设施搭建上，需要建设 5G-A/6G、千兆光网/万兆光网、FTTR、卫星互联网等新型网络，满足工业元宇宙高速率、低时延、全域立体覆盖的应用需求。建设云边一体、算网一体、智能调度、绿色低碳的新型算力¹，为工业元宇宙超高内容拟真度、实时交互自由度提供算力保障。发展工业元宇宙信任的“硬性”基础设施，试点去中心化场景应用，支撑元宇宙可信存储需求。此外，还需打造元宇宙基础设施综合管理平台，实现计算、存储和通信能力的分布式协同，提升运营效率与可靠性。

工业元宇宙的软性基础设施中，保障体系和服务体系的详细内容将在第二章第四节进行阐述。工业元宇宙的标准体系尚处于发展的萌芽阶段，需要开展工业元宇宙标准化路线图研究，建设工业元宇宙产业标准规范体系，全面梳理工业元宇宙产业链标准化需求。按照《行动计划》的要求，围绕基础共性、互联互通、安全可信、隐私保护和行业应用等，组织开展国家标准、行业标准和团体标准制定和预研。

（2）“软性”基础设施推进产业聚集

工业元宇宙的保障体系、标准体系、服务体系三位一体，从以下几个方面共同推进工业元宇宙的基础设施建设和产业聚集。

¹ 《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025 年）》

强化战略规划和顶层设计：国家和地方政府加强对工业元宇宙发展的战略规划和顶层设计，明确发展目标、重点领域和实施方案，是推动工业元宇宙产业聚集的先决条件。

健全法律法规和标准体系：加强工业元宇宙领域的法律法规建设，完善知识产权保护、数据安全、网络安全等方面的法律法规。同时，加快制定工业元宇宙相关标准，推动形成统一、开放、互操作的标准体系。

加强产业协同和合作创新：促进工业元宇宙产业链各环节的协同合作，推动产学研用深度融合，共同推进技术研发、标准制定和产业化应用。鼓励企业加强合作创新，共享资源，协同发展。

优化政策扶持和资源配置：政府通过加大对工业元宇宙相关企业的扶持力度，如给予税收优惠、专项资金支持、优先采购等政策支持，优化资源配置，推动工业元宇宙产业的聚集发展。

建立人才培养和引进机制：建立健全工业元宇宙领域的人才培养和引进机制，加大人才培养力度，推动人才跨领域交流与合作，为工业元宇宙发展提供强有力的人才保障。

推进示范应用和场景建设：鼓励各地结合产业基础和资源禀赋，建设工业元宇宙特色产业园，推动关键技术产品和重点领域应用的示范应用。同时，加强与相关领域的数字化、智能化、网络化进程紧密衔接，加速工业元宇宙与实体经济各领域的深度融合发展。

加强风险防控和监管治理：建立健全工业元宇宙领域的风险防控和监管治理体系，加强数据安全、网络安全、市场监管等方面的工作，防范化解各类风险，保障工业元宇宙产业的健康发展。

总之，从战略规划、法律法规、标准制定、产业协同、政策扶持、人才培养、示范应用、风险防控等多方面入手，完善工业元宇宙的基础设施和产业生态建设，推动其健康、可持续发展。

3. 工业元宇宙发展阶段

工业元宇宙的发展可分为四个阶段²：在初期发展的虚实映射阶段，产业形态较为单一，现实世界的工业生产过程和消费需求结构尚未改变，需要对物理

² 李伯虎《工业元宇宙：工业发展新阶段的赋能者》

设备进行数字化建模。在虚实融合的第二阶段，物理设备数字化建模完成后，通过传感器实时采集设备运行过程中的数据，设备的运行状态被实时传输到工业元宇宙的虚拟世界中，为下一阶段虚拟世界中进行物理仿真提供基础。现实世界与虚拟世界虚实融合的程度有待发展，工业元宇宙相关服务和支撑保障体系还处在早期发展阶段。在以实控虚的第三阶段，现实场景虚拟化进程加快，AR/VR 硬件从娱乐设备向生产力工具转型，虚拟世界的工具和技术深入参与到改造现实世界的生产过程，产品设计、生产制造、交易流通等生产经营活动加速向虚拟世界迁移，工业元宇宙可以在虚拟世界中对物理设备进行高度精确的仿真，完全还原物理世界中的即时情景。在以虚强实的成熟发展阶段，工业元宇宙将实现工业生产的虚实统一，虚拟世界和现实世界之间实现完整映射和无缝交互，网络化协同体系完善，如图 6 所示。

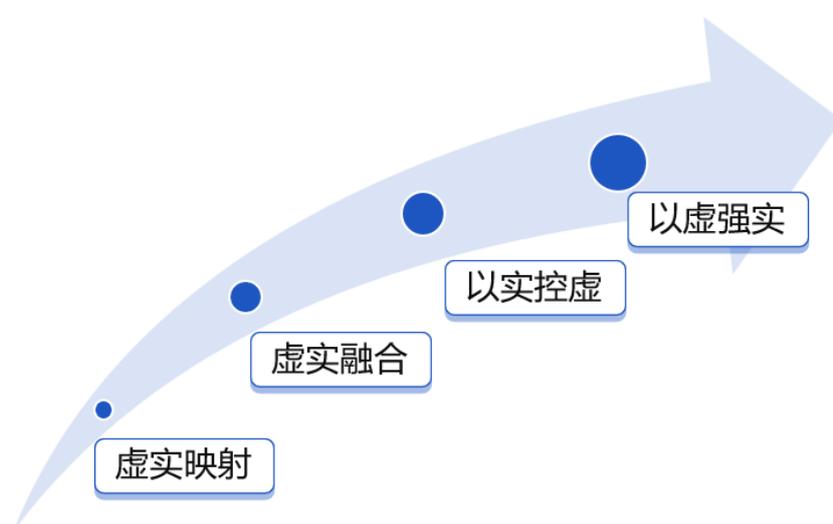


图 6 工业元宇宙发展的四个阶段

（三）工业元宇宙应用场景

场景是满足公众生产、生活和消费需求的具有文化意义的空间³，对工业元宇宙来说，应用场景是工业价值和理念在特定情境中的具象化呈现。

³ 祁述裕《数字文化场景助力成都高质量发展研究报告》

1. 工业系统各层级的应用

工业系统的层级应用方面，工业元宇宙将实现设备级、产线级、工厂级、产业链级各层级的应用，会大幅度地促进企业提质降本增效、服务产业链治理与供应链优化，见图 7。

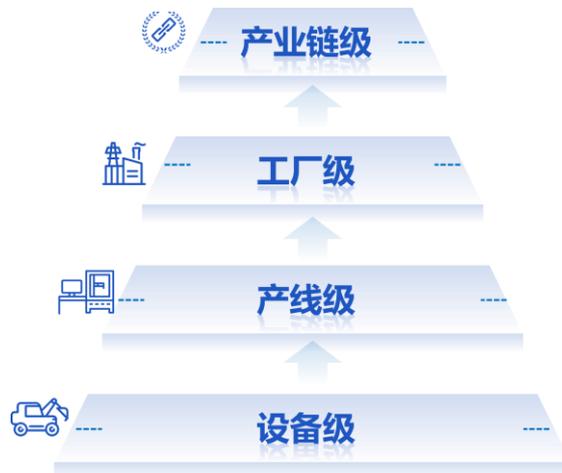


图 7 工业系统各层级的应用

(1) 设备级

通过工业元宇宙技术对工业系统的设备进行仿真和模拟，可以帮助工程师和技术人员在实际制造之前对设备进行充分的模拟和测试，以便更好地了解设备的性能、功能和特点，从而优化设备的设计和性能。

工业元宇宙技术能够实现设备的远程监控和维护。通过数字孪生技术，将现实世界的设备信息映射到虚拟世界中，使得工程师和技术人员在远程对设备进行监控和维护。这样不仅提高了设备的运行效率和使用寿命，还降低了设备的维护成本和减少停机时间。

在智能诊断与预测性维护方面，通过人工智能和大数据分析等技术的应用，工业元宇宙能够对设备的运行数据进行智能分析和预测，从而提前发现设备可能出现的问题和故障，并采取及时的维护和修复措施。这样避免了设备在生产过程中出现停机等意外情况，提高设备的可靠性和稳定性。

工业元宇宙技术能够对整个生产过程进行优化。通过数字孪生技术和仿真模拟技术的应用，实现对生产过程的可视化和管控，使得生产过程更加清晰、直观和可控。同时，通过对生产数据的分析和预测，优化了生产计划和生产流程，提高生产效率和产品质量。

总之，工业元宇宙在工业系统的设备级应用能够帮助工程师和技术人员更好地了解设备的性能、功能和特点，优化设备的设计和性能，提高设备的可靠性和稳定性，同时也实现了对生产过程的优化和管理，提高生产效率和产品质量。

(2) 产线级

通过工业元宇宙技术对整个生产线进行模拟和优化。在虚拟环境中构建生产线模型，进行模拟预测和提前验证，降低研究成本。通过实时监控生产线数据，能够优化生产流程，提高生产效率。

通过数字孪生技术，将现实世界的生产线信息映射到虚拟世界中，实现远程监控和维护。这样能够及时发现和修复问题，提高生产效率。

工业元宇宙能够实现人机协同生产。在虚拟环境中，人和机器共同完成任务，提高生产效率和性能。在需要高度专业知识和技能的生产环节中，通过人机协同来实现高质量、高效率的生产。

(3) 工厂级

在工厂规划与设计方面，工业元宇宙技术支持在虚拟环境中模拟和设计工厂。这能够帮助工程师和设计师更好地了解工厂在整体设计和具体操作中所需的性能、功能和特点，优化工厂的设计和性能。同时，通过模拟工厂的运行和生产过程，预测和解决潜在的问题，提高工厂运行的可靠性和稳定性，见图 8。



图 8 宝马基于英伟达 Omniverse 平台打造的未来工厂，NVIDIA Omniverse 使用户能够从多个不同的角度查看虚拟工厂

通过工业元宇宙技术，对生产线布局进行优化。在虚拟环境中，模拟生产线布局，发现潜在的问题和瓶颈，并采取及时的调整和改进措施。这样提高了生产效率和质量，降低生产成本和能源消耗。

在能源管理上，通过工业元宇宙技术，对工厂的能源使用进行智能管理和优化。在虚拟环境中，实时监控能源使用情况和能源消耗，并采取及时的调整和改进措施。这样降低了能源成本和减少环境污染。

在设备管理与维护方面，通过工业元宇宙技术，实现设备的远程监控和维护。在虚拟环境中，实时监控设备的运行状态和健康状况，并采取及时的维护和修复措施。这样提高了设备的可靠性和稳定性，降低设备维护成本和停机时间。

通过工业元宇宙技术，对工厂的应急响应进行模拟和预测。在虚拟环境中模拟应急响应过程，发现潜在的问题和瓶颈，并采取及时的应对措施。这样提高了应急响应能力和降低潜在风险。

(4) 产业链级

在产品设计和测试方面，通过工业元宇宙技术，对产品进行虚拟化设计和测试。在虚拟环境中模拟产品的设计和测试过程，及时发现和解决潜在的问题，提高产品的设计效率和质量，减少生产成本和风险。

通过工业元宇宙技术对供应链进行优化。在虚拟环境中模拟全行业供应链的运行和上下游对接过程，发现潜在的问题并采取及时的调整和改进措施。这样提高了供应链的效率和经济性。

在产品营销与展示方面，通过工业元宇宙技术将产品的设计和特点进行数字化展示。在虚拟环境中模拟产品的外观和功能，让客户更好地了解产品的特点和优势，提高产品的市场竞争力。

在工业遗产保护与文化传承方面，通过工业元宇宙技术，保护和传承工业遗产。在虚拟环境中模拟工业遗产曾经的工作状态，让后人更好地了解工业发展的历程和成就，传承工业文化。

2. 产品全生命周期的应用

(1) 工业元宇宙的产品体系

工业元宇宙的产品体系与技术体系发展相一致，可以大致分为以下几类。

虚拟资产/数字资产：工业元宇宙中的虚拟资产包括数字孪生模型、虚拟设备、虚拟产品等。这些虚拟资产在虚拟环境中创建、模拟、交易和管理，能够用于优化生产流程、提高产品质量、降低生产成本和提高市场竞争力。AIGA（AI-Generated Assets）是内容生产工具变革下数字资产的新形式，是大数据和云计算的集合产物，通用性强、自动化程度高、无须标注大量数据。

硬件设备：包括增强现实（AR）/虚拟现实（VR）设备、物联传感和网络传输设备等。工业元宇宙需要各种 AR/VR 设备来支持其虚拟环境和沉浸式体验。这些设备包括头戴式显示器、控制器、定位器等。物联传感设备包括深度摄像头（ToF）、惯性测量单元（IMU）、各种传感器、执行器等，用于监测和控制元宇宙中的各种物理设备和系统。5G/6G 网络是元宇宙中重要的网络传输设备，它们提供了高速、低延迟的网络连接，使得元宇宙中的各种设备和系统能够实时地相互通信和传输数据。

软件和平台：工业元宇宙需要各种软件和平台来支持其运行和管理。这些软件和平台包括虚拟化软件、操作系统、开发工具、运行时软件等。

数据和服务：工业元宇宙需要各种数据和服务来支持其运行和管理。这些数据和服务包括传感器数据、云计算服务、数据分析服务、网络安全服务等。

总之，工业元宇宙的产品体系涵盖了虚拟资产、AR/VR 设备、软件和平台、数据和服务等多个方面，如图 9 所示，这些产品为企业提供更加高效、智能的生产经营和管理服务，提升企业竞争力和生产效益。

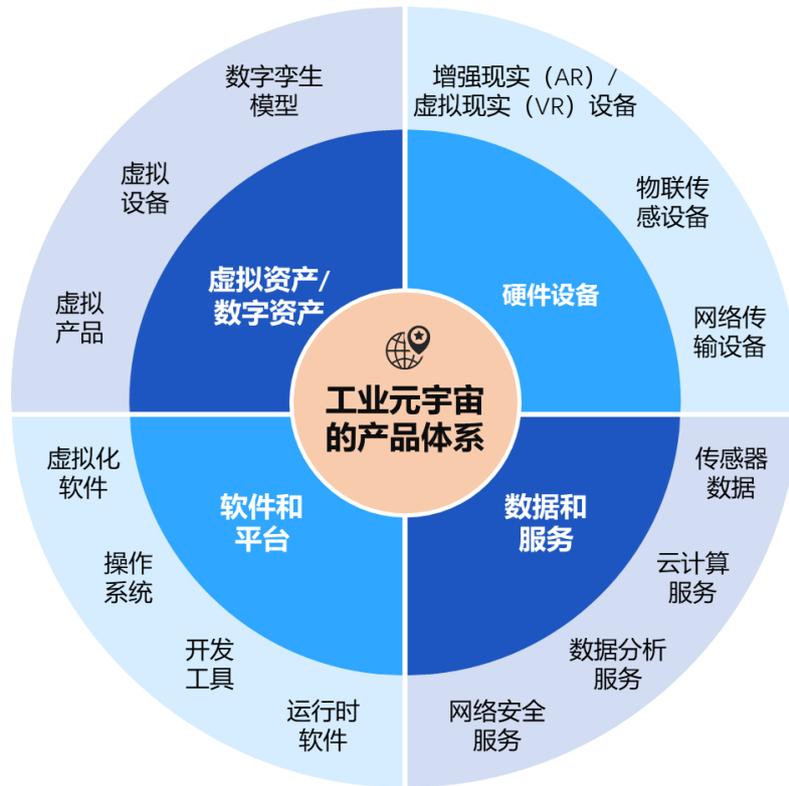


图9 工业元宇宙的产品体系

(2) 产品全生命周期各阶段的应用

从产品全生命周期的角度来看，工业元宇宙已在产品的研发阶段、生产阶段、管理阶段、销售阶段、实训阶段实现不同程度的应用。

工业元宇宙在产品的研发阶段能够帮助企业提高产品的设计效率和质量，优化产品的应用场景，促进多方协同设计和创新，具体表现在这几个方面：在产品设计和模拟方面，通过工业元宇宙技术在虚拟环境中模拟产品的设计和应用过程。这能够帮助工程师和设计师更好地了解产品的性能、功能和特点，优化产品设计，减少产品的缺陷和问题。工业元宇宙能够优化产品应用场景的研发，帮助工程师模拟产品的应用场景。通过虚拟现实和增强现实技术，模拟产品在不同环境、不同条件下的性能表现，从而优化产品的应用场景，提高产品的适用性和竞争力。工业元宇宙能够支持多方协同设计和研发。在虚拟环境中，不同领域的专家能够共同参与产品的设计和研发，实现跨领域的协同创新。同时，通过工业元宇宙平台，各方共享设计数据和资源，提高研发效率和质量。在产品的设计阶段，通过虚拟原型技术和用户测试，评估产品的易用性和用户体验。这有助于发现潜在的问题和瓶颈，并及时进行改进。

在生产阶段的生产模拟与优化方面，通过工业元宇宙技术在虚拟环境中模

拟产品的生产过程。这能够帮助企业预测和解决生产过程中可能出现的问题，优化生产流程，提高生产效率和质量。工业元宇宙能够实现产品的远程监控和维护。在虚拟环境中实时监控产品的生产状态和健康状况，及时发现和修复问题，提高产品的可靠性和稳定性。通过应用人工智能和大数据分析等技术，工业元宇宙能够实现智能排产和调度。这有助于企业合理安排生产计划和生产排程，提高生产效率和经济性。此外，工业元宇宙帮助企业实现能源的智能化管理和节能。在虚拟环境中实时监控能源使用情况和能源消耗，并采取及时的调整和改进措施，降低能源成本 and 环境污染，实现产品的智能化和绿色制造。

在管理阶段，工业元宇宙提供统一的产品数据管理平台，实现产品数据的集中存储和管理。这有助于保证产品数据的准确性和一致性，提高产品研发和管理效率。工业元宇宙有助于企业实现产品配置管理。在虚拟环境中根据客户需求和生产计划，进行产品配置和调整。这有助于提高产品的一致性和灵活性，满足不同客户的需求。工业元宇宙有助于企业实现质量管理。在虚拟环境中模拟产品的检测和检验过程，对产品进行质量评估和检测。这有助于提高产品质量和可靠性，降低退货和维修成本。工业元宇宙能够帮助企业实现产品维护和支持。在虚拟环境中模拟产品的维护和支持过程，及时发现和修复问题，提高产品的可靠性和稳定性。同时，通过工业元宇宙平台，客户能获得更好的产品支持和售后服务，提高客户满意度。这些应用帮助企业实现产品全生命周期的数据管理和配置管理，提高产品质量和可靠性，降低退货和维修成本，同时为客户提供更好的产品支持和售后服务，提高客户满意度。

工业元宇宙在产品全生命周期的销售阶段有助企业制定更为精准的销售策略，提高产品的市场竞争力，拓展销售渠道，实现精准对接需求，从而实现销售阶段的数字化转型和升级，主要体现在这几个方面：在销售策略制定上，工业元宇宙通过对市场和客户的精准分析，制定有效的销售策略。在虚拟环境中模拟产品的市场表现和客户反馈，帮助企业更好地了解市场需求和客户偏好，从而制定更为精准的销售策略。工业元宇宙能够帮助企业进行虚拟营销和宣传。在虚拟环境中模拟产品的特点和优势，让客户更好地了解产品，让消费者更好地理解、感受产品，包括拆解产品、试运营产品等，提升消费者体验。工业元宇宙能够帮助企业拓展销售渠道。在虚拟环境中模拟产品的销售过程和效果，

发现潜在的销售渠道和销售机会，从而拓展销售渠道，提高销售效果。工业元宇宙有助于企业精准对接需求，实现用户需求到销售、到生产，甚至到设计的直接对接。通过打通虚拟空间和现实空间，企业更好理解消费者的需求和反馈，将用户的需求直接对接到产品的研发和生产过程中，实现 C2M（消费者到生产者）和 C2D（消费者到设计师）的打通。

工业元宇宙在产品全生命周期的实训阶段有助于企业提高员工的操作技能和实训效果，增强员工的安全意识和安全操作能力，提高设备与工具的使用效率和操作能力，以及增强员工的应急反应能力和自救互救能力，具体表现在这几个方面：工业元宇宙能够帮助企业进行模拟操作和实训。在虚拟环境中模拟产品的操作流程和实训过程，让员工更好地了解产品的操作方法和注意事项，提高员工的操作技能和实训效果。工业元宇宙辅助企业进行安全培训。在虚拟环境中模拟产品的安全操作和事故案例，让员工更好地了解产品的安全性能和事故预防措施，提高员工的安全意识和安全操作能力。工业元宇宙有助企业进行设备与工具的使用实训。在虚拟环境中模拟设备和工具的使用方法和注意事项，让员工更好地了解设备和工具的性能和使用方法，提高员工的工作效率和操作能力。工业元宇宙能够帮助企业进行应急演练。在虚拟环境中模拟突发事件和应急处置过程，让员工更好地了解应急处置的流程和方法，提高员工的应急反应能力和自救互救能力。

3. 跨行业、全场景应用

工业元宇宙的跨行业应用是在形成一批可复制、可推广的应用模式和商业模式基础上，广泛结合汽车、能源、钢铁、航空、石油、机械装备及电子制造等工业领域，打开工业产品市场空间。工业元宇宙的全场景应用，可以理解为在虚拟空间里将现实工业环境中研发设计、生产制造、营销销售、售后服务等环节和场景实现全面部署，通过连接现实与虚拟的空间来改善和优化，形成全新的制造和服务体系。结合工业元宇宙在工业系统各层级和产品全生命周期的应用，跨行业、全场景的应用可贯穿在以下几个方面。

工业元宇宙实现制造过程的数字化建模、仿真和优化，提高生产效率和质量。特别是在汽车制造、机械制造等行业，工业元宇宙技术成为优化制造流程的重要工具。

工业元宇宙构建了全数字化的产品模型和创新平台，加速产品设计和创新过程。在航空航天、汽车等领域，工业元宇宙相关技术成为产品设计和创新的重要工具。

通过工业元宇宙技术，企业能够实现供应链的数字化管理和优化，提高供应链的效率和灵活性。在医疗、零售、物流等行业，工业元宇宙技术成为优化供应链管理的重要工具。

工业元宇宙通过实时数据监控和预测性分析，实现设备的数字化维护和故障预测，提高设备的可靠性和维修效率。在电力、石油、化工等行业，工业元宇宙技术成为设备维护和故障预测的重要工具。

工业元宇宙能够实现资源利用的数字化优化和环境影响的可视化监控，推动企业的环保和可持续发展。在矿业、钢铁等行业，工业元宇宙技术成为环保和可持续发展的重要工具。

此外，在重点行业的工业元宇宙布局具体包括针对家电、汽车、船舶、航空航天、重大技术装备、电子信息制造等离散型制造业，加速实现基于工业元宇宙的跨行业协同。针对钢铁、纺织、电力等流程型制造业，推动工业元宇宙在物料配方优化、工艺模拟仿真等关键场景中的应用，强化流程排产、物料计算、材料追踪等预测性服务能力。

工业元宇宙应用在城市创新发展上是最为典型的跨行业、全场景应用。举例来说，上海市在全国率先开展智能化全息测绘体系建设研究，实现了城市基础测绘产品全面转型升级，通过智能化全息测绘的手段，实现了上海城市的建筑、交通、绿化、水系、管线等各种地理要素全景还原，形成了满足城市治理现代化、长三角区域一体化等高质量发展需求的全息数据资源体系，见图 10。元宇宙的空间计算技术中“硬性”基础设施地理信息系统为支撑，扩大应用范围到建筑业、交通业、园林业等，进一步的融合发展对城市治理和公共服务能力提升起很大作用，这样的全场景应用案例可以推广到其他城市发展中去。



图 10 上海市全息成果平台展示

二、工业元宇宙与城市创新发展

习近平同志在党的十八届五中全会上提出“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念，把创新提到首要位置。今日世界，发展面临的最大矛盾仍是供需矛盾，尤其是资源有限性与需求无限性的矛盾。随着人口越来越多，需求越来越大，需求质量要求越来越高，这一矛盾越来越突出。解决这一矛盾的关键在于创新。创新尤其是科技创新成为世界主题、世界潮流、世界趋势，创新发展居于国家发展全局的核心位置。

城市是现代生活的基础，是产业聚集、人口密集、资本汇集的所在，是经济社会的重要组成部分。工业时代，城市以工业和技术为基础，是工业创新和生产率快速增长的策源地；城市人口以产业工人为主，人们收入稳定，消费简单。随着经济全球化和科学技术迅猛发展，第三产业开始蓬勃发展，知识经济开始崛起，城市发展逐渐呈现出新的特征：第一，产业结构调整、生产组织方式变革，导致就业机会向第三产业倾斜，大量的劳动力向第三产业聚集；第二，消费在国内生产总值（GDP）中的比重逐渐增大；第三，信息技术尤其是近年来兴起的工业元宇宙技术给生产、生活、消费等领域带来了颠覆式的变革，也给个体、家庭、组织等带来了前所未有的机遇和挑战。城市发展需要创新思路与举措。

纵观历史，每当有新的技术出现时，它总会找到适合自己生存和发展的领域发挥作用，带来或者改头换面的新变化，或者摧枯拉朽的大变革。所以，当

工业元宇宙这一新技术集成应用出现的时候，城市的创新发展要牢牢抓住“新技术”这一命门，系统地、有规划地引导其在生产、生活、消费、公共服务等部门形成新的动能，打造新的场景，生成新的价值。

（一）工业元宇宙与产业创新

产业创新是指某一项技术创新或形成一个新的产业，或对一个产业进行彻底改造，是对旧产业结构的创造性破坏。任何时代的产业结构都是一定需求结构、技术水平和资源结构的综合反映，并在这些因素变动的影响下不断演变。工业元宇宙时代，新技术以压倒性的气势侵入各个产业的各个环节，甚至为需求和资源进行结构性调整施加强大压力。

对工业产业来说，工业元宇宙作为产业技术的集大成者，能够加速形成虚实互动的智能制造新模式，重构数字工业发展新业态，服务于工业系统粒度及工业产品全生命周期两个维度的多项应用场景，助力传统制造业转型升级。

1. 工业元宇宙创新应用

工业元宇宙的创新应用包括但不限于以下几种：

生产制造：在元宇宙中进行虚拟生产模拟验证，在新工艺、新产品、新设备引进之前借助工业元宇宙提前生产，将其数据及成品与预期比对，降低试错成本。工业仿真软件是工业元宇宙的重要应用之一。通过工业仿真软件，在虚拟环境中模拟和优化产品设计、生产和制造过程，提高生产效率和质量。

客户参观：在虚拟工业元宇宙 3D 场景中可搭建客户参观区，让异地客户随时随地能进入虚拟工业元宇宙 3D 场景中，沉浸式体验产品结构、功能、性能和质量，合作前深入了解产品品质和企业实力。

企业管理运维：通过将工厂业务流程、数据、事件及人等实体虚拟化表示，结合三维可视化动态展示，远程控制工厂设备运维、生产过程及合格率。实时智能化调节库存、物料、订单及物流等服务。

远程协同：数字孪生技术将物理世界中的物体或系统在虚拟世界中创建对应的数字化模型，实现物理世界和虚拟世界的双向映射和交互，进行远程协同工作。在工业元宇宙中，数字孪生能够应用于产品的设计和制造过程中，帮助工程师更好地理解和控制物理世界中的物体或系统。举例来说，数字孪生技术可广泛应用于远程协同设计、远程装配、远程设备维护、远程售后、远程稽核、

远程诊疗等多种场景。

总之，工业元宇宙的创新应用非常广泛，未来随着技术的不断进步和发展，将会出现更多的创新应用和商业模式。

2. 工业元宇宙自身发展将塑造新的产业

工业元宇宙通过多种方式塑造了新的产业，以下从商业分析的角度举出实例。

在工业元宇宙平台和解决方案提供上，一些公司如微软和西门子等，开发和提供了用于构建工业元宇宙的平台和解决方案。这些平台和解决方案应用了数字孪生、AR/VR、区块链、AI 等关键技术，为工业元宇宙的发展提供了基础和支撑。一些合作伙伴与工业元宇宙平台和解决方案提供商合作，共同构建和扩展工业元宇宙生态系统，包括硬件制造商、软件开发商、服务提供商等。例如，微软和 PTC 的合作旨在推动工业元宇宙的发展和应用。

在工业元宇宙应用开发方面，国际工业软件巨头如 PTC 和达索系统等，专注于开发创新的工业元宇宙应用。PTC 的 Vuforia 平台提供了一种在现实世界中与虚拟物体进行交互的方式，为工业设备的远程运维提供了新的解决方案。国内的网易伏羲在 AI 领域深耕多年，致力于把在游戏中多年积累的数字化和 AI 能力迁移到装载机、挖掘机等多类工程机械产品上，对传统的工程机械进行云端操控及智能化改造，从而解决工程机械领域人口红利消失大背景下的用工难问题。

工业元宇宙自身发展需求使得工业元宇宙硬件制造商增多，一些公司如 Oculus、HTC、南京芯视元等，生产和提供了用于工业元宇宙的硬件设备，如 AR/VR 头显、传感器、控制器和芯片等。举例来说，南京芯视元的硅基微显示芯片是一种基于硅材料的微型显示器件，用于在电子设备中显示图像和信息，见图 11。它采用微电子制造工艺，在硅基底片上集成了驱动电路和显示器件，可以实现高分辨率、高亮度、低功耗的技术特点，在各种电子设备中得到广泛应用，包括 AR/VR 眼镜、头戴显示器、可穿戴设备、AR HUD、投影等，它为这些设备提供了高质量的图像显示和信息展示能力。在元宇宙各类应用中，硅基微显示技术是虚拟世界与现实世界实现信息交互的视觉工具，是元宇宙基础支撑技术。



图 11 南京芯视元的硅基微显示芯片

另外，围绕工业元宇宙的服务产业将得到发展。服务提供商提供与工业元宇宙相关的各种服务，如数据管理、安全保障、培训和支持等。例如，提供基于云计算的工业元宇宙服务，帮助工业企业实现数据的存储、分析和可视化。

这些例子表明，工业元宇宙已经塑造了多个新的产业，这些产业将为未来的数字经济发展注入新的动力和活力。还有致力于研究和发展工业元宇宙的理论和实践的研究机构和培训机构也将得到发展。例如，大学和研究机构开设了工业元宇宙相关的课程和研究项目，培养了大量的专业人才。

3. 改变产业的生产方式和效率

工业元宇宙能实现智能化生产。通过将传感器、设备和生产线连接到网络中，实现实时数据的采集和监控。这使得企业实时了解生产过程中的各项指标和参数，对生产过程进行实时调整和优化，提高生产效率和质量。

工业元宇宙建立虚拟的生产环境和模型，通过仿真技术对生产过程进行模拟和优化。企业在虚拟环境中进行产品设计、工艺规划和生产流程优化，减少试错成本和生产周期，提高生产效率和灵活性。

工业元宇宙实现了各个环节和参与者的协同合作和信息共享。企业与供应商、合作伙伴和客户进行实时的数据交换和协作，实现供应链的协同管理和资源的共享利用，提高生产效率和响应速度。

工业元宇宙通过大数据分析和人工智能技术，对海量的生产数据进行处理和分析，提取有价值的信息和洞察。这些数据用于预测和优化生产过程、产品质量和供应链管理，帮助企业做出更准确的决策，提高生产效率和资源利用效率。

4. 带来新的产业机会和市场

第一，产品和服务创新。工业元宇宙提供了更多的数字化和智能化的机会，使企业能够开发出基于物联网、人工智能和大数据分析的新产品和服务。例如，智能家居、智能工厂、智能物流等领域的创新产品和解决方案都是工业元宇宙的应用之一。这些新产品和服务满足了人们对更高效、智能和可持续发展的需求，创造了新的市场机会。

第二，形成数据驱动的业务模式。工业元宇宙通过数据的采集、分析和挖掘，为企业提供了更多的商业洞察和增值服务的机会。企业可以通过分析大数据来了解客户需求、优化供应链、改善生产效率等，并基于这些数据提供相应的解决方案和服务。数据驱动的业务模式使企业能够更好地满足市场需求，创造新的商业机会。

第三，促进产业协同和合作。工业元宇宙提供了更好的协同合作和信息共享的平台，使得不同企业可以共同合作开发新的产品和服务。通过工业元宇宙的连接和数据交换，企业可以实现供应链的协同管理、资源的共享利用等，从而提高整个产业的效率 and 创新能力。这种产业协同和合作为新的产业机会和市场的形成提供了基础。

第四，推动工业互联网平台的崛起。工业元宇宙的发展推动了工业互联网平台的兴起，这些平台为企业提供了开放的环境和基础设施，使得企业能够更加便捷地接入和利用工业元宇宙的技术和资源。工业互联网平台的崛起为企业创造了更多的商业机会，促进了新的产业市场的形成。

5. 改变产业结构和组织形式

第一，垂直整合与分工协作。工业元宇宙通过数字化技术的应用，实现了企业内部各个环节的高度集成和协同。传统产业中的垂直整合模式被更加灵活的分工协作所取代。不同企业可以通过工业元宇宙的连接和数据共享，形成供应链的协同网络，各专业领域的企业可以依托数字化技术进行协同合作，实现资源的优化配置和生产效率的提升。

第二，弹性生产和个性化定制。工业元宇宙为企业提供了更灵活的生产方式，通过数字化技术和虚拟仿真，企业可以实现生产过程的优化和个性化定制。生产线可以根据需求进行快速调整和重组，实现小批量、多样化的生产。工业

元宇宙的出现加强了生产过程的可配置性和弹性，使企业能够更好地适应市场需求的变化。

第三，数据驱动的决策和管理。工业元宇宙通过实时数据的采集、分析和挖掘，为企业提供了更准确的决策依据，企业可以基于数据驱动的决策来优化生产流程、产品质量和供应链管理。同时，工业元宇宙也提供了更高效的管理手段，企业可以通过数字化技术实现对生产过程的实时监控和管理，从而提高生产效率和资源利用效率。

第四，服务导向和增值服务。工业元宇宙的出现使企业从传统的产品销售转向更加服务导向的模式，企业可以通过工业元宇宙提供的数据和智能化技术，为客户提供增值服务。例如，通过远程监控和故障预测，企业可以提供及时的维修和保养服务，提高客户满意度。这种服务导向的转变改变了企业的盈利模式，也改变了产业的组织形式和价值链的结构。

6. 产业的需求和趋势反过来影响技术的发展

第一，技术需求与创新驱动。产业的需求是工业元宇宙发展的主要动力之一，产业对于更高效、智能和可持续发展的需求推动了工业元宇宙技术的创新和应用。产业需求的不断变化和提升促使工业元宇宙不断推陈出新，提供更多创新解决方案和技术支持，以满足产业发展的要求。

第二，数据安全性与隐私保护。随着工业元宇宙的发展，大量的数据被收集、传输和分析，产业对于数据安全和隐私保护的要求也在不断增加。工业元宇宙需要满足产业的数据安全需求，包括加密传输、权限管理、数据隐私保护等，以确保数据的安全性和可信度。产业的需求对数据安全和隐私保护的重视，推动了工业元宇宙在这方面的技术和解决方案的发展。

第三，产业标准与互操作性。产业的需求和趋势也对工业元宇宙的标准化和互操作性提出了要求，不同企业和系统之间的互联互通是工业元宇宙实现协同合作和数据共享的关键。产业需要工业元宇宙能够支持不同系统之间的互操作性，并遵循一致的标准和规范。产业的需求推动了工业元宇宙标准化工作的推进，促使不同厂商和平台之间实现更好的互联互通。

第四，灵活性与可持续发展：产业对于灵活性和可持续发展的要求也会影响工业元宇宙的发展。随着产业环境的不断变化，企业需要更加灵活和可调整

的工业元宇宙解决方案，以适应市场需求的快速变化。同时，可持续发展已成为产业的重要关注点，工业元宇宙需要提供可持续的解决方案，包括能源效率、资源利用等方面的支持，以满足产业的可持续发展需求。

（二）工业元宇宙与消费创新

消费创新是指为了满足消费者需求而进行的创新。它包括创新的产品、服务、销售渠道、消费体验等方面，以提供更好的消费体验和价值。工业元宇宙与消费创新有密切的关系，它们相互促进和互为支持。

工业元宇宙为消费创新提供了技术基础和支持。通过工业元宇宙的数字化技术、物联网、人工智能等技术，企业可以开发出更具创新性和个性化的产品和服务，满足消费者不断变化的需求。例如，通过工业元宇宙的支持，企业可以开发智能家居产品、虚拟现实体验、智能个性化推荐等创新的消费产品和服务。

工业元宇宙为消费创新提供了更多的消费者参与和个性化体验的机会。通过工业元宇宙的技术支持，消费者可以参与产品的设计、个性化定制以及参与虚拟现实的消费体验等。工业元宇宙使消费者更加成为产品和服务的主导者，满足其个性化需求，提升消费者的参与感和满意度。

工业元宇宙提供了大量的数据采集和分析能力，可以为消费创新提供数据驱动的个性化营销。通过对消费者数据的分析和挖掘，企业可以了解消费者的喜好、购买行为和需求，从而提供个性化的产品推荐、定价策略和营销活动。工业元宇宙的数据驱动个性化营销可以提高消费者的购买体验和满意度，促进消费创新的实施。

工业元宇宙为消费创新提供了更好的消费者反馈和产品改进的机制。消费者能够通过虚拟现实技术在实体产品被生产出来之前就能切实体验产品效果；通过工业元宇宙的连接和数据交换，企业可以实时获取消费者的反馈和意见，了解产品的使用情况和改进需求。这使得企业能够更加迅速地回应消费者的需求，进行产品的改进和创新，进一步推动消费创新的发展。

消费创新反过来对工业元宇宙的发展也具有重要作用。

首先，消费创新能够推动工业元宇宙的应用场景更加丰富多元。例如，通过在消费领域引入元宇宙元素，可以创造出沉浸式购物、数字藏品、虚拟直播

等新的消费体验，从而促进工业元宇宙在消费领域的应用和发展。

其次，消费创新能够为工业元宇宙提供更多的市场机会。随着消费升级和消费者追求个性化、定制化的需求增加，工业元宇宙可以通过提供个性化的产品和服务来满足这些需求，从而在消费市场中获得更多的机会。

此外，消费创新还能够促进工业元宇宙的技术创新和产业升级。随着消费领域的需求变化和新技术的发展，工业元宇宙需要不断进行技术创新和产业升级，以满足消费需求并保持市场竞争力。

（三）工业元宇宙与智慧城市建设

“十四五”规划纲要提出推进新型智慧城市建设，提升城市智慧化水平，推行城市规划（片区开发）、城市更新、城市楼宇、公共空间、地下管网等“一张图”数字化管理和城市运行一网统管；提高城市治理水平，运用数字技术推动城市管理手段、管理模式、管理理念创新，精准高效满足群众需求。

智慧城市建设是指利用信息和通信技术（ICT）以及物联网、大数据、人工智能等先进技术手段，对城市的基础设施、公共服务、城市管理和居民生活等方面进行全面升级和创新，以提高城市的可持续发展、智能化和宜居性。工业元宇宙的发展将推动社会的转型和智慧城市的建设，具体表现在四个方面，以四川见山科技有限责任公司基于其自主开发的元宇宙城市数字底座平台在助力智慧城市建设中的具体应用为案例详细阐述。

第一，工业元宇宙通过数字化技术和物联网的应用，实现城市基础设施的智能化管理。例如，通过传感器和监控设备的安装，实时监测城市的交通流量等数据，从而优化城市的交通管理，见图 12。



图 12 四川见山科技有限责任公司新一代城市级数字孪生产品 KUNLUN 截图

案例中的元宇宙城市数字底座平台面向水利设施、交通设施、通信设施、环卫设施、防灾设施、建设设施、地下管廊等各类设施中的感知终端，对各类感知设备采集的感知数据、位置数据等进行接入和预处理为相关应用提供数字支撑，同时也提供设施设备健康状态监测管理、远程运营维护、设备远程指令控制、故障问题报警等管理和服务能力。例如，平台系统进行实景三维建模还原综合管廊市政管网真实分布情况和内部空间结构，通过综合管廊物联传感设备互联互通，实现综合管廊内部实时数据呈现和安全监测；平台搭建智慧工地功能模块，接入高倍率摄像头，以实现工地实时工人、现场情况进行监管，及时发现安全隐患问题，提高工地施工的安全保障；平台还利用“北斗组网”城市重大基础设施实时监测管理系统，布置北斗传感器，实时监测楼宇沉降、桥梁位移、基坑坍塌，落实从安全治理到事前预防的升级转型。

第二，工业元宇宙将实现城市各个部门和组织之间的数据共享和协同决策。通过数据的集成和共享，实现城市各个方面的协同管理，例如交通管理、公共安全、环境保护等。这将使城市决策更加科学、高效，提升城市运行的整体效益，见图 13。

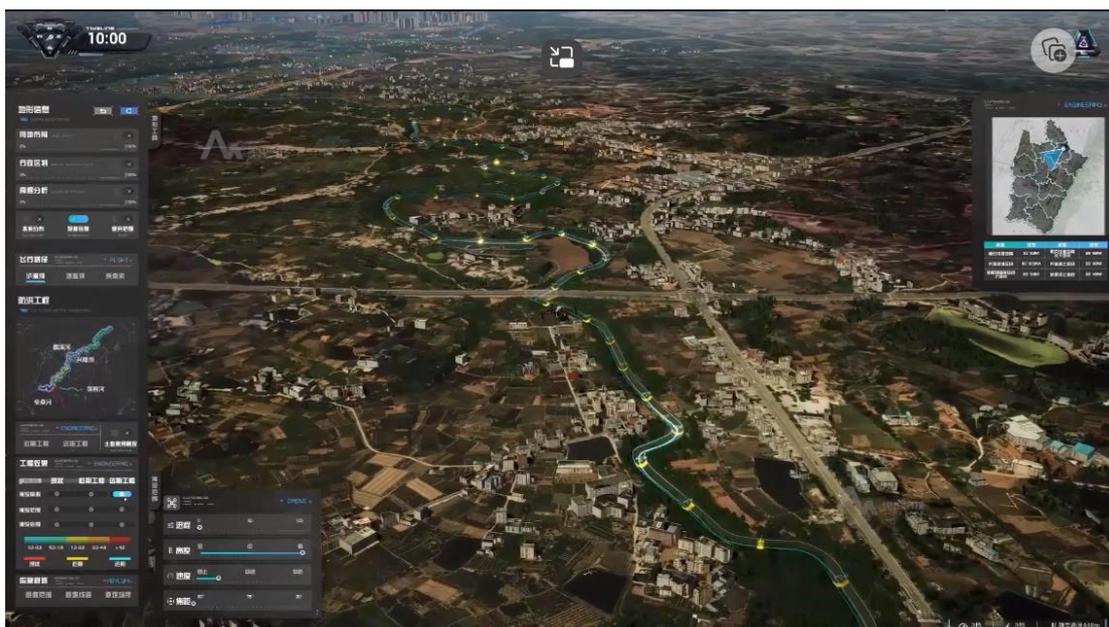


图 13 四川见山科技有限责任公司新一代城市级数字孪生产品 KUNLUN 截图

案例中的元宇宙城市数字底座平台将城市的各项数据整合到一个平台上，促进了不同部门之间的信息流通和共享，同时提供全面的数据支持和决策分析，促进各部门间的信息共享和协同工作。例如，平台集成各经济部门现有资源，将城市主要经济指标、产业结构、重点项目等数据进行监测分析，全方位体现城市产业经济运行态势，展现城市经济、产业发展状况，为城市经济发展规划、产业结构调整等提供决策依据。在需要跨部门合作时，城市规划部门可以利用平台与交通管理、环境保护等部门进行无缝对接，实现跨部门的合作与综合治理。在应急防灾时，整合气象、水利、应急管理等部门的数据，提供灾情预测和应急响应的方案，更好地协调资源，提高公共安全管理整体效能。

第三，工业元宇宙能够实现城市的个性化服务和智慧生活。通过数字化技术的应用，为居民提供更加便捷、高效的公共服务，例如智能查询、智能交通导航、智能停车系统、智能家居设备等。居民通过智能终端设备，随时随地获取城市信息，享受智慧化的生活体验，见图 14。

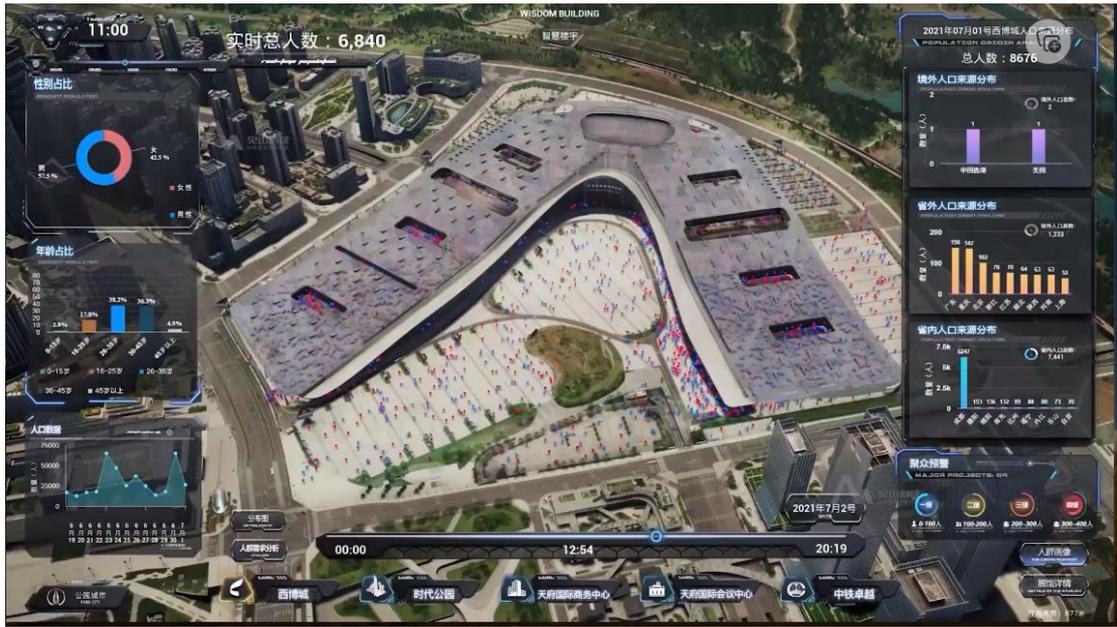


图 14 四川见山科技有限责任公司新一代城市级数字孪生产品 KUNLUN 截图

案例中的元宇宙城市数字底座平台构建了智慧城市公共服务功能，打通大数据生产到大数据服务市民应用的创新路径。例如，平台重构了上百万店铺级 POI 数据库，建立数据算法模型，帮助用户选择区域内商圈、人群画像以及外卖等分析数据，并通过手机扫码获得相应的分析报告。依托人才服务平台，建立 AI 算法模型打造人才服务管家，实现各类业务咨询、项目申报和办理。平台还集成全市人才公寓及青年人才驿站数据，可精准查询周边配套和人才公寓详细信息，并实现了区域内人才公寓线上漫游看房新模式。

第四，工业元宇宙促进城市资源的高效利用和环境保护。通过数据的收集和分析，实现城市能源、水资源、废物处理等领域的优化管理，减少资源的浪费和环境污染，见图 15。同时，工业元宇宙还推动了可持续能源的应用和新能源技术的发展，促进城市的可持续发展。



图 15 四川见山科技有限责任公司新一代城市级数字孪生产品 KUNLUN 截图

案例平台在能源管理方面也发挥了巨大的作用，通过打造楼宇碳效监测系统，从宏观城市发展聚焦到微观楼宇能耗管理，摸清区域内各楼宇企业分布、产值数据、能耗数据、碳排数据等情况，为产业双碳管理提供辅助标准和客观参数，助力企业节能增效，率先构建城市碳中和数字化解决方案。

反过来看，智慧城市建设对工业元宇宙的发展也具有重要推动作用。

首先，智慧城市的建设将为工业元宇宙提供更为广阔的应用场景。智慧城市基于数字孪生、大数据、人工智能等技术，实现城市各个领域的智能化，这为工业元宇宙提供了丰富的应用场景，如智慧交通、智慧能源、智慧建筑等。工业元宇宙通过与智慧城市各个领域的深度融合，实现更高效、更智能的城市管理和运营。

其次，智慧城市建设将为工业元宇宙提供更强大的技术支撑。智慧城市的建设涉及到大量的数字化设备和系统，这些设备和系统为工业元宇宙提供更强大的计算、存储和通信能力。同时，智慧城市的建设也将推动人工智能、区块链等技术的发展，为工业元宇宙提供更丰富的技术手段和解决方案。

此外，智慧城市建设还将促进工业元宇宙的产业发展。智慧城市的建设将带动各个产业的发展，包括数字经济、智能制造、物联网等。这些产业的发展将为工业元宇宙提供更广阔的市场和更多的机会，促进工业元宇宙的产业发展和创新。

综上所述，智慧城市建设对工业元宇宙的发展具有多方面的推动作用，为其提供更广阔的应用场景、更强大的技术支撑和更广泛的产业发展机会。

（四）工业元宇宙城市发展实施框架

与传统智慧城市相比，工业元宇宙城市发展模式更加突出新型技术集成与业务协同一体化发展，工业元宇宙协同发展组织在《新型智慧城市评价指标》（GB/T 33356-2022）的基础上，从政策环境、技术支撑、应用场景、安全协同、运营运维五个维度提出工业元宇宙城市发展实施框架，如图 16 所示，包含 15 个要素 20 个子要素。

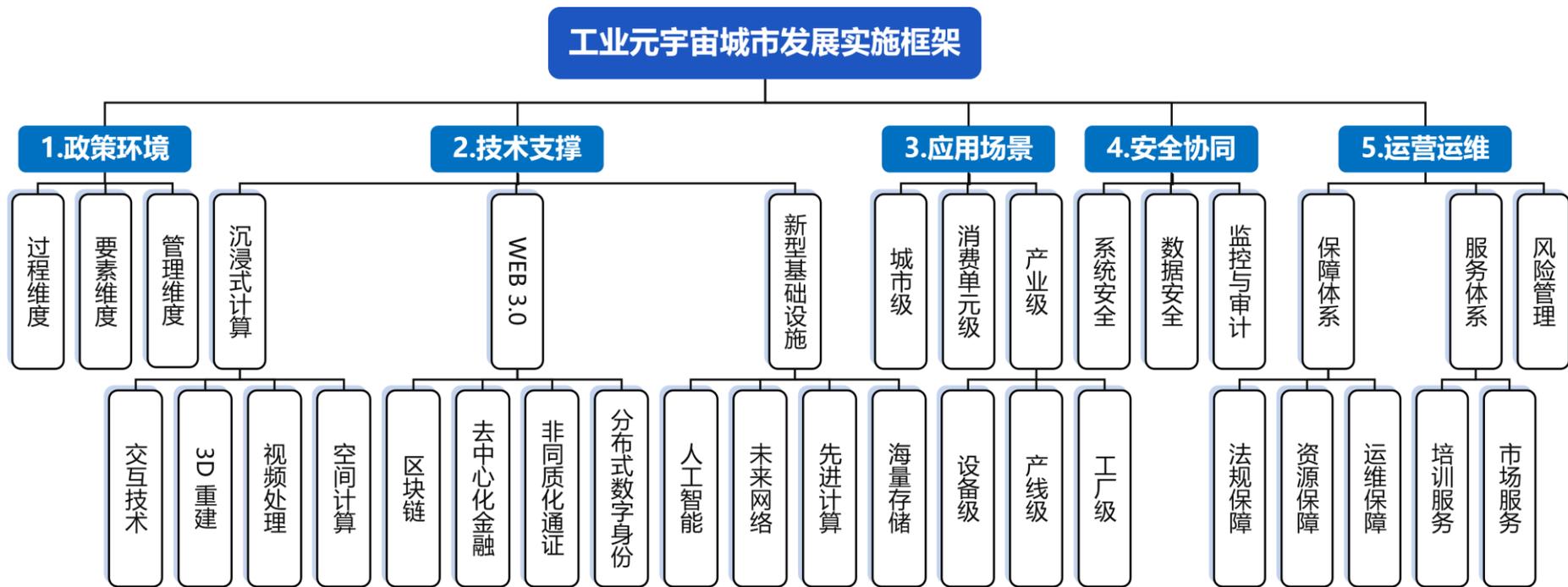


图 16 工业元宇宙城市发展实施框架

参考《新型智慧城市评价指标》和《信息化和工业化融合管理体系新型能力分级要求》（GB/T 23006-2022）中的新型能力分级要求，提出符合数字化转型智慧城市和工业元宇宙城市发展实施框架的发展路径。

对应《信息化和工业化融合管理体系新型能力分级要求》中规定的5个等级，工业元宇宙能力的建设及运行可分为5个等级：A级（记1分）、2A级（记2分）、3A级（记3分）、4A级（记4分）、5A级（记5分）。按照被评估城市满足相应等级要求的程度，还可将能力等级划分为“相应等级-（减0.5分）”“相应等级”“相应等级+（加0.5分）”等不同水平档次。

A级能力应符合以下建设要求，包括但不限于：

（A）建立了工业元宇宙政策管理体系，能够规范有效开展职能驱动型的能力建设过程管理；

（B）开展了规范级能力建设，支持和优化相关业务范围内的生产经营管理活动，但尚未有效建成支持主营业务范围内关键业务数字化运行的新型能力。

注：职能驱动是指按照确定的组织分工和岗位职能职责标准化开展各项活动。

在达到或高于A级能力建设要求的基础上，2A级的新型能力还应符合以下建设要求，包括但不限于：

（A）面向工业元宇宙主营业务范围内关键业务环节，建成支持关键业务资源配置效率提升、关键业务活动数字化、场景化运行的场景级能力；

（B）开展了技术使能型的场景级能力建设过程管理；

（C）主要达成关键业务效率提升、成本降低、质量提高等预期价值效益目标。

注：技术使能是指通过基于各类工业元宇宙技术融合应用形成的专业技能赋能各项活动专业化开展。

在达到或高于2A级能力建设要求的基础上，3A级的新型能力还应符合以下建设要求，包括但不限于：

（A）面向工业元宇宙主营业务领域，建成支持主营业务领域内资源全局优化配置，以及主营业务集成融合、动态协同和一体化运行的领域级能力；

（B）开展了知识驱动型的领域级能力建设过程管理，且支持过程管理动态优化；

(C) 实现城市整体相关业务成本降低、效率提升、质量提高等预期价值效益目标，并有效拓展延伸业务。

注：知识驱动是指通过构建主营业务领域专业知识模型及其数字化、网络化应用赋能各项活动智能化开展。

在达到或高于 3A 级能力建设要求的基础上，4A 级的新型能力还应符合以下建设要求，包括但不限于：

(A) 面向产业全要素和全过程，建成支持相关产业之间资源动态配置，以及主营业务网络化协同和社会化协作的工业元宇宙平台级能力；

(B) 能够按需开展数据驱动型的平台级能力建设过程管理；

(C) 实现供应链/产业链整体成本降低、效率提升、产品/服务创新、用户连接与赋能等价值效益目标，有条件的组织培育发展平台级工业元宇宙业务，开辟业务平台化价值创造新空间。

注：数据驱动是指构建基于模块化、平台化数据模型的在线感知、实时分析、动态决策、精准执行体系，以大数据赋能各项活动大范围动态优化。

在达到或高于 4A 级能力建设要求的基础上，5A 级的新型能力还应符合以下建设要求，包括但不限于：

(A) 面向跨行业、跨用户等跨平台的工业元宇宙生态圈，建成支持智能驱动的生态资源按需精准配置，以及生态合作伙伴间业务智能化、集群化、生态化发展，实现价值开放共创的生态级能力；

(B) 能够自组织开展智能驱动型的生态级能力建设过程管理；

(C) 全面实现生态圈用户/生态合作伙伴连接与赋能、数字业务培育、绿色可持续发展等价值效益目标。

注：智能驱动是指构建基于自学习、自优化认知模型的智能感知、智能分析、智能决策和智能运行体系，以人工智能赋能各项活动按需自主开展。

1. 政策环境

在政策环境方面，首先政府要做好需求分析和路径研究，从顶层设计和机制体制上关注建设需求。工业元宇宙的城市建设是一项系统工程，参考《信息化和工业化融合管理体系评定分级指南》（GB/T 23007-2022），应从过程维度、要素

维度、管理维度系统开展工业元宇宙新型能力建设、运行和优化，建立包含策划、支持、实施与运行、评测与改进的 PDCA（Plan—Do—Check—Action）过程管控机制，涵盖数字化治理、组织机制、管理方式、组织文化等的治理体系，并以过程管控机制为牵引，推动过程管控机制、系统性解决方案、管理治理体系三者之间的协调联动与互动创新，持续建设新型能力。

工业元宇宙的政策保障体系为其提供了良好的政策环境。政策保障体系确保政府对工业元宇宙发展的支持力度，促进相关政策的出台和实施，例如鼓励创新、支持人才培养、推动产业升级等。此外，政策保障体系还为企业提供政策解读和指导，帮助企业充分利用政策资源，提高自身的竞争力和发展潜力。

2. 技术支撑

在技术支撑方面，打造沉浸式计算、WEB 3.0 和各项新型基础设施的技术底座为支撑。沉浸式计算关键在于交互技术和 3D 重建技术，交互技术主要包括扩展现实（XR）、光场显示（全息显示）和脑机交互技术，3D 重建的重点技术在于数字孪生、3D 建模、实时渲染、虚拟引擎与数字人。此外，沉浸式计算还需要三维声、超高清视频处理技术和基于地理信息系统的空间计算技术。

WEB 3.0 的核心技术体现在区块链技术中的密码算法、共识机制与智能合约，此外，去中心化金融、非同质化通证与分布式数字身份也必不可少。区块链技术为工业元宇宙和智慧城市提供安全、可信的数据管理。借助区块链技术，能够实现数据的不可篡改性及可追溯性，保障数据的真实性和安全性，为工业元宇宙和智慧城市的发展提供可靠的技术支撑。

新型基础设施包含的范围更广，首先在当前最热的人工智能概念上，机器学习、模式识别、混合智能、自然语言处理、智能语音、计算机视觉及人工智能生成内容（AIGC）都是工业元宇宙城市发展所需的新型计算机技术。再者，未来网络中的 5G 和 6G 是亟需的基建技术，先进计算中的芯片、云计算、类脑智能计算、光计算、超算乃至量子计算都将大大促进工业元宇宙发展。最后，安全可信的海量存储也是必不可少的新型基础设施。

3. 应用场景

工业元宇宙在城市发展中的应用场景多种多样，以下为基本的分类：

城市级。打造一体化、智能化、集约化的城市数字基座，建设数字孪生城市，开发公共安全、公共管理、公共服务智慧化应用场景，提升城市敏捷治理、科学治理水平。利用元宇宙技术对城市风险进行动态模拟和实时监测，提升城市应急处置能力。优化智慧政务服务，建设虚拟办事大厅，开发场景式服务导航，提升办事体验。

产业级。工业元宇宙能够应用于城市工业生产中，如集成电路、新型显示、轨道交通、航空航天等领域。通过数字孪生技术，在虚拟世界中模拟和优化实际工业生产过程，提高生产效率和质量，降低成本和风险。同时，工业元宇宙也促进了工业互联网的发展，通过实时数据采集和分析，优化资源配置，提升产业链协同水平。

消费单元级。工业元宇宙也影响了城市消费领域。例如，消费者通过虚拟现实技术，在元宇宙中体验商品或服务，实现沉浸式购物和娱乐。这不仅提高了消费体验，还帮助企业精准把握市场需求，优化产品设计和营销策略。

4. 安全协同

工业元宇宙运用大量计算机技术，高度依赖于智能化和自动化系统，系统安全问题不容小觑。同时，数据来源广，体量大，存储与处理集中在城市智能中枢等机构，存在安全攻击等网络风险。另外，数字孪生城市有很多个人轨迹、视频数据采集等设计公民隐私的数据，需要设立合理的权限管控数据。工业元宇宙城市发展在安全协同方面需要注意以下几个方面：

数据安全：在工业元宇宙城市发展进程中，数据的价值巨大，但同时也存在被泄露或滥用的风险。保障数据安全是工业元宇宙的基本要求。这需要建立完善的数据保护机制，包括数据加密、访问控制、隐私保护等，确保数据不被未经授权的个体或组织获取、滥用。

身份验证与权限控制：在工业元宇宙城市发展进程中，参与的角色众多，包括设备、工作人员、供应商、客户等。需要对他们进行身份验证和权限控制，防止未经授权的访问和潜在的安全威胁。采用多因素身份验证方法能够更有效地保障系统安全。

系统稳定性：工业元宇宙中通常运行着大量的设备和系统，需要保障它们的稳定性和可靠性，避免因设备或系统故障导致生产中断或其他严重的后果。

安全审计与监控：需要对工业元宇宙中的活动进行审计和监控，以便及时发现和处理安全事件。这需要建立完善的安全审计机制，包括实时监控、日志分析、异常检测等。

5. 运营运维

工业元宇宙城市发展的运营运维包括保障体系、服务体系的完善和风险管理的加强，保障体系包括法规保障、资源保障和运维保障，服务体系包括培训服务和市场服务。

工业元宇宙的保障体系主要为其核心技术和产品体系提供法规、资源、知识产权保护等全方位的保障，从而推动工业元宇宙的稳健运营和持续发展。

首先，工业元宇宙的法规保障体系为其提供了法律的约束和保护。这包括对工业元宇宙的核心技术、标准、产品等进行法律规范，确保其符合国家法律和国际法规的要求。同时，法规保障体系还能够为工业元宇宙的参与者提供法律支持和保障，例如保护企业的知识产权、维护交易的公平性和公正性等。

其次，工业元宇宙的资源保障体系为其提供了良好的资金和人才保障。工业元宇宙的建设和发展需要大量的资金投入，因此需要建立完善的资金保障机制，包括政府资金、企业投资、社会资本等多元化的资金来源，以支持工业元宇宙的持续发展。

第三，工业元宇宙的运维保障体系为其提供了稳定、安全的运营环境。运维保障体系负责对工业元宇宙平台进行维护和管理，确保平台的稳定性和安全性。同时，运维保障体系还为企业提供运维咨询和指导，帮助企业提高自身的运维水平和能力。

工业元宇宙的服务体系也需要随着技术和产品的发展而不断完善。首先，工业元宇宙的培训服务体系为其提供了丰富的人才储备。培训体系涵盖了专业课程培训、实践操作培训、管理培训等多层次、多方向的培训服务，培养出大量的工业元宇宙建设人才，解决工业元宇宙发展过程中的人才短缺问题。再者，工业元宇宙的市场服务体系为其开拓了广阔的应用场景。市场服务体系通过研究市场需求、分析用户

反馈、开展市场调查等方式，为工业元宇宙的持续发展提供了强大的市场支撑。同时，市场服务体系还能够为工业元宇宙技术的推广和应用提供重要的反馈，帮助技术体系不断优化和发展。

三、代表城市工业元宇宙发展情况

随着各地纷纷发布元宇宙相关政策并出台相关举措，工业元宇宙协同发展组织一直密切关注相关进展，并集中关注各地自 2023 年以来元宇宙发展模式及态势发展。组织选取发布了元宇宙相关发展政策、行动计划和布局相关产业的城市进行了广泛调研，采用聚类分析方法，将城市的工业元宇宙发展模式分为三类：

第一类，科研创新及人才驱动型：拥有众多的高校和高水平科研机构提供技术支撑；拥有众多的高科技企业和创新园区为基础设施保障；拥有高技术人才储备和活跃的人才市场为元宇宙的发展提供了丰富的人才资源。按工业元宇宙城市发展实施框架分析，技术支撑和运营运维维度得分等级较高。

第二类，投融资及政策驱动型：依托软件及工业产业发展优势特色，以政策引领和资金支持为导向，具有产业集群优势。按工业元宇宙城市发展实施框架分析，政策环境和运营运维维度得分等级较高。

第三类，文旅及消费场景驱动型：产业载体和应用场景丰富，集中在文旅及消费领域，多为热门旅游城市。按工业元宇宙城市发展实施框架分析，应用场景和安全协同维度得分等级较高。

在后续的代表城市工业元宇宙发展情况分析中，将根据工业元宇宙能力的建设及运行 5 个等级分级要求，从政策环境、技术支撑、应用场景、安全协同、运营运维五个维度分别划分等级并代入到实施框架中，研究相应的发展路径。工业元宇宙协同发展组织对十个典型城市进行了深入调研，会同调研组专家对代表城市依照图 16 中各要素分别打分，取平均值后得到各维度对应的分值，将十个城市工业元宇宙发展路径分成三类，如图 17 所示。

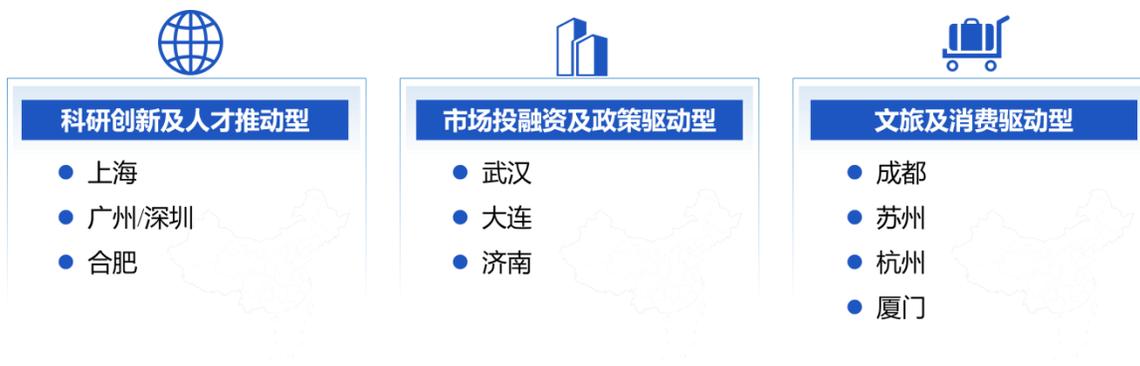


图 17 代表城市工业元宇宙发展路径分类

(一) 科研创新及人才驱动型

从发展路径来看，上海、广州、合肥市在技术支撑维度得分较为突出，被归为科研创新及人才驱动型，见图 18。上海作为中国的经济中心、金融中心，一直以来都是科技创新的领军城市，综合平均得分为十个城市之首。广州作为粤港澳大湾区的中心城市，吸引了大量的科技企业和创新项目，积极探索前沿技术，为元宇宙的发展提供了有力支持，得分紧随上海之后。合肥的科技创新发展步伐不断加速，特别在人工智能和元宇宙领域展现了独特的战略眼光和实际行动，拥有中国科学技术大学和中国科学院多家研究所的科技支持，其技术支撑得分相对较高。

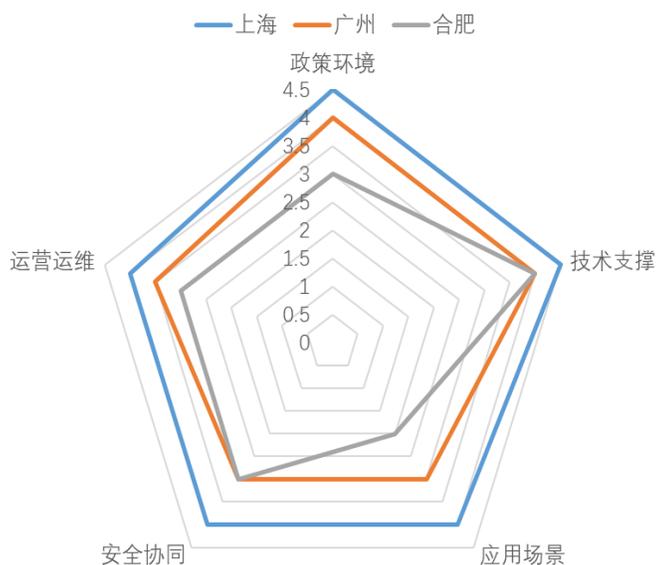


图 18 代表城市工业元宇宙新型能力评价：上海，广州，合肥

1. 上海

作为首个公开表述元宇宙发展创新思路的省级城市，上海市政府在全国率先将元宇宙写入“十四五”规划，在元宇宙的政策支持、产业集聚、应用场景拓展、国际合作以及产业园区建设等方面都取得了重要进展和显著成就。上海在 5G、数据要素、人工智能、区块链等新兴技术方面具有显著优势。为增强产业综合优势，促进创新主体活力迸发，发挥元宇宙示范赋能效应，持续完善产业发展生态，上海市在以下领域重点发力：

- (1) 提升包括底层硬件、交互终端硬件在内的核心技术创新能力；
- (2) 丰富软件与内容协同发展矩阵，应用软件创新、做强特色 IP；
- (3) 打响应用场景特色品牌，拓展“元宇宙+”场景应用。

上海将产业高地建设、数字业态升级、模式融合赋能和创新生态培育作为主要抓手，加强关键技术、基础设施、交互终端、数字工具的研发；利用元宇宙技术赋能智能制造、医疗健康、协同办公、数字城市等新模式；培育创作者经济、数据流通要素、标准规则体系等方式，推动量化发展指标的实现。总体来说，上海的元宇宙政策体现了一种深思熟虑的顶层设计和创新思考。它明确提出对元宇宙核心技术的研发，新型终端设备的研制及虚拟内容建设等方面的要求，同时提出重点工程和保障措施，为元宇宙的健康发展提供了全方位的支持和保障。

上海聚焦元宇宙发展的关键环节，通过八项工程对技术攻关、项目牵引、产业载体、资源释放、空间设施、体制机制等方面进行布局，助推元宇宙发展路径的完善，如图 19 所示。特别是在元宇宙关键技术突破工程方面，以沉浸式技术与 Web3 技术为两大主攻方向，推进原创性引领性科技攻关，加快构建先进应用体系构建，促进“元宇宙”创新生态不断完善，着力提升“元宇宙”领域科技自立自强能力。围绕智能终端、内容制作、云平台等形成 30 项以上具有重要影响力的核心技术与产品；打造高水平关键技术试验验证场景，形成全链条技术供给能力；推进“东数西算”工程，打造国家数据中心集群，推进高质量孵化器、研发机构、科技型骨干企业、创新团队等要素的集聚。



图 19 上海市通过八项工程布局元宇宙发展路径

上海在重工业、轻工业领域都有着较好的产业基础，有着丰富的工业元宇宙应用场景；同时，上海拥有众多元宇宙领域科技型骨干企业，能够为工业元宇宙的场景落地提供较为全面的技术和产品支持。例如，当前国内技术领先、市场占有率最高的平台级 AR 产品和服务公司亮风台以空间计算、智能交互、AR 云、智能终端、人机融合 AI 等核心技术打造 AR 计算平台，其产品主要适用于钢铁、电力、汽车、石化、煤矿、轨交、高端设备制造、重型机械等行业企业，支持打造智能运维巡检、智能培训、智能安全生产、智能质量管理等场景，已落地宝武钢铁、国家电网、中国商飞、三一重工、海尔、上汽、福特汽车等数千家企业与机构。

总体来看，上海工业元宇宙发展具有以下特点。

(1) 产业及科研基础深厚：上海在虚拟现实、人工智能、5G 等领域具有世界领先的技术，提供了强大的技术支撑；产业涵盖硬件、软件、平台、内容、应用等各个领域，提供了良好的产业链支持。

(2) 人才及文化意识超前：上海具有开放、创新的城市文化，能够迅速接受新事物；聚集了众多高等院校和科研机构，拥有雄厚的人才优势和研究基础；政府重视程度高，政策引导到位，出台了一系列政策来引导和促进元宇宙产业的发展。

(3) 场景引领锻造产业链：以场景为引领，集聚一批企业，集成突破，联合攻关，实现“建成一批场景、成熟一批企业、锻造一条产业链，训练一批人才”的系统成果。

总之，上海元宇宙产业的发展具有产业及科研基础雄厚的客观特点和人才及文化意识超前的主观特点，政府的主动服务与市场的积极响应，为元宇宙产业“虚实交互，以虚促实”的发展提供了良好的环境和支持，使上海在元宇宙领域具有很强的竞争力，发展迅猛。

2. 广州

广州作为中国华南地区的大城市，在元宇宙的发展中扮演着重要的角色。广州市各区围绕元宇宙技术和产业聚集，逐渐形成既是竞争又是合作的局面，在竞争中合作，形成聚集效应，其产业分布详见图 20。比如，黄埔区的重点任务是打造“元宇宙核心产业链：人才元宇宙、企业元宇宙、城市元宇宙”，海珠区是“元宇宙未来都市工业：产业互联网、海上丝绸之路”，南沙区是“未来城市元宇宙：人工智能”，番禺区是“元宇宙文旅制造：传感器及嵌入式系统、文旅内容制作”，增城区是“元宇宙先进制造：超高清显示产业、汽车产业”，花都区则是“元宇宙产业园：全产业链”。其中，黄埔区率先成立元宇宙产业链联盟，促进元宇宙产业发展。



图 20 广州市各区元宇宙产业发展分布

广州拥有众多的高校和科研机构，如中山大学、华南理工大学、暨南大学等，这些学府的科研力量为广州元宇宙的发展提供了不竭的动力。粤港澳大湾区被称为

“中国硅谷”，拥有众多的高科技企业和创新园区，这些科技园区为元宇宙的技术研发和应用提供了良好的基础。

广州还拥有庞大的人口基数和活跃的人才市场。近年来，广州市吸引了许多优秀的工程师、设计师、创业者和数字艺术家聚集在此，他们以自己的专业知识和技能为元宇宙的发展贡献力量。广州的人才储备和活跃的人才市场为元宇宙的发展提供了丰富的人才资源，在元宇宙专业人才供给方面提供一定保障。

此外，广州具备丰富的文化底蕴和创意产业，其悠久的历史 and 多元的文化传统为元宇宙的跨界合作提供了广阔的空间。广州的文化创意产业涵盖了艺术、设计、影视、音乐等领域，这些创意产业与元宇宙的艺术表达和虚拟创作有着天然的联系，能够为元宇宙注入更多的创造力和艺术性。

最后，广州作为粤港澳大湾区经济发达的城市，拥有庞大的消费市场和商业活力。随着元宇宙的发展，人们对虚拟化和数字化体验的需求不断增加。广州的消费市场能够为元宇宙产业提供广阔的市场空间，刺激消费需求，推动产业的快速发展。

3. 合肥

合肥市通过构建全方位的政策支持体系引导产业发展、重视技术研发、培养和引进高技能人才等方式，激发了科技创新和产业转型的内生动力。随着元宇宙的发展，合肥正努力塑造自身的核心竞争力，打造成为未来元宇宙产业发展的重要引擎，为推动人工智能与元宇宙领域的技术创新与社会应用贡献重要力量。

合肥高新区在全国 169 家国家级高新区综合排名中连续八年位列前十，充分展现了合肥在科技创新方面的领先地位。高新区内拥有国家量子实验室、类脑智能国家工程实验室、人工智能研究院等科技创新资源，为前沿科技的发展提供了强大的支持。在人工智能、集成电路、网络安全、区块链等领域，已经形成了一批强大的产业集群。比如，中国声谷已构建了覆盖整个人工智能产业链的全套服务体系，为产业发展提供全方位支持。

人才是城市科技发展的重要支撑。通过建立人工智能研究院、实施人才引进政策，合肥积极培养和引进元宇宙等领域的高层次人才，为城市的科技创新和产业发展提供了人才保障。例如，合肥市人工智能研究院以技术攻关和成果转化为核心，

引入了 300 人的科技研究队伍，由中国科学院院士领衔，对推动合肥人工智能产业的发展起到了重要的推动作用。

同时，合肥市相关企业积极与头部企业进行跨界合作，共同开发强大的算力以支持 AI 大模型的研发。在“智慧星火 计算筑基”算力平台论坛上，科大讯飞、华为和合肥大数据公司联合启动了“星火昇腾 AI 联合生态”的建设。这标志着合肥企业在算力领域与头部企业进行深度合作，共同推动合肥市元宇宙产业的加速发展。

在技术研发方面，政府对人工智能计算中心的建设、大模型赋能产业发展活动的举办以及鼓励企业技术创新等举措，推动了城市的元宇宙科技创新能力的建设。这些举措已经产生了积极影响，合肥中国科大附属第一医院的智能勾画系统的应用、北阜·元宇宙广场的开业等，为合肥市民带来了直接的生活改善，见图 21。商汤科技在合肥设立首个 AR 全国产业运营中心等，进一步提升了合肥在科技创新领域的影响力。



图 21 合肥市元宇宙典型应用案例

（二）市场投融资及政策驱动型

代表城市武汉、济南、大连在政策环境和运营运维维度得分相对较高，见图 22。作为传统工业强市，这三个代表城市通过投融资等各项政策扶持元宇宙初创企业做强做大，培育一批专精特新中小企业，深化本地产业链上下游协同合作，构建大中小企业融通发展新生态。面向重点应用领域，遴选一批高价值的元宇宙创新产品、解决方案和示范项目。当地企业也积极布局相关产业，发挥本地现有软件、服

务器、集成电路、内容创作等产业基础优势，增加元宇宙内容制作、关键器件研发和产业化投入，形成了具有领先技术和拳头产品的元宇宙企业聚集区。

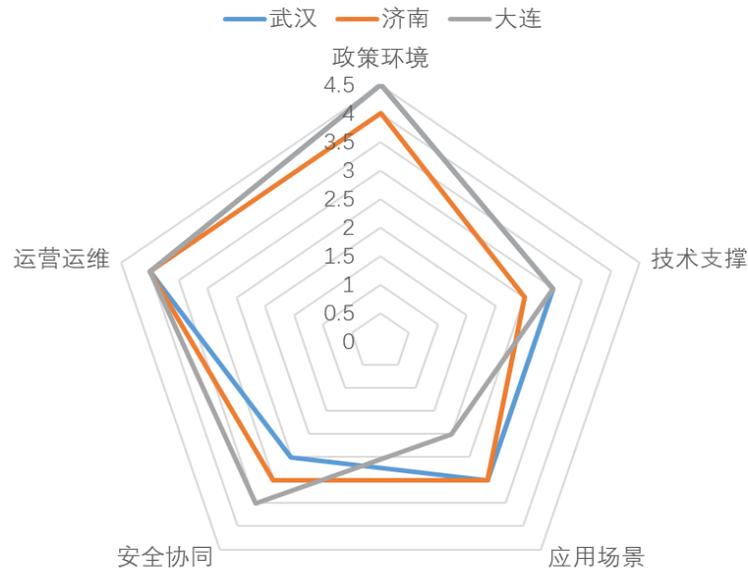


图 22 代表城市工业元宇宙新型能力评价：武汉、济南、大连

1. 武汉

为加快促进武汉市元宇宙产业创新发展，开辟经济发展新领域新赛道，武汉市人民政府发布《武汉市促进元宇宙产业创新发展实施方案（2022—2025 年）》。此外，科技部批复支持武汉人工智能计算中心建设国家新一代人工智能公共算力开放创新平台，这是此次获批建设的 9 家平台中唯一位于武汉的创新平台，也是华中地区首个获批建设的国家新一代人工智能公共算力开放创新平台。武汉人工智能计算中心是国内首家具有公共服务属性的人工智能算力平台，见图 23。依托一中心（计算中心）、四平台（公共算力服务平台、应用创新孵化平台、产业聚合发展平台、科研创新和人才培养平台），当前，武汉人工智能计算中心以算力集群赋能产业集群，带动武汉行业产业智能化升级。



图 23 武汉人工智能计算中心

武汉的元宇宙代表企业灏存科技，是国内首批从事人工智能穿戴型肢体动作识别技术研究的公司，现已建成元宇宙人机交互平台，此平台是元宇宙产业人机交互领域不可或缺的底层核心技术平台。灏存科技的相关产品与元宇宙开发平台已经形成全球行业领先优势，在人形机器人控制领域与国内知名工科院校展开合作，并逐步成为元宇宙领域全球领导者。

市场投融资方面，武汉市投资 3000 万元在中心书城·5.5 数字文创港建设武汉首个元宇宙公共技术服务中试平台，将包括高仿人机器人外形设计、核心零部件制造、运动控制算法、语音交互、虚拟数字人定制等一系列中试服务，打造“研究开发—中试验证—场景应用”全链条技术服务平台。

总体来看，武汉市在市场投融资和政策方面的发力可有以下几个特点：

(1) 强化组织保障。依托市数字经济发展委员会，统筹推进元宇宙创新发展工作，加强对重点问题研究、重要事项部署、重大项目建设的协调和推进。各相关区政府正在建立区级元宇宙发展工作机制，研究出台区域元宇宙发展规划。

(2) 强化政策扶持。开展元宇宙应用场景“揭榜挂帅”，发挥算力资源支撑和赋能产业发展关键作用，在中小企业服务补贴券中增列算力服务方向，为中小企业使用算力服务提供支持。

(3) 注重载体建设。在重点区域谋划建设元宇宙产业基地、创新基地、孵化器，鼓励园区和所在区针对创新创业团队入驻配套制定场地租金减免，共享研发

工具、网络环境、算力资源、数据库资源等降成本政策，引入各类专业机构为入驻企业提供人力资源、知识产权、股权投资、战略咨询等增值服务。

(4) 完善基础设施。高水平建设“双千兆”城市、加快 5G 网络规模化部署、超前谋划 6G 网络技术，进一步发展工业互联网、区块链“星火链网”“行云工程”天基物联网、下一代互联网，夯实网络基础设施。加快建设武汉超算中心，发展武汉人工智能计算中心，积极部署新型云计算和边缘计算平台，构建高性能、广覆盖的公共算力资源。

2. 大连

大连市工业和信息化局于 2023 年 6 月制定并印发《大连市工业元宇宙创新发展三年行动计划（2023—2025）》。围绕工业元宇宙重点领域关键技术，采取揭榜挂帅、建设软件创新中心（创新联盟）等形式，聚焦数字孪生、虚拟现实/增强现实、智能芯片、智能算法等方面进行协同攻关。重点推进工业元宇宙在石化、装备制造、汽车、服装纺织等行业的应用落地。为推动产业发展，相继出台《大连市数字经济发展专项资金管理办法》《大连市制造业创新中心建设专项资金管理办法》《大连市雏鹰—瞪羚—独角兽—领军企业梯度培育工程实施方案》《大连市“揭榜挂帅”制项目实施方案》等政策。鼓励开展工业元宇宙技术、产品及服务的集成创新和试点示范，促进企业生产方式、服务体系、商业模式重构，推进现代化产业体系建设，逐步实现新型工业化。

大连围绕产业发展设立规模 3 亿元的大连人工智能创业投资基金和 5 亿元的大连市高端制造产业基金，主要投向为高端装备、人工智能、新一代信息技术、数字创意、集成电路、增材制造等元宇宙相关领域。大连的工业元宇宙案例在装备制造等领域较多，如大连迈思信息技术有限公司的大柴 13L 装配线仿真虚拟调试、SCADA 数据采集系统、大连奥托股份有限公司数字孪生虚实互联技术在白车身生产线的应用等。

总体来看，大连市在工业元宇宙市场投融资和政策方面的发展成效呈现出以下特点。

(1) 市场投资和产业发展根基扎实。近年来，大连市数字经济发展迅速，数字产业化实力稳步增强，正在着力打造 2 千亿级新一代信息技术产业集群。软件业现有核心企业 3000 多家，从业人员 20 余万，已形成千亿级产业集群；电子信息制造业规模快速壮大，积极向千亿级高端产业发展。目前，大连市已培育国家级制造业单项冠军企业（产品）17 家，培育国家级专精特新“小巨人”企业 73 家。大连市两化融合发展总指数达到 60，规模以上重点企业数字化研发设计工具普及率达 82%，关键工序数控化率达 52%，在全国副省级城市处于中上水平，东北地区首位。

(2) 产业基础平台牢固。工业互联网作为工业元宇宙的重要组成部分，对物理现实世界的打通协同意义重大。近年来大连市突出抓好龙头企业工业互联网平台建设，稳步推进大船集团、中车大连电牵等 20 多家企业建设企业级工业互联网平台，支持冰山云、仿真云、擎起网等具有区域和行业影响力的平台带动企业生产方式、服务体系、商业模式重构。此外，东软大连、航天新长征大道、大冶轴、行健数控、语帧物联、大杨集团等企业入围国家工信部工业互联网创新领航应用案例名单。

(3) 政策驱动载体丰富。大连高新区启动元宇宙大厦建设，依托高新区南海壹号大厦，整合资源协同推动理论创新，构建元宇宙产业生态圈，打造地标性产业载体。大连金普新区“大连数谷”被誉为“中国第五谷”，构建了“一谷多园”的聚集发展模式，打造高等级的数据中心集群和人工智能国家级算力平台，优化数字产业生态。大连人工智能计算中心获评“国家新一代人工智能公共算力开放创新平台”，成为全国首批仅有的 9 家人工智能公共算力平台之一，为 200 余家高校、科研机构和企业提供算力服务。

3. 济南

2022 年 12 月，济南市人民政府办公厅印发《济南市促进元宇宙产业创新发展行动计划（2022—2025 年）》。2023 年 6 月，济南新旧动能转换起步区出台元宇宙八条政策。政策提出，起步区将全力培育元宇宙市场主体，强化项目招引力度。重点吸引虚拟现实、增强现实和全息显示设备制造企业以及云端实时渲染和分布式

内存计算等关键基础软件开发企业。同时，在智慧城市、智能制造、文化旅游和金融等领域开放一批应用场景，鼓励国内外企业、高等院校和科研机构参与。

近年来，济南潜心建设国家新一代人工智能创新发展试验区，这是其发展元宇宙产业的良好基础和环境优势。比如在算力方面，中国第一台服务器和中国第一台高端容错服务器均诞生于济南。济南曾创造 8 小时内交付万台服务器，每 2.88 秒 1 台服务器的生产交付纪录。如今，济南生产的服务器产销量全国第一、全球第二。事实上济南已成为中国算力高地，供应了我国超过 1/3 的服务器，超过 50% 的 AI 算力。

同时，在打造数字先锋城市方面，济南大力实施数字经济引领战略，以打造数字先锋城市为牵引，以建设万亿级数字经济产业发展高地为目标，推进数字产业化、产业数字化、城市数字化协同发展。聚焦“中国算谷”重大产业生态项目，加快算谷科技园、算谷产业园建设步伐，巩固提升服务器产业优势。加大软件名城提档升级力度，进一步做强信息技术服务国家级战略性新兴产业集群，争创首批国家软件名园。推进国家人工智能创新应用先导区和新一代人工智能创新发展试验区“双区”同建，建设提升人工智能智算中心、人工智能岛、龙山人工智能谷等重大载体。推进企业“上云用数赋智”，打造工业互联网示范高地，提升数字化赋能实体经济水平。加大 5G 等数字新基建力度，建成开通国家级互联网骨干直联点，加快建设星火·链网超级节点，深化拓展提升新型智慧城市建设，加快城市数字化、网络化、智能化转型升级步伐。

在智慧城市的建设方面，济南城市信息模型（CIM）的建设极大的促进了工业元宇宙的发展。充分利用齐鲁卫星星座产生的立体空间数据，加速构建卫星点位与虚拟现实映射“一张图”，开展全域高精度三维城市建模，提升城市治理科学性。国土、水务、交通、管网等领域的数字孪生模型能够实现虚拟孪生体对于城市的实时模拟，助力城市管理和规划布局，是利用元宇宙技术对城市风险实施高精度动态模拟与实时持续监测，提升城市应急处理能力。

（三）文旅及消费场景驱动型

成都、苏州、杭州和厦门市在应用场景和安全协同维度得分相对较高，尤其是应用场景维度较为突出，见图 24。其共性是拥有丰富的应用场景、庞大的企业数量、较成熟的产业链技术储备、较完善的新基建以及大量从业和消费适龄群体。从政策到产业，再到落地应用，这四大城市正在打造一套完整的元宇宙发展体系，元宇宙正在渗透到城市管理、古城保护、文旅发展、产业升级的方方面面。

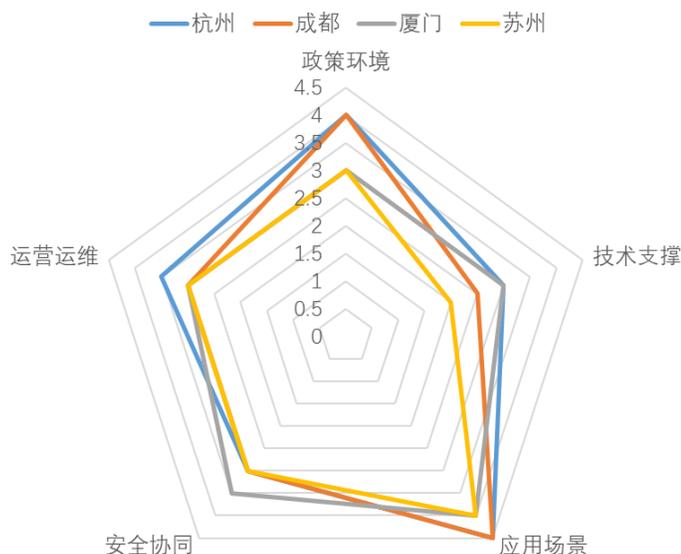


图 24 代表城市工业元宇宙新型能力评价：杭州、成都、厦门、苏州

1. 成都

成都市发展元宇宙的产业基础具有比较优势。《中国新型显示产业高质量发展指数(2023)》显示，成都位居高质量发展十大城市前三，成都造高端柔性屏全球市场占有率近 50%，智能终端产业规模突破 4 千亿元。同时，积微物联、创意信息、海康威视、纵横自动化、国星宇航等一大批本土成长起来的企业已在数字经济细分领域拥有话语权。数字经济核心产业规模迅速壮大，集成电路、大数据、人工智能、软件等产业规模位列全国前列。

此外，成都市的数字基建水平国内领先。2022 年世界互联网大会发布《中国 50 强城市数字化发展能力指数（2022）》，北京、深圳、上海、杭州、广州、成都 6 个城市组成第一梯队。成都市能源、水利、交通、通信、地下管廊等物联感知

设施建设初具规模，具备物联感知服务能力基站数近 7000 个。成都是国家布局的通信枢纽城市和 5G 首批试点城市，拥有西南地区首条承载国际互联网专线业务的专用通道，承接部署了 1 台全球 IPv6 辅根服务器，已建成 5G 基站超过 6.6 万个，规模为西部地区第一。成都超算中心建成运行，填补了西部地区超算体系布局空白。在我国算力总规模位居全球第二的大背景下，全国仅有两个投运超算和智算双中心的城市，一个是上海，一个是成都。

《成都市元宇宙产业发展行动方案（2022—2025 年）》提出，到 2025 年，在工业、消费、健康、教育、文旅、娱乐、会展、金融、蓉城（智慧城市）九个领域完成元宇宙应用场景融合。同时，提出招引链主企业，培育核心企业，孵化创新企业；引进 10 家“链主企业”，培育 100 家核心企业，孵化一批创新企业，形成元宇宙企业梯度集群。今年 6 月成都市经信局市新经济委发布的《2023 年成都市元宇宙场景建设工作计划》，加速加码元宇宙产业布局，重点推进元文旅、元工业、元消费、元蓉城四大领域 35 个场景建设项目，围绕元宇宙相关技术、产品在工业、消费、文旅、智慧城市等方面的应用，打造一批融合赋能的创新应用场景，推出一批元宇宙场景标杆初步构建城市元宇宙场景体系。

在 2023 全国元宇宙产业创新发展峰会上，成都推出了《成都元宇宙典型应用场景案例集》，并发布了《2023 年元宇宙场景建设机会清单》。案例集聚焦大数据、人工智能、区块链、动作捕捉、3D 渲染、虚拟仿真等元宇宙底层技术在成都工业、文旅、消费、城市治理、会展、教育等八大应用场景中的创新应用，共汇集了 60 余个典型案例；机会清单整合了成都元宇宙场景建设的供给清单和需求清单，共发布 71 条供需信息，释放元宇宙产业投资机遇超 1.8 亿元，为元宇宙产业链各环节的合作提供指导和支持，推动元宇宙项目、场景、技术、需求的高效对接。

成都元宇宙场景建设中所涌现的代表性案例，是观察成都元宇宙发展现状的一个切口。在打造丰富的文旅、消费元宇宙场景之外，成都在工业领域打造元宇宙应用场景的案例也不鲜见。

例如，工业云制造（四川）创新中心有限公司支持四川某区域打造了一套工业大脑数字孪生系统，见图 25，这套系统聚焦区域产业链协同发展需求，利用数字孪生技术，基于全域工业经济运行数据的高质量汇聚，打造以链主企业为核心、覆

盖产业链上下游关键企业的数字孪生体，构建公共配套、自然资源等要素保障的地理空间载体，建设全要素、全产业链、全价值链的区域产业链工业元宇宙。基于数字孪生载体，绘制重点产业图谱，可视化呈现产业链上中下游布局，断点、堵点一目了然。利用大数据智能建模分析，助力建圈强链，应对产业风险传导，研判产业发展前景。基于地理信息空间，实现区域产业链的设计协同、生产协同、智能排产、供需对接，有效实现资源高效配置，促进产业生态协同发展。面对自然灾害、疫情、战争等突发情况时，数字孪生空间动态展示应急物资和产能数据指标，实时掌握行动态势、精准获取潜力需求，构建智能调度模型支撑应急生产远程调度指挥，快速下达动员指令，有效保障应急状态民生物资供给，实现应急战备物资和产能协同。



图 25 工业大脑数字孪生系统

再如成都天府国际机场数字孪生项目，作为近年来成都落成的标志性工程之一，在全国规模位居前列的成都天府国际机场在建设、管理以及运营过程中同样充分发挥数字孪生技术的优势，在国内机场相关技术应用中走在前列。系统采用了先进的三维实时渲染技术，通过高性能的实时渲染引擎，以一种更直观、更交互式的方式展示数据。通过将机场 BIM 模型、CAD 建筑规划图等数据转化为三维数据，并结合多样点位和分析数据，项目成功实现了机场在物理和数字世界之间的精准映射。

该系统呈现的机场关键主题数据包括航班、机位、交通、飞行区等，管理人员通过一张图就可以全面了解机场的运行状况，为决策提供科学精准的依据。而在航站楼内部数字空间场景中，系统通过结合用户的地理位置数据实现了人流聚集程度的可视化呈现，全面反映了机场实时人流、设备状况，并为机场提供了全面、精准的游客画像，以满足个性化运营服务需求，极大提高了信息数据的传递效率，提升了机场管理水平和服务质量。

总体来看，成都工业元宇宙的发展优势主要体现在以下几个方面。

(1) 应用场景优势：成都有发展元宇宙产业的丰富场景，覆盖城市治理、产业发展和人民美好生活等方方面面。庞大的消费市场规模、愿意尝试创新的消费群体以及开明包容的消费文化，为成都元宇宙发展机遇创造了有利条件。发达的新消费产业，包括文创、旅游、体育、美食、音乐、会展六大支柱产业，已经形成了独特的特色和 IP 体系，使成都在元宇宙场景建设中能够更好地融入本土文化，打造丰富多彩的元宇宙场景。

(2) 企业数量优势：从经营主体看，成都有众多元宇宙企业，涵盖元宇宙底层技术支持，前端设备平台，终端场景应用上中下游全产业链。在企业侧，以见山科技、慕学星凡等为代表的元宇宙企业完成技术攻关，掌握核心优势。在研学侧，成立了一系列创新中心、科创联盟、研究院与实训基地。目前，成都主城区及周边区县已落成若干包括娱乐、文创、消费等场景的示范型项目。

(3) 协会组织优势：布局成立了元宇宙产业联盟、成都元宇宙研究中心、成都元宇宙科创联盟、四川天府新区元宇宙产业协会等组织，依托本土智库、协会、联盟的力量，积极引导企业探索元宇宙新技术、新应用和新业态，推动成果落地转化，为成都元宇宙产业发展赢得先机。

(4) 人才供给与需求两旺：成都在元宇宙等新兴产业领域的薪资待遇逐渐进入第一梯队。《2022 元宇宙行业人才发展报告》显示，成都在元宇宙相关岗位平均薪资中位居前列，仅次于北上深，达到 18515 元；同时在元宇宙人才需求量上也仅次于这三座城市，这都在一定程度上显示着成都在新兴产业上对人才的吸引力。同时，成都拥有一大批适龄的元宇宙内容创作者，他们也是元宇宙产业重要的消费群体，是元宇宙产业发展的生力军。

强大的人才引力、成熟的消费市场、扎实的技术水平以及有力的政策支持，为成都落地元宇宙场景构成了全方位的支持体系。随着更多场景的落地，成都将更好地应对元宇宙产业发展中的各种挑战，成长为西部地区元宇宙产业高地。

2. 苏州

作为长三角地区的重要城市，苏州凭借其先进的城市治理理念与深厚的工业、科技基础，一直敏锐地捕捉着包括元宇宙在内的各项前沿科技的发展机遇。

2023年2月，苏州发布《苏州市培育元宇宙产业创新发展指导意见》，率先在工业、医疗、文旅、教育、城市管理等契合度较高领域探索建立应用场景示范项目，加快元宇宙与数字经济、数字生活、数字治理等实体要素融合发展，打造苏州人工智能产业创新集群，赋能智慧城市建设和产业数字化转型，推动全市软件和信息服务业发展。在此基础上，全面实现核心技术加速突破，产业规模全国前列，融合应用不断深化，产业生态持续完善的发展目标。

整体上看，苏州市围绕应用场景的元宇宙发展战略体现了文旅及消费驱动的发展路径，具体表现在以下几个方面。

(1) 发展数字孪生，助力名城保护

苏州市政府从2014年开始就在逐步构建“古城数字孪生+元宇宙建设”的数字化保护体系。通过历年累积，苏州已经建设完成范围约420平方公里的实景三维模型，将建筑、道路水系、地下空间等不同类型的要素进行数字化建模，构建出一座可看、可感、可知的元宇宙古城。目前，苏州的数字孪生古城已面向公众开放部分非密数据。苏州将古城搬入“元宇宙”的实践为全国历史文化名城保护贡献了可复制可推广的“姑苏模式”。

(2) “数字苏州驾驶舱”，打造城市管理样板

2023年1月，“数字苏州驾驶舱”正式投入运行，这是通过数字技术手段来管理城市、驾驭城市、服务城市的一座大数据构成的“元宇宙”。“数字苏州驾驶舱”一共汇集了1.4亿条互联网实时数据，如图26所示，可以看到苏州民声民意监测情况、实时人口、车流，甚至还有当月的物流单量指数等，成为整个苏州提升城市管理水平的一个重要平台，未来还将继续拓展新的应用场景，在政务服务、社会救助、食品安全、养老服务等领域，推进大数据赋能民生保障和公共安全。



图 26 “数字苏州驾驶舱”界面

(3) 虚拟数字人，提升文旅体验

作为元宇宙的另一个重要组成部分，虚拟数字人也成为苏州促进文旅发展的重要抓手，为市民与游客的体验提升做出探索。通过紧密契合重大应用场景需求，以枫灵 Lynn、昆小融为代表的虚拟数字人已成为苏州众多活动中不可或缺的“数字代言人”，见图 27、28，摆脱了数字人常见的活动频率低、刷脸场景少的困境。



图 27「苏州高新区」文体旅商数字推荐官：枫灵 Lynn



图 28 昆山市融媒体中心首位数字人主播：昆小融

（4）升级产业体系，深耕场景基础

以苏州昆山为例，昆山结合产业特点以及现有元宇宙技术和产业基础，大力发展以可穿戴设备、虚拟现实交互场景开放为主的“元宇宙”并积极向教育、卫生、文化、城市等领域拓展。昆山印发了《昆山市元宇宙产业创新发展行动计划（2022-2025 年）》，打造以云昆大厦为载体的元宇宙产业园。此外，云联智慧正在全力开发的数字孪生“云游苏州”项目，以 3D 技术结合古风元素，打造蕴含江南文化氛围的原生虚拟世界。美舫科技研发的无界孪生全要素平台，可实现多源时空数据融合、城市数字底座搭建、多元仿真模型模拟等应用价值。广立信息利用元宇宙对园区、楼宇及设施进行虚拟化和数字化，基于数字孪生技术生成现实世界的镜像，实现园区、楼宇的智慧管理和沉浸式操作体验。清睿教育围绕教育元宇宙和智能数字虚拟人，在云上构建虚拟校园智慧学习空间，辅助开展听说能力和各种语言能力互动训练。

3. 杭州

在《2023 年政府工作报告》中，杭州提出要前瞻布局元宇宙等新兴数字产业集群，争创国家视觉智能制造创新中心，体现出杭州在元宇宙领域的积淀与谋划。代表企业杭州灵伴科技基于自研操作系统 YodaOS，构建了全球首个 5G+AR+AI 元宇宙

全栈生态体系以及元宇宙智慧工业体系——灵伴元宇宙智慧工业平台，自主研发了全球首款一体式 5G 工业 AR 智能眼镜 X-Craft、国内首款分体式单目光波导 AR 智能眼镜 Glass2 等系列智能终端产品，畅销全球 80 余个国家和地区。

要成功推动元宇宙发展，应用落地十分关键。在这一方面，杭州围绕多个应用场景作出元宇宙探索。比如在消费元宇宙领域，杭州的文三数字生活街区，通过构建互动式的新型消费场景，率先开启了国内“AR+场景”消费新业态，见图 29。目前该街区集聚了气味王国数字气味展厅、网易 MR 数娱馆、灵伴科技 Rokid 智能 AR 眼镜、时客购 24h 智慧超市等各类数智产业龙头企业的首店、旗舰店和概念店等，为消费者搭建接触元宇宙的现实空间。可见，立足市级以上智慧商圈、特色街、夜间经济集聚示范区等载体，围绕文旅、会展、商业等领域，能够积极落地元宇宙消费新场景。



图 29 杭州文三数字生活街区

杭州的元宇宙产业还涉及数字藏品领域。杭州提出创造数字产品供给，支持相关企业在美食文化、西湖风景、杭州制造等领域，打造出体现杭州元素、宋韵文化、西湖特色的数字藏品，并赋予“杭州消费”统一标识。

除了上述场景应用，人气爆棚的大型赛事同样是杭州元宇宙场景探索的重要契机，而杭州亚运会的举办无疑成为展示杭州元宇宙技术实力的一次机会。亚运数字

火炬手是真实用户在数字亚运世界的数字身份，具有唯一性，见图 30。亚运数字火炬手将现实世界的亚运火炬手拓展至数字世界，让更多的人能够突破时间、空间限制直接参与到亚运会这一盛大的体育文化活动中。此外，数字人应用还出现在杭州亚运会的开闭幕式中。主创团队借用元宇宙相关高新技术，与中国传统文化底蕴意象在开闭幕式中深度融合，展示数字中国、数字浙江的魅力。



图 30 亚运数字火炬手

同时，杭州电信联合中兴通讯共同打造了针对亚运期间网络重保任务的 AR 智慧指挥运维系统，为一线单兵和指挥中心专家提供了数字化协作空间，助力电信快速定位故障、高效解决问题，提升工单响应率，有效触达各运维场景。

2022 年底杭州市人民政府向社会公开征求《关于建设国际新型消费中心暨打造“不夜天堂、璀璨杭州”的若干政策意见》，提到打造消费“元杭州”平台。将线下产品、商圈、消费场景等复刻到线上，实现线下消费与线上全年无间断“元宇宙”体验相结合，积极探索消费抽大奖、各类消费积分转换数字消费券等模式，促进消费潜力释放，刺激消费恢复增长。

从杭州的实践可以看出，要成功推动元宇宙发展，除了政策与产业外，内生性场景需求的开发同样重要，没有场景落地，元宇宙产业很难得到持续的发展。杭州

作为虚拟消费的头部城市，在元宇宙的场景落地上进行着积极探索，为工业元宇宙的文旅及消费驱动型发展路径树立榜样。

4. 厦门

厦门的元宇宙发展特点是比较偏重元宇宙赋能数字经济和文化创意产业。2023年5月，厦门市与中国移动下属的文化企业咪咕公司进一步签署《鼓浪屿元宇宙项目合作协议》，咪咕将“发挥元宇宙总部资源优势”，助推鼓浪屿“元宇宙第一岛”建设，促进厦门元宇宙+文旅发展。咪咕计划将鼓浪屿打造成为厦门元宇宙文旅新地标，利用5G、AR、VR、算力网络等技术，在鼓浪屿1.88平方公里映射物理时空场景，为上岛游客提供文旅游览、互动娱乐、消费购物等数智生活体验，打造“元宇宙第一岛”。

在面向个人用户的消费元宇宙领域，厦门企业也频频出招。造梦科技是国内最大的VR社交游戏平台，其主打的产品《梦境世界》已成为国内玩家最多的VR社交游戏。2022年，厦企蚂蚁特工为国际某知名运动品牌打造了一台AR试鞋机，实现增强现实的交互操作，即刻过“足”瘾。

针对发展元宇宙产业的市场主体，厦门市跟踪服务一批元宇宙相关产品和技术研发高精尖企业，推动其成果落地转化，培育一批专精特新“小巨人”企业。同时支持有影响力的元宇宙企业或机构来厦门设立总部、研发中心、创新平台、孵化基地等，引导企业探索元宇宙新技术、新应用和新业态，优先为厦门市元宇宙企业开放应用场景。

在应用场景构建方面，厦门将依托鼓浪屿、沙坡尾、筓筓湖等地标，以及金鸡奖、马拉松等城市名片，支持科研院所和企业打造具有厦门特色元素的元宇宙应用场景，打造一批会展、旅游、体育、商业领域的特色场景示范案例。同时，该市还将积极推动科研院所和企业联合打造元宇宙应用平台，推动三维数字空间、虚拟数字人等在城市管理、民生服务等领域的开发应用，遴选一批优秀元宇宙应用方案，形成可复制推广的示范案例。

在政府和业界的共同努力下，厦门市元宇宙产业联盟、元宇宙产业人才基地成立，标志着厦门在元宇宙产业领域实现了从碎片化向体系化的发展转型，将通过政

策宣讲、标准建设研讨、数字藏品发布、项目资本对接等促进“政产学研用金”协同。通过这些注重元宇宙产业生态建设的实践，可以感受到元宇宙与实体经济融合的魅力，以及厦门这座高素质创新创业之城布局新赛道的努力。

四、工业元宇宙发展趋势及面临的问题

(一) 城市工业元宇宙的发展趋势

总体而言，工业元宇宙的发展趋势将朝着数字化、智能化、协同化和可持续化的方向发展。工业元宇宙是多种技术高度融合的复杂应用，将推动技术之间的深度融合与协同。

1. 城市数字化转型加速

越来越多的城市政府及社会主体将意识到工业元宇宙的重要性，并加速数字化转型的步伐。企业及社会组织开始将物理系统与数字系统相结合，通过数据驱动的决策和智能化的运营，提高生产效率、产品质量和客户体验。通过引入先进的数字化技术和工业元宇宙工具，企业实现了生产效率提升、市场拓展、管理和组织优化以及客户体验提升等多方面的目标。当微观层次的企业及社会组织率先实现了数字化转型，宏观层次的数字化转型是城市作为有机整体去适应新时代市场需求和提高竞争力的必由之路。

2. 人工智能与自动化高度融合

人工智能技术的发展将与工业元宇宙相互促进。通过将人工智能技术应用于工业元宇宙中的数据分析、预测和决策，实现自动化和智能化的生产和管理。人工智能与自动化技术的高度融合正在推动着工业和科技的快速发展。这种融合不仅增强了机器和系统的智能化和自动化水平，还为各个领域带来了技术上的变革和新的发展机遇。

首先，人工智能和自动化技术的融合提高了生产效率和质量。在制造业中，智能化的机器人和自动化设备能够高效地完成生产线上的任务，减少人工干预和错误，提高生产效率和质量。同时，人工智能的应用还能够对生产数据进行实时分析和**管理**，帮助企业更好地了解生产情况并进行优化。

其次，人工智能与自动化的融合改变了生产模式和组织形式。传统的生产模式是线性、大规模的，而智能化的生产和自动化技术的应用实现了小批量、定制化的生产，更好地满足市场需求。此外，人工智能还能够对供应链进行智能化的管理和优化，实现更加精准的预测和决策。

另外，人工智能与自动化的融合还为企业及社会组织带来了更多的商业机会。通过智能化的数据分析和预测，企业能够更好地了解市场和客户需求，开发出更加符合市场需求的产品和服务。同时，智能化的设备和系统还能为企业提供更加高效和精准的营销和服务手段，提高客户满意度和忠诚度。

最后，人工智能与自动化的融合还为科技发展带来了更多的可能性。通过智能化的机器学习和深度学习等技术，我们能够更好地探索人类智能的奥秘，推动人工智能技术的不断发展和应用。同时，自动化技术还帮助我们更加高效地进行计算和模拟实验，为科学研究和技术创新提供更多的支持和帮助。

3. 智慧城市数据共享与合作生态系统建立

工业元宇宙需要城市中不同社会主体和机构之间的数据共享和合作。为了实现更高效的协同和创新，各方将建立更加开放和互联的合作生态系统，共享数据、资源和技术，推动工业元宇宙的发展。数据共享与合作生态系统的建立是实现数据价值的关键环节。在数字化时代，数据已经成为一种重要的资产和资源，但只有通过共享和合作，才能最大限度地发挥其价值和潜力。

首先，数据共享促进了数据的流通和交换，提高数据的利用效率和价值。通过建立数据共享平台或数据交换市场，将不同来源、不同类型的数据整合在一起，实现数据的共享和交换，从而为各个社会主体提供更加全面、准确的数据支持。同时，数据共享还促进数据的开放和创新应用，推动数据的产业化和商业化发展。

其次，合作生态系统促进不同领域、不同行业的企业和机构之间的合作和协同发展。通过建立合作生态系统，将不同的数据资源、技术能力和人才整合在一起，实现优势互补和协同创新。同时，合作生态系统还促进知识和信息的共享和传播，推动产业升级和社会进步。

4. 跨行业和跨领域的应用将被拓展

工业元宇宙的应用将逐渐扩展到更多的行业和领域。除了传统的制造业，工业元宇宙的概念和技术也将应用于农业、能源、交通、物流等领域，实现更广泛的应用和影响。

举例来说，在内容创造领域，AIGC 主要得益于人工智能和深度学习模型方面的技术创新，使得拥有通用性、基础性、多模态、训练数据量大、生成内容高质稳定等特征的 AIGC 模型成了自动化内容生产的“工厂” [17]。虚拟数字人是 AIGC 和元宇宙融合应用的典型代表，已遍布各行各业，有 AI 主播、AI 客服等等。这些融合了 AI 技术的虚拟数字人，在不同领域都能够自行生产内容，为不同应用场景提供服务。

(二) 工业元宇宙发展面临的问题与应对办法

目前，各界达成的共识是，元宇宙、工业元宇宙都处于发展初期，还面临着诸多问题与挑战，主要有以下几个方面。

1. 关键技术有待突破

工业元宇宙依赖大量先进的技术，如物联网、大数据、人工智能等。然而，这些技术仍存在一些挑战，包括数据安全和隐私保护、大数据处理和分析的能力、智能算法的可靠性等。解决这些技术挑战是工业元宇宙发展的重要前提。这需要政府、企业、科研机构等多方共同努力，加大研发投入，攻克以下几项关键技术难题。

虚拟现实技术：虚拟现实技术是工业元宇宙的核心技术之一，能够实现沉浸式的虚拟体验。目前，虚拟现实技术还存在一些问题，如头戴式设备的舒适性、视觉清晰度、交互体验等，需要进一步改进和完善。此外，如何实现更加真实和直观的虚拟体验也是工业元宇宙发展的一大挑战。

区块链技术：尽管区块链技术在数字货币等领域已经取得了显著的成果，但在工业元宇宙中，区块链技术的应用还面临一些挑战。例如，如何提高区块链的性能以满足大规模、高并发的工业元宇宙场景需求，如何保证数据的安全性和隐私性，以及如何实现不同厂商和组织之间的数据互操作性等。

物联网技术的普及和成本问题：工业元宇宙需要大量的物联网设备来支持其运作，但目前物联网设备的普及率并不高，且其成本相对较高，难以大规模应用。此外，物联网设备的安全问题也是一大挑战，如何保障设备的安全性和稳定性是工业元宇宙发展必须解决的问题。

实时数据采集和处理：工业元宇宙需要实时采集和处理大量的数据，但目前的数据采集和处理技术还存在一定的瓶颈，难以满足工业元宇宙的需求。例如，如何实现高效的、低延迟的数据采集和处理，以及如何处理大量数据的存储和管理等问题。

人工智能技术：人工智能技术在工业元宇宙中具有广泛的应用前景，但目前还存在一些技术瓶颈，如如何提高模型的泛化能力、如何实现更加智能化的决策和控制等。AIGC被认为是Web 3.0与元宇宙时代的核心辅助创作工具，是实现工业元宇宙内容智能创造的核心。AIGC自动生成内容的效率大大提高，在短时间内生产出大量的内容，但AI生成的内容缺少人类的创造力和想象力，仍需进一步优化。

网络通信技术的升级和优化：工业元宇宙需要高效、稳定和可靠的网络通信技术来支持其运作。但目前全球网络状况却存在着差异，很难满足所有地区的高速优质网络需求。此外，如何保障网络的安全性和隐私性也是工业元宇宙发展必须解决的问题。

2. 高成本制约应用规模

工业元宇宙涉及多种复杂技术和软硬件设备的融合使用，初期投入较高，包括硬件设备、软件平台、技术集成、数据采集和分析等方面的费用。且相关技术和设备更新周期较短，目前还没有十分成熟以及适合大量推广的应用。而订单较少又导致工业元宇宙应用单体应用成本较高，反过来制约其使用与迭代。

在建设工业元宇宙时，应制定明确的战略规划，合理评估投资回报，采用渐进式的实施方式，通过控制成本、提高效率和寻找新的商业模式来降低成本并加快回报。

3. 缺乏标准与互操作性

工业元宇宙中涉及多个系统、设备和平台，但缺乏统一的标准和互操作性。不同的厂商和技术提供商使用不同的技术标准和数据格式，难以实现跨平台、跨系统的无缝集成和数据交换。缺乏标准和互操作性限制了工业元宇宙的扩展和应用范围。

要让工业元宇宙在较大范围内健康可持续应用，需要制定统一的标准和规范，促进不同系统和设备的互联互通。行业组织、标准化机构和政府应共同合作，推动标准的制定和推广。

4. 数据安全性与隐私保护

工业元宇宙涉及大量的数据采集、传输和分析，其中包含了企业和个人的敏感信息。因此，保障数据的安全性和隐私权成为一个重要问题。在工业元宇宙建设中，需要采取适当的数据加密、访问控制和身份验证等安全措施，建立数据安全管理体系、制定隐私保护法规和政策，并加强数据安全意识和培训，以保护数据的安全和隐私。

在建立数据共享与合作生态系统时，还需要注意以下几个方面：

建立规范的数据共享标准和机制。为了保障数据的准确性和可靠性，需要建立规范的数据共享标准和机制，明确数据的共享范围、使用权限和责任义务等。

推动跨界合作和协同创新。为了实现数据价值的最大化，需要推动跨界合作和协同创新，将不同的数据资源、技术能力和人才整合在一起，实现优势互补和协同创新。

建立良好的合作生态文化和氛围。为了促进合作生态系统的健康发展，需要建立良好的合作生态文化和氛围，鼓励不同领域、不同行业的企业和机构之间的交流和合作。

总之，建立数据共享与合作生态系统是实现数据价值的关键环节。通过规范的数据共享标准和机制、加强数据安全和个人隐私保护、推动跨界合作和协同创新以及建立良好的合作生态文化和氛围等措施，促进数据的流通和交换、提高数据的利用效率和价值、促进不同领域和行业之间的合作和协同发展，实现数据价值的最大化和可持续发展。

(三) 工业元宇宙在城市中创新发展的建议

参考 GB/T 23006-2022 要求，城市工业元宇宙发展可通过建立和持续改进系统性解决方案、治理体系和过程管控机制，实现新型工业化能力的不断提升。通过分级评定，有效反映城市工业元宇宙新型能力的先进性、成熟度和可持续发展能力，为相关活动提供采信依据，包括但不限于：

(1) 主管部门分类指导，如试点示范、专项资金支持、政策措施制定、服务采购、项目验收等；

(2) 行业引导，如信用评价、资质认证等；

(3) 市场服务，如金融与销售授信、供应商遴选、品牌提升、招标采购等。

工业元宇宙在城市中的创新发展可借鉴第二章提出的工业元宇宙城市发展实施框架，对照代表城市不同发展路径的基本情况，具体问题具体分析，从以下几个方面进行考虑。

1. 智慧城市规划与设计

在城市规划和设计中，充分考虑工业元宇宙的需求和发展，为工业元宇宙提供足够的空间和资源，同时结合城市的历史、文化和产业特点，打造具有区域特色和城市品牌的工业元宇宙体系。

首先，智慧城市规划能够利用工业元宇宙的技术和工具进行模拟和预测。工业元宇宙提供了虚拟化技术，将城市规划的方案和模型在虚拟环境中进行模拟和测试，以便更好地预测城市未来的发展趋势和问题。例如，在城市交通规划中，工业元宇宙通过模拟城市的交通流量和拥堵情况，为城市规划者提供更加准确和全面的交通规划方案。

其次，工业元宇宙为智慧城市规划提供更加全面和准确的数据支持。工业元宇宙中的数据来自于各种传感器、数据采集设备、云计算平台等，这些数据为城市规划者提供更加全面和准确的信息，以便更好地制定城市规划方案。例如，工业元宇宙提供城市的空气质量、气候变化、人口分布等方面的数据，为城市规划者提供更加准确的信息。

另外，工业元宇宙还为智慧城市规划提供更加直观的展示和交互方式。通过工业元宇宙的虚拟现实技术，城市规划者更加直观地了解城市规划方案的效果和问题，以便及时进行调整和优化。同时，城市居民也通过工业元宇宙了解城市规划方案的效果和问题，提出自己的意见和建议，与城市规划者进行更加紧密的合作和交流。

2. 数字基础设施建设

加强数字孪生城市基础设施建设，包括物联网、5G/6G、云计算、边缘计算等，为工业元宇宙提供稳定、可靠的网络环境和数据支持。数字孪生城市需要不断加强技术研发和创新，提升数字孪生技术的水平和应用效果。例如，通过人工智能、物联网、区块链等技术的应用，实现更加精准的城市管理和服务。

3. 工业元宇宙与智慧产业的融合

推动工业元宇宙与智慧产业的融合，如智能制造、智慧物流、智慧医疗等，通过虚实融合的方式，提高城市产业的发展水平和竞争力。需要加强不同产业之间的协同合作，促进产业之间的信息共享和资源整合。通过建立产业联盟、开展合作项目等方式，推动不同产业之间的协同合作，实现互利共赢。

4. 创新应用场景开发，拓展应用领域

鼓励企业和科研机构开发创新应用场景，如虚拟仿真设计、数字孪生、智能制造等，为工业元宇宙在智慧城市中的创新发展提供更多的应用场景和案例。工业元宇宙在城市中的应用领域非常广泛，包括城市规划、交通管理、安全监控、公共服务等多个方面。未来进一步拓展工业元宇宙在城市中的应用领域，例如在环保、能源、金融等领域的应用，为工业元宇宙提供更加广阔的发展空间。

为了更好地推广工业元宇宙在智慧城市中的应用，可以打造一些典型案例，例如在某个城市或某个领域中，通过工业元宇宙技术的应用，实现了城市治理和公共服务的智能化、高效化和便捷化。这些典型案例作为其他城市或领域的参考和借鉴，进一步扩大工业元宇宙在智慧城市中的应用范围。

5. 人才培养和技术创新

加大对工业元宇宙领域的人才培养和技术创新支持力度，培养一批具备专业技能和创新能力的元宇宙人才，推动工业元宇宙在智慧城市中的创新发展。

6. 数据安全和隐私保护

在发展工业元宇宙的同时，需要重视数据安全和个人隐私保护问题，制定相关法规和标准，保障个人和企业的数据安全和隐私权益。工业元宇宙城市发展需要从数据管理、系统集成、运营监控、维护与支持、培训与教育和风险管理等多个角度出发，建立完善的管理体系和机制，提高整体运营水平和效率，确保工业元宇宙的稳定发展。

数据管理：工业元宇宙城市发展中涉及大量的数据，包括设备运行数据、生产过程数据、人员操作数据等。需要建立完善的数据管理体系，包括数据存储、数据处理、数据分析等，确保数据的安全性、准确性和可靠性。

系统集成：工业元宇宙城市发展中涉及众多不同的系统和设备，需要做好系统集成工作，确保各个系统之间的数据流通和信息共享顺畅，提高整体运营效率。

运营监控：需要对工业元宇宙中的运营状况进行实时监控，及时发现和解决运营过程中出现的问题。这需要建立完善的运营监控机制，包括实时数据监测、异常处理、性能优化等。

维护与支持：需要建立完善的维护与支持体系，包括设备维护、系统升级、故障排除等，确保工业元宇宙的稳定运行和持续改进。

培训与教育：针对工业元宇宙城市发展涉及到的工作人员，需要进行定期的培训和教育，提高他们的技能水平和工作效率，促进整体运营水平的提升。

风险管理：需要建立完善的风险管理体系，包括风险评估、风险控制、风险应对等，确保工业元宇宙城市发展的运营安全和稳定。

7. 智慧治理与公共服务

将工业元宇宙技术应用于城市的智慧治理和公共服务领域，如智慧交通、智慧环保、智慧安防等，提高城市的治理效率和公共服务水平。

基于工业元宇宙技术实现城市公共服务的智能化。通过元宇宙平台，实现公共服务的精细化管理和调度，为市民提供更加便捷、高效的服务。例如，在公共安全领域，工业元宇宙通过智能化监控和预警系统，提高公共安全的管理水平和应急响应能力。

工业元宇宙技术应用于文化旅游和宣传领域，为游客和市民提供更加沉浸式、交互式的旅游体验和服务。例如，通过构建虚拟旅游平台，让游客在线上体验旅游景点的历史文化、自然风光和人文风情等方面，提高旅游的体验感和满意度。同时，工业元宇宙还可应用于城市宣传和推广领域，展示城市的特色和优势，吸引更多的投资和人才。

工业元宇宙技术应用于社会治理和民生服务领域，为市民提供更加智能化、高效化和便捷化的服务。例如，通过构建智慧社区平台，为居民提供智能化物业服务、社区管理和公共安全等方面的服务，提高居民的生活质量和安全感。同时，工业元宇宙还可应用于教育、医疗、养老等领域，为市民提供更加智能化、高效化和便捷化的服务。

8. 跨界合作与交流

鼓励不同领域的企业和机构跨界合作，共同推动工业元宇宙在城市中的创新发展，共享技术成果和经济利益。工业元宇宙是技术密集型产业，需要大量的技术研发和创新支持。未来需要进一步加强产学研合作，推动企业和高校、研究机构之间的合作和交流，共同开展技术研发和创新应用，为工业元宇宙在智慧城市中的创新发展提供更加有力的支撑。

综上所述，工业元宇宙在城市中的创新发展需要政府、企业和社会的共同努力，以实现城市的数字化转型和升级为目标，推动工业元宇宙与实体经济、智慧产业的深度融合和发展。

参考文献

- [1] 工业元宇宙协同发展组织《工业元宇宙创新发展三年行动计划（2022-2025年）》
- [2] 《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025年）》，2023年9月
- [3] 《成都市“十四五”城市建设规划》，2022年7月
- [4] 《工业元宇宙：工业发展新阶段的赋能者》，2022年12月，《前沿科学》
- [5] 《关键数字技术专利分类体系（2023）》国知办发规字（2023）36号
- [6] 《信息化和工业化融合管理体系新型能力分级要求》（GB/T 23006-2022）
- [7] 《信息化和工业化融合管理体系评定分级指南》（GB/T 23007-2022）
- [8] 大连市工业元宇宙创新发展三年行动计划（2023—2025）》，2023年6月
- [9] 《济南市促进元宇宙产业创新发展行动计划（2022—2025年）》，2022年12月
- [10] 《苏州市培育元宇宙产业创新发展指导意见》，2023年2月
- [11] 《上海市“元宇宙”关键技术攻关行动方案（2023—2025年）》，2023年6月
- [12] 《广州市数字经济促进条例》，2022年6月
- [13] 《合肥高新区元宇宙产业发展规划（2023-2028）》，2023年2月
- [14] 《武汉市促进元宇宙产业创新发展实施方案（2022—2025年）》，2022年11月
- [15] 《厦门市元宇宙产业发展三年行动计划（2022-2024年）》，2022年3月
- [16] 《2023年杭州市政府工作报告》，2023年3月
- [17] 《新型智慧城市评价指标》（GB/T 33356-2022）
- [18] 腾讯研究院 AIGC 发展趋势报告 2023：迎接人工智能的下一个时代 [EB/OL], (2023-02-02)