

# 数字孪生城市白皮书

## (2023 年)

中国信息通信研究院

中国互联网协会

中国通信标准化协会

2023年12月

---

## 版权声明

---

本白皮书版权属于中国信息通信研究院、中国互联网协会和中国通信标准化协会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院、中国互联网协会和中国通信标准化协会”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。



## 前 言

2017年“数字孪生城市”概念被首次提出，2021年我国“十四五”规划纲要明确“探索建设数字孪生城市”，2023年《数字中国建设整体布局规划》再次提出“全面提升数字中国建设的整体性、系统性、协同性”以及“探索建设数字孪生城市”等要求。数字孪生城市建设已进入快车道，成为实现城市治理现代化、培育新兴产业集群、促进数据要素价值化的重要抓手。经过五六年探索，数字孪生城市相关技术、应用、产业、标准、机制等不断发展完善。深圳、上海、苏州等发达地区率先启动城市级数字孪生底座的整体性建设。全国多地加快数字孪生应用场景创新实践，数字孪生相关产业成为新增长极。业界对数字孪生城市的价值认知发生转变，纷纷入局推进建设。

中国信息通信研究院已连续5年发布数字孪生城市白皮书，先后阐述了数字孪生城市的概念框架、技术平台架构、核心能力要素、标准与应用、实施路径等内容。近年来，实践发现数字孪生城市在全要素表达、决策仿真、以虚预实等方面的价值仍未显现，中国信息通信研究院联合业内企业，充分借鉴既有科研成果和实践经验，提出城市数字孪生体、对象语义化和场景语义化模型、数字孪生新引擎等数字孪生城市建设的新路径新方法，以期突破多元异构数据难融合、技术互操作有壁垒、场景价值难显现等发展瓶颈，推动数字孪生城市真正落地。

今年白皮书共分为六章，第一章从政产学研用多视角系统分析数字孪生城市总体态势；第二至第五章从数据资源、能力平台、应用场

景、制度保障等维度，阐述城市数字孪生体、数字孪生底座平台、业务场景建模等研究进展、推进思路与演进方向；第六章面向未来展望了数字孪生城市发展趋势。内容可总结为以下三个点：

**一是数字孪生城市呈现良好发展态势。**全球政策从战略框架向系统性落地推进，市场规模呈现平稳增长，学术科研持续活跃，数据重构、技术引擎开放融合发展趋势明显，标准化工作加速推进，产业界“组团式”共创合作生态，各地区高度重视城市数字孪生底座建设。

**二是数据、平台、应用、制度四大核心要素加快重构与创新发**展。数据资源方面，以城市对象建模为核心，建立全面反映城市对象状态的“数字孪生体”，关联挂接与其相关的各类属性，同时将属性标签化，为数据资产化、业务仿真推演等奠定基础。能力平台方面，将对象建模和场景建模形成的标签转化为能力组件，依托城市已建功能性平台，融合打造能力集成、生态开放的一体化数字孪生底座平台将成为地方政府未来建设选择。应用场景方面，以“业务仿真建模”理论为依据，以流程和规则解构复杂场景，同时将流程和规则标签化，释放数字孪生体、能力平台价值，最终推动业务流程优化与再造。体制保障方面，地方政府的认知发生转变，正形成总体性设计、生态化建设、场景需求牵引的发展思路。

**三是 AI 大模型、复杂系统研究、高阶数字孪生将为数字孪生城市发展带来新未来。**在 AI 大模型加持、复杂系统的运行规则被全面数字化、人文属性增强等条件下，数字孪生城市自主性、智能化、自适应将极大增强，逐渐达到机器智能和人的智慧高度协同发展状态。

# 目 录

一、 数字孪生城市建设取得新进展 .....	1
(一) 全球政策: 数字孪生技术应用从整体战略框架向系统落地推进 .....	1
(二) 市场进展: 市场规模呈现平稳增长, 实施内容进一步走深拓广 .....	3
(三) 科研突破: 学术研究持续活跃, 城市领域更关注复杂系统研究 .....	6
(四) 技术热点: 城市孪生体推动数据重构, 多引擎融合集成趋势明显 ...	9
(五) 标准制定: 团标行标加快推进, 孪生对象与业务场景成突破重点 ..	11
(六) 产业动态: 产业界组团式共创合作生态, 行业巨头开放技术生态 ..	14
(七) 实践认知: 城市一体化数字底座建设加速, 数据资源成统筹焦点 ..	15
二、 城市数据资源: 以对象建模重组数据, 为资产化和业务仿真奠定基础 ...	17
(一) 城市数据资源按照对象“数字孪生体”进行重组 .....	18
(二) 坚持需求导向、持续优化原则, 构建数字孪生体 .....	22
(三) 数字孪生体有力推进城市数据资产化、价值化 .....	23
三、 城市能力平台: 已建功能性平台加速融合, 底座平台重构能力服务方式	26
(一) 城市已建功能性平台加速开展“平台级融合” .....	26
(二) 数字孪生底座平台建设探索初步形成四种模式 .....	29
(三) 数字孪生新引擎重塑底座能力服务化供给方式 .....	32
四、 城市应用场景: 以业务流程规则建模为手段, 实现仿真推演深度应用 ...	36
(一) 数字孪生技术应用向城市多个行业渗透拓展 .....	37
(二) 数字孪生技术应用从可视向可算可用可控深化 .....	41
(三) 系统分析、场景模型有助于业务变革、流程重塑 .....	42
五、 城市制度保障: 加快认知转变和机制创新, 保障数字孪生城市落地 .....	44
(一) 数字孪生城市有力促进治理与产业双升级, 政府认知加快转变 .....	44
(二) 建立与复杂系统相适应的统筹机制, 加强多方合作与协同推进 .....	46
六、 数字孪生城市建设与发展展望 .....	48
(一) AI 大模型赋能数字孪生体, 自主性、自适应城市将成为可能 .....	48
(二) 城市运行规则机理建模加快, 复杂系统数字孪生将成建设重点 .....	49
(三) 数字孪生城市将增强人文、社会等属性, 达到更高阶智慧状态 .....	50



## 图 目 录

图 1 国外主要经济体数字孪生相关政策变化趋势 .....	2
图 2 国内数字孪生政策变化趋势 .....	3
图 3 每年新增数字孪生相关招投标项目数量和金额 .....	4
图 4 数字孪生、CIM、BIM 中标项目数量情况 .....	5
图 5 主导部门项目数量变化情况 .....	6
图 6 数字孪生发文量时间分布情况（截至 2023 年 11 月） .....	7
图 7 各国数字孪生领域发表论文数量 .....	7
图 8 全球数字孪生、数字孪生城市论文量 .....	9
图 9 数字孪生体数据融合三大趋势 .....	10
图 10 数字孪生融合引擎发展趋势 .....	11
图 11 标准涉及领域变化情况 .....	12
图 12 团体数量及团体性质变化情况 .....	13
图 13 数字孪生城市各地实践经验 .....	16
图 14 城市数据底座建设阶段 .....	17
图 15 数字孪生体按需组装 .....	19
图 16 数字孪生体对象及业务元数据 .....	21
图 17 数字孪生体数字资产管理机制 .....	25
图 18 孪生体数字资产运营模式 .....	26
图 19 城市已建功能性平台关系 .....	28
图 20 已有引擎数据格式与代表厂商 .....	33
图 21 数字孪生新引擎融合路径 .....	34
图 22 数字孪生新引擎能力域构建方式 .....	35
图 23 数字孪生新引擎能力域与接口服务 .....	36
图 24 基于数字孪生的城市安全风险综合监测预警平台 .....	38
图 25 数字孪生车路协同示意图 .....	39
图 26 数字孪生水利应用示意图 .....	40
图 27 数字孪生城市应用成熟度等级模型 .....	41
图 28 浙江“最多跑一次”事项 V 字模型理论 .....	43

图 29 数字孪生城市“业务场景建模”理论.....	44
图 30 由人工智能代理组成的设想社会场景.....	49
图 31 复杂性科学下的城市系统运作模式.....	50
图 32 数字孪生城市从 1.0 走向 3.0.....	51

## 表 目 录

表 1 几类数据格式的对比分析.....	20
----------------------	----



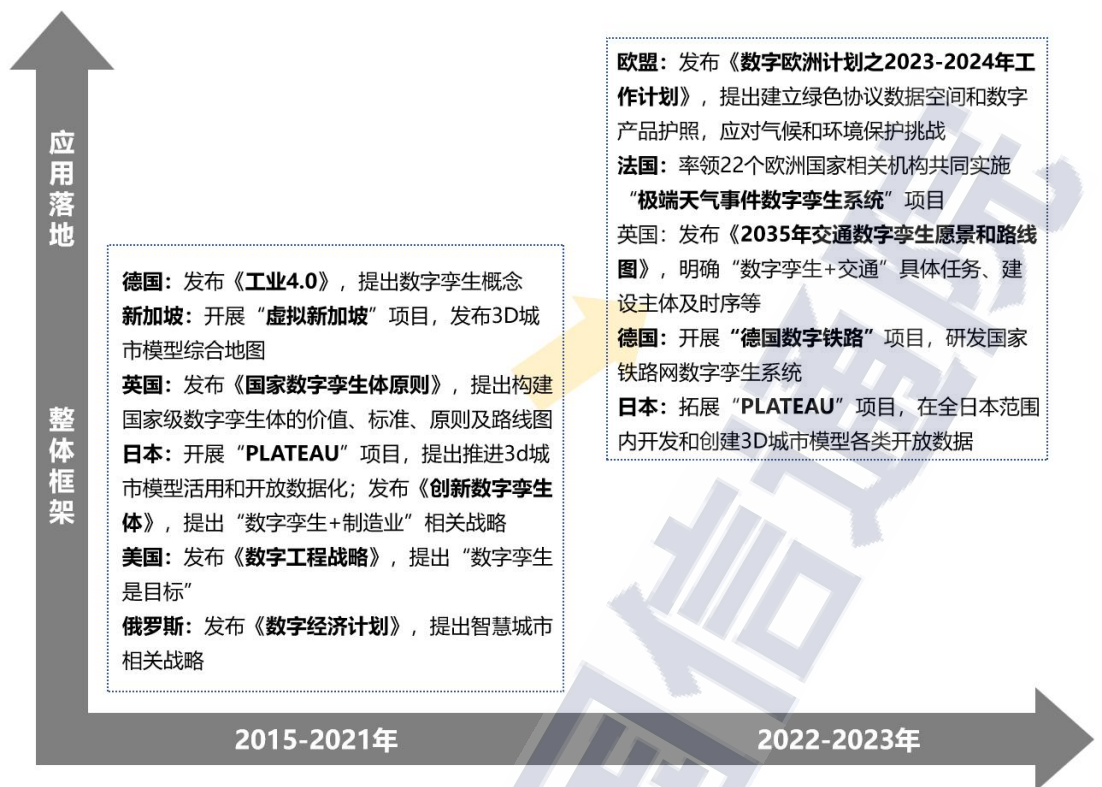
## 一、数字孪生城市建设取得新进展

近两年，全球政策从整体战略框架向系统性落地推进，数字孪生城市相关市场、科研、技术、标准、产业等取得长足发展，地方政府加速一体化数字底座建设，呈现诸多亮点，我国数字孪生城市建设正处于快速落地期。

### （一）全球政策：数字孪生技术应用从整体战略框架向系统落地推进

全球主要经济体加快数字孪生技术应用的系统性落地。近两年来，数字孪生应用系统建设落地更受全球关注，英国、欧盟、日本、美国等全球主要经济体从政策推动转向整体性布局和系统性落地。英国于 2020 年重磅发布《英国国家数字孪生体原则》，提出国家级数字孪生体价值、标准、原则等框架，2023 年发布 2035 年交通数字孪生愿景和路线图，明确具体任务、建设主体及时序等。欧盟于今年在“数字欧洲计划”里支持“数字孪生地球”项目，建立绿色协议数据空间和数字产品护照，应对气候和环境保护挑战，由法国气象局率领 22 个欧洲国家相关机构共同实施“极端天气事件数字孪生系统”项目。日本于 2021 年启动了 Project PLATEAU 计划，旨在为各大都市创建 1:1 的数字孪生，截至今年，该项目已完成 56 座城市完整 3D 模型建设，并上线 SDK 以帮助开发者构建场景。





来源：中国信息通信研究院

图 1 国外主要经济体数字孪生相关政策变化趋势

我国数字孪生城市相关政策部署范围更广、内容更深、力度更大。自 2021 年国家“十四五”规划纲要提出“探索建设数字孪生城市”以来，数字孪生技术向城市各行业应用渗透，发改委、工信部、自然资源部、住建部、水利部、交通部、农业农村部、能源局等部门纷纷出台政策，大力推动落地指引。一是政策范围更广，城市基础设施成为发展重点。水利领域由“数字孪生流域”向“数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生供水、数字孪生河流”等全方位扩展。交通领域提出“建设数字孪生公路体系”，民用航空局提出“建立基于数字孪生的规划建设运营一体化模式”。能源领域提出“推动面向能源制造和系统的数字孪生模型，提高能源系统仿真分析的规模与精度”。二

是政策内容与力度更大。水利部发布数字孪生相关工程建设技术指南、管理办法等，为数字孪生水利建设提供支持。交通运输部发布关于智慧公路标准体系的指导意见，推进公路数字模型和数字孪生应用。能源部发布关于可靠性数据治理应用的通知，加快数字孪生在电力可靠性领域以及电网智能辅助决策和调控方面的应用。



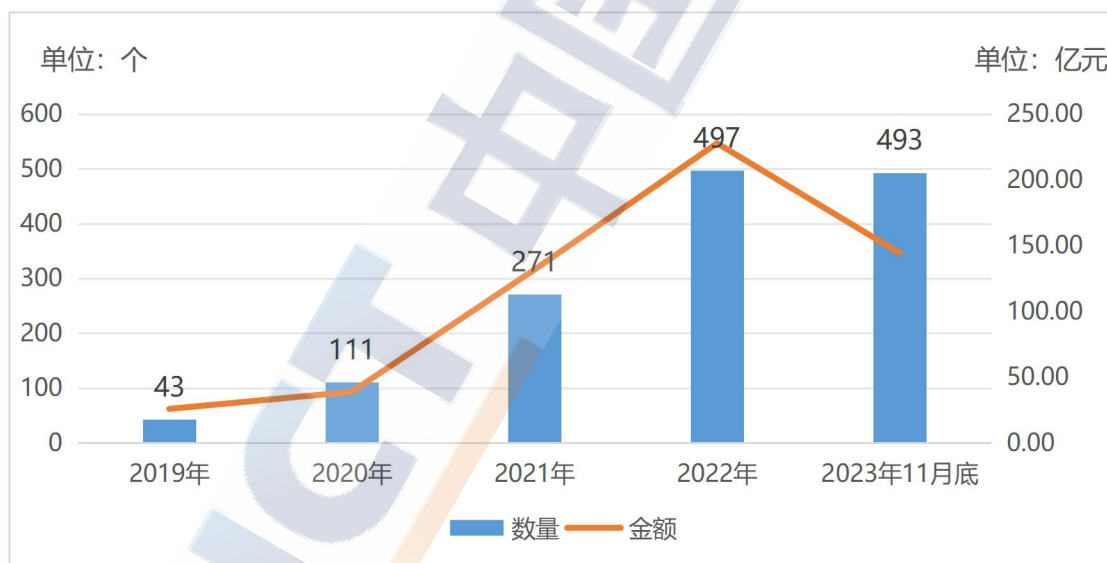
来源：中国信息通信研究院

图 2 国内数字孪生政策变化趋势

## （二）市场进展：市场规模呈现平稳增长，实施内容进一步走深拓广

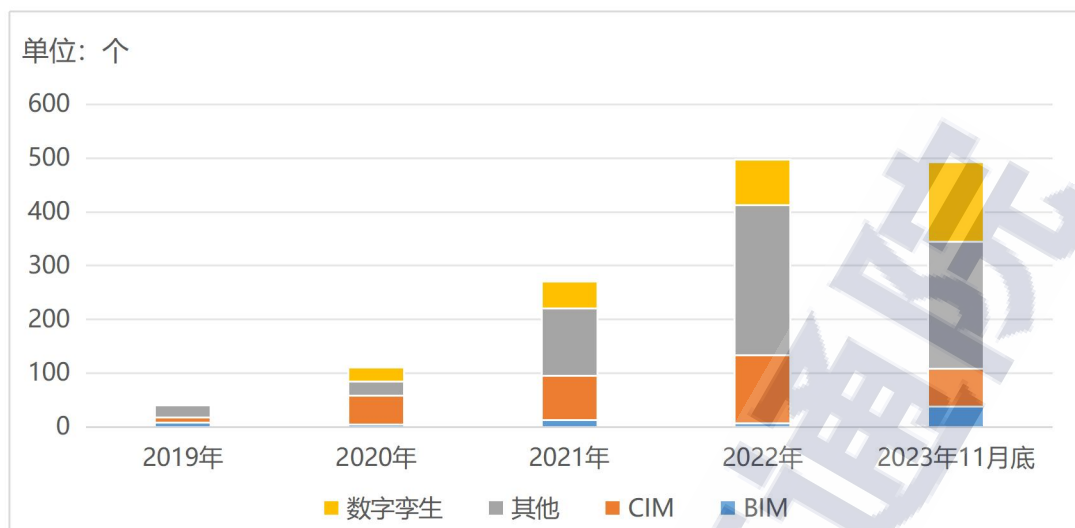
数字孪生相关公开市场招投标数量仍保持增长态势。仅 2023 年（截至 11 月底）招投标项目数量已达 493 项，与 2022 年全年项目数量基本一致。从中标项目类型来看，数字孪生项目类型有较大增长趋势，首次实现数字孪生项目数量超过 CIM 数量。从 2019 年到 2022

年，CIM 的项目金额投入增长幅度保持不断增长趋势，截至 2023 年 11 月底，CIM 项目金额有明显下降趋势，而数字孪生项目金额较 2022 年增加 4 倍以上，相对于 CIM 的项目金额增加 2 倍以上。由此可见，不同企业对数字孪生相关招投标的关注点由 CIM 转向数字孪生。BIM 相关项目金额投入保持稳定。据统计，全国半数以上地级行政区已开展数字孪生城市相关建设。全国数字孪生规模累计已达近 600 亿元，2023 年新增项目金额达 140 亿元以上，较 2022 年有所下滑。其中，广东省一直名列前茅，相关项目数量累计达 200 项以上。山东省和浙江省的项目数量累计达 100 项以上，北京、四川、河北、湖北从 2020 年起每年都有较大数量增长，累计项目总数居于全国前列。



来源：中国信息通信研究院

图 3 每年新增数字孪生相关招投标项目数量和金额

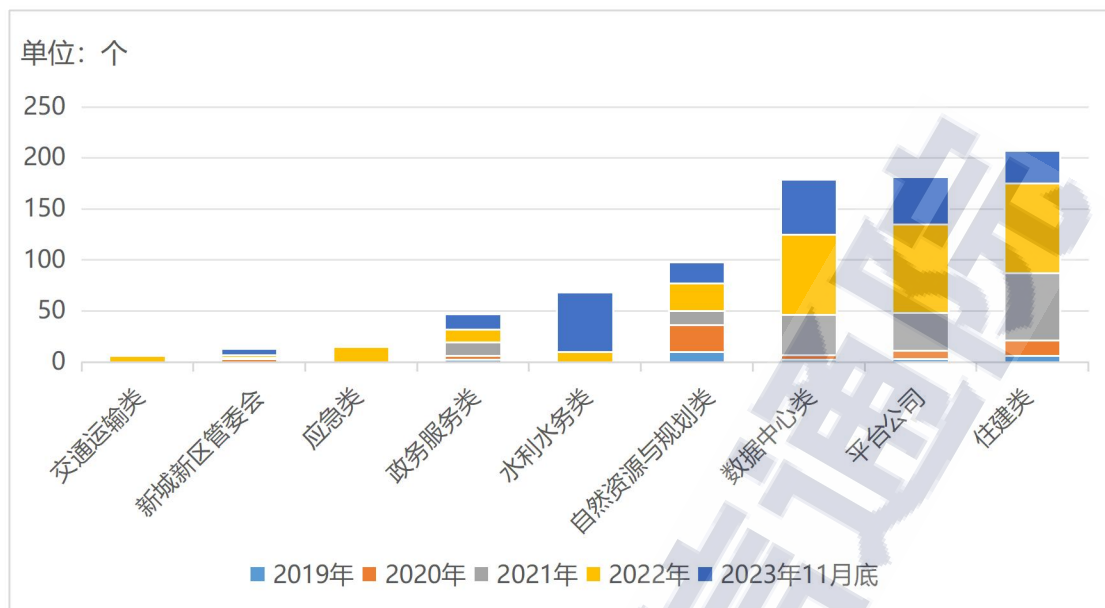


来源：中国信息通信研究院

图 4 数字孪生、CIM、BIM 中标项目数量情况

数字孪生城市相关项目的实施内容范围拓广。数字孪生城市相关项目数量从 2019 年开始呈上升趋势。据招标网公开数据显示，2023 年，水利水务类和数据中心类的项目情况增长较大。其中，水利水务类部门从 2022 年起开始布局建设，2022 年有 10 个项目，到 2023 年已经升为 58 个项目，落地项目大幅增加。2022 年住建类部门在数字孪生城市方面投入最多，2023 年项目数量明显降低，但近几年项目合计总量仍居首位。受财政资金影响，住建类、平台公司类、交通运输类和应急类在 2022 年有较大项目数量增长，但在 2023 年有明显下滑。





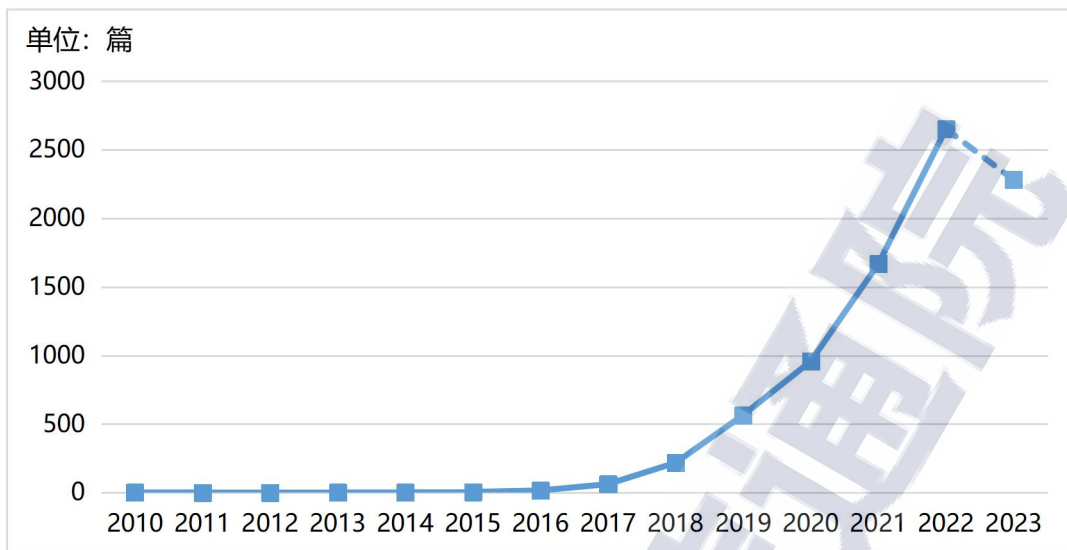
来源：中国信息通信研究院

图 5 主导部门项目数量变化情况

### （三）科研突破：学术研究持续活跃，城市领域更关注复杂系统研究

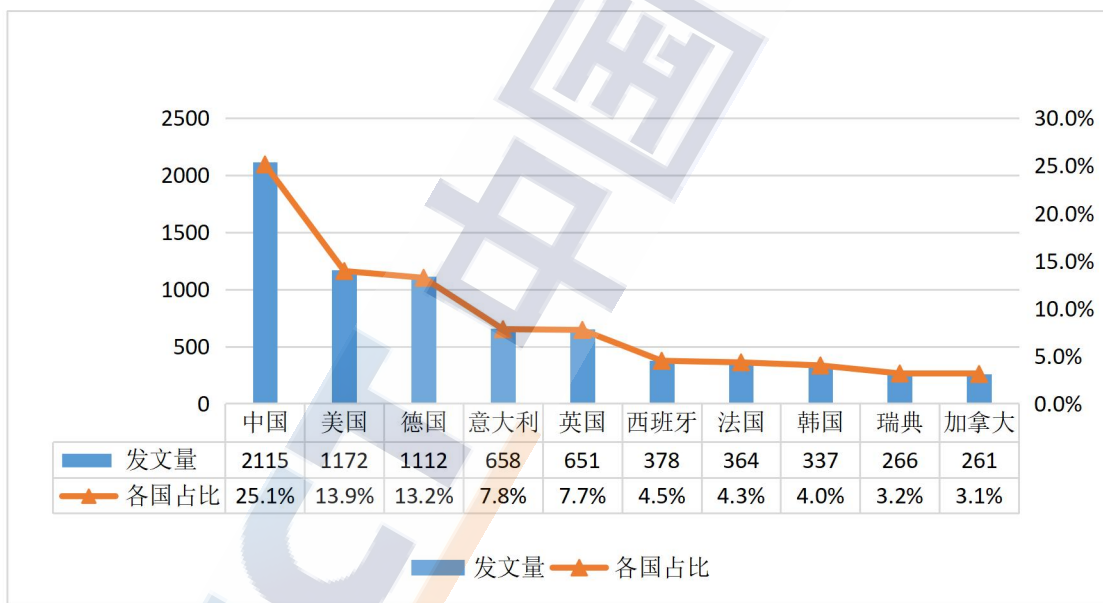
全球数字孪生学术研究持续活跃，我国论文研究数量保持领先。根据中国信息通信研究院整理统计<sup>1</sup>，2010年至2023年11月底，全球数字孪生领域发文总量为8430篇，2023年相关论文量为2281篇，自2016年，数字孪生的研究开始引起学术界的关注以来，研究热度不断上升。尤其是2018年以后，发文量增速不断加快，逐渐呈现指数增长态势。从区域分布上看，中国、德国、美国、英国、意大利等国家是全球数字孪生领域论文产出前五的国家。我国仍旧保持领先，占总发文量的25.1%，其次是美国和德国发文量占比13.9%与13.2%，成为全球学术研究的重要部分，推动数字孪生技术创新与发展。

<sup>1</sup> 基于 Web of science 核心合集，选取范围包括 SCI-EXPANDED 和 CPCI-S 数据库（SCI 论文及会议论文），检索 2010-2023 年关于数字孪生及数字孪生城市的学术论文。截止时间 2023 年 11 月 30 日，以“发表时间”为准。



来源：基于 Web of science 数据库检索，中国信息通信研究院整理

图 6 数字孪生发文量时间分布情况（截至 2023 年 11 月）



来源：基于 Web of science 数据库检索，中国信息通信研究院整理

图 7 各国数字孪生领域发表论文数量

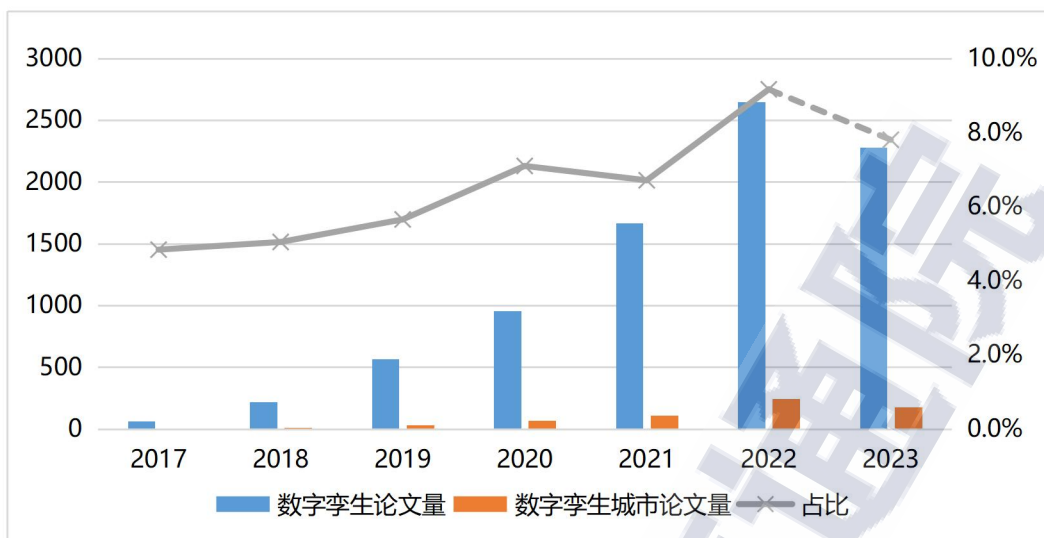
**科研机构强化政产学研用协同，解决当前发展瓶颈问题。**中国信息通信研究院联合苏州工业园区管理委员会、中国互联网协会数字孪生技术应用工作委员会等机构，针对应用价值浅化、技术产品壁垒、数据难以融合等行业痛点，研究提出数字孪生城市建设新路径和新方



法。政府发挥需求牵引作用，明确和开放示范应用场景，科研机构发挥总体设计、技术论证验证优势，产业联盟各企业发挥技术产品互补优势，开展集智创新，构建自主可控、众创扩展的开放集成架构。城市数字孪生体、数字孪生新引擎、业务数字孪生建模等成为主要研究热点，数字孪生体以对象语义化进行多元异构数据融合实现全要素数字化表达和虚实精准映射，以孪生体属性标签化直接促进数据的资产化价值化，带动区域数字经济发展，培育数字产业化。

学术领域关注五大重点方向，数字孪生城市论文比重提升，城市复杂系统研究得到重点关注。2023 年数字孪生学术研究主要聚集在五大主题，分别是制造业数字化转型、信息物理系统研究、数字孪生 AI 智能化发展、数字孪生机理模型应用、虚拟与增强现实技术应用。数字孪生城市论文量占数字孪生论文量比重逐年提升，2022 年占比 9.2%，比 2021 年提高近三个百分点。数字孪生城市论文更加关注实时系统、模拟仿真、预测模型以及城市规划、气候改变等方向。近日，发表于 Nature Computational Science 的一篇观点论文《The role of complexity for digital twins of cities》<sup>2</sup>认为，城市复杂系统将是数字孪生城市建设重点、难点，亟需复杂性科学（complexity science）的理论和方法。

<sup>2</sup> <https://www.nature.com/articles/s43588-023-00431-4>



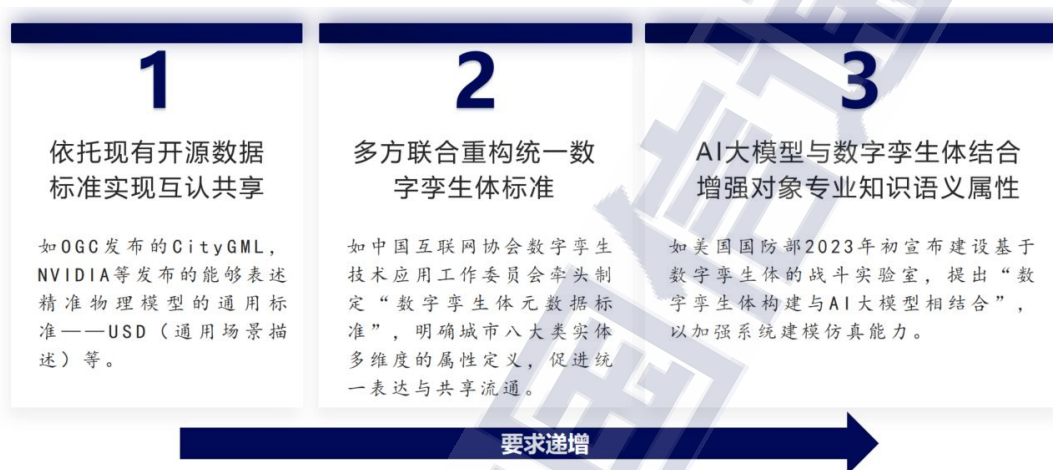
来源：基于 Web of science 数据库检索，中国信息通信研究院整理

图 8 全球数字孪生、数字孪生城市论文量

#### （四）技术热点：城市孪生体推动数据重构，多引擎融合集成趋势明显

城市实体对象的统一语义化表达与增强取得新进展。数字孪生体是现实城市实体对象在数字空间的映射，是数字孪生系统工程建设的基礎，数字孪生体的构建涉及实体的属性、关系、方法、行为等。今年以来，数字孪生体语义化表达呈现出三大发展趋势，一是依托现有开源数据标准实现互认共享。如 OGC（Open Geospatial Consortium，开放地理空间协会）发布的 CityGML（City Geography Markup Language，城市地理标识语言），NVIDIA 等发布的能够表述精准物理模型的通用标准——USD（通用场景描述）等，日本国土交通省启动的 3D 城市模型项目“PLATEAU”即依托 CityGML3.0 标准进行开放。二是多方联合重构统一数字孪生体标准，定义城市实体对象的标识、几何、状态、能力、关系等属性。如中国互联网协会数字孪生技术应用工作委员会牵头制定“数字孪生体元数据标准”，明确城市八

大类实体多维度的属性定义，促进统一表达与共享流通，该标准已在苏州等地开展落地建设。三是 AI 或 AI 大模型与数字孪生体结合，增强对象专业知识语义属性，支撑系统的仿真推演。如美国国防部 2023 年初宣布建设基于数字孪生体的战斗实验室，提出“数字孪生体构建与 AI 大模型相结合”，以加强系统建模仿真能力。



来源：中国信息通信研究院

图 9 数字孪生体数据融合三大趋势

**数字孪生相关技术引擎加速融合。**数字孪生城市建设需要集成模型构建、渲染呈现、分析计算、模拟仿真等多项技术能力，涉及业界多种类型的引擎产品，如 GIS 类引擎、BIM 类引擎、游戏类引擎、WebGL 类引擎、仿真类引擎、IOT 类引擎等。为了更好支撑城市规划、建设、管理、应急、交通、能源等各类需求，地方政府项目和企业产品加快推进多引擎融合进程，实现引擎各取所长、优势互补、相互兼容等目标。苏州工业园区、雄安新区、上海临港、深圳等数字孪生先行区，均启动一体化数字孪生底座平台建设，实现多类型引擎的融合集成。苏州工业园区联合十余家企业，共同打造能力集成、生态

开放的数字孪生底座平台。企业加快多元技术引擎集成，优化数字孪生城市创新方案。腾讯在数字孪生底座基础上搭建了可视化平台、空间实时计算平台、实时仿真平台，与人工智能、实时计算、仿真推演、数据驱动等技术引擎进行深度融合。超图 CIM 平台新增了 IoT 设备接入组件能力，可直接对接各大厂商如电信、华为的物联网引擎。易智瑞新一代 GIS 平台 GeoScene4.0 融合大数据能力引擎、多源影像引擎与 AI 能力引擎，赋能数字孪生城市建设。



来源：中国信息通信研究院

图 10 数字孪生融合引擎发展趋势

### （五）标准制定：团标行标加快推进，孪生对象与业务场景成突破重点

标准化工作有序推进，行标、团体发力明显。截至 2023 年 10 月底，我国现行数字孪生相关技术国家标准 1 项、行业标准 10 余项、团体标准 44 项，标准化推进工作成效逐渐显现。一是国家标准制定工作有序推进。已有一项国家标准于 2022 年正式发布并于 2023 年 5 月 1 日实施，且有五项国标列入制定计划。二是行业标准加紧研制。中国通信标准化协会数字孪生城市特设组制定了完备的数字孪生城

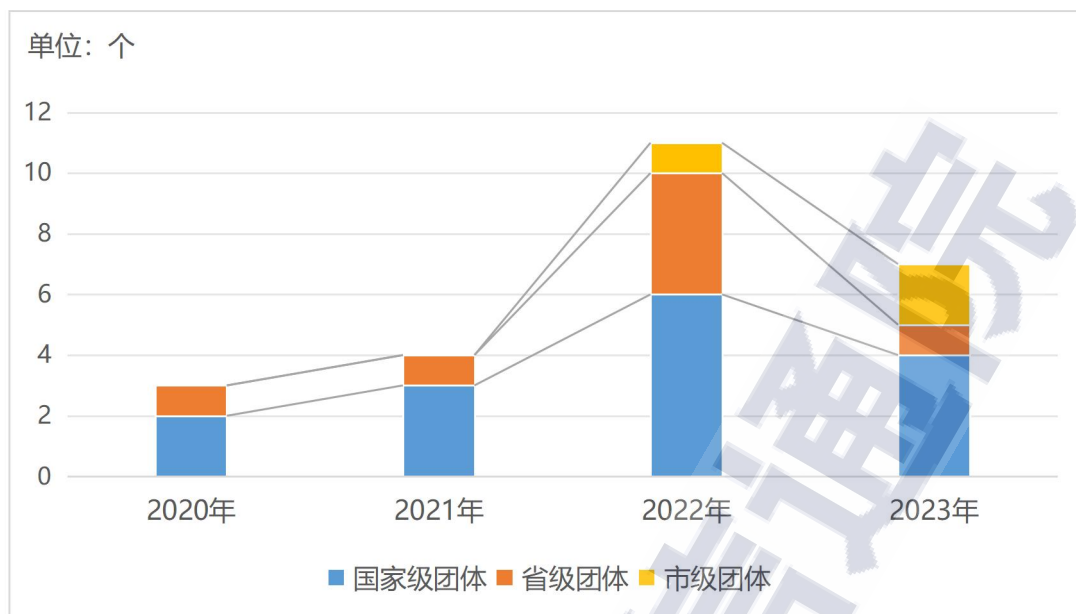


市标准体系，并开展总体、数据、能力、场景等标准编制工作。三是团体标准制定步伐加速。根据全国团体标准信息平台数据显示，当前标准涵盖了 17 种国民经济分类，参与的团体机构共 23 所，国家级团体占半数以上，市级团体、内陆区域团体数量逐年上涨，有团体多样化、地域拓展化的趋势。



来源：中国信息通信研究院

图 11 标准涉及领域变化情况



来源：中国信息通信研究院

图 12 团体数量及团体性质变化情况

**数字孪生体对象与业务场景孪生成突破重点。**在孪生体对象方面，中国通信标准化协会数字孪生城市特设组已开展了《数字孪生城市数字实体分类和统一标识编码体系》《数字孪生城市数字实体元数据》等多项行业标准研制。其中，《数字孪生城市数字实体分类和统一标识编码体系》行业标准将城市对象实体分为八大类并对每个实体进行统一身份标识，《数字孪生城市数字实体元数据》行业标准规范了数字实体的元数据及表达方法，规定了八大类数字实体的元数据属性及表达规则，两个标准将成为数字孪生城市建设的重要基础性标准。在业务场景方面，ITU-T SG20 发布了《智慧城市和社区数字孪生联合要求》标准，正在制定《基于数字孪生的智慧交通系统需求和能力框架》《基于数字孪生的智慧水利系统需求和能力框架》等多项面向垂直行业的数字孪生标准；ISO/IEC JTC 1/SC 41 聚焦在应用场景及概



念术语方面，正在制定《Digital Twin - Use cases》《Digital Twin - Concepts and terminology》等标准；中国通信标准化协会数字孪生城市特设组正在制定《面向道路的数字孪生场景》《面向园区的数字孪生场景》等场景孪生的行业标准。

## （六）产业动态：产业界组团式共创合作生态，行业巨头开放技术生态

“组团式、生态化”合作推进成为数字孪生城市长期迭代建设的重要路径选择。数字孪生城市相关技术协会、产业联盟积极为政府、企业“搭台唱戏”，牵头推进标准制定、技术合作等，形成组团式、生态化推进模式。总体来看，国外多针对某一技术标准组建联盟生态，如 OpenUSD 联盟（AOUSD）由美国 3D 内容行业的 5 家主要公司苹果、英伟达、皮克斯、Adobe 和 Autodesk 联合成立，以实现 3D 生态系统的标准化。国内联盟偏向生态合作和交流，如中国互联网协会数字孪生技术应用工作委员会已汇集近 200 家数字孪生优秀企业，共同推进数字孪生成熟度、数字孪生体等标准。广东、苏州等地组建产业联盟，发挥桥梁纽带作用，带动数字孪生产业发展。如苏州工业园区成立“数字孪生创新坊”，首批 12 家行业优秀典型企业事业单位作为共建单位，共同打造数字孪生园区。中国互联网协会联合广州智慧城市研究院共同发起成立“广东数字孪生技术应用工作组”，首批纳入十余家企业，共同为广东地区的数字孪生技术的发展和應用注入新的活力。上海发起“数字孪生战略合作特设组”，首批邀请了 8 家战略合作伙伴加入，打造泛长三角区域智慧交通数字孪生产业生态圈。

行业巨头积极构建数字孪生技术开放生态。各大 ICT 企业及互联网巨头借助资源优势，坚持合作共创原则，积极打造数字孪生开放生态体系，促进数字孪生核心技术能力、产品矩阵升级、落地实践及生态合作。谷歌 2022 年发布了街景地图的 3D 模式 Immersive View，该模式允许用户从多个角度查看真实场景的 3D 模型，2023 年继续开放 3D Tiles 格式的实景三维数据服务，可用于创作 3D、AR 应用或快速构建数字孪生模拟场景。阿里巴巴联合数字孪生产业链伙伴共同编制发布《城市数字孪生能力平台总体技术要求》，促进数字孪生建设互联互通。腾讯云发布数字孪生“1+3”产品矩阵，与超过 300 家行业伙伴形成良好的合作关系。中国移动与合作伙伴共同启动“数字孪生网络基础框架”开源（Open-DTN）合作计划，促进数字孪生网络走深向实。浪潮新基建以银河联盟为载体，与产业上下游生态伙伴协同合作，打造数字孪生城市整体解决方案。

### **（七）实践认知：城市一体化数字底座建设加速，数据资源成统筹焦点**

发达地区率先启动城市级数字孪生底座的整体性建设。经过近年来各地数字孪生城市探索实践，业界对数字孪生城市的价值认知发生重大转变，从注重对城市实景的三维建模、实时呈现到推进实体建模、业务建模的一体化数据底座。发达地区已经认识到数字孪生城市建设系统性、整体性、协同性的重要性，并陆续开展了城市级数字孪生底座的建设工作。苏州工业园区率先启动数字孪生底座平台与数字孪生公共服务平台建设，目标打造数字孪生“应用场景示范区、产业生态

集聚区、技术创新策源地”。雄安新区持续“坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设”的数字孪生城市建设理念，打造“一中心四平台”数字底座，初步形成“云上一座城”。深圳打造“数实融合、同生共长、实时交互、秒级响应”数字孪生先锋城市，启动建设一个一体协同的数字孪生底座、构建不少于十类数据相融合的孪生数据底板。上海临港按照整体性转变、全方位赋能、革命性重塑的城市数字化转型总体要求，重点打造数字孪生城市底座。

	上海临港新片区	河北雄安新区	深圳市	苏州工业园区
<b>启动时间</b>	2021年	2017年	2023年	2022年
<b>建设目标</b>	按照整体性转变、全方位赋能、革命性重塑的城市数字化转型总体要求，建成临港新片区“数字孪生城”框架	数字城市与现实城市同步规划、同步建设。打造“一中心四平台”数字底座，初步形成“云上一座城”建设	建设“数实融合、同生共长、实时交互、秒级响应”的数字孪生先锋城市	打造数字孪生应用场景区、产业生态集聚区、技术创新策源地
<b>建设范围</b>	临港新片区（873平方公里），率先聚集国际创新协同区（6.95平方公里）和典型地标	以张家湾小镇6平方公里作为重要试点项目，将逐步向副中心、北京市拓展延伸	深圳全城（近2千平方公里），基于BIM精细化建模	园区全城（278平方公里）
<b>重点建设领域/项目</b>	重点打造数字孪生城市底座，包括：数字孪生城市基础设施、基础平台、标准规范、应用场景、生态构建等	“一中心”：雄安城市计算中心，“四平台”：块数据平台、物联网平台、视频一张网平台、CIM平台	一体协同的数字孪生底座、CIM+经济运行、城市建设、民生服务、城市治理、应急安全、生态文明	打造数字孪生底座平台、数字孪生公共服务平台，组建数字孪生创新坊
				

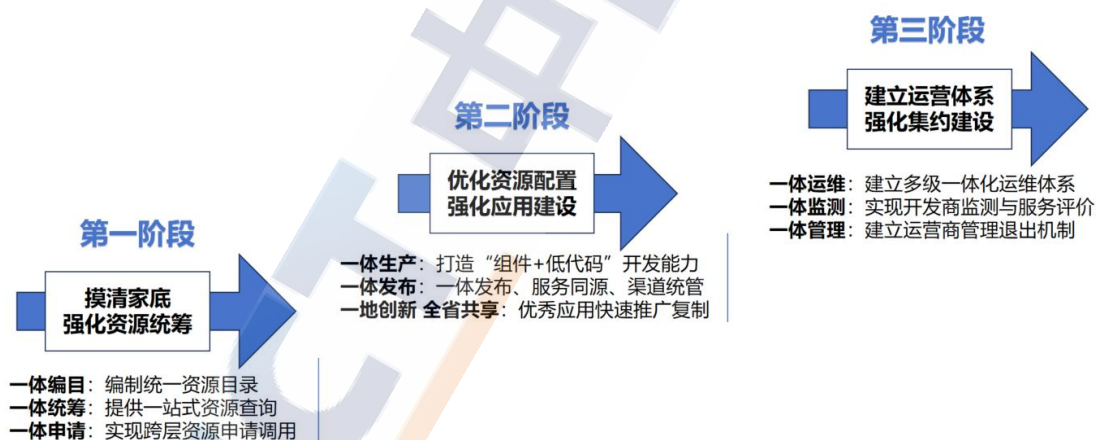
来源：中国信息通信研究院

图 13 数字孪生城市各地实践经验

诸多城市加快统筹建设一体化数据底座。《数字中国建设整体布局规划》《关于加强数字政府建设的指导意见》等文件都对“一体化建设”提出意见。随着“数据”被列为新型生产要素，全国各地高度重视数据统筹建设与流通开发。今年10月，国家数据局正式挂牌成立，并将“推进数据基础制度建设，统筹数据资源整合共享和开发利用”列为重点工作，推动数据基础设施建设。为促进数据要素开发利用

用和有效治理，浙江、重庆等地建设了“一体化数字资源系统”

（Integrated Resources System，简称 IRS），通过数字化改革，突破数据资源“家底”不清、应用水平低、重复建设、资源流通不畅、配置效率不高以及应用绩效指标难量化等突出问题。城市数据底座建设大致分为三个阶段：第一阶段“摸清家底，强化资源统筹”，通过编制统一的资源目录，构建政务数据资源“超市”，实现一站式的数据资源获取服务；第二阶段“优化资源配置，强化应用集成”，通过提供“组件+低代码工具”开发平台，支持各部门进行简易开发应用；第三阶段“建立运营体系，强化集约建设”，通过构建应用评价模型，实现对所有数字化改革应用运行状态和使用情况的动态监测，并推动优秀应用的快速复制推广。



来源：中国信息通信研究院

图 14 城市数据底座建设阶段

## 二、城市数据资源：以对象建模重组数据，为资产化和业务仿真奠定基础

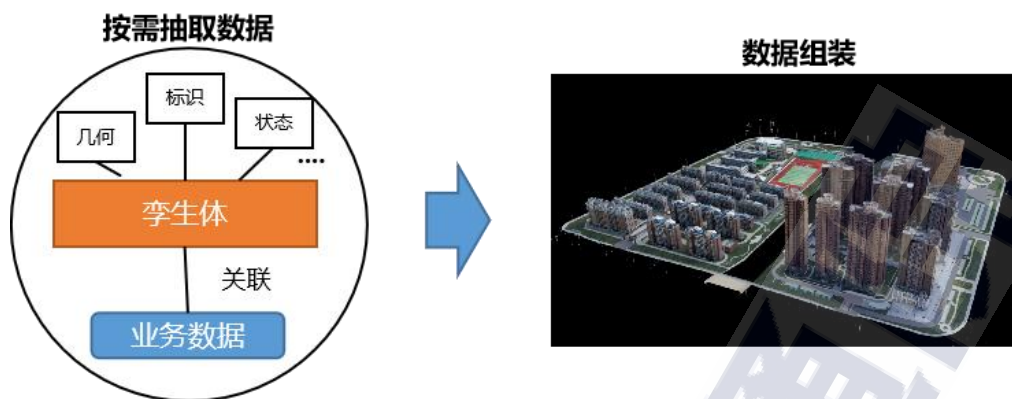
数字孪生体是指以“实体对象”为核心，在数字空间构建的与现实世界实体对象相互映射的数字模型。数字孪生体为城市多元异构数



据融合提供了有效方法，即以城市对象数字化表达为核心进行数据重组，关联挂接与其相关的各类属性数据，反映实体对象及其运行状态，不仅契合城市治理面向对象的特征，而且满足应用对数据的多样化调用需求。数字孪生体打破了原有分行业、分图层的数据组织方式，围绕实体对象的全生命周期进行数据组织，形成了原始数据向数据资产化转变的有效路径，为数据资产化价值化运营打开想象空间。

### （一）城市数据资源按照对象“数字孪生体”进行重组

数字孪生体为城市多元异构数据融合利用提供新思路新方法。城市治理的本质是面向对象的管理和服务。城市实体对象可分为自然人、法人、自然实体、管理实体、建筑与人工构筑物、物品与设备、运载工具以及其他八大类。数字孪生体将实体对象离散的全生命周期数据进行逻辑聚合，通过数据虚拟化、主动元数据管理、自动化数据平台、数据知识图谱等技术，实现同一实体的几何模型数据、时空数据、感知状态数据以及业务运行数据等多源异构数据在同一数字孪生体上融合，从而实现城市实体对象全要素数字化和语义化表达。基于数字孪生体可以实现数据编织，能够进行跨数据源的数据集成，将数字孪生体及其属性数据进行自由编织与动态整合，还能实现服务的编织，将数据服务与数据分析能力原子化，基于这些原子化的能力，可提供自助式的数据服务与分析服务的构建，使数字孪生体可以按需组装。



来源：中国信息通信研究院

图 15 数字孪生体按需组装

**统一数字孪生体数据格式有利于提升数据互操作性。**当前市场主流三维模型数据格式都是基于某些特定应用场景定制的，在复杂应用场景支撑方面都存在一定的局限性，如 3D Tiles 主要用于解决海量三维数据在线加载和浏览，有较强的可交互性，但是可扩展性较弱；IFC 用于解决 BIM 数据丰富的语义存储以及数据交换共享难题，但是 IFC 主要针对的是 BIM，对于其他领域的数字模型并不完全适用；USD 偏重模型可视化渲染，场景载入效率高，可以实现数据轻量化存储，但是 USD 没有实体对象的概念，也缺少相关语义属性和关系信息；CityGML 定义了一整套城市对象，具有丰富的语义信息并且具有多 LOD 层级，适用于城市三维应用场景，但是 CityGML 文件读写性能低，存储空间大，也无法表达与城市无关的其他实体对象。总体来看，现有三维模型数据格式均无法满足多样化数字孪生应用场景开发的数据需求，未来基于数字孪生体将形成统一的数据格式，它将融合各类数据格式的优点，具备灵活的数据结构和高效的编码方式，能够以较小的文件大小存储大量的数据，同时具备强大的语义表达能力和良



好的可扩展性。统一的数字孪生体数据格式将能更好地应对不断变化的应用场景和技术环境，实现更加灵活、高效和可靠的数据存储、传输和处理。

表 1 几类数据格式的对比分析

	3DTiles	CityGML	USD	IFC
数据特点	开放式的数据规范；支持不同类型的三维模型数据；有较强的可交互性	定义一整套城市对象；具有完整的地理坐标，可支持拓扑计算；具有多 LOD 层级	树状分层级描述整个场景数据，结构清晰，管理自由灵活；分层组织数据，强大的数据合成机制，实现非破坏性编辑	面向建筑工程数据对象的、规范化的数据描述语言存储建筑生命全周期数据
支撑场景类型	GIS	城市应用场景	元宇宙、电影、游戏场景渲染	BIM 辅助设计，BIM 审查
存在的问题	主要用于三维场景中模型的加载和渲染可扩展性弱	表达形式为文本文件，读写性能低，存储空间大；仅定义城市对象，无法对地址、管线等实体进行表达	无地理空间对象概念 没有语义属性和关系信息	IFC 格式是表达及应用在“工程项目”粒度以下的，使用范围有限，无法表达空间关系，拓扑连通关系等

来源：中国信息通信研究院

**数字孪生体元数据标准规定对象标识、状态、能力等属性特征。**

数字孪生体元数据标准全面呈现实体对象特征，包括共有属性、专有属性和扩展属性。面向应用仿真场景抽象出实体对象的共有属性，包括标识、时空、几何、状态、能力、关系，如下图所示。标识属性是唯一识别实体对象的身份符号，通过标识可以将同一实体对象分散的

信息关联起来。时空属性记录实体对象的时间信息与空间信息，它包含了实体对象和与之相关的事件在时间、空间等方面的关联关系，通过时空数据分析可以揭示事物的时空分布特征、内在联系和规律。几何属性是对实体对象形状、尺寸和外观的描述，它提供了构建实体对象三维模型的基础数据，是实体对象可视化的关键。状态属性以多维指标描述实体对象的实时运行情况，实现对实体对象的实时监控和预测。能力属性用于描述实体对象的价值作用，是对世界探索、感知、认知、赋能等水平的度量，通过将能力封装成可重复调用的接口，可以实现对实体对象的灵活扩展和定制，为应用场景提供更广泛的支持。关系属性是对实体之间相互作用和联系描述，表达实体之间的时间、空间或逻辑关联。专有属性是指对象所具有的行业属性或社会属性，如建筑物的建造年代、结构类型，山体所属的行政区域等，扩展属性是根据数字孪生体行业特征和应用需求自行扩展的属性，这些属性为精准描述实体对象提供了更加详细的数据支持。



来源：中国信息通信研究院

图 16 数字孪生体对象及业务元数据

## （二）坚持需求导向、持续优化原则，构建数字孪生体

**根据业务需求，梳理需要构建数字孪生体的对象及其数据基础。**

在场景构建中，需要根据业务需求，结合管理情境的分析，明确需要进行管理和服务的实体对象。数字孪生体构建的质量依赖于实体对象现有的数据基础，需要系统梳理与该实体对象相关的信息系统，分析各个系统能够提供的数据。相关数据大致可分为静态和动态两类，静态数据多反映实体对象本身的行业属性和社会属性，可从各业务文件表格中获取和整理，动态数据多反映实体对象的共有属性，一般从相关系统提供的接口中获取。对孪生体不同属性的数据来源、更新频率、访问权限、数据质量、安全级别等操作规范，都有明确的要求。

**依据数字孪生体标准规范，构建对象数据模型和数据库。**在获取相关数据基础上，按照标识、时空、几何、状态、能力、关系、专有属性、扩展属性的孪生体描述框架，进行实体对象各维度属性的组装。首先，按照数字孪生体八种类型的划分，确定实体对象属于哪个类别。参考元数据标准，确定该对象的共有属性和专有属性，并根据业务场景要求，确定其扩展属性。其次，针对几何属性，应构建或获取所需精度的几何表达模型。针对状态、能力，着重获取可供调用的接口。针对时空属性，确定其时空位置信息。针对标识属性，参考统一标识编码标准，确定其标识信息。在数字孪生体数据库的基础上，不断更新和扩展对象语义属性，实现对象数据的全生命周期统一管理。

**识别业务需求，定位与聚焦数字孪生技术应用核心特征。**分析场景应用需求，了解其整体运作过程、管理要求，明确通过数字孪生技

术能够解决的管理难点和业务痛点。数字孪生具有“精准映射、虚实交互、仿真模拟、智能干预”的技术特性。在映射方面，数字孪生能够实现数据的时空化，将管理对象相关的数据在三维空间进行统一呈现，帮助用户获得整体视角。在交互方面，数字孪生提供更丰富的交互特性和生动逼真的视觉效果，能够根据管理对象的运行状态将最关键的信息及时推送给用户，方便用户做出响应。在仿真方面，数字孪生能够实现管理对象在不同情境下演变过程的模拟，在应急、安全、调优方面提供支撑。在智能干预方面，数字孪生技术能够实现状态数据与监控手段、控制设备的联动，支持问题的快速处置。用户可根据数字孪生技术拥有的上述技术特性，尝试将数字孪生技术应用于具体的业务场景，实现提质降本增效的目标。

### （三）数字孪生体有力推进城市数据资产化、价值化

数字孪生体有力推动数据要素资产化、价值化进程。数字资产是指企业或个人拥有或控制的，能够为组织带来经济和社会价值的数字资源。海量数字孪生体形成新型数字资产，数据难运营困境将得以改善。这是因为数字孪生体融合跨行业数据，具有流通高价值属性，数字孪生体的分级分类精细化管理有利于数据合规运营，数字孪生体加密促进数据高效运营和交易。实体对象的数字孪生体，抽取部分属性字段或将不同实体的部分字段进行组合，即形成多种多样的数字资产，如城市地下管网的拓扑和长度，城市公共停车场车位数和分布，全市中小学建筑楼宇材料和构造等。这些数字资产如能为各级政府和行业所用，将大大激活数据要素价值。



国内外加快空间数据交易流通，为数字孪生体资产化提供有力借鉴。2023 年 6 月，Google Maps 采用云服务收费方式，面向公众开放 3D Tiles 格式的实景三维数据服务，有利于形成高质量、低成本的三维数据资产，有效促进了数据的开发利用。北京市测绘设计研究院通过北京国际大数据交易所成功完成了全国第一笔空间数据交易服务，具有重要的示范意义。苏州工业园区、北京通州区、上海东方枢纽等地纷纷探索建设城市级数字孪生体，与城市空间关联紧密的数字孪生体引发行业关注。

**技术与机制多措并举推动数字孪生体数字资产有序流通。**技术方面，构建城市可信数据空间，为孪生体流通提供可行方案。基于城市新城新区或数据基础较好的区域，结合城市公共数据授权运营与开放利用，打造一批基于数字孪生体的城市可信数据空间，解决数据流通主体间的安全和信任问题，率先推动城市金融、医保、交通、园区产业经济等数据汇聚与流通。建设城市可信数据空间生态，促进可信数据空间与现有数据交易所、数据经纪商等合作，将促进孪生体数字资产市场化流通交易。**机制方面，构建孪生体数字资产管理机制，促进孪生资产全生命周期有序管理。**按照数字资产管理机制，建立数字孪生体“五大环节”管理机制，包含数字资产目录管理、数字资产导入、数字资产授权使用、数字资产盘点和资产统计分析，涵盖数字资产“生成-应用-盘点-分析”全过程，从而促进数字资产全生命周期管理和可持续发展。



来源：中国信息通信研究院

图 17 数字孪生体数字资产管理机制

数字孪生体资产运营增值将呈现产品、工具、服务等多种模式。当前国内数据交易主要呈现三种形态，即数据产品、数据工具、数据服务。数字孪生体资产作为数据交易对象，也将形成三大运营模式。一是基于三维模型共享的数据产品模式。如 Sketchfab、CGtrader 等国际三维模型共享平台，为平台用户提供模型下载、定制化设计等服务，形成内容付费、网站套餐等商业模式。二是基于数字孪生 SaaS 服务平台的数据工具模式。如 BIMface、物联森友会等数据工具平台，为公众、企业提供一站式数字孪生开发环境，实现搭建场景、模型素材下载和示例文件等服务，形成购买云服务、定制化部署等商业模式。三是基于场景化应用的数据服务模式。基于数字孪生体数据服务，为智慧交通、沉浸式文旅等场景提供有效数据支撑。如 Google Map 提供 3D Tiles 格式的实景三维数据购买服务，赋能交通路线优化、智慧旅游等场景开发；北京首笔交易的空间数据作为空间定位依据，用于



“京彩中轴”场景开发，融合 AR 技术为公众提供虚实互动的沉浸式体验。



来源：中国信息通信研究院

图 18 孪生体数字资产运营模式

### 三、城市能力平台：已建功能性平台加速融合，底座平台重构能力服务方式

在国家政策推进下，各地城市物联感知、视频一体化、算力一体化、CIM 三维模型一体化、数字资源等已建功能性平台趋于完备，已经完成条线层面的统筹集约建设。与此同时，在数字化改革、数字化整体转型要求下，一网统管、一网通办等需求推动下，各类平台正加速融合性发展，形成城市级数字孪生底座平台。部分地区先行先试，已采取规建模式、大数据模式、新城新区模式等牵头机制开展数字孪生底座平台建设，但仍面临只能看不能用的问题，急需打造能力集成、生态开放的数字孪生底座平台，实现可扩展、低代码、积木式的服务化供给方式。

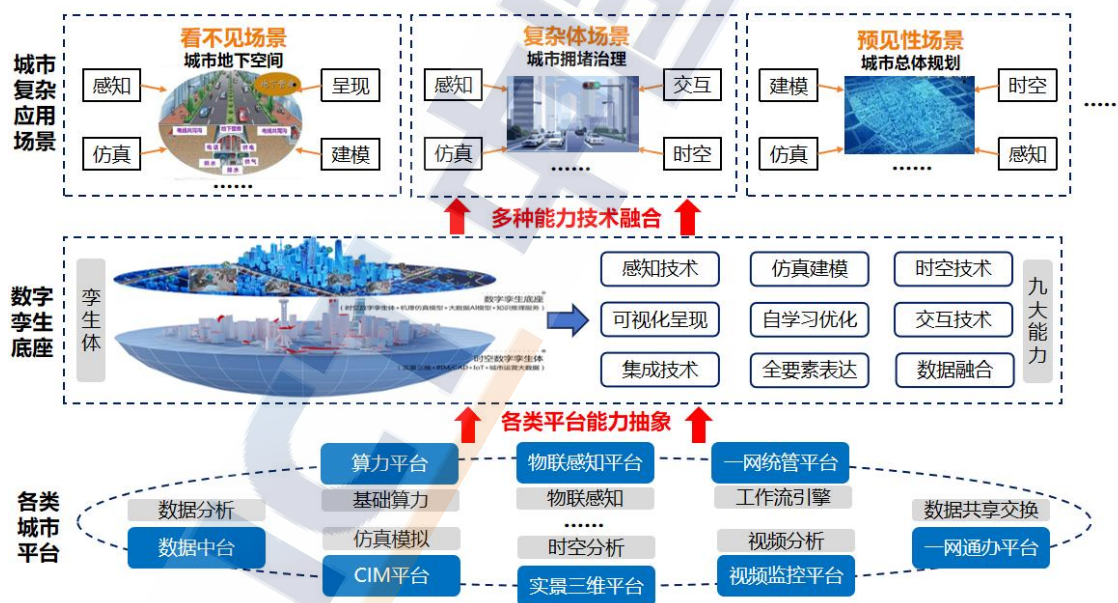
#### （一）城市已建功能性平台加速开展“平台级融合”

城市各类功能性平台初步实现统筹一体化建设。近年来，各级政府部门围绕物联感知、视频、CIM、数据资源、算力、政务服务事项、

一网统管等主题，明确牵头责任主体，开展统筹一体化建设，取得显著成效。物联感知平台为城市全要素数字化虚拟化夯实基础，截至 2023 年 10 月，我国已经有超过 100 个地级市发布城市级物联网平台建设任务，其中北京、上海、广州、深圳等特大城市较早开展该项工作。视频一体化平台为实景孪生、智能发现奠定基础，在“雪亮工程”推动下，全国 45 个示范城市（区）重点公共区域视频覆盖率达到 96%，基本达到“全域覆盖、全网共享、全时可用、全程可控”的“视频感知一张网”。CIM 平台与实景三维平台成效显著，有力支撑数字孪生可视呈现，据全国招投标统计，从 2018 年至 2022 年 CIM 平台相关招标量增长率超过了 200%。数据资源开放共享需求推动下，数据资源一体化建设形成普遍共识，截至 2023 年初，国务院所属 53 个委部局、31 个省（自治区、直辖市）和新疆生产建设兵团均建设一体化数据资源平台。算力一体化平台推动算力资源从分散建设到统一管理，截至 2022 年底，全国超过 70% 的地级市建设了政务云平台。城市一网通办、一网统管等治理平台创新实践逐步深化。截至 2022 年底，全国一体化政务服务平台实名注册用户超过 10 亿人。

现有平台功能单一，难以支撑跨部门复杂业务，平台趋向融合发展。随着智慧城市、数字孪生城市建设深入，城市业务需求复杂多变，城市现有功能性平台瓶颈日趋明显。物联感知、视频资源等平台为数字孪生城市提供实时数据，但数据供给仍以“流数据”形式服务，数据二次加工、智能分析等能力还未释放。CIM 平台、实景三维平台等逐渐构建起城市数字底板，提供统一的空间定位框架，但由于缺乏动

态数据融合，“CIM+应用”主要集中在城市规划、建设、对象管理等领域，实景三维平台应用主要集中在自然资源管理，城市复杂系统分析、仿真推演等深层次应用需求难以满足。城市大数据中台实现对城市数据资源统一归集、统一治理、统一服务，但平台功能主要聚焦在结构化政务运行数据上，数据融合不够，数据类型不多。基于以上原因，地方政府加快开展平台融合互通，打造数字孪生底座平台，满足两大需求，一是统一共性数据来源，解决不同平台数据一致性问题，如城市三维数据底板使用哪个平台为基准；二是了解全维度数据，支撑全面性分析，如针对交通路口，既要了解实时流量，也要了解路口三维框架，还要了解信号灯调控情况等，有利于实现交通综合决策。



来源：中国信息通信研究院

图 19 城市已建功能性平台关系

一网统管、城市级仿真推演对城市数字底座平台提出新需求。近年来，发达地区开展了大规模的中台建设，但中台偏技术组件的简单堆砌，支撑业务场景创新价值仍未显现。首先，伴随着整体智治、数



字改革等工作推进，“一网统管”成为解决部门协同，实现现代化治理的重要手段，但“一网统管”涉及领域多、需求变化快、业务场景逻辑复杂，需要底座平台具备抽象业务组件、解耦业务组件、灵活配置业务场景等综合能力。**其次**，数字孪生城市的重点是复杂场景决策仿真与推演，对数据全面性、算法准确性、训练数据质量等提出诸多要求，如城市交通仿真需要获取全对象的全维度全过程数据，底座平台需要提供仿真对象（数字孪生体）全要素数据。**最后**，数字孪生城市建设除了三维呈现、实时感知能力外，更重要的是行业机理、知识图谱、业务规则等数字化建模工作，目前业务规则数字化与城市三维数字化脱节，难以实现真正的智能互动、虚实融合，单体智能、系统智能远未实现。

## （二）数字孪生底座平台建设探索初步形成四种模式

“规建模式”的数字孪生底座平台向开放式架构转变。自 2020 年国家提出“探索建设数字孪生城市”以来，城市信息模型、实景三维作为数字孪生城市建设的先行基础，在全国铺开建设。各地自然资源与规划部门、住建部门为主要牵头方，启动城市 CIM 平台建设，形成底座平台的“规建模式”。规建模式在国土空间基础信息平台、“多规合一”管理平台、BIM 平台等基础上，升级为城市数字底板平台。**在数据层面**，规建模式底座平台的数据类型主要以时空基础数据、资源调查数据、规划管控数据为主，数据组织主要以住建部 BIM 类 1-7 级数据标准开展，并以图层形式发布数据服务。**在应用层面**，底座平台以支撑规划审查、用地监管、建筑设计方案审查、施工图审查、



竣工验收备案等资规部门和住建部门业务为主。规建模式底座平台与规建业务强相关，平台数据、孪生能力与规建业务强耦合，存在数据缺乏延展性、能力缺乏复用性等短板。2022 年以来，为了进一步加强平台开放性、扩展性，规建模式底座平台逐渐转变成以大数据局牵头或者“大数据+规建”联合推进的方式。

**“大数据模式”的数字孪生底座平台需加强应用落地。**部分地区重视城市数据建设工作，在 2017 年前后成立大数据局，该类地区成为数字孪生底座平台“大数据模式”的主力军。与规建模式相比，大数据模式特点是，**在数据层面**，具有较强的汇聚能力，结合政务数据汇聚与交换管理平台，以“多规合一”综合管理平台、国土空间基础信息平台等空间信息资源为基础，整合其他部门的空间数据、业务数据和物联感知数据等。**在平台层面**，更关注物联感知平台、视频平台、委办局业务系统的互联互通，提供开放式接口供给数据服务、应用服务。**在应用层面**，除原来自然资源与规划、住建部门业务应用支撑外，还支撑城市整体运行态势分析，如城市驾驶舱等。但大数据模式仍存在诸多问题，一是数据异构多源，跨部门数据融合不足；二是对城市各部门业务了解不深，缺乏粘性应用、“杀手铜”级应用，目前仍以可视化、动态化展示为主；三是数据服务、能力服务供给方式不通畅，行业部门与大数据部门未形成“依存关系”。

**“新城新区模式”的数字孪生底座平台注重加强孪生标准建设。**不同于大范围的城市级数字孪生底座平台建设模式，新城新区模式主要针对新开发片区，具备“一张白纸”、同步规划同步建设、“运行

机构集约化”等明显优势。新城新区模式由管委会或建设指挥部牵头，整体性推进底座平台建设，数据部门从技术层面提供支撑，业务部门从应用层面提出建设需求。**在数据层面**，伴随新城新区建筑工程的实施，数字孪生底座平台能够采集更高质量的 BIM 类数据，特别是难以采集的地下管道、管廊等数据。**在应用方面**，基于 BIM 的规建管全流程闭环管理是新城新区数字孪生的重点应用，契合新区工程建筑建设需求，实现一张蓝图绘到底。随着重点工作从城市规划建设转向城市治理，新城新区普遍更加关注数字孪生对象标准建设，如探索建立数字孪生模型分级分类标准，各类设施数字化交付标准，数字孪生体数据归集、共享、管理标准等，实现与国家和行业标准规范的衔接。

**“市区统分模式”的数字孪生底座平台加快探索，强化一体化衔接。**为了加强集约利用水平，部分地区探索“市区统分模式”，即按照“市区协同、统分结合、两级平台、多级应用”的方式，市级层面建立一个统一的市级数字孪生平台，各区、各部门、各行业根据自身应用需求，在市级平台基础上建设区级、部门级、行业级数字孪生平台；市级平台提供基础能力、基础数据、共性应用和标准化、可扩展的开发环境，实现能力统一供给、应用多级建设的目标。**市级数字孪生平台更注重基础数据与基本功能**，数据方面，构建全市统一的城市空间底座，明确孪生体模型标准格式，提供孪生体标准格式检验和转换服务；能力方面，建设全市统一的能力平台、公共算法库、公共模型库，接入工具、应用和服务，实现算法、模型、应用资源统一管理、能力共享，一次投入、全市使用。**区级平台更关注特色能力与应用场**

景建设，拓展专题空间分析、专业算法模型等特色能力。市区统分模式能更好释放业务部门需求意向，实现数字孪生应用落地，但需要更大的成本投入，更多的管理协调以及标准、制度等保障。

### （三）数字孪生新引擎重塑底座能力服务化供给方式

由于数字孪生涉及技术较多，集成关系复杂，一方面存在规建模式、大数据模式、新区模式等多种牵头推进方式，统筹建设难等体制机制问题，另一方面也存在相关引擎与数据绑定严重、未来能力扩展难等技术问题，急需打造能力集成、生态开放的数字孪生底座平台，通过将现有能力引擎充分解耦，与数字孪生体数据格式适配性改造，以“服务发布器”“组件化”为上层应用场景提供数据与功能服务，实现主流技术厂商的能力兼容和能力开放。

**传统技术引擎先解耦、后融合，打造数字孪生新引擎。**虽然数字孪生城市建设项目数量逐年递增，但是高价值场景较少，多数项目只能看不能用，主要原因在于多数“数字孪生平台”仅是 GIS 引擎、BIM 引擎、渲染引擎的表面融合。这类传统技术引擎与数据绑定严重，难以支撑上层应用，可扩展性差，需要重构多能力集成且生态开放的数字孪生新引擎。现有 GIS 引擎、BIM 引擎、渲染引擎、仿真引擎、IOT 引擎等使用不同的数据格式和结构进行数据存储和管理，这些引擎设计之初都是为了满足专有功能而存在的。如 BIM 引擎用于 BIM 模型的开发和设计，使用的 IFC、OSGB 格式；GIS 引擎是为 GIS 开发而设计的软件框架。引擎与数据绑定严重，一方面使得各种引擎不能真正融合，不能真正支撑场景建设，另一方面由于独有数据格式的

限制，容易被某一类型的技术和产品绑定，扩展功能难，也将导致与其他系统的互操作性问题。

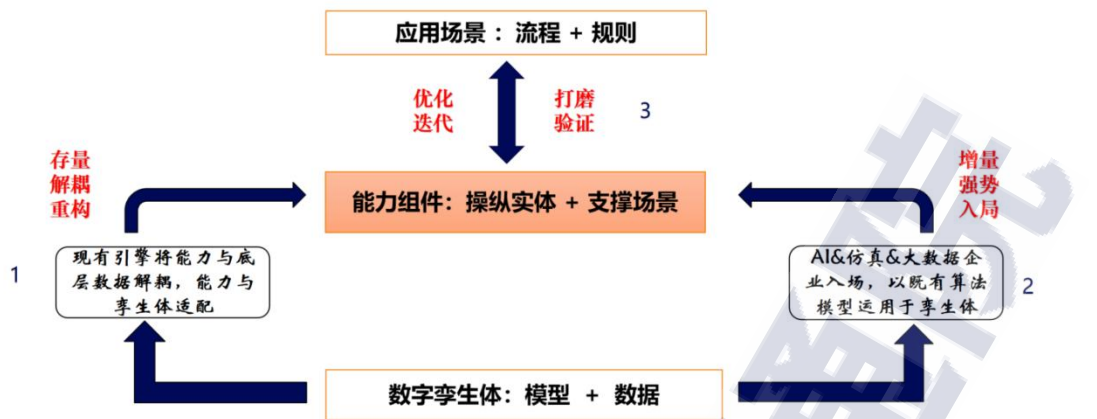


来源：中国信息通信研究院

图 20 已有引擎数据格式与代表厂商

**能力解耦与模块化设计是数字孪生新引擎建设的必由之路。**数字孪生要实现精准映射、虚实互动、软件定义、智能干预四大特征，需要集成多引擎的技术能力。组件化是一种可选择的软件开发模式，可将现有 GIS、BIM、可视化渲染、仿真、IOT 等基础引擎，以及 AI、仿真、大模型等能力，在城市统一的数字孪生体数据格式、实体数据表达结构上，拆解为不同功能或模块划分为独立的组件，通过 API 等接口进行连接，形成一个灵活、可扩展的“功能组件”库，为上层应用按需调用。这些组件还可以分别进行开发、测试和维护，从而提高整个平台的可维护性、可扩展性、开发效率和灵活性。随着技术升级和行业需求爆发增长，未来还将涌现出能力更强的引擎厂商，这些厂商也可以以组件化形式接入数字孪生新引擎，扩展数字孪生能力。





来源：中国信息通信研究院

图 21 数字孪生新引擎融合路径

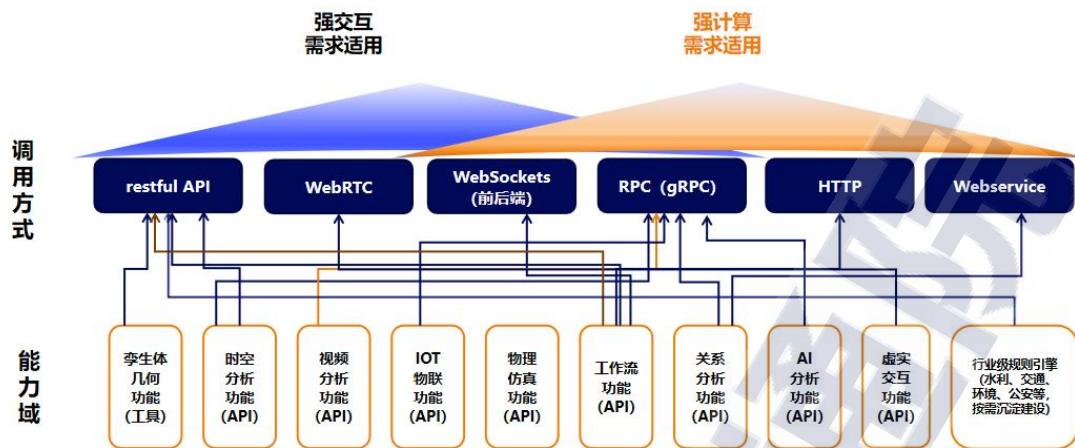
根据数字孪生体、业务模型特征，构建“组件式”数字孪生能力域。一方面，基于数字孪生体基础属性、通用业务规则，打造数字孪生新引擎“通用共性能力”。如基于标识属性建设数字资产管理能力组件；基于几何属性构建孪生体几何模型能力组件；基于时空属性构建时空分析能力组件；基于状态属性构建 IOT 物联能力组件，此外还有视频分析能力、物联仿真能力、虚实交互功能等。另一方面，根据具体业务场景不断沉淀行业能力，形成数字孪生新引擎“行业个性能力”。如水环境仿真能力、交通车流仿真能力、人流仿真能力、应急安防仿真能力等。



来源：中国信息通信研究院

图 22 数字孪生新引擎能力域构建方式

将“能力组件”进行标准化封装，对外提供能力接口服务。按照行业经验以及考虑到未来平台的使用需求，需要对每个能力域的具体能力进行拆分，形成标准化能力组件。如图像渲染可视化包括解析渲染、场景构建、相机管理等 API；时空分析包括二维空间分析、三维空间分析、单点时空分析和多点时空分析等 API。根据调用频度、调用数据规模等，设计各个组件服务接口。一般来说平台 API 集成方式分为两种方式，一种是针对后端分析计算类 API，主要形式为 RESTful API，通过智能网关可以集成该类型的 API 接口服务；另一种是针对前端渲染、交互操作类 API，主要是为开发 API 或 SDK。未来，通过数据适配器的数据转化方式，可实现主流厂家 API 的兼容集成。



来源：中国信息通信研究院

图 23 数字孪生新引擎能力域与接口服务

数字孪生新引擎将使低代码、积木式搭建应用场景成为可能。基于底座平台能力，构建数字孪生低代码开发中心，以组件化、低代码、配置式支持应用场景建设。面向政府或企业内部的数字孪生底座平台，可在平台里建立低代码开发中心，提供数字孪生体资产的自由编排、数据自动导入、实体关系关联以及业务挂接等低代码服务能力，支持开发者快速配置定制简单业务场景。面向外部企业和个人，可在公共开放平台中建设数字孪生低代码开发中心，对外开放脱敏的数据服务、组件服务。开发者中心将整合丰富的开发接口或开发工具包及开发指南等说明文档，提供 WEB 开发、APP 开发、各类 API 服务、文档参考、开发工具下载等功能，支撑应用场景的开发和建设使用。

#### 四、城市应用场景：以业务流程规则建模为手段，实现仿真推演深度应用

当前，大多数地区的数字孪生城市应用水平还停留在较低水平，即视频采集分析、物联感知报警、场景三维可视、人工派单调度、系

统通信指挥、结构化数据分析、信息发布等，缺乏对城市运行业务规则全面刻画、分析呈现能力，以及复杂运行机理仿真推演支撑智能决策的能力，难以实现“数字世界仿真、物理世界执行”的目标。随着业界对运行仿真推演等深层次应用需求增加，开展业务流程的细化分解和业务规则的机理建模，并沉淀形成一系列业务组件，成为应用走深拓广的重要方向。

### （一）数字孪生技术应用向城市多个行业渗透拓展

城市治理领域，重在精细管控，减少公共损失。面向城市生命线综合态势感知、降雨排水仿真推演预警、大型活动安保、城市建筑消防模拟演练、自然灾害应急指挥调度等重点应用场景，数字孪生城市具有全维度多尺度空间数据和物联感知数据，可实时在线呈现与推演此类场景。围绕致灾因子、承载体运行状态和隐患特征等海量监测数据，通过数字孪生城市基础平台，实现了“能监测、会预警、快决策、同响应、精处置”的预警响应重塑性转变，有助于解决“隐患发现难、人工探测难、预警效率低、响应处置慢、管理条块乱”等问题，将安全事故苗头扼杀于摇篮中，为行业主管部门面向突发事件的预测预警、决策调度和应急处置提供强大的决策支持，在减少企业和政府的经济损失、避免人民群众伤亡等方面发挥重要作用。

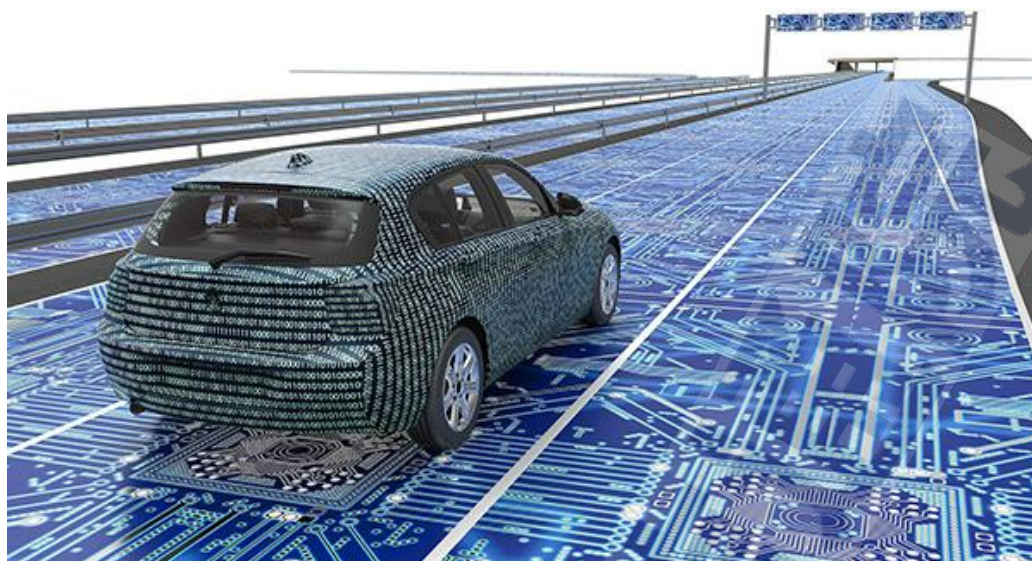




来源：中国互联网协会数字孪生技术应用工作委员会

图 24 基于数字孪生的城市安全风险综合监测预警平台

**城市交通领域，重在模拟推演，促进高效通行。**当前，数字孪生城市交通应用以高速公路安全控制、营运车辆运行安全、城市道路交通诱导、智慧停车等场景为代表，数字孪生技术在数据汇聚、数据可视化、模型推演、数据驱动决策、动态管控方面的应用效果显著，通过系统收集交通实时动态数据，运用在线仿真、大规模网络拓扑计算、交通流分析等创新技术模拟、预测交通运行，实现对交通运行监测、动态建模、管控评价、决策支持的四位一体的现代化智慧交通管理。如以交通信号灯为载体，通过前端在交通流量较大的关键路段、桥梁或者隧道做交通数据分析，用于精准的疏导和事故预防，在一定程度上推动了城市交通管理由经验驱动向数据驱动、由被动管理向主动管理、由人工管理向智能管理。



来源：中国互联网协会数字孪生技术应用工作委员会

图 25 数字孪生车路协同示意图

水利流域领域，重在“四预”建设，流域、水网、水利工程步入大规模建设阶段。2022 年以来，水利部印发关于数字孪生水利建设的系列文件，开展相关重大技术攻关和先行先试任务，全面推动数字孪生水利建设，数字孪生技术正在防洪预警、供水调度、污染防治等方面发挥积极作用。据不完全统计，当前数字孪生水利项目已占到全部数字孪生项目的半数以上。数字孪生水利以数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生水利工程建设为重点，以物理流域、水网、水利工程为单元，多维时空数据为底板，水利模型为核心，水利知识为驱动，对物理流域、水网、水利工程全要素和水利治理管理活动全过程进行数字映射、智能模拟、前瞻预演，与物理流域、水网、水利工程同步仿真运行、虚实交互、迭代优化，实现对物理流域、水网和水利工程的实时监控、问题发现、优化调度。





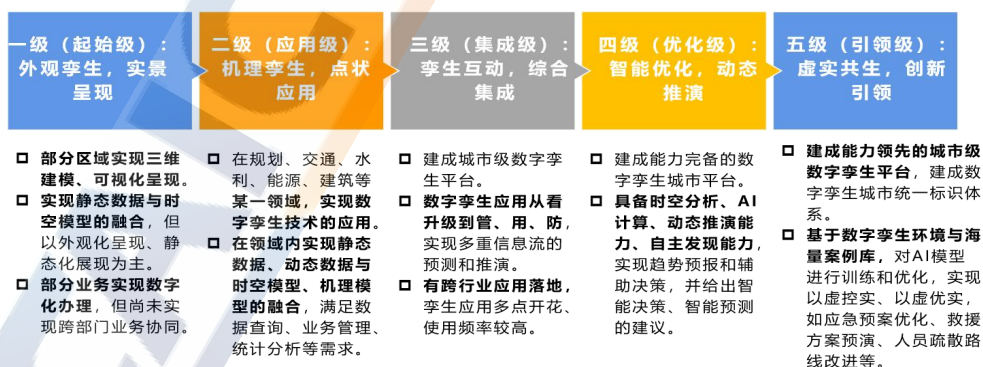
来源：中国互联网协会数字孪生技术应用工作委员会

图 26 数字孪生水利应用示意图

**能源管理领域，注重能源系统运行模拟与管理模式变革。**《国家能源局关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》明确提出，加快人工智能、数字孪生、物联网、区块链等数字技术在能源领域的创新应用，培育数字技术与能源产业融合发展新优势。随着全球能源结构转型的推进，智慧能源、绿色能源逐渐成为能源产业的核心发展方向，数字孪生能源建设正在改变着传统能源产业的格局。当前，数字孪生技术已贯穿于生产、传输、存储、消费、交易等能源系统的全生命周期，能源系统运行与管理模式向全面标准化、深度数字化和高度智能化加速转变，能源系统效率、可靠性、包容性稳步提高。以数字孪生电网为例，通过对电力网络中的智能设备进行数据采集，随后建立电网的数字孪生模型，实现对电网运行状态的实时感知，进而对电网的健康状态进行评估和预测（如异常检测、薄弱环节分析、灾害预警等）。

## （二）数字孪生技术应用从可视向可算可用可控深化

当前数字孪生城市应用已从“可视”走向“可算”“可用”“可控”。从中国信息通信研究院近年来征集的数字孪生应用案例情况来看，数字孪生应用成熟度等级由低到高可分为五个等级，分别为：起始级（外观孪生、实景呈现）；应用级（机理孪生，点状应用）；集成级（孪生互动、综合集成）；优化级（智能优化、动态推演）；引领级（虚实共生、创新引领）。随着应用全面铺开，数字孪生不再仅仅是一个可视化工具，而是一个分析、模拟、决策、管理平台，物联感知操控、全要素数字化表达、仿真推演、虚实融合互动等成为当前应用案例的典型技术特征，其中达到机理孪生、动态映射等级的应用案例超过50%，达到仿真推演、虚实交互等级的应用案例已超过40%，智能干预、虚实共生等级的应用案例尚未出现。受限于政策、成本、组织协调等方面因素，当前小空间尺度的应用案例仍占据主流，接近80%的应用案例为地物实体和城市片区级案例，跨城市区域级案例不足5%。



来源：中国信息通信研究院

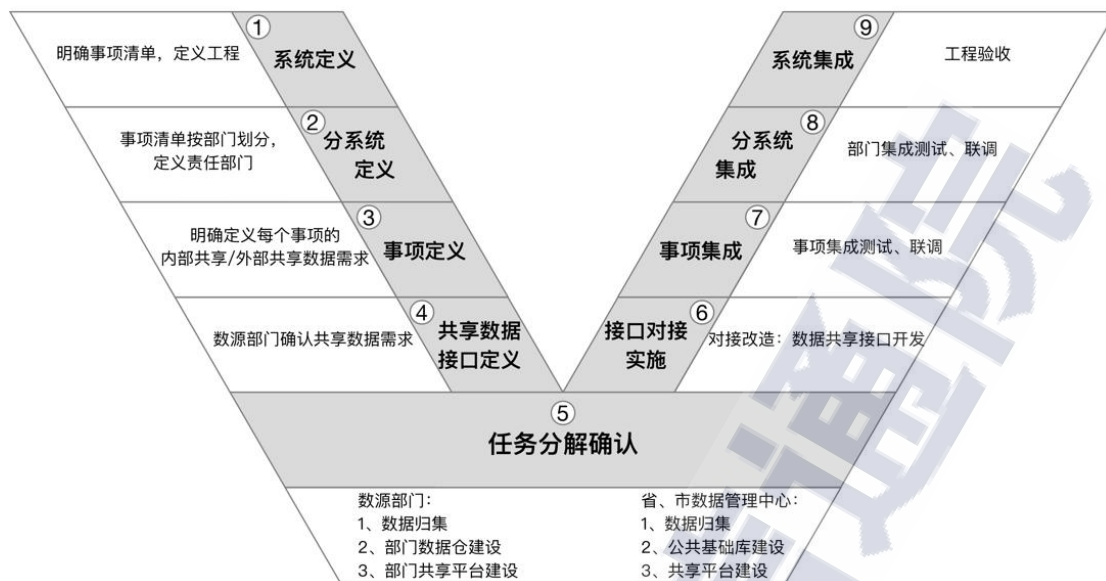
图 27 数字孪生城市应用成熟度等级模型



**跨上下游领域、跨业务环节的一体化全过程数字孪生应用正加快推进。**以工程项目规建管运服为例，规划、设计、建设、运营运维等各阶段涉及多个参与主体，同一阶段也可涉及多个专业，各主体、专业关注点不同，导致同一项目不同环节、不同专业使用各自独立模型，形成多元异构数据，数据之间不具备继承性、一致性。在“一网统管”等全过程一体化要求加快推进下，根据不同阶段、不同业务关注重点，按 LOD 级别构建数字孪生体，并预留孪生体间关系、业务属性接口，能够确保数字孪生模型的可伸缩性、可扩展性，满足不同专业业务应用需求。以数字孪生水利为例，“四预”是水利业务的核心功能，“四预”之间环环相扣、层层递进，需要在统一的数字孪生平台中进行反复计算和推演，形成最优方案。同时，城市应急管理、生态环境、文旅等部门相关涉水业务也需要“四预”数字孪生平台进行协同支撑。

### **（三）系统分析、场景模型有助于业务变革、流程重塑**

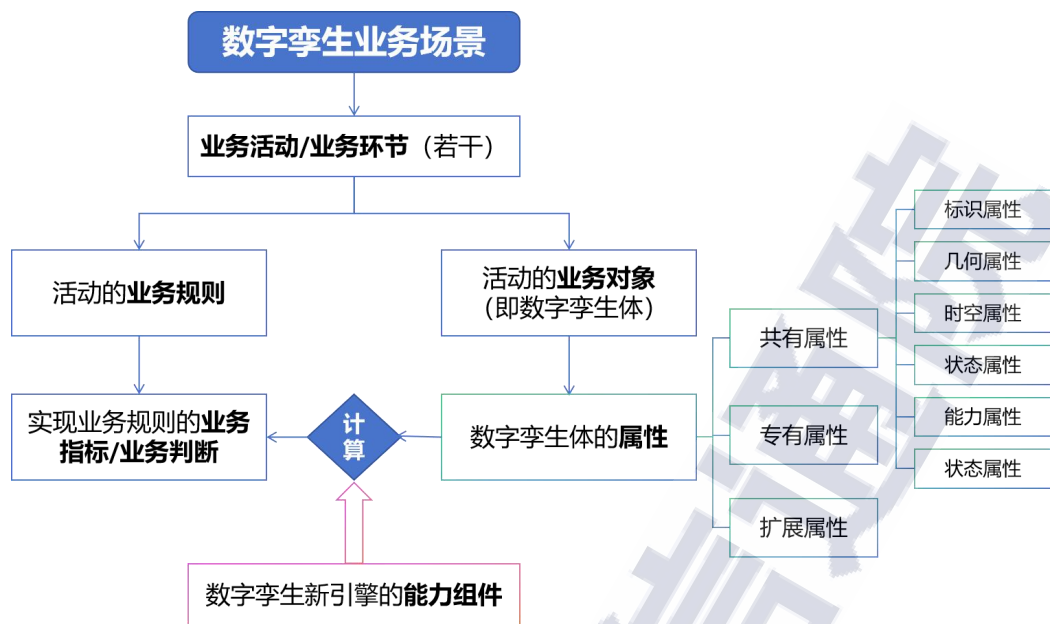
数字孪生城市是一项典型的系统工程，数字孪生业务场景具有全局性、复杂性、系统性等特征，解决系统工程建设问题的首要任务是系统分析法，具体方法是将系统分解为多个业务流程，再分解为功能组件、算法模块和数据项等，最后通过具体数据项分析，梳理业务流程之间、子系统之间、系统之间的关系，打通业务变革、流程重塑通道，最终实现数据驱动业务优化、业务变革。如浙江省为了推进“最多跑一次”改革，以系统工程方法为基础，提出“V 字”理论模型，先分解形成事项定义、细分事项定义、共享数据定义、确认（共享的）数据项，再集成实施数据接口、系统联调、工程验收等。



来源：中国信息通信研究院

图 28 浙江“最多跑一次”事项 V 字模型理论

构建数字孪生“业务场景建模”理论，系统性推动数字孪生城市建设，实现基于孪生体的城市仿真推演等深层次高价值应用。数字孪生体具有实体对象全维度属性信息，数字孪生新引擎可按需提供技术能力接口，两者将成为驱动城市数字化转型、数字化变革的主要动力。借鉴浙江、上海等地一网通办、一网统管等应用场景建设经验，参照系统工程分析方法，中国信息通信研究院联合业界企业提出“业务场景建模”理论。首先将识别出业务场景分解为若干业务活动（或业务流程环节），然后针对每个业务活动，识别业务对象和业务运行规则，再将业务规则转化为可计算的“业务指标”“行业算法”“业务判断”等，最后通过调用“数字孪生体”的相关数据项、“数字孪生新引擎”的相关能力组件，计算得出业务指标（或算法，或判断），实现具体业务场景建设需求与数字孪生体、数字孪生新引擎供给的打通和闭环。



来源：中国信息通信研究院

图 29 数字孪生城市“业务场景建模”理论

## 五、城市制度保障：加快认知转变和机制创新，保障数字孪生城市落地

长期以来，政府统筹机制缺乏或力度不足、管理架构与技术发展不适应、单一投资建设模式与可持续运营机制缺乏等一直是推进智慧城市建设的最大瓶颈。与传统智慧城市相比，数字孪生城市具有较强的技术创新和产业带动属性，对于构建现代化治理体系、促进数字经济发展的作用逐渐显现。各地充分认识到数字孪生城市建设探索带来的发展红利，纷纷加快建设。但数字孪生城市作为复杂巨系统，其建设必须加大统筹力度、执行力度、协作力度和资金保障力度。

### （一）数字孪生城市有力促进治理与产业双升级，政府认知加快转变

数字孪生城市建设成为有效促进治理能力现代化的重要手段，降

**本增效成果显著。**依托精准映射、虚实交互、模拟仿真、智能干预等功能特性，数字孪生既能解决城市规划、设计、建设、管理、服务闭环过程中的复杂性和不确定性问题，还能驱动城市治理模式、服务模式、运营模式快速变革，同时促进城市生产协同高效、数字生活便捷包容、生态环境绿色低碳，助力城市可持续发展。降本增效方面，如雄安新区建设基于数字孪生的数字道路智能化项目，有效避免路侧设备多部门重复建设，建设成本降低 30%。预测决策方面，如济宁南四湖二级坝利用数字孪生技术实现流域预报精度提高 10%以上。

**数字孪生城市成为培育产业新赛道的重要引擎，能够提振传统生态，培育创新业态。**数字孪生城市有效汇聚了地理信息系统（GIS）、建筑信息模型（BIM）、各类实体对象、物联状态感知、业务流程等多类型数据，是涉及标识、感知、孪生建模、可视化渲染、仿真推演、虚实交互等多环节、多学科的技术创新集群，覆盖上游基础设施、中游平台技术、下游生态应用等产业链条，应用范围广，产业带动性强，将有力推动信息技术产业高质量发展。根据 MarketsandMarkets 报告，2023 年全球数字孪生市场规模将为 101 亿美元，预计到 2028 年将增长至 1101 亿美元，复合年增长率（CAGR）达到 61.3%。长期来看，产品、装备、产线、工厂、建筑、道路都可以构建数字孪生模型，具备丰富语义信息，尤其是政府管理的、高价值的公共数据，“单体化”的组织方式有利于形成独立的便于流通的新型数字资产，有助于改善数据难运营困境。



发达地区已率先布局数字孪生产业生态、开展数字孪生应用示范，抢占全国数字孪生产业高地。今年年初，苏州工业园区发布《数字孪生园区创新产业基地发展规划》，提出到 2024 年，重点打造产业生态集聚区、应用场景示范区、技术创新策源地，形成园区数字孪生场景、企业数字化转型和数字孪生技术产业培育良性互动格局，带动物联感知、建模渲染、仿真模拟、人机交互、数据资产等数字孪生产业链培育，集聚 10 家以上细分行业龙头企业，100 家产业链上下游创新企业。《深圳市数字孪生先锋城市建设行动计划（2023）》提出建设一个一体协同的数字孪生底座、构建不少于十类数据相融合的孪生数据底板、上线承载超百个场景、超千项指标的数字孪生应用、打造万亿级核心产业增加值数字经济高地。

## （二）建立与复杂系统相适应的统筹机制，加强多方合作与协同推进

构建数字孪生城市建设生态，加强多主体深度协同。数字孪生城市的建设需要创新多方协同工作机制，通过汇聚数字孪生相关政府部门、科研机构、数字企业、高校等多方产业与技术资源，形成多方共建、成果共享的建设模式。一是需求侧“数据局牵头+多部门协同”。由大数据局牵头数字孪生城市建设，大数据局、规划建设局、自然资源局等政府部门提供基础数据、平台和工具，各业务部门提出数字孪生场景建设需求，大数据局对需求进行统筹，形成数据、平台、场景协同一体。二是供给侧“平台公司+产业共同体”。成立专业化、生态化数字孪生平台公司，依托数字孪生产业联盟，通过开放互联标准

的企业合作、专利授权服务、联合运营、合资公司等模式，调动各技术企业和科研机构力量，形成多方资本、人才、技术、数据等要素互补汇聚、共建共享的生态创新格局。

**强化复杂巨系统的总体设计，实现全过程统筹管理。**数字孪生城市作为复杂巨系统，具有参与主体多、专业性强、需求复杂多变的特征，面临“规划设计—建设—运行”各环节脱节问题，可能导致项目跑偏走样、系统重复建设，亟须建立总体设计和全过程管理机制，加强技术关联和过程把控。**一是推进一体化总体架构设计。**遵循系统工程思想，按照“业务架构—应用架构—数据架构”的设计流程，将业务流程按照数字孪生体和业务场景进行梳理再造，将应用模块进行原子化、组件化分解，实现从业务需求到系统建设实施的一体化设计。**二是建立全生命周期项目扎口管理制度。**实施数字孪生项目立项、技术、安全、资金、业务并联审查机制，按照全过程管理模式强化项目从规划、立项、可研、设计到实施、验收的一致性审查，强化全过程项目管理。

**树立长效运营、迭代发展思维，探索数据、场景、平台等全要素价值运营。**数字孪生平台公司以“全要素运营”为抓手，开展场景运营、数据运营、平台运营，激活数字孪生城市自我造血、长效发展的内生动力。**一是大力开展数字孪生场景运营。**鼓励平台公司建立城市特色场景、创新场景常态化开放机制，打造场景创新技术支撑平台和应用实验室，采取机会清单、创新大赛、揭榜挂帅等手段，开展新场景实测、模式验证，评估商业模式合理性，打造数字孪生场景落地示

范区。二是推动数字孪生体数据运营。从实体类型、几何、时空、关系、状态、能力等不同特征维度构建数字孪生公共数据资源库，如城市三维地图、公共建筑模型、交通道路模型、地下管网模型以及高质量行业数据集，基于公共数据授权运营平台和数据交易平台开展数据产品加工、数据产品生产和交易流通。三是加强数字孪生平台运营。建立对外开放的数字孪生公共服务平台，集成 AI、仿真、BIM、GIS、渲染等多能力引擎，为企业和个人提供数字孪生技术 PaaS 服务和定制化产品服务，降低数字孪生应用开发成本。

## 六、数字孪生城市建设与发展展望

### （一）AI 大模型赋能数字孪生体，自主性、自适应城市将成为可能

随着 AI 大模型快速发展，城市数字孪生体将实现自动化构建，并持续迭代丰富其属性内涵，城市所有业务场景均可转变为数字化算法模型，城市加快从传统的物理实体转变为复杂而智能的数字生态系统，将具有更高的自主性、智能化和自适应。在 AI 大模型的加持下，城市数字孪生体将演变为智能对象代理（AI Agent），具有感知和行动力，对象之间能够进行互动与协作，以及处理复杂问题，城市进入智能代理社会（AI Agent Society）。在 AI Agent 推动下，数字孪生城市能够复现过往城市的变迁，实时感知现实城市的运转，模拟预测未来城市的发展，城市居民能够身临其境地参与城市规划、建设与治理之中。未来的城市不仅是在物理空间上不断发展，同时在数字空间上将迎来更加智慧的变革。





来源：复旦大学 NLP 团队

图 30 由人工智能代理组成的设想社会场景

## （二）城市运行规则机理建模加快，复杂系统数字孪生 将成建设重点

城市是一个复杂巨系统，人口、交通、能源、商业等城市各系统之间相互关联、相互影响，但目前大多数城市运行模型将城市视为自上而下构建的系统，仅关注行业运行规则和短期效应，无法推演预测未来发展。数字孪生城市模型生成、测试、评估和仿真未来场景时，必须要考虑到系统自下而上的演化带来的不确定性和不可预测性，迫切需要基于多尺度跨学科的复杂性方法，将城市运行规则进行语义化、数字化精准表达，这是数字孪生城市建设运行的重点和难点，也是数字孪生从表及里的必经之路。如下图所示，城市系统各组成元素是多层次的，以非线性方式相互作用、相互适应，且跨越多个网络和尺度进行自组织演化，不断涌现新系统新现象，如复杂的社区集群和交通堵塞等。随着数字孪生体、数字孪生业务模型、城市运行规则数字化语义化的不断积累，数字孪生城市将为复杂性系统提供校准和验证，



得到更贴切现实的机理模型，更好支撑城市自上而下的决策。



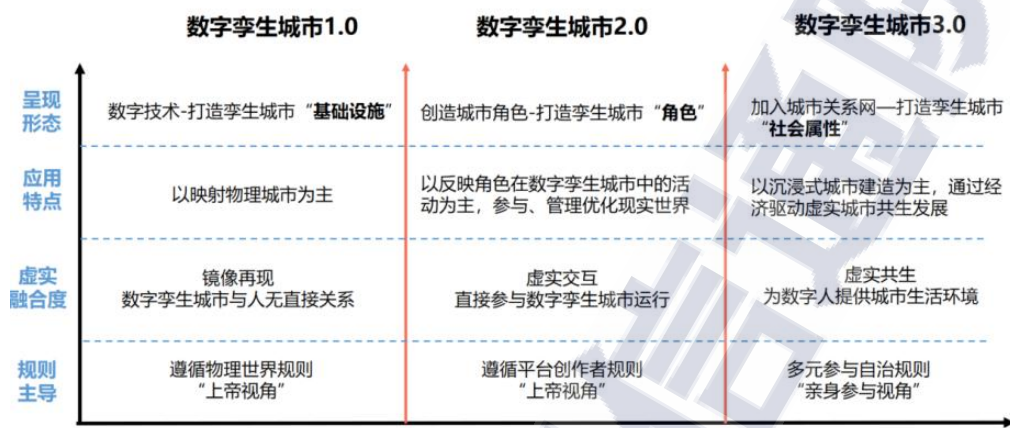
来源：Nature Computational Science 文章《The role of complexity for digital twins of cities》

图 31 复杂性科学下的城市系统运作模式

### （三）数字孪生城市将增强人文、社会等属性，达到更高阶智慧状态

数字孪生城市不仅要物理世界的地形地貌、建筑、河流等实体模型复刻，还要加入“人”与“社会”等复杂变量，才能实现城市全要素表达。从发展视角来看，目前数字孪生城市处于 1.0 阶段，即以映射物理城市为主，通常基于建筑物、街道和自然环境功能的测量数据构建数字孪生城市，但缺乏对城市中的人类交互、活动，以及社会习俗等社会属性进行建模分析，以键盘、鼠标和触摸屏等输入设备进行交互为主，在简单场景的模拟仿真效果较好。数字孪生城市 2.0 将引入人的“角色”，增加人类交互、思想意识以及社会习俗等属性，反映角色在数字孪生城市中的活动，让社会公众均参与到城市运行的决策过程中。未来，将形成数字孪生城市 3.0，即数字城市将具备所有现实世界的运行规则和社会关系，可实现自动生长、自行决策、虚

实共生，所有公众均具备“数字市民身份”，可通过虚拟现实设备进入数字城市，实现沉浸式体验，达到机器智能和人的智慧高度协同的高级状态。



来源：中国信息通信研究院

图 32 数字孪生城市从 1.0 走向 3.0

中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-83473001-603939

传真：010-62304980

网址：[www.caict.ac.cn](http://www.caict.ac.cn)

