



中国通信学会

CHINA INSTITUTE
OF COMMUNICATIONS

数字孪生城市白皮书

(2021年)

中国通信学会

2022年6月

版权声明

本白皮书版权属于中国通信学会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国通信学会”。违反上述声明者，本学会将追究其相关法律责任。

专家组和撰写组名单

顾问：

- 钮海明 中国通信建设集团有限公司党委书记、董事长
中国通信学会通信建设工程技术委员会 主任委员
- 徐志发 中国信息通信研究院 产业与规划研究所 所长
- 刘高峰 中国信息通信研究院 产业与规划研究所 副所长

专家组：

组长：

- 高艳丽 中国信息通信研究院 产业与规划研究所 总工程师

副组长：

- 李全法 中国通信建设集团有限公司 资深副总裁
中国通信学会通信建设工程技术委员会 副主任委员

成员：

姓名	单位	职务
陈才	中国信息通信研究院 产业与规划研究所	信息化应用研究部主任
韩鹏	中国信息通信研究院 产业与规划研究所	副总工程师
申虹	中国通信建设集团有限公司 技术研究院	科技管理部主任
张育雄	中国信息通信研究院 产业与规划研究所	数字孪生城市研究中心 主任

刘小林	中国信息通信研究院 产业与规划研究所	信息化应用研究部 副主任
崔颖	中国信息通信研究院 产业与规划研究所	信息化应用研究部 副主任

撰写组

单位	姓名
中国信息通信研究院 产业与规划研究所	王潇
中国通信建设集团设计院有 限公司	蔡高远
中国通信建设集团设计院有 限公司	刘宇慧
中国信息通信研究院 产业与规划研究所	张竞涛
中国信息通信研究院 产业与规划研究所	孟楠
中国信息通信研究院 产业与规划研究所	张佳宁

前 言

比特是数字世界的基础，城市是物理世界的载体。随着信息技术飞速发展，城市的建设与运行越来越离不开数字化赋能。数字孪生通过虚实映射，将物理世界抽象为比特，绘制出与之对等的数字世界，为新型智慧城市建设提供了新思路，开启了智慧城市数字化转型新篇章。

数字孪生因感知控制技术而起，因综合技术集成创新而兴。数字孪生城市是数字孪生技术在城市建设中的应用，通过构建城市物理世界与虚拟数字空间的一一对应、相互映射、协同交互的复杂巨系统，在虚拟空间中再造一个与物理城市对应的孪生城市，实现城市全要素数字化和虚拟化、城市全状态实时化和可视化、城市管理决策协同化和智能化。数字孪生城市是支撑新型智慧城市建设的复杂综合技术体系，更是物理维度上的实体城市和信息维度上的虚拟城市的共生共存、虚实交融的城市未来发展新形态。

从技术角度看，与传统智慧城市相比，数字孪生城市技术要素更加复杂，不仅覆盖新型测绘、地理信息、语义建模、仿真推演、数字标识、深度学习、隐私计算、虚拟现实等多技术门类，而且对物联网、人工智能、边缘计算等技术赋予新的要求，多技术集成创新需求更加旺盛。

从城市发展看，数字孪生城市是未来实体城市的虚拟映射对象和智能操控体，形成虚实对应、相互映射、协同交互的复杂巨系统，实现孪生城市的“六化发展”，即支撑城市全要素数字化和虚拟化、城

市全状态实时化和可视化、城市管理决策协同化和智能化，实现三类应用场景，城市规划建设一张蓝图管到底、城市治理虚实融合一盘棋、城市服务情景交融个性主动一站式，驱动城市智能运行、迭代创新。

从建设重点看，基于多源数据融合的城市信息模型平台是核心，该平台不仅具有城市时空大数据平台的基本功能，更重要的是成为在数字空间刻画城市细节、呈现城市体征、推演未来趋势的综合信息载体。

作为智慧城市顶层设计国家队，中国信息通信研究院智慧城市团队在长期从事智慧城市技术体系研究和地方实施实践基础上，于2017年在雄安新区城市规划中首次提出数字孪生城市的理念，开辟了以数字孪生城市推进智慧城市建设的新思路。

本报告是中国信息通信研究院与中国通信学会通信建设工程技术委员会相关专家基于对数字孪生城市的深刻理解及雄厚研究能力，输出的软科学研究成果之一。报告首先从政产学研用多视角系统分析今年以来数字孪生城市发展的总体态势；其次，从数字孪生城市的典型特征和总体架构出发，提出当前阶段数字孪生城市的核心能力框架；最后，报告梳理了当前数字孪生城市发展中面临的共性问题，并对下一步建设实施提出策略与建议。希望以此起到抛砖引玉的效果，以数字孪生做为引领城市发展的新形态，有力支撑我国网络强国、数字中国和智慧社会建设。

中国通信学会通信建设工程技术委员会

主任委员：

A handwritten signature in black ink, appearing to be '陈伟' (Chen Wei), written in a cursive style.

2021年11月

目 录

一、	研究概述	1
	（一）数字孪生技术情况	1
	（二）数字孪生城市概念形成	4
	（三）数字孪生城市主体结构	6
	1.数据	6
	2.模型	7
	3.服务	9
二、	全球发展态势	10
	（一）主要经济体数字孪生举措	10
	（二）国外数字孪生城市实践	11
	1.美国新墨西哥州	11
	2.新加坡	12
	3.法国雷恩	13
	4.马来西亚乔治城	14
三、	我国发展现状	15
	（一）国家高度重视	16
	（二）项目密集展开	18
	（三）研究持续深入	19
	（四）城市加速升级	20
	（五）能力不断提升	21
四、	技术预见	22
	（一）国际技术预见	22
	（二）国内技术预见	23
	1. 物联感知操控技术	23
	2.全要素数字化表达技术	25
	3.可视化呈现技术	29
	4.数据融合供给技术	32
	5.空间分析计算技术	34
	6.模拟仿真推演技术	37
	7.虚实融合互动技术	39
	8.自学习自优化技术	41
	9.众创扩展技术	43
	（三）发展技术挑战	44
	1.多元时空数据融合技术有待提高	44
	2.城市级仿真推演的辅助决策价值有待释放	45
	3.跨领域多维度的模型融合存在挑战	45
	4.人机交互的深度体验感有待增强	46
	5.数字孪生仿真推演技术缺乏数据实时驱动支撑	46
	6.地理测绘技术缺乏独立创新性	46
五、	工程难题	47
	（一）国际工程难题	47
	（二）国内工程难题	48

1.推进目的和方向不清,应用场景深度不足.....	48
2.城市信息模型重复建设,孪生底座亟待整合.....	48
3.缺乏统一 CIM 平台规范,数据融通标准缺失.....	49
4.关键技术存在卡脖子风险,亟待创新突破.....	49
六、政策建议.....	50
(一)技术政策建议.....	50
1.推进新型基础设施适度超前建设.....	50
2.加快多元异构数据资源整合.....	50
3.构筑统一 CIM 平台.....	50
4.分级分类推进数字孪生城市建设.....	51
5.建立相关数据标准.....	51
(二)产业政策建议.....	52
1.加强产业生态合作.....	52
2.开放数据资源整合共享和开放.....	52
3.大力发展数字孪生领域相关技术产业.....	53
七、应用案例.....	53
(一)广州“穗智管”城市运行管理中枢项目.....	53
1.案例概述.....	53
2.场景应用.....	54
3.案例总结.....	56
(二)郑州智慧岛数字孪生底座和信息模型.....	57
1.案例概述.....	57
2.应用场景.....	58
3.案例总结.....	62
(三)全景富阳打造“建筑物沉降监测和风险防控”专题场景.....	63
1.案例概述.....	63
2.应用场景.....	65
3.案例总结.....	70
(四)广州市白云湖大道数字孪生城市更新平台.....	72
1.案例概述.....	72
2.场景应用.....	72
3.案例总结.....	77
(五)北京市朝阳区公安消防支队数字化预案系统项目.....	78
1.案例概述.....	78
2.应用场景.....	79
3.案例总结.....	81
(六)成宜智慧高速数字孪生场景应用.....	82
1.案例概述.....	82
2.应用场景.....	83
3.案例总结.....	96

研究概述

(一) 数字孪生技术情况

数字孪生(Digital Twin)以数字化的方式建立物理实体的多维、多时空尺度、多学科、多物理量的动态虚拟模型来仿真和刻画物理实体在真实环境中的属性、行为、规则等。数字孪生的概念最初于 2003 年由 Grieves 教授 D73 在美国密歇根大学产品生命周期管理课程上提出,早期主要被应用在军工及航空航天领域。如美国空军研究实验室、美国国家航空航天局(NASA)基于数字孪生开展了飞行器健康管控应用,美国洛克希德·马丁公司将数字孪生引入到 F-35 战斗机生产过程中,用于改进工艺流程,提高生产效率与质量。由于数字孪生具备虚实融合与实时交互、迭代运行与优化、以及全要素 / 全流程 / 全业务数据驱动等特点,目前已被应用到产品生命周期各个阶段,包括产品设计、制造、服务与运维等。

随着美国工业互联网、德国工业 4.0、及中国制造 2025 等国家层面制造发展战略的提出,智能制造已成为全球制造业发展的共同趋势与目标。数字孪生作为解决智能制造信息物理融合难题和践行智能制造理念与目标的关键使能技术,得到了学术界的广泛关注和研究,并被工业界引入到越来越多的领域进行落地应用。

数字孪生已成为数字化发展的必由之路。随着信息技术发展和万物互联时代的到来,一个明显的趋势是,物理世界和与之对应的数字世界将形成两大体系平行发展并相互作用。万物皆可数字孪生,从人、物、设备、设施到工业装备和产品、建筑、城市等,未来数以百亿计

的事物将以数字孪生的形态呈现，即每个事务将分为两个部分：一个是实体，存在于物理世界；另一个是实体的数字孪生体，存在于数字世界。孪生体是实体的虚拟映像，表征实体并映射实体的一举一动。物理世界的任何事务都能在数字世界做到信息可查、轨迹可循。

数字孪生的目的是以虚拟服务现实。以数字体服务物理实体，使物理实体的运行更高效、更安全、更健康且成本更低。尤其是复杂巨系统最需要数字孪生，如大型制造业工厂、大型建筑、产业园区、大学校园等，系统越复杂，越需要虚拟化和仿真，小则节省资源成本、提质增效，大则少走弯路、不留遗憾。本质上，数字世界为了服务物理世界而存在，物理世界因为数字世界而变得更有序美好。数字孪生是数字化浪潮的必然结果，是数字化的必由之路，可谓数字化的理想状态。

数字孪生在工业领域的应用由来已久。尤其是大型装备制造工厂，通过搭建整合制造流程的数字孪生生产系统，实现从产品设计、生产计划到制造执行的全过程数字化，将创新、效率和有效性提升到一个新的高度，与虚拟制造相比有过之而无不及。据知名咨询机构的分析，世界上超过 40% 的大型生产商都会应用虚拟仿真技术来为他们的生产过程进行建模。

在消费领域，移动互联网为我们构建了数字生活的美妙图景，线上搜索、下单、支付一条龙，线下享受吃喝玩乐各种服务。这种线上、线下融合交互的应用场景已使我们充分享受到数字生活的便捷和精彩。当数字世界在线上全面打通，形成一个独立的系统与物理世界孪

生并行时，未来的场景将超乎想象。

城市最适合数字孪生。城市的诞生是人类文明史上的标志性事件，城市让生活更美好。然而，随着城市的规模扩张和无序发展，由于规划不够前瞻、管理缺乏手段、决策不够科学，加之资源和环境的约束，交通拥堵和公共服务短缺，大中小城市普遍“病”得不轻，问题难以有效纾解，给生活带来了极大的困扰，给治理带来了严峻的挑战。

如果建立一个与物理城市孪生并行的数字城市，无论是城市规划、建设，还是运行、管理，一切决策在虚拟世界先行仿真，而后在现实世界执行。那么试想一下，这将挽回多少损失、减少多少失误、节省多少资源、提升多少效率、少走多少弯路，群众的幸福感又将提升到什么高度，数字孪生城市将使这激动人心的场景变为现实，如图 1.1 所示：



图 1.1 数字孪生城市示意图

（二）数字孪生城市概念形成

2018年，雄安新区规划纲要提出，“要坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设”理念。中国信息通信研究院智慧城市团队承担《智能雄安新区顶层规划》过程中，在国内首次提出了“数字孪生城市”的概念。并自当年始，每年发布《数字孪生城市研究报告》，持续对数字孪生城市进行深入研究与分析，在产业界产生广泛共鸣。

数字孪生城市在物理世界和数字世界之间建立准实时联系，实现物理城市世界和数字城市世界的互联、互通、互操作。这种在数字空间以无限数据资源替代有限城市物理资源的方法为城市发展提供了崭新的方法论，使城市建设和管理在数据空间内“模拟择优”“零成本试错”，为城市管理提供了崭新手段。

从价值角度看，数字孪生城市对于促进城市治理模式升级、提高政务服务和民生服务的效率、质量具有极其重要的现实意义，对于提升政府执政能力和水平、创造安全优良的政治环境具有深远的历史意义。数字孪生城市作为新时代智慧城市创新理念的前瞻性最佳实践，是未来城市不可或缺的关键基础设施，是推动城市信息化由量变走向质变的里程碑。

从技术角度看，数字孪生城市是集成数字化标识、自动化感知、网络化连接、普惠化计算、智能化控制、平台化服务等信息通信技术、新型测绘技术、地理信息技术、3D建模技术、仿真推演技术及其他行业技术的综合技术支撑体系，通过在数字空间再造一个与物理城市匹配对应的数字城市，实现城市全要素数字化和虚拟化、全状态实时

(三) 数字孪生城市主体结构

数字孪生城市的核心是在数字空间构建与物理城市高度一致的城市孪生体，并在孪生体内以数据资源代替物理资源，实现城市各类应用。数字孪生城市包含数据、模型和服务 3 部分，结构如图 1.3 所示。

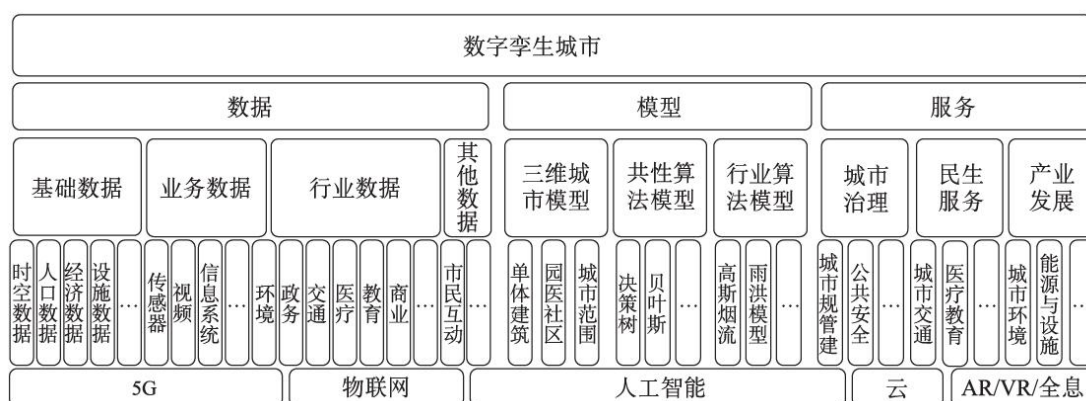


图 1.3 数字孪生城市主体结构

数据是基础、模型是核心、服务是手段。当城市空间数据精度较传统电子地图提升近百倍时,实现高精度的城市三维模型成为可能,城市孪生具备技术条件;当数据的采集、处理、应用成本低于城市规划、建设、管理等业务试错成本时,城市孪生成为可能。各类业务平台系统数据、物联网终端数据、城市三维模型通过有序组合形成城市孪生体,在城市孪生体中叠加各类模型算法对数据深化应用形成各类城市孪生服务。

1.数据

数据是数字孪生城市的基础,包含基础数据、业务数据、行业数据和其它数据。基础数据中时空数据是三维城市模型的基础,三维城市模型是数字孪生城市的外观呈现。国家自然资源部 2019 年发布的

《智慧城市时空大数据平台建设技术大纲》中提出:智慧城市时空大数据平台作为智慧城市的重要组成,既是智慧城市不可或缺的、基础性的信息资源,又是其他信息交换共享与协同应用的载体,为其他信息在三维空间和时间交织构成的四维环境中提供时空基础。时空数据的传统手段是电子地图,电子地图的理念是把地图变为数据形式,以便计算和处理;数字孪生城市则是把整座城市变为数字形式,以便计算和处理。传统电子地图通过卫星拍摄数据的精度和基于地图计算的理念无法满足数字孪生城市要求。

随着倾斜摄影、激光点云等技术的成熟,借助低空飞行器、地面采集车,以多镜头方式采集的城市数据分辨率普遍在 5cm 内,较 10m 分辨率的传统电子地图提升了近 200 倍,高分辨率下采集的道路、建筑外观轮廓等数字信息与现实中城市高度一致,形成了高精电子地图。随着车辆无人驾驶技术的发展,高精电子地图成为无人驾驶车技术中必不可少的一个组成部分,高精电子地图不仅包含城市地面交通相关元素,还包含地下管廊、城市建筑等各类元素。高精电子地图把物理世界映射到数字空间,使城市级孪生在技术上具备条件。

随着信息技术在城市范围内深度应用,城市基础设施智能化升级和各个行业信息化程度不断提升,各类设备和各个行业产生了大量数据,这些数据为三维城市模型各部件数据更新、实时计算、虚拟仿真等业务服务提供数据输入。

2.模型

模型是数字孪生城市的核心,包含三维城市模型、共性算法模型

和行业算法模型。三维城市模型指城市各类元素对象的三维建模,通常通过倾斜摄影、激光点云、BIM 等方式创建,为数字孪生城市提供由外到内的结构化呈现。随着物联网终端的普及,井盖、垃圾桶、消防栓、灯杆等越来越多的城市元素部件状态被实时感知,云计算、边缘计算、大数据、人工智能等技术使得海量数据的存储和运算成为常态。这些经过标识、运算、处理后的数据与三维城市模型虚实映射,实时更新城市各类元素在数字空间的状态,使三维城市模型与物理城市保持高度一致性。

对三维城市模型的处理存在不同的技术路线,这些路线各有优劣。如通过游戏类引擎(UE4、U3D 等)加载出来的三维城市模型对建筑细节呈现效果好,由于占用过多的图形计算资源,往往需要高性能服务器支持且对并发支持存在瓶颈,适合开发区、社区等小范围内应用。目前主流的做法是通过 3Dtiles 格式对城市级三维模型数据进行流式传输,在 Web 浏览器中以流数据方式加载呈现。

算法模型叠加在三维城市模型之上,是城市孪生体的规则,算法对城市孪生体内各类元素、对象、事件等按照一定规则归纳呈现。共性算法通常使用相对成熟的算法模型,如图片处理领域的卷积神经网络、对非结构化数据进行处理 NLP 算法等,一般用于城市孪生体内业务分析和规划;行业算法模型是在特定行业中使用,如空气扩散领域的高斯烟流模型、城市水资源领域的 SWIM 模型等,一般用于城市孪生体内业务仿真和预测。各类模型算法叠加相关数据输入,可为数字孪生城市各类服务提供计算依据。

人工智能技术通过超强算力和模型算法,成为了城市孪生体的“大脑”。在数字空间内通过对各类城市元素数据进行实时计算,并把计算结果与三维城市模型互动仿真,模拟城市运行中可能的各种状态,加速了城市在孪生空间内的运行效率。

3.服务

服务是数字孪生城市的手段,是为了通过无限的数据资源节约叠加模型计算节省有限的城市物理资源,服务涵盖城市治理、民生服务、产业发展等领域的仿真和预测。数字孪生城市服务内容取决于数据和算法模型的构成,是一个运营迭代的过程。数字孪生服务可通过 PC、手机、VR/AR、全息等方式承载,给用户带来多重体验。

数字孪生城市服务缺少统一的分类标准。按照城市生命周期包括规划、建设、管理运营等分类;按照行业包含政务、交通、环保、应急等分类;按照政府职能包含社会管理、公共服务、生态环保等分类。不同分类表明数字孪生城市建设切入点存在不同,本文按照新型智慧城市“善政、惠民、兴业”的目标对服务进行归类。

城市治理领域,在数字空间对城市给排水系统、交通系统、能源系统、通信系统、防灾系统、环卫系统等进行数字化规划设计、仿真建设,根据模拟建设成果,选择最优建设方案。在公共安全中,数字空间模拟城市在应对污染物扩散、自然灾害袭击等情况下可能受到的影响范围应提前规划。城市以人为本,民生服务领域,通过在数字空间仿真物理城市的各类元素、各类事件,围绕人居环境、出行环境等进行优化,提升市民在城市内的生活、工作体验。城市以业为基,产业发展领

域,数字孪生城市可直观地对城市、园区进行展现,政府在招商引资、产业规划等领域可借助数字孪生城市开展相关工作。

一、全球发展态势

(一) 主要经济体数字孪生举措

近年来,英、美两国加大对数字孪生城市的重视,将数字孪生从局部探索提升为国家战略。2020年4月,英国重磅发布《英国国家数字孪生体原则》,讲述构建国家级数字孪生体的价值、标准、原则及路线图。2020年5月,美国组建数字孪生联盟,联盟成员跨多个行业进行协作,相互学习,并开发各类应用。美国工业互联网联盟将数字孪生作为工业互联网落地的核心和关键,正式发布《工业应用中的数字孪生:定义,行业价值、设计、标准及应用案例》白皮书。德国工业4.0参考框架将数字孪生作为重要内容。

表 2.1 一些国家出台数字孪生相关政策

国家	时间	政策名称	政策内容
德国	2019.3	《德国“工业4.0”》	数字孪生体不是单个对象或单一的数据模型,而是包括数字化展示、功能性、模型、接口等诸多不同的方面。
美国	2020.2	《工业应用中的数字孪生:定义,行业价值、设计、标准及应用案例》	从工业互联网的视角阐述了数字孪生的定义、商业价值、体系架构以及实现数字孪生的必要基础,通过不同行业实际应用案例描述工业互联网与数字孪生的关系。
英国	2020.4	《英国国家数字孪生体原则》	构建国家级数字孪生体的价值、标准、原则及路线图,以便统一各独立行业开发数字孪生体的标准,实现孪生体间高效、安全的数据共享,释放数据资源整合价值,优化社会、经济、环境发展方式。

新加坡、法国等深入开展数字孪生城市建设。随着 5G、物联网产业的快速发展,数字孪生能力进一步凸显,全球各国纷纷把握机遇,实施数字孪生推进计划。新加坡率先搭建了“虚拟新加坡”平台,用于城市规划、维护和灾害预警项目。法国高规格推进数字孪生巴黎建设,打造数字孪生城市样板,虚拟教堂模型助力巴黎圣母院“重生”。

(二) 国外数字孪生城市实践

世界各国当前在数字孪生城市的实践上,已初步完成城市静态建模,主要用于指导城市规划工作。未来,城市运行的动态数据与静态模型的融合,将成为数字孪生城市构想落地,并发挥重要意义的关键与挑战。随着 5G、物联网产业的快速发展,数字孪生城市的理念,正在坚定的向现实迈进。

1. 美国新墨西哥州

美国新墨西哥州人口约 235 万, GDP 约为 1130 亿元,太阳能年均辐照度全国排名第二。2019 年该州通过《能源转型法案(ETA)》,提出应成为清洁能源领导者,在 2050 年之前实现 100%清洁能源。新墨西哥州与 Cityzenith 公司合作,通过开发集成电力和宽带网络的敏捷分型网格 (AFG) 和数字孪生城市平台 SmartWorldPro,助力新的“智能基础设施”建设,实现碳中和目标。Cityzenith 的数字孪生城市平台 SmartWorldPro 是供建筑师、承包商和资产经理使用的规划建筑和运营管理工具,通过 BIM 导入、3D/4D BAM (基线资产建模) 服务、智能分析、定制可视化和 API 集成等功能,提供选址、规划设计、建设、运营、维护和销售的全生命周期服务。



2.新加坡

虚拟新加坡平台集成了全天环境温度、阳光照射等变化情况，城市规划者可以在平台上直观地看到建造新建筑物或设施（例如下图中的绿色屋顶）对区域温度和光照强度的影响，还可以随时叠加热图和噪声图进行模拟交互，有助于为居民创建一个更舒适、更凉爽的环境。



虚拟新加坡平台支持半自动规划流程，规划人员可以根据预设参数快速筛选感兴趣的建筑物，例如，根据区域绿化计划和标准要求，城市规划者可以使用虚拟新加坡，快速确定适合安装太阳能电池板的街区，以及计算分析太阳能发点潜力。



3.法国雷恩

雷恩大都会是法国最具活力的城市之一，居民约 50 万。雷恩大都会与达索系统共同打造虚拟雷恩，建立城市的数字模型，用于城市规划、决策、管理和服务市民。在雷恩 Maurepas 区地铁规划建设过程中，利用数字孪生技术，采集汇聚、共享和分析城市规模的数据，通过设计与仿真的方法开发地铁 3D 模型，既可以展示地铁站周边地形、形状、位置、纹理等较为宏观信息，也可以展示屋顶太阳能电池板、紧急疏散路线和阴影通道等细节信息，同时可以通过仿真技术模拟地铁建设对交通信号灯、公交车站人流、通勤时间的影响、社区建筑的变化等。



图4 数字孪生城市：法国雷恩

4. 马来西亚乔治城

乔治城是马来西亚槟城的首府，旅游业是该城的第二大收入来源。受新冠疫情影响，该城旅游业受到严重冲击，为了推动城市经济复苏，乔治城通过数字孪生城市模型，评估新项目的开发可行性、基础设施容量需求和可持续性，辅助重新分配土地用途，助力吸引投资。

马来西亚乔治城通过打造城市数据模型，采集汇聚公共和私有领域大量不同的数据，包括规划方案、植被数据、街道设施、建筑数据、能源和水资源消耗、人口数据等。通过集成传感器数据，连续性能监测和可视化展现道路和桥梁等资产的属性和性能，有助于城市维护，持续监测自然或人为威胁，如火灾、地震灾害、地表温度上升和洪水，预测多种类型和级别的风险对城市的影响。



二、我国发展现状

十九届五中全会发布的《国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》提出，坚定不移建设制造强国、质量强国、网络强国、数字中国，必须加快数字化发展，为数字孪生城市指明了方向。数字孪生城市是新一代信息技术在城市的综合集成应用，是实现数字化治理和发展数字经济的重要载体，是未来城市提升长期竞争力、实现精明增长、实现可持续发展的新型基础设施，也是一个吸引高端智力资源共同参与，持续迭代更新的城市级创新平台。

（一）国家高度重视

多部委加速推动数字孪生城市相关技术、产业、应用发展。国家发改委、科技部、工信部、自然资源部、住建部等部委密集出台政策文件，有力推动城市信息模型（CIM）及建筑信息模型（BIM）相关技术、产业与应用快速发展，助力数字孪生城市建设。2020年4月，国家发改委和中央网信办联合发布《关于推进“上云用数赋智”行动培育新经济发展实施方案》，将数字孪生技术提到了与大数据、人工智能、5G等新技术并列高度，并启动“开展数字孪生创新计划”，要求“引导各方参与提出数字孪生的解决方案”。住建部、自然资源部分别出台BIM、CIM相应技术应用规范或导则，引导CIM平台规范建设。发改委、科技部、工信部分别设立相应政策或研究课题，鼓励CIM相关产业发展和技术突破。

数字孪生城市成为地方信息化发展关键举措。随着数字孪生城市在雄安新区先行先试，数字孪生建设理念深入到各地新型智慧城市及新基建规划中。省级层面，上海市发布《关于进一步加快智慧城市建设的若干意见》，明确提出“探索建设数字孪生城市”；海南省发布《智慧海南总体方案》，提出“到2025年底，基本建成‘数字孪生第一省’”；浙江省提出建设数字孪生社区。在市级层面，贵阳、南京、合肥、福州、成都等地纷纷提出以数字孪生城市为导向推进新型智慧城市建设。

表 3.1 各地数字孪生城市相关政策

序号	地区	时间	政策名称	政策内容
1	上海市	2020.2	《关于进一步加快智慧城	探索建设数字孪生城市，数字化模拟城

序号	地区	时间	政策名称	政策内容
			市建设的若干意见》	市全要素生态资源,构建城市智能运行的数字底座。
2	浙江省	2020.4	《浙江省未来社区建设试点工作方案》	提出构建现实和数字孪生社区。
3	吉林省	2020.4	《吉林省新基建“761”工程实施方案》	加快边缘计算、数字孪生、NB-IoT(窄带物联网)、人工智能、区块链等技术产业创新应用。
5	海南省	2020.8	《智慧海南总体方案(2020-2025年)》	到2025年底,基本建成以“智慧赋能自由港”“数字孪生第一省”为标志的智慧海南。
6	广东省	2020.10	《广东省推进新型基础设施建设三年实施方案(2020-2022年)》	探索构建“数字孪生城市”实时模型,形成集应用服务中枢、决策分析助手、治理指挥平台、规划专家系统于一体的全要素“数字孪生城市”一网通管系统。
7	雄安新区	2018.4	《河北雄安新区规划纲要》	坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设,打造具有深度学习能力、全球领先的数字城市。
8	南京江北新区	2019.6	《南京江北新区智慧城市2025规划》	将着力推动城市发展向智能化高级形态迈进,率先建设“全国数字孪生第一城”。
9	安徽省合肥市	2019.8	《智慧社区三年行动规划》	到2021年底,数字孪生社区模型平台、社区网格化协同治理平台实现对社区全要素的精细协同管理。
10	广东省广州市	2019.12	《关于进一步加快推进我市建筑信息模型(BIM)技术应用的通知》	为进一步加快推进BIM技术在规划、勘察、设计、施工和运营维护全过程的集成应用。
11	贵州省贵阳市	2020.1	《数博大道数字孪生城市顶层设计》	到2021年底,从花果园大型社区治理、数博大道等小型城市生态系统上打造数字孪生城市
12	江苏省南京市	2020.4	《南京市数字经济发展三年行动计划》	建设数字孪生城市,以数据资源开放释放“数字红利”
13	福建省厦门市	2020.4	《厦门市推进BIM应用和CIM平台建设工作方案》	扩大BIM报建应用试点,形成项目BIM报建全生命周期覆盖
14	浙江省	2020.6	《宁波市推进新型基础设施	促进数字孪生理念在未来社区实体建

序号	地区	时间	政策名称	政策内容
	宁波市		《施建设行动方案》	设中落地应用，重点推广应用 BIM 和 CIM 技术。
15	福建省 福州市	2020.6	《福州市推进新型基础设施建设行动方案（2020-2022年）》	汇聚地理空间（GIS）、城市与建筑（CIM+BIM）、动态物联网（IoT）、经济社会关系与规则(AI)等数据信息，聚焦重点场景有序建设数字孪生城市。
16	四川省 成都市	2020.10	《成都市智慧城市建设行动方案（2020—2022）》	融合政府、企业和社会数据，叠加实时感知数据，全要素模拟城市运行状态，打造数字孪生城市。

（二）项目密集展开

作为数字孪生城市核心要素的 CIM 相关项目数量明显增多，为数字孪生城市建设打造底座。自 2017 年“数字孪生城市”建设理念问世以来，各地政府和产业各界加紧布局。中国信通院统计，2018 年城市信息模型（CIM）相关投标项目全国仅有两项，2019 年新增 8 项，2020 年（截至 2020 年 10 月）新增 19 项，增长迅猛，标志城市信息模型已加速进入到规模实施阶段。据公开数据统计，仅城市信息模型公开招标投标项目的总费用超过 8 亿元，以 CIM 为切入点推进数字孪生城市落地趋势向好。

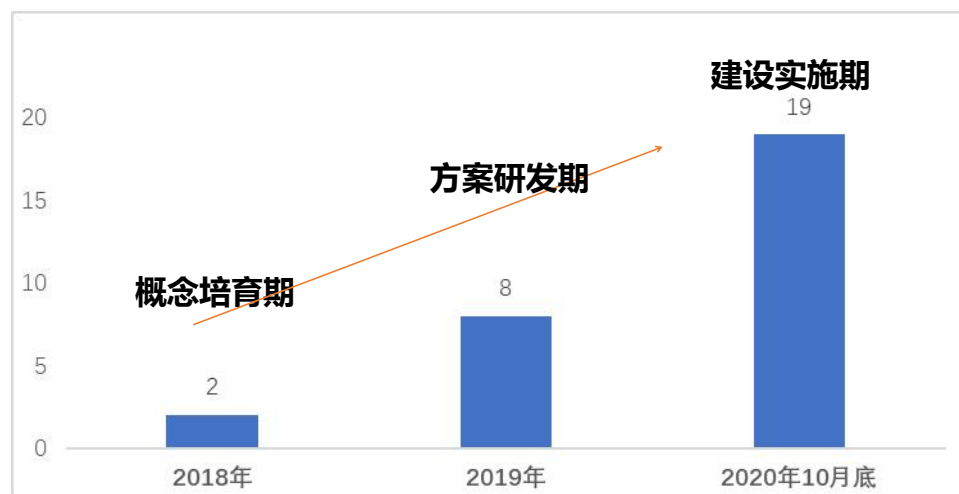


图 3.1 城市信息模型（CIM）相关投标项目统计

部分城市已启动数字孪生城市整体方案的建设落地。上海市花木街道开展“数字孪生城市”建设项目，打造全域化的花木“房态图”，进一步提升数字化社区治理效能。北京市商务中心区积极建设时空信息管理平台，打造数字孪生 CBD。贵阳市经济技术开发区开展数字孪生城市安全基础设施建设，投资金额近 6 千万。武汉市投资 3.5 亿元开展智慧城市基础平台（一期）项目，建设内容包含数字孪生城市、万物互联平台、应用支撑赋能平台等。虽然多地已经开展数字孪生城市相关项目实践，但现阶段数字孪生城市整体技术方案尚在探索，远未成熟，各级地方政府需谨慎操作，迭代推进，防止“新瓶装旧酒”。

（三）研究持续深入

数字孪生城市引发学术科研界普遍关注，纷纷开展系统研究。去年以来，中科院自动化所、北京大学、清华大学、北京航空航天大学等学术机构及高等院校学者纷纷针对“数字孪生城市”与其相关行业应用展开研究。根据中国知网学术期刊发表数量统计，数字孪生城市主题文献发表数量从 2017 年的个位数到 2020 年的超过 60 篇，呈快速增长态势。其中，十余个课题获得国家自然科学基金、国家重点研发计划、国家科技重大专项等基金支持，研究领域涵盖信息科技、宏观经济与可持续发展、计算机软件及应用、建筑科学与工程、自然地理及测绘学等诸多学科，数字孪生城市引起学术界广泛关注。



图 3.2 “数字孪生城市”主题文献发表数量统计

各学术机构从不同方向推出数字孪生城市研究成果。近年来，多个学术机构相继从数字孪生城市的认知理解、技术研究、实践应用等三个方向进行深入研究。中科院自动化所团队从控制论角度出发，提出了“平行城市”的概念，主要包括对实际城市的精准描述、智能预测、主动引导三大功能。北京大学团队注重数字空间分析技术研发，提出数字孪生城市空间网络框架，并研发 GDS（网格数据系统）数据平台技术，实现多源异构数据汇聚、关联与高效计算。北京航空航天大学团队从制造领域出发，提出物理实体、虚拟实体、连接、孪生数据、服务的五维模型，并将理论逐渐延伸到城市管理、安全急救等智慧城市领域。中国信通院联合互联网企业、地理信息企业、建模仿真企业等全产业链合作伙伴，共同搭建了数字孪生城市原型系统，务实探索验证数字孪生城市到底“怎么建”和“怎么用”问题。

（四）城市加速升级

数字孪生城市支撑治理体系和治理能力现代化。十九届四中全会以来，国家高度重视现代化治理体系的构建。数字孪生城市具有打破

领域壁垒、打通层级边界等特性，对于高效能推进城市治理作用重大。上海市基于实时更新的数字孪生城市模型，叠加静态与动态数据，精准呈现城市运行状态，打造深基坑安全监管、玻璃幕墙安全监管、违法建筑治理等多个虚实交互的城市治理场景，构建城市运行管理“一网统管”体系，实现城市问题精准发现与智能处置，形成“市-区-镇（街道）”三级联动的跨领域协同治理新格局。

“数字孪生”推动城市规建管一体化发展。协同推进城市规划建设和管理，有利于城市规划不走弯路，城市建设可观可控，城市管理有据可依，是城市统筹发展的重要基础。通过在数字孪生城市模型上仿真试错，提前了解城市特性、评估规划和建设后果，以更低的成本快速推动城市规划建设落地。南京市江北新区以数字孪生模型为底板，构建城市虚拟化数字实体，打造规划、建设和管理全过程可视化、可模拟、可分析能力，赋能土地规划、工程建设、城市管理 etc “规建管”应用场景，全面提升城市规划与建设管理数字化、智能化水平，实现城市规划自动修正，城市建设全程可控，城市运行精准呈现。

（五）能力不断提升

城市信息模型相关技术应用加速走向成熟。随着数字孪生城市从概念培育期走向建设实施期，物联感知、新型测绘、BIM/CIM 建模、可视化呈现等相关基础技术加速成熟应用。上海、北京、雄安等地加强物联感知的统筹建设和感知资源整合，推进城域物联感知平台建设，物联网碎片化问题有望得以破解。住建部发布 CIM 平台技术导则，自然资源部启动实景三维中国建设，全国各地加快 CIM 平台的

落地建设，带动 BIM 建模、倾斜摄影建模、手工建模、语义建模等建模技术成熟应用，建模技术之间的兼容性得到解决，模型数据的整合治理能力显著提升，诸多企业纷纷着手搭建数字孪生模型构建公共服务平台，为全社会提供模型公共服务能力。

城市大数据与城市信息模型加速融合，模拟仿真、空间计算、深度学习等应用有望取得重要突破。伴随着数字资源价值化和大数据企业加入数字孪生城市建设阵营，以空间信息为索引的城市大数据治理体系日益完善，多元数据融合能力显著提升，数据资源价值进一步得以释放，行业创新应用不断涌现。但是，基于空间数据的模拟仿真推演、空间分析计算、人工智能深度学习等仍存在诸多发展瓶颈，例如未发挥全要素数据优势进行更大尺度上的模拟仿真，结果准确性有待提升，算力受技术储备不足的制约等，这些因素都在制约着数字孪生深度集成应用的开发与推广。

三、 技术预见

（一） 国际技术预见

面对多样化场景和差异化性能需求，数字孪生城市技术创新主要来源于新型测绘、物联感知、协同计算、三维建模与渲染、模拟仿真、人工智能等方面。

在新型测绘技术领域，航空摄影测量、倾斜摄影、激光扫描、多源数据融合等技术已成为国际关注的焦点；在物联感知领域，Handle、Ecode、OID 等主流物体标识技术，传感器、条码、RFID、智能化设备接口、多媒体信息采集、位置信息采集和执行器技术、近距离通信、

无线通信等物联网技术已取得广泛共识；在协同计算领域，云计算与边缘协同计算已成为主流技术；在三维建模与渲染领域，几何生成技术、语义化技术、多模态多尺度空间数据智能提取技术、深度学习技术、多分辨率空间索引和调度技术、高性能三维渲染、点云逆向建模、结构化语义建模等技术已成为产业界重点关注与工程应用技术；在模拟仿真领域，有限元分析、计算流体力学和多物理场耦合仿真成为国际上主要仿真技术手段；在人工智能领域，计算机视觉、自然语言处理、生物特征识别、知识图谱、深度强化学习、迁移学习、联邦学习已被广泛应用于数字孪生城市建设。

（二）国内技术预见

1. 物联感知操控技术

物联感知操控技术，是指通过各种信息传感器、射频识别技术、全球定位系统、红外感应器、激光扫描器等各种装置与技术，实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程，采集其声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息，通过各类网络接入，实现物与物、物与人的泛在连接，实现对物品和过程的智能化感知、识别、管理和控制。

物联网感知操控技术主要通过“感知”真实物理城市，建立物理城市和数字孪生城市之间的精准映射，实现智能干预，进而为智慧城市大脑提供海量运行数据，使得城市具备自我学习、智慧生长能力。

（1）全息感知技术

通过传感器与城市管网、阀门井室、古树名木、下穿隧道、路灯

灯杆等公共基础设施融合，实现基础设施“被感知”；支持车辆、人员、资源等位置及移动轨迹“追溯”能力；基于 AI 设备，实现环境污染、违法停车、垃圾满溢、井盖异动等城市运行状态及市容秩序“智能发现”能力；基于多模多制式设备，满足各种场景下多种感知、计算、控制要求。

(2) 设备管理技术

通过感知设备管理平台对海量设备和数据进行统一管理。具备连接状态管理功能，实现泛在感知设备的状态实时管理；支持协议解析，实现不同泛在感知设备的协议解析功能；支持消息转发，实现面向上层 DaaS 或应用的泛在感知设备上报信息的转发功能，支持终端/卡管理，实现通信卡余额查询、状态管理等功能；支持远程参数同步配置功能，以支持上报地址、频率等参数调整及设备复位等管理要求；具备设备安全防护技术，包括设备安全加固、设备唯一可信认证、设备通讯加密、设备安全态势感知及设备安全修复等全方位的 IoT 设备安全。

(3) 远程操控技术

通过对物联网设备的远程操控，实现数字城市对物理城市的反向控制，覆盖物理链路层、传输网络层及应用层的协议，物理链路层又包括近场通讯（NFC）、近距离通讯（蓝牙、ZigBee、Z-Wave、UHF 等）和远距离通讯（2G、3G、4G、NB-IoT、LoRa 等）；传输网络层包括 TCP、UDP 协议；应用层包括 MQTT、CoAP2、LWM2M、HTTP、FTP、XMPP、ModBus、LoRaWAN 等协议。

(4) 安全防护技术

设备安全防护包括设备安全加固、设备唯一可信认证、设备通讯加密、设备安全态势感知及设备安全修复等全方位的 IoT 设备安全。设备安全防护技术应适应多种操作系统，如 Android、Linux、RT OS 等，还需要不受各种网络通讯协议（如 LoRa、NB IoT、4G、Wi-Fi）的限制。在设备安全加固方面，针对设备代码进行字符、函数、运行逻辑等多级混淆，防止源代码被逆向，同时提供安全 SDK，保护应用免受越狱系统、软件调试、资源篡改的困扰；在设备可信认证方面，基于证书双向认证为每个设备分配全球唯一的身份标识，使用轻量级算法，减少资源消耗，同时隔离非法终端接入，并在设备通讯传输时采用 SSL 加密，保证设备与边缘设备及云端通讯数据的安全，全程防窃取、防逆向破解、防非法调用。此外，在安全防护的同时，通过检测设备的内存、CPU、进程、系统行为、网络行为等，构建设备安全态势模型，建立安全策略，迅速定位威胁。设备安全修复可以通过 FOTA、热补丁或虚拟补丁等技术低成本对设备漏洞进行修复或网络攻击拦截，保障设备持续运营安全。

2.全要素数字化表达技术

全要素数字化表达，实质上是城市物理实体的三维模型表达，通过空天、地面、地下、水下的不同层面和不同级别的数据采集，结合新型测绘技术，对城市进行全要素数字化和语义化建模，实现由粗到细、从宏观到微观、从室外到室内等不同粒度、不同精度的城市孪生还原，形成全空间一体化并且相互关联的城市数据底板，实现数字空

间与物理空间一一映射，为数字孪生城市可视化展现、智能计算分析、仿真模拟和智能决策等提供数据基础，共同支撑城市智慧应用。主要建模方式如下图 4.1 所示。

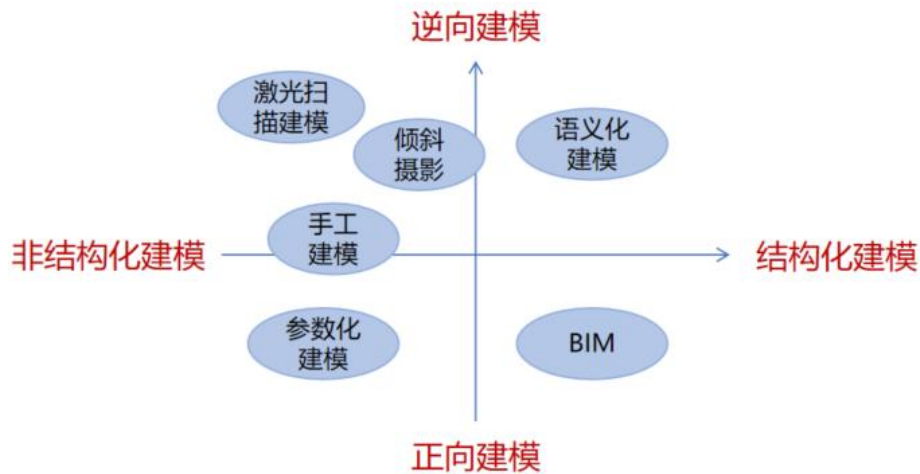


图 4.1 主要建模方式分类

（1）三维建模技术

从建模方式区分，主要分为正向设计建模和逆向测绘建模。正向设计建模，主要基于现有城市基础地理信息，不需要现场测绘数据，以二维矢量信息或者利用参数化设计工具来完成，这种方式适合于规划设计阶段的新建区域。逆向测绘建模，则是针对现有物理实体反向构建模型，通过测摄、影绘、传感器等获取城市结构和纹理信息，利用自动化建模工具完成城市数字化三维重建，这种方式更适合于城市中已建成区域。

从建模成果区分，主要分为非结构化模型和结构化模型两类。非结构化建模，包括传统手工建模、倾斜摄影建模、激光扫描建模等，这类模型具备物理实体的几何结构和纹理贴图，可以真实反映实体属性，但难以满足专题查询、空间分析和空间数据挖掘等结构化分析计算需求，应用场景受限。结构化建模，主要包括语义化模型和 BIM

模型等，这类模型不仅具有几何信息，还具有语义和拓扑装配关系的描述。其中，BIM 模型虽然具有精细的几何和语义信息表达，但扩展性较差且不具备空间地理信息，在单个建筑等局部范围用途广泛，不适合大范围城市范围应用；语义化模型可有效实现不同领域数据与空间信息集成及互操作，在当前各类数字孪生城市企业中使用广泛。

（2）数字化标识技术

数字孪生城市具备全域数字化标识能力，对城市要素进行精确标识，实现对城市资产数据库的物体快速索引、定位及关联信息加载，可利用北斗网格码、行政区域编码相结合的方式，将空间剖分、时间细分整合为物体的唯一标识，实现对万事万物的统一编码管理，支撑数据资源互联互通。

（3）语义化技术

语义化即对数据进行智能化加工处理，使其所包含的信息可以被计算机理解。大数据环境下，只有将数据进行语义化处理之后，才能更快速、准确地提取到所需要的信息，保证数据的无歧义理解和良好结构化表达，实现可量化索引。

（4）全要素图层与实体呈现技术

城市全要素场景包含有多个图层，每一层分别有不同的数据要素，主要包括地理方面的地形层、道路层、建筑层、绿化层、水域层，以及城市治理方面的人口层、产业层、部件层、公共服务资源层等多类图层的展示。其中地理方面的图层展示相对成熟，城市治理方面的图层展示有待加强。全要素的实体模型呈现即城市基础骨架，是针对

城市实体单体的建模，针对不同应用领域对实体对象精细程度的需求，多尺度、分层次在数字空间呈现实体，涵盖建筑、交通、植被、水系、城市设施、管线等全要素地理实体类型。

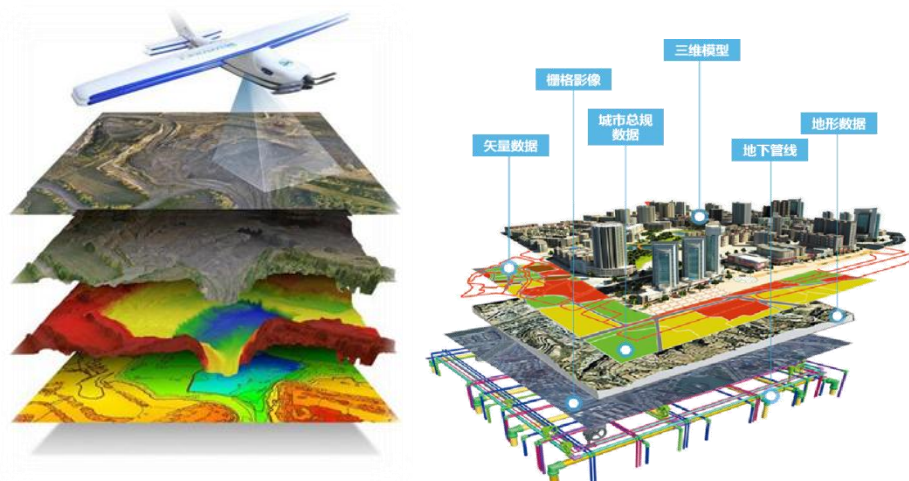


图 4.2 城市图层模型示意图

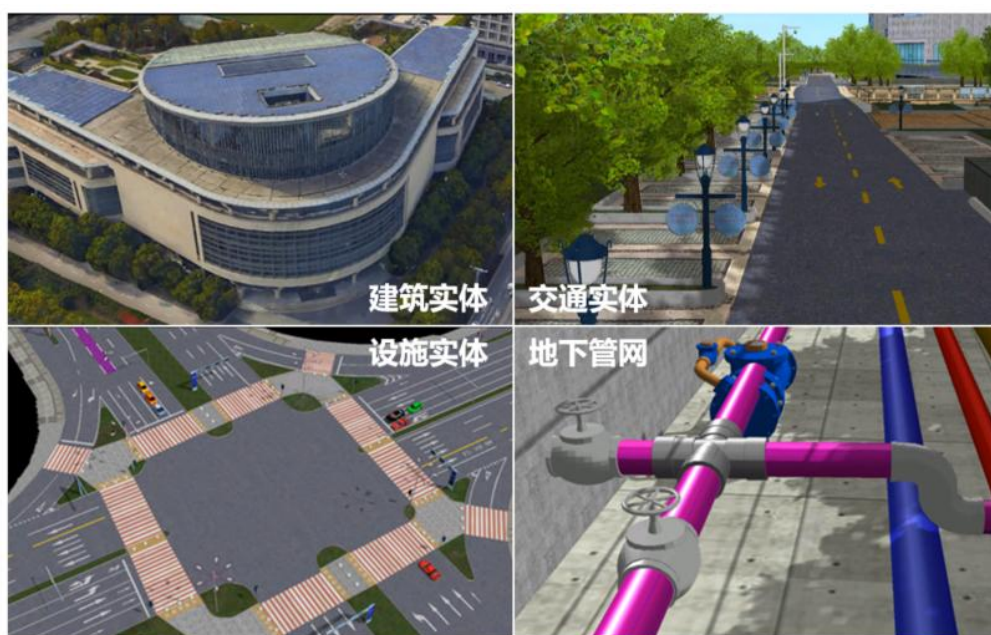


图 4.3 全要素地理实体模型表达



图 4.4 室内细粒度实体与地下空间实体表达

3.可视化呈现技术

可视化呈现技术，是指通过图形引擎，多层次实时渲染呈现数字孪生体的能力。既可以渲染宏大开阔的城市场景，又可展示地理信息局部特征，实现城市全貌大场景到城市细节，再到城市实时视频的多层次渲染，真实展现城市样貌、自然环境、城市细节、城市实时交通等各种场景，实现空间分析、大数据分析、仿真结果等可视化，实现大屏端、桌面端、网页端、移动端、XR 设备端多终端一体化展示，满足不同业务和应用场景需求。

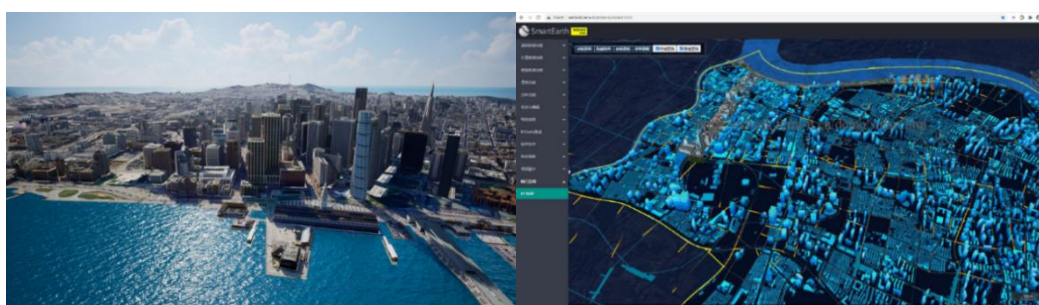


图 4.5 游戏引擎与 WebGL 引擎渲染效果

(1) 三维实体的可视化渲染

根据物理实体的几何、颜色、纹理、材质等本体属性，以及光照、温度、湿度的环境属性，进行可视化。硬件方面主要是 GPU 实时渲染技术，软件方面主要有 RTC 流计算、多视频 3D 融合、基于深度学习的超分辨，以及实时光线追踪技术。主流技术 GPU 采用 Nvidia 体系,上层驱动 directX 或 OpenGL，各家公司自研引擎,应用于智慧城市以及游戏、医疗等各领域。利用 WebGL\VR\AR\MR\全息投影技术等，可提高对城市地理环境的真实化表达，给人们提供沉浸式体验。WebGL 通过提供硬件三维加速渲染能力，实现利用显卡在浏览器里

展示 3D 场景和模型，支持空间地理数据的可视化表达，可轻松应对复杂 3D 数据的渲染。VR 技术使用户沉浸其中，模拟环境的真实性与现实世界难辨真假，具有较强的人机交互能力。AR 技术将虚拟信息与真实世界相互叠加补充，从而实现对真实世界的“增强”。MR 技术通过全息图，将现实环境与虚拟环境相互混合，即在新的可视化环境里物理和数字对象共存，并实时互动。全息投影技术利用干涉和衍射原理记录并再现物体真实的三维图像的技术，实现虚拟影像跃然于眼前，栩栩如生，令人难辨虚实，视觉效果强烈。



图 4.6 城市实体的可视化渲染效果图

(2) 大数据可视化渲染技术

针对特定数据属性，定向分析数据统计结论，提供数据的系统表现能力，以数据视图的形式动态呈现数据、指标等变化情况，也可针对多类型数据做单一化趋势、变化、状态呈现。

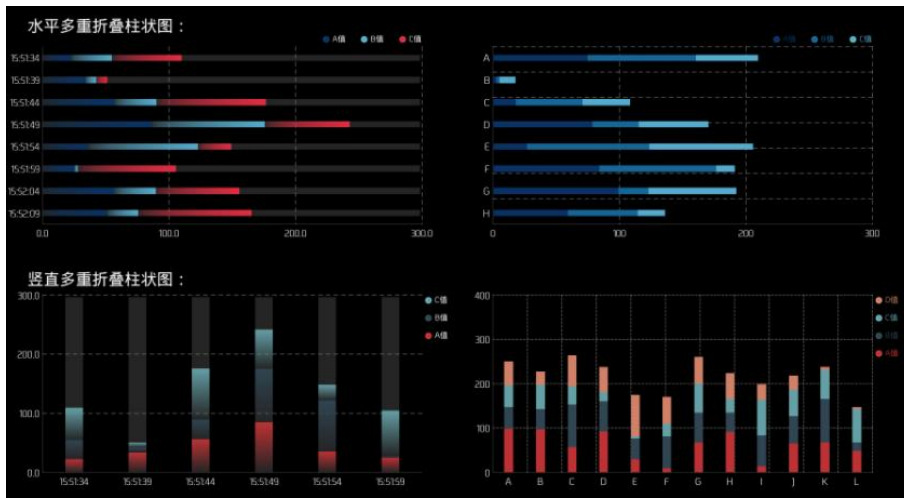


图 4.7 大数据可视化效果图

(3) 业务逻辑可视化渲染

针对特定行业，提供业务管理与业务流程的可视化渲染，根据行业研究经验与行业业务工作界面类型进行业务流程逻辑拆分。事前，用户界面的静态数据呈现，静态业务管理呈现，静态人员及关系元素的呈现。事中，对事件、业务的流程化监控、处理方式监督、执行方案监管进行呈现。事后，回溯事件的产生及发生过程，对闭环业务、闭环事件的全流程可视化。

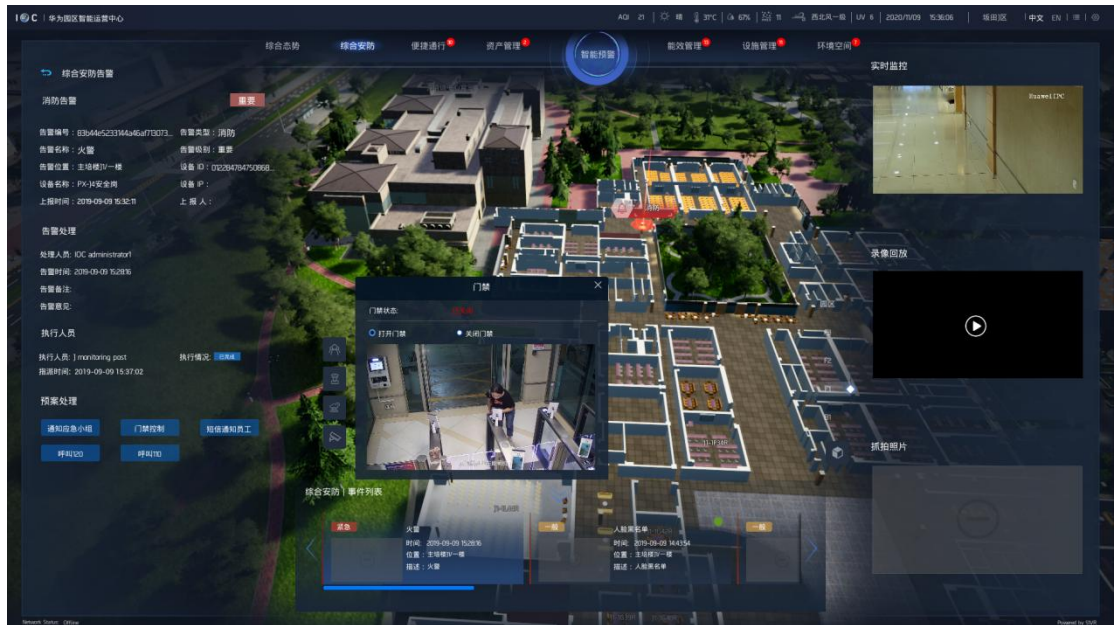


图 4.8 消防告警处置业务流程可视化

4.数据融合供给技术

数据融合供给技术是以城市多源、多类型数据为基础，以城市时空数据为主要索引，构建多层次时空数据融合框架，形成以基础地理和自然资源数据为基础、以政务数据为主干、以社会数据为补充的全空间、全要素、全过程、一体化的时空数据体系。数据供给是指面对物理实体产生的不同类型、不同形态、不同来源的海量数据，在保证数据实时性要求、质量要求的前提下，以数据流方式供给行业机理模型、数据驱动模型，使数字孪生能够更为精确全面的呈现和表达，更准确地实现动态监测、趋势预判、虚实互动等核心功能。

(1) 多源数据融合技术

各空间数据生产厂商从商业角度考虑，推出了不同的加密数据格式，逐渐渗透城市的各行各业，形成了各自为政的数据壁垒，对城市数字底板的构建带来诸多障碍。数据格式转换是首要步骤，指将多种三维模型文件格式、GIS 文件格式、倾斜摄影格式等进行转换，放入

统一的数据格式下进行再组织的技术。BIM 与 GIS 融合方面，指基于 GIS 的地理坐标系，将三维 BIM 模型按空间属性和业务属性进行多数据集的再组织过程。IOT 空间数据融合技术指基于 BIM 模型坐标体系将 IoT 物联网设备进行空间关联和数据关联，以及在大尺度空间体系下，将 IoT 物联点位和 BIM 坐标与地理坐标系进行融合关联，以实现基于空间的传感数据的调取、融合、展示和分析。

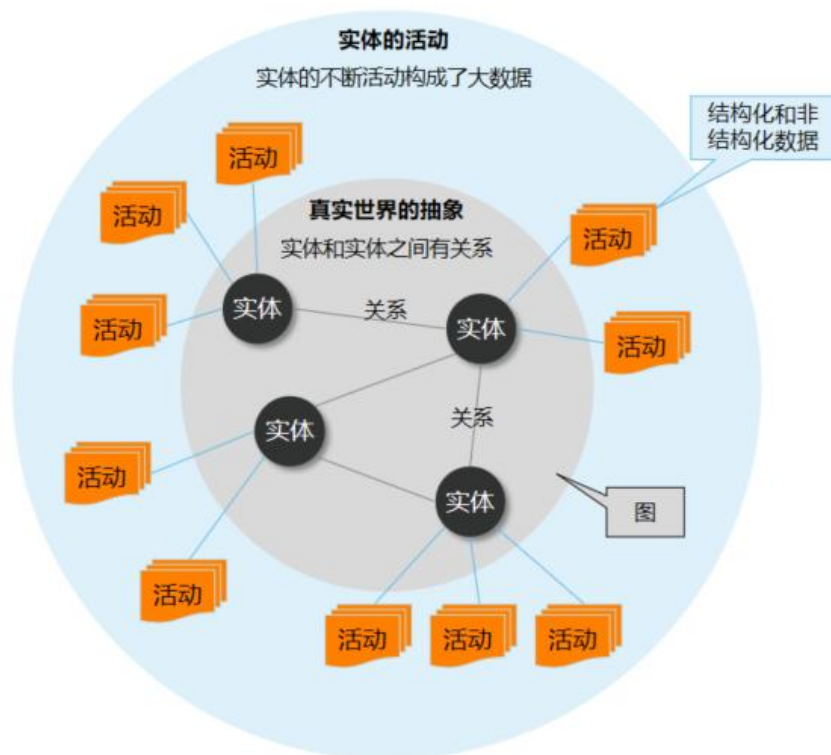


图 4.9 实体数据模型融合

(2) 数据供给服务技术

与智慧城市类似，数字孪生城市应支持统一的数据服务目录功能，基于数据服务目录形成各类数据消费接口的数据组装能力，实现快速数据接口定义、发布以及数据接口的权限控制。支持实时和历史数据接口服务，以满足对实时数据和历史数据的消费场景需求。支持界面化的数据接口服务管理、向导模式和脚本模式来生成 API、界面

化编辑接口脚本实现 API 的创建。

5.空间分析计算技术

空间分析计算技术，是指基于数字孪生城市三维模型，结合时空网格技术、北斗定位服务等，针对具体业务需求，进行空间数据相关计算、分析、查看、展示的能力，包括距离测量、面积测量、体积测量等测量能力，叠加分析、序列分析和预测分析等时空分析，路径规划、漫游定制、可视域分析等场景分析，以及全景图定制以及场景标注等。

(1) 空间测量技术

空间测量技术可在三维场景中进行线段长度测量，闭合图形面积与周长的测量。满足三维空间测距、测地块面积、测城市建筑高度、外立面面积等需求。



图 4.10 空间限高分析计算



图 4.11 空间面积计算

(2) 可视域分析技术

可以展示基于某个观察点，展示一定的水平视角、垂直视角及指定范围半径内区域所有通视点的集合，可以帮助了解城市空间内任一点的可见区域情况。这一工具可以用于安保监控的可视域范围判断，地产招商中视线遮挡判断，旅游景点中的风景评价体系，区域公共资源配置合理性分析，以及通讯中的信号覆盖、森林防火观察台设置等用途。

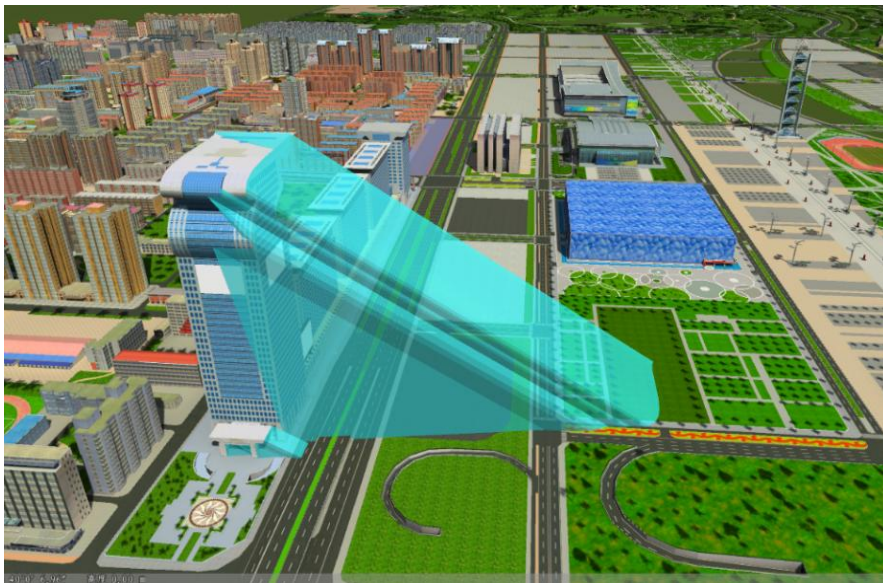


图 4.12 基于光照点的空间阴影分析



图 4.13 基于观察点的可视域分析

(3) 空间路径规划

结合城市 GIS 数据，根据真实世界中的路网分布，实现起始点与目的地之间的最短路径绘制与规划。当发生应急事故时，可以迅速制定应急方案，就近整合调度应急物资，集合应急救援队伍等。

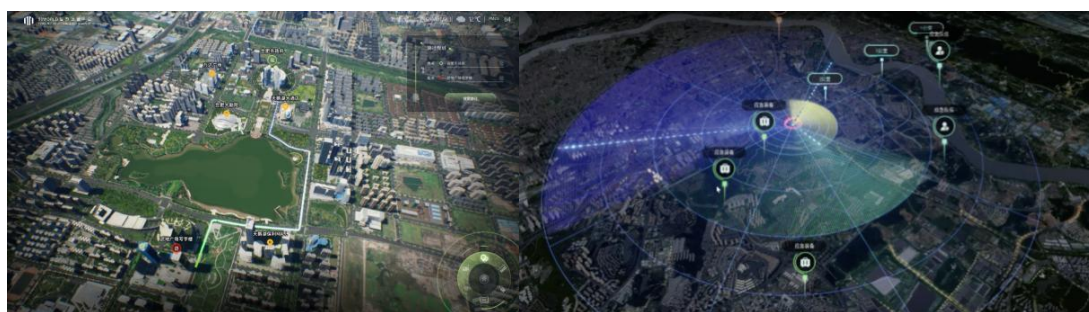


图 4.14 空间路径规划

(4) 空间对象搜索和统计分析

通过制定特定空间区域，快速定位搜索对象，快速统计空间中对象数据等。

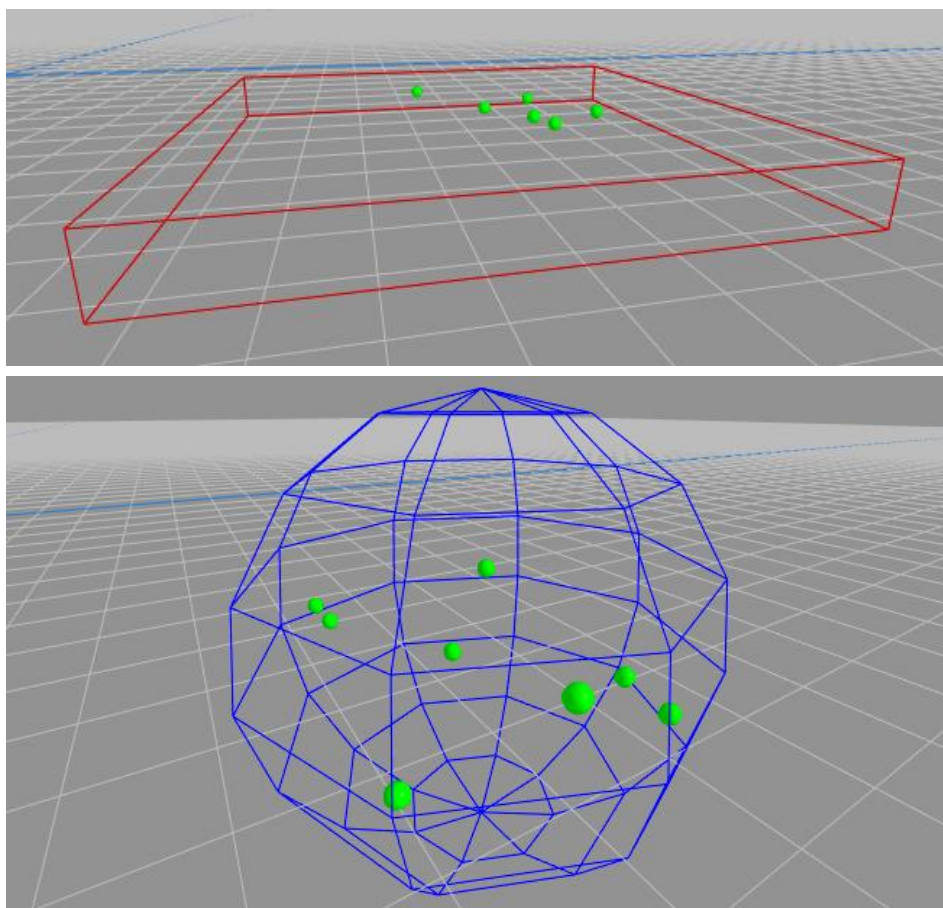


图 4.15 空间对象搜索

6. 模拟仿真推演技术

模拟仿真推演技术，是在数字空间中通过数据建模、事态拟合，进行某些特定事件的评估、计算、推演，为管理方案和设计方案提供反馈参考。与物理世界相比，数字世界具有可重复性、可逆性、全量数据可采集、重建成本低、实验后果可控等特性。在虚拟孪生世界中，可以为城市规划、城市更新、应急方案、无人车训练等方案的评估与优化提供细化的、量化的、变化的、直观化的分析与评估结论。

(1) 空间类模拟仿真

涉及到体积、容积、距离、面积、碰撞、遮挡、强度、刚度等空间矢量参数的模拟仿真，常用在可视域分析、日照时长计算、深度计算、水体气体淹没与扩散、无人车训练、产品设计等典型场景。

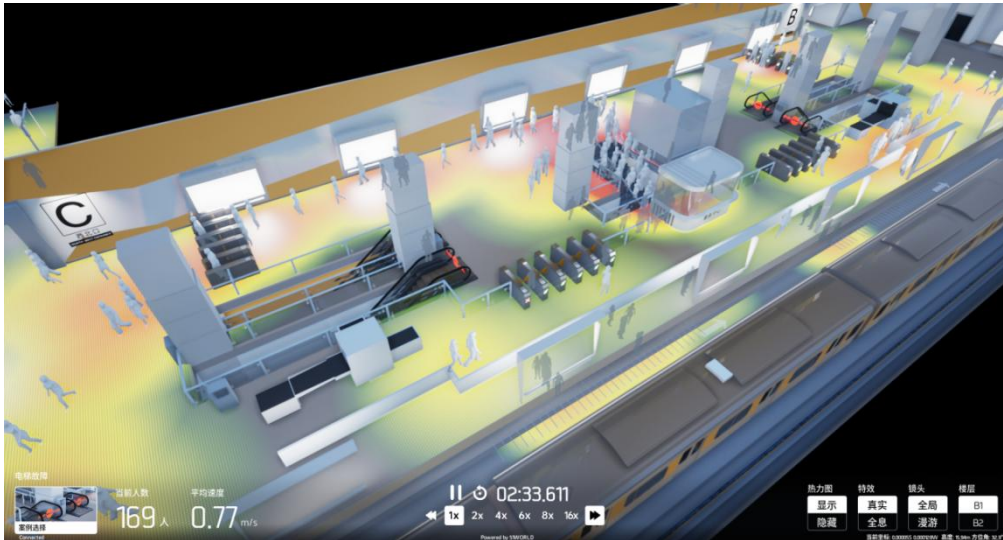


图 4.16 人流疏散仿真

(2) 流程类模拟仿真

涉及到父子级关系、前后拓扑关系、串联并联、节点分散、流转效率等流程参数的模拟仿真，常用在应急事件流程推算、工厂生产流程搭配、物流仓储接驳、交通流量管理等场景。



图 4.17 工厂生产流程仿真

(3) 空间—流程综合类模拟仿真

融合前两类的要素，并叠加复杂的数学计算，常用在应急预案方案评估、人群疏散推演、产业政策调整效果预估、港口翻箱优化场景、

工厂产线单元布置、无人车训练、智能驾驶人机交互、大型复杂综合交通态势仿真推算等。



图 4.18 应急预案按照流程在数字空间推演

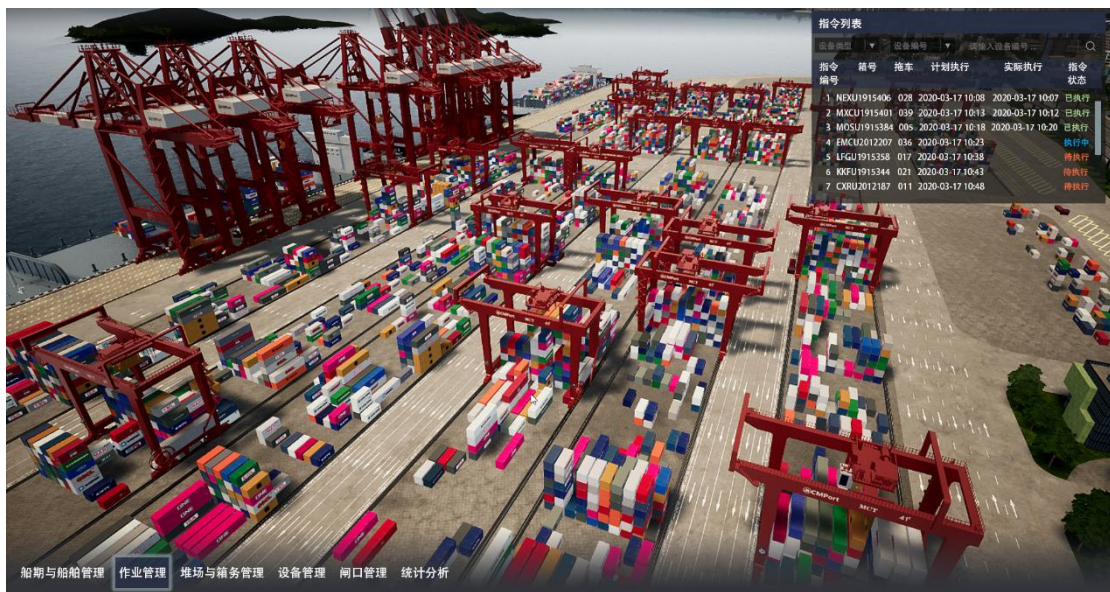


图 4.19 港口工业作业流程仿真

7.虚实融合互动技术

虚实融合互动技术，是指针对具体对象或业务，数字空间与物理空间之间的互操作与双向互动，既能在数字空间再现与影响现实世界，也可在现实世界中进入虚拟空间，二者满足实时、动态、自动、互动等属性。包括数字孪生场景的自动实时动态演变、数字孪生运行

态势自动实时动态还原、数字孪生系统反向干预物理世界、物理世界多入口触达数字孪生系统等多种需求。

(1) 视频虚实融合技术

数字孪生下的视频融合要比常规融合有更高的要求。通过多路镜头重建三维立体空间，糅合在三维数字孪生模型中，实现镜头的聚焦、缩放、切换、视野调整，而非简单的视频贴图。



图 4.20 智慧园区实时视频融合案例

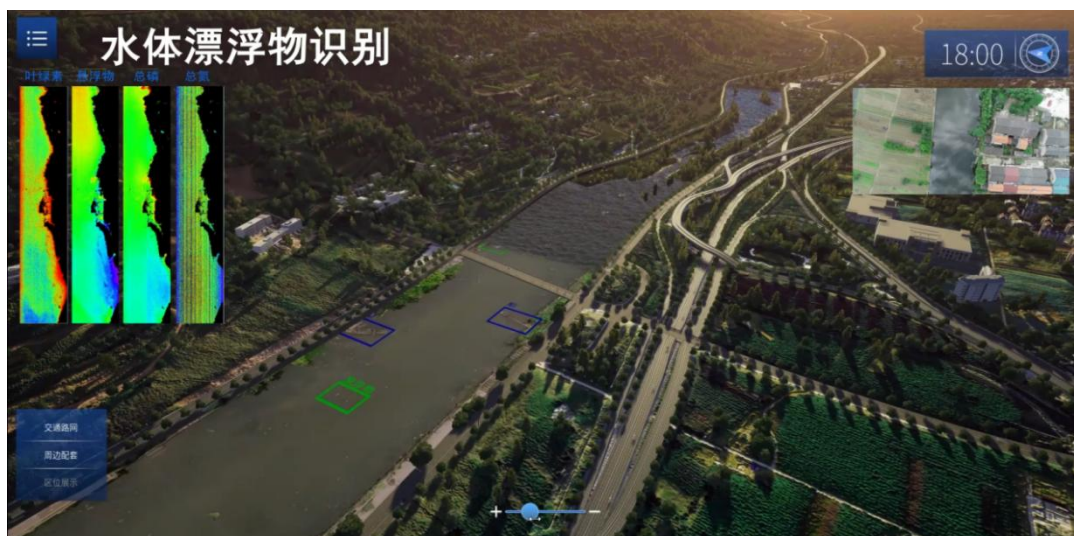


图 4.21 河道无人机实时视频融合监控

(2) 倾斜摄影动态加载技术

智慧城市中倾斜摄影是覆盖面较广、应用时间长、使用成本低的技术，特别是相较于 BIM 和点云。数字孪生城市保持和物理城市的同步变化，倾斜摄影的动态支持显得不可或缺。

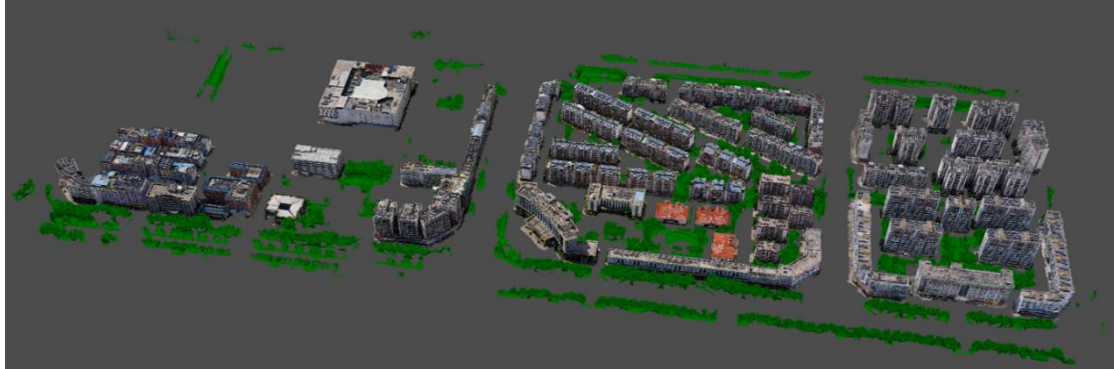


图 4.22 植被倾斜摄影数据与模型动态整合

(3) 跨终端的人机交互技术

针对人员无法进入或者还没有物理实现的特殊场景，通过远程 VR 控制以及 AR 方式，实现人员对物理场景的决策增强。例如通过 VR 进入虚拟厂房进行设备巡检，将真实的设备运行数据实时映射到虚拟场景中，完成厂房的运维巡检维护等工作。通过打通不同控制设备的执行协议，实现对控制终端的操作，完成虚实信息融合和控制融合，实现双融合闭环。

8. 自学习自优化技术

自学习自优化是指利用计算机视觉、机器学习、知识图谱等人工智能技术，实现城市运行数据感知—图像智能识别—知识图谱构建—数据深度学习—智能决策的循环，通过对城市数据的深度学习，推动智慧城市自我优化运行，满足政府、企业、市民的按需、即时和精准决策需求。

(1) 计算机视觉分析技术

使用计算机模仿人类视觉系统，让计算机拥有类似人类提取、处理、理解和分析图像以及图像序列的能力，相关技术具体包括图像分类、目标跟踪、语义分割。目前计算机视觉最广泛的应用是人脸识别和图像识别。城市综合治理、自动驾驶、机器人、智能医疗等领域均需要通过计算机视觉技术从视觉信号中提取并处理信息。

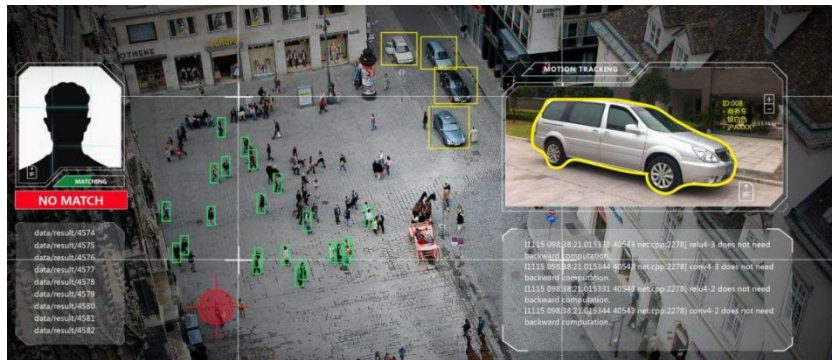


图 4.23 基于计算机视觉的城市治理问题自动发现

(2) 自我学习优化技术

利用机器学习、深度学习、强化学习和知识图谱等技术，通过学习历史事件、发现其中规律、给出优化策略，形成修正决策进而自动优化预案并执行，有效提高城市运行管理与服务效能。



图 4.24 规划方案对比智能自动比对



图 4.25 基于区域特性的智能精准招商

9. 众创扩展技术

众创扩展技术，是在数字孪生城市中枢平台基础上，将城市信息模型（CIM）更新编辑服务、数据集成处理服务、仿真算法服务、行业应用开发服务等应用能力集开放，让面向行业应用的产品设计者、技术开发者、运营管理者等各类群体参与到数字孪生城市建设中，形成能力开放和应用创新平台，为全社会各类应用赋能。

（1）城市信息模型（CIM）更新编辑服务技术

通过 CIM 数据更新编辑 API 开放平台，融合各类实体数据，吸引全社会用户参与实体场景数据采集、实体场景建模、城市级模型加载引擎等方面工作，有力支撑 CIM 与物理城市同生共长，实时同步更新且可编辑。

（2）物联网及业务数据接入处理技术

物联感知数据是城市实时运行数据，是数字孪生城市建设的重要基础，通过搭建标准化、统一的物联网接入与调用平台，提高物联网数据获取的便捷性，简化数字孪生城市和现实世界的对接。

(3) 行业应用及模拟算法服务技术

目前数字孪生城市应用仍处于碎片化开发状态，行业解决方案壁垒较深，导致建设成本高涨，通过进一步解耦、提炼、封装等，构建通用化的行业应用算法模板，为城市规划仿真、内涝淹没分析、交通方案优化、应急疏散模拟等城市治理及各行业精准规划、方案优化提供支持。

(4) 行业应用开发工具技术

面向城市运营管理和各垂直行业的海量数字孪生应用场景的功能应用开发需求。提供行业应用扩展开发工具集，赋能行业应用开发者，结合行业应用场景构建功能应用，实现众创扩展能力，让数字孪生城市实现更大应用价值。

(三) 发展技术挑战

1.多元时空数据融合技术有待提高

一是数据模型多源异构，精度不统一。数字孪生涉及到的领域众多，包括空间数据、感知数据和业务数据等，精度差别较大，在不同领域处理手段各异，存在跨度大、数据不确定性等问题。如何把各种数据进行统一转化，实行标准化的处理手段，是亟待解决的难题。二是数据多源汇聚，坐标系统不统一。由于数据来源于各个部门与不同系统，坐标系五花八门，各式各样，一定程度上给数据融合汇聚带来了重重困难，需要提供格式转换及坐标转换工具实现异构数据之间的融合匹配和平滑衔接。三是编码体系较为混乱，缺乏统一标准。物体、事件的时空编码与业务需求强相关联，业务系统通过标准查询、关联、

汇总功能进行空间相关分析应用。而目前各类业务数据、时空数据与时空编码难以建立关联，亟需统一标准与认证。

2.城市级仿真推演的辅助决策价值有待释放

城市级仿真推演是伴随数字孪生城市建设而逐步发展的一项新技术，受多方面的因素影响，其作用和价值仍有待进一步挖掘。应用场景方面，城市仿真主要用于交通、水、环境等技术较为成熟的领域，碳足迹、应急等领域的仿真技术仍有待发展，难以满足城市管理者广泛的决策支撑需求。结果验证方面，城市仿真结果受现实条件约束，难以进行结果的验证和确认，只能部分支持管理的决策。机制衔接方面，城市仿真应用仍处于试点状态，未实现与城市运营管理流程的结合，建立城市大数据到仿真推演到指挥决策的闭环，充分发挥城市级仿真推演的作用。

3.跨领域多维度的模型融合存在挑战

随着城镇化进程的不断深入和城市发展水平的日益提高，城市级仿真应用涉及的领域愈加广泛，模型种类和复杂度也随之增加。目前各个领域的计算推演模型处于孤立状态，运行平台千差万别，传统的仿真软件基本是“一对一”的模式，不同的软件专门对单一事件进行模拟仿真，实际工作中往往需要同时使用多个仿真软件，而不同软件之间本身存在着标准差异、数据不通等鸿沟。由此可见，模型的整体管理变得愈加繁重，模型切换繁琐，城市跨领域多维度融合应用的高效运行面临严峻挑战，亟需统一框架对各种模型进行整体管理。

4.人机交互的深度体验感有待增强

现有城市仿真软件或工具对数字孪生可视化呈现存在不够直观生动的问题，无法有效展示看不见的事件发生过程以及难以理解的专业概念，使得用户难以全面准确地解读仿真推演结果。数字孪生需要与动画技术、渲染技术、物理模拟技术、虚拟现实技术相结合，对看不见的现象进行可视化，或利用视觉效果作为仿真解析结果的补充，将仿真结果形象生动地呈现给用户，方便用户更加直观高效地理解仿真推演结论，做出城市运营和管理决策。

5.数字孪生仿真推演技术缺乏数据实时驱动支撑

当下，仿真推演主要采用离线方式，通过创建物理模型，导入城市路网、公共交通、环境要素等信息，运行仿真计算，从而得出仿真推演结果并进行分析，过程中大部分工作需依托人工手动完成，暴露出以下几方面问题。一是传统仿真方式的输入条件多为基于业务管理经验的静态参数，缺乏鲜活数据的交互与校验，加之城市运行本身受多方因素动态影响，传统方式模拟出的效果往往和真实情况存在一定的误差，只适用于设计验证、历史数据分析等场景，难以支撑真实趋势的推演。二是传统离线式仿真系统与指挥控制系统割裂，二者间缺乏实时信息流动，仿真结果难以实时传递给指挥控制系统，无法为运行系统提供在线信息支撑和辅助，决策周期较长，难以实现智能干预、智能控制。

6.地理测绘技术缺乏独立创新性

一是遥感系统信息获取能力有待提高。目前我国所使用的遥感

系统在信息获取、数据时效性方面仍待提升，其需要积极提高这一系统的一体化程度，以此来提升数据信息的采集效率和传递速度。二是遥感数据管理效率不高，目前我国在相关方面推行并行与分布式集群管理，这需要加快建立出具备实时性、智能化和自动化特征的系统，从而实现对测绘数据信息的全面分析和处理。三是地理信息产品仍需优化，产品存在的内容单一、技术欠佳、风险偏高问题，可以通过开发信息服务技术来提升地理数据的共享效率和管理水平，并这一过程中提高对安全性和保密性的重视程度。

四、工程难题

（一）国际工程难题

数字孪生城市在实践应用过程中，存在着诸多问题和难点。在物理实体方面，如何实现多源异构物理实体的感知数据与互联互通，实时获取物理实体对象多维度数据，从而深入认识和发掘相关规律和现象，实现物理实体的可靠控制与精准执行有待进一步探索；在模拟仿真方面，如何构建动态多维、多时空、高保真模型如何保证和验证模型与物理实体的一致性、真实性、有效性，如何实现多领域、多学科模型的组装与集成等还需进一步论证；在数据方面，全要素多源异构数据的高效传输，孪生数据与物理实体的深度融合与综合处理，孪生数据与物理实体、虚拟模型、服务应用的精准映射与实时交互等会存在一些工程难题；在应用维度，如何基于多维模型和孪生数据，提供满足不同领域、不同层次用户、不同业务应用需求的服务，并实现服务按需使用的增值增效等，目前还处在探索阶段。上述问题是当前数

字孪生研究与落地应用亟待解决的系列难题。此外，在数字孪生商业化过程中，如商业化平台和工具研发，商业模式推广应用等方面，也存在一些难题有待研究和解决。

（二）国内工程难题

1.推进目的和方向不清，应用场景深度不足

一是有些地区为了蹭热度，概念不清，方向不明，脱离实际业务需求和应用场景，盲目跟风上马数字孪生项目，追求表面的无损刻画、缺乏对业务逻辑的深层理解，忽视对城市运行治理的有效支撑。二是城市规划、建筑管理等行业性孪生应用多，基于数字孪生的城市治理、服务等应用普遍深度不足。由于城市级异构大数据汇集和跨行业跨领域应用还处于初级阶段，各专业、各行业领域的算法模型成熟度不高、尚待沉淀，另一方面，数字孪生模型与数据融合不深，应用主要体现为静态可视化，数字空间的模拟仿真、态势预测等价值远未释放，不少应用以数字孪生之名，行传统信息化之实。三是目前市场缺乏规范的建设指引，数字孪生城市技术的复杂性，使产业界对整体解决方案还处于各显奇能的探索之中，具有长期考量、实现体系化布局、面向深度应用需求的建设方案还比较少。

2.城市信息模型重复建设，孪生底座亟待整合

数字孪生城市源于“一张图”的GIS、BIM、CIM实践，但高于条线“一张图”建设。城市管理部门对城市数字底图都有强烈需求。一般城市至少存在三张底图，即住房与城乡建设系统推进的城市信息模型平台，自然资源与国土规划主导的时空大数据平台，公安政法条

线依托进行城市安全和综合治理的城市底图。每个底图自成体系，一般仅支撑本系统内应用，无法按需、随时支撑其他部门调用，且数据积淀已久，难以放弃也难以整合。长期以来智慧城市条线强协同弱，没有明确牵头部门，即使有些地方成立了大数据局，但协调统筹力度仍然不足，多张底图如何整合，谁来整合，形成城市级统一的数字底图和数据资产，是数字孪生城市建设首先要面对的问题。

3.缺乏统一 CIM 平台规范，数据融通标准缺失

数字孪生城市的核心在于构建 CIM 平台，难点之一是统一时空框架表达。当前，数字孪生城市尚未形成可兼容异构信息系统的统一标准的时空数据底层框架，机构和厂商各自推进，难以确保统一编码、多模态数据的精准融合表达。难点之二是城市矢量时空、建模、政府业务数据、物联网等多源数据的融合处理存在一定困难。矢量数据、栅格数据、模型数据、点云数据等涉及多个专业，存在多种数据采集或设计建模软件标准格式，格式间存在数据融通的壁垒。各部门业务系统数据格式不统一、数据权限不明确、数据对接机制不健全，都将制约数字孪生城市作用的发挥。

4.关键技术存在卡脖子风险，亟待创新突破

当前数字孪生城市涉及的新型测绘、标识感知、协同计算、全要素表达、模拟仿真等多项关键技术自身发展和融合应用还有待加强。海量数据加载技术、云边计算协同技术、模拟仿真技术等成熟度不高；利用人工智能、边缘计算对动态数据快速分析处理能力不足；设计软件大部分由国外企业主导，核心技术自主水平不足，基础研究有待加

强，通过构建软件开源生态，带动基础软件创新突破。GPU 芯片、操作系统、驱动中间件与国外存在一定差距，传感器从技术到成本都不能满足全域感知部署需求，需要靠市场来进行培育。

五、政策建议

（一）技术政策建议

1.推进新型基础设施适度超前建设

新型基础设施是推动面向未来的“数字孪生城市”发展建设的重要基础，应根据城市的社会经济发展水平和实际业务场景需求来统筹规划建设，要做好资金投入与产出绩效的综合评估工作，核算好新型基础设施投资与运营维护的财务成本，找到智慧解决方案与技术保障方案之间的成本平衡点。

2.加快多元异构数据资源整合

数字孪生城市在城市信息模型之上集成了城市的全量大数据，包括动态数据和静态数据，政务数据和社会数据，历史数据和模型数据。因此城市级的数据共享融合，为数据驱动的治理模式夯实基础，是数字孪生城市成功的关键因素。当前各省市大部分地区还在政务信息资源整合过程中，并不能满足数字孪生城市的治理需求，应尽快整合接入社会数据、物联网数据，为数字孪生城市的运行做好准备。

3.构筑统一 CIM 平台

一是建议数字孪生城市建设由城市管理者一把手牵头设立专项工作组，由大数据局或数据资源管理部门作为实施牵头单位，住建局、规划与自然资源局、城管局、公安局等主要部门协同配合，共同参与，

避免条线分割的单兵作战。二是对数字孪生城市 CIM 平台和应用项目进行整体立项，在立项前统一征集各部门对城市一张底图的共性需求。针对现有条线系统的城市底图和数据资源进行评估，选择技术先进、数据完整、拓展性强的 CIM 平台或时空大数据平台，以此为基础扩展成为城市级的 CIM 平台，如果改造成本高、时间长、难度大，那么由大数据局部门牵头，高起点建设新平台也是一种合理的选择。

4. 分级分类推进数字孪生城市建设

一是从局部封闭区域切入，逐步拓展覆盖范围。受管理机制、数据协调和技术成本等因素影响，数字孪生城市应从社区、园区、校园、港口等小范围的封闭区域开始，逐步向城市全域、城乡一体化以及陆海空天一体化的孪生大世界过渡，局部切入逐步外扩。二是建立高低多种配置版本，实现不同孪生颗粒度。充分考虑不同地区采用的数据和信息的类型、数据和信息的颗粒度、数据和信息的时效性等因素，同时考虑场景渲染、数据集成、空间计算、模拟仿真等技术能力成熟度，形成不同孪生精度的配置版本，便于城市（区）管理者选择。三是建立基于统一底座发展多样服务的数字孪生应用体系。针对规划部门、建设部门和社会管理等部门需求，基于城市统一数字孪生平台，分别建立支撑规划、建设、城市治理的数字孪生城市应用体系。

5. 建立相关数据标准

一是加快确立城市信息模型标准。研究制定 CIM 框架标准，形成兼容不同数据类型、不同信息系统的统一城市信息模型，实现多源空间、模型数据准确集成，以及多模态数据融合表达。二是加快完善

多元异构数据融合处理标准规范。将矢量、栅格、网格、模型、点云、政务、感知等各类数据统一格式、编码，形成全周期的数据标准规范，构建多源异构数据的融合处理能力，形成面向 CIM 平台的信息资源与空间位置服务规范标准。三是建立城市级海量数据的实时接入服务标准，研究数据动态加载、数据供给、数据服务等标准，实现跨行业、跨领域的数据实时接入。建立政府与社会各行业数据联动机制，制定数字孪生城市信息共享制度和数据安全保护规范。

(二) 产业政策建议

1. 加强产业生态合作

数字孪生本质是一个知识集成、技术集成、数据集成、算法集成、工具集成、应用集成等智力集成的巨大工程，必须有一个强有力的产业生态提供支撑并进行紧密协作才能成功。产学研应加强战略、技术、标准、市场等全方位协作，针对基础共性技术和应用基础技术，形成齐心协力、协同攻关的局面。

2. 开放数据资源整合共享和开放

政府层面，一是应主动开放数据资源，为数字孪生城市技术方案和应用场景迭代开发与测试验证创造条件，促进建设方案不断成熟，应用不断深化。二是政府应从机制上进行变革，建立适应数字孪生技术架构的管理架构，才能更好地推动城市治理现代化发展。三是制定年度开放数据发展战略，推动社会开放数据分析、开发能力建设，推进各类商业服务模式创新。条件成熟的城市可以搭建众包数据开放实

验室，建设支撑政府管理服务和产业创新发展的共性应用平台和新技术使能平台，为城市数字经济发展和全域智能化管理全面赋能。

3. 大力发展数字孪生领域相关技术产业

一是落实对数字孪生技术产业的财政扶持措施。鼓励和引导国有企业和社会资本等多元主体加大对数字孪生技术产业投入力度。出台支持数字孪生技术相关科技创新、产业发展、示范应用等细分领域扶持政策。加大财政相关专项资金投入力度。二是加强数字孪生城市基础研究。真正达到精准映射、孪生并行、虚拟服务现实的要求，都有大量的基础理论需要深入研究，大量的技术方案需要探索，大量的应用场景需要验证，大量的机制规范需要突破。在创新实践的同时，应加强基础研究，筑牢数字孪生城市根基。

六、 应用案例

（一）广州“穗智管”城市运行管理中枢项目

1. 案例概述

“穗智管”城市运行管理中枢按照数字孪生、万物互联、实时感知、运筹帷幄的建设原则，构建与物理城市映射融合的数字孪生城市。作为城市运行管理的总枢纽、总平台、总入口，领导决策的指挥部、驾驶舱、调度台，“穗智管”通过城市运行体征和事件进行运行监测、预测预警、协同联动、决策支持、指挥调度，实现“一网统管、全城智治”。

广州市智慧城市运行中心以城市管理和城市发展需求为导向，整合城市信息模型（CIM）平台、四标四实平台、时空云平台、视频云

平台等全市数字化资源，建设 AI 中台、区块链基础平台、数据中台、融合通信系统等，同时融合互联网平台人口、交通热力大数据，搭建灵活开放的一体化底座，实现云、网、数互联互通，支撑城市管理“看全面、管到位、防在前”，探索符合超大型城市特点和规律的治理新路子，打造广州成为超大型城市治理的标杆。

2.场景应用

场景 1：结合 BIM，实现城市重点地块规划、建设一体化管理

广州琶洲试验区作为广州人工智能与数字经济试验区核心片区，整体定位为广州“数字+会展+总部”融合创新的产业新高地。“穗智管”城市运行管理中枢集成该片区（包括腾讯广州大厦在内）的建筑信息数据，实现城市信息精细模型。

腾讯广州大厦建设项目利用“BIM+二维码”，随时查看项目技术交底、验收信息、节点做法等信息，同时创新尝试建筑构件按需生产、协助生产的流程优化。

结合高效渲染、模拟仿真、数据分析、物联监测等能力，如海心沙珠江步行桥 BIM 模型嵌入平台后，准确展示设计成果与城市三维空间的关系，模拟人的视角进行空间布局、城市景观等方面的推敲，支撑科学决策。

场景 2：历史文化街区漫游

为进一步夯实历史文化名城保护工作基础，项目通过保护对象建档和开展“CIM+名城”数字化建设工作，构建重要历史地段三维模型和历史文化街区倾斜摄影，为历史名城保护工作提供数字化能力。

“CIM+名城”数字化建设，在数字化测绘建档的基础上，结合住建部的城市信息模型（CIM）平台建设试点工作，主动探索利用激光雷达、倾斜摄影、BIM 等空间信息技术，创新性地将永庆坊、荔枝湾涌的三维测绘档案信息融入数字化审批管理工作。通过历史街区漫游，我们可以掌握街区目前保护工作开展的情况，并掌握每一栋重要建筑物的结构和分布，为进一步保护、开发和利用历史文物建筑提供数字化，可视化支持。

项目采用低成本人工智能自动生成城市模型。首先，AI 算法可基于卫星图片、互联网地图 3D 白膜、地形图等内容生成交通路网，然后结合建筑物高度数据拉伸出 2.5D 的建筑模型。最后，利用丰富的城市模型素材库快速生成 CIM1-3 级城市模型。



图 1-1 广州 CIM+名城概览图

场景 3：城市应急水淹没仿真

根据应急管理业务需求和辖区防汛防风自然灾害要求，项目在不改变当前城市排水系统的前提下，以水文、气象、排水设施、水利工程、物资、人员、视频、遥感、地理信息空间等数据为基础，结合城

市地表产流、汇流、排水管网等城市水文学模型（3D 仿真）与电子地图，建设并集成内涝监测、内涝模拟与分析、内涝预测预警、三防风险隐患管理和大屏综合应用展示等功能于一体的“三防专题系统”。

基于 3D 仿真模型，结合积水预测数值模型对易涝点积水深度、积水面积预测分析结果，根据某区域积水涨势速度，动态模拟某区域水位由最小高程涨到最大高程的淹没过程，实现易涝点未来积涝演进行为的可视化模拟，为防洪救灾提供一定的参考。

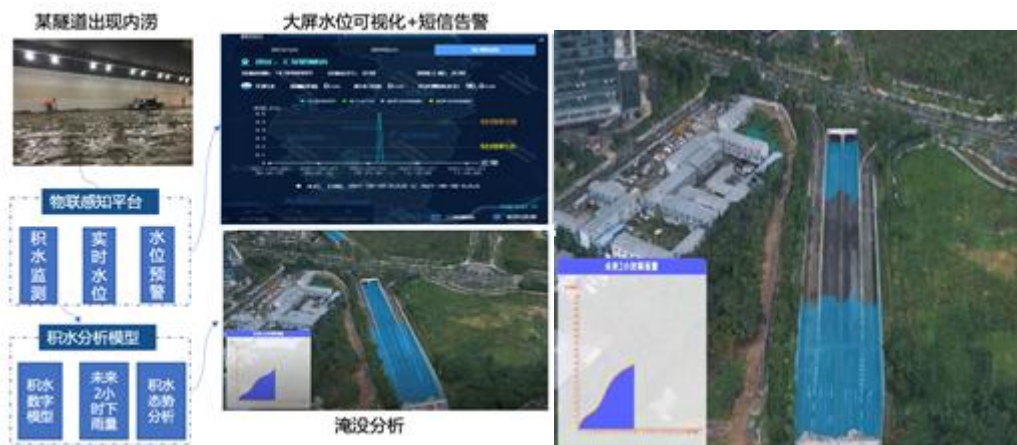


图 1-2 城市应急水淹没仿真流程图

3.案例总结

项目通过建设物联感知、大数据、城市信息模型 CIM、AI 智能平台、区块链、安全、业务运营等基础设施，构筑“穗智管”数字底座，为全市各部门业务智慧化管理提供关键的预测预警、协同联动、决策支持、指挥调度支撑能力，助力城市数字化转型。

率先建设城市级“实景三维中国”基础平台。项目完成了 7434 平方公里测绘影像，23 平方公里现状城市三维信息模型建设，构建一个全域全空间、三维可视化、附带丰富属性信息的时空数据基础平台。

首创城市治理要素数据五张图，全时域感知城市心跳和脉搏。广

州市智慧城市运行中心全面排查梳理全市服务管理要素，通过数据汇聚和系统集成，在全国率先建设人、企、地、物、政五张全景图，对接业务系统 115 个，汇聚数据超 30 亿条、高清视频 30 多万路、感知设备 11 多万个，形成城市体征数据项 2641 个，构建自然资源、交通运行等 8 大类 211 项指标的城市运行评价体系，建立起城市“秒级监测、智能预警、每月体检”的城市运行效能评估机制。

构建“广州特色，一图 20 主题”的治理场景。以“高效处置一件事”为目标，“穗智管”打造了“羊城先锋”“疫情防控”等一体化应用专题，建成泥头车跨部门综合治理、三防综合指挥调度、重大节日专题等跨部门跨层级跨领域综合应用场景，实现对城市交通、基础设施、公共安全、生态环境、社会经济等重点领域运行状态的实时监测、快速预警、主动预防。

（二）郑州智慧岛数字孪生底座和信息模型

1. 案例概述

项目通过物联网、机器视觉、BIM、GIS 等技术，对智慧岛大厦楼体、房间、墙体等建筑结构建模，对岛内基站、灯杆、管廊、道路等基础设施进行孪生打造，构建郑州智慧岛城市之“眼”，实现智慧岛数字孪生底座和信息模型建设，形成与物理世界 1:1 的数字孪生世界；借助 5G、云计算、大数据、AI 等数字技术优势，助力郑州智慧岛全方位“感、知、传、用”健康脉动，激活城市的“眼、脑、手、脉”，驱动城市生命体不断迭代生长。

建设基于数字孪生的智慧岛城市大脑中心，汇聚近 5 亿条数据

信息，包含招商、产业、安防、政务、交通、生活服务等各领域，基于 AI 能力开展产业发展、全景实验室、智慧楼宇、立体安防等主题业务，对全岛日常运营进行“一体化”分析和智能化管理。“大脑”为智慧岛提供监控仪表盘，对全岛进行全方位动态监测，实时感知城市脉动；基于物理空间资源，为岛上产业发展、居民生活提供数据分析与可视化呈现；将城市产业、交通、政务、生态等业务数据直观传递给城市管理者，提升现代化治理能力。



图 2-1 智慧大脑城市中心架构图

2.应用场景

场景 1：基于数字孪生园区，提升园区现代化管理水平

基于全岛构建的楼宇 BIM、地上地下一体化数字孪生场景，实现了智慧岛及周边区域不同层面的 BIM+GIS，包括 370 平方公里东区影像，12 平方公里的倾斜摄影，岛内楼宇分层分户 BIM，及 2 栋大楼的 BIM 精细建模，通过接入楼宇的 IOT 运行数据（烟感、消防感应等）、视频监控、停车位、用水量、用电量等能耗数据，打通了门

禁、消防、电梯、广播、视频等信息，实现 1:1 的动态本体、特征映射、时空关联、数据交换的数字孪生世界的运行，为楼宇运营服务提供有力支撑，提升园区精细化管理水平。



图 2-2 楼宇运行监测实景图

场景 2：基于 BIM 的物联感知监测辅助楼宇应急处置

智慧楼宇利用物联网感知、GIS 地理信息、BIM 全息化模型，提取建筑空间结构后，在虚拟的城市平台内显示建筑所在位置、内部结构、周边路况、消防车道、消防水泵位置、烟感位置等信息，在楼宇发生应急事件时，基于 BIM 快速定位事件位置，了解楼宇内部空间结构，并调用周边视频进行监控确认，实现从“传统消防”看图纸向“信息化消防”看 BIM 的转变；实时展现大厦消防设备运行状态，对能耗情况以及资源使用情况进行全方位展现，并对楼宇发生的安全事件和消防事件进行监控和应急调度。



图 2-3 楼宇应急处置图

场景 3：基于数字孪生的城市地下管线开挖分析应用

按照全域“数字孪生”理念，将 5G 基站、智能交通灯、地下管线、楼宇等连入运营中心全域数字化 3D 地图，为创新业务的孵化提供良好的数字生态环境。比如，当前园区尚处于楼宇建设期，容易造成破坏地下管线，而平台基于 BIM+GIS 数据，对水、电、气、暖、通等各类地下管线进行可视化呈现，在城市动工开挖之前通过平台可查询管线的埋深及交叉关系，能够清晰准确地看清地下管线的布置的深度、粗细、大小、类型，让我们的城市地下管道变得更加的“聪明通透”。

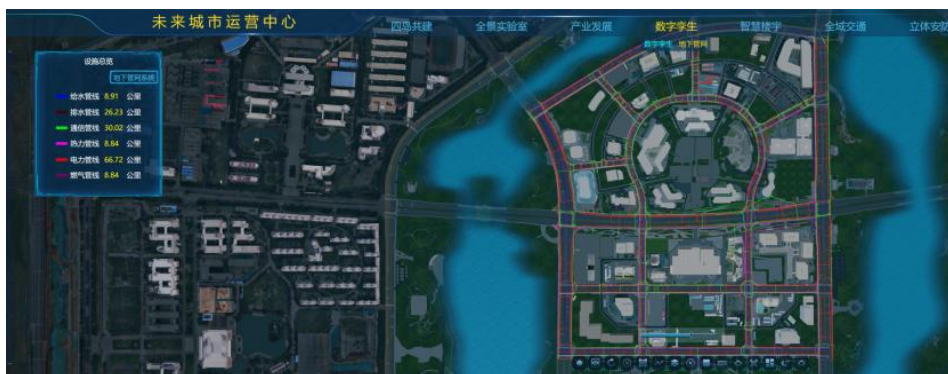


图 2-4 地下管线可视化呈现图



图 2-5 管线开挖分析图

场景 4：大数据融合，助力精准招商及产业发展监测

平台通过 BIM+GIS，对园区土地资源、楼宇资源、人才资源等产业要素进行可视化呈现，让招商要素精准匹配招商工作，并基于构建的大数据招商资源库，对企业进行精准画像，提升大数据企业招商效率及招商质量，对重点楼宇及楼宇内企业状况进行可视化监测，将楼宇招商资源、企业分布、利用效率、环境成本、楼宇税收、发展态势等信息融合进行呈现，结合图表分析，直观呈现智慧岛楼宇经济及楼宇资源使用情况。



图 2-6 基于 BIM 的招商企业分布图

场景 5：基于数字孪生+5G 应用，助力园区安防全监控

5G 无人机辅助城市综合应急演练。无人机巡岛过程中实时视频画面回传到大屏端，及时发现各类异常事件，并对岛上的大型活动提供安保服务。



图 2-7 无人机安防巡检

5G AR 眼镜巡查实验。安保人员通过 AR 眼镜的巡查模式对人脸实时抓拍，回传照片比对数据库中信息，从而判断是否为异常人员，再进行后续行动。



图 2-8 AR 眼镜安防巡检

5G 无人船违法游泳驱离演练。无人船巡湖模式实时监控龙子湖垂钓、野泳、岸边玩耍等各类违禁事件和溺水等危险情况，快速到达事件发生地，回传现场画面并对异常进行告警，通过喇叭功能告知相关人员驱离或开展救援。



图 2-9 无人船巡河

3.案例总结

郑州智慧岛数字孪生底座实现了智慧岛及周边区域不同层面的 BIM+GIS，包括 370 平方公里东区影像、12 平方公里的倾斜摄影、地上市政设施和地下城市生命线的的数据信息，实现智慧岛全岛数字孪

生世界构建，通过构建精准招商、产业监测应用，实现全岛产业发展运行辅助决策，提高岛内安防保障及应急事件下的协同处置。通过智慧楼宇、地下管网应用建设，提升城市管理水平，实现一图摸清全岛设施设备分布，为智慧市政提供有力的数据保障及实验场景。

智慧岛作为国家大数据（河南）综合试验区的核心区、先导区，已经形成了独具特色的大数据、基金、双创、人才的产融生态圈。智慧岛产业规划以龙子湖湖心岛为起步区，以环湖 12 所高校双创基地为支撑，以白沙大数据产业园及云湖智慧城为拓展，以白沙园区科学谷为延伸，最终形成“一岛一环两园一带多点”的空间发展布局。

（三）全景富阳打造“建筑物沉降监测和风险控制”专题场景

1.案例概述

根据省市大数据局的总体要求，针对目前富阳区富春街道主城镇 3585 幢老旧房日益老化加重、肉眼监测难、直观展现难、城市老旧房治理难问题，富阳区积极推动并且成功列入全省数字孪生建设试点单位。8 月 12 日吴玉凤书记听取相关汇报后指出，要积极探索先进的城市治理方法、治理手段，构建全区数字孪生体系基础平台，同时明确了重点场景。区数据局立即组织相关力量，搭建专班，8 月 23 日专班入驻区行政服务中心开展工作。

富阳区富春街道春晖社区老旧房为数字孪生“建筑物沉降监测和风险控制”试点区域，打造“一平台、一底座、一应用”，一平台即数字孪生基础平台，包括二三维服务发布平台、大数据可视化平台、

CIM 语义扩展模块、物联网平台；一底座即富阳数字孪生底座数据，包括富阳全区 1821 平方公里三维地形生产，银湖街道和富春街道 100 平方公里倾斜摄影数据处理，生产 4D 数据成果，29 幢房屋精细化模型建设和实体语义建模生产；一应用即建筑物沉降场景化应用，以数字孪生底座为基础，具体建设运用 CIM、GIS、PW(Parallel World)等数字孪生技术，对试点区域进行数字化、语义化和精细化建模，构建试点区域三维立体式城市空间，融合物联网沉降监测传感器数据，运用房屋风险智能研判算法，实现在数字孪生底座上沉降监测的三维可视化呈现、一房一档、沉降监测、风险预警的应用场景，进一步结合公安局、住建局、街道办等相关处置部门，对老旧房屋管理处置的流程进行数字化改造，以数字化映射方式对城市进行治理和管理，发挥数字孪生体系优势，进一步实现城市智治，推进政府治理体系和治理能力现代化。

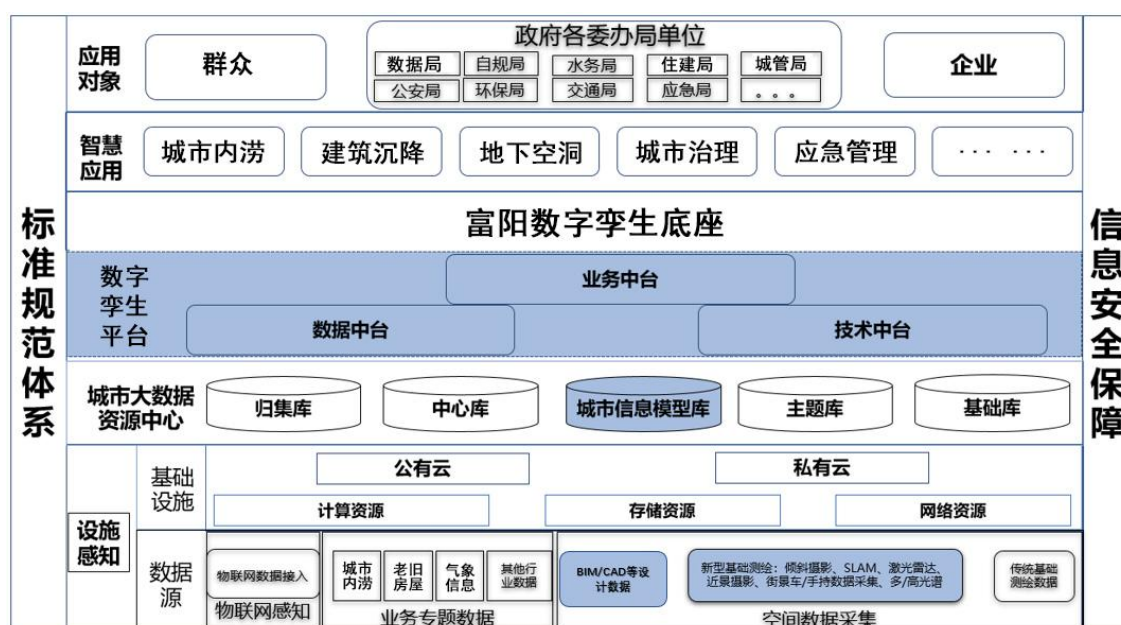


图 3-1 平台架构图

2.应用场景

场景 1：三维数字孪生城市场景

充分运用倾斜摄影、激光雷达扫描等多种新型测绘手段，基于采集数据进行数据处理与制作，实现对富阳全区 1800 余平方公里三维地形、100 平方公里街道核心区实景三维、1 平方公里的精细化老旧房屋模型以及 1.5 公里的精细化隧道模型数据的集成，建成富阳数字孪生全景图；通过数字孪生三维及大数据可视化能力，将实体三维高度还原于虚拟世界中，并基于富阳数字孪生基础底座，打造建筑物沉降监测及城市内涝监测两大应用场景，推动数治富阳持续发展。

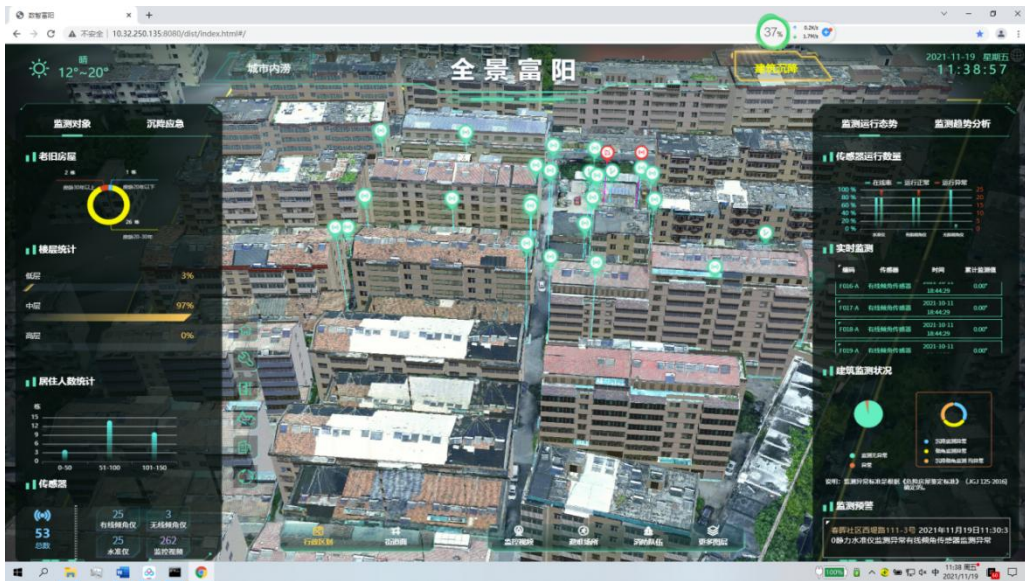


图 3-2 精细化老旧房屋

场景二：隧道内涝态势与交通引导设施联动

通过对隧道内地势低点积水水位的实时监测，并结合降雨量、污水、雨水泵房的排水量等关联态势数据，基于富阳数字孪生底座平台，对隧道内涝态势进行动态评估及态势发展分析，并通过平台系统对接

隧道出入口的道路交通指示牌/交通灯等设施，实现反向控制和态势指挥联动，对计划通行隧道的车辆进行及时的预警和提示，提前进行绕道行驶，指挥交通引流。



图 3-3 运行态势



图 3-4 监测趋势

场景三：全要素数据化表达

富阳数字孪生全景图，将全区地形地势、建筑、道路、水系、隧道以及包括监控、避难场所、超市、医院等各类应急资源要素数据进行集成汇聚，实现了富阳数字孪生场景全要素数据化表达展示和应

用。



图 3-5 富阳市总体情况概览

场景四：数据融合支撑建筑健康风险评估

在建筑沉降监测的数字孪生应用场景中，系统通过将全区三维实景数据与建筑语义化结构数据、城市资源空间数据、各类建筑物沉降相关的传感器监测数据进行数据融合，作为建筑物健康风险评估的基础数据信息，建立建筑物健康风险评估模型和健康风险变化趋势预测模型，实现对富阳老旧房屋建筑的健康风险实时监测预测应用。



图 3-6 建筑风险评估

场景五：基于空间分析的应急处置资源智能推荐

在建筑物沉降监测应用专题和城市内涝监测应用专题中，将在应急相关资源进行对接入库，并进行空间化处理。在监测应用专题中，提供基础资源一张图的展示，并在对应沉降事件和内涝事件的场景下，提供应急处置环节相关辅助能力，实现基于应急资源数据的空间分析计算和对建筑物周边最近的应急资源和力量的智能计算，为应急处置决策提供辅助依据。



图 3-7 沉降应急资源



图 3-8 内涝应急资源

场景六：模拟仿真推演

基于城市隧道内涝监测场景，通过实时监测数据（如实时积水监测、实时降雨量、实时污雨水管道排水流量），未来预测数据（如未来降雨量）以及基础设施能力（如泵房排水流量、管道排水承载量）等数据信息，实现对未来 1 小时内和未来 5 小时内，隧道内涝积水变化预测，同时结合三维隧道场景，实现隧道积水态势的模拟仿真演示。



图 3-9 金家岭隧道里内涝模拟（无水）

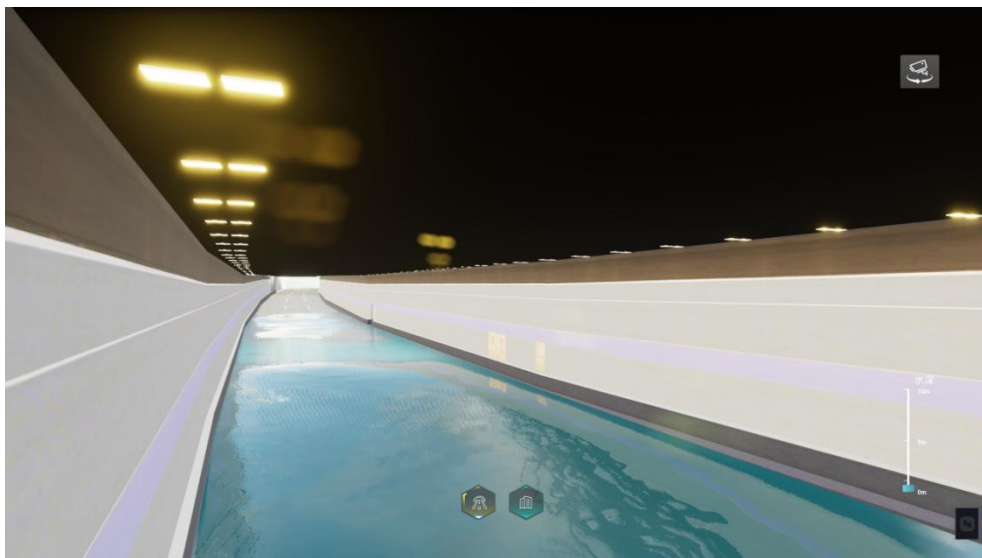


图 3-10 金家岭隧道里内涝模拟（有水）

3.案例总结

经济效益：自 2011 年以来，富阳区房屋意外倒塌 7 起，共造成 7 人员死亡，12 人受伤，造成了严重的人员伤亡和无法预计的经济损失及负面影响，从历年事件信息得到所有倒塌房屋建造年代均在 2000 年以前，且房屋房龄和房屋倒塌数呈正比。据富阳区住建局统计，当下仅试点所在富阳区富春街道的主城镇房屋，建造年代在 2000 年以

前共 3585 幢，其中 90 年代 2966 幢，80 年代 577，70 年代 24 幢，70 年代之前 18 幢，随着房屋的房龄递增，房屋的安全风险也逐步增加。通过“全景富阳”数字孪生体系建设项目-“建筑物沉降监测和风险控制”专题应用实施总结，针对不同类型建筑、不同建造年代、不同的周边环境属性提供加强版、标准版、简化版三种针对性的沉降监测方案，据目前统计只有约不到 0.5%建筑需要采用加强版方案，30%采用标准版方案、70%采用简化版方案，可测算出平均每幢房屋的实施成本约为 28000 元，充分彰显了该系统起到对房屋安全的监控预警作用和人民群众的安全保障作用。

社会效益：自“全景富阳”数字孪生体系建设项目-“建筑物沉降监测和风险控制”专题应用系统 10 月 20 号上线以来，春晖社区旧改范施工范围建筑沉降监测试点已累计巡检 1 个月，系统预警 21 天次，预警西堤路 111-3 幢房屋安全风险等级原为低风险，后为中风险，现为高风险，预警西堤路 111-1 幢房屋安全风险曾出现过异常报警，经过系统智能研判后，按照《建筑物沉降监测试点处置流程》通知了街道处置人员、住建局相关人员，进行后续流程处置，真正的让富阳城市老旧房治理的堵点难点问题，从原先“人工巡逻、肉眼观测”无法准确量化建筑物沉降的危险等级，无法预知提前预警，变为“数字巡检、系统研判”，再重塑配套部门监管服务职能，优化日常考核督查体系，实现全链条闭环管理，提升城市治理能力。

（四）广州市白云湖大道数字孪生城市更新平台

1. 案例概述

广州市规划和自然资源局白云分局于 2020 年开始实施针对白云湖大道的全要素品质提升方案设计项目。需求方希望能够通过从有利于提高城市整体空间质量、保持城市活力、促进资源共享的角度出发，利用相应的技术手段进行道路品质提升研究，突出城市特色塑造及街区空间的重塑，制定白云湖大道品质提升方案。

广州城市规院通过利用数字孪生城市更新平台加载白云区全域倾斜摄影数据，对白云区进行精准的三维数字还原；通过接入白云湖大道附近球形摄像头数据，实现了对白云湖大道交通状况的实时监测分析；基于深度学习算法对道路几何特征、各类车型于行人进行识别、提取与统计，实现交通流精准画像；基于道路两侧建筑、土地的权属信息和街区地块政策信息，构建拆迁成本估算模型，实现对任意指定区域拆迁量、拆迁成本统计；基于参数化建模技术实现对道路两侧建筑的动态建模，通过修改参数调整街区布局，对建筑类型、样式、外立面风格、道路细节如铺装、栏杆、进行快速调整；通过双引擎架构实现 GIS 平台，与三维渲染平台的深度融合，在数字孪生平台上实现三维 GIS 场景分析、多种天气和全天 24 小时光影模拟，以及不同视角的城市三维场景漫游。

2. 场景应用

城市更新业务涉及大量的土地、房屋权属确认工作。在日常工作中经常存在不同时期、不同权属房屋在空间上复杂交错的情况。传统

GIS 平台难以对以上情况实现直观清晰且准确的表达，不能满足城市更新业务的需要。本研究尝试使用数字孪生技术对城市场景进行精准刻画，通过接入物联网数据实现对研究区现状的感知与分析，利用数据中台技术完成拆迁量统计与拆迁成本核算，在此基础上通过双引擎架构对 GIS 平台与三维渲染引擎实现深度融合，实现对三维场景的 GIS 分析与模拟仿真，最终显著提高了城市更新业务的工作效率。

场景 1：城市三维场景精准还原

倾斜摄影数据可以以大范围、高精度、高清晰的方式全面还原城市三维场景。然而由于倾斜摄影数据量通常在 TB 级别，对海量倾斜数据的调度、计算和渲染非常容易造成渲染瓶颈。当场景处于大、中比例尺下时，单一的前端渲染需要从后端调取大量的资料进行渲染和计算，容易造成卡顿或延迟等问题，无法为用户提供快速的、流畅的使用体验感。

数字孪生城市更新应用示范平台基于双队列调用机制实现 TB 级倾斜摄影数据秒级加载与调度，同时启用独立的线程对加载后的倾斜数据进行延迟渲染，使用视图视锥剔除和遮挡剔除相结合的方式构建剔除（拣选）策略函数以优化渲染时间。最终实现对广州市白云区 665km²，超过 10TB 倾斜摄影数据的流畅加载与调度，真实还原了白云区三维场景。



图 4-1 广州市白云区三维场景精准还原

场景 2：基于物联网数据的交通感知

通过接入白云湖大道附近球形摄像头数据实现了对白云湖大道交通状况的实时监测。利用 YOLOv3 深度学习网络对视频流数据进行自动识别，并从以下方面对视频数据进行分析：（1）道路几何特征提取：识别车道线、车道功能标志、人行横道线、分隔带等交通标志；（2）交通流量测算：基于车型识别结果，对各类车型、行人、非机动车等交通参与者流量进行分类统计；（3）交通安全分析：综合车辆轨迹、加速度、车辆间距等参数，综合判定交通冲突并分级，识别交通冲突点空间位置；对非机动车占用机动车道、未戴头盔、闯红灯等行为进行实时监测。

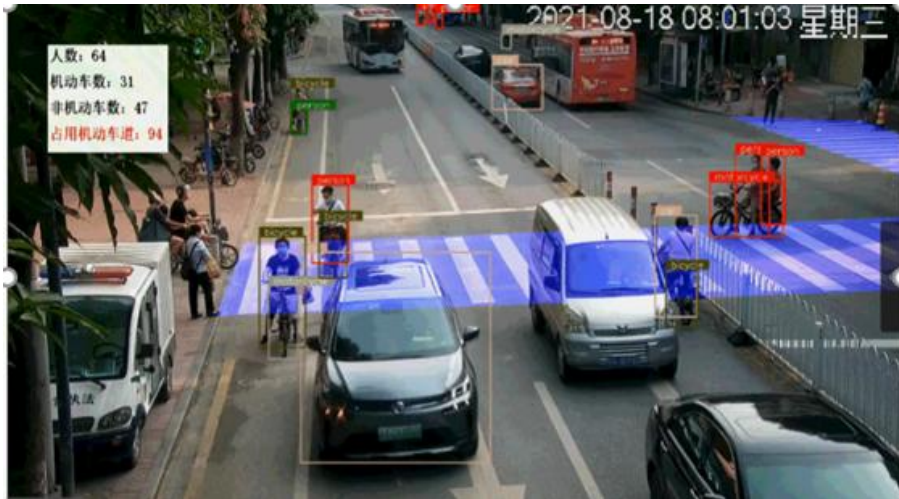


图 4-2 交通摄像头视频实时分析

场景 3：拆迁量统计与拆迁成本核算

白云湖大道改造工程需对沿道路两侧建筑制定拆迁补偿方案，数字孪生城市更新平台利用强大的数据中台能力，实现对白云湖大道沿线任意指定区域的土地权属、房屋栋数、占地面积、建筑面积、拆迁量的查询、统计。同时，通过建立城市更新拆迁成本核算模型，平台可实现对任意指定区域的拆迁成本统计，包括前期费用核算、拆迁费用测算、复建费用测算、其他费用测算等信息。



图 4-3 数据中台支持下的拆迁成本核算

场景 4：白云湖大道改造方案三维模拟仿真

通过对白云湖大道视频流数据进行智能识别与统计，规划人员详细了解了白云湖大道的交通现状，完成了白云湖大道的交通需求分析；通过对沿道路两侧建筑权属和拆迁补偿成本进行详细核算，结合交通需求分析结果，规划人员制定了白云湖大道的品质提升方案，并在数字孪生城市更新平台中进行了三维模拟仿真。



图 4-4 数据中台支持下的拆迁成本核算

场景 5：白云湖大道改造方案三维场景分析

对建模结果进行三维 GIS 分析（如可视域分析、通视分析、天际线分析），分析地形标高、建筑体量、及道路水平的关系，根据分析结果对对整体空间的功能、视线走向，道路交通，景点布置提出修改意见，并依据分析结果对道路两侧建筑改造方案进行调整，实现多种天气模拟、全天 24 小时光影模拟、不同视角的城市三维场景漫游。



图 4-5 白云湖大道三维场景分析

3.案例总结

数字孪生城市更新系统从四个方面有效支撑《白云湖大道环境品质提升》项目建设：

(1) 城市三维场景精准还原。城市更新业务涉及大量的土地、房屋权属确认工作，对三维场景表达的精准性有着极高的要求。本系统基于双队列调用机制实现对广州市白云区 665km²，超过 10TB 倾斜摄影数据的流畅加载与调度，真实还原了白云区三维场景，显著提高了城市更新业务中确权工作的精度与效率。

(2) 物联网交通感知。通过接入白云湖大道附近球形摄像头数据实现了对白云湖大道交通状况的实时监测。利用深度学习算法对视频流数据进行自动识别，完成了白云湖大道的交通需求分析，有效指导白云湖大道改造方案的制定。

(3) 拆迁量统计与拆迁成本核算。基于数据中台技术实现对沿道路两侧任意指定区域的土地权属、房屋栋数、占地面积、建筑面积、

拆迁量的查询、统计。根据白云区各更新规划的量化计算需求，完成7个城市更新成本核算模型的开发与测试，实现对任意指定区域的拆迁成本（包括前期费用、拆迁费用、复建测算、其他费用）的在线测算。

（4）改造方案模拟仿真。在数字孪生城市更新平台中对改造方案进行三维模拟仿真与三维分析。根据模拟与分析结果对方案进行调整，从美学观念出发，以功能为基础，提出道路景观与人居环境相协调的设计方案，增加道路生态系统，做到经济、功能、美观有机融合。

通过本平台的应用，项目减少投入50%的运维人员，设计人员效率提高3倍以上，会议决策效率与项目科学性显著提升。

（五）北京市朝阳区公安消防支队数字化预案系统项目

1.案例概述

由优锘科技承建的北京市朝阳区消防救援支队三维预案智能应用建设项目，通过数字孪生技术，构建重点消防单位的预案场景、建筑、消防设备并实现逐级可视，设计和配置消防管理范围内的相关建筑和各类消防设备布局，允许消防人员自由创建各种典型消防救援的3D仿真场景，帮助朝阳消防救援支队对辖区的32个重点单位进行了建筑场景搭建，包括国家会议中心、北京会议中心、工人体育馆等，真实高效地进行各类消防预案演练。针对每年的“两会”、亚非论坛等大型活动，编制重点安保场所可视化三维安保预案，在场景中设计和配置安保范围内的建筑和安保设备，高度还原真实世界，根据完整可视化安保预案，可实时部署力量，保证指挥及力量部署的精准化。

2.应用场景

场景 1：日常训练制作虚拟仿真演练场景

消防员平时以体能训练为主，利用平台制作多套制作虚拟仿真演练场景，自己动手做过的记忆力更加深刻。演练现场通过虚拟仿真技术现场介绍演练内容，有利于官兵们更直观的理解所管理场所的实际情况，使得官兵们不止能勇敢作战，还能在头脑中迅速形成救援方案。



图 5-1 虚拟仿真演练场景

场景 2：战例复盘快速还原事故现场

可在数字孪生平台上进行事后战例复盘，将火情的前因后果迅速制作出来，不论是对内部总结分析，还是对外部沟通宣传，都形成了更加迅捷、主动的环境，提升相关单位及民众对消防队伍的信赖。还可以将事后战评步骤以动画方式自动播放演示，方便查看战评过程。

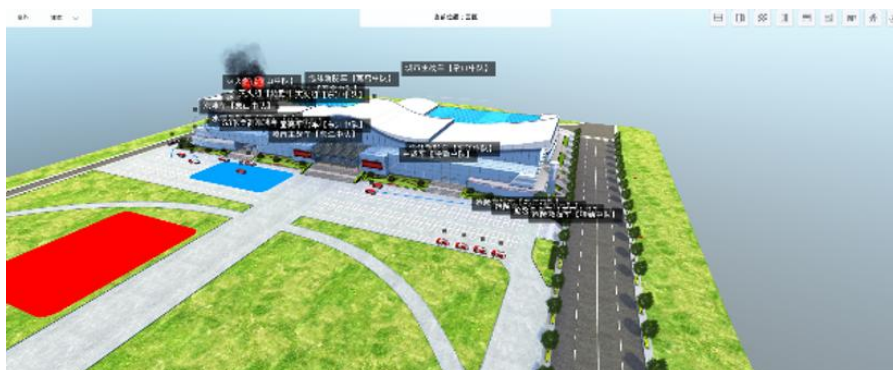


图 5-2 战例复盘快速还原

场景 3：大型安保制作三维安保预案

可在数字孪生平台上进行大型活动安保任务，重点安保单位可以编制可视化三维安保预案，自由创建各种类型安保的 3D 仿真场景，并在场景中设计和配置安保范围内的建筑和安保设备，高度还原真实世界。相关人员全面了解周边安保设施、交通路线，熟悉现场环境、建筑结构；根据完整可视化安保预案，可实时部署力量，保证指挥及力量部署的精准化。



图 5-3 三维安保预案

场景 4：日常工作编制数字化预案

针对高地大化等重点消防单位编制数字化预案，可让消防员在数字孪生平台上进行日常工作，通过自己创建各种类型的 3D 仿真场景，并在场景中设计和配置消防管理范围内的建筑和消防设备，还原真实世界，满足了消防员日常“六熟悉”需求和数字化预案实战应用。



图 5-4 数字化预案

场景 5：练兵考评制作虚拟仿真考核场景

全员岗位大练兵考评利用 3D 虚拟化技术，创建各种类型应急救援的 3D 仿真场景，让学员在 3D 仿真场景上采集相关消防数据，构建演练的场景、建筑、消防设备并实现逐级可视，制作三维演练预案、评审考核成绩。



图 5-5 练兵考评虚拟考核场景

3.案例总结

朝阳支队利用本系统，对重点消防单位编制了可视化消防预案，使消防人员在进入火场前，全面了解火场周边消防设施、交通路线，熟悉现场环境、建筑结构；指挥官根据完整可视化预案，在指挥现场可实时部署救援力量、实时、准确计算辅助决策需要的物资数据，不

再是盲目的估算，保证指挥救援及力量部署的精准化，提高应急救援响应时间达 20%以上。

数字化预案系统弥补了之前文本及二维应急预案体系的不足，基于三维平台的消防数字化预案系统可以对消防预案进行全方位的三维展示，为高效消防应急救援提供技术支持；同时通过三维仿真方式可以真实再现消防预案火灾现场情况以及人员疏散和灭火救援情况，实现了“平时”消防演练和“战时”应急指挥过程管理和控制一体化，使得消防救援有据可依，更加安全、真实、科学、智能，提升预案演练有效率达 30%以上。

通过数字化预案系统的建设，大大降低支队三维预案制作成本，平台提供简单快捷的 3D 场景自主搭建能力，丰富的模型库，让基层消防员经过简单培训后快速掌握自主使用，把复杂的三维预案制作工作分配到基层消防员，降低三维预案制作的成本达 50%以上。

（六）成宜智慧高速数字孪生场景应用

1.案例概述

成宜高速是成都到宜宾的高速公路，是四川省高速公路网规划的 16 条成都放射线高速之一，线路全长约 157 公里，总投资 246 亿元，2020 年 12 月 31 日正式通车。成宜高速是四川省交通强国试点省份实施方案中的重点项目之一，同时还是四川省“新基建示范工程”、四川省交通强省“首批示范项目”，也是我国第一条车路协同全覆盖的智慧高速。

成宜数字高速公路系统由机电工程、车路协同系统、自动驾驶系

统三部分组成，工作内容除机电工程三大系统以外，同时也包括对机电系统基础设施进行智能化转型升级、10公里试验段的适应自动驾驶的增强车路协同平台，覆盖试验段全程的高密度高精度前端感知软硬件、新一代适应5G的网络传输平台、适应自动驾驶的云控服务平台与数据开发服务等。

阿里云从2020年开始，为成宜高速构建了“数字平行世界”。实现了对高速公路世界内，全量设施设备静态信息和全量人车路环境动态信息的实时还原、历史世界回放，以及未来世界预演。整个系统包含三部分：

一是全面的感知系统：成宜高速在全程布设了阿里云273套雷视融合感知设备，以及各类气象感知设备。实现了对高速公路上人、车、环境全量、全天候、全程精准感知。

二是精准时空系统：成宜高速利用高德、千寻能力，采集了全程高精地图，布设北斗高精定位基站，实现了全程高精定位及精准时间同步，定位精度<10厘米。

三是交通云控平台：成宜高速建设了建设阿里云交通云控平台。平台汇聚高速公路全量时空数据、感知数据、业务数据，通过大数据计算，为交通管理和运营服务业务提供融合计算、仿真预测、辅助决策、车路协同的能力支撑。

2.应用场景

场景1：物联感知操控能力：反映实时运行状态

成宜高速全程布设视频、雷达、气象、温度、路面积水、光照、

能见度等多种传感器，利用人工智能技术，实现对高速公路人、车、路、环境、事件的智能、全时、全天候识别和监测，通过构建物联网平台，对所有设备进行统一管理和控制。

在成宜高速主线上，每 800 米设置一处智慧杆，杆上两侧挑臂安装，涉及分幅路段，综合杆件设备包括：1 个边缘计算智能机盒，2 个高清枪式摄像机、2 个高清卡口摄像机、1 个鱼眼摄像机、1 个高清球型摄像机（非全路段）、2 个毫米波雷达；在综合杆件 250 米处（复用照明灯杆）加装 2 个毫米波雷达。

通过单杆范围道路全天候感知空间全覆盖实现，单杆在道路正中上方安装，采用 2 个枪机、2 个卡口、1 个球机、1 鱼眼、4 个毫米波雷达的方式来实现，其中鱼眼覆盖道路范围-50 米到 50 米、枪机覆盖道路范围 200 米到 450 米，卡口覆盖道路范围 50 米到 250 米、雷达覆盖道路 50 米到 300 米。

成宜高速数字平行世界，搭建了基于深度学习、对抗网络等前沿技术的高性能的雷视融合分析引擎，实现基于监控视频和雷达的各类交通事件自动检测，同时充分利用和挖掘视频数据的价值，通过对视频事件检测结果的分析处理，实时获取高速交通状况、识别交通元素信息和评估交通通行状态，而且能够及时发现高速运行中的异常事件等，最终实现交通态势的精准研判。可以识别停车、行人、逆行、拥堵、抛洒物、烟雾等十几种交通事件，并可实时检测车流量、平均车速、排队长度等交通参数。

成宜高速数字平行世界通过对车辆检测的多源数据融合，实现了

车辆轨迹全程高精定位，并与高精地图一一匹配，定位精度误差在分米级。同时融合卡口抓拍、收费数据，实现了对车辆车型、车速颜色、车牌等属性信息的精准还原。

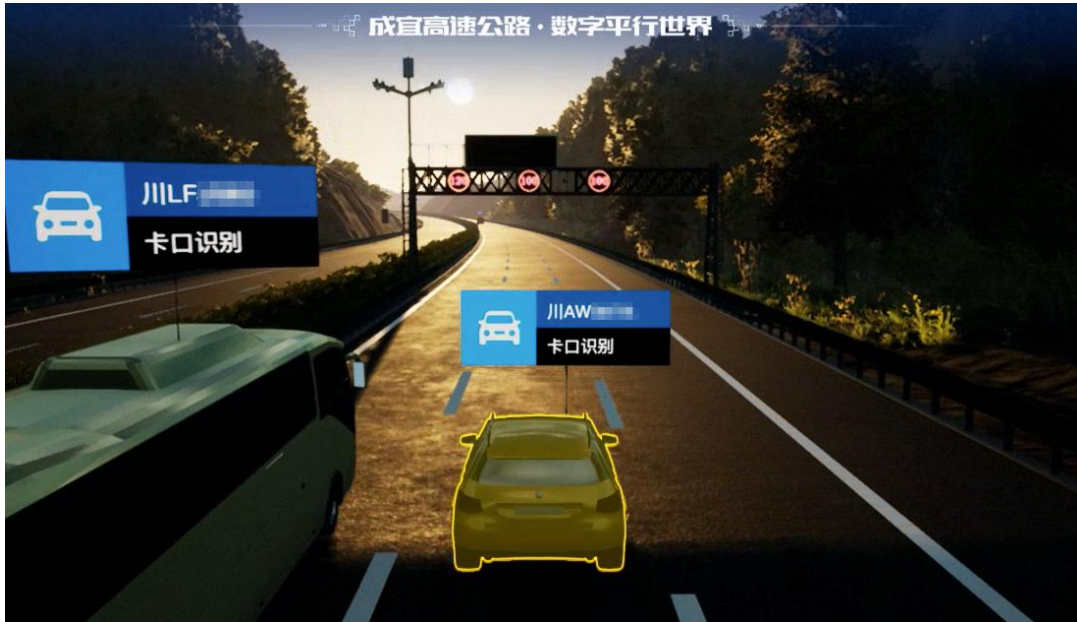


图 19-1 车辆轨迹实时还原

场景 2：全要素数字化表达能力：实现精准映射

高速场景的要素，包括高速道路路面和路侧的交通附属设施等交通要素（包括但不限于道路、护栏、路灯、门架、路牌、卡口相机等路侧设备、服务区、收费站、桥梁、隧道等），和周边地貌和建筑等环境要素。成宜高速全长 157km，成宜高速平行世界为全路段实现了所有交通要素和环境要素的全数字化表达。为保障场景真实可靠，成宜高速所有交通要素全部通过高精路网的采集数据生产获得，精准还原车道线、导流线、减速带、转向箭头等所有车道线和地面标志标识，道路路面要素的数字化还原的精度在 50cm 以下。



图 19-2 路侧地形地貌还原



图 19-3 服务区还原

对于智慧高速建设的最重要的智能设备，成宜高速同样实现了包括设备类型、挂载位置、运行状态等各方面的精准还原映射。

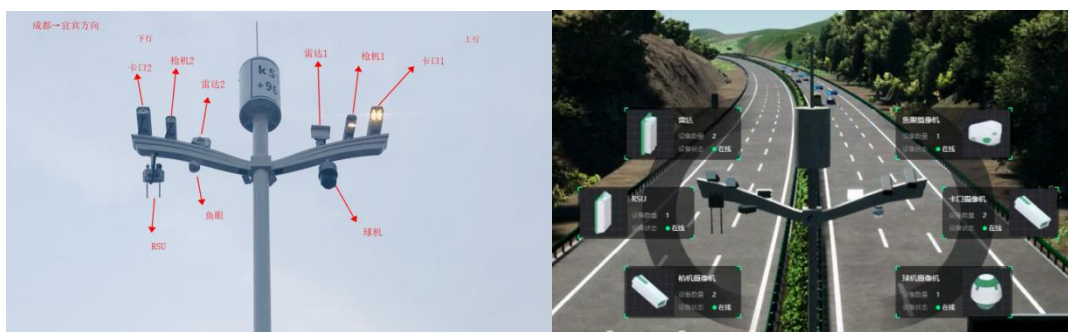


图 19-4 设备还原

场景 3：可视化呈现能力：数字城市“打开方式”

为了兼顾数字孪生的性能瓶颈和高速公路业务的运营需求，成宜高速数字平行世界实现了多粒度多层级的全要素视觉表达：对高速道路路面和路侧的交通附属设施，进行真实而艺术的可视化呈现；对高速道路路线两侧各 100 米的环境，反映真实环境的地形地貌、建筑、自然景观；对 100 米外的环境，体现地形地貌和大致建筑分布和风格；同时通过实现对雨雪雾等恶劣天气和日照的模拟体现高速不同的驾驶环境。

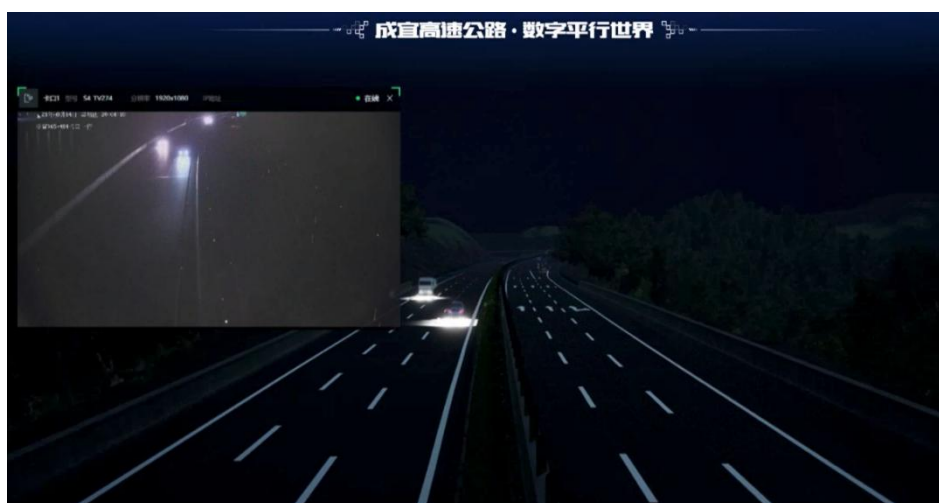


图 19-5 黑夜路况还原



图 19-6 雾天路况还原

为降低用户在大规模孪生空间的迷失感，项目借助小地图定位当前可视化在全路段的位置和视点方向，也为产品用户提供了高速任意路段位置的指定跳转。

场景 4：数据融合供给能力：建立数据资源体系

成宜高速数字平行世界汇聚融合高速公路路侧设备、交通运输等信息，以及高速公路行业内外相关数据的汇聚。

高速公路相关信息。设施设备信息，包括高清卡口、视频监控、微波车间、隧道机电、雷视融合检测器、MEC、车路协同 RSU、气象环境检测器等；各种检测参数信息，包括卡口过车、流量、速度、异常事件等；收费系统数据，包括：收费门架收费流水和牌识流水、收费站收费流水和过程流水等；救援、养护车辆 GPS 数据等；高速公路事件、交通管制、养护施工等；

行业管理数据。路网基础信息、两客一危车辆运营信息、交通事件、交通管制、市场信用信息等；

横向部门共享信息。交警的高速事件、气象局气象信息等；

跨区域共享信息。电子路单、实时路况等；

互联网以及高德等互联网/移动互联网数据。

平台汇聚各类高速公路相关数据，为交通泛在感知能力的形成提供数据资源支撑。通过多源数据融合，产出融合高质量业务指标。具体包括速度融合、流量融合、气象融合、事件报警融合等。速度/流量融合：基于高德数据、路测设备检测等数据为基础，以地理要素构建数据关联，融合多源数据产出高置信度的速度、流量指标。

事件报警融合：以客户上报事件、高德事件、第三方应用报警事件、视频识别事件为基础，结合气象指标、路况指标挖掘事件，以空间+时间对多源事件报警进行融合。

气象融合：对客户气象设备检测数据、高德天气数据、互联网天气数据进行融合，产出覆盖率更广、实时性更高的气象指标。

场景 5：空间分析计算能力：优化要素空间布局

空间和时空数据具有非结构化、大体量、数据密集兼具计算密集以及较高安全合规属性。成宜高速数字平行世界集成阿里云时空数据处理引擎内置专业化空间/时空数据处理组件，通过必要的产品组合，为各类空间/时空数据提供云上的高效存储、查询和分析计算能力，为用户应对 5G、IoT、卫星遥感、人地关系计算、数字三维空间建设等提供时空多模态信息服务支撑。

时空数据可以与通用数据，以及文本、时序、图等多模数据一体化管理和处理，这种泛时空求解能力为数字孪生应用复杂业务开发提供了更大灵活性。

将业务关键计算下推数据库与分析平台，让计算离数据更近，可以直接利用存储计算下推、并行化处理能力实现数据本地计算，不但能降低因大量中间结果数据网络传输导致的 IO 延迟，也能简化业务逻辑并提升数字孪生应用性能。



场景 6：模拟仿真推演能力：预测未来发展态势

成宜高速数行世界在全要素数字化、数据融合、空间分析计算的基础上构建了较好的模拟仿真推演能力，可以对未来进行提前计算、推演。基于全数字化的基础信息与感知，成宜高速能够实时高精度的还原全路段的车辆和事件，并且根据历史的车流量与路网结构，对道路状况进行仿真推演，具体表现在以下几个方面：

未来交通状况预测：利用历史长期积累的高精轨迹数据，可以精确掌握历史每个时间每个断面的流量、路况、事件等数据。推演仿真引擎再结合实时路况信息与路网结构，能够对未来 1 小时的流量、路况等进行高精度预测，提前发现拥堵情况并采取合适的主动管控措施来提高通行效率。



图 19-7 未来一小时路况预测

交通事件影响仿真：在高速上经常会有些事件会影响高速的正常通行，例如事故，施工，恶劣天气等。成宜高速的交通影响仿真能够根据将要出现的事件进行影响仿真，几个典型场景：当事故发生时，提前判断出当发生事故时会造成上游多少公里的拥堵，造成二次事故的几率；当计划施工时，计算施工会对道路通行情况造成多大影响，根据影响程度如何选择合理的施工时间段；当将要发生恶劣气象时，计算恶劣天气的情况下驾驶员会受到多大影响，评估道路安全系数。



图 19-8 仿真雾天行车

交通管控方案仿真：根据交通影响仿真结果，进行主动交通管控来提升道路的通行效率与安全系数。但管控措施有较多的手段，例如信息提示，动态限速，开放硬路肩，关闭匝道等，这时候可以利用管控措施仿真模块来推演采用什么样的措施能够带来最佳的管控效果，

辅助交通管理者进行最佳策略的选择。

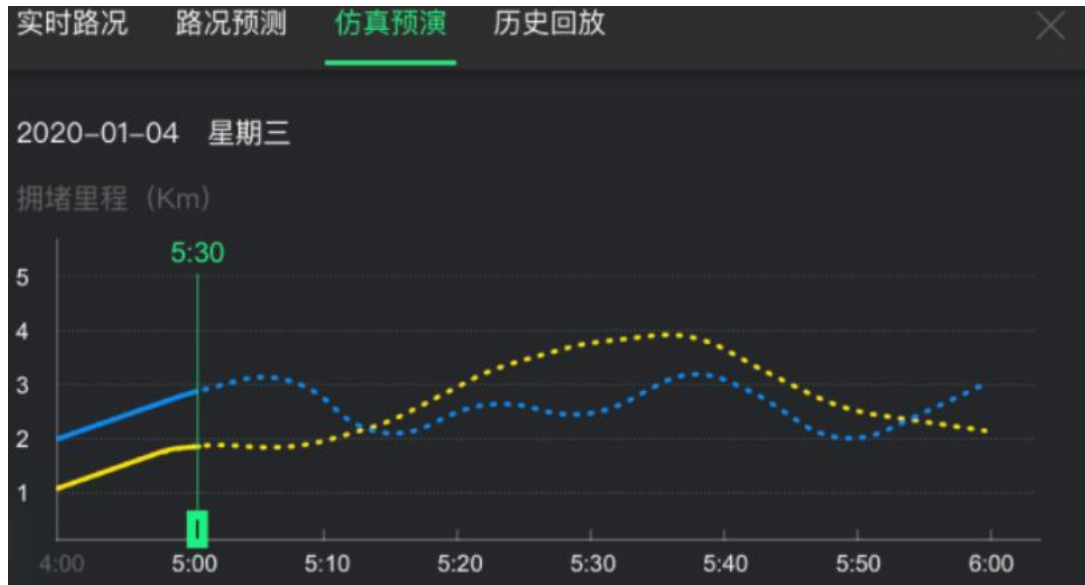


图 19-9 管控措施仿真

场景 7：虚实融合互动能力：打通两个世界接口

成宜高速数字平行世界对真实世界进行了 100% 的还原，可以利用各种视角查看平行包含各种静态信息，同时也可以通过改动虚拟世界，控制真实世界的各种终端。

成宜数字平行世界利用高精地图与倾斜摄影数据进行融合，构建了完整的虚拟世界的静态信息；然后接入各个设备的感知数据，能够将各种动态数据在虚拟世界进展投影，达到全域数据融合的状况。用户可以选择各种角度来查看成宜的状态，上帝视角，驾驶视角，事件处置视角；同时也可以选择摄像头进行摄像信息与虚拟点位的对比还原。



图 19-10 上帝视角



图 19-11 真实世界和虚拟世界对比

在成宜平行世界中，客户可以在虚拟世界中操控真实世界中的设备终端，例如控制路面上的诱导屏，RSU 广播信息。而控制的信息与效果又能及时的在平行世界中反应出来，实现虚实交互的能力。



图 19-12 虚拟下发诱导屏

场景 8：自学习自优化能力：辅助城市管理决策

传统的路网管控往往利用车道级、分钟级的断面数据以及二维的图表辅助决策，而成宜高速数字平行世界路网管控利用轨迹级、毫秒级的全域数据以及四维时空孪生路网主动提供交通管控决策推荐和依据。在虚拟空间构建的路网数字模型与路网实体交互映射，忠实地描述路网实体全生命周期的运行状态。数字化路网实现由实入虚，交通管理者可以通过数字孪生路网快速、全方位的剖析观察路网运行状态；智能化实现由虚入实，与智能交通管理与控制策略联动，基于四维时空数据推演环境中的人、车、事等的运行规律，辅助管理者做出决策。

决策结果通过警告标志、闪光灯、显示屏等手段，通知出行者下游的交通状况（基于实时交通检测）。让驾驶员可以预见即将到来的紧急制动和减速情况，避免不稳定的行为，并减少与排队相关的碰撞。预警提示通过提醒驾驶员交通状况，驾驶员已经为即将到来的交通做好了准备，有助于减少主要和次要撞车事故。这样可以处理更高的交通量，并提高行程时间的可靠性。预警提示的环境效益包括减少排放、降低噪音和降低油耗。

管理者的决策结果也会进一步地反映到虚拟世界中，强化虚拟世界的分析能力。通过虚实互动，持续迭代，辅助管理者从全局出发更快速地做出决策及响应，实现路网的最佳有序运行。

场景 9：众创扩展能力：形成应用创新平台

成宜高速数字平行世界拥有从数据到应用的全链路开放平台，为开发者提供平行世界的全域开发能力。无论是空间数据的融合，还是

空间场景的构建，再或者可视化应用的开发，都可以通过平行世界开放平台进行敏捷开发，使得数字孪生应用可以由客户自己及时维护，不断校准自己的数字孪生应用，使其与自己业务永远保持同步，成为能够指导客户现实业务的平行世界。

数据资源平台作为数字平行世界的数据中台，具备数据资产定义、加工、管理、服务的全流程平台能力，可以提供数据探查、数据标准、数据建模、数据加工、质量评估、标签构建、业务模型构建、资产管理、数据服务等功能，为平行世界提供全量、标准、干净、智能的数据资源，并保证数据持续稳定的供给。

数字平行世界的空间构建平台，为用户提供了全域空间数据的融合能力，用户可基于自有的空间数据信息（矢量数据、栅格数据、三维信息模型等），在空间数据平台上进行上传、解析、融合。为用户提供空间数据的加工能力，将种类繁多的空间数据信息，通过空间数据平台进行提取、加工、融合，帮助用户完成空间数据的数据修正，格式统一，属性挂载，构建不同时间、不同空间下的空间数据基底。

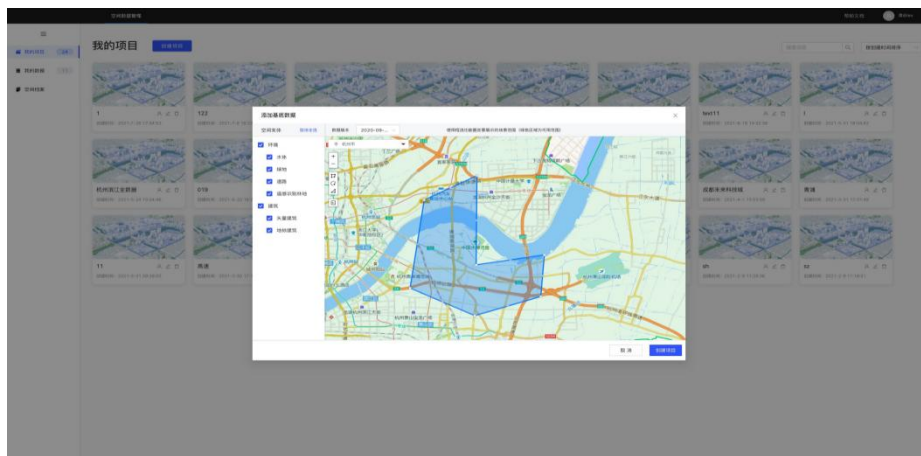


图 19-13 空间构建平台

数字平行世界的空间场景平台，是基于 WEBGL 设计的三维渲染

引擎，可将空间数据平台构建的空间数据基底，渲染成为三维空间场景。在渲染后的空间场景中，用户可进行倾斜摄影、地下管网等空间数据图层的导入，丰富三维空间基底的元素，也可以进行空间数据图元的导入和编辑，实现用户空间业务数据的上图和交互设置，并帮助用户根据自己业务数据情况，设计场景的关键帧事件，使用户可以设计符合自己业务场景的空间数据场景。

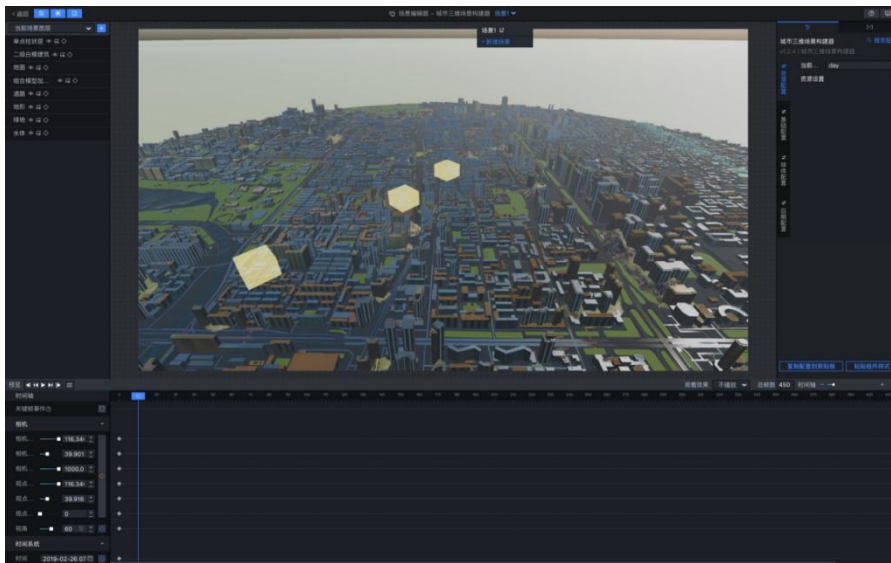


图 19-14 空间场景平台

3.案例总结

利用数字孪生技术将路网及沿线的一草一木、一车一路、天气环境等要素数据化融合分析后实时投射到三维数字世界中，展现全时空、高精度、高保真、实时还原的平行世界。

车辆轨迹精准感知：利用雷达、视频、门架、卡口等数据，采用“AI 视觉分析”、“轨迹融合”和“车牌匹配”等方法，将高速车辆路径轨迹进行还原，输出稳定、连续的车辆实时轨迹，使车辆位置展示更流畅、信息更丰富，满足车辆驾驶行为分析的需求。车辆轨迹还原精

度>98%，位置误差<50 分米。

高速拥堵实时发现：通过输入视频、轨迹等数据，输出道路平均车速和实时路况，实现平均车速准确率>90%，路况准确率>98%，拥堵路况更新时间<1 分钟。

交通事件快速识别，快速处置：通过视觉 AI 识别异常停车、行人闯入、车辆逆行、抛洒物、道路施工、交通事故、异常气象等 20 多个类交通事件，并利用多摄像机针对同一事件的报警进行融合，将事件与跨摄像机还原的轨迹融合，最终实现融合准确率>95%，召回率>98%。100%异常交通事件，通过数字平行世界进行处理，救援时间缩短 50%。

主动交通管控：利用数字平行世界，成宜高速实现 16 种交通场景，100+种交通管控策略自动推荐，交通管控效率提升 1 倍，车辆通行效率提升 10%，交通事故发生概率降低 30%。

中国通信学会

地址：北京市海淀区万寿路 27 号院 8 号楼

邮政编码：100840

联系电话：010-68203021

传真：010-68203004

网址：<https://www.china-cic.cn/>

