

数字孪生城市研究报告

(2018 年)

CAICT 中国信通院

中国信息通信研究院
2018年12月

版权声明

本研究报告版权属于中国信息通信研究院及数字孪生城市研究合作伙伴，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本研究报告文字或者观点的，应注明来源。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。

CAICT 中国信通院

致 谢

2017 年，中国信息通信研究院在长期从事智慧城市顶层设计实践基础上，提出“以数字孪生城市推进新型智慧城市建设”的创新理念，在业内引起强烈反响。2018 年，为推动“数字孪生城市”落地实施，中国信息通信研究院联合数字经济推进方阵，组织业内知名企业，围绕数字孪生城市的理念内涵、技术方案与实施路径，进行多次研讨交流，形成研究报告合作成果。编制过程中各家企业提供了大量素材并直接参与了部分章节的撰写，在此致以衷心感谢。限于编写时间、项目组知识积累以及产业尚未完全定型等方面的因素，内容恐有疏漏，烦请不吝指正。

牵头单位：中国信息通信研究院

支持单位：中国电信、中国移动、中国联通、百度、广联达、腾讯、华为、神州数码、中兴、阿里

编写指导：王爱华、胡坚波、徐志发

编写小组（排名不分先后）：高艳丽、陈才、张育雄、王思博、崔颖、张竞涛、刘泰、郭靓、李欣、郭中梅、马伟强、刘刚、陈守双、姚健奎、刘旭晶、李文东、郝景然等。

前 言

当前，以物联网、大数据、人工智能等新技术为代表的数字浪潮席卷全球，物理世界和与之对应的数字世界正形成两大体系平行发展、相互作用。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变得高效有序，数字孪生技术应运而生，从制造业逐步延伸拓展至城市空间，深刻影响着城市规划、建设与发展。

数字孪生因感知控制技术而起，因综合技术集成创新而兴。数字孪生城市是在城市累积数据从量变到质变，在感知建模、人工智能等信息技术取得重大突破的背景下，建设新型智慧城市的一条**新兴技术路径**，是城市智能化、运营可持续化的**前沿先进模式**，也是一个吸引高端智力资源共同参与，从局部应用到全局优化，持续迭代更新的**城市级创新平台**。

从技术角度看，数字孪生城市涵盖“云-网-端”三大层次，成为数据驱动决策、技术综合集成的智慧城市综合技术支撑体系。**端侧实现群智感知、可视可控；网侧实现泛在高速、天地一体；云侧实现按需调度，迭代学习。其本质是通过数据全域标识、状态精准感知、数据实时分析、模型科学决策、智能精准执行，构建城市级数据闭环赋能体系，实现城市的模拟、监控、诊断、预测和控制，解决城市规划、建设、运行、管理、服务的复杂性和不确定性。**

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是核心，城市全域部署的智能设施和感知体系是前提，支撑孪生城市高效运行的智能专网是保障，实现智能操控的城市大脑是重点。

未来，数字孪生城市可在数字化水平相对较高、需要运行机理建模、实现虚实空间协同优化、彰显多维智能决策支撑等方向，如城市规划、建筑、交通、能源等领域优先落地实施，以数字孪生城市为代表的新型智慧城市发展新理念和新模式或将变为现实，成为未来绿地型新城新区高水平建设的必由之路，棕地型城市数字化转型的重要参考。

目 录

一、数字孪生城市出现的背景	1
(一) 传统条块化智慧城市建设方式已现疲态	1
(二) 信息技术加速突破驱动集成创新出现拐点	2
(三) 数字孪生成为城市智能化升级的重要方向	3
(四) 部分城市率先探索实践数字孪生理念	4
(五) 我国智慧城市建设升级具备现实基础	10
二、数字孪生城市的内涵特征	12
(一) 数字孪生城市的内涵	12
(二) 与新型智慧城市的关系	13
(三) 数字孪生城市的特征	14
(四) 数字孪生城市的价值	15
三、数字孪生城市的总体架构	17
(一) 技术框架	17
(二) 运行机理	20
四、数字孪生城市的典型场景	26
(一) “规建管”协同管控，助力一张蓝图干到底	26
(二) 虚实互动以虚控实，支撑城市一盘棋治理	28
(三) 情景交融以人为本，升级个性主动服务体验	30
五、数字孪生城市核心：高精度城市信息模型	32
(一) 城市初始建模的方法	33
(二) 城市信息模型的构成	34
(三) 模型与数据的协同运行	35
六、数字孪生城市前提：全域布局的智能设施	36
(一) 智能设施空间布局	36
(二) 标识体系和编码设计	38
(三) 物联网设备连接管理平台	39
七、数字孪生城市支撑：高效运行的智能专网	40
(一) 数字孪生城市提出网络新需求	40
(二) 万物互联综合接入智能专网	42
(三) 智能专网对已有网络延伸增强	43
八、数字孪生城市重点：智能操控的城市大脑	46
(一) 大脑凸显自主学习与集中调度	46
(二) 一体三翼构建数字孪生城市大脑	47
(三) 创新全景全要素城市治理新模式	49
九、推进数字孪生城市的建议	50
(一) 正视面临的挑战	50
(二) 分领域优先落地	52
(三) 分步骤务实推进	53
(四) 分类别有序引导	54

一、数字孪生城市出现的背景

（一）传统条块化智慧城市建设方式已现疲态

当前全球已启动或在建的智慧城市已达 1000 多个，我国提出智慧城市规划的城市有 300 多个，各类型试点城市高达 500 多个，成为全球智慧城市建设规模最大的国家。随着理念层出不穷，技术推陈出新，大中城市智慧城市建设不断向纵深推进，区县级智慧城市依托后发优势，也不甘落后。从特点看，国际上智慧城市建设集中在能源、交通和循环经济方面，注重绿色低碳、节能环保，项目比较单一，缺乏城市级的整体性、系统性的设计和建设。国内倡导新型智慧城市建设，基础设施、在线政府、信息经济、城市治理、惠民服务全面展开，属于规模化全方位系统工程。建设模式上，大部分城市走的是边补齐行业和领域信息化短板，边进行资源整合和业务协同的路子，少数城市完成资源整合后率先进入了数据驱动治理的阶段。

建设智慧城市，对加快工业化、信息化、城镇化、农业现代化融合，提升城市可持续发展能力具有重要意义。智慧城市建设发展已近十年，至今却无一个城市自我标榜已建成了智慧城市。事实上，智慧城市面临技术和非技术两大瓶颈难以突破，可谓举步维艰。所谓技术瓶颈，是指基于云计算和互联网的聚合式的模式创新比较成功，而基于物联网、大数据、人工智能、区块链、量子通信等技术

的原始创新极度缺乏，未出现杀手级应用，各功能模块有机融合的 ONE ICT 架构未能实现，造成创新只停留在表面，城市运行和治理的水平有量的提升，但没有质的改变。所谓非技术瓶颈，表现在智慧城市建设所需的庞大资金问题一直没有找到解决之道，政府和市场边界不好划分，工程周期长投入大充满变数，企业盈利和资本回报前景模糊，观望踟蹰之下，推进效果可想而知。此外，彰显智慧所必须的资源共享与业务协同机制也一直没有建立起来，信息打通仍困难，协同共治难实现。两大瓶颈悬而未决导致智慧城市疲态尽显停滞不前，现有的建设发展模式亟待突破。

（二）信息技术加速突破驱动集成创新出现拐点

智慧城市是信息技术驱动下的城市创新发展的一种新模式，是信息技术综合运用和集成创新的大平台，但纵观多年来智慧城市中的技术应用，基本上是单点的、割裂的，集成的、融合的少，比如云计算技术用于政务云建设，物联网技术用于城市管理的感知监测和数据采集，互联网技术用于电子政务和公共服务的交互渠道，大数据用于城市治理的决策分析，人工智能则是用于提升各种应用的智能化体验。这些技术对提升智慧能力的作用毋庸置疑，但技术间缺乏系统架构级的融会贯通，造成应用离散化，信息孤岛化，平台多元化，集成创新的乘数效应尚未释放出来。

形势已随日新月异的技术演进悄然变化，物联网、5G、人工智

能、无人驾驶、虚拟现实、深度学习等技术研发和产业化加速突破，掀起数字化网络化智能化新一轮浪潮，深刻影响着智慧城市的规划建设与运行发展。此外，跨领域技术间的融合创新已成主流趋势，信息通信技术与 3D 建模、高精度地图、全球定位系统、模拟仿真、虚拟现实、智能控制等技术有机耦合，集成应用驱动创新出现拐点，智慧城市面临的技术瓶颈很大程度上得以破解，数字孪生城市——数字城市与物理城市虚实融合孪生并行，虚拟服务现实，数据驱动治理，一种全新的智慧城市建设路径和实践模式呼之欲出，将引发城市治理规则的重大变革，为非技术瓶颈的破解也带来了曙光，城市信息化或从量变迎来质变。

（三）数字孪生成为城市智能化升级的重要方向

数字孪生是指通过对物理世界的人、物、事件等所有要素数字化，在网络空间再造一个与之对应的“虚拟世界”，形成物理维度上的实体世界和信息维度上的数字世界同生共存、虚实交融的格局。

数字孪生最早由密西根大学教授 Grieves 提出，后来 NASA 用于对飞行器的真实运行活动进行镜像仿真。最先用于工业领域，尤其是大型装备制造业。通过搭建数字孪生生产系统，能够实现从产品设计、生产计划到制造执行的全过程数字化。据统计，全球 40% 的大型生产商都将应用虚拟仿真技术来为他们的生产过程进行建模。

数字孪生的出现根本在于感知、网络、大数据、人工智能、控

制、建模等技术的集中爆发。尤其是传感器和低功耗广域网技术的发展，将物理世界的动态，通过传感器精准、实时地反馈到数字世界。数字化、网络化实现由实入虚，网络化智能化实现由虚入实，通过虚实互动，持续迭代，实现物理世界的最佳有序运行。数字孪生现象是数字化浪潮的必然趋势，是数字化的理想状态，数字孪生城市也成为智慧城市建设发展的必经之路。

数字孪生城市是技术演进与需求升级驱动下新型智慧城市建设发展的一种新理念、新途径、新思路。虽然数字城市的提出由来已久，但全域数字化一直未能实现，这与技术发展的局限性和成熟度有关，如今数字孪生城市的理念，才真正体现了数字城市意图达到的理想愿景。数字孪生城市作为狭义数字城市的终点，却是智慧城市建设的起点，它是城市实现智慧的重要设施和基础能力，是城市信息化从量变走向质变的一个里程碑。

（四）部分城市率先探索实践数字孪生理念

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.雄安新区数字城市

雄安新区在规划纲要中指出，坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设，推动全域智能化应用服务实时可控，打造具有深度学习能力和全球领先的数字城市。借助大数据深度挖掘技术、人工智能、物联网技术和互联网平台等新一代信息技术，从数字呈现、网络互联到智能体验进行全方位谋划，实现数字城市与物理城市同步规划同步建设，对物理世界的人、物、事件等所有要素数字化，生成全数字化城市。

物理城市与数字城市孪生并存，精准映射，实现虚拟服务现实，数据驱动决策，智能定义一切，促进管理一盘棋，服务一站式，扁平化、前后端打通，以高度智能化替代传统的网格化管理，虚实融合蕴含无限应用创新空间，将引发城市智能化管理和服务模式的重大颠覆性创新。

技术架构



图 1 数字孪生城市：智能新区

2. 虚拟新加坡平台

2015 年，新加坡政府与法国达索系统等多家公司、研究机构签订协议，启动“虚拟新加坡”项目。该项目计划完全依照真实物理世界中的新加坡，创建数字孪生城市信息模型。

模型内置海量静态、动态数据，并可根据目的需求，实时显示城市运营状态。模型的关键在于真实世界与虚拟世界的精准映射。模型既是物理世界运行动态的展示，满足城市管理的需求，也能够指导城市未来的建设与运行优化。“虚拟新加坡”平台计划于 2018 年，面向政府、市民、企业和研究机构开放，可广泛应用于城市环境模拟仿真、城市服务分析、规划与管理决策、科学研究等领域。新加坡政府在 3 年时间内，累计投入 7300 万美元，积累了 50TB 数据。



图 2 数字孪生城市：虚拟新加坡

新加坡政府正在同时打造“智慧国家传感平台”，并计划设立国家官方网站。该平台部署了西门子公司基于云的开放式物联网操作

系统，将统一负责新加坡境内的传感网络设备管理、数据交换、数据融合与理解。

2017 年，新加坡政府财政投入 2.16 亿新加坡元用于平台建设，占总预算比例 9%，比 2016 年增长 7.7 倍。其中，新加坡政府将部分预算用于信息杆的建设。

新加坡政府将 11 万路灯互联，以集群的方式部署无线网络设备、各类传感器设备。新加坡政府既建立了安全、高速、经济且具有扩展性的全国通讯基础设施，又建立了遍布全国的传感器网络，采集实时数据（如环境、人口密度、交通、天气、能耗和废物回收等），并对重要数据匿名化保护、管理以及适当共享。

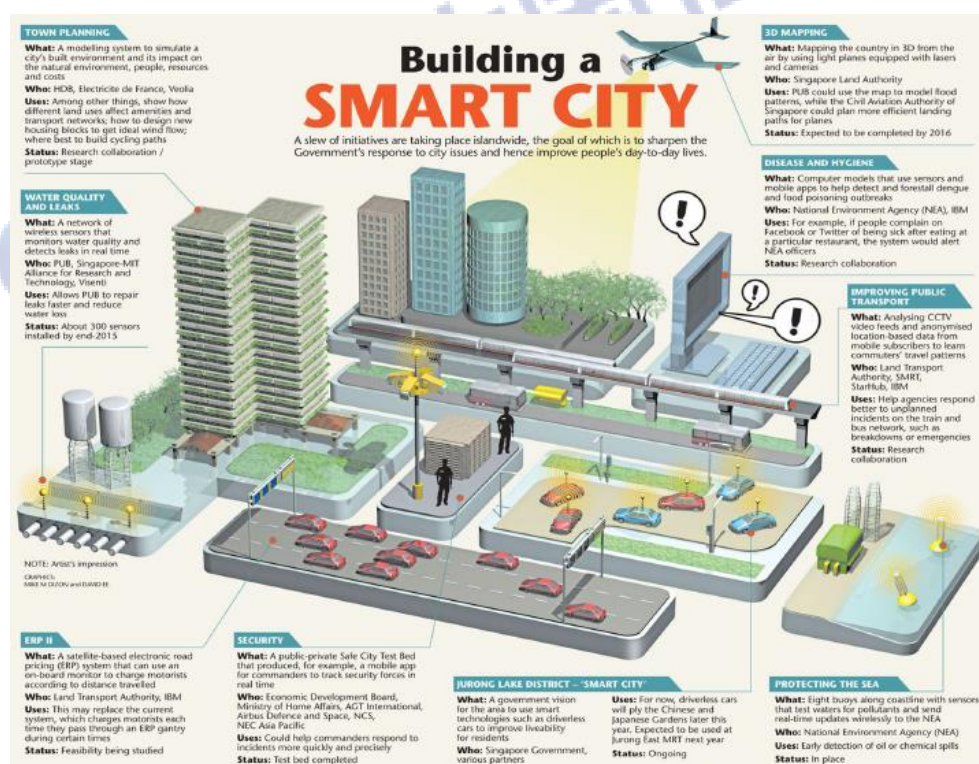


图 3 新加坡“智慧国家传感平台”构想

3.法国雷恩 3D 城市

法国城市雷恩与达索系统公司签订协议，计划在2017-2019年，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3D上绘制城市图形，是他们构建数字孪生城市的想法。城市规模、治理结构以及城市的交通、能源和环境等问题是他们考虑的重要因素。他们通过设计与仿真的方法开发整个城市的3D模型，根据不同用户群的需求对3D模型进行测试与评估，来支持城市的决策过程与调解工作。雷恩和达索系统公司构建的3D平台是一个协作环境，允许各方进行沟通协作，共同设计创新项目、产品和服务。它提供了可视化设计，可模拟贸易环境，还原城市及其居民的市场，最充分地与现实贴合。雷恩和达索系统公司继续在先进的理念进行研究探索，为我们的城市提供了一个更好的未来。



图4 数字孪生城市：法国雷恩

4. 多伦多高科技社区

多伦多邀请了谷歌公司的 Sidewalk Labs 对其滨海的部分区域开发，计划建成高科技社区（Quayside）。Sidewalk Labs 的应用程序可记录公共区域中每一个物件的位置（如道路、建筑等）。安装的多类别传感器设备，可用于收集多样化信息（如车流密度，噪音，空气质量，能耗，出行方式及垃圾处理等）。模型与数据的融合，将助力数据专家生成深刻洞察，优化城市运营；并采用复杂的建模技术模拟极端情景，寻找解决方案。

该项目目前处于早期规划和咨询阶段，并以精美的设计插图为吸引点，充分地体现滨水区的特点。此项目将结合前瞻性的城市设计和新的数字技术，以实现可持续性、可负担性、流动性和经济机会等方面的领先水平。

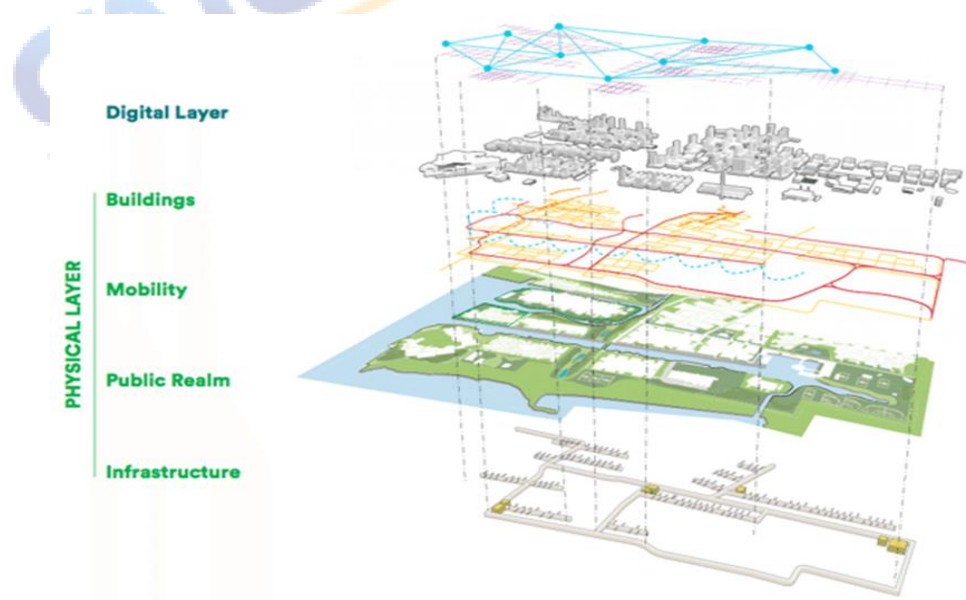


图 5 多伦多城市虚拟模型

（五）我国智慧城市建设升级具备现实基础

1. 智慧城市态势良好，基础设施不断升级

从2012年我国中央政府首次提出的关于智慧城市建设的指导性文件《国家智慧城市试点暂行管理办法》《国家智慧城市(区、镇)试点指标体系(运行)》肇始，到2017年“智慧社会”被正式写进十九大报告中，指导智慧城市合理发展的指导性文件逐年增加，且指导内容更加规范，新型智慧城市已进入国家战略规划政策制定当中，正逐渐被广大社会群体认可。

数字孪生城市建设的前提是具有完善的基础设施，即感知层、连接层和计算层均具备开展数字孪生城市的能力，公共基础设施的智能化是实现智慧城市有效发展的必然要求。我国智慧城市建设已近十年，大部分城市在高速宽带网络、政务云、核心平台、基础数据库等基础设施建设方面取得长足进展，城市治理、便民惠民等应用成效显著，并基于城市一张图在多规合一、并联审批和决策仿真方面开展积极探索，这一切为数字孪生城市建设奠定了扎实的基础。

随着新型智慧城市的发展，我国基础设施智能化转型的范围在不断扩大，功能也在不断提升。目前，通过移动通信技术、物联网技术、Wi-Fi技术等，城市建筑、桥梁、道路、管网、灯杆等公共基础设施可实现“被感知”。在市政环卫设施中安装智能化传感器，实现对环卫设施的远程可控制和资源可调度；在公共交通设施中安装

的感知监控设备可智能化支持不同移动状态，确保城市的智能交通系统良好运行。通过物联网总控和智慧城市运营管理中心，利用大数据技术对海量的城市基础设施状态数据和运行数据进行数据挖掘和分析，并结合边缘计算和深度学习技术让城市基础设施真正实现“智能化”，实现城市运行状态的智能感知和智能决策。

2.政策环境有力保障，技术产业强力支撑

在国家战略和政策推动下，物联网、云计算、大数据、人工智能、车联网、5G、虚拟现实、深度学习等技术创新突飞猛进，实际应用日益显著，为数字孪生城市建设提供强有力支撑。在《国务院关于促进云计算创新发展培育信息产业新业态的意见》《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》《云计算综合标准化体系建设指南》等利好政策作用下，我国云计算产业已经走过培育与成长阶段，现已进入成熟发展期，产业格局基本稳定。近两年我国大数据发展政策陆续出台，国务院发布《促进大数据发展行动纲要》，聚焦大数据发展中的三个关键环节，即政务数据应用、产业应用和应用安全。物联网产业自2009年起就一直作为国家战略在推动发展，政府和产业界高度重视，产业能级和技术实力在不断提升。尤其近年来在物联网领域，传感和低功耗广域网技术取得突破，产品和服务成本不断下降，使城市级大规模的感知设施部署和万物互联成为可能。

二、数字孪生城市的内涵特征

（一）数字孪生城市的内涵

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**，是城市智能运行持续创新的**前沿先进模式**，是物理维度上的实体城市和信息维度上的虚拟城市同生共存、虚实交融的**城市未来发展形态**。

数字孪生城市的本质是城市级数据闭环赋能体系，通过数据全域标识、状态精准感知、数据实时分析、模型科学决策、智能精准执行，实现城市的模拟、监控、诊断、预测和控制，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，全面提高城市物质资源、智力资源、信息资源配置效率和运转状态，实现智慧城市的内生发展动力。



图6 数字孪生城市虚实融合迭代优化

数字孪生城市基于数字化标识、自动化感知、网络化连接、普惠化计算、智能化控制、平台化服务的信息技术体系和城市信息空间模型，在数字空间再造一个与物理城市匹配对应的数字城市，全息模拟、动态监控、实时诊断、精准预测城市物理实体在现实环境中的状态，推动城市全要素数字化和虚拟化、全状态实时化和可视化、城市运行管理协同化智能化，实现物理城市与数字城市协同交互、平行运转。

（二）与新型智慧城市的关系

新型智慧城市建设以提升城市治理和服务水平为目标，以为人民服务为核心，以推动新一代信息技术与城市治理和公共服务深度融合为途径，包括无处不在的惠民服务、透明高效的在线政府、精

细精准的城市治理、融合创新的数字经济、自主可控的安全体系等五大核心要素，分级分类、标杆引领、标准统筹、改革创新、安全护航，注重城乡一体，打破信息藩篱。

数字孪生因感知控制技术而起，因综合技术集成创新而兴。数字孪生城市一方面准确反映物理实体城市状态，另一方面精准操控、智能优化现实城市，将极大改变城市面貌，重塑城市基础设施，形成虚实结合、孪生互动的城市发展新形态。

数字孪生城市是在城市累积数据从量变到质变，在感知建模、人工智能等信息技术取得重大突破的背景下，新型智慧城市建设的一条新兴技术路径，是城市智能化、运营可持续化的前沿先进模式，也是一个吸引高端智力资源共同参与，从局部应用到全局优化，持续迭代更新的城市级创新平台。

（三）数字孪生城市的特征

数字孪生城市有四大特点：精准映射、虚实交互、软件定义、智能干预。

精准映射：数字孪生城市通过空天、地面、地下、河道等各层面的传感器布设，实现对城市道路、桥梁、井盖、灯盖、建筑等基础设施的全面数字化建模，以及对城市运行状态的充分感知、动态监测，形成虚拟城市在信息维度上对实体城市的精准信息表达和映射。

虚实交互：城市基础设施、各类部件建设即有痕迹，城市居民、来访人员上网联系即有信息。未来数字孪生城市中，在城市实体空间可观察各类痕迹，在城市虚拟空间可搜索各类信息，城市规划、建设以及民众的各类活动，不仅在实体空间，而且在虚拟空间得到极大扩充，虚实融合、虚实协同将定义城市未来发展新模式。

软件定义：孪生城市针对物理城市建立相对应的虚拟模型，并以软件的方式模拟城市人、事、物在真实环境下的行为，通过云端和边缘计算，软性指引和操控城市的交通信号控制、电热能源调度、重大项目周期管理、基础设施选址建设。

智能干预：通过在“数字孪生城市”上规划设计、模拟仿真等，将城市可能产生的不良影响、矛盾冲突、潜在危险进行智能预警，并提供合理可行的对策建议，以未来视角智能干预城市原有发展轨迹和运行，进而指引和优化实体城市的规划、管理、改善市民服务供给，赋予城市生活“智慧”。

（四）数字孪生城市的价值

数字孪生城市的核心价值，在于通过建立基于高度集成的数据闭环赋能新体系，生成城市全域数字虚拟映像空间，并利用数字化仿真，虚拟化交互，积木式组装拼接，形成软件定义城市，数据驱动决策，虚实充分融合交织的数字孪生城市体，使得城市运行、管理、服务由实入虚，可以在虚拟空间的建模，仿真，演化，操控，

同时由虚入实，改变、促进物理空间中城市资源要素的优化配置，开辟新型智慧城市的建设和治理新模式。

在建设方面，对一张白纸零起步的城区，与物理城市同步规划建设数字城市，规划阶段即开始建模，建设阶段不断导入数据，运营阶段则依托数字城市模型和全量数据管理物理城市。对已建成并运行多年的城市，通过后天物联网设施的全面部署和对城市进行数字建模，同样可以构建数字孪生城市。数字孪生模式不仅大大提升城市规划建设的效率、质量，大幅降低时间、人工和物料成本，最重要的，它能够使城市规划建设少走弯路、不留遗憾。

在治理方面，数字城市与物理城市两个主体虚实互动，孪生并行，以虚控实。通过物联感知和泛在网络实现由实入虚，再通过科学决策和智能控制由虚入实，实现对物理城市的最优管理。优化后的物理城市再通过物联感知和泛在网络实现由实入虚，数字城市仿真决策后再一次由虚入实，这样在虚拟世界仿真，在现实世界执行，虚实迭代，持续优化，逐步形成深度学习自我优化的内生发展模式，大大提升城市的治理能力和水平。此外数字孪生模式下，通过数字空间的信息关联，可增进现实世界的实体交互，实现情景交融式服务，真正做到信息随心至、万物触手及。

三、数字孪生城市的总体架构

（一）技术框架

数字孪生城市建设依托以云、网、端为主要构成的技术生态体系，端侧形成城市全域感知，深度刻画城市运行体征状态。网侧形成泛在高速网络，提供毫秒级时延的双向数据传输，奠定智能交互基础。云侧形成普惠智能计算，以大范围、多尺度、长周期、智能化地实现城市的决策、操控。



图7 数字孪生城市运行机理

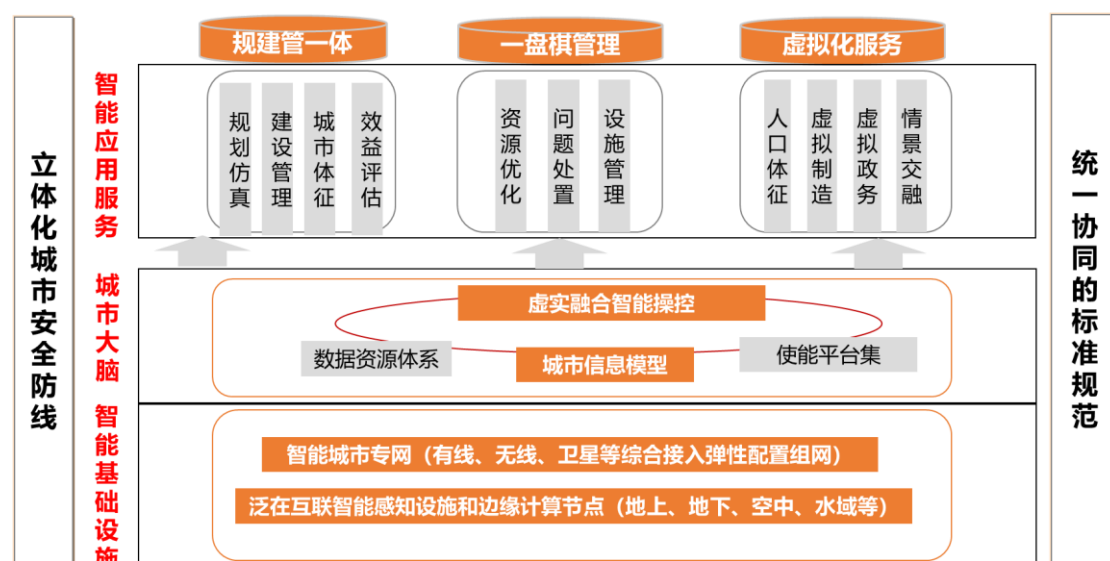


图8 数字孪生城市总体框架

1. 端侧群智感知、可视可控

城市感知终端“成群结队”形成群智感知能力。感知设施将从单一的 RFID、传感器节点向更强感知、通信、计算能力的智能硬件、智能杆柱、智能无人车等迅速发展。同时，个人持有的智能手机、智能终端将集成越来越多的精密传感能力，拥有日益强大的感知、计算、存储和通信能力，成为感知城市周边环境以及居民的“强”节点，形成大范围、大规模、协同化普适计算的群智感知。

基于标识和感知体系全面提升传统基础设施智能化水平。通过建立基于智能标识和监测的城市综合管廊，实现管廊规划协同化、建设运行可视化、过程数据全留存。通过建立智能路网实现路网、围栏、桥梁等设施智能化的监测、养护和双向操控管理。多功能信息杆柱等新型智能设施全域部署，实现智能照明、信息交互、无线服务、机车充电、紧急呼叫、环境监测等智能化能力。

2. 网侧泛在高速、天地一体

提供泛在高速、多网协同的接入服务。全面推进 4G、5G、WLAN、NB-IoT、eMTC 等多网协同部署，实现基于虚拟化、云化技术的立体无缝覆盖，提供无线感知、移动宽带和万物互联的接入服务，支撑新一代移动通信网络在垂直行业的融合应用。

形成天地一体综合信息网络支撑云端服务。综合利用新型信息网络技术，充分发挥空、天、地信息技术的各自优势，通过空、天、地、海等多维信息的有效获取、协同、传输和汇聚，以及资源的统筹处理、任务的分发、动作的组织和管理，实现时空复杂网络的一体化综合处理和最大有效利用，为各类不同用户提供实时、可靠、按需服务的泛在、机动、高效、智能、协作的信息基础设施和决策支持系统。

3. 云侧按需调度、普惠便民

边缘计算及量子计算设施提供高速信息处理能力。在城市的工厂、道路、交接箱等地，构建具备周边环境感应、按需分配和智能反馈回应的边缘计算节点。部署以原子、离子、超导电路和光量子等为基础的各类量子计算设施，为实现超大规模的数据检索、城市精准的天气预报、计算优化的交通指挥、人工智能科研探索等海量信息处理提供支撑。

人工智能及区块链设施提供泛在智能嵌入城市运行与合约执行。

搭建支持知识推理、概率统计、深度学习等人工智能统一计算平台和设施，形成具有知识计算、认知推理、运动执行、人机交互能力的智能支撑能力。建立定制化强、个性化部署的区块链服务设施，支撑各类应用的身份验证、电子证据保全、供应链管理、产品追溯等领域商业智能合约的自动化执行。

部署云计算及大数据设施。建立虚拟一体化云计算服务平台和大数据分析中心，基于 SDN 技术实现跨地域服务器、网络、存储资源的调度能力，满足智慧政务办公和公共服务、综合治理、产业发展等各类业务存储和计算需求。

（二）运行机理

与工业领域数字孪生体构建模式类似，数字孪生城市是在更大范围、更多场景下，整合全域感知、历史积累、运行监测等多元异构数据，集成多学科、多尺度的仿真过程，集成指挥调度、运行决策、民生服务等智慧应用，共同构建与现实城市同生共存、虚实交融的复杂巨系统，反映现实城市运行全过程。

数字孪生城市，以全域数字化标识和一体化感知监测为数字孪生基础，以全域全量的数据资源（数据）、高性能的协同计算（算力）、深度学习的机器智能平台（算法）为城市信息中枢，以数字孪生模型平台为城市运行信息集成展示载体，操控城市治理、民生服务、产业发展等各系统协同运转，形成一种自我优化的智能运行模式，

实现“全域立体感知、万物可信互联、泛在普惠计算、智能定义一切、数据驱动决策”。

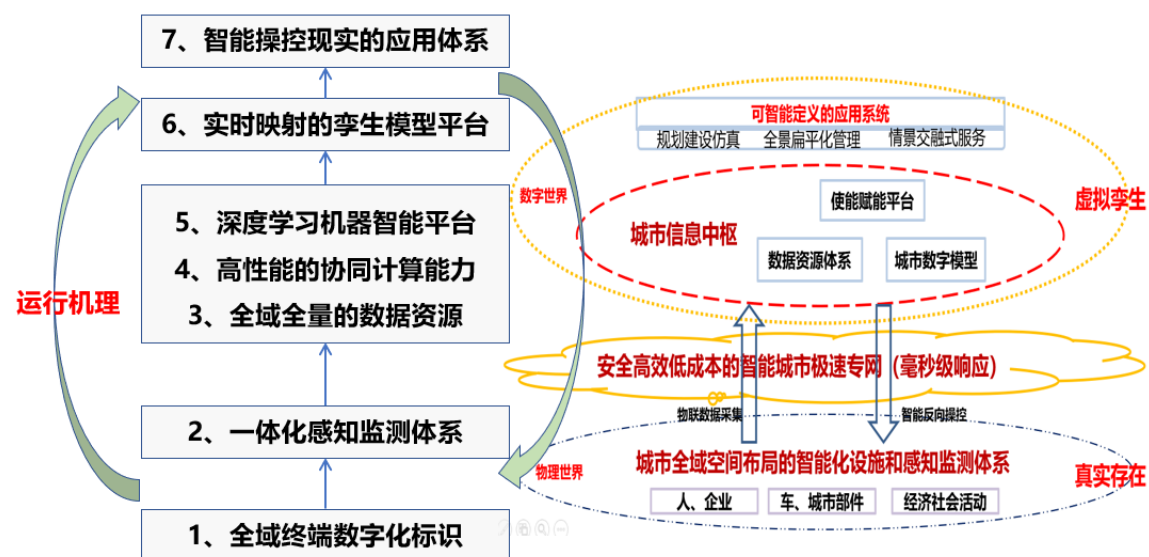


图9 数字孪生城市总体框架运行机理

1. 全域终端数字化标识

数字化标识是万物互联的基础，是数字孪生城市构建的前提条件，是数字空间中用于区分实体身份的基础信息。数字孪生城市模式下，是一个实现物理世界与数字世界完全对应、融合和演进，并驱动整个世界数字化、智能化的过程，为了给城市构建准确的数字孪生模型（CIM），实现数字信息和实体之间的精准匹配、建立连接和管理控制，数字化标识城市的每一个实体是必然趋势，在城市范围内所有智能终端具备唯一的全局身份标识，类似人的身份证号，作为数字孪生城市的唯一索引，记录智能终端所有身份信息，便于数据实时采集、反馈，终端的远程操控。

2. 一体化感知监测体系

一体化感知监测体系是万物感知、万物互联、万物智能的通道、入口和“神经系统”，是数字孪生城市实现物理世界到虚拟世界转化的“连接器”。一体化感知监测体系主要包括感知设备、感知网络、感知平台等，设备层提供各类智能终端具有物联网感知模块，成为设备数据源；网络层建立极速传输网络，为城市各类传感设备提供更深更广的网络覆盖、更可靠更大量的并行连接，使得感知数据从设备层高速传输到平台层；平台层汇聚所有感知数据，为城市大数据分析洞察提供支撑，进而为城市治理、民生服务、产业发展等提供综合数据服务。一体化感知监测体系在全域终端数字化标识体系下，通过感知器件和互联互通设施，感知和传送城市环境和城市部件等监控对象的状态信息，并实现受控的反向的远程控制，最终实现物理空间和数字空间的双向映射，达到万物互联、虚实交融的效果。

3. 全域全量的数据资源

全域全量的城市数据是数字孪生城市构建的基础，为深度学习自我优化功能提供“数据”要素（人工智能三要素之一）。在数字化标识和一体化感知监测体系下，整合政府信息系统、行业领域信息系统、第三方社会机构信息系统等多元数据，形成城市全域数据，如基于统一物联网感知平台的智能终端数据、基于卫星遥感的城市

地理信息、基于各种传感设施的设备运行数据、面向手机和车辆等移动设备的动态数据、基于政府信息系统的业务数据、基于公用事业单位信息系统的业务数据、基于通信运营商和互联网服务提供商等商业信息系统的数据等。搭建统一的数据管理平台，实现数据的采集、汇集、清洗、分类、开放、共享，实现城市范围内的数据的一致性保障、可靠性保证、快速定位和高效获取，构成有效决策的数据基础。

4. 高性能的协同计算能力

高性能的协同计算是数字孪生城市构建的效率保障，为深度学习自我优化功能提供“算力”要素（人工智能三要素之一）。在数字孪生城市模式下，城市实现高度数字化，同时产生海量数据资源，高性能的协同计算将提供算力支撑，主要包括强大的数据处理中心和边缘计算中心，在城市的所有网络节点中根据需求部署云计算中心和边缘计算设施，为孪生城市的高效运行提供运行决策。以自动驾驶车联网应用为例，通过车辆获得的车辆周边感知数据和车路协同基础设施获得的路况数据，在边缘计算中心进行环境理解、导航规划、高精地图更新等数据处理及决策，然后在交通部门的云计算中心进行指挥交通控制决策。

5. 深度学习机器智能平台

深度学习的机器智能平台是数字孪生城市构建的运行决策保障，为深度学习自我优化功能提供“算法”要素（人工智能三要素之一）。

基于海量“数据”和高性能“算力”，全面构建融合大数据、人工智能、区块链等先进技术引领的深度学习机器智能平台，应用机器学习和深度学习等机器智能算法，更好的实现有效采样、模式识别、行动指南和规划决策，将人类智能和机器智能相结合，把专业经验和数据科学有机融合，利用机器学习驱动的交互可视分析方法迭代演进，不断优化，提升智能算法执行的效率和性能，保证数据决策的有效性和高效性，以适应不断变化的城市各种服务场景。如，运用大数据技术推动政企协同、定制化数据开发、大数据公共服务等使能；运用人工智能技术提供人工智能基础服务、自主无人系统智能支撑、群体智能服务等使能服务；运用区块链技术，提供基础数据安全可信的共享开放、简化金融物流供应链等业务流程等定制化区块链服务等。

6. 实时映射的孪生模型平台

实时映射的孪生模型平台是构建数字孪生城市综合信息载体平台，是城市统一“展示窗口”“决策中心”。通过加载全域全量的数据资源构建城市多维数据空间，利用 GIS 系统实现城市从地下到地上地理信息的数字化，利用 BIM 和 CIM 模型构建城市的三维数据

空间画像，同时，整合城市遥感、北斗导航、地理测绘信息、智能建筑等城市空间数据，在数字空间模拟仿真组建出虚实映射的数字孪生城市模型。

数字孪生城市模型集中可视化呈现全域智能终端信息、城市运行效果、所有决策效果等，并且可通过操控系统远程控制城市运行状态。简而言之，是在万物互联、万物感知、万物智能的基础上，打破传统设计规则，在静止的二维平面中加入动态演示与模拟，由以往形态上的平面化、静态化开始逐渐向动态化、立体化、智能化延伸。

7. 智能操控现实的应用体系

智能操控现实的应用体系是构建数字孪生城市的“总控开关”“指挥中心”。在数字孪生城市中，所有的服务场景都将在网络空间拥有对应的虚拟场景映射，智能操控现实的应用体系，可作为所有数字孪生城市下应用场景的操控平台，在实体场景中完成的服务可以在线上的虚拟场景中通过信息的传输开展，打破了时空的界限，在提高服务效率、水平的同时，也将大大缓解服务资源不平衡的问题。智能操控现实的应用体系全面集成和融合安全、能源、交通、制造、医疗健康、物流、治理等城市各领域的运行平台，形成集城市运行态势监控、灾害预警、应急指挥、信息发布等功能于一体的

数字孪生城市总控平台、运行指挥平台，助力实现城市资源配置自动优化，城市预警推演的毫秒级响应。

四、数字孪生城市的典型场景

数字孪生模式下，提供了一种能力，包括实时、动态、精准、定位、可视化展示，仿真、验证、回溯，协同、联动等。城市的运行状态将与以往大为不同，可以肯定的是，未来科学发现和智慧应用将会不断涌现，使我们的生活充满了惊喜体验。

（一）“规建管”协同管控，助力一张蓝图干到底

数字孪生城市模式下，加载了数据和软件的城市信息模型成为城市最重要的基础设施之一，最典型的应用场景首推“规建管”全生命周期的协同管控，实现城市规划布局仿真可计算、城市建设运行全程可操控、城市管理服务要素资源可调配，全面提升城市规划、建设、管理的一体化运作水平，真正实现城市“一张蓝图绘到底、建到底和管到底”。

在规划前期，基于数字模型摸清城市家底、把握运行脉搏，推动规划有的放矢提前布局。通过快速的“假设”分析和推演，以更少的成本和更快的速度推动创新型城市顶层设计落地。科学评估规划影响，避免不切实际的规划设计浪费时间，防止在验证阶段重新进行设计。

在勘察阶段，基于数字模型进行数值模拟、空间分析和可视化

表达，构建工程勘察信息数据库，实现工程勘察信息的有效传递和共享。

在规划阶段，通过全面整合导入城乡、土地、生态环境保护、市政等多方规划数据，在数字孪生空间实现合并叠加，解决潜在冲突差异，统一空间边界控制，形成多规合一的“一张底图”，以此为基础进行规划评估、多方协同、动态优化与实施监督。在充分保证“一张图”实时性和有效性的前提下，通过对各种规划方案及结果进行模拟仿真及可视化展示，实现方案的优化和比选。

在设计阶段，基于数字模型对设计方案进行性能和功能模拟、优化、审查和数字化成果交付，开展集成协同设计，提升质量和效率。

在建设阶段，基于数字模型对工程项目从图纸、施工到竣工交付全过程进行监管，对重大项目进度、资金、质量、安全、绿色施工、原材料、劳务和协同协作进行数字化监管，实现动态、集成和可视化施工管理，确保重大工程项目的按时、高质、安全交付。让每一个竣工的建筑、基础设施等建设主体，都包括物理实体和数字虚体两大成果，可实时追踪、定位、分析工程施工、交付、监管等环节的质量，实现各建造方的实时沟通、多方协同，建设成果的模型预先比对、实体多轮迭代，确保城市建设的提质降本、绿色低碳、保障安全。

在运行管理阶段，基于数字模型和标识体系、感知体系以及各

类智能设施，实现对城市基础设施、地下空间、能源系统、生态环境、道路交通等运行状况的实时监测和统一呈现，通过数字模型和软硬件系统，实现快速响应、决策仿真、应急处置以及设备的预测性维护，提升城市的综合抗灾、防灾能力，让城市运行更安全、可靠。

智慧城市项目效益评估。基于数字孪生城市体系以及可视化系统，以定量与定性方式，建模分析城市交通路况、人流聚集分布、空气质量、水质指标等各维度城市数据，决策者和评估者可快速直观了解智慧化对城市环境、城市运行等状态的提升效果，评判智慧项目的建设效益，实现城市数据挖掘分析，辅助政府在今后信息化、智慧化建设中的科学决策，避免走弯路和重复建设低效益建设。

（二）虚实互动以虚控实，支撑城市一盘棋治理

数字孪生城市可实时展示城市运行全貌，助力形成城市一盘棋集中治理模式，立足城市运行监测、管理、处理、决策等治理领域，建立物理世界与虚拟世界的映射和数字展示平台（数字孪生城市模型平台），实现跨层级、跨地域、跨系统、跨部门、跨业务的城市治理协同，形成全程在线、高效便捷，精准监测、高效处置，主动发现、智能处置的城市智能治理体系。

城市公共资源自动优化配置。在数字孪生城市中，可实时全景展示城市公共资源分布情况、能源消耗情况、城市突发事故情况等，

如地铁线路、旅游景点、图书馆博物馆、公园、医院、道路等运行情况实时呈现人流热力图，可根据后台计算平台，智能决策城市治理方案，疏导城市人流、决策警力部署、远程调控能源利用、指挥应急调度、推送交通诱导等。

城市异常问题的自我发现。通过感知监测或视频监控图像、加上图像智能分析和识别，实时展示（生态破坏、环境卫生、各类警情、灾害、违章违建、道路遗撒、交通事故等），并可视化展示，多发地带在一张图上标注，提醒过往行人，并进行资源的优化配置。比如警力，多分布在警情多发地带。线下视频监控拍到打架斗殴盗窃，人流突然密集，交通事故等图像，自动识别，通过机器学习，识别后自动及时在城市数字镜像显示位置，视频，周边情况，由执法者进行处置，自动或人工启动相应处理流程预案。通过对警情类型和区域的深度学习和分析，对警力资源的空间分布进行配置优化。

“城市大脑”智能仿真控制交通。通过视觉分析和道路，人流，车流等数据的机器学习，掌握城市交通体征检测，再通过不断优化各路口信号灯时长，进行交通流量仿真，直到总体通行时间最短，全域信号灯实时精细化控制，根据特种车辆特殊需求定制路线，仿真后再进行沿线信号灯控制。公交线路优化，根据各条线路公交拥挤度调整班次或路线进行运力平衡。所有无人驾驶车辆和无人机（执法、巡检、跟踪、配送）状态和运行轨迹实时监测，动态展示，确保安全运行。

城市基础设施动态管理控制。任何进入数字孪生城市的人和车辆，都通过各种技术手段被感知、被记录。一周之内轨迹可查，未来动向可预测。所有城市部件和建筑、灯柱、井盖、消防栓、垃圾箱、公园座椅、公共卫生间、桥梁、建筑、树木都有电子身份标识，在数字城市都有三维显示，线下是二维码或 RFID 卡，扫一扫即显示相当信息，提供相关服务。状态实时显示，一旦故障或异常，如随手拍上传，则在数字模型中高亮显示，并启动相应处置预案。

自动驾驶无人机巡检。利用无线电遥控设备和自备的程序控制无人机，完成复杂空中飞行任务和各种负载任务，同时与成像设备等部件结合完成高空城市作业。在城市电力运营场景中，无人机巡检有着机动灵活、安全性高、成本低、环境要求低、便于携带和运输等人力巡检及载人直升机巡检无法比拟的优势。在城市电力巡检过程中，无人机替代工作人员到“需要的地方”（预先设定好的 GPS 坐标点）去采集“需要的信息”（如故障点），如无人机可以围绕目标进行 360 度零死角全方位拍摄，通过城市的 5G 网络快速、准确地传达给地面工作人员，供他们作分析、判断、制定解决方案，提高电力巡检工作效率和安全性。此外，无人机巡检还可应用于城市火情监测，重点道路路况监测等场景。

（三）情景交融以人为本，升级个性主动服务体验

在数字孪生城市中，所有的服务场景都将在网络空间拥有对应

的虚拟场景映射，服务内容也将从实体向数字化转变。数字孪生城市将全面采集城市居民的日常出行轨迹、收入水准、家庭结构、日常消费、生活习惯等，洞察提取居民行为特征，在“数字空间”上，预测人口结构和迁徙轨迹、推演未来的设施布局、评估商业项目影响等，以智能人机交互、网络主页提醒、智能服务推送等形式，实现城市居民政务服务、教育文化、诊疗健康、交通出行等服务的快速响应，个性化服务，形成具有巨大影响力和重塑力的数字孪生服务体系。

全生命周期式智慧医疗服务。数字孪生城市模式下，整合智能可穿戴设备、医疗设备采集健康数据、电子病历等各类个人健康数据，形成完备的个人医疗健康档案。患者的病虚拟历及各项数据同步到云端，实现院际间、区域间、国际间数据互通共享，打通远程会诊的渠道，患者通过远程医疗协同平台，可以在“虚拟医院”中实现在线挂号、远程诊断，就医时间更加灵活便捷，足不出户解决“看病难”，也减轻了医院和医生的压力。同时，利用人工智能协助分析、诊断，应用辅助诊疗系统、智能导诊系统、智能检测仪器、手术机器人等智慧医疗设备系统提高医生判断准确度，使患者可以接受更高水平的医疗服务。

虚拟政务大厅实现全线上政务服务。通过搭建政务服务云平台，建立“虚拟政务大厅”，在数字孪生城市模式下，市民所有身份信息以身份证号为索引以电子证照形式在系统中存在，市民可在“虚拟

政务大厅”一站式在线办理各项政务和民生服务事项，真正实现“数据多跑路，群众少跑腿”，此外，系统可深度学习挖掘市民政务服务需求，提供主动式线上推送服务。

个人生活体征全面洞察。数字孪生城市使得每个个体的行为轨迹都会被精准映射，形成个人的大数据集，通过数据的分析与挖掘可得到每个人的个性化信息，如消费偏好、生活习惯、甚至审美、价值取向等。根据这些信息，企业可充分了解用户个性化需求，为其设计符合特性的专属服务。比如酒店能够在客人入住前获取其对室温、光亮、水温、饮食等的偏好，提前做好相应准备，给客人带来更舒适的入住体验；出行时可以根据用户常用路线、出行方式、交通情况等规划。

个性化的虚拟制造服务。数字孪生模式下，不仅城市运行虚实并存，企业生产同样可实现虚实融合。顾客提出对产品的样式、功能、材料等个性化要求，企业根据要求进行虚拟设计、加工、制造，通过虚拟制造，告别过去传统的批量化生产模式，实现产品的定制化与个性化，从而提供适销对路的产品，既拉近企业与顾客之间的距离，也能够避免企业库存积压，降低企业运营成本。

五、数字孪生城市核心：高精度城市信息模型

数字孪生城市可一定程度上对城市的人事物进行前瞻性预判，进而通过智能交互，实现城市内各类主体的适应性变化和城市的最优

化运作。其核心是高精度、多耦合的城市信息模型。通过加载其上的全量全域数据，在城市系统内汇集交融，产生新的涌现，实现对城市规律的识别，为改善和优化城市系统提供有效的指引。

（一）城市初始建模的方法

城市信息模型的初始数字化建模，可综合采用航空摄影测量、激光扫描、倾斜摄影、野外实地测量以及建筑信息模型（BIM）等手段获取原始数据，通过内业数据处理和多元数据融合处理，生成城市信息模型（CIM）。

空中城市 3D 模型：通过无人机倾斜摄影和摄影 3D 建模算法等技术，实现城市外轮廓的快速建模，形成逼真的城市建筑外轮廓模型，并通过图像识别技术，自动区分河流、道路、建筑单体、建筑屋顶、树木、停车场、车位、移动物体等对象。目前高精度的空中城市数据采集可以提供厘米级别的分辨率和逼真的建筑表面纹理。

地面高精度 3D 模型：由于空中数据采集无法有效覆盖近地数据，地面数据采集可以提供高精度的近地面城市 3D 数据，和空中采集数据形成有效互补。地面数据采集一般借助地面车辆或者定点扫描，结合图像拍摄、激光扫描等技术，对城市地面、道路景观进行高精度扫描成像。高精度的地面数据可以直接支持城市导航、自动驾驶等应用，精度可达到毫米级。

室内 3D 模型：对于没有 BIM 模型数据的城市建筑，可利用专用的室内 3D 模型数据采集设备及配套软件，通过激光、图像等手段捕获室内数据，可以完成建筑内部的高精度、逆向建模。同时结合定位数据和专门的 3D 数据融合软件和技术，室内采集的 3D 模型可以和空中、地面的模型数据进行高精度拟合，形成覆盖室内外、近地表面的城市高精度 3D 模型。对于拥有 BIM 模型数据的城市建筑，可利用建筑 BIM 模型数据，进行室内数字化建模。BIM 是城市内部单体建筑或设施的详细三维数字模型，包含建筑所有构件、设备的几何和非几何信息及之间关系信息。通过对竣工交付后的建筑物 BIM 模型数据进行格式转换和轻量化处理，可以生成高精度的城市单体建筑 3D 模型。

（二）城市信息模型的构成

没有城市三维地理信息模型数据，且对城市数字化建模止步于道路、桥梁等公用设施，而城市中巨大的建筑空间内部没有实现数字化，是一个不彻底的数字孪生城市。

基于城市三维地理信息模型及 BIM 建筑信息模型数据，可构建起建立全空间、三维立体、高精度的城市数字化模型。三维地理信息模型实现了城市宏观大场景的数字化模型表达和空间分析，BIM 则实现了对城市细胞级建筑物的物理设施、功能信息的精准表达，

将这两者有机融合和集成，构建数字孪生智慧城市的 CIM 城市信息模型（City Information Modeling），可实现城市彻底地“数字化”。

除城市三维地理信息模型及 BIM 建筑信息模型外，CIM 城市信息模型还需要纳入城市 IOT 智能感知数据。智能感知数据包括城市各种公共设施及各类专业传感器感知的具有时间标识的即时数据。智能感知数据可反映城市的即时运行动态情况，与城市 3D GIS/BIM 空间数据相叠加，将静态的数字城市升级为可感知、动态在线的数字孪生城市。

综合了三维地理信息模型、BIM 建筑信息模型及 IOT 智能感知数据的城市信息模型（CIM），可为城市规划、建设、运行管理全过程的“智慧”进行赋能，包括：时空大数据汇聚、三维导览和虚拟漫游、空间规划推演、方案对比分析、方案模拟验证、三维可视化管理、空间量测和分析、空间 3D 导航、应急预案模拟验证等。

（三）模型与数据的协同运行

CIM 作为多源异构城市模型数据汇聚中心，在空间语义定义（模型定义）、空间数据发布、流数据分析、大数据分析、机器学习等方面需要有专业软件技术支持。

CIM 数据在空间数据渲染上需要突破传统 3D 模型数据的呈现性能瓶颈。例如在一个非常狭小的城市中心区域，汇聚了巨量的 CIM 高精度 3D 模型数据、智能感知数据、公共资源数据、行业活动数据等，

CIM 数据呈现需要借助于数据调度、压缩、图形加速、渲染等手段，在 Web 端和移动端完美的呈现三维数字城市的效果。

CIM 数据发布服务可以根据数字城市管理不同领域的业务需求，将数字城市模型数据按照不同精度、业务场景组织、数据访问管理权限发布成不同类型的模型数据。数据发布可以采用多种渠道，例如 SaaS/PaaS 的数据服务，满足城市多方位的业务需求。

六、数字孪生城市前提：全域布局的智能设施

当前城市在感知业务领域，处于各自为政、条块分割、烟囱林立、信息孤岛的状态，数字孪生城市将针对不同的应用场景，统筹感知体系建设，统一采集汇聚，实现城市动态数据整合与共享，形成全域覆盖、动静结合、三维立体的规范化、智能化、全联接的感知布局，实现物理城市在数字城市的精准映射。

（一）智能设施空间布局

通过规模部署多功能信息杆柱、智能网关和边缘计算节点，采集周围传感器收集到的信息，支持各种近距离及远距离通信协议标准，统一汇聚处理后上传统一物联网平台和城市大脑进行管理。空间维度上，可将感知载体和设施体系分为地上、地下、空中、水域感知体系进行布局：

——**地上**：沿道路布设多功能信息杆柱、智能路灯、智能垃圾桶、智能井盖、智能停车场、车路协同等感知载体和设施；在楼宇建筑

中布设监测排水、燃气、热力、电力、安防、消防等系统的传感装置；在城市能源系统布设自动计量水、电、气、热等能耗的智能仪表；在全域布设温湿度、空气、噪声、辐射、土壤等环境监测装置。

——地下：在综合管廊、地下交通、地下防务等地下空间和水务、燃气、热力、电力、通信地下管线等布设传感设施。

——空中：可利用浮空平台在空中进行气象、环境等监测和区域视频监控；可利用低空无人机搭载传感器、摄像头等对特殊复杂环境和重点区域进行增强补充、定期巡检和应急保障；

——水域：在大型河流湖泊的水下布设水底观测网，水面布置锚泊站，并运用无人监测船等进行水文、生态、环境等监测。

针对不同感知载体和设施特点，传输可采用无线为主或有线为主两种方式进行布局。一是以无线为主，采用 4G/5G、无线专网等广域无线网络进行覆盖，主要支持低功耗、大连接数、位置较分散的传感装置或具有移动性的装备装置。5G 网络与边缘计算相结合，可实现在网络边缘侧对海量数据进行预处理，再回传给中心云平台，这样节省传输带宽，提供低时延服务。二是以有线为主，利用搭载物联网关或边缘计算设备的信息集控箱向周围区域通过光纤、电缆或短距无线传输（Wi-Fi、蓝牙）等方式进行覆盖，主要支持位置相对固定、需要持续大带宽连接或持续供电的感知设备数据采集。

（二）标识体系和编码设计

面对海量的物联网设备，有必要建立设备的统一编码标识，规范物联网标识体系，是实现物联网各领域信息互联、产业提升的重要前提条件。IMSI(国际移动用户识别码)是移动通信中进行身份认证的编码方式，资源较丰富，可延续至物联网领域继续使用。我国 IMSI 由 460+2 位移动网络识别码+10 位用户识别码组成，共计有 1 万亿 IMSI 资源，按当前 IMSI 的实际利用率约为 3-4%计算，至少满足 300-400 亿终端的需求，可满足物联网终端设备身份识别的需求。但是仅通过蜂窝网通信接入的物联网设备采用 IMSI 标识没有实际意义，设备需要通过使用嵌入式 eSIM 卡将 IMSI 与物联网终端设备进行有效绑定。基于 eSIM 建立芯片管理平台可以迅速生长出对基于蜂窝网的物联网终端的管理能力。芯片管理平台对物联网 eSIM 通信芯片和码号资源进行全生命周期管理，平台应按照 eSIM 芯片流转过程进行设计，实现 eSIM 芯片管理与通信管理和连接服务相关平台的高度集成，并从制度建设层面对 eSIM 运营流程进行梳理、规范，使 eSIM 在物联网终端的标识可靠性得到验证。

对非蜂窝网接入的设备，应该建立异构兼容的城市级物联标识解析体系，实现不同标识之间的互联互通，包括公共标识之间（例如 Handle、OID、Ecode）、行业标识之间（例如药品电子监管码、汽车零部件编码、动力电池编码等）、公共标识与私有标识之间等多种业务场景。通过吸收借鉴全球相关研究成果与探索经验，并在实践中

积极创新，逐步形成既顺应国际发展趋势，又符合我国产业需求的标识编码与解析服务能力。应遵循唯一性、兼容性、可扩展性、安全性和实用性的原则，实现物品统一编码、数据标识、中间件、解析系统、安全机制、信息查询和发现服务、应用模式构成一个完整的物联网统一标识体系。

（三）物联网设备连接管理平台

随着物联网在网设备呈爆炸式增长，对物联网快速接入、数据存储和远程监控等提出了更高的要求，物联网平台正是提供设备连接及后续服务等能力的平台。城市物联网连接适配和管理平台，是物联网终端数据采集及运行状况的信息汇聚点，通过协议适配和数据采集支撑城市大脑全景展示城市系统运行状况，利用可视化技术和增强现实技术在信息空间中，完整的实时重现城市的活动，与城市应急指挥中心按照需求对接，相互支撑，确保城市的健康、安全、平稳的运行。手机和平板电脑等移动终端可借助移动互联网，成为分级分区域的接入控制点。

城市物联网连接适配和管理平台应满足适应多语言、多操作系统的不同终端设备的接入和数据通讯需求，并保证通信安全性、实时性和稳定性，并具备包括 C、Java、.Net、iOS、Android 等在内的 SDK 开发工具，可以接受任何安装有协议驱动程序的设备发送的数据。应适配不同场景下适用的不同协议，包括且不限于适用于低

功耗场景的 NB-IOT 协议，适用于单点控制模型的 EDP 协议，适用于订阅发布模型的 MQTT 协议，适用于工控传输模型的 MODBUS 协议，适用于车载终端模型的 JT/T808 协议，适用家居穿戴模型的 RGMP 协议等。另外，应支持依据规则添加新的协议。目前中国移动 OneNET 平台、华为 OceanConnectIoT 等物联网平台兼容各种传输协议，以 API 的形式输出服务，目前已获得广泛应用。

七、数字孪生城市支撑：高效运行的智能专网

为支撑数字孪生城市的高效运行，满足城市各类智能化运行场景需求，保障城市全域空间布局的智能化设施感知信息流动，须建设地上地下全通达、有线无线全接入、万物互联全感知的城市智能专网，才能满足数字城市与物理城市虚实融合孪生并行的运行模式需求。

（一）数字孪生城市提出网络新需求

从安全、效率、成本三方面考虑建立智能城市专网。数字孪生城市提供了基于虚实融合技术能力的管理一盘棋、服务一站式的模式，这种模式与传统的智慧城市相比，有三个突出的特点：一是对于安全性有着更严苛的要求，必须保证网络和信息的绝对安全，否则将可能导致对整个城市的毁灭性打击；二是物理世界与数字世界虚实之间必须实现毫秒级响应，要求网络传输高带宽低时延，网络资源虚拟化按需配置，可灵活调度和弹性组网，支持政府跨部门调

拨公共资源、突发事件中的联动响应，以及应急抢险的及时性和准确性，满足城市管理和服务高效率要求；三是满足百万、千万级传感器和智能化设施接入要求，海量的感知数据采集以及城市运行、政务服务、产业发展、管理控制等信息传输将带来巨大的通信传输成本。因此，从安全、效率、成本三方面考虑必须建立城市智能专网，以往信息化建设政府各部门分别租用运营商专线的方式已不能满足需求。城市智能专网对于数字孪生城市的成败起到举足轻重的作用。

城市智能专网具有六大功能和优势。**一是综合接入功能**，提供包含宽带无线网、宽带有线网、视频监控、应急通信、政务外网等专业服务，帮助政府提高城市管理运营效率、解决各种环境下的网络部署问题。**二是融合指挥功能**，借助智能专网，尤其是无线专网，实现跨部门、委办的指挥通信。**三是城市感知功能**，面向城市中无所不在的传感和数据采集设备采集城市信息、分析、整合城市运行核心系统的各项关键信息，从而对包括民生、环保、公共安全、城市服务、工商业活动在内的各种需求做出智能响应。**四是专网专用**，更流畅的网络体验，避免公网环境下，用户数陡增导致的网络拥塞，同时可根据需要，自主选择建设的网络疏密及带宽大小。**五是网络基础资源共享**，更高效的利用率，避免重复建设及租赁带来的资源浪费。**六是物理隔离**，更可靠的安全性，从接入到传输的物理隔离，大大降低网络被非法入侵的风险。智能专网使我们能够将数字世界

与物理世界紧密连接，对城市提供新的服务以及人们的生产生活方式改变带来深远影响。

（二）万物互联综合接入智能专网

智能专网应积极应用各类接入、承载、控制和安全新技术进行组网。智能专网通过万兆基础网络进行统一承载，通过绿色智能数据中心支撑城市信息管理中枢的高效运行。

推进 5G 网络的大规模商用。打造多网协同的泛在无线网络，实现城市的无缝接入，实现大数据量、大联接数等多种人与人，物与物的连接，适配不同应用场景。按照不同的业务场景可以划分为无线宽带集群专网和无线物联专网。在有条件的情况下申请智能城市专用无线频率，建设高、中、低速全系列物联网无线接入网络，构建城市物联网统一开放平台，实现感知设备统一接入和集中管理。现阶段全系列的物联网接入技术有 LTE（高速）、eMTC（中速）、NB-IOT（低速）等，后续 5G 标准将会引入全新的 mMTC 技术，实现覆盖全城的万物互联，服务智慧环保、智慧社区、平安城市、智慧监管、智慧交通等城市智慧应用。

推进有线网络万兆接入。通过大容量光纤链路构建城市智能专网主网平面，形成双核心、双链路、大容量、高可用和负载均衡的网络架构，在网络接入层支持边缘计算，满足业务本地化快速响应需求；在网络控制层采用 SDN（软件定义网络）技术实现业务快速开

通和流量灵活调度，提升链路利用率，实现精细化管理。

智能专网须全程全网支持 IPv6。支持新业务的引入和部署。在城市智能专网中通过 IP 新技术构建视音频专网、感知数据专网以及其他必须的行业逻辑专网，充分利用线路资源，减少重复建设。

智能专网应制定相应级别网域保护要求。部署对应的网络和安全设备，满足不同级别业务安全需求，符合国家安全等级保护要求，解决各厅局委办中涉及敏感非涉密的业务的强隔离需求，统筹应急响应与灾难备份能力建设。城市智能专网应建立完善的密钥管理基础设施，推进信任体系建设，充分利用已依法设立的电子认证服务机构，实现面向智能专网与各级各类业务应用的身份认证、访问授权和责任认定等安全管理，为跨部门、跨地区的政务业务应用提供安全保障。

（三）智能专网对已有网络延伸增强

从功能上看，智能专网一部分是政务外网及互联网的补充和延伸，主要是运营商无线公网信号覆盖不足或端口受限的场景，通过建设智能无线专网实现网络接入能力的延伸和扩展；另有部分智能专网主要是出于对政务外网或互联网在某些功能或特性方面的增强，比如出于安全性、可靠性等方面的考虑，通过自建区域型或特定应用的智能专网来保证业务数据的自主可控，从而提高相关业务的可靠性和安全性，如园区专网或 AGV 通信承载专网等。

为实现资源的统一调用和灵活共享，智能专网应与公网以及其它外网在保证网络安全的前提下通过统一的标准进行互通，允许数据在网络之间实现信息交换和安全隔离，满足电子政务办公需求和智能城市精细化管理所需的万物互联需求。智能专网的对外互通应重点关注专网与公网以及其它外网的安全逻辑隔离，通过统一的安全控制策略以及在网络入口部署防火墙、入侵检测、防病毒等基本安全防护，来保障智能城市专网的网络安全。同时需提供公众访问智能城市专网的公开信息和非涉密信息系统的解决方案，响应公网以及城市外网用户合法的访问请求。对外出口的互联网架构可按需动态优化部署。

目前一般采用构建 DMZ 专区实现智能城市专网与公网以及城市外网的分离。通过把允许外网访问的公开信息放置在公用服务器，并连接在 DMZ 服务器的 DMZ(开放)端口上，把不允许外部访问的专网服务器连接在 DMZ 服务器的 MZ(信任)端口上，从而根据不同的需要，有针对性地采取隔离措施，在对外提供信息服务的同时，最大限度地保护智能城市专网内部网络安全，实现内、外网的分离。DMZ 专区的设置，提高了智能专网内网资源的安全级别，同时也阻隔了外网用户对内网资源的访问。为了让外网用户的合法外部请求也能方便地访问内网资源，可在 DMZ 基础上构建 VPN 专网。同时可采用基于网闸的内外网安全隔离。网闸（或物理隔离网闸）是带有多种控制功能的固态开关读写介质连接两个独立主机系统的信息安全设备。

由于网闸所连接的两个独立主机系统之间，不存在通信的物理连接与逻辑连接，不存在依据协议的信息包转发，只有数据文件的无协议“摆渡”，所以网闸在物理上隔离、阻断了具有潜在攻击可能的一切连接，可以实现真正的安全。

综合接入的专网光缆可依托城市综合管廊进行统一规划、统一预留在管廊内，单独设立智能专网通信舱，统一对外的链接出口。纤芯应根据实际网络需求进行布放并进行纤芯冗余，避免后续因扩容导致纤芯重复布放。局办委专线采用 IP 承载网实现统一承载，通过二层/三层 VPN 实现逻辑隔离，保证各自的相对私密性。视频监控业务回传采用有线为主、无线为辅的方式实现，有线接入采用 xPON 技术，无线采用 5G eMBB 方式。物联网的传感器采用 5G mMTC 方式，实现低成本、低功耗。

为满足智能城市有线无线综合接入的专用网络需求，接入网机房可利用社区综合机房与其他运营商共址部署，并对智能专网区域单独做保护隔离。无线网络应满足城市百万级的感知设备联网和采集需求，建议申请智能城市专用的无线频率。依托智能停车场、多功能灯杆、综合管廊等新型物联网集成载体的建设，实现感知设备的部署。

八、数字孪生城市重点：智能操控的城市大脑

数字孪生城市通过城市大脑，汇聚与交融不同来源的数据，如实记录呈现城市动态，尽可能预见到政策干预对各个子系统的影响，充分考虑各种规避行为、时间延迟和信息损失等问题，将“自学习、自优化”功能融入城市管理过程之中，最终达到增加城市系统整体福利的理想效果。

（一）大脑凸显自主学习与集中调度

传统智慧城市的控制智慧中心比较简单，基本上承担城市大数据的综合分析和决策职能。而数字孪生城市的大脑不仅具有数据涌动、知识发现、实时诊断、智能辨识、态势认知等城市多元数据分析的基本能力，还应有模拟仿真、深度学习、自我决策等更高级能力，而且更重要的，是必须具备反向控制城市智能化设施和相关主体（如人、车）的能力，使城市自然资源、道路资源、电力资源、医疗资源、政务资源、警力资源等得以及时调配，问题得以快速处置，使整个城市越来越美好。

数字孪生模式下城市大脑紧密围绕城市信息模型（CIM）和叠加在模型上的多元数据集合，充分运用人工智能和深度学习的技术来治理城市。要能整体认知城市态势，实时处理人所不能理解的超大规模全量多源数据；要能够通过机器学习，洞悉人所没有发现的城市复杂运行规律和自组织隐性秩序；要能制定超越局部次优决策的

全局最优策略，形成城市层面的全局统一调度与协同。通过物理城市和数字城市虚实互动，不断交换数据和传递指令，在数字世界仿真，在物理世界执行，使城市运行不断优化，向高度有序化演进。

（二）一体三翼构建数字孪生城市大脑

城市全要素数据治理、城市信息模型和人工智能支撑下的大脑平台，组成了数字孪生城市大脑。

1. 全域数据治理

一方面，建立数字孪生城市统一共享的“数据中台”，即城市数据资源平台，包括数据共享交换、数据统一分析、数据汇聚等基础努力。另一方面，构建可互操作、一体化的“数据语言”暨城市数据定义与标准，包括数据汇聚、数据模型、质量评价、数据应用等一系列城市大数据建设标准规范，进而形成城市数据标准汇聚生态，为城市大脑生态中的跨渠道的多源数据融合分析奠定前提基础。

多元数据主要包括：一是城市语义信息，即城市全要素语义化，将其几何属性、自然属性、社会属性以数据形式表征，被计算机所理解，形成统一的城市知识图谱。二是政府部门掌握的信息，如产权、户籍、社保、法人、纳税、教育、医疗、交通、电信等等，据统计，80%的信息与空间地理相关。三是城市运行产生大量数据，如路况信息、导航信息、气象信息、车辆轨迹、人口流动等等，将物联网、传感器、监控点等城市实时运行多源异构数据通过语义与空

间数据进行时空上的聚合，并向各政府部门和社会企事业单位提供基础服务，突破传统的时空云走不出政府应用的困境。

2.城市信息模型

数字孪生城市以城市作为整体对象，并不是建立一个单一城市整体模型，而是拥有一个模型集，模型之间具有耦合关系，其价值就在于通过对数据资源的深度挖掘、分析，使不同来源的数据在城市系统内的汇集交融产生新的涌现，实现对城市规律的识别，为改善和优化城市系统提供有效的指引。

数字孪生模式下这些信息悉数加载在城市信息模型上，依靠人工智能技术进行结构化处理、量化索引一座城市，依靠深度学习技术实现自动检测、分割、跟踪矢量、挂接属性入库，形成全景视图和各领域视图，全局、直观、量化可分析、可推演、预见未来，从而给城市管理带来质的飞跃。如通过人口年龄段与学校、药店、养老院等叠加分布分析，能够为学校和药店等选址提供数据支撑，辅助政府决策。

3.人工智能赋能

城市数据大脑汇聚城市海量数据，构建支持知识推理、概率统计、深度学习等人工智能范式的城市级指挥与调度平台，形成两方面赋能：

一是提供感知识别、知识计算、认知推理、运动执行、人机交互能力的使能支撑能力，形成城市级视频识别、语音识别、自然语言处理等基础设施，为行业系统、区县中枢（及其应用）提供智能化支持。

二是进行跨部门、跨领域、跨区域的即时数据处理，实现数据融合创新，协调各个职能系统，通过大数据、人工智能等技术支撑各行业系统有效运行，有效提升系统能级，解决城市综合性问题，修正城市运行缺陷，提高城市运行效率。

（三）创新全景全要素城市治理新模式

传统的智慧城市还是条块的管理，缺乏全景式一盘棋管理的高度、广度和深度，而数字孪生城市大脑以“城市信息模型&城市全要素语义化数据&人工智能”的治理模式有力弥补了这一短板，使城市管理更上层楼。

城市画像、居民画像在数字孪生模式下才能实现。通过政治、经济、文化、社会、人文、历史、地理、生态、环境、气象、交通等全要素数据聚合，准确抓取城市体征，进行城市画像，可洞察城市动态，摸清城市发展脉络，制定正确的城市发展战略和策略。通过民众的衣食住行、文化、消费、兴趣、爱好、收入、教育、医疗、卫生、职业等多元化数据聚合，临摹出城市的人口特征，进行区域

人口画像，可精准洞察民众痛点和需求，便于对症下药，改善公共服务和社会服务，提升百姓幸福感。

城市大脑实现运行管理“一盘棋”。人口实时分布热力图，城市机场、高铁站、交通枢纽、地铁站、热门景点、博物馆、图书馆、体育馆运行状态和实时利用率，人和车辆动态和轨迹追踪、城市大型建筑、桥梁、游乐场、重点设施的安全监控，一张图全景展现全市运行动态，常态下监控，应急态下统一指挥全城协作。

此外，如通过建筑几何数据、声学传感器数据、专业分析模型以及可视化渲染进行城市噪音分析，通过道路桥梁几何数据、地质传感器数据、专业分析模型以及可视化渲染进行洪水分析、能效分析、地表光照分析、电信信号分析，进行电信规划和仿真、交通模拟和规划、环境和能源管理、智能决策分析、智能预测和预警，最终形成自学习的优化运营。

九、推进数字孪生城市的建议

（一）正视面临的挑战

数字孪生城市尚缺乏系统的基础理论研究。城市全要素建模方法、空间语义数据表达、全域的数字化标识规则、全域传感器的空间布设规则，城市多功能信息杆柱的设置规范，感知数据的采集规则与使用权限，城市边缘计算和信息节点的设置规范，边缘计算设备与物联网以及云计算的关系。动态信息如城市事件如何在数字模

型中实现语义化表达，政府和社会数据在城市信息模型中的展现规则，数据、软件和模型的关系，如何体现数字孪生模式下城市管理和服务的优势。如何根据静态和动态数据进行决策的仿真优化。此外，“由虚控实”实现城市智能控制的软硬件系统，更是前所未有，缺乏研究。

数字孪生城市缺乏系统的建设方案，五大环节亟待深入探索。数字孪生城市几乎囊括了迄今为止所有的信息科技，这种前所未有的技术集成创新。不仅要能理解并体现非精确、模糊化的城市治理规则和运行机制，通过要实现对物理城市的模拟、监控、诊断、预测和控制等五大环节融合创新。第一层次是模拟，即建立物理对象的虚拟映射。鉴于城市的复杂性和要素的多样性，其全量模拟的技术和标准还需要深入探索。第二个层次是监控，即在虚拟模型中反映物理对象的变化，物理对象数据的收集与传递离不开物联网，其编码、寻址、标准、安全等问题还有待解决。第三个层次是诊断，当城市发生异常，基于人工智能的多维数据复杂处理与异常分析，我国与发达国家相比仍存在差距。第四层次是预测，即预测潜在风险，合理有效规划城市或对城市设备进行维护。城市预测需要众多技术融合集约，在灵活性和适应性方面存在巨大挑战。第五层次是控制。需要庞大复杂的软硬件系统支撑，尤其是通过软件实现对城市管理与服务的赋能，设施控制。

（二）分领域优先落地

从数字孪生城市基本特征看，在数字化水平相对较高、需要运行机理建模、实现虚实空间协同优化、彰显多维智能决策支撑等方面，数字孪生城市必将发挥更重要作用。同时考虑建设难易程度，遵循局部突破、示范带动、有序建设的原则，数字孪生城市建设可优先考虑城市规划、建筑、交通、能源等四大领域。

一是推进智能规划建设，通过数字孪生城市模型，三维可视化展示城市环境温度变化、水势变化、空气动力变化、雾霾分布情况等，为城市管理提供决策依据；通过模拟仿真、动态评估、深度学习城市规划方案对未来城市带来的影响，保证规划城市楼宇、绿地、公路、桥梁、公共设施等每一寸土地时，实现经济效益最优化。

二是开展基于 BIM 的智能建筑建设，推进规建管一体化建设，在建设过程中，赋予城市“一砖一瓦”以数据属性，与物理空间同步建设数字孪生城市，建成后的数字孪生城市可实时呈现建筑物内景细节，类似于工业领域的数字孪生体一样，可远程调控远程维护，实现虚拟控制现实。此外，在水利、国土、环保等其他与基础设施空间相关的领域同步开展落地建设。

三是推进智能交通建设，通过数字孪生城市对城市交通流量实时监控，和分析计算，基于人工智能算法预测交通流量变化，智能导引车流，智能调节交通信号灯，缩短车辆等待时间，优化城市道

路网络的交通流量；实时显示汽车定位位置周边的车位信息，针对智能停车场和智能网络汽车，可率先实现智能泊车。

四是建设智能能源体系，通过数字孪生城市可仿真城市太阳能光伏发电量，自我优化城市能源供给结构、供给方式、供给量等，有利于实现发电与用电最佳匹配；数字孪生城市三维呈现实时能耗数据，智能发现能源浪费现象，制定能源梯度利用方案，降低城市总体能耗。

（三）分步骤务实推进

从整体布局看，数字孪生城市建设要加强基础理论与关键技术研究，同时联合全国相关领域的优势创新团队和产学研用等多方主体，聚焦数字孪生城市中的共性、难点问题，统筹基础研究、共性关键技术研发和典型应用等环节与任务的衔接，集中力量，联合攻关。

从城市层面看，数字孪生城市建设不可一蹴而就，要循序渐进，稳步推进：

第一阶段，“打基础”。建设能够精准映射实体城市的数字基础设施，实现城市建设“由实入虚”。在城市的天空、地面、地下、河道等各层面广泛部署物联网感知设施，利用二维码、RFID、3DGIS、北斗卫星定位等技术手段，实现对实体世界的人、物、事件等要素数字化；建设物联网（传感网）、通信网（宽带、移动和无线）及

承载平台，通过对象识别、数据采集、数据传输、数据存储、数据处理，在城市建设之初同步形成与实体城市“孪生”的数字城市。

第二阶段，“建模型”。构建基于“虚拟城市”的数字化模型，实现规建管一体化。利用 GIS、BIM、3D GIS 等技术，构建统一的城市信息模型，打通规划、建设、管理的数据壁垒，将规划设计、建设管理、竣工移交、市政管理进行有机融合，将城市规划数据、建筑数据、物联感知的数据、政务业务的数据、城市运行的数据，全部实时准确地加载在城市数字化模型之上，形成关于城市运行的全面影像，为城市的可视化智能化管理创造条件。

第三阶段，“强应用”。“由虚入实，虚实结合”，实现智能化控制。通过对城市运行状态的充分感知、动态监测，形成虚拟城市在信息维度上对实体城市的精准信息表达和映射，通过软件定义实现城市的赋能，决策的仿真和指令的执行。进而逐步拓展应用范围，实现由城市规划和管理向城市服务方面扩展，通过服务场景、服务对象、服务内容等方面的数字孪生系统构建，引发服务模式向虚实结合、情景交融、个性化、主动化方向加速转变。

（四）分类别有序引导

1. 绿地型（Green Field）新建城区的建设路径

零起步城市主要是新城、新区，包括国家级新区、开发区、高新区等，这类城市没有各自为政的信息孤岛壁垒和业务协同的屏障，

城市中的数据、业务都能够更便于集成和融合，能够快速实现数据的交换共享和业务协同。因此，零起步城市应坚持高起点、高标准、高水平的原则，与实体城市同步规划、同步建设数字城市，孪生并行。

首先，在实体城市建设过程中，同步部署天、空、地一体的物联网感知设施、物联网（传感网）、通信网（宽带、移动和无线）及承载平台等，实现城市的数字化。其次，充分利用 BIM 和 3D GIS、云计算、大数据、物联网和智能化等先进信息技术，构建统一的城市信息模型，实现城市可视化建模，并贯穿规划、建设与管理的全过程、全要素、全方位的实现数字化、在线化和智能化。最后，结合城市特点及发展需求，逐步实现在重点领域应用的率先突破，支持新城新区的生长模拟与各种预案优化，支持相关政策决策的人口空间分析、公共设施布局、土地利用变化、基础设施建设、城市治理服务等分析，通过与实体城市之间的虚实互动，演绎城市未来的发展。

2.棕地型（Brown Field）已建城市的建设路径

已建成城市有一定的基础，如已建成物联网、互联网、城市服务平台等基础设施和应用系统，一般存在信息孤岛或业务协同屏障。因此，已建成城市应坚持资源整合、夯实基础、重点突破的原则，在原有基础之上，按照数字孪生城市建设的要求，进行补充、完善。

首先，把提升基础设施水平放在突出位置，结合应用需求及城市发展特点，推动网络和传感节点部署，建立新型城域物联专网，实现城市运行的透彻感知及数据的共享，逐步构建虚拟城市。其次，以信息共享、互联互通为重点，利用 BIM 和 3DGIS、云计算、大数据、物联网和智能化等先进信息技术，构建统一的城市信息模型，实现城市可视建模，推进数据资源整合和开放共享，打通规划、建设、管理的数据壁垒，改变传统模式下规划、建设、城市管理脱节的状况，实现规建管一体化和有机融合。最后，逐步拓展数字孪生应用，实现对城市运行状态的充分感知、动态监测、智能管控。



中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮政编码：100191

联系电话：010- 68033745、62304839

传真：010-62304980

网址：www.caict.ac.cn

