引文格式：刘一,李媛,杨滔,等. “场景-数据”双驱动的城市级BIM构建模式[J]. 地理空间信息, 2026, 24(6):67-72. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.06.012

“场景-数据”双驱动的城市级BIM构建模式
——以深圳市为例

刘　一[1]，李　媛[1*]，杨　滔[2]，包　颖[1]
（1. 深圳市城市建设档案馆，广东 深圳 518034；2. 清华大学 建筑学院，北京 100084）

摘　要：针对超大城市复杂治理中垂直领域建设模式导致的语义割裂与协同困境，提出了一种面向既有重要建筑的“场景-数据”双驱动城市级BIM建构理论。研究打破了重物理形态、轻治理逻辑的过往局限，构建了涵盖决策网络解构、场景特征映射与语义和几何的本体同构机制的底层理论框架。并据此攻克了复杂决策时空网络解构与拓扑建模、多维场景特征张量矩阵建构、空间-实体-场景聚合编码三大关键技术。依托深圳市数字孪生先锋城市建设实践，深入剖析了该理论体系的应用路径，首次系统性提出了面向空间资产全生命周期的“建-查-管-用”闭环“深圳模式”。实测表明，该模式在深圳市超3 600万km^{2}既有重要建筑BIM建模工程中，实现了模型审查效能的大幅提升，累计产生上亿元的综合经济效益，为新型智慧城市数字孪生底座建设提供了逻辑严密的方法论与实践样本。

关键词：数字孪生；BIM；场景驱动；特征张量矩阵；聚合编码；深圳模式
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）06-0067-06

City-level BIM Construction Paradigm Based on “Scene-Data” Dual-driven: A Case Study of Shenzhen City, Guangdong Province, China

LIU Yi[1], LI Yuan[1], YANG Tao[2], BAO Ying[1]
(1. Shenzhen Urban Construction Archives, Shenzhen 518034, China;
2. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: To address the semantic fragmentation and collaboration dilemmas caused by the vertical domain construction model in the complex governance of megacities, we proposed a “scene-data” dual-driven theoretical framework for the city-level building information modeling (BIM) of existing important buildings. Breaking through the traditional limitations that emphasizing physical morphology over governance logic, we constructed an underlying theoretical mechanism encompassing the deconstruction of decision networks, dimensionality reduction of scene features, and the isomorphism mechanism between semantics and geometry. Based on this framework, we successfully developed three key technologies, such as spatio-temporal network deconstruction and topological modeling for complex decision-making, the construction of a multi-dimensional scene feature tensor matrix, and space-entity-scene aggregation coding. Relying on the practical construction of Shenzhen City as a pioneer digital twin city, we systematically proposed the closed-loop “Shenzhen Paradigm” characterized by “construction-inspection-management-application” for the full life cycle of spatial assets. Empirical results demonstrate that in Shenzhen’s BIM modeling project covering over 36 million km^2 of existing important buildings, this paradigm has significantly improved model review efficiency and generated cumulative comprehensive economic benefits exceeding one hundred million RMB, providing a logically rigorous methodology and a practical blueprint for the digital twin foundation construction of new smart cities.

Key words: digital twin, BIM, scene-driven, feature tensor matrix, aggregation coding, “Shenzhen Paradigm”

近年来，随着数字孪生向高阶演进，微观BIM与宏观GIS、多尺度时空大数据的深度集成，已成为构建新型智慧城市操作系统、打破部门数据壁垒的核心路径[1-4]。同时，空间要素与人工智能的融合正催生出能够映射城市生命特征的“跨代孪生”新模式，为支撑跨层级、跨领域的复杂治理决策提供了前沿的理论基础[5]。

然而，在超大城市数字底座的建设实践中，现有技术体系仍面临显著瓶颈。当前的时空基础平台多局限于几何特征的静态映射与可视化，倾向于将BIM模型视为静态的数据容器，缺乏对城市动态运行业务逻辑的深层解析[6]。这种“重物理形态、轻治理逻辑”的垂直领域建设惯性，导致海量多源异构数据与复杂治理场景之间存在巨大的“语义鸿沟”[7]。由于缺乏

第一作者简介：刘一（1984—），硕士，高级工程师，研究方向为住建领域的信息化建设及BIM技术应用，E-mail：24846060@qq.com。
通信作者：李媛（1989—），硕士，工程师，研究方向为住建领域数字化转型及BIM技术应用，E-mail：244389690@qq.com。

将宏观场景规则与微观BIM构件智能关联的底层映射机制，高精度模型在接入真实业务拓扑时往往遭遇数据流转壁垒，极易沦为信息孤岛并造成极大的算力浪费[8]。

为破解这一跨尺度、跨业务领域的协同困境，本研究依托深圳市超大规模既有重要建筑BIM建模的工程实践[9]，提出基于“场景–数据”双驱动的城市级BIM建构理论和关键技术，建立“以场景逆推数据、按需动态重构”的底层实施路径，为海量BIM数据在城市全生命周期内的持续迭代与深度赋能，提供落地的“深圳模式”。其中“场景–数据”双驱动的理念，核心在于以城市实际治理场景为导向，联动多源数据资源，实现数据供给与场景需求的精准匹配，打破数据与场景的割裂困境。

1 总体框架

针对超大城市的高度复杂性，本研究探索解决的科学问题：在城市规划、建设和管理全生命周期治理过程中，如何打破业务逻辑与时空信息之间的语义鸿沟，实现BIM模型的按需精准提取与动态双向反馈。据此，本文提出“场景—数据”双驱动城市级BIM建构的总体框架（图1）。其中，以场景推导数据为正向驱动，即城市治理场景通过特征映射转化为对BIM要素的靶向调用指令；以数据反哺场景为反向驱动，即地理空间与物联感知等数据通过聚合关联反哺业务网络，触发场景决策流转，形成持续迭代的闭环回流。

城市系统的高度复杂性，根源于其场景皆为动态演进的涌现过程[10]。该过程不仅包含自下而上的多元参与主体响应与资源要素重组，同时受制于自上而下的社会经济规则与环境约束。场景的本质，是构建并映射“人、地、事、物”多源异构的时空交互模式。本框架以建筑、地块等微观尺度空间为锚点，通过多元要素的异质性组合与空间拓扑重构，满足跨行业应用需求。在此语境下，场景转化为基于领域本体的具象化的、可计算的时空客观映射。场景自身具备自适应迭代特征，深度耦合业务交互机制，通过持续动态调用多源结构化BIM语义与几何数据，无缝嵌入各级决策环节。同时，场景交互产生的增量数据将形成闭环回流，持续充实底层数据池。

城市治理的本质是多源异构要素时空交互的涌现过程。本框架将这一复杂过程转化为系统可解析的机制，具体包括如下3个理论维度：

1）复杂决策的时空网络解构：跨部门、跨主体的城市综合治理并非线性流程，而是具有强烈时空约束与概率演化特征的动态博弈[11]。本维度提出将离散的行政审批与业务流转，解构为具备时间演变逻辑与空间实体约束的动态拓扑网络，以此作为连接宏观场景与微观数据的结构化骨架。

2）场景涌现的多维特征映射：面对复杂城市系统高噪声、非结构化的场景涌现，需提取其核心本体规律[12]。本维度提出特征降维与空间映射机制，将复杂的治理现象抽象为涵盖“行为主体、空间尺度、业务对象”的多维场景特征张量矩阵，实现从感性治理需求到理性数据分类的逻辑转换。

3）语义与几何的本体同构机制：业务逻辑（如管理网格、消防分区）与物理实体（如墙体、管道）之间天然存在语义割裂。本维度基于知识图谱与领域本体，提出语义与几何的本体同构机制，约定微观物理构件的几何边界严格从属于宏观业务管理单元的三维包围盒，从而在底层逻辑上消除多源数据的时空错位。

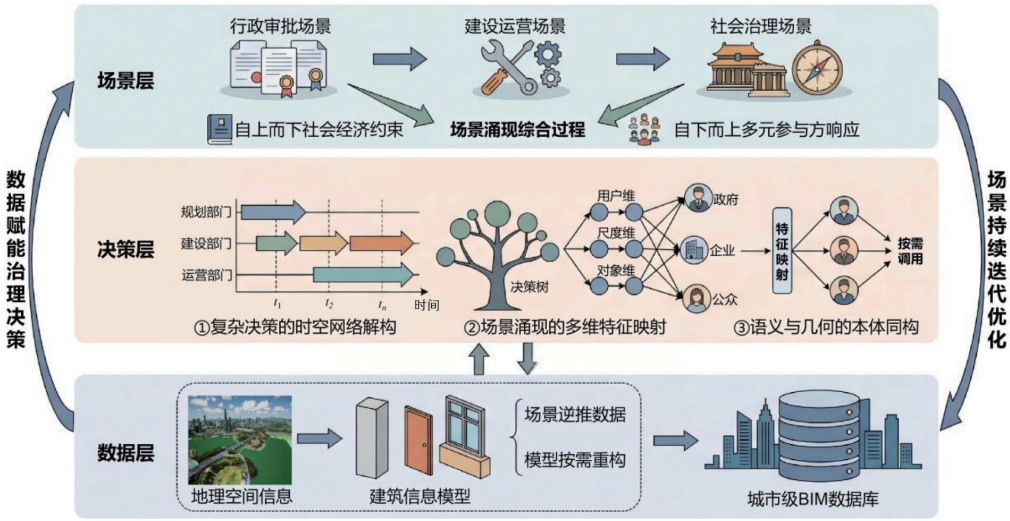


图1 总体框架

如图2所示，上述3个理论维度沟通构成了逻辑闭环的总体框架。当特定的城市场景触发时，系统首先沿决策拓扑网络提取多维场景特征张量矩阵中的需求切片，进而依托语义与几何的本体同构机制，推导出场景所需数据，最后在城市数据库中按需重构和调用BIM模型。

2　关键技术

2.1　复杂决策时空网络解构与拓扑建模

承接前文“时空网络解构”的理论维度，为实现跨部门综合决策条线的机器可读与可计算化，本技术将宏观业务流转建构为动态有向属性图 $G(t)=(V, E(t), A(t), W(t))$。在执行层面，节点集合 $V=\{v_1, v_2, \cdots, v_n\}$ 代表参与城市治理的关键要素或具体行动节点，例如行政部门、产权单位、物业企业与社会公众等异质性行为主体。有向边集合 $E(t)=\{(v_i, v_j)\,|\,v_i, v_j \in V\}$ 表示在时间 t 节点间的业务流转逻辑与控制流约束。为了刻画决策过程中的不确定性与多线程并发特性，模型引入了基于马尔可夫决策过程的边权重集合 $W(t)$，权重 $w_{ij}(t) \in W(t)$ 被定义为在特定城市治理事件触发下，节点 v_i 向 v_j 转移的概率与数据流通成本函数，从而支持系统寻找最优决策路径。

时空属性集 $A=\{a(v_i)\}$ 则是本模型连接城市级BIM数据库的核心锚点。对于任意节点 v_i，系统赋予其多维时空与数据约束属性 $a(v_i)=(T_i, S_i, D_i)$：

1）时序约束 T_i：定义该决策发生的生命周期阶段与绝对时间窗口，支持基于时序数据库的事件回溯。

2）空间约束 S_i：构建了从宏观GIS到微观BIM的无缝尺度转换[13]。它不仅包含地理空间对象的多边形边界，还包含基于地理空间网格，如基于GeoSOT模型的体素化包围盒，用于约束业务场景涉及的空间作用范围，如特定建筑、防火分区或管廊区段等。

3）数据约束 D_i：定义该节点所需的BIM模型的LOD精度与语义颗粒度。例如，规划方案审查节点仅需LOD200的几何轮廓，而竣工交付节点则要求LOD400及以上的构件细节。

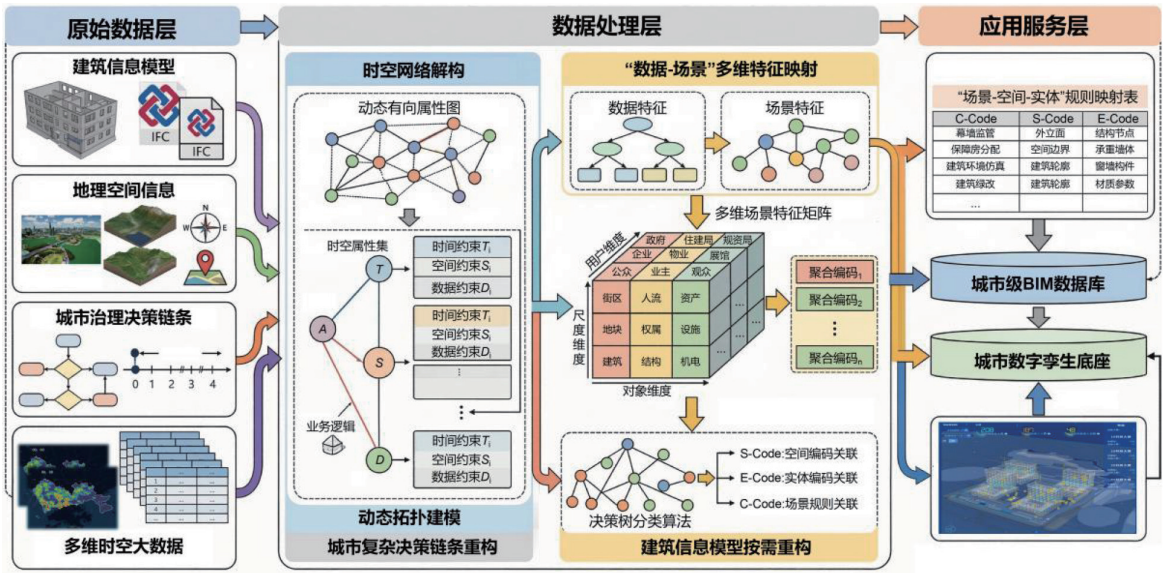


图2　关键技术

通过这种时空网络解构的数学表达，原本宏观且模糊的“项目工程审批或治理综合决策条线”，解构为计算机可解析、可追溯、可优化的结构化指令序列。当特定场景触发时，系统底层图计算引擎将沿着图 $G(t)$ 的有向边依次执行，向底层数据中台下达带有清晰时空靶向性的数据重构与调用指令。

2.2　城市场景涌现的高维特征提取与张量映射

当拓扑网络 $G(t)$ 下达调用指令后，系统需进一步明确提取特征。承接“多维特征映射”理论维度，本技术将不可控、随机发生的城市治理涌现现象，转化为高度结构化、特征维度清晰的多维场景特征张量矩阵 $T \in R^{U \times S \times O}$，包括用户、尺度和对象等3个维度。

1）用户维度 U（行为主体）：涵盖重合规监管与底线控制的政府端、重资产增值与全生命周期运营的企业端，以及重空间体验与环境交互的公众端[14]。通过主体特征的提取，决定数据接口的权限分配与可视化呈现逻辑。

2）尺度维度 S（时空客体）：贯通城市、街区、地块、建筑等多个空间层级，通过引入动态视点依赖的层次细节算法与空间索引技术，界定场景在跨尺度

穿透时的数据提取精度、几何轻量化策略与渲染管线调度优先级[14]。

3）对象维度 O（业务本体）：针对传统三维模型仅关注实体的局限，将场景管理对象延展为针对人群流动、财产资金、物理设施等多维流要素综合管控体系[15]。

依托多维特征张量矩阵，本研究梳理并提炼出303个高频且高价值的既有重要建筑BIM应用场景要素，同时将底层的无序BIM模型单元结构化为功能绩效、建筑质量、韧性支撑能力等7大核心专业与17个子类系统。通过计算各业务维度在决策树模型中的信息增益，构建了数据–场景映射规则，利用决策树算法逻辑，进一步判断BIM模型的几何与语义数据应当在何种前置业务条件被触发、以何种精度被提取、以及如何实现资源的自动化配置，从而形成数据与场景的双向驱动引擎。

2.3 “空间–实体–场景”聚合编码

当多维场景特征张量矩阵 $\boldsymbol{T}$ 明确特征需求后，为弥合宏观业务逻辑与微观BIM模型之间的语义鸿沟，承接“语义与几何的本体同构机制”理论维度，设计了机器可读的“空间–实体–场景”聚合编码体系：

1）空间码（S–Code，锚定位置边界）：构建了“空间治理网格码—经纬网格码—空间场所码”三级嵌套空间编码体系。空间治理网格码（宏观管控边界）：以自然地理、主次干道及行政区划为界，遵循主导功能明确、生活圈完善及利于传导管控的原则，全市统一划定758个标准单元；经纬网格码（中观精准定位）：在标准单元内向下延展厘米级的经纬网格，实现地理构件的精确坐标定位。空间场所码（微观快速检索）：采用“空间类型—具体场所”的递进逻辑，融合标准地址、楼层与单元数要素进行层级编码，实现建筑内部实体的快速锚定与语义匹配。

2）实体码（E–Code，锚定物理对象）：建立“系统专业标识—设施/设备标准分类（兼容建筑工程分类编码）—空间拓扑位置（如：地上/地下/楼层）—BIM原生全局唯一标识符（GUID）”的四级微观实体强约束，确保虚拟空间中的构件与真实世界的物理实体一一对应。

3）场景关联规则码（C–Code，语义几何绑定）：为具体的业务决策流赋予独立的“场景标签编码”，将其作为纽带整合S–Code与E–Code，形成知识图谱中的三元组（实体–关系–实体）结构。

为确保系统运行的鲁棒性与数据的一致性，底层数据库通过引入三维空间拓扑关系算子（如空间包含、相交、相邻等计算），实现几何聚合约束机制：若业务逻辑在语义层面规定了某个宏观空间单元包含特定的物理构件，则在BIM模型的代码解析中，这些微观实体集合的几何包围盒必须严格从属于该宏观空间的三维边界。例如，在城市空间治理场景中，若定义某一特定的“城市治理标准网格”包含了该区域内的“建筑外立面幕墙”，则此BIM模型的幕墙构件在空间拓扑上必须落入该治理网格的三维边界内，保持几何算子层面的一致性，即满足Geom(Entity)⊆BBox(Space)。

通过本文的聚合编码技术，宏观的业务场景标签可直接利用查询语言，从BIM数据库中调用底层的BIM物理构件参数。同时，业务流转中产生的增量数据也可依托该编码反向挂载至对应构件之上。

3 典型应用场景

深圳市依托数字孪生先锋城市建设契机，将上述基于“场景—数据”双驱动的城市级BIM建构理论与关键技术进行了大规模的实践应用，验证了该理论和技术在破解复杂城市治理难题中的工程价值与推广意义。

3.1 应用路径

深圳在存量建筑数字孪生进程中，摒弃了“重物理建模、轻业务应用”的传统模式，确立了“以场景逆推数据、按需动态重构”的核心实施路径，依据前文构建的“多维场景特征张量矩阵”，精准锚定50项高频可实施的典型应用场景。通过解析“场景标签编码（C–Code）”，自动映射至业务流转拓扑图中的时空属性集，从而向底层BIM数据库反向下达靶向数据提取指令。如表1所示，在执行“建筑幕墙安全监管”这一业务场景时，与传统加载全要素建筑模型相比，本模式下的图遍历算法仅调取目标建筑外立面及关键结构节点的几何数据，并按需与物联感知数据（IoT）进行时间序列上的语义属性关联，系统在底层自动过滤并屏蔽了室内机电管线等对该场景无用的海量模型要素。这种基于场景标签的“按需提取”路径，极大减少了数据调度和前端渲染压力。

3.2 面向存量资产的“建–查–管–用”全链条闭环生态

本研究整合深圳市工程建设项目规范与BIM标准，依托本研究的三项关键技术，构建了面向存量空间资产的“建–查–管–用”闭环生态体系。

表1　“空间–实体–场景”映射示例表

业务场景	治理空间	建筑实体	按需提取与重构要求
幕墙安全监管	目标建筑外立面	幕墙结构和材质	算法仅调取外立面及关键结构节点的几何数据，自动过滤室内机电管线等无关要素。场景要求BIM构件的GUID与物联感知数据（IoT）进行动态时间序列的映射。
保障房分配管理	建筑空间划分边界、套内面积	分户构件实体	重点提取空间边界及承重墙体位置，需达到LOD200–300的几何精度。空间拓扑连通性要求极高，且模型属性数据必须与不动产登记系统实现强挂载。
微气候环境仿真	建筑外轮廓空间边界	窗、墙体等外围护实体构件	需剥离无关的室内构件，精准提取建筑外轮廓与窗墙比信息。提取的BIM数据格式需能够无缝转换为专业流体力学可计算的体素网格。
建筑绿色改造	建筑外轮廓空间边界	具备材质热工参数的模型构件	提取模型外轮廓以及对应实体构件的材质热工参数，剔除非必要的高精度内部构件，以支撑绿色低碳改造的计算与推演需求。

“建”—基于“空间–实体–场景”聚合编码的规范化建模：针对深圳典型的存量城市特征，研究团队依据“空间–实体–场景”聚合编码规则，建构了基于领域本体的既有BIM模型构建方案与自动入库管控体系，为建筑信息模型与地理空间信息的融合夯实了机器可读的底层基础。

“查”—基于语义与几何的本体同构机制的质检：研究团队依托语义与几何的本体同机制，开发了BIM模型代码化自动审查工具，该工具深度赋能全市既有建筑BIM建模实施主体，利用空间拓扑算子与语义约束引擎，高效完成了既有重要建筑BIM模型的一致性初审、拓扑干涉复审与质量评级。

“管”—面向多维特征张量的数据资产重组：研究团队构建了多维特征张量矩阵，开发了城市级BIM模型管理平台，收储的过审模型不再是孤立文件，而是按尺度、对象、用户等张量维度重组数据资产，从而建立起支持按需动态重构的数据资产管理体系。

“用”—多场景赋能与数字孪生演进：在业务赋能环节，以决策拓扑网络为引擎，将场景特征直接解析为空间查询指令。通过场景逆推数据，调取底层聚合编码构件，按需完成模型重构。海量BIM数据得以剥离庞杂原生文件，以纯语义或轻量化模型文件无缝接入CIM平台，精准支撑保障房运维、幕墙检修等高频治理场景。

3.3　超大规模应用效能与综合效益评估

本文提出的“场景—数据”双驱动机制具备较强的赋能价值，在深圳市已大规模试用，涵盖全市756个项目、3 876个建筑单体，总计约3 656万km^2的既有重要建筑BIM模型；同时囊括了全市所有（15条）既有地铁线路以及约6 100 km的既有市政主干道路BIM模型，有效避免盲目追求全要素高精度建模带来的存储、算力和重复建设浪费，为新型智慧城市建设提供了具有技术与经济双重价值的“深圳样本”。

4　模式特点分析

本文基于在深圳市海量存量建筑数字化改造中的长期工程实践，为破解超大城市精细化治理的难题，提出了“场景–数据”双驱动城市级BIM建构模式。该模式在实践中展现出与传统垂直、单点建设模式截然不同的三大核心特征，其逻辑层层递进：首先让数据“活”起来，然后让数据“通”起来，最终让系统“用”得好。

1）基于时空拓扑闭环的全生命周期资产管理体系。区别于将BIM视为静态“数据容器”的传统思路，本研究通过建立时空拓扑网络与闭环回流机制，将行政审批、业务流转等动态治理数据与BIM模型深度集成，从而将离散的管理活动转化为机器可读的动态有向属性图。这使得宏观场景与微观模型得以在时间轴上同步映射，空间资产因此转变为能随其全生命周期状态实时演化、可审查、可迭代的“活”的载体，实现了空间要素的多领域特征映射。

2）支撑跨尺度融合的“解耦–重构”架构。为解决垂直建设模式中三维模型孤立、跨尺度数据语义割裂的问题，本研究设计了“弱物理耦合、强语义关联”的底层架构。其核心是创建“空间–实体–场景”聚合编码体系，在不改动各部门原有数据存储方式的前提下，在逻辑层实现数据的语义对齐与按需重构。这一架构剥离了冗余数据，打通了从城市宏观尺度到建筑构件微观尺度之间的语义壁垒，为跨领域、跨系统的数据融通提供了统一的语义互操作基础。

3）面向超大规模场景的按需服务机制。为解决城市级海量数据带来的性能瓶颈，本研究确立了“以场景逆推数据”的精准服务机制，摒弃传统“全要素加载”的粗放模式，依托前述编码体系与特征张量映射，从庞大数据池中，定位并仅抽取与当前具体业务

场景强相关的极小数据子集。这种机制实现了应用与数据的松耦合，使得新业务可以按需挂载，从而为城市级BIM在规划、治理、服务等海量场景中的高效、弹性与可持续应用提供了关键支撑。

5 结 语

针对超大城市复杂治理中的数据割裂难题，本文提出了“场景—数据”双驱动的城市级BIM建构理论和关键技术。研究解构了业务决策的动态时空拓扑网络，构建了场景涌现的多维特征张量映射机制，并创立了“空间–实体–场景”聚合编码规则。这套技术框架可有效跨越系统间的语义鸿沟，打通宏观业务逻辑与微观物理构件的双向赋能链路。

依托深圳先锋城市建设，该框架全面支撑了超3 600万m^2存量建筑资产的“建–查–管–用”全链条闭环。工程实证表明，基于场景特征张量的逆向精准提取与动态重构机制，可解决海量数据跨部门流转的瓶颈，规避盲目追求全要素、高精度建模带来的资源与财政浪费，为新型智慧城市数据底座建设提供了“深圳样本”。

作为一个跨领域的系统工程，本模式的规模化推广仍面临客观挑战，一是既有建筑历史档案的异质性与早期图纸缺失，限制了微观实体编码自动匹配的覆盖率，部分存量数据仍需人工介入清洗；二是多维场景张量的有效提取，高度依赖各委办局业务规则的开放与重组，打破行政管理惯性与数据壁垒依然是工程落地的深水区。

展望未来，随着多模态大模型的技术演进，城市复杂巨系统的治理决策将由“规则预设”向“智能涌现”升级。本文建立的理论框架和关键技术，有望结合大模型实现治理指令的自然语言解析与特征张量的智能映射，为构建具备自学习、自演化能力的下一代城市智能体，提供坚实的架构支撑。

参考文献

[1] 刘一,刘江涛. 城市级实景三维与BIM集成技术研究与实践[J]. 测绘地理信息,2023,48(1):73-76

[2] 朱庆,张利国,丁雨淋,等. 从实景三维建模到数字孪生建模[J]. 测绘学报,2022,51(6):1040-1049

[3] 郭仁忠,贺彪,赵志刚,等. 智慧城市逻辑架构与孪生平台技术需求[J]. 测绘学报,2025,54(5): 777-784

[4] 李德仁,徐小迪,邵振峰. 论万物互联时代的地球空间信息学[J]. 测绘学报,2022,51(1):1-8

[5] 吴志强,周咪咪,刘琦,等.“跨代孪生”:映射城市的生命特征[J]. 城市规划学刊,2024,68(1):9-17

[6] 田颖,杨滔,党安荣. 基于场景迭代的数字孪生城市构建逻辑[J]. 上海城市规划,2023,33(5):24-30

[7] Jahangir A, Oztosun O, Kassem M. A Review of Drivers and Barriers of Digital Twin Adoption in Building Project Development Processes [J]. Journal of Information Technology in Construction (ITcon),2024,29:133-162

[8] 陈珂,丁烈云. 我国智能建造关键领域技术发展的战略思考[J]. 中国工程科学,2021,23(4): 64-70

[9] 包颖,刘一,刘雪雄. 面向3DGIS应用场景的既有建筑BIM模型质量检查方法研究[J]. 地理空间信息,2025,23(4): 136-140

[10] Shahat E, Hyun C T, Yeom C. City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda [J]. Sustainability,2021,13(6):3386

[11] Deng T, Zhang K, Shen Z J M. A Systematic Review of a Digital Twin City: A New Pattern of Urban Governance Toward Smart Cities [J]. Journal of Management Science and Engineering,2021,6(2):125-134

[12] Nochta T, Wan L, Schooling J M, et al. A Socio-technical Perspective on Urban Analytics: The Case of City-scale Digital Twins [J]. Journal of Urban Technology, 2021, 28(1-2):263-287

[13] Lu Q, Parlikad A K, Woodall P, et al. Developing a Digital Twin at Building and City Levels: Case Study of West Cambridge Campus [J]. Journal of Management in Engineering, 2020,36(3):05020004

[14] Ham Y, Kim J. Participatory Sensing and Digital Twin City: Updating Virtual City Models for Enhanced Risk-Informed Decision-making [J]. Journal of Management in Engineering,2020,36(3):04020005

[15] Ferré-bigorra J, Casals M, Gangolells M. The Adoption of Urban Digital Twins [J]. Cities,2022,131:103905

（上接第49页）

[14] 李成仁,冒静娴. 面向城市治理的实景三维平台建设关键技术[J]. 时空信息学报,2025,32(2):203-213

[15] 谢华,尹嘉男,朱永文,等. 数字低空空域栅格化的表征度量与最优标定[J]. 数据采集与处理,2024,39(1):31-43

[16] 王伟,汪旻琦,任晨阳. 城市实景三维建模技术进展研究与实践[J]. 地理空间信息,2025,23(9):93-95

[17] 乐黎明,覃雪梅,王祥,等. 实景三维模型的建设技术与应用[J]. 地理空间信息,2022,20(11):96-99

[18] 牛丽娟,李立功,朱仁义,等. 一种三维实景建模技术的应用研究[J]. 地理空间信息,2021,19(3):38-40