

三维空间信息技术在城市国土空间规划中的应用研究

于晴

齐齐哈尔大学, 黑龙江 齐齐哈尔 161006

[摘要] 城市空间开发已由平面扩张转向地上、地表与地下立体利用, 二维图件难以完整表达复杂空间关系。本文采用文献归纳、技术流程分析和案例比较方法, 构建“多源感知—三维建模—空间分析—情景模拟—实施反馈”的应用框架, 分析三维空间信息技术在现状调查、规划编制、方案比选、用途管制和动态监管中的作用。研究认为, 该技术能够提高规划的精细度、可验证性与协同性, 但仍面临数据标准不统一、模型更新成本高和业务融合不足等问题。应建设多尺度语义化空间底座, 完善增量更新和模型验证机制, 推动三维平台由成果展示工具转向规划全周期决策基础设施。

[关键词] 三维 GIS; 国土空间规划; 实景三维; 城市信息模型; 规划决策

DOI: 10.64635/ja.2026.1478

中图分类号: TU984

文献标识码: A

Research on the Application of Three-Dimensional Spatial Information Technology in Urban Territorial Spatial Planning

Yu Qing

Qiqihar University, Qiqihar, Heilongjiang 161006, China

Abstract: Urban spatial development has shifted from planar expansion to the three-dimensional utilization of aboveground, surface, and underground spaces, while two-dimensional drawings can hardly fully express complex spatial relationships. Using literature review, technical process analysis, and case comparison, this paper constructs an application framework of “multi-source perception—three-dimensional modeling—spatial analysis—scenario simulation—implementation feedback,” and analyzes the role of three-dimensional spatial information technology in current situation investigation, planning compilation, scheme comparison, use regulation, and dynamic supervision. The study suggests that this technology can improve the refinement, verifiability, and coordination of planning, but still faces problems such as inconsistent data standards, high model updating costs, and insufficient business integration. Therefore, a multi-scale semantic spatial foundation should be built, incremental updating and model verification mechanisms should be improved, and three-dimensional platforms should be promoted from result display tools to decision-making infrastructure for the whole planning cycle.

Keywords: three-dimensional GIS; territorial spatial planning; real-scene 3D; city information model; planning decision-making

引言

随着城市规模扩大和土地资源约束增强, 城市空间开发逐渐由平面扩张转向地上、地表与地下协同利用。高层建筑、地下交通、地下管线、综合管廊及复合型公共空间相互叠置, 使城市规划面对的对象由二维地块转变为具有高度、体量、时间和功能属性的立体空间单元。传统二维图件能够表达土地用途和边界, 却难以准确分析建筑遮挡、天际线、日照、地下权属和立体交通等空间关系。

三维空间信息技术以三维地理信息系统为核心, 综合运用遥感、全球导航卫星系统、倾斜摄影、激光点云、建筑信息模型和物联网等手段, 对城市空间进行立体化、语义化和时序化表达。相关研究指出, 三

维 GIS 的关键并非单纯生成逼真的城市模型, 而是建立支持三维数据管理、空间查询、分析计算和应用服务的技术体系^[1]。另有研究将真实城市环境与虚拟规划方案结合, 验证了三维 GIS 在多方案比较和规划辅助决策方面的应用价值^[2]。现有实践中, 部分三维平台仍以场景浏览和成果汇报为主, 三维模型与规划编制、用途管制、实施评估之间缺少稳定联系。

1 三维空间信息技术的构成与规划价值

1.1 多源数据获取与三维空间建模

三维空间信息技术首先需要建立能够反映城市地形、建筑、道路、植被、水体及地下设施的基础数据。卫星和航空遥感适合获取大范围地表信息; 无人机倾斜摄影能够快速形成建筑外观与地表场景; 激光点云

可获得建筑、道路和植被的三维坐标; BIM能够表达建筑构件、材料和工程属性; 地下管线、地质勘察与物联网数据则用于补充地下空间和城市运行状态。

不同数据具有不同的坐标系统、精度、时间和语义结构。倾斜摄影模型侧重外观表达, BIM模型侧重构件和工程属性, 传统GIS数据则强调地理位置与空间关系。若直接叠加, 容易产生模型错位、尺度失配和属性重复。因此, 数据进入三维平台前, 应完成坐标统一、几何修复、拓扑检查、时间标注和语义映射, 并根据规划用途确定建模精度。

自然资源部发布的《实景三维中国建设技术大纲(2021版)》将实景三维划分为地形级、城市级和部件级, 并提出由空间数据体、物联感知数据与支撑环境共同构成技术体系^[6]。这一分级方式表明, 规划建模不应无差别追求最高精度。市域总体规划可采用地形和建筑体块模型, 重点片区城市设计需要较精细的建筑立面与公共空间模型, 地下管线及工程审批则需进一步表达部件和权属信息。

三维模型还应具有语义。建筑模型除了外形, 还需关联用途、层数、高度、建筑面积和审批状态; 道路模型应关联等级、宽度、通行能力和地下设施; 生态空间则应关联植被类型、保护等级和风险状态。只有把几何形态与规划属性结合起来, 三维场景才能从视觉模型转变为空间数据库。

1.2 三维空间分析与规划模拟

三维空间分析是该技术区别于效果图和一般可视化模型的核心。其基础功能包括三维距离与面积量算、体积计算、通视分析、日照分析、坡度分析、淹没分析、建筑限高检查和地上地下碰撞检测。规划人员可据此判断建筑是否突破高度控制、公共空间是否具有良好视线、地下设施是否发生冲突以及建设项目是否影响重要景观。

进一步的三维模拟可以把规划条件转化为可计算场景。例如, 根据容积率、建筑密度、限高和退界条件自动生成建筑体量, 比较不同开发强度下的天空开敞度、日照和公共空间品质; 结合地形、水文和降雨情景模拟内涝范围; 整合交通模型分析建筑容量变化对道路和公共交通的影响。

相关研究提出, 三维环境能够改善国土空间规划中的尺度感受和空间认知, 使规划方案从平面指标配置转向体量、形态和场景综合判断^[3]。但模拟结果并不等同于规划决策。日照、通风、交通和生态模型均包含参数与假设, 规划者需要公开模型条件, 开展敏

感性分析, 并结合公共利益和地方发展目标作出综合判断。

2 三维空间信息技术的规划应用

2.1 城市现状调查与资源环境评价

城市国土空间规划需要准确掌握自然资源、建设活动和基础设施现状。二维调查通常以地块或图斑为基本单元, 难以反映建筑体量、地形起伏和地下设施。三维空间信息技术可以将地形、建筑、道路、植被、水体及地下空间统一表达, 形成覆盖地上、地表和地下的现状模型。

在城市更新地区, 利用倾斜摄影和激光点云可识别建筑高度、屋顶形式、街道界面和公共空间尺度, 为建筑质量评估和更新分区提供依据。在生态敏感地区, 将三维地形与水文、植被和地质数据结合, 可分析坡度、汇水路径、洪涝风险与景观视廊。在地下空间规划中, 管线、轨道、地下商业和地质条件的三维叠加有助于识别空间冲突及可利用区。

相关研究以武汉主城区为对象, 分析2000—2018年城市三维空间形态, 发现垂直扩张幅度明显大于水平扩张, 地铁站和火车站对垂直增长具有较强驱动作用^[5]。这一结果说明, 如果规划评估只统计建设用地面积变化, 就可能低估城市空间容量和开发强度的实际变化。

三维资源环境评价还应与“双评价”和城市体检结合。对于建设适宜性, 除分析地块位置外, 还要考虑地形高差、建筑容量、地下条件和景观影响; 对于城市体检, 建筑高度、街道空间、公共设施可达性与生态连通性等指标可在三维环境中得到更直观的表达。

2.2 规划方案编制与多情景比选

在总体规划层面, 三维技术可用于展示市域山水格局、城镇空间结构和重要廊道, 检验开发边界与地形、生态空间之间的关系。在详细规划和城市设计层面, 可根据容积率、建筑密度、限高和公共空间控制要求生成三维体量, 比较不同方案对日照、天际线、景观视线和交通负荷的影响。

方案比选应从“观看效果”转向“比较绩效”。规划平台可以为不同情景设置统一评价指标, 例如建设容量、公共空间面积、日照达标率、地表径流、基础设施负荷和生态影响, 使方案优劣具有可解释的量化依据。对于重要景观地区, 可设置多个观察点和视线廊道, 分析新建建筑对山体、水体及历史建筑的遮挡。

地下空间规划是三维技术最具优势的应用领域之

一。地下轨道、车站、综合管廊、停车设施和商业空间在二维图纸中容易形成信息分层与部门分割。将其组织在统一三维坐标和语义模型中,可以进行净距检查、碰撞分析、竖向衔接和疏散模拟,减少规划与工程设计之间的信息损失。

三维规划也有助于协调总体规划、详细规划和专项规划。上位规划确定空间结构、边界和高度分区,详细规划将要求转化为具体地块和体量控制,交通、市政及地下空间专项规划则补充专业模型。通过模型关联,可以检查不同层级规划在边界、高度、功能和设施容量方面是否一致。

2.3 规划实施监督和公众参与

国土空间规划并非以成果批准为终点,还需要持续监测、评估和调整。传统监督主要比较二维用地边界,难以识别建筑高度、体量和地下空间是否符合要求。将规划许可模型、工程 BIM 和建成后的实景模型进行对比,可以检查建筑位置、高度、退界和外部形态是否发生变化。

相关研究指出,国土空间规划需要形成“规划—实施—监管—规划”的循环,并通过动态监测、定期评估和预警支持规划实施^[4]。三维平台可将遥感影像、施工进度、规划审批和物联网监测数据关联到具体空间对象,对突破高度控制、侵占公共空间、地下设施冲突等情况进行预警。

三维可视化还可以降低公众理解规划方案的门槛。普通公众对专业图纸、指标表和控制线往往难以形成准确空间判断,而三维场景能够直观表现建筑体量、视线、公共空间和交通组织。公众可以从不同位置观察规划实施效果,并针对具体空间对象提出意见。

但可视化也可能造成误导。过度美化的材质、光照和绿化配置容易掩盖建筑尺度、交通影响和公共服务不足。用于公众参与的三维方案应统一观察条件,明确规划内容与示意内容的区别,并同步公布关键指标和不确定性,避免把视觉表现力当作论证充分性。

3 三维空间信息技术的实施机制

3.1 建立多尺度、语义化的三维空间底座

城市国土空间规划覆盖市域、中心城区、详细规划单元和建设项目等不同尺度。三维空间底座应实行分级建模:市域层面强调地形地貌、山水格局和城镇结构;城区层面表达建筑体量、道路和公共设施;重点片区及项目层面则可细化到建筑构件、地下设施和权属空间。分级建模能够在精度与成本之间取得平衡。

数据组织应从文件管理转向地理实体管理。同一

建筑可能对应实景模型、规划许可、BIM、产权和物联网数据,平台应以统一实体编码进行关联,而不是保存为彼此独立的图层。模型还需记录数据来源、生产时间、精度和适用范围,使规划人员能够判断数据是否满足具体分析要求。

更新机制应以增量变化为主。对于快速变化的重点地区,可定期利用无人机和工程数据更新;一般建成区可根据规划许可、竣工测量和遥感变化检测进行局部更新;地形和生态空间则根据变化速度设置不同周期。通过差异化更新,避免频繁重建整座城市模型。

3.2 推动三维模型与规划业务协同运行

三维平台应围绕规划问题配置功能,而不是先建设模型再寻找应用。规划编制阶段需要现状分析、容量测算和方案比选;审批阶段需要指标核验、景观分析和地下冲突检查;实施阶段需要施工与许可模型对比;评估阶段需要变化监测和绩效分析。平台功能应与这些业务节点一一对应。

三维数据还需与国土空间规划“一张图”、CIM 和工程 BIM 建立衔接。规划“一张图”提供用途管制和法定边界,实景三维提供统一空间基底,CIM 接入城市运行数据,BIM 则表达具体工程对象。四者分工不同,不宜由单一模型替代,而应通过坐标、实体编码和数据接口建立关联。

规划模型的运行结果必须可复核。对日照、通风、洪涝和交通等分析,应记录输入数据、参数、算法版本和输出时间。涉及重大规划决策时,可采用不同模型进行交叉验证,并开展敏感性分析。只有分析过程能够解释和复现,三维技术才能成为正式决策依据。

4 应用问题与优化路径

三维空间信息技术在城市规划应用中仍存在明显局限。首先,多源数据标准不统一。GIS、BIM、倾斜摄影和物联网数据在坐标、精度、语义和更新周期方面存在差异,数据融合成本较高。其次,一些平台重建模、轻分析,投入大量资源制作精细场景,却缺少规划模型和业务工具。再次,三维数据体量大、更新成本高,模型与现实变化不同步会削弱规划判断的可靠性。

部门分割也是制约应用的重要原因。测绘、自然资源、住房建设、交通和市政部门分别建设平台,容易出现数据重复生产和接口不兼容。相关研究指出,国土空间规划平台与 CIM 等智慧城市平台尚未实现充分结合^[4]。此外,部分算法依赖复杂参数,若缺少透明的验证过程,规划人员可能形成对技术结果的过度

依赖。

为解决上述问题,应从五方面优化。第一,建立统一坐标、实体编码、语义分类和接口标准,形成多部门共享的数据目录。第二,根据总体规划、详细规划和项目审批的不同需求设置建模精度,避免全域无差别精细建模。第三,形成“规划许可触发更新、竣工测量校核更新、遥感监测发现变化”的增量维护机制。第四,优先开发高度核验、地下冲突、景观影响和实施评估等具有明确业务价值的工具。第五,加强数据分级授权、隐私保护、模型审查和结果追踪,防止敏感设施数据泄露以及算法结果被不当使用。

三维技术还应保留规划者和公众的价值判断。算法可以计算建筑容量、视线和交通负荷,却不能独立决定历史景观保护、公共空间公平和开发利益分配。规划决策应把技术分析、专业判断、部门协商和公众意见结合起来,明确技术结果的适用边界。

5 结语

三维空间信息技术使城市国土空间规划的对象由二维地块拓展到地上、地表和地下相互联系的立体空间。通过多源感知、三维建模、空间分析和情景模拟,可以提高现状调查、规划编制、方案比选、用途管制及实施监督的精细度,并为不同部门和公众提供共同的空间认知基础。

其应用价值不在于模型是否足够逼真,而在于能否准确表达规划对象、支撑可复核分析并进入规划管理流程。当前仍需解决标准不统一、动态更新困难、

模型与业务脱节以及算法透明度不足等问题。对此,应建设多尺度、语义化的三维空间底座,建立增量更新、模型验证和数据安全机制,推动实景三维、规划“一张图”、CIM和BIM协同运行。

随着实时感知、人工智能和数字孪生技术发展,三维平台将由静态空间表达进一步走向动态监测和情景预测。但技术不能替代规划中的公共价值判断。只有将空间信息技术与法定规划、治理制度和公众参与相结合,才能推动城市国土空间规划由二维静态成果编制转向立体、动态和全周期治理。

【参考文献】

- [1] 朱庆. 三维GIS及其在智慧城市中的应用[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(2): 151-157.
- [2] 李德仁, 赵中元, 赵萍. 城市规划三维决策支持系统设计与实现[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2011, 36(5): 505-509.
- [3] 牛强, 汤曦, 卢相一, 等. 三维环境下的国土空间规划初探[J]. 城乡规划, 2019(6): 37-46.
- [4] 谢花林, 温家明, 陈倩茹, 等. 地球信息科学技术在国土空间规划中的应用研究进展[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(2): 202-219.
- [5] 李博闻, 彭明军, 谭仁春. 城市三维空间形态演进特征与驱动因素分析——以武汉市主城区为例[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023-07-10.
- [6] 自然资源部. 实景三维中国建设技术大纲(2021版)[S/OL]. 2021-08.