

倾斜摄影技术在城市 LOD1.3 级三维模型构建中的应用研究

肖 堃

(自贡市城市规划设计研究院有限责任公司, 四川 自贡 643000)

摘要 随着科学技术的高速发展, 数字化技术已成为推动城市现代化治理的重要引擎。通过构建城市三维模型, 可显著提升城市规划、建设与管理的精细化水平。然而, 传统三维建模方式人工建模周期长、精度难以动态更新、大规模城市建模投入过高, 导致应用场景受限。这种模式已难以适应城市规模持续扩张、空间复杂度日益提升的发展需求。为突破这一困境, 需要探索更高效、更经济的建模技术路径, 倾斜摄影技术因其高效数据采集与自动化处理优势, 为城市 LOD1.3 级三维模型构建提供了创新解决方案。基于此, 本文对倾斜摄影技术在城市 LOD1.3 级三维模型构建中的应用进行研究, 以期为相关人员提供有益参考。

关键词 倾斜摄影测量; 城市 LOD1.3 级三维模型; 实景三维

中图分类号: P231

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.03.040

0 引言

在全球数字化与国家“数字中国”战略推动下, 地理信息服务需求从二维地图向三维实景空间演进。城市三维模型是 CIM 和数字孪生城市的空间数据基底, 其质量与更新效率影响城市智能化水平。细节层次 (LOD) 是衡量三维模型精细化程度的指标。LOD1.3 级三维模型用于快速、大范围城市级三维表达, 以简化几何体块表达建筑宏观形态与高度, 舍弃立面细节, 采用通用或程序化纹理渲染。该模型在精度、表现力和成本间平衡良好, 适用于城市现状摸底、宏观分析、场景加载及精细模型生产。

自贡高新区是区域经济与科创核心, 城市化快, 对国土空间精细化治理需求迫切。开展实景三维高新区建设, 打造三维空间信息平台, 服务多领域。因此, 研究实践高效、可靠、规范的城市 LOD1.3 级三维模型快速构建技术, 是响应政策要求、提升高新区治理能力的需要, 具有实际意义。

1 项目概况与技术设计

1.1 项目区域与任务要求

案例项目为自贡市自然资源和规划局高新分局实景三维高新区建设 (一期) 项目, 由自贡市城市规划设计研究院有限责任公司承担, 2024 年 9 月启动。项目范围覆盖板仓工业园南岸科技新区和东部新城, 原面积约 10.52 平方公里, 扣除禁飞区后实际作业面积

约 9.75 平方公里。区域以工业、居住、教育科研用地为主, 地势平缓含部分丘陵, 建筑类型多样, 呈“整体疏散、局部集聚”特征。

项目核心任务是生产城市三维模型 (LOD1.3 级), 要求模型平面精度按平地标准执行, 平面位置中误差 ≤ 2.5 米, 高程中误差 ≤ 1.2 米; 以体块形式表示, 反映特定建筑物主体形态及高度变化; 普通建筑用通用纹理, 标志性建筑用真实纹理; 挂接基本属性二维矢量面; 成果需质检并汇交至市级数据库。

1.2 技术路线总体设计

数据获取层: 采用无人机倾斜摄影与机载激光雷达系统同步或接续作业, 获取双源数据。

数据处理与模型生产层: 基础数据生产, 利用倾斜影像进行空中三角测量, 融合点云数据生产高精度 DEM 与 DOM, 基于影像与点云生产实景三维 Mesh 模型; LOD1.3 级三维模型构建, 以 Mesh 模型和 DOM 为参考, 人工或半自动提取基底轮廓, 获取建筑高度, 构建体块白模, 分配并贴附纹理, 转换并挂接属性信息; 元数据与文档生产, 按标准模板生产元数据, 编写技术文档。

质量控制层: 贯穿全过程, 实行三级检查制度, 最终成果经四川省质监站质检。

1.3 软硬件资源配置

为保障项目实施, 配置先进软硬件设备。硬件有飞马 D2000 无人机平台等; 软件有大势智慧“重建大师”等。

作者简介: 肖堃 (1990-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 摄影测量与遥感。

整个生产历时约四个月，2025 年 3 月完成成果质量验收与数据汇交。

2 倾斜摄影技术在城市 LOD1.3 级三维模型构建中的应用价值

2.1 提升建模效率与自动化水平

在传统的工作模式下开展三维建模时，往往需要技术人员根据正射影像和建筑的高度参考等信息逐步地对每一个建筑进行几何构建和纹理贴图。整个过程繁复并且需要花费大量的时间，很难确保在大范围内模型风格和精度都可以实现有机统一，而倾斜摄影技术的应用就有效地解决了传统工作模式存在的弊端^[1]。该技术的应用通过单次飞行就能够从不同的角度出发，在前、后、左、右、下五个视角获取地表建筑的全方位高分辨率影像，同时运用计算机技术以及多视角的几何理论，能够自动地完成海量影像特征的提取和匹配，进而以此形成密集的三维点云，构建带有真实纹理的三角网 Mesh 模型。在此工作模式下，将各种传统的、需要花费许多人力资源进行的重复性机械化工作交由计算机进行处理，不仅有效地提升了工作的效率，也降低了工作过程中的人力资源成本^[2]。除此以外，在构建 LOD1.3 级三维模型时，这种自动化成果能够为模型构建提供有力支持。例如：技术人员不需要从零开始去绘制建筑的主要轮廓，而是可以直接在软件当中快速准确地提取出建筑物的基底边界线，同时建筑的高度信息也能够从密集点云或是借助立体测量的方式便捷获取。这种从原始数据到几何信息的自动提取过程，实质上是将测绘工作从经验判读转向了数据驱动，使得成果质量更多地依赖于数据本身的精度而非作业人员的个人技能水平^[3]。负责建模工作的技术人员核心工作内容是将各种自动生成的精细化模型进行符合 LOD1.3 级标准的抽象化处理，这种“自动化生成+人工精编”的模式，使得技术人员能够在相对较短的时间内完成较大规模的城市区域的 LOD1.3 级三维模型生产。

2.2 支持多源数据融合与一体化产出

倾斜摄影技术不仅可以为数字城市建设提供三维模型，也可以在技术应用过程中产生能够满足多元化需求的高精度数据产品^[4]。倾斜摄影技术产生的倾斜影像和激光点云能够作为多种基础地理信息产品的数据源。例如：通过对下视影像进行正射纠正与拼接，可以生成高分辨率的数字正射影像（DOM）；对点云数据进行分类滤波处理，可以生成数字高程模型（DEM）和数字表面模型（DSM）；在立体测图环境下，可以采集生产大比例尺数字线划图（DLG）。所有这些产品，

与三维 Mesh 模型、LOD1.3 级三维模型共享同一套时空基准（坐标系、高程系）和相同的现势性。这种“同源性”为 LOD1.3 级三维模型的精准构建与丰富表达提供了得天独厚的条件。在几何精度保障上，LOD1.3 级三维模型的平面轮廓不仅可以从 Mesh 模型上提取，还可以与更高精度的立体测图 DLG 成果进行套合比对与校准，确保基底面位置的绝对精度。同时，在属性信息挂接上，LOD1.3 级三维模型要求每个建筑体块关联分类码、高度、用途等属性。这些属性信息可以方便地与从 DLG 转换而来的基础地理实体数据进行关联匹配。通过统一数据体系框架下的多产品协同生产模式，可以避免基于不同技术标准的数据融合的信息孤岛问题，使得构建起来的 LOD1.3 级三维模型不再是孤立的几何体，而是能够与 DOM、DEM、实体数据无缝集成与联动分析的、真正意义上的三维空间数据资产。

3 倾斜摄影技术在城市 LOD1.3 级三维模型构建中的应用策略

3.1 数据采集策略：高精度、多视角、强控制

技术人员在进行航摄设计时，应当尽可能确保倾斜摄影获取的影像能从多角度覆盖足够区域^[5]。在城市中，航向的重叠度应不低于 80%，旁向的重叠度应不低于 65%。通过确保足够高的重叠率，即使在摄影过程中有个别影像因云雾或其他问题导致质量不佳，但每个地物点仍然有足够多来自不同视角的清晰影像可供使用，特别是在部分建筑物密集且存在严重遮挡的区域中。同时，为了确保所获取的数据影像具有高精度，在布设像控点时，应遵循均匀、适量及易判断的基本原则。在测量区域的外围和中部，应当均匀分布足够多的平高控制点，这些点位必须清晰地展现在航拍影像上，且能在地面测量工作中直接接触及特定点位。在布设过程中应当尽量避免选择树木阴影遮挡的区域，以及可能会出现季节性变化的点位。控制点的选取还需考虑长期稳定性，优先选择道路交叉口、建筑拐角等不易受人为活动影响的固定地物，确保在项目周期内乃至后续更新作业中仍能准确识别^[6]。外业测量时应使用高精度的 GNSS 接收机在固定解的状态下进行多次测量，而后根据多次测量结果取平均值作为最终成果。

3.2 数据处理策略：自动化建模与人工编辑相结合

如何将原始数据转变成统一的标准 LOD1.3 级三维模型，是技术使用上的难点，该环节需采用“自动化为主、人工干预”的混合型智能方法。首先是全自动三维重建，在此过程中要将采集得到的 5 个视角影像、POS 数据及像控点坐标输送到 ContextCapture (Smart3D)、

大疆智图、大势智慧重建大师等专业软件中。软件可自动空三加密生成含精确外方位元素的连接点网；之后进行密集匹配生成数以亿计的三维点云，并根据这些三维点云生成细节丰富的三角网白模，再将对应的影像纹理映射到白模上，最终输出具有照片级真实感的实景三维 Mesh 模型。第一阶段基本不需要人力参与，主要需关注空三报文的各项精度指标（如连接点重投影误差、控制点残差）是否能达到后续建模的要求。经过上述自动化处理流程，本项目成功生成了覆盖约 9.75 平方公里的高精度 Mesh 三维模型。

而后需进行面向 LOD1.3 级标准的人工编辑和构建，这一工作的质量往往也决定着该模型是否“合规”和“好用”，此项工作需借助二维/三维模型编辑软件（如 SVS GeoModeler、DP-Modeler 或者在 3ds Max 的基础上使用 TransFigure 插件）完成。一是基底面提取：利用高精度的 Mesh 模型提取建筑物与地面的交界轮廓，以多边形绘制工具捕捉建筑与地面的交界线，形成封闭的基底多边形；如果因树木或车辆导致区域被遮挡，则需要以正射影像或者立体像对作为参照，进行推测绘制；二是体块模型构建：依照技术规范要求（一般建筑按照檐口的高度构建体块，屋顶凸出部分高度超过 3 米且面积大于 12 平方米的需单独表达），赋予每个基底面正确高度值并拉伸或者构造简化的几何体块；复杂且标志性的建筑应当由一些简单的几何形体组合构成（如立方体、棱柱、椎体等）来近似表示建筑物的整体形态；三是拓扑关系处理：需要使相邻建筑体块模型在基底面投影上的接缝处无缝对接，共边无缝、不重叠；同一体块内的不同部分完全匹配；四是纹理挂接：为普通建筑体块选用与该建筑外观材质、颜色相似的通用纹理库中相应的纹理进行批量贴图，对标志性建筑可从倾斜影像中提取真实纹理，经正射化处理后进行贴图，纹理的大小不大于 2048*2048 像素，色彩要一致，以此进行人为加工修正，从而将自动生产的“精细真实”模型高效快速转化为“简化规整”的 LOD1.3 级三维模型。

3.3 质量控制策略：全过程检查与精度验证

LOD1.3 级三维模型的质量控制必须是贯穿始终的“全过程管理”。质量管理的重点不在于事后检查发现问题，而在于事前预防和过程监控，将质量风险化解在各个生产环节之中，避免错误累积放大^[7]。过程质量控制始于数据获取之后，航飞完毕应立即检查影像的清晰度、色彩、重叠度是否达标，POS 数据有无异常中断。像控点测量成果需进行 100% 的内业整理与抽

查复测。在空中三角测量完成后，必须分析平差报告，检查连接点、控制点、检查点的残差是否在限差之内，这是模型几何精度的源头保障。成果质量检验是交付前的最终关卡，应采取“软件检查+人工判读+外业实测”相结合的方式。软件检查可利用一些专用工具自动筛查模型是否存在悬浮物、破损面、纹理缺失等明显缺陷。人工判读则需要质检员在三维浏览环境中，对照正射影像或立体模型，逐区域检查模型有无遗漏或多余；建筑体块的高度、形状概括是否合理；通用纹理与建筑实际功能、年代是否严重不符；属性表中分类代码、高度等关键字段是否填写正确、完整。

4 结束语

倾斜摄影技术以其高效率、高真实感、数据同源性的独特优势，已成为推动城市 LOD1.3 级三维模型规模化、标准化生产的核心驱动力。通过具体项目实践的分析表明，成功应用该技术的关键在于明确其“自动化生产基础数据、智能化辅助人工编辑”的双重角色定位，并围绕这一角色，制定并执行一套涵盖“高精度数据采集、人机协同处理、全过程质量管控”的精细化实施策略。未来，随着人工智能技术的进一步渗透，基于倾斜摄影的自动单体分割、语义信息提取与模型自动概括能力将持续增强，有望在更少人工干预下构建出更智能、更规范、更高精度级别的城市三维模型。然而，无论技术如何演进，对数据质量的源头控制、对标准规范的严格执行，以及贯穿项目始终的科学管理，都是确保三维地理空间数据产品生命力的基石。

参考文献：

- [1] 梅瑞珠. 基于多源数据融合的城市三维模型构建研究[J]. 智能城市, 2025, 11(11): 109-112.
- [2] 陈文典, 李骁. 基于地形图数据的 LOD1.3 城市三维模型自动构建方法研究[J]. 测绘, 2025, 48(05): 329-333.
- [3] 雷康乐. 无人机倾斜摄影在城市三维模型构建中的应用研究[J]. 电脑知识与技术, 2025, 21(21): 95-97.
- [4] 焦元元, 孙昌瑜, 王腾. 基于 Mesh 模型的 LOD1.3 城市三维模型构建方法[J]. 测绘与空间地理信息, 2025, 48(S1): 141-142.
- [5] 朱启雄, 黄芳. 基于传统航空影像构建城市三维模型 (LOD1.3 级) 技术方法研究[J]. 科技风, 2025(04): 7-9.
- [6] 韩军, 薛子明, 徐玉玲. 城市实景三维倾斜摄影三维模型构建研究[J]. 江西测绘, 2024(02): 11-14, 58.
- [7] 罗振威, 李骁, 刘承承, 等. 利用倾斜摄影与激光扫描技术构建城市级实景三维模型[J]. 测绘通报, 2023(12): 116-120.