引文格式：张东杰,刘会云,姚雪妃,等. 多源数据融合的LOD1.3级三维模型构建方法[J]. 地理空间信息, 2026, 24(6):78-82. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.06.014

多源数据融合的LOD1.3级三维模型构建方法
——以广东省为例

张东杰，刘会云*，姚雪妃，刘光裕，许静佳
（广东省国土资源测绘院，广东 广州 510700）

摘　要：为破解LOD1.3级三维模型规模化构建的“精度-成本-效率”矛盾，适配区域级实景三维建设需求，以广东省为例，提出了多源数据融合的LOD1.3级三维模型构建方法。通过整合大比例尺地形图、LiDAR点云、下视航空影像、卫星立体影像及数字高程模型等存量数据，确定动态数据源优先级策略，研究二三维协同的建筑物轮廓线采集方法和顾及屋顶结构的顶部高程优化提取方法，高效构建广东省LOD1.3级模型。结果表明，该方法无需新采集高精度数据，可适配数据基础薄弱、技术资源配置不均的区域建设需求，建模成果精度满足技术规定要求，提升了生产效率并降低建设成本，为省域尺度LOD1.3级三维模型的规模化构建提供了可行路径。

关键词：LOD1.3级三维模型；实景三维；多源数据融合；二三维协同采集
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）06-0078-05

LOD1.3 Level Three-dimensional Modeling Method Based on Multi-source Data Fusion: A Case Study of Guangdong Province, China

ZHANG Dongjie, LIU Huiyun, YAO Xuefei, LIU Guangyu, XU Jingjia
(Surveying and Mapping Institute Lands and Resources Department of Guangdong Province, Guangzhou 510700, China)

Abstract: To solve the “accuracy-cost-efficiency” dilemma in the large-scale construction of level of detail1.3 (LOD1.3) three-dimensional models and meet the needs of regional-level three-dimensional real scene construction, taking Guangdong Province, China as a case study, we proposed a LOD1.3 three-dimensional modeling method based on multi-source data fusion. By integrating existing data sources including large-scale topographic maps, LiDAR point clouds, nadir aerial images, satellite stereo images, and digital elevation models (DEM), we established a dynamic data source priority strategy. Then, we developed a two-dimensional and three-dimensional collaborative method for building contour acquisition and an optimized extraction method for roof elevation considering roof structures to efficiently construct LOD1.3 models for Guangdong Province. The results show that this method does not require newly collecting high-precision data, and can adapt to the construction needs of regions with weak data foundation and unbalanced allocation of technical resources. The modeling precision meets the technical specifications, thereby improving production efficiency and reducing construction costs, and providing a feasible path for the large-scale construction of LOD1.3 three-dimensional models at the provincial scale.

Key words: LOD1.3 three-dimensional model, three-dimensional real scene, multi-source data fusion, two-dimensional and three-dimensional collaborative acquisition

在“数字中国”与“智慧城市”战略深度推进的背景下，以LOD1.3级三维模型为代表的高精度实景三维数据，正逐步成为支撑低空经济[1-3]、智能网联汽车[4]等新兴产业技术落地与场景创新的重要空间信息基底，展现出重要应用价值与广阔前景[5-6]。因其对数据精度、覆盖范围、鲜活性的高要求，大规模高效构建已成为制约区域数字化转型的关键瓶颈。LOD1.3的概念最早由Biljecki F等[7]提出，其在CityGML 2.0标准原有LOD分级基础上，通过量化建筑物精度要求形成精细化子级别定义。国内层面，自然资源部于2024年印发的《基础地理实体数据成果规范》将基础地理实体表达模型划分为12级，其中，1.3级对应LOD1.3级三维模型[8]，与1.2级模型的核心差异在于能实现建筑物不同高度的精细化表达。

目前大规模LOD1.3级三维模型构建方法存在显著的“精度-成本-效率”权衡困境：其一，基于倾斜

项目来源：国家重点研发计划资助项目（2024YFF1307102）；广东省自然资源厅科技项目（GDZRZYKJ2025001）。
第一作者简介：张东杰（1993—），硕士研究生，注册测绘师，测绘工程师，从事新型基础测绘与实景三维、地图制图等工作，E-mail：zhang_dj@whu.edu.cn。
通信作者：刘会云（1992—），硕士研究生，测绘工程师，从事实景三维等工作，E-mail：715725855@qq.com。

摄影数据或LiDAR点云数据[9-13]的建模方法虽能满足精度要求，但数据采集与处理成本高昂，且大范围覆盖时工作量呈指数级增长，难以适配区域级生产需求；其二，基于卫星立体影像的立体测图建模方法[14-17]虽降低了数据获取成本，但依赖专业立体测图环境与高技能作业人员，在设备与人员配置不足地区适用性受限；其三，基于下视航空影像重建mesh模型的建模方法目前应用尚不广泛，其核心局限在于受影像视角限制，易导致重建mesh模型出现建筑中部缺失或凹陷等问题[18-20]，完整性较差，难以满足LOD1.3级三维模型精细化表达要求。

针对上述单一建模方法在LOD1.3级三维模型构建中存在的局限性，本文立足广东实际，提出一种多源数据融合的LOD1.3级三维模型构建方法。该方法以存量基础矢量数据为基础，整合LiDAR点云、下视航空影像及卫星立体影像等多源数据，充分发挥各种数据源的互补优势，旨在为LOD1.3级三维模型的大规模、低成本工程化构建提供可靠技术支撑，并结合广东省大规模生产实践验证该方法的有效性，为区域级高精度实景三维数据的高效生产提供可借鉴的技术路径。

1　研究区概况与数据来源

1.1　广东省概况

广东省各地市基础地理信息数据建设差距显著，特别是粤东西北地区实景三维数据基础十分薄弱：高精度倾斜摄影数据普遍缺失，显著制约了依赖该类数据源建模方法的实际应用；存量LiDAR数据因现势性不足，难以满足LOD1.3级三维模型构建要求；而立体测图所需的专业设备（如高精度立体测图仪）与专业技术人员配置不足，直接限制了该方法的落地应用。上述数据缺口与技术条件短板，使得单一数据源方法在覆盖广度、精度控制与成本效率的平衡方面，均无法匹配广东省“广域覆盖、精准高效”的LOD1.3级三维模型规模化生产需求。

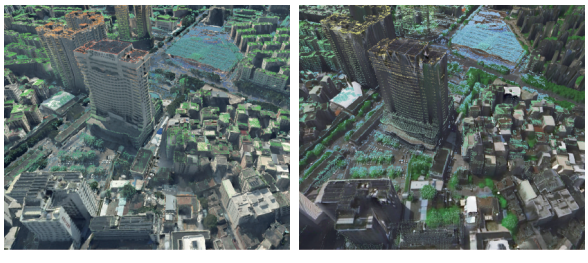
1.2　数据来源

本文综合选用的数据源包括大比例尺地形图、LiDAR点云、下视航空影像、卫星立体影像、数字高程模型（DEM）等（具体参数见表1），经针对性预处理与精度验证，为模型构建提供可靠数据支撑。

表1　广东省LOD1.3级三维模型建设数据源情况

数据类型	主要技术指标	现势性	处理方法	作用
大比例尺地形图	1∶500/1∶2 000	2009—2021年	提取建筑物轮廓线及结构、层数等属性信息	建筑物轮廓线及属性信息采集的参考数据源
数字高程模型（DEM）	2 m格网	2022—2024年	–	建筑物地坪高程信息获取的参考数据源
LiDAR点云	2点/m²	2018—2019年	–	建筑物顶部高程信息获取的参考数据源
下视航空影像	0.2 m分辨率；航向重叠度不低于80%；旁向重叠度不低于50%	2022—2024年	采用建筑物外轮廓约束法重建三维mesh模型	航空正射影像（DOM）和mesh模型作为建筑物轮廓线更新采集的参考数据源 航空mesh模型作为建筑物顶部高程信息获取的补充数据源
卫星立体影像	0.3/0.5 m分辨率	2022—2023年	利用成对卫星影像，经空三加密重建三维mesh模型	卫星正射影像（DOM）和mesh模型作为建筑物轮廓线更新采集的参考数据源 卫星mesh模型作为建筑物顶部高程信息获取的补充数据源

基于高分辨率下视航空影像，采用建筑物外轮廓约束法重建三维mesh模型[19-20]，建模效果如图1a所示，可有效改善传统下视航空影像重建中的建筑中部缺失、凹陷问题，提升模型自身完整性并优化边缘形态；基于高分辨率卫星立体影像，经空中三角测量生成三维mesh模型[21]，建模效果如图1b所示。需说明的是，与倾斜摄影生成的mesh模型相比，航空mesh模型或卫星mesh模型表征质量相对一般，虽仍存在局部完整性不足、边缘模糊等问题，但经与LiDAR点云数据校验，二者整体高程误差均小于0.5 m，其高度信息可满足LOD1.3级三维模型构建的精度要求。



a 航空mesh模型（叠加点云）　　b 卫星mesh模型（叠加点云）

图1　航空mesh模型和卫星mesh模型效果

2　技术路线

本文提出多源数据融合构建LOD1.3级三维模型的技术方法，其技术流程主要包括源数据分析、矢量采集、体块模型构建、属性采集等环节，详见图2。

1）数据准备：收集多源数据资料，分析其精度、质量、现势性等，确定可用性。完成数据格式转

换、坐标统一、精度校验与质量筛选，剔除严重失真数据。

2）套合分析和轮廓线更新采集：利用影像资料，分析存量矢量数据的现势性是否满足要求，对于发生变化的区域进行更新。同时采集顶部结构属性。

3）体块模型构建：利用DEM获取地坪高程，利用LiDAR点云或航空mesh模型或卫星mesh模型获取顶部高程，自动构建体块模型。

4）人工编辑：对于因树木遮挡等导致体块模型高度不准确的情况，采用手动编辑的方式进行顶部高程值修正。

5）属性提取：根据体块三维模型自动提取地坪高、高度、基底面积等属性信息，并赋值空间身份编码等。

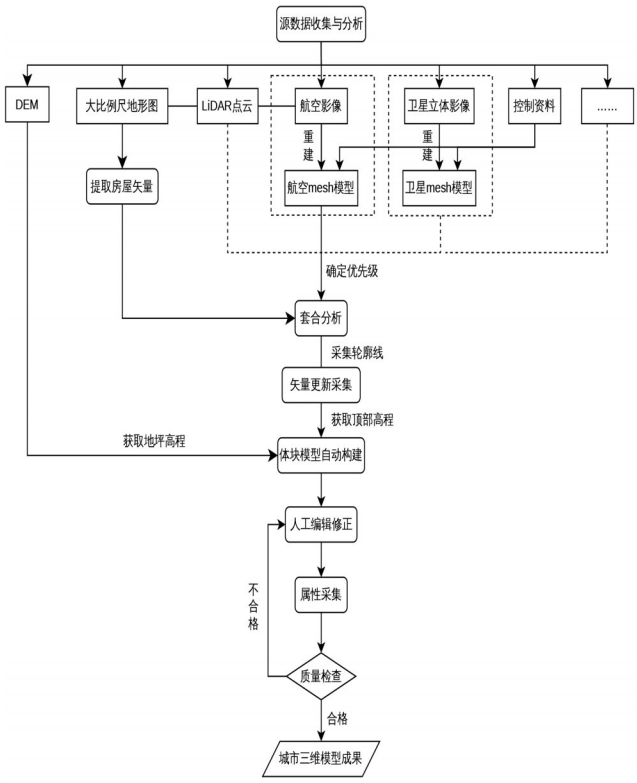


图2 技术路线

该方法的核心在于多种数据源的分析与利用，而轮廓线精准采集、顶部高程高效提取，是制约建模效果与生产效率的核心技术难点。受限于数据源质量差异和复杂场景干扰，传统单一维度的轮廓线采集方法与常规模式的高程提取方法具有一定局限性。为此，本文研究了二三维协同的轮廓线采集方法与顾及屋顶结构的高程优化提取方法，前者通过二维与三维数据的互补约束解决投影差校正难题，后者通过屋顶结构适应策略削弱异常值对高程提取的干扰，二者共同构成技术路线中保障模型质量与生产效率的关键支撑。

3 数据源优先级策略

针对顶部高程获取这一核心环节，依据数据源的精度、现势性与覆盖范围进行综合评估和动态适配，确定其优先级策略，以广东省为例，LiDAR点云可利用率约80%，确定优先级依次为LiDAR点云 > 航空mesh模型（下视航空影像重建） > 卫星mesh模型（卫星立体影像重建）。当高优先级数据源存在质量缺陷（如LiDAR点云现势性不达标、航空mesh模型局部坍塌）时，降级采用次优先级数据源，并通过多源数据交叉验证（如航空与卫星mesh模型比对）修正误差，确保高程提取可靠性。

4 二三维协同的轮廓线采集

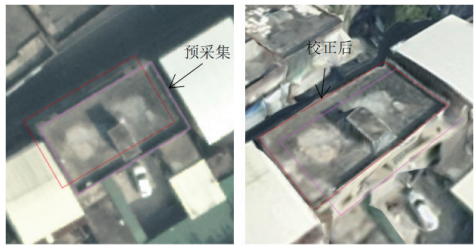
轮廓线作为建筑物模型的基础，是后续体块构建的空间基准，是制约建模效果的核心技术难点之一。利用基础数据源资料，分析存量矢量数据的现势性是否满足要求，对于发生变化的区域进行更新，同时采集顶部结构属性。

当三维mesh模型存在边缘模糊、直接采集困难等质量缺陷时，单纯依赖三维模型开展建筑物轮廓线采集的精度难以保障；而转向二维正射影像采集时，又会因地表起伏与地物高度差异引发像点位移效应，导致建筑物轮廓线的平面坐标与实际三维空间位置产生系统性投影差，该问题在高大建筑密集区及地形起伏地带表现尤为突出。

为有效消除投影差干扰，本文研究构建了二三维协同的轮廓线采集方法，即“二维预采集–三维校正”（如图3所示）：先依托高分辨率正射影像完成建筑物轮廓特征的初始采集，再引入三维模型的真实几何约束，将二维采集结果映射至三维空间，对投影差引发的偏移和变形进行量化校正。在此过程中，二维影像与三维模型的互补参照优势得到充分发挥：二者结合不仅能判定单栋建筑内部局部高差是否超过3 m阈值（超过时需分面采集），还可以有效识别模型局部坍塌、高程异常等质量缺陷，弥补单一维度数据在空间特征识别与精度控制方面的固有局限性，为复杂场景建模质量提供双重技术保障。

5 顾及屋顶结构的高程优化提取

顶部高程作为LOD1.3级三维模型区别于低级别模型的关键特征，其提取准确性直接关系到建筑物不



a 二维视图(正射影像)　b 三维视图(mesh模型)

图3　二维预采集–三维校正的采集方法

同高度精细化表达效果的实现，是满足实景三维应用对垂直维度精度要求的核心指标。利用DEM获取地坪高程，利用LiDAR点云或航空mesh模型或卫星mesh模型获取顶部高程，自动构建体块模型。

在建筑物顶部高程信息的获取中，当前应用最为广泛的提取方法为最高值计算法，但其存在显著的适用性局限，对于特定屋顶结构易产生偏差。以三角屋顶为例，最高值提取法能够准确获取其顶部最高点高程，即屋脊线处高程；但在平屋顶场景中，极易受屋檐、女儿墙、水箱、避雷针等附属设施的影响，导致顶部高程取值出现系统性误差，如图4a所示。在实际生产作业中，这种依赖最高值的提取方式受异常值干扰尤为突出，大量错误高程结果需要人工逐例核查修改，显著增加了数据处理的工作量与时间成本，严重制约了生产效率。

另一种常用的众数提取法，在平屋顶场景中能表现出较好的稳定性。通过统计优势有效滤除异常值干扰，显著提升取值准确性，尤其在mesh模型表征质量不佳、存在数据噪声或局部失真的情况下，众数提取法能够更好地削弱模型缺陷带来的误差，保持高程取值的稳健性。但在三角屋顶等非平顶结构中却存在明显缺陷，其计算结果通常处于屋顶斜坡中部，无法反映其真实的顶部高程，如图4b所示。



a 最高值提取法　b 众数提取法点云　c 顾及屋顶结构的众数+最高值提取法

图4　不同提取方法的高程提取效果

针对上述问题，本研究提出顾及屋顶结构的高程优化提取方法：对于平屋顶结构采用众数提取法以削弱附属设施干扰，对于三角屋顶、单坡屋顶、拱形屋顶等非平顶结构则采用最高值提取法以捕捉最高点特征，如图4c所示。通过这种顾及屋顶结构的计算策略，能够大幅提升建筑物顶部高程自动提取的准确率，减少异常值导致的错误结果，降低人工修改工作量，提升生产效率。对于因树木遮挡等导致体块模型高度不准确的情况，采用手动编辑的方式对顶部高程值进行修正。

6　建模效果与精度评价

6.1　建模效果

利用多源数据融合的LOD1.3建模方法对广东省LOD1.3建模的效果如图5所示。从生产效率上看，轮廓线采集效率约110栋/（人/d），体块模型构建效率（含人工检查编辑）约1 400栋/（人/d）。

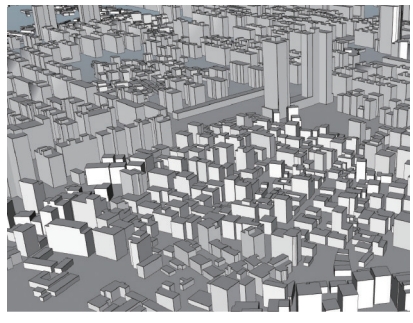


图5　LOD1.3级建筑三维模型示例

6.2　精度验证

为验证本文技术方法的可靠性，选取某地1 km^2区域的LOD1.3级三维模型成果开展精度验证，检验数据采用航飞采集的高精度倾斜三维模型（平面中误差±5.6 cm、高程中误差±4.6 cm）和LiDAR点云（高程中误差±2.7 cm），两类数据均满足1∶500成图精度要求。采用内业打点比对法，平面位置精度选取100对同名检测点，对比倾斜模型与LOD1.3级三维模型的坐标差值；高度精度同样选取100对同名检测点，对比LiDAR点云与LOD1.3级三维模型的高度差值，通过计算中误差、统计粗差占比对成果精度进行分析评价，结果见表2。由表2可知，平面精度上，平面中

误差为±0.4 m，所有检测点偏差≤2.5 m，粗差率0%，成果精度满足技术规定要求，表明二三维协同采集可有效消除投影差干扰；高度精度上，粗差率0%，成果精度同样满足技术规定要求。

表2 LOD1.3级三维模型成果精度验证结果

验证指标	检测点数量	中误差/m	最大偏差/m	粗差率/%
平面位置精度	100个	±0.4	≤2.5	0
高度精度	100个（高度≤30 m模型74个，高度＞30m模型26个）		/	0

7 结 语

广东省LOD1.3级三维模型建设的工程实践表明，本文提出的多源数据融合构建方法有效破解了单一数据源建模面临的“精度–成本–效率”困境，能最大程度盘活现有数据资源，大幅降低高精度实景三维的建设成本；依托动态数据源优先级策略可灵活适配不同区域数据基础差异；通过二三维协同轮廓线采集与顾及屋顶结构的高程优化提取方法，提升了成果的生产效率与质量，对数据基础薄弱、技术资源配置不均的区域具有良好的通用性。

本研究方法在实际应用中仍存在一定局限性，受高层建筑遮挡影响，部分底商及低矮建筑易出现采集不完整问题，mesh模型局部拉花也会引发高程提取偏差，虽可通过人工核查修正保障成果质量，但在一定程度上增加了人力投入；同时受限于数据源条件与成果精度要求，数据采集自动化程度仍有待提升，对作业人员的专业能力存在一定要求。后续将重点从利用AI技术精准识别屋顶结构、基于点云自动提取建筑物轮廓线等方面深入研究，降低人工干预成本，推动技术路线向全流程智能化升级，为城市三维模型的规模化高效生产提供更强技术支撑。

参考文献

[1] 廖小罕,黄耀欢,刘霞. 低空经济时代地理信息科技发展的机遇和挑战[J]. 地球信息科学学报,2025,27(1): 1-9

[2] 陈军,高鉴,郭辰阳,等. 实景三维赋能低空经济的基本思路与重点任务[J]. 时空信息学报,2025,32(1): 1-10

[3] 颜珏,刘伟. 低空经济“双支柱”之基础设施和产业创新[J]. 中国经贸导刊,2025,41(7):77-80

[4] 韩昆,张峰,王洋,等. 基于CIM的车城融合路径与应用研究[J]. 中国建设信息化,2023,29(20): 34-38

[5] 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

[6] 马楚,王奕涵,周军元,等. 构建自然资源三维数字空间模型的探索与应用[J]. 地理空间信息,2025,23(2):74-77

[7] Biljecki F, Ledoux H, Stoter J. An Improved LOD Specification for 3D Building Models[J]. Computers, Environment and Urban Systems,2016,59:25-37

[8] 张元杰,李雪梅,姜慧伟. 城市三维模型(LOD1.3级)构建技术设计与工程应用[J]. 测绘通报,2025(增刊):135-140

[9] 张学之,张禹,徐敏. 利用LiDAR/倾斜摄影技术实现三维城市快速建模的方法研究[J]. 测绘与空间地理信息,2015,38(3):47-49

[10] 章曦,陈功勋. 城市三维模型快速构建关键技术研究[J]. 山西建筑,2025,51(4):179-182

[11] 鲁一慧,魏国忠,宋禄楷,等. 多源点云优化的城市三维模型构建[J]. 测绘通报,2024(增刊):23-28

[12] 毛江然,杨雷鸣,方云霞. 基于机载LiDAR的建筑白模生产关键技术研究[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(11):230-232

[13] 梁文彪,鲍秀武,宁玉科. 一种基于多源数据的建筑物LoD1.3级三维模型快速构建方法[J]. 城市勘测,2024(4):43-48

[14] 陈洋,王刚,勾昆,等. 基于不同数据源类型构建LOD1.3级城市三维模型相关技术研究[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(增刊):60-62

[15] 杨婷,李天坤,黄逢,等. 融合多源数据快速构建大规模实景三维建筑白模方法研究[J]. 城市勘测,2024(1): 20-22

[16] 李代云,彭珍珠,陈勇,等. 高分立体卫星影像建设基础三维模型研究[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(2):91-94

[17] 王腾,田伟召. 基于卫星立体影像的城市三维模型快速构建试验[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(增刊):186-188

[18] 王宏昌,吴琪,徐明策,等. 基于垂直航空摄影的地形级实景三维地理场景制作[J]. 测绘通报,2024(增刊):35-38

[19] 刘金沧,袁磊,马德富,等. 垂直航空摄影三维模型构建与优化[J]. 测绘通报,2025(3):76-80

[20] 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,2025,38(4): 7-9

[21] 车炳佟. 基于遥感立体像对实现三维模型LOD1.3级快速构建[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(增刊):171-173