

朱启雄, 黄芳. 地形级实景三维场景建设及管理关键技术研究[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(12): 67-73. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.24102802

# 地形级实景三维场景建设及管理关键技术研究

朱启雄, 黄芳

(贵州省第一测绘院, 贵阳 550025)

**摘要:** 地理场景是实景三维建设的承载基础, 是实景三维建设的重要内容。为加快推进实景三维贵州建设, 夯实数字贵州建设的数据基础, 提升测绘地理信息保障能力, 本文结合贵州省实际情况, 对贵州省基础数据、实施条件、经费需求进行分析, 找出地形级实景三维场景建设生产过程的技术难点和痛点, 以优化技术流程、提高生产效率、合理运用技术方法、提高精度和场景效果、规范产品规格、提高成果可用性为基本原则, 开展地形级实景三维场景建设及管理关键技术研究。本研究打通了地形级实景三维场景生产过程中的关键节点, 制定符合贵州省情的技术路径, 为全面开展实景三维贵州建设提供技术保障。

**关键词:** 地形级; 三维场景; 正射航空影像; 多源数据融合

中图分类号: P237

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)12-0067-07

## Research on key technologies for construction and management of terrain level realistic 3D scenes

ZHU Qixiong, HUANG Fang

(Guizhou Provincial First Surveying and Mapping Institute, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Geographic scenes are the foundation and important content of real-life 3D construction. In order to accelerate the construction of real-life 3D Guizhou, consolidate the data foundation of digital Guizhou construction, and enhance the ability to guarantee surveying and mapping geographic information, based on the actual situation of Guizhou Province, this article analyzes the basic data, implementation conditions, and funding requirements of Guizhou Province, identifies the technical difficulties and pain points in the production process of terrain level real-life 3D scene construction. Taking optimizing the technical process, improving production efficiency, reasonably applying technical methods, improving accuracy and scene effects, standardizing product specifications, and improving the usability of results as the basic principles, research on key technologies for terrain level real-life 3D scene construction and management is carried out. This study has connected the key nodes in the production process of terrain level realistic 3D scenes, formulated a technical path that is in line with the situation in Guizhou Province, and provided technical support for the comprehensive development of realistic 3D Guizhou construction.

**Key words:** terrain level; 3D scene; orthorectified aerial imagery; multi-source data fusion

## 0 引言

实景三维作为真实、立体、时序化反映人类生产、生活和生态空间的时空基底, 是国家新型基础设施<sup>[1]</sup>。《实景三维中国建设技术大纲》提出实景三维建设按其表达内容可划分为地形级、城市级、部件级, 其中地形级实景三维是城市级和部件级实景三维的承载基础<sup>[2]</sup>。根据自然资源部印发《实景三维中国建设总体实施方案(2023-2025年)》要求, 地形级实景三维建设由省级层面承担<sup>[3]</sup>, 地形

级实景三维场景是实景三维贵州建设内容中最直观的体现, 以地形级实景三维场景为数据基地, 承载基础地理实体数据、各类专题数据、物联感知数据, 形成全省统一的大数据三维底盘。为实现大面积地形级实景三维场景快速生产、成果标准化管理和更新应用, 开展地形级实景三维场景建设及管理关键技术研究, 提出合理化解方案, 为加快推进实景三维贵州全面建设, 更好落实国家安排部署, 完成实景三维中国建设中的贵州版块任务奠定基础。

作者简介: 朱启雄(1992—), 男, 学士, 主要研究方向: 摄影测量与遥感, 调查监测, 测绘地理信息。

通信作者: 黄芳(1988—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 摄影测量与遥感, 新型基础测绘与实景三维中国。Email: 370431560@qq.com。

收稿日期: 2024-10-28

## 1 前期分析

目前,地形级实景三维场景构建方式繁多,本文基于贵州省已有基础资料情况,结合地形级实景三维场景生产技术方法开展前期分析:

(1)陈结堂<sup>[4]</sup>提出基于存量数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model) 与数字正射影像 DOM (Digital Orthophoto Map) 通过空间叠加的方式快速实现大面积地形级实景三维场景构建。该生产方式的优点是生产效率高、成本低、数据体量大,能快速生成全省的地形级实景三维场景。缺点是建筑物、桥梁等地物三维立体效果无法体现,且全省数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model) 的存量极少,精度低、现势性较差、精细化程度差,不能满足任务要求。

(2)李代云等学者<sup>[5]</sup>、杨琪琳等学者<sup>[6]</sup>利用立体卫星影像精准定向精化的 RPC 参数构建立体模型,经过密集匹配,生成网格,实现地形级三维场景快速构建。该生产方式的优点是数据源覆盖范围大,相对数据量小,能快速进行生产;生产的三维模型能较好地体现地形地貌特征,能在一定程度上体现建筑物的三维特征。缺点是因地形及天气因素影响,贵州省在全国范围内属于卫星影像获取特困难区域,存量数据极少;且当前贵州省能获取的带立体像对的卫星影像多为异轨像对,同轨像对的卫星资源相对匮乏,不足以在全省范围内形成大面积生产能力;受限于数据源分辨率,在建筑物、构筑物的体现效果较差。

(3)邓兴等学者<sup>[7]</sup>提出基于机载 LiDAR 点云数据生产高精度数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model),同时结合数字线划数据自动进行单体建模,最后融合存量数字正射影像 DOM (Digital Orthophoto Map) 数据,构建地形级实景三维场景数据。该生产方式的优点是数据获取受天气影响相对较小,点云数据精度高,能体现较好的地形三维效果;数据生产方式相对简单且自动化程度较高,生产环节少,数据生产成本相对较低。缺点是省内存量数据较少,需投入较大的数据获取成本;模型效果受数字正射影像 DOM (Digital Orthophoto Map) 影响较大,建筑物无立体效果。

(4)王宏昌等学者<sup>[8]</sup>基于正射航摄影像数据对空三加密成果进行密集点云匹配,通过白模构建、纹理映射等完成地形级实景三维场景制作。该生产方式的优点是可以充分利用近年来获取的航空影像作

为数据源,节约数据获取成本;能较好体现建筑物、桥梁等地物的三维效果,精细化程度较高,可以达到近似于倾斜摄影三维模型效果。缺点是贵州省时效性优于 2022 年的航空影像数据未全省覆盖,同样受限于数据获取困难的问题;生产工序虽自动化程度较高,但工序较多,数据体量大,需要较大的生产成本;建筑物侧面纹理较差,存在缺失、拉伸等情况。

(5)李明<sup>[9]</sup>利用多视角倾斜航空影像,通过空三加密、多视影像密集匹配生成稠密点云、点云三角网格化等构建三维场地数据。该生产方式相较于正射航空影像的优点是能真实还原物理世界,建筑物、桥梁等地物三维立体感强,建模自动化程度高、精度高、精细化程度高,且与正射航摄影像相比,赵文东等学者<sup>[10]</sup>提出倾斜摄影技术能够从不同视角分析地物,弥补了正射航空影像只有垂直方向拍摄地物的不足,该技术方法是当前构建实景三维场景效果最优的手段。缺点是需全部重新获取数据,数据体量大、生产成本较高。

通过对全省已有资料情况及现有技术方法的分析,采用基于倾斜摄影数据生产方式,成本过高,获取覆盖全省数据难度大;采用存量数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model) 叠加数字正射影像 DOM (Digital Orthophoto Map) 生产方式,数据精度及现势性较差,无法满足要求;采用基于立体卫星影像数据生产方式,存量数据少,获取覆盖全省数据难度大。因此,以上 3 种方式不能作为全省地形级实景三维场景生产的主要生产方式,仅能作为补充手段。

因贵州省依托遥感影像统筹机制,已获取全省大面积优于 0.2 m 的正射航空影像数据,且计划获取覆盖全省的机载 LiDAR 点云数据,本研究主要针对基于正射航空影像数据和基于机载 LiDAR 点云数据叠加数字正射影像 DOM (Digital Orthophoto Map) 两种生产方式进行测试验证,并结合测试情况,对多源数据融合建模技术、多尺度多类型模型一体化融合技术和精准动态更新技术进行论证分析。

## 2 测试与分析

### 2.1 测区概况

本次测试区域选取贵州省六盘水市钟山区和水城区,处于滇东高原向黔中丘原过渡、黔西北高原向广西丘陵过渡之梯级状大斜坡地带,地形主要以山地和丘陵为主。测试区域主要为高度密集的建筑群区域和地形起伏大的山地和林地。

## 2.2 测区基础数据情况

(1) 正射航空影像数据。收集到水城区和钟山区范围内正射航空摄影成果资料,包含原始航片、POS 数据、像控点成果等资料,航摄时间为 2019 年,分辨率为 0.2 m,面积约 1 873 km<sup>2</sup>。用于开展基于正射航空影像构建地形级实景三维场景技术方法研究测试。

(2) 机载 LiDAR 点云数据/数字正射影像 DOM (Digital Orthophoto Map)。已收集到六盘水市钟山区城区范围内机载 LiDAR 点云数据,点云密度约为 10 点/m<sup>2</sup>,面积约 20 km<sup>2</sup>。测试中,收集到钟山区和水城区测试区域内范围 0.2~1.0 m 分辨率的数字正射影像 DOM (Digital Orthophoto Map),获取时间为 2021~2022 年。用于开展基于机载 LiDAR 点云数据叠加数字正射影像 (DOM) 构建地形级实景三维场景技术方法研究测试。

(3) 倾斜三维模型。倾斜收集到钟山区范围内优于 0.05 m 分辨率的倾斜三维模型数据,生产时间为 2023 年,面积约 15 km<sup>2</sup>。用于开展多源数据融合建模技术、多尺度多类型模型一体化融合技术和精准动态更新技术研究测试。

## 2.3 生产测试

### 2.3.1 基于正射航空影像构建地形级实景三维场景

(1) 技术路径。基于正射航空影像数据构建地

形级实景三维场景技术路径包括:

① 资料收集。收集测试区域航空影像、控制资料,并对所收集的资料进行整理和分析。

② 影像预处理。对原始影像进行色彩、亮度和对比度的调整和匀色处理。

③ 空中三角测量。依据测试区域地理特征及影像情况,在区域网内量测一定数量的连接点和像控点,采用光束法区域网平差数学模型<sup>[11-13]</sup>进行空中三角测量区域网平差计算,得到影像的精确内外方位元素。

④ 密集点云匹配。利用空中三角测量成果及影像内外方位元素进行影像匹配获取同名点,采用半全局匹配 SGM (semi-global matching) 算法<sup>[14-16]</sup>,提取像素级密集点云,构建三维白模。

⑤ 纹理贴附。利用航空影像及各影像的内、外方位元素进行特征提取和特征匹配,对三维白模进行纹理贴附,生产地形级实景三维场景数据。

(2) 测试成果。基于正射航空影像构建的地形级实景三维场景,在山体等地形效果明显,建筑物、桥梁等立体效果较好,建筑物侧面纹理有少量拉花现象,且基础数据源精度越高,立体效果和纹理细致程度更好。综合已有资料和技术方法可操作性,该技术方式是贵州省构建地形级实景三维场景的主要手段。三维模型效果如图 1 所示。

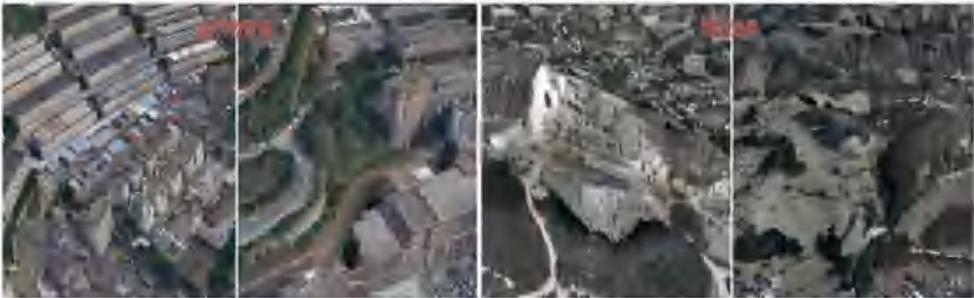


图 1 基于航空影像构建地形级实景三维场景效果图

Fig. 1 Rendering of a terrain level realistic 3D scene based on aerial images

(3) 成果质量。经具有测绘质量检验资质的第三方机构进行质量检查评定,基于航空影像生产地形级实景三维场景成果平面精度为 $\pm 0.54$  m (限差 $\pm 0.8$  m),粗差率为 4.7% (限差 5%),地形精度为 $\pm 1.44$  m (限差 $\pm 2.25$  m),粗差率为 4.5% (限差 5%)。成果中模型平面精度满足Ⅲ级(1:1000)精度要求,模型地形精度满足山地Ⅲ级(1:2000)要求。

### 2.3.2 基于机载 LiDAR 点云数据构建地形级实景三维场景

(1) 技术路径。基于机载 LiDAR 点云数据,通

过点云分类方法和流程,生成高精度数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model) 成果<sup>[17]</sup>,通过空间叠加数字正射影像 DOM (Digital Orthophoto Map) 构建地形级实景三维场景,技术路径包括:

① 资料收集。获取生产区域 LiDAR 点云数据。

② 轨迹解算。通过原始实时 GNSS/IMU 轨迹数据、卫星导航定位连续运行基准站 (CORS 站) 数据进行联合解算,得到精确的轨迹信息。

③ 点云解算。结合精确的轨迹信息,获得 LAS 格式的 point cloud 数据。

④ 噪声去除。对点云数据进行粗差别除等操作,剔除错误点和高程异常点。

⑤ 航带间匹配。对点云相邻航带进行匹配,减少航带间系统误差。

⑥ 点云滤波。基于发射强度、回波次数、地面形状等算法或算法组合对点云数据进行过滤,将建筑物、电力设施等地物分类成非地面点,实现对地表数据的分类提取,分离非地面点。

⑦ 精细编辑。利用点云分类软件对自动分类后的数据进行检查,对分类错误数据进行修正。

⑧ 构建 TIN。对滤波后的点云数据,构成不规则三角网,生产数字高程模型 DEM(Digital Elevation Model)。

⑨ 正射影像预处理。对数字正射影像 DOM(Digital Orthophoto Map)原始影像进行色彩、亮度和对比度的调整和匀色处理。

⑩ 模型构建。对数字高程模型 DEM(Digital Elevation Model)、数字正射影像 DOM(Digital Orthophoto Map)进行空间匹配,并构建模型数据。

(2)测试成果。基于 LiDAR 点云+数字正射影像 DOM(Digital Orthophoto Map)构建的地形级实景三维场景,在山体等地形上有一定的立体效果。因数字高程模型 DEM(Digital Elevation Model)数据为地面高程,生产的三维模型中建筑物、桥梁等地物会贴于地面,无三维立体效果。此外,纹理的细致程度取决于数字正射影像 DOM(Digital Orthophoto Map)的影像质量及分辨率。其技术方法生产效率高,能快速通过 LiDAR 点云生产数字高程模型 DEM(Digital Elevation Model),通过叠加 DOM 构建三维场景,是目前贵州省选择生产地形级实景三维场景的次要手段。

(3)成果质量。因模型成果精度取决于 DEM 精度,基于机载 LiDAR 点云生产的数字高程模型 DEM(Digital Elevation Model)成果经具有测绘质量检验资质的第三方机构进行质量检查评定,数字高程模型 DEM(Digital Elevation Model)成果高程精度为 $\pm 1.78$  m(限差 $\pm 2.25$  m),粗差率为 3.2%(限差 5%),该 DEM 成果高程精度满足山地 III 级(1:2 000)要求。

## 2.4 关键技术研究探索

### 2.4.1 多源数据融合建模技术探索

基于正射航空影像构建的地形级实景三维场景的技术方法,由于航摄视角只有垂直方向,针对高大建筑物密集区,存在很多遮挡,对构建的建筑物轮廓

和精度造成影响。为精准快速构建高大建筑物密集区域的三维模型,提高场景精度和效果,探索多源数据融合建模关键技术研究<sup>[18-19]</sup>,主要包括机载 LiDAR 点云数据与正射航空影像的融合建模。

(1)技术路径。技术路径包括:

① 密集点云匹配。基于航空影像数据,结合控制资料,进行空三加密处理,提取像素级密集点云成果。

② 点云数据处理。基于 LiDAR 点云数据,进行点云分类和降噪处理。

③ 坐标信息匹配和融合平差。将处理后的 LiDAR 点云成果与空三加密后提取的像素级密集点云进行坐标信息匹配和融合平差,得到融合后的点云成果。

④ 构建不规则三角网。基于融合平差后的点云成果,构建不规则三角网,得到三维白模成果。

⑤ 纹理贴附。基于构建的三维白模成果,与空三加密后的航空影像,进行纹理贴附,生成地形级实景三维场景成果。技术流程如图 2 所示。

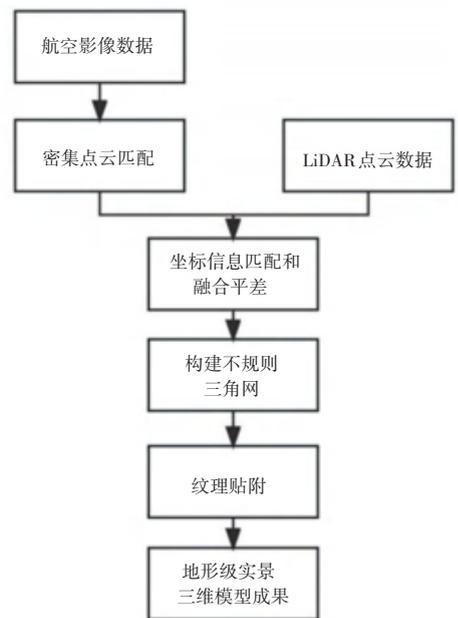


图 2 多源数据融合关键建模技术流程图

Fig. 2 Flowchart of key modeling techniques for multi-source data fusion

(2)技术分析。该关键技术是基于正射航空影像空三加密后提取的密集点云,与获取的 LiDAR 点云进行坐标信息匹配和融合平差,弥补因遮挡问题导致的点云缺失和错位等情况。通过模型效果对比分析,在高大建筑物密集区域构建三维模型,采用该关键技术,成果的模型精度更高,模型纹理效果更好。效果如图 3 所示。



图 3 多源数据融合建模效果对比图

Fig. 3 Comparison of modeling effects of multi-source data fusion

### 2.4.2 多尺度、多类型模型一体化融合技术探索

针对地形级、城市级和部件级等不同尺度,以及 OSJB、OBJ、FBX 等不同数据类型的实景三维模型,因各类数据尺度和数据类型差异,不便于成果的管理和应用,为更好管理和展示不同层级的场景效果,实现实景三维场景一张图,开展多尺度、多类型模型一体化融合技术探索研究。

(1)技术路径。包括不同尺度的场景融合,不同技术方法构建的场景融合,不同数据类型的场景融合。技术路径包括:

① 基准统一。将不同尺度和不同类型的实景三维场景的平面坐标基准和高程基准统一,平面坐标基准统一采用 CGCS2000 国家大地坐标系,高程基准统一采用 1985 国家高程基准。

② 格式统一。为实现不同类型三维模型的一体化融合,将所有类型三维模型成果转换为通用格式 \*.osgb。

③ 规格统一。三维模型成果主要以瓦片形式进行存储,瓦片的划分是基于八叉树的三维场景分割算法,并对分割后的场景进行网格简化或点云抽稀过程,从而生成具有多细节层次的场景散列文件<sup>[20]</sup>。针对不同尺度和不同类型的成果瓦片大小不一致,导致在叠加时会存在相互遮挡的情况,且瓦片命名会出现重复现象,无法正常打开。为实现模型间的无缝衔接,需将模型成果中瓦片大小划分和

命名规则统一,瓦片大小按 1 000×1 000 划分,划分范围和命名方式按照 1 : 2 000 标准图框进行划分和命名。

④ 一体化融合。针对不同尺度、不同类型的三维模型成果,按照以上要求统一后,通过模型叠加,实现模型间的无缝衔接。技术流程如图 4 所示。

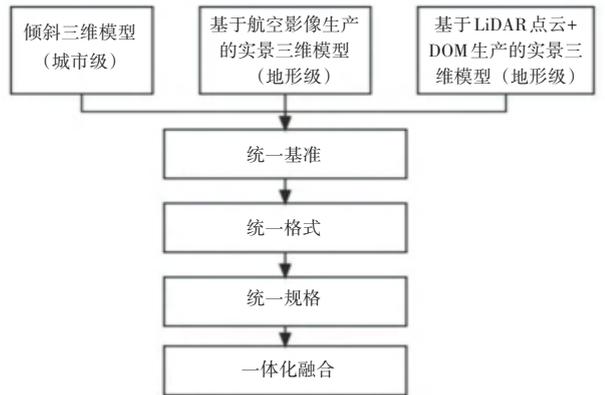


图 4 多源多尺度模型一体化融合技术流程图

Fig. 4 Flowchart of integrated fusion technology for multi-source and multi-scale models

(2)技术分析。通过以上关键技术研究测试,采用的技术方法生产的地形级实景三维成果输出为通用的三维数据格式 (\*.osgb),解决了传统三维地形数据成果格式固化,无法与倾斜摄影三维模型较好衔接的关键性技术难点,可实现与城市级实景三维的无缝衔接。效果如图 5 所示。

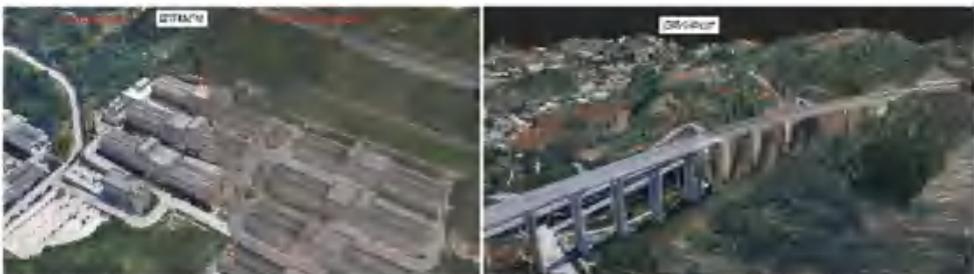


图 5 多尺度、多类型一体化融合效果图

Fig. 5 Multi-scale and multi-type integrated fusion effect diagram

### 2.4.3 精准动态更新技术探索

目前,实景三维的数据体量庞大,成果数据管理和更新较为困难,为实现数据的精准化管理和动态更新,基于多尺度、多类型一体化融合关键技术的实现,开展精准动态更新技术探索。

(1)技术路径。针对后续变化区域的模型更新,采用传统3D产品的存储模式,通过统一实景三维场景成果基准、格式和规格,实现全省大体量实景三维场景成果数据网格化的存储和管理,并通过直接替换变化区域的瓦片成果,实现变化区域精准动态更新。技术路径包括:

① 变化区域模型成果生产。根据变化区域的情况,开展模型生产。

② 统一成果规格。将变化区域模型成果,进行统一基准、统一格式、统一规格处理。

③ 瓦片更新替换。将更新区域模型瓦片成果,通过直接替换更新前模型瓦片成果,实现精准动态更新。技术流程如图6所示。



图6 精准动态更新技术流程图

Fig. 6 Flowchart of precise dynamic update technology

(2)技术分析。通过对模型瓦片的一体化处理,成果数据采用 $1\ 000\times 1\ 000\text{ m}$ 大小的网格化存储和管理,便于后期对变化区域的精准化动态更新,为构建一体化实景三维贵州提供基础,在实景三维中国建设中形成贵州亮点。精准更新对比示意如图7所示。



图7 精准更新对比示意图

Fig. 7 Schematic diagram of precise update comparison

## 3 结束语

通过研究测试分析,基于正射航空影像和基于机载LiDAR点云+数字正射影像DOM(Digital Orthophoto Map)生产地形级实景三维场景的生产方式均能满足地形级实景三维场景生产要求,结合省内基础数据情况,建议优先采用基于 $0.2\text{ m}$ 分辨率正射航空影像生产地形级实景三维场景,对于正射航空影像未覆盖区域,采用基于机载LiDAR点云+数字正射影像DOM(Digital Orthophoto Map)生产地形级实景三维场景的技术方法。采用该技术方法,可最大化整合已有数据资源,降低生产成本,提高成果可利用性。通过对多源数据融合建模技术、多尺度多类型模型一体化融合技术和精准动态更新技术的研究探索,为提高模型精细化程度及成果数据存

储、管理和更新提供了思路,为实景三维贵州建设提供有力的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 燕琴,翟亮,刘坡. 实景三维中国建设关键技术研究综述[J]. 测绘科学,2023,48(7):1-9.
- [2] 自然资源部. 实景三维中国建设技术大纲(2021版)[R]. 北京:自然资源部,2021.
- [3] 自然资源部. 实景三维中国建设总体实施方案[R]. 北京:自然资源部,2023.
- [4] 陈结莹. 地形级实景三维建模方法分析[J]. 安徽建筑,2023,30(9):198-200.
- [5] 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.
- [6] 杨琪琳,叶芬,戴绪文,等. 基于遥感卫星的地形级地理场景更新方法研究[J]. 国土资源导刊,2023,20(2):11-17.
- [7] 邓兴,张国清,崔卫磊,等. 基于机载LiDAR点云数据的地形级实景三维建设实践:以贵阳市中心城区地理场景建设为例[J].

- 电脑知识与技术,2024,20(13):100-102.
- [8] 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(S1):35-38.
- [9] 李明. 基于倾斜影像的城市三维场景重建若干关键技术研究[D]. 武汉:武汉大学,2016.
- [10] 赵文东,刘学仁,朱发浩,等. 倾斜摄影测量在复杂空域及地形条件下高精度三维建模研究[J]. 测绘通报,2021(S1):25-28.
- [11] 袁斌. 光束法空三平差解算方法研究与实现[D]. 淄博:山东理工大学,2020.
- [12] 张可,王永波,袁坤,等. 基于附加参数模型的自检校光束法区域网平差算法运行结果对比[J]. 测绘通报,2022(2):67-72.
- [13] 罗勇. 光束法空中三角测量数据处理及精度分析[J]. 长沙航空职业技术学院学报,2017,17(1):69-71.
- [14] 申二华,范大昭,汤志强,等. 基于 SGM 的遥感影像自动匹配[J]. 测绘通报,2012(6):31-33.
- [15] 杨幸彬,吕京国,江珊,等. 高分辨率遥感影像 DSM 的改进半全局匹配生成方法[J]. 测绘学报,2018,47(10):1372-1384.
- [16] 白创,许百灵. 半全局立体匹配算法的改进研究[J]. 机械与电子,2022,40(11):3-8.
- [17] 刘声. 基于机载 LiDAR 数据的地形复杂区高精度 DEM 生产实践[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(8):162-164.
- [18] 王峰,滕俊利,王希秀. 多源数据融合实景三维建模关键技术研究[J]. 山东国土资源,2022,38(1):70-73.
- [19] 董传胜,孙久虎,高浠帆,等. 基于多源数据融合的实景三维山东构建[J/OL]. 时空信息学报. [2024-10-14]. <https://link.cnki.net/urlid/10.0904.P.20241014.1350.002>.
- [20] 孟天杭. 基于 Cesium 的大规模三维场景瓦片构建与可视化[D]. 北京:北京建筑大学,2021.