

# Changling-Jilin railway oblique aerial photography and real scene 3D model production

Zaichun Li

Jilin Hunchun Mining (Group) Co., Ltd., Hunchun, Jilin, 133300, China

## Abstract

Based on unmanned aerial vehicle oblique aerial photography technology, three-dimensional vectorization of real information such as cities and railways is carried out and real three-dimensional models are produced. The research covers various aspects such as oblique aerial photography, image control measurement, aerial triangulation, construction of 3D real models, orthoimage output, quality inspection, and result acceptance. Using drones to complete image acquisition, precision control is achieved through image control points, and 3D model production is carried out through processing software. Based on image processing, a 3D vectorized mathematical model of real scene information is established, and 3D vectorized models of tilted and orthorectified real scenes are produced. After quality inspection, the model has a mean square error of  $\pm 0.083\text{m}$  in the plane and  $\pm 0.048\text{m}$  in the elevation, meeting the requirements of the specifications.

## Keywords

Changji Railway; Oblique aerial photography; Realistic 3D model

# 长吉铁路倾斜航空摄影和实景三维模型制作

李在春

吉林省珲春矿业(集团)有限责任公司, 中国·吉林 珲春 133300

## 摘要

依托无人机倾斜航空摄影技术,对城市、铁路等实景信息进行三维矢量化并生产实景三维模型。研究涵盖倾斜航空摄影、像片控制测量、空中三角测量、三维实景模型构建、正射影像输出、质量检查与成果验收等环节。借助无人机完成影像采集,利用像控点实现精度控制,通过处理软件进行三维模型制作,在影像处理基础上建立实景信息三维矢量化数学模型,生产倾斜与正射实景三维矢量化模型。经质量检测,模型平面中误差 $\pm 0.083\text{m}$ 、高程中误差 $\pm 0.048\text{m}$ ,满足规范要求。

## 关键词

长吉铁路; 倾斜航空摄影; 实景三维模型

## 1 引言

为提高信息工作智能化水平,实现长吉铁路沿线虚拟三维展示和管理,依托无人机倾斜航空摄影技术生产实景三维模型,将城市、铁路等实景信息三维矢量化,锁定于长吉、长图铁路、京哈铁路沿线,开展部分长吉铁路倾斜航空摄影和实景三维模型制作项目。本项目旨在提升长吉铁路沿线的虚拟三维展示和管理,通过应用无人机倾斜航空摄影技术生产实景三维模型,将城市与铁路等实景信息转化为三维矢量数据。项目覆盖长吉铁路沿线,致力于通过高精度的数据采集和处理技术,构建真实的三维模型与正射影像,以满足现代铁路信息管理和虚拟展示的需求。实施过程中,采用了国产数码航摄系统和轻型无人机,并结合高精度的测量与数据

处理技术,确保了模型和影像成果的准确性与实用性。通过对影像采集、模型构建和精度检验等环节的精密控制,本项目为相关领域的应用提供了高质量的三维空间数据基础。

## 2 研究区概况

本项目作业区域位于吉林省长春市域范围内长吉、长图铁路、京哈铁路沿线,两侧各外扩200米区域。地势较为平坦,为东部山区与西部松辽平原过渡地带。主要地貌类型为低山丘陵,分布于市区东南部,属大黑山脉的一部分,略呈东北—西南走向,海拔大部分在250米—350米之间,相对高度50米—100米;东部的大顶子山海拔407米,组成的岩石有花岗岩、安山岩等变质岩系;山地丘陵面积在市区内所占面积比重甚微,山地丘陵中有森林,低丘之间有些冲积平原和盆地。

【作者简介】李在春(1976-),男,中国吉林珲春人,本科,高级工程师,从事测绘工程研究。

### 3 数据采集和预处理

#### 3.1 倾斜摄影测量

航空摄影采集选择一架固定翼无人机 CW-15 与四架四旋翼无人机智航 SF700A 为飞行平台, 搭载 CA503R 与 T53P 倾斜相机, 利用航空摄影测量方式对整个测区影像原始航片数据采集。采用 RTK 动态测量对像控点进行采集, 测量的像控成果经高程转换得到 1985 国家基准高程, 用于本项目生产。摄区铁路长度为 167.23 km, 获取地面分辨率为 0.04m 的倾斜航空摄影数字影像并完成实景三维模型和正射影像图制作。本项目航空摄影作业完成测区航空摄影, 共飞行 263 个架次。像控测量工作共测量像控点 854 个、像控点精度检核点 90 个。全测区空三加密工作共 6 个空三网, 实景建模工作共完成 167.23km(按照长度统计)三维模型<sup>[1]</sup>。

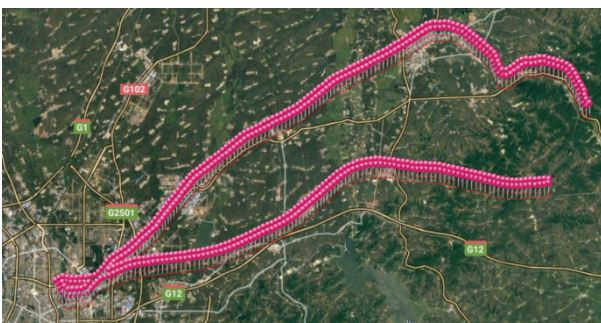
本项目平面坐标系统采用 CGCS2000 国家大地坐标系, 高斯克吕格投影, 投影按 3° 分带, 中央经线为 126°。高程基准采用 1985 国家高程基准。铁路沿线 50m 内不敷设航线, 相应的旁向重叠度不做要求。野外像控点的平面点位中误差和高程中误差 ≤ 0.05 米。野外像控点沿铁路两侧 200 米带状均匀分布, 数量及密度应保证三维建模需要的点位数量和密度要求。

#### 3.2 像控点测量

##### (1) 像控点布设

像控点是航测内业空三加密和成图的依据, 本项目像片控制点采用基于吉林省 CORS 网络 RTK 技术施测, 采集 CGCS2000 国家大地坐标系经纬度及大地高程, 利用长春市测绘院转换参数转换成 1985 国家高程, 一般情况下布设均为平高点。

(2) 像片控制点沿铁路两侧均匀布设, 平均间隔在 500 米一个。如图所示。



长吉、长图像控点分布情况

项目实施时采用基于 IMU/GPS 系统的全数字空中三角测量。根据获取的控制点成果, 利用 Smart3D 软件, 通过光束法区域网平差得到加密点成果。利用检查点核查加密精度, 在加密精度合格的前提下为三维建模提供质量可靠的定向点。

### 4 三维模型及正射影像制作

#### 4.1 三维模型制作

在获得符合技术精度要求的空三后, 进行后续三维建模处理。自动匹配三维模型、构建 TIN 模型、纹理映射、三维场景重建等步骤在建模软件中先后自动完成, 无需人工干预。

本项目瓦片大小设置为 100m\*100m。根据空三完成的先后顺序, 进行空三合并, 进行模型重建, 设置模型为 2000 国家大地坐标系, 中央经线为 126°, 起算点坐标为 (339000, 4780000, 0); 设置完成后分别提交 OSGB 格式与 OBJ 格式, Tile 坐标采用 2000 国家大地坐标系, 高斯-克吕格投影, 投影分带按 3° 分带, 中央经线为 126°, 插入原点为 (450000, 4860000, 0)。模型三维重建区域划分与空三分网保持一致。

根据空三解算出来的外方位元素构建立体像对, 使用多视影像密集匹配技术生成密集点云, 它是摄影测量的关键技术之一。利用影像密集匹配的结果, 由空三建立的影像之间的三角关系构成三角网, 再由三角网构成白模, 软件从影像中计算对应的纹理, 并自动将纹理映射到对应的白模上, 最终形成真实三维场景<sup>[9]</sup>。

建筑、树木及地面景观连成一片, 同时由于影像匹配方法的差异, 造成模型拉花、扭曲以及水面有漏洞, 路面起伏较大等影响, 通过修饰以后使整个场景规整简洁, 可为后期配合各种数据的分析提供三维场景基础数据。

对于外业检查点布设, 需要沿铁路两个均匀选取检查点, 选点要优先选择固定、平整、清晰度高、易识别、无阴影、无遮挡区域, 如斑马线角点、房屋顶角点等。

经检查模型清晰, 相同地物的色彩基调基本一致, 模型无镶嵌痕迹, 模型表面没有明显的孔洞, 因为航飞高度和角度的原因, 铁路进入隧道部分受到遮挡无法贯通, 水面漏洞均已修复。满足要求精度, 数据真实有效, 满足测量规范要求。

#### 4.2 正射影像制作

在实景模型处理完成后, 右键重建发布集到转换数据格式, 发布模型形式选择 DOM 格式, 对 DOM 数据进行输出。得到以 DOM 格式的正射影像。质量要求中需要满足: 影像清晰、纹理清楚、反差适中、色调均匀; 影像镶嵌(接边)处无重叠、模糊或纹理断裂。影像应连续完整, 过渡自然, 灰度无明显不同; 对于彩色影像, 色彩应平衡一致; 地物地貌真实, 无扭曲变形等缺陷, 整体外观整洁、美观; 正射影像覆盖范围内, 影像无漏洞; 数据文件的命名和存储格式符合要求。

对成果检查比例按照规范采取全数检查, 并实事求是记录检查过程和结果。正射影像按照空三分区为单位进行分幅, 因为空三分区较大, 所以对每个分区进一步分幅。经检验正射影像图面质量良好, 命名符合要求, 分辨率为 0.04m, 满足设计要求, 坐标系与实景三维模型成果一致, 金字塔文

件完整,符合相关要求。

### 4.3 成果质量分析说明

实景模型成果:osgb 格式和 obj 格式。正射影像成果:tiff 格式,分辨率为 0.04m。

为了保证倾斜摄影测量项目质量,在根据相关国家标准、技术规范相关条例下,在外业航飞获取与外业控制测量工作开始前,了解工作流程和技术要求。另外,在具体作业过程中,全程对各个关键环节质量进行检查,及时发现作业过程中存在的问题,及时制定补飞计划及调整技术方案。最大限度保证项目质量。按照规范采取全数检查,并实事求是记录检查过程和结果<sup>[2]</sup>。

本工程严格按照质量管理体系运行,质量检查工作贯穿于生产全过程。本项目质量检查主要包括飞行质量检查、像片控制测量、三维模型成果等数据的成果检查。所有的过程都进行了 100% 检查。经过检查、修改、复查后完成三维模型产品。。

航摄影像的航向、旁向重叠,旋偏角、航高、边界覆盖符合规范要求,无相对漏洞和绝对漏洞。影像经过匀色处理后目视影像清晰,影像层次丰富,反差适中,色调柔和。

像片控制测量成果采用外业自检,各项检查合格后,进行空三加密工序。在空三作业过程中,对像控点进行逐个检查,包括像控点布设是否合理、刺点位置是否合理、像控多余点不符值是否超限等方面。经检查,像控点布设与任务书一致,点位说明清晰易懂,多余控制点无超限情况。

空三加密完成后,首先检查空三加密报告各项指标是否合乎要求。空三加密中,利用 Smart3D 软件,通过光束法区域网平差得到加密点成果。京哈铁路分为 1 个空三加密区,长吉铁路分为 3 个空三加密区,长图铁路分为 2 个空三加密区。测量检查点相同位置的坐标与外业实测坐标比较,分析加密精度是否超限、是否有系统误差等。经检查,检测点超限 0 处,粗差 0 个,满足设计及规范要求,说明空三加密成果平面精度良好。

经对正射影像图成果进行详细检查,图面质量合格,无色彩失真现象,成果资料完整。

## 5 成果精度分析

### 5.1 成果分析

#### (1) 航空摄影成果分析

数据获取时航向平均重叠度 79%—81%、旁向平均重叠度 74%—81%;由于无人机飞行过程中姿态较差导致部分影像最低航向重叠度、旁向重叠度低于 75%,但其他视角影像可补,对实景模型效果无影响。倾斜摄影航线敷设超出摄区边界线旁向 3-4 条航线、航向 3-4 条基线,对摄区边界线的覆盖已经满幅、没有漏洞。平均旋偏角  $4^{\circ}$  - $16^{\circ}$ 。同一航线上相邻相片的航高差不大于 30m,最大航高与最小航高之差不大于 50m,实际航高与设计航高之差不大于 50m。飞行过程中没有发生 GPS 失锁现象<sup>[3]</sup>。

#### (2) 影像质量

影像质量较好,层次丰富,反差适中,目视效果较好,分辨率满足设计要求。个别影像有云影,但对测绘和地物判读无影响;部分影像太阳高度角偏小,但影像良好、地物清晰,影像质量满足后续数据处理要求。POS 数据处理:POS 数据经处理后坐标系正确、精度满足数据处理要求。

#### (3) 像控测量

本次像控点、模型检验点目标清晰可见,刺点准确,点之记绘制清晰,描述得当,共测量像控点 854 个。外业像控点精度检验点 90 个,其中平面中误差为  $\pm 0.018\text{m}$ 、高程中误差  $\pm 0.012\text{m}$ 。根据提供的影像数据、像控点分布情况及设计书中关于区域网的布设要求,本测区空三加密作业布设 6 个区域网。经检验认为空三加密过程严格,符合规范各项要求。其中空三网中绝对定向精度三维误差最大值为  $0.0000143\text{m}$ 、平面误差最大值为  $0.0000127\text{m}$ 、高程误差最大值为  $-0.000000517\text{m}$ ;空三检验点共 63 个,平面中误差  $\pm 0.030\text{m}$ ,高程中误差为  $\pm 0.020\text{m}$ ,满足设计书要求。可以用来进行三维建模生产。精度统计参见附表<sup>[4]</sup>。

## 5.2 精度分析

倾斜摄影三维建模连续格网模型,几何精度指标如下:

(1) 平面精度:模型相对于邻近控制点的平面中误差不大于 0.3m。

(2) 高程精度:模型基准面高程相对于邻近控制点的高程中误差不大于 0.2m。

本项目共划分为 6 个空三加密网,外业共量测检验点 124 个,检验点均匀分布 3 个测区,最终检测模型平面中误差为  $\pm 0.083\text{m}$ ,高程中误差为  $\pm 0.048\text{m}$ ,满足规范要求。模型精度检验表详见附表 5。像控点在模型上的反测结果见附表 6(部分像控点在测区的最外围,模型瓦片未覆盖,未进行反测;农耕地较多,部分像控点刺点时可见,模型瓦片贴图时由于地物变化像控点无法反测)。

## 6 结语

本项目采用的作业技术路线科学合理,契合本项目实际,作业手段先进、方法正确,质量技术措施严密,过程控制严格;各项精度指标达到设计及规范要求,完成的成果资料整理规范、齐全完整,成果质量合格。

## 参考文献

- [1] 郝慧迪,王克坚.基于倾斜摄影的实景三维数字模型制作技术研究——以河北省多市区域为例[J].华北自然资源,2024,(06):91-94.
- [2] 蔡丽娜,程耀.无人机倾斜摄影空中三角测量解算优化及精细化模型制作研究[J].石河子科技,2024,(05):30-32.
- [3] 倾斜摄影测量技术在露天矿山测绘中的应用.汤阳城;徐克美.中国矿山工程,2023(03)
- [4] 无人机倾斜摄影测量技术在废弃矿山测量中的应用.陶茜.工程技术研究,2023(24)