引文格式：胡书友,李瑞红. 倾斜摄影不同定向方法三维建模精度影响研究[J]. 地理空间信息, 2024, 22(10): 83-86. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.10.020

倾斜摄影不同定向方法三维建模精度影响研究

胡书友[1]，李瑞红[1*]
（1. 广东省测绘工程有限公司，广东 广州 510700）

摘　要：高大建筑物密集分布的城市区域难以进行大量像控点布设，在一定程度上影响了倾斜摄影三维建模精度，通过分析像控点数量以及不同定向方法对建模精度的影响，设计4种单一定向方案和2种组合定向方案，分别构建实验区三维模型，并分析模型精度差异，结果表明：少量像控点结合RTK或PPK组合定向方法建模精度相对较高，与密集像控点建模精度差异较小，远高于少量像控点和无像控点建模精度；且组合定向方法三维模型整体误差分布较为均匀，抗干扰能力较强，同时少量布设的像控点降低了野外测量工作量，有效提升了倾斜摄影建模效率，为现代化城市三维基础数据底座建设提供了可靠的技术方法。

关键词：倾斜摄影；三维模型；像控点；单一定向；组合定向
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）10-0083-04

Research on the Influences of Different Orientation Methods on 3D Modeling Accuracy of Oblique Photography

HU Shuyou[1], LI Ruihong[1]
(1. Guangdong Surveying and Mapping Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510700, China)

Abstract: In urban areas with dense distribution of tall buildings, it is difficult to arrange a large number of image control points, which affects the 3D modeling accuracy of oblique photography to a certain extent. In this paper, we analyzed the number of image control points and the influences of different orientation methods on the modeling accuracy, designed four single orientation schemes and two combined orientation schemes to construct 3D models of the test area respectively, and analyzed the differences in model accuracy. The results show that the modeling accuracy of a small number of image control points combined with RTK or PPK is relatively high, which is little different from that of a dense image control point and is much higher than that of a small number of image control points and no image control points. Moreover, the overall error distribution of 3D model of combined orientation method is relatively uniform, and the anti-interference ability is strong. At the same time, the small number of image control points deployed reduces the workload of field measurement, effectively improves the efficiency of oblique photography modeling, and provides a reliable technical method for the construction of 3D basic data base in modern cities.

Key words: oblique photography, 3D model, image control point, single orientation, combined orientation

数字城市的快速发展对城市实景三维模型快速构建及模型精度提出了新的要求，无人机倾斜摄影测量作为近年来被广泛使用的三维建模技术方法，能够快速实现大面积区域多类型地物三维建模，因此在规划测量、古建筑修复、国土地灾监测等领域得到了较为广泛的应用[1-3]。无人机倾斜摄影测量建模精度与像控点质量有较大关联，包括像控点类型、外业测量精度、空间分布等，尤其是在高大建筑物密集分布的现代化城市区域，像控点对倾斜摄影建模精度影响相对更高[4]。但由于现代化城市空间环境较为复杂，很难实现大量像控点全方位布设，为保障城市实景三维模型精度，同时降低外业布点工作量，需要对像控点与倾斜摄影建模精度之间的内在关系进行分析研究，平衡两者关系，探寻最佳像控点布设方式。

本次研究通过对像控点数量、定向方法对倾斜摄影建模精度的影响进行分析研究，采用精度RTK（real time kinematic）和PPK（post processed kinematic）定位技术进行定向处理[5]，与所布设的像控点相结合，进行多方法组合定向，并设计多种像控点布设方案，对各方案建模精度进行对比分析，以期在少量像控点

收稿日期：2023-08-03。
项目来源：广东省科技计划资助项目（2018B020207002）。
第一作者简介：胡书友（1991—），本科，工程师，主要从事测绘工程生产与研究工作，E-mail：hsy9111@21cn.com。
通信作者：李瑞红（1989—），本科，工程师，主要从事工程测量、地理信息系统、国土调查等方向的生产与研究工作，E-mail：lrh8907@21cn.com。

条件下，获取现代化城市高精度实景三维模型。

1 倾斜摄影定向方案设计

在无人机倾斜摄影测量三维建模过程中，多采用密集像控点布设方法，在测区范围内均匀布设大量像控点，为倾斜模型提供控制基准[6-7]，所构建的倾斜模型精度较高，建模成果较为可靠，但外业工作量较大，对于建筑物密集分布的城市区域往往很难实现像控点密集布设。部分作业人员为追求建模效率，采用无像控点方式进行倾斜摄影测量[8]，但建模精度相对较低，难以满足数字城市发展建设要求。本次研究分析像控点数量、定向方法对倾斜摄影三维建模精度的影响，通过布设密集像控点、少量像控点，以及RTK差分定向、PPK差分定向等方法，设计单一定向方案和组合定向方案，如表1所示。

表1 倾斜摄影定向方案设计

方案类型		像控点数量	RTK差分定向	PPK后差分定向
单一定向方案	方案一	密集像控点	否	否
	方案二	少量像控点	否	否
	方案三	否	是	否
	方案四	否	否	是
组合定向方案	方案五	少量像控点	是	否
	方案六	少量像控点	否	是

方案一至方案四均为单一定向方案，其中方案一和方案二分析研究了像控点数量对建模精度的影响，方案三和方案四讨论了在无像控点条件下RTK或PPK差分定向方法对建模精度的影响；方案五和方案六为组合定向方案，研究了在少量像控点条件下，RTK或PPK差分定向方法对建模精度的影响。

2 实验研究

2.1 实验区概况

本次研究为分析不同定向方案对倾斜摄影三维建模精度影响，以某地势起伏较大的城市区域为实验区，采用大疆Phantom4RTK单镜头无人机进行航摄作业。实验区整体面积为0.28 m^2，自西向东地表高程逐渐降低，最大高差可达22 m。本次研究采用多方向十字交汇进行航线规划设计，相对航高为80 m，航向及旁向重叠度分别为80%和70%，坐标基准为CGCS2000坐标系。航摄作业完成后，利用中海达Ubase和UAV-PPK软件进行数据解算检校[9]，采用Context Capture建模软件进行自动化三维建模。

2.2 模型精度检核指标

城市三维实景模型应满足规范精度要求，不同等级三维模型平面和高程精度指标如表2所示。

表2 三维模型平面和高程精度指标

类别	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅴ级
成图比例	1∶500	1∶500	1∶1 000	1∶2 000	1∶5 000
平面精度/m	0.3	0.5	0.8	1.4	3.5
高程精度/m	0.5	0.8	1	2	5

本次研究为对实验区倾斜摄影不同定向方案三维建模精度进行分析研究，在实验区内均匀布设了9个高精度像控点，并选择具有显著特征的地物布设了20个三维模型精度检核点，均采用高精度RTK和精密水准进行坐标采集，为保障像控点和检核点精度，采用多次测量结果的平均值作为点位坐标，并对其进行精度分析，结果表明：像控点和三维模型精度检核点平面坐标和高程坐标中误差分别为0.014 4、0.019 5 m，精度较高，可为倾斜摄影三维建模提供参考基准。本次实验各倾斜摄影定向方案布设的像控点和检核点数量如表3所示。

表3 各倾斜摄影定向方案像控点和检核点分布

定向方案	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六
像控点数量	9	5	0	0	5	5
检核点数量	20	20	20	20	20	20

3 实验结果分析

本次研究共计设计6种不同倾斜摄影定向方案，概括性分为单一定向方案和组合定向方案，基于不同定向方案对实验区进行航摄作业，严格按照规范要求进行数据解析、空三加密等处理[10]，构建6种定向方案倾斜摄影三维模型，然后从三维模型中提取相应的检核点位三维坐标数据，对三维模型精度进行分析评估，各个检核点平面和高程误差分布直方图如图1所示。

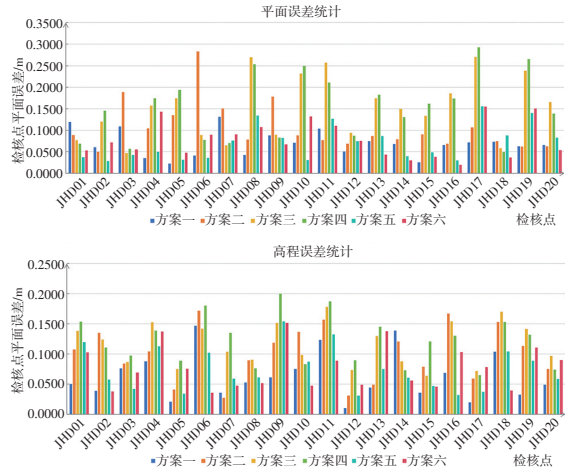


图1 实验区不同定向方案三维模型检核点误差统计

3.1 单一定向方案实验结果

通过对单一定向方案三维模型精度评定结果进行

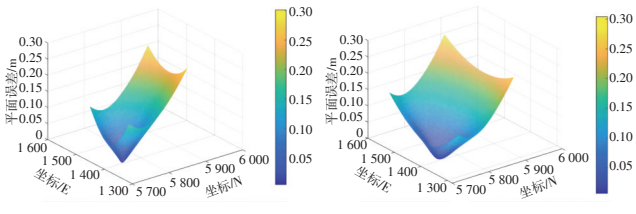
分析可知，本次实验获取的三维模型精度均符合表2中Ⅰ级模型精度指标要求，从三维模型平面和高程中误差评定结果上而言，精度相对较高，以下对不同单一定向方案实验结果进行进一步分析研究，总结如下：

1）密集像控点方案（方案一）：密集像控点情况下，所构建的实验区三维模型在4种单一定向方案中精度最高，平面和高程误差低于0.1 m的检核点共计有16个，最大平面误差为0.131 5 m，最大高程误差为0.147 1 m。该结果与理论分析情况基本一致，当测区内像控点分布较为密集时，能够在一定程度上提升倾斜摄影三维建模精度。

2）少量像控点方案（方案二）：在实验区内布设少量像控点，所构建的三维模型精度有所下降，平面误差低于0.1 m的检核点共有13个，高程误差低于0.1 m的检核点仅有9个，最大平面误差为0.283 5 m，最大高程误差为0.172 1 m。该结果与理论分析情况基本一致，当测区内像控点数量减少近一半时，对三维模型精度影响较大，模型精度大大降低。

3）RTK差分定向方案（方案三）：在无像控点条件下，采用RTK差分解算方法进行定向，所构建的三维模型精度相对较低，平面误差低于0.1 m的检核点仅有7个，高程误差低于0.1 m的检核点有9个，最大平面误差为0.270 8 m，最大高程误差为0.178 2 m。模型整体误差相对较低，对检核点误差分布规律分析发现，实验区北部区域平面误差相对较大，中部及南部区域相对较小，误差分布不均匀，如图2a所示。

4）PPK后差分定向方案（方案四）：同样在无像控点条件下，采用PPK后差分解算方法进行定向，所构建的三维模型在4种单一定向方案中，精度相对最低，平面误差低于0.1 m的检核点有7个，高程误差低于0.1m的检核点有8个，最大平面误差为0.293 1 m，最大高程误差为0.199 9 m。平面误差分布同样呈现不均匀分布现象，如图2b所示，中部区域误差相对较小，南部区域略高，北部区域误差相对较大，其原因为实验区北部建筑物相对较多，对卫星信号影响较大，RTK和PPK差分定向效果相对较差。



a RTK差分定向　　b PPK后差分定向

图2　实验区单一定向方案平面误差空间分布

综上所述，在单一定向方案中，实验内布设较为密集的像控点，所获取的三维模型精度较高，但对于建筑物密集分布的城市区域，像控点布设较为困难，外业工作量相对较高；若不进行像控点布设，仅采用RTK或PPK定向方法，受制于城市密集建筑物影响，GNSS卫星信号相对较弱[11]，导致三维模型精度相对较差，且误差分布不均匀，部分区域建模精度较低。因此，将2种技术方法进行融合处理，在少量控制点条件下，采用RTK或PPK进行定向，分析研究三维建模精度。

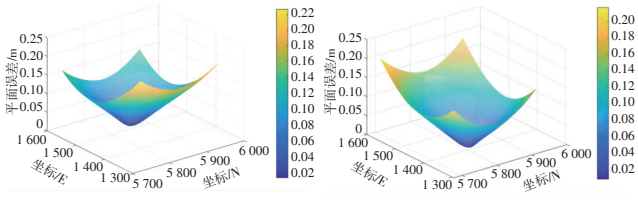
3.2　组合定向方案实验结果

通过对组合定向方案三维模型精度评定结果进行分析可知，本次实验获取的三维模型精度均符合表2中Ⅰ级模型精度指标要求，从三维模型平面和高程中误差评定结果上而言，精度相对较高，以下对2种组合定向方案实验结果进行进一步分析研究，总结如下：

1）少量像控点结合RTK差分定向（方案五）：利用实验区内少量像控点作为倾斜摄影测量控制基准，采用RTK差分定位技术辅助定向，优化模型空间位置精度，所构建的模型精度相对较高，与密集像控点定向方案三维模型精度较为接近；平面误差低于0.1 m的检核点共有16个，高程误差小于0.1 m的检核点共有14个，平面误差最大为0.155 8 m，最大高程误差为0.154 2 m；检核点平面误差空间分布规律如图3a所示，误差整体相对较小且分布均匀，抗干扰性较强。

2）少量像控点结合PPK后差分定向（方案六）：利用少量像控点结合PPK后差分定位方法进行倾斜摄影定向处理，所构建的实验区三维模型精度较高，与方案五和密集像控点定向方案三维模型精度差异相对较小；平面误差和高程误差低于0.1 m的检核点均有14个，平面误差最大为0.154 8 m，最大高程误差为0.151 8 m；检核点平面误差空间分布规律如图3b所示，误差分布同样较为均匀，具有相对较强的抗干扰性，但测区边缘位置平面误差相对偏大，其原因为本次实验在实验区边缘位置航线数量较少，且并未向测区外延伸，后续在航线设计时可考虑将航线扩展至测区范围外，保障测区边缘区域建模质量。

综上所述，相较于单一定向方案而言，基于少量像控点+RTK/PPK差分定位的组合定向方案具有较大优势，三维建模精度与像控点密集布设方案较为接近，比其他3种单一定向方案所构建的三维模型平面精度最大提升了44%，高程精度最大提升了27%；同时误差分布较为均匀，实验区三维模型整体误差相对



a 少量像控点+RTK差分定向　　b 少量像控点+PPK后差分定向

图3 实验区组合定向方案平面误差空间分布

较小，抗干扰性较强，且像控点布设数量减少了近一半，大大降低了外业测量工作强度，既保障了模型精度，又提升了建模效率。

3.3 单一定向与组合定向方案对比分析

通过对单一定向和组合定向方案的实验结果分析可知，组合定向方案三维模型精度远高于单一定向方案，且三维模型误差分布较为均匀，抗干扰能力较强，能够适应不同的测区环境。为进一步验证组合定向方案技术优势，对本次实验过程中单一定向和组合定向方案的技术特征进行对比分析，统计结果如表4所示。由表4可以明显看出，组合定向与单一定向中的密集像控点定向方案成果精度和抗干扰性均较为优异，但作业耗时大幅降低，作业效率得到了有效提升；虽然单一定向中无像控点定向方案人员投入和作业耗时较低，但建模成果精度和抗干扰性均相对较差。因此，在保障倾斜摄影三维建模成果精度的条件下，组合定向方案作业耗时相对较少，三维模型生产效率相对较高，具有较为显著的优势。

表4 单一定向和组合定向方案特征对比

定向方案			人员投入/人	作业耗时/min	成果精度	抗干扰性
单一定向方案	方案一	密集像控点	3	60	高	强
	方案二	少量像控点	3	40	中等	中等
	方案三	无像控点+RTK差分定向	2	30	低	弱
	方案四	无像控点+PPK后差分定向	2	30	低	弱
组合定向方案	方案五	少量像控点+RTK差分定向		40	高	强
	方案六	少量像控点+PPK后差分定向	3	40	高	强

4 结 语

无人机倾斜摄影测量技术的发展为城市大范围三维模型生产提供了便捷有效的技术手段，三维模型成果精度与像控点质量有较大关联，但由于现代化城市环境较为复杂，密集分布的高大建筑物给像控点布设量测工作造成了较大困难，很难实现密集像控点布设量测。本次研究通过对倾斜摄影三维模型精度与像控点之间的关系进行分析研究，探索了单一定向和组合定向方法对建模精度的影响。通过设计6种不同定向方案，分别对比像控点密集布设和少量布设、无像控点条件下RTK和PPK定向、少量像控点条件下RTK和PPK定向对倾斜摄影建模精度影响，验证了少量像控点结合RTK或PPK组合定向方法建模精度与密集像控点建模精度较为接近，均远高于其他单一定向方案，同时组合定向方法抗干扰性较强，三维模型误差分布较为均匀，少量布设像控点大大降低了外业测量工作量，模型精度与作业效率均相对较高。。

参考文献

[1] 张文娟,黄鑫.带状倾斜摄影像控点布设方法与精度研究[J]. 城市勘测,2023(3):99-102

[2] 向荣荣,李红梅,刘铭扬. 差分GNSS倾斜摄影在山区公路勘察设计中的应用[J]. 路基工程,2021(1):116-121

[3] 高开强,徐泮林,赵晓旭. 单体宿舍楼三维建模的实现[J]. 北京测绘,2017(3):92-94

[4] 覃雪梅,王伟立,贾伟定,等. 基于倾斜摄影测量的三维数字城市建模研究[J]. 地理空间信息,2022,20(9):41-44

[5] 周诗洋,吴向阳. 像控点布设对勘测定界复杂区域实景建模精度的影响[J]. 测绘通报,2022(2):1-4

[6] 李星宇,赫念学,魏英波,等. 复杂环境倾斜摄影与实景三维建模技术应用[J]. 测绘通报,2021(增刊):20-24

[7] 席思远,张西童,王宁,等. 倾斜摄影设备选型及像控点布设对高精度实景三维模型重建的影响[J]. 测绘通报,2022(10):86-92

[8] 王二辉. 基于倾斜摄影测量技术的地形图免像控精度研究[J]. 地理空间信息,2022,20(8):74-77

[9] 熊陈龙,史印芳. 无人机航测在公路破碎板修复中的应用研究[J]. 信息通信,2019(12):92-93

[10] 桑文刚,李娜,韩峰,等. 小区域消费级无人机倾斜摄影像控点布设及建模精度研究[J]. 测绘通报,2019(10):93-96

[11] 周靖鸿,邓勇,张达,等. 倾斜摄影测量像控点数量对模型精度影响研究[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(7):212-214