

无人机倾斜摄影在土地整治工程验收中的实践应用

贺笑语

山西明聘智慧科技有限公司 山西 太原 030000

摘要: 本文介绍了倾斜摄影的基本概念及其数据获取过程, 结合土地整治项目验收对于精度要求、工程量计算以及地貌表达等方面的需求, 提出了包括任务设计、像控点设置、数据采集、三维建模、成果分析以及验收评价在内的整体解决方案。同时针对像控点精度管理、遮挡剔除以及多时相影像拼接等问题进行了讨论并提出了解决方案, 并将此方法与传统的手段进行比较分析得出结论: 无人机倾斜摄影技术在提高土地整治工程项目验收的准确性、公正性和可追踪性方面具有明显优势, 但是还需要进一步的技术规范和智能程度才能更好地服务于实际工作需要。

关键词: 无人机倾斜摄影; 土地整治; 工程验收; 实景三维模型; 精度检查

引言

土地整治是改善用地结构、提高耕地质量的重要措施, 在高标准农田建设和全域整治过程中, 验收对精度及效率的要求更高。传统的验收方式以 RTK、全站仪进行点状抽检以及肉眼观测, 存在覆盖面小、工作效率低下、成果不够具体、难以追踪等问题; 而卫星、正射影像虽然范围大, 但是缺少立体信息, 不能有效检测田坎、沟渠等地物。无人机倾斜摄影可从多个角度同时拍摄, 生成高精度实景三维模型, 清晰展示地物平面形状及其立面几何形态、纹理细节, 便于对整治工作进行全方位、直观、量化的检查。文章总结了无人机倾斜摄影应用于土地整治验收的方法步骤, 包括建模过程、精度管理、遮挡问题解决等方面问题, 对其优缺点进行了评价, 希望可以促进该项技术的应用和发展, 使土地整治验收朝着更加智能的方向发展。

1 无人机倾斜摄影技术原理与数据特征

1.1 倾斜摄影的基本原理

无人机倾斜摄影主要就是多角度同时拍摄照片。一般使用五镜头相机阵列, 一个向下拍摄镜头和其他四个倾斜镜头(前后左右), 倾斜角度一般在 30° 到 45° 之间。飞行器根据预定路径进行拍照, 在相邻两张照片之间保证有 70% 以上航向重叠率和 60% 以上旁向重叠率。大重叠率是为了使地面上同一物体能在多个照片中拥有足够多相同对应点, 从而为后期建模做准备。而在后期处理中最重要的一步就是空中三角测量。通过对各个图片中特征点进行检测并为之对应, 找到各个图片中相同点, 再利用已知控制点坐标求得每个图幅外方位元素(位置与旋转角度等)以及加密点三维坐标。然后就可

可以得到密集点云、生成不规则三角网、贴上纹理, 最后得到真实场景三维模型。而此模型精度由所用图片分辨率高低、重叠率大小、控制点布置情况以及空中三角测量结果好坏决定。

1.2 倾斜摄影的关键技术参数

影响土地整治验收应用效果的关键技术指标为: 地面分辨率(GSD)、模型平面精度、模型高程精度以及纹理清晰度。而地面分辨率受飞行高度与相机焦距影响, 在土地整治项目验收中一般需要达到 GSD 小于等于 2cm 的要求, 以便能观察到田面平整度、沟渠断面尺寸等情况。模型平面精度一般为 GSD 的 1~2 倍, 模型高程精度一般为 GSD 的 2~3 倍。纹理清晰度也会影响对混凝土裂缝、土体压实面等情况的质量检查。

1.3 成果类型及其适用场景

倾斜摄影主要成果为实景三维模型、真正射影像(TDOM)、数字表面模型(DSM)以及数字高程模型(DEM)。实景三维模型是最直观成果, 可以进行全方位浏览和量测, 用于整个工程外观检查以及问题查找。真正射影像消除由于建筑倾斜造成投影误差, 可以准确测量水平方向距离和面积, 用于土地边界、道路长度、沟渠占用土地等平面上要素测量^[1]。数字表面模型记录地面上第一面高度, 可以用来量测植物高度或者建筑物高度; 而数字高程模型去除了地面上所有附着物, 只保留地面本身形状, 是进行土方量计算良好数据来源。

2 土地整治工程验收的技术需求与指标

2.1 土地整治验收的主要内容

土地整治工程验收包括土地平整工程、灌溉与排水

工程、田间道路工程、农田防护与生态环境保护工程四个方面。土地平整验收检查田面平整度、田块尺寸（长宽高）、田坎坡度和平整度；灌溉排水验收检查渠道断面尺寸、纵坡、衬砌厚度以及防渗效果；道路验收检查路面宽度、压实度、坡度以及弯道半径；防护林验收检查株行距、成活率等。以上各点有需要准确数值衡量几何尺寸指标，有需要主观评价外观质量指标，还有需要综合考虑整体合理性的指标，在一个方面上不能解决所有问题。

2.2 验收的精度要求与评价标准

依据《土地整治工程质量检验与评定规程》（TD/T1041-2013）以及有关的规定，在土地平整工程中对于田面高程的要求一般在 $\pm 3\text{cm} \sim \pm 5\text{cm}$ 之间；对于沟渠断面尺寸的要求一般在 $\pm 2\text{cm} \sim \pm 3\text{cm}$ 之间；而对于道路宽度的要求一般在 $\pm 5\text{cm}$ 之间。这都对测量的方法有很高的要求，在验收过程中除了要统计田块的数量、归并的程度、路网的密度等宏观指标之外还要对设计和实际情况进行对比分析。传统的做法是通过抽查的方式来完成这项工作，以抽检的合格率来反映整体的质量情况。但是抽查具有一定的随机性，不能够发现局部的问题。而倾斜摄影可以做到全面的检查，理论上可以检查每一个地方的田面高程是否达到要求，但是对于倾斜摄影本身也有一个精度的要求，这个精度要达到或者接近验收的标准中所规定的允许的误差。

2.3 传统验收方法的局限性再审视

除了上述采样稀疏、效率低下等问题之外，在形态表示方面也存在问题。由于土地整治工程项目中很多问题具有空间上连续性和形态复杂性，比如田面不均匀沉降、沟渠局部塌陷、道路纵坡变化等，这些都是不容易用几个孤立点来描述清楚。而平面图不能很好反映填挖方的空间分布以及是否合理调配^[2]。另外，纸质版的检查记录日后查找以及对比十分困难，不利于以后出现问题时查找原因追究责任。

3 倾斜摄影在土地整治验收中的实践应用流程

3.1 任务规划与航线设计

应用流程的第一步为任务规划，在对整治区大小、起伏情况以及精度需求进行了解后，需明确所使用的飞行平台、相机参数、飞行高度、航线走向以及重叠率，对于整治区较大（大于1平方公里）的情况可分块进行航空摄影测量，每一块之间设有重叠带以便拼接成整体模型，航线布置要让倾斜摄影相机主光轴方向与地面主要方向一致以避免过多的悬崖遮挡现象出现，在有大量

田坎或者沟渠等地物的地方可以增加一条补飞航线提高立面上质感。

3.2 像控点布设与测量

像控点是将影像坐标转换到实际地面坐标的一个纽带，其分布情况直接影响到最终三维产品的精度，在土地整理工程竣工验收时，像控点需均匀布设在测区内四周以及内部，一般情况下，每平方千米布置15~25个像控点即可；像控点尽量选择在相对平坦、清晰并且不容易发生变化的地物上（例如硬化的道路交叉口处或者临时放置的标识牌等），而不能选择在田边或者松软的土地表面^[3]。使用RTK或者网络RTK的方法进行像控点定位，平面和高程精度均需达到1cm以内以及2cm以内。另外还需要布置一定数量的检核点（不参与求解只作为精度检测用）。

3.3 数据采集与预处理

无人机根据预设航线自主完成飞行作业并拍摄五向影像，在飞行中应注意气象情况（避开大风、雨雪、阴影较重等），保证POS信息准确无误。成像之后对所有影像质量进行检验，去除过于模糊、过度曝光或者有遮挡的部分。整理像控点及检查点坐标文件，新建工程项目。

3.4 三维建模与精度验证

使用专业的软件（例如ContextCapture、大疆智图等）完成空三加密以及三维重建工作，其过程为：特征点检测及匹配、相对定向、绝对定向（导入像控点）、密集点云生产、三角网生成、纹理贴图，在建立模型之后用检查点来检验精度，在模型内选取检查点所对应的位置坐标，再与实地测量值进行比较求得均方根误差（RMSE）。对于土地平整验收，模型高程中误差需小于等于3cm；而对于沟渠、道路验收，则平面中误差需小于等于3cm。如果精度不合格则需要核查像控点布置情况或者重新进行空三解算。

3.5 成果导出与验收判定

在良好的实景三维模型基础上可以进行多种类型的验收工作。平面量测，在真彩色正射影像中量取地块边长、道路长度、沟渠长度等，与设计值对比。高程分析，在数字高程模型中选取某一点高程，绘制田面高程分布图并标注超高点位；也可以计算出填挖方量分布图来判断土方是否平衡。断面分析，用模型截取功能获取沟渠或道路的任意一个横截面图，测量其宽度。三维浏览，通过漫游查看田坎是否垮塌、衬砌是否破裂、路面是否积水等问题。最后形成验收报告，包含量取图片、

误差表格以及结果等。

4 关键技术问题与优化策略

4.1 精度控制与验证问题

倾斜摄影模型精度受到多种因素的影响,主要有飞行高度、相机质量、重叠率、像控点的质量、光照情况以及后期处理的方法等,在土地整治工程验收过程中,高程精度一般比平面精度更加不易达到,这主要是由于倾斜图像的基线较短,且高程解算对于匹配误差更加敏感,可以采取以下措施改善其精度:适当降低飞行高度提高 GSD;增加像控点在高程方向上的限制;使用较高精度 POS 协助空中三角测量;对于较为平坦地区(例如大田块)可设置专门用于高程校核的目标物并且进行平差优化,在正式验收之前应选择有代表性的地点先行试验及精度测试。

4.2 遮挡与阴影处理

田坎、树木、建筑物等会对倾斜影像造成遮挡以及阴影,从而引起一些地方纹理丢失或者模型拉花,在土地整治项目中,田间道路上侧栽植树木、沟渠上部植被是主要遮挡因素。解决方法有:采用“井”字形航线或者环形航线,增加不同角度倾斜影像获取;选取太阳高度角较大时候进行航摄(比如上午或者下午)以减小影子长度;对有大量遮挡区域,可以配合地面重拍或者利用激光雷达点云与之相结合建模。在后期处理过程中适当降低模型光滑度以便观察出更多细节。

4.3 多期数据配准与变化检测

土地整治验收一般要对整治后情况与设计图纸或者整治前情况进行对照。设计图纸一般为二维 CAD 数据,需要将其叠加到三维模型上就需要进行坐标系配准,可以先从 CAD 中获取不少于三个较容易识别的设计点(例如田块角点坐标)在实景模型中找到相对应位置,求解出这两个坐标系之间的关系^[4]。对于整治前后两期倾斜模型之间变化检测,可以通过模型叠加或者 DEM 差值法来实现,能够自动发现填挖区以及新增建筑物等变化信息,但是需要注意的是由于两期数据获取时间不同所以会造成植被变化影响。

4.4 数据处理效率与自动化

大规模土地整治项目(如数千平方米以上)倾斜摄影数据量非常大,空三解算以及建模需要花费大量时间,对验收进度造成影响。解决方法有:利用分布式计算或者云服务进行处理;根据实际需求只生成部分重点地区高精度模型而不必覆盖整个项目区;用点云测距代替所有要素建模。此外还应该推进变化检测算法智能化以降低人机交互次数,在将来可以使用基于人工智能的目标检测来判读模型,自动发现田坎损坏、沟渠堵塞等问题。

5 结语

无人机倾斜摄影技术是土地整治项目验收一种高效、精准、全面的新方式。基于建立实景三维模型,可以对土地平整、沟渠、道路、防护林等各方面进行全面量测及检查,弥补以往抽查方式不足之处。本文介绍了从任务设计、像控布置、数据获取、三维建模到最后验收全过程,并就其中涉及精度控制、遮挡问题以及多时相匹配等问题给出改进措施。这有利于提高验收合理性和公正性,同时也有利于土地整治项目信息化管理。而随着无人机、传感器及人工智能技术发展,未来这一技术将会朝着更精细、智能化以及廉价方向前进,例如在线三维重建、多种来源结合(比如 LiDAR)等。目前最需要的是出台符合土地整治相关标准和技术导则,规定精度、程序以及成果等方面内容,并加强相关人员培训工作,使这项技术能够由“能用”到“好用”、“会用”。

参考文献

- [1] 李德仁,肖雄武,郭丙轩. 倾斜摄影测量技术及其在智慧城市建设中的应用 [J]. 测绘学报,2021,50(11):1435-1446.
- [2] 杨必胜,陈驰,董震. 无人机倾斜摄影三维建模的关键技术与应用 [J]. 测绘地理信息,2019,44(5):1-7.
- [3] 张祖勋,陶鹏杰. 从正射影像到实景三维——倾斜摄影测量的发展与展望 [J]. 测绘通报,2020(8):1-6.
- [4] 王树根,张永军,郑顺义. 无人机低空倾斜摄影测量在土地整治监测中的应用研究 [J]. 地理信息世界,2022,29(2):45-51.