

基于无人机航测与三维激光扫描的工程地形测绘技术研究

吴栋浩

(广东明源勘测设计有限公司,广东 河源 517000)

[摘要]传统的地形测绘过于依赖人力,测绘效果差,测绘准确度较低。研究工作基于无人机航测与三维激光扫描,设计了一种新的工程地形测绘技术,首先基于无人机航测与三维激光扫描采集了工程地形测绘数据,其次进行了数据预处理,分析测绘精度,进而实现工程地形测绘。实际工程检验结果表明,设计的工程地形测绘技术的测绘数值较准确、测绘精度高,有一定的应用前景,研究成果可以作为地形测量工作的借鉴。

[关键词]无人机航测;三维激光扫描;工程;地形;测绘;技术

[中图分类号]P217 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2022)03-300-05

1 引言

地形测绘是目前工程建设中的首要步骤(杜蒙蒙等,2020),应用地形测绘技术可以记录工程区内的空间信息和地形数据,对后续的工程建设和有着重要作用(赵新华等,2019)。简单来说,地形测绘技术可以测量在地球表面物体的具体位置和空间,并进行等比例缩小(巨正平,2019),逐一记录,因此其在我国的各个领域都得到了广泛的应用(吕雯雪,2020),传统的地形测绘技术主要依靠人力,检测需要了解的工程信息并记录拼接,不仅消耗的人力成本过高,检测不准确(韩家雄,2019),且还时刻会受到外界环境的干扰,影响测绘的质量。随着计算机技术的进步(何代宇等,2020),测绘技术也得到了一定的提升,无人机技术、三维激光扫描成为目前最具潜力的测绘技术。

对工程信息进行测绘不仅需要满足现场的测绘需求,还需要满足工程的空间因素(王合玲等,2020),因此,目前对地形测绘的质量要求越来越高(白宗杰等,2020)。在地形测绘的过程中,最重要的就是测绘信息的采集,再进行比例尺转化,

输入到计算机中,这个步骤往往十分复杂且非常容易出现转化错误(张婷等,2019)。因此在这种情况下需要缩减测绘的转换步骤,应用无人机航测技术和三维激光扫描技术获取之间记录测绘信息(翁鹏飞,2021),并通过智能转换后传输到计算机中,可以大大降低测绘数据误差,提高测绘效率。本文基于无人机航测技术和三维激光扫描技术,设计了一种新的工程地形测绘方法,实际工程检验证明,该方法测绘数值较准确、精度高和效率高,具有较强的应用前景,可作为地形测绘工作的借鉴。

2 基于无人机航测与三维激光扫描的测绘技术设计

2.1 基于无人机航测与三维激光扫描的测绘数据采集

在工程地形测绘中,最重要的就是测绘数据的获取,研究工作借助无人机和三维激光扫描仪实现数据的采集。首先设计了无人机航摄系统,该系统的组成示意图如下图1所示。

[收稿日期]2022-01-22 [修回日期]2022-07-13

[作者简介]吴栋浩(1988—),男,汉族,广西南宁市人,学士(地理信息系统专业),测绘工程师,主要从事工作:摄影测量与遥感、地理信息系统工程、不动产测绘等测绘地理信息项目的生产工作。

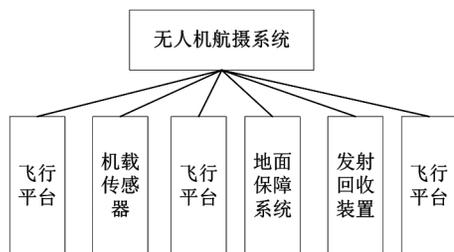


图1 无人机航摄系统

Fig.1 UAV aerial camera system

该航摄系统中最重要的是航摄系统的控制程序。在进行数据采集时,首先选择测绘使用的无人机类型和符合测绘需求的无人机飞行平台,保证无人机可以使用多种方式采集测绘数据。无人机的飞行控制系统主要由 GPS 接收设备、导航设备等组成。在无人机进行数据采集时对摄影传感器的要求非常高,保证能在镜头抖动的条件下拍摄到高清的测绘数据。在无人机采集数据后,使用三维激光扫描仪扫描无人机拍摄的死角,降低无人机数据处理带来的误差。

为了增加测绘的效率,在无人机中添加数据处理系统,保证及时剔除采集到的模糊数据。除了上述要求,在进行无人机测绘时选取的飞行平台高度也十分重要,本文设计的技术将航拍范围拟定在 300~500 m 之前,此时既能准确地拍摄到测绘数据,也能保证无人机飞行安全。

2.2 数据预处理

对无人机和三维激光扫描仪对数据采集到的

数据需要进行预处理,使其满足测绘需求。三维激光扫描技术是利用激光测距原理获取目标实物的三维坐标数据点元,快速建立被测实地的三维模型(胡才源等,2018)。利用 Excel 强大的数据处理功能绘制地质信息图(欧阳刚,2021)。并采用了空三加密基础理论,利用空中三角测量的平差,设计测绘坐标系,建立测绘方程,在这个过程中,高度重视测绘中连接点的坐标,以及保证共线点之间的位置与方程一一对应。

在计算机中,将采集的数据进行平差解算,选取正确的加密点,检查需要处理的测绘资料,包括测绘角度、航线、处理参数等。其次选取数据的定向点位,根据空三加密精度需求进行数据处理。为了保证数据处理的准确性,提高野外数据采集效率(吴冲龙等,2021)。设计使用了 Pix4Dmapper 软件进行数据处理,该软件可以根据图像编辑的属性,选取高级的坐标系,并进行数据匹配,标记控制点,逐一处理后保存。

2.3 测绘精度分析

在数据处理完毕后,进行精度分析。首先布设分析像控点,使用四周边布设法进行布设,在测区的周围均匀布设测点,解算测点与测绘结果的误差情况(表1)。

表1反映,经过精度分析和处理后的数据精度符合测绘需求,产生的精度误差最大不超过 0.01,误差较小。

表1 误差分析

Table 1 Error analysis

| 点号 | 实测 X 坐标 | 实测 Y 坐标 | 提取 X 坐标 | 提取 Y 坐标 | X 坐标误差 | Y 坐标误差 |
|----|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1 | 603.272 | 404.526 | 603.281 | 404.532 | 0.009 | 0.006 |
| 2 | 685.447 | 142.025 | 685.463 | 142.027 | 0.016 | 0.002 |
| 3 | 361.688 | 026.331 | 361.733 | 026.308 | 0.045 | -0.023 |
| 4 | 550.126 | 437.142 | 550.131 | 437.137 | 0.005 | -0.005 |
| 5 | 458.765 | 550.063 | 458.677 | 550.088 | -0.088 | 0.025 |
| 6 | 446.352 | 156.246 | 446.354 | 156.248 | 0.002 | 0.002 |
| 7 | 415.203 | 056.164 | 415.205 | 056.166 | 0.002 | 0.002 |
| 8 | 389.656 | 147.656 | 389.654 | 147.652 | -0.002 | -0.004 |
| 9 | 393.464 | 120.369 | 393.465 | 120.367 | 0.001 | -0.002 |
| 10 | 256.489 | 159.985 | 256.486 | 159.983 | -0.003 | -0.002 |

3 实例分析

为了检测研究成果的测绘效果,研究工作以

实际工程项目为例,将设计的基于无人机航测技术与三维激光扫描技术其与传统的工程地形测绘技术测绘成果进行对比、检验。

3.1 概况及准备

选取 X 工程进行实例分析,该工程在 2015 年竣工,包括 1:2000 地形测绘项目,以及 1:1000 地形测绘项目,为了避免测绘的随机性,选取了该工程 1:2000 的测绘项目进行分析,该测区的面积较广,测区内含有盐碱地泥滩和盐池,在测绘前设置三维激光扫描仪的参数如下表 2。

表 2 三维激光扫描仪参数

Table 2 Parameters of 3D laser scanner

| 参数名称 | 数值 |
|--------------|----------------------|
| 脉冲波长 | 905 nm |
| 红外激光校准波长 | 670 nm |
| 反射率(40%)扫描距离 | 600 m |
| 反射率(5%)扫描距离 | 150 m |
| 扫描视场角(°) | 360° |
| 扫描速率 | 4 400 点/s |
| 散度 | 289' ' |
| 最小扫描间隔角 | 389' ' |
| 距离精度(50 m) | 20 mm |
| 距离精度(700 m) | 50 mm |
| 距离互差(50 m) | 10 mm |
| 角度精度 | 144 mm |
| 双轴补偿器分辨率 | 20 |
| 操作温度 | 0℃~50℃ |
| 仪器尺寸 | 431 mm×271 mm×356 mm |
| 仪器重量 | 14 kg |

由表 2 可知,设置的三维激光扫描仪为 Leica HD 型扫描仪,具有高效性,可实现远距离测绘,且具有较高的测绘精度,符合后续的实例分析需求,仪器调试完毕后需要检验其在 45°、90°、180°、360°的稳定扫描状态,扫描指数大于 1 则证明此时的扫描稳定状态符合测绘需求,扫描指数 L 的计算公式如下(1)所示。

$$L = \frac{2\sqrt{F}}{M} \quad (1)$$

公式(1)中,F 代表扫描结果,M 代表扫描初始值,此时计算不同角度下连续 15 次随机扫描产生的扫描指数(表 3)。

表 3 扫描指数

Table 3 SCAN index

| 扫描次数 | 45°扫描指数 | 90°扫描指数 | 180°扫描指数 | 360°扫描指数 |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 1.654 56 | 1.021 54 | 1.698 44 | 1.642 34 |
| 2 | 1.266 41 | 1.334 44 | 1.233 26 | 1.324 41 |

续表

| 扫描次数 | 45°扫描指数 | 90°扫描指数 | 180°扫描指数 | 360°扫描指数 |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 3 | 1.352 65 | 1.302 54 | 1.655 46 | 1.236 45 |
| 4 | 1.206 51 | 1.206 64 | 1.457 42 | 1.654 54 |
| 5 | 1.366 22 | 1.023 12 | 1.354 54 | 1.124 45 |
| 6 | 1.325 65 | 1.044 54 | 1.203 34 | 1.235 64 |
| 7 | 2.231 46 | 1.366 45 | 1.324 14 | 1.323 44 |
| 8 | 1.034 46 | 1.664 46 | 1.021 43 | 1.656 45 |
| 9 | 1.886 64 | 1.455 56 | 1.533 14 | 1.879 89 |
| 10 | 1.034 54 | 1.313 48 | 1.320 52 | 1.486 91 |
| 11 | 1.313 55 | 1.234 65 | 1.405 66 | 1.034 54 |
| 12 | 1.021 44 | 1.344 34 | 1.367 74 | 1.898 23 |
| 13 | 1.564 51 | 1.234 58 | 1.564 65 | 1.323 48 |
| 14 | 1.033 15 | 1.231 32 | 1.898 86 | 1.665 44 |
| 15 | 1.646 54 | 1.323 41 | 1.546 46 | 1.566 45 |

在不同角度下,设定的三维扫描仪的扫描指数均大于 1,符合后续的测绘需求。在测绘初期,检测已有控制点的坐标,其次根据坐标情况,排查测区的地形,避免测区的现实条件给测绘带来的误差。

在准备初期,需要重视数据的采集和误差处理,增加后续的测绘精度,因此需要到测区工程现场进行了踏勘,确定测区的位置,对测区或附近坐标参数进行校正(朱要强等,2018),控制点的信息,扫描对象的状态、点云的拼接转换现状,拍摄测区照片,为测绘工作提供现场支撑。设计扫描方案确定控制点间距约为 1 500 m,利用 GNSS 技术埋设控制点(朱永红等,2017),主要的技术要求情况见表 4、表 5。

表 4 GNSS 技术测量要求

Table 4 Requirements for GNSS technical measurement

| 等级 | 四等 | 一等 |
|---------------|--------|--------|
| 平均边长(km) | 2.0 | 0 |
| 固定误差(mm) | 0 | 0 |
| 比例误差系数(mm/km) | 0 | 20 |
| 约束点误差 | 00 000 | 40 000 |

表 5 GNSS 控制基本要求

Table 5 Basic requirements for GNSS control

| 等级 | 四等 | 一级 |
|-----------|------------|------------|
| 接收机类型 | 双频 | 双频 |
| 接收机标称精度 | 0 mm+5 ppm | 0 mm+5 ppm |
| 观测量 | 载波相位 | 载波相位 |
| 卫星高度角(°) | ≥15 | ≥15 |
| 有效卫星数 | ≥4 | ≥5 |
| 观测时间(min) | 0~45 | - |
| 采样间隔(s) | 0~30 | - |
| PDOP | ≤6 | ≤8 |

根据表4、表5的技术控制需求采集外业数据,利用RTK定位测区测量点坐标,使用上述设置的三维激光扫描仪采集外业信息。

外业信息采集后,利用点云扫描,得出三维信息点,对采集到的三维信息点进行滤波平滑处理,降低点云拼接产生的误差,基于此,设计的误差计算式(2)如下所示。

$$m = \sqrt{\sin^2\theta + s^2} \quad (2)$$

计算式(2)中,代表水平角,代表扫描距离。选取若干个控制点,使用GNSS进行测绘,利用计算式对各个点进行测量核验,核验结果如下表6所示。

表6 核验结果
Table 6 Test results

| 仪器号 | 点名1 | 差值 Δx | 差值 Δy | 差值 ΔH | 点名2 |
|-----|------|--------|--------|--------|------|
| 66 | NH09 | -0.003 | 0.008 | -0.065 | NH09 |
| 68 | NH09 | 0.002 | 0.025 | -0.056 | NH09 |
| 66 | NH12 | 0.001 | 0.025 | -0.011 | NH12 |
| 68 | NH12 | -0.003 | 0.031 | -0.004 | NH12 |
| 66 | NH14 | 0.006 | 0.030 | -0.018 | NH14 |
| 66 | NH14 | -0.009 | 0.033 | -0.008 | NH14 |
| 68 | NH04 | 0.000 | -0.002 | 0.001 | NH04 |
| 66 | NH04 | -0.002 | -0.002 | 0.009 | NH04 |
| 66 | NH04 | 0.004 | -0.006 | 0.004 | NH04 |
| 68 | NH04 | 0.005 | 0.003 | -0.002 | NH04 |

由表6可知,采用本文设计测绘技术对点名进行测量的数值,差值最大为0.056,说明核验点位具有可靠性、采集的数据较规范,精度质量可以得到保证。根据核验点的位置,选取部分固定点,位置如下表7所示。

表7 固定点位置
Table 7 Fixed point locations

| 点名 | Δx | Δy | ΔH |
|------|--------|--------|--------|
| NH11 | -0.001 | 0.002 | 0.004 |
| NH12 | -0.001 | 0.000 | 0.003 |
| NH12 | -0.005 | 0.002 | -0.001 |
| NH12 | 0.000 | 0.001 | -0.004 |
| NH12 | -0.005 | 0.002 | 0.012 |
| NH14 | 0.005 | 0.006 | 0.009 |
| NH15 | -0.012 | 0.003 | 0.004 |
| NH14 | 0.001 | -0.006 | -0.015 |
| NH14 | -0.003 | -0.006 | -0.005 |
| NH14 | 0.006 | 0.000 | -0.015 |

根据表7的部分固定点分布规律,可以进行后续的测绘精度实验。

3.2 应用效果与讨论

在上述准备情况下,分别使用研究设计的基于无人机航测与三维激光扫描的工程地形测绘技术和传统的测绘技术进行测绘,对比两种方法与标准测绘数值之间的差距,测绘结果见表8。

表8 应用效果对比表
Table 8 Comparison of application effect

| 测绘点 | 标准测绘数值(m) | 本文设计测绘技术 | | 传统测绘技术 | |
|------|-----------|----------|----------|---------|----------|
| | | 测绘数值(m) | 测绘误差 | 测绘数值(m) | 测绘误差 |
| NH1 | 1.500 0 | 1.499 6 | -0.000 4 | 1.436 5 | -0.063 5 |
| NH2 | 1.400 0 | 1.400 2 | 0.000 2 | 1.346 8 | -0.053 2 |
| NH3 | 2.300 0 | 2.300 6 | 0.000 6 | 2.236 4 | -0.063 6 |
| NH4 | 1.250 0 | 1.250 3 | 0.000 3 | 1.365 4 | 0.115 4 |
| NH5 | 1.600 0 | 1.599 9 | -0.000 1 | 1.635 6 | 0.035 6 |
| NH6 | 2.600 0 | 2.600 0 | 0.000 0 | 2.541 2 | -0.058 8 |
| NH7 | 2.340 0 | 2.340 1 | 0.000 1 | 2.465 9 | 0.125 9 |
| NH8 | 2.390 0 | 2.390 0 | 0.000 0 | 2.413 6 | 0.023 6 |
| NH9 | 2.480 0 | 2.480 1 | 0.000 1 | 2.563 1 | 0.083 1 |
| NH10 | 2.500 0 | 2.500 0 | 0.000 0 | 2.510 3 | 0.010 3 |
| NH11 | 3.900 0 | 3.899 9 | -0.000 1 | 3.912 6 | 0.012 6 |
| NH12 | 2.500 0 | 2.500 3 | 0.000 3 | 2.516 3 | 0.016 3 |
| NH13 | 1.500 0 | 1.500 0 | 0.000 0 | 1.542 3 | 0.042 3 |
| NH14 | 2.430 0 | 2.430 0 | 0.000 0 | 2.456 9 | -0.026 9 |
| NH15 | 2.690 0 | 2.690 5 | -0.000 5 | 2.685 2 | 0.004 8 |

表8反映,本研究设计的测绘技术测绘的数值的误差保持在0.001以内,相比于传统测绘技术,使用本文设计的测绘技术测绘的数值与实际数值之间误差更小,更接近实际数值,证明设计的测绘方法的测绘效果较好,具有准确性,有一定的应用价值。

4 结束语

综上所述,进行工程地形测绘可以作为后续施工的参考,结合测绘数据,可以设计最符合施工需求的施工方案,因此本研究成果解决了传统测绘技术面临的测绘精度低的问题,基于无人机航测和三维激光扫描设计了新的工程地形测绘技术,测绘的数值与标准数值更拟合,证明设计的测绘技术的测绘效果较好,具有一定的应用价值,可以作为工程地形测绘的参考。

[参考文献]

白宗杰,王宁,贾尧,等. 2020. 无人机摄影测量在露天矿地形测绘中的应用研究[J]. 世界有色金属, (23): 17-18.
 杜蒙蒙,刘颖超,姬江涛,等. 2020. 基于无人机与激光测距技术的农田地形测绘[J]. 农业工程学报, 36(22): 60-67.
 韩家雄,王晟,张凤佳. 2019. 无人机数字摄影测量技术在电网铺

设地形测绘中的应用[J]. 环境技术, 37(05): 154-159+171.
 何代宇,曾文沛,杨晓东,等. 2020. 昏暗环境的新型超声波地形测绘新技术应用研究[J]. 四川建材, 46(04): 45-46+48.
 胡才源,章广成,李小玲,等. 2018. 仙宇屯景区危岩体稳定性分析及治理措施[J]. 贵州地质, 35(2): 6.
 巨正平,路云. 2019. 基于无人机倾斜摄影测量技术在大比例地形测绘中的应用探讨[J]. 江西科学, 37(05): 723-726.
 吕雯雪,李建章. 2020. 基于中继通信技术的灾后区域地形特征点无人机精细测绘研究[J]. 灾害学, 35(04): 202-205.
 欧阳刚. 2021. 利用 Excel 实现 AutoCAD 自动批量绘制地质灾害点分布图的方法尝试[J]. 贵州地质, 38(3): 4.
 王合玲,胡云云,廖丽霞,等. 2020. 水陆空三位一体测绘技术在山塘水库库容测绘中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 43(06): 211-214.
 翁鹏飞,董伟. 2021. 倾斜摄影测量技术在大比例尺基础测绘工程中的应用[J]. 测绘技术装备, 23(03): 47-51+61.
 吴冲龙,张夏林,周琦,等. 2021. 数字勘查与地矿勘查行业数字化转型[J]. 贵州地质, 38(2): 10.
 赵新华,孙江涛,王玉静,等. 2019. 基于无人机低空摄影测量技术进行矿山大比例尺地形测绘的可行性研究[J]. 地理信息世界, 26(03): 118-121.
 张婷,燕樟林,许晶,等. 2019. 机载激光雷达在抽水蓄能电站三维地形数据集中的应用[J]. 大坝与安全, (04): 32-34.
 朱要强,邹银先,张鸿晶,等. 2018. 兴仁县新龙场镇“采空”结构型滑坡变形机制与监测预警[J]. 贵州地质, 35(3): 7.
 朱永红,刘锐,李源洪,等. 2017. 手持 GPS 在地质调查中的具体应用实践——以黔西南某地金矿普查为例[J]. 贵州地质, 34(2): 8.

Research on Engineering Topographic Mapping Technology Based on UAV Aerial Survey and 3D Laser Scanning

WU Dong-hao

(Guangdong Mingyuan Survey & Design Co., Ltd. Heyuan 517000, Guangdong, China)

[Abstract] The traditional topographic mapping relies too much on manpower, the mapping effect is poor, and the mapping accuracy is low. Based on UAV aerial survey and 3D laser scanning, a new engineering terrain mapping technology is designed. Firstly, the engineering terrain mapping data are collected based on UAV aerial survey and 3D laser scanning. Secondly, the data preprocessing is carried out to analyze the mapping accuracy, and then the engineering terrain mapping is realized. The actual engineering inspection results show that the designed engineering topographic mapping technology has more accurate mapping values and high mapping accuracy, and has a certain application prospect. The research results can be used as a reference for topographic survey.

[Key Words] UAV aerial survey; Three dimensional laser scanning; Engineering; Topography; Mapping; Technology