

倾斜摄影测量在高速公路改扩建工程中的应用

张鸿飞

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:传统意义上的测绘已经不能满足信息化智能化测绘时代的需求,无人机倾斜摄影测量技术给测绘行业带来了新的技术手段。研究倾斜摄影测量技术在实际测绘生产项目中的应用流程,通过对航测相机进行检校、航测参数调整、像控点布设方案优化、数据严格检核处理等,最终获取满足规范和项目要求的测绘成果。最后将该方法应用在高速公路改扩建工程中,并对实地标志点、地面标高、雨污水井位、高速路面桥缝等特征点数据进行了残差统计和误差分析。结果表明,该方法测量成果精度可靠,解决了传统测量方式无法直接进行高速测量的问题,提高了工作效率,效果良好。

关键词:倾斜摄影;三维实景模型;高速公路工程;像控点

中图分类号: U412.24

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)12-0180-04

0 引言

无人机倾斜摄影测量技术是目前全球测绘领域新兴的一门技术手段。其原理是将多个传感器搭载在同一架飞行平台上,对地物从多个角度进行拍摄,获取到更全面和完整的地物信息^[1-2]。倾斜摄影测量中的三维数据可以真实地反映地物的具体位置、高度和外观情况等属性,很好地弥补了传统测量手段的不足^[3-4]。但是倾斜摄影测量技术也存在一些弊端,如非量测型数码相机摄影物镜存在光学畸变、机械畸变和电学畸变,缺少倾斜摄影测量像控点布设规范,机载 POS 精度不高等。本文结合高速公路改扩建项目,通过对航测相机进行检校、航测参数调整、像控点布设方案优化、数据严格检核处理等,最终将该技术应用到实际工程当中,数据精度可靠,效果良好。

1 非量测相机检校

非量测型数码相机摄影物镜存在光学畸变、机械畸变和电学畸变。其中,光学畸变是影响像点坐标的一个关键因素。光学畸变会使得物点、像点和投影中心点不共线,影像的形状发生变形,同名光线不再

相交,摄影影像精度降低。在获取摄影影像之前,必须对非量测的数码相机进行检测。相机检校参数包括内方位元素和畸变参数。其中,内方位元素包括主距、像主点在像片中心的位置。由于相机畸变的存在,摄影中心、像点、物方点之间不满足共线条件方程,从而严重影响影像测量成果的精度。为了减小像片畸变,提高影像匹配,应当确定相机的内参数与畸变参数。当考虑图像畸变时,共线条件方程式表示为^[5-6]:

$$\begin{cases} x-x_0-\Delta x=-f\frac{a_1(X-X_s)+b_1(Y-Y_s)+c_1(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s)+b_3(Y-Y_s)+c_3(Z-Z_s)}=-f\frac{\bar{X}}{\bar{Z}} \\ y-y_0-\Delta y=-f\frac{a_2(X-X_s)+b_2(Y-Y_s)+c_2(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s)+b_3(Y-Y_s)+c_3(Z-Z_s)}=-f\frac{\bar{Y}}{\bar{Z}} \end{cases}$$

式中: $\Delta x, \Delta y$ 是由图像畸变引起的像点坐标的系统误差; (x, y) 是像点量测坐标。 $a_i, b_i, c_i (i=1, 2, 3)$ 为3个外方位角元素所组成的方向余弦。 (X, Y, Z) 是物方控制点坐标; (X_s, Y_s, Z_s) 为摄影时像片的外方位线元素; (X_0, Y_0) 为像主点在像片中心的位置; f 为相机镜头焦距。综合考虑径向畸变与偏心畸变的畸变模型为:

$$\begin{cases} \Delta x-k_1\bar{x}^2+k_2\bar{x}^4+p_1(r^2+2\bar{x})+2p_2\bar{x}\bar{y} \\ \Delta y-k_1\bar{y}^2+k_2\bar{y}^4+p_2(r^2+2\bar{x})+2p_1\bar{x}\bar{y} \end{cases}$$

式中: $\bar{x}=x-x_0, \bar{y}=y-y_0, r^2=\bar{x}^2+\bar{y}^2, k_1, k_2, p_1, p_2$ 为相机畸变参数。

2 像控点布设方案

像控点的布设方案和数量、平面和高程测量值会

收稿日期: 2021-03-12

基金项目: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司科研项目(K2020K113A)

作者简介: 张鸿飞(1983—),男,博士,高级工程师,主要从事低空航摄技术在市政设计工程中的应用研究工作。

直接影响空中三角测量,从而影响模型精度。因此,像控点的布设在整个项目实施中尤为重要。根据每个项目的地形条件、摄影资料和信息处理方法,像控点布设的主要原则如下:

(1)像控点一般根据测区范围统一布点,应均匀、立体地布设在测区范围内。

(2)点位的分布应避免形成近似直线。

(3)像控点需选择较为尖锐的标志物,以提高内业精度。

(4)像控点标志物应与地表颜色形成鲜明对比,如深色地标喷白色油器,白色地面喷红色油漆。

(5)尽量选择平坦地区,避免树下、屋角等容易被遮挡的地方。

(6)像控点布设结束后,应尽量进行拍照记录。现场照片内应同时包含像控点及其周围地物特征,并在照片内清晰指出像控点所在位置及编号(默认照片中对中杆所在位置即像控点位置)。

(7)若工作人员选择地物特征点作为像控点,应选择较大地物,且提供现场照片 2~4 张,辅助内业人员寻找像控点。

(8)布设像控点的人员应提供像控点实际分布情况。图 1 给出了像控点布设的实例。



图 1 像控点的布设

3 航测参数设定

在航测任务开始前,根据需求并结合现场情况综合考虑设定航摄参数。参数包括航高、飞行速度、曝光间隔、像片重叠度、图像分辨率、像幅范围、航线间隔等。

3.1 航高

飞行高度又称航高,是指无人机相对于摄影区域的平均平面的高度。根据不同的基准面,航高可以分为绝对航高、相对航高、真实航高和摄影航高。其中,绝对航高是指相对于平均海平面的航高,是摄影物镜在摄影瞬间的真实海拔高度。相对航高是指摄影机物镜相对于某一基准面的高度。真实航高是指飞机在摄影瞬间相对于实际地面的高度。摄影航高

是指飞机相对于摄影分区的平均平面的高度。这里的航高指的是相对航高,即无人机相对于起航位置的航高。

3.2 飞行速度

飞行速度不仅直接影响飞行的平稳性,而且与相片相移有关,影响着相片成像质量。通常情况下,无人机倾斜摄影测量采用低速飞行模式,能够保证飞行安全性,还能减少影像相移获取符合质量要求的像片。

3.3 曝光间隔

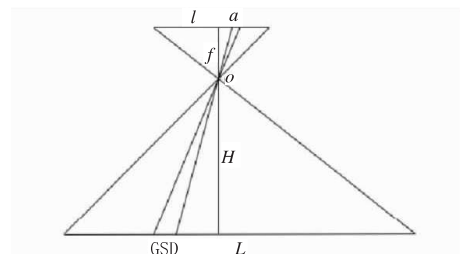
无人机在飞行过程中,采集影像数据相邻两次曝光时间之差为曝光间隔。它与基线长度和飞行速度有关。当飞行速度和航高已知的情况下,航向重叠度由曝光时间间隔决定,曝光间隔只需不小于相机最小曝光间隔即可。

3.4 像片重叠度

像片重叠度分为航向重叠度和旁向重叠度。航向重叠度又称“纵向重叠”,在无人机摄影中沿同一航线上的相邻像片间对应同一部分地面影像。通常情况下,前后两张像片拍摄位置在空中各不相同,因此重叠部分对应同一地面,像片影像却不完全相同。沿航向重叠部分与整个像片的长度之比,称为航向重叠度,用百分数表示。同理,旁向重叠度又称“横向重叠”。旁向重叠部分的长度与整个像片长度之比,称为“旁向重叠度”,用百分数表示。

3.5 图像分辨率

图像分辨率是指一个像元大小。像元又称像素点,即影像单元(picture element),是组成数字影像的最小单元,即一个像元代表地面面积多少。根据摄影测量,航高、焦距和图像分辨率存在相似三角形关系,如图 2 所示。



注: f 为相机焦距, H 为绝对航高。

图 2 图像分辨率

3.6 像幅范围

像幅范围是指一张影像所展示的实地面积大小。对于低空无人机航摄系统来说,如果数码相机一旦选定,所用的镜头也一定,那么地面分辨率与航高

成正比。当航高越高时,地面分辨率的值越大,分辨率越低,像幅范围越大。当航高越低时,地面分辨率的值越小,分辨率越高,像幅范围越小。

4 数据检查处理

第一步,检查影像质量,补飞不合格区域,直至满足要求。检查的内容包括飞行质量检查和影像质量检查。飞行质量检查包括航向重叠度、旁向重叠度、像片倾角和旋角、航线弯曲度和航高差。影像质量检查包括:观察影像是否清晰、色调是否一致、层次是否鲜明、反差是否合理;观察影像是否有重影、不清晰和位置偏移等情况;观察影像是否有阴影、大范围反光、不清晰点等突出问题,是否影响模型的建立与测图。

第二步,进行几何校正,同名点匹配,区域网联合平差。

第三步,将平差后的数据赋予每张倾斜影像,使得它们具有空间位置和姿态数据,呈现在三维空间中。

第四步,倾斜摄影进行实时测量,相片上的每个像素对应真实的地理坐标位置。

5 高速公路改扩建工程应用实例

5.1 测区概况

工程位于上海市宝山区中部,线路呈东西走向,全长 3.86 km,宽 300 m。工程范围包含跨线桥、互通式立交、建筑、道路、市政设施、绿地、施工区域等,地物类型较多,地形较为复杂。项目情况如图 3 所示。



图3 项目概况

5.2 飞行参数

航飞任务采用六旋翼无人机、五镜头相机。无人机及相机各项参数均通过检验,符合航空摄影测量规范要求。表 1 给出了外业飞行参数。

5.3 像控点的布设

在飞行作业前,对整个测区现场踏勘,结合现场具体情况选取路面上斑马线、道路拐点、井盖等明显特征点作为像控点。像控点间距为 200~300 m。像控点在航摄区域均匀分布,且覆盖整个测区。像控点测

表 1 外业飞行参数

参数	取值
绝对航高 /m	150
航向重叠度 /%	80
旁向重叠度 /%	70
分辨率 /cm	2.1
飞行速度 /(m·s ⁻¹)	8
拍摄间隔 /s	2.09

量使用 RTK 测量方法。在测区内均匀布设 24 个像控点和 9 个检查点。像控点分布及布设如图 4、图 5 所示。



图4 像控点分布图



图5 像控点的布设

5.4 空三平差计算

内业数据处理采用机载 POS 数据和像控点数据进行空三计算。部分控制点计算精度如图 6 所示。

control points									
Index	Name	Position(s) Placed	Category	X (Long)	Y (Lat)	Z (Height)	Coordinate system	Horizontal accuracy (m)	Vertical accuracy (m)
1	39	34	Full	-1201.196	10413.26	4.796	Local coordinate	0	0
2	35	27	Full	-1095.828	10504.75	4.216	Local coordinate	0	0
3	338	9	Full	-10404.81	10546.454	3.531	Local coordinate	0	0
4	334	26	Full	-10505.483	17732.934	4.976	Local coordinate	0	0
5	33	26	Full	-1756.546	10705.297	4.197	Local coordinate	0	0
6	320	34	Full	-1242.279	17976.9	4.788	Local coordinate	0	0
7	39	57	Full	-10490.137	10469.371	4.277	Local coordinate	0	0
8	38	40	Full	-10213.899	10516.827	4.281	Local coordinate	0	0
9	35	23	Full	-10544.805	10584.296	3.736	Local coordinate	0	0
10	33	18	Full	-10582.059	10582.193	4.107	Local coordinate	0	0
11	32	24	Full	-10515.876	10549.147	4.049	Local coordinate	0	0
12	36	34	Full	-11515.985	10653.348	3.75	Local coordinate	0	0
13	309	25	Full	-10115.928	17877.894	4.929	Local coordinate	0	0

图6 空三计算精度

由上面结果可以看出,空中三角测量精度较好,结果符合要求。空中三角测量完成后,开始生成 OSGB 三维模型、DOM、DSM 等产品。

5.5 成果精度分析

在测图软件中利用三维测图模块进行 OSGB 数据转换,生成 DSM 格式文件,然后加载本地倾斜模型。采用二维、三维模型联动绘制的方式,根据地形图绘制规范进行地形图绘制。

三维实景模型测图如图 7 所示。

为了验证该方法绘制地形图的平面和高程精度,用 RTK 结合全站仪的方式在地面测量部分平高

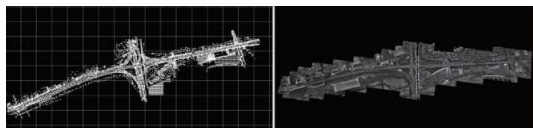


图 7 三维实景模型测图

检查点。平高检查点包含斑马线角点、道路拐点、井盖等明显特征点。检查点在测区均匀分布。将外业实测检查点与模型测量点做检查分析,并根据点位中误差公式计算出每个检查点的平面中误差。图 8 为检查点残差图。

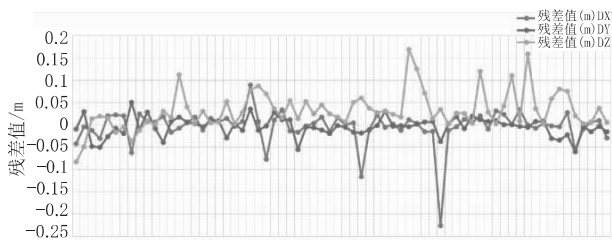


图 8 检查点残差图

通过对地面标志点进行误差统计, X 方向中误差 0.039 m, Y 方向中误差 0.022 m, Z 方向中误差 0.054 m。总体分析,在三维模型上采集的数据精度可以满足工程测量规范(GB/50026—2007)1:500 地形图要求。

为了验证高速路面数据精度,使用 RTK 测量的方式,外业实测 738 个检查点。然后将外业实测检查点与模型测量点做检查分析,并根据点位中误差公式计算出每个检查点的平面中误差。残差图如图 9 所示。

通过对高速路面、桥缝高程残差进行误差统计, Z 方向中误差为 0.038 m,高程残差值都在 10 cm 以内,最大为 6.4 cm。利用倾斜三维模型提取高速路面高程数据精度可以满足高速公路地形和断面测量要求。

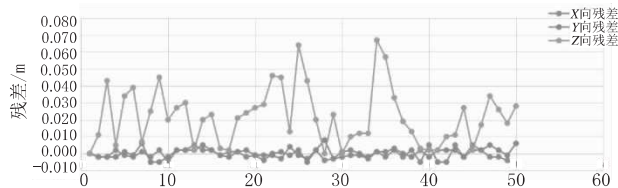


图 9 高速路面检查点残差图

6 结 语

本文将倾斜摄影测量技术应用在高速公路改扩建工程中,并对成果进行了详细的精度分析,效果良好。

(1)研究了倾斜摄影测量技术在高速公路改扩建项目中的应用流程,通过一系列方案优化,最终获取了可以满足规范和项目要求的测绘成果。

(2)解决了传统测量方式无法直接进行高速测量的问题,提高了工作效率,效果良好。

(3)在三维模型上采集的雨水算子、雨污水井、路灯等道路附属设施数据精度相对较高,可以直接进行测绘生产。

参考文献:

- [1] 季晓菲.无人机航摄像控快速测制大比例尺地形图关键技术研究[D].西安:长安大学,2019.
- [2] 初凤婷.无人机摄影测量内业数据处理实践研究[D].长春:长春工程学院,2019.
- [3] 余美.倾斜立体影像匹配若干问题研究[D].徐州:中国矿业大学,2018.
- [4] 刘洋.无人机倾斜摄影测量影像处理与三维建模的研究[D].南昌:东华理工大学,2016.
- [5] 王冬,冯文灏,卢秀山,等.基于多片空间后方交会的 CCD 相机检校[J].测绘科学,2006(4):64-66.
- [6] 陈义.数字摄影测量共线方程的一种新解法[J].同济大学学报(自然科学版),2004(5):660-663.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com