

# Research on the 1:500 Scale DLG Production by UAV Aerial Survey Method

Xicai Huang

Harbin Municipal Engineering Design Institute Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang, 150001, China

## Abstract

With the rapid development of UAV technology and full digital photogrammetry technology, the advantages of aerial photogrammetry are more and more significant. This paper focuses on the research of 1:500 scale DLG produced by UAV aerial survey method, through the study of key technical points, such as the layout and acquisition of image control points, the accuracy and density of image control points, the accuracy of aerial triangulation is affected, select the degree of overlap and relative height of aerial photography to improve the quality of aerial photography, and obtain the data that 80% of course overlap degree and 80% of side overlap degree are selected for 1:500 scale DLG production of UAV aerial survey method in built-up area. For areas larger than 50000 m<sup>2</sup>, except for the corner of the block, image control points are set every 150 ~ 200m in other areas.

## Keywords

UAV; aerial survey method; course overlap; side overlap; accuracy

# 无人机航测法生产 1:500 比例尺 DLG 的研究

黄喜才

哈尔滨市市政工程设计院有限公司, 中国 · 黑龙江 哈尔滨 150001

## 摘要

随着无人机技术、全数字摄影测量技术的迅速发展, 航空摄影测量的优势越发显著。论文针对无人机航测法生产 1:500 比例尺 DLG 的研究, 通过研究关键技术点, 如像控点的布设与采集、像控点的精度和密度影响空中三角测量的精度, 选取航摄的重叠度、相对航高, 提高航摄影像的质量, 得出建成区无人机航测法生产 1:500 比例尺 DLG 航向重叠度选取 80%、旁向重叠度选取 80% 的数据。大于 5 万 m<sup>2</sup> 的区域, 除区块拐角布设像控点外, 其他区域每隔 150~200m 布设一个像控点。

## 关键词

无人机; 航测法; 航向重叠度; 旁向重叠度; 精度

## 1 概述

### 1.1 研究背景及意义

随着无人机技术、全数字摄影测量技术的迅速发展, 航空摄影测量的优势越发显著, 与传统测量相比, 航测成图速度快、工程周期短、生产成本低, 尤其大面积作业时优势更为明显。中国和国际上对航测法生产 1:500 DLG 研究范围比较广泛, 根据不同的无人机型号、航摄镜头参数, 所采取的技术方法各不相同。笔者立足从生产实际出发, 根据我院现有的无人机及航摄镜头, 通过反复对立体测图各个环节的试验, 研发出切实我院的无人机生产 1:500 DLG 的核心技术, 再结合野外实测法, 总结出了高效性、实用性的测绘方法。提高了我院的测绘科技水平, 进而增加了测绘生产效益。

### 1.2 主要研究内容及实施方案

#### 1.2.1 解决的关键技术问题

(1) 像控点的布设与采集, 像控点的精度和密度影响空中三角测量的精度。

(2) 选取航摄的重叠度、相对航高, 提高航摄影像的质量<sup>[1]</sup>。

#### 1.2.2 实施方案

##### (1) 航空摄影测量定义

航空摄影测量指的是在飞机上用航摄仪器对地面连续摄取像片, 结合像片控制测量、空中三角测量、立体建模、立体测图、像片调绘和航测内业等步骤, 获得地面研究区域的各种比例尺、不同类型的地形图、实景三维模型数据, 并为各种数据库提供基础数据。

### (2) 航空摄影测量基本工作原理

航空摄影测量单张像片测图的基本原理是中心投影的透视变换。

透视变换是指利用透视中心（镜头中心）、像点、物点三点共线的条件，即共线方程。

立体测图的基本原理是投影过程的几何反转。

几何反转是根据光路可逆性，由所摄像对建立其几何立体模型的原理。

### (3) 航空摄影测量技术流程

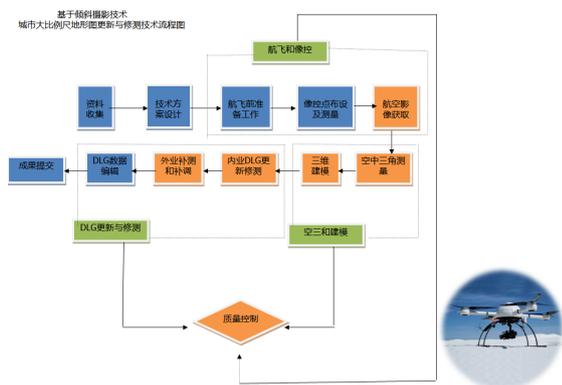


图 1 基于倾斜摄影技术生产城市大比例尺地形图的技术流程

### (4) 航空摄影选取的设备

本科研项目航空摄影采用的飞行平台是 MD4-1000 四旋翼无人机（德国），航摄仪是安尔康姆公司研制的五镜头型倾斜摄影平台，航摄具体参数如图 2 所示。

#### md4-1000 倾斜摄影云台

这个搭载在md4-1000飞行器上的专属倾斜云台，可同时拍摄正射和4个方向倾斜影像，拥有更轻的重量，5个SONY ILCE-QX1数码相机，原装无损拆卸，密封性好，可靠性高，不必因改装而损失原厂质保。可根据需求更换不同镜头，系统起飞和着陆地要求低，操作方便灵活，能近低空快速获取影像，尤其适合对小区大比例尺的倾斜摄影与实景三维建模任务。

技术参数	
● 尺寸：290*284.8*312.8mm	● 重量：≤1.64kg
● 相机倾斜角度：50°	● 缓存卡容量：32*5 G
● 镜头：20mm定焦镜头	● 单张图像分辨率：5456*3632
● 总有效像素：2010万像素*5，合计10000万像素	
● 支持相机开机故障检测	● 支持USB方式固件升级
● USB数据传输接口：USB2.0 High Speed，mini USB	
● 通过md4-1000相机控制接口控制5个相机同时拍照	
● 通过一个按键同时操作相机开机，通过一个USB接口同时读取5个相机的数据	

◆ 单次飞行作业时间：≤30min  
◆ 作业最大航线长度：10km  
◆ 单次最大作业面积：1.2km<sup>2</sup>（地面分辨率约5cm）

图 2 md4-10000 倾斜摄影云台技术参数

### (5) 项目执行规范

CJJ/T 8-2011《城市测量规范》

CH/Z 3005-2010《低空数字航空摄影规范》

CH/Z 3004-2010《低空数字航空摄影测量外业规范》

CH/Z 3003-2010《低空数字航空摄影测量内业规范》

GB/T24356-2009《测绘成果质量检查与验收》

CH/T1016-2008《测绘安全生产作业规程》

## 2 像控点的布设与采集

像控点是倾斜摄影测量空三加密和外业补测的基础数据，因此，野外像控点目标选择的好坏和指示点位的精确程度，直接影响成图的精度<sup>[2]</sup>。

(1) 布设原则：①像片控制点的目标影像应清晰易于判刺和立体量测，选在交角良好（30°~150°）的细小线状地物交点，明显地物拐角点，高程控制点点位目标应选在高程起伏较小的地方。②平面控制点航向间隔基线数不大于 6 条，旁向间隔的航线数不大于 4~5 条，高程控制点航向间隔基线数不大于 4 条，每条航线布点。

根据布设原则，结合本项目实际现状，经过多次在测区布点实验，总结像控布点规律如下：①小于 5 万 m<sup>2</sup> 的小块区域，在区块四个角点处和中心位置各布设一个像控点；②大于 5 万 m<sup>2</sup> 的区域，除区块拐角布设像控点外，其他区域每隔 150~200m 布设一个像控点；③像控点位置选用布设地标点与明显地物点相结合的方式。

(2) 像控点的测量采用 RTK 野外实测。测量时必须做到对中杆圆气泡居中，本项目的像控点量测采用平滑采集（设置采集 10 次），每个像控点必须测量 3 次取平均值作为最后像控点三维坐标成果。平面位置中误差不超过图上 0.1mm，这样保证了每个像控点的外业实测精度，为内业空中三角测量提供可靠基准。

(3) 本项目成图面积 0.8 km<sup>2</sup>，共布设平高点 26 个，每个像控点点平面精度优于 5cm，高程精度优于 5cm。

## 3 航摄重叠度、相对航高的选取

无人机航摄采用的相机一般为非量测型全画幅相机，镜头畸变大，尤其是边缘部分，尽管可以根据相机畸变参数对像片进行畸变纠正，但纠正过程中会产生纠正误差，且越往边缘纠正误差越大。所以为了提高像片质量，应加大航摄重

叠度，尽可能使用像片中心部分的影像。

航摄像片沿飞行方向上相邻像片的重叠，称航向重叠。

两相邻航带间的重叠，称旁向重叠。根据 CH/Z 3005-2010《低空数字航空摄影规范》可知，航向重叠度一般为 60%~80%，旁向重叠度一般为 35%~60%。

像片的重叠度越大，可利用像片中心部分就越小，像片的质量就越好。同时像片的数量就会越多，选取合适的航摄重叠度尤为重要，既能满足影像质量要求，又能提高航摄效率。本项目经过反复试验，最后总结出主城区生产 1:500 比例尺 DLG 航向重叠度选取 80%，旁向重叠度选取 60%。

相对航高：航摄仪镜头中心到某一基准面的垂直距离，用符号 H 表示。

数字影像的分辨率：影像分辨率是决定影像对地物识别能力和成图精度的重要指标。

对影像而言，影像分辨率通常是指地面分辨率，一般以一个像素所代表地面的大小来表示，即地面采样间隔 (GSD)，单位米 / 像素。其中，数字航空摄影的航高计算公式为：

$$H = \frac{f \times GSD}{a}$$

- 式中：H——摄影航高，单位为米 (m)；
- f——镜头焦距，单位为毫米 (mm)；
- a——像元尺寸，单位为毫米 (mm)；
- GSD——地面分辨率，单位为米 (m)。

对于本项航摄影目使用的无人机及而言，f 和 a 是固定常数，根据《低空数字航空摄影测量内业规范》CH/Z 3003-2010 结合试验可知：要生产 1:500 比例尺精度的 DLG，地面分辨率 (GSD) 必须小于 0.02 (m)，由上述公式可知：预想获取较小的地面分辨率，相对航高尽量小，再结合测区现状最高建 (构) 筑物高度，本项目选取相对航高为 150m。

## 4 结论

### 4.1 主要研究结论

(1) 像控点位置选用布设地标点与明显地物点相结合的方式。

(2) 得出建成区无人机航测法生产 1:500 比例尺 DLG 航向重叠度选取 80%，旁向重叠度选取 80%。

地物点点位中误差检测表

点号	X(实测)	X(航测)	Y(实测)	Y(航测)	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔS (m)
1	201111.817	201112.059	286892.576	286892.332	-0.242	0.244	0.344
2	201095.933	201096.31	286906.877	286907.328	-0.377	-0.451	0.588
3	201117.655	201117.73	286922.631	286922.246	-0.075	0.385	0.392
4	201070.302	201070.733	286892.716	286892.344	-0.431	0.372	0.569
5	201071.445	201071.273	286893.737	286894.007	0.172	-0.27	0.320
6	201092.614	201092.449	286931.73	286931.382	0.165	0.348	0.385
7	201070.204	201070.536	286925.261	286925.078	-0.332	0.203	0.389
8	201124.221	201124.274	286928.824	286928.494	-0.053	0.33	0.334
9	201204.75	201204.662	286913.064	286912.766	0.088	0.298	0.311
10	201691.09	201690.172	287075.118	287074.841	0.918	0.277	0.959
...	201244.356	201244.76	286900.826	286900.651	-0.404	0.175	0.440
...	201177.058	201177.191	286930.796	286931.259	-0.133	-0.463	0.482
...	203243.608	203243.622	287749.873	287749.83	-0.014	0.043	0.045
...	203237.032	203236.903	287718.248	287718.354	0.129	-0.106	0.167
...	203233.441	203233.386	287661.393	287661.59	0.055	-0.197	0.205
...	203219.737	203219.855	287657.836	287657.912	-0.118	-0.076	0.140
...	203306.55	203306.761	287660.103	287660.233	-0.211	-0.13	0.248
...	203305.231	203305.441	287655.438	287655.539	-0.21	-0.101	0.233
...	203301.704	203301.515	287636.773	287636.573	0.189	0.2	0.275
...	203234.818	203234.928	287633.846	287633.669	-0.11	0.177	0.208
...	203268.48	203268.695	287626.733	287626.543	-0.215	0.19	0.287
...	203267.935	203267.851	287561.179	287560.919	0.084	0.26	0.273
...	203272.215	203272.425	287556.959	287556.894	-0.21	0.065	0.220
...	203289.678	203289.922	287781.197	287781.326	-0.244	-0.129	0.276
570	203302.066	203302.261	287800.105	287800.11	-0.195	-0.005	0.195
571	203266.122	203266.388	287807.467	287807.592	-0.266	-0.125	0.294
572	203269.12	203269.363	287825.852	287825.864	-0.243	-0.012	0.243
573	203277.259	203277.472	287861.122	287861.157	-0.213	-0.035	0.216
574	203307.008	203307.189	287824.234	287824.291	-0.181	-0.057	0.190
575	203354.646	203354.849	287816.477	287816.554	-0.203	-0.077	0.217
576	203334.657	203334.871	287720.734	287720.732	-0.214	0.002	0.214
577	203331.122	203331.324	287703.525	287703.543	-0.202	-0.018	0.203
578	203313.471	203313.609	287627.658	287627.556	-0.138	0.102	0.172
579	203323.978	203324.128	287524.442	287524.682	-0.15	-0.24	0.283
580	203349.2	203349.198	287950.322	287950.222	0.002	0.1	0.100
中误差(算数平均数) 0.163 m							
统计地物点总个数580个							
其中相差11个							
0-30cm数量315个							
30-60cm数量254个							
参与数字精度统计个数569							
中误差(加权) 0.153 m							
小于5% 满足规范要求							
中误差0.102							
中误差0.216							
$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta\Delta}{n}}$							

图 3 地物点点位中误差检测图

高程精度检测表

点名	Y <sup>o</sup>	X <sup>o</sup>	航飞高程(h)米	实测高程(h实)米	单位(米) Δh
1 <sup>o</sup>	287306.287	203270.056	123.060	123.088	-0.028
2 <sup>o</sup>	287360.082	203257.790	123.020	123.169	-0.149
3 <sup>o</sup>	287400.551	203264.251	123.450	123.659	-0.209
4 <sup>o</sup>	287459.966	203278.739	127.140	127.130	0.010
5 <sup>o</sup>	287464.935	203258.225	125.920	125.733	0.187
6 <sup>o</sup>	287545.658	203261.008	120.790	120.534	0.256
7 <sup>o</sup>	287561.425	203267.852	120.190	120.198	-0.008
8 <sup>o</sup>	287602.052	203327.194	119.910	120.059	-0.149
9 <sup>o</sup>	287679.159	203342.135	119.700	119.707	-0.007
10 <sup>o</sup>	287682.475	203305.904	119.950	119.851	0.099
...	287230.700	201078.733	121.150	121.154	-0.004
...	287257.102	201120.403	120.550	120.576	-0.026
...	287273.340	201116.074	120.320	120.283	0.037
...	287251.152	201232.901	121.520	121.564	-0.044
...	287255.012	201244.367	121.950	121.997	-0.047
...	287548.230	201229.633	121.580	121.554	0.026
...	287578.303	201245.445	121.480	121.492	-0.012
...	287585.747	201199.849	122.840	122.749	0.091
...	287485.478	201104.720	121.200	121.257	-0.057
...	287518.096	201115.866	121.350	121.420	-0.070
...	287563.072	201125.940	121.350	121.154	0.196
...	287602.297	201133.776	121.250	121.051	0.199
...	287685.066	201149.790	121.070	120.909	0.161
...	287665.291	201154.030	121.010	120.976	0.034
...	287676.476	201235.281	132.760	132.610	0.150
...	287662.732	201242.738	132.660	132.657	0.003
...	287657.032	201227.960	132.880	132.849	0.031
579 <sup>o</sup>	287630.268	201216.159	131.350	131.271	0.079
580 <sup>o</sup>	287739.617	201204.882	121.510	121.505	0.005
581 <sup>o</sup>	287796.463	201215.991	120.960	120.815	0.165
582 <sup>o</sup>	287818.089	201219.826	121.050	121.081	-0.031
583 <sup>o</sup>	287854.962	201228.390	120.910	120.818	0.092
584 <sup>o</sup>	287897.345	201238.386	122.180	122.053	0.127
585 <sup>o</sup>	287898.809	201183.342	120.360	120.241	0.119
586 <sup>o</sup>	287770.390	201165.662	120.710	120.602	0.108
587 <sup>o</sup>	287710.449	201154.917	120.980	120.793	0.187
588 <sup>o</sup>	287935.295	201199.954	120.560	120.655	-0.095
589 <sup>o</sup>	287935.506	201214.975	120.560	120.649	-0.089
高程中误差=0.146m					

图 4 高程精度检测表

## 4.2 本项目精度统计

经过项目试点和生产,最终成图精度检测在完成的数据中抽取了 0.3m<sup>2</sup> (约 5 幅 1:500 标准分幅地形图) 样本数据进行了检验。外业实测了房角点、道路拐角点和花坛角点等一、二类地物点共 158 个。其中, 6 个点因植被茂盛造成三维模型严重变形, 内业无法准确采集同名点坐标而剔除。有效检测点共 152 个, 剔除 2 个大于 2 倍中误差的粗差点后, 剩余 150 个检测点, 经误差统计计算, 平面位置中误差为  $\pm 0.113$  m, 高程中误差为  $\pm 0.065$  m。平面和高程精度均符合项目设计及规范要求。

## 5 结语

中国和国际上对航测法生产 1:500 DLG 研究范围比较广

泛, 根据不同的无人机型号、航摄镜头参数, 所采取的技术方法各不相同。勘测分院立足从生产实际出发, 根据我院现有的无人机及航摄镜头, 通过反复对立体测图各个环节的试验, 研发出切实我院的无人机生产 1:500 DLG 的核心技术, 经过试验获得像控点最佳布设密度和采集精度, 获取最适合的航摄重叠度和相对航高。再结合野外实测法, 总结出了高效性、实用性的测绘方法, 提高了我院的测绘科技水平, 进而增加了测绘生产效益。

## 参考文献

- [1] 陈楚, 王琳. 利用无人机快速更新大比例尺地形图方法研究 [J]. 城市勘测, 2016(02):105-107.
- [2] 姜丽丽, 高天虹, 白敏. 无人机影像处理技术在大比例尺基础测绘工程中的应用研究 [J]. 测绘与空间地理信息, 2013(07):174-176.