

飞马 F200 无人机在河道养殖网箱核查中的应用

张伟坤

南宁市勘察测绘地理信息院

摘要

针对河道养殖网箱位置分布、数量核查及修建时间有效性等问题，提出基于无人机正射影像（DOM）的核查方法。通过具备事后差分技术（PPK）的飞马 F200 无人机获取拥有准确线元素的影像，减免控制点，压缩工期，完成 1: 2000 正射影像制作。制作的正射影像均通过质量检查，表明基于飞马 F200 无人机的正射影像核查方法满足需求，极大地促进核查工作开展，为相关类型的核查工作提供了可靠的方法，并且使核查资料更完整。

关键词：无人机，水面测量，正射影像（DOM），事后差分（PPK），网箱核查

1 项目背景

为加强河道网箱养殖管理，防止河道水体污染，促进渔业健康可持续发展，决定开展河道网箱养殖专项整治活动。为了贯彻落实河道网箱养殖专项整治活动,须对从事网箱养殖活动的养殖户进行全面排查，摸清养殖范围、养殖总量及修建时间。河道养殖网箱核查工作的难点：1、核查工作范围大，地理位置分布于河道之上，人工核查需乘船，费时且存在一定安全隐患；2、核查工作的开展工期要求较紧凑；3、核查工作需要取证，起到拆除工作量的确定、赔偿养殖户金额的确定等作用。基于河道养殖网箱核查工作的多种特性，无人机正射影像（DOM）的核查方法能很好地帮助完成此项工作，能有效提高河道养殖网箱核查的工作效率并且同时保证有效性。正射影像具备直观反映河道水面养殖网箱位置和数量及河岸周边地表现状，现势性强，信息量大，成果数据内容丰富，能满足核查的要求。1: 2000 比例尺正射影像，地面分辨率 0.2 米，能够很好地分辨河道养殖网箱。与一般传统无人机正射影像的制作相比较，具有以下难点：1、测区主要针对水面，要确保水域范围内的水面地物保存完整，对于无人机航线设计要求较高，太高无法满足分辨率要求，太低将出现大面积落水影像，空三无法提点进而导致空三解算失败；2、测区多位于山区，两岸明显地物较少，且测区跨度大，像控点测量困难，时间长。飞马 F200 无人机通过飞马无人机管家进行航线设计，能因地制宜，根据现场实际情况调整航线，此外基于事后差分技术（PPK）通过处理能够获得准确的航片的曝光瞬间的位置坐标，减免像控点，减少内外业工期，同时提高空三的成功率，保证空三解算的质量。使用飞马 F200 无人机基于事后差分技术制作的正射影像，

能够很好地助力河道养殖网箱核查工作的开展。

1.1 项目简介

为加强隆安县行政管理区域范围内各河道修建于 2018 年以前的养殖网箱核查，隆安县农业局组织此次核查工作，我院承接了该项目的 1: 2000 正射影像图制作工作。

测区为隆安县区内的主要河道。其中右江从平果县入隆安县贯穿整个隆安县城至武鸣河入口止，全长约 93 公里，河宽约 200 米，河道弯曲，两岸距离山区较近，航线设计难度较大；武鸣河在隆安县区内里程约为 37 公里，河宽约为 70 米，河道弯曲，走向不规则，石头林立，多分布村庄，航线设计难度较大；罗兴江需航飞里程约为 22 公里，河道弯曲，村庄遍布，部分河道在山区，航线设计难度较大，航飞场地选择困难；绿水河需航飞里程约为 26 公里，河道弯曲，村庄遍布，部分河道在山区，航线设计难度大，航飞场地选择困难；布泉河从布泉乡到更望湖，需航飞里程 20 公里，河道弯曲，位于山区，航线设计难度大，航飞场地选择非常困难。

项目的作业范围如下图 1 所示，技术设计总面积约 52 平方公里，长度约 205 公里。所在区域行政隶属于广西壮族自治区南宁市隆安县。

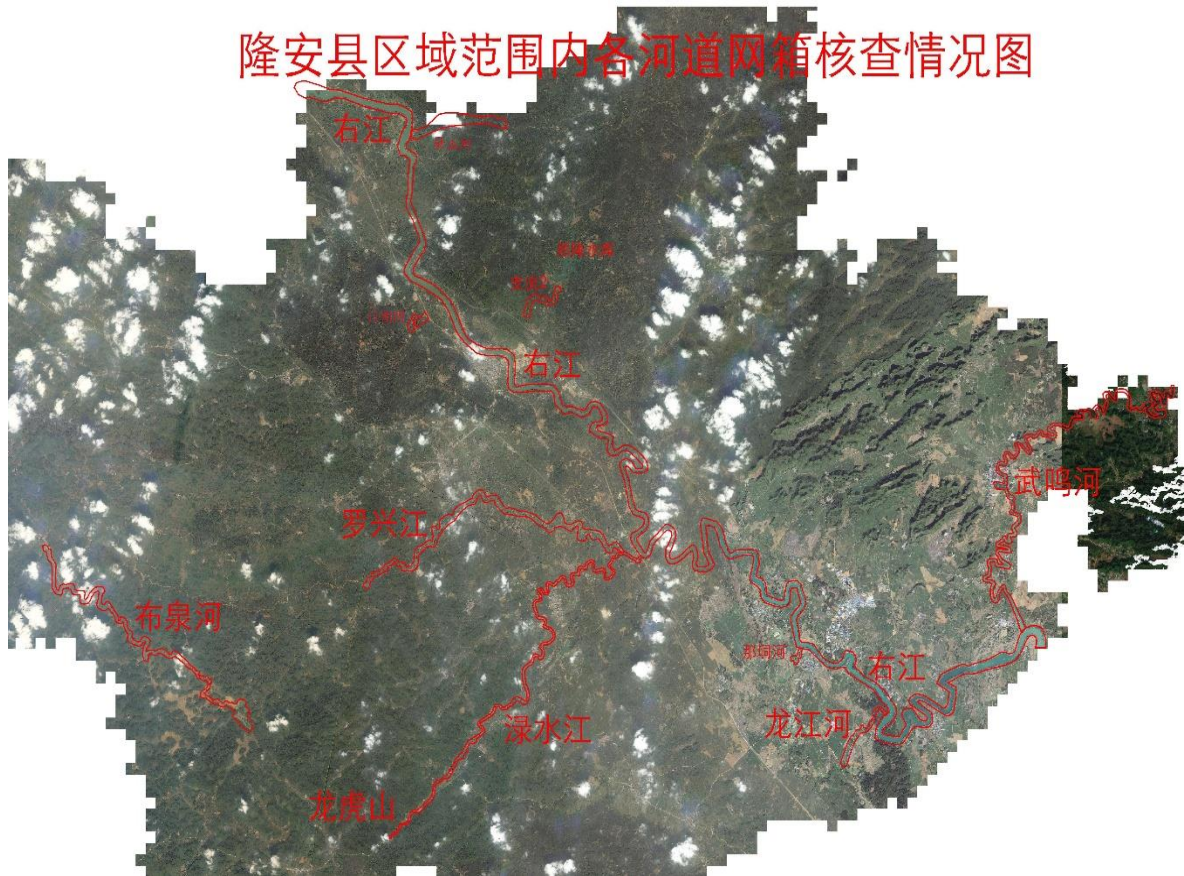


图 1 项目作业范围

区域范围内各河道工作量如下统计表 1:

表 1 隆安县区域范围内各河道网箱核查情况

河流名称	河段长度 (KM)	平均航拍河宽 (M)	面积 (KM ²)
右江	92.80	350	32.48
武鸣河	36.64	200	7.33
淶水江	26.89	200	5.38
罗兴江	22.37	200	4.47
布泉河	19.55	100	1.95
支流 2	1.73	100	0.17
龙江河、 那桐河	2.0	200	0.4
驮玉河	1.34	100	0.13
百朝河	1.09	100	0.11
合计	203.95		52.42

注: 各河道范围界线, 如: 图 1 所示。

1.2 项目特点

- (1) 项目要求工期短, 签订合同后 7 个日历天内完成;
- (2) 项目的航飞范围跨度大, 主要航飞内容为隆安县内的主要河道, 需进行带状航线飞行, 转场多, 行程远。
- (3) 测区为带状水域, 对航线设计要求较高, 须通过调整航高同时保证正射影像分辨率和避免大面积落水影像。
- (4) 测区范围大, 水域阻隔, 交通不便, 且多位于山区明显地物少, 给像控点测量造成极大困难。

2 技术路线

本测区为带状水域, 数字正射影像采用带事后差分 POS 的低空无人机航空摄影方法进行生产。主要的技术路线: 1、数据准备; 2、航线规划; 3、基站架设; 4、航空摄影; 5、事后差分 POS 解算; 6、空中三角测量; 7、DTM 生成与编辑; 8、单片纠正; 9、正射影像镶嵌与拼接; 10、正射影像调整与分幅。

主要流程: 利用旧资料进行航飞设计, 划分架次, 根据设计路线进行航飞摄影, 架设基站采集静态数据, 解算事后差分 POS 数据, 对获得的影像数据进行预处理, 使用差分 POS 数据在内业进行空三加密并生成正射影像。

该项目数字正射影像技术路线流程如下图 2

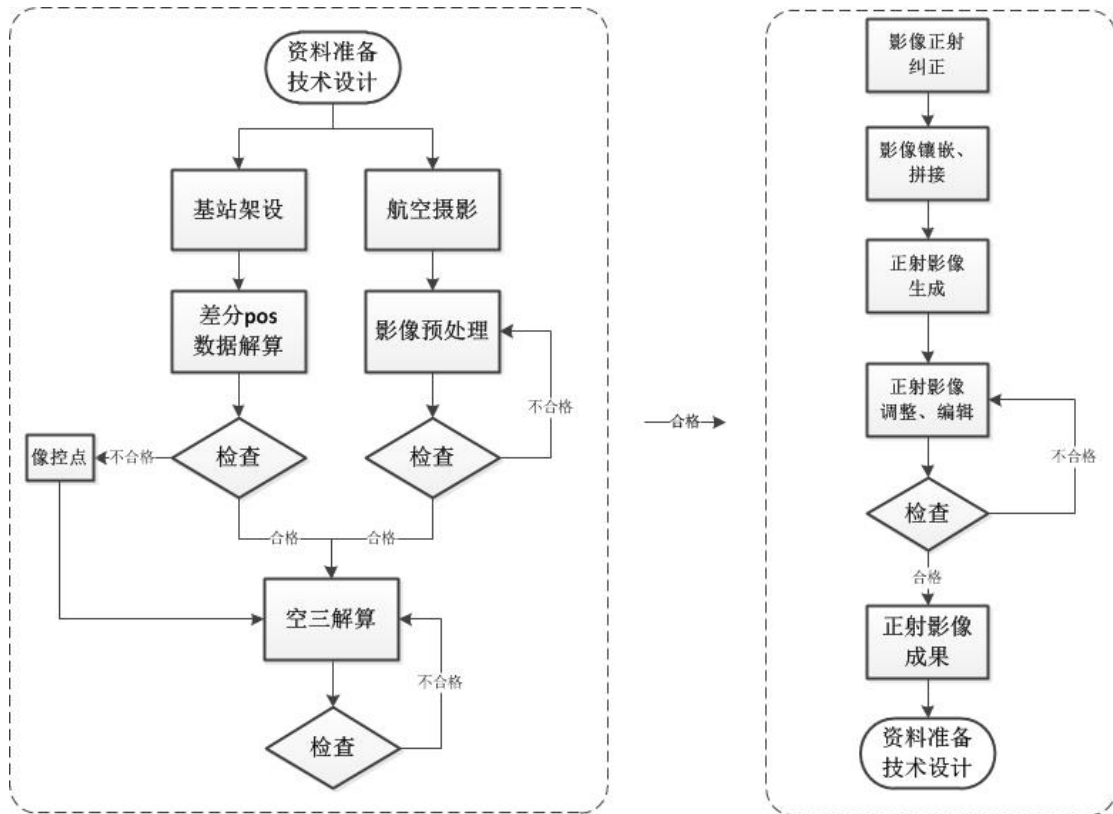


图 2 DOM 生产流程图

3 作业流程

3.1 控制测量

本项目直接采用广西壮族自治区测绘地理信息局的 CORS 系统进行基站坐标的测定，采用快速静态测量方式。

3.2 无人机航空摄影

此次项目采用飞马 F200 无人机进行作业，具体参数如图 3。

规格参数			
材质	EPO+碳纤维复合材料	翼展	1.9M
机长	1.07M	标准起飞重量	(航测系统) 3.7KG
最大起飞重量	(倾斜系统) 3.8KG	巡航速度	60km/h
最大续航时间	1.5h	最大可手抛起飞海拔高度	4500m
实用升限高度	(海拔高度) 6000m	抗风能力	(正常作业) 6级
任务响应时间	展开≤5min; 撤收≤10min	测控半径	10km
起降方式	手抛起飞/自动滑降、伞降	伞降回收落点精度	CEP>20m
飞行高度	150m-1500m	信号跟踪	GPS:L1/L2; BD: B1、B2、GLONASS: L1, L2, 20Hz
定位精度	5cm		
F-CAM200航测模块			
相机型号	SONY DSC-RX1R II	传感器尺寸	全画幅 (35.9*24mm)
有效像素	(7952*5304)4200万	镜头参数	35mm定焦
分辨率	2cm @ 150m	飞行高度	150m-1500m

图 3 飞马 F200 无人机

摄影须完成各类数据下载和设备回收工作。

无人机起降场地要在保障安全飞行的情况下，便于航摄作业和提高工作效率。

航摄起飞前须仔细检查系统设备的工作状态是否正常。须按检查内容逐项检查并记录，每项内容须两名作业员同时检查或交叉检查。检查内容有：地面站设备检查、任务设备检查、飞行平台检查、电池检查。

基站架设

基站架设须满足以下原则：

- a) 基站架设于航飞测区中间区域，距离测区边缘不大于 5km；
- b) 基站须使用快速静态 GPS 测量法，连接 CORS 站量测站点坐标；
- c) 航空摄影开始前完成基站架设，并进行 10 分钟初始化观测；
- d) 航空摄影过程中，基站进行静态数据采集不得中断。
- e) 航空摄影结束后 10 分钟，方可停止静态数据采集。

此次项目使用广西壮族自治区测绘地理信息局 CORS 系统获取基站坐标。

此次项目架设徕卡和中海达两种静态基站以起到数据的互相检查作用。



图 6 航空摄影准备

数据初步检查

完成影像数据、机载静态数据和基站静态数据的初步检查。

(1) 影像检查

影像数量检查：检查影像数量是否与航空摄影曝光点数量一致。

影像质量检查：影像质量应满足以下要求：

A、影像应清晰，层次丰富、反差适中，色调柔和；应能辨认出与地面分辨率相适应的细小地物影像；

B、影像上不应有大面积的云、云影、烟、反光等缺陷；

C、确保因飞机地速的影响，在曝光瞬间造成的像点位移一般不应大于 1 个像素，最大不应大于 1.5 个像素；

(2) 机载静态数据和基站静态数据检查

机载静态数据检查：下载机载静态数据，检查观测时段是否完整；

基站静态数据检查：下载基站静态数据，检查观测时段是否完整。

3.3 差分数据 POS 解算

通过事后差分技术解算影像精密 pos 数据用于空三解算。

(1) 数据准备

A、下载基站静态数据，使用设备提供商的商业 GPS 软件，将静态数据转换为 Rinex3.02 格式数据，包含 GPS、Glonass、BDS 卫星信息数据；

B、下载机载静态数据，使用飞马无人机管家智理图 GPS 处理模块，将静态数据转换为 Rinex 格式数据；

C、基站坐标数据整理，将基站坐标换算成十进制度的经纬度格式，高程为大地高。

(2) 数据解算

使用无人机管家智理图 GPS 处理模块解算差分数据,固定解比例达 90%以上判定数据为可用。

3.4 空三解算及正射影像制作

1) 空三软件：飞马无人机管家；

2) 坐标系统：平面：2000 国家大地坐标系统；高程：1985 国家高程基准；地图投影采用高斯-克吕格投影，按 3 度分带，中央子午线经度为 108 度；

3) 影像信息重点：河道养殖网箱；河道信息不丢失（船只尽量保留真实情况）；

4) 其它地物信息参照 1:2000 正射影像规范；

5) 成果：1:2000 比例尺，地面分辨率 0.2 米的正射影像。

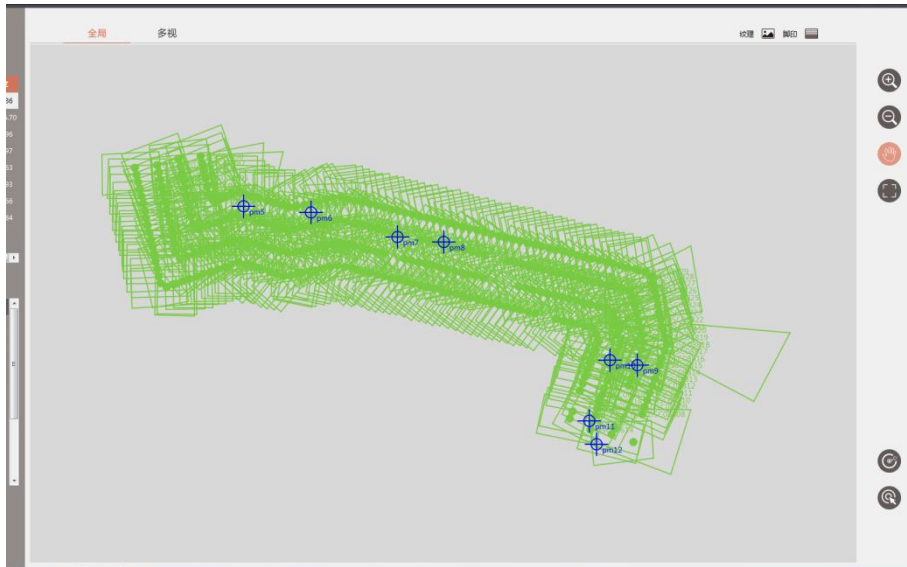


图 7 空三解算及正射影像制作



图 8 空三检查点

ID	TYPE	DX	DY	DZ
pm10	CHK	-0.019	-0.052	-0.391
pm11	CHK	0.014	-0.012	-0.139
pm12	CHK	0.052	0.196	0.459
pm5	CHK	0.058	-0.092	-0.496
pm6	CHK	-0.231	-0.019	-0.43
pm7	CHK	-0.262	0.046	-0.238
pm8	CHK	-0.107	0.079	-0.145
pm9	CHK	0.051	-0.078	-0.102
ID	DX	DY	DXY	DZ
ALL	0.099	0.072	0.122	0.3

图 9 空三检查

3.5 正射影像成果检查与验收

本项目共提交正射影像 DOM 成果图共 279 幅（其中整幅 54 幅，破幅 225 幅），本次检查对成果做检查，未检出重要项错漏，没有出现不合格单位成果，根据《数字测绘产品检查验收规定和质量评定》GB/T 18316-2008 和本次检查的结果,由南宁市勘察测绘地理信息院航测中心完成的《隆安县区域范围内各河道网箱航测项目》成果批的数据质量评定为“良”。

表 2 样本检查情况一览表

序号	质量元素 样本图号	空间 参 考 系	平面位 置精度	逻辑 一致性	时间 精度	影像 质量	附件 质量	得 分	质量 等级
1	2548.00-493.00	符合	96.67	符合	符合	88	92	88	良
2	2555.00-477.00	符合	96.67	符合	符合	100	92	92	优
3	2550.00-486.00	符合	96.67	符合	符合	92	92	92	优
4	2546.00-490.00	符合	96.67	符合	符合	92	92	92	优
5	2547.00-493.00	符合	96.67	符合	符合	88	92	88	良
6	2558.00-476.00	符合	96.67	符合	符合	90	92	90	优
7	2553.00-483.00	符合	96.67	符合	符合	86	92	86	良
8	2552.00-445.00	符合	96.67	符合	符合	88	92	88	良
9	2547.00-492.00	符合	96.67	符合	符合	92	92	92	优
10	2549.00-495.00	符合	96.67	符合	符合	98	92	92	优
11	2546.00-491.00	符合	96.67	符合	符合	88	92	88	良
12	2550.00-498.00	符合	96.67	符合	符合	84	92	84	良
13	2551.00-485.00	符合	96.67	符合	符合	88	92	88	良
14	2547.00-491.00	符合	96.67	符合	符合	80	92	80	良
15	2552.00-484.00	符合	96.67	符合	符合	88	92	88	良
16	2553.00-496.00	符合	96.67	符合	符合	80	92	80	良
17	2549.00-496.00	符合	96.67	符合	符合	84	92	84	良
18	2554.00-480.00	符合	96.67	符合	符合	88	92	88	良
19	2555.00-480.00	符合	96.67	符合	符合	88	92	88	良
20	2560.00-474.00	符合	96.67	符合	符合	92	92	92	优

表 3 平面精度统计表

点号	ΔX	ΔY	$\Delta S * \Delta S$	点号	ΔX	ΔY	$\Delta S * \Delta S$
pm1	-0.172	0.879	0.802225	pm45	-0.114	0.091	0.021277
pm2	0.095	0.23	0.061925	pm46	0.543	0.087	0.302418
pm3	0.253	0.149	0.08621	pm48	0.318	-0.019	0.101485
pm4	-0.253	0.123	0.079138	pm49	0.032	0.081	0.007585
pm5	-0.111	-0.476	0.238897	pm50	0.26	-0.213	0.112969
pm6	0.551	0.093	0.31225	pm51	0.05	0.173	0.032429
pm7	0.328	0.238	0.164228	pm52	0.187	-0.349	0.15677
pm8	-0.042	-0.201	0.042165	pm53	-0.69	0.374	0.615976
pm9	-0.111	-0.201	0.052722	pm54	0.316	0.147	0.121465
pm10	-0.335	-0.288	0.195169	pm55	-0.559	0.009	0.312562
pm11	0.321	0.112	0.115585	pm56	-0.026	-0.2	0.040676
pm12	0.097	-0.042	0.011173	pm57	-0.137	-0.011	0.01889
pm13	-0.338	0.022	0.114728	pm58	0.197	-0.138	0.057853
pm15	0.185	-0.036	0.035521	pm59	-0.118	-0.298	0.102728
pm16	0.733	-0.164	0.564185	pm60	0.366	0.184	0.167812
pm17	0.001	0.066	0.004357	pm61	0.199	-0.016	0.039857
pm19	-0.11	0.003	0.012109	pm62	-0.351	0.044	0.125137
pm20	0.065	-0.117	0.017914	pm63	0.159	-0.928	0.886465
pm21	-0.004	-0.333	0.110905	pm64	0.213	-0.367	0.180058
pm22	0.095	-0.458	0.218789	pm65	-0.072	-0.268	0.077008
pm23	-0.247	0.132	0.078433	pm66	0.23	-0.059	0.056381
pm24	0.078	-0.274	0.08116	pm67	0.776	-0.293	0.688025
pm25	-0.269	-0.184	0.106217	pm68	0.525	-0.201	0.316026
pm26	-0.323	0.293	0.190178	pm69	-0.004	-0.318	0.10114
pm27	0.363	0.367	0.266458	pm70	0.281	-0.018	0.079285
pm28	0.251	-0.365	0.196226	pm71	-0.122	0.043	0.016733
pm29	0.534	0.073	0.290485	pm72	-0.153	-0.243	0.082458
pm30	0.625	0.472	0.613409	pm73	-0.29	-0.262	0.152744
pm31	0.904	0.12	0.831616	pm74	0.604	-0.351	0.488017
pm32	-0.004	-0.308	0.09488	pm75	0.357	-0.279	0.20529
pm33	0.395	-0.245	0.21605	pm76	-0.07	0.206	0.047336
pm34	0.504	-0.505	0.509041	pm78	-0.037	-0.165	0.028594
pm35	-0.161	-0.365	0.159146	pm79	-0.641	-0.428	0.594065
pm36	0.276	-0.375	0.216801	pm80	0.14	0.067	0.024089
pm37	-0.102	0.034	0.01156	pm81	0.685	-0.114	0.482221
pm38	-0.161	0.072	0.031105	pm82	0.15	-0.249	0.084501
pm40	0.159	-0.257	0.09133	pm83	0.217	-0.243	0.106138
pm41	-0.178	0.066	0.03604	pm84	0.271	0.013	0.07361
pm42	0.307	-0.066	0.098605	pm85	0.065	-0.277	0.080954
pm43	0.144	0.424	0.200512				
中误差	0.432076						

平面精度统计表中在 $0.5\text{m} \sim 0.85\text{m}$ 有 9 个，均分布于高差较大的山区； $0.3\text{m} \sim 0.5\text{m}$ 有 5 个，其余 71 平面坐标精度均小于 0.3m 。考虑无差别统计，最终的中误差为 0.432076m 亦完全满足 1:2000 正射影像精度要求，最大误差也未超出高山区域 2 倍中误差 (1.6m) 的限差。

4 成果展示



图 10 成果分区



图 11 核查细节

5 总结

(1) 此次项目 F200 无人机各项性能表现优异稳定。模块化设计，组装方便、效率高，有效航时适中，满足形状弯曲的河道航拍需求。搭载黑卡相机，性能出众，适用于正射影像制作，

立体测图，实景三维倾斜摄影。F200 无人机在多种场地的实际表现亦尤为突出，抗风能力强，姿态稳定。特别此次项目航拍，恰逢南宁多突发雨水时节，有一次突遭大雨，F200 无人机冒雨返航，安全降落，展现了优异的机械性能。



图 12 雨中返航

(2) 此次项目工期为 7 个日历天，实际完成航飞面积约 250 平方公里，分布于隆安县各乡镇。F200 无人机基于事后差分 (PPK) 技术的影像成果和 POS 成果稳定可靠，极大地减除了像控点测量工作，减少了生产工序，为缩短外业工期，按时完成最后成果起到了至关重要的作用。

(3) 此次项目为水面地物测量，为保证影像分辨率，同时避免出现大面积落水影像，需要根据江面宽度确定合适航高，合适的重叠度。飞马无人机管家智航线支持灵活的航线设计，可根据实际需求进行调整，操作方便快捷，最大程度满足此次项目关于航线设计的需求。

(4) 基于飞马无人机管家进行正射影像制作，操作简便，按键设计科学合理，一步成图，正射影像成果生产快速，成图质量优异，精度亦完全满足此次项目需求。

(5) 正射影像生产制作完成，进行养殖网箱的位置标定和数量统计也就是顺水推舟的事，整个项目得以快速圆满完成，甲方隆安县农业局亦对我们的工作给予了充分肯定。

(6) 展望：此次项目虽是基于正射影像这一传统航测成果进行，但是针对专项的河道养殖网箱核查，时间紧，任务急，如无 F200 无人机基于事后差分 (PPK) 的支持，面对如此大范围的核查工作，其它作业方式势必无法如此快速、准确、完整的完成此次项目的工作内容。

此次项目的顺利完成将极大地加强我们航测部门触及其他行业的信心,拓展了我们的工作半径。无论工作内容如何,但在工期有硬性要求,内容有重点突出时,F200 无人机这一航测生产设备却实实在在地帮助我们解决了问题。此外,针对其它地类普查工作,使用飞马无人机选择合适的搭载平台如相机、多光谱、激光雷达等都能很有效地帮助开展。