



湖南石油化工职业技术学院
Hunan Petrochemical Vocational Technology College

学生毕业设计成果

设计题目： Phantom 4 RTK 四旋翼无人机的航测方案

专业名称： 无人机应用技术

班级名称： 无人机 3171 班

学生姓名： 樊章琦

指导教师： 李 响

责任领导： 蒋 丹

二零二零年三月

学生毕业设计成果说明书真实性承诺书

本人郑重承诺：我所递交的毕业设计材料，是本人在指导老师的指导下独立进行完成的；除文中已经注明引用的内容外，不存在有作品（产品）剽窃和抄袭他人成果的行为。对本设计的共同完成人所做出的贡献，在对应位置已以明确方式标明。若被查出有抄袭或剽窃行为，或由此所引起的法律责任，本人愿意承担一切后果。

学生（确认签字）：

樊章琦

签字日期：2019.11.1

指导教师关于学生毕业设计成果说明书真实性审核承诺书

本人郑重承诺：已对该生递交的毕业设计材料中所涉及的内容进行了仔细严格的审核，其成果是本人在的指导下独立进行完成的；对他人成果的引用和共同完成人所做出的贡献在对应位置已以明确方式标明。不存在有作品（产品）剽窃和抄袭他人成果的行为。若查出该生所递交的材料有学术不端的行为，或由此所引起的法律责任，本人愿意承担一切责任。

指导教师（确认签字）：

李

签字日期：2019.11.4

目 录

一、前言.....	1
二、精灵 Phantom4 RTK.....	1
1. 领先的飞控系统.....	1
2. 厘米级定位系统.....	1
3. 高精度成像.....	2
4. GS RTK APP.....	2
5. 一体化解决方案.....	2
三、航测作业流程.....	2
1. 外业测量包括:.....	2
2. 内业数据处理包括:.....	3
四、相机参数检校.....	5
五、航测相机的曝光设置.....	6
1. 关于曝光速度.....	6
2. P4RTK 外业流程.....	7
①依据 GSD 和航速计算快门速度.....	7
②地面曝光测试.....	8
3. 作业过程中的曝光监控.....	8
4. 条件下的航速调整.....	8
5. 外场快速空三校验.....	9
六、总结.....	9

一、前言

随着城市快速发展,三维立体的大比例地形图需求日益增大,无人机航测技术更好的解决了这一需求。无人机航测技术机动灵活、成本低、工期短,能够实时方便地获取高分辨率影像,能够大幅度减少人员外业工作量,提高生产效率,缩短工期。本篇将围绕 Phantom 4 RTK 四旋翼无人机的航测来进行讲解。

二、精灵 Phantom4 RTK

P4RTK 是一款小型多旋翼高精度航测无人机,面向低空摄影测量应用,具备以下特点:



图 1

1. 领先的飞控系统

领先的飞控及厘米级定位系统保证了航线精度和飞行姿态的稳定,减少飞行高度变化对影像间比例尺影响,进行免像控作业精度可达厘米级。

2. 厘米级定位系统

支持连接 DRK2 高精度 GNSS 移动站,可通过 4G 无线网卡或 WiFi 热点与 NTRIP(通过互联网进行 RT 厘米网络传输的协议)连接。支持 NTRIP 协议网络 RTK/CORS 服务的 RT 厘米 v3 数据格式接入,同时支持自行架设 RTK 基站。系统提供卫星原始观测值与相机曝光文件,支持 PPK 后处理,不受限于通信链路和网络覆盖,作业更加灵活高效。

3. 高精度成像

1 英寸 2000 万像素 CMOS 传感器捕捉高清影像。机械快门支持高速飞行拍摄，消除果冻效应，有效避免建图精度降低。借助高解析度影像，精灵 Phantom 4 RTK 在 100 米飞行高度中的地面样本距离 (GSD) 可达 2.74 厘米。

4. GS RTK APP

GS RTK App 提供摄影测量和航点飞行两种航线规划模式。在航线规划模式下，用户可自行选择无人机的飞行航线，自由调整重叠率、高度、速度、拍摄参数等，作业流程自动化。

5. 一体化解决方案

精灵 Phantom 4 RTK 结合遥控器内置 App 和大疆智图，提供一体化、高时效性、高精度的正射影像生成解决方案，即一即用，实现数据快速上传处理。非专业用户也能快速上手，完成数据采集和地图生成。航拍照片精确记录位置、姿态、置信度、镜头标定参数等信息，支持第三方建图软件，满足多种任务场景下的作业于后处理需求。

三、航测作业流程

无人机航测作业流程主要分为外业测量和内业数据处理两大部分。

1. 外业测量包括：

①资料汇集，确定航测范围。

根据航测任务需要确定测区范围，通常使用 KML 文件辅助规划任务会很方便，目前主流的 KML 格式文件生成软件为谷歌地球或者奥维互动地图。

②施测范围航摄参数计算，规划航线。

航线规划设定航线的重叠率，飞行高度，无人机拍摄模式 (2D、3D、航带模式)

③像控点布设与测设。

像控点布置要均匀分布在测区内，控制点标记要易于分辨，布置完成后，采用 RTK 设备测量像控点坐标。

④无人机影像获取。

根据既定的测区范围和设定好的航线参数执行航线任务。

⑤外业调绘。

调绘模型效果不好的区域、需要进行屋檐改正的区域或密集植被覆盖的区域。

2. 内业数据处理包括：

①POS 处理。

(1) 在无人机飞行之前通常会对无人机的相机进行拍照测试，防止无人机拍照异常，导致拍摄为废片。

(2) 所以飞机的 pos 数据会多几个测试数据，测试的时候拍了几张就会多几个 pos

ID	Time	Lat	Lon	Heading	Pitch	Roll	Psi_Pos	Time
1	28.59878	115.7200	25.0731	0	0	0	0	14:56.5
2	28.59878	115.7200	25.0731	0	0	0	0	14:56.6
3	28.59878	115.7200	25.0731	0	0	0	0	15:00.0
4	28.59878	115.7200	24.9882	0	0	0	0	15:00.0
5	28.59878	115.7200	24.9034	0	0	0	0	15:00.0
6	28.59878	115.7200	24.9014	0	0	0	0	15:11.2
7	28.59380	115.7212	246.1690	0	0	0	0	19:49.9
8	28.59380	115.7212	246.4231	0	0	0	0	19:49.9
9	28.59380	115.7212	246.1687	0	0	0	0	19:51.2
10	28.59489	115.7219	246.2489	0	0	0	0	19:51.7
11	28.59489	115.7219	246.5880	0	0	0	0	19:51.7
12	28.59482	115.7217	245.2441	0	0	0	0	19:50.5
13	28.59473	115.7219	246.9770	0	0	0	0	19:56.8
14	28.59484	115.7214	245.2514	0	0	0	0	19:58.1
15	28.59510	115.7213	245.5446	0	0	0	0	19:59.4
16	28.59510	115.7212	246.0707	0	0	0	0	20:00.7
17	28.59507	115.7211	246.1088	0	0	0	0	20:02.0
18	28.59507	115.7209	246.0654	0	0	0	0	20:04.7
19	28.59507	115.7209	246.0627	0	0	0	0	20:05.0
20	28.59484	115.7209	245.8894	0	0	0	0	20:07.3
21	28.59484	115.7209	246.0041	0	0	0	0	20:08.6
22	28.59484	115.7204	246.3367	0	0	0	0	20:09.8
23	28.59788	115.7202	246.0996	0	0	0	0	20:11.2
24	28.59788	115.7202	246.8941	0	0	0	0	20:11.5
25	28.59788	115.7202	246.9109	0	0	0	0	20:11.8
26	28.59701	115.72	246.8603	0	0	0	0	20:15.1
27	28.59701	115.72	246.7039	0	0	0	0	20:16.4
28	28.59814	115.7199	246.8239	0	0	0	0	20:17.7
29	28.59814	115.7197	247.7698	0	0	0	0	20:19.0
30	28.59814	115.7196	246.8239	0	0	0	0	20:20.3
31	28.59877	115.7194	248.5026	0	0	0	0	20:21.6
32	28.59877	115.7194	248.5026	0	0	0	0	20:22.9
33	28.59814	115.7192	247.6297	0	0	0	0	20:24.2
34	28.59814	115.7192	247.6297	0	0	0	0	20:24.2
35	28.59883	115.7189	247.1323	0	0	0	0	20:25.5
36	28.59883	115.7189	247.2217	0	0	0	0	20:25.5
37	28.59883	115.7189	247.1323	0	0	0	0	20:25.5
38	28.60006	115.7188	247.7936	0	0	0	0	20:28.7
39	28.60006	115.7188	246.8881	0	0	0	0	20:29.9
40	28.60007	115.7189	247.6905	0	0	0	0	20:31.2
41	28.60007	115.7189	247.236	0	0	0	0	20:32.4
42	28.60007	115.7188	246.8141	0	0	0	0	20:33.6
43	28.60007	115.7188	246.8141	0	0	0	0	20:33.6

图 2

数据，所以航片数据前面的前几张测试照片，需要和 pos 数据一起删除。

(3) 再用拖把更名器统一照片名字；

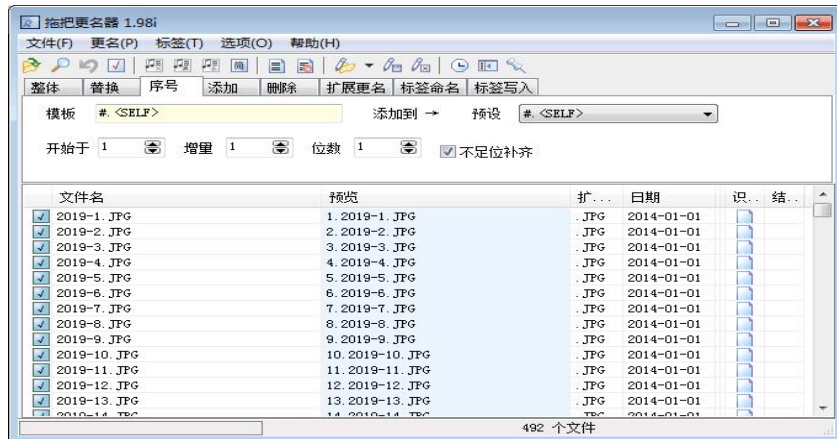


图 3

注意：后缀名需改成.jpg的后缀名。 pos 数据的数量要和照片对接上（把 pos 数据导出出来）；五张照片一个 pos。

除序号不一样，经纬度高度一样(五目镜头分成五组)。 pos 要复制一份，作为副本，xlsx 格式转成 CSV 格式进行保存；

1	2019-1.jpg	28.59343	115.7222	246.0695	
2	2019-2.jpg	28.59365	115.7221	246.4231	
3	2019-3.jpg	28.59386	115.722	245.9487	
4	2019-4.jpg	28.59408	115.7219	246.2489	
5	2019-5.jpg	28.5943	115.7218	245.5583	
6	2019-6.jpg	28.59452	115.7217	245.2441	
7	2019-7.jpg	28.59473	115.7216	244.9773	
8	2019-8.jpg	28.59494	115.7214	245.2814	
9	2019-9.jpg	28.59515	115.7213	245.5446	
10	2019-10.jpg	28.59536	115.7212	246.0707	
11	2019-11.jpg	28.59557	115.7211	246.1088	
12	2019-12.jpg	28.59579	115.721	246.3633	
13	2019-13.jpg	28.596	115.7209	246.0654	
14	2019-14.jpg	28.59621	115.7208	246.0627	
15	2019-15.jpg	28.59644	115.7206	245.8994	
16	2019-16.jpg	28.59664	115.7205	246.0001	
17	2019-17.jpg	28.59684	115.7204	246.5367	
18	2019-18.jpg	28.59706	115.7203	246.2096	
19	2019-19.jpg	28.59728	115.7202	246.8041	
20	2019-20.jpg	28.59749	115.7201	246.9169	
21	2019-21.jpg	28.59771	115.72	246.8633	
22	2019-22.jpg	28.59792	115.7199	246.7059	
23	2019-23.jpg	28.59814	115.7198	246.8229	
24	2019-24.jpg	28.59834	115.7197	247.7698	

图 4

将保存后的 pos 数据，用记事本打开。查找“，”全部替换为空格，再保存，此时数据整理完成。

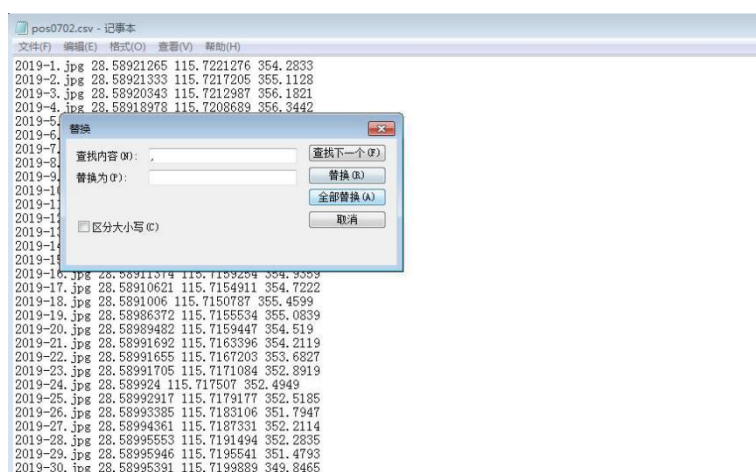


图 5

如采用 RTK 模式，可以根据地方参数进行坐标转换，将 POS 转换为地方坐标；如

采用 PPK 模式，可以使用 PenPPK 处理 PPK 数据，PenPPK 可以进行批处理和数据转换。

②空三加密。

通常使用 Pix4D、CC、PhotoScan 等软件。

③DOM、DSM、OSGB 生产。

通常使用 Pix4D、CC、PhotoScan 等软件。

④裸眼测图。

通常将 DOM 和 DSM 成果拉伸成垂直摄影模型或直接导入 OSGB 格式倾斜模型。

⑤DLG 生产。

根据第四步生成好的模型文件，使用 EPS 进行 DLG 生产。

⑥编辑成图。

根据行业规范成图。

⑦数据检查验收。

数据交由甲方进行验收。

四、相机参数检校

进行航测中的空三平差最重要的就是准确的相机参数。首先，使用准确的相机参数可以减少空三出错的概率，其次，在其他决定精度的因素，都可以保证很准确的情况下，可以进行免像控处理。

找到一个 0.2-0.4 平方公里的测区，地面点有一定的高差，使用 120-150 米的飞行高度，选择合适的重叠率(80/70)进行摄影测量 2D 或井字航线(云台角-90°)拍摄外业照片。如对相机参数设置不熟悉，尽量选择阴天，可以保证地面控制点拍摄不反光，尽可能准确的标记到控制点。

地面上根据测区实际条件，尽量在测区内呈棋盘状均匀的分布 15-20 颗控制点，控制点要清晰可见，中心点标识易于识别。控制点布置尽量均匀的分布在测区内，最外围的控制点，也尽量保证边缘至少还有一条航线外扩。

外业注意事项:我们希望准确的检校相机参数，那么就要把所有的设备和输出的坐标系，尽量统一在同一个坐标系内，比如地面 RTK 与无人机均使用千寻的 8002 端

口，或同时使用千寻的 8003 端口。当地面 RTK 使用地方或省网 CORS 时，无人机也需要使用相应的 CORS，使用 PPK 的情况同理。这样做是为了尽量避免使用不同的 CORS 或 RTK 系统带来的系统误差。

五、航测相机的曝光设置

1. 关于曝光速度

直接划重点，先说如何选择曝光速度。衡量航测外业的好坏，最重要的一点是要保证照片的清晰，内业才有米下锅。由于航测的照片是在载具处于运动状态下拍摄的，曝光速度是保证照片清晰的首要因素，但是如何衡量一张航测的照片是否清晰？通常的判定方式以术语方式来描述如下：“像素像移不超过 1/3 该像素”。先解释一下像素和曝光速度的概念。

像素：相机的感光元件由极大数量的点组成，就 P4RTK 来说，其照片的分辨率是 5472X3648，也就是说有 2000 万个点(像素)组成了 P4RTK 的感光元件。



图 6

曝光速度：相机的感光元件曝光的时间长度，以秒为单位，就 P4RTK 来说其曝光速度的范围是 8 秒到 1/8000 秒(值得注意的是在 APP 中 1/8000 秒的表示为 8000 而 8 秒表示为 8”)。

地面分辨率：每个像素所映射的地面距离，例如 5 厘米的地面分辨率，即每个像素代表地面 5 厘米见方的一块面积。

了解了像素和曝光速度的概念，加之载具在运动状态下进行图片的采集，这时候我们再来理解一下那句拗口的描述，其翻译过来就是：“在载具运动的过程中，相机曝光的时间内，像素的移动距离不超过 $1/3$ 该像素。”由于曝光不是瞬间完成的，在曝光期间，像素会产生位移，这就是像素移动产生的原因，以下将像素移动产生的距离叫“像移”。

例如当 $V=10$ 米/秒, $GSD=0.05$ 米的时候计算出的 $S>600$. 即我们要满足像移不超过 $1/3$ 像素则需要选择大于 600 的曝光速度，在 P4RTK 中最接近的值是 640，也就是正规曝光时间的表述： $1/640$ 秒。看下一个例子，当 $V=6$ 米秒, $GSD=0.05$ 米的时候, $S>360$ ，在 P4RTK 中最接近的值是 400。由以上的两个例子，我们可以得出一个经验，就是在天光较暗的情况下，为了满足照片的正常曝光，我们需要降低快门速度，在保持 GSD 不变的情况下，必须降低航速，否则采集的照片的像移较大，对后期内业造成极大的麻烦甚至因为外业采集不当导致无法生产成果而重飞，这也是我们最不想要得到的结果。

2. P4RTK 外业流程

①依据 GSD 和航速计算快门速度

利用公式计算出所需要的快门速度。在已知航高的情况下可以用航高除 36.5 求的 GSD(单位为厘米)。例如航高设置为 180m 则 $GSD=0.0493m$ ，当前作业环境的风速不超过 $8m/s$ ，在航速设定上可以暂定为 $11m/s$ 以尽可能的提升作业效率(如风速较大则可以降低一些航速以保证作业的安全性，如不是特殊情况航速尽量不要超过 $11m/s$ 以保留更多的动力余量保障作业安全)，可由公式计算出 $1/S=669.37$ 。在该实例中如地形起伏很小侧可以选择 $1/S=800$ 的曝光速度，如地形起伏较大应以地形较高位置进行快门速度的计算。例如在该测区中地形较高的位置相对于起飞点增加了 50m 则代入公式的航高应为 $180-50=130m$ ，再次代入公式可计算出较高地形的 $GSD=0.0356m$ ，而在满足较高地形的采集要求的 $1/S=926.96$ ，则针对该测区的曝光速度选择应为 $1/S=1000$ 。

②地面曝光测试

在飞机自检完成后打开相机设置，设置为快门优先模式，将 ISO 设置到 100，曝光补偿设置到 0，将镜头调整至正射，举起飞机查看设置好的曝光是否合适。调整下镜头俯仰不要将天空出现在画面中，旋转或移动飞机查看下其他地物的曝光是否合适并记录下光圈值。合理的曝光设置是在针对不同地物的时候曝光合适且光圈都保持在 3.5 以下(光圈数值高于 3.5)。该测试的目的在于如果光线发生变化(主要是变弱)依然可以给曝光留有余量即光圈可以自动调整到 2.8 以获得更大的进光量而不会让画面整体偏暗太多。如果光圈不能保持在 3.5 以下则需增加 ISO 到 200 以保证在光线变化时曝光依然能够正常。

3. 作业过程中的曝光监控

在操作飞机起飞后在进入作业航点以前再次通过镜头的俯仰与飞机的移动旋转确认测区内的曝光是否正常。在作业过程中持续监控光线的变化情况，如光线发生改变都应该及时的观察屏幕，对曝光值进行补偿。如测区内有较大面积的反射面存在，例如较大的水面、道路等反光强烈的位置，应依据画面的光线变化提前进行曝光补偿。值得注意的是在飞行过程中只有在相机没有拍照的时候才能改变曝光补偿的值，而相机的持续拍摄会对设置产生一定的延迟作用，点击了一次曝光补偿的增减按钮后等待相机完成下一张拍摄后才会改变，一定耐心等待下一张照片拍摄完成后再确认是否设置成果，则多次的点击可能会造成曝光补偿的设置出现很大的偏差。

4. 条件下的航速调整

有时候天气或者光线条件不佳，但是作业必须要继续或者完成。在光线条件不好的情况下，首先需要以降低航速来配合，因为只有降低了航速才可以相应的降低快门速度。如果强行以高航速继续作业，必将导致像素的运动模糊，模糊的画面最后是无法代入到内业的作业流程中。对于大疆 P4RTK 而言极限的 ISO 的选择是 400，极限的欠曝指数为-1.7 档，后期使用 Lightroom 或 PhotoShop 等图像软件进行相应的调节后再代入空三流程。

5. 外场快速空三校验

作为一个标准的外业流程，在数据采集完成或者每天的数据采集完成后都进行一次 1/4 像素的快速空三校验，依据空三的结果，对图片进行调整。如果空三的成果依然存在较大的问题即可及时安排重新采集。重新采集也只需在空三中无法参与计算的部分进行补充采集。

六、总结

本方案对 Phantom 4 RTK 四旋翼无人机的航测方案了一定的步骤分析，并给出了相应的操作方案。毕业设计不仅总结了在航测过程中作业的过程，还介绍了航测中重要的相机参数设置、相机曝光调节，确保拍摄出来的照片质感清晰，对后期的数据处理有着重要作用。毕业设计是一项严密细致的工作，在此中绝对不可粗心大意，多运用自己所学的知识，多参考他人优秀的作品，收集相关资料，保证毕业设计的完整性、自主性，为自己的大学写上圆满的句号。

参考文献:

[1] 孙治华四旋翼微型无人机在大比例地形图中的应用[J]. 水利规划与设计,2018(09): 161-164.

[2] 王明. 黄文钰贺春林杨刚四旋翼无人机航摄技术在大比例尺地形图测绘中的应用[J]. 西北水电,2017(06):34-36+43.

[3] 周超刘长华具有超视距巡航的四旋翼无人机研制[J]. 电子测试 2016(15);8-9+ 106.

[4] 张元差分 GPS 无人机航测技术测试及其相应探究[J] 电子测试,2019(08):61-62+68.

[5] 沈佳洁谈宇平无人机技术在城市测绘中的应用[J]. 低碳世界,2019,9(02):74-75.

[6] 孙治华. 四旋翼微型无人机在大比例地形图中的应用[J]水利规划与设计,2018(09): 161-164.

[7] 王明, 黄文钰贺春林杨刚四旋翼无人机航摄技术在大比例尺地形图测绘中的应用 1[J]. 西北水电,2017(06):34 -36+43.

[8] 张煦低空无人机摄影测量像控点布点方案的探讨与研究[J]. 河南科技,2017(13):30-33.