

无人机遥感影像技术在排海管线巡检中的应用

郭坤 18562090609

(中石化地球物理公司胜利分公司)

摘要:

为研究无人机遥感影像技术在管线巡检中的应用,推广无人机遥感影像技术。进行了无人机遥感系统的功能设计,编制了工作流程,形成了一套完整的无人机遥感技术应用于管线巡检的技术路线。本文利用无人机遥感技术进行了排海管线地表覆盖解译,管线检查井破损、违法占领等的分析。结果表明:使用无人机巡检可避免人工巡检出现的遗漏;利用无人机的机动性和灵活性的优势,进入管线占压及违建区巡检,有效避免巡检盲区,扩大执法权限;得到巡检结果更加客观、真实,并可实现重复查询,结果可追溯,可有效避免纠纷争议;为快速有效地开展救援工作提供真实、客观的现场影像,可为指导决策提供数据支持;可为安全环保工作提供真实、客观、有效的巡检报告;提升企业生产的自动化、信息化水平,促进目标管线的安全平稳运行。

关键词:

无人机遥感; 管线巡检; 航空摄影测量; 正射影像 (DOM)

1 引言

某石化公司排海管线无人机巡检技术服务项目是我公司 2020 年 1 月中标新业务项目。

排海管线担负该公司乙烯新区和公司老区的废水排海任务,是该石化公司的排水大动脉,途径 54 个自然村,沿途穿越某青高速公路、某高路、某东高速等道路,管线全长 60 公里,为 1.4m×1.6m 的方形涵洞,埋深 4-6m,100m 左右设有一座检查井,共有检查井 622 座。自 1986 年 7 月投用以来,运行 35 年了。随着地方经济的发展,管线上相继建设了房屋、化工厂等,部分检查井被占压,有的被圈占、破坏,严重威胁排海管线的安稳运行。

传统的排海管线巡检全靠人工,每周对管线进行徒步巡检,存在巡检盲区,巡检效率相对较低,缺乏影像数据,不能及时发现管线及检查井的破坏情况,存在安全隐患,巡检资料不直观,不便判断与管理。与传统方式相比,无人机遥感技术在获取大规模的地表覆盖变化具有很大优势,能够更高效、可靠地获取变化信息,能够进入管线占压、违建等区域,有效避免巡检盲区。

无人机遥感影像技术应用于本项目的内容包括:每月进行一次管线及周边区域(两侧各 50m)全线巡检,提供基于 CGCS2000 坐标系下的影像数据,全线分辨率不低于 0.1m 的正射影像(DOM);对影像数据进行分析识别,形成管线隐患信息报告,为管线安全维护提供数据支持;利用影像对比分析,对不同时相影像进行人工目视对比分析,提取隐患点,为管线巡检提供数据支持。

2 无人机遥感系统

2.1 无人机平台

项目采用飞马 V100 无人机，V100 是飞马推出的基于高性能垂直起降固定翼平台的一站式行业解决方案；主打“高精度成图”、“专业”、“视频侦察”。起飞重量 8.5kg，标准载荷 1kg，续航时间 90min；配备高精度差分 GNSS 板卡，支持 PPK、RTK 及其融合作业模式，支持 POS 辅助空三，可实现免像控 1:500 成图。

内业处理使用“无人机管家专业版”软件，它可满足各种应用需求航线模式，支持精准三维航线规划、三维实时飞行监控，具备 GNSS 融合解算、控制点量测、空三解算、一键成图、一键导出立体测图，提供 DOM、DEM、DSM、TDOM、2.5D 模型、真三维模型等多种数据成果及浏览。

2.2 系统技术参数

2.2.1 飞行平台参数

导航卫星：GPS：L1+L2；BDS：B1+B2；GLONASS：L1+L2；
差分模式：PPK/RTK 及其融合作业模式；起飞重量：8.5kg；
续航时间：90min；巡航速度：20m/s；
机身长度：1680mm；翼展：2400mm；高度：586mm；
旋翼模式爬升速度：3m/s；旋翼模式下降速度：3m/s；
固定翼模式爬升速度：5m/s；固定翼模式下降速度：2m/s；
悬停定位精度(单点)：水平 1.0m；垂直 0.5m；
悬停定位精度 (RTK)：水平 1cm+1ppm；垂直 2cm+1ppm；实用升限高度：6000m；
抗风能力：6 级；
任务响应时间：展开≤10min，撤收≤15min；
测控半径：20km；
起降方式：全自动垂直起降；工作温度：-20-50℃；

2.2.2 载荷参数

航测模块 (V-CAM100)；相机型号:SONYRX1RII；
传感器尺寸:35.9×24mm(全画幅)；有效像素：4200 万 (7952×5304)；镜头参数：35mm 定焦；
分辨率：2cm@150m；
飞行高度：150m-1500m；
采用机载供电，具备免像控能力，作业效率表如下：

表 1 无人机作业效率

地面分辨率	航高	作业面积	一天飞行	备注
cm	m	km ²	km ²	

2	155.2	3.2	18.91	按照一天6架次，单架次 60km航程限制、80%×60% 重叠度、耕地航线统计
3	232.8	4.8	28.97	
4	310.4	6.5	39.04	
5	388.0	8.2	49.09	
6	465.6	9.9	59.17	
7	543.2	11.5	69.13	
8	620.8	13.2	79.09	
9	698.4	14.8	89.00	
10	776.1	16.5	98.89	

2.3 系统特点

无人机采用领先的倾转旋翼机构，不需要跑道和弹射架，可以垂直起降，兼顾定点精准起降及大范围数据获取能力；对起降场地要求低、机动性好、巡航速度高、航时长等优点，整机采用智能电池管理，可根据场地情况设置垂直爬升高度（50m-500m可自由设置），在植被茂密的高山上，悬崖峭壁旁执行飞行任务，就可以展现优越性。

V100 倾转机构展示：



图1 V100 倾转机构展示

3 管线巡检设计与技术

3.1 航线设计

利用无人机管家智航线模块根据任务区域地形起伏和影像要求，基于高精度实景三维地形自动生成满足后期处理的最佳飞行方案和航线，并对航区进行任意角度自动分割和航线角度调整，保证后期处理和接边需要。航拍属于单相机区块正射，相机垂直向下拍摄影像，与传统航空摄影飞行方式一致。根据设计地面分辨率、航向重叠度和旁向重叠度，自动生成航线，适用于大比例尺航摄原始影像获取。生成航线情况如下图。

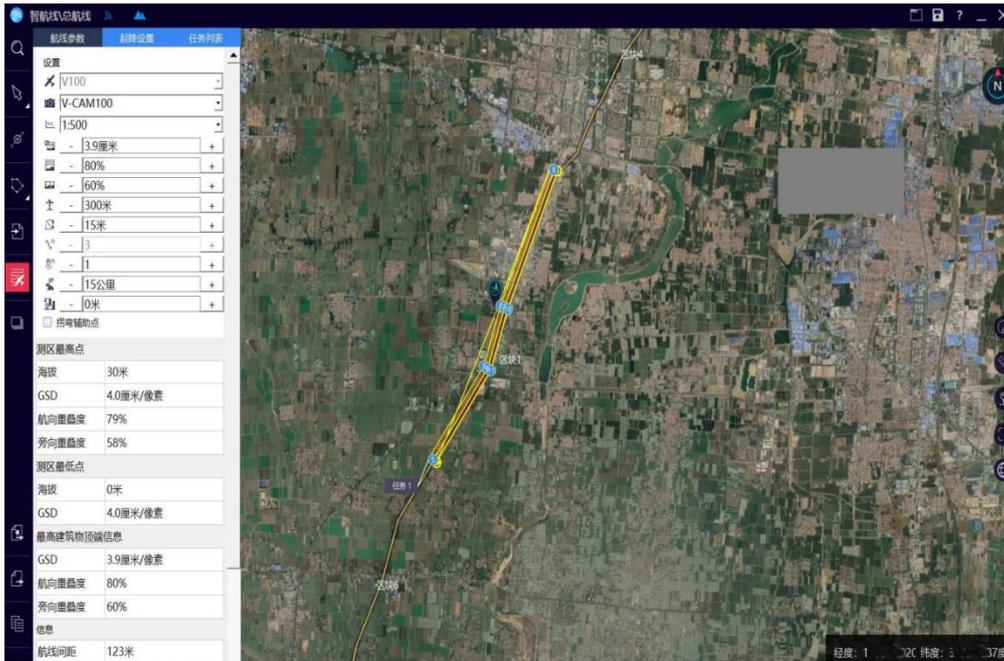


图2 飞行航线

3.2 现场无人机航拍

生成航线后，项目组结合获批的空域时间及天气情况合理安排了飞行任务。到达作业现场后，架设地面站设备，组装并检查无人机，连接天线，调整降落点，通信链路连接成功后，在无人机管家中调整降落点，并按照步骤要求操作完成飞行前检查。完成飞行前检查后，输入旋翼模式转换固定翼的切换高度值，解锁起飞，无人机自动垂直起飞，到达设置转换高度后，切换到固定翼模式，盘旋爬升到目标高度。无人机到达目标区域后，开始自动拍摄高精度影像，并生成相应的 POS 文件。在整个飞行过程中密切关注无人机的飞行状态信息，重点关注姿态、高度、空速度、电压、电流等参数。无人机执行完航线任务会按预设轨迹返航，降落后自动加锁，并根据提醒保存任务数据，检查无人机状态。

3.3 遥感影像获取与处理

飞行完成后下载影像数据、POS 数据、飞行姿态数据、基站数据等，确定以上数据的完整性，进行下一步处理：

(1) 在无人机管家智理图模块对基站数据及机载数据进行 PPK/RTK 融合差分解算，得到差分 POS 数据；

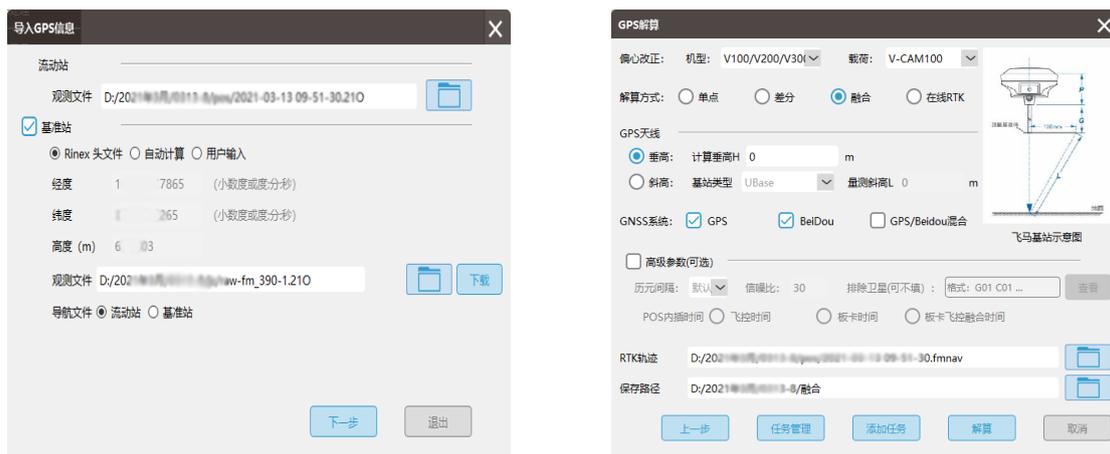


图3 GNSS 差分解算

(2)利用差分 POS 数据在智拼图中新建工程,此次项目坐标系为 CGCS2000 坐标系。基于 RTK/PPK 高精度 GNSS 的附加参数无控定向算法进行空三处理。



图4 基于高精度 GNSS 的空三平差

3.4 成果输出

按照 4cm 分辨率输出 TDOM 和 DSM。



图5 影像成果输出

3.5 成果展示

下图为 82-137 号检查井附近 TDOM 真正射影像展示。



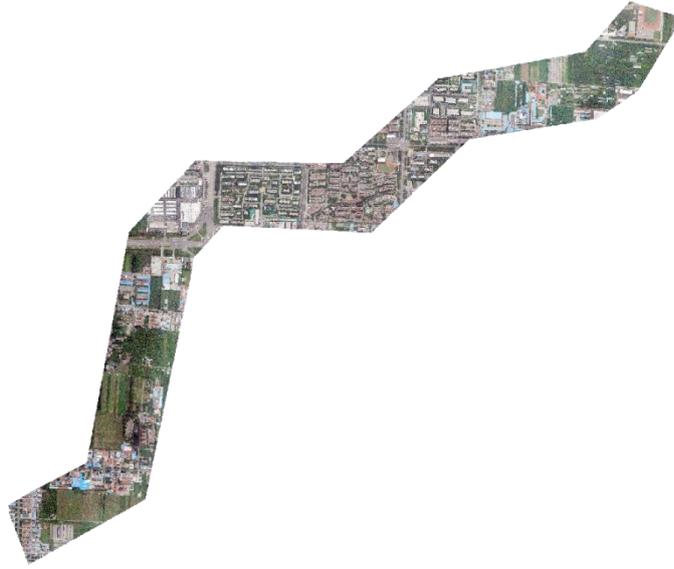


图6 TDOM（真正射影像）

4 管线巡检遥感解译

4.1 影像变化检测

影像变化检测指利用多时相获取的覆盖同一地表区域的影像及其它辅助数据来确定和分析地表变化。它利用计算机图像处理系统，对不同时段目标或现象状态的变化进行识别、分析；它能确定一定时间间隔内地物或现象的变化，并提供地物的空间分布及其变化的定性与定量信息。

4.2 成果解译与隐患统计

4.2.1 地表隐患类别展示

通过两期影像对比分析，对发现的隐患分为几个类别：占压、掩埋、井盖丢失或破坏、管道主体破坏、管道周边破坏等。具体分类见下图展示：



图7 占压对比图



图 8 掩埋对比图



图 9 井盖丢失对比图



图 10 井壁破损对比图

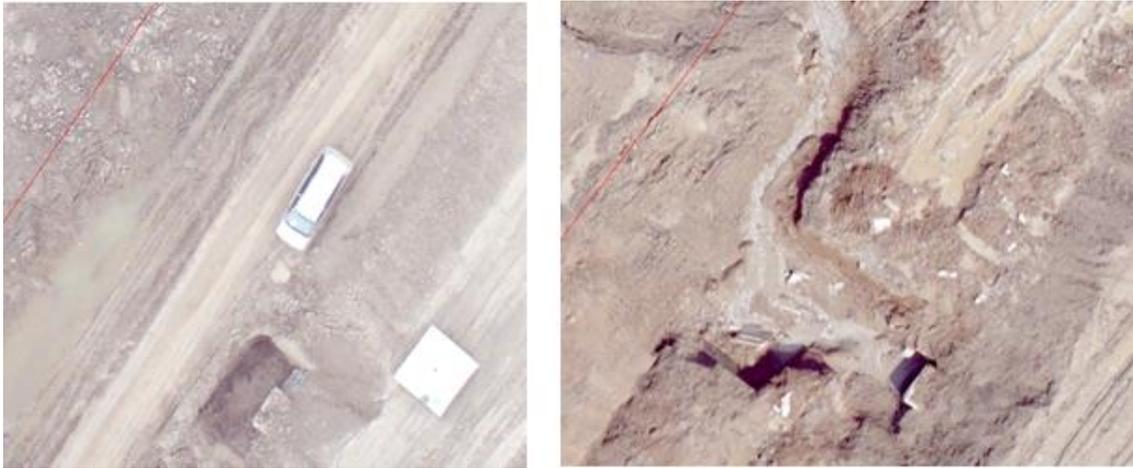


图 11 管道周边破坏对比图

4.2.2 隐患整改情况

(1) 261 号检查井三月井盖打开，四月已合上。



三月份



四月份

图 12 隐患清除

(2) 262 号检查井三月井盖打开，四月已合上。



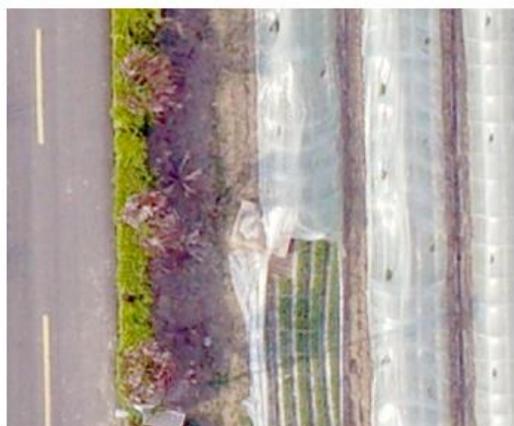
三月份



四月份

图 13 隐患清除

(3) 267 号检查井四月被大棚覆盖，五月大棚已去除



四月份



五月份

图 14 隐患清除

4.2.3 隐患统计

2020 年某石化公司排海管线无人机巡检技术服务项目共计巡检 10 次，获取每个月排海管线线路正射影像后，结合上一月份的正射影像，通过遥感影像变化检测对全线隐患信息进行了排查。按隐患的严重程度分为重大、一般、轻微三个等级。每个月发现的隐患进行统计汇总，确定解决方案，进行整改。

通过对无人机遥感影像对比分析，全年发现隐患共计 205 次，剔除重复隐患后总计 150 次，涉及检查井 116 座。每月详细隐患信息见下表：

表2 3月至12月份无人机巡检隐患类别汇总表

巡检月份	占压	掩埋	井盖丢失或破坏	主体破坏	周边破坏	隐患数量	备注
3月	1	4	4	2		11	
4月		2	4	2		8	
5月	1	34	3	2		40	
6月		29	4	2		35	
7月		6	6	1	8	21	
8月		15	3	1	2	21	
9月		2	4	1	6	13	
10月		6	4		9	19	
11月		6	8		11	25	
12月		1	8		3	12	
总计	2	105	48	11	39	205	

5 无人机在管线巡检中的优势和劣势

5.1 在管线巡检中的优势

1、精确度高：航拍测绘的实际测量精度达到了亚米级，V100 无人机在无控制点情况下实现 1:500 的测图精度，管线巡检中可确定目标管线的准确位置，提供国家通用坐标系统下的精准坐标；另外，航空测绘还具有丰富的三维地理信息，可以捕获大比例尺地形的数据；如果需要较高的精度，那么无人机将比其他的技術更能满足实际生产需求。

2、具有较高的灵活性、安全性：无人机的飞行高度 150m-1500m，可抗 6 级风，环境产生的变化对无人机几乎没有什么的影响，利用机动灵活的高空视角，扩大巡检权限，进入人工巡检盲区，有效监控了排海管线健康状况，特别是封闭厂区、新淄河施工区域的管线状况，发挥较大优势。

3、效率高：巡检工作地理条件有些较为复杂，通过传统方式并不能准确地掌握周边环境的信息，使用无人机遥感影像收集信息筛选处理，通过后处理设计保证巡检工作掌握周边具体环境。无人机遥感技术应用于管线巡检，工作范围比较大，随时掌握和了解地形条件信息，能提供优于 0.1m 分辨率的客观、真实的正射影像，促进了排海管线的安全平稳运行。

4、降本增效效果明显：传统管线巡检大都存在成本投入高，效果差的现象，而无人机巡检可以有效地解决这一问题，它利用无人机结合航测模块进行拍摄，提供直观、高效、精准、实用的影像

资料，为管线地表覆盖解译、环境评价提供了数据支撑，降低了劳动力成本，缩短了巡检周期。

5.2 在管线巡检中的劣势

采用无人机作业虽有许多优势，但是也存在着不足：

1. 无人机作业特别容易受空域管理限制，在申请空域时间内，经常由于部队不定期训练受到管制，导致飞行计划不受理，有时因为空军执行临时任务，致使飞行中无人机紧急降落，导致整个区块不能使用。

2. 无人机的使用依然很受天气的限制，像大风、雨雪、雾霾等恶劣天气都很容易让无人机无法正常作业。

3. 容易受电磁等外在因素干扰，在城市区域作业存在一定安全风险，如失控坠落等，甚至对人员造成伤害。

4. 由于无人机低空作业特性，精度越高，相对应的航高越低，获取的像幅小，影像多，重叠度大，所以基高比小，内业处理工作量大、时间长。

6 结论

利用无人机遥感影像技术开展管线巡检工作，能提高工作效率、节省人力成本、方便迅捷无盲区。能提供连续跟踪、高精度、可对比的影像数据，对管线的长期稳定运行提供全方位的数据支持，是目前比较理想的管线巡检工作模式，2020年无人机管线巡检资料得到了甲方高度认可，甲方续签了2021年无人机巡检合同。随着航空航天技术的飞速发展，越来越多智能化、便捷化和高精度化的新技术将被应用到工作中来，无人机遥感技术将在基础测绘、工程勘测、规划建设、景观规划、数字城市、公共安全、应急救援等多个行业领域发挥越来越显著的作用。