

文章编号: 1672-8785(2019)05-0032-05

基于无人机红外遥感的地下 石油管道安全监测

李器宇 张 洁 徐晓旭

(天津航天中为数据系统科技有限公司天津市智能遥感信息处理技术
企业重点实验室, 天津 300301)

摘 要: 地下石油管道监测是石油安全工作的重要内容之一。针对石油管道的热源特性, 开展了基于无人机挂载红外热像仪的地下石油管道遥感监测研究, 实现了基于红外影像的管道识别、管道裸露与浅埋识别, 并开展了红外影像与同一管道基于可见光遥感影像的对比分析。验证了红外遥感影像在地下石油管道安全监测中的可行性。

关键词: 无人机; 遥感; 红外; 石油管道

中图分类号: TP79 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2019.05.006

Underground Oil Pipeline Safety Monitoring Based on UAV Infrared Remote Sensing

LI Qi-yu, ZHANG Jie, XU Xiao-xu

(Tianjin Zhongwei Aerospace Data System Technology Co., Ltd., Tianjin Key Laboratory of
Intelligent Information Processing in Remote Sensing, Tianjin 300301, China)

Abstract: Underground oil pipeline monitoring is one of the important contents of oil safety work. According to the heat source characteristics of oil pipelines, a remote sensing monitoring study of underground oil pipelines based on unmanned aerial vehicle mounted thermal imaging cameras was carried out. The infrared image-based pipeline identification, pipeline bare and shallow buried identification were realized. And the comparative analysis between infrared images and visible remote sensing images of the same pipeline was performed. The feasibility of infrared remote sensing imagery in the safety monitoring of underground oil pipelines was verified.

Key words: UAV; remote sensing; infrared; oil pipeline

0 引言

中国是石油生产与消费大国。截至 2017 年, 中国石油管道已达到 13 万千米, 其中地下石油管道是主要形式。随着地下石油管道的

长度不断增加, 以及国家迅速发展带来的地上建设不断加快, 地下管道的安全形势日趋复杂, 传统地面人工监测的工作压力愈发繁重。在以往的石油管道遥感监测中, 卫星遥感^[1]、

收稿日期: 2019-04-24

作者简介: 李器宇(1986-), 男, 天津人, 硕士, 工程师, 主要从事无人机遥感、无人机系统应用、卫星遥感、天空地一体化信息系统等方面的研究。E-mail: 512564094@qq.com

有人机遥感^[2]受遥感平台作业高度的制约, 主要实现管道周边大范围地质环境变化与人类活动的监测。现有的无人机遥感主要以 0.1~0.2 m 分辨率的可见光成像为主, 虽然成像分辨率优于卫星遥感, 但仍以监测地表变化情况为主^[3-4], 难以实现对地下管道的安全监测预警。

针对石油管道自身与周边环境具有可分辨的热辐射差异^[5]这一特性, 相关研究人员对基于红外航空遥感监测管道开展了持续的研究^[6-8], 已初步验证了基于红外遥感识别管道周边可疑人员^[9]和辅助识别地下管道位置信息^[10-11]的可行性。如何基于红外遥感影像实现对地下管道安全的精细化监测成为了无人机管道安全监测的新研究方向。

1 管道监测数据采集

为验证无人机红外遥感在地下石油管道监测的应用可行性, 2018 年 1 月中旬在山东东营地区开展了数据采集作业。作业无人机起降点的坐标为北纬 37°22'40.64"、东经 118°29'42.27", 作业时当地气温在 -5℃~5℃ 之间。使用固定翼无人机开展可见光数据采集作业, 使用六旋翼无人机开展红外热成像数据采集作业, 以实现红外影像与可见光影像的对比分析。

可见光遥感管道监测数据采集作业使用小型固定翼无人机搭载可见光相机开展。可见光相机使用索尼 A7R 型相机, 其关键技术指标见表 1。

表 1 可见光相机的参数

内容	指标
传感器类型	互补金属氧化物半导体(Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS)
传感器尺寸	35.9 mm×24 mm
传感器分辨率	7360×4912
有效像素	3640 万像素
镜头类型	蔡司全画幅定焦镜头
焦距	35 mm

作业中, 固定翼无人机飞行架次的航线总长为 32 km, 飞行高度为 200 m, 航带有 3 条, 航间距为 80 m, 拍照间距为 70 m, 获取照片 430 张, 成像分辨率为 3 cm。



图 1 可见光原始相片

红外遥感管道监测数据采集作业使用六旋翼无人机搭载红外热像仪开展。红外热像仪的

型号为 XM6, 关键技术指标见表 2。

表 2 红外热像仪的参数

内容	指标
探测器类型	非制冷焦平面
像元尺寸	17 μm
波长范围	7.5 μm~14 μm
像素	640×480
焦距	25 mm
调焦方式	自动对焦
清晰成像距离	0.3 m~∞
测温范围	-20℃~150℃
测温精度	2℃或 2%, 取较大者
热灵敏度	<50 mk
视场角	250×190

作业中, 六旋翼无人机飞行 2 个架次, 航线总长为 1.5 km, 飞行高度为 80 m, 航带有

2 条, 航间距为 28 m, 拍照间距为 20 m, 获取红外照片 163 张。经过渲染的伪彩色红外照片如图 2 所示。

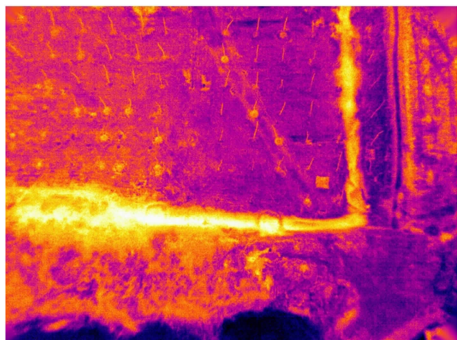


图 2 红外热像仪的原始相片

2 管道监测数据的处理

在遥感数据采集作业完成后, 依照以下数据处理流程对数据进行预处理与图像拼接^[12]。

(1) 预处理: 对原始航拍照片进行像控点刺点、特征点匹配、空三平差等预处理, 并拼接生成基本拼接影像图。

(2) 数字正射影像图 (Digital Orthophoto Map, DOM) 出图: 对原始拼接图进行匀光匀色、图像镶嵌等修正, 形成管道监测区域 DOM、数字地表模型 (Digital Surface Model, DSM)。

(3) 红外影像拼接: 对原始的红外照片进行快速拼接, 形成管道沿线的热成像影像图^[13]。

2.1 可见光数据处理分析

可见光数据经过图像拼接处理, 形成管道沿线的 DOM 影像图和 DSM 模型, 面积约为 2.2 km²。

基于可见光 DOM 的位置精度高、图像分辨率高、细节信息丰富、直观逼真等优点, 结合管道路由位置信息, 在 DOM 中进行管道标注与判读, 可实现对石油管线上方及周边的地表建筑、施工情况的提取与识别。根据管道安全法律法规, 可对地上违章建筑占压、违章填挖等管道安全隐患实现精准分析。图 3 为从本次作业生成的 DOM 影像图中提取出的部分管



图 3 地表建筑占压管道或距离管道过近等隐患

道地表违章安全隐患。

DSM 模型可显示高程信息, 用于管道周边地形分析、地表植被覆盖分析等, 能够直观掌握管道沿线土地利用状况的动态信息, 指导管道后期维护施工建设等。

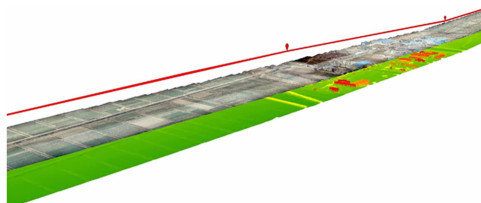


图 4 可见光 DOM、DSM 与管线路由坐标的叠加

2.2 红外数据的处理分析

红外遥感影像是基于遥感目标热辐射信息成像的。使用无人机对管道进行热红外遥感成像时, 红外影像可有效显示管道沿线的地表热量分布与差异信息情况, 尤其在冬季低温环境下, 管道作为明显热量源, 与地表以及人工建筑等相比温差大, 在地表热红外成像中呈现出明显的亮度差异, 在红外伪彩色图像中呈现出明显的颜色差异。此外, 与可见光影像相比, 红外影像不受复杂的光学纹理特征的干扰, 能够直观、快速提取不同热量的目标轮廓, 尤其是管道、河流、建筑等规则性状目标。

2.2.1 管道的识别与定位

在此次无人机遥感管道监测数据采集的作业区域中, 管道左右两侧分别存在一条河流与一条道路, 其余地表以农田、树林为主。如图

5 所示, 此次作业采集的管道沿线红外遥感影像图中, 管道、道路、河流与周围农田及其他物体呈现出明显的颜色差异。

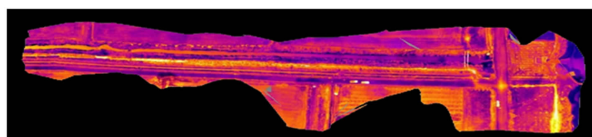


图 5 伪彩色红外影像拼接图

由于管道、道路、河流均为线性目标物, 且并排分布, 单纯依靠纹理特征难以直接判读提取出管道。尤其是此次作业区域的河流为废水排放河道, 河水的温度较高, 因此基于温度形成的伪彩色区分管道与河流容易被误判, 需要结合其他辅助信息对图像进行判读。如图 6 所示, 结合行驶车辆的位置信息, 可提取出道路目标; 结合当地地下石油管道口径通常不超过 1 m 这一先验信息, 可筛除河流目标, 从而提取出管道目标。

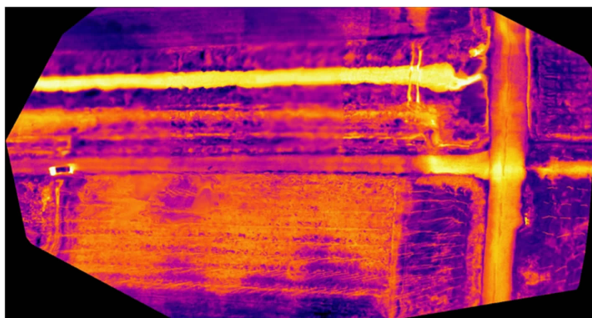


图 6 局部红外影像拼接图

通过对管道地表的红外影像与可见光影像进行配准^[14]与叠加对比分析, 可以看出, 基于可见光的影像无法直接提取管道目标, 必须依赖完整的管道路由坐标, 方可在地表影像图中勾画出管道。若无管道路由坐标或管道路由错误, 则完全无法提取、定位管道。基于红外影像时, 可在地表红外影像中直接粗略识别出管道线路, 基于管道拐点位置等少量管道路由坐标点, 结合管道建设呈规则线性布设这一先验信息, 即可提取定位出完整的管道。

2.2.2 管道泄漏与管道裸露、浅埋识别

管道泄漏与管道裸露、浅埋是管道的重大

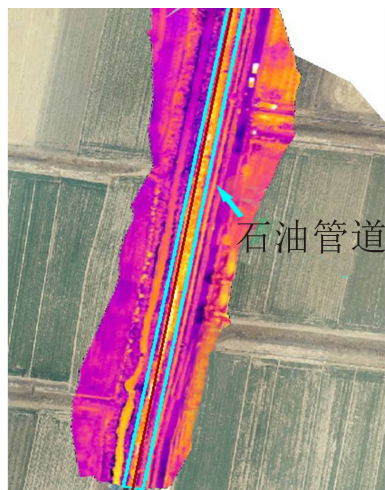


图 7 DOM 与红外拼接影像叠加

安全问题与重大安全隐患。前者意味着管道已经被破坏, 后者意味着管道存在被破坏泄漏的极大可能性。在可见光影像中, 由于图像的颜色、纹理等特征信息复杂, 且管道裸露、浅埋或管道泄漏后的地表与正常地表缺少明显差异, 因此几乎无法在可见光影像中提取识别出石油泄漏、管道浅埋信息。在红外影像图中, 管道泄漏点与管道浅埋或裸露处经阳光照射后与周边地表及管道正常掩埋区域的温度不同^[15], 因此在红外影像中会呈现出亮度或颜色差异, 能够实现直观快速提取与定位。

本次作业采集生成的红外影像图中, 在管道上方提取出部分高亮度处, 但难以直接区分是管道泄漏或管道浅埋及裸露。因此, 结合管道泄漏点会显现出以高温点为圆心、向四周逐步温度降低的近乎圆形的图像特征^[16], 管道浅埋或裸露处通常为线性分布等经验信息, 可合理判断出此次红外影像图中提取出的部分疑似为管道浅埋或裸露。

3 总结

通过无人机在山东东营地区采集地下石油管道的可见光遥感与红外遥感数据, 通过数据处理形成可见光 DOM 影像图、DSM 模型与热成像影像图, 重点应用红外热成像影像结合石油管道特性信息进行了管道识别定位与安全隐患分析。研究成果表明, 通过无人机挂载红外

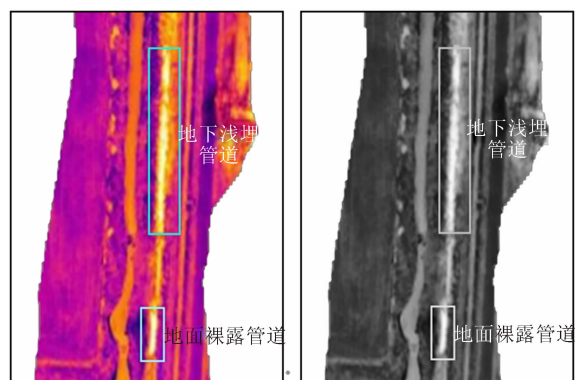


图 8 基于红外伪彩色影像与红外灰度图的管道疑似浅埋情况

热像仪在冬季对地下石油管道进行遥感监测能够有效识别出管道,并可实现对管道泄漏与管道裸露、浅埋等重大安全隐患的精细化排查与定位,能够大幅减轻地面人工监测的工作强度,具备业务化应用能力。通过固定翼无人机搭载长焦红外相机在 200~300 m 高度对地下管道进行安全监测将是下一步的研究与应用方向。

参考文献

- [1] 南立团,陈利琼,段永红,等.卫星监测技术在预防管道第三方破坏中的应用[J].*油气储运*, 2010, **29**(9): 656-660.
- [2] 余华琪,齐小平.石油遥感二十年[J].*国土资源遥感*, 1999, **41**(3): 16-21.
- [3] 欧新伟,周利剑,冯庆善,等.无人机遥感技术在长输油气管道管理中的应用[J].*科技创新导报*, 2011, **8**(15): 77-78.
- [4] 康煜姝,武斌.无人机在油气长输管道中的应用[J].*当代化工*, 2015, **44**(8): 2045-2047.
- [5] 周鹏,王明时,陈书旺,等.用红外成像法探测埋地输油管道[J].*石油学报*, 2006, **27**(5): 127-130.
- [6] 夔中羽.航空远红外遥感探测地下热管道成像机理[J].*遥感信息*, 1995, **10**(2): 22-26.
- [7] 周彦儒,王晓红.航空热红外遥感在探测石油管道中的应用[J].*国土资源遥感*, 1998, **11**(3): 91-94.
- [8] 吴国忠,李栋,魏海臣,等.红外成像技术在管道防盗检测中的应用可行性[J].*油气储运*, 2005, **29**(9): 49-50.
- [9] 李器宇,张拯宁,柳建斌,等.无人机遥感在油气管道巡检中的应用[J].*红外*, 2014, **35**(3): 37-42.
- [10] 王琳,吴正鹏,张晓东,等.利用无人机搭载热红外成像仪探测地下输油管道的初探研究[J].*城市勘测*, 2013, **28**(5): 160-163.
- [11] 王琳,吴正鹏,陈楚,等.低空热红外遥感在探测输油管道中的应用[J].*测绘科学*, 2018, **43**(3): 142-147.
- [12] 吕立蕾,张卫兵,胡树林,等.低空无人机航摄系统在长距离输油(气)管道 1:2000 带状地形图测绘中的应用研究[J].*测绘通报*, 2013, **59**(4): 42-45.
- [13] 易磊,褚中理,郑克斌,等.面向无人机红外影像拼接的特征提取算法对比研究[J].*测绘科学技术学报*, 2014, **31**(6): 608-613.
- [14] 胡修兵,闫利,黄长军.红外与可见光图像配准的梯度相关法[J].*测绘通报*, 2014, **60**(4): 36-38.
- [15] 赵文浩.输油管道泄漏污染物扩散及其激光检测研究[D].大庆:东北石油大学,2017.
- [16] 支焕,蒋华义,高志亮,等.卫星监测技术在输油管道泄漏中的应用[J].*油气储运*, 2011, **30**(12): 957-959.