

# 无人机倾斜测量激光融合技术在燃气管道巡检中的应用

陈杰 廖管荣 李杰波

(上海燃气崇明有限公司 上海 202150)

**摘要:** 随着无人机技术的高速发展,无人机巡检被广泛应用于各行业的巡检工作中。无人机具有成本低廉、方便运输、操作简便以及维护简单等特点,这些特点使得无人机很适合对燃气管道的监测。燃气管道无人机巡检系统的投入使用,不仅可以省去耗时耗力的人工监测,而且巡线速度快,信息反馈及时,保证了及早发现问题及早修复,这样可以将损失减到最低。传统的人工巡线方法工作量大且条件艰苦,特别是对于复杂地形和非常时期的燃气管道的巡检,难度更大,所花时间更长、人力成本更高。管道无人机巡检系统的投入使用,不仅可以省去耗时耗力的人工监测,而且巡线速度快,信息反馈及时,保证了及早发现问题及早修复,这样可以将损失减到最低。

**关键字:** 天然气;遥感技术;无人机系统;燃气管道;倾斜测量

## 引言

上海燃气崇明有限公司(简称:崇明燃气)成立于1985年,是上海燃气有限公司的全资子公司,崇明燃气现有天然气管网共计743公里,其中中压管道285公里,低压管道458公里,共有各类调压器224台,共有阀门井1796座,水井319座。传统的人工巡检方法不仅工作量大而且条件艰苦,特别是跨越河流的桥管、架空管,小区内的爬墙管,花费时间长、人力成本高、困难大。现代无人机具备高空、远距离、快速、自行作业的能力,无人机搭载可见光相机、热红外传感器,穿越高楼、河流对暴露在外的桥管、架空管进行快速巡检,提高巡检效率和安全性。可见光和热红外图像实时存储,可快速导出至PC端,后续利用无人机智能诊断软件对无人机采集的热红外图像和可见光图像进行智能化处理,使其能简单明了的显示在PC端中,大大提高巡检效率,降低安全隐患。

## 一、无人机系统概述

### 无人机系统组成

项目	固定翼	直升机	多旋翼
结构原理	翅膀形状固定,靠流过机翼的风提供升力	靠1-2个主旋翼提供升力	4个或更多个对称旋翼
优点	自稳定系统,速度快,转向灵活,巡航半径大,滞空时间长	可自由调整姿态,起降灵活,可自由悬停	可悬停、机动灵活、价格较低,经济性较好
缺点	无法实现悬停,价格较贵,起降需要特殊跑道,安全系数低	操控难度大,遥控电子信号容易受干扰,成本较高	续航时间短
应用场合	适用于大型管网的整体普查及灾害应急现场调度	适用于极端气候情况下的巡检	适用于小范围的巡检工作,用于代替人工日常巡检工作

## 二、倾斜测量技术在管道巡检中的意义

目前管道巡检工作通常以人工巡检作为主要手段,即由巡检工沿管道手持测漏仪巡视,检查管道及阀门井周边情况。但人工巡检效率较低,难以对架空管、爬墙管、桥管等管道进行巡查。为了弥补人工巡检的不足,提升巡检效率,迫切需要引入新的技术手段来加强管道巡检。

燃气管线一般呈环状和支状分布,其线路长度通常达到上百公里。人们在巡检作业中主要关注的是管线本身及其周

边1公里范围内的环境情况。因此,作为一种有效的监测手段,倾斜测量技术可以实现对管道沿线的宏观监测。

### 无人机类型及适用场景

无人机系统由飞机平台系统、地面控制系统和信息采集系统三部分组成,其中,飞机平台系统包括动力系统、遥感传感器、信号处理、GPS接收、控制系统;地面控制系统包括计算机、数据处理系统、GPS导航、无线电控制;信息采集系统包括:云台、传感器、无线电控制、甲烷遥测仪。

目前燃气管线所使用的无人机主要有固定翼无人机、无人直升机和多旋翼无人机,可以根据管道作业的需要选择合适的无人机类型。例如中国大疆创新、零度智控、臻迪科技等公司生产的无人机,最大飞行海拔高度约2000~5000m,最大水平飞行速度在15~35m/s间,工作环境温度为-15~50℃,最大可承受风力大部分为6级,在飞行时间方面,多旋翼无人机飞行时间较短,约为15~40min,无人直升机和固定翼无人机飞行时间可达1~3h;发射/回收方式采取弹射/滑跑起飞,开伞/滑跑降落;控制方式可实现自主程控+手动遥控,程控与遥控在飞行中即时切换。

边1公里范围内的环境情况。因此,作为一种有效的监测手段,倾斜测量技术可以实现对管道沿线的宏观监测。

无人机遥感是利用先进的无人驾驶飞行器技术、GPS差分定位技术、遥感载荷技术和遥测遥控通信技术等采集遥感数据图。采用无人机遥感进行管道巡检具有对地观测成像分辨率高、设备机动性好、转场作业灵活以及便于紧急出动作业等优点,不仅可以定期对管道进行常规巡检,而且还可以在发生突发情况后紧急出动并展开应急监测向。因此,无人

机遥感可作为一种有效的监测手段实现对管道线路的监测。

### 三、无人机管道巡检工作模式

无人机平台是任务载荷和测控数据链机载设备的载体，用于为遥感监测系统提供空对地观测平台。

(1) 适航查勘。确定飞行范围，并对现场进行勘察，获取飞行航点 GPS、海拔，寻找合适的起降场地。判断作业当天的天气条件，包括光照、能见度、风速。

(2) 起飞准备。起飞前对各任务载荷设备作基本程序检查，确保采集任务目标的图像和视频设备各项参数正常无误。

(3) 正式飞行作业。地面控制系统对无人机系统进行任务规划、控制无人机起降，实时监测系统的工作状态、发出系统的各种控制指令，实时掌握飞机的姿态、方位、空速、位置等重要状态参数，保证飞机将任务载荷获取的信息实时回传给地面，同时将无人机的下行遥测信息发送至地面站，并将上行遥控信息发送至飞机和任务载荷。

(4) 后期数据处理。对图像、视频等数据进行后期处理，采用无人机影像快速处理软件大疆制图对图像进行处理，先对通过无人机航拍得到的目标管道巡检照片进行预处理，然后将图像拼接成三维实景模型，接着在此三维模型的基础上嵌入地理信息并标注管道符号，生成标准测绘产品，以确保作业人员能够全面掌握所监测管道的地面情况。其中，图像预处理包括畸变校正、几何校正和匀光匀色；图像拼接包含特征点选择、图像拼接、融合处理、镶嵌以及外场控制点校正。在管道正射影像图的基础上管线位置变化、违章建筑和违章施工等现象进行分析，形成专题图册和分析报告，以确保作业人员能够精确掌握所监测管道的安全状态。

### 四、无人机倾斜测量激光监测系统的作业内容

根据作业频率和监测内容的不同，无人机管道遥感监测作业可以分为常规巡检和特殊巡检两利其中，常规巡检通过地面站航线自动规划进行全自动巡检；特殊巡检则为手动操作，对无法自动巡检的环境复杂区域进行人工巡查。管道倾斜测量激光监测是对长距离、大面积的管道通道进行航拍测绘。无人机搭载高清可见光激光甲烷遥测仪，沿航线自动飞行拍照及检测。作业完成后进行后期数据处理，然后生成管道通道区域的全拼图，其分辨率可达 0.2 m，在全拼图的基础上，可以针对以下内容进行分析：

$$\begin{aligned} od &= \text{overlap} \times D \\ x &= D - od \\ t &= x/v \\ D &= (mH \times GSD)/100 \\ t &= x/v = ((imH \times GSD)/100 \times \\ &(1 - \text{overlap})/v \end{aligned}$$

D=照片在飞行方向覆盖的地面距离 (m)

Od=两张照片重叠部分的长度 (m)

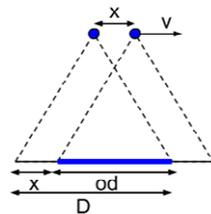
x=相机拍摄的时间间隔 (m)

v=飞行速度 (m/s)

t=两张照片的拍摄间隔时间

i=倾斜度

mH=设像点绝对航高



imH=倾斜像控点航空

overlap=给定的前向重叠度

GSD=地面分辨率

SW=真实传感器宽度 (mm)

FR=真实焦距 (mm)

H=飞行高度 (m)

DW=图像宽度方向上的地表长度 (m)

常规巡检

桥管、爬墙管等难以进入区域内的管道，

通常巡检人员无法接近检测。通过无人机进行巡检飞行作业时搭载高清可见光摄像机及激光甲烷遥测仪，沿管道走向精确规划飞行航线，拍摄巡线视频。通过数据链将视频实时回传到地面站及公司应急平台，使其工作人员能够实时观看巡线视频并监视管道的安全情况。地面站通过视频拼接软件实时生成实景三维模型，并在模型中标注出管道位置和安全区域，以辅助工作人员的监视工作。

特殊巡检

针对传统居民室内燃气泄漏检测可通过无人机搭载激光甲烷遥测仪，在室外透过双层玻璃准确遥测户内甲烷浓度，一旦探测到用户厨房里甲烷值达到了 5ppm 以上，就会立刻报警，并将浓度数据实时上传至后台服务器，检测数据自动存储，具有可追溯性。

### 五、无人机巡检作业在崇明公司的应用

崇明燃气自 2020 年 1 月开始将无人机应用到燃气管线巡检作业中，为最大限度发挥无人机在安检中的作用，公司一开始就制定了周密的计划，主要包括员工培训、制度制定、隐患整改、应急预案等，具体如下：

#### (1) 员工培训

在燃气输配管理工作中无人机的运用不断凸显，为规划公司“人巡+机巡”的管线巡检模式落地，同时充分发挥无人机巡检作用，进一步提高巡检效率，建设一支技能水平较高，业务素质较强的飞行队伍，是崇明公司发展的需要，无人机培训工作自 2019 年开班以来，已累计考取 AOPA1 人，UTC9 人等各类专业的无人机驾驶证。

#### (2) 制度制定

崇明燃气根据《无人机主要应用领域分析》将无人机驾驶员职业分为航拍、管道巡检、测绘等专业。随着崇明公司智慧燃气发展，无人机巡检精细化管理，制定了《崇明燃气多旋翼无人机巡检作业指导细则》，对无人机管理进行全面规范和优化，崇明燃气公司无人机逐步形成技术措施完善，作业流程标准，管理严格规范，设备安全稳定，效率效益提高，具有一流专业管理水平的良好局面。

#### (3) 隐患整改

2020 年至今，无人机载激光甲烷遥测仪共完成了崇明地区管道全线巡检共计 8 次，共巡查采集照片 10000 余张，通过无人机巡检，我们更加及时有效地发现管道警示桩损坏 3 处、阀门井掩埋 8 处，管道安全间距范围内第三方施工 11 处，管道占压 2 处，居民室内泄露 1 处，这些问题都得到及时有效处理。

#### (4) 应急预案

(下转第 19 页)

(上接第 14 页)

为保障巡检作业人员及附近相关人员的人身安全,保障巡检作业范围内空域安全,保障燃气设施的安全,保障无人机巡检设备的安全,崇明公司与保险公司深化合作购买第三方责任险,并制定了无人机飞行安全管理相应的应急预案,预案中包括飞行紧急备降地点等内容,实时掌控,一旦发现突发情况能够第一时间发现并及时处置。

#### 六、无人机的安全发展方向和前景

目前,无人机在燃气行业中的应用还较少,随着我国燃气行业的发展,燃气管道总里程不断增加,管道的安全问题越来越受到重视,因此十分有必要将无人机更广泛地应用于燃气行业中。不断改进和发展无人机技术,使得无人机将来能更多的应用于燃气管道领域。未来无人机采集的数据将向大数据靠拢。在大数据背景下,各行业对大数据的需求越来越高,因而可以建立“智慧燃气平台”,为管线巡检和管线服务搭建解决之道。将无人机巡检过程中捕捉到的各类管线信息融入数据融合应用平台。利用无人机将巡检数据实时回传后,可通过遥感数据快速处理平台,进行三维实景建模和激光传感器等融合,也可以将监控数据和历史数据比对,对两者差异作出分析以及后期数据深度挖掘。同时,平台可依据倾斜测量技术预警模型生成隐患报告,为公司的决策提供支持,极大提升燃气管网隐患排查和故障预警效率。通过倾

斜测量激光巡检技术水平的不断提升和无人机行业应用的日益晋级,无人机倾斜测量激光监测系统在管道巡检中的应用必将得到进一步快速推进发展。

#### 参考文献:

[1]欧新伟,周利剑,冯庆善,李祎,李振宇.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(15):77-78.

[2]金伟,葛宏立.无人机遥感发展与应用概况[J].遥感信息,2009,11(1):32-34.

[3]余志光.遥感与GIS在油气管道线路选择中的应用研究[D].北京:清华大学,2011.

[4]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.

[5]吴智勇,无人机航空摄影测量技术在地形测绘中的应用探析[J].工程与建设,2016,30(01):36-37.

[6]Q\_371000 AILF U01-2019 无人机载激光甲烷泄漏巡检仪 U10-x 企业标准.

[7]李晶,毛华.《石化技术》无人机在油气管道安全领域中的应用探讨,2018.

#### 项目名称:

基于多维化GIS系统和无人机的智慧燃气研究与应用; 课题编号 CKZN2020-5