

利用无人机技术实现天然气管道巡检与监测的研究与应用

修立业 刘 威 陈琳琳（杭州市特种设备检验科学研究院，浙江 杭州 310000）

摘 要：本文针对天然气管道巡检与监测存在的挑战提出了利用无人机技术的解决方案，首先介绍了传统巡检方法的局限性，并详细阐述无人机在管道巡检中的应用优势和技术原理。根据无人机巡检系统的设计与实践，提出了针对不同管道环境的适应性方案。最后通过实地应用案例验证无人机技术在天然气管道巡检与监测中的有效性和实用性。

关键词：无人机技术；天然气管道；巡检与监测；应用；技术方案

0 引言

天然气管道作为能源运输的重要通道在供应安全和运营稳定方面起着关键作用。然而管道运输过程中存在着诸多潜在风险如泄漏、腐蚀、机械损伤等，这些问题如果不能及时发现和处理将可能造成严重的环境污染和安全事故，传统的巡检方法通常依赖于人工巡视或地面车辆巡检存在效率低、盲区多、安全风险高等问题。因此研究一种高效、精准、安全的管道巡检与监测技术显得尤为重要。

1 无人机技术在管道巡检中的优势

1.1 灵活性强

在管道巡检领域无人机展现出极高的灵活性，这源于其独特的机动性和飞行能力，与传统的人工巡检或地面车辆巡检相比，无人机能够以更加灵活和高效的方式执行巡检任务，无人机在管道巡检中的灵活性主要体现在其适应复杂多变的管道布局和地形条件上。管道系统通常布局错综复杂且位于地表之下或跨越不同地形，这对于传统的巡检方式来说可能存在一定的局限性，而无人机则能够轻松应对这种复杂环境，其机动性使得无人机能够在狭窄、曲折的管道之间自如穿梭甚至在垂直方向上进行起降，可以覆盖到传统手段难以达到的区域如山区、河流下游等地形复杂的地方，这种灵活性使得无人机成为处理各种巡检场景的理想选择无论是城市下水道、石油管道还是电力输送线路，无人机的飞行能力使其能够在短时间内覆盖大范围的管道网络巡检，通过自主飞行或预设航线无人机可以高效完成对管道系统的全面监测，可以在较短的时间内完成对整个管道系统的检查提高了检测的效率和全局管控的水平。

1.2 覆盖范围广

无人机在管道巡检中展现出卓越的覆盖范围远远超越传统巡检方法的限制，广泛的覆盖能力得益于无

人机自主飞行或预设航线的机动性，使其在短时间内能够覆盖大面积的管道网络，为整个管道系统提供高效的全面监测，提高了检测效率和全局管控水平，无人机通过自主飞行能够在管道网络中覆盖广阔的地域不受地形限制，传统的巡检方法如人工巡检或地面车辆巡检受限于人力和地面交通条件难以迅速覆盖大范围区域，相比之下无人机可以在空中直接飞越各种地形，包括山区、河流、密集的城市区域等，这种飞越能力使得无人机能够快速到达目标区域不论其地理位置多么偏远或复杂从而提高了巡检的覆盖率。通过预设航线无人机能够更为智能地规划飞行路径使得其在巡检过程中覆盖整个管道系统。这种智能规划能力意味着无人机可以根据实际情况选择最优飞行路线，确保在短时间内高效完成全面监测任务，使整个管道系统在更短时间内得到覆盖。

1.3 操作便捷

无人机的操作便捷性是其在各种应用场景中备受青睐的重要原因之一，这种便捷性体现在多个方面包括操作简易、地形自由和起降平台的灵活性，无人机的操作相对简便，与传统的飞行器相比，无人机的控制系统更加智能化和用户友好化操作人员可以通过简单的遥控器或者专门设计的应用程序来控制无人机的起飞、降落、悬停、飞行路径等动作，这些控制方式大大降低操作难度，无人机操作人员的成本和时间都大幅减少。此外无人机配备各种传感器和自主导航系统能够在飞行过程中实时调整飞行姿态保证飞行的稳定性和安全性。

1.4 高清摄像头与红外热像仪应用

高清摄像头与红外热像仪的应用在无人机管道巡检中为数据采集提供了更为精准和全面的手段，这种先进的技术组合提高了管道安全性也为管道运维和管理提供重要的支持，搭载在无人机上的高清摄像头具

有卓越的图像分辨率和清晰度能够捕捉到管道表面微小的缺陷、裂纹以及其他异常情况。这种高精度的视觉数据为工程师和运维人员提供详细的管道状态信息使其能够快速准确定位并处理问题。而且无人机的高清摄像头能够在不同角度和距离下进行拍摄确保全方位、全程的管道监测。红外热像仪的应用进一步增强了无人机巡检的多层次数据采集能力，红外热像仪能够检测管道表面的温度分布情况迅速发现潜在的热点问题，如漏油、漏气等，这对于及早发现管道潜在的安全隐患至关重要，进一步提高了监测的全面性和实时性。

1.5 智能分析与异常检测

通过图像处理技术，无人机采集的数据能够在智能分析与异常检测方面发挥关键作用从而提高管道巡检的准确性和效率，这一技术利用计算机视觉算法，能够迅速、准确识别管道表面的异常，包括腐蚀、破损等问题，智能分析通过计算机视觉算法实现对图像数据的处理和解析。无人机搭载的高清摄像头捕捉到的管道表面图像被传送至处理单元这些图像包含了管道表面的细微细节。计算机视觉算法通过对这些图像进行分析能够迅速识别出与正常状态不符的区域，这些区域可能是腐蚀、破损或其他潜在问题的迹象，对异常情况的定位是智能分析的重要一环。一旦计算机视觉算法识别出异常区域系统会准确定位这些问题提供详细的坐标信息。这种定位信息对于巡检人员或维护团队至关重要，可以直接指导实际巡检和维修工作。通过无人机提供的定位信息维护团队能够迅速准确到达问题现场，而不必花费大量时间在巡检区域内寻找异常点。

2 无人机巡检系统设计与实现

2.1 无人机平台设计

无人机在管道巡检领域扮演着关键角色因其能够提供高效、安全、且全面的监测解决方案。在设计无人机平台时需要考虑到管道巡检的需求，包括覆盖范围、复杂度以及环境条件等因素，针对管道巡检的需求选择适合的无人机类型，考虑到巡检需要覆盖的范围广阔且有时需要长时间的飞行，因此多旋翼或固定翼无人机是较为合适的选择，多旋翼无人机具有垂直起降的能力可以在狭窄的空间中进行操作，并且能够在较低的速度下悬停有利于精确控制和观察，而固定翼无人机则通常具有更长的续航时间和更高飞行速度，适合用于覆盖更广阔的区域，无人机平台需要具

备稳定的飞行性能，这意味着无人机在不同环境条件下都能保持稳定的飞行姿态不受外部干扰的影响。为了实现这一目标可以采用先进的飞行控制系统和传感器技术如惯性测量单元（IMU）、全向视觉传感器、GPS 导航系统等以确保无人机能够精确地感知周围环境并做出相应的飞行调整。

2.2 图像采集装置选择

图像采集装置是无人机管道检测系统中至关重要的组成部分，选择适当的摄像头和红外热像仪对于准确捕捉管道表面的细微缺陷和异常情况以及监测管道温度变化至关重要，高性能的摄像头设备具有较高的像素和拍摄频率这两个因素对于管道表面细微缺陷的捕捉至关重要，高像素意味着更高的图像分辨率能够更清晰观察管道表面的细节，可在更高放大比例下进行图像分析。保证捕捉到管道表面的快速变化，例如流动液体或者表面细微振动所导致的变化，这种组合能够全面监测管道表面的情况及时发现并记录任何潜在的缺陷，为了更全面监测管道的状态还搭载了红外热像仪，红外热像仪能够检测管道表面的温度分布情况，帮助我们监测管道是否存在温度异常，管道温度的变化可能是由管道内流体的流动、环境温度变化或管道本身的故障等因素引起的，通过红外热像仪可以在图像中清晰看到管道表面不同部位的温度分布情况，发现管道是否存在漏热、局部过热等异常现象。

2.3 数据传输模块设计

数据传输模块在无人机系统中扮演着至关重要的角色，它负责将从无人机采集到的图像数据迅速、高效地传输至地面控制中心以进行进一步的处理和分析，在设计数据传输模块时注重实现高效稳定的性能采用了先进的无线通信技术主要包括 4G/5G 网络和专用的数据链路。选择 4G/5G 网络作为主要的数据传输通道，是因为 4G 和 5G 网络在无线通信领域具有卓越的性能，能够提供高速、大容量的数据传输，通过与地面控制中心建立稳定的通信连接确保图像数据能够及时传输，这种高速通信技术使得无人机快速、可靠地与地面设备进行数据交换为决策提供及时支持。除了 4G/5G 网络，还考虑到专用的数据链路以应对特定环境和任务需求，专用数据链路可以定制化设计，根据具体应用场景进行优化，该设计可以在某些情况下提供更稳定、更可靠的数据传输，特别是在遇到信号干扰或网络拥塞的情况下，专用数据链路的使用可以使系统更加灵活适应不同的操作环境。

2.4 数据处理软件开发

数据处理软件在地面控制中心的应用是无人机系统中至关重要的一环，这些软件的开发旨在实现对从无人机传输而来的图像数据进行接收、处理和分析的任务。在地面控制中心这些软件被设计用于执行多项任务包括但不限于图像处理、数据分析以及异常检测，以下将详细介绍这些软件的功能和特点以及它们在无人机系统中的作用，这些数据处理软件具备图像处理功能这意味着它们能够对从无人机传输而来的图像数据进行处理以提高图像的质量、清晰度和可视化效果。这种处理可能包括去除图像中的噪声、调整图像的对比度和亮度、进行图像增强以及执行图像配准等操作，通过这些处理软件可以确保从无人机获取的图像数据具有良好的质量从而提高后续分析和决策的准确性，数据处理软件还具备数据分析功能。

3 适应不同管道环境的技术方案

针对不同管道环境（如城市区域、山区、水域等）的特点，提出相应的技术方案。在复杂的城市区域可以采用多旋翼无人机低空巡检；在山区或水域，可以利用固定翼无人机进行长距离高空巡检，还可以结合GPS导航、遥感技术等手段提高巡检的定位精度和覆盖范围。

3.1 城市区域－多旋翼无人机低空巡检

在城市区域由于建筑物密集，空间狭窄，适合采用多旋翼无人机进行低空巡检。表1是相关数据和计算。

表1 多旋翼无人机低空巡检相关数据

参数	数值
巡检高度 (H)	50 米
巡检速度 (V)	10 米 / 秒
巡检距离 (D)	5 公里
巡检时间 (T)	计算得出
电池续航时间 (T_b)	30 分钟

公式： $T = \frac{D}{V}$

计算得出巡检时间： $T = \frac{5km}{10m/s} = 500s = 8.33$ 分钟

由于电池续航时间为 30 分钟，因此需要在巡检过程中进行至少两次电池更换或充电。

3.2 山区或水域－固定翼无人机高空巡检

在山区或水域等开阔环境，可以利用固定翼无人机进行长距离高空巡检。表 2 是相关数据和计算。

表 2 固定翼无人机长距离高空巡检相关数据

参数	数值
巡检高度 (H)	500 米
巡检速度 (V)	30 米 / 秒
巡检距离 (D)	50 公里
巡检时间 (T)	计算得出
电池续航时间 (T_b)	120 分钟

公式： $T = \frac{D}{V}$

计算得出巡检时间： $T = \frac{50km}{30m/s} = 1666.67s = 27.78$ 分

钟

由于电池续航时间为 120 分钟，因此在一次巡检中无需进行电池更换或充电。

3.3 结合 GPS 导航和遥感技术的应用

在以上巡检过程中结合 GPS 导航和遥感技术可以提高定位精度和覆盖范围。表 3 是 GPS 定位精度的示例数据。利用遥感技术可以获取管道周围的地形、植被等信息，进一步提高巡检的全面性和准确性。

表 3 GPS 定位精度的示例数据

GPS 定位精度	数值
水平定位精度	1 米
垂直定位精度	1 米

通过以上数据和计算，可以有效规划和执行针对不同管道环境的巡检任务，确保管道运行的安全和稳定。这种综合应用技术方案提高了巡检效率，还降低了操作成本，为管道运维提供了可靠保障。

4 结束语

利用无人机技术更好的实现天然气管道巡检与监测，通过对无人机技术优势的分析和巡检系统的设计，证明了无人机在管道巡检中具有重要的应用前景和市场价值。未来我们将继续深入研究无人机技术在管道巡检领域的应用，不断提升技术水平为天然气管道的安全运营提供更加可靠的保障。

参考文献：

- [1] 马晓涛. 无人机油气管道巡线系统发展和应用策略研究 [J]. 石化技术, 2023, 30(11): 230-232.
- [2] 汪洋, 曾云帆, 高玥等. 川东北山区天然气管道无人机集成应用 [J]. 天然气勘探与开发, 2022, 45(S1): 33-43.

作者简介：

修立业 (1983-)，男，汉族，浙江杭州，本科，中级工程师，研究方向：压力管道检验。