

# 物联网技术在天然气管道泄漏检测中的应用研究

王秋生（山西华新城市燃气集团有限公司，山西 太原 030000）

**摘要：**随着我国天然气产业的快速发展，埋地天然气管道在能源传输中扮演着越来越重要的角色。然而，由于管道老化、腐蚀等原因，泄漏事故时有发生，威胁着人民生命财产安全和社会稳定。随着国内对石油天然气的需求量日益增大，长输管道的总里程也在快速增加。石油天然气泄漏不但会导致大量的能源消耗、环境污染，而且还会引起火灾、爆炸等事故，对公众的生命财产构成了极大威胁。因此，为了保证石油天然气长输管道的正常运营，必须进行高效泄漏检测技术的研究与应用。因此，针对埋地天然气管道泄漏检测技术进行了深入研究，分析了现有检测技术的优缺点，并提出了物联网技术在天然气管道泄漏检测中的应用策略，以期为我国埋地天然气管道的安全运行提供技术支持。

**关键词：**物联网技术；天然气管道；泄漏检测；应用研究

随着城市化的加速发展，天然气作为清洁能源在城市燃气供应中扮演着越来越重要的角色。然而，天然气管道泄漏事故时有发生，给人民生命财产安全带来严重威胁。石油天然气长输管道是我国能源运输的主要通道，其安全运营关系到能源和社会的稳定。但长输管道所处的地域环境较为复杂，加之管道材料、施工质量、腐蚀及第三方损害等原因，极易造成管道泄漏。所以，对其泄漏原因进行深入研究，探索出一些高效的检测方法，对于及时控制和预防泄漏事故具有重要意义。本文对物联网技术在天然气管道泄漏检测中的应用情况，旨在为提高城市燃气系统的安全性提供参考和指导。

## 1 物联网技术概念分析

物联网概念源自突尼斯信息社会世界峰会上发布的一篇报告，即《ITU 互联网报告 2005：物联网》，物联网就是通过信息化的技术手段将物与物链接起来，是在互联网的基础上得以延伸和发展的物与物信息之间的交流。物联网技术是信息技术和通信技术的融合，通过将物理世界与数字世界相连接，实现物与物、人与物之间的智能交互。物联网技术的核心在于“物”的互联互通。通过传感器和网络技术，物联网可以实时采集和传输各种物理数据，如温度、湿度、压力、位置等，并将这些数据传输到云端进行处理和分析。这些数据可以用于各种应用场景，如智能家居、智能交通、智能医疗、智能农业等，从而提高效率、降低成本、提升生活质量。

## 2 石油天然气长输管道的泄漏原因分析

### 2.1 施工原因

在石油天然气长输管道中，施工不合理是造成泄

漏的主要原因。在工程施工中，由于焊缝质量差，防腐层损坏，管道安装不当等原因，都有可能造成泄漏。在实际生产中，容易产生裂纹、未熔合、气孔、夹渣、飞溅和弧坑等问题。另外，若防护措施不当，如防护涂料不够厚、阴极防护体系不完善，同样会造成管道的腐蚀，从而引起泄漏。

### 2.2 管道腐蚀原因

在石油天然气长输管道中，管道腐蚀是造成泄漏的又一重要因素。腐蚀原因很多，主要有大气腐蚀，化学腐蚀，电流干扰腐蚀，微生物腐蚀和应力腐蚀等。由于管道与土壤、水、湿、冷气体等介质的直接作用，或由于管道内输送气体和液体中的腐蚀性介质，都会造成内腐蚀。另外，若管道上有漏涂或其他缺陷，则会受到高压线路产生的交流杂散电流影响，使管道阴极防护效果受损，从而增大管道的腐蚀风险<sup>[1]</sup>。

### 2.3 阴极保护失效的原因

首先，阳极材料性能下降是普遍存在的问题，阳极易因腐蚀、老化或设计缺陷等原因而发生故障，从而使其失去充分的防护能力。其次，电源或控制系统发生了异常，则会造成整个装置不能稳定保持在规定的电压值。另外，由于阳极地床的电阻率变化，如土壤电阻率的变化、焦炭降阻材料性能下降或失效，以及阳极地床发生气阻现象等，也会影响阴极保护效果。

## 3 天然气管道泄漏检测的重要性与挑战

### 3.1 泄漏危害及其影响

能源是一个国家发展工业、农业、国防和科学技术等的重要物质基础，人们对能源的需求与日俱增，也导致了我们对石油和天然气能源需求的爆炸性增长。但是，由于石油和天然气等资源的地理分布不均

衡,以及资源的日益短缺,油气储存及运输研究已成为社会各界关注的热点问题。近年来,由于管道运输与生俱来的低成本、节能、供给稳定、高安全性等诸多优点,管道输送已成为最重要的油气运输方式之一。但是伴随着长时间运行,受介质和管道逐渐自然老化的影响,管道泄漏日趋频繁。更为严重的是,天然气管道输送的是有毒有害、腐蚀性高且易燃易爆的危险性介质,一旦发生泄漏不但会污染环境,还会引起火灾、爆炸等事故,对人民的生命及财产造成极大损害,可能导致恶劣社会影响。因此,天然气管道泄漏的检测及及时定位研究具有极其重大的意义。

### 3.2 泄漏检测的技术难点

在石油天然气长输管道泄漏检测中,人工巡检是一种常规检漏方式,需要巡检人员携带专用检验仪器,沿管道进行周期性巡视。该方法具有操作简便、直观等特点,能及时地检测出管道泄漏,避免违章施工和其他一些安全问题。巡检人员可以使用如瓦斯检测器之类的便携式检测设备,也可以通过观测地表上的油污、植物变化等来确定有没有泄漏。另外,在管道中加入一些特殊挥发性成分,当管道出现泄漏时,就会随着气体一起泄漏出去,由巡检人员利用相关的检测设备对其进行检测,进而定位泄漏部位。但是,人工巡检也存在着一定的缺陷。这种方法费时费力,而且效果不佳。

## 4 物联网技术在天然气管道泄漏检测中的应用意义

### 4.1 有利于提升泄漏检测效率

在天然气长输管道线路的日常运营中,第三方损坏、自然灾害造成的损坏以及管道的老化和腐蚀等问题一直是影响管道正常运营的主要因素。在测试城市地下管道时,使用最先进的网络摄像头安装的电视控制设备,尤其爬行设备和灯光系统,可以完全由这些操纵者操作以达到控制,操作具有一定的简单和方便。可以在有限的时间内完成地下管道的拍摄,问题的记录,摄像机的旋转和定位。创建的图像质量也很高,文本编辑功能也很高。使用这些设备来探测地下天然气管道,通过爬行设备系统,摄像机进入地下管道系统,然后摄像机在地下管道内部接收图像,然后及时将图像传输到设备控制台。此外,它还指出了控制图像形成的爬行系统。最后,系统控制中心,控制台的作用是,在检测过程中使用的所有设备都被用来发出时钟信号来执行前后爬行的系统,摄像机提供了对图

像的照明和对一系列过程系统中的数据传输的影响。物联网技术为了保证管道的安全,将入侵报警、渗漏检测等多种安全技术集成起来,构建一套完整的智能化安防监测平台,对常见的入侵报警和渗漏检测技术进行了分析,确定了物联网技术在天然气管道泄漏检测中的应用前景<sup>[2]</sup>。

### 4.2 有利于提升泄漏检测效果

天然气是具有广泛应用前景的清洁能源,然而在其储运过程中的管路泄漏问题一直是一个重要安全难题。针对天然气储运环节中的管路泄漏问题,采用物联网技术方法进行泄漏检测可以更早地发现泄漏问题并迅速修复,极大地降低了天然气泄漏的可能性以及对环境和人类健康带来的影响,进而有效提升检测效果。

## 5 物联网技术在天然气管道泄漏检测中的应用策略

### 5.1 技术创新与集成应用

物联网技术的广泛应用为天然气管道泄漏检测提供了强有力的支持。通过将各类传感器与互联网连接,形成一个覆盖整个天然气管网的实时监控系统,物联网可以全天候对燃气管道的压力、温度、流量等参数进行实时监测,及时发现异常情况并预警。在管道泄漏检测方面,物联网技术能够自动收集并处理大量数据,提供精准的泄漏监控报告,帮助燃气公司快速应对突发事件。

在应用层面,物联网技术不仅能够自动监控泄漏,还可以与智能调度系统相结合,实现远程控制。例如,当检测到某处燃气管道存在泄漏风险时,系统可以自动关闭该段管道的阀门,防止事故扩大。同时,物联网还能够通过云计算平台对管网数据进行大规模分析,预测未来可能发生的泄漏点,提前进行维护,避免事故发生。这种主动防护模式不仅提升了管网的安全性,还降低了燃气运营的成本,极大提高了天然气管道的管理效率。目前可以应用于输油管道的泄漏检测方法主要有质量/体积平衡法、应用统计法、负压波法、瞬态模拟法、分布式光纤法和音波法等。评价一种泄漏检测方法的优劣,主要通过八项评价指标:灵敏性、定位精度、实时性、可靠性、误报率、漏报率、适用性、经济性。表1~3为几种泄漏检测技术对比。

### 5.2 智能监测系统框架设计

智能监测系统是现代天然气管道泄漏监测的重要手段,它结合了传感技术、无线通信技术和数据处理

表 1 音波与光纤泄漏检测方法的技术对比

对比项目	音波检测法	分布式光纤检测法
监控对象	管线内部情况, 如音波和管道外部情况检测	对管道外部情况(周围地质变化状况、施工带来的振动、应变)的检测
预警类型	能够实现预警	能够实现预警
无中继最大检测范围	0 ~ 50km	0 ~ 60km
40 km 内定位精度	±30m	±50m
经济性	安装数据传输和音波传感器以及配套的软件系统, 投资高	安装数据传输和光纤传感器以及配套的软件系统, 投资高
主要优点	误报率低, 定位精度高, 适应性好, 检测距离长	可用于管道铺设环境的地况检测, 为重大地质异常变化情况提供提前预警。
主要缺点	易受外界的干扰影响, 对消噪滤波要求高	施工维护不便, 光纤震动传感器属精密电子仪器, 精确性要求高, 精确度直接影响检测效果。

表 2 基于音波与流量以及压力泄漏检测方法的技术对比

功能	音波	流量	压力
反应时间	非常快	非常慢, 且受漏洞大小影响	慢, 且受漏洞大小影响
泄漏位置	准备	不准确	无法计算
流体静止	功能不变	失去功能	功能不变或失去功能
误动作	非常小	非常多	非常
可侦测距离	长或较长	较长	短
可测漏孔径	小	非常小(需长时间累计, 且要求长期之稳态操作)	大
实用性	非常高	低	非常低
初始成本	高	较高(须有流量计)	低
维修费	非常低	高	非常低
测试	非常快	非常慢	慢
通讯中断	可继续监控管道	失去作用	失去作用

表 3 几种检测方法对比

检测方法	敏感性	定位精度	响应时间	适应能力	评估能力	连续监测
质量 / 体积	差	差	较快	不能	弱	能
负压波检测法	较好	较好	快	不能	弱	能
统计检测法	较好	较好	中等	能	较强	能
瞬态模拟法	较好	较好	较快	能	较强	能

算法, 实现了对天然气管道的实时、远程监测和泄漏诊断。智能监测系统首先通过传感器网络获取管道运行数据, 然后利用无线通信网络将数据传输至数据处理中心。数据处理中心对数据进行预处理和特征提取, 运用机器学习或模式识别等算法对异常数据进行识别和分类。一旦检测到泄漏信号, 系统会立即触发报警机制, 并通过定位算法确定泄漏点的具体位置。同时, 系统还可以将相关信息发送至管理人员的移动设备或监控中心, 以便及时采取应对措施。基于物联网技术的智能监测系统可应用于入侵预警、泄漏监测、断丝监测、沉降测量四大领域, 能有效捕捉威胁到管道安全的事件, 并对其进行精确定位<sup>[3]</sup>。

智能监测系统利用光纤作为传感器, 通过与解码器连接, 实时监测传输的激光参数, 实现对环境温度、应力、振动、压力、声音、位移等参数的监测。当管道周围发生地质灾害、外来入侵或管道泄漏等事件时,

光纤可能会受到拉伸或温度变化的影响, 导致其表面粗糙度、应变、温度等物理量发生变化。这些变化会在波形图上直观反映出来。通过分析波形图并将其输入到可视化软件中, 操作人员可以实时了解事故的类型、强度和位置, 从而采取适当的应对措施<sup>[4]</sup>。

为了减少漏警率, 有必要对管道附近的各种事故进行逐个识别, 识别出管道周边的日常行为, 并对其造成危害进行识别。在采集管道周边的环境噪音数据基础上, 构建大型管道环境噪音数据库, 采集管道周边环境噪音的详细资料, 并依据各探测信号的特性将其划分为若干类别, 并利用管道内采集的监测数据, 对管道周边区域的监测数据进行分析, 并对管道内的各类行为及事件进行建模, 从而实现管道周边事故的精确辨识。所以大部分的产品在完成之后都要进行一段时间的调试, 这些设备的重点在于对周围的噪音进行识别, 并对周围的噪音进行建模, 并对周围的噪音

以及危险事件进行自动的保存。

### 5.3 自动化巡检与实时监控

天然气管道泄漏自动化巡检与实时监控系统，综合利用负压波法、流量平衡法和实时模型法等技术，检测泄漏并准确定位漏点。适应各类工程需求，具有技术先进、性能可靠，性价比高等优点。当管线发生泄漏时，泄漏点的压力突然下降，压力波由泄漏处向上、下游传播，由于管壁的波导作用，压力波传播过程衰减较小，可以传播相当远的距离，传感器能检测出压力波的到达时刻。同时自动化巡检与实时监控系统还辅助了流量平衡法，进一步提高泄漏探测的灵敏度。流量平衡法的原理是采用多级流量平衡的方法，可对不同时间段的流量数据进行平均计算，不同的时间段能够检测不同大小的泄漏量，通过调整运算时间间隔，进行多重时间平均值计算，运算时间间隔越长可检测到的泄漏越少，同时系统能够自动监测管道运行状况，可建立管道停留时间的平均周期，利用统计分析技术，可以明确判断管道是否发生泄漏。

### 6 结束语

总而言之，石油天然气长输管道泄漏检测是一项涉及材料、施工、环境和管理等多因素的系统性工程，对其成因进行深入研究，采取适当的检测方法，能有效改善其定位精度和时效性。配合着物联网技术方案，快速发现管道中的泄漏位置，配合着不同的声波信号，为泄漏处理奠定坚实的信息保障，从而使石油天然气长输管道运行能够具备较强的稳定性。

#### 参考文献：

- [1] 蔡昌新,易康,廖锐全.长输油管道泄漏检测与定位技术研究进展[J].科学技术与工程,2023,23(24):10177-10189.
- [2] 刘华.石油天然气管道储运的安全管理探讨[J].石化技术,2023,30(08):135-137.
- [3] 王建华.天然气管道泄漏检测技术现状与发展趋势[J].石油学报,2020,41(3):123-129.
- [4] 赵强.人工智能在天然气管道安全监测中的应用探讨[J].自动化与仪器仪表,2021,42(6):98-105.

