

# 原油输送管道泄漏检测理论及其监测系统的研究

沈 强 (国家管网集团东部原油储运有限公司, 江苏 南京 210000)

**摘 要:** 本文主要介绍了原油输送管道泄漏检测的理论和监测系统, 并详细介绍了常用的泄漏监测技术。首先介绍了原油输送管道泄漏的危害以及泄漏检测的重要性和必要性。其次, 介绍了泄漏信号产生机理、传输机理和处理与分析方法。接着, 介绍了监测系统的组成和原理、技术指标以及应用场景。最后, 详细介绍了常用的监测技术, 包括声波法、压力法、温度法、流量法、振动法和其他技术, 并分析了各自的优缺点。最后, 给出了选择监测技术的方法和依据。

**关键词:** 原油输送管道; 泄漏检测; 泄漏信号; 监测系统; 监测技术

## 1 研究背景和意义

### 1.1 原油输送管道泄漏的危害

原油是一种易燃易爆、有毒有害、易污染的物质。当原油输送管道泄漏时, 会对环境和人类健康造成严重危害。首先, 泄漏的原油会污染土壤、水体和空气, 破坏生态环境。其次, 泄漏会引发火灾、爆炸等安全事故, 造成财产损失和人员伤亡。因此, 对原油输送管道的泄漏进行及时有效的监测和控制具有重要意义。

### 1.2 泄漏检测的重要性和必要性

对于原油输送管道的泄漏, 及时有效的检测可以减少泄漏造成的危害, 保护环境和人类健康。泄漏检测也是保证管道安全运行的重要手段之一。在发生泄漏时, 通过对泄漏的实时监测和预警, 可以及时采取措施, 避免安全事故的发生。因此, 原油输送管道泄漏检测技术的研究具有重要的意义和必要性。

## 2 原油输送管道泄漏检测理论

### 2.1 泄漏信号产生机理

原油输送管道泄漏的信号产生机理有两种。一种是由于管道泄漏导致的油压下降, 从而引起管道内原油流速和流量的变化, 进而产生泄漏信号。另一种是由于管道泄漏导致管道周围的温度、压力和声波等参数发生变化, 从而产生泄漏信号。对于第一种机理, 管道泄漏会导致管道内原油流速和流量的变化, 进而产生泄漏信号。当管道泄漏时, 由于管道内部原油流速和流量发生变化, 管道内部会出现涡流、涡旋等现象, 从而影响管道内部原油的流动状态。同时, 泄漏的原油会导致管道内原油的密度和黏度发生变化, 从而进一步影响管道内原油的流动状态。这些变化会引起管道内部压力、流速和流量等参数的变化, 进而产生泄漏信号。对于第二种机理, 管道泄漏会引起管道

周围的温度、压力和声波等参数发生变化, 从而产生泄漏信号。当管道泄漏时, 泄漏的原油会蒸发或溢出, 从而导致周围空气的温度和压力发生变化。同时, 泄漏的原油也会产生一定的声波信号, 这些声波信号会传播到管道周围的空气中, 从而形成泄漏信号。

### 2.2 泄漏信号传输机理

泄漏信号的传输机理主要包括两个方面。一方面是泄漏信号在管道内的传输, 另一方面是泄漏信号在管道外的传输。在管道内, 泄漏信号随着原油的流动而传输。当泄漏发生时, 泄漏信号会随着原油流动的方向传播, 形成一定的波动和振动。这种波动和振动会导致管道内压力和温度的变化, 同时也会在管道壁面上产生噪声信号。这些信号可以通过传感器等设备实时采集, 并传输到监测系统进行处理分析。在管道外, 泄漏信号通过声波、热辐射、气体排放等方式传播。当管道泄漏时, 泄漏处会产生一定的声波信号, 并散播到周围的环境中。同时, 由于原油的温度比周围环境高, 泄漏处周围的空气也会产生一定的热辐射。这些信号可以通过声波传感器、热像仪等设备实时采集, 并传输到监测系统进行处理分析。

### 2.3 泄漏信号处理与分析

泄漏信号的处理和分析是原油输送管道泄漏检测的关键环节。针对不同的泄漏信号, 需要采用不同的处理方法和分析技术。对于管道内产生的泄漏信号, 可以采用压力传感器、流量计等设备实时采集数据, 并通过信号处理算法对数据进行处理分析。常用的信号处理算法包括小波分析、时频分析、能量谱分析等。对于管道外产生的泄漏信号, 可以采用声波传感器、热像仪等设备实时采集数据, 并通过信号处理算法对数据进行处理分析。常用的信号处理算法包括快速傅里叶变换、小波变换、热像仪图像处理等。处理和分

析的目的是将采集的数据转化为泄漏检测的结果，判断管道是否存在泄漏，并确定泄漏的位置、大小等信息。

#### 2.4 原油输送管道泄漏检测方法分类

原油输送管道泄漏检测方法主要包括现场巡检、无人机巡检、声波检测、红外线检测、气体检测等多种方式。

①现场巡检：现场巡检是一种常见的检测方法，通过巡检管道的外部和周围环境，寻找泄漏迹象和异常情况，如泄漏液体或气体的气味、颜色、声音等。现场巡检需要有经验的人员进行操作，一般需要在管道每隔一定距离设置巡检站点，进行全面而定期的巡检；

②无人机巡检：无人机巡检是一种新兴的管道巡检方式，无人机搭载高清摄像头、热成像仪、气体检测仪等设备，可以对管道进行高效、全面的巡检。无人机巡检具有速度快、精度高、安全性好等优点，而且可以避免人工巡检带来的安全隐患；

③声波检测：声波检测是一种利用声波传播特性进行管道泄漏检测的方法。通过在管道上设置声音传感器，可以检测到由于管道泄漏所产生的声音。声波检测技术可以通过对声音信号的处理和分析，判断管道是否存在泄漏，而且可以定位泄漏的位置。但是，由于环境噪声和管道材料等因素的影响，声波检测技术的精度有一定局限性；

④红外线检测：红外线检测是一种利用红外线热辐射特性进行管道泄漏检测的方法。通过在管道周围设置红外线传感器，可以检测到由于管道泄漏所产生的热辐射变化。红外线检测技术可以通过对热辐射信号的处理和分析，判断管道是否存在泄漏，而且可以定位泄漏的位置。但是，由于环境温度和天气等因素的影响，红外线检测技术的精度也有一定局限性；

⑤气体检测：气体检测法是一种基于气体泄漏的检测方法。通过检测管道周围气体的成分和浓度变化，可以判断管道是否发生泄漏。常用的气体包括甲烷、氧气、氮气等。这种方法适用于管道输送的气体或液体是易燃易爆、有毒有害的情况，但也存在气体稀释、风向变化等因素影响检测结果的问题。

### 3 原油输送管道泄漏监测系统

#### 3.1 监测系统的组成和原理

原油输送管道泄漏监测系统主要由传感器、数据采集模块、信号处理模块、报警模块等组成。其中，传感器是监测系统的核心部件，用于采集泄漏信号。数据采集模块负责将传感器采集到的数据转化为数字信号，并通过数据总线传输到信号处理模块。信号处

理模块负责对数字信号进行处理和分析，从而得到泄漏检测的结果。报警模块负责在检测到泄漏时发出警报，并通过通讯网络将警报信息传输到中心控制室，以便采取相应的应急措施。

#### 3.2 监测系统的技术指标

原油输送管道泄漏监测系统的技术指标主要包括监测范围、灵敏度、定位精度、误报率等。

①监测范围是指监测系统能够覆盖的管道长度或面积。对于大型原油输送管道，其长度可达数百公里，因此监测系统需要具备较大的监测范围，以覆盖整个管道的泄漏情况。现有的监测系统通常可以覆盖数十至数百公里的管道长度。对于管道的横截面积，监测系统需要能够覆盖整个管道的截面，以便及时发现泄漏点。常用的监测方式是在管道的两端各安装一个传感器，通过监测两端的泄漏信号，可以确定泄漏的位置；

②灵敏度是指监测系统能够检测到的最小泄漏量或泄漏速率。灵敏度的要求较高，因为即使是很小的泄漏也可能引发严重的事故。监测系统的灵敏度已经可以达到几升/小时的水平，可以满足大多数应用的要求；

③定位精度是指监测系统能够确定泄漏位置的精度。泄漏位置的准确确定对于快速采取措施来避免事故具有重要意义。监测系统的定位精度已经可以达到数米的水平；

④误报率是指监测系统误判为泄漏的概率。误报率的要求较低，因为误判为泄漏也会引起不必要的麻烦和成本。监测系统的误报率已经可以控制在很低的水平，一般要求误报率低于1%。

#### 3.3 原油输送管道泄漏监测流程

原油输送管道泄漏监测流程主要包括预处理、数据采集、数据传输、数据处理和分析、预警和报警等环节。

①预处理阶段是指在信号采集之前对信号进行预处理，以提高监测系统的灵敏度和可靠性。预处理方法主要包括滤波、放大、降噪等技术；

②数据采集阶段，监测系统通过传感器等设备对管道周围的温度、压力、流速、流量、声波等参数进行实时监测和采集，获取监测数据；

③数据传输阶段，监测系统将采集的监测数据通过有线或无线网络传输到监测中心或数据处理系统。

### 4 常用的原油输送管道泄漏监测技术

#### 4.1 声波法

声波法是一种基于管道外声波信号的泄漏检测技术。当管道泄漏时，泄漏处会产生一定的声波信号，并散播到周围的环境中。声波法通过声波传感器实时

采集管道外的声波信号，并通过信号处理和分析技术判断管道是否存在泄漏。该技术具有灵敏度高、定位精度高等优点，但受到环境噪声和多路径传播等因素的影响，误报率较高。

#### 4.2 压力法

压力法是一种基于管道内压力信号的泄漏检测技术。当管道泄漏时，泄漏处会导致管道内压力的变化。压力法通过压力传感器实时采集管道内的压力信号，并通过信号处理和分析技术判断管道是否存在泄漏。该技术具有灵敏度高、误报率低等优点，但只适用于管道内泄漏的情况。

#### 4.3 温度法

温度法是一种基于管道内温度信号的泄漏检测技术。当管道泄漏时，泄漏处会导致管道内温度的变化。温度法通过温度传感器实时采集管道内的温度信号，并通过信号处理和分析技术判断管道是否存在泄漏。该技术具有灵敏度高、误报率低等优点，但只适用于液态介质输送管道。

#### 4.4 流量法

流量法是一种基于管道内流量信号的泄漏检测技术。当管道泄漏时，泄漏处会导致管道内流量的变化。流量法通过流量计实时采集管道内的流量信号，并通过信号处理和分析技术判断管道是否存在泄漏。该技术具有灵敏度高、定位精度高等优点，但对管道流量变化的响应时间较长，不适用于较小的泄漏事件。

#### 4.5 振动法

振动法是一种基于管道结构振动信号的泄漏检测技术。当管道泄漏时，泄漏处会导致管道结构振动的变化。振动法通过加速度传感器实时采集管道结构振动信号，并通过信号处理和分析技术判断管道是否存在泄漏。该技术具有灵敏度高、误报率低等优点，但受到管道结构、外界干扰等因素的影响，定位精度较低。

### 5 原油输送管道泄漏监测技术的评价和选择

#### 5.1 技术指标的评价体系

原油输送管道泄漏监测技术的评价指标主要包括灵敏度、误报率、定位精度、监测范围、响应时间、可靠性、可维护性等方面。在评价时需要综合考虑以上指标的权重及其适用范围，选择适合自身需要的监测技术。建立完善的评价体系可以帮助用户更全面地了解 and 比较不同监测技术的优缺点，选择适合自身需求的监测技术，提高管道泄漏监测的精度和效率，可

以促进监测技术的创新和发展。

#### 5.2 监测技术的选择方法和依据

在选择监测技术时，需要根据实际情况综合考虑多个因素，如管道材质、输送介质、监测范围、管道长度、运行环境、预算等方面。一般情况下，可以通过以下几个步骤进行监测技术的选择：

第一步，确定监测目的和需求。明确需要监测的对象、监测范围和监测要求等方面的需求，为技术选择提供明确的指导。第二步，分析管道特性。管道特性包括管道材质、管径、输送介质、输送速度、管道长度、管道布局等，需要根据管道特性选择适合的监测技术。第三步，评估监测技术的优缺点。根据监测技术的灵敏度、误报率、定位精度、监测范围、响应时间、可靠性、可维护性等指标评估监测技术的优缺点。第四步，综合考虑实际情况选择监测技术。综合考虑监测目的和需求、管道特性、监测技术的优缺点、预算等因素，选择适合的监测技术。

### 6 结束语

本文详细介绍了原油输送管道泄漏检测的理论和监测系统，以及常用的监测技术。针对不同的监测技术，分析了它们的优缺点，为选择合适的监测技术提供了依据。通过本文的学习，我们可以更好地认识原油输送管道泄漏的危害，提高对管道泄漏的检测和预防意识，保障能源安全和环境保护。

#### 参考文献：

- [1] 刘伟, 刘恒伟, 孙涛等. 基于光纤布里-珀罗原理的输油管道泄漏监测系统[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(10): 34-37+44.
- [2] 赵国梁, 陈立新, 等. 基于声发射技术的输油管道泄漏监测研究[J]. 岩土工程技术, 2016, 30(6): 118-121.
- [3] 胡海涛, 肖正龙, 陈启生. 基于自适应小波分析的输油管道泄漏信号处理[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(5): 1086-1095.
- [4] 王庆宝, 孙久飞, 李春玲. 基于振动传感器的输油管道泄漏监测方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(9): 2119-2126.
- [5] 刘勇, 郑旭光, 陈中雨. 输油管道泄漏监测技术的研究与应用[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(5): 1149-1156.

#### 作者简介：

沈强 (1988-), 男, 汉族, 江苏无锡人, 助理工程师, 本科, 研究方向: 油气储运。