

石油管道输油泄漏监测与预警技术研究

王鹏*

国家管网集团北方管道有限责任公司呼和浩特输油气分公司，内蒙古 呼和浩特 010000

摘要：随着社会经济的快速发展，人们对能源的需求量与日俱增，管道运输的建设越来越普遍，既给人们的生产生活提供了便捷的服务，也给人们的生命财产安全带来了挑战。输油管道是实现石油资源高效运输的重要方式，因此我国也逐渐意识到了输油管道对石油业发展的重要性，为保证输油管道的安全运输我国石油业与运输业进行着积极的探索与创新。本文针对石油管道输油泄漏发生的原因与危害性，对石油管道输油泄漏监测与报警技术进行了阐述。

关键词：石油管道输油；泄漏检测；预警技术；环境保护

Research on Oil Pipeline Oil Leakage Monitoring and Early Warning Technology

Wang Peng*

National Pipeline Network Group North Pipeline Co., LTD. Hohhot Oil and Gas Transmission Branch, Hohhot, Inner Mongolia 010000

Abstract : With the rapid development of social economy, people's demand for energy is increasing day by day, and the construction of pipeline transportation is becoming more and more common, which not only provides convenient services for people's production and life, but also brings challenges to people's life and property safety. Oil pipeline is an important way to realize the efficient transportation of oil resources, so China has gradually realized the importance of oil pipeline to the development of oil industry, in order to ensure the safe transportation of oil pipeline, China's oil industry and transportation industry are actively exploring and innovation. This paper expounds the monitoring and alarm technology of oil leakage in the oil pipeline.

Key words : oil pipeline; leakage detection; early warning technology; environmental protection

引言：

由于管道运输具有输送介质方便快捷、成本费用较低等特点，管道运输已经普遍的运用于人们的日常生活生产中，逐渐发展成为五大主要运输方式之一。但是由于管道本身易老化、易腐蚀以及人为因素的影响，使用管道运输的过程中泄漏事件频出，严重影响了管道的正常使用和周围环境。尤其是石油管道运油一旦发生泄漏，不仅会造成自然环境的破坏、自然资源的浪费，还会影响石油企业的正常生产运转，而且石油的易燃易爆性，极有可能会给管道泄漏地区造成极大的经济损失。

一、输油管道泄漏的主要原因

输油管道是石油运输的基础性途径，其一旦发生泄漏事故，就会大大降低管道的运输能力和经济能力。究其原因，主要有以下几个方面：

一是自然腐蚀，输油管道的铺设历经我国各地，地下、海洋、高山、平原具有建设，由于环境相对的复杂多变性，导致了输油管道也存在着各种各样的腐蚀风险。环境的复杂性与管道材料之间可能会存在不匹配性，受到土壤、水质等不同自然环境的冲击与侵蚀时，就会对输油管道的整体性造成影响，在管道的连

接处或者部分结构就会出现被腐蚀的情况，这种腐蚀会加快输油管道被破坏，导致不可恢复的泄漏事故。2013年11月22日10时25分，青岛市“11.22”中石化东黄输油管道泄漏爆炸特别重大事故发生的直接原因是输油管道与排水暗渠交汇处管道腐蚀减薄、管道破坏、原油泄漏，流入排水暗渠及反冲到路面。原油泄漏后，现场施工人员采用液压破碎锤在暗渠盖板上打孔破碎，产生撞击火花，引发暗渠内油气爆炸^[1]。

二是气候变化，气候的变化也会对输油管道造成一定的影响。首先气候会影响土壤的环境，气候的变化会引起土层的密度，使土地的密度不均，会影响输油管道运行的不平衡，成降度

* 作者简介：王鹏（1991-），男，籍贯：河北省沧州市，民族：汉族，职称：工程师，学历：大学本科，研究方向：石油管道输油监测与安全

的不一致，输油管道的连接处受力不均匀，即有可能对切口处造成压力式破坏，发生泄漏事件；其次气候降温，土地会温度降低，进而发生结冻的情况，土地受力程度将会增加，埋藏在土地里的输油管道也会受气温骤降的影响，出现裂痕，导致输油管道泄漏。

三是发生碰撞，发生相互碰撞是输油管道泄漏的最直接原因。随着近几年石油业的发展，在工程施工过程中盲目的追求高效率，忽视细节的影响。将输油管道存放于施工现场，导致在施工的过程中经常会发生与输油管道相碰撞的现象，这一情况对输油管道造成一定的破坏，进而导致了输油管道泄漏的情况频频发生。比如，在进行输油管道的施工作业时，对输油管道的堆放较为随意，并未采取任何的保护措施，导致其经常会被磕磕碰碰，如果是尖利的施工设备，将会对管道造成严重的破坏，即使是不经意的小碰撞也会导致输油管道发生变形，如果力度较大，就会造成漏洞，导致现场泄漏，造成资源的浪费。

四是人为破坏，在管道泄漏的状况中，人为破坏占比较大。人为破坏不仅会造成管道泄漏，如果严重的话还有可能出现管道爆炸，影响整个输油管道的运行与质量，更是会造成人员生命财产安全和自然环境的破坏。比如2013年8月19日，在长庆油田第二输油处庆咸输油管道淳化县秦庄段由于人为的钻孔破坏，导致大量原油泄漏。

二、石油管道输油泄漏的危害

(一) 对生态环境的影响

输油管道一旦发生泄漏就会对周围的环境造成非常严重的影响。一是石油会渗透到土壤与水中，会对土壤和水质造成严重的污染^[2]，破坏当地的生态平衡，阻碍社会经济的发展。如果对地下水造成了破坏，还会对当地的生产生活造成非常严重的影响；二是石油的易燃易爆性影响周围植物、动物的生存与发展，而且这种影响是长久性的、持续性。2010年7月25日，安桥公司下属的6号管道在密歇根州马歇尔地区的湿地内发生破裂。破裂发生在计划停输的最后阶段，管道泄漏长达17小时后运营商才发现这一情况。在管道发生破裂到被发现这段时间内，公司操作人员已经两次启动向6号管线注入了大量的原油，导致3192平方米原油泄漏并渗透周围湿地，继而流入了周边的河流与湖泊。这次泄漏给周边环境带来了严重污染，当地居民被迫疏散到安全区域，两年后清理工作仍在进行，直接经济损失超过7.67亿美元。

(二) 对社会经济的影响

输油管道不仅自然环境造成严重的负面影响，对社会经济的发展也产生巨大的破坏。如果输油管道泄漏，不仅是造成石油资源的浪费，为了对石油泄漏进行清理与修复，还将投入大量的人力、物力、财力支撑，将影响国家能源战略的有效实施，而且极有可能发生爆炸，对当地造成巨大的人员伤亡和经济损失。2013年11月22日10时25分，地处中国山东青岛经济技术开发区的中国石化控股公司管道运输分公司东黄输油管道因泄漏的石油流入市政排水暗沟内，在一个封闭空间的暗沟中油气积聚遇火花而引

爆事故，全程波及了五千多米，共导致62人遇难、136人重伤，多台车辆和设施严重损坏，给排水、电力、供暖等多条管道严重损坏，直接损失高达7.5172亿元。

(三) 对身体健康的影响

输油管道的石油泄漏，对当地人们的身心健康带来了极大的威胁。石油中存在着大量的有毒物质和化学物质，对人体健康都会造成相当程度的破坏。石油的挥发会引发呼吸道系统的病症，还会出现皮肤过敏等情况。如果泄漏的石油量较大，对当地居民的影响是不容忽视的。在2017年7月25日密歇根州马歇尔地区的石油管道泄漏事件中，大约320人因暴露在原油环境下出现了病症。

三、石油管道输油泄漏监测与预警技术研究

管道安全运行的关键点在于如何处理管道泄漏监测与控制。一项安全有效的管道泄漏监测技术需要解决的技术节点是如何正确识别泄漏所发出的信号以及如何准确定位泄漏点所在。运用智能化的手段实时传输管道运行数据，对管道的运行状况进行实时监控，从而提升输油管道的监测质量。就目前而言，我国基本上采用的是硬件或者软件两种监测方法来达到管道输油泄漏监测与预警的效果。

(一) 硬件监测技术的介绍

硬件监测技术主要是使用检测仪器对泄漏时所暴露在土地表面的痕迹以及散发出来的气味等进行检测与预警。

1. 声发射技术

一旦输油管道出现泄漏，石油流过管道会产生一些噪声，在管道内部形成声场，产生噪声波，利用放置在管道外壁的噪声感应器，以及压电转换器检测噪声的强度，及时检测出声音异动，以最快的速度找到输油管道的泄露点。当输油管道出现漏油，石油在流过管道时产生了一些噪声，在管道内部形成了声场，从而产生噪声波，利用放置在管子外壁的噪声感应器，可以利用压电转换器检测噪声的强度，以及时检测出声音，以最快的速度发现输油管道泄漏。对声发射方式的泄漏监测器进行标准化的指标设置，有效的将管道内石油流动的声音、探测器运行的声音、管道外部的噪音以及输油管道泄漏的各种声音进行过滤筛选，分辨出输油管道泄漏信号。

2. 示踪技检漏技术

这是一种基础性的监测技术。通过在输油管道内预先加入一定量的示踪试剂或者示踪气体，一旦输油管道发生泄漏，示踪试剂或者示踪气体就会随痕迹进行追踪，一直流到管道外部，与此同时示踪试剂或者示踪气体会遗留在土壤中。然后对可能是泄漏点的附件土壤进行打孔设点取样，再由测定探头自动化的收集土壤中遗留的，通过示踪试剂检漏仪器对泄漏到管道外的示踪剂进行跟踪与监测，最终确定管道的泄漏点。

3. 热红外成像技术

热红外检测器在实际运行中，一般都可在0.05–0.10°C的温度差异区域内实现热检测。但因为在一般情况下，输油管道的热

介质与外界条件仍具有一定温度上的差别，所以只要输油管道一旦出现热泄露状况，其就必然会对管线周围的自然环境、气温等均产生不同程度上的干扰。而由于长波红外线成像技术带有一定的热穿透力，能高度的识别出泄漏点。因此利用长热红外图像技术可以记录输油管道在正常工作状况下的温度数据，并对变化的温度数值进行即时检测，可以有效的发现输油管道环境的异常变化，通过研究判断输油过程与周围土壤的细微温差成像，确定是否发生泄漏情况。

(二) 软件监测技术的介绍

正所谓软件监测技术，就是用智能化的软件系统对输油管道的压力、流量、温度等数据进行实时监测与提示。在系统内针对性的设置石油泄漏监测与预警指数，对因泄漏找出的输油管道压力、流量、温度等引起的数据变化进行快速的识别与预警，并通过数据分析对管道内石油的运行情况进行实时监控，从而对输油管道的泄漏情况、泄漏点以及泄漏量进行监测与预警^[3]。

1. 压力梯度技术

在石油稳定流动的前提下，发生泄漏会出现压力分布异常的情况，会有正常的直线变化为曲线形式。由于输油管道进口与出口压力的不一致，就需要在输油管道上增加安装压力检测点，通过上游、中游、下游压力梯度数据变化的分析与计算，从而计算出准确的泄漏点位置。

2. 负压波技术

每当输油管道发生泄漏时，泄漏处就会因此出现外部压力差，导致泄漏点的压力值会突然下降。这样泄漏点周围的石油会因为压力差快速的向泄漏点汇聚，从而在管道内就会出现负压波动，在输油管道两侧安装压力传感器，借用传感器接收到输油管道瞬间压力的变动，可以有效的判断泄漏是否会发生，然后更进

一步的去测量泄漏时所产生的瞬间压力波到达管道上下游两端的时间差，加上输油管道内的压力波传输速度，最终计算出泄漏点在管道中的具体位置^[4-5]。

3. 输量平衡技术

输量平衡方法所依据的原理是质量守恒定律。输油管道正常工作状态下，一个时间段下的管线上进出和注入的原油质量一致。在管道两个端口都配置流量计，对管道两端的石油流量与油品进行实时监测与比对，以判断管道是否有发生泄漏的情况。一旦出现渗漏，就会破坏输油管道中油气流动的均衡，管道两个端瞬间就会出现相应改变，出口流速对于入口流速造成的差异，将造成出口流速上涨程度大于入口流速下滑程度的状况。通过对输送差异程度的计算，可以有效的判断出石油泄漏的地点，以及泄漏时间的长短并进一步得出石油泄漏量的多少，同时根据上、下游端口石油流量的变化来核实泄漏情况^[6-10]。

四、结束语

尽管我国的输油管理泄漏监测与预警技术起步较晚，但是在近几年中的到了快速的发展。随着科学技术的不断发展，各式各样的石油产品得以更新换代，输油管道的自动化与标准化能力也得到了大大的提高，输油管道泄漏监测与预警技术的灵敏度与精确度也获得了大大的提升。采用硬件设施与软件设备齐抓共管，有效且可靠的对输油管道泄漏进行实时监测与预警，运用智能化的手段加强对石油泄漏点的定位与报警，以确保石油管道输油的安全运行，减少泄漏事故的发生，能有效的提升整体的经济效益与社会效益。

参考文献：

- [1] 吴同, 邓忠华, 沈亮等. 长距离输油管道泄漏监测技术研究进展 [J]. 油气储运, 2023, 42(03): 259-275.
- [2] 吴同, 邓忠华, 沈亮等. 长距离输油管道泄漏监测技术研究进展及评价体系建立 [J/OL]. 油气储运, 1-22[2024-02-06].
- [3] 高宝元. 输油管道智能化腐蚀泄漏在线监测系统研发应用 [C] // 中国石油新疆油田分公司(新疆砾岩油藏实验室), 西安石油大学, 陕西省石油学会. 2022油气田勘探与开发国际会议论文集 II . 中国石油集团川庆钻探工程有限公司钻采工程技术研究院; 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室; , 2022: 5
- [4] 陈萌. 成品油管道泄漏监测技术应用现状与发展趋势 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(25): 182-185.
- [5] 段婧. 原油管道项目泄漏事故土壤环境影响预测 [J]. 石化技术, 2023, 30(05): 280-281+284.
- [6] 娄屹, 逢燕, 刘赵森. 输油管道泄漏噪声传播特性研究 [C] // 北京力学学会. 北京力学学会第二十九届学术年会论文集. 北京工业大学材料与制造学部; , 2023: 5.[7] 方贵峰. 输油管道泄漏监测技术 [J]. 化学工程与装备, 2021, (11): 238-239.
- [8] 王熙. 输油管道渗漏检测泄漏 [J]. 自动化应用, 2020, (02): 134-135+139.
- [9] 刘珊珊. 基于负压波法输油管道泄漏监控软件的开发 [J]. 北京石油化工学院学报, 2023, 31(04): 40-44
- [10] 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.