

石油天然气长输管道的泄漏原因及检测方法探析

王大治 张传伟 张敬香（国家石油天然气管网集团有限公司山东分公司济南作业区，山东
济南 250000）

摘要：随着石油天然气企业的快速发展，导致长输管道在运行过程中出现泄漏的问题，但是影响泄漏的因素比较多（包括内部和外部因素），如果在石油天然气的长期运行过程中，没有对管道泄漏的原因进行全面检测，就会造成长输管道在运行中出现的更大安全问题，因此，在石油天然气管道运行过程中，要对泄漏问题进行全面检查，然后根据石油天然气运行的实际情况制定合理的检查方案，并建立切实有效的控制措施，确保石油天然气管道长期稳定运行。基于此，本文首先分析了油气管道运输的重要性，然后对泄漏的原因进行了研究，最后提出油气管道运行的检测技术，希望对相关企业的发展有所帮助。

关键词：石油天然气；长输管道；泄漏原因；检测方法

中图分类号：TE88 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）025-0121-03

Analysis of Leakage Causes and Detection Methods for Long-Distance Oil and Gas Pipelines

Wang Dazhi, Zhang Chuanwei, Zhang Jingxiang (Shandong Branch, State PipeNet Group Corporation Jinan Operation Area, Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: With the rapid development of oil and gas enterprises, leakage issues in long-distance pipelines during operation have emerged. However, the factors influencing leakage are diverse (including both internal and external factors). If comprehensive detection of pipeline leakage causes is not conducted during the long-term operation of oil and gas pipelines, greater safety risks may arise. Therefore, during the operation of oil and gas pipelines, it is essential to thoroughly inspect leakage issues, formulate reasonable inspection plans based on actual operating conditions, and establish effective control measures to ensure the long-term stable operation of oil and gas pipelines. Based on this, this paper first analyzes the importance of oil and gas pipeline transportation, then investigates the causes of leakage, and finally proposes detection technologies for oil and gas pipeline operation, hoping to contribute to the development of related enterprises.

Keywords: oil and gas; long-distance pipelines; leakage causes; detection methods

在中国的能源管理中，油气能源占有相当重要的作用，且该行业成本效益也比较高，而且对环境污染比较少的特点，因此，我国在发展过程中，必须对石油天然气的运行进行严格控制，目前石油天然气在长期运输中，由于各种因素的因素（第三方破坏、焊接失效、腐蚀等因素），导致长输管道在运输中出现究州的泄漏问题。在石油天然气长时间运行下，需要使用有效的泄漏检测技术来确定泄漏的位置，并在第一时间对泄漏原因进行控制，以防治更严重的安全事故出现，所以，在石油天然气管道运输过程中，合理的应用泄漏检测技术对我国能源正常运输有着重要的意义。

1 长输管道安全运行的作用

石油天然气管道运输方式具有封闭、连惯的特点，长输管道运输方式可以显著降低油气运输过程中出现的泄漏和爆炸发生的频率，同时还保证了能源的正常共计。石油天然气长输管道主要位于地下，可以有效防止极端气候条件和人为破坏对运输过程中造成的影响。

响，从而保证石油天然气运输长期稳定的运行。在石油天然气长输管道运输过程中，引入高科技术，不仅能实施监测长输管道运行情况，还能及时发现潜在的安全风险，并进一步确保长输管道运输的安全性，该技术的应用不仅保证了人民的生命和财产安全，还确保社会稳定的推进，从而促进我国经济健康发展，因此，油气管道的安全运行不仅确保了国家能源的可持续供应，而且对社会经济发展也起着重要作用。石油天然气是一条复杂的运输线路，每年可输送数千万吨石油天然气，同时还满足大规模能源运输的需求，因此，使用长输管道输送石油天然气，不仅可以提高运输的效率，还能保证企业健康、稳定的发展。

2 石油天然气长运输管道在运输中泄露原因分析

2.1 防腐因素

我国石油天然气管道都具有良好的防腐绝缘层，在管道运输过程中由于长时间的运行，会出现防腐绝缘层失效的问题，在加上内部和外部因素的影响就会出防腐绝缘层裂化的问题，点蚀是防腐绝缘层裂化的

主要表现行驶，如果在管道内部出现大量的点蚀斑点、腐蚀坑，在与空气接触之后，就会出现管道性能被破坏的问题，前期只显示在表面，如果没有及时进行处理，就腐蚀到管道内部，如果在受到外部的撞击，就会加快腐蚀速度，导致泄漏问题的出现，影响管道的正常运输。

2.2 施工因素

使用工艺不当也是造成石油天然气泄漏的主要因素之一，而导致施工工艺不合理的原因主要包括：第一，长输管道在安装过程中，没有按照设计的图纸和标准进行施工，同时相关人员也没有对管道安装位置进行进一步的检查；第二，长输管道在埋设过程中，自然环境因素（包括土壤中盐的类型、土壤的含水量、土壤密实程度、pH值等）也会影响管道的正常运输。

2.3 管道材质因素

在石油和天然气运输中，管道施工和焊接质量也是造成泄漏问题出现的主要原因，一是管道材料质量不符合要求，二是管道材料问题没有得到足够重视，令人担忧的是在施工过程中，有些企业唯自身利益，使用一些不符合工程建设要求的劣质材，从而对管道允许产生了重大的负面影响，此外，一些施工单位的管理机制与实际工作不相符，同时管道安装工人缺乏符合实际工作的经验，不仅影响了管道焊接的质量，还影响管道的正常运输，甚至有些工程还存在暴力施工问题，不仅增强了长输管道运输的安全风险，还严重威胁人们的人生安全。

2.4 阴极保护因素

在石油天然气管道运输中，阴极保护失效也是一个非常重要的原因，阴极保护原理是一种基于电化学腐蚀原理的保护措施，可以有效地防止腐蚀对管道造成的损伤，同时在延长管道寿命方面发挥着重要作用。在油气管道运行过程中，阴极保护技术已被广泛应用于造管输送过程，外加电流阴极保护和牺牲阳极阴极保护两种方法是目前常见的保护技术，不管采用哪种保护方法，都需要保证管道绝缘层和表面腐蚀漏点都在合理的控制范围内，另外，应定期检查和维护阴极保护系统，不间断供电，保证阴极保护系统的正常运行，如果阴极保护系统失效，就会引起泄漏问题影响管道的正常运输。

3 泄漏检测技术在石油天然气长输管道运输中的应用

3.1 负压波法

负压波法的主要原理是利用瞬态压力降来检测泄漏点，并以特定速度上下移动监测泄漏点，对速度和时差接来确定泄漏的位置，较强的抗衰减特点是该技术的优点同时还具有灵敏度高、反应迅速的特征，可

以利用长期监测的管道运输中，而该方法不适用与因腐蚀穿孔、裂纹等微笑的泄漏环境中，而短距离运输因距离短产生的信号不强，取法对泄漏位置进行确定。瓦斯管内压力变化大，无法侦测来自泄漏的负波信号，因此应用也受到限制，但为了保证应用效果，采用低电波与负压波结合、负压波与声波结合技术，提高泄漏位置监测的准确性，当长输管道泄漏时，由于液体泄漏，导致泄漏区域的压力急剧下降，泄漏位置的压力向下、上移动，即所谓的负压，然后利用负压确定漏点的位置，下图1显示了负压波原理。

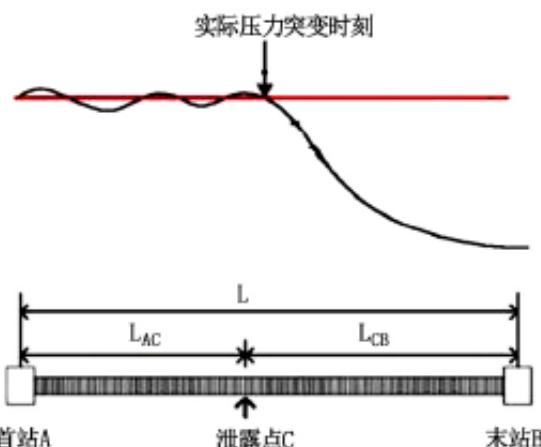


图1 负压波原理图

3.2 直接检测法

随着我国信息技术的广泛应用，长输管道泄漏检测技术也在不断的进行完善和创新，而传统的检测方法逐渐的在向新型的检测方向转移，新的检测方法需要新的科学技术和快速的泄漏位置定位，弥补了传统检测方法的缺陷，保证了石油天然气长期、稳定的运行。而直接检测方法应用广泛，其中包括检查电缆法和检测元件检测法，在泄漏检测过程中，可以利用各种便捷的检测仪器，对长输管道泄漏位置进行检测，这样不仅保证了检测的有效性，还能从根本上避免泄漏事故的发生。同时该检测方法在应用中，要根据现场的实际情况选择正确的检测方法，并在检测环节融入新型的技术模式，从而保证泄漏检测正常进行。

3.3 间接检测法

间接检测可以分为几种类型，比如基于物质平衡的泄漏检测方法，或者使用压力传感器进行检测，这在近年来的泄漏检测中发挥非常重要的作用，基于物质平衡检测方法比较常见，在实际工作中有非常重要的意义，该技术适合大规模或小规模检测环境中；另一方面，放射性检测是一种适用于所有长运输管道的技术，它使用更先进的跟踪技术将放射性物质插入管道，相关人员可以通过跟踪它们来确定泄漏的具体位置^[4]。

3.4 分布式光纤振动检测技术

分布式光纤振动检测技术是石油管道泄漏检测中常用的检测方法，主要原理是测试振动信号的相位变化，对光密度的变化和外部信号的强度作出反应，进而转换成光纤信息，定位石油天然气泄漏区域，同时基于OTDR方式的光纤振动分散技术进行检测，振动信号会对光纤产生外部影响，光谱能量分析可确定管道泄漏位置，该技术可以对天然气管道的外部干扰和入侵造成的危害发出警告，并阻止非入侵破坏事件的发生^[2]。

3.5 模型检测法

模型检测法的应用，主要是利用质量守恒方程、运行方程和能量守恒方程收集物理管道数据和管道压力数据作为边界条件，从而建立管道运行模拟情况，然后算出的数值与管道模型预测数值相比，如果差值在设定的阈值范围内，则证明无泄漏问题，如果相差值大于设定的阈值，则表明该位置出现泄漏问题，进而利用管道泄漏模型对管道泄漏的不确定性进行分析，采用第一瞬态压力波对泄漏的大小进行分析，并确定泄漏的位置。本文利用基本粒子算法对模型参数进行调整，分析了流动模型中参数的不确定性对模型精度的影响，在模型测试的基础上，数学模型的准确性与管网设备的精度密切相关，但该模型无法模拟管道内部运行条件的不断变化，所以该模型很难对管道泄漏问题的较小的地方进行检测^[3]。

3.6 自动检测与定位方法

我国在检测油气管道泄漏的过程中，常用的检测方法是自动检测和定位方法，该方法是利用信息技术与数据收集和监视控制系统的定位技术对泄漏部位进行检测，主要通过质量的动态平衡和压力偏差基本原理来实现对泄漏位置的检测，然后在利用数据收集和监视控制系统石油天然气长输管道进行宣城监测和控制，并收集管道运输中的各项参数（控制仪器、数据、调节参数、测量勘察等），对泄漏位置进行有效监测，从而保证长输管道的正常运行^[4]。

3.7 分布式光纤温度检测技术

分布式光纤温度检测技术基于拉曼原理，当激光束进入光纤时，在特定位置光纤发生异常温度时，散射光的强度就会发生变化，根据测量电缆上光的强度，确定管道运行中的温度，一般先设定变化阈值，对温度异常和泄漏点进行分析，从而确定泄漏的位置点。长输管道在运输过程中如果出现泄漏，就可以根据温度的变化而确定泄漏位置点（唯独升高可以确定石油泄漏的位置，而稳定降低可以确定天然气泄漏位置点）。在正常运行情况下，如果泄漏点在正上方，就会提高分布式光纤温度检测的准确率，如果泄漏出

现在管道两侧，使用该检测技术就会降低对泄漏点位置的确定，即使泄漏发生的部位比较近，也无法准确的找出泄漏点，比如穿孔腐蚀可能泄漏的位置在时钟5点、7点方向，可以使用3根光缆均匀分布在管道（间隔120°）范围内，准确的检测泄漏的位置点，而目前可以在同一根光纤上利用多个或多种传感器，将信息传输集成一体。

3.8 电缆检测方法

电缆检测法主要用于检测管道输送液体油气泄漏，这种方法的优点是可以检测到较少的泄漏问题，并可以准确定位泄漏位置；一般情况下电缆都是一次性，如果该位置发生泄漏，就必须更换该位置的材料，同时还加大了维护的难度，该方法在检测过程中未被广泛应用和推广^[5]。

3.9 压力梯度法

在保证天然气管道正常运行时，管道压力梯度法随长期距离变化而变化，并根据管道变化发生不同程度的泄漏，而压力梯度法可以对管道上下压力的变化进行监测和定位，然而，由于该方法在运用过程中会受传热和粘度的影响出现压力梯度的非线性变化，从而影响检测的准确性，所以，该方法可以用作泄漏监测的辅助措施^[6-7]。

4 结束语

简而言之，石油天然气长输管道在运输过程中，应该重视对泄漏的检测，如果出现泄漏问题要及时进行处理，避免更严重的安全事故发生，本文分析了石油天然气泄漏的一些原因，并对泄漏检测技术进行了研究，希望对石油天然的正常运输有所帮助，进而保证石油天然气安全、稳定的运输。

参考文献：

- [1] 杨换,牟野,褚彦吉.石油天然气长运输管道的泄漏检测以及定位技术[J].中国石油和化工标准与质量,2017,37(19):31-32.
- [2] 王海洋.石油天然气长输管道泄漏检测及定位探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2017,37(18):43-44.
- [3] 邓梁,程诚.石油天然气长输管道泄漏检测及定位探讨[J].石化技术,2017,24(05):190.
- [4] 何绪春.石油天然气长输管道的泄漏原因及检测方法分析[J].化工管理,2017(10):162-163.
- [5] 张龙.解析石油天然气长运输管道的泄漏检测以及定位技术标准[J].中国石油和化工标准与质量,2017,37(01):3-4.
- [6] 刘伟旭,郭武强,成佳兴.石油天然气长输管道泄漏检测及定位措施探讨[J].中国石油石化,2016(21):9-10.
- [7] 吕黎军.石油天然气长输管道泄漏检测及定位研究[J].化工管理,2016(18):42.