

城市天然气管网泄漏检测与定位技术分析

董志成 (山西国新科莱天然气有限公司, 山西 太原 030000)

摘要: 目前, 天然气已经成为城市生产生活的重要能源, 天然气管网的建设日益完善。但由于管道工程的特殊性, 后期运营管理工作会遇到很大的考验, 一旦发生泄漏, 不但会造成巨大的经济损失, 还会造成严重的安全隐患。为了有效地提升管网的运营和管理, 必须建立健全的管道泄漏监测体系, 利用专业技术手段, 减少各种因素对管道泄漏的影响, 获得准确的数据, 从而为工程的顺利进行奠定基础。文章简述了城市燃气管道泄漏检测和定位技术。

关键词: 城市天然气; 管网泄漏; 定位技术

由于城市燃气管道施工环境复杂, 压力低, 分支多, 附属设施多, 运行管理困难, 一旦发生泄漏, 难以快速定位, 造成严重的后果^[1]。针对这一问题, 应根据城市天然气管网的施工特点, 选用合适的技术, 建立健全的故障诊断体系, 实现对管网运行状况的实时监测, 并运用声发射原理, 对管网泄漏进行实时监测, 从而提高对管网泄漏的探测和定位。

1 天然气管网泄漏检测技术的发展

随着科技水平的提高, 管道泄漏检测技术的发展和完善, 目前国内已研究出一套较为完善的检测技术, 但由于其技术复杂, 例如管线介质的种类繁多, 使得检测工作变得非常困难, 因此还没有一种适用于各种管道介质的可靠的测试手段。目前, 管道泄漏的探测技术主要有基于硬件和基于软件的检测方法, 基于硬件的探测技术则主要是通过采用各种物理原理设计的硬件设备, 将其输送到特定的管线上, 从而实现对管线的探测并进行正确的定位。基于软件的探测技术是通过计算机采集技术, 对管道内的流量、压力、温度等进行实时监测、分析, 并编制相应的分析报告, 利用计算机进行精确的检测与定位, 从而提高了检测精度。

2 天然气管网泄漏的特点与泄漏原因

2.1 天然气管网泄漏的特点

与以液态介质为主的管道系统相比, 天然气管网泄漏难以被察觉, 且具有隐蔽性, 特别是细小的泄漏, 不易被发现, 而由于天然气本身就是一种易燃、易爆的气体, 一旦泄漏, 将会带来极大的危险, 严重的可能会导致人员的生命安全。由于气体组成和密度的不同, 地下管线在泄漏后, 会根据周围的环境特征, 沿一定的方向流动^[2]。比如, 天然气的组成以 CH_4 为主, 其浓度比空气低, 泄漏后会上升; 液化气比空气要重, 泄漏后会在较低的地方停留或流动。天然气泄

漏后, 通常会通过管道、裂缝、暖气管道等特殊通道流动。而且地下管道渗漏后, 天然气从地下渗漏到地面需要一定时间, 具有延时性特点, 这就增加了泄漏位置的探测和定位。

2.2 天然气管网泄漏原因

2.2.1 因腐蚀而产生的渗漏

其主要原因是外防腐钢管在施工过程中因施工质量或外部损坏而产生的损坏, 从而使管线与土壤发生直接的化学和电化学腐蚀, 导致阴极保护失效; 长时间暴露在潮湿和腐蚀性的环境中; 由于输送介质中的腐蚀成份, 导致了内壁的腐蚀穿孔。

2.2.2 第三方破坏 TDP

美国能源部于 20 世纪 90 年代提出了 TDP 的概念, 其主要内容有: 在管道周围使用钢铁或金属工具, 例如在管道周围用重型机器进行施工, 管道周围有卡车等的撞击, 管道上有人工钻孔等。

3 天然气管网泄漏检测技术

3.1 基于硬件的检测方法

目前, 以硬件为基础的方法有三种:

一是直接观测法。直接观测法主要依赖于有经验的或受过培训的管道工作人员, 通过对管道进行精确的检查, 可以确定管道有没有泄漏, 这是一种比较简单的检测手段, 但不能对管道进行连续的精确监测, 发现泄漏的实时性较差。

第二个方法是探测球法。探测球技术是近年来兴起的一种新型技术, 其技术主要包括磁通、超声和涡流技术。其应用原理就是通过探测球对管道进行探查, 利用超声波、漏磁等方法对各种工况进行检测、分析, 并形成大量的数据, 然后根据现场的实际情况进行分析, 从而得出是否存在腐蚀、穿孔等问题。用此方法进行检测, 可以获得很高的精度, 但它只是间歇式的,

而且在检测时容易发生堵塞、停运等故障,并且这种检测方法费用较高。

第三种是采用半透式探测管的方法。该方法主要是把探测管埋在管子下方,然后把气体通过真空管吸入监测点进行成分测试。这是一种以扩散为基础的探测技术,它的主要部件是一根半透式探测管,它的内部含有一种特殊的物质,它可以有效地穿透天然气、石油,但又不会渗入水中,从而提高了探测的精度^[3]。当检测管道附近出现了石油和天然气的泄漏,油气就会渗透到探测管道中,在探测管道的一端连接着一个抽气泵,不断地从管道中抽气,并将抽出来的气体送入碳氢化合物探测器,当探测到一定程度的石油和天然气时,就表示有泄漏。这种方法的检测准确率较高,但是检测成本和维修费成本都较高。此外,土壤中存在的气体如沼气等,会造成虚假指示现象,从而导致错误报警。

3.2 基于软件的检测方法

目前常用的基于软件的检测方法有两种:一种是压力点分析。该方法应用范围很广,能够精确地探测气体、液体和某些多相流管线的泄漏,通过对单个测量点的数据的分析,使得该方法易于实施。当管线发生泄漏时,管线的压力会下降,从而破坏原有的稳定环境,从而导致管线出现新的稳态。在这个过程中,会形成一种扩张波,沿着管子的方向以声波的形式传播和扩散,从而能对泄漏点进行详细的记录。第二个是压力梯度法。压力梯度法是指在天然气稳定的情况下,压力分布为一条倾斜的线性分布,一旦出现泄漏,则会使漏点之前的流量增加,从而使压力分布的线性斜率增加。由于管道中存在气体泄漏,管道的对应坡度将进一步降低,管道的压力分布也从直线向折线型转变。在实际运行中,必须不断地进行有效的检验手段创新,以保证管道安全运行。

4 天然气管网泄漏信号检测技术分析

4.1 混沌理论分析

由于城市天然气管网的规模越来越大,内部压力较低,附属设施和分支较多,工作环境噪音也比较复杂,因此,当管线泄漏后,信号信噪很难被探测到,从而耽误了正确的处理时间,从而影响到管线的安全运行。为了有效地探测管线泄漏,必须对泄漏信号进行有效的探测,而采用混沌理论可以很好地解决这一问题。本文提出了一种基于混沌特性的方法,即从强噪声环境中提取出弱有效信号,其基本原理是利用混

沌系统对低信号和低噪声的抗干扰特性,将其精确地探测到被淹没在强噪声环境中的弱信号。

4.2 天然气管网泄漏检测

4.2.1 选择传感器

应用混沌理论对管道泄漏点进行探测时,必须保证所选择的传感器性能优良,并能对泄漏信号进行精确的探测,通常采用位移、速度和加速度等。在此基础上,位移传感器的输出与位移成比例,转速传感器的输出与转速成比例,而加速传感器的输出与加速度成比例。尽管三个特征在理论上可以互相转化,但由于变换会影响到探测的精度,所以要根据实际需要选用不同的传感器^[4]。常用的位移传感器主要用于在振动频率和加速度较低的场合;一般采用转速传感器,其振动频率为10~1000Hz;在加速度计中,一般采用的是加速度传感器,其振动频率为0.1Hz至数千赫兹。

4.2.2 采集数据

本系统由检测管道、声发射传感器、示波器、前置放大器等构成,通过传感器检测泄漏,再由示波器记录各种泄漏。建立了一个试验和测试设备,在管线出口处安装了一个压力计来测量管中的气压,并在试验管线上设置了一个可调整尺寸的泄漏孔,在泄漏点的两边分别安装了两套探测系统。在此基础上,采用AES传感器对泄漏信号进行探测,并对其进行分析和处理。

4.2.3 泄漏检测

当被测信号的频率不确定并且频率很大时,采用混沌算法对其进行处理,必须从信号阈值和混沌振子的实现两个方面进行。在这种情况下,信号预处理,也就是在1~10rad/s的频率之外,将泄漏的信号以混沌振子阵列的形式输入。在对大频率范围信号进行检测时,需要将被测信号乘以 10^n (n 为整数),使其频率压缩到1~10rad/s范围内,然后将压缩信号引入设计好的预制公比为 $q=1.013$ 振子阵列内,确定是否存在相邻振子间间歇混沌现象^[4]。以此来确定所测周期信号频率数值,然后得到的频率乘以 10^{-n} (n 为整数),最终得到被检测周期信号实际频率。

5 天然气管网泄漏定位技术分析

在对泄漏信号进行精确探测后,必须对泄漏点进行定位,从而提高管网的安全可靠性,减少安全风险,减少安全事故的发生。通过对管道泄漏特性的分析,发生泄漏时,泄漏会随着震动而沿管道壁面逐步向两侧传播,从而在泄漏点两端设置振动传感器来探测,

为泄漏点的位置提供参考。

5.1 电缆检测定位方法

工作人员在铺设天然气管线时,应根据管线敷设电缆,对光缆的渗透能力和油溶性都有很高的要求。天然气管线在运行时发生渗漏,泄漏的气体会渗透进管线,引起管线性质的细微改变。而工作人员则可以根据电缆的传输情况,对管道的泄漏进行定位。由于探测与定位技术具有高度的灵活性和严密性,且定位精度高,但其投资费用高昂,若采用电缆覆盖,一旦发生大量气体泄漏,则需要更换,从而产生一定的经济损失。

5.2 探测球定位方法

利用超声波、漏磁等技术,对天然气管线中的管线进行监测,实现对管线泄漏的准确判断和定位。该方法的定位技术精度高,误差少,但检测的时间周期较长,而且在管线中碰到弯头位置时,很容易发生阻塞。

5.3 示踪剂定位方法

在管道所输送的液体中掺入液体示踪剂,一旦发生泄漏,泄漏的物质会随着放射性物质通过分子扩散弥漫到周围的土壤中。但该方法检测反应速度较慢,检测周围环境的变化工作量较大,不能精确定位。

6 国外较成熟的天然气管网泄漏检测与定位技术

6.1 ASI

ASI 总部设在美国德州,从事泄漏领域 20 多年。在监控管道渗漏方面,软件和硬件都处于世界领先地位。ASI 系统中的泄漏探测原理:在油气管线爆炸的瞬间,管线的压力平衡被打破,导致管线中的液体弹性在瞬间释放,从而产生瞬时声波振动。声波以其自身的声速,在管子内部的介质中沿管子的两端传播,经过传感器的收集和检测^[5]。根据声波在各个传感器上的传播时差,可以得到泄漏点的具体位置。每个现场处理机均配备 GPS 接收机,用于探测漏油和定时。ASI 系统的响应速度通常在 1min 左右,位置偏差在 30m 以内。根据 ASI 系统探测原理,本系统有下列缺陷:第一,传感器必须与管道内部的液体进行一定的接触,以便接受管道中的声波信号。由于天然气具有易燃、易爆的特点,所以在管道中安装的传感器必须具有防爆性能,才能确保管道的安全;第二,ASI 系统捕获泄漏声波有时间限制,无法察觉已有泄漏;第三,ASI 系统的定位精度与管道中液体声波的传播速度有关这种速率与各种因素有关,如压缩系数、温度、

粘度等,难以精确测量声波的传播速度,而测量的误差会直接造成泄漏位置的误差;在城市地下天然气管道中,采用 $\pm 30\text{m}$ 的定位精度是非常困难的。

6.2 PAC

美国物理声学公司是一家专业的非破坏性测试仪器公司。探测的基本原理是:在地下管线中有一个漏气孔,由于管内和管内的压力差异,使油、气在管道中涌出时,会发生声发射。利用声发射传感器采集泄漏点两端的声发射信号,通过对其进行分析,得到泄漏点的位置。

6.3 LDS

LDS 是 METRAVIBRDS 公司的产品,METRAVIBRDS 是法国 01 号 Bacoustics & vibration 的附属公司。本系统利用 01 DBAcoustics & Vibration 技术,实现了对泄漏和地震的监控。它的双重监控(泄漏和冲击)是独一无二的。LDS 系统可以在地面、地面、已建成或在建管线上进行监测,最远可达到 15km,探测范围为 5mm,TL 泄漏与 100 焦耳能量的撞击,准确率为 $\pm 100\text{m}$,3min 响应。这个系统与 ASI 系统有相似之处。

7 结束语

随着城市化的发展,城市基础设施建设日趋完善,而燃气管线的出现,使得燃气供应的安全和防止泄漏事故的发生,已成为各大公司必须重视的问题。天然气管道泄漏是由多种因素造成的。所以,工作人员要采取有效的防范措施,及时发现管网中的问题,采取相应的对策,将泄漏事故控制在萌芽阶段,保证燃气管网的正常运转。

参考文献:

- [1] 马瑞莉,崔涛,张雪娇,李彦爽.城市燃气管网高效泄漏检测及定位方式探讨[J].全面腐蚀控制,2020,34(11):20-25.
- [2] 李奕辰.城市天然气管网泄漏检测与定位技术[J].中国科技信息,2019(19):55-56.
- [3] 韩宝坤,蒋相广,刘西洋,纪瑶,鲍怀谦.基于声波的天然气管道泄漏检测与定位系统研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2018,37(04):102-110.
- [4] 郎宪明,李平,曹江涛,任泓.长输油气管道泄漏检测与定位技术研究进展[J].控制工程,2018,25(04):621-629.
- [5] 王帅,王建军,严铭卿.基于有限个 SCADA 监测点的天然气管道泄漏检测[J].煤气与热力,2011,31(09):29-33.