

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2015.08.003

城市燃气管道泄漏检测定位方案应用分析

□ 合肥燃气集团有限公司重点工程建设办公室(230075) 邓金伟

摘 要: 为了提高对城市燃气管道泄漏检测定位技术水平,归纳总结了分布式光纤传感器检测、准分布式光纤传感器检测泄漏、负压波法、压力梯度法、实时模型法5种国内外常用的管道泄漏检测定位方案,讨论其各自基本原理、优缺点;同时从检测管道泄漏灵敏度、泄漏点定位及精度等7个方面对各种检测方案进行对比分析,为我国城市燃气管道泄漏检测定位方案的应用,提供了选择依据。

关 键 词: 城市燃气管道 泄露 检测定位 方案

1 前言

近年来,城市燃气用户不断增加,燃气管道使用规模及管道敷设越来越长,以合肥为例,2015年~2017年合肥燃气集团有限公司将分别新建天然气绕城高压管线工程159km和合铜路天然气高压管线工程62km。燃气管道受到使用规模扩大、埋设深度、管道腐蚀、周围环境压力以及人为施工损坏等特点影响,对于燃气管道泄漏检测定位带来难度。单凭传统

的人工巡检等方法,显然已经不适用城市燃气管道发展的需要。因此将几种国内外常用检测定位方案进行比较分析,选择合适的检测定位方案,能够对城市燃气管道进行快速准确的泄漏点定位,便于燃气公司抢修人员在第一时间赶到现场,对泄漏点进行抢险控制。

由于城市燃气管道地下埋设环境复杂,给管道泄漏准确检测及定位带来了难度。目前燃气管道泄漏检测及定位方案较多,彼此方案原理各不相同,可将其



图1 DN700城市燃气管道敷设



图2 燃气管道泄漏抢修

大体分为两类：硬件和软件泄漏检测定位方法^[1]。

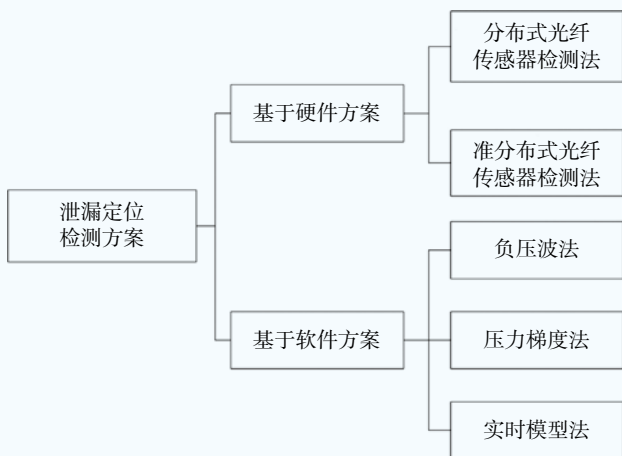


图3 燃气管道泄漏检测定位方法分类

2 基于硬件的泄漏检测方案

基于硬件的泄漏检测定位方案主要包括：人工巡检法、示踪剂检测法、漏磁通检测法、超声波检测法、光纤传感检测法。前4种方法都不能实现连续实时监测，随着科技发展已经无法满足燃气管道的需要。光纤传感检测法是目前研究使用较为广泛的基于硬件的泄漏检测定位技术。光纤传感器具有体积小重量轻、对外界抗干扰能力强、工作频带、动态范围大以及灵敏度高特点。光纤传感器具有较多优点，在时间和空间上对被管道泄漏测量具有非常好的效果，可实现实时监测和易于实现远距离检测管道泄漏情况^[2-4]。目前，光纤传感器技术在城市燃气管道检测定位领域已经得到应用，其主要可分为分布式和准分布两种传感器技术。

2.1 分布式光纤传感器检测泄漏的方法

由于管道老化或管道附近机械施工使得管道出现破损泄漏，管道内的压力、温度会出现变化，从而导致光纤损耗，输出的功率随之变化。根据这个原理，对光纤特征参量进行测量分析，可知燃气管道破损泄漏情况。应用于燃气管道泄漏检测的分布式光纤传感器，可分为：振动传感器和温度传感器。检测泄漏原理见图4。

分布式光纤传感器检测泄漏原理是基于光纤布里渊散射的光时域发射技术（简称：BOTDR）。BOTDR

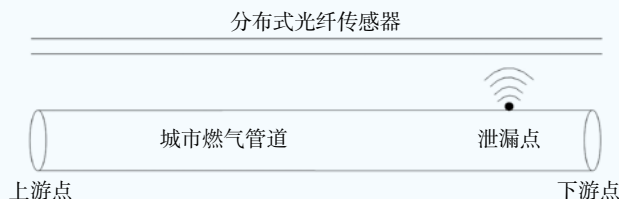


图4 分布式光纤传感器检测泄漏示意

技术是利用光纤中向布里渊散射的原理，在对温度、振动压力测量上具有较高的测量精度和范围。入射光和光纤中压力波之间相互作用产生布里渊散射，而布里渊频移是利用多普勒效应使入射光在移动光栅上发生散射并产生一个频移。布里渊频移计算公式为： $V_b=2nV_a/\lambda_0$ ，又因为布里渊散射燃气管道中与温度、压力关系为线性关系，通过实验验证可知：

$$\partial v_B = C_{\varepsilon V} \partial \varepsilon + C_{TV} \partial T$$

$$\frac{\partial P_B}{P_B} = C_{\varepsilon P} \partial \varepsilon + C_{TP} \partial T$$

其中 ∂v 、 $C_{\varepsilon V}$ ， C_{TV} ， $\frac{\partial P_B}{P_B}$ 分别是布里渊频移压力系数、温度系数、产生频移变化量以及功率相对变化量^[5]。

通过对上述参数检测，可获得光纤分布的温度、压力变化，从而判断燃气管道的泄漏情况。该方法具体为：用于对燃气管道泄漏检测时，在管道上方同沟敷设2条通信光缆，两条通信光缆都包含3条光纤，6条光纤同时具备分布式光纤振动、温度传感器和信号传输通道功能，检测定位过程中在燃气管道首段和末端不间断的向光纤中发射光脉冲波。当出现燃气管道泄漏时，由于管道内的天然气一般温度较低，会使管道附近的环境温度降低，因此可以利用分布式光纤温度传感器来检测泄漏管道附近温度。当燃气管道某处发生泄漏或其他原因引起的振动时，应力的传递会使沿程铺设的传感光纤发生变形，从而使背向散射光发生散射或反射，产生光强度突变，再通过分析光纤输出光功率频谱，就可以判断燃气管道是否发生泄漏，进一步的分析光纤上的细节信息，还可以定位泄漏点的具体位置。这种方法适用于光纤发生较大变形的情况，如突发性的泄漏。而对于缓慢的小泄漏，由于泄漏造成光纤的形变较小，所以检测效果不佳。分布式光纤传感器测点多、对外界抗干扰能力强、获得的应变信息量大，但在燃气管道监测的实际应用

中,还有一些缺点,如:误报率较高、易受其它环境因素的干扰、系统检测的不稳定性而且易受到管线保温层以及土壤的导热系数影响。

2.2 准分布式光纤传感器检测泄漏的方法

光纤布拉格光栅(FBG)传感器是研究较为普遍准分布式光纤传感器,利用波长调制方法,解决光纤感相位测量模糊不清等缺陷。目前,该传感器对压力、温度、振动等参数,同时具有检测精度高、稳定性好、传输远、实时性好和抗干扰能力强等优点。准分布式光纤传感器检测试用于大范围检测,可在燃气管道附近埋设一条光纤。将声发射传感器安装在燃气管道两端,对燃气管道泄漏进行声发射信号进行采集。通过FBG传感器实时获取燃气管道气体输送时相关参数,并进行相关信号分析和处理,对燃气管道泄漏情况进行检测和定位。当燃气管道发生泄漏时,光纤会产生应变,发射波会产生漂移,FBG传感器通过光纤是否发生振动以及弯曲,来检测管道发生泄漏情况,保证燃气公司能够及时处理事故隐患由于FBG传感器灵敏度非常高,地底下燃气管道附近发生微小振动,也能够检测出来,使系统容易出现误报情况。FBG传感器进行燃气长直管道的泄漏检测及定位还不普遍。通过对FBG传感器进行封装,可减少外在环境的影响^[4, 5]。图5为FBG封装示意图。

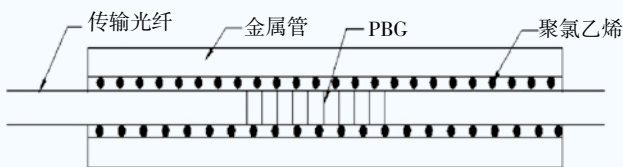


图5 FBG封装光纤传感器封装示意图

3 基于软件的泄漏检测方法

3.1 压力梯度法

压力梯度法也在燃气管道上下游安装压力传感器,通过传感器检测上下游压力信号,再根据压力信号计算出上下游燃气管道的相应压力,并绘制出压力梯度。管道出现泄漏时,泄漏点流量在泄漏前后出现幅度较大变化,管道的压力梯度出现交叉现象,即上下游压力信号会出现交点,而此交点就是燃气泄漏点,可通过计算得出泄漏点的位置。如没有出现泄漏

时,管道压力梯度曲线会呈现倾斜状。该方法计算操作过程较为简单,不需要复杂的数学模型,然而在燃气管道输送实际工作中,其压力梯度并不是呈现线性分布,对管道检测定位进度会出现较大误差,一般仅适用于检测定位泄漏量较大的情况^[7]。

$$X = \frac{P_i - P_0 - LG_0}{G_i - G_0}$$

其中: P_i 、 P_0 为入口、出口压力, G_0 、 G_i 为泄露点上游、下游压力梯度, L 为上下游之间管道长度。

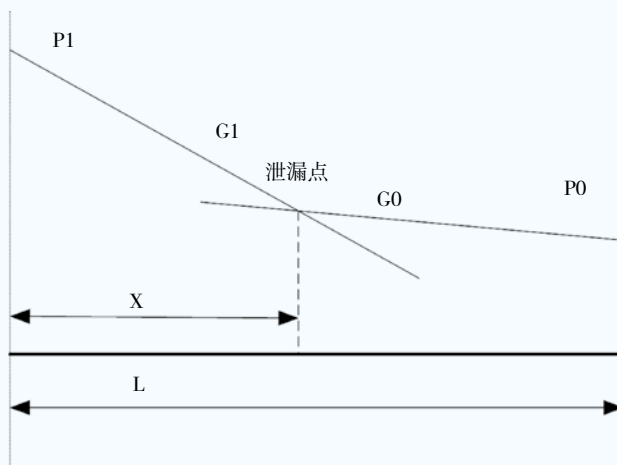


图6 压力梯度泄露检测定位示意图

3.2 负压波法

燃气管道出现泄漏情况时,管道内外压力差使得燃气管道输送能力发生变化,流体快速流失。随着时间推移,管道泄露出的压力会迅速降低,会产生能量不平衡并以压力波的形式向管道上下游方向快速传播,这种压力波称为负压波。燃气管道内外压力不一致,会导致泄漏点处的流体损失加速,进而使泄漏点处的流体密度减小,产生瞬时压力降。负压波法避免建立复杂的管道数学模型,易于计算操作,泄漏点计算时间短,同时该方法对于突发性泄漏的检测效果较好,所以该方法得到了广泛的应用。负压波法缺点是

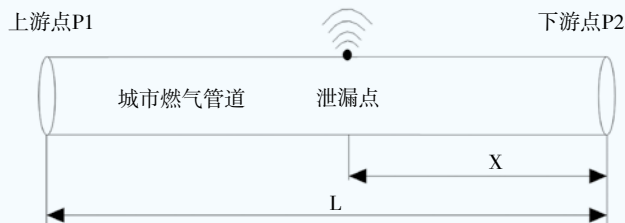


图7 负压波法检测定位示意图

表1 几种管道泄露检测定位方法性能对比

性能指标方案名称	分布式光纤传感器检测	负压波法	压力梯度法	实时模型法
灵敏度	非常高	高	低, 适用泄漏点大的情况	低, 需建立相应参数模型
检测及定位精度	非常高	高	高, 泄漏量小时, 精度差	低
泄漏评估能力	不能评估	需测试校正	可以	评估准确度高
检测时间	非常快	快	快	慢
误报警率	非常高	低	高	低
环境适应能力	受环境影响较大, 适用能力差	好	一般	非常好
安装维护费用	非常高	低	中等	高

号来进行进一步的研究, 由于传感器本身存在信号衰减大、干扰多的问题, 所以也就难以从根本上解决负压波法对小泄漏基本失效、误报率高的问题。压力梯度法也需要通过压力传感器对采集到的信号进行相应处理, 同时, 压力梯度呈现非线性分布, 对管道检测定位进度会出现较大误差。

(3) 与上述几种方案相比, 实时模型法需要考虑管道物理性质、系统噪声、测量噪声, 考虑参数较多。存在计算复杂, 但是在小泄漏检测方面具有优势。

5 结论

通过以上方案比较分析可知, 发现单一的检测泄漏方案都有缺点, 难以满足燃气管道检测需要, 通过比较各种管道泄漏检测法在原理方法上的不同, 以及实际应用于工作中的优缺点后, 从工程施工方便、安装后管理维护、理论实践性等方面考虑, 可将几种方案结合使用, 往往会取得更好的效果, 提高了检测精度及准确度, 也为燃气管道检测定位方案选取提供了新的建议。

(1) 将光纤传感技术和负压波法结合, 提出一种改进负压波法, 并研究了其泄漏检测及定位的原理。利用负压波发定位精度高, 结合对负压波衰减规律的研究, 采用基于小波阈值法的负压波信号降噪的方法, 将泵和电磁阀等产生的干扰压力波去除, 减少检测误报、漏报现象。另外, 光纤传感技术检测灵敏度高, 二者可很好结合使用。

(2) 在燃气管道的泄漏检测过程中, 可引入模

式识别的理论, 对负压波法进行改进。提取改进负压波法采集到的泄漏工况和正常工况下的波形特征作为输入特征向量, 并通过箱型图对特征的优劣进行了区分, 由此建立基于最小二乘支持向量机的燃气管道泄漏检测模型, 实现燃气管道泄漏的实时智能检测。

(3) 管道监测控制与数据采集系统(简称SCADA), 通过对压力、流量、温度、流速等参数采集, 利用压力梯度法、实时模型法、负压波法等对管道泄漏检测定位。随着城市管网上SCADA系统的安装普及, 基于SCADA系统所采集到的数据进行泄漏检测与定位的研究是也更有发展的方向。

参考文献

1 李佩铭, 赵春阳, 刘翔等. 基于硬件的燃气管道泄漏检测技术发展趋势[J]. 煤气与热力, 2012; 9: 31-34

2 汪玮. 基于UKF的天然气管道的泄露检测与定位[D]. 上海交通大学, 2008

3 李玉星, 彭红伟, 唐建峰等. 天然气长输管道泄漏检测方案对比[J]. 天然气工业, 2008; 9: 101-104

4 侯庆民. 燃气长直管道泄露检测及定位方法研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2014

5 郭炳睿. 基于负压波法的泄漏检测研究[D]. 山东: 中国石油大学, 2009

6 马小林, 王泽根, 谢静文. 负压波在管道泄漏检测与定位中的应用[J]. 管道技术与设备, 2013; 3: 17-19

7 冷建成, 周国强, 吴泽民等. 光纤传感技术及其在管道监测中的应用[J]. 无损检测, 2012; 1: 61-65