

城市燃气管道泄漏检测与定位技术探究

臧 涛（天津津燃公用事业股份有限公司，天津 300041）

摘 要：燃气作为高燃性气体，其输送管道的密闭性极其关键。如若燃气管道因各类原因发生泄漏，不仅会造成经济损失，而且还会危及周边建筑与人员的安全。因此，加强燃气管道的运营维护与泄漏检测历来是燃气运管人员的工作重心。文章结合笔者多年的燃气管网运营经验，就城市燃气管道的泄漏检测与定位技术展开分析探究，以供借鉴参考。

关键词：燃气管道；泄漏检测；定位技术

因燃气管道的敷设时日有所不同，加之各管道的工作环境、工作状态等亦不相同，以致各管道的腐蚀、老化、破损程度亦不尽相同，在外界环境、第三方破坏、突发灾害等因素的影响下，各地区管道泄漏事故偶有发生，对城镇发展与居民生活带来极大不利影响，因此，加强管道的运营维护，快速、精准的检测与定位到泄漏点，并对其予以及时抢修、妥当处置极为重要。

1 硬件检测法

硬件检测法是通过将相应硬件装置提前与管线一同敷设或是借助于专业检测仪器设备来实现对燃气管道泄漏的检测与定位，较为常见的硬件检测技术主要有：声学探测技术、光纤传感技术、超声波技术、内检测技术、放射检测技术、管壁参数检测等。

1.1 光纤传感技术

光纤传感技术是利用光的特性对管道缺陷进行检测，即在燃气管道敷设施工中，将光纤光缆携带的检测用传感器敷设在燃气管道外侧，如若燃气发生泄漏管道内部温度及压力就会产生波动，就会造成光纤传输过程中的损耗变大，导致输出功率也发生改变，一旦光纤传感器所接收的光强度信号比设定值低时，系统就会自动触发报警装置，从而实现管道泄漏的实时检测。根据光纤传感器泄漏检测原理可知，对光纤特征参量进行分析，便能得到燃气管道缺陷位置信息，进而找出管道发生破损泄漏的位置。光纤传感泄漏检测技术原理如图1所示。

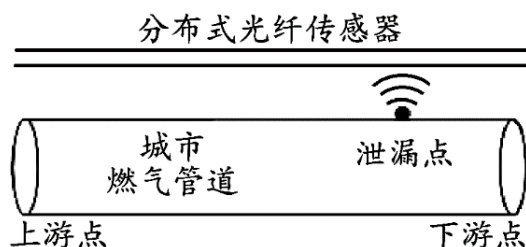


图1 光纤传感器检测原理

在燃气管道泄漏检测中，较为常用的光纤传感器主要有振动传感器与温度传感器两种。当燃气管道发生泄漏时，管道内温度较低的燃气往往会导致泄漏点附近温度降低，采用光纤温度传感器能够检测管道附近温度变

化，进而实现对管道泄漏位置的精准定位。当管道泄漏点因泄漏产生振动时，应力会使振动传感光纤发生形变，使得光强度发生突变，并通过分析光纤输出光功率频谱，如此便可实现对泄漏的判断以及泄漏点的定位。光纤传感器法多用于突发性大泄漏，即光纤变形较大时检测效果好，对于缓慢小泄漏因光纤变形不大而不易检测到。光纤传感器法测点分布多、抗干扰能力强、信息获得量大、检测响应效果快，但易于受管道保温层、土壤导热系数等因素的影响而出现误报。

1.2 示踪探测技术

示踪探测技术是将示踪线和电磁发射机连接起来，这样示踪线发出的电磁信号，经过探测后，可以确定示踪线的具体位置和埋深，如图2。这种方式是目前定位效率最高、效果最明显的技术，特别是信噪比高，即使旁边有其他管线，信号也不会受到影响，但是也有一定的缺点，比如在管道建设的同时，就要铺设示踪线，而且需要连续不间断铺设。

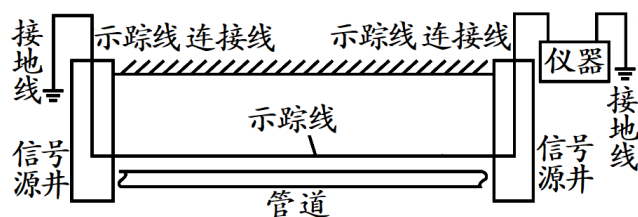


图2 示踪线探测示意

1.3 声发射检测技术

燃气泄漏时，经过孔隙会向外形成一定的振动声波信号，采用声发射检测漏洞技术，对这些信号采集、汇集，经过智能化、自动化系统分析，就能迅速判断出泄漏位置及大小。相对其他方式，该技术灵敏度更高、检测率更便捷、定位效果更精准，在很多地区得到应用。该技术是采用声波发射和接收原理，即声波发射器发射短波脉冲，在触及不连接界面后，声波反射回来，其中管道外表面和周围土壤的接触界面反射系数很低，管道内表面和燃气接触界面的反射系数高，能够达到100%，如图3所示。声发射检测仪器主要由传感器、前置放大器、信号参数检测、数据分析、接收器等组成，

接收器通过接收反射波，确定燃气管道缺陷的具体位置和埋深。在燃气管道裂纹、腐蚀等缺陷的检测时，能够产生突发性声发射信号，从而实现对管道泄漏的检测与定位。相对于传统的漏磁检测，该技术具备如下优势：一是，声发射检测精度较高，尤其对线性缺陷的检测较高敏感；二是，声发射检测技术能够根据信号的强弱判断管道缺陷的级别，进而制定合适的检修方案；三是，采用声发射技术进行检测时，对被检件的检测距离要求不高，且检测装置传感器与管壁无需进行耦合，仅通过管道内天然气的声音传导便能实现对管道缺陷的检测；四是，对被检测管道的几何形状不敏感，因此，可用于不同管径、不同管壁的泄漏检测。

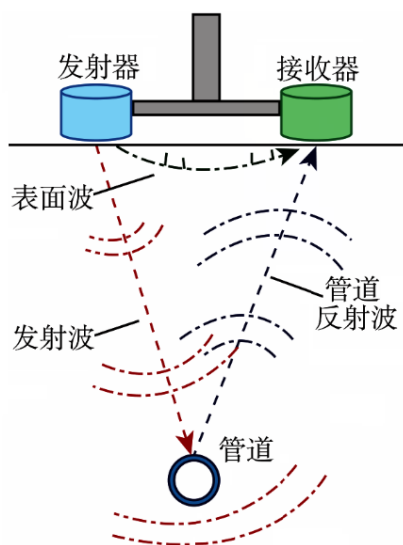


图3 声学定位探测

2 软件检测法

软件检测通常是借助数据采集系统以及计算机监控系统，对燃气管道压力、流量流速、温度差异等各项参数进行实时采集，再通过软件系统分析实现对管道泄漏的检测与定位，并及时发出泄漏警报信号，主要包括以下几种：

2.1 压力梯度法

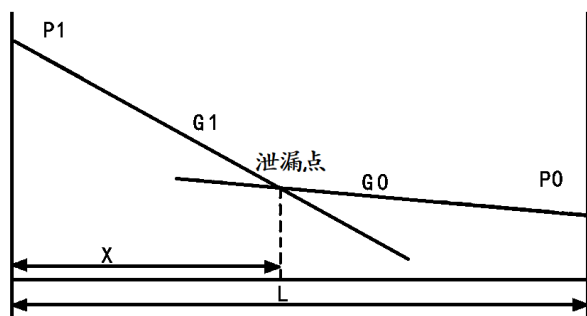


图4 压力梯度法检测示意

压力点分析法是一种比较常用的检测方式，能有效检测较为明显的泄漏。该检测方法是将压力传感器安装在燃气管道的上、下游，通过压力传感器对上、下游压

力信号进行检测，再通过压力信号计算得出上、下游压力参数，并绘制相应的压力梯度曲线。该方法检测原理为：正常情况下，燃气管道压力梯度为倾斜状直线，而在燃气管道发生泄漏时，泄漏点流量会在泄漏瞬间发生较大幅度变化，导致管道上、下游压力信号出现交叉，信号交叉位置即为燃气泄漏点（如图4），最后通过计算便能得到管道发生泄漏的位置。该检测法无需复杂的数学模型辅助，整个操作过程相对简单，但实际燃气管道压力梯度往往不是呈线性分布，就会导致检测定位存在偏差，因此，多用于管道泄漏量较大时的检测定位。

2.2 负压波法

燃气管道发生泄漏时，管道内外压力差往往会导致泄漏位置流体快速流失，导致管道泄漏位置流体密度变小，并出现瞬时压力下降，且随着时间的不断推移，泄漏出的压力迅速降低，并以压力波的形式向上、下游迅速传播，这种压力波即为负压波。该检测法是与压力梯度法类似，也是将压力传感器安装在燃气管道的上、下游，在管道发生泄漏时，传感器检测到负压波信号，然后根据负压波的传播速度及时间，判断燃气管道的泄漏位置，进而实现对泄漏点的精准定位（如图5）。负压波法能检测燃气泄漏瞬间的压力波动情况，灵敏度高、适用性强、原理单一，适合于较大、快速的燃气泄漏场景。然而，该检测技术往往会受到地下环境的影响或电磁阀的干扰而出现漏报、误报，从而影响管道泄漏位置的定位精度。

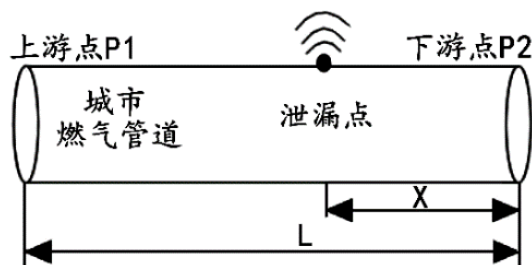


图5 负压波法检测示意

2.3 实时模型法

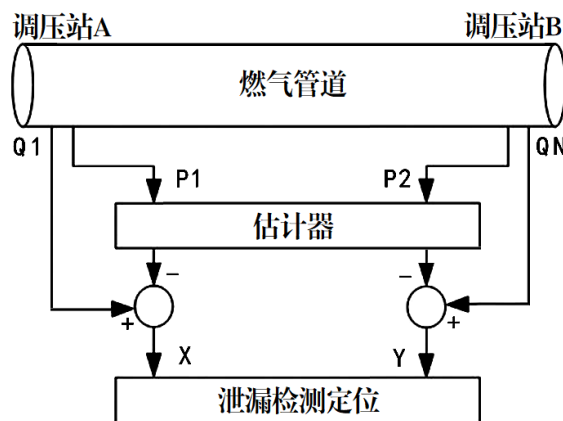


图6 实时模型检测示意

压力梯度法、负压波法多用于管道泄漏量较大时的

检测定位,而实时模型法能够结合水力、热力模型的瞬变流特性,并通过采集管道温度、流量、压力等参数建立实时数学模型,然后对管道内各项参数进行监测,并将实际监测值与模型估计值进行对比,如若实际值与估计值存在误差,则说明管道可能存在泄漏。基于估计器的实时模型检测法原理如图6,其中, P_1 为管道内上游站压力、 P_N 为下游站实时输入压力估计值, Q_1 为经过上游站流量估计值, Q_N 为下游站估计值。估计器的输入端与输出端分别为管道进出口的压力与流量,如若管道发生泄漏则实际值与估计值就会出现偏差,通过对比分析就能实现对管道泄漏点的检测定位。该检测法精确性好、实时性强,能够实现微小泄漏的检测,但对监测仪器要求高、计算复杂。

2.4 其他检测法

2.4.1 神经网络法

将燃气管道的运行条件、泄漏指标等作为既定条件,分别设立泄漏检测和定位的神经网络,一旦发生泄漏,将会及时做出预警。该检测方式能有效防止外界干扰,灵敏度好,对之前几种难以察觉的细小渗漏也能做出有效反映,但定位时还不够精确。

2.4.2 质量平衡法

主要是根据守恒规律,管道内燃气流动的质量、体积处于平衡状态,一旦发生不平衡状态,即会被检测到。这种方式一般使用流量计、压力表等常用的测量仪器(表),能实现24h不间断检测,可靠性、定位性较好,但精确度不高,需结合其他方式一起检测。

2.4.3 统计决策法

该检测方式是当前已在部分地区应用的新型检测方式,主要是根据燃气管道出入口的流量流速、压力强度等各项指标,分析变差,进而确定具体泄漏位置。该方式灵敏度较好,和前面几种方式一样,定位精确性还不够好。

3 人工巡检法

人工巡检法是由专业技术人员携带专用的燃气泄漏检测设备、仪器或驾驶专用检测车,沿着燃气管道、附属设备对地下管网的管道泄漏情况进行逐段、逐项检测,并通过看、闻、测、听等多种方式相结合来判断是否存在燃气泄漏的情况。这种方式适用于早期建设的燃气管道,误报出错较少、设备成本较低,但耗费人力时间较长、人工成本较高,通常以定期管道大范围普查检测居多。

人工巡检法较为常用的有两种:一是,激光甲烷遥测检测仪,使用TDLAS技术发射激光束,再接收反射的光波,通过测试甲烷浓度来定位泄漏部位;二是,燃气管网泄漏检测车,使用红外线技术探测,具有快速扫描判断功能,高效精准确定泄漏部位。

相对于硬件检测与软件检测方式,人工巡检既是传

统的方式,也是必不可少的一环。经过日常检测发现,在实际管道泄漏检测中,燃气管道发生泄漏后,燃气会在泄漏点附近形成浓度场,若仅靠人工巡检只能大致确定发生泄漏的大致位置,对于精确查找燃气泄漏点存在一定困难。为有效弥补人工巡检精确度较低这一缺陷,综合运用人工巡检与硬件、软件等技术,通过多种方式检测、对比分析,能进一步精准确定泄漏位置、具体埋深等,避免了管道泄漏定位不精准的问题,从而为下一步燃气管道抢修做好准备。例如,某燃气管道位于城市交通繁华地段,地下管线错综复杂、地面标志较少,管线分布主要位于沥青路面之下,地电条件不好,对于管道探查存在较多干扰。对此,在进行燃气管道泄漏检测过程中,首先通过人工携带检测仪器对该路段沿线进行巡检,然后结合燃气管道实际情况,选择的合理的管道泄漏检测技术,对管道具体泄漏位置和防腐层破损点进行检测确认,最后对疑似部位进行开挖验证,查找管道的破损点进而确定燃气管道的具体泄漏点。

4 结语

燃气管道连通着万户千家与城市角落,因此,综合应用人工巡检与多种检测技术,实现燃气管道泄漏的及时、精准定位极为关键。对此,各地燃气运管单位应当积极引入新兴智能化、自动化检测定位技术并加强运营管理,从而实现燃气管网的安稳运营。

参考文献:

- [1] 严荣松,赵自军,高文学,杨林,王艳,户英杰.城镇燃气管道泄漏检测技术现状与展望[J].煤气与热力,2021,41(10):27-29+37+46.
- [2] 程文康,郭立全,胡雄武.浅埋地下天然气管道泄漏定位方法研究现状与发展[J].化工管理,2018(28):133-135.
- [3] 李胜国,马旭卿,刘遥,邢琳琳,黄丽丽,王建,韩赞东.埋地燃气管道泄漏点示踪定位技术分析[J].中国公共安全(学术版),2018(04):51-55.
- [4] 杨哲.燃气管道声发射泄漏检测技术再研究[J].中国市政工程,2018(05):52-55+108.
- [5] 黎思杰,王文和,易图云,李想,易俊.覆土条件对声波法检测燃气管道泄漏的影响分析[J].安全与环境工程,2021,28(06):1-7+15.
- [6] 陈传胜,李俊,吴瑶晗,翟福超.实时瞬态模型法在长输天然气管道泄漏检测中的应用[J].天然气技术与经济,2019,13(03):58-62.
- [7] 李凤,易俊,游赞,王文和.瞬态压力分析法检测城镇燃气管道泄漏[J].广东化工,2017,44(12):68-69+57.
- [8] 彭磊.确保城市安全运行的精准管理与深化应用——以城市煤气管道的检漏方法为例[J].上海城市管理,2018,27(06):93-94.