

在用埋地管道泄漏监测与检测技术综述

王 玮¹ 沈功田² 任吉林¹ 刘时凤³

(1. 南昌航空大学 江西 330063)

(2. 中国特种设备检测研究院 北京 100013)

(3. 北京声华兴业科技有限公司 北京 100029)

埋地管道运输有便利、经济、安全、环保、使用年限长等优点,所以在世界各国有着广泛应用。近年来管道增多、管龄增长,泄漏事故不断发生,造成资源浪费和环境污染。随着科技进步及国家相关法令的出台,管道使用单位对管道安全性能越加重视。经过对旧管道的修复、修理及更换方案的比较发现有计划的修复比事故后的修理代价小得多,有效地避免了恶性事故,提高了社会效益和经济效益,因此开展埋地管道监测与检测技术研究具有十分重要的现实意义。

对埋地管道泄漏的探测分为监测和检测2种技术。埋地管道泄漏监测主要是对管道从不漏到突然发生泄漏这样一个新生过程的监测,管道泄漏监测一般是采用固定的装置对管道进行实时监测,一旦发生泄漏立即能够报警,使有关人员能够进行及时处理。对于埋地管道泄漏监测,一般在管道建设中已经将相应监测传感器和仪器设备安装好,其缺点是对已经产生的稳定的泄漏源无法检测到。根据传感器安装在管道的具体部位,埋地管道泄漏的监测技术又分为内部监测和外部监测技术。

对管道泄漏的检测是对管道从地上或外部进行定期检测,发现已经产生泄漏的部位,或者是已经知管道已发生泄漏,采用泄漏检测仪器从管道的外表面来发现管道的泄漏点,以进行准确的开挖,采取堵漏措施。对管道泄漏的检测一般采用移动式的检测仪器设备,这种方法的优点是无需事先安装固定的传感器和检测设备,对埋地管道不会产生任何破坏或影响其正常生产,对已经稳定泄漏和新发生的泄漏都可以进行识别^[1]。

1 埋地管道泄漏内监测技术

1.1 流量平衡法

该方法基于管道流体流动的质量守恒,根据管道进出口的流量测量值变化判定管道是否泄漏。实际操作应综合考虑管道运行情况和各种因素影响,允许流量有一定范围的浮动。管道可能顺序输送不同种类油品,管道进出支线较多,沿管道运输时其温度、压力、黏度可能发生变化,这些因素会影响管道计量的瞬时流量,从而容易造成误检^[2]。

流量平衡法的优点是可以发现较小的泄漏,但对微量泄漏的敏感性差,不能进行泄漏的准确定位,因此检测管道泄漏时应与其它方法配合使用。

1.2 瞬变模型法

瞬变模型法为通过建立管内流体流动的数学模型,在一定边界条件下求解管内流场,然后将计算值与管端的实测值相比较来确定是否发生泄漏。为提高检测的灵敏度及精度,可在监测管道中间增加若干传感器。在泄漏定位中使用稳态模型,根据管道内的压力梯度变化可以确定泄漏点的位置。该方法能很好地对多相流管道进行泄漏检测,能够检测到泄漏量小于总流量1%的泄漏。该方法进行泄漏监测时,需要大量的设备进行数据采集,以及全天的数据传输技术支持,费用较高。误报警率高是瞬变模型法在实际应用中的一个难以解决的问题^[3]。

1.3 统计决策法

统计决策法是根据管道出入口的流量和压力进行判断,发生泄漏后流量和压力满足的关系不再成立。该方法采用顺序概率测试假设检验的统计

分析方法和模式识别技术对实测的流量和压力值进行分析,从实际测量到的信号中实时计算泄漏发生的置信概率,在实际统计时输入和输出的质量流通过流量变化来平衡。在输入与输出的流量和压力均值之间会有一定的偏差。通过将计算的标准偏差与实测偏差进行比对,来判断是否出现泄漏。泄漏发生后,采用最小二乘法进行定位。

该方法较好地解决了误报警,且不用建立复杂的管道模型,降低了计算,对工况条件变化的适应能力非常好。缺点是对仪器的精度要求较高,对气体管道泄漏的响应时间较慢,且需要流量信号。泄漏检测精度受仪表精度影响较大,定位精度较差^[4]。

1.4 负压波检测法

管道发生泄漏时介质从泄漏处流出引起压力突降,泄漏处附近液体由于压差而向泄漏处补充,产生与泄漏区相邻区域的压力降,这一过程依次向管道的两端传递,从而产生负压波。在管道两侧安放压力传感器,根据压力传感器检测压力波形的变化判断泄漏。利用负压波传到两端传感器的时间差和传播速度进行定位。负压波沿管道衰减,衰减速度与管道沿线阻力因数有关^[5]。

负压波对大量突然的泄漏敏感,对直管道的泄漏定位较准确。该方法对传感器精度、传输电压、计算机及配套仿真软件要求很高。不适合微小泄漏和渗漏的探测,也不适合气体管道泄漏的监测。

1.5 压力点分析法

压力点分析法通过对管道某点当前压力信号与其发展趋势比较,通过软件分析确定是否泄漏。当管道处于稳定状态时,压力、速度和密度分布不随时间变化,一旦发生泄漏时泄漏点由于物质损失发生压力骤降,破坏原有稳态,管道开始向新的稳态过渡。在此过程中产生沿管道以声速传播的扩张波,引起管道沿线各点的压力变化,并将失稳瞬态向前传播。该法在管道沿线设点检测压力,采用统计方法分析检测值,提取出数据变化曲线,并与管道正常运行时的曲线比较。如果现行状态曲线脱离其特有形式,表明有泄漏^[6]。

压力点分析法使用简便、安装迅速,可检测气体、液体和某些多相流管道泄漏,对气体管道泄漏响应时间较快。缺点是不能检测微渗漏,无法定

位,对泄漏量的评估能力比较差。

1.6 声波法

声波法是在二十世纪八十年代初从美国开始发展起来,目前在已在美国、澳大利亚和中国台湾地区得到应用的技术。其检测原理是当输送管管壁破裂时,其管内流体瞬间自洞孔喷出,管内外压力差将会产生特定频率声波讯号,此讯号会沿上、下游的管线传送,利用讯号到达管线装置的传感器的时间差,即可计算出泄漏地理位置。据报道,目前2个传感器的间距可达几十公里,泄漏点定位精度为几十米,监测的最小泄漏量为总流量的1%。

2 埋地管道泄漏外监测技术

2.1 土壤监测法

土壤监测法也叫气体敏感法,通过分析管道周围土壤中特殊化合物的状态判断泄漏。随着传感器技术的发展,已研制出对某些化学物质特别敏感的传感器,再借助计算机和现代信号处理技术可提高检测的灵敏度和精确度。示踪剂技术是该方法的扩展,采用特有的、无害的高挥发性同位素化合物来监测管道。泄漏出管道外的同位素随着燃料散开,扩散到周围土壤的空气中并且快速气化。探测器安放在管道周围土壤中。通过探测器收集油气,用气体色度图进行同位素分析,可检测到一万亿分之一的同位素。

2.2 光纤传感器监测法

光纤传感器可以同时实现物理量测量和信号的传输,在解决信号衰减和抗干扰方面卓有成效。用光纤传感器检测管道泄漏的方法是根据管道中输送的物质泄漏会引起周围环境的变化,利用传感器连续测量沿管道的温度、作用力、介质化学性质等的情况。当沿管道的因素变化超过一定的范围,就可以判断发生了泄漏。

2.2.1 分布式光纤温度传感器监测法

管道内介质与环境温度不同,当发生泄漏时安置在管道外侧的分布式光纤温度系统可感知温度变化,从而发现泄漏并能精确定位。分布式光纤温度传感器系统主要基于拉曼光反射、布里渊光反射和光纤光栅原理。基于拉曼光反射的分布式光纤温度传感系统应用较多,国外已应用于管道检漏,该方法可实现

实时监测,精度为0.5~2.0m。基于光纤光栅原理的准分布式温度传感系统在国外已有应用,目前国内也正在应用该项技术进行泄漏检测^[7]。

分布式光纤传感系统测量准确度高、抗电磁干扰、耐腐蚀、体积小、易于安装。但是光纤长期埋于地下会发生老化问题。

2.2.2 准分布式光纤传感器监测法

准分布式光纤传感器监测系统的特点是:将呈一定空间分布的相同调制类型的光纤传感器耦合到1根或多根光纤总线上,通过寻址、介调检测出被测量的大小。该系统实质是多个分布式光纤传感器的复用系统,故又称准分布式或非本征型分布式光纤监测系统。光纤总线仅起传光作用,不起传感作用。根据寻址方式不同,分布式传光型光纤监测系统可分为时分复用、波分复用、频分复用、偏分复用和空分复用等几类^[8]。

准分布式光纤监测系统通过将多个相同或不同类型的传感器在1条光纤上串接复用,减少了传输线路,方便了施工,简化了线路布置。并且可以实现多点同时测量。

2.2.3 塑料包覆石英光纤传感器监测法

油与光纤接触渗透到包层,引起包层折射率变化,导致光通过纤芯与包层交界面的泄漏,造成光纤传输损耗升高。传感器系统设定报警界限,当探测器接收光强度低于设定水平时,会触发报警电路。这种传感器可用于多种输油管道的泄漏监测^[9]。

2.2.4 微小弯曲监测法

当管道泄漏时,泄漏出的液体或气体会对光纤施加作用力,使光纤发生弯曲和抖动导致辐射模增大或减小,从而使光纤的损耗和输出光功率发生变化。利用这一特征,通过对光纤输出光功率频谱的分析,判定管道是否有泄漏,通过对背向散射光的测量来定位^[10]。

2.2.5 光纤化学传感器监测法

光纤化学传感器是利用光纤技术及光学原理,将感受的化学量转换成可用输出信号的传感器件。安装在光纤端部的试剂相装置,由被称作分子探针的化学试剂和其它辅助材料制成。分子探针光学性质的变化通过光纤反馈至监测系统,由计算机自动显示或打印结果。当有碳氢化合物存在,传感器

的光学性质发生改变,从而判断泄漏^[11]。

2.3 场图像方法监测法

场图像法也叫电指纹法,能在造成危害前监测管道的微小损伤。设计依据是人的签名和指纹是唯一的,同样当电流馈入时会显示唯一的电场“指纹”一场图像,产生的电场指纹表征了结构局部几何形状,通过在给定范围进行相应次数的电位测量将所有测量的电位同监测的初始值相比较。这些初始值就看成部件的指纹,从而可用监测电场指纹的微小变化^[12]。

场图像法综合侵蚀探头与无损检测2种技术的优点,具有高灵敏度,能对实际监测结构作较大范围覆盖,精度为0.1%~5%。该方法无监测部件损耗问题,装配或误操作时无泄漏危险。运用该方法对腐蚀速度的测量是在管道、罐或容器壁上进行,不用小探针或试片测试。其敏感性和灵活性比大多数非破坏性试验好,该技术可对不能触及部位进行腐蚀监测。

3 埋地管道泄漏检测技术

埋地管道泄漏检测技术按传感器的布置分为内检测技术和外检测技术。

将检测仪器放置在管道内部的检测方法通称为内检测技术。该技术发展于20世纪80年代末期,是将各种无损检测设备放在管道内部进行检测。主要是基于磁通、超声、涡流等技术,将探测器沿管线内进行检测,采集数据,分析和判断管道本体是否产生严重腐蚀,对于腐蚀引起的穿孔也能发现。但是此类方法主要用于检测管道腐蚀^[13]。

将检测仪器放置在管道外部的检测方法通称为外检测技术。管道外检测设备因价格相对便宜,操作方便,已广泛应用。目前国内管道外检测技术基本上达到先进发达国家水平,但在缺陷准确定位、合理指导大修方面尚有较大的差距。在实际工作中应用较为广泛的外检测技术主要包括声波法、音波法、嗅敏法等。

3.1 人工巡检法

由有经验的技术人员携带检测仪器设备或经过训练的狗分段对管道进行泄漏检测和定位。这类方法定位精度较高,误报率低,但依赖于人的

敏感性、经验和责任心,只能发现一些较大的泄漏,而且检测只能间断地进行^[14]。

人工巡检法运用最多的是嗅敏法,也叫气体敏感法,通过分析管道周围土壤中特殊化合物的状态来判断泄漏。随着传感器技术的发展,已经研制出对某些化学物质特别敏感的传感器,再借助于计算机和现代信号处理技术可提高检测的灵敏度和精确度。泄漏出管道外的特殊化合物随着燃料散开,扩散到周围空气中并且快速气化。通过探测器沿着管道巡线收集油气,通过色谱分析检测出泄漏。

3.2 超声波泄漏检测技术

如果 1 个管道或容器内充满气体,当内部压强大于外部时,由于内外压差,一旦有漏孔,气体就从漏孔冲出。当漏孔尺寸较小且雷诺数较高时,冲出气体就会形成湍流,湍流在漏孔附近会产生一定频率的声波,声波振动的频率与漏孔尺寸有关,漏孔较大时人耳可听到漏气声,漏孔很小且声波频率大于 20kHz 时,人耳就听不到。但它们能在空气中传播,被称作空载超声波。超声波是高频短波信号,其强度随着传播距离增加而迅速衰减,具有指向性。利用这个特征,即可判断出泄漏位置。当对输气管道进行实时检查时,可单独捕捉气体泄漏时所产生的微小的超声波信号,即可判断出正确的泄漏位置^[15-16]。该方法经济、方便、易于安装维护,定位准确。但受周围环境噪声影响。

3.3 声波法泄漏检测与定位技术^[17]

根据声信号采集频率的不同,分为声波法和音波法。

声波法的泄漏声信号泄漏频率在 1 ~ 30kHz。是当流体穿过管壁漏孔外泄时,会激发沿管道壁传输的声信号,贴装在管道外壁的声波传感器可监测到泄漏声信号的大小和位置。没有泄漏发生时声波传感器获得的是背景噪声,当有泄漏发生时产生的低频泄漏声信号容易从存储的背景噪声中区别出来。如采用 2 个以上的传感器,通过相关分析可对泄漏源定位。声波法优点是检测速度快、成本低、环境适应性强。缺点是检测距离短,2 个传感器的间距为 100 ~ 500m。

3.4 红外热成像法

为降低原油的粘性,通常在运输前对原油加

热。管道发生泄漏时,周围的土壤浸泡在泄漏的原油中,这时土壤温度上升,这种温度变化可以通过红外辐射的不同来感知。检测时将管道周围土壤正常温度分布图记录在计算机中,用直升机在空中实时采集管道周围土壤温度场情况,通过对两者的比较来检测泄漏。红外热成像法的缺点是对管道的埋设深度有一定的限制,据有关资料介绍,当直升机的飞行高度为 300m 时,管道的埋设深度应当在 6m 之内^[18]。

3.5 听音检漏法

听音检漏法主要用于自来水泄漏的检测,分为阀栓听音和地面听音 2 种,阀栓听音用于查找漏水的线索和范围,简称漏点预定位;地面听音用于确定漏水点位置,简称漏点精确定位。

地面听音法是当通过预定位方法确定漏水管段后,用电子放大听漏仪在地面听测地下管道的漏水点,并进行精确定位。听测方式为沿着漏水管道走向以一定间距逐点听测比较,当地面拾音器靠近漏水点时,听测到的漏水声越强,在漏水点上方达到最大,拾音器放置间距与管道材质有关,一般说来,金属管道间距为 1 ~ 2m,而非金属管道为 0.5 ~ 1m,水泥路面间距为 1 ~ 2m,土路面为 0.5m。

4 结束语

管道的泄漏监测与检测方法很多,1 条管道要选用那种泄漏监测或检测方法则需要根据管道的设计参数、传输介质的参数、设备的经济性和数据通讯能力来综合选择,没有一种单一的泄漏监测或检测方法可适用任何状况的管道。目前,对于长输管道一般采用泄漏监测技术,而对于城市埋地燃气管道,一般采用泄漏检测技术。对于液体长输管道的泄漏监测负压波方法是得到最广泛应用的技术,对于气体长输管道的泄漏监测声波法是得到最广泛应用的技术。城市埋地燃气管道泄漏检测最常用的方法是气体敏感法,但该方法不能发现准确的泄漏点,因此基于声波法原理的泄漏点定位技术将有广泛的应用前景。

(收稿日期 2009-03-11)