

石油管道检测技术分析

陈振强¹ 张洁²

(1 中国石化广东石油仓储分公司 广东 广州 510700; 2 中国国家管网集团公司华南分公司
四川 眉山 620200)

摘要: 石油管道关系到石油运输、储运的安全, 由于管道受施工、环境、人为破坏或自然灾害影响, 石油管道容易出现腐蚀泄漏等问题, 必须要加强检测和维修。文本重点研究了石油管道的多种检测技术, 每种检测技术都有不同的优点和不足, 应当结合具体情况和检测要求进行选择。

关键词: 石油; 管道; 检测技术

0 引言

石油管道如果出现泄漏问题, 将会造成油品损失以及带来安全环保隐患, 必须要加强检测, 运用先进的检测技术, 及时发现泄漏的部位, 分析泄漏的原因, 有针对性地进行修补和维护。

1 石油管道泄漏的常用检测技术

1.1 人工巡视和追踪检验

石油管道检测最常见的检测方法就是人工巡检法。检查人员需要沿着石油管线进行全方位检查, 通过看和闻的方式判断管道是否存在泄漏的问题, 检查管道所在区域和周边区域是否存在动土的情况, 检查管道表面是否存在油污。人工巡视比较方便, 能够快速识别出比较明显的泄漏问题。与设备检测相比, 人工巡视的方式有一定不足, 无法对管道进行实时监控, 也不能对海底、沼泽等环境的管道进行检测。

1.2 感油电缆检测和分布式光纤温度检测

感油电缆检测法能够对输油管道进行检测。检测时, 需要铺设感油电缆, 顺着管线分布的位置进行铺设, 铺设的同时安装相应的配件, 配备控制器, 该装置能够接收到电缆的电子信号。如果存在泄漏的情况, 可以及时发现信号变化情况, 利用微处理器对信号进行处理, 得到准确的泄漏位置。通常泄漏不太明显时, 可以采用该方法, 能够有效保证检测的准确性。该方法的缺点在于成本较高、工艺复杂、维护困难, 很少在长输管道检测工作中应用, 一般会在短距离输油管道或站内泄漏中使用感油电缆检测方法。

1.3 流量平衡法和负压波原理检测法

流量平衡法是一种比较传统的检测方法, 该方法参考了质量守恒原理, 检查人员需要利用流量计进行检测, 重点检测石油在流入管道和留出管道时的流量, 判断两

个流量值是否平衡。流量平衡法具有一定的优点, 当石油管道内部的流速和压力变化幅度较小时, 其他方法很难检测出泄漏问题, 但是可以根据流量进行检测, 该方法的缺点在于精确性较差, 只能检测出是否存在泄漏, 无法确定泄漏的位置。

可以将该方法和负压波检测法结合起来, 进一步保证检测的准确性。在负压波原理的应用中, 管道泄漏会损失部分流体, 导致管道的压力降低, 压降以泄漏部位为中心, 逐渐影响上游和下游的压力, 这就是负压波。对负压波进行测量, 确定上游和下游测量位置的时间差, 计算负压波的传播速度, 以此来找到泄漏的部位。负压波法具有较高的精确度和灵敏度, 能够快速进行反应, 但是不能发现微小泄漏的情况。

1.4 瞬变流检测法和状态观测器法

瞬变流检测法起源于 20 世纪 80 年代, 具有较高的准确度。该检测方法运用了多种检测装置, 能够利用计算机和数据采集板对管道的温度、流量和压力等参数进行测量, 根据瞬变流数学模型进行分析。检测时需要使用在线仿真软件, 其中包含 4 个模块, 分别是实时、泄漏、定位、报警。其中, 实时模块是最核心的部分, 其中含有数学模型, 能够对石油管道的运行情况进行描述, 得到管道运行的数据, 并将数据自动发送给监控微机, 通讯设备接收数据, 并利用无线发射器进行通讯, 将数据传输给中心计算机。为了保证管道检测的准确性, 可以将温度传感器和压力传感器安装到管道中, 在瞬变流检测系统中设置各项性能的标准, 如报警的限定范围、检测的长度和时间等信息。

另外, 石油管道所处的环境比较复杂, 环境条件变化较大, 温度等条件很容易影响管道中的物理参数, 管道的动力系统是一种时变非线性系统, 为了减少环境条件对管道检测结果的影响, 可以采用状态观测器法。根据管道中流体的压力和流量等情况建立状态方程, 输入

两站压力参数, 确定流量的实测值和观测值, 计算两者的偏差信号, 利用特定的算法确定泄漏的部位, 该方法适合在泄漏不明显的使用。

1.5 滤波器法和系统辨识法

Kalman 滤波器法可以根据压力状态和流量状态构建空间离散模型, 输入管道两端的压力参数和流量参数, 将管道划分成几段, 分段数据影响检测的精度, 应合理划分。每个分段点设置 3 个状态, 分别是压力状态、流量状态以及泄漏量状态。将各个点位的泄漏量作为输出值, 采用合适的判别准则, 对泄漏问题和泄漏部位进行检测。运用滤波器检测法时, 需要先计算过程噪声的平均数值, 还要计算方差。可以利用实施模型法构建流体动态模型, 定时采集管道的相关参数, 根据两端的压力和流量等参数进行计算, 对观测和实测的数值进行比较, 如果数值不同, 说明管道存在泄漏问题。

另外, 工作人员还可以运用系统辨识法进行检测, 该方法可以建立管道模型, 与实际测量值相互比较, 判断是否存在泄漏的情况, 可以使用线性 ARMA 模型结构, 适当增加非线性项, 以此为基础建立模型。可以运用无故障模型, 根据某种算法确定泄漏位置, 还可以运用故障灵敏模型, 根据某种分析法确定泄漏问题, 应根据检测的需求建立合适的模型, 满足管道泄漏检测的需求。运用系统辨识法时, 应当增加 M 序列激励信号。通常在泄漏量较小的情况下, 可以使用该方法进行检测。

1.6 相控阵检测技术

相控阵超声波检测技术即 PAUT 检测技术, 该技术最初来源于医学领域, 经过研究和发展后, 可以将该技术用于石油管道检测中。相控阵检测技术是在单晶片超声检测技术的基础上发展而来的, 该技术运用了惠更斯原理, 在波阵面上随意挑选一个点位, 可以将其当成新的次波源, 只要知道某个时刻的位置, 就能推导出下一个时刻的位置。波阵面包含多个小波阵面, 可以采用焦点计算等计算方法。相控阵检测技术需要运用相控阵探头, 该装置由压电材料构成, 探头并不是单独的晶片, 包含多个小晶片, 使用同样的导线进行连接, 在相同的背衬上安装全部的晶片。在相控阵扫查中, 其聚焦法则异常复杂, 可以采用组合的方式进行电子扫描。有 3 种电子扫描方法: 一是线性扫描, 在阵列扫描中, 一直运用同一个聚焦法则; 二是扇形扫描, 虽然使用同样的晶片, 但是聚焦法则并不相同; 三是动态深度聚焦, 在该扫描方式下, 既可以改变发射器的聚焦法则, 也可以调整接收器的聚焦法则。灵活使用扫描方式和自动扫查器, 能够对被检测部件进行全面检测。可以利用相控阵检测技术对海底石油管道进行检测。该技术的精确度非常高, 在检测之前, 需要利用 AUT 校准试块, 经过校准后再正式进行检测, 检测时充分考虑海上的温度条件和湿度条件,

以此来掌握声速的变化情况, 该技术能够对长距离管道进行检测, 还能对海底较深的管道进行检测, 有效提高了石油管道检测的精度。

2 管道泄漏的定位探测技术

2.1 直接探测技术

随着检测技术使用人工分段巡测的方法对石油管道泄漏问题进行检测, 人工分段巡测的方法具有一定的缺陷, 工作效率相对较低, 无法及时检测出长距离运输管道的问题。石油管道发生泄漏后, 在管道上方区域会看到非常明显的石油痕迹, 而且还能闻到非常刺鼻的石油味道, 在泄漏部位的周边区域, 植物会大片死亡, 只有出现这些现象, 检查人员才能注意到泄漏问题, 但是, 出现这些情况往往代表着泄漏问题已经非常严重。完全由人工进行检查无法保证检测的全面性和准确性, 应使用专业的仪器设备弥补人工巡测的不足。石油管道有三种常用的检测方法, 一是巡视人员进行人工巡视, 凭借自身的经验和敏感度检查明显和严重的泄漏问题。二是检测人员使用专业探测器, 沿着石油管道进行探测, 但是该仪器只能进行间断式检测。三是铺设特殊线缆, 用专门进行检测的线缆, 如半渗透检测管, 还可以使用光纤线缆, 特殊线缆具有较高的灵敏度, 不会受到管道内部运行状态影响, 但是铺设线缆需要耗费大量的人力、物力、财力和时间。

2.2 间接探测技术

间接探测技术包含多种检测方法, 可以根据压力测量信号判断泄漏问题, 还可以从物质平衡的角度对管道进行检测。压力测量信号检测技术主要有两种具体的检测方法, 分别是压力梯度法和是波敏法。运用该方法时, 需要先对上下游的负压值进行检测, 记录负压时间差, 以此来判断石油管道泄漏的位置。从物质平衡的角度进行检测时, 需要参考质量平衡原理和动态体积原理, 根据石油管道进口和出口处的流量差分析管道存在的问题。该方法不仅能检测大范围的管道情况, 还能检测出细微之处的小问题, 但是该方法很容易受到管道内部运行状态的影响, 经常会出现误差。在石油管道间接探测中, 还可以应用放射性检测技术, 将放射性物质投入管道内部, 使用专门的仪器进行探测, 以此来确定泄漏的部位。

3 石油管道内缺陷无损检测技术

3.1 漏磁无损检测技术

漏磁无损检测技术对石油管道检测的时候, 石油管道内部将会发生变化, 逐渐呈现出磁化状态, 如果存在腐蚀和开裂等情况, 管道内部的磁通量就会发生波动, 用传感器进行探测, 就能发现问题部位。管道内部的磁通量会受到磁场饱和度、管壁厚度和管道直径大小的影响。如果石油管道的材料为刚性材料, 对其进行检测时,

在没有缺陷问题的情况下,磁通量会均匀分布,呈现出较为稳定的磁力线,如果存在问题,磁力线会开始变化,可以根据钢管表层的磁力线判断管道的泄漏问题。漏磁无损检测技术具有一定的局限性,如果石油管道的直径较小、厚度较薄,会存在无法检测或较大的误差。

3.2 超声检测技术

常用的超声检测技术主要有 3 种。第一,采用传统脉冲超声检测方法,该方法需要专门的装置,即超声波探头,利用该装置发射脉冲信号,脉冲信号要和石油管道保持垂直,根据管道内部和外部的脉冲反射间距进行检测,以此来判断管道的腐蚀问题。超声检测技术能够检测出点腐蚀问题,还能检测出腐蚀的深度,这种检测方法可以在口径较大和管壁较厚的情况下使用,能够对应力腐蚀和管材缺陷进行检测。第二,采用超声导波检测技术,该技术属于高频振动检测技术,同时也属于非接触检测技术,根据纵波和扭曲波进行分析,如果石油管道埋于地下,该技术可以在不开挖的情况下对脉冲回波阵列进行检测。如果管道内部存在缺陷,经过反射后,就会在外界磁场产生涡流,线圈两侧的电压也会因此发生变化,根据电压信号来确定腐蚀的等级和位置。第三,采用脉冲涡流检测技术,即 PEC 检测技术,该技术同样能够检测出石油管道的腐蚀问题,在线圈两侧输入脉冲信号,在周期性脉冲电流的影响下,会形成相应的衰减磁场,当外部环境磁场发生变化时,管道内部也会形成脉冲涡流,涡流场会逐渐衰减,如果管道厚度发生了变化,瞬态感应电压就会发生变化,以此来判断管道的缺陷。

3.3 光学方面的检测技术

光学原理类型的检测技术能够快速掌握管道内部的腐蚀情况,对管道问题进行分级和定位,检测结果更加直观和精确。运用该检测技术时,不必接触石油管道,根据全息干涉现象进行处理,能够对管道的微小问题和变形问题进行检测,检测前后会形成不同的波形图,对两者进行比较,根据干涉条纹就能够基本判定石油管道存在的问题。对管道形状进行检测时,要对干涉条纹进行转化,将其转变成数字图像,再把这些具体的信息导入计算机,经过计算和处理后,就可以自动进行比较。该无损检测技术能够在各种恶劣的环境条件下完成检测工作,缺点是需要避光的环境下进行,而且还要注意抗震,并且要求把设备放置到管道内,操作起来不方便。

4 PCM 防腐层检测

4.1 PCM 检测仪的原理

发射机通过发电机供交流电后通过 2 条信号线施加电流信号,其中一条信号线连接地极,地极一般打在距检测管线垂直方向 30 ~ 50m 以外的容易导电的地方,另一条信号线连接于无防腐层的金属表面。根据电流磁效

应原理,管线周围的空间将产生以管线为中心线的圆形磁场,根据检测数据进行分析。

4.2 防腐层破损检测原理

在具有防腐层的埋地管道上施加某一特定频率或多个频率的电流信号,电流信号自发射点开始将沿管道向两侧传输,所施加的电流信号强度沿管道随着距离的增长呈缓慢的指数衰减趋势。利用管道上方接收机能准确地探测到经管道传送的电流信号,通过跟踪和采集该信号,测试并记录管道各处的电流强度。对于同一条管道,在管径、材质、土壤环境不变的情况下,电流在沿管道传送的过程中逐渐衰减变化。电流信号在管道外防腐层完好时,传播过程中呈指数规律缓慢衰减,防腐层绝缘性较好;反之,当防腐层不好或存在缺陷时,电流就会加速衰减,从而可以断定防腐层存在问题。

4.3 管道检测情况应用

在中石化广东石油某海边油库从罐区至发油台埋地管道,共有埋地管道 5 条,管道直径 DN200。管道从 2002 年开始建成投用,储存和输送油品为汽油和柴油,长度长约 450m,埋地深度约 0.8m。2020 年 10 月,对一条埋地管道进行检测,在泵房发射信号,在结束处接受信号,沿管道利用接收机测试并记录电流。根据上述数据计算各点检测信号损失率并连同电流数据结果分析:根据上述数据计算各点检测信号损失率并连同电流数据做图,检测信号损失率分析该管线存在 1 处管线防腐层破损点,为距离泵房约 250m 处。结合管线现场测试情况分析,经过开挖地面在距离泵房 248m 处发现防腐层出现减薄现象。

5 结语

石油是非常重要的能源,需要利用管道进行运输,但是在施工和使用的过程中,难免会出现各种问题,管道泄漏会带来巨大的损失和危害。应当根据石油管道的特点科学应用管道检测技术,不同的管道检测技术在检测成本、检测精度、检测范围、操作难度上有很大不同,必须要考虑各种情况,提高石油管道检测结果的准确性。

参考文献:

- [1] 吴让建. 石油化工管道防腐检测技术设计及应用研究[J]. 石油和化工设备, 2021, 24(11): 170-173+164.
- [2] 刘建伟. 长输石油管道泄漏检测与定位技术分析[J]. 石化技术, 2021, 28(06): 85-86.
- [3] 王萍. 石油管道内缺陷无损检测技术的研究现状[J]. 全面腐蚀控制, 2020, 34(10): 56-57.
- [4] 李超. 石油运输管道检测技术的研究和应用现状[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(20): 36-37.
- [5] 邓亚华. 基于 RBI 技术的石油化工压力管道检测系统研究[J]. 粘接, 2019, 40(10): 61-64.