

高温压力输送管道红外热成像检测技术分析

刘璐璐（江苏省特种设备安全监督检验研究院泰州分院，江苏 泰兴 225400）

摘要：由于管道泄漏而造成的经济损失和环境污染是不可忽视的，特别在一些易燃易爆场所，高温高压的管道输送系统容易出现渗漏等问题。为此，本文以石油化工企业生产过程中存在的高温、压力输送管道为研究对象，对其进行红外热成像检测的可行性进行分析。通过在不同温度下，管道表面的温度分布情况进行模拟，得到了相应的红外辐射强度曲线；通过选取不同的热源模型，进行了相应的理论计算；并将实验结果与理论计算结果进行对比，验证了该技术的准确性。通过上述研究表明，可以利用红外热成像技术来检测管道表面的温度分布，进而判断管道是否存在泄漏点，这对于保证管道的安全运行具有重要意义。

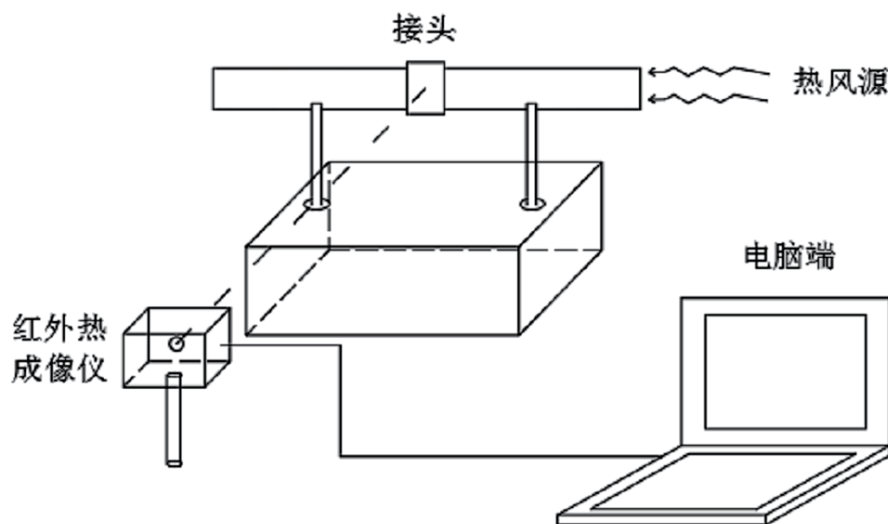
关键词：高温压力输送管道；红外热成像；检查技术

0 引言

管道是石油化工生产过程中的重要环节，它承担着将石油、天然气等能源输送到用户和工厂的任务。因此，管道的运行状况对于企业来说非常重要，如果出现泄漏现象，不仅会造成资源的浪费，而且还可能引起火灾或爆炸，危及整个生产系统的安全稳定运行。近年来，由于我国石化行业发展迅速，各类工厂数量不断增加，而这些工厂在建设初期对管道进行规划时，考虑的主要是原材料的流量和压力等因素，没有充分考虑到使用过程中管道温度的变化及腐蚀情况，因此，往往会存在一些安全隐患。比如：低温流体在管道中流动时，易产生冻结现象；高温流体在管道中流动时，容易产生气蚀现象。一旦发生泄漏，就很难控制，后果不堪设想。目前，为了保证石化企业管道的安全运行，通常采用红外热像技术来进行检测。

1 红外热成像技术的原理

该技术以物理力学理论知识为基础，在物质分组运动阶段，深入了解出现的红外热辐射的现象，因此可以用红外线检测设备，因此收集物质热辐射信号，并且利用现骨干技术转换功率信号为电信号，方便技术人员掌握物质基本信息。利用红外热成像技术，需要利用红外线仪采集物质热辐射红外线波段信号，同时可以转变波段信号为电信号，再通过显示器将图像信息和温度值等显示出来^[1]。因此在利用红外热成像技术的时候，需要综合利用红外探测设备和成像设备以及分析系统等。总之如果物质达到绝对稳定的零度以上，将会出现热辐射现象，属于热辐射源。如果物质存在质量缺陷，将会改变物质内部热辐射性质，在使用物质阶段将会产生问题，利用红外热成像技术可以测量热辐射现象和表面温度，因此判断问题发生的部位。



红外热成像检测系统

在实际应用红外热成像技术的过程中,具体的特点如下所示:一方面在利用红外线探测仪器的时候,焦距超过了200cm,可以实时无线延伸,这样在非接触性大面积物体上利用这项技术。另一方面在运用红外线探测仪器的时候,对于红外线将会形成反应,因此降低了周围环境的干扰。最后该技术具有较高的分辨率,有利于保证检测结果的精准性。此外利用这项技术测量温度的时候,整体检测范围表达,因此拓展了技术使用范围,而且可以精准性地测量动态和静态的实时温度变化。

2 简介红外热成像检测技术应用

这种方法通过采集管道表面及管壁的温度信号,再利用图像处理算法,获得管道内部的实时状态信息。与传统的化学分析方法相比,红外热成像具有无损、非接触性、高精度、易操作等优点,因此被广泛应用于工业生产领域^[2]。国内外现有的红外热成像检测技术可以分为四类:①基于光学原理的检测方法,如:双波段法、线偏振光谱法、傅里叶变换法;②基于电磁学原理的检测方法,如:直接成像法、辐射成像法;③基于信号处理的检测方法,如:二维模糊逻辑检测法、三维多步算法、神经网络法、小波变换法、支持向量机检测器、模式识别法、时频分析法;④基于计算流体力学模型的检测方法,如:CFD方法。其中,前两种方法比较简单,但精度不高;后两种方法需要较复杂的数据处理过程,且无法实现在线检测;最后一种方法由于其建立的数学模型较为复杂,所以难以用于工程实践。四种方法检测管道泄漏的可行性,然后针对不同类型的管道泄漏,分别提出了相应的检测方法。并结合实际案例,证明了这几种方法均能有效检测管道泄漏。

下面将重点讨论如何利用红外热成像检测技术来监测高温压力输送管道表面的温度分布。由于受到管道本身材质、外部环境以及管道内部介质性质等因素的影响,管道表面温度分布呈现出不规则的特点。与此同时,管道在输送高温液体时,管道内壁上易结露,从而导致管道表面温度下降,甚至出现局部结焦现象^[3]。此外,管道内的腐蚀产物也会使管道表面温度升高。由此可见,管道内表面温度分布是受多种因素共同作用的,不能单纯依靠某一个因素来判断管道泄漏的位置,而是应该综合考虑各种因素,才能得到准确的结果。根据已有的研究资料,管道在输送高温介质时,管道表面温度的分布规律可以用“S”型曲线来描述。即:随着管道内介质温度的升高,管道表面温度也逐渐上升,当达到一

定温度值时,管道表面温度开始下降,并在此点附近达到最低点,而后再次上升,直至到达第二个转折点。由于这种温度变化过程表现为先升后降,且变化幅度比较小,故称为“S”型曲线。在管道内壁上,“S”型曲线的曲率半径叫做临界热流密度,它表示了管道表面温度达到最低点时,管道内壁所能承受的最大热流密度。当热流密度超过临界热流密度时,管道内壁将会产生严重的热应力,甚至导致管道破裂。

3 红外热成像技术具体的检测对象

管道外壁温度和管内流体温度差以及材料热导率的该因素对于管内外热系数的影响很大,此外管内给热系数和管内流速等方面的联系紧密,管外给热系数和风速的联系也十分紧密。管道流体温度和特点是给定的,如果管壁壁厚和材料热导率出现问题,将会影响奥管道外部温度。

对于这些看得见的装置,红外线热像仪能够清楚地显示出所有的接头有没有发热危险。如果是被遮挡无法看到的部位,则可以通过将热能传递到外侧,从而找到潜在的热危险。对断路器、导线和母线等其它部件进行操作试验时,红外热像仪具有无可替代的作用^[4]。红外热像产品可以很容易地对电路的超载和三相负荷不平衡进行探测,当前的红外热像技术,多用于对火情的探测、故障的诊断等。而故障检测中包含压力管道检测工作。

管道的隔热性缺陷包括气孔和夹渣以及未熔合等问题,而导热性缺陷包括局部减薄和未填满以及咬边等。在焊接过程中很容易形成气孔和夹渣以及未焊透等缺陷,可以结合实际情况利用射线和超声波等检测方式。在长时间使用管道的时候,可能会发生腐蚀和冲刷等问题,这样将会出现局部减薄的情况,需要利用超声波测量厚度。如果管线较长,或者周围条件的限制,将会增加检测难度。利用红外线成像技术检测管道局部减薄情况,可以使整体工作效率得以提升,同时可以实现动态化监测。

在实际工作中利用红外热成像技术,被测物的温度对于热辐射能量值发挥出直接的影响,若待测对象表面有缺陷,待测对象表面的热辐射也会随之变化,无缺陷对象的检测后其热辐射能呈均匀特征,而含缺陷的对象会破坏其均匀性,若为隔热型缺陷,可以利用正面检测方式,其内部会产生“热点”,若使用背面探测,会产生“冷点”,以上的分析仅限于隔热物体;针对热导体,在使用正面探测时,在缺陷位置将会形成冷点,在背面检测过程中将会出现热点。自身热

辐射注入具有均匀性特点,因为存在缺陷将会改变热辐射能量,被测物体表面产生的热辐射能量将会出现凹陷或者突出的情况。

4 高温管道表面温度分布模拟与分析

在实际工作中,由于受管道内介质物性参数、管径大小以及压力等因素的影响,所以很难找到一种理想的热源模型来准确地计算出管道表面不同区域的温度场^[5]。而根据红外热成像技术的基本原理可知,可以通过测量到管道表面的红外辐射强度,从而获取相应的温度信息。本文采用 Fluent 软件模拟高温管道在某一温度下的温度分布,并以此为基础进行相关的理论计算与分析。

在进行管道温度分布模拟之前,首先需要建立一个包含所有边界条件和流体物性参数的管道模型。该管道采用了均匀流道模型。在进行物性参数设定时,为了保证管内流体处于流动状态,引入质量密度为 0.97kg/m^3 的空气作为补偿项,同时考虑到热传导作用对导热系数的影响,将热导率设为 $0.023\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

在建立管道模型的过程中,必须考虑管道截面上每一点的几何形状。对于圆形管道而言,其内部的流体沿轴向方向流动,因而只需将管道剖开成两个圆弧即可。另外,在研究中发现,对于矩形管道来说,其内部流体流动也具有类似的特征^[6]。因此将矩形管道剖分为四块小圆,即4个“等腰三角形”,每个“等边三角形”都由一个圆心角为 15° 的圆构成。

这样,就可以将整个管道剖分成 40×40 的网格。另外,为了便于求解,还要将网格划分成若干个更小的单元,称为节点。对于给定的网格尺寸,节点数与单元数之间的关系如下: $nCn=1m2nTn-1(1)$ 式中: n 为节点数; T 为单元数。由于要模拟的高温管道截面较大,而且采用了较为复杂的三维结构,因而不能直接应用上述方法进行计算。

因此,可以考虑在管道两侧设置一些特殊的控制点,用于代替管道内部的某个位置^[7]。假设将管道左侧第一个单元定义为管道外壁,第二个单元定义为内壁,第三个单元定义为连接点 A,第四个单元定义为连接点 B,其余单元则用来代表其他的连接位置。根据上述分析结果,可得管道外壁温度的计算公式如下: $T_{\max}=Qbqrq+(1-\eta)Qb(2)$ 其中, η 为管道平均热扩散率; Q 为单位体积内流体流过管道的质量流量; r 为流体速度; b 为管径; q 为单位体积内流体的温度梯度。根据以上公式,可以得到关于温度场分布的模拟结果。随着时间的增加,管道表面温度逐渐增大,且其变化

速率逐渐减小。在距地面约 60cm 处,管道表面温度达到最大值。这主要是由于管道外壁与空气之间存在大量的接触,使其吸收大量的热量,从而导致温度升高。值得注意的是,当管道运行在高温状态下时,不仅会发生蒸发现象,而且还会出现沸腾现象。

因此,在进行温度场拟合时,应该充分考虑这两种现象的影响。综上所述,对于高温压力输送管道的表面温度分布情况可以进行模拟与分析。在模拟过程中,应选择合适的控制点,从而获得管道内壁的温度分布^[8]。在分析时,应着重考虑管道内部的对流换热,并兼顾蒸发和沸腾现象对温度场的影响。

5 结束语

①本文利用 ANSYS 软件对不同管径、不同温度的直管以及弯曲管在常压下进行有限元模拟,模拟结果表明,管道截面上温度场分布较为均匀,并不存在明显的热点区域;②采用红外热成像技术可以有效地探测出管道表面的温度场和热流密度分布,并且具有较高的精确度和可靠性;③通过实验验证可知,随着测试时间的增加,测得的红外热成像图像的温度值会逐渐升高,因此建议选择一个合适的测量距离来提高检测效率。同时,本文所提出的方法可用于其它类型管道的红外热成像检测中。

参考文献:

- [1] 胡晓珍.管道检测评估技术在装修改造中的应用[J].建筑科技,2024,8(03):63-65.
- [2] 许乔奇,岳睿林,高楚霖,等.压力管道内部裂纹缺陷的锁相红外热成像检测研究[J].中国安全生产科学技术,2023,19(12):16-22.
- [3] 马中元,陈焕荣.PVC-C 压力管道红外热成像检测技术研究[J].山东化工,2023,52(13):186-188+191.
- [4] 刘林勇.在用压力管道检测中红外热成像技术的应用[J].中国设备工程,2022(11):177-179.
- [5] 张翰林,吴彩保,王杜,等.红外热成像仪在埋地蒸汽管道泄漏失效分析中的应用[J].中国特种设备安全,2021,37(06):68-71.
- [6] 张艳博,任瑞峰,梁鹏,等.基于热成像的埋地热力管道缺陷检测试验研究[J].仪器仪表学报,2020,41(06):161-170.
- [7] 黄启人,杨达,李家兴,等.浅析红外热成像检测技术在压力容器和压力管道检测中应用[J].中国设备工程,2019(24):102-103.
- [8] 陈涛,李伟忠,刘延雷,等.金属管道未焊透缺陷红外在线检测可行性分析[J].红外技术,2019,41(12):146-150.