

团 体 标 准

T/CASE I XXXXX—XXXX

工业管道绝热层下腐蚀检测及管理方法

Detection and management methods for corrosion under insulation in

industrial piping

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国特种设备检验协会

目 次

目 次.....	I
前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 方法概要.....	2
5 检测方式使用原则.....	5
6 通用要求.....	7
7 检测工艺规程.....	7
8 检测方法原理及操作流程.....	8
9 管道合于使用评价与风险管理.....	28

前 言

本文按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作指导第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国特种设备检验协会提出并归口。

本文件起草单位：略。

本文件主要起草人：略。

工业管道绝热层下腐蚀检测及管理方法

引言

1 范围

本文件规定了工业管道绝热层下腐蚀（CUI）的脉冲涡流检测、X 射线成像检测、超声导波检测、红外热成像检测、微波检测和电容检测等多种无损检测方法，以及基于风险评估的管理策略。

本文件适用于设计温度小于 150℃ 的工业管道，在不移除绝热层的情况下，对绝热层下腐蚀进行检测与评价。

2 规范性引用文件

下列文件内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 6461 金属基体上金属和其他无机覆盖层 经腐蚀试验后的试样和试件的评级

GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义

GB/T 24353 风险管理 指南

GB/T 27664.1 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 1 部分：仪器

GB/T 27921 风险管理 风险评估技术

GB/T 30579 承压设备损伤模式识别

GB/T 31211.1-2024 无损检测 超声导波检测 第 1 部分：总则

GB/T 31211.2-2024 无损检测 超声导波检测 第 2 部分：磁致伸缩法

GB/T 35013 承压设备合于使用评价

GB/T 37183 腐蚀控制工程全生命周期 风险评估

GB/T 40796 金属和合金的腐蚀 腐蚀数据分析应用统计学指南

NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求

NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测

NB/T 47013.11 承压设备无损检测 第 11 部分：射线数字成像检测

NB/T 47013.13 承压设备无损检测 第 13 部分：脉冲涡流检测

TSG 31 工业管道安全技术规程

3 术语和定义

GB/T 35013、TSG 31、NB/T 47013、GB/T 20737 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 工业管道绝热层下腐蚀（CUI）

工业管道绝热层下腐蚀是指发生在施加了绝热材料的工业管道外表面上，由于水分、腐蚀性物质渗透并在绝热层与金属表面之间滞留，所形成的腐蚀现象。

3.2 常见的 CUI 类型

工业管道绝热层下腐蚀的主要类型包含均匀减薄、局部减薄、点蚀等，各类型界定应符合 GB/T 35013 中的规定。

3.3 检测术语

亚表面缺陷 Subsurface Defects

材料表面以下的缺陷，如砂眼、气孔、内部层叠等。

趋肤效应 Skin Effect

高频电流在导体表面集中的现象，影响涡流的穿透深度。

标准试样 Standard Specimen

用于校准和验证涡流探伤设备性能的已知缺陷特征样品。

对比试块 Reference Block

用于比较和评估检测结果的特定材质和结构试块，确定缺陷的性质和严重程度。

相对介损 Relative dissipation factor

运行电压下同相容性设备之间介质损耗因数的差值。

4 方法概要

4.1 脉冲涡流检测

脉冲涡流检测基本原理见 NB/T 47013.13。在探头通过被测试件表面所产生旋涡状流动电流，图 1 为脉冲检测原理图。反馈其特征信息，用于评价被检件状况。

由于脉冲涡流信号包含多种频率成分，低频成分具有更深的穿透深度，因此可以检测出更深层次的缺陷。脉冲涡流检测信号的特征提取可以通过分析脉冲涡流信号不同特征（如峰值特征和累加量特征等）对实验试件缺陷的响应，再通过降噪提高信噪比、降低均方根误差，选择合适的特征进行缺陷成像。以提高检测的准确性和可靠性，完成对工业管道绝热层下腐蚀的检测。

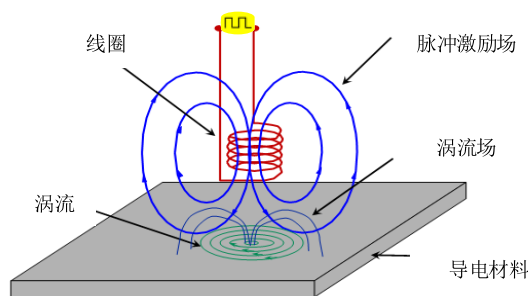


图 1 脉冲检测原理图

4.2 超声导波检测

超声导波检测基本原理见 GB/T 31211。激励传感器激发的机械弹性波会沿着管道双向传播，当超声导波遇到腐蚀缺陷时，就会产生反射波和透射波，反射波会返回到接收传感器上，然后被转换成电信号，图 2 为超声导波检测原理示意图。通过分析该信号中的特征或传播时间，以实现腐蚀位置或者大小的判别，从而实现超声导波对腐蚀的检测。

超声导波检测具有单点激励、长距离检测的特点，一次布置传感器可对数十米管道进行快速筛查。超声导波检测信号分析主要通过时域波形进行，原始信号经滤波去噪后，识别来自管道端头、焊缝等结构特征的固有反射，再通过分析异常反射回波的幅值、传播时间和模态特征，评估腐蚀的位置和截面损失率。检测时根据管道规格和频散曲线优选模态，并提取回波幅值、包络面积等特征参数用于腐蚀程度判定。

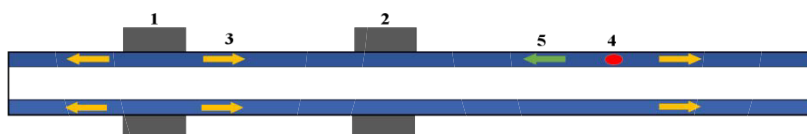


图 2 超声导波检测原理示意图

标引序号说明：

- 1——激励传感器；
- 2——接收传感器；
- 3——弹性波；
- 4——腐蚀；
- 5——反射波。

4.3 X 射线成像检测

X 射线数字成像检测原理见 NB/T 47013.11。X 射线数字成像技术利用 X 射线的透射性和衰减特性，通过探测器来获得可被显示和记录的数字图像，成像原理见图 3。

X 射线成像检测具有直观、图像可永久记录、对点蚀和局部减薄检测灵敏度高的特

点。X 射线成像检测信号分析的核心是数字图像处理，原始图像需经本底校正和降噪处理，评定人员利用图像处理软件对腐蚀缺陷的类型和几何尺寸进行定性和定量分析。特征选择主要基于图像的灰度特征和几何特征，通过分析腐蚀区域与完好区域的灰度差识别缺陷边界，利用缺陷的长轴、短轴、面积等参数定量描述腐蚀的尺寸和严重程度。

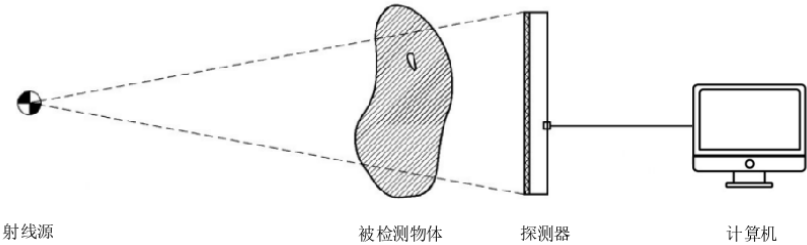


图 3 X 射线数字成像原理图

4.4 红外热成像检测

红外热成像检测方法的基本原理见图 4。红外热成像检测主要利用各个物体的辐射特性对物体表面的温度场进行测量。其基本方法是通过红外探测器测量物体表面的温度变化，并将其转换为可见图像，以灰度或伪彩色显示温度分布；通过对该图像的分析处理，获取管道绝热层腐蚀的状态信息。

红外热成像检测具有非接触、大面积快速扫查的优点，特别适用于保温层渗水等 CUI 诱因的快速筛查。红外热成像检测信号分析的对象是热像图中的温度场分布，重点关注保温层外表面是否存在局部温度异常区域，通过分析异常区域的温度差值、形状、面积及随时间的变化规律，判断腐蚀或积水的可能性。特征选择主要基于温度场的时空特征，提取异常区域与参考区域的温度差值、异常区域面积以及温度-时间曲线特征等参数。

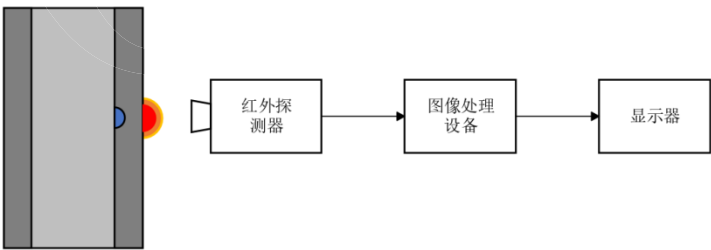


图 4 红外热成像检测原理图

4.5 微波检测

微波检测方法的基本原理见图 5。微波检测方法的原理是利用微波与物质相互作用时，微波的反射、散射、透射、干涉、吸收等特性会发生变化，以及微波的多普勒效应、谐振特性等，通过检测这些变化获取被检测物体缺陷的位置、形状、结构、成分、环境参数等信息，从而实现对管道绝热层腐蚀的检测。

微波检测技术对介电常数变化敏感，能够穿透非金属绝热层，适用于较厚保温层下

的腐蚀和积水检测。微波检测信号分析主要是对接收到的反射或透射信号的幅值和相位进行分析，将检测信号与基准信号比较，通过分析信号幅值下降、相位偏移等异常变化识别腐蚀引起的异常区域。主要提取反射信号幅值衰减量、相位变化值以及扫频模式下的谐振频率偏移量等特征，用于定性评估腐蚀严重程度或积水量。

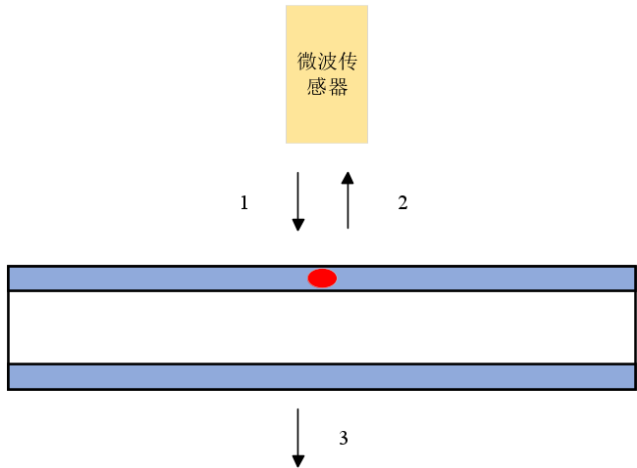


图 5 微波检测原理示意图

标引序号说明：

- 1——入射微波信号；
- 2——反射微波信号；
- 3——透射微波信号。

4.6 电容检测

电容检测技术基于电容的边缘效应原理，当探头移动时，探头与管道金属基体之间形成微小电容，其介电特性由绝热层及其内部物质决定。当绝热层下存在腐蚀产物、积水或剥离时，电容值及其损耗发生变化，通过测量这些变化即可推断绝热层下的状态。

电容检测技术对介电常数变化敏感，适用于具有较厚保温层管道的腐蚀、积水及剥离检测。电容检测信号分析主要是对检测到的电容值和介质损耗因数进行处理，以标准试件或完好区域检测值为基准，计算各检测点的电容变化量和相对介损变化量，识别异常区域。特征选择主要提取电容值和介质损耗因数，采用电容比和相对介损作为主要评价指标。

5 检测方式使用原则

5.1 概述

应根据工业管道的材质、结构、制造方法、使用环境、损伤模式，预计可能产生的缺陷种类、形状、部位和方向，并依据 NB/T 47013 中的相关规定选择适宜的无损检测方法。

5.2 脉冲涡流检测

- 5.2.1 适用于材质均匀的被检件，其材质越均匀，检测效果越好。
- 5.2.2 适用于铁磁性材料，可以应用于铁磁性管道腐蚀检测。
- 5.2.3 可检测均匀减薄、局部减薄、点蚀等腐蚀缺陷。
- 5.2.4 对于不锈钢等非铁磁性材料，检测效果不足。
- 5.2.5 对于保温层过厚或管道表面温度过高的情况，检测灵敏度会下降。

5.3 超声导波检测

- 5.3.1 超声导波检测适用于碳钢、不锈钢等多种材质的管道。
- 5.3.2 可对长距离管道进行快速筛查。
- 5.3.3 能够检测均匀减薄、局部减薄和环向焊缝处的腐蚀。
- 5.3.4 对于点蚀缺陷灵敏度较低。
- 5.3.5 对于保温层过厚、管道存在复杂结构或管内介质为高粘稠度液体的情况，检测效果会受到影响。

5.4 X 射线成像检测

- 5.4.1 X 射线成像检测适用于碳钢、不锈钢等多种材质的管道。
- 5.4.2 可有效检测点状腐蚀、面状腐蚀和局部减薄等缺陷。
- 5.4.3 适合对可疑区域进行精确定量检测。
- 5.4.4 对于壁厚较大的管道穿透能力受限。
- 5.4.5 不适合大面积普查；存在辐射安全防护要求。

5.5 红外热成像检测

- 5.5.1 适用于各种材质的管道。
- 5.5.2 可检测保温层渗水、保温层破损等 CUI 诱因。
- 5.5.3 对于保温层过厚或管道内外温差较小的情况，检测灵敏度不足。
- 5.5.4 检测结果易受环境温度、风速、表面发射率等因素影响。
- 5.5.5 无法直接测量腐蚀深度。

5.6 微波检测

- 5.6.1 微波检测适用于碳钢、不锈钢等多种材质的管道。
- 5.6.2 可检测较厚保温层下的腐蚀和积水情况。
- 5.6.3 适宜定性筛查。
- 5.6.4 对于小尺寸点蚀缺陷灵敏度较低。
- 5.6.5 检测结果受保温层材料类型、厚度和含水率影响较大。

5.7 电容检测

5.7.1 电容检测适用于碳钢、不锈钢等多种材质的管道。

5.7.2 可检测较厚保温层下的腐蚀、积水及保温层剥离情况。

5.7.3 适宜对保温层状态进行连续扫查。

5.7.4 适宜定性筛查和相对比较。

5.7.5 对于点蚀缺陷灵敏度较低；检测结果受保温层类型、厚度、湿度及探头与被测面间距影响较大。

6 通用要求

6.1 单位和人员要求

单位和人员应满足 GB/T 35013、TSG 31 及 NB/T 47013.1 的相关要求

6.2 检测设备和器材要求

无损检测设备和器材应附有产品质量合格证明文件。无损检测设备和器材应符合其相应的产品标准规定。检测设备包括仪器主机、探头和电缆线及辅助器材等。检测仪器应明确标注灵敏度，并检定有效期，检验前应进行对比验证保证其准确性。必要时，检测设备宜具有位置记录装置。

7 检测工艺规程

7.1 通用工艺规程

相关检测工业管道绝热层腐蚀应按本文件的要求制定检测工艺规程，其内容应至少包括以下内容：

- a) 适用范围；
- b) 引用标准、法规；
- c) 施工人员条件；
- d) 检测仪器设备，如检测仪、信号线、电缆线、仪器主机、检测数据采集和分析软件等；
- e) 被检构件的信息，如几何形状与尺寸、材质、设计与运行参数，也可用图形表示；
- f) 检测覆盖范围及传感器型号；
- g) 被检构件表面状态及传感器安装方式；
- h) 检测过程和数据分析解释；
- i) 检测结果的评定；
- j) 检测记录、报告和资料存档；
- k) 工艺规程的编制、审核和批准人员；

l) 编制日期。

7.2 工艺卡

在检测前，相关应编制工艺卡。工艺卡的编制应符合 NB/T 47013.1 的要求，并至少包含以下内容：

- a) 被检构件的基本信息及历史运行、检验的情况;
- b) 检测工艺卡的名称和编号;
- c) 详细操作步骤及检测参数;
- d) 检测范围，包括检测点的位置与分布，需要时可绘制示意图;
- e) 对检测点的处理和准备(包括包覆层和构件表面);
- f) 检测系统的使用说明。

8 检测方法原理及操作流程

8.1 脉冲涡流检测

8.1.1 脉冲涡流检测系统

脉冲涡流检测系统构成见图 6，通过控制器的作用可任意调节方波信号的频率与占空比，以满足系统的适用性，脉冲信号发生器产生脉冲方波信号，通过功率放大器增大其负载能力，将放大后的信号加载到探头模块的激励线圈中去产生一个脉冲磁场。当探头接近被测试件，该脉冲磁场就会在被测试件内部感生出脉冲涡流可间接地反映被测试件的参数和特征。当被测试件中存在缺陷时，感应涡流会发生变化，引起叠加磁场改变。这时就需要磁传感器测量变化的叠加磁场，并输出对应的电压信号，再通过信号调理模块处理后被数据采集模块获得，并将其传输到计算机平台进行后期数据分析和处理，最终得到可以反映缺陷信息的信号。

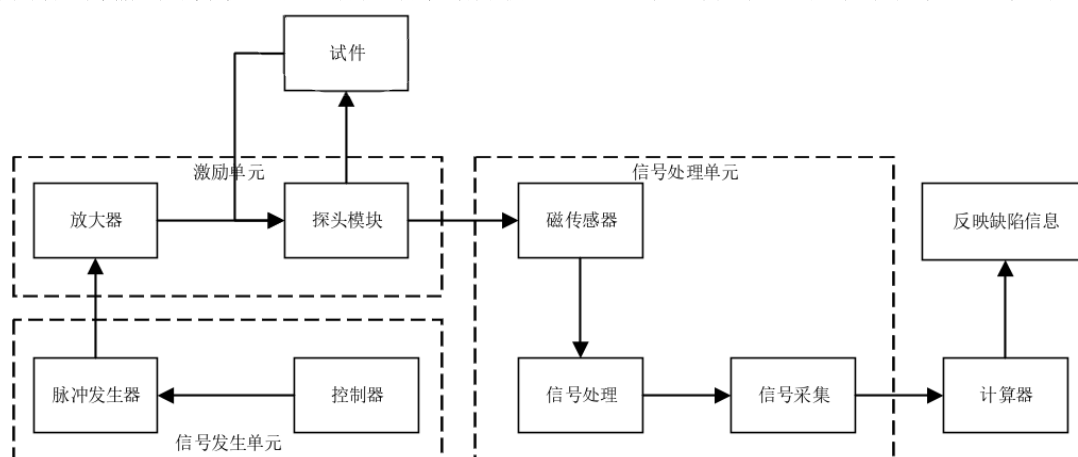


图 6 脉冲涡流检测系统构成

8.1.2 检测流程

推荐的脉冲涡流检测流程图如下图 7 所示。

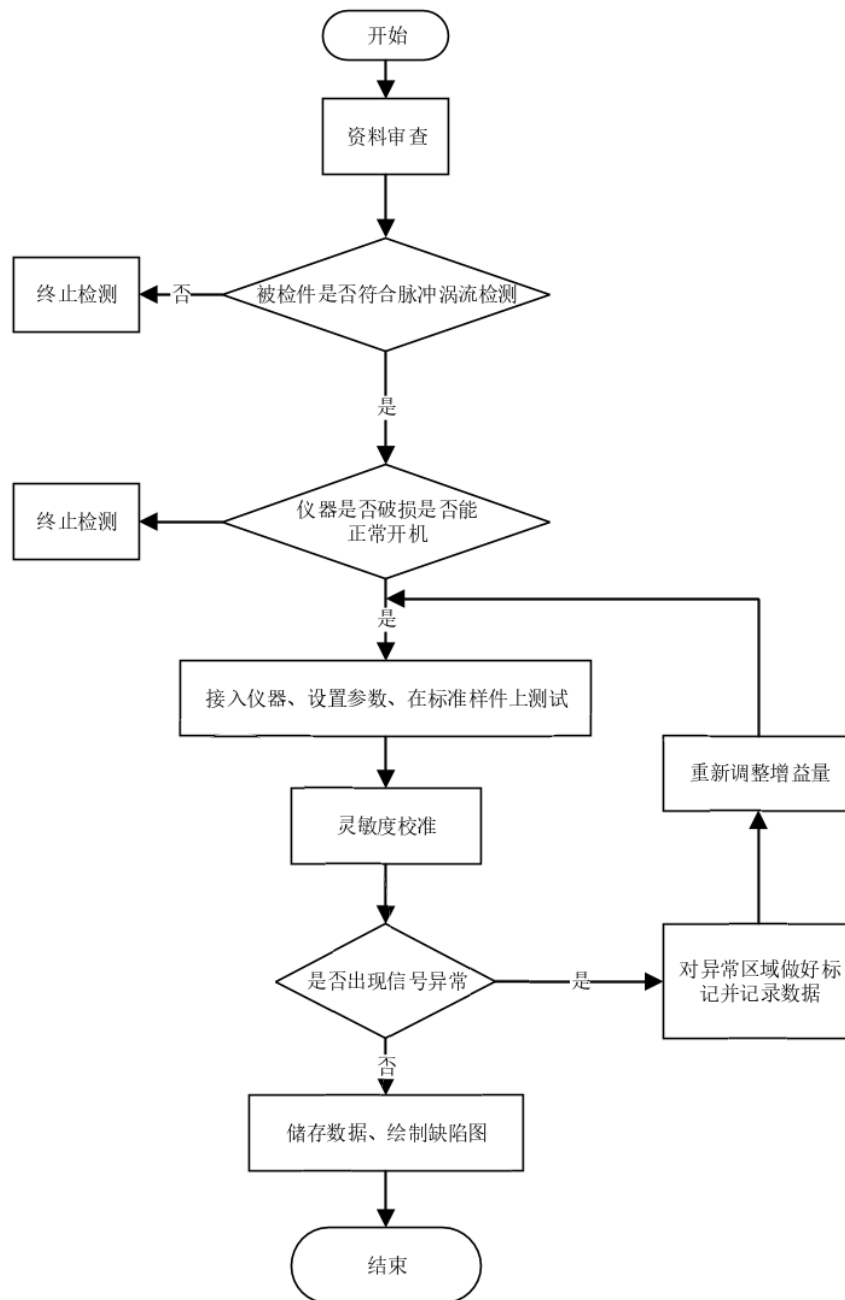


图 7 脉冲涡流检测流程图

8.1.3 标准试件的制备

标准试件为阶梯管试件，粗加工规格外径 60mm 的管道。试件上分别加工出壁厚为 3.0mm、3.5mm、4.0mm、4.5mm 和 5.0mm 的台阶模拟均匀壁厚减薄。阶梯壁厚的公差为 $\pm 0.2\text{mm}$ ，亦可以在每个阶梯区域选取 5 个不同部位。标准试件规格见图 8。

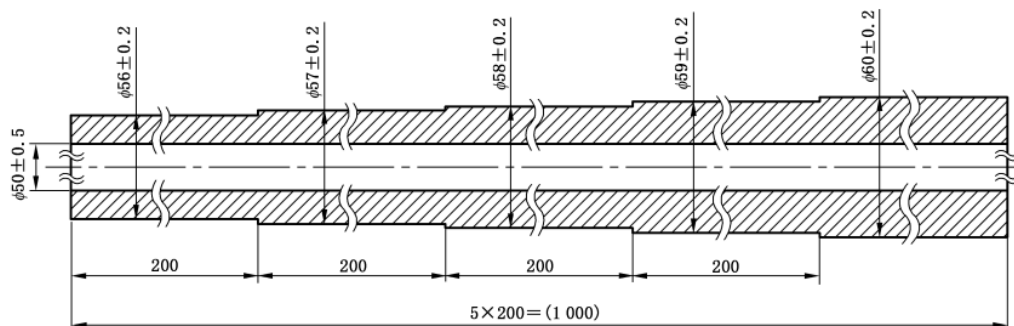


图 8 脉冲涡流标准试件

8.1.4 检测频率、模式的选择

为确保脉冲涡流的检测深度不小于被检管材壁厚,应根据被检管材壁厚和检测要求选择检测频率。检测频率的选择应按 NB/T 47013.13 的要求执行。

8.1.5 参数校正

8.1.5.1 调试探头等机械装置,对被检管材不产生划伤并满足 9.5.2 的要求。

8.1.5.2 在标准试样表面的缺陷区和非缺陷区分别以一定的扫查速度进行扫查,扫查速度宜按照 GB/T 5126 的要求执行,使检测探头与试样表面垂直扫描。

8.1.5.3 选取合适的检测频率、增益、滤波和报警阈值等参数,确定检测灵敏度,3mm 深刻槽产生的信号幅度应达到报警区域的 80%,使报警阈值可明显区分缺陷区信号和非缺陷区信号。

8.1.5.4 校准后,信噪比应大于 6dB,并保存校准图谱。

8.1.5.5 信号异常区域的确认:重新调整增益量,以校准试样检测设置的灵敏度,对异常信号标记区域重新进行扫查,并做好标记,记录异常信号图谱、最大幅值、位置和长度等相关信息。

8.1.6 检测

8.1.6.1 资料审查内容应符合 NB/T 47013.13 要求审核。

8.1.6.2 检查仪器的电池状态,查看表面是否存在破损,仪器是否能够正常开机等。

8.1.6.3 操作探头人员应佩戴绝缘手套,并做好安全防护措施,应符合 NB/T 47013.13 的规定。

8.1.7 数据处理、分析与判读

8.1.7.1 对于出现异常响应信号的区域,应细致观察相应信号对应在构件表面的位置,再依据扫查方式来确定腐蚀的大小和位置。

8.1.7.2 对检测中发现的不能排除由相关干扰因素引起的信号,应将响应信号视为由缺陷引起。

8.1.7.3 对于记录下来的分析报告宜按照 NB/T 47013.13 的要求进行分析。

8.1.7.4 每次连续检测 2h 或者检测结束时,应重新对式样管进行校验,如检测灵敏度变化

较大，应对上一次检测的管材重新检测，其变化幅度宜参照 NB/T 47013.13 中的要求执行。

8.1.7.5 对检查显示信号有疑问时，应进行复检或者按照其他检测方法进行对比检测，以确定显示信号产生的原因并确定是否存在腐蚀。

8.1.8 检测分析报告

8.1.8.1 检测报告应至少包括以下内容：

- a) 检测对象：设计与运行参数、覆盖层类型和厚度、金属外表面温度、环境情况及设备振动、温度波动等情况；
- b) 检测设备和器材：探头型号规格、激励磁场类型等；
- c) 参考点位置、特征和实测厚度值；
- d) 设备使用单位或委托单位；
- e) 检测单位；
- f) 检测结论；
- g) 检测人员和审核人员签字及资格证书编号；
- h) 报告签发日期。

8.1.8.2 检测完成后，检测人员以列表的形式逐点给出检测结果并对试件腐蚀态势图认真分析，并与用户协商确定被检工件进一步验证的范围。

8.1.8.3 必要时应绘制出被检件剩余壁厚示意图，当与参考区域相比，检测区域存在较大的物理特性差异时，应对检测数据进行适当的修正或补偿，再对修正补偿后的结果进行重新评价。

8.2 超声导波检测

8.2.1 超声导波检测系统

超声导波检测系统构成见图 9。根据被检构件计算频散曲线，选择导波模态和激励信号频率：计算机根据计算结果控制信号发生单元，产生所需频率的信号源，经功率放大单元放大后驱动传感器产生所需模态的导波，并在被检构件内传播：传感器接收到导波在构件内传播遇到腐蚀等缺陷时产生的反射回波：放大器将传感器接收到的信号放大后通过模数转换输入计算机，计算机进行信号分析处理后,得到检测信号波形及结果。

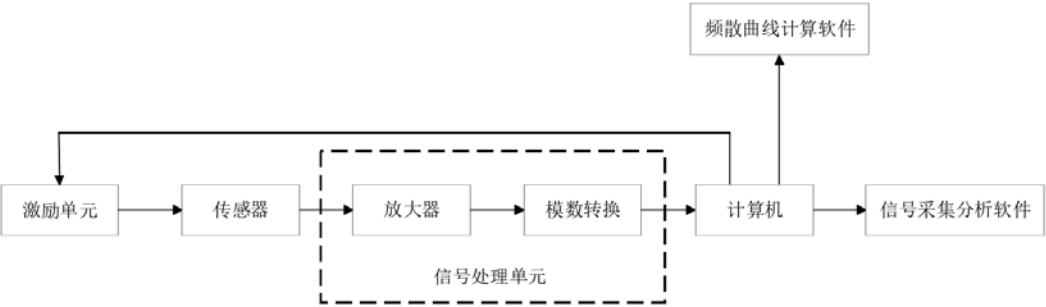


图 9 超声导波检测系统构成

8.2.1.1 超声导波传感器

每个传感器应明确给出传感器的规格型号、中心频率、频率范围、工作温度范围和适用范围，适用范围包括被检构件的类型、材料、规格。

8.2.1.2 超声导波检测仪

超声导波检测仪应符合 GB/T 27664.1-2011 的要求，宜采用 A 型脉冲反射式超声检测仪，其工作频率按-3dB 测量应至少包括 0.5MHz~10MHz 频率，。

8.2.1.2.1 激励单元

激励单元能够产生相应的激励信号，通过激励传感器在管道中激发出相应模态的导波。应根据构件状况、传感器类型、频散曲线计算结果及检测的缺陷类型选择合适的激励单元，同时激励信号的频率、幅值、周期数、脉冲重复频率应可调。

8.2.1.2.2 信号处理单元

信号处理单元主要包括放大器和模数转换器。

放大器能将来自传感器或探头的信号放大，同时经过带通滤波器去除信号中的干扰噪声。

模数转换器将模拟信号转换为计算机需要的数字信号，再输入到计算机。

信号处理单元应与传感器、激励单元、采用的导波模式和检测目的相匹配。

8.2.1.2.3 信号采集与分析软件

超声导波信号采集与分析软件应至少包含以下功能：

- a) 频散曲线计算；
- b) 信号采集；
- c) 信号存储；
- d) 信号分析；
- e) 绘制距离-幅度曲线；
- f) 信号回放；
- g) 信号定位。

8.2.1.3 试件

8.2.1.3.1 标准试件

标准试件的要求应满足本文件 10.3 中的要求。

8.2.1.3.2 对比试件

对比试件按 GB/T 31211.1-2024 执行。

8.2.1.4 检测系统的维护和校准

检测系统的维护需制定相应规程，并在规定的时间内对检测仪器进行检查和维护，以保证仪器的功能和安全。

在进行现场检测之前，应在实验室内选择相应规格的标准试件对检测仪器进行校准。

在进行现场检测时，如怀疑设备的检测结果，应对设备进行功能检查和性能调整，并对

每次维护结果进行记录。

8.2.2 检测流程

超声导波检测的检测流程见图 10。

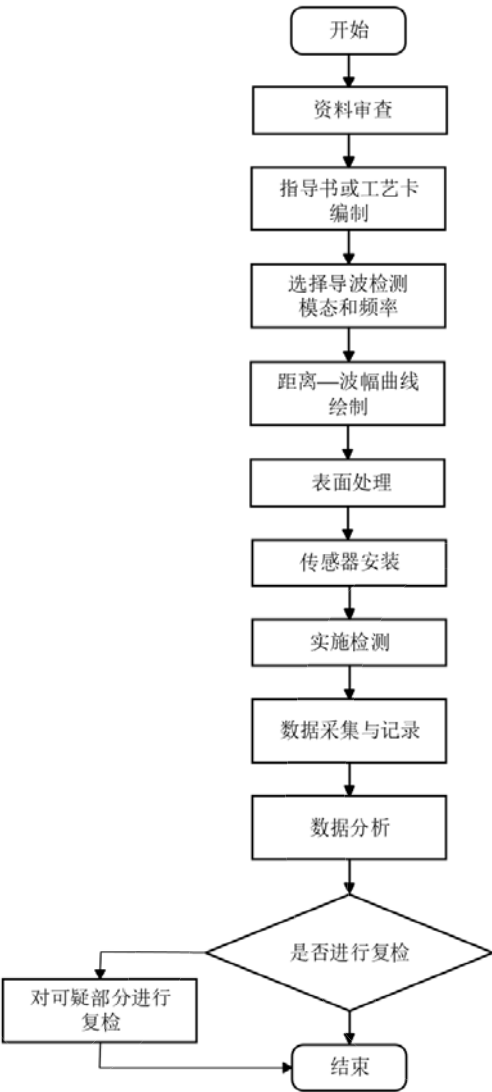


图 10 超声导波检测流程图

8.2.3 标准试件的制备

8.2.3.1 标准试样 1 为 GB/T 31211.1-2024 规定的标准样件，用于对仪器系统检测灵敏度及其功能进行测试。

8.2.3.2 标准试样 2 为 GB/T 31211.2-2024 规定的标准样件，用于对仪器系统检测灵敏度及其功能进行测试。

8.2.4 表面处理及传感器安装

8.2.4.1 管道表面处理

在安装探头位置需要对管道的表面进行处理,包括下列内容：

- a) 将管道表面的应无灰尘、铁锈以及凹凸不平的异物等，并且应具有足够均匀的轮廓

和光滑度，检测前应除去影响检测结果的障碍物；

- b) 管道表面可保留厚度小于 10mm 的涂层、防腐层或保温层；
- c) 针对埋地管道，应在检测点位置进行开挖，开挖段深度距离管道下部不得小于 30cm，开挖段管道外侧宽度应不小于 50 cm，长度应不小于 1 m。

8.2.4.2 传感器安装

传感器安装应满足以下要求：

- a) 依据工艺卡在管道上确定传感器安装的具体位置，传感器的安装部位需远离管道连接、支吊架、支座等结构复杂部位；
- c) 为了使传感器与管道表面达到良好的声耦合状态，传感器应固定在管道的表面；
- d) 固定传感器时，应采用机械夹具、磁夹具或其他方式将传感器固定在管道上，并保持传感器与管道和固定装置的绝缘性；
- e) 对于高温构件超声导波检测，需采用高温传感器或非接触的电磁超声与磁致伸缩超声导波传感器。

传感器安装位置应按照仪器的操作说明执行，其要求应至少包括以下内容：

- a) 参照管道几何特征和其他状况对检测性能的影响；
- b) 尽量靠近管道易腐蚀区域，同时避免腐蚀区域在检测盲区内；
- c) 选择检测点宜尽可能远离噪声源；
- d) 采用横向检测数据对比时，各被检构件的传感器安装位置保持相同，且被检构件的工况应相同；
- e) 采用历史检测数据对比时，传感器在检测周期内要稳定安装在被检构件上，或每次数据采集时确保传感器的安装条件一致。

8.2.5 检测频率、模态的选择

8.2.5.1 检测模态选择原则

对于充液的管道，宜采用扭转模态的超声导波进行检测。应结合频散曲线和波结构，按照以下原则，选择合适的检测模态和频率范围：

- a) 公称直径为 50 mm~100 mm 的管道，宜采用 T(0,1)、L(0,1)、L(0,2)模态的超声导波，并使用 A 型脉冲检测法；
- b) 公称直径为 100 mm~800 mm 的管道，宜采用 T(0,1)、L(0,1)、L(0,2)以及 T(n,1)模态的超声导波并使用 A 型脉冲检测方法或 B 扫查成像检测方法进行检测，必要时同时采用两种方法协同检测；
- c) 公称直径大于 800mm 的管道，宜采用 T(n,1)模态的超声导波并使用 B 扫查成像检测方法进行检测。

8.2.5.2 检测频率

超声导波检测过程中，首先得到管道的频散曲线，然后根据频散曲线再结合导波在管道

截面上的波结构来选择合适的导波模态和检测频率。不同频率的导波对各类损伤有不同的灵敏度，检测过程中宜采用多种频率检测或扫频。

应按照以下原则选择频率，

- a) 宜选用零阶模态的非频散区域实施检测，在选定检测模态后，由频散曲线上检测模态非频散段确定检测频厚积范围。
- b) 实施导波检测时，需识别波结构的影响，在选定非频散段后，液体接触层优选波结构表面离面位移小的频率点；固体接触层优选波结构表面处总位移小的频率点。综合考虑检测距离和缺陷检测灵敏度的影响后，最终确定检测频率。

8.2.6 参数校正

8.2.6.1 基线测量

8.2.6.1.1 超声导波检测仪时基线应显示超声导波传播时间或与其相关的声程、反射体距检测面的深度、声程水平投影距离、不含前沿距离的声程水平投影距离等参数。

8.2.6.1.2 应基于两个已知传播时间或间距的参考回波设定时基线，同时，按照仪器调节要求，还需明确声程、反射体与检测面间的深度、以及含前沿或不含前沿的声程水平投影距离等参数。

8.2.6.1.3 该技术能够对超声导波在探头楔块中的传播时间进行精确调节。在使用具备电子调节时基线功能的仪器时，若已知参考试块的超声声速，仅需利用一个回波进行调节即可。

8.2.6.1.4 参考回波之间的间距应当在时基范围内合理增大。需借助扫描延时与范围微调旋钮，将时基线上每个回波的上升前沿精准调节至预定位置。

8.2.6.1.5 若条件允许，应当采用一个核查信号进行复验，此核查信号不得与用于时基线调节的信号相同，且应在示波屏上经计算得出的位置处清晰显示。

8.2.6.2 灵敏度设定

检测系统灵敏度及信噪比应满足以下要求：对管道横截面损失率的最小分辨率应达到1%，且信噪比不低于6dB。

完成时基线设定后，应使用下列技术设定灵敏度：

- a) 单个反射体技术
在相同声程范围内评定回波时，可借助单个参考反射体完成灵敏度的设定。
- b) 距离幅度校正曲线(DAC)技术
此技术依据适用参考试块中一系列不同声程的相同反射体所产生的多个不同高度回波，来进行灵敏度的设定。
- c) 距离增益当量尺寸(DGS)技术
该技术利用理论推导得出的声程、仪器增益以及垂直于声束轴线的平底孔尺寸之间的关系曲线，完成灵敏度的设定。

8.2.6.3 干扰去除

8.2.6.3.1 分析对象

根据检测信号图,识别出被检构件端头、接头、焊缝、外部支撑等固有特征部位产生的超声导波反射信号,但不作为分析对象;其余超声导波反射信号均为分析对象。

8.2.6.3.2 反向回波分析

反向回波是较为常见的导波干扰信号,应在信号分析过程中予以排除,其判断的原则包含以下几个要素:

- a) 反向回波与正向回波相对以传感器为中心镜像分布;
- b) 一般情况下,反向回波的幅值比正向回波小。

8.2.6.3.3 往复反射波分析

往复反射波是超声导波在被检构件上两个距离较近的结构特征中往复反射形成的,在信号分析中应结合被检构件的结构特征进行排除。

8.2.6.3.4 噪声分析

超声导波信号中的噪声一般分为相干噪声和非相干噪声(随机噪声或环境噪声),应对信号予以分析并排除。

8.2.7 检测

超声导波检测应首先根据管道的频散曲线和波结构选择相应检测频率,再根据管道规格、材质、几何特征、腐蚀严重程度、外包覆层及导波覆盖频率确定检测覆盖率。检测时需要对仪器进行调试,使仪器达到稳定工作状态,观察和记录出现的超声导波信号。

8.2.8 数据处理、分析与判读

8.2.8.1 来自传感器或探头的信号经过放大器放大的同时采用带通滤波器去除干扰噪声等调理后,将模拟信号输入模数转换器,转换成数字信号,输入模数转换器的采样频率应至少大于激励频率的 10 倍。

8.2.8.2 检测数据应进行准确的记录和存储,以便后续的分析、查询和追溯。存储的介质应保证数据的安全性并且长期可用。

8.2.8.3 检测信号的分析 and 解释应至少包括以下内容:

- a) 采用调节好的仪器,对管道绝热层进行检测,观察和记录出现的超声导波反射回波信号;
- b) 确定回波信号是否是由管道的端头、接头、焊缝、外部支撑等部位产生,如果确定是,应排除;
- c) 对于管道上无明显几何形状变化部位的超声导波回波信号,排除反向回波、往复反射波及噪声等干扰信号后,即可确定为管道缺陷产生的超声导波回波信号,首先确定这一回波信号的反射部位,并加以标识,对于同一声程位置含有多个反射回波,可先确定该位置处疑似缺陷的数量,其次记录缺陷的二维位置信息并在管道上加以标识,然后进行检测结果评价和处理。

- d) 对于环焊缝、法兰等全圆周结构干扰,可根据反射回波幅值沿管道周向上的一致性判断是否存在缺陷。

8.2.9 检测分析报告

8.2.9.1 超声导波检测报告应至少包括以下内容:

- a) 项目名称;
- b) 委托单位、检测单位、被检构件的信息,如名称、编号、设计与工作参数、材料和几何尺寸等;
- c) 本文件编号、规范和相关规定文件、检测仪器型号、检测方式、传感器型号及固定方式;
- d) 检测仪器工作参数设置;
- e) 距离-幅度曲线、传感器安装部位示意图;
- f) 检测软件名及数据文件名;
- g) 检测结果分析及分级结果及数据图;
- h) 检测结论;
- i) 检测人员和审核人员签字及资格证书编号;
- j) 检测日期。

8.2.9.2 检测结果分级

通过超声导波检测探测到的缺陷信号应与距离—幅度曲线进行比对分级,反射波幅在Ⅰ区的为Ⅰ级,在Ⅱ区的为Ⅱ级,在Ⅲ区的为Ⅲ级,在Ⅳ区的为Ⅳ级。

8.2.9.3 不可接受信号的确定与处理

8.2.9.3.1 超声导波检测的结果是腐蚀缺陷当量,当检测结果显示的腐蚀缺陷当量值与其真实缺陷差异时,应根据被检构件的具体情况由用户和检测人员协商确定不可接受信号的水平。

8.2.9.3.2 如果用户参与确定,应以用户的按照用户的要求确定等级;如果用户不参与确定,则由检测人员确定不可接受信号的等级,一般检测结果判为Ⅲ级和Ⅳ级的信号时则认为不可接受信号。

8.2.9.3.3 对检测发现的前三个最大的缺陷信号部位,应进行复检,复检时可采用目视检测、超声检测、表面无损检测或解剖验证等方法进行,再根据复检结果逐步确定不可接受缺陷信号的水平。

8.3 X射线成像检测

8.3.1 X射线成像检测系统

X射线机发射X射线,穿透被检测工件后被图像探测系统接收,经过采集处理将图像信息输入到计算机;之后,利用计算机软件进行图像处理,以提高图像的对比度,并将处理后的图像显示出来。示意图见图11。具体检测系统上的执行要求宜按照NB/T 47013.11上的

要求执行。

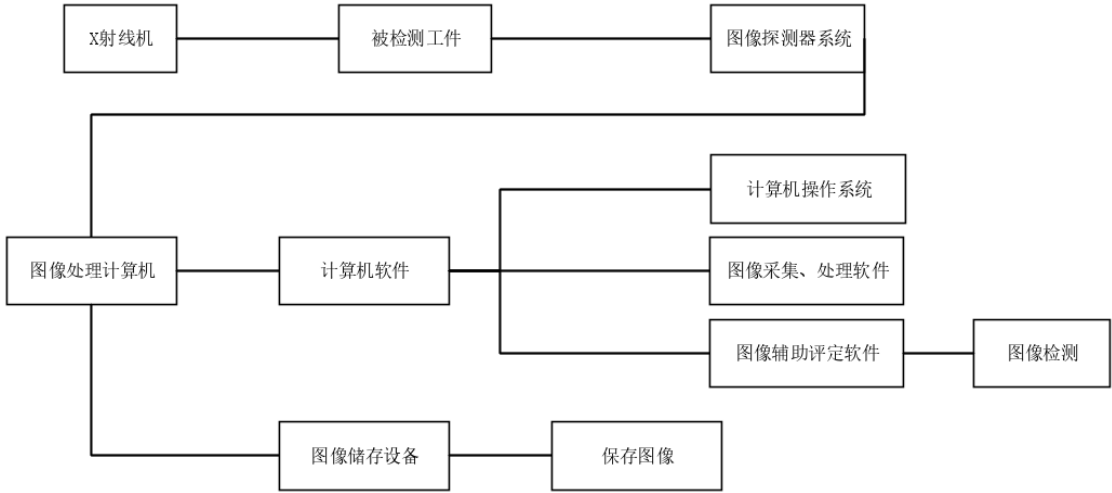


图 11 X 射线成像检测系统构成

8.3.2 检测流程

推荐的 X 射线成像检测流程可按照 NB/T 47013.11 中的要求执行。

8.3.3 检测方法的选择

8.3.3.1 采用双线型像质计测量基本分辨率。

8.3.3.2 应根据被检工件特点和技术条件的要求选择适宜的透照方式。优先选择单壁透照方式，在单壁透照不能实施时才允许采用双臂透照方式。其具体参数要求宜参照 NB/T 47013.11 执行。

8.3.3.3 所选用的 X 射线机至被检工件表面距离 f 应满足下述要求：

- a) AB 级射线数字成像检测技术： $f \geq 10d \times b^{2/3}$;
- b) B 级射线数字成像检测技术： $f \geq 15d \times b^{2/3}$ 。

其中 d 为有效焦点尺寸按照 NB/T 47013.11 相关规定计算， b 为被检工件表面到探测器的距离。

8.3.3.4 透射时 X 射线束中心应垂直指向透射区中心，必要时可选择有利于发现腐蚀的反向透射。

8.3.4 参数校正

8.3.4.1 像质计贴于放置方式应符合 NB/T 47013.11 附录 C 的要求

8.3.4.2 调试系统的管电压、管电流和显示器亮度、对比度。

8.3.4.3 按照 NB/T 47013.11 中的要求计算像质计灵敏度 K ，并测试系统的分辨率，所得灵敏度应小于 2%，分辨率应大于 2.0LP/mm。

8.3.5 检测

8.3.5.1 检查仪器的外观质量应符合下列要求：

- a) 表面镀层应坚固，无脱落现象；

b) 非加工和易锈面应有防锈措施。

8.3.5.2 操作探头人员应佩戴绝缘手套，并做好安全防护措施，措施应符合 NB/T 47013.11 的规定。

8.3.5.3 图像灵敏度值应按照 NB/T 47013.11 中 6.1 规定进行。

8.3.6 数据处理、分析与判读

8.3.6.1 图像的随机噪声可以使用积分降噪或帧平均降噪技术去除；对探测器进行本底（暗电流）校正和响应不一致性校正可以有效消减结构噪声。

8.3.6.2 图像的归一化信噪比达到许可值时才可进行图像评定。

8.3.6.3 对于记录下来的分析报告宜按照 NB/T 47013.11 的要求进行分析。

8.3.6.4 对检查显示信号有疑问时，应进行复检或者按照其他检测方法进行对比检测，以确定显示信号产生的原因并确定是否存在腐蚀。

8.3.6.5 检测表面粗糙、带有曲率和厚度变化大的物体时，图像质量可以通过图像灰度幅值来进行判断。

8.3.7 检测分析报告

8.3.7.1 检测报告应至少包括以下内容：

- a) 制造单位、检测单位或委托单位；
- b) 被检工件：坡口型式、焊接方法；
- c) 使用的检测工艺文件编号；
- d) 检测设备：射线机有效焦点尺寸；
- e) 检测规范：检测技术等级、透照布置、像质计、滤波板、射线能量、曝光量或透照时间、射线机与探测器的相对关系、透照几何参数、软件处理方式和条件等；
- f) 图像评定：灰度值、信噪比、图像灵敏度、图像分辨率、缺陷位置和性质；
- g) 检测工艺文件验证情况；
- h) 检测结果及质量分级；
- i) 审核人员及其技术资格；
- j) 其他需要说明或记录的事项。

8.3.7.2 图像评定原则上应使用静态检测图像，如果动态图像能达到图像质量要求，也可进行动态图像评定，图像质量使用归一化信噪比、图像分辨率和图像灵敏度来评价，且应在一个亮度可控的柔光环境下进行。

8.3.7.3 图像分析处理软件应包含检测图像中特征尺寸的标定和测量功能。检验规程应规定测定检测图像特征尺寸的方法，必须验证并保持测量方法的准确性。

8.3.7.4 评定人员进入评定区域后，在开始图像评定前应有足够的适应时间。

8.3.7.5 检测人员应先确定腐蚀缺陷的类型和特点，再使用系统提供的辅助评定工具对缺陷进行定量分析。

- 8.3.7.6 产品检验标准可以按照图像质量指标进行技术等级评估。
- 8.3.7.7 特殊规定的图像质量指标应达到合同规定的技术等级。
- 8.3.7.8 根据被检物体的材质、结构和加工工艺，分析可能产生的腐蚀缺陷的类型和特点，确定采用补偿规则的合理性并在实际检测过程中进行确认。

8.4 红外热成像检测

8.4.1 红外热成像检测系统

红外热成像检测系统构成见图 12。红外线热成像系统主要包括物镜、探测器、图像处理器、显示器、激励单元等。检测对象的红外辐射首先经过物镜成像在探测器阵列上，之后探测器将其转换为电信号，再通过图像处理器的进一步处理获取检测对象的相关信息。

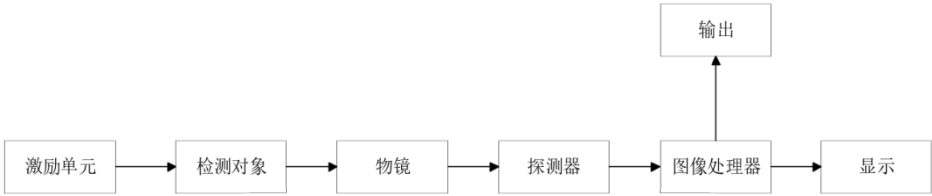


图 12 红外热成像检测系统构成

8.4.1.1 物镜

红外热成像系统中的物镜可以将红外辐射从被检物体聚焦到探测器上。物镜的使用应满足各种视场角的要求，其性能主要影响检测系统的视场范围和空间的分辨能力。

8.4.1.2 探测器

红外线热成像系统中使用探测器将辐射能转变为可测量的电信号，常使用的红外辐射传感器包括:微测辐射热计、光电、热释电或量子传感器等。

8.4.1.3 激励单元

激励单元和调制方式应根据检测对象和检测目的来选择。常用的激励单元包括光加热源、高温气体发生器、电磁感应加热器或其他热源等，常用的调制方式包括脉冲式、阶跃式、周期式等。

8.4.1.4 图像处理器

图像处理器用于红外热像图的采集、分析、处理、显示和储存。红外热像图的分析 and 处理通常包括温度场空间分布及随时间变化、图像的增强和降噪处理等。

8.4.2 检测流程

红外热成像检测的检测流程见图 13。

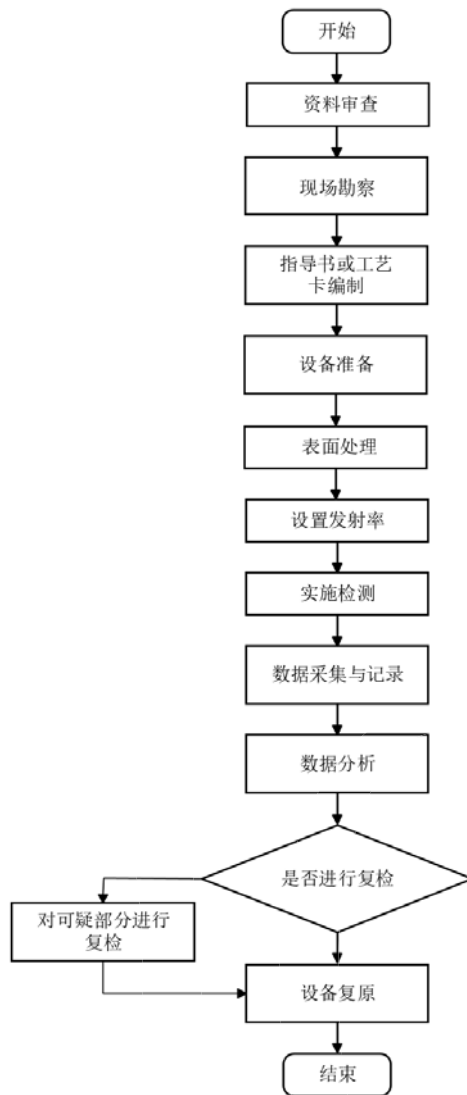


图 13 红外热成像检测流程图

8.4.3 检测环境

8.4.3.1 检测环境应满足包括热成像仪在内全部检测设备所需的温度、湿度及外界热辐射环境要求。

8.4.3.2 检测前应排除或者减少周围环境的热辐射干扰影响，为了避免非被测物或背景中的反射，可增加被测物的发射率。

8.4.3.3 应考虑被测件与热像仪之间的其他物质对红外光的吸收、散射与反射作用，此外，在红外热像仪安装过程中，可通过多位置检测来确定反射影响最小的位置。

8.4.3.4 检测前，应移除热激励单元前除被测件外的所有易反光物体。

8.4.3.5 应避免在易燃、易爆的环境中进行检测。

8.4.4 表面处理

8.4.4.1 管道表面处理

管道表面颜色应接近均匀，无大面积疏松的锈蚀层，否则应进行表面处理。

8.4.5 参数校正

8.4.5.1 非均匀性和红外强度值校对

在成像之前，应对所有红外探测元件的灵敏度进行非均匀性校正，一般采用发射率高且均匀的材料放置在能够覆盖热像仪视场的地方进行非均匀性校正。如果成像系统附加了配件，应对红外强度值进行适当的校正。

8.4.5.2 视场和空间分辨率

8.4.5.2.1 视场

视场和热像仪成像的大小直接影响图像的分辨率。同等检测距离下，视场越大，检测面积越大。同等探测器像元数和检测距离下，视场越大，空间分辨力则越低。

8.4.5.2.2 空间分辨力

热像仪分辨物体空间几何形状细节的能力即为空间分辨力，其能直接影响缺陷几何尺寸定量精度。检测出异常情况的局限因素之一便是物体的空间分辨率。为了获得更好的分辨率，必要时可以更换镜头。一般来说，采用大视场时，检测的空间分辨率较低，采用小视场时，检测的空间分辨率较高。

8.4.5.3 角度设置

8.4.5.3.1 红外热像仪光学系统的轴线与垂直被测件表面的直线间夹角应小于 45° ，角度应最大不能超过 60° 。如果角度超过 60° 或检测面在背面，可使用红外反射镜法。

8.4.6 检测

红外热成像检测应在被检设备达到预定载荷稳定运行的条件下，进行红外热成像检测，首先设定实测的红外发射率，然后对被检设备进行扫查检测，发现可能存在的温度异常部位，一旦发现温度异常部位，应记录红外热像图，同时在被检设备上对温度异常部位作出标识，并拍下被检设备部位的可见光照片。

8.4.7 数据处理、分析与判读

8.4.7.1 为减少测量误差和提取时热异常现象，应在必要时进行适当的信号处理和图像处理。其中阈值处理、平均化、平滑、背景剔除、差分处理、频率分析、锁相处理或运动补偿等方法宜在必要时使用。

8.4.7.2 应选取合适的图像显示方式，通过全局或局部的对比度、亮度调整等，使图像便于观察。根据图像上细节特征的灰度、形状和尺寸等情况对图像进行进一步分析。

8.4.7.3 图像分析通常包含以下分析方法：

- a) 对测量区域红外辐射强度信号的温度估计；
- b) 基于红外线热成像系统分辨率的点温度测量；
- c) 测量区域内的平均温度、最小温度和最大温度；；
- d) 用颜色标记只有相同温度的等温区域。

8.4.7.4 图像记录与读取

图像记录至少应具有连续记录和单帧记录功能，并记录与温度计算相关的仪器参数设置及检测条件。图像记录宜具有全动态范围热像图原始数据记录功能。图像读取是全面调取已存储的图像信息，同时应能显示采集时的仪器参数设置及检测条件，以便于进行检测结果分析。

8.4.8 检测分析报告

8.4.8.1 红外热成像检测报告应至少包括以下内容：

- a) 项目名称；
- b) 委托单位、检测单位等；
- c) 检测仪器名称、型号、编号、测温范围、工作波段等；
- d) 被检设备规格、几何尺寸、工作环境及使用年限；
- e) 执行标准；
- f) 检测软件名及数据文件名；
- g) 管道材料及表面状态；
- h) 检测结论；
- i) 检测人员和审核人员签字及资格证书编号；
- j) 检测日期。

8.4.8.2 正式进行检测评价前，应选取合适的图像显示方式，使图像便于观察。根据图像上细节特征的灰度、形状和尺寸等情况对图像进行进一步分析。

8.4.8.3 温度异常部位的判据需要检测单位根据长期的红外检测经验和数据来确定，也可由被检设备设计或使用单位提供。

8.4.8.4 发现检测温度异常的部位，应在检测结果中注明。

8.4.8.5 宜利用原始热图序列和微分热图序列对检测结果进行排查，确定出现热异常的热图序列并分析热异常区域。

8.4.8.6 利用热图中不连续区域和正常区域的温度—时间变化曲线进行比对分析，判断不连续深度和热物理特性。

8.4.8.7 应同时了解被测件的材料、结构特征、表面状况和制造工艺等必要信息，结合检测参数与设置，对热异常区域进行合理评判。

8.4.8.8 用户要求时，红外检测人员应在修理后重新检测每一处异常，以确定潜在缺陷已被修复到正常温度。

8.5 微波检测

8.5.1 微波检测系统

微波检测系统构成见图 14。微波检测设备应至少包括主机系统、微波检测仪、管道扫描装置、探头、连接电缆等。微波检测系统工作时，主机系统接收操作指令后生成控制信号，经连接电缆下达给微波检测仪和管道扫描装置。微波检测仪按指令产生微波信号，传至探头

发射，探头接收经被检测物体反射或透射的微波信号后传回微波检测仪，检测仪处理后将数字信号送回主机系统分析。管道扫描装置负责按主机指令带动探头移动并反馈位置信息，连接电缆负责各部件间的信号传输与电力供应，以此实现微波检测。

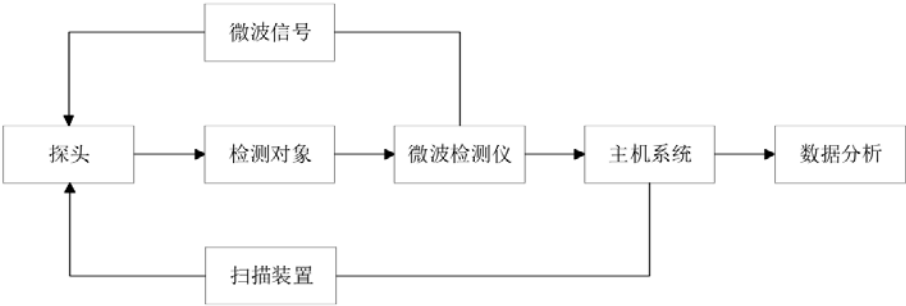


图 14 微波检测系统构成

8.5.1.1 微波检测仪

微波检测仪的频率范围应能够满足标准试样检测需求，应选用单频或扫频微波检测仪为宜。

8.5.1.2 探头

探头到被测材料的距离和方向应能够调整，另外，探头带宽应覆盖微波检测仪所需频带。

8.5.1.3 试件

8.5.1.3.1 标准试件

标准试件的要求应满足本文件 13.3 中的要求。

8.5.1.3.2 对比试件

8.5.1.3.2.1 对比试件应与被检对象具有相同材料、公称直径、标准尺寸以及表面光洁度等材料特征。

8.5.1.3.2.2 对比试块中应包括至少一种标准工艺制备的试块。

8.5.1.3.2.3 同一种缺陷应制备多个对比试块，分别用于确定验收标准和验证检测工艺。

8.5.2 检测流程

微波检测的检测流程见图 15。

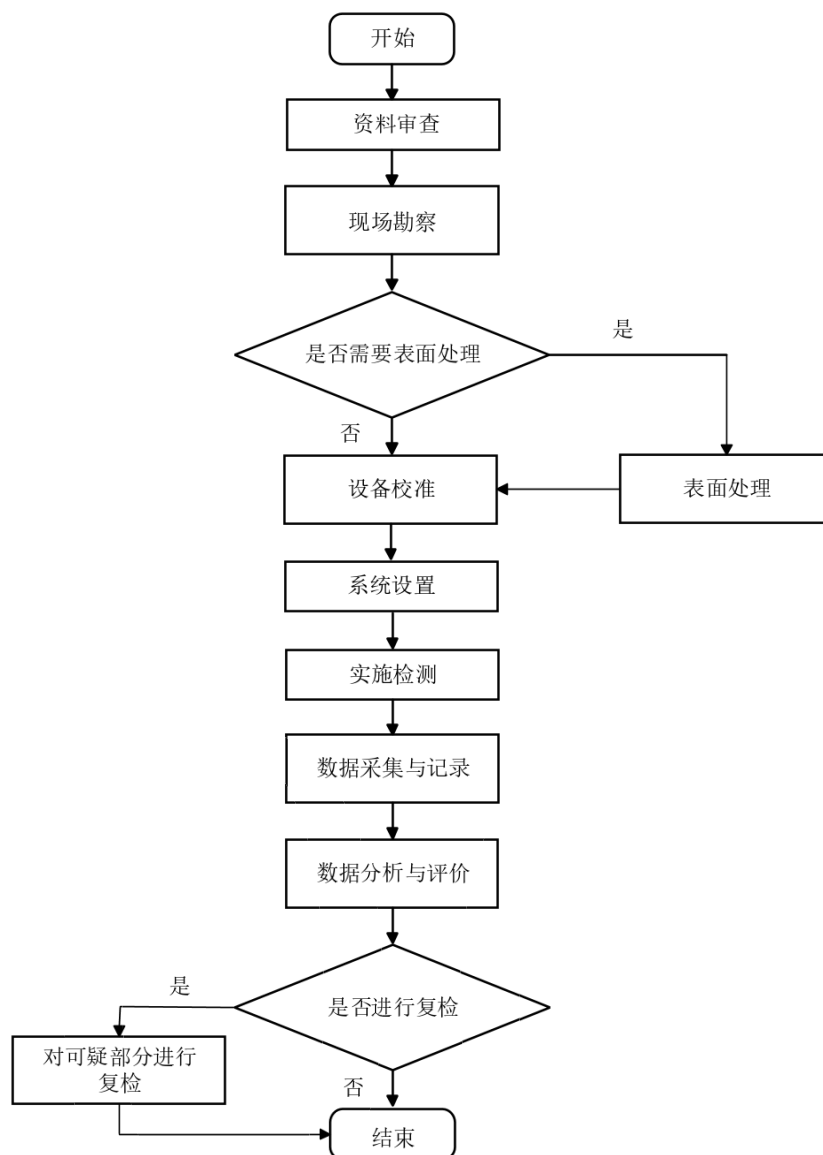


图 15 微波检测流程图

8.5.3 标准试件的制备

8.5.3.1 采用与待检查管道具有相同公称直径、壁厚、材料和表面光洁度的管道制备。

8.5.3.2 标准试块的长度应不低于 600mm，便于安装扫描装置。

8.5.3.3 标准试块应可以被纵向剖开，便于在内表面制备预制缺陷。

8.5.3.4 标准试块上预制的人工缺陷应充分分隔。

8.5.3.5 预制的人工缺陷至少应包括一组深度不超过壁厚的 50%，最小尺寸为中 3mm 的钻孔。

8.5.3.6 标准试块应避免可能产生干扰检测的缺陷。

8.5.4 表面处理及传感器安装

8.5.4.1 管道表面处理

8.5.4.1.1 检测前应对被检管道表面进行清洁，确保检测部位无污垢、油脂、水分、油漆等污染物。

8.5.4.1.2 管道表面应保持光滑，如有划痕、凹陷等表面损伤，应对管道表面情况进行记录。

8.5.4.2 传感器安装

8.5.4.2.1 将微波传感器安装至微波传感器底座中，调节底座的轴向及周向角度，以使微波传感器与管道轴向和周向均垂直。

8.5.4.2.2 对于管道表面无法达到平整的情况，微波传感器的轴向偏差角和周向偏差角均应在 5° 以内。

8.5.5 检测

首先确定微波检测的具体工作方式，在检测过程中应观察实时信号，如发现信号下降幅值过大，应当立刻中止检测，并调整系统设置重新检测。检测完成后，应对数据进行评价，确定其有效性。

8.5.6 数据处理、分析与判读

8.5.6.1 检测完成后，应将数据保存并记录；生成的图像应以灰度图和彩色图显示。如果某些区域无法扫描，则应记录下来。

8.5.6.2 数据应与要求的检测范围一致且数据丢失量应不超过整个扫描数据量的 2%。

8.5.6.3 采用微波检测技术检测管道绝热层腐蚀情况，应根据具体微波检测图谱的特征，读取微波检测图谱的特征值，并根据特征值的大小将管道绝热层腐蚀情况进行划分。

8.5.7 检测分析报告

8.5.7.1 微波检测报告应至少包括以下内容：

- a) 项目名称；
- b) 委托单位、检测单位、被检构件的信息，如名称、编号、设计与工作参数、材料和几何尺寸等；
- c) 本文件编号、规范和相关规定文件、检测仪器型号、检测方式、传感器型号及固定方式；
- d) 被检测管道规格、几何尺寸、介质和使用年限、材料牌号等信息；
- e) 检测位置；
- f) 检测结果；
- g) 检测日期、检测人员和审核人员签字及资格证书编号。
- h) 检测结论

8.5.7.2 根据工艺制定过程中记录的含有缺陷接头和标准接头的仪器响应水平，对检测接头进行分析。发现的任何缺陷都应在检测报告中注明。

8.5.7.3 针对不同规格管道中不同的损伤类型、损伤程度和损伤尺寸等由多方统一商定验收标准。

8.6 电容检测

8.6.1 电容检测系统

电容检测基本原理是通过工频电压施加在相同的两台容性设备上时,产生与他们的电容比值和介质损耗成比例的相同及正交的工频电流分量,这两个公平电流分量经测量后,可以得到被测容性设备与参考容性设备的电容比值和介质损耗因数的差值。检测仪一般由两路电流采样单元、便携式主机等组成。其一般工作原理如图 16 所示。

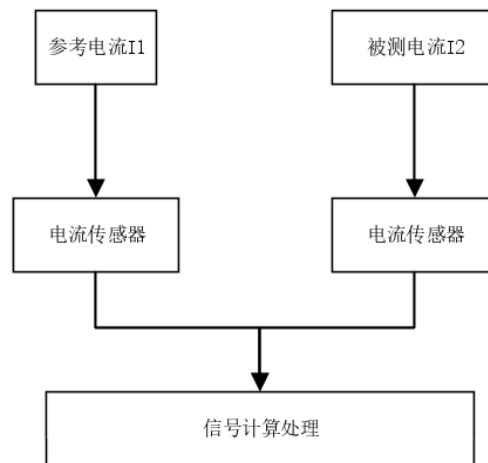


图 16 电容检测一般工作原理图

8.6.2 检测流程

将直流电压施加在试样上,当在试样上测量电容率时,工频下测量应在对试样施加直流电压之前进行。

8.6.3 参数校正

8.6.3.1 使用额定电压 500V 的绝缘电阻表,测量检测仪电源输入端和机壳之间的绝缘电阻。

8.6.3.2 在使用前设备仪器的电流、电容比值和相对介损参数应进行校准。

8.6.4 检测

8.6.4.1 检查仪器的外观及通电检查应满足以下要求:

- a) 外观完好无破损现象;
- b) 无影响计量性能及安全性能的缺陷;
- c) 能正确显示测量数据信息。

8.6.4.2 操作探头人员应佩戴绝缘手套,并做好安全防护措施,安全距离应符合 GB 26859 的规定。

8.6.5 数据处理、分析与判读

8.6.5.1 计算电容变化的幅度,根据计算的结果,解释检测到的异常情况,确定是否存在腐蚀及其性质、位置等信息。

8.6.5.2 如有必要,可以采用其他无损检测方法或直接进行破坏性测试来验证电容检测的结果。

8.6.5.3 对于记录下来的电容比值与相对介损参数分析。

8.6.5.4 对检查显示信号有疑问时，应进行复检或者按照其他检测方法进行对比检测，以确定显示信号产生的原因并确定是否存在腐蚀。

8.6.6 检测分析报告

8.6.6.1 电容检测报告应至少包括以下内容：

- a) 单位信息：委托单位、检测单位；
- b) 编号：报告编号、检测编号；
- c) 检测设备型号；
- d) 数据文件名称、腐蚀类型、位置与位置及部分腐蚀部位的图像；
- e) 检测结果和日期；
- f) 检测人员和责任人员签字及其技术资格等级；

8.6.6.2 电容检测结果的评定应依据预先制定的标准或与参考样本进行比对。当检测结果超出规定的容差范围时，应判定被检对象存在缺陷。缺陷情况应在检测报告中详细描述，包括缺陷的位置、程度及可能对被检对象性能产生的影响。

8.6.6.3 对检测发现的缺陷部位，应进行复查。复查可采用相同的检测方法或电涡流检测、超声检测等检测方法，以进一步确认异常情况的真实性与性质。复查结果同样需记录在检测报告中。

9 管道合于使用评价与风险管理

9.1 管道安全状况等级

9.1.1 管道安全状况等级的核心定义

管道的安全状况分为 1 级、2 级、3 级、4 级和 5 级，共 5 个级别，其中 1 级安全等级最高。

9.1.2 金属管道安全状况等级评定原则

各类管道安全等级宜按照 TSG 31 中的相关规定设置。

9.2 损伤模式识别

9.2.1 损伤模式划分

损伤模式分为以下类别：腐蚀减薄、环境开裂、材质劣化、机械损伤及其他类型缺陷，具体损伤模式宜参照 GB/T 30579 中的相关定义。

9.2.2 基础信息采集

宜采集管道材质、规格、绝热层类型、基础厚度、运行温度、压力、介质特性、服役年限、历史检测数据等基础信息，辅助结果判定。

9.2.3 检测结果判定

损伤模式的判别，宜参照 GB/T 30579 中的相关规定执行。

9.3 风险等级评估

9.3.1 评判指标

- a) 剩余壁厚相对值 t
- b) 管道安全状态等级
- c) 损伤情况

9.3.2 风险等级划分

风险等级应综合考虑具体使用情况,宜参照下表进行风险等级划分,其中 I 级风险为低风险,可正常运行; II 级风险为一般风险,需加强监控; III 级风险为较大风险,需限期整改; IV 级风险为高风险,应立即停止使用。

表 1

判定条件	I 级风险 (全部满足)	II 级风险 (满足其一)	III 级风险 (满足其一)	IV 级风险 (满足其一)
剩余壁厚相对值 t	$t \geq 85\%$	$70\% \leq t < 85\%$	$50\% \leq t < 70\%$	$t < 50\%$
管道安全状态等级	1、2 级	3 级	4 级	5 级
局部减薄	无	$\leq 10\%$	$10\% < t \leq 30\%$	$> 30\%$
点蚀	点蚀数量少	点蚀密集	点蚀密集, 直径 3-8mm	存在贯通缺陷
绝热层破损	完好、无渗水	轻微破损, 无明显积水	绝热层破损、积水严重	绝热层破损, 长期积水

9.4 腐蚀发展趋势分析

9.4.1 由于各种因素的影响,腐蚀试验结果通常比其他类型的试验更具分散性,而通过统计分析有助于研究人员解释这些结果。

9.4.2 腐蚀发展趋势分析计算方法,可以通过正态分布、方差、变异系数、极差、t 检验、相关系数以及曲线拟合等方式对所得到的腐蚀样本进行统计分析,其具体要求宜按 GB/T 40796 中要求执行。

9.5 失效概率计算

9.5.1 在风险评价过程中,失效数据的统计非常重要,通过对管道失效的历史数据进行统计与分析,可以使管道危害因素分类更为合理。基于管道失效数据的统计与分析,不仅可以使管道危害因素的分类合理化,而且可以为管道的失效概率计算提供依据。

9.5.2 失效概率计算:

基于统计数据的管道失效概率计算方法如下所示:

$$P = \sum_{i=1}^i P_i = \sum_{i=1}^i R_i F_i \#$$

式中：

P——为管道的失效概率；

i——为危险因素分类；

P_i ——为由 i 类危险因素引起的失效概率；

R_i ——为由 i 类危险因素引起的基本失效概率；

F_i ——为由 i 类危险因素引起的失效概率修正因子。

9.6 维护预防措施制定

9.6.1 宜分析是否按照相应的维护保养手册实施维护保养，并对监控设备进行保养，使其处于正常完好的状态。

9.6.2 宜根据管道安全等级、腐蚀发展规律、失效概率及失效后果制定不同分级的维护方案。

9.6.3 风险维护应不影响管道整体安全功能，并符合规范、标准及其他相关规定。

9.6.4 应制定定期检查专项计划，调查内容应符合本标准的规定要求。

9.6.5 对有特殊要求的材料、设备及零部件，应规定提供专用覆盖物、专用装卸及特定的保护环境。

9.7 复检计划制定

9.7.1 一般性调查：在管道运行一年内，应进行下列调查：

- a) 管道腐蚀防护体系、调查；
- b) 腐蚀监测系统有效性调查。

9.7.2 专项调查：必要时，可针对某一项的内容进行专项调查，专项调查应有专门培训人员使用专用仪器和设备进行。

- a) 管道腐蚀防护体系以及腐蚀控制系统缺陷调查；
- b) 环境腐蚀调查如：大气腐蚀、土壤腐蚀等所造成的点腐蚀和面腐蚀等；
- d) 管道外腐蚀调查。

9.7.3 周期性调查：宜满足 TSG 31 中各级管道检验周期的相关规定。

《工业管道绝热层下腐蚀检测及管理方法》

编制说明

（征求意见稿）

编制单位：嘉兴市特种设备检验检测院

编制日期：2026 年 07 月 11 日

工业管道绝热层下腐蚀检测及管理方法

10 任务来源与项目概况

1.1 标准立项来源

本标准由中国特种设备协会提出并归口，归口单位负责标准宣贯、实施跟踪、3 年周期复审、技术答疑及后续修訂立项管理。由嘉兴市特种设备检验检测院牵头制定。2025 年 08 月，中国特种设备协会（2025）027 号文件正式批准《工业管道绝热层下腐蚀检测及管理方法》团体标准立项。本标准旨在为工业管道绝热层下腐蚀的检测与管理提供统一的技术依据。

1.2 行业背景

工业管道广泛应用于石油、化工、电力、冶金、轻工等多个领域，其安全运行直接关系到人身安全和生产稳定。绝热层下腐蚀（Corrosion Under Insulation，简称 CUI）是工业管道最主要的隐蔽性损伤模式之一。据国内特种设备事故统计，石油化工业 35% 以上管道泄漏事故根源为绝热层下隐蔽腐蚀；由于管道数量众多、走向复杂、保温层覆盖范围广，CUI 具有极强的隐蔽性和突发性。一旦发生泄漏，极易引发火灾、爆炸、中毒及环境污染等重大事故，给企业安全运行和环境保护带来严峻挑战。传统 CUI 检测依靠大面积拆除保温层开展目视、单点超声检测，拆装成本高、检测覆盖率不足 20%，拆装过程还会造成保温固废污染，同时如果管道保温恢复工作未做到位导致其裸露后易产生二次腐蚀。目前，国内外虽然已有若干关于 CUI 风险评估、涂层控制及绝热设计的标准，但针对工业管道这一特定对象，系统整合脉冲涡流、超声导波、X 射线成像、红外热成像、微波检测、电容检测等多种先进无损检测方法，并明确其选择原则、操作流程、工艺规程以及基于检测结果的管理策略的标准尚属空白。因此，制定本标准具有重要的现实意义和工程价值。通过本标准的实施，可有效提升 CUI 检测的系统性和科学性，为企业的风险管理和安全运行提供可靠的技术支撑。

1.3 标准适用边界界定

本标准仅适用于设计温度小于 150℃、外包完整绝热层的钢制工业压力管道，可实现不移除绝热层条件下腐蚀检测、缺陷定量与安全评价。

不适用场景：

- 1) 设计温度 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ 高温工艺管道；
- 2) 完全埋地、无外露绝热层管道；
- 3) 非金属管道、内衬防腐层复合管道；
- 4) 独立阀门、法兰、管件单体专项腐蚀检测。

1.4 标准定位与核心价值

现有国标、行标仅单独规范某一类无损检测技术或宏观风险评估体系，本标准国内首次完整集成 6 类不拆保温 CUI 检测技术，建立“检测 - 缺陷判读 - 合于使用评价 - 风险分级 - 差异化复检”一体化闭环管控体系，适配国内 TSG 31 特种设备监管体系，填补行业专项标准空白。通过本标准的实施，可有效提升 CUI 检测的系统性和科学性，为企业的风险管理和安全运行提供可靠的技术支撑。

11 标准编制工作简况

按照国家行业标准制修订程序的要求，本标准的编制工作严格遵循了从预研、起草、启动到试验验证、征求意见稿编制等的完整流程。

在标准编制初期，起草工作组系统收集了国内外相关标准与文献。国内方面，重点研究了 GB/T 35013《承压设备合于使用评价》、GB/T 30579《承压设备损伤模式识别》、NB/T 47013 系列《承压设备无损检测》以及 TSG 31《工业管道安全技术规程》等基础标准。国外方面，参考了 API RP 583《绝热层下腐蚀和防火层下腐蚀》和 API 570《管道检验规范：在用管道系统检验、评定、修理和改造》等国际推荐规程与标准。同时，收集了脉冲涡流、超声导波、X 射线数字成像、红外热成像、微波检测、电容检测等六种无损检测方法的技术原理、适用范围以及在工业管道检测中的实际应用案例和科研成果。

2025 年 08 月至 09 月，项目组完成了标准的前期预研工作，确立了标准的基本框架。该框架以多种无损检测方法为核心，前端明确检测方式使用原则，后端衔接基于检测结果的合于使用评价与风险管理。

2025 年 10 月，项目组正式启动标准编写工作。在预研成果的基础上，开始起草标准草案，明确了各章节的主要技术内容，逐步形成了标准初稿。

2025 年 11 月，召开标准启动会，正式成立起草工作组。工作组成员包括嘉兴市特种设备检验检测院、中国特种设备检验协会、中国特种设备检测研究院、上海市特种设备监督检验技术研究院、宁波市特种设备检验研究院、杭州市特种设备检测研究院、浙江省特种设备协会、中国矿业大学、宁波市劳动安全技术服务有限公司等单位。会议对标准草案进行了深入讨论，明确了本标准与现有 CUI 相关标准的界限，确定本标准重点聚焦于工业管道绝热层下腐蚀的检测方法与基于检测的管理策略。会后根据企业代表和专家意见，对标准草案进行了系统修改和完善。

2025 年 12 月至 2026 年 06 月，工作组成员根据启动会讨论内容和分工要求，开展了验证试验。重点对脉冲涡流、超声导波、微波、电容等方法的检测灵敏度、参数设置、干扰排除、试样制备等进行了实验室及现场验证，按标准指标要求积累了实测数据，并对标准中规定的检测流程、工艺规程及评价方法进行了优化和确认。同时整合试验数据、完善配套附录，结合各方意见形成了本标准的征求意见稿及配套编制说明。

2.1 起草工作组及参编单位分工

本标准起草单位包括：嘉兴市特种设备检验检测院、中国特种设备检验协会、中国特种设备检测研究院、上海市特种设备监督检验技术研究院、宁波市特种设备检验研究院、杭州市特种设备检测研究院、浙江省特种设备协会、中国矿业大学、宁波市劳动安全技术服务有限公司等。主要工作组成员包括：来自上述单位的特种设备检验检测、腐蚀与防护、无损检测、设备管理等专业方向的专家。

各单位具体分工：

1. 嘉兴市特种设备检验检测院：标准总牵头，统筹整体框架搭建、脉冲涡流 / 超声导波现场对比试验、征求意见汇总、配套作业指导书与工艺卡模板编制；

2. 中国特种设备检测研究院：全套无损检测技术校核、标准法规合规性审查；
3. 上海、宁波、杭州特种设备监督检验研究院：多工况现场管道实测、不同保温材质、不同腐蚀程度比对试验；
4. 中国矿业大学：微波、电容检测理论建模、人工缺陷标准试样研发、室内标定试验；
5. 浙江省特种设备协会：全行业企业需求调研、上位法规政策适配校核；
6. 宁波市劳动安全技术服务有限公司：现场检测安全作业流程验证、企业运维痛点收集。

2.2 工作组人员与外部专家

成员姓名	所在单位	专业方向	职称	分工内容
沈伟	嘉兴市特种设备检验检测院	特种设备	高级工程师	全面主持工作
吉建立	中国特种设备检验协会	化工机械	高级工程师	技术调研论证、试验研究
杨旭运	中国特种设备检测研究院	化工机械	高级工程师	技术调研论证、试验研究
范孟豹	中国矿业大学	无损检测	教授	试验研究
冯二辉	嘉兴市特种设备检验检测院	特种设备	高级工程师	现场验证、归纳总结、试验研究
朱潮明	嘉兴市特种设备检验检测院	特种设备	工程师	资料收集、试验方案制定、试验研究
朱志华	嘉兴市特种设备检验检测院	特种设备	工程师	数据采集、现场验证、试验研究
李福山	嘉兴市特种设备检验检测院	特种设备	高级工程师	数据采集、现场验证、试验研究
叶宇峰	浙江省特种设备协会	特种设备	正高级工程师	数据采集、现场验证、试验研究

潘金平	嘉兴市特种设备检验检测院	材料加工工程	正高级工程师	数据采集、现场验证、试验研究
左岩田	上海市特种设备监督检验技术研究院	化工机械	高级工程师	数据采集、现场验证、试验研究
刘延雷	杭州市特种设备科学研究院	化工机械	正高级工程师	数据采集、现场验证、试验研究
许波	宁波市特种设备检验研究院	化工机械	高级工程师	数据采集、现场验证、试验研究
柴军辉	宁波市劳动安全技术服务有限公司	化工机械	正高级工程师	数据采集、现场验证、试验研究
胡健	宁波市劳动安全技术服务有限公司	无损检测	高级工程师	数据采集、现场验证、试验研究
饶火涛	三江化工有限公司	有机化学	高级工程师	数据采集、现场验证
顾中浩	三江化工有限公司	过程装备与控制工程	初级工程师	数据采集、现场验证

2.3 试验验证工作说明

系统验证 6 类检测方法灵敏度、适用阈值、环境干扰消除方案，根据实测数据统一优化检测参数、缺陷判定阈值、风险分级指标，所有试验原始数据、试验报告全部存档备查。

2.4 征求意见阶段工作安排

当前版本为标准征求意见稿，后续工作计划：面向全国特种设备检验机构、石化、化工、电力、冶金管道使用企业、无损检测设备厂商、行业技术专家公开征求意见，征求周期 30 日；所有回收意见分类汇总、逐条试验论证、形成意见处理汇总表，完成文本修改后形成送审稿，组织专家评审会；评审通过后编制报批稿，报送中国特种设备协会完成发布流程。

2.5 起草阶段分歧意见处理

标准起草、试验阶段针对两大核心技术争议形成统一结论并留存会议纪要：

1. 超声导波对点蚀缺陷灵敏度不足问题：通过多组对比试验明确适用边界，仅作为长距离普查手段，对点蚀采用 X 射线成像复检；
2. 微波、电容检测受保温材质、含水率干扰问题：在标准中细化探头安装、环境修正参数，限定适用筛查场景，不做精准定量依据。

三、标准编写的基本原则

本标准在编制过程中，严格遵循了以下基本原则。

1. 规范性原则。标准格式严格按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》进行编写，确保结构的规范性、技术要素的确定性和表述的准确性。

2. 系统性原则。标准内容覆盖了“6 类检测方法原理→检测选用规则→通用工艺→分项操作流程→缺陷数据分析→合于使用评价→风险分级→分级运维与复检”全链条，形成完整检测与管理闭环，对应标准第 4 章至第 9 章全部内容。。

3. 先进性原则。充分吸收国内外 CUI 检测领域的最新研究成果和工程实践经验，纳入脉冲涡流、超声导波、X 射线成像、红外热成像、微波检测、电容检测等多种先进检测技术，体现了标准的技术前瞻性。

4. 实用性原则。针对工业管道现场检测的复杂性，详细规定了各种检测方法的适用场景、优缺点、干扰排除方法及参数校正要求，确保标准条款具有可操作性和可验证性，能够被一线检测人员理解和执行。

5. 协调性原则。与现行相关法律法规、安全技术规程及基础标准保持协调一致，避免与既有标准产生冲突或重复。

6. 安全性原则（新增）

标准全文配套现场作业安全要求，覆盖 X 射线辐射防护、高空管道检测防坠落、带电仪器绝缘防护、保温拆装防火防尘，兼顾检测人员人身安全、生产装置运行安全，完全符合特种设备现场作业强制性安全管理规定。

四、标准主要技术内容的确定依据

在标准编制过程中，起草工作组深入分析了现行标准的不足，并以此为依据确定了本标准的技术内容。

4.1 六种无损检测方法整合与分层选用逻辑

现行 NB/T 47013 无损系列标准仅单独规定单一检测方法，未针对 CUI 带保温工况给出多方法对比、组合选用方案。本标准基于 42 组试样、2600m 现场实测数据，建立分层筛查组合检测路线，检测效率提升 60% 以上：

- 1) 大面积初筛：红外热成像 / 微波检测，快速定位保温积水、腐蚀异常区域；
- 2) 定量扫查：脉冲涡流（铁磁性碳钢管道）、超声导波（长距离管线），获取壁厚减薄量化数据；
- 3) 精准定量复检：X 射线数字成像，对点蚀、局部减薄缺陷精确测量尺寸。

同时在标准中明确 6 类方法各自适用边界、局限性，例如脉冲涡流仅适用于铁磁性管道、超声导波对点蚀灵敏度低、微波 / 电容适合厚保温定性筛查，为现场人员按需选择提供直接技术依据。其中微波、电容整套检测体系无 API 国际标准对标，为本标准原创技术内容。

4.2 系统化专用 CUI 检测工艺规程编制依据

现有无损标准仅规定通用检测流程，未考虑管道外包覆绝热层的特殊工况，企业无标准化专用工艺文件，现场操作尺度不统一。本标准首次制定适配带保温管道的通用工艺规程与工艺卡强制编制要求，对每种检测方法系统构成、标准试件制备、参数校正、现场操作、数据判读逐条细化。

例如脉冲涡流规定 60mm 外径阶梯管标准试件、信噪比 $\geq 6\text{dB}$ 校准要求；超声导波明确基线测量、DAC/DGS 灵敏度标定、反向回波 / 往复反射波干扰剔除方法；X 射线成像统一像质计灵敏度、透照几何参数控制指标，全部条款均通过实验室与现场试验验证，保障检测结果可复现、可对比。

4.3 基于检测结果的风险分级与闭环管理依据

GB/T 35013 仅规定承压设备合于使用通用评价方法，未针对 CUI 腐蚀细化分级管控规则。

1. 风险分级阈值来源：标准 9 章风险等级划分中剩余壁厚相对值 85%/70%/50%、局部减薄、点蚀判定阈值，综合 GB/T 35013 合于使用评价、TSG 31 工业管道安全等级，结合多批次人工腐蚀试样实测腐蚀速率数据综合确定；

2. 腐蚀趋势分析：依据 GB/T 40796，采用正态分布、相关系数、曲线拟合等统计手段分析长期腐蚀数据，预测管道腐蚀发展速度；

3. 失效概率计算：计算公式基于国内工业管道 CUI 失效事故统计数据优化调整，采用“基础失效概率 $\times$ 修正因子”求和模型，适配国内特种设备风险评估场景；

4. 闭环管控体系：将风险等级直接对应差异化运维、复检周期，I 级低风险正常运行、IV 级高风险立即停用，复检周期完全衔接 TSG 31 法定检验要求，形成“检测 - 评价 - 整改 - 周期复测”完整管理链条。

4.4 核心创新点说明

12 本标准最大创新为无需大面积拆除绝热层完成腐蚀检测，彻底解决传统检测拆装保温成本高、产生二次腐蚀、固废污染、停工损失大的行业痛点，全套工艺规程全部围绕带绝热层工况定制，填补国内专项标准空白。

五、采用国际标准情况与水平对比

本标准未直接采用某一项完整的国际标准。在编制过程中，充分研究并参考了以下国际标准与推荐规程的核心理念与技术内容。

API RP 583 《绝热层下腐蚀和防火层下腐蚀》是美国石油学会发布的关于绝热层下腐蚀和防火层下腐蚀的推荐规程。该标准系统阐述了腐蚀机理与影响因素、易受腐蚀的区域与设备、绝热材料选择、

检测方法与技术、风险评估方法以及防护措施等内容，为预防和管控 CUI 提供了全生命周期的工程指导。本标准在多种无损检测方法的适用性分析、检测技术组合策略以及 CUI 损伤模式识别等方面，充分参考了 API RP 583 的技术思路。

API 570《管道检验规范：在用管道系统检验、评定、修理和改造》是美国石油学会发布的在用工艺管道定期检验标准。该标准涵盖了管道检验的方案类型与周期确定、损伤模式识别、基于风险的检验方法以及合于使用评估等内容，为在用工业管道的完整性管理提供了系统的技术框架。本标准在“管道合于使用评价与风险管理”章节中，关于管道安全状况等级划分、损伤模式识别、剩余寿命计算以及基于风险等级制定复检计划等内容的设计，充分吸收了 API 570 的核心思想，并与国内 TSG 31《工业管道安全技术规程》的管理要求进行了有机融合。

与上述国际标准相比，本标准具有以下显著特点和优势。

第一，聚焦性与实用性更强。API RP 583 和 API 570 均为综合性管理标准，API RP 583 涵盖设计、材料、施工、检测、维护全生命周期，API 570 涵盖检验方案、损伤模式、基于风险的检验及合于使用评估等完整体系。本标准则聚焦于“工业管道绝热层下腐蚀”这一专项场景，并结合国内检测行业的实际水平与现场工况，对脉冲涡流、超声导波、X 射线成像、红外热成像、微波检测、电容检测六种检测方法的操作细节、工艺规程、数据判读进行了更为详细的规定，对一线检测人员的指导作用更为直接。

第二，技术整合度更高。本标准同时纳入了六种主流的 CUI 无损检测方法，并给出了清晰的选择逻辑和组合策略。国际标准虽然也提及多种检测技术，但缺乏系统性的横向对比和应用指南。

第三，与国内管理体系无缝衔接。本标准在合于使用评价、安全状况等级评定、复检计划制定等方面，明确引用或衔接了 TSG 31《工业管道安全技术规程》和 GB/T 35013《承压设备合于使用评价》等国内核心法规与标准，确保了标准的落地性和合规性。

六、与现行法律法规及相关标准的协调性

在法律法规层面，本标准严格遵循《中华人民共和国特种设备安全法》和《特种设备安全监察条例》等上位法关于在用工业管道定期检验、安全监控、风险评估的总体要求。标准中关于检测人员资质、检测设备管理、安全作业等规定，均符合国家相关法律法规的强制性规定，不存在任何冲突。

在政策导向层面，本标准积极响应国家关于推进工业互联网加安全生产、实施精准检测和预防性维修的政策导向。通过推广先进无损检测技术和基于风险的管理策略，有助于提升工业管道设备完整性管理的精细化水平，符合行业高质量发展的要求。

在标准体系层面，本标准的技术内容与 TSG 31《工业管道安全技术规程》、GB/T 35013《承压设备合于使用评价》、GB/T 30579《承压设备损伤模式识别》等安全技术规范和基础标准完全兼容。标准中的“管道合于使用评价与风险管理”章节，正是对这些上位标准和规范在 CUI 专项问题上的具体化和操作化。同时，本标准是对 NB/T 47013 系列《承压设备无损检测》等无损检测方法标准的细化与延伸，专门针对带绝热层这一特殊工况提供了更具针对性的操作指南。本标准与现行国家、行业相关标准协调配套、互补衔接，不存在任何矛盾或冲突。

经检索，本标准与现行国家、行业、地方及团体标准无任何矛盾或重复之处，一致度不超过百分之三十。国内尚未见到专门针对工业管道绝热层下腐蚀检测及管理方法的专项标准。

七、技术经济分析与预期效益

本标准的推广实施将为企业带来显著的技术经济效益，具体体现在以下几个方面。

在直接检测成本节约方面，传统的 CUI 检测主要依靠拆除保温层后的目视检查和超声点检，成本高昂，且难以实现大范围覆盖。特别是对于长距离工业管道，大面积拆除保温层不仅费时费力，还可能引入新的腐蚀风险。本标准推广的脉冲涡流、超声导波、红外热成像等技术可实现非破坏性、大范围筛查，精准定位腐蚀异常区域，从而大幅减少不必要的保温层拆卸与恢复工作量。以一条中等规模的工业管道系统为例，采用本标准推荐的无损筛查加精准验证组合策略，预计每年可节约保温拆装、脚手架搭设及检测直接费用约百分之三十至五十。

在非计划停工损失规避方面，CUI 导致的泄漏是装置非计划停工的主要原因之一。通过实施本标准规定的系统性检测与风险管理，可提前发现并处置高、中风险腐蚀缺陷，显著降低突发泄漏事故的概率。一次非计划停工造成的直接维修和减产损失以及间接的上下游影响和合同违约损失往往十分巨大，避免此类事件的发生，其经济效益极为明显。

在资产保值增值方面，通过定期、有效的检测，可以及时采取维护措施，防止腐蚀由轻微发展为严重，延长管道服役寿命，实现固定资产的保值增值。同时，基于风险评估结果和腐蚀趋势分析，企业可为不同风险等级的管道制定差异化的复检计划。对于低风险管道，可依法依规适当延长检验周期，进一步降低全生命周期运维成本。

八、贯彻实施的措施与建议

为推动本标准全面落地见效，切实提升工业管道绝热层下腐蚀检测与管理水平，提出以下措施和建议。

第一，加强宣贯培训。建议由嘉兴市特种设备检验检测院牵头，联合标准起草单位，组织面向工业管道使用单位、检测机构、工程公司的专题宣贯会和技能培训班。重点解读多种检测方法的选择逻辑、操作流程中的数据判读技巧以及基于风险的管理策略，培养一批既懂检测技术又懂管理的专业人才。

第二，树立示范工程。建议在部分具备条件的大型工业企业或管道密集区域设立标准应用示范工程。通过实际应用验证标准的技术经济效果，总结形成可复制、可推广的典型案例和最佳实践指南，以点带面推动全行业应用。

第三，建立信息反馈机制。依托标准归口管理单位，建立标准实施信息反馈平台。广泛收集使用单位在执行过程中遇到的新问题、新技术需求以及对现有条款的改进建议，为未来标准的修订和持续优化提供来自一线的数据支撑，确保标准始终保持技术先进性与适用性。

九、其他应予说明的事项

无