

团 体 标 准

T/ZJASE 018—2022

压力管道腐蚀超声导波检测
(磁致伸缩法)

Guided Wave Ultrasonic Testing of Pipeline Corrosion
(Magnetostrictive Effect)

2022-12-30 发布

2023-03-01 实施



浙江省特种设备协会 发布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 人员资质.....	3
5 安全要求.....	3
6 超声导波检测步骤.....	3
7 一般注意事项.....	4
8 缺陷类型识别.....	5
9 检测流程.....	6
10 信号分析和评定.....	7
11 检测记录与报告.....	9
附录 A（资料性附录）.....	10
附录 B（资料性附录）.....	11
附录 C（资料性附录）.....	12

前 言

本文件按照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》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容有可能涉及专利，本文件准的发布机构不应承担识别这些专利的责任。

本文件由浙江省特种设备协会提出并归口。

本文件起草单位：浙江省特种设备科学研究院、湖州市特种设备检测研究院、盈德气体工程（浙江）有限公司、杭州德邦检测技术有限公司、中国计量大学、巨化集团有限公司特种设备检测中心、杭州浙达精益机电技术股份有限公司、宁波市特种设备检验研究院、浙江省特种设备协会。

本文件主要起草人：叶宇峰、杨学明、姚文胜、陈武、毛炜、吴振勇、王锋淮、虞雪芬、项智、谢浩平、蔡刚毅、徐峰、宋鑫、陆树华、王强、方燕然、唐志峰、陈会明、黄焕东、周辉、周海婷、夏立、钟丰平、洪若云、张鹏飞、王杜、陈长、黄堪飞。

本文件为首次发布。

压力管道腐蚀超声导波检测（磁致伸缩法）

1 范围

本文件规定了超声导波（磁致伸缩法）检测技术对压力管道腐蚀状况检测的方法及缺陷等级评定。

本文件适用于管道外径 38~1200mm，壁厚 0.5~60mm，使用温度在-20℃~200℃的钢制压力管道，有色金属管道参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。其中，注日期的引用文件，仅所注日期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 5616 无损检测应用导则

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测

GB/T 28704 无损检测 磁致伸缩超声导波检测方法

3 术语和定义

GB/T 12604.1 规定的术语及以下术语均适用于本文件。

3.1

超声导波 ultrasonic Guided Wave

在管状、棒状和线状固体材料或构件中能够较长距离传播的某些特定频率范围的超声波，超声导波通常包括纵向模态、扭转模态和弯曲模态三种形态。

3.2

超声导波检测 ultrasonic guided wave testing

利用超声导波遇到焊缝、支撑、缺陷等管道特征返回部分能量并且被传感器所探测到，进行信号采集并记录壁厚金属损失一种检测方式。

3.3

弯曲波(F) flexural wave

弯曲波是指在点、线力驱动下，或入射声波的激励下，板或棒作弯曲运动并向周围空间辐射的声波。弯曲波的位移可以有三个垂直方向—轴向、径向和圆周方向上，呈直交分布，见图1。



图1 弯曲波(F)模式

3.4

扭转波(T) torsional wave

扭转波是沿管道长度传播的剪切波，其位移是以恒定速度绕着管道的圆周运动，见图2。

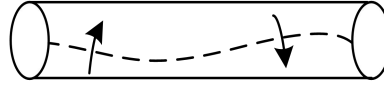


图2 扭转波(T)模式

3.5

纵向波(L) longitudinal wave

纵向波是沿着管道径向或轴向传播的纵波，如图3所示。



图3 纵向波(L)模式

3.6

缺陷尺寸 defect Size

ΔA 为相对于管道总壁厚横截面积的百分比，计算方法见式1，示意图见图4。

$$\Delta A = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\pi D t} \times 100\% \quad (1)$$

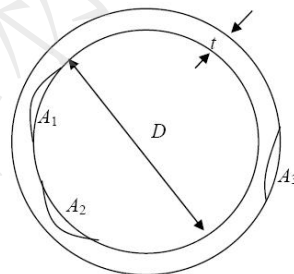


图4 缺陷尺寸

3.7

磁致伸缩效应 magnetostrictive effect

磁致伸缩效应是指当磁场发生变化时，铁磁性材料的几何尺寸会产生极其微小的变化的现象。磁致伸缩逆效应是指当铁磁性材料受外界作用几何尺寸发生变化时，磁场会产生相应变化的现象，如图5所示。

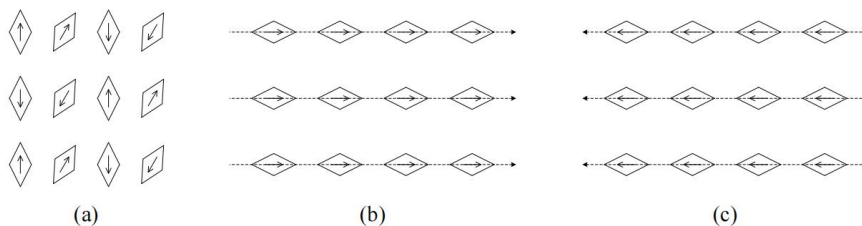


图5 不同磁场作用下铁磁性材料中磁畴分布 (a: 无磁场; b: 正向磁场; c: 反向磁场)

4 人员资质

从事超声导波检测的人员应经过超声导波技术专业知识培训，并要求熟悉所操作仪器性能，可以独立操作和分析数据。具备超声检测Ⅱ级及以上资质人员并经过40学时培训可签发报告。

检测人员应掌握被检工件的材质、焊缝坡口形式、焊接工艺、缺陷可能产生的部位等知识，具备一定的信号分析能力，能区分缺陷波和镜像波，能根据显示屏上的反射信号进行综合检测评定。

检测人员应了解熟悉被检管道的周边环境及低频信号干扰源，确保检测过程的有效性和可靠性。

5 安全要求

本部分没有完全列出检测时所有的安全要求，使用本部分的用户有义务在检测前为检测人员及设备建立安全的检测环境。

检测过程中的安全要求如下：

- a) 检测人员应根据实际检测地点的要求穿戴防护工作服和佩戴有关防护设备；
- b) 检测前应对检测环境进行危险及有害因素分析，并在保证安全的前提下方可进行检测；
- c) 现场检测时应避免单人作业；
- d) 应在用户和检测人员双方同意且现场环境满足安全检测的前提下才可实施在线检测。

6 超声导波检测步骤

超声导波检测步骤包括以下内容：管道表面预处理、磁致伸缩带材截取与磁化、耦合剂的配置、耦合剂的涂抹、磁致伸缩带材粘贴、安装探头、线缆连接、打开数据采集软件、设置采集参数、打开仪器开关、导波数据采集、判断是否更换探头（以实际采集信号是否具有较高信噪比为依据）、关闭仪器开关、数据标注与分析、是否采集下组数据、关闭仪器及其电脑、整理工具放回指定位置。具体流程图如图6所示。

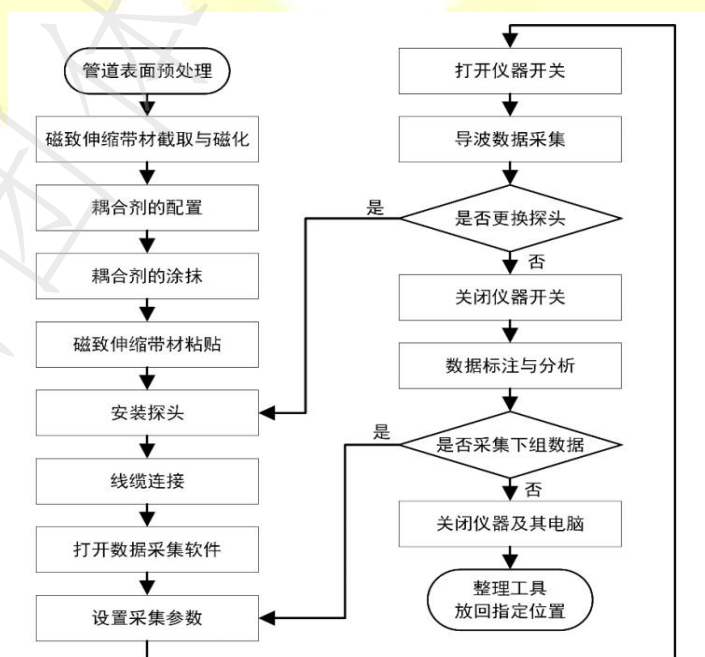


图6 超声导波检测步骤流程图

7 一般注意事项

7.1 检测环境要求

- a) 应该避免仪器及探头受到强烈振动；
- b) 避免强磁体接近未磁化的磁致伸缩带材；
- c) 避免仪器置于过潮湿的环境中；
- d) 插拔探头时，不可直接握住线缆插拔，以免拔破坏线缆芯线；
- e) 常温磁致伸缩探头禁止用于高温环境。

7.2 检测前后要求

- a) 检测前应对被检测对象进行表面处理，配置耦合剂时应该搅拌均匀；
- b) 耦合剂涂抹在磁致伸缩带材上时应涂抹均匀；
- c) 将已经涂抹有耦合剂的磁致伸缩带材黏贴在被测工件上时，要保证磁致伸缩带材粘贴紧密且合金带材开口端要对齐，等耦合剂完全凝固后方可进行检测；
- d) 若检测温度处于高温状态（ $>100^{\circ}\text{C}$ ）应采用高温耦合剂，同时应注意防止烫伤；
- e) 检测前各开关需处于关闭状态，各部位的外接线路连接正确后打开主机和电脑开关，进入采集系统方可进行数据采集；
- f) 采集完成后需断开主机开关，待到下次采集时再打开主机开关；
- g) 检测时如果发现同等条件下检测同一个工件时，导波仪采集波形幅值变化比较大，则可能是导波仪电量不足，需要进行充电；
- h) 检测完毕后应把各开关电源断开，各配件工具等放回指定位置。

7.3 检测仪器要求

检测采用的脉冲反射超声导波仪器能通过调整直流偏磁场和随时间变化磁场的排列来控制导波的传播模式。同时要求仪器满足如下要求：

- a) 工作频率范围：60-200kHz，分辨率不小于 1Hz；
- b) 输出电压：最大峰值 $\geq 300\text{V}$ ；
- c) 输出电流：最大峰值 $\geq 40\text{A}$ ；
- d) 脉冲重复频率：1-20Hz；
- e) 增益：0-40dB 固定增益（内部可调），0-80 dB（1 dB 步进）且 0-80 dB 线性递增，水平线性误差不大于 1%，垂直线性误差不大于 5%；
- f) 接收带宽：7-250kHz(-3dB)，5-350kHz(-3dB)；
- g) 操作模式：脉冲回波圆周步进扫查；
- h) 信号输出：模拟波形，最大 $\pm 3\text{V}$ ， 50Ω ；
- i) 输出阻抗： 50Ω ；
- j) 检测方向：双向/单向可控；
- k) 检测现场温度与湿度条件：温度 $-20^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，湿度 10~80%RH；
- l) 成像方式：A-SCAN。

8 缺陷类型识别

在现场检测时，随着管道腐蚀的严重程度增加，反射信号的衰减将增大，系统的信噪比降低，超声导波检测可靠检测灵敏度一般为2%-5%。

超声导波的灵敏度是指管道腐蚀或裂纹占管道总横截面积损失量的百分比（%）。以现场检测最高灵敏度2%为例，阐述各类可以发现和无法发现的缺陷类型，具体见图7和图8。

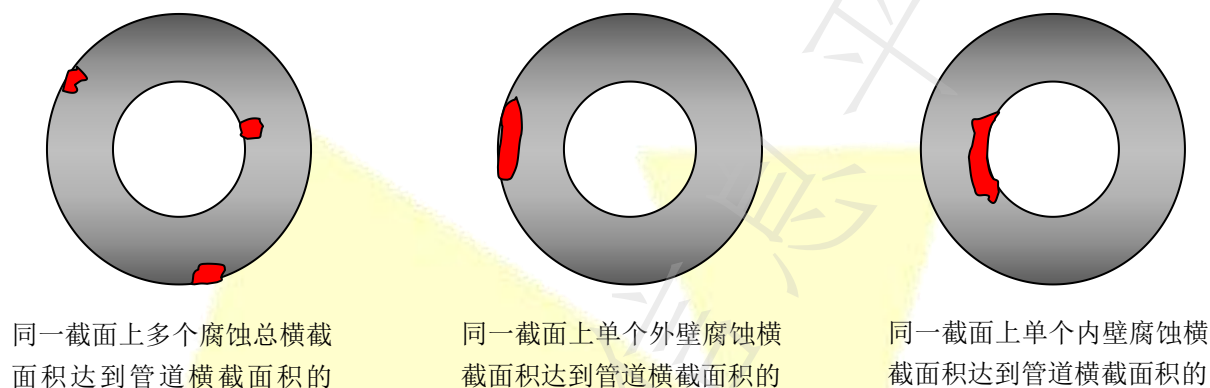


图7 可以发现的缺陷类型

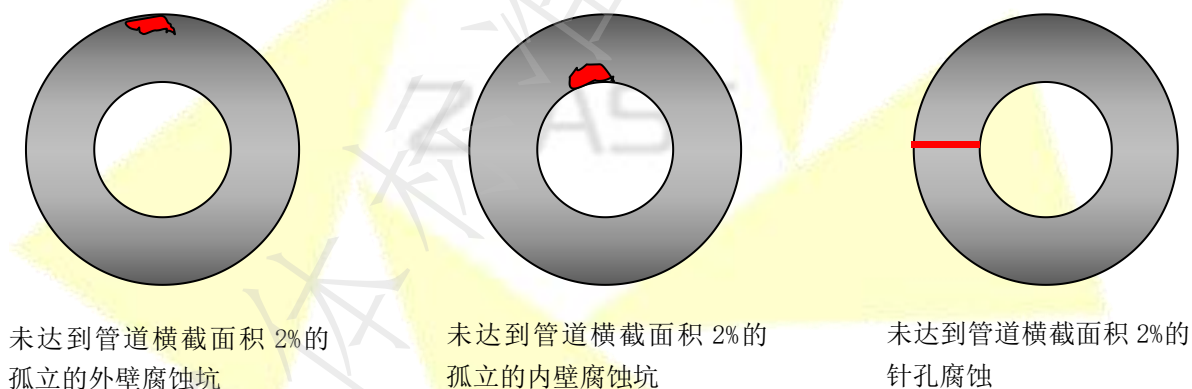


图8 无法发现的缺陷类型

9 检测流程

9.1 资料审查

收集被检管道的技术资料，应包括：设计资料、管道单线图、改造资料、历史运行记录资料、检测维修资料等。

9.2 现场勘查

应该对被检测管道进行勘查，找出所有可能影响检测结果的因素，如支吊架、法兰、紧密贴合的防腐层等。在检测时应尽量避免这些因素的干扰。

9.3 检测方案及检测工艺卡

编制检测方案，应符合GB/T 5616无损检测应用导则的要求。检测方案应包含以下内容：

- a) 被检工件的基本信息及历史运行、检测的情况；
- b) 导波检测探头布置原则与布置位置；
- c) 导波检测的频率组合及检测策略；
- d) 应明确检测前用户所做相应的配合工作。

在检测之前，应编写检测工艺卡，具体格式及内容可参考附录A。

9.4 仪器配件

9.4.1 磁致伸缩带材

磁致伸缩带材是由不同铁钴比例经过特殊热处理加工制造的合金带材。磁致伸缩导波检测依赖于磁致伸缩效应，在非铁磁性材料管道上粘贴一条磁致伸缩带材后，便可在非铁磁性材料中检测。

磁致伸缩带材进行磁化（即施加一个偏置磁场），其磁化顺序是在剪下带材后或者是贴在管道上之后进行，但建议在剪下带材后立即磁化。

9.4.2 耦合装置

一般采用胶耦合方式，该方式利用耦合剂将磁致伸缩带材粘在管道上，如图9所示。胶耦合所用耦合剂分为普通耦合剂和高温耦合剂。普通耦合剂适用于90℃及以下温度场合，按凝固时间分为5分钟凝固耦合剂和10分钟凝固耦合剂两种；高温耦合剂适用于200℃及以下温度场合，但是这种耦合剂凝固时间较长。



图9 胶耦合

9.5 管道表面处理

在安装探头前，需处理管道表面以便磁致伸缩带材能与管道耦合紧密。根据不同工况与耦合方式，工业管道表面的处理可以分为以下情况：

- a) 对于存在防腐或保温层的管道应对防腐层进行剥离，防腐或保温层须剥离出被检管道母材，且宽度大于30cm；
- b) 管道表面状况良好，无浮锈，如果管道表面有油漆且漆表面光滑与管道接触紧密。清洁管道表面，使表面无尘土和颗粒，表面粗糙度要求 $Ra \leq 12.5$ ；
- c) 管道表面油漆部分剥落或起泡，表面有浮锈。刮掉油漆，用砂纸处理管道表面；
- d) 用砂纸难以处理且工况允许的情况下，建议使用打磨机打磨，将管道表面打磨至出现金属光泽。

9.6 磁致伸缩带材截取和磁化

根据管道周长截取适当长度的磁致伸缩带材，长度以磁致伸缩带材刚好覆盖管道圆周，中间间隙为2-4mm最佳。

用磁化器对磁致伸缩带材进行磁化的具体方式：磁化器在磁致伸缩带材上以均匀速度沿固定方向运动5-10次。磁化进行时，不得停顿，如果发生停顿，请重新磁化。具体操作如图10所示。

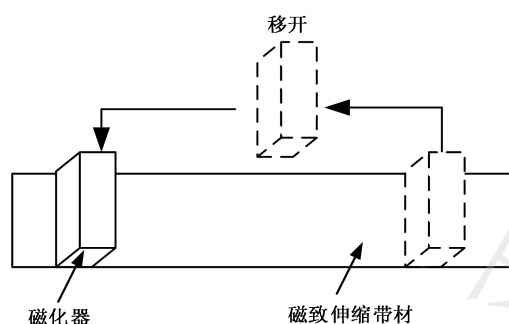


图 10 磁致伸缩带材磁化方法示意图

9.7 探头安装

根据磁致伸缩带材与管道的耦合方式不同，分为干耦合与耦合剂耦合，干耦合适用于高温工况且需要辅助工装，耦合剂耦合常用于低温工况，因此二者安装组合式探头的操作也不同。常用耦合剂耦合的探头安装方式如下：

- 将磁致伸缩带材磁化后在表面快速均匀涂抹耦合剂，并将其环绕紧贴到打磨良好的管道表面；
- 等待 5-10 分钟待耦合剂完全固化后，磁致伸缩带材便顺利耦合到管道上。
- 将探头线圈环绕到耦合后的磁致伸缩带材上，并固定好探头线圈。探头线圈须完全覆盖磁致伸缩带材。
- 探头线圈的带状线缆连接器与探头适配器的插座对应连接，使探头线圈与探头适配器连接。

9.8 数据采集

- 连接探头适配器、超声导波检测仪与计算机，开机运行；
- 打开客户端数据采集程序，设置文件保存路径，并修改采样间隔、波速、功率、增益、收发模式、平均次数、探头类型、波形个数、方向、检测距离和发射频率等等参数，然后开始数据采集；
- 等待若干秒后屏幕显示有效数据，保存待后续分析与评定。

10 信号分析和评定

10.1 概述

首先应对导波检出异常信号进行筛选，结合现场其他无损检测方法排除非相关性显示。其次再分析相关性显示。

10.2 信号的分析

10.2.1 管道结构特征信号的标注

结合管道的结构特征（三通、弯头、开口补强、法兰等）见附录B，可通过单线图或现场测绘的方式确定管道结构特征的具体位置，并将管道结构特征引起的回波信号标注出来。

10.2.2 缺陷信号的标注及记录

对非结构特征信号进行判断与标注。应首先排除因过高的杂波信号产生的伪缺陷。根据不同部位缺陷回波信号的强度，对其强度进行分级处理（推荐）。具体分级如表1所示。

表1 超声导波缺陷信号等级及其处理表

回波信号强度等级	数值范围	处理意见
弱	D以下	记录在案
中	D~2D	记录在案，复验由检测员决定
强	2D以上	记录在案，采用其他无损检测方法复验

注：D为设置的闸门高度，闸门线以上的缺陷会全部在数据中自动标记出，闸门高度和现场杂波信号的幅值、缺陷分辨率有关。D值取值可参考表2。

表2 D取值参考表

管道噪音信号	D的取值
弱	2%
较高	4%
强	8%

10.3 缺陷的分析

10.3.1 分析对象

一般检测仪器的灵敏度要求在截面积损失率2%以上，因此对截面积损失超过2%的位置可定为疑似缺陷，作为分析对象。

10.3.2 伪缺陷信号

- a) 在管道几何特征和其它状况对检测性能的影响下，检测系统屏幕会出现对应的回波指示。
- b) 镜像干扰信号，检测信号分析要注意镜像干扰信号的排除，检测时如果某一个方向检测到特征信号，会在另一方向上产生一个相同的镜像信号，是一种常见的伪缺陷。可通过叠加两个方向的信号来找出并予以排除。

10.4 缺陷的验证

如无其他特殊要求，对所有被认定为缺陷的信号进行定量分析，首先通过超声波测厚及直探头超声检测确定位置。确定缺陷位置后，采用超声波壁厚测定方法确定缺陷尺寸，必要时可以借助内窥镜检测等方法进行复查。

10.5 缺陷的标识

对确认的缺陷位置，尺寸进行记录，必要时可以使用示意图，照片等记录形式。

10.6 缺陷的分级

缺陷等级分级方法（推荐）见表3。

对于委托检测项目，检测结果质量的分级按照表3，合格级别根据双方合同确定。

对于工业管道定期检验中应用，建议对壁厚损失超过5%的缺陷进行超声波壁厚测定，以确定真实壁厚损失。

表3 缺陷等级分级表

缺陷轴向跨度L 横截面 损失率 ΔA	$\leq T/3$	$T/3 < L \leq 2T/3$	$2T/3 < L \leq 2T$	$2T < L \leq 3T$	$3T < L \leq 4T$	$4T < L$
$\Delta A \leq 2\%$	I	I	I	I	I	I
$2\% < \Delta A \leq 5\%$	I	I	I	II	II	III
$5\% < \Delta A \leq 10\%$	I	I	II	III	III	III
$10\% < \Delta A \leq 15\%$	II	II	III	III	III	III
$15\% < \Delta A \leq 20\%$	II	III	III	III	III	IV
$20\% < \Delta A \leq 30\%$	II	III	III	III	IV	IV
$30\% < \Delta A \leq 40\%$	II	III	III	IV	IV	IV
$40\% < \Delta A$	III	III	IV	IV	IV	IV

注：T 为管道壁厚，L 为缺陷轴向跨度，单位：mm。

11 检测记录与报告

检测报告中应该包括以下内容：

- a) 项目概况；
- b) 委托检测单位、检测报告编号、签发报告日期；
- c) 检测管道规格和工艺参数；
- d) 检测仪器型号、探头型号、铁磁性条带规格及数量、激励线圈形式、检测频率、检测方向、检测灵敏度；
- e) 缺陷描述：包括缺陷位置，尺寸，壁厚损失；
- f) 检测结论：对缺陷的评级；
- g) 检测人员及报告审核人员。

附 录 A
(资料性附录)

表 A.1 压力管道腐蚀超声导波检测工艺卡

管道基本信息			
管道名称		管道规格	
管道长度		管道材质	
工作压力		工作温度	
介 质		投入使用时间	
管道类型		保温保冷情况	
导波检测信息			
导波模式		测试日期	
测试方向		检测点数量	
导波检测点信息			
检测点编号	检测频率	检测点位置描述及布点原因	
管道单线图及探头布置位置			

附 录 B
(资料性附录)

表 B.1 管道几何特征和其它状况对检测性能的影响

特征/状况	影 响
法兰/阀门	阻碍波的传播，成为其检测范围的终点。
管道 T 形接头	在波传播过程中引起重大中断，使检测范围截止到 T 点处。
肘形弯管	在波传播过程中引起重大中断，限制检测范围，使其超不过肘部。
弯管	如果弯曲半径大于管道外径 3 倍，可以忽略其影响；如果曲径小于管道外径的 3 倍，所带来的影响和肘形弯管是一样的。一般认为经过两个弯头后的检测数据不再可靠。
分支管线	引起波的反射并产生一个信号；对检测能力来说无重大影响。
夹具/支架	引起波的反射并产生一个信号；对检测能力来说无重大影响。
焊缝附加物	引起波的反射并产生一个信号；如果附加物很大（比如管道金属箍）则会减小检测范围。
油漆	可忽略其影响。
绝缘层	如果绝缘层不是粘贴在管道表面上的，就可以忽略其影响。如果是粘在上面的则会引起衰减高，使检测范围缩短。
覆层	如果覆层薄的话，可以忽略其影响（比如溶解的环氧树脂粘结覆层）。 较厚的覆层会增加大导波衰减，缩小检测范围（比如沥青覆层和聚乙烯覆层）。
管道内部液体	对扭转波没有影响；会使纵向波减弱。
一般表面腐蚀	增加导波衰减，缩短检测范围。
土壤	如果管线是被掩埋在地下的，周围的土壤会增加导波衰减，使检测范围大大缩短。

附录 C (资料性附录)

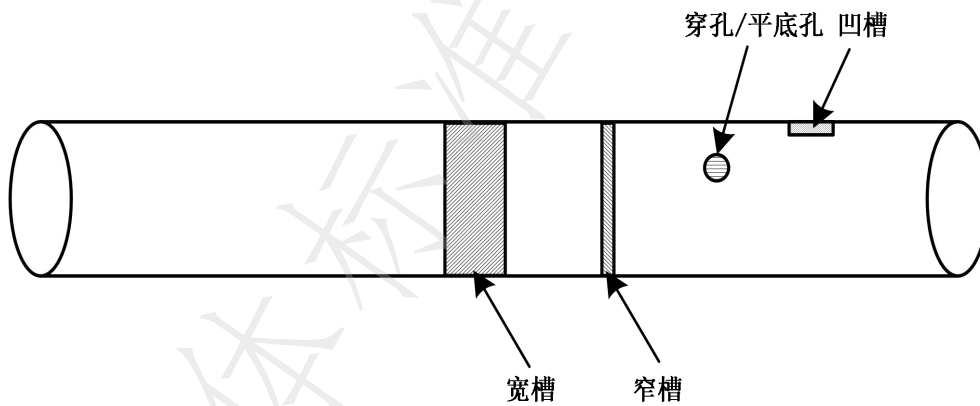
含人工缺陷标准管道试样制作规范

C.1 概述

超声导波仪器正式开始检测前应在实验室对其进行检测能力验证,包括检测不同大小和不同形状的缺陷。因此本文件通过模拟实际检测缺陷样式给出部分人工缺陷管道试样制作规范。

根据实际检测工况选择合适直径、壁厚、相同材料的样管,最好可以覆盖检测对象的所有规格。若需验证穿越 1~2 个弯头后的检测能力,可采用“U”形样管;若检测对象为直管段,可采用单一直管作为样管。样管长度一般取 2-15 米左右。

针对普遍存在于压力管道中的腐蚀种类:穿孔、点蚀、局部均匀腐蚀、窄形腐蚀和裂纹,对应设置通孔、凹槽/平底孔、浅宽槽、窄槽四种类型的人工缺陷,其中槽类缺陷可根据灵敏度(截面损失率)制定宽度,孔类缺陷可制定直径,如图 C.1 所示。对含有防腐层或保温保冷层的管道,应对样管作相同处理。



C.1 压力管道四类常见缺陷的模拟形态