

团 体 标 准

T/GDIOT 007—2024

代替T/GDIOT 007—2023

半潜运输装备压排载管道超声检测技术规范

Technical specification for ultrasonic testing of pressure discharge pipe of
semi-submersible transportation equipment

2024-3-14发布

2024-3-14实施

广东省物联网协会 发布

全国团体标准信息平台

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》的规定起草。

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。

本文件由广东省物联网协会提出并归口。

本文件起草单位：华南理工大学、广船国际有限公司、广东省科学技术情报研究所、广州多浦乐电子科技股份有限公司、安捷材料试验有限公司、广东省标准化研究院、广东省科学院智能制造研究所、广东汕头超声电子股份有限公司、新通达科技实业有限公司、广东省特种设备检测研究院。

本文件主要起草人：洪晓斌、崔彬、王欢、陈俊皓、王佳胜、林金帆、骆琦、付汝龙、周松斌、蔡睿眸、林家根、王磊、黄建明、张典春、李绪丰。

本文件为首次发布。

目 次

前言..... I

引言..... III

1 范围..... 4

2 规范性引用文件..... 4

3 术语和定义..... 5

4 一般要求..... 5

5 检测设备和器材..... 5

6 检测实施..... 9

7 缺陷评定..... 12

8 检测报告..... 13

附录A（规范性） 超声相控阵标准试块..... 15

附录B（规范性） 对比试块..... 17

附录C（资料性） 超声检测的评定曲线绘制..... 22

附录D（资料性） 声能传输损耗差的测定..... 24

附录E（资料性） 超声导波检测实施..... 26

附录F（资料性） 超声相控阵检测实施..... 28

附录G（资料性） 检测报告示例..... 31

引 言

半潜运输装备具有压载舱数量多，压载水量大的特点。其中作为核心部分的压排载管道，主要包括无缝钢管、焊接钢管或聚乙烯管（以下简称为PE管）。管道在工作中受温度变化、内压变化、内部流体冲击和腐蚀等多种因素的影响，易在内外表面以及焊缝等连接处出现损伤。其次，管道老化将加速涂层腐蚀脱落和界面分层的发生，导致泄漏事故的发生。因此有必要建立一个适用于半潜运输装备压排载管道超声检测技术规范。本文件为非强制性标准，仅供相关企事业单位参考及应用。

半潜运输装备压排载管道超声检测技术规范

1 范围

本文件规定了半潜运输装备压排载管道中无缝钢管、焊接钢管和PE管超声检测的一般要求、检测设备和器材、检测实施、缺陷评定和检测报告等规范。

本文件适用于管径外径为22mm~460mm，壁厚为3mm~13mm，设计压力不高于0.9MPa的无缝钢管和焊接钢管。

本文件适用于管径外径为250mm~400mm，壁厚为25mm~37mm，设计压力不高于0.9MPa的PE管。

2 规范性引用文件

下列文件中的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 9445-2015 (ISO 9712:2012) 无损检测 人员资格鉴定与认证
- GB/T 12604.1-2020 无损检测 术语 超声检测
- GB/T 23905-2009 无损检测 超声检测用试块
- GB/T 27664.3-2012 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第三部分：组合设备
- GB/T 29302-2012 无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验
- GB/T 31211-2014 无损检测 超声导波检测 总则
- GB/T 42399.1-2023 无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验 第1部分：仪器
- GB/T 42399.3-2023 无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验 第3部分：组合系统
- GB/T 42399.2-2023 无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验 第2部分：探头
- NB/T 47013.3-2015 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
- JJF 1338-2012 相控阵超声探伤仪校准规范
- ISO 18563-1:2022 Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment — Part 2: Instruments
- ISO 18563-2:2017 Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment — Part 2: Probes
- ISO 18563-3:2015 Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment — Part 3: Combined systems

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 半潜运输装备压排载管道 pressure discharge pipe of semi-submersible transportation equipment

半潜运输装备中压载水量调节系统中的管道，包括压缩空气管道和压载水管道，主要分布在排载水系统、排载压缩空气系统、泵压载系统和清洁压载水泄放系统等系统中。

4 一般要求

4.1 检测人员

4.1.1 按本文件实施检测的人员应持有GB/T 9445-2015规定的无损检测-超声检测技术资格证书，或持有相关机构认可的资格证书，如香港特区的人员认证计划 [The Certification Scheme for Personnel (CSWIP)] 无损检测-超声检测员。经职位专业培训，合格后方可独立承担管道检测工作。检测报告签发人员应持有超声Ⅱ级或以上级别的资格证书。

4.1.2 检测人员应了解本文件范围内待检测管道的几何尺寸，损伤分类，质量分级及其缺陷分布规律等基础知识，具备必要的电子技术知识和设备维护技能。

4.1.3 管道检测作业应根据相关标准、技术法规和工艺规程要求，配备相应数量的现场作业负责人、探伤检测员、机械操作员、现场防护员等作业人员。

5 检测设备和器材

5.1 超声检测仪

5.1.1 超声导波检测仪

超声导波检测仪应具备的功能单元如图1所示，同时应至少满足以下有关信号激励、数据采集、信号存储、信号分析等功能的要求：

- a) 信号显示：具有时基和距离显示两种方式，且可实现波形局部放大；
- b) 信号激励：激励信号的频率、幅值、周期数、重复频率可调；
- c) 数据采集：数据采集频率不低于激励信号最高频率的10倍，应与信号激励具有同步功能；
- d) 信号存储：检测信号应能实时存储，以备后续处理和分析，且应具有绘制和存储距离-波幅曲线的功能；
- e) 信号分析：能够分析缺陷的位置和截面损失率当量，缺陷位置的最小分辨率应达10mm，截面损失率的最小分辨率应达到3%。

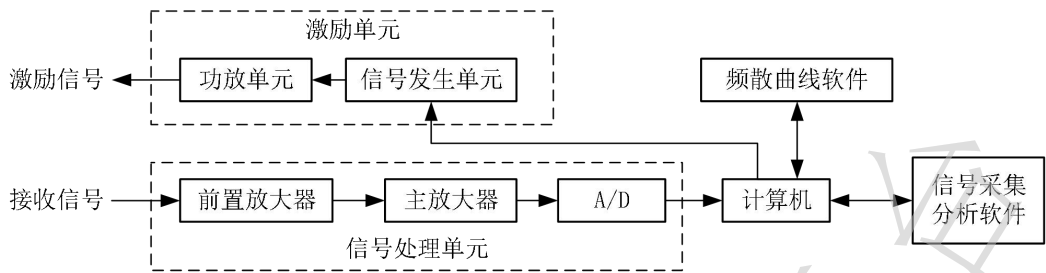


图1 超声导波检测仪器功能单元

5.1.2 超声相控阵检测仪

采用脉冲反射式的超声相控阵检测仪应符合GB/T 42399.1-2023或ISO 18563-1:2022，应具有信号激励、数据采集、信号波形显示、分析与存储和闸门可调节等功能，并根据实际检测需求配备扫查装置和聚焦法则生成软件，使其能够对超声波束特征参数进行直接修改和角度增益补偿。如有实时监测需求，仪器可通过连接物联网网关将数据传输至数据处理平台进行监控管理、统计分析、综合管控。此外仪器还应达到表1所示的技术要求。

表1 超声相控阵检测仪技术要求

指标名称	指标要求
灵敏度余量	$\leq 42\text{dB}$
动态范围	$\leq 26\text{dB}$
水平线性误差	$\geq 1\%$
垂直线性误差	$\geq 5\%$
扇扫成像分辨率	$\geq 2\text{mm}$
角度分辨力	$\geq 2.5^\circ$

5.2 超声探头

5.2.1 超声导波探头

根据管道的材料和规格选择探头，并符合表2所示技术要求和以下选用原则：

- a) 管道切割端面的反射信号上升沿和下降沿应陡峭、频散小、无杂波；
- b) 对比试块切槽反射波信号较高，且反射波高度满足灵敏度要求；
- c) 探头频率优先选择1MHz，对于外径大于273mm，且内、外壁腐蚀较严重的管道宜选择较低频率的探头；
- d) 探头角度的选择：探头的入射角应根据模态、探头频率、被检管道壁厚等因素选择；
- e) 探头接触面的曲率半径和被检测管道曲率半径的差值与检测管道曲率半径之比应小于10%。如有必要，应对探头接触面进行修磨。并确保探头接触面修磨后，探头入射点和折射角的变化应保证导波模态不发生变化。

表2 超声导波探头技术要求

指标名称	指标要求
探头频率	0.3MHz~1MHz
晶片大小	当管道外径 $\geq 89\text{mm}$: 晶片大小 $\leq 8\text{mm} \times 12\text{mm}$
	当管道外径 $> 89\text{mm}$: 晶片大小 $\leq 20\text{mm} \times 20\text{mm}$
声轴偏斜角	$\leq 2^\circ$

5.2.2 超声相控阵探头

超声相控阵探头应符合GB/T 42399.2-2023或ISO 18563-2:2017, 并达到表3所示的技术要求和以下选用原则:

- a) 探头实测中心频率与标称频率间的误差应不大于10%;
- b) 相控阵探头的晶片数应根据检测工件厚度及设置的通道数选择;
- c) 在满足能穿透的情况下, 宜选择主动孔径小的探头, 晶片长度不小于10mm。

表3 超声相控阵探头技术要求

指标名称	指标要求
探头频率	当管道厚度3~30mm: 探头频率7.5~10MHz
	当管道厚度30~37mm: 探头频率5~7.5MHz
主动孔径	当管道厚度3~30mm: 主动孔径15~25mm
	当管道厚度30~37mm: 主动孔径15~30mm
阵元长度	当检测纵向缺陷: 阵元纵向长度不超过35mm
	当检测横向缺陷: 阵元横向长度不超过25mm
晶片数量	16、32、64
频带宽度 (-6dB)	不小于60%

5.3 系统性能

5.3.1 超声导波检测仪和超声导波探头的组合系统应符合GB/T 27664.3的要求。

5.3.2 超声相控阵检测仪和超声相控阵探头的组合系统应符合GB/T 42399.3-2023或ISO 18563-3:2015的要求。

5.4 试块

5.4.1 标准试块

标准试块是指用于仪器探头系统性能校准的试块, 包括:

- a) 超声导波标准试块选用无缝钢管制作, 应具有3%、6%和9%截面损失率的横向环形切槽各一个, 切槽的宽度在0.5mm~2mm的范围内, 深度方向的公差不大于 $\pm 0.2\text{mm}$ 。标准试块的长度、厚度和切槽位置的要求见表4;

表4 超声导波标准试块的要求

序号	外径 D mm	厚度 T mm	长度 L m	横向环形切槽的位置（距试样左端） m		
				3%	6%	9%
1	$50 > D \geq 10$	≥ 2	≥ 18	7	12	17
2	$150 > D \geq 50$	≥ 4	≥ 24	9	16	23
3	$1000 > D \geq 150$	≥ 10	≥ 35	12	22	32

- b) 超声相控阵标准试块包括CSK-IA、A型相控阵试块和B型相控阵试块，具体试块要求按附录 A规定执行。

5.4.2 对比试块

对比试块的外形尺寸及材料性质应能代表被检工件的特征，应使用与被检管道具有相同规格并具有相近表面状况和声学性能管道。对比试块用管道上不应有影响检测的自然缺陷。本文件采用的对比试块包括：

- a) 钢质管道的对比试块包括：

- 1) 针对超声导波横向损失缺陷的对比试块，采用超声导波检测技术，用于对被检管道上缺陷界面损失率当量的评定。其长度至少为仪器可探测9%截面损失率人工缺陷距离的1.2倍，且不小于12m。在对比试块上至少3个部位外表面分别加工出多个直径相同、深度为壁厚40%的平底孔；每处平底孔的数量应分别按截面损失率的3%、6%和9%进行计算，平底孔在环向间距应均匀分布，在纵向间距的距离应大于1m，深度的公差不大于0.2mm；试样两端的平底孔应至少距试样端部1m；
- 2) 针对超声导波横向和纵向缺陷的对比试块，采用“N”型或“V”型刻槽，采用超声导波检测技术，具体试块要求按附录 B.2执行；
- 3) 针对钢质管道对接焊接接头的对比试块，采用试块PAGS-1、PAGS-2、PAGS-3和PAGS-4，采用超声相控阵检测技术，具体试块要求按附录 B.3执行。

- b) PE管道的对比试块包括PE-1和PE-2，采用超声相控阵检测技术，具体试块要求按附录 B.4执行。

5.5 耦合剂

5.5.1 对于以压电为基础的装置时，应使用一种耦合剂，如水、油或甘油，能够在检测装置和管道之间进行超声波振动。

5.5.2 耦合剂中可添加防锈剂、软化剂和润湿剂。添加了所有添加剂的耦合剂液体不应损害管道或管子的表面状况，并提供足够的耦合效率。

5.5.3 为防止出现虚假信号或丧失灵敏度，必须注意避免耦合剂中出现气泡。

5.6 检测设备的核查和校准

5.6.1 超声导波检测仪器

5.6.1.1 应制定书面规程，对检测设备进行周期性维护和检查，以保证仪器功能。

5.6.1.2 在现场进行检测之前，应在实验室内选择相应规格的标准试块对检测仪器和探头

进行校准，若检测结果与已知试件缺陷分布相符，则表明仪器正常。

5.6.1.3 在现场进行检测时，如怀疑设备的检测结果，应对设备进行功能检查和调整，并对每次维护检查的结果进行记录。

5.6.2 超声相控阵检测仪器

5.6.2.1 超声相控阵检测仪器和探头性能校准、核查应在标准试块上进行，校准时应使探头主声束垂直对准反射体的反射面，以获得稳定和最大的反射信号。

5.6.2.2 仪器和探头检测系统每年应至少进行一次校准，校准内容包括扇扫成像横向分辨力和纵向分辨力以及扇扫角度分辨力。扇扫成像分辨力在A型试块上进行，几何尺寸测量误差在B型试块上进行，校准方法应符合JJF 1338的规定。

5.6.2.3 仪器和探头检测系统的显示高度线性、幅度控制线性、时基线性应每半年至少进行一次运行核查，核查方法应符合GB/T 29302的规定。

5.6.2.4 在首次使用前或每隔1个月，至少对阵元有效性进行一次核查，在相控阵探头中允许存在失效阵元，但失效阵元数量不得超过相控阵探头阵元总数的12.5%，且不得出现相邻阵元连续失效。核查方法应符合GB/T 29302的规定。

5.6.2.5 每次检测前应检查仪器设备器材外观、线缆连接和开机信号显示等情况是否正常。

5.6.2.6 每次检测前应对位置传感器进行检查和记录，检查方式是使带位置传感器的扫查装置至少移动300mm，将检测设备所显示的位移和实际位移进行比较，其误差应小于1%。

6 检测实施

6.1 检测前准备

6.1.1 半潜运输装备压排载管道超声检测方法主要流程及步骤如图2所示。

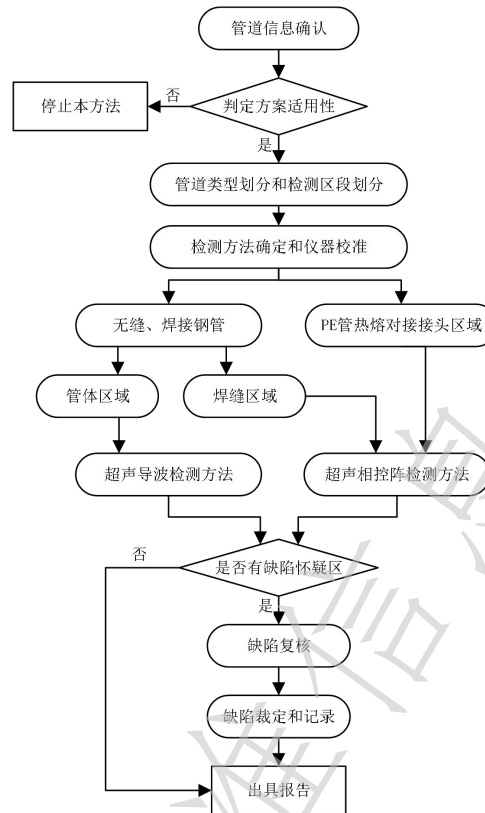


图2 主要步骤及流程

6.1.2 被测管道的如下信息应在检测前获悉并记录，检测人员可根据相似管道系统的经验和掌握的信息，对个别无法获得的非计算过程直接使用的数据，进行保守处理并应做好书面说明：

- a) 记录管道的公称直径、实际管外径和壁厚；
- b) 记录管道的材料和类型；
- c) 记录管道支架的类型和位置；
- d) 记录管道涂层的材质、厚度和位置；
- e) 记录管道的输送介质、工作温度和压力。

6.1.3 探头与管道的接触表面涂层厚度应不大于300 μm且没有外部腐蚀和其他松散物质，如水垢、污垢、粘附性差的油漆、腐蚀产物和涂层去除后的残留物。用于清洗和抛光表面的方法不应损害基体材料。

6.1.4 过度的表面粗糙度或划痕会产生干扰检查的信号，待检测表面粗糙度应不大于12.6 μm且不应有可见沟槽缺陷。

6.2 检测工艺选择

6.2.1 焊接钢管和无缝钢管的管体区域

管体区域采用超声导波技术和超声相控阵技术进行检测，并完成以下程序：

- a) 根据6.1.2所收集的数据划分检测区段，并应将以下位置作为分界点：
- 1) 输送介质注入点、分输点；
 - 2) 经过加温或加压站后导致温度和压力等工艺参数发生变化的点；
 - 3) 管道规格发生改变点及特殊管段起止点；
 - 4) 当存在介质正反输送工况时，应在正反输送工况的每个输送方向上分别划分检测区段。
- b) 按照划分区段选择合适的检测起点，检测点应尽可能距离最近的主要管道特征(即环形焊缝、分支或法兰)不少于1.0米，且不应位于两个相邻特征之间的中距离。检测点与管道特征或其他物理特征的参照应记录在图纸上，如环焊缝，支撑，分支，涂层起始位置等。检测点选择过程中，任何对检测充分性、超声波耦合或激发角度方向有影响的限制因素，都应记录并包括在测试报告中。
- c) 横向和纵向缺陷检测前应采用附录 B.2要求的对比试块进行校验，以产生稳定、清晰可辨的对比刻槽信号，这些信号用于触发他们各自的报警电平。
- d) 横向损失缺陷检测前应进行超声导波检测的DAC曲线(距离-幅度曲线)绘制，具体要求参照附录 C.1。

6.2.2 焊接钢管和无缝钢管的对接焊缝区域

焊缝区域采用超声相控阵技术进行检测，并完成以下程序：

- a) 检测前应对被检对接焊接接头外观质量、管径、壁厚、坡口型式进行确认；
- b) 检测区域为对接焊接接头及其热影响区，热影响区宽度为焊缝熔合线两侧各3mm~5mm或按焊接工艺确定；
- c) 检测前应在工件扫查面上进行标记，标记内容至少包括扫查起止点和扫查方向，起始标记应用“0”表示，扫查方向用“→”表示，扫查面用“A、B”表示焊缝的两侧，当对接焊接接头长度较长需要分段检测时应画出分段标记，所有标记应对扫查无影响；
- d) 检测前应在扫查面上划出参考线，防止探头走偏，参考线距对接焊接接头中心线距离的偏差不应大于1mm；
- e) 应按所用的相控阵检测仪和相控阵探头在PAGS-1~PAGS-4系列对比试块或GS试块上制作DAC曲线(距离-波幅曲线)，曲线制作方法参照附录 C.2。

6.2.3 PE管道的热熔对接接头区域

此区域采用超声相控阵技术进行检测，并完成以下程序：

- a) PE管道的热熔对接接头应在焊接工作全部完成，并自然冷却至少2h后，方可进行超声检测；
- b) 应按所用的相控阵检测仪和相控阵探头在PE-1~PE-2系列对比试块上制作DAC曲线(距离-波幅曲线)，曲线制作方法参照附录 C.3；

- c) 检测时应测定声能传输损失差，并根据实测结果对检测灵敏度作补偿，补偿量应计入距离波幅曲线。声能传输损失差测定参照附录 D的规定进行。

6.3 检测实施

6.3.1 超声导波检测实施应参照附录 E的要求。

6.3.2 超声相控阵检测实施应参照附录 F的要求。

6.4 设备复核

6.4.1 超声检测系统的复核包括对灵敏度复核及定位精度复核，在如下情况时应对检测系统进行复核：

- a) 检测结束后对定位精度进行复核；
- b) 检测过程中每隔4h或检测设备停机后开机或更换部件时，应进行检测系统复核；
- c) 检测人员有怀疑时，应进行检测系统复核；
- d) 检测结束时，应进行检测系统复核。

6.4.2 复核应采用与初始检测设置时的同一试块。若复核时发现与初始检测设置的测量偏离，则按照表5规定执行。

表5 偏离和纠正

项目	序号	数值	处理方式
灵敏度	1	$\leq 3\text{dB}$	通过软件进行纠正
	2	$> 3\text{dB}$	应重新设置，并重新检测上次校准以来所检测的工件或区域
声程	1	偏离 $\leq 1\text{mm}$	应找出原因重新设置。若在检测中或检测后发现，则纠正后应
	2	偏离 $> 1\text{mm}$	重新检测上次校准以来所检测的工件或区域
*角度	1	偏离 $\leq 1^\circ$	不需要采取措施
	2	偏离 $> 1^\circ$	应找出原因重新设置。若在检测中或检测后发现，则纠正后应重新检测上次校准以来所检测的工件或区域
* 此指标要求仅针对超声相控阵检测仪。			

7 缺陷评定

7.1 超声导波检测中的缺陷评定

7.1.1 横向截面损失缺陷

DAC曲线示意图如附录 C中图C.1所示，且缺陷评定应符合以下要求：

- a) 不允许缺陷：反射波幅位于判废线及III区信号的缺陷或由检验人员判定为危害缺陷；
- b) 需进行记录的缺陷：反射波幅位于评定线及II区信号的缺陷，或50mm范围内出现3

个以上的I区反射信号。

7.1.2 局部横向和/或纵向缺陷

若缺陷回波幅度大于或等于相应的对比试块人工缺陷回波，则判为不合格。

7.2 超声相控阵检测中的缺陷评定

应符合以下要求：

- a) 当检测人员怀疑超过评定线的信号是危害性缺陷时，在扇扫中切换角度线，观察缺陷动态波形并结合焊接工艺进行综合分析，也可采用其他检测方法进行验证；
- b) 不允许裂纹和未熔合缺陷存在；
- c) 钢质管道的对接焊接接头质量分级应按表6的规定进行；
- d) PE管道的热熔对接接头质量评定应符合：
 - 1) 对熔合面缺陷（包括未熔合与熔合面夹杂），当自身高度不超过15%，且缺陷长度不超过3T时可接受，其他情况均不可接受；
 - 2) 对孔洞缺陷，如果孔洞是圆形的或椭圆形的（但不允许有尖锐端角存在），且尺寸不超过1/4T的单个孔洞或在长度为T范围内累计尺寸不超过1/3T的2个孔洞，则在熔融界面上或附近的孔洞是可以接受的。

表6 对接焊接接头质量分级

对接焊接接头质量等级	反射波幅所在区域	缺陷长度 ¹	
		单个指示长度 $L(\text{mm})$	累计长度 ² (mm)
I级	I	非裂纹类缺陷	不限
	II	小于或等于 $T/3$, 最小可为10, 最大不超过30	长度小于或等于对接焊接接头周长的10%, 且小于30
II级	II	小于或等于 $2T/3$, 最小可为12, 最大不超过40	长度小于或等于对接焊接接头周长的15%, 且小于40
III级	II	缺陷长度超过II级者	
	III	所有缺陷	
	I、II	裂纹等危害性缺陷	
注: T 为单壁厚度, 当对接焊接接头两侧母材厚度不等时, 取较薄者的厚度值			
¹ 在10mm对接焊接接头长度范围内, 同时存在条状缺陷和未焊透时, 应评为III级。 ² 当缺陷累计长度小于单个缺陷指示长度时, 以单个缺陷指示长度为准。			

8 检测报告

8.1 超声导波检测记录及报告（示例参见附录 G.1）应至少包括如下内容。

- a) 执行标准；
- b) 部件名称、部件规格、部件材质；
- c) 表面情况、内部介质；

- d) 仪器名称型号、仪器编号、仪器参数设置；
- e) 检测频率、检测灵敏度、探头规格；
- f) 校准试块、校准试块材料；
- g) 距离-波幅曲线、检测结果示意图；
- h) 检测结果的详细信息（编号、信号位置、信号幅值、信号分级、信号图形）；
- i) 结论、检测人员、检测日期；
- j) 编制人员签名、审核人员签名。

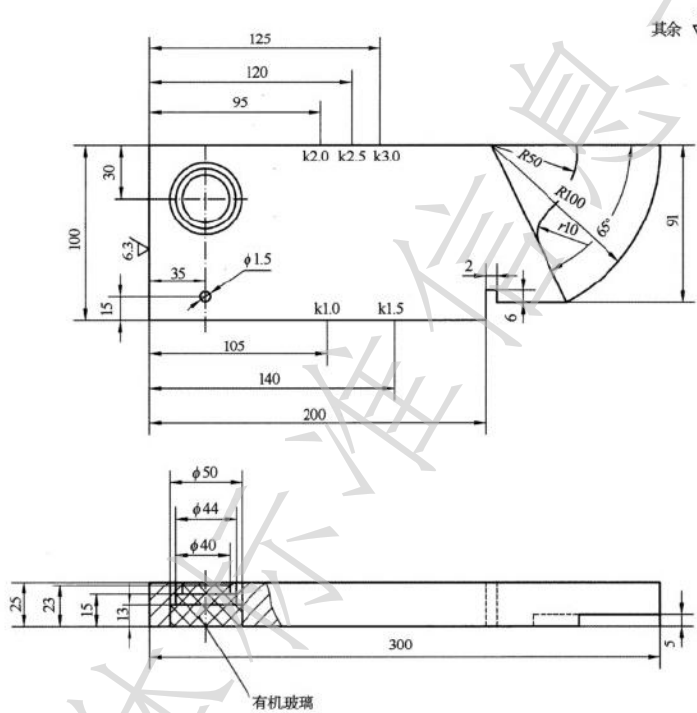
8.2 超声相控阵检测记录及报告（示例参见附录 G.2）应至少包括如下内容：

- a) 工程名称、检测日期；
- b) 检测部位、管道材质、管道规格、坡口型式；
- c) 焊接方法、表面状态；
- d) 设备型号、检测标准、探头型号、试块类型；
- e) 耦合剂、检测灵敏度、表面补偿、检测数量；
- f) 检测部位示意图；
- g) 结论、检测人员签名、审核人员签名、单位盖章；
- h) 检测结果详细信息（焊缝编号、检测长度、缺欠记录、评定结果）。

附录 A
(规范性)

超声相控阵标准试块

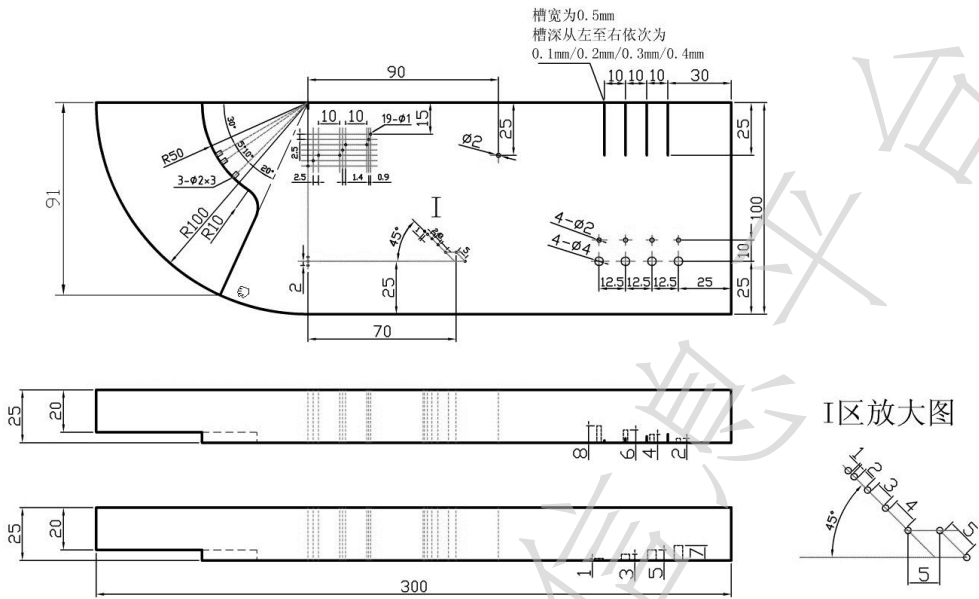
A.1 CSK-IA试块的形状和尺寸如图A.1，其制作要求应符合GB/T 23905，且尺寸和精度应有证明文件。



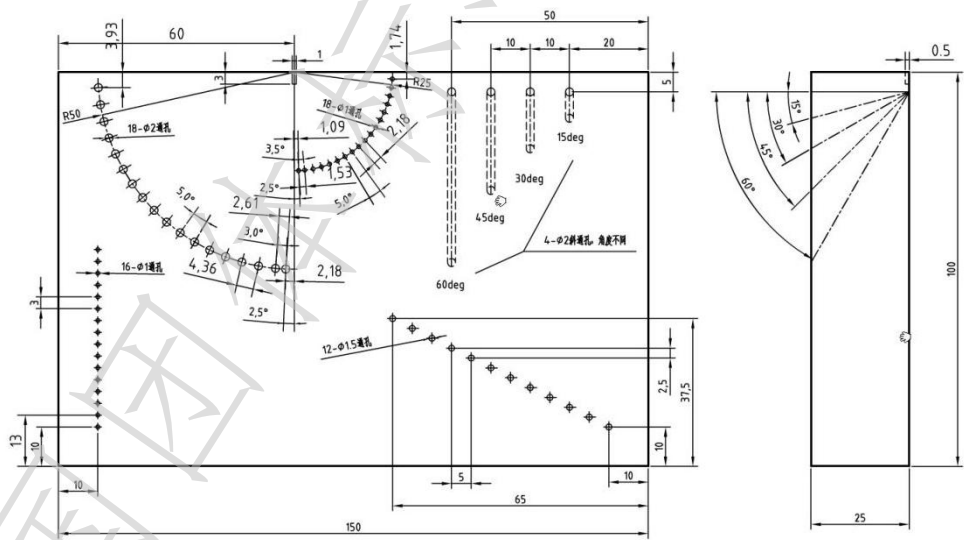
注：尺寸误差为 ± 0.05 mm

图A.1 CSK-IA试块

A.2 A型相控阵试块和B型相控阵试块的形状和尺寸如图A.2 和图A.3 所示。



图A.2 A型相控阵试块



图A.3 B型相控阵试块

附 录 B

(规范性)

对比试块

B.1 用途

对比试块用于调整检测系统灵敏度和检测校准。对比试块的材质、声学性能应与被检工件相同或相近。

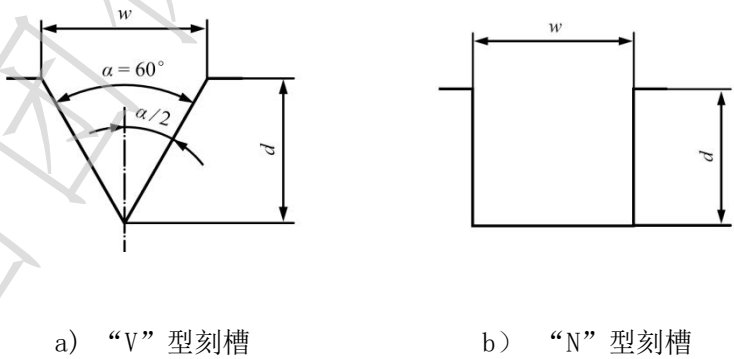
B.2 钢质管道纵向和横向缺陷的对比试块

对比试块应使用与被检管道具有相同的公称尺寸并具有相近表面状况和声学性能的管道，且不应有影响检测的自然缺陷。检验纵向和横向缺陷应使用样管内、外表面上的刻槽校验超声检测设备。

B.2.1 对比刻槽的类型

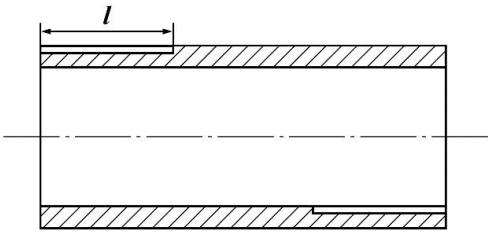
对比刻槽应为平行于管轴的纵向槽口或垂直于管轴的横向槽口，对比刻槽应为“N”型，当刻槽深度小于0.5mm时，可采用“V”型刻槽（见图B.1）。“N”型刻槽的两边名义上应平行，且槽的底部名义上应与两边成直角。对比刻槽应采用机械方法或电火花蚀刻方法加工，加工位置在试块两端的内外表面各加工一个V形槽或矩形槽，如图B.2和图B.3所示。当钢管内径小于25mm时，可不加工内表纵向刻槽；内径小于50mm时，可不加工内表横向刻槽。

注：槽的底部或底角可能是圆弧

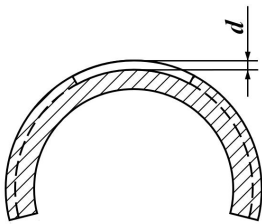


说明：w宽度；d深度。

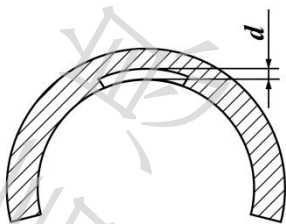
图B.1 对比刻槽的样式



图B.2 纵向刻槽加工位置



a) 外表面局部周向刻槽



b) 内表面局部周向刻槽

说明：d —— 深度

图B.3 横向刻槽加工位置

B.2.2 对比刻槽的尺寸

B.2.2.1 宽度

对比刻槽的宽度 w （见图B.1）应不大于1.0mm，且应不超过深度的2倍。

B.2.2.2 深度

对比刻槽的深度 d （见图B.1）应符合表B.1的规定。尽管对比标准缺陷相同，但采用不同的检测方法可以得到不同的检测结果。

表B.1 验收等级及对应得到对比刻槽深度	
验收等级*	刻槽深度与公称壁厚之比/%
U1	3
U2	5
U3	10

U4	12.5
----	------

刻槽的最小深度与钢管的应用类型有关，并由表 2给出的类别表示。在没有指明最小槽深类别时，冷拔、冷轧及机加工钢管的最小刻槽深度为0.2mm，所有其他状态的最小刻槽深度为0.5mm。

表B.2 最小槽深类别及最小刻槽深度		
最小槽深类别	最小刻槽深度*/mm	钢管的典型状态
A	0.1	冷拔、冷轧及机加工钢管
B	0.2	
C	0.3	其他所有情况
D	0.5	
* 采用的最小刻槽深度与钢管的加工方式有关，此时钢管的最终表面状态是决定最小刻槽深度的主要因素，最小刻槽深度主要用于超声波设备的校验以得到可接受的信噪比。		

除非另有协议，所有验收等级和钢管类别的最大刻槽深度应为1.5mm，但钢管壁厚大于50mm时，最大刻槽深度可增加到3.0mm。刻槽深度的允许偏差为刻槽深度的±15%或±0.05mm，取较大者。在刻槽深度小于0.3mm时，偏差应为±0.03mm。

B.2.2.3 长度

对比刻槽的长度*l*应大于单个换能器或单个虚拟换能器的宽度，并作如下限制：

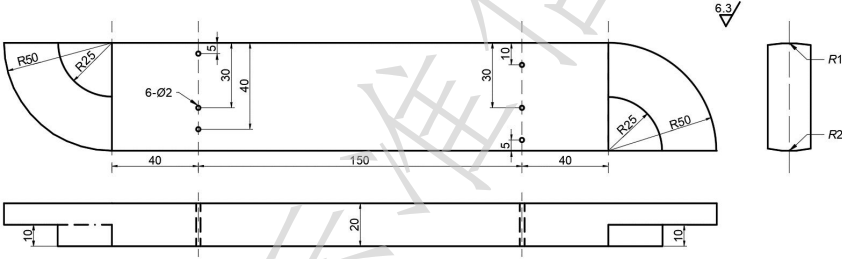
- 最大25mm，对冷拔、冷轧或机加工钢管；
- 最大50mm，对其他所有情况。

B.3 钢质管道焊接接头的对比试块

采用超声相控阵检测系统的对比试块数量、编号、形状和尺寸见表B.3和图B.4。对于各型号的试块，根据检测厚度可以适当增大，试块的长度也可以适当增加，也可以采用同等效果的其他试块替代。当采用直探头检测时，不得有大于或等于42mm平底孔当量直径的缺陷。当管径小于57mm时，可采用GS试块（见NB/T 47013.3-2015）。

表B. 3 管道环向焊接接头超声相控阵检测对比试块

试块编号	弧面半径R1 (mm)	适用管外径范围 (mm)	弧面半径R2 (mm)	适用管外径范围 (mm)	厚度T (mm)	两列孔间距X (mm)
PAGS-1	32	57~72	40	72~90	20	150
PAGS-2	50	90~110	60	110~132	20	150
PAGS-3	72	132~159	94	168~282	20	X
PAGS-4	156	280~468	平面	>468	20	X
说明： 1) 检测厚度大于20mm的焊缝时，可将试块高度增大到100mm，试块R25mm/R50mm圆弧面增大到R50mm/R100mm 圆弧面，各孔的间距也可以根据检测需要调整，以满足 DAC曲线制作的要求。 2) 关于两列孔间距X，可根据检测需要增大。						



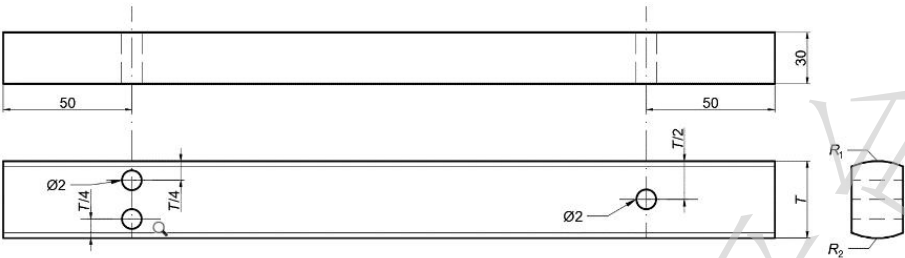
图B. 4 管道环向对接接头超声相控阵检测对比试块

B. 4 PE管道对比试块

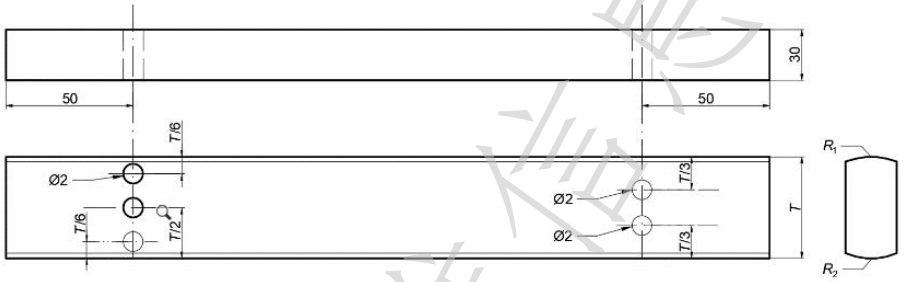
用于PE管道对接接头的对比试块，其外形尺寸应能代表被检工件的特征，厚度应与被检工件的厚度相对应。如果涉及到两种或两种以上不同厚度工件对接接头的检测，试块的厚度应由其最大厚度来确定。本文件采用的对比试块有PE-1、PE-2，其规格尺寸见图B. 5所示，其适用的聚乙烯管道热熔对接接头公称直径如表B. 4所示。

表B. 4 PE管道热熔对接接头超声相控阵对比试块

对比试块	适用的PE管道热熔对接接头公称直径
PE-1	200~315
PE-2	315~500



(a) PE-1 对比试块：试块长 $L=300\text{mm}$ ， $R_1=140\text{mm}$ ， $R_2=100\text{mm}$ ， $T=30\text{mm}$



(b) PE-2 对比试块：试块长 $L=300\text{mm}$ ， $R_1=200\text{mm}$ ， $R_2=160\text{mm}$ ， $T=48\text{mm}$

图B. 5 PE管道热熔对接接头超声相控阵对比试块

附 录 C

(资料性)

超声检测的评定曲线绘制

C.1 超声导波检测的DAC曲线（距离-幅度曲线）

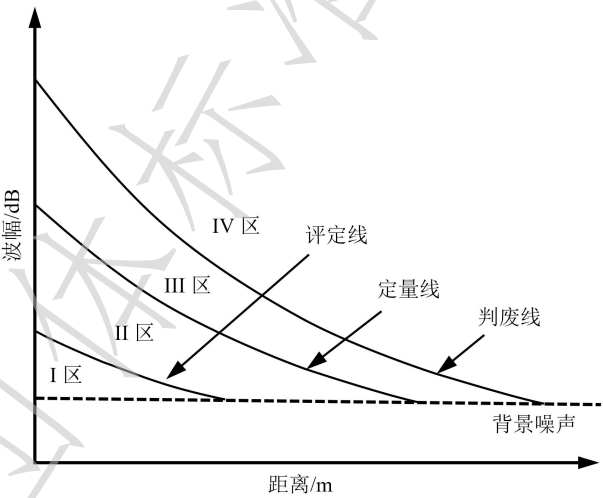
C.1.1 此方法应在附录 B.2规定的钢质管道的对比试块上制作，并根据被检工件的壁厚选择合适的对比试块。

C.1.2 绘制方法

该曲线族由评定线(EL)、定量线(SL)和判废线(RL)组成：

- a) 评定线由3%截面损失率的人工缺陷反射波幅直接绘制而成；
- b) 定量线由6%截面损失率的人工缺陷反射波幅直接绘制而成；
- c) 判废线由9%截面损失率的人工缺陷反射波幅直接绘制而成。

评定线以下（包括评定线）为I区，评定线与定量线（包括定量线）之间为II区，评定线与定量线之间为III区，判废线及其以上区域为IV区，如图C.1所示。



图C.1 距离-幅度曲线示意图

C.2 超声相控阵检测在钢质管道上的DAC曲线（距离-幅度曲线）

C.2.1 此方法应在附录 B.3规定的钢质管道的对比试块上制作，并根据被检工件的厚度及曲率选择合适的对比试块。

C.2.2 绘制方法

- a) 选择曲率相近的PAGS试块或GS试块进行DAC曲线的绘制，曲线应包含所检测的最大声程；
- b) 工件表面的光洁度一般与对比试块有差异，工件表面检测前已进行打磨，且表面光洁度已达到一定的要求，表面补偿推荐为4dB；

- c) DAC曲线（距离-波幅曲线）的灵敏度见表C.1，评定线以下（包括评定线）为I区，评定线与定量线（包括定量线）之间为II区，评定线与定量线之间为III区，判废线及其以上区域为IV区，如图C.1所示。

表C.1 DAC曲线的灵敏度要求（钢质管道）

管壁厚度（mm）	评定线（EL）	定量线（SL）	判废线（RL）
3~6	$\phi 2 \times 20 - 20 \text{ dB}$	$\phi 2 \times 20 - 14 \text{ dB}$	$\phi 2 \times 20 - 8 \text{ dB}$
>6~40	$\phi 2 \times 20 - 16 \text{ dB}$	$\phi 2 \times 20 - 10 \text{ dB}$	$\phi 2 \times 20 - 4 \text{ dB}$

C.3 超声相控阵检测在PE管道上的DAC曲线（距离-幅度曲线）

C.3.1 此方法应在附录 B.4规定的PE管道的对比试块上制作，并根据被检工件的厚度及曲率选择合适的对比试块。

C.3.2 绘制方法

- 根据理论模拟软件演示结果来确定所采用的用于距离波幅曲线制作的角度，该角度对于扇形扫描一般选在接近扇形扫描角度范围内的中间角度，对于线扫描一般选择接近于垂直坡口面的角度；
- 将聚焦深度设置在所采用的最大检测声程的位置；
- 根据具体的检测要求选择制作距离波幅曲线的第一个基准孔。将相控阵探头放在试块上所选择的第一个基准孔上，移动探头找到该反射体最大波高，“调节增益”，使第一基准孔的反射波高为荧光屏满幅度的80%（±5%），该波高为基准波高，并记录该反射体的波高；
- 保持灵敏度不变，依次探测其他反射体，找到最大波高，并记录各反射体的最大波高；将记录的不同深度的反射体及其对应的最大波高相连，即成为距离波幅曲线；
- 依据表C.2距离波幅曲线的灵敏度绘制出评定线、定量线和判废线，评定线以下（包括评定线）为I区，评定线与定量线（包括定量线）之间为II区，评定线与定量线之间为III区，判废线及其以上区域为IV区，如图C.1所示；
- 在整个检测范围内，距离波幅曲线不得低于荧光屏满刻度的20%；
- 制作距离波幅曲线的过程中，应控制噪声信号，信噪比应大于等于10dB。

表C.2 DAC曲线的灵敏度要求（PE管道）

工件厚度（mm）	评定线（EL）	定量线（SL）	判废线（RL）
20~60	$\phi 2 \times 30 - 16 \text{ dB}$	$\phi 2 \times 30 - 10 \text{ dB}$	$\phi 2 \times 30 - 2 \text{ dB}$

附录 D

(资料性)

声能传输损耗差的测定

D.1 一般要求

工件本身影响反射波幅的两个主要因素：材料的材质衰减、工件表面粗糙度或耦合状况造成的表面声能损失。由于聚乙烯材质衰减严重，在确定缺陷反射波幅时，应考虑材质衰减修正。如被检工件表面比较粗糙，还应考虑表面声能损失问题。

D.2 常规斜探头检测时超声材质衰减的测量

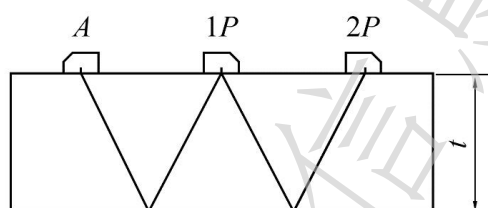


图 D.1 超声衰减的测定

D.2.1 用两只探头尺寸、标称频率、折射角(K 值)相同的斜探头,按图 D.1 所示置在被检工件完好部位,两探头入射点间距为 $1P$,仪器调为一发一收状态,找到最大反射波幅,记录其波幅值 H_1 (dB)。

D.2.2 将两探头拉开到距离为 $2P$ 的位置,找到最大反射波幅,记录其波幅值 H_2 (dB)。

D.2.3 单声程衰减系数 a_H 可用下式计算:

$$a_H = (H_1 - H_2 - \Delta) / (S_2 - S_1)$$

$$S_1 = 2t / \cos \beta$$

$$S_2 = 4t / \cos \beta$$

式中:

a_H ——单声程衰减系数;

H_1 ——两探头入射点间距为 $1P$ 时,最大反射波幅的幅值;

H_2 ——两探头入射点间距为 $2P$ 时,最大反射波幅的幅值;

S_1 ——两探头入射点间距为 $1P$ 时,声波发射到接收的声程;

S_2 ——两探头入射点间距为 $2P$ 时,声波发射到接收的声程;

t ——超声衰减测定的试块壁厚,单位是毫米(mm);

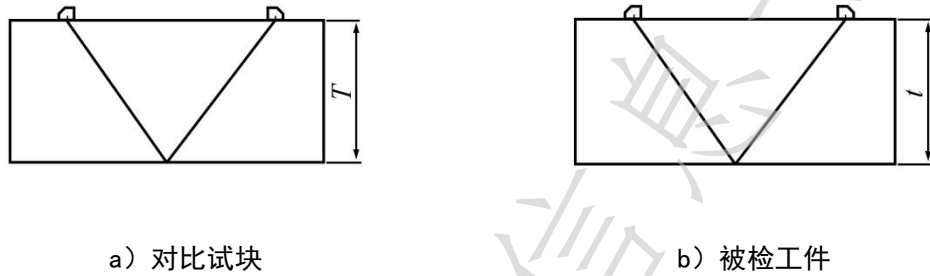
Δ ——不考虑材质衰减时,不同声程(S_1 、 S_2)声束扩散造成的波幅差,可用公式 $201g(S_2 / S_1)$ 计算或从该探头的距离波幅曲线上查得,一般约为6dB;

β ——探头折射角，单位为度（°）。

D.2.4 按 D.2.1~D.2.3 同样可以测定对比试块的材质衰减系数。

D.3 传输损失差的测定

D.3.1 用两只晶片尺寸、标称频率、折射角（K值）相同的实际检测用探头，按图D.2所示置于对比试块检测面上，两探头入射点距离为 $1P$ ，仪器调为一发一收状态，找到最大反射波幅，记录其波幅值 H_2 （dB）。



图D.2 传输损失差测定

D.3.2 不改变灵敏度，在被检工件上（不通过接头），两探头入射点距离为 $1P$ ，同样测出接收波最大反射波幅，记录其波幅值 H_2 （dB）。

D.3.3 传输损失差 ΔV 按下式计算：

$$\Delta V = H_1 - H_2 - \Delta_1 - \Delta_2$$

$$\Delta_1 = 201g(S_2 / S_1)$$

$$S_1 = 2T / \cos \beta$$

$$S_2 = 2t / \cos \beta$$

$$\Delta_2 = 2(\alpha_t t - \alpha_r T) / \cos \beta$$

式中：

ΔV ——传输损失差；

Δ_1 ——不考虑材质衰减时，不同声程（ S_1 、 S_2 ）声束扩散造成的波幅差，也可从该探头的距离波幅曲线上查得；

S_1 ——在对比试块中的声程，单位为毫米（mm）；

S_2 ——在工件母材中的声程，单位为毫米（mm）；

Δ_2 ——试块中声程 S_1 与工件中声程 S_2 的超声材质衰减差值，单位为分贝（dB）；

α_t ——声波在工件中的衰减系数，单位为分贝/毫米（dB/mm）；

α_r ——声波在试块中的衰减系数，单位为分贝/毫米（dB/mm）。如试块材质衰减系数小于0.01dB/mm，此项可以不予考虑。

附录 E

(资料性)

超声导波检测实施

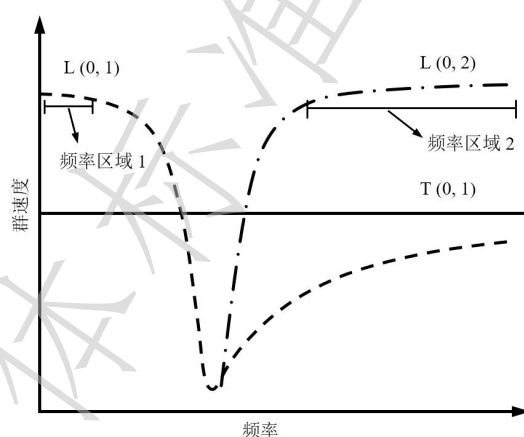
E.1 导波频率和模态

E.1.1 频散曲线

导波的频率选择应在对应模态的非频散区域中选择，频散曲线的绘制由频散方程决定，频散方程的计算一般遵循以下步骤：

- 首先建立被测对象的Navier波动方程；
- 求解波在被测构件中传播的位移和应力表达式；
- 根据被检构件的位移应力等边界条件建立频散方程。

图E.1是一种典型的频散曲线示意图。对于 $L(0,1)$ 模态，在频率区域1是非频散的。对于 $L(0,2)$ 模态，在频率区域2是非频散的。对于 $T(0,1)$ 模态，在整个频率区间是非频散的。



图E.1 典型频散曲线示意图

E.1.2 导波模态

导波模态的选择应依据以下因素进行考虑：

- 选择非频散频率区间；
- 一次检测长度；
- 对于横向缺陷，选择纵向模态；
- 对于纵向缺陷，选择扭转或弯曲模态。

E.2 检测流程

E.2.1 在检测点按6.1.2要求进行检测前准备，检测过程应符合6.2.1的工艺要求。

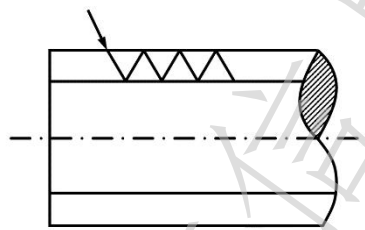
E.2.2 将传感器压在被检件的表面，使传感器与被检件表面达到良好的声耦合状态，可采用机械夹具、磁夹具或其他方式将传感器牢固固定在被检件上，并保持传感器与被检件和固定装置的绝缘。

E.2.3 按规定与检测仪进行连接，选取合适的导波激励频率和工作模式，使仪器达到稳定工作状态，观测仪器显示屏上是否有可记录的信号。

E.2.4 进一步调节仪器的工作参数，设置管道上基准反射体的方向和距离。

E.2.5 管道的横向损失缺陷扫描

超声导波在管壁内的声束轴向传播如图E.2所示，以探头宽度为扫描区域宽度沿周向移动探头以检测整个管道，检测过程的相对速度变化应不超过 $\pm 10\%$ 。



图E.2 管道内导波声束的轴向传播

E.2.6 缺陷识别

检测信号的解释应参照附录 C.1 相应的DAC曲线，并符合以下要求：

- 对于出现的超声导波反射回波信号，首先确定这些信号是否是由构件的端头、接头、焊缝、外部支撑等部位产生的，如果确定即可排除；
- 对于被检件上无明显几何形状变化部位的超声导波回波信号，可以确定为材料缺陷引起的超声导波回波信号；
- 确定这一回波信号的反射部位，并加以标识，按照7.1的要求记录缺陷的类型、位置 and 对应判定区域，然后进行检测结果评价和处理。

E.2.7 缺陷复核

未检测管端区域和可以区域应采用超声相控阵缺陷复查方法（附录 F.2.5）进行复查，可以通过调整探头位置并结合多种显示模式和不同扫查方式重新进行扫查和判断，如图F.1所示，对疑似缺陷予以确认或排除。

附录 F

(资料性)

超声相控阵检测实施

F.1 扫查要求

F.1.1 扫查范围和声束覆盖

应遵循以下程序：

- a) 检测范围内应保证两种角度的声束全覆盖，应从对接焊接接头两侧扫查，两次声束角度接近相互垂直。由于结构和曲率的原因，只能从对接焊接接头的一侧扫查时，宜使两次扫查的声束角度相差不小于 10° ；
- b) 当发现根部可疑信号辨识困难时，可缩短探头水平距离，进行针对根部的扫查，以提高根部信号一次波的定位精度；
- c) 扇扫描角度范围应在 $35^\circ \sim 75^\circ$ 之间，根据检测工件厚度进行设置。对于检测厚度较薄的工件，经工艺验证符合检测要求时，扇扫角度上限可以适当提高。

F.1.2 扫查增量和扇扫角度步进

- a) 平行线扫增量要求应符合表F.1；

表F.1 平行线扫查步进增量的设置

工件厚度 (mm)	扫查步进最大值 $\Delta X_{\max}$ (mm)
$T \leq 10$	1
$10 < T \leq 60$	2

- b) 扇扫角度步进 $\leq 1^\circ$ 。

F.1.3 扫查速度小于或等于最大扫查速度 $V_{\max}$ ，同时应保证耦合效果和满足数据采集的要求。最大扫查速度按式F.1计算：

$$V_{\max} = \frac{PRF}{N * A} \Delta X \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

式中

$V_{\max}$ ——最大扫查速度，mm/s；

PRF ——激发探头的脉冲重复频率，Hz； $PRF < C / (2L)$ ， C —横波声速， L —声程；

ΔX ——设置的扫查步进值，mm；

N ——设置的信号平均次数；

A ——每幅B扫描图中A扫描的数量。

F.2 检测流程

F.2.1 在检测点按6.1.2要求进行检测前准备，焊接钢管的焊缝检测应符合6.2.2的工艺要求，PE管道的热熔对接接头应符合6.2.3的工艺要求。

F.2.2 将传感器压在被检件的表面，使传感器与被检件表面达到良好的声耦合状态，可采用机械夹具、磁夹具或其他方式将传感器牢固固定在被检件上，并保持传感器与被检件和固定装置的绝缘。

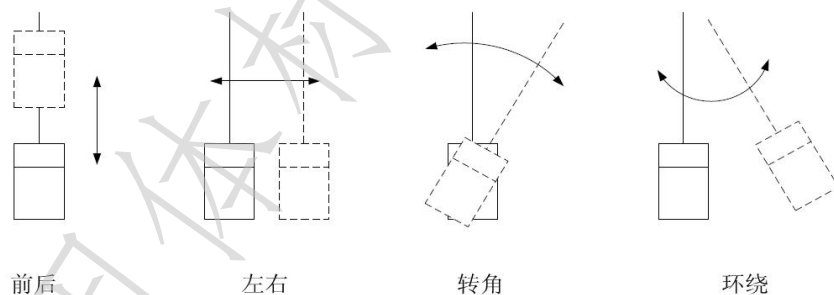
F.2.3 按规定与检测仪进行连接，选取合适的导波激励频率和工作模式，使仪器达到稳定工作状态，观测仪器显示屏上是否有可记录的信号。

F.2.4 首次检测推荐采用以下机械扫查与电子扫描相结合的方式：

- a) 沿线扫查+扇扫描；
- b) 沿线扫查+线扫描+扇扫描；
- c) 沿线栅格扫查+扇扫描。

F.2.5 缺陷复核

对扫查中的发现的异常信号或疑似缺陷部位应进行复查，可以通过调整探头位置并结合多种显示模式和不同扫查方式重新进行扫查和判断，如图F.1所示，对疑似缺陷予以确认或排除。



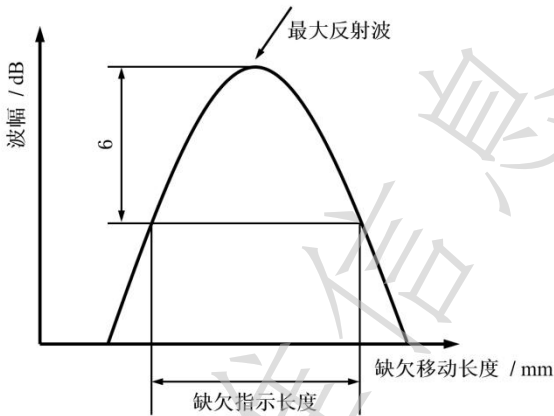
图F.1 推荐采用的复检扫查方式

F.2.6 缺陷识别

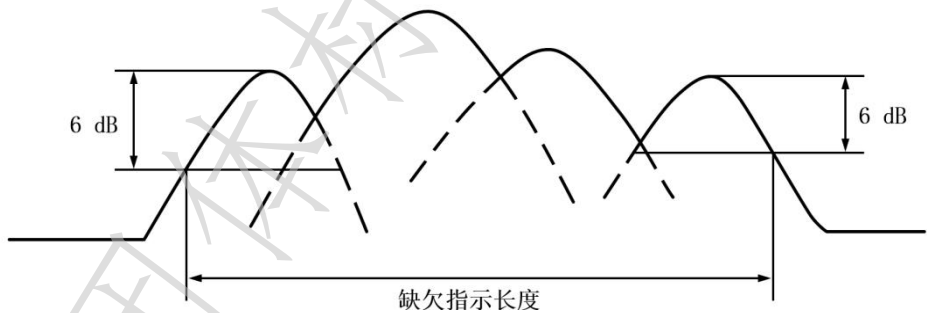
钢质管道的对接焊接接头缺陷识别应参考附录 C.2所示DAC曲线，PE管道的热熔对接接头缺陷识别应参考附录 C.3所示DAC曲线。并符合以下要求：

- a) 耦合监视数据丢失量不应超过整个扫查长度的5%，且不允许相邻数据连续丢失。若数据无效，应纠正后重新进行扫查；
- b) 反射波幅位于I区及以上的缺陷，均应对缺陷位置、缺陷最大反射波幅和缺陷指示长度等进行测定；
 - 1) 将探头移至缺陷出现最大反射波信号的位置，测定波幅值，并确定其在距离-波幅曲线图中的波幅区域。缺陷最大反射波幅以 $SL \pm XX$ dB表示；

- 2) 缺陷位置测定应以获得缺陷最大反射波幅的位置为准；
- 3) 缺陷指示长度的测定：线性扫查时，测量缺陷长度采用绝对灵敏度法。锯齿形扫查时，当缺陷只有一个高点时，采用 6dB 法(如图F. 2所示)；当缺陷有多个高点时，采用端点 6dB 法(如图F. 3所示)。
- e) 相邻两缺陷在一条直线上，其间距小于其中较小的缺陷长度时，应作为一条缺陷处理，以两缺陷长度之和作为单个缺陷指示长度，间距不计入缺陷长度；
- f) 单个点状缺陷指示长度不足10mm时，应按5mm计。



图F. 2 6dB测长法



图F. 3 端点6dB测长法

附 录 G

(资料性)

检测报告示例

G.1 超声导波检测报告格式如下：

超 声 导 波 检 测 报 告				
报告编号：				
委托单位		执行标准		
部件名称		部件规格		
部件材质		表面状况		
内部介质				
仪器名称型号		仪器编号		
仪器参数设置				
检测频率		检测灵敏度		
探头规格				
校准试块		校准试块材料		
距离-波幅曲线：				
检测结果示意图：				
编号	信号位置 m	信号幅值	信号分级	检测信号图形
结论				
检测人员：		检测日期：		
编制： 年 月 日		审核： 年 月 日		

G.2 超声相控阵检测报告格式如下：

超声相控阵检测报告			
报告编号：		共 页 第 页	
工程名称		施工单位	
检测日期		桩号/站场	
检测部位		管道材质	
管道规格	mm	坡口型式	
焊接方法		表面状态	
设备型号		检测标准	
探头型号		试块类型	
耦合剂		检测灵敏度	dB
表面补偿	dB	检测数量	
检测部位示意图			
结论：			
检测人员：	审核人员：	检测单位（盖章）	业主或监理（签字）：
年 月 日	年 月 日	年 月 日	年 月 日

超 声 相 控 阵 检 测 报 告 （ 附 页 ）

报告编号：

共 页 第 页

工程名称				施工单位							
桩号/站场				检测日期							
序号	焊缝 编号	GPS 信息	检测 长度 mm	缺欠记录						评定 结果	备注
				缺欠 类型	缺欠 位置 mm	长度 mm	深度 mm	偏离中 心距离 mm	自身 高度 mm		
检测人员				审核人员：				业主或监理(签字)：			
年 月 日				年 月 日				年 月 日			