

# 团 体 标 准

T/CASEI XXX- XXX

---

碳钢焊接接头的涡流阵列检测

eddy current array testing of carbon-steel joint

(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 发布

## 目 次

前 言 .....	II
引 言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 一般要求 .....	4
5 检测实施 .....	10
6 质量等级评定 .....	14
7 检测记录和报告 .....	14
附 录 A(资料性附录) 碳钢对接接头阵列涡流检测的干扰因素 .....	16

## 前　　言

本标准为首次发布。本标准按照 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。

本标准由中国特种设备检验协会提出并归口。

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。

本标准负责起草单位：中国特种设备检测研究院

本标准参加起草单位：

本标准主要起草人：

## 引　　言

本标准所指的碳钢焊接接头阵列涡流检测技术是指能够进行动态提离补偿的能够对表面开口裂纹深度进行定量的阵列涡流检测技术。与常规的阵列涡流技术相比，该技术具有表面要求低、噪声信号小、缺陷检出率高、缺陷可定量等优点，适合于带非导电、非磁性涂层的碳钢对接接头的表面开口裂纹检测。

# 碳钢焊接接头的阵列涡流检测

## 1 范围

**1.1** 本文件规定了碳钢焊接接头采用阵列涡流检测的方法要求和质量等级评定，按本文件相关技术要求实施的阵列涡流检测为可记录的涡流检测。

**1.2** 本文件适用于碳钢焊接接头的表面开口裂纹类缺陷的阵列涡流检测，包括缺陷长度和深度的测量。焊接接头可以带余高或余高磨平；焊接接头表面可以带涂层或不带涂层；焊接接头表面与传感器之间的非磁性、非导电涂层厚度应小于或等于 5mm。

注：裂纹类缺陷包括焊接接头各个部位（如热影响区、熔合区、焊缝）表面的裂纹（如疲劳裂纹、冷裂纹、热裂纹）或其他面积型缺陷（未熔合、未焊透）、条形缺陷（条形气孔、条形夹渣、机械划伤等）。

**1.3** 对于本文件未明确规定铁磁性金属的材料、零部件及其焊接接头的阵列涡流检测，如经工艺验证能达到检测要求的，可参照本部分执行。

## 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 12604.6 无损检测 术语 涡流检测

GB/T 34362 无损检测 适形阵列涡流检测导则

NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求

NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测

NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测

NB/T 47013.6 承压设备无损检测 第 6 部分：涡流检测

NB/T 47013.18 承压设备无损检测 第 18 部分：阵列涡流检测

## 3 术语和定义

GB/T 12604.6、GB/T 34362、NB/T 47013.1、NB/T 47013.6 和 NB/T 47013.18 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### **传感器阵列 sensor array**

由若干个涡流传感器规则排布形成的阵列。

注：探头内每个阵元可以具有多个驱动-传感对或一个大驱动绕组加多个传感元件。

### 3.2

#### **阵列涡流检测 eddy current array testing**

电子驱动探头内多个按一定规律并肩式或以其它走向排布的涡流传感器，能够一次性完成大面积扫查且能形成直观性 C 扫图的涡流检测技术。

### 3.3

#### **传感器阵列探头 sensor array probe**

由传感器阵列、填料、外壳、线缆、电路板等的组合件。

### 3.4

#### **覆盖宽度 coverage**

探头扫查时，探头的传感器阵列长度方向上能够有效检测覆盖的检测宽度，图 1 为绝对桥式传感器阵列探头扫查覆盖宽度示意图。

注：扫查覆盖宽度一般小于传感器阵列长度。

### 3.5

#### **单探头 single sensing element probe**

内部只有一个传感元件的放置式探头。

### 3.6

#### **模拟试块 analog block**

模拟试块是指含有模拟缺陷的试块，主要用于检测工艺验证。

### 3.7

#### **基准试块 reference block**

用于探头通道标定的试块，通常包括空气基准试块、已知材料基准试块。

### 3.8

#### **通道标定 channel standardization**

一种用于规定同一个传感器阵列探头内所有通道传感器灵敏度一致的数据处理方法。

### 3.9

#### **空气基准测量 air reference measurement**

---

传感器和仪器对非磁性、绝缘基准材料（如空气）的响应测量。

注：这种测量通常用作设备标定过程的一部分，用以验证设备的运行。

### 3.10

#### **被检工件基准测量 examined part reference measurement**

传感器和仪器对被检工件无不连续区域的响应测量。

注：用于获得涡流响应与不连续特性（如裂纹深度）之间相关性的基准材料，与被检工件材料之间会存在着材料特性差异；此测量通常用于补偿被检材料与基准材料之间的材料特性差异。

### 3.11

#### **已知材料基准测量 known material reference measurement**

传感器和仪器对所给的已知均匀电导率和磁导率且不存在缺陷的基准材料（如铝 6061-T6）的响应测量。

注：这种测量通常用作标定过程的一部分，用以验证仪器的工作性能。

### 3.12

#### **扫查轴 scanning axis**

阵列涡流检测时，探头扫查方向的轴。

### 3.13

#### **变道轴 index axis**

阵列涡流检测时，扫查面上垂直于扫查方向的轴。

### 3.14

#### **盲区 dead zone**

待检区域中，不是所有传感元件都覆盖的物理尺寸。

注：在扫查的起始位置，传感器阵列探头通常都有盲区，特别对于具有多排传感元件特征的传感器阵列。盲区通常有几个毫米的量级，盲区的数据采集应视为无效的。

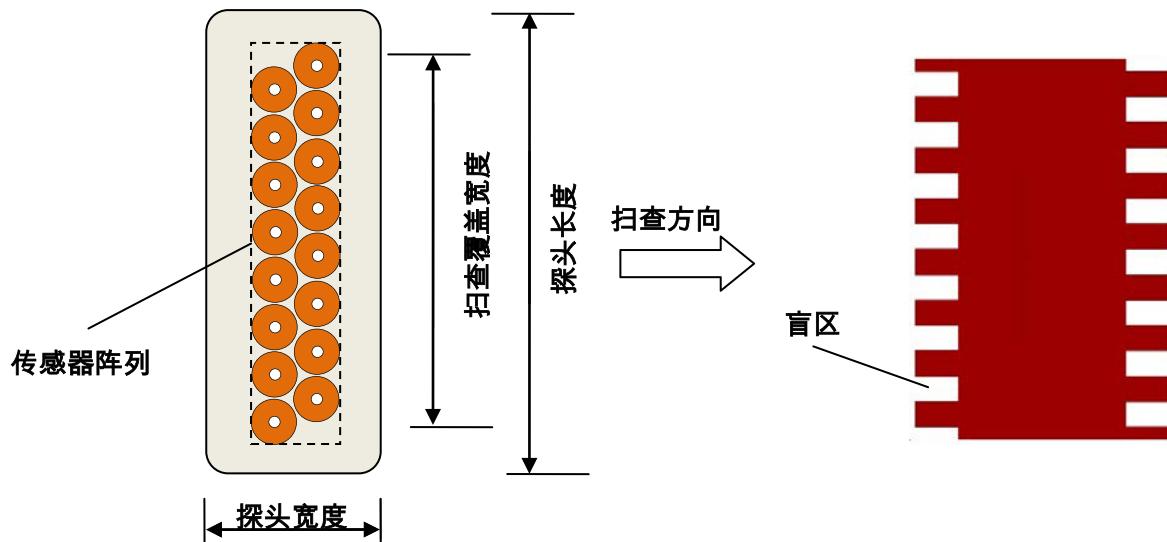


图 1 传感器阵列探头的长度、宽度、扫查覆盖宽度和盲区示意图

### 3.15

#### C 扫图 C-scan image

阵列涡流检测数据以 C 扫形式显示的平面图。

注：C 扫图中可能包括噪声显示、非相关显示、相关显示等。

### 3.16

#### 非相关显示 irrelevant indication

阵列涡流检测时，因结探头接触不完整、探头摇晃、几何特征或被检工件表面的磁特性变等而形成的 C 扫显示。

### 3.17

#### 相关显示 relevant indication

阵列涡流检测时，因缺陷产生的 C 扫显示。一般也称为缺陷显示。

### 3.18

#### 条性显示 stripy indication

长宽比大于 3 的气孔、夹渣、机械划伤等缺陷引起的 C 扫显示。

## 4 一般要求

### 4.1 检测人员

4.1.1 阵列涡流检测人员的要求应符合 NB/T 47013.1 的有关规定。

4.1.2 阵列涡流检测人员应熟悉所使用的阵列涡流检测设备、器材。

4.1.3 阵列涡流检测人员应具有一定的金属材料、焊接、热处理及承压设备制造安装等方面的基本知

识。

## 4.2 检测设备和器材

**4.2.1** 检测设备包括检测仪器以及与仪器相连接的探头、扫查装置、编码器和线缆等所有物件；器材是指实现检测功能所需要且不与仪器相连接的其他器件和材料，包括试块等。检测设备和器材性能应符合本文件要求，功能应满足所检测对象的工艺要求。

### 4.2.2 检测仪器和探头

#### 4.2.2.1 检测仪器

**4.2.2.1.1** 检测仪器至少应具有多通道涡流发射、接收、放大、数据采集、记录和分析功能。

**4.2.2.1.2** 检测仪器应符合其相应的产品标准规定，具有产品质量合格证明文件；合格证明文件中至少应包括通道数量、频率范围、探头驱动、增益范围等主要参数。

**4.2.2.1.3** 仪器的电气特性和功能，应满足 NB/T 47013.18 附录 B 的要求。

**4.2.2.1.4** 检测仪器应能对基于通道多路转换系统或并行通道系统的传感器阵列探头信号进行管理；检测仪器的频率范围至少应包括  $1\text{kHz} \sim 4\text{MHz}$ ，并具有与检测要求相匹配的软件。

**4.2.2.1.5** 检测仪器和软件还应满足如下要求：

- a) 能够对每个线圈通道数据响应进行单独调节（如缩放比例），实现传感器阵列探头信号响应的标定，以便阵列通道具有一致的响应和灵敏度（即通道标定）；
- b) 能够以二维 C 扫形式显示数据，便于图像分析，数据还应以传统的相位-幅度图和带状图(或 B 扫图)的形式显示；
- c) 能够以可评定和可档案存储的格式记录阵列涡流检测数据；
- d) 能够对裂纹类缺陷的长度和深度进行测量。

注：传感器阵列测量的裂纹长度范围取决于个体传感元件的尺寸和数据处理。个体传感元件的尺寸主要影响可检出的最小裂纹长度，数据处理（例如高通滤波）可能对最长可测量裂纹长度具有重要影响。对于能够提供深度测量的传感器阵列，其裂纹深度定量范围取决于传感器几何尺寸及分布，如个体传感元件和构造。例如，大的传感元件能够定量的裂纹深度更大，但对浅裂纹检出能力受到限制。

#### 4.2.2.2 传感器阵列探头

**4.2.2.2.1** 传感器阵列探头应符合其相应的产品标准规定，具有产品质量合格证明文件，且合格证明文件中至少包括探头的型号及序列号、扫查覆盖宽度、通道数量等主要参数。

**4.2.2.2.3** 传感器阵列探头的保护层（如耐磨胶带等）应具有良好的耐磨性和绝缘性，其厚度应不影响探头的检测灵敏度设置和缺陷的检测，并在工艺规程规定的温度范围内稳定可靠。

#### 4.2.2.2.4 传感器阵列探头应满足如下要求:

- a) 传感器阵列探头内部的涡流传感阵列能够快速检出距离传感阵列最近表面的碳钢焊接接头的表面开口裂纹;
  - b) 探头的传感器阵列应具有一致的灵敏度; 通道标定后, 阵列的传感器灵敏度波动应小于或等于 15%; 为了达到统一的灵敏度级别, 可能要求对个体传感元件进行重叠(例如, 通过多排错开的个体传感元件或以一个与扫查方向非垂直角走向的线性阵列而获得)。
- 注: 整个阵列探头的灵敏度取决于单个传感元件的尺寸和构造, 可用于确定整个阵列的精度。
- c) 具备检出所有走向的面积型表面开口缺陷的能力;
  - d) 能够匹配检测区域的几何形状, 以最大程度减小被检表面与个体传感元件之间的距离(即提离)。

#### 4.2.2.2.5 补充扫查时, 单探头的检测能力应不低于传感器阵列探头。

#### 4.2.2.3 检测仪器和传感器阵列探头的组合性能要求

##### 4.2.2.3.1 检测设备应具有良好的通道一致性。,

4.2.2.3.2 检测设备应能够对传感器阵列中的传感元件分别进行动态提离补偿; 宜能够对于局部材料性能差异(如横跨焊缝的特性差异、母材性能差异)进行补偿, 以避免 C 扫图中的噪声和干扰信号。

##### 4.2.2.3.3 缺陷深度定量能力

对于能够在一定范围内进行缺陷深度定量的检测设备, 还宜具有如下特征:

- a) 具有能够监测扫查过程中一定范围内提离的信号;
- b) 适当分离提离信号与缺陷信号之间;
- c) 能够利用提离数值确定裂纹深度的;
- d) 确定裂纹深度时, 能够考虑沿着焊缝和横跨焊缝的材料性能差异;
- e) 阵列感应元件的灵敏度一致性好。

注: 仪器指示的缺陷深度是缺陷在材料内部深度方向上延展的最大尺寸, 不一定是缺陷的自身高度, 如图 2 所示。

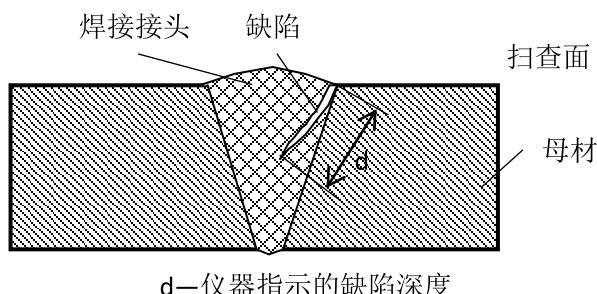


图 2 仪器指示的缺陷深度示意图

#### 4.2.2.3.4 发生以下情况时，应测试仪器和探头的组合性能：

- a) 新购置的阵列涡流仪器和（或）探头；
- b) 仪器、探头和连接线缆在维修或更换主要部件后；
- c) 检测人员有怀疑。

#### 4.2.3 扫查装置和编码器

**4.2.3.1** 为实现机械扫查并确保探头运动轨迹与参考线保持一致，宜采用扫查装置。

**4.2.3.2** 扫查装置一般包括探头夹持部分、驱动部分、导向部分及位置传感器。

**4.2.3.3** 探头夹持部分应能调整和设置探头位置。

**4.2.3.4** 导向部分应能在扫查时使探头运动方向与设定方向保持一致。

**4.2.3.5** 驱动部分可以采用马达驱动或人工驱动。

**4.2.3.6** 扫查装置中的位置传感器，其位置分辨力应符合本文件相关工艺内容所要求的功能。

**4.2.3.7** 为了准确测量缺陷长度，应使用编码器；编码器分辨力数值应满足检测要求。

#### 4.2.4 试块

##### 4.2.4.1 对比试块

**4.2.4.1.1** 对比试块的材料牌号、几何形状、焊接工艺、表面状态应与焊接接头相同或相近。

**4.2.4.1.2** 对比试块应具有规定的参考缺陷；参考缺陷通常为表面刻槽；参考缺陷的设置应考虑焊接接头中可能存在的缺陷类型、大小、位置和走向；表面刻槽宜选用电火花加工方式制作；对比试块制作过程中，机加工应避免过度冷加工、过热和过大应力，以防止电磁特性变化过大。

**4.2.4.1.3** 对比试块上所有参考缺陷的基于幅度的信号信噪比（以下简称“信噪比”）应大于或等于 3。

**4.2.4.1.4** 对比试块上人工缺陷的尺寸不应解释为阵列涡流检测设备可以检出缺陷的最小尺寸。

**4.2.4.1.5** 承压设备碳钢焊接接头检测用对比试块见图 3，具体规定如下：

- a) 在纵向扫查方向的起始端和结束端，对比试块的无缺陷区宽度应大于等于 40mm。
- b) 对比试块的参考缺陷应至少包括 9 个表面刻槽；各参考缺陷在同一纵向上间距应大于等于 15mm。
- c) 对比试块上表面刻槽的走向应包括横向、纵向和斜向（例如 45°）。
- d) 对比试块上表面刻槽的位置应包括焊接接头的热影响区、焊缝金属、熔合线和母材。
- e) 对比试块母材区可加工 1 个具有固定深度的长横槽，用于通道一致性检查；长横槽的长度应至少比阵列涡流扫查覆盖宽度大 25mm，长横槽的宽度和深度应分别小于或等于 0.25mm 和 1.00mm；尺寸公差为±0.05mm；长横槽在同一纵向上距离相邻参考缺陷的间距应大于等于 15mm。
- f) 对比试块上表面刻槽的长度、宽度和深度宜分别小于或等于 5.0mm、0.25mm 和 1.00mm；尺寸公差为±0.05mm。



图 3 焊接接头阵列涡流检测用对比试块示意图

g) 如有特殊要求, 对比试块的制作可与客户进行协商。

**4.2.4.1.6** 对于非承压设备碳钢焊接接头, 可按照相关法规、标准和设计技术文件的要求进行制作。

#### 4.2.4.2 模拟试块

**4.2.4.2.1** 模拟试块的材料、焊接方法、电磁特性、几何形状何表面条件, 应与被检工件相同或相近, 无影响检测的其他缺陷。

**4.2.4.2.2** 模拟缺陷应采用焊接方法制备或使用以往检测中发现的真实缺陷。

**4.2.4.2.3** 模拟缺陷的类型、位置、尺寸和数量设置应考虑焊接接头中可能存在的缺陷状态, 至少包括横向裂纹、纵向裂纹、斜向裂纹等。缺陷长度一般不大于相应承压设备合格等级所规定的相同工件厚度的最大允许缺陷尺寸, 可由一块或多块同厚度范围的试块组成。

#### 4.2.4.3 基准试块

**4.2.4.3.1** 基准试块的种类、尺寸应由检测设备制造商应根据检测设备需求而定。

**4.2.4.3.2** 基准试块上应不存在不连续。

**4.2.4.3.3** 空气基准试块可采用绝缘材料制作。

**4.2.4.3.4** 已知材料基准标定试块应提供绝对电特性参数(如电导率)。

### 4.3 检测工艺

#### 4.3.1 检测工艺文件

**4.3.1.1** 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

**4.3.1.2** 工艺规程除符合 NB/T 47013.1 的规定外, 还应规定表 1 所列相关因素的具体范围或要求。相关因素的变化超出规定时, 应重新编制或修订工艺规程。

表 1 阵列涡流检测工艺规程涉及的相关因素

序号	相关因素
1	仪器(生产商、型号)
2	探头(生产商、型号)

3	阵列线圈拓扑结构
4	检测频率、探头驱动，增益设置
5	扫查方案（手动、自动或远程控制）、扫查覆盖宽度、扫查重叠、扫查方向
6	校准对比试块的同一性
7	沿着扫查轴的最小采样密度[采样点数/mm]
8	表面状况
9	数据采集期间最大扫查速度
10	人员资格要求

**4.3.1.3** 操作指导书应根据焊接接头和工艺规程的要求编制。其内容除符合 NB/T 47013.1 的规定外，至少还应包括：

- a) 检测技术要求：检测时机、检测比例、验收要求等；
- b) 检测设备和器材：检测仪器、探头、扫查装置、试块名称和规格型号，设备性能检查的项目、时机和合格要求；
- c) 检测工艺参数：包括扫查面及其准备要求、探头位置、扫查方式，以及检测设备设置和校准、补充扫查方法。

**4.3.1.4** 操作指导书在首次应用前应该按 4.3.3 的要求进行工艺验证。

## 4.3.2 检测工艺技术

### 4.3.2.1 检测时机

4.3.2.1.1 检测时机应满足相关法规、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求。

4.3.2.1.2 除非另有规定，检测应在焊接完成后进行，对有延迟裂纹倾向的材料，至少应在焊接完成 24h 后进行检测。

### 4.3.2.2 检测区

4.3.2.2.1 检测区宽度应满足相关法规、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求。

4.3.2.2.2 检测区通常包括焊缝及相对于焊缝边缘至少为 5mm 的相邻母材区域。

4.3.2.2.3 对于电渣焊对接焊缝，其检测区宽度应由合同双方商定或通过实际测量热影响区确定。

## 4.3.3 工艺验证

**4.3.3.1** 工艺验证宜优先采用模拟试块；若模拟缺陷难以制作，也可采用对比试块进行工艺验证。

### 4.3.3.2 工艺验证结果要求

- a) 应能够清楚地显示试块上所有的参考缺陷。

b) 测量的参考缺陷尺寸偏差值在允许范围之内。

**4.3.3.3** 必要时，可委托具备能力的相关技术机构进行工艺验证并提供相应证明文件。

#### 4.3.4 检测系统的复核

**4.3.4.1** 在如下情况时应采用对比试样对检测系统进行复核：

- a) 检测过程中仪器、探头、连接线缆更换；
- b) 检测人员有怀疑；
- c) 连续工作 4h 及以上；
- d) 检测结束。

#### 4.3.4.2 复核内容与要求

复核内容应包括灵敏度和位置传感器的显示偏离情况。复核与初始设置时所使用的对比试块及其他技术条件均应相同。

复核内容主要包括灵敏度、位置传感器的偏离情况。复核与初始设置时所使用的对比试块及其他技术条件均应相同。若复核时发现初始设置的参数偏离，则应按表 2 的规定执行纠正。

表 2 复核情况和纠正

类型	复核结果	纠正
位移	偏差小于或等于 5%	不需要采取措施
	偏差 > 5%	应对上次设置以后所检测的位置进行修正
灵敏度	参考缺陷的 C 扫相关显示清晰可辨	不需要采取措施
	参考缺陷的 C 扫相关显示未出现或无法显示	应重新设置，并应重新对上次设置后所检测的区域进行重新扫查。

#### 4.4 环境与安全要求

检测场所、环境及安全防护应符合国家相关法规标准及客户的规定。

### 5 检测实施

#### 5.1 表面准备

**5.1.1** 对于没有涂层的焊接接头，焊接接头的表面应经目视检测合格；检测区表面不应有焊瘤、飞溅、毛刺等划伤探头表面的硬物，不应有影响涡流检测的粉尘及其他污物；表面的不规则状态在 C 扫图上的显示不得掩盖或干扰相关显示，焊缝的余高不得影响检测结果，否则应对表面做适当修整。

**5.1.2** 如果对接接头表面有绝缘涂层，绝缘涂层的总厚度应不影响检测灵敏度。

注：涂层厚度范围取决于个体传感元件尺寸和总体探头几何排布。对于任何带涂层的对接接头检测，涂层厚度是否在探头规定范围之内的确认，对确保符合要求的结果是非常重要的。

**5.1.3** 如果表面状况达不到 5.1.1 或 5.1.2 的要求，应进行工艺验证或与客户协商；必需时，可去除涂

层或将焊缝余高磨平。

## 5.2 检测系统准备

### 5.2.1 仪器和探头的选择

**5.2.1.2** 应依据焊接接头的结构类型、规格尺寸、材质、扫查面状态、检测灵敏度要求、缺陷状况、验收等级等信息选择探头。

**5.2.1.3** 一般情况下，被检工件的曲率半径宜大于传感器长度。

**5.2.1.4** 探头应匹配检测区域的几何形状，将被检表面和个体传感元件的距离（即提离）降到最低。

### 5.2.2 设备标定

**5.2.2.1** 如果设备需要，应按照制造商提供的基准试块对设备通道进行标定，确保传感器阵列内各传感元件的灵敏度达到统一。

**5.2.2.2** 设备标定因设备而异，可包括空气基准测量、已知材料测量或被检工件测量。

**5.2.2.3** 空气基准测量时，应将阵列探头放置在空气基准试块上进行或直接放置在空气中，远离金属物质至少 1m 的距离；应让每个传感元件都能测量的空气基准材料或空气，并根据这些测量结果调节传感元件响应。

**5.2.2.4** 如果设备需要，设备标定还应实施已知材料基准测量，以补偿阵列探头中传感元件之间的差异。应将阵列探头放置在已知材料基准试块上，对每个传感元件都开展已知材料测量，并采用已知材料基准的测量值和空气基准的测量值，对每个传感元件的增益和相位调节。

注：空气基准测量和已知材料测量，可对整个探头响应进行标定，确保阵列内各传感元件的灵敏度达到统一。

**5.2.2.5** 如果设备需要，设备标定还应实施被检工件基准点的测量，以补偿被检工件与典型碳素级钢（典型碳素钢用以创建传感元件响应与裂纹深度相互关系的模型）之间的材料特性差异。测量时，应将阵列探头放置在被检工件远离不连续（如缺陷、空洞、台阶等）的区域。传感器阵列对待检工件材料测量响应与典型碳素钢材料的期望响应进行比较，融入检测系统。

注：此测量补偿了被检材料和典型碳素钢材料之间的材料特性差异（例如，磁导率和电导率），以保持裂纹的定量准确度。

**5.2.2.6** 应将标定过程中收集的数据进行记录，并与检测数据一并存档。

### 5.2.3 设备校准

**5.2.3.1** 设备标定后，应采用对比试样对设备进行校准。将探头扫查对比试样，并对检测结果进行参数调整（如调色板、增益、频率等），应确保对比试样上所有人工缺陷的 C 扫显示都能清晰识别，并宜将人工缺陷的最低阻抗信号幅值调整到满屏的 40%~80%，以此作为检测灵敏度。

注：传感器阵列和工作频率的合理选择，对于确保特定用途的妥善实施非常关键。工作频率范围通

常为 10kHz—500kHz。

**5.2.3.2** 最终检测参数确定后，应将对比试样的扫查数据与检测数据一并存档。

### 5.3 扫查

**5.3.1** 一般情况下，传感器阵列探头宜放置在焊接接头上，编码器数值设定充分，检测时的扫查速度应与校准时的扫查速度一致，不宜超过 200mm/秒。当采用单探头扫查时，通常不使用编码器，可采用多道栅扫方式有效覆盖关注区。

**5.3.2** 扫查方向宜与焊缝的长度方向一致，如图 4 所示。

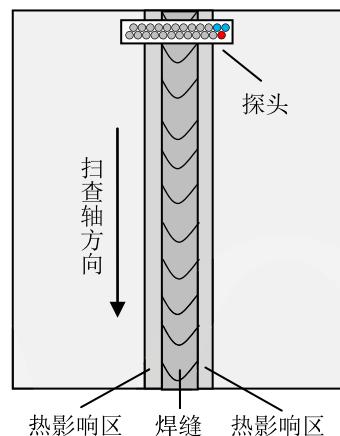


图 4 焊缝检测的扫查方向

扫查时，按压探头的力度应适中，确保探头的传感元件与被检表面接触，并且保证探头移动顺畅。当采用适形阵列探头时，施加到所有线圈的压力应始终保持一致。

**5.3.3** 对接接头的被检区域长度（扫查轴方向）较大时，宜采用分段扫查方式进行扫查；在扫查轴方向上相邻两段扫查区域重叠长度应大于或等于 1 个探头宽度。当被检区域宽度（变道轴方向）大于扫查覆盖宽度时，则采取分道扫查方式进行扫查；在相邻两道在变道轴方向上的重叠宽度应大于或等于 5.0mm。如图 5 所示。

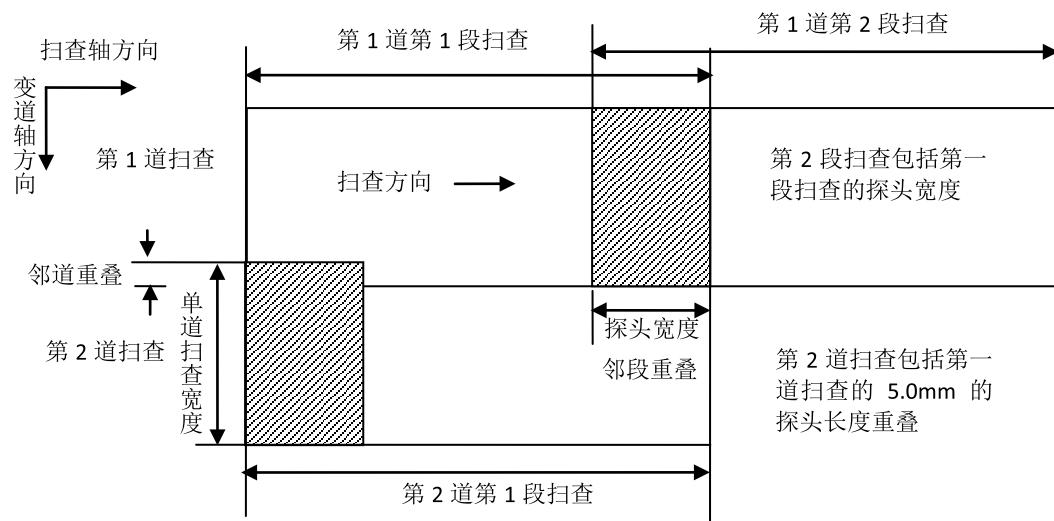


图 5 多道、多段扫查的重叠

### 5.3.4 补充扫查

对于扫查盲区，如有要求，则通常采用单探头进行补充扫查。

## 5.4 数据分析与评定

### 5.4.1 数据的有效性分析

分析数据前，应对阵列传感器探头所采集的数据进行评估以确定其有效性；数据至少应满足以下要求，若数据无效，应纠正后重新进行扫查：

- 数据是基于扫查步进的设置而采集的；
- 采集的数据量应满足所检测长度的要求；
- 每一检测数据中数据丢失量不得超过总量的 5%，且相邻数据连续丢失长度不超过的扫查步进最大值的 2 倍；缺陷部位数据丢失不得影响缺陷的评定。
- 对于焊接接头宽度较小的单道阵列涡流检测，焊缝金属、熔合区和热影响区应都在 C 扫图中显示。

**5.4.2 分析数据时，应将各种显示结合焊接接头的部位及其特点进行综合判断。**

**5.4.3 宜对所有 C 扫图（对于阵列传感器探头）和带状图（对于单探头）进行分析，并定位任何超过局部噪声电平（通常大于或等于 6dB）的显示；可参考对比试样或模拟试样的缺陷显示图像特征、涡流阻抗信号特征，对 C 扫显示进行评定；对于不能排除为非相关显示且超过检测灵敏度的 C 扫显示，应予以记录。**

**5.4.4 对于可记录的相关显示，可采用信号响应的垂直分量或其他任何与缺陷深度相关的参数对缺陷深度进行测量。宜采用传感器测量的提离，例如采用信号响应的水平幅值测量的提离，对裂纹深度评估进行优化。宜采用编码器对缺陷长度进行精确测量。**

## 5.5 验证检测

**5.5.1** 下列情况下，宜对涡流阵列检测的相关显示进行验证检测：

- 1) 无法判断相关显示的性质且要求质量等级评定时；
- 2) 客户或检测人员认为必要时。

**5.5.2** 验证检测方法包括但不限于磁粉检测（NB/T 47013.4）、渗透检测（NB/T 47013.5），优先采用磁粉检测（NB/T 47013.4）进行验证检测。

## 6 质量等级评定

### 6.1 承压设备碳钢焊接接头的质量等级评定

**6.1.1** 碳钢焊接接头检测时，当判定相关显示为裂纹、未熔合、未焊透等类型缺陷时，焊接接头的质量等级应评定为Ⅲ级。

**6.1.2** 碳钢焊接接头检测时，当判定相关显示为条形相关显示时，焊接接头的质量等级评定按表 3 进行。

表 3 焊接接头的质量等级评定

等级	条形显示
I	$l \leq 1.6$
II	$l \leq 4.8$
III	大于 II 级

注： $l$  表示阵列涡流技术测得的长度，单位为 mm。

### 6.2 其他碳钢焊接接头的质量等级评定

对于非承压设备碳钢焊接接头，可按相关法规、标准、设计技术文件或合同双方商定的其他技术要求进行质量等级评定。

## 7 检测记录和报告

### 7.1 检测记录

**7.1.1** 应按照现场操作的实际情况详细记录检测过程的有关信息和数据。

**7.1.2** 阵列涡流检测记录除符合 NB/T 47013.1 的规定外，还至少应包括以下内容：

- a) 委托单位及委托编号；
- b) 被检对象信息：工件名称、工件编号、工件材质、工件规格、工件的设备类别、扫查面状况、工件表面温度、工作介质的名称和工作压力（如果有）、焊缝的材质和宽度。
- c) 检测设备和器材：检测仪器、探头、扫查装置（如果有）、试块的名称、规格型号和标识号。
- d) 检测技术要求：执行标准、检测时机、检测比例、检测工艺参数、验收要求（合格等级）、检测灵敏度。
- e) 检测结果：检测部位示意图、数据文件名及缺陷记录（包括缺陷起始位置、长度、深度）。

- 
- f) 检测人员和复核人员签字及日期。

## 7.2 检测报告

7.2.1 应依据检测记录出具检测报告。

7.2.2 阵列涡流检测报告除符合 NB/T 47013.1 的规定外，还至少应包括以下内容：

- a) 委托单位。
- b) 焊接接头信息：名称、编号、材质、规格、设备类别、表面状况、工件表面温度、工作介质的名称和压力（如果有）、焊缝的材质和宽度。
- c) 检测设备和器材：检测设备、探头、试块的名称和规格型号。
- d) 检测技术要求：执行标准、检测时机、检测比例、检测工艺参数、验收要求（合格等级）、检测灵敏度。
- e) 检测结果：检测部位示意图、缺陷记录（包括缺陷起始位置、长度、深度）。
- f) 检测结论。
- g) 报告的编制（级别）、审批人员（级别）的签署。

## 附录 A

### (资料性附录)

#### 碳钢对接接头阵列涡流检测的干扰因素

##### A.1 母材特性差异

被检材料因微观结构差异等原因可能导致材料磁导率和电导率的局部差异，这可能产生的噪声信号，限制了裂纹的检出精度。检测系统必须能够补偿碳钢中常见的磁导率和电导率的差异。例如，标定技术可用于测量和调节传感元件响应，以减少传感器对于母材特性差异的传感器响应。

##### A.2 横跨焊缝的特性差异

在焊缝结构中，焊缝金属、热影响区和母材的磁导率和电导率可能存在差异。考虑到传感器阵列是沿着焊缝轴线移动的，每个个体传感元件通常接触的材料特性相对平稳。然而，阵列内传感器的一个个体传感元件到另一个个体传感元件，覆盖的焊接接头部位不同，可能存在很大的材料特性差异，形成 C 扫图中的噪声和干扰信号。

##### A.3 焊缝几何特征

焊缝中的几何特征（如凸起和凹坑），可产生非相关局部信号，会造成每个传感元件感知的噪声电平的增加。这些几何特征产生的响应信号相位与裂纹类缺陷差别很大，容易被识别。然而，几个大几何特征的存在，可能会降低传感器阵列探头的整体灵敏度。

##### A.5 涂层

对接接头上覆盖的非导电、非磁性涂层的存在，会影响深度定量精度。如果涂层厚度超过检测系统规定的涂层范围，裂纹深度定量精度会明显下降。

##### A.6 检测面的曲率

沿着曲面的对接接头检测时，如果个别传感元件与检测面接触不良，会影响提离和涂层厚度的评价。

##### A.7 表面粗糙度

表面粗糙度会造成局部提离差异，传感器阵列中从一个传感元件到另外一个传感器的提离可能是不同的。为了得到准确的深度定量，宜对这种个体传感器的提离差异进行监测，以便在裂纹深度定量时进行提离补偿。

#### A.8 母材的剩磁

局部剩磁可能会产生能影响数据解释的噪声信号。如果在磁化技术（如磁粉检测）之后开展阵列涡流检测，建议对检测面进行退磁，以确保检测面处于非磁化状态。

#### A.9 温度

涡流测量通常会受到被检材料温度的影响。温度差异会造成电导率差异，进而影响到裂纹的深度定量。当不得不在传感器阵列的正常操作温度范围之外开展检测时，应考虑温度影响。

\*\*\*\*\*— × × × ×

# 《碳钢焊接接头阵列涡流检测》

## 编 制 说 明

标准工作组

2025 年 10 月 27 日

## 一、任务来源

### 1、任务来源

本标准来源于中国特种设备检验协会的团体标准项目“碳钢焊接接头的涡流阵列检测”（项目编号：2023018）。依据《中国特种设备检验协会团标标准任务书》，中国特种设备检验协会（以下简称“特检协会”）于2023年8月正式组建团体标准《碳钢焊接接头的阵列涡流检测》标准工作组，开展标准编制工作。

### 2、制定背景

近年来工业水平高速发展，对安全环保的强调和对检测质量、检测效率的不断重视，使阵列涡流检测技术在我国承压设备行业有了越来越广泛的应用需求。对于带防腐层的承压设备的碳钢焊接接头，不均匀的焊缝结构会导致常规阵列涡流检测探头的部分传感元件偏离过大，不但导致检测灵敏度下降，还会导致阵列涡流C扫成像不均匀，影响缺陷检出率；另外，常规阵列涡流的缺陷定量能力差。

针对碳钢对接接头表面开口裂纹类缺陷的相位稳定的特征，最近20多年出现了能够进行动态偏离补偿和具有定量功能的新型阵列涡流检测技术。该技术通过独特的探头结构设计和动态偏离补偿模型，能够对每个阵列元的偏离进行实时监测，并根据偏离高度对缺陷信号进行补偿，显著提高了缺陷的检出率。该技术能够对缺陷的长度和深度进行定量，为缺陷的危害评估提供了技术支持。该技术具有表面要求低、对检测人员依赖低、检测速度快、检测效率高、缺陷检出率高、绿色环保零污染、检测过程可记录、能实时成像等优点，近年来在工业无损检测领域，得到越来越广泛的应用，解决了众多以往无法解决的无损检测问题，具有很大的应用前景。

为了适应阵列涡流检测工业应用的发展需求，国内外有关机构相继开展了阵列涡流标准的制定工作。目前，美国材料与试验学会（ASTM）已发布了2个阵列涡流相关标准；美国机械工程师学会（ASME）锅炉及压力容器规范已将阵列涡流检测应用标准列入到第V卷中。我国的阵列涡流标准制定工作起步较晚，2017年，发布国家标准GB/T 34362《无损检测 适形阵列涡流检测导则》，对我国阵列涡流检测技术的应用起到规范和推动作用。2024年，发布行家标准NB/T 47013.18-2024《承压设备碳钢焊接接头的阵列涡流检测》，对我国带涂层在役承压设备的阵列涡流检测技术的应用起到规范和推动作用。

国内一些研究机构或企业已经开始了其在工业领域应用的研究，进行了大量的理论分析和试验及现场应用工作，积累了比较丰富的经验。

随着对阵列涡流检测技术逐步深入理解、实践的积累、技术实验验证结果的研究，以及近年来阵列涡流检测技术的进步，为了在承压设备行业更好地开展阵列涡流检测工作，有必要在参考相关国内外标准的基础上，编制承压设备碳钢焊接接头用阵列涡流检测的方法标准。

《承压设备碳钢焊接接头的阵列涡流检测》团体标准的编制，对于满足承压设备制造和使用的需要，促进实现无损检测的数字化、图像化进程，提升我国整体无损检测技术水平，保障承压设备质量安全，促进国际技术交流和贸易发展以及提高我国承压设备产品在国际市场上的竞争力等方面具有重要意义。

### 3、起草过程

2024年05月17日，召开标准编制启动会议，听取行业内人员对标准编制的意见；

2025年06月30日，完成了标准草稿的编制；

2025年07月29日，召开了第1次标准草稿研讨会；

2025年10月20日，完成了标准的征求意见稿；

2023年10月25日，召开了第1次标准草稿研讨会；

2023年10月27日，提交征求意见稿。

## 二、编制原则、主要内容及其确定依据

### 1、编制原则

1) 本部分是在近年来国内对碳钢焊接接头阵列涡流检测技术研究基础上，参考国际上的研究成果和标准，结合国内企业实际使用的实践经验、技术验证和试验结果，广泛征求国内同行及使用单位的意见，充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势，并以此为技术依据而制定。制定标准时既考虑行业应用的指导性、实用性、可操作性、生产效率和检测成本问题，也力求使技术要求符合国内外行业发展需要；

2) 标准格式符合 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定；

3) 与国家法规、法律和有关标准相一致；

4) 统一了标准化对象的名词、术语、规格代号及技术要求等。

### 2、标准主要内容

本部分是新编制标准，主要内容格式基本与 NB/T 47013.18 保持一致，主要包括以下几个方面的内容：

范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、检测方法、质量分级、检测记录和报告，以及附录 A。

### 3、主要内容的确定依据

#### 1 范围

1.1 本文件规定了碳钢焊接接头采用阵列涡流检测的方法要求和质量等级评定，按本文件相关技术要求实施的阵列涡流检测为可记录的涡流检测。

1.2 本文件适用于碳钢焊接接头的表面开口裂纹类缺陷的阵列涡流检测，包括缺陷长度和深度的测量。焊接接头可以带余高或余高磨平；焊接接头表面可以带涂层或不带涂层；焊接接头表面与传感器之间的非磁性、非导电涂层厚度应小于或等于 5mm。

注：裂纹类缺陷包括焊接接头各个部位（如热影响区、熔合区、焊缝）表面的裂纹（如疲劳裂纹、冷裂纹、热裂纹）或其他面积型缺陷（未熔合、未焊透）、条形缺陷（条形气孔、条形夹渣、机械划伤等）。

1.3 对于本文件未明确规定铁磁性金属的材料、零部件及其焊接接头的阵列涡流检测，如经工艺验证能达到检测要求的，可参照本部分执行。

#### 2 规范性引用文件

本章给出了标准正文中提及的相关规范性引用文件（标准）。

### 3 术语和定义

本章规定了传感器阵列、阵列涡流检测、传感器阵列探头、单探头、模拟试块、基准试块、通道标定、空气基准测量、被检工件基准测量、已知材料基准测量、扫查轴、变道轴、盲区、C 扫图、非相关显示、相关显示、条形显示等相关的术语和定义，以便检测人员正确理解和应用。主要参考了 ASNT 标准相关术语和定义的描述，并做了适当的修改。

### 4 一般要求

#### 4.1 检测人员

本条对于检测人员的要求除了满足 NB/T47013.1 的有关规定外，还额外要求具有一定的金属材料、焊接、热处理及承压设备制造安装等方面的基本知识。

#### 4.2 检测设备和器材

本条规定了阵列涡流检测仪器、探头、扫查装置、试块等具体要求。

本条规定了阵列涡流检测仪器和探头需要具备的主要功能，以及阵列涡流检测仪器和探头的组合性能要求，参照了 NB/T 47013.18 的要求。

本条规定了扫查装置和编码器的基本配置和功能要求，参照了 NB/T 47013.18 的要求。

本条规定了对比试块、模拟试块和基准试块的功能和要求；其中对比试样参照了 NB/T 47013.18 的要求，并结合本技术的特点，去掉了平底孔的要求；根据本技术的特点，提出了标定用基准试块的要求。

#### 4.3 检测工艺

##### 4.3.1 检测工艺文件

检测工艺文件包括检测工艺规程和操作指导书，参考了 NB/T 47013.1 和 NB/T 47013.18 部分，工艺文件的主要内容、格式与 NB/T 47013.18 标准保持一致，保证了与 NB/T 47013 系列标准在格式上的一致性。

在阵列涡流检测工艺规程涉及的相关因素与 NB/T 47013.18 一致；检测技术要求和工艺参数部分，参考了按照碳钢焊接接头阵列涡流检测技术的特点进行了修订。

在工艺验证部分，要求操作指导书在首次应用前应进行工艺验证，与 NB/T 47013.18 一致。

提出了检测系统的复核的情况、内容与要求，与 NB/T 47013.18 一致。

##### 4.3.2 检测工艺技术

提出了检测时机与检测区的规定，与 NB/T 47013.2 一致。

##### 4.3.3 工艺验证

模拟试块的缺陷更具有代表性，但模拟试块制作的困难。因此，工艺验证提出了工艺验证优先的规定。

##### 4.3.4 检测系统的复核

本部分规定了检测系统复核的情况和内容，与 NB/T 47013.18 的要求一致。

### 5. 检测实施

#### 5.1 表面准备

根据本技术的特点和现场应用情况，本部分规定了不带涂层和带绝缘涂层的焊接接头等不同情况的要求，并提出了如果表面状况达不到要求的情况下，也需要去除涂层或将焊缝余高磨平。

#### 5.2 检测系统准备

根据本技术特点，本部分规定了仪器和探头的选择要求、设备标定和设备校准的要求。

### 5.5 扫查

本部分规定了编码器、扫查速度、扫查方式的要求，并提出了对于扫查盲区的补充扫查的规定，是基于本技术的特点和 NB/T 47013.18 的扫查规定。

### 5.4 数据分析与评定

本部分参考了 NB/T 47013.18 中相控阵的数据有效性分析的要求，规定了数据分析的有效性分析的要求。

根据本技术特点，本部分提出了数据分析评定的要求。

### 5.5 验证检测

考虑到阵列涡流检测技术检测灵敏度低于磁粉检测方法和渗透检测方法，缺陷定性能力弱，因此，本部分提出了验证检测的要求，参考了 NB/T 47013.6 的验证检测规定。并根据本标准的适用对象是碳钢，提出了优先采用磁粉进行验证检测的要求。

## 6. 质量等级评定

### 6.1 承压设备碳钢焊接接头的质量等级评定

本部分综合了 NB/T 47013.4（磁粉检测）、NB/T 47013.5（渗透检测）和 NB/T 47013.3（超声检测）的质量等级评定规定，将质量等级分为 I、II、III 级。

本部分将 1.6mm 作为线性显示长度的 I 级和 II 级的分界线，是为了与 NB/T 47013.4（磁粉检测）和 NB/T 47013.5（渗透检测）的 I 级要求保持一致。

本部分将 4.8mm 作为线性显示长度的 II 级和 III 级的分界线，是基于焊接接头阵列涡流检测的技术特点，其对比试样人工刻槽长度要小于或等于 4.8mm。

本部分将裂纹、未熔合、未焊透等类型缺陷直接评定为 III 级，是为了与 NB/T 47013.2（超声检测）保持一致。

### 6.2 其他碳钢焊接接头的质量等级评定

对于其他非承压设备焊接接头，提出了可按相关法规、标准、设计技术文件或合同双方商定的其他技术要求进行质量等级评定的规定。

## 7 检测记录和报告

检测记录和报告参考了 NB/T 47013.1 和 NB/T 47013.18 部分，除了技术参数按照碳钢焊接接头阵列涡流检测技术的特点进行了修订外，检测记录和报告的主要内容和格式与 NB/T 47013.18 标准保持一致。

## 8 附录

### 附录 A (资料性附录) 碳钢焊接接头阵列涡流检测的干扰因素。

本部分提出的干扰因素包括母材特性差异、横跨焊缝的特性差异、焊缝几何特征、涂层、检测面的曲率、表面粗糙度、母材的剩磁、温度，供使用者参考。

## 三、试验验证、技术经济论证、预期效益

### 1、试验验证的分析、综述报告

经过长达 10 年的工艺研究和长达 5 年的现场应用，并与传统表面检测技术进行比对分析，得到如下结论：

对于碳钢对接接头的检测试验表明，与传统的磁粉检测、渗透检测技术相比，阵列涡流检测技术具有表面要求低、检测速度快、检测效率高、缺陷深度可评估、检测结果电子存储、绿色环保零污染、可带涂层检测等优点。

该技术比较适用于带绝缘涂层的焊接接头检测。

## 2、技术经济论证

无。

## 3、预期的经济效应、社会效益和生态效益

经济效益。相比于常规的表面检测技术设备和器材，阵列涡流检测技术的仪器和探头价格昂贵。然而，碳钢焊接接头阵列涡流检测技术表面要求低、可在带漆层的情况下实施表面检测，节省了表面制备的成本、漆层恢复成本。阵列涡流检测技术检测效率高，能够缩短检测周期；另外，阵列涡流检测技术可在高温或低温环境下实施在线检测，为客户减少了因检测造成的经济损失。该技术能够对缺陷进行定量，也可作为一种缺陷监测手段。

社会效益。碳钢焊接接头阵列涡流检测技术的检测结果直观、缺陷检出率高；阵列涡流检测技术的检测结果电子存储、检测过程可记录，可以有效控制焊接接头接头的检测质量；因此，阵列涡流检测技术的这些优点，可有效保障设备的安全运行。

生态效益。阵列涡流检测技术表面要求低、绿色环保零污染，更适用于清洁度要求较高的制药行业的特种设备，具有一定的生态效益。

## 四、采用国际标准和国外先进标准情况

本部分的编制主要根据碳钢焊接接头阵列涡流检测技术的研究和应用现状、典型应用案例、使用经验及阵列涡流检测技术的发展趋势，主要参考了 NB/T 47013.18 的相关内容。

标准的一般要求、检测工艺和选择、检测记录和报告等部分主要参考了 NB/T 47013.18 和 ASNT E3052 的相关内容。

## 五、国际国外标准引用和采用的合规性

本标准是国外标准与国内的标准体系要求、检测设备要求、研究成果相结合的产物。

## 六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

国标 GB/T 34362 《无损检测 适形阵列涡流检测导则》是指导性标准，本标准是方法标准。行标 NB/T 47013.18 《承压设备无损检测 第 18 部分 阵列涡流检测》主要适用于针对涂层较小的金属材料、零部件及表面状态较好的焊接接头。而本标准主要适用于涂层厚度较大、表面粗糙的碳钢焊接接头，对应的设备要具有动态提离补偿和缺陷定量的功能。

## 七、重大分歧意见的出来经过和依据

无

## 八、涉及专利的有关说明

无

## **九、实施团体标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议**

碳钢焊接接头阵列涡流检测技术将逐步广泛应用，但作为标准在我国的发展和应用尚短、所积累的经验也不够丰富，本身也存在一些局限性，因此各单位在应用前应充分准备、加强研究和试验，及时总结检测经验，以促进该技术的有序健康发展。

鉴于我国承压设备碳钢焊接接头阵列涡流检测技术尚在发展之中，本标准可以作为团体推荐性标准。

## **十、其他应当说明的事项**

无