ICS AXXX
A XXX

团　　体　　标　　准

T/CPASE GXXX—2024

承压设备焊接接头交流电磁场检测

（征求意见稿）

Alternating Current Field Measurement of Welded Joints in Pressure Equipment

征求意见稿

（在提交反馈意见时，请提供您所知悉的相关专利及相应的支持性文件）

2024–XX–XX 发布　　2024–XX–XX 实施

中国特种设备安全与节能促进会　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 检测工艺规程 3
5 人员要求 4
6 检测设备和器材 4
7 检测实施 6
8 显示分析及缺陷判定 7
9 检测记录及报告 8
附　录　A　（规范性）　非标准温度金属焊接接头交流电磁场检测 9
附　录　B　（规范性）　水下金属焊接接头交流电磁场检测 10
附　录　C　（资料性）　显示信号判定流程 11

征求意见稿

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。

本标准由中国特种设备安全与节能促进会提出并归口。

本标准起草单位：济宁鲁科检测器材有限公司、中国石油大学（华东）、中海油能源发展装备有限公司、石油化工工程质量监督总站、中国特种设备检测研究院、天津市特种设备监督检验技术研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院、深圳国能宸泰科技有限公司（中集）、中海石油技术检测有限公司、菏泽市产品检验检测研究院、济宁市特种设备检验研究院、泰安市特种设备检验研究院、山东鲁能特种设备检验检测有限公司

本标准主要起草人：李伟、袁新安、刘正存、殷晓康、张伯莹、杜颖、田亚团、李运涛、刘怿欢、孙浩波、苗顺超、陈刚、赵建明、孔建彪、李长峰、胡栋、程亚龙

本标准为首次发布。

征求意见稿

引　　言

交流电磁场检测技术是检测金属焊接接头表面缺陷的一种手段，检测结果为焊接接头状态评估提供重要依据，编写《承压设备交流电磁场检测》的目的是对承压设备交流电磁场检测技术的相关因素、系统设备、校准方法、操作规程等进行统一的要求，保证对承压设备做出正确的检验，保证承压设备的安全服役。

征求意见稿

承压设备焊接接头交流电磁场检测

1 范围

1.1 本文件规定了承压设备焊接接头采用交流电磁场检测的方法要求。
1.2 本文件适用于承压设备生产和使用过程中导电性金属焊接接头表面及近表面缺陷检测，也可用于水下金属结构使用过程中焊接接头表面及近表面缺陷检测。
1.3 对于本文件未明确规定的导电性金属材料、零部件及焊接接头的交流电磁场检测，可参照本文件执行。

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 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证
——GB/T 12604.6 无损检测术语 涡流检测
——GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义
——NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第1部分:通用要求
——ASTM E2261 Standard Practice for Examination of Welds Using the Alternating Current Field Measurement Technique

3 术语和定义

GB/T 12604.6界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

交流电磁场检测 Alternating current field measurement
ACFM

交流电磁场检测技术是激励线圈在工件中感应出均匀的交变电流，感应电流在裂纹、腐蚀等缺陷位置产生扰动，基于电场扰动引起空间磁场畸变原理，利用检测传感器测量空间磁场畸变信号，从而实现缺陷的检测与评估。

3.2

坐标定义 coordinate definition

检测实施时，探头扫查方向，扫查面以及工件形成的坐标系。

注：见图1，X：沿扫查方向；Y 沿扫查方向的垂直方向，位于扫查面内；Z：沿扫查面垂直方向。

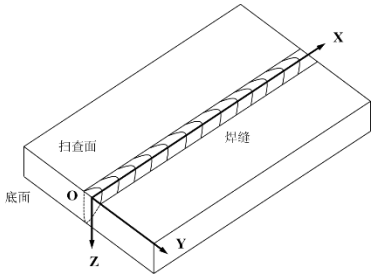


图1 坐标定义

3.3

Bx信号 Bx signal

磁场X方向分量，平行于探头扫查方向，与工件表面Y方向电流密度成正比。

征求意见稿

注：见图2中的Bx。

3.4

Bz 信号 Bz signal

垂直于工件表面的磁场分量，与X-Y平面的电流偏转曲率成正比。

注：见图2中的Bz。

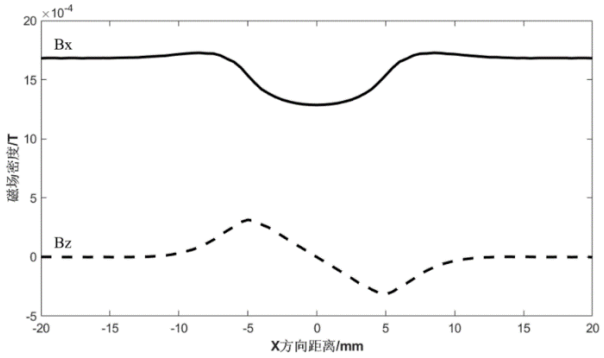


图2　Bx、Bz 信号

3.5

平面图 base plot

Bx信号（3.2）或Bz信号（3.3）与时间/距离关系形成的平面图谱。

3.6

蝶形图 butterfly plot

工件表面存在缺陷时，Bx信号（3.2）和Bz信号（3.3）的对应关系形成的平面图谱。

注：x轴为Bz信号，y轴为Bx信号幅值，见图3。

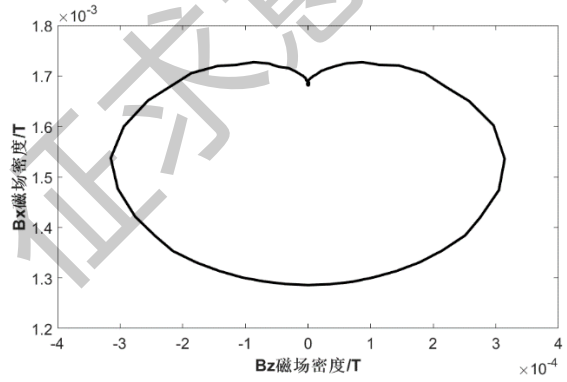


图3　蝶形图

3.7

梯度信号 gradient signal

Bx信号（3.3）经过梯度算法（求梯度、滤波降噪、模式识别）后得到的缺陷判定信号图。

注：见图4。

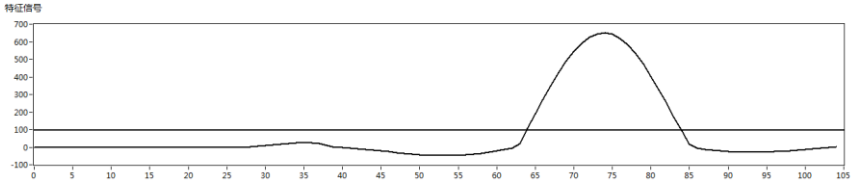


图4　梯度图

3.8

阈值 threshold value

征求意见稿

根据对比试块设定的允许梯度信号最大值。

注：用于判定缺陷是否超标。

3.9

缺陷长度 defect length

缺陷在扫查面的投影间的距离。

注：见图5中的l。

3.10

缺陷深度 defect depeth

缺陷下端点与扫查面间的距离。

注：见图5中的d。

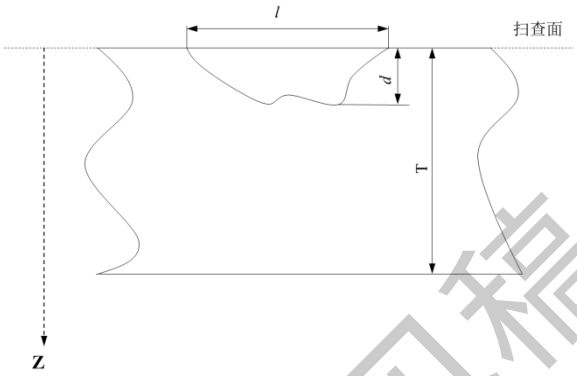


图5　缺陷长度和深度

3.11

几何形状影响 geometry effect

当检测实施受到其他附近的结构影响时，工件局部表面Y方向电流出现变化，Bx信号（3.3）随之畸
变。

3.12

特征信号法 feature signal method

通过Bx、Bz形成的平面图及蝶形图，直接进行缺陷判定的方法。

3.13

梯度信号法 gradient signal method

通过梯度信号（3.3）和阈值（3.8），进行缺陷判定的方法。

3.14

相关显示 relevant indication

缺陷产生的磁场变化而导致的典型特征信号。

3.15

非相关显示 non-relevant indication

由工件形状突变、 工件上的机械创伤、 材料磁导率差异等产生的磁场变化而导致的典型特征信号。

3.16

伪显示 false indication

由人工操作失误，外部磁场干扰等并非由材料本身磁场变化而导致的典型特征信号。

4　检测工艺规程

4.1　检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

4.2　ACFM 检测应按照规定的工艺规程实施，工艺规程应不少于表 1 规定内容，并明确相关因素的具体范围和要求。相关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。

征求意见稿

表1　工艺规程相关因素

序号	相关因素
1	被检工件类型及规格
2	探头（型号和编号）
3	仪器（型号和编号）
4	组合频率
5	扫描方向和范围
6	扫查方式及速度
7	被检结构表面状态
8	涂层厚度（仅当增大时）
9	人员操作资格鉴定要求

4.3　操作指导书应根据被检工件和工艺规程的要求编制。其内容应包括：

a)　检测技术要求：检测时机、检测比例、合同约定的合格等级等；检测设备和器材：

b)　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：包括检测区域、扫查面及其准备要求、探头位置、扫描及扫查方式、检测系统设置和校准(激励频率、扫描范围与、灵敏度、阈值与显示方式等)，横向缺陷的检测。

5　人员要求

5.1　交流电磁场检测人员的资质要求应符合 GB/T 9445 的有关规定。

5.2　对于从事简单几何形状的原材料、受压元件及铁素体钢制对接接头交流电磁场检测的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；对于从事其他检测对象的交流电磁场检测人员，还应掌握相关材料、结构、制造工艺和电磁场建模等知识，并经过专项训练，具备所需的技术能力和相应的检测经验。

6　检测设备和器材

检测设备包括检测仪器以及与仪器相连接的探头、线缆等所有物件；器材是指实现检测功能所需且不与仪器相连接的其他器件和材料，包括试块和耗材等。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。

6.1　检测仪器

仪器应至少具有多通道电磁信号发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能；仪器显示应包括Bx和Bz信号的平面图，蝶形图及梯度图。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。

6.2　探头

探头应至少能产生适用于所检测构件材质的一个频率的电磁信号，同时能够测量磁场的Bx和Bz信号；探头频率为1kHz-50kHz。除非材料、表面状态或涂层变化而要求采用其他频率；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。

6.3　仪器探头组合性能

6.3.1　检测仪器和探头的组合性能包括组合频率、灵敏度、缺陷定位精度及缺陷定量精度。组合性能的测试方法及合格要求见表 2。

表2　仪器探头组合性能要求

性能	检验方法	允许误差范围
组合频率	激励频率应在仪器信号发生单元输出端测量，与显示激励频率fd（典型值1kHz）比较，显示值与测量值的相对误差按照式（1）计算。 $\frac{f_d-f_m}{f_d}\times 100\%$　　(1)	±1%

性能	检验方法	允许误差范围
	式中： fd信号发生单元显示频率值； fm信号发生单元测量频率值；	
灵敏度	使用交流电磁场检测设备在对比试块上进行测试，探头从试件中央向试件边缘匀速运动，探头至少能发现试块上3*0.5mm的最小缺陷信号。	/
缺陷定位精度	使用交流电磁场检测设备在标准试件上进行裂纹定位测试，探头匀速扫描缺陷区域，并对标准试块人工缺陷进行定位测量，定位误差不大于±5mm	±5mm
缺陷定量精度	使用交流电磁场检测设备在标准试件上进行裂纹尺寸定量测试，探头匀速扫描缺陷区域，并对标准试块人工缺陷进行尺寸定量测量。	长度定量误差不大于±1mm，深度误差不超过25%

6.3.2 以下情况应测定仪器和探头的组合性能：

a) 新购置的交流电磁场检测仪器和(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) 检测人员有怀疑时。

6.4 试块

ACFM 试块分标准试块和对比试块，应由具有CNAS（中国国家认证委员会）或CMA（中国计量认证）资格的机构出具合格证书。

6.4.1 标准试块

6.4.1.1 标准试块是指具有规定的化学成分、表面粗糙度、热处理及几何形状的材料块，用于评定和校准交流电磁场检测系统，即用于仪器探头系统性能校准的试块。

6.4.1.2 交流电磁场检测用标准试块的具体形状和尺寸见图 6，试块上有焊缝时，切槽应加工在焊缝趾部位。

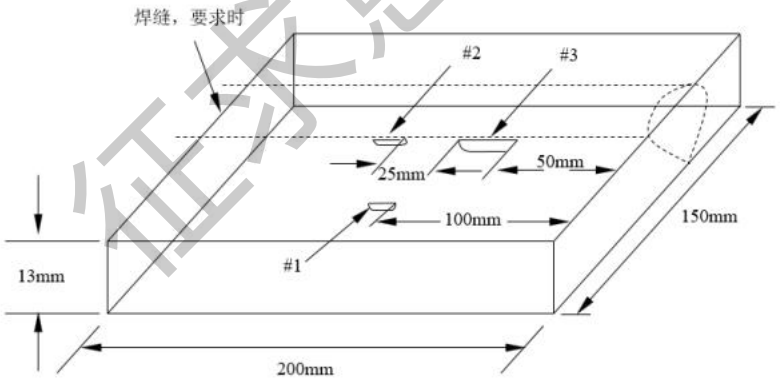


图6 ACFM 标准试块

6.4.2 对比试块

6.4.2.1 对比试块中应含有意义明确的采用机加工方式制作的人工缺陷。

6.4.2.2 通用对比试块的几何形状、尺寸和人工缺陷设置按本文件相应内容图样规定，其尺寸精度应满足规范要求。

6.4.2.3 专用对比试块与被检工件的材料、外形尺寸和制造工艺相同或相似；人工缺陷的设置可参考本文件相应内容图样规定，应满足检测校准和设备调试的要求。

6.5 设备检定

6.5.1 设备检定宜采用标准试块和对比试块进行。

6.5.2 每年至少对检测仪器和探头组合性能中的组合频率、灵敏度、缺陷定位精度及缺陷定量精度进行一次检定并记录，测试要求应满足表 1 规定。

征求意见稿

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

7 检测实施

7.1 检测前准备

7.1.1 检测面要求

7.1.1.1 采用焊、轧、铸、锻后的结构自然表面状态通常可获得满意的结果。如表面质量影响检测结果时可进行一定的打磨。

7.1.1.2 进行 ACFM 检测前，被检表面及邻近 25ｍｍ 范围区域内，应清除污垢、锈皮、焊剂、磁性覆层或其他可能影响检测的外来物，使探头可平稳运动。

7.1.1.3 剩磁场会影响 ACFM 的感应电场并产生伪显示，因此 ACFM 宜在磁粉检测（ＭＴ）前进行。如果在ＭＴ后进行 ACFM，当表面有剩磁场存在时，须进行退磁。

7.1.2 标识及参考线

7.1.2.1 沿焊缝长度方向应按照一定规则进行间隔标记，便于检测定位。

7.1.2.2 检测前，应在扫查面上设定参考线以便进行垂直扫查，参考线距焊缝的距离检应根据工艺设置而定：扫查时，应保持探头位置与设定参考线位置的偏差不大于 5%。

7.2 检测工艺参数

7.2.1 应根据被检工件的类型、材质、结构尺寸、检测位置以及检测方式综合选择探头和检测区域、范围等。

7.2.2 ACFM 探头选择的参数包括类型、频率、阵列数量等。对于金属材料，在保证检测深度的情况下，宜选用频率更高的探头；对于较大尺寸的原材料和零部件检测，宜选用阵列探头；对于有限空间中的检测，宜选用笔式探头。

7.2.3 楔块的选择主要基于被检工件形状规格。对于曲面工件，当楔块与被检工件接触面的间隙大于0.5ｍｍ 时，应采用曲面楔块或对探头进行适当修磨。

7.2.4 工件边缘受边缘效应影响，存在检测盲区，应根据该参数选用合适探头。

7.2.5 工作温度在-10 ℃～80 ℃时，可采用常规探头和楔块。若温度超过 80℃或低于-10 ℃，应采用特殊探头和楔块；检测系统设置和校准与实际检测温度之差应控制在±5℃之内。

7.3 设备校准和灵敏度调整

7.3.1 设备校准

将探头放到标准试块上，将探头沿标准试块焊缝匀速扫查，探头移动过程中晃动幅度不得超过±1ｍｍ。

保持匀速前行扫查，探头经过标准试块50*5ｍｍ 切槽时软件界面出现缺陷信号特征，Bx信号出现波峰或波谷、Bz信号出现波峰波谷、蝶形图围成一个圆周（如图2，3），其中切槽的显示图像高度为全屏高的50%（±0），且宽度为全屏宽的175%(±0)，并能容易地检测6*2.5ｍｍ 的切槽信号。

7.3.2 灵敏度调整

7.3.2.1 根据检测对象及见灵敏度要求，选择合适的对比试块及模拟缺陷。

7.3.2.2 将探头放到对比试块上，将探头沿对比试块焊缝匀速扫查，探头移动过程中晃动幅度不得超过±ｍｍ。

保持匀速前行扫查，探头经过模拟缺陷时软件界面出现缺陷信号特征，Bx、Bz 信号出现畸变，其中调整 Bx 和 Bz 信号的显示，使模拟缺陷的 Bx 显示图像高度为全屏高的 30%（±5），设置两条灵敏度阈值线分布位于为 Bx 背景 0 基值的上侧全屏高度的 15% 和下侧全屏高度的 15%，如图 7 所示。

征求意见稿

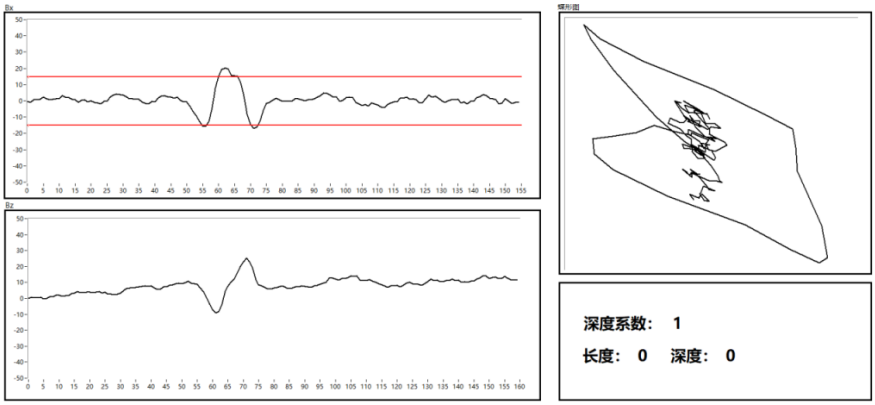


图7 灵敏度调整结果、

7.4 扫查

7.4.1 仪器探头扫查速率宜控制在 5mm/s～60 mm/s。

7.4.2 扫查时探头与接触面宜保持接触，不能满足时提离高度不宜大于 5 mm 。

7.4.3 探头正下方覆盖 Y 方向最大扫查范围由探头激励线圈和接收磁场传感器组件设计决定，单探头典型值为 10mm 。

7.4.4 检测时，探头靠近焊缝一侧的边缘与焊缝趾部平齐，探头前端平行于焊缝长度方向。沿焊缝趾部平行地移动探头。然后在焊缝的另一侧趾部作同样的扫查。

7.4.5 检测时，探头需一次或多次覆盖工件的检测区域以实现缺陷的有效检出，当焊缝宽度大于 10 mm 时，在焊缝上增加至少一组扫查。多次扫查时，两次相邻检测的扫查区域在长度和宽度方向应有 20% 的覆盖。

7.4.6 当出现蝶形图闭合或阈值超标信号时，应将探头沿扫查方向重复扫查三次以上，当三次扫查结果一致时，方可进行异常记录。

7.5 设备复核

7.5.1 复核时机

在如下情况时应对检测系统进行复核：

a) 检测过程中仪器、探头或连接线缆更换；
b) 检测结果出现明显异常时；
c) 连续工作4h及以上；
d) 检测结束时。

7.5.2 复核内容与要求

复核内容主要包括探头灵敏度、缺陷定位精度及定量精度。复核与设置时所使用的对比试块及其他技术条件均应相同，若复核时发现缺陷的波形变化超过10% ，上次核查以来检测的部位应进行复检。

8 显示分析及缺陷判定

8.1 显示记录

检测图像一般包括Bx信号平面图、Bz信号平面图、蝶形图等。

当Bx，Bz信号图以及蝶形图满足图2，3，且灵敏度超过阈值时，应记录此时该显示范围和位置。信号灵敏度未超过阈值或者蝶形图无闭合趋势的显示、至少应记录其位置。

8.2 检测图像分析

8.2.1 扫查方向与缺陷方向平行

征求意见稿

探头沿着X方向扫查，当缺陷沿着X方向时，金属结构表面感应电流垂直绕过缺陷，感应电流引起的畸变磁场达到最大数值，交流电磁场检测灵敏度最高，特征信号Bz出现峰谷变化，特征信号Bx呈现波谷和极小值，蝶形图顺时针闭合。

8.2.2 扫查方向与缺陷方向垂直

探头沿着X方向扫查，当缺陷沿着Y方向时，金属结构感应电流与缺陷平行。此时：

a) 非铁磁性金属结构（如：铝、不锈钢等）感应电流引起的畸变磁场数值达到最小，交流电磁场检测灵敏度最低，易造成缺陷漏检；

b) 铁磁性材料感应电流引起的畸变磁场数值达到最小，但激发磁场垂直穿过缺陷并形成泄漏磁场，磁场分量Bx呈现波峰和极大值，特征信号Bz呈现较窄的峰谷变化，蝶形图逆时针闭合。

8.3 缺陷判定

8.3.1 对于表面缺陷，可根据 Bx 信号幅值计算引起该信号的缺陷的深度，可根据 Bz 信号峰谷间距，计算缺陷长度。

8.3.2 对检测中发现的不能排除由非相关因素引起的信号，如提离、边缘、台阶等干扰信号，应将响应信号视为由缺陷引起，并依 8.3.1 计算缺陷的方向、长度。

8.3.3 根据相关产品的技术条件或与委托方商定的验收准则，对被检构件给出合格与否的结论。

8.3.4 当产品技术条件和相关技术协议未给出验收准则时，可以仅对所发现缺陷给出定量的评定，而不给出合格与否的结论。

9 检测记录及报告

9.1 检测记录

对每次检测，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，除此之外，还应至少记录以下内容：

a) 工艺规程编号和版本；
b) ACFM 仪器型号和编号；
c) 软件编号和版本；
d) 探头型号和编号；
e) 标准试块；
f) 被检焊缝或表面编号和位置；
g) 被检对象材质、焊接工艺；
h) 检测时机；
i) 检测到的特征信号的示意图或记录表；
j) 限制接近区域或不能接近的区域；
k) 检测人员资质（有要求时）。

9.2 检测报告

应根据检测记录，出具检测报告，至少包括以下内容：

d) 工艺规程编号和版本；
e) ACFM 仪器型号和编号；
f) 探头型号和编号；
g) 标准试块；
h) 被检焊缝或表面编号和位置；
i) 被检对象材质、焊接工艺；
j) 检测时机；
k) 相关显示及其位置，范围；
l) 限制接近区域或不能接近的区域；
m) 检测人员资质（有要求时）。

征求意见稿

附 录 A
（规范性）
非标准温度金属焊接接头交流电磁场检测

A.1 总则

本附录适用于温度超过80℃或低于-10 ℃金属焊接接头的交流电磁场检测。

A.2 检测设备

A.2.1 探头

A.2.1.1 非标准温度检测时，应采用专用高温探头进行；

A.2.1.2 探头表面应使用保温材料进行防护，探头与检测表面不应直接接触；

A.2.1.3 检测过程中应根据检测对象和检测要求，选择大小、形状、频率合适的探头。

A.2.2 试块

A.2.2.1 非标准温度检测时，应采用专用对比试块；

A.2.2.2 对比试块校准时表面温度宜与待测部位表面温度保持一致；

A.3 核查

至少每隔30m in，检测结束后，以及检测过程中出现明显异常时应对系统性能进行核查，如果在标准试块上切槽的特征信号响应变化超过10%，上次核查以来检测的部位应进行复检。

征求意见稿

附 录 B
（规范性）
水下金属焊接接头交流电磁场检测

B.1 总则

本附录适用于水下金属焊接接头的交流电磁场检测。

B.2 人员要求

检测人员分为水面操作员及水下操作员
水面操作员: 熟练的操作员并持有相关机构认可的Ⅱ级以上ACFM 证书。
水下操作员:应接受探头操作训练。

B.3 检测设备

B.3.1 水下交流电磁场检测设备

水下检测时应使用水下专用交流电磁场检测系统；
水下交流电磁场检测设备包括检测仪器、水下舱体以及与舱体相连接的水下探头、扫查装置和线缆等所有物件；器材是指实现检测功能所需且不与仪器相连接的其他器件和材料，包括试块和耗材等。
水下舱体及探头水密性应满足所检测对象的工艺要求。

B.3.2 水下单元耐压试验

水下单元应定期进行耐压试验，要求如下：
将水下单元置一定水压下，数值为系统规定水压的120% ，130% ，140% ，150% ，160% ， 170% 进行试验。此时使用水下交流电磁场检测设备对标准对比试块进行检测，探头匀速扫描缺陷区域，重复扫查10次并进行记录。10次扫查中出现典型缺陷信号特征，且缺陷信号达到校验标定线的的扫查次数大于等于9次，视为在该压力下可正常工作。要求系统正常工作水压至少为规定水压的150% 。

B.4 检测

B.4.1 表面状况

水下检验应将海生物、松散涂层等污物清除，表面应清理至使探头能平稳运动。表面要求与常规的涡流检测近似。可采用手动刮刀刷子清理，必要时采用高压水射流技术清理。
在探伤之前操作员应确认表面条件是否可以接受。
表面详细情况可以通过水下目视检验进行确认。

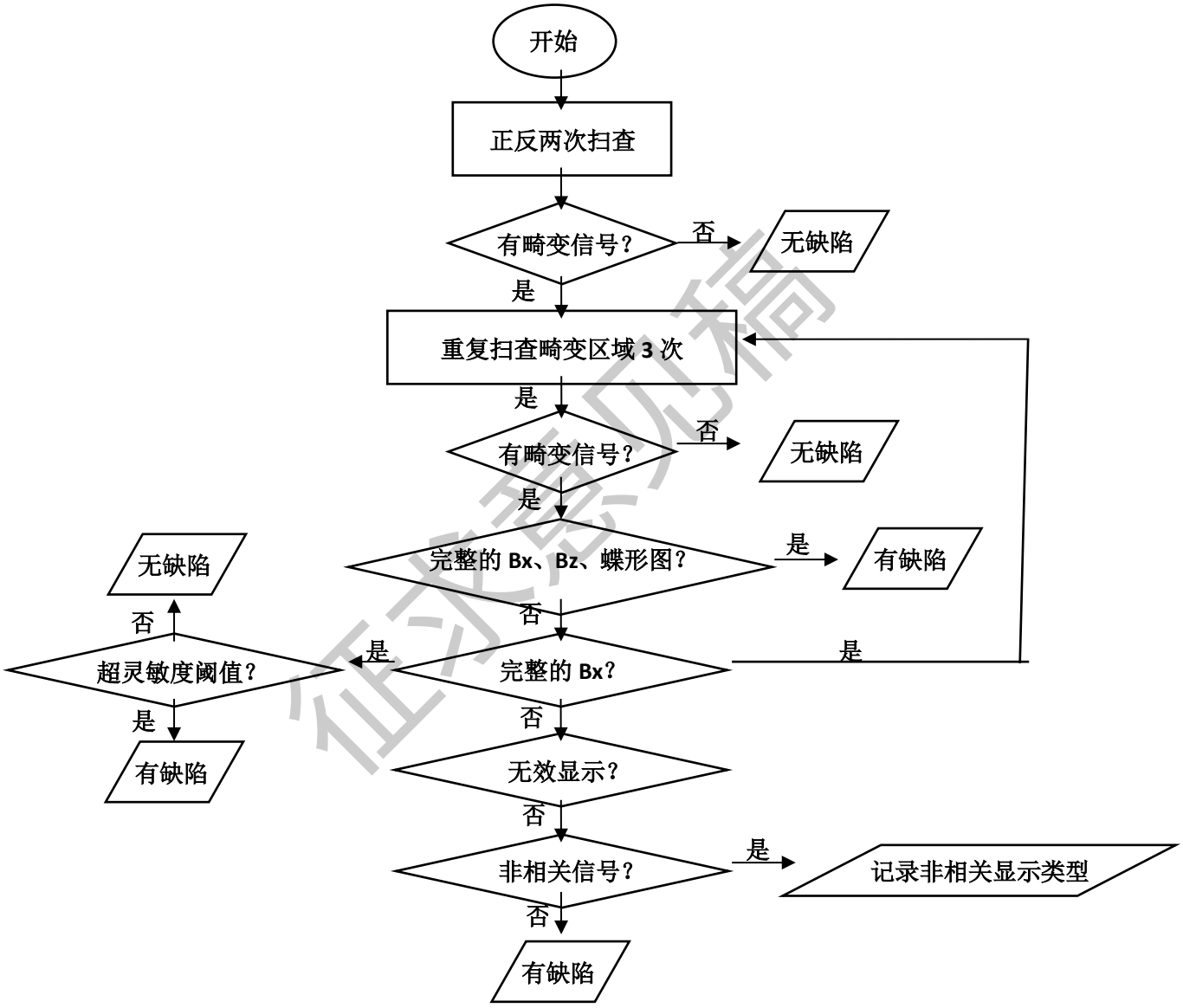
B.4.2 检测实施

B.4.2.1 参照正文第 7 章进行交流电磁场检测；
B.4.2.2 对管座角焊缝检测，存在缺陷从焊接接头延伸至母材的情况，会导致检测图像的 Bx 信号突然降低，而 Bz 无波峰或波谷。此时应在母材上沿预期的缺陷进行扫描，直到找到缺陷的端点。
B.4.2.3 当测量获得的裂纹深度大于板厚时，表示裂纹可能完全穿透焊缝，此时应要求潜水员进一步确认，可通过裂纹的开口或背面观察确认。
B.4.2.4 被检焊缝的长度大于 400 毫米时，应对焊缝进行分段扫查(长距离扫查潜水员操作困难，探头更易出现异常提离)。

征求意见稿

附 录 C
（资料性）
显示信号判定流程

显示信号分为伪显示、相关显示、非相关显示，可以通过图 C.1 所示流程进行判定。



图C.1 显示信号判定流程

图C.2

征求意见稿