

团体标准

T/CSTM 00212-2020

无损检测 螺栓相控阵柱面超声波成像检测与质量评定方法

Non-destructive testing Phase-array ultrasonic testing methods for inspecting bolts using cylindrical guided waves

2020-09-25 发布

2020-12-25 实施

中关村材料试验技术联盟

发布

目 录

前 言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 检测方法概要	2
5 人员要求	3
6 安全要求	3
7 工艺规程	3
8 检测设备和仪器	4
9 检测准备	5
10 校准与复合	6
11 灵敏度设定	6
12 检测与记录	7
13 评定	7
14 检测记录及报告	7
附录 A（资料性附录）螺栓相控阵柱面超声波成像检测报告	9
附录 B（资料性附录）本标准起草单位和主要起草人	11
参考文献	11

前 言

本部分参照 GB/T 1.1-2009 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。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任

本标准由中国材料与试验团体标准委员会无损检测技术及设备领域委员会（CSTM/FC94）提出。

本标准由中国材料与试验团体标准委员会无损检测技术及设备领域委员会（CSTM/FC94）归口。

CSTM标准公布使用

无损检测 螺栓相控阵柱面超声波成像检测与质量评定方法

1 范围

本标准规定了无损检测 螺栓相控阵柱面超声波成像检测与质量评定方法。

本标准适用于外径不小 10 mm 且不大 100 mm，长度不大于 1000 mm 的碳钢及低合金钢制在役螺栓、双头螺柱、六角头螺栓、带有内六角的螺柱其内六角尺寸小于螺杆直径的螺栓的检测。其它类型螺栓检测方法可参照执行。

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。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 12604.1 无损检测术语超声检测

GB/T 29302 无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验

JB/T 11731 无损检测 相控阵超声波探头通用技术条件

3 术语和定义

GB/T 12604.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

周向线阵 circumferential linear array

同一平面上多个晶片沿周向排列形成一个单层圆环形（控制方向）的平面阵列探头。如图1所示。

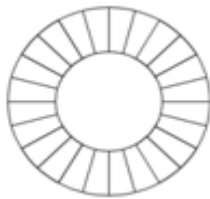


图 1 周向线阵

3.2

周向扫描 circumferential linear scan

激励声束的孔径中心环绕探头中心步进，声束动态聚焦于相应圆柱母线的声束扫描方式（图像要有刻度）。

3.3

周向 B 扫显示 cylindrically B-scan view

以螺栓外径圆周展开长度为横坐标，超声传播距离为纵坐标，形成的周向扫描显示图像。如图 2 所示（图像要有刻度标识）。

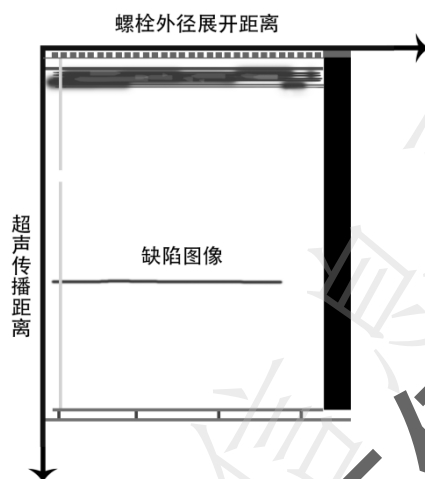


图 2 周向 B 扫图像

3.4

周向 C 扫显示 annular C-scan view

检测数据对螺栓检测端面圆形投影的显示方式。

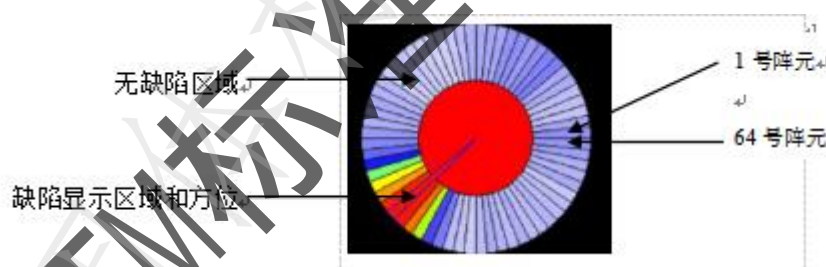


图 3 周向 C 扫图像

3.5

超声柱面导波 cylindrically guided wave technique (CGWT)

受圆柱面约束，沿圆棒长度方向传导的超声波。

4 检测方法概要

螺栓相控阵柱面超声波在钢杆中实际上是以导波的形式传播的,即超声柱面导波。在波导介质中传播的超声导波信号包含传播过程中的全部信息,可用于细小缺陷的检测。螺栓相控阵柱面超声波是对一维环形线阵列超声探头的相位控制技术。将多个小尺寸的条形压电晶片按圆环排列,形成阵列探头。电脑控制各个晶片的发射和接收相位延时,各个晶片的超声波信号频率相同,以一定的相位差相干叠加,形成各种指向和聚焦特性的声束波阵面。

5 人员要求

从事螺栓超声柱面相控阵检测的人员应按 GB/T 9445 的要求进行培训。

6 安全要求

检测过程中的安全要求如下：

- a) 检测人员应遵守被检设备现场的安全要求，根据检测地点的要求穿戴防护工作服和佩戴有关防护设备；
- b) 检测时，应确保被检设备处于停机状态，应避免设备突然开启引起的危险后果。

7 工艺规程

7.1 检测工艺文件

7.1.1 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

7.1.2 检测工艺规程除满足本标准的要求外，还应规定表1和相关章节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。

7.1.3 应根据检测工艺规程的内容以及被检工件的检测要求编制操作指导书，其内容除满足无损检测螺栓相控阵柱面超声波成像检测与质量评定方法的要求外，至少还应包括：

- a) 检测技术要求：检测技术（本标准）和检测波形等；
- b) 检测对象：外径不小于 10 mm 且不大于 100 mm 的碳钢及低合金钢制在役螺栓。在役双头螺柱，六角头螺栓，带有内六角螺柱其内六角尺寸小于螺杆直径的螺栓的检测。其它类型螺栓检测方法参考本方法。检测对象的名称、规格、材质和热处理状态、检测部位等。
- c) 检测设备器材：仪器型号、探头规格、耦合剂、试样种类，仪器和探头性能检测的项目、时机和性能指标等。
- d) 检测工艺相关技术参数：扫查方向及扫查范围、缺陷定量方法、检测记录和评定要求、检测示意图等。

表 1 超声检测工艺规程涉及的相关因素

序号	相关因素的内容
1	工件形状（包括规格、材质等）
2	检测面要求
3	检测技术（本标准）
4	探头标称频率、晶片尺寸、晶片中心间距
5	检测仪器类型
6	耦合剂类型
7	校准（试样及校准方法）
8	扫查方式（手动或自动）
9	缺陷定量方法
10	计算机数据采集（用到时）；自动报警和/或记录装置（用到时）
11	人员资格要求；检测报告要求

8 检测设备和仪器

8.1 检测仪器

8.1.1 应使用周向线阵的超声相控阵探头、具备周向扫描延时法则的超声相控阵仪器。

8.1.2 检测仪应满足 GB/T 29302 的要求，具有产品质量合格证或质量合格的证明文件。仪器性能且还应满足如下要求：

- a) 工作频率应覆盖 0.5 MHz~15 MHz（按-3 dB 测量）；
- b) 不小于 16/64 接收激发通道相控阵；
- c) 增益范围：0 dB~80 dB，最小调节步距不大于 0.5 dB；
- d) 扫描图像：A 扫、周向 B 扫、环形 C 扫；

8.1.3 探头应满足如下技术要求：

- a) 应采用周向线阵探头；
- b) 当螺栓外径大于 20 mm 时，探头的阵元数宜不小于 64 阵元。当小于等于 20 mm 时，探头阵元数宜不小于 32 阵元
- c) 频率应在 2.0 MHz~10 MHz 范围内；
- d) 探头外径与螺栓公称外径相差不大于 5 mm。当螺栓端面有内六角孔时，探头内径大于端孔直径；
- e) 相控阵探头应符合 JB/T 11731 相控阵通用技术条件；
- f) 激发孔径范围内不宜存在失效晶片。若失效晶片不可避免，则在确保检测灵敏度满足要求的前提下，在环阵任意 1/4 圆周范围内的失效晶片数量不能超出激发晶片总数的 15%，且不应存在相邻的失效晶片。

表 2 螺栓相控阵柱面超声波探头直径与被检测的螺栓直径对应关系

探头直径	Φ12	Φ17	Φ22	Φ26	Φ30	Φ42
螺栓直径	M10~M15	M15~M20	M20~M25	M25~M28	M28~M40	M40~M45
探头直径	Φ48	Φ52	Φ65	Φ72	Φ86	
螺栓直径	M45~M50	M50~M60	M60~M70	M70~M80	M80~M100	

8.1.4 仪器和探头的系统性能应满足如下要求：

- a) 作周向扫描时，应具有循环衔接的扫描法则，无论首尾或中间，相邻孔径相互覆盖至少二分之一孔径长度。
- b) 最大检测声程处，探测 0.5 mm 人工切槽时其灵敏度余量应不小于 10 dB；
- c) 仪器和探头的组合频率与公称频率误差应不大于 10 %；
- d) 在基准灵敏度下，仪器和探头组合的始脉冲宽度，对于频率为 5 MHz 的探头，宽度不大于 8 mm；
- e) 仪器和探头的系统信噪比应大于 6 dB。

8.1.5 当出现以下情况时应测定仪器和探头的组合性能：

- a) 新购置的仪器和探头；
- b) 仪器和探头在维修或更换主要部件后；
- c) 检测人员认为有必要时。

8.2 试样

8.2.1 标准试块

仪器系统性能测试和系统校准应采用对比试块。

8.2.2 对比试块

对比试块形状和尺寸应符合图 4 的要求。试块的直径应与被检螺栓外径 0.9 倍至 1.1 倍范围内，应选取与被检工件声学性能相同或近似的材料制成，该材料内部不应有大于或等于 1 mm 平底孔当量直径的缺陷。人工缺陷为线切割槽，缺陷深度及加工部位见表 3。

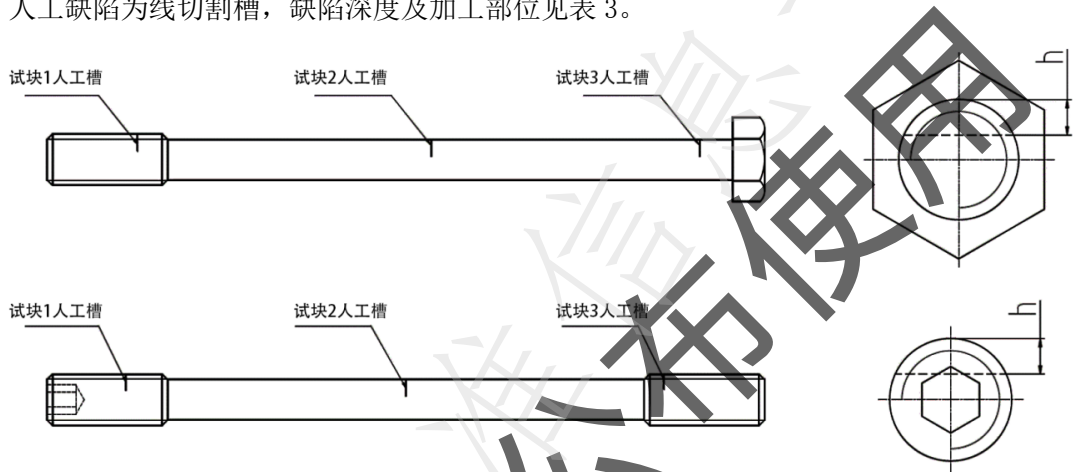


图 4 螺栓检测对比试块人工缺陷加工位置示意图

表 3 对比试块

试块编号	1	2	3
刻槽部位	上 ^a	中 ^b	下 ^c
刻槽深度	0.5 ^d	0.5 ^d	0.5 ^d
^a 两端均为螺纹，试块 1 刻槽位于检测端螺母与垫圈结合的丝扣处；检测端为六角端头时，刻槽位于螺杆与端头圆弧过度的起点。 ^b 试块 2 刻槽位于螺栓法兰结合面处。 ^c 试块 3 刻槽位于检测端对侧螺母与垫圈结合的丝扣处；检测端对侧为六角端头时，刻槽位于螺杆与端头圆弧过度的起点。 ^d 刻槽深度可根据工艺要求另行确定。			

8.2.3 在满足灵敏度要求时，对比试块上的切割根据检测需要可采取其他布置形式或添加，也可采用其他型式的等效试块。

9 检测准备

9.1 检测面要求

影响探头与检测面耦合的锈蚀、镀锌层凸起和污物等都应予以清除。其检测面粗糙度应不高于 Ra 6.3。

9.2 扫查要求

采用相控阵超声周向扫描检测时，声束应能覆盖到螺栓的全部被检区域。

9.3 耦合剂

9.3.1 宜采用透声性好，且不损伤检测表面的水基耦合剂。当环境温度低于 0℃时，耦合剂中应添加防冻液。

9.3.2 校准和检测应使用同一种耦合剂。

10 校准与复合

10.1 定期校准

应每年对探头和仪器系统性能进行测试，探头应按 JB/T 11731 的规定，仪器和探头的系统性能应按 GB/T 29302 的规定进行测试。

10.2 检测校准

10.2.1 每次使用前或连续工作一周以上时，应对阵元有效性按照 JB/T 11731 的规定进行测试。

10.2.2 每次使用前，应在对比试块上调整灵敏度使相应刻槽信号达到 50 %满屏高度，并在检测过程中及检测结束时进行复核。

10.3 检测过程中仪器和探头系统的复核

检测过程中，出现下列情形之一时，应进行仪器和探头系统的复核：

- a) 校准后的探头、耦合剂发生改变；
- b) 检测人员怀疑超声传播速度设置或扫查灵敏度设置有变化；
- c) 连续工作 4 小时以上。

10.4 检测结束时仪器和探头系统的复核

检测工作结束时，应对仪器和探头系统进行下列项目的复核，并记录复核结果：

- a) 应对超声传播速度设置进行复核。如果超声传播速度设置超过 10 %，则超声传播速度设置应重新调整，并对上一次复核以来所有的检测部位进行复检；
- b) 应对扫查灵敏度进行复核；
- c) 校准、复核和对仪器进行线性检测时，任何影响仪器线性的控制器（如抑制或滤波开关等）都应放在“关”的位置或处于最低水平上。

11 灵敏度设定

11.1 基准灵敏度

将检测探头放置在对对比试块相应检测端（如图5所示），探头中心线应与试块中心重合，手持探头耦合稳定时，调整仪器扫描范围使底波出现在80 %时基范围处，闸门起点位于5 %时基范围，闸门终点位于底波前，调节增益使周向B扫图像中试块1、试块2、试块3的刻槽信号清晰可见，且扫描图像中三个刻槽的A扫描信号幅度最小者不低于满屏高的20 %，记录仪器增益为检测基准灵敏度，适当调整闸门起点使闸门内螺纹信号低于刻槽信号。

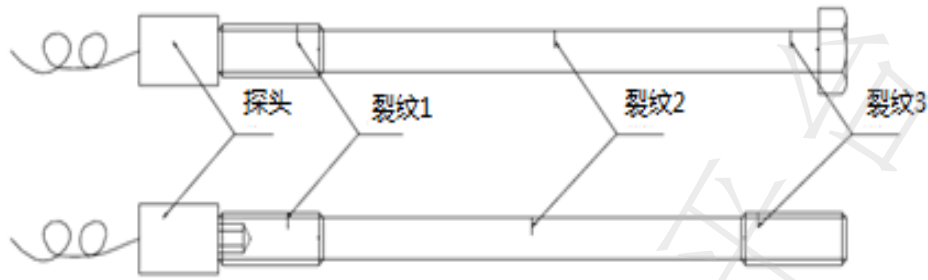


图 5 灵敏度设定

12 检测与记录

12.1 在被检螺栓检测面涂满耦合剂，将检测探头压合在检测面上，探头中心线应与螺栓中心重合，采用电子扫描的方式进行成像检测。

12.2 记录稳定的扫描数据。

13 评定

13.1 相关信号

13.2.1 深度当量尺寸，应依据对比试块上的 0.5 mm 刻槽信号幅度对比来确定。

13.2.2 单个缺陷指示长度，采用以下方法来检测：

单个缺陷周向长度测量可以在检测过程中实时测量，也可在电脑分析软件上离线测量。具体测量方法如下：首先移动光标找到缺陷的最高反射点，将A扫信号波幅调节至满屏80 %高度；然后向左移动光标，当A扫信号波幅降低至40 %时，光标对应点即为缺陷左端点，同样，向右移动光标，当A扫信号波幅降低至40 %时，光标对应点即为缺陷右端点。左右端点之间的距离即为该缺陷的指示长度。

13.2.3 缺陷指示长度小于 5 mm 时，按 5 mm 计。

13.2.4 在螺栓 B 扫描图像上，同距离相邻两缺陷的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其指示长度（间距计入）。

13.2.5 在合同无具体要求时，可采用以下方式进行质量判定：

- a) 螺栓检测时，A 扫描缺陷信号幅度大于等于 0.5 mm 刻槽，或 B 扫描图像缺陷的深度大于等于 0.5 mm 刻槽，或缺陷长度大于 10 mm；
- b) 检测人员判定缺陷性质为裂纹的。

14 检测记录及报告

14.1 检测记录

应按照现场检测实际情况详细、客观记录检测过程的有关信息和数据。检测记录至少应包括以下内

容:

- a) 记录编号;
- b) 检测工艺卡名称及编号;
- c) 检测对象: 项目名称、工件名称、编号、规格尺寸、材质、检测部位、检测时的表面状态、检测时机;
- d) 检测设备和器材: 仪器名称、规格型号和编号; 探头情况 (类型、标称频率、晶片尺寸、角度、编号等); 试块型号; 耦合剂;
- e) 检测工艺参数: 检测范围、扫查位置 (面、侧)、扫查方式、基准灵敏度、耦合补偿等;
- f) 检测结果: 检测部位示意图; 缺陷位置、尺寸、回波幅度等; 缺陷的评定级别和检测结果评定;
- g) 检测人员、记录人员签字;
- h) 检测日期和地点。

14.2 检测报告

检测报告参见附录 A, 至少包括以下内容:

- a) 报告编号;
- b) 工件名称、螺栓编号、材料种类、规格;
- c) 探伤仪型号、探头、试块和检测灵敏度;
- d) 超声检测区域应在报告上予以表明, 如有因几何形状限制而检测不到的部位, 也应加以说明;
- e) 缺陷的类型、尺寸、位置和幅度;
- f) 检验结果及检验标准名称;
- g) 检验人员和责任人员签字及其技术资格;
- h) 检测日期

14.3 文件要求

检测文件应满足以下要求:

- a) 检测原始记录应及时、真实、准确、完整, 并经记录人员和检测人员签字认可;
- b) 检测原始记录的保存期应符合相关法规的要求。

附录 A
(资料性附录)
螺栓相控阵柱面超声波成像检测报告

A. 1 螺栓相控阵柱面超声波成像检测报告见表 A. 1。

表 A. 1 螺栓相控阵柱面超声波成像检测报告

报告编号：

项目名称			构件编号		
构件类别	□叶片□塔筒□连接件		规 格		
材 质			检测比例		
检验标准			(示意图)		
验收标准					
仪器型号					
探 头					
耦 合 剂					
试 块					
灵 敏 度					
补 偿					
在役螺栓编号	缺陷编号	缺陷位置	缺陷反射波幅度 0.5±dB	缺陷指示长度（mm）	结果

检验结论		
检验员： 级别： 日期：		审核人： 级别： 日期：

CSTM标准公布使用

附录 B

(资料性附录)

本标准起草单位和主要起草人

本标准起草单位：武汉中科创新技术股份有限公司、中国特种设备检测研究院、中北大学、武汉大学、国电锅炉压力容器检验有限公司、大唐辽宁大唐国际新能源有限公司、国网江苏省方天电力公司、润电能源科学技术有限公司、中国铁路广州局集团有限公司、硕德（北京）科技有限公司。

本标准主要起草人：林光辉、王子成、池永斌、汪智敏、周友鹏、韩志雄、陈磊、桂琳琳、郑阳、胡斌、张君娇、周进节、张俊、胡先龙、郝晓军、姜荣国、马君鹏、蔡红生、赵利民、房杳军、贺海建、香勇。

参 考 文 献

- [1] GB/T 11259-2015 无损检测 超声波检测用钢参考试块的制作与校验方法
[2] JB/T 10063-1999 超声检测用 1 号标准试块技术条件
-

CSTM标准公布使用