

ICS 号

中国标准文献分类号

团 体 标 准

T/CHTS XXXXX-XXXX

公路桥梁正交异性钢桥面板 U 肋焊缝 无损检测技术规程

Technical Code for Nondestructive Testing for Butt Welds
Between U-rib and Roof Plate in Highway Orthotropic Steel
Bridges Deck

(征求意见稿)

2023-xx-xx 发布

2023-xx-xx 实施

中国公路学会 发布

团体标准

公路桥梁正交异性钢桥面板 U 肋焊缝无损检测技术规程

Technical Code for Nondestructive Testing for Butt Welds
Between U-rib and Roof Plate in Highway Orthotropic Steel Bridges
Deck

T/CHTS XXXXX-20XX

主编单位：广东省公路建设有限公司

发布单位：中国公路学会

实施日期：××××年××月××日

×××××× (出版单位)

前 言

本规程是在总结桥梁钢结构正交异性钢桥面板 U 肋焊缝无损检测试验研究和工程检测经验的基础上编制而成。

本规程按照《中国公路学会标准编写规则》（T/CHTS 10001）编写。共分为 5 章，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、U 肋内侧焊缝表面质量检测、相控阵超声 U 肋焊缝熔深及质量检测等。

本规程由广东省公路建设有限公司提出，受中国公路学会委托，由广东省公路建设有限公司负责具体解释工作。请有关单位将实施中发现的问题和建议反馈至广东省公路建设有限公司（主编单位）（地址：××××，联系电话：××××，电子邮箱：××××），供修订时参考。

主编单位：广东省公路建设有限公司

参编单位：无锡金诚工程技术服务有限公司、深中通道管理中心、武船重型工程股份有限公司、中铁山桥集团有限公司、中铁宝桥集团有限公司、常州工学院。

主要起草人：陈伟乐、代希华、崖岗、李彦兵、宋神友、赵敏、陈华青、阮家顺、胡广瑞、朱新华、孙杰

主要审查人：

目次

目录.....	1
1 总则.....	2
2 术语和符号.....	3
2.1 术语.....	3
2.2 符号.....	3
3 基本规定.....	4
4 U 肋内侧焊缝表面质量检测.....	5
4.1 一般规定.....	5
4.2 检测设备及参数要求.....	5
4.3 检测设备的计量校准.....	6
4.4 检测条件.....	7
4.5 外观检测.....	7
4.6 磁粉检测.....	8
4.7 验收.....	10
5 相控阵超声 U 肋焊缝熔深和质量检测.....	11
5.1 一般规定.....	11
5.2 检测设备和器材要求.....	11
5.3 检测系统的设置和校准.....	13
5.4 检测实施.....	15
5.5 熔深的测量与记录.....	16
5.6 非熔深缺陷的评定.....	17
5.7 验收.....	17
附录 A 检测报告要求.....	18
附录 B 正交异性钢桥面板 U 肋焊缝相控阵超声检测推荐验收标准.....	20
B.1 U 肋非熔透焊缝熔深尺寸验收标准.....	20
B.2 非熔深缺陷波幅记录验收标准.....	20
B.3 U 肋双面全熔透焊缝缺欠验收标准.....	20
用词说明.....	22

1 总则

1.01 为指导正交异性钢桥面板 U 肋与面板 T 型接头对接焊缝（以下简称 U 肋焊缝）无损检测，提高检测精度、保证焊缝质量，制定本规程。

1.02 本规程适用于正交异性钢桥面板 U 肋双面焊内焊缝的外观和表面缺陷检测，以及 U 肋单面焊、双面焊非熔透焊缝熔深及内部缺陷的相控阵超声检测。双面焊全熔透焊缝的内部缺陷相控阵超声检测可参考执行。

1.03 正交异性钢桥面板 U 肋焊缝的无损检测除应符合本指南规定外，尚应符合有关法律法规和国家、行业现行有关标准、规范的规定。

1.04 本规程未尽事项：外观检测参照现行《焊缝无损检测 熔焊接头目视检测》（GB/T 32259）、磁粉检测参照现行《焊缝无损检测 磁粉检测》（GB/T 26951）、超声检测参照现行《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》（GB/T 11345）、相控阵超声检测参照现行《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》（GB/T 32563）的有关规定执行。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 U 肋焊缝熔深 **depth of fusion**

以 U 肋板外侧表面测得的焊缝熔合深度称为 U 肋焊缝熔深，是 U 肋板外侧表面至 T 型接头熔覆金属与 U 肋板端截面熔融点的法向深度。

2.1.2 U 肋单面焊焊缝 **single weld between U-rib and roof plate**

仅在 U 肋板外侧焊接形成的 U 肋与面板间的焊缝，焊接时有开坡口和自然坡口两种形式。

2.1.3 U 肋双面焊焊缝 **double weld between U-rib and roof plate**

在 U 肋板外侧和内测均焊接形成的 U 肋与面板间的焊缝，有熔透和非熔透两种形式的焊缝，焊接时一般不开坡口。

2.1.4 焊缝外观缺陷 **apparent defect of welds**

焊缝外观缺陷指肉眼或图像上可直接识别的质量缺陷。

2.1.5 焊缝表面缺陷 **surface defect of welds**

焊缝表面（含近表面）缺陷指肉眼和图像无法直接识别的质量缺陷。

2.2 符号

b —— 磁轭每次纵向移动间距

d_1 、 d_2 —— 磁轭间距

T1 —— U 肋板厚度

T2 —— 面板厚度

α —— U 肋与面板间的夹角

δ —— U 肋外侧焊缝熔深

L —— 外观和表面检测时摄像头与焊缝表面的距离

3 基本规定

3.01 本规程以已有研究和工程应用等信息为基础，针对现有无损检测标准未涉及的正交异性钢桥面板 U 肋内侧焊缝外观和表面缺陷检测、未熔透焊缝的熔深和内部缺陷相控阵超声检测，制定相应的无损检测技术规程。

3.02 无损检测人员应符合《无损检测 人员资格鉴定与认证》（GB/T 9445-2015）或等效标准的要求，取得相应的无损检测资格证书，熟悉所适用的检测设备，具有实际操作经验并掌握一定的金属材料及加工的基础知识。

3.03 无损检测所用仪器设备应符合相关标准和本规程的规定，状态良好，并应按规定进行检定或校准。

3.04 焊缝外观检测合格后方可进行其他的无损检测。

中国公路学会标准征求意见稿

4 U 肋内侧焊缝表面质量检测

4.1 一般规定

4.1.1 对传统方法无法有效实施检测的 U 肋内侧焊缝的外观和表面缺陷，采用摄像和图像检测方法，应分别按本规程第 4.1.2 和 4.1.3 条的有关规定执行。

4.1.2 U 肋内侧焊缝的外观缺陷，直接采用图像识别的方法测量缺陷尺寸，获得检测结果。

4.1.3 U 肋内侧焊缝表面缺陷（含近表面缺陷），先对焊缝进行磁化并喷洒磁悬液，再进行摄像并测量图像上显示的磁痕尺寸，获得检测结果。

4.2 检测设备及参数要求

4.2.1 外观和表面缺陷检测设备由图像采集设备、图像标尺模块、光照设备、运载设备、距离编码器、控制器等部分组成，表面缺陷检测设备还包括磁化设备、磁悬液喷施设备等。

4.2.2 检测设备应符合以下要求：

1 图像采集设备一般采用高清摄像机，与运载设备固定。摄录图像信息可无线发送至控制终端和存贮于设备自带 SD 卡中。

2 图像标尺模块产生的图像标尺，通过计量校准，精度应不低于 0.2mm。将图像标尺线路模块接入摄像控制线路，在摄像图像界面产生定量标尺，并可随图像同步缩放。

3 外观检测时的光照设备的光照度应不小于 350lx，且灯具照度可根据图像清晰度进行调整；采用荧光磁粉检测时，使用的黑光灯在工件表面的辐照强度应大于或等于 $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，其波长应为 315nm-400nm，峰值波长约为 365 nm。黑光源应符合 GB/T 5097 的规定。

4 运载设备应能在 U 肋内部自由平稳通过，并与 U 肋内壁有稳定的接触以防止走偏或跳动。可手动驱动或自动驱动。

5 距离编码器的测距精度应小于等于 1%。编码器读数同步显示在图像上。

6 磁化设备宜采用交叉电磁轭，当使用磁轭最大间距时，交叉磁轭至少应有 118N 的提升力。设备其他性能应满足 GB/T 15822.3 的要求。

7 磁悬液喷施设备应能均匀连续喷洒磁悬液。如自带磁悬液储存箱，应有防止磁悬液沉淀的搅拌装置。

8 控制器应能控制自动驱动运载设备的启动和停止。

9 灵敏度试片宜选用 A1: 30/100 型标准试片。

条文说明

2 《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级》（GB/T26952-2011）中，各验收等级尺度要求为小于等于 1.5、2、3、4、6（mm），最小显示值为 0.5mm；《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》（JTG/T3651-2022）中，焊缝外观质量标准对气孔、咬边、焊角尺寸、焊波、余高等的质量要求中的最小量值为 0.3mm。本规程对图像标尺的精度要求不低于 0.2mm，满足焊缝表面质量检测精度要求。

3 外观检测时的光照设备的光照度应不小于 350lx，参考了《焊缝无损检测 熔焊接头目视检测》（GB/T32259-2015）对目视检测条件的规定；黑光灯的辐照强度、波长等参照了《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》（47013.4-2015）的规定。

5 测距精度 1%参考了《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》（GB/T32563-2016）的规定。

6 交叉磁轭的提升力 118N 参考了《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》（47013.4-2015）的规定。

9 灵敏度试片的选用参考了《焊缝无损检测 磁粉检测》（GB/T26951-2011）附录 C 中关于试片选用原则。

4.3 检测设备的计量校准

4.3.1 图像标尺的校准，应采用校准过的直尺放置在摄像头下，通过控制器视频观察图像中标尺读数，调节摄像头与直尺距离，使标尺刻度与钢尺刻度成一定比例（一般是标尺刻度 10 对应直尺刻度 2mm），完成图像标尺的校准。记录摄像头与直尺的距离 L 和标尺比例（2：10）。

4.3.2 距离编码器的校准，应使距离编码器移动一定的距离（不小于 500mm）时，对距离编码器所显示的位移与实际位移进行比较，其误差应小于 1%，最大不超过 10mm。

条文说明

参考了《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》（GB/T32563-2016）的规定：移

动距离不小于 500mm 时，相对误差应小于 1%，绝对误差最大不超过 10mm。

4.4 检测条件

4.4.1 U 肋内部及焊缝表面应进行清理，清除焊剂、焊渣、杂物等。

4.4.2 应待焊缝金属冷却后进行外观检查。

4.4.3 采用摄像仪检测内焊缝外观，摄像头轴线与焊缝所在平面的夹角应不小于 30°，根据需要可调节光源提高缺欠和背景之间的对比度和锐度。

4.4.4 磁粉检测应安排在 U 肋焊接接头焊后 24 小时且经外观检查合格后进行。

4.4.5 其他检测条件应按现行《焊缝无损检测 熔焊接头目视检测》（GB/T 32259）的规定。

4.5 外观检测

4.5.1 外观质量检测范围应为内焊缝全长及焊缝每侧 10mm 热影响区。

4.5.2 应按如下步骤进行外观检测：

- (1) 将摄像仪、距离编码器和照明灯具等设备与运载设备组装固定。
- (2) 校准图像标尺（2：10）、测出摄像头距离直尺的距离 L；校准编码器精度。
- (3) 在 U 肋一端的内部调试摄像头角度、照明亮度，使控制器接收的图像清晰、无反光。
- (4) 调节摄像头与焊缝表面的距离：尽可能使摄像头与焊缝垂直，调节摄像头与焊缝表面距离为 L。
- (5) 设置距离编码器：将组装完的检测系统放置在 U 肋端部开始的位置，测量摄像头与 U 肋端部的距离，将该距离设置成编码器初始值。
- (6) 启动检测。

4.5.3 内焊缝外形和尺寸、表观质量的检测内容应按照设计要求或现行《焊缝无损检测 熔焊接头目视检测》（GB/T 32259）的规定。

4.5.4 应通过录像对外观缺陷进行观察：缺陷位置采用图像上读取的距离编码器读数；缺陷尺寸采用图像标尺读取。

4.5.5 U肋内焊缝外观缺陷可采用录像或其截图记录，并配有必要的文字说明。

4.6 磁粉检测

4.6.1 宜采用如图 4.5.2 的 T 型接头磁轭磁化技术。本规程内焊缝检测采用交叉磁轭磁化方式，一次完成互呈 90°方向的磁化。焊缝及热影响区应处于有效磁化区域内，极间距 d_1 应大于或等于焊缝及热影响区再加上 50mm 的宽度。根据 U 肋内部空间情况，极间距宜为 75mm。

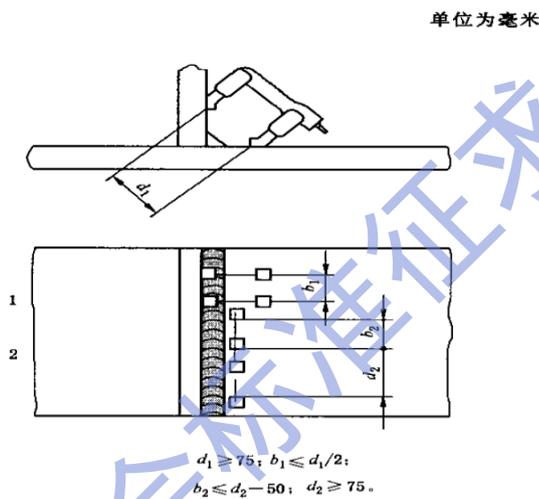


图 4.5.2 T 形接头磁轭磁化技术图示

条文说明

磁轭极间距参考了《焊缝无损检测 磁粉检测》（GB/T26951-2011）的相关规定，并根据 U 肋内部空间情况，推荐极间距 75mm。

4.6.2 检测方法宜采用交流磁轭连续湿法。焊缝表面平顺时，内焊缝磁粉检测宜采用常规磁悬液方法；如内焊缝表面较粗糙，可采用荧光磁粉法。

4.6.3 应在现场选用 A1:30/100 型标准试片按照现行《焊缝无损检测 磁粉检测》（GB/T 26951）的方法对系统灵敏度进行综合性能测试。当检测移动速度、磁极间隙等工艺参数的有变化时，应重新进行检测灵敏度测试。

4.6.4 摄像头和照度的调节，宜将检测系统摄像头推进到 U 肋内部约 500mm 处，打开摄像头和照明灯，通过控制器视频观察图像中灵敏度试片，调节照明灯照度，直到能清晰显示图像和试片细节，固定以上调节设置。

4.6.5 应按如下步骤进行磁粉检测：

- (1) 将摄像仪、距离编码器、照明灯具、电磁轭、磁悬液喷施等设备与运载设备组装固定，并接通电缆电源。
- (2) 校准图像标尺（2：10）、测出摄像头距离直尺的距离 L；校准编码器精度。
- (3) 在 U 肋一端的内部调试摄像头角度、照明亮度，使控制器接收的图像清晰、无反光。
- (4) 调节摄像头与焊缝表面的距离：尽可能使摄像头与焊缝垂直，调节摄像头与焊缝表面距离为 L。
- (5) 设置距离编码器；将组装完的检测系统放置在 U 肋端部开始的位置，测量摄像头与 U 肋端部的距离，将该距离设置成编码器初始值。
- (6) 加入足量的磁悬液。
- (7) 启动检测。

4.6.6 交叉磁轭四个磁极端面与检测面之间应保持良好贴合，其最大间隙不应超过 0.5mm。连续行走检测时，检测速度应尽量均匀，一般不应大于 4m/min。

4.6.7 检测实施过程中，通过视频观察磁悬液流动情况，发生流动过快时应调低磁悬液喷施流量。

4.6.8 磁痕显示的观察、分类和记录应符合下列规定：

1 磁痕显示的观察应按如下要求进行：

(1) 应采用图像上距离编码器读数读取 U 肋内焊缝缺陷磁痕位置，缺陷磁痕尺寸应采用图像标尺读取。

(2) 检测过程中发现有缺陷磁痕显示时，可停止检测过程以对磁痕缺陷进行观察和确定，也可完成全部检测后通过录像进行观察和分类。

(3) 为辨认细小的磁痕显示，观察时应放大图像、显示细小磁痕的细节。

2 应按照现行《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级》（GB/T 26952）的规定对缺陷磁痕进行分类：

(1) 磁痕显示分为线状显示、非线状显示。

(2) 线状显示：长度大于三倍宽度的显示。

(3) 非线状显示：长度等于或小于三倍宽度的显示。

3 U 肋内焊缝缺陷磁痕可采用录像或其截图记录，并配有必要的文字说明。

4.7 验收

4.7.1 外观质量的验收应按合同约定或现行《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650-2020 相关规定执行。

4.7.2 磁粉检测缺陷评定和验收应按合同约定或现行《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级》（GB/T 26952）的规定执行。

中国公路学会标准征求意见稿

5 相控阵超声 U 肋焊缝熔深和质量检测

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于 U 肋与面板 T 型接头单面非熔透焊、双面非熔透焊焊缝熔深和内部非熔深缺陷的相控阵超声检测。双面全熔透焊焊缝未焊透和内部缺陷的相控阵超声检测可参考执行。

5.1.2 U 肋焊缝及热影响区的非熔深缺陷检测可参照现行《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》（GB/T 32563）的相关规定进行，并应遵守本规程的相应规定；熔深检测应按本规程的规定进行。

5.2 检测设备和器材要求

5.2.1 相控阵超声仪、软件及仪器校准要求应符合现行《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》（GB/T 32563）标准的规定。

5.2.2 相控阵探头应符合下列规定：

1 线阵探头中心频率范围可采用 4MHz~10MHz，阵元数不少于 8 个。宜采用 7.5MHz、16 阵元线阵探头。

2 使用折射楔块辅助声束调向，楔块自然入射角的选定范围宜为 0°~60°。

3 超声波相控阵探头的有效晶片评估应在首次使用前进行。灵敏度校准过程增益异常或检测过程中扇形扫描异常时，应进行有效晶片评估。当晶片失效数量达到所使用晶片数量的 10% 或相邻两个晶片同时失效时，应更换探头。相控阵探头有效晶片评估方法可参照 GB/T29302-2012 附录 C。

4 相控阵探头的其他性能要求应符合现行《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》（GB/T 32563）的规定。

条文说明

1 根据正交异性钢桥面板厚度 16mm~20mm、U 肋板厚 8mm 左右的情况，参考《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》（GB/T32563-2016）中推荐的探头参数，选择频率范围 4MHz~10MHz；根据试验研究结果：与 5MHz 和 10MHz 探头相比，7.5MHz 探头更能准确地定位熔深位置，分辨率和信噪比均较高；探头阵元数量多，能量高、探测深度大，但探头前沿也大，不利于熔深测量，16 阵元是根据试验结果权衡后较好的选择。

3 《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》(GB/T32563-2016) 中探头允许损坏的晶片不超过总使用晶片数的 12.5%，考虑到 U 肋焊缝熔深检测是精度要求较高的定量测量，晶片损坏数应尽量减少，结合实际情况，本规程规定了 10% 的比例。

5.2.3 耦合剂宜选用水或化学浆糊，实际检测采用的耦合剂应与检测系统设置和校准时的耦合剂相同。

5.2.4 试块应符合以下要求：

1 相控阵标准试块用于声速、楔块延时、分辨率的校准，宜选用 CSK-IA 标准试块、A 型相控阵试块和 B 型相控阵试块。

2 相控阵对比试块用于检测灵敏度的校准和工艺验证。相控阵灵敏度校准可采用 JCU-1 对比试块（见图 5.2.4-1），熔深检测灵敏度校准和工艺验证试验可分别采用未焊透区域（ δ ）与设计基本一致的 U 肋实物（T1、T2、 α ）对比试块 JCU-2（见图 5.2.4-2）、JCU-3（见图 5.2.4-3）。实物对比试块宜采用与被检工件同种材质。

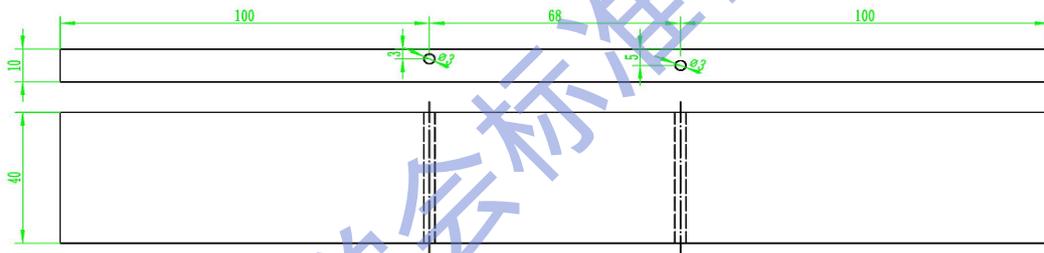


图 5.2.4-1 JCU-1 对比试块

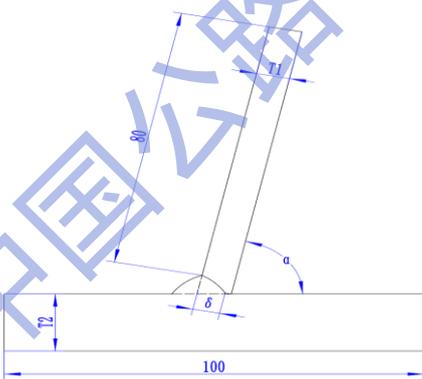


图 5.2.4-2 JCU-2 实物对比试块（单面焊）

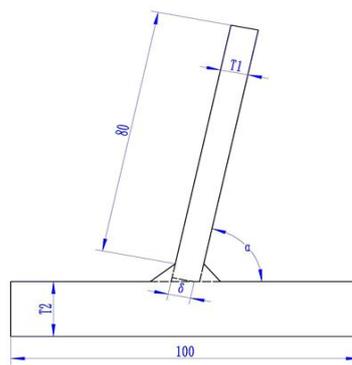


图 5.2.4-3 JCU-3 实物对比试块（双面焊）

5.2.5 扫查装置应符合下列要求：

- 1 扫查装置一般应包括探头夹持部分、驱动部分、导向部分及位置传感器。
- 2 探头夹持部分应能调整和设置探头位置，在扫查时保持探头相对距离和相对角度不变。
- 3 导向部分应能在扫查时使探头运动轨迹与基准线（与焊缝中心线距离 S ）保持一致。
- 4 驱动部分可采用马达或人工驱动，也可采用自动化驱动。
- 5 扫查装置中的位置传感器（如编码器），其测距精度应小于等于 1%。

5.3 检测系统的设置和校准

5.3.1 扇扫描的校准应按现行《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》（GB/T 32563）的规定进行相控阵检测系统的扇扫描校准。焊缝检测时，DAC 曲线和 TCG 修正可采用 JCU-1 对比试块。

5.3.2 基准灵敏度设置应符合下列规定：

- 1 可选用 TCG 和 DAC 两种方式校准基准灵敏度，使用 JCU-1 试块进行灵敏度校准。TCG 或 DAC 曲线的灵敏度应以直径 3mm 横孔作为基准反射体，制作距离波幅曲线，评定线应为 $\phi 3 \times 40-14\text{dB}$ 。
- 2 初始扫查时宜采用 TCG 校准灵敏度。

条文说明

本规程的检测对象为公路钢桥面板，灵敏度设置参考了《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》（JTG/T3651-2022）附录 E 的规定，以直径 3mm 横孔作为基准反射体，制作距离波幅曲线。U 肋板厚一般在 8mm~12mm，验收等级 2 级的评定线应为 $\phi 3 \times 40-14\text{dB}$ 。

5.3.3 扫查灵敏度设置应符合下列规定：

- 1 TCG 灵敏度：应将 $\phi 3 \times 40$ 横孔回波幅度设置为满屏高度的 80%-90%，作为扫查灵敏度。
- 2 DAC 灵敏度：应将 DAC 曲线的最大声程处 $\phi 3 \times 40$ 横孔回波幅度设置为满屏高度的 40%-50%，作为扫查灵敏度。
- 3 灵敏度验证：可采用参数（肋板与顶板夹角、熔深值等）与设计一致的 U 肋实物对比试块 JCU-2 或 JCU-3，依据试块上人工反射体位置和尺寸验证相控阵超声检测仪的检测精度和灵敏度。

条文说明

扫查灵敏度设置参考了《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》(GB/T32563-2016)中的规定,同时考虑了《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》(JTG/T3651-2022)公路钢桥验收标准要求,将 $\Phi 2$ 横孔调整为 $\Phi 3$ 横孔。

5.3.4 耦合监控灵敏度的设置,可在被检件或与被检件特征相同的 JCU-2 或 JCU-3 试块上调试,将最大波调整到满屏高度的 80% (误差为 $\pm 5\%$),在此基础上提高 6dB,即为耦合监控的灵敏度。

条文说明

通过不同设备的使用说明,结合试验研究得出的较可靠的耦合监控灵敏度设置方法。

5.3.5 扫查步进值设置应不大于 1.0mm;斜声束扇扫描角度范围宜设置范围宜为 $35^\circ \sim 75^\circ$,超出该角度范围时,应通过对比试块验证其灵敏度。角度步进设置值宜取 0.5° 。

条文说明

《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》(GB/T32563-2016)推荐的扫查步进值,对应 U 肋板厚 8mm,合适的扫查虽大步进值为 1.0mm;GB/T32563-2016 规定的横波扇扫描角度范围为 $35^\circ \sim 75^\circ$,与相控阵仪器厂家推荐的角度一致,超过此范围,因波形转换等因素影响了检测结果的准确性,此时宜通过对比试块验证。

5.3.6 检测技术等级可采用 GB/T 32563-2016 中 A 级,应保证相控阵声束对检测区域实现全覆盖。

条文说明

《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》(GB/T32563-2016)中规定的检测技术等级有 A、B、C 三级,U 肋焊缝结构特点,熔深检测时的检测面受限,只能保证声束一次覆盖,即 A 级检测。

5.3.7 U 肋焊缝初始扫查的聚焦设置应在近场区,由于声程范围不大(小于 50mm),聚焦深度可设置在最大声程处(一般为两倍肋板板厚)。当对熔深进行精确定量时,可将焦点设置在一倍肋板板厚处。

5.3.8 检测前应对位置传感器进行校准,使扫查装置移动一定的距离(不小于 500mm)时对检查设备所显示的位移与实际位移进行比较,其误差应小于 1%,最大不超过 10mm。

5.3.9 检测系统的复核应按现行《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》(GB/T 32563) 的规定执行。

5.4 检测实施

5.4.1 超声相控阵检测方式应采用扇扫描在 U 肋腹板外侧用直射法和一次反射法进行检测。两种检测方法探头位置应位于 U 肋板外侧面, 见下图 5.4.1。

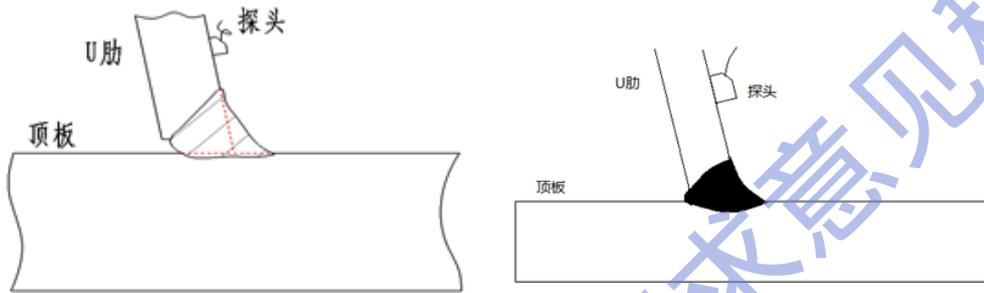


图 5.4.1 U 肋单、双面焊探头位置示意图

5.4.2 扫查面准备应符合下列规定:

- 1 焊缝的表面质量应经外观检查合格。
- 2 应清除 U 肋板外侧检测面的焊接飞溅、氧化皮、锈蚀等。
- 3 探伤表面应平整光滑, 为消除过度粗糙, 可用圆盘钢丝刷或布轮打磨。
- 4 检测表面粗糙度 R_a 值不应超过 $12.5\mu\text{m}$ 。

5.4.3 检测范围应为约定检测长度范围内的焊缝及焊缝每侧 10mm 热影响区。非焊缝全长检测时, 被抽检焊缝中有超过 200mm 连续检测不合格时, 应扩大一倍长度检测, 仍有不合格则检测范围应延伸至该焊缝的全长。可在通过初扫确定熔深低于标准值的区域内每隔 50mm 设置 1 个测点, 用于定点精确测量熔深值。

5.4.4 采用手动锯齿形扫查时, 探头移动的速度不应超过 150mm/s; 自动检测的最大检测速度应按现行《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》(GB/T 32563) 的规定计算确定。

5.4.5 手动扫查时宜采用扇形扫描和平行扫查或锯齿扫查方式进行检测; 机械与电子结合扫查时, 在校准试块上测定的探头前端至焊趾的距离为基准, 应在工件上画出扫查线, 采用编码扫查器平行沿线扫查+扇形扫描方式进行检测。

5.4.6 扇扫描应能保证相邻声束重叠至少为 50%; 平行线扫查时, 若在焊

缝长度方向进行分段扫查，则各段扫查区的重叠范围应至少为 20mm；锯齿形扫查时，相邻 2 次探头移动间隔不应超过阵元高度（ w ）的 50%。

5.4.7 被检工件的表面温度应控制在 $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，检测系统设置和校准时的温度与实际检测温度之差应控制在 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 之内。

5.4.8 在同一条 U 肋上随机选取 10 点测量 U 肋板厚，应以测量值的平均值为 U 肋实际板厚。将该实际测量值输入相控阵超声检测仪工件厚度栏中。

5.4.9 扫查应符合下列要求：

1 依照工艺设计将检测系统的硬件及软件置于检测状态，将探头摆放到要求的位置，沿设计的路径进行扫查。

2 扫查过程中应采取一定的措施(如提前画出探头轨迹或参考线、使用导向轨道或使用磁条导向)使探头沿预定轨迹移动，过程中探头位置与预定轨迹的偏离量不应超过设计值的 15%。

4 扫查过程中应保持稳定的耦合，有耦合监控功能的仪器可开启此功能，若怀疑耦合不好，应重新扫查该段区域。

5.5 熔深的测量与记录

5.5.1 探头应先在 U 肋上平行于焊缝的检测长度内做直线扫查，区分并标记熔深低于标准值的区域。可在扇扫界面设置熔深为标准值的水平线，扫查中反射图像整体位于该线上方的区域为熔深可能低于标准值的区域。

5.5.2 对熔深低于标准值的区域，应采用端点衍射法或-6dB 半波高度法精确测量并记录熔深数据：

1 端点衍射法：调取初扫存储图像，或者采用定点测量方式（在测点附近，找到焊缝未熔合区的清晰反射信号）。调整角度光标找到焊缝未熔合区反射最高波，将该波高调整到满屏高度的 80%，提高灵敏度 12dB~25dB，找到熔深端点的衍射信号，调整角度光标找到熔深点衍射最高波，读取熔深点的深度值，记录该值为该点熔深值。

2 -6dB 半波高度法：调取初扫存储图像，或者采用定点测量方式（在测点附近找到焊缝未熔合区的清晰反射信号）。调整角度光标找到焊缝未熔合区反射最高波，将该波高调整到满屏高度的 80%，向焊缝两侧调整角度光标使波高降低一

半（满屏高度的 40%），读取深度值并记录。

条文说明

参考了《承压设备无损检测 第 15 部分：相控阵超声检测》NB/T47013.15-2021 附录 K “横波端点衍射法测量缺陷自身高度”的方法，结合试验研究结果，提出了本规程测量 U 肋焊缝熔深的端点衍射法。进行端点衍射法测量的人员应接受相关培训。

5.6 非熔深缺陷的评定

5.6.1 缺陷定量应以评定线为基准，对回波波幅达到或超过评定线的缺陷，应确定其位置、波幅和指示长度等，可采用各种聚焦方法提高定量精度。

5.6.2 应以获得缺陷的最大反射波幅的位置为缺陷位置。

5.6.3 当缺陷只有一个高点时，应采用 6dB 法测定缺陷指示长度；当缺陷有多个高点时，应采用端点 6dB 法测定缺陷指示长度。

5.7 验收

应按合同约定或附录 B 的要求验收。按附录 B 验收时，非熔深缺陷位于 II 区的应按 II 级验收或合同约定。

附录 A 检测报告要求

U 肋焊缝无损检测报告中至少包含以下内容：

- (1) 委托单位。
 - (2) 检测方法和标准及验收要求。
 - (3) 被检工件情况：名称、编号、规格、材质、坡口形式、表面状态、焊接方法和热处理状况等。
 - (4) 检测设备及器材：
 - a、外观检测：仪器型号及编号。
 - b、磁粉检测：仪器型号及编号、磁悬液。
 - c、相控阵超声检测：仪器型号及编号、扫查装置包括编码器、试块、耦合剂。
 - (5) 检测条件和参数：
 - a、外观检测：检测工艺卡编号。
 - b、磁粉检测：检测工艺卡编号、磁化类型、电流类型、检测介质、观察条件。
 - c、相控阵超声检测：检测工艺卡编号、检测等级、探头参数及楔块选择、灵敏度、扫查方式(S 或 E)、聚焦法则的设定、检测使用的波型、检测系统的设置、系统性能试验报告、角度增益修正文件、温度。
 - (6) 检测数据：
 - a、外观检测：缺陷的描述和部位。
 - b、磁粉检测：所有记录显示的描述和部位。
 - c、相控阵超声检测：数据文件名称、缺陷位置与尺寸、质量级别及缺陷部位的图像(S 扫描或 B 扫描等，以能够真实反映缺陷情况为原则)。
- 被检焊缝参数（材质、厚度、坡口型式及焊接工艺等），工件示图；
- (7) 检测示意图：
 - a、外观检测：所发现的缺陷位置和分布。
 - b、磁粉检测：所发现的缺陷位置和分布

c、相控阵超声检测：探头扫查表面、检测区域以及所发现的缺陷位置和分布。

(8) 检测日期。

(9) 检测结论(按规定的验收条件给出的评价结果)。

(10) 检测人员和责任人签字。

中国公路学会标准征求意见稿

附录 B 正交异性钢桥面板 U 肋焊缝相控阵超声检测推荐验收标准

B.1 U 肋非熔透焊缝熔深尺寸验收标准

钢箱梁 U 肋外侧焊缝熔深尺寸要求不小于 U 肋板厚的 80%（标准值）。

- 1 熔深尺寸大于 U 肋板厚的 80%为合格。
- 2 熔深尺寸小于 U 肋板厚的 80%，但长度小于 20mm，且单点熔深尺寸不小于 U 肋板厚的 75%为合格。
- 3 熔深尺寸小于 80%的累计长度不得超过检测长度的 5%。

条文说明

U 肋非熔透焊缝熔深尺寸验收标准参考了港珠澳大桥、黄茅海跨海通道、常泰长江大桥等项目的设计要求。

B.2 非熔深缺陷波幅记录验收标准

A 扫描中缺陷的最高回波波幅与 DAC 曲线作比较，确定波幅所在的区域。

- 1 不超过 I 区缺陷评为合格。
- 2 位于 II 区缺陷评级见表 B-1。

表 B-1 缺陷等级评定

单位 mm

等级	发射波幅所在区域	单个缺陷长度 L	多个缺陷累计长度 L'
I	II	≤5	在任意 180mm 焊缝长度范围内 L'不超过 20mm
II	II	≤10	在任意 90mm 焊缝长度范围内 L'不超过 20mm
III	II	超过II级者	

注：当焊缝长度不足 180mm（I级）或 90mm（II级）时，可按比例折算。当折算后的缺陷累计长度小于单个缺陷长度时，以单个缺陷长度为准。

- 3 位于III区缺陷评为不合格。
- 4 判定为裂纹等危害性缺陷时，无论其波幅和尺寸如何均评为不合格。

B.3 U 肋双面全熔透焊缝缺欠验收标准

- 1 全熔透焊缝每块板单元 U 肋全熔透焊缝无损检验一次合格率应≥96%；
- 2 焊缝每 1m 范围内不连续缺欠总长不超过 300mm。1m 范围内如发现不连续缺欠总长超过 300mm，应扩大一倍长度检测，如仍有超标缺欠则焊缝全长检

测。

3 对 U 肋焊缝内的深埋缺欠，单个缺欠指示长度不大于 100mm、每延米焊缝缺欠总指示长度不大于 300mm，且焊缝外侧熔深不应小于 U 肋板厚的 75%，可不返修，否则应返修。

条文说明

U 肋双面全熔透焊缝缺欠验收标准参考了《深中通道钢箱梁 U 肋熔透焊缝检测及验收标准》的规定。

中国公路学会标准征求意见稿

用词说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

2) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

3) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合《×××××》(×××)的有关规定”。

2) 当引用标准中的其他规定时，应表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行。”