

长输管道的全自动超声检测耦合监控设置方式

李 健¹, 乔江伟², 闫慧彬³, 李 真¹

(1. 河北中跃检验检测有限公司, 廊坊 065000; 2. 北京思派特检测技术咨询有限公司, 北京 100176;
3. 国家石油天然气管网集团有限公司建设项目管理分公司, 廊坊 065000)

摘要: 通过设置人工耦合不良区域, 对比长输管道全自动超声检测时的两种常用耦合通道设置方法, 分析了耦合监控设置对实际检测结果有效性的影响。结果可为长输管道全自动超声检测耦合监控方案的选择以及参数设置提供参考。

关键词: 全自动超声波检测; 耦合监控; 脉冲回波; 一发一收

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2023)05-0069-05

Setting mode of full automatic ultrasonic testing coupling monitoring for long-distance transmission pipeline

LI Jian¹, QIAO Jiangwei², YAN Huibin³, LI Zhen¹

(1. Hebei Zhongyue Inspection and Testing Co., Ltd., Langfang 065000, China;
2. Beijing Smart Detection Consulting Co., Ltd., Beijing 100176, China;
3. National Pipeline Construction Project Management Branch, Langfang 065000, China)

Abstract: The effects of coupling monitoring settings on the effectiveness of the actual test results were analyzed by setting the artificial poorly coupling areas and comparing the two common coupling channel methods in full automatic ultrasonic testing of long-distance pipeline. The research results can provide reference for the choice of coupling monitoring scheme and parameter setting of full automatic ultrasonic testing in long distance pipelines.

Key words: full automatic ultrasonic testing; coupling monitoring; pulse echo; pitch-catch

全自动超声检测(AUT)技术经过长期的应用及发展, 已经被证明是长输管道工程全自动焊接的可靠检测手段^[1]。相较半自动扫查装置, AUT 使用的自动扫查装置携带的部件更多, 结构更加复杂, 更容易造成检测过程中数据采集的不稳定; 此外, AUT 检测探头移动区域中的长输管道加工产生的直焊缝或螺旋焊缝需要打磨, 而 AUT 探头楔块(长度约为 80 mm)通过打磨的制管焊缝区域时容易产生耦合不良。

GB/T 50818—2013《石油天然气管道工程全自动超声波检测技术规范》和 DEC-OGP-G-NT-003-2020-1《油气管道工程环焊缝全自动超声检测技

术规定》两项国内 AUT 技术标准均要求添加耦合通道, 并规定了耦合通道调试及结果评估的基本要求, 但缺少对耦合通道设置及参数的具体要求。目前, 国内常用的耦合通道设置方法为自发自收(脉冲回波)和一发一收, 设置参数都较为固定, 通常将探头晶片沿长度方向分为 3 组, 每组使用 20 个晶片产生一束超声波。自发自收意味着两侧探头各有 3 组耦合监控通道, 一发一收则共有 3 组耦合监控通道。两种典型的 AUT 耦合监控通道设置如图 1 所示。

针对性地研究了 AUT 耦合监控常用的两种设置方法, 通过软件模拟典型自动焊 CRC 型坡口的 AUT 聚焦法则及两种耦合监控设置的覆盖情况, 分析了两种设置方法存在的差异; 通过在 AUT 对比试块上人为设置耦合不良区域进行检测对比试验, 分析两种耦合监控方法存在的差异, 为焊接接头全自动超声检测时耦合监控方案的选择以及参数设置提供参考。

收稿日期: 2022-10-18

作者简介: 李 健(1981—), 男, 工程师, 主要从事无损检测管理, 检测研发及设计工作

通信作者: 乔江伟, qiaojiangwei@163.com

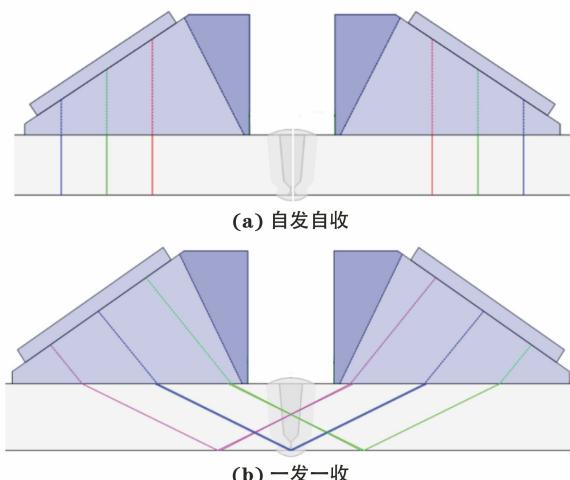


图 1 两种典型的 AUT 耦合监控通道设置

1 AUT 技术简介

20世纪七八十年代,伴随着自动焊接技术在国外长输管线上的推广应用^[2-3],原有的常规无损检测技术面临挑战。在此之前,射线检测(RT)技术一直是主要的检测方法,但自动焊接技术的使用,使得焊缝中常见的缺陷由体积型转为面积型。不同缺陷的RT成像结果及常规UT(超声检测)技术存在的问题如图2所示,可见,中心透照的RT对焊缝坡口处形成的面积型缺陷不敏感。自动焊接形成的缺陷具有连续性,焊接机组需要检测机组给予及时的结果反馈,而实际检测工作中RT难以解决这些问题。另一方面,自动焊接的坡口以CRC型或U型为主,其形状复杂,填充区角度非常小,通常为3°~8°^[4],从而导致填充坡口处缺陷形成的反射波束无法按照原路径返回到探头区域,造成常规超声检测使用的脉冲回波方法失效,检测可靠性降低。

基于上述问题,AUT技术得到了开发并逐步推广使用。AUT技术采用分区扫查法,焊缝AUT分区如图3所示,将焊缝沿壁厚方向分成若干个分区(每分区厚2~3 mm)、焊缝左右分成上下游,每个分区可以根据坡口角度设置独立的超声检测工艺参数,包括发射接收方式、起始晶片、激活孔径、角度、聚焦深度等,从而得到缺陷准确的反射波幅,这对基于波幅测定缺陷长度及验收的超声检测尤为重要。

2 检测对比试验

为了更好地对比自发自收和一发一收两种耦合监控方法的效果,选用管径为1219 mm,壁厚为

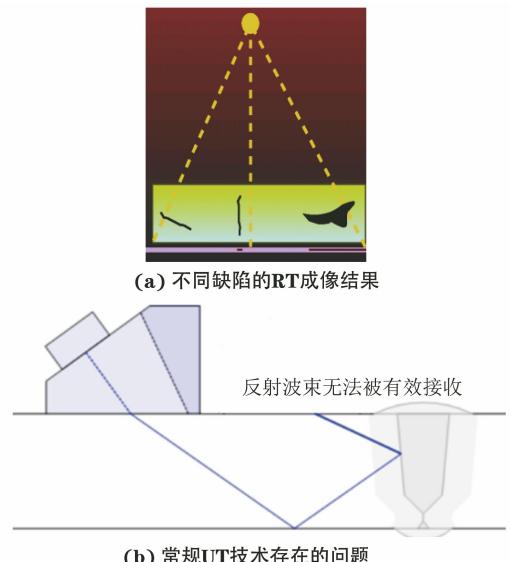


图 2 不同缺陷的 RT 成像结果及常规 UT 技术存在的问题

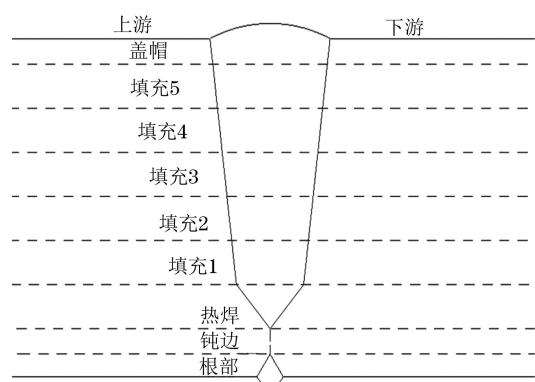


图 3 焊缝 AUT 分区示意

22 mm 的 CRC 型 AUT 对比试块进行检测试验,对比试块的坡口参数及平面图如图 4 所示(平面图中的字母均为缺陷代号)。因 AUT 对比试块上每个分区都有独立的反射体,在试块表面人为制造耦合不良区域时,不但能观察到两种耦合通道的监控变化,还能对比不良区域对反射体校准波幅的影响,验证耦合通道监控结果与检测灵敏度变化的对应关系。

2.1 AUT 聚焦法则及耦合通道设置

在检测软件中输入图 4 所示的参数,选取对应的探头、楔块,按照探头在试块上的实际位置设置楔块前沿距离后,软件自动生成每个通道对应的检测聚焦法则。按照表 1 所示的耦合通道聚焦法则参数,分别设置 3 组自发自收耦合通道和 3 组一发一收耦合通道。由于原理相同,同时避免耦合通道设置过多而引起图像不易区分对比的问题,所以自发自收只设置了上游探头。

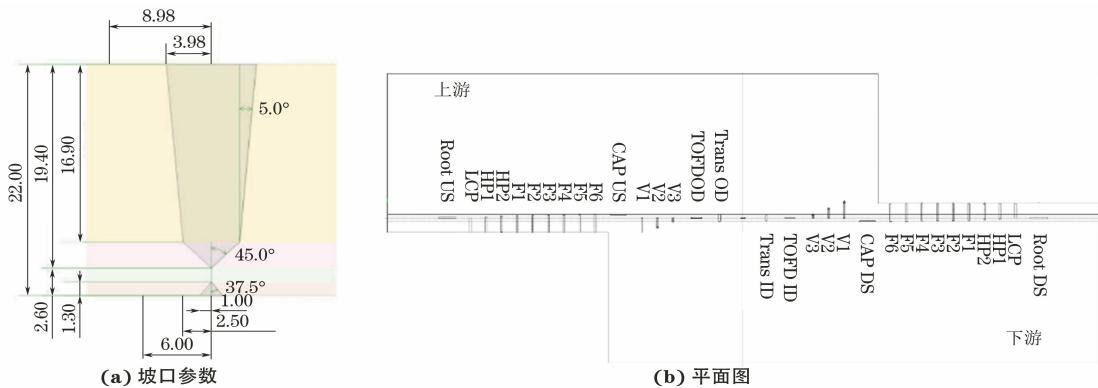


图 4 AUT 对比试块的坡口参数及平面图

表 1 AUT 耦合通道聚焦法则设置参数

| 耦合模式 | 通道名称 | 探头功能 | 波束角度/(°) | 起始晶片号 | 激活晶片号 | 探头位置 |
|------|-------|------|----------|-------|-------|------|
| 自发自收 | C1 US | 自发自收 | 0 | 1 | 20 | 上游 |
| | C2 US | 自发自收 | 0 | 21 | 20 | 上游 |
| | C3 US | 自发自收 | 0 | 41 | 20 | 上游 |
| 一发一收 | C1 | 发射 | 69 | 1 | 20 | 上游 |
| | | 接收 | 68 | 41 | 20 | 下游 |
| | C2 | 发射 | 62 | 21 | 20 | 上游 |
| | | 接收 | 61 | 21 | 20 | 下游 |
| | C3 | 发射 | 69 | 41 | 20 | 上游 |
| | | 接收 | 68 | 1 | 20 | 下游 |

自发自收模式中,在上游探头设置 3 组 0° 波束,每组起始晶片号分别为 1 号、21 号和 41 号,每组激活晶片数为 20 个,监控工件底面反射回波。一发一收模式中,两侧探头分别设置 3 组角度波束,每组起始晶片号分别为 1 号、21 号和 41 号,每组激活晶片数为 20 个,上游探头发射,下游探头接收。检测波束位置与耦合通道覆盖如图 5 所示,通过模拟软件观察到波束位置在楔块长度方向上较为分散,自发自收耦合通道波束主要覆盖区域为楔块的中间和后部位置,一发一收耦合通道波束覆盖区域较为完整。当耦合不良发生在楔块前部时,自发自收的耦合监控方法可能无法发现该耦合不良。

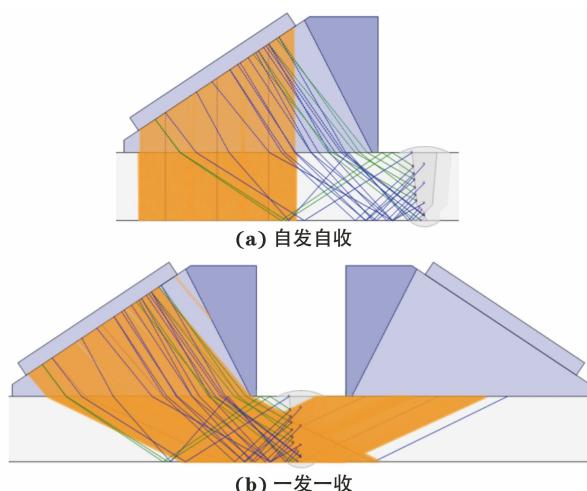


图 5 检测波束位置与耦合通道覆盖示意

2.2 通道调试校准

首先,按照标准要求对上游探头涉及的所有检测通道进行逐个校准,使每个检测通道在对应反射体上的波幅为 80% 满屏高度;然后,对两种耦合监控通道进行调试,将各自耦合监控信号的反射波高调整到 80% 满屏高度,按标准要求增加 10 dB 增益,并将耦合监视通道的闸门电平设置为满屏高度的 40%,低于该阈值时对应的耦合通道由绿色变为红色。所有校准完成后,在对比试块上进行扫查,检测结果如图 6 所示。图 6 中,区域 1 为每个检测通

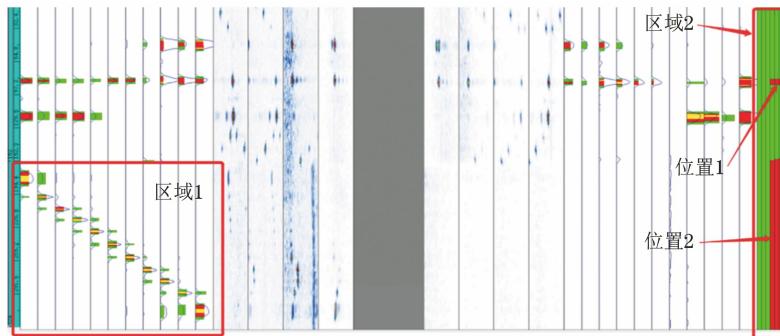


图 6 校准完成后对比试块的 AUT 结果

道在对应反射体上得到的缺陷显示，校准结果满足标准要求；区域 2 的 6 个通道为耦合通道显示，左侧相邻的 3 个通道为自发自收通道，右侧相邻的 3 个通道为一发一收通道。

从耦合通道显示结果可以看出，一发一收的 3 组耦合监控通道显示中有 2 个位置出现了红色显示，但这 2 个显示并非设置不合格或耦合不良产生。位置 1 处为贯穿试块厚度方向的通孔，通孔阻挡了波束的传播，因此接收探头未能收到信号，出现红色显示；位置 2 是由于 AUT 对比试块加工时需要从管材上切割下 Z 字形的试块加工区域，加工完成后再装回到试管上，安装时边缘仅进行点焊，因此在该区域波束无法传播到另一侧的接收探头而出现红色显示。在 AUT 实际校准核查中，检测人员通常会利用这两点验证一发一收耦合通道设置的有效性。

2.3 耦合不良对比试验

为验证两种耦合监控方法的差异，利用模拟软件确认自发自收方法未覆盖的区域宽度（见图 7），在对比试块上以焊缝中心线为参考，在表面对应宽度贴上一层胶带，人为制造耦合不良区域（见图 8）。为避免 Z 字形试块对试验的影响，粘贴胶带的长度覆盖 2.2 节试验的校准长度。

使用 2.2 节中校准好的检测设置，在设置了耦合不良区域的对比试块上再进行一次扫查，结果如图 9

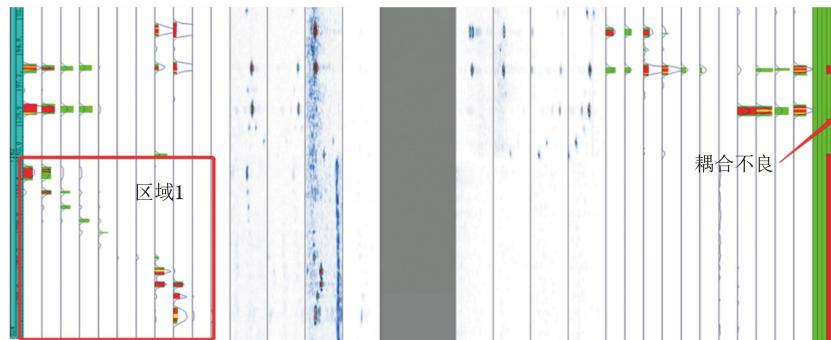


图 9 设置耦合不良区的对比试块 AUT 结果

2.4 校准验证

为了排除意外因素对试验的影响，在完成试验 1,2 后，将粘贴的胶带取下，再使用同一设置对对比试块进行扫查，检测结果与试验 1 一致，带状图各通道反射体波幅均为满屏高度的 70%~99%。3 次 AUT 试验的数据如表 2 所示。

3 试验结果分析

对试验数据进行对比分析，得出如下结论。

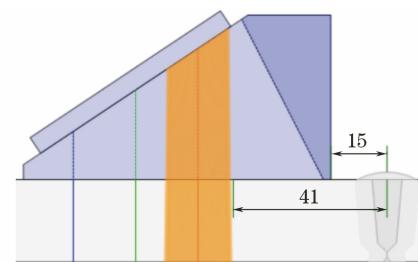


图 7 自发自收未覆盖区域宽度示意



图 8 对比试块上的人工耦合不良区域

所示。对比图 6 和图 9 中的区域 1 不难发现，同一检测设置下，粘贴胶带的区域导致声能无法正常穿透，部分通道无法发现校准反射体，证实了粘贴胶带区域耦合不良；对于一发一收耦合监控的第 3 个通道，从图 9 可以发现其发射接收需要通过耦合不良区域（楔块前端），且结果显示存在耦合不良，表明通道监控有效；3 个自发自收耦合监控通道由于没有覆盖耦合不良区域，未能发现该耦合不良的存在，依然显示绿色。

(1) 试验 3 中各分区和耦合监控主波幅数据与试验 1 的检测数据相当，证明试验 2 未受其他因素干扰，检测结果的差异是人工耦合不良造成的。

(2) 对比试验 2 和试验 1,3 的检测数据，带状图各通道波幅变化较大，证明人工耦合不良区域的设置有效，胶带影响了部分分区通道波束的正常传播，造成了各通道反射体波幅不同程度的降低。

(3) 对比试验 2 与试验 1,3 数据中一发一收耦合监控通道波幅的变化，发现一发一收的第三组耦

表 2 对比试块的 3 次 AUT 试验数据

| 分区类型 | 通道 | 主波幅/% | | |
|----------|----------|-------|------|------|
| | | 试验 1 | 试验 2 | 试验 3 |
| 分区扫查通道 | Cap1 US | 78.4 | 62.4 | 78 |
| | Fill6 US | 88.6 | 47.5 | 87.8 |
| | Fill5 US | 82.4 | 31.8 | 81.6 |
| | Fill4 US | 85.1 | 28.6 | 77.3 |
| | Fill3 US | 76.5 | 22.7 | 70.2 |
| | Fill2 US | 75.3 | 3.1 | 78 |
| | Fill1 US | 81.2 | 11.8 | 84.3 |
| | HP2 US | 78.4 | 86.7 | 79.2 |
| | HP1 US | 77.3 | 56.1 | 78.4 |
| | LCP1 US | 82 | 6.7 | 82 |
| | Root1 US | 74.9 | 10.2 | 78 |
| | Vol3 US | 77.6 | 17.3 | 81.2 |
| 自发自收耦合通道 | Vol2 US | 80.4 | 2.4 | 79.2 |
| | Vol1 US | 80.4 | 76.9 | 78 |
| | Map1 US | 80 | 10.2 | 76.5 |
| 一发一收耦合通道 | C1 US | 77.6 | 84.3 | 75.7 |
| | C2 US | 83.9 | 70.2 | 84.3 |
| | C3 US | 93.7 | 72.1 | 92.2 |

合监控通道覆盖的范围包含人工耦合不良区域,检测结果出现了红色显示,成功发现了耦合不良,通道设置起到了监控耦合的作用。

4 结语

通过模拟软件对比分析了一发一收和自发自收

两种耦合监控方法及其覆盖区域,并在 AUT 对比试块上设置耦合不良区域进行模拟试验,对比了两种耦合监控方法在有无耦合不良时的检测结果,验证了当耦合监控范围无法覆盖耦合不良区域时,耦合会监控失效的结论。

目前,各检测标准中并没有关于耦合监控位置的要求,实际检测中通常仅对耦合灵敏度和耦合补偿进行核查,因此易忽略分区扫查聚焦法则是否超出耦合监控设置覆盖范围的问题。在设置耦合监控时,应首先了解各通道聚焦法则声束的分布范围,从而选用合适的耦合监控方案及设置参数;自发自收的耦合监控方法难以监控楔块前端区域,考虑到自发自收耦合监控通道在实际应用中的其他作用,可组合使用 2 种耦合监控方法,确保耦合监控通道的设置能覆盖各分区波束在楔块表面的出射点,为 AUT 检测数据有效性评价提供准确依据。

参考文献:

- [1] 袁少山. 管道自动焊与全自动超声波检测技术在西气东输管道工程中的应用[J]. 石油工程建设, 2004, 30(5):36-41.
- [2] 胡安鑫, 苏欣, 孙华锋, 等. 国内外长输管道自动焊现状[J]. 天然气与石油, 2006, 24(2):12-18.
- [3] 高永东, 赵海宴, 张宏洲. 管道自动焊技术在西气东输工程中的应用[J]. 油气储运, 2003, 22(12):53-55.
- [4] 刁凤东, 滕毅, 张福强. CRC 管道全自动焊接工艺的研究与应用[J]. 焊接技术, 2007, 36(6):57-58.