

# 聚乙烯管接头相控阵超声检测系统的研制与评价

## DEVELOPMENT AND ASSESSMENT OF A PHASED ARRAY ULTRASONIC INSPECTION SYSTEM FOR POLYETHYLENE PIPE JOINTS

*Mike Troughton, Malcolm Spicer and Fredrik Hagglund, TWI Ltd, Cambridge, UK*

### 摘要

描述了专门用于检查直径高于 1000mm (39 英寸) 的聚乙烯 (PE) 管道中的热熔对接 (BF) 和电熔 (EF) 接头的相控阵超声波系统的发展, 包括检查技术, 程序和设备。还描述了在实验室和现场进行的用于评估原型检查系统的试验。

本文描述了一个名为 TestPEP 的欧洲资助的研究项目, 该项目涉及来自七个国家的 17 个组织, 设计, 制造和验证用于检查管道到管道和管道的坚固耐用的相控阵超声波检测 (PAUT) 系统。聚乙烯管中的热熔对接和电熔接头 (弯头, 减速器和三通)。

### 介绍

欧洲目前在安装过程中确保聚乙烯管中热熔对接和电熔接头质量的做法是, 记录所使用的熔合参数, 同时对熔合接头进行目测检查, 并进行短期静水压试验, 辅以破坏性试验采用对从关节切下的标本进行短期测试的样本。但目测检查只能检查管接头的外表面, 它不能提供是否内部存在缺陷或冷融合关节 (由于分子链渗透不足或在界面处共结晶导致的不完全或部分熔合, 导致在经受短期机械测试时发生脆性破坏模式)。此外, 以前在 TWI [1,2] 的工作表明, 静水压试验只会导致有重大缺陷的热熔对接和电熔接头失效。另外, 即使接头有缺陷, 将缺陷部位包括在准备进行机械测试的切割样品中的可能性仍然很小。并且如果对接头进行机械测试, 然后用未知质量的接头替换它, 仍然不能确保管道的完整性。

体积无损检测可以提供对整个管道的完整分析, 不会破坏管道的接头。因此, 这是唯一可以确保安装聚乙烯管道中接头完整性的方法。所以为了做到这一点, 无损检测技术必须被证明能够检测到所有可能的降低管道关节完整性的缺陷。

近年来, PAUT 已被考虑用于评估热熔对接 [3-7] 和电熔 [8-10] 接头的完整性。但是这些仅限于狭窄范围的管道尺寸和/或不包括缺陷接受标准。

### 检验技术

热熔对接和电熔合接头需要不同的检测技术。在热熔对接接头中, 接头界面垂直于管道表面, 并且需要使用成角度的超声波束来检测可能存在于界面处的任何缺陷。为了获得关节区域的全壁厚覆盖, 使用了四种不同的技术 (图 1): 串联, 蠕变波, 扇形脉冲回波和 TOFD。

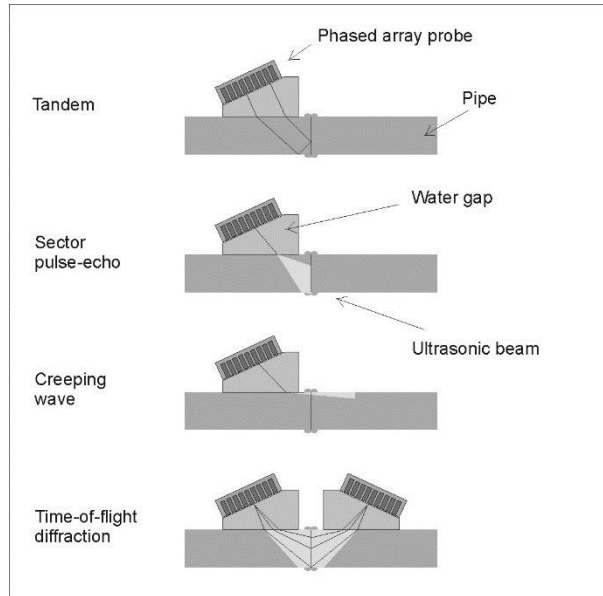


图 1.用于热熔对接接头的检测技术

自串联技术使用相控阵元件的一半进行传输，另一半进行接收。该技术适用于检测平面瑕疵，但覆盖范围仅限于靠近内表面的区域。

扇形脉冲回波技术使用阵列中的所有元素来创建一个光圈，将光束扫过一定范围的角度。该技术概述了除了接近外表面的几毫米外焊缝并且覆盖了大部分熔接区域，。

蠕变波技术只覆盖接近焊缝外表面的区域，这是前两种技术未涉及的焊缝的一部分。蠕变波技术的配置使用高角度扇形扫描，产生在检测表面下方立即传播的压缩波，以检测表面破坏和近表面缺陷。

TOFD 技术覆盖整个熔合区域，并使用向前衍射来检测垂直缺陷。所使用的 TOFD 配置是使用两个扇区扫描的俯仰捕捉技术，其中两个传感器使用大孔径来发射和接收覆盖整个关节的波束。

在电熔接头中，融合界面平行于管道表面，可以使用正常的（0°）线性扫描，超声波聚焦在管道和电熔接头之间的界面（图 2）。

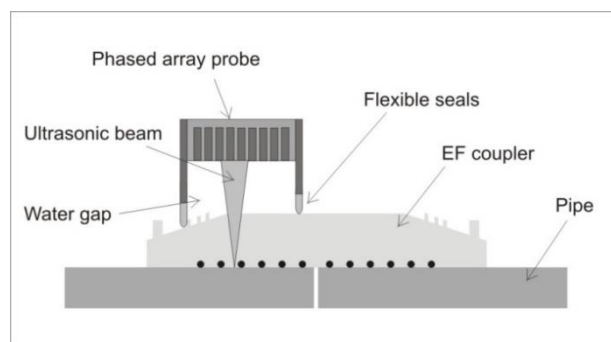


图 2.用于电熔接头的检测技术

由于加热线圈位于熔接界面上方，因此需要足够的分辨率以能够看到导线和导线绕组之间的距离。

## 检测设备

PAUT 检测系统由多个部件组成：一个相控阵探头，它产生超声波信号并检测来自接头任何缺陷的反射信号；探头楔，确保超声波以正确的角度从探头传输到聚乙烯管道或配件，并且损失最小的能量；探针座，确保探针楔与聚乙烯管/套管在整个圆周上良好的接触；扫描器，它将探针组件围绕管接头运送而不会沿轴向移动并记录其周向位置；以及探测器，它将电信号发送到探测元件并分析返回的信号。

在这个项目中，每一个组件的设计都经过了专门的检查聚乙烯管道的优化。根据物理尺寸，超声波频率，元件数量和节距的不同，检测热熔对接接头的探头的规格是基于能够检测平底孔和不同尺寸的切口，加工成不同直径的聚乙烯管和根据检测不同尺寸的未熔化电熔耦合器中的电热丝的能力，开发了用于检测电熔接头的探头的规格。据发现，使用四种不同的探头（两个用于热熔对接接头，两个用于电熔接头），可以检测管道直径从 110 到 1000 毫米（4 到 39 英寸）的范围。PAUT 探头是根据上述规格设计和制造的。

为了确保探头楔块与电熔配件的不规则表面良好的声学匹配，并且能够转向用于热熔对接检测的成角度的梁，探头楔块是开放式水楔块，配有柔性密封裙以在楔块通过时将水保持在楔块中通过管道或电熔耦合器。用于检查热熔对接接头的楔块的角度被优化，以最小化探头元件的电子转向。探头/楔块组件的照片如图 3 和图 4 所示。

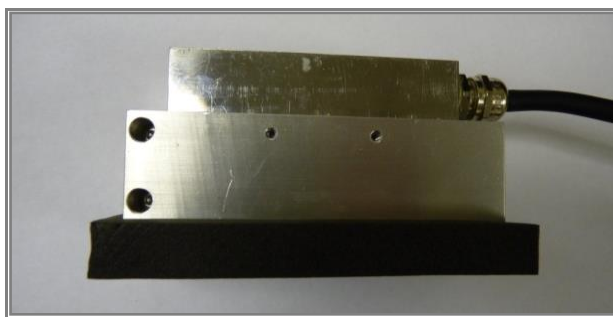


图 3.用于检测小直径电熔接头的零度水楔块/探头组件。



图 4.用于检测小直径热熔对接接头的倾斜水楔块/探头组件。

弹簧式探头支架设计用于在同一扫描系统上容纳不同的探头/楔块组件。扫描器由一个滑架组成，该滑架包含一个编码器，用于记录接头周围的位置和探针支架的支撑，以及一系列将链架固定在管道上的链节（图 5 和图 6）。

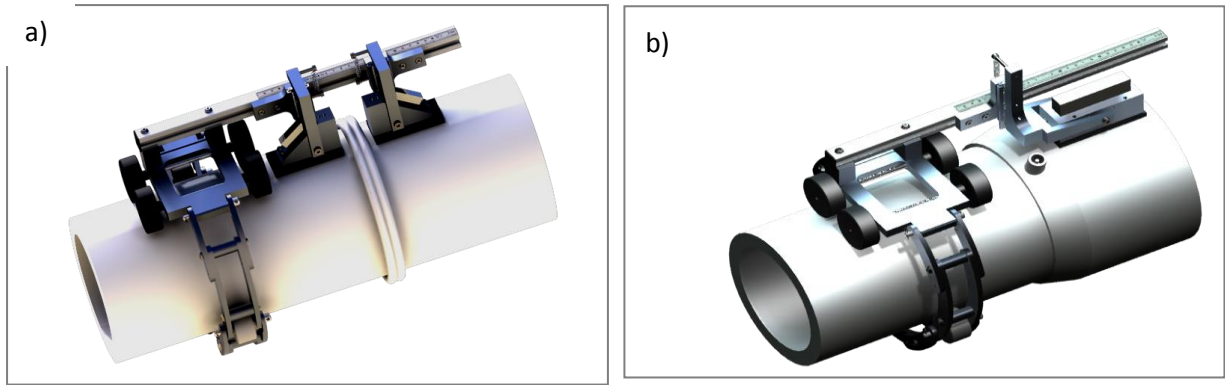


图 5.不带编码器的 TestPEP 检测系统的 CAD 设计：a) 热熔对接接头，b) 电熔接头。



图 6. 热熔对接接头上的 TestPEP 检测原型系统，编码器安装在托架上。

作为 TestPEP 项目的一部分，设计和制造了一种全新的探伤仪，能够在恶劣的环境中工作（图 7），具有以下特点：

- 集成超声波硬件和 PC 板；
- 远程访问软件应用程序（以太网或 WiFi）；
- 完全浸入水中的 IP67 防护等级；
- 100 GB 的内部存储器用于数据存储；
- 两个可充电电池可连续使用六个小时。



图 7. TestPEP 探伤仪的 CAD 设计

## 验证程序

检查程序通过检查直径达 710 毫米（28 英寸）的管道中的热熔对接和电熔接头进行验证，该管道包含已知人为制造的瑕疵，包括微粒污染，冷融合和平面缺陷（25 微米（1 密耳）厚和 1-50 毫米（0.04-2.0 英寸）直径）。这些接头是在实验室由合格的焊接操作人员根据 DVS 2207-1 焊接程序使用市售的管道和配件制造的。

图 8 和图 9 分别示出了包含 2 毫米（0.08 英寸）直径的平面缺陷的 225 毫米（9 英寸）SDR11 电熔接头的超声波图像，并且管道没有完全插入耦合器。这两种缺陷都可以清楚地检测出来。图 10 和图 11 分别显示了标准的 450 毫米（18 英寸）SDR17 电熔接头和冷聚变的图像，其中加热时间分别降低到制造商推荐值的 50%。已经显示在电热丝上方的线表示为电熔配件中融化区的边界 [9]。因此熔融区边界指示与加热丝的指示之间的距离可用于检测冷融合 [9,11,12]。

图 12 显示来自 355 mm（14 英寸）SDR11 PE100 热熔对接接头的扇形脉冲回波图像，该接头在融合界面处包含 4 mm（0.16 英寸）的平面缺陷。

已经制定了程序，可以在热熔对接和电熔接头中始终如一地检测下列缺陷：

- 平面缺陷/缺乏融合（直径大于 1 毫米（39 密耳））；
- 微粒（小于 22 微米; 0.9 密耳）；
- 粗颗粒（150-300  $\mu$  m; 6-12 密耳）；
- 冷融合；
- 空隙（直径大于 1mm（40 密耳））；
- 电熔接头中的管道穿透不足。



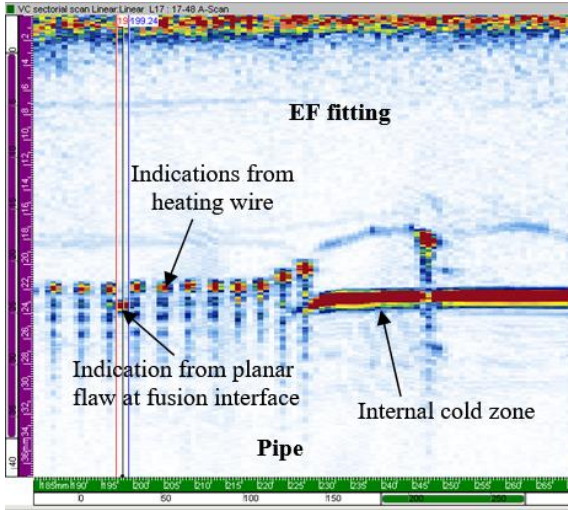


图 8.在熔合界面处含有 2mm (0.08 英寸) 平面缺陷的 225mm (9 英寸) SDR11EF 接头的超声波图像。

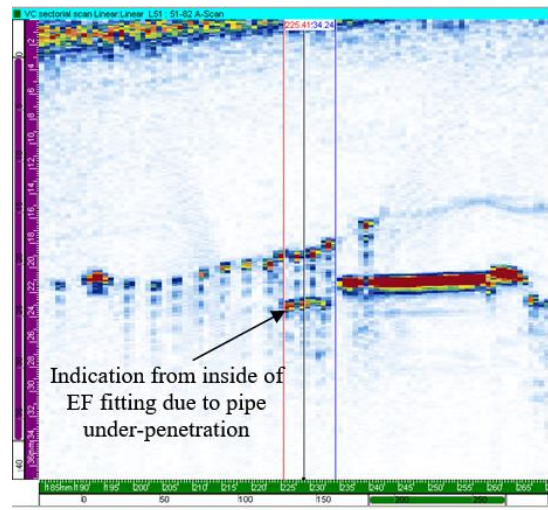


图 9. 管道尚未完全插入耦合器的 225 mm (9 英寸) SDR11 EF 接头的超声波图像。

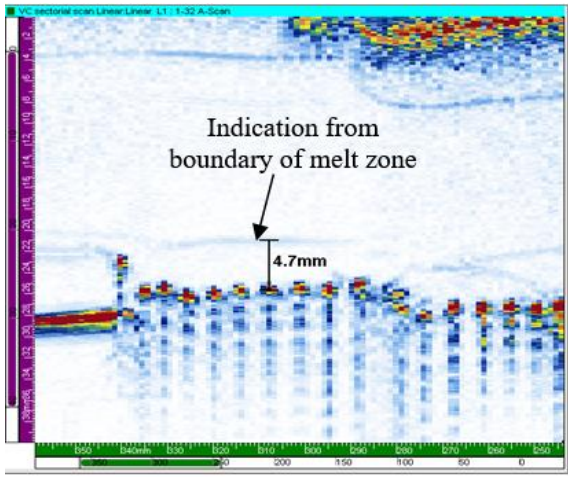


图 10.标准 450 毫米 (18 英寸) SDR17 EF 接头的超声波图像。

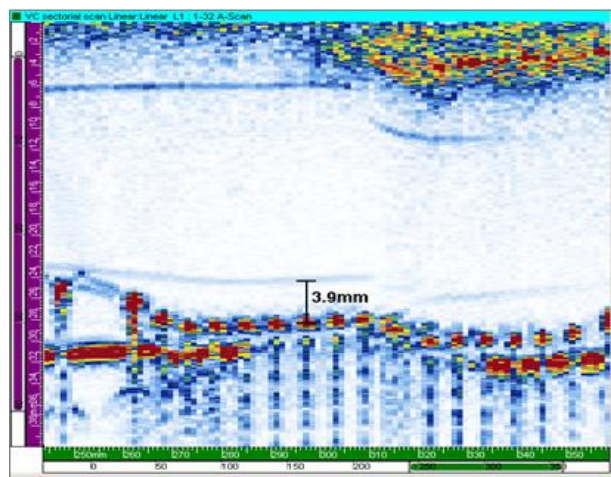


图 11.450 mm (18 英寸) SDR17 EF 接头的超声波图像，加热时间缩短了 50%，导致冷融合。

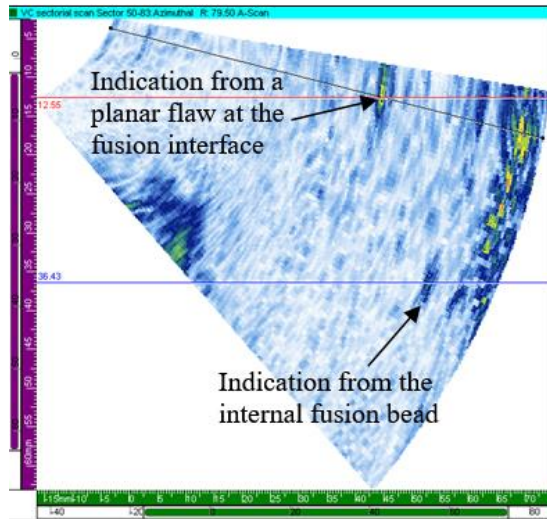


图 12.在熔合界面包含 4 mm（0.16 英寸）平面缺陷的 355 mm（14 英寸）SDR11 BF 接头的超声图像。

### 原型检验系统的评估

德国 E.ON Ruhrgas 公司在 110 毫米（4.3 英寸）SDR11 多层 HexelOne®PE100 复合材料管中制造了 9 个电熔接头，其中一些包含缺陷，另一些则没有。在实验室中对这些关节进行随机检查，并对所有九个关节进行正确评估。例如，图 13 显示了接头的超声图像，其中检查表明其含有颗粒污染；E.ON Ruhrgas 证实，沙子已被融入界面。从图中也可以看出，管壁内有迹象表明聚乙烯管内各层间的粘结不完善。

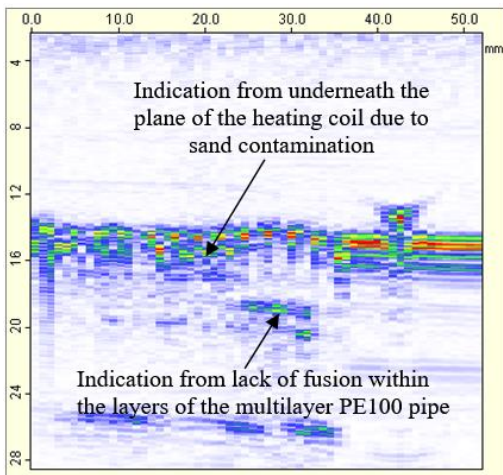


图 13.由 E.ON Ruhrgas 生产的含有砂污染的 EF 接头的超声波图像。 图 14.英国北威尔士的现场检验。

在英国北威尔士进行了现场试验，检查了水力发电站安装的 710 毫米（28 英寸）PE100 管线中的电熔接头（图 14）。

此外，在英国谢菲尔德的一个沟槽中检查了 355 毫米（14 英寸）SDR21 PE80 燃气管中的热熔对接接头和 250 毫米（10 英寸）SDR11 PE80 燃气管中的电熔接头。在这两种情况下都没有发现缺陷，原型系统运行良好。

## 结论

已经开发了相控阵超声波检测技术和程序，用于检测聚乙烯管中热熔对接和电熔接头中可能出现的每种主要类型的缺陷（熔合不完全，颗粒污染，冷融合，管道渗透，空隙和轴向不对齐）以及原型系统专门设计和制造用于检测直径在 110 至 1000 毫米（4 至 39 英寸）和壁厚在 10 至 60 毫米（0.4 至 2.4 英寸）之间的聚乙烯管中的熔合接头。该系统已经在实验室和现场进行评估，并且在包含真实和人造缺陷的接头上已经获得了优异的结果。

## 致谢

这些结果的研究得到了由 REA 研究执行局管理的第七个框架计划[PF7 / 2007-2013]的资助，243791-2。本文档中的信息按原样提供，不保证或保证信息适合于任何特定用途。其用户使用这些信息的唯一风险和责任。

## 参考文献

1. C.I. Brown and M.J. Troughton, Plastics Pipes XII Conference (2004).
2. M.J. Troughton, C.I. Brown, J Hessel and M Piovano, Plastics Pipes XIII Conference (2006).
3. I.J. Munns and G.A. Georgiou, Insight, 41(5), 291 (1999).
4. M.J. Troughton, Plastics Pipes XI Conference (2001).
5. B Messer, M. Yarmuch and P. den Boer, Pipeline and Gas Journal, March (2003).
6. S.L. Crawford, S.R. Doctor and A.D. Cinson, ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, PVP2009-77958 (2009).
7. C. Frederick, A. Porter and D. Zimmerman, ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, PVP2009-77783 (2009).
8. H.J. Shin, Y.H. Jang, J.R. Kwon and E.J. Lee, Plastics Pipes XIII Conference (2006).
9. C. Bird, D. Caravaca and A. Raude, Plastics Pipes XIII Conference (2006).
10. D.S. Caravaca, C. Bird and D. Kleiner, Insight, 49(2), 83 (2007).
11. M. Troughton, M Spicer and F Hagglund, ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, PVP2012-78860 (2012).
12. J Shi, J Zheng, W Guo and C Xu, ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, PVP2012-78655 (2012).



