

# 核电站小径薄壁管插接焊缝的相控阵超声检测

贺志清, 杨群, 施亦斌

(国核电站运行服务技术有限公司, 上海 200233)

**摘要:** 小径薄壁管是核电站运行中最容易生成缺陷和发生泄漏的部件和位置。小径薄壁管插接焊缝一般采用射线法进行检测,但是射线检测存在辐射风险,检测区域需要隔离且检测工期较长,并不适合核电站大修期间的大范围应用。通过自然缺陷试块进行小径薄壁管插接焊缝相控阵超声波检测工艺分析及检测能力验证研究。在此基础上,成功将相控阵超声检测技术应用于核电大修现场并发现缺陷。

**关键词:** 核电; 插接焊缝; 相控阵超声

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2020)04-0065-04

## Phased array ultrasonic detection for inserted weld of small diameter thin-walled tube in nuclear power station

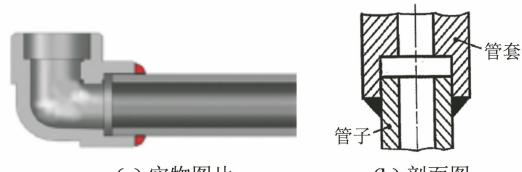
HE Zhiqing, YANG Qun, SHI Yibin

(State Nuclear Power Plant Service Company, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** Small diameter thin-walled pipes are the most vulnerable parts and locations to defects and leaks in the operation of nuclear power plants. The thin walled pipe seam of the trail was generally inspected by ray method, but the ray detection had some obvious limitations. There is a radiation risk in the detection, the detection area needs to be isolated, and the length of the test period makes it impossible for radiation detection to be used on a large scale during the overhaul of the nuclear power plant. In this paper, based on the natural defect test block, the ultrasonic inspection technology and the test ability of the thin walled tube socket weld phase control array are studied. On the basis of this, practical application of the technology was successfully carried out in the field of nuclear power overhaul and some defects were actually found.

**Key words:** nuclear power; plug weld; phased array ultrasonic

核电 M310 机组核岛及常规岛存在较多小径薄壁管插接焊缝,插接焊缝型式见图 1。由于受腐蚀、冲蚀、振动磨损等因素影响,小径薄壁管往往成为核电站在役运行中最容易生成缺陷和发生泄漏的部件和位置。小径薄壁管插接焊缝一般采用射线法进行检测,但是该方法具有明显的局限性,如:存在辐射风险,检测区域需要隔离,检测工期长等,并不能在核电站大修期间大范围的应用。除此之外,射线检测对



(a) 实物图片 (b) 剖面图

图 1 插接焊缝型式

于面积型缺陷的检出灵敏度低。常规超声检测虽然能够弥补这些不足,但是插接焊缝的焊接方式也对常规超声方法的适用性提出了挑战。

超声相控阵能通过多次反射对插接焊缝进行全覆盖扫查,且具有数据可记录、现场效率高、灵敏度高等优点。笔者基于 CIVA 仿真技术确定了小径薄壁管插接焊缝的超声相控阵检测参数,制作了存在

收稿日期: 2019-06-19

基金项目: 国家科技重大专项(2015ZX06002005)

作者简介: 贺志清(1986—), 男, 本科, 工程师, 主要从事核电站在役无损检测技术工作

通信作者: 贺志清, hezq@snpsc.com

裂纹、未熔合等面积型缺陷的试样,通过工艺试验确定了检测系统的灵敏度,并实现了现场实际应用。

## 1 检验工艺确认

筛选核电厂小径薄壁管插接焊缝规格,确定采用如表 1 所示的插接焊缝为研究对象,并在试样中设置裂纹、未熔合等面积型缺陷。

表 1 试样尺寸信息 mm

序号	管径	壁厚
1	28.0	3.0
2	42.2	5.0
3	60.0	6.0

由于结构影响,现场插接焊缝仅能在直管侧进行扫查,现场主要插接焊缝型式如图 2 所示,其实际解剖型式如图 3 所示。



图 2 插接焊缝外观型式



图 3 插接焊缝解剖型式

选用角度范围大、检测效率高的扇形扫查方式。探头楔块曲率应与被检焊缝外表面曲率一致或相当(能够有效耦合)。通过设置焊缝位置(高

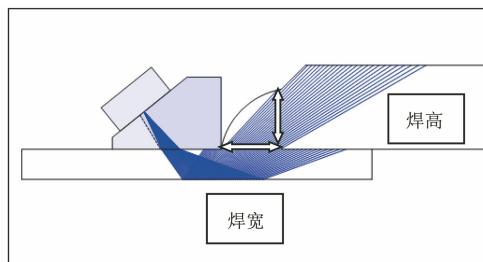


图 4 声束覆盖仿真

度、宽度)进行声束覆盖仿真(见图 4),仿真结果显示为可实现全覆盖。检测采用线性阵列,频率为 4 MHz/7.5 MHz,晶片数为 16 个,晶片尺寸(宽×长)为 0.5 mm×10 mm;楔块型号为 N60S,楔块曲率直径为 28~114 mm。

## 2 工艺试验

### 2.1 对比试块

采用 NB/T 47013—2015《承压设备无损检测》标准对比试块 GS-1、GS-2(材料分别为 20 钢和 304 钢)进行 ACG(角度增益)校准、声速校准、楔块延迟校准。

### 2.2 灵敏度试块

小径薄壁管焊缝超声检测的主要对象是裂纹缺陷,因此采用切槽作为灵敏度试块的反射体。由于插接焊缝从插套侧检测时利用二次波检测,故加工带有外壁切槽的试块。试验采用同规格外壁切槽试块确认基准灵敏度,其尺寸(槽深×槽长)为 0.3 mm×5 mm。在保证足够信噪比的前提下,增加 6 dB 为检测灵敏度。

### 2.3 模拟缺陷试块

加工等径模拟缺陷试块,针对不同材料加工不同高度及长度的裂纹和未熔合。缺陷参数如表 2 所示,缺陷高度方向的布置见图 5(图中圆圈部分为插接焊缝部位的放大图)。

表 2 模拟缺陷参数 mm

试块规格 (直径×壁厚)	材料	缺陷 序号	设计 高度	设计 长度	焊宽/ 焊高
28×3.0	20 钢	1	2.0	10.0	
		2	2.0	8.0	
		1	2.0	10.0	
	304 钢	2	2.0	8.0	8.5/8
28×3.0	304 钢	1	2.0	8.0	
		2	7.0	15.0	
		1	2.0	8.0	
	304 钢	2	7.0	15.0	
42×5.0	20 钢	1	2.0	9.0	
		2	4.0	15.0	8.5/8
42×5.0	304 钢	1	3.0	12.0	
		2	8.0	20.0	
60×6.0	20 钢	1	4.0	16.0	
		2	3.0	12.0	8.5/8
60×6.0	304 钢	1	8.0	18.0	
		2	2.0	8.0	

在仪器中对不同规格的插接焊缝进行建模,建模图如图 6 所示。分别在小径薄壁管插接焊缝缺陷

对比试块上进行手动及半自动周向扫查, 并采集试验数据, 工件的 A-S-C 扫查布局如图 7 所示, 然后对采集的数据进行在线或离线分析, 可以完成对缺陷定位和定量的测量。

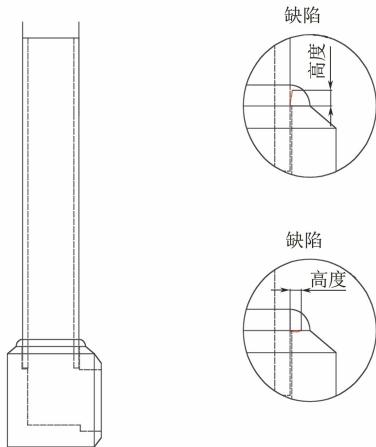


图 5 模拟缺陷高度方向示意

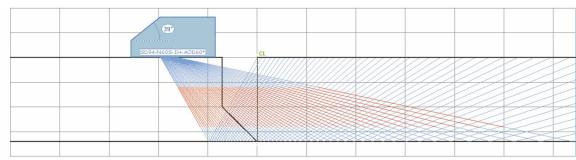


图 6 检测时工件建模图

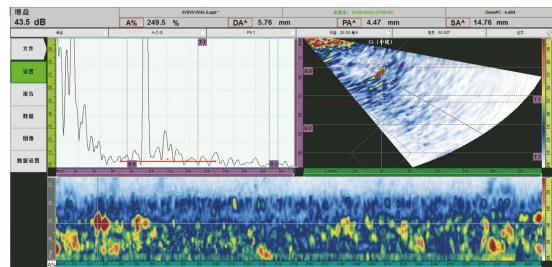


图 7 工件的扫查布局

对采集结果进行分析, 得出检验结果(见表 3)。由表 3 可见, 全部缺陷均被检出, 验证了小径薄壁管插接焊缝超声相控阵工艺的检验能力, 且符合 ASME XI 卷附录 VIII《管道焊缝超声检测鉴定要求》的要求。

表 3 缺陷试块的试验结果

mm

试块规格 (直径×壁厚)	材料	缺陷 序号	当量/ dB	设计 高度	设计 长度	设计 位置	实测 高度	手动实测 长度	C-扫实测 长度	实测 位置
28×3.0	20 钢	1	48.0	2.0	10.0	320°/78.2	3.13	10.0	8.0	72.0
		2	54.0	2.0	8.0	150°/36.6	1.58	6.0	10.0	40.0
		1	44.0	2.0	10.0	320°/125.6	2.31	10.0	7.0	117.0
		2	45.0	2.0	8.0	150°/58.9	2.52	10.0	12.0	61.0
28×3.0	304 钢	1	51.0	2.0	8.0	130°/31.7	1.84	10.0	11.0	39.0
		2	57.0	7.0	15.0	300°/73.3	6.34	20.0	18.0	75.0
		1	48.0	2.0	8.0	130°/57.8	—	10.0	6.0	68.0
		2	47.0	7.0	15.0	300°/133.5	7.35	20.0	18.0	136.0
42×5.0	20 钢	1	47.0	2.0	9.0	140°/51.3	2.18	10.0	12.0	48.0
		2	44.0	4.0	15.0	320°/117.2	3.83	18.0	22.0	112.0
42×5.0	304 钢	1	48.0	3.0	12.0	150°/55.0	4.43	15.0	14.0	53.0
		2	47.0	8.0	20.0	320°/117.2	7.09	22.0	22.0	116.0
60×6.0	20 钢	1	47.0	4.0	16.0	320°/167.5	4.28	15.0	17.0	165.0
		2	44.0	3.0	12.0	150°/78.5	4.01	11.0	10.0	83.0
60×6.0	304 钢	1	43.0	8.0	18.0	40°/20.9	7.83	18.0	17.0	21.0
		2	44.0	2.0	8.0	210°/109.9	3.03	12.0	11.0	106.0

### 3 现场检验

国内某核电厂在一次大修期间计划对系统小径插接焊缝进行无损检测, 其中表面检测采用液体渗透检测(PT), 体积检测采用相控阵超声波检测(PAUT), 必要时采用射线检测(RT)对相控阵超声波检测结果进行辅助验证。

排查的小径插接管焊缝中发现 2 条焊缝存在缺

陷。其中, 1 条为记录性缺陷(见图 8), 对缺陷图像数据进行分析可知, 三角形焊缝根部处, 存在固有结构信号, 且信噪比较好, 整圈断续显示; 缺陷信号信噪比较好; 插入直管的远端端部信号清晰, 整圈信号显示稳定。因此该系统的插接焊缝具有可检性。另外 1 条为超标缺陷[见图 9(b)], 并对超标缺陷进行 RT 复核, 从底片影像判断为未熔合(见图 10)。

由图 9 可知, 缺陷信号较无缺陷信号存在较为

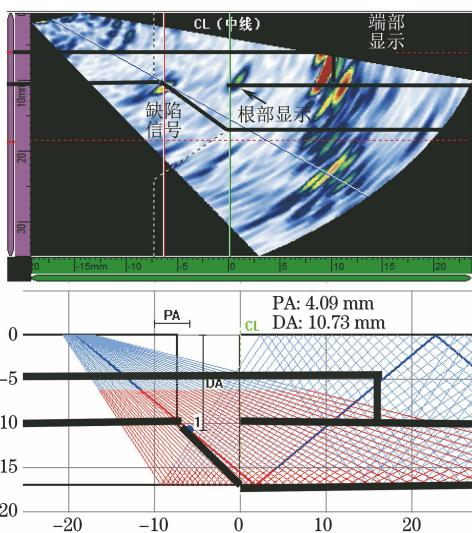


图 8 插接焊缝记录性缺陷 B 扫图像及线性跟踪图

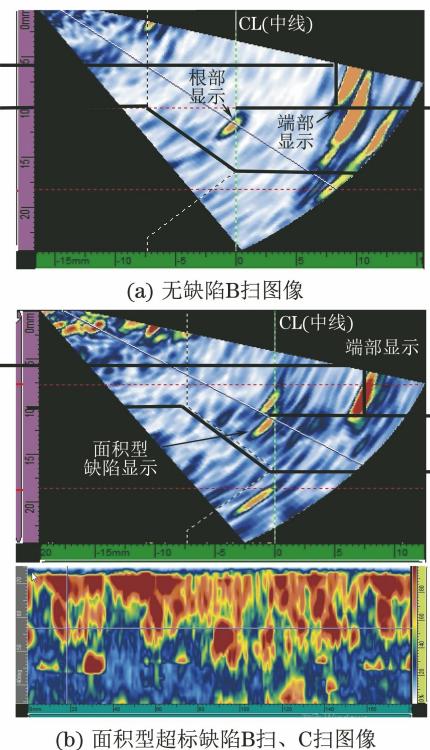


图 9 插接焊缝无缺陷与面积型超标缺陷图像对比

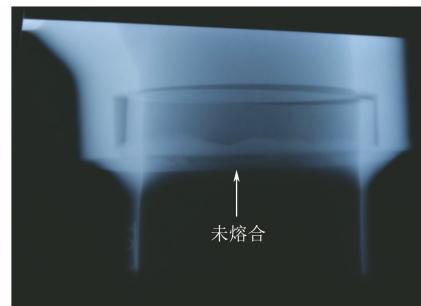


图 10 超标缺陷的 RT 影像

明显的端点信号,且如果缺陷较大,会一定程度上阻碍声波传播,影响端面信号显示。

图 10 的射线底片显示也进一步验证了相控阵发现的缺陷,且通过观察未熔合影像的宽度,也可以进一步验证该缺陷延与表面垂直的方向延伸。

#### 4 结语

超声相控阵在检测小径薄壁管插接焊缝时,具有工艺简单、现场适应性强、检测效率高、缺陷可记录性、检测灵敏度高、满足电厂实际工程需求等优势。通过理论分析、试验研究和现场验证充分证明了相控阵超声技术对于小径薄壁管插接焊缝的检测有效性,其检测结果为确定小径管缺陷状态提供了重要支撑,提高了电厂预防性检查和维修的有效性和可靠性,可为减少电厂因小径管失效而造成的非计划性停机提供有力支持。

#### 参考文献:

- [1] 王悦民,李衍,陈和坤.超声相控阵检测技术与应用 [M].北京:国防工业出版社,2014.
- [2] 钟黎明,黄存德,杨琪.小径管焊缝超声相控阵检测实例研究[J].工程技术,2016,12(11):288.
- [3] 金南辉,牟彦春.小径管对接焊接接头相控阵超声检测技术[J].无损检测,2010,32(6):32-35.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告