

管道环向对接焊接接头超声检测用对比试块的讨论

张学成,雷 哮,杨龙荣

(四川正吉油气田工程建设检测有限公司,成都 610021)

摘要:JB/T 4730. 3—2005 标准对环向焊接对接接头超声检测只设计了管道外径在 $\phi 159$ mm 以下的 GS 系列对比试块,而对钢管外径 $\geq \phi 159$ mm 的管道只提出了对比试块有关要求。在分析了这些要求的基础上,归纳出设计对比试块的 3 个考虑步骤,并按照单一管道以及多种管道规格超声检测需要和试块系列化需求,提出了对比试块具体设计方案。

关键词:超声波检测;对比试块;曲率半径;人工反射体

中图分类号:TG115. 28 文献标志码:A 文章编号:1000-6656(2010)07-0516-03

Discussion on Reference Block for Ultrasonic Testing of Circumferential Butt Welding Joint in Tubes

ZHANG Xue-Cheng, LEI Xiao, YANG Long-Rong

(Sichuan Zhengji Testing Co Ltd of Constructing Engineering of Oil and Gas field, Chengdu 610021, China)

Abstract: According to the standard JB/T 4730. 3—2005, reference block of GS series for ultrasonic testing to girth welding joint of tube of diameter below 159 mm, was designed, and for tubes of diameter over 159 mm, only advanced requirements on it, however, was needed. Based on the analysis to these requirements, the design of reference block was concluded to three steps, and a design plan of reference block according to single or many dimensions of tubes and series of reference block in ultrasonic testing was put forward.

Keywords: Ultrasonic testing; Reference block; Radius of curvature; Artificial reflector

石油天然气行业采用超声检测管道环向对接焊接接头,通常执行 SY/T 4109—2005 标准《石油天然气钢质管道无损检测》。近几年,超声检测管道环向对接焊接接头执行 JB/T 4730. 3—2005 标准《承压设备无损检测 第 3 部分:超声检测》逐渐增多,实施过程中出现了这样一个问题:管道外径 ≥ 159 mm 的管道环向对接焊接接头在超声检测时应如何设计、制作和选用对比试块。

JB/T 4730. 3—2005 标准中 6. 1 条只明确设计了适用于壁厚 ≥ 4 mm,外径为 32~159 mm 环向对接焊接接头的 GS 系列试块。有观点认为,JB/T 4730. 3—2005 中 5. 1. 3. 4 规定“检测曲面工件时,

如检测曲率半径 $R \leq W^2/4$ 时(W 为探头接触面宽度,环缝检测时为探头宽度,纵缝检测时为探头长度),应采用与检测面曲率相同的对比试块”。选择探头尺寸,使 $R > W^2/4$,就可以使用现成相应的平面试块(如 CSK-II A)进行超声检测。笔者认为,这样反向延伸标准的规定是想当然且错误的。又有观点认为,那就制作与检测面曲率相同的对比试块。这是可以的,但试块的人工反射体如何选择,如何设计以使得对比试块一块多用,便于现场操作和降低成本,笔者尝试进行一些探讨。

1 JB/T 4730. 3 对试块的要求和分析

该标准 6. 1 条规定了壁厚 4~6 mm,管道外径 ≥ 159 mm 的管道环向对接焊接头超声检测要求。检测用的距离-波幅曲线的三条曲线灵敏度是用

收稿日期:2009-07-18

作者简介:张学成(1943—),男,高级工程师,主要从事无损检测理论和工艺方法及管理的研究。

$\phi 2\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 加减分贝数表示的。显然,所要求的对比试块的人工反射体同 GS 试块一样,是 $\phi 2\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 横通孔。标准的 6.1.2.2 还规定,对比试块的曲率应与被检管径相同或相近,其曲率半径之差不应大于被检管径的 10%。

标准附录 G 规定了母材厚度 6~8 mm 钢制承压设备对接焊接接头的超声检测和质量分级,采用的试块是人工反射体为 $\phi 2\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 横孔的 CSK-II Am 试块。

标准的 5.1 条中规定了母材厚度 8 mm 以上对接焊接接头的超声检测和质量分级,在母材厚度 $\leq 120\text{ mm}$ 时,采用的试块是人工反射体为 $\phi 2\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 横孔的 CSK-II A 和人工反射体为 $\phi 1\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 短横孔的 CSK-III A 试块。两者都是平面型试块,采用时必择其一。标准在 5.1.6.2 曲面工件(直径 $\leq 500\text{ mm}$)对接焊接接头的超声检测中规定:“环缝检测时,对比试块的曲率半径应为检测面曲率半径的 0.9~1.5 倍”。这就是说,直径 500 mm 以上对接环向焊接接头的超声检测可用平面试块;直径 $\leq 500\text{ mm}$ 时,就要按“对比试块的曲率半径应为检测面曲率半径的 0.9~1.5 倍”设计、制作或选用对比试块。当然,这里隐含了一个条件,按照标准 5.1.3.4 的要求,所选探头接触面宽度 W 应满足 $R > W^2/4$ (式中 R 为曲率半径),否则,只能采用与检测面曲率相同的对比试块。

按照标准对管道外径 $\geq 159\text{ mm}$ 的环向对接焊接接头超声检测的上述要求,不难看出,在所选探头满足 $R > W^2/4$ 的条件下,管道母材厚度决定了对比试块的人工反射体类型,管道外径决定了对比试块检测面的曲率半径。

2 设计对比试块的 3 个考虑步骤

根据上文分析,管道外径 $\geq 159\text{ mm}$ 的环向对接焊接接头超声检测用对比试块的设计可分三步考虑:

(1) 考虑管道的壁厚,以决定对比试块的人工反射体类型和尺寸。根据管道壁厚,对比试块可分为 3 类:① 壁厚 4~6 mm 的,采用 $\phi 2\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 的横通孔。② 壁厚 6~8 mm 的,采用 $\phi 2\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 横通孔。③ 壁厚 8 mm 以上的,采用 $\phi 2\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 横孔或 $\phi 1\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 短横孔。

(2) 考虑管道的外径,以决定对比试块检测面的曲率半径。外径 $> 500\text{ mm}$ 时用平面对比试块,

外径 $\leq 500\text{ mm}$ 时用曲面对比试块,试块的曲率半径应为实物检测面曲率半径的 0.9~1.5 倍。对于壁厚 4~6 mm 管道,要求苛刻一些,曲率半径之差不应大于被检管径的 10%(即对比试块的曲率半径应为检测面曲率半径的 0.9~1.1 倍)。显然,两者相等时检测耦合误差最小。根据标准的 5.1.3.4 规定,当探头宽度 $W > 2R^{1/2}$ 时,只能选择两者相等。

(3) 考虑检测需要,以决定对比试块人工反射体数量和布置、一块多用和系列化。对于单一规格管道环向对接焊接接头超声检测,设计一个对比试块,人工反射体设置尽量少,能满足制作距离一波幅曲线制作要求即可。对于多种规格管道环向对接焊接接头超声检测就还要考虑对比试块一块多用,必要时系列化,覆盖所需要的检测对象。

下又结合各类对比试块设计和应用加以说明。

3 各类对比试块的设计和应用

3.1 I 类对比试块

对于壁厚 4~6 mm 管道,由于壁厚小,很难运用相同管材加工对比试块。因采用的对比试块人工反射体为 $\phi 2\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 的横通孔,这为石油天然气管道检测提供了方便。管道环向对接焊接接头超声检测通常采用 SY/T 4109—2005 标准,使用 SGB 系列试块,试块的人工反射体也是 $\phi 2\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 横通孔。SGB-3,4,5 型试块就可拿来所用。根据这些试块曲率半径和 JB/T 4730.3—2005 的 6.1.2.2 规定计算得到,SGB-3,4,5 可分别用于外径 159~168.9 mm,218.2~266.7 mm,363.6~444.4 mm 的钢管环向对接焊接接头的超声检测,这就大体解决了壁厚 4~6 mm,外径 $\geq 159\text{ mm}$ 的常用管径钢管环向对接焊接接头超声检测所需的对比试块问题。没有 SGB 系列试块的单位,笔者建议按图 1 制作对比试块,如有必要,可参照 SGB 系列试块思路结合本单位检测实际,按标准 6.1.2.2 要求制作一套系列试块。

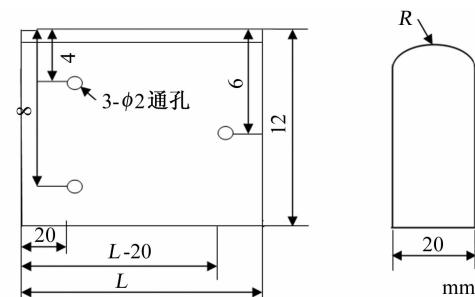


图 1 I 类对比试块

如图 1 所示对比试块材料选择与被检测对象相同或相近材质。该对比试块可运用在管道半径为 $0.9 \sim 1.1R$, 壁厚 $4 \sim 6$ mm 管道环向对接焊接接头环向对接焊接接头的超声检测。注: 底面为平面, 可用反射波扩大孔使用深度。 R 为受检钢管外半径; L 为试块长度, 由使用的声程确定; 尺寸误差 $\leq \pm 0.05$ mm。

3.2 II类对比试块

对于母材厚度 $6 \sim 8$ mm, 外径 ≤ 159 mm 的钢制承压设备管道环向对接焊接接头超声检测, 应采用 $\phi 2$ mm \times 40 mm 的 CSK-II A 试块。对比试块可作如下考虑:

钢管外径 500 mm 以上的选择 CSK-II A 平面试块使用。钢管外径 500 mm 以下就要制作曲面对比试块。

对于单一规格壁厚的钢管环焊缝, 采用的对比试块检测面的曲率半径同受检钢管外半径, 人工反射体为 $\phi 2$ mm \times 40 mm 的长横孔, 属 CSK-II A 型试块。由于试块有一面是曲面, 该面不能用于一次反射波, 相对平面也不能作为制作距离-波幅曲线的检测面, CSK-II A 试块型式就要从两孔设计变成三孔设计, 如图 2 所示。

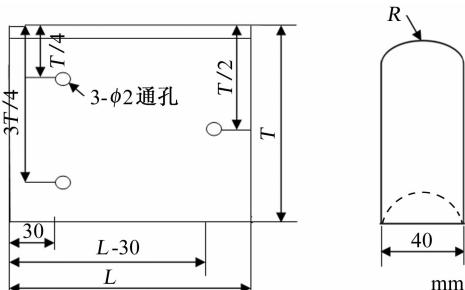


图 2 II类对比试块

当然, 图 2 试块也可用于外半径为 $0.67 \sim 1.11R$ 且相同壁厚的钢管环焊缝超声检测的对比试块。但必须选择探头宽度 $W < 2R^{1/2}$ 的探头。图 2 试块还可直接用受检焊缝母材相同钢管截一段钻孔制作(图 2 虚线)。注: T 为钢管壁厚; R 为受检钢管外半径; L 为试块长度, 由使用的声程确定; 尺寸误差 $\leq \pm 0.05$ mm。

3.3 III类对比试块

对于母材厚度 8 mm 以上对接环向焊接接头的超声检测, 按照母材厚度和合同要求, 采用人工反射体为 $\phi 2$ mm \times 40 mm 的长横孔或 $\phi 1$ mm \times 6 mm 短横孔。同样, 钢管外径 500 mm 以上的选择 CSK-II A 或 CSK-III A 平面试块使用。钢管外径 500 mm

以下就要制作曲面对比试块。

对于单一规格钢管环焊缝检测可按图 2 设计制作对比试块。有多种规格钢管环焊缝检测任务的单位(如无损检测机构), 每一种规格钢管都要制做一块对比试块将增加成本, 每次加工还要耽误时间, 现场检测携带也不方便。笔者吸取 SY/T 4109—2005 标准的 SGB 试块系列化的经验, 在选择探头宽度 $W < 2R^{1/2}$ 的条件下, 选用表 1 所列三种试块参数的设计, 就可包括壁厚 < 50 mm, 外径 $159 \sim 500$ mm 钢管环焊缝超声检测所需的对比试块。试块型式见图 3。从表 1 中可看出, 试块检测面的曲率半径设计在常用管附近(常用管 $\phi 168.3, 273, 457$ mm), 减少耦合误差, 有利于提高检测的准确性。至于试块之间适用钢管外径范围有部分重叠, 主要是为了扩大单个试块的使用范围, 对有些场合, 可减少现场检测人员携带试块数量。注: R 见表 1; 尺寸误差 $\leq \pm 0.05$ mm。

表 1 试块参数

试块编号	检测面曲率半径 R /mm	适用钢管外径范围/mm
QS-1	84	159~186
QS-2	137	183~304
QS-3	228	304~500

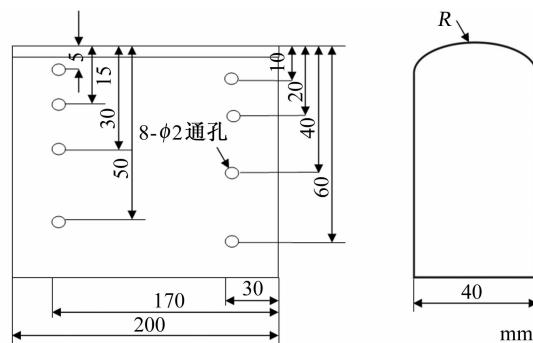


图 3 III类对比试块

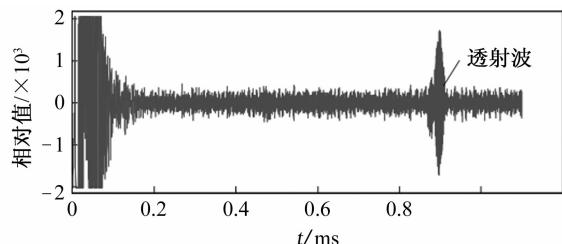
II, III类对比试块均采用人工反射体为 $\phi 2$ mm \times 40 mm 的横通孔, 试块较宽、较重, 如改为 $\phi 1$ mm \times 6 mm 的短横孔, 试块宽度可从 40 mm 变为 30 mm, 可减轻重量, 但只能用于壁厚 8 mm 以上的钢管环焊缝。还应注意, 应如 CSK-III A 试块那样开半径 $R=10$ mm 的半圆槽, 在槽内钻 $\phi 1$ mm \times 6 mm 的短横孔, 以避免界面对超声波的影响。

4 结语

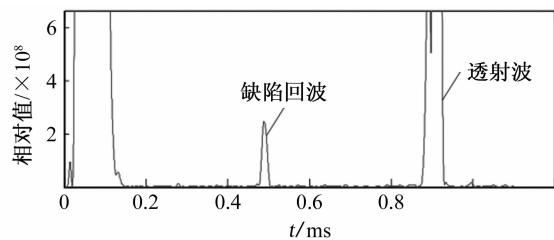
钢管外径 ≥ 159 mm 的环向对接焊接接头超声
(下转第 523 页)



图 14 轮对踏面电磁超声检测系统实物图



(a) 原始信号



(b) 互相关检波后信号

图 15 轮对检测信号及处理结果

结果表明,该系统可在轮对运行速度 <20 km/h 时成功检测出轮对踏面中深度 >2 mm 的人工缺陷,实现了列车轮对踏面缺陷高效、精确地在线检测。

(上接第 518 页)

检测是曲面工件对接焊接接头超声检测的一个重要应用。JB/T 4730.3—2005 对曲面工件对接焊接接头超声检测除了要求“可尽量按平板对接焊接接头的检测方法进行检测”外,另一个重要要求就是对对比试块的设计和制作要求。

根据管子的外径决定对比试块检测面的曲率半径,根据管子的壁厚决定对比试块的人工反射体类型和尺寸,按照标准关于“环缝检测时,对比试块的

参考文献:

- [1] MacLauchlan D, Clark S, Cox B. Recent advancements in the application of EMATs to NDE[C]// 16th World Conference on NDT. Montreal, Canada: [s. n.], 2004.
- [2] 王红,彭亮,于宗光. FPGA 现状与发展趋势[J]. 电子与封装,2007,7(7):32—37.
- [3] Clark A V, Schramm R E, Schaps S R. Safety assessment of railroad wheels through roll-by detection of tread cracks[C]// Proceedings of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers Conference on Nondestructive Evaluation of Aging Railroads. Oakland: [s. n.], 1995, 2458: 109—119.
- [4] Mian Z F, Peabody W, Haller T. Wheel Inspection System[P]. US: 6523411B1, 2003.
- [5] Salzburger H J, WANG L, GAO X R. In-motion ultrasonic testing of the tread of high-speed railway wheels using the inspection system AUROPA III[C]// 17th World Conference on Nondestructive Testing. Shanghai: [s. n.], 2008.
- [6] 范弘,孙邦明,沈明珠. 火车车轮超声探伤技术研究与开发[J]. 钢铁,2000,35(12):60—63.
- [7] 彭建平,王黎,高晓蓉. 基于 EMAT 技术的轮对踏面探伤仪[J]. 仪表技术与传感器,2009(1):18—20.
- [8] 王淑娟,赵再新,翟国富. 基于电磁超声的火车车轮裂纹检测系统[J]. 仪表技术与传感器,2005(11):28—29.
- [9] 王淑娟,康磊,翟国富. 电磁超声换能器的微弱信号检测[J]. 无损检测,2007,29(10):591—592.
- [10] Kang L, Mi M J, Wang S J. Research on weak signal detection technique for electromagnetic ultrasonic inspection system[C]// The 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 2008). Singapore: [s. n.], 2008.

曲率半径应为检测面曲率半径的 0.9~1.5 倍”、检测壁厚 4~6 mm 管道“对比试块的曲率应与被检管径相同或相近,其曲率半径之差不应大于被检管径的 10%”以及“如检测曲率半径 $R \leq W^2/4$ 时,应采用与检测面曲率相同的对比试块”等规定,正确设计人工反射体位置和数量、减少对比试块数量,形成系列化,方便应用。应用时应注意探头宽度 W 的选择。