

爬波在无损检测中的应用

王春水, 胡先龙, 张俊义, 季昌国

(华北电力科学研究院 有限责任公司, 北京 100045)

摘 要: 由于爬波受工件表面粗糙的影响不大, 同时具有对表面和近表面缺陷非常敏感的优点, 使爬波检测成为常规超声波检测的有力补充。综合目前国内外的研究进展, 列举了爬波在支柱瓷绝缘子、焊缝和螺栓裂纹等检测方面的应用, 所有实例均表明爬波检测在这些方面的有效性。随着爬波理论研究的深入和检测仪器的发展, 爬波在无损检测领域的应用必将越来越广泛。

关键词: 爬波; 支柱瓷绝缘子; 奥氏体不锈钢; 角焊缝; 螺栓

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)03-0223-02

Application of Creeping Wave in Nondestructive Testing

WANG Chun-Shui, HU Xian-Long, ZHANG Jun-Yi, JI Chang-Guo

(North China Electric Power Research Institute Co. Ltd, Beijing 100045, China)

Abstract: Due to being less influenced by surface roughness and being sensitive to surface and sub-surface defects, creeping wave testing has become an effective supplement to conventional ultrasonic testing. The application of creeping wave in the testing fields of strut porcelain insulator, welding and bolt was introduced, on the basis of current research progress at home and abroad. Its effectiveness in these fields was proved by all the testing cases. With the further research and experiment for the creeping wave theory and testing instrument development, creeping wave testing shall be applied more and more popularly in nondestructive testing.

Keywords: Creeping wave; Strut porcelain insulator; Austenitic stainless steel; Fillet welt; Bolt

爬波又称为表面下纵波, 是纵波从第一介质以第一临界角附近的角入射到第二介质时, 在第二介质中产生的一种非均匀波。由于这种波传播时, 大部分能量主要集中在表面下某个范围内, 且不同于表面波, 对工件表面粗糙不敏感, 因此适用于检测粗糙表面下的缺陷。笔者综合国内外的研究进展, 对爬波在无损检测中的应用进行综述。

1 支柱瓷绝缘子检测

支柱瓷绝缘子是变电站和发电厂运行的重要组成部分, 用于高压电器和高压配电装置, 起绝缘和支撑作用, 其实物图如图 1。近年来, 国内出现过多起因绝缘子断裂造成的人身伤亡和电网事故。据国内外研究资料表明, 绝缘子断裂 95% 以上都是在法兰



图 1 绝缘子实物图

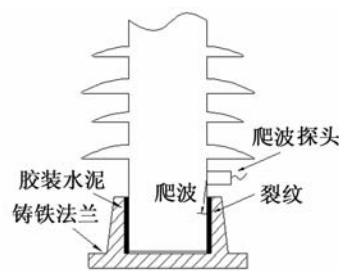


图 2 爬波检测支柱瓷绝缘子示意图

口内 3 cm 到第一伞裙之间^[1]。红外线、紫外线和激光等检测技术利用电晕放电现象可以实现对绝缘子的在线检测, 可有效检测支柱瓷绝缘子上法兰处, 但由于下法兰处缺陷引起的感应电压不足, 往往不能被检测出。而运行后的瓷绝缘子由于受温差应力、组织应力和操作应力等综合作用, 下法兰处往往是最危险的部位。超声爬波检测可以弥补以上方法的不足, 对发现铸铁法兰内部裂纹非常有效, 检测示意

收稿日期: 2008-05-05

作者简介: 王春水(1978—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事无损检测工作。

图如图 2 所示。

探头激发出的爬波在瓷件内沿近表面传播,当遇到瓷件表面的裂纹时,会有部分超声波反射回来,被探头接受。仪器使接收到的回波在仪器显示屏上显示,从而实现瓷绝缘子的爬波检测。

2 焊缝检测

2.1 奥氏体不锈钢

奥氏体不锈钢因其具有耐腐蚀性好、抗高温蠕变能力强和低温韧性等优点,在化工、电力等部门有着广泛的应用。由于奥氏体不锈钢晶粒粗大,且各向异性,对超声波散射大,检测时噪声影响较大。国内外的研究表明,对奥氏体不锈钢焊缝的检测,纵波比横波具有更高的灵敏度和信噪比^[2]。因为爬波具有与纵波相近的特性,同时爬波是在近表面传播,因此,在检查奥氏体焊缝的近表面缺陷时,爬波比纵波更有优势,波型比较如图 3 所示。

文献[3]对奥氏体不锈钢焊缝中 1 个 $\phi 3 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 长横孔近表面人工缺陷,分别利用横、纵波斜探头(5 MHz , $\beta = 60^\circ$)和爬波探头(5 MHz , $\theta_{\max} = 79^\circ 41'$)进行探测(图 3)。结果横波检测时,缺陷的反射信号几乎被湮没在杂波中;纵波的信噪比为 8 dB;而爬波检测时信噪比达到 12 dB。同时因为爬波横穿整个焊接接头,故对近表面缺陷检测时,探头不需要作左右扫查,从而减轻了扫查工作量。

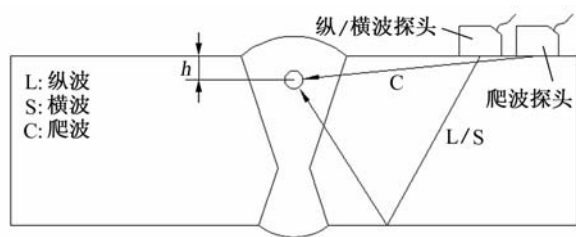


图 3 奥氏体不锈钢焊缝检测中波型比较图

2.2 伪缺陷的复验

对于工件表面裂纹的检测常采用的方法是磁粉检测和渗透检测,但受各自方法的影响,会在检测中出现伪显示和非相关显示,干扰缺陷的正确识别。爬波对近表面裂纹有着较高的灵敏度,实践表明,选择合适的爬波探头可以探出铁素体钢中 $0.2 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 和奥氏体钢中 $0.4 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 的裂纹。因此,在实际检测过程中,可以用爬波探头对磁粉检测和渗透检测中不能准确判定的显示加以复查。

2.3 角焊缝检测

角焊缝在电力、石油和化工等部门中大量应用

于各种容器、管道等金属结构件上,其质量状况直接影响到设备的安全运行。角焊缝受其结构的影响,往往在内部出现阶梯式的裂纹。如图 4 所示,可以用爬波探头在图中位置进行检测。

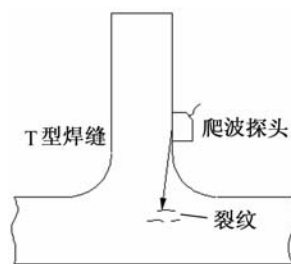


图 4 爬波检测在 T 型焊缝中的应用

东北电力科学研究院金属材料研究所马德举等^[4]对焊接角焊缝及热影响区近表面裂纹的爬波检测进行了研究,并用设计的探头和试块对电站锅炉上的联箱角焊缝进行检测,取得了不错的效果。

2.4 焊缝内表面裂纹检测

Sony 等人^[5]利用折射横波在遇到管内壁时再次发生波型转变产生沿管内径表面传播的次级爬波原理(图 5),实现了对内径表面紧闭裂纹的检测。

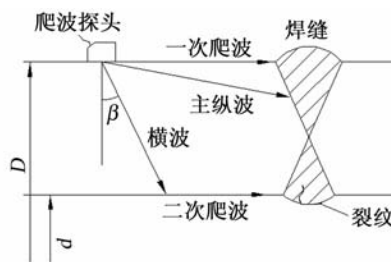


图 5 爬波检测管道环焊缝内径原理示意图

利用这种相对面的波型转换有其优点,它不同于半跨距中的横波,受表面干扰的影响很小。德国联邦材料研究院在探测应力裂纹和腐蚀裂纹方面,用此技术已取得良好的经验。

3 螺栓裂纹检测

螺栓作为紧固件广泛应用于电力、石油和机械化工等领域。而电站使用的高温螺栓是在法兰结合处产生一定的压紧力,使被联结件在设计的期限内保持密封,不发生泄露和突然断裂。由于螺栓对机组运行安全影响很大,被列入金属技术监督范围,安装前和安装后均需要检查。目前对螺栓裂纹检测常用的方法是直探头或小角度纵波斜探头,在两端面对螺纹处裂纹进行检查,此方法对拆卸下来的螺栓裂纹检测简单有效。但对大而长或端部为球冠形的螺栓因种种原因现场无法卸下时,可能会因超声耦合困难或衰减严重,无法从一侧端部有效检测出对

(下转第 235 页)

制作好 TCG 曲线后即可调节扫查灵敏度。检测焊缝见图 5, 扫查方式为直线扫查。发现的缺陷见图 6 所示。由图可得缺陷的深度为 PDA(闸门内

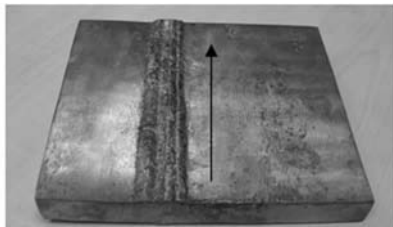


图 5 被检焊缝

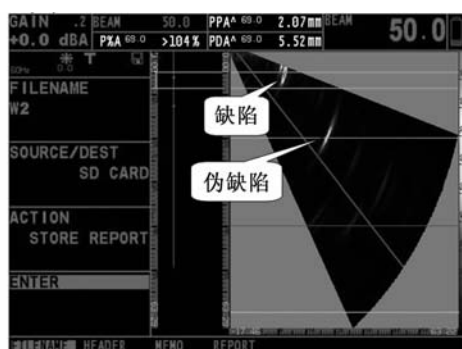


图 6 焊缝扇型扫描图

最大回波处深度距离)显示的值为 5.52 mm, 缺陷离探头前沿的水平距离 PPA(闸门内最大回波处离探头前沿的水平距离)显示值为 2.07 mm。经过测量, 该缺陷当量为 $\phi 3 \text{ mm} + 7 \text{ dB}$ 。由于目前相控阵超声检测还没有相应的检测标准, 相控阵焊缝超声检测仍用传统方式进行定量, 为了与检测标准一致, 该仪器可以非常方便地切换到传统超声探伤仪模式, 其功能相当于 USN60 便携式超声波探伤仪。

参考文献:

- [1] 单宝华, 喻言, 欧进萍. 超声相控阵检测技术及其应用[J]. 无损检测, 2004, 26(5): 235—238.
- [2] Stefan Kierspel, Ted Ballenger, Michael Berke. There really any value to multiple angle manual inspection [C]. 12th A-PCNDT 2006-Asia-Pacific Conference on NDT. Auckland, New Zealand; 2006.
- [3] 李衍. 钢焊缝相控阵超声波探伤新技术[J]. 无损探伤, 2002, (3): 1—5.
- [4] Zhou Qi, Liu Fangjun, Li Zhijun. An application of ultrasonic phased array imaging in electron beam welding inspection[J]. China Welding, 2002, 11(2): 114—118.

(上接第 224 页)

侧螺纹处的裂纹。鉴于以上原因, 张泉等^[6]利用设计制作的爬波探头, 提出了用爬波探头在螺栓颈部检查裂纹的思路。并在人工制作的模拟裂纹试块上进行研究后, 用于实际螺栓的检测, 发现了 2 个有裂纹的螺栓, 并由直探头复检证实。不过笔者认为, 由于受爬波传播距离的影响, 此方法对退刀槽附近的裂纹检出率比较高, 而对离退刀槽比较远的裂纹检测可能会受到影响。尽管如此, 此方法也是对螺栓裂纹检测方法的有力补充。

4 结论

除了以上介绍的在支柱瓷绝缘子、焊缝和螺栓检测应用外, 爬波在 T 型接头层状撕裂缺陷^[7]和薄壁管材横向缺陷^[8]的检测中也被证实是有效的。随着对爬波理论的不断研究和检测仪器信号处理技术的提高, 爬波检测技术必将有着更广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 姚忠森, 吴光亚. 高压支柱瓷绝缘子运行事故分析[J]. 高电压技术, 2002, 28(10): 57—58.
- [2] Handbook on the Ultrasonic Examination of Austenitic

Welds II W. 1987.

- [3] 晏荣明, 张璐, 徐巍, 等. 超声爬波无损检测方法的研究[J]. 南昌航空工业学院学报, 1994, (1): 33—37.
- [4] 马德举, 张博. 角焊缝及其热影响区近表面裂纹检测 [A]. 全国第六届电站构件失效分析与寿命管理学术会议报告 [C]. 西安: 中国电机工程学会, 2000: 125—131.
- [5] Sony B, Balasubramanian T, Pardikar R J. Ultrasonic study for detection of inner diameter cracking in pipeline girth welds using creeping waves[J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2003, 80(2): 139—146.
- [6] 张泉, 孟传亨. 用超声爬波探伤法检查螺栓裂纹[J]. 湖北电力技术监督, 1995, 7(2): 25—28.
- [7] Erhard Anton, Wuestenberg Hermann, Schulz Eduard, et al. Left bracket applications of longitudinal creeping waves in nondestructive testing with ultrasound and experience in the use of creeping wave probes right bracket[J]. Materialpruefung, 1982, 24(2): 43—48.
- [8] 廉德良, 魏天阳. 薄壁管材探伤用爬波探头的设计及应用[J]. 无损检测, 2004, 26(7): 352—354.