

衍射时差检测技术在瀑布沟水电站 水轮机蜗壳焊缝检测中的应用

刘玉良 ,龙绍飞

(中国水利水电第七局工程局有限公司机电安装分局 四川 彭山 620860)

摘要 :介绍适用于焊缝中各种缺陷检测的 TOFD(衍射时差)检测技术。分别介绍该检测的原理、检测盲区、检测方法以及相关的数据分析方法 ,并介绍该检测技术在瀑布沟水电站水轮机蜗壳拼装焊缝检测中获得的良好效果。

关键词 :衍射时差检测技术 ;蜗壳拼装焊缝检测 ;瀑布沟水电站

中图分类号 :TK730.3+12 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-764X(2011)S2-0025-02

瀑布沟水电站位于大渡河中游 ,地处四川省西部汉源县与甘洛县交界处 ,交通方便。该电站水轮机蜗壳采用钢板焊接结构 ,材料选用 ADB610D 钢板 ,每节分 3~4 节加工和制作 ,板厚 30~68 mm。每台蜗壳设置了 3 处凑合节 ,每节分 1~4 块瓦片不等 ,除凑合节外 ,其他蜗壳瓦片在拼装厂进行单节拼装焊接成 C 形后运输到安装间。瀑布沟水电站水轮机蜗壳焊缝采用 TOFD(也称为时差衍射法)检测 ,是 TOFD 检测技术首次在国内水电站水轮机蜗壳安装焊缝的检测中正式应用 ,其表明了在水电站焊缝检测中 TOFD 检测代替 RT 检测的趋势。

1 TOFD 检测技术

TOFD 检测技术是 20 世纪 90 年代发展并成熟的 ,在很多应用领域正逐渐取代原有的传统超声波检测和射线检测。在三峡水利枢纽工程电站右岸水轮机蜗壳安装焊缝的检测中已经成功试应用。

TOFD 检测是超声波技术的一种 ,但不同于传统超声波技术。其采用的是一发一收模式的双探头结构 ,用带有一定角度的纵波探头发射超声波 ,纵波折射角度范围是 45°~70° ,用相同角度的纵波探头接收衍射信号 ,并使用可以生成 B 扫描图形的超声波成像系统进行缺陷判断。TOFD 主要是接收缺陷尖端的衍射波 ,因此不易受缺陷方向性的影响 ,且面状缺陷的衍射信号较强 ,危害性缺陷更不易被漏检。其基本波形分为 3 种 :直通波 (或爬波)、缺陷波和底面反射波。直通波和底波作为缺陷深度测量的参考基准。

TOFD 检测技术是一种功能强大和十分有效的技术 ,适用于焊缝中各种缺陷的检测 ,在瀑布沟水电站水轮机蜗壳检测中采用 TOFD 检测 ,获得了良好的效果。

2 TOFD 检测盲区

TOFD 检测在靠近扫查面存在盲区 ,其由直通波导致。扫查表面盲区的深度为

$$D_{ds} = \left[\frac{(ct_p)^2}{4} + s^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

式中 : c 为声速 ; t_p 为幅值下降到 10% 脉冲峰值时的脉冲持续时间 ; s 为探头间距的 1/2。

靠近底面的盲区是由底面回波导致 ,其深度为

$$D_{dw} = \left[\frac{c^2(t_w + t_p)^2}{4} - s^2 \right]^{\frac{1}{2}} - W \tag{2}$$

式中 : t_w 为底面回波的传播时间 ; W 为工件壁厚。

若实际检测中使用探头为 7 MHz ,1.5 周期 ,脉冲持续时间 $t_p = 210$ ns ,入射角为 60° ,声速为 5 900 m/s ,探头间距为 100 mm ,工件厚为 32 mm。在此条件下根据式 (1) 和式 (2) 计算出 $D_{ds} = 7.9$ mm , $D_{dw} = 1.14$ mm。计算结果表明 ,TOFD 检测的上下表面盲区不能被忽视 ,尤其是上表面盲区更大 ,因此要结合 MT、改变 PCS 和探头中心频率来减小或消除盲区的影响。

3 检测方法

3.1 对焊缝的要求

探头移动区域范围内应清除铁锈、飞溅物、油

漆、油垢及其他外部杂质。为便于探头的自由扫查，探伤表面应打磨光滑，其表面粗糙度不应超过 $6.3\text{ }\mu\text{m}$ 。焊缝两侧各打磨宽度不少于 150 mm 。

3.2 检测仪器

TOFD 检测系统一般由专用计算机、软件、1 对或多对探头、探头支架、扫查架和编码器等组成。一般单通道检测仪器可以满足水电站水轮机蜗壳焊缝检测的需要，遇到厚板检测时可进行分区多次扫查。

a. 探头的选择。75 mm 以下的工件厚度一般使用单探头检测，对于铁素体材料的工件可根据表 1 选取合适的探头，对于奥氏体或其他高衰减材料检测时，需要降低探头公称频率和增大探头晶片尺寸。

表 1 厚度小于 75 mm 时探头选取依据

公称壁厚/mm	公称频率/MHz	晶片尺寸/mm	建议角度/(°)
$T < 12$	10 ~ 15	2 ~ 6	60 ~ 70
$12 \leq T < 35$	5 ~ 10	2 ~ 6	50 ~ 70
$35 \leq T < 75$	2 ~ 5	6 ~ 12	45 ~ 65

b. 探头中心距 P_{CS} 的计算。为使整个焊缝截面内具有较均匀的检测灵敏度，探头间距的调整宜使两探头声束中心线交点位于焊缝厚度的 $2/3$ 处 ($T \leq 50\text{ mm}$)，按照这一要求，结合焊缝两侧母材的厚度计算探头间距 (P_{CS} 值)， $P_{CS} = \frac{4}{3}KT$ ， $K = \tan\theta$ 。当 $50\text{ mm} < T < 75\text{ mm}$ 时，应设置 2 次 P_{CS} 进行扫查，扫查覆盖区域为扫查面相对侧壁厚深度的 $3/5$ ，探头间距调整宜使 2 个探头声束中心线交点位于扫查覆盖焊缝厚度的 $2/3$ 处，则 $P_{CS1} = \frac{8}{5}KT$ ；扫查覆盖区域为扫查面侧壁厚深度的 $2/5$ ，探头间距调整宜使 2 个探头声束中心线交点位于扫查覆盖焊缝厚度的 $2/3$ 处，则 $P_{CS2} = \frac{8}{15}KT$ 。以上 T 的选取均以薄板厚度为准。

c. 扫查方式 ①对母材厚度小于或等于 50 mm 的等厚焊缝，采用 1 次对中扫查；②对母材厚度小于或等于 50 mm 的不等厚焊缝，采用 1 次对中扫查加 1 次偏心扫查；③对母材厚度大于 50 mm 的等厚焊缝，采用 2 次对中扫查（分别选用 P_{CS1} 和 P_{CS2} ）；④对母材厚度大于 50 mm 的不等厚焊缝，采用 2 次对中扫查加 1 次偏心扫查（分别选用 P_{CS1} 和 P_{CS2} ）。

d. 灵敏度校验。选择好探头、探头间距等参数后，在对比试块上进行 D 扫描。将 A 型射频显示的直通波幅度调整到 $40\% \sim 80\%$ ，并调整显示延迟和范围，使直通波和底波及横波底面反射波都处于可以观察到的位置。进行 D 扫描时，横孔和底面狭槽都应能清晰显示。

e. 扫查速度。扫查速度不大于 50 mm/s ，且须

保证扫查数据丢失不大于扫查长度的 5% ，不得连续丢失数据。

f. 焊缝检测：①环缝检测。把环形焊缝分为 3 部分，O1 ~ O2，O2 ~ O3，O3 ~ O4，如图 1 所示。每部分分段扫查，用记号笔做标记，分段记录和标记，下一段开始时起点向上一段移动 1 000 mm ，保证交接处不漏检。即从 O1 点开始扫查，编码器分别以 O1，O2，O3 点定位，从 O1 到 O2，O3，O4 完成检测和记录。②蜗壳对接纵向焊缝和碟形边焊缝的检测。以顺水流方向纵焊缝起点定位，每条纵缝 1 次扫查长度为 1 000 mm ；湊合节的纵缝每次扫查长度也为 1 000 mm 。2 次扫查之间覆盖长度不小于 25 mm 。

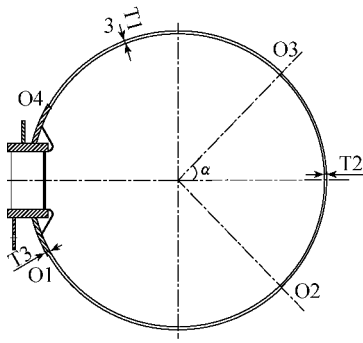


图 1 环缝检测记录图

4 数据分析

TOFD 检测技术主要根据成像图谱（图 2）的形状、尺寸进行数据分析，分为 2 步。第 1 步为定性分析，确定缺陷的性质，其判定主要依据图谱显示缺陷的形状；第 2 步为定量分析，确定缺陷的尺寸、位置等信息，缺陷的自身高度由缺陷的上下端点衍射信号来测量取得（注意缺陷上下端点衍射信号相位相反），缺陷长度由缺陷的成像长度测量取得，缺陷深度由直通波与缺陷衍射信号的上端点信号的时间差求得，缺陷距探头中心线的距离由 D 扫描信号求得。完成数据分析后，便可依据标准对缺陷的危害性等级进行评价。

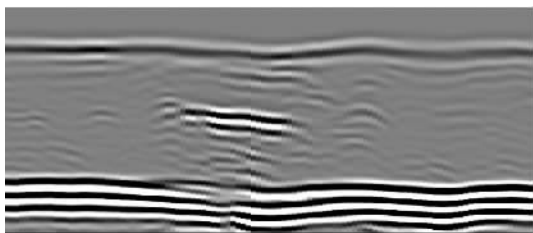


图 2 TOFD 检测技术成像图谱

5 实例

瀑布沟蜗壳的 1 条焊缝厚度为 30 mm ，材质为 ADB610D，采用 TOFD 检测，（下转第 29 页）

表 8 加垫且推力头把合螺栓对称均匀把紧后
各相对点盘车摆度数据 mm

相对点	上导对下导	水导对下导
1~5	0.07	0.08
2~6	0.08	0.08
3~7	0.05	0.05
4~8	-0.03	-0.03

镜板跳动值为 0.07 mm ,且下导轴承处摆度不大于 0.03 mm/m ,符合设计要求 ,根据盘车数据分析 ,上端轴与下导和水导轴承有点不同心 ,最大方位在 1 号和 2 号盘车点之间 ,需要向对称方向推 0.10 mm。移动上端轴在中心位置 ,还会改善 2 号和 6 号盘车点镜板跳动值 ,但当时受外界因素的影响 ,没有将上

端轴推到中心 ,考虑在导轴承瓦间隙分配时下导轴承瓦按摆度来分配。

3 结 语

瀑布沟水电站 4 号机组轴线调整 ,对轴线处理的方式应该是在弹性状态下机组盘车时轴线处理所有方式 ,对于镜板跳动超差比较大的情况 ,直接加垫会有明显的效果 ,但由于受机组安全运行的影响 ,在区域过渡方面不是很好 ,即接触面仍存在一定问题 ,希望随着安装技术或是材料制作技术的日趋成熟 ,这一现象能够得到很好的改善 ,使得该处理轴线方式更加有效、合理、安全。

(收稿日期 2011-07-10 编辑 高建群)

+++++

(上接第 26 页) 选用探头的公称频率为 5 MHz ,晶片尺寸为 6 mm ,角度为 60°。检测发现为层间未熔合 ,该状况采用 RT 检测较难发现 ,但 TOFD 检测图谱显示很明显(见图 3)。

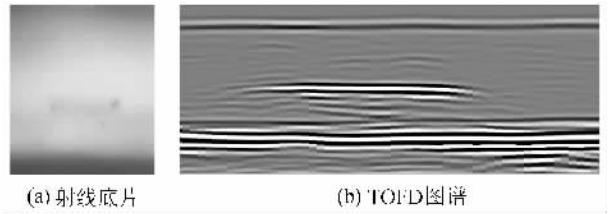


图 3 检测结果对比

6 结 语

TOFD 检测技术与传统的内部缺陷检测方法相比有着较大的优势 ,TOFD 检测克服了超声脉冲回波反射法检测固有的一些缺点 ,缺陷的检出和定量不

受脉冲角度、探测方向、缺陷形态、检测面粗糙度及探头压力等因素的影响 ,能准确地确定缺陷的性质、大小、深度、位置 ,检测精度和准确性远高于超声脉冲回波反射法 ;与 RT 检测相比 ,TOFD 检测具有检测效率高、检出率高、检测周期短、无辐射等优点。TOFD 检测在瀑布沟水电站水轮机蜗壳焊缝检测中的成功应用 ,表明 TOFD 检测在国内水电站焊缝检测中具有取代 RT 检测的趋势。

参考文献 :

[1] 曹怀祥 ,袁涛 ,等 . TOFD 检测超声成像在压力容器中的应用[J]. 压力容器 ,2008 ,25(2) :58-61.
[2] 中国机械工程学会无损检测学会 . 超声波检测[M]. 北京 :机械工业出版社 ,2005.

(收稿日期 2011-07-10 编辑 高建群)

+++++

· 简讯 ·

《水利水电科技进展》被“ 中国科学引文数据库 ”收录

据中国科学院国家科学图书馆通知 ,经过新一轮的遴选 《水利水电科技进展》从 2011 年起成为“ 中国科学引文数据库”(Chinese Science Citation Database ,简称 CSCD)的来源期刊。这是继《河海大学学报(自然科学版)》之后又一个进入该数据库的河海大学主办的期刊。

“ 中国科学引文数据库 ”建于 1989 年 ,建库以来深受我国教育、科技界的重视 ,有“ 中国的 SCI ”之称。目前 ,“ 中国科学引文数据库 ”从我国出版的 5 000 多种科技期刊中遴选出 1124 种优秀科技期刊 ,其中英文刊 110 种 ,中文刊 1014 种 ,覆盖自然科学、医学、工程技术、等学科领域 ,面向广大用户提供网络检索、情报分析服务。经过 20 多年的发展 ,“ 中国科学引文数据库 ”已成为我国科研绩效评估、科研进展发现的重要工具。2007 年 ,“ 中国科学引文数据库 ”与美国 Thomson . Reuters Scientific 合作 ,登录 ISI Web of Knowledge 平台 ,成为 ISI Web of Knowledge 平台上第一个非英文语种的引文数据库 ,为全世界更多的科研人员了解中国的科研发展及动态 ,推动我国科研成果在全球的传播提供了重要的渠道 ,为我国期刊面向全球提供了展示平台。

(本编辑部供稿)