

# 发电机护环端头裂纹超声波探伤方法

宋绍河<sup>1</sup>, 潘玉平<sup>1</sup>, 喻 疆<sup>1</sup>, 韩振华<sup>1</sup>, 蒋桂平<sup>2</sup>

(1. 北京中唐电工程咨询有限公司, 北京 100045; 2. 西安热工研究院, 西安 710043)

**摘要:** 发电机护环在高转速、高应力状态下运行。发电机轴颈与护环属紧配合结构, 由于发电机轴颈硬度低, 发电机护环硬度高, 频繁拆装使发电机轴颈与护环结合部位产生永久变形使预紧应力降低, 从而产生松动, 导致易产生疲劳裂纹, 超声波检测时护环两端头产生的裂纹回波与轴颈结合面产生固有回波处在相同位置, 且互相混淆不易检出。采用双晶收发探头检验方法提取了发电机护环两端头产生的裂纹动态波。在试块上试验可发现 0.5 mm 线切割槽的动态波形; 经现场测试发现了甘肃某厂 3 号机两只护环上的裂纹, 证明了此方法的可行性。

**关键词:** 护环端头; 超声波; 收发探头; 裂纹; 检验

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2013)05-0012-03

## Ultrasonic Flaw Detection Method for Cracks on the Generator Retaining Ring End

SONG Shao-He<sup>1</sup>, PAN Yu-Ping<sup>1</sup>, YU Jiang<sup>1</sup>, HAN Zhen-Hua<sup>1</sup>, JIANG Gui-Ping<sup>2</sup>

(1. Beijing Zhongtangdian Engineering Consulting Co Ltd, 100045, China;

2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co Ltd, 710043, China)

**Abstract:** Generator retaining rings operate under the condition of high speed and stress. Due to the different hardness of generator journal and generator retaining rings as well as permanent deformation caused by frequent disassembling, the pre-tightened stress of the originally close-connected structure between generator journal and generator retaining ring is reduced dramatically. The reduction will lead to the looseness of connection. Moreover, the looseness makes it easy to produce fatigue cracks. The cracks are difficult to detect because the echoes by them are in the almost same position with the echoes by the joint surface. This article adopts the double-crystal transceiver probe detection method to collect the dynamic echoes of cracks produced at both ends of the generator retaining rings. The method has detected the dynamic echoes of the 0.5 mm Linear cutting groove and two cracks on the No. 3 generator retaining ring in a factory province, which has proved the feasibility of the method.

**Keywords:** Retaining ring end; Ultrasonic; Transceiver probe; Crack; Test

## 1 概述

发电机护环是发电设备中较为重要的部件, 它于高转速、高应力状态下运行, 由于电晕放电灼伤, 常产生内壁裂纹。在实施探伤时, 护环两端头会有间断出现的反射波, 产生的原因有以下几种情

况: 一种是护环与轴颈结合部位为台阶式, 如某热电厂新扩建 660 MW 机组护环见图 1。声波打到台阶时会产生回波, 属固有结构信号。

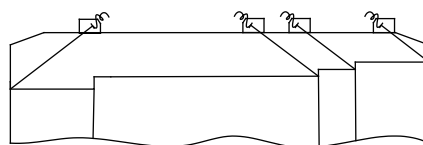


图 1 台阶和端角造成反射波

该反射回波产生的机理是当超声波以某一角度, 从一介质入射到第二介质时, 由于两种介质的声速不同就会产生折射现象, 常伴有波形转换。即使

收稿日期: 2012-05-14

基金项目: 此项技术已获国家专利, 专利号为 ZL2011. 2. 0051593. 6

作者简介: 宋绍河(1946—), 高级工程师, 主要从事电力系统无损检测工作。

在同一介质中由于某种原因(如应力不同)各部分的声速会出现差异,这时声波传播时就相当于遇到声阻抗不同的界面,也会发生声波的折射现象而产生回波。另有一种情况是由于两介质结合紧密声波透过第一介质进入另一介质,在交界面处也会产生反射波。缺乏探伤经验者往往将上述情况误认为裂纹波(已有先例)。若判为裂纹势必要将护环拔下,这会造成很大的经济损失。

由于护环与轴颈是加热套装属过应力配合,护环的刚度较轴颈高,如某热电厂2号机的护环为HB338-358,轴颈为HB251-256。则轴颈在套装部位长期运行和频繁拆装会发生永久性塑性变形,从而使两者之间过应力值降低、部分部位产生间隙。因高频振荡造成对护环结合部位内表面冲击,如图2所示即为因冲击形成的冲击印痕。护环在长期高速运转、高频振动下由交变应力酿成的疲劳裂纹如图3所示。此处产生的裂纹与上述固有信号处在同一部位,按常规探伤方法想要区分是很难的事,鉴于以上情况,笔者经多年研究和试验最终选用了交叉式串联探头探伤法,从中提取了裂纹动态波,解决了上述难题。



图2 护环结合部位冲击印痕

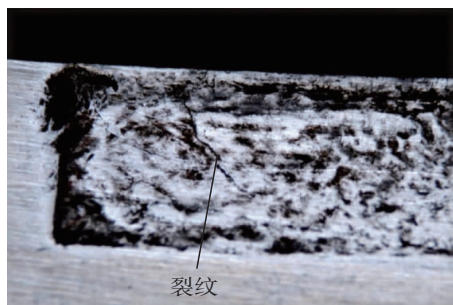


图3 冲击印痕内微裂纹

这种方法常用于测定工件厚度和试块厚度不同时的耦合差值,或用来测试试块与工件由于表面粗糙度引起的声能损失。

其二是为了发现与工件面平行的缺陷如图4所示。而笔者则是利用了当缺陷垂直于探伤工件面时,声波受到阻挡而接收探头接收不到声波这一特点而进行判伤的。

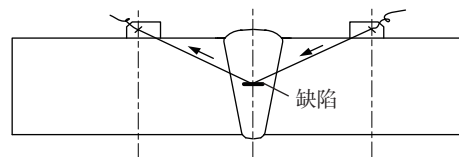


图4 超声波交叉式串联探头检查平行于探伤面缺陷

## 2 交叉式串联探头探伤法的理论依据

众所周知串联式探头是靠一发一收两只探头进行探伤,探头有三种摆放形式:一种是两只探头的压电晶片同向放置即一前一后摆放如图5所示;另一种是两只探头并列摆放如图6所示;当工件无缺陷时则收不到回波,或收到较弱的焦点波(属结构反射波),有缺陷时会收到缺陷回波。

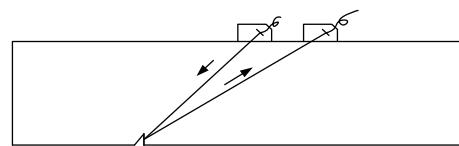


图5 探头前后放置

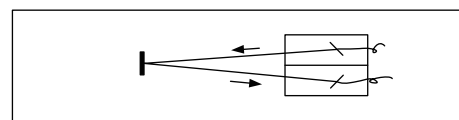


图6 探头平行放置

第三种是两只探头压电晶片相对摆放成交叉式如图7所示,由于两只探头尺寸、频率、角度相同,当无缺陷时发射探头发射的声波在工件底部发生反射,接收探头会全部接收到底面反射波使荧光屏上产生回波。

一旦有缺陷时,发射探头的声波受到阻挡,接收探头接收不到声波或接收到少量回波,则底面反射波会明显降低或完全消失如图8所示,笔者就是利用这一特点判定裂纹存在与否。

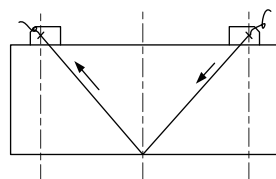


图7 探头交叉放置

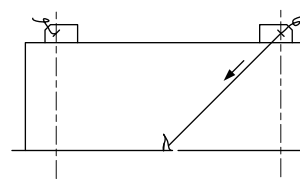


图8 声波受阻接收不到回波

### 3 探头参数选定

#### 3.1 频率选定原则

按声压衰减方程:

$$P_x = P_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

式中:  $P_0$  为波源的起始声压;  $P_x$  为至波源距离为  $x$  处的声压;  $x$  为至波源的距离;  $\alpha$  为介质衰减系数, 单位为 NP/mm;  $e$  为自然对数的底数 ( $e = 2.718 \dots$ )。

$$a = a_a + a_s$$

$$a_a = c_1 f$$

$$a_s = \begin{cases} c_2 F d^3 f^4 & d < \lambda \\ c_3 F d f^2 & d \approx \lambda \\ c_4 F / d & d > \lambda \end{cases}$$

式中:  $f$  为声波频率;  $d$  为介质的晶粒直径;  $\lambda$  为波长;  $c_1, c_2, c_3, c_4$  为常数;  $F$  为各向异性参数。

由以上公式可知:

(1) 介质的吸收衰减  $a_a$  与频率  $f$  成正比。

(2) 介质的散射衰减与介质的晶粒直径成正比。在实际探伤中, 当介质的晶粒粗大时选用较高的检测频率时就会引起严重衰减, 使超声波穿透能力显著降低。发电机组护环常用材质一般为 40Mn18Cr3, 40Mn18Cr4V, 50Mn18Cr4V, 50Mn18Cr4N, 50Mn18Cr4WN; 属奥氏体高强度反磁合金钢。对于老式机组, 发电机护环材质晶粒较粗大, 声能在介质中传播时损失较大, 多采用低频率探头。对于近年来大型机组如 300~600 MW 发电机组护环常用材质一般为 1Mn18Cr18N 和 18Mn18Cr 等材料, 晶粒一般较细小, 可采用中等频率探头进行检测。如兼顾两者则选用了 1.8~2 MHz 的探头。

#### 3.2 晶片尺寸选定原则

按式(2)及选定晶片尺寸

$$dp = \frac{P_0 ds}{\lambda r} \sin(\omega t - kr) \quad (2)$$

式中:  $ds$  为点波源的面积;  $r$  为点波源至 Q 点的距离;  $k$  为波数,  $k = \omega/c = 2\pi/\lambda$ ;  $\omega$  为圆频率,  $\omega = 2\pi f$ ;  $t$  为时间。

考虑到发电机护环一般较厚, 又属奥氏体钢, 需要较大的发射功率, 对于粗晶材质的发电机护环宜采用较大尺寸探头, 对于细晶材质的发电机护环宜采用中等尺寸探头。兼顾两者选用了 7 mm × 14 mm 压电晶片的探头。原因是力求发现较小裂纹, 其机理为: 当裂纹尺寸较小时若选用了较大尺寸压电晶片, 则声波具有绕射特性而可能绕过裂纹仍

然产生底面反射波, 裂纹起不到隔离声波作用。反之选用了较小尺寸压电晶片, 发射功率也小, 则声波被裂纹阻挡, 底面反射波显著降低或完全被遮挡, 裂纹起到隔离声波作用致使荧光屏上波幅降低或完全消失。由式(2)得知声压与压电晶片的面积成正比, 若压电晶片尺寸过小, 而发电机护环的厚度又厚, 反射回的声波将很少。这时不能将压电晶片选得过小。为了做到既要发现小裂纹, 又要保证探头有足够的发射声压只好将压电晶片放长, 放长的压电晶片会使声束由接近等轴的锥体变为长短轴较大的椭圆锥体, 更有利于对裂纹的辨认。鉴于此类裂纹一般沿径向扩展, 可将探头放置在圆弧面上, 重点检查径向裂纹就能达到探伤目的。

#### 3.3 探头角度选定原则

考虑到用两只探头跨距较大, 为尽量减少声能损失, 将探头角度选定在  $30 \pm 3^\circ$ 。

#### 3.4 探头支架研制

为保证两只探头相对稳定, 研制了可折式探头支架如图 9 所示。

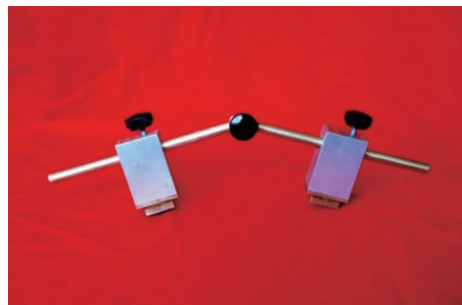


图 9 可折式探头支架

### 4 试块

为满足检测需要研制成弧形试块, 可选用接近待测护环厚度试块, 用 0.3 mm 线切割槽两只, 槽深尺寸可选用 0.5, 1 mm 如图 10 所示。其目的是为

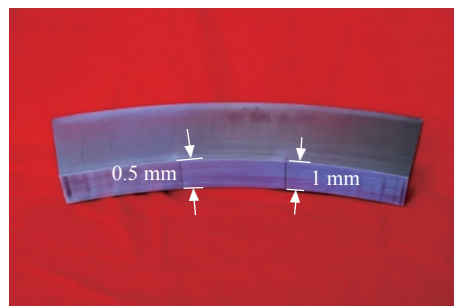


图 10 带有切割槽的弧形试块

(下转第 74 页)



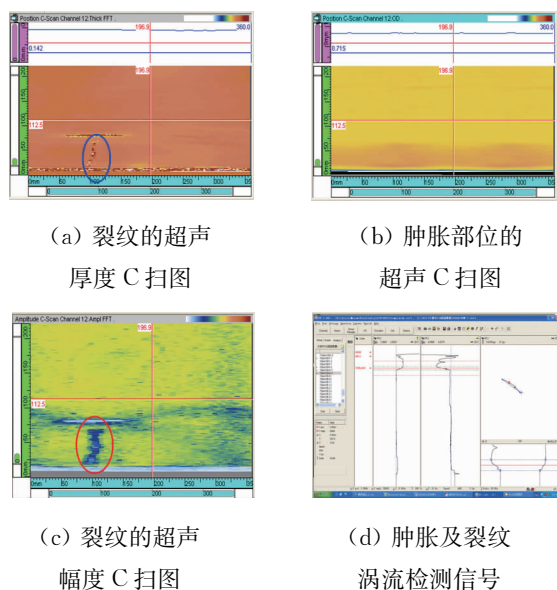
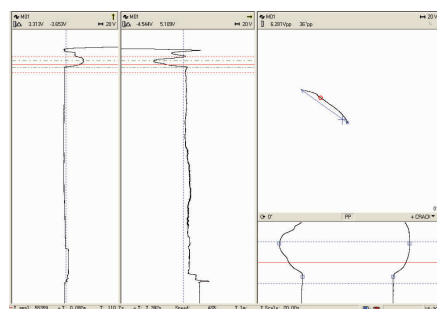
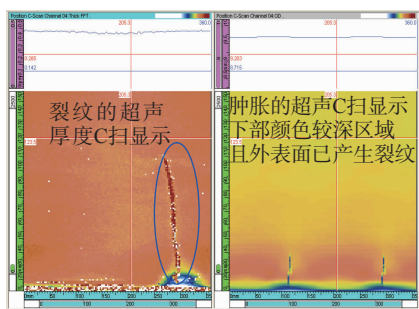


图 7 不锈钢包壳尖部区域典型肿胀及裂纹缺陷信号显示图

开始发生,最后扩展到包壳的外壁,形成贯穿性裂纹缺陷。其典型的超声信号如图 8(b)所示。



(a) 裂纹缺陷显示



(b) 贯穿裂纹缺陷

图 8 不锈钢包壳尖部区域典型贯穿裂纹缺陷显示信号图

### 3.2 缺陷分析

#### 3.2.1 磨损缺陷

应结合壁厚、频率、幅值和外径轮廓进行分析判定,测量计算出表征磨损缺陷的两个特征参数:一是磨损的截面积比或剩余截面积比;二是磨损深度值。

#### 3.2.2 肿胀缺陷

通过外径轮廓进行分析判定,测量计算出表征

肿胀缺陷的两个特征参数:肿胀值和肿胀长度范围。

#### 3.2.3 裂纹缺陷

主要是通过涡流检验方法测量缺陷信号的幅值和相位来判定,测量计算出表征裂纹缺陷的两个特征参数:幅值与相位。当超声检验结果同时也检测到裂纹信号时,应结合壁厚、频率、幅值三个参数进行分析判定,裂纹是否贯穿包壳壁厚,则应结合外径进行综合分析后判定。

(下转第 77 页)



(上接第 14 页)

了能发现较小的裂纹。

## 5 仪器调试

### 5.1 扫描速度调整(以数字机为例)

仪器选用目前通用的 A 型探伤仪,模拟机数字机均可。选用两只频率为 1.8 MHz,探头前沿为 10 mm、角度均为 33.5°的探头,其中的一只在 CS-I A、CS-III A 试块上测试探头的入射点、角度、调扫描速度(无需做距离波幅曲线),仪器调好后将探伤方式改为双探头。

将探头放在完好部位先固定一只探头,移动另一只探头使声波达到最高点(需随时调整波幅高度至 80%),固定该探头。

### 5.2 灵敏度调整

将底面反射波调整为满屏高的 80%,然后提高 2~4 dB 即可进行探伤。

## 6 裂纹动态波辨认

将调整好的探头放置于试块上 0.5 mm 线切割槽两侧,使探头逐渐跨越线切割槽,此时会发现随探头移动波幅会产生突降而后又突升现象,波幅可降为原来幅度的 50%,甚至为原来的 25%。当后一只探头跨过线切割槽时,底面回波又回复到 80%。遇到此种情况可反复左右移动探头,若有再现性可判为裂纹。此现象即是判定裂纹的主要依据。经实际验证,可见到某 3 号发电机护环上两条裂纹显示。

## 7 结语

上述介绍的采用双晶收发探头检测发电机护环两端头裂纹的方法和理论基础,经试验验证,所述探伤方法结果正确,有较好的推广价值。此项技术已获国家专利(ZL2011.2.0051593.6)。