

枞树型叶根 SH 波检测技术

林德源, 江祖瑄

(福建省电力试验研究院, 福州 350007)

Shear Wave Testing Technology for the Root of Fir-Type Turbine Blade

LIN De-Yuan, JIANG Zu-Xuan

(Fujian Electric Power Test & Research Institute, Fuzhou 350007, China)

中图分类号: TG115.28

文献标识码: B

文章编号: 1000-6656(2008)03-0188-02

随着国民经济的快速发展, 高参数、高容量、高效率的大型机组成为发电的主力军。汽轮机转子叶片作为重要的金属部件, 在高温、高压、高速和恶劣的工况下受力极其复杂, 特别是埋藏在转子轮槽内的叶根, 如未及时发现存在的疲劳缺陷, 将造成机毁人亡的重大事故。

1 枞树型叶根的检测难点

枞树型叶根为切向装配, 镶嵌在叶轮槽内, 叶片之间间隙狭窄, 叶身外露部分为探伤面, 面积狭小, 受探头扫查范围及内外弧面限制, 探头放置困难(图 1)。

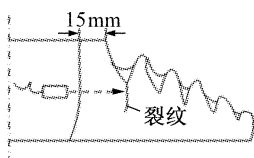


图 1 叶根探伤示意图

裂纹源基本位于出汽侧的第一齿^[1], 裂纹开始朝叶根下部约 45° 扩展, 当达到一定长度后基本平行于端面开裂, 最终叶根断裂失效。切向装配的枞树型叶根嵌入轮槽内, 工作部分(叶身)背面为不平整的凸曲面, 另一侧为凹曲面, 外露部分是主要的检测面。由文献[2]可知, 可采用小角度横波斜探头的一次波, 在进汽侧的叶根侧面小平台对出汽侧的裂纹进行检测; 根据叶根的级数不同也可选小角度横波斜探头二次波, 在背弧面的出汽侧进行扫查; 若采用二次波或三次波进行检测, 受叶根齿波级齿根弧面的影响, 其超声波波型较为复杂, 对裂纹的判别不利, 故该方法只能检测较大裂纹。

在表面下两个波长内集中了表面波能量的 99%, 5 MHz 频率的超声表面波可以近似认为表面能量集中在表面下 1 mm 之内, 但当表面波在工件表面传播时, 遇到棱边、刀痕、裂纹、表面污物或缺陷等, 均会产生强烈的反射^[1]。随着机组运行时数的增加, 叶根积聚的污垢和盐垢也随之增加, 故采用表面波探伤易出现误判, 但该方法可用于复探进行对比。

2 SH 波特性及探头的研制

横波的振动方向与工件表面平行且在表面下 0 ~ 10 mm 内均匀传播, 不受台阶的影响。根据枞树型叶根的特点, 在内弧面或背面均能检测出叶根裂纹缺陷。由文献[3]可知, 横波在折射角为 70° ~ 80° 时回波声压达到最大值; 不同频率的横波在特定角度内, 其表面及表面下的声场强度可达到一致, 即可达到同一检验灵敏度。另外, 横波对工件的表面光洁度要求不高, 几乎不受工件表面状况的影响。

为使 SH 波探头的折射角为 90°, 入射角由下式计算出:

$$\frac{\sin \alpha}{C_s} = \frac{\sin 90^\circ}{3230}$$

式中 C_s 为有机玻璃的横波声速, $C_s = 1460$ m/s。由上式可计算得 $\alpha = 26^\circ$ 。由此研制出横波探头参数为: 晶片频率为 5 MHz, 晶片尺寸为 5 mm × 5 mm, 入射角为 26°。

3 枞树型叶根 SH 波检测技术

3.1 检测位置的选择

由文献[2]受力分析可知, 枞树型叶根第一齿受

收稿日期: 2007-02-12

作者简介: 林德源(1972—), 男, 工程师, 主要从事无损检测及焊接。

力最大,且受力逐级减小。裂纹萌生后沿截面 45° 扩展,最后平行于端面断裂,故叶根的断裂是检测的重点(图 2)。由于裂纹萌生阶段及扩展阶段方向的差异,需作与端面平行和斜平行扫查。另外经分析可知,选择叶根的内弧面进行扫查较为合适。

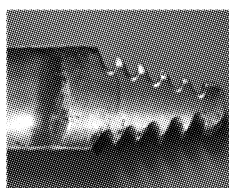


图 2 枞树型叶根裂纹

3.2 扫描速度的调节

表面横波扫描速度调整方法与普通探头不同,但与表面波相似。调节方法如下:

(1) 将横波探头置于图 3 的台阶型试块上,前沿距台阶 20 mm。利用深度水平旋钮,将回波调至 20 mm 和 40 mm 位置上,即完成水平刻度调节。此时零点即探头前沿。

(2) 使探头前沿与棱边成一定距离(例如 20 mm),不调“扫描速度”,只调“水平(或延迟)”旋钮,使一次波等于这一距离(如 20 mm),则扫描速度调节完成。

3.3 检测灵敏度的确定

参照表面波,以端面回波调节探伤灵敏度。也可使用图 3 所示的试块调节探伤灵敏度。

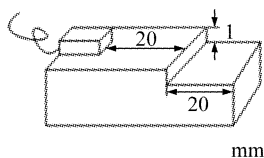


图 3 横波调节试块

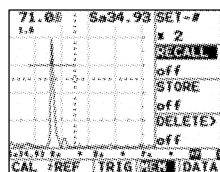


图 4 叶根裂纹波形图

3.4 波型分析及判定

以内弧面为例,当探头沿叶身中心线向前移动时,会出现叶根端部回波,其位置为探头前沿至端面的直线距离。当晶片长度较大时,由于扩散角关系可能发现较大裂纹的回波信号。与 2 mm 人工切口的基准波高相比,若回波声程与裂纹声程相近,波幅高于探伤灵敏度且长度 > 5 mm,可判定为裂纹的回波信号。图 4 为某电厂叶根检出的裂纹波形图。

4 结语

SH 波很好地解决了枞树型叶根的检测问题,但使用时应注意:

(1) 由于使用横波专用耦合剂,探伤时发现可疑信号要随时在试块上进行对比。耦合剂涂抹时间、环境温度对回波幅度影响大,应引起特别注意。

(2) 裂纹开裂平面平行于探伤平面灵敏度高,垂直于探伤平面灵敏度低,故要合理选择探伤面。

(3) 耦合剂粘度大,扫查时一般不要前后移动。

(4) 横波对表面开口深度 < 0.5 mm 的圆形缺陷不敏感。

表面横波探头研制成本较高,需作进一步的试验工作,以更好地推广使用。

参考文献:

- [1] 宋绍河. 汽轮机叶根探伤研究[J]. 甘肃电力, 1994, (2): 43—45.
- [2] DL/T 714—2000 汽轮机叶片超声波检验技术导则[S].
- [3] 李明. SH 波应用性及相关研究[C]. 电力系统第九届无损检测年会论文集. 苏州: 2003.

(上接第 187 页)

灵敏度的校验采用金属丝像质计,计算公式如下:

$$\text{灵敏度} = \frac{D_{\min}}{T_A}$$

根据上述计算公式不难看出,在灵敏度不变的情况下,随壁厚的增加可识别的金属丝的最小线径也增加,也可以说沿穿透方向上的最小缺陷的尺寸增大。在美国石油学会标准 API SPEC 5L 和各管线的补充技术规定中,对于射线的验收标准不随壁厚的变化而改变。因此,制管厂在进行 X 射线工业电视的检查过程中,一定要注意到厚壁管和薄壁管的焊缝检验存在绝对灵敏度的差异。

4 结论

由超声波探伤和射线探伤的基本原理可知,超声波探伤易发现面状缺陷,如未焊透、未融合和裂纹等。射线探伤易发现体积形缺陷,如夹杂和气孔等。从检测缺陷的性质上看,超声波发现的缺陷大多为致命的缺陷。由于壁厚的增加,相对薄壁钢管的检测, X 射线工业电视检测未焊透、未融合和裂纹等缺陷的灵敏度下降。

制管厂在进行厚壁钢管检测时需要注意,应提高对超声波探伤重要性的认识,绝不能因为 X 射线工业电视的检查直观而忽视超声波探伤,两种探伤方法具有良好的互补性。