

ICS 27.100

K 54

备案号: 33083-2011

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

**DL/T 714 — 2011**

代替 DL/T 714 — 2000

## 汽轮机叶片超声波检验技术导则

**Technical guide for the ultrasonic testing of turbine-blades**



2011-07-28发布

2011-11-01实施

国家能源局 发布

## 目 次

|  |     |
|--|-----|
| 前言 .....                                   | II  |
| 引言 .....                                   | III |
| 1 范围 .....                                 | 1   |
| 2 引用标准 .....                               | 1   |
| 3 术语和定义 .....                              | 1   |
| 4 一般规定 .....                               | 1   |
| 5 仪器、探头和试块 .....                           | 1   |
| 6 检验技术条件选择 .....                           | 2   |
| 7 检验报告 .....                               | 5   |
| 附录 A (规范性附录) 汽轮机叶片的叶身和叶根超声检验灵敏度及动态波形 ..... | 6   |

## 前　　言

本标准与 DL/T 714—2000《汽轮机叶片超声波检验技术导则》相比，主要作了以下修订：

- 调整了章节内容、编排顺序；
- 扩大了导则的适用范围；
- 提高了对仪器和探头的技术要求；
- 增加了多个新的检验方法，对原导则的内容进行了大的改动；
- 将原导则的 2 个附录缩减为 1 个附录，取消了原导则的附录 B。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站金属材料标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：西安热工研究院有限公司。

本标准参加起草单位：江苏省电力试验研究院有限公司、华北电力科学研究院有限责任公司、福建省电力试验研究院、浙江省电力试验研究院、湖北华电襄樊发电有限责任公司、华能伊敏煤电公司伊敏发电厂、南京新七星超声技术有限公司、美国捷特公司。

本标准主要起草人：朱立春、于强、胡先龙、林德源、周重回、谢涛、王德瑞、张国富、韩向文。

本标准自实施之日起，代替 DL/T 714—2000《汽轮机叶片超声波检验技术导则》。

本标准为第 1 次修订。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

## 引言

运行中汽轮机叶片处于极复杂的应力状态，往往由于叶片（叶身和叶根）设计不合理、材料不符合要求、机加工质量不佳、组装工艺不良、运行工况变动等因素的影响造成叶片断裂事故。对叶片尤其是叶根进行预防性检查是消除设备隐患，确保机组安全运行的重要手段。

长期以来，许多研究人员开展了大量的试验研究工作。目前大量老旧机组仍然在超期服役，大容量新机组相继投运，叶片的断裂时有发生，本标准的修订为叶片超声波检验提供了技术依据，提高了检测的准确性。

请注意本标准的某些内容有可能涉及专利，本标准的发布机构不应承担识别这些专利的责任。

# 汽轮机叶片超声波检验技术导则

## 1 范围

本标准规定了在役汽轮机组检修时，使用 A 型脉冲反射式超声波探伤仪，以单探头接触法为主进行汽轮机叶片（叶身及叶根）的超声波检验和判定方法。

本标准适用于汽轮机叶片的叶身和叶根超声波检验。

## 2 引用标准

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12604.1 无损检测术语 超声检测

JB/T 9214 A型脉冲反射式超声探伤系统工作性能测试方法

JB/T 10061 A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件

JB/T 10062 超声波探伤用探头性能测试方法

JB/T 10063 超声波探伤用 1 号标准试块技术条件

## 3 术语和定义

除按 GB/T 12604.1 规定的术语外，下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**探头前沿 front distance**

入射点至前沿的距离，用  $l_0$  表示。

### 3.2

**外露尺寸 external dimensions**

叶根外露在轮缘外部的尺寸，用  $h_0$  表示。

### 3.3

**斜面宽度 bevel width**

叶片工作部分过渡到叶根的斜面宽度，用  $a$  表示。一般此斜面都略带凹形弧面。

### 3.4

**肩台高度 high of root shoulder**

叶根外露部分有的与叶根侧面不在一个平面上，高出的尺寸称为肩台高度，用  $b_0$  表示。

## 4 一般规定

4.1 从事检验的人员应持有电力工业无损检测 UT 专业 II 级及以上资格证书。

4.2 从事检验的人员应遵守电力安全工作规程有关规定。

4.3 当检验条件不符合本标准的工艺要求或不具备安全作业条件时，检验人员应停止检验，待符合条件后再进行工作。

## 5 仪器、探头和试块

5.1 超声波探伤除应符合 JB/T 9214 和 JB/T 10061 规定外，还应符合下述要求：

- a) 水平线性误差应不大于 1%;
- b) 垂直线性误差应不大于 5%;
- c) 超声波探伤工作频率应为 1MHz~10MHz;
- d) 衰减器的总衰减量应不小于 80dB, 在探伤仪规定的工作频率范围内, 衰减器每 12dB 的工作误差应在±1dB 之内, 最大累计误差应不超过 1dB;
- e) 直探头分辨率应大于等于 30dB, 斜探头分辨率应大于等于 6dB。

5.2 超声波探头性能应按 JB/T 10062 进行测定, 叶片检验用探头宜选用 2.5MHz~10MHz 的专用纵波、横波或表面波等探头, 其外形尺寸应能满足本标准检验的技术要求。

### 5.3 叶片检验用试块分校准试块及参考试块两种:

- a) 根据 JB/T 10063 标准, 1 号标准试块 (或相近试块) 用于对探头入射点、折射角等有关性能测试和仪器时基线调整;
- b) 参考试块宜采用相同材质的同型号叶片, 若现场无法实现上述要求, 则应根据该级叶片结构图, 选择合适探伤技术条件。

## 6 检验技术条件选择

6.1 耦合剂可选取甘油 (丙三醇)、机油或专用耦合剂。

6.2 被探叶片的叶身或叶根探测面应进行清理, 满足探伤要求并按序编号。

6.3 汽轮机叶片的叶身和叶根超声检验灵敏度及动态波形选取和鉴别见附录 A。

6.4 叶身检验宜采用表面波, 探头放置见图 1。对带有司太立合金焊缝的末级叶片, 宜采用横波。

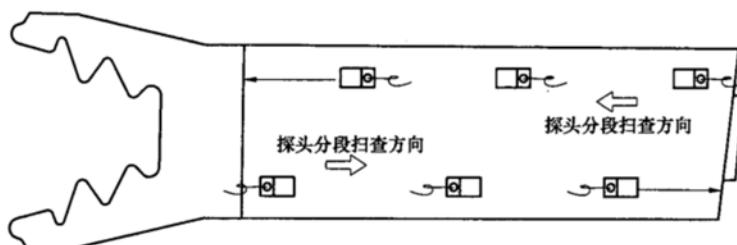


图 1 叶身表面波探头放置图

6.4.1 表面波探头平行于叶身边沿间距应不大于 150mm 的分段扫查, 检验时可略作左右摆动。

6.4.2 判伤时, 应充分考虑叶片过渡区棱角、叶身表面油污、锈蚀、汽蚀、异物冲击等可能造成的影响。

6.5 骑缝铆孔叉型叶根的铆孔位于相邻叶根之间, 检验时探头放置见图 2。检验方法应根据表 1 进行选取。叉型叶根裂纹一般发生在靠近叶身侧的铆孔旁截面最小处。

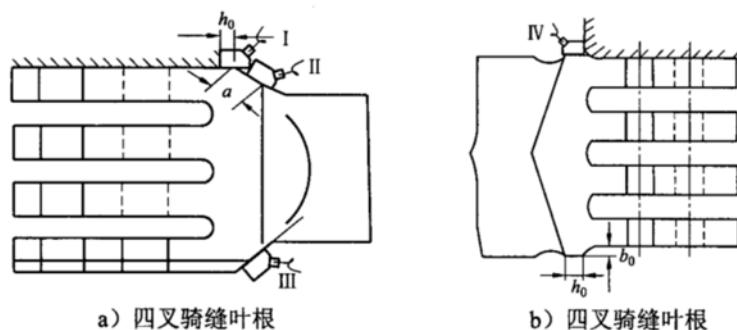


图 2 骑缝铆孔叉型叶根检验探头放置图

表 1 骑缝铆孔叉型叶根检验方法的选取

| 选取条件                                  | 检验方法            | 探头放置位置                |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| $h_0 \geq l_0, b_0 \leq 0.5\text{mm}$ | 表面波或横波          | 探头置于图 2a) 位置 I        |
| $h_0 < l_0, b_0 \leq 0.5\text{mm}$    | 表面波、横波或双晶纵波     | 探头置于图 2a) 位置 II 或 III |
| $h_0 \geq l_0, b_0 > 0.5\text{mm}$    | 横波二次波           | 探头置于图 2b) 位置 IV       |
| 肩台为凹弧面                                | 双晶横波、纵波或单晶横波、纵波 | 探头置于图 2a) 位置 II 或 III |

6.6 中心铆孔叉型叶根的铆孔位于叶根的横向中间位置，检验方法应根据表 2 进行选取。

表 2 中心铆孔叉型叶根检验方法的选取

| 选取条件                               | 检验方法            | 探头放置位置     |
|------------------------------------|-----------------|------------|
| $h_0 \geq l_0, b_0 < 0.5\text{mm}$ | 表面波             | 探头放置位置见图 3 |
| $h_0 \geq l_0, b_0 > 0.5\text{mm}$ | 横波二次波           | 探头放置位置见图 3 |
| 肩台为凹弧面                             | 双晶横波、纵波或单晶横波、纵波 | 探头放置位置见图 3 |

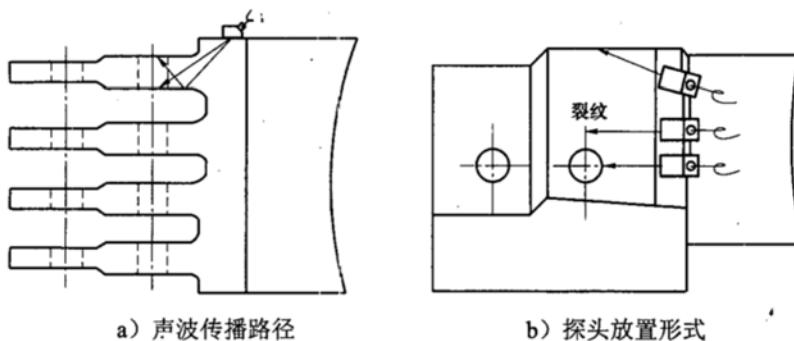


图 3 中心铆孔叉型叶根检验探头放置图

6.7 T 型叶根分为单 T 型和双 T 型两种形式。

6.7.1 带肩台 T 型叶根宜采用横波或纵波检验。采用横波检验，探头放置位置见图 4，采用专用的微型横波探伤探头，放置于叶身底部有限的内弧上进行检验；采用纵波检验，探头放置位置见图 5，采用专用的微型纵波探伤探头，放置于叶身底部有限的内弧（或外弧）肩台上进行检验。

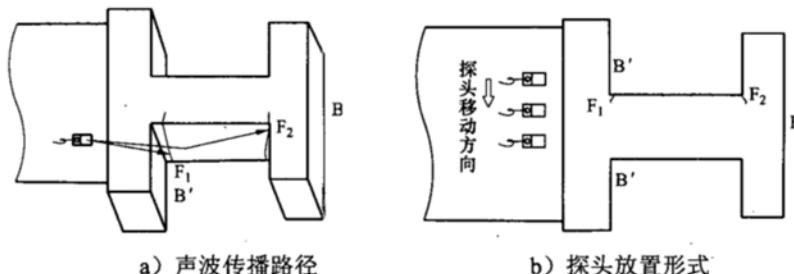
B、B'—叶根端面；F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>—裂纹

图 4 T 型叶根内弧面横波探头放置图

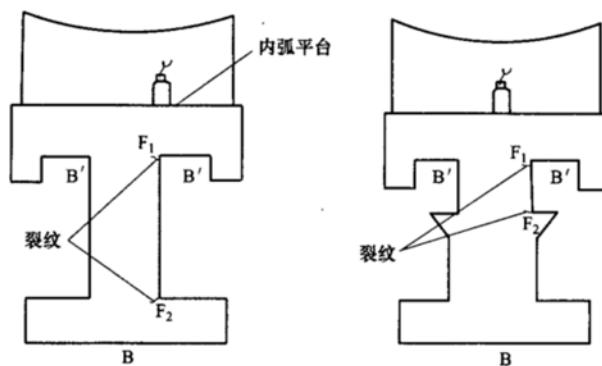


图 5 T 型叶根肩台部位纵波探头放置图

6.7.2 对无肩台一侧弧面，宜采用表面波从该叶片的叶身向叶根方向入射。探头放置见图 6。

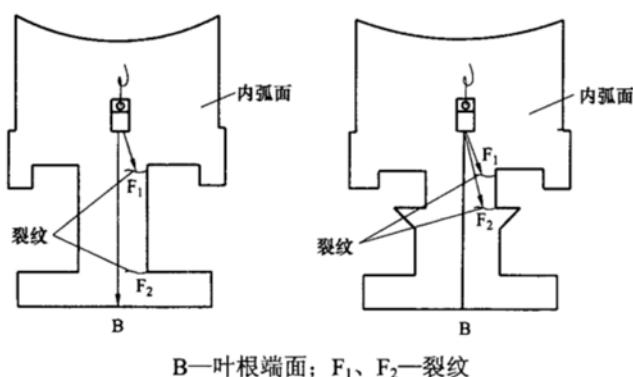
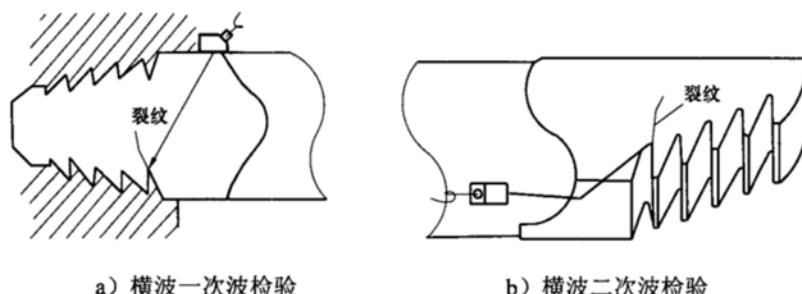


图 6 T 型叶根内弧面表面波检验探头放置图

6.7.3 叶根的判伤由叶根的动力波形进行判断。

6.8 枫树型叶根分为切向装配和轴向装配两种类型：

- 切向装配的叶根采用横波一次波检验时，所采用横波探头的角度由实际叶根尺寸确定。探头应放置于进汽侧的外露肩台上进行检查，见图 7a)。
- 切向装配的枫树型叶根需实施横波二次波检验时，检验探头放置于叶身出汽侧背弧面上进行检查，见图 7b)。
- 轴向装配枫树型叶根侧面外露，可用表面波对第一齿进行检验，探头放置见图 8。
- 枫树型叶根可采用超声波相控阵技术进行检验。

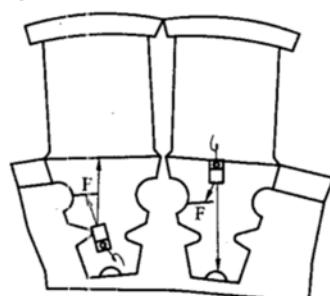


a) 横波一次波检验      b) 横波二次波检验

图 7 切向装配枫树型叶根检验探头放置图

6.9 菌型叶根宜采用直探头、小角度纵波斜探头或横波斜探头进行检验。检验用探头根据叶根尺寸专

门设计。探头放置见图 9, F 为裂纹信号。



F—裂纹

图 8 轴向装配纵树型叶根检验时探头放置图

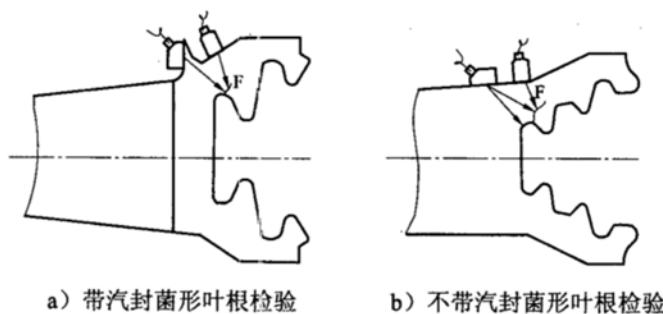


图 9 菌形叶根检验时探头放置图

## 7 检验报告

检验报告应至少包括下列内容:

- 委托检验单位、检验报告编号、签发报告日期;
- 检验依据;
- 叶片所属汽轮机型号、叶轮及叶片编号、叶片材质、检验表面的粗糙度、叶根类型及尺寸;
- 超声探伤仪型号、探头型号、探伤频率、耦合剂、检验灵敏度;
- 缺陷类型、尺寸、位置;
- 检验结论;
- 检验人员及签发报告人员姓名、技术级别。

附录 A  
(规范性附录)  
汽轮机叶片的叶身和叶根超声检验灵敏度及动态波形

### A.1 叶身检验

A.1.1 叶身检验灵敏度及判伤波高见表 A.1。

表 A.1 叶身检验灵敏度及判伤波高

| 检验方法  | 适用部位          | 参考信号部位                         | 检验灵敏度       | 判伤波高  |
|-------|---------------|--------------------------------|-------------|-------|
| 表面波检验 | 叶 身           | 表面波探头正对叶片端头，探头前沿距端头 40mm       | 参考回波增益 20dB | ≥10dB |
| 横波检验  | 司太立合金焊缝(末级叶片) | 横通孔 $\phi 1 \times 6\text{mm}$ | 参考回波增益 10dB | ≥0dB  |

A.1.2 叶身表面波检验时动态波形如图 A.1 所示(F 为裂纹信号, A 为拉筋孔回波, B 为叶片端头信号, T 为始波)。

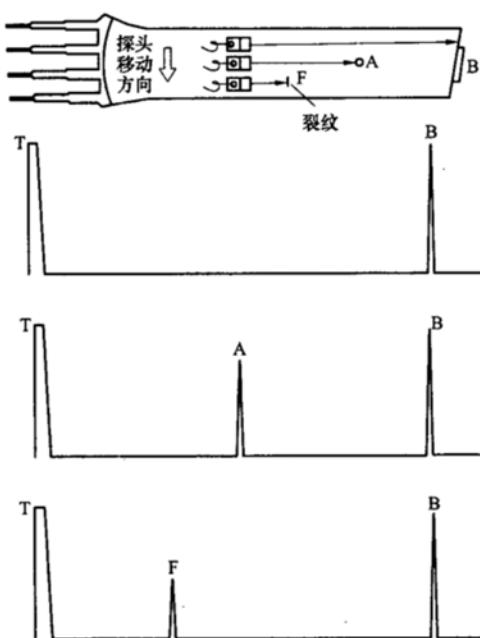


图 A.1 叶身表面波检验时动态波形图

A.1.3 镶焊有司太立合金末级叶片的叶身焊缝, 宜采用大折射角度的横波探头进行检验。

### A.2 骑缝铆孔叉型叶根检验

A.2.1 骑缝铆孔叉型叶根检验灵敏度及判伤波高见表 A.2。

表 A.2 骑缝铆孔叉型叶根检验灵敏度及判伤波高

| 检验方法                 | 适用部位                               | 参考信号部位 | 检验灵敏度       | 判伤波高              |
|----------------------|------------------------------------|--------|-------------|-------------------|
| 表面波检验                | $h_0 > l_0, b_0 \leq 0.5\text{mm}$ | 上铆孔端角  | 参考回波增益 10dB | $\geq 6\text{dB}$ |
| 横波检验<br>(声束垂直叶根底部端面) | $a > l_0$ (带凹弧形肩台)                 | 底部端角   | 参考回波增益 20dB | $\geq 6\text{dB}$ |
| 双晶横波、纵波检验            |                                    |        | 参考回波增益 10dB | $\geq 0\text{dB}$ |
| 横波检验 (二次波)           | $h_0 > l_0, b_0 \geq 0.5\text{mm}$ | 上铆孔端角  | 参考回波增益 5dB  | $\geq 0\text{dB}$ |

A.2.2 骑缝铆孔叉型叶根采用表面波、双晶纵波和垂直底部端面横波检验时的动态波形如图 A.2 所示 (三者动态波形相似, A 为上铆孔端角信号, B 为叶根端面信号, C 为下铆孔端角信号, F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 为裂纹信号, T 为始波), 采用横波二次波检验时的动态波形如图 A.3 所示。

横波二次波探测, 探头在叶根探测面从上往下移动, 并略有转动时出现的信号, D 为上铆孔端角信号, H 为下铆孔端角信号, B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub> 分别为底部端面上、下端角的反射信号, F、F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 为裂纹信号, T 为始波。

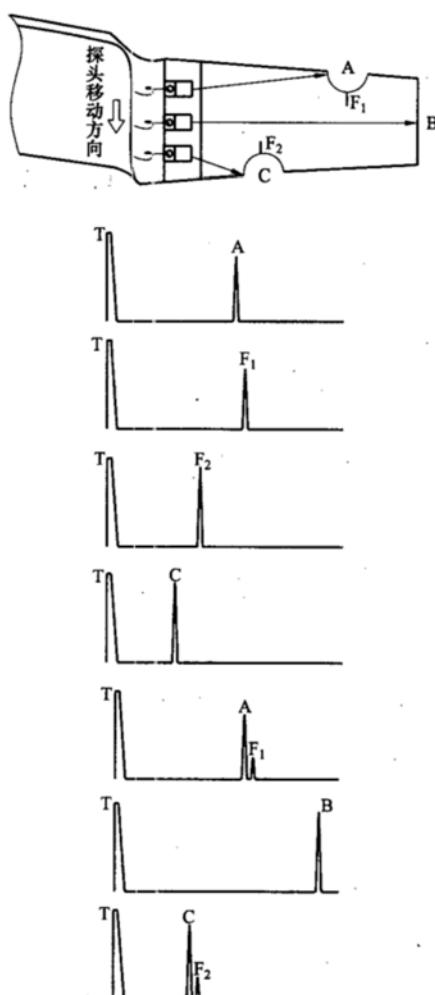


图 A.2 骑缝铆孔叉型叶根表面波、双晶纵波和垂直底部端面横波检验时动态波形图  
(三者动态波形相似)

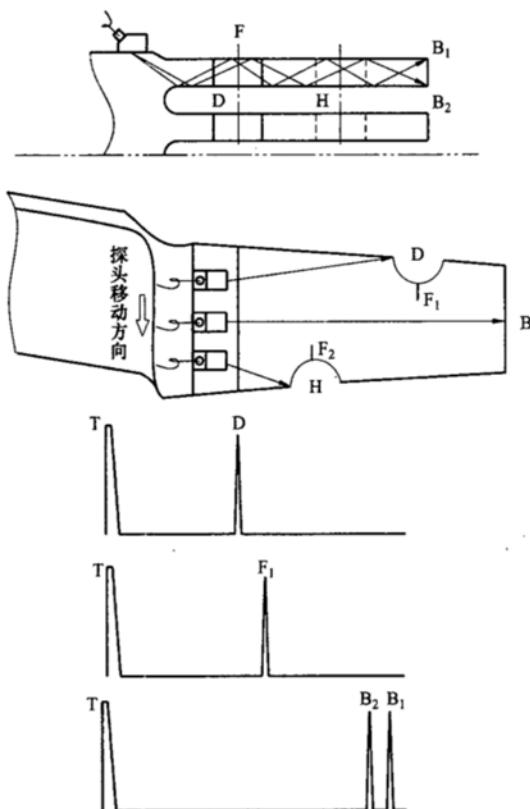


图 A.3 骑缝铆孔叉型叶根横波二次波检验时的动态波形图

### A.3 中心铆孔叉型叶根检验

A.3.1 中心铆孔叉型叶根检验灵敏度及判伤波高见表 A.3。

表 A.3 中心铆孔叉型叶根的检验灵敏度及判伤波高

| 检验方法                 | 适用部位                                  | 参考信号部位 | 检验灵敏度   | 判伤波高              |
|----------------------|---------------------------------------|--------|---|-------------------|
| 表面波检验                | $h_0 \geq l_0, b_0 \leq 0.5\text{mm}$ | 上铆孔圆弧面 | 参考回波增益 5dB ( $b_0=0$ )<br>0 ( $0 < b_0 \leq 0.5\text{mm}$ ) | $\geq 7\text{dB}$ |
| 横波检验<br>(声束垂直叶根底部端面) | $a > l_0$<br>(带凹弧形肩台)                 | 底部端角   | 参考回波增益 20dB   | $\geq 3\text{dB}$ |
| 双晶横波、纵波检验            |                                       |        | 参考回波增益 10dB   | $\geq 3\text{dB}$ |
| 横波检验(二次波)            | $h_0 \geq l_0, b_0 > 0.5\text{mm}$    | 上铆孔上端角 | 参考回波增益 0dB<br>( $0 < b_0 \leq 0.5\text{mm}$ )               | $\geq 0\text{dB}$ |

A.3.2 中心铆孔叉型叶根不论采用表面波检验还是横波检验，裂纹波都出现在上铆孔信号稍后一点的位置。图 A.4 为 中心铆孔叉型叶根检验时的动态波形，A 为上铆孔信号，B 为底部端面信号，F 为裂纹信号，T 为始波。中心铆孔叉型叶根采用双晶横波检验时，动态波形基本上与图 A.2 相似。

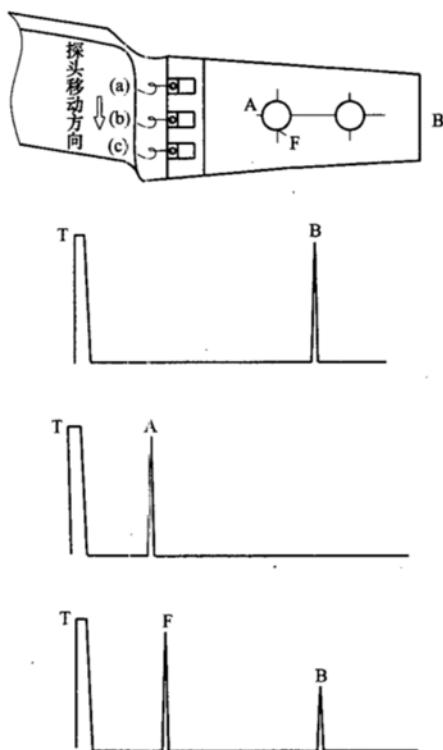


图 A.4 中心铆孔叉型叶根检验时动态波形图

#### A.4 T型叶根检验

A.4.1 T型叶根检验灵敏度及判伤波高见表A.4。

表 A.4 T型叶根检验灵敏度及判伤波高

| 检验方法      | 适用条件    | 探头位置 | 参考信号部位 | 检验灵敏度       | 判伤波高 |
|-----------|---------|------|--------|-------------|------|
| 横波检验      | 内弧面     | 弧面   | 叶根端面   | 参考回波增益 20dB | ≥6dB |
| 纵波检验（直探头） | 内（外）弧肩台 | 肩台   | 叶根端面   | 参考回波增益 20dB | ≥0dB |
| 纵波检验（斜探头） | 内（外）弧肩台 | 肩台   | 叶根端面   | 参考回波增益 20dB | ≥0dB |
| 表面波检验     | 无平台内弧面  | 弧面   | 叶根端面   | 参考回波增益 20dB | ≥0dB |

A.4.2 T型叶根检验时动态波形见图A.5和图A.6。B、B'分别为叶根底端面和肩台端面反射信号，B'\_2、B'\_3、B'\_4为肩台端面多次反射信号，F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>为裂纹信号，F'\_12、F'\_13、F'\_14为裂纹F<sub>1</sub>多次反射信号，T为始波。

A.4.3 双T型叶根检验时动态波形见图A.7。B、B'分别为叶根底端面和肩台端面反射信号，B'\_2、B'\_3、B'\_4为肩台端面多次反射信号，C为叶根底端上端面信号，D为叶根底端下端面信号，E为叶根中部肩台端面反射信号，F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>为裂纹信号，F'\_12、F'\_13、F'\_14为裂纹F<sub>1</sub>多次反射信号，T为始波。

F<sub>1</sub>裂纹波与B'底面波声程相近；F<sub>1</sub>裂纹波与B底面声程差较大。由于仪器有盲区，因此F<sub>1</sub>裂纹一次波和B'底面一次波常常不呈现，F<sub>1</sub>裂纹只能通过多次回波来观察。另外，裂纹F<sub>1</sub>和F<sub>2</sub>的存在，将使底波B部分或全部被遮挡。

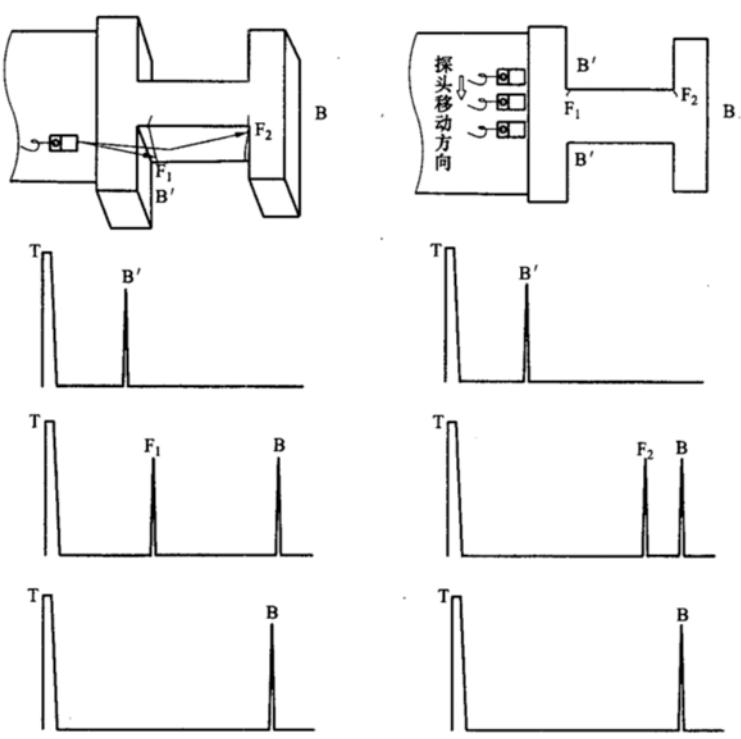
a) F<sub>1</sub>回波动态波形图      b) F<sub>2</sub>回波动态波形图

图 A.5 T 型叶根横波检验时动态波形图

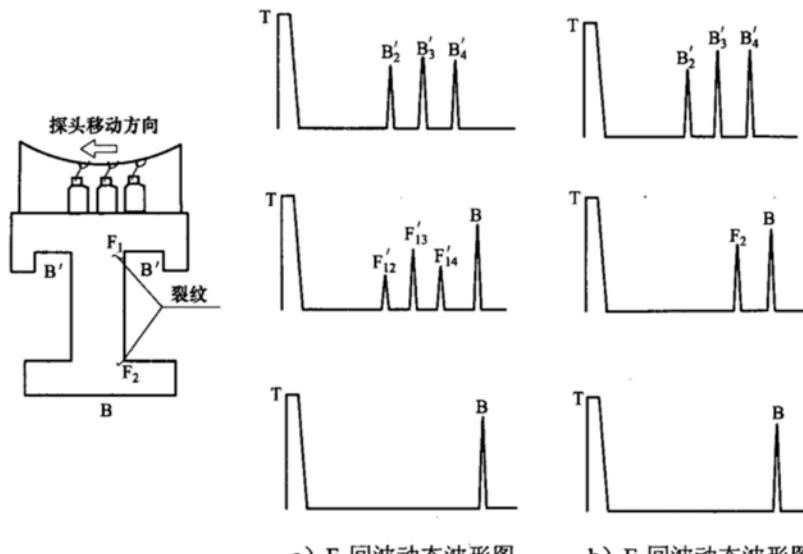
a) F<sub>1</sub>回波动态波形图      b) F<sub>2</sub>回波动态波形图

图 A.6 外包 T 型叶根纵波检验时动态波形图

## A.5 枝树型叶根检验

A.5.1 切向装配枝树型叶根检验灵敏度及判伤波高见表 A.5。

表 A.5 切向装配枝树型叶根检验灵敏度及判伤波高

| 检验方法    | 参考信号反射部位 | 检验灵敏度       | 判伤波高 |
|---------|----------|-------------|------|
| 横波一次波检验 | 第一齿侧面    | 参考回波增益 10dB | ≥0dB |
| 横波一次波检验 | 端角 A     | 参考回波增益 5dB  | >0dB |

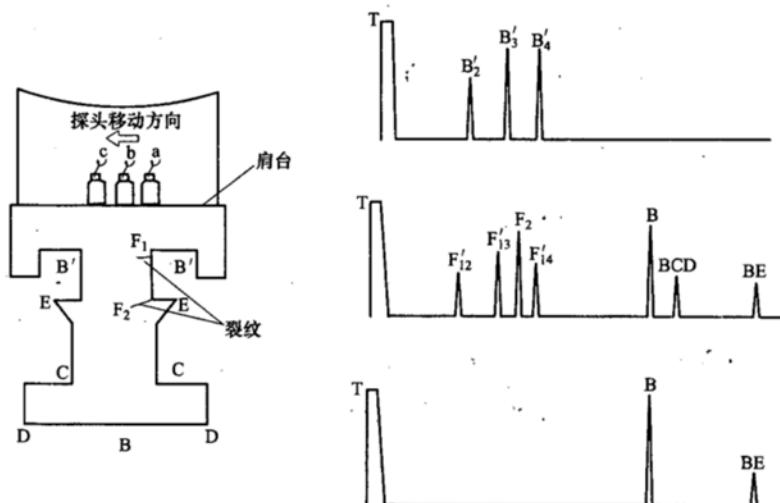


图 A.7 双 T 型叶根检验时动态波形图

**A.5.2** 切向装配枞树型叶根采用横波一次波检验时, 裂纹信号  $F$  在荧光屏上的位置稍比第一齿横波反射信号  $T_1$  提前  $2\text{mm}\sim 3\text{mm}$ 。此时,  $T_1$  相对无裂纹时下降, 如图 A.8 所示。横波二次波检验裂纹信号略前于基准信号。探头平行移动, 声束离开基准信号反射点后, 只要再出现信号, 其波高大于  $0\text{dB}$ , 就是裂纹波。如果没有裂纹, 就没有任何信号。 $T_1$  为第一齿横波反射信号,  $A$  为端角反射信号,  $F$  为裂纹信号,  $T$  为始波。

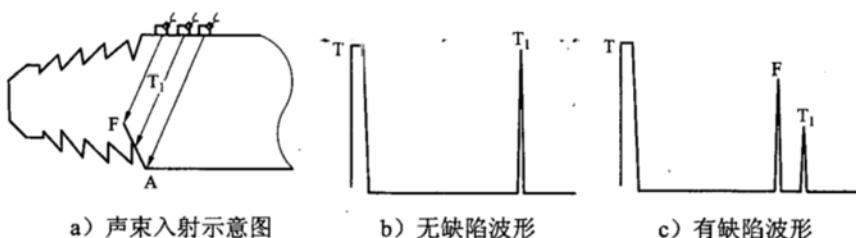


图 A.8 切向装配枞树型叶根横波一次波检验时动态波形图

## A.6 菌型叶根检验

### A.6.1 菌型叶根检验灵敏度及判伤波高

菌型叶根检验灵敏度及判伤波高见表 A.6。

表 A.6 菌型叶根检验灵敏度及判伤波高

| 检验方法             | 适用叶根条件  | 参考信号  | 检验灵敏度                | 判伤波高              |
|------------------|---------|-------|----------------------|-------------------|
| 直探头检验和小角度纵波斜探头检验 | 菌型叶片    | 第一齿弧面 | 参考回波增益 $14\text{dB}$ | $\geq 0\text{dB}$ |
| 横波检验             | 无汽封菌型叶片 | 第一齿弧面 | 参考回波增益 $14\text{dB}$ | $\geq 0\text{dB}$ |
| 横波检验             | 有汽封菌型叶片 | 第一齿弧面 | 参考回波增益 $14\text{dB}$ | $\geq 0\text{dB}$ |

### A.6.2 菌型叶根检验时动态波形

**A.6.2.1** 无汽封菌型叶根检验的基准信号以第一齿的弧面  $A$  反射回波为根据, 若存在裂纹, 探头前移时, 在圆弧面  $A$  回波信号之后  $2\text{mm}\sim 3\text{mm}$  处出现裂纹信号, 见图 A.9。

A.6.2.2 有汽封菌型叶根采用横波一次波检验时，裂纹信号出现在第一齿弧面反射信号 A 之前，见图 A.10。A 为第一齿弧面反射信号，F 为裂纹信号，T 为始波。

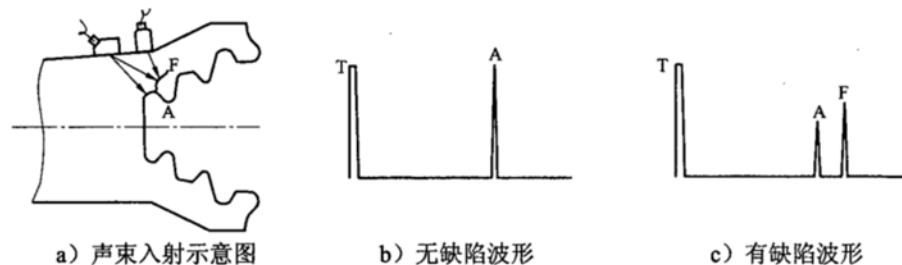
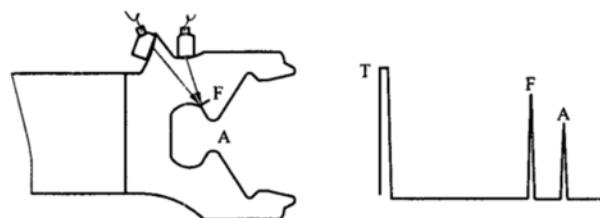


图 A.9 无汽封菌型叶根检验时动态波形图





中华人民共和国  
电力行业标准  
**汽轮机叶片超声波检验技术导则**

**DL/T 714—2011**  
代替 DL/T 714—2000

\*

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

\*

2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月北京第一次印刷  
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1 印张 27 千字  
印数 0001—3000 册

\*

统一书号 155123 · 682 定价 **9.00** 元

**敬告读者**

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

**版权专有 翻印必究**



155123.682

上架建议：规程规范/  
电力工程/火力发电