



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 714-2000

2000-11-03 发布 2001-01-01 实施

前 言

本标准是根据原电力工业部电力行业标准制、修订计划(技综[1996]40号)的安排制定的。

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,许多单位为了搞好这项工作,做了大量的试验研究。尤其目前大量老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,本标准的制定为叶片无损检测提供了技术依据,同时提高了检测的准确性,尽可能避免和减少因误判而造成的不必要损失。

本标准附录A是标准的附录,附录B是提示的附录。

本标准由电力行业电站金属材料标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位:国家电力公司热工研究院、西北电力试验研究院、江苏电力试验研究所、常熟电厂、甘肃电力试验研究所、台州电厂。

本标准主要起草人:吴前驱、白小云、于强、王世华、吴凯、张明非、徐大鹰。

本标准委托电力行业电站金属材料标准化技术委员会解释。



1 范 围

本导则规定了火电厂在役机组检修时,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。

本导则适用于火力发电厂 600MW 以下汽轮机叶片的叶身和叶根超声波检验。其他类似叶片可参照使用。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 12604.1—1990 无损检测术语 超声检测

JB/T 10061—1999 A 型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件

JB/T 10062—1999 超声波探伤用探头性能测试方法

JB/T 10063—1999 超声波探伤用 1 号标准试块技术条件

3 术 语

本标准术语除按 GB/T 12604.1 外,还采用下列术语:

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

叶根露在轮缘外部的尺寸,用 h_0 表示,见图 2(a)。

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 α 表示。一般此斜面都略带凹形弧面,见图 2(a)。

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,见图 2(b)。

4 总 则

4.1 叶片是汽轮机的重要部件,常因叶身或根部发生断裂事故严重威胁汽轮机安全运行。制定本标准的目的在于通过对叶片及时预防性检查,保证火电厂汽轮机的运行安全。

4.2 叶片超声检验方法是火电厂金属技术监督的主要内容之一。本导则所述的内容只作原则说明,在使用过程中应根据叶根的技术条件作灵活运用。

4.3 从事检验的人员必须持有电力工业无损检测 II 级以上资格证书,可独立操作及签发报告。

4.4 当检验条件不符合导则的工艺要求或不具备安全作业条件时,检验人员有权停止检验,待符合条件后再进行工作。

5 仪器、探头和试块

5.1 超声波探伤仪应符合 JB/T 10061 标准的下述要求:



- a) 超声波探伤仪工作频率为 1MHz~10MHz。
- b) 衰减器的总衰减量不小于 60dB，在探伤仪规定的工作频率范围内衰减器每 12dB 的工作误差 $\leq \pm 1$ dB。
- c) 水平线性误差不大于 2%。
- d) 垂直线性误差不大于 8%。

5.2 叶片检验用探头应选用 5MHz 的专用纵波、横波或表面波探头，其外形尺寸应能满足本标准检验的技术要求。

5.3 叶片检验用试块分标准试块及对比试块两种。

5.3.1 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。

5.3.2 对比试块尽可能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。

5.4 耦合剂应选取透声性较好的甘油(丙三醇)或机油。

5.5 被探叶片的叶身或叶根探测面应进行清理，并按序编号。

6 检验技术条件选择

6.1 叶身、叶根检验灵敏度选取及动态波形鉴别按照附录 A(标准的附录)。国产(125MW~300MW)机组汽轮机叶片、叶根配置参照附录 B(提示的附录)。

6.2 叶身检验一般采用表面波，探头放置见图 1。对带有司立太合金焊缝的末级叶片，采用横波。

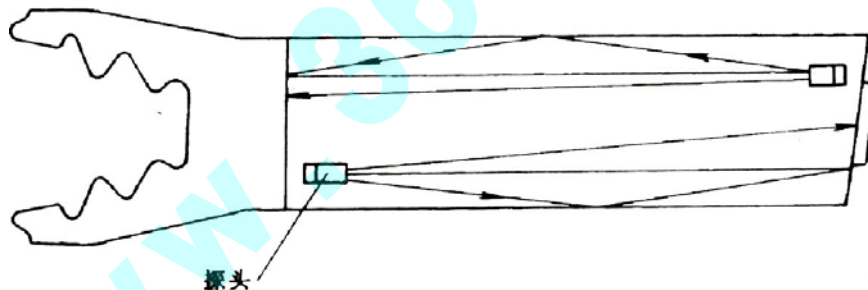


图 1 叶身表面波探头放置图

6.2.1 表面波探头平行于叶身边沿前后移动，同时略作左右摆动。

6.2.2 判伤时，如发现较强回波，并确认不属过渡区的棱角的固有信号，也不是叶身两面油污、锈蚀等杂物造成的回波信号，则可判为裂纹。

6.3 骑缝铆孔叉型叶根的铆孔位于相邻叶片之间，检验时探头放置见图 2。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。

6.3.1 $h_0 \geq l_0$, $b_0 \leq 0.5\text{mm}$ ，使用表面波检验为主，横波检验为辅。探头置于位置 I，见图 2(a)。

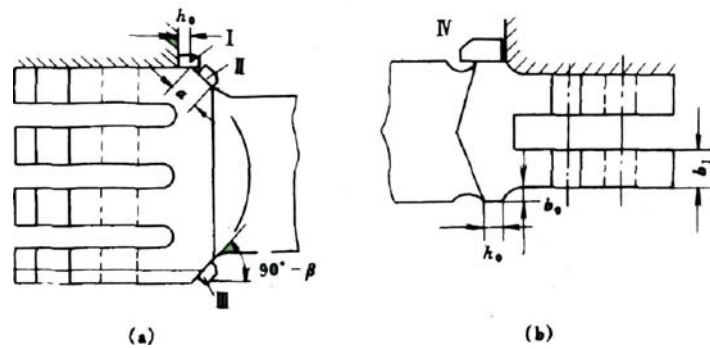
6.3.2 $h_0 < l_0$, $b_0 \leq 0.5\text{mm}$ ，使用表面波检验，也可以用横波或使用双晶纵波检验。探头置于 II 或 III 位置，见图 2(a)。特别当肩台为凹弧面时，双晶纵波检验效果更好。

6.3.3 $h_0 \geq l_0$, $b_0 > 0.5\text{mm}$ ，采用横波二次波检验，探头置于位置 IV，见图 2(b)。

6.4 中心铆孔叉型叶根的铆孔位于叶根的横向中间位置，检验时探头放置见图 3。

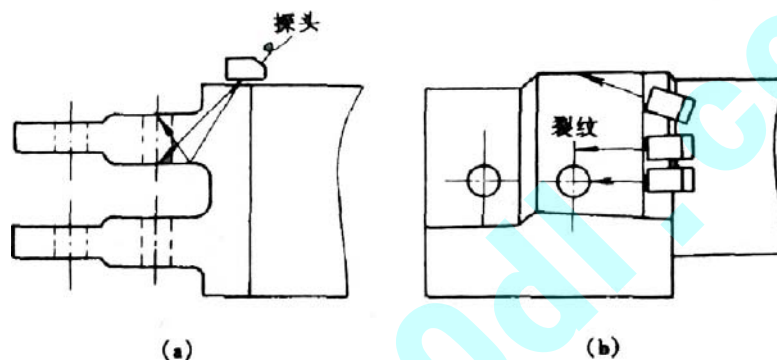
6.4.1 $h_0 \geq l_0$, $b_0 < 0.5\text{mm}$ ，采用表面波进行探伤。

6.4.2 $h_0 \geq l_0$, $b_0 > 0.5\text{mm}$ ，采用横波二次波进行检验，这种方式只能发现较大裂纹。



(a) 四叉骑缝叶根; (b) 二叉骑缝叶根

图2 骑缝铆孔叉型叶根检验探头放置图

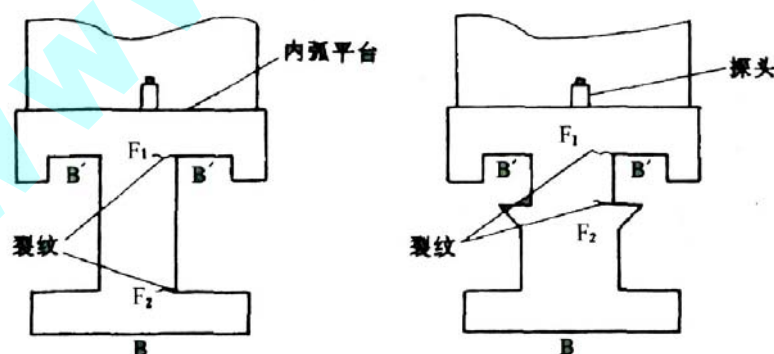


(a) 声波传播路径; (b) 探头放置形式

图3 中心铆孔叉型叶根检验探头放置图

6.5 T型叶根分为单T型和双T型两种型式。

6.5.1 带肩台T型叶根采用纵波检验，探头放置位置见图4。由于叶根结构限制，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—叶根端面; F—裂纹

图4 T型叶根肩台部位探头放置图

6.5.2 对无肩台一侧弧面，应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5。

6.5.3 叶根的判伤由叶根的动态波形进行判断。

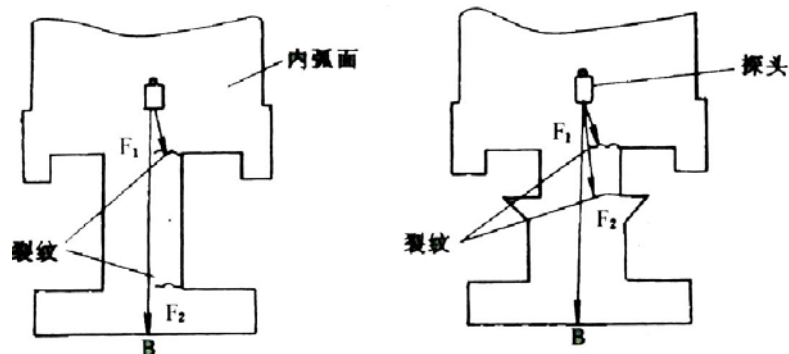
6.6 枞树型叶根分为切向装配和轴向装配两种类型。裂纹一般出现在叶根进汽侧第一齿。

6.6.1 切向装配的叶根采用横波一次波检验，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6(a)。该方法能检出较小裂纹。



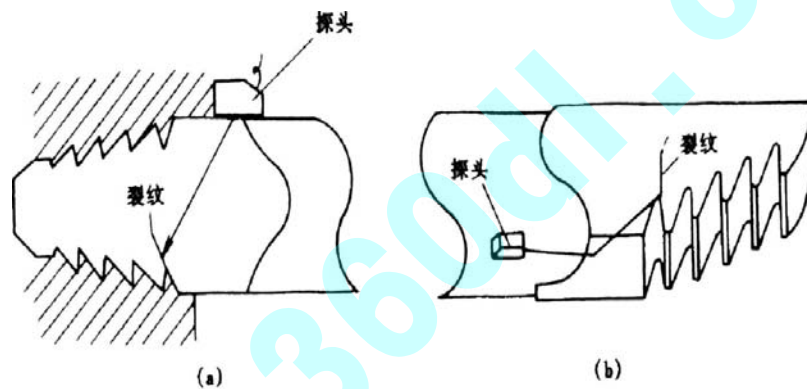
6.6.2 切向装配的枞树型叶根需实施横波二次波检验时,检验探头放置于叶身出汽侧背弧面上进行检查,见图 6(b)。这种方法能发现较大裂纹。

6.6.3 轴向装配枞向树型叶根因其侧面外露,可用表面波对第一齿进行检验,探头放置见图 7。



B—叶根端面; F—裂纹

图 5 T 型叶根内弧面表面波检验探头放置图



(a) 横波一次波检验; (b) 横波二次波检验

图 6 切向装配枞树型叶根检验探头放置图

6.7 菌型叶根检验探头放置见图 8。检验应从出汽边使用纵、横波一次波检验。探伤探头应根据叶根尺寸专门设计。

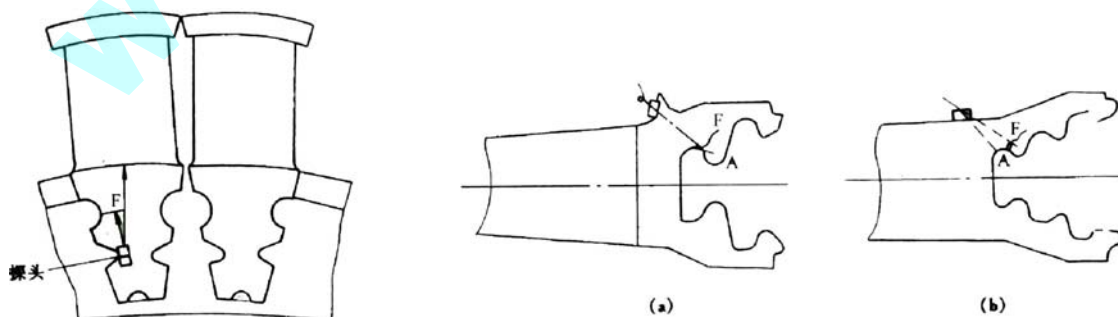


图 7 轴向装配枞树型叶根
检验时探头放置图

(a) 带汽封菌形叶根检验; (b) 不带汽封菌形叶根检验

图 8 菌形叶根检验时探头放置图



7 检验报告

7.1 检验报告应包括下列内容：

- 委托检验单位、检验报告编号、签发报告日期。
- 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。

7.2 检验人员及有关责任人员。

附 录 A (标准的附录) 汽轮机叶片超声检验灵敏度及动态波形

A1 叶身检验

A1.1 叶身检验灵敏度及判伤波高，见表 A1。

表 A1 叶身超声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

A1.2 表面波叶身检验动态波形过程见图 A1 (F 为裂纹回波，A 为拉筋孔回波，B 为叶片端头回波)。

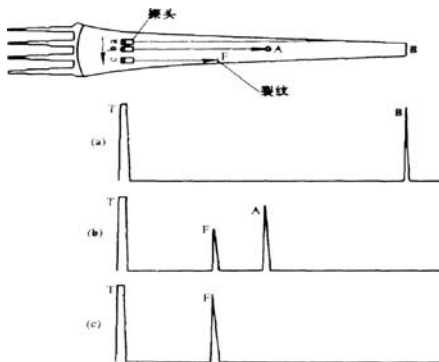


图 A1 叶身表面波检验时动态波形图

A1.3 镶焊有司太立合金末级叶片的叶身焊缝，应采用大折射角度的横波探头进行检验。

A2 骑缝铆孔叉型叶根检验

A2.1 骑缝铆孔叉型叶根的检验灵敏度及判伤波高，见表 A2。



表 A2 骑缝铆孔叉型叶根的检验灵敏度及判伤波高

检验方法	适用叶根条件	参考信号部位	检验灵敏度	判伤波高
表面波检验	$h_0 > I_0$, $b_0 \leq 0.5\text{mm}$	上铆孔端角	参考回波增益 10dB	$\geq 6\text{dB}$
横波检验(声束垂直叶根底部端面)	$h_0 \leq I_0$, $b_0 \leq 0.5\text{mm}$, $\alpha > I_0$	底部端面	参考回波增益 20dB	$\geq 6\text{dB}$
双晶纵波检验	带凹弧形肩台	下铆孔端角	参考回波增益 (6~10) dB	0dB
横波检验(二次波)	$h_0 > I_0$, $b_0 \geq 0.5\text{mm}$	上铆孔端角	参考回波增益 5dB	$\geq 0\text{dB}$

A2.2 骑缝铆孔叉型叶根检验的动态波形, 采用表面波、双晶纵波或垂直底部端面横波检验时的动态波形如图 A2 所示(三者动态波形相似), 横波二次波检验时动态波形如图 A3 所示。

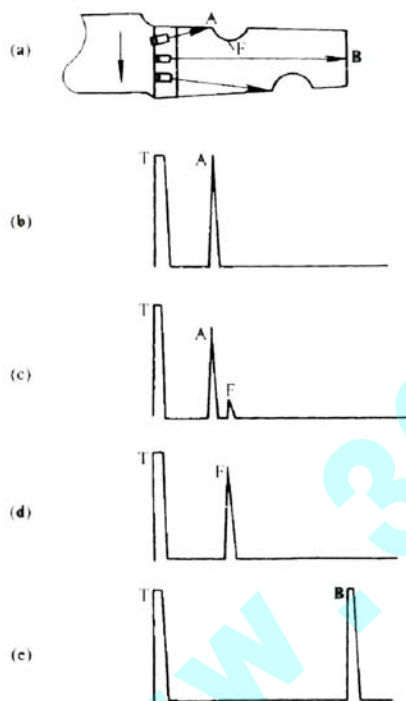


图 A2 表面波、双晶纵波和垂直底部端面的横波
检验时动态波形图(三者波形图相似)

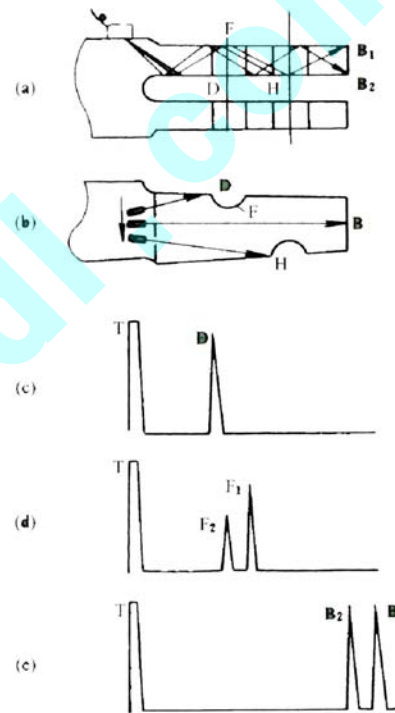


图 A3 横波二次波检验时
动态波形图

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, B₁、B₂为底部端角的反射信号, F₁为裂纹信号。当裂纹较大并且探头合适时, 也会出现由扩散声束直接射至裂纹反射号F₂。

A3 中心铆孔叉形叶根检验

A3.1 中心铆孔叉形叶根检验灵敏度和判伤波高见表 A3。

表 A3 中心铆孔叉型叶根的检验灵敏度及判伤波高

探伤方法	适用叶根条件	参考信号部位	检验灵敏度	判伤波高
表面波检验	$h_0 \geq I_0$, $b_0 < 0.5\text{mm}$	上铆孔圆弧面	参考回波增益 5dB ($b_0=0$) $0 < b_0 \leq 0.5\text{mm}$)	$\geq 7\text{dB}$
横波检验(二次波)	$h_0 \geq I_0$, $b_0 > 0.5\text{mm}$	上铆孔上端角	参考回波增益 0dB ($0 < b_0 \leq 0.5\text{mm}$)	$\geq 0\text{dB}$



A3.2 中心铆孔叉型叶根检验时动态波形，裂纹波出现的位置不论采用表面波检验还是横波检验，裂纹波都在上铆孔信号稍后一点的位置。图 A4 为裂纹信号与固有信号动态波形。A 为上铆孔信号，B 为底部端面信号，F 为裂纹信号。

A4 T 型叶根检验

A4.1 T 型叶根检验灵敏度及判伤波高见表 A4。

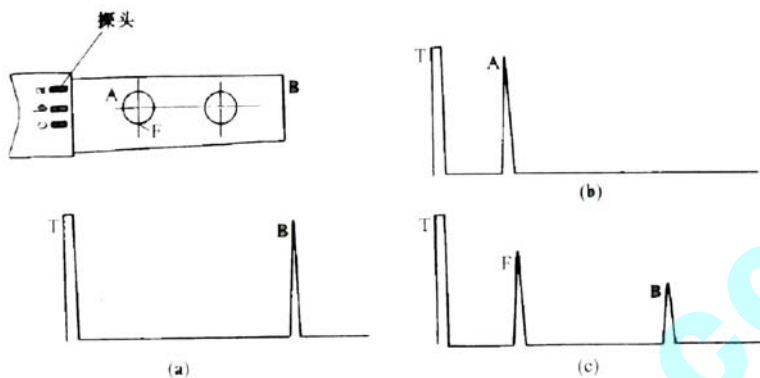
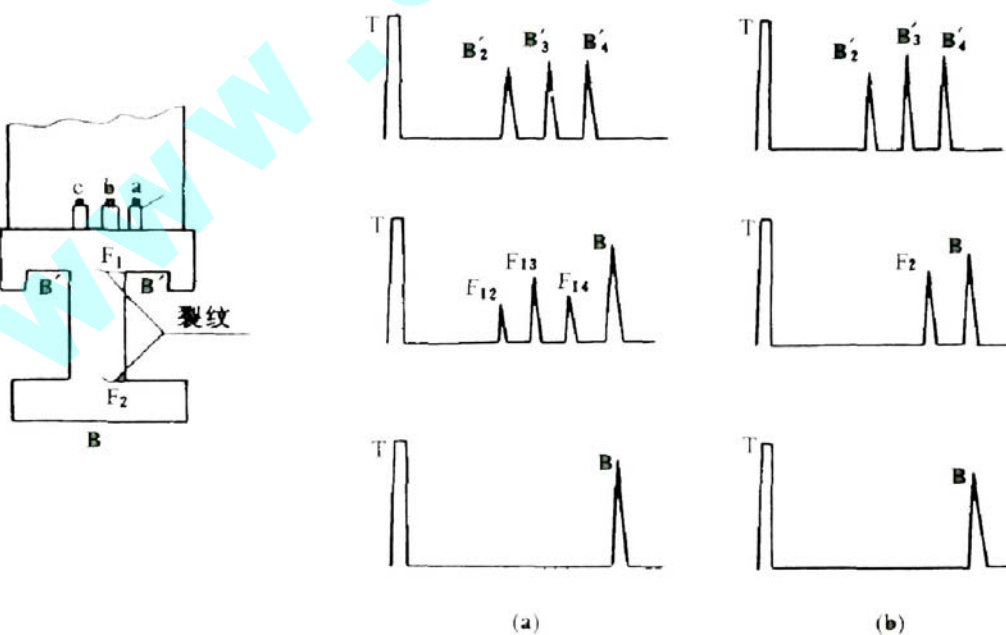


图 A4 中心铆孔叉型叶根检验时动态波形图

表 A4 T 型叶根的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
纵波检验	内(外)弧肩台	肩台	叶根端面	参考回波增益 20dB	0
表面波检验	无平台内弧面	弧面	叶根端面	参考回波增益 20dB	0



(a) F₁ 回波动态波形；(b) F₂ 回波动态波形

图 A5 外包 T 型叶根检验时动态波形图

A4.2 外包 T 型叶根检验时动态波形见图 A5。



A4.3 双 T 型叶根检验时动态波形见图 A6。

F_1 裂纹波与 B' 底面波声程相近； F_1 裂纹波与 B 底面声程差较大。由于仪器有盲区，所以 F_1 裂纹一次波和 B' 底面一次波常常不呈现， F_1 裂纹只能通过多次回波来观察。另外，裂纹 F_1 和 F_2 的存在，将使底波 B 部分或全部被遮挡。

A5 枞树型叶根检验

A5.1 切向装配枞树型叶根检验灵敏度及判伤波高见表 A5。

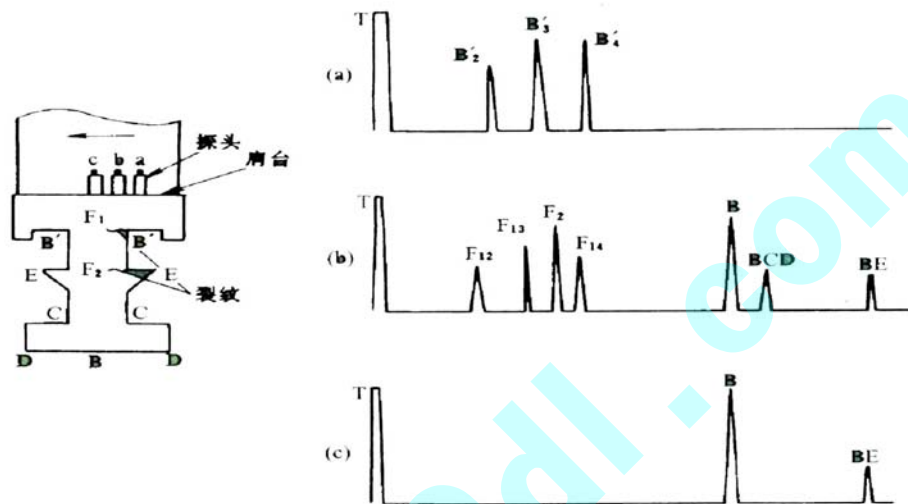
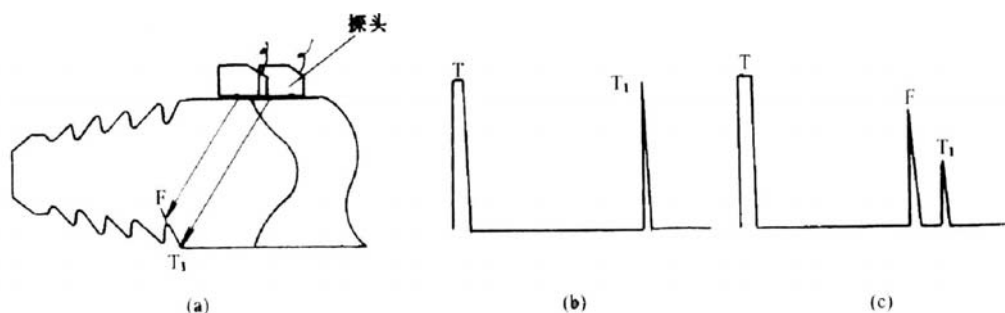


图 A6 双 T 型叶根检验时动态波形过程图

表 A5 切向装配枞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 dB
横波一次波检验	第一齿侧面	参考回波增益 10dB	≥ 0
横波二次波检验	图 6(b) 所示的端角 A	参考回波增益 5dB	> 0

A5.2 切向装配枞树型叶根检验动态波形。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 2mm~3mm。此时， T_1 相对无裂纹时下降，如图 A7 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 0dB，就是裂纹波。如果没有裂纹，就没有任何信号。



(a) 声束入射示意图；(b) 无缺陷波形；(c) 有缺陷波形

图 A7 切向装配枞树型叶根横波一次波检验时波形动态



A6 菌型叶根检验

A6.1 菌型叶根检验灵敏度及判伤波高见表 A6。

表 A6 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
横波检验	无汽封菌型叶片	第一齿弧面	参考回波增益 10dB	0
横波检验	有汽封菌型叶片	第一齿弧面	参考回波增益 10dB	0

A6.2 菌型叶根动态波形

A6.2.1 无汽封菌型叶片，菌型叶根检验的基准信号以第 1 齿的弧面 A 反射回波为根据，若存在裂纹，探头前移时，于圆弧面 A 回波信号之后 2mm~3mm，出现裂纹信号，见图 A-8。

A6.2.2 有汽封菌型叶片，横波一次波检验时裂纹动态波形出现第一弧侧面反射之前，见图 A9。

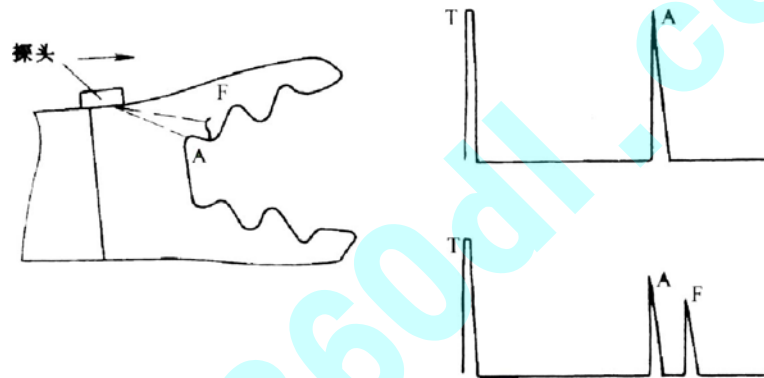


图 A8 无汽封菌型叶根检验时动态波形图

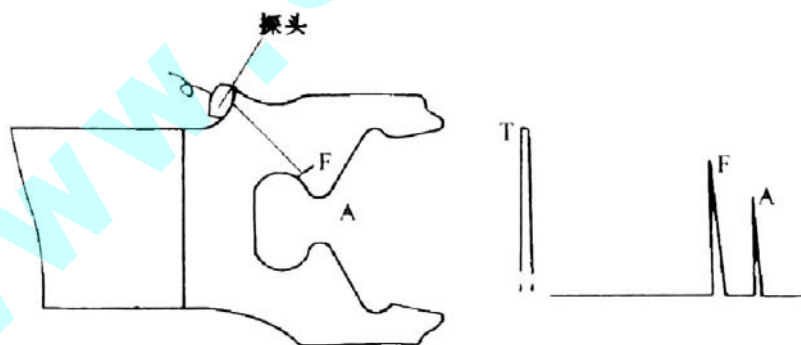


图 A9 有汽封菌型叶根检验时动态波形图



附录 B (提示的附录)

国产(125~300)MW 机组汽轮机叶片、叶根配置

为了便于叶片检验时查核,对 125MW~300MW 机组的叶轮级数及叶根型式叙述如下。

B1 125MW 汽轮机(N125—13.2/535/535)型

该机通流部分叶轮有 31 级,其中

高压缸 1C+8P(C: 调节级, P: 压力级)

中压缸 10P

低压缸 2×6P

末级叶片长度 700mm

叶根形式:第 2~6 级为 T 型叶根,第 1 级(调节级)、第 7~16 级、第 20~22 级为带小脚的 T 型叶根,第 17~19、第 23~24 级为双 T 型叶根,末级为枞树型叶根。

B2 200MW 汽轮机(N200/12.75/535/535)型

该机通流部分共有 37 级,其中

高压缸 1C+11P

中压缸 10P+5P

低压缸 2×5C

末级叶片长度 665mm

叶根形式:第 1 级(调节级)为 T 型叶根,第 2~19 级为带小脚 T 型叶根,第 20~24 级为叉型叶根,第 25~27 级(末级)为叉型叶根。

B3 300MW 汽轮机(N300—16.8/535/535)型

该机通流部分共有 44 级,其中

高压缸为 1C+8P

中压缸为 11P

低压缸为 2×2×6P

末级叶片长度 700mm

叶根型式:第 1 级(调节级)为枞树型叶根,第 2~9 级为带小脚 T 型叶根,第 10~20 级均为双 T 型叶根,低压缸除末级为枞树型叶根外,1、2 级为 T 型叶根,末 2、3 级为双 T 型叶根。

B4 300MW 引进型汽轮机(N300/17.3/568/568)

该机通流部分共 35 级,高压缸与中压缸转子共一轴,其中

高压缸 1C+11P

中压缸 9P

低压缸 7×2P

叶根型式:第 1 级为枞树型,第 2~12 为外包小脚 T 型,第 13~21 级和低压缸叶根全部为枞树型。

B5 300MW 汽轮机(N320—17.3/537/537)型

该机通流部分共 28 级,其中

高压缸 1C+9P

中压缸 6P

低压缸 2×6P