

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 930 — 2005

---

## 整锻式汽轮机实心转子体超声波 检 验 技 术 导 则

Technical guide of the ultrasonic testing of  
turbine nonbore rotors

2005-02-14 发布

2005-06-01 实施

---

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

## 目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本要求.....	2
5 仪器、探头、耦合剂.....	2
6 试块.....	2
7 检验方法.....	2
8 缺陷的测量记录.....	4
9 质量标准.....	5
10 检验报告.....	6
附录 A (资料性附录) 整锻式汽轮机实心转子体超声波检验灵敏度对比试块.....	7

## 前 言

本标准是根据原国家经济贸易委员会《关于下达 2002 年度电力行业制、修订计划项目的通知》（电力〔2002〕973 号文）安排制定的。

为确保电力设备的安全运行，对电站高速转动的汽轮机转子质量实施检验和安全性评价显得极为重要，不仅制造时要检验，在役转子也要进行检验和评估。作为评估的依据，应采用可行的无损检验方法进行检验。

随着冶炼、锻造及检验技术的提高，转子锻件质量不断得到改善和保证，采用整锻式实心转子体的汽轮机前已有多台投入运行或在安装中。整锻式实心转子体的检验方法及相应标准受到越来越多的电厂和汽轮机制造厂家的重视。因此，制定本标准是十分必要的。

本标准的附录 A 为资料性附录。

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并解释。

本标准起草单位：国电热工研究院、沙角发电 C 厂、广东电力试验研究所、韶关发电厂、华能国际电力股份有限公司石家庄分公司。

本标准主要起草人：李建民、林介东、林诗庄、陈前明、黄志强、李亚林、鄢彦明、魏彦筱、何卫忠、郭立峰。

# 整锻式汽轮机实心转子体超声波 检 验 技 术 导 则

## 1 范围

本标准规定了火力发电厂整锻式汽轮机实心转子体超声波检验的基本要求、检验方法和验收标准。

本标准适用于 A 型脉冲反射式超声波探伤仪，以纵波接触法（纵波直探头、纵波斜探头）、表面波为主的超声波检验。

本标准所规定的基本要求、检验方法、验收标准仅针对整锻式汽轮机实心转子体，不涉及汽轮机叶片的检验；对整锻式汽轮机有中心孔转子体的相关检验，亦可参照本标准执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

JB/T 1581 汽轮机 汽轮发电机转子和主轴锻件 超声波探伤方法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**转子体 rotor block**

指整锻式转子中不包含叶片部分的轴体。

### 3.2

**实心转子体 solid rotor block**

无中心孔的转子体。

### 3.3

**弹性槽 rotor groove**

高、中压转子上的密封槽。

### 3.4

**R 圆弧 R-arc**

主轴与叶轮间形成的圆弧。

### 3.5

**叶轮下方 lower part of impeller**

指叶轮与主轴相结合的部位，如图 1 中阴影部分所示。

### 3.6

**纵波斜探头 longitudinal wave angle probe**

发射纵波且与探伤面成一锐角入射至工件内的探头。

### 3.7

**连续缺陷信号 serial defect signal**

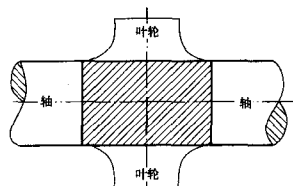


图 1 叶轮与主轴相结合部位示意

在某个测距上当量直径大于 2mm, 幅度波动范围能在探头持续移动距离大于或等于 30mm 的区间内不大于 2dB 的缺陷信号。

### 3.8

#### 密集性缺陷 dense defects

在边长 50mm 的立方体内, 数量不少于 5 个, 当量直径小于 2mm 的缺陷。

### 3.9

#### 游动缺陷信号 drift defect signal

探头在被探部位移动时, 信号前沿位置的移动距离相当于 25mm 或 25mm 以上工件厚度的缺陷信号。

## 4 基本要求

基本要求包括:

- 从事该项检验的人员, 须持有电力行业无损检测中级及以上资格证书者方可独立操作及签发报告。
- 被检转子应吊出汽缸并放置在可使转子转动的支架上, 表面要清洁、无锈蚀且无氧化皮。当被检转子体不满足上述要求时, 须对转子体表面进行处理。
- 检验前应查明转子体的结构型式及相应的尺寸。
- 转子体中超声波不能检验的部位, 应采用其他方法做辅助检验。

## 5 仪器、探头、耦合剂

### 5.1 超声波探伤仪

超声波探伤仪应满足下列要求:

- 工作频率:  $\leq 5\text{MHz}$ 。
- 衰减器的总衰减量  $\geq 60\text{dB}$ , 在探伤仪规定的工作频率范围内衰减器的每 12dB 的工作误差:  $\leq \pm 1\text{dB}$ 。
- 水平线性误差:  $\leq 2\%$ 。
- 垂直线性误差:  $\leq 5\%$ 。

### 5.2 检验用探头

检验用探头应满足下列要求:

- 选用 1MHz~5MHz 的纵波、表面波探头;
- 选用 2.5MHz~5MHz  $\phi 14$ 、 $\phi 20$ , 折射角  $20^\circ \sim 22^\circ$  纵波斜探头;
- 耦合剂, 检验用耦合剂应选用黏度较好且无腐蚀、无毒、易清洗的耦合剂。

## 6 试块

用于调节表面波扫描速度、探伤灵敏度和调节斜入射纵波扫描速度、探伤灵敏度及纵波直探头扫描速度、探伤灵敏度的综合对比试块参见附录 A。

在条件具备时, 可依据转子体的结构, 自行制作对比试块。对比试块的材质、结构须与被检转子体一致且无内部缺陷。

## 7 检验方法

### 7.1 扫查方式

扫查方式有:

- 对转子体 R 圆弧部位, 以超声表面波声束沿转子轴向扫查 R 圆弧部位并做周向移动, 如图 2 中 c 的位置。也可将探头放置于叶轮上, 表面波声束沿转子体径向扫查 R 圆弧部位并做周向移动。

- b) 对转子体轴颈部位, 以超声纵波沿转子体圆周方向扫查检验, 如图 2 中 a 所示的位置。  
c) 对转子体叶轮下方, 以超声纵波专用斜探头沿转子体轴向扫查并做周向移动, 如图 2 中 b 所示的位置。

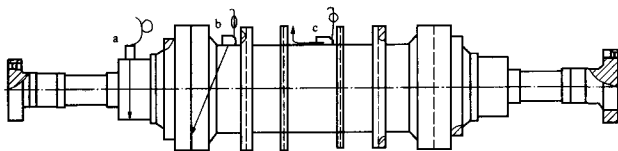


图 2 实心转子体检验方法示意

- d) 对高、中压转子体弹性槽部位, 以超声纵波沿转子体弹性槽圆周方向扫查检验, 如图 3 所示。

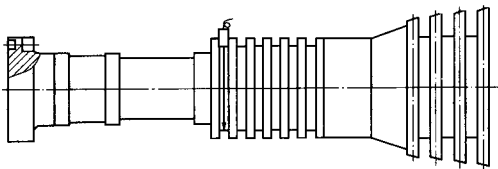


图 3 实心转子体高、中压转子弹性槽检验示意

由于弹性凹槽的宽度不同, 所选探头的频率、晶片尺寸应满足本标准的检验技术要求。当检验部位的直径大于探头的三倍近场区时, 可任意选择底波调整法或试块调整法调整探伤灵敏度。

纵波探头在转子体弹性凹槽检验时, 声束应相互覆盖并保证可以检验到转子凸位下方, 且无检验盲区。必要时, 可将探头放置于转子体弹性槽凸位处进行检验。

## 7.2 探伤灵敏度

### 7.2.1 纵波探伤灵敏度

应能有效地发现被检转子体中当量为  $\phi 2$  的平底孔反射体为准, 可按下述方法调整:

- a) 底波调整法: 依据 JB/T 1581, 在转子体材料组织均匀的部位上调整。需提高的增益数值可用式

(1) 求得:

$$\Delta \text{dB} = 20 \lg \frac{2\lambda D_a}{\pi \phi^2} \quad (1)$$

式中:

$\Delta \text{dB}$  —— 需提高的增益分贝数;

$D_a$  —— 被检部位的直径, mm;

$\phi$  —— 平底孔直径, mm;

$\lambda$  —— 超声波纵波波长, mm;

$\pi$  —— 圆周率。

- b) 试块调整法: 纵波检验转子体轴颈、弹性槽部位探伤灵敏度可在附录 A 实心转子灵敏度试块上调节或依据 JB/T 1581—1996 在 CS-2 型参考试块调整。

### 7.2.2 纵波斜探头检验叶轮下方部位的灵敏度调节

纵波斜探头检验叶轮下方部位的灵敏度调节, 可在附录 A 实心转子灵敏度试块上调节。

### 7.2.3 表面波检验转子体 $R$ 圆弧部位的灵敏度调节

以附录 A 模拟试块上  $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 6\text{mm}$  切槽, 作为表面波检验转子  $R$  圆弧部位的灵敏度。

### 7.2.4 无缺陷前提下的灵敏度调节

在转子体无缺陷部位及表面光洁度保证的前提下, 斜入射纵波检验叶轮下方的灵敏度; 纵波检验转子体轴颈、弹性槽部位的灵敏度均可在转子本体上调节。

### 7.3 金属材料衰减系数的测定

检验过程中, 因金属材料而引起灵敏度降低时, 需对转子体的金属材料衰减系数进行测定并依据测定的衰减系数对灵敏度进行补偿:

- 在被检转子体无缺陷区域内, 选两处有代表性的部位测定第一次底波  $B_1$  和第二次底波  $B_2$  的 dB 差值。
- 按式 (2) 计算材质衰减系数  $\alpha$  (dB/mm):

$$\alpha = \frac{20 \lg \frac{B_1}{B_2} - 6}{2D} \quad (2)$$

式中:

$D$ ——被检验处转子体直径 (声程), mm。

- 金属材料的衰减系数应不大于  $0.004\text{dB/mm}$ 。

### 7.4 扫描线比例的调节

扫描线比例的调节的要求:

- 在调节扫描线的比例时, 应使第一次底波的前沿位置不超过示波屏水平显示极限的 80%。
- 在转子体上调节采用斜入射纵波探头, 入射声程在探伤前依据式 (3) 予以调整, 如图 4 所示。

$$L_{\#} = L_R / \cos \beta \quad (3)$$

式中:

$L_{\#}$ ——转子直径或纵波直探头在转子体中一次波声程;

$L_R$ ——斜入射纵波探头在转子体中一次波声程;

$\beta$ ——斜入射纵波探头折射角。

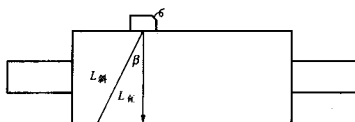


图 4 在被检转子体上调节扫描线性示意图

- 在附录 A 实心转子灵敏度试块上按比例调节。
- 在条件具备时, 扫描线的调节也可在自行制作的对比试块上进行。

## 8 缺陷的测量记录

检验中遇到缺陷信号后, 应根据缺陷信号的类别确定测量的内容和要求:

- 存在单个或分散缺陷信号应进行的测量:
  - 缺陷的当量直径;
  - 缺陷在转子体内的位置。
- 存在密集缺陷信号时应进行的测量:

- 1) 缺陷深度分布范围;
  - 2) 缺陷的轴向分布范围;
  - 3) 最大缺陷的当量直径;
  - 4) 缺陷密集区在转体中的位置。
- c) 存在连续缺陷信号时应测量:
- 1) 缺陷的指示长度用半波高度测长法进行测量, 沿周向测量时, 应根据被测部位的曲率对测量值进行几何修正;
  - 2) 缺陷的最大指示长度;
  - 3) 缺陷在转子体中的位置。

测出的周向长度值应根据式 (4) 进行几何修正。

$$L_t = L(1 - 2h/D) \quad (4)$$

式中:

$L_t$  ——缺陷指示长度, mm;

$L$  ——与缺陷对应的外圆弧长 (探头移动弧长), mm;

$D$  ——转子体外径, mm;

$h$  ——缺陷距探测面深度, mm。

d) 对转子体轴向缺陷指示长度, 用半波高度测长法测量。

e) 当遇到游动缺陷信号时应测量:

- 1) 信号的游动范围;
- 2) 探头周向移动范围 (弧长);
- 3) 信号幅度最大处的位置;
- 4) 缺陷在转子体中的位置。

f) 缺陷的测量与记录内容。缺陷的测量与记录应包括下列内容:

- 1) 分散缺陷。记录其当量直径和在转子体中的坐标位置。
- 2) 密集性缺陷。记录大于或等于  $\phi 2$  缺陷的当量及密集区边缘缺陷的坐标位置。
- 3) 连续缺陷。记录缺陷的最大指示长度及其坐标位置。
- 4) 游动信号。记录信号的游动范围、缺陷的指示长度、最大当量直径及其坐标位置。
- 5) 对埋藏深度变化值小于或等于 25mm 的缺陷信号, 可用游动信号作图法估判缺陷的位置和走向。

## 9 质量标准

质量标准规定如下:

- a) 转子体内部不允许存在裂纹、白点、缩孔、折叠及超过允许范围的夹杂和疏松;
- b) 转子体表面不允许存在裂纹和大于等于 2mm 深的划痕;
- c) 当量直径小于  $\phi 2$  的单个分散缺陷信号不计, 但杂波高度应低于当量直径  $\phi 2$  幅度的 50%;
- d) 单个分散的缺陷与相邻两缺陷之间的距离应大于其中较大缺陷当量直径的 10 倍;
- e) 当量直径为  $\phi 2 \sim \phi 3.5$  的所有缺陷均应记录其轴向、径向和周向位置。当量直径为  $\phi 2 \sim \phi 3.5$  的缺陷总数不得超过 20 个, 并不允许存在当量直径大于  $\phi 3.5$  的任何缺陷;
- f) 距转子体表面下 75mm 以外部位, 允许有 3 个小于  $\phi 2$  当量直径的密集缺陷区, 但密集区在任何方向的尺寸均应小于等于 20mm, 并且任何两密集缺陷区间距离应大于等于 120mm;
- g) 转子体内不允许有游动缺陷信号和连续缺陷信号。

## 10 检验报告

检验工作完毕后应提交检验报告。检验报告应包括下列内容：

- a) 转子名称、图号、材料、转子体尺寸简图、热处理状态、锻造方法；
- b) 转子编号；
- c) 委托单位、委托日期、转子投产日期；
- d) 检验条件；
- e) 记录缺陷的形态及分布图，必要时绘制缺陷展开分布图；
- f) 未检验的部位及其原因；
- g) 有参考价值的波形图；
- h) 有必要说明的情况；
- i) 检验日期、检验人员的资质证号、检验人员和校验、审核者的签名。

**附录 A**  
(资料性附录)

**整锻式汽轮机实心转子体超声波检验灵敏度对比试块**

用于调节表面波扫描速度、探伤灵敏度及纵波斜探头扫描速度、探伤灵敏度和纵波直探头扫描速度、探伤灵敏度的对比试块见图 A.1。

图 A.1 中  $R$  即指实心转子体的  $R$  圆弧。1mm×1mm×6mm (宽×深×长) 切槽, 用于调节表面波检验转子  $R$  圆弧部位的扫描速度和灵敏度。两个钝角中各有一个  $\phi 2 \times 6$ mm 平底孔和  $\phi 3.5 \times 6$ mm 平底孔, 用于调节纵波斜探头检验转子叶轮下方时的扫描速度和灵敏度。底面上的  $\phi 2 \times 6$ mm 平底孔和  $\phi 3.5 \times 6$ mm 平底孔, 用于调节纵波探头检验高、中压转子弹性槽部位的扫描速度和灵敏度。扫查方式见 7.1.a)~7.1.d); 灵敏度调节见 7.2.1~7.2.4。

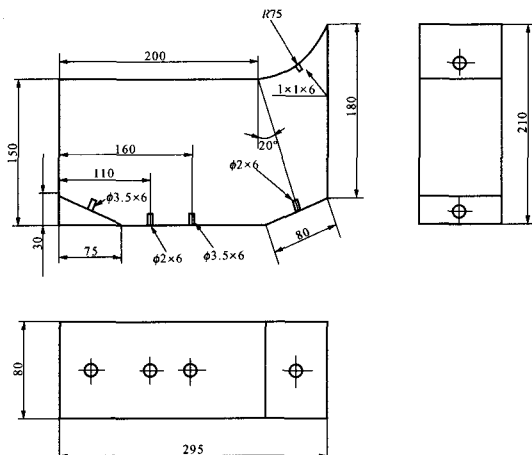
试块使用中, 应注意: 由于转子体直径粗大, 试块未按 1:1 设计, 因此调节灵敏度时需按转子体的实际尺寸进行换算。相同平底孔直径不同声程的规则形反射体计算公式如下:

$$\Delta dB = 40 \lg \frac{L_2}{L_1} \quad (\text{A.1})$$

式中:

$L_1$ ——试块中  $\phi 2.5$  平底孔声程;

$L_2$ ——转子体中缺陷的声程。



**图 A.1 SXZZ-1 实心转子灵敏度试块**