

# 高温紧固螺栓超声波检验技术导则

DL / T 694—1999

## 前 言

本导则是根据原电力工业部技综 [1996] 51 号文“关于下达 1996 年电力行业标准制修订计划项目（第二批）的通知”的要求制定的。

高温紧固螺栓是火力发电厂热动力设备的重要部件。在长期运行中，由于高温及高应力的作用，螺栓材料易产生热脆、蠕变、疲劳、应力腐蚀；由于安装中预紧力过高及不慎烧伤中心孔等原因，螺栓材料易产生裂纹。为确保设备安全运行，加强对高温紧固螺栓的有效检验甚为重要。华东电力试验研究院根据原电力工业部电站金属材料标准化技术委员会（材标 [1996] 04 号文）的安排，组织有关专家对高温紧固螺栓的超声波探伤工艺方法进行了试验研究，并吸收了电力系统中有关单位的宝贵经验和广泛征求了有关专家的意见，制定了本导则。

本导则规定采用小角度纵波探伤法辅以横波探伤法的综合检验工艺，可满足 DL439—1991《火力发电厂高温紧固件技术导则》和 DL438—1991《火力发电厂金属技术监督规程》的要求，实现对大于或等于 M32 的高温螺栓的有效检验。

本导则附录 A、附录 B、附录 C 都是标准的附录。

本导则由电力行业电站金属材料标准化技术委员会提出并归口。

本导则起草单位：华东电力试验研究院、徐州发电厂、谏壁发电厂。

本导则主要起草人：蒋云、王维东、陆克昫、汤锦海、陈永保、郑忠坡。

本导则由电力行业电站金属材料标准化技术委员会负责解释。

## 目 次

前言 .....	1560
1 范围 .....	1562
2 引用标准 .....	1562
3 探伤人员 .....	1562
4 探伤仪和探头 .....	1562
5 试块 .....	1563
6 探伤前的准备 .....	1563
7 探伤 .....	1563
8 评定 .....	1566
9 记录报告 .....	1567
附录 A (标准的附录) 高温紧固螺栓超声波探伤专用试块 .....	1567
附录 B (标准的附录) 高温紧固螺栓超声波探伤便携式对比试块 .....	1568
附录 C (标准的附录) 高温紧固螺栓超声波探伤报告 .....	1568

# 中华人民共和国电力行业标准

## 高温紧固螺栓超声波检验技术导则

DL/T 694—1999

The technical guide of ultrasonic inspection for  
high-temperature tight bolts

---

### 1 范围

本导则规定了高温紧固螺栓超声波检验工艺方法和评定标准。

本导则适用于汽缸、汽门、各种阀门和蒸汽管道法兰等直径大于或等于 M32 的高温紧固螺栓的超声波检验。

其他紧固螺栓的超声波检验也可参照本导则。

### 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。

DL 438—1991 火力发电厂金属技术监督规程

DL 439—1991 火力发电厂高温紧固件技术导则

JB/T 9214—1999 A 型脉冲反射式超声探伤系统工作性能测试方法

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 超声探伤用探头性能测试方法

JB/T 10063—1999 超声波探伤用 I 号标准试块技术条件

### 3 探伤人员

3.1 探伤人员必须取得由电力工业无损检测人员资格考核委员会颁发的资格证书，探伤报告必须由Ⅱ级或Ⅱ级以上的超声波探伤人员签发。

3.2 探伤人员必须熟悉本导则的各项规定，并能按规定的探伤工艺熟练操作。如果采用其他方法探伤时，应在探伤报告中注明。

### 4 探伤仪和探头

#### 4.1 探伤仪

4.1.1 采用 A 型脉冲反射式超声波探伤仪。

4.1.2 探伤仪的性能指标和测试方法应符合 JB/T 10061—1999 及 JB/T 9214—1999 规定的相应条款。

## 4.2 探头

4.2.1 本导则主要采用小角度纵波斜探头和横波斜探头，直探头可以作为一种辅助检测手段予以应用。

4.2.2 探头基本性能按 JB/T 10062—1999 进行测定。

4.2.3 对斜探头声束水平偏离角和双峰的要求：将探头对准标准试块上被测棱边，当反射波幅最大时，探头中心线与被测棱边的夹角应在  $90^\circ \pm 2^\circ$  的范围内，且主声束在入射平面内不应有明显的双峰或多峰。

### 4.3 仪器和探头组合性能

4.3.1 仪器和探头的组合灵敏度余量：在所探伤工件最大声程处，有效探伤灵敏度余量  $> 10\text{dB}$ 。

4.3.2 仪器和探头组合分辨力：直探头远场分辨力  $\geq 30\text{dB}$ ，横波斜探头远场分辨力  $\geq 6\text{dB}$ 。

4.3.3 探头与仪器的组合频率与公称频率误差  $< 10\%$ 。

## 5 试块

5.1 试块的形状和尺寸见附录 A（标准的附录）和附录 B（标准的附录）。附录 A 为螺栓探伤专用试块（LS-1），附录 B 为螺栓探伤便携式对比试块（LS-2）。试块的制造应符合 JB/T 10063—1999 的规定。

5.2 LS-1 螺栓探伤专用试块，主要用于对探伤仪、探头性能及组合性能的测定，并根据螺栓规格在试块上调整扫描速度和校准探伤灵敏度。

5.3 LS-2 螺栓探伤便携式对比试块，主要用于现场探伤时测定探头参数、调整扫描速度、校准探伤灵敏度等。

## 6 探伤前的准备

6.1 探伤前应了解被探螺栓的名称、规格、材质、热处理工艺及螺栓结构型式等。

6.2 原则上应拆下螺栓进行探伤，探测面应打磨。端面须平整且与轴线垂直。

6.3 在螺栓上应打上永久性钢印编号。

6.4 耦合剂应具有良好的透声性能和浸润能力，且不损伤工件表面。可选择甘油、机油或化学浆糊等作为耦合剂。

## 7 探伤

### 7.1 探头的选择

7.1.1 纵波斜探头的选择：纵波折射角  $\beta_L$  一般取  $8.5^\circ$ ，频率为  $5\text{MHz}$ ，晶片尺寸根据螺栓规格选择，见表 1。

表 1 纵波斜探头晶片尺寸的选择

螺 栓 规 格	$< M56$	$M56 - M100$	$> M100$
晶 片 尺 寸 mm × mm	7 × 12	9 × 12	13 × 13

纵波斜探头适用于刚性无中心孔螺栓本侧与对侧、柔性无中心孔螺栓本侧、长度符合表 2 规定的柔性无中心孔螺栓的对侧和柔性有中心孔螺栓的本侧探伤。

表 2 纵波斜探头适用范围

螺栓规格 (柔性无中心孔)	可探裂纹深度 mm	裂纹距探测面距离 mm	螺栓长度 mm
M32	≥1	≤110	≤150
M36	≥1	≤130	≤180
M42	≥1	≤160	≤210
M48	≥1	≤180	≤230
M52	≥1	≤200	≤250
M56	≥1	≤220	≤280
M64	≥1	≤260	≤320
M72	≥1	≤300	≤380
M76	≥1	≤320	≤400

7.1.2 横波斜探头的选择: K 值一般取 1.5~1.7, 频率为 5MHz, 晶片尺寸为 8mm×12mm, 对于直径大于 M100 的螺栓, 宜用 2.5MHz 的斜探头。

横波斜探头主要用于柔性有中心孔螺栓的对侧、长度超过表 2 规定的柔性无中心孔螺栓对侧以及螺栓光杆部位的探伤。两端头无法放置探头的螺栓应用横波斜探头探伤。

对螺栓光杆部位进行探伤时, 可根据螺栓规格选择折射角  $\beta_L$  为 2.0°~8.5° 的纵波斜探头或 K 值为 1.0~2.0 的横波斜探头进行探伤。

## 7.2 扫描速度

扫描速度可利用 LS-1、LS-2 试块或试件进行调整。扫描速度的比例应能使仪器荧光屏显示出最大探测距离。

## 7.3 探伤灵敏度

7.3.1 纵波斜入射探伤灵敏度用 LS-1、LS-2 试块调整, 灵敏度的确定参照表 3。也可将螺栓的丝扣反射波幅调到 60% 基准高度作为探伤灵敏度。

表 3 纵波斜入射探伤灵敏度选择

螺栓规格	螺栓型式	被探部位	探伤灵敏度	裂纹检测能力 mm	判伤界限
≥M32	刚性无中心孔	对侧	φ1-6dB	≥1.0	φ1
M32~M48	柔性无中心孔	本侧	φ1-6dB	≥1.0	φ1-4dB
		对侧	φ1-14dB	≥1.0	φ1-10dB
>M48	柔性有中心孔	本侧	φ1-6dB	≥1.0	φ1

注

- 1 柔性无中心孔螺栓对侧纵波探伤必须满足表 2 的条件, 否则, 应采用横波探伤。
- 2 柔性有中心孔螺栓两侧端面无法放置纵波探头时, 必须采用横波探伤。

7.3.2 一般以探伤部位的丝扣反射波来调整横波探伤的灵敏度。

调整方法: 找到探伤部位的丝扣反射波, 前后移动探头, 使反射波最强, 然后调节衰减器, 将丝扣反射波调到 60% 的屏高即可。

## 7.4 探头位置及扫查方式

7.4.1 两端为平面的刚性无中心孔螺栓采用纵波斜入射探头在端面扫查对侧, 见图 1。

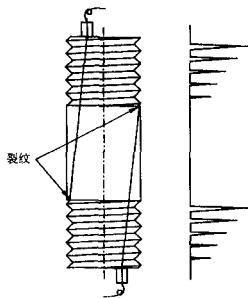


图1 刚性无中心孔螺栓纵波斜入射探伤

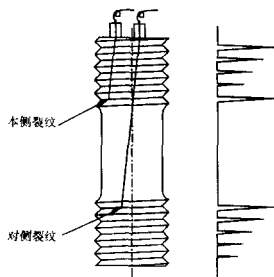


图2 柔性无中心孔螺栓纵波斜入射探伤

7.4.2 符合表2条件的柔性无中心孔螺栓，采用纵波斜探头从端面可一次扫查本侧与对侧，见图2。否则，应采用横波斜探头 K1.5~K1.7 扫查对侧。

7.4.3 对于大于 M48 的柔性有中心孔螺栓，采用纵波斜探头分别从两端端面扫查。端面无法放置纵波探头时，应采用横波斜探头扫查，见图3。

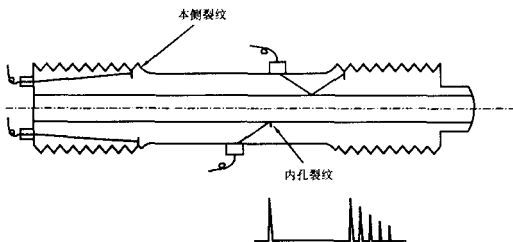


图3 柔性有中心孔螺栓纵波斜入射、横波探伤

7.4.4 采用横波斜探头扫查时，调整好探伤灵敏度，找到被探部位的丝扣反射波，探头沿螺栓光杆外圆周向移动，前后略作移动，绕螺栓扫查一周。

#### 7.5 横波探伤时丝扣部位裂纹的识别

当螺栓某个丝扣部位出现裂纹时，其后邻近的第1个丝扣反射波被裂纹遮挡。当裂纹较大时，第2、第3个丝扣波也将被遮挡。如发现缺陷的反射波幅与其后的第1丝扣反射波幅之差大于或等于 6dB，且指示长度大于或等于 10mm 时，即可判定为裂纹，见图4。

#### 7.6 螺栓内孔缺陷信号的识别

可参照表3判伤界限的规定。

#### 7.7 验证方法

纵波斜入射和横波两种检测手段可以互相验证。

#### 7.8 指示长度的测定

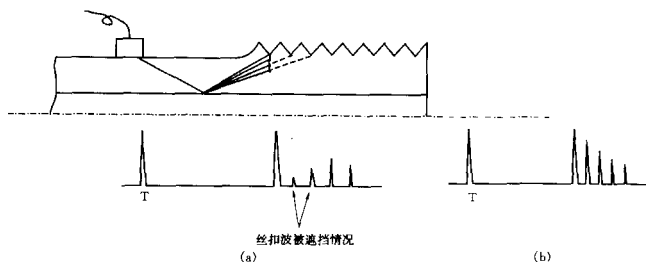


图4 横波探伤时裂纹识别  
(a) 有裂纹时的波形; (b) 无裂纹时的正常波形

当探伤时发现缺陷信号后,保持探伤灵敏度不变,探头沿周向向两侧移动来测长。对于纵波斜入射法,缺陷波波幅降至与丝扣波波幅相同时,探头移动距离为其指示长度。对于横波法,被遮挡的丝扣反射波升到与正常丝扣反射波相同,此时探头所移动的距离即为指示长度。

## 8 评定

### 8.1 凡判定为裂纹的螺栓应判废

### 8.2 纵波斜入射探伤

#### 8.2.1 刚性螺栓:

缺陷信号波幅 $\geq\phi 1\text{mm}$ 反射当量,且指示长度 $\geq 10\text{mm}$ ,应判定为裂纹。

#### 8.2.2 柔性螺栓:

a) 柔性无中心孔螺栓。缺陷信号位于本侧,其反射波幅 $\geq\phi 1\text{mm}-4\text{dB}$ 反射当量,且指示长度 $\geq 10\text{mm}$ ,应判定为裂纹。缺陷信号位于对侧,其反射波幅 $\geq\phi 1\text{mm}-10\text{dB}$ 反射当量,且指示长度 $\geq 10\text{mm}$ ,应判定为裂纹。

b) 柔性有中心孔螺栓。缺陷信号波幅 $\geq\phi 1\text{mm}$ 反射当量,且指示长度 $\geq 10\text{mm}$ ,应判定为裂纹。

8.2.3 凡缺陷反射波幅大于或等于丝扣波幅 6dB,且指示长度 $\geq 10\text{mm}$ ,应判定为裂纹。

### 8.3 横波探伤

丝扣部位横波探伤时,按 7.5 条判定裂纹。

8.4 缺陷当量 $\geq 1\text{mm}$ 模拟裂纹(声程位置大致相同)当量,且指示长度 $\geq 10\text{mm}$ ,应判定为裂纹。

8.5 对于不足以判定为裂纹的较小信号应作好记录,并对安装位置进行记录跟踪,便于复查。

8.6 应注意区别由于螺栓结构不同而产生的固有信号或变形波信号。



## 9 记录报告

高温紧固螺栓超声波探伤记录报告应包括下列内容:

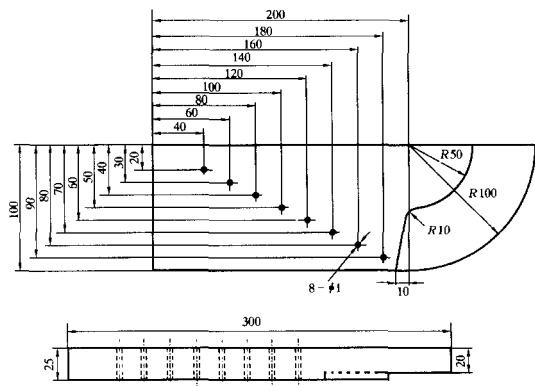
螺栓名称(包括机组号),螺栓规格与材料,结构型式,螺栓编号,探伤仪型号,使用探头规格、型号、耦合剂,表面状况,试块型号,探伤灵敏度,缺陷当量与指示长度,探伤人员,探伤日期等。报告格式见附录 C(标准的附录)。

### 附录 A

(标准的附录)

#### 高温紧固螺栓超声波探伤专用试块

用于高温紧固螺栓超声波探伤的专用试块,采用 LS-1 试块,其形状和尺寸如图 A 所示。



1. 材料为 20 号钢;
2. 尺寸公差  $\pm 0.1$ ;
3. 各边垂直度不大于 0.1;
4. 表面粗糙度不大于  $6.3\mu\text{m}$ ;
5. 标准孔加工面的平行度不大于 0.05。

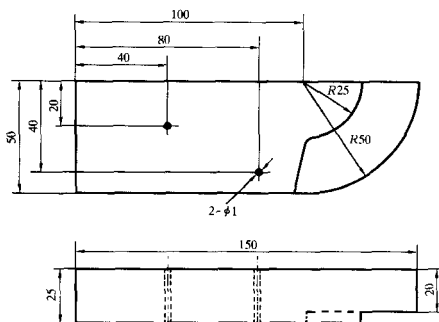
图 A LS-1 试块

## 附录 B

(标准的附录)

### 高温紧固螺栓超声波探伤便携式对比试块

用于高温紧固螺栓超声波探伤的便携式试块，采用 LS-2 试块，其形状和尺寸如图 B 所示。



1. 材料为 20 号钢；
2. 尺寸公差  $\pm 0.1$ ；
3. 各边垂直度不大于 0.1；
4. 表面粗糙度不大于  $6.3\mu\text{m}$ ；
5. 标准孔加工面的平行度不大于 0.05。

图 B LS-2 试块

## 附录 C

(标准的附录)

### 高温紧固螺栓超声波探伤报告

探伤日期： 年 月 日

委托单位	机组编号		报告编号	
仪器型号	耦合剂		探伤面状况	
探头频率	1.	晶片尺寸	1.	折射角
	2.		2.	
	3.		3.	
	4.		4.	
试块型号	探伤灵敏度			

续表

委托单位		机组编号		报告编号		
螺 栓 参 数						
序 号	名 称	规 格	材 料	结构形式	编 号	数 量
探 伤 记 录						
序号	名称、编号	缺陷位置	缺陷当量	指示长度	评 定	
备注及示意图:						
探伤人员	年 月 日	校核	年 月 日	审核	年 月 日	