

# 纤维增强塑料无损检验方法 超声波检验

## 1 主题内容与适用范围

本标准规定了纤维增强塑料超声波检验的一般规则、要求和方法。

本标准适用于层压、缠绕、模压或手糊等工艺成型的纤维增强塑料制品内部缺陷的超声波检验。

## 2 引用标准

GJB 593.1 无损检验质量控制规范 超声纵波和横波检验

ZBY 230 A型脉冲反射式超声探伤仪通用技术条件

ZBY 231 超声探伤用探头性能测试方法

## 3 环境条件

环境条件应符合 GJB 593.1 第 2 章规定。

## 4 方法数型

纤维增强塑料超声波检验方法,按耦合方式可分为接触式、喷水式和水浸式三种类型,每种类型又可采用直射穿透法或直射反射法。

本标准规定了纤维增强塑料超声波检验最常用的三种方法:接触式脉冲反射法、喷水式脉冲穿透法和水浸式脉冲反射板法。

### 4.1 接触式脉冲反射法

采用接触方式,根据超声波在材料中传播时,遇到不连续性所产生的反射波和(或)底波来检查缺陷或评定材质。

### 4.2 喷水式脉冲穿透法

采用喷水耦合方式,根据超声波穿透材料后的幅度变化来检查缺陷或评定材质。

### 4.3 水浸式脉冲反射板法

采用水浸耦合方式,根据超声波穿透材料后,从反射板反射的回波幅度变化来检查缺陷或评定材质。

### 4.4 推荐采用的超声波检验方法

根据材料或被检件特点,本标准推荐采用的超声波检验方法见表 1。

## 5 仪器设备

### 5.1 超声波探伤仪

5.1.1 超声波探伤仪和探头配用时,检验系统的性能应符合 ZBY 230 技术条件,并满足表 2 要求。此外,检验系统的探伤灵敏度余量、盲区和分辨力等应满足检验所需的要求。

5.1.2 凡是经过维修或更换零部件以及使用一年以上的超声波探伤仪都应进行校验,其性能应符合 5.1.1 条的规定。每次测试数据应保存备查。

表 1 超声波检验方法

序号	材料或被检件		超声检验方法	探头	说明
1	层压板(玻璃/环氧、玻璃/酚醛、碳/环氧、碳/酚醛、涤纶/酚醛等)	厚板(厚度 10 至 120mm)	①接触式脉冲反射法 ②喷水式脉冲穿透法	平探头频率 0.8 ~ 5MHz	或采用接触式脉冲穿透法
		薄板(或薄壁件)(厚度小于 10mm)	①水浸式脉冲反射板法 ②接触式脉冲反射法 ③喷水式脉冲穿透法	①平探头频率 1.25 ~ 10MHz ②聚焦探头频率 2.5 ~ 10 MHz	脉冲反射法检验薄板时应使用盲区小的探伤仪和探头。
2	大型缠绕件(高硅氧/酚醛、碳/酚醛、涤纶/酚醛、碳/环氧等)		喷水式脉冲穿透法	①平探头频率 0.8 ~ 5 MHz ②聚焦探头频率 1.25 MHz ~ 5 MHz	或采用喷水式脉冲反射法
3	短纤维模压件(高硅氧/酚醛等)		喷水式脉冲穿透法	平探头频率 0.8 ~ 5 MHz 或者 50kHz ~ 1MHz	
4	手糊制品(高硅氧/酚醛、涤纶/酚醛等)		喷水式脉冲穿透法	平探头频率 0.8 ~ 5 MHz 或者 50kHz ~ 1MHz	

注:①仪器设备及探头应根据具体情况选用;

②其它纤维的复合材料也可以参照采用。

表 2 超声波探伤仪性能指标

序号	技术性能	指标要求	
1	垂直极限	100%	
2	垂直线性	范围 500~95%	误差 ≤ 8%
3	水平极限	100%	
4	水平线性	范围 0~90%	误差 ≤ 2%
5	动态范围	≥ 26dB	
6	衰减器 <sup>1)</sup>	总衰减量 ≥ 60dB	精度每 2dB ± 0.2dB

注:1)未配衰减器的探伤仪,可外接衰减器。

## 5.2 超声波测厚仪

使用超声波测厚仪,其技术指标必须满足检测要求。

## 5.3 报警器

检验形状规则、表面平行的材料或具有对称性的被检件,可采用闸门可调的视觉或听觉报警器。

## 5.4 稳压器

在调整超声波探伤仪信号幅度为荧光屏满刻度 50% 的情况下,如果电源电压波动引起的信号幅度变化超过满刻度 ± 2.5%, 则应使用稳压器。

## 5.5 探头

5.5.1 平探头应按 ZBY 231 规定的方法测试回波频率、距离幅度特性、波束特征。要求回波频率与标称频率相差在 $\pm 10\%$ 以内；波束特征应在声压最远的极大值处( $Y_0$ )，沿 $\pm 90^\circ$ 方向测量，不应有明显副瓣，声轴偏移的最小直径与最大直径(6dB点)之比应大于0.75。

5.5.2 聚焦探头除测试回波频率外，还应测定其焦距、焦点直径和焦柱长度(即有效聚焦区)。测试聚焦探头所用的球靶直径应小于计算的焦点直径。

5.5.3 所有探头应予编号，每次测试数据应保存备查。要求每年检查一次。平探头距离幅度特性应与原始记录对比，其差值供修正用，超过20%的探头应予报废。

## 5.6 专用设备

### 5.6.1 手工扫查设备

穿透法手工扫查，使用探头夹具，保持两个探头对准。

### 5.6.2 喷水机械扫查设备

喷水扫查设备由喷水器、探头支架、被检件支撑装置、扫查控制机构组成。该设备必须能获得稳定水柱，保证两喷水探头轴线对中，并使探头与被检件表面大致垂直，其间的水程距离可调，探头相对被检件的扫查运动可以调速，且能准确定位。

### 5.6.3 水浸机械扫查设备

水浸扫查设备由水槽、操纵装置、桥架、反射板及扫查控制器组成。该设备要求探头在两个相互垂直的平面内，调角精度为 $\pm 0.5^\circ$ ，保证探头与反射板垂直，也与被检件基本垂直，其间的水程距离可调，探头对被检件扫查时能准确定位。反射板的表面必须平直和光洁。

## 6 耦合剂及试块

### 6.1 耦合剂

6.1.1 接触法可使用水或其它对被检件无损害的耦合剂，但应具有良好的声耦合性能。校准探伤仪和检测被检件必须使用同种耦合剂。

6.1.2 供喷水或水浸法使用的水应洁净，无气泡和杂质，水温保持在 $10\sim 35^\circ\text{C}$ 。必要时水中可添加防腐剂 and 润湿剂，但不能损伤被检件和设备。

### 6.2 试块

6.2.1 标准试块是指经权威机构鉴定过的，材质、形状和尺寸及性能合格的试块。它用于探伤仪和探头组合性能测试及灵敏度调整。

6.2.2 对比试块是采用与被检件声学性能和表面状态相同或类似的材料制成的试块，它用于探伤系统灵敏度的调整或用来确定缺陷的当量大小。

制作纤维增强塑料对比试块，应挑选与被检件的原材料、铺层及固化工艺、厚度和表面状态相同的材料，并要求采用比验收等级高一级的灵敏度进行检测，以避免存在影响使用的自然缺陷。

6.2.2.1 供接触式脉冲反射法检验用的对比试块，其类型和尺寸可参照附录 A(补充件)第一组和第三组试块确定。

6.2.2.2 供喷水式脉冲穿透法检验用的对比试块，其类型和尺寸可参照附录 A(补充件)第二组和第三组试块确定。

6.2.2.3 供水浸式脉冲反射板法检验用的对比试块，其类型和尺寸可参照附录 A(补充件)第三组试块确定。

6.2.2.4 对比试块在制作好之后，应按图纸要求检查，同时按表 1 的相应方法进行验证，记录其结果，计算缺陷实际尺寸与测试结果的偏差，供分析修正用。

6.2.3 为避免对比试块材料老化及性能变化,可采用有机玻璃作参考试块。

6.2.4 各单位可根据被检件的材质和要求检出的最小缺陷,自行确定对比试块。

## 7 检验程序

### 7.1 检验前的准备

7.1.1 被检件表面应无灰尘、杂质、污染物。允许用稀溶剂或润湿剂擦洗,以利于声耦合。

7.1.2 目视检查被检件有无边缘分层、孔隙、划伤、隆起、皱折、翘曲或溢胶等。注明影响超声记录的异常现象。密封边缘分层处,防止浸水。表面有影响缺陷检查和记录的不正常区域,则拒检。

7.1.3 被检件的受检区用适当的标记作参考点(或线)。对一次不能检查完的大面积区域,应分段标记、检查和记录。

### 7.2 检验步骤

#### 7.2.1 接触式脉冲反射法

##### 7.2.1.1 探伤面、工作频率和探头的选择

探伤面选择应考虑材料铺层工艺,使波束中心线尽可能垂直于容易发生分层或裂纹的方向。超声探伤仪工作频率和探头应根据材料衰减及要求检出的最小缺陷,从表1选定。

##### 7.2.1.2 距离—幅度曲线

采用附录A中的I号对比试块,测绘距离—幅度曲线(DAC校正曲线),供缺陷分析使用。

##### 7.2.1.3 反射法探伤灵敏度调整

将探头置于与被检件厚度相同或接近的对比试块上(厚件用附录A中第一组I号试块,薄件用附录A中第三组V号试块),并按检验要求检出的最小缺陷,探测相应的平底孔,调整超声探伤仪使该平底孔的反射波达到荧光屏满刻度的80%。再将探头置于附录A中具有相同厚度和相应平底孔的有机玻璃II号(或VI号)参考试块上,测出此时平底孔的反射波高度为满刻度80%时的分贝值,此值即作为同种规格不同批材料的探伤灵敏度。

##### 7.2.1.4 扫查间距的确定

将圆形换能器探头置于I号(或V号)对比试块上,对准含有埋深最小,且为要求检出的最小缺陷的位置上,调节超声探伤仪使该平底孔反射波高度为荧光屏满刻度的80%,然后沿孔的直径移动探头,找出反射波高度下降6dB的两点间距离。扫查间距应不大于此距离的二分之一。

##### 7.2.1.5 扫查速度的确定

探头扫查被检件的速度应在对比试块上确定,使要求检出的最小缺陷在试块所对应的平底孔反射波能显示清晰,并使报警器动作。

#### 7.2.2 喷水式脉冲穿透法

##### 7.2.2.1 扫查和记录设备

采用喷水机械扫查设备,并使用X—Y记录仪的幅度记录或C—扫描记录。

##### 7.2.2.2 工作频率、探头和喷水器

检验系统的工作频率选择同7.2.1.1条。可用平探头或聚焦探头。喷水器腔体内部不应有气泡,水柱应稳定。

##### 7.2.2.3 喷水探头姿态调整

调整喷水探头支架保证发射探头与接收探头的轴线对中,并使水柱大致垂直于被检件表面。

##### 7.2.2.4 水程距离的调整

调节喷水探头与被检件间的水程距离。当使用平探头时,应使被检件处于发射及接收探头的有效工作区内(即在近场距离前后,声压由极大值降低6dB两点间的距离);使用聚焦探头时,应使被检件处于发射及接收探头的有效聚焦区。此时,应当避免界面波对穿透波的干扰。

### 7.2.2.5 穿透法探伤灵敏度调整

根据被检件的材质和要求检出的最小缺陷,用Ⅲ号对比试块确定出应使用的穿透波幅度,采用附录 A 中第二组Ⅳ号参考试块予以标定分贝值,此值即作为同种规格不同批材料的探伤灵敏度。

### 7.2.2.6 报警闸门的调整

采用报警闸门监控穿透波,调节报警灵敏度,使在扫查时能对被检件要求检出的最小缺陷报警和记录。

### 7.2.2.7 扫查速度和扫查步进量的确定

扫查速度的选择应与要求检出的最小缺陷和分辨率相适应;扫查步进量的选择应以至少能两次检出所要求的最小缺陷为准。

### 7.2.2.8 被检件的检验

换上被检件,按标记号依次检查。在被检件的各部位选择有代表性的点,以每档 2dB 或 5dB 的变化量作穿透波幅度变化曲线,以供分析结果参考。

### 7.2.2.9 缺陷的复查

发现缺陷应反复核实缺陷的存在及范围大小,然后测定此时穿透波的幅度分贝值并记录。

## 7.2.3 水浸式脉冲反射板法

### 7.2.3.1 扫查和记录设备

采用水浸机械扫查设备,并使用 X-Y 记录仪的幅度记录或 C-扫描记录。

### 7.2.3.2 工作频率和探头

检验系统工作频率的选择同 7.2.1.1 条,探头一般采用聚焦探头。

### 7.2.3.3 聚焦探头姿态调整

调整聚焦探头使发射波束中心线与反射板垂直,以获得最大的反射波。将附录 A 中第三组 V 号对比试块置于聚焦探头与反射板之间,且与反射板保持平行。

### 7.2.3.4 水程距离的调整

a. 调整聚焦探头与对比试块之间的水程距离,使聚焦探头的有效聚焦区落入对比试块中,也可通过实验调整或按下式计算:

$$S = F - \frac{1}{2} \cdot \frac{V_2}{V_1} \cdot \delta$$

式中: S—水程距离, mm;

F—探头在水中的焦距, mm;

$V_1$ —水声速, mm/s;

$V_2$ —对比试块声速, mm/s;

$\delta$ —对比试块厚度, mm。

b. 将反射板与对比试块处于聚焦探头有效聚焦区之内,调整其距离使两者的反射波在荧光屏上能分开。

### 7.2.3.5 反射板法探伤灵敏度调整

该探伤灵敏度的调整方法同 7.2.2.5 条。

### 7.2.3.6 报警闸门的调整

使用报警闸门监控反射板的回波,报警灵敏度的调整同 7.2.2.6 条。

### 7.2.3.7 扫查速度和扫查步进量的确定

聚焦探头在对比试块上方沿(X-Y)平面扫查,扫查速度和扫查步进量的确定方法同 7.2.2.7 条。

### 7.2.3.8 被检件的检验

换上被检件,按标记号依序检查。

### 7.3 异常现象的处理

a. 凡采用喷水或水浸法不能正常记录时,应检查探头、被检件、反射板的表面是否附着小气泡,被检件表面是否清洁,声束与被检件是否垂直,被检件与反射板是否平行,并加以排除或调整;b. 凡有疑问的部位,在排除上述原因之后,应重新调整探伤灵敏度,并对此部位重新检验和记录;c. 对于可检的变截面构件,若声束无法完全与构件表面垂直,应适当提高探伤灵敏度,再进行检验和记录。

### 7.4 材料声学参数的测定

对材质差、不均匀的被检件,应选择足够数量的测试点,测量其声速和衰减系数,以供材质分析和处理。其方法见附录 C(参考件)。

7.5 检验结束后,要立即清除被检件表面的耦合剂或水迹。

## 8 缺陷评定

### 8.1 采用接触式脉冲反射法的缺陷评定

8.1.1 小于探头直径的缺陷,缺陷埋深和尺寸采用与对比试块比较的方法来确定。缺陷埋深相同,采用对比试块平底孔尺寸来评定缺陷当量;缺陷埋深不同,采用对比试块声程与其相近的两个同样大小的平底孔作比较来确定。

8.1.2 大于探头直径的缺陷,将探头置于埋深相同的试块上,选择大于探头直径的平底孔作标定孔(设为值),调整超声探伤仪使该孔反射波达到荧光屏满刻度的 80%,然后沿孔的直径找出反射波高度下降 6dB 的两点,测出其距离(设为  $\varphi$  值);在灵敏度不变的情况下,按同样方法测出缺陷反射波高度下降 6dB 的两点间距离(设为 B 值)。缺陷测量尺寸为 B 值减去 A 值与标定孔直径之差值,用  $B-(A-\varphi)$  来表示。

8.1.3 除了按缺陷判断外,还可按底波幅度变化对材质进行分类。

8.1.4 若发现杂波高于正常水平或底波明显降低的部位,应将该处底波高度与正常部位底波高度作比较,确定底波的损失程度,并测其声速和衰减系数,以供材质分析和处理。

8.1.5 材料的缺陷性质和类型,可根据缺陷波和底波的相对关系、波形和相位特征,并结合测厚法来判断。测厚方法见附录 B(补充件)。

### 8.2 采用喷水式脉冲穿透法的缺陷评定

8.2.1 对小于水柱直径的缺陷,采用与对比试块比较的方法来确定。

8.2.2 对大于水柱直径的缺陷,可按水柱外缘在被检件上标定缺陷的大致范围,用加大穿透波幅度的方法来鉴别缺陷的分层性。

8.2.3 确定大于水柱直径的缺陷尺寸,需采用附录 A 中第二组 III 号试块上稍大于水柱直径的人工模拟缺陷作标定缺陷(设为 W 值),在探伤灵敏度下进行检测。然后用 X-Y 记录仪或 C-扫描记录仪记录结果,计算标定缺陷的“感受长度”(设为 A 值),再按同样的方法算出待定缺陷的“测量长度”(设为 B 值),则缺陷测量尺寸为 B 值减去 A 值与标定缺陷尺寸之差值,用  $B-(A-W)$  来表示。

8.2.4 对喷水穿透法发现的缺陷,可用数字显示超声厚度计或探伤仪,确定在缺陷区域内是否有分层,并从两面测量分层的深度;如从探伤仪观察到的缺陷波峰紊乱,则是多孔性;测量声速和衰减系数,若发现声速显著下降,且衰减剧增,则该区域多属疏松或密集孔隙。

8.2.5 还可按穿透波的幅度变化对被检件材质进行分类。

### 8.3 采用水浸式脉冲反射板法的缺陷评定

8.3.1 大于焦点直径的缺陷尺寸确定方法同 8.2.3 条,但需采用附录 A(补充件)中的第三组试块。

8.3.2 按 8.1.5 条和 8.2.4 条,还可采用其它无损检验方法判断缺陷的性质和类型。

8.3.3 还可按反射板回波的幅度变化对被检件材质进行分类。

## 9 检验报告

检验报告包括如下内容:

- a. 报告单编号; b. 委托单位; c. 被检件的名称、图号、工序号、材料规格、工艺类型; d. 所选用的检验方法; e. 仪器设备的名称、型号、生产厂家; f. 探头的型号、频率、尺寸、压电材料。聚焦探头还应写明焦距、焦点直径、有效聚焦区长度等; g. 对比试块的名称、代号、材料规格及工艺类型; h. 耦合剂的名称、牌号、生产厂家; i. 采用喷水或水浸法时, 水柱、水程距离、水质; 添加剂名称、生产厂家、添加量; j. 用草图或展开图形式记录全部试验结果, 并以文字注明缺陷的位置、大小、深度及性质。如因几何形状限制, 来检验到的部位也应注明; k. 用适当方法标记被检件上的缺陷; l. 检验和审核人员以及检验日期。

## 10 人员资格要求

人员资格应符合 GJB 593. 1 第 7 章的规定。

## 附录 A 检验用的对比试块 (补充件)

A1 第一组试块有两种: I 号试块是由被检材料加工制成的对比试块; II 号试块是由有机玻璃加工制成的参考试块。

A1.1 号对比试块的形状及尺寸见图 A1、表 A1。

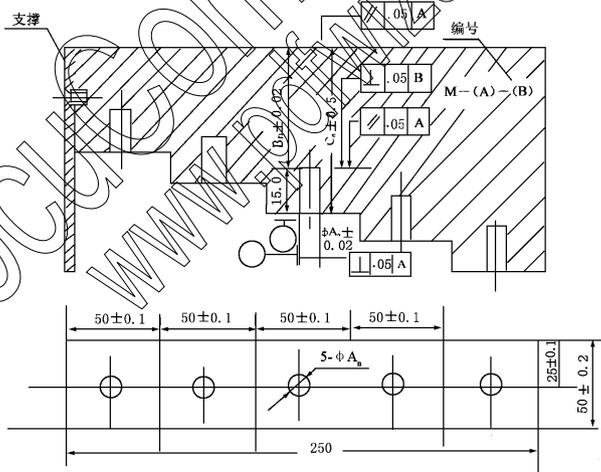


图 A1 I 号对比试块

注: ① I 号对比试块孔数数据被测件厚度确定,  $\phi A_n$ ,  $B_n$  值由表 A1 按顺序选取。

② 编号说明: M—材料种类;

(A)—平底孔直径, mm;

(B)—平底孔埋深, mm。

③ 去除加工产生的毛刺, 各棱边应倒圆, R 小于 0.8 mm;

④ 用同种材料的塞子堵孔, 孔边缘再用粘合剂粘上。但孔底应干净, 不得被粘住。

表 A1 超声波检验方法

对比试块	平底孔直径 $\phi A_n$	平底孔埋深 $B_n$			高度 $C_n$		
	$\pm 0.02$	$\pm 0.2$			$\pm 0.5$		
A 级系列	4.0	2.5	35	100	17.5	50	115
		5.0	40	110	20	55	125
B 级系列	7.0	7.5	45	120	22.5	60	135
		10.0	50		25	65	
C 级系列	10.0	15.0	60		30	75	
		20.0	70		35	85	
D 级系列	15.0	25.0	80		40	95	
		30.0	90	45	105		

A1.2 II号参考试块的形状及尺寸见图 A2、表 A1。

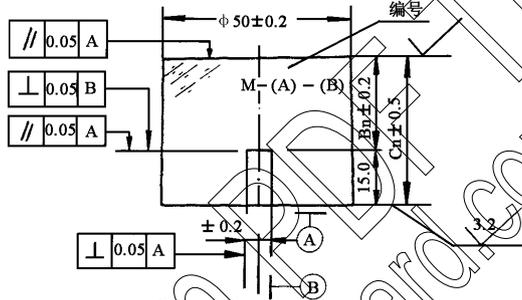


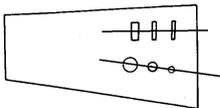
图 A2 II号对比试块

- 注：① 编号说明：M—材料种类；  
 (A)—平底孔直径·mm；  
 (B)—平底孔埋深·mm。  
 ② 去除加工产生的毛刺，上下面的外缘有应倒圆，R 小于 0.8mm；

A2 第二组试块采用两种形式：III号试块是在被检件截取的试块上贴人工模拟缺陷；IV号试块是由有机玻璃加工制成的参考试块。

A2.1 III号人工模拟缺陷的规格和示意图见表 A2、图 A3。

采用聚四氟乙烯、涤纶或其它薄膜叠层(双层或多层)或者不能透声的材料来制作人工模拟缺陷,并将该缺陷用透明胶带粘贴到被检件截取的试块上,而且必须贴在靠发射探头的一边。



件截取的 III 号试块上贴模拟缺陷的示意图

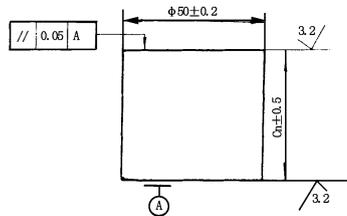


图 A4 IV号参考试块

- 注：① 柱高  $C_n$  与被检件厚度相同；  
 ② 去除加工产生的毛刺，上下面边缘倒圆，R 小于 0.8mm

表 A2

形状	尺寸 mm	材料
圆形(直径 $\varphi$ )	4、7、10、15、20	厚度小于 0.05mm 聚 四氟乙烯薄膜等
长方形	4×30、7×30、10×30、15×30、 20×30	

A2.2 号参考试块的形状及尺寸见图 A4。

A3 第三组试块有两种;V 号试块是含有人工缺陷的对比试块;VI 号试块是由有机玻璃加工制成的参考试块。

A3.1 V 号对比试块的形状及尺寸见图 A5。

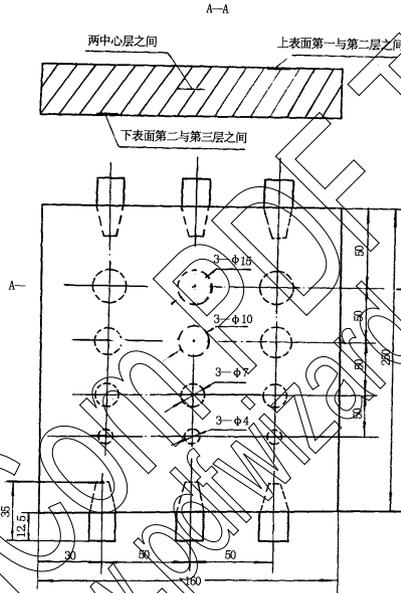


图 A5 V 号对比试块

注:①以两层厚度为 0.02~0.05mm 的聚四氟乙烯薄膜嵌入制作圆形缺陷;②以厚度 0.10~15mm 的不锈钢楔形垫片制作缺陷,材料固化后取出垫片,并用粘合剂封口;③板件厚度应与被检件相同,可做成 8、12、16、20、29、32 层(若每层厚度 0.10~33mm,即厚度范围为 0.80~10.56mm)。

A3.2 VI 号参考试块的形状及尺寸见图 A6。

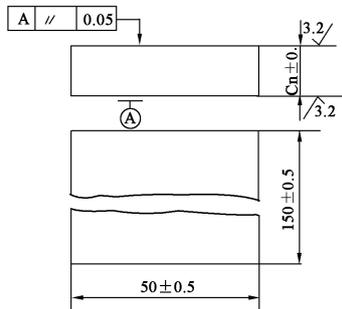


图 A6 VI 号参考试块

注:①板厚  $C_n$  与被检件相同;②去除加工产生的毛边。

## 附录 B

### 超声测厚方法

#### (补充件)

**B 1** 制作超声测厚的阶梯试块,应选择与被检件的原材料、工艺和表面状态相同的材料,并经过检验确认没有影响使用的自然缺陷存在。

**B 2** 阶梯试块的形状及尺寸见图 B1、表 B1 和表 B2。标定点个数(台阶数)根据被测件厚度需要确定,标定点数值按表 B1 或表 B2 顺序选取。

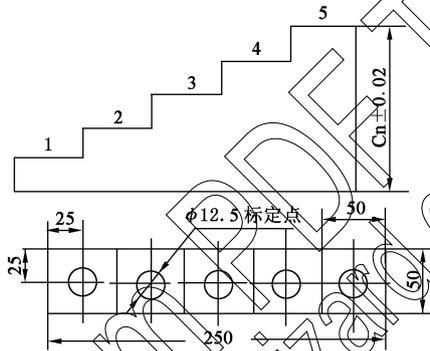


图 B1 超声测厚阶梯试块

表 B1 厚件阶梯试块

mm

标定点	厚度 $C_n$	铺层方式	标定点	厚度 $C_n$	铺层方式
A	2.5	与被检件相同	I	35.0	与被检件相同
B	5.0		J	40.0	
C	7.5		K	45.0	
D	10.0		L	50.0	
E	15.0		M	60.0	
F	20.0		N	70.0	
G	25.0		O	80.0	
H	30.0				

表 B2 薄件阶梯试块

标定点	层数	厚度 $C_n$	铺层方式	标定点	层数	厚度 $C_n$	铺层方式
A	1	(0.10)	与被检件相同	H	24	(2.40)	与被检件相同
		0.33				7.92	
B	2	(0.20)		I	32	(3.20)	
		0.66				10.56	
C	4	(0.40)		J	40	(4.00)	
		1.32				13.20	
D	8	(0.80)		K	48	(4.80)	
		2.64				15.84	

标定点	层数	厚度 C <sub>n</sub>	铺层方式	标定点	层数	厚度 C <sub>n</sub>	铺层方式
E	12	(1.20)		L	56	(5.60)	
		3.96				18.48	
F	16	(1.60)		M	64	(6.40)	
		5.28				21.12	
G	20	(2.00)		N	72	(7.20)	
		6.60				23.76	

B3 把探头置于阶梯试块低限的标定点上,调整仪器的零位校正旋钮,使读数与阶梯试块的低限厚度值相等,再把探头置于阶梯试块的高限厚度上(即等于或大于被测件的厚度),调节仪器上的声速旋钮(或称材料测定、范围、扫描速度等旋钮),使读数与阶梯试块的高限厚度相符。这样连续重复上述步骤,直到读数与实际厚度吻合。仪器校准好后,则可进行测厚。

### 附录 C 材料声速及衰减系数的测量方法 (参考件)

C1 材料声速测量,采用穿透法时,按下式计算:

$$V = \frac{\delta}{t} \dots\dots\dots (C1)$$

式中:V——材料声速,m/s;δ——材料厚度,m;t——超声在材料中传播的时间,s。

注:采用反射时为材料厚度的两倍,t为超声在材料中传播的往返时间。

C2 材料衰减系数的测量可分下列三种情况。

a. 采用喷水或水浸穿透法时,根据超声波在无材料存在和有材料存在时的穿透波幅度差,再减去材料表面损失(按材料和水的阻抗计算),来计算材料衰减系数。表面粗糙度的影响应通过实验修正。

$$\alpha = \frac{(N_1 - N_2) - 20 \lg \frac{Z_w + Z_c}{2Z_c} + 20 \lg \frac{Z_w + Z_c}{2Z_w}}{\delta} \dots\dots\dots (C2)$$

式中:α——材料衰减系数 dB/cm; N<sub>1</sub>——超声波在无材料时穿透波的幅度, dB; N<sub>2</sub>——超声波在有材料时穿透波的幅度, dB; Z<sub>w</sub>——水声阻抗, Kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>; Z<sub>c</sub>——材料声阻抗 Kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>; δ——材料厚度, cm。

b. 采用喷水式反射法时,可根据界面波和底波的幅度差,水和材料的声阻抗,按下式计算材料衰减系数

$$\alpha = \frac{(N_f - N_b) + 20 \lg \frac{4Z_c \cdot Z_w}{2Z_c^2 - Z_w^2}}{2\delta} \dots\dots\dots (C3)$$

式中:α——材料衰减系数 dB/cm; N<sub>f</sub>——材料前界面波幅度, dB; N<sub>b</sub>——材料波幅度, dB; Z<sub>w</sub>——水声阻抗, Kg m<sup>-2</sup> S<sup>-1</sup>; Z<sub>c</sub>——材料声阻抗, Kg m<sup>-2</sup> S<sup>-1</sup>; δ——材料厚度, cm。

c. 采用接触式穿透法时,可挑选一种与被测材料声阻抗相近的材料作比较测量,按下式近似计算材料衰减系数:

$$\alpha = \frac{1}{\delta} (\alpha' \delta' + 20 \lg \frac{K \delta'}{K' \delta} - 20 \lg \frac{h}{h'}) \dots\dots\dots (C4)$$

式中:α、α'——分别为被测材料和比较试样的衰减系数, dB/cm;

K、K'——分别为被测材料和比较试样的波数(K =  $\frac{2\alpha}{\lambda}$ ; K' =  $\frac{2\alpha'}{\lambda}$ ), λ、λ'为对应波长) cm<sup>-1</sup>

h、h'——分别为被测材料和比较试样穿透波的幅度, cm 或 %;

δ、δ'——分别为被测材料和比较试样的厚度, cm。