

# 中华人民共和国国家军用标准

FL 9360

GJB 1038.1A-2004  
代替 GJB 1038.1-1990

---

## 纤维增强复合材料无损检验方法 第1部分 超声波检验

Non-destructive inspecting methods for fiber reinforced composite  
Part 1: Ultrasonic testing

2004-09-01 发布

2004-12-01 实施

---

国防科学技术工业委员会 发布

## 前 言

《纤维增强复合材料无损检验方法》包括以下两个部分：

- 第 1 部分：超声波检验；
- 第 2 部分：X 射线照相检验。

本部分为《纤维增强复合材料无损检验方法》的第 1 部分。

本部分代替 GJB 1038.1-1990《纤维增强塑料无损检验方法 超声波检验》。本部分根据近年复合材料超声波检验方法的发展，对 GJB 1038.1-1990 主要进行了如下修订：

- 对 GJB 1038.1-1990 中涉及的适用范围增加了“编织纤维增强复合材料”；
- 拓宽了推荐采用的探头频率；
- 增加了“探伤灵敏度确定方法”的具体步骤说明；
- 修正了“检验结果评定”中的不适当规定。

本部分中的附录 A 和附录 B 是资料性附录。

本部分由中国航天科技集团公司提出。

本部分由中国航天标准化研究所归口。

本部分起草单位：中国航天科技集团公司第一研究院第七〇三研究所。

本部分主要起草人：陈 颖，伍 颂，何双起，陈金水。

本部分于 1991 年 1 月首次发布，本次为第一次修订。

# 纤维增强复合材料无损检验方法

## 第 1 部分 超声波检验

### 1 范围

本部分规定了纤维增强复合材料超声波检验(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)的一般要求、检验程序和结果处理。

本部分适用于层压、缠绕、模压、手糊等工艺成型的纤维增强复合材料制品或编织纤维增强复合材料制品内部缺陷的超声波检验。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包含勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分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部分。

GB/T 1804-2000 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差

GB/T 12604.1 无损检测术语 超声检测

GJB 9712 无损检测人员的资格鉴定与认证

JB/T 10061 A 型脉冲反射式超声波检测仪通用技术条件

JB/T 10062 超声检测用探头性能测试方法

JB/T 10063 超声探伤用 1 号标准试块技术条件

### 3 术语与定义

GB/T 12604.1 确立的术语及定义适用于本部分。

### 4 方法类型

#### 4.1 概述

纤维增强复合材料超声波检验方法,按耦合方式可分为接触式、喷水式、水浸式以及干耦合等四种类型,每种类型又可采用直射穿透法和直射反射法。

本部分说明了纤维增强复合材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。

#### 4.2 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回波和(或)材料底面产生的底面回波来检查缺陷或评定材质。

#### 4.3 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。

#### 4.4 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。

#### 4.5 超声波检验方法的选用

根据材料或被检件特点,本部分推荐采用的超声波检验方法见表 1。

表 1 超声波检验方法

序号	材料或被检件		超声波检验方法	探头
1	层压板 和 薄壁件	厚板 (厚度 10mm 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: 0.5MHz~5MHz
		薄板、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 MHz~15MHz (2) 聚焦探头, 频率: 2.5 MHz~20MHz
2	大型缠绕件		喷水式脉冲穿透法	(1) 平探头, 频率: 0.5 MHz~5MHz (2) 聚焦探头, 频率: 1.25 MHz~5MHz
3	模压件、编织件和手糊制品		喷水式脉冲穿透法	平探头, 频率: 0.1 MHz~5MHz

## 5 一般要求

### 5.1 人员资格

超声波检验人员应按 GJB 9712 或有关规定取得相应的资格等级证书, 并从事与其技术资格等级相适应的工作。

### 5.2 检验工艺卡

对批量生产的产品, 应编写检验工艺卡, 工艺卡一般应包括以下内容:

- a) 产品名称、图号、编号;
- b) 检验方法标准及产品验收标准;
- c) 检验参数。

### 5.3 环境条件

#### 5.3.1 场地

超声波检验不应在影响正常工作的强磁、震动、高频、灰尘大、有腐蚀性气体及噪音大的地点进行。工作场地应避开(或遮住)明亮的光线。

#### 5.3.2 温度及湿度

工作地点的温度及湿度应控制在仪器、设备及材料所允许的范围内。

### 5.4 设备

#### 5.4.1 超声波检测仪

5.4.1.1 超声波检测仪和探头配用时, 检验系统的性能应符合 JB/T 10061 的规定, 并满足表 2 的要求。此外, 检验系统的检测灵敏度余量、盲区和分辨力等应满足检验所需的要求。

表 2 超声波检测仪性能指标

序号	技术性能	指标要求
1	垂直极限	100%
2	垂直线性	范围 5%~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	增益调节	总增益量≥60dB, 精度每 2dB±0.2dB

5.4.1.2 超声波检测仪每满 1 年及每次维修后都应进行校准, 其性能应符合 5.4.1.1 的规定。3 年内的校准数据应保存备查。

#### 5.4.2 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。

#### 5.4.3 稳压器

在调整超声波检测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  $\pm 2.5\%$ , 则应使用稳压器。

#### 5.4.4 探头

5.4.4.1 平探头应按 JB/T 10062 规定的方法测试回波频率、距离幅度特性、声束特征。要求回波频率与标称频率相差在  $\pm 10\%$  以内; 声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, 声束的最小直径与最大直径 (6dB 点) 之比应大于 0.75。

5.4.4.2 聚焦探头除测试回波频率外, 还应按 JB/T 10062 规定的方法测定其焦距、焦点直径和焦柱长度 (即有效焦距区)。测试聚焦探头所用的球靶直径应小于计算的焦点直径。

5.4.4.3 所有探头应予编号, 每年应至少检查一次, 3 年内的测试数据应保存备查。平探头距离幅度特性应与原始记录对比, 其差值供修正用, 差值超过 20% 的探头应予报废。

#### 5.4.5 专用设备

##### 5.4.5.1 手动扫查设备

穿透法手动扫查, 使用探头夹具, 保持两个探头对准。

##### 5.4.5.2 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, 探头相对被检件扫查运动的速度可调, 探头的定位精度应优于 1mm。

##### 5.4.5.3 水浸机械扫查设备

水浸机械扫查设备由水槽、操纵装置、桥架、反射板以及扫查控制器组成。该设备要求探头在两个相互垂直的平面内的调节精度达到  $\pm 0.5^\circ$ , 并保证探头与反射板垂直, 与被检件尽可能垂直, 探头与反射板以及探头与被检件间的水程距离可调, 探头的定位精度应优于 1mm, 反射板的表面粗糙度  $R_a$  不超过  $3.2\mu\text{m}$ 。

## 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, 耦合剂应具有良好的声耦合性能。校准检测仪和检测被检件必须使用同种耦合剂。

6.1.2 供喷水和浸水法使用的水应洁净、无气泡和杂质, 水温保持在  $10^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ 。必要时水中可添加不损伤被检件和设备的防腐剂和润湿剂。

### 6.2 试块

#### 6.2.1 标准试块

用于对检测仪和探头组合性能测试及灵敏度调整的标准试块应符合 JB/T 10063 中的规定。

#### 6.2.2 对比试块

6.2.2.1 纤维增强复合材料对比试块的制作, 其原材料、铺层及固化工艺、厚度和表面状态应与被检件的相同, 并要求采用比验收等级高一级的灵敏度进行检测, 以确保对比试块中不存在影响使用的自然缺陷。

6.2.2.2 各检测执行单位可参照附录 A, 根据被检件的实际情况和检测要求, 自行确定对比试块。

6.2.2.3 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,

计算并记录缺陷实际尺寸与测试结果的偏差, 供分析修正用。

### 6.2.3 参考试块

为避免对比试块材料老化及性能变化影响检验过程中缺陷的判断和分析, 可采用厚度与对比试块相同的有机玻璃板制作参考试块, 制作的参考试块要求检测表面粗糙度  $R_a$  不超过  $3.2\mu\text{m}$ 。

## 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。在不影响被检件性能的前提下, 允许用稀溶剂或润湿剂擦洗被检件表面, 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。注明影响超声波检验结果记录的异常现象。密封边缘分层处, 防止水浸入。表面若存在影响缺陷检查和记录的不符合要求的区域, 则应在检验前向产品提供方说明, 并予以记录。

7.1.3 对被检件的受检区用适当的标记作参考点(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 检测面、工作频率和探头的选择

检测面选择应考虑材料铺层工艺, 使声束中心线尽可能垂直于缺陷容易产生的面。超声波检测仪工作频率和探头的配用, 应根据材料成型工艺、材料的声衰减特性及要求检出的最小缺陷, 参照表 1 选定。

##### 7.2.1.2 反射法检测灵敏度调整

将探头置于与被检件厚度相同或相近的对比试块上, 按检验要求中需要检出的最小缺陷, 探测相应的人工缺陷, 调整超声波检测仪使该人工缺陷的反射波高度达到检测仪荧光屏满刻度的 80%, 测出此时的分贝值(设为  $R_1$ ), 并以此作为检测灵敏度。

为了避免由于对比试块的老化引起  $R_1$  值变化而导致的检测灵敏度误差, 实际检测时可以使用有机玻璃参考试块来调整检测灵敏度, 即在对比试块制作好并经检查合格后, 测出和记录对比试块上人工缺陷的反射波高度达到检测仪荧光屏满刻度 80% 时的分贝值  $R_1$ , 并在同样的条件下测试和记录有机玻璃参考试块的底面回波达到检测仪荧光屏满刻度 80% 时的分贝值  $R_2$ , 计算并记录分贝值之差  $\Delta R$  ( $\Delta R = R_1 - R_2$ ), 在检测时就根据被检件厚度和要求检出的最小缺陷, 首先查找对应的  $\Delta R$ , 然后测试参考试块的底面回波达到检测仪荧光屏满刻度 80% 时的分贝值  $R_2'$ , 以  $(R_2' + \Delta R)$  作为检测灵敏度。

##### 7.2.1.3 扫查间距的确定

将探头置于对比试块上, 对准含有埋深最小且为要求检出的最小缺陷的位置上, 调节超声波检测仪使该人工缺陷反射波高度为荧光屏满刻度的 80%, 然后沿人工缺陷的直径方向移动探头, 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。

##### 7.2.1.4 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人工缺陷反射波能显示清晰, 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 记录仪进行幅度记录或采用 C-扫描方式记录。

##### 7.2.2.2 工作频率、探头和喷水器

检验系统工作频率的选择同 7.2.1.1。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, 且水柱的直径不能大于所需检出最小缺陷的尺寸。

##### 7.2.2.3 喷水探头姿态调整

调整喷水探头支架使发射探头与接受探头的轴线对中,并使水柱尽可能垂直于被检件表面。

#### 7.2.2.4 水程距离调整

调整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探头与接受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探头与接受探头的有效聚焦区。

#### 7.2.2.5 穿透法检测灵敏度调整

根据被检件的材质和要求检出的最小缺陷,用对比试块中同厚度对比试块确定出应使用的穿透波分贝值,此即为检测灵敏度,具体操作中可采用如下步骤:

- a) 调节报警闸门的水平位置使穿透波的水平位置处于闸门内;
- b) 设置报警闸门的高度为屏幕高度的 20%~50%;
- c) 调节增益,使报警器刚好能对被检件要求检出的最小缺陷报警,将此时穿透波的分贝值作为检测灵敏度。

此外,也可通过与 7.2.1.2 中相同的方法使用有机玻璃参考试块进行检测灵敏度调整。

#### 7.2.2.6 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。

#### 7.2.2.7 被检件的检验

换上被检件,按标记号依次检查。当记录采用 X-Y 记录仪时,为了对检验结果进行分析,应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。

#### 7.2.2.8 缺陷的复查

发现缺陷应反复核实缺陷的存在及尺寸大小,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 记录仪进行幅度记录或采用 C-扫描方式记录。

#### 7.2.3.2 工作频率和探头

检验系统的工作频率选择同 7.2.1.1。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声束中心线与反射板垂直,以获得最大的反射波。将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 水程距离调整

调整聚焦探头与对比试块之间的水程距离,使聚焦探头的有效焦距落入对比试块中,也可以通过实验调整或按公式(1)计算:

$$S = F - \frac{V_2 \delta}{2V_1} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- S——水程距离,单位为毫米(mm);
- F——探头在水中的焦距,单位为毫米(mm);
- $V_1$ ——水的声速,单位为毫米每秒(mm/s);
- $V_2$ ——对比试块的声速,单位为毫米每秒(mm/s);
- $\delta$ ——对比试块厚度,单位为毫米(mm)。

将反射板与对比试块置于聚焦探头有效焦距区之内,调整其距离使两者的反射波在荧光屏上能分开。

#### 7.2.3.5 反射板法检测灵敏度调整

该检测灵敏度的调整方法同 7.2.2.5。

#### 7.2.3.6 扫查速度和扫查步进量的确定

聚焦探头在对比试块上沿(X-Y)平面扫查,扫查速度和扫查步进量的确定方法同 7.2.2.6。

#### 7.2.3.7 被检件的检验

换上被检件,按标记号依次检查;检验结束后,应立即清除被检件表面的耦合剂或水迹。

### 7.3 检验注意事项

检验中应注意以下问题:

- 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,应重新调整检测灵敏度,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,检验时应适当提高检测灵敏度;
- d) 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,其方法参见附录 B。

## 8 检验结果评定

### 8.1 接触式脉冲反射法

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确定。检测出的缺陷与对比试块上人工缺陷埋深相同时,采用对比试块人工缺陷尺寸来判定缺陷当量;检测出的缺陷与对比试块上人工缺陷埋深不同时,采用对比试块声程与其相近的人工缺陷的回波幅度来确定。

8.1.2 大于探头直径的缺陷,缺陷尺寸大小采用半波高度法(6dB 法)确定。

8.1.3 材料的缺陷性质,可根据缺陷回波和底面回波的相对关系进行判断。

### 8.2 喷水式脉冲穿透法

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其尺寸。

8.2.2 确定大于水柱缺陷的尺寸,可采用附录 A 中对比试块上稍大于水柱直径的人工缺陷作标定缺陷(设其尺寸为  $W$ ),在检测灵敏度下进行检测。然后用 X-Y 记录仪或 C-扫描记录仪记录结果,测量标定缺陷的缺陷指示长度(即面积,设为  $A$ ),再测量待定缺陷的缺陷指示长度(即面积,设为  $B$ ),则缺陷测量尺寸为  $B-(A-W)$ 。

8.2.3 对喷水穿透法发现的缺陷,可通过穿透波幅度降低百分数确定其严重程度。

### 8.3 水浸式脉冲反射板法

8.3.1 小于焦点直径的缺陷,其尺寸确定方法同 8.1.1。

8.3.2 大于焦点直径的缺陷,其尺寸确定方法同 8.2.2。

8.3.3 缺陷性质可按 8.1.3 进行判断。

## 9 检验记录及检验报告

### 9.1 检验记录

检验记录的格式可根据产品的特点自行设计,一般应包括以下内容:

- a) 产品名称、图号、编号;
- b) 委托单位;
- c) 检验方法;
- d) 仪器设备的名称、型号;
- e) 探头的型号、频率、尺寸;
- f) 对比试块的名称、编号;



- g) 用示意图标注全部试验结果(必要时包括 C-扫描图象或 X-Y 记录仪记录图), 并以文字注明缺陷的位置、大小及性质, 对因几何形状限制, 未检验到的部位也应注明;
- h) 检验人员、校对人员、日期。

## 9.2 检验报告

各单位可自行设计检验报告的形式, 一般应包括如下内容:

- a) 报告编号;
- b) 委托单位;
- c) 产品名称、图号、编号;
- d) 检验方法;
- e) 用示意图标注缺陷的位置(必要时包括 C-扫描图象或 X-Y 记录仪记录图)、并以文字说明缺陷的大小和性质, 如有因几何形状限制未检验到的部位也应注明;
- f) 评定结论;
- g) 编写报告人员、审核者、日期。

附录 A  
(资料性附录)  
检验用的对比试块

A.1 接触式脉冲反射法检验使用 I 号或 II 号对比试块；喷水式脉冲穿透法检验和水浸式脉冲反射板法检验使用 II 号对比试块，当不能找到适当的对比试块时，可制作 III 号对比试块。

A.2 I 号对比试块的形状尺寸见图 A.1、表 A.1。图中未注公差尺寸的极限偏差按 GB/T 1804-2000 的 M 级。

表 A.1

单位为毫米

对比试块	平底孔直径 $\phi_{An}$	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	35.0	100.0	17.5	50.0	115.0
		5.0	40.0	110.0	20.0	55.0	125.0
B 级系列	7.0	7.5	45.0	120.0	22.5	60.0	135.0
		10.0	50.0		25.0	65.0	
C 级系列	10.0	15.0	60.0		30.0	75.0	
		20.0	70.0		35.0	85.0	
D 级系列	15.0	25.0	80.0		40.0	95.0	
		30.0	90.0		45.0	105.0	

A.3 II 号对比试块的形状尺寸见图 A.2。图中未注公差尺寸的极限偏差按 GB/T 1804-2000 的 M 级。

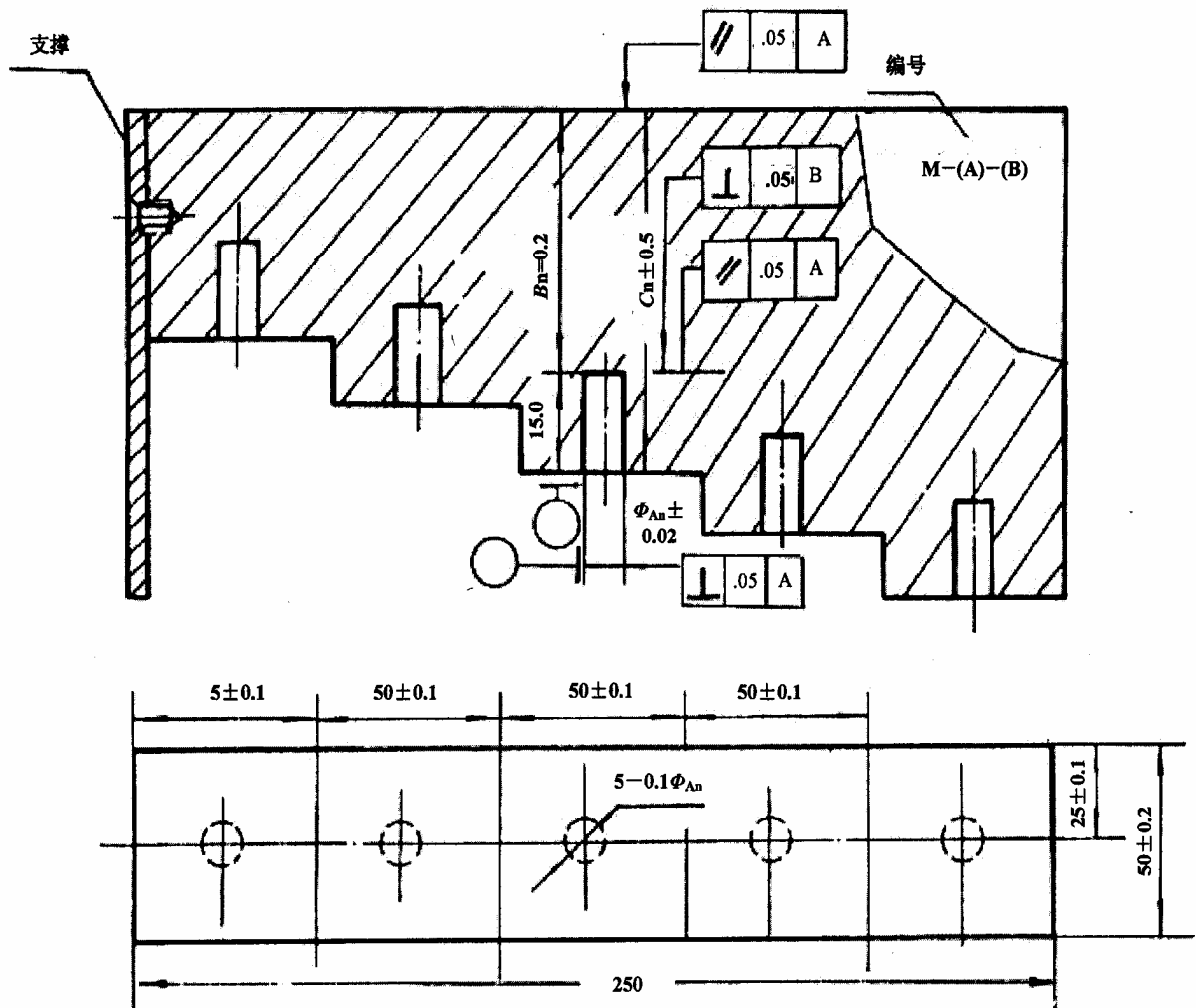
A.4 III 号对比试块的形状尺寸见表 A.2、图 A.3。

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。

表 A.2

单位为毫米

形状	尺寸	材料
圆形(直径 $\phi$ )	4、7、10、15、20	厚度小于 0.05 聚四氟乙烯薄膜等
长方形	4×30、7×30、10×30、15×30、20×30	



注 1: 孔数根据被检件厚度确定,  $\phi_{An}$ 、 $B_n$  值由表 A.1 按顺序选取。

注 2: 编号说明:

M——材料种类;

(A)——平底孔直径, 单位为毫米(mm);

(B)——平底孔埋深, 单位为毫米(mm)。

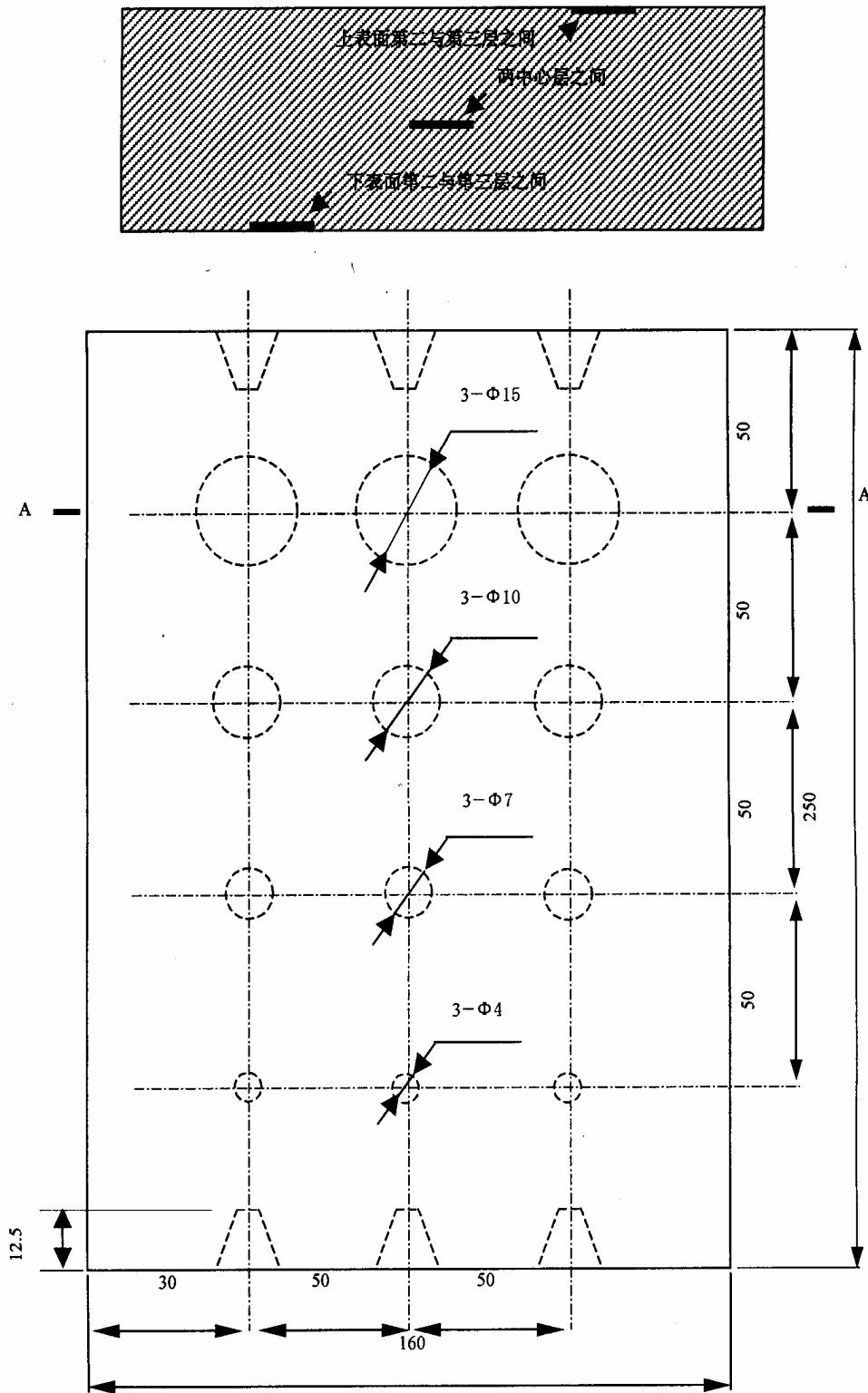
注 3: 去除加工产生的毛刺, 各棱边应倒圆,  $R$  小于 0.8mm。

注 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。

图 A.1 I号对比试块

A-A

单位为毫米



注 1: 以两层厚度为 0.02mm~0.05mm 的聚四氟乙烯薄膜嵌入制作圆形缺陷。

注 2: 以厚度为 0.10mm~0.15mm 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。

注 3: 板件厚度应与被检件相同, 可做成 8 层、12 层、16 层、20 层、24 层、32 层(若每层厚度 0.10mm~0.33mm, 则厚度范围为 0.80mm~10.56mm)。

图 A.2 II 号对比试块

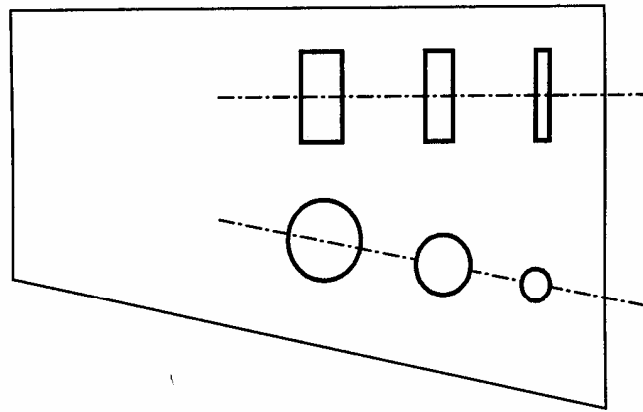


图 A.3 从被检件截取的 III 号试块上粘贴人工缺陷的示意图

附录 B

(资料性附录)

材料声速及衰减系数的测量方法

B.1 材料声速测量

采用接触式穿透法,按公式(B.1)计算:

$$V = \delta / t \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- V——材料声速,单位为毫米每秒(mm/s);
- $\delta$ ——材料厚度,单位为毫米(mm);
- t——超声波在材料中传播的时间,单位为秒(s)。

注:采用反射法时 $\delta$ 为材料厚度的两倍,t为超声波在材料中传播的往返时间。

B.2 材料衰减系数测量

B.2.1 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,见公式(B.2)。表面粗糙度的影响应通过实验修正。

$$\alpha = \{N_1 - N_2 - 20 \lg [(Z_w + Z_c) / 2Z_c] - 20 \lg [(Z_w + Z_c) / 2Z_w]\} / \delta \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- $\alpha$ ——材料衰减系数,单位为分贝每厘米(dB/cm);
- $N_1$ ——超声波在无材料时穿透波的幅度,单位为分贝(dB);
- $N_2$ ——超声波在有材料时穿透波的幅度,单位为分贝(dB);
- $Z_w$ ——水的声阻抗,单位为千克每米平方秒(kg/m<sup>2</sup>s);
- $Z_c$ ——材料的声阻抗,单位为千克每米平方秒(kg/m<sup>2</sup>s);
- $\delta$ ——材料厚度,单位为厘米(cm)。

B.2.2 采用喷水式反射法时,可根据界面波和底面回波的幅度差、水和材料的声阻抗,来计算材料衰减系数,见公式(B.3):

$$\alpha = \{N_f - N_b + 20 \lg [4Z_w Z_c / (Z_c^2 - Z_w^2)]\} / 2\delta \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

- $N_f$ ——材料前界面波的幅度,单位为分贝(dB);
- $N_b$ ——材料底面回波的幅度,单位为分贝(dB)。

B.2.3 采用接触式穿透法时,可用一种与被测材料声阻抗相近的材料作比较进行测量,按公式(B.4)近似计算材料衰减系数:

$$\alpha = [\alpha' \delta' + 20 \lg (K \delta' / K' \delta) - 20 \lg (h / h')] / \delta \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

- $\alpha$ 、 $\alpha'$ ——分别为被测材料和比较试样材料的衰减系数,单位为分贝每厘米(dB/cm);
- $K$ 、 $K'$ ——分别为被测材料和比较试样的波数( $K = 2\pi / \lambda$ ,  $K' = 2\pi / \lambda'$ ,  $\lambda$ 、 $\lambda'$ 为对应波长),单位为每厘米(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%);
- $\delta$ 、 $\delta'$ ——分别为被测材料和比较试样的厚度,单位为厘米(cm)。

中华人民共和国  
国家军用标准  
纤维增强复合材料无损检验方法  
第1部分 超声波检验  
GJB 1038.1A-2004

\*

国防科工委军标出版发行部出版  
(北京东外京顺路7号)  
国防科工委军标出版发行部印刷车间印刷  
国防科工委军标出版发行部发行  
版权专有 不得翻印

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1¼ 字数 32千字  
2004年11月第1版 2004年11月第1次印刷  
印数 1-400

\*

军标出字第 5677 号 定价 10.00 元

