

ICS 91.100.10
Q 13

JC

中华人民共和国建材行业标准

JC/T 2499—2018

建筑材料吸收电磁波性能测试方法

Test methods for electromagnetic wave absorbing property of building materials

2018-10-22 发布

2019-04-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由建材行业环境友好与有益健康建筑材料标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：中国建筑材料科学研究总院有限公司、深圳广田集团股份有限公司、大连理工大学、中国航天科工集团第二研究院二〇七所、北京工业大学、广东高怡新工程塑料有限公司。

本标准主要起草人：冀志江、解帅、王静、陈国谦、段玉平、孙金海、王群、曾斌、李彬。

本标准首次发布。

建筑材料吸收电磁波性能测试方法

1 范围

本标准规定了建筑材料电磁波吸收性能测试方法的测试环境要求、弓形法、波导法、同轴法以及试验报告。

本标准适用于具有电磁波吸收功能的建筑用板材、涂层材料的吸波性能测试。

2 测试环境要求

2.1 吸波建材试样在测试过程中的温度及湿度条件应保持稳定、一致。

2.2 测试环境温度为 15℃~30℃，相对湿度不大于 70%。

3 弓形法

3.1 适用范围

本测试方法适用于在 1 GHz~40 GHz 频率范围内对建筑材料吸收电磁波性能进行测试。

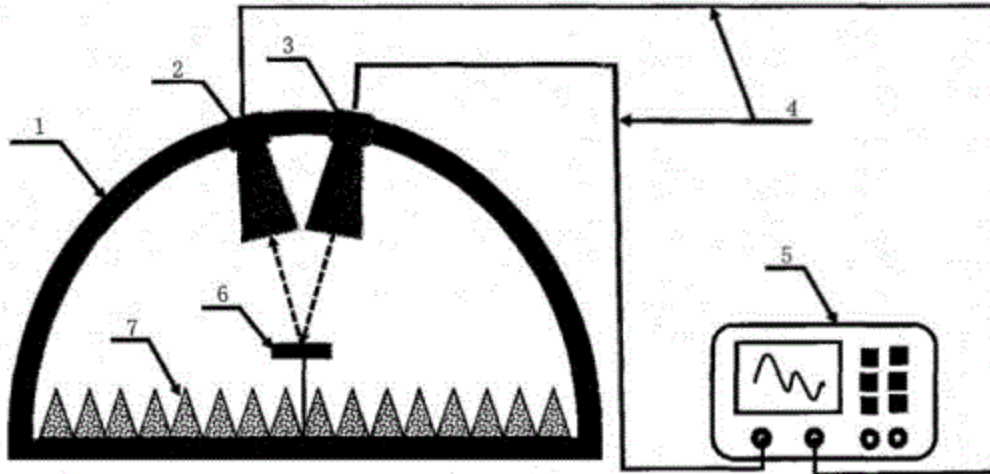
3.2 测试原理

弓形法测试系统如图 1 所示，矢量网络分析仪的输出端和输入端分别与发射天线和接收天线相连接，在电磁波小角度入射情况下，分别测量以同尺寸金属标准板为基板的被测吸波材料的反射功率和同尺寸金属标准板的反射功率，两者比值的分贝数随频率变化的曲线即反映了被测材料在测试频段内的吸波性能。

3.3 测试系统

3.3.1 测试系统组成

如图 1 所示，弓形法测试系统主要由弓形架、发射天线和接收天线、传输电缆、矢量网络分析仪、样板支架以及角锥吸波体等组成。测试系统的发射和接收天线分别安装在一段圆弧框上，样板中心与弓形架圆心重合，样板支架周围铺设高性能角锥吸波材料以降低背景反射。



说明:

- 1——弓形架;
- 2——接收天线;
- 3——发射天线;
- 4——传输电缆;
- 5——矢量网络分析仪;
- 6——样板支架;
- 7——角锥吸波体。

图1 弓形法测试系统示意图

3.3.2 测试系统指标要求

测试系统的指标要求如下:

- a) 频率范围: 1 GHz~40 GHz;
- b) 工作方式: 扫频;
- c) 极化组合: 水平极化、垂直极化;
- d) 动态范围: 优于 90 dB;
- e) 输入/输出阻抗: 50 Ω;
- f) 入射角度范围: 0° ~45° 。

3.4 标准板要求

标准板为正方形, 材质为铝质, 厚度不小于 5 mm, 表面粗糙度不大于 0.5 mm, 表面平面度不大于 0.5 mm, 依据测试频率范围的不同, 分段选取, 尺寸见表 1。

表1 弓形法标准板尺寸

标准板边长 mm	尺寸公差 mm	适用频率范围 GHz
500	±2	1~8
300	±1	2~18
180	±0.5	6~40

3.5 制样

3.5.1 板材试样

试样需为平面正方形板材，试样尺寸与标准板尺寸一致。

3.5.2 涂层试样

涂在正方形标准板上，样品涂覆量及养护条件按相应产品标准执行。

3.5.3 试样预处理

在测试前对试样进行烘干处理，烘干温度为 (40 ± 10) ℃，每隔1h称重一次，直至试样的质量变化不大于0.5%。

3.6 测试

3.6.1 安装定位

3.6.1.1 使用水平尺和激光仪校准弓形架和样板支架的相对位置，确保样板支架的中心与弓形架圆心重合。

3.6.1.2 使用水平尺和激光仪校准发射天线和接收天线的角度位置，确保电磁波的入射角和反射角相对样板支架法线对称。

3.6.2 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 开启矢量网络分析仪，打开弓形法测试软件，仪器至少预热30min；
- b) 在测试软件中对测试的频率范围进行设置；
- c) 按程序提示对两端口的传输电缆分别进行校准；
- d) 按程序提示对测试背景进行校准，背景反射率要求不大于-40dB；
- e) 将标准板置于样板支架上，通过测试标准板来检查校准结果，标准板的电磁波反射率应在 ± 0.5 dB之间；
- f) 将与标准板尺寸相同的待测样板放在相同尺寸的样板支架上，确保样板支架的位置与校准过程中的位置一致，开始进行测试；
- g) 测试结果为被测试样的吸波性能随频率变化的数值及曲线图，曲线稳定后保存结果。

4 波导法

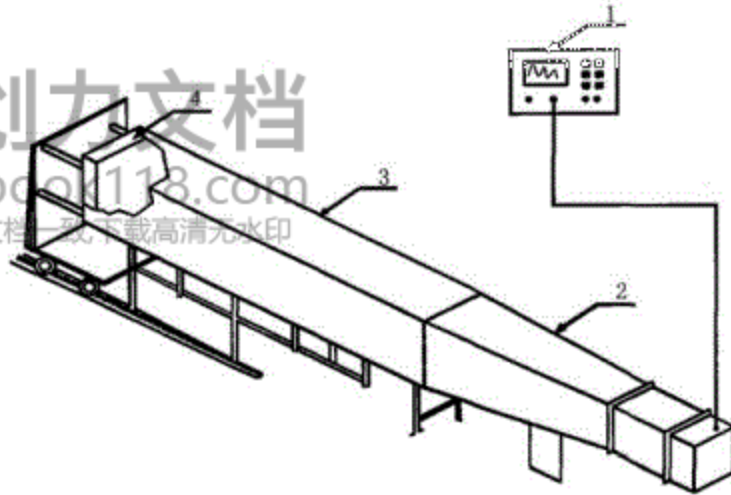
4.1 适用范围

本测试方法适用于在600MHz~1GHz频率范围内对建筑材料电磁波吸收性能进行测试。

4.2 测试原理

波导法测试装置如图2所示。波导法测试装置的一端由一个仅限于 TE_{10} 模的探针激励，另一端由被测吸波材料封闭。电磁波能量由探针向吸波材料所在的波导终端传输，其中一部分被吸波材料吸收，其余部分被金属板反射。分别测试同尺寸金属板为基板的被测吸波材料的反射功率和金属板的反射功率，两者比值的分贝数随频率变化的曲线即表示被测材料在测试频段内的吸波性能。

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致, 下载高清无水印



说明:

- 1——矢量网络分析仪;
- 2——同轴线—波导转换段;
- 3——方形波导;
- 4——金属板。

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致, 下载高清无水印

图2 波导法测试系统示意图

4.3 测试设备

4.3.1 矢量网络分析仪

矢量网络分析仪的指标要求如下:

- a) 频率范围: 满足具体测试要求;
- b) 动态范围: 优于 90 dB;
- c) 输入/输出阻抗: 50Ω 。

4.3.2 衰减器

衰减量: 3 dB~6 dB。

4.3.3 同轴电缆

特性阻抗: 50Ω 。

4.3.4 测试装置

包括以下三部分: 一定截面尺寸和长度的方形波导管, 一块用于安装被测吸波材料试样的金属板, 以及前端的同轴线—波导线转换段。波导管的截面和长度根据测试频率和测试试样尺寸确定, 具体内容见附录 A。

4.4 制样

4.4.1 板材试样

试样尺寸为 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 的正方形板材, 试样尺寸公差 $\pm 1 \text{ mm}$ 。

4.4.2 涂层试样

涂在 500 mm×500 mm 的正方形标准板上，标准板要求同 3.4，样品涂覆量及养护条件按相应产品标准执行。

4.4.3 试样预处理

试样预处理要求同 3.5.3。

4.5 测试步骤

4.5.1 用损耗已知的电缆将矢量网络分析仪与波导测试装置连接，测试装置端口接一个 3 dB~6 dB 的衰减器，同时矢量网络分析仪开机预热 30 min。

4.5.2 按程序提示设置测试的频率范围和测量参数。

4.5.3 对矢量网络分析仪进行 S11 单端口校准。

4.5.4 波导终端以金属板短路，金属板应确保和波导开口断面紧密接触，也可以用射频导电衬垫或指状簧片减少信号泄漏；开启矢量网络分析仪的时域门功能，并将门设置在终端短路板所在的位置，测试终端为金属板时的反射功率。

4.5.5 将待测吸波建材试样装于金属板上，试样底层边缘应与波导内表面接触良好，将门设置在波导内吸波材料试样所在的位置，测试终端为加载吸波建材试样时的反射功率。

4.5.6 两次测得结果的分贝数随频率变化的曲线即表示了被测材料在该频段内的吸波性能。

5 同轴法

5.1 适用范围

本测试方法适用于在 30 MHz~600 MHz 频率范围内对建筑材料电磁波吸收性能进行测试。

5.2 测试原理

同轴法利用终端贴覆有吸波材料的方形同轴装置对建筑材料的吸波性能进行测试。如图 3 所示，测试装置的内、外导体横截面均为正方形，其中外导体的内表面尺寸为内导体外表面尺寸的三倍，被测材料样品位于同轴装置的底部的内外导体之间的环形空隙处。分别测试同尺寸金属板为基板的被测吸波材料的反射功率和金属板的反射功率，两者比值的分贝数随频率变化的曲线即表示被测材料在测试频段内的吸波性能。

5.3 测试设备

5.3.1 矢量网络分析仪

矢量网络分析仪的指标要求如下：

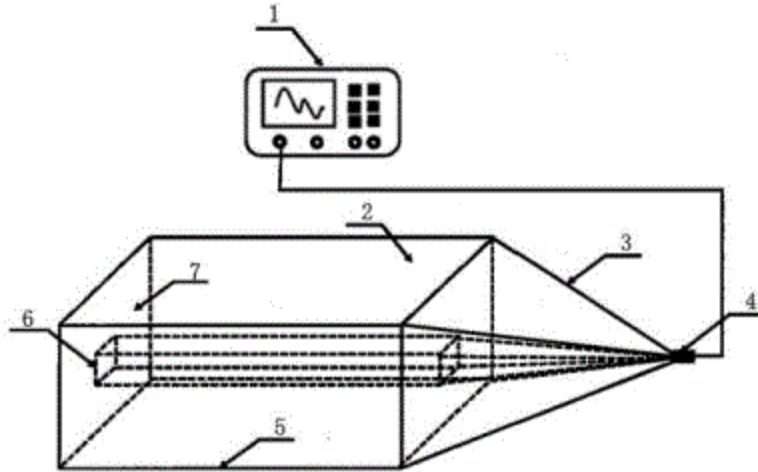
- a) 频率范围：满足具体测试要求；
- b) 动态范围：优于 90 dB；
- c) 输入/输出阻抗：50 Ω。

5.3.2 同轴电缆

特性阻抗：50 Ω。

5.3.3 立式方形同轴测试装置

包括等截面方形同轴线、终端短路金属板以及装置前端的锥形过渡段，如图3所示。等截面段外导体内表面尺寸和内导体外表面尺寸宜为1200 mm×1200 mm，400 mm×400 mm。同轴装置的等截面段和锥形过渡段应满足一定的长度要求。装置的高度与测试频率、测量精度的关系见附录B。



说明：

- 1——矢量网络分析仪；
- 2——等截面同轴；
- 3——锥形过渡段；
- 4——同轴线接头；
- 5——外导体；
- 6——内导体；
- 7——终端短路金属板。

图3 同轴法测试系统示意图

5.4 制样

5.4.1 板材试样

试样为400 mm×400 mm的正方形板材，试样尺寸公差±1 mm。

5.4.2 涂层试样

涂在400 mm×400 mm的正方形标准板上，标准板要求同3.4，样品涂覆量及养护条件按相应产品标准执行。

5.4.3 试样预处理

试样预处理要求同3.5.3。

5.5 测试步骤

5.5.1 用损耗已知的电缆将矢量网络分析仪与波导测试装置连接，矢量网络分析仪开机预热30 min。

5.5.2 按程序提示设置测试的频率范围和测量参数。

5.5.3 对连接同轴测试装置的电缆端口进行S11单端口校准。

5.5.4 测量终端为金属板时的反射功率，应用时域门技术消除由于阻抗失配所引起的反射，测得的曲线作为反射参考基准。

5.5.5 在金属短路板上铺设待测吸波材料，吸波材料与同轴装置的外导体内表面和内导体外表面应紧密接触。

5.5.6 再次应用时域门技术测量终端加载了吸波材料后的反射功率。

5.5.7 两次测得结果比值的分贝数随频率变化的曲线即反映了被测材料在该频段内的吸波性能。

6 试验报告

试验报告至少应包括下述内容：

- a) 测试依据标准；
- b) 送样样品的相关信息，样品名称、种类、测试试样尺寸及厚度、生产厂家或送样单位；
- c) 试验条件，测试环境温度和相对湿度；
- d) 试验结果，测试频段、吸波性能随频率的变化曲线及数据；
- e) 测试日期、测试人员与试验室的信息；
- f) 可能影响结果的任何因素。

附录 A
(资料性附录)
波导法

A.1 波导尺寸的确定

A.1.1 波导的波阻抗与自由空间波阻抗不同，因此，反射系数测试中的参考阻抗有偏差。由波导理论可知：

$$Z_{mn} = \frac{Z_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{k_{mn}}{k}\right)^2}} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$k_{mn}^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \dots\dots\dots (A.2)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

- Z_{mn} ——波导的阻抗，单位为欧姆(Ω)；
- Z_0 ——自由空间特性阻抗，单位为欧姆(Ω)；
- λ ——自由空间波长，单位为米(m)；
- a ——波导截面的宽，单位为米(m)；
- b ——波导截面的高，单位为米(m)；
- k_{mn} ——波导内电磁波的相移常数；
- k ——自由空间中电磁波的相移常数；
- m, n ——模式指数。

对于 m 为 1, n 为 0 的基波模式 TE_{10} ，可根据公式(A.1)~(A.3)计算相应模式下的波导阻抗：

$$Z_{10} = \frac{Z_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} \dots\dots\dots (A.4)$$

根据式 A.4 可知，若要使 Z_{10} 为实数， a 应大于波长 λ 。另外，若使 Z_0 和 Z_{10} 相近， a 应远大于半波长。因此，波导截面尺寸应根据测试频率和被测试样的单片尺寸共同确定。

A.1.2 当频率范围为 600 MHz~1 GHz 时， λ 的范围在 0.5 m~0.3 m 之间，当待测试样的吸波性能接近 30 dB 时，要达到 2 dB 的测量精度， a 至少应为 2 个波长，即 $a \geq 1$ m。若测试试样的尺寸为 0.5 m×0.5 m 大小，波导截面高度(b)可以为 0.5 m，宽度(a)可以为 1 m。

对于更高的频率，激励 TE_{10} 模所要求的波导尺寸比一块或一组 0.5 m×0.5 m 的标准试样小得多。此时应使用一个缓慢“扩展”的波导。波导扩展段越长，测得的吸波性能越接近自由空间测试值，因此波导法也称波导扩展测试法。

附录 B
(资料性附录)
同轴法

B.1 方形同轴线高次模计算方法

B.1.1 同轴法的上限频率取决于方形同轴线内部激励出的高次模。根据传输线基本理论，圆形同轴线的各阶高次模及其截止波长如表 B.1 所示。

表 B.1 圆形同轴线高次模及截止波长

模式	截止波长	典型模式及截止波长			
TM_{0n}	$2(b-a)/n$	TM_{01} $2(b-a)$	—	—	—
TE_{0n}	$2(b-a)/n$	TE_{01} $2(b-a)$	—	—	—
$TE_{m1}(m \neq 0)$	$\pi(b+a)/m$	TE_{11} $\pi(b+a)$	TE_{21} $\pi(b+a)/2$	TE_{31} $\pi(b+a)/3$	TE_{41} $\pi(b+a)/4$

注：a、b 分别为圆形同轴线的内导体半径和外导体内半径。

方形同轴的等效半径 a' 、 b' 与其外导体内边长 β 及内导体边长 α 的对应关系可以用式 (B.1) 和 (B.2) 来表示。另外，当 n 较小时，方形同轴线的 TE_{n1} 模式特征对应圆形同轴中的 $TE_{n+1,1}$ 模。因此，可以结合表 B.1 中的相应公式及公式 (B.1)、(B.2) 计算方形同轴线的各阶高次模及其截止波长。

$$a' = \frac{2\alpha}{\pi} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$b' = \frac{2\beta}{\pi} \dots\dots\dots (B.2)$$

B.1.2 高次模激励频率与同轴线的截面尺寸及机械加工精度均有关。例如，外导体截面尺寸为 1200 mm × 1200 mm 的立式同轴测试装置，其 TE_{01} 模大约出现在 300 MHz 附近，其 TE_{31} 模大约出现在 380 MHz 附近。由 TE_{31} 模引起的吸波材料测量误差不大于 0.6 dB。如果允许的误差更大一些 (如 2 dB)，则该同轴测试系统的上限频率可以达到 600 MHz。

B.2 同轴测试装置的高度与测试频率、测量精度的关系

由于同轴测试装置的特性阻抗 ($\approx 62 \Omega$) 与测试系统特性阻抗 (50Ω) 不等，此外，同轴线上一些结构不连续点也会引起阻抗的不连续，因此测试过程中应用时域门技术来抑制由于阻抗失配所引起的乱真反射。为了在 30 MHz ~ 600 MHz 获得足够的测量精度，同轴线等截面段的长度不宜小于 10 m。

