

中华人民共和国国家军用标准

FL 0115

GJB 2038A-2011

代替 GJB 2038-1994

雷达吸波材料反射率测试方法

The measurement methods for reflectivity of radar absorbing material

2011-05-22 发布

2011-08-01 实施

中国人民解放军总装备部 批准

前 言

本标准代替 GJB 2038-1994 《雷达吸波材料反射率测试方法》。

本标准与 GJB 2038-1994 相比，主要有下列变化：

- a) 适用的测试频率范围由 8GHz~18GHz 扩展到 0.5GHz~100GHz；
- b) RCS 法的测试材料类型增加了尖劈型雷达吸波材料；
- c) RCS 法的测试参量增加了斜入射反射率；
- d) 反射率测试的适用温度扩展到高温；
- e) 原标准中的样板空间平移测试法未列入本标准。

本标准的附录 A、附录 B 为资料性附录。

本标准由中国人民解放军总装备部电子信息基础部提出。

本标准主要起草单位：中国航天科工集团第二研究院二〇七所、中国航空工业集团公司北京航空材料研究院、总装电子信息基础部标准化研究中心。

本标准主要起草人：巢增明、孙金海、何 山、湛 希。

GJB 2038 于 1994 年首次发布。



雷达吸波材料反射率测试方法

1 范围

本标准规定了雷达吸波材料(以下缩写 RAM)反射率测试的方法、程序和要求。

本标准适用于平板型 RAM 的垂直入射、斜入射反射率的测量以及尖劈型 RAM 垂直入射反射率的测量,其他类型材料的反射率测量可参照执行。雷达散射截面(以下缩写 RCS)测试法适用频率范围为 0.5GHz~100GHz,弓形测试法适用频率范围为 1GHz~40GHz,其他频段的反射率测量可参照执行。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本标准的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本标准,但提倡使用本标准的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡未注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GJB 3756 测量不确定度的表示及评定
- GJB 4238 军用目标特性和环境特性术语
- GJB 5022 室内场缩比目标雷达散射截面测试方法
- GJB 5252 目标与环境特性数据入库要求

3 术语和定义

GJB 4238 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 RAM 反射率 reflectivity of radar absorbing material

在给定波长和极化的条件下,电磁波从同一方向,分别以同一功率密度入射到 RAM 和同尺寸良导体平面上,两者镜面方向反射功率的比值。

3.2 背景等效反射率 equivalent reflectivity of background

在相同发射功率、波长和极化的条件下,被测材料板所处环境的反射功率与定标金属板反射功率的比值。

4 测试目的

采用 RCS 测试法或弓形测试法获得 RAM 反射率,为 RAM 吸波性能的评定以及隐身材料的研制与应用提供依据和数据支撑。

5 RCS 测试法

5.1 测试原理

RAM 反射率依据入射角的不同,分为垂直入射反射率和斜入射反射率。垂直入射反射率一般采用金属平板作为基准板进行测试;斜入射反射率可采用金属平板或两面角反射器作为基准进行测试,如采用金属平板作为基准板,则需采用双站 RCS 测试系统或弓形法测试系统进行测试。如采用两面角反射器作为基准,则需采用单站 RCS 测试系统进行测试,适用的斜入射角度范围为 20°~70°。

对于平板型 RAM,采用远场 RCS 测试系统,利用定标体对系统进行定标后,分别测量同尺寸良导体金属平板的反射功率 P_m 和平板型 RAM 样板的反射功率 P_a ,按式(1)计算得到平板型 RAM 的反射率。

$$\Gamma = \frac{P_a}{P_m} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Γ ——平板型 RAM 的反射率；

P_a ——平板型 RAM 样板的反射功率，mW；

P_m ——同尺寸良导体金属平板的反射功率，mW。

若以 dB 为单位表示，则反射率的计算见式(2)。

$$\Gamma = 10 \lg \left(\frac{P_a}{P_m} \right) \dots \dots \dots (2)$$

对于尖劈型 RAM，参照 GJB 5022 进行 RCS 测量，然后通过数据处理获得反射率。采用标准金属球定标，先测量带金属背衬尖劈型 RAM 样板的 RCS 值 σ_{RAM} ，再与尖劈型 RAM 样板背衬金属板的 RCS 理论值 σ_m 相比，得到尖劈型 RAM 的反射率的计算见式(3)。

$$\Gamma = \frac{\sigma_{RAM}}{\sigma_m} \dots \dots \dots (3)$$

式中：

Γ ——尖劈型 RAM 的反射率；

σ_{RAM} ——尖劈型 RAM 样板的 RCS 值， m^2 ；

σ_m ——背衬金属板的 RCS 理论值， m^2 。

若以 dB 为单位表示，则反射率的计算见式(4)。

$$\Gamma = 10 \lg \left(\frac{\sigma_{RAM}}{\sigma_m} \right) \dots \dots \dots (4)$$

RCS 测试法具有较高的测试动态范围以及较小的测试不确定度，适用于 RAM 性能鉴定测试。

5.2 测试系统

5.2.1 测试系统组成

如图 1 所示，RAM 反射率远场 RCS 法测试系统主要由紧缩场(或喇叭收发天线)、矢量网络分析仪(或幅相接收机)、信号收发设备、计算机、目标支架及转台、转台驱动控制器和激光定位对准装置组成。

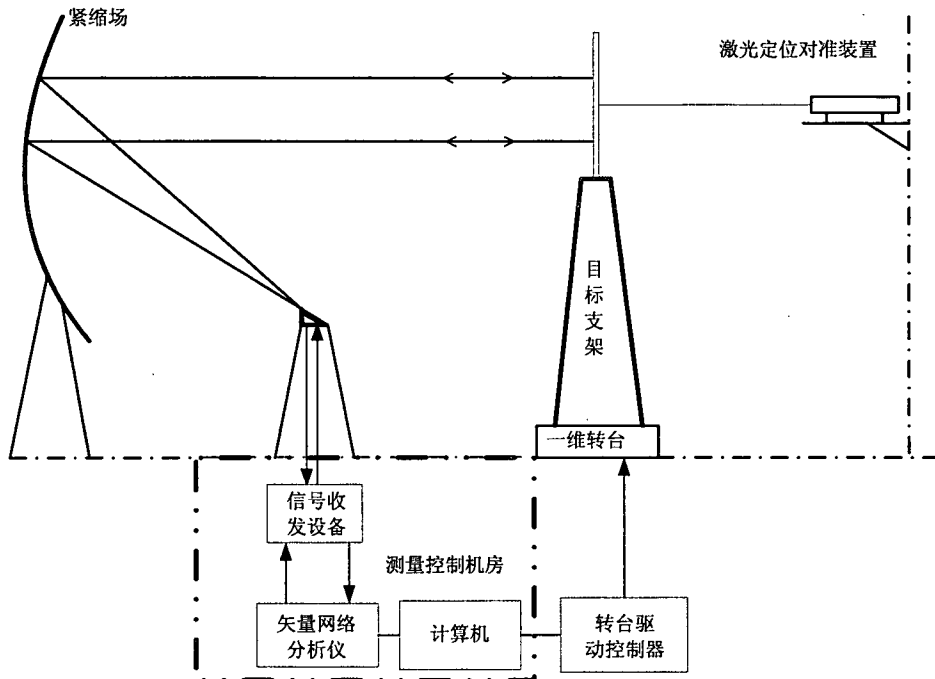


图 1 RAM 反射率远场 RCS 法测试系统组成框图

5.2.2 性能指标要求

测试系统性能指标要求如下：

- a) 频率范围：0.5GHz~100GHz。

- b) 频率稳定度：优于 $1 \times 10^{-9}/d$ 。
- c) 工作方式：扫频。
- d) 极化组合：水平极化、垂直极化。
- e) 动态范围：不小于 60dB。
- f) 系统非线性度：不大于 0.2dB。
- g) 系统测量能力：幅相测量。
- h) 系统选通能力：可进行时域选通。
- i) 系统背景等效反射率：
 - 1) 不大于 -60dB (频率不大于 40GHz 时)；
 - 2) 不大于 -50dB (频率大于 40GHz 时)。
- j) 样板定位对准误差：不大于 0.05° 。

5.3 设备要求

测试系统中对于主要设备的要求参照 GJB 5022 进行，此外，设备每年还应进行一次性能检查，具体要求参见附录 A。

5.3.1 环境要求

进行反射率测试时的环境要求如下：

- a) 测试系统高频设备应在电磁屏蔽间使用，屏蔽度大于 80dB。
- b) 微波暗室的环境温度为 $23^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ；屏蔽间的环境温度为 $23^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ ，测试过程中温度变化小于 $\pm 1^\circ\text{C}$ ；环境相对湿度小于 80%。
- c) 被测材料板放置在天线的远场区域，在使用喇叭天线收发情况下，最小远场测试距离按式 (5) 计算。

$$R_{\min} = \frac{2L^2}{\lambda} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- R_{\min} ——天线口面到材料板反射点的最小距离，m；
- L ——材料板边长与喇叭天线口面边长的较大者，m；
- λ ——工作波长，m。

5.3.2 定标体要求

5.3.2.1 标准板要求

标准板的加工要求如下：

- a) 标准板取正方形，边长的最大范围为 1~20 个波长，推荐标准板的边长处于 3~15 个波长范围内。依据测试频率范围的不同，可以分段选取，推荐尺寸为：
 - 1) 600mm×600mm×10mm，尺寸公差为 $\pm 0.2\text{mm}$ ，适用频率范围为 0.5GHz~6GHz；
 - 2) 500mm×500mm×10mm，尺寸公差为 $\pm 0.2\text{mm}$ ，适用频率范围为 1GHz~8GHz；
 - 3) 300mm×300mm×5mm，尺寸公差为 $\pm 0.1\text{mm}$ ，适用频率范围为 2GHz~18GHz；
 - 4) 180mm×180mm×4mm，尺寸公差为 $\pm 0.05\text{mm}$ ，适用频率范围为 6GHz~40GHz；
 - 5) 60mm×60mm×3mm，尺寸公差为 $\pm 0.02\text{mm}$ ，适用频率范围为 40GHz~100GHz。
- b) 表面粗糙度不大于 $6.4\mu\text{m}$ 。
- c) 表面平面度不大于 0.10mm。
- d) 两表面平行度不大于 0.15mm。
- e) 板侧面相互垂直，板侧面与板面垂直，其垂直度不大于 0.2mm。
- f) 标准板材料的电导率不小于 $1.0 \times 10^7 \text{S/m}$ 。

5.3.2.2 两面角反射器要求

定标用两面角反射器的要求如下:

- a) 两个面的夹角: $90^{\circ} \pm 0.05^{\circ}$;
- b) 两个面的前边缘外侧为 45° 斜面;
- c) 其他要求同 5.3.2.1。

5.3.3 样板要求

5.3.3.1 RAM 衬板要求

5.3.3.1.1 平面衬板

被测样板的 RAM 层衬板由金属材料加工而成, 其加工要求同 5.3.2.1。

5.3.3.1.2 两面角反射器衬板

两面角反射器衬板与定标用两面角反射器加工精度相同, 其中一个面与定标用两面角反射器尺寸相同, 另一个面的尺寸应在长度方向增加 RAM 衬板的厚度。

5.3.3.1.3 尖劈型 RAM 衬板

尖劈型 RAM 衬板的加工要求如下:

- a) 依据衬板尺寸不同, 推荐其最小厚度分别为:
 - 1) $1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$, 最小厚度为 6mm;
 - 2) $500\text{mm} \times 500\text{mm}$, 最小厚度为 4mm。
- b) 尺寸公差为 $\pm 0.20\text{mm}$ 。
- c) 表面粗糙度不大于 $6.4\mu\text{m}$ 。
- d) 表面平面度不大于 0.3mm。
- e) 两表面平行度不大于 0.5mm。
- f) 衬板材料的电导率不小于 $1.0 \times 10^7 \text{S/m}$ 。

5.3.3.2 RAM 层要求

被测样板的 RAM 层应喷涂或粘贴在金属衬板上, RAM 层的要求如下:

- a) RAM 层应性能稳定, 不得发生形变, 如弯曲、收缩、膨胀、开裂等;
- b) RAM 样板侧面不得涂敷 RAM;
- c) RAM 层厚度应均匀, 不均匀度不大于 5%;
- d) RAM 层表面应洁净, 无油污及其他杂质或附着物, 无裂缝和气泡;
- e) RAM 层若用粘合剂与衬板粘合, 则粘合剂应薄而均匀, 不脱粘。

5.3.4 安装要求

5.3.4.1 平板型标准板与 RAM 样板的安装

平板型标准板与 RAM 样板的安装要求如下:

- a) 在双天线系统中, 要求被测板的法线与入射线和反射线夹角的角平分线重合, 且板的边与入射面平行或垂直;
- b) 在单天线系统中, 要求被测板与入射线垂直且板的边与电场矢量平行或垂直。

5.3.4.2 两面角反射器的安装

两面角反射器的安装要求如下:

将其安装在平坦的透波材料支架顶端, 用水平尺和激光定位对准装置对其进行定位。以贴材料板的两面角金属面进行激光器对准, 确定材料板放置在垂直入射位置, 以另一个金属面用水平尺测量垂直度, 确保角反射器的两个面均与入射面垂直。

5.3.4.3 尖劈型 RAM 板的安装

将其安装在平坦的泡沫材料支架顶端, 用激光定位对准装置对其背衬金属板进行定位, 确定材料板放置在垂直入射位置。

5.4 测试步骤

5.4.1 平板型 RAM 反射率测试步骤

5.4.1.1 平板型 RAM 垂直入射反射率测试

平板型 RAM 垂直入射反射率测试步骤如下：

- a) 测试系统开机预热；
- b) 测量样板支架的背景反射功率；
- c) 测量标准板的参考反射功率；
- d) 测量平板型 RAM 板的反射功率；
- e) 用计算机软件进行数据处理，得到 RAM 反射率；
- f) 存储测试数据，打印输出测试结果。

5.4.1.2 平板型 RAM 斜入射反射率测试

平板型 RAM 斜入射反射率测试步骤如下：

- a) 测试系统开机预热；
- b) 测量样板支架的背景反射功率；
- c) 在支架上放置好定标用两面角反射器，测量参考反射功率；
- d) 在支架上放置好 RAM 衬板测量用两面角反射器，测量 RAM 反射功率；
- e) 用计算机软件进行数据处理，得到 RAM 反射率；
- f) 存储测试数据，打印输出测试结果。

5.4.2 尖劈型 RAM 反射率测试步骤

尖劈型 RAM 反射率测试步骤如下：

- a) 测试系统开机预热；
- b) 测量样板支架的背景反射功率；
- c) 在支架上放置好定标金属球，测量参考反射功率；
- d) 在支架上放置好被测尖劈型 RAM 板，测量 RAM 反射功率；
- e) 用计算机软件进行数据处理，得到 RAM 反射率；
- f) 存储测试数据，打印输出测试结果。

5.5 数据处理

5.5.1 平板型 RAM 测试数据处理

平板型 RAM 测试数据处理步骤如下：

- a) 对测量获得的标准板和 RAM 板的反射功率，按式(2)计算，得到频域反射率数据；
- b) 对频域反射率数据加汉明窗作 FFT 变换，得到反射率时域响应数据；
- c) 对时域响应数据，依据 RAM 板的反射特性加适当宽度的软件门后作 FFT 反变换回到频域，得到最终平板型 RAM 板的反射率测试数据；
- d) 对获得的反射率测试数据作进一步处理，给出反射率满足指标的频率带宽、最小反射率及对应的频率等，供测试结果评定使用。

5.5.2 尖劈型 RAM 测试数据处理

尖劈型 RAM 测试数据处理步骤如下：

- a) 参照 GJB 5022 获得尖劈型 RAM 的频域 RCS 数据；
- b) 对频域 RCS 数据加汉明窗作 FFT 变换，得到 RCS 时域响应数据；
- c) 对时域响应数据，依据 RAM 板的反射特性加适当宽度的软件门后作 FFT 反变换回到频域，得到最终尖劈型 RAM 板的 RCS 测试数据；
- d) 按附录 A 中式(A.1)计算背衬金属板的 RCS，再按式(3)进行反射率计算，得到尖劈型 RAM 板的反射率测试数据；
- e) 对获得的反射率测试数据作进一步处理，给出满足反射率指标的频率带宽、最小反射率及对应

的频率等，供测试结果评定使用。

6 弓形测试法

6.1 测试原理

采用图 2 所示的弓形法测试系统，分别测量 RAM 平面与同尺寸良导体平面两者镜面方向反射功率，按式(1)、式(2)计算得到 RAM 反射率。

弓形测试法的特点是近场相对比较测量，操作便捷，利于实现高低温反射率测量，适用于平板型 RAM 研制过程中的反射率测量。

6.2 测试系统

6.2.1 测试系统组成

如图 2 所示，RAM 反射率弓形法测试系统主要由弓形架、样板支架、发射天线和接收天线、矢量网络分析仪(或幅相接收机)、智能温控器和计算机等组成。

测试系统的发射和接收天线分别安装在一段圆弧框上，样板中心与弓形框的圆心重合，样板支架周围铺设高性能 RAM 以降低背景反射。

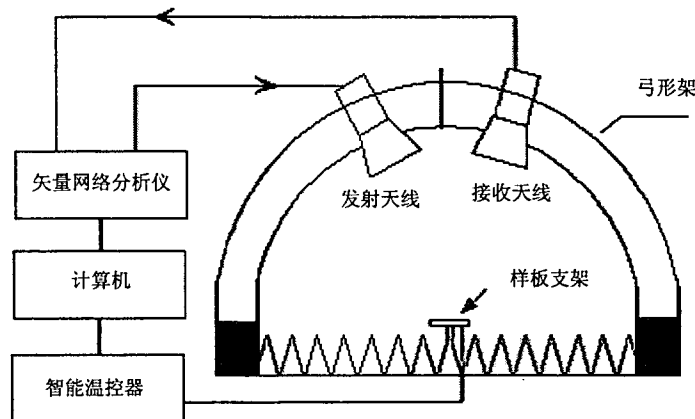


图 2 RAM 反射率弓形法测试系统组成框图

6.2.2 性能指标要求

测试系统性能指标要求如下：

- a) 频率范围：1GHz~40GHz；
- b) 频率稳定度：优于 $1 \times 10^{-9}/d$ ；
- c) 工作方式：扫频；
- d) 极化组合：水平极化、垂直极化；
- e) 测量动态范围：大于 40dB；
- f) 系统线性度：不大于 0.2dB；
- g) 系统测量能力：幅相测量；
- h) 系统选通能力：可进行时域选通；
- i) 系统不确定度：不大于 $\pm 1.0\text{dB}$ (RAM 反射率大于 -20dB 时)；
- j) 样板定位对准误差：不大于 0.05° ；
- k) 入射角度范围： $0^\circ \sim 45^\circ$ ；
- l) 控温精度：不大于 0.5%。

6.2.3 设备要求

测试系统中使用的设备应满足 6.2.2 的要求，并参照附录 A 的要求每年进行一次性能检查。

6.2.4 环境要求

进行反射率测试时的环境要求如下：

- a) 测试环境温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%；
- b) RAM 样板可在收、发天线的近场区，但两天线应在彼此镜像的远场区。最小测试距离按式(6)计算。

$$r_{\min} = D^2 / \lambda \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- r_{\min} ——最小测试距离，m；
 D ——材料板边长与喇叭天线口面边长的较大者，m；
 λ ——电磁波波长，m。

6.3 标准板要求

定标用标准板的加工要求同 5.3.2.1。

6.4 样板要求

6.4.1 RAM 衬板

被测样板的 RAM 层衬板由金属材料加工而成，要求同 5.3.3.1。

6.4.2 RAM 层

被测样板的 RAM 层应喷涂或粘贴在金属衬板上，要求同 5.3.3.2。

6.4.3 样板安装要求

样板安装要求同 5.3.4.1。

6.5 测试步骤

平板型 RAM 的反射率测试步骤如下：

- a) 测试系统开机预热；
- b) 按程序提示输入测量参数；
- c) 将标准板置于样板支架上，使标准板温度保持在测试温度；
- d) 测量标准板反射功率；
- e) 用待测 RAM 样板取代标准板；
- f) 使待测 RAM 样板温度保持在测试温度；
- g) 测量待测 RAM 反射功率；
- h) 用计算机进行数据处理，得到 RAM 反射率；
- i) 存储测试数据，打印输出测试结果。

6.6 数据处理

测试数据处理同 5.5.1。

7 测量不确定度分析

RAM 反射率定标与测量过程中的不确定度影响因素主要有：

- a) 材料板与标准板的加工精度；
- b) 材料板与标准板测试时的安装定位精度；
- c) 测试区入射场的幅度起伏；
- d) 测试系统的线性度；
- e) 测试系统的功率稳定度；
- f) 测试背景影响等。

RAM 反射率测量不确定度的具体分析参照 GJB 3756 进行。

8 测试总结

对测试过程进行分析，形成总结报告，测试报告的格式参见附录 B。

9 数据入库

将测试过程中产生的数据、曲线及相关文档资料录入数据库。入库时应检查入库文档资料的完整性；数据记录及入库格式按 GJB 5252 执行。

附 录 A
(资料性附录)

RAM 反射率测试系统性能检查

A.1 RCS 法测试系统性能检查

A.1.1 系统检查

测试系统的检查内容包括：

- a) 反射率测试所使用的测试系统软、硬件是否经过确认；
- b) 测试系统中的收发设备应定期送检，或进行专用系统定期校准，粘贴检验合格证，并在检定有效期内使用。

A.1.2 样板安装精度检查

样板安装精度的检查步骤如下：

- a) 将标准板竖直安装在目标支架上，用激光对准装置定位；
- b) 测量标准板的 RCS，将测量值与理论值比较，其偏差最大允许值为±0.2dB；
- c) 边长大于 3 个波长的标准板，其 RCS 计算见式(A.1)。

$$\sigma = \frac{4\pi L^4}{\lambda^2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- σ ——标准板的 RCS，m²；
 L ——标准板的边长，m；
 λ ——工作波长，m。

A.1.3 两面角安装精度检查

两面角安装精度的检查步骤如下：

- a) 将标准两面角反射器竖直安装在目标支架上，用水平尺和激光对准装置定位，水平尺确保横滚角安装准确，激光定位装置确保俯仰和方位角安装准确；
- b) 测量标准两面角反射器的 RCS，将测量值与理论值比较，其偏差最大允许值为±0.2dB；
- c) 边长大于 3 个波长的标准两面角反射器，其 RCS 计算见式(A.2)。

$$\sigma = \frac{8\pi a^2 b^2}{\lambda^2} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- σ ——标准两面角反射器的 RCS，m²；
 a, b ——板的边长，m；
 λ ——工作波长，m。

A.1.4 系统线性动态范围检查

系统线性动态范围检查步骤如下：

- a) 选用调节范围大于 60dB 的可调衰减器接入系统收发设备间；
- b) 按 10dB 的间隔进行收发间的接收功率测量；
- c) 测试结果与衰减器的校准值比较，得到系统的线性度。

A.2 弓形法测试系统性能检查

A.2.1 系统检查

测试系统的检查内容包括：

- a) 反射率测试所使用的测试系统软、硬件是否经过确认；
- b) 测试系统中的矢量网络分析仪应定期送检，并在检定有效期内使用。

A.2.2 系统不确定度检查

利用标准材料样板传递法进行系统不确定度检查，要求标准材料样板的材料性能稳定。标准样板传递的上级标准是 RCS 法反射率测试结果。

附录 B

(资料性附录)

RAM 反射率测试报告格式示例

××××材料反射率测试报告

- 1 任务依据
××××××××××××××。
- 2 测试目的
××××××××××××××。
- 3 测试系统
 - 3.1 测试系统组成
××××××××××××××。
 - 3.2 测试场地
××××××××××××××。
- 4 测试原理和方法
 - 4.1 测试原理
××××××××××××××。
 - 4.2 测试方法
××××××××××××××。
- 5 测试内容
 - 5.1 被测材料板说明
××××××××××××××。
 - 5.2 测试状态说明
××××××××××××××。
- 6 测试步骤
 - 6.1 测试系统定标
××××××××××××××。
 - 6.2 材料板测量
××××××××××××××。
- 7 测试数据处理方法
××××××××××××××。
- 8 数据处理分析
 - 8.1 测试结果分析
××××××××××××××。
 - 8.2 不确定度分析
××××××××××××××。
 - 8.3 存在问题及建议
××××××××××××××。
- 9 结论
××××××××××××××。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 军 用 标 准
雷 达 吸 波 材 料 反 射 率 测 试 方 法
GJB 2038A-2011

*

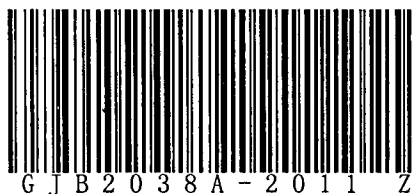
总 装 备 部 军 标 出 版 发 行 部 出 版
(北 京 东 外 京 顺 路 7 号)
总 装 备 部 军 标 出 版 发 行 部 印 刷 车 间 印 刷
总 装 备 部 军 标 出 版 发 行 部 发 行
版 权 专 有 不 得 翻 印

*

开 本 880×1230 1/16 印 张 1¼ 字 数 29 千 字
2011 年 8 月 第 1 版 2011 年 8 月 第 1 次 印 刷
印 数 1-300

*

军 标 出 字 第 8418 号 定 价 19.00 元



G J B 2 0 3 8 A - 2 0 1 1 Z