



中华人民共和国工业和信息化部 机械计量技术规范

JJF（机械）1109—2023

乘用车后端目标物校准规范

（送审稿）

**Calibration specifications for passenger
vehicle rear-end targets**

2023—XX—XX 发布

2023-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

乘用车后端目标物 校准规范

Calibration specification for passenger
vehicle rear-end targets

JJF (机械)1109—2023

本规范经中国机械工业联合会于 20**年**月**日批准，并自 20**年**月
*日起施行。

归口单位：中国机械工业联合会

负责起草单位：襄阳达安汽车检测中心有限公司

参加起草单位：上海机动车检测认证技术研究中心有限公司

中国汽车工程研究院股份有限公司

本规范条文由中国机械工业联合会负责解释

本规范主要起草人：

李 昕（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

冯晓枫（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

参加起草人：

李文芳（中国汽车工程研究院股份有限公司）

李 江（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

刘 茹（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

叶仁根（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

涂远扬（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

兰燕飞（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

目 次

引言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 外观及尺寸.....	2
5.2 反射性能要求	3
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	4
6.2 场地条件.....	4
6.3 标准装置.....	4
7 校准项目和校准方法.....	5
7.1 校准项目.....	5
7.2 校准方法.....	5
8 校准结果的表述.....	7
9 复校时间间隔.....	8
附录 A (规范性) 雷达载体系统的运动和定位要求	9
附录 B (规范性) 雷达三面角反射器技术要求	10
附录 C (资料性) 目标物外形尺寸测量不确定度评定实例	11
附录 D (资料性) 目标物红外反射率测量不确定度评定实例	13
附录 E (资料性) 雷达散射截面积(RCS)测量不确定度评定实例	15

引 言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编制。

本规范为首次发布。

乘用车后端目标物校准规范

1 范围

本文件规定了乘用车后端目标物的技术要求，描述了校准方法。

本文件适用于新制造，使用中和维修后的乘用车后端目标物的校准(本文件所指车辆是较小和较常见的 B 级和 C 级车, 其他类似设备参考使用)。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性应用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JJG1001 通用计量术语及定义

JJF1059.1 测量不确定度评定与表示

JJF1071 国家计量校准规范编写规则

ISO19206-1 《Road vehicles — Test devices for target vehicles, vulnerable road users and other objects, for assessment of active safety functions》 — Part 1: Requirements for passenger vehicle rear-end targets

EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME 《Global Vehicle Target Specification》
Version1.0

3 术语和定义

3.1 近红外光 Near Infrared, NIR

近红外光是介于可见光（VIS）和中红外光（MIR）之间的电磁波，按 ASTM（美国试验和材料检测协会）定义是指波长在（780～2526）nm 范围内的电磁波。

3.2 近红外反射率 IR reflectivity

近红外反射率是指在近红外光谱范围内，目标表面反射的光强度与入射的光强度的百分比。

3.3 毫米波雷达 Millimeter Wave Radar

毫米波雷达，是工作在毫米波波段探测的雷达。本规范中所涉及车用毫米波雷达的频率为 76GHz-81GHz。

3.4 雷达散射截面 RCS

在雷达发射波范围内物体发生反射的横截面积。雷达截面积是度量目标在雷达波照射下所产生回波强度的一种物理量，简称 RCS。它是目标的假想面积，用一个各向均匀的等效反射器的投影面积来表示，该等效反射器与被定义的目标在接收方向单位立体角内具有相同的回波功率，一般用符号 σ 表示。雷达截面积既与目标的形状、尺寸、结构及材料有关，也与入射电磁波的频率、极化方式和

入射角等有关。RCS 的量纲是面积单位，可是它与实际目标的物理面积几乎没有关系，所以通常以对数形式给出，即相对于一平方米的分贝数（又称为分贝平方米，记为 dBsm）。

4概述

乘用车后端目标物是 ADAS（高级驾驶员辅助系统）和主动安全系统性能试验的重要测试设备，用于激活被测试车辆的主动安全系统。它的作用是在可探测性和运动方面代表真实车辆，要在大小、形状、反射属性等方面表示真实车辆，同时还应为被测试车辆和测试操作人员提供安全。目标物的基本特性必须确实可靠，并且通过各种传感技术，目标物应被识别为真实车辆。

5计量特性

5.1 外观及尺寸

5.1.1 整体视觉特性

外观应满足下列要求（见图 1）：

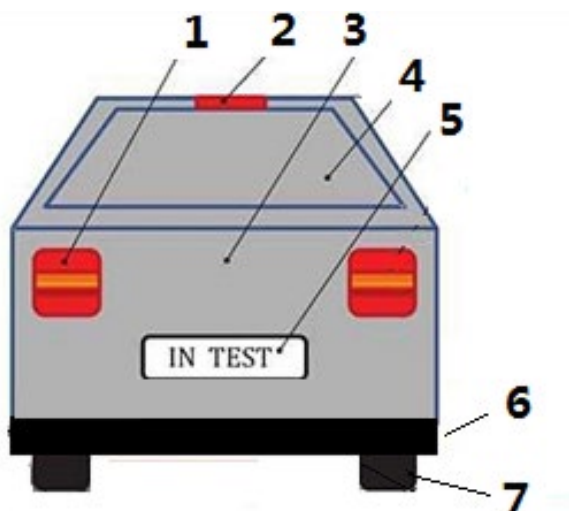


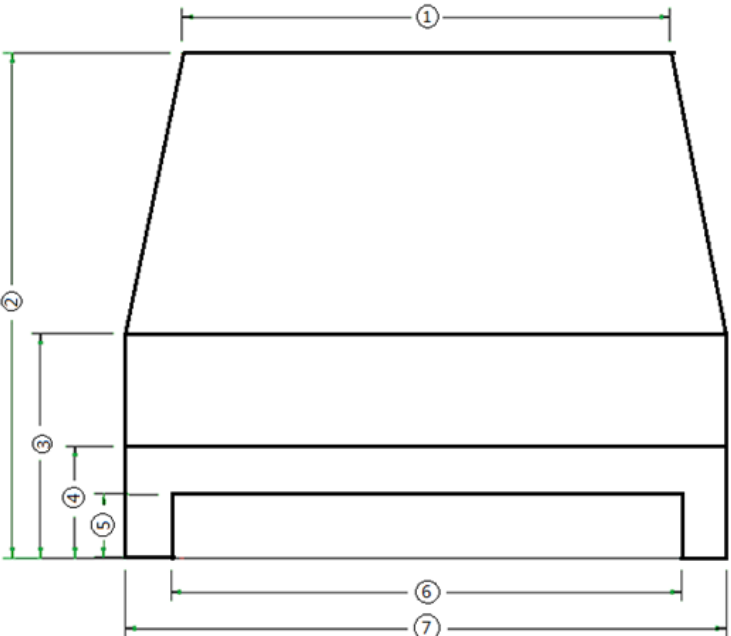
图 1 视觉特性说明

- 图中：
- 1) 后灯和刹车灯，反光或功能；
 - 2) 第三刹车灯，反光或功能；
 - 3) 均匀，纯色表面，银色或灰白色；
 - 4) 后窗的真实表示；
 - 5) 车牌或真实车牌的视觉表示；
 - 6) 后保险杠；
 - 7) 轮胎形状从后面和侧面可见。

5.1.2 尺寸要求

乘用车后端目标物的一般尺寸要求见表 1。

表 1 乘用车后端目标物主要尺寸要求

主要尺寸（mm）		
序号	标准要求	
1	1300±10	
2	1350±10	
3	600±10	
4	300±10	
5	170±10	
6	1360±10	
7	1600±10	

5.2 反射性能要求

5.2.1 近红外反射率

在波长 800nm 至 950nm 范围内，乘用车后端目标物表面各部位的红外反射率要求见表 2

表 2 乘用车后端目标物表面红外反射率要求

部位	红外反射率(45°)
纯色表面（银色或灰色）	40%~70%
灯区（非反射区）	40%~70%
灯区（反射区）	>70%
后窗	40%~70%
轮胎	<10%
后保险杠（黑色）	<10%
车牌	>70%

5.2.2 雷达散射截面积（RCS）

对 60m 到 4m 的 RCS 数据做分段分析，(4-5)米为近段，(5-34)米为中段，(34-60)米为远段。三段距离采集的数据分别做数字平均，各距离段 RCS 上、下限值见表 3。

表 3 各距离段 RCS 要求

距离段	(4-5)m	(5-34)m	(34-60)m	平均值
RCS (dBsm)	2.9±6.0	11.8±6.0	16.0±6.0	10.2±6.0

注：以上指标不用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$

相对湿度： $\leq 85\%\text{RH}$

风速： $\leq 5\text{m/s}$

6.2 场地条件

- 1) 校准区域内没有其他可能导致多径传播的物体/建筑物。
- 2) 地面平坦干燥并完全用柏油或混凝土覆盖，图 2 所示的校准表面，并保持表面一致。
- 3) 在图 2 所示的自由空间中的地面或其他周围区域中，没有金属或其他强雷达反射部件。

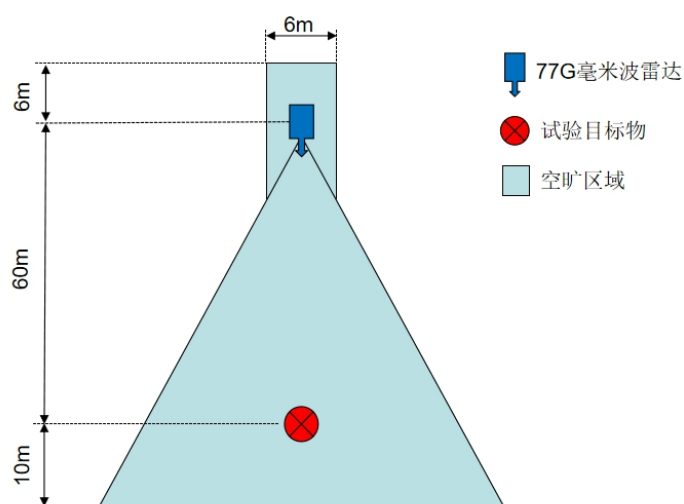


图 2 场地条件示意图

6.3 标准装置

标准装置及要求见表 4:

表 4 标准装置及要求

序号	仪器设备名称	技术指标
1	钢卷尺	测量范围：(0~5) m, II 级
2	光谱仪	波长范围：(700~1000) nm, 近红外辐射区反射比/反射因数示值误差： $\pm 3\%$
3	漫反射白板	反射率为 $99\% \pm 1\%$
4	毫米波雷达及载体系统	雷达发射频率范围:76GHz-81GHz, 雷达安装高度:距地面 30cm~100cm 范围内可调, 具体要求详见附录 A
5	角反射器	建议用三面角反射器, RCS=10dBsm 具体要求详见附录 B
6	水平尺	长 600mm, 分度值 0.5mm/m

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 5:

表 5 校准项目表

序号	校准项目
1	外观检查
2	尺寸测量
3	近红外反射率校准
4	雷达散射截面校准

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

按 6.1.1 要求逐一检查乘用车后端目标物的外部特征,并检查结构稳定性,不允许乘用车后端目标物在校准过程中发生分离。

7.2.2 外形尺寸

7.2.2.1 用钢卷尺或同等级标准器具,配合直角夹板等辅助设备,分别对目标物的相应部件的外形尺寸进行相应的测量,每个尺寸测量三次,取 3 次平均值作为测量值,按公式(1)计算外形尺寸差值。

$$\Delta_i = m_i - x_i \quad (1)$$

式中: Δ_i ——第 i 个特征尺寸的误差, mm;

x_i ——第 i 个特征尺寸测量值, mm;

m_i ——第 i 个特征尺寸标称值, mm。

7.2.2.2 用钢卷尺测量表 1 中所示的各水平方向的尺寸;

7.2.2.3 以地面为基准,用钢卷尺测量表 1 中所示各垂直方向的尺寸。

7.2.3 近红外反射率

7.2.3.1 开始校准之前,使用 45 度入射角探头支架,用反射率为 99%的漫反射白板对光谱仪进行校准。

7.2.3.2 在乘用车后端目标物表面选取同一特征部位的三个点,用 45 度入射角进行测量,记录波长为

（800-950）nm 范围内反射率的数据，计算每个点在（800-950）nm 波长范围内测得反射率的平均值作为该点的反射率；用公式（2）计算该特征部位的红外反射率。

$$IR_i = (x_{i1} + x_{i2} + x_{i3}) / 3 \quad (2)$$

式中： IR_i ——第 i 个特征部位的红外反射率，%；

x_{i1} 、 x_{i2} 、 x_{i3} ——第 i 个特征部位，3 个测量点红外反射率测量值，%；

7.2.3.3 按表 2 中所列特征部位，依次完成 7 个特征部位红外反射率的校准。

7.2.4 雷达散射截面积

7.2.4.1 雷达校准

开始校准之前，用已知 RCS 的角反射器对雷达进行校准。按照下列步骤进行：

- 将角反射器安装在中心距地面 500 mm±10 mm 的位置，使用非反射材料遮挡角反射器安装夹具，消除安装夹具对雷达校准的影响；
- 调整雷达安装位置及角度，使雷达表面与地面垂直，中心高度与角反射器中心位置一致，并正对角反射器；
- 使用雷达车载体系统，使雷达以（3-5）km/h 的速度从距离角反射器 60m 的位置运动到距离角反射器 4m 的位置，采集运动过程中雷达测得的角反射器的 RCS 数据，取采集结果的中位值为单次测量值，重复测量五次，取五次平均值的数据与角反射器的标准值作比较，用公式（3）计算修正系数 A，以此为依据对雷达的测量值做修正。

$$A = RCS_B - (r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5) / 5 \quad (3)$$

式中：A——雷达的修正系数，dBsm；

RCS_B ——标准角反射器的标称 RCS，dBsm；

r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 ——5 次校准中，雷达测量角反射器 RCS 值的中位值，dBsm。

7.2.4.2 乘用车后端目标物雷达散射截面积（RCS）校准

- 在乘用车后端目标物后端画中心线，移开角反射器，将目标物平稳置于角反射器放置的位置，使其中心线与角反射器中心线重合，雷达正对目标物中心线；
- 用雷达载体系统将雷达运动至距离乘用车后端目标物 60m 的位置，保持雷达正对乘用车后端目标物中心线；

- c) 使雷达载体系统以 (3-5) km/h 的速度靠近乘用车后端目标物到 4m 的位置, 采集运动过程中雷达测得的乘用车后端目标物的 RCS 数据, 重复五次;
- d) 对获得的 RCS 数据做分段分析, 4-5m 为近段, 5-34m 为中段, 34-60 米为远段。分别计算单次测量中三段距离采集 RCS 数据的平均值; 用公式 (4) 计算各距离段被校乘用车后端目标物的 RCS;

$$rCS_i = (r_{i1} + r_{i2} + r_{i3} + r_{i4} + r_{i5}) / 5 \quad (4)$$

式中: rCS_i ——雷达在第 i 距离段测得乘用车后端目标物的 RCS, dBsm;

r_{i1} 、 r_{i2} 、 r_{i3} 、 r_{i4} 、 r_{i5} ——第 i 距离段, 被校乘用车后端目标物 5 次校准中, 单次 RCS 数据的平均值, dBsm;

- e) 根据 7.2.4.1 得到的修正系数, 用公式 (5) 对各段平均值做修正, 作为最终的校准结果。

$$RCS_i = rCS_i + A \quad (5)$$

式中: RCS_i ——第 i 距离段乘用车后端目标物的 RCS 校准结果, dBsm;

8 校准结果的表述

8.1 校准结果表达可包括 (空间尺寸, 雷达散射截面积 RCS, 近红外反射率) 参量, 或根据用户具体情况进行部分参量校准。

8.2 校准结果应在校准证书上反映, 校准证书或校准报告应包括但不限于以下信息:

- 1) 标题, “校准证书”;
- 2) 实验室名称和地址;
- 3) 进行校准的地点 (如果与实验室的地址不同);
- 4) 证书的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;
- 5) 校准单位校准专用章;
- 6) 送校单位的名称和地址;
- 7) 被校设备的名称、制造厂、型号规格、编号;
- 8) 进行校准的日期, 如果与校准结果的有效性和应用相关时, 应说明被校对象的接受日期;
- 9) 对校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- 10) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- 11) 校准环境条件的描述, 包括: 温度、湿度等;

- 12) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- 13) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- 14) 校准人及核验人的签名；
- 15) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- 16) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔 1 年，由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

（规范性）

雷达载体系统的运动和定位要求

A.1 基本要求

根据校准要求，雷达载体系统需要在距离目标物 $4\text{m} \leq x \leq 60\text{m}$ 区域内进行高精度位移运动，有一定的速度和定位精度要求。

雷达载体系统不应发生影响雷达响应性能的形变。

雷达载体系统应当平稳地加速或减速（但避免撞击或损坏的动作除外）。

A.2 距离测量功能

能够测量雷达与目标物之间的距离，距离测量最大允差 $\pm 0.1\text{m}$ 。

A.3 纵向速度

最高速度不小于 5km/h ，最大速度误差 $\pm 0.1\text{km/h}$ ，纵向定位精度 $\pm 0.05\text{m}$ ，运动角度偏差 $< 0.5^\circ$ 。

A.4 横向定位

横向定位精度 $\pm 0.05\text{m}$ ，在直线行进过程中，雷达载体系统的横向偏移量相对于预定轨迹不应超过 $\pm 0.1\text{m}$ 。

附 录 B
（规范性）
雷达三面角反射器技术要求

B.1 概述

雷达三面角反射器是一种常见的无源定标器，通过三个相互正交的等腰直角三角形构成主反射体（如图 B.1），电磁波会在三面角上产生折射放大，产生很强的回波信号，通常是金属材质。其 RCS 值由公式 B.1 计算得出。

$$\delta = \frac{4\pi L^4}{3\lambda^2} \quad (\text{B.1})$$

式中： δ ——三面角反射器最大 RCS， m^2 ；

L ——三面角反射器棱边长， m ；

λ ——雷达波长， m ；

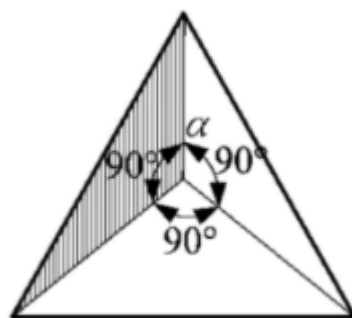


图 B.1 雷达三面角反射器示意图

B.2 技术指标

以本文件使用的 10dBsm 三面角反射器为例，77GHz 毫米波雷达波长为 3.9mm，则三面角棱边长度为 $77.6\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，三面两两互为基准垂直，角度 $90^\circ \pm 0.1^\circ$ ，平面度 0.08mm，内部反射面不得有螺钉孔，反射面光滑，做镜面处理。

附录 C

(资料性)

目标物外形尺寸测量不确定度评定实例

C.1 测量方法

目标物外形尺寸的校准是用测量仪器分别对目标物各部位的外形尺寸进行相应的测量, 将被校目标物测量值与标称值进行比较, 以确定外形尺寸是否满足要求。

C.2 数学模型

$$\Delta_i = m_i - x_i \quad (\text{C.1})$$

式中: Δ_i —— 第*i*个特征尺寸的误差, mm;

x_i —— 第*i*个特征尺寸的测量值, mm;

m_i —— 第*i*个特征尺寸的标称值, mm。

因为各输入量彼此独立, 依不确定度传播定律:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{C.2})$$

(C.1) 式中, m_i 为常数, 故:

$$u(\Delta_i) = u(x_i) \quad (\text{C.3})$$

式中: $u(\Delta_i)$ —— 尺寸测量误差的不确定度;

$u(x_i)$ —— 尺寸测量的不确定度分量。

C.3 标准不确定度评定

C.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度 $u_a(\mathbf{x}_i)$:

选取车身最大宽度为校准点, 在重复测量条件下, 对该目标物最大宽度分别进行 10 次等精度测量, 数据见表 C.1, 用贝塞尔公式计算各校准点的实验标准差:

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (\text{C.4})$$

表 C.1 被校目标物外形尺寸尺寸重复性测量数据

单位: mm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
1601	1603	1610	1605	1602	1608	1604	1602	1607	1603	1604.5

实际校准中, 以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果, 其标准不确定度:

$$u_a(x_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{3}} = \frac{2.96\text{mm}}{\sqrt{3}} = 1.71\text{mm} \quad (\text{C.5})$$

C.3.2 由钢卷尺分辨力引入的标准不确定度 $u_1(x_i)$:

钢卷尺显示分辨力为 1mm, 服从均匀分布, 则标准不确定度:

$$u_1(x_i) = \frac{1mm}{2\sqrt{3}} = 0.28mm \quad (C.6)$$

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量, 因此可以不考虑分辨力引入的不确定度。

C.3.3 由标准器引入的标准不确定度 $u_2(x_i)$:

钢卷尺由上级计量单位校准, 符合 II 级要求, 其最大允许误差为 $\pm 0.2mm$, 服从均匀分布, 其标准不确定度:

$$u_2(x_i) = \frac{0.2mm}{\sqrt{3}} = 0.12mm \quad (C.7)$$

C.4. 标准不确定度一览表

序号	输入量估计值的标准不确定度评定			输出量估计值的不确定度分量		
	来源	符号	数值	符号	灵敏系数 c_1	$ c_1 \times u(x)$
1	重复性	$u_a(x_i)$	0.99mm	u_a	1	1.71mm
2	标准器	$u_2(x_i)$	0.12mm	u_2	1	0.12mm

C.5 合成标准不确定度的评定

由于各不确定度分量互不相关, 故合成标准不确定度:

$$u_c(\Delta_i) = \sqrt{u_a^2 + u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{1.71mm^2 + 0.12mm^2} = 1.7mm \quad (C.8)$$

C.6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 故扩展不确定度:

$$U = k \cdot u_c(\Delta_i) = 2 \times 1.7mm = 3.4mm \quad (C.9)$$

C.7 测量不确定度报告

上述分析及计算得到目标物外形的尺寸示值误差测量结果的扩展不确定度:

$$U=4mm \quad (k=2) \quad (C.10)$$

附录 D

(资料性)

目标物红外反射率测量不确定度评定实例

D.1 测量方法

目标物红外反射率的校准是用光谱仪对目标物表面特征部位的反射率进行测量，其测量原理是将光谱漫反射率为 100%的理想白色表面的反射率定义为 100%，漫反射率为 0 的绝对黑表面的反射率定义为 0，反射率为无量纲的量。光谱仪的测量原理是利用光电积分法，将被测样品表面反射的辐亮度与同一辐照条件下标准漫反射白板反射的辐亮度相比，其信号经放大、数模转换、数据处理，最后显示出反射率值。

D.2 数学模型

$$IR = \bar{x} \quad (D.1)$$

式中：IR——被校乘用车后端目标物表面某特征部位的反射率，%

\bar{x} ——被校乘用车后端目标物表面同一特征部位反射率 3 次测量平均值，%。

依不确定度传播定律：

$$u(IR) = u(\bar{x}) \quad (D.2)$$

式中： $u(IR)$ ——反射率测量结果的不确定度；

$u(\bar{x})$ ——光谱仪反射率测量平均值的不确定度。

D.3 标准不确定度评

D.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度 $u_a(\bar{x})$ ：

选取后端目标物灰白色车身为校准点，在重复测量条件下，对该目标物反射率校准点进行 10 次等精度测量，数据见表 D.1，用贝塞尔公式计算各校准点的实验标准差：

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (D.3)$$

表 D.1 被校目标物反射率重复性测量数据

单位：%

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
57.1	55.6	56.6	57.4	53.2	54.6	56.8	53.8	55.6	54.8	55.6

实际校准中，以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果，其标准不确定度：

$$u_a(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{3}} = \frac{1.44\%}{\sqrt{3}} = 0.83\% \quad (D.4)$$

D.3.2 由光谱仪显示分辨力引入的标准不确定度 $u_1(x)$ ：

光谱仪测量反射率显示分辨力为 0.1%，服从均匀分布，则标准不确定度：

$$u_1(x) = \frac{0.1\%}{2\sqrt{3}} = 0.03\% \quad (\text{D.5})$$

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量，因此可以不考虑分辨力引入的不确定度。

D.3.3 由光谱仪引入的标准不确定度 $u_2(x)$:

光谱仪由上级计量单位校准，其最大允许误差为 $\pm 3\%$ ，服从均匀分布，其标准不确定度：

$$u_2(x) = \frac{3\%}{\sqrt{3}} = 1.73\% \quad (\text{D.6})$$

D.3.3 由漫反射标准白板引入的标准不确定度 $u_3(x)$:

漫反射标准白板由上级计量单位校准，其在（800—950）nm 波长范围内的反射率在 98%—99%之间，可以认为由漫反射标准白板的最大误差为 2%，服从均匀分布，其标准不确定度：

$$u_3(x) = \frac{2\%}{\sqrt{3}} \approx 1.15\% \quad (\text{D.7})$$

D.4. 标准不确定度一览表

序号	输入量估计值的标准不确定度评定			输出量估计值的不确定度分量		
	来源	符号	数值	符号	灵敏系数 c_1	$ c_1 \times u(x)$
1	重复性	$u_a(\bar{x})$	0.83%	u_a	1	0.83%
2	光谱仪	$u_2(x)$	1.73%	u_2	1	1.73%
3	标准白板	$u_3(x)$	1.15%	u_3	1	1.15%

D.5 合成标准不确定度的评定

由于各不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度：

$$u_c(\Delta_i) = \sqrt{u_a^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0.83\%^2 + 1.73\%^2 + 1.15\%^2} = 2.24\% \quad (\text{D.8})$$

D.6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，故扩展不确定度：

$$U = k \cdot u_c(\Delta_i) = 2 \times 2.24\% = 4.5\% \quad (\text{D.9})$$

D.7 测量不确定度报告

上述分析及计算得到目标物反射率示值误差测量结果的扩展不确定度：

$$U=4.5\% \quad (k=2) \quad (\text{D.10})$$

附录 E

(资料性)

雷达散射截面(RCS)测量不确定度评定实例

E.1 测量方法

雷达散射截面(RCS)的测量是首先用标准角反射器对雷达进行校准, 并得到修正系数 A, 然后再用雷达测量目标物的 RCS, 经过修正后的值作为目标物 RCS 的测量结果。

E.2 数学模型

$$RCS_i = rcs_i + A \quad (E.1)$$

式中: RCS_i ——第 i 距离段乘用车后端目标物的 RCS 校准结果, EBsm;

rcs_i ——雷达在第 i 距离段测得乘用车后端目标物的 RCS, EBsm;

A——雷达传感器的修正系数, EBsm。

由式 (3) 和式 (4), 可得

$$RCS_i = (r_{i1} + r_{i2} + r_{i3} + r_{i4} + r_{i5})5 + RCS_B - (r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5)/5 \quad (E.2)$$

整理得

$$RCS_i = \bar{r}_i + RCS_B - \bar{r} \quad (E.3)$$

各输入量中, RCS_B 为标准角反射器的标称 RCS 值, 与其他输入量不相关, \bar{r}_i 与 \bar{r} 皆是雷达直接测量值, 认为强相关, 依不确定度传播定律:

$$u_c^2(RCS_i) = c_1^2 u^2(\bar{r}_i) + c_2^2 u^2(RCS_B) + c_3^2 u^2(\bar{r}) + 2c_1 c_3 r(\bar{r}_i, \bar{r}) u(\bar{r}_i) u(\bar{r}) \quad (E.4)$$

式中: $u_c(RCS_i)$ ——第 i 距离段乘用车后端目标物的 RCS 校准结果的不确定度, EBsm;

$u(\bar{r}_i)$ ——雷达在第 i 距离段测得目标物 RCS 的不确定度, EBsm;

$u(RCS_B)$ ——标准角反射器的标称 RCS 值的不确定度, EBsm;

$u(\bar{r})$ ——雷达测得角反射器 RCS 中位值的不确定度, EBsm;

$r(\bar{r}_i, \bar{r})$ —— \bar{r}_i 与 \bar{r} 的相关系数, 认为强正相关, 取值为 1。

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial RCS_i}{\partial \bar{r}_i} = 1 \quad (E.5)$$

$$c_2 = \frac{\partial RCS_i}{\partial RCS_B} = 1 \quad (E.6)$$

$$c_3 = \frac{\partial RCS_i}{\partial \bar{r}} = -1 \quad (E.7)$$

将灵敏系数代入式（E.4）得：

$$u_c^2(RCS_i) = u^2(\bar{r}_i) + u^2(RCS_B) + u^2(\bar{r}) - 2u(\bar{r}_i)u(\bar{r}) \quad (\text{E.8})$$

E.3 标准不确定度评定

E.3.1 由雷达在第 i 距离段测量目标物 RCS 重复性引入的标准不确定度 $u_a(\bar{r}_i)$ ：

选取（5—34）m 距离段，对乘用车后端目标物进行测量，在重复测量条件下，进行 10 次等精度测量，数据见表 E.1，用贝塞尔公式计算各校准点的实验标准差：

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (\text{E.9})$$

表 E.1 角反射器 RCS 重复性测量数据

单位：dBsm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
24.5	20.5	27.5	23.0	22.5	26.5	27.0	28.0	25.5	26.0	25.1

实际校准中，以 5 次测量结果的算术平均值为测量结果，其标准不确定度：

$$u_a(\bar{r}_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{5}} = 1.09 \text{dBsm} \quad (\text{E.10})$$

E.3.2 由雷达测量 RCS 分辨力引入的标准不确定度 $u_1(r)$ ：

雷达测量 RCS 的分辨力为 0.5dBsm，服从均匀分布，则标准不确定度：

$$u_2(x_i) = \frac{0.5 \text{dbsm}}{2\sqrt{3}} = 0.15 \text{dBsm} \quad (\text{E.11})$$

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量，因此可以不考虑分辨力引入的不确定度，由雷达在第 i 距离段测得目标物 RCS 不准确引入的不确定度分量

$$u(\bar{r}_i) = 1.09 \text{dBsm} \quad (\text{E.12})$$

E.3.3 由标准角反射器引入的标准不确定度

标准角反射器采用三面直角反射器，由于机械加工公差、反射表面光洁度等因素的影响，其 RCS 也会随着测量条件的不同而发生一定的变化，根据经验值，当尺寸误差小于 1%，角度公差小于 0.5°，入射角偏差小于 2° 时，引起的 RCS 最大变化量为 2dBsm，服从均匀分布，其标准不确定度：

$$u(rcs_B) = \frac{2 \text{EBsm}}{\sqrt{3}} = 1.16 \text{dBsm} \quad (\text{E.13})$$

E.3.4 由雷达测量角反射器 RCS 中位值的重复性引入的标准不确定度 $u_a(\bar{r})$ ：

选取（4—60）m 距离段，对标称 RCS 为 10 dBsm 的角反射器进行测量，在重复测量条件下，进行 10 次等精度测量，数据见表 E.2，用贝塞尔公式计算各校准点的实验标准差：

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (\text{E.14})$$

表 E.2 角反射器 RCS 重复性测量数据

单位: dBsm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
15.0	15.5	17.5	18.0	18.5	16.5	17.0	18.0	18.5.0	16.0	16.9

实际校准中, 以 5 次测量结果的算术平均值为测量结果, 其标准不确定度:

$$u_a(\bar{r}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{5}} = 0.55 \text{dBsm} \quad (\text{E.15})$$

由重复性引入的不确定度分量大于由分辨力引入的不确定度分量, 因此可以不考虑分辨力引入的不确定度, 由雷达测量角反射器 RCS 中位值不准确引入的标准不确定分量

$$u(\bar{r}) = 0.55 \text{dBsm} \quad (\text{E.16})$$

E.4 合成标准不确定度的评定

根据式 (E.8), 合成标准不确定度:

$$\begin{aligned} u_c(RCS_i) &= \sqrt{u^2(\bar{r}_i) + u^2(RCS_B) + u^2(\bar{r}) - 2u(\bar{r}_i)u(\bar{r})} \\ &= \sqrt{1.09^2 + 1.16^2 + 0.55^2 - 2 \times 1.09 \times 0.55} = 1.28 \text{dBsm} \end{aligned} \quad (\text{E.17})$$

E.5 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 故扩展不确定度:

$$U = k \cdot u_c(RCS_i) = 2 \times 1.28 \text{dBsm} = 2.6 \text{dBsm} \quad (\text{E.18})$$

E.6 测量不确定度报告

上述分析及计算得到目标物雷达散射截面测量结果的扩展不确定度:

$$U=2.6 \text{dBsm} \quad (k=2) \quad (\text{E.19})$$