



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—202××

公路路侧毫米波雷达校准规范

Calibration Specification for Road-side Millimeter Wave Radar

(征求意见稿)

202×-××-××发布

202×-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

公路路侧毫米波雷达 校准规范

JJF ××××—202×

Calibration Specification for Road-side
Millimeter Wave Radar

归口单位：全国公路专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：交通运输部公路科学研究所

天津大学

浙江省机电产品质量检测所有限公司

四川数字交通科技股份有限公司

参加起草单位：中路高科交通检测检验认证有限公司

四川中路川高科技技术有限公司

本规范委托全国公路专用计量器具计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引 言	(III)
1 范围	(1)
2 术语	(1)
2.1 毫米波	(1)
2.2 路侧毫米波雷达	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
4.1 有效探测距离	(2)
4.2 距离测量误差	(2)
4.3 视场角	(2)
4.4 速度测量范围	(2)
4.5 速度测量误差	(2)
4.6 交通量测量误差	(2)
4.7 数据刷新率	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准及其他设备	(3)
6 校准项目和校准方法	(3)
6.1 有效探测距离	(3)
6.2 距离测量误差	(4)
6.3 视场角	(5)
6.4 速度测量范围	(6)
6.5 速度测量误差	(6)
6.6 交通量测量误差	(7)
6.7 数据刷新率	(8)
7 校准结果	(8)
7.1 校准记录	(8)
7.2 校准证书	(8)

8 复校时间间隔	(8)
附录 A 公路路侧毫米波雷达校准记录表格式	(9)
附录 B 公路路侧毫米波雷达校准证书内页格式	(10)
附录 C 公路路侧毫米波雷达速度测量误差不确定度评定示例	(11)
附录 D 公路路侧毫米波雷达距离测量误差不确定度评定示例	(13)

引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次制定。

公路路侧毫米波雷达校准规范

1 范围

本规范适用于公路路侧毫米波雷达的校准。

2 术语

下列术语和定义适用于本规范。

2.1 毫米波 Millimeter Wave

波长范围在 10mm~1mm 的无线电波，其对应的频率为 30GHz~300GHz，该频段也称为极高频，简称为 EHF。

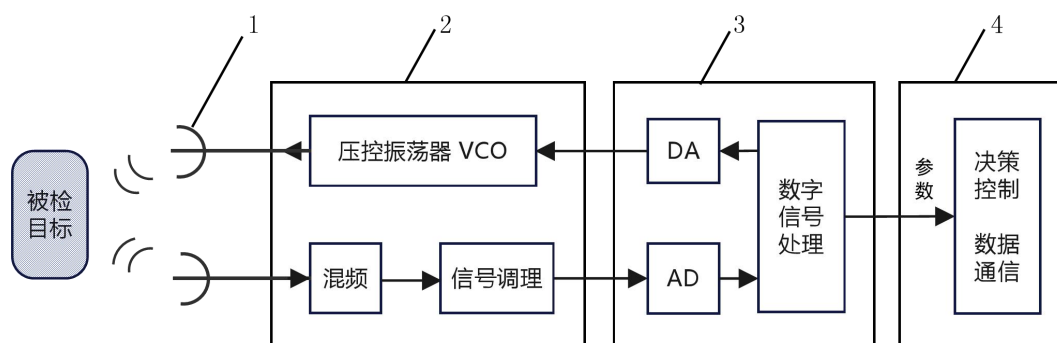
2.2 路侧毫米波雷达 Road-side Millimeter Wave Radar

固定于公路附属设施上，通过毫米波的发送、接收和数据分析处理，实现车辆速度、距离、轨迹等运动特性参数测量的传感系统。

3 概述

公路路侧毫米波雷达（以下简称毫米波雷达）通过毫米波的发送、接收和数据分析获取车辆、行人等交通目标及环境的物理参量，为公路应用提供及时、准确的数据支持。

典型的公路路侧毫米波雷达包括天线、射频前端组件、数字信号处理器、控制单元等部分组成，其工作原理如图 1 所示。



1——天线；2——射频前端组件；3——数字信号处理器；4——控制单元

图 1 公路路侧毫米波雷达原理

天线是毫米波雷达的重要部件，主要用于发射和接收毫米波。射频前端组件负责毫米波信号调制、发射、接收以及回波信号的解调。数字信号处理器通过嵌入不同的信号处理算法，从前端采集得到的信号中获得被检测目标的特定信息。控制单元根据信号处理器获得的目标信息，并结合雷达终端自身位置等信息进行

数据融合分析，通过主处理器进行智能处理，对雷达终端前方出现的目标运动特性进行分析判断，并做出控制和决策，或将数据传输至控制中心。

4 计量特性

4.1 有效探测距离

毫米波雷达可有效探测目标的最近和最远距离，用长度范围表示，单位为m。

4.2 距离测量误差

在有效探测距离内，毫米波雷达所测物体的距离与当前测量时刻物体的参考距离之间的差值，单位为m。

4.3 视场角

毫米波雷达可正常探测目标的视场角范围，分为水平视角和垂直视角，用角度范围表示，单位为°。

4.4 速度测量范围

毫米波雷达可正常探测的目标速度范围，以远离毫米波雷达方向的速度为正，靠近毫米波雷达方向的速度为负，单位为km/h。

4.5 速度测量误差

在速度测量范围内，毫米波雷达所测得的目标速度与目标当前时刻速度参考值之间的差值，单位为km/h。

4.6 交通量测量误差

实际校准场景下，毫米波雷达在单位时间内测量的交通量与实际交通量之间的相对误差。

4.7 数据刷新率

毫米波雷达每秒钟进行数据刷新的次数，单位为Hz。

5 校准条件

5.1 环境条件

校准所需环境条件如下：

- a) 温度：(0~40)℃；
- b) 相对湿度：不大于85%；
- c) 光照条件：按白天和夜间两种工况开展校准试验；
- d) 校准实验场地要求：

- 采用封闭实验场地时，校准所用路段的路面应平整，路段长度不小于 500m，设备安装门架与实际交通条件一致，行驶车辆状态可控；
- 现场校准时，以毫米波雷达实际安装条件为准，但校准试验应避免较强的逆光时段。

5.2 测量标准及其他设备

校准用器具包括：

- a) 全站仪：Ⅱ级及以上；
- b) 光电触发计时装置：感应距离不小于 1m，响应时间不大于 5ms；
- c) 光照条件要求：水平能见度应不小于 1km；
- d) 角反射器：对于所测试的毫米波雷达波长，所用角反射器的雷达反射截面（RCS）不小于 20dBsm；
- e) 目标运动特性校准装置（以下简称校准装置），符合以下技术要求：
 - 利用高速相机和车辆目标识别软件，实现相机视野内车辆目标的位置、距离和速度测量；
 - 具备测量系统参数自动或半自动标定的功能；
 - 可保存清晰的视频数据，每帧具有分辨力不大于 1us 的时间戳；
 - 距离、时间和速度参量可溯源至国家计量基准。

6 校准项目和校准方法

6.1 有效探测距离

此项校准宜在交通流可控的封闭场地进行，试验步骤如下：

- a) 将被校准的毫米波雷达安装固定在门架上，并完成系统调试；
- b) 以角反射器作为被检测目标，在道路边界外侧移动目标至毫米波雷达可探测的最近距离处，标记近端位置，如图 2（a）所示，角反射器高度设置为 1.5m；
- c) 由近及远移动角反射器至毫米波雷达可正常探测到的最大距离处，标记远端位置，如图 2（a）所示；
- d) 用全站仪测量确定毫米波雷达的近端和远端坐标；
- e) 计算近端和远端位置沿道路方向的距离范围，作为毫米波雷达的有效探测范围校准结果；
- f) 对于在用毫米波雷达，可在确保安全的情况下，参照 b)～e) 的步骤开展

此项校准试验。

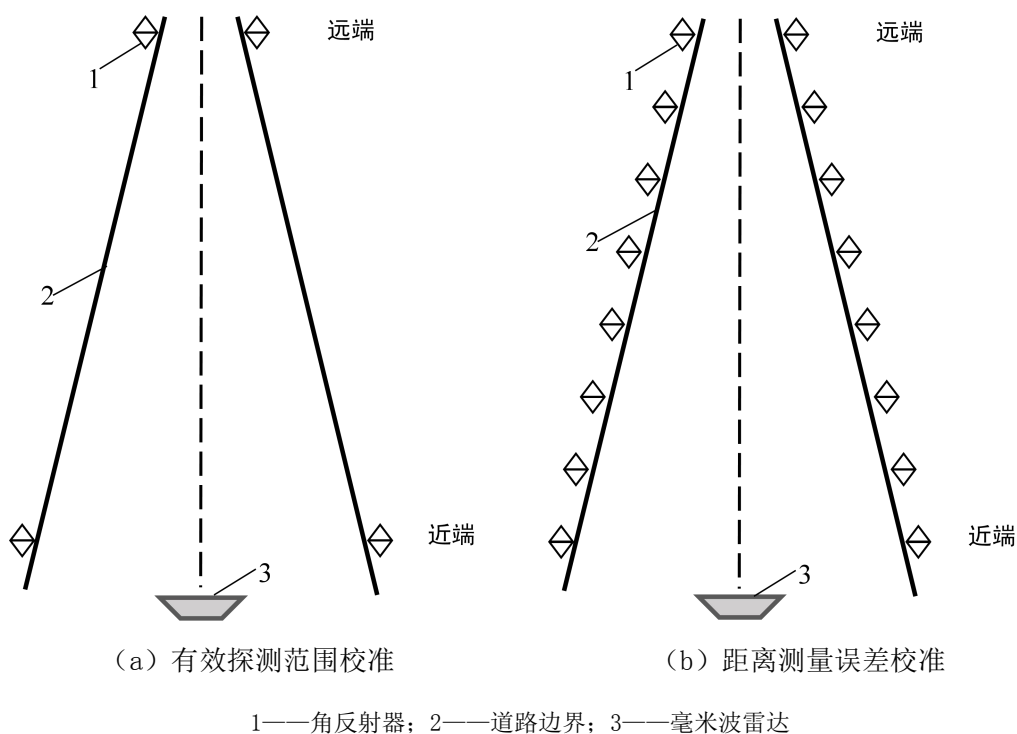


图2 距离校准过程示意图

6.2 距离测量误差

此项校准宜在交通流可控的封闭场地进行，试验步骤如下：

- a) 将被校准的毫米波雷达安装固定在门架上，并完成系统调试；
- b) 以角反射器作为被检测目标，从毫米波雷达可检测的近端位置起，在道路边界外侧每隔 100m 放置 1 组角反射器，如图 2 (b) 所示，放置角反射器的数量根据毫米波雷达的有效探测范围或校准需求确定；
- c) 用全站仪测量确定每个角反射器距离近端的参考距离 $L_{i,b}$ ；
- d) 用毫米波雷达测量每个角反射器距离近端的距离 L_i ；
- e) 用式 (1) 或式 (2) 计算距离测量误差；

$$\Delta_{i,L} = L_i - L_{i,b} \quad (1)$$

$$\delta_{i,L} = \frac{L_i - L_{i,b}}{L_{i,b}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\Delta_{i,L}$ ——第 i 个距离校准点的测量误差，m；

$\delta_{i,L}$ ——第 i 个距离校准点的测量误差（相对），%；

$L_{i,b}$ ——第 i 个角反射器到近端的距离参考值, m;

L_i ——毫米波雷达对第 i 个角反射器距离的测量结果, m。

f) 对于在用毫米波雷达, 可在确保安全的情况下, 参照 b)~e) 的步骤开展此项校准试验;

g) 取式 (1) 或式 (2) 中计算结果中绝对值最大者作为毫米波雷达距离测量误差校准结果。

6.3 视场角

此项校准宜在交通流可控的封闭场地进行, 试验步骤如下:

a) 将被校准的毫米波雷达安装固定在门架上, 并完成系统调试;

b) 以角反射器作为被检测目标, 在距离毫米波雷达安装位置的正下方 L_1 的位置, 沿道路垂线方向放置角反射器, L_1 的长度由全站仪测定, 推荐值为 100m, 如图 3 所示;

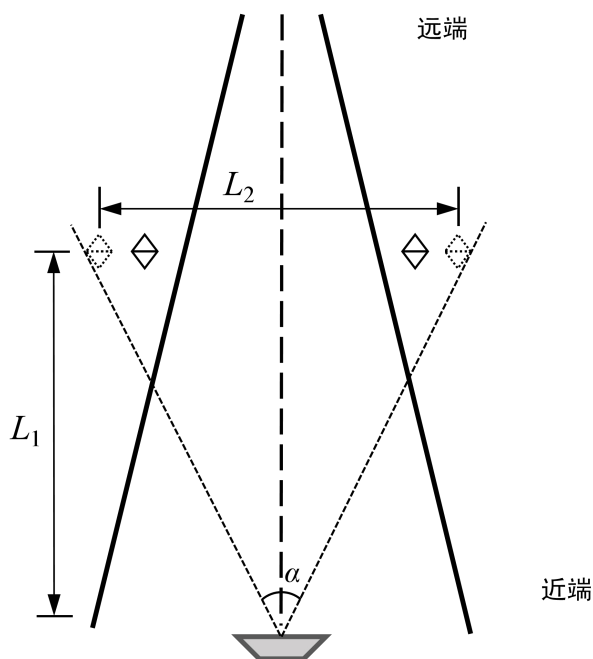


图 3 视场角校准示意图

c) 逐渐向道路外侧移动角反射器, 以确定毫米波雷达可测的外侧边界点, 放置角反射器时, 应保持其基础高度与路面平齐;

d) 用全站仪测量两边界点之间的距离 L_2 ;

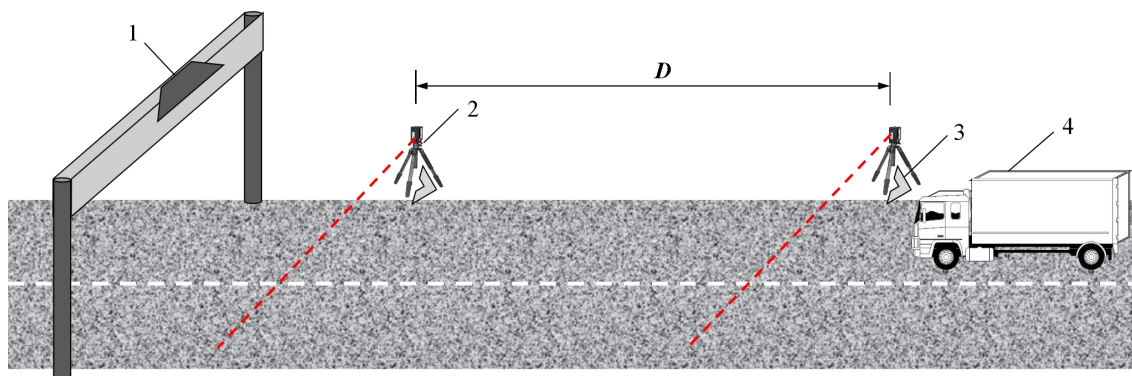
e) 视场角 α 用式 (3) 计算。

$$\alpha = 2 \arctan \frac{L_2}{2L_1} \quad (3)$$

6.4 速度测量范围

此项校准宜在交通流可控的封闭场地进行，试验步骤如下：

- a) 将被校准的毫米波雷达安装固定在门架上，并完成系统调试；
- b) 在测试路段道路边界外侧用全站仪量取测速区间 D ，未明确测速区间长度时，可设置 $D=10\text{m}$ ；
- c) 按图 4 方式布置两套光电开关搭建光电触发计时装置，使光电投射方向与测试车辆行驶方向垂直；
- d) 在光电触发计时装置附近放置角反射器，以便毫米波雷达识别测速区间；



1——毫米波雷达；2——光电开关；3——角反射器；4——测试车辆

图 4 速度测量范围校准示意图

- e) 毫米波雷达测速的上限值根据用户需要选取，推荐选取 100km/h、120km/h、140km/h 等，按 20km/h 递增；
- f) 毫米波雷达测速的下限值取 20km/h、15km/h、10km/h、5km/h，直至静止；
- g) 根据试验结果确定速度测量范围。

6.5 速度测量误差

此项宜采用现场校准方式，过程如下：

- a) 在被校准毫米波雷达的临近位置架设校准装置，调节校准装置的视野范围与被校准毫米波雷达基本一致；
- b) 对校准装置进行内部参数标定，确定其可正常进行车辆参数测量；
- c) 根据被校准毫米波雷达所安装路段的交通流状况及用户需求，选取典型

车速时段，典型车速可选取 20km/h、40km/h、60km/h、80km/h、100km/h、120km/h、150km/h 等；

- d) 对于特定的一组行驶车辆，由校准装置对其速度进行测量；
- e) 由被校准的毫米波雷达同步获取 d) 中对应车辆的速度；
- f) 按公式（4）或（5）计算速度测量误差。

$$\Delta_{i,v} = v_i - v_{i,b} \quad (4)$$

$$\delta_{i,v} = \frac{v_i - v_{i,b}}{v_{i,b}} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

$\Delta_{i,v}$ ——第 i 个目标的速度测量误差，km/h；

$\delta_{i,v}$ ——第 i 个目标的速度测量误差（相对），%；

$v_{i,b}$ ——校准装置测得的第 i 个目标的速度值，km/h；

v_i ——毫米波雷达对第 i 个目标的测量结果，km/h。

g) 取式（4）或式（5）中计算结果中绝对值最大者作为毫米波雷达速度测量误差校准结果。

6.6 交通量测量误差

此项宜采用现场校准方式，过程如下：

- a) 在被校准毫米波雷达的临近位置架设校准装置，调节校准装置的视野范围与被校准毫米波雷达一致；
- b) 对校准装置进行内部参数标定，确定其可正常进行车辆参数测量；
- c) 在多车道、多运动目标的交通场景下，由校准装置和被校准的毫米波雷达同时对同一交通场景下的交通量进行测量，测量时长为 1h；
- d) 按式（6）计算交通量测量误差：

$$\delta_N = \frac{N_t - N_b}{N_b} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

δ_N ——交通量测量误差（相对），%；

N_t ——毫米波雷达测得的交通量数值；

N_b ——校准装置测得的交通量数值。

6.7 数据刷新率

通过查验毫米波雷达数据来确定，试验过程如下：

- a) 获取一段不少于 1h 的毫米波雷达数据样本；
- b) 通过数据记录中的时间信息确定单位时间内获取的有效数据次数；
- c) 以数据样本中单位时间的有效数据获取次数的最小值为数据刷新率校准结果，单位换算为 Hz。

7 校准结果

7.1 校准记录

毫米波雷达的校准记录应信息齐全、内容完整，校准记录表格式见附录 A。

7.2 校准证书

毫米波雷达的校准结果以校准证书的形式表达，校准证书包含的信息及内页格式见附录 B。

7.3 校准结果不确定度评定

毫米波雷达校准结果的测量不确定度评定按照 JJF 1059.1 进行，测量不确定度评定示例见附录 C、附录 D。

8 复校时间间隔

复校时间间隔由仪器的使用情况、以及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。建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A

公路路侧毫米波雷达校准记录表格式

记录编号：

第 页 共 页

样品名称			样品编号				
型号规格			出厂编号				
制造单位							
校准依据			校准地点				
校准前样品情况			校准后样品情况				
环境条件	温度：_____℃； 湿度：_____RH； 其他：_____。						
设备基本参数	工作频段：_____ 工作模式：_____						
所用的计量标准 装置器具/主要仪 器设备	名称	测量 范围	不确定度/ 准确度等 级/最大允 许误差	证书 编号	证书有 效期至	使用前情况	使用后情况
校准项目							
项目	校准结果						
有效探测距离							
距离测量误差							
视场角							
速度测量范围							
速度测量误差							
交通量测量误差							
数据刷新率							

校准：_____ 核验：_____ 日期：_____

附录 B

公路路侧毫米波雷达校准证书内页格式

B.1 校准证书信息

公路路侧毫米波雷达校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 校准实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书编号、页码及总页数；
- e) 委托单位的名称和地址；
- f) 被校准仪器的信息；
- g) 进行校准的日期；
- h) 校准所依据的技术规范名称和代号；
- i) 所用测量标准或主要设备的名称、编号、主要技术参数及溯源证书有效期；
- j) 校准时的环境条件；
- k) 校准报告批准人的签名或其他有效标识；
- l) 校准结果仅对校准对象有效的声明；
- m) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明；
- n) 如可获得，任何调整或修理前后的结果；
- o) 相关时，与要求或规范的符合性声明；
- p) 已与客户达成协议时，给出复校时间间隔的建议。

附录 C

公路路侧毫米波雷达速度测量误差不确定度评定示例

C.1 测量方法

毫米波雷达的速度测量误差采用与校准装置测量比对的方式进行校准。校准装置采集速度标准值时，同步获得毫米波雷达的速度测量值。

C.2 测量模型

毫米波雷达的速度示值误差由 (C.1) 式求得：

$$\delta_v = \frac{\bar{v} - v_b}{v_b} = \frac{\bar{v}}{v_b} - 1 \quad (\text{C.1})$$

式中：

δ_v ——速度示值相对误差，%；

v_b ——校准装置的标准速度值，km/h；

$\bar{v}$ ——毫米波雷达测量结果，km/h。

C.3 合成方差

由于 v_b 与 $\bar{v}$ 不相关，故其合成估计方差可由 (C.2) 式求得：

$$u_{\text{crel}}^2 = u_{\text{crel}}^2(\bar{v}) + u_{\text{crel}}^2(v_b) \quad (\text{C.2})$$

C.4 分析和计算标准不确定度分量

C.4.1 毫米波雷达的速度示值引起的相对不确定度分量 $u_{\text{rel}}(\bar{v})$ C.4.1.1 毫米波雷达的速度示值重复性引起的不确定度分量 $u_{\text{rel}}(\bar{v}_1)$ ，按 A 类评定。

对一台毫米波雷达 60 km/h 校准点进行 10 次重复性测量，校准装置输出标准速度值为 59.988 km/h，毫米波雷达 10 次测量数据如下：

59.98 km/h、59.99 km/h、59.98 km/h、59.98 km/h、59.98 km/h、59.98 km/h、59.98 km/h、59.98 km/h、59.99 km/h、59.98 km/h。

根据贝塞尔公式：
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1}}$$

得单次测量实验标准偏差： $s = 4.22 \times 10^{-3} \text{ km/h}$

由 s 及 $n=10$ 得: $u_{rel}(\bar{v}_1) = \frac{s}{\sqrt{10}} \times \frac{1}{v_b} = 1.33 \times 10^{-4}$

C.4.1.2 毫米波雷达的速度示值分辨力 d 引起的不确定度分量 $u_{rel}(\bar{v}_2)$ 属 B 类评定, 按矩形分布处理。

毫米波雷达的速度分辨力 $d = 0.01 \text{ km/h}$, 故:

$$u_{rel}(\bar{v}_2) = 0.29d \times \frac{1}{v_b} = 2.90 \times 10^{-4}$$

C.4.1.3 确定毫米波雷达的速度示值引起的相对不确定度分量 $u_{rel}(\bar{v})$

依据 JJF 1059.1 《测量不确定度评定与表示》的规定, 以毫米波雷达的速度示值重复性引起的 $u_{rel}(\bar{v})$ 和分辨力引起的不确定度 $u_{rel}(\bar{v}_2)$ 两者中较大值作为速度示值引起的相对不确定度分量 $u_{rel}(\bar{v})$:

$$u_{rel}(\bar{v}) = 2.90 \times 10^{-4}$$

C.4.2 校准装置引起的不确定度分量 $u_{rel}(v_b)$

校准装置测速 MPE: $\pm 0.03\%$, 由校准装置引起的不确定度分量属于矩形分布, 故:

$$u_{rel}(v_b) = \frac{0.03\%}{\sqrt{3}} = 1.73 \times 10^{-4}$$

C.5 计算合成标准不确定度

根据公式 (C.2) 得合成标准不确定度为:

$$u_{crel} = \sqrt{u_{rel}^2(\bar{v}) + u_{rel}^2(v_b)} = 3.38 \times 10^{-4}$$

C.6 确定包含因子

取包含因子 $k=2$ 。

C.7 计算扩展不确定度

$$U_{rel} = k u_{crel} = 6.8 \times 10^{-4}$$

按以上步骤计算出每个校准点的标准不确定度分量、合成标准不确定度及扩展不确定度。

附录 D

距离测量误差不确定度评定示例

D.1 测量方法

毫米波雷达的距离示值测量采用与校准装置进行比对。校准装置到达规定的标准距离值时，同步触发毫米波雷达采集距离测量值。

D.2 测量模型

毫米波雷达的距离示值误差由 (D.1) 式求得：

$$\delta_L = \frac{\bar{L} - L_b}{L_b} = \frac{\bar{L}}{L_b} - 1 \quad (\text{D.1})$$

式中：

δ_L ——距离示值误差，%；

L_b ——校准装置的标准距离值，m；

$\bar{L}$ ——毫米波雷达测量结果，m

D.3 合成方差

由于 L_b 与 $\bar{L}$ 不相关，故其合成估计方差可由 (D.2) 式求得：

$$u_{crel}^2 = u_{rel}^2(\bar{L}) + u_{rel}^2(L_b) \quad (\text{D.2})$$

D.4 分析和计算标准不确定度分量

D.4.1 毫米波雷达的距离示值引起的相对不确定度分量 $u_{rel}(\bar{L})$ D.4.1.1 毫米波雷达的距离示值重复性引起的不确定度分量 $u_{rel}(\bar{L}_1)$ ，按 A 类评定。

对一台毫米波雷达 200m 校准点进行 10 次重复性测量，测量数据如下：200.04m、200.10m、200.06m、200.14m、200.16m、200.08m、200.17m、200.11m、200.15m、200.15m。

根据贝塞尔公式：
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}}$$

得单次测量实验标准偏差 $s = 4.50 \times 10^{-2} \text{m}$

由 s 及 $n=10$ 得：
$$u_{rel}(\bar{L}_1) = \frac{s}{\sqrt{10}} \times \frac{1}{L_b} = 7.12 \times 10^{-5}$$

D.4.1.2 毫米波雷达的距离示值分辨力 d 引起的不确定度分量 $u_{rel}(\bar{L}_2)$ 属 B 类评定, 按矩形分布处理。

毫米波雷达的距离分辨力 $d=0.01\text{m}$, 故:

$$u_{rel}(\bar{L}_2) = 0.29d \times \frac{1}{L_b} = 1.45 \times 10^{-5}$$

D.4.1.3 确定毫米波雷达的距离示值引起的相对不确定度分量 $u_{rel}(\bar{L})$

依据 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》的规定, 以毫米波雷达的距离示值重复性引起的不确定度分量 $u_{rel}(\bar{L}_1)$ 和分辨力引起的不确定度分量 $u_{rel}(\bar{L}_2)$ 两者中较大值作为距离示值引起的相对不确定度分量 $u_{rel}(\bar{L})$:

$$u_{rel}(\bar{L}) = 7.12 \times 10^{-5}$$

D.4.2 校准装置引起的相对不确定度分量 $u_{rel}(L_b)$

校准装置测距 MPE: $\pm 0.03\%$, 由校准装置引起的不确定度分量属于矩形分布, 故:

$$u_{rel}(L_b) = \frac{0.03\%}{\sqrt{3}} = 1.73 \times 10^{-4}$$

D.5 计算合成标准不确定度

根据公式 (D.2) 得合成标准不确定度为:

$$u_{crel} = \sqrt{u_{rel}^2(\bar{L}) + u_{rel}^2(L_b)} = 1.87 \times 10^{-4}$$

D.6 确定包含因子

取包含因子 $k=2$.

D.7 计算扩展不确定度

$$U_{rel} = k u_{crel} = 3.7 \times 10^{-4}$$

按以上步骤计算出每个校准点的标准不确定度分量、合成标准不确定度及扩展不确定度。