

T/EJCCCSE

团 体 标 准

T/EJCCCSE XXXX—XXXX

智能驾驶 4D 成像毫米波雷达测试方法

Intelligent driving 4D imaging millimeter-wave radar test method

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国商业股份制企业经济联合会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测试方法 1

 4.1 测试环境要求 1

 4.2 测试设备 1

 4.3 检测范围测试 3

 4.4 目标定位精度 3

 4.5 速度检测误差 3

 4.6 目标轨迹跟踪正确率 4

 4.7 目标分类 4

 4.8 车流量测试 4

 4.9 排队长度测试 4

 4.10 测速范围测试 5

 4.11 速度检测分辨率测试 5

 4.12 距离检测分辨率测试 5

 4.13 角度分辨率测试 5

 4.14 帧率测试 6

 4.15 雷达工作频段测试 6

 4.16 点云数量测试 6

 4.17 雷达精度测试 6

 4.18 接口测试 6

 4.19 电气安全性能测试 6

 4.20 电源适应性 7

 4.21 环境适应性测试 7

5 试验报告 7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国商业股份制企业经济联合会提出。

本文件由中国商业股份制企业经济联合会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

智能驾驶 4D 成像毫米波雷达测试方法

1 范围

本规范规定了智能驾驶4D毫米波雷达的试验方法。
本规范适用于智能驾驶4D毫米波雷达性能测试(以下简称“雷达”)。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引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。

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验A:低温
GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验B:高温
GB/T 2423.3 环境试验 第2部分:试验方法 试验Cab:恒定湿热试验
GB/T 2423.5 环境试验 第2部分:试验方法 试验Ea和导则:冲击
GB/T 3784 电工术语 雷达
GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)
GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
GB/T 20609 交通信息采集 微波交通流检测器
JTG D20 公路路线设计规范

3 术语和定义

GB/T 3784、GB/T 20609、界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

4D 毫米波雷达 4D millimeter wave radar

通过4D毫米波雷达信号发送和接收,可以完成目标的三维位置、速度、航向和目标轮廓大小等信车载。

3.2

以太网转换器 on board ethernet converter

将标准以太网转换成2线车载以太网,在物理层对数据进行交换。

4 测试方法

4.1 测试环境要求

测试环境应满足以下技术要求:

- 温度:在雷达及现场测试设备的工作温度范围之内;
- 湿度:在雷达及现场测试设备的工作湿度范围之内;
- 对测试环境的要求,选择的真实路段应符合 JTG D20 的要求。

4.2 测试设备

4.2.1 测试硬件

测试硬件的基本信息见表1。

表 1 测试硬件信息

设备名称	作用
2维转台	精确控制雷达水平及俯仰方向的旋转
稳压电源	给雷达供电
目标模拟器	提供模拟信号
台式电脑	控制2维转台，控制目标模拟器及雷达刷写
笔记本电脑	数据检测、记录及转换
网络转接盒	车载以太网转工业以太网
网络交换机	各设备间的数据连接
频谱仪	EIRP测试
示波器	监控雷达工作电流

4.2.2 测试软件

测试软件的基本信息见表2。
测试软件信息

表 2 测试系统要求

软件名称	作用
雷达OTA	刷写雷达固件及更改参数
转台控制工具	控制转台
目标模拟器控制工具	更改目标模拟器参数
雷达上位机	点云显示
shell脚本	数据记录及转换
matlab工具	生成曲线

4.2.3 硬件连接

硬件连接的总体框图见图1。

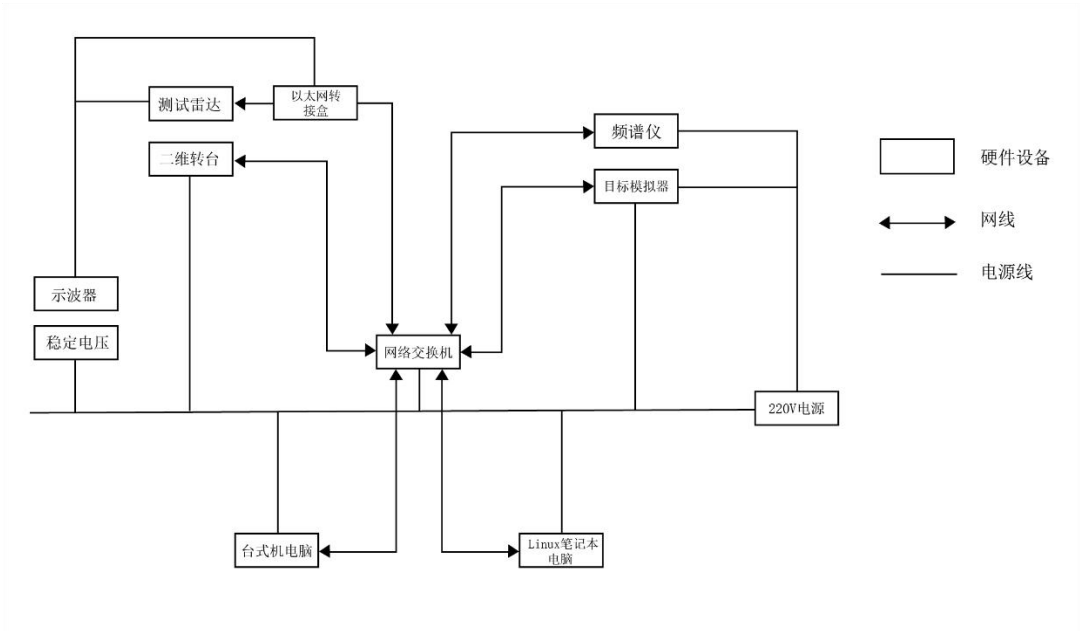


图 1 总体框图

4.2.4 试验场测试环境示意图

试验场测试环境示意图见图2。

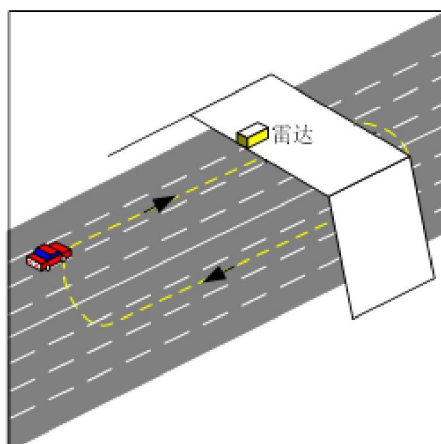


图 2 试验场测试环境示意图

4.2.5 试验路段选择

试验场的试验路段应可提供高度大于等于6 m的支架、立杆或天桥，供雷达的安装。选择相应车道进行测试。

4.2.6 安装及标定

雷达利用专用雷达支架及抱箍安装在交通挑杆上，安装高度用激光测距仪测量，安装角度用寻北仪或角反测量，安装经纬度用RTK设备测量。

4.2.7 测试间隔

雷达对速度和排队长度的测试采样间隔为 10min，其中在每次测试中间采样一次环境状况，包括温度、湿度。

4.2.8 测试车辆

在试验场，由测试单位组织车辆进行测试。所选用车辆，应尽可能的模拟实际道路上的交通流量，并满足雷达正常探测的要求。

4.3 检测范围测试

4.3.1 由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。

4.3.2 启动雷达，设置好所需参数，保证雷达目标检测正常，记录测试时间内雷达在某个断面输出的目标数。

4.3.3 采用沿标准车道行驶的车辆作为检测距离测试目标，雷达安装点地面投影点与所选定的标准车道的远端之间的距离应 $\geq 150\text{m}$ ，车辆从车道远端向雷达安装点方向行驶。

4.3.4 可覆盖 10 车道。

4.3.5 雷达从上位机界面输出目标位置信息。

4.3.6 真值通过车辆上的 RTK 所测的车辆位置获得。

4.4 目标定位精度

4.4.1 由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。

4.4.2 启动雷达，设置好所需参数，保证雷达目标检测正常。

4.4.3 驾驶带有 RTK 设备的车辆行驶至检测区域，并多次停于不同位置，将 RTK 数据与雷达检测的目标位置做对比。

4.5 速度检测误差

4.5.1 由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。

4.5.2 选定车道上采用手持雷达测速仪,安排三辆车按顺序通过测速断面,选择三个位置点测量车速。

4.5.3 据雷达同一时间测得的车辆平均速度数据,按公式(1)计算出平均速度的相对误差:

$$P_{\text{平均速度}} = \frac{|V_{\text{实际}} - V_{\text{雷达}}|}{V_{\text{实际}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$P_{\text{平均速度}}$ -----平均速度相对误差,用百分比表示;

$V_{\text{实际}}$ -----在一个方向上,规定时间内,车辆通过试验车道指定点的平均速度的实际值,由经过型评的单车道雷达测速仪测量后计算获得;

$V_{\text{雷达}}$ -----在一个方向上,规定时间内,雷达检测到试验车道指定点的车辆平均速度。

4.6 目标轨迹跟踪正确率

4.6.1 由厂商技术人员负责雷达的安装和调试,并保证所有设备工作正常,以相机作为辅助记录设备。

4.6.2 启动雷达,设置好所需参数,保证雷达目标检测正常。设置统计区域,保证在此区域内目标运动速度 $\geq 30\text{km/h}$,将测试时间内雷达调试软件中目标行驶轨迹录屏。

4.6.3 人工统计测试时间内,在统计区域中雷达输出的ID不发生跳变、目标不丢失、轨迹和实际一致的目标数。

4.6.4 人工统计测试时间内,相机视频中统计区域内实际目标数。

4.6.5 按公式(2)计算目标轨迹跟踪正确率。

$$\text{轨迹跟踪正确率} = \frac{\text{雷达输出的符合要求的目标数}}{\text{实际目标数}} \times 100\% \quad (1)$$

4.7 目标分类

4.7.1 由厂商技术人员负责雷达的安装和调试,并保证所有设备工作正常,以相机作为辅助记录设备。

4.7.2 启动雷达,设置好所需参数,保证雷达目标检测正常。设置统计区域,在此区域内按测试用例控制目标运动速度,将测试时间内雷达调试软件中目标行驶轨迹录屏。

4.7.3 人工统计测试时间内,在统计区域中雷达输出的类型未发生变化的机动车/非机动车/行人目标数。

4.7.4 人工统计测试时间内,相机视频中实际机动车/非机动车/行人目标数。

4.7.5 分别按照公式(3)、(4)和(5)计算目标分类准确率。

$$\text{机动车识别准确率} = \frac{\text{雷达输出的机动车目标数}}{\text{实际机动车目标数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{非机动车识别准确率} = \frac{\text{雷达输出的非机动车目标数}}{\text{实际非机动车目标数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{行人识别准确率} = \frac{\text{雷达输出的行人目标数}}{\text{实际行人目标数}} \times 100\% \quad (3)$$

4.8 车流量测试

4.8.1 由厂商技术人员负责雷达的安装和调试,并保证所有设备工作正常,以相机作为辅助记录设备。

4.8.2 启动雷达,设置好所需参数,采用同一行驶方向、同一断面的交通流做数据分析。

4.8.3 人工统计测试时间内,视频中同一行驶方向、同一断面的实际车流量。

4.8.4 按公式(6)计算出各个车道车流量的相对误差。

$$P_{\text{车流量}} = \frac{|V_{\text{实际}} - V_{\text{雷达}}|}{V_{\text{实际}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

车流量相对误差,用百分比表示;

在一个方向上,规定时间内,实际上通过公路某一断面的车辆数;

在一个方向上,规定时间内,雷达检测到通过公路某一断面的车辆数。

4.9 排队长度测试

4.9.1 由厂商技术人员负责雷达的安装和调试,并保证所有设备工作正常。

- 4.9.2 采用沿标准车道行驶的车辆队列作为车辆排队长度测试的目标。
- 4.9.3 雷达安装点地面投影点与所选定的标准车道的远端之间的距离为 150 m 为车辆行驶起始线。
- 4.9.4 雷达安装点地面投影点与所选定的标准车道的近端之间的距离为 30 m 处为头车停止线。
- 4.9.5 人工统计测试时间内，视频中车辆队列长度。排队包含目标静止及目标运动两种情况。
- 4.9.6 根据雷达测得的车辆排队长度，按公式（7）计算出排队长度的相对误差：

$$P_{\text{排队}} = \frac{|O_{\text{实际}} - O_{\text{雷达}}|}{O_{\text{实际}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

排队长度相对误差，用百分比表示；

在一个方向上，规定时间点，排队长度的实际值，人工统计计算得到；

在一个方向上，规定时间点，雷达测得的排队长度数值。

4.10 测速范围测试

- 4.10.1 在雷达暗室中，由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。
- 4.10.2 在暗室中安装 1 台目标模拟器，保证目标模拟器正常输出带速度的目标信号。
- 4.10.3 启动雷达，设置好所需参数，保证雷达目标检测正常，记录测试时间内雷达探测到的目标模拟器目标的速度。
- 4.10.4 测试中，固定雷达转台水平角度及俯仰角度均为 0°，设置 1 个模拟目标的速度在正负方向下线性变化。速度设置范围应覆盖 0~220km/h 的测速范围。
- 4.10.5 测试中，有规律地转动雷达转台。雷达转台所设角度应使得雷达在正常探测到目标模拟器目标的前提下，尽量覆盖雷达 FOV 内所有空间。
- 4.10.6 通过以上测试，得出雷达测速范围。

4.11 速度检测分辨率测试

- 4.11.1 在雷达暗室中，由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。
- 4.11.2 在暗室中安装 1 台目标模拟器，保证目标模拟器正常输出带速度的目标信号。
- 4.11.3 启动雷达，设置好所需参数，保证雷达目标检测正常，记录测试时间内雷达探测到的模拟目标的速度。
- 4.11.4 测试中，固定雷达转台水平角度为 0 度，俯仰角度为 0 度。设置 2 个能量相同的模拟目标，第一个模拟目标的距离为 70m，速度为 4m/s，第二个模拟目标的距离为 70 m，速度为 4.15 m/s。
- 4.11.5 通过以上测试，得出雷达测速分辨率。

4.12 距离检测分辨率测试

- 4.12.1 在雷达暗室中，由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。
- 4.12.2 在暗室中安装 1 台目标模拟器，保证目标模拟器正常输出带位置的目标信号。
- 4.12.3 启动雷达，设置好所需参数，保证雷达目标检测正常，记录测试时间内雷达探测到的模拟目标的位置。
- 4.12.4 测试中，固定雷达转台水平角度为 0 度，俯仰角度为 0 度，设置 2 个能量相同的模拟目标。第一次，第一个模拟目标的距离为 60 m，速度为 4 m/s，第二个模拟目标的距离为 60.5 m，速度为 4 m/s。第二次，第一个模拟目标的距离为 100 m，速度为 4 m/s，第二个模拟目标的距离为 100.5 m，速度为 4 m/s。
- 4.12.5 通过以上测试，得出雷达测距分辨率。

4.13 角度分辨率测试

- 4.13.1 在雷达暗室中，由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。
- 4.13.2 在暗室中安装 2 台角反，2 台角反与雷达之间距离相同。
- 4.13.3 启动雷达，设置好所需参数，保证雷达目标检测正常，记录测试时间内雷达探测到的模拟目标的位置及角度。
- 4.13.4 测试中，固定雷达转台水平角度为 0 度，俯仰角度为 0 度。在雷达正前方 (6±1) m 的距离固

定2个角反。两个角反与雷达中心连线之间夹角为2°。

4.13.5 通过以上测试，得出雷达角度分辨率。

4.14 帧率测试

4.14.1 由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。

4.14.2 在合适路段架设雷达。路段应包含机动车、非机动车及行人。路段应包含多个目标。

4.14.3 启动雷达，设置好所需参数，保证雷达目标检测正常，记录测试时间内雷达发出的数据帧数量，数据帧应带有时间戳。

4.14.4 按公式（8）计算雷达帧率。

$$\text{帧率} = \frac{\text{一定时间内雷达发出的数据帧数量}}{\text{时间}} \times 100\% \quad (1)$$

注：时间的单位为秒。

4.14.5 通过以上测试，得出雷达帧率。

4.15 雷达工作频段测试

4.15.1 由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。

4.15.2 在暗室中安装频谱仪，频谱仪天线对准雷达。

4.15.3 启动雷达，设置好所需参数，保证雷达正常工作。

4.15.4 等待1~2分钟，记录雷达频谱。

4.15.5 通过以上测试，得出工作频段。

4.16 点云数量测试

4.16.1 在测试车辆上，由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。

4.16.2 测试车辆在合适路段按一定速度行驶一段时间。记录下雷达输出数据中每一帧的点云数量。

4.16.3 按照公式（9）计算每秒点云数量。

$$\text{每秒点云数量} = \sum_{n=1}^{n=\text{每秒帧数}} \text{单帧点云数量} \quad (1)$$

由于路况不同，固取一段时间内雷达每秒输出的点云数量的最大值。

4.17 雷达精度测试

4.17.1 雷达精度包含距离精度，速度精度及角度精度。本测试将同时测试这3种精度。

4.17.2 在雷达暗室中，由厂商技术人员负责雷达的安装和调试，并保证所有设备工作正常。

4.17.3 在暗室中安装1台目标模拟器，保证目标模拟器正常输出带位置的目标信号。

4.17.4 启动雷达，设置好所需参数，保证雷达目标检测正常，记录测试时间内雷达探测到的模拟目标的位置及角度。

4.17.5 测试中，距离分别选取60 m、70 m、80 m、90 m、100 m、110 m、120 m、130 m、140 m、150 m；速度分别选取0 m/s、20 m/s、40 m/s、60 m/s；水平角度分别选取0°、±20°、±45°、±70°；俯仰角分别选取±3°、±6°、±9°。每个条件下测试10 s并记录数据。最后生成统计数据。

4.17.6 通过以上测试，得出雷达距离、速度及角度精度。

4.18 接口测试

4.18.1 连接器插拔测试

按GB/T 20609的规定进行，工作状态插拔调试接口，雷达及其调试接口应能正常工作。

4.18.2 时钟测试

按GB/T 20609的规定进行，通信接口更改检测时钟，24小时内的时间偏移不大于1秒。

4.19 电气安全性能测试

4.19.1 绝缘电阻

按GB/T 20609的规定进行，在试验的标准大气条件下，用经过检定的绝缘耐压仪在雷达的电源接线端子与外壳之间测量绝缘电阻，若外壳有部分是由绝缘材料制成的，应用金属箔紧贴在其上，金属箔不得接触到可能已保护接地的任何外壳金属部分；在湿热条件下测试时，应在雷达从湿热试验箱中取出后立即（3 min内）进行测试。测试电压为500 V。

4.20 电源适应性

按GB/T 20609的规定进行，用可调直流电压源给雷达供电，将电压分别调节为9 V→32 V→24 V→12V。每调节到一档电压并稳定后，都分别开启和关闭雷达电源开关，检查逻辑和功能是否正常。

4.21 环境适应性测试

4.21.1 耐低温性能

按GB/T 2423.1的规定进行，-40℃；共48小时，12小时断电，12小时上电，循环2次；使用额定电压；试验中持续监控。

4.21.2 耐湿热性能

按GB/T 2423.2的规定进行，70℃；96小时持续上电；使用额定电压；试验中持续监控。

4.21.3 耐湿热性能

按GB/T 2423.3的规定进行，(40±2)°C，(85±3)%RH；21天；前20天加23小时不通电，最后一小时通电并持续监控；额定电压。

4.21.4 耐冲击性能

按GB/T 2423.5的规定进行。

4.21.5 防护性能

按GB/T 4208的规定进行。

4.21.6 盐雾性能

按GB/T 10125的规定进行。

5 试验报告

4D成像毫米波雷达测试方法的试验报告应包括试验目的、试验环境、试验设备、试验步骤、试验结果、结果分析和附件等内容组成。
