



中汽中心 | 检测

中汽研软件测评(天津)有限公司

# 毫米波雷达与激光雷达

中汽研软件测评中心

姜国凯

2022年7月14日

# 目录

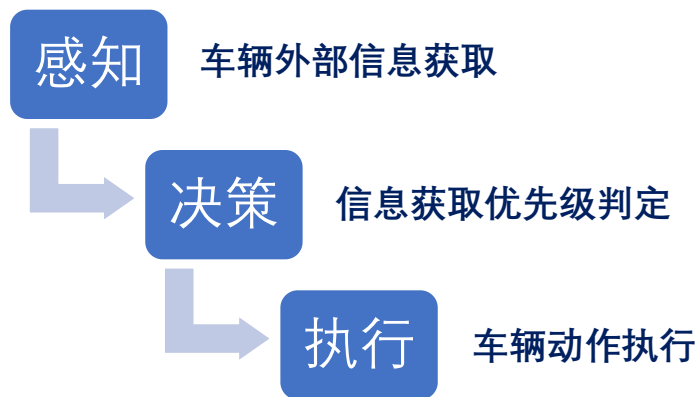
## Contents

- 01 车载雷达测评技术研究背景
- 02 车载雷达测试标准现状
- 03 车载毫米波雷达测试方法研究
- 04 车载激光雷达测试方法研究
- 05 车载雷达测评技术展望

中汽研软件测评(天津)有限公司

## 01 车载雷达测评技术研究背景

### 自动驾驶技术中的环境感知

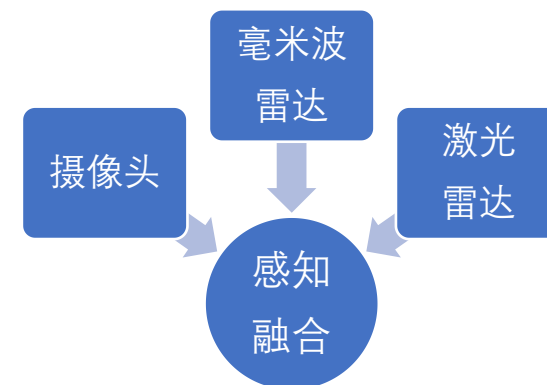


- 环境感知是实现自动驾驶的第一环节
- 不同自动驾驶等级所需感知部件不同
- 感知部件性能的优劣影响自动驾驶决策的可靠性

### 环境感知部件类别上的优缺点

感知部件	特点
摄像头	最接近人眼成像、分辨率高、成本低 夜晚及特殊天气（雾霾等）性能较差、距离信息不敏感
毫米波雷达	大带宽、波束窄、全天候、尺寸小、成本低 点目标、直线传输、虚警处理
激光雷达	探测距离远、精度高 成本高、易受天气影响、机械式无法满足车规要求

### 感知融合可提升感知精度



感知部件的性能及可靠性是融合算法的基础



# 目录

## Contents

- 01 车载雷达测评技术研究背景
- 02 车载雷达测试标准现状
- 03 车载毫米波雷达测试方法研究
- 04 车载激光雷达测试方法研究
- 05 车载雷达测评技术展望

上汽研软件测评(天津)有限公司

## 02 车载雷达标准现状

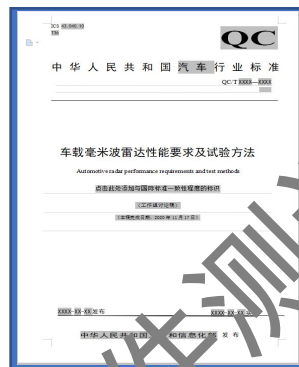
### 成熟标准

ETSI系列标准  
ETSI EN 303396  
ETSI EN 301091  
ETSI EN 302264



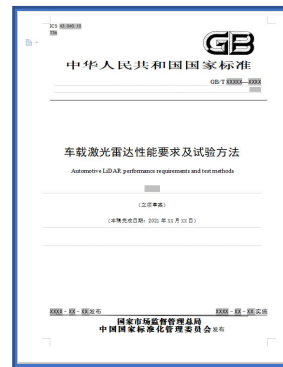
### 标准草案相对成熟

QC/T 车载毫米波雷达性能要求及试验方法



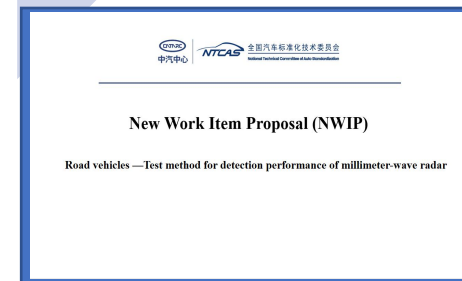
### 起草标准草案阶段

GB/T 车载毫米波雷达性能要求及试验方法  
GB/T 车载激光雷达性能要求及试验方法  
QC/T ……型车载激光雷达



### ISO标准PWI阶段

ISO提案  
毫米波雷达探测性能试验方法  
毫米波雷达协同抗扰技术指南  
激光雷达性能要求及试验方法



- ◆ 无委标准：GB / T 36654-2018 76GHz车辆无线电设备射频指标技术要求及测试方法 (汽车雷达无线电管理暂行规定)
- ◆ 交通部标准：GB / T 33577-2017 智能运输系统 车辆前向碰撞预警系统 性能要求和测试规程

征求意见稿及标准验证试验

国标已立项  
测试方案调研

PWI预研启动会  
ISO标准会各两次

# 目录

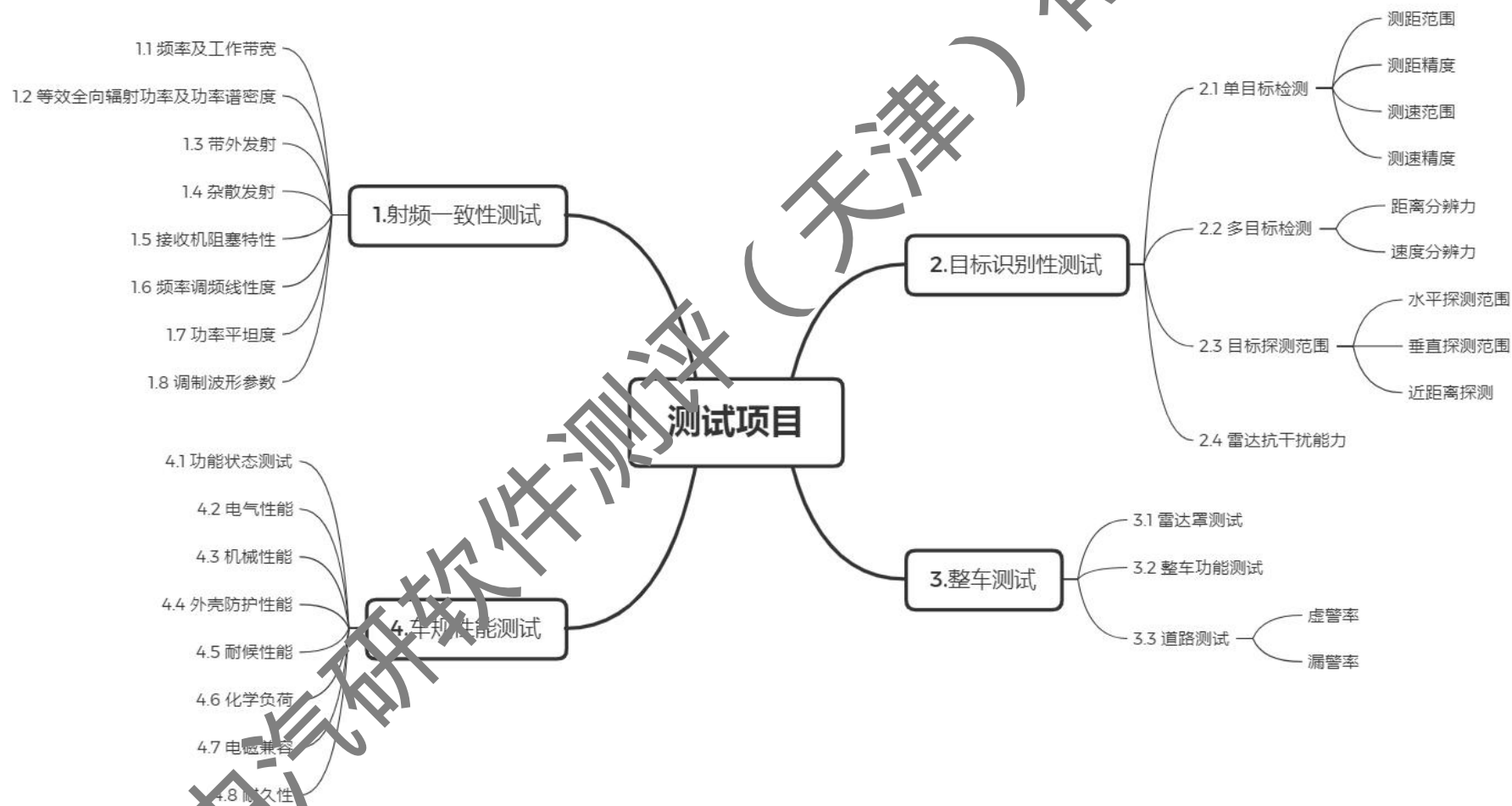
## Contents

- 01 车载雷达测评技术研究背景
- 02 车载雷达测试标准现状
- 03 车载毫米波雷达测试方法研究**
- 04 车载激光雷达测试方法研究
- 05 车载雷达测评技术展望

中汽研软件测评(天津)有限公司

## 03 车载毫米波雷达测试方法研究

### 测试项目



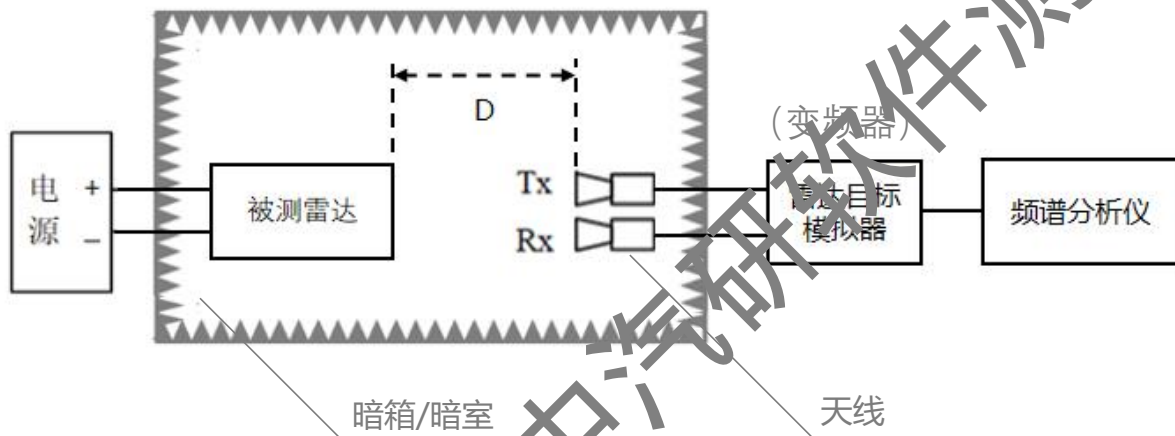
## 03 车载毫米波雷达测试方法研究

### ■ 射频一致性测试

#### 技术要求

工作频段	频率使用范围限值	
76GHz-77 GHz	$f_L \geq 76\text{GHz}$	$f_H \leq 77\text{GHz}$
76GHz-79 GHz	$f_L \geq 76\text{GHz}$	$f_H \leq 79\text{GHz}$

#### 测试连接原理:



汽车毫米波雷达天线电管暂行规定

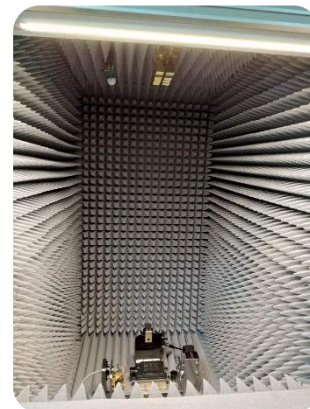
频率及工作带宽

等效全向辐射功率及功率谱密度

带外发射

杂散发射

接收机阻塞特性 (信号源、目标模拟器)



FSW85



ARTS

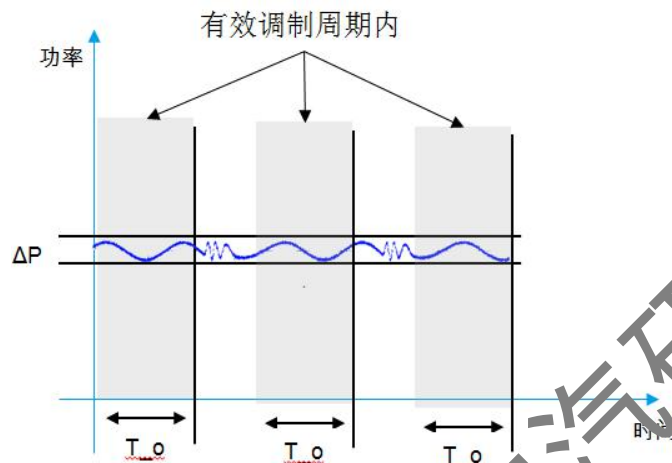


### 03 车载毫米波雷达测试方法研究

#### ■ 射频一致性测试-频率调频线性度、功率平坦度、调制波形参数

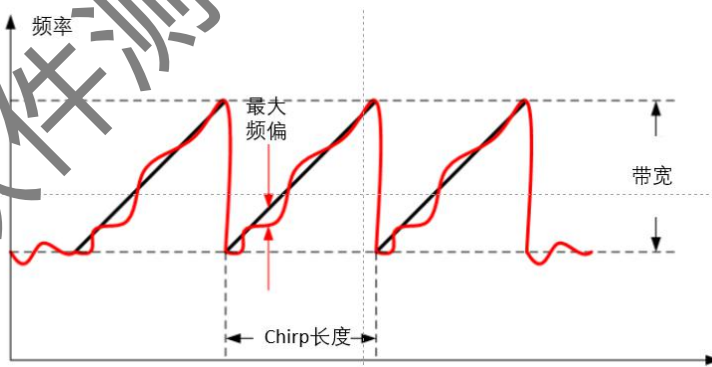
##### 技术要求:

**功率平坦度:** 有效调制时间内的功率平坦度 $\Delta P$ 应不大于3.0dB

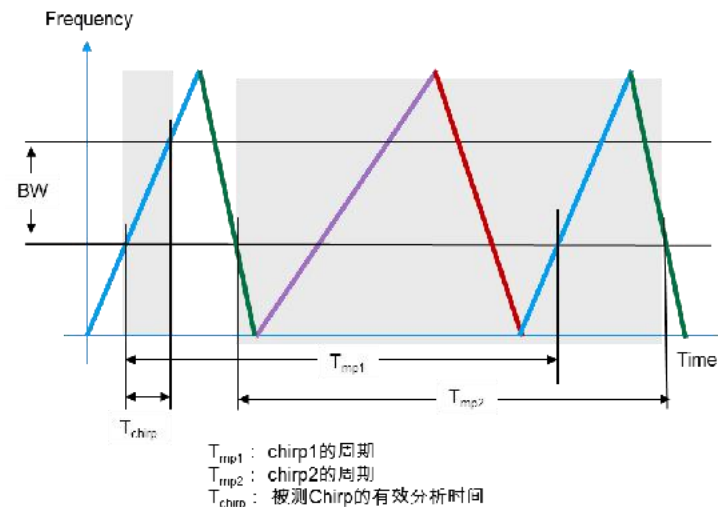


**频率调频线性度:** 调频连续波雷达, 在有效工作带宽内, 线性度应不大于0.5%

$$\text{调频线性度}(\%) = \frac{\text{最大频偏}(\text{Hz})}{\text{调制带宽}(\text{Hz})} * 100\%$$



**调制波形参数:** 调频连续波参数主要包含调频连续波的实际有效工作带宽BW, 调频时间 $T_{chirp}$ , 调频连续波重复时间 $T_{mp1}$ (当出现如下图所示多种调频连续波, 分别测试记录各调频连续波的重复时间, 比如 $T_{mp1}$ 和 $T_{mp2}$ ), 以及调制频率误差等



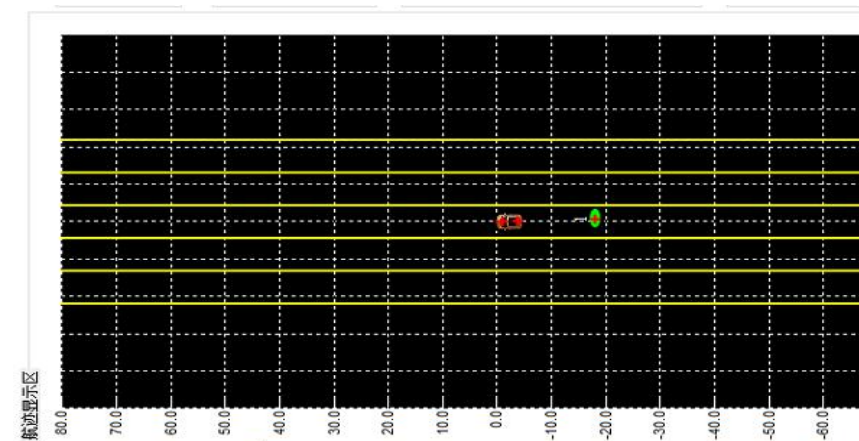
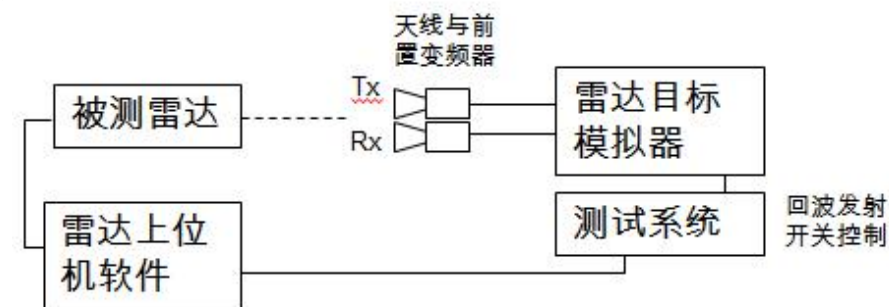
## 03 车载毫米波雷达测试方法研究

### 目标识别性测试-单目标检测

#### 技术要求

每个目标测试项至少采集100帧以上测试数据，目标的距离、速度、角度精度应在雷达标称精度范围内，且无虚警情况。下表为不同雷达标称的推荐指标。

	短距雷达	中距雷达	长距雷达
工作频率 (GHz)	76-79		
速度范围 (m/s)	≥±30		
速度精度 (m/s)	≤0.15	≤0.1	≤0.1
最远探测距离 (米)	≥70@10dBsm目标	≥160@10dBsm目标	≥210@10dBsm目标
最近探测距离 (米)	≤0.6	≤0.6	≤0.6
测距精度 (米)	≤±0.15	≤±0.2或1%	≤±0.2或1%
测角范围 (°)	≥±60	≥±45	±5
测角精度 (°)	≤1@±25	≤0.2@±9	≤0.1@±5
目标刷新率 (Hz)	≥18		



### 03 车载毫米波雷达测试方法研究

#### 目标识别性测试-单目标检测

##### 技术要求

每个目标测试项至少采集100帧以上测试数据，目标的距离、速度、角度精度应在雷达标称精度范围内，且无虚警情况。下表为不同雷达标称的推荐测试项。

测试项	RCS dBsm	角度 °	速度 m/s	距离 m	测试结果
1	10	0	Vmax0	0.5Rmax0	
2	10	0	Vmin0	Rmax0	
3	10	45	Vmax0	0.5Rmax0	
4	10	-45	Vmin0	Rmax0	
5	10	0	0	Rmin0	
6	-10	0	0	Rmin2	
7	-10	0	Vmax2	Rmax2	
8	-10	0	Vmin2	Rmax2	
9	-13	0	0	Rmin3	
10	-13	0	Vmax3	Rmax3	
11	-13	0	Vmin3	Rmax3	
12	0	0	0	Rmin1	
13	0	0	Vmax1	Rmax1	
14	0	0	Vmin1	Rmax1	

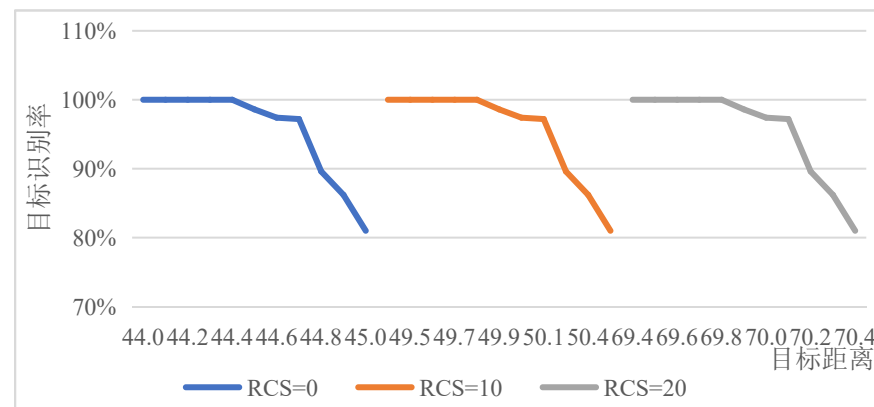
距离测量准确度： $R_e = M_R + 2\sigma_R$  (对置信度95%情况)

$$M_R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R - R_i)$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (R - R_i - M_R)^2}$$

式中：

- R——测试目标点距离设置值；
- R<sub>i</sub>——第 i 帧测量距离值；
- R<sub>e</sub>——距离准确度；
- M<sub>R</sub>——系统误差；
- σ<sub>R</sub>——随机误差；



## 03 车载毫米波雷达测试方法研究

### 目标识别性测试-多目标检测

#### 技术要求

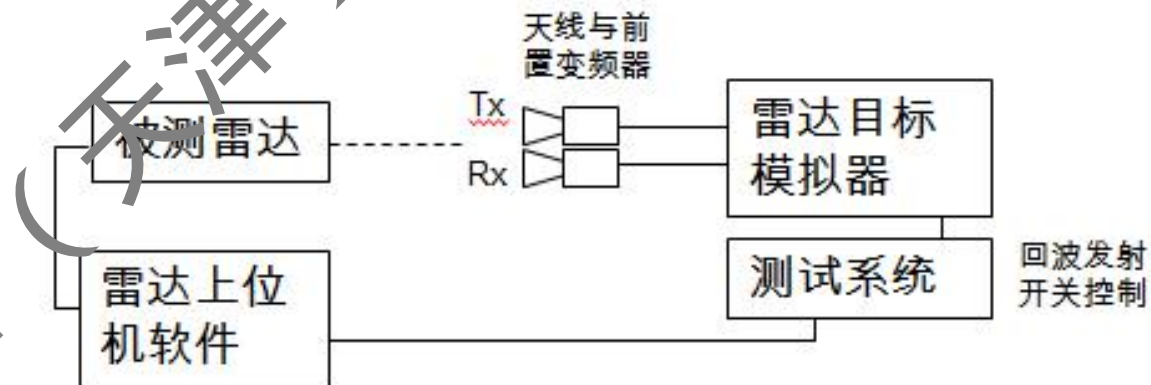
雷达的距离分辨力、速度分辨力和角度分辨力应能满足系统功能设计要求。

	短距雷达	中距雷达	长距雷达
工作频段 (GHz)	76-79		
角度分辨力 (°) (两个RCS为10dBsm目标)	≤15	≤7	≤3
速度分辨力 (m/s)	≤0.25	≤0.2	≤0.2
距离分辨力 (m)	≤0.75	≤1	≤1

#### 试验方法

项目	初始参数	设定过程	计算过程
距离分辨力	同距离、同角度、同RCS的两静止目标	先增大其中一目标距离，至区分为两目标，再减小该目标距离，至两目标无法区分	先将同一过程的两次目标区分距离求平均，再重复测试求平均
速度分辨力	同角度、同RCS、同速度的两目标	先增大其中一目标速度，至区分为两目标，再减小该目标速度，至两目标无法区分（两目标的起始距离与终止距离之差的绝对值小于距离分辨力）	
角度分辨力	同距离、同RCS的两静止目标，位于雷达法线对称位置	两目标先靠近，至两目标无法区分，再远离，至区分为两目标	

#### 测试连接



## 03 车载毫米波雷达测试方法研究

### 目标识别性测试-水平、垂直探测范围检测

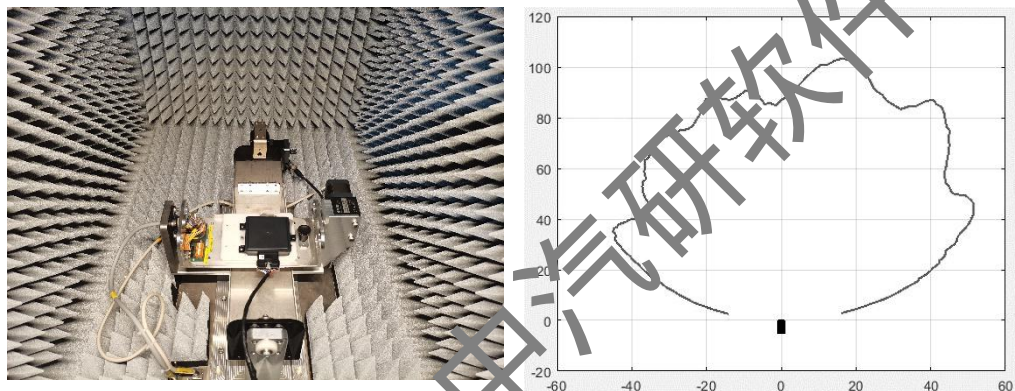
#### 技术要求

雷达在水平方向的实测的探测范围应符合雷达标称值要求

雷达在垂直方向的探测范围应满足系统功能设计要求

#### 测试方法

雷达沿水平方向转动的每个角度，分别统计在不同测试距离位置下，满足距离精度要求的数据，如果有不少于60%以上数据满足精度要求，记录雷达模拟器当前距离值 $R_{mk}$  ( $1 \leq k \leq K$  指的是某角度时，测试的最大探测距离次数)，取 $\text{Max}(R_{mk})$  值为该角度的最大探测距离值；垂直方向方法等同，测法线方向

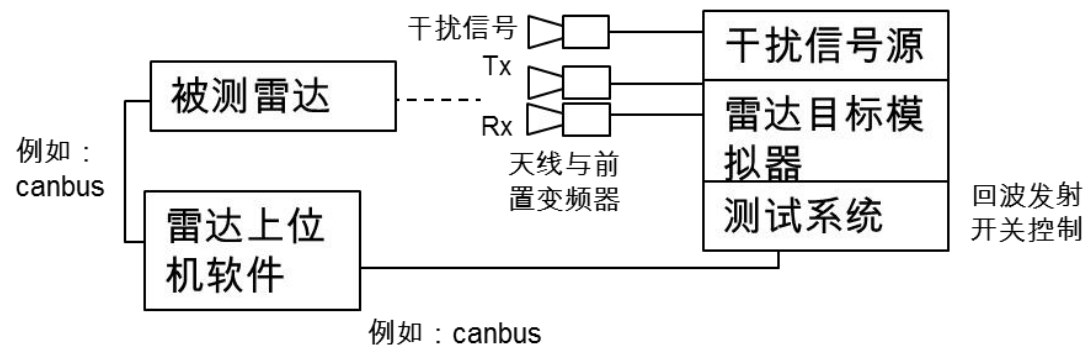


### 目标识别性测试-雷达抗干扰能力

#### 技术要求

信号	带内信号	带外信号	远边带信号
工作频段(GHz)	76-79		
频率(GHz)	$F_c$	$F_c \pm F$	$F_c \pm 3 * F$
DUT接收场强(mV/m)	55	173	173
等效10*米处干扰源E.I.R.P(dBm)	10	20	20
$F_c$ :中心频率, $F$ :信号带宽 (76GHz-79GHz; Max3GHz)。 *: 干扰源在雷达天线口径面形成平面波			

#### 测试连接



### 03 车载毫米波雷达测试研究

#### ■ 目标识别测试

##### 目标识别测试共同点

- RCS大小是影响测试结果前提条件
- 精度筛选过程需确认雷达的帧周期

##### 目标识别测试待注意点

- 对于运动的目标模拟，需收发天线运动同步
- 待测雷达的目标输出，是否带有算法

##### 目标识别测试待解决点

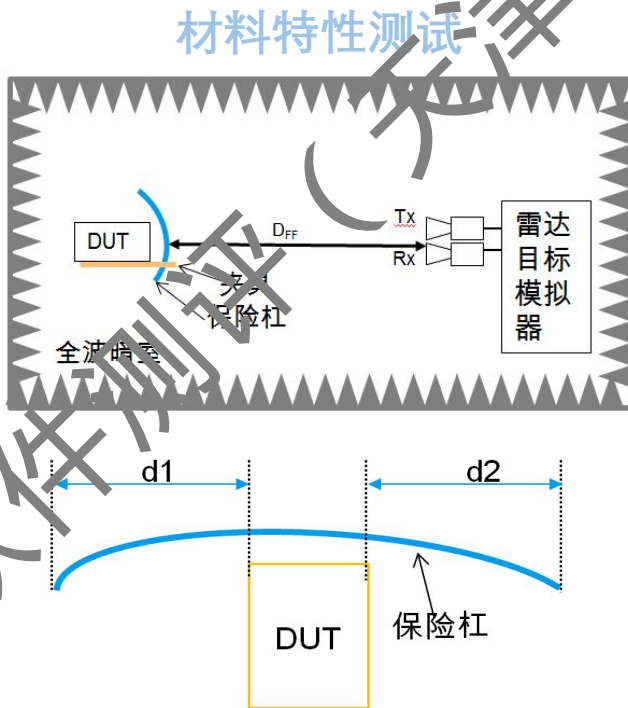
- RCS大小的校准目前通过角反及真实目标的核查确认，需进一步研究
- 速度分辨力的测试方案研究

### 03 车载毫米波雷达测试方法研究

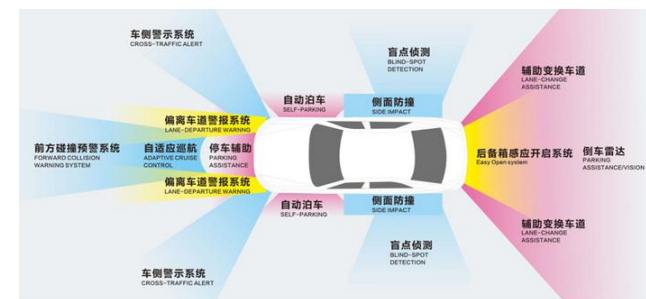
#### ■ 整车测试

##### 测试项目

- 雷达罩测试
- 整车功能测试
- 道路测试
- 虚警率
- 漏警率



##### 整车场景测试



## 03 车载毫米波雷达测试方法研究

### ■ 车规性能测试

电气性能

机械性能

外壳防护性能

耐候性能

化学负荷

电磁兼容

雷达在规定的试验时间内，探测到满足距离、速度、角度精度要求的目标概率应大于90%

电气性能中利用短暂上电时间监控目标正确率

机械性能、耐候性能中利用透波窗口监控复杂环境下的目标正确率

电磁兼容性能测试中应避免模拟器射频前端受干扰信号影响

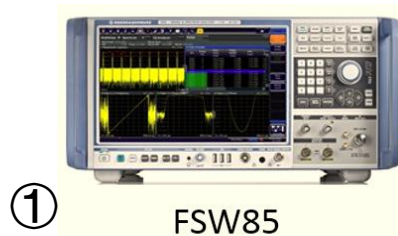




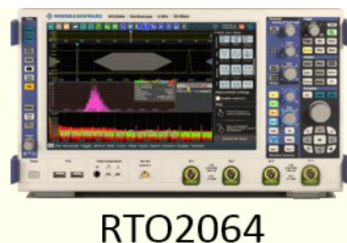
### 03 车载毫米波雷达测试方法研究

#### 测试设备

序号	设备	主要性能
1	频谱分析仪, 示波器	频率范围2Hz-85GHz 分析带宽5GHz
2	雷达目标模拟器 (ARTS)	最多同时模拟4个目标, 静态动态均可模拟
3	射频干扰源	可产生任何频率高达80GHz, 带宽2GHz干扰信号
4	测试暗箱	测试空间高度1米
5	QAR	雷达罩透波损耗及反射性能
6	角度分辨力测试平台	角度分辨力测试
7	雷达目标模拟器 (AREG)	可模拟近距、中距、远距目标
8	暗室	屏蔽效能在1GHz-90GHz范围内, 大于105dB
9	透波温箱	模拟-40°C至95°C湿热环境室可透射电磁波



① FSW85



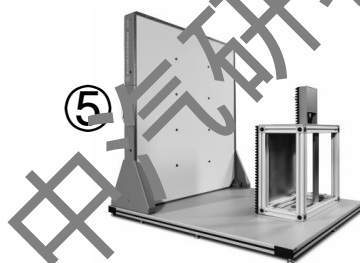
RTO2064



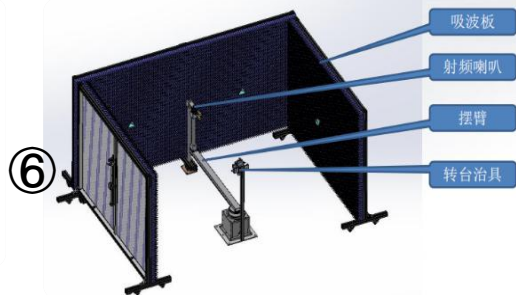
② ARTS



SMW200A



⑤

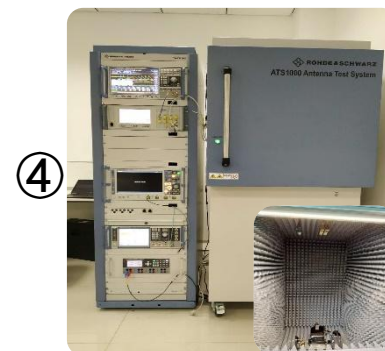


⑥

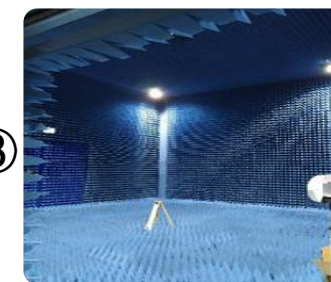


⑦

AREG100A



④



⑧



⑨

# 目录

## Contents

- 01 车载雷达测评技术研究背景
- 02 车载雷达测试标准现状
- 03 车载毫米波雷达测试方法研究
- 04 车载激光雷达测试方法研究**
- 05 车载雷达测评技术展望

上汽研软件测评(天津)有限公司

## 04 车载激光雷达测试方法研究

### 测试项目

#### 点云性能要求

- 测距能力
- 距离精准度
- 角度精度、准度和FOV
- 反射率
- 高反鬼像
- 帧延迟
- 雷达间干扰
- 拖点
- 启动时间
- 漏检角
- 点频及帧频
- .....

依据激光雷达装车应用，  
确定激光雷达点云性能指  
标及测试方法

#### 激光安全要求

- 人眼危害辐射
- 皮肤危害辐射
- 环境载荷

激光的工业化应用，需保  
证对人员、对社会的无害

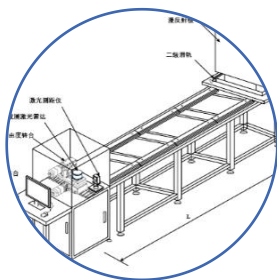
#### 环境要求

- 电气性能
- 机械性能
- 防尘防水性能
- 环境耐候性能
- 化学负荷性能
- 电磁兼容性能

激光雷达上车的可靠性

## 04 车载激光雷达测试方法研究

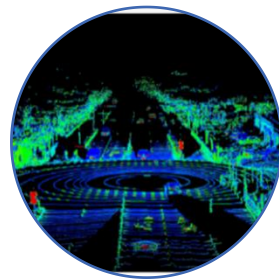
### ■ 点云性能测试



激光雷达目标设置-目标反射板/细杆



激光雷达定位-全站仪(激光测距仪)校准

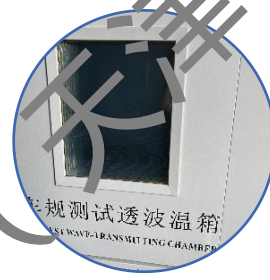


点云分析-点云密度/点云探测概率

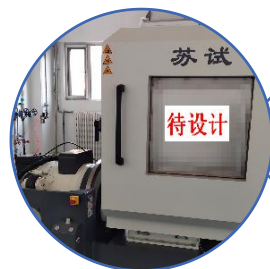


基于激光雷达装车应用场景设计, 探讨最适合的测试路线

### ■ 环境性能测试



在车规环境测试过程中, 以试验室现有目标为探测对象, 观察激光雷达在特殊环境下目标识别的稳定性



设置专用于环境测试过程中的目标探测对象, 实现车规环境与点云性能的结合

目前以第一方案为基础, 研究第二方案的可能存在的方向

# 目录

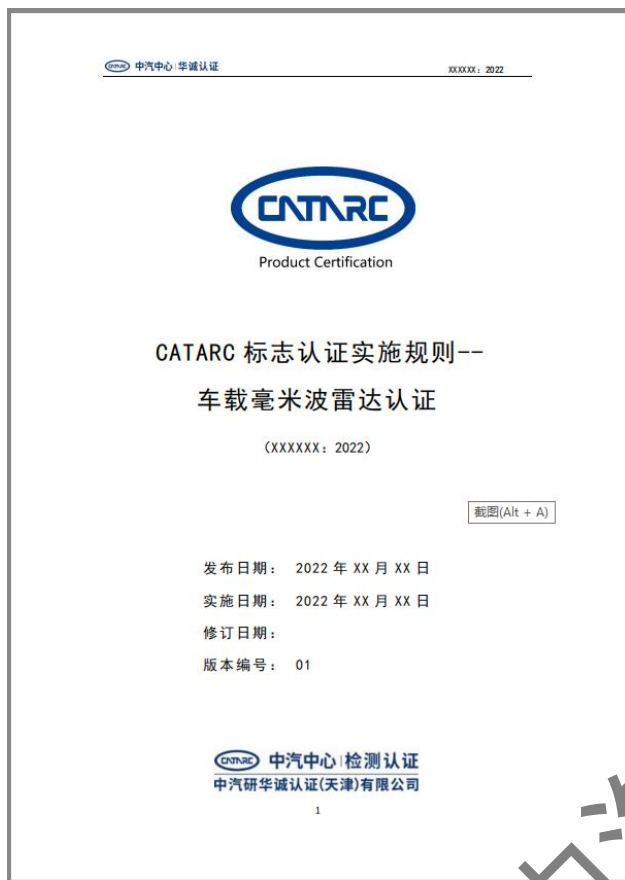
## Contents

- 01 车载雷达测评技术研究背景
- 02 车载雷达测试标准现状
- 03 车载毫米波雷达测试方法研究
- 04 车载激光雷达测试方法研究
- 05 车载雷达测评技术展望**

上汽研软件测评(天津)有限公司

## 05 车载雷达测评技术展望

### ■ 测评认证规程



基于行业应用的共有参数水平

- 以雷达在车上的安装位置及功能进行分类, 设计行业推荐指标;
- 以角雷达、前向雷达等大项进行分类, 设计行业推荐指标

✓ 认证雷达在行业中的技术水平

基于厂商的产品手册参数

- 以厂商产品手册中的参数宣称值为认证指标

✓ 认证雷达产品手册与量产产品的一致性

## 05 车载雷达测评技术展望

### ■ 未来发展

为高级自动驾驶的行驶安全保驾护航





中汽中心 | 检测

中汽研软件测评(天津)有限公司

感谢聆听!



武丹丹

13821025679

wudandan@catarc.ac.cn