

DB4403

深圳市地方标准

DB4403/T XX—XXXX

智能网联汽车 V2X 车载信息交互系统 技术要求

Intelligent and connected vehicles Technical specifications for
vehicular communication systems based on V2X

(送审稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

目 次

前言..... IV

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 缩略语..... 2

5 系统描述..... 3

 5.1 系统简介..... 3

 5.2 工作模式..... 4

6 系统一般要求..... 4

 6.1 功能等级划分..... 4

 6.2 电气性能..... 5

 6.3 环境耐候性..... 6

 6.4 外壳防护..... 7

 6.5 机械性能..... 7

 6.6 耐久性..... 7

 6.7 电磁兼容..... 7

7 功能要求..... 8

 7.1 接入层配置要求..... 8

 7.2 网络层配置要求..... 9

 7.3 应用层要求..... 9

 7.4 通信安全要求..... 30

8 通信性能要求..... 33

 8.1 发射性能要求..... 33

 8.2 接收性能要求..... 33

 8.3 天线增益要求..... 33

9 定位授时要求..... 34

 9.1 定位..... 34

 9.2 定位增强..... 34

 9.3 坐标系统与定位参考点..... 34

 9.4 系统时间..... 35

10 试验..... 35

 10.1 一般要求试验方法..... 35

 10.2 功能试验方法..... 40

DB4403/T XX—XXXX

10.3 通信性能试验方法.....	48
10.4 定位试验方法.....	51
附录 A（规范性） 业务优先级与 PPPP 值之间的映射规则.....	53
附录 B（规范性） 车辆历史轨迹与预测路线参数说明.....	54
附录 C（资料性） 车辆历史轨迹与预测路线参考设计.....	55
C.1 Path History 参考设计.....	55
C.2 Path Prediction 参考设计.....	63
附录 D（资料性） 事件触发 BSM 消息发送.....	68
附录 E（资料性） 拥塞控制机制.....	69
E.1 概述.....	69
E.2 基于 CBR 的拥塞控制.....	69
E.3 基于车辆密度的拥塞控制.....	69
附录 F（规范性） 基本车辆类型.....	74
附录 G（规范性） 三维球坐标系.....	76
G.1 三维球坐标系.....	76
G.2 被测车辆天线坐标位置.....	76
G.3 车辆方位区域.....	77
附录 H（资料性） 耐久性试验.....	78
H.1 耐久性试验.....	78
H.2 耐久性试验计算模型.....	78
附录 I（资料性） 车辆天线性能测试场地要求.....	80
I.1 一般要求.....	80
I.2 开阔场要求.....	80
I.3 全电波暗室要求.....	80
图 1 系统功能模块示意图.....	4
图 2 BSM 中的车辆位置参考点.....	34
图 3 环境试验通用要求示意图.....	36
图 4 试验特殊要求示意图.....	36
图 5 功能试验测试系统连接图.....	44
图 6 功能试验测试系统俯视图.....	44
图 7 功能试验测试系统侧视图.....	45
图 8 道路试验环境布置图.....	45
图 9 被测车辆 LTE-V2X 天线试验布置示意图.....	50
图 10 LTE-V2X 天线系统测试点示意图.....	50
图 C.1 简洁路径和实际路径表述.....	56
图 C.2 误差表征.....	57

图 C.3 $\Delta\theta$ 角表示..... 57

图 C.4 近似半径计算..... 60

图 C.5 方法三的 PH Error 计算方法示意图..... 61

图 C.6 点到直线或线段的最短距离..... 62

图 C.7 车辆预测路径..... 64

图 C.8 离散二阶低通滤波器..... 64

图 C.9 车辆路径半径计算..... 65

图 C.10 差分离散二阶低通滤波器..... 66

图 C.11 车辆预测行驶轨迹置信度计算..... 66

图 D.1 消息发送时刻示意图..... 68

图 D.2 场景 2 消息发送时刻示意图..... 68

图 E.1 参数 $vPERSubInterval$ ， $vPERInterval$ 和 $vTxRateCntrlInt$ 之间的关系..... 69

图 E.2 车辆朝前移动距离..... 71

图 E.3 滑动计算窗..... 72

图 G.1 三维球坐标系..... 76

表 1 工作模式定义..... 4

表 2 直流供电电压范围..... 5

表 3 温湿度范围..... 6

表 4 沿电源线的瞬态传导抗扰要求..... 8

表 5 AID 与 Destination_Layer-2 ID 映射表..... 9

表 6 系统发送 BSM 消息内容..... 10

表 7 数据发送要求..... 10

表 8 AID 取值及条件..... 13

表 9 消息编号数据单元..... 14

表 10 车辆临时 ID 号数据单元..... 14

表 11 时间数据单元..... 14

表 12 时间置信度数据单元..... 15

表 13 车辆位置数据帧..... 15

表 14 定位系统精度数据帧..... 16

表 15 车辆位置综合精度数据帧..... 16

表 16 车辆档位状态数据单元..... 17

表 17 车辆速度数据单元..... 18

表 18 车辆航向角数据单元..... 18

表 19 车辆方向盘转角数据单元..... 19

DB4403/T XX—XXXX

表 20	车速运行状态精度数据帧.....	19
表 21	车辆四轴加速度数据帧.....	21
表 22	车辆制动系统状态数据帧.....	22
表 23	车辆尺寸数据帧.....	24
表 24	车辆基本类型数据单元.....	24
表 25	车辆事件标志数据单元.....	25
表 26	事件触发类 BSM 消息的关键事件列表.....	26
表 27	车辆历史轨迹数据帧.....	27
表 28	车辆预测路线数据帧.....	29
表 29	车身灯光状态数据单元.....	29
表 30	紧急车辆或特殊车辆当前的行驶状态或驾驶行为数据帧.....	30
表 31	SPDU 的字段填充要求.....	31
表 32	线性平均增益限值要求.....	33
表 33	试验环境条件.....	35
表 34	试验电压条件.....	35
表 35	反向电压试验.....	37
表 36	最小测试集-接入层试验内容及试验方法.....	40
表 37	最小测试集-网络层试验内容及试验方法.....	40
表 38	最小测试集-应用层 BSM 发送要求试验方法.....	41
表 39	最小测试集-安全层 SPDU 发送要求试验方法.....	42
表 40	最小测试集-消息优先级、隐私保护等的发送要求试验方法.....	43
表 41	最小测试集-相关字母及符号解释.....	43
表 42	网络分析仪配置参数.....	50
表 A.1	发送链路业务优先级与 PPPP 值之间的映射规则.....	53
表 A.2	接收链路业务优先级与 PPPP 值之间的映射规则.....	53
表 B.1	车辆历史轨迹、预测路线参数说明.....	54
表 C.1	PP 校准参数表.....	66
表 C.2	置信度查找表.....	67
表 E.1	应用层拥塞控制.....	69
表 F.1	基本车辆类型.....	74
表 I.1	全电波暗室场地性能要求.....	80

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。

本文件以推荐性国家标准《基于LTE-V2X直连通信的车载信息交互系统技术要求》草案（2022年8月4日版本）为基础制定，主要用于支持深圳市智能网联汽车准入管理工作的实施。

本文件由深圳市工业和信息化局提出并归口。

本文件起草单位：深圳市工业和信息化局。

智能网联汽车 V2X 车载信息交互系统技术要求

1 范围

本文件规定了智能网联汽车V2X车载信息交互系统的一般要求、接入层配置要求、网络层配置要求、应用层要求、发射性能要求、接收性能要求、天线增益要求、定位授时要求以及试验方法等内容。

本文件适用于M类、N类汽车使用的基于LTE-V2X直连通信方式的车载信息交互系统(以下简称系统)，其他车辆类型可参照执行。

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 18655—2018 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法
GB/T 19951—2019 道路车辆 电气/电子部件对静电放电抗扰性的实验方法
GB/T 20512—2006 GPS接收机导航定位数据输出格式
GB/T 21437.2—2021 道路车辆电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第2部分：沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性
GB/T 21437.3—2021 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第3部分：对耦合到非电源线电瞬态的抗扰性
GB 26149—2017 乘用车轮胎气压监测系统的性能要求和试验方法
GB/T 28046 （所有部分）道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验
GB/T 30038—2013 道路车辆 电气电子设备防护等级（IP代码）
GB/T 33014.9—2020 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性能试验方法 第9部分：便携式发射机模拟法
GB 34660—2017 道路车辆 电磁兼容性能要求和试验方法
YD/T 3707—2020 基于LTE的车联网无线通信技术 网络层技术要求
YD/T 3709—2020 基于LTE的车联网无线通信技术 消息层技术要求
YD/T 3848—2020 基于LTE的车联网无线通信技术 支持LTE-V2X PC5直连通信的车载终端设备测试方法
YD/T 3957—2021 基于LTE的车联网无线通信技术 安全证书管理系统技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

基于长期演进的车用无线通信技术 long term evolution vehicle to everything; LTE-V2X

基于LTE的车辆与其他设备之间进行无线通信的技术，包括终端之间直连通信方式的PC5接口技术，以及终端与基站之间的上/下行链路通信方式的Uu接口技术。

3.2

直连通信 direct communication

无线电设备通过无线电传输方式直接进行通信和信息交换。

注：本文件指通过LTE-V2X PC5接口实现系统与其他设备之间信息交换的通信方式。

3.3

试验电压 test voltage

在试验期间施加到被测设备上的电压。

[来源：GB/T 28046.1—2011，3.5]

3.4

关键事件条件 key event condition

关键事件标志被置位所需的事件条件。

3.5

试验车辆 vehicle under test; VUT target vehicles

搭载满足本文件规定的系统的指定车辆。

3.6

目标车辆 vehicle target; VT

搭载满足本文件规定的系统且正在与试验车辆进行通信的车辆。

4 缩略语

下列略语适用于本文件。

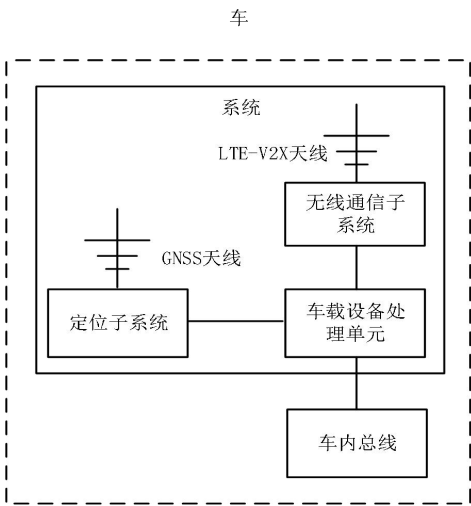
ABS:	制动防抱死系统 (Antilock Brake System)
AID:	应用标识 (Application Identifier)
BDS:	北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System)
BSM:	车辆基本安全消息 (Basic Safety Message)
CBR:	信道忙碌率 (Channel Busy Ratio)
DE:	数据元素 (Data Element)
DF:	数据帧 (Data Frame)
DSM:	专用短程通信短消息 (Dedicated Short Message)
DSMP:	专用短消息协议 (Dedicated Short Message Protocol)
DUT:	被测装置 (Device Under Test)
ESP:	车身电子稳定系统 (Electronic Stability Program)
GALILEO:	伽利略卫星导航系统 (Galileo Navigation Satellite System)
GLONASS:	格洛纳斯卫星导航系统 (Glonass Navigation Satellite System)
GNSS:	全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)
GPS:	全球定位系统 (Global Positioning System)
GST:	GNSS伪距误差统计数据 (GNSS Pseudorange Noise Statistics)
ID:	身份标识号码 (Identity)
LTE:	长期演进技术 (Long Term Evolution)
LTE-V2X:	基于LTE的车用无线通信技术 (LTE Vehicle to Everything)
MAC:	媒体访问控制地址 (Media Access Control Address)
PDCP:	分组数据汇聚协议 (Packet Data Convergence Protocol)
PGK:	临近服务群组密钥 (Prose Group Key)

PH:	历史轨迹 (Path History)
PPPP:	通信数据分组优先级 (ProSe Per-Packet Priority)
PTK:	临近服务业务密钥 (Prose Traffic Key)
RLC:	无线链路控制 (Radio Link Control)
SDU:	业务数据单元 (Service Data Unit)
SPDU:	会话层协议数据单元 (Session Protocol Data Unit)
UM:	无确认模式 (Unacknowledged Mode)
UPER:	非对齐压缩编码规则 (Unaligned Packet Encoding Rules)
U_t :	试验电压 (Test Voltage)
UTC:	世界标准时间 (Coordinated Universal Time)
TCS:	牵引力控制系统 (Traction Control System)
T_{min} :	最低工作温度 (Minimum Operating Temperature)
T_{max} :	最高工作温度 (Maximum Operating Temperature)
$U_{s_{max}}$:	最高工作电压 (Supply Voltage Maximum)
$U_{s_{min}}$:	最低工作电压 (Supply Voltage Minimum)

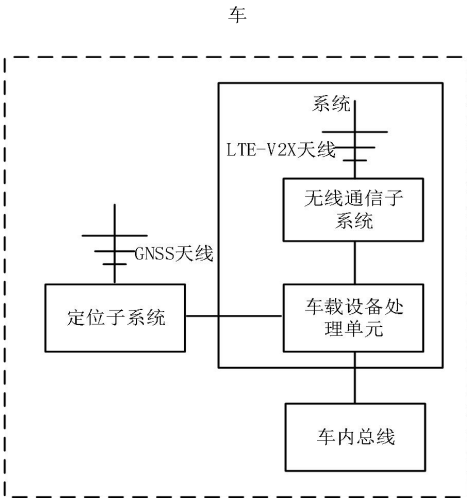
5 系统描述

5.1 系统简介

系统应具备LTE-V2X直连通信功能，并与车内其他系统或电子控制单元相连。两种常用的系统功能模块示意图见图1。



a) 包含定位子系统的系统功能模块示意图



b) 不包含定位子系统的系统功能模块示意图

注：该图只表示了其中两种可能的系统功能模块示意图。

图 1 系统功能模块示意图

5.2 工作模式

按照第10章进行试验时，根据被测装置所处的工作条件，将其工作模式分为6种，见表1。

表 1 工作模式定义

被测装置	工作模式	工作条件
系统	工作模式1	具备LTE-V2X直连通信功能的最小功能模块不上电
	工作模式2	具备LTE-V2X直连通信功能的最小功能模块上电且处于正常通信状态
车辆	工作模式3	车辆不上电，系统不工作
	工作模式4	车辆不上电，系统正常工作
	工作模式5	车辆上电，系统处于正常通信状态
	工作模式6	车辆正常运转，系统处于正常通信状态

注：最小功能模块是指包含图1所示的无线通信子系统的最小零部件。

6 系统一般要求

6.1 功能等级划分

系统的功能等级分为以下5级：

- a) 等级 A：试验中和试验后系统所有功能满足设计要求；
- b) 等级 B：试验中系统所有功能满足设计要求，但允许一个或多个超出规定允差，试验后所有功能自动恢复到规定限值，存储功能符合等级 A；
- c) 等级 C：试验中系统一个或多个功能不满足设计要求，但试验后所有功能自动恢复正常运行；
- d) 等级 D：试验中系统一个或多个功能不满足设计要求，且试验后不能自动恢复正常运行，需对系统进行简单操作重新激活；

e) 等级E：试验中系统一个或多个功能不满足设计要求，且试验后不能自动恢复正常运行，需对系统进行维修或更换。

注：此处的“功能”是指系统对BSM必选数据的发送功能。

6.2 电气性能

6.2.1 直流供电电压

系统的直流供电电压范围见表2，在 $U_{S_{min}} \sim U_{S_{max}}$ 范围内，按照10.1.2.1进行试验，系统功能状态应满足6.1等级A要求。

表2 直流供电电压范围

单位为伏特

额定电压	供电电压范围		
	$U_{S_{min}}$	$U_{S_{max}}$	蓄电池供电电压
12	9	16	12 ± 0.2
24	16	32	24 ± 0.2

6.2.2 过电压

6.2.2.1 ($T_{max} - 20^{\circ}\text{C}$) 条件

按照10.1.2.2进行试验，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

注：对于具有过压保护措施的系统，可在试验后检查系统功能状态。

6.2.2.2 室温条件

按照10.1.2.2进行试验，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

注：对于具有过压保护措施的系统，可在试验后检查系统功能状态。

6.2.3 供电电压缓降和缓升

按照10.1.2.3进行试验，当供电电压由 $U_{S_{min}}$ 降到0 V，然后由0 V升到 $U_{S_{min}}$ 时，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.2.4 叠加交流电压

按照10.1.2.4进行试验，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.2.5 反向电压

按照10.1.2.5进行试验，试验后，系统功能状态应满足6.1等级C的要求。

6.2.6 供电电压瞬态变化

6.2.6.1 供电电压瞬时下降

按照10.1.2.6进行试验，系统功能状态应满足6.1等级B的要求。

6.2.6.2 复位特性

按照10.1.2.6进行试验，电压恢复到 $U_{S_{min}}$ 后，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.2.6.3 启动特性

按照10.1.2.6进行试验，系统功能状态应满足6.1等级C的要求。

6.2.7 参考接地和供电偏移

按照10.1.2.7进行试验，对于多点接地的系统，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.2.8 抛负载

按照10.1.2.8进行试验，系统功能状态应满足6.1等级C的要求。

6.2.9 开路

按照10.1.2.9进行试验，系统功能状态应满足6.1中等级C的要求。

6.2.10 短路保护

按照10.1.2.10进行试验，系统功能状态应满足6.1中等级C的要求。

6.2.11 绝缘电阻

按照10.1.2.11进行试验，系统绝缘电阻应大于10 M Ω 。

6.3 环境耐候性

6.3.1 温湿度范围

系统的贮存环境温湿度范围和工作环境温湿度范围应符合表3的规定。

表 3 温湿度范围

汽车上安装位置	贮存环境温度 ℃	工作环境温度($T_{min} \sim T_{max}$) ℃	工作环境相对湿度 %
乘客舱-太阳直射处 ^a	-40~95	-40~90	25~75
无特殊要求	-40~90	-40~85	25~75
^a 安装在车顶处的智能天线终端产品温湿度范围参照乘客舱内太阳直射处温湿度要求， T_{max} 应不低于 90 ℃。			

6.3.2 低温贮存

按照10.1.3.1进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级C的要求。

6.3.3 低温工作

按照10.1.3.2进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.3.4 高温贮存

按照10.1.3.3进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级C的要求。

6.3.5 高温工作

按照10.1.3.4进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.3.6 温度梯度

按照10.1.3.5进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.3.7 规定转换时间的温度快速变化

按照10.1.3.6进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级C的要求。

6.3.8 规定变化率的温度循环

按照10.1.3.7进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.3.9 湿热循环

按照10.1.3.8进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.3.10 稳态湿热

按照10.1.3.9进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.3.11 耐盐雾

按照10.1.3.10进行试验，检查系统外观，系统应密封完好，标志和标签应清晰可见，系统功能状态应满足6.1等级C的要求。

6.4 外壳防护

按照GB/T 28046.4—2011表A.1的要求，按照10.1.4进行试验，系统功能应满足6.1等级C的要求。

6.5 机械性能

6.5.1 机械振动

按照10.1.5.1进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.5.2 机械冲击

按照10.1.5.2进行试验，不允许损坏，系统功能状态应满足6.1等级A的要求。

6.5.3 自由跌落

按照10.1.5.3进行试验，不允许有隐形损坏，在不影响系统性能的情况下允许外壳有微小损坏，系统功能状态应满足6.1中等级C的要求。

6.6 耐久性

按照10.1.6进行试验，系统耐久性要求参照附录H.1，耐久性计算模型参照附录H.2。

6.7 电磁兼容

6.7.1 传导发射

按照10.1.7.1进行试验，系统应符合GB/T 18655—2018中表5和表6等级3的要求。

6.7.2 辐射发射

按照10.1.7.2进行试验，系统应符合GB/T 18655—2018中表7等级3的要求。

6.7.3 对电磁辐射的抗扰

按照10.1.7.3进行试验，系统应达到6.1等级A的要求。

6.7.4 对便携式发射机的抗扰

按照10.1.7.4进行试验，系统应达到6.1等级A的要求。

6.7.5 沿电源线的瞬态传导抗扰

按照10.1.7.5进行试验，系统应符合表4的要求。

表 4 沿电源线的瞬态传导抗扰要求

试验脉冲	抗扰试验等级	系统的功能等级
1	III	C
2a	III	B
2b	III	C
3a/3b	III	A
注：抗扰试验等级定义参见GB/T 21437.2—2021的附录A。		

6.7.6 除电源线外的导线通过容性和感性耦合的电瞬态抗扰

按照10.1.7.6进行试验，系统应达到6.1等级A的要求。

6.7.7 对静电放电产生的电骚扰抗扰

6.7.7.1 系统不通电

按照10.1.7.7.1进行试验，试验后所有功能应正常。

6.7.7.2 系统通电

按照10.1.7.7.2进行试验，系统应满足6.1等级A的要求。

7 功能要求

7.1 接入层配置要求

7.1.1 PC5 接口通用要求

若车辆预配置了 syncOffsetIndicator1-r14 、 syncOffsetIndicator2-r14 或 syncOffsetIndicator3-r14，这三个参数不应生效。

注：预配置参数指的是在没有网络辅助的情况下，PC5无线通信子系统通信所需要的参数。

7.1.2 PC5 接口发送端要求

7.1.2.1 系统应采用广播发送方式发送业务数据。

7.1.2.2 系统应支持采用传输模式 4 进行数据发送。在发送业务数据时，宜采用感知加半持续调度的资源选择方式。

注：传输模式4指终端（用户设备）自主资源选择，终端通过侦听的方式感知占用PC5资源。

7.1.2.3 PDCP 头的 3 比特 SDU 类型应设为 011，应采用 16 比特的 PDCP SN。PGK 标识、PTK 标识和 PDCP SN 应设为 0。

7.1.2.4 系统在使用 PC5 发送业务数据时应采用 RLC UM，并采用 5 比特的 RLC SN。

7.1.2.5 MAC 头的 4 比特 V 域应设为 0011。

7.2 网络层配置要求

7.2.1 PC5 接口发送端要求

数据包发送行为应符合如下要求：

- a) 针对 YD/T 3707—2020 表 1 定义的 DSMP 数据帧格式，DSMP 版本填写为 0，预留域填写为全 0；
- b) 适配层在 [0x010001, 0xFFFFFE] 范围内随机产生并维持 24 比特 Source_Layer-2 ID。若 ADAPTATION-LAYER.request 中出现 Application layer ID changed 参数,适配层在 [0x010001, 0xFFFFFE] 范围内重新随机产生并维持 24 比特 Source_Layer-2 ID。适配层在数据包发送时将维持的 24 比特 Source_Layer-2 ID 指示给接入层；
- c) 适配层按照表 5 将 AID 参数映射为 24 比特 Destination_Layer-2 ID 并指示给接入层；
- d) 适配层根据表 A.1，将发送数据包的 Priority 参数映射为 PPPP 并指示给接入层；
- e) 当上层提供 Traffic Period 参数时，网络层将其指示给接入层。

表 5 AID 与 Destination_Layer-2 ID 映射表

ApplicationIdentifier参数取值 (p-encoding的十六进制)	Destination_Layer-2 ID参数取值 (十六进制)
0p6f	0x000001
0p70	0x000002
0p71	0x000003
0p72	0x000004

7.2.2 PC5 接口接收端要求

数据包接收行为应满足如下要求：

- a) 适配层根据表 A.2，将接收数据包的 PPPP 映射为 Priority 并指示给上层；
- b) 当下层提供 CBR 或 Max data rate 参数时，网络层将其指示给上层。

7.3 应用层要求

7.3.1 BSM 消息发送要求

7.3.1.1 消息内容

系统发送的数据结构及编码应符合YD/T 3709—2020。消息集由帧格式和帧中打包的消息体组成。当系统接收BSM消息时，系统应能忽略除表7之外的数据元素。

注：本要求确保车辆安全通信不因过大的消息规模导致信道拥塞。

BSM消息内容如表6，BSM消息中的数据帧及数据元素定义见7.3.2。

表 6 系统发送 BSM 消息内容

BSM 内容	定义
DE_MsgCount	消息编号
id	车辆临时 ID 号
DE_Dsecond	时间
DE_TimeConfidence	时间置信度
DF_Position3D	车辆位置
DF_PositionalAccuracy	定位系统精度
DF_PositionConfidenceSet	车辆位置综合精度
DE_TransmissionState	车辆档位状态
DE_Speed	车辆速度
DE_Heading	车辆航向角
DE_SteeringWheelAngle	车辆方向盘转角
DF_MotionConfidenceSet	车辆运行状态精度
DF_AccelerationSet4Way	车辆四轴加速度
DF_BrakeSystemStatus	车辆制动系统状态
DF_VehicleSize	车辆尺寸
DF_VehicleClassification	车辆的基本类型及其扩展类型
DF_VehicleSafetyExtensions	车辆安全辅助信息集合
DF_VehicleEmergencyExtensions	紧急车辆当前状态的集合

7.3.1.2 数据发送准则

当满足表7规定的的数据发送要求时，系统应发送BSM；当必选字段或满足发送条件的条件性必选字段无法进行填充且该字段不存在无效值时，系统应停止发送BSM，直到系统重新满足表7规定的的数据发送要求时再次发送BSM。

数据发送要求规定了四种类型数据单元的发送要求：

- 必选：系统应发送该数据；
- 条件性必选：当条件满足时，系统应发送该数据，具体条件见 7.3.2；
- 可选：系统可自主选择是否发送该数据；
- 不选：系统不应发送该数据。

表 7 数据发送要求

数据单元/字段	数据单元类型 必选/条件性必选/可选	内容所在章节
DE_MsgCount	必选	7.3.2.2
id	必选	7.3.2.3
DE_DSecond	必选	7.3.2.4
DE_TimeConfidence	可选	7.3.2.5

表 7 数据发送要求（续）

数据单元/字段	数据单元类型 必选/条件性必选/可选	内容所在章节
DF_Position3D（必选）		
>DE_Latitude	必选	7.3.2.6
>DE_Longitude	必选	7.3.2.6
>DE_Elevation	可选	7.3.2.6
DF_PositionalAccuracy（必选）		
>DE_SemiMajorAxisAccuracy	必选	7.3.2.7
>DE_SemiMinorAxisAccuracy	必选	7.3.2.7
>DE_SemiMajorAxisOrientation	必选	7.3.2.7
DF_PositionConfidenceSet（必选）		
>DE_PositionConfidence	必选	7.3.2.8
>DE_ElevationConfidence	可选	7.3.2.8
DE_TransmissionState	必选	7.3.2.9
DE_Speed	必选	7.3.2.10
DE_Heading	必选	7.3.2.11
DE_SteeringWheelAngle	必选	7.3.2.12
DF_MotionConfidenceSet（可选）		
>DE_SpeedConfidence	可选	7.3.2.13
>DE_HeadingConfidence	可选	7.3.2.13
>DE_SteeringWheelAngleConfidence	可选	7.3.2.13
DF_AccelerationSet4Way（必选）		
>DE_Acceleration(Longitudinal)	必选	7.3.2.14
>DE_Acceleration(Lateral)	必选	7.3.2.14
>DE_VerticalAcceleration	必选	7.3.2.14
>DE_YawRate	必选	7.3.2.14
DF_BrakeSystemStatus(必选)		
>DE_BrakePedalStatus	必选	7.3.2.15
>DE_BrakeAppliedStatus	必选	7.3.2.15
>DE_TractionControlStatus	必选	7.3.2.15
>DE_AntiLockBrakeStatus	可选	7.3.2.15
>DE_StabilityControlStatus	可选	7.3.2.15
>DE_BrakeBoostApplied	可选	7.3.2.15
>DE_AuxiliaryBrakeStatus	可选	7.3.2.15
DF_VehicleSize(必选)		
>DE_VehicleWidth	必选	7.3.2.16
>DE_VehicleLength	必选	7.3.2.16
>DE_VehicleHeight	可选	7.3.2.16
DF_VehicleClassification(必选)		

表 7 数据发送要求（续）

数据单元/字段	数据单元类型 必选/条件性必选/可选	内容所在章节
>DE_BasicVehicleClass	必选	7.3.2.17
>DE_FuelType	不选	
DF_VehicleSafetyExtensions（必选）		
>DE_VehicleEventFlags	条件性必选	7.3.2.18.2
>DF_PathHistory	条件性必选	7.3.2.18.3
>>DF_FullPositionVector	不选	
>>DE_GNSSstatus	可选	7.3.2.18.3
>>DF_PathHistoryPointList	必选	7.3.2.18.3
>>>DF_PathHistoryPoint	必选	7.3.2.18.3
>>>>DF_PositionOffsetLLV	必选	7.3.2.18.3
>>>>>DF_PositionOffsetLL	必选	7.3.2.18.3
>>>>>DF_VerticalOffset	可选	7.3.2.18.3
>>>>DE_TimeOffset	必选	7.3.2.18.3
>>>>DE_Speed	可选	7.3.2.18.3
>>>>DF_PositionConfidenceSet	不选	
>>>>DE_CoarseHeading	可选	7.3.2.18.3
>DF_PathPrediction	必选	7.3.2.18.4
>>DE_RadiusOfCurvature	必选	7.3.2.18.4
>>DE_Confidence	必选	7.3.2.18.4
>DE_ExteriorLights	条件性必选	7.3.2.18.5
DF_VehicleEmergencyExtensions（条件性必选）		
>DE_ResponseType	条件性必选	7.3.2.19
>DE_SirenInUse	条件性必选	7.3.2.19
>DE_LightBarInUse	条件性必选	7.3.2.19
注1： “>”表示处于BSM消息中的第一个层级，“>>”表示处于BSM消息中的第二个层级，依此类推。 注2： YD/T 3709—2020中存在的platNo、DE_FuelType（燃料动力类型）、DF_FullPositionVector（历史轨迹完整参考点信息）以及车辆历史轨迹（DF_PathHistory）包含的DF_PositionConfidenceSet不进行发送。		

7.3.1.3 拥塞控制与消息生成周期

系统发送的BSM分为两类，一类为常规BSM（即不携带表26列举的关键事件标志），另一类为事件触发BSM（即携带表26列举的关键事件标志）。

常规BSM应为周期性生成，默认生成周期应为100 ms。系统每次正常工作后发送的第一个常规BSM，应在满足数据发送准则后的0 ms～100 ms内生成。

事件触发BSM应在某个触发条件首次满足后立刻生成，并取消原BSM的发送，该条BSM应包含截止到数据封装时刻的所有有效关键事件标志。在触发条件有效期间，应以上述首个事件触发BSM的生成时刻为起点，持续按照100ms的生成周期生成事件触发BSM。在一个具体触发条件无效后，应取消BSM中携带的相应关键事件标志。

注：事件触发BSM的发送示例参照附录D。
系统的应用层应支持对常规BSM进行拥塞控制，拥塞控制方案参照附录E。

7.3.1.4 优先级（PPPP）设置

当发送常规BSM（即不携带关键事件标志）时，系统应将BSM的Priority设置为112。
当发送事件触发BSM（即携带关键事件标志）时，系统应将BSM的Priority设置为208。
注：根据YD/T 3707—2020表D.1，当发送端的Priority取值为112时，对应的PPPP为5；当发送端的Priority取值为208时，对应的PPPP为2。

7.3.1.5 包延迟预算（PDB）设置

对于常规BSM的传输，PDB宜设置为100 ms；对于事件触发BSM的传输，PDB宜设置为50 ms。

7.3.1.6 调用底层传输服务

系统应调用网络层DSM.request原语发送BSM，并满足如下要求：

- a) 应使用广播方式发送；
- b) 应按照表 8 设置 AID 参数；
- c) 应设置 Network ProtocolType 参数为 4；
- d) 应按照 7.3.1.4 设置 Priority 参数；
- e) 可设置 Traffic Period 参数为应用层当前的 BSM 生成周期；
- f) 按照 7.4.3.2 要求更换消息证书时，应设置 Application layer ID changed 参数。

表 8 AID 取值及条件

ApplicationIdentifier 参数值 (p-encoding 的十六进制)	ApplicationIdentifier 参数值 (十进制)	条件
0p6f	111	普通车辆发送的常规 BSM
0p70	112	普通车辆发送的关键事件触发 BSM
0p71	113	当紧急车辆满足 7.3.2.19 c) 时发送的常 规 BSM
0p72	114	当紧急车辆满足 7.3.2.19 c) 时发送的关 键事件触发 BSM

7.3.2 数据单元

7.3.2.1 概述

系统应从车辆数据总线或其他数据源获取：车辆速度（DE_Speed）、档位信息（DE_TransmissionState）、车辆方向盘转角（DE_SteeringWheelAngle）、车身周围的车灯状态（DE_Exteriorlights）、车辆事件标志（DE_VehicleEventFlags）、车辆四轴加速度（DF_AccelerationSet4Way）、车辆制动系统状态（DF_BrakeSystemStatus）。

7.3.2.2 消息编号

当系统启动后发送第一条BSM时，系统应将DE_MsgCount初始化为一个范围为[0, 127]的随机整数，DE_MsgCount的具体描述见表9。

如果用于签名BSM的证书自从发送上一条BSM之后有变化，则系统在发送下一条BSM之前应将DE_MsgCount重新初始化为一个随机整数，其范围为[0, 127]。

如果用于签名BSM的证书自从发送上一条BSM之后无变化，则系统应将DE_MsgCount设置为发送前一条BSM所用的值加1，若编号达到127，则下一个BSM中的MsgCount值回到0。

表 9 消息编号数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_MsgCount	消息编号	必选	[0, 127]	发送方为自己发送的同类消息依次进行编号	1	—	否	—	—

7.3.2.3 车辆临时 ID 号

对于系统启动后生成的第一条BSM，系统应将id初始化为8位字符串类型的随机值。

如果用于签名BSM的证书自从发送最近一条BSM之后有变化，则系统在发送下一条BSM之前应将id重新初始化为一个8位字符串类型的随机值。

如果证书无变化，则系统不应改变id。

注：当消息证书有变化时，DE_MsgCount、id、Source_Layer-2 ID均被随机初始化。

表 10 车辆临时 ID 号数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
id	车辆临时 ID 号	必选	8 位字符串	7.3.2.3 文字描述	—	—	否	—	—

7.3.2.4 时间

系统应以UTC作为参考时间设置DE_DSecond。

DE_DSecond的数值所表示的时间，为本条BSM中包含的车辆位置数据（DF_Position3D）所对应的时刻。DE_DSecond的具体描述见表11。

DE_DSecond的数值所表示的时间与本条BSM的生成时间之间的偏差应小于150 ms。

注：上述要求使得BSM不包含早于生成该BSM的UTC减去150 ms时间点的信息。

表 11 时间数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_DSecond	1 min 内的毫秒级时刻	必选	[0 , 59999]	7.3.2.4 文字描述	1ms	7.3.2.4 第三段文字描述	否	—	—

7.3.2.5 时间置信度

系统应将DE_TimeConfidence设置为与DE_Dsecond所表示的时间相对应的95置信水平的时间精度。

表 12 时间置信度数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_TimeConfidence	时间置信度	可选	数值 0 到 39，具体数值定义参照 YD/T 3709—2020 的 5.2.4.74	数值描述了 95%置信水平的时间精度	—	7.3.2.5 文字描述	否	—	—

7.3.2.6 车辆位置

系统应将定位子系统输出的车辆纬度（DE_Latitude）和经度（DE_Longitude）设置为GCJ-02坐标系中与其对应的2D水平位置参照。车辆定位应符合9.1、9.3节要求。

DF_Position3D包含经度数值（DE_Latitude）、纬度数值（DE_Longitude）和高度（DE_Elevation）。数据帧DF_Position3D的各个数据单元描述见表13。

表 13 车辆位置数据帧

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_Latitude	纬度数值	必选	[-9000000000, 9000000000]	北纬为正，南纬为负；填充值在正负 90° 范围之内	10 ⁻⁷	—	否	—	—
DE_Longitude	经度数值	必选	[-1799999999, 1800000000]	东经为正，西经为负；填充值在正负 180° 范围之内	10 ⁻⁷	—	否	—	—
DE_Elevation	车辆海拔高程	可选	[-4096, 61439]	预留	—	—	否	—	—

7.3.2.7 定位系统精度

系统应使用DF_PositionalAccuracy来表示车辆位置的实际精度。

DF_PositionalAccuracy 应能提供 DE_SemiMajorAxisAccuracy、DE_SemiMinorAxisAccuracy、DE_SemiMajorAxisOrientation 三个数据元素，其具体描述见表 14。这三个数据元素至少应从 GNSS 接

收机输出的 NMEA0183 中的 GST 消息中获得。GST 消息应符合 GB/T 20512—2006 中 4.4.3.14 的要求。

表 14 定位系统精度数据帧

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_SemiMajorAxisAccuracy	定位系统精度，表示误差椭圆的长半轴	必选	[0, 255]	表示范围 0 m~12.7 m；数值等于或大于 12.7 m，应填写为 254	0.05 m	—	是	255	无法取得信号、系统启动、通信异常、未安装等情况
DE_SemiMinorAxisAccuracy	定位系统精度，表示误差椭圆的短半轴	必选	[0, 255]	表示范围 0 m~12.7 m；数值等于或大于 12.7 m，应填写为 254	0.05 m	—	是	255	无法取得信号、系统启动、通信异常、未安装等情况
DE_SemiMajorAxisOrientation	定位系统精度，表示误差椭圆的长轴和正北方向的夹角	必选	[0, 65535]	表示相对正北方向，0° ~ 359.9945078786°	0.005493 2479°	—	是	65535	无法取得信号、系统启动、通信异常、未安装等情况

7.3.2.8 车辆位置综合精度

系统应以综合定位精度描述定位置信区间与定位能力。同时，也应以综合定位精度指示插件类型。

表 15 车辆位置综合精度数据帧

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_PositionConfidence	车辆位置综合精度、定位插件类型	必选	4 位数值 B' 0000 到 B' 1111	(0) B' 0000: 普通插件 (1) B' 0001: 其他插件 (2) - (15) 预留	—	—	否	—	—

表 15 车辆位置综合精度数据帧（续）

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_ElevationConfidence	其数值描述了 95%置信水平的车辆高程精度。该精度理论上只考虑了当前高程传感器的误差。但当系统能够自动检测错误并修正时，相应的精度数值也应提高。	可选	4 位数值 B' 0000 到 B' 1111	(0) 未装备/未知/不可用 (1) B' 0001: 500 m (2) B' 0010: 200 m (3) B' 0011: 100 m (4) B' 0100: 50 m (5) B' 0101: 20 m (6) B' 0110: 10 m (7) B' 0111: 5 m (9) B' 1001: 1 m (10) B' 1010: 0.5 m (11) B' 1011: 0.2 m (12) B' 1100: 0.1 m (13) B' 1101: 0.05 m (14) B' 1110: 0.02 m (15) B' 1111: 0.01 m	—	—	否	—	—

7.3.2.9 车辆档位状态

DE_TransmissionState 应能正确反映车辆的挡位状态。
前进挡（forwardGears）包含自动挡车辆前进挡、手动档车辆用于前进的各挡位等。

表 16 车辆档位状态数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_TransmissionState	车辆挡位信息	必选	数值 0、1、2、3、4、5、6、7	(0) Neutral: 空档 (1) Park: 停止档 (2) ForwardGears: 前进档 (3) ReverseGears: 倒档 (4) ~ (6) 为保留位 (7) Unavailable: 无效值	—	—	是	7	无法取得信号、系统启动、通信异常、未安装等情况

7.3.2.10 车辆速度

系统发出的BSM中的速度信息应与输入系统的速度信息保持一致。车辆速度数据单元具体描述见表17。

表 17 车辆速度数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_Speed	车辆速度	必选	[0, 8191]	表示车速，单位 m/s	0.02 m/s	±0.28 m/s (68%置信度)	否	—	—

7.3.2.11 车辆航向角

DE_Heading描述车辆运动方向，其值以正北方向为0° 按顺时针方向增加，具体描述见表18。车辆航向角应满足以下要求：

- a) 当车速不超过 45km/h 时，DE_Heading 相对车辆的实际航向角的差距在 3° 之内（68%置信度）；
- a) 当车速超过 45km/h 时，DE_Heading 相对车辆的实际航向角的差距在 2° 之内（68%置信度）；
- b) 当车速下降至低于 4km/h 时，系统将 DE_Heading 的值锁存为当车速高于 4km/h 时的上一个已知的航向角值；
- c) 当车速高于 5 km/h 时，系统将 DE_Heading 的值解除锁存；
- d) 在系统关闭时，系统将最后一个已知的车辆航向角值存储在非易失性存储器中。在系统再次启动时，系统将从非易失性存储器中读取车辆航向角值。

表 18 车辆航向角数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_Heading	车辆航向角	必选	[0, 28800)	车辆运动方向与正北方向的顺时针夹角，表示范围 0° 到 359.9875°	0.0125°	7.3.2.11 描述部分	否	—	—

7.3.2.12 车辆方向盘转角

方向盘转角在-189° 到189° ，该字段数值的1.5倍对应方向盘实际转动角度。

表 19 车辆方向盘转角数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_SteeringWheelAngle	车辆方向盘转角	必选	[-126, 127]	方向盘转角。向右为正，向左为负。表示范围-189° 到 189° 方向盘转角超过 189°，将其值置为 126 方向盘转角小于-189°，将其值置为-126	1.5°	—	是	127	无法取得信号、系统启动、通信异常、未安装等情况

7.3.2.13 车辆运行状态精度

包括车速精度（DE_SpeedConfidence）、航向精度（DE_HeadingConfidence）和方向盘转角精度（DE_SteeringWheelAngleConfidence）。数据帧DF_MotionConfidenceSet的各个数据单元描述见表20。

表 20 车速运行状态精度数据帧

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_SpeedConfidence	数值描述了95置信水平的车速精度	可选	3 位数值 B' 000 到 B' 111	该精度理论上只考虑了当前车速传感器的误差。但当系统能够自动检测错误并修正时，相应的精度数值也应该提高。 (0) B' 000: 系统未装 备/未知/不可用 (1) B' 001: 100 m/s (2) B' 010: 10 m/s (3) B' 011: 5 m/s (4) B' 100: 1 m/s (5) B' 101: 0.1 m/s (6) B' 110: 0.05 m/s (7) B' 111: 0.01 m/s	—	—	否	—	—

表 20 车速运行状态精度数据帧（续）

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_HeadingConfidence	数值描述了95%置信水平的车辆航向精度	可选	3 位数值 B' 000 到 B' 111	该精度理论上只考虑了当前航向传感器的误差。但当系统能够自动检测错误并修正时，相应的精度数值也应该提高。 (0) B' 000: 系统未装备/未知/不可用 (1) B' 001: 10° (2) B' 010: 5° (3) B' 011: 1° (4) B' 100: 0.1° (5) B' 101: 0.05° (6) B' 110: 0.01° (7) B' 111: 0.0125°	—	—	否	—	—
DE_SteeringWheelAngleConfidence	数值描述了95%置信水平的方向盘转角精度	可选	2 位数值 B' 00 到 B' 11	该精度理论上只考虑了当前方向盘转角传感器的误差，但当系统能够自动检测错误并修正时，相应的精度数值也应该提高 (0) B' 00: 系统未装备/未知/不可用 (1) B' 01: 2° (2) B' 10: 1° (3) B' 11: 0.02°	—	—	否	—	—

7.3.2.14 车辆四轴加速度

DF_AccelerationSet4Way包含车辆加速度（纵向）（DE_Acceleration (Longitudinal)）、车辆加速度（横向）（DE_Acceleration (Lateral)）、车辆加速度（垂直）（DE_Acceleration (Vertical)）和车辆横摆角速度（DE_YawRate）。

此数据帧的各数据单元描述见表21。

表 21 车辆四轴加速度数据帧

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_Acceleration(Longitudinal)	车辆纵向加速度	必选	[-2000, 2001]	车头方向为正，车头反向为负 加速度超过20 m/s ² ，将其值置为2000 加速度小于-20 m/s ² ，将其值置为-2000	0.01 m/s ²	车辆纵向加速度误差在±0.3 m/s ² （68%置信度）	是	2001	无法取得信号、系统启动、通信异常、未安装等情况
DE_Acceleration(Lateral)	车辆横向加速度	必选	[-2000, 2001]	向右加速为正，向左加速为负 加速度超过20 m/s ² ，将其值置为2000 加速度小于-20 m/s ² ，将其值置为-2000	0.01 m/s ²	车辆横向加速度误差在±0.3 m/s ² （68%置信度）	是	2001	无法取得信号、系统启动、通信异常、未安装等情况
DE_VerticalAcceleration	垂直方向的加速度大小	必选	[-127, 127]	Z 轴方向竖直向下，沿着 Z 轴方向为正，反向为负。当车辆纵向无加速运动时，取值为 0 加速度大于等于 25.4 m/s ² ，将其值置为 127 加速度小于等于 -25.2 m/s ² ，将其值置为 -126	0.2 m/s ²	—	是	-127	无法取得信号、系统启动、通信异常、未安装等情况
DE_YawRate	车辆横摆角速度	必选	[-32767, 32767]	车辆绕垂直轴的偏转，顺时针旋转为正，逆时针为负	0.01 °/s	车辆横摆角速度误差在±0.5 °/s（68%置信度）	否	—	—

7.3.2.15 车辆制动系统状态

当可以获得自车制动系统状态时，系统应将车辆总线用作DF_BrakeSystemStatus的数据来源。数据帧DF_BrakeSystemStatus的各个数据单元描述见表22。

对于DF_BrakeSystemStatus中的数据元素DE_BrakeAppliedStatus，其填充规则应满足如下要求：

- a) 当各个车轮的制动状态可用时，系统基于相应车轮的制动状态将 wheelBrakes 域的各个比特设置为 1 (= true) 或 0 (= false), 并将 wheelBrakes 域的 unavailable 对应比特设置为 0 (=false)；
- b) 如果仅车辆制动状态指示可用（单个车轮状态不可用），系统基于车辆的制动状态将 wheelBrakes 域中四个车轮对应比特统一设置为 1 (= true) 或 0 (= false), 并将 wheelBrakes 域的 unavailable 对应比特设置为 0 (=false)；
- c) 当无可用的制动状态时，系统将 unavailable 对应比特设置为 1 (= true)。
- 注：车轮的制动状态触发时将 wheelBrakes 域的各个比特设置为 1 (= true)，不触发时设置为 0(= true)。

表 22 车辆制动系统状态数据帧

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_BrakePedalStatus	指示制动踏板状态是否处在被踩下状态	必选	数值 0、1、2	(0)：未装备/未知/不可用 (1)：制动踏板未踩下 (2)：制动踏板踩下	—	—	否	—	—
DE_BrakeAppliedStatus	四轮分别的制动状态	必选	5位数值 B'00000 到 B'11111	7.3.2.15 第二段描述。 将车辆的轮胎分为左前、右前、左后、右后四组。 当车辆进行制动时，该数值分别表示四组轮胎的制动情况。当车辆某一组轮胎由多个组成时，将其状态等效为一个数值。以 5 比特表示四组轮状态 (0)：未装备/未知/不可用 (1)：左前轮 (2)：左后轮 (3)：右前轮 (4)：右后轮	—	—	否	—	—
DE_TractionControlStatus	定义 TCS 实时状态	必选	2位数值 B'00 到 B'11	(0)B'00：系统未装备/未知/不可用 (1) B'01：系统处于关闭状态 (2) B'10：系统处于开启状态，但未触发 (3) B'11：系统被触发，处于作用状态	—	—	否	—	—

表 22 车辆制动系统状态数据帧（续）

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精度要求	是否可以设置为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_AntiLockBrakeStatus	定义 ABS 状态	可选	2 位数值 B' 00 到 B' 11	(0) B' 00: 系统未装备/未知/不可用 (1) B' 01: 系统处于关闭状态 (2) B' 10: 系统处于开启状态, 但未触发 (3) B' 11: 系统被触发, 处于作用状态	—	—	否	—	—
DE_StabilityControlStatus	车辆动态稳定控制系统状态	可选	2 位数值 B' 00 到 B' 11	(0) B' 00: 系统未装备/未知/不可用 (1) B' 01: 系统处于关闭状态 (2) B' 10: 系统处于开启状态, 但未触发 (3) B' 11: 系统被触发, 处于作用状态	—	—	否	—	—
DE_BrakeBoostApplied	通过制动助力系统的状态, 指示车辆紧急制动状态	可选	3 种数值 B' 00 到 B' 10	(0) B' 00: 未装备/未知/不可用 (1) B' 01: 制动助力系统关闭 (2) B' 10: 制动助力系统开启	—	—	否	—	—
DE_AuxiliaryBrakeStatus	指示制动辅助系统状态 (通常为手刹)	可选	2 位数值 B' 00 到 B' 11	(0) B' 00: 未装备/未知/不可用 (1) B' 01: 制动辅助系统关闭 (2) B' 10: 制动辅助系统开启 (3) B' 11: 保留位	—	—	否	—	—

7.3.2.16 车辆尺寸

DF_VehicleSize包含车辆车身宽度 (DE_VehicleWidth)、车辆车身长度 (DE_VehicleLength) 和车辆车身高度 (DE_VehicleHeight)。

数据帧DF_VehicleSize的各个数据单元描述见表23。

注：附录F中，车辆类型编号25的半挂牵引车，该字段仅描述驱动车辆，不包含挂车部分。车辆类型编号59的铰接客车，该字段仅描述车辆未弯折状态下的车辆尺寸。

表 23 车辆尺寸数据帧

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_VehicleWidth	车辆车身宽度	必选	[0, 1023]	可描述的最大车身宽度为 10.23 m	0.01 m	0.2 m	否	—	—
DE_VehicleLength	车辆车身长度	必选	[0, 4095]	可描述的最长车身长度为 40.95 m	0.01 m	0.2 m	否	—	—
DE_VehicleHeight	车辆车身高度	可选	[0, 127]	可描述的车身最高高度为 6.35 m	0.05 m	0.2 m	否	—	—

7.3.2.17 车辆的基本类型及其扩展类型

定义车辆分类，包含车辆基本类型，数据单元描述见表24，车辆基本类型及编号应符合附录F的规定。

表 24 车辆基本类型数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_BasicVehicleClass	车辆基本类型	必选	[0, 255]	发送对应车辆类型编号，“0”表示未装备/未知/不可用	—	—	否	—	—

7.3.2.18 车辆安全辅助信息集合

7.3.2.18.1 车辆安全辅助信息集合数据帧

车辆安全辅助信息集合是BSM中基础安全数据的补充,包括车辆事件标志(DE_VehicleEventFlags)、车辆历史轨迹（DF_PathHistory）、车辆预测路线（DF_PathPrediction）、车身灯光状态（DE_ExteriorLights）。

7.3.2.18.2 车辆事件标志位

关键事件条件刚被满足的时刻与生成包含对应的DE_VehicleEventFlags bit集合的第一条BSM的时刻之间的时间差应小于 $vEventDetectLatency$ （250 ms）。当有另一个关键事件正在进行时，仍应满足该要求。

当关键事件条件被满足时，系统应设置该事件标志。如果信息可用，系统在相应的关键事件条件发生时设置ABS、Traction Control 以及 Stability Control关键事件标志，且系统能支持其它事件标志。发送规则应符合7.3.1.3的规定。

车辆事件标志数据单元具体描述见表25。

表 25 车辆事件标志数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否以设为无效值	无效值填充条件
DE_VehicleEventFlags	车辆一系列的特殊状态	条件性必选	13位数值 B' 0000000000000 到 B' 1111111111111	<p>如果数据某一位被置1，表示车辆处于该位对应的状态。当至少有一种对应状态被激活或者从激活状态恢复，该标志数值才应被设置和交互。(1)、(5)、(6)、(8)、(9)可以不发送</p> <p>(0) Hazard Lights: 车辆警示灯亮起</p> <p>(1) StopLineViolation: 车辆在到达路口前预测自己无法及时制动而越过停止线</p> <p>(2) ABS: ABS系统被触发并超过100 ms</p> <p>(3) Traction Control: 电子系统控制牵引力被触发并超过100 ms</p> <p>(4) Stability Control: 车身稳定控制被触发并超过100 ms</p> <p>(5) Hazardous Materials: 危险品运输车</p> <p>(6) Reserved1: 保留位</p> <p>(7) Hard Braking: 车辆紧急制动，并且减速度大于4 m/s²</p> <p>(8) Lights Changed: 过去2 s内，车灯状态改变</p> <p>(9) Wipers Changed: 过去2 s内，车辆雨刷（前窗或后窗）状态改变</p> <p>(10) Flat tire: 单个或多个轮胎欠压报警</p> <p>(11) Disabled Vehicle: 除上述所列的导致车辆无法正常行驶的安全故障</p> <p>(12) Air Bag Deployment: 至少1个安全气囊从正常状态变为弹出状态</p>	—	—	否	—

事件触发类BSM对应的关键事件如表26所示。当表26中关键事件触发且车辆能获取此项事件对应的触发信号时，应发送对应事件触发消息。发送规则应符合7.3.1.3的规定。

表 26 事件触发类 BSM 消息的关键事件列表

事件触发类信元	关键事件
Hazard Lights	车辆的危险警告信号被开启
eventABSactivated	ABS系统被触发并超过100 ms
eventTractionControlLoss	电子系统控制牵引力被触发并超过100 ms
eventStabilityControlactivated	车身稳定控制被触发并超过100 ms
eventHardBraking	车辆紧急制动
eventFlatTire	单个或多个轮胎欠压报警（参考GB 26149—2017）
eventDisabledVehicle	由上述之外的行车安全故障导致的无法正常行驶
eventAirBagDeployment	触发条件：至少1个安全气囊从正常状态变为弹出状态 在车辆蓄电池可以持续正常供电且系统可以正常工作的情况下，发送至少10 min

7.3.2.18.3 车辆历史轨迹

系统应按如下所述填充BSM中DF_VehicleSafetyExtensions数据帧中的DF_PathHistory:

crumbData: DF_PathHistoryPointList

在DF_PathHistoryPointList中，填充DF_PathHistoryPoint数据帧，应按照YD/T 3709—2020中5.2.3.45的描述，按照实际需发数据的尺度选择相应的数据帧大小进行发送，不得使用较大数据帧发送较小的偏差数值（例如不得使用DF_Position-LL-28B表达小于0.0002047°的偏差数值）。其中数据帧的最小值为无效值（例如28b，经纬度分别用14b数据描述，-8192为无效值）。

当假名证书改变时，系统应清空历史轨迹数据相应的存储区。DF_PathHistory和DF_PathHistoryPoint不应包含BSM中已经存在的信息。车辆历史轨迹，按照附录B填充参数。

系统应以PH点填充DF_PathHistory，使得所表示的PH距离（即沿车辆轨迹的第一个和最后一个PH点之间的距离）至少为 $vMinPHistDistance$ 且不超过 $vMaxPHistDistance$ 。下列情况下，PH距离可以小于 $vMinPHistDistance$ ：

- a) 车辆使用当前假名证书所行驶的物理距离小于 $vMinPHistDistance$ （例如初始态或假名证书改变）；
- b) 位置不可用，PH 小于 $vMinPHistDistance$ ；
- c) 携带的PH点的数目超过 $vMaxPHistPoints$ ，但是车辆行驶的物理距离小于 $vMinPHistDistance$ 。

注：基于广泛的测试，DF_PathHistory以91.3%的概率包含5个点或更少（在UPER编码之前小于等于40 bytes）。

系统应维护一条车辆轨迹以表征车辆近期在相应距离上的运动，该轨迹由定位子系统推导出的数据元素组成，可按周期性时间间隔（典型情况为与BSM发送速率相同）采样。

系统应以PH点填充DF_PathHistory，使得车辆轨迹上任意一点，到其相邻两PH点连线的垂直距离小于 $vPathPerpendicularDist$ ，参见附录C。如果一个PH点与车辆发送BSM的当前位置点相邻，则该PH点的相邻PH点与BSM的当前位置点的连线，到该PH点的垂直距离亦应小于 $vPathPerpendicularDist$ 。

系统应从可用的车辆轨迹位置数据中选择一个子集，以最少数目的PH点填充DF_PathHistory，以满足上述 $vPathPerpendicularDist$ 和 $vMinPHistDistance$ 相关的要求。

系统应以按照时间排序的PH点填充DF_PathHistory，其中第一个PH点在时间上与当前的UTC时间最接近。

注：时间排序的PH点不要求在时间上等间隔。

如果满足本节前述要求所需的 PH 点数目超过了 $vMaxPHistPoints$ ，系统应以计算出的点集内不超过 $vMaxPHistPoints$ 数目的点填充 DF_PathHistory。

每一个 PH 点的位置偏移值应以车辆发送 BSM 的当前位置为基准。每一个 PH 点的时间偏移值应以车辆发送 BSM 的 DE_DSecond 为基准。

数据帧 DF_PathHistory 的具体描述见表 27。

表 27 车辆历史轨迹数据帧

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DF_PathHistory	利用一个参考轨迹点信息，以及一系列基于该参考信息的 PH 点，给出车辆一段 PH。车辆 PH 能够真实地反映其在当时的行驶状态，且从侧面反映当时其所在的道路和交通环境。数据单元中的参考轨迹点信息在时间上比所有轨迹点都要靠后（时间较晚）	条件性必选	—	PH 应降频发送，PathHistory 的默认发送间隔为 500 ms。距离上一次发送 PH 信息 500 ms 后的第一个 BSM 应包含 PathHistory	—	—	否	—	—
DE_GNSSstatus	包括设备工作状态、锁星情况和修正信息等。GNSS 系统可以是 GPS、BD 等相关系统和设备	可选	9 位字符串	—	—	—	否	—	—
DF_PathHistoryPointList	PH 点的集合，定义车辆的历史轨迹	必选	—	—	—	—	否	—	—
DF_PathHistoryPoint	车辆的历史轨迹点	必选	—	—	—	—	否	—	—
DF_PositionOffsetLLV	车辆三维相对位置（相对经度、相对纬度和相对高度）。偏差值等于真实值减去参考值。	必选	—	见 7.3.2.18.3 文字描述部分	—	—	否	—	—
DF_PositionOffsetLL	经纬度偏差，描述一个坐标点的相对位置	必选	DF_Position-LL-24B DF_Position-LL-28B DF_Position-LL-32B DF_Position-LL-36B	偏差值等于真实值减去参考值	—	—	否	—	—

表 27 车辆历史轨迹数据帧（续）

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DF_VerticalOffset	定义垂直方向位置偏差	可选	—	—	—	—	否	—	—
DE_TimeOffset	定义当前描述时刻（较早）相对于参考时间点（较晚）的偏差	必选	[1, 65535]	以 10ms 为单位，定义当前描述时刻（较早）相对于参考时间点（较晚）的偏差。 表述范围：0.01 s~10 min55.34 s 时间偏差大于等于 655.34 s，将值置为 65534	10 ms	—	是	65535	无法取得信号、系统启动、通信异常、未安装等情况
DE_Speed	车辆速度	可选	[0, 8191]	表示车速大小，单位 m/s	0.02 m/s	—	否	—	—
DE_CoarseHeading	粗粒度的车辆航向角	可选	[0, 240]	车头方向与正北方向的顺时针夹角，表示范围 0° 到 358.5°	1.5°	—	是	240	无法取得信号、系统启动、通信异常、未安装等情况

7.3.2.18.4 车辆预测路线

系统应按如下所述填充BSM中DF_VehicleSafetyExtensions数据帧中的DF_PathPrediction:

DE_RadiusOfCurvature

DE_Confidence

车辆处于从 $vMinCurveRadius$ 到 $vMaxCurveRadius$ 范围内的稳态条件下，系统应以计算的半径填充DF_PathPrediction，该半径相对实际半径的差距小于 $vPPredRadiusError$ 。

注：出于轨迹预测的目的，当车辆行驶于有恒定半径的曲线时视为稳态条件。稳态时横摆角加速度的绝对值的平均值小于 $0.5^{\circ}/s^2$ 。

在从恒定曲率半径 R_1 过渡到恒定曲率半径 R_2 之后，系统应在 $vPPredTransitionTime$ 时间内重新填充DF_PathPrediction，且适用前一条要求所定义的最大允许误差。

当发送的车辆速度小于 $vStationarySpeedThresh$ 时，系统应报告“直线轨迹”，其半径值为32767，置信度值为100%（对应数据元素的值为200）。

当发送车辆的半径大于最大半径时，系统应报告“直线轨迹”，其半径值为3276.7m，置信度为100%。（对应数据元素的值为200）。

当发送车辆的半径小于最小半径时，系统应以计算的数值填充，置信度为0%（对应数据元素的值为0）。

数据帧DF_PathPrediction的具体描述见表28。

表 28 车辆预测路线数据帧

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DF_PathPrediction	车辆的预测路线	必选	—	7.3.2.18.4 文字描述	—	—	否	—	—
DE_RadiusOfCurvature	车辆预测自身前方行驶轨迹的曲率半径。数值可来源于地图数据、曲率传感器、视觉传感器、定位系统等	必选	[-32767, 32767]	轨迹曲线向右偏转(圆心在车辆行驶方向右侧)数值为正，向左为负。数值 32767 表示直线行驶	0.1 m	—	否	—	—
DE_Confidence	表示车辆预测路线置信度	必选	[0, 200]	用 0~200 之间的整数值表示 0~100 的置信度	0.5	—	否	—	—

7.3.2.18.5 车身灯光状态

车身灯光状态数据单元描述见表29。

表 29 车身灯光状态数据单元

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_ExteriorLights	车身周围的车灯状态	条件性必选	9位数值 B' 000000000 到 B' 111111111	车灯开启设置对应比特位为 1，未开启或未安装设置对应比特位为 0。仅“（5）”为 1 可不发送该数据单元，全为 0 不发送该数据单元。 (0)：近光灯 (1)：远光灯 (2)：左转信号灯 (3)：右转信号灯 (4)：危险信号灯 (5)：自动大灯功能 (6)：日间行车灯 (7)：雾灯：车辆任一雾灯开启时（包括前雾灯、后雾灯等）进行置位。无雾灯开启时不置位。 (8)：停车灯	—	—	否	—	—

7.3.2.19 紧急车辆当前状态的集合

安装在紧急车辆上的系统，应满足以下要求：

- a) 当该车辆的警笛或任何专用发声装置工作时，将 DF_VehicleEmergencyExtensions 中的 SirenInUse 设置为 inUse(2)；
- b) 当该车辆的警示灯或外置专用显示设备工作时，将 DF_VehicleEmergencyExtensions 中的 LightbarInUse 设置为 inUse(2)；
- c) 当满足以上两种条件至少其一时，将 DF_VehicleEmergencyExtensions 中的 ResponseType 设置为 emergency (1)。

紧急车辆类型见附录F。

DF_VehicleEmergencyExtensions包含紧急车辆行驶状态或驾驶行为（DE_ResponseType）、警笛状态（DE_SirenInUse）和警示灯状态（DE_LightBarInUse）。

表 30 紧急车辆或特殊车辆当前的行驶状态或驾驶行为数据帧

数据单元	字段定义	填充要求	取值范围	填充方法	数值分辨率	精确度要求	是否可以设为无效值	无效值	无效值填充条件
DE_ResponseType	紧急车辆或特殊车辆当前的行驶状态或驾驶行为	条件性必选	数值 0、1、2、3、4	(0)：未装备/不可用 (1)：紧急状态——紧急情况服务中 (2)：非紧急状态——可用于紧急情况结束后 (3)：追逐——不稳定的驾驶行为 (4)：静止——不移动，停止在路边	—	—	否	—	—
DE_SirenInUse	紧急车辆或特殊车辆的警笛或任何专用发声装置的状态	条件性必选	数值 0、1、2、3	(0)：不可用 (1)：未使用 (2)：正在使用 (3)：保留	—	—	否	—	—
DE_LightBarInUse	紧急车辆或特殊车辆的警示灯或外置专用显示设备的工作状态	条件性必选	数值0、1、2、3、4、5、6、7 (4)未定义	(0)：不可用 (1)：未使用 (2)：正在使用 (3)：黄色警示灯 (5)：箭头指示方向运动 (6)：慢行车辆 (7)：频繁停止	—	—	否	—	—

7.4 通信安全要求

7.4.1 安全层消息发送要求

7.4.1.1 数据格式要求

系统发送消息时使用的数字证书、SPDU及编码格式，应符合YD/T 3957—2021 中6.3、6.4、6.5的相关要求。

7.4.1.2 数据发送要求

- 安全层数据发送应满足以下要求：
- a) 根据 YD/T 3957—2021 6.1.9.3 消息签名过程中证书一致性检查的要求，当不存在能够通过一致性检查的假名证书时，不发送 BSM 消息；
 - b) 系统构造 SPDU 进行安全层消息发送，SPDU 的字段填充要求满足表 31。

表 31 SPDU 的字段填充要求

SPDU（V2XSecData 数据结构）					数据单元类型 必选/可选/不 填充	字段填充要 求
protocolVersion					必选	按照 7.4.2.1 进行填充
con ten t	signedData	hashId			必选	按照 7.4.2.2 进行填充
		payload	data	protocolVersion	必选	按照 7.4.2.3 进行填充
				content	必选	
				extDataHash	可选	
		headerInfo		aid	必选	按照 7.4.2.4 进行填充
				generationTime	必选	
				expiryTime	可选	
				generationLocation	不填充	
				p2pcdLearningRequest	可选	
				missingCrlIdentifier	可选	
				encryptionKey	可选	
				inlineP2pcdRequest	可选	
				requestedCertificate	可选	
				pduFunctionalType	可选	
		signer	digest、certificate、self、x509 四选一		必选	按照 7.4.2.5 进行填充
		signature	sm2Signature		必选	按照 7.4.2.6 进行填充

7.4.2 SPDU 数据单元

7.4.2.1 安全层消息

protocolVersion 字段应填充为 3；content 字段应选择为 signedData。

7.4.2.2 密码杂凑算法

hashId 字段应选择为 sm3，表示签名时对消息进行杂凑运算采用 SM3 密码杂凑算法。

DB4403/T XX—XXXX

7.4.2.3 数据载荷

protocolVersion字段应填充为3；content字段应选择为unsecuredData，unsecuredData字段应填充为BSM的消息帧（MessageFrame）；extDataHash字段为可选字段，默认不填充。

7.4.2.4 消息安全头

aid字段应按照7.3.1.6中表8填充十进制编码的应用标识值；generationTime字段应填充SPDU的生成时间；generationLocation字段不应填充；字段expiryTime、p2pcdLearningRequest、missingCrllIdentifier、encryptionKey、inlineP2pcdRequest、requestedCertificate、pduFunctionalType为可选字段，默认不填充。

7.4.2.5 签名者

signer字段应选择为digest或certificate，不应选择self或x509，表示为发送的每条BSM消息附加用于生成该消息签名所对应的假名证书（certificate）或其摘要（digest），具体应满足以下要求：

- a) 选择 certificate 时 SEQUENCE 的 SIZE 为 1，即不附加证书链中的其他 CA 证书；
- b) 在以下情况中附加完整的假名证书（选择 certificate），在其它情况中附加假名证书的摘要（选择 digest）：
 - 1) 启动/重启操作后发送的第一条 BSM；
 - 2) 使用的假名证书发生改变后发送的第一条 BSM；
 - 3) 本条 BSM 距离上一条附加了完整假名证书的 BSM，其时间间隔等于或大于 $vMaxCertDigestInterval$ （450 ms）；
 - 4) BSM 中 DE_VehicleEventFlags 中的关键事件消息（见 7.3.2.18.2），某一位或某几位被置 1。

7.4.2.6 签名值

signature字段应选择为sm2Signature，使用SM2椭圆曲线公钥密码算法对生成的消息进行签名，密码算法的输入与输出应符合YD/T 3957—2021 B.2的要求。

7.4.3 安全层消息接收要求

系统应对接收到的安全层消息信息进行验证。内容参考YD/T 3957—2021 中6.1.9.3的相关要求。

对于接收的安全层消息，其generationTime早于或晚于当前系统时间30 s则为无效数据。

7.4.4 隐私保护要求

7.4.4.1 标识随机化

系统应对发送的BSM中的相关标识进行随机化处理，具体包括以下要求：

- a) 启动/重启操作后，发送的第一条 BSM 的 24 比特 Source Layer-2 ID 按照 7.2 随机初始化；
- b) 本条 BSM 与上一条 BSM 所使用的假名证书不同时，本条 BSM 的 24 比特 Source Layer-2 ID 按照 7.2 随机变化；
- c) 本条 BSM 与上一条 BSM 所使用的假名证书不同时，本条 BSM 的 DE_MsgCount、id 按照 7.3.2.2 和 7.3.2.3 随机变化。

7.4.4.2 假名证书改变

当正在使用的假名证书过期时，系统应立即随机使用其他有效的假名证书。

系统每次进行启动/重启操作后，发送第一条BSM时，应从所有有效的假名证书中随机选取一张用于该消息签名，且该假名证书的连续使用时长应重新计时。

系统每次进行启动/重启操作后，假名证书的连续使用时长应重新计时。

为保护隐私，证书如果在有效期内，同一个假名证书的连续使用时长不应超过 $vCertChangeInterval$ （300 s），但有以下任一情形除外：

- a) 系统当前位置距离上一次假名证书改变时所处的位置小于 $vCertChangeDistance$ （2.1 km），此时系统应继续使用现有假名证书（上次使用的假名证书改变以后发生电源 OFF 和启动的情况除外）；
- b) 基于 7.3.2.18.2 定义的关键事件标志位 DE_VehicleEventFlags 中至少 1 个处于置位状态，此时系统应继续使用现有假名证书直至关键事件标志位全部被复位。

7.4.4.3 车辆历史轨迹隐私要求

当假名证书改变时，系统应清空历史轨迹数据相应的存储区。按照7.3.2.18.3进行隐私保护。

7.4.5 系统安全要求

系统应保护私钥运算的安全性，具备环境失效保护能力，具备对抗非入侵式攻击的能力。

8 通信性能要求

8.1 发射性能要求

按照10.3.1进行试验，系统最大发射功率应在（23±3）dBm范围内。

8.2 接收性能要求

按照10.3.2进行试验，系统接收带宽为20 MHz时，接收灵敏度应小于等于-86.1 dBm。

8.3 天线增益要求

按照10.3.3进行试验，车辆天线线性平均增益测量结果应符合表32的规定。车辆方位区域划分按照附录G。

表 32 线性平均增益限值要求

方位区域(ϕ)	俯仰区域(θ) (89° ~91°)	俯仰区域(θ) (84° ~90°)	俯仰区域(θ) (90° ~96°)	俯仰区域(θ) (89° ~91°)
	线性平均增益/dBi			70%覆盖/dBi
0° ~60° 和300° ~360°	≥ -8	≥ -11	≥ -11	≥ -11
60° ~120°	≥ -14	≥ -17	≥ -17	≥ -17
240° ~300°	≥ -14	≥ -17	≥ -17	≥ -17
120° ~240°	≥ -8	≥ -11	≥ -11	≥ -11
注：70%覆盖是指测量结果中70%的值满足要求。				

9 定位授时要求

9.1 定位

车载定位子系统至少应包含一个独立的GNSS接收终端，能支持BDS或GPS卫星定位系统；也可同时支持GALILEO/GLONASS等卫星定位系统，以及公开接口标准的定位增强系统。

该子系统应以一个预设的频率 $vPosDetRate$ （10 Hz）输出符合9.3规定的自车位置坐标，且应提供确认该坐标时的UTC时间。

Opensky是指开阔测试环境，用来描述从设备出发能够在遇到最小阻碍的情况下观测到天空，应同时满足以下要求：

- a) 以待测设备的GNSS天线为相位中心，在水平面 5° （高度仰角）以上的所有方向内，无外部视野遮挡；
- b) 高精定位接收机观测到的可用于定位的GNSS卫星数量大于等于4。

9.2 定位增强

如果GNSS定位精度不足以支持系统精度要求，车载定位子系统可支持惯导与GNSS定位的融合，或者同时可支持定位增强系统的接入，包括统一接口标准的地基增强系统和/或星基增强系统。

注：定位子系统可支持其他传感器的融合定位技术来进一步提高定位精度（例如基于视觉特征匹配和高精度地图的融合定位、接收路侧智能感知设备的定位信息等手段）。

9.3 坐标系统与定位参考点

车辆投影至路表（道路平面）的点（纬度、经度和高度）为道路平面上车辆的包络矩形的中心，此矩形覆盖车辆的最远前端和后端，以及侧边到侧边的点，包含外部后视镜等原始设备，如图2所示。

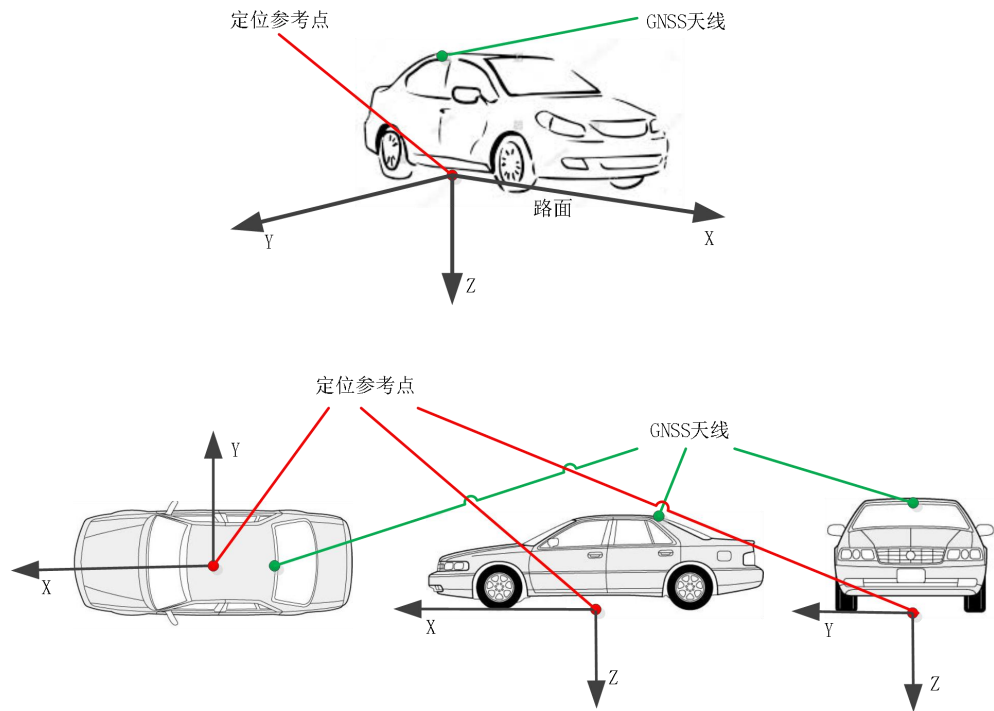


图 2 BSM 中的车辆位置参考点

9.4 系统时间

系统中应包含一个符合UTC的参考时钟，满足设定的精度值 $vTimeAccuracy$ （1ms）。系统每次输出位置信息时应同时包含与之对应的UTC时间。

注：系统有同步至UTC的时间（DE_DSecond）以支持位置和时间的推算以及安全要求。系统可以采用GNSS接收器配合相应的每秒一次脉冲以实现参考时钟。

10 试验

10.1 一般要求试验方法

10.1.1 试验条件

10.1.1.1 试验对象

试验对象为具备LTE-V2X直连通信功能的系统。系统至少应包含无线通信子系统。

10.1.1.2 试验环境条件

如无其他规定，试验环境条件应符合表33的规定。

表 33 试验环境条件

温度 ℃	相对湿度 %	气压 kPa
23±5	25~75	86~106

10.1.1.3 试验电压条件

如无其他规定，试验电压条件应符合表34的规定。

表 34 试验电压条件

单位为伏特

额定电压	试验电压 (U_i)
12	14±0.2
24	28±0.2

10.1.1.4 试验环境的构建

10.1.1.4.1 通用要求

天线一体式DUT进行空口试验，除10.1.1.4.2外，应按照图3 a) 构建试验环境。其中，V2X PC5消息解析仪表天线应与DUT天线正对且间距为1 m，试验环境应尽量避免存在同频或邻频干扰。

天线分体式DUT可进行空口试验或直连试验。进行空口试验时，除10.1.1.4.2外，应按照图3 a) 构建试验环境。V2X PC5消息解析仪表天线与DUT天线正对且间距为1 m。进行直连试验时，除10.1.1.4.2外，应按照图3 b) 构建试验环境。试验环境应尽量避免存在同频或邻频干扰。

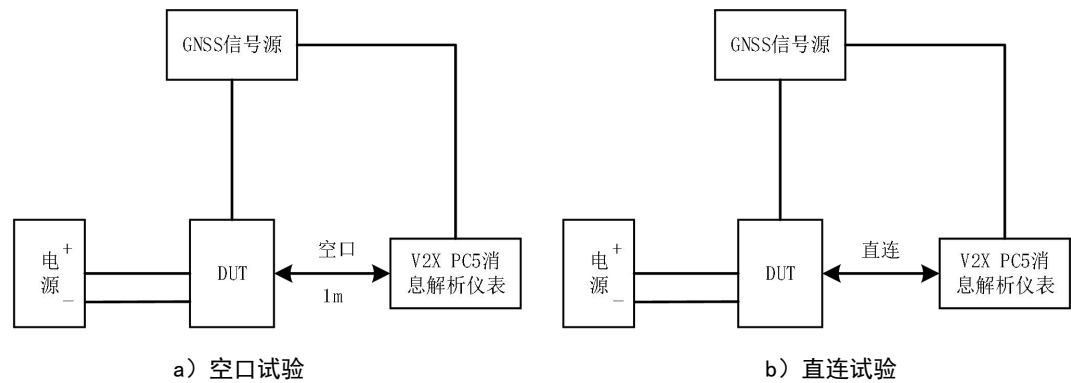


图 3 环境试验通用要求示意图

10.1.1.4.2 特殊要求

在进行10.1.2.2 a)、10.1.3.2、10.1.3.4、10.1.3.5、10.1.3.7、10.1.3.8、10.1.3.9试验时，天线一体式系统进行空口试验，应按照图 4 a) 构建试验环境。其中，DUT天线应尽量接近温箱透波材料，V2X PC5消息解析仪表天线应与DUT天线正对且与温箱透波材料间距为1 m。试验环境应尽量避免存在同频或邻频干扰。

在进行10.1.2.2 a)、10.1.3.2、10.1.3.4、10.1.3.5、10.1.3.7、10.1.3.8、10.1.3.9试验时，天线分体式系统可进行空口试验或直连试验。进行空口试验时，应按照图4 a) 构建试验环境。其中，DUT天线应尽量接近温箱透波材料，V2X PC5消息解析仪表天线应与DUT天线正对且与温箱透波材料间距为1 m。进行直连试验时，应按照图4 b) 构建试验环境。试验环境应尽量避免存在同频或邻频干扰。

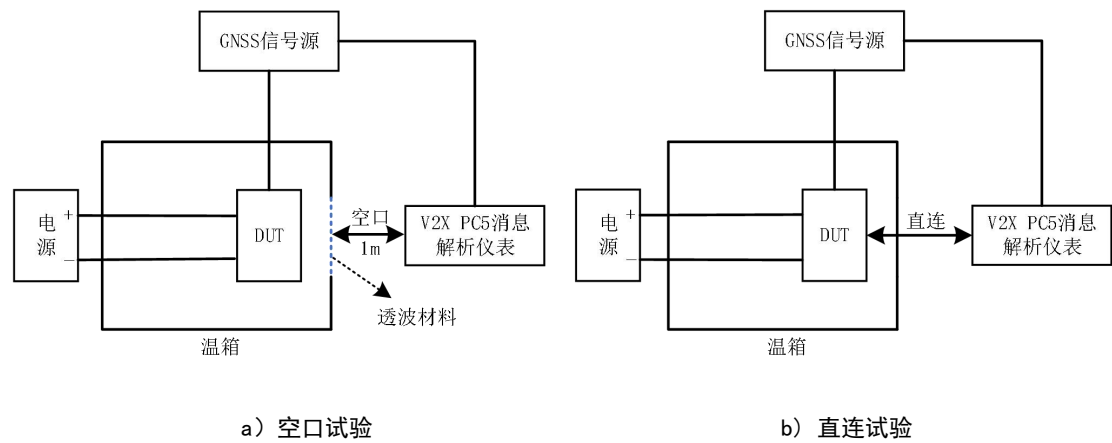


图 4 试验特殊要求示意图

10.1.1.5 试验评价

按照100ms间隔周期性发送BSM数据包。在时长 t 秒的连续测试时间内，当测试仪表接收到的必选数据元素均正确的BSM数据包的数量不低于 $\text{round}(t \times 10 \times 95\%)$ 时，则视为功能正常。

注：round表示取整数。

10.1.2 电气性能试验

10.1.2.1 直流供电试验

DUT处于表1中工作模式2，先将直流稳压电源电压调至 U_t ，然后逐渐将电压调至 U_{Smith} 稳定10 min，再逐渐将电压调至 U_{Smox} 稳定10 min。

10.1.2.2 过电压试验

12 V系统在（ T_{max} -20℃）及室温条件下进行试验，24 V系统在（ T_{max} -20℃）条件下进行试验。

a) （ T_{max} -20℃）条件下

DUT以表1中的工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中4.3.1.1.2和4.3.2.2的方法进行试验；

b) 室温条件下

DUT以表1中的工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中4.3.1.2.2的方法进行试验。

10.1.2.3 供电电压缓降和缓升试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中4.5.2的方法进行试验。

10.1.2.4 叠加交流电压试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中4.4.2严酷度1和2的方法进行试验。

10.1.2.5 反向电压试验

DUT以表1中工作模式2，按照表35的方法进行试验。

表 35 反向电压试验

序号	名称	试验参数	
1	U_t	12 V	24 V
2	试验电压（电源输入接口正负极反接）	-14 V	-28 V
3	试验时间	(60±6) s	
4	试验循环次数	1 次	

10.1.2.6 供电电压瞬态变化试验

供电电压瞬态变化试验包括以下3项。

a) 供电电压瞬时下降试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中4.6.1的方法进行试验；

b) 复位特性试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中4.6.2的方法进行试验；

c) 启动特性试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中4.6.3.2等级II的方法进行试验。

10.1.2.7 参考接地和供电偏移试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中4.8.2的方法进行试验。

10.1.2.8 抛负载试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中4.6.4.2的方法进行试验。

10.1.2.9 开路试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中4.9.1.2及4.9.2.2的方法分别进行试验。

10.1.2.10 短路保护试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.2—2019中的4.10.2.1及4.10.3.1的方法分别进行试验。

10.1.2.11 绝缘电阻试验

DUT以表1中工作模式1，按照GB/T 28046.2—2019中4.12.2的方法分别进行试验。

10.1.3 环境耐候性试验

10.1.3.1 低温贮存试验

DUT以表3中贮存环境温度下限和表1中工作模式1，按照GB/T 28046.4—2011中5.1.1.1.2的方法进行试验。试验后静置至少1 h恢复常温，以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.3.2 低温工作试验

DUT以表3中工作环境温度下限 T_{min} 和表1中工作模式2，按照GB/T 28046.4—2011中5.1.1.2.2的方法进行试验，试验期间在试验持续时间的25%、50%、75%处，分别以表1中工作模式2对DUT进行10 min的功能检查。试验后至少静置1 h恢复常温，以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.3.3 高温贮存试验

DUT以表3中贮存温度上限和表1中工作模式1，按照GB/T 28046.4—2011中5.1.2.1.2的方法进行试验。试验后静置至少1 h恢复常温，以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.3.4 高温工作试验

DUT以表3中工作环境温度上限 T_{max} 和表1中工作模式2，按照GB/T 28046.4—2011中5.1.2.2.2的方法进行试验，试验期间在试验持续时间的25%、50%、75%处，分别以表1中工作模式2对DUT进行10 min的功能检查。试验后静置至少1 h以恢复常温，以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.3.5 温度梯度试验

DUT在表3中工作环境温度 $T_{min} \sim T_{max}$ 范围内，以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.4—2011中5.2.2的方法进行试验。试验后静置至少1 h恢复常温，以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.3.6 规定转换时间的温度快速变化试验

DUT在表3中工作环境温度 $T_{min} \sim T_{max}$ 范围内，按照GB/T 28046.4—2011中5.3.2.2的方法进行试验。试验后静置至少1 h恢复常温，以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.3.7 规定变化率的温度循环试验

DUT在表3工作环境温度 $T_{min} \sim T_{max}$ 范围内，按照GB/T 28046.4—2011中5.3.1.2的方法进行试验，试验期间在试验持续时间的25%、50%、75%处，分别以表1中工作模式2进行10 min的功能检查。试验后静置至少1 h恢复常温，以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.3.8 湿热循环试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.4—2011中5.6.2.2的方法进行试验。试验后静置至少1 h恢复常温，以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.3.9 稳态湿热试验

DUT以表1中工作模式2（试验最后1 h以表1中工作模式3），按照GB/T 28046.4—2011中5.7.2的方法进行试验，试验期间在试验持续时间的25%、50%、75%处，分别以表1中工作模式2进行10 min的功能检查。试验后静置至少1 h恢复常温，以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.3.10 耐盐雾试验

DUT以表1中工作模式1，按照GB/T 28046.4—2011中5.5.1.2（严酷等级3）的方法进行试验，试验后以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.4 外壳防护试验

防尘试验：DUT以表1中工作模式1，按照GB/T 30038—2013中8.3.3.2的方法进行试验，试验后以表1中工作模式2进行功能验证试验。

防水试验：DUT以表1中工作模式1，按照GB/T 30038—2013中8.4.3的方法进行试验，试验后以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.5 机械性能试验

10.1.5.1 机械振动试验

DUT模拟在车辆上的安装方式在振动台上安装固定，以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.3—2011中4.1.2.4.2[乘用车弹性体（车身）]或4.1.2.7.2（商用车弹性体）的方法进行试验。试验期间在试验持续时间的25%、50%、75%处，分别以表1中工作模式2进行10 min的功能检查。

10.1.5.2 机械冲击试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 28046.3—2011中4.2.2.2的方法进行试验。试验期间在试验持续时间的25%、50%、75%处，分别以表1中工作模式2进行10 min的功能检查。

10.1.5.3 自由跌落试验

DUT以表1中工作模式1，按照GB/T 28046.3—2011中4.3.2的方法进行试验。试验后以表1中工作模式2进行功能验证试验。

10.1.6 耐久性试验

DUT耐久性试验参见附录H.1，耐久性计算模型参见附录H.2。

10.1.7 电磁兼容性试验

10.1.7.1 传导发射试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 18655—2018中6.3和6.4的方法进行试验。

10.1.7.2 辐射发射试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 18655—2018中6.5的方法进行试验。

10.1.7.3 对电磁辐射的抗扰试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB 34660—2017中4.7的电波暗室法、大电流注入法的抗扰试验强度和5.7的方法进行试验。

10.1.7.4 对便携式发射机的抗扰试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 33014.9-2020中6.3的模拟便携式发射机法和表A.1最低要求以及第8章的方法进行试验。

10.1.7.5 沿电源线的瞬态传导抗扰试验

DUT以表1中工作模式2，按照表4规定的抗扰试验等级要求和GB 34660—2017中5.8的方法，进行脉冲1、2a、2b、3a和3b试验。

10.1.7.6 除电源线外的导线通过容性和感性耦合的电瞬态抗扰试验

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 21437.3—2021表B.1、表B.2等级III的要求和4.5的方法进行试验。

10.1.7.7 对静电放电产生的电骚扰抗扰试验

10.1.7.7.1 系统不通电

DUT以表1中工作模式1，按照GB/T 19951—2019中表C.1、表C.2的类别1试验严酷等级不低于L3的试验电压要求和GB/T 19951—2019第9章规定的方法进行试验。试验后以表1中工作模式2进行试验。

10.1.7.7.2 系统通电

DUT以表1中工作模式2，按照GB/T 19951—2019中表C.1、表C.2、表C.3的类别1试验严酷等级不低于L3的测试电压要求和第8章规定的方法进行试验。

10.2 功能试验方法

10.2.1 最小测试集

最小测试集如表36。表36～表40中的相关字母及符号解释见表41。

表 36 最小测试集-接入层试验内容及试验方法

试验项目		章节号	试验方法
接入层	PC5 接口发送端要求		
	PDCP	7.1.2.3	A
	RLC	7.1.2.4	A
	MAC	7.1.2.5	A

表 37 最小测试集-网络层试验内容及试验方法

试验项目		章节号	试验方法				
			启动	时间	位置改变	关键事件	紧急车辆
网络层	PC5 接口发送端要求						
	DSMP 版本和预留域	7.2.1	A				
	Source_Layer-2 ID	7.2.1	A	E	F	G	—
	AID	7.2.1	—	—	—	C	C
	PPPP	7.2.1	—	—	—	C	—

应用层BSM发送要求试验方法如表38所示。

表 38 最小测试集-应用层 BSM 发送要求试验方法

试验项	定性试验方法		定量试验方法			本文件对应章节号
	填充方法	取值范围	填充要求	精度要求	无效值要求	
DE_MsgCount	A	A	表 40	—	—	7.3.2.2
id	A	A	表 40	—	—	7.3.2.3
DE_DSecond	A	A	A	×	—	7.3.2.4
DE_TimeConfidence	A	A	×	×	—	7.3.2.5
DF_Position3D	B	—	—	—	—	7.3.2.6
>DE_Latitude	B	B	×	×	—	7.3.2.6
>DE_Longitude	B	B	×	×	—	7.3.2.6
>DE_Elevation	A	A	—	—	—	7.3.2.6
DF_PositionalAccuracy	B	—	—	—	—	7.3.2.7
>DE_SemiMajorAxisAccuracy	B	B	×	—	B	7.3.2.7
>DE_SemiMinorAxisAccuracy	B	B	×	—	B	7.3.2.7
>DE_SemiMajorAxisOrientation	B	B	×	—	B	7.3.2.7
DF_PositionConfidenceSet	A	—	—	—	—	7.3.2.8
>DE_PositionConfidence	A	A	A	—	—	7.3.2.8
>DE_ElevationConfidence	A	A	×	—	—	7.3.2.8
DE_TransmissionState	B	B	B	—	B	7.3.2.9
DE_Speed	B	B	D	D	—	7.3.2.10
DE_Heading	B	B	D	D	—	7.3.2.11
DE_SteeringWheelAngle	B	B	B	—	B	7.3.2.12
DF_MotionConfidenceSet	A	—	—	—	—	7.3.2.13
>DE_SpeedConfidence	A	A	×	—	—	7.3.2.13
>DE_HeadingConfidence	A	A	×	—	—	7.3.2.13
>DE_SteeringWheelAngleConfidence	A	A	×	—	—	7.3.2.13
DF_AccelerationSet4Way	B	—	—	—	—	7.3.2.14
>DE_Acceleration (Longitudinal)	B	B	D	D	B	7.3.2.14
>DE_Acceleration (Lateral)	B	B	D	D	B	7.3.2.14
>DE_VerticalAcceleration	B	B	×	—	×	7.3.2.14
>DE_YawRate	B	B	D	D	—	7.3.2.14
DF_BrakeSystemStatus	B	—	—	—	—	7.3.2.15
>DE_BrakePedalStatus	B	B	D	—	—	7.3.2.15
>DE_BrakeAppliedStatus	B	B	D	—	—	7.3.2.15
>DE_TractionControlStatus	C	C	C	—	—	7.3.2.15
>DE_AntiLockBrakeStatus	A	A	×	—	—	7.3.2.15
>DE_StabilityControlStatus	A	A	×	—	—	7.3.2.15
>DE_BrakeBoostApplied	A	A	×	—	—	7.3.2.15
>DE_AuxiliaryBrakeStatus	A	A	×	—	—	7.3.2.15
DF_VehicleSize	A	—	—	—	—	6.3.2.16
>DE_VehicleWidth	A	A	A	A	—	7.3.2.16
>DE_VehicleLength	A	A	A	A	—	7.3.2.16
>DE_VehicleHeight	A	A	A	A	—	7.3.2.16
DF_VehicleClassification	A	—	—	—	—	7.3.2.17
>DE_BasicVehicleClass	A	A	A	—	—	7.3.2.17
DF_VehicleSafetyExtensions	B/C	—	—	—	—	7.3.2.18
>DE_VehicleEventFlags	C	C	C	—	—	7.3.2.18.2
>DF_PathHistory	B	—	表 40	—	—	7.3.2.18.3
>>DE_GNSSStatus	B	B	—	—	—	7.3.2.18.3
>>DF_PathHistoryPointList	B	—	—	—	—	7.3.2.18.3
>>>DF_PathHistoryPoint	B	—	—	—	—	7.3.2.18.3

表 38 最小测试集-应用层 BSM 发送要求试验方法（续）

试验项	定性试验方法		定量试验方法			本文件对应章节号
	填充方法	取值范围	填充要求	精度要求	无效值要求	
>>>>DE_Speed	A	A	A	—	—	7.3.2.18.3
>>>>DE_CoarseHeading	A	A	A	—	—	7.3.2.18.3
>>>>DE_TimeOffset	B	B	B	—	B	7.3.2.18.3
>>>>DF_PositionOffsetLLV	B	—	—	—	—	7.3.2.18.3
>>>>DF_PositionOffsetLL	B	B	B	—	—	7.3.2.18.3
>>>>DF_VerticalOffset	B	—	—	—	—	7.3.2.18.3
>DF_PathPrediction	B	—	—	—	—	7.3.2.18.4
>>DE_RadiusOfCurvature	B	B	B	—	—	7.3.2.18.4
>>DE_Confidence	B	B	B	—	—	7.3.2.18.4
>DE_ExteriorLights	C	C	C	—	—	7.3.2.18.5
DF_VehicleEmergencyExtensions	C	—	—	—	—	7.3.2.19
>DE_ResponseType	C	C	C	—	—	7.3.2.19
>DE_SirenInUse	C	C	C	—	—	7.3.2.19
>DE_LightBarInUse	C	C	C	—	—	7.3.2.19
正常试验中不应出现无效值填充。未安装、可填写无效值情况除外。 注1：定性试验是对7.3.2数据单元中的填充方法和取值范围进行测试。 定量试验是对7.3.2数据单元中的填充要求、数值分辨率、精度要求、无效值要求（包含是否可以设为无效值、无效值取值、无效值填充条件）进行测试。						

安全层SPDU发送要求试验方法如表39。

表 39 最小测试集-安全层 SPDU 发送要求试验方法

试验项						试验方法	本文件对应章节号	
数据格式要求						E	7.4.1.1	
数据发送要求						E	7.4.1.2	
SPDU 数据单元								
protocolVersion						E	7.4.2.1	
content	signedData	hashId				E	7.4.2.2	
		payload	data	protocolVersion		E	7.4.2.3	
				content		E	7.4.2.3	
			extDataHash		E	7.4.2.3		
			headerInfo	aid		C（关键事件试验、紧急车辆试验）	7.4.2.4	
		generationTime		E	7.4.2.4			
		expiryTime		E	7.4.2.4			
		generationLocation		E	7.4.2.4			
		p2pcdLearningRequest		E	7.4.2.4			
		missingCrllIdentifier		E	7.4.2.4			
		encryptionKey		E	7.4.2.4			
		inlineP2pcdRequest		E	7.4.2.4			
		requestedCertificate		E	7.4.2.4			
		pduFunctionalType		E	7.4.2.4			
		signer	digest				表 40	7.4.2.5
			certificate				表 40	7.4.2.5
			self				E	7.4.2.5
			x509				E	7.4.2.5
		signature	sm2Signature				E	7.4.2.6

关于系统启动、时间相关性、位置改变、关键事件及紧急车辆相关的消息优先级、隐私保护等的发送要求的试验方法如表40所示。

表 40 最小测试集-消息优先级、隐私保护等的发送要求试验方法

策略类型	试验项	试验方法				
		启动 试验	时间 试验	位置改变试 验	关键事件试 验	紧急车辆试 验
应用标识填充策略	AID	—	—	—	C	C
消息优先级策略	PPPP	—	—	—	C	—
证书与证书摘要切换策略	digest	E	E	F	G	—
	certificate	E	E	F	G	—
假名证书改变策略	certificate	E	E	F	G	—
标识随机化策略	Source_Layer-2 ID	A	E	F	G	—
	DE_MsgCount	A	E	F	G	—
	id	A	E	F	G	—
车辆历史轨迹隐私要求	DF_PathHistory	—	E	F	G	—

表 41 最小测试集-相关字母及符号解释

标号	标号说明		
	试验类别	试验方法	章节号
A	数据一致性试验	暗室静态试验	10.2.3.1
B	数据一致性试验	暗室动态试验	10.2.3.2
C	数据一致性试验	暗室事件触发试验	10.2.3.3
D	数据一致性试验	道路试验	10.2.3.4
E	通信安全试验	暗室静态试验	10.2.4.1
F	通信安全试验	暗室动态试验	10.2.4.2
G	通信安全试验	暗室事件触发试验	10.2.4.3
×	第 7 章中有技术要求，本章中无对应试验内容		
—	第 7 章中没有技术要求		

10.2.2 试验条件

10.2.2.1 试验对象

试验对象为具备LTE-V2X直连通信功能的车辆。

10.2.2.2 试验环境要求

10.2.2.2.1 试验室试验环境

试验室试验环境为配备了转毂的全电波暗室，具备GNSS模拟器和V2X PC5消息接收仪表。

将V2X PC5消息接收仪表和GNSS模拟器分别连接到暗室内的测试天线端口和GNSS天线端口上，如图5所示。水平方向上测试天线端口中心距离被测车辆中心5m，测试天线端口中心高度为被测车辆LTE-V2X天线中心高度，如图6所示。

被测车辆固定于转台和转毂上。转台可带动被测车辆在0°～360°水平范围内旋转，转毂可使被测车辆在暗室内原地运转。

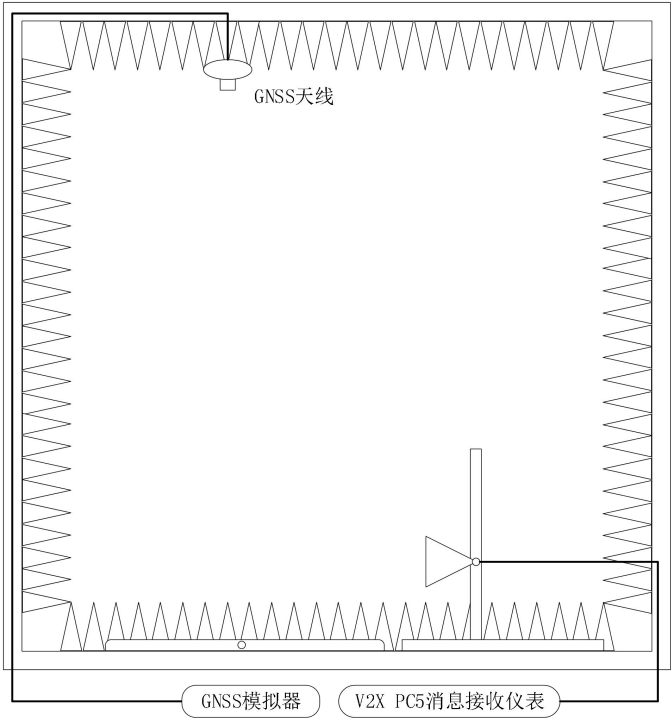


图 5 功能试验测试系统连接图

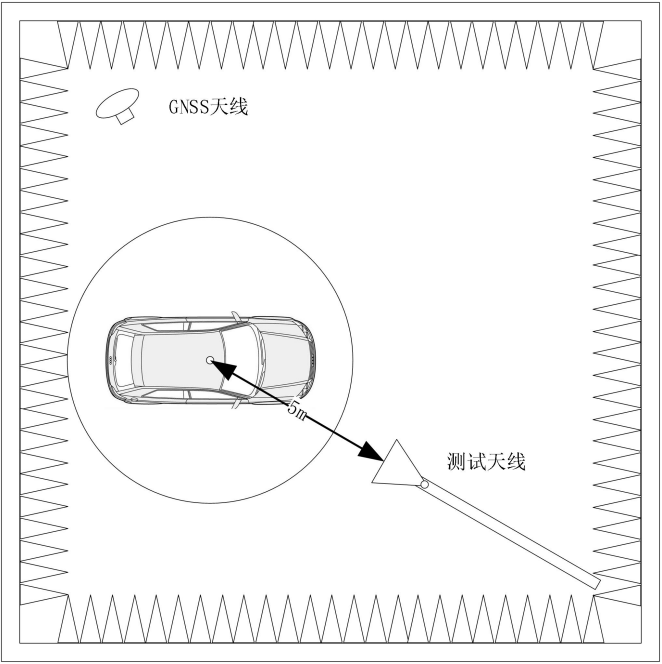


图 6 功能试验测试系统俯视图

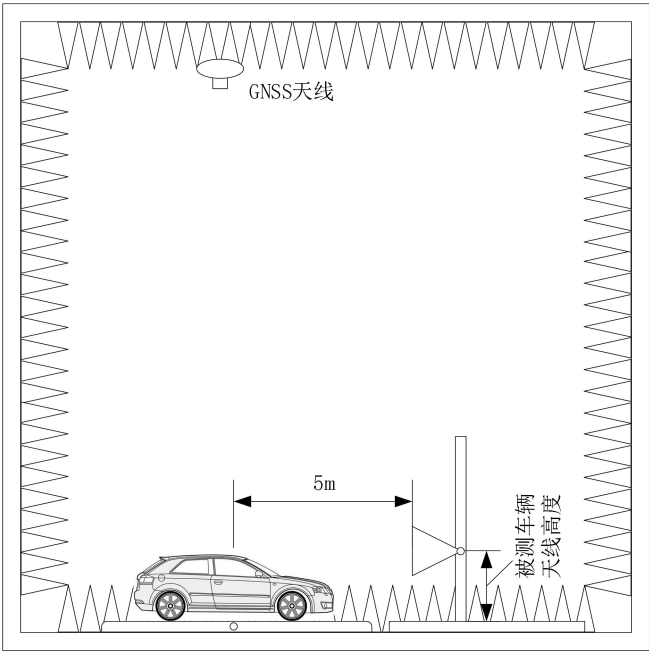


图 7 功能试验测试系统侧视图

10.2.2.2.2 道路试验环境

试验环境为开阔环境，路面平整，满足9.1描述的Opensky环境要求。试验环境内除了V2X PC5消息接收仪表无其它开启V2X功能的车辆或系统。试验环境应能允许车辆达到100 km/h的速度，并且有足够的空间允许车辆加减速。

在试验道路上由车辆动态数据采集单元采集被测车辆真实数据时，需确保所采集的数据精度高于7.3.2中所规定的各项精度要求。

如图8所示，将V2X PC5消息接收仪表固定于被测车辆内，并与固定于被测车辆车体上的且可稳定接收被测车辆发送的BSM的测试天线相连接。

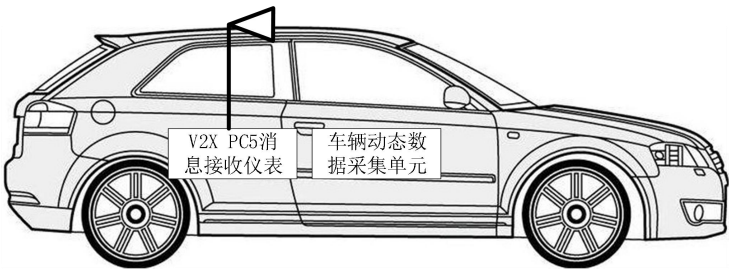


图 8 道路试验环境布置图

10.2.3 数据一致性试验

10.2.3.1 暗室静态试验

暗室静态试验方法为：

- a) 被测车辆驶入暗室并驶上转台，摆正被测车辆位置，将被测车辆固定在转台上，熄火准备；

- b) 启动 V2X PC5 消息接收仪表, 使其能够将收到的 BSM 转发给测试系统, 并记录收到的第一条至最后一条 BSM 内容;
- c) 启动被测车辆, 同时启动 GNSS 模拟器, 发送预设的 GNSS 固定位置数据, 确保被测车辆可正常发送 BSM;
- d) 重新启动被测车辆, 使其能够重新开始发送 BSM, V2X PC5 消息接收仪表持续记录收到的所有 BSM 消息内容, 测试有效时长不小于 600 s;
- e) 重复多次 (例如 3 次) 步骤 d);
- f) 在以上测试过程中, 直接读取并记录 V2X PC5 消息接收仪表接收的 V2X 消息, 验证 10.2.1 中表 37~表 40 采用试验方法 A 的试验项是否符合 7.1、7.2、7.3 对应的技术要求。

10.2.3.2 暗室动态试验

暗室动态试验方法为:

- a) 被测车辆驶入暗室并驶上转台, 摆正车辆位置, 使前后车轮分别停放在转台前后两组转毂上, 将被测车辆固定在转台上, 熄火准备;
- b) 启动 V2X PC5 消息接收仪表, 使其能够将收到的 BSM 消息转发给测试系统, 并记录收到的第一条至最后一条 BSM 消息内容;
- c) 启动被测车辆, 同时启动 GNSS 模拟器发送预设的 GNSS 轨迹数据, 确保被测车辆可正常发送 BSM 消息;
- d) 语音引导车辆驾驶员驾驶被测车辆, 使转毂滚动线速度与 GNSS 轨迹中速度误差在 ± 1 km/h 以内, 对应 BSM 中车速、轨迹相关参数值的测试; 控制转台转动被测车辆航向角, 使被测车辆航向角与 GNSS 轨迹中方向数据一致;
- e) 语音引导车辆驾驶员执行相应的驾驶动作, 包括换挡、踩制动踏板、转动方向盘等, 记录动作命令顺序、时间、次数等信息, 以对应 BSM 中档位、制动系统、方向盘转角相关参数值的测试;
- f) 测试有效时长不小于 600 s, 测试轨迹包括但不限于:
 - 某个固定地理位置;
 - 四段“确定的直线行驶轨迹”, 轨迹速度为低速 (4 km/h), 方向分别为正北、正东、正南、正西;
 - 四段“确定的直线行驶轨迹”, 轨迹速度为中速 (45 km/h), 方向分别为正北、正东、正南、正西;
 - 四段“确定的直线行驶轨迹”, 轨迹速度为高速 (120 km/h), 方向分别为正北、正东、正南、正西。
- g) 在以上测试过程中, 直接读取并记录 V2X PC5 消息接收仪表接收的 V2X 消息, 验证 10.2.1 中表 37~表 40 采用试验方法 B 的试验项是否符合 7.1、7.2、7.3 对应的技术要求。

10.2.3.3 暗室事件触发试验

暗室事件触发试验方法为:

- a) 被测车辆驶入暗室并驶上转台, 摆正被测车辆位置, 使前后车轮分别停放在转台前后两组转毂上, 将被测车辆固定在转台上, 熄火准备;
- b) 启动 V2X PC5 消息接收仪表, 使其能够将收到的 BSM 消息转发给测试系统, 并记录收到的第一条至最后一条 BSM 消息内容;
- c) 启动被测车辆, 同时启动 GNSS 模拟器发送预设的 GNSS 轨迹数据, 确保被测车辆可正常发送 BSM 消息;

- d) 语音引导被测车辆驾驶员驾驶被测车辆,使转毂滚动线速度与 GNSS 轨迹中速度误差在 $\pm 1\text{ km/h}$ 以内;控制转台转动被测车辆航向角,使被测车辆航向角与 GNSS 轨迹中方向数据一致;
- e) 语音引导被测车辆驾驶员触发相应的事件,包括制动系统状态触发(ABS、TCS、ESP 等)、紧急车辆事件(紧急状态、警笛状态、警灯状态等)、车辆关键事件(危险警告信号、紧急制动、轮胎欠压、安全气囊弹出等,可以模拟触发)、车身周围的车灯(转向灯、近光灯、停车灯等)等,记录动作命令顺序、时间、次数、持续时长等信息,以完成 BSM 中制动系统状态、紧急车辆、关键事件、辅助车灯相关参数值的测试;
- f) 测试有效时长不小于 600 s;
- g) 在以上测试过程中,直接读取并记录 V2X PC5 消息接收仪表接收的 V2X 消息,验证 10.2.1 中表 37~表 40 采用试验方法 C 的试验项是否符合 7.1、7.2、7.3 对应的技术要求。

10.2.3.4 道路试验

道路试验方法为:

- a) 被测车辆驶入试验道路的准备点,停车准备;
- b) 启动 V2X PC5 消息接收仪表,使其能够将收到的 BSM 消息转发给测试系统,并记录收到的第一条至最后一条 BSM 消息内容;
- c) 启动被测车辆,确保被测车辆可正常发送 BSM 消息;
- d) 被测车辆按照一定的行驶轨迹行驶,测试有效时长不小于 600 s;
- e) 被测车辆测试行驶轨迹为(但不限于):一段方向确定的路段。车辆加速行驶到目标车速(包括低速、中速、高速),保持匀速沿车道线驶过起始点,通过终点后减速停车,车辆动态数据采集单元采集被测车辆速度、加速度、航向角、航向角速度等数据;
- f) 在以上测试过程中,直接读取并记录 V2X PC5 消息接收仪表接收的 V2X 消息,验证 10.2.1 中表 37~表 40 采用试验方法 D 的试验项是否符合 7.1、7.2、7.3 对应的技术要求。

10.2.4 通信安全试验

10.2.4.1 暗室静态试验

暗室静态试验方法为:

- a) 被测车辆驶入暗室并驶上转台,摆正被测车辆位置,将被测车辆固定在转台上,熄火准备;
- b) 启动 V2X PC5 消息接收仪表,使其能够将收到的 BSM 消息转发给测试系统,并记录收到的第一条至最后一条 BSM 消息内容;
- c) 启动被测车辆,同时启动 GNSS 模拟器发送预设的 GNSS 固定位置数据,确保被测车辆可正常发送 BSM 消息;
- d) 启动 V2X PC5 消息接收仪表,使其能够将收到的 BSM 消息转发给测试系统,并记录收到的第一条至最后一条 BSM 消息内容,测试有效时长不小于 600 s;
- e) 重复多次(例如 3 次)步骤 d);
- f) 在以上测试过程中,直接读取并记录测试系统接收的 V2X 消息,验证 10.2.1 中表 37~表 40 采用试验方法 E 的试验项是否符合 7.4 对应的技术要求。

10.2.4.2 暗室动态试验

暗室动态试验方法为:

- a) 被测车辆驶入暗室并驶上转台,摆正被测车辆位置,使前后车轮分别停放在转台前后两组转毂上,将被测车辆固定在转台上,熄火准备;

- b) 启动 V2X PC5 消息接收仪表, 使其能够将收到的 BSM 消息转发给测试系统, 并记录收到的第一条至最后一条 BSM 消息内容, 包括被测车辆位置信息、假名证书信息、接收该条 BSM 消息的时间等;
- c) 启动被测车辆, 同时启动 GNSS 模拟器发送预设的轨迹数据, 确保被测车辆可正常发送 BSM 消息;
- d) 语音引导被测车辆驾驶员驾驶被测车辆, 使转毂滚动线速度与 GNSS 轨迹中速度误差在 ± 1 km/h 以内; 控制转台转动被测车辆航向角, 使被测车辆航向角与 GNSS 轨迹中方向数据一致;
- e) 测试有效时长不小于 600 s, 测试轨迹及操作包括但不限于:
 - 一段确定的直线轨迹, 轨迹变化速度为 40 km/h (约 11.11 m/s, 300 s 约行驶 3.3 km);
 - 一段确定的直线轨迹, 轨迹变化速度为 20 km/h (约 5.6 m/s, 300 s 约行驶 1.68 km)。
- f) 在以上测试过程中, 直接读取并记录测试系统接收的 V2X 消息, 验证 10.2.1 中表 37~表 40 采用试验方法 F 的试验项是否符合 7.1、7.2、7.3 对应的技术要求。

10.2.4.3 暗室事件触发试验

暗室事件触发试验方法为:

- a) 被测车辆驶入暗室并驶上转台, 摆正被测车辆位置, 使前后车轮分别停放在转台前后两组转毂上, 将被测车辆固定在转台上, 熄火准备;
- b) 启动 V2X PC5 消息接收仪表, 使其能够将收到的 BSM 消息转发给测试系统, 并记录收到的第一条至最后一条 BSM 消息内容;
- c) 启动被测车辆, 同时启动 GNSS 模拟器发送预设的轨迹数据, 确保被测车辆可正常发送 BSM 消息;
- d) 语音引导被测车辆驾驶员驾驶被测车辆, 使转毂滚动线速度与 GNSS 轨迹中速度误差在 ± 1 km/h 以内; 控制转台转动被测车辆航向角, 使被测车辆航向角与 GNSS 轨迹中方向数据一致;
- e) 语音引导被测车辆驾驶员触发相应的被测车辆关键事件 (包括危险警告信号、紧急制动、轮胎欠压、安全气囊弹出等, 可模拟触发)。记录动作命令顺序、时间、次数、持续时长等信息;
- f) 测试有效时长不小于 600 s, 测试轨迹及操作包括但不限于:
 - 一段确定的直线轨迹, 轨迹变化速度为 40 km/h (约 11.11 m/s, 300 s 约行驶 3.3 km), 距测试系统接收到车辆发送的第一条 BSM 消息 400 s 后, 语音提示驾驶员取消触发关键事件;
 - 一段确定的直线轨迹, 轨迹变化速度为 20 km/h (约 5.6 m/s, 300 s 约行驶 1.68 km), 距测试系统接收到被测车辆发送的第一条 BSM 消息 400 s 后, 语音提示驾驶员停止触发关键事件。
- g) 在以上测试过程中, 直接读取并记录测试系统接收的 V2X 消息, 验证 10.2.1 最小测试集采用试验方法 G 的试验项是否符合 7.4 对应的技术要求。

10.3 通信性能试验方法

10.3.1 发射性能试验

10.3.1.1 试验对象

试验对象为具备 LTE-V2X 直连通信功能的系统。系统至少应包含无线通信子系统。

10.3.1.2 试验方法

按照 YD/T 3848—2020 中 6.2.1.1 进行试验, 测试系统最大发射功率。

10.3.2 接收性能试验

10.3.2.1 试验对象

试验对象为具备LTE-V2X直连通信功能的系统。系统至少应包含无线通信子系统。

10.3.2.2 试验方法

按照YD/T 3848—2020中6.3.2进行试验, 测试系统接收灵敏度。

10.3.3 天线增益试验

10.3.3.1 试验条件

10.3.3.1.1 试验对象

试验对象为具备LTE-V2X直连通信功能的车辆。

10.3.3.1.2 试验环境条件

试验场地宜采用具备天线测试系统的全电波暗室。也可采用其他场地, 但试验结果应排除外界因素影响。场地性能要求参见附录I。

试验环境应符合如下要求:

——环境温度: $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$;

——相对湿度: 20%~60%。

天线测试系统应符合如下要求:

——方位角度范围: 不小于 $0^\circ \sim 360^\circ$;

——方位角度精度: 不大于 0.5° ;

——俯仰角度范围: 不小于 $0^\circ \sim 96^\circ$;

——俯仰角度误差: 不大于 0.5° 。

10.3.3.1.3 试验布置

方位角 ϕ 、俯仰角 θ 和天线测试系统中心的定义见附录G。将被测车辆置于转台上, 被测车辆车头指向方向与 $\phi=0^\circ$ 方位角对齐, 被测车辆LTE-V2X天线几何中心宜与天线测试系统中心对齐; 若天线测试系统包含偏心修正功能, 则允许被测车辆的LTE-V2X天线几何中心偏离天线测试系统中心。

在测试之前, 需在DUT的射频端口处断开LTE-V2X天线的连接线束, 采用同轴线缆将被测车辆连接线束与测试仪表(例如网络分析仪)连接, 被测车辆LTE-V2X天线试验布置见图9。

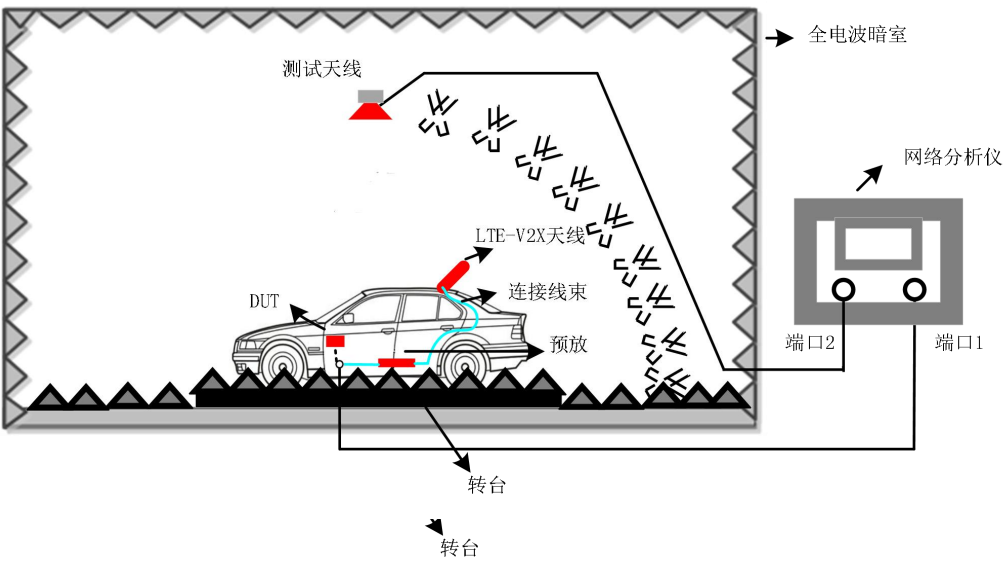


图 9 被测车辆 LTE-V2X 天线试验布置示意图

如图10中的测试点示意图所示，若LTE-V2X天线系统包括放大器，则需要额外增加偏置电源保证放大器正常工作。

如果被测车辆的LTE-V2X天线系统包含多个同一通信方式的天线，则需要分别对各个天线进行测试，并在各角度处取最大值作为测试结果。

除被测天线系统外，其他天线终端应适当连接50 Ω 的负载阻抗，以确保被测天线端口无射频干扰。

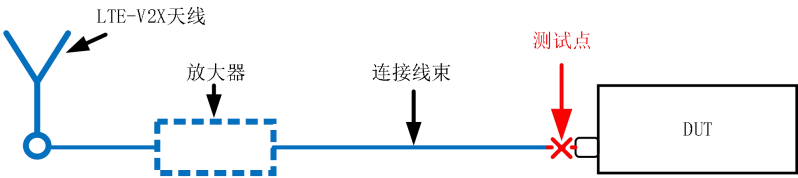


图 10 LTE-V2X 天线系统测试点示意图

10.3.3.1.4 参数配置

网络分析仪参数配置见表42。

表 42 网络分析仪配置参数

输出功率	0 dBm
测试频率	5905 MHz, 5910 MHz, 5915 MHz, 5920 MHz, 5925 MHz

10.3.3.2 试验方法

当测试被测车辆的LTE-V2X天线时，测试天线与测试仪表（网络分析仪或信号源）连接作为发射天线；被测车辆LTE-V2X天线系统与测试仪表（网络分析仪或测量用接收机）连接作为接收天线。当测试被测车辆的LTE-V2X天线时，测量探头与网络分析仪连接作为接收天线；被测车辆LTE-V2X天线系统与网络分析仪或信号源连接作为发射天线。具体测试方法如下：

- a) 设置转台位置为 $\phi=0^\circ$ ，测量天线位置为 $\theta=0^\circ$ ；
- b) 按照不同测试频率进行测试，记录水平和垂直极化接收电平及相位；
- c) 在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 方位角范围内以最大 1° 间隔进行不同频率测试，记录角度位置和水平、垂直极化的幅值及相位；
- d) 在 $0^\circ \sim 96^\circ$ 俯仰角范围内以最大 1° 间隔移动，在每个俯仰位置按照步骤 c) 进行测试；
- e) 对测试结果进行近远场变换，获得远场试验结果；
- f) 根据标准天线的场地校准数据，计算获得被测车辆 LTE-V2X 天线系统的远场增益 G (dBi)，并绘制相应方向图。

10.3.3.3 数据处理

10.3.3.3.1 线性平均增益

线性平均增益计算方法为：

- a) 将对数表示的天线增益 $G(\theta, \phi, f)$ 转化成线性表示 $g(\theta, \phi, f)$ ，计算公式如下：

$$g(\theta, \phi, f) = 10^{G(\theta, \phi, f)/10} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

g ——线性天线增益；

θ ——俯仰角；

ϕ ——方位角；

f ——信号频率；

G ——对数天线增益。

- b) 按照 8.3 的角度区域，计算规定区域的天线增益平均值 g_{ave} ，计算公式如下：

$$g_{ave} = \frac{1}{m+n+5} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^5 g(\theta_i, \phi_j, f_k) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

g_{ave} ——天线增益平均值；

m ——规定区域方位角个数；

i ——方位角顺序；

n ——规定区域俯仰角个数；

j ——俯仰角顺序；

k ——测试频率顺序；

g ——天线增益；

- c) 将计算后的平均值转换为对数形式 G_{ave} ，计算公式如下：

$$G_{ave} = 10 \log_{10}(g_{ave}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

g_{ave} ——天线增益平均值；

G_{ave} ——对数形式天线增益平均值。

10.3.3.3.2 70%覆盖增益

70%覆盖率是指在规定的仰角和方位角范围内，所有角度组合的增益值有70%在该限值以上。

10.4 定位试验方法

10.4.1 试验条件

10.4.1.1 试验对象

试验对象为具备LTE-V2X直连通信功能的车辆。

10.4.1.2 试验环境

采用高精定位接收机进行试验。高精定位接收机应能接收多模GNSS卫星信号。试验环境应该为开阔试验场地。高精定位接收机观测天空中被测车辆同制式的定位卫星数量，可用于定位的卫星至少4颗。试验环境其他要求同10.2.2.2.2。

10.4.2 试验方法

定位试验的试验步骤如下：

- a) 被测车辆驶入试验道路的准备点，停车准备；
- b) 启动 V2X PC5 消息接收仪表，使其能够将收到的 BSM 消息转发给测试系统，并记录收到的第一条至最后一条 BSM 消息内容；
- c) 启动被测车辆，确保被测车辆可正常发送 BSM 消息；
- d) 被测车辆按照一定的行驶轨迹行驶，测试有效时长不小于 600 s；
- e) 被测车辆测试行驶轨迹为（但不限于）：一段方向确定的路段。车辆加速行驶到目标车速（包括低速、中速、高速），保持匀速沿车道线驶过起始点，通过终点后减速停车；
- f) 在以上测试过程中，直接读取并记录 V2X PC5 消息接收仪表接收的 V2X 消息，解析出经度、纬度信息，查看车辆实时定位能力。

附录 A
(规范性)
业务优先级与 PPPP 值之间的映射规则

A.1 发送链路业务优先级与 PPPP 值之间的映射规则如表 A.1 所示。

表 A.1 发送链路业务优先级与 PPPP 值之间的映射规则

业务优先级	PPPP
-	0 (未使用)
255 - 224	1 (最高优先级)
223 - 192	2
191 - 160	3
159 - 128	4
127 - 96	5
95 - 64	6
63 - 32	7
31 - 0	8 (最低优先级)
-	9 - 255 (未使用)

A.2 接收链路业务优先级与 PPPP 值之间的映射规则如表 A.2 所示。

表 A.2 接收链路业务优先级与 PPPP 值之间的映射规则

PPPP	业务优先级
0 (未使用)	-
1 (最高优先级)	255
2	223
3	191
4	159
5	127
6	95
7	63
8 (最低优先级)	31
9 - 255 (未被使用)	-

附 录 B

(规范性)

车辆历史轨迹与预测路线参数说明

表B.1给出了车辆历史轨迹（DF_PathHistory）、预测路线（DF_PathPrediction）参数说明。

表 B.1 车辆历史轨迹、预测路线参数说明

内容	数值	说明
vMinPHistDistance	200 m	沿车辆轨迹的第一个和最后一个 PH 点之间的最小距离
vMaxPHistDistance	400 m	沿车辆轨迹的第一个和最后一个 PH 点之间的最大距离
vPathPerpendicularDist	1 m	车辆轨迹上任意一点到连接与其相邻的 2 个 PH 点的直线的垂直距离
vMaxPHistPoints	15	所需的 PH 点数目
vMinCurveRadius	100 m	最小计算半径
vMaxCurveRadius	2500 m	最大计算半径
vPPredRadiusError	2%	计算半径相对实际半径误差
vPPredTransitionTime	4 s	恒定曲率半径过度时间
vStationarySpeedThresh	1 m/s	车辆速度阈值

附录 C
(资料性)

车辆历史轨迹与预测路线参考设计

C.1 Path History 参考设计

C.1.1 介绍

主车的PH功能模块包含以下基本信息：

- 在一个特定行驶距离中保持一定数量的现有定位和传感器数据的缓冲；
- 在允许的位置偏差中计算实际轨迹的简洁表征轨迹；
- 周期性的更新并输出 PH 简洁表征轨迹，以供其他系统使用。

主车向外发出其轨迹的简洁表征，用来表征主车的行驶轨迹，并作为其他车辆预测道路几何形状、进行目标车辆位置分类的依据。

C.1.2 Path History需求

PH功能模组的功能描述如下。

- PH 使用一系列简洁的数据来表征主车的真实路径。简洁的数据本质是真实数据的采样子集。
如图 C.1 所示，橙色的路径点表示采样之后的简洁路径点，连接连续两点的弦表示车辆真实路径的近似。
- 简洁数据点采样的原则是任何真实路径上的点到两点之间的弦长（真实路径的简洁表征点）的垂直距离小于 $PH_ActualError$ ，如图 C.1 所示。
- 包含简洁数据的缓冲区的大小是自适应的，所计算出来的路径表征至少能满足校准参数 $K_PHDISTANCE_M(m)$ 所定义的值。参考图 C.1，包含所有弦长的距离至少满足 $K_PHDISTANCE_M(m)$ 所定义的值。

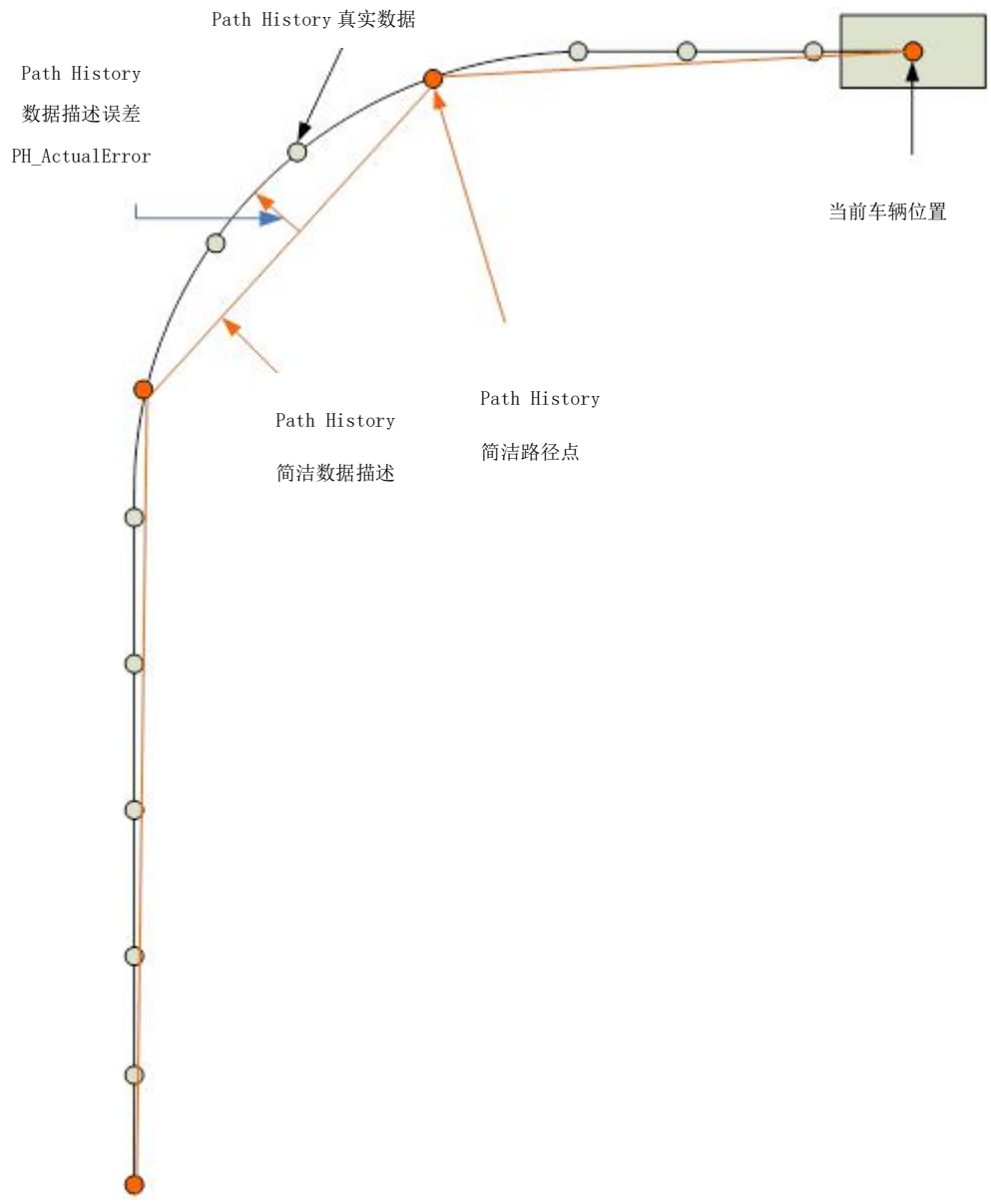


图 C.1 简洁路径和实际路径表述

C.1.3 Path History设计

本文件给出了PH的三种设计方式。基本设计前提如下：

- a) 假设车辆的路径由直线部分和弧线部分组成；
- b) $PH_ActualError$ 定义为车辆实际路径上任意一点和连接两个简洁表征点组成的弦之间的垂直距离，两个简洁点分别为此点轨迹时间上之前最近点和之后最近点。根据所用算法的不同，实际路径上的某些采样点会成为简洁表述的特征点，图 C.2 解释了 $PH_ActualError$ ，以及实际路径和简洁路径表述的数据点。
- c) 图 C.2 展示了弧形车辆轨迹上的三个点 (P_1 、 P_2 、 P_3)， $PH_ActualError$ 的值随着其在弧形轨迹上选点的不同而不同。
- d) 如图 C.3，圆上的点 P_1 、 P_2 以及圆心连线所夹的角 $\Delta \theta$ ，可近似为 $\Delta \theta = H_2 - H_1$ ，其中 H_1 和 H_2 为车辆在 P_1 和 P_2 点的 GNSS 方向角 (Heading)。

- e) 如图 C.2 所示, 定义两个 PH 车辆轨迹定位点之间的弦长为 $PH_ActualChordLength$ 。
 $PH_ActualChordLength$ 为两个由自身经纬度定义的 GNSS 数据点之间的距离。
- f) 定义 P_1 的纬度为 lat_1 , 经度为 $long_1$, 定义 P_2 的纬度为 lat_2 , 经度为 $long_2$, 单位为弧度。
 定义地球半径 (m) 在子午线处的长度为 $REarthMeridian$ 。所推导出的实际弦长距离公式为:

$$PH_ActualChordLength = REarthMeridian \cos^{-1} [\cos(lat_1) \cos(lat_2) \cos(long_1 - long_2) + \sin(lat_1) \sin(lat_2)] \quad (C.1)$$
- g) 参数 $PH_EstimatedR$ 代表连接两个 PH GNSS 数据点之间的圆弧曲率半径。

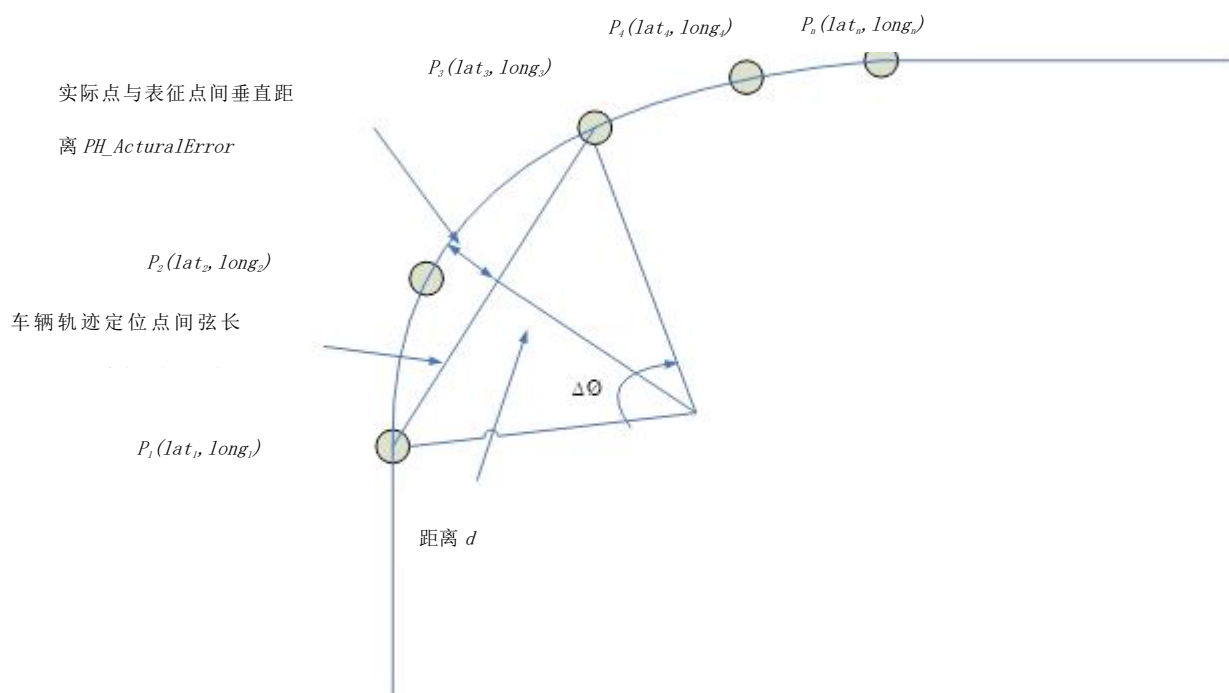
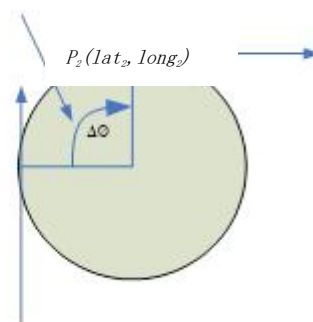


图 C.2 误差表征

角度的 $\Delta\phi$ 角度的 $\Delta\phi$ $\Delta\phi$
 $P_1(lat_1, long_1)$ $Heading_i = H_i$ 图 C.3 $\Delta\phi$ 角表示

设计方法一: 使用伪代码形式, 表征车辆路径历史轨迹, 具体步骤如下。

- a) 假设对沿着环形运动车辆的实际 GNSS 路径点进行采样。最少需要采样三个数据点。这些点的初始化状态如图 C.2 所示。

$$i = 3$$

$$\text{Starting Point, } P_{\text{starting}} = P_{i-2}$$

Previous Point, $P_{previous} = P_{i-1}$

Next Point, $P_{next} = P_i$

$elementPos = 0$

$totalDist = 0$

$incrementDist = 0$

将 $P_{starting}$ 的GNSS定位值包含到简洁表征的数据缓冲区,并将 $elementPos$ 增加1,进行如下操作:

$PH_ConciseDataBuffer[elementPos] = P_{starting}$

$elementPos++$

- b) 计算起始点 $P_{starting}$ 和下一个点 P_{next} 之间的真实弦长 $PH_ActualChordLength$ (m),如图C.2和方程(C.1)所示。检查这个值是否比阈值大,进行如下操作:

If $PH_ActualChordLength > K_PH_CHORDLENGTHTHRESHOLD$,

Set $PH_ActualError$ to $K_PHALLOWABLEERROR_M + 1$,

Go to Step Seven,

Otherwise Continue.

- c) 计算 $P_{starting}$ 和 P_{next} 与圆心连线所夹的角度 $\Delta\theta$ 的值(弧度):

$$\Delta\theta = H_2 - H_1 \quad \dots\dots (C.2)$$

式中:

H_1 —— $P_{starting}$ 所在的车辆位置的GNSS定位方向角(heading),如图C.2。

H_2 —— P_{next} 所在的车辆位置的GNSS定位方向角(heading),如图C.2。

- d) 利用步骤二中计算出来的 $PH_ActualChordLength$ 以及步骤三计算出来的 $\Delta\theta$,计算 $P_{starting}$ 和 P_{next} 两点之间的近似曲率半径 $PH_EstimatedR$ (m):

$$PH_EstimatedR = PH_ActualChordLength / (2 * \sin(\Delta\theta/2)) \quad \dots\dots (C.3)$$

以上步骤中需要注意的是,如果 $\Delta\theta$ 非常小或者近似为0(例如一条直线路径),那么 $PH_EstimatedR$ 将是一个非常大的数字。为了识别这种情况,需将 $\Delta\theta$ 和一个校准参数 $K_PHSMALLDELTA\theta_R$ 进行比较,如果 $\Delta\theta$ 小于校准参数,那么说明半径非常大。这种情况下半径被限制在 $K_PH_MAXESTIMATEDRADIUS$,并且把 $PH_ActualError$ 设置为0,进行如下操作:

If $\Delta\theta < K_PHSMALLDELTA\theta_R$,

Set $PH_ActualError$ to zero,

Set $PH_EstimatedR$ to $K_PH_MAXESTIMATEDRADIUS$,

Go to Step Eight,

Otherwise Continue.

- e) 计算距离 d 的值, d 是图C.2中连接 $P_{starting}$ 和 P_{next} 两点之间的圆弧的中间点到实际弦的垂直距离。

$$d = PH_EstimatedR * \cos(\Delta\theta/2) \quad \dots\dots (C.4)$$

式中:

$PH_EstimatedR$ ——连接两个PH GNSS数据点之间的圆弧曲率半径

$\Delta\theta$ ——圆上两点以及圆心连线所夹的角

- f) 计算实际最大误差 $PH_ActualError$ 。

$$PH_ActualError = PH_EstimatedR - d \quad \dots\dots (C.5)$$

- g) 如果 $PH_ActualError$ 比允许的PH误差 $K_PHALLOWABLEERROR_M$ 大,则将之前的点 $P_{previous}$ 加入到数据缓冲中,进行如下操作:

If $PH_ActualError > K_PHALLOWABLEERROR_M$
 $PH_ConciseDataBuffer[elementPos] = P_{previous}$
 $elementPos++$

重新定义三个数据点分别为起始点 (Starting Point)、前序点 (Previous Point) 和后续点 (Next Point) :

$P_{starting} = P_{i-1}$
 $P_{next} = P_{i+1}$
 $P_{previous} = P_i$
 $i = i + 1$
 Go to Step Nine.

- h) 如果 $PH_ActualError \leq K_PHALLOWABLEERROR_M$, 重新定义前序点 (Previous Point) 和后续点 (Next Point) :

$P_{next} = P_{i+1}$
 $P_{previous} = P_i$
 $i = i + 1$
 Go to Step Two.

根据新的Starting Point、Previous Point和 Next Point循环计算, 直到 $PH_ActualError$ 超出偏差值。

- i) 计算简洁缓冲区 $PH_ConciseDataBuffer$ 中连续的 PH GNSS 定位数据点的实际距离:

$$totalDist = totalDist + incrementDist \quad \dots\dots (C.6)$$

式中:

$totalDist$ —— 简洁表征缓冲区 $PH_ConciseDataBuffer$ 中距离。

$incrementDist$ —— 最近加入简洁数据缓冲区的两个 PH GNSS数据点之间的距离。

如果总距离大于等于 $K_PHDISTANCE_M$, 则继续从缓冲区底部删除旧数据, 直到总距离正好能够保持最小值 $K_PHDISTANCE_M$ 为止, 并输出最近2个选择的简洁数据点之间的曲率半径 $PH_EstimatedSumR$ 。若简洁数据缓冲区中的数据超过最大允许的数量 (15), 则继续删除最老的数据点, 直到缓冲区中只剩下15个点。

回到步骤b)

设计方法二: 具体步骤如下。

方法二使用车辆速度和横摆角速度来计算曲率半径, 且曲率半径 $PH_EstimatedR$ 是方法一中曲率半径 $PH_EstimatedR$ 的平均值。

- 同方法一的步骤 a)。
- 同方法一的步骤 b)。
- 同方法一的步骤 c)。

图C. 4中, 假设存在 n 个GNSS点 $P_1 \cdots P_n$, 把 P_1 作为起始点Starting Point, 把 P_n 作为下一个点Next Point。定义 P_2, \dots, P_{n-1} 为中间点。通过下式计算半径的动态平均值:

$$Radius = v/w \quad \dots\dots (C.7)$$

式中:

v —— 车辆的速度, 单位是米每秒 (m/s) ;

w —— 车辆的横摆角速度, 单位为弧度每秒 ($^\circ / s$) 。

如图C. 4所示, 定义 R_{2i} 为根据方法二在 i 点计算的半径, 其中 $i = 1, \dots, n-1$ 。有如下的半径定义:

$$R_{21} = v_1/w_1$$

$$R_{22} = v_2/w_2$$

$$R_{23} = v_3/w_3$$

$$R_{2(n-1)} = v_{n-1}/w_{n-1} \quad \dots\dots (C.8)$$

如果计算出的半径大于阈值，则将其设置为最大值 $K_PH_MAXESTIMATEDRADIUS$ 并忽略原来计算出的半径值，并将其从半径缓冲区中删除，且不将其包含到步骤四所计算的动态平均值中。

- d) 执行方法一中的步骤四。定义公式 (C.3) 中的半径为 $PH_EstimatedR_1$ 。步骤三中的半径缓冲区中保存的动态平均半径 $PH_EstimatedR_2$ 计算方法如下：

$$PH_EstimatedR_2 = \sum_{i=1}^{n-1} R_{2i} / n - 1 \quad \dots\dots (C.9)$$

式中：

n —— 给定的GNSS坐标点序号

R —— Radius 为 v/w ，其中 v 表示车辆速度 (m/s)， w 表示车辆横摆角速度 ($^{\circ}/s$)

近似估计的曲率半径 $PH_EstimatedR$ 的计算方式为：

$$PH_EstimatedR = K_PH_RADIUSWEIGHTONE \times PH_EstimatedR_1 + K_PH_RADIUSWEIGHTTWO \times PH_EstimatedR_2, \quad \dots\dots (C.10)$$

式中：

$K_PH_RADIUSWEIGHTONE$ ——权重系数1；

$K_PH_RADIUSWEIGHTTWO$ ——权重系数2， $K_PH_RADIUSWEIGHTONE$ 与 $K_PH_RADIUSWEIGHTTWO$ 的和为1。

如果由于所有的缓冲区中的半径都为最大值 $K_PH_MAXESTIMATEDRADIUS$ 导致动态平均半径估计被设置为0，那么设置 $K_PH_RADIUSWEIGHTONE = 1$ ， $K_PH_RADIUSWEIGHTTWO = 0$ 。

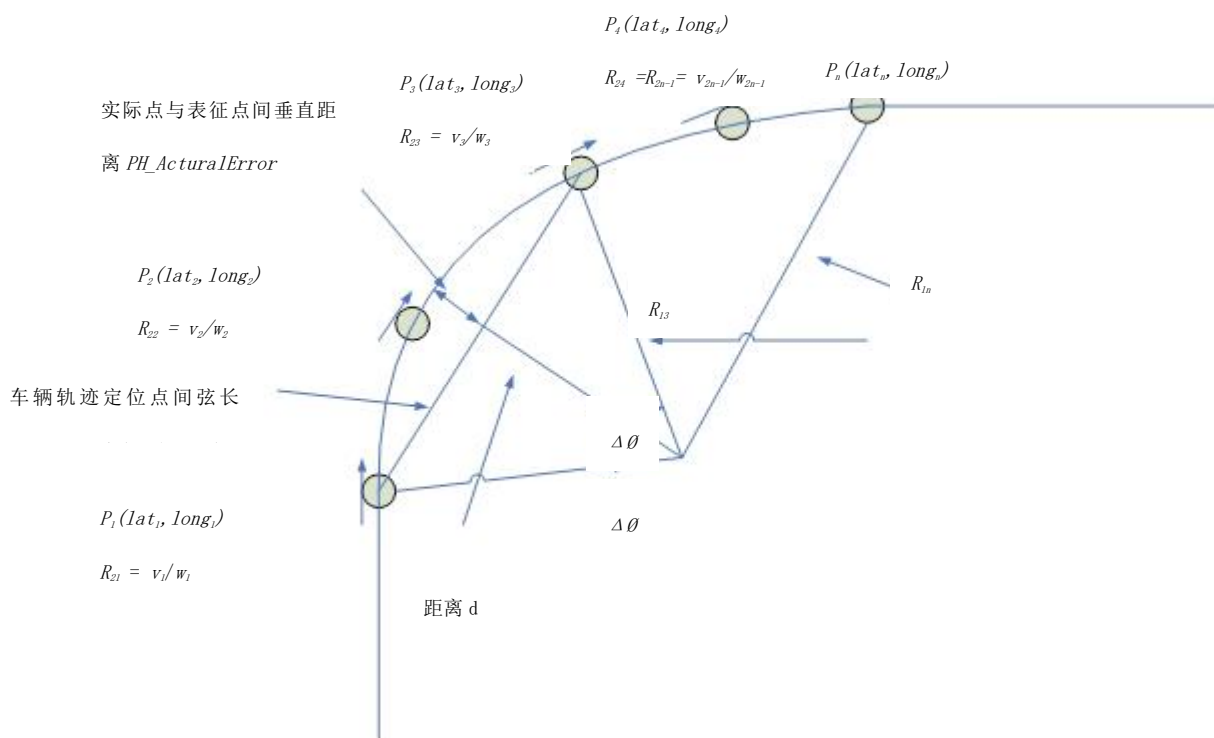


图 C.4 近似半径计算

- e) 同方法一的步骤 e)。

- f) 同方法一的步骤 f)。

- g) 同方法一的步骤 g)。

应根据以下情况对动态平均值 $PH_EstimatedR_2$ 进行调整。

如果新的点 $P_{starting}$ 和 P_{next} 的半径都等于 $K_PH_MAXESTIMATEDRADIUS$ ，那么根据方程（C.9）， $PH_EstimatedR_2$ 将会成为动态平均半径。如果新的 P_{next} 不等于 $K_PH_MAXESTIMATEDRADIUS$ ，那么 $PH_EstimatedR_2$ 将会被设置成这个计算值。如果新的点 $P_{starting}$ 不等于 $K_PH_MAXESTIMATEDRADIUS$ ，那么 $PH_EstimatedR_2$ 将会被设置为这个半径值。如果不满足上述任一种情况，那么 $PH_EstimatedR_2$ 将会被设置为0。

h) 同方法一的步骤 h)。

i) 同方法一的步骤 i)。

设计方法三：在此设计方法中， $PH_ActualError$ 是真实车辆路径的PH数据元素和连接简洁PH点的弦之间的最大垂直距离。

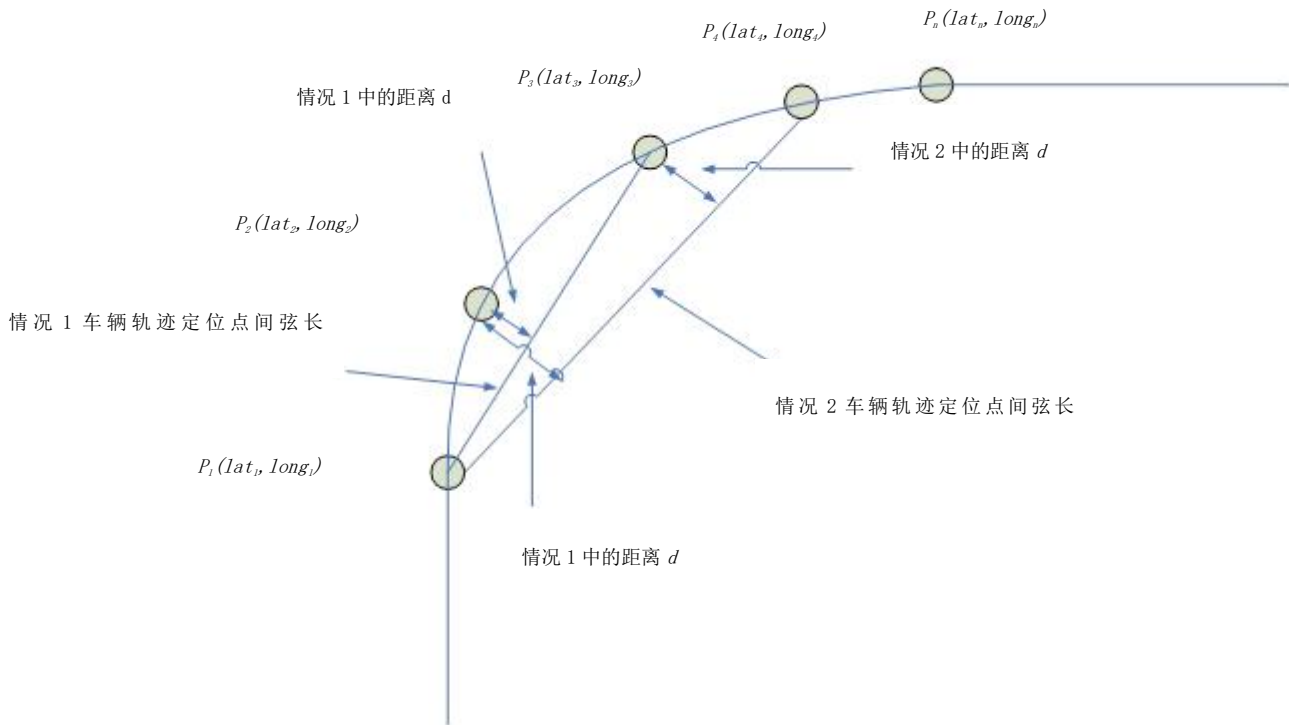


图 C.5 方法三的 PH Error 计算方法示意图

方法三使用如下伪代码来表示车辆历史轨迹。

a) 同方法一的步骤 a)。

b) 根据公式 C.1 计算图 C.2 中的起始点 $P_{starting}$ 和下一个点 P_{next} 之间的弦长 $PH_ActualChordLength$ (m)：

If $PH_ActualChordLength > K_PH_CHORDLENGTHTHRESHOLD$,

Set $PH_ActualError$ to $K_PHALLOWABLEERROR_M + 1$

Go to Step Six.

c) 同方法一的步骤 c)。

d) 同方法一的步骤 d)。

e) 计算 $PH_ActualError$ 方法：

图C.5中定义 P_i 为起始点， P_n 为下一个点，中间点为 P_2 到 P_{n-1}

$$PH_ActualError = MAX(D_i) \quad \dots\dots (C.11)$$

式中：

i ——中间点序号，取值为2到 $n-1$ 。

计算 D_i 之前需将GNSS坐标中的点转换成北-东坐标系中的点。图C. 6提供了寻找点到直线或者点到线段最短距离的方法。

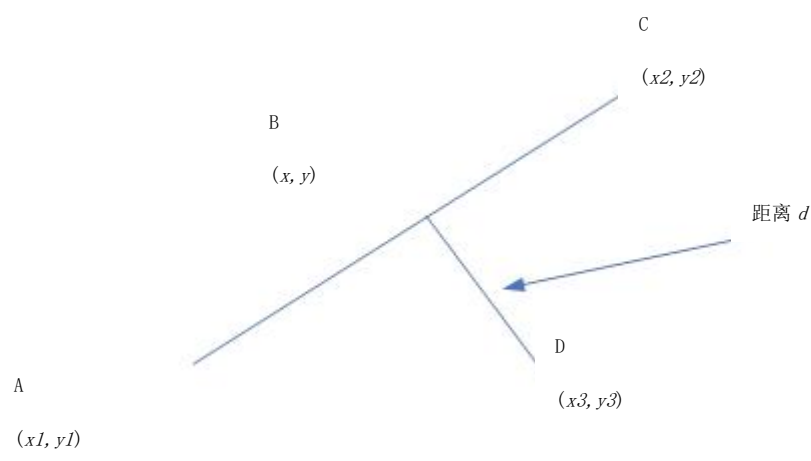


图 C. 6 点到直线或线段的最短距离

直线方程由两点A $(x1, y1)$ 和 C $(x2, y2)$ 来决定：

$$B = A + u (C - A) \quad \text{..... (C. 12)}$$

式中：

u ——0到1之间的值。

线段AC上的点B (x, y) 是最靠近D的点，并且满足下面关系：

$$(D - B) \text{ dot } (C - A) = 0 \quad \text{..... (C. 13)}$$

式中：

dot——向量点乘。

将式中的B由公式 (C. 12) 来替代：

$$[D - A - u(C - A)] \text{ dot } (C - A) = 0 \quad \text{..... (C. 14)}$$

求解 u ：

$$u = ((x3-x1)(x2-x1) + (y3-y1)(y2-y1)) / || C - A ||^2 \quad \text{..... (C. 15)}$$

带入直线方程，求出交叉点B (x, y) ：

$$x = x1 + u(x2 - x1) \quad \text{..... (C. 16)}$$

$$y = y1 + u(y2 - y1) \quad \text{..... (C. 17)}$$

点D和直线 (x, y) 的欧几里得距离为：

$$d = \text{sqrt}((x3-x)^2 + (y3-y)^2) \quad \text{..... (C. 18)}$$

在计算点到线段距离前，有必要先检查一次 u 是否在0到1之间。

- f) 同方法一的步骤 f)。
- g) 同方法一的步骤 g)。
- h) 同方法一的步骤 h)。

C. 1. 4 PH功能模块信号接口描述

PH 输入：

- Coordinated Universal Time (UTC) time UTC 时间
- Latitude 纬度
- Longitude 经度
- Altitude (elevation) 高度
- Speed 速度
- Heading 车辆航向角
- Yaw rate 横摆角速度

校准参数:

- K_PHDISTANCE_M: 200 (meters)
- K_PHDATAPOINTSSAMPLETIME_S: 100 (ms)
- K_PHALLOWABLEERROR_M: 1 (meters)
- K_PHSMALLDELTA PHI_R: 0.02 (radians)
- K_PH_RADIUSWEIGHTONE: 0.5 (unitless)
- K_PH_RADIUSWEIGHTTWO: 0.5 (unitless)
- K_PH_CHORDLENGTHTHRESHOLD: 210 (meters)
- K_PH_MAXESTIMATEDRADIUS: 7FFFFFFF (meters)

输出在简洁PH数据结构缓冲区里，是PH的数据元素。PH的输出为:

PH简洁表述的数据元素数量
PH_CONCISE_DATA_ELEMENT_1,
...
...
PH_CONCISE_DATA_ELEMENT_N,

其中，PH_CONCISE_DATA_ELEMENT由PH_UTCTime、PH_Latitude、PH_Longitude、PH_Altitude、PH_Speed、PH_Heading、PH_YawRate、PH_EstimatedSumR 所组成。

注: 如果 PH_EstimatedSumR 比 K_PH_MAXESTIMATEDRADIUS 大，那么把 PH_EstimatedSumR 设置为 K_PH_MAXESTIMATEDRADIUS。

C.2 Path Prediction 参考设计

C.2.1 简介

- PP是使用车辆的动态信息来估算驾驶员未来驾驶意图轨迹的一种算法。PP采取如下基本操作:
- 采集车辆动态信息;
 - 通过使用动态信息来计算路径半径，从而表征驾驶员的未来轨迹意图;
 - 半径等于曲率的倒数;
 - 通过车辆动态数据变化率计算预测估计的置信度，从而推断瞬态情况（例如非稳定状态情况）。

C.2.2 PP设计方法

PP算法采用车辆的动态信息来计算车辆预估轨迹的连续曲率半径。即使用车辆的速度和方向角的变化率（横摆角速度）计算曲率。该曲率可以用来推断车辆的未来路径，如图C.7。

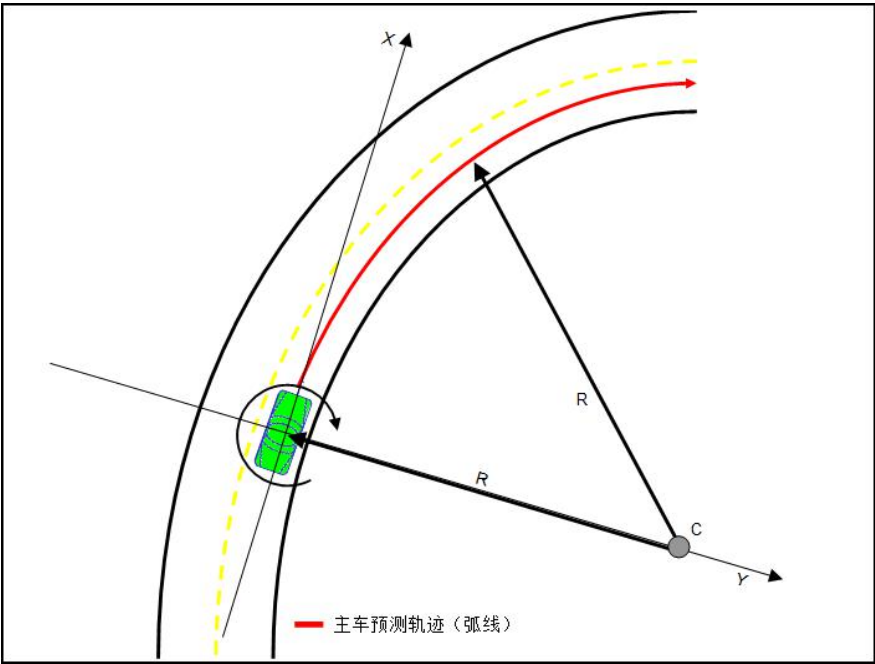


图 C. 7 车辆预测路径

PP功能模块需用到以下输入信号：

- 车辆速度 (m/s) ；
- 横摆角速度 (° /s) 。

开发者应注意分母为零的情况，并采用适当的方法防止数据溢出。在车辆速度接近于0的时候尤为重要。

C. 2. 3 半径计算

为了避免半径在正负无穷大震荡时造成滤波器输入信号的较大不连贯性，在计算PP半径时采用半径的倒数。计算出曲率后，对信号进行滤波，以衰减不必要的高频噪声。

PP功能模块使用二阶低通滤波器消除横摆角速度信号中不需要的成分。如图C. 8所示。

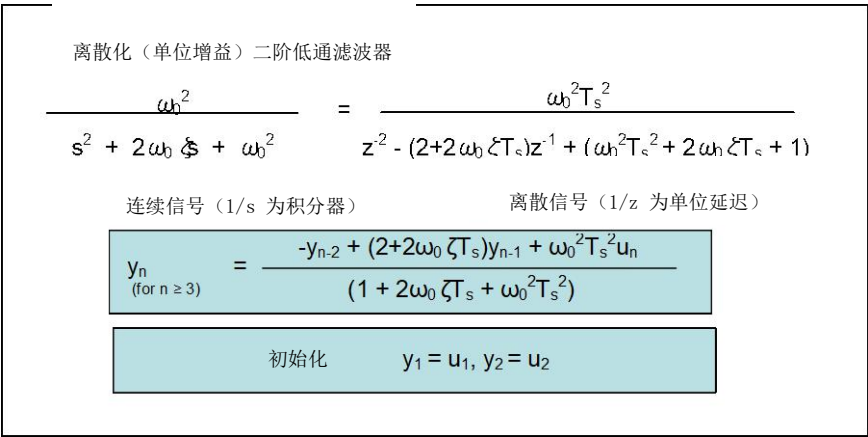


图 C. 8 离散二阶低通滤波器

在图C. 8中， $\omega_0 = 2\pi f_0$ ， f_0 是截止频率， ζ 是阻尼系数， T_s 是采样时间。

注： $\zeta = 1$ （默认）为高阻尼系统。

基本的车辆半径计算方程如下：

$$R = V/w \qquad \dots\dots (C.19)$$

式中：

- R——半径，单位为米（m）。
- V——车辆速度，单位为米每秒（m/s）；
- w——车辆横摆角速度，单位为弧度每秒（° /s）。

在计算半径时，横摆角速度从度每秒转化为弧度每秒。为了防止车辆静止时被0除，并消除滤波器输入信号的不连续性，计算半径倒数提供曲率输入。

$$\rho = w/V \qquad \dots\dots (C.20)$$

在计算曲率时，信号通过离散二阶低通滤波器，且滤波器已经被校准到合适的截止频率、阻尼参数以及采样频率。当曲率为0或者接近于0的时候，应注意防止半径计算溢出。根据如下旋转方向确定半径正负，即沿车头方向的顺时针旋转为正，逆时针旋转为负。

最后对下列两种情况做逻辑检查：

- 车辆速度小于校准阈值；
- 半径计算结果大于校准阈值。

若出现上述情况之一，则过滤之后的半径输出将被设置为定义的缺省值（3276.7 m）。

图C.9表示了主车路径半径计算逻辑流程图。

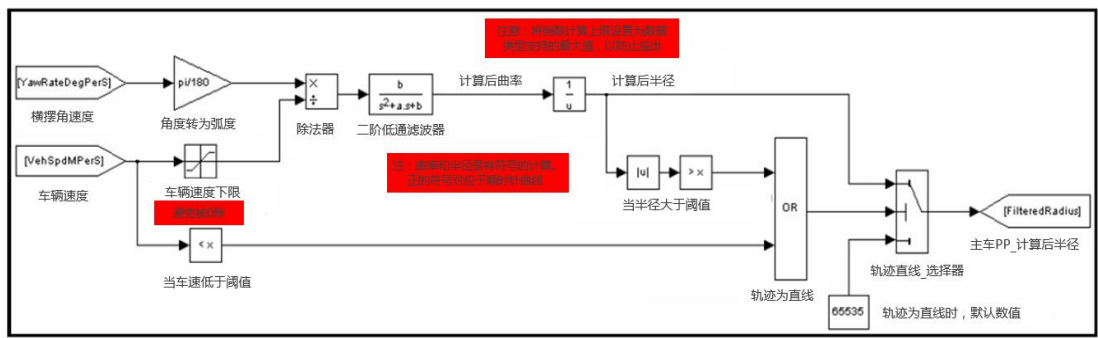


图 C.9 车辆路径半径计算

C.2.4 置信度计算

当路径预估中出现不准确的情况时，需有一种方法来区分并将动态情况告知其他车辆。通过在差分并经过滤的横摆角速度信号之间插入置信度信息来鉴别稳定状态。当车辆横摆角速度在短时间内发生很大变化时，置信度指示器将会发出低置信度报告。这些状态可能包含以下一种或多种：

- 变换车道；
- 弯曲道路的出入口；
- 弯曲道路过渡点；
- 避障以及其他高动态驾驶情况。

在PP功能模块中，使用差分离散二阶低通滤波器通过转向输入来识别车辆是否在稳定模式下。图C.10展示了滤波器的设计。

差分离散（单位增益）二阶低通滤波器

$$\frac{s\omega_0^2}{s^2 + 2\omega_0\zeta s + \omega_0^2} = \frac{\omega_0^2 T_s - \omega_0 T_s z^{-1}}{z^2 - (2 + 2\omega_0\zeta T_s)z^{-1} + (\omega_0^2 T_s^2 - 2\omega_0\zeta T_s + 1)}$$

连续信号（1/s 为积分器） 离散信号（1/z 为单位延迟）

$$y_n = \frac{-y_{n-2} + (2 + 2\omega_0\zeta T_s)y_{n-1} + \omega_0^2 T_s u_n - \omega_0^2 T_s u_{n-1}}{(\omega_0^2 T_s^2 - 2\omega_0\zeta T_s + 1)}$$

初始化: $y_1 = 0, y_2 = 0$

图 C.10 差分离散二阶低通滤波器

其中， $\omega_0 = 2\pi f_0$ ， f_0 为截止频率， ζ 为阻尼系数， T_s 为采样时间。

注： $\zeta = 1$ (默认值) 为高阻尼系统。

车辆应处于或接近稳定状态，从而使PP功能模块能够提供高精度的未来路径估计。通过对横摆角速度信号输入的二次计算来确定车辆是否处于稳定状态。PP功能模块通过监视车辆横摆角速度变化率来确定车辆的稳定状态是否即将结束，此功能通过图C.10中的差分离散二阶低通滤波器来实现。为使指示器能够在动态驾驶环境下主导半径计算，将置信度滤波器调制成高截止频率。

在过滤和差分横摆角速度信号之后，将处理之后的信号应用到一份可调的置信度查找表中，该查找表提供0%~100%区间的置信度。

图C.11展示了主车稳定状态置信度计算的逻辑流程图。

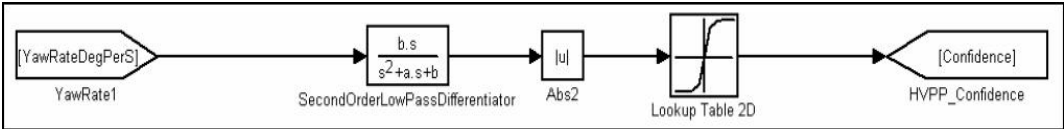


图 C.11 车辆预测行驶轨迹置信度计算

C.2.5 校准

表C.1为PP校准参数表，包含了默认、最小、最大配置参数等。表C.2为置信度查找表。

表 C.1 PP 校准参数表

校准参数	描述	缺省值	最小值	最大值
曲率截止频率	曲率低通滤波器的截止频率	0.33 Hz	0.32 Hz	0.34 Hz
曲率阻尼参数	曲率滤波器阻尼参数	1	0	2
曲率采样周期	离散曲率滤波器采样时间	100 ms	100 ms	400 ms
最小车辆速度	曲率计算所用的车速下限	1 m/s	0 m/s (仅直线行驶)	2 m/s
最大半径	超过这个半径值，路径将会被视为直线	2,500 m	2,000 m	5,000 m

表 C.1 PP 校准参数表（续）

校准参数	描述	缺省值	最小值	最大值
直线路径	当半径比最大半径大时，半径将被设置为这个值并输出来表明为直线	32,767	32,767	32,767
置信度截止频率	置信度滤波器低通截止频率	1 Hz	0.33 Hz	1 Hz
置信度阻尼参数	置信度滤波器阻尼参数	1	0	2
置信度滤波器采样周期	离散置信度滤波器采样时间	100 ms	100 ms	400 ms
置信度	用滤波和差分之后的横摆角速度来查找的二维查找表	见表 C.2 的值		

表 C.2 置信度查找表

输入：过滤差分横摆角速度 (°/s²)	>=25	[20, 25)	[15, 20)	[10, 15)	[5, 10)	[2.5, 5)	[2, 2.5)	[1.5, 2)	[1, 1.5)	[0.5, 1)	[0, 0.5)
输出：置信度 (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

附录 D

(资料性)

事件触发 BSM 消息发送

场景1：事件触发BSM消息替代原常规BSM消息进行发送。

假设系统在30ms时刻发送第一个常规BSM消息，并将130ms时刻设置为下一个常规BSM消息的发送时刻。但在发送完第一个常规BSM消息后车辆发生紧急制动事件，则系统会取消130ms时刻常规BSM消息的发送，并且立刻生成一个携带eventHardBraking指示的事件触发BSM消息。假定该事件触发BSM消息在70ms时刻发送，则系统后续会按照100ms的间隔在170ms、270ms等时刻发送后续事件触发BSM消息。

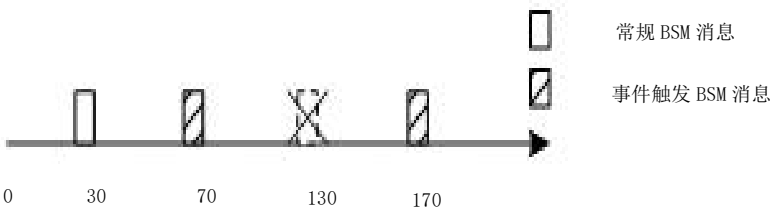


图 D. 1 消息发送时刻示意图

场景2：新增事件触发BSM消息替代原事件触发BSM消息进行发送。

系统在30ms时刻发送第一个事件触发BSM消息用以指示车辆发生紧急制动，并将130ms时刻设置为下一个事件触发BSM消息的发送时刻。但在发送完第一个事件触发BSM消息后车辆发生爆胎，系统针对这个新增事件立刻生成一个新的事件触发BSM消息并取消原计划在130ms时刻发送的原事件触发BSM消息。在新的事件触发BSM消息中，系统会同时包含eventHardBraking和eventFlatTire两个数据用于指示车辆发生紧急制动和爆胎事件。假定该事件触发BSM消息在70ms时刻发送，则系统后续会按照100ms的间隔在170ms、270ms等时刻发送后续事件触发BSM消息。

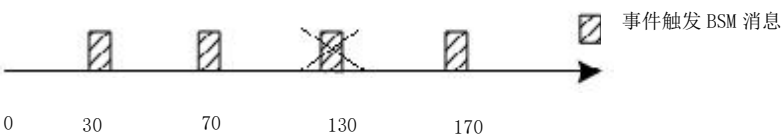


图 D. 2 场景 2 消息发送时刻示意图

附录 E
(资料性)
拥塞控制机制

E.1 概述

对于常规BSM消息的拥塞控制，可以采用E.2或E.3方式中的任一种方式。

E.2 基于 CBR 的拥塞控制

对于使用CBR值进行拥塞控制的方式，在执行拥塞控制的时间段内，应用层应根据底层递交的CBR值及表E.1调整常规BSM消息的生成周期。

当常规BSM消息的生成周期按照表E.1规则发生变化时，至少应维持当前消息生成周期生成10次消息。

表 E.1 应用层拥塞控制

CBR 范围	车速范围			
	0 km/h~5 km/h	5 km/h~10 km/h	10 km/h~25 km	>25 km/h
	BSM 消息生成周期			
$0 \leq \text{CBR} \leq 0.3$	100 ms	100 ms	100 ms	100 ms
$0.3 < \text{CBR} \leq 0.6$	100 ms	100 ms	100 ms	100 ms
$0.6 < \text{CBR} \leq 0.80$	1000 ms	500 ms	200 ms	100 ms
$0.8 < \text{CBR} \leq 1$	1000 ms	500 ms	400 ms	100 ms

E.3 基于车辆密度的拥塞控制

E.3.1 概述

用于PER计算的子区间 $vPERSubInterval$ （1000 ms）、用于PER计算的区间 $vPERInterval$ （5000ms）和拥塞控制计算间隔 $vTxRateCntrlInt$ （100 ms）之间的关系如图E.1所示。

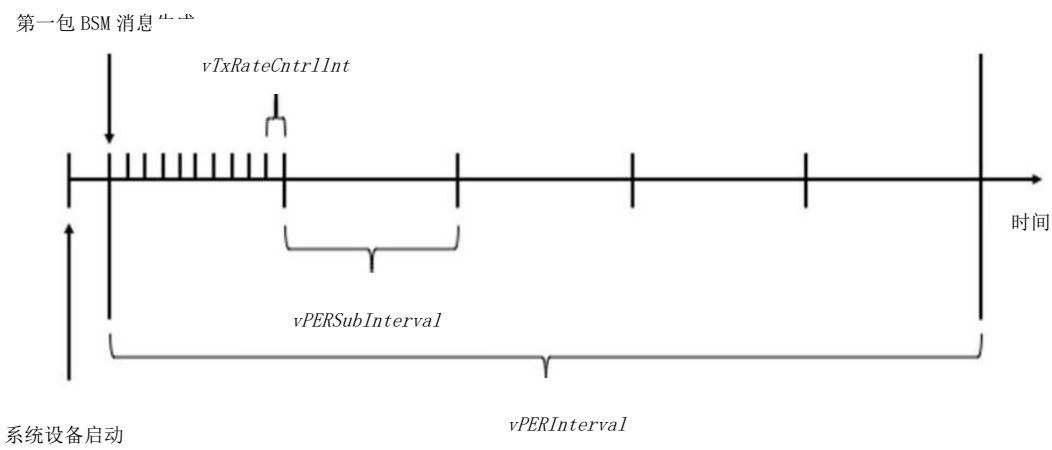


图 E.1 参数 $vPERSubInterval$ ， $vPERInterval$ 和 $vTxRateCntrlInt$ 之间的关系

E.3.2 消息生成周期

基于车辆密度进行拥塞控制，采用如下步骤进行常规BSM消息生成周期控制。

系统应按照本小节定义的周期生成常规BSM消息。系统对 $vPERRange$ (100m) 范围内车辆的数目 $N(k)$ 进行平滑计算：

$$N_s(k) = \lambda \times N(k) + (1 - \lambda) \times N_s(k-1) \quad \dots\dots (E.1)$$

式中：

$N(k)$ ——在第 k 个 $vTxRateCntrlInt$ (100ms) 间隔的最后，主车计算的在 $vPERRange$ (100m) 范围内的远车总数量（按照BSM消息内的id标示区分远车），即在第 k 个 $vPERInterval$ 间隔内接收到的某个远车最后一个BSM消息内包括的2D位置信息位于主车最近获取的2D位置信息 $vPERRange$ (100m) 范围内；

λ ——平滑加权因子 $vDensityWeightFactor$ (0.05)；

$N_s(k)$ ——当前平滑后的车辆密度。

系统采用如下公式计算常规BSM消息生成周期 $Max_ITT(k)$ ：

$$Max_ITT(k) = \begin{cases} 100 & N_s(k) \leq B \\ \text{round}(100 \times \frac{N_s(k)}{B}) & B < N_s(k) < \frac{vMax_ITT}{100} \times B \\ vMax_ITT & \frac{vMax_ITT}{100} \times B \leq N_s(k) \end{cases} \quad \dots\dots (E.2)$$

式中：

$\text{round}()$ ——对100 ms取整，其输出结果为100 ms的整数倍。取整方法宜采用四舍五入，以得到最接近的周期值。

$Max_ITT(k)$ ——消息生成间隔，单位为毫秒 (ms)；

B ——密度系数 $vDensityCoefficient$ (25)；

$vMax_ITT$ ——上述计算中的最大门限(600 ms)。

系统调度下一个生成常规BSM的时间为：

$$NextScheduledMsgTime = LastTxTime + Max_ITT \quad \dots\dots (E.3)$$

$LastTxTime$ ——上次BSM生成的时间。

E.3.3 跟踪误差

在E.3.2周期生成常规BSM的基础上，如果车辆位置发生较大变化，则需要考虑将常规BSM消息生成的时间提前，从而将主车的实时位置告知其他交通参与方。在第 k 个 $vTxRateCntrlInt$ (100ms) 结束时，系统计算发送概率 $p(k)$ ：

$$p(k) = \begin{cases} 1 - \exp(-\alpha \times |e(k) - T|^2) & \text{if } T \leq e(k) < S \\ 1 & \text{if } e(k) \geq S \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots\dots (E.4)$$

式中：

T ——通信导致的最小跟踪误差 (tracking error) 门限 $vTrackingErrMin$ (0.2 m)；

α ——误差灵敏度 $vErrSensitivity$ (75)；

S ——通信导致的tracking error饱和上限 $vTrackingErrMax$ (0.5 m)；

a) 本车进行自身位置估计 (HV Local Estimate)。

假设 T 时刻是最近一次主车获知自身位置信息的时刻, T' 时刻为当前时刻。如果 $T' - T < vHVLocalPosEstIntMin$ (50 ms), 则估计出来的新的位置 (New_Latitude_Local, New_Longitude_Local) 即为最近一次本车获知的位置信息, 无需做估计; 如果 $T' - T > vHVLocalPosEstIntMax$ (150ms), 则认为主车的位置信息在其他交通参与侧已长时间未更新, $e(k) = 0$; 如果 $HVPosEstIntMin < T' - T < HVPosEstIntMax$, 则计算在 $T' - T$ 时间间隔内车辆朝向不变时, 其往前移动的距离 D , 然后依据移动距离 D 通过平面坐标系到地球经纬度坐标系的转换得到估计出来的新的车辆位置 (New Latitude Local, New Longitude Local)。

方法与主车进行自身位置估计一致，区别在于 T 时刻主车的位置信息在其他车辆处的状态是依据信道质量和主车最近一次发送的BSM消息包含的位置信息估计出来的，具体估计方法见C.3.3.1。类似的， T' 时刻为当前时刻。如果 $T' - T < vHVRemotePosEstIntMin$ （50 ms），则估计出来的新的位置（New_Latitude_Remote, New_Longitude_Remote）即为主车的位置信息在其他车辆处依据信道质量和主车最近一次发送的BSM消息包含的位置信息估计出来的最新信息，无需做额外的位置估计；如果 $T' - T > vHVRemotePosEstIntMax$ （3000ms），则认为本车辆的位置信息在别的车辆和其他车辆处已经很长时间没有更新， $e(k) = 0$ ；如果 $vHVRemotePosEstIntMin < T' - T < vHVRemotePosEstIntMax$ ，则计算在 $T' - T$ 时间间隔内车辆朝向不变时，其往前移动的距离 D ，然后依据移动距离 D 通过平面坐标系到地球经纬度坐标系的转换得到估计出来的新的车辆位置（New Latitude Remote, New Longitude Remote）。

c) 计算 tracking error $e(k)$, 方法为求 (a) 步骤中计算出的 HV Local Estimate 和 (b) 步骤中 HV Remote Estimate 之间的 2D 距离。

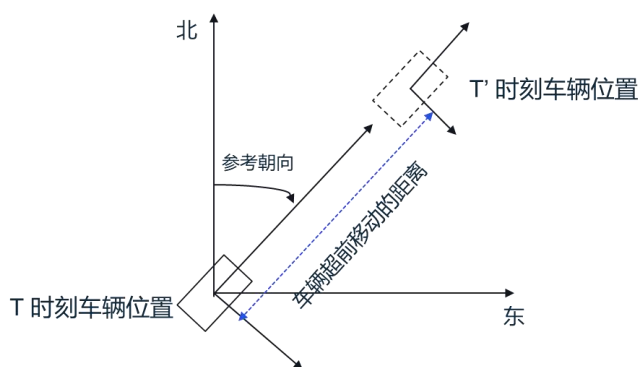


图 E.2 车辆朝前移动距离

d) 在第 k 个 *vTxRateCtrlInt* 结束时, 系统使用 tracking error $e(k)$, 计算由于跟踪误差 tracking error 导致生成 BSM 消息的概率 $p(k)$:

$$p(k) = \begin{cases} 1 - \exp(-\alpha \times |e(k) - T|^2) & \text{if } T \leq e(k) < S \\ 1 & \text{if } e(k) \geq S \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots\dots (E. 5)$$

式中：

T ——通信导致的最小tracking error门限 $vTrackingErrMin$ (0.2 m)；

α ——误差灵敏度 $vErrSensitivity$ (75)；

S ——通信导致的tracking error饱和上限 $vTrackingErrMax$ (0.5 m)。

注：上述公式的设计原则是，当tracking error未超过门限 T 时，主车不会因为tracking error广播BSM消息；当tracking error超过此门限时，则tracking error越大，发送概率越大，当tracking error超过门限 S 时，则会因为tracking error导致发送BSM。因为主车的tracking error各不相同，它们会以不同的概率广播BSM消息。

基于Vehicle Dynamics的发送（也就是基于上述tracking error），通过伯努利试验 $\text{rand}()$ 取一个在0到1之间均匀分布的随机数，如果通过伯努利试验为真且下次调度BSM消息的时间大于等于 $vRescheduleTh$ ，调度BSM消息生成，同时取消已有的BSM消息生成调度，分配 $LastTxTime = CurrentTime$ 。

e) 信道质量估计

需已知整体的信道状况，然后依据信道平均质量来估计主车发送的信息在其他车辆处被正确接收的概率，从而可估计在特定时刻其他车辆处主车的位置信息状态（是最消息新，还是若干次之前发送的信息）。平均信道质量指示（ Π ）可通过如下方法得到：

在第 k 个 $vPERSubInterval$ (1 s) 结束时刻计算PER（误包率，在一对主车和远车之间进行计算）。

——系统采用如下计算方法， $vPERInterval$ 内采用滑动窗计算第 k 个 $vPERSubinterval$ 时刻的PER：

在每个 w_k 结束时，针对每个远车，按照如下公式，计算在 δ_k 间隔内，预期接收到的BSM消息数量以及未接收到的BSM消息数量：

$$PER_i(k) = \frac{\text{在 } [w_{k-n+1}, w_k] \text{ 期间，从 RV}_i \text{ 未收到的 BSM 消息数量}}{\text{在 } [w_{k-n+1}, w_k] \text{ 期间，从 RV}_i \text{ 预期接收到的 BSM 消息总数}} \quad \dots\dots (E.5)$$

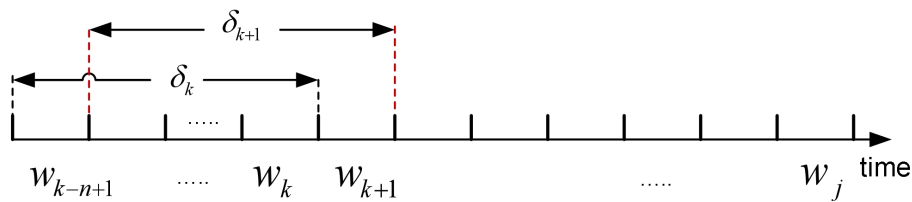
式中：

i ——第 i 辆远车；

k ——第 k 个 $vPERSubInterval$ (1 s)

n ——在 δ_k 内子间隔的个数， δ_k 的长度是 w_k 的 n 倍

w_k ——第 k 个 $vPERSubInterval$ (1 s) 时间段



说明：

δ_k ——第 k 个 $vPERInterval$ (5 s)

w_k ——第 k 个 $vPERSubInterval$

图 E.3 滑动计算窗

在 δ_k 内对每个接收到2个或多个BSM消息的远车，采用BSM消息中的DE_MsgCount数据单元计算PER，其中预期接收到的BSM消息数量为在 δ_k 内接收到的最后一个BSM和第一个BSM中的DE_MsgCount之差加1；而未接收到BSM消息数量为：在 δ_k 内预期接收到的BSM消息数量与实际接收到的消息数量之差。当计算特定远车预期和未接收到的BSM消息数量时，需要考虑DE_MsgCount数据单元达到最大值后会归零的特性。如果在 δ_k 间隔内，某个远车只收到了一个数据包，不用于在 δ_k 间隔内计算这个远车的PER。

——信道质量指示 (Π)：在 w_k 间隔最后计算 $\Pi(k)$ ，其为在 $vPERRange$ (100m) 内所有远车的 PER (k) 的平均值，并且满足如下限制：

$$\begin{aligned} & \text{If } (\Pi(k) > vPERMax) \\ & \Pi(k) = vPERMax \end{aligned} \quad \dots\dots (E.6)$$

基于信道质量指示 $\Pi(k)$ ，在每次主车发送BSM消息之后，均估计该消息是否被其他车辆接收到。对 $\Pi(k)$ 进行伯努利试验，如果试验的结果为真，则认为主车发送的BSM消息被其他远车正确接收到，主车采用本次BSM里面的位置信息更新其在其他车辆处的位置状态；否则，则认为消息未被其他车辆收到，主车不更新其位置在其他车辆处的状态。如果连续 $vMaxSuccessiveFail$ (3) 次试验均为假，则认为其他车辆接收到最新的BSM消息，同时主车采用最新的BSM里面的位置信息更新其在其他车辆处的位置状态。

附 录 F
(规范性)
基本车辆类型

基本车辆类型如表F. 1所示。

表 F. 1 基本车辆类型

	对应编号	车辆类型描述		参 考 GB/T 3730. 1-2001
特殊用途	1	特殊车辆基本车辆类型	专用客车 special bus	2. 1. 2. 1. 8
			专用乘用车 special purpose passenger car	2. 1. 2. 1. 11
			旅居车 motor caravan	2. 1. 2. 1. 11. 1
			防弹车 armoured passenger car	2. 1. 2. 1. 11. 2
			殡仪车 hearse	2. 1. 2. 1. 11. 4
			专用作业车 special goods vehicle	2. 1. 2. 3. 5
			专用货车 specialized goods vehicle	2. 1. 2. 3. 6
乘用车	10	乘用车基本车辆类型，未知类别	普通乘用车 saloon(sedan)	2. 1. 1. 1
			活顶乘用车 convertible saloon	2. 1. 1. 2
			高级乘用车 pullman saloon (pullman sedan) (executive limousine)	2. 1. 1. 3
			小型乘用车 coupe	2. 1. 1. 4
			敞篷车 convertible (open tourer) (roadster) (spider)	2. 1. 1. 5
			仓背乘用车 hatchback	2. 1. 1. 6
			旅行车 station wagon	2. 1. 1. 7
			多用途乘用车 multipurpose passenger car	2. 1. 1. 8
			短头乘用车 forward control passenger car	2. 1. 1. 9
			越野乘用车 off-road passenger car	2. 1. 1. 10

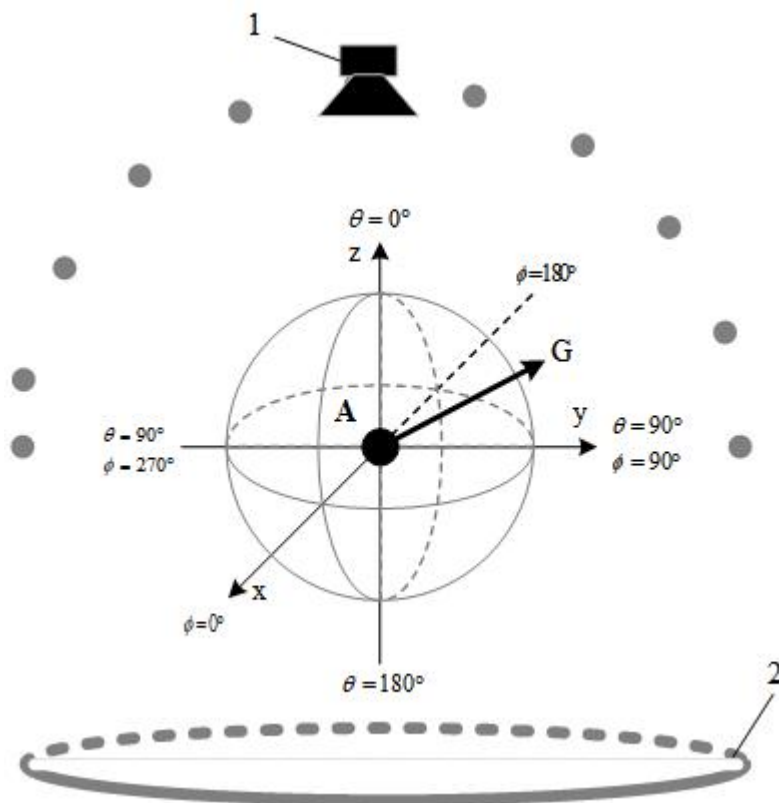
表 F.1 基本车辆类型（续）

车辆类型	对应编号	车辆类型描述		汽车和挂车类型的术语和定义 (GB/T 3730.1-2001)
货车	20	货车基本车辆类型，未知类型	普通货车 general purpose goods vehicle	2.1.2.3.1
			多用途货车 multipurpose goods vehicle	2.1.2.3.2
			全挂牵引车 trailer towing vehicle	2.1.2.3.3
			越野货车 off-road goods vehicle	2.1.2.3.4
			专用作业车 special goods vehicle	2.1.2.3.5
			专用货车 specialized goods vehicle	2.1.2.3.6
	25	货车基本车辆类型，未知类型	半挂牵引车 semi-trailer towing vehicle	2.1.2.2
客车	50	客车基本车辆类型，未知类型	小型客车 minibus	2.1.2.1.1
			城市客车 city-bus	2.1.2.1.2
			长途客车 interurban coach	2.1.2.1.3
			旅游客车 touring coach	2.1.2.1.4
			无轨电车 trolley bus	2.1.2.1.6
			越野客车 off-road bus	2.1.2.1.7
	59	铰接客车	铰接客车 articulated bus	2.1.2.1.5
紧急车辆类型	62	消防轻型车	消防轻型车	
	63	消防重型车	消防重型车	
	65	急救车	急救车	2.1.1.1.3
	66	公安轻型车	公安轻型车	
	67	公安重型车	公安重型车	
	68	其他应急响应车辆	工程抢险车	

附录 G
(规范性)
三维球坐标系

G.1 三维球坐标系

三维球坐标系见图G.1，俯仰角 θ 和方位角 ϕ 的数值表示矢量在球面的角向位置。三维球坐标系原点A在xy平面的投影点与转台中心重合，在yz平面的投影点与测量探头扫描轨迹的中心重合。 $\theta=0^\circ$ 为测量探头最高点方向， $\phi=0^\circ$ 为被测车辆正前方方向。



说明：

- G ——参数矢量；
- θ ——矢量与+z轴之间的夹角；
- ϕ ——矢量在xy平面上的投影与+x轴之间的夹角；
- A ——三维坐标系原点；
- 1 ——测量探头；
- 2 ——转台。

图 G.1 三维球坐标系

G.2 被测车辆天线坐标位置

车辆天线与测试坐标系位置关系示意图见图G.2， $\theta=0^\circ$ 表示车辆的正上方， $\phi=0^\circ$ 表示车辆的正前方，A点为车辆天线的几何中心。

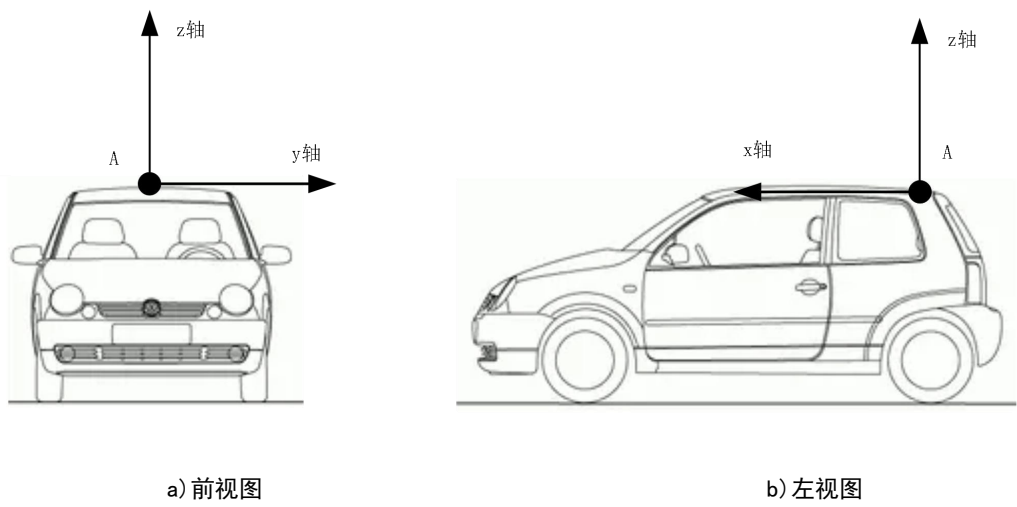


图 G.2 车辆天线与测试坐标系位置关系示意图

G.3 车辆方位区域

车辆前侧、后侧、左侧和右侧的方位角范围见图G.3。

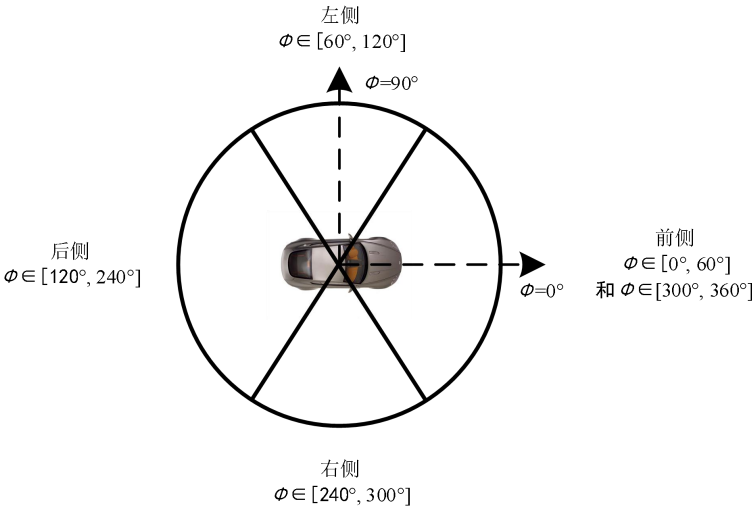


图 G.3 车辆角度示意图

附录 H
(资料性)
耐久性试验

H.1 耐久性试验

本试验用于较快速地验证DUT的寿命是否满足要求。试验时，DUT工作模式应为表1中工作模式2。试验期间按照试验持续时间的25%、50%、75%以表1中工作模式2进行检查。试验后，静置至少1h恢复常温，以表1中工作模式2进行功能验证试验。温度曲线如图H.1所示。最高、最低试验温度分别为 T_{max} 、 T_{min} 。温度梯度为4℃/min。DUT在达到最高、最低工作温度时需要保持的时间为10min。试验循环次数及时间按照H.2描述进行计算。DUT寿命不应低于10年，系统应达到6.1等级A的要求。

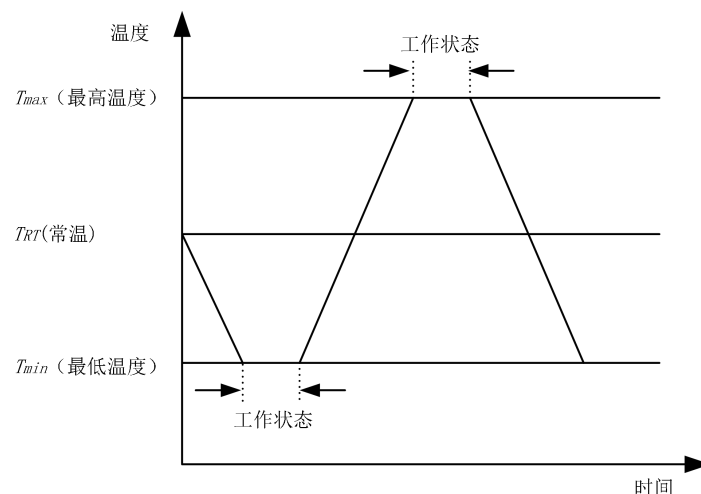


图 H.1 耐久寿命试验温度曲线

H.2 耐久性试验计算模型

试验采用Coffin-Manson加速模型。为了计算耐久性寿命试验的试验持续时间，需要考虑DUT安装位置平均温度变化 ΔT_{Feld} 和寿命期间的温度循环系数 $N_{TempZyklusFeld}$ 。DUT安装位置平均温度变化 ΔT_{Feld} 参见GB/T 38892—2020附录B1.1。

按式（H.1）计算Coffin-Manson模型的加速度系数与场地平均温度变化的关系：

$$A_{CM} = \left(\frac{\Delta T_{Test}}{\Delta T_{Feld}} \right)^c \dots\dots\dots (H.1)$$

式中：

- A_{CM} ——Coffin-Manson模型的加速度系数；
- ΔT_{Test} ——在一次试验循环期间的温差（ $\Delta T_{Test} = T_{minmax} - T_{maxmin}$ ）；
- ΔT_{Feld} ——在场地使用寿命期间的平均温差；
- c ——Coffin-Manson模型参数，在本部分中 c 固定设置为2.5。

按照式（H.2）计算试验循环的总次数：

$$N_{Pruf} = \frac{N_{TempZyklusFeld}}{A_{CM}} \dots\dots\dots (H.2)$$

式中：

- N_{Pruf} ——试验循环不可或缺的次数；
- $N_{TempZyklusFeld}$ ——（场地温度循环）场地使用寿命期间的温度循环次数；

A_{CM} ——按式（H.1）Coffin-Manson模型计算的加速度系数。

附录 I
(资料性)
车辆天线性能测试场地要求

I.1 一般要求

车辆天线性能测试场地应满足以下要求：
——净空间尺寸应满足测量设备和被测车辆天线安装架设和扫描采样的空间需求；
——确保来自外部物体的反射不影响测量结果。

I.2 开阔场要求

开阔场满足以下要求：
——测量场地应是一个没有电磁波反射物的空旷场地，应避开建筑物、电力线、篱笆和树木等，并应远离地下线缆、管道等；
——若测量场地采用气候保护罩，则气候保护罩应能保护包括被测天线及系统在内的整个试验场地，所用材料应具有射频透明性，以避免造成不必要的反射；
——宜使用金属接地平板的测量场地，可使用时域法消除地面反射，测量设施和测量人员都应在无障碍区之外；
——对于旋转组件位于接地平板下的转台，旋转表面应与接地平板齐平，并将其与接地平板导电连接。
注：测量区域顶部没有反射特性的防护罩。

I.3 全电波暗室要求

全电波暗室应满足表I.1所示全电波暗室场地性能要求。

表 I.1 全电波暗室场地性能要求

序号	性能指标	具体要求
1	屏蔽效能	在 700 MHz~6 GHz 频率范围内，屏蔽效能应大于 100 dB
2	测量范围	静区尺寸大于被测天线系统辐射体的直径
		天线测试系统的测量范围应覆盖待测车辆的最大尺寸
3	辐射性能要求	在天线测试系统测量范围内的任意位置
		参考天线的测量结果与标准值的偏差应小于 1 dB
注：增益的测试误差包含标准增益天线不确定性在内的所有系统测试误差		