



团 体 标 准

T/XXX XXXX—XXXX

智能网联汽车 V2X 安全、效率应用功能仿真测试及评价方法

Simulation Test and Evaluation Methods for Safety and Efficiency Application
Functions of Intelligent Connected Vehicle V2X

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

湖州市质量与标准化协会 发 布

目 次

前言	III
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 V2X 安全与效率应用仿真场景库通用技术要求	3
5.1 场景库整体构成逻辑	3
5.2 场景工程配置技术规范	3
5.3 时序仿真数据流技术规范	4
5.4 安全应用预期判定指标技术要求	4
5.5 效率应用预期量化指标技术要求	6
6 硬件在环仿真测试系统总体架构与硬件组成	10
6.1 仿真测试系统整体架构	10
6.2 硬件组成要求	11
6.3 仿真系统通用基础功能要求	11
7 在环仿真测试接口详细技术规范	11
7.1 接口传输格式与分发规则	12
7.2 测试结果回传接口数据规范	12
8 V2X 安全、效率应用仿真标准化测试流程	12
8.1 测试前期准备	12
8.2 仿真测试执行	13
8.3 测试数据存储与回放要求	13
8.4 测试后数据整理与结果生成	13
9 V2X 安全、效率应用仿真测试评价方法	13
9.1 通则	13
9.2 安全类应用评价	14
9.3 效率类应用评价	14
9.4 评价结果输出	14
附录 A（规范性） 仿真时序数据流两种生成途径	15
A.1 外场实车采集生成方式	15
A.2 3D 仿真软件自动生成方式	15
附录 B（资料性） V2X 安全、效率场景完整编号体系	16
B.1 安全类主场景与细分工况编号	16
B.2 效率类主场景与细分工况编号	17
B.3 自定义扩展场景编号规则	17
附录 C（资料性） HIL 仿真测试硬件最低性能要求	19

附录 D（资料性） 标准化仿真测试评价报告模板	20
参考文献	21

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由德清县质量监督检测中心提出。

本文件由湖州市质量与标准化协会归口。

本文件起草单位：德清县质量技术监督检测中心、浙江省质量科学研究院、中汽院智能网联科技有限公司。

本文件主要起草人：沈明芳、赵存彬、黄瑞、章轶、喻国平、沈赟、骆蕾。

本文件为首次发布。

智能网联汽车 V2X 安全、效率应用功能仿真测试及评价方法

1 范围

本文件规定了智能网联汽车V2X安全类、效率类应用功能的仿真测试条件、仿真场景库构建、在环仿真测试系统架构与硬件组成、在环仿真测试接口、测试流程、评价判定方法以及数据记录与结果分析要求。

本文件适用于基于V2X Day 1典型应用场景的车载V2X终端（OBU）、路侧单元（RSU）、整车V2 集成系统以及云端V2X协同仿真平台的仿真测试与评价。

本文件仅涉及安全类与效率类V2X应用，其他类别应用不在本文件范围内。

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 33577 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

GB/T 39265—2020 道路车辆 盲区监测（BSD）系统性能要求及试验方法

JT/T 1242—2019 营运车辆自动紧急制动系统性能要求和测试规程

YD/T 3340 基于LTE的车联网无线通信技术 空中接口技术要求

YD/T 3400 基于LTE的车联网无线通信技术 总体技术要求

YD/T 3707 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

T/CSAE 53—2020 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准（第一阶段）

T/CSAE 159 基于LTE的车联网无线通信技术 直连通信系统路侧单元技术要求

T/CSAE 246—2022 智能网联汽车V2X系统预警应用功能测试与评价方法

T/CSAE 297—2023 面向V2X网联预警应用的场景库技术要求及仿真测试规范

3 术语和定义

T/CSAE 53—2020界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

V2X vehicle to everything

V2X

车辆与外界通信的技术。

注：“外界”指车辆自身范畴以外的车辆、行人、云端、基础设施等。

3.2

车载单元 on-board unit

OBU

安装在车辆上的可实现 V2X 通信、支持 V2X 应用的硬件单元。

[来源：T/CSAE 53—2020，3.1.5]

3.3

路侧单元 roadside unit

RSU

安装在路边的可实现 V2X 通信、支持 V2X 应用的硬件单元。

[来源: T/CSAE 53—2020, 3.1.6]

3.4

被测车辆 vehicle under test

VUT

装载有 OBU, 具备周期广播 V2X 消息与应用场景预警能力的待测车辆。

3.5

背景车辆 background vehicle

BV

装载有 OBU, 具备周期广播 V2X 消息能力, 与被测车辆配合完成测试任务的网联车辆。

3.6

被测对象 device under test

DUT

仿真测试中被测试的 V2X 载体, 包括 V2X 软件算法、OBU 硬件设备、整车 V2X 控制器三类对象。

3.7

V2X 安全类应用 V2X safety application

基于 V2V/V2I/V2P 通信实现车辆碰撞、行人避让、异常车辆、紧急车辆、闯红灯、限速等风险预警的网联应用总称。

3.8

V2X 效率类应用 V2X efficiency application

基于 V2I/V2V 通信实现绿波车速引导、动态车道管理、路口协作通行、拥堵提醒、场站引导、差分地图服务等提升道路通行效率的网联应用总称。

3.9

判定起始时刻 evaluation start time

t0

仿真测试中性能评估阶段开始的时刻, 即被测车辆与目标物达到场景规定稳定运动状态的时刻。

3.10

基线 baseline

同一场景、同一路网、同一交通流输入和同一信号配时条件下, 关闭 DUT 效率类应用功能时所测得的通行指标值。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ASN.1: 抽象语法标记 (Abstract Syntax Notation One)

AVW: 异常车辆提醒 (Abnormal Vehicle Warning)

BSM: 基本安全消息 (Basic Safety Message)
 BSW: 盲区预警 (Blind Spot Warning)
 CAN: 控制器局域网 (Controller Area Network)
 CLW: 车辆失控预警 (Control Lost Warning)
 DNPW: 逆向超车预警 (Do Not Pass Warning)
 EBW: 紧急制动预警 (Emergency Brake Warning)
 EVW: 紧急车辆提醒 (Emergency Vehicle Warning)
 FCW: 前向碰撞预警 (Forward Collision Warning)
 GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)
 HIL: 硬件在环 (Hardware in the Loop)
 HLW: 道路危险状况预警 (Hazardous Location Warning)
 HV: 主车 (Host Vehicle)
 ICW: 交叉路口碰撞预警 (Intersection Collision Warning)
 JSON: JavaScript 对象表示法格式 (JavaScript Object Notation)
 LCW: 变道预警 (Lane Change Warning)
 LTA: 左转辅助 (Left Turn Assist)
 MAP: 地图消息 (Map Message)
 RLVW: 闯红灯预警 (Red Light Violation Warning)
 RSI: 路侧交通消息 (Road Side Information)
 RSM: 路侧安全消息 (Roadside Safety Message)
 RV: 远车 (Remote Vehicle)
 SIL: 软件在环 (Software in the Loop)
 SLW: 限速预警 (Speed Limit Warning)
 SPAT: 信号灯消息 (Signal Phase and Timing Message)
 TTC: 碰撞时间 (Time to Collision)
 UTC: 世界标准时间 (Coordinated Universal Time)
 VIL: 车辆在环 (Vehicle in the Loop)
 VRU: 弱势交通参与者 (Vulnerable Road User)
 VRUCW: 弱势交通参与者碰撞预警 (Vulnerable Road User Collision Warning)

5 V2X 安全与效率应用仿真场景库通用技术要求

5.1 场景库整体构成逻辑

仿真场景库由若干独立测试工程组成, 单个测试工程包含场景工程配置、3D 路网资源、时序仿真数据流、预期评价指标四大模块, 工程之间应支持快速复制、工况修改和场景替换。场景库中的测试工程应保证同一工程在相同配置下可重复运行, 并可通过数据回放实现过程复现。

- 场景工程配置: 存储场景类别与编号、道路类型、气象条件、交通流密度、仿真车辆上限、被测对象基础信息等;
- 3D 路网资源: 支持内置标准道路与外部 OpenDrive 路网导入, 路网应包含车道级几何与拓扑信息;
- 时序仿真数据流: 包含毫秒级车辆定位、车身状态及全网 V2X 消息的时序数据;
- 预期评价指标: 按场景类别区分安全类应用的预警判定范围与效率类应用的通行量化指标。

5.2 场景工程配置技术规范

场景工程配置采用 JSON 格式存储。场景描述、场景数据的数据单元与字段结构应满足 T/CSAE 297—2023 中 5.2、5.3 规定的要求; 针对仿真测试的管理需求, 测试工程还应包含表 1 规定的配置字段。

表 1 场景工程配置补充字段

字段	定义	类型	说明
ProjectID	测试工程编号	string	同一场景库内唯一
SceneCode	场景编号	string	编号规则见附录 B
SceneCategory	场景类别	string	Safety: 安全类; Efficiency: 效率类
RoadType	道路类型	number	按 T/CSAE 297—2023 表 1 规定的取值
MapFile	路网文件	string	OpenDrive 文件路径及版本号
Weather	气象参数	object	云量、降雨量、路面积水、雾浓度、风力、太阳高度角
TrafficFlow	交通流密度	number	单位: 辆/ (车道 · km) 或 pcu/h
MaxVehicleNumber	最大仿真车辆数	number	不小于 300
Penetration	OBU 渗透率	number	百分比, 仅效率类场景必选
DutConfig	被测对象配置	object	DeviceID、DUT 类型、软硬件版本
ExpectedFile	预期结果文件	string	按 5.4.7、5.5.6 规定的 JSON 文件
RepeatTimes	重复测试次数	number	按 5.4.6.1 或 5.5.5.3 的规定取值

5.3 时序仿真数据流技术规范

5.3.1 时序数据流以 ms 级时间戳为基准, 数据帧的划分、编码与分发应满足 T/CSAE 297—2023 中 5 规定的要求。单条数据帧分为主车状态帧、GNSS 定位帧和网联 V2X 环境帧三类, 帧类型、分发接口与导出格式见表 2。

表 2 时序仿真数据帧类型与分发要求

帧类型	数据内容	分发接口	FrameType 取值	采样要求
主车状态帧	车速、加速度、制动状态、转向灯、档位、车身姿态等	Y0	1	不低于 50Hz
GNSS 定位帧	经纬度、海拔、航向角、定位精度因子、UTC 时间	Y1	2	不低于 10Hz
网联 V2X 环境帧	BSM、RSM、RSI、MAP、SPAT 等消息的 ASN.1 编码数据	Y2	3	BSM 不低于 10 Hz
主车状态与定位合并帧	主车状态数据与 GNSS 定位数据的合并内容	Y0 与 Y1 合并	4	按合并接口要求执行
预警结果帧	DUT 输出的预警类型、等级、触发时刻及距离等	Y3	—	事件触发并持续上报

- 5.3.2 FrameType 的取值与含义应符合 T/CSAE 297—2023 表 6 的规定。
- 5.3.3 时序数据流应支持二进制、JSON、Lua 三种存储与导出格式, 并应保留原始编码数据, 用于测试结果复核。
- 5.4 安全应用预期判定指标技术要求

5.4.1 通则

5.4.1.1 安全类应用预期判定指标用于判定被测对象（DUT）在给定安全场景下的预警功能是否符合预期。预期判定指标应与场景工程（见 5.2）一并配置，并随场景工程导入仿真测试系统。

5.4.1.2 预期结果的数据单元、字段结构与编码方式按 T/CSAE 297—2023 第 5.4 条及表 3 的规定执行，本文件不重复规定上述字段定义。

5.4.1.3 预期触发范围（判据阈值）应按 T/CSAE 246—2022 中各场景通过性条件的要求设置，具体场景与来源见 5.4.5 和表 4。本文件不重新赋予各场景的判据阈值。

5.4.1.4 针对仿真测试条件，本文件对判定起始时刻与时间基准（见 5.4.2）、测量参考点（见 5.4.3）、判定指标（见 5.4.4）、判定规则（见 5.4.6）及数据结构扩展（见 5.4.7）作出补充规定。

5.4.1.5 安全类应用的范围按本文件 3.7 确定，其场景与 T/CSAE 246—2022 附录 A~L、O 的规定对应。

5.4.2 判定起始时刻与时间基准

5.4.2.1 判定起始时刻 t_0 宜取 T/CSAE 246—2022 中第 7.1.2 条规定的性能评估阶段开始时刻，即被测车辆与目标物达到场景规定稳定运动状态的时刻。场景工程应显式定义 t_0 并声明其触发事件类型，包括但不限于：

- a) 目标物（背景车辆、行人、非机动车等）开始运动的时刻；
- b) 被测车辆与目标物的碰撞时间（TTC）首次达到设定值的时刻；
- c) 目标物进入规定预警区域或路侧信息覆盖范围的时刻；
- d) 信号灯相位切换或路侧消息首次发布的时刻；
- e) 背景车辆减速度达到设定值的时刻；
- f) 被测车辆激活转向灯或发出其他变道意图的时刻。

5.4.2.2 仿真测试应采用仿真主机下发的时序数据流（见 5.3）所使用的仿真时钟作为唯一时间基准。DUT 通过 Y3 接口回传的时间戳应归算至仿真时钟，归算后的偏差不应大于一个仿真步长；时间戳取值与格式应与 T/CSAE 297—2023 表 3 中 EarliestTime、LatestTime 字段的要求一致。

5.4.2.3 预警时刻 t_w 以 DUT 通过 Y3 接口首次回传、预警类型与场景规定一致、且预警等级不低于场景规定等级的有效预警所对应的时间戳为准。预警持续时间按 T/CSAE 297—2023 表 3 中 MinDuration 字段的规定统计。

5.4.3 测量参考点

5.4.3.1 纵向距离类指标的测量参考点按 T/CSAE 246—2022 第 3.9 条的规定执行，即被测车辆前部第 95 百分位眼椭圆中心至目标车辆最前端的纵向距离。仿真场景应在场景工程中声明虚拟眼椭圆中心相对车辆几何中心的纵向偏移量。

5.4.3.2 横向距离类指标的测量参考点按 T/CSAE 246—2022 第 3.10 条的规定执行，即试验车辆车身最外缘（近目标车辆侧，不含外后视镜）至目标车辆车身最外缘的横向距离。

5.4.3.3 涉及碰撞点的场景（如交叉路口碰撞预警、闯红灯预警、弱势交通参与者碰撞预警），预警距离按被测车辆至碰撞点的距离计算，碰撞点位置由场景工程定义；沿曲线轨迹行驶时，按被测车辆预设轨迹的弧长计算。

5.4.3.4 上述测量参考点与 T/CSAE 297—2023 表 1 中天线位置字段（AntennaLocationLat、AntennaLocationLong）的定义对象不同：前者用于预警时机判定，后者用于 BSM 等消息中车辆位置数据的生成，两者不应混用。

5.4.4 判定指标

安全类应用预期判定指标、判据形式及其与 T/CSAE 297—2023 表 3 字段的对应关系见表 3。

5.4.5 典型安全场景与判据来源

T/CSAE 246—2022 第 6.1 条规定了 15 项测试项目、21 种测试场景，其中前向碰撞预警含 A.1~A.5 五种场景，盲区/变道预警 D.1~D.3 三种场景。本文件涉及的安全类场景与判据来源见表 4。

表 3 安全应用预期判定指标与字段对应关系

评价维度	判据形式	对应 T/CSAE 297—2023 表 3 字段	数据来源
预警及时性	最早预警距离、最晚预警距离	MaxDistance、MinDistance	Y3 预警信息与场景真值
预警及时性	最早预警时刻、最晚预警时刻（TTC）	EarliestTime、LatestTime	Y3 时间戳与场景真值
预警及时性	事件触发至预警的响应延时	EarliestTime（按事件时刻加限值）	Y3 时间戳与场景事件时刻
预警准确性	应预警 / 不应预警判定	shouldBeTriggered	Y3.WarningType
预警准确性	预警类型是否正确	WarningType	Y3.WarningType
预警持续性	预警最小持续时间	MinDuration	Y3 预警状态序列
预警等级	预警等级、预警优先级	Level、Priority	Y3.WarningLevel
多工况鲁棒性	上述指标的保持情况（本文件扩展）	—（本文件扩展字段）	统计数据

5.4.5.1 表 4 中各场景的预警时机参数与通过指标，应按 T/CSAE 246—2022 对应附录表中各测试用例的规定执行；预警时机计算方法见 T/CSAE 246—202 附录 P。

5.4.5.2 仿真测试确需对判据阈值作出调整的，应在场景工程和编制说明中给出调整依据及影响分析，不应以仿真条件为由降低判据要求。

5.4.6 判定规则

5.4.6.1 每个测试用例的重复测试次数与通过比例应按 T/CSAE 246—2022 第 7.3.1 条的规定执行，即每个测试用例重复测试 10 次，且通过 7 次及以上时判定该测试用例通过。未引入随机扰动时，同一测试工程多次运行结果应保持一致；引入随机扰动时，应按本条规定的重复次数与通过比例执行。

5.4.6.2 判定窗口由场景工程规定。判定窗口外输出的、与场景规定预警类型一致的预警应计入误报。shouldBeTriggered 为 False 的测试用例，在判定窗口内出现对应预警的，判定该测试用例不通过。

5.4.6.3 宜在主判据之外增加参数包扫描（如初始距离、相对速度、定位误差等），扫描结果作为多工况鲁棒性评价依据，不替代 5.4.6.1 的判定结论。

5.4.6.4 场景规定应预警的条件下未输出预警，且属于高风险工况的，判定该测试用例不通过。

5.4.6.5 因丢帧、通信中断、仿真渲染卡顿、硬件掉线等原因导致数据不完整或时序异常的，该轮测试数据无效，应重测。无效轮次不计入 5.4.6.1 的重复次数，重测次数不应超过 3 次；超过的，应在测试报告中说明原因。

5.4.6.6 仿真测试系统应记录随机种子、参数配置与数据版本，确保测试过程可复现、结果可追溯。

5.4.7 预期判定标准数据结构扩展

安全类应用预期判定标准的数据结构应按 T/CSAE297—2023 表 3 的规定执行。针对仿真测试，应在不改变表 3 已有字段定义与取值要求的前提下，增加表 5 规定的字段。

5.5 效率应用预期量化指标技术要求

5.5.1 通则

5.5.1.1 效率类应用预期量化指标用于判定 DUT 在给定效率场景下提供的引导或协同通行信息，是否在通行效率上产生可量化的、可复现的改善。

表 4 安全类典型场景判据来源

序号	测试项目	场景编号	主要判据形式	判据来源 (T/CSAE 246— 2022)
A	前向碰撞预警 FCW	A.1~A.5	最早/最晚预警距离、最早/最晚预警时刻 TTC	附录 A, 表 A.1~表 A.5
B	交叉路口碰撞预警 ICW	B.1	至碰撞点的预警距离、预警时刻 TTC	附录 B, 表 B.1
C	左转辅助 LTA	C.1	沿预设轨迹至碰撞点的预警距离、TTC	附录 C, 表 C.1
D	盲区/变道预警 BSW/LCW	D.1~D.3	持续预警、变道意图至预警的时延、最早 TTC	附录 D, 表 D.1~表 D.3
E	逆向超车预警 DNPW	E.1	最早/最晚预警距离、预警时刻 TTC	附录 E, 表 E.1
F	紧急制动预警 EBW	F.1	背景车辆减速度达 -4 m/s^2 后的预警延时	附录 F, 表 F.1
G	异常车辆提醒 AVW	G.1	最晚预警距离 (50/100/150 m)	附录 G, 表 G.1
H	道路危险状况提醒 HLW	H.1	进入覆盖范围至预警的延时	附录 H, 表 H.1
I	车辆失控预警 CLW	I.1	最晚预警距离 (50/100/150 m)	附录 I, 表 I.1
J	限速预警 SLW	J.1	进入限速路段至预警的延时; 超速不成立时不触发	附录 J, 表 J.1
K	闯红灯预警 RLVW	K.1	最早/最晚预警距离、预警时刻 TTC	附录 K, 表 K.1
L	弱势交通参与者碰撞预警 VRUCW	L.1	最早/最晚预警距离、预警时刻 TTC	附录 L, 表 L.1
O	紧急车辆提醒 EVW	O.1	纵向距离小于 200 m 后的预警延时	附录 O, 表 O.1

表 5 仿真测试扩展字段

数据单元/字段	必选/可选	数据类型	说明
SceneCode	可选	string	场景编号, 编号规则见附录 B
T0Type	条件必选	string	判定起始时刻的触发事件类型, 见 5.4.2.1
T0Offset	条件必选	number	t0 相对触发事件的偏移, 单位 s, 默认 0
RefPointOffsetLong	条件必选	number	虚拟眼椭圆中心相对车辆几何中心的纵向偏移, 单位 m
RepeatTimes	可选	number	重复测试次数, 按 5.4.6.1 取 10
PassCount	可选	number	判定通过所需次数, 按 5.4.6.1 取 7
EnvelopePassRate	可选	number	参数包络扫描通过率限值, 百分比
DataSource	可选	string	对应 Y3 接口字段名

5.5.1.2 效率类应用量化评价应采用“相对基线改善 + 绝对指标下限”的双约束方式，基线的定义与测量按 5.5.2 的规定执行。

5.5.1.3 T/CSAE 246—2022 与 T/CSAE 297—2023 均面向 V2X 网联预警类应用，未规定效率类应用的量化判据。本文件规定的效率类指标与判据为本文件首次提出：T/CSAE53—2020 第一阶段应用中的绿波车速引导、前方拥堵提醒基础上，扩展动态车道管理、路口协作通行、场站引导、差分地图服务等场景（见附录 B.2）。其阈值应由编制组依据仿真测试与实车验证结果确定，并在编制说明中给出取值依据。

5.5.1.4 效率类应用的范围按本文件 3.8 确定，其预期量化指标按引导匹配精度、路口通行优化效果、消息推送实时性和复杂交通鲁棒性四个维度组织。

5.5.2 基线定义与测试条件

5.5.2.1 基线是指在同一场景、同一路网、同一交通流输入和同一信号配时条件下，关闭 DUT 的效率类应用功能（或使其不输出引导与协同通行信息）时所测得的通行指标值。

5.5.2.2 基线测试次数不应少于 3 次，取各次结果的算术平均值作为基线值。各次结果的离散程度超过场景工程规定限值的，应增加测试次数或排查原因。

5.5.2.3 效率类场景工程应声明下列测试条件：

- a) OBU 渗透率；
- b) RSU 覆盖率；
- c) 交通流密度；
- d) 信号配时方案（周期、绿信比、相位差）；
- e) 仿真时长与评价断面位置；
- f) 引导信息类型（如建议车速、建议车道、路侧提示）。

5.5.2.4 时间基准、判定起始时刻与测量参考点按 5.4.2、5.4.3 的规定执行。

5.5.3 判定指标

5.5.3.1 效率类应用预期量化指标及其计算方法见表 6。表中指标的数据来源应与 Y3 接口回传字段保持一致。

表 6 效率应用预期量化指标

评价维度	指标名称	计算方法	数据来源
引导匹配精度	建议车速偏差	实际车速与建议车速之差的绝对值（均值、最大值）	Y3 引导信息、ActualSpeed
引导匹配精度	建议车速采纳率	实际车速落入建议区间的时长占比	Y3 引导信息、ActualSpeed
引导匹配精度	车道匹配率	引导车道与实际车道一致次数占比	LaneMatchRate
路口通行优化效果	行程时间	车辆通过评价断面所需时间	时序仿真数据流
路口通行优化效果	停车次数	评价区段内停车事件次数	ActualSpeed
路口通行优化效果	平均延误	行程时间减去自由流行程时间	时序仿真数据流
路口通行优化效果	路口等待时间	评价区段内低速累计时间	CrossWaitingTime
消息推送实时性	消息更新周期	相邻两帧 SPAT/MAP/RSI 的时间差	网联 V2X 环境帧

评价维度	指标名称	计算方法	数据来源
消息推送实时性	应用层端到端时延	Y3 时间戳减消息注入时间戳	Y3 与仿真时钟
复杂交通鲁棒性	指标保持率	扰动工况值 / 基准工况值×100%	同维度指标

5.5.3.2 效率类应用的消息推送实时性还应满足 T/CSAE 246—2022 第 5.4.1 条关于应用层端到端传输时延的要求。绿波车速引导类场景的系统延迟与数据更新频率还应满足 T/CSAE53—2020 中 5.2.14.5 的要求。

5.5.4 典型效率场景预期判据

5.5.4.1 效率类典型场景及其预期量化判据见表 7。表中数值为常规配置下的建议值，其中系统延迟、数据更新频率与拥堵提醒时延引用了现行标准的规定；场景工程调整其余取值时，应在测试报告中说明调整依据。

表 7 效率类典型场景预期量化判据

场景类别	主要指标	判据（建议值）	判据来源
绿波车速引导（GLOSA）	建议车速偏差、行程时间、停车次数、系统延迟、数据更新频率	建议车速偏差不大于 5 km/h；行程时间较基线降低不低于 10%；停车次数较基线减少不低于 20%；系统延迟不大于 200 ms；道路数据集更新频率不低于 1 Hz；信号灯数据集更新频率不低于 5 Hz	系统延迟与更新频率按 T/CSAE 53—2020 中 5.2.14.5 规定；通行改善项为本文件建议值
动态车道管理	车道匹配率、通行能力	车道匹配率不低于 95%；通行能力较基线提升不低于 10%	本文件建议值
路口协作通行	平均延误、最大排队长度	平均延误较基线降低不低于 15%；最大排队长度较基线降低不低于 15%	本文件建议值
拥堵提醒	消息发布时延、分流比例	消息发布时延不大于 1 s；分流比例不低于 10%	时延按 T/CSAE246—2022 表 N.1 规定；分流比例为本文件建议值
场站引导	入位时间、引导成功率	入位时间较基线降低不低于 15%；引导成功率不低于 95%	本文件建议值
差分地图服务	地图更新时延、地图匹配率	地图更新时延不大于 1 s；地图匹配率不低于 95%	本文件建议值

注：表7中的建议值适用于常规城市道路与快速路配置。场景工程可根据测试需求调整取值，调整后的取值及其依据应在测试报告中说明。

5.5.5 规则

5.5.5.1 单项指标同时满足下列条件的，判定该项指标通过：

- a) 相对基线的改善率不低于场景工程规定的限值；
- b) 绝对值满足场景工程规定的下限或上限。

5.5.5.2 5.5.5.2 场景内全部必测指标均通过的，判定该场景通过。必测指标由场景工程规定。

5.5.5.3 5.5.5.3 每个工况的重复测试次数与通过比例宜按 T/CSAE 246—2022 第 7.3.1 条规定的规则执行；引入随机扰动时，宜采用重复测试 10 次、通过 7 次及以上的判定规则。取多次测试结果的中位数作为该工况的指标值。

5.5.5.4 5.5.5.4 数据有效性按 5.4.6.5 的规定执行。

5.5.6 预期量化标准数据结构

效率类应用预期量化标准应采用 JSON 格式存储，字段结构见表 8。其中 baseline 对象用于记录基线测量结果，items 数组用于按表 6 的指标逐项给出判据。

表 8 效率应用预期量化标准字段

字段	定义	类型	说明
SceneCode	场景编号	string	编号规则见附录 B
AppType	应用类型	string	GLOSA、动态车道、路口协作、拥堵提醒、场站引导、差分地图服务
EvalWindow	评价区间	object	起止断面位置及仿真时长
Penetration	OBU 渗透率	number	百分比
RsuCoverage	RSU 覆盖率	number	百分比
Baseline	基线对象	object	记录基线测量结果，结构见下
Baseline.metric	基线指标	string	见表 6
Baseline.value	基线值	number	不少于 3 次测试的平均值
Baseline.sampleCount	基线样本数	integer	不小于 3
Items	判据项数组	array	元素结构见下
Items[].metric	指标名称	string	见表 6
Items[].operator	比较算子	string	≥、≤
Items[].improvement	改善率限值	number	百分比，相对基线
Items[].absolute	绝对限值	number	可选项
Items[].source	数据来源字段	string	Y3 接口或时序数据流字段名
RepeatTimes	重复测试次数	integer	见 5.5.5.3
PassRule	通过规则	string	all: 全部通过；ratio: 按比例通过
Remark	备注	string	可选项

6 硬件在环仿真测试系统总体架构与硬件组成

6.1 仿真测试系统整体架构

6.1.1 仿真测试系统由标准化场景库、3D 仿真测试主机、信号仿真硬件集群和被测对象（DUT）四部分组成。系统分层架构、接口划分与基础传输规则应遵循 T/CSAE 297—202 第 6 章、第 7 章的规定，并应满足下列要求：

- a) 场景库通过 X0 接口向测试系统下发场景工程与场景数据；X0 接口的实现方式由测试系统自行确定；
- b) 测试系统应按场景工程将场景数据拆分为主车状态数据、主车位置数据和网联环境数据，并分别通过 Y0、Y1、Y2 接口发送至 DUT；

- c) DUT 产生预警或通行计算结果后，应通过 Y3 接口回传至测试系统；Y3 接口传输方向为 DUT→仿真主机，接口内容为安全类预警结果与效率类通行计算结果；
 - d) 测试系统应将 Y3 回传结果与场景预期结果进行比对，生成测试结果，并支持对时延进行补偿，以模拟传感器、GNSS 接收机和通信模组的响应时延；
 - e) Y0 与 Y1 可合并为一个接口，合并后接口的数据内容与格式应按 T/CSAE 297—2023 中 7.4 的规定执行。
- 6.1.2 本文件的接口类型、传输方向与数据格式与 T/CSAE 297—2023 保持一致；本文件仅对效率类应用相关的 Y3 输出字段和场景字段作出扩展，不改变 T/CSAE 297—2023 已有字段的定义与取值。针对效率类应用扩展的 Y3 输出字段与场景新增字段，按本文件 5.5 和 7.2 的规定执行。

6.2 硬件组成要求

硬件在环仿真测试系统的硬件组成及各组成部分的主要功能见表 9。各部分硬件的性能要求见附录 C。

表 9 硬件在环仿真测试系统硬件组成

组成部分	主要设备	主要功能
仿真测试主机	3D 仿真计算机、实时仿真机、时钟同步设备	运行场景引擎与车辆动力学模型，生成场景数据，按毫秒时序分发 Y0~Y2 数据，接收并判定 Y3 结果
定位信号仿真	GNSS 定位模拟器	模拟 GPS、BDS、GLONASS、Galileo 等卫星导航信号，经 Y1-b 接口输出至 DUT
网联信号仿真	V2X 信号仿真器（LTE-V 辅测机）	将网联环境数据经安全层、网络层、消息层和接入层处理后生成空口信号，经 Y2-b 接口输出至 DUT
车载网络仿真	CAN/CAN FD 总线仿真工具	将主车状态数据转换为总线报文，经 Y0-b 接口输出至 DUT
被测对象	OBU、整车 V2X 控制器、V2X 算法模块	接收 Y0~Y2 数据，运行 V2X 应用，产生预警与通行计算结果并由 Y3 回传
路侧设备	RSU 或 RSU 仿真单元	广播 MAP、SPAT、RSI、RSM 等消息，提供网联环境数据
记录与存储	数据采集与录屏设备、离线存储服务器	存储原始报文、Y3 结果、3D 录屏与硬件运行日志

6.3 仿真系统通用基础功能要求

仿真测试系统应满足下列能力要求：

- a) 场景渲染：支持直道、弯道、环岛、立交桥、隧道、城市路口等路网编辑，支持外部 OpenDrive 地图一键导入并自动生成车道级 MAP、SPAT 报文；
- b) 交通要素建模：内置乘用车、商用车、摩托车、行人、非机动车模型，可自定义单目标运动轨迹与行驶速度；
- c) 工况控制：采用行为树逻辑实现顺序、并行、条件触发、循环事件，支持急刹、变道、横穿行人等场景自动触发；
- d) 可视化功能：支持全局、第三人称、车辆跟踪三种视角切换，可开关 UI 车况图层，左右虚拟后视镜独立可调，并支持多屏投影输出；
- e) 气象仿真：支持通过可视化控件调节云量、降雨量、路面积水、雾浓度、风力与太阳高度角；
- f) 数据工具：支持 V2X 报文以树形、二进制、JSON 形式实时查看，支持一键批量导出与实车采集数据回放复现；
- g) 扩展能力：提供完整的 Lua API 开发文档与用户操作手册，支持第三方评价模块对接。

7 在环仿真测试接口详细技术规范

7.1 接口传输格式与分发规则

各接口的数据格式与下发方式应根据测试系统类型选择，接口传输格式与分发规则应遵循 T/CSAE 297—2023 第 7. 条的规定。针对仿真测试，还应满足下列要求：

- a) 同一测试工程内各接口的时间戳应统一采用仿真时钟，并由测试系统在数据帧中显式标注；
- b) 测试系统应按场景工程的时序关系同步分发 Y0、Y1、Y2 数据，分发抖动不应大于一个仿真步长；
- c) 当 DUT 的响应时延可标定时，测试系统可按标定结果对分发时刻进行补偿，补偿量应记录在测试报告中。

7.2 测试结果回传接口数据规范

Y3 接口应区分安全类应用输出字段与效率类应用输出字段，统一采用 JSON 格式，字段结构见表 10。其中安全类字段用于 5.4 规定的判定，效率类字段用于 5.5 规定的判定。

表 10 Y3 接口数据字段

字段	定义	数据类型	适用类别	说明
TimeStamp	时间戳	string	安全/效率	归算至仿真时钟，精确到 ms
DeviceID	被测对象标识	string	安全/效率	与场景描述中 DUT 的 DeviceID 一致
TestSceneCode	测试场景编号	string	安全/效率	编号规则见附录 B
WarningType	预警类型	string	安全	按附录 B 的场景编号填写
WarningLevel	预警等级	number	安全	取值范围 1~99，数值越小等级越高
WarningDistance	预警距离	number	安全	单位 0.01m，测量基准见 5.4.3
TTCValue	预警时刻的碰撞时间	number	安全	单位 s
WarningDuration	预警持续时间	number	安全	单位 ms
WarningDesc	预警文本说明	string	安全	可选项
GuideSpeed	建议车速	number	效率	单位 km/h
GuideLane	建议车道	number	效率	按车道编号填写
SignalPhase	建议通行相位或灯色	string	效率	可选项
ActualSpeed	车辆当前速度	number	效率	单位 km/h
CrossWaitingTime	路口等待时长	number	效率	单位 s
LaneMatchRate	车道匹配准确率	number	效率	百分比
MsgDelay	消息端到端时延	number	效率	单位 ms

8 V2X 安全、效率应用仿真标准化测试流程

8.1 测试前期准备

8.1.1 场景工程搭建：选用内置路网或导入 OpenDrive 地图，配置道路类型、气象条件、交通流密度与最大仿真车辆数（不小于 300），并生成车道级 MAP、SPAT 报文。

8.1.2 工况配置：通过行为树编写车辆、行人、信号灯的逻辑，配置安全类与效率类场景的触发

事件、判定起始时刻 t_0 及其触发事件类型。

8.1.3 硬件校准（HIL、VIL 适用）：完成 GNSS 模拟器、V2X 信号仿真器的时钟同步与通道校准，完成 CAN 采集设备的零点校准，并记录校准结果。

8.1.4 被测对象初始化：完成 OBU 证书加载、V2X 算法参数配置、整车 V2X 控制器上电自检，并记录软硬件版本信息。

8.1.5 预期评价指标导入：导入对应场景的预期结果文件与效率类基线数据，核对字段完整性与场景编号一致性。

8.1.6 基线测量（效率类适用）：按 5.5.2 的规定关闭 DUT 效率类应用功能，完成不少于 3 次基线测试并记录基线值。

8.2 仿真测试执行

8.2.1 测试系统应通过 X0 接口完整下发场景工程与时序仿真数据流。

8.2.2 测试过程应划分为状态调整阶段与性能评估阶段：状态调整阶段为各交通参与者由初始状态达到场景规定目标运动状态的过程；性能评估阶段为达到目标运动状态至满足测试结束条件的过程。判定起始时刻 t_0 取性能评估阶段的开始时刻。

8.2.3 仿真主机应按毫秒时序同步分发 Y0 车身状态数据、Y1 定位数据、Y2 网联 V2X 数据至 DUT。

8.2.4 8.2.4 DUT 应实时运行 V2X 应用，并将预警类型、预警时刻、预警距离或通行计算结果通过 Y3 接口持续回传。

8.2.5 3D 仿真引擎应同步渲染全场景画面，实时滚动展示收发 V2X 消息，并在 UI 层展示主车车况。

8.2.6 每个测试用例的重复测试次数按 5.4.6.1 的规定执行；每轮测试均应自动存储全部原始报文、3D 录屏与 Y3 结果日志。

8.2.7 测试结束条件：DUT 在性能评估阶段进行了合理响应、错误响应或未响应时，该轮测试结束。

8.2.8 应通过切换气象条件、交通流密度、OBU 渗透率等变量完成多工况复测，用于多工况鲁棒性评价。

8.3 测试数据存储与回放要求

8.3.1 存储文件包应包含：场景工程配置、时序二进制报文、Y3 测试结果、3D 仿真录屏、硬件运行日志以及被测对象软硬件版本信息。

8.3.2 存储格式应为 JSON 工程文件、二进制报文、MP4 视频和 Lua 脚本工程，并应保留原始编码数据。

8.3.3 回放功能应支持完整工程一键复现、单时间切片暂停调试、修改工况参数后重测。

8.3.4 数据包应按“场景编号—测试轮次—时间戳”规则命名并建立索引，保证测试结果可追溯。

8.4 测试后数据整理与结果生成

8.4.1 测试系统应将 Y3 实测结果与场景预期结果逐项比对，按 9.2、9.3 的规定给出每个测试用例的“通过”或“不通过”判定结果。

8.4.2 应导出原始报文、3D 场景截图、逐用例判定结果表及不通过项说明。

8.4.3 应按附录 D 规定的模板生成仿真测试评价报告，报告内容不应包含加权计分或分级结论。

9 V2X 安全、效率应用仿真测试评价方法

9.1 通则

9.1.1 评价对象为被测对象（DUT）在给定场景集合下 V2X 应用功能的符合性。评价采用逐测试用例判定“通过”或“不通过”的方式。

9.1.2 安全类应用的评价依据为 T/CSAE 246—2022 中各场景的通过性条件以及本文件 5.4 的规定；效率类应用的评价依据为本文件 5.5 的规定。

9.1.3 评价结果分为用例级、场景级和应用级三个层次：用例级结果按 9.1.1 判定；场景级结果为该场景下全部必测用例判定结果的汇总；应用级结果为该应用类别下全部必测场景判定结果的汇总。

9.1.4 评价过程中使用的场景编号、判据阈值、测量参考点与时间基准应保持一致，并在测试报告中明确记录。

9.2 安全类应用评价

9.2.1 安全类应用应按下述指标进行判定：预警应及时落在场景规定的预警距离或预警时刻范围内；预警类型应与场景规定一致；应预警的工况应发出预警，不应预警的工况不应发出预警；预警持续时间应满足规定要求。

9.2.2 各场景的具体判据应按 T/CSAE 246—2022 对应附录表中的通过指标执行，判据来源见表 4。预警时机计算方法见 T/CSAE 246—2022 附录 P。

9.2.3 测试用例判定规则：单个测试用例重复测试 10 次，通过 7 次及以上时判定该测试用例通过；通过次数少于 7 次时判定该测试用例不通过。未引入随机扰动时，多次运行结果应一致。

9.2.4 场景判定规则：某一场景下全部必测测试用例均通过时，判定该场景通过；任一必测测试用例不通过时，判定该场景不通过。

9.2.5 应用判定规则：某一安全类应用对应的全部必测场景均通过时，判定该应用通过。

9.2.6 出现下列情况之一时，该测试用例直接判定为不通过：

- a) 场景规定应预警的条件下未输出预警，且属于高风险工况；
- b) 在不应预警的工况下输出了对应预警；
- c) 预警类型与场景规定不一致；
- d) 预警时刻超出场景规定的最早、最晚预警范围。

9.2.7 无效数据不应计入重复测试次数。无效数据的判定与处理按 5.4.6.5 的规定执行。

9.3 效率类应用评价

9.3.1 效率类应用应按表 6 规定的指标进行判定，判定采用“相对基线改善+绝对指标下限”的双约束方式。

9.3.2 单个场景的判定规则：该场景全部必测指标均满足 5.5.5.1 规定的条件时，判定该场景通过；任一必测指标不满足时，判定该场景不通过。

9.3.3 应用判定规则：某一效率类应用对应的全部必测场景均通过时，判定该应用通过。

9.3.4 效率类应用的重复测试次数与通过比例宜按 5.5.5.3 的规定执行；未达到场景规定的最低改善要求的，该场景判定为不通过。

9.3.5 效率类应用的评价应在场景工程声明的渗透率、RSU 覆盖率与交通流密度条件下进行，条件变化时应重新测试并记录。

9.4 评价结果输出

9.4.1 评价结果应以表格形式逐用例列示，至少包括：场景编号、用例编号、测试轮次、判定结果、实测值、判据值及不通过原因。

9.4.2 不通过原因应分类记录，包括：漏报、误报、预警类型错误、预警距离超窗、预警时刻超窗、响应延时超限、效率改善未达标、数据无效等。

9.4.3 评价报告应按附录 D 的模板编写，包含测试基础信息、设备与校准记录、场景工程清单、测试执行记录、逐用例判定结果、不通过项分析与结论。

附 录 A
(规范性)
仿真时序数据流两种生成途径

A.1 外场实车采集生成方式

A.1.1 采集内容

应采集被测车辆与背景车辆的车身状态、GNSS位置、V2X收发报文以及路侧设备广播的MAP、SPAT、RSI、RSM消息。采集内容应覆盖测试场景的完整时间过程，并包含状态调整阶段。

A.1.2 采集设备精度

定位采集设备的平面定位精度不应大于0.1m，速度测量误差不应大于 $\pm 0.5\text{km/h}$ ，时间同步误差不应大于1ms。采集设备应在测试前完成校准并记录校准结果。

A.1.3 原始报文存储

原始V2X报文应以ASN.1编码后的二进制形式原样存储，同时记录接收时刻、信道号与信号质量参数。车身状态与定位数据应以不低于 50 Hz 的采样率存储。

A.1.4 数据后处理与导入

后处理应将各数据源统一至同一时间基准，按T/CSAE 297—2023表2、表3的字段要求生成场景数据与时序数据流，并校验帧完整性、时间戳单调性与消息连续性。校验通过的数据方可作为测试工程的时序数据源。

A.2 3D 仿真软件自动生成方式

A.2.1 OpenDrive 地图解析

应解析 OpenDrive 路网的几何、车道拓扑、限速与路口连接关系，自动生成车道级 MAP 消息所需的车道中心线、车道宽度、连接关系与定位点，并校验几何连续性。

A.2.2 车辆群 BSM 批量生成

应支持不少于 300 辆车同时生成 BSM，BSM 发送周期应可配置（默认 100 ms），并应包含位置、速度、航向角、车身尺寸与事件标志等字段。车辆运动轨迹可由行为树或预设轨迹文件驱动。

A.2.3 MAP、SPAT、RSI 自动编码

应根据路网与信号配时方案自动编码 MAP、SPAT 消息，根据场景事件自动编码 RSI 消息，编码结果应符合 YD/T 3709—2020 与 T/CSAE 157—2020 的规定，并应支持按场景时刻动态更新。

A.2.4 场景参数与预期结果生成

应根据场景参数自动计算并生成预期结果文件，安全类场景按 T/CSAE 246—2022 附录 P 的方法计算最早、最晚预警距离与预警时刻，效率类场景按 5.5.6 的字段结构生成预期量化标准。

A.2.5 数据校验

生成的数据应校验时间戳连续性、消息发送周期、车辆数量与场景参数一致性；校验不通过的，不应作为测试工程的时序数据源。

附录 B

(资料性)

V2X 安全、效率场景完整编号体系

B.1 安全类主场景与细分工况编号

B.1.1 T/CSAE53—2020附录A将第一阶段17项应用划分为安全类12项、效率类4项、信息服务类1项。本文件仅涉及安全类与效率类应用，其场景分类与编号按下列原则确定：

- 安全类场景编号与 T/CSAE 246—2022 保持一致，涵盖 T/CSAE 53—2020 的 12 项安全类应用，并增加紧急车辆提醒（T/CSAE 246—2022 附录 0）；
- 限速预警按 T/CSAE 53—2020 归入安全类，其判据为进入限速路段至预警的延时及超速不成立时不触发；
- 紧急车辆提醒 T/CSAE 53—2020 中列为效率类（紧急车辆信号优先权），本文件按 3.7 的风险预警属性归入安全类；
- 效率类场景按 B.2 编号，本文件不涉及信息服务类应用。

B.1.2 安全类场景编号见表B.1。

表 B.1 安全类场景编号表

类别编号	应用名称	场景编号	场景名称	对应 T/CSAE 246—2022
A	前向碰撞预警 FCW	A.1	同车道前方有静止车辆	附录 A，表 A.1
A	前向碰撞预警 FCW	A.2	同车道前方有慢速车辆	附录 A，表 A.2
A	前向碰撞预警 FCW	A.3	相邻车道前方有静止车辆	附录 A，表 A.3
A	前向碰撞预警 FCW	A.4	相邻车道前方有慢速车辆	附录 A，表 A.4
A	前向碰撞预警 FCW	A.5	相邻车道有对向行驶车辆	附录 A，表 A.5
B	交叉路口碰撞预警 ICW	B.1	被测车辆直行通过路口，背景车辆从左侧或右侧驶向路口	附录 B，表 B.1
C	左转辅助 LTA	C.1	被测车辆左转通过路口，背景车辆从对向驶向路口	附录 C，表 C.1
D	盲区/变道预警 BSW/LCW	D.1	背景车辆在相邻车道盲区内同向行驶	附录 D，表 D.1
D	盲区/变道预警 BSW/LCW	D.2	盲区内同向行驶且被测车辆有换道意图	附录 D，表 D.2

D	盲区/变道预警 BSW/LCW	D.3	相邻车道快速驶向盲区且被测车辆有换道意图	附录 D, 表 D.3
E	逆向超车预警 DNPW	E.1	被测车辆借逆向车道超车, 逆向车道有相向行驶车辆	附录 E, 表 E.1
F	紧急制动预警 EBW	F.1	被测车辆同车道前方有紧急制动车辆	附录 F, 表 F.1
G	异常车辆提醒 AVW	G.1	前方车辆同向行驶并持续广播车辆故障信息	附录 G, 表 G.1
H	道路危险状况提醒 HLW	H.1	前方 RSU 持续广播道路危险状况信息	附录 H, 表 H.1
I	车辆失控预警 CLW	I.1	前方车辆持续广播车辆失控状态信息	附录 I, 表 I.1
J	限速预警 SLW	J.1	前方 RSU 持续广播道路限速信息	附录 J, 表 J.1
K	闯红灯预警 RLVW	K.1	前方 RSU 持续广播红绿灯信息	附录 K, 表 K.1
L	弱势交通参与者碰撞预警 VRUCW	L.1	被测车辆前方有弱势交通参与者横穿马路	附录 L, 表 L.1
O	紧急车辆提醒 EVW	O.1	被测车辆后方有紧急车辆快速接近	附录 O, 表 O.1

B.2 效率类主场景与细分工况编号

效率类场景按“类别编号+工况编号”两级编制, 见表 B.2。

B.3 自定义扩展场景编号规则

B.3.1 自定义扩展场景编号格式为“X-[类别码]-[三位序号]”, 其中类别码取S表示安全类、E表示效率类, 序号从001开始顺序编号, 示例: X-S-001、X-E-012。

B.3.2 自定义扩展场景应在场景描述的SceneDesc字段中说明所参照的基础场景编号及扩展参数, 并应保证扩展场景的判据来源可追溯。

B.3.3 自定义扩展场景不应与B.1、B.2已规定的场景编号重复; 同一场景库内扩展编号应唯一。

表 B.2 效率类场景编号表

类别编号	应用名称	场景编号	场景名称
E.1	绿波车速引导 GLOSA	E.1.1	单路口定周期绿波引导
E.1	绿波车速引导 GLOSA	E.1.2	干线连续路口绿波引导
E.2	动态车道管理	E.2.1	潮汐车道动态开放
E.2	动态车道管理	E.2.2	拥堵路段可变车道引导
E.3	路口协作通行	E.3.1	单路口协作通行
E.3	路口协作通行	E.3.2	匝道协作汇入
E.4	拥堵提醒	E.4.1	路段拥堵提醒与分流
E.4	拥堵提醒	E.4.2	事件拥堵提醒与绕行
E.5	场站引导	E.5.1	停车场入口引导
E.5	场站引导	E.5.2	充能场站泊位引导
E.6	差分地图服务	E.6.1	地图增量更新服务
E.6	差分地图服务	E.6.2	车道级地图服务

附录 C

(资料性)

HIL 仿真测试硬件最低性能要求

本附录给出了硬件在环仿真测试系统主要硬件的最低性能参考值。表C.1中的数值为建议最低要求，实际取值可根据被测对象类型、被测应用与测试场景的精度需求适当提高。

表 C.1 硬件最低性能要求

设备	关键指标	最低性能要求
3D 仿真测试主机	仿真步长 / 渲染帧率 / 并行车辆数	仿真步长不大于 10ms；渲染帧率不低于 30fps；并行车辆数不少于 300
GNSS 定位模拟器	支持频点 / 定位精度 / 更新率 / 时延	支持 GPS、BDS、主要频点；定位精度优于 0.05m；更新率不低于 100Hz；时延不大于 10ms
V2X 信号仿真器（LTE-V 辅测机）	工作频段 / 带宽 / 并发能力 / 时延	支持 5.9GHz 直连通信与 PC5 接口；支持 10 MHz、20 MHz 带宽；并发车辆不少于 300；消息处理时延不大于 5ms
CAN/CAN FD 总线仿真工具	通道数 / 波特率 / 周期抖动	不少于 2 路 CAN FD；支持 500 kbit/s~5Mbit/s；发送周期抖动不大于 1ms
OBU	协议符合性 / 定位精度 / 消息周期	符合 YD/T 3340、YD/T 3707、YD/T 3709—2020；定位精度优于 1.5m；消息发送周期可配置为 100ms
RSU	通信距离 / 消息类型 / 时钟同步	通信距离不小于 300m；支持 MAP、SPAT、RSI、RSM 消息预配置；支持 PTP 或 NTP 时钟同步
时钟同步设备	同步方式 / 同步误差	支持 PTP（IEEE 1588）或 NTP；全系统同步误差不大于 1ms
数据采集与存储	报文落盘完整性 / 录屏帧率 / 存储容量	原始报文全量落盘无丢失；可用存储容量不小于 2TB

附 录 D
(资料性)
标准化仿真测试评价报告模板

仿真测试评价报告应按表D.1规定的结构编写。报告应给出逐测试用例的“通过 / 不通过”判定结果，不应包含加权计分或分级结论。

表 D.1 仿真测试评价报告结构

章条	内容	要求
1	测试基础信息	委托方、被测对象名称与型号、软硬件版本、测试日期、依据的标准及版本
2	测试环境与设备	仿真软件名称与版本、硬件设备清单与编号、校准记录、气象与交通流配置
3	场景工程清单	场景编号与名称、关键参数、预期结果文件名称与版本、基线数据（效率类）
4	测试执行记录	测试轮次、起止时间、状态调整与性能评估阶段划分、有效与无效标记、无效原因
5	判定结果	用例级判定表（实测值、判断值、通过次数、结论）、场景级结论、应用级结论
6	不通过项分析	不通过原因分类（漏报、误报、类型错误、距离超窗、时刻超窗、延时超限、改善未达标）、证据与复现条件
7	附件	原始报文清单、3D 场景截图、测试录屏、硬件运行日志、随机种子与配置快照
8	结论	被测对象是否符合本文件要求、适用场景范围与限制条件

参 考 文 献

- [1] GB/T 33577 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
 - [2] GB/T 39265—2020 道路车辆 盲区监测（BSD）系统性能要求及试验方法
 - [3] JT/T 1242—2019 营运车辆自动紧急制动系统性能要求和测试规程
 - [4] GB/T 47025—2026 智能网联汽车 自动驾驶功能仿真试验方法及要求
 - [5] ISO 34502:2022 Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Scenario based safety evaluation framework
 - [6] ASAM OpenDRIVE 静态路网数据格式规范
 - [7] ASAM OpenSCENARIO 动态场景描述格式规范
 - [8] T/CSAE 157—2020 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准（第二阶段）
-