

C-V2X与单车智能融合 功能及应用白皮书



2023.10

前 言

当前，汽车产业、交通产业与通信产业加速跨界融合发展，智能化、网联化融合创新已成为交通和汽车产业新一轮变革的重要方向。继新能源汽车上半场激烈角逐后，智能网联汽车已成为全球汽车产业下半场竞争焦点，智能化、网联化关键技术和整车产品加速产业化落地。

在自动驾驶发展进程中，单车智能仍然面临长尾场景难以突破问题，依托蜂窝车联网（Cellular-V2X，即 C-V2X）等技术赋能的车路云协同发展模式，通过协同信息交互、协同感知与协同决策控制，解决单车智能技术瓶颈难题，推进实现自动驾驶，已逐步形成行业共识的中国特色的智能网联汽车产业发展路径，助力我国汽车强国和交通强国建设。

但是，C-V2X 网联技术与单车智能融合的车路云协同的技术路径仍处于发展期，相关功能定义、关键技术、标准体系、测试认证以及政策法规等均需要产业各方协同研究、制定、推进。为推动 C-V2X 与单车智能融合发展逐步落地，IMT-2020(5G)推进组 C-V2X 工作组协同跨行业专家开展主题研究，形成《C-V2X 与单车智能融合功能及应用》白皮书。

本白皮书客观分析了单车智能功能的局限性，识别 C-V2X 具有赋能优势的融合功能应用，侧重研究基于 C-V2X 直连通信技术与单车智能融合的功能及其系统架构，并对典型功能进行功能安全分析，提出后续工作建议。

目 录

前 言	2
一、 融合现状和必要性分析	4
(一) 单车智能发展现状	4
(二) C-V2X 发展现状	4
(三) 单车智能融合 C-V2X 价值分析	5
(四) 国内外融合研究现状	6
二、 融合功能应用及架构	7
(一) 融合功能应用识别	7
(二) 融合功能系统架构分析	11
三、 融合功能的功能安全分析	13
(一) 融合功能的功能安全分析原则	13
(二) 融合功能的功能安全分析示例	15
(三) 融合功能安全分析总结	28
四、 总结	30
五、 主要贡献单位	31
附录 A C-V2X 增益分析	32
附录 B 车侧子系统-模块功能需求	38
附录 C 车侧子系统-模块功能需求	39
附录 D 融合应用实践案例	41

一、融合现状和必要性分析

我国汽车智能化水平大幅提升，在智能座舱、自动驾驶等关键技术领域实现创新突破，L2 级别组合驾驶辅助技术成熟应用并进入市场普及期，L4 级别自动驾驶技术不断突破并区域性示范。单车智能功能因主要依靠车辆自身的视觉、雷达等传感器和计算平台进行环境感知、计算决策和控制执行，存在无非视距感知能力、无全局感知能力、缺乏群体协作等局限性，通过在单车智能功能基础上引入 C-V2X，可以将“人-车-路-云”交通参与要素有机地联系在一起，拓展和助力单车智能自动驾驶能力升级，加速自动驾驶应用成熟。本部分内容通过分析单车智能和 C-V2X 的发展现状，结合 C-V2X 的技术特性，研究单车智能融合 C-V2X 的价值，探索融合功能的必要性。最后，总结了国内外融合功能的研究现状。

（一）单车智能发展现状

单车智能市场渗透率快速提升。L0 级应急辅助、L1 级部分驾驶辅助已广泛搭载和应用；L2 级组合驾驶辅助市场渗透率也逐渐提升，正在进入加速量产阶段，2023 年 1-5 月份，我国具备 L2 级组合驾驶辅助的乘用车新车渗透率达到 42.2%¹，正在加速推动 L2 级组合驾驶辅助功能在营运客车、营运货车等商用车上的标配安装，年市场规模有望达到百万辆；L3 级有条件自动驾驶、L4 级高度自动驾驶在限定区域内商业落地正在加速推进，无人驾驶出租车、无人巴士、干线物流以及无人配送等多场景示范应用在有序开展，部分城市和矿区、港口等特殊场景开启了 L4 级无人驾驶商业化试点运营。

单车智能仍面临感知局限性等长尾难题。在智能驾驶感知层面，单车智能局限性主要体现在无非视距感知能力、无全局感知能力、“极端情况”（如极端天气、光线骤变、相对移动速度过高等）的感知能力受限；在智能驾驶决策控制层面，单车智能需要依赖自身算法理解交通规则和交通参与者行为，难以准确获知交通参与者行为意图，难以群体协作。此外，为解决长尾场景，单车智能需要投入更高的感知和计算成本。

（二）C-V2X 发展现状

¹ 来源：中国智能网联汽车产业创新联盟统计

C-V2X 车辆联网渗透率和量产车型数量显著增长。2022 年我国乘用车前装标配车联网功能交付上险量为 1338.46 万辆,前装搭载率为 67.15%。此外,C-V2X 直连通信功能前装量产也实现新突破,已有 20 余款量产车型搭载了 C-V2X 直连通信功能,其中红旗 E-HS9、高合 HiPhiX、蔚来 ET7 等部分车型实现全系标配。

C-V2X 产业链不断成熟,测试验证环境不断完备。C-V2X 已形成了覆盖芯片模组、终端、整车、安全、测试验证、高精度定位及地图服务等环节的完整产业链。IMT-2020 (5G) 推进组 C-V2X 工作组自 2018 年联合相关行业组织先后举办了 C-V2X “三跨” “四跨” “新四跨” 等应用实践活动,为产业提供互联互通测试、应用示范和协同研发公共服务平台。中国信息通信研究院、中汽中心、中国汽研等第三方机构建立了通信协议一致性、通信性能、应用功能等专业化测试验证能力,推出检测认证服务。

C-V2X 直连通信应用场景达成业界共识。前向碰撞预警、绿波车速引导等第一阶段应用场景已在车端商业化搭载,路侧感知数据共享等第二阶段应用加速研发。C-V2X 技术已获得汽车工业界认可,C-V2X 技术支持的主动安全功能已被纳入 C-NCAP (China-New Car Assessment Program, 中国新车评价规程) 2024 版管理规则中,该版本规则目前正在征集意见阶段,预计在 2024 年上半年发布。

(三) 单车智能融合 C-V2X 价值分析

C-V2X 技术具备“非视距、全天候”、“上帝视角”、“可协同”等特点,融合 C-V2X 技术可以有效弥补基于单车智能的驾驶自动化功能不足,具体如表 1 所示:

表 1 单车智能功能局限性和 C-V2X 技术价值分析

分类	基于单车智能的驾驶自动化功能局限	C-V2X 技术价值
感知层面	无非视距感知能力	非视距传输
	无全局感知能力	RSU (路侧单元, Road Side Unit) 结合路侧传感器提供上帝视角
	感知能力受恶劣天气、雨雾、夜晚极端温度等环境因素影响	受环境因素影响小,在恶劣天气、大雾、夜晚极端温度等不良工况下也可适用
	获取交通参与者状态信息的准确性	道路交通参与者将自身状态信息直接发送给周边其它车辆
	获取交通标志和交通信号的准确性	路侧单元直接将信号机状态、交通标志等信息发送给周边车辆,不受标识状态和清

		晰度的影响,减少环境遮挡和环境色差等因素影响
决策控制 层面	交通参与者行为的理解	消息直接来自车辆,提升特种车辆、紧急车辆类型的识别率,能够及时准确获知车辆的驾驶意图和轨迹预测等信息
	群体协作能力受限	车车/车路/车云交互,可协商和仲裁路权,提升无保护左转等应用的安全性
算力层面	依赖单车算力资源	可通过车端、路端和云端的算力协同部署,实现车端的算力卸载和高效使用

根据表 1 分析,引入 C-V2X 技术后,可以对单车智能功能进行赋能,一方面,可以在单车智能定义的 ODD (Operational Design Domain, 设计运行范围) 内对单车智能功能进行改进,即**能力增强**;另一方面,也可以拓展单车智能功能的 ODD,即**能力拓展**。

对于 C-V2X 对单车智能功能的赋能效果,本白皮书附录 A 选取了 C-NCAP 路线图中十字路口车辆直行与横穿车辆含遮挡的主动安全场景,分别进行单车智能系统的安全边界和融合 C-V2X 技术的车路协同系统(简称车路协同系统)安全边界的仿真对比分析,计算车路协同系统相对于单车智能系统的增益空间。

根据附录 A 的分析可以看出,通过引入 C-V2X 技术,主车可以提前知晓远车的存在及速度,从而增加了提前刹车距离及判断时间,避免了由于遮挡导致的主车和远车的潜在安全性问题,同时可以提升主车刹车舒适性。车路协同系统可以使得车辆安全通过十字路口含遮挡场景,降低 57.79%由于单车智能局限性导致的碰撞或不舒适制动概率。另外,考虑驾驶员反应时延等人因因素,车路协同系统可以进一步降低 67.66%由于单车智能局限性导致的碰撞或不舒适制动概率。

(四) 国内外融合研究现状

目前国内外在智能化与网联化融合领域的研究刚刚起步,尚处于前期摸索阶段,研究内容各有侧重:

美国是以发展自动驾驶车辆为核心,逐步开展 C-V2X 技术赋能的协同驾驶自动化研究。美国汽车工程师学会 (Society of Automotive Engineers, SAE) 成立了协同驾驶自动化委员会 (Cooperative Driving Automation, CDA), 专门研究协同驾驶自动化的应用,通过网联对 DDT (Dynamic Driving Task, 动态驾驶任务) 性能和交通管理能力的影响,对 CDA 功能进行了分类。SAE 还成立了公路自动驾驶委员会 (On-Road Automated Driving, ORAD), 重点研究 L3~L5 自

动驾驶系统。在其发布的 SAE J3131-2022 标准中，定义了 L4~L5 自动驾驶系统的功能架构，其中包含了 C-V2X 模块。

欧洲面向智能交通系统和自动驾驶两个维度开展研究。从交通角度，通过路侧网联化分级的相关研究，探索路侧对自动驾驶车辆的赋能方式，例如，世界道路协会（World Road Association, PIARC）和欧盟道路交通研究咨询委员会（European Road Transport Research Advisory Council, ERTRAC）对路侧基础设施进行了分级，研究了不同道路等级对动态驾驶任务的影响。从自动驾驶角度，通过自动驾驶关键技术的研究，探索 C-V2X 如何支撑自动驾驶应用，例如，5G 汽车协会（5G Automotive Association, 5GAA）和车辆间通讯联盟（Car2Car Communication Consortium, C2C-CC）从车侧梳理了 C-V2X 应用部署的路线图，并进一步研究了功能安全、定位、信息可用性等提升网联功能安全性的关键技术问题。

我国从顶层设计的角度出发，针对车端网联化、智能化以及路侧网联化、智能化同步开展研究，支持智能化和网联化融合路径，并提出了车路云一体化融合的中国方案。中国公路学会、中国汽车工程学会和中国通信学会联合发布了《车路协同自动驾驶一致行动宣言》，共同确立了依托 C-V2X 技术，发展车路云一体化融合的智能网联汽车方案。中国智能网联汽车产业创新联盟（China Industry Innovation Alliance for the Intelligent and Connected Vehicles, CAICV）、IMT-2020 (5G)推进组 C-V2X 工作组、全国汽车标准化委员会等持续开展基于 C-V2X 技术的智能化与网联化融合发展研究。

二、融合功能应用及架构

本部分从单车智能功能的视角入手，选取 C-V2X 对单车智能功能价值较高的融合功能，进一步分析每个融合功能的典型应用，针对不同类别的融合功能提出可能的车路协同系统架构方案，供业内参考。

（一）融合功能应用识别

1. 融合功能选择

本白皮书基于 GB/T 39263-2020 和 T/CSAE 156-2020 定义的单车智能功能，进一步分析 C-V2X 与单车智能融合的功能。通过向车企调研，提炼形成具有较

高增益价值的融合功能列表，如表 2 所示：

表 2 融合功能列表

单车智能功能	驾驶自动化级别	融合功能
交通信号识别	L0	协同交通信号识别
前向碰撞预警	L0	协同前向碰撞预警
自动紧急制动	L1	协同自动紧急制动
自适应巡航控制	L1	协同自适应巡航控制
高速公路辅助	L2	协同高速公路辅助
交通拥堵辅助	L2	协同交通拥堵辅助
自主代客泊车	L4	协同自主代客泊车

2. 融合功能应用清单

针对表 2 中的融合功能，进一步分析每个融合功能对应的应用，具体如表 3 所示：

表 3 融合功能应用清单

融合功能	应用
协同交通信号识别 (3)	<ul style="list-style-type: none"> • 绿灯起步提醒 • 绿波车速引导 • 十字路口闯红灯预警
协同前向碰撞预警 (3)	<ul style="list-style-type: none"> • 交叉路口遮挡横穿预警 • 弯道/桥梁提前预警 • 夜晚/特殊天气预警
协同自动紧急制动 (3)	<ul style="list-style-type: none"> • 交叉路口遮挡横穿制动 • 弯道/桥梁提前制动 • 夜晚/特殊天气制动
协同自适应巡航控制 (3)	<ul style="list-style-type: none"> • 异常道路通行 • 跟车性能增强 • 通过信号灯路口
协同高速公路辅助 (4)	<ul style="list-style-type: none"> • 快速切换辅助 • 通过异常车辆/路段 • 隧道前选择道路 • 天气适应性运行
协同交通拥堵辅助 (1)	<ul style="list-style-type: none"> • 交通拥堵辅助开启提醒
协同自主代客泊车 (4)	<ul style="list-style-type: none"> • 代客泊车时高精地图及时更新 • 停车场多车同时泊车 • 跨楼层全局定位 • 车辆盲区感知

3. 融合功能应用分类

每个应用可以从融合增益与融合效果两个方面进行分析：

1) **融合增益**：根据融合功能对单车智能功能性能的提升，分为安全性和舒适性增益两类；

2) **融合效果**：根据融合功能的最终表现形式，分为提示、预警和控制三类；
注：提示类不直接影响驾驶安全，只是用于信息展示；预警类则是安全性功能，存在安全或碰撞风险时，主动发出的预警；控制类对车辆进行纵向和/或横向控制，可以是安全性功能，也可以是舒适性功能。

本白皮书按照上述两个维度对表 3 中的 7 个融合功能的 21 个应用进行了分析，如图 1 所示：

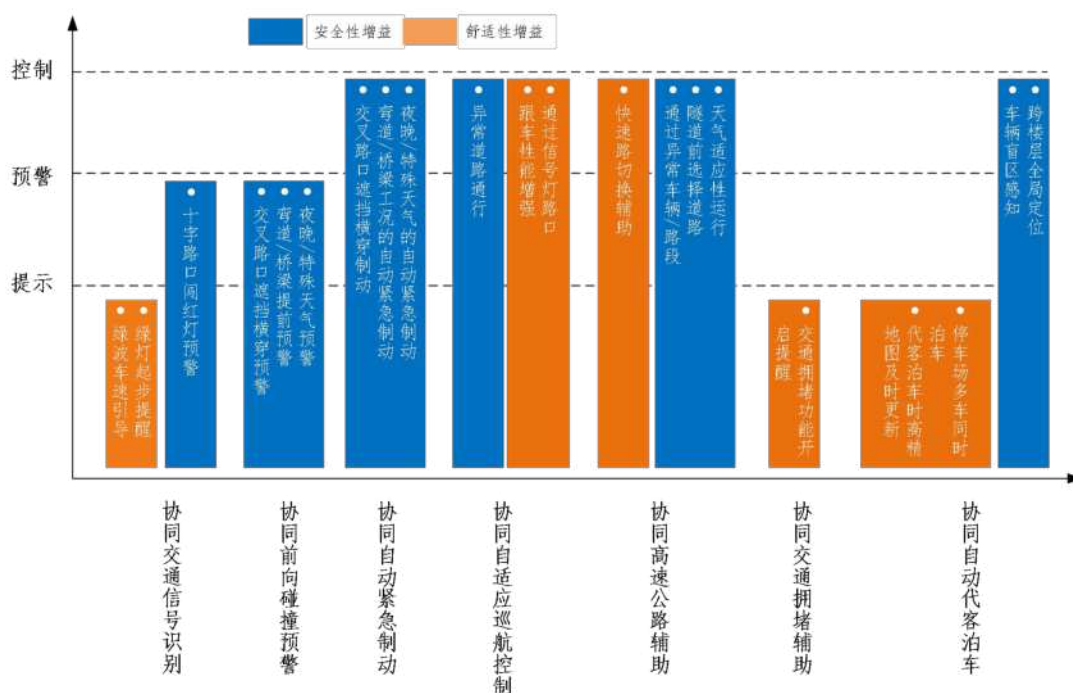


图 1 融合功能应用总结

4. 融合功能应用价值分析示例

基于融合功能和应用分类研究，进一步对融合功能的应用进行具体价值分析，现选取协同交通信号识别、协同前向碰撞预警、协同自动紧急制动、协同自适应巡航控制 4 个融合功能的应用进行示例说明。

► 协同交通信号识别功能的典型融合场景分析如表 4 和表 5 所示：

表 4 协同交通信号识别功能融合场景分析(1/2)

功能名称	协同交通信号识别
场景名称	绿灯起步提醒
场景分类	舒适性/提示

单车局限性分析	在有信号灯的交叉路口，由于单车智能的感知局限，当信号灯出现遮挡或信号无法辨认时，单车智能无法识别到信号灯状态，驾驶员可能会错过绿灯，延迟起步。
C-V2X 价值分析	通过 RSU 发送信号灯相位信息，告知当前信号灯状态，帮助单车智能判断剩余时间，提醒驾驶员提前做好起步准备。

表 5 协同交通信号识别功能融合场景分析(2/2)

功能名称	协同交通信号识别
场景名称	十字路口闯红灯预警
场景分类	安全性/预警
单车局限性分析	在有信号灯的交叉路口，现实中存在大量无倒计时显示装置的信号灯路口，依靠视觉识别无法获取信号灯倒计时信息，此外，由于单车智能的感知局限，当信号灯出现遮挡或信号无法辨认时，单车智能无法准确决策是否可以通过交叉路口。
C-V2X 价值分析	通过 RSU 发送信号灯相位信息，告知当前信号灯状态，帮助单车智能判断距离和正确决策，从而针对闯红灯风险向驾驶员预警。

➤ 协同前向碰撞预警功能的典型融合场景分析如表 6 所示：

表 6 协同前向碰撞预警功能融合场景分析

功能名称	协同前向碰撞预警
场景名称	交叉路口遮挡横穿预警
场景分类	安全性/预警
单车局限性分析	在无信号灯的交叉路口或者横穿车辆闯红灯的情况下，单车传感器（摄像头、雷达）由于自身感知能力有限（比如存在遮挡物），无法有效探测到前方路口横穿车辆，存在车辆碰撞风险。
C-V2X 价值分析	在无信号灯的交叉路口或者横穿车辆闯红灯的情况下，自车通过搭载的 C-V2X 通信设备，在非视距情况下接收目标车辆的位置信息、运动信息、几何信息，并对两车进行碰撞风险计算，及时报警提醒驾驶员采取避让措施。

➤ 协同自动紧急制动功能的典型融合场景分析如表 7 所示：

表 7 协同自动紧急制动功能融合场景分析

功能名称	协同自动紧急制动
场景名称	交叉路口遮挡横穿制动
场景分类	安全性/控制
单车局限性分析	在无信号灯的交叉路口或者横穿车辆闯红灯的情况下，单车传感器（摄像头、雷达）由于自身感知能力有限，无法有效探测到前方路口横穿障碍物/交通参与者，存在车辆碰撞风险。
C-V2X 价值分析	在无信号灯的交叉路口或者横穿车辆闯红灯的情况下，自车通过搭载的 C-V2X 通信设备，在非视距情况下接收目标车辆的位置信息、运动信息、几何信息，并对两车进行碰撞风险计算，必要时采取紧急制动，避免碰撞。

➤ 协同自适应巡航控制功能的典型融合场景分析如表 8 所示：

表 8 协同自适应巡航控制功能融合场景分析

功能名称	协同自适应巡航控制
场景名称	通过信号灯路口
场景分类	舒适性/控制
单车局限性分析	当前的自适应巡航控制功能，主要根据本车的传感器检测与前车的距离，从而调整车速以实现自动巡航。但是在包含信号灯路口的城市道路、快速路路段，当单车智能对信号灯的识别结果不准确时，无法获知信号灯倒计时信息等，出现闯红灯的行为，或者完全无法在有信号灯的路段运行，导致传统自适应巡航控制方案无法在保障遵守交通规则的情况下实现全路段的正常运行。
C-V2X 价值分析	车辆通过 C-V2X 通信获得前方路口/路段的信号灯相位及配时信息，自适应巡航控制系统结合自车传感器信息、C-V2X 获取的信号灯信息，可在单车自适应巡航控制基础上对功能进行扩展，在信号灯路口/路段自动调整车速或车辆启停，实现全路段的自适应巡航。

(二) 融合功能系统架构分析

根据提示、预警、控制等不同类别的融合功能场景，融合功能的通信系统的架构不同，本部分按照 HV(Host Vehicle, 主车)车侧子系统、RV(Remote Vehicle, 远车)车侧子系统和路侧子系统进行划分。

对于提示类融合功能，OBU (On-Board Unit, 车载网联终端) 可不接入智能驾驶系统 (含 L0~L5 级的驾驶自动化)，自车 OBU 通过与其它车辆 OBU、路侧 RSU 进行 C-V2X 通信，获知来自其它车辆、路侧的感知和交通状态等信息，实现车辆对周围环境感知能力的增强，对驾驶员进行辅助信息提示。可能的车路协同系统架构如图 2 所示：

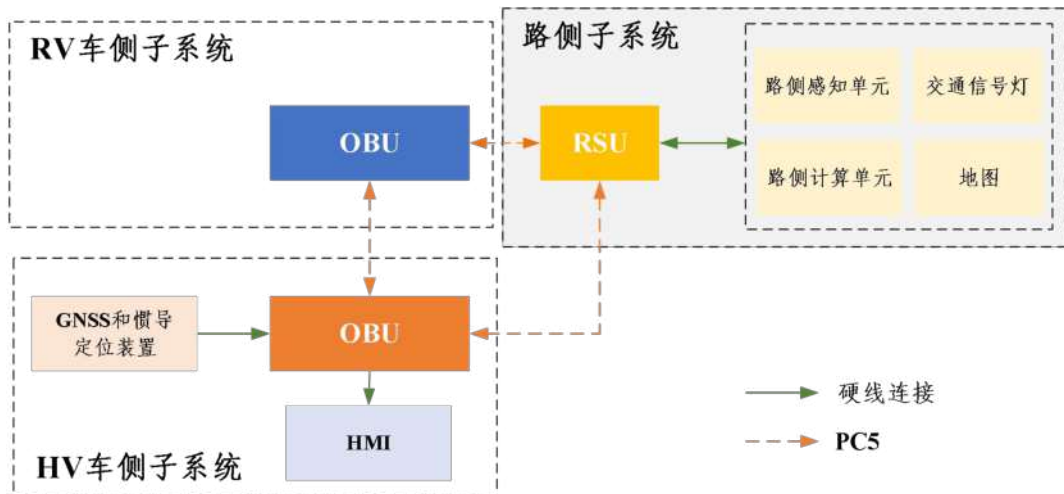


图 2 提示类融合功能的车路协同系统架构

对于预警类融合功能，OBU 应接入智能驾驶系统，需进行感知或决策层面

的融合，智能驾驶系统将通过 C-V2X 通信获取到的信息，与自有传感器提供的感知信息输入进行信息融合，对驾驶员进行预警，实现对车辆决策能力的增强。可能的车路协同系统架构如图 3 所示：

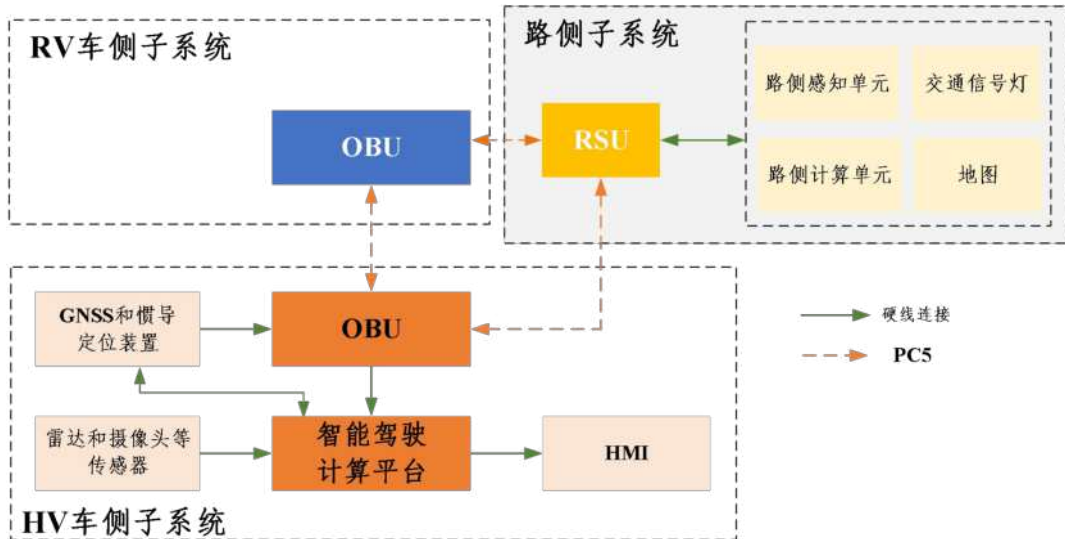


图 3 预警类融合功能的车路协同系统架构

对于控制类融合功能，在预警类融合功能的基础上，智能驾驶系统可基于融合感知信息进行决策控制，该类融合功能对于 C-V2X 数据质量和系统安全性提出更高要求。可能的车路协同系统架构如图 4 所示：

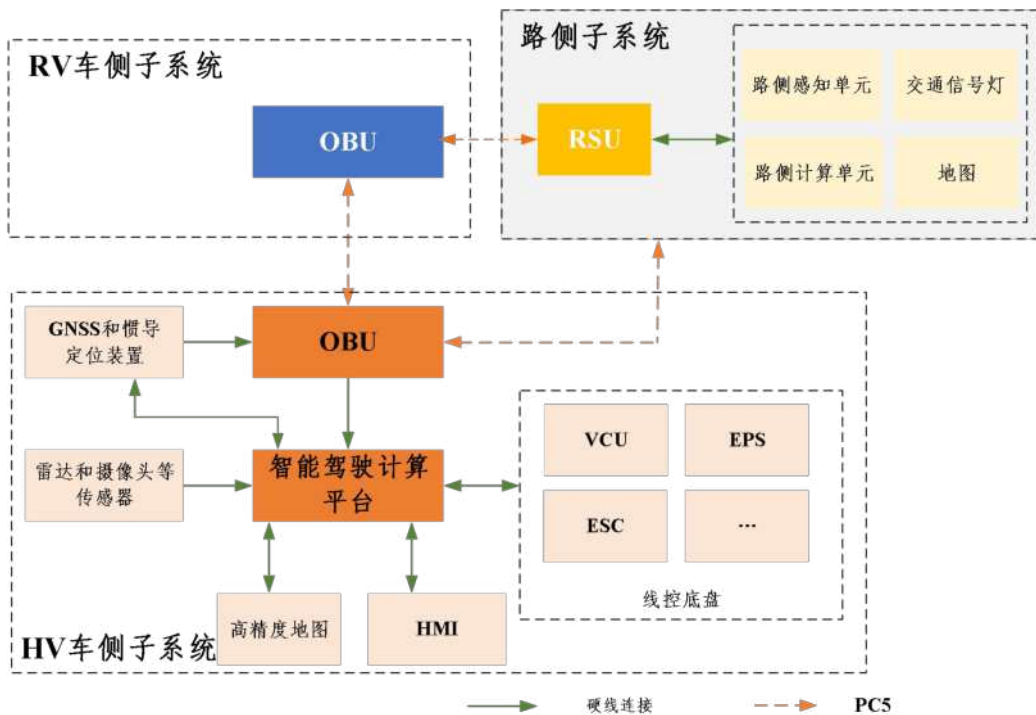


图 4 控制类融合功能的车路协同系统架构示意图

三、融合功能的功能安全分析

随着自动驾驶技术的发展与普及，其安全性越来越受到大众的关注。自动驾驶汽车安全划分为功能安全、预期功能安全和信息安全三大领域。引入 C-V2X 技术后，也应考虑上述三大领域的安全问题。本白皮书重点研究引入 C-V2X 后的功能安全。

(一) 融合功能的功能安全分析原则

1. 融合功能的功能安全分析挑战

功能安全是指不存在由电子/电气系统的功能异常表现引起的危害而导致不合理的风险。功能安全是确保系统在存在故障时仍能保持适当功能的能力。单车智能的功能安全已经有比较成熟的方法论，目前，国内汽车行业的功能安全主要参考的是 GB/T 34590 系列的推荐性国家标准（修改采用 ISO 26262 标准），该系列标准中将系统边界定义为车辆的车身。

但是，单车智能功能融合 C-V2X 技术后，涉及到 HV 与外部车辆或者设备的通信，导致功能安全分析的对象由单车变为车路协同系统，路侧子系统、云平台、无线信道等也应被纳入功能安全工程的范畴，给功能安全工程带来了新的挑战，例如：

- 1) **挑战一，功能安全分析方法论：**车路协同系统的部分功能涉及多方通信及交互，在进行功能安全工程时，系统的组成部分可能包括其它整车厂的车辆、路侧基础设施，或云平台等，目前暂无车路协同系统的功能安全分析方法；
- 2) **挑战二，无线信道安全机制：**车路协同系统的组成部分包括无线通信，在进行功能安全工程时，应考虑无线信道的处理和设计，但是，无线信道面临复杂快时变、高频度群发群收、通信对象不确定等技术挑战，应设计满足功能安全要求的无线通信机制。
- 3) **挑战三，功能安全认证及评价体系：**车路协同系统的功能涉及多个通信方，如何选择合适的功能安全等级的通信方进行合作，并在特定的功能安全等级下来实现融合功能，是需要解决的问题。

2. 融合功能的功能安全分析基本假设

由于本白皮书仅研究基于 C-V2X 直连通信技术实现的融合功能，因此，本白皮书中车路协同系统组成的逻辑示意图如图 5 所示：



图 5 车路协同系统组成逻辑示意图

在上述分析的基础上，本白皮书在进行后续功能安全分析时，进行了如下假设：

- 1) **针对挑战一：**本白皮书功能安全分析时的系统边界为车路协同系统。由于目前没有统一的路侧基础设施安全等级划分方式，为了方便后续功能安全等级分析方法论的展示，本报告假设车路协同系统，以及路侧基础设施均参考 GB/T 34590 标准的功能安全分析方法论，功能安全等级也参考车侧功能安全完整性等级（ASIL，Automotive Safety Integrity Levels）的划分方式，从低到高分为无功能安全等级要求²、A~D。

注：本白皮书中的假设仅为方便展示功能安全分析方法论，帮助了解不同应用的功能安全等级区别，车路协同系统、车侧、路侧基础设施的具体功能安全等级要求，需要后续相关工作完成后再行确定。

- 2) **针对挑战二：**本白皮书参考 GB/T 34590 标准中通信总线的安全机制/措施对无线信道进行分析。根据 GB/T 34590.6 附录 D 中信息交换部分的主要故障和 GB/T 34590.5 附录 D 中通信总线部分的安全机制/措施对应的诊断覆盖率部分的内容，总结得到 C-V2X 无线信道的主要故障及安全机制/措施的对应关系如表 9 所示：

表 9 无线通信信道故障类型及 C-V2X 的安全机制/措施

故障类型	安全机制/措施（C-V2X 安全机制）
信息重复	帧计数器（消息编号）
信息丢失	帧计数器（消息编号）

² 来源：GBT 34590.1-第二版 道路车辆 功能安全 第一部分：术语 3.6

信息延迟	超时监控（时间戳）
信息插入	信息冗余（设备 ID、签名）
信息伪装或信息的不正确寻址	信息冗余（设备 ID、签名）
信息次序不正确	帧计数器（消息编号）
信息损坏	信息冗余（签名、证书校验）
从发送方传送到多个接收方的信息不对称	信息冗余（签名）
发送方发送的信息只能被部分接收方接收	帧计数器（消息编号）
通信信道阻塞	帧计数器（消息编号）
.....

根据 GB/T 34590.5 附录 D 的内容，信息冗余、帧计数器和超时监控的组合，可以声明达到高覆盖率。由于消息编号、时间戳、设备 ID、签名、证书校验等已是基于 C-V2X 直连通信标准的一部分，因此，基于 C-V2X 直连通信的无线通信信道可被视为已具备足够的安全机制/措施保障。对无线信道和通信双方的具体要求还需要根据功能应用进行具体分析。

- 3) **针对挑战三：**本白皮书假设针对不同融合功能的应用，各通信方对自身的功能安全等级进行认证，在通信过程中交互各自的功能安全等级，并选择合适功能安全等级的通信方或基于对方的功能安全等级调整自身的安全措施以满足融合功能的功能安全等级需求来支持后续的通信和协作。

注：如何获知其它通信方的功能安全等级，以及如何基于其它通信方的功能安全等级等信息来调整自身的安全措施以满足相应的功能安全等级不在本白皮书的研究范围内。

本白皮书采用的分析方法是 GB/T 34590.3 中概念阶段的分析，具体步骤如下：

- 1) 相关项定义，详见附录 B；
- 2) 危害分析和风险评估（HARA, Hazard Analysis and Risk Assessment）；
- 3) 功能安全概念。

注：受篇幅和工作量所限，本文件不要求对特定场景进行详尽的功能安全分析，仅给出典型或最差条件下的功能安全分析，供行业参考使用。如需针对特定场景进行开发，还应按照 GB/T 34590 提供的方法论进行详尽的功能安全分析。

（二）融合功能的功能安全分析示例

本白皮书选取了 4 个融合功能的典型应用进行功能安全分析：

- 1) 协同交通信号识别——绿灯起步提醒、十字路口闯红灯预警
- 2) 协同前向碰撞预警——交叉路口遮挡横穿预警

3) 协同自适应巡航控制——基于交通信号灯的自适应巡航控制

4) 协同自动紧急制动——交叉路口遮挡横穿制动

针对上述功能和应用，根据 V2V 和 V2I 两种不同的技术，本白皮书形成了 7 个典型应用场景，具体如表 10 所示：

表 10 功能安全分析选取的融合功能的应用

功能名称	场景名称	融合增益	融合效果
协同交通信号识别	绿灯起步提醒	舒适性	提示
	十字路口闯红灯预警	安全性	预警
协同前向碰撞预警	基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿预警	安全性	预警
协同自适应巡航控制	基于交通信号灯的自适应巡航控制	舒适性	控制
协同自动紧急制动	基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿制动 基于 V2I 的交叉路口遮挡横穿制动	安全性	控制

上述 7 个应用场景覆盖了不同融合增益、不同融合效果，以及 V2V 和 V2I 两种通信方式，希望通过上述场景的功能安全分析，探索出不同融合增益和融合效果下对车路协同系统、车侧子系统以及路侧子系统的功能安全要求。

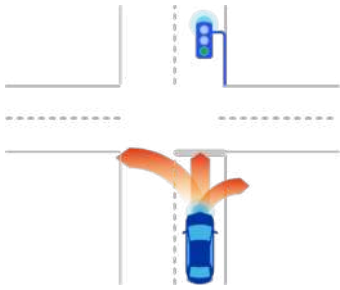
下面以表 10 中的 4 个应用场景（加粗）为例，进行功能安全分析的介绍。

1. 协同交通信号识别

(1) 相关项定义

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，绿灯起步提醒场景的相关项要求如表 11 所示：

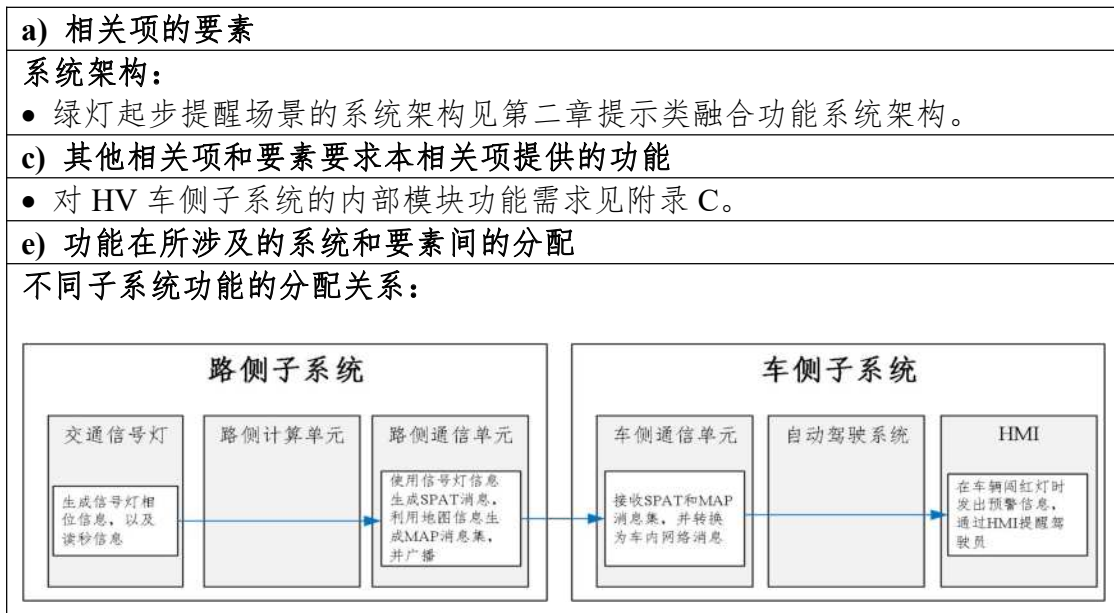
表 11 绿灯起步提醒场景的相关项要求

<p>b) 系统层面的功能行为，包括运行模式或运行状态</p> <p>功能场景：</p> 
<p>功能状态：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● HV 在交叉路口停车等待； ● HV 可以通过路侧系统获取信号灯的实时信息；

<ul style="list-style-type: none"> HV 可以使用路侧提供的信号灯信息，在信号灯由红变绿时，在 HMI (Human Machine Interface, 人机交互界面) 上进行提示。
d) 相关项的约束，例如：功能依赖性、与其他相关项的依赖性、运行环境
功能约束： <ul style="list-style-type: none"> 天气情况在此场景下不做考虑； HV 自车可以进行信息提示； HV 通过路口包含直行、左转、右转的场景。
e) 行为不足的潜在后果（如有），包括已知的失效模式和危害
风险分析： <ul style="list-style-type: none"> 车辆不能及时直行、左转、右转起步。
f) 执行器的能力，或其假定的能力
系统能力： <ul style="list-style-type: none"> HV 拥有 C-V2X 通信模块，可以使用直连通信，通过 SPAT (Signal Phase and Timing Message, 信号灯消息) 和 MAP (地图) 消息获取实时的信号灯信号信息； HV 拥有定位模块，可以通过定位模块获取实时的物理位置信息； HV 可以根据信号灯相位信息，在 HMI 上进行相应的提示； 路侧系统持续通过 RSU 广播前方信号灯信息。

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义，相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设定义，如表 12 所示：

表 12 绿灯起步提醒警场景的相关项边界定义



(2) HARA

结合实际项目的开发经验，举例分析典型场景或最差场景下的 HARA，具体如表 13 和表 14 所示：

表 13 绿灯起步提醒场景车路协同系统的 HARA (1)

危害事件 1	错误发送绿灯起步提醒导致非预期的信息提示
分析说明	考虑预期使用场景和非预期使用场景。
暴露概率 E	/
可控性 C	C0, 本车驾驶员仍然可正常观察路口情况, 在红灯的情况下控制车辆停止。
严重度 S	/
功能安全等级	无功能安全等级要求

注: 按照 GB/T 34590 的要求, S、E、C 任一项为 0 时, 该功能无功能安全等级要求。

表 14 绿灯起步提醒场景车路协同系统的 HARA (2)

危害事件 2	没有发送绿灯起步提醒导致车辆不能及时起步
分析说明	仅需考虑预期使用场景, 功能丢失在非预期场景不会造成危害。
暴露概率 E	/
可控性 C	/
严重度 S	S0, 无伤害。实际车辆会延迟起步, 不存在碰撞风险。
功能安全等级	无功能安全等级要求

注: 按照 GB/T 34590 的要求, S、E、C 任一项为 0 时, 该功能无功能安全等级要求。

(3) 功能安全概念

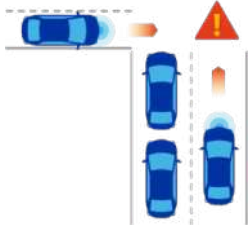
基于上述分析, 结合实际项目的开发经验, 该场景无功能安全等级要求。

2. 协同前向碰撞预警

(1) 相关项定义

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义, 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景的相关项要求如表 15 所示:

表 15 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景的相关项要求

b) 系统层面的功能行为, 包括运行模式或运行状态
<p>功能场景:</p> 
<p>功能状态:</p> <ul style="list-style-type: none"> HV 是 L2 车辆, 行驶在最右侧车道, 行驶速度 60 km/h (此场景下的典型值或最差值), 距离与 RV (Remote Vehicle, 远车) 的潜在碰撞点超过 100 m, 左侧车道有两辆车会遮挡自车视野, 横穿车辆 RV 以 20 km/h 匀速行驶, 两车有

<p>碰撞风险；</p> <ul style="list-style-type: none"> ● HV 可以通过 RV 发送的 BSM (Basic Safety Message, 基本安全消息) 获取 RV 的实时位置、速度、加速度等目标信息, 并通过这些信息计算出与 RV 的碰撞风险； ● HV 可以使用 RV 发送的感知信息, 在 TTC (Time To Collision, 碰撞时间) = (1.7 s - 4 s) 时给出碰撞预警。
<p>d) 相关项的约束, 例如: 功能依赖性、与其他相关项的依赖性、运行环境</p> <p>功能约束:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 信号灯在此场景下不做考虑 (包括信号灯损坏的情况)； ● 天气情况在此场景下不做考虑； ● 交通参与者仅考虑车辆, 但需注意, 其他交通参与者可能会造成更高的功能安全要求； ● 此场景属于城市道路场景, 可以发生在十字、丁字等类型的路口, 车道数量不做限制； ● 此场景不考虑城市高架路、高速等道路情况； ● 此场景 HV 可能在 0-60 km/h 下行驶, 功能在 0-60 km/h 均可触发。
<p>e) 行为不足的潜在后果 (如有), 包括已知的失效模式和危害</p> <p>风险分析:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● HV 保持 60 km/h 的速度行驶, 当自车传感器感知到横穿的 RV 时, 由于时间过晚, 制动力不足造成碰撞。
<p>f) 执行器的能力, 或其假定的能力</p> <p>系统能力:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● HV 具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的感知能力 (至少包括前雷达, 前摄像头), 但 RV 不一定能够感知到 RV； ● HV 具备 L2 级组合驾驶辅助车辆的执行能力, 可以进行预警、制动等纵向控制； ● HV 拥有 C-V2X 通信模块, 可以使用直连通信, 通过 BSM 消息获取实时的感知目标信息； ● HV 拥有定位模块, 可以通过定位模块获取实时的物理位置信息； ● HV 拥有 ADAS 系统, 可以通过感知获取周围环境目标信息, 进行当前状态的判断, 得知与每个目标的碰撞关系, 并且得到合适的轨迹规划； ● HV 可以通过获取的 BSM 消息, 将其转换成车侧坐标系下的目标信息； ● HV 可以通过合理的感知融合策略, 融合车侧感知信息和车侧接收到的目标信息； ● HV 可以通过判断横穿车辆与自车的碰撞关系来计算预警的时间 (数值如上)； ● RV 可以根据获取的信息生成 BSM 消息； ● RV 可以将生成的信息通过 C-V2X 广播到空口。

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义, 相关项的边界、接口以及提出与其他相关项及要素交互关系的假设定义, 如表 16 所示:

表 16 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景车路协同系统的相关项边界定义

<p>a) 相关项的要素</p> <p>系统架构:</p>

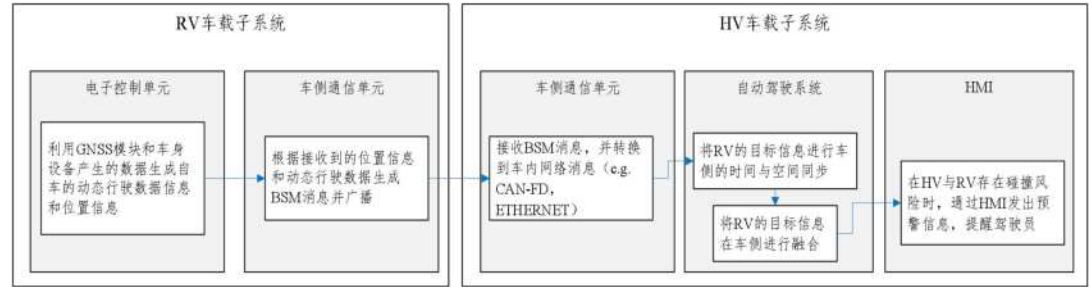
- 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景的系统架构见第二章预警类融合功能系统架构。

c) 其他相关项和要素要求本相关项提供的功能

- 对 HV 或 RV 车侧子系统的内部模块功能需求见附录 C。

e) 功能在所涉及的系统和要素间的分配

不同子系统功能的分配关系：



(2) HARA

结合实际项目的开发经验，举例分析典型场景或最差场景下的 HARA，具体如表 17 和表 18 所示：

表 17 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景车路协同系统的 HARA (1)

危害事件 1	错误识别目标车辆 RV 后造成的非预期预警
分析说明	考虑预期使用场景和非预期使用场景。
暴露概率 E	不分析
可控性 C	不分析
严重度 S	S0，无伤害。实际没有侧向车辆的存在，不存在碰撞风险。本车驾驶员会更加注意前面路况，但不会采取紧急刹车，一般的预警制动（可能会有用于提醒驾驶员的点刹措施）设置较小的制动减速度，后车驾驶员来得及反应也没有碰撞风险。
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 任一项为 0 时，该功能无功能安全等级要求。

表 18 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景车路协同系统的 HARA (2)

危害事件 2	漏检目标车辆 RV 造成不能实现预警
分析说明	仅需考虑预期使用场景，功能丢失在非预期场景不会造成危害。
暴露概率 E	E1，信号灯没有安装完毕或损坏，并且有遮挡（假设 ODD 仅考虑城市路口）。
可控性 C	C2，RV 和 HV 驾驶员的可控性为一般可控。
严重度 S	S2 或 3，严重伤害或致命伤害，60km/h 侧面碰撞。
功能安全等级	无功能安全等级要求

注：按照 GB/T 34590 的要求，S、E、C 总和小于 7 时，该功能无功能安全等级要求。

本示例中的“严重度”有两种评估方法：

- ◆ 一种是按照 GB/Z 42285-2022 4.2.2.2 中的碰撞前后的速度差值 (v) 来辅助评估, 本示例中对应的最大速度差

$$\Delta v = \frac{1}{2}(v_C - v_H) = 60/2 = 30 \text{ km/h}$$

依据 GB/Z 42285 表 B.1 中后向碰撞速度范围, $S = 1$ 或 $S=2$, 此处考虑最差场景, 取 $S=2$ 。

- ◆ 另一种是按照两车的相对速度差, 本示例中的最大速度差为 60km/h, 依据 GB/Z 42285 表 B.1 中后向碰撞速度范围, $S=3$ 。

在实际研发过程中, 上述两种方法都可适用于“严重度”的评价, 从而导致行业内针对该功能的功能安全等级有不同级别的要求。

(3) 功能安全概念

基于上述分析, 结合实际项目的开发经验, 在基于 V2V 的交叉口遮挡横穿预警场景下, 车路协同系统的安全目标为: 避免由于丢失识别目标车辆带来的预警丢失, 无功能安全等级要求。

车路协同系统中不同子系统的功能安全等级如表 19 所示:

表 19 基于 V2V 的交叉路口遮挡横穿预警场景不同子系统的功能安全等级

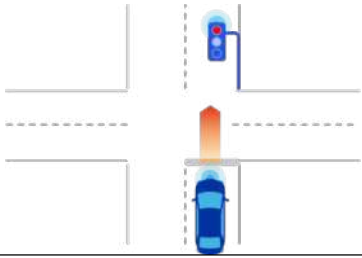
系统名称	安全目标	功能安全等级
RV 车侧子系统	避免无法发送本车信息	无功能安全等级要求
HV 车侧子系统	避免预警驾驶员的功能丢失	无功能安全等级要求

3. 协同自适应巡航控制

(1) 相关项定义

按照 GB/T 34590.3 中 5.4 概念阶段的相关项定义, 基于交通信号灯的协同自适应巡航控制场景的相关项要求如表 20 所示:

表 20 基于交通信号灯的协同自适应巡航控制场景的相关项要求

b) 系统层面的功能行为, 包括运行模式或运行状态
<p>功能场景:</p> 
功能状态:

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/337104112033006045>