ICS 35.040
CCS R85

团 体 标 准

T/CITSA 64-2025

智慧高速车路协同运行效果评价技术指南

Technical Guidelines for Operational Effectiveness Evaluation of Vehicle Infrastructure Cooperation Systems in Smart Expressways

2025-04-21 发布 2025-05-21 实施

中国智能交通协会 发 布

中国智能交通协会

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　指标体系 2
4.1　评价层级 2
4.2　智慧高速车路协同运行效果评价指标体系表 3
5　安全保障评价 4
5.1　最大瞬时减速度 4
5.2　速度标准差 5
5.3　平均车头时距 5
5.4　急加速急减速次数 5
5.5　突发事件频率 6
5.6　交通事故事件清场时间 6
6　通行效率评价 7
6.1　平均行程车速 7
6.2　平均流量提升比 7
6.3　行程时间缩短比 7
6.4　延误时间减少比 8
6.5　入口/出口匝道排队长度 8
6.6　饱和度 8
6.7　收费站单车平均通行时间 9
6.8　交通流密度 9
6.9　拥堵指数 9
7　服务质量评价 10
7.1　加速度标准差 10
7.2　通信时延 10
7.3　数据更新频率 11
7.4　信息推送及时性 11
7.5　应急响应效率 11
7.6　渗透率 12
7.7　定位误差 12
7.8　通信丢包率 12
7.9　交通运行状态信息准确率 12
7.10　公路突发事件信息准确率 13
7.11　诱导服务 13
7.12　预警服务 14
7.13　出行服务满意度 14

8 绿色环保评价 15
8.1 碳排放减少量 15
8.2 颗粒物排放减少量 15
9 经济效益评价 16
9.1 能量消耗减少量 16
9.2 通行费用收入提升量 16
9.3 运行保障成本变化量 16

中国智能交通协会

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。

本文件由山东高速集团有限公司提出。

本文件由中国智能交通协会归口。

本文件起草单位：山东高速集团有限公司、东南大学、山东高速建设管理集团有限公司、山东大学、北京理工大学、山东高速信息集团有限公司。

本文件主要起草人：王术剑、芮一康、张伟、栗剑、曲栩、邹宗民、石南、田迎军、吴建清、陈雪梅、高华睿、宋佳康、孙志平、梁坤、吴任飞、伊笑莹、赵妍、沈喆、刘浩宇、金雄威、陈鲁川、刘志远、王琪、陈昱鹏。

智慧高速车路协同运行效果评价技术指南

1 范围

本文件规定了包含安全保障、通行效率、服务质量、绿色环保、经济效益方面的智慧高速车路协同运行效果评价指标体系及评价方法，可作为评估和优化车路协同系统运行效果的依据。

本文件适用于高速公路车路协同系统建设的运行效果评价。

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 18352.6—2016轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）

GB/T 19233-2020轻型汽车燃料消耗量试验方法

GB/T 29108-2021道路交通信息服务 术语

GB/T 33171-2016城市交通运行状况评价规范

GB/T 37340-2019 电动汽车能耗折算方法

GB/T 41797-2022驾驶员注意力检测系统性能要求及试验方法

JTG B01-2014公路工程技术标准

JTG D20-2017 公路路线设计规范

T/ITS 0194—2022智慧高速公路 路网运行监测与预测预警系统技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智慧高速公路 Smart Expressway

智慧高速公路是以多维状态感知、多源信息融合等手段对高速公路运行状态进行智能感知，为运营方提供智慧化的监测、应急、养护、运维、决策能力，为交通管理方提供智慧化交通管控能力，为公众提供智能化安全、高效、绿色的出行体验，具备数字化、网联化、智能化等特征的高速公路。

[来源：T/ITS 0194—2022，3.1]

3.2

车路协同 Vehicle-Infrastructure Cooperation

从系统论的观点出发，基于无线通信、传感探测等技术进行车路间信息交互和共享，实现智能在车辆和基础设施之间的合理分配和平衡、车载装置和路上设施的智能协同和配合，达到优化利用系统资源、提高道路交通安全性以及智能公路系统整体功能的目标。

[来源：GB/T 29108-2021，8.3]

3.3

车路协同系统 Intelligent Vehicle Infrastructure Cooperative Systems

采用先进的无线通信和新一代互联网等技术，全方位实施车车、车路动态实时信息交互，并在全时空动态交通信息采集与融合的基础上开展车辆主动安全控制和道路协同管理，充分实现人车路的有效协同，保证交通安全，提高通行效率，从而形成的安全、高效和环保的道路交通系统。

[来源：T/CITSA 09-2021，3.1]

3.4

运行效果 Operating Effectiveness

运行效果指高速公路行驶的车辆通过车路协同系统实现实时信息交互与协同，所达到的性能与效率表现，包括安全保障、通行效率、服务质量、绿色环保以及经济效应等。

3.5

交通流量　Traffic Volume

在单位时间内通过道路某一断面的车辆数。

[来源：GB/T 33171-2016，3.3]

3.6

行程时间比　Travel Time Index;TTI

实际行程时间与自由流行程时间的比值。

[来源：GB/T 33171-2016，3.8]

3.7

准确率　Accuracy Rate

某项行为的正检数与检出事件数（正检数+误检数）的比值。

[来源：GB/T 41797-2022，3.4]

3.8

排气污染物　Exhaust Emissions

汽车排气管排放的气态污染物和颗粒物。

[来源：GB18352.6—2016，3.16]

4　指标体系

4.1　评价层级

本标准设计的评价体系层次关系及内容如下图所示。

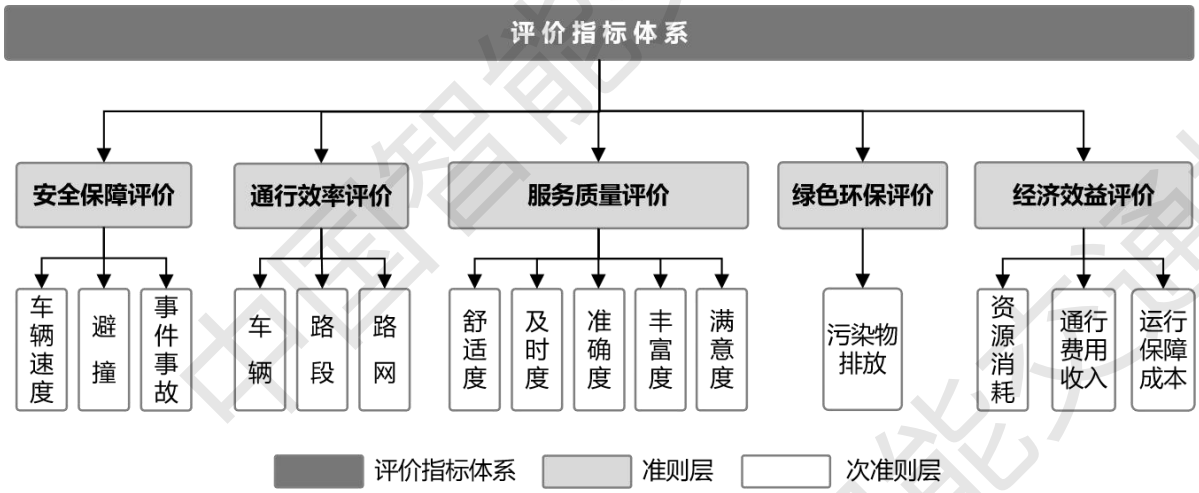

图1　评价体系层次关系图

4.1.1　准则层

应能评价高速公路车路协同管控水平，准则层包括安全保障、通行效率、服务质量、绿色环保和经济水平。

4.1.2　次准则层

次准则层是对准则层的进一步细化。其中，安全保障评价包括车速、避撞、事件事故；通行效率评价包括车辆、路段、路网；服务质量评价包括舒适度、及时度、准确度、丰富度、满意度；绿色环保评价包括污染物排放；经济效益评价包括资源消耗和通行费用收入。

4.1.3　指标层

反映次准则层某一方面发展水平的若干个评价指标，评价指标是评价指标体系的最小单位。

4.2 智慧高速车路协同运行效果评价指标体系表

表 1 智慧高速车路协同运行效果评价指标体系表

准则层	次准则层	序号	指标层	单位	指标代码
安全保障评价	车辆速度	1	最大瞬时减速度	m/s^2	A_1^c
		2	速度标准差	-	A_2^c
	避撞	3	平均车头时距	s	A_1^b
		4	急加速急减速次数	次/min	A_2^b
	事件事故	5	突发事件次数	次/年/km/车道	A_1^d
		6	突发事故事件清场时间	min	A_2^d
通行效率评价	车辆	7	平均行程车速	m/s	T_1^C
	路段	8	平均流量提升比	%	T_1^l
		9	行程时间缩短比	%	T_2^l
		10	延误时间减少比	%	T_3^l
		11	入口/出口匝道排队长度	m	T_4^l
		12	饱和度	v/c	T_5^l
		13	收费站单车平均通行时间	min/pcu	T_6^l
		14	交通流密度	辆/km	T_7^l
	路网	15	拥堵指数	等级评价	T_1^N
服务质量评价	舒适度	16	加速度标准差	-	F_1^s
	及时度	17	通信时延	ms	F_1^J
		18	数据更新频率	次/min	F_2^J

		19	信息推送及时性	ms	F_3^J
		20	应急响应效率	%	F_4^J
	准确度	21	渗透率	%	F_1^z
		22	定位误差	cm	F_2^z
		23	通信丢包率	%	F_3^z
		24	交通运行状态信息准确率	%	F_4^z
		25	公路突发事件信息准确率	%	F_5^z
	丰富度	26	诱导服务	%	F_1^f
		27	预警服务	%	F_2^f
	满意度	28	出行服务满意度	-	F_1^m
绿色环保评价	污染物排放	29	碳排放减少量	g	L_1^H
		30	颗粒物排放减少量	Mg/km	L_2^H
经济效益评价	资源消耗	31	能量消耗减少量	L/100km	J_1^Z
	通行费用收入	32	通行费用收入提升量	元	J_1^T
	运行保障成本	33	运行保障成本变化量	元/千米	J_1^Y

5 安全保障评价

5.1 最大瞬时减速度

5.1.1 指标定义

在单位时间内，车路协同路段内所有通行车辆的最大瞬时减速度。车辆的瞬时减速度是指车辆在某一特定瞬间的速度变化率，它描述了车辆速度在极短时间内的减小情况，代表了物体减速度的状况，可以通过一段时间内路段上车辆（或一段位移内）的速度对时间的导数的负数计算得到，如式1所示。

5.1.2 计算公式

$$A_1^c = MAX[a_1, a_2, \ldots, a_i, \ldots a_n] = MAX\left[\frac{-\Delta v_1}{\Delta t}, \frac{-\Delta v_2}{\Delta t}, \ldots, \frac{-\Delta v_i}{\Delta t}, \ldots \frac{-\Delta v_n}{\Delta t}\right] \quad (1)$$

式中：

A_1^c——最大瞬时减速度值，单位为米每二次方秒；

a_i——第i辆车的瞬时减速度值，单位为米每二次方秒；
Δv_i——第i辆车末速度减去初速度的差值，单位为米每秒；
Δt——第i辆车的行驶时间间隔，一般取较小的区间，单位为秒。

5.1.3 基础数据采集要求

a) 速度差值通过车路协同系统采集；
b) 行驶时间间隔通过车路协同系统采集，具体依据采样数据类型来确定具体值。分为高速采样数据和中低速采样数据。其中：（1）高速采样频率大于等于 100Hz 时，Δt 取 0.01s；（2）中低速采样频率 10-50Hz，为了平滑噪声，Δt 覆盖 2-5 个采样点，滑动平均后Δt 取 0.1-0.2s。

5.2 速度标准差

5.2.1 指标定义

在单位时间内，车路协同路段内所有通行车辆速度方差的开平方。

5.2.2 计算公式

$$A_2^c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(V_i-\overline{V})^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中：
A_2^c——速度标准差；
V_i——某时刻第i辆车的速度，单位为千米每时；
$\overline{V}$——某时刻所有车辆速度的平均值，单位为千米每时；
n——车辆数量。

5.2.3 基础数据采集要求

a) 某时刻第 i 辆车的速度通过车路协同系统采集，某时刻第 i 辆车的速度通过车路协同系统采集，由同一车辆采集得到的多次车速数据取其均值作为最终速度值。
b) 车辆数量通过车路协同系统采集。

5.3 平均车头时距

5.3.1 指标定义

在单位时间内，车路协同路段上前后两辆车通过车行道上某一点时间差的平均值。

5.3.2 计算公式

$$A_1^b = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} t_i}{n-1} (n \geq 2) \quad (3)$$

式中：
A_1^b——平均车头时距，单位为秒；
t_i——第i辆车与前车的车头时距，单位为秒；
n——车辆数量。

5.3.3 基础数据采集要求

a) 第 i 辆车与前车的车头时距，通过车路协同系统采集；
b) 车辆数量通过车路协同系统采集。

5.4 急加速急减速次数

5.4.1 指标定义

在单位时间内，车路协同路段内所有通行车辆加速度超过某一阈值的次数。

5.4.2 计算公式

$$A_2^b = n_1 + n_2 \quad (4)$$

式中：

A_2^b——急加速急减速次数，单位为次每分钟；

n_1——加速度超过阈值的急加速次数，单位为次每分钟；

n_2——加速度超过阈值的急减速次数，单位为次每分钟。

5.4.3 基础数据采集要求

a) 急加速次数通过车路协同系统采集；

b) 急减速次数通过车路协同系统采集。

5.5 突发事件频率

5.5.1 指标定义

车路协同路段内发生的突发事件是指高速公路上突然发生，造成或者可能造成交通运输设施毁损，交通运输中断、阻塞等，需要采取应急处置措施，疏散或者救援人员，提供应急运输保障的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件。

5.5.2 计算公式

$$A_1^d = \frac{N_1+N_2+N_3+N_4+N_5}{y*L*C} \quad (5)$$

式中：

A_1^d——突发事件频率，单位为次每年每千米每车道；

N_1——交通事故发生次数，行驶在高速公路上的车辆因发生事故，影响高速公路车辆正常行驶，出现大量车辆积压及拥堵的突发事件，单位为次；

N_2——由恶劣天气导致的突发事件次数，主要包括高速公路受暴雨、雾、霾、暴雪、寒潮、冰冻、台风、大风等气象灾害或恶劣天气影响高速公路车辆正常行驶，出现大量车辆积压及拥堵突发事件，单位为次；

N_3——道路施工和维护活动导致的交通中断或阻塞次数，单位为次；

N_4——交通大流量事件次数，重大节假日时期、重大活动期间或其他特殊情况时车流量急剧上升，出现大量车辆积压及拥堵的突发事件，单位为次；

N_5——其他安全事件导致的交通中断或阻塞次数，如地质灾害、群体性事件和特情应急保障等产生的突发事件，单位为次；

y——统计时间，单位为年；

L——路段长度，单位为千米；

C——统计车道数目，单位为个。

5.6 交通事故事件清场时间

5.6.1 指标定义

交通事故事件清场时间是指从事故事件处理程序启动（如报警或当事人协商）到现场完全清理、道路通行能力恢复的法定时限。

5.6.2 计算公式

$$A_2^d = T_{t1} + T_{t2} + T_{t3} \quad (6)$$

式中：

A_2^d——突发事故处理时间，单位为分钟；

T_{t1}——事故确认与响应时间，从事故发生到交警或相关部门接到报警并启动处置程序的时间，单位为分钟；

T_{t2}——现场处置与勘查时间，交警到达现场后完成勘查、取证、责任判定所需时间，单位为分钟；

T_{t3}——清理与恢复交通时间，从现场勘查结束到道路完全清理、交通秩序恢复的时间，单位为分钟。

6 通行效率评价

6.1 平均行程车速

6.1.1 指标定义

在单位时间内测得通过道路车路协同路段各车辆的平均车速，这些速度的算术平均值。

6.1.2 计算公式

$$T_1^C = \frac{\sum v_n}{n} \tag{7}$$

式中：

T_1^C——平均行程车速，单位为米每秒；

v_n——通过道路某路段各车辆的平均车速，单位为米每秒；

n——速度数据的样本数量。

6.1.3 基础数据采集要求

a) 车辆点车速和车辆数应通过车路协同系统采集；

b) 按照GB T 33171-2016要求采集。

6.2 平均流量提升比

6.2.1 指标定义

同一路段在车路协同系统建成运行前后，一定时间内平均流量的提升比例。

6.2.2 计算公式

$$T_1^l = \frac{\overline{C_1}-\overline{C_2}}{\overline{C_2}} = \left(\frac{\sum_i C_{i1}}{t} - \frac{\sum_i C_{i2}}{t}\right) / \frac{\sum_i C_{i2}}{t} = \frac{\sum_i C_{i1} - \sum_i C_{i2}}{\sum_i C_{i2}} \tag{8}$$

式中：

T_1^l——路段在车路协同系统建成运行前后，平均流量的提升比例；

$\overline{C_1}$——车路协同系统平均流量，单位为辆每小时；

C_{i1}——车路协同系统第i个统计时间间隔内的流量，单位为辆每小时；

$\overline{C_2}$——车路协同系统前平均流量，单位为辆每小时；

C_{i2}——车路协同系统建成运行前第i个统计时间间隔内的流量，单位为辆每小时；

t——统计时间，单位为小时。

6.2.3 基础数据采集要求

车流量由车路协同系统采集，分别采集建成运行前与建成运行后的数据。

6.3 行程时间缩短比

6.3.1 指标定义

同一路段在车路协同系统建成运行前后，在一定时间内实际行程时间的缩短比。

6.3.2 计算公式

$$T_2^l = \frac{TTI_{k1} - TTI_{k2}}{TTI_{k2}} = \frac{\frac{\bar{t}_{k1}}{t_1^f} - \frac{\bar{t}_{k2}}{t_2^f}}{\frac{\bar{t}_{k2}}{t_2^f}} \tag{9}$$

式中：

T_2^l——车路协同建成运行前后实际行程时间的缩短比

TTI_{k1}——车路协同路段在某一时间间隔k内的行程时间比，时间间隔应不大于15分钟（0.25小时）；

$\bar{t}_{k1}$——时间间隔k内车路协同路段车辆行驶过路段所使用的平均时间，$\bar{t}_{k1}=\sum_{j=1}^{n}t_{kj1}/n$或者$\bar{t}_{k1}=L/V_{k1}$，n为车辆数，单位为小时；

t_1^f——车路协同系统建成运行后，路段在自由流状态下的行程时间，单位为小时；

TTI_{k2}——路段在某一时间间隔k 内的行程时间比，时间间隔应不大于15分钟（0.25小时）；

$\bar{t}_{k2}$——时间间隔k 内车辆行驶过路段所使用的平均时间，$\bar{t}_{k2}=\sum_{j=1}^{n}t_{kj2}/n$或者$\bar{t}_{k2}=L/V_{k2}$，n为车辆数，单位为小时；

t_2^f——车路协同系统建成运行前，路段在自由流状态下的行程时间，单位为小时。

当路段行程时间小于自由流行程时间时，设定TTI等于1。

6.3.3 基础数据采集要求

a) 行程时间应按 GB/T 33171-2016 要求采集；
b) 行程时间由车路协同系统与同一路段非车路协同系统分别采集；
c) 自由流状态行程时间根据道路设计标准确定。

6.4 延误时间减少比

6.4.1 指标定义

延误时间是车辆在某一路段上由于交通拥堵等待等原因，而额外花费的时间。延误时间减少比指同一路段在车路协同系统建成运行前后，延误时间下降的比例。

6.4.2 计算公式

$$T_3^l=\frac{\bar{t}_{k1}-\bar{t}_{k2}}{\bar{t}_{k2}} \tag{10}$$

式中：

T_3^l——同一路段在车路协同系统建成运行前后，固定通行时间内通行延误时间下降的比例；

$\bar{t}_{k1}$——车路协同系统中车辆在时间间隔k内车辆行驶过路段的延误时间，单位为秒；

$\bar{t}_{k2}$——车路协同系统建成运行前车辆在时间间隔k内车辆行驶过路段的延误时间，单位为秒。

6.4.3 基础数据采集要求

应按GB/T 33171-2016要求采集延误时间所需的数据。

6.5 入口/出口匝道排队长度

6.5.1 指标定义

高峰时期，入口/出口匝道的车辆排队队列从排队起点至队列末尾之间的长度，即出入口匝道排队队列的起终点坐标之差。

6.5.2 计算公式

$$T_4^l=X_e-X_b \tag{11}$$

式中：

T_4^l——入口/出口匝道排队长度，单位为米；

X_e——入口/出口匝道的车辆排队队列末尾坐标，单位为米；

X_b——入口/出口匝道的车辆排队队列起点坐标，单位为米。

6.5.3 基础数据采集要求

车辆排队队列坐标由车路协同系统采集。

6.6 饱和度

6.6.1 指标定义

车路协同路段实际交通流量与路段通行能力的比值。

6.6.2 计算公式

$$T_5^l = \frac{C}{C_B} \tag{12}$$

式中：

T_5^l——饱和度；

C——路段实际交通流量，单位为辆每小时；

C_B——路段设计通行能力，单位为辆每小时。

6.6.3 基础数据采集要求

a) 路段实际交通流量由车路协同系统采集；

b) 路段通行能力为道路设计通行能力，高速公路的设计通行能力可由设计速度获取，参考《公路工程技术标准》中相关说明。

6.7 收费站单车平均通行时间

6.7.1 指标定义

若车路协同路段包含收费站，收费站单车平均通行时间是指一辆车从进入收费站到离开收费站的总时间，包括收费、启动、反应等各个环节的时间。

6.7.2 计算公式

$$T_6^l = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n} \tag{13}$$

式中：

T_6^l——收费站单车平均通行时间；

t_i——观测车辆i通过收费站的时间；

n——观测车辆总数。

6.7.3 基础数据采集要求

观测车辆个数与通过收费站的时间应按各地实际情况采集。

6.8 交通流密度

6.8.1 指标定义

在单位时间内，车路协同路段单位长度上的车辆数。

6.8.2 计算公式

$$T_7^l = \frac{N}{L} \tag{14}$$

式中：

T_7^l——交通流密度，单位为辆每千米；

N——单位时间内车路协同路段内的车辆数；

L——车路协同路段长度。

6.8.3 基础数据采集要求

车辆数由车路协同系统获得。

6.9 拥堵指数

6.9.1 指标定义

车路协同路段建设累积成网后，综合反映车路协同线路的畅通或拥堵的概念性指数值，即路段长度与权重乘积与速度的比值，速度包括实况车速与自由流速度。

6.9.2 计算公式

$$T_1^N = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{V_i} W_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{V_{free}} W_i} \quad (15)$$

式中：

T_1^N——拥堵指数；

L_i——车路协同线路的长度，单位为千米；

n——车路协同线路的总数；

W_i——第i条车路协同线路的权重，由一个时间周期内观测到该交通线路车辆总数作为权重指标；

V_{free}——车路协同线路的自由流速度，单位为千米每小时；

V_i——车路协同线路的实时路况速度，单位为千米每小时。

6.9.3 基础数据采集要求

a) 交通线路的长度、总数、自由流速度应按各地实际路网采集；
b) 交通线路的实时路况速度由车路协同系统采集；
c) 自由流速度应按 GB T 33171-2016 采集。

7 服务质量评价

7.1 加速度标准差

7.1.1 指标定义

在单位时间内，车路协同路段内所有通行车辆加速度平均数方差的开平方。

7.1.2 计算公式

$$F_1^s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (a_i - \overline{a})^2}{n-1}} \quad (16)$$

式中：

F_1^s——加速度标准差；

a_i——第i个状态下的加速度值，单位为米每二次方秒；

$\overline{a}$——加速度的平均值，单位为米每二次方秒；

n——统计状态数。

7.1.3 基础数据采集要求

a) 第 i 个状态下的加速度值通过车路协同系统采集，状态 i 为第 i 次观测记录的加速度值；
b) 统计状态数通过车路协同系统采集。

7.2 通信时延

7.2.1 指标定义

在单位时间内，车路协同路段内数据包在网络上传输所花费的平均时间，包括发送、传播、排队和处理的时间。

7.2.2 计算公式

$$F_1^J = \overline{t_1} + \overline{t_2} + \overline{t_3} + \overline{t_4} \quad (17)$$

式中：

F_1^J——通信时延，单位为毫秒；

$\overline{t_1}$——平均发送时延，单位为毫秒；

$\overline{t_2}$——平均传播时延，单位为毫秒；

$\overline{t_3}$——平均排队时延，单位为毫秒；

$\overline{t_4}$——平均处理时延，单位为毫秒。

7.2.3 基础数据采集要求

各类时延通过车路协同系统采集。

7.3 数据更新频率

7.3.1 指标定义

车路协同路段内服务数据每分钟更新多少次，即统计时间内的更新次数与统计时长的比值。

7.3.2 计算公式

$$F_2^J = \frac{n_0}{t_0} \tag{18}$$

式中：

F_2^J——数据更新频率，单位为次每分钟；

n_0——统计时间内更新次数；

t_0——统计时长，单位为分钟。

7.3.3 基础数据采集要求

a) 更新次数通过车路协同系统采集；

b) 统计时长通过车路协同系统采集。

7.4 信息推送及时性

7.4.1 指标定义

在单位时间内，车路协同路段内信息从生成到接收者成功接收到信息所用的平均时间间隔，即平均接收时刻与平均发送时刻的差值。

7.4.2 计算公式

$$F_3^J = \overline{T_2} - \overline{T_1} \tag{19}$$

式中：

F_3^J——信息推送及时性，单位为毫秒；

$\overline{T_1}$——平均发送时刻，单位为毫秒；

$\overline{T_2}$——平均接收时刻，单位为毫秒。

7.4.3 基础数据采集要求

各类时刻通过车路协同系统采集。

7.5 应急响应效率

7.5.1 指标定义

车路协同系统的应急响应效率是指系统在检测到道路上的紧急事件后，能够迅速并高效地协调车辆和道路基础设施，体现应对并解决事件的能力，即各种应急处理事件时间之和的倒数。

7.5.2 计算公式

$$F_4^J = \frac{1}{T_a+T_b+T_c+T_d+T_e} \tag{20}$$

式中：

F_4^J——应急响应效率；

T_a——事件检测时间，单位为秒；

T_b——事件传递时间，单位为秒；

T_c——响应启动时间，单位为秒；

T_d——车路协同系统处理时间，单位为秒；

T_e——系统恢复时间，单位为秒。

7.5.3 基础数据采集要求

各类时间通过车路协同系统采集。

7.6 渗透率

7.6.1 指标定义

在单位时间内，车路协同服务路段中网联车辆与全部车辆的比值。

7.6.2 计算公式

$$F_1^z = \frac{N_c}{N} \tag{21}$$

式中：

F_1^z——网联车辆渗透率

N_c——网联车辆数；

N——所有车辆数。

7.7 定位误差

7.7.1 指标定义

导航设备（如GPS、北斗、惯性导航系统等）所确定的当前位置与实际位置之间的差异，即基准不重合误差与基准位置误差之和。

7.7.2 计算公式

$$F_2^z = \Delta_{jb} \pm \Delta_{jw} \tag{22}$$

式中：

F_2^z——定位误差，单位为厘米；

Δ_{jb}——基准不重合误差，单位为厘米；

Δ_{jw}——基准位置误差，单位为厘米。

7.7.3 数据采集要求

a) 基准不重合误差通过车路协同系统采集；
b) 基准位置误差通过车路协同系统采集。

7.8 通信丢包率

7.8.1 指标定义

在单位时间内，车路协同服务路段，通信过程中数据包丢失部分与所传数据包总数的比值。

7.8.2 计算公式

$$F_3^z = \frac{n_1}{n_2} \times 100\% \tag{23}$$

式中：

F_3^z——通信丢包率；

n_1——数据包丢失数量；

n_2——所传数据包总数。

7.8.3 基础数据采集要求

a) 数据包丢失数量通过车路协同系统采集；
b) 数据包总数通过车路协同系统采集。

7.9 交通运行状态信息准确率

7.9.1 指标定义

在单位时间内，车路协同系统识别交通运输状态信息的准确概率，即车路协同检测到的交通事件数量与实际发生交通事件数量的比值与车路协同成功处理有效交通信息与已检测到交通信息数量比值的乘积。

7.9.2 计算公式

$$F_4^z = \frac{T_d}{T_a} \times \frac{I_d}{I_a} \tag{24}$$

式中：

F_4^z——交通运输状态信息准确率；

T_d——车路协同系统检测到的交通事件数量；

T_a——所有实际发生的交通事件数量；

I_d——车路协同系统成功传输和处理的有效交通信息数量；

I_a——是所有已检测到的交通信息数量。

7.9.3 基础数据采集要求

式中各类指标通过通过车路协同系统采集，m_1是指通过第三方校验车路协同系统采集状态信息的准确性，统计出的正确识别数量。

7.10 公路突发事件信息准确率

7.10.1 指标定义

在单位时间内，车路协同系统识别公路突发事件的准确概率，即正确识别公路突发事件信息的数量与公路突发事件信息总数量的成绩。

7.10.2 计算公式

$$F_5^z = \frac{a_1}{a_0} \times 100\% \tag{25}$$

式中：

F_5^z——公路突发事件信息准确率；

a_1——正确识别公路突发事件信息的数量；

a_0——公路突发事件信息的总数量。

7.10.3 基础数据采集要求

a) 式中各类指标通过通过车路协同系统采集，a_1是指通过第三方校验车路协同系统采集状态信息的准确性，统计出的正确识别数量；

b) 公路交通突发事件是指由下列突发事件引发的造成或者可能造成公路以及重要客运枢纽出现中断、阻塞、重大人员伤亡、大量人员需要疏散、重大财产损失、生态环境破坏和严重社会危害，以及由于社会经济异常波动造成重要物资、旅客运输紧张需要交通运输部门提供应急运输保障的紧急事件。

7.11 诱导服务

7.11.1 指标定义

诱导服务丰富度指车路协同系统包含诱导服务信息种类的数目与诱导服务信息分类总数的比值。

7.11.2 计算公式

$$F_1^f = \frac{d_1}{d_0} \times 100\% \tag{26}$$

式中：

F_1^f——诱导服务的丰富度；车路协同系统提供的诱导服务信息占总诱导服务信息的比例。

d_1——车路协同系统包含诱导服务信息种类的数目；

d_0——诱导服务信息分类总数，这里为5。

7.11.3 基础数据采集要求

车路协同系统为实现诱导服务提供的信息，按照服务功能方向可以分为：安全性诱导服务信息、交通效率诱导服务信息、紧急救援诱导服务信息、智能驾驶诱导服务信息、环保诱导服务信息五类。

a) 安全性诱导服务信息：通过车路协同系统，实时监测交通状况并提供安全预警信息，以减少交通事故的发生。包括：限速诱导、紧急车辆优先等诱导服务。
b) 交通效率诱导服务信息：通过车路协同系统采集和处理的各类信息，旨在优化交通流、减少拥堵、提高道路通行效率，并为驾驶员提供实时的行驶建议和支持。包括：速度诱导、动态导航、路径诱导、车道诱导等服务。
c) 紧急救援诱导服务信息：在紧急情况下，通过车路协同系统为救援车辆提供优先通行路径和信号控制支持，确保救援车辆快速到达现场。包括救援车辆优先通行、紧急事件响应等诱导服务。
d) 智能驾驶诱导服务信息：是专为自动驾驶车辆或高级驾驶辅助系统（ADAS）设计的信息服务。通过车路协同系统，为车辆提供高精度的感知、决策支持和控制建议，以实现车辆的自主驾驶功能。包括自动泊车、远程驾驶、多车协同行驶、动态车道管理等诱导服务。
e) 环保诱导服务信息：环保诱导服务信息是指通过车路协同系统，结合环境监测数据和交通流量信息，为车辆提供的与环境保护相关的诱导信息，旨在优化交通行为，减少交通活动对环境的负面影响，提升交通系统的绿色可持续性。包括节能路径规划、低排放区域诱导等服务。

7.12 预警服务

7.12.1 指标定义

预警服务丰富度指车路协同系统包含预警信息种类的数目与信息分类总数的比值。

7.12.2 计算公式

$$F_2^f = \frac{y_1}{y_0} \times 100\% \qquad (27)$$

式中：

F_2^f——预警服务的丰富度；车路协同系统提供的预警服务信息占总预警服务信息的比例。

y_1——车路协同系统包含预警信息种类的数目；

y_0——预警服务信息分类总数，这里为4。

7.12.3 基础数据采集要求

车路协同系统为实现信息安全预警功能所能提供的信息，按照预警内容可以分为车辆行驶安全预警、交通规则与路况预警、交通管理与信息服务、特殊场景预警四类。

a) 车辆行驶安全预警：通过车路协同系统中的车与车通信技术，实时监测和分析车辆之间的相对位置、速度、行驶方向等信息，当检测到潜在的碰撞风险或其他危险情况时，向驾驶员或自动驾驶系统发出预警信息，以帮助其采取及时的避险措施，从而提高行车安全性和减少交通事故的发生。包括前向碰撞预警、侧向碰撞预警、逆向超车预警等服务。
b) 交通规则与路况预警：通过先进的信息技术、通信技术和数据分析手段，实时监测道路交通状况和交通参与者的行驶行为，当发现违反交通规则或存在潜在危险时，及时向交通参与者或交通管理部门发出预警信息。包括限速预警、违规停车预警、逆行预警等服务。
c) 交通管理与信息服务：通过先进的信息技术、通信技术和数据分析手段，对交通系统进行实时监控、调度和优化，同时为交通参与者提供及时、准确的交通信息，以提高交通效率、减少拥堵和环境影响的综合系统。包括前方拥堵提醒、交通态势监测与预警等服务。
d) 特殊场景预警：针对特定交通环境或复杂路况，通过实时监测和数据分析，提前发出预警信息。包括匝道汇入预警、隧道预警、恶劣天气预警、夜间行驶预警等特殊场景下的预警信息。

7.13 出行服务满意度

7.13.1 指标定义

公众对车里协同系统所提供出行服务的满意程度，即样本得分总和与样本个数之比。

7.13.2 计算公式

$$F_1^m = \frac{s_n}{N} \tag{28}$$

式中：

F_1^m——出行服务满意度，单位为%；

s_n——样本得分总和；

N——样本个数，单位为个。

7.13.3 数据采集要求

通过第三方机构调查采集。可采用在线问卷调查方式进行采集，通过互联网平台、短信或电子邮件的方式，将问卷呈现给受访者，由受访者作答并反馈。

8 绿色环保评价

8.1 碳排放减少量

8.1.1 指标定义

在单位时间内，车路协同系统建成运行后路段碳排放减少量，即车路协同系统安装前后交通流量之差与路段长度和碳排放因子乘积。

8.1.2 计算公式

$$L_1^H = (q_1 - q_2) \times D \times F \tag{29}$$

式中：

L_1^H——车路协同系统建成运行后的路段碳排放减少量，单位为克每年；

q_1——车路协同系统建成运行后的年交通流量，单位为标准车当量数每年；

q_2——车路协同系统建成运行前的年交通流量，单位为标准车当量数每年；

D——路段距离，单位为千米；

F——车辆行驶时的碳排放因子，单位为克每千米。

8.1.3 基础数据采集要求

a) q_1、q_2通过车路协同系统建成运行前后测量提供；

b) F 根据《IPCC 国家温室气体清单》获得。

8.2 颗粒物排放减少量

8.2.1 指标定义

车路协同系统建成运行后路段监测点颗粒物排放减少量，即车路协同系统建成前后各个检测点颗粒物排放平均值的差。

8.2.2 计算公式

$$L_2^H = \frac{1}{m_1}\sum_{j=1}^{m_1} \overline{C}_{j1} - \frac{1}{m_2}\sum_{j=1}^{m_2} \overline{C}_{j2} \tag{30}$$

式中：

L_2^H——颗粒物排放平均值，单位为毫克每千米；

$\overline{C}_{j1}$——车路协同系统建成运行后的j监测点的颗粒物排放平均值，单位为毫克每千米；

$\overline{C}_{j2}$——车路协同系统建成运行前的j监测点的颗粒物排放平均值，单位为毫克每千米；

m_1——车路协同系统建成运行后的监测点数量；

m_2——车路协同系统建成运行前的监测点数量；

8.2.3 基础数据采集要求

a) 颗粒物排放由监测数据采集；
b) 监测点应按照《环境空气质量监测规范（试行）》布设；
c) 颗粒物限值按 GB18352.6—2016 选取。

9 经济效益评价

9.1 能量消耗减少量

9.1.1 指标定义

每百公里，车路协同系统建成后车辆在该路段内平均能量消耗减少量，包括燃料消耗量和电能消耗量，即车路协同系统建成后油耗与电耗消耗值之差。

9.1.2 计算公式

$$J_1^Z = (FC_1 - FC_2) + (E_1 - E_2) \times F_E \tag{31}$$

式中：

J_1^Z——平均能量消耗减少量，单位为升每一百公里；
FC_1——车路协同系统建成运行后的监测路段车辆平均油耗，单位为升每一百公里；
FC_2——车路协同系统建成运行前的监测路段车辆平均油耗，单位为升每一百公里；
E_1——车路协同系统建成运行后的监测路段车辆平均电耗，单位为千瓦时每一百公里；
E_2——车路协同系统建成运行前的监测路段车辆平均电耗，单位为千瓦时每一百公里；
F_E——燃料的能量因子，将电能消耗转化成油耗值，单位为升每千瓦时。

9.1.3 基础数据采集要求

a) $FC_1, FC_2, E_1 E_2$,应按照实际情况采集；
b) F_E按照 GB/T 37340-2019 确定。

9.2 通行费用收入提升量

9.2.1 指标定义

在单位时间内，车路协同路段通行费收入的增加值，收入计算为单个车辆折算的通行费与车辆数量的乘积。

9.2.2 计算公式

$$J_1^T = f_1 * N_1 - f_2 * N_2 \tag{32}$$

式中：

J_1^T——车路协同系统建成后该路段的通行费用，单位为元；
f_1——车路协同系统建成运行后的单个车辆在该路段折算的通行费；
f_2——车路协同系统建成运行前的单个车辆在该路段折算的通行费；
N_1——车路协同系统建成运行后的单位时间内该路段通过的车辆数量；
N_2——车路协同系统建成运行前的单位时间内该路段通过的车辆数量。

9.2.3 基础数据采集要求

a) 通行费用由高速公路运营管理公司提供；
b) N_1由车路协同系统采集；
c) N_2由车路协同系统未建设前的高速公路检测系统采集或历史数据提供。

9.3 运行保障成本变化量

9.3.1 指标定义

运行保障成本是指为确保智慧高速车路协同系统正常运行，所投入的各类资源和费用的总和。运行保障成本变化量是指在车路协同系统实施前后，为确保系统正常运行，平均每公里路段所投入的各类资源和费用的增减情况。具体包括硬件设备成本、软件系统成本、运营维护成本的变化。

9.3.2 计算公式

$$J_1^Y = [C_y^1 + C_r^1 + C_w^1 - (C_y^2 + C_r^2 + C_w^2)] \tag{33}$$

式中：

J_1^Y——车路协同系统建成运行前后平均每公里路段的运行保障成本变化量，单位为元/千米；

C_y^1——车路协同系统建成运行路段，平均每公里路段的硬件设备成本，包括智慧高速车路协同所有物理设备的购置和安装费用，单位为元/公里；

C_r^1——车路协同系统建成运行路段，平均每公里路段的软件系统成本，包括智慧高速车路协同系统的软件许可和部署费用，单位为元/公里；

C_w^1——车路协同系统建成运行路段，平均每公里路段的运营维护成本，包括运维人员费用、设备养护和维修费用、软件平台维护费用和运维管理工具费用，这里的运维管理费用是指监控系统、诊断工具等的费用，单位为元/公里；

C_y^2——对应路段在车路协同系统建成之前，平均每公里路段的硬件设备成本，包括高速公路所有物理设备的购置、安装和维护费用，单位为元/公里；

C_r^2——对应路段在车路协同系统建成之前，平均每公里路段的软件系统成本，包括高速公路的软件许可、部署、升级和维护费用，单位为元/公里；

C_w^2——原对应路段在车路协同系统建成之前，平均每公里路段的运营维护成本，包括运维人员费用、设备养护和维修费用、软件平台维护费用和运维管理工具费用，这里的运维管理费用是指监控系统、诊断工具等的费用，单位为元/公里。