

T/CITSA 29-2022

ICS 03.220.20

R 10

团体标准

T/CITSA 29-2022

网联车辆生态驾驶评估方法

A method of evaluating ecological driving behavior for connected vehicles

2022-12-26 发布

2022-12-26 实施

中国智能交通协会 发布

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	3
5 数据采集方法与数据分析	4
5.1 数据采集方法	4
5.2 数据处理方法	4
5.3 VSP 分布计算方法	4
6 分类分级标准	5
6.1 生态驾驶评价范围选择	5
6.2 生态驾驶行为分类方法	5
6.3 生态驾驶行为分级方法	5
附 录 A	7
附 录 B	8
附 录 C	9

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》给出的规则起草。

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。

本文件由北京智驾出行科技有限公司提出。

本文件由中国智能交通协会归口。

本文件起草单位：北京智驾出行科技有限公司、北京交通大学、北京交通发展研究院、北京世纪新运交通运输科技应用研究所、北方工业大学、许昌学院、北京航空航天大学、北京九五智驾信息技术股份有限公司、北京交研都市交通科技有限公司、北京鑫虹智显科技发展有限公司、北京四通智能交通系统集成有限公司、武汉英泰斯特电子技术有限公司、北京汽车研究总院有限公司。

本文件主要起草人：于雷、宋国华、李子悦、孙建平、朱文利、崔光辉、吴亦政、李霄、张乐琦、刘静、赵琦、黎明、范爱华、张建波、侯晓宇、胡思宇、安永洪。

网联车辆生态驾驶评估方法

1 范围

本文件规定了网联车辆生态驾驶分类、分级标准及其评估方法。
本文件适用于网联车辆生态驾驶行为评估。

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 7258-2017 机动车运行安全技术条件

GB/T 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）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

网联车辆 connected vehicles

指满足车辆制造厂的规范要求，但是超出了道路车辆的物理范围，由道路车辆、外部接口、网联附件、以及通过外部接口产生的数据通信组成的车辆系统。

注1：网联车辆可以没有网联附件。

注2：当通信对象为非网联附件（例如道路基础设施、其它交通参与者）时，网联车辆由道路车辆、外部接口、以及通过外部接口产生的数据通信组成，道路基础设施和其他交通参与者不属于网联车辆。

3.2

生态驾驶 ecological driving; Eco-Driving

指全力避免突然加速或减速、空加油门以及长时间怠速等驾驶行为，以更加经济、环保的方式驾驶汽车的驾驶方式。

3.3

机动车比功率 vehicle specific power; VSP

单位质量机动车的瞬时功率，单位为 kW/t 或 W/kg。VSP bin是将VSP以1 kW/t或1W/kg为单位等间隔划分得到的单元。

3.4

VSP 分布 vehicle specific power distribution

特定交通条件下(如不同的道路类型和行驶速度)车辆在每个VSP bin中花费的时间比例。

3.5

生态驾驶指数 Eco-Driving Index; EDI

基于VSP分布量化不同车速范围内驾驶行为的生态水平的无量纲数值。该指数是0到10之间的整数,数值越小表示驾驶行为越生态。

3.6

OBD 终端 on board diagnostics terminal: OBD terminal

连接车载自诊断系统,可与车辆和发动机系统进行通讯,内置定位装置,可获取汽车行驶状态中逐秒的、连续的位置、速度、加速度等轨迹数据的设备。

3.7

燃料消耗率 fuel consumption rate; FR

单位时间内机动车消耗的燃料量,单位为g/s。

3.8

污染物排放率 pollutant emission rate

单位时间内机动车向大气中排放的污染物的总量,单位为g/s。

3.9

便携式排放测试系统 portable emission measurement system; PEMS

按GB/T 18352.6-2016规定:

符合规定要求的由便携式排放测试设备组成的测试系统。

3.10

时间粒度集成 time granularity integration

特定道路类型下一条短行程的持续时间,单位为s。

3.11

VSP 分布基线 baseline of VSP distribution

根据实际驾驶员的逐秒工况数据计算出来的VSP分布参考曲线。

3.12

碳平衡法 Carbon balance method

根据质量守恒定律,汽(柴)油经过发动机燃烧后,排气中碳质量总和与燃烧前的燃油中碳质量总和相等。

3.13

生态驾驶值 eco-driving value; EDV

确定速度范围内的驾驶行为生态指标,如 EDV_{indivj} 为速度 bin 为 j 时的个体驾驶员的生态驾驶值。

3.14

生态驾驶率 eco-driving rate; EDR

驾驶员的 VSP 分布和基线 VSP 分布的比率,用于评估驾驶员的驾驶行为。

4 符号

网联车辆生态驾驶评估相关符号应符合表1的规定。

表 1 符号及说明

符号	说明
v_i	短行程中第 i 秒的汽车速度, m/s
ER_{CO_2} , ER_{CO} , ER_{HC}	分别为 CO_2 、 CO 、 HC 的排放率, g/s
$\%C$	汽油的含碳量,其典型值为 86.4%
a	加速度, m/s^2
θ	道路纵向坡度, $^\circ$
A, B, C, m	道路荷载系数
g	重力加速度, m/s^2
$RMSEVSP_j$	速度 bin _{j} 下的 VSP 分布的均方根误差
$RMSEACC_j$	速度 bin _{j} 下的加速度分布的均方根误差
$VSP f_{indiv i}$	VSP bin 为 i 的个体 VSP 分布的频率
$VSP f_{basel i}$	VSP bin 为 i 的基线 VSP 分布的频率
$ACC f_{indiv k}$	加速度 bin 为 k 的个体加速度分布的频率
$ACC f_{basel k}$	加速度 bin 为 k 的基线加速度分布的频率
n	VSP bin 的个数
m	加速度 bin 的个数
NFR_{ij}	VSPbin _{ij} 下的归一化燃料消耗率, g/s
$VSPbin_{ij}$	速度 bin 为 j , VSP bin 为 i
$Speedbin_j$	速度 bin 为 j
EDV_j	速度 bin 为 j 时的生态驾驶值
$VSP f_{ij}$	速度 bin 为 j , VSP bin 为 i 时的 VSP 分布频率
$EDV_{indiv j}$	速度 bin 为 j 时的个体驾驶员的生态驾驶值
$EDV_{basel j}$	速度 bin 为 j 时的基线生态驾驶值
EDR_j	速度 bin 为 j 时的生态驾驶比例, %

PEDV _j	速度 bin 为 j 时的个体驾驶员的生态驾驶值高出基线生态驾驶值的比例, %
-------------------	---

5 数据采集方法与数据分析

5.1 数据采集方法

网联车辆使用 OBD 或其他终端得到用于生态驾驶行为评估的基础工况数据,数据收集类别参见附表 A。

5.2 数据处理方法

5.2.1 轨迹数据质量控制方法

按照以下步骤进行轨迹数据质量控制:

- 检查逐秒工况数据的连续性。当前后两个条目缺失时间大于 3 秒时,标记缺失数据,不用于后续计算。当缺失时间小于等于 2 秒时,用线性插值法补全缺失值。在采集到的行程数据中,进行插值补全的数据比例应小于 1%,否则标记为无效数据,不用于后续计算。
- 检验加速度数值的有效性。当加速度数据处于所有加速度数值分布的 98 分位值外时,将该条数据标记为无效数据。
- 在 GIS 地图上对符合要求的驾驶员的轨迹数据进行筛选。
- 将所有经过数据质量控制的数据处理成轨迹段。定义每个轨迹段包含 60 秒连续数据,若不足 60 秒则不用于后续计算。评价个体生态驾驶水平至少需要按照上述处理后的 7 组包含 60 秒连续轨迹的数据。每条轨迹段的平均速度按照式 (1) 计算,将平均速度按照式 (2) 划分为等间距为 2 km/h 的速度区间。

$$\text{Average Speed} = \frac{\text{Distance Traveled}}{\text{Time Spent}} = 3.6 \times \frac{\sum_{i=1}^{60} v_i}{60} \quad (1)$$

$$v: \text{Average Speed} \in [2n, 2n+2] (n \text{ is an integer}), \text{Average Speed Bin} = n \quad (2)$$

5.2.2 燃料消耗率计算方法

采用便携式排放测试系统,按照式 (3) 利用碳平衡法计算瞬时油耗率。按照式 (4) 归一化计算车辆油耗率。

$$FR = (ER_{CO_2} \times \frac{12}{44} + ER_{CO} \times \frac{12}{28} + ER_{HC} \times \frac{12}{13}) \times \frac{1}{\%C} \quad (3)$$

$$NFR_{ij} = FR_{ij}/FR_{0j} \quad (4)$$

式中:

FR——车辆油耗率

ER_{CO₂}——二氧化碳 (CO₂) 排放量

ER_{CO}——一氧化碳 (CO) 排放量

ER_{HC}——碳氢化合物 (HC) 排放量

NFR_{ij}——归一化油耗率

5.3 VSP 分布计算方法

5.3.1 VSP 计算方法

按照式(5)计算 VSP:

$$VSP = (A \cdot v + B \cdot v^2 + C \cdot v^3) / m + (a + g \cdot \sin\theta) \cdot v \quad (5)$$

式中:

v ——车辆瞬时速度

a ——车辆加速度,由相邻两秒的速度差得出

5.3.2 VSP bin 划分方法

将 VSP 区间划分为以下 41 个 VSP bin: $[-20.5, -19.5)$ 、 $[-19.5, -18.5)$ 、...、 $[-1.5, -0.5)$ 、 $[-0.5, 0.5)$ 、 $[0.5, 1.5)$ 、...、 $[18.5, 19.5)$ 、 $[19.5, 20.5)$ 。

按照式(6)将每条数据对应的 VSP 分配到间距为 1 kW/ton 的 VSP bin 中。

$$\forall VSP \in [n - 0.5, n + 0.5), VSP \text{ bin} = n \text{ (} n \text{ is an integer from } -20 \text{ to } 20 \text{)} \quad (6)$$

5.3.3 时间粒度集成方法

将数据按车辆编号和采集时间进行升序排列,按照以下步骤对所有工况数据进行集计:

a) 从第 i 条记录开始,选择连续 60 条记录,检查采集时间是否为连续 60 秒,如果是,计算该 60 条记录的平均速度,置 $i=i+60$;

b) 如果不是,删掉第 i 条记录,同时置 $i=i+1$,返回第 1 步;

c) 重复 a)、b) 直到最后 60 条记录被检查。

d) 按照式(7)将所有短行程依据平均速度进行聚类。

$$\forall \text{ average speed} \in [n - 1, n + 1), \text{speedbin} = n (n \in \mathbb{N}) \quad (7)$$

5.3.4 VSP 分布计算方法

按照 5.3.1-5.3.3 计算,得到待测车辆的 VSP 分布。根据不同地区范围大量驾驶员的逐秒实际活动数据得出不同地区基线 VSP 分布,用于反映当前区域驾驶员生态驾驶基本情况。

6 分类分级标准

6.1 生态驾驶评价范围选择

根据驾驶员的轨迹数据和车辆特征进行分类,在不同类别下对驾驶员的驾驶行为进行评价。

6.2 生态驾驶行为分类方法

根据待测特定驾驶员的 VSP 分布与基准 VSP 分布之间的差异对生态驾驶进行三级分类,包括驾驶行为生态环保、驾驶行为普通以及驾驶行为激进。若待测特定驾驶员的个体 VSP 分布比基线更加集中,即 VSP bin 有一个较低的绝对值,则他对应的驾驶行为更加生态环保;若待测特定驾驶员的个体 VSP 分布比基线更加分散,即 VSP bin 有一个较高的绝对值,则他对应的驾驶行为较为激进。示例参见附表 B2。

6.3 生态驾驶行为分级方法

按照以下步骤计算EDI, 评估驾驶行为的生态水平, 最终对驾驶员的生态水平分为11级, 用0-10连续的数字表征, 详细换算关系参照附录C。

a) 按照式(8)计算归一化油耗率

$$NFR_{ij} = \begin{cases} 1 & VSPbin_i < 0 \\ 0.2679 * VSPbin_{ij} + 1 & VSPbin_i \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中:

$VSPbin_{ij}$ ——速度 bin 为 j, VSP bin 为 i

NFR_{ij} —— $VSPbin_{ij}$ 下的归一化燃料消耗率, g/s

b) 按照式(9)计算生态驾驶值(EDV)

$$EDV_j = \sum_{i=1}^n \frac{NFR_{ij} \times VSPf_{ij}}{Speedbin_j + 1} \quad (9)$$

式中:

EDV_j ——速度 bin 为 j 时的生态驾驶值

$VSPf_{ij}$ ——速度 bin 为 j, VSP bin 为 i 时的 VSP 分布频率

$Speedbin_j$ ——速度 bin 为 j

c) 按照式(10)计算生态驾驶率(EDR)

$$EDR_j = \frac{EDV_{indivj}}{EDV_{baselj}} \quad (10)$$

式中:

EDR_j ——速度 bin 为 j 时的生态驾驶比例, %

EDV_{indivj} ——速度 bin 为 j 时的个体驾驶员的生态驾驶值

EDV_{baselj} ——速度 bin 为 j 时的基线生态驾驶值

d) 按照式(11)计算生态驾驶超额率(PEDV)

$$PEDV_{indiv-basel} = \frac{EDV_{indivj} - EDV_{baselj}}{EDV_{baselj}} \quad (11)$$

式中:

$PEDV_{indiv-basel}$ ——速度 bin 为 j 时的个体驾驶员的生态驾驶值高出基线生态驾驶值的比例, %

e) 车辆PEDV与EDI的推荐换算关系按照附录C中规定执行, EDI数值越小表示驾驶行为越生态。

附录 A
(规范性)
网联车辆工况数据收集要求

表A.1 工况数据调查表

车辆编号	车辆类型	时间	道路 ID	经度	纬度	速度

表A.2 车辆工况数据精度要求

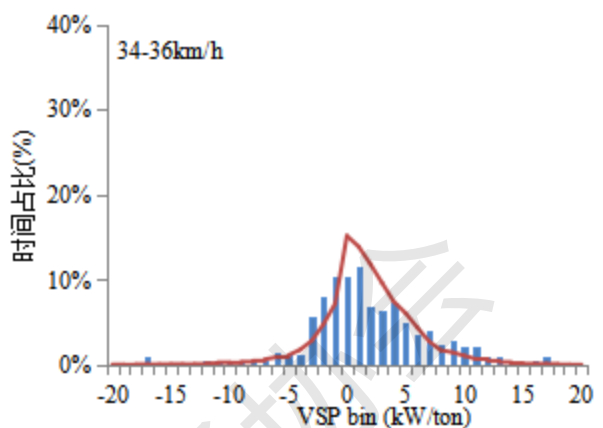
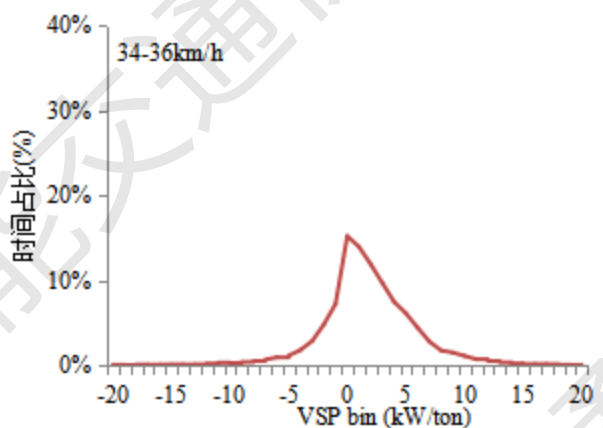
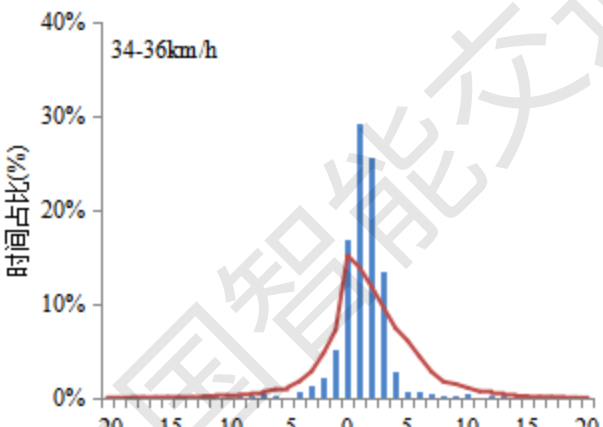
序号	工况数据	数据精度	采集频率
1	车辆速度	0.1km/h	逐秒
2	采集时间	1s	逐秒
3	经纬度坐标	0.000001	逐秒

附录 B

(规范性)

生态驾驶水平类别

表B.1 生态驾驶水平类别

生态驾驶水平类别	划分方法	示例
驾驶行为激进	个体 VSP 分布比基线更加分散	 34-36km/h 时间占比 (%) VSP bin (kW/ton)
驾驶行为普通	个体 VSP 分布和基线类似	 34-36km/h 时间占比 (%) VSP bin (kW/ton)
驾驶行为生态环保	个体 VSP 分布比基线更加集中	 34-36km/h 时间占比 (%) VSP bin (kW/ton)

注:

- 1、示例图中横坐标为 VSP bin，纵坐标为该 VSP bin 的占比。
- 2、示例图中只展示了 34-36km/h 的速度区间中的差异。
- 3、——为基准VSP分布，——为个体VSP分布。

附录 C

(规范性)

PEDV与EDI的推荐换算关系

表C.1 推荐换算关系

EDI	PEDV _{indiv-basel}	Section of EDRs
0	$\leq -11.0\%$	≤ 0.890
1	$(-11.0\%, -8.5\%]$	$(0.890, 0.925]$
2	$(-8.5\%, -6.0\%]$	$(0.925, 0.940]$
3	$(-6.0\%, -3.5\%]$	$(0.940, 0.965]$
4	$(-3.5\%, -1.0\%]$	$(0.965, 0.990]$
5 (Baseline)	$(-1.0\%, 2.0\%]$	$(0.990, 1.020]$
6	$(2.0\%, 5.0\%]$	$(1.020, 1.050]$
7	$(5.0\%, 8.0\%]$	$(1.050, 1.080]$
8	$(8.0\%, 11.0\%]$	$(1.080, 1.110]$
9	$(11.0\%, 14.0\%]$	$(1.110, 1.140]$
10	$\geq 14.0\%$	≥ 1.140

注：由附录 B 聚类可得生态驾驶指数评估等级。