

# 基于主客观评价的乘用车自适应巡航系统研究

胡广雪<sup>1</sup>, 邵毅明<sup>2</sup>, 钟颖<sup>2</sup>, 易侃<sup>2</sup>

(1.重庆交通大学 机电与车辆工程学院, 重庆 400074; 2.重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074)

**摘要:** 自适应巡航控制系统(ACC)测试一般通过汽车动力学性能反映 ACC 的性能,但忽视了驾驶员在 ACC 车辆驾驶过程中仍占主导作用的事实。针对这一问题,文中以被试驾驶员驾驶 ACC 车辆为评价对象,采用主、客观赋权相结合的方法,在决策模型的建立上采用逼近于理想解的排序方法(TOPSIS),得出该方案与正理想解的相对贴近度,并以此为依据进行决策排序。结果表明,被试驾驶员综合得分呈略微正偏态分布,验证了测试方法与评价体系的可靠性,可用于 ACC 系统安全性和接受性综合评价。

**关键词:** 汽车;乘用车;自适应巡航系统(ACC);主客观组合赋权法

中图分类号:U463.99

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2019)02-0005-05

随着人们对汽车自适应巡航控制系统(Adaptive Cruise Control System, ACC)舒适性、人机交互友好性等人性化要求的日益增长,以人为本的设计理念得到重视,ACC 系统设计不仅要注重车辆与道路特性,还应将人一车一路作为整体加以考虑。目前 ACC 测试大多采用借鉴汽车运动学和动力学性能的客观测试方法,评价结果也主要考虑汽车的运动学参数,虽然有机构(如美国密歇根大学交通运输研究所)在对 ACC 系统进行 FOT 测试后分析了驾驶员的驾驶行为,但也仅是运用统计学方法进行统计分析,并未具体针对单个驾驶员对 ACC 系统的真实反馈意见进行研究,忽略了驾驶员作为参与者的主观评价作用。

中国汽车自主研发较晚,各汽车企业还没有形成成熟的 ACC 主观评价体系,汽车开发评价主要由国外研发机构完成,采用国际标准进行 ACC 系统测试。由于道路条件、交通环境、驾驶行为等与国外差异很大,国外的测试标准无法满足中国 ACC 系统自主研发及国外产品本土化的需求,使国内本土化新产品性能无法得到有效验证导致优化升级困难,国家也无法进行有效监管,极大阻碍了汽车智能化技术的产业化进程。同时这些测试标准主要是针对客观评价,对驾驶参与者的主观评价研究较少。为此,该文采用别克威朗 2015 款 2.0T 作为实车试验平台开展 ACC 系统测试,研究适用于中国交通和驾驶员特点的 ACC 系统主客观综合测试方法与评价体系,为建立智能网联汽车产品测试评价标准体系提供依据。

## 1 ACC 系统的主客观分析方法

该文主要研究乘用车自适应巡航系统的主客观赋权相结合的评价方法,主观上采用层次分析法(AHP)对各层进行赋权,客观上采用熵权法对第三级子指标进行赋权,然后基于博弈论即对策论实现主客观权值的组合赋权。在决策模型的建立上采用逼近于理想解的排序方法(TOPSIS),通过计算综合评价方案离正理想解和负理想解的加权欧氏距离,得出设计方案与正理想解的相对贴近度,以此为依据进行决策排序。

## 2 层次分析主观评价法的权重确定

### 2.1 构建 ACC 评价系统的递阶层次结构模型

图 1 为 ACC 系统综合评价指标的层次结构模型,其中 ACC 系统的安全性和接受性构成一级评价指标,以试验实施的不同测试工况作为二级评价指标,每种工况下又分为有相对隶属关系的三级评价指标(见表 1)。

### 2.2 构建判断矩阵

根据层次结构模型,从上往下依次对上层元素相对于下层中与之相关的元素的相对重要性进行两两比较,构建判断矩阵。以目前最常用的 1~9 标度法(见表 2)为依据,对与上层元素有支配关系的当前层元素的两两重要性作出判断,对于  $n$  个元素,得到的判断矩阵为  $n$  行  $n$  列,判断矩阵元素都为正,对角线元素为 1,非对角线元素互为倒数。对判断矩阵进行一致性检验。

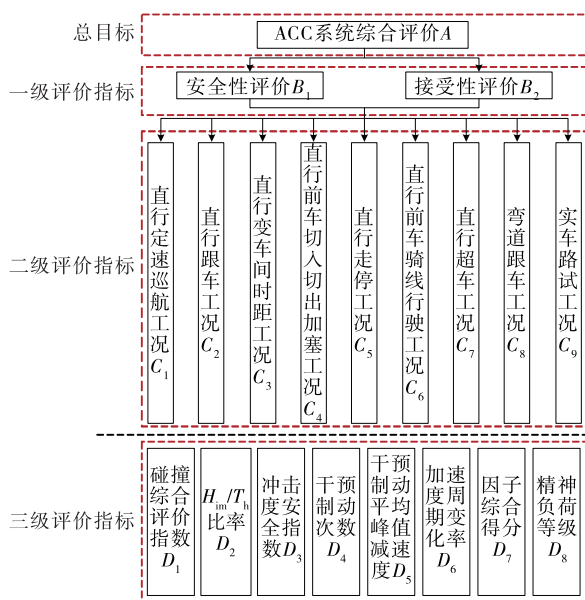


图1 ACC系统综合评价指标层次结构模型

表1 二、三级指标间的相对隶属关系

| 二级指标               | 有隶属关系的三级指标                               |
|--------------------|--|
| 直行定速巡航工况 $C_1$     | $D_3, D_8$                               |
| 直行跟车工况 $C_2$       | $D_1, D_2, D_3, D_8$                     |
| 直行变车间时距工况 $C_3$    | $D_1, D_2, D_3, D_8$                     |
| 直行前车切入切出加塞工况 $C_4$ | $D_1, D_2, D_3, D_5, D_8$                |
| 直行走停工况 $C_5$       | $D_1, D_2, D_3, D_8$                     |
| 直行前车骑线行驶工况 $C_6$   | $D_1, D_2, D_3, D_8$                     |
| 直行超车工况 $C_7$       | $D_1, D_2, D_3, D_8$                     |
| 弯道跟车工况 $C_8$       | $D_1, D_2, D_3, D_8$                     |
| 实车路试工况 $C_9$       | $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8$ |

表2 相对重要性比例标度

| A 和 B 相对于目标的重要值 | 含义              |
|-----------------|-----------------|
| 1               | A 与 B 两元素同等重要   |
| 3               | A 元素比 B 元素稍重要   |
| 5               | A 元素比 B 元素明显重要  |
| 7               | A 元素比 B 元素强烈重要  |
| 9               | A 元素比 B 元素极端重要  |
| 1/3             | A 元素比 B 元素稍不重要  |
| 1/5             | A 元素比 B 元素明显不重要 |
| 1/7             | A 元素比 B 元素强烈不重要 |
| 1/9             | A 元素比 B 元素极端不重要 |

### 2.3 各层次权重及相对最高层权重

判断矩阵通过一致性检验后,计算相对于上层每个元素与之有支配关系的下层元素之间的权值,即计算判断矩阵一级指标(安全性和接受性)的最大

特征根和其相应的特征向量。利用 MATLAB 中的 eig 函数求最大特征根所在列的特征向量,经归一化处理,得到各层中相应元素的权重和各级指标的权重(见表3)。

表3 各级指标的权重

| 指标    | 权向量   |
|-------|---|
| A     | [0.666 7, 0.333 3]  |
| $B_1$ | [0.023 9, 0.125 6, 0.197 2, 0.289 9, 0.049 5, 0.077 4, 0.033 4, 0.125 6, 0.077 4] |
| $B_2$ | [0.102 8, 0.169 5, 0.062 0, 0.169 5, 0.102 8, 0.027 5, 0.039 7, 0.062 0, 0.264 3] |
| $C_1$ | [0.666 7, 0.333 3]  |
| $C_2$ | [0.095 4, 0.160 1, 0.467 3, 0.277 2]  |
| $C_3$ | [0.160 1, 0.095 4, 0.467 3, 0.277 2]  |
| $C_4$ | [0.403 0, 0.136 7, 0.136 7, 0.079 1, 0.244 4]                                     |
| $C_5$ | [0.423 6, 0.122 3, 0.227 0, 0.227 0]  |
| $C_6$ | [0.273 9, 0.178 0, 0.086 2, 0.462 0]  |
| $C_7$ | [0.402 9, 0.309 5, 0.100 6, 0.187 0]  |
| $C_8$ | [0.096 9, 0.182 0, 0.434 8, 0.286 3]  |
| $C_9$ | [0.297 1, 0.083 2, 0.199 7, 0.036 7, 0.033 0, 0.017 7, 0.167 0, 0.165 6]          |

依次从上往下逐层计算各判断矩阵的特征根与特征向量,用各层元素的权重与有支配关系的下层元素权重相乘求和,得到最底层元素相对于总目标的权重。据此计算,得到二级子指标相对于总目标的权向量为[0.050 2, 0.140 2, 0.152 1, 0.249 8, 0.067 3, 0.060 8, 0.035 5, 0.104 4, 0.139 7],进而求得三级子指标相对于总目标的权向量 W(见表4)。

### 3 熵权客观评价法的权重确定

采用熵权法以最底层不同驾驶员的具体指标数据为不同方案,计算不同工况指标下其支配的各元素(指标)的权重。

#### 3.1 决策矩阵的建立

对于  $m$  个待评价方案( $m$  次数据采集)和上层与之支配的  $n$  个下层指标,可建立如下决策矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} D_1 & D_2 & \cdots & D_n \\ M_1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ M_2 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_m & x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

表 4 三级子指标相对于总目标的权重

| 三级子指标          | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | W                 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| D <sub>1</sub> | 0.000 0        | 0.095 4        | 0.160 1        | 0.40 3         | 0.423 6        | 0.273 9        | 0.402 9        | 0.096 9        | 0.297 1        | 0.249 453 275 499 |
| D <sub>2</sub> | 0.000 0        | 0.160 1        | 0.095 4        | 0.136 7        | 0.122 3        | 0.178 0        | 0.309 5        | 0.182 0        | 0.083 2        | 0.131 762 875 575 |
| D <sub>3</sub> | 0.666 7        | 0.467 3        | 0.467 3        | 0.136 7        | 0.227 0        | 0.086 2        | 0.100 6        | 0.434 8        | 0.199 7        | 0.301 604 130 613 |
| D <sub>4</sub> | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.036 7        | 0.005 126 761 359 |
| D <sub>5</sub> | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.0791         | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.033 0        | 0.024 366 755 198 |
| D <sub>6</sub> | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.017 7        | 0.002 472 579 729 |
| D <sub>7</sub> | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.000 0        | 0.167 0        | 0.023 328 859 590 |
| D <sub>8</sub> | 0.333 3        | 0.277 2        | 0.277 2        | 0.244 4        | 0.227 0        | 0.462 0        | 0.187 0        | 0.286 3        | 0.165 6        | 0.261 825 795 713 |

该文中决策矩阵包括 9 个,与上文中 AHP 法确定的指标层与方案层的判断矩阵元素一致。

3.2 决策矩阵的无量纲化

按下式对决策矩阵进行无量纲化处理:

$$\begin{cases} y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \\ y_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $i$  为方案序数; $j$  为指标序数; $y_{ij}$  为  $x_{ij}$  标准化后的值,为 $[0,1]$ ; $\max(x_j)$ 、 $\min(x_j)$ 分别为第  $j$  个指标的最大值和最小值。

3.3 指标熵值的计算

按下式计算指标熵值:

$$H_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \ln \left( \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \right) \quad (3)$$

式中: $H_j$  为第  $j$  个指标的熵值; $y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} = 0$  时,

令  $y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln(y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij}) = 0$ 。

3.4 指标熵权值的确定

根据式(3), $y_{ij}$  差异越小, $H_j$  越大,当第  $j$  项指标全部相等时, $H_j$  达到最大 1。而  $y_{ij}$  差异越小,说明包含的信息量越少,其赋权应越小。为此,引入差异系数  $d_j$ :

$$d_j = 1 - H_j \quad (4)$$

$d_j$  越小,应赋的权重越小,则指标熵权公式为:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{k=1}^n d_k} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

采用 MATLAB 编程熵权法的计算公式,得到各工况所支配的三级子指标的熵权值(见表 5)。

表 5 三级子指标的熵权值

| 二级子指标          | 三级子指标的权向量   |
|----------------|---|
| C <sub>1</sub> | [0.602 1,0.397 9]   |
| C <sub>2</sub> | [0.403 1,0.129 8,0.334 6,0.132 5]                                 |
| C <sub>3</sub> | [0.141 1,0.155 7,0.374 2,0.329 2]                                 |
| C <sub>4</sub> | [0.156 6,0.227 9,0.177 4,0.153 4,0.284 7]                         |
| C <sub>5</sub> | [0.304 6,0.354 1,0.123 1,0.218 1]                                 |
| C <sub>6</sub> | [0.114 9,0.369 7,0.156 4,0.359 0]                                 |
| C <sub>7</sub> | [0.234 2,0.299 8,0.058 4,0.407 6]                                 |
| C <sub>8</sub> | [0.219 6,0.204 1,0.286 4,0.289 9]                                 |
| C <sub>9</sub> | [0.223 3,0.054 9,0.210 9,0.061 1,0.064 2,0.046 6,0.204 1,0.134 8] |

4 组合赋权法 ACC 系统综合评价

对不同属性表征指标进行主观(层次分析法)和客观(熵权法)组合赋权,再利用 TOPSIS 法对不同驾驶员的评价结果进行综合排序,进而对 ACC 系统进行评价(见图 2)。

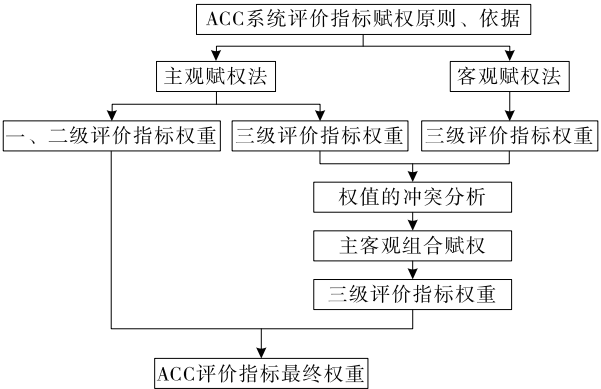


图 2 组合赋权流程

#### 4.1 权值的冲突因子

不同的赋权方法得到的权值会有所差异,这种差异在直观上很难区分,需引入表述权值冲突程度的冲突因子。采用欧式距离表达两种权重向量的冲突程度,设 AHP 法的权值向量为  $W_s = \{w_{s1}, w_{s2}, \dots, w_{sn}\} (0 \leq w_{sj} \leq 1, \sum_{j=1}^n w_{sj} = 1)$ , 熵权法的权值向量为  $W_o = \{w_{o1}, w_{o2}, \dots, w_{on}\} (0 \leq w_{oj} \leq 1, \sum_{j=1}^n w_{oj} = 1)$ , 则冲突因子可表示为:

$$k = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_{sj} - w_{oj})^2}, 0 \leq k \leq 1 \quad (6)$$

式中:  $k$  表征  $W_s$  和  $W_o$  冲突程度大小, 其值越接近零, 说明冲突越小。

计算 AHP 法所得三级子指标权向量和熵权法所得权向量的冲突因子, 得  $k = [0.091\ 4, 0.366\ 3, 0.124\ 0, 0.279\ 0, 0.280\ 7, 0.278\ 5, 0.281\ 1, 0.193\ 9, 0.105\ 4]$ 。

#### 4.2 线性组合加权法

线性组合加权法的一般公式为:

$$W = \sum_{k=1}^q \alpha_k W^{(k)} \quad (7)$$

式中:  $W$  为组合权重;  $\alpha_k$  为第  $k$  种赋权方法的加权系数;  $W^{(k)}$  为第  $k$  种赋权方法的权值。

从式(7)来看, 组合赋权的关键是确定加权系数  $\alpha_k$ 。对于两种赋权组合, 基于博弈论在不同权重之间寻找最优解, 极小化组合权重与主客观权重之间的偏差, 建立对策模型:

$$\min \left\| \sum_{i=1}^m \alpha_i W_i^T - W_j^T \right\|_2 \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

根据矩阵微分性质, 得到式(8)的一阶导数条件如下:

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i W_j W_i^T = W_j W_j^T \quad (9)$$

由于涉及到主观和客观权向量的组合, 式(9)用线性方程组表示为:

$$\begin{bmatrix} W_s \cdot W_s^T & W_s \cdot W_o^T \\ W_o \cdot W_s^T & W_o \cdot W_o^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_s \\ \alpha_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_s \cdot W_s^T \\ W_o \cdot W_o^T \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中:  $W_s$ 、 $W_o$  分别为主、客观赋权向量;  $\alpha_s$ 、 $\alpha_o$  分别为主、客观加权系数。

运用博弈论组合赋权法对 AHP 法和熵权法得到的各工况下相关指标的权值进行重新组合, 得到最优综合权向量  $W$ 。三级子指标的主、客观组合权向量见表 6。

表 6 三级子指标的组合赋权向量

| 二级子指标 | 三级子指标的组合权向量  |
|-------|--|
| $C_1$ | [0.745 0, 0.255 1]   |
| $C_2$ | [0.256 4, 0.163 7, 0.456 2, 0.238 4]                                     |
| $C_3$ | [0.165 2, 0.039 0, 0.513 6, 0.215 6]                                     |
| $C_4$ | [0.373 7, 0.161 6, 0.151 5, 0.097 8, 0.264 4]                            |
| $C_5$ | [0.401 2, 0.232 2, 0.197 5, 0.239 0]                                     |
| $C_6$ | [0.229 4, 0.261 8, 0.118 1, 0.440 1]                                     |
| $C_7$ | [0.328 9, 0.324 5, 0.082 0, 0.331 6]                                     |
| $C_8$ | [0.051 7, 0.176 1, 0.462 0, 0.270 8]                                     |
| $C_9$ | [0.333 1, 0.099 4, 0.175 6, 0.014 5, 0.005 7, 0.069 4, 0.124 8, 0.177 5] |

再利用 AHP 法确定的三级子指标以上各级权重, 采用组合赋权法得到三级子指标相对于总目标的权重  $W$  (见表 7)。

#### 4.3 决策模型的建立

(1) 决策矩阵的建立和无量纲化。对于  $m$  个

表 7 三级子指标相对于总目标的组合赋权权重

| 三级子指标 | $C_1$   | $C_2$   | $C_3$   | $C_4$   | $C_5$   | $C_6$   | $C_7$   | $C_8$   | $C_9$   | $W$               |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------|
| $D_1$ | 0.000 0 | 0.256 4 | 0.165 2 | 0.373 7 | 0.401 2 | 0.229 4 | 0.328 9 | 0.051 7 | 0.333 1 | 0.258 960 319 844 |
| $D_2$ | 0.000 0 | 0.163 7 | 0.039 0 | 0.161 6 | 0.232 2 | 0.261 8 | 0.324 5 | 0.176 1 | 0.099 4 | 0.144 570 786 944 |
| $D_3$ | 0.745 0 | 0.456 2 | 0.513 6 | 0.151 5 | 0.197 5 | 0.118 1 | 0.082 0 | 0.462 0 | 0.175 6 | 0.313 485 616 168 |
| $D_4$ | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.014 5 | 0.002 025 559 665 |
| $D_5$ | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.097 8 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.005 7 | 0.025 223 826 993 |
| $D_6$ | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.069 4 | 0.009 694 747 638 |
| $D_7$ | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.000 0 | 0.124 8 | 0.017 433 782 496 |
| $D_8$ | 0.255 1 | 0.238 4 | 0.215 6 | 0.264 4 | 0.239 0 | 0.440 1 | 0.331 6 | 0.270 8 | 0.177 5 | 0.252 736 832 369 |

待评价方案( $m$ 次数据采集)和上层对应支配的 $n$ 个下层指标,可建立决策矩阵 $X$ 。为消除各指标量纲差异,按指标类型进行无量纲化处理,最终得到的矩阵形式与熵权法决策矩阵一致。

(2) 建立加权决策矩阵。将各指标的权重向量与无量纲化后的决策矩阵相乘,得到加权决策矩阵 $R=(r_{ij})_{m \times n}$ :

$$r_{ij} = w_j \cdot y_{ij} \quad (11)$$

式中: $i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n; w_j$  为指标权重,采用 AHP 法和熵权法的组合权值。

(3) 按下式确定正理想解与负理想解:

$$S_j^+ = \begin{cases} \max_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\}, j=1,2,\dots,n \\ \min_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\}, j=1,2,\dots,n \end{cases} \quad (12)$$

$$S_j^- = \begin{cases} \min_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\}, j=1,2,\dots,n \\ \max_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\}, j=1,2,\dots,n \end{cases} \quad (13)$$

式中: $S_j^+$ 、 $S_j^-$  分别为正、负理想解。

(4) 按下式计算各备选方案与正、负理想解的欧氏距离:

$$Sd_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (S_j^+ - r_{ij})^2}, i=1,2,\dots,m \quad (14)$$

$$Sd_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (S_j^- - r_{ij})^2}, i=1,2,\dots,m \quad (15)$$

式中: $Sd_i^+$ 、 $Sd_i^-$  分别为方案 $i$ 与正、负理想解的欧氏距离。

(5) 计算各方案与正理想解的贴近度,结果见图3。计算得被试驾驶员综合评价的贴近度 $Sk=0.2391>0$ ,呈正偏离态,与图3结果一致,且偏斜程度不大,说明被试驾驶员综合评价的贴近度总体上略向低值靠近,该车 ACC 系统综合性能表现一般,与其在市场上的销售情况相匹配,验证了文中测试方法与评价体系的可靠性。

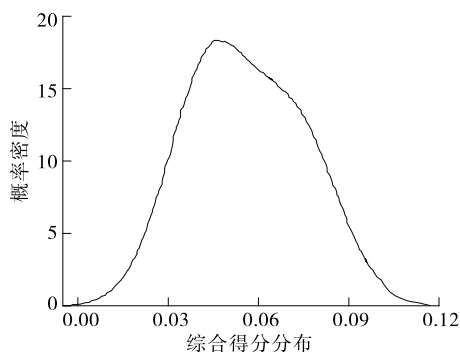


图3 贴近度概率密度估计结果

## 5 结语

目前,国内对 ACC 系统的评价方法以系统动力学为主,忽略了驾驶员驾驶 ACC 车辆的主观感受。该文在建立 ACC 主、客观评价方法的基础上,设计不同工况下乘用车 ACC 系统的安全性和驾驶员驾驶 ACC 车辆的接受性评价指标,采用 AHP 法和熵权法相结合的主、客观评价方法进行组合赋权,通过逼近理想解的方法对不同驾驶员的评价结果进行综合排序,评价乘用车 ACC 系统的性能。

## 参考文献:

- [1] T Benz. Checking ICC in a realistic traffic environment [A]. Proceedings of the 1st World Congress on Applications of Transport Telematics and Intelligent Vehicle: Highway Systems [C]. 1994.
- [2] 马国成. 车辆自适应巡航跟随控制技术研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2014.
- [3] GB/T 20608—2006, 智能运输系统自适应巡航控制系统性能要求与检测方法 [S].
- [4] 严伟. 仿驾驶员速度跟随行为的自适应巡航控制算法研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [5] Arie P van den Beukel, Mascha C van der Voort. The influence of time-criticality on situation awareness when retrieving human control after automated driving [A]. 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems [C]. 2013.
- [6] 裴晓飞, 刘昭度, 马国成, 等. 汽车自适应巡航系统的多模式切换控制 [J]. 机械工程学报, 2012, 48(10).
- [7] 熊光明, 高利, 吴绍斌. 无人驾驶车辆智能行为及其测试与评价 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2015.
- [8] 李扬. 驾驶行为安全性多属性评价方法及应用研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [9] 宋光兴. 多属性决策理论、方法及其在矿业中的应用研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2001.
- [10] 徐丹, 沈继峰, 刘同明, 等. 信息融合系统性能测评指标和方法研究 [J]. 江苏科技大学学报: 自然科学版, 2005, 19(6).
- [11] 王明涛. 多指标综合评价中权重系数确定的一种综合分析方法 [J]. 系统工程, 1999, 17(2).
- [12] 刘伟, 卫璐, 孙芳岑, 等. 基于驾驶员实际跟车特性的自适应巡航系统研究 [J]. 北京汽车, 2018(3).
- [13] 赵立娜. 电动车自适应巡航控制方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.

收稿日期: 2018-10-11