

Research on the Improvement of Selection Method for Child Restraint System in C-NCAP Collision Test

Zhe XU¹, Lei LOU¹, Haiming GU¹

¹CATARC Automotive Test Center (Tianjin) Co.Ltd., Tianjin, China

Email: xuzhe@catarc.ac.cn

Abstract: Focusing on the issues of unstable product quality and lack of clear development goals in the original selection method for child restraint systems in C-NCAP collision test, a key study was conducted on the test waveform extraction and score line division. This article collected the B-pillar acceleration curves of 30 different vehicle models under C-NCAP 2024 FRB and MPDB collision conditions, and combined them with the actual sales proportion of different vehicle models and categories to perform weighted average processing on the acceleration curves. Two new standard waveform curves were extracted to construct a new testing environment. By measuring the difference in scores of the same child restraint system product in the new and old test environments, the original score results can be corrected to obtain the score distribution of the child restraint system product in the new test environment, and to determine the score lines for different types of tests. This study has effectively improved and enhanced this selection method.

Keywords: Child restraint system; Selection method; C-NCAP; Waveform extraction; Score line division

C-NCAP碰撞试验用儿童约束系统选型方法改进研究

徐哲¹, 娄磊¹, 顾海明¹

¹中汽研汽车检验中心(天津)有限公司, 天津, 中国, 300300

Email: xuzhe@catarc.ac.cn

摘要:针对原 C-NCAP 碰撞试验用儿童约束系统选型方法中每批次入选产品水平不稳定、无明确开发目标等问题, 对试验波形提取以及分数线划分进行了重点研究。本文采集了 30 款不同车型在 C-NCAP 2024 版 FRB 和 MPDB 碰撞工况下实车的 B 柱加速度曲线, 并结合不同车型和不同车辆类别的实际销量占比, 对加速度曲线进行加权平均处理, 提取出两条新的标准波形曲线, 构建新的测试环境。通过同一儿童约束系统产品在新老测试环境中得分结果的差值, 对原测试得分结果进行修正, 得到新的测试环境下的儿童约束系统产品的得分分布情况, 划定出不同试验类型的入选分数线。本文的研究对该选型方法进行了有效的改进和提升。

关键词:儿童约束系统; 选型方法; C-NCAP; 波形提取; 分数线划分

1 引言

近年来, 随着汽车保有量不断增加, 道路交通事故已成为儿童意外伤亡的第二大原因^{[1]-[5]}。在儿童乘员参与并出现死亡的交通事故中, 正面碰撞事故占主要部分, 约为 34%^[6], 侧面碰撞是继正面碰撞之后造成儿童乘员伤亡的第二原因, 占碰撞事故总数的 30%以上^{[7]-[8]}。中国新车评价规程 C-NCAP 基于中国道路交通事故特点以及国际前沿测试技术的研究, 提出了正面 100%重叠刚性壁障碰撞(FRB)工况下三岁儿童乘员、正面 50%重叠移动渐进变形壁障碰撞(MPDB)工况下十岁儿童乘员、以及侧面柱碰撞工况下三岁儿童乘员的保护要求^{[9]-[10]}。为了配合以上三种碰撞工况试验的开展, C-NCAP 规则中设置“碰撞试验用儿童约束系统产品清单”供企业选择。而儿童约束系统选型测试^[11]则是专门针对 C-NCAP 碰撞试验中的三岁和十岁儿童假人, 选择性能优秀的产品。

原有的儿童约束系统选型方法已经进行了 3 年，共实施 3 个批次，但在实施过程中凸显出一些不足之处。原选型方法是以两条最为严苛的某实车的碰撞波形作为输入条件，并在相应的白车身环境中进行测试，以排名前两名或第一名的方式选取产品，这种方式导致每批次入选产品的水平存在差异，甚至较大差异，并且原方法中没有入选的具体分数线要求，致使企业开发目标不明确。目前针对儿童约束系统测评方法制定和改进的整体研究比较少，娄磊等人^[12]提出了基于正态分布理论的儿童约束系统评价方法。一些专家学者针对碰撞波形的提取方法进行了研究，于潇等人^[13]提出了一种基于特征参数分析的特征波形提取方法，王斌等人^[14]提出了一种等效双阶梯波形提取和简化方法，刘宇豪等人^[15]提出了一种正面碰撞车身加速度波形简化方法。

本文针对原有选型方法的不足，对试验波形提取以及分数线划分进行重点研究，提出一套新的 C-NCAP 碰撞试验用儿童约束系统选型方法。

2 试验方法

2.1 试验设置

为了更有针对性的为 C-NCAP 碰撞试验工况选择成绩优秀的产品，儿童约束系统产品共设置三种试验类型：①Q3 假人前向安装方式、②Q3 假人后向安装方式、③Q10 假人增高椅/垫。一款产品可申请一种试验类型，也可申请多种试验类型。每种试验类型需要使用两种碰撞加速度波形进行 2 次正面碰撞试验，两次试验的总分作为该产品申请的某试验类型的总成绩。以上试验设置与原选型方法保持一致。

2.2 试验波形研究

基于原选型方法的不足，以及新方法需要采用达到分数线入选的方式代替排名择优的方式，继续使用极限工况波形进行测试不太合理，应该使用更具有统计学意义的标准波形。本文采集了 30 款不同车型在 C-NCAP 2024 版 FRB 和 MPDB 碰撞工况下实车的 B 柱加速度曲线，覆盖了不同的车辆类别和车型。其中涉及的车辆类别为纯电动汽车、混动汽车、以及传统能源（燃油）汽车，涉及的车型有 A 级轿车、B 级轿车、MPV、小型 SUV、中型 SUV、以及大型 SUV 六种。

为了更合理的对碰撞加速度曲线进行加权统计，首先对不同车型的加速度曲线进行平均计算，分别得到对应车型的平均曲线。以 FRB 碰撞工况波形为例，计算方法如下：

$$\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \quad \text{其中 } n \text{ 为该车型的曲线总数} \quad (1)$$

式中： a_1, a_2, \dots, a_n 为同一种车型的不同加速度曲线； \bar{a} 为该车型的平均加速度曲线。

再通过中国汽车流通协会乘用车市场信息联席分会网站^[16]获得 2023 年全年不同车型的销量占比情况，如图 1 所示。以不同车型销量的占比作为对应车型的权重系数，计算得到纯电动汽车的加权平均曲线。同样以 FRB 碰撞工况波形为例，计算方法如下：

$$\bar{a}_{\text{电}} = A_1 \bar{a}_1 + A_2 \bar{a}_2 + \dots + A_n \bar{a}_n \quad \text{其中 } n \text{ 车型总数，为 6} \quad (2)$$

式中： $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_n$ 为不同车型的平均加速度曲线； A_1, A_2, \dots, A_n 为不同车型对应的权重系数； $\bar{a}_{\text{电}}$ 为纯电动汽车的加权平均加速度曲线。

由于混动加传统能源（燃油）汽车这两种车辆类型中都有发动机配置，吸能形式和加速度波形形状相似性高，因此两者可以一起进行统计，利用上述同样的方法，得到混动加传统能源（燃油）汽车的加权平均加速度曲线。FRB 碰撞工况和 MPDB 碰撞工况下纯电动汽车不同车型的平均加速度曲线、纯电汽车加权平均加速度曲线、以及混动加传统能源（燃油）汽车的加权平均加速度曲线，如图 2 和图 3 所示。

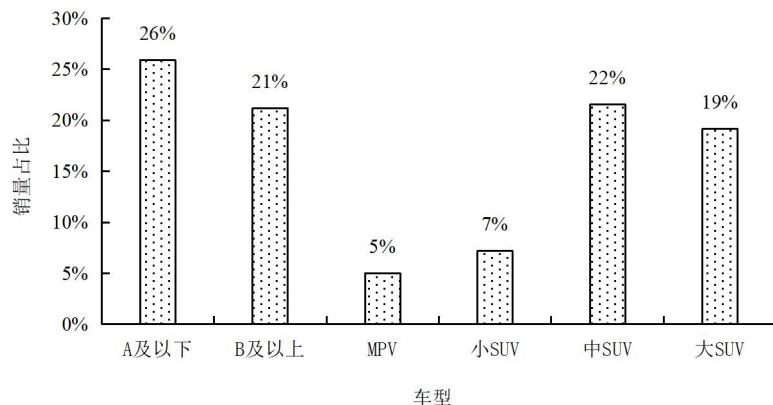


Figure 1. Proportion of sales of different vehicle models
图 1. 不同车型销量占比情况

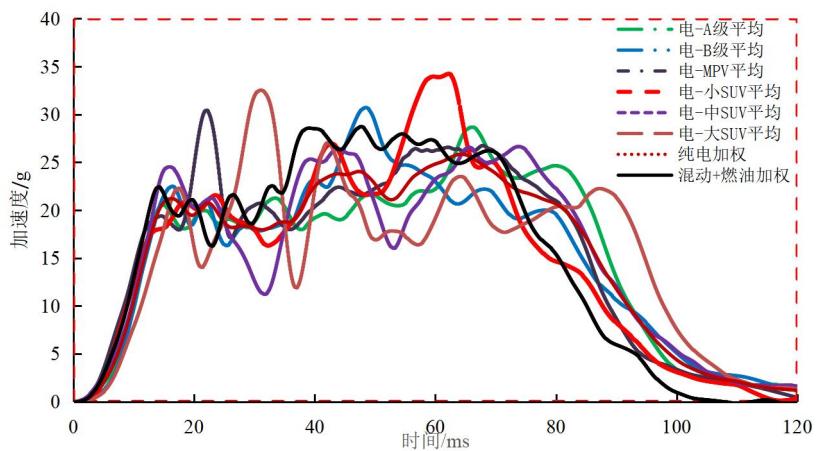


Figure 2. Corresponding acceleration curve under FRB collision condition
图 2. FRB 碰撞工况下相应加速度曲线

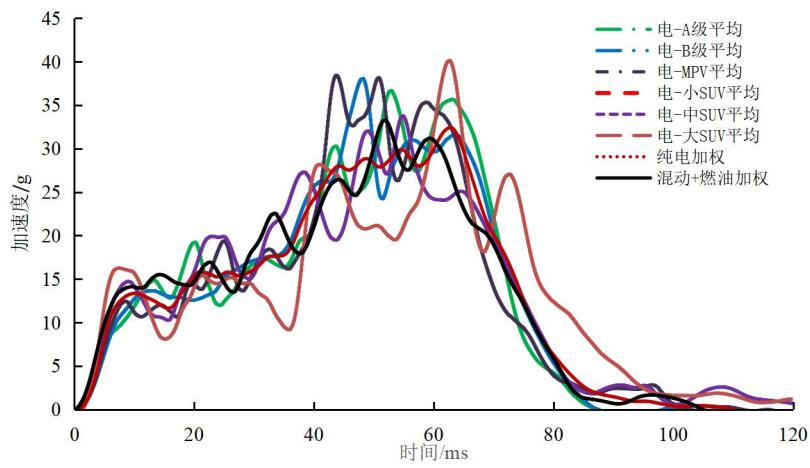


Figure 3. Corresponding acceleration curve under MPDB collision condition
图 3. MPDB 碰撞工况下相应加速度曲线

同样，通过中国汽车流通协会乘用车市场信息联席分会网站获得 2023 年全年纯电动汽车、以及混动加传统能源（燃油）汽车的销量占比分别为 21% 和 79%。以该销量占比作为对应的权重系数，计算得到最终总的加权平均加速度曲线。以 FRB 碰撞波形为例，计算方法如下：

$$\bar{a}_{FRB} = 0.21 * \bar{a}_{电} + 0.79 * \bar{a}_{混+油} \quad (3)$$

式中： $\bar{a}_{电}$ 为纯电动汽车的加权平均加速度曲线， $\bar{a}_{混+油}$ 为混动加传统能源（燃油）汽车的加权平均加速度曲线， \bar{a}_{FRB} 为 FRB 碰撞工况下总的加权平均加速度曲线。

按照以上计算方法，最终获得了 FRB 和 MPDB 碰撞工况下的加权平均加速度波形曲线，作为新的选型方法中的两条碰撞输入波形，如图 4 所示。结合标准碰撞波形，使用新机动车用儿童约束系统国标 GB 27887-2024^[17] 中标准座椅工装代替之前具有个体特征的白车身，构成新的测试环境。

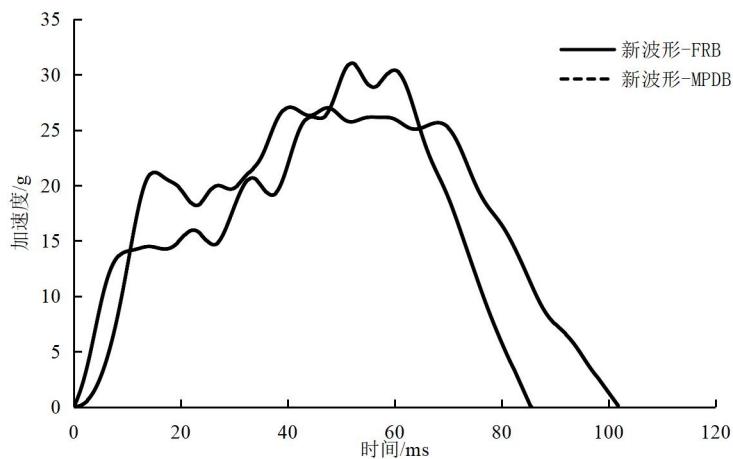


Figure 4. New waveform FRB and MPDB curves
图 4. 新波形 FRB 和 MPDB 曲线

3 评价方法

3.1 评分限值和得分

选型试验中儿童假人的评分限值和得分与 C-NCAP 碰撞试验基本保持一致，其中颈部、胸部、腹部的评分指标和限值完全相同。假人的评分部位分别为头部、颈部和胸部，每个部位最高得分分别为 2 分、1 分、1 分，处于低性能限值和高性能限值之间的测量值分别采用线性插值的方法得出相应分数。假人各部位的评分限值和得分如表 1 所示。对于头部，取头部伤害指数（HIC₁₅）和头部累积 3ms 合成加速度中的较低分，这是因为选型工况下只有后排座椅，无车身环境，不能全面模拟头部撞到车内物体的情况，则直接选择了 C-NCAP 中较为严苛的评分方式。颈部评分通过测量颈部张力 Fz 指标获得。对于胸部评价指标，Q3 假人前向安装时，使用胸部压缩量计算得分；Q3 假人后向安装和使用 Q10 假人时，使用胸部累积 3ms 合成加速度计算得分。腹部伤害评价仅针对 Q10 假人，若腹部压强超过 1.2bar，则扣 1 分。通过 C-NCAP 数据统计分析，在碰撞过程中，Q3 假人前向安装和 Q10 假人撞向前排座椅的概率极小，Q3 后向安装时撞向前排座椅的概率较大，因此 Q3 后向安装的头部移动量作为一个罚分项，超出限值扣 0.5 分。同时，若儿童约束系统完整性出现问题或 Q10 假人出现安全带勒脖子或溜肩的情况也要进行各 1 分的罚分。

Table 1. Rating limits and scores for various parts of the dummy
表 1. 假人各部位评分限值和得分

部位	假人	指标	高性能限值	低性能限值	满分
头部	Q3、Q10	HIC ₁₅	500	700	2
		累积 3ms 合成加速度/g	60	80	
颈部	Q3、Q10	颈部张力 Fz/N	1555	2840	1
		Q3 前向	压缩量/mm	30	
胸部	Q3 后向、Q10	压缩量/mm	30	42	1
		累积 3ms 合成加速度/g	41	55	
腹部	Q10	压强/bar	----	1.2	-1
头部位移	Q3 后向	X 向移动量/mm		700	-0.5

3.2 分数线划分研究

针对原选型方法的不足，需要划定入选的分数线，为企业提供明确的开发目标，提升选型结果的稳定性。利用原选型方法已经进行了 3 个批次，共 124 次试验，一个试验类型进行 2 次试验，两次试验的总分作为最终的得分结果，因此共得到 62 组试验结果。分数线划分的基本思路是：根据 62 组试验结果得到儿童约束系统产品在原测试环境下的得分分布情况，通过对该试验数据进行修正，可以得到新的测试环境下的儿童约束系统产品的得分分布情况，再根据前 3 个批次入选的比例，划定出不同试验类型的分数线。

将原测试方法中的两条碰撞波形和新提取的两条试验波形进行对比，如图 5 所示。可以发现这四条波形均为类似双梯形波^[18]，其中原波形 1 和新波形-FRB 形状更为相似，两个阶梯的高度差均较小，原波形 2 和新波形-MPDB 形状更为相似，两个阶梯的高度差均较大。将第一个台阶的高度定义为 G1，第二个台阶的高度定义为 G2，对比每条波形 G1 和 G2 的比值，如表 2 所示。原波形 1 的阶梯比为 0.72，新波形-FRB 的阶梯比为 0.75，原波形 2 的阶梯比为 0.45，新波形-MPDB 的阶梯比为 0.48，说明原波形 1 和新波形-FRB、原波形 2 和新波形-MPDB 具有一定的相似性，在这两组波形环境下进行的试验数据可以进行互相修正。

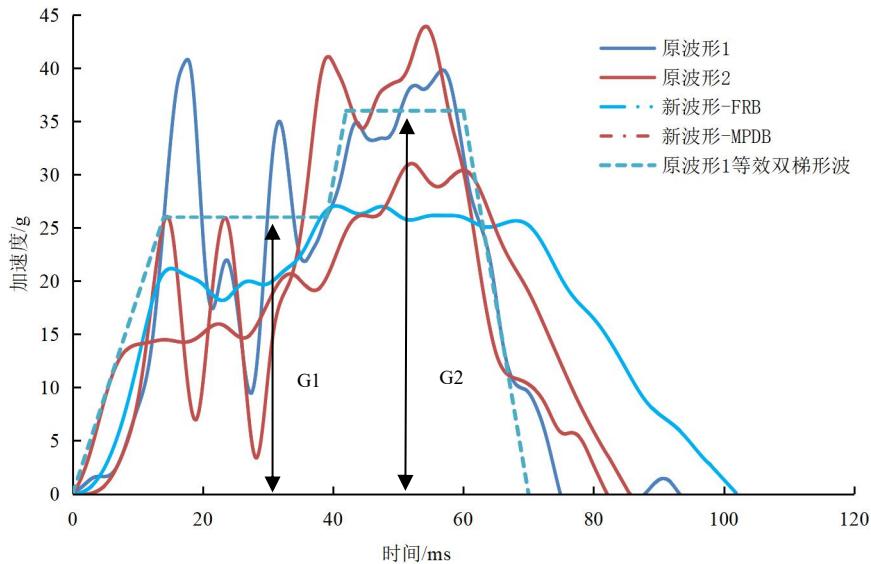


Figure 5. Comparison between the original test waveform and the new test waveform
图 5. 原测试波形与新测试波形对比

Table 2. Step ratio between the original test waveform and the new test waveform
表 2 原测试波形和新测试波形的阶梯比

波形	G1/g	G2/g	阶梯比 G1/G2
原波形 1	26	36	0.72
原波形 2	18.5	41	0.45
新波形-FRB	20	26.5	0.75
新波形-MPDB	14.5	30	0.48

基于原选型方法下的试验数据，选择同一款儿童约束系统产品，在新的测试环境下进行 Q3 假人后向安装、Q3 假人前向安装、以及 Q10 假人三种试验类型的测试，并得到相应的试验得分。以 Q3 假人后向安装为例，其在新老环境下的试验对比如图 6 和图 7 所示。



Figure 6. Original testing environment Q3 backward installation test
图 6. 原测试环境 Q3 后向安装试验

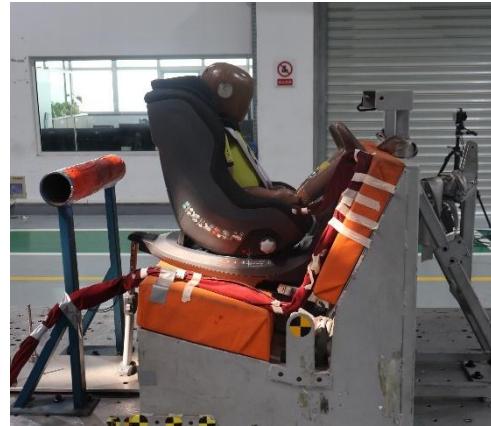


Figure 7. New testing environment Q3 backward installation test
图 7. 新测试环境 Q3 后向安装试验

同一款儿童约束系统在新老环境下的得分差值为相应的修正系数，计算方法如公式（4），三种试验类型以及两种试验波形对应的修正系数如表 3 所示。

$$\text{对应的修正系数} = \text{新试验环境得分} - \text{原试验环境得分} \quad (4)$$

Table 3. The scores and corresponding correction factors of the same product in the original and new testing environments
表 3 相同产品在原测试环境和新测试环境下的得分和相应修正系数

儿童约束系统	假人	安装方向	新环境波形	新试验环境得分	原环境波形	原试验环境得分	修正系数
CRS1	Q3	后向	新波形-FRB	2.916	原波形 1	0.399	2.517
CRS1	Q3	后向	新波形-MPDB	3.760	原波形 2	3.000	0.76
CRS2	Q3	前向	新波形-FRB	2.035	原波形 1	0.000	2.035
CRS2	Q3	前向	新波形-MPDB	1.818	原波形 2	1.816	0.002
CRS3	Q10	前向	新波形-FRB	1.754	原波形 1	1.000	0.754
CRS3	Q10	前向	新波形-MPDB	3.130	原波形 2	2.197	0.933

利用对应的修正系数对原有的 62 组试验得分结果进行修正，得到新的测试环境下儿童约束系统产品得分占比分布，如图 8 所示。从图中可以看出，三种试验类型的得分占比分布情况不同，应划分为不同的分数线。统计原有测试方法中不同试验类型的 3 个批次的平均入选比例，对于 Q3 假人前向安装，平均入选比例为 21.67%；对于 Q3 假人后向安装，平均入选比例为 17.5%；对于 Q10 假人，平均入选比例为 20.83%。因此，新选型方法中分数线划分对应约 20% 的入选率比较合理。如图 8 所示，对于 Q3 前向安装的产品，得分 4 分以上占比约 20%，

4分以下占比约为80%，4分为该试验类型的分数线。同理，Q3后向安装和Q10假人产品的分数线分别为6.5分和5分。不同试验类型的产品达到对应的分数线即可入选。

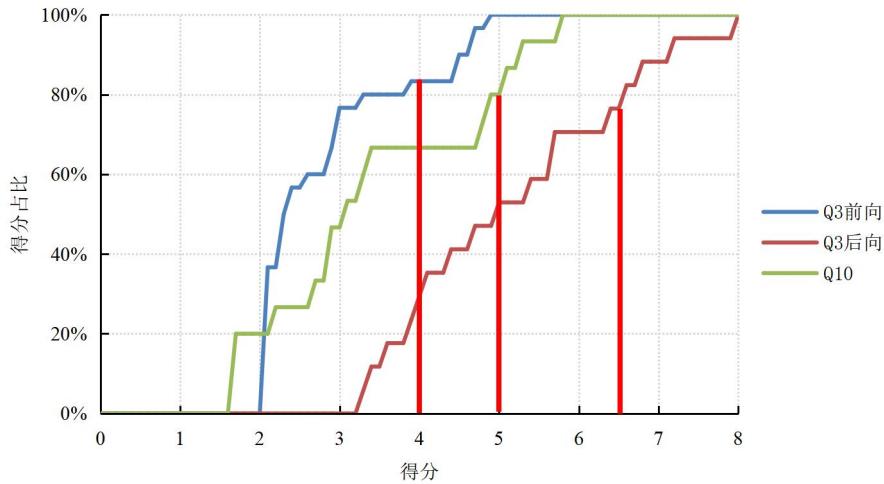


Figure 8. Distribution of scores for child restraint system products

图8 儿童约束系统产品得分占比分布

4 结论

本文针对原C-NCAP碰撞试验用儿童约束系统选型方法中的不足，对标准波形提取以及分数线划分进行了重点研究，形成一套新的测评方法。通过对FRB和MPDB碰撞工况下30条不同车型的实车B柱加速度曲线进行统计分析，并结合不同车型和不同车辆类别实际销量的占比，对加速度曲线进行加权平均处理，提取出两条新的标准波形曲线。通过同一儿童约束系统产品在新老测试环境中得分结果的对比，得到相应的修正系数，对原测试环境得分结果进行修正，得到新的测试环境下的儿童约束系统产品的得分分布情况，结合前3个批次入选的比例，划定出不同试验类型的分数线。

通过本文的研究，有效地改进了原有选型方法的不足之处，避免不同批次入选产品得分结果参差不齐的情况，为企业提供明确的开发目标，提升了该测评方法的科学性和合理性。同时，本文提出的标准波形提取方法和分数线划分方法也可为其他选型或测评类方法的制定提供参考。

参考文献 (References)

- [1] 梁晓峰, 施小明, 吴静.中国儿童伤害报告[M].北京: 人民卫生出版社, 2017: 3-5.
LIANG Xiaofeng, SHI Xiaoming, WU Jing. Report on Child Injury in China [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2017:3-5.
- [2] 本刊编辑部.道路交通事故成儿童伤害重要原因[J].汽车与安全, 2018 (11) : 49-50.
BEN K B J B. Road traffic accidents are important cause of child injury[J].Auto & Safety,2018(11):49-50.
- [3] SETHI D, TOWENER E, VINCENTEN J,et al. European Report on Child Injury Prevention[J]. European Report on Child Injury Prevention,2008,16(1):5-6.
- [4] World Health Organization. Global status report on road safety 2018:Summary [EB/OL].WHO, 2018. (2020-08-01).
- [5] 施袁华.基于ECE R129法规的正面碰撞儿童增高座椅和安全带的参数研究[D].镇江:江苏大学,2020.
SHI Yuanhua. Research on Parameters of Booster Seat and Safety Belt in Frontal Impact Based on ECE R129[D].Zhenjiang:Jiangsu University,2020.
- [6] BERFENSTAM R. Sweden's pioneering child accident programme:40 years later[J].Injury Prevention,1995,1(2):68-69.
- [7] K.Arbogast, I. Chen, D. Durbin, et al. Child restraints in side impacts[C]//Proceedings of the International Conference on the Biokinetics of Impact. 2004, Graz, Austria.
- [8] 李海岩, 李健, 崔世海, 等. 儿童安全座椅中填充吸能泡沫对头部的保护效果分析 [J] .汽车工程, 2020, 42(2):228-233.
Li Haiyan, Li Jian, Cui Shihai, et al. Analysis on Child-head Protection Effects of Energy-absorbing Foam Filled in Safety Seat[J].Automotive

- Engineering,2020,42(2):228-233.
- [9] 中国汽车技术研究中心有限公司.C-NCAP 管理规则(2021 年版)[S].天津：中国汽车技术研究中心有限公司，2020.
China Automotive Technology Research Center Co., LTD. C-NCAP Management Rules (2021 edition)[S]. Tianjin: China Automotive Technology and Research Center Co., LTD., 2020.
- [10] 中国汽车技术研究中心有限公司.C-NCAP 管理规则(2024 年版)[S].天津：中国汽车技术研究中心有限公司，2023.
China Automotive Technology Research Center Co., LTD. C-NCAP Management Rules (2024 edition)[S]. Tianjin: China Automotive Technology and Research Center Co., LTD., 2023.
- [11] C-NCAP 儿童约束系统清单更新及选型办法 . 中汽中心汽车测评管理中心 . 2022-03-28. <https://www.c-ncap.org.cn/article-detail/565ee0e2d9d1463e9822b60847990e89?type=2>.
C-NCAP Child Restraint System List Update and Selection Method. Automotive Test and Evaluation Management of China Automotive Technology and Research Center Co.,Ltd Center. 2022-03-28. <https://www.c-ncap.org.cn/article-detail/565ee0e2d9d1463e9822b60847990e89?type=2>.
- [12] 娄磊,冯琦,徐哲.基于正态分布理论的儿童约束系统评价方法研究[C].Proceedings of the 16th International Forum of Automotive Traffic Safety (INFATS 2019) ,2019:7.
Lei LOU, Qi FENG, Zhe XU. Study on CRS Assessment Method Based on Normal Distribution Theory[C].Proceedings of the 16th International Forum of Automotive Traffic Safety (INFATS 2019) ,2019:7.
- [13] 于潇,杨笑婷,费敬,等.基于特征参数分析的中国 MPDB 工况特征波形获取与应用[J].湖南大学学报(自然科学版),2024,1-10.
Lu Xiao, Yang Xiaoting, Fei Jing, et al. Acquisition and Application of Chinese MPDB Test Condition Characteristic Waveform Based on Characteristic Parameter Analysis[J].Journal of Hunan University (Natural Sciences),2024,1-10.
- [14] 王斌,包伟.等效双阶梯形波法在正面碰撞性能优化设计中的应用[J].汽车科技,2013,(06):49-55+62.
Bin WANG, Wei BAO. Application of Equivalent Dual-trapezoidal Waveform Analysis Method in the Structure Optimization Design in Frontal Crash[J].Automobile technology,2013,(06):49-55+62.
- [15] 刘宇豪,胡叶青.正面碰撞车身加速度波形简化方法研究[J].现代制造工程,2024,(05):66-70+9.
Yuhao LIU, Yeqing HU.Study on acceleration curves simplification method based on frontal collision[J].Modern Manufacturing Engineering,2024,(05):66-70+9.
- [16] 数据统计.中国汽车流通协会乘用车市场信息联席分会.2024.<http://data.cpcadata.com>.
Data statistics. China Automobile Dealers Association Passenger Car Market Information Joint Branch. 2024.<http://data.cpcadata.com>.
- [17] GB 27887-2024, 机动车儿童乘员用约束系统. <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=E116673EC89FA3B7E05397BE0A0AC6BF>
GB 27887-2024, Child restraint systems for power-driven vehicles.
<https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=E116673EC89FA3B7E05397BE0A0AC6BF>
- [18] 马志雄,朱西产.台车试验中采用等效双梯形减速度曲线的模拟研究 [J] .汽车工程, 2008, (05):411-415.
Ma Zhixiong, Zhu Xichan. A Study on the Equivalent Dual-trapezoids Deceleration Curve Used in Sled Test for Frontal Crash Simulation[J].Automotive Engineering, 2008, (05):411-415.