

Study on CRS Assessment Method Based on Normal Distribution Theory

Lei LOU¹, Qi FENG¹, Zhe XU¹

¹China Automotive Technology and Research Center Co.,Ltd, CATARC, Tianjin, China

Email: loulei@catarc.ac.cn

Abstract: The child restraint system test evaluation method puts forward stricter requirements than the GB standard. It provides design and development goals and motivation for manufactory, and provides reference information for consumers. However, the existing evaluation method has the problem of “multiple ratings of one product”, which causes troubles in the use of the evaluation results. This paper statistically analyzes the scores of each sub-section of child restraint system assessment testing in the last two years. In response to the above problem, an combined solution was proposed, and the weight coefficient and calculation method were proposed using the data of the service duration and the real traffic accident casualty rate. Based on the normal distribution theory, the existing data is analyzed, and the scheme of rating cut-off score in the child restraint system assessment is finally proposed.

Keywords: child resistant system; assessment method; normal distribution; crash safety

基于正态分布理论的儿童约束系统评价方法研究

娄磊¹, 冯琦¹, 徐哲¹

¹中国汽车技术研究中心有限公司, 天津, 中国, 300300

Email: loulei@catarc.ac.cn

摘 要: 儿童约束系统测试评价方法提出了比国标更严格的要求, 为企业设计开发目标和动力, 为消费者提供参考信息, 而现有评价方法存在“一个产品多个评级”的问题, 为评价结果的使用带来困扰。本文统计分析了近两年儿童约束系统评价各版块得分情况, 针对上述问题, 提出了评分整合方案, 利用使用期限和交通事故伤亡率数据提出了权重等级和计算方法将一个产品的多工况试验结果汇总为一个得分。在此基础上, 基于正态分布理论对既有数据进行分析, 最终提出了儿童约束系统评价规则中评级分数线方案。

关键词: 儿童约束系统; 评价方法; 正态分布; 碰撞安全性

1 引言

儿童约束系统(CRS)产品评价是一种国际上通用的判断儿童约束系统产品安全性能好坏的方法。美国、欧洲、日本、澳大利亚等国均有各自的评价方法, 有的隶属于车辆 NCAP 评价体系, 也有的自成体系。我国的《儿童约束系统(CRS)评价规则》于 2014 年正式推出并实施, 成为 C-NCAP 一个新的重要组成部分。^[1]其提出了比国标更严格的要求, 为企业设计开发目标和动力, 为消费者提供参考信息。^{[2][3]}至今该评价规则已对百余款儿童约束系统产品进行了测试评价, 并公开发布测评结果, CRS 评价面向消费者提供了产品安全性评级信息, 影响力巨大, 同时也受到了汽车行业的广泛关注和认可。

中国市场上的儿童约束系统产品组别跨度大, 使用时间长, 安装方式多样, 通常一款产品会分不同组别、不同安装方式多个结果同时出现, 这在一定程度上影响了消费者对产品性能好坏的判断, 造成一些困惑。在《儿童约束系统(CRS)评价规则》定期的改版升级中, 除了进行试验方法和试验技术的完善之外, 同时针对上述问题, 对评价结果进行整合统一的处理, 使每款产品得到一个评价等级, 综合结果能够更为清晰直观的体现产品整体安全性能优劣。

2 既有评价方法及结果

2.1 评分体系

我国的《儿童约束系统（CRS）评价规则》从使用方便性和碰撞安全性两方面评价一款儿童座椅产品，总分 40 分，其中使用方便性占 8 分，碰撞安全性占 32 分。根据总分确定评价等级，分级方案如表 1。

使用方便性评价部分从使用说明文件、标识、安装性、搭乘性四个方面进行评价，对于一个儿童座椅产品，无论该产品是否跨组别，都只有一个使用方便性分数。

碰撞安全性部分根据儿童座椅的组别（婴儿组、幼儿组、学童组），按照不同的试验方案进行碰撞动态试验，因此对于跨组别的产品，其每个组别都有一个碰撞安全性得分。此外，对于同一组别，还可能存在安全带安装、ISOFIX 安装等多种安装方式，而每一种安装方式的碰撞安全评价也是独立的，也会存在多个得分的情况。极端情况下，一款儿童座椅产品如果跨三个组别，并且每个组别具有两种安装方式，其可能产生六个碰撞安装性得分。在计算总分的时候，也是每个碰撞安全性得分与使用方便性得分求和，导致跨组别、多安装方式的一款产品存在多个总分和评级。

表 1. 等级分数划分方案

总分	等级
>36 分	优
>30 分且≤36 分	良
>20 分且≤30 分	一般
≤20 分	不推荐

2.2 数据统计

儿童约束系统评价规则自 2017 年，使用 Q 系列儿童假人进行碰撞试验测试。2017~2018 年两年共计对 54 款儿童座椅产品进行了评价，其中使用方便性得分 54 组，碰撞安全性得分 131 组，^[4]这正是由于存在上述“一个产品多个得分”的情况。

对既有数据进行数据统计分析，使用方便性 54 组得分的分布情况如图 1，主要集中在 5~6 分区间，分布情况基本符合正态分布的趋势。其平均值为 5.01 分，标准差为 1.37。按照正态分布 $N(5.01, 1.37^2)$ 绘制符合该统计结果的概率分布曲线和概率密度曲线，并与 54 组实际数据的情况进行比对，如图 3，可见使用方便性评分分布是基本符合正态分布 $N(5.01, 1.37^2)$ 规律。

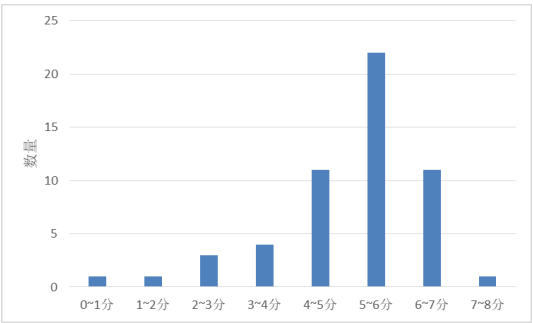


图 1. 使用方便性得分分布情况

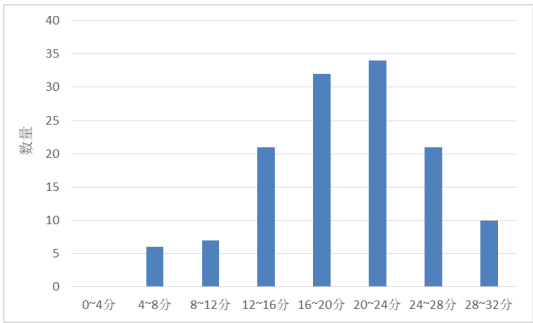


图 2. 碰撞安全性得分分布情况

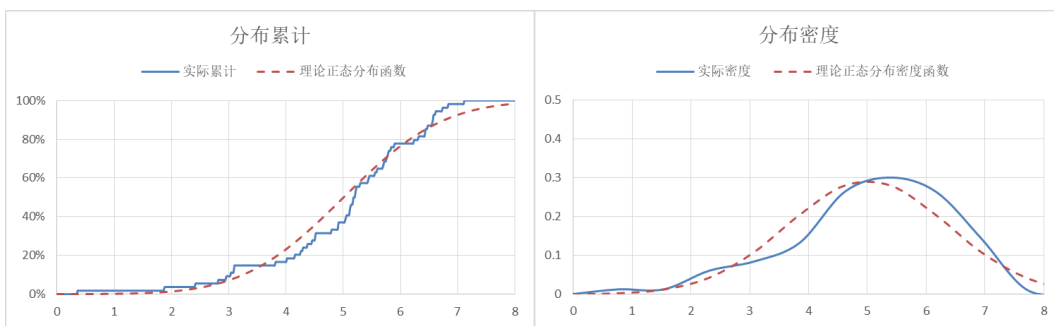


图 3. 使用方便性分布累计函数及概率密度函数

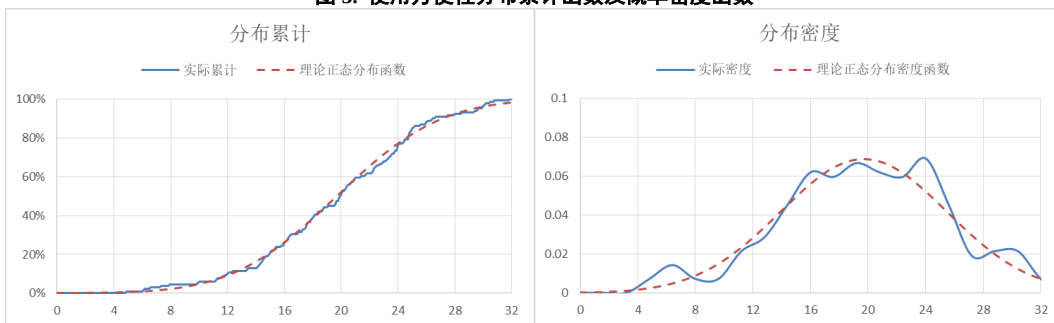


图 4. 碰撞安全性分布累计函数及概率密度函数

同样方法分析碰撞安全性得分，131 组得分的分布情况如图 2，主要集中在 16~24 分区间，同样符合正态分布形状。其平均值为 19.70，标准差为 5.78。正态分布 $N(19.70, 5.78^2)$ 的概率分布曲线和概率密度曲线，以及 131 组得分的实际统计结果如图 4，可见碰撞安全性评分的分布是符合正态分布 $N(19.70, 5.78^2)$ 规律。

3 评分整合方案

中国市场上的儿童约束系统产品组别跨度大，使用时间长，安装方式多样，通常一款产品会分不同组别、不同安装方式多个结果同时出现，这在一定程度上影响了消费者对产品性能好坏的判断，产品整体性能评价的量化不够直接。因此，《儿童约束系统（CRS）评价规则》通过修订升级解决该问题，采用加权统一的处理方法，使每款产品得到一个评分和评价等级，结果清晰明了，便于使用。

3.1 多种安装方式的整合

已有实验数据的 54 款产品中，适用于婴儿组的产品 22 款，其中有 1 款存在安全带和 ISOFIX 两种安装方式；适用于幼儿组的产品 46 款，其中有 7 款存在安全带和 ISOFIX 两种安装方式；适用于学童组的产品 44 款，其中有 11 款存在安全带和 ISOFIT 两种安装方式。

考虑到用户在日常使用中，两种安装方式的选用具有随机性，因此对于一个组别中的多种安装方式的碰撞安全性得分采用等权重平均的方法计算得到该组别的得分，计算方法如下：

$$Sg = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{N} \quad (1)$$

其中，N 为该组别中安装方式的数量， S_i 为各种安装方式的得分。

3.2 跨组别的整合

对于跨组别儿童座椅产品，采用加权平均的方法，将多个组别得分整合为一个得分。权重的确定从各组别的使用期限和实际交通事故中伤亡率确定。

如表 2，根据儿童约束系统组别定义，各个组别具有明确的儿童适用的体重范围，其中学童组分两类，学童组 II 的体重上限为 25kg，学童组 II+III 的体重上限为 36kg。根据儿童年龄与体重对应关系，将适用体重范围转化为年龄范围。^[5]根据年龄范围的上下限计算该组别使用期限，并将其作为时长因子。

表 2. 组别适用范围及使用期限

组别	体重/kg	对应年龄范围	使用期限/年
婴儿组	0-13	0~15 个月	1.25
幼儿组	9-18	9 个月~4 岁	3.25
学童组 II	15-25	3 岁~7 岁	4
学童组 II+III	15-36	3 岁~12 岁	9

CIDAS (China In-Depth Accident Study) 交通事故统计数据如表 3 所示, 计算各年龄段重伤死亡率。其中 0~2 岁为 23.08%, 对应婴儿组; 2~4 岁为 12.50%, 对应幼儿组; 4~8 岁为 7.41%, 对应学童组 II; 4~12 岁合并计算重伤死亡率为 8.51%, 对应学童组 II+III。将重伤死亡率作为伤亡率因子。

表 3. 各年龄段交通事故伤亡情况统计

年龄段	未受伤	轻伤	重伤	死亡	合计	重伤死亡率
【0-2】	8	2	1	2	13	23.08%
【2-4】	3	4	1	0	8	12.50%
【4-8】	15	10	1	1	27	7.41%
【8-12】	9	9	1	1	20	8.51%

表 4. 组别权重

组别	时长因子	伤亡率因子	相乘	组别权重 W_i
婴儿组	1.25	23.08%	0.2885	2
幼儿组	3.25	12.50%	0.4063	3
学童组 II	4	7.41%	0.2963	2
学童组 II+III	9	8.51%	0.7660	5

综合考虑使用期限和实际事故伤亡率, 将两个因子相乘, 等比例放大近似取整获得最终权重, 结果如表 4。对于跨组别产品的碰撞性能得分, 计算方法如下:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N W_i S g_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad (2)$$

其中, N 为跨组别数量, W_i 为各组别权重 (见表 4), $S g_i$ 为各组别碰撞安全性得分, 由公式 (1) 计算得出。例如, 某款产品跨婴儿组、幼儿组、学童组 II+III, 各组别碰撞安全性得分分别为 10 分、20 分、30 分, 则其最终整合的碰撞安全性得分为: $\frac{2 \times 10 + 3 \times 20 + 5 \times 30}{2 + 3 + 5} = 23$ 分。

4 评级分数调整

4.1 正态分布分析

应用评分整合方案, 将 131 组不同安装方式不同组别碰撞安全性得分进行整合, 得到 54 组数据, 其均值为 20.05 分, 标准差为 4.43, 正态分布 $N(20.05, 4.43^2)$ 和实际统计结果的概率分布曲线和概率密度曲线如图 5, 可见整合后的得分是符合正态分布 $N(20.05, 4.43^2)$ 规律。

对比整合前的原始数据和加权整合后的分数分布情况如图 6, 可见整合后的分布情况更集中, 方差缩小为原来的 0.59 倍, 这是由于随机变量的叠加导致的。

根据正态分布理论, 如果 n 个独立变量 $X_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$, 则 $\sum k_i X_i \sim N(\sum k_i \mu_i, \sum k_i^2 \sigma_i^2)$ 。^[6] 令婴儿组得分 X_1 , 幼

儿组得分 X_2 ，学童组得分 X_3 ，且 $X_1, X_2, X_3 \sim N(\mu, \sigma^2)$ ，对于婴儿组+幼儿组跨组产品，其得分应为 $\frac{2}{5}X_1 + \frac{3}{5}X_2$ ，理论上应服从正态分布 $N\left(\mu, \frac{13}{25}\sigma^2\right)$ 。同理可计算每种组合方式的得分和服从的正态分布，见表 5。

已知 54 款产品中，单组别产品 12 款，跨双组别产品 34 款，跨三组别产品 8 款，总体而言整合后的分数应服从正态分布 $N(\mu, 0.6\sigma^2)$ ，即方差缩小为原来的 0.6 倍，与实际统计的 0.59 倍一致，因此可应用该分布规律进行进一步分析。利用同样的方法，可知碰撞安全性得分与使用方便性得分相加后的总分服从正态分布 $N(25.05, 5.13^2)$ 。

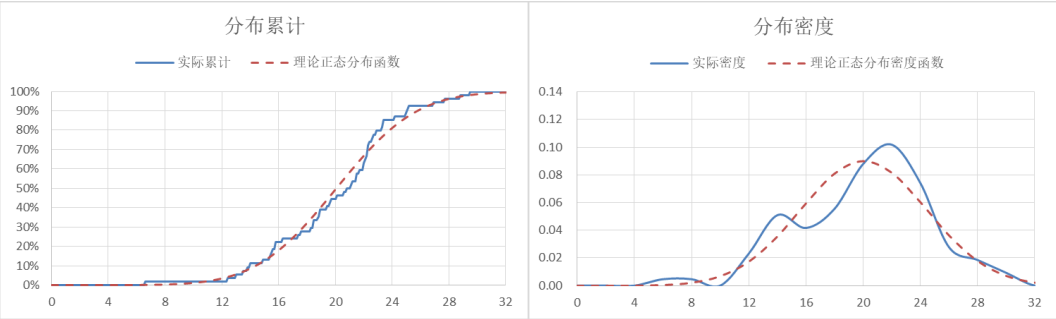


图 5. 整合后的碰撞安全性分布函数及概率密度函数

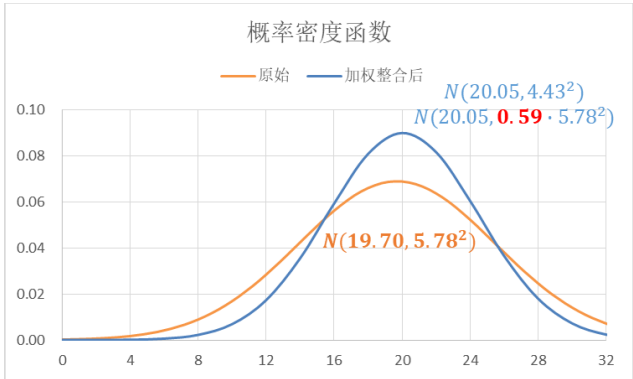


图 6. 分布情况对比

表 5. 各种组合方式得分及正态分布

组合方式	得分	正态分布
婴儿组+幼儿组	$\frac{2}{5}X_1 + \frac{3}{5}X_2$	$N\left(\mu, \frac{13}{25}\sigma^2\right)$
幼儿组+学童组 II	$\frac{3}{5}X_2 + \frac{2}{5}X_3$	$N\left(\mu, \frac{13}{25}\sigma^2\right)$
幼儿组+学童组 III	$\frac{3}{8}X_2 + \frac{5}{8}X_3$	$N\left(\mu, \frac{17}{32}\sigma^2\right)$
婴儿组+幼儿组+学童组 II	$\frac{2}{7}X_1 + \frac{3}{7}X_2 + \frac{2}{7}X_3$	$N\left(\mu, \frac{17}{49}\sigma^2\right)$
婴儿组+幼儿组+学童组 III	$\frac{2}{10}X_1 + \frac{3}{10}X_2 + \frac{5}{10}X_3$	$N\left(\mu, \frac{19}{50}\sigma^2\right)$

4.2 评分分数方案

由于整合分数会导致分数分布更为集中，如果继续沿用原有的等级分数划分方案会使中间等级的产品占比过大，导致整个评价体系的区分度不足，因此有必要重新制定各等级对应的分数线。

新的评价方案将原有的四级评价调整为五级评价，增加了最好的“优+”等级，旨在鼓励企业开发性能更佳

的产品。预设各级别产品占比分别为 20%、40%、30%、8%、2%（从低到高），应用正态分布 $N(25.05, 5.13^2)$ 的分布曲线，按照各等级占比反求评级分数线，如图 7 所示。取整获得最终新的评级分数线，分别为 20 分、26 分、31 分、36 分。

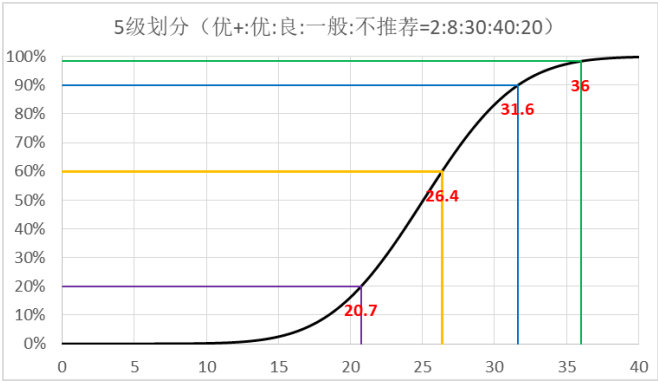


图 7. 评级分数线

表 6. 等级分数划分方案

总分	等级
>36 分	优+
>31 分且≤36 分	优
>26 分且≤31 分	良
>20 分且≤26 分	一般
≤20 分	不推荐

5 结论

我国的《儿童约束系统（CRS）评价规则》于 2014 年正式推出并实施，至今该评价规则已对百余款儿童约束系统产品进行了测试评价。在运行中也暴露出一些问题，由于我国市场上的儿童约束系统产品组别跨度大，安装方式多样，通常一款产品会分不同组别、不同安装方式多个结果同时出现，不能直接体现产品整体安全性能，造成一些困惑。

本文针对该问题，提出了采用等权重平均方法，整合同一款产品、同一组别、不同安装方式碰撞安全性得分的方法；采用加权平均，进一步整合同一款产品、不同组别的碰撞安全性得分。其中权重的确定，综合考虑了使用期限和实际交通事故重伤死亡率因子，得出组别权重为 婴儿组：幼儿组：学童组 II：学童组 II+III=2:3:2:5。

从既有得分数据统计分析入手，获得了各个子版块分数分布的特征参数，使用方便性评分服从正态分布 $N(5.01, 1.37^2)$ ，碰撞安全性评分服从正态分布 $N(19.70, 5.78^2)$ 。进而应用加权平均方法整合碰撞安装性得分，但是整合后的分数分布会更为集中，碰撞评分服从正态分布 $N(20.05, 4.43^2)$ ，总分服从正态分布 $N(25.05, 5.13^2)$ 。

更为集中的分数分布导致整个评价体系的区分度不足，因此调整评级分数线。预设五级占比分别为 20%、40%、30%、8%、2%（从低到高），利用正态分布函数反求对应的分数线。最终确定升级改版《儿童约束系统（CRS）评价规则》的新的等级分数划分方案如表 6。

参考文献 (References)

- [1] 中国汽车技术研究中心. C-NCAP 儿童约束系统（CRS）评价规则[S],2017
- [2] GB 27887-2011, 机动车儿童乘员用约束系统[S].
- [3] 李维普. 车用儿童乘员用约束系统标准研究与发展[J]. 中国汽车, 2019(07):54-58.
- [4] 2014—2018 年度儿童约束系统评价结果[J]. 世界汽车, 2019(09):125-128.
- [5] GB/T 26158-2010, 中国未成年人人体尺寸[S].

- [6] 葛余博.概率论与数理统计[M].北京: 清华大学出版社,2015
- [7] 杜北华,姜磊,王明星.儿童 Q、P 假人在 C-NCAP-CRS 碰撞试验中各评价指标对比分析[J].汽车技术,2017(07):25-32.
- [8] Heiko Johannsen, Xavier Trosseille, et al. Estimating Q-Dummy Injury Criteria Using the CASPER Project Results and Scaling Adult Reference Values [C] . IRCOBI Conference 2012 Paper , IRC-12-66.
- [9] 李雄. 汽车儿童约束系统安全性试验评价及统计数据分析[D].厦门理工学院,2016.
- [10] 孟磊,林佳,盛于峰.中国儿童座椅动态碰撞性能评价指标和分级规范研究[J].中国标准化,2016(13):38-40+42.
- [11] 姜磊,杜北华,徐哲.1.5 岁儿童假人颈部伤害预测分析[J].汽车技术,2018(12):28-32.
- [12] 张学荣,殷文倩.儿童安全座椅碰撞检测偏差影响因素仿真与试验研究[J].汽车工程,2019,41(08):915-921.
- [13] Grace Lee,Caitlin N. Pope,Ann Nwosu,Lara B. McKenzie,Motao Zhu. Child passenger fatality: Child restraint system usage and contributing factors among the youngest passengers from 2011 to 2015[J]. Journal of Safety Research,2019,70.
- [14] 吴俊. 后排儿童乘员碰撞损伤防护研究[D].湖南大学,2013.
- [15] 李世成. Q 系列假人与 P 系列假人在儿童约束系统评价中的伤害对比研究[A].Proceedings of the 13th International Forum of Automotive Traffic Safety (INFATS) [C],,2016.