

Study and Interpretation of School Bus Seat National Standard Revision

Lei LOU¹, Yali YU², Aifa ZHANG¹

¹CATARC Automotive Test Center (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin, China, 300300;

²China Highway Vehicle & Machinery Co., Ltd., Beijing, China, 100055

Email: loulei@catarc.ac.cn

Abstract: With the frequent occurrence of school bus accidents, enhancing the safety performance of school bus seats has become a focal point of societal concern. Given that the current national standard GB 24406-2012 can no longer meet the needs of technological development, the revision of the standard has been completed to further improve the safety performance of school bus seats. This article conducts an in-depth study and interpretation of the newly revised GB 24406-2024 standard, discussing the main technical changes and their scientific rationale. These changes include adjusting the test seat spacing, optimizing the injury index limit values for the 5th percentile dummy, updating the child dummy models, introducing rear impact dynamic test methods, and adding requirements for the unlocking force of seat belts after a collision. Through a series of extensive verification tests, the new standard has achieved significant results in improving safety, although there is still room for improvement in some indicators. The implementation of the new standard is expected to significantly enhance the safety performance of school bus seats, providing a safer and more reliable riding environment for students.

Keywords: School bus seats; Dynamic test; Neck injury; Collision dummy

校车座椅国标修订研究和解读

娄磊¹, 于雅丽², 张爱法¹

¹ 中汽研汽车检验中心(天津)有限公司, 天津, 中国, 300300

² 中国公路车辆机械有限公司, 北京, 中国, 100055

Email: loulei@catarc.ac.cn

摘要: 随着校车事故频发, 提升校车座椅的安全性能成为社会关注的焦点。鉴于现行国家标准 GB 24406-2012 已无法满足当前技术发展的需求, 对标准的修订工作已经完成, 旨在进一步提高校车座椅的安全性能。本文深入研究并解读了新修订的 GB 24406-2024 标准, 探讨了其主要技术变更及其背后的科学依据。这些变更包括调整试验座椅间距、优化 5th 假人伤害指标限值、更新儿童假人模型、引入后碰动态试验方法, 以及增加碰撞后安全带解锁力的要求。通过广泛的验证试验, 新标准在提升安全性方面取得了显著成效, 尽管部分指标仍有改进空间。新标准的实施预计将显著提高校车座椅的安全性能, 为学生提供更加安全可靠的乘车环境。

关键词: 校车座椅; 动态试验; 颈部伤害; 碰撞假人

1 引言

随着社会的发展和科技的进步, 校车安全问题逐渐受到社会各界的广泛关注。尤其是在 2011 年校车事故频发的背景下, 国家相关部门紧急对校车安全标准进行了大规模修订, 其中 GB 24406-2012《专用校车学生座椅系统及其车辆固定件的强度》标准^[1]的出台对于提高校车安全性能、减少事故发生时对乘员的伤害具有重要意义。然而, 随着车辆安全保护技术的发展, 现行标准已无法满足技术现状和更高的安全需求, 同时在试验实施操作中也遇到了一些不完善的问题^[2]。因此, 对标准的修订显得尤为迫切, 旨在适应车辆安全技术的发展和汽车安全社会的需求,

进一步提升我国校车产品安全性能，保障学生的乘车出行安全。

在此背景下，2020 年 12 月 24 日，国家标准化管理委员会下达了国家标准制修订任务，开始了标准的修订工作。2024 年 6 月 25 日，新标准 GB 24406-2024《专用校车学生座椅及其车辆固定件的强度》已经发布，并将于 2025 年 1 月 1 日开始实施^[3]。本次修订在试验条件、伤害指标要求、试验方法等方面进行了全面的更新与优化，以期达到与国际标准接轨，提高我国校车产品的安全性能^[4]。

2 主要技术变更

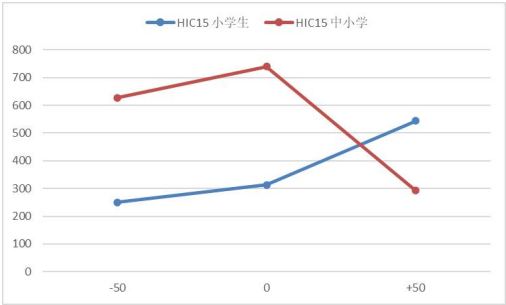
2.1 试验座椅间距调整

在 GB 24406-2012 中，幼儿专用校车座椅和小学生专用校车座椅间距为 690mm，中小学专用校车座椅间距为 780mm，且没有按照车辆实际间距进行试验的选项。通过对现有产品数据调研，共统计了 24 组校车座椅的间距数据，见表 1，其中各类座椅的间距最大值也未达到 GB 24406-2012 中设定的值，显然这样的试验条件不能代表车辆实际情况。有研究表明座椅间距过大时，试验中儿童不会碰撞前方座椅^[5]，但在实际事故中并非如此，会导致试验的有效性降低。因此对照统计平均值和 GB 24407-2012 中要求的座椅间距最小值^[6]，最终将试验座椅间距设定为“GB 24407-2012 要求的座椅间距最小值+30mm”。同时增加使用实际装车距离进行试验的选项，如果存在多种间距，可使用最小间距进行试验。

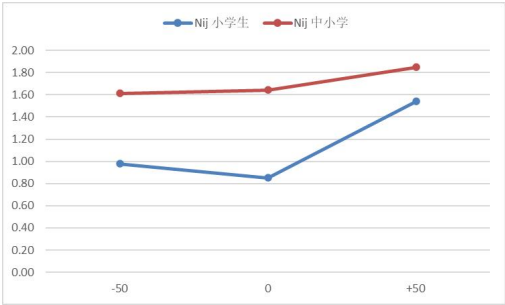
以表 1 中修订计划的座椅间距作为基准，并将座椅间距缩小 50mm 和放大 50mm，进行对比试验，测量 5th 假人伤害，不同座椅间距的假人各伤害指标结果如图 1。数据显示不同的指标响应不同，有些对座椅间距不敏感，有些正相关，有些负相关。为此我们将有限值要求的四个指标，包括：头部 HIC、颈部 Nij、胸部加速度、大腿压缩力，各自进行归一化处理，然后进行等权重平均，获得假人整体伤害情况与座椅间距的关联关系，如图 2。可见虽然各个通道、伤害指标受到座椅间距一定影响，但是总体而言并不敏感，座椅间距在设定间距及 ±50mm 位置时，综合伤害均为最大伤害值的 80%左右。由此可见，按照实际产品统计结果设定试验环境是可行的，并没有设定在明显有利的位置进行检测。

Table 1. Data table of seat spacing
表 1. 座椅间距统计表

座椅间距/mm	统计-最小值	统计-平均值	统计-最大值	GB 24406-2012	GB 24407-2012 要求的最小值	GB 24406-2024
幼儿专用校车座椅	500	536	660	690	500	530
小学生专用校车座椅	550	580	600	690	550	580
中小生专用校车座椅	650	669	750	780	650	680



a) Head HIC/头部 HIC



b) Neck Nij/颈部 Nij

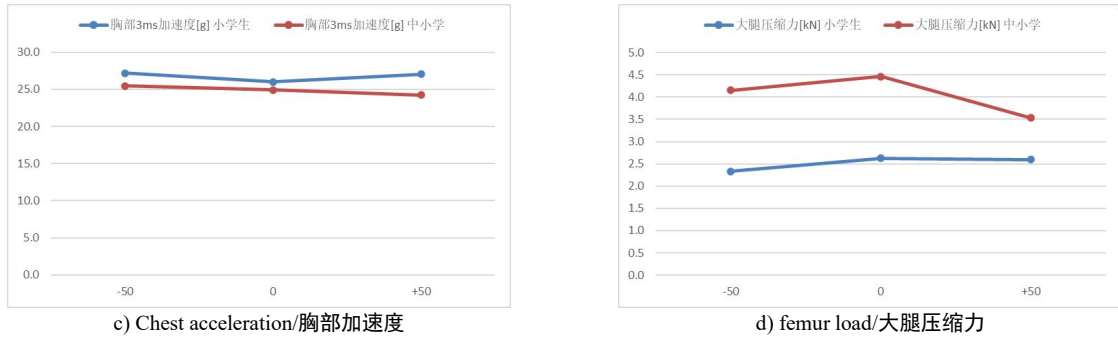


Figure 1. Effect of seat spacing on each injury indexes of dummy

图 1. 座椅间距对假人各伤害指标的影响

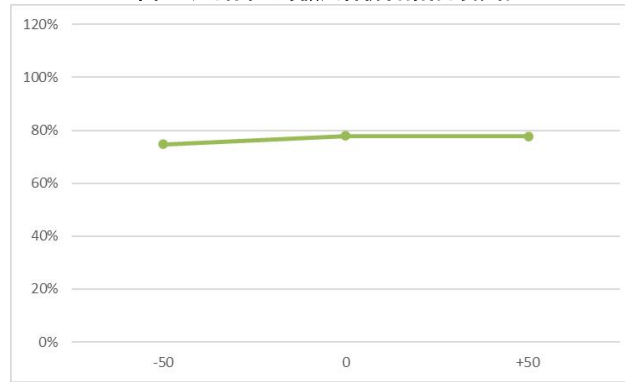


Figure 2. Effect of seat spacing on comprehensive injury of dummy

图 2. 座椅间距对假人伤害的总体影响

2.2 5th 假人伤害指标限值调整

GB 24406-2012 中, 对于 5th 假人的大腿压缩力要求 FAC 小于 10kN 是来源于 UN R80 客车座椅标准的, 而 UN R80 中的 10kN 限值是针对 50th 假人的, 而并非 5th 假人^[7]。公式 (1) 是 50th 假人大腿压缩力与 AIS3+伤害概率的函数关系, 公式 (2) 是 5th 假人大腿压缩力与 AIS3+伤害概率的函数关系^[8]。利用公式 (1), 可求得 50th 假人大腿压缩力为 10kN 时, 其腿部 AIS3+等级受伤概率为 35%; 再将其代入公式 2, 可求得腿部伤害概率 35%对应的 5th 假人大腿压缩力为 6.8kN。因此将标准中腿部伤害要求调整为腿部伤害指标 FAC 应小于 6.8kN。

$$P_{Femur}(AIS3+) = \frac{1}{1+e^{5.795-0.5196 \times FemurLoad}} \quad (1)$$

$$P_{Femur}(AIS3+) = \frac{1}{1+e^{5.795-0.7619 \times FemurLoad}} \quad (2)$$

老标准中除腿部伤害较宽松外, 还缺少颈部伤害限值要求。从试验结果看, 假人颈部弯曲变形非常严重, 如图 3, 颈部载荷伤害值也很高^[9]。为此本次修订增加了颈部伤害要求, 采用颈部伤害指标 Nij, 其计算方法见公式 (3)。Nij 为 1.0 时, 对应的 AIS3+等级受伤概率为 22%, 对照 UN R80 中的伤害限值对应的受伤概率分别为头部 13%、胸部 22%、腿部 35%, 本标准将颈部伤害限值设定为受伤概率 22%, 比头部高、与胸部持平, 是合理的。因此, 将颈部伤害要求设定为 Nij 应小于 1.0。

$$Nij(t) = \frac{F_z(t)}{F_{zc}} + \frac{M_{Ocy}(t)}{M_{yc}} \quad (3)$$

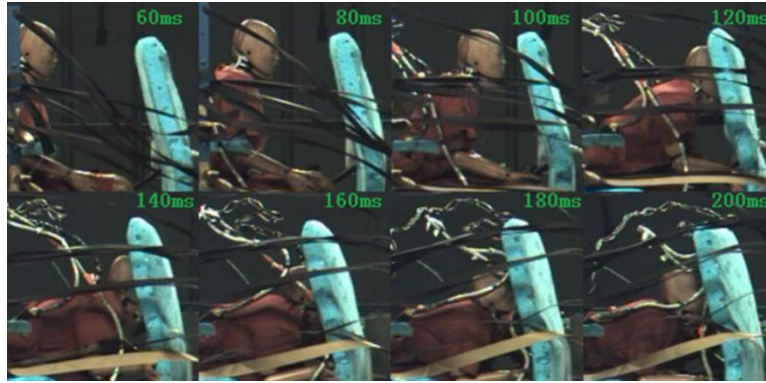


Figure 3. Neck deformation during collision
图 3. 碰撞过程中颈部变形情况

2.3 儿童假人变更

全球目前主要有四种儿童假人家族用于儿童碰撞安全的试验测试,即 P 系列儿童假人、Q 系列儿童假人、CRABI 儿童假人和 HIII 儿童假人,后两者在美国和日本测试中被采用,前两者主要应用在欧洲和我国^[10]。P 假人系列包括: P0、P3/4、P1.5、P3、P6、P10 共 6 个假人,分别对应新生儿、9 个月儿童、1.5 岁儿童、3 岁儿童、6 岁儿童、10 岁儿童;Q 系列假人包括: Q0、Q1、Q1.5、Q3、Q6、Q10,分别对应新生儿、1 岁儿童、1.5 岁儿童、3 岁儿童、6 岁儿童、10 岁儿童。Q 系列儿童假人作为 P 系列假人的升级替代产品,其结构更为复杂,生物仿真程度更高,并且配备了颈部 6 轴载荷传感器,能够直接测量颈部受力情况。正在修订的儿童座椅标准 GB 27887 将采用最新的 Q 系列儿童假人。

通过历史积累数据分析,对比了相同工况下 P 系列假人的伤害响应和 Q 系列假人的伤害响应,通过线性回归分析提取了 P、Q 假人头部加速度比例系数 1.0023、胸部加速度比例系数 0.9051,见图 4。结果表明 P、Q 假人这些伤害指标没有明显差异,因此沿用原标准中的伤害限值要求。

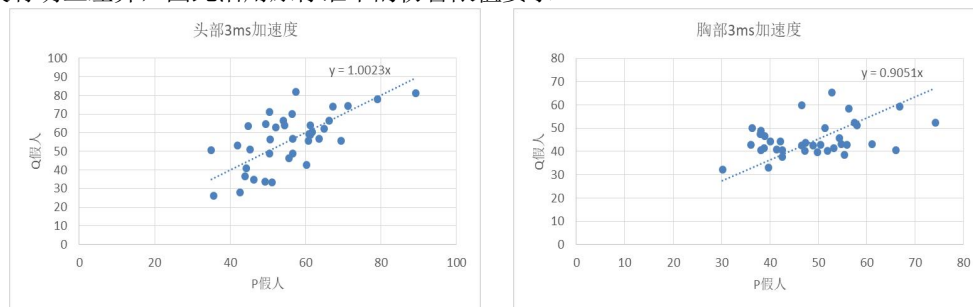


Figure 4. Correlation between P & Q dummy
图 4. P & Q 假人伤害相关性

2.4 后碰动态试验方法

静态试验不能体现实际碰撞中动态过程的性能,已经成为共识。在 GB 15083、GB 13057 等标准中均已将静态试验方法删除。本次修订,根据输入能量和座椅产生的应力应变等效的原则,将静态试验方法转化为动态试验方法;根据输出结果等效的原则,将抗后倾要求转化为后碰性能要求。总体而言,本次修订只是试验形态的调整,试验强度并未提升。

后碰动态试验的关键参数确定是通过 CAE 仿真的手段,如图 5,对比不同波形和静态方法下座椅吸能的能力以及座椅最大应变、最大应力,结果见表 2。据此确定使用 FMVSS202a 和全球技术法规 GTR No.7 phase1 中规定的加速度波形乘以 1.2 倍,作为后碰动态试验的输入条件。

后碰性能要求方面，将原标准中与强度相关的座椅靠背位移不超过 254mm，变为后碰动态试验中更常用且更易于测量的靠背后倾角度，并利用三角函数将 254mm 等效转化为 25°。原标准中的吸能相关要求由假人伤害表征，假人伤害采用与前碰性能要求相同的伤害限值。^[11]

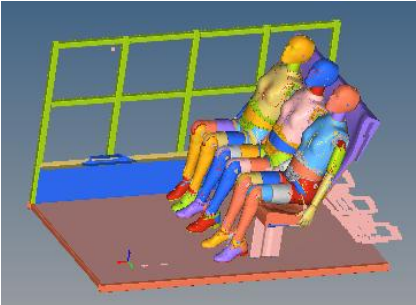


Figure 5. CAE simulation model of dynamic rear impact test
图 5. 后碰动态试验 CAE 仿真模型

Table 2. Rear impact simulation result data
表 2. 后碰仿真结果数据

模型	吸收总能量 J	最大应变	最大应力 MPa
Base	681	0.19	379
Base×1.2	1037	0.22	404
Base×1.5	1474	—	—
静态	948	0.21	384

2.5 增加碰撞后带扣解锁力要求

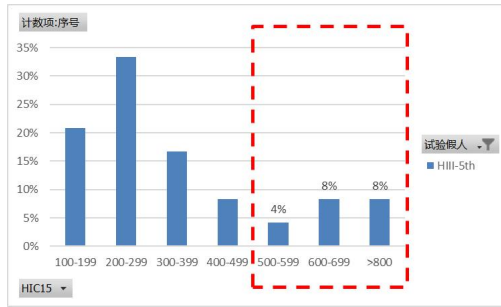
为保障碰撞后乘员的救援和逃生，因此碰撞后约束系统的释放按钮的解锁力不应过大，目前 GB 13057-2023 和 GB 14166-202X 均有相关的要求^[12]。本标准考虑到碰撞后的救援应主要由照管人员和外部救援人员操作，因此采用与 GB 13057-2023 和 GB 14166-202X 相同的 60N 作为解锁力限值。

3 验证试验

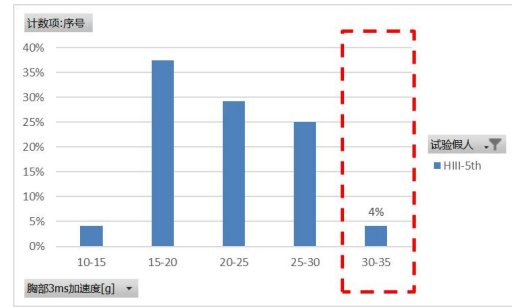
3.1 前碰动态试验

标准工作组组织了大规模的验证试验，共计对 8 款校车座椅，进行了 32 次台车动态试验，采集了 58 组假人数据。正碰试验共采集 24 组 5th 假人的伤害数据，统计结果见图 6，头部 HIC 超标率为 20%，颈部 Nij 超标率为 62%，胸部加速度超标率为 4%，大腿压缩力超标率为 0%。正碰试验共采集 13 组 Q6 假人的伤害数据，统计结果见图 6，头部 HIC 超标率为 22%，颈部 Nij 超标率为 53%，胸部加速度超标率为 53%。

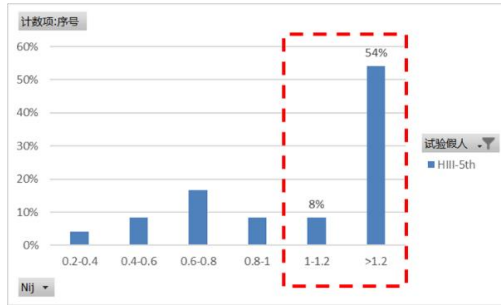
从验证试验结果可见，现有产品的颈部伤害普遍较高，超标率很高。为此进行了颈部伤害优化的尝试，分别采用调整第一排座椅靠背的吸能和将第二排座椅安全带改为三点式安全带两种方案，进行样品制备和台车试验。试验结果如图 8，图中 1 为未做改动的产品现状，2 为调整第一排座椅靠背吸能的方案，3 为第二排座椅改三点式安全带的方案。结果表明，使用三点式安全带约束乘员能非常有效降低颈部伤害值，同时对其他伤害指标也都有较大的优化作用，并且有研究表明三点式安全带不会给儿童带来附加伤害^[13]。相比之下，调整第一排座椅靠背吸能的方案，能够降低颈部伤害，虽然当前状态仍大于标准限值，这是因为该方案仅凭工程经验进行了简单调整，未能获得最优解。如果进行细致的工程设计，优化第一排座椅靠背结构和吸能的方案，同样是降低颈部伤害，满足新标准的一种技术手段。



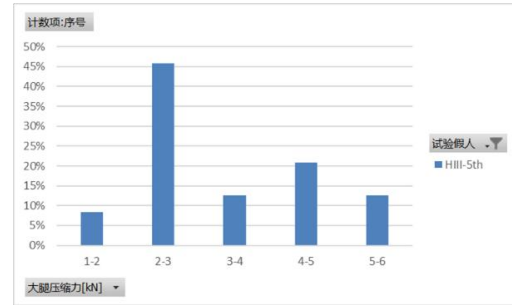
a)头部 HIC



c)胸部加速度

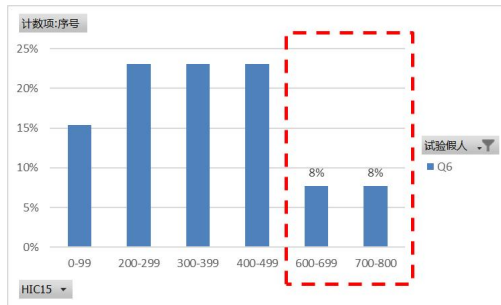


b)颈部 Nij

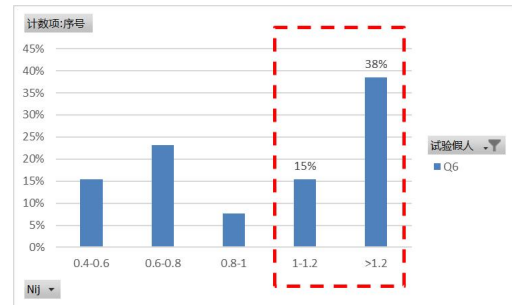


d)大腿压缩力

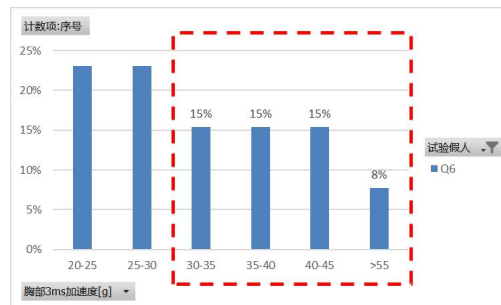
Figure 6. 5th dummy injury distribution in front impact test
图 6. 前碰试验 5th 假人伤害分布



a)头部 HIC



b)颈部 Nij



c)胸部加速度

Figure 7. Q6 dummy injury distribution in front impact test
图 7. 前碰试验 Q6 假人伤害分布

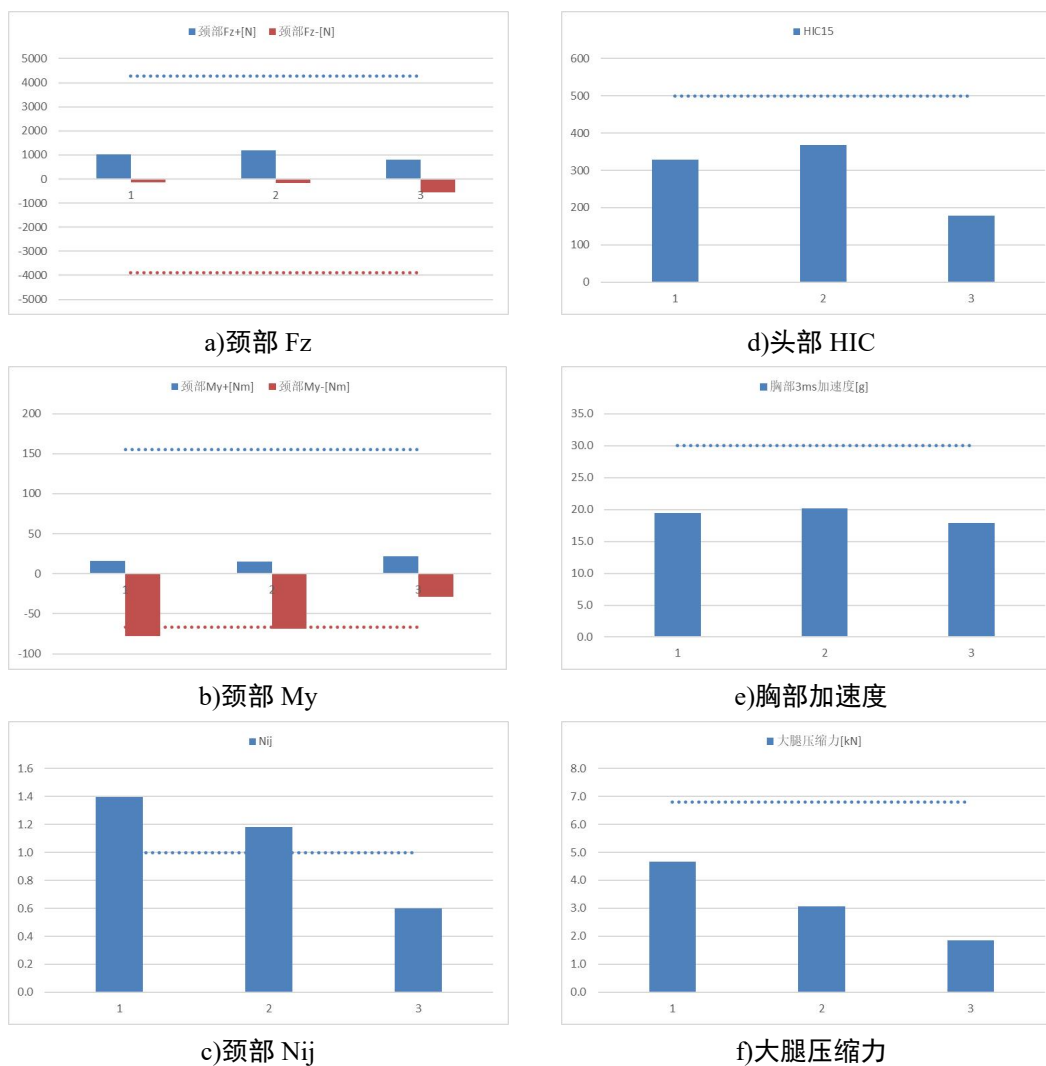


Figure 8. Comparison of optimization scheme effect

图 8. 优化方案效果比对

3.2 后碰动态试验

后碰动态试验共采集 12 组 5th 假人和 9 组 Q6 假人的伤害数据，头部 HIC、颈部 Nij、胸部加速度、座椅后倾角超标率均为 0%，见图 9。参与验证试验的产品均为符合老国标静态抗后倾要求的产品，因此未出现超标情况是正常的，本次标准修订要求难度并未提升，而是将试验方式由静态变为动态，是检测方式更接近真实碰撞事故，随着标准实施、数据积累、技术升级，未来标准修订中可再逐步提高要求。

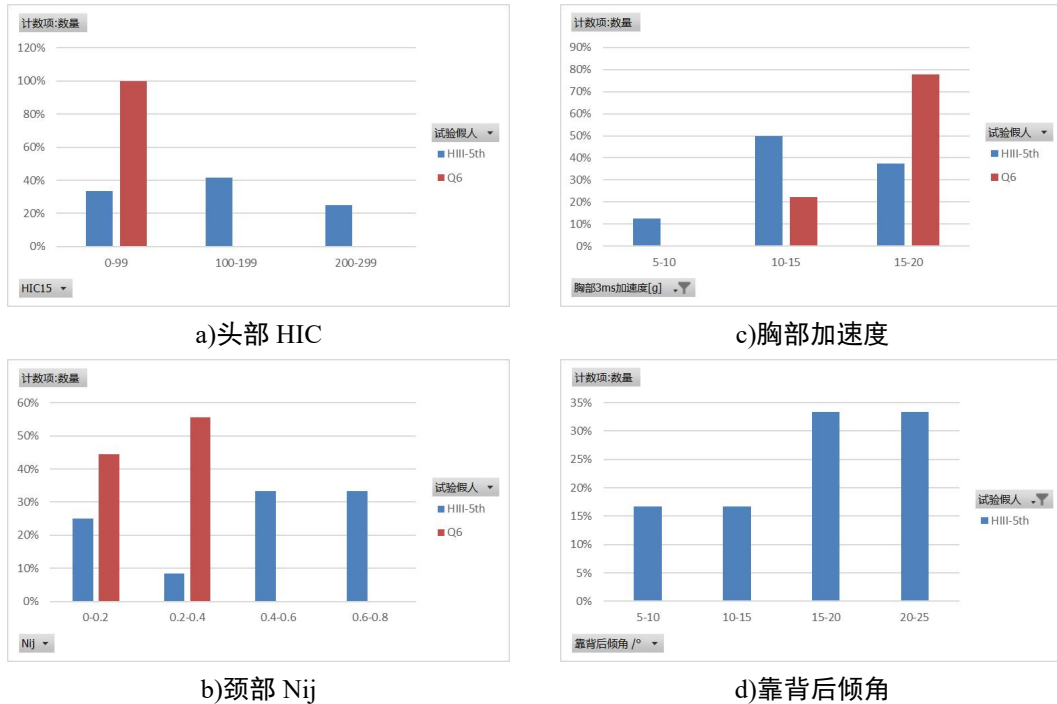


Figure 9. Dummy injury and seatback deflection distribution in rear impact test

图 9. 后碰动态试验假人伤害及靠背后倾角分布

4 总结

本次 GB 24406《专用校车学生座椅及其车辆固定件的强度》标准的修订，是针对当前校车座椅安全性能要求的提升和实际交通事故形态的变化而进行的。通过深入研究和广泛的试验验证，新标准在以下几个方面实现了显著的提升：

- 1) 试验座椅间距的调整：新标准根据实车座椅间距的统计数据，调整了座椅间距的试验要求，使之更贴近实际车辆的座椅布局，提高了试验的现实意义。
- 2) 伤害指标的加严：通过对 5th 假人大腿压缩力限值的调整和颈部伤害限值的增加，新标准提高了对乘员保护性能的要求，以期在碰撞事故中减少乘员的伤害。
- 3) 儿童假人的更新：采用生物仿真度更高的 Q 系列儿童假人替代 P 系列假人，提高了试验结果的准确性和可靠性。
- 4) 动态试验方法的引入：将原有的静态试验方法更新为动态试验方法，使试验条件更加符合实际碰撞情况，提高了标准的科学性和实用性。
- 5) 碰撞后带扣解锁力要求的增加：新标准增加了碰撞后安全带带扣解锁力的要求，以保障事故后乘员的救援和逃生。

通过这些改进，新标准不仅适应了车辆安全技术的发展，而且为校车及零部件产品制造提供了更高的开发目标，进一步提升了校车座椅等约束系统的安全性能，减少了事故中的伤亡人数和受伤严重程度，为保障学生乘坐校车出行安全提供了坚实的标准支持。未来的研究可进一步关注座椅设计的优化、新材料的应用以及更严格的测试方法，以不断提高校车座椅的安全性能，为学生的安全出行提供更加全面的保障。

参考文献 (References)

- [1] GB 24406-2012,专用校车学生座椅系统及其车辆固定件的强度[S].
- [2] 刘志新,娄磊,张晓龙.基于新校车安全法规试验的乘员伤害分析[C]//湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室.Proceedings of the 10th Int. Forum of Automotive Traffic Safety(INFATS).中国汽车技术研究中心;,2013:3.
- [3] 国家标准信息公共服务平台.专用校车学生座椅及其车辆固定件的强度 [EB/OL]. (2024-06-25)[2024-07-30]. <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=1BD5B9878E632FCEE06397BE0A0A10CC>.
- [4] GB 24406-2024,专用校车学生座椅及其车辆固定件的强度[S].
- [5] 胡伟,朱江华,谢沐男,等.校车座椅间距及约束系统对学童乘员的保护研究[J].客车技术与研究, 2017, 39(06): 4-6. DOI: 10.15917/j.cnki.1006-3331.2017.06.002.
- [6] GB 24407-2012,专用校车安全技术条件[S].
- [7] UN Regulation No. 80 Uniform provisions concerning the approval of seats of large passenger vehicles and of these vehicles with regard to the strength of the seats and their anchorages[S].
- [8] Tannous R , Eppinger R , Sun E , et al. Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint Systems - II [J]. nhtsa, 1999.
- [9] Li Z ,Ge H ,Zhang J , et al.The necessity of evaluating child neck injury in frontal collision of school bus for transportation safety[J].Safety Science, 2014, 62, 441-449.
- [10] 杜北华,娄磊,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.
- [11] 娄磊,刘洪彬,郭庆祥.校车座椅后面碰撞动态试验方法研究[J].汽车工程, 2022, 44(03): 399-402+425. DOI: 10.19562/j.chinasae.qcgc.2022.03.012.
- [12] GB 13057-2023,客车座椅及其车辆固定件的强度[S].
- [13] 谢沐男,胡伟.校车座椅三点式安全带上固定点调节范围仿真研究[J].现代制造技术与装备, 2016, (07): 15-16+18. DOI: 10.16107/j.cnki.mmte.2016.0528.