

Research on Safety Performance of a Vehicle with New C-NCAP Side Impact Barrier Base on Ls-dyna

YangShuai, Hou Yanjun, Ma Junji, Xie Shugang
China Automotive Technology & Research Center, Tianjin, 300300,
Email: yangshuai@catarc.ac.cn

Abstract: The side impact condition of 2015 C-NCAP (MDB) and 2018 C-NCAP (NMDB) were compared, and the responses of side structure collision of common vehicle and SUV were analyzed by FEM method. According the result, comparing the MDB condition, the intrusions of B pillar and door of NMDB were increased, the anti-deformation of doorsill was decreased, and the effect of dummy protection of C pillar and rear floor area was enhanced. Taking a SUV for example, the restraint model of side impact was built, and the influence of dummy injure by side structure was analyzed. Above all, the design goal of MDB did not apply to NMDB. In order to get a good structure performance to NMDB, the new design goal should be built. The above-mentioned SUV finally got the full marks of NMDB by using the new structure design goal.

Keywords: C-NCAP; side impact; structure design goal

基于 LS-DYNA 新型 C-NCAP 侧碰壁障碰撞下 车辆安全性研究

杨帅, 侯延军, 马俊继, 谢书港
中国汽车技术研究中心, 天津, 300162
Email: yangshuai@catarc.ac.cn

摘要: 本文对 2015 版 C-NCAP 侧碰 (MDB) 和 2018 版 C-NCAP 侧碰 (NMDB) 工况目前最新方案进行了详细的对比, 并采用有限元分析方法对轿车及 SUV 车型的侧面碰撞结构响应进行详细分析。计算结果表明, 较 MDB 工况, NMDB 工况的 B 柱及前后车门入侵大大增加, 门槛抵抗侧面变形效能降低, C 柱及后地板区域在控制后排乘员生存空间的效能上更为明显。最后, 以某款 SUV 为例, 建立了侧碰工况的约束系统分析模型, 分析了侧碰结构边界对假人伤害的影响。结果表明, MDB 结构开发目标已经不适用于 NMDB 工况, 为应对 NMDB 工况结构耐撞性开发, 需要重新建立结构性能目标, 本 SUV 车型在新建立的 NMDB 结构目标下, 经约束系统匹配, 能够获得侧碰满分的开发目标。

关键词: C-NCAP; 侧碰工况; 结构目标

1 引言

汽车的碰撞形式一般分为正碰、侧碰、追尾、翻滚, 其中侧面碰撞事故约占事故总数的 30%, 仅低于正面碰撞。在造成死亡和重伤的事故中, 侧碰事故约占 35%。我国的城市道路交通路口大部分为平面交叉形式, 侧面碰撞事故发生率极高。侧面碰撞事故致死率仅次于正面碰撞事故, 致伤率却居第一位^{[1][2]}。因此, 在我国汽车侧面碰撞安全性的研究成为了汽车被动安全性研究的一项重要内容。

汽车侧面是车体中强度较薄弱的部位, 尤其是对于轿车而言, 其侧面强度更为薄弱。汽车一旦受到来自侧面的撞击, 不可能像前部及后部那样有足够变形空间吸收碰撞能量。车内乘员和强烈贯穿的撞击物之间仅隔着车门和 20~30mm 的空间, 这是侧面碰撞对乘员的伤害较其他类型的碰撞要严重的重要原因之一^{[3][4]}。

在汽车发生侧面碰撞事故时, 一般可以把其区分为一次碰撞和二次碰撞。汽车受到来自侧面的冲击时, 车门及侧围结构件会开始发生变形, 车内乘员也将受到冲击载荷的作用, 这属于一次碰撞。当车门及侧围结构件

的变形继续增加，乘员同时在惯性作用下同车的内饰发生接触，这属于二次碰撞。二次碰撞是由于剧烈的一次碰撞而使人体与车的快速相对运动引起的。二次碰撞是造成人体损伤的直接原因，但一次碰撞在很大程度上决定了二次碰撞的剧烈程度，因此一次碰撞对人体损伤也有很大影响^[5]。

目前车辆关于侧碰安全法规主要有 ECE、FMVSS、NCAP 等类型。其中 NCAP 由政府或者权威性的组织机构测试市场上销售车型的碰撞安全性能，并根据此标准对该车的安全性能进行评分，进而根据所得分数评定车型的星级，星级越高，则该车型的碰撞安全性越好。在我国，C-NCAP 已经普遍成为汽车制造厂对新产品安全性研发的重要评价依据^[6]。

我国现行 C-NCAP 为 2015 年颁布的版本，在 2018 年管理机构将针对不同安全性评价要求对 C-NCAP 规则进行升级，届时侧碰工况评价规则将会发生很大的变化：包括对壁障及评价假人均进行了调整。现阶段对新型侧碰壁障及碰撞假人的研究工作尚无机构开展。未来，面向 2018 版 C-NCAP 侧面碰撞工况的车型安全开发研究将是从业人员关注的一项重要议题^[7]。

2 不同版本 C-NCAP 侧碰工况分析

2015 版 C-NCAP 和 2018 版 C-NCAP 的侧面可移动壁障碰撞工况对比如下图所示。

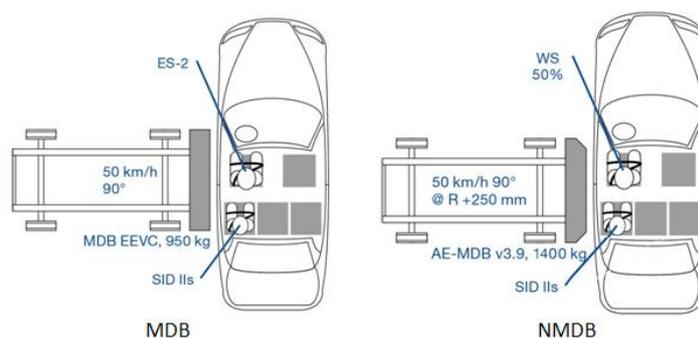


Figure 1. Comparison of side impact condition of movable barrier

图 1. 可移动壁障侧撞工况对比

为了方便描述，将 2015 版 C-NCAP 侧碰简称为 MDB，2018 版 C-NCAP 侧碰简称为 NMDB。两侧面碰撞工况具体参数如表 1 所示。

Table 1. Two the comparison of the side impact type of the movable barrier in the collision

表 1. 两碰撞工况可移动壁障侧碰类型对比

C-NCAP	碰撞速度	碰撞角度	壁障质量	X 向定位	壁障底部离地	壁障初始动能
MDB	50km/h	90 度	950kg	R 点	300mm	91616J
NMDB	50km/h	90 度	1400kg	R+250mm	350mm	135014J

由上表可以看出，NMDB 壁障碰撞初始碰撞能量较 MDB 提升了 47.4%。将两种壁障和某两款不同类型车型按实验方式定位，如图 2 所示。

对于某 A 级轿车，通过两款壁障位置对比可以看出，MDB 工况门槛能够有效同壁障接触，起到支撑车体抵抗壁障 Y 向入侵的作用，而 NMDB 工况由于门槛同壁障基本无重叠接触而导致其大大降低了直接抵挡壁障 Y 向入侵的作用。对于某 SUV 车型，由于 SUV 车型底盘偏高，NMDB 工况下门槛同壁障仍然有 25% 的重叠率，其仍能起到一定的直接抵抗壁障 Y 向入侵作用。

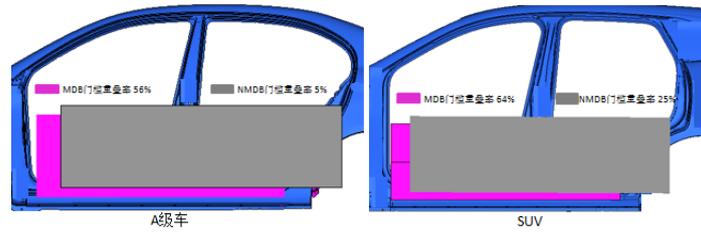


Figure 2.Schematic diagram of different wall barrier and the position relation of the two models

图 2. 不同壁障与某两款车型位置关系示意图

由图 2 壁障同侧围相对位置对比分析，MDB 壁障和车身接触区域主要包括前门、B 柱、后门及门槛，而 NMDB 采用大壁障进行测试，其和车身接触区域较 MDB 延伸至于 C 柱下部区域。此外由于 NMDB 离地高度较 MDB 高 50mm，使得 NMDB 壁障同门槛搭接的区域大大减小。

此外，两种碰撞工况评价用假人也有不同：MDB 前排采用 ESII 假人，主要评价头部 HIC、胸部压缩量、腹部受力、骨盆受力等项目；NMDB 前排采用 WS50%假人，主要评价头部 HIC、肋骨压缩量、腹部压缩量、腹部受力等项目。

3 车身结构对不同版本 C-NCAP 侧碰响应一般规律

为研究车身结构在不同侧碰工况中的响应，选取了一款的 A 级轿车和一款紧凑型 SUV 车型进行分析。分别建立了 MDB、NMDB 的可移动壁障侧碰模型。各工况 B 柱变形模式如下图所示：

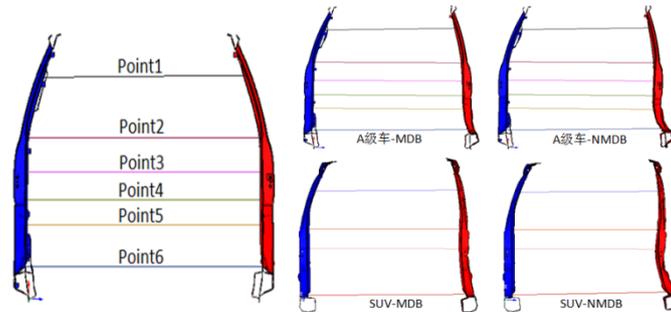


Figure 3.Comparison of deformation modes of B columns under different laws and regulations

图 3. 不同法规下 B 柱变形模式对比

由图可见，对于 MDB 碰撞工况，SUV 或 A 级轿车 B 柱变形较轻，呈倒 S 形变形模式。对于 NMDB 碰撞工况，由于碰撞能量大幅增加，B 柱变形较 MDB 更为严重，呈现 L 形变形模式。两种碰撞工况模式下，A 级轿车门槛翻转程度差异不大，但 SUV 车型门槛翻转差异较大。

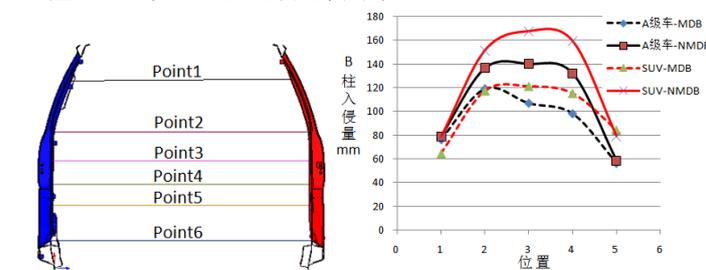


Figure 4.Comparison of B column intrusion curves of two kinds of models

图 4. 两种车型 B 柱入侵曲线对比

两种车型 MDB 和 NMDB 工况下 B 柱入侵曲线对比如图 4 所示。由 B 柱各点入侵量统计曲线可以看出，对于 SUV 车型，采用 NMDB 壁障较 MDB 壁障 B 柱由中间向两端入侵有不同幅度增加，增幅最大达到 38%，出现在 B 柱中下位置处。对于轿车来说，采用 NMDB 壁障较 MDB 壁障 B 柱上部入侵增加不多，但在中部及中下位置入侵大幅增加，增幅达 34%。对于 NMDB 壁障碰撞，两款车型的 B 柱呈梯形入侵分布。

两款车型 MDB 和 NMDB 碰撞后车身侧围变形如图 5 所示。前车门和后车门内板变形对比如图 6 所示。MDB 碰撞工况下，SUV 车型和 A 级轿车侧围结构变形均较小，车门防撞梁凸痕明显。NMDB 碰撞工况下，车门及门槛变形更为严重，车门防撞梁严重内凹变形，后门至后轮胎区域也发生严重溃缩变形，后车门的严重变形将大大降低车身对后排假人的乘员保护性。

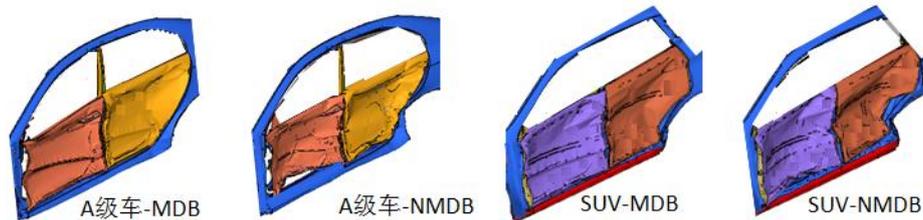


Figure 5. Two models of the rear side of the impact of the deformation contrast

图 5. 两款车型碰撞后侧围变形对比

4 侧碰结构响应对假人伤害影响分析

如本文二部分所述，2015 版 C-NCAP 采用的是小壁障、前排 ESII 假人，主要评价指标为头部 HIC、胸部压缩量、腹部受力、骨盆受力等；而 2018 版 C-NCAP 采用的是大壁障，前排 WS50% 假人，主要评价指标为头部 HIC、肋骨压缩量、腹部压缩量、腹部受力等项目。两个版本的侧碰无论从结构响应还是假人评价上，都存在很大差异性。

目前，针对 2015 版本 C-NCAP 侧碰结构耐撞性及约束系统开发已经非常成熟。在侧碰开发中，一般会首先定义结构耐撞性指标，然后在满足结构指标的车身结构边界基础上进行约束系统匹配，以达成侧碰满分的终极目标。

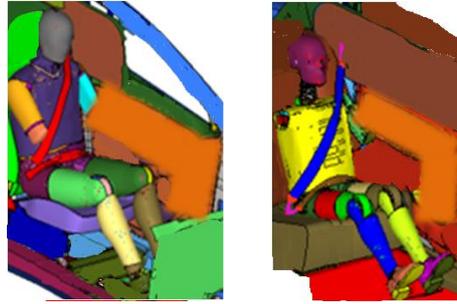
以前述紧凑型 SUV 车型为例来，对比研究侧面碰撞结构响应及其对假人伤害的影响情况。如表 2 第一行所示为 2015 版 C-NCAP 规则 MDB 侧碰满分的主要结构目标；表 2 第二行所示为通过 CAE 分析 MDB 壁障碰撞结构目标达成情况；表 2 第三行所示为将壁障换为 NMDB 后结构响应情况；表 2 第四行所示为采用 MDB 目标，经过结构优化后 NMDB 结构响应情况。

Table 2.A SUV model of the main structural goals and objectives

表 2. 某 SUV 车型主要结构目标及目标达成情况

项目	B 柱入侵量 (mm) 及入侵速度 (m/s)					前车门 入侵量	后车门 入侵量
	上	中上	中	中下	下		
MDB 结构目标	80/7.5	130/7.5	145/7.5	145/7.5	95/7.5	160/8.5	160/8.5
MDB 目标达成情况	64/5.7	117/6.1	121/6.3	115/6.5	84/6.6	150/7.4	115/8.1
NMDB 目标达成情况	78/7.3	151/7.3	167/7.6	158/8.4	79/8.8	205/10.5	209/11
NMDB 结构优化后目标达成情况	25/6.79	54/6.9	91/7.1	89/7.2	36/6.8	126/8.4	140/8.4

根据表 2 结果，此款 SUV 车型满足 MDB 结构耐撞性目标，对该车型搭建 LS-DYNA 的侧碰约束系统分析模型，如图 6 所示。



(1) 前排驾驶员(ESII) (2) 后排乘员

Figure 6.A SUV model of the system constraints
图 6. 某 SUV 车型约束系统模型示意

经过约束系统匹配优化（气囊、安全带、座椅、点火时间等），该 SUV 车型 MDB 工况假人伤害可以获得满分，如表 3 结果部分第一列所示。为保障侧碰工况满分，降低其他因素波动对假人伤害得分的影响，CAE 分析中假人伤害安全余量设置为限值的 20%。由表 3 可见，该车型侧碰假人伤害安全余量最低为 21%，满足开发目标要求。

Table 3.A SUV model and dummy injury scores
表 3. 某 SUV 车型假人伤害及得分情况

驾驶员	分数	考查项	MDB 结果			NMDB 优化结果			NMDB 调整目标		
			伤害值	得分	安全余量	伤害值	得分	安全余量	伤害值	得分	安全余量
头部	4	HIC36 (15)	170.45	4	74%	168.66	4	66.2%	174.55	4	65%
		Head 3ms	19.09	4	73%	9.14	4	87.3%	16.37	4	77%
		上肋	17.02	4	23%	9.22	4	67.0%	16.85	4	40%
		中肋	16.21	4	26%	10.02	4	64.2%	19.23	4	31%
		下肋	17.5	4	21%	9.66	4	65.5%	19.15	4	32%
腹部	4	腹部力	0.50	4	50%	-	-	-	-	-	-
		腹部压缩量上	-	-	-	8.26	4	82.4%	18.19	4	61%
		腹部压缩量下	-	-	-	8.73	4	81.4%	19.62	4	58%
骨盆	4	骨盆合力	0.44	4	85%	0.71	4	58.2%	1.38	4	19%
总分		总分:16.0		16			16		16		
后排乘员	分数	考查项	伤害值	得分	安全余量	伤害值	得分	安全余量	伤害值	得分	安全余量
头部	1	HIC15	208.78	1	58%	222.54	1	55.5%	259.86	1	48%
骨盆	1	骨盆合力	0.99	1	72%	1.12	1	68.0%	1.13	1	68%
总分		总分:2.0		2			2		2		

进而，采用 NMDB 壁障进行碰撞模拟分析。其结果如表 2 第三行所示，可见除 B 柱顶端外，其余所有的 B 柱以及车门的入侵量均不满足按照 MDB 工况设置的侧碰目标；除 B 柱顶端及中上部外，其余所有 B 柱以及车门的入侵速度均不满足按照 MDB 工况设置的侧面目标。

按照 MDB 的侧碰目标对 NMDB 工况进行车身侧面结构优化，主要包含以下几个方面：B 柱、门槛内、车门防撞梁、顶棚横梁、座椅安装横梁等方案，示意如图 7 所示。

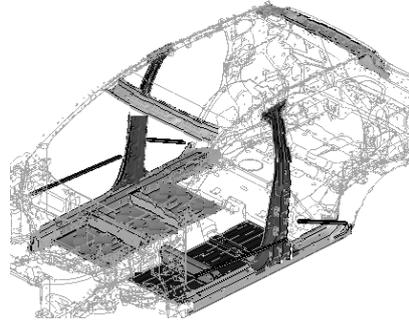


Figure 7. Schematic diagram of NMDB structure optimization
图 7. NMDB 结构优化方案示意

经过优化, NMDB 结构响应如表 2 中第四行所示, 可以满足 MDB 的侧碰目标。同时, 对于搭建的约束系统前排模型更换 WS50% 假人并重新定位。经约束系统匹配分析优化, 其结果如表 3 结果部分第二列所示。

可见前排 WS50% 假人的所有伤害值均达到满分要求, 同时风险余量均超过 50%, 可以说明按照 MDB 侧碰结构目标进行 NMDB 侧面结构开发是有明显的过设计现象的。

从后排结果来看, 由于假人没有变更, 其 NMDB 结构响应与 MDB 结构响应接近时, 伤害值结果也接近。(考虑对比性, 没有引入后排假人的胸部和腹部结果)。

面对侧面结构过设计的现象, 根据前后排不同的假人伤害评价规则, 调整结构开发的设计目标。基本保证后排的开发目标不变, 适度降低前排的结构开发目标。同时, 经约束系统再次优化匹配。约束系统分析结果如表 3 结果部分第三列所示。在满足乘员保护满分的前提下, 保证骨盆风险余量接近 20%, 胸部风险余量为 30% 左右。

5 结论

本文对 2015 版 C-NCAP 侧碰工况及 2018 版 C-NCAP 侧碰工况进行了对比分析, 并比较了某 A 级轿车及 SUV 对两种工况的结构响应特点, 以 SUV 车型为例针对 2018 版 C-NCAP 侧碰工况建立了约束系统分析模型, 探讨分析了新型壁障碰撞下结构边界对新型假人伤害的影响, 得到结论如下:

1) 2018 版 C-NCAP 侧碰工况对车身结构耐撞性的要求要明显高于 MDB 工况, 同款车型 NMDB 碰撞侧面结构耐撞性能明显劣于 MDB 工况。

2) WS50% 假人的伤害评价机理与 ESII 假人明显不同, 同样的侧面结构耐撞性能下, 经约束系统优化匹配的前提下, WS50% 假人较 ESII 假人更容易得分。

3) 若采用 2015 版 C-NCAP 规则下面向侧面 MDB 工况的结构耐撞性指标来进行 2018 版 C-NCAP 侧碰 NMDB 工况的结构开发。将会发生明显的过设计情况, 从假人伤害角度来说其过设计量约为 30%。

参考文献(References)

- [1] 张芳芳. 基于 B 柱的汽车侧面碰撞特性及乘员保护措施的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [2] 叶文涛. 轿车车体侧面抗撞性影响因素及评价方法的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- [3] 王祥. 汽车侧面碰撞安全性设计与优化[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- [4] 游国忠, 陈晓东, 程勇. 轿车 B 柱的优化及对侧面碰撞安全性的影响[J]. 汽车工程, 2006, 11: 972-975.
- [5] 张学荣, 苏清祖. 侧面碰撞乘员损伤影响因素分析[J]. 汽车工程, 2008, (02): 146-150.
- [6] carhs 官方网站. www.carhs.de/en/. 2016.
- [7] 中国汽车技术研究中心. C-NCAP 管理规则 (2015 版) [M]. 天津: 中国汽车技术研究中心, 2015.