

C-IASI

中国保险汽车安全指数规程

编号: CIASI-SM. OS. MOR-CO

第 2 部分: 车内乘员安全指数

正面 50%偏置碰撞评价规程

Part 2: Vehicle Occupant Safety Index

Moderate Overlap Frontal Crash Rating Protocol

(2023 版)

中国汽车工程研究院股份有限公司
中保研汽车技术研究院有限公司

发布

目 次

前 言	IIII
1 简介	1
2 约束系统和假人运动等级评定	1
2.1 前排乘员约束系统和假人运动等级评定	1
2.1.1 头颈部保护	1
2.1.2 胸腹部保护	2
2.1.3 膝部及骨盆保护	2
2.1.4 腿部及脚部保护	3
2.1.5 乘员防护和其它	3
3 假人伤害等级评定	5
3.1 前排驾驶员伤害等级评定	5
3.1.1 头部和颈部	6
3.1.2 胸部和腹部	6
3.1.3 大腿和骨盆	7
3.1.4 小腿和脚部	8
3.2 前排乘员伤害等级评定	8
3.2.1 头部和颈部	9
3.2.2 胸部	11
3.2.3 大腿和髋部	11
3.2.4 小腿和脚部	12
3.3 后排乘员伤害等级评定（监测）	13
3.3.1 头部	14
3.3.2 上颈部	14
3.3.3 胸部	14
4 车辆结构及兼容性等级评定	14
4.1 车辆结构等级评定	14
4.1.1 侵入量测量值评定	14
4.1.2 定性观察车辆结构等级	15

4.2	车辆兼容性评定	15
4.2.1	壁障蜂窝铝变形量标准差 (SD)	16
4.2.2	台车乘员载荷准则 (OLC)	16
4.2.3	壁障侵入深度	17
4.3	车辆结构及兼容性等级评定	17
4.4	燃料和高压系统完整性	18
5	总体评价	19

CIASI

前 言

在保险行业车型风险研究的基础上，为进一步提升我国汽车产品的安全属性，满足消费者多样化的出行需求，引导汽车产品更好地服务于消费者并创造多元开放的汽车文化，在中国保险行业协会的指导下，中保研汽车技术研究院有限公司和中国汽车工程研究院股份有限公司，充分研究并借鉴国际先进经验，结合中国道路交通安全状况和汽车市场现状，经过多轮论证，形成了中国保险汽车安全指数（简称C-IASI）测试评价体系。

中国保险汽车安全指数（C-IASI）从消费者立场出发，秉承“服务社会，促进安全”的理念，坚持“零伤亡”愿景，从汽车保险视角，围绕交通事故中“车损”和“人伤”，开展耐撞性与维修经济性、车内乘员安全、车外行人安全和车辆辅助安全四项指数的测试和评价，最终评价结果以直观的等级：优秀+（G+）、优秀（G）、良好（A）、一般（M）和较差（P）的形式对外发布，为车险保费厘定、汽车安全研发、消费者购车用车提供数据参考，积极助推车辆安全技术成果与汽车保险的融汇应用，有效促进中国汽车安全水平整体提高和商业车险健康持续发展，更加系统全面地为消费者、汽车行业及保险行业服务。

正面 50%偏置碰撞评价规程为车内乘员安全指数新增的一个评价规程，其不仅考察车辆对自身的安全防护，还考察车辆对方乘员的保护性能（即碰撞兼容性能）。正面 50%偏置碰撞评价分为约束系统和假人运动、假人伤害、车辆结构及兼容性三个方面。

中国保险行业协会、中保研汽车技术研究院有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司三方保留对中国保险汽车安全指数（C-IASI）的全部权利。未经三方同时授权，除企业自行进行技术开发的试验外，不允许其他机构使用中国保险汽车安全指数（C-IASI）规程对汽车产品进行公开性或商业目的的试验或评价。随着中国道路交通安全、汽车保险以及车辆安全技术水平的不断发展和相关标准的不断更新，三方同时保留对试验项目和评价方法进行变更升级的权利。

正面 50%偏置碰撞评价规程

1 简介

正面 50%偏置碰撞评价分为约束系统和假人运动、假人伤害、车辆结构及兼容性三个方面。本规程对评价方法进行了详细描述。

2 约束系统和假人运动等级评定

2.1 前排乘员约束系统和假人运动等级评定

2.1.1 头颈部保护

2.1.1.1 正面安全气囊不稳定接触（1 个缺陷，见图 1）是指假人向前移动并接触到展开的安全气囊，但假人头部重心处于气囊外侧边缘之外，以及其它可能影响气囊对头部保护性能的情况，例如方向盘脱离转向管柱、头部与正面安全气囊发生“触底”等。

在假人头部与气囊深度接触过程中，若头部加速度曲线存在一个或几个明显的上升沿，对引起明显局部峰值的起始点和终点进行线性平滑处理，如果局部峰值比平滑值高出 5 g 以上，且持续时间大于 3 ms，则认为头部与正面安全气囊发生“触底”。

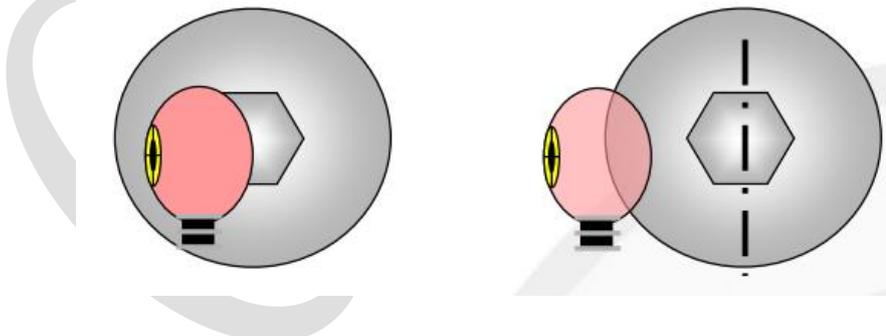


图 1 正面安全气囊不稳定接触（右图）示意

2.1.1.2 正面安全气囊危险展开（1 个缺陷，见图 2）是指气囊展开过程中，在头部评估区域，水平或垂直方向上扫过假人面部，对假人面部或眼睛产生潜在风险，或其展开速率大于 90 m/s。头部评估区域为试验状态下假人面部前方 150mm 处垂直于车辆纵向平面的后向区域。



图 2 正面安全气囊危险展开示例

2.1.1.3 方向盘移动过度（1个缺陷）是指方向盘中心横向、纵向或垂向移动超过 10cm。

2.1.1.4 头部发生两次或多次硬接触（1个缺陷）是指出现两次及以上导致头部合成加速度超过 70g 的硬接触。

如出现一次头部合成加速度超过 70g 的硬接触，则头部和颈部伤害评定等级降低一级，但在约束系统和假人运动评价部分不计缺陷。

2.1.1.5 若正面安全气囊未展开或未及时展开，则约束系统和假人运动等级判定为较差。

2.1.2 胸腹部保护

2.1.2.1 方向盘与胸部发生明显接触（1个缺陷），是指方向盘明显直接加载于假人胸部。

2.1.2.2 肩带负载力过大（2个缺陷），是指肩带力峰值（CFC60 滤波）超出 6kN。

2.1.3 膝部及骨盆保护

2.1.3.1 膝部评估区域内存在集中载荷风险（1个缺陷），是指在膝部评估区域内存在可能会引起大腿压缩力或膝部滑移量异常增大的部件，诸如点火开关、调节按钮、手套箱锁扣及结构安装支架等硬质部件。MPDB 碰撞试验中，若车辆出现以下情况之一，则此缺陷无法豁免：

- a) 驾驶员或前排乘员大腿力载荷 > 3.8kN；
- b) 正面气囊未展开或未及时展开；
- c) 脚踏位置撕裂；
- d) 乘员舱结构完整性受到破坏。

若在集中载荷风险位置通过 knee mapping 试验的相关验证，证明其风险较小，或存在厚度 10mm 以上连续的软质泡沫包裹，则此缺陷可以豁免。

膝部评估区域定义为：以试验后假人左、右膝碰撞痕迹的最上沿为基准，分别向上和向下 50mm，向内 20mm 的下仪表覆盖范围区域。

2.1.3.2 假人发生下潜（2个缺陷），是指假人在持续 1ms 时间范围内，若两个髌骨力中的任何一个减小速率发生突增，且通过高速摄影视频发现假人存在明显下潜现象进行确认。

2.1.4 腿部及脚部保护

2.1.4.1 脚踏位置撕裂（1个缺陷），是指由于焊点失效，造成脚踏空间位置撕裂，导致歇脚区域脚部空间不稳定、防火墙受到严重破坏、脚部接触到产生锐边的钣金等。

2.1.4.2 踏板位移量过大（1个缺陷），是指踏板向后位移量大于 15cm 或向上位移量大于 8cm。如果踏板有碰撞脱落设计，且在碰撞过程中完全从其固定点脱落，并未产生明显的移动阻力，则此缺陷不计。

2.1.5 乘员防护和其它

2.1.5.1 乘员有烧伤风险（1个缺陷），是指安全气囊起爆产生的热气导致假人身体部件或衣物熔化或燃烧。

2.1.5.2 乘员舱结构完整性受到破坏（1个缺陷），是指车辆结构在碰撞后表现出以下情况之一：

- 1) 门锁或铰链失效，除非车门被门框足够牢固的保持；
- 2) 车门发生弯曲或其它形式的失效，导致前后向抗压强度严重失效；
- 3) 仪表板骨架与 A 柱连接出现分离或接近分离；
- 4) 车门门框强度严重丧失。

2.1.5.3 安全带无法解锁或解锁力过大（1个缺陷），是指碰撞后假人从约束系统中解脱时，安全带无法解锁或安全带锁扣解锁力大于 60N。

2.1.5.4 座椅不稳定（1个缺陷），是指座椅调节和与乘员位置有关的部分因车辆底板或座椅升降结构变形而受到影响（如座椅任意两个固定点之间的相对垂直位移 $\geq 6\text{cm}$ ，或其它一些变形造成座垫总成向外和/或向前移动）。但是只有当座垫骨架向外和/或向前移动，对假人运动造成负面影响，直接导致假人向前或向外移动过度时，才可以判定该项缺陷。

2.1.5.5 座椅固定失效（约束系统和假人运动等级判定为较差），是指座椅固定点断裂或滑轨发生明显位移。

2.1.5.6 若车门打开或分离，约束系统和假人运动等级判定为较差。

表1 约束系统和假人运动缺陷（驾驶员）

头颈部保护	
正面安全气囊不稳定接触	1 个缺陷
正面安全气囊危险展开	1 个缺陷

表1 约束系统和假人运动缺陷（驾驶员）（续）

方向盘位移过度（横向、纵向或垂向>10cm）	1 个缺陷
头部发生两次或多次硬接触	1 个缺陷
正面安全气囊未展开或未及时展开	约束系统和假人运动等级判定为较差
胸腹部保护	
方向盘与胸部发生明显接触	1 个缺陷
肩带负载力过大	2 个缺陷
膝部及骨盆保护	
膝部评估区域内存在集中载荷风险	1 个缺陷
假人发生下潜	2 个缺陷
腿部及脚部保护	
脚踏位置撕裂	1 个缺陷
踏板位移量过大	1 个缺陷
乘员防护和其它	
乘员有烧伤风险	1 个缺陷
乘员舱结构完整性受到破坏	1 个缺陷
安全带无法解锁或解锁力过大	1 个缺陷
座椅不稳定	1 个缺陷
座椅固定失效	约束系统和假人运动等级判定为较差
车门打开或分离	约束系统和假人运动等级判定为较差
约束系统和假人运动等级评定	
优秀	0~1 个缺陷
良好	2~3 个缺陷
一般	4~5 个缺陷
较差	6+个缺陷

表2 约束系统和假人运动缺陷（前排乘员）

头颈部保护	
正面安全气囊不稳定接触	1 个缺陷
正面安全气囊危险展开	1 个缺陷
头部发生两次或多次硬接触	1 个缺陷
正面安全气囊未展开或未及时展开	约束系统和假人运动等级判定为较差
胸腹部保护	
肩带负载力过大	2 个缺陷
膝部及骨盆保护	
膝部评估区域内存在集中载荷风险	1 个缺陷
腿部及脚部保护	
脚踏位置撕裂	1 个缺陷

表2 约束系统和假人运动缺陷（前排乘员）（续）

乘员防护和其它	
乘员有烧伤风险	1 个缺陷
乘员舱结构完整性受到破坏	1 个缺陷
安全带无法解锁或解锁力过大	1 个缺陷
座椅不稳定	1 个缺陷
座椅固定失效	约束系统和假人运动等级判定为较差
车门打开或分离	约束系统和假人运动等级判定为较差
约束系统和假人运动等级评定	
优秀	0~1 个缺陷
良好	2~3 个缺陷
一般	4~5 个缺陷
较差	6+个缺陷

3 假人伤害等级评定

3.1 前排驾驶员伤害等级评定

用 THOR 50th 假人测得的伤害值评定假人伤害等级。假人测量参数和滤波等级见表 3。

表 3 假人测量参数和滤波等级

测量部位	测量参数	滤波等级
头部	加速度 A_x 、 A_y 、 A_z	CFC 1000
	角速度 ω_x 、 ω_y 、 ω_z	CFC 60
颈部	力 F_x 、 F_y 、 F_z	CFC 1000
	力矩 M_y	CFC 600
胸部	压缩变形量 R_{max}	CFC 180
腹部	压缩变形量 D_{max}	CFC 180
大腿和髋部	大腿压缩力（左/右） F_z	CFC 600
	骨盆合力（左/右） F_{AR}	CFC 600
小腿	膝关节滑动位移（左/右） D	CFC 180
	小腿上胫骨力及力矩（左/右） F_z 、 M_x 、 M_y	CFC 600
	小腿下胫骨力及力矩（左/右） F_z 、 M_x 、 M_y	CFC 600
脚部	加速度（左/右） A_x 、 A_z	CFC 180

假人伤害等级包含头部和颈部、胸部和腹部、大腿和髋部、小腿和脚部四个部分。

每个部分都以其相应的评价指标进行伤害等级评定，结果分为优秀、良好、一般和较差。身体各部位评价指标的最差结果作为该部分整体评价等级。大腿/骨盆、小腿/脚部是以左侧或右侧判定的最低评价等级进行等级评定。表 4 表明了优秀、良好、一般和较差四个等级的评价指标限值范围。

3.1.1 头部和颈部

头部评价指标：HIC₁₅、HIC₃₆（该值为参考值，不做评价）、累积 3ms 合成加速度（该值为参考值，不做评价）以及头部最大合成加速度。

如果头部和车辆硬接触而造成头部合成加速度峰值超过 70g，则头颈部伤害评定等级降低一级（见图 3）。

颈部评价指标：剪切力F_x、轴向拉伸力F_z、伸张弯矩M_{Ocy}。

头部计算：

$$HIC = (t_2 - t_1) \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} A_R \cdot dt}{(t_2 - t_1)} \right]^{2.5}$$

$$A_R = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

式中：A_x、A_y、A_z为头部三个方向加速度值，单位为 g，

$$t_2 - t_1 \leq 15\text{ms}。$$

颈部计算：

$$M_{Ocy} = M_y$$

式中：M_y为颈部伸张/压缩弯矩，单位为 Nm。

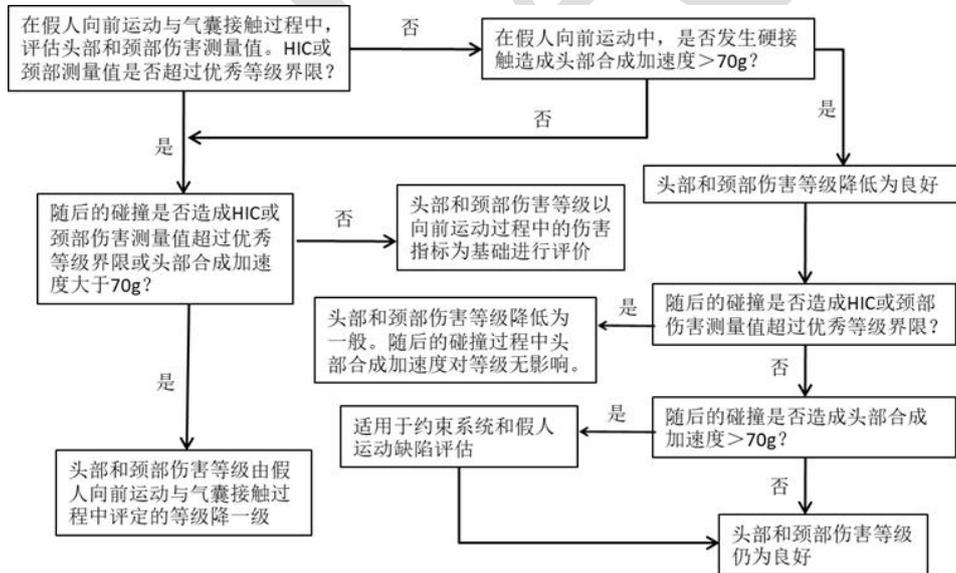


图 3 多次碰撞头部和颈部伤害评级流程图

3.1.2 胸部和腹部

胸部评价指标：合成变形量峰值R_{max}。

R_{max}计算：

$$R_{max} = \max(UL_{max}, UR_{max}, LL_{max}, LR_{max})$$

$$[U/L | R/L]_{max} = \max(\sqrt{[L/R]X(t)^2_{[U/L]s} + [L/R]Y(t)^2_{[U/L]s} + [L/R]Z(t)^2_{[U/L]s}})$$

式中： $[U/L | R/L]_{max}$ 为左上胸、左下胸、右上胸、右下胸合成变形量的峰值，单位为mm；

$[L/R][X(t)/Y(t)/Z(t)]_{[U/L]s}$ 为左上胸、左下胸、右上胸、右下胸在各自局部坐标系下沿X、Y、Z三个轴向方向上变形量的时间历程曲线，单位为mm。

腹部评价指标：腹部 X 向变形量峰值 D_{max} 。

3.1.3 大腿和骨盆

大腿和骨盆评价指标：大腿压缩力 F_Z ，髌白合成力 F_{AR} 。

对于大腿压缩力 F_Z ，是通过累积曲线来进行评价的。根据大腿压缩力时间-历程曲线，可得到大腿压缩力累积曲线，然后根据图 4 所示的累积曲线进行评价等级的确定。

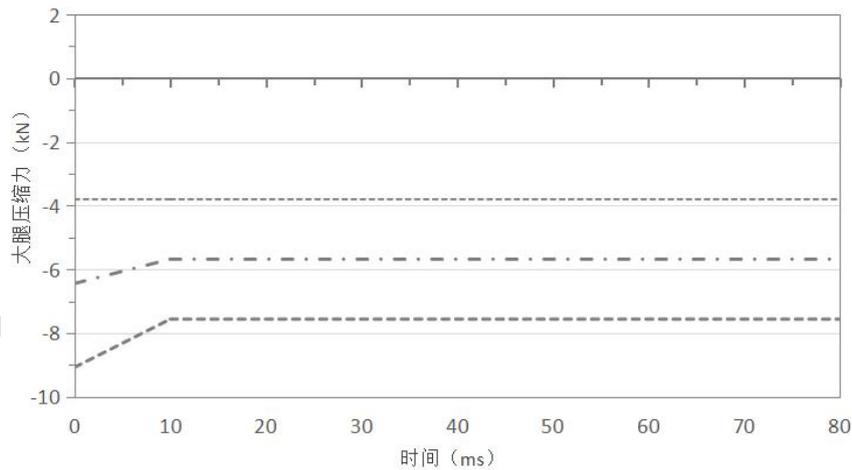


图 4 大腿压缩力累积曲线

髌白合成力 F_{AR} 的计算：

$$[F(t)_{[L/R]AR}]_{max} = \max(\sqrt{F(t)^2_{[L/R]x} + F(t)^2_{[L/R]y} + F(t)^2_{[L/R]z}})$$

式中： $[F(t)_{[L/R]AR}]_{max}$ 为压缩状态下（左侧 $F_x > 0$ 、右侧 $F_x < 0$ ），左、右侧髌白合成力的峰值，单位为 kN；

$F(t)_{[L/R]x}$ 、 $F(t)_{[L/R]y}$ 、 $F(t)_{[L/R]z}$ 为左、右侧髌白力传感器在X、Y、Z三个方向上的时间历程曲线，单位为 kN。

3.1.4 小腿和脚部

小腿评价指标：上胫骨和下胫骨轴向压缩力 F_z 、膝关节滑动位移 D 、胫骨指标 TI 。

胫骨指数 TI 是使用调整后的 M_y 弯矩来计算的。

$$M_{Y\text{ 上部调整}} = M_{Y\text{ 上部测量值}} - \left[(F_{Z\text{ 胫骨}}) (0.02832) \right]$$

$$M_{Y\text{ 下部调整}} = M_{Y\text{ 下部测量值}} + \left[(F_{Z\text{ 胫骨}}) (0.006398) \right]$$

注：弯矩单位为 Nm，力单位为 N。

TI 计算：

$$M_R = \sqrt{(M_X)^2 + (M_{Y\text{调整}})^2}$$

$$TI = |M_R / (M_C)_R| + |F_Z / (F_C)_Z|$$

式中： M_X 为绕 X 轴的弯矩、 $M_{Y\text{调整}}$ 为调整后的绕 Y 轴的弯矩、 $(M_C)_R$ 为临界弯矩、 F_Z 为 Z 向的轴向压缩力， $(F_C)_Z$ 为 Z 向临界压缩力。

脚部评价指标：脚部最大合成加速度。

表 4 假人伤害评级

身体部位	参数	优秀	良好	一般	较差
头部和颈部	HIC ₁₅	≤560	≤700	≤840	>840
	剪切力 F_X (kN)	≤1.9	≤2.5	≤3.1	>3.1
	拉伸力 F_Z (kN)	≤2.7	≤3.0	≤3.3	>3.3
	伸张弯矩 M_{ocY} (Nm)	≤42.0	≤49.5	≤57.0	>57.0
胸部和腹部	胸部压缩变形量 R_{max} (mm)	≤42	≤50	≤62	>62
	腹部压缩变形量 D_{max} (mm)	≤88			>88
大腿和骨盆	大腿压缩力 F_Z (kN)	≤3.8@0ms ≤3.8@10ms	≤6.44@0ms ≤5.68@10ms	≤9.07@0ms ≤7.56@10ms	>9.07@0ms >7.56@10ms
	髌白压缩力 F_{AR} (kN)	≤3.28	≤3.69	≤4.10	>4.10
小腿和脚部	膝关节滑动位移 D (mm)	≤12	≤15	≤18	>18
	胫骨指标（上部、下部） TI	≤0.80	≤1.00	≤1.20	>1.20
	胫骨轴向力 F_Z (kN)	≤4.0	≤6.0	≤8.0	>8.0
	脚部最大合成加速度 A (g)	≤150	≤200	≤260	>260

3.2 前排乘员伤害等级评定

用 Hybrid III 50th 假人测得的伤害值评定假人伤害等级。假人测量参数和滤波等级见表

5。

表 5 假人测量参数和滤波等级

测量部位	测量参数	滤波等级
头部	加速度 A_x 、 A_y 、 A_z	CFC 1000
	角速度 ω_x 、 ω_y 、 ω_z	CFC 60
颈部	力 F_x 、 F_y 、 F_z	CFC 1000
	力矩 M_y	CFC 600
胸部	加速度 A_x 、 A_y 、 A_z	CFC 180
	压缩变形量 D	CFC 600
大腿和髌部	大腿压缩力 (左/右) F_z	CFC 600
	膝关节滑动位移 (左/右) D	CFC 180
小腿	小腿上胫骨力及力矩 (左/右) F_z 、 M_x 、 M_y	CFC 600
	小腿下胫骨力及力矩 (左/右) F_z 、 M_x 、 M_y	CFC 600
脚部	加速度 (左/右) A_x 、 A_z	CFC 180

假人伤害等级包含头部和颈部、胸部、大腿和髌部、小腿和脚部四个部分。

每个部分都以其相应的评价指标进行伤害等级评定，结果分为优秀、良好、一般和较差。身体各部位评价指标的最差结果作为该部分整体评价等级。大腿/髌部、小腿/脚部是以左侧或右侧判定的最低评价等级进行等级评定。表7表明了优秀、良好、一般和较差四个等级的评价指标限值范围。

3.2.1 头部和颈部

头部评价指标： HIC_{15} 、 HIC_{36} （该值为参考值，不做评价）、累积 3ms 合成加速度（该值为参考值，不做评价）以及头部最大合成加速度。

如果头部和车辆硬接触而造成头部合成加速度峰值超过70g，则头部伤害评定等级降低一级（见图3）。

颈部评价指标： N_{ij} 、轴向拉伸力 F_z 、轴向压缩 F_z 、剪切力 F_x 。

如果颈部轴向拉伸力 F_z 、轴向压缩 F_z 和剪切力 F_x 的力-时间持续曲线超过了图5~图7所示的优秀等级界限，则被评为优秀的头/颈部等级降低为良好。

头部计算：

$$HIC = (t_2 - t_1) \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} A_R \cdot dt}{(t_2 - t_1)} \right]^{2.5}$$

$$A_R = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

式中： A_x 、 A_y 、 A_z 为头部三个方向加速度值，单位为 g，

$t_2-t_1 \leq 15\text{ms}$ （作为评价）， $t_2-t_1 \leq 36\text{ms}$ （作为参考）。

颈部计算：

$$N_{ij} = (F_z/F_{zc}) + (M_{OCy}/M_{yc})$$

$$M_{OCy} = M_y - (D \cdot F_x)$$

式中： F_z 为颈部轴向力，单位为 N，

F_{zc} 为颈部轴向力临界值，单位 N，

F_x 为颈部剪切力，单位为 N，

M_y 为颈部伸张/压缩弯矩，单位为 Nm，

M_{yc} 为颈部伸张/压缩弯矩临界值，单位为 Nm，

D 为颈部力传感器中心与头颈连接轴中心的距离，取值为0.01778，单位为 m。

表 6 用于 N_{ij} 计算的临界值

假人类型	F_{zc} -轴向拉伸力	F_{zc} -轴向压缩力	M_{yc} -压缩弯矩	M_{yc} -伸张弯矩
Hybrid III 50th	6806N	-6160N	310Nm	-135Nm

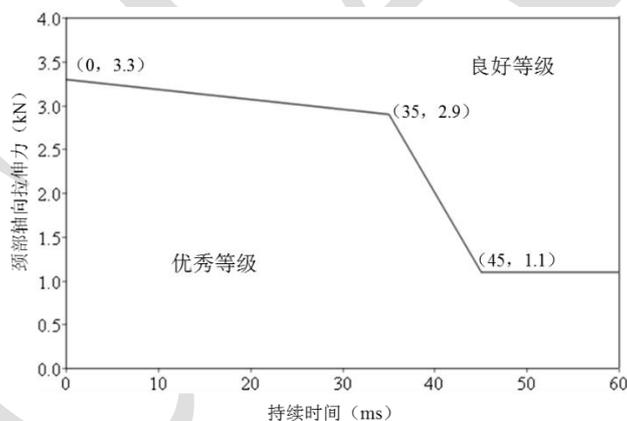


图 5 颈部拉伸力 F_z 时间持续曲线

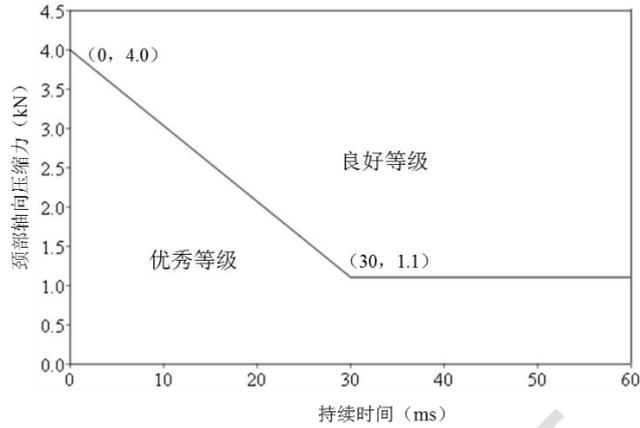


图 6 颈部压缩力 Fz 时间持续曲线

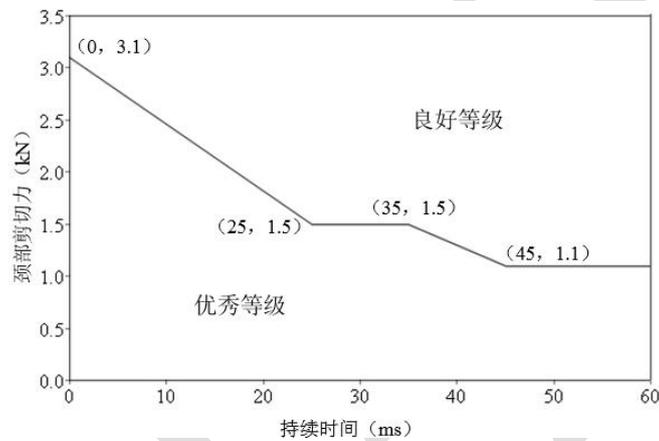


图 7 颈部剪切力 Fx 时间持续曲线

3.2.2 胸部

胸部评价指标：持续加速度 A_{3ms} 、压缩变形量 D 、压缩速率 V 、粘性指标 VC 。

VC 计算：

$$(VC)_t = 1.3V_t \times C_t$$

$$C_t = \frac{D_t}{0.229}$$

在 t 时刻的胸部压缩速率由滤波（滤波等级CFC60）后的压缩变形量计算得出，

$$V_t = \frac{8[D_{(t+1)} - D_{(t-1)}] - [D_{(t+2)} - D_{(t-2)}]}{12\delta t}$$

式中： D_t 为 t 时刻的变形量，单位为 m ； δt 为压缩变形量测量的时间间隔，单位为 s 。

3.2.3 大腿和髌部

大腿和髌部评价指标：膝盖-大腿-髌部伤害风险 KTH ，大腿压缩力 Fz （该值为参考值，不做评价）。

膝盖-大腿-髌部伤害风险 KTH ，是通过结合每侧大腿压缩力和冲量值（冲量值是通过从

大腿压缩开始到峰值力后的4050N时这一时段内的大腿力积分得到，如图8所示），然后根据图9确定。

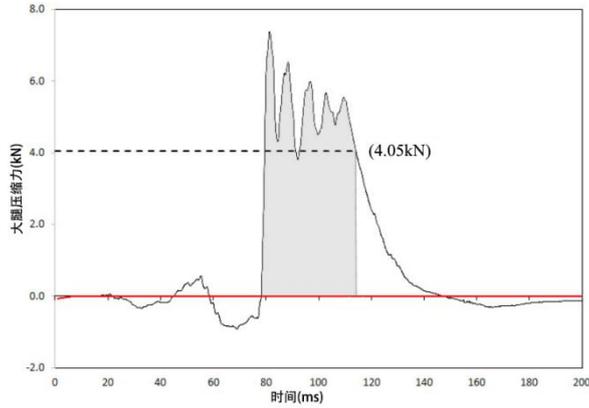


图 8 Hybrid III 50th 假人大腿冲量

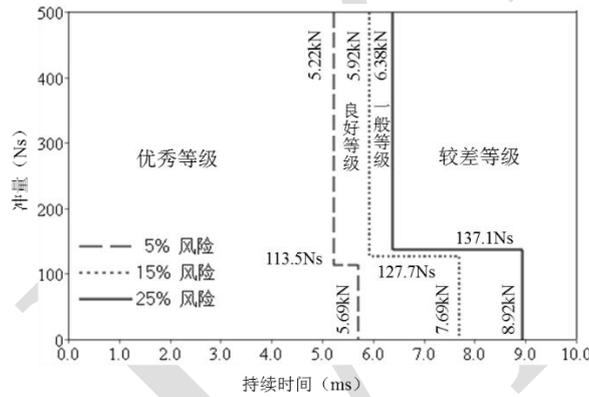


图 9 膝盖-大腿-腕部伤害风险 KTH

3.2.4 小腿和脚部

小腿评价指标：上胫骨和下胫骨轴向压缩力 F_z 、膝关节滑动位移 D 、胫骨指标 TI 。

胫骨指数 TI 是使用调整后的 M_y 弯矩来计算的。

$$M_{Y\text{上部调整}} = M_{Y\text{上部测量值}} - [(F_{Z\text{胫骨}})(0.02832)]$$

$$M_{Y\text{下部调整}} = M_{Y\text{下部测量值}} + [(F_{Z\text{胫骨}})(0.006398)]$$

注：弯矩单位为 Nm，力单位为 N。

TI 计算：

$$M_R = \sqrt{(M_X)^2 + (M_{Y\text{调整}})^2}$$

$$TI = |M_R / (M_C)_R| + |F_Z / (F_C)_z|$$

式中： M_X 为绕X轴的弯矩、 $M_{Y\text{调整}}$ 为调整后的绕Y轴的弯矩、 $(M_C)_R$ 为临界弯矩、 F_Z 为Z

向的轴向压缩力， $(F_C)_z$ 为Z向临界压缩力。

脚部评价指标：脚部最大合成加速度。

表 7 假人伤害评级

身体部位	参数	优秀	良好	一般	较差
头部和颈部	HIC ₁₅	≤560	≤700	≤840	>840
	N _{ij}	≤0.80	≤1.00	≤1.20	>1.20
	拉伸力F _Z (kN)*	≤2.6	≤3.3	≤4.0	>4.0
	压缩力F _Z (kN)*	≤3.2	≤4.0	≤4.8	>4.8
胸部	加速度A _{3ms} (g)	≤60	≤75	≤90	>90
	压缩变形量 D(mm)	≤50	≤60	≤75	>75
	压缩速率 V(m/s)	≤6.6	≤8.2	≤9.8	>9.8
	粘性指标 VC(m/s)	≤0.8	≤1.0	≤1.2	>1.2
大腿和髌部	膝盖-大腿-髌部伤害风险 KTH	≤5%	≤15%	≤25%	>25%
小腿和脚部	膝关节滑动位移 D(mm)	≤12	≤15	≤18	>18
	胫骨指标（上部、下部）TI	≤0.80	≤1.00	≤1.20	>1.20
	胫骨轴向力F _Z (kN)	≤4.0	≤6.0	≤8.0	>8.0
	脚部最大合成加速度 A(g)	≤150	≤200	≤260	>260

*颈部轴向力的力-时间持续曲线见图 5、图 6 所示。

3.3 后排乘员伤害等级评定（监测）

用 Q6 和 Q10 儿童假人测得的伤害值评定假人伤害等级。假人测量参数和滤波等级如表 8 所示。

表 8 Q6/Q10 假人测量参数和滤波等级

测量部位	测量参数	滤波等级
头部	加速度 A _x 、A _y 、A _z	CFC 1000
	角速度ω _x 、ω _y 、ω _z	CFC 60
上颈部	力 F _x 、F _y 、F _z	CFC 1000
	力矩 M _y	CFC 600
胸部	加速度 A _x 、A _y 、A _z	CFC 180
	压缩变形量 D	CFC 180

假人伤害等级包含头部、上颈部和胸部三个部分。

每个部分都以其相应的评价指标进行伤害等级评定，结果分为优秀、良好、一般和较差。

身体各部位评价指标的最差结果作为该部分整体评价等级。

3.3.1 头部

头部评价指标： HIC_{15} 、累积3ms 合成加速度。

头部HIC值计算同Hybrid III 50th假人。

3.3.2 上颈部

上颈部评价指标：轴向拉伸力 F_z 、伸张弯矩 M_y 。

3.3.3 胸部

胸部评价指标：压缩变形量 D 、累积3ms合成加速度。

4 车辆结构及兼容性等级评定

4.1 车辆结构等级评定

4.1.1 侵入量测量值评定

车辆结构等级用侵入量测量值进行评定（见图10），并且根据乘员舱结构完整性的定性观察结果对等级进行修正（降级）。

用于车辆结构等级的测量点均在驾驶员侧，主要包含：左侧搁脚板、左侧足板、中间足板、右侧足板、制动踏板、左下仪表板、右下仪表板及A-B柱间的侵入量。

将左侧搁脚板、左侧足板、中间足板、右侧足板、制动踏板、左下仪表板、右下仪表板、A-B柱间的侵入量的X-Y-Z合成位移与等级评定参考值（见图10）进行比较。对所有的测量点，若在X轴方向上向前移动（远离乘员座椅），那么仅使用Y-Z合成位移与等级评定参考值进行比较。A-B柱间的侵入量、左下仪表板、右下仪表板仅用X向的位移进行评价。

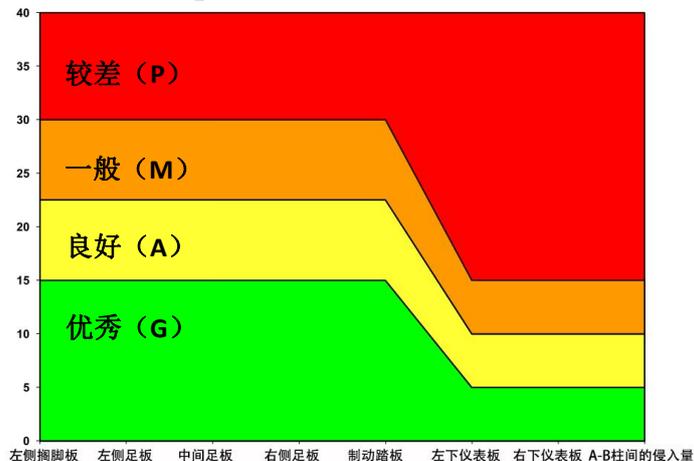


图 10 乘员舱侵入量等级评定

若侵入量测量值落入不同的评级范围内，则结构等级为测量值位于区域最多的一级，但结构等级不得比最差测量值所在等级高出超过一级；若测量结果一半在同一个等级区域，另一半在另一个等级区域，则结构等级为较低区域等级。侵入量位于两个不同评价等级边界上时视为较高的等级。

车辆乘员舱的结构测量点，将根据评价指标阈值进行评级，具体评价要求详见表 9：

表 9 车辆结构评价

评价对象	评价指标	优秀	良好	一般	较差
左侧搁脚板	合成位移 (cm)	≤15	≤22.5	≤30	>30
左侧足板					
中间足板					
右侧足板					
制动踏板					
左下仪表板	后向侵入 (cm)	≤5	≤10	≤15	>15
右下仪表板					
A-B 柱间的侵入					
车辆结构等级对应的缺陷数		0	1	2	4

4.1.2 定性观察车辆结构等级

若出现假人脚部被卡且需使用工具才能将假人脚部取出、铰链柱完全撕裂以及前围等大面积撕裂（如撕裂长度大于 20cm，宽度大于 5cm）等情况时，车辆结构等级应在侵入量测量值评定等级上降一级。

4.2 车辆兼容性评定

根据 MPDB 台车前端壁障蜂窝铝变形量标准偏差 (SD)、台车乘员载荷准则 (OLC) 和壁障侵入深度（是否“击穿”）三个指标来评价被测车辆的兼容性，各评价指标等级对应的限值如表10所示。

表 10 车辆兼容性评价

评价对象	评价指标	优秀	良好	一般	较差
壁障蜂窝铝	变形量标准偏差 SD (mm)	≤80	≤115	≤150	>150
	侵入深度大于 630mm 的连续单元数（每一单元大小为 20mm x 20mm）	≤4			>4
壁障台车	台车 OLC(g)	≤34	≤38	≤42	>42

4.2.1 壁障蜂窝铝变形量标准差 (SD)

4.2.1.1 壁障评估区域

壁障蜂窝铝变形的评估区域为矩形 (如图11所示), 其上边界位于地面以上650mm位置处, 下边界位于地面以上250mm处 (距离壁障下边缘100mm); 左边界与试验车辆宽度相关, 距离MPDB表面右边缘的距离为车宽的45%, 右边界距离MPDB表面右侧边缘200mm。

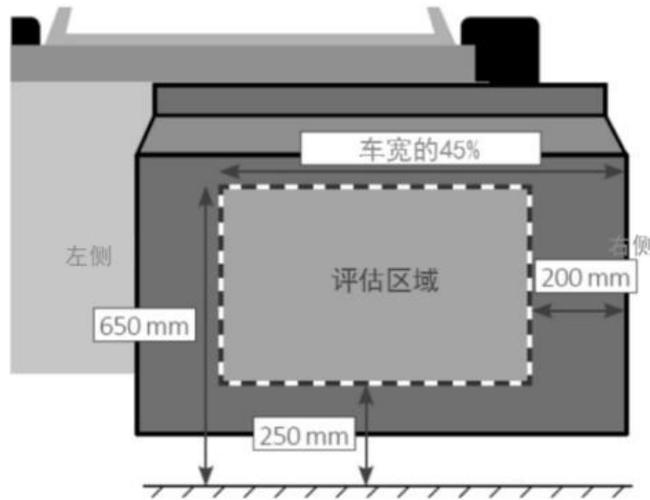


图 11 壁障蜂窝铝变形评估区域示意

4.2.1.2 壁障扫描数据

通过三坐标测量仪扫描碰撞后的变形壁障蜂窝铝, 生成最大单元尺寸不大于10mm的网格。以试验前在壁障表面上创建的20mm为边长的等距网格点 (共1400点), 沿着碰撞方向将这些网格点投影到变形壁障表面, 计算评估区域内每个网格点的侵入量。

4.2.1.3 变形量标准差计算

壁障蜂窝铝变形量标准差 (SD) 用来评价评估区域内, 样本单元偏离平均值的大小, 即蜂窝铝变形的均匀程度。MPDB壁障蜂窝铝变形量标准差按照下式进行计算:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

式中: SD 为壁障蜂窝铝变形量标准偏差, 单位为 mm; X_n 为样本点侵入量, 单位为 mm; \bar{x} 为平均侵入深度, 单位为 mm。

4.2.2 台车乘员载荷准则 (OLC)

4.2.2.1 OLC 的定义

假设移动的MPDB台车上有一佩戴约束系统的虚拟假人, 碰撞开始时, MPDB台车上虚

拟假人先自由向前移动65mm时对应时刻为 t_1 ； t_1 时刻后虚拟假人开始在约束系统作用下继续向前移动235 mm，此时对应时刻为 t_2 。假设 t_1 至 t_2 时间内，虚拟假人所受约束系统作用而向前运动的减速度是恒定的，则该恒定减速度值定义为OLC（转换为单位g），即：

$$\int_{t=0}^{t=t_1} V_0 dt - \int_{t=0}^{t=t_1} V(t) dt = 0.065$$

$$\int_{t=t_1}^{t=t_2} (V_0 - OLC_{SI} * (t - t_1)) dt - \int_{t=t_1}^{t=t_2} V(t) dt = 0.235$$

式中： V_0 为台车初始速度，单位为 m/s； $V(t)$ 为台车t时刻的速度，单位为 m/s； OLC_{SI} 为碰撞过程中虚拟假人 t_1 至 t_2 时刻速度曲线斜率，单位为 m/s^2 。

4.2.2.2 OLC 的计算

通过MPDB壁障质心处X向的加速度曲线 A_x ，积分获得MPDB壁障的速度曲线 V_t （CFC180滤波），即：

$$V(t) = \int A_x(t) dt + V_0$$

再根据以下公式，进行OLC的计算。

$$V(t) = V_0 - OLC_{SI} * (t - t_1)$$

$$V(t_2) = V_0 - OLC_{SI} * (t_2 - t_1)$$

$$OLC = OLC_{SI} / 9.81$$

式中： V_0 为台车初始速度，单位为 m/s； $V(t)$ 为台车t时刻的速度，单位为 m/s；

t_1 为碰撞过程中虚拟假人相对台车运动65mm的时刻，单位为 s；

t_2 为碰撞过程中虚拟假人相对台车再运动235mm的时刻，单位为 s；

OLC_{SI} 为碰撞过程中虚拟假人 t_1 至 t_2 时刻速度曲线斜率，单位为 m/s^2 ；

OLC 为台车乘员载荷准则指标，单位为 g。

4.2.3 壁障侵入深度

在如图11所示的壁障蜂窝铝变形评估区域内，若壁障蜂窝铝穿透深度达到630 mm的面积大于 $40mm \times 40mm$ ，即连续单元数大于4个，则定义为“击穿”。当出现“击穿”现象，则此指标评价为较差，计2个缺陷。

4.3 车辆结构及兼容性等级评定

车辆结构及兼容性等级评定按表11所规定的缺陷数进行评定。

表 11 车辆结构及兼容性评级

评价对象	评价指标	优秀	良好	一般	较差
车辆结构	测量点侵入量	0	1	2	4
壁障蜂窝铝	变形标准偏差 SD	0	1	2	4
	是否击穿 (Bottoming Out)	0			2
壁障台车	台车 OLC	0	1	2	4*
车辆结构及兼容性评级 (缺陷数)		≤1	≤3	≤5	>5

*注：对于 OLC 大于 42 的测试车辆，若 SD 评价为优秀 ($SD \leq 80$)，车辆结构及兼容性评价整体可豁免一个缺陷，测试车辆结构缺陷不在豁免范围内。

4.4 燃料和高压系统完整性

若在试验过程中出现明显的燃料泄漏或高压系统（例如，电池包破损）损坏，则车辆结构及兼容性、总体等级降级到较差。

明显的燃料泄漏是指从碰撞到车辆静止，燃料的泄漏量超过 28g；在接下来的 5min 内，燃料的泄漏量超过 142g；再紧接着的 25min 内，每分钟的泄漏量超过 28g。

高压系统必须满足 GB/T 31498-2021《电动汽车碰撞后安全要求》中电解液泄漏、可充电储能系统 (REESS) 安全要求和防触电保护要求，从而避免降级。具体要求汇总如下：

- 电解液泄漏要求

碰撞结束 30min 内，不应有电解液从 REESS 中溢出到乘员舱，不应有超过 5.0L 的电解液从 REESS 中溢出。

- REESS 安全要求

- ① 位于乘员舱内的 REESS 应保持在安装位置，REESS 部件应保持在其外壳内，并且位于乘员舱外面的任何 REESS 部分不应进入乘员舱；
- ② 碰撞结束 30min 内，REESS 不应爆炸、起火。

- 防触电保护要求

防触电保护包括电压、电能、物理防护和绝缘电阻要求等四项评价指标。每一条高压母线至少应满足四项评价指标中的一个。如果碰撞试验在车辆的 REESS 与电力系统负载主动断开的情况下进行，则车辆的电力系统负载应满足物理防护或绝缘电阻要求；REESS 和充电用高压母线应满足四项评价指标中的一个。

- ① 电压要求

根据 GB/T 31498-2021《电动汽车碰撞后安全要求》规定的程序所测得的高压母线

电压 V_b 、 V_1 和 V_2 应不大于 30V 交流或 60 V 直流。

② 电能要求

高压母线上的总电能 TE 和储存在 Y-电容器里的能量(TEy1, TEy2)均应小于 0.2J。

③ 物理防护

为防止直接接触高压带电部位，碰撞后车辆应有 IPXXB 级别的保护；为防止间接接触的触电伤害，用大于 0.2A 的电流进行测量，所有外露的可导电部件与电底盘之间的电阻应低于 0.1 Ω 。当电连接采用焊接方式时，视为符合此要求。

④ 绝缘电阻

若交流高压母线和直流高压母线是互相传导绝缘的，直流高压母线与电底盘之间的绝缘电阻应大于或等于 100 Ω/V ，交流高压母线与电底盘之间的绝缘电阻应大于或等于 500 Ω/V 。

若交流高压母线和直流高压母线是互相传导连接的，高压母线与电底盘之间的绝缘电阻应大于或等于 500 Ω/V 。如果碰撞后，所有交流高压母线的保护级别达到 IPXXB，或交流电压等于或小于 30V，则高压母线与电底盘之间的绝缘电阻应大于或等于 100 Ω/V 。

5 总体评价

总体评价根据车辆结构及兼容性、驾驶员和前排乘员头部和颈部、胸部、大腿和髋部、小腿和脚部伤害测量值以及约束系统和假人运动等按表 12 计算得到。后排乘员评价不计入车内乘员总体评价，仅作为监测项。

表 12 总体评价

评估项目	等级			
	优秀 (G)	良好 (A)	一般 (M)	较差 (P)
车辆结构及兼容性	0	2	6	10
驾驶员				
头部和颈部	0	2	10	20
胸部	0	2	10	20
大腿和髋部	0	2	6	10
小腿和脚部	0	1	2	4
约束系统和假人运动	0	2	6	10

表 12 总体评价 (续)

评估项目	等级			
	优秀 (G)	良好 (A)	一般 (M)	较差 (P)
前排乘员				
头部和颈部	0	2	10	20
胸部	0	2	10	20
大腿和髋部	0	2	6	10
小腿和脚部	0	1	2	4
约束系统和假人运动	0	2	6	10
总体等级限值	0-4	5-9	10-19	20+

注：若试验后，同一排的两个车门在不借助工具的条件下从车外均不能正常打开，则总体评价降一级。