

# 基于 OLC 的通用 1D 系统简化和研究

杨伟, 乔鑫, 鄂世国

(1. 华晨汽车工程研究院, 沈阳 110141)

**摘要:** 本文针对 MPDB 工况碰撞兼容性评价指标 OLC, 首先基于其定义给出数值求解方法, 可根据壁障台车速度曲线快速求出 OLC。然后以某小型轿车为例, 介绍如何将整车 MPDB 工况碰撞系统简化为弹簧-质量点的 1D 系统, 简化的 1D 系统可快速评估 OLC, 并揭示 OLC 与碰撞车辆质量的内在联系。最后给出合理定义 OLC 目标值的方法和优化碰撞兼容性遵循的原则。

**关键词:** MPDB, 碰撞兼容性, OLC, 简化

近年来随着汽车保有量的逐年增加, 交通事故发生的概率也大大提升, 各国纷纷出台和更新法规来指导监督汽车安全性能设计, 碰撞法规要求不断提升使得新车的自我保护性能得到显著改善, 这些法规仅仅是针对单独车辆安全性而言, 例如, 在现有的正面碰撞法规评价体系下, 不同类型、重量的车单独评价安全性能很高, 然而其对撞结果却超出人们对其安全性能的预期, 现实的车与车对撞事故显出不一样结果<sup>[1,2,6]</sup>。主要是质量小的车受到的伤害要远高于质量大的车<sup>[3,4]</sup>。这使得人们对车辆安全性要求: 不但要有良好的自我保护性能, 还要降低对其他车辆的“攻击性”, 车辆设计要同时兼顾这两点, 也就是人们常说的碰撞兼容性。

为制定能够测试车体碰撞兼容性的标准方法, 德国 ADAC<sup>[5]</sup>近二十年来做了大量的研究, 最终, 2020 版 Euro-NCAP 采纳 ADAC 机构发展和完善的 MDPB 工况<sup>[7-10]</sup>, 取代现有的 ODB 工况, MPDB 工况引入三个兼容性评价指标: 壁障变形量标准差 (SD)、壁障是否击穿和台车的乘员负载指数 (OLC)。MPDB 工况的加入必然会对车体设计思路造成很大的影响, 本文针对 OLC 这个兼容性指标, 从理论上分析其数值求解过程, 并揭示其与碰撞车辆质量的内在联系。

## 1 MPDB 试验工况简介

2020 版 Euro-NCAP 的 MPDB 工况与现行 ODB 工况相差很大, 壁障台车质量为 1400kg, 壁障台车和碰撞车辆均以 50km/h 的速度相对行驶, 并以 50%的重叠率撞击。前排假人为新开发的 THOR 假人, 副驾驶为 Hybrid III 50%男性假人, 后排为两个 Q 系列的儿童假人, 左侧为 Q6 儿童假人, 右侧为 Q10 儿童假人, 主要考察儿童约束系统对儿童的保护情况。示意图如下图 1 所示。

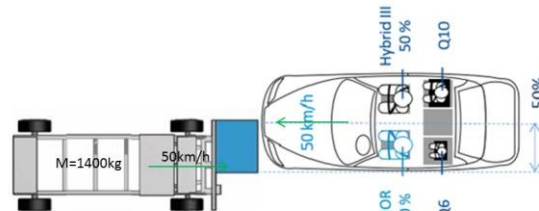


图 1 MPDB 工况示意图

## 2 OLC 数值计算方法

台车的乘员负载指数 OLC, 是指在碰撞过程中, 假设台车虚拟假人在  $0 - t_1$  时间内匀速运动 65mm、 $t_1 - t_2$  时间内匀减速运动 235mm, 匀减速运动的恒定加速度值, 即为 OLC 值。计算公式如下所示:

$$\int_{t=0}^{t=t_1} v_0 dt - \int_{t=0}^{t=t_1} v_t dt = 65 \quad (1)$$

$$\int_{t=t_1}^{t=t_2} (v_0 - OLC \times (t - t_1)) dt - \int_{t=t_2}^{t=t_1} v_t dt = 235 \quad (2)$$

$$OLC = (v_0 - v_{t_2}) / (t_2 - t_1) \quad (3)$$

其中  $v_0$  一台车和虚拟假人的初始速度,  $v_t$  一台车在任意时刻的速度,  $v_{t_2}$  一台车/虚拟假人  $t_2$  时刻的速

度,  $t_1$ —虚拟假人相对台车自由运动 65mm 的时刻,  $t_2$ —虚拟假人受约束后相对台车再向前运动 235mm 的时刻。

公式(1)通过后处理软件的曲线操作功能很容易求出  $t_1$ ; 公式(2)不能直接求解  $t_2$ , 可将其进行转化得到公式(4), 其中各积分表达式代表的含义如图 2, 这样就很容易求出  $t_2$ 。也可将相应算法用 excel 表中宏来表示, 这样只需在表格中输入壁障的台车速度  $v_t(t)$  就自动计算出  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $OLC$  等值。

$$\int_{t=t_1}^{t=t_2} v_0 dt - \int_{t=t_1}^{t=t_2} OLC \times (t - t_1) dt - \int_{t=t_2}^{t=t_1} v_t dt = 235 \quad (4)$$

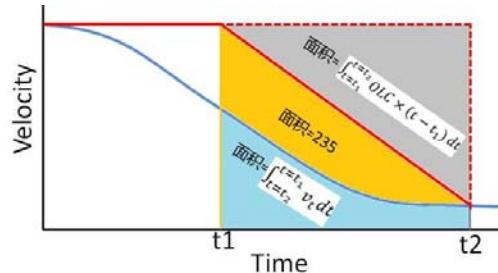


图 2 积分表达代表含义示意图

### 3 MPDB 工况一维评估系统研究

如果忽略系统的转动, MPDB 工况碰撞前后动量守恒, 若在假设系统变形均匀, 则壁障、碰撞车辆可分别用质量和非线性弹簧的一维系统描述, 如下图 3 所示。弹簧刚度取决于壁障和碰撞车辆的压溃特性。下面介绍 1D 系统模型的建立。

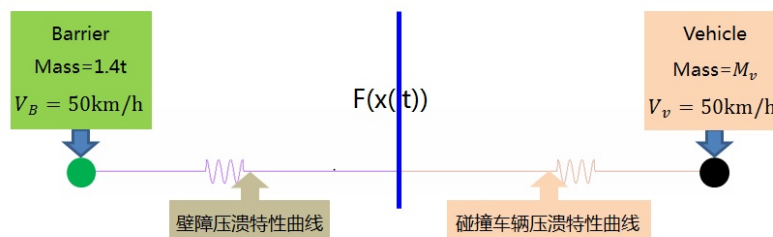


图 3 1D 系统示意图

#### 3.1 1D 系统模型的建立

以某小型轿车 MPDB 工况仿真结果为例, 介绍搭建 1D 系统模型的步骤。

- 1、提取代表壁障变形特性的力与位移曲线。为避免曲线有交叉点, 仅提取壁障最大压溃位移前的力与位移曲线, 按照同样方法提取代表碰撞车辆变形特性的力与位移曲线。
- 2、建立代表壁障、碰撞车辆的质量点, 建立代表壁障和碰撞车辆变形特性的弹簧单元, 如上图 2 所示。
- 3、对代表壁障和碰撞车辆的质量点施加初始速度 50km/h, 并施加除速度方向外的约束, 将提取出的壁障和碰撞车辆的刚度曲线赋给弹簧单元。
- 4、调试模型提交计算。注意必须计算到回弹阶段。

#### 3.2 1D 系统结果处理与对比

简化的 1D 系统满足动量守恒, 碰撞后壁障和车辆以共同速度运动, 但由于弹簧单元不能储存吸收的能量, 所以壁障和碰撞车辆达共同速度后, 此时弹簧压缩到最大位移, 下一步弹簧单元释放吸收的能量, 导致壁障和碰撞车辆反弹, 这与真实情况不符, 需要对壁障和碰撞车辆速度曲线进行处理后才能计算 OLC。

对从 1D 系统提取的壁障和碰撞车辆速度曲线进行如下处理, 删掉各自反弹之后的速度数据, 改用共同速度代替, 用修正后的速度曲线计算 OLC, 并与整车仿真计算的 OLC 进行对比。图 4 是整车仿真的壁障速度曲线、1D 系统的壁障速度原始曲线和修正后的曲线对比, 图 5 是整车仿真的壁障位移曲线、1D 系统的壁障位移原始曲线和修正后的曲线对比, 表 1 是结果数值对比。

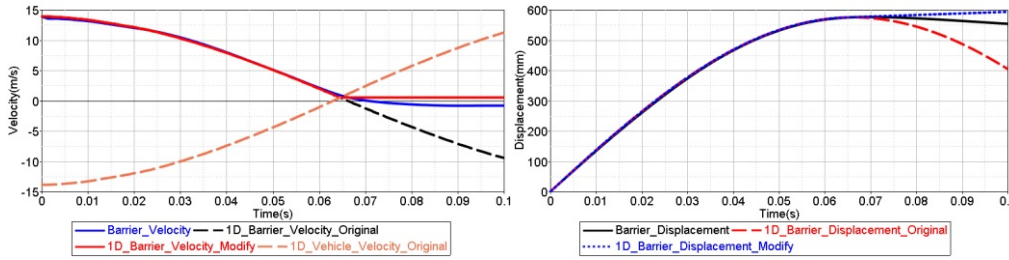


图 4 1D 壁障速度曲线对比

图 5 1D 壁障位移曲线对比

| 关键数据对比         | 整车系统  | 1D 系统 |
|----------------|-------|-------|
| $t_1$ (ms)     | 35.4  | 35.9  |
| $t_2$ (ms)     | 92.4  | 89.9  |
| $v_{t2}$ (m/s) | -0.82 | 0.52  |
| OLC(g)         | 26.30 | 25.23 |

表 1 整车和 1D 系统关键数据对比

从图 4 和 5 可看出，碰撞后 1D 系统达到共同速度之前的壁障速度曲线、位移曲线与整车系统的壁障速度、位移曲线能很好拟合，并且由表 1 可知 OLC 误差仅为-4.1%，证明 1D 系统仿真模型建立的正确性。

### 3.3 通用性 1D 系统模型搭建

前面搭建的某轿车 MPDB 工况的 1D 系统，可较高精度的反应轿车整车系统台车的 OLC 值。为使 1D 系统通用性更强，下面研究搭建通用 MPDB 工况的 1D 系统模型。

首先提取代表壁障通用刚度的曲线。MPDB 壁障由 A、B、C 三块构成，取壁障每块长度的 90%作为该段最大压溃位移；A 和 C 块强度均匀分布，B 块强度逐渐增强，碰撞方向的截面积为 568mm\*1000mm，取壁障每块强度与碰撞方向截面积的乘积作为该段能承受的最大压溃力，如下图 6 所示，该小型轿车半宽占 MPDB 壁障宽度的 80%左右，所以壁障仅承受 80%的最大载荷，提取的代表壁障变形特性的通用刚度曲线如下图 7。将提取的壁障通用（碰撞车辆半宽占壁障宽度的 80%）刚度曲线替换上面 1D 系统的壁障刚度曲线，计算结果如下表 2，OLC 计算误差仅为-2.8%，证明提取的壁障通用刚度曲线合理。

另外，当碰撞车辆宽度变化时，代表壁障变形特性的通用刚度曲线等比例缩放。例如，碰撞车辆半宽占壁障宽度的 90%时，图 7 曲线进行 1.125 倍缩放。当碰撞车辆半宽超过壁障宽度时，壁障的通用刚度曲线使用最大载荷计算，即图 7 曲线进行 1.25 倍缩放。

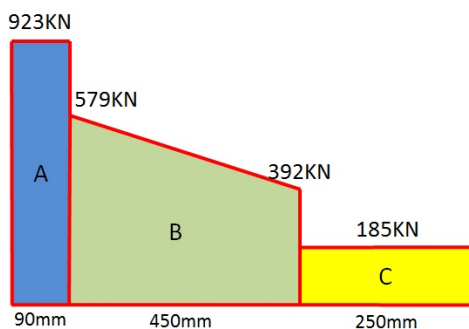


图 6 壁障长度与能承载的最大载荷

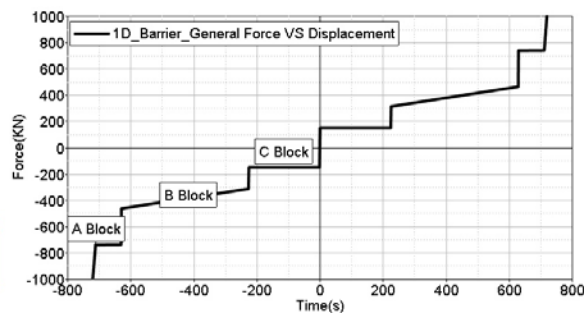


图 7 1D 系统壁障承受 80%最大载荷时刚度曲线

下面提取代表碰撞车辆通用刚度的曲线。基于本单位有代表性的三款车型（上面提到的小型轿车、中型 SUV 和大型 SUV）在 MPDB 工况下最大压溃位移之前的力与位移曲线进行拟合，取三款车型力与位移曲线的平均值，基于吸能不变的条件对平均值曲线进行分段拟合，拟合结果如下图 8 所示。将提取的通用碰撞车辆刚度曲线替换上面 1D 系统的碰撞车力与位移曲线，计算结果如下表 2，OLC 计算误差仅为-2.9%，证明提取的碰撞车辆通用刚度曲线合理。

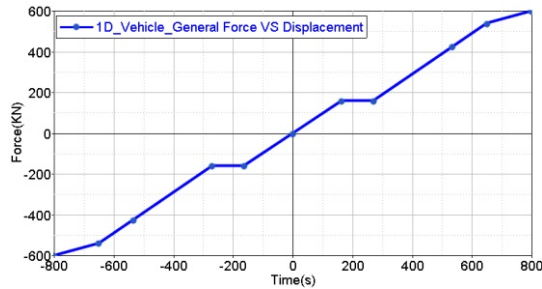


图 8 1D 系统碰撞车辆通用力与位移拟合曲线

| 关键数据对比           | 整车系统  | 1D 系统    |            |                  |
|------------------|-------|----------|------------|------------------|
|                  |       | 整车提取刚度曲线 | 壁障使用通用刚度曲线 | 壁障和碰撞车辆均使用通用刚度曲线 |
| $t_1$ (ms)       | 35.4  | 35.9     | 33.8       | 34.5             |
| $t_2$ (ms)       | 92.4  | 89.9     | 87.1       | 87.9             |
| $t_2 - t_1$ (ms) | 57.0  | 54.0     | 53.3       | 53.4             |
| $v_{t2}$ (m/s)   | -0.82 | 0.52     | 0.52       | 0.51             |
| OLC(g)           | 26.30 | 25.23    | 25.57      | 25.54            |

表 2 1D 系统关键数值对比

### 3.4 通用性 1D 系统结果研究

继续对该小型轿车的 1D 系统（使用通用刚度曲线）进行研究，在碰撞车辆宽度和质量不变的情况下，通过增大压溃位移来优化 OLC，当碰撞车辆压溃位移增加一倍时，OLC 仅降低 0.8g，OLC 结果对碰撞车辆的压溃位移不敏感，这主要是因为下面两点原因决定的。

1、由动量守恒可知，碰撞车辆质量不变时，碰撞后系统的共同速度就不变，并且  $t_2$  取值一般在达到共同速度之后，所以  $v_0 - v_2$  结果不变。

2、在碰撞车辆宽度不变时，代表壁障变形特性的刚度曲线不改变。 $t_2 - t_1$  结果主要取决于壁障刚度，所以碰撞车辆刚度曲线改变对  $t_2 - t_1$  结果影响较小。

再由计算公式（3），很容易了解 OLC 变化量为什么较小。

通过对 1D 系统研究可得出，碰撞车辆宽度和质量确定后，OLC 基本确定。壁障在承受 80%最大载荷时，通过该 1D 系统可总结出碰撞车辆质量与台车 OLC 关系曲线，如下图 9 所示。壁障承受其他载荷时，碰撞车辆质量与 OLC 关系曲线同样可按上述方法得出，此处不再赘述。

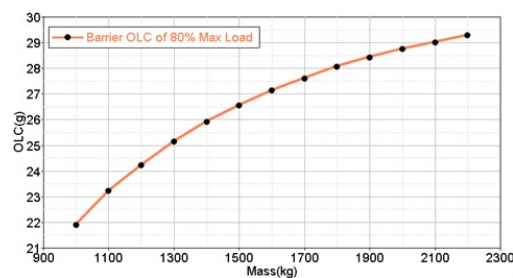


图 9 壁障承受 80%最大载荷时碰撞车质量与 OLC 关系

## 4 结果与建议

本文针对 2020 版 E\_NCAP 碰撞兼容性评估中 OLC 的考查，给出一种数值计算方法，并以某小型轿车为例介绍如何将整车系统简化为 1D 系统，进而转换为通用 1D 系统。搭建的 1D 系统可快速预测新车型碰撞兼容性评估中台车 OLC 结果，指导 OLC 目标值的定义，避免在 OLC 数值优化上浪费过多成本和精力，建议将 1D 系统计算结果加 1g 作为新车型兼容性评估 OLC 的目标值。

为降低碰撞兼容性得分，根据其评分原则和经验，建议首先不能有击穿，其次降低变形标准差，最后合理降低 OLC。

## 参考文献

- [1] Steyer C, Marc D, Pascal D. Proposal to improve compatibility in head on collisions. Sixteenth International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Windsor. 1998.
- [2] Zeidler F, Fred K, Dieter S. Possibilities and limits in the design of compatible cars for real world accidents. No. 1999-01-0068. SAE Technical Paper, 1999.
- [3] Johannsen, Heiko. FIMCAR–frontal impact and compatibility assessment research: Strategy and first results for future frontal impact assessment. ESV Conference. 2011.
- [4] Gabler, Hampton C, William T. The crash compatibility of cars and light trucks. Journal of Crush Prevention and Injury Control 2.1 (2000): 19-31.
- [5] Volker, Sandner, Ratzek A. MPDB-Mobile offset progressive deformable barrier. 24th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) National Highway Traffic Safety Administration. No. 15-0389. 2015.
- [6] 郑捷, 彭炫权, 杨军等. MPDB 工况下碰撞兼容性对车体设计的影响[C].2019 中国汽车安全技术学术会议.2019.
- [7] 中国汽车技术研究中心.C-NCAP 乘员保护路线图草案[R].2019.
- [8] 程豹, 候延军, 杨帅等. MPDB 测试对于汽车安全开发的影响[C].2019 中国汽车安全技术学术会议.2019.
- [9] 张瑞雨. 有质量差异的两车碰撞时车辆前端刚度的相容性匹配[J].汽车安全与节能学报,2018,9(3).
- [10] 周丹凤, 涂金刚. 2020 版 Euro NCAP 碰撞 MPDB 测试对汽车设计的影响[J].计算机辅助工程,2018,10(27):57-61.