

# The Application of Crash Pulse Curve on Crashworthiness in Vehicle Design

Tso-Liang Teng<sup>1</sup>, Da-An Fung<sup>1</sup>, Cui Dong<sup>2</sup>

(1. Department of Mechanical and Automation Engineering, Da-Yeh University, Taiwan, 51591, China; 2. Department of Automobile Engineering, HARBIN Institute of Technology, Weihai, 264209, China)

**Abstract:** The side vehicle crash pulse was investigated in this study. The characteristics of the measured crash pulse of vehicle impact test can be analyzed to discuss the effect of the crash pulse shape on the occupant injury. The shape, amplitude and duration characteristics of pulse were discussed herein. Furthermore, a better pulse shape to effectively reduce occupant injury was proposed. The pulse shape discussed above has been applied to the vehicle side door beam design for crashworthiness. The assessment of structural efficiency and safety was discussed based on the crash pulse. The pulse shape obtained in this study could help evaluate vehicle crash safety and guide the future development of safety technologies.

**Keywords:** Crash Pulse, Crashworthy Structure, Impact Test, Injury Analysis, LS-DYNA

## 撞击曲线于车辆抗撞结构设计之应用

邓作梁<sup>1</sup>, 冯德安<sup>1</sup>, 崔东<sup>2</sup>

(1. 大叶大学机械与自动工程系, 台湾彰化, 51591; 2. 哈尔滨工业大学汽车工程学院, 山东威海, 264209)

**摘要:** 针对车辆的侧面撞击曲线进行研究, 分析车辆撞击测试中所量测的撞击曲线特性, 包含曲线形状、振幅及时间历程等参数, 来探讨撞击曲线之形状趋势对乘员损伤程度的影响, 进而提出可有效减少乘员损伤的撞击曲线趋势。将撞击曲线的分析应用在车门防撞钢梁的抗侧撞结构设计上, 由仿真所得到的撞击曲线形状趋势进行评估, 以了解所设计抗撞结构是否能有效的降低乘员之损伤。撞击曲线形状趋势之研究可提供应用于车辆安全性评估与抗撞设计的参考。

**关键词:** 撞击曲线, 抗撞结构, 碰撞测试, 损伤分析, LS-DYNA

## 1 引言

在车辆发生撞击时, 从撞击的开始瞬间一直到撞击过程结束, 可由车辆撞击曲线的量测来分析车辆整个撞击运动的过程, 更可由此撞击曲线的变化来了解乘员在碰撞过程中的损伤程度。在车辆安全设计上, 可依据分析所得到的撞击曲线形状趋势作为车辆抗撞设计的标准, 以降低乘员的损伤, 这对未来车辆结构安全之设计有很大的帮助。

目前已有学者对车辆正撞曲线进行研究, 例如, Grimes 等人<sup>[1]</sup>对撞击曲线之波型进行探讨, 以三角波、半正弦波及方波的撞击曲线进行分析, 分别比较各种波形所包含的面积在相同情况下, 峰值的高低及结束时间的长短对乘员损伤之影响, 再探讨这三种波型对乘员的损伤影响。Linder 等人<sup>[2]</sup>探讨美国车辆(保险杆较高)与欧洲车辆(保险杆较低)在正面撞击混凝土墙后之撞击曲线差异, 再对正撞人偶头部损伤进行研究。Cao 等人<sup>[3]</sup>对车辆的撞击曲线进行优化设计, 将设计的各种形状撞击曲线输入 MADYMO 乘员安全模型内进行仿真分析, 以得到乘员胸部之速度与加速度曲线, 而对乘员胸部损伤进行计算, 经分析比较以求取降低乘员损伤之撞击曲线形状。Gu 等人<sup>[4]</sup>以反应曲面(response surface)的理论概念, 运用方程式计算最优化的车辆撞击曲线, 了解何种曲线形状对乘员损伤最小, 提供车辆优化设计之参考。

目前关于车辆正撞曲线的研究内容较多, 然而当车辆遭受侧面撞击时, 车门即直接侵入撞击到乘员, 由于在车体侧边结构上不像正面撞击时有车头的保险杆、前横梁及引擎室等各部结构可吸收撞击能量, 因此车门结构之抗撞性对乘员的防护是最直接也是最重要的。本研究针对不同车型的侧向撞击曲线的形状及趋势进行研究, 分析了车辆在侧向撞击中的动态响应, 并对乘员的损伤程度加以判断; 对全车侧撞测试有限元素模型进行探讨, 再以车门之防撞钢梁为研究项目, 使用全车侧撞测试有限元素模型设计有效之抗侧撞结构, 探讨方向包括车门有无防撞钢梁之结构、防撞钢梁设置位置及防撞钢梁材料性质等改善设计, 再藉由侧面撞击曲线峰值判断所设计之抗侧撞结构是否能有效降低人偶损伤。

## 2 车辆撞击曲线

### 2.1 车辆撞击曲线之介绍

美国道路交通安全局 FMVSS208 乘员碰撞保护法所规范的正面撞击测试中, 在轿车内驾驶座及副驾驶座各放置一个 Hybrid III(50%)人偶, 人偶皆系上安全带, 且在驾驶座与副驾驶座皆配置安全气囊, 车门关闭不上锁, 车辆以 48.3 km/h 的速度撞击混凝土墙, 于驾驶座椅右后方测量正面撞击曲线, 如图 1 所示。以 FMVSS214 侧面强度法规为规范的侧面撞击测试中, 测试车辆设定为静止状态, 两个美规侧面碰撞人偶分别位于碰撞边的驾驶座和后座, 一辆移动台车以偏斜 27 度的角度和 54 km/h 的速度下碰撞测试车辆, 在撞击侧的驾驶座车门上有相对人偶的肋骨、骨盆、手臂以及膝部位置的四个加速度测量点, 如图 2 所示。由于中肋骨和骨盆位置与人偶胸部与骨盆非常接近, 对人偶这两个部位的影响有较直接的关系。本研

究即以车门相对人偶中肋骨及骨盆位置之传感器所量测的 Y 方向撞击加速度曲线，对乘员侧面撞击损伤进行探讨。

在实车测试所量测之撞击曲线中，可由曲线包含的面积、曲线高加速度区域之平均值、峰值、结束时间及形状的分析与统计，以探讨汽车撞击曲线与人偶损伤的关系，并作为车辆结构与被动安全设计之参考。

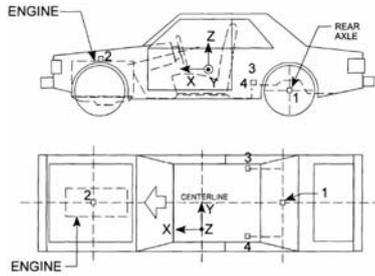


图 1 正撞测试车辆示意图

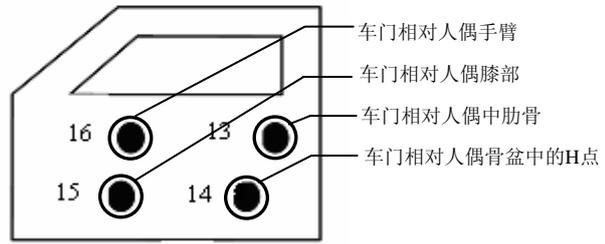


图 2 侧撞测试车门加速规装设位置

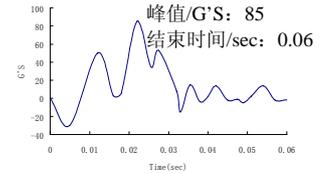
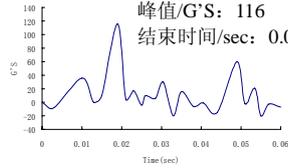
## 2.2 车辆侧面撞击曲线

美国道路交通安全局网站所提供各款轿车的侧面撞击加速度曲线及曲线峰值如表 1 所示。由表中数据得知，车门相对人偶中肋骨位置的撞击曲线峰值约在 53 G'S~116 G'S 之间，结束时间约在 0.0611 sec~0.0641 sec 之间；车门相对人偶骨盆位置的撞击曲线峰值约在 62 G'S~131 G'S 之间，结束时间约在 0.06 sec~0.0632 sec 之间。虽然车门相对人偶中肋骨与骨盆之撞击曲线趋势较无规则性，峰值区间也较广，但撞击曲线的结束时间大约都在 0.06 sec，由此可知 MDB 台车撞击测试，在历时 0.06 sec 左右撞击过程即结束，大约为正面撞击曲线的结束时间的二分之一。由于正撞的撞击能量在传至乘员之前，已藉由车头保险杠、引擎室内的各部结构与车头横梁之能量吸收，再传递至乘员；而侧撞之撞击能量经由车门就直接传递到乘员，因此撞击曲线的结束时间才有如此大的差距。

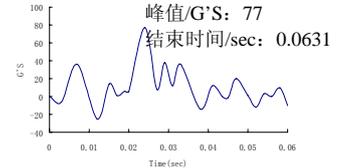
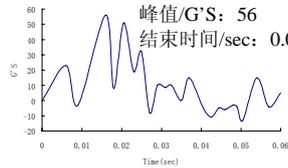
表 1 各款轿车侧撞车门相对中肋骨、骨盆位置撞击加速度曲线及曲线峰值

车款	车型	侧撞车门相对肋骨位置撞击曲线	侧撞车门相对骨盆位置撞击曲线
2005 Saturn Ion		峰值/G'S: 113 结束时间/sec: 0.0631	峰值/G'S: 131 结束时间/sec: 0.062
2004 Honda Accord		峰值/G'S: 72 结束时间/sec: 0.0624	峰值/G'S: 112 结束时间/sec: 0.06
1996 Pontiac Grand Am		峰值/G'S: 82 结束时间/sec: 0.0612	峰值/G'S: 62 结束时间/sec: 0.0611
1995 Ford Escort LX		峰值/G'S: 75 结束时间/sec: 0.0611	峰值/G'S: 67 结束时间/sec: 0.0632
1995 Ford Taurus		峰值/G'S: 53 结束时间/sec: 0.0613	峰值/G'S: 106 结束时间/sec: 0.0621

1995 Chevrolet Cavalier



1995 Honda Civic



### 2.3 车辆侧面撞击曲线分析

美国道路交通安全局网站所提供以 FMVSS214 侧门强度法规做规范的测试车辆大部分皆无装置侧撞安全气囊，从车门量测到的撞击加速度曲线对人偶的相对关系更为直接，因此侧撞的研究探讨无须再以台车作模拟分析，可直接从测试报告中所提供的车门相对人偶中肋骨和骨盆之撞击加速度曲线，以及人偶上肋骨、下肋骨、下脊椎及骨盆之损伤值，以探讨侧面撞击曲线对人偶损伤的影响。

#### (1) 胸部损伤指标

胸部损伤指标(Thoracic Trauma Index, TTI)是一个以胸部加速度为基础所量测计算的数值。在美国联邦汽车安全法规中用来评估车辆侧撞的防撞性。TTI 是由美国公路交通安全管理局所发展，由 84 个大量死尸试验资料所建构起来的，它结合了年龄的因素以及肋骨与下脊椎加速度峰值的平均所计算推导出来的。这个方程式表示如下：

$$TTI = 1.4 \cdot AGE + \left( \frac{RIBy + T12y}{2} \right) \quad (a)$$

(a) 式为计算死尸的胸部创伤指标，其中 AGE 表示年龄，RIBy 表示肋骨加速度峰值，T12y 表示下脊椎加速度峰值。越高的 TTI 值表示人体受伤程度越严重。

对于 SID 人偶来说没有任何的年龄因素，而以 TTI(d)为侧撞人偶反应的量测指数。

$$TTI(d) = \frac{RIBy + T12y}{2} \quad (b)$$

(b) 式为实验人偶使用的标准。美规 FMVSS-214 所规范的胸部损伤指标(TTI)为实验人偶的胸部损伤指标，是由肋骨与脊椎加速度综合所计算推导出来的。其规范标准为四门房车 SID 损伤值不得超过 85 G，二门房车 SID 损伤值不得超过 90 G。本论文所使用的胸部损伤指标则依据实验人偶所使用的标准。

#### (2) 骨盆损伤标准

美规 FMVSS214 所规范的骨盆损伤标准，只有评估骨盆加速度为量化指标，其规范损伤标准为 130 G。

虽然侧撞撞击曲线较无规律性，但以撞击曲线峰值之趋势可比较其对人偶胸部及骨盆损伤的相对关系。而由美国道路交通安全局所提供之侧撞测试报告里，可获得车门相对人偶中肋骨位置之冲击曲线与人偶上肋骨、下肋骨、下脊椎加速度曲线峰值所计算之 TTI 值；同样可以得到车门相对人偶骨盆位置之冲击曲线与人偶骨盆加速度曲线之峰值，如表 2 所示。由表中可得知，冲击曲线之峰值越高，相对人偶之胸部 TTI 损伤值也越高，相对人偶之骨盆损伤值也越高。

表 2 车门相对人偶中肋骨撞击曲线峰值与 TTI 损伤值比较及相对人偶骨盆撞击曲线峰值与骨盆损伤值比较

车款	中肋骨撞击曲线峰值与 TTI 损伤值之比较		骨盆撞击曲线峰值与骨盆损伤值比较	
	曲线峰值/ G'S	TTI/ G'S	曲线峰值/ G'S	人偶骨盆/ G'S
2005 Saturn Ion	113	100	131	121
2004 Honda Accord	72	79.5	112	117
1996 Pontiac Grand Am	82	91	62	66
1995 Ford Escort LX	75	80	67	79.6
1995 Ford Taurus	53	51.7	106	110
1995 Honda Civic	56	70	77	87
1995 Chevrolet Cavalier	116	107	85	95

由此可知, 车门相对人偶中肋骨与骨盆位置所量测的侧面撞击曲线峰值越高, 乘员胸部与骨盆之损伤也越大。因此侧面撞击曲线之峰值大小是影响人偶侧面损伤的重要关键。

### 3 车辆侧面撞击分析模型

由于 FMVSS214 法规中, 车辆侧撞测试须要实验人偶、碰撞台车及测试车辆方能进行试验, 为了使用数值模拟方法以探讨车门抗撞性能, 必须确认侧撞测试有限元素模型的正确性, 因此建构侧撞人偶、测试车辆及 MDB 台车有限元素模型, 并且进行有限元素模型之验证。以下即对侧撞人偶、Ford Taurus 侧撞全车及 MDB 台车有限元素模型进行探讨:

#### (1)侧撞人偶有限元素模型

本论文的侧撞有限元素人偶模型主要系依据美规侧撞人偶(US-SID)所建构而成的, 如图 3 所示。可变形人偶模型共计 63 个组件, 43,874 个节点, 57,032 个元素; 在变形人偶模型中包含 3 个球窝状接头, 3 个旋转接头, 和 1 个圆柱接头。人偶皆依据 FMVSS214 侧门强度测试法规之校正实验规范进行人偶模型的调校与验证, 经调校后之胸部及骨盆验证结果都符合法规规定<sup>[16]</sup>, 可有效仿真真实乘员之动态行为。

#### (2)Ford Taurus 侧撞全车有限元素模型

本论文所使用的 Ford Taurus 侧面碰撞全车模型是经由美国道路交通安全管理局的 EASI Engineering 所发展, 且由美国乔治亚大学的国家碰撞分析中心(NCAC)所提供。车辆模型的驾驶边被重新定义, 使其更适用于侧面碰撞分析研究, 而车体前方的结构更为简化。整个车辆模型共计有 171 个组件, 49,453 个节点, 340 个固体元素, 48,141 个壳元素, 142 个梁元素以及 34 个质量元素, 如图 4 所示。



图 3 US-SID 有限元素模型

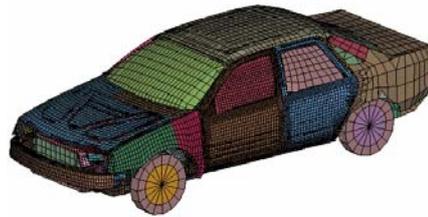


图 4 Taurus 侧撞实车有限元素模型

测试车模型验证程序系根据 Brown<sup>[5]</sup>所进行的 Ford Taurus 实车对柱碰撞试验所建立, 数值分析模型如图 5 所示。Ford Taurus 以 35 km/h 的速度, 并以驾驶座车门中间位置对准圆柱中心垂直碰撞圆柱刚性墙, 藉由车子的重心反应来分析车体的行为表现。而仿真值曲线趋势与实验值相近<sup>[6]</sup>, 所以使用此有限元素模型进行撞击分析具有可信度。

#### (3)MDB 台车有限元素模型

MDB 台车的碰撞面为 2 块铝制蜂巢结构, 以表现真实车辆前部结构刚度特性。MDB 台车有限元素模型共计有 7 个组件, 8,908 个节点, 5,698 个固体元素及 150 个壳元素, 如图 6 所示。

MDB 台车以 40.2 km/h 的速度, 车轮倾斜 26 度, 垂直 90 度撞击固定平面墙, 如图 7 所示。数值模拟结果并参考 Zaouk<sup>[7]</sup>进行 MDB 台车正面撞击平面墙之实验数据比对。比对结果之误差值很小<sup>[6]</sup>; 因此, 藉由 MDB 台车正面碰撞平面墙试验模拟的结果, 可以确信 MDB 台车模型具有准确性。

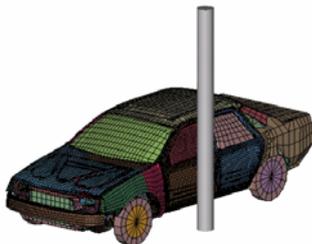


图 5 Taurus 实车对柱碰撞试验数值模型

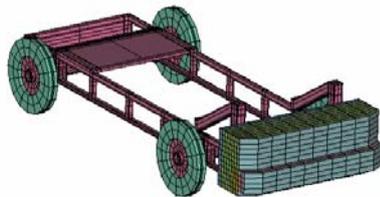


图 6 MDB 台车有限元素模型

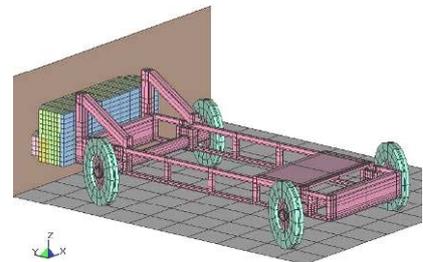


图 7 台车正面撞击平面墙试验数值模型

经由上述人偶、测试车辆及 MDB 台车有限元素模型验证后, 显示建构之数值模型具有准确性。人偶定位根据 1991 年 Ford Taurus 整车碰撞试验的人偶定位定义 SID 人偶模型位置<sup>[8]</sup>。为确定模拟结果的可信度, 再将放置人偶的全车, 进行侧撞测试之数值分析所获得的胸部与骨盆加速度反应, 与福特汽车公司所进行的实车侧撞试验的实验值<sup>[21]</sup>进行比对, 以确

认侧撞测试数值分析模型的准确性。经验证比对得知，本论文所建构之撞击测试环境模型加速度曲线与实车侧撞试验的实验曲线趋势及损伤指针差异性小<sup>[6]</sup>，所以具有准确性。由于人偶放置在全车之内侧撞试验环境经验证具有准确性，因此可直接经由此测试环境进行设计分析，而不须再经由台车模拟取得人偶胸部及骨盆之损伤值。

#### 4 车门防撞钢梁之设计

Ford Taurus 实车有限元素模型中，车门已有防撞钢梁的设计，钢梁之剖面形状为弯曲波浪形式。为了探讨防撞钢梁对乘员的防护特性，进行具钢梁之车门结构与无钢梁车门结构之抗撞性能分析与比较，并以撞击曲线形状趋势了解车门防撞钢梁结构对人偶损伤之影响，其中车门结构之有限元素模型如图 8 所示。

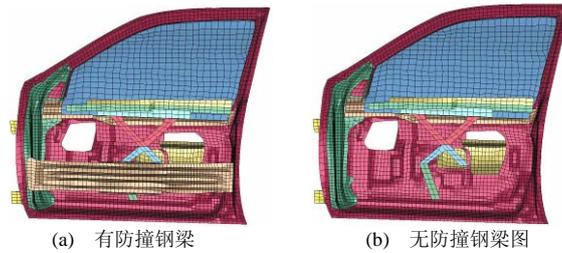


图 8 车门结构有限元素模型

将考虑有无防撞钢梁之车门置入全车模型中，进行全车侧撞测试模拟分析，并量测车门对人偶中肋骨与骨盆之撞击曲线，如图 9 与 10 所示。由图 9 中可看出有防撞钢梁之撞击曲线在 0.035 sec 时有最高峰值 50.1 G'S；而无防撞钢梁之撞击曲线在 0.036 sec 时有最高峰值 60.9 G'S，依据侧面撞击曲线之趋势可判断有防撞钢梁对人偶胸部的损伤低于无防撞钢梁，显示防撞钢梁对侧撞时具保护乘员胸部效果。另由图 10 中显示有防撞钢梁之撞击曲线在 0.032 sec 时有最高峰值 57.4 G'S；而无防撞钢梁之撞击曲线在 0.009 sec 时有最高峰值 33.2 G'S，依据侧面撞击曲线之趋势可判断有防撞钢梁对人偶骨盆的损伤高于无防撞钢梁，显示防撞钢梁对侧撞时不具保护乘员骨盆效果。

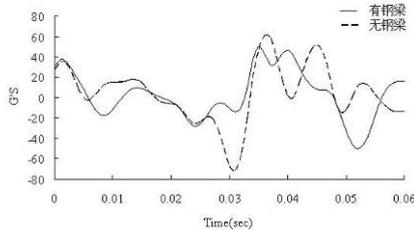


图 9 有无钢梁之车门相对人偶中肋骨撞击曲线比较

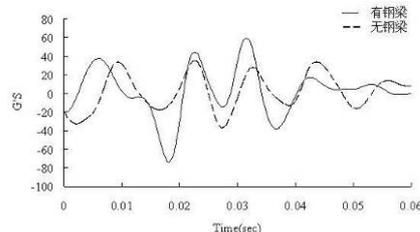


图 10 有无钢梁之车门相对人偶骨盆撞击曲线比较

为验证以撞击曲线评估有无防撞钢梁车门设计之抗撞性是否正确，本研究将侧面撞击测试人偶数值模型置入侧撞全车测试模型中进行分析，以人偶胸部及骨盆损伤值进行比对，如表 3 所示。由表中显示，车门有装设防撞钢梁之胸部损伤 TTI 值为 78.0 G'S，低于未装设防撞钢梁之胸部损伤 TTI 值 84.8 G'S；而车门有装设防撞钢梁之骨盆损伤值为 114.7 G'S，高于未装设防撞钢梁之骨盆损伤值 101.5 G'S。由上述比较结果可知，有无防撞钢梁之车门设计所造成的胸部与骨盆损伤值结果与应用撞击曲线趋势判断保险杆抗撞性之结果一致。

表 3 有无防撞钢梁之人偶损伤比较表

	有防撞钢梁/G'S	无防撞钢梁/G'S
上肋骨	58.5	62.9
下肋骨	80.1	79.7
下脊椎	75.9	89.9
TTI	78.0	84.8
骨盆	114.7	101.5

就以人偶损伤值来评估防撞钢梁之整体防护效能而言，于车门装设钢梁后骨盆损伤虽然增加为 114.7 G'S，但仍符合法规标准值 130 G'S 内；另外胸部损伤值于车门未装设钢梁时为 84.8 G'S，与法规标准值 85 G'S 非常接近，而车门防撞钢梁的设计可使胸部损伤值降低至 78 G'S，故整体而言，车门防撞钢梁的设计对乘员具侧撞防护的效果。

### 4.1 改变防撞钢梁装设位置

由于车门装设防撞钢梁可强化整个车门结构，且整体上车门防撞钢梁对乘员具侧撞防护的效果，因此对钢梁的装设位置对人体损伤之影响进行研究，藉此找出钢梁较佳之装设位置。

钢梁依据 MDB 台车、人偶与车门之碰撞接触位置由高至低分成五个不同装设位置进行探讨，(1)位置 a：钢梁放置位置约为 MDB 台车保险杆上方之蜂巢铝结构二分一高度处，相对于计算基准线 L3 与 L4 之间；(2)位置 b：放置于车门中间之位置，此位置是测试车辆车门侧边最凸出的部位，相对于计算基准线 L3 上；(3)位置 c：在测试车辆原设计之钢梁位置，约为 MDB 台车保险杆上缘的高度处，相对于计算基准线 L3 与 L2 之间；(4)位置 d：依据人偶定位点 H point 之高度作为装设钢梁的位置，相对于计算基准线 L2 上；(5)位置 e：放置于整个车门的最下方位置，相对于计算基准线 L2 与 L1 之间。钢梁装设车门内之五种不同位置如图 11 所示，钢梁与人偶相对位置如图 12 所示。

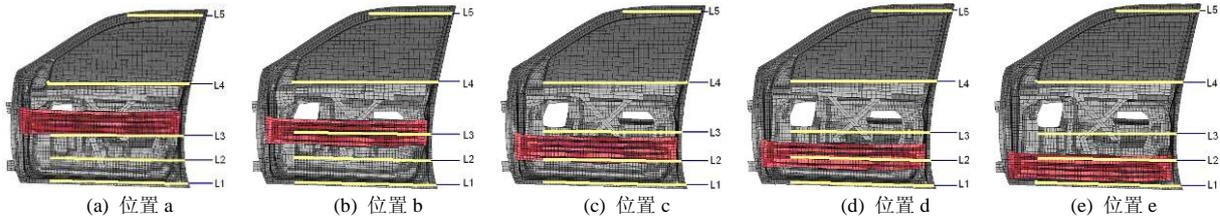


图 11 钢梁与车门之相对位置示意图

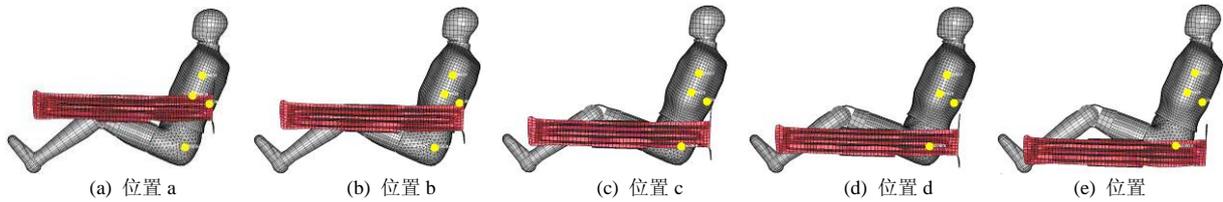


图 12 钢梁与人偶之相对位置示意图

将五种钢梁不同装设位置之车门置入全车模型中，进行全车侧撞测试模拟，并量测车门对人偶中肋骨与骨盆之撞击曲线，如图 13 及 14 所示。由图 13 中显示钢梁放置于最高位置(位置 a)时，撞击曲线在 0.049 sec 时有最高峰值 112.1 G'S；钢梁放置于车门中间(位置 b)时，撞击曲线在 0.041 sec 时有最高峰值 104.6 G'S；钢梁放置于原始位置(位置 c)时，撞击曲线在 0.036 sec 时有最高峰值 81.9 G'S；钢梁放置于 H-point 高度(位置 d)时，撞击曲线在 0.032 sec 时有最高峰值 70.9 G'S；钢梁放置于最低位置(位置 e)时，撞击曲线在 0.03 sec 时有最高峰值 60.2 G'S。由撞击曲线之趋势可判断钢梁放置于最低位置(位置 e)时对人偶胸部的损伤最低。再由图 14 中显示钢梁放置于最高位置(位置 a)时，撞击曲线在 0.042 sec 时有最高峰值 85.6 G'S；钢梁放置于车门中间(位置 b)时，撞击曲线在 0.01 sec 时有最高峰值 77.4 G'S；钢梁放置于原始位置(位置 c)时，撞击曲线在 0.044 sec 时有最高峰值 116.2 G'S；钢梁放置于 H-point 高度(位置 d)时，撞击曲线在 0.03 sec 时有最高峰值 126.3 G'S；钢梁放置于最低位置(位置 e)时，撞击曲线在 0.032 sec 时有最高峰值 138.9 G'S。由侧面撞击曲线之趋势可判断钢梁放置于车门中间(位置 b)时可有效减少人偶骨盆的损伤。

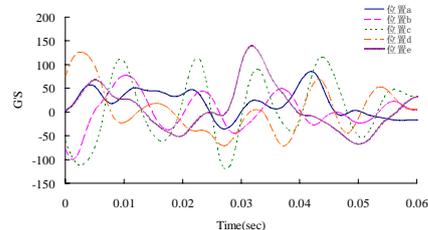
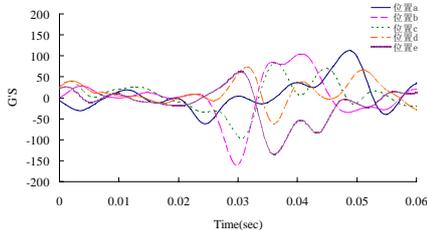


图 13 钢梁各装设位置之车门相对人偶中肋骨撞击曲线比 图 14 钢梁各装设位置之车门相对人偶骨盆撞击曲线比较

为验证以撞击曲线评估车门防撞钢梁不同装设位置之抗撞性是否正确，本研究将侧面撞击测试人偶数值模型置入侧撞全车测试模型中进行分析，以人偶胸部及骨盆损伤值进行比对，如表 4 所示。由表中显示，钢梁各装设位置之人偶胸部 TTI 损伤值由位置 a 至 e 依序为 81.3 G'S、80.6 G'S、78.0 G'S、76.8 G'S、74.7 G'S，以位置 e 之胸部损伤值最低。再由人偶骨盆损伤值进行比对，如表 5 所示。由表中显示，钢梁各装设位置之人偶骨盆损伤值由位置 a 至 e 依序为 97.8 G'S、89.2 G'S、114.7 G'S、123.7 G'S、137.6 G'S，以位置 b 之骨盆损伤值最低。由上述比较结果可知，钢梁不同装设位置所造成的胸部与

骨盆损伤值结果与应用撞击曲线趋势判断保险杠抗撞性之结果一致。

表 4 防撞钢梁装设于不同位置之人偶胸部损伤比较表

曲线量测位置	位置 a/G'S	位置 b/G'S	位置 c/G'S	位置 d/G'S	位置 e/G'S
上肋骨	54.5	58.4	58.5	53.9	56.1
下肋骨	64.9	65.6	80.1	79.4	74.2
下脊椎	97.6	95.7	75.9	74.2	75.1
TTI(d)	81.3	80.6	78.0	76.8	74.7
车门相对人偶中肋骨	112.1	104.6	81.9	70.9	60.2

表 5 防撞钢梁装设于不同位置之人偶骨盆损伤比较表

曲线量测位置	位置 a/G'S	位置 b/G'S	位置 c/G'S	位置 d/G'S	位置 e/G'S
骨盆	97.8	89.2	114.7	123.7	137.6
车门相对人偶骨盆	85.6	77.4	116.2	126.3	138.9

而由钢梁的摆设位置与人偶加速规之相对位置及人偶损伤值得知,当钢梁靠近于量测点时会造成人偶于该量测点之加速度峰值增加,此现象之最大因素是人偶撞击到强化车门的钢梁位置所引起的。由 5 种不同钢梁装设位置对乘员损伤而言,当钢梁位于车门中间位置时,正好处于人偶胸部三个量测点及骨盆量测点之间,故钢梁装设于车门中间即位置 b 处对人偶之侧撞防护效果较其它装设位置为佳。

#### 4.2 改变防撞钢梁材料性质

对钢梁装设位置探讨后得知,当钢梁装设于车门中间之水平位置时,可达到较佳的乘员防护效果。为了进一步了解不同材料强度之钢梁对人体损伤之影响,以相同侧撞测试模拟下,将钢梁装设于车门中间位置(位置 b),来探讨不同强度之钢梁于侧撞中对人体损伤影响。在材料的选用上,分别采用三种不同降伏强度之钢梁材料,其材料系数如表 6 所示。

表 6 不同降伏强度防撞钢梁之材料表

	原始材料	材料一	材料二
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	7.85	7.89	7.89
降伏强度/MPa	210	350	600
弹性模数/MPa	200000	210000	210000

经过模拟分析,可得到使用三种不同降伏强度钢梁材料之车门相对人偶中肋骨与骨盆撞击曲线,如图 15 与 16 所示。由图 15 中显示原始材料之撞击曲线在 0.036 sec 时有最高峰值 75.2 G'S;而材料一之撞击曲线在 0.034 sec 时有最高峰值 62.1 G'S;而材料二之撞击曲线在 0.053 sec 时有最高峰值 144.2 G'S。由撞击曲线趋势可判断防撞钢梁之材料为材料一时对人偶胸部的损伤最低。车门相对人偶骨盆撞击曲线比较由图 16 中显示原始材料之撞击曲线在 0.0342 sec 时有最高峰值为 44.1 G'S;而材料一之撞击曲线在 0.025 sec 时有最高峰值为 51.3 G'S;而材料二之撞击曲线在 0.032 sec 时有最高峰值为 89.3 G'S。由侧面撞击曲线趋势可判断防撞钢梁之材料为原始材料时可有效降低人偶骨盆的损伤。

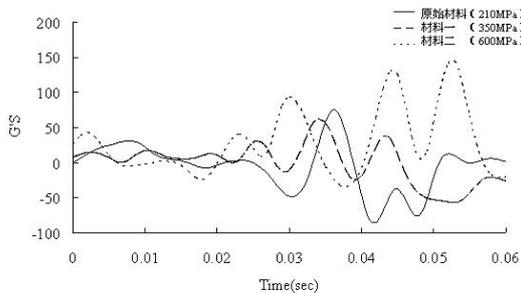


图 15 钢梁各种钢材之车门相对人偶中肋骨撞击曲线比较

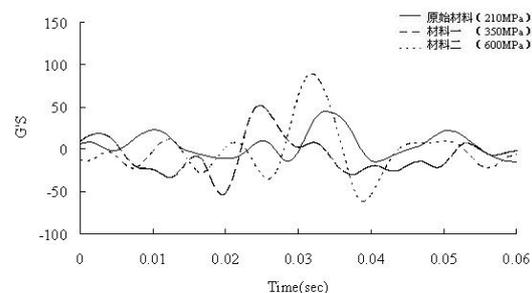


图 16 钢梁各种钢材之车门相对人偶骨盆撞击曲线比较

为验证以撞击曲线评估不同强度的车门防撞钢梁材料之抗撞性是否正确,本研究将侧面撞击测试人偶数值模型置入侧撞全车测试模型中进行分析,以人偶胸部及骨盆损伤值进行比对,如表 7 所示。由表中显示,原始材料、材料一及材料二之人偶胸部 TTI 损伤值分别为 77.5 G'S、75.7 G'S 及 89.0 G'S。胸部损伤值以使用材料一时最低。再由人偶损伤值进行比对,由

表 8 显示, 原始材料、材料一与材料二之人偶骨盆损伤值分别为 75.1 G'S、86.7 G'S 及 94.8 G'S。骨盆损伤值以使用原始材料时最低。由上述比较结果可知, 不同强度的钢梁所造成胸部与骨盆损伤值结果与应用撞击曲线趋势判断保险杠抗撞性之结果一致。

表 7 不同降伏强度防撞钢梁之人偶损伤比较表

人偶部位	原始材料 (降伏强度 210 MPa)/G'S	材料一 (降伏强度 350 MPa)/G'S	材料二 (降伏强度 600 MPa)/G'S
上肋骨	62.6	65.7	58.4
下肋骨	65.7	67.3	89.5
下脊椎	89.3	84.0	88.4
TTI(d)	77.5	75.7	89.0
骨盆	75.1	86.7	94.8

在使用不同降伏强度之钢梁材料设计上, 由人偶损伤值可看出, 人偶胸部损伤与钢梁材料降伏强度较无规律性, 例如当钢梁降伏强度为 350 MPa 时可有效减少胸部损伤, 当钢梁降伏强度为 600 MPa 时却增加胸部损伤。在骨盆损伤方面, 人偶之骨盆损伤值随着钢梁降伏强度增大而增加。综合人偶损伤分析得知, 选用降伏强度为 210 MPa 之钢梁材料, 可使胸部损伤和骨盆损伤降至 80 G'S 以下。

## 5 结论

由本论文之研究结果得知, 车辆撞击曲线与乘员损伤有绝大的关系, 故可有效依据侧面撞击曲线结果进行抗侧撞结构之设计与评估。由本论文研究所得结论有以下几点:

(1)在侧面撞击曲线方面, 车门相对人偶中肋骨位置的曲线峰值约在 53 G'S~116 G'S 之间, 结束时间约在 0.0611 sec~0.0641 sec 之间; 车门相对人偶骨盆位置的撞击峰值约在 62 G'S~131 G'S 之间, 结束时间约在 0.06 sec~0.0632 sec 之间。

(2)依据美国道路交通安全局网站所提供以 FMVSS214 侧门强度法规做规范的实车侧撞测试报告数据, 车门相对人偶中肋骨与骨盆位置所量测之撞击曲线峰值愈高, 相对人偶胸部与骨盆之损伤也就愈高。

(3)在车门装设防撞钢梁抗撞结构设计方面: 车门无防撞钢梁之胸部损伤高于有防撞钢梁, 而车门有防撞钢梁之骨盆损伤高于无防撞钢梁。整体而言, 车门防撞钢梁的设计对乘员具侧撞防护的效果。

(4)当钢梁靠近于量测点时会造成人偶于该量测位置之损伤增加, 而钢梁位于车门中间位置时, 正好处于人偶胸部三个量测点及骨盆量测点之间, 故钢梁装设于车门中间处对人偶之防护效果较其它装设位置为佳。

(5)防撞钢梁材料强度的改变使人偶撞击接近钢梁部位之损伤值随之改变, 若增加钢梁强度将对人偶造成较多的伤害, 尤其是接近钢梁装设位置的部位。

## 参考文献

- [1] Grimes, W. D. and Lee, F. D.. The Effect of Crash Pulse Shape on Occupant Simulations. SAE 2000 World Congress, paper No. 2000-01-0460, Detroit, MI, 2000.
- [2] Linder, A., Avery, M., Krafft, M. and Kullgren, A.. Change of Velocity and Pulse Characteristics in Rear Impacts: Real World and Vehicle Tests Data. The 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Proceedings, Paper No. 285, Nagoya, Japan, 2003.
- [3] Cao, J. Z. Koka, M. R. Law, S. E. .Vehicle Pulse Shape Optimization to Improve Occupant Response in Front Impact. SAE 2004 World Congress , paper No. 2004-01-1625, Detroit, MI, 2004.
- [4] Gu, L., Yang, R. J. Li, G. and Tyan, T.. Structural Optimization for Crash Pulse. SAE 2005 World Congress, paper No. 2005-01-0748, Detroit, MI, 2005.
- [5] C. M. Brown. Ford Taurus Broadside Collision With a Narrow Fixed Object. FOIL Test Number 95S008, US-DOT, FHWA RD 96 105, NTIS Reference PB97-173652, 1997.
- [6] 庄建隆.全车侧撞测试法规之比较研究[D].台湾:大叶大学,2006.
- [7] A. K. Zaouk, A. M. Eigen, K. H. Digges. Occupant Injury Patterns in Side Crashes. SAE Paper No. 2001-01-0723, 2001.
- [8] Testing for Side Impact Protection-Passenger Cars, 1991 Ford Taurus, Contract No: DTRS-57-95-C-00010(TTD#3). MGA Proving Grounds, Burlington, WI53105, March 31, 1997.