

等效双梯形波特征参数与假人主要伤害值响应的灵敏性分析

马志雄 朱西产
同济大学, 上海, 201804
mzx1978@163.com, xczhu@163.com

摘要:实车正面碰撞的车体减速度波形能简化为一等效双梯形波 (EDTW)。用等效双梯形波代替实车正碰波形进行台车试验, 能有效降低正面约束系统的开发费用以及缩短开发时间。利用同时配置气囊和安全带、只配置了安全气囊以及只配置了安全带的三种不同正面碰撞台车试验的 MADYMO 数学仿真模型分析了等效双梯形波特征参数对假人头部 HIC 值、胸部 3ms 累积加速度以及胸部变形量响应的灵敏性。计算结果表明, 在上述三种不同约束系统配置下的正面碰撞台车试验中, EDTW 波形特征参数的变化对假人的上述 3 个伤害值的影响是不一样的。计算结果对于正碰台车试验以及车辆概念设计阶段的参数控制具有较强的指导意义。

叙词:等效双梯形波, 台车试验, 正面碰撞, 假人伤害值

Analysis of the Sensitivity of EDTW Characteristic Parameters to Main Dummy Injury Responses

MA Zhixiong ZHU Xichan
Tongji University, Shanghai, 201804

Abstract: The body deceleration in full scale frontal crash test can be simplified to become an equivalent dual-trapezia wave (EDTW). The sled test, which the full scale frontal crash deceleration pulse is substituted with relevant EDTW, can availably cut the development costs of frontal restraint system and shorten the design cycle. Through three different MADYMO mathematical simulation models of frontal impact sled test model—airbag and safety belt are synchronously installed, airbag is solely installed and safety belt is solely installed, the sensitivity of EDTW characteristic parameters to dummy head HIC, thorax cumulative_3ms injury criterion and chest deflection responses is analyzed. The mathematical simulation shows that the change of EDTW eigenvalue have different effect on the above three dummy injury parameters. The simulation results have stronger guiding significance for the parameter control of frontal crash sled test and vehicle concept design phase.

Key words: Equivalent dual-trapezia wave, Sled test, Frontal crash, Dummy injury parameter

1 前言

实车正面碰撞的车体减速度波形可以简化为一等效双梯形波形 (the equivalent dual-trapezia wave, EDTW)。研究表明用等效双梯形波代替实车减速度波形进行台车试验是一种有效且易实现的工程近似。每个 EDTW 波形均可用表示其特征的几个特征参数来完整描述[1]。对于同一种类的约束系统, 假人的伤害值对不同的 EDTW 特征参数的敏感程度可能不一样; 而对于同一 EDTW 特征参数, 在不同种类的约束系统中, 其对假人伤害值的敏感程度也可能不一样。因此, 研究假人伤害值响应对 EDTW 波形特征参数变化的灵敏性是非常有必要的。另外, 鉴于假人头部 HIC 值、胸部 3ms 累积加速度 (T3MS) 以及胸部变形量 (Chest Deflection, CD) 大小是车辆被动安全性的重要衡量指标, 故本文以假人的这 3 个伤害值评价指标对 EDTW 特征参数变化的灵敏性作为研究内容 (本文所涉及到的头部 HIC 值计算均指的是 36ms 以下的 HIC 值, 即 HIC36)。本文的研究工作主要有两方面的意义: 其一, 在按照 EDTW 波形进行的台车试验中, 根据本文的研究结论可有的放矢地对相关参数加以控制; 其二, 将车辆约束系统的匹配纳入到车辆的概念设计阶段, 使得设计人员在概念设计阶段即可根据不同的约束系统匹配方式进行相关参数的调整和控制。

2 EDTW及其特征参数介绍

图1虚线所示为一典型的实车正面碰撞车体减速度波形(经CFC60滤波),折线 $ABCDEF$ 为相应的EDTW波形。图中EDTW波形上C点所对应的时刻为发动机发生碰撞的起始点, E点所对应的时刻为车体速度为0的时刻点。反映EDTW波形特征的特征参数共有5个,分别是:线段 AB 和 CD 的斜率 s_1 和 s_2 , 线段 BC 和 DE 同时间轴的距离 h_1 和 h_2 , 以及正碰过程中发动机开始碰撞的起始时刻 T 。显然对于任意一个EDTW波形, 只要知道了上述5个特征参数以及碰撞初速度和碰撞前后的速度变化量即可完整地描述出该EDTW波形[1]。本文以该EDTW波形为基础波形来研究EDTW波形的特征参数与假人主要伤害值响应的相关性。

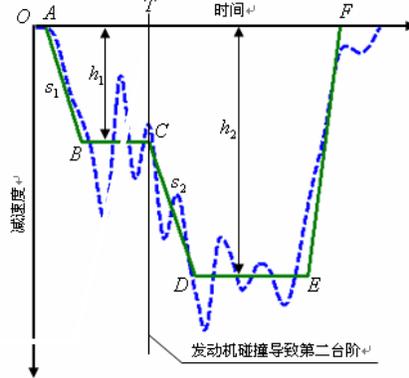


图1 典型的EDTW波形

3 分析方法

3.1 特征参数大小的变化方式

为了获得EDTW波形特征参数大小变化时, 其对假人伤害值响应的灵敏性及变化规律, 对EDTW的5个特征参数按如下方式处理: 任取1个特征参数, 分别按照80%、90%、110%和120%的百分比改变其大小, 同时保持其它4个特征参数大小不变。这样对每一特征参数即可得到4条新的EDTW波形。将这5条EDTW波形(包括原有的基础波形)作为正碰台车模型的输入波形即可得到相应EDTW波形下假人头部和胸部的伤害值大小。由此即可知某一特征参数大小改变时, 其对假人伤害值相应的灵敏性及变化规律。因EDTW波形有5个特征参数, 故按照上述方法, 通过改变EDTW波形的特征参数, 可生成5组共20条EDTW波形。由于每一组都包含1条基础EDTW波形, 因此本文的研究中共有21条EDTW波形用于正碰台车试验。

当按照上述百分比改变特征参数大小时, 为了保持EDTW波形所表示的速度变化量(即与时间轴围成的面积)不变, 采取了沿时间轴平移线段 EF 的措施。图2~6分别是EDTW波形各特征参数按照上述方法变化时得到的相应的EDTW波形。

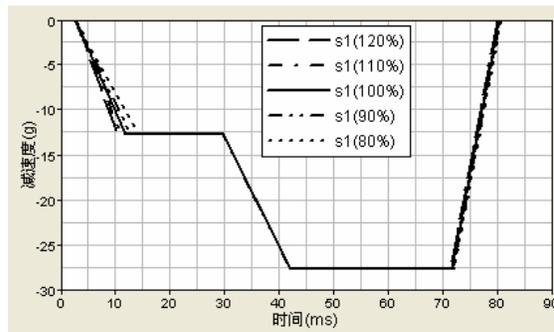


图2 特征参数 s_1 变化时的EDTW波形

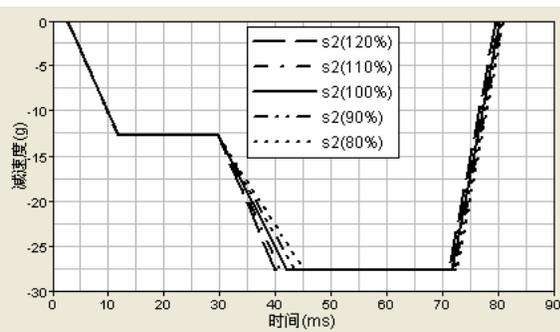


图3 特征参数 s_2 变化时的EDTW波形

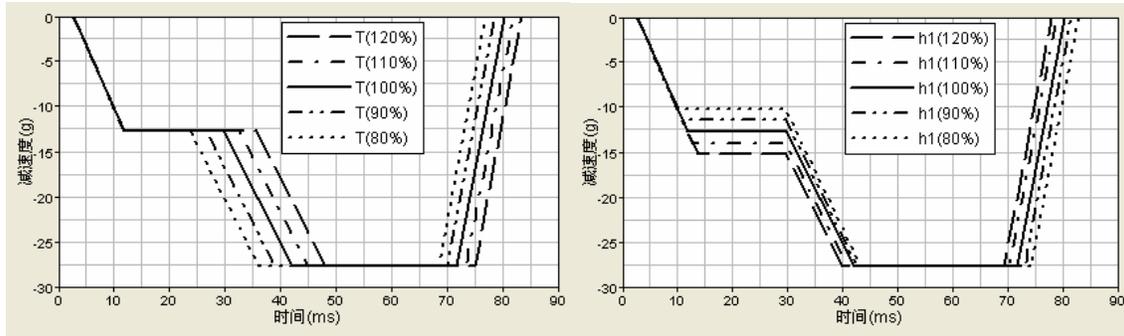


图 4 特征参数 T 变化时的 EDTW 波形

图 5 特征参数 h_1 变化时的 EDTW 波形

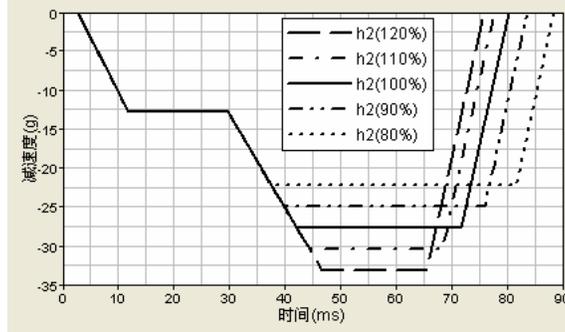


图 6 特征参数 h_2 变化时的 EDTW 波形

3.2 正碰台车模型介绍

本文的计算工作用数学仿真来完成，仿真使用的软件为 MADYMO。目前各国在用乘用车辆按约束系统配置方式来分，大致可分为 3 类：同时配有气囊和安全带、只配有气囊和只配有安全带。考虑到不同约束系统配置方式下 EDTW 波形特征参数变化对乘员伤害的影响可能不一样，因此共使用了 3 种数学模型。图 7 所示的正碰台车试验数学模型源于 MADYMO 的模型库，该模型同时配有一驾驶员侧气囊和一三点式安全带[2,3]。在该模型的基础上分别使模型中的安全带模块和气囊模块失效生成了一个只配置了气囊和一个只配置了安全带的新模型。这 3 个模型即为本文的研究所使用的数学模型。

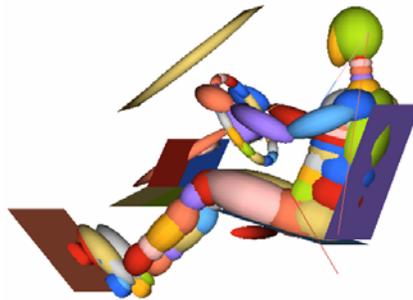


图 7 正面碰撞台车试验数学模型

4 计算结果及分析

本文为了比较的方便，以基础 EDTW 波形的特征参数为基准，对按不同百分比缩放后的特征参数进行了归一化处理，以及以基波 EDTW 波形下假人的伤害值为基准，对不同 EDTW 波形下台车试验获得的假人伤害值进行了归一化处理。

4.2 模型同时配置气囊和安全带

图 8~10 所示分别是正碰台车模型同时配置气囊和安全带的情况下假人头部 HIC 值、胸部 3ms 累积加速度以及胸部变形量对 EDTW 各特征参数变化的灵敏性。根据图中所示，5 个特征

参数中，对假人 3 个伤害值指标影响最大的是 h_2 。随着 h_2 的增加，3 个伤害值均增加。值得注意的是，即便 h_2 增幅达 40%，假人胸部变形量的增幅也不到 7%。其余 4 个特征参数只有 T 的变化对假人头部 HIC 值有一定的影响。随着 T 的增加，假人头部 HIC 值呈一定幅度的减小趋势。

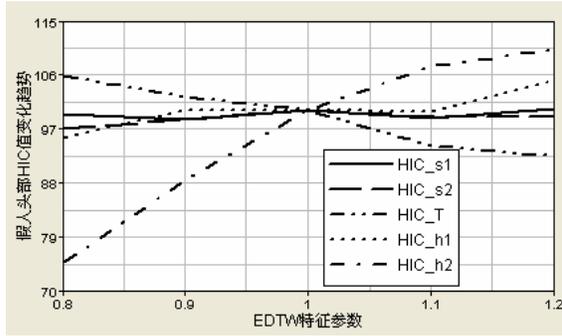


图 8 头部 HIC 值对 EDTW 特征参数的灵敏性

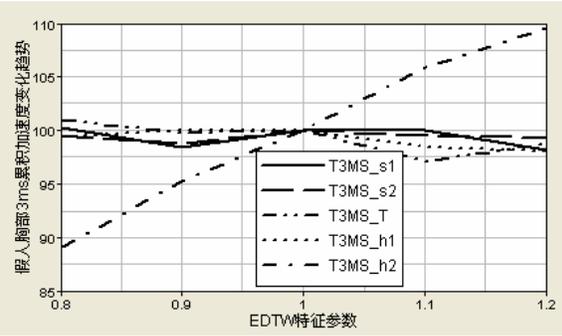


图 9 胸部 3ms 累积加速度对 EDTW 特征参数的灵敏性

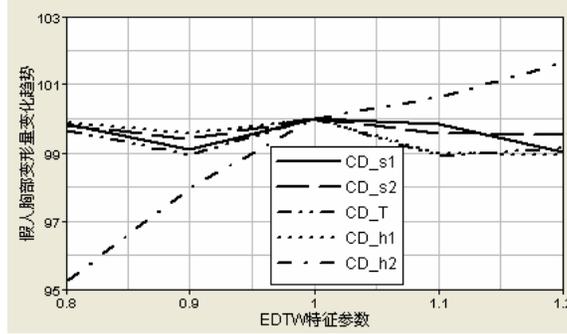


图 10 胸部变形量对 EDTW 特征参数的灵敏性

4.1 模型只配置气囊

图 11~13 反映的是正碰台车模型在只配置气囊的情况下，假人的 3 个伤害值指标对 EDTW 各特征参数变化的灵敏性。如图中所示，假人的 3 个伤害值指标对特征参数 s_1 和 s_2 的变化并不敏感。随着特征参数 T 的增大，假人的 3 个伤害值指标均减小。其中，胸部变形量对 T 的变化最为敏感。 h_1 的增加使得头部 HIC 值有较大的增加，但对另外两个伤害值并不敏感。随着 h_2 的增加，假人头部 HIC 值和胸部 3ms 累积加速度显著增加，但胸部变形量的增加十分有限。

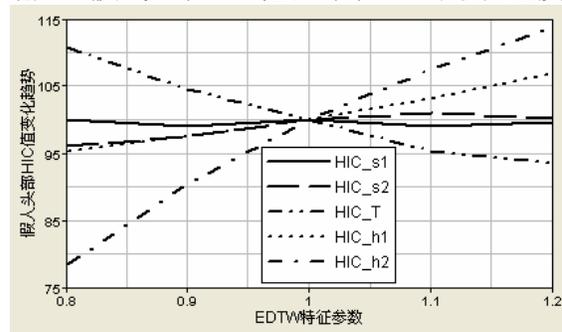


图 11 头部 HIC 值对 EDTW 的灵敏性

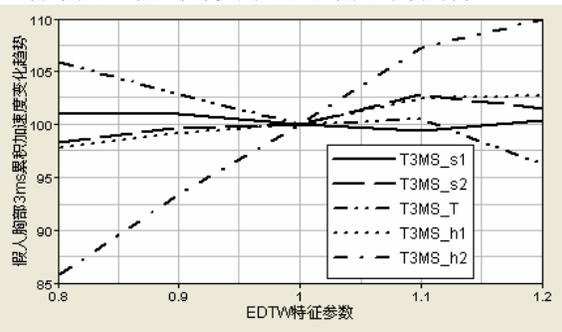


图 12 胸部 3ms 累积加速度对 EDTW 的灵敏性

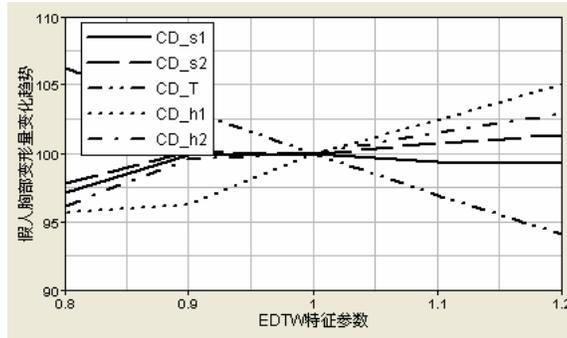


图 13 胸部变形量对 EDTW 的灵敏性

4.3 只配置安全带

图 14~16 所示的是正碰台车模型在只配置安全带的情况下，EDTW 波形特征参数变化时，假人 3 个伤害值的变化规律。3 个伤害值中，假人头部 HIC 值和胸部 3ms 累积加速度对 s_1 、 s_2 和 h_1 的变化均不敏感。随着特征参数 T 的增加，假人头部 HIC 值和胸部 3ms 累积加速度减小。而随着 h_2 的增加，这 2 个伤害值指标则显著增加。对于假人胸部变形量，随着 T 的增加，其值明显减小，而 h_1 和 h_2 增加会导致其值有较大幅度的增加。另外，特征参数 s_1 和 s_2 的变化也对胸部变形量不敏感。

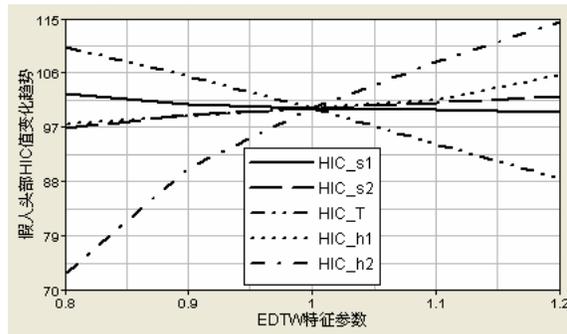


图 14 头部 HIC 值对 EDTW 的灵敏性

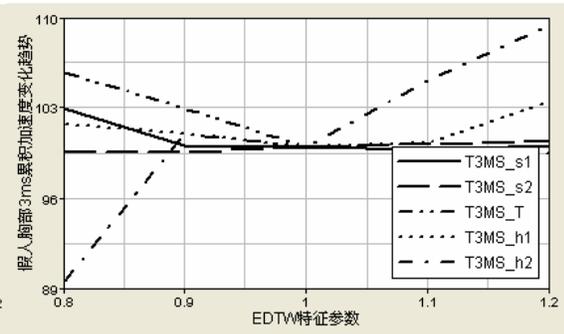


图 15 胸部 3ms 累积加速度对 EDTW 灵敏性

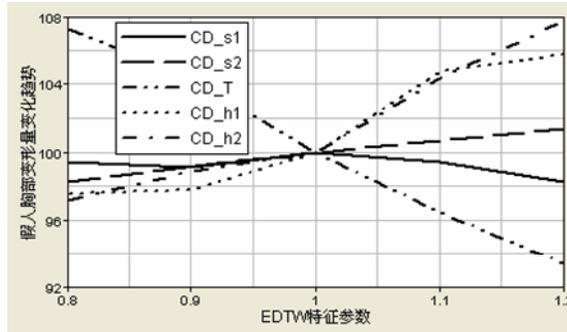


图 16 胸部变形量对 EDTW 的灵敏性

4.4 综合分析

通过比较三种不同正碰台车数学模型下，EDTW 波形特征参数变化对假人头部 HIC 值、胸部 3ms 累积加速度以及胸部变形量的影响发现，当 s_1 和 s_2 具有 40% 的变差时，所引起的假人 3 个伤害值指标响应变化不到 5%。显然，5 个特征参数中参数 s_1 和 s_2 的变化对三种不同约束系统配置方式下假人的 3 个伤害值指标响应均不敏感。但同时也应注意到，三种不同模型下 EDTW 波形特征参数变化对假人的 3 个伤害值的影响不尽相同。在模型同时配置气囊和安全带的情况下，只有 h_2 对 3 个伤害值有显著影响。在模型只配置气囊和只配置安全带的情况下， h_2

对头部 HIC 值和胸部 3ms 累积加速度影响最大，而对胸部变形量影响最大的参数则是 T ，参数 h_1 和 h_2 对胸部变形量的影响以及参数 T 对头部 HIC 值和胸部 3ms 累积加速度影响次之。

5 结束语

在同时配置气囊和安全带、只配置气囊和只配置安全带这三种不同约束系统配置方式下的正面碰撞台车试验中，EDTW 波形特征参数的变化对假人头部 HIC 值、胸部 3ms 累积加速度以及胸部变形量的影响是不一样的。因此，正面碰撞台车试验和车辆的概念设计阶段依据不同的约束系统配置对 EDTW 的 5 个参数加以适当的控制。

本文所使用的 3 种数学模型均为驾驶员侧台车模型，对于副驾驶员侧以及后排乘员对本文结论的适用性有待进一步研究。

6 致谢

天欧汽车工程软件（上海）有限公司的刘学军博士为本项目的研究提供了 MADYMO 软件和临时 LICENSE，在此表示感谢。

参考文献

- 1 马志雄, 朱西产. 台车试验中用等效双梯形波模拟实车正碰减速度波形的研究. 汽车工程.
- 2 TNO. MADYMO User's Application Manual, Version 6.3.2, 2006.
- 3 TNO. MADYMO User's Theory Manual, Version 6.3.2, 2006.