

## 某微型车安全性能优化的研究

李江柳

上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西柳州河西路 18 号

EMAIL:jiangliu.li@sgmw.com.cn

**摘要:** 本文在车身结构确定的情况下对某微车约束系统进行正碰性能参数优化, 保证头部伤害指标最优。将简化后的初始正碰 Madymo 模型用实验验证后, 定义待优化的正碰参数进行优化求解。优化的目标是使假人的各项响应在满足国家正碰法规要求的前提下尽可能低, 优化后的正碰方案最后经实验进行了验证。

**关键词:** 约束系统 正碰 优化

### PARAMETERS OPTIMIZATION FOR FRONTAL CRASH BY USING MICRO GENETIC ALGORITHM

LI Jiangliu

SAIC GM Wuling Automobile, China

**Abstract:** Genetic Algorithm(GA) is employed to solve the problem of constrain system optimization. A Madymo frontal crash model is testified its validity and then is optimized to yield the lowest levels of the occupant injury value and at least satisfy the Chinese legal requirements for frontal crash. It wastes little time to run this problem by using GA, as each simulation time is every little. The accuracy of the method is verified by comparison with optimization results and the test results.

**Key words:** Restraint System Front Crash Parameters Optimization

## 0 前言

不配备安全气囊的微型面包车的安全性的改进是一个比较有挑战性的课题, 其难点主要在于一般微型面包车用于压溃吸能的前部结构长度都比较短, 造成车身有效加速度水平较高, 从而提高了对乘员仓乘员保护系统的要求, 不配备安全气囊进一步增加了问题的难度。有限元和多刚体动力学分析方法现在被广泛应用于乘员保护系统的性能分析和匹配, 在国内外较有影响的软件有 Madymo、LS-Dyna、FCrash 等。在乘员保护系统仿真中生物力学假人模型的精度对计算结果有着至关重要的影响, 由于 Madymo 软件有丰富的经过验证的有限元假人和多刚体假人模型, 在国内的乘员保护系统分析中应用较广。在对乘员保护系统进行优化之前先对乘员保护系统模型进行验证, 验证的内容包括假人大腿的力、胸部压缩变形、头部加速度等。

优化方法可分为确定性搜索方法、全局搜索方法、混合方法等。确定性搜索方法指利用目标函数的导数关系确定搜索方向的一些方法, 如: Levenbeg-Marquardt 方法、牛顿法、最速下降法、共轭梯度法、松弛法、超松弛法、变尺度法等。由于确定性搜索方法需要计算目标函数的导数, 很容易陷于局部最优的陷阱, 其结果也与问题的初始值有较大的关系。全局搜索方法包括遗传算法和模拟退火法等, 该类方法不需要计算目标函数的导数, 通过随机搜索寻找问题的全局解。遗传算法 (Genetic algorithm, 简称 GA) 是由美国 Michigan 大学的 John Holland 教授等人于 1975 年提出来的[1]。它是一种借鉴生物界自然选择和进化机制发展起来的一种全局优化算法, 采用选择、交叉、变异等操作实现问题全局优化的目的。该类算法有较强的抗噪声干扰能力以及全局寻优能力, 缺点是迭代计算的次数较多。

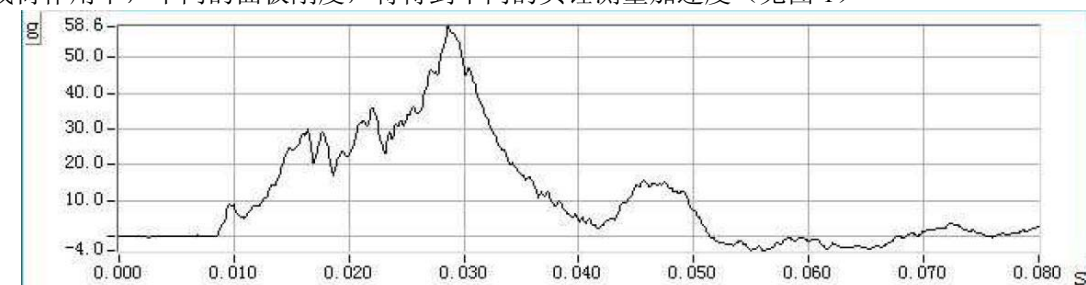
本文所涉及到的微车正碰模型中大部分的子系统模型采用的是多刚体模型, 这样做的好处是可以将复杂的物理关系转化得更加直观, 并且可以使计算时间极大地缩短。由于本文中约束

系统不配备有安全气囊，一次模拟 100ms 正碰系统响应的计算时间在一分钟左右，完全可以采用遗传算法进行问题的求解。

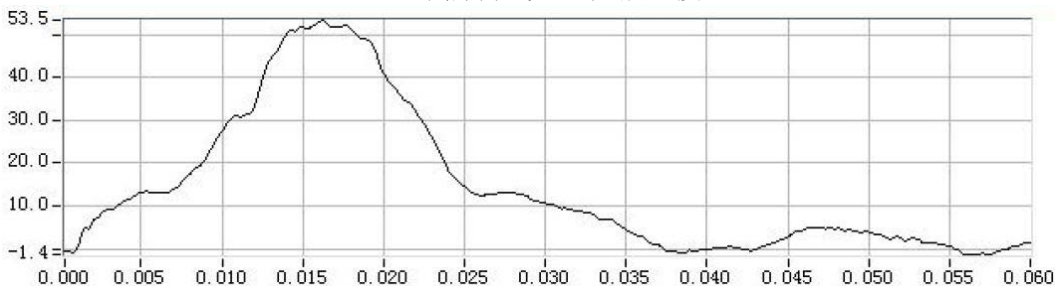
## 1 计算模型验证

Madymo 正碰模型的建模请参考 Madymo 应用手册[2]。本文提到的正碰模型如图 1a 所示，包括车体系统、方向盘、座椅、假人和安全带。车体系统包括：地板、防火墙、仪表板和风挡。车体系统和方向盘、座椅以及安全带安装点、假人 H 点按照整车有限元模型在 Madymo 中准确建模。安全带采用多体与有限元混合建模。各子系统模型参数都由部件实验获得，分别进行了方向盘头锤撞击实验、座椅刚度实验、安全带延伸率实验、卷收器卷轴效应实验。

在优化阶段对不同结构的方向盘进行头锤撞击实验，方向盘的主要性能为面板刚度，在冲击载荷作用下，不同的面板刚度，将得到不同的头锤测量加速度（见图 1）



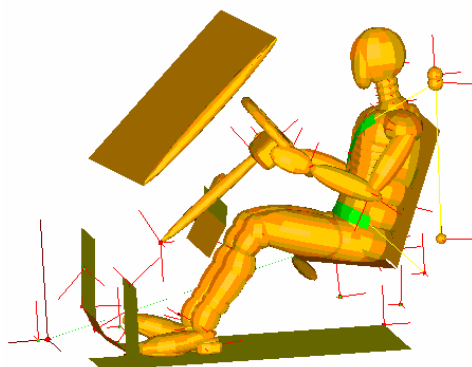
a 三副方向盘头锤冲击加速度



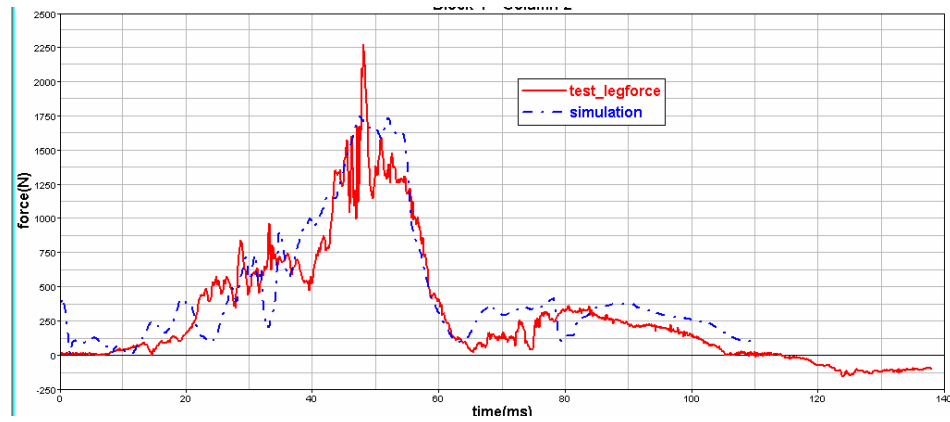
b 四副方向盘头锤冲击加速度

图 1 方向盘头锤冲击加速度对比

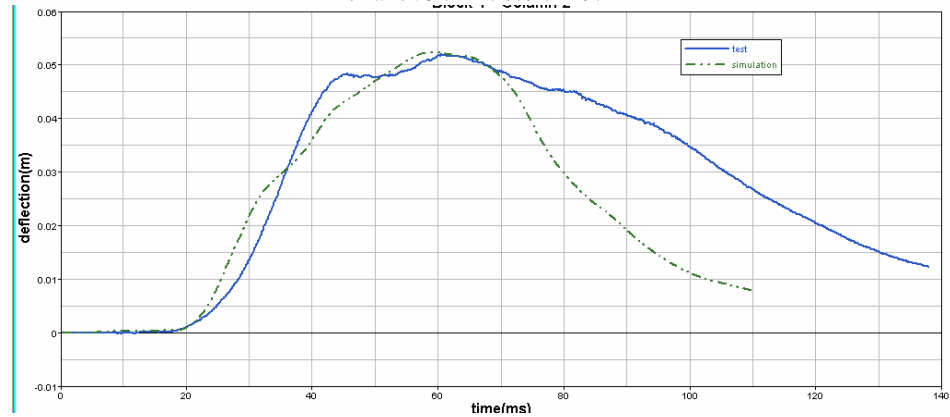
正碰模型的验证遵循自下而上的原则，即先验证脚、大腿、髋部的响应，然后胸部、颈部的响应，最后头部响应；加速度和力对时间曲线等的验证应该比较起始时刻、峰值时刻、峰值大小、形状等基本特征。图 1 为模型验证结果，比较了实验和仿真计算得到的大腿力、胸部压缩量和头部加速度曲线，从图中可以看出仿真曲线的基本特征与实验曲线基本上相符。



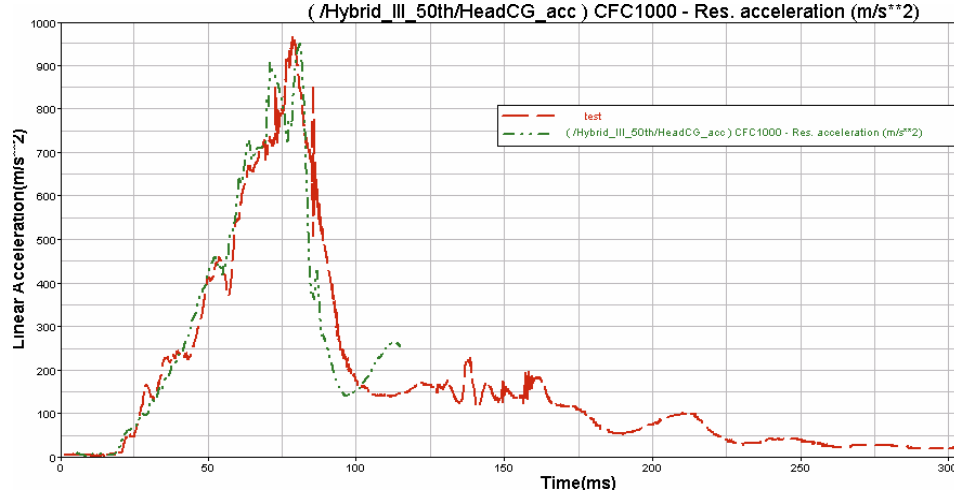
a Madymo 正碰计算模型



b 大腿力实验与仿真比较



c 胸部压缩量实验与仿真比较



d 头部加速度曲线实验与仿真比较

图1 正碰 Madymo 计算模型及与实验结果比较

## 2 优化

由于初始实验结果不满足国家正面碰撞法规《GB 11551-2003 乘用车正面碰撞的乘员保护》的要求，其中主要是头部 HPC 值偏高，由图 1d 头部加速度曲线计算头部 HPC 值为 1335.1，要求的 HPC 是必须不大于 1000，所以必须对正碰模型的一些参数进行优化。由于法规中除头部 HPC 值不达标外其它指标都满足法规要求，故本文中的优化目标为使 HPC 值最小，约束项是与法规有关的指标不超过法规要求，其中包括：大腿最大力小于或等于 10kN、胸部最大压缩量应小于或等于 75mm。待优化的参数有：安全带刚度、卷收器刚度、方向盘接触刚度、假人

H 点位置、安全带安装点位置及带扣手柄长度。这些优化参数的取值可能性受到具体的工艺以及可实现程度的限制。本文采用如下步骤优化参数：

主程序给定设计变量、目标函数及约束变量；

在主程序中用遗传算法随机取初值；

主程序调用 Madymo 计算模型计算得到试探参数的目标响应值并传回主程序计算目标函数和约束函数；

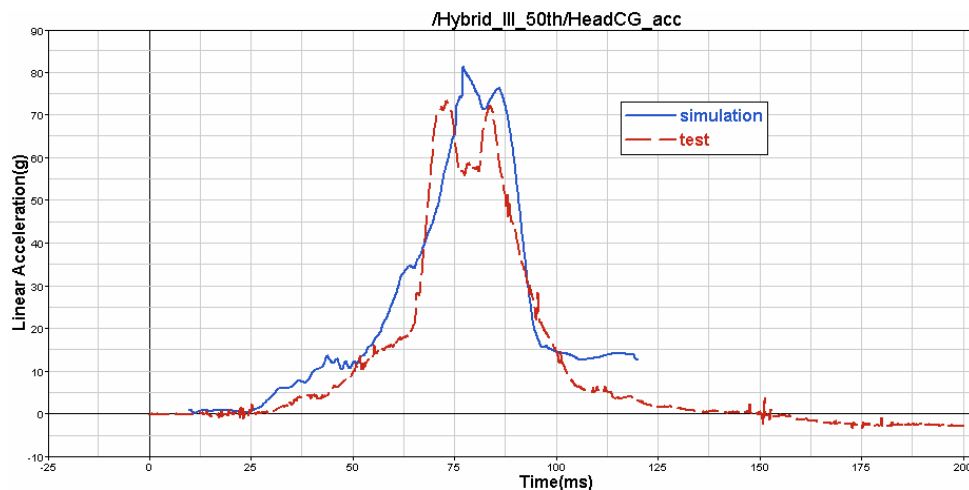
评价优化设计变量的响应值与测量值，若优化解满足要求或者已经达到设定的最大迭代次数，停止计算，否则执行步骤(5)；

遗传算法重新取值并跳转步骤(3)。

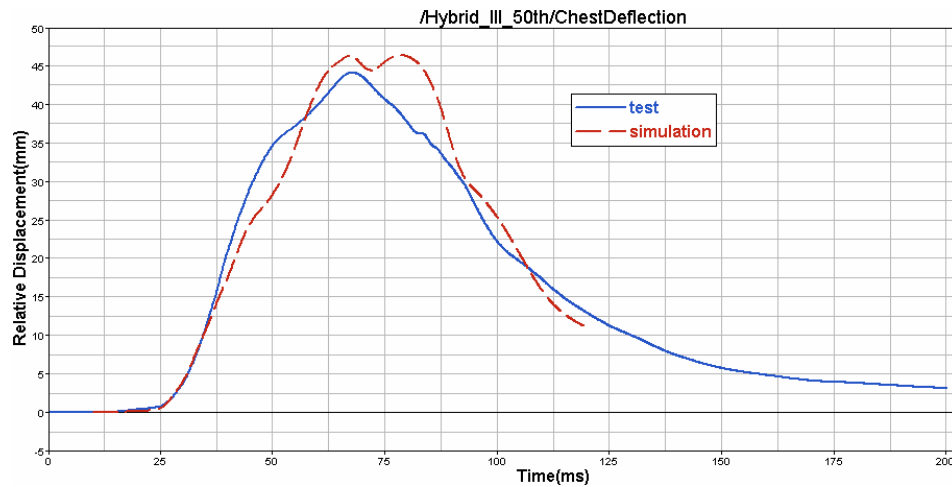
采用的遗传算法是经韩旭等[3]改进过的一致交叉 micro GA，micro GA( $\mu GA$ )是在 1989 年由 Krishnakumar 提出的[4]，采用二进制编码和一致交叉、竞争选择、最优保留的机制。 $\mu GA$  与一般的 GA 不同之处在于  $\mu GA$  不进行变异操作和种群的个体较少。由于种群的个体较少，通常用不了多少代就会收敛，这时在保留最优个体的同时随机地产生新的种群。研究表明， $\mu GA$  不光是能避免早熟且寻优性能比一般的 GA 优越[5]。此算法每一代的种群的个数一般保持在 5 个较好。

### 3 计算结果与验证

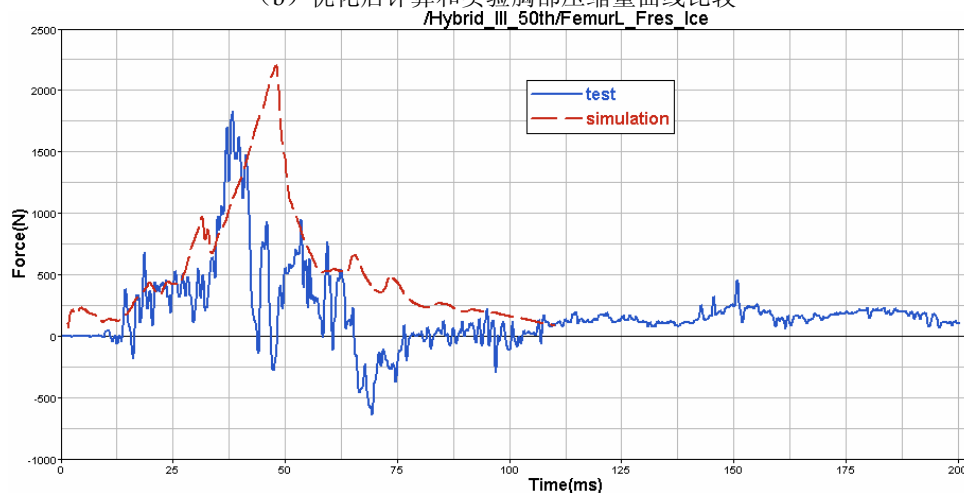
经遗传算法 1000 次迭代后，得到如图 2 所示的最优的仿真计算结果。虽然迭代了 1000 次，由于每次调用 Madymo 计算的时间约 1 分钟，实际优化计算的时间不到 1 天。按照优化后的参数调整了整车状态后进行了国家法规碰撞实验，图 2 是优化计算结果和碰撞实验结果的对比，优化计算的目标函数（头部 HPC）值为 860.80，实验值为 931.27；胸部最大压缩量优化计算值为 46.3mm，实验值为 44.09；左边大腿最大受力优化计算值为 2196N，实验值为 1830N。数据表明优化后 50%混 III 假人各项响应值均达到了国家法规要求，且仿真和实验的各项值也比较接近。



(a) 优化后计算和实验头部加速度曲线比较



(b) 优化后计算和实验胸部压缩量曲线比较



(c) 优化后计算和实验大腿受力比较

图2 优化后计算和实验 50%混 III 假人响应值对比

#### 4 结论与讨论

为了使某微型车能够通过国家正面碰撞法规要求, 本文在验证了 Madymo 正碰模型的基础上采用遗传算法进行正碰相关参数的优化, 经实验验证优化后的结果满足了国家碰撞法规要求。优化后的 HPC 值还是很高, 但这不是优化方法的问题, 主要由于该车前部可压溃吸能区域较短, 车身有效加速度较高, 且不配备有安全气囊。豪华版的带安全气囊的车的 HPC 值会很低, 但是其优化较难采用遗传算法进行, 主要原因是带安全气囊的模型的计算时间较长, 一般要 4 到 8 个小时, 从而使优化计算时间很长, 对于这样的问题的优化可以采用其它的优化方法, 如 Levenbeg-Marquardt 方法或者响应面方法。采用 Levenbeg-Marquardt 方法要注意初始参数的选择, 因为对于不同的初始参数可能会有不同的结果。采用响应面方法要注重参数区间的确定, 要根据经验合理选取区间, 这对于得到理想的优化结果较为关键。优化后参数的稳健性经过了另外一次实验的考察, 其结果是: HPC 值为 858, 胸部最大压缩量 48.2, 左腿力最大 870N。两次实验的结果中 HPC 值和胸部最大压缩量相差不大, 大腿力差别较大但力值都很小, 两次实验的间隔时间有将近半年, 这些说明优化后参数的波动对结果的影响较小。

#### 参考文献

- [1] Holland J.H., Adaptation in natural and artificial system, Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1975.

- [2] Madymo 应用手册.
- [3] Han,X.,and Xu,D.,A computational method for reconstruction of elastic constants of anisotropic laminated plate,6th U.S. National Congress on Computational Mechanics,Dearborn,Michigan,August 2001
- [4] Krishnakumar,K., Micro-Genetic Algorithms for Stationary and Non-Stationary Function Optimization, SPIE: Intelligent Control and Adaptive Systems, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers,Philadelphia,1989, 1196.
- [5] Liu G.R. and Han X., Computational inverse techniques in nondestructive evaluation. CRC Press, Boca Raton. USA ,2003 : 137~164.