

# 汽车内儿童乘员致伤原因研究方法

王宏雁<sup>1</sup>, 潘曙明<sup>2</sup>, 曹清清<sup>1</sup>

(1. 同济大学汽车学院, 上海 201804; 2. 上海交通大学医学院附属新华医院急救中心, 上海 200092)

**摘要:** 基于平均加速度理论, 采用 PC-Crash 与 MADYMO 软件建立了典型儿童乘员交通事故的模型, 通过耦合计算获得儿童假人的动态响应和伤害程度, 结合尸检报告定性分析了儿童乘员的致伤机理。

**关键词:** 儿童乘员; 事故重现; 乘员运动

**中图分类号:** U 461.91

**文献标识码:** A

## Methodology Study on Causes of Child Occupant Injury in Traffic Accident

WANG Hongyan<sup>1</sup>, PAN Shuming<sup>2</sup>, CAO Qingqing<sup>2</sup>

(1. College of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Emergency Centre, Xinhua Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Accident reconstruction is an effective method to study the causes of child occupant injury in traffic accident. On the basis of “mean acceleration”, a typical traffic accident with child occupant is simulated by PC-Crash and MADYMO. Child occupant movements and injury risks during the impact are well performed. A qualitative analysis on the causes of child occupant injuries in this accident is carried out and described.

**Key words:** child occupant; accident reconstruction; occupant motion.

儿童道路交通伤害是全球关注的问题, 据公安部交通管理局的《道路交通事故统计年报》显示, 2008 年在中国交通事故中死亡的 12 岁以下儿童总人数为 3 477 人, 受伤 12 765 人, 其中 1~6 岁儿童死亡人数是 2 116 人, 受伤 6 350 人<sup>[1]</sup>. 研究表明, 儿童约束装置的使用能大大降低儿童乘员在交通事故中所受的伤害. 许多国家都立法强制儿童乘员必须使用儿童安全座椅. 因此国外对儿童乘员安全性的

研究主要集中在儿童安全座椅的设计优化及儿童安全座椅的误用等方面. 但是在我国对儿童乘车安全性的认识和研究才刚刚起步. 儿童安全座椅的使用率极低, 儿童乘员所面临的交通伤害更加严峻. 因此, 基于我国绝大部分儿童乘员不使用任何约束装置的现状, 有必要研究儿童在碰撞过程中的运动响应和伤害, 为儿童乘员交通伤害损伤机理的研究提供依据. 本文在参考国外对车内成人乘员动态响应的研究基础上, 结合我国儿童乘员的乘车现状和道路交通事故形态特点, 分析了一起典型的碰撞事故中儿童的动态响应. 并且在此基础上, 结合尸检报告和儿童医学专家专业知识等信息对儿童乘员的致伤原因做了定性的分析.

## 1 分析方法

本课题研究方法采用 PC-Crash 模拟计算获得事故中车辆的运动过程, 再结合 MADYMO 软件计算得到儿童假人在事故中的运动响应和载荷.

PC-Crash 是采用动量冲量法的事故再现软件<sup>[2]</sup>. 可根据碰撞车辆的参数、事故现场道路环境参数、碰撞前后车辆的行驶方向和最终位置、制动痕迹和运动参数等信息重构事故过程. 运用 PC-Crash 模拟车辆运动, 乘员的质量是作为额外的质量加入车体中的. 由于采用经典碰撞模型来计算, 车辆的变形没有考虑在内, 默认碰撞力的交换发生在无限小的时间段内. 输出结果为车辆随时间变化的速度和加速度曲线以及碰撞前后的运动轨迹.

MADYMO 是采用多刚体动力学法进行模拟乘员运动态响应和载荷的软件, 在运用 MADYMO 模拟时, 一般以碰撞脉冲作为边界条件. 因为忽略了车体碰撞变形的接触时间, PC-Crash 的输出结果并没有如实描述车辆的运动. 实际交通事故车辆所

收稿日期: 2010-06-17

基金项目: 上海市国际科技合作项目(09410707200)

第一作者: 王宏雁 (1962—), 女, 教授, 工学博士, 主要研究方向为汽车被动安全及车身轻量化. E-mail: why-sos@vip.sina.com

受的各自由度的碰撞脉冲需要通过实车碰撞试验获得,在采用有限元法模拟计算时,也需要详细的、被验证过的车辆有限元模型,而这些在事故再现分析时不可能做到.因此 H Steffan 等人提出了平均加速度法<sup>[3]</sup>,对 PC-Crash 输出的速度曲线进行处理.平均加速度大小取决于添加碰撞接触时间段的长度.如图 1 所示,PC-Crash 中默认碰撞持续时间为零,即无实际碰撞持续时间.通过插入不同长度的碰撞持续时间模拟计算得到的假人头部和胸部加速度值与实车碰撞试验的结果相比较,发现当插入的时间长度是实际碰撞持续时间的 60% 时,与实车碰撞试验的结果最符合.

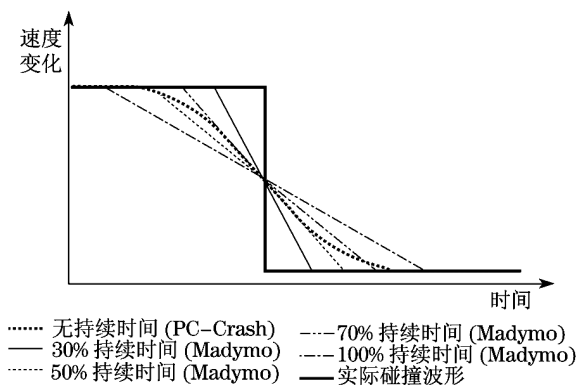


图 1 不同碰撞持续时间的速度曲线图

Fig.1 Velocity curves of different impact duration times

但是,在实际交通事故中,碰撞持续时间随着不同车速、不同碰撞工况和不同车辆等变化条件而变化,无法直接获得或者简单地推算得出.这给该方法的运用造成了一定的难度.同时,该方法中模拟的都是正确使用安全带的成人驾驶员,并没有模拟乘员与车体内部的碰撞接触载荷,车体内部模型也不具体.

本课题研究所选取的是 1 例儿童乘员伤害的典型交通事故案例.儿童乘员没有使用任何约束装置,儿童与车体内部结构会发生碰撞,因此在 MADYMO 中需要建立更为详细的车体内部模型.由于缺乏事故实际碰撞接触持续时间信息,在 PC-Crash 与 MADYMO 之间传递参数时初步选择了一个持续时间段,通过分析 MADYMO 输出的儿童假人的动态响应和伤害值,得到对其伤害的初步认识,并对致伤原因做出初步分析.考虑车辆碰撞持续时间的不确定性,选择了不同碰撞持续时间进行模拟,并比较了它对计算结果的影响,通过对比儿童假人的动态响应及伤害值,比对尸检报告,便可得到致伤原因的定性

结论.

## 2 事故再现

### 2.1 事故描述

车辆沿着公路由东向西行驶至路口左转时失控,车头撞到路边的行道树.副驾驶位置坐一名 6 岁儿童,未使用任何约束装置,因颅脑损伤,经医院抢救无效死亡.成人驾驶员没有受伤.车体内部没有严重变形和损坏.

### 2.2 车辆碰撞运动响应速度计算

根据事故车辆实际情况设置车辆的几何、质量参数,在 PC-Crash 中建立车辆碰撞的 2 维模型;根据事故现场的道路环境,设置道路摩擦因数、路阶等环境参数;参考驾驶员口述车辆速度等信息,调整车辆初始速度、制动、转向等相关参数,使得计算模型中的事故车辆最终停止位置与实际事故中的停止位置吻合.事故再现的结果如图 2 所示.

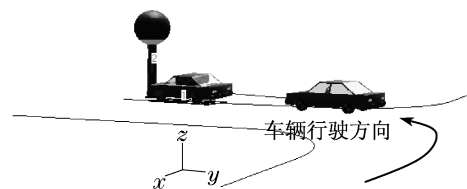


图 2 PC-Crash 再现的车辆碰撞过程图

Fig.2 Impact procedure reconstructed by PC-Crash

输出车辆质心处  $x$  和  $y$  方向的速度 ( $v_x, v_y$ )—时间曲线,以及质心处绕  $z$  轴的角速度 ( $\omega_z$ )—时间曲线,如图 3 所示.速度突变发生在 1.020 ~ 1.021 s 这 1 ms 的时间步长内,碰撞力交换也发生在其间.

### 2.3 碰撞持续时间计算

选取速度发生突变的时刻,也就是 PC-Crash 计算的碰撞力交换时间,作为车辆碰撞持续时间的插入点.根据 PC-Crash 的计算结果,车辆与行道树发生碰撞时车速大约在  $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .参考《汽车碰撞基本规律研究中》指出的碰撞相对车速与碰撞持续时间的关系<sup>[4]</sup>,再结合工程经验,初步假设需要添加的碰撞持续时间为 60 ms.运用平均加速度法,在加速度—时间曲线上速度发生突变的时间延长,加入 60 ms 的平均加速度的值根据动量定理公式  $a_x = \Delta I_x / mt$  和  $a_y = \Delta I_y / mt$  求得.其中,  $a_x, a_y$  为车辆在  $x$  和  $y$  方向上的加速度;  $\Delta I_x$  及  $\Delta I_y$  为碰撞后车辆在  $x$  和  $y$  方向上动量变化量;  $m$  为车辆质量;  $t$  为插入碰撞持续时间.加入了平均加速度的曲线,如图

4 所示,就是采用 MADYMO 软件进行乘员运动响应计算的初始边界条件.

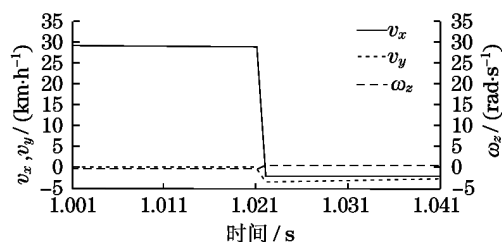


图 3 车辆质心处速度曲线

Fig.3 Velocity curves of center of gravity

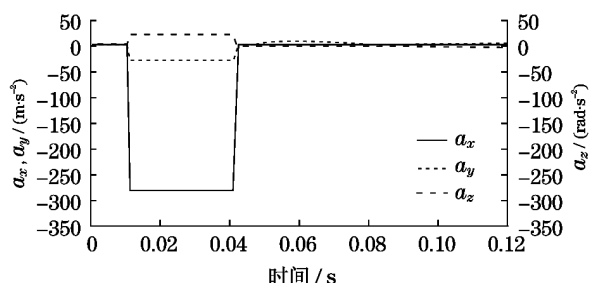


图 4 加入 60 ms 碰撞持续时间后的加速度曲线

Fig.4 Acceleration curve of 60 ms duration impact time

## 2.4 儿童乘员运动响应计算

利用 MADYMO 软件,建立车体几何及材料模型.采用混合Ⅲ型 6 岁儿童假人.根据事故记录,事故时儿童正向坐在副驾驶位置用早餐.因此设置儿童假人的乘坐姿势为正向坐在副驾驶位置上,并进行初始定位,定义接触,车体质心处加载  $x$  和  $y$  方向的加速度曲线以及绕  $z$  轴的角加速度曲线.

计算得到假人的动态响应如图 5 所示.儿童下颌先撞到仪表板上部,继而是胸部和头部与仪表板前部碰撞,其后儿童向后弹离.从假人各部位的加速度曲线(图 6)可知,儿童头部加速度最大峰值出现在下颌与仪表板撞击的时刻, HIC36 (head injury criterion, 头部损伤准则, 计算时间间隔为 36 ms) 值高达 6 323;胸部上部加速度最大峰值达到出现在假人胸部与仪表板撞击后挤压变形较大的时刻, T3ms (torax 3ms, 胸部 3 ms 加速度值) 为  $346 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . 因此儿童头部受到严重伤害的风险很高.初步分析得出,胸部撞击不会对儿童造成很大伤害,而下颌与仪表板的撞击会对儿童头部造成严重的伤害.

## 2.5 碰撞接触持续时间影响分析

分别选取 50 和 70 ms 时间段作为碰撞持续时间,处理得到 2 种不同的 MADYMO 边界条件,探讨其对儿童乘员动态响应和伤害程度的影响.

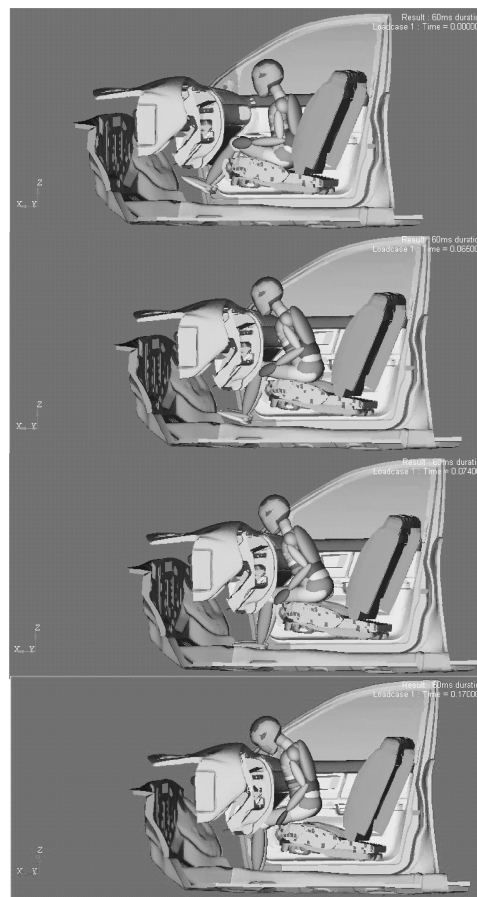


图 5 60 ms 碰撞持续时间儿童假人的动态响应过程图

Fig.5 Occupant response of 60ms impact duration time

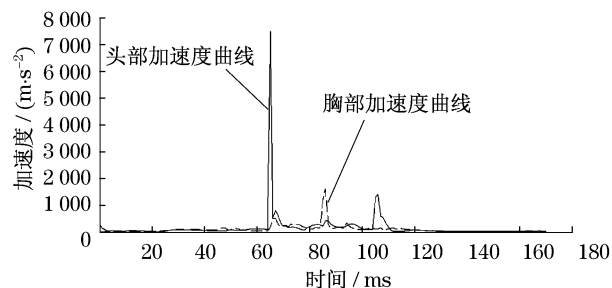


图 6 60 ms 碰撞持续时间儿童假人的头部和胸部加速度曲线

Fig.6 Head and thorax acceleration curves of 60 ms impact duration time

通过图 7 比较发现,不同碰撞接触持续时间下,假人各部位与车体发生碰撞的时刻稍有差异.碰撞持续时间越短,车辆碰撞脉冲的加速度值越大,假人头部与仪表板发生碰撞的时刻越早,胸部发生碰撞的时刻也相应提前.从加速度曲线来看(图 8),不同持续时间下,碰撞持续时间越短,头部加速度峰值的时刻越早,峰值越大.但碰撞接触持续时间对假人与车体发生碰撞的部位和先后顺序没有影响.虽然模

拟计算得到的儿童伤害值大小有待进一步验证,3 组仿真试验得到的胸部 T3 ms 值都在 FMVSS (american federalMotor vehicle safety satands,美国联邦机动车安全标准)213 法规的限制范围内,而头部 HIC36 值都远远超出法规的限制.可见,碰撞持续时间虽然存在一定的不确定性,但是在小范围内的变化对儿童假人与车体发生碰撞的部位、顺序和假人的伤害值不会有本质的影响.



图 7 不同碰撞持续时间试验的头部碰撞时刻

Fig.7 Head impact moments of different duration time

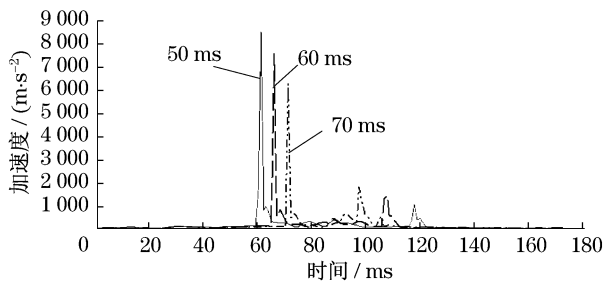


图 8 头部加速度曲线

Fig.8 Head accerlaration curves

## 2.6 儿童伤害及致伤原因分析

通过事故再现分析可得,在这起事故中儿童乘

员因乘坐在副驾驶位置上,并且没有采取任何约束与保护措施,使其在车辆发生碰撞的过程中因惯性脱离座椅,下颌与仪表板发生剧烈撞击,对颅脑造成致命伤害;其胸部也撞击到仪表板,但是对儿童胸部造成的伤害并不大,是因为儿童胸部的肋骨比较柔软,利于通过变形分散碰撞能量.这与尸检报告中显示的伤害主要为头部下颌处青紫,致命伤害为重度颅脑损伤相符.

## 3 结语

重现道路交通事故中乘员的动态响应和伤害可以运用动量冲量法的 PC-Crash 软件与多刚体 MADYMO 软件耦合计算的方法,它能大大简化实际道路交通事故再现的难度,尤其是对车内乘员运动响应和伤害程度的定性分析有非常大的帮助.平均加速度法是在 PC-Crash 与 MADYMO 之间进行参数传递时行之有效的处理方法.在碰撞持续时间无法获得的情况下,可以根据已有的研究成果及工程经验来选择碰撞持续时间进行仿真计算和定性分析.仿真结果结合儿科专家的医学专业知识以及儿童伤亡资料,能较好地定性分析儿童乘员交通伤害的致伤原因.

## 参考文献:

- [1] 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报 (2008 年度)[R]. 北京:公安部交通管理科学研究所,2009. Traffic Management Bureau of Ministry of Public Security of the People's Republic of China. Road traffic accidents statistic report of the People's Republic of China (2008) [R]. Beijing: Traffic Management Scientific Institute of Ministry of Public Security,2009.
- [2] Steffan H,Moser A. The collision and trajectory models of PC-Crash[R]. Detroit:International Congress & Exposition,1996.
- [3] Geigl B C, Hoschopf H, Steffan H, et al. Reconstruction of occupant kinematics and kinetics for real world accidents[J]. International Journal of Crashworthiness,2003,8(1):17.
- [4] 刘学术,宋振寰,于长吉. 汽车碰撞基本规律研究[J]. 天津汽车,2004(3):22. LIU Xueshu,SONG Zhenhuan, YU Changji. Study on basic principle of vehicle crash[J]. Tianjin AUTO,2004(3):22.