

The Research on the Characteristics of Head Acceleration Curve Based on Mathematical Analysis

Hongyun LI, Feifei HAN, Shuang LU

¹China Automotive Technology & Research Center, Tianjin, 300300

Email: lihongyun@catarc.ac.cn

Abstract: The head acceleration curve in frontal rigid impact were studied by mathematical method, and the characteristics of head acceleration were obtained. It can be used as criterion to judge whether there are contacts between head and steering wheel. On this basis, an intelligent system for judgment was developed through the computer programming.

Keywords: head acceleration, characteristics of curve, contact with steering wheel, intelligent system for judgement

基于数理分析的头部加速度曲线特征研究

李红运, 韩菲菲, 鲁爽

¹中国汽车技术研究中心, 天津, 中国, 300300

Email: lihongyun@catarc.ac.cn

摘要: 本文对正面刚性碰撞中的几种典型的头部加速度曲线进行了研究, 并采用数理分析方法获得了头部加速度的相关特征, 从而为头部与方向盘是否发生接触提供了判断依据。在此基础上, 通过计算机编程, 生成了头部接触智能判断系统。

关键词: 头部加速度; 曲线特征; 接触方向盘; 智能判断系统

1 引言

C-NCAP 自 2006 年 8 月底开始正式实施, 至今已经过去了 10 年多的时间, 执行标准也历经了 2006 年版、2009 年版、2012 年版和 2015 年版^[1], 并于 2016 年 8 月 5 日在天津举行了 C-NCAP 2018 版方案说明会。随着 C-NCAP 不断推出新的版本, 汽车制造厂商在汽车安全方面的挑战不断增大。以 2015 版 C-NCAP^[2]五星车型的开发为例, 为了达到 C-NCAP 五星, 需要总分至少达到 54 分, 而为了增加可靠性, 需要在开发过程中有 1 分的余量, 这样总分需要至少达到 55 分, 而总分只有 61 分, 这意味着, 每个工况的得分率要达到 92% -95%, 才能达到项目的技术开发目标, 难度可见一斑^[3]。

汽车制造厂商除了需要保证汽车性能要求, 还需要严格控制制造成本, 以获得更高的产品市场竞争力。因此, 汽车安全开发者为了提高汽车的安全性能, 往往只能在现有的车型配置下, 不断挖掘现有乘员约束系统的潜能。

常见的一种情况是, 为了降低头部、颈部和胸部的伤害值, 而不断降低安全带的限力等级或者增大气囊气孔, 但这样带来的风险是, 头部、胸部可能会与方向盘发生接触, 导致头部、胸部的伤害值迅速增大。因此, 汽车安全开发者常常把头部、胸部与方向盘发生接触作为临界值。而在实际的整车碰撞试验中, 由于安全气囊等物体的遮挡, 很难直接判断头部、胸部是否与方向盘发生了接触。在 Euro-NCAP 法规^[4]中, 如果头部、胸部与方向盘发生了接触, 则需要分别罚去 1 分。因此, 关于头部、胸部是否与方向盘发生了接触, 在 Euro-NCAP 法规中是作为一个主观评价项, 需要资深的技术专家才能做出准确的判断。

本文在研究大量头部加速度曲线的基础上, 总结出了三种典型的头部加速度, 并以此, 寻找到头部与方向盘发生接触的关键特征, 为头部与方向盘是否发生接触提供了判断依据。在此基础上, 通过计算机编程, 生成了

头部接触智能判断系统，为汽车安全开发者提供了一种开发工具。

2 几种典型头部加速度曲线分析

2.1 典型头部加速度曲线一

在正面刚性碰撞中，第一种典型的头部加速度曲线如下图 1 所示。

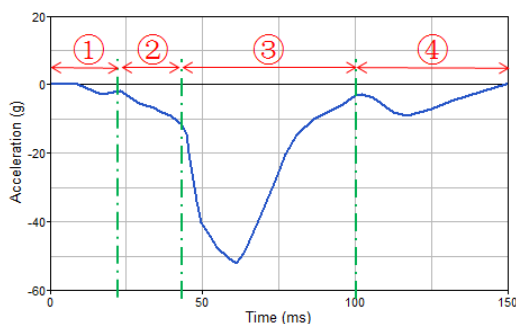


Figure 1. Curve 1: head acceleration X

图 1. 头部 X 方向加速度曲线一

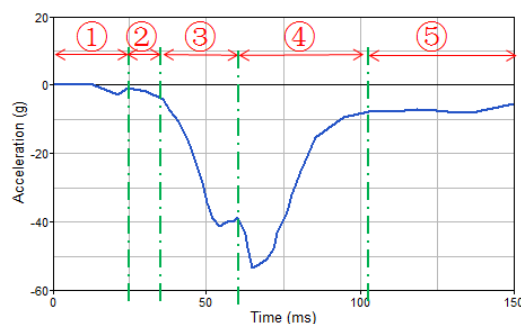


Figure 2. Curve 2: head acceleration X

图 2. 头部 X 方向加速度曲线二

该类型的头部加速度曲线可以分为 4 部分：①部分为假人头部尚未移动或者发生轻微移动；②部分为假人头部发生移动但尚未与安全气囊发生接触；③部分为假人头部与安全气囊发生接触阶段；④部分为假人头部处于回弹阶段，头部不断远离方向盘。

由于①部分、②部分和④部分头部距离方向盘较远，不存在接触的风险，因此，只有③部分存在接触风险，称之为有效接触区间。

2.2 典型头部加速度曲线二

在正面刚性碰撞中，第二种典型的头部加速度曲线如图 2 所示。

该类型的头部加速度曲线与图 1 相比，多增加了一部分，即图 2 所示的④部分。头部加速度在达到一定阶段后突然增大，即④部分为假人头部与方向盘发生接触的阶段。

类似地，③部分和④部分存在头部接触方向盘的风险，称之为有效接触区间。

2.3 典型头部加速度曲线三

在正面刚性碰撞中，第三种典型的头部加速度曲线如下图 3 所示。

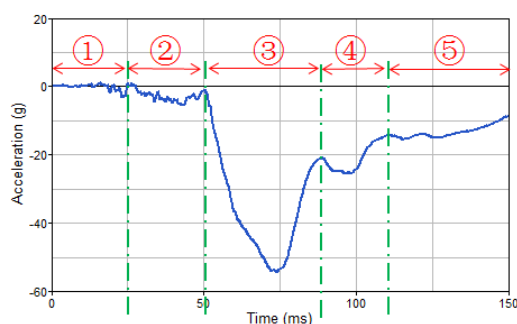


Figure 3. Curve 3: head acceleration X

图 3. 头部 X 方向加速度曲线三

该类型的头部加速度曲线与图 2 类似，也分为 5 部分。但仔细观察曲线 2 和曲线 3 可以发现，曲线 2 中④部分的峰值较大（大于 50g），而且出现的时间靠前（在 70ms 之前），而曲线 3 中④部分的峰值较小（小于 30g），

而且出现的时间靠后（接近 100ms）。

类似地，③部分和④部分存在头部接触方向盘的风险，称之为有效接触区间。

3 头部加速度曲线数理分析

通过上述三种典型头部加速度曲线的比较分析，可以定性地得知，三种曲线的特征各不相同，但是并不能定量地说明每条曲线的特征。通过数理分析方法，可以有效说明每条曲线的特征。

3.1 导数法

导数是研究数学和其他自然科学的基础,是研究客观事物变化率和优化问题的有利工具，利用导数求最值和极值，是导数的主要应用之一^[5]。

导数求极值的步骤如下：

（1）首先求 $f(x)$ 的导数；（2）求 $f(x)$ 的导数等于 0 的根；（3）检查 $f(x)$ 的导数方程根的符号，如果左正右负，则 $f(x)$ 在该方程根处为极大值；如果左负右正，则 $f(x)$ 在该方程根处为极小值；

根据上述方法，对图 1、图 2 和图 3 所示的头部加速度曲线求导，观察极值的情况，如下图 4、图 5 和图 6 所示。

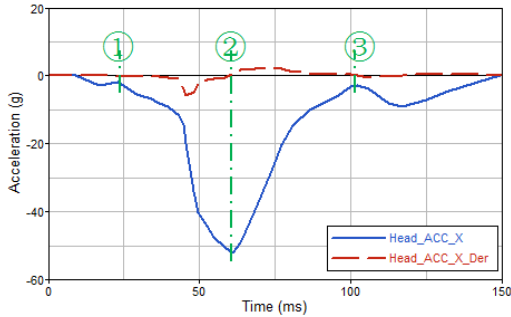


Figure 4. Curve 1: derivative of head acceleration X
图 4. 头部 X 方向加速度曲线一求导数

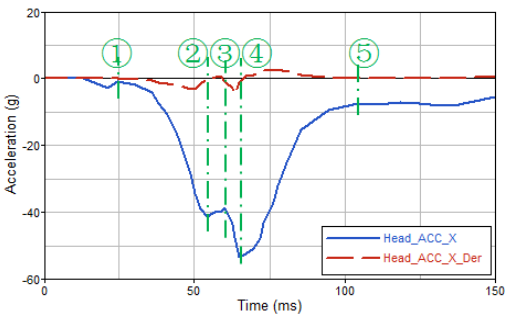


Figure 5. Curve 2: derivative of head acceleration X
图 5. 头部 X 方向加速度曲线二求导数

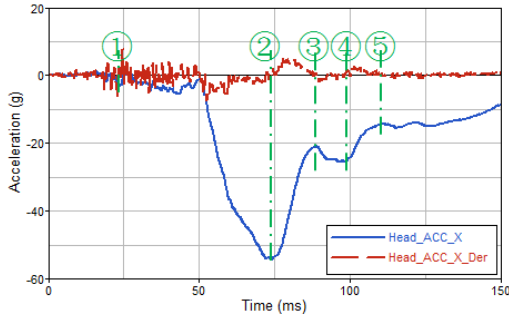


Figure 6. Curve 3: derivative of head acceleration X
图 6. 头部 X 方向加速度曲线三求导数

3.2 曲线特征研究

从图 4、图 5 和图 6 可以看出，三种典型头部加速度的特征如下表 1 所示。

从上表 1 得知，头部加速度曲线的特征和头部接触情况的关系如下：

（1）当方程根在有效接触区间的方程根为 1 时，头部加速度只有一个极小值，此时头部与方向盘没有发生接触；

其物理意义在于，头部与安全气囊接触后，在头部向前移动过程的整个过程中，头部始终与安全气囊接触且没有和其他物体接触，因此，头部加速度呈现类似抛物线形状，只有一个顶点。

表 1. 头部加速度曲线特征

Table 1. Characteristic of head acceleration X

曲线名称	典型曲线一	典型曲线二	典型曲线三
方程根数量	3	5	5
最小值 /g	-52.08	-53.55	-54.35
最小值时刻 /ms	61.15	64.95	74.11
次大值 /g	无	-41.16	25.54
次小值时刻 /ms	无	54.41	98.4
头部接触	无	有	无

(2) 当方程根在有效接触区间的方程根为 3 时，头部加速度有 2 个极小值，此时头部与方向盘可能发生接触，也可能没有发生接触；因此，需要进一步判断。

(3) 如果次小值出现在最小值的左侧，且两者的时间间隔小于 15ms，两者的峰值差值大于 5g，则头部与方向盘发生接触；

(4) 如果次小值出现在最小值的右侧，且两者的时间间隔大于 20ms，则头部与方向盘没有发生接触；

4 头部接触智能判断系统

根据上述研究成果，可以通过计算机编程，研发得到头部接触智能判断系统，包括输入参数预处理、类型选择、头部接触情况判断和头部接触情况说明等内容，软件界面如下图 7 所示。

4.1 输入参数的预处理

头部接触智能判断系统的依据主要是头部加速度，因此，用户只需要输入头部加速度 X 方向曲线即可。但是，由于用户输入的数据格式千差万别，因此，需要对用户数据进行预处理，包括：

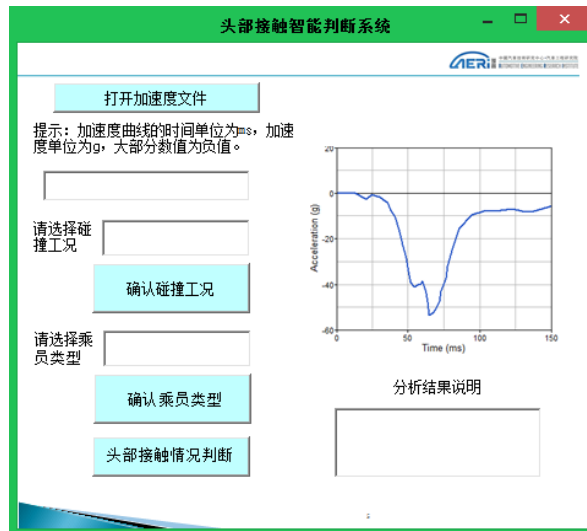


Figure 7. Software interface

图 7. 软件界面

(1) 单位统一：加速度单位为 g，时间为 ms；

(2) 确认加速度的最大值为负值，否则对整条曲线进行反向；

(3) 对头部加速度曲线进行适当光滑处理，以避免产生过多毛刺，如图 6 所示，为未进行光滑处理的曲线，

容易对接触判断产生干扰。

4.2 类型选择

由于正面刚性壁障碰撞工况和偏置可变形壁障碰撞工况中头部加速度曲线的特征不相同，驾驶员侧和前排乘员侧的头部加速度曲线的特征也不相同，因此，在进行头部接触情况判断之前，需要首先选择碰撞类型和乘员类型。

4.3 头部接触情况判断

头部接触情况的判断方法主要基于头部加速度曲线的特征而来。

4.4 头部接触情况说明

根据头部加速度曲线的特征，判断驾驶员头部是否与方向盘，将分析结果显示在曲线下方的方框内。

5 讨论

文中只对正面碰撞工况中驾驶员头部加速度曲线的形状及其特征进行了研究，偏置碰撞工况以及前排乘员等没有进行研究，需要在后期结合相关试验数据，进行更深入地研究分析。

6 结论

(1) 通过大量的头部加速度曲线研究，目前主要存在三种典型的头部加速度曲线，第一种类似于抛物线形状；第二种是双峰曲线，且左侧峰值小于右侧；第三种也是双峰曲线，但左侧峰值大于右侧；

(2) 通过导数法可以得知，第一种曲线在有效区间内的方程根只有一个，该类型曲线，头部与方向盘没有接触；第二种曲线在有效区间内的方程根可能有三个，且最小值为第三个根，该类型曲线，头部与方向盘发生接触；第三种曲线在有效区间内的方程根也有三个，但最小值为第二个根，该类型曲线，头部与方向盘没有接触；

(3) 通过计算编程，研发获得头部接触智能判断系统，用户只需要输入头部加速度曲线，系统可以快速判断头部与方向盘的接触情况。

参考文献 (References)

- [1] 李景升. C-NCAP 2015 年版规则或将更严[J].世界汽车, 2015,10(1):10.
- [2] 中国汽车技术研究中心编[M]. C-NCAP 管理规则 (2015 版).天津,2015.
- [3] 李红运, 鲁爽等.2015 版 C-NCAP 法规对汽车被动安全开发策略的影响[C]. 2015 中国汽车安全技术学术会议,2016,8,苏州.
- [4] Euro NCAP [M]. EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME, ASSESSMENT PROTOCOL – ADULT OCCUPANT PROTECTION,V7.0.3., November 2015.
- [5] 同济大学数学系.高等数学第七版[M].北京: 高等教育出版社, 2014: 122