

Crash Accident Discriminant System Based on the Brake Acceleration Integral

TANG Mingfu¹, CAO Libo¹, BAI Zhonghao¹, ZHANG XiaoYu¹

(1 State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan university)

Abstract: Vehicle accelerations in emergency brake, ordinary brake, dot brake, and jumping over roadblocks were collected in real vehicle tests at different speeds. It had been found that there were obvious differences among them when they were integrated in different time width. So, a new method which was based on the moving window integral algorithms was presented to discriminate the crash accident by identifying the emergency brake action of driver. The reasonable integral time window width and the threshold were presented. A new system based on the method was developed, including its hardware circuit and C language program. Study shows that the emergency brake acceleration can be discriminated by this system effectively.

Keywords: crash accident discriminates, brake acceleration, moving window integral algorithm

基于制动加速度积分的碰撞事故判别系统研制

唐明福 曹立波 白中浩 张晓玉

(湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室 长沙, 410082)

摘要: 通过实车试验采集了某车型在不同车速下紧急制动、正常制动、点刹和通过路障等四种工况的加速度信号。研究比较了紧急制动与其它形式制动时加速度信号的不同之处, 并在不同的时间窗宽范围内对加速度信号进行了积分运算, 提出了采用移动窗积分算法识别驾驶员紧急制动行为以判别碰撞事故的方法。阐述了系统算法中关键参数的确定原则, 确定了用于区分紧急制动工况和其它工况的合理的积分时间窗宽和积分阈值, 研制了一种基于驾驶员紧急制动行为的以移动窗积分算法为核心的碰撞事故判别系统, 包括合理的硬件电路和一套经济适用的移动窗积分算法 C 语言程序。研究表明, 该系统能够对紧急制动加速度进行有效识别。

关键词: 碰撞事故判别; 制动加速度; 移动窗积分

1 前言

随着汽车安全性研究的深入, 国内外研究者相继提出了主、被动结合 (Active Passive Integration Approach) 的汽车安全设计新理念, 旨在将主动安全技术与被动安全技术有效结合起来, 使其效果大于主动安全和被动安全两者的简单叠加。且主、被动结合的汽车安全技术已成为发展趋势^[1,2]。计算机仿真研究表明, 若合理运用主、被动结合的碰撞吸能装置, 乘员损伤参数可降低 20%~60%, 且能有效降低车辆的受损程度^[3]。这种装置的技术核心在于如何运用传感技术准确的识别“人-车-路”环境参数, 并选用合理的算法对这些数据进行综合处理以判别“人-车-路”环境的危险程度, 从而有效地预测事故。

事故分析表明, 在大多数交通事故中, 驾驶员能够察觉事故即将发生, 并采取了紧急制动等相应措施。但往往由于采取措施时为时已晚, 事故仍无法避免。本文在对某车型典型工况的制动加速度信号进行详细分析的基础上, 以驾驶员在事故发生前所采取的紧急制动行为为判断依据, 设计了一套控制系统, 通过分析制动加速度信号来预测交通事故是否会发生。

2 系统硬件设计

系统硬件方案如图 1 所示。以 STC89C58RD+ 单片机为核心, 利用 Analog 公司生产的高性能加速度传感器 ADXL103 采集车辆的制动加速度信号, 通过 LT1013 放大后, 再利用 MAX197 进行 A/D 转换并最终送入微控制器进行滤波、分析等运算。一旦分析结果超过危险值则认定事故将要发生, 然后输出触发信号让执行元件工作, 以采取特定的措施将碰撞事故的损失降到最低。系统硬件部分包括信号调理电路、A/D 转换电路、执行元件驱动电路和抗干扰电路 (看门狗电路)。

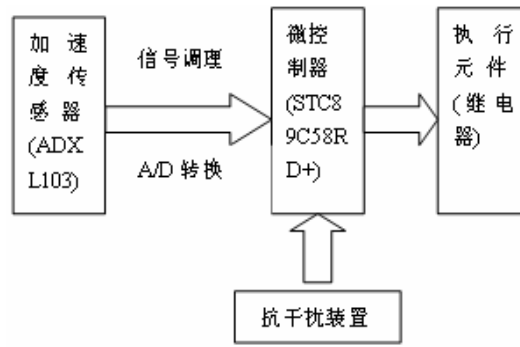


图1 系统硬件框图

3 系统判别算法

3.1 算法选择

本文选用移动窗积分算法作为控制系统的核心算法。即以某一恰当的时间长度 w 作为窗宽，对窗内的加速度信号进行实时积分，以积分结果作为判断依据[4]。其计算公式为：

$$s(t, w) = \int_{t-w}^t a(t) dt \quad (1)$$

式中， $a(t)$ 为加速度信号； t 为积分当前时刻； w 为窗宽； $S(t, w)$ 为积分结果。这种算法可以通过合理的选择积分窗宽来区分汽车不同的行驶工况，抗干扰能力强，且较容易实现，是一种经济有效的算法。只要窗宽和阈值选择得当，就能够达到预期效果。

本文采用 Newton-Cotes 求积公式实现对加速度信号的积分。由于低阶的 Newton-Cotes 求积公式精度不够高，本文采用它的复化梯形形式进行计算。即先将积分区间 $[t-w, t]$ 分成 n 个等长的小区间 $[t_i-1, t_i] (i=1, 2, \dots, n)$ ，区间长度 $h=w/n$ ，在每个小区间上应用梯形求积公式，然后相加便得到期望的复化梯形求积值[5]。计算公式如下所示：

$$\begin{aligned} s(t, w) &= \int_{t-w}^t a(t) dt \\ &= \int_{t_0}^{t_1} a(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt + \int_{t_2}^{t_3} a(t) dt + \dots + \int_{t_{n-1}}^{t_n} a(t) dt \end{aligned} \quad (2)$$

进一步计算得：

$$\begin{aligned} s(t, w) &\approx \frac{h}{2} [a(t_0) + a(t_1)] + \frac{h}{2} [a(t_1) + a(t_2)] + \dots + \frac{h}{2} [a(t_{n-1}) + a(t_n)] \\ &= h \left[\frac{1}{2} a(t-w) + a(t_1) + a(t_2) + \dots + a(t_{n-1}) + \frac{1}{2} a(t) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

3.2 算法验证及关键参数的确定

为了验证移动窗积分算法对于本系统的有效性 & 确定合理的积分窗宽和阈值，通过实车试验得到了某车型在 40Km/h、50 Km/h、60 Km/h 时紧急制动、正常制动、点刹和通过路障等四种工况下的加速度信号，如图 3~5 所示。试验条件为干燥沥青水泥路面，路障高度为 30mm，试验现场如图 2 所示。



图2 实车试验现场

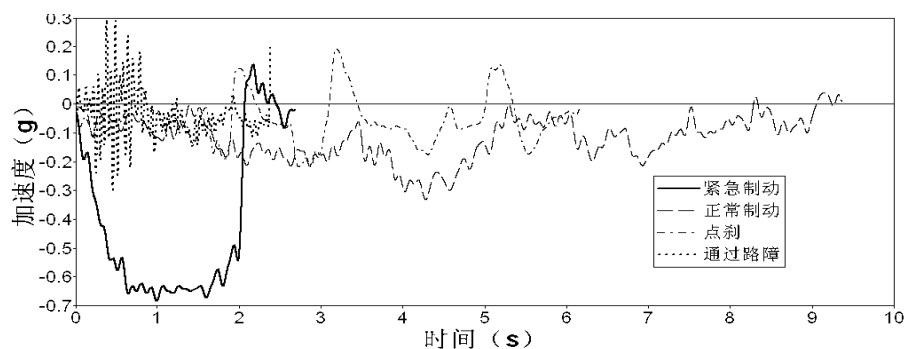


图3 40Km/h 各工况加速度曲线

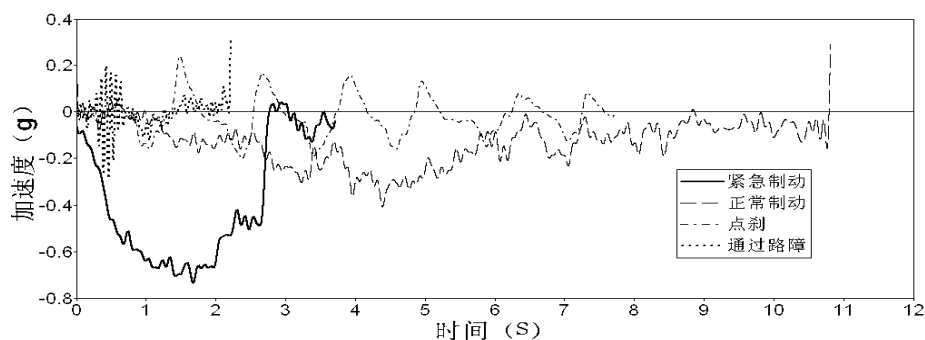


图4 50Km/h 各工况加速度曲线

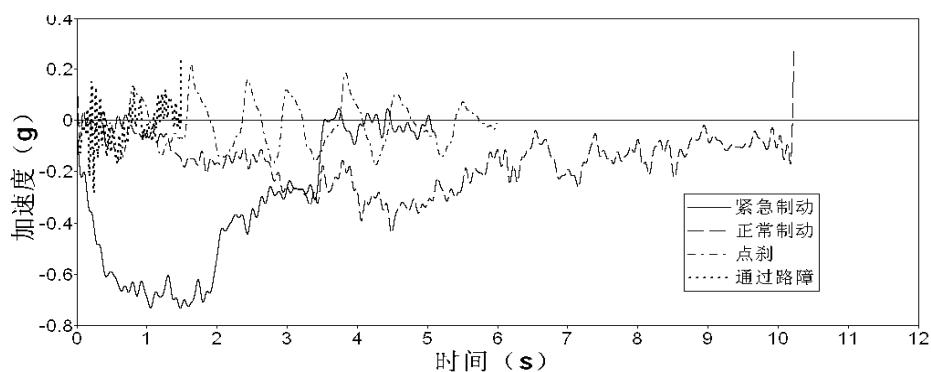


图5 60Km/h 各工况加速度曲线

本文从加速度峰值大小、信号持续时间长短、曲线走势及加速度信号积分曲线特点等几个方面对图3~5所示的制动加速度信号进行了比较。加速度峰值大小、信号持续时间长短及曲线走势的比较如表1所示。

表1 加速度峰值、信号持续时间及曲线走势的比较

速度及工况		加速度峰值 (g)	信号持续时间 (s)	曲线走势
40Km/h	紧急制动	-0.684	2.07	攀升快, 峰值持续时间长
	正常制动	-0.331	9.23	平缓, 制动时间长
	点刹	+0.189 (-0.216)	6.14	呈波浪形曲线
	通过路障	+0.287 (-0.306)	0.99	震荡明显, 持续时间短
50Km/h	紧急制动	-0.733	2.78	攀升快, 峰值持续时间长
	正常制动	-0.407	9.89	平缓, 制动时间长
	点刹	+0.232 (-0.203)	7.69	明显的波浪形曲线
	通过路障	+0.193 (-0.271)	0.86	震荡明显, 持续时间短
60Km/h	紧急制动	-0.731	3.52	攀升快, 峰值持续时间长
	正常制动	-0.432	10.2	平缓, 制动时间长
	点刹	+0.215 (-0.164)	5.98	呈波浪形曲线
	通过路障	+0.146 (-0.278)	0.77	震荡明显, 持续时间短

从表1可以看出,不同速度下,紧急制动时,车辆加速度峰值在-0.7g左右,明显比其它工况要高,加速度信号在紧急制动后短时间内急剧攀升,且峰值持续时间长,有明显的“窗宽”出现。正常制动时,加速度峰值在-0.4g左右,制动时间比紧急制动长得多,且加速度信号较为平缓。点刹时,加速度峰值在+0.2g(-0.2g)左右,加速度信号表现为明显的波浪形曲线。通过路障时,加速度峰值在-0.3g左右,加速度信号在短时间内表现为明显的起伏震荡。且在不同的速度下,相同工况的加速度曲线波形基本一致。因此,与其它工况加速度信号相比,紧急制动工况下的加速度信号最为显著的特点是:加速度值攀升急剧、峰值大、峰值持续时间长、有明显的“窗宽”出现。故若对所得的加速度信号进行积分,其各自的积分曲线将会有明显的区别。

在时间轴上对各工况加速度信号进行积分,积分值和时间的关系如图6~8所示。

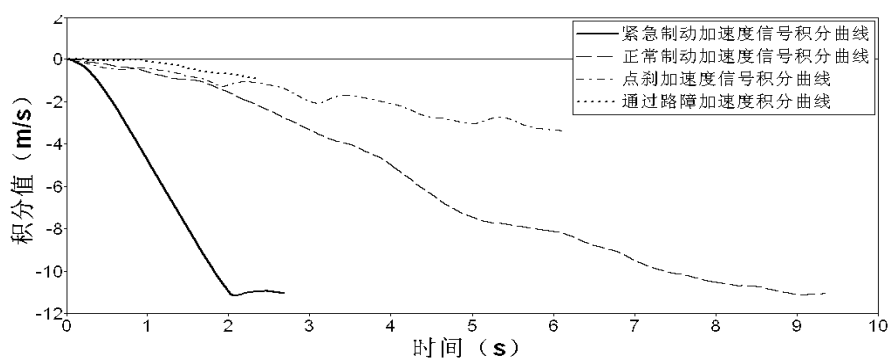


图6 40Km/h 各工况加速度积分曲线

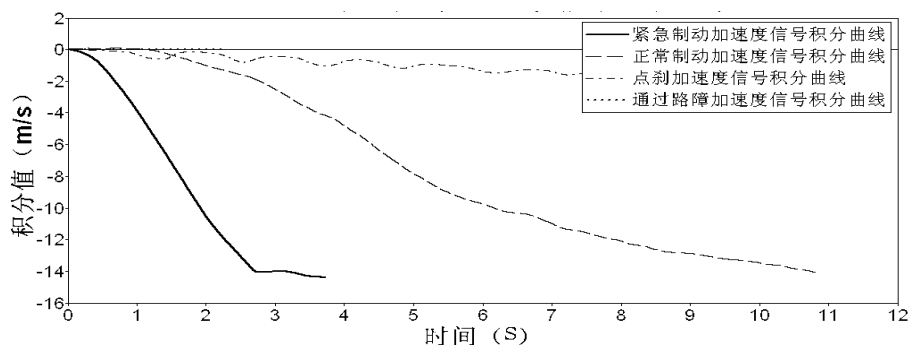


图7 50Km/h 各工况加速度积分曲线

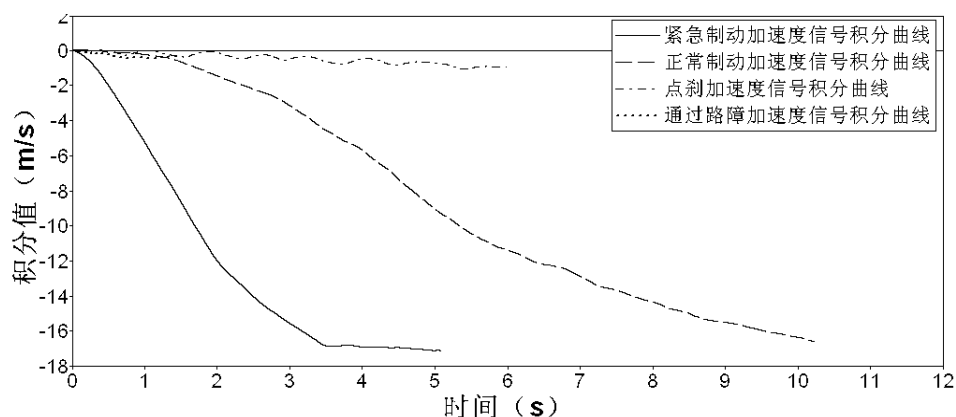


图8 60Km/h 各工况加速度积分曲线

从图 6~8 中可以看出, 紧急制动时的加速度积分曲线的斜率远大于其它三种工况。因此, 在采取紧急制动后的极短时间内, 其加速度积分值就会与其他工况有明显的差别。由此可见, 设置一定的窗宽, 对加速度信号在窗宽范围内进行积分, 只要窗宽和阈值选择得当, 就能够区分紧急制动工况和其它工况。所以, 采用移动窗积分算法能够识别驾驶员的紧急制动行为并且具有良好的区分干扰工况的能力。

在本系统中, 移动窗积分算法中的窗宽和阈值必须同时满足以下几个条件:

(1) 窗宽应尽量小, 以便使系统能在最短的时间内识别出驾驶员的紧急制动行为。试计算, 速度为 100Km/h 的汽车在 1s 内要行驶 27.7m, 所以积分窗宽应小于 1s 为宜。

(2) 对于积分窗宽的设置, 必须使得在设定的窗宽范围内, 紧急制动时的加速度信号积分值大于积分窗体在时间轴上“移动”时其它所有工况在该窗宽内的最大积分值。

(3) 阈值应取不同速度下所得的紧急制动加速度积分值的最小值, 以保证系统能识别不同速度下的紧急制动行为。同时, 阈值必须大于在所设定的窗宽范围内其它所有工况加速度积分值的最大值, 以保证窗体在时间轴上“移动”时系统不会误触发。

经分析, 如图 6~8, 在采取紧急制动后的 500ms 左右, 紧急制动加速度信号的积分值就可能会与其它工况有明显的差别, 因此, 作者分别以 500ms、600ms、700ms 为积分窗宽得到了以下三组分析数据, 如表 2~4 所示。

表 2 积分窗宽为 500ms 时分析数据

速度	紧急制动积分值 (m/s)	窗宽为 500ms 时 正常制动的最大 积分值(m/s)	窗宽为 500ms 时 点刹的最大积分 值(m/s)	窗宽为 500ms 时 通过路障的最大 积分值(m/s)	紧急制动后 500ms 时刻的加 速度值 (g)	正常制动加速 度峰值 (g)
40Km/h	-1.5	-1.4	-0.2	-0.1	-0.56	-0.33
50 Km/h	-1.2	-1.5	-0.3	-0.2	-0.48	-0.39
60 Km/h	-1.9	-1.6	-0.2	-0.2	-0.58	-0.44

表 3 积分窗宽为 600ms 时分析数据

速度	紧急制动积分值 (m/s)	窗宽为 600ms 时 正常制动的最大 积分值(m/s)	窗宽为 600ms 时 点刹的最大积分 值(m/s)	窗宽为 600ms 时 通过路障的最大 积分值(m/s)	紧急制动后 600ms 时刻的加 速度值 (g)	正常制动加速 度峰值 (g)
40 Km/h	-2.2	-1.6	-0.4	-0.1	-0.56	-0.33
50 Km/h	-1.8	-1.8	-0.4	-0.2	-0.55	-0.39
60 Km/h	-2.5	-2.0	-0.3	-0.3	-0.63	-0.44

表4 积分窗宽为700ms时分析数据

速度	紧急制动积分值 (m/s)	窗宽为700ms时 正常制动的最大 积分值(m/s)	窗宽为700ms时 点刹的最大积分 值(m/s)	窗宽为700ms时 通过路障的最大 积分值(m/s)	紧急制动后 700ms时刻的加 速度值(g)	正常制动加速 度峰值(g)
40 Km/h	-2.7	-1.9	-0.6	-0.2	-0.62	-0.33
50 Km/h	-2.3	-2.1	-0.6	-0.3	-0.53	-0.39
60 Km/h	-3.2	-2.3	-0.4	-0.4	-0.66	-0.44

由表2~4可以看出,积分窗宽取500ms和600ms时,紧急制动的加速度积分值与正常制动加速度积分的最大值相近,甚至有小于后者的情况发生,不满足上述条件(2),故积分窗宽取500ms或600ms不理想。当积分窗宽取700ms时,紧急制动的加速度积分值大于其它所有工况加速度积分的最大值,因此,满足上述条件(1)和(2),是较为优良的窗宽。根据条件(3),确定与积分窗宽取700ms对应的阈值为-2.3。同时,对比紧急制动后500ms、600ms、700ms时刻的加速度值及正常制动工况下的加速度峰值(如表2、表3、表4后两列数据所示)发现,在紧急制动后的500ms、600ms、700ms时刻,紧急制动的加速度值明显大于正常制动的加速度峰值。因此,为了进一步提高系统的抗干扰能力,系统利用当前时刻加速度值作为另一个危险信号判别指标,这样就能保证系统更加稳定有效的工作。当前时刻危险信号加速度值取-0.5。

通过以上对比分析发现,移动窗积分算法能够有效区分紧急制动工况与其它干扰工况。积分窗宽取700ms,积分阈值取-2.3,当前时刻危险加速度信号值取-0.5较为合理。

4 系统软件设计

本文选用C51进行编程,系统软件采用了通用的模块化编程手段,由主程序、初始化子程序、滤波子程序、移动窗积分算法子程序、定时1毫秒子程序和执行元件控制子程序等模块组成。系统软件流程:首先,在系统上电(汽车启动)后700ms内每隔1ms记录一个加速度值,这样就能在汽车启动后700ms内完成系统初始化。然后,每隔1ms读取一次当前加速度值,做一次积分,并判断积分结果是否达到预先设定的危险值(-2.3)。如果积分值大于或等于-2.3且当前时刻的加速度值大于设定值(-0.5)则调用执行元件控制程序以驱动相应的装置,反之则在下一个1ms定时时间到来时重新读取加速度值,做积分并判断。系统软件流程如图9、图10所示。

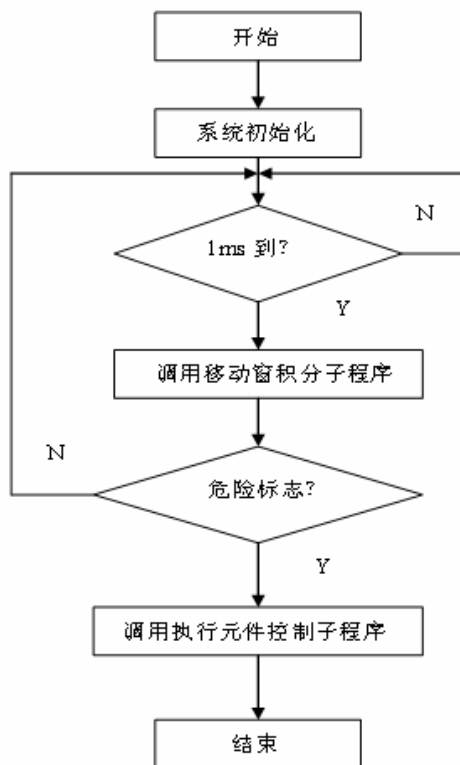


图9 主程序流程图

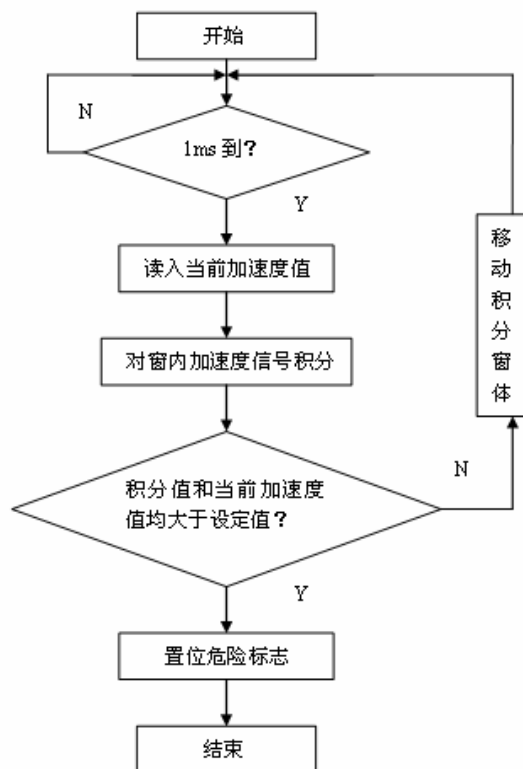


图10 移动窗积分算法程序流程图

5 结束语

本文通过实车试验获取了不同工况下车辆的制动加速度信号,以移动窗积分算法为核心并结合当前时刻加速度值作为综合判别依据,研制了一种基于制动加速度积分的碰撞事故判别系统。通过对比研究发现,采用该算法能够识别驾驶员的紧急制动行为并且具有良好的区分干扰工况的能力。同时,分析表明,积分窗宽取 700ms,积分阈值取-2.3,当前时刻危险信号加速度值取-0.5,是较为合理的控制参数。当然,由于所采集的车辆制动工况加速度信号有限,算法中的积分窗宽和阈值有待于做进一步研究。

参考文献

- [1] Klaus Werkmeister, Nils Borchers. A Balanced Active and Passive Safety Concept for New Vehicle. 18th Enhanced Safety of Vehicle Conference, Nagoya, Japan, 19th-22th, May, 2003.
- [2] Jürgen Debold. Active Safety Systems – The Home for Global Chassis Control .SAE paper No.2006-21-0079.
- [3] Libo Cao, Zhonghao Bai,ChuangFan Sun,Guanjun Zhang. Crash Energy Absorption Equipment Combines Active and Passive Safety. ICrash 2006, Athens Greece, 4th-7th July, 2006.
- [4] 钟志华, 等. 汽车碰撞安全技术[M]第 1 版. 北京:机械工业出版社. 2003.
- [5] 曾金平. 数值计算方法[M]第 1 版. 长沙:湖南大学出版社. 2004.