

Research on Actuation Algorithm Automotive Airbag

Tang Guoqiang, Zhu Xichan

(Automotive College, Tongji University, Shanghai, 201804, China)

Abstract: Several theories of airbag actuation algorithm including fire conditions and TTF have been discussed. Research development of crash sensing system has been analyzed, and some fundamentals of sensors configuration for frontal and side crash sensing systems have been pointed out. Essential meanings of fire metrics and characteristics of algorithms have been analyzed, and several validation methods of actuation algorithms have been proposed.

Keywords: automotive airbag, actuation algorithm, crash sensing

汽车安全气囊点火算法研究概述

唐国强 朱西产

(同济大学汽车学院, 上海市嘉定区曹安公路4800号 210418)

摘要: 论述了安全气囊点火算法的理论依据, 讨论了点火条件和实际点火时刻的确定方法。分析了碰撞感应系统的研究进展, 指出了正面和侧面碰撞感应系统传感器布置的一些基本原则。论述了点火判断指标的实质意义, 并分析各种算法的特性, 并提出了验证点火算法的几种方法。

关键词: 汽车安全气囊, 点火算法, 碰撞感应

1 引言

目前, 安全气囊已经成为轿车的标准装备。汽车发生碰撞后, 安全气囊快速充气, 在乘员和汽车内部构件之间形成一道缓冲和吸能的屏障, 减小乘员所受的惯性冲击和二次碰撞力, 从而达到保护乘员的目的。但是, 随着安全气囊在轿车上的日益普及, 气囊误爆和漏爆的事故时有发生, 造成了不必要的财产损失和人员伤亡, 安全气囊能否正确点火已成为人们关注的热点。从技术角度来看, 气囊不正确点火与很多因素相关, 最关键的是点火算法设计不合理。因此, 需要进一步研究气囊点火算法。

2 安全气囊点火算法的理论依据

安全气囊系统的理论研究涉及汽车结构碰撞特性、乘员约束系统的特性、试验假人的特性、实际碰撞的统计分析等方面。从安全气囊的作用效果看, 有关研究的主要包括两个方面, 一是点火控制, 二是研究气囊的体积、包形和充气特征等。这里研究第一个问题, 目的是为了安全气囊准确点火, 防止误点火(不该点火而点火)和漏点火(该点火而没有点火)。气囊不准确点火不能起到保护乘员的作用, 甚至会伤害乘员。因此, 安全气囊点火控制算法的研究是气囊发展的关键技术, 研究的内容主要包括气囊点火条件、最佳点火时刻等方面, 即安全气囊在什么条件下点火, 何时点火。

2.1 乘员伤害评价指标

由于安全气囊点火控制算法中用来确定是否引爆气囊的设计阈值, 是根据汽车碰撞过程中, 乘员所受的伤害程度来确定的。所以要研究安全气囊点火控制算法, 首先要了解如何评价乘员的伤害。乘员的伤害指标主要是根据人体生物工程研究的成果来确定的, 目前主要以美国的FMVSS208为标准进行评价。由于安全气囊有着自己的特殊性, 不但要评价乘员头部伤害指标HIC(Head Injury Criteria)值、胸部加速度、腿部力, 而且还要评价气囊对乘员面部、胸部、颈部等伤害情况。根据我国的《乘用车正面碰撞的乘员保护》法规, 乘员主要部位的伤害指标如下:

- (1) 假人头部的HIC值不超过1000;
- (2) 胸部的挤压变形量(ThPC)应小于或等于75mm;
- (3) 大腿骨轴向载荷(FPC)应小于或等于10KN。

2.2 安全气囊点火条件

2.2.1 点火条件的含义

安全气囊点火条件是指在一定的碰撞条件下安全气囊必须点火, 而在另一种条件下不得点火。也就是在一定的碰撞强度下气囊应该点火, 而低于该强度时气囊不能点火。一般在描述气囊点火条件时使用气囊的引爆速度来表示。这里的引爆速度并不是碰撞事故中的速度, 而是指和碰撞事故强度相等效的固定壁障正面碰撞的等效初速度。

2.2.2 点火条件的确定

对于机械式和机电式的安全气囊系统，集碰撞感应和算法于一身。实现对安全气囊的点火控制，是通过在对车身特性进行分析后，对其传感器的弹簧刚度、摩擦和阻尼等机械量进行调节实现的。对于电子式安全气囊，则是进行车身特性分析后，根据电子控制单元使用的控制算法对减速度信号进行处理，计算出指标值，再用指标值与设计时预先设定的阈值进行比较，用以判断是否需要点爆安全气囊。

汽车的碰撞形式是各种各样的，其碰撞强度、减速度波形、车体变形均有所不同，加上各汽车厂家要求和气囊点火控制系统性能都不同，气囊点火条件并没有一个固定的指标。安全气囊系统一般有两种开发思想。在欧洲，开发安全气囊系统时，三点式安全带已作为法规要求强制安装，安全气囊作为安全带保护能力的扩充。试验表明，在30km/h以下的碰撞中，三点式安全带对乘员已经具有良好的保护效果，但在更高车速的碰撞中，乘员头部仍有第二次碰撞的危险。所以，安全气囊与安全带配合使用时，气囊点火条件是：低于20km/h正面撞击固定壁时，不应点火；而在大于30 km/h碰撞时，必须点火。在20 km/h到30 km/h之间不作要求。在美国，开发安全气囊系统时，要求气囊对未系安全带的乘员也具有保护作用。对于未系安全带的乘员，在很低的车速发生碰撞时，乘员就有受伤的危险。所以，点火条件设定时，要求18-20 km/h时气囊系统点火爆出。如美国Ford公司的安全气囊点火条件是：低于12.8 km/h正面撞击固定壁时不点火，高于22.4 km/h时必须点火，在两者之间不作要求^[1]。

2.2.3 生物力学灰度区

在碰撞过程中，传感和控制系统依据碰撞强度，按着一定的点火算法决定是否点火。理想情况下应该是在一个确定的碰撞车速下和一个确定时刻点火。实际上并非如此。由于感应系统的特性和车体碰撞结构不同，存在一个传感灰度区，在这个区域可能点火，也可能不点火。文献[2]认为，为了保证乘员安全，约束系统也必须有一点相应的灰度区，等于或大于传感灰度区。乘员约束系统灰度区称为生物力学灰度区（Biomechanical Gray Zone, BGZ）。点火下限阈值速度定义为：在此速度，气囊不点火乘员所受到的伤害值比气囊点火小，但不超过乘员伤害参考值（Injury Assessment Reference Value, IARV）。上限阈值速度定义为：在此速度，气囊不点火乘员伤害值必超过乘员伤害参考值IARV。上、下限阈值速度之间的区域定义为生物力学灰度区^[3]，如图1所示。传感灰度区的上限应尽量接近生物力学灰度区的上限，否则较低的上限阈值容易引起离位乘员的伤害。

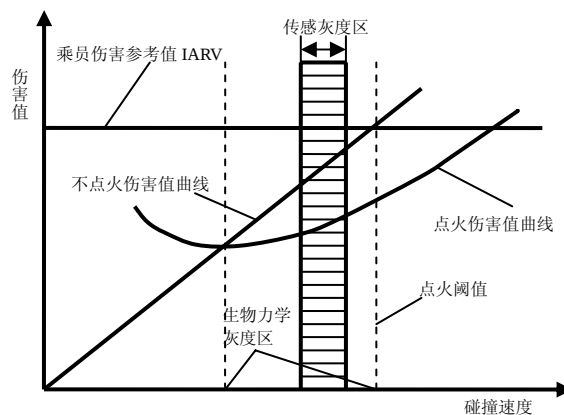


图1 生物力学灰度区

2.3 安全气囊的点火时刻

2.3.1 最佳点火时刻的含义

安全气囊的点火准则是指，乘员在达到最大允许位移量前，气囊必须已经完全展开。乘员的最大允许位移量是指碰撞开始时乘员的初始位置和乘员约束系统发挥作用后的乘员位置之差。根据这个准则，安全气囊的最佳点火时刻（Required Time to Fire, RTTF）是指气囊完全展开时，车内乘员的头部正好与气囊相接触的时刻。

2.3.2 最佳点火时刻的确定

汽车安全气囊最佳点火时刻的确定是研究气囊点火算法的基础，气囊和乘员接触后两者的作用是一个很复杂的随机过程。研究气囊系统的最佳点火时刻，就需要解决几个问题^[1]：

（1）安全气囊充气过程的热物理研究。在碰撞过程中，气囊一边产生气体，一边又从背面的泄气孔释放气体，同时还要承受乘员的冲击，因此有必要研究清楚气囊在整个作用过程中，其形状、内部压力和温度等因素的相互关系。

（2）乘员约束系统的动力学分析。研究乘员与包括安全气囊、安全带、座椅、假人和方向盘等在内的整个座椅及乘员约束系统的动特性，从而进一步分析乘员与安全气囊相互作用力、面积和时间的关系。

(3) 乘员伤害评价。计算各种伤害指标用以定量表征安全气囊的保护效果。

国外在确定最佳点火时刻方面投入了大量的人力和物理进行试验和研究。对于司机侧安全气囊,目前普遍采用的是“127mm-30ms”准则。这个准则的含义是:在汽车碰撞过程中,乘员相对于车体向前移动127mm时刻的前30ms是气囊的最佳点火时刻。其依据是大多数轿车乘员与转向盘之间的间距为305mm,气囊充满气的厚度为178mm,气囊从点火至展开到最大体积的时间约为30ms,这样,当乘员前移127mm这一时刻的前30ms为最佳点火时刻。按照此准则,可以从碰撞试验曲线获得最佳点火时刻。另外,气囊最佳点火时刻也可以从碰撞试验的高速录像中确定,就是乘员头部和安全气囊刚好接触的时刻。

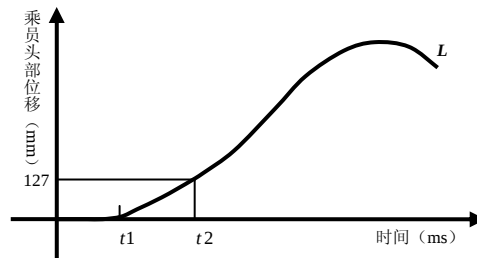


图2 乘员头部位移曲线

如图2所示,曲线L是乘员头部位移—时间曲线,横坐标为时间,纵坐标为乘员头部相对于车体的位移。汽车碰撞时刻为零时刻,此时乘员头部位移为零,延迟一段时间后,乘员开始向前移动, t_2 时刻是乘员头部位移量达到127mm, $t_1 = t_2 - 30\text{ms}$, t_1 即为最佳点火时刻。

127mm-30ms准则只是个大致的原则,在实车碰撞中,由于汽车的结构和尺寸不同,碰撞减速度曲线,假人的运动规律和气囊的充气时间均有所不同,因而要根据实际情况确定最佳点火时刻。如文献[4]提出,针对无约束情况下的第5百分位女性假人,采用“94mm-30ms”准则做了仿真分析,在实际中,乘员无约束的情况下,作者建议把准则修正为“100mm-30ms”。

2.3.3 实际点火时刻的确定。

安全气囊实际点火时刻(Time to Fire, TTF)是气囊在某种点火算法下的实际点火时刻。这里用最简单的加速度点火算法来说明如何确定气囊实际点火时刻及其基本准则。

图3是根据一次实际碰撞试验数据得到的碰撞加速度曲线图,碰撞开始时刻为零时刻。该次碰撞试验过程中,乘员头部相对于车体的位移曲线如图4所示。按照“127mm-30ms”准则,从乘员头部位移曲线可得到,在碰撞过程中乘员头部相对位移为127mm的时刻 t_2 是碰撞发生后的44.5ms,气囊展开时间为30ms,则气囊的最佳点火时刻 $t_1 = t_2 - 30\text{ms} = 14.5\text{ms}$ 。如果按照简单的加速度点火算法,如图3,可以确定在最佳点火时刻 t_1 的加速度为18.2g,而在 t_1 之前已经有高于18.2g的加速度出现了。这说明,如果单独按照最佳点火准则来确定实际点火时刻,那么点火条件应该是加速度高于18.2g时,气囊就应该点火。图3中,实际点火时刻 $t = 11.6\text{ms}$,比最佳点火时刻提前了2.9ms,发生了提前点火的现象。总之,按此算法,我们无法使安全气囊在最佳点火时刻点火。

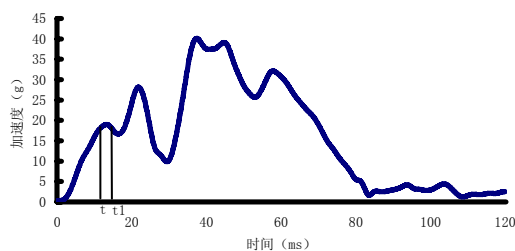


图3 碰撞加速度曲线

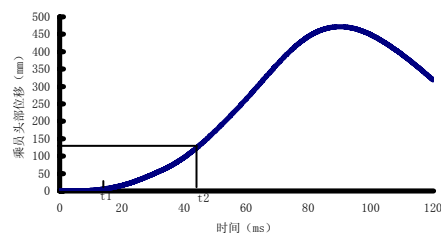


图4 乘员头部位移曲线

如果点火过晚,乘员头部移动127mm后气囊才展开,高速冲出的气囊及转向盘饰件容易伤害乘员面部,这是绝对不允许的。如点火过早,当乘员头部向前移动127mm时,气囊已经开始泄气,没有足够的压力充分吸收乘员的动能,降低对乘员的保护效果。所以,点火算法要确保实际点火时刻为最佳点火时刻或略早于最佳点火时刻,不允许晚于最佳点火时刻。

安全气囊点火算法涉及到点火条件和点火时刻的确定。有些点火算法虽然能精确地判断出气囊需要点火,但却无法准确得使气囊在最佳点火时刻点火。而有的算法虽然能保证气囊能在最佳点火时刻点火,却忽略了气囊的点火条件。所以,在实际气囊匹配过程中,需要综合考虑各方面因素,确定点火条件和点火时刻,使气囊的保护效果最优。

3 碰撞感应系统

3.1 安全气囊控制系统

汽车安全气囊系统主要由控制系统、气体发生器和气囊等组成，其中控制系统又包括传感器，电子控制器（Electronic Control Unit, ECU）及触发装置。气囊系统组成如图5所示。

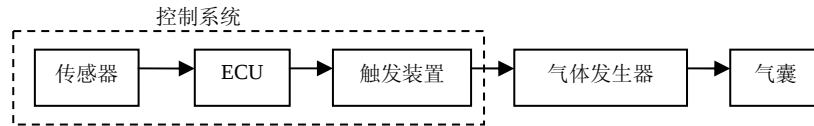


图5 安全气囊系统组成图

其中控制系统中，传感器是用来监测汽车发生碰撞事故的严重程度，它将感测到的信号传给电子控制系统，电控系统通过对传感器信号的计算和分析来决定是否要点爆安全气囊。如果碰撞足够剧烈，达到了安全气囊的点火条件，那么电控系统就会给触发装置发信号。触发装置接到启动信号后就点爆气体发生器，使安全气囊展开。通常从传感器检测到碰撞事件到触发器工作，时间只能在几毫秒之内。所以，一个高性能的安全气囊控制系统，不仅需要有性能可靠的硬件，而且还要求合理的传感器布置和稳健的点火算法。

3.2 传感器布置

用于检测碰撞的传感器有机械式，机电式和电子式，以电子式应用最多。以参数来分类，有加速度，压力、声音和磁电式传感器，加速度传感器应用最广泛。由于汽车结构复杂，而且碰撞过程是个瞬间的过程，在不同的位置感受到的冲击程度是大不相同的。传感器的安装位置和气囊点火算法很有关系。传感器的布置方式主要有单点式和分布式。

在安全气囊应用的早期阶段，一般在车辆前端的变形区域安装1-3个机械式碰撞传感器，对正面碰撞有及时的响应，但是传感器集传感和算法于一体，控制系统比较简单，点火算法抗干扰性差。

20世纪90年代早期，欧系车开始应用电子传感器，在乘员舱内安装一个电子碰撞传感器。至此，开始应用数学算法，把传感器检测到的减速度信号通过数学运算，实现气囊点火。一般这个传感器集成在ECU里，没有另外辅助的传感器，所以叫做“单点式传感系统”

近些年来，智能安全气囊作为第三代气囊而出现，它可以根据碰撞强度而调节气囊充气能量。这种点火方式和碰撞试验方法给传感器系统带来了新的挑战，智能点火控制要求不同碰撞形式和碰撞强度的识别，包括各国法规，消费者组织（NCAP），和保险机构（IIHS）要求的碰撞速度和试验方式。因此，在单点式传感系统的基础上，扩充几个辅助传感器，称为“分布式传感系统”。分布在前端和侧面的传感器把信号传给中央控制模块。集成的算法将处理所有传感器信号并转化成碰撞强度信息。目前根据正面碰撞感应要求，大部分车上都装有两个辅助传感器。辅助传感器的安装位置和封装形式直接与整个传感器系统的性能有关。在国外，汽车研发的早期就对保证变形区辅助传感器的正确位置做了大量的努力。有限元仿真技术可以帮助工程师找到碰撞变形区域中安装辅助传感器的合适位置并评价它们的性能。当前的分布式传感系统的主要挑战是在不同的碰撞形式和速度下，如何处理减速度信号的非线性。

对于正面碰撞感应系统，一般在车辆前端碰撞变形区域安装辅助传感器，有机械式^[5]，也有电子式的，可以只装一个^[6]，也可以安装多个^[7]，如图6所示。

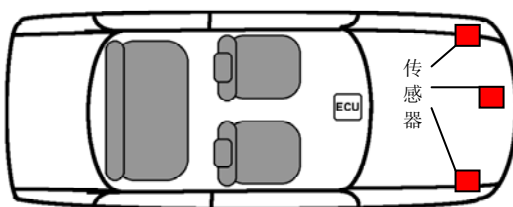


图6 前端传感器的安装示意图

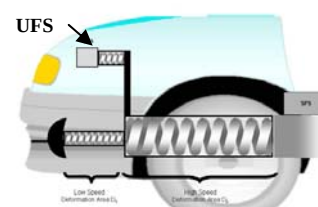


图7 前端传感器的安装位置

文献[5]用两段不同刚度的弹簧表示汽车前端结构低速碰撞和高速碰撞时变形的部位，如图7所示。针对单点式传感系统的缺点，安装前端传感器（Upfront Sensors, UFS），可以改进碰撞感应能力，特别可以更早地感应到汽车与可变形障碍物的碰撞。对于大多数车型来说，前端传感器安装的较佳位置是水箱的上支撑杆或者是纵梁前端上的支撑杆或支架，刚度太小如保险杠和刚度太大如纵梁上都不是理想的位置，因为要尽可能地识别更多的碰撞形式，如轿车钻撞卡车和车车连环撞等。

碰撞前的雷达传感器和它在气囊控制的应用正处于开发中^[6]。

对于侧面碰撞感应系统,在加速度传感器的基础上,开发和应用压力传感器,声音传感器和磁电式传感器等辅助传感器。Siemens和Infineon两家公司分别研发出压力传感器,安装在车门内,用于检测侧面碰撞时,车门内压力的快速变化,用压力变化量表示碰撞强度。文献[7]认为,在A、B、C柱等刚度大的位置装加速度传感器,在前后车门空腔内安装压力传感器,组成侧面碰撞感应系统,如图8所示。

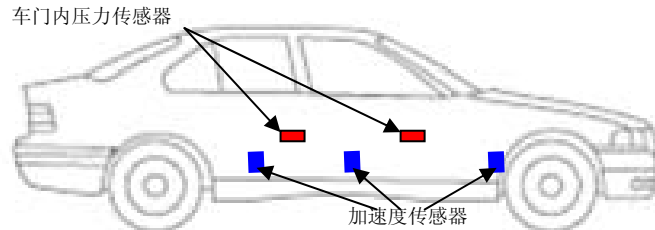


图8 侧面传感器布置形式

值得注意的是,这些辅助传感器都有它们自身的缺点,如压力传感器的应用,需要车门内密封,如何保证车门密封,需要考虑实现的技术和相应的成本。由于侧面碰撞的特性,要求气囊系统在7ms之内作出点火判断,所以适当和正确运用辅助传感器可以提前侧面气囊点火时刻,从而能提高乘员保护效果。

4 点火算法

4.1 点火判断指标

假设 $a(t)$ 是滤波后的碰撞加速度信号,那么点火判断的基本指标如下:

加速度 $a(t)$;

加速度变化量 $\Delta V = \int a(t)dt$;

加速度坡度 $J(t) = a'(t)$;

另外还有 $|a(t)|$, $a^2(t)$, $\int |a(t)|dt$, $\int a^2(t)dt$ 等对加速度进行各种运算得到的参数。

还有一些判断指标,由一种或几种基本指标组合而成,如下:

能量变化量 $E = mv^2 / 2$;

功率 $p(t) = dE(t)/dt = mv(t)a(t)$;

比功率 $dp(t)/dt = v(t)j(t) + a^2(t)$, 其中 $j(t) = da(t)/dt$;

加速度曲线长度 $L = \int \left(\sqrt{\left(\frac{da(t)}{dt} \right)^2 + 1} \right) dt$, 采用加速度曲线微元方法;

还有一些是几个指标的乘积形式,如 $|a(t)| \cdot \Delta v(t)$, $a^2(t) \cdot \Delta v(t)$ 和 $\int a^2(t)dt \cdot \Delta v(t)$ 等。

以上指标大致可分为三类^[8]: 碰撞力指标,碰撞能量指标和两者组合指标。加速度和加速度坡度属于碰撞力指标,可以监控碰撞力的大小。速度变化量和加速度的平方属于碰撞能量指标,可以监控碰撞过程中车体由于塑性变形而吸收的能量。功率和比功率属于碰撞力和碰撞能量两者组合的指标,同时监控碰撞力和车体吸收的碰撞能量。

4.2 常见的点火算法分析

早期的机械式传感器集传感和算法于一体,由于信息采集和处理的限制,大部分采用加速度峰值法或者速度变量法。自从采用机电式传感器,特别是电子式传感器的广泛应用,已经发展了很多算法,常见的主要有以下几种:

(1) 加速度法

当测量到的加速度信号超过预先设定的阈值就发出点火信号,点爆气囊。加速度法抗干扰能力差,在较低车速碰撞时,容易产生误点火(应该点火而没有点火),在高速碰撞时一般能够实现正确点火。

(2) 速度变化量法

对加速度信号积分可得速度变化量,当速度变化量超过预先设定的阈值。由于速度变化量比加速度信号平缓得多,而且能够反映碰撞过程的能量,所以有较强的抗干扰能力,被广泛采用。

(3) 加速度坡度法

美国 ASL 实验室的 Tony Gioutsos 提出了加速度坡度法,认为加速度法抗干扰能力差,而速度变量法由于对加速度积分

而使得对碰撞强度不够敏感,故采用加速度的微分作为点火判断参数。

(4) 比功率法

美国 ASL 实验室 Jace L. Allen 提出了比功率法。比功率 $dp(t)/dt = v(t)j(t) + a^2(t)$, 综合了加速度、速度和加速度坡度的信息。

(5) 移动窗式积分法

在减速度曲线 $a(t)$ 上取时间窗 $[t-w, t]$, w 表示时间窗宽度, 对 $a(t)$ 求 $[t-w, t]$ 内的积分: $s(t, w) = \int_{t-w}^t a(t)dt$ 。对当前时刻的前 w 时间内的信号积分, 得到一个指标 $s(t, w)$, 当这个指标超过预先设定的阈值, 就发出点火信号, 否则继续进行处理和比较。

(6) 基于速度的判别法

以上的各种算法都是基于时间的, 近年来提出了基于速度的算法[9]。对滤波后的加速度信号积分可得速度。以速度为横坐标, 计算加速度、加速度平方和加速度平方的积分值等并作为点火判断参数。这种算法消除了由于积分起始点判断不准确而引起的计算误差。

此外, 还有几种新型的点火算法, 如基于系统辨识的 ARMA 模型预报算法和基于模糊决策和人工神经网络的点火算法^[10]^[11], 由于属于模式识别, 运行可靠性很难保证, 而且运算量太大, 难以用于实际操作。

5 点火算法的试验验证

安全气囊点火算法的设计和实施都是以汽车碰撞试验作为基础的。由于碰撞的随机性, 很难确定在这种算法在其他碰撞情况下也能准确点火, 同时也保证算法的可靠性, 所以需要试验检验点火算法。验证试验主要有台车碰撞试验, 实车碰撞试验和抗干扰试验。

由于实车碰撞试验是非常昂贵的, 不可能大量地进行实车试验, 往往用台车碰撞模拟实车碰撞。在台车试验碰撞曲线的基础上, 运用蒙特卡洛 (Monte Carlo) 方法模拟更多的碰撞曲线以检验点火算法, 既能减少碰撞试验, 也是有效和可靠的^{[8][12]}。

抗干扰试验也称误作用试验, 目的是通过一系列的误用试验及一系列独立的路面试验来有目的地复现可能的极端路面和车辆的野蛮操作环境, 可分为三类: 静态试验, 路障撞击试验和道路试验。国内公司不能照搬国外的误作用试验规程, 应该在中国道路状况调查和气囊误作用事故分析的基础上, 开发自己的误作用试验规程。

6 结论

深入分析了安全气囊点火条件和最佳点火时刻的理论依据, 还需要完善根据车内乘员伤害确定点火条件的理论依据。“127mm-30ms”只是个大致准则, 需要进一步研究 RTTF 确定准则。随着新型的传感器的出现, 碰撞识别的能力越来越强, 本文分析了正面、侧面碰撞检测传感器的布置形式, 总结出一些基本原则。把用于点火判断的指标归类, 并与汽车碰撞过程的物理量联系起来, 对算法的设计具有指导意义。现有的算法都是基于加速度信号的, 虽然提出了几种新型的点火算法, 但并未得到实际应用, 需要进一步研究新型点火算法的实际应用。

参考文献

- [1] 王建群, 张金换, 黄世霖. 汽车安全气囊点火控制算法的研究[J]. 汽车工程, 1997, 19(1): 11-28.
- [2] Joe Massa, John Cooper. (2001) The effect of dual stage inflator output and impact velocity on occupant injury[C]. Proc of the 8th International Madymo User's Conference, May 23-26, Paris, France.
- [3] 张君媛, 林逸, 张建伟. 汽车安全气囊起爆车速与乘员伤害关系的仿真研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(1): 102-105.
- [4] Bengt Pipkorn. Crash Sensing and Algorithm Development for Frontal Airbag Systems Using CAE Methods and Mechanical Tests[J]. SAE Paper 2004-01-1633.
- [5] Frank-Juergen Stuetzler, Ken Century. Advanced Frontal Crash Sensing With Peripheral Sensors[J]. SAE Paper 2000-01-2683.
- [6] Rainer Moritz. Pre-Crash Sensing--Its Functional Evolution Based on a Platform Radar Sensor[J]. SAE Paper 2000-01-2718.
- [7] Gerd Winkler, Thomas Stierle, Thomas Malbouef. Side-Impact Restraint Activation System Combining Acceleration and Dynamic-Pressure Sensing[J]. SAE Paper 2003-01-0197.
- [8] Park T-W, Jeong H-Y, Park S-W. A Crash Severity Algorithm for All Frontal Crash Modes Using Compensation Factors[J]. Proc. IMechE Vol. 220 D: J. Automotive Engineering, 531-541.

- [9] H-Y Jeong, Y-H Kim. New crash discrimination algorithms and locations of accelerometers[J]. Proc Instn Mech Engrs Vol 215 Part D,1171-1178
- [10] 尹武良,张金换,黄世霖. 基于人工神经网络的汽车安全气囊点火控制算法[J],清华大学学报(自然科学版),1999,39(11),73-75.
- [11] 黄恺,李雷,张德强. 基于模糊决策与神经网络的安全气囊触发控制算法[J].中国机械工程,2003,(5),871-873.
- [12] 王建群,黄世霖. 汽车安全气囊点火控制算法可靠性模拟检验[J],汽车研究与开发,1997,(5),35-37.