

The Research of Establishing Deformation Energy Square of Vehicle

Wu Bin, Zhu Xichan, Mazhixiong

Institute of Automotive Crash Safety, Tongji University, Shanghai, 201804, wubin_tj08@hotmail.com

Abstract: This paper introduces the method of establishing the deformation energy square of vehicle. Through establishing the deformation energy square of a car, this paper introduces the method of establishing the deformation energy square of vehicle with load cell barrier. The precision of deformation energy squares is tested using data of full wide frontal barrier collision at 56.3km/h.

Keywords: Deformation Energy Square, Accident Reconstruction, Speed, Load Cell Barrier, Collision

汽车变形能量网格建立方法的研究

吴斌, 朱西产, 马志雄

同济大学汽车安全技术研究所, 上海, 201804, wubin_tj08@hotmail.com

摘要: 本文研究了建立汽车变形能量网格的方法, 通过某车型变形能量网格的建立, 介绍了基于正面全宽测力墙的变形能量网格的建立方法, 最后用该车正面碰撞的数据对变形能量网格的精度进行了验证。

关键字: 变形能量网格, 事故再现, 车速, 测力墙, 碰撞

1 引言

汽车碰撞过程十分复杂, 进行交通事故再现的目的在于将复杂的碰撞过程直观地重现, 为事故的正确鉴定和交通法规的制定提供依据。对于一些碰撞事故现场没有遗留汽车制动印迹或者制动印迹遭到破坏时, 进行事故的准确再现具有较大的难度。

在实车壁障碰撞试验基础上建立的车身变形能量网格应用于对实际的交通事故, 可获取汽车在碰撞前后的速度变化量, 在当事故现场缺少清晰的制动印迹时, 基于车身变形能量网格的车速鉴定可作为碰撞事故研究的另一重要途径。国外已较早开展了汽车变形能量网格建立方法的研究, 目前国内相关的研究文献较少, 有必要展开这方面的研究工作。

本文研究了建立汽车变形能量网格的方法, 通过某车型变形能量网格的建立, 介绍了基于正面全宽测力墙的变形能量网格的建立方法, 最后用该车碰撞数据对变形能量网格的精度进行了验证。

2 基于车身变形能进行事故再现的理论分析

研究发现, 汽车的碰撞不是弹性碰撞, 而是近于塑性碰撞, 只是在碰撞速度非常低的情况下才接近于弹性碰撞。所以在一般情况下, 可以将碰撞中的汽车当作刚体处理。从碰撞试验或发生事故的汽车上可以看出, 汽车的损伤只局限于相撞的部位或与其临近的部位, 其它大部分仍然是完好的。因而可以设想, 汽车在碰撞时基本上是做刚体运动, 因受冲击而变形的仅是汽车上极小的一部分。此外, 因碰撞引起的能量损失, 仅局限与汽车的变形部分, 其它部分则与能量的损失无关。

在汽车碰撞过程中, 不计碰撞前后汽车的旋转动能, 忽略碰撞变形能以外的噪声、热等能量损失, 那么可以认为汽车在碰撞时损失的动能与变形所吸收的能量相等, 即

$$E = M \times (V_0^2 - V_1^2) / 2 \quad (1)$$

V_0 是初始速度, V_1 是碰撞后速度

这就是基于能量进行事故再现的基本原理, 以汽车在碰撞中能量消耗为基础来推断汽车速度的变化量。通过汽车的变形能来计算碰撞过程中速度的变化量的方法是非常有用的, 因为当事故现场缺少清晰的制动印迹时, 基于车身变形能进行事故再现可作为碰撞事故研究的另一重要途径。

在实车壁障碰撞试验基础上建立的车身变形能量网格图应用于对实际的交通事故进行分析, 获取汽车在碰撞前后的速度变化量, 便是基于能量进行事故再现和速度鉴定的具体应用。

3 建立碰撞变形能量网格方法

所谓汽车碰撞变形能量网格是指将车身划分为若干区域, 求出各个区域受撞击溃缩后所吸收的能量值。将事故车辆的实际变形与碰撞网格图进行比对时, 变形曲线与完好状态下的车形轮廓线之间区域所包含的数值总和便是车身溃缩吸收的能量。如图 1、2 所示。



图1 通过实车碰撞求得的变形能量网格图

图2 将实际变形和网格图作对比

建立汽车碰撞变形能量网格的方法主要有以下几种：

①利用碰撞刚度系数建立能量网格

Camp bell 在对大量的实车碰撞试验数据分析的基础上，提出汽车前端完全碰撞固定刚性墙的速度 v 与碰撞后的残余变形量 c 成线性关系，即：

$$v = b_0 + b_1 \times c \quad (2)$$

式中 v 是车速， b_0 是截距， b_1 是斜率。该公式进一步推导可得到如下关系式，即：

$$F = a_0 + a_1 \times c \quad (3)$$

式中 F 是单位宽度产生的碰撞力， c 是汽车的变形深度， a_0 和 a_1 就是刚度系数。

汽车碰撞时，碰撞速度与残余变形量成正比表明：汽车碰撞时，在汽车单位宽度上所产生的碰撞力与汽车的残余变形量成线性关系。可以通过以上公式求得汽车碰撞能量网格，但是该方法为了求得刚度系数，需要进行两次高速和低速的碰撞试验，成本较高。

②无测力墙的情况下利用加速度曲线建立能量网格

汽车在进行壁障试验时，如果没有测力墙，即无法直接测得汽车碰撞时碰撞力 $F(t)$ 。可以通过测量车身加速度，近似获得汽车总体碰撞力，同时认为在碰撞中汽车在车身宽度方向上受力是均匀的，然后通过对车身变形量 $S(t)$ 的积分获得能量网格。但对于实际的汽车碰撞而言汽车宽度方向的受力不均匀的，换言之之在没有测力墙的情况下，所计算得到的能量网格误差是很大的。

③基于测力墙的能量网格建立

汽车在进行壁障试验时，如果固定壁障是测力墙，即可以测得汽车碰撞时对应于车身各个部位的碰撞力 $F(t)$ 。通过对碰撞力数据的处理，可以得到汽车宽度方向不同位置在碰撞各个时刻所受到的碰撞力，相对于车身变形量 $S(t)$ 的积分便可以得到较精确的能量网格。

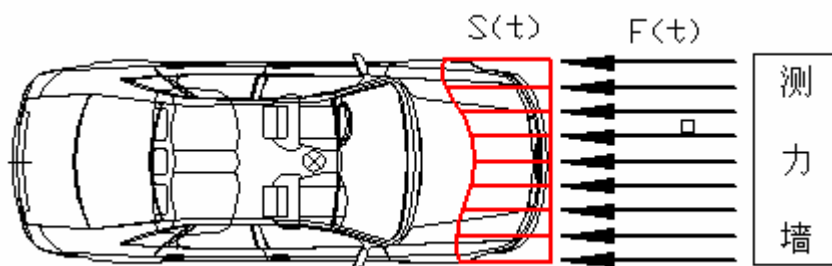


图3 基于测力墙的能量网格建立原理图

4 基于测力墙的能量网格方法的研究

4.1 测力墙简介

所谓的测力墙通常是在普通的壁障表面安装若干个载荷传感器，用来测量碰撞载荷。通过传感器记录的碰撞力信息，得到碰撞力分布状况，对车身结构刚度分布、吸能性分布及验证计算机碰撞仿真模型等工作都十分有利。目前使用最广泛的测力墙是由 36 个测力单元组成，如图 3 所示。下文中提到的都是使用 36 个测力单元的测力墙。

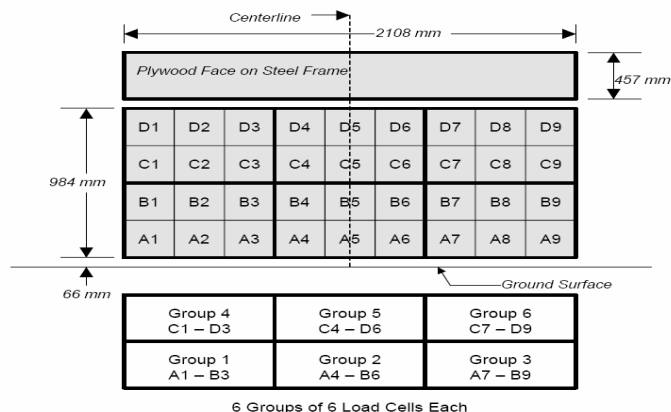


图 4 由 36 个传感器组成的测力墙示意图

4.2 基于测量墙的能量网格算法

根据能量守恒原理，如果忽略碰撞过程中汽车与地面之间的摩擦力、碰撞后汽车的“弹性恢复”以及固定壁障的变形，则：

汽车的减速惯性力=使汽车车身变形的力

即在汽车与固定壁障的碰撞过程中的塑性变形能应该等于汽车碰撞前后动能的变化量。因此, 只要求出汽车的塑性变形能即可。为了求出汽车的塑性变形能, 先给出以下几点假设:

1. 汽车全宽上任一点处垂直方向上的变形能量相同。
2. 在碰撞中汽车与地面之间的摩擦力忽略不计。
3. 碰撞后汽车的“弹性恢复”及固定壁障的变形忽略不计。

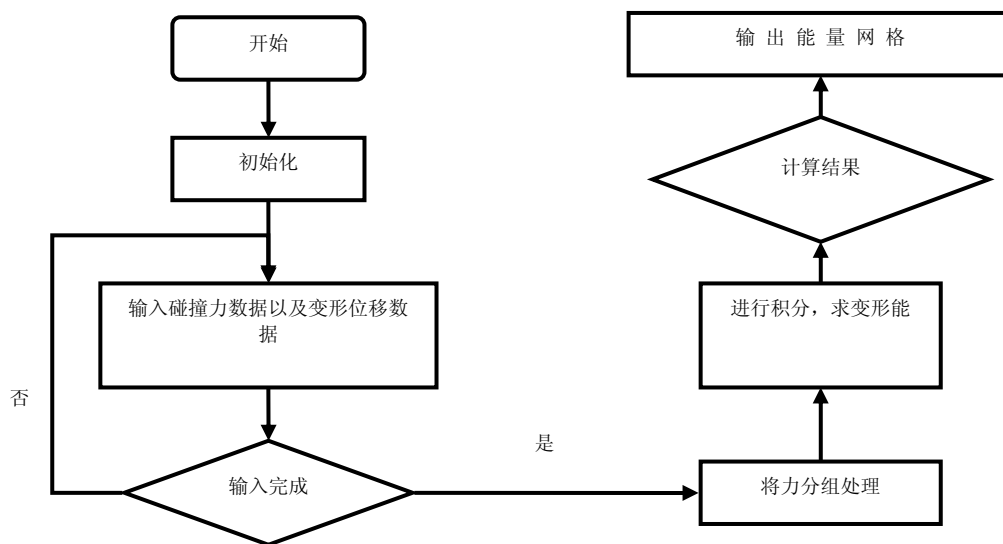


图 5 建立变形能量网格的流程图

根据以上的假设, 我们可以将汽车宽度方向按照测力墙传感器的分布, 分成 9 个部分, 通过测力墙的碰撞力数据可得到汽车宽度方向 9 个部分的受力大小, 即:

$$Fi = F_{Ai} + F_{Bi} + F_{Ci} + F_{Di} \quad (i=1 \sim 9) \quad (4)$$

然后通过对车身加速度 $a(t)$ 的两次积分, 近似得到的车身位移 S 对时间的变化量 $S(t)$ 。然后 MATLAB 语言编写的通用程序, 计算出变形深度从 0mm 到试验中车身最大变形量所吸收的能量(单位是 J) 后, 做出变形能网格图。其中变形间隔是 100mm, 程序流程图如图 4 所示。

4.3 某车型基于测力墙的碰撞变形能量网格的划分

该车型所做的是 56km/h 的正面全宽碰撞，本文中用到的测力墙试验数据均来自于 NCAC 网站公开的数据，该车的信息及其试验的信息如表 1 所示：

表 1 车型信息以及试验信息

车 型	车 重	发动机类型	碰撞速度	碰撞角度	传感器数
Dodge Caravan	2003 Kg	3.3L V6	56.2 km/h	0°	9×4



图 6 正面测力墙全宽碰撞

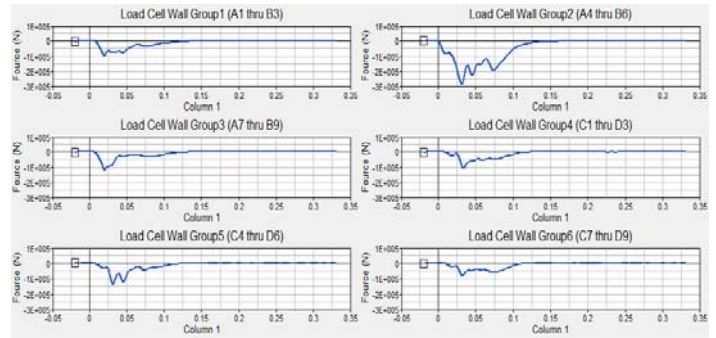


图 7 测力墙采集的力数据

通过 matlab 程序处理力的数据得到了该车的碰撞能量网格，如图 7 所示：



图 8 基于测力墙的变形能量网格

4.4 基于测力墙能量网格图的精度验证

下面用该车所进行另一次 56.30km/h，正面全宽的试验数据验证上述基于测力墙建立的变形能量网格的精度。汽车的变形量可以有两种取法：1) 是以汽车保险杠中点，即汽车最前端为基准；2) 以汽车实际变形曲线为参照

表 2 各个点的变形量数据

测点	C1	C2	C3	C4	C5	C6
变形量 (1)	564mm	660mm	614mm	601mm	591mm	487mm
变形量 (2)	414mm	590mm	574mm	561mm	521mm	322mm

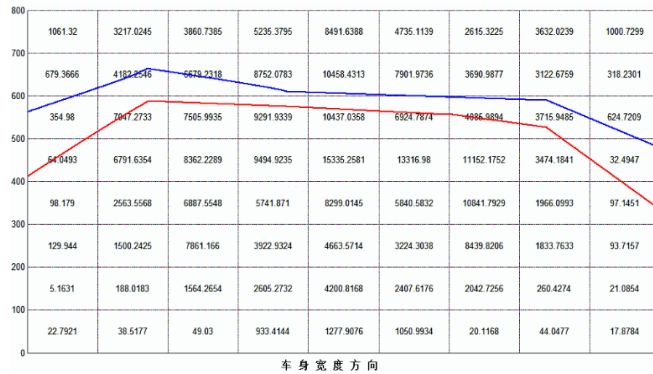


图8 车身变形曲线与变形能量网格

从计算的结果可以看出，第一种方案以汽车最前端为基准取车身变形量，所计算得到的速度更准确。从车速的计算结果看，基于测力墙的车身变形能量网格完全可以应用在交通事故再现中。

5 结论

1. 本文研究的是基于测力墙汽车变形能量网格图建立方法，通过验证该方法是可行的。
2. 基于测力墙建立的能量网格是在忽略汽车弹性变形的情况下进行的，而汽车在低速碰撞时的弹性变形是不可忽略的，所以该能量网格的建立方法在汽车高速碰撞时有较高的精度。
3. 基于测力墙的能量网格，可以应用于实际的交通事故分析。在事故现场测得发生事故车辆车体的变形量曲线，利用已经建立好的能量网格得到事故中车体所吸收的能量，也可结合动量能量守恒快速得到汽车速度信息，所需要的现场测量物理量少等优点，对交通事故分析有极大的帮助。

参考文献

- [1] Kenneth L Campbell. Energy Basis for Collision Severity [J]. SAE 740565.
- [2] 王金刚. 汽车碰撞的能量网格图及其在事故分析中的应用[学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2000.
- [3] 郭磊, 金先龙, 张晓云, 刘军勇. 基于车身变形的汽车碰撞事故再现方法 [J]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [4] 吴桑, 王宏雁. 交通事故车辆变形与碰撞前车速关系定量分析 [J]. 上海: 同济大学, 2009.

表3 两种变形量取法的计算结果

CASE	变形能量	车速	误差
方案 1	214930 J	52.6km/h	6.57%
方案 2	198202 J	50.6km/h	10.12%