



中华人民共和国国家标准

GB/T 39424.2—2020

道路车辆 交通事故分析 第2部分：碰撞严重度测量方法使用指南

Road vehicles—Traffic accident analysis—Part 2:
Guidelines for the use of impact severity measures

(ISO 12353-2:2003, MOD)

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 碰撞严重度测量方法 1

5 使用指南 5

附录 A(资料性附录) 碰撞严重度参数测量方法 6

附录 B(资料性附录) 能量等效速度和速度变化量的应用实例 12

前 言

GB/T 39424《道路车辆 交通事故分析》分为3个部分：

- 第1部分：术语；
- 第2部分：碰撞严重度测量方法使用指南；
- 第3部分：确定碰撞严重度的碰撞波形数据解读指南。

本部分为GB/T 39424的第2部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分采用重新起草法修改采用ISO 12353-2:2003《道路车辆 交通事故分析 第2部分：碰撞严重度测量方法使用指南》。

本部分与ISO 12353-2:2003相比存在结构上的调整，具体调整如下：

- 将ISO 12353-2:2003的3.1调整为本部分4.1的部分内容；
- 将ISO 12353-2:2003的第4章调整为本部分的4.2；
- 将ISO 12353-2:2003的第5章调整为本部分的4.3；
- 将ISO 12353-2:2003的第6章调整为本部分的第5章；
- 删除了ISO 12353-2:2003的参考文献。

本部分与ISO 12353-2:2003的技术性差异及其原因如下：

- 关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第2章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- 用修改采用国际标准的GB/T 39424.1—2020代替了ISO 12353-1:2020；
- 删除了ISO 6813。

- 将ISO 12353-2:2003中注的技术性内容调整至本部分的条款正文中，以符合我国标准编制要求。

- 删除了ISO 12353-2:2003的附录A中部分定义性或说明性条款，在附录B中增加了陈述性条款，以符合我国碰撞严重度测量方法的实际应用和使用情况。

本部分由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本部分由全国汽车标准化技术委员会(SAC/TC 114)归口。

本部分起草单位：北京中机车辆司法鉴定中心、中国汽车技术研究中心有限公司、上海汽车集团股份有限公司商用车技术中心、重庆长安汽车股份有限公司、浙江吉利汽车研究院有限公司、上海汽车集团股份有限公司技术中心、泛亚汽车技术中心有限公司、上汽通用五菱汽车股份有限公司、一汽轿车股份有限公司、奇瑞汽车股份有限公司、襄阳达安汽车检测中心有限公司、一汽-大众汽车有限公司、清华大学、重庆车辆检测研究院有限公司、中国质量认证中心、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、神龙汽车有限公司、奥托立夫(上海)汽车安全系统研发有限公司、延锋百利得(上海)汽车安全系统有限公司、天合汽车科技(上海)有限公司、均胜百高汽车安全系统(上海)有限公司、广汽本田汽车有限公司、广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院、中国汽车工程研究院股份有限公司、东风汽车有限公司东风日产乘用车公司、江铃汽车股份有限公司、华晨汽车集团控股有限公司、司法鉴定科学研究院、北京现代汽车有限公司。

本部分主要起草人：陈强、孙振东、林森、连晓威、陈吉光、王聪昌、李宏宇、禹慧丽、刘卫国、王大勇、沈海东、林智桂、刘月杰、沈光勇、李强红、代兵、刘福聚、李旭东、林松、张金换、王欣、曲艳平、吴斌、杨建萍、赵晓华、谭春申、吴征、王海、顾蔚新、彭凯、李承辉、孙浩、周澄靖、赵万千、钱宁、冯浩、冯硕。

道路车辆 交通事故分析

第2部分:碰撞严重度测量方法使用指南

1 范围

GB/T 39424 的本部分规定了道路车辆事故碰撞严重度测量方法及使用指南。
本部分适用于道路车辆事故碰撞严重度的测量。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 39424.1—2020 道路车辆 交通事故分析 第1部分:术语(ISO 12353-1:2020,MOD)

3 术语和定义

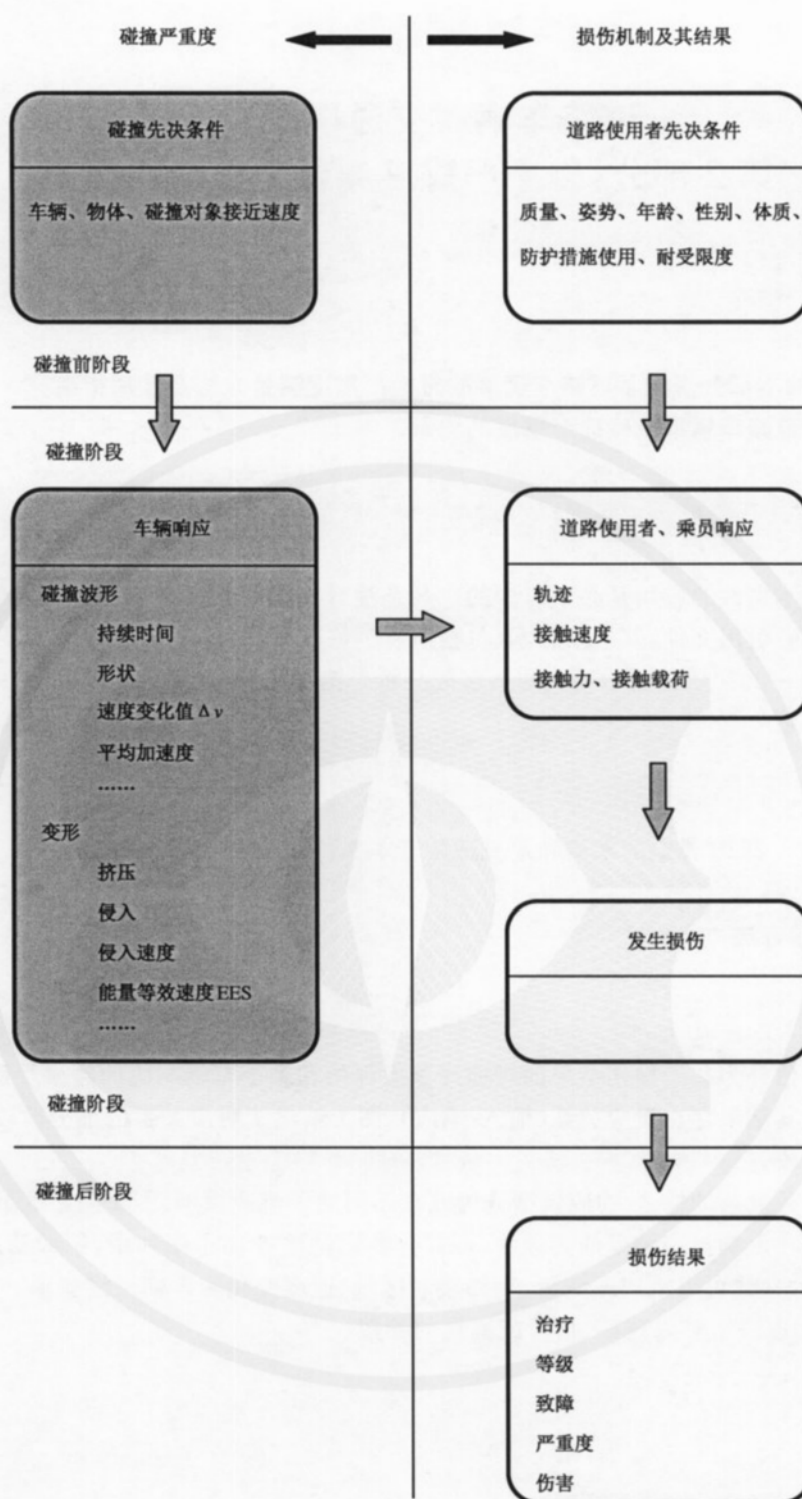
GB/T 39424.1—2020 界定的术语和定义适用于本文件。

4 碰撞严重度测量方法

4.1 概述

碰撞严重度评估分为基于损伤结果的碰撞严重度评估和基于车辆响应的碰撞严重度评估。碰撞严重度与损伤机制及其结果存在对应关系(输入-响应),图1给出了对应关系的细分阶段,分为碰撞前、碰撞和碰撞后三个阶段。

将车辆碰撞这种复杂的输入-响应模型分为几个不同的子响应模型,图1阴影区域内或之间存在不同的子响应模型。在影响损伤结果的参数中,一部分参数隐藏在动态序列中,例如动态变形,乘员轨迹和接触速度;一部分参数可以重建或测量,例如接触区域、速度变化和车辆最终变形。在某些情况下,输入-响应模型的使用取决于可以观察、估计或测量的参数。



注：上部水平线以上为碰撞前阶段部分，描述了碰撞前车辆和乘员在正常交通中的行为参数；上下水平线之间为碰撞阶段部分，描述了碰撞阶段车辆、道路使用者和乘员的碰撞响应参数；下部水平线以下为碰撞后阶段部分，描述了碰撞后人员损伤结果。

图 1 碰撞严重度与损伤机制(或损伤结果)的对应关系(输入-响应模型)

4.2 基于损伤结果的碰撞严重度测量

4.2.1 严重度参数及其测量方法概述

严重度参数可根据事故事件的顺序来进行描述(见图 2),椭圆代表主要的严重度参数,方形代表在进行下一步严重度测量前所需评估的信息。

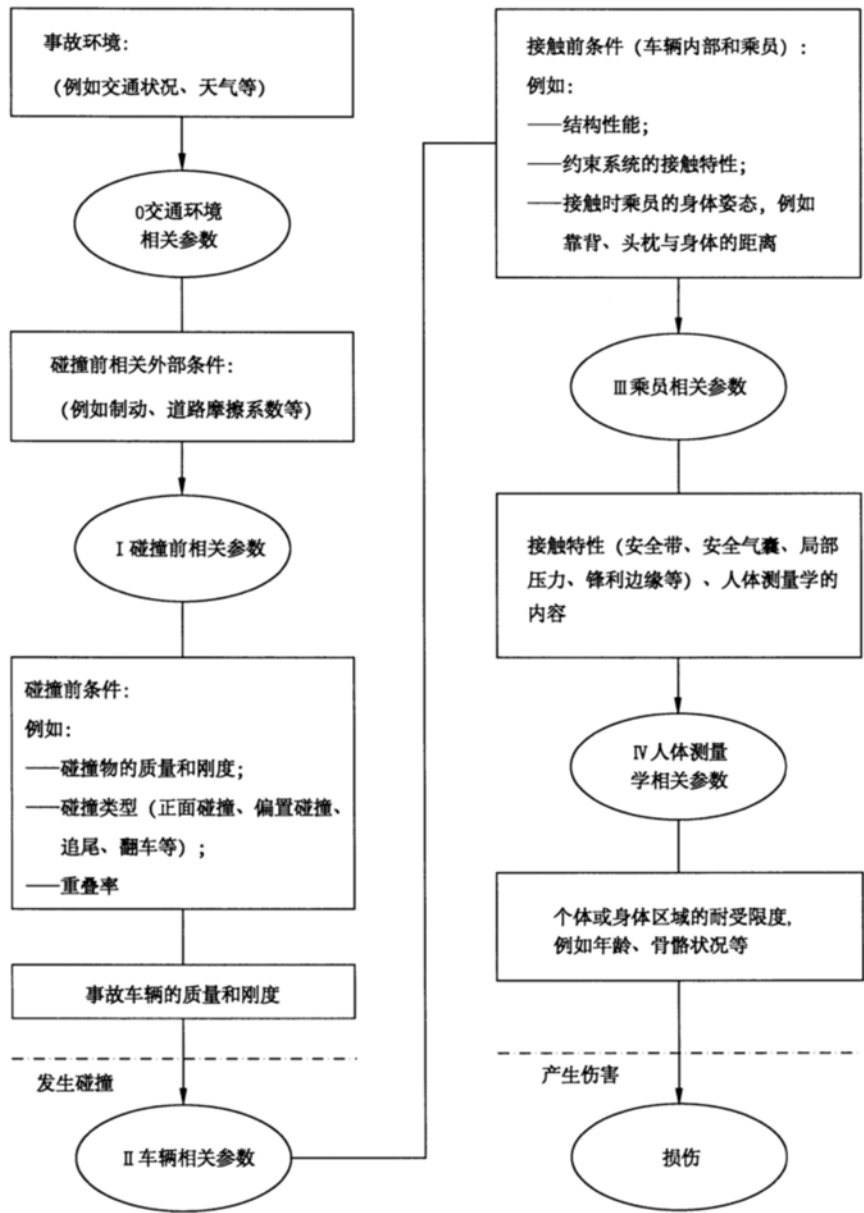


图 2 主要严重度参数(椭圆)与应获取和评估的相关信息(方形)

4.2.2 碰撞严重度参数的适用性

碰撞严重度参数,如碰撞先决条件、车辆相关参数、乘员相关参数等见表 1。有些参数不适用于碰撞类型的严重度评估,例如事故地点的限速。即使有些参数适用于碰撞严重度的评估,并且与损伤相关,但这种相关性也可能不是因果关系。例如,当从侧门侵入乘员舱时,侵入程度与胸部损伤相关但并不是导致胸部损伤的直接因素,导致胸部损伤的直接因素是侵入速度。

表 1 碰撞严重度参数

参数类别	严重度参数	作为碰撞严重度参数的适用性	优越性/局限性	注解
0 交通环境相关参数	速度限制	不适用	局限性：与损伤结果关联不大	可用于主动安全的研发（道路结构、交通法规、交通控制设备）
	行驶速度	不适用		
I 碰撞前相关参数	碰撞速度 ^a	适用	局限性：需要结合 II 的参数	可作基础数据使用；为碰撞评级和车辆开发（基于碰撞严重度）提供具有代表性的碰撞试验速度
	接近速度 ^b	适用		
II 车辆相关参数	速度变化量	适用	优越性：与损伤有关，但不是导致损伤的必要因素 局限性：车辆间的差异性	为使事故车辆与其他型号车辆的耐撞性具有可比性，碰撞严重度参数最好独立于事故车辆的特征参数（例如 Δv 还取决于事故车辆的质量）
	能量等效速度	适用		
	损坏程度，如碰撞变形分级（CDC ^c ）	部分适用		
	侵入程度	部分适用		
	侵入速度	适用		
	平均加速度	适用		
	碰撞波形 ^d 及其衍生数据	适用		
III 乘员相关参数	接触速度（乘员身体与车辆内外部或物体之间）	不适用，不针对车辆	优越性：与损伤有关，但不一定导致损伤 局限性：车辆间的差异性	可用于改善安全设计；作为接触严重度参数；作为行人碰撞严重度参数
IV 人体测量学相关参数	身体不同区域的载荷值，例如头部伤害指标（HIC），胸部粘性指数（VC），腿部伤害指数（TTI）	不适用	优越性：与损伤严重度有关 局限性：车辆间的差异性；身体区域的差异性	可用于与假人的载荷相对比；可用于研究生理耐受限度
^a 见附录 A 的 A.3 和 GB/T 39424.1—2020 的 2.3.9。 ^b 见附录 A 的 A.4 和 GB/T 39424.1—2020 的 2.3.12。 ^c 见附录 A 的 A.1 和 GB/T 39424.1—2020 的 2.2.2.33。 ^d 见附录 A 的 A.9 和 GB/T 39424.1—2020 的 2.3.22。				

4.2.3 不同碰撞类型的碰撞严重度参数的适用性

表 2 列出了在碰撞分析中常用的碰撞严重度参数，并说明了在不同特定碰撞类型下测量参数的选取原则和适用程度。对于不同碰撞类型，碰撞严重度参数的适用程度各不相同。例如，对于平均加速度较小的碰撞或因乘员舱侵入而致伤的碰撞，侵入速度比速度变化量(Δv)更适合作为评估碰撞严重度的首选参数。碰撞严重度参数的测量方法参见附录 A，能量等效速度(EES)与速度变化量(Δv)的实例关系参见附录 B。

表 2 适用于不同特定碰撞类型的碰撞严重度参数

碰撞类型	碰撞严重度参数								
	损坏程度	能量等效速度 (EES)	碰撞速度	接近速度	速度变化量 (Δv)	平均加速度	侵入程度	侵入速度	碰撞波形
正面碰撞, 乘员位于侵入位置	○	●			○	○	○	●●	○
正面碰撞, 乘员不在侵入位置	○	○			●	●			●●
侧面碰撞, 乘员位于侵入位置	○		○	●			○	●●	○
侧面碰撞, 乘员不在侵入位置	○	○			●	○			●●
尾部碰撞	○	○			○	●			●●
车辆撞击易受伤害的道路使用者			●	●●					
注: ●●表示首选测量的碰撞严重度参数; ●表示当首选测量参数不可获取时可用测量的碰撞严重参数; ○表示其他可用测量的碰撞严重度参数。									

4.3 基于车辆响应的碰撞严重度评估

车辆与车辆或物体碰撞时,为评估车辆响应,应当获取接近速度和碰撞先决条件(碰撞角度、车辆质量、接触点等)。

车辆响应与乘员响应密切相关,车辆响应是乘员响应的输入,乘员响应是车辆响应的输出。图 1 中表示车辆响应的参数有:

- 碰撞波形;
- 从碰撞波形中推断出的参数;
- 动态变形和残余变形。

碰撞波形的计算参见 A.9。

在实际道路车辆事故中,残余变形往往是描述车辆响应的唯一参数。乘员舱发生侵入时,残余变形可以代替碰撞严重度参数来评估乘员响应。

5 使用指南

对于不同碰撞类型,在选取严重度参数和测量方法时,可遵循以下原则:

- 根据所能提供的输入数据和所期望的输出数据来选择恰当的测量参数;
- 针对不同碰撞类型选取与之相适应的测量参数见表 2;
- 联合使用多种测量参数;
- 当描述碰撞中不同身体区域的损伤结果时,还应当考虑乘员舱在侵入时的防护性能以及碰撞波形的影响;
- 应考虑不同测量参数的不确定性及其结果的可信度(特别是涉及非直接测量数据时)。

附录 A
(资料性附录)

碰撞严重度参数测量方法

A.1 损坏程度

A.1.1 概述

车辆损坏程度是车辆碰撞严重度最直接的响应。

注：损坏是一个很广泛的概念，包括车辆外观和车辆状况的任何改变。其中部分损坏在事故发生前就已经存在，例如车辆表面可见的污垢、漆面破损、胎面磨损痕迹、刮擦痕迹、零部件破裂或破碎、面板的翘曲等。车辆与任何物体、路面、其他车辆之间的接触均可能导致损坏。

实际损坏面是指车辆结构件外表面的变形（不包括细小的不规则面）。在车辆变形区域用一系列测量数值来描述其损坏样式，这一系列的测量数值相当于用一个三维模型来表达实际损坏面，该表面损坏模型的精确度取决于测量点的密集度。

损坏特征点指能够在目标车辆上识别或定位出具有明显损坏的点，包括漆面破损、发动机罩边沿弯曲的点、爆胎、穿孔、刮擦、破裂、介质转移、位移向量、路面接触、弓形变形、扭曲等；同时也包括那些产生位移的设计硬点，诸如车轴、车架、横梁、发动机、变速器、车身结构件和悬架等。

位移向量指车辆上由损坏前的面或点指向损坏面或损坏特征点的净位移量。

A.1.2 计算所需的信息

A.1.2.1 损坏坐标系

损坏坐标系用来描述车辆损坏位置和损坏程度。一般使用三维坐标系，在车辆上未变形或者变形较小的地方任意选取坐标原点（例如保险杠固定螺栓的中心），用右手法则沿车辆三个轴方向建立起三维坐标系，即可确定任何点的坐标。

A.1.2.2 直接测量

为了在损坏坐标系中精确地定位损坏面，需要选取足够多的点进行测量，这有助于提高调查的准确性。在测量中，实际损坏面是通过一系列节点来构建的（个别小的不规则面除外）。在实际损坏面上选取点进行测量的时候，需要使用统一的选取标准，例如直径为 8 cm 的圆，当测量处能容下该圆时则可作为一个测量节点。对于容不下该圆的不规则面则可不进行测量，或使用特征词汇（例如孔洞）来描述该不规则面。

注：易变形的覆盖件一般不能作为具有代表性的实际损坏面（该覆盖件与内部结构件同时变形时除外）。

为了在三维坐标系中准确地表达变形量、损坏形状、间接变形区域、损坏程度、主要扭曲部件等，需要选取数量足够的节点并对其进行编号。节点不需要形成统一的网格形式，只需在三维损坏坐标系中记录坐标即可。

模型表面最大误差决定了三维模型的节点位置和数量的选取准则。模型表面最大误差由调查人员决定，例如 ± 5 cm 或 ± 10 cm（视损坏情况而定）。实际损坏面上测量节点的数量决定了模型表面偏差的上下限。

损坏模型可以通过直线来连接邻近的测量节点进行确定，实际损坏面指由节点连接线所确定的一系列三角形平面。

每一个支撑件的设计硬点,应记录其撕裂变形、弯曲、结构件的连接模式、变形位置、变形量对总能量耗散有影响的整体变形(移位、弓形变形、扭曲等)。

应当详细记录并清晰描述每一个节点,以便核实各个节点及其坐标值。在描述时可结合该节点在车辆上的部件名称及位置。

A.1.2.3 影像测量法

A.1.2.3.1 概述

照片中包含了大量的信息,其中一部分信息可以无需借助辅助器材来分辨,另一部分则需要利用影像测量法来获取更多有价值的信息。通过照片上影像特征的位置,可以利用数学公式将这些测量结果转化为车辆的实际变形形状,这个转化的过程称为影像测量法。这种方法要求至少从两个不同角度对车辆损坏部位进行拍摄(三个角度效果更佳)。

A.1.2.3.2 拍摄方法

用一个已知尺寸的物体作为缩放参照物,例如有较大数字刻度的物体或交通锥桶,将其放置在车辆上或车辆旁。在拍摄一组不同角度的全景照片时,缩放参照物应保持在同一位置;如果拍摄另一组,缩放参照物的位置可适当调整。应对车辆及其损坏部位进行不同角度的多次拍摄(要求车辆上的每一损坏部位至少出现2~3次),同时记录每张照片的镜头焦距,建议在转换拍摄角度时不更换镜头。

A.1.3 计算方法

变形量指车辆外表面损坏前后的体积差。

可使用相关软件或数学公式将成组的照片转化为车辆的实际变形形状。

A.1.4 输出特性

为了掌握车辆在特定碰撞中的动力学过程,应记录车辆外部的拓扑几何、损坏表面和其他主要损坏特征。测量车辆外部损坏是确定碰撞受力方向的基础,也是量化碰撞造成的变形、评估变形耗散能量的首要步骤。

使用影像测量法获取的数据特性如下:

- a) 变形量是指车辆变形前与受到碰撞力变形后其外表面之间的体积差,并可用经验估算部件在永久变形过程中所耗散的能量。考虑车辆质量时,碰撞过程中所耗散的能量与能量等效速度(EES)、角速度变化有关。通过分析变形量在车辆结构上的分布,可以确定碰撞冲量点的位置。
- b) 接触区域的轮廓线表明车辆与碰撞对象在最大重叠时的相对位置和角度。
- c) 位移矢量起于测量点损坏前的位置,止于该点损坏后的位置。各个位移矢量的加权平均表征了碰撞冲量的方向。
- d) 从损坏表面的形状可以判断初始碰撞方向以及与被撞对象发生最大接触时的相对位置。
- e) 间接损坏区域在碰撞过程中可以耗散大部分的能量。
- f) 即使关键结构件产生相同的位移,其不同的变形模式(例如弯曲、褶皱、撕裂)也会吸收不同的能量,对碰撞冲量位置的估计和结构件吸能的估算也有影响。

A.2 能量等效速度(EES)

A.2.1 计算所需的信息

能量等效速度(EES)虽然以速度的形式表示,但本质上是表征变形能量,所以应当首先研究车辆的变形特征。

A.2.2 计算方法

下述方法可用于确定能量等效速度:

- a) 在碰撞测试中寻找与事故车辆类似的车辆,对比其变形类型,通过变形能量的计算公式从而估算出事故车辆的 EES;
- b) 在测量变形值的基础上,使用能量网格来计算 EES 的方法更为精准;
- c) 将事故车辆纵向和横向方向上的变形等效为不同重叠率的正面碰撞,从而根据等效后的正面碰撞近似方程式估算 EES;
- d) 使用基于车辆损坏的算法也可估算 EES。

附录 B 给出了在不同碰撞环境下,能量等效速度与速度变化量的对比示例。

A.2.3 输出特性

输出结果是一个只与车辆相关的物理参数,而与车辆在事故中的运动无关,以米每秒(m/s)表示,仅用于描述所吸收的变形能量。

A.3 碰撞速度

A.3.1 计算所需的信息

在估算碰撞速度之前,需要对事故现场进行观察并测量相关数据,包括碰撞点位置、车辆最终停止位置、碰撞过程中的地面轮胎痕迹、道路摩擦系数和路面材质、车辆在碰撞前的行驶方向等。在分析过程中还应充分考虑变形轮廓及其耗散的能量。

A.3.2 计算方法

在逆向重建中,可以使用物理定律计算出碰撞速度,例如动量守恒定律、能量守恒定律以及角动量守恒定律等。同样,在正向重建中使用行驶速度、滑移痕迹到碰撞点的距离等参数也可计算出碰撞速度。因为碰撞速度是矢量,所以在计算过程中需要建立局部坐标系。

A.3.3 输出特性

输出结果以米每秒(m/s)表示。

A.4 接近速度

A.4.1 计算所需的信息

由于接近速度是车辆间碰撞速度的矢量差,所以估算碰撞速度的观测数据也适用于接近速度。对于撞击固定物,车辆的接近速度等于碰撞速度。

A.4.2 计算方法

与碰撞速度的计算方法相同。

A.4.3 输出特性

输出结果以米每秒(m/s)表示。

A.5 速度变化量(Δv)

A.5.1 计算所需的信息

估算碰撞速度和接近速度的观测数据也可用于速度变化量(Δv)的计算,如 A.3.1 中所述的事现场信息,包括碰撞点位置、车辆最终停止位置、碰撞过程中的地面轮胎痕迹、道路摩擦系数和路面材质、车辆在碰撞前的行驶方向等。在事故现场信息不足的情况下,速度变化量(Δv)可以通过碰撞力方向与与物体碰撞时耗散的总能量进行推算。碰撞力的方向可以通过对碰撞车辆的勘察直接判断,而能量耗散则通过车辆刚度系数表和测量变形轮廓进行估算。

A.5.2 计算方法

正向和反向的计算方法均可用于计算速度变化量(Δv)。例如,可通过对驶出轨迹的分析并合理假设车辆在此阶段中的运动特征,来计算分离速度。在逆向重建中,可以使用物理定律计算出碰撞速度,例如动量守恒定律、能量守恒定律以及角动量守恒定律等。同理,正向重建中的行驶速度、滑移痕迹到碰撞点的距离等参数也可用于计算碰撞速度。在确定了车辆的碰撞速度和分离速度之后,就可由这两个速度的矢量差得出速度变化量(Δv)。由于碰撞速度和分离速度都是矢量,其方向需要在局部坐标系中计算。如果速度变化量(Δv)是利用逆向重建的变形能量计算出来的,则必须了解全部变形能量、驶出速度及方向、驶入轨迹,即事故草图(车辆最终位置相对于主要碰撞点的距离)和碰撞参与方的信息。

注:可参见 A.9 中利用碰撞波形记录仪计算速度变化量(Δv)的方法。

A.5.3 输出特性

输出结果是一个只与车辆本身能量吸收相关的物理参数。它以米每秒(m/s)表示,并且在其局部坐标系中描述了车辆运动的变化。

A.6 平均加速度

A.6.1 计算所需的信息

应当获取碰撞速度和分离速度,以及碰撞双方在主要受力方向上的最大动态变形量(Δs)。

A.6.2 计算方法

平均加速度计算公式如下:

$$a = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2\Delta s}$$

式中:

a ——平均加速度;

v_1 ——碰撞后车辆重心速度,单位为米每秒(m/s);

v_0 ——碰撞前车辆重心速度,单位为米每秒(m/s);

Δs ——最大动态变形量,单位为米(m)。

注:如果碰撞波形记录仪的结果有效,平均加速度可以根据时间变化量 Δt 进行计算。

A.6.3 输出特性

输出结果以米每二次方秒(m/s^2)或者选择以重力加速度(g)表示。

A.7 侵入程度

A.7.1 概述

侵入程度是指车辆乘员舱被侵入部分在碰撞后的残余侵入量。除了乘员舱残余的侵入量以外,碰撞过程中产生的动态侵入会在碰撞结束后恢复。

A.7.2 计算所需的信息

在乘员舱残余侵入部位上选取区域或点并获取其测量值,与未变形的相同车辆的对应测量值作为输入数据。

A.7.3 计算方法

将乘员舱残余侵入部位的测量值与未变形车辆上对应部位的测量值进行对比得到结果。

A.7.4 输出特性

侵入程度可以在三个方向上测量,或用一个合成的变形向量表示(以米为单位),也可以用变形体积(以立方米为单位)、体积(或距离)变化百分比表示。

A.8 侵入速度

A.8.1 计算所需的信息

应当获取侵入发生时的侵入量和时间,或侵入部位的加速度时间历程。

A.8.2 计算方法

平均侵入速度可以通过侵入量和侵入所经历的时间来计算。侵入速度的时间历程曲线可由侵入部位加速度曲线的积分得到,或通过高速影像分析侵入量的时间历程得到。

A.8.3 输出特性

输出结果以米每秒(m/s)表示。

A.9 碰撞波形

A.9.1 描述

碰撞波形可以通过碰撞波形记录仪来获取。如果记录了事故时的碰撞波形,则可以精确地计算出多个用于描述碰撞严重度的波形特征,进而可能分析出这些参数和损伤结果之间的联系。

通过计算,可得出以下参数:

- 速度变化量；
- 平均加速度；
- 碰撞阶段的持续时间；
- 峰值加速度；
- 峰值时间。

A.9.2 计算所需的信息

应获取车辆(尽可能选择重心位置)的加速度时间历程作为输入数据。

A.9.3 计算方法

碰撞波形记录仪可记录一个、两个或三个方向上的线性加速度和旋转加速度的时间历程。
其他参数依据参数定义进行计算。

A.9.4 输出特性

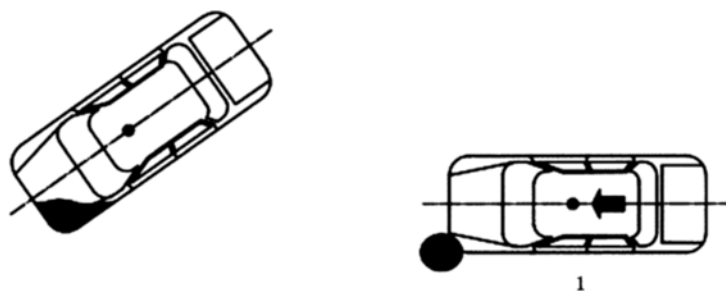
输出结果包括碰撞阶段的加速度时间历程以及 A.9.1 中计算得出的参数。

附录 B (资料性附录)

能量等效速度和速度变化量的应用实例

B.1 本附录给出了不同碰撞环境下比较能量等效速度和速度变化量的理论应用实例。

B.2 图 B.1 给出了在能量等效速度已知情况下,理论上刮撞的极端实例。

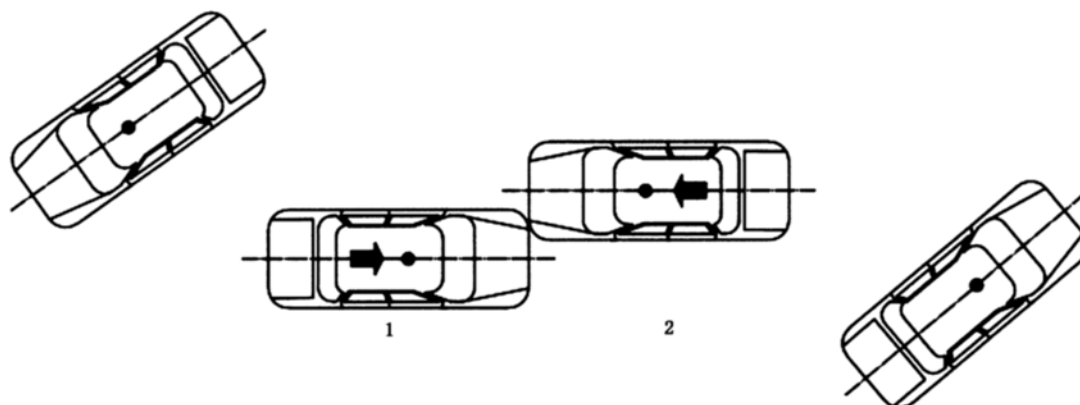


注 1: 车辆碰撞速度为 100 km/h,分离速度为 86.60 km/h。

注 2: 车辆能量等效速度为 50 km/h。

图 B.1 理论上刮撞的极端实例(能量等效速度已知)

B.3 图 B.2 给出了在能量等效速度已知情况下,两车刮撞的实例。



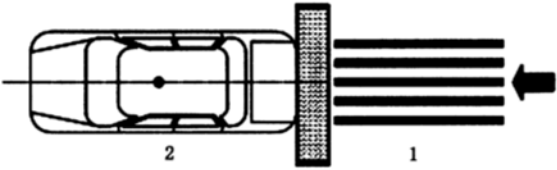
注 1: 车辆 1 与车辆 2 质量相同。

注 2: 车辆 1 碰撞速度为 70 km/h,分离速度为 40 km/h;车辆 2 碰撞速度为 -50 km/h,分离速度为 -20 km/h。

注 3: 车辆 1 能量等效速度为 50 km/h;车辆 2 能量等效速度为 50 km/h。

图 B.2 两车刮撞实例(能量等效速度已知)

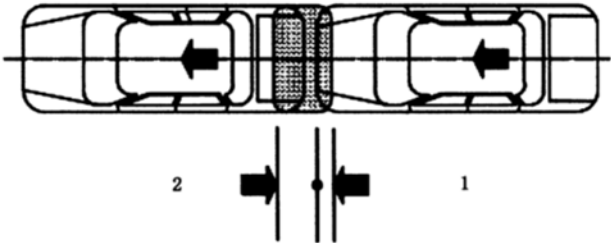
B.4 图 B.3 给出了相同质量的可移动避障追尾碰撞车辆的实例。



- 注 1：可移动障碍与车辆质量相同。
- 注 2：可移动障碍碰撞速度为 50 km/h,分离速度为 25 km/h;车辆碰撞速度为 0 km/h,分离速度为 25 km/h。
- 注 3：可移动障碍能量等效速度为 0 km/h;车辆能量等效速度为 35 km/h。
- 注 4：通过动量守恒定律和能量守恒定律的简化理论而计算出车辆能量等效速度。车辆能量等效速度取 35 km/h 为圆整后的结果。精确值应通过碰撞速度与 $1/2 \times \sqrt{2}$ 的乘积计算得出。

图 B.3 可移动壁障追尾碰撞车辆实例

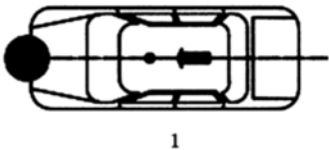
B.5 图 B.4 给出了相同质量的、不同刚度的两车追尾碰撞实例,说明了不同的刚度导致不同的变形结果。



- 注 1：车辆 1 与车辆 2 质量相同。
- 注 2：车辆 1 碰撞速度为 80 km/h,分离速度为 50 km/h;车辆 2 碰撞速度为 20 km/h,分离速度为 50 km/h。
- 注 3：车辆 1 能量等效速度为 25 km/h;车辆 2 能量等效速度为 34 km/h。
- 注 4：车辆 1 变形量 0.28 m;车辆 2 变形量 0.54 m。

图 B.4 不同刚度的两车追尾碰撞实例

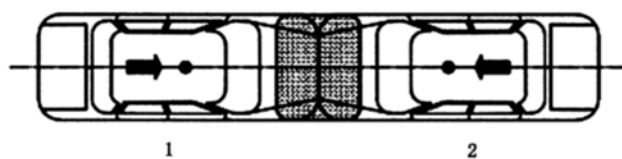
B.6 图 B.5 给出了车辆前部中间与刚性柱碰撞的实例。



- 注 1：车辆碰撞速度为 50 km/h,分离速度为 0 km/h。
- 注 2：车辆能量等效速度为 50 km/h。

图 B.5 车辆前部中间与刚性柱碰撞实例(能量等效速度等于速度变化量)

B.7 图 B.6 给出了理想状况下相似两车正面碰撞实例。



注 1：车辆 1 与车辆 2 质量相同。

注 2：车辆 1 碰撞速度为 80 km/h，分离速度为 30 km/h；车辆 2 碰撞速度为 -20 km/h，分离速度为 30 km/h。

注 3：车辆 1 能量等效速度为 50 km/h；车辆 2 能量等效速度为 50 km/h。

图 B.6 理想状况下相似两车正面碰撞实例(能量等效速度等于速度变化量)