

# 商用车车顶安全性法规分析及关键技术研究

撰文 / 奇瑞商用车公司商用车工程研究院 黄巨成

湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室 雷飞

分析了两种典型的商用车车顶安全性测试流程,比较两种测试流程加载方式和约束方式存在的区别。为了考察不同加载方式和约束方式对商用车车顶安全性的影响,建立了商用车车顶安全性一般分析模型并对某型商用车车顶安全性进行分析。在一般分析模型基础上,通过加入弹性元件和改变冲击速度,分析弹性约束条件和高速冲击对车顶安全性的影响。结果表明,在弹性约束条件和高速冲击条件下车顶的耐撞性表现出不稳定性和局部变形的特点。本文研究的内容将为制定商用车车顶安全性测试标准提供参考。

## 一、引言

商用车车顶安全性是商用车乘员保护的重要组成部分。美国密歇根大学交通研究所的研究表明,在与商用车有关的交通事故中(TIFA, Trucks Involved in Fatal Accidents),驾驶室正面碰撞和车顶垮塌是导致商用车乘员严重伤亡的两种主要碰撞形式。驾驶室正面碰撞主要发生于车辆的正面碰撞事故和追尾事故中,其中,以商用车与前方商用车追尾为最严重的工况;车顶垮塌是另一种重要的伤亡形式,主要发生于商用车在运行过程中出现的翻车事故。

针对商用车的危险碰撞形式,世界主要经济体和发达国家纷纷制定出相应的商用车乘员保护法规以保障商用车乘员的安全。其中,联合国欧洲经济委员会通过的ECE-R29和美国汽车工程学会的推荐测试标准SAE J2420、J2422引起了广泛的关注,成为商用车乘员保护法规借鉴的典范。在这些法规中,正面碰撞乘员保护的试验方法较为类似,而在车顶安全性评价方面存在较大差异。我国正在积极推进商用车乘员保护的法规制定工作,由于缺乏对国内商用车交通事故的详细数据统计,目前处于对国际相关法规的消化吸收阶段。本文针对ECE-R29和SAE-J2422在车顶安全性测试方面存在的差异,通过对碰撞工况的分析提出车顶安全性测试方

法所涉及的关键技术,并通过数值模拟手段对这些关键技术进行对比分析,最后提出车顶安全性法规试验的关键环节。

## 二、商用车交通事故统计

随着我国商用车保有量的持续增加,与卡车相关的交通事故已经引起广泛的关注。我国交通部门公布的交通事故统计资料显示,我国道路交通事故中重型货车事故是道路交通事故的主要事故类型之一。表1列出2011~2014年我国道路交通事故中死亡总数和重型货车事故引起的死亡人数的情况。从表1中可以看出,重型货车交通事故引起的死亡人数虽然呈逐年下降的趋势,但仍然占据着较大的比重。因此,需要对重型货车引起的交通事故进行分析研究,确定主要的事故类型和伤亡情况。

表1 2011~2014年全国道路交通事故统计

| 年度   | 交通事故死亡总人数 | 重型卡车交通事故的死亡人数 | 百分比   |
|------|-----------|---------------|-------|
| 2011 | 107,077   | 23,773        | 22.2% |
| 2012 | 98,738    | 21,505        | 21.8% |
| 2013 | 89,455    | 16,324        | 18.2% |
| 2014 | 81,649    | 14,920        | 18.3% |

在 M.C.Simon 等人的研究“The Potential Gain to be achieved by Generalization of Seat Belts and Airbags in Truck”中,对法国 403 起卡车交通事故进行了深入研究,将与货车相关的交通事故分为 4 种类型,分别是货车与轿车碰撞事故、货车与货车碰撞事故、货车与障碍物碰撞事故和货车翻车事故。同时,将在这些事故中商用车乘员的受伤程度分为死亡、重伤、轻伤和未受伤 4 个级别,具体的统计数据如表 2 所示。

表 2 卡车相关交通事故分类

| 事故类型     | 事故总数 | 死亡人数 | 重伤人数 | 轻伤人数 | 未受伤人数 | 总人数 |
|----------|------|------|------|------|-------|-----|
| 轿车与货车相撞  | 190  | 0    | 0    | 8    | 199   | 207 |
| 货车与货车相撞  | 49   | 9    | 12   | 25   | 46    | 92  |
| 货车与障碍物相撞 | 43   | 5    | 5    | 25   | 12    | 47  |
| 货车翻车     | 121  | 10   | 12   | 72   | 39    | 133 |
| 总数       | 403  | 24   | 29   | 130  | 296   | 479 |

由表 2 可以看出,轿车与卡车相撞和卡车翻车是与卡车相关交通事故的主要事故类型,分别占事故总数的 47.1% 和 30.0%。其中,由卡车翻车引起的死亡人数占死亡总人数的 41.7%,重伤人数占总重伤人数的 41.4%,轻伤人数占总轻伤人数的 55.4%。该数据表明,卡车的翻车事故是造成严重人员伤亡的重要事故形式之一。在重型货车翻车事故中,车顶垮塌和生存空间不足是引起乘员伤亡的主要原因。因此,需要对车顶安全性进行强制法规要求以尽可能降低乘员伤亡。

### 三、商用车车顶安全性相关法规

针对商用车交通事故的主要特点,欧洲经济委员会和美国汽车工程学会分别提出了各自的商用车乘员保护测试方法,很多国家都在借鉴这两种测试方法。瑞典则拥有独立的商用车安全性测试法规,其法规被公认为最为严苛的商用车安全性测试法规。本文重点分析 ECE 和 SAE 法规在商用车车顶安全性测试方面的异同。SAE 推荐的测试流程将商用车车顶安全性分为两个阶段,包括侧围上部的动态预加载和车顶的准静态加载。ECE R29 法规直接通过对商用车车顶加载进行安全性评价。

#### 1. SAE 测试法规分析

SAE J2422 推荐测试流程从两个阶段对商用车车顶安全性进行分析,包括动态预加载和车顶准静态加载两个阶段。其中,动态预加载用于模拟在商用车翻滚超过 90 度时,驾驶室侧围上部受到的载荷;车顶的准静态加载用于模拟车辆在 180 度翻转后车顶的受载情况。在测试过程中使用标准的驾驶室悬置,允许弹性和阻尼的存在。测试过程中的载荷通过刚性平板施加。

动态预载荷将驾驶室倾斜 20° 角按照标准的悬置方式固定在试验台上,一个垂直于地面且与车架纵向平行的刚性墙沿垂直于刚性板的方向以一定的速度撞向驾驶室。驾驶室与刚性板的碰撞部位发生在驾驶室侧围上部,碰撞能量根据驾驶室翻转所需的能量计算得出。动态预加载的测试布置如图 1 所示。在动态预载阶段,刚性墙携带的能量对驾驶室翻转能量乘以一定的放大系数确定,最大值不超过 17625.6J。驾驶室的翻转能量通过驾驶室尺寸、重量和车辆的质心位置确定,该能量近似相当于车辆从临界平衡位置翻转到侧围着地所产生的动能。

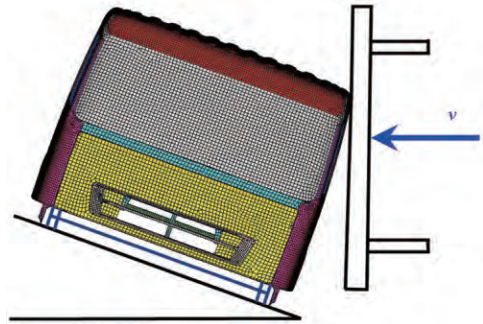


图 1 SAE J2422 测试中动态预加载部分示意图

准静态加载通过平行于驾驶室地板的刚性板沿着垂直于车顶的方向运动来实现。可以将驾驶室翻转后以标准悬置固定在垂直于地面的平台上,将进行预加载一侧的驾驶室向下放置,刚性板沿着垂直于车顶平面的方向运动。准静态加载过程主要测量刚性板对乘员空间的侵入量,特别需要关注驾驶员和乘员座椅位置的侵入量。准静态加载的测试布置如图 2 所示。

#### 2.ECE 测试法规分析

ECE R29 对商用车驾驶室乘员保护中对车顶的安全性测试方法进行了规定,该测试方法主要以等效载荷的形式在车顶上进行加载。驾驶室可以安装在车架上或安装在独立的

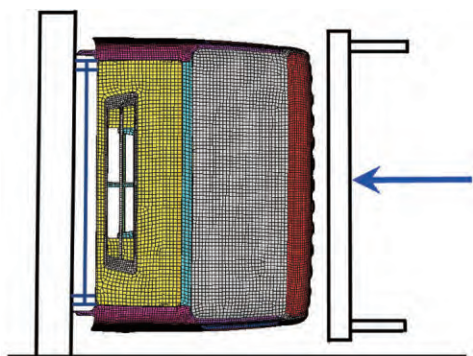


图2 SAE J2422 测试中准静态加载部分示意图

支架上,必须保证在试验过程中车辆无明显移动,为此,应拉上手制动、挂上档,并用楔块楔住前轮。悬架(弹簧、轮胎等)各部件的通过刚体构件进行刚性处理,消除各部件的变形。同时,需要保证在试验过程中驾驶室安装支架不能移动。ECE R29 法规要求的约束情况如图3所示。

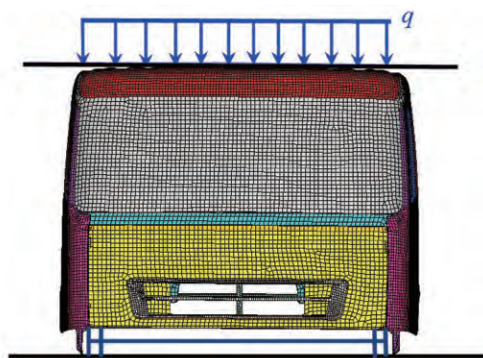


图3 ECE R29 中车顶强度试验示意图

驾驶室顶部应能承受相当于车辆前部的一个轴或多个轴的最大轴荷的静载荷,但最大为 10,000kg。此静载荷应通过形状合适的刚体部件均匀地施加在驾驶室或座舱顶部构架的所有支承件上。测试完成后,通过 50 百分位假人对生存空间进行评价,当座椅位于中间位置时,假人模型不应与车辆的非弹性部件发生接触。同时要求在试验过程中,车门不能开启。

### 3. 测试方法对比分析

两种测试方法对比如表3所示。SAE 测试流程使用动态载荷和准静态载荷进行加载,ECE 法规则使用静态载荷进行加载,在相同的能量作用下,不同的加载速度对驾驶室的结构受到不同的影响。同时,SAE 测试流程使用标准悬置将驾驶室安装于车架上,而 ECE 法规则要求将驾驶室悬

表3 SAE J2422 和 ECE R29 对商用车车顶安全性测试方法对比

| 法规项目    | SAE J2422      |              | ECE R29           |
|---------|----------------|--------------|-------------------|
|         | 动态预加载部分        | 准静态加载部分      | 静态加载              |
| 模拟工况    | 翻滚超过 90° 工况    | 车顶着地         | 车顶着地              |
| 加载部位    | 侧围上部           | 车顶           | 车顶                |
| 加载方式    | 足够大刚性平板表面覆盖复合板 | 足够大刚性平板      | 覆盖车顶均匀载荷          |
| 能量 / 载荷 | 最大不超过 17625.6J | —            | 最大不超过 10 吨的力      |
| 安装方式    | 标准悬置安装于车架上     | 标准悬置安装于车架上   | 标准安装方式同时将弹性阻尼元件锁死 |
| 驾驶室状态   | 与地面倾斜 20° 角安装  | 车顶与地面垂直或正常状态 | 正常状态              |
| 测试内容    | 力与位移           | 侵入量          | 座椅处生存空间           |
| 评价      | 驾驶员和乘员座椅处的空间   |              | 50 百分位男性假人生存空间    |

置的弹性元件进行刚性化处理,二者对驾驶室的约束条件要求不同。

## 四、车顶安全性分析关键技术

### 1. 一般分析工况

由于两种测试方法在测试流程上存在较大差异,为了考察这两种方法在不同载荷和不同约束情况下的车顶强度,现假定一个通用的测试工况。驾驶室以一定方式支撑于试验支架上,刚性板携带 50KJ 的能量以一定的速度向车顶运动,考察在此载荷作用下结构的响应。通过改变刚性板的质量可以同时考察不同的加载速度和不同边界条件下结构的响应。以某型商用车驾驶室为例进行数值模拟分析,对该驾驶室的车顶安全性进行评价,驾驶室模型如图4所示。

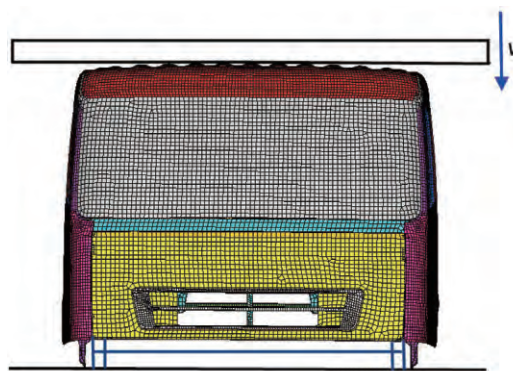


图4 车顶强度一般分析工况

在该工况条件下，设置刚性板质量为 1,000kg，以 10m/s 的速度向车顶方向运动，驾驶室通过刚性件与支撑结构相连，驾驶室的最大变形如图 5 所示。由图 5 可知，该驾驶室结构能够承受 50KJ 能量以 10m/s 的速度的冲击，车顶在受到冲击后有较大变形，后围有一定的变形量。

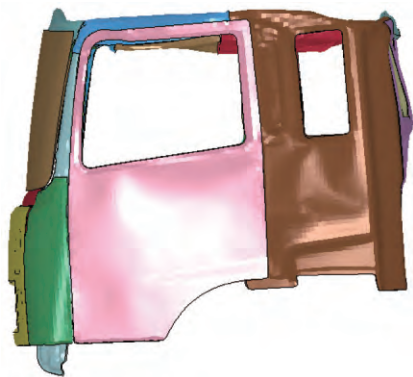


图 5 一般分析工况下驾驶室最大变形图

## 2. 弹性支撑工况

在保持一般分析工况中加载方式不变的情况下，使用弹性元件将驾驶室连接在试验支架上，考察车顶在此种情况下的变形。计算过程中的最大变形如图 6 所示。由图 6 可知，由于使用弹性支撑，车顶的变形和后围的变形均小于使用刚性支撑时的情况。同时，由于驾驶室的左右及前后方向的弹性元件的刚度存在差异，在冲击过程中，导致驾驶室左右变形不一致。

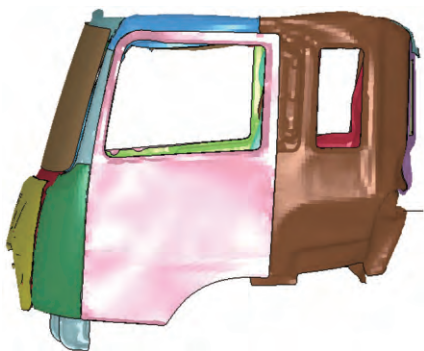


图 6 弹性支撑工况下驾驶室最大变形图

## 3. 高速冲击工况

在保证刚性板冲击能量不变的条件下，提高刚性板的冲击速度，考察车顶在较高速度冲击载荷作用下的变形情况。为了避免驾驶室的左右变形不一致情况，采用刚性元件与支

撑结构相连。计算过程中的最大变形如图 7 所示。由图 7 可知，在高速冲击载荷作用下，车顶的局部变形较大，后围的变形较小，冲击速度对驾驶室变形部位有明显影响。

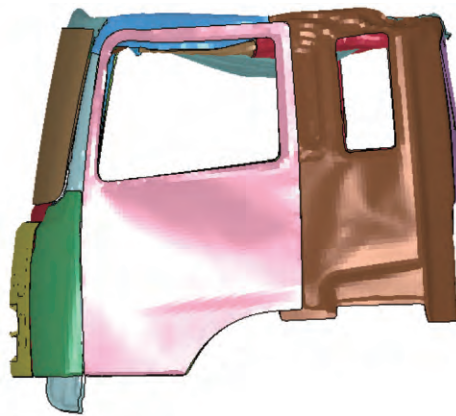


图 7 高速冲击工况下驾驶室最大变形图

## 五、结语

对比分析了 ECE 法规和 SAE 推荐测试标准中商用车驾驶室车顶刚度对乘员保护测试的要求，针对两种测试方法在约束和载荷方面存在的差异，对国产某型商用车驾驶室进行车顶强度分析，获得以下结论。

(1) 两种测试流程使用不同的方法对商用车车顶安全性进行分析，二者均以乘员的生存空间为评价原则。其中，SAE J2422 测试流程侧重考察翻车事故过程中车顶的响应，ECE R29 法规则强调测试流程的操作可行性和稳定性。

(2) SAE J2422 测试流程中使用预加动载荷和准静态载荷的方式对车顶进行安全性分析，较为全面地考察了车辆在翻滚过程中所受的载荷。同时，在测试过程中使用标准驾驶室悬置，可以较为真实地反映车辆在翻车时的情况。

(3) ECE R29 法规使用静态载荷对车顶安全性进行分析，简化了车顶安全性的分析流程，根据不同的车型施加不同的载荷，操作简便，评价指标明确。法规要求在测试过程中对所涉及的弹性元件进行刚性化处理，消除了弹性元件对测试过程的影响，测试结果较为稳定。

(4) 由于施加载荷的速度对分析结果有较为明显的影响，合适的加载速度是商用车车顶安全性分析过程中需要确定的主要参数。因此，需要通过对翻车机理和商用车交通事故进行统计分析得到加载速度。IM