

汽车安全带总成强度设计探讨

钟柳华 陈春柳

摘要: 众所周知,当车辆发生道路交通事故时,对于车上乘员保护,汽车安全带发挥非常重要的作用。为实现安全带良好的保护效果,安全带总成的强度设计和保证成为其最基本的要素。一方面,汽车安全带总成必须具有足够的强度,防止在车辆发生碰撞事故时安全带总成出现断裂或失效;另一方面,从安全带制造成本和整车减重考虑,不能够无限制地增大其强度。因此,在安全带强度设计时,我们应该在其强度性能和制造成本选择合理的平衡点,使其能够满足使用强度要求,又能控制在合理的成本范围。本文从汽车整车制造商的角度考虑,探讨汽车安全带总成强度设计的一般方法。

关键字: 安全带总成, 织带, 卷收器, 强度, 加速度

1 引言

汽车安全带总成的基本功能和主要作用就是:当汽车发生碰撞事故或翻滚时,安全带总成把车上乘员牢牢约束在座椅上,防止其飞出车外或与车内零部件发生二次碰撞,从而最大降低车内乘员遭受伤害的程度。因此,安全带总成必须具有足够的强度。本文从整车对安全带总成强度要求为出发点,以普通紧急锁止式(三点式)安全带为例,主要探讨安全带总成强度设计的一般方法,不涉及安全带总成内部结构和具体零部件形状、材料以及尺寸设计。

2 汽车安全带总成强度设计一般方法

2.1 概述

2.1.1 安全带总成的组成

以普通三点式安全带总成(紧急锁止式)为例,汽车安全带总成由这些零部件组成:卷收器组件(Retractor)和锁扣组件(Buckle)如图1所示。具体构成如图2所示(其中卷收器组件包括:(1) Height Adjuster 高度调节器、(2) Webbing 织带、(3) WebGuide 织带导向件、(4) Retractor 卷收器本体、(5) Anchor Plate 固定片、(8) Tongue 锁舌、(9) Guide Loop (D-Ring) 导向环)。

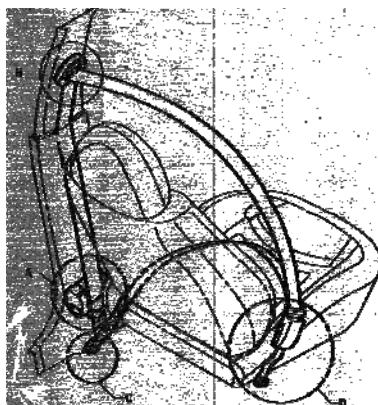


图 1 安全带总成组成 (A-卷收器组件, D-锁扣组件)

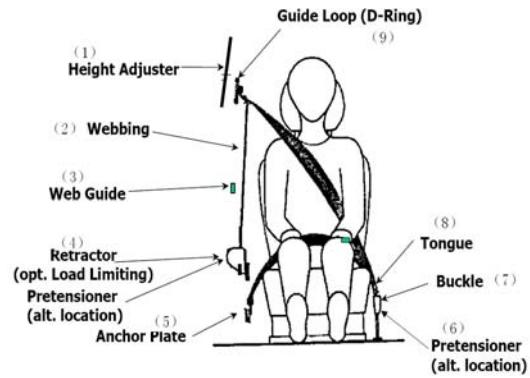


图 2 三点式安全带组成

2.1.2 安全带总成的分类

目前,安全带一般可以分为二点式安全带、三点式安全带、全背式安全带等。按其功能有普通安全带、预张紧式安全带和限力式安全带。卷收器类型有:无锁式卷收器、手调式卷收器、自锁式卷收器和紧急锁止式卷收器,其中紧急锁止式卷收器应用最为广泛。另外,有些安全带还具有高度调节装置、安全带提醒装置等。

2.1.3 与安全带有关的国家强制性标准

目前,与安全带有关的国家强制性标准和推荐性标准有:

- (1) GB14166-2003《机动车成年乘员用安全带和约束系统》
- (2) GB14167-2006《汽车安全带安装固定点》
- (3) GB11551-2003《乘用车正面碰撞的乘员保护》
- (4) GB20071-2006《汽车侧面碰撞的乘员保护》
- (5) GB/T20913-2007《乘用车正面偏置碰撞的乘员保护》

其中,(1) GB14166-2003《机动车成年乘员用安全带和约束系统》(2) GB14167-2006

《汽车安全带安装固定点》(3) GB11551-2003《乘用车正面碰撞的乘员保护》三个标准对安全带的强度要求最为苛刻。

2.2 安全带在试验中的受力分析

以 GB14167-2006《汽车安全带安装固定点》和 GB11551-2003《乘用车正面碰撞的乘员保护》为例,介绍安全带总成受力分析和简化计算,以及试验测试结果。

2.2.1 安全带在碰撞试验中的受力分析和计算

在 GB11551-2003《乘用车正面碰撞的乘员保护》整车碰撞试验时,安全带总成受力分析简化如图 3:

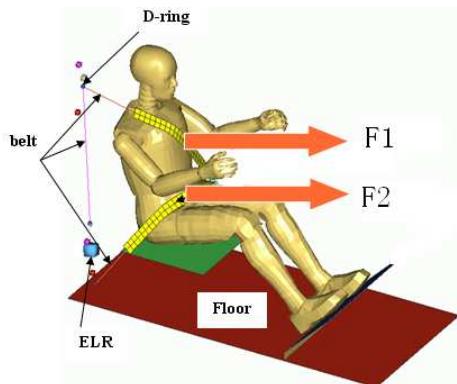


图 3 三点式安全带受力分析

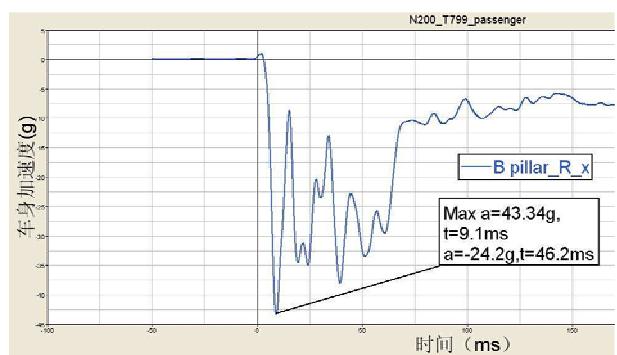


图 4 车体加速度曲线

车辆在碰撞过程中,由于受到碰撞壁障的作用力,车辆产生非常大的减速度(负加速度),车上假人由于惯性,继续往前移动,此时,安全带锁止,约束住假人。假人所受到的外力有:肩带作用力、腰带作用力和座椅摩擦力,由于座椅摩擦力相对较小,可以忽略不计。

假设:假人对安全带肩带和腰带的作用力分别为 F_1 和 F_2 ,假人的最大加速度为 a (单位为 g),假人的重量为 $m(\text{kg})$,假人作用在安全带上总的外力 F (单位为 N)。则有:

$$F = F_1 + F_2 = ma$$

例如,某次 GB11551-2003 碰撞试验,车体加速度曲线、安全带张力曲线和假人加速度曲线分别如图 4、图 5、图 6 所示。

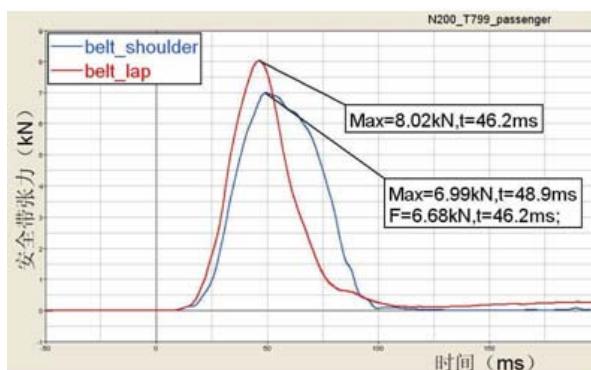


图 5 乘员侧假人安全带拉力测量值图

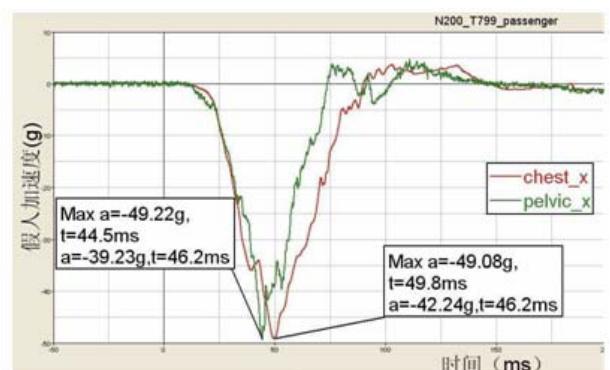


图 6 乘员侧假人胸部和骨盆加速度曲线

试验假人为HybridIII50th 男性假人,其身体重量参数为:上躯干重量为 $m_1=27.54\text{kg}$,下躯干重量为 $m_2=34.47\text{kg}$

由图 6 可知:假人胸部 x 向最大加速度为 $a_1=-49.08\text{g}$ (当 $t=49.8\text{ms}$ 时)骨盆 x 向最大加速度为 $a_2=-49.22\text{g}$ (当 $t=44.5\text{ms}$ 时)

安全带受力简化计算:

(1) 安全带肩带受力

假人胸部对安全带肩带的最大作用力(当 $t=49.8\text{ms}$ 时)为:

$$F_1 = m_1 \cdot a_1$$

$$=27.54 \times (-49.08) \times 9.8$$

$$=-13246.30(\text{N})$$

则肩带张力 F_3 为:

$$F_3 = F_1 / 2$$

$$=-13246.30 / 2$$

$$=-6623.15(\text{N})$$

由图 5 可知,肩带力实际最大测量值为 6990N(当 $t=48.9\text{ms}$ 时)时计算误差为:

$$(6990-6623.15) / 6990 \times 100\% = 5\%$$

(2) 安全带腰带受力 假人骨盆对安全带腰带的最大作用力(当 $t=44.5\text{ms}$ 时)为:

$$F2 = m2 \cdot a2 \\ = 34.47 \times (-49.22) \times 9.8 \\ = -16626.81(N)$$

则腰带张力 $F4$ 为:

$$F4 = F2/2 \\ = -16626.81/2 \\ = -8313.41(N)$$

腰带实际最大测量值为 8020N (当 $t=46.2ms$ 时), 计算误差为:

$$(8313.41-8020) / 8020 \times 100\% = 3.7\%$$

由此可见, 碰撞试验时, 安全带受力的理论计算值与实际测量结果基本一致。

2.2.2 安全带在 GB14167-2006 试验中的受力分析

在 GB14167-2006 《汽车安全带安装固定点》静态强度试验时, 安全带总成受力分析简化如图 7 所示。

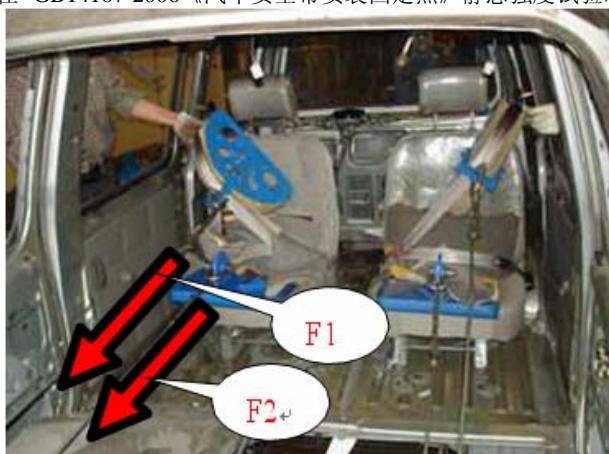


图 7 GB14167-2006 安全带固定点强度试验

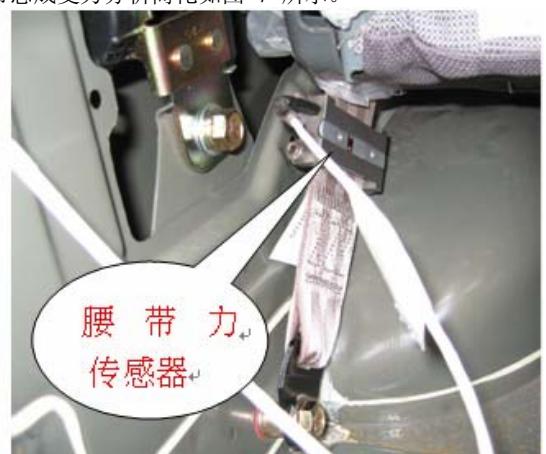


图8 腰带拉力传感器布置

上人体模块受力与下人体模块受力分别为: $F1=13500N$ (简化为水平方向), $F2=13500N$ (简化为水平方向) 安全带肩带受力:

$$F3 = F1/2 \\ = 13500/2 \\ = 6750N$$

安全带腰带受力:

$$F4 = F2/2 = 13500/2 = 6750N$$

安全带安装固定点试验及拉力测量结果如图 8、图 9、图 10、图 11、图 12 所示:



9 肩带及卷收器传感器布置图

理论计算与测试误差:

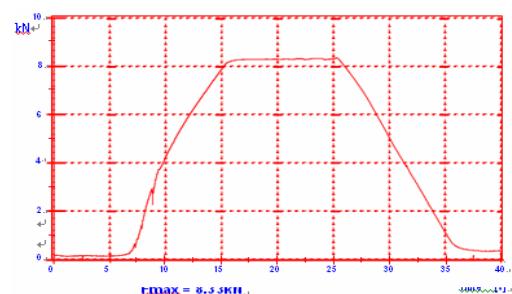
肩带:

$$(8330-6750) / 8330 \times 100\% = 19\%$$

腰带:

$$(6750-6540) / 6540 \times 100\% = 3.2\%$$

由此可见, 腰带受力的理论计算值与试验测量值比较吻合, 肩带受力的理论计算值与试验测量值相差较大, 达到 19%, 但就工程而言, 还是可以接受的。



10 肩带力曲线

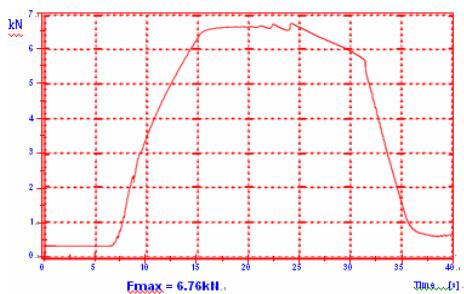


图 11 卷收器力曲线

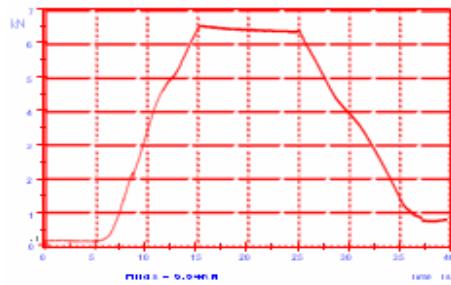


图 12 腰带力曲线

2.3 安全带总成强度设计

2.3.1 国家强制性标准对安全带总成强度要求

GB14166-2003 《机动车成年乘员用安全带和约束系统》要求：

- (1) 织带：抗拉载荷值不小于 14700N。
- (2) 带扣和调节装置：抗拉载荷值不小于 9800N。
- (3) 连接件和安全带高度调节器：抗拉载荷值不小于 14700N。
- (4) 安全带总成或约束系统动态试验：最大加速度为 32g，最大持续时间为 42ms，如图 13 所示。

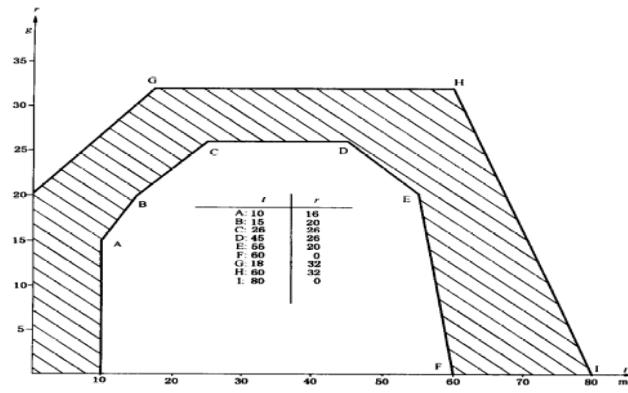


图 13 滑车减速度一时间曲线

GB14166-2003 《机动车成年乘员用安全带和约束系统》是对安全带总成最基本的要求。对于大多数乘用车，安全带总成如果能符合 GB14166-2003 的强度要求，也就基本能满足 GB14167-2006 和 GB11551-2003 试验对安全带的强度要求。但是，对于一些极少数的乘用车，由于车身结构碰撞吸能较差，以及乘员约束系统设计匹配不合理，导致碰撞试验过程中，假人作用在安全带总成上的载荷非常大，如图 14、图 15 所示

(GB11551-2003 试验) 驾驶员侧假人：当 $t=46.3\text{ms}$ 时，肩带力为 $Q_1=8.86\text{N}$ ，腰带力

为 $Q_2=11.22\text{N}$ 乘员侧假人当 $t=43.9\text{ms}$ 时肩带力为 $Q_3=7.78\text{N}$ ，腰带力为 $Q_4=10.56\text{N}$ 。由此可见，在 GB11551-2003 试验中，安全带总成受力有可能超过 GB14166-2003 的强度要求。

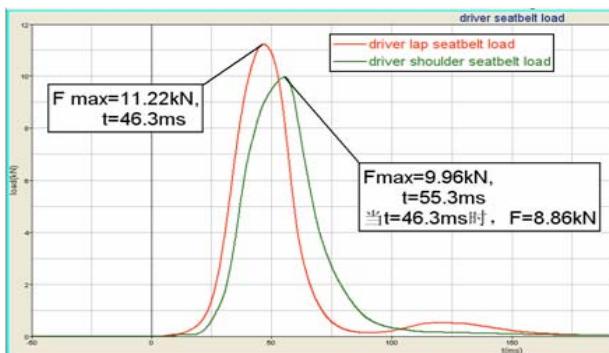


图 14 驾驶员侧安全带力一时间曲线

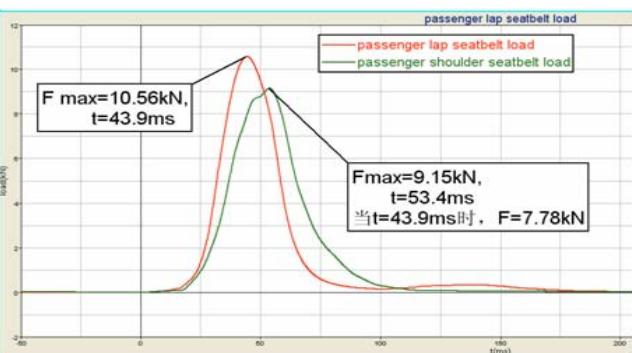


图 15 乘员侧安全带力一时间曲线

2.3.2. 安全带强度设计

以图 13、图 14 为例, 对安全带导向环组件、锁扣组件等进行简化计算 (驾驶员侧)。安全带卷收器受力约等于肩带拉力, 为 $Q1=8.86\text{N}$; 安全带固定片受力约等于腰带拉力, 为 $Q2=11.22\text{N}$; 安全带导向环组件受力约等于肩带拉力与卷收器受力之和, 为 $Q3=Q1 \times 2=8.86 \times 2=17.72\text{N}$; 安全带锁舌、锁扣组件受力约等于肩带拉力与腰带拉力之和, 为 $Q4=Q1+Q2=8.86+11.22=20.08\text{N}$;

根据以上计算结果, 乘以 1.15 的安全系数, 考虑到零部件生产成本, 并结合实际工程经验, 得出安全带总成强度要求如下:

- (1) 织带: 抗拉载荷值不小于 28000N。
- (2) 带扣: 抗拉载荷值不小于 23000N。
- (3) 带扣支架 (硬连接): 抗拉载荷值不小于 23000N。
- (4) 锁舌: 抗拉载荷值不小于 23000N。
- (5) 导向环组件: 抗拉载荷值不小于 20000N。
- (6) 调节装置: 抗拉载荷值不小于 15000N。
- (7) 固定片: 抗拉载荷值不小于 15000N。
- (8) 卷收器本体组件: 抗拉载荷值不小于 15000N。
- (9) 卷收器连接板: 抗拉载荷值不小于 20000N。
- (10) 安全带高度调节器: 抗拉载荷值不小于 20000N。
- (11) 安全带紧固件 (英制螺栓): 抗拉载荷值不小于 60000N。

3 结论

由于篇幅所限, 本文仅仅探讨了安全带总成强度要求, 这些强度要求也是指导安全带总成零部件结构设计的一个重要输入条件。总之, 安全带总成强度是其最基本性能之一, 如果强度不符合要求, 则安全带总成对车内乘员的保护也就无从谈起。因此, 在进行安全带总成设计时, 必须满足其强度要求, 也需要充分考虑其成本, 同时, 要结合不同的生产制造工艺, 保证质量和生产一致性, 在产品性能、质量和成本之间找到最佳平衡点。