

# 客车座椅车辆固定件强度静态试验载荷确定方法研究

徐海澜, 王若璜, 朱红岩

(招商局检测车辆技术研究院有限公司, 重庆 401329)

**摘要:**为解决有关标准中 50 km/h 碰撞速度下客车座椅车辆固定件强度静态试验载荷缺乏具体确定方法,导致对应的试验开展难度较大的问题,本文提出相应的确定方法,使对应的静态试验具备可操作性,为客车座椅车辆固定件的结构开发提供参考。

**关键词:**客车; 座椅; 车辆固定件; 静态试验

中图分类号: U467.3

文献标志码: A

文章编号: 1006-3331(2023)05-0049-04

## Research on Determining Method of Static Test Load of Fixings Strength on Vehicle for Coach Seat

XU Hailan, WANG Ruohuang, ZHU Hongyan

(China Merchants Testing Vehicle Technology Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401329, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of the lack of specific determination methods for the static test load of the strength of coach seat fixings on the vehicle at a collision speed of 50 km/h in relevant standards, which leads to the difficulty of carrying out corresponding tests, this article proposes corresponding determination methods to make the corresponding static tests operable and provide a reference for the structural development of coach seat fixings on the vehicle.

**Key words:** coach; seat; fixings on vehicle; static test

近年来国内公路客车大部分群死群伤的交通事故发生时车速都较快,国内客车座椅标准亟需提升<sup>[1]</sup>。现行 GB 13057—2014<sup>[2]</sup>的试验车速为 30 km/h,与欧标 UN R80<sup>[3]</sup>相同,已经无法满足国情需要,而目前国际上动态试验车速要求最高为澳标 ADR 68/00<sup>[4]</sup>,其速度为 50 km/h 左右,故可参考澳标将国标的动态试验车速提升至 50 km/h。但由于动态试验速度的提升需同步提高客车座椅车辆固定件强度(以下简称车辆固定件强度)的静态试验载荷,而 ADR 68/00 中虽然提供了静态试验方法,但并未给出试验载荷的具体确定方法,导致对应的车辆固定件强度静态试验难度较大。目前针对客车座椅的研究大都是关于座椅的乘员保护<sup>[5-8]</sup>、结构改进<sup>[9-10]</sup>和标准介

绍<sup>[11-12]</sup>,而关于车辆固定件强度静态试验方法的研究很少。本文对车辆固定件强度静态试验载荷的计算方法进行研究,为开展静态试验和 GB 13057 的修订提供参考。

## 1 动态和静态试验方法简介

### 1.1 动态试验方法

本文所讨论的车辆固定件强度动态试验的试验车速为 $(50 \pm 1)$  km/h,加速度波形为大于 20g 持续至少 30 ms,假人放置分为以下两种方案:

1) 方案一,按照现行 GB 13057—2014 进行放置。后面一排放置无约束假人,前面一排不放假人,即共 2 个假人。

收稿日期: 2023-03-22。

第一作者: 徐海澜(1985—),男,博士;正高级工程师;主要从事汽车被动安全测试方法、汽车乘员保护仿真分析等研究工作。E-mail: cixuhailan@cmhk.com。

2) 方案二,按照 ADR 68/00 进行放置。后面一排放置无约束假人,前面一排放置有约束假人,即共 4 个假人。

动态试验过程中,若后排假人的任何部位没有超过后排座椅 R 点前方 1.6 m 的横向垂面,则认为座椅和车辆固定件能够承受住假人的冲击。

## 1.2 静态试验方法

本文所讨论的需要确定试验载荷的车辆固定件强度静态试验方法引自 ADR 68/00,具体描述为:将刚性座椅工装安装在与实际车辆固定件结构相同的模拟地板上,在 750 mm 高度对工装施加沿纵向向前的载荷  $F$ ,考核车辆固定件是否能够承受住该载荷,如图 1 所示。ADR 68/00 中对于载荷  $F$  的确定提供了两种方法:一是根据动态试验得到的载荷进行试验,但并没有提供相应的载荷获得方法;二是采用座椅静态试验载荷,但该载荷原本是通过座椅自身安全带进行加载,若将该载荷按照车辆固定件强度静态试验的方法加载在刚性座椅工装上,其试验结果往往是通过动态测试的车辆固定件却完全无法在车辆固定件强度静态试验中承受住该载荷,说明座椅静态试验载荷要远大于车辆固定件强度静态试验载荷,无法正确反映动态试验结果。静态试验时若载荷在 2 s 内能够加载到目标载荷并保持至少 0.2 s,则认为车辆固定件能够承受住目标载荷。

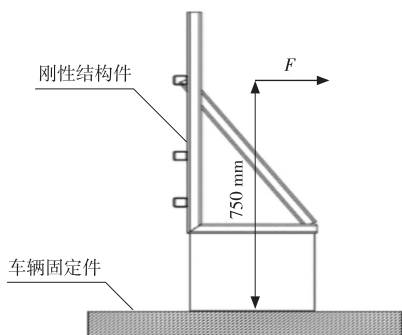


图 1 车辆固定件强度静态试验示意图

基于上述情况,目前业内还无法开展对应的车辆固定件强度静态试验。本文的目的就是得出一种能够根据车辆固定件强度动态试验数据确定相应的静态试验载荷  $F$  的方法。

## 2 静态试验载荷的计算方法及推荐值

### 2.1 计算方法

本文采用通过对车辆固定件强度动态试验进行动力学分析推导静态载荷的计算方法。本文所考虑的车辆固定件强度动态试验均为能够承受住假人冲击的情况,故若动态试验结果为无法承受住假人冲击,则不能采用本文中的计算方法计算静态试验载荷。图 1 所示的车辆固定件强度动态试验可用式(1)所示的动力学模型表示:

$$\int F(t) dt = \sum m \cdot \Delta V \quad (1)$$

式中: $F$  为系统所受外力; $t$  为外力持续时间; $m$  为系统中各物体的质量; $\Delta V$  为系统中各物体的速度变化量。

将假人和前排座椅看成是一个系统,从碰撞开始到座椅靠背变形量达到最大的这一过程中,假人和座椅的速度均从 50 km/h 降到 0 km/h,整个系统的动量发生了变化,而造成这一变化的原因则是这段时间内车辆固定件沿车辆行驶方向施加在这个系统上的外力所致,所以在车辆行驶方向上式(1)可变为:

$$\bar{F} \cdot t_T = m_s \cdot \Delta V_s + n \cdot m_D \cdot \Delta V_D \quad (2)$$

由于力的相互作用, $\bar{F}$  可以近似等于静态试验时对座椅工装所施加的载荷  $F$ ,所以式(2)可变为:

$$F \approx \bar{F} = (m_s \cdot \Delta V_s + n \cdot m_D \cdot \Delta V_D) / t_T \quad (3)$$

式中: $\bar{F}$  为车辆固定件在车辆行驶方向对座椅和假人所施加的平均载荷; $F$  为车辆固定件强度静态试验中对座椅工装施加的载荷; $t_T$  为平均载荷施加的时间; $m_s$  为前排座椅的质量; $\Delta V_s$  为座椅的速度变化; $n$  为 TNO-10 假人的数量; $m_D$  为 TNO-10 假人的质量; $\Delta V_D$  为假人的速度变化。

### 2.2 推荐值的确定

通过式(3)可知,要得到载荷  $F$  的大小,需要确定座椅的质量  $m_s$ 、假人的质量  $m_D$ 、平均载荷施加时间  $t_T$  以及座椅的速度变化  $\Delta V_s$ 。说明要确定某个车辆固定件静态试验的载荷大小需要用到相对应的动态试验数据。然而在车辆开发初期,并不一定会有对应的动态试验数据,所以为了解决无动态试验数据支

撑时需要通过静态试验验证车辆固定件的情况, 本文选取各参数的平均值代入式(3)中得到平均静态试验载荷, 以此作为静态试验载荷的推荐值, 为企业提供静态试验加载依据。由于该推荐值是区分车辆固定件能否在动态试验中承受假人冲击的指标, 所以确定推荐值所需的动态试验相关数据必须是能够承受住假人冲击的数据。

已知单个 TNO-10 假人的质量  $m_D$  是确定的, 为 75.5 kg, 其试验速度变化  $\Delta V_D$  即为座椅速度变化  $\Delta V_s$ , 取动态试验速度要求的中间值 50 km/h (即 13.9 m/s)。方案一放置 2 个假人, 所以  $n=2$ ; 方案二放置 4 个假人, 所以  $n=4$ 。

座椅质量  $m_s$  和平均载荷施加时间  $t_T$  则通过统计分析能够承受住假人冲击的动态试验数据获得中间值。本文统计的 50 km/h 碰撞速度下能够承受住假人冲击的动态试验共有 36 次, 其中方案一有 9 次, 方案二有 27 次。所有动态试验均为双人座椅, 其座椅质量在 35~43 kg 之间,  $m_s$  中间值为 39 kg。平均载荷施加时间  $t_T$  通过高速摄像分析试验过程中座椅靠背前倾到最大变形角度所用时间的方法得到。经过分析, 方案一的平均变形时间为 0.137 s, 方案二的平均变形时间为 0.150 s。

将所有已知参数代入式(3)可得:

方案一:

$$F_1 = \frac{39 \times 13.9 + 2 \times 75.5 \times 13.9}{0.137} \approx 19\ 277\ (\text{N})$$

方案二:

$$F_2 = \frac{39 \times 13.9 + 4 \times 75.5 \times 13.9}{0.150} \approx 31\ 599\ (\text{N})$$

从上述计算可知, 双人椅方案一的平均静态试验载荷为 19 277 N, 即 9 639 N/座位; 方案二的平均静态试验载荷为 31 599 N, 即 15 800 N/座位; 取 5% 的保险系数并按能被 500 N 整除进行凑整后得到推荐值为方案一为 10 000 N/座位和方案二为 16 500 N/座位。

### 3 试验验证

通过采用动态试验和静态试验对车辆固定件造成的垂直方向上的形变结果的一致性来表征静态试

验载荷的有效性。为了方便测量和保证测量精度, 选取试验中车辆固定件上最大变形发生的位置进行测量。通过大量的试验可知, 车辆固定件最大变形位置通常为侧挂最靠后的固定点附近。

对某型双人椅及其车辆固定件分别进行方案一和方案二的车辆固定件强度动态试验, 试验结果显示该座椅及其车辆固定件能够承受住两个方案的假人冲击。试验座椅的质量为 38 kg, 试验速度分别为 13.78 m/s 和 13.84 m/s, 记录座椅最大变形时刻和试验后侧挂的最大垂直变形量, 试验如图 2 所示。结果显示方案一和方案二动态试验时座椅靠背最大变形时刻分别为 131 ms 和 146 ms, 侧挂的最大垂直变形量分别为 9 mm 和 26 mm。



(a) 方案一



(b) 方案二

图2 方案一和方案二动态试验座椅最大变形时刻和侧挂最大变形量

将所有已知参数代入式(3)可得到该试验对应的理论等效载荷, 对于方案一:

$$F_1 \approx \bar{F}_1 = \frac{m_s \cdot \Delta V_s + m_D \cdot \Delta V_D}{t_{T1}} = \frac{38 \times 13.78 + 2 \times 75.5 \times 13.78}{0.131} \approx 19\ 881\ (\text{N})$$

与方案一的平均值 19 277 N 的差异为 3%, 说明方案一的平均值具有代表性。

对于方案二:

$$F_2 \approx \overline{F_2} = \frac{m_s \cdot \Delta V_s + m_D \cdot \Delta V_D}{t_{T2}} = \frac{38 \times 13.84 + 4 \times 75.5 \times 13.84}{0.146} \approx 32\,230(\text{N})$$

与方案二的平均值 31 599 N 的差异为 2%,说明方案二的平均值也具有代表性。

对应的车辆固定件强度静态等效测试采用刚性座椅工装并按照与动态试验相同固定点进行固定,为更加精确地测量侧挂的纵向变形量,静态试验采用拉线式位移传感器进行测量,如图 3 所示。

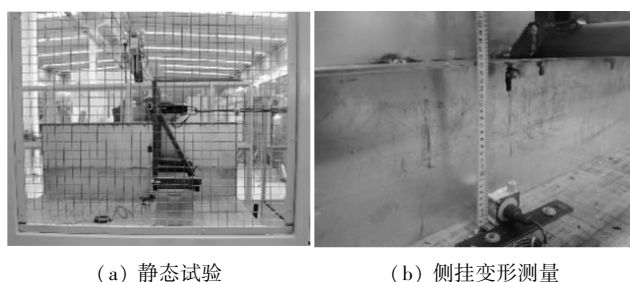
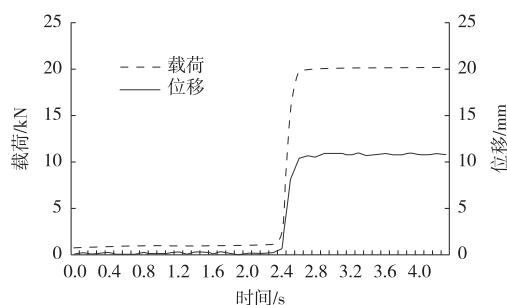
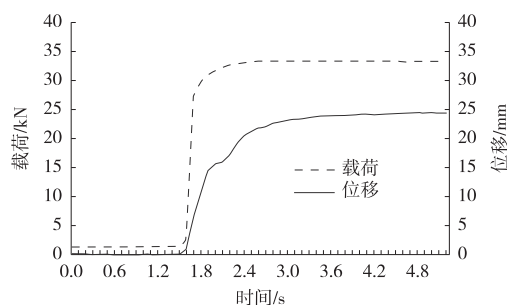


图 3 车辆固定件强度等静态试验及侧挂变形量测量

将静态试验载荷设置成推荐值,即方案一为 10 000 N/座位,方案二为 16 500 N/座位,开展等效静态试验。传感器和拉力机的输出结果如图 4 所示。结果显示,静态试验载荷均能达到目标值并保持 0.2 s 以上,说明该车辆固定件能够承受住两个方案的目标载荷,与动态试验结果一致。经测量,当拉力为 10 000 N/座位时,侧挂最大位移为 10.79 mm;拉力为 16 500 N/座位时,侧挂最大位移为 24.43 mm,与动态试验结果分别相差 1.79 mm 和 -1.57 mm。考虑到 20 000~30 000 N 左右的载荷以及不同测量方法和样品差异带来的误差,整体变形量误差在 2 mm 以内是可以接受的,故可认为静态试验载荷推荐值的设置是比较合理的。



(a) 方案一



(b) 方案二

图 4 静态试验载荷-时间-侧挂位移曲线

## 4 结束语

本文得出了 50 km/h 碰撞速度下客车座椅车辆固定件强度静态试验载荷的确定方法,能够通过动态试验结果数据推算出对应的静态试验载荷,并且给出了两种假人放置方案下的载荷推荐值。可用于在客车座椅不变的情况下变更车辆固定件时对新的车辆固定件强度进行验证,以及在没有动态试验数据的情况下开展静态试验,对车辆固定件强度进行初步的验证。

## 参考文献:

- [1] 安全监督处. 陕西安康京昆高速“8·10”特别重大道路交通事故调查报告[OL/R]. (2018-12-29) [2022-12-01]. [https://jtj.cq.gov.cn/ztl/aqsc/dxal/202011/t20201110\\_8445911.html](https://jtj.cq.gov.cn/ztl/aqsc/dxal/202011/t20201110_8445911.html).
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 客车座椅及其车辆固定件的强度:GB 13057—2014[S]. 北京:中国标准出版社, 2015:10.
- [3] United Nations Economic Commission for Europe. Uniform provisions concerning the approval of seats of large passenger vehicles and of these vehicles with regard to the strength of the seats and their anchorages; Regulation No. 80 Revision 3 [S]. United Nation: UNECE, 2022:11.
- [4] Minister for Local Government, Territories and Roads. Vehicle Standard (Australian Design Rule 68/00—Occupant Protection in Buses) 2006 [S]. Australian: Minister for Local Government, Territories and Roads, 2006:4.
- [5] 张科峰,颜长征,周从荣,等. 客车座椅乘员保护假人颈部伤害研究[J]. 机械研究与应用, 2016, 29(2): 73-75.

(下转第 55 页)

表1 普通型传动轴和免维护传动轴使用寿命对比

| 传动轴使用寿命       | 评价项目             | 普通型<br>传动轴 | 免维护<br>传动轴 |
|---------------|------------------|------------|------------|
| B10 寿命        | 耐久性试验            | 50 万 km    | 150 万 km   |
| 疲劳寿命          | 扭转疲劳强度试验         | ≥15 万次     | ≥45 万次     |
| 万向节总成<br>磨损寿命 | 万向节总成<br>耐久性性能试验 | ≥50 h      | ≥120 h     |
| 花键副磨损寿命       | 花键副耐久性能试验        | ≥15 万次     | ≥45 万次     |

#### 4 结束语

本文主要介绍了客车免维护传动轴的免维护技术,通过分析可知,免维护传动轴可靠性更高、使用寿命更长、使用成本更低,且在销往欧洲的高端客车车型上得到大量市场验证。其在客车上批量应用是未来的趋势,日后在国内的应用也会越来越普遍。

#### 参考文献:

- [1] 卢青苇. 传动轴与万向节的维修[J]. 汽车维修, 1999(9): 23-25.
- [2] 吴思航. 如何正确使用万向节传动轴[J]. 农业机械, 1983

(4): 32-33.

- [3] 王建英. 怎样诊断传动轴的问题[J]. 国外汽车, 1984(3): 68-70.
- [4] 陈鹏. 汽车万向节传动轴的选择和布置[J]. 汽车维修, 2011(5): 6-8.
- [5] 杨磊. 重型卡车传动轴匹配及优化[D]. 长沙: 湖南大学, 2016.
- [6] 丁向琴. 汽车传动轴的制造工艺分析[J]. 中国设备工程, 2021(14): 152-153.
- [7] 鄢强, 邓祥丰, 吴明春, 等. 基于 ANSYS Workbench 的传动轴静动态特性分析[J]. 汽车工程师, 2019(6): 37-40.
- [8] 王平, 陈爱华, 王继, 等. 传动轴万向节叉精密成形过程有限元模拟[J]. 机械传动, 2008, 32(3): 41-42.
- [9] 田国富, 赵庆斌. 基于 ANSYS Workbench 的汽车传动轴的有限元分析[J]. 现代制造技术与装备, 2017(9): 42-43.
- [10] 中华人民共和国工业和信息化部. 汽车传动轴总成技术条件及台架试验方法: QC/T 29082—2019[S]. 北京: 北京科学技术出版社, 2019: 11.
- [11] 尹荣栋, 赵振东, 陈鸿键, 等. 基于 OptiStruct 的某型汽车传动轴模态分析[J]. 农业装备与车辆工程, 2018, 56(7): 6-10.

(上接第 52 页)

- [6] 张科峰, 马瑞雪, 周从荣, 等. 客车座椅乘员保护小腿伤害研究[J]. 机械研究与应用, 2016, 29(1): 27-29.
- [7] 颜长征, 王若璜, 张科峰. 基于 GB 13057 的客车座椅结构对乘员伤害的分析[J]. 机械研究与应用, 2020, 33(2): 160-163.
- [8] 巩建强, 张国振, 高轶男, 等. 基于座椅动态试验的客车正面碰撞乘员损伤机理分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2021, 40(8): 150-158.
- [9] 唐有名, 谭卫峰, 张义, 等. 客车座椅动态试验仿真与改进[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(11): 75-81.
- [10] 赖喜荣. 某款轻型客车正副驾驶座椅结构改进分析[J]. 运输经理世界, 2021(5): 121-122.
- [11] 司俊德. 客车座椅碰撞安全试验方法研究[J]. 科技风, 2018(26): 241.
- [12] 金明新, 张科峰, 刘万里. QC/T 633《客车座椅》修订解读[J]. 客车技术与研究, 2022, 44(5): 55-58.