

The Effect of Structural Adhesive on the Mode of White Body

Zhidan Xu^{1,2}, Fulei Shi^{1*}, Chaochun Lian¹

¹Technology Development Centre, Saic-GM-Wuling Automobile Co., Ltd., Liuzhou Guangxi

²State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha Hunan

Email: xu_zhidan@163.com, *fulei.shi@sgmw.com.cn, chaochun.lian@sgmw.com.cn

Received: Jan. 3rd, 2019; accepted: Jan. 21st, 2019; published: Jan. 28th, 2019

Abstract

In the field of body design, the body mainly adopts integral design, which takes almost all of torsion and bending load. Meanwhile, the body mode can influence directly some key indicators of car body, such as NVH performance and so on. Therefore, it is significant for improving the performance of the white body to study the application of structural adhesive and the effect of structural adhesive on body mode. This paper first took a modal test on the white body. Then, a modal test on the white body after gelatinizing the typical areas of body was taken. Finally, the influence of body modes was explored by comparing the three kinds of glue solution.

Keywords

White Body, Body Mode, Structural Adhesive

结构胶对白车身模态的影响

徐志丹^{1,2}, 史付磊^{1*}, 练朝春¹

¹上汽通用五菱汽车股份有限公司技术中心, 广西 柳州

²湖南大学, 汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 湖南 长沙

Email: xu_zhidan@163.com, *fulei.shi@sgmw.com.cn, chaochun.lian@sgmw.com.cn

收稿日期: 2019年1月3日; 录用日期: 2019年1月21日; 发布日期: 2019年1月28日

摘要

目前在车身设计领域, 车身多采用承载式设计, 几乎承担了所有的扭转和弯曲载荷, 车身的模态会直接
*通讯作者。

影响汽车车身对的各项关键指标,如车身NVH性能等。因此,研究车身区域结构胶应用对车身模态的影响并进行车身试验测试,对提高白车身各项性能具有重要的意义。本文首先对白车身模态进行试验,再对车身典型区域进行选取并涂胶,最后进行模态测试。通过对比三种方案,研究胶接工艺对白车身各阶模态的影响。

关键词

白车身, 模态, 结构胶

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

白车身的模态分布是车辆 NVH 性能的重要指标,不合理的模态分布使整车易产生共振,造成各种 NVH 问题,且不易解决,因此白车身的模态测试工作已成为车辆开发中的必要工作之一[1] [2] [3]。试验模态分析的结果不仅可以与有限元分析结果进行对比修正,也可以迅速得到白车身的实际模态振型,用以检验和改进白车身的结构性能,必要时也可以利用白车身试验模态分析进行后续的分析,从而为汽车结构的优化设计提供有效而实用的信息[4]。对于汽车白车身而言,不同的连接技术和连接结构不可避免地会对汽车白车身的模态产生影响。

胶接技术是一种利用胶粘剂在连接面上产生的机械结合力、物理吸附力和化学键合力而使两个胶接件联接起来的工艺方法。与其他连接方式相比,胶接技术在应力分布、腐蚀性能、疲劳性能等方面具有极大的优势[5] [6] [7] [8]。因此,胶接技术广泛应用于汽车、航空、建筑等行业[9]。

传统汽车上通常采用点焊技术作为主要的车身连接技术。为了验证胶接技术在取代点焊技术应用于车身后对整车模态和性能的影响,本文对采用不同连接方式的白车身进行了模态试验与分析。

2. 试验方案

涂胶位置的确定

轿车白车身金属部件间最常采用的连接方式是点焊连接,通常每辆车身上的焊点有 3000 个左右,如果采用点焊 + 结构胶粘接的工艺则可以显著减少焊点数量。结构胶在汽车车身上的典型涂布位置如图 1 所示。本章主要对胶接白车身和传统的焊接白车身的模态进行对比,根据实际需求对涂胶位置进行了确定。

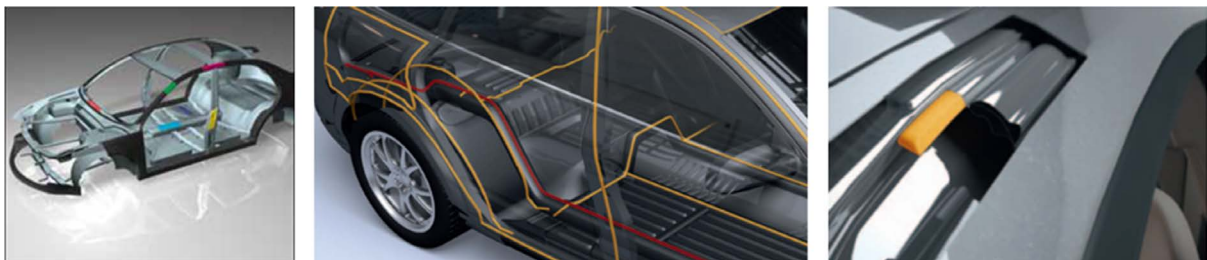


Figure 1. Typical application position of structural adhesive on automobile body

图 1. 结构胶在汽车车身上的典型应用位置

车身上受空间局限而无法进行点焊施工的钢板焊缝区域，可以用结构胶粘接取代焊接。这些区域包括地板、车顶翻边处的粘接以及立柱、侧围和内增强板翻边处的粘接等。

本文基于上汽通用五菱宝骏某 SUV 车型的白车身进行模态研究。主要考虑的几个因素为：不便于施加焊点的位置、非重要承力位置和需要改善外观的位置。根据这些原则，大致确定了涂布结构胶的部分位置。本研究采用的胶粘剂为回天 7130 高温固化($170^{\circ}\text{C} \times 20 \text{ min}$)结构胶，涂胶厚度为 0.2 mm ，宽度为 13 mm 。

在后侧围内焊合件的非主要承力位置进行结构胶的涂布，后围侧板焊合件处结构胶主要分布在以下区域：1) 后侧围内板与加强板之间以及后侧围内板与上边梁加强板之间；2) D 柱下加强板与 D 柱下内板之间；3) 后侧围内板与后侧围上三角板之间；4) 后侧围内板与 D 柱下内板之间，以及后轮罩内板和后轮罩前连接板上；5) 后侧围上三角板与 D 柱上加强板之间，以及涂于 D 柱上加强板与上边梁加强板之间。后侧围内焊合件的结构胶涂布如图 2 所示。



Figure 2. Coating position of structural adhesive on welded part of rearwall sidecover
图 2. 后侧围内焊合件结构胶涂布位置

在侧围、A/B 柱加强板等位置不便于焊接、需要缓解应力集中问题和非主要承力部位进行了结构胶的涂布，侧围、A/B 柱加强板等位置结构胶分布主要包括：1) B 柱内板和 B 柱加强板之间、上边梁内板和上边梁加强板之间；2) B 柱内板与 B 柱加强板之间；3) A 柱上内板与 A 柱上加强板之间；4) 后轮罩外板与中门槛外板之间；5) D 柱上外板与后侧围上三角板之间。侧围、A/B 柱加强板等位置结构胶分布如图 3 所示。

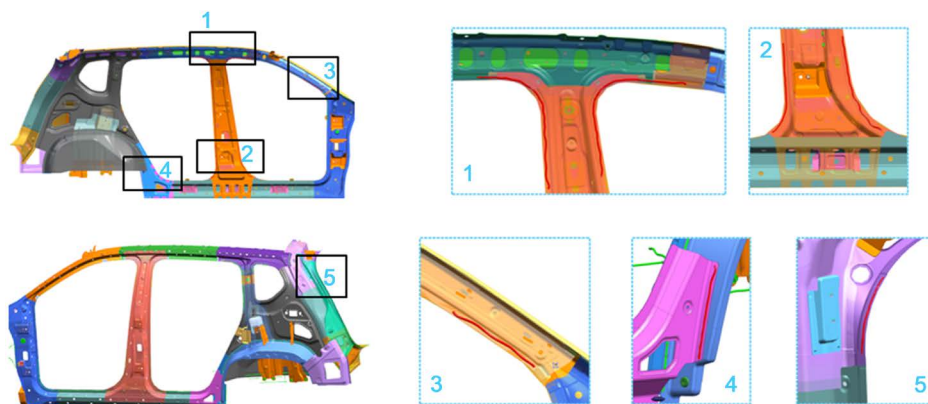


Figure 3. Coating position of structural adhesive on car body side and A/B pillar reinforcement plate
图 3. 侧围、A/B 柱加强板等位置结构胶涂布位置

在前围板、前大梁、前横梁等位置不便于焊接、需要缓解应力集中问题和非主要承力部位进行了结构胶的涂布，前围板、前大梁、前横梁等位置结构胶的具体涂布位置主要包括：1) 在放置前围板上安装板总成之前，涂在前围板上、前围板上横梁上以及前轮罩外板上；2) 前大梁总成与前轮罩总成之间，结构胶涂在前大梁 A 封板、前轮罩板前板上；3) 前围板前横梁总成与前围板之间、前围板上横梁与前围板之间、前轮罩板与前围板之间。前围板、前大梁、前横梁等位置结构胶的具体涂布位置如图 4 所示。

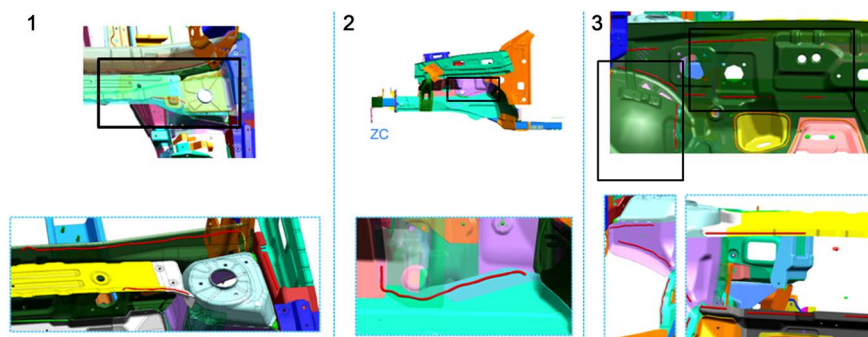


Figure 4. Coating position of structural adhesive on dash panel, boom and front beam
图 4. 前围板、前大梁、前横梁等位置结构胶涂布位置

除了以上部位为结构胶在白车身上的主要涂布位置外，还在其他部位进行了结构胶的涂布，主要包括后地板与后车架的部分位置。前侧门与门槛的部分位置、尾端板的部分位置等，具体的涂胶位置包括：1) 在后地板与后车架分拼前，在车架的图示位置涂胶；2) 涂于前侧板焊接边上、前侧板上与 A 柱下加强板焊接边的位置、后大梁及后轮罩加强板上、门槛内板的下焊接边、安全带加强板上、门槛内板的上焊接边；3) 在放置后端板总成前，在尾端板总成图示位置涂结构胶，涂于后端上板总成以及后端下板上。后地板与后车架、前侧门与门槛、尾端板的涂胶位置如图 5 所示。

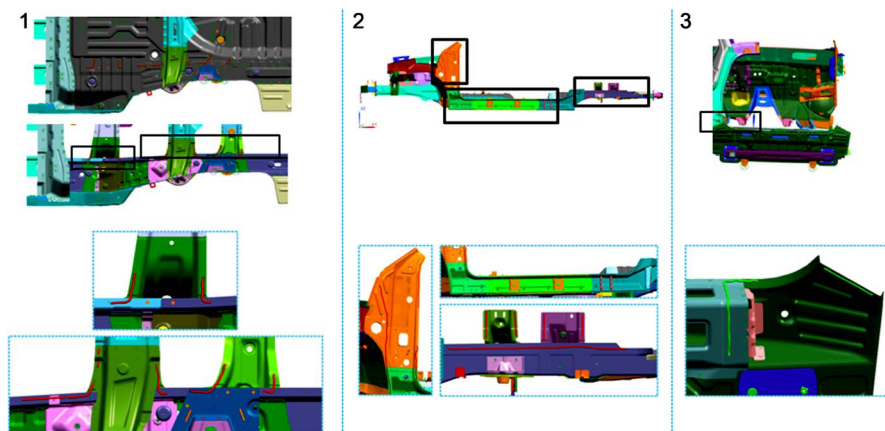


Figure 5. Coating position of structural adhesive on rear floor, rear frame, front side door, doorsill and transom piece
图 5. 后地板与后车架、前侧门与门槛、尾端板的涂胶位置

在上述位置涂布结构胶后，采用关键点焊接或夹具夹紧的方式对胶接部位进行加压固定，随后进行固化及测试。

3. 白车身模态试验

本文针对上汽通用五菱宝骏某 SUV 车型采用了三种不同的连接方案，编号分别为 1#，2#和 3#。其

中, 1#为采用点焊连接技术进行连接的传统白车身, 2#为采用结构胶替代部分焊点后的车身, 3#在 2#号的基础上, 在 D 柱上、下腔体里增加塑料增强骨架, 左右对称。

白车身模态分析的流程如图 6 所示, 主要包括模型建立、试验准备、白车身的安装与传感器的布置、加载与数据采集、数据处理及结果评价等几个步骤。

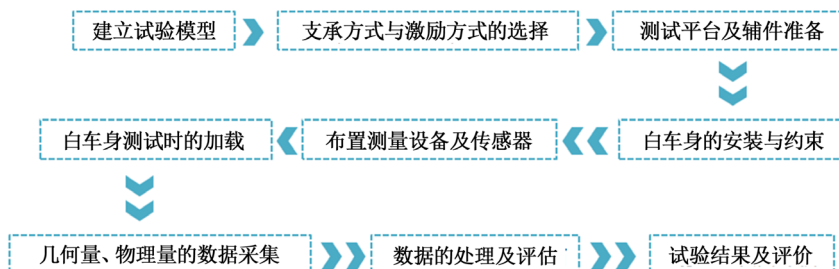


Figure 6. Modal test analysis process of white body

图 6. 白车身试验模态分析流程

按照以上步骤进行对比测试的白车身为 1#的原始状态点焊白车身及 2#胶接白车身, 以对原始状态点焊白车身和胶接白车身的性能差异进行对比与分析。

在模态测试中, 汽车白车身的悬挂方式采用前麦弗逊后扭梁的悬挂方式, 激励点的选取如图 7 所示。本文共选取了两个激励点, 用激振器对白车身进行激励, 分别在白车身的右前纵梁和后车架位置。激振器可以识别来自功率放大器的信号并将激振信号转化为相应特征的激振力传递给被测试的构件。



Figure 7. Position of excitation point in modal test of automobile white body

图 7. 汽车白车身试验模态测试中的激振点位置

4. 白车身模态试验结果分析

本文对三种白车身进行了前五阶的模态试验, 得到了采用不同的连接方式的汽车白车身的振型结果, 如图 8~12 所示。

图 8 为一阶模态测试结果, 三种白车身的振型均变为顶盖前横梁弯曲, 其中 2#白车身顶盖横梁弯曲位移最大, 3#次之, 1#最小, 说明胶接车身相比于点焊车身刚度有所不足。

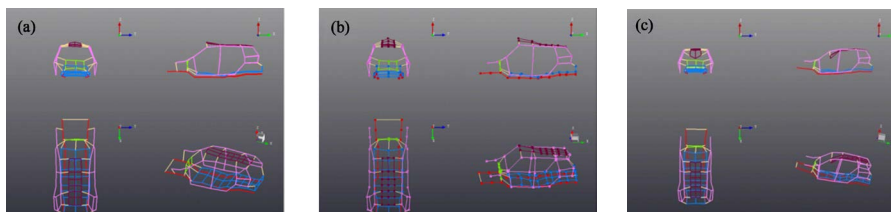


Figure 8. First-order vibration mode of white body: (a) 1#; (b) 2#; (c) 3#

图 8. 白车身一阶振型: (a) 1#; (b) 2#; (c) 3#

图 9 为二阶模态测试结果，三种白车身的振型均变为尾门框菱形变形，可以发现 2#白车身尾门变形与 1#相近，说明胶接车身在尾门框局部刚度与点焊车身相近，而 3#白车身变形最小，是因为增加了塑料骨架，加强了白车身尾门局部区域的刚度。

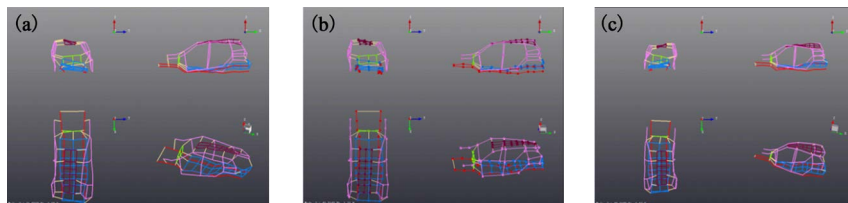


Figure 9. Second-order vibration mode of white body: (a) 1#; (b) 2#; (c) 3#

图 9. 白车身二阶振型: (a) 1#; (b) 2#; (c) 3#

图 10 为三阶模态测试结果，三种白车身的振型均表现为呼吸模态，同时顶盖发生弯曲，其中 2#白车身顶盖弯曲模式与 1#相近，表现为前部和中后部向下变形，而 3#白车身顶盖弯曲变为后部向上变形，且变形程度大于前两者。

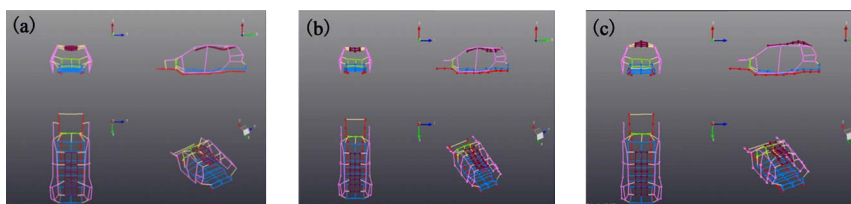


Figure 10. Third-order vibration mode of white body: (a) 1#; (b) 2#; (c) 3#

图 10. 白车身三阶振型: (a) 1#; (b) 2#; (c) 3#

图 11 为四阶模态测试结果，三种白车身的振型变为整车扭转与前舱横摆模态的复合振型，前舱横摆的变形从 1#、2#、3#白车身依次增大。

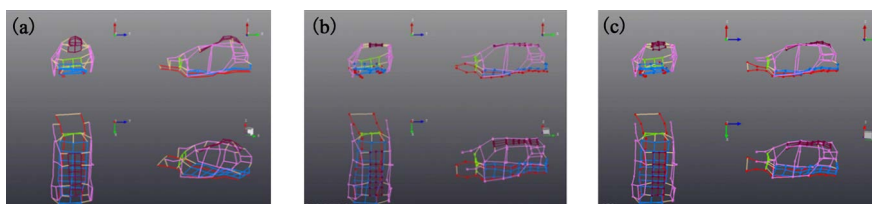


Figure 11. Fourth-order vibration mode of white body: (a) 1#; (b) 2#; (c) 3#

图 11. 白车身四阶振型: (a) 1#; (b) 2#; (c) 3#

图 12 为五阶模态测试结果，三种白车身的振型变为一阶弯曲，其中 2#白车身和 3#弯曲模式相近，表现为典型的一阶弯曲振型；而 1#白车身变形很小，其刚度可能存在过设计。

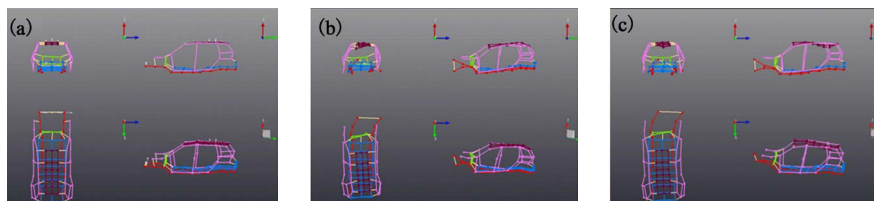


Figure 12. Fifth-order vibration mode of white body: (a) 1#; (b) 2#; (c) 3#

图 12. 白车身五阶振型: (a) 1#; (b) 2#; (c) 3#

为了进一步定量比较三种连接方式的白车身性能,表 1 给出了三种白车身前五阶模态测试的频率和阻尼比。

Table 1. Results of automobile white body modal test

表 1. 汽车白车身试验模态测试结果

序号	振形描述	2#(增加涂胶)		1#	
		频率(Hz)	阻尼比	频率(Hz)	阻尼比
1	顶盖前横梁弯曲	39.36	1.34%	36.60	1.48%
2	尾门框菱形变形	41.69	0.97%	40.71	1.21%
3	整车呼吸模态 + 顶盖弯曲	50.18	0.81%	49.75	1.36%
4	整车扭转 + 前舱横摆模态	55.15	1.27%	52.69	2.08%
5	整车一阶弯曲	56.88	0.56%	54.16	1.83%

通过对模态振型综合比对可以发现,增加结构胶可以提高一阶至五阶模态频率的值。这是由于增加结构胶方案导致的白车身重量增加有限,但是对白车身刚度提升较大,因此导致模态升高。观察前五阶模态测试结果,可以发现胶接白车身阻尼比具有较明显的优势,相较于点焊车身阻尼比最大提高了 2 倍(第五阶模态),因此胶接车身在吸收减震方面具有较好的优势。

5. 结论

1) 在白车身的模态振型中,出现了几种复杂的振型,如白车身在整车呼吸模态的同时出现了顶盖的弯曲,整车出现呼吸模态的同时顶盖处的局部还存在模态振型,因此在该区域需要进行优化。

2) 白车身模态分析中,需要考量白车身的模态频率是否与外界激励源有差距,频率需要错开以避免产生结构共振。另外还需要考量车身整体和局部结构设计和强度是否能满足要求。

3) 采用局部增加结构胶的方案可以使白车身固有频率提升 1 Hz~3 Hz 左右。

致 谢

本课题由国家自然科学基金(51505139)支持。作者感谢上汽通用五菱汽车股份有限公司和湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室。

参考文献

- [1] 徐猛, 张俊红, 王琪, 等. 白车身及内饰车身的试验模态对比分析及动力学评价[J]. 机械设计, 2014(8): 40-44.
- [2] 张焱, 徐信峰. 车身结构模态控制技术[J]. 内燃机与配件, 2018(1): 76-77.
- [3] 陈卫强. 大客车全承载式白车身模态测试评价[J]. 客车技术与研究, 2016, 38(6): 50-53.
- [4] 张立军, 余卓平, 靳晓雄, 等. 汽车整车及零部件试验模态分析测试技术[J]. 汽车工程学报, 2000(5): 37-40.
- [5] Razavi, S.M.J., Ayatollahi, M.R., Giv, A.N., *et al.* (2018) Single Lap Joints Bonded with Structural Adhesives Reinforced with a Mixture of Silica Nanoparticles and Multi Walled Carbon Nanotubes. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **80**, 76-86. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.10.007>
- [6] Ejaz, H., Mubashar, A., Ashcroft, I.A., *et al.* (2018) Topology Optimisation of Adhesive Joints Using Non-Parametric Methods. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **81**, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.11.003>
- [7] Alía, C., Arenas, J.M., Ocaña, R., *et al.* (2013) Considerations for the Industrial Application of Structural Adhesive Joints in the Aluminium-Composite Material Bonding. *Composites Part B Engineering*, **44**, 417-423.

<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.026>

- [8] Quini, J.G. and Marinucci, G. (2012) Polyurethane Structural Adhesives Applied in Automotive Composite Joints. *Materials Research*, **15**, 434-439. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392012005000042>
- [9] Pramanik, A., Basak, A.K., Dong, Y., *et al.* (2017) Joining of Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) Composites and Aluminium Alloys—A Review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **101**, 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.06.007>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2167-6631, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: met@hanspub.org