

Research on Idle Vibration Control of Heavy Duty Truck Step Frame

Yi Wang, Yongqiang Gu, Yang Zhang

Sany Group Co., LTD., Changsha Hunan
Email: wangy6028@sany.com.cn

Received: Nov. 19th, 2019; accepted: Dec. 2nd, 2019; published: Dec. 9th, 2019

Abstract

The vibration of step frame directly affects the comfort of driver, which is not conducive to improving the driving experience. In order to solve the vibration problem of the left step frame of a certain type of heavy truck. Firstly, modal and frequency response analysis of the old structure is carried out, it finds that the old structure has a frequency of 29.1 Hz, and at this frequency the left step frame vibrates along the longitudinal direction, which is consistent with the idling vibration of step frame in real truck. Secondly, three solutions are proposed, modal analysis and frequency response analysis of the three schemes are executed by finite element method. The third scheme is considered to be the best by comparing the results and combining with the actual layout scheme of the whole truck. Lastly, the third scheme is verified by actual truck and the vibration of the left step frame is improved obviously.

Keywords

Step Frame, Idle Vibration, Finite Element, Test in Real Truck

某重型牵引车踏步框怠速振动控制与研究

王毅, 谷永强, 张阳

三一集团有限公司, 湖南 长沙
Email: wangy6028@sany.com.cn

收稿日期: 2019年11月19日; 录用日期: 2019年12月2日; 发布日期: 2019年12月9日

摘要

踏步框怠速振动直接影响着驾驶员的驾驶舒适性, 不利于提高驾乘体验。为了解决某型重卡左踏步框的振动问题, 首先对现有结构的模态及频响进行了计算, 发现踏步框结构存在29.1 Hz的频率, 表现为左踏步框沿整车纵向的振动, 这与实车出现的踏步框怠速抖动情况相吻合; 然后提出了3种优化方案, 通过

有限元方法对3种方案的模态及频响进行了分析,通过结果对比并结合整车实际布置方案,认为第3种方案是最佳的;最后对第3种方案进行实车验证,左踏步框振动改善效果明显。

关键词

踏步框,怠速振动,有限元,实车测试

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

随着驾驶员对重型卡车驾驶舒适性要求的提高,他们对车辆本身存在的振动问题愈发的关注,比如方向盘的怠速振动[1]、踏步框的怠速振动、后视镜的振动等,重卡生产厂家为了能够占据一定的市场份额都在努力改善振动问题。

将有限元分析与试验测试相结合解决商用车怠速振动问题在整车振动改善方面得到广泛的应用。何水龙等通过有限元方法对不同的保险杠优化方案进行模态分析,找出频率改善最明显的方案,并将方案结合实车进行验证,从而解决了某型商用车保险杠怠速抖动的问题[2]。卢元燕等结合模态试验与计算对某乘用车方向盘怠速抖动问题进行了研究,对优化方案完成模态分析后结合实车进行相应的验证[3]。候献军等运用试验与频响相结合的方法应用于某特种车辆的开发过程,解决了车辆在四种频率下振动过大的问题[4]。工程师们用试验、模态及频响计算相结合的方法成功解决了整车怠速振动问题,为后续解决整车振动问题尤其是怠速振动问题提供了研究方向。

通过与市场上其他车型踏步框结构进行对比以及实车在使用过程中客户反馈信息的汇总,发现某型商用车的左侧踏步框结构存在严重的刚度问题,在踩踏时出现明显的沉降问题,同时在怠速状态下踏步框也存在严重的振动问题。若踏步框怠速出现剧烈的振动问题,则用户长久站立时会出现腿部发麻现象,不利于提高用户的驾乘感受。

为了解决某型商用车左踏步框怠速(采用潍柴6缸发动机,怠速600转,怠速频率30 Hz)振动问题,根据先前解决整车怠速振动问题的方法,拟将模态分析与频响分析两种方法结合起来解决左踏步框振动的问题。首先对搭建的原状态的有限元模型,完成了原结构模态与频响的计算,完成模型与试验测试的对标;然后借助有限元对提出的不同改进方案完成模态与频响的分析,对计算结果进行综合对比;最后结合实车对效果较好的整改方案进行验证。

2. 踏步框结构怠速振动原因分析

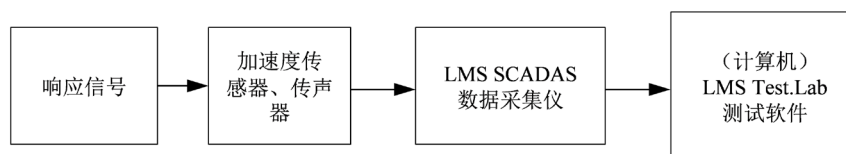
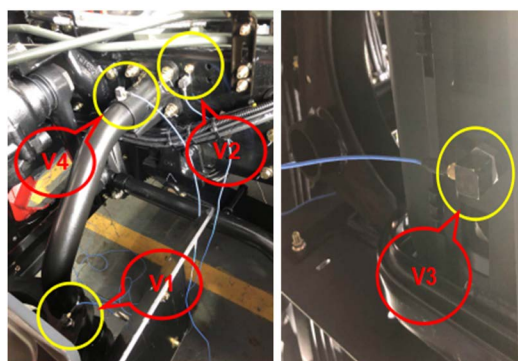
2.1. 踏步框怠速振动测试

踏步框振动测试通过在车架、踏步框等位置安装加速度传感器,通过道32路通道LMS振动噪声测试分析系统采集数据,测试设备详情见表1,连接示意图见图1。

为了解决踏步框怠速振动问题,随机选取两台样车,完成相关的测试,传感器安装位置如图2所示。由于踏步框在车架上安装属于悬臂梁结构,在振动时重点关注距踏步框与车架安装点较远的位置,因此V1、V2、V4传感器只测试垂向的振动加速度,V3测试三向的振动加速度。表2为振动测试结果,可以看出两台样车V3传感器位置X向的振动均大于其他方向的振动,说明踏步框怠速振动主要表现为沿整车纵向的振动。

Table 1. Equipment of modal test**表 1.** 模态测试设备

序号	名称	型号	数量	生产厂家
1	信号分析仪	SCADAS SCR205	1 台	比利时 LMS 公司
2	测试分析软件	LMS Test.Lab 13A	1 款	比利时 LMS 公司
3	笔记本电脑	LENOVO	1 台	戴尔公司
4	三向加速度计	PCB 356A16	4 个	PCB 公司

**Figure 1.** Connection diagram of vibration and noise test**图 1.** 振动噪声测试系统连接示意图**Figure 2.** Installation position of acceleration sensor for step frame test**图 2.** 踏步框振动测试加速度传感器安装位置**Table 2.** Results of vehicle test (Unit: g)**表 2.** 整车测试结果(单位: g)

测试车辆	传感器	X 向	Y 向	Z 向
样车 1	V1	-	-	0.12
	V2	-	-	0.12
	V3	1.55	0.57	0.36
	V4	-	-	0.06
样车 2	V1	-	-	0.15
	V2	-	-	0.08
	V3	1.48	0.51	0.62
	V4	-	-	0.08

2.2. 踏步框有限元模型

为了对踏步框的模态进行分析,建立踏步框、局部车架以及防撞梁相连接的三维模型,导入 HyperMesh 中进行网格划分,整车模型主要以二维四边形 quad4 类型单元为主,少数单元为三角形单元 (tria3),单元尺寸 4 mm,单元数量 449,558,所有部位之间按整车装配情况进行连接,在螺栓连接的位置用 rigid 单元模拟连接,同时根据实际情况在发动机悬置安装的位置施加约束,具体模型如图 3 所示。

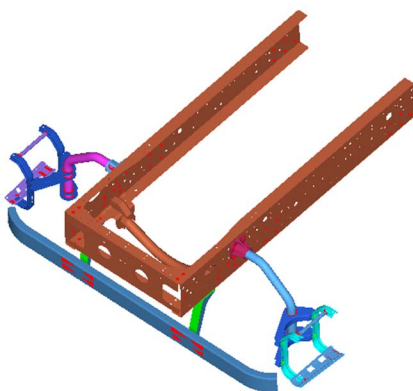


Figure 3. Finite element model of step frame modal analysis
图 3. 踏步框模态分析有限元模型

2.3. 踏步框模态及频响分析

频响分析是计算在稳态振动激励作用下结构动力响应的 1 种方法，通常被用来理解 1 个承受受迫振动激励系统的动态响应。在频响分析中，激励在频域中被明确定义。频响分析的两种方法分别为：直接法和模态法。直接法是在物理空间中直接进行积分得到频响函数；模态法是在模态空间中，通过将模态进行线性叠加得到频响函数[5] [6] [7]。

为了更好的解决左踏步框振动的问题，在有限元计算中拟采用模态计算与频响计算相结合的方法，将两种方法结合起来可以有效的分析不同结构对改善振动的贡献，尤其是在模态频率改善不明显的情况下能够更好的分析结构对振动改善的贡献。

为了完成踏步框结构的频响分析，在发动机悬置约束位置沿着 X、Y、Z 三个方向的分别施加 1 g 的激励(g 为重力加速度)，采用模态法完成 10~60 Hz 的频响计算。图 4 给出了踏步框的第三阶(29.1 Hz)，第四阶(30.8 Hz)模态振型结果，第三阶模态表现为左侧踏步框振动沿整车纵向的剧烈摆动，与怠速振动情况相吻合，第四阶模态表现为右侧踏步框振动较为剧烈。图 5 为踏步框在三种激励作用下，在 30 Hz 时的综合位移响应结果，图 6 为某一节点三个方向随频率变化的位移响应曲线，在 30 Hz 时主要表现为 X 向的响应较大，表 3 为图 5 中某一节点在 30 Hz 时沿不同方向的位移结果，可以看出左踏步框沿 X 向的响应位移是 Y 向和 Z 向的数倍。通过对计算结果的分析可知，左侧踏步框缺少沿纵向的约束导致其振动较大。

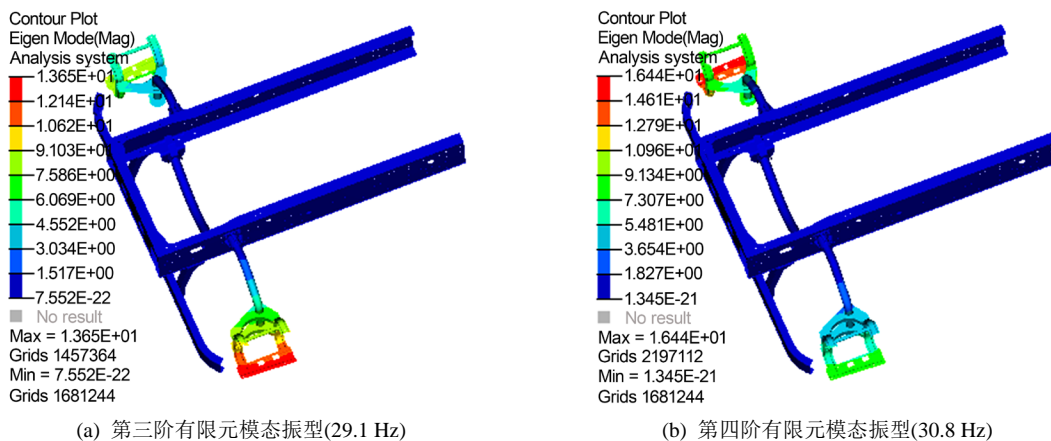


Figure 4. Finite element model of step frame modal analysis
图 4. 踏步框模态分析有限元模型

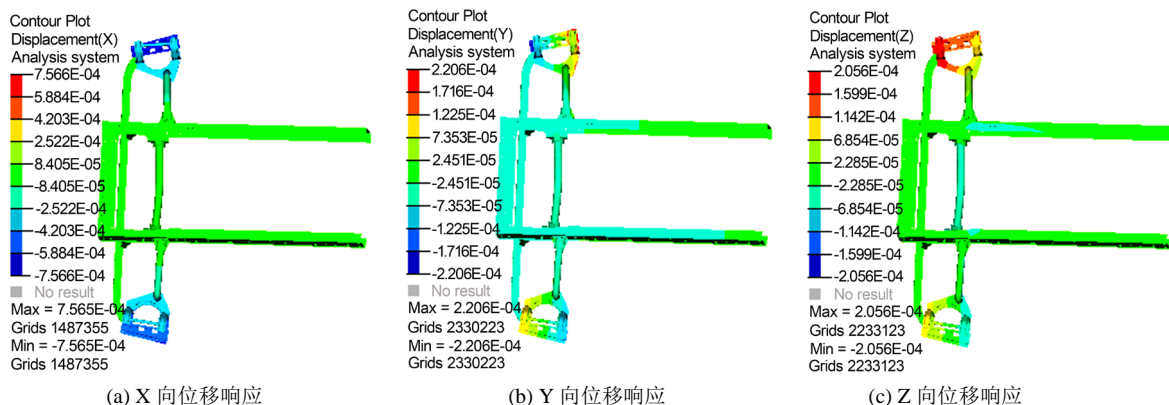


Figure 5. Displacement response result of step frame at 30 Hz

图 5. 踏步框在 30 Hz 时的位移响应结果

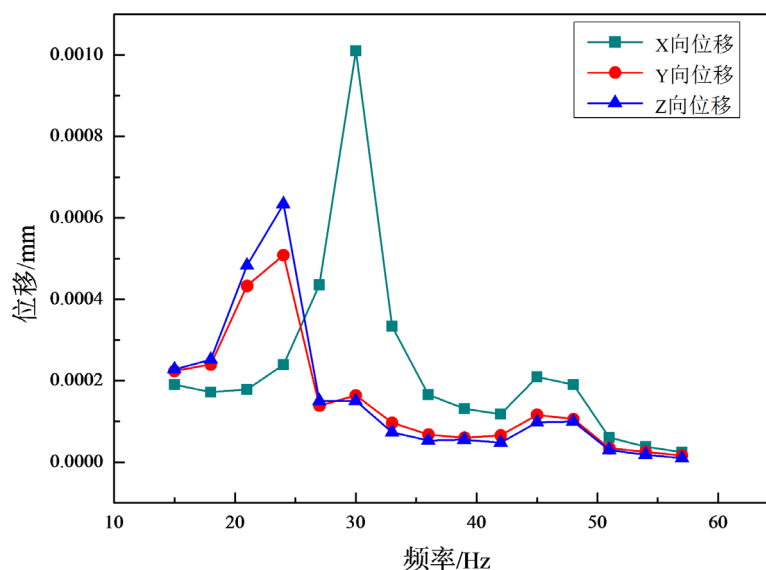


Figure 6. Displacement response curve of a node changing with frequency

图 6. 某一节点随频率变化的位移响应曲线

Table 3. Displacement response results of left step frame in different direction at 30 Hz (Unit: mm)

表 3. 左踏步框在 30 Hz 下不同方向的位移响应结果(单位: mm)

X 向位移	Y 向位移	Z 向位移
1.01e-3	1.64e-4	1.6e-4

3. 踏步框振动改善技术路线

通过对量产车踏步框模态及频响的计算, 左踏步框主要表现为沿纵向的振动, 为了解决此问题, 设计了以下三种方案对踏步框的模态及频响进行研究, 从而找到合适的方案并将该方案在实车上进行验证:

- 1) 增加踏步框与防撞梁的连接(用 rigid 单元模拟), 验证上述对振动的原因分析, 记为方案 a;
- 2) 在方案 a 基础上, 更改防撞梁的结构及踏步框与防撞梁连接方式, 记为方案 b;

3) 在方案 b 的基础上, 将原车架的弯管梁的外径由 79 mm 加强为 89 mm (厚度保持不变), 同时增大了弯管梁与车架连接座的尺寸, 记为方案 c。

4. 踏步框振动整改方案分析与实车验证

4.1. 踏步框模态及频响分析

为了验证不同的方案对踏步框模态振型的影响,对原有的有限元模型进行了局部的调整,并完成了相应的计算。图 7 为三种方案在 30 Hz 左右的模态计算结果,相对原有状态,在 30 Hz 左右均表现为左侧踏步框的振动相对较大,同时对应的频率也有一定的提高。表 4 为模态计算的数据统计,虽然模态计算的云图值不能够反映结构振动的真实位移,但作为相对位移值仍然具备一定的参考价值,相对位移的变小,表明改进方案对抑制踏步框的振动是有利的。在三种方案中,c 方案中不仅频率提高了 4.8 Hz,而且其相对位移值也下降了 4.35 mm。

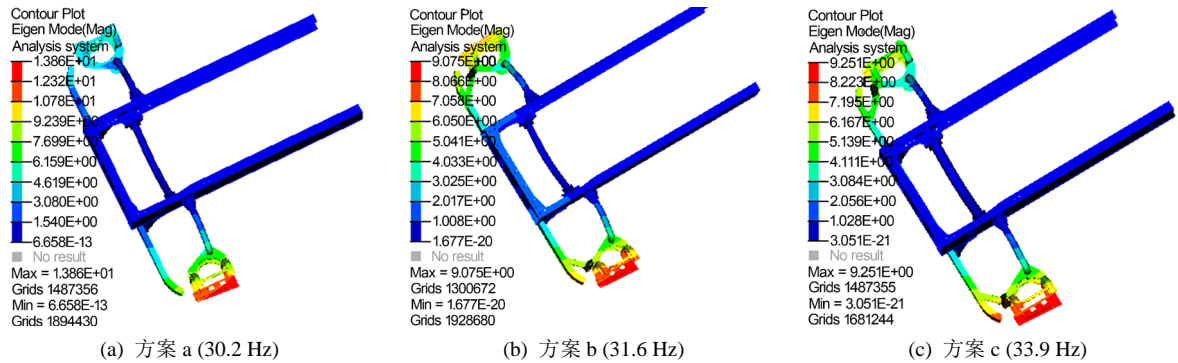


Figure 7. Modal analysis results of three schemes at about 30 Hz

图 7. 三种方案在 30 Hz 左右时的模态分析结果

Table 4. Statistics of modal calculation data

表 4. 模态计算数据统计

方案	原状态	方案 a	方案 b	方案 c
频率	29.1	30.2	31.6	33.9
相对位移 mm	13.6	13.8	9.0	9.25

图 8 给出了三种方案的频响计算位移响应云图,表 5 为左侧踏步框频响计算某一节点在 30 Hz 下的综合位移响应结果(X、Y、Z 三个方向的综合位移),方案 c 的振动改善效果最为明显。图 9 为方案 c 某一节点沿 X、Y、Z 三个方向的综合位移,与图 5 相比在 30 Hz 下的响应峰值几乎消失,表明通过增强车架弯管梁及增加踏步框与防撞梁的连接,可以消除踏步框在怠速状态下的响应。

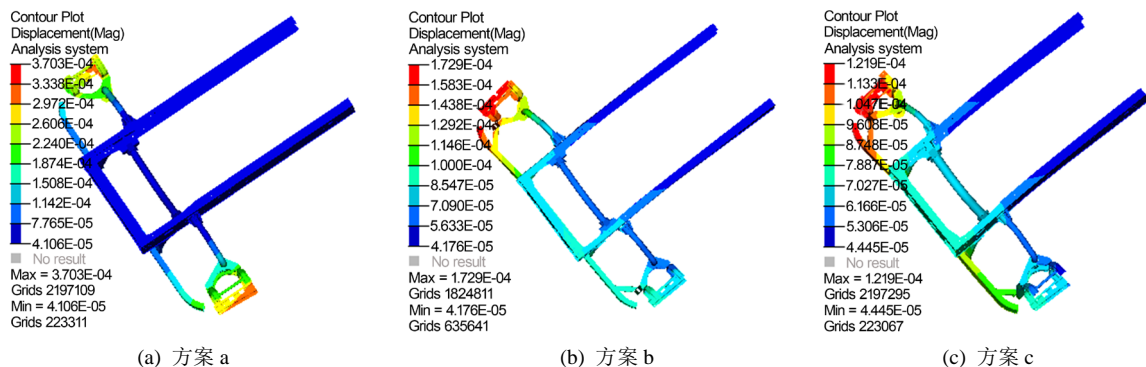
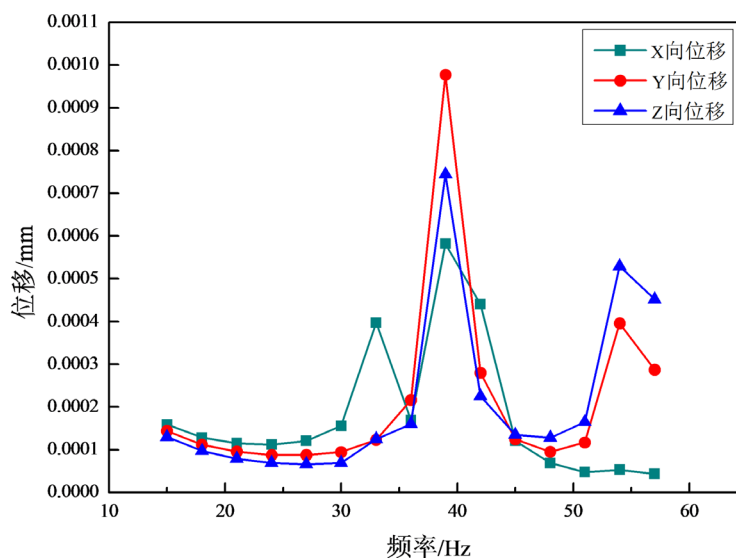


Figure 8. Displacement response results of three schemes at 30 Hz

图 8. 三种方案在 30 Hz 时的位移响应结果

Table 5. Statistics of frequency response calculation results of left step frame (30 Hz)**表 5.** 左侧踏步框频响计算结果统计(30 Hz)

方案	原状态	方案 a	方案 b	方案 c
频响最大值(e^{-4}) mm	7.832	3.4	1.73	1.38
变化率	-	56%	77.9%	82%

**Figure 9.** Displacement response curve of a node changing with frequency of scheme C**图 9.** 方案 c 某一节点随频率变化的位移响应曲线

4.2. 实车验证

通过对上面不同的方案进行模态及频响分析可知, 方案 b 和方案 c 均能够有效的改善左踏步框的振动, 结合整车布置, 方案 c 采用加强的弯管梁结构能够增强车架前端的刚度, 决定采用方案 c。

根据方案 c 对整车进行整改, 按照图 2 的传感器布置方案, 完成整车的测试。测试结果如表 6 所示, 与表 2 未整改前相比, 左踏步框振动改善明显, 试验测试结果与仿真计算结果一致。

Table 6. Vibration test results of left step frame (Unit: g)**表 6.** 左踏步框振动测试结果(单位: g)

	X 向	Y 向	Z 向
方案 c	0.37	0.33	0.38

注: 结果为 V3 点的测试结果。

5. 结论

针对某重型卡车左踏步框振动问题, 本文结合有限元分析及实车测试的方法进行了验证。由于踏步框在发动机怠速(发动机怠速 600, 频率 30 Hz)的状态下振动较为剧烈, 设计了不同的改进方案。通过有限元方法分析了原方案及改进方案的模态及频响, 改进方案虽然对踏步框结构模态频率的提高影响不大, 但是通过频率响应分析可以看出三种方案都能降低左踏步框的响应, 结合整车布置及提高车架前端局部刚度的思路, 最终确定采用第三种方案在实车上进行验证。实车测试结果表明第三种方案可以有效降低踏步框的振动问题。

参考文献

- [1] 史文库, 邬广铭, 陈志勇, 等. 商用车发动机怠速运转方向盘抖动控制研究[J]. 振动与冲击, 2013, 32(8): 189-192.
- [2] 何水龙, 韦壹, 叶明松, 等. 某型商用车前保险杠怠速抖动问题控制研究[J]. 中国机械工程学报, 2018, 16(4): 366-370.
- [3] 卢元燕, 苏世荣. 基于模态试验和有限元模态分析的转向盘怠速抖动改进[J]. 汽车技术, 2015(2): 8-11.
- [4] 候献军, 莫丽蓉, 刘志恩, 等. 基于频响分析的某特种车辆结构优化设计[J]. 武汉理工大学学报, 2017, 41(1): 43-46.
- [5] 陈友恒, 段玫. U形波纹管疲劳寿命有限元分析[J]. 材料开发与应用, 2013(1): 55-58.
- [6] 田静. 乘用车排气系统悬挂位置设计及隔振控制研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.
- [7] 张萍. 排气系统 NVH 性能的分析与改进[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2012.