

# 空气滤清器支架故障分析及优化设计

曹泰峰<sup>1</sup>, 周鹏<sup>1</sup>, 尚凌洁<sup>1</sup>, 曹刚<sup>2</sup>

(1. 大运汽车股份有限公司, 山西 运城 044000; 2. 东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819)

**摘要:** 针对某重型商用车空气滤清器支架在使用过程中发生断裂的问题, 通过对支架断裂失效模式进行分析, 结合 HyperMesh 仿真分析结果, 确定故障原因主要是空气滤清器支架焊接处应力超过材料本身的屈服强度; 针对故障原因对支架结构进行优化改进, 将“底座与主体圆钢管焊接”结构改为质量更轻的“矩形钢管与钣金折弯板螺栓螺母组合”结构。仿真计算结果表明, 与原支架相比, 优化后支架 1 阶模态提高 6.5 Hz, 最大应力减少 100 MPa, 理论上满足整车使用的各类路况; 对优化后结构进行模态测试、台架振动试验和 6 000 km 破坏路面可靠性试验, 支架均未出现断裂故障; 根据售后反馈结果, 优化后空气滤清器支架很少发生断裂。

**关键词:** 汽车; 空气滤清器支架; 故障分析; 优化设计

中图分类号: U464.134.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)05-0012-03

空气滤清器支架作为重型商用车动力附件系统的重要组成部分, 其主要作用是将空气滤清器安全可靠地固定在进气系统中。空气滤清器支架通过螺栓连接固定在车架上, 车辆行驶过程中, 空气滤清器支架承受地面传来的冲击载荷, 在恶劣工况下, 空气滤清器支架振动加剧, 其所承受的瞬时冲击力大幅上升, 同时破坏路面可能使空气滤清器支架发生共振, 进而在应力集中处产生疲劳断裂。某重型商用车空气滤清器支架在使用过程中频繁发生断裂, 且故障模式高度一致。本文采用有限元软件 HyperMesh 对该空气滤清器支架的跳动工况进行静力学仿真分析, 确定其结构缺陷, 从而进行有针对性的优化, 使其满足车辆使用性能要求。

## 1 故障原因分析

对该支架布置形式、结构及断裂模式进行分析, 并采用仿真软件进行计算, 分析其断裂原因。

### 1.1 空气滤清器支架布置形式

受进气系统结构限制, 空气滤清器布置在车架外侧。空气滤清器支架为长悬臂结构, 如图 1 所示, 通过焊接将支架底座与主体圆钢管连接为一体, 支架底座通过螺栓连接将整体支架固定在车架上。

### 1.2 故障模式分析

对故障件进行分析统计, 发现该类空气滤清器支架的主要故障模式有支架底座板开裂、支架底座

与钢管焊缝处开裂 2 种(见图 2、图 3)。该车支架故障主要发生在支架根部靠近车架的位置。

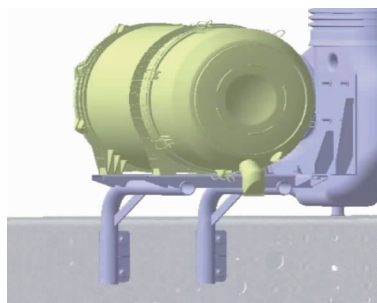


图 1 空气滤清器支架布置形式



图 2 支架底座板开裂



图 3 支架底座与钢管焊缝处开裂

车辆行驶过程中,支架频繁遭受地面向上的冲击载荷,长悬臂结构使得支架根部容易发生应力集中,在面对坑洼较多的破坏路面时,甚至会出现共振现象。且钢管与底座焊接处焊缝过多,易发生焊接应力集中,焊接热量严重烧蚀管材,使其机械性能下降,从而导致支架焊缝处容易发生断裂。

1.3 仿真分析

为找出支架断裂的原因,按表 1 所示工况通过 HyperMesh 软件对支架进行模态及强度分析,结果见图 4~7。

表 1 有限元分析工况

工况	约束描述	加载描述
垂向工况		Z 向 8g 加速度
制动工况		X 向 5g 加速度
	局部车架两端全约束	Z 向 1g 加速度
转向工况		Y 向 3g 加速度
		Z 向 -1g 加速度

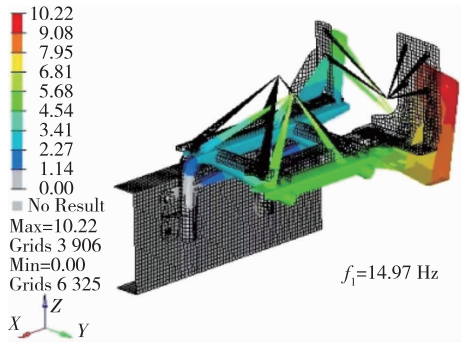


图 4 空气滤清器支架 1 阶振型图

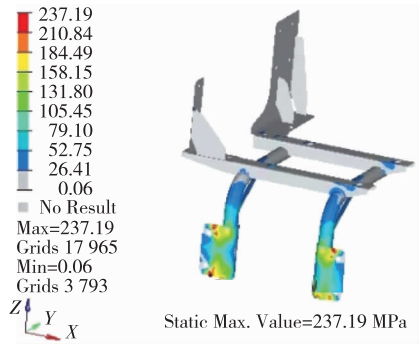


图 5 垂向工况下空气滤清器支架应力云图(单位:MPa)

由图 4~7 可知:该支架 1 阶模态为 14.97 Hz,振型为上下摆动;最大应力为 237.19 MPa,未超出其最大许用应力 355 MPa。

在恶劣工况下,车架会产生更高频率振动,并直接激励与之刚性连接的空气滤清器支架。当激励源频率接近空气滤清器支架 1 阶模态时,空气滤清器

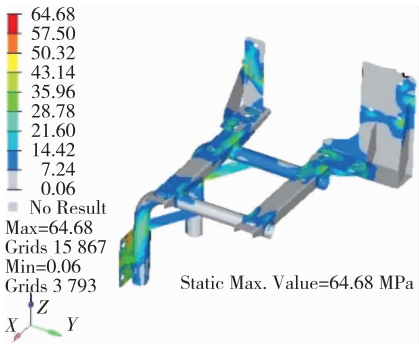


图 6 制动工况下空气滤清器支架应力云图(单位:MPa)

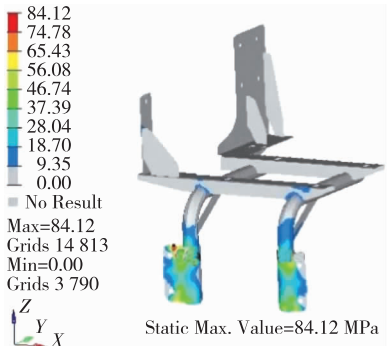


图 7 转向工况下空气滤清器支架应力云图(单位:MPa)

支架易产生共振导致疲劳断裂。在垂向冲击工况,最大应力发生在底座与钢管的焊接处及底座固定孔位附近,与失效模式相符。因此,确定该支架的断裂原因为焊接处应力超过材料本身的屈服强度。需对底座和支架管进行优化,提高其整体刚度,降低最大应力,从而保障其可靠性满足使用要求。

2 优化设计

针对空气滤清器支架断裂原因,通过更换钢管结构、优化支架组合工艺等对其进行优化设计。

2.1 优化设计方案

图 8 为优化前后支架方案。优化后方案采用矩形钢管与钣金折弯板组合结构,矩形钢管直接固定在车架上,钣金折弯板用于安装空气滤清器总成。组合支架采用螺栓螺母连接,避免焊接加工导致的支架焊接应力集中。优化后支架质量及成本降低 20%左右。

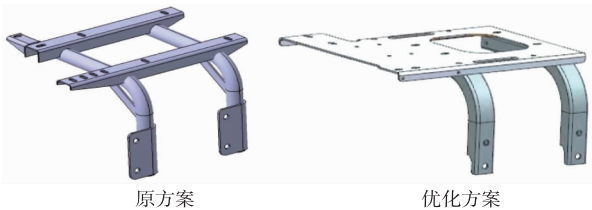


图 8 支架设计方案对比

## 2.2 仿真分析

根据对该支架故障断裂部位及车辆经常行驶路况的分析,确定该支架的仿真分析工况为垂向 8g 冲击工况。在该工况下进行仿真分析,优化前后支架的最大应力见图 9,1 阶模态见图 10,仿真分析结果见表 2。

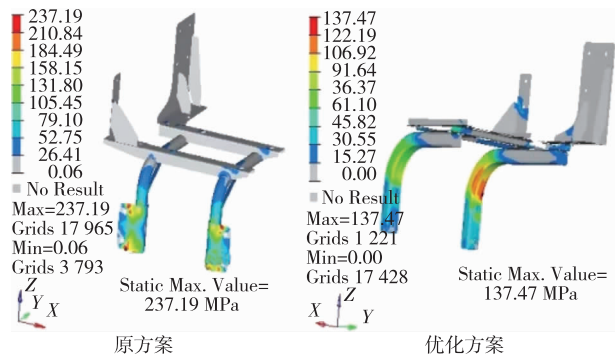


图 9 优化前后支架的最大应力(单位:MPa)

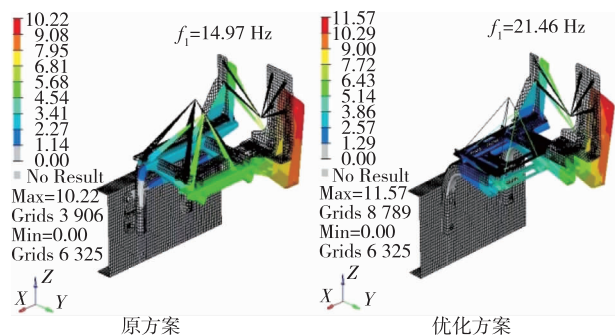


图 10 优化前后支架方案的 1 阶模态

表 2 优化前后支架仿真分析结果对比

设计方案	垂向工况最大应力/MPa	最小安全因子	1 阶模态/Hz
原方案	237.19	1.5	14.97
优化方案	137.47	2.6	21.46

由表 2 可知:优化方案的最大应力为 137.47 MPa,远低于原方案;优化方案的 1 阶模态为 21.46 Hz,大于破坏路面的激励范围 15~20 Hz,可避免因共振产生疲劳断裂。

## 3 试验验证

为验证优化方案的可靠性和仿真分析结果的准确性,对优化后支架进行模态测试、台架振动试验和破坏路面可靠性试验。

### 3.1 模态测试

对优化后支架进行模态振动测试,测试方法为锤击法,测试优化后支架前 3 阶模态。图 11 为空气

滤清器支架模态测试几何模型,优化后支架各阶模态和振型见图 12,模态测试结果见表 3。

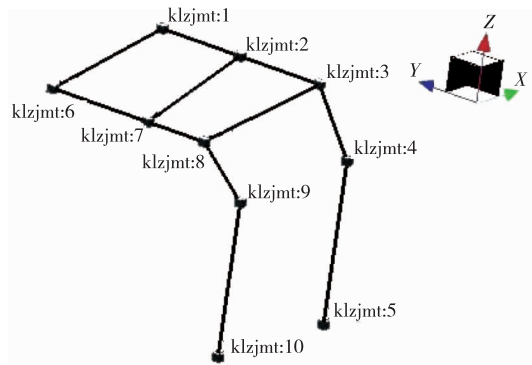


图 11 空气滤清器支架几何模型

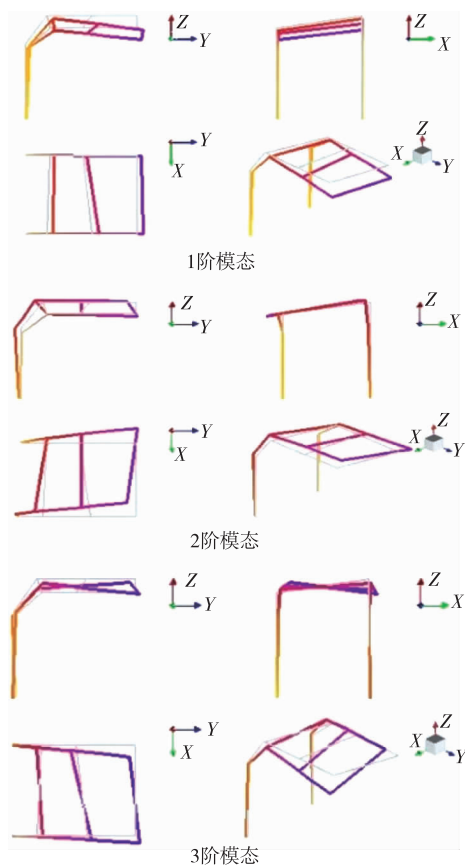


图 12 优化后空气滤清器支架各阶模态

表 3 优化后空气滤清器支架模态测试结果

阶次	频率/Hz	振型
1 阶	20.4	Z 向(上下)摆动
2 阶	35.9	X 向(前后)摆动
3 阶	50.5	绕 Y 轴转动

由表 3 可知:优化后支架的 1 阶模态为 20.4 Hz,与仿真分析结果基本相当,可满足车辆使用性

(下转第 37 页)