

悬置支架对飞轮壳可靠性的影响

李超^{1,2}, 王景新^{1,2}, 张晓辉^{1,2}, 赵雪飞^{1,2}, 苏艳^{1,2}

1. 内燃机可靠性国家重点实验室, 山东 潍坊 261061;

2. 潍柴动力股份有限公司应用工程中心, 山东 潍坊 261061

摘要:针对某商用车出现的飞轮壳破损故障,采用 Hypermesh 建立动力总成模型,结合 ABAQUS 软件仿真计算飞轮壳静强度应力分布、高周疲劳分布、飞轮壳与悬置支架接触面滑移。结果表明:飞轮壳与悬置支架接触面右上角螺栓滑移超标,是造成飞轮壳破损的主要原因。将悬置支架上部十字筋改为斜筋,支架下部增加斜向筋,进行仿真和市场验证。仿真结果表明:优化前、后静强度应力及高周疲劳强度大致相同,飞轮壳与悬置支架接触面最大滑移由 0.197 mm 减小为 0.080 mm,满足使用要求,有效解决飞轮壳破损故障。

关键词:悬置支架;飞轮壳;可靠性;仿真分析

中图分类号:TK403

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2023)03-0028-05

引用格式:李超,王景新,张晓辉,等.悬置支架对飞轮壳可靠性的影响[J].内燃机与动力装置,2023,40(3):28-32.

LI Chao, WANG Jingxin, ZHANG Xiaohui, et al. Influence of suspension support on the reliability of flywheel housing[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2023,40(3):28-32.

0 引言

发动机是汽车的“心脏”,做功行程的曲轴转速比其余 3 个行程高,造成曲轴转速不均匀,发动机运转不平稳;同时由于发动机在实际运行过程中工况、负荷、转矩的不断变化,造成动力总成系统的弹性振动、刚体振动,以及车辆动力传动系统的弯曲振动、扭转振动等,导致整车出现噪声、振动及结构疲劳强度问题^[1-2]。

悬置系统是动力总成振动传递路径中重要的减振部件,承载发动机、变速箱等的质量和冲击载荷,动力总成最大位移直接影响振动传递及车内舒适性^[3]。悬置系统的布置形式、结构状态对发动机零部件的可靠性有很大影响^[4-5]。

本文中针对某商用车出现的飞轮壳破损故障,采用 Hypermesh 软件建立动力总成模型,结合 ABAQUS 软件仿真计算,分析飞轮壳静强度应力分布、高周疲劳分布、飞轮壳与悬置支架接触面滑移,确定故障原因,并提出改进措施,对改进后的悬置支架进行仿真和市场验证,解决飞轮壳破损故障。

1 问题描述

某商用车发动机额定功率为 162 kW,运行过程中出现悬置支架安装螺栓孔处断裂,导致飞轮壳断裂破损。该飞轮壳材料为 ZL111,悬置螺栓孔处镶嵌钢丝螺套。飞轮壳已完成可靠性试验,无磕碰伤痕、无砂眼等质量缺陷,市场应用成熟,因此可排除飞轮壳材质的影响。

收稿日期:2022-09-27

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFB0106502)

第一作者简介:李超(1990—),男,山东泰安人,工程师,主要研究方向为发动机匹配及零部件的结构可靠性,E-mail:lichao04@weichai.com。

初步分析飞轮壳螺栓孔处断裂原因可能为:1)飞轮壳悬置安装孔处应力集中,当应力大于飞轮壳承受的强度极限时,飞轮壳产生裂纹,断裂失效;2)飞轮壳受到不同方向及大小的周期性载荷,超出疲劳极限,产生疲劳损伤;3)悬置安装孔处悬置支架与飞轮壳安装面之间滑移过大,导致螺栓滑移过大,整车行驶过程中的发动机振动及路面激励使螺栓受力较大,循环往复造成螺栓晃动,挤压螺栓安装孔,造成飞轮壳螺栓孔处断裂失效^[6-8]。

2 悬置系统仿真

2.1 建立仿真模型

动力总成由机体、飞轮壳、变速箱、支架、连接螺栓等组成,动力总成结构如图1所示。利用前处理软件 Hypermesh,对动力总成仿真模型进行网格划分后,采用 ABAQUS 软件进行有限元分析。

建立动力总成模型时,结合故障部位,细化飞轮壳与后悬置连接部位螺栓孔和接触面网格;为提高模型运算速度,简化非考察件如机体、变速箱等;发动机质心与机体简化部分建立耦合,变速箱质心与变速箱简化部分建立耦合,在耦合的质心点分别添加发动机质量及变速箱质量;螺栓采用六面体网格(C3D8I),其余部件均采用二阶四面体网格(C3D10I)^[9-12]。通过 ABAQUS 软件 Property 功能,赋予各部件不同材料属性,各部件材料及材料属性如表1所示。

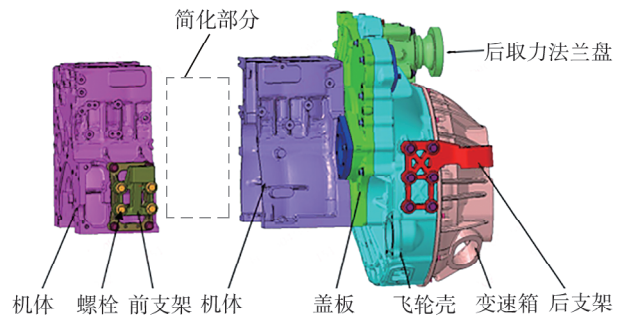


图1 动力总成结构

表1 各部件材料及材料属性

零件名称	材料	弹性模量/GPa	泊松比	密度/(kg·m ⁻³)	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa
飞轮壳	ZL111	74	0.32	2 710	380	285
机体	HT250	130	0.28	7 200	250	250
变速箱	ZL111	74	0.32	2 710	380	285
支架	QT450	169	0.26	7 060	450	310
螺栓	45#	209	0.27	7 890	600	355
后取力	HT250	130	0.28	7 200	250	250
盖板	ZL111	74	0.32	2 710	380	285

2.2 仿真边界及载荷定义

以曲轴中心线与飞轮壳后端面交点为原点建立坐标系,自由端为 x+, 竖直向上为 z+, 右手法则确定 y+ 方向。

根据实际装配情况,在螺栓法兰面、支架、飞轮壳、连接面等处建立接触;螺栓螺纹部分与飞轮壳、机体的螺栓孔用 Tie 绑定模拟螺纹连接;悬置点处建立固定约束,约束 6 方向自由度;动力总成接触及约束如图2所示。

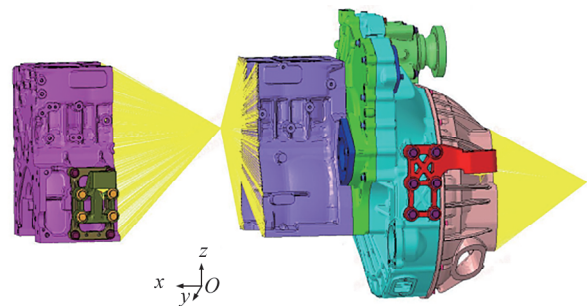


图2 动力总成接触及约束

建立分析步并施加载荷:1)在螺栓轴向施加螺栓初始预紧力 200 N;2)按照操作规范,在螺栓轴向分别施加最小螺栓预紧力(计算螺栓滑移)、最大螺栓

预紧力(计算静强度应力分布及高周疲劳强度);3)对模型施加6个方向加速度冲击,模拟汽车在不平路面行驶时,整个动力总成受到路面不同方向激励时的响应;4)由于变速箱的正、反转冲击,仿真建模时需对变速箱分别施加正、反转作用转矩^[13-14]。

2.3 仿真结果

利用 ABAQUS 软件,仿真计算飞轮壳静强度应力分布、高周疲劳分布及飞轮壳与悬置支架接触面滑移,结果如图3所示。

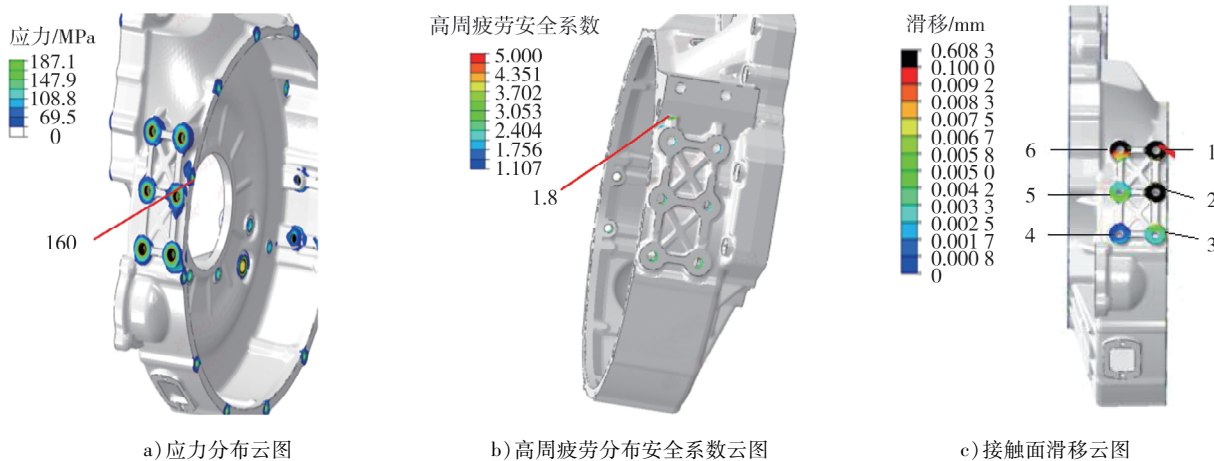


图3 飞轮壳仿真分析结果

由图3a)可知,忽略螺栓孔周围,6个方向加速度冲击下飞轮壳受到的最大 Mises 等效应力为 160 MPa,满足材料 ZL111 屈服强度不超过 285 MPa 的规定。由图3b)可知,飞轮壳最小高周疲劳安全系数为 1.8,满足高周疲劳安全系数不低于 1.1 的设计要求。由图3c)可知:飞轮壳与悬置支架接触面滑移超限区域集中在螺栓 1、2、6 处,最大滑移位于螺栓 1,为 0.197 mm,不满足滑移不能超过 0.120 mm 的设计要求;螺栓 3、4、5 中均满足设计要求,其中螺栓 3 处滑移最大,为 0.016 mm。经以上分析,飞轮壳破裂主要是由于飞轮壳与悬置支架接触面螺栓滑移超标。

3 优化方案与验证

3.1 优化方案

车辆行驶过程中,路面激励经车架、悬置支架传递到飞轮壳,根据其布置形式,飞轮壳悬置支架螺栓 1、2、6 首先受到冲击,并承受了大部分激励,导致螺栓 1 滑移超出规定限值。根据受力传递特点,改进悬置支架结构,将支架上部十字筋改为斜筋,支架下部增加斜向筋,沿斜筋方向将飞轮壳所受激励传递到左下方,使 6 颗螺栓共同承担受力,优化螺栓滑移^[15]。悬置支架优化前、后结构对比如图4所示。

3.2 仿真与市场验证

将优化后的悬置支架按照 2.1 节进行网格划分,保持其它边界条件不变,优化后的飞轮壳静强度应力分布、高周疲劳分布、飞轮壳与悬置支架接触面滑移仿真分析结果如图5所示。

优化前、后飞轮壳静强度应力分布及高周疲劳安全系数分布大致相同,由图5a)可知:6个方向加速度冲击下飞轮壳产生的最大 Mises 等效应力为 158 MPa,满足材料 ZL111 屈服强度限值规定。由图5b)

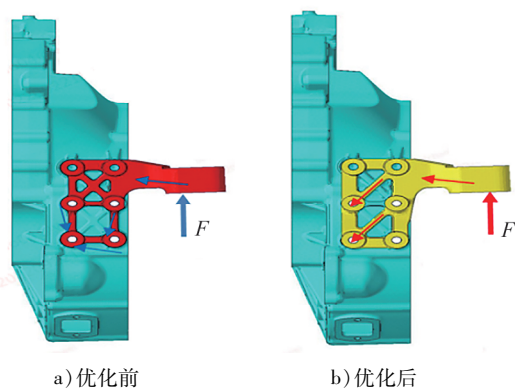


图4 悬置支架优化前、后结构对比

可知:飞轮壳最小高周疲劳安全系数为 1.8,满足高周疲劳设计要求。由图 5c)可知:优化前、后螺栓受力趋势相同,最大受力点均为螺栓 1 处;优化后,飞轮壳与悬置支架接触面最大滑移位于螺栓 1 处,为 0.080 mm,满足设计要求;优化后,螺栓 3、4、5 处承受支架受力,滑移增大,螺栓 3、4、5 处最大滑移为 0.025 mm,满足设计要求。

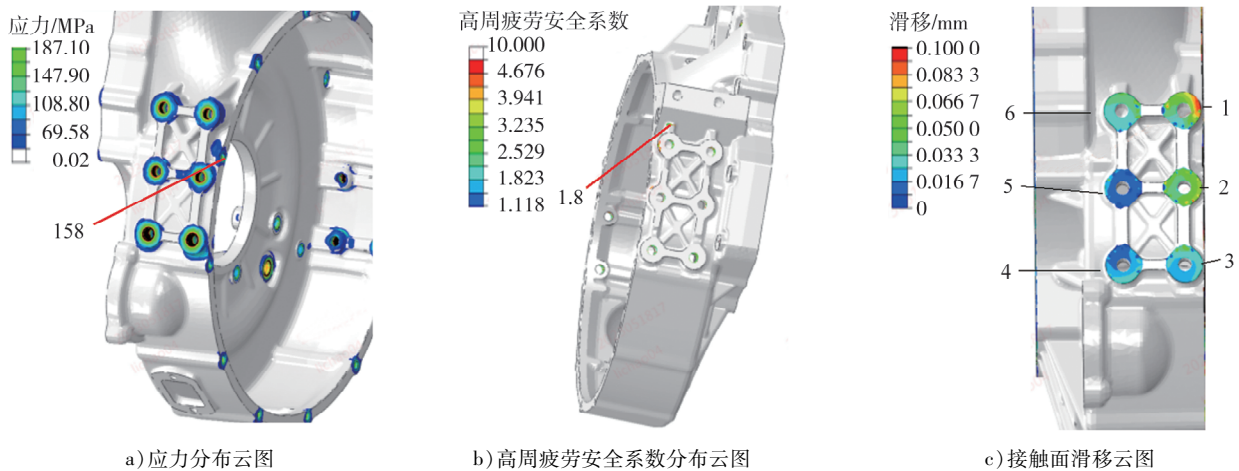


图 5 优化后飞轮壳仿真分析结果

将优化后悬架支架安装到发动机上,投放市场,应用表明,发动机使用优化后的悬置支架方案,未出现飞轮壳断裂失效故障。

4 结论

1)通过有限元仿真分析飞轮壳静强度应力分布、高周疲劳分布及飞轮壳与悬置支架接触面滑移量,可有效确定飞轮壳断裂破损的主要原因。

2)悬置支架加强筋走向影响飞轮壳所受激励传递路径,优化发动机悬置支架结构,可改善悬置系统受力,使螺栓与接触面滑移由 0.197 mm 降低为 0.080 mm,满足滑移设计要求,解决飞轮壳断裂破损问题。

参考文献:

- [1] 张伟峰. 汽车发动机动力总成悬置系统分析与优化研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2009.
- [2] 戴超. 发动机动力总成悬置系统的设计[J]. 沈阳理工大学学报,2011,30(1):49-51.
- [3] 李鹏. 某商用汽车动力总成悬置系统改进设计[D]. 济南:山东大学,2020.
- [4] 郭森怀,马昭,李惠斌. 浅谈动力总成悬置设计[J]. 汽车实用技术,2018(19):131-132.
- [5] 龙岩,史文库,蒋凌山,等. 动力总成悬置系统优化方法的对比研究[J]. 汽车工程,2011,33(10):875-879.
- [6] 张波. 基于 ABAQUS 的发动机悬置支架有限元分析[J]. 汽车实用技术,2017(12):222-223.
- [7] 章志才,余仕侠,陈开超,等. 中重卡飞轮壳开裂研究与分析[J]. 汽车实用技术,2017(2):213-216.
- [8] 王丽凤. 柴油机飞轮壳强度有限元分析及结构改进[J]. 桂林航天工业学院学报,2020,25(1):52-55.
- [9] 郭凯. 柴油机飞轮壳优化设计与分析[J]. 内燃机与动力装置,2021,38(6):17-22.
- [10] 刘晓明,杨晓翔,韦铁平. 发动机飞轮壳强度有限元分析[J]. 机械设计与制造,2015(11):239-242.
- [11] 张健. 轻型客车动力总成悬置系统优化设计与研究[D]. 武汉:武汉科技大学,2013.
- [12] 蒋胜强. 汽车动力总成悬置系统隔振分析与优化研究[D]. 重庆:重庆大学,2014.
- [13] 王雪莉. 某柴油机飞轮壳轻量化改进及有限元分析[J]. 柴油机设计与制造,2021,27(4):47-52.
- [14] 李洪涛. 柴油机飞轮壳振动疲劳的研究[D]. 杭州:浙江理工大学,2013.
- [15] 谭莉,程博,贾铎,等. 多工况下的发动机支架拓扑优化设计[J]. 航空发动机,2022,48(2):90-95.

Influence of suspension support on the reliability of flywheel housing

LI Chao^{1,2}, WANG Jingxin^{1,2}, ZHANG Xiaohui^{1,2}, ZHAO Xuefei^{1,2}, SU Yan^{1,2}

1. State Key Laboratory of Engine Reliability, Weifang 261061, China;

2. Application Engineering Center, Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China

Abstract: In view of the flywheel housing failure of a commercial vehicle, Hypermesh is used to establish a powertrain model, and ABAQUS is used to simulate the static strength stress distribution, high cycle fatigue distribution, and the slippage of the contact surface between the flywheel housing and the mounting bracket. The results indicate that the slip of bolt in the upper right corner of the contact surface between the flywheel housing and the suspension bracket exceeded the standard, which is the main reason for the damage of the flywheel housing. The cross reinforcement on the upper part of the suspension bracket to diagonal reinforcement is changed, and diagonal reinforcement on the lower part of the bracket is added for simulation and market validation. The simulation results show that the static strength stress and high cycle fatigue strength before and after optimization are roughly the same. The maximum slip of the contact surface between the flywheel housing and the suspension bracket is reduced from 0.197 mm to 0.080 mm, meeting the design requirements and effectively solving the flywheel housing damage fault.

Keywords: suspension bracket; flywheel housing; reliability; simulation analysis

(责任编辑:臧发业)

(上接第7页)

Method of dynamic measurement and data processing of valve motion law for fully variable hydraulic valve system

WEI Fengzhan^{1,2}, KE Zefeng^{1,2}, JIA Demin³, ZHAO Qidong³,
CHANG Yingjie^{1,2}, XIE Zongfa^{1,2*}

1. School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

2. Key Laboratory of High Efficiency and Clean Mechanical Manufacture of Ministry of Education, Shandong University, Jinan 250061, China;

3. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China

Abstract: A valve lift test platform is established to measure the valve lift of a fully hydraulic variable valve system (FHVVS), the effects of engine speed, sensor dynamic response characteristics, and data processing methods on the accuracy of valve lift measurement, are analyzed. The results indicate that the instantaneous speed fluctuation of the camshaft increased with the decrease of driving motor speed. By processing the collected valve lift data with an angle signal, the measurement error caused by instantaneous speed fluctuation can be effectively reduced. Moreover, insufficient sensor dynamic response characteristics may result in a phase lag in valve lift measurement. The consistency between the frequency of hydraulic pressure fluctuation and valve acceleration fluctuation can be used as a criterion for judging interference signal and valve acceleration signal. Based on this criterion, an appropriate filter cutoff frequency can be selected to accurately calculate valve acceleration. The valve lift data processed by the five-point, three-time smoothing method is more in line with the actual value.

Keywords: FHVVS; valve motion law; data processing

(责任编辑:刘丽君)