

客车飞轮壳的载荷谱测试及疲劳寿命分析

李洪涛, 张 正, 刁浩峰, 周 迅

(浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018)

摘 要: 对某型客车飞轮壳的道路载荷进行了采集,得到其典型工况下的加速度载荷时间历程,并编制成载荷谱。基于频域的有限元疲劳方法分析了飞轮壳的疲劳强度,得到了飞轮壳疲劳强度的分布云图及疲劳热点,为改进飞轮壳结构提供参考。

关键词: 飞轮壳; 载荷谱; 疲劳寿命

中图分类号: TG405

文献标志码: A

0 引 言

飞轮壳是连接发动机和变速器的过渡性零件,用作发动机在车架上的后悬置支承点^[1]。在汽车运行过程中,飞轮壳承受路面随机载荷和扭转力矩的作用可能会发生疲劳破坏,因此飞轮壳的疲劳强度分析是整车寿命分析的一项重要工作。

目前,关于飞轮壳疲劳失效的研究,主要集中于飞轮壳破裂的原因方面^[2-3],这些研究主要采用的方法有动柔度法、试验模态分析法和静力学有限元法等,得出的结论是动力总成的一阶弯曲振动频率与发动机曲轴转速内的频率发生了共振,这是造成飞轮损坏的主要原因。关于飞轮壳疲劳寿命与道路谱相关性的研究较少。

由于道路谱是一种随机信号,传统的疲劳寿命分析是采用时域法,这种方法需要对响应谱密度进行时域获取,这一工作量非常大,在工程中很难应用。而基于频域的有限元疲劳分析方法具有思路简单和计算量小等特点。近年来,有限元技术在疲劳寿命分析方面提供了更为便捷有效的途径。在利用有限元方法进行疲劳寿命分析时,载荷谱的获取是一项重要的先期工作。

本文对某客车飞轮壳的道路载荷谱进行了采集,获取了典型工况下飞轮壳的加速度—时间历程,并对载荷谱进行了去除奇异值、消除趋势项等预处理,然后根据基于频域的有限元疲劳分析方法,对载荷谱进行了时域—频域转换,再利用有限元软件求出系统的传递函数和材料的疲劳寿命曲线,对飞轮壳的疲劳寿命进行了分析。

1 飞轮壳载荷谱的采集及处理

1.1 测试方案

试验车辆为经过磨合期、装备齐全且车况良好的某型客车,客车的实际作业工况多为道路行驶,实际运行中也会遇到凹凸不平、坑洼泥泞的路况。为了获得飞轮壳道路谱的信号特征,本试验分别在扭曲路、搓板路和柏油路上采集了飞轮壳的加速度载荷信号。

根据该试验的目的,选择飞轮壳上的加速度信号为目标测量信号,采用三向加速度传感器。选择靠近飞轮壳支撑部位处的应变信号作为辅助测量信号,以便于检测测量信号的有效性。

1.2 测试结果

在某客车厂内的测试场地上进行测试,采样频

收稿日期: 2012-09-12

基金项目: 浙江省重点科技创新团队(2010R50005)

作者简介: 李洪涛(1986-),男,河南焦作人,硕士研究生,主要从事振动疲劳研究。

通信作者: 周迅,电子邮箱: zhouxun78@gmail.com

率为 2 048 Hz,测试得到的测点垂向加速度的典型时间历程样本如图 1 所示。

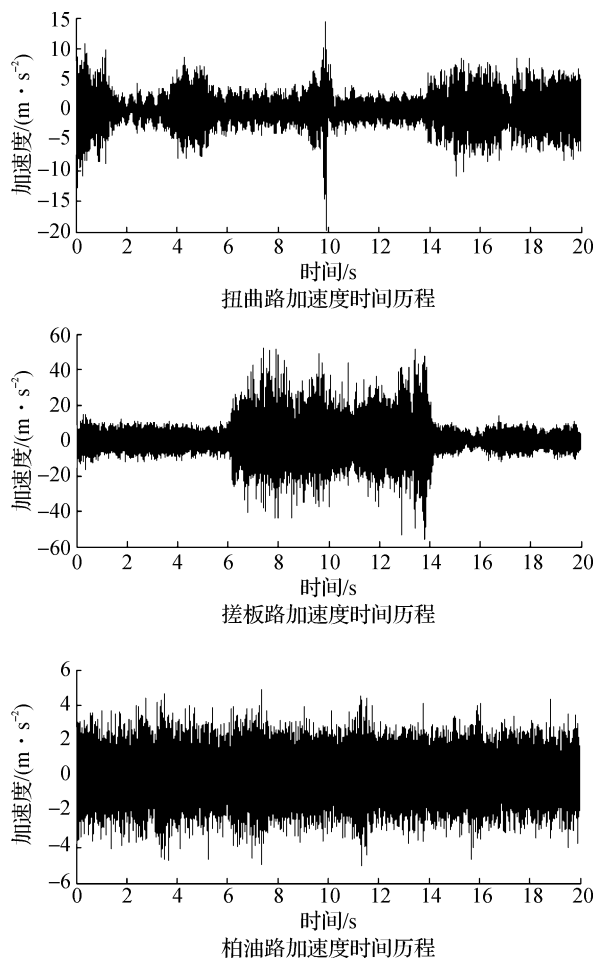


图1 垂向加速度载荷信号

1.3 载荷谱的预处理及平稳性检验

在实际的测试过程中,由于受到各种因素的影响,所获得的试验数据会存在异常点。异常点会造成疲劳寿命分析和振动试验结果的不准确。笔者利用梯度门限法对信号中的奇异值进行了处理。

作为一种随机信号,道路谱中还常存在变值系统误差,称为趋势项。笔者利用常用的最小二乘法,对信号中的趋势项进行了去除。

在实测试过程中,不可能记录无限长的样本,所以将去除奇异值和消除趋势项后的路谱信号,假设为平稳的各态历经随机信号。然后对三种工况下的路谱信号进行平稳性检验。笔者利用轮次检验法对实测信号进行检验,被测信号满足平稳性要求。

三种工况下的路谱信号分别代表了扭曲路、搓板路和柏油路的道路载荷特征,将三种工况下的路谱信号按 1:1:1 的比例叠加,得到飞轮壳在三种工况下的加速度载荷时间历程如图 2 所示。

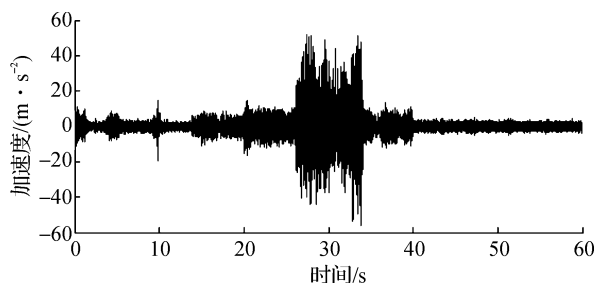


图2 全寿命阶段的载荷信号

2 疲劳寿命估算的频域法

结构频域疲劳寿命估算是频域内用谱参数描述响应的幅值信息,结合材料的疲劳寿命曲线和疲劳累积损伤理论进行寿命估算^[4]。

根据 Miner 疲劳累积损伤理论和材料的疲劳寿命曲线,结构发生疲劳损坏时的寿命为:

$$N_T = \frac{1}{\nu \int_0^{\infty} \frac{p(s)}{N(s)} ds} \quad (1)$$

式中: ν 表示单位时间内应力循环次数; $p(s)$ 表示应力幅值概率密度函数; $N(s)$ 表示应力峰值为 s 时,材料发生破坏的循环数。

在应用(1)式时,求应力幅值的概率密度函数是关键,实测路谱为加速度信号,首先需要将其转换成加速度功率谱密度,再通过有限元软件获得热点的应力功率谱密度,然后采用应力功率谱密度曲线下的谱参数来表示应力幅值概率密度函数,谱参数代入式(1)即可求得零件的疲劳寿命。频域法的计算流程如图 3 所示^[5]。

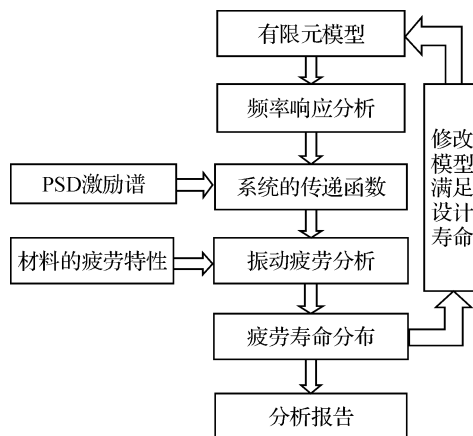


图3 频域法计算流程

3 飞轮壳的疲劳寿命估算

3.1 加速度功率谱密度

通过时域和频域的转换将经过预处理后的载荷信号转换成加速度功率谱密度信号,转化后的信号

如图4所示:

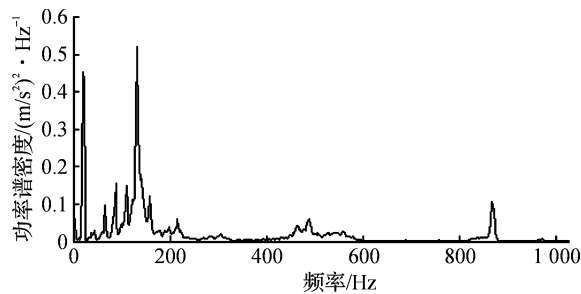


图4 加速度功率谱密度

3.2 有限元模型的建立

为了提高计算的精度,在有限元模型中除了飞轮壳之外,还加入了发动机的机体及惯量较大的相连部件,以进行尽可能精确地整体分析。飞轮壳与机体之间采用 ABAQUS TIE 进行绑定约束。整个模型采用 C3D10 四面体二阶单元,单元数 224 923,节点数为 426 891,材料数据如表1所示。

有限元网格模型如图5所示。

表1 材料数据

材料	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/MPa	泊松比
铸铁	7 300	147 000	0.28

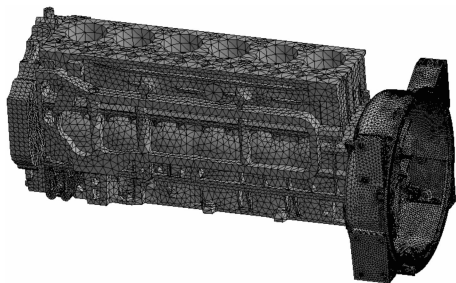


图5 发动机的有限元网格模型

3.3 约束模态分析

边界条件属于解的唯一条件,对它的处理恰当与否直接影响解的合理性^[6]。该发动机在实际工作中,机体的两端和飞轮壳的两端为固定发动机悬置的部位,为了模拟这种联接,采用支撑面的全约束。为了简化模型,将齿轮箱的质量看作一个质量点分布耦合到飞轮壳上,该车齿轮箱的质量约为 50.6 kg,质心距离发动机中心为 1 100 mm,发动机的最高转速为 2 200 r/min。计算了模型的前 8 阶约束模态,前 8 阶的固有频率如表2所示。

3.4 频率响应分析

在单位载荷的激励下,频率响应分析可以获得结构的传递函数和频率上的应力分布情况。在发动机的振动分析中,只需考虑 1 000 Hz 以内的组件频率,同时参考约束模态分析结果,频率相应分析选择

的扫频范围为 0~1 000 Hz,可以防止主要共振频率点的泄露。在垂直方向上对机体施加一个单位加速度载荷激励。

表2 机体的前8阶固有频率

阶数	固有频率/Hz	阶数	固有频率/Hz
1	187.49	5	346.74
2	215.91	6	429.26
3	278.42	7	524.65
4	343.37	8	612.41

3.5 材料的疲劳寿命曲线

对一组飞轮壳的材料试样进行疲劳试验,试件采用喇叭型试样,试验方法为金属旋转弯曲疲劳试验。测得材料的疲劳寿命曲线如图6所示。

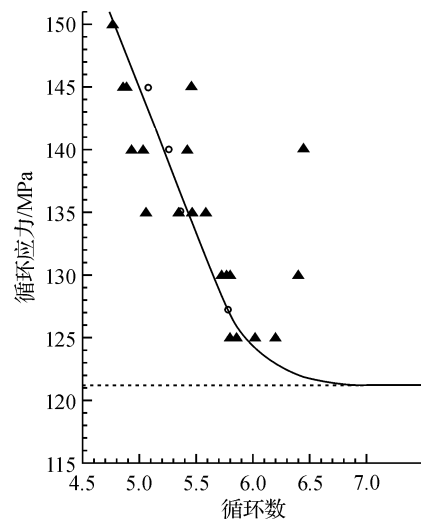


图6 材料的疲劳寿命曲线

3.6 计算结果

将有限元计算得到的频率相应分析结果和载荷谱的加速度功率谱密度分别导入 nCode Ansys Designlife 疲劳寿命分析软件中,建立材料的 S-N 曲线,选择 Dirlik^[7] 算法,因为 Dirlik 法基本上适用于任何功率谱密度函数,且计算结果与实际情况比较吻合。经 Designlife 求解得 211 168 为飞轮壳强度最薄弱的节点,其部位在飞轮壳悬置面的根部,疲劳寿命为 9.008×10^6 s。疲劳强度分布云图如图7所示。

飞轮壳前端悬置部位,直接受到路面随机载荷和扭矩作用,而飞轮壳与机体联接部位没有受到路面随机载荷的直接作用。从飞轮壳寿命的分布可知,飞轮壳的薄弱部位为飞轮壳前端悬置面根部,同时与发动机联接部分,也有不同程度的损伤。

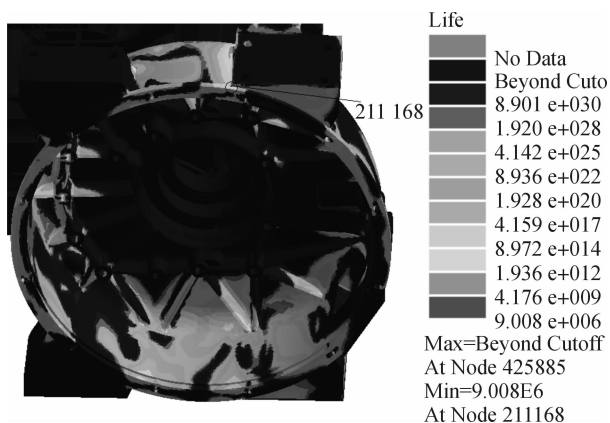


图7 飞轮壳的寿命分布

4 结 论

飞轮壳弯曲振动的第一阶固有频率远高于发动机转速的频率范围。该飞轮壳的损坏并不是由动力总成的弯曲振动与发动机的共振所造成的,而是由路面的随机激励所造成的。为了减少道路随机激励对飞轮壳强度的影响,应提高飞轮壳内加强筋的强

度,增大悬置面根部的过度圆角来减小悬置面根部的应力集中。

参考文献:

- [1] 张旭升. 柴油机动力总成弯曲振动对飞轮壳强度影响的模拟研究[D]. 长春:吉林大学, 2004.
- [2] 张建文, 郭志军, 吕振华. 动力吸振器在动力总成弯曲振动控制中应用的研究[J]. 兵工学报, 1988(1): 39-44.
- [3] 高云凯, 吕振华, 李卓森. 汽车动力总成弯曲振动试验模态分析中得非线性特性[J]. 吉林工业大学学报, 1996, 26(4): 6-10.
- [4] 王明珠. 结构振动疲劳寿命分析方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [5] 王长武, 张幼安. 随机疲劳分析在机载设备疲劳寿命预测中得应用[J]. 中国机械工程, 2004, 15(21): 1906-1908.
- [6] Fuller C R. Active structural acoustic control[J]. J Acoust Soc Am, 1992, 91(1): 519-520.
- [7] Dirlik T. Application of computers in fatigue analysis [D]. Coventry: University of Warwick, 1985.

Test on Load Spectrum of Bus Flywheel Housing and Analysis on Its Fatigue Life

LI Hong-tao, ZHANG Zheng, DIAO Hao-feng, ZHOU Xun

(School of Machinery and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: This paper collects road loads of the flywheel housing of a bus and obtains its acceleration road time history under typical working conditions, and prepares a load spectrum; analyzes the fatigue strength of flywheel housing based on fine element method of frequency domain, obtains the distribution cloud picture of fatigue strength of flywheel housing and fatigue hot spot, and provides reference for improving the structure of flywheel housing.

Key words: flywheel housing; load spectrum; fatigue life

(责任编辑: 朱松英)