

文章编号: 1001- 2486(2009) 06- 0106- 04

基于有限元分析的车辆驱动桥壳台架加速疲劳试验*

丛楠, 陈循, 尚建忠, 梁科山

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南长沙 410073)

摘要: 针对开展驱动桥壳台架加速疲劳试验对删减载荷谱的实际需求, 提出了基于有限元虚拟台架试验获得删减载荷谱的试验与分析方法。在有限元仿真分析环境下对某军用特种车辆驱动桥壳进行静强度试验、疲劳寿命预测、应变历程提取以及时间关联损伤分析等工作, 得到了用于加速台架试验的删减载荷谱。台架试验表明, 使用该方法获得的删减载荷谱能够在准确反映桥壳所受到的损伤同时, 大幅缩短台架试验时间, 证明了本文所述方法的实用价值。

关键词: 驱动桥壳; 有限元分析; 疲劳寿命; 载荷谱

中图分类号: U462. 3⁺ 6; TP391. 9 **文献标识码:** A

Driving Axle Housing Accelerated Fatigue Bench Test Based on FEA

CONG Nan, CHEN Xun, SHANG Jian-zhong, LIANG Ke-shan

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Based on finite element virtual bench test, a new method to acquire the reduced load spectrum, which is used to conduct accelerated fatigue bench test of driving axle housing, is brought up in this paper. After static strength analysis, fatigue life prediction, strain history acquisition and time correlated damage analysis, the reduced load spectrum for the accelerated fatigue bench test of a military special vehicle driving axle housing was acquired under the FE simulation circumstance. The bench test result shows that the reduced load spectrum can significantly shorten the test period, while the damage can be preserved as well, which proves the value of the method.

Key words: driving axle housing; FEA; fatigue life; load spectrum

驱动桥壳是承受行驶载荷的主要零件之一, 由于其几何形状、加工工艺与工序复杂, 较易因加工缺陷发生疲劳破坏。为保证车辆行驶安全, 在桥壳生产时必须定期从生产线中随机抽取样品进行一系列的强度与疲劳试验。目前已有多种专门用于对桥壳进行疲劳试验的台架^[1]。为了尽可能准确地模拟车辆在行驶过程中对桥壳的载荷, 台架试验的加载往往须以实车道路试验采集的载荷谱为依据。该采集谱在时间上与台架试验有 1: 1 的关系, 由于桥壳的寿命相对较长, 如不对该载荷谱进行处理, 台架试验将不具有加速性, 意味着试验需要耗费大量的时间与人力物力投入。

本文通过综合使用基于有限元的疲劳分析方法与疲劳编辑技术, 使用 MSC 系列有限元建模与分析软件完成了对某军用特种车辆驱动桥壳的有限元建模、疲劳关键部位和寿命预测、应变历程提取以及基于时间关联损伤分析的载荷谱编辑, 在损伤等效的原则下, 大幅缩短了试验时间, 体现了基于有限元技术的虚拟疲劳分析对于桥壳零件疲劳试验的价值。

1 疲劳损伤预测与时域损伤关联基本原理

随着车辆类型不同, 驱动桥壳的预期寿命存在着很大差异。在对桥壳进行疲劳分析时, 应根据实际对象的预期寿命, 判断其发生的疲劳属高周疲劳或是低周疲劳。对于不同的疲劳类型, 分析时应采用相应的疲劳寿命预测方法^[2]。对于高周疲劳, 一般应使用应力-寿命(S-N)法; 对于低周疲劳, 则应使用应变-寿命(E-N)法。目前, 两种方法通常均使用 Miner 线性累计损伤假设估计疲劳寿命, 只是两种方法用于计算损伤的方法和依据有所区别。

S-N 法认为疲劳寿命与(经等效处理后, 均值为 0 的)应力幅值呈某种对应的关系。E-N 法则认为疲劳寿命是与应变存在对应关系。在计算损伤时, 两种方法分别需已知材料的 S-N 曲线和 E-N 曲线。假

* 收稿日期: 2009- 06- 07

基金项目: 国家部委资助项目(203020102); 国防科技大学研究生创新基金资助项目(0809)

作者简介: 丛楠(1983-), 男, 博士生。

设每一个载荷(应力/应变)循环都使材料产生一定的损伤,其大小为:

$$D = \sum_{i=1}^l n_i / N_i \tag{1}$$

其中, l 为载荷级数, n_i 为第 i 级载荷循环数, N_i 为对应于载荷级的寿命,由 S-N 或 E-N 曲线查得。

另一方面,对于实际构件,其受到的工作载荷往往是以时间历程的形式出现,用于对其进行疲劳试验。若将该历程分为若干小段,对每段使用式(1)计算其对构件造成的损伤 D_i ,则可得到一个损伤相对时间的分布,即时间关联损伤分布图;通过人为设置一个阈值损伤 $D_{threshold}$,将低于此阈值的 D_i 所对应的载荷历程剔除,同时使得下式成立:

$$D^* = \sum_i D_i \approx D_0 \quad (D_i < D_{threshold}) \tag{2}$$

其中, D_0 为不将载荷历程按时间分段时,整体由式(1)计算所得到的损伤。

上述对载荷时域历程进行划分、评估、剔除的疲劳编辑方法,即称为时域损伤关联编辑法。该方法通过移去载荷信号中的无损伤或小损伤时间段,从而达到减小加载谱的长度、缩短试验时间即加速试验的目的。该方法是当前疲劳模拟试验中广泛应用的方法之一^[3]。但由于 E-N 方法计算得到的是构件某个局部的损伤,该用于计算损伤的位置称为疲劳编辑的参考位置,显然该位置对于经过编辑后的载荷谱能否保留真实的零件损伤有至关重要的作用。

目前,确定该参考位置一般依靠设计者经验以及常规台架与整车疲劳试验,花费较高。本文通过试验零件的有限元模型进行疲劳分析,快速地确定了该参考位置,并提取了该位置所受到的载荷历程,用于疲劳编辑。将编辑后的载荷谱应用于台架加速寿命试验,体现了本文所述试验方法在加快试验进程、节省试验开支等方面的实际应用价值。

2 桥壳模型建立与静强度分析

本文以某军用车辆的驱动桥桥壳为分析对象,在 MSC. Patran 中建立该零件的有限元模型。为了验证该模型用于后续疲劳分析的准确性,本文同时使用该桥壳零件的有限元模型与实际零件分别在计算机内与静载试验台架上完成该零件的垂直静强度试验。参照《QC-T 533-1999 汽车驱动桥台架试验方法》中有关桥壳静强度台架实验的说明^[4],根据后桥设计工作载荷及作用位置,分别在台架试验与有限元模型中加载 5.2T 和 10.4T 的载荷,均匀施加在两个悬架安装座的上表面上。台架试验的加载方案与有限元分析的结果分别如图 1、2 所示。

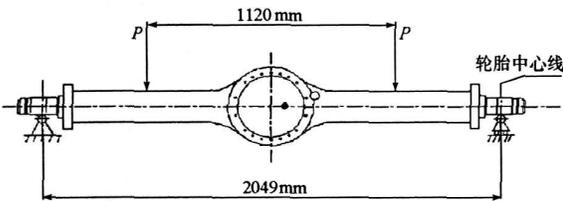


图 1 垂直静强度试验加载方案
Fig. 1 Scheme of vertical static strength test

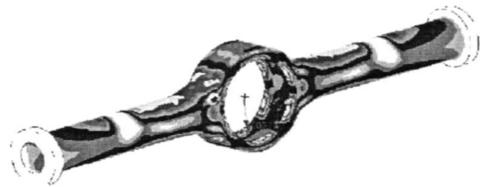


图 2 驱动桥壳有限元垂直静强度分析结果
Fig. 2 Contour plot of FE static strength analysis

为测量该驱动桥壳相关位置上的受载情况,在台架试验和有限元模型上在图 3 所示位置上布置测点。以各测点测得的水平方向应力为对比,试验的结果见表 1。由表 1 数据可以看出,有限元分析结果与台架试验结果吻合较好,特别在应力较大的 1、4 测点处有较高的精度,有限元模型的准确性得到了验证。

表 1 静强度试验结果

Tab. 1 Results of static strength tests 单位(MPa)

加载	测点	1#	2#	3#	4#
5.2T	有限元	38.28	6.89	-8.46	38.04
	实测	34	6	-6	36
10.4T	有限元	75.81	13.61	-16.7	75.33
	实测	70	12	-13	75

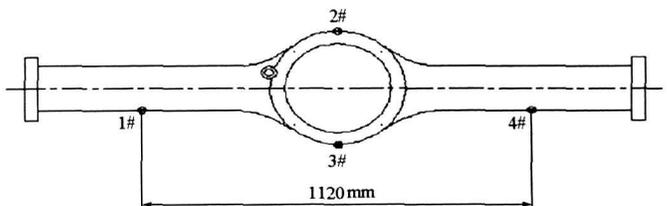


图 3 有限元与台架垂直静强度试验测点布置方案

Fig. 3 Locations of measure points

3 疲劳寿命预测与应变历程提取

由于该桥壳预计寿命较短,在 MSC. Fatigue 中选择使用基于应变的疲劳分析。考虑到零件的加工和热处理方式,修正后的 ZG230-450 的疲劳属性如图 4、5 所示^[5]。

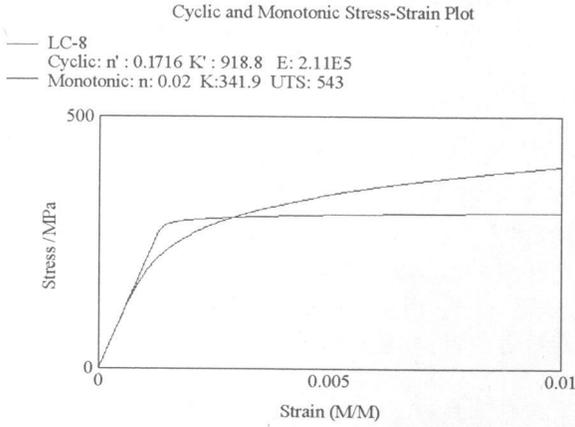


图 4 循环与单调加载时的应力—应变曲线
Fig. 4 Cyclic and monotonic stress-strain curve

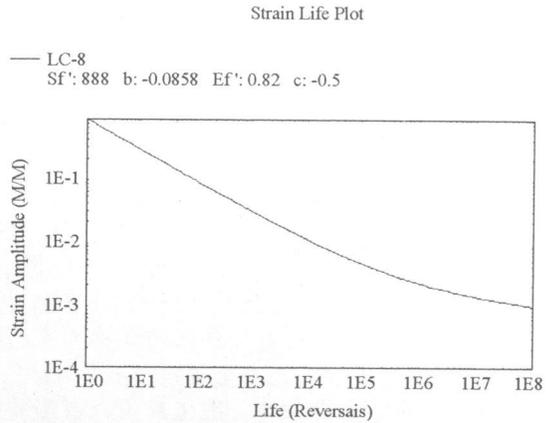


图 5 应变—寿命曲线
Fig. 5 Strain-life curve

为模拟桥壳受到的行驶载荷,在桥壳的左右悬架安装位置与轴端处分别施加如图 6、7 所示的载荷(以左侧载荷为例),该载荷模拟车辆在某恶劣非结构路面环境下以 40km/h 速度行驶时所受到的工作载荷。

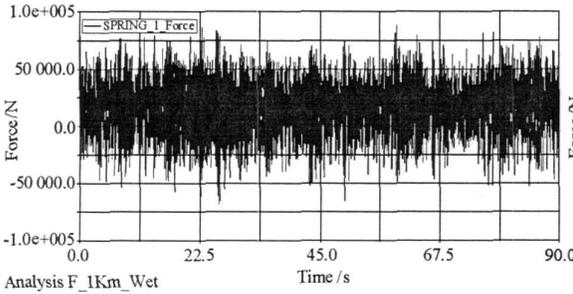


图 6 悬架安装处载荷图
Fig. 6 Load spectra at suspension mounting

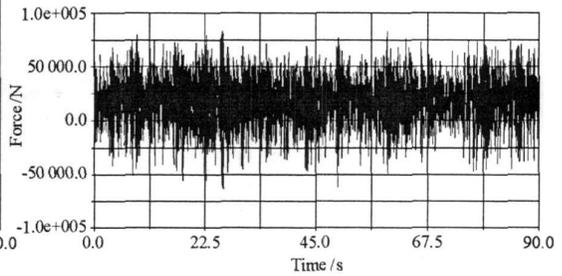


图 7 轴端处桥壳载荷
Fig. 7 Load spectra at lateral end

经过疲劳分析,疲劳寿命及其在零件上的分布如图 8 所示。由图 8 可以看出,排除奇点影响,零件的危险点出现在紧邻悬架安装位置的桥壳横臂处,其预测寿命分布在约为 750~2000km 的范围内。本文使用 MSC. Fatigue 提供的平面 45° 直角应变花式软应变计^[6],从该危险点处提取相应的应变历程。其具体安装位置与方向定义如图 9 所示,图 10 为其上得到的三个方向上应变历程,根据该应变历程可计算出用于损伤分析的各种等效应变(力),作为时间关联损伤分析的依据。

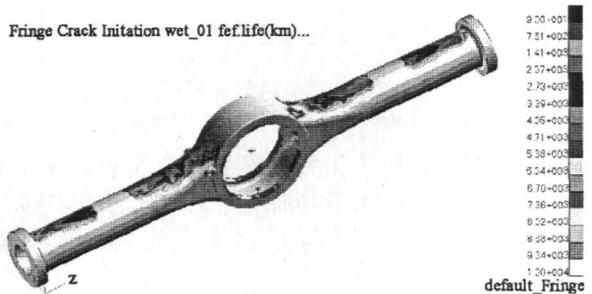


图 8 预测疲劳寿命分布
Fig. 8 Distribution plot of prediction life

4 台架加速试验

以图 6 所示的载荷谱为例,根据图 10 所示的应变计各方向上的应变历程以及图 4、5 所示的材料疲劳属性,最终得到测点处的损伤相对于最大主应变(力)历程的关联关系,根据文献[7]的方法,在 MATLAB 中编制相应程序,以 99% 损伤保留度为原则,对原始驱动谱进行了删节。删节前后的驱动谱对比如图 11 所示。

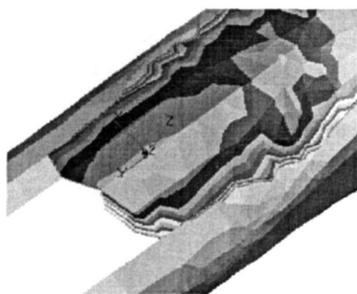


图9 软应变计安装
Fig.9 Installation of SSG

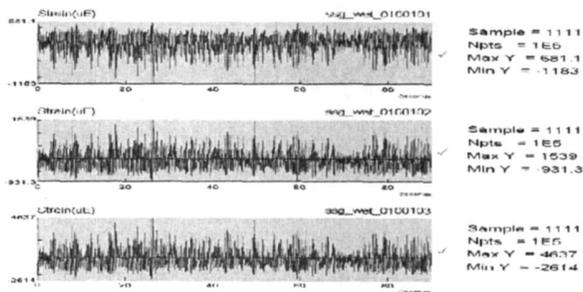


图10 软应变计上记录的应变历程
Fig.10 Strain histories recorded by SSG

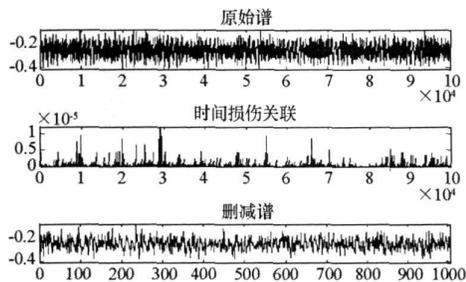


图11 基于损伤关联的台架试验驱动谱删减
Fig.11 Load spectra reducing base on DCI

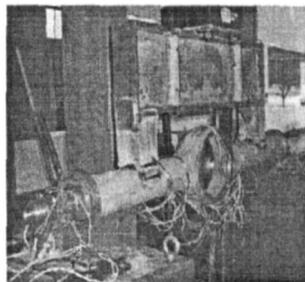


图12 台架试验
Fig.12 Bench test

由图11可以看出,经过损伤关联处理的驱动谱循环数大幅减少,加速比为99.4。该加速比高于通常使用该方法得到的加速比(3~5)^[8],这是由于该车辆行驶工况的特殊性,使得零件在设计时偏于保守,相比普通民用车辆,在原加载谱中仅有更为少数的载荷循环能够对该桥壳造成显著的损伤。

为验证本文中所得删减谱的有效性,根据《QC-T533-1999 汽车驱动桥台架试验方法》以及该车辆试验大纲的要求,加载位置选择在悬架安装处,以左右对称、程序加载的形式施加由图11所示的删减后的随机加载谱所确定的8级程序加载谱。试验环境如图12所示。当重复程序加载谱至等效750km行程时,桥壳垂向最大位移增大至21mm,远远超出了《QC/T534-1999 汽车驱动桥台架实验评价指标》规定的每米轮距最大变形小于1.5mm的要求,认为该桥壳已发生疲劳破坏,中止试验。该试验结果与图8所示有限元疲劳分析结果吻合良好,亦与原型实车在该路况下行驶的设计寿命吻合。

5 结论

在MSC有限元仿真分析环境下能够对驱动桥桥壳的多种强度及疲劳台架试验进行准确的模拟,完成虚拟台架试验。基于有限元疲劳分析,可在获得桥壳预测寿命与疲劳关键位置的同时,通过软应变计提取零件疲劳该关键位置上的应变历程,作为对台架试验原始加载谱进行疲劳编辑的依据。经过疲劳编辑的删减谱能够大幅缩短台架试验的时间,特别是对于工作环境恶劣、设计偏于保守的特种车辆,效果更为显著。经过台架试验,验证了本文所述方法的有效性和实用性,体现了有限元分析对于车辆零部件台架疲劳试验的实际应用价值。

参考文献:

- [1] 吴跃成,周晓军,等.车辆驱动桥随机疲劳可靠性室内快速试验[J].汽车工程,2004,26(1):98-101.
- [2] 吴瑞明,周晓军,等.汽车驱动桥的疲劳检测分析[J].汽车工程,2003,25(3):284-286.
- [3] Austen I M,林晓斌.加速寿命试验的疲劳编辑技术[J].中国机械工程,1998,9(11):27-30.
- [4] 汽车工程手册编委会.汽车工程手册·试验篇[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [5] 机械工程材料性能数据手册编委会.机械工程材料性能数据手册[M].北京:机械工业出版社,1994.
- [6] MSC. Documentation[R].MSC. Software, 2005.
- [7] Ratal W E, Benneba M, Lin X B, et al. Fatigue Life Modelling and Accelerated Tests for Components under Variable Amplitude Loads[R]. nCode International, 1997.
- [8] Plaskit R J,林晓斌.多通道疲劳试验加速实例[J].中国机械工程,1998,9(11):31-34.