

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.07.013

汽车转向节疲劳寿命分析和试验研究

杨苍禄¹, 朱传敏¹, 刘素², 滕飞¹

(1. 同济大学机械与能源工程学院, 上海 200120; 2. 上海特兰斯美逊仪器仪表有限公司, 上海 200030)

摘要:针对日益突出的汽车转向节疲劳损伤问题,应用 CAE 技术建立了汽车转向节的实体模型,并对汽车转向节的各种工况开展了静强度分析,通过施加载荷分析得到了汽车转向节的应力结果,然后应用有限元方法对汽车转向节设计模型进行了疲劳分析,得到了相对可靠的零部件预测寿命。利用疲劳试验装置对分析结果满足设计要求的转向节进行了疲劳耐久性试验,验证了有限元模型、静强度分析以及疲劳寿命分析结果的准确性。研究结果表明,应用有限元分析方法进行汽车转向节疲劳分析是可行的,对完善汽车零部件设计开发流程有重要的指导意义。

关键词:有限元;转向节;疲劳分析;试验

中图分类号:TH164;U463.46

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)07-0950-04

Fatigue life analysis and experimental validation of automobile steering knuckle

YANG Cang-lu¹, ZHU Chuan-min¹, LIU Su², TENG Fei¹

(1. School of Mechanical and Energy Engineering, Shanghai Tongji University, Shanghai 200120, China;

2. Shanghai T&M instrument Company, Shanghai 200030, China)

Abstract: In order to solve the problems of increasingly auto knuckle fatigue damage, a knuckle finite element model was established through CAE technology. The static strength analysis of auto knuckle was investigated, stress values were obtained by loading and analysis, finite element method was applied to do the fatigue analysis for the design model, and the relatively reliable knuckle forecast life was obtained. Fatigue test devices were used to carry out the fatigue durability test for qualified parts after analysis. Accuracy of finite element model, static strength analysis and fatigue life analysis results were verified. The experimental results show that it is feasible that finite element analysis method is applied to the auto knuckle fatigue analysis. Research achievements have important guiding significance to improve the auto parts design and development process.

Key words: finite element; steering knuckle; fatigue analysis; experimental validation

0 引 言

汽车转向节是汽车转向桥上的主要零件之一。在汽车行驶状态下,转向节承受着多变的冲击载荷,其疲劳损伤问题日益突出,疲劳破坏是汽车转向节在实际工作中主要存在的问题^[1]。国内外大量文献研究了转向节强度失效的原因,通过对失效件开展化学分析及金相检查等,认为转向节强度失效的主要原因是疲

劳断裂。因此,对转向节强度的研究从满足静强度要求向满足疲劳强度等方向发展^[2]。通过对国内外研究现状的总结分析,发现对汽车转向节的研究很多都是利用计算机分析技术以及结合相关的经验方法开展的理论研究,对研究理论的实验验证相对缺乏,对这一问题可以基于实际条件开展汽车转向节的实验研究,对研究理论和经验方法的可行性进行验证,完善汽车转向节设计开发过程中理论结合实践的技术路线,这对转向节疲劳损伤问题的研究有较大的帮助。

收稿日期:2015-01-30

作者简介:杨苍禄(1982-),男,河北晋州人,主要从事汽车零部件疲劳寿命分析及可靠性方面的研究。E-mail:yangcl021@126.com

本研究通过建立某车型汽车转向节构件的有限元模型,针对不同工况开展静强度分析,应用有限元方法对设计模型进行疲劳分析,并完成疲劳耐久性试验。以验证有限元分析方法进行汽车转向节疲劳分析的可行性。

1 汽车转向节结构分析与建模

汽车转向节是连接汽车转向系统和悬架系统的关键零件,在汽车底盘所处的位置和特定的功能使转向节的结构形状比较复杂,集中了轴、套、盘环、叉架等4类零件的结构特点,是一个复杂的空间受力件,对其结构进行有限元分析的重要性和代表性尤其突出^[3]。

分析中应用的有限元模型是运用 HyperMesh (version 11.0) 生成的,模型节点数为 201430,单元数为 175498。转向节模型如图 1 所示。

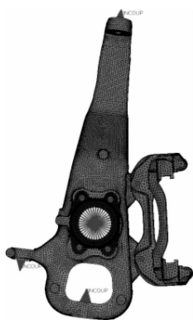


图 1 汽车转向节的有限元模型

该转向节选用的材料是 A356-T6 铝合金。其材料属性如表 1 所示。

表 1 A356-T6 铝合金材料属性

材料属性类别	数值	单位
弹性模量	72.4 E3	N/mm ²
密度	2.75 E6	kg/mm ³
泊松比	0.32	
抗拉强度	276	N/mm ²
屈服强度	207	N/mm ²

2 汽车转向节工况分析

在汽车行驶状态下,转向节承受着包括负载、约束及路面传递的冲击等交变载荷,受力情况复杂^[4]。本研究选择紧急制动工况、转向侧滑工况,以及控制臂加载进行分析^[5]。

前向紧急制动产生的垂直载荷:

$$VF_{fwd} = (a) ((GFVM)(g) + ((GVM)(A_{fwd})(g) (CG/WB))) \quad (1)$$

前向紧急制动产生的径向载荷:

$$TPF_{fwd} = (A_{fwd})(VF_{fwd})(b) \quad (2)$$

反向紧急制动产生的垂直载荷:

$$VF_{rev} = (a) ((GFVM)(g) - ((GVM)(A_{rev})(g) (CG/WB))) \quad (3)$$

$$(CG/WB)) \quad (3)$$

反向紧急制动产生的径向载荷:

$$TPF_{rev} = (A_{rev})(VF_{rev})(b) \quad (4)$$

紧急转向的内侧载荷:

$$TPF_{inb} = (c)(b)(GFVM)(d) \quad (5)$$

紧急转向的外侧载荷:

$$TPF_{out} = (c)(d)(GFVM)((0.003 \times SO) + 0.695)(b) \quad (6)$$

紧急转向的垂直载荷:

$$VF = (a)(GFVM)(g) \quad (7)$$

控制臂拉杆试验载荷:

$$TR = (e)(GFVM/SAL)(g) \quad (8)$$

表 2 参数定义

序号	参数符号	参数定义描述	单位
1	GVM	整车质量	kg
2	GFVM(满载)	前端静载	kg
3	CG	重心高度	mm
4	WB	轮距	mm
5	a	a = 0.5; 计算一个轮子上垂直载荷的加乘系数	
6	b	b = 2; 紧急制动工况和转向侧滑工况的加乘系数	
7	g	万有引力常数(9.81 m/sec ²)	
8	A _{fwd}	A _{fwd} = 0.8; 前向减速比	
9	A _{rev}	A _{rev} = 0.5; 反向减速比	
10	SO	轴偏移	mm
11	c	c = 0.88; 计算最大负载横向测试载荷的加乘系数	
12	d	d = 6.54 (m/sec ²); 基于前端静载计算最大横向力的加乘系数	
13	SAL	控制臂长度	mm
14	e	e = 62.48 mm; 拉杆负载输入常数	

整车相关参数如表 3 所示。经过计算得汽车转向节输入载荷如表 4 所示。换算后得到不同状况下的最大 Von Mises 应力值^[6-7]如表 5 所示。同时根据各工况的载荷要求在模型的对应部位加载作用力,并执行有限元求解命令,得到相应的应力云图^[8],以控制臂加载为例,应力云图如图 2 所示。

通过对比材料的强度极限,最大应力值都在材料的承受范围内。

表 3 整车主要技术参数

主要技术参数	参数值	单位
整车质量	2 075	kg
前端静载(满载)	1 052	kg
轮距	3 070	mm
重心高度	550	mm
滚动半径	312	mm
轴偏移	29.13	mm
控制臂长度	128	mm

表 4 转向节输入载荷

描述	F_x (向前)/N	F_y (向内)/N	F_z (向上)/N
DCT-02 前向紧急制动	10 590.05	0	6 618.78
DCT-02 反向紧急制动	-4 248.36	0	6 618.78
DCT-04 内侧转向侧滑	0	12 108.94	5 160.06
DCT-04 外侧转向侧滑	0	-9 473.91	5 160.06
DCT-07 控制臂加载	0	5 024.46	0

表 5 不同状况下的最大 Von Mises 应力值

描述	最大冯米思应力值/MPa
前向紧急制动	88
反向紧急制动	75
内侧转向侧滑	78
外侧转向侧滑	90
控制臂加载	82



图 2 转向节控制臂加载应力云图

3 汽车转向节疲劳分析

为了考察汽车转向节的耐久性,本研究利用有限元方法对汽车转向节紧急制动、转向侧滑和控制臂加载 3 种待试验状态进行疲劳分析,分析结果如表 6 所示。

表 6 转向节疲劳分析结果

项目号	描述	目标寿命 (B5/次循环)	计算寿命 结果(次数)
DCT-4602	紧急制动	>1 130	>1.0E6
DCT-4604	转向侧滑	>1 550	35 183
DCT-4607	控制臂加载	>700 000	>1.0E7

汽车转向节疲劳分析云图如图(3~5)所示。

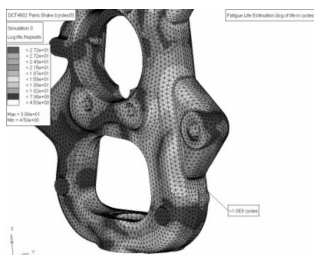


图 3 紧急制动疲劳分析云图

4 汽车转向节疲劳试验

为了验证汽车转向节有限元疲劳分析的结果,本研究进行了汽车转向节疲劳试验。

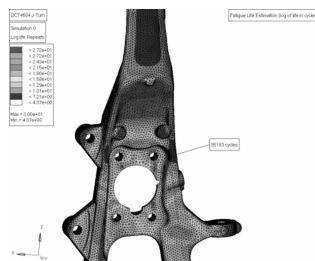


图 4 转向侧滑疲劳分析云图

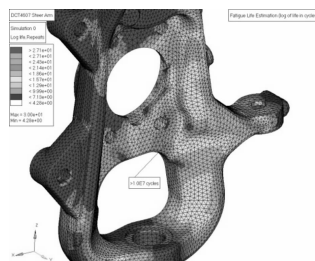


图 5 控制臂疲劳分析云图

4.1 汽车转向节疲劳试验装置

针对选取车型的制动部件设计制造了疲劳试验装置,实验图如图(6~8)所示。名称为制动角耐久试验台,主要包括零件夹持部分、加载部分和测试部分,试验软件是 MTS Flex Test。



图 6 DCT-02 疲劳试验装置



图 7 DCT-04 疲劳试验装置

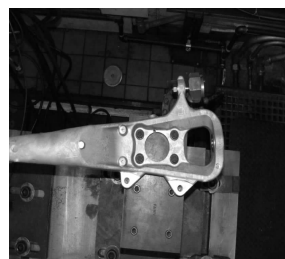


图 8 DCT-07 疲劳试验装置

4.2 汽车转向节疲劳试验

汽车转向节在试验台上安装要牢固可靠,各连接和加载部位不得出现松动。疲劳试验全部完成后,转向节样件还需经过 100% 的 X 光射线探伤检测及磁粉探伤检测,具体探伤检测方法按 JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》标准执行^[9]。由于该试验是结论验证试验,并非为了得到准确的 S-N 曲线,下面各工况的试验试件数量选取 10 件^[10-11]。

4.2.1 紧急制动疲劳试验

紧急制动疲劳试验如图 6 所示。可以测定转向节在重复紧急制动载荷作用下的疲劳性能^[12]。

(1) 试验要求:按照表 4 的载荷数据和施加方向,以三次前向制动,一次反向制动作为一个循环,频率采用 3 Hz。转向节必须满足所有试件通过 5 000 次循环(5 000 次前向制动和 1 668 次后向制动)后,没有裂纹出现。

(2) 试验结果:所有转向节试件经过 5 000 次循环后未出现裂纹。

4.2.2 转向侧滑疲劳试验

转向侧滑疲劳试验如图 7 所示。可以测定转向节在重复转向侧滑载荷作用下的疲劳性能。

(1) 试验要求:按照表 4 的载荷数据和施加方向,采用载荷比 1:1,频率 3 Hz。转向节必须满足所有试件通过 5 000 次循环后,没有裂纹出现。

(2) 试验结果:所有转向节试件经过 5 000 次循环后未出现裂纹。

4.2.3 控制臂疲劳试验

控制臂疲劳试验如图 8 所示。可以测定控制臂的疲劳性能。

(1) 试验要求:按照表 4 的载荷数据和施加方向,采用载荷比 1:1,频率 10 Hz。转向节必须满足所有试件通过 300 万次循环后,没有裂纹出现。

(2) 试验结果:所有转向节试件经过 300 万次循环后未出现裂纹。

5 结束语

本研究通过对汽车转向节设计模型进行有限元疲劳分析,得到相对可靠的零部件预测寿命,利用疲劳试验装置完成了疲劳耐久性试验,试验结果验证了有限元模型、静强度分析以及疲劳寿命分析结果的准确性。

一系列完整的分析过程和试验结果表明转向节完全满足设计要求,验证了有限元分析方法进行汽车转向节静强度分析和疲劳分析的可行性,研究成果对汽车转向节开发有指导意义。

参考文献(References):

- [1] 江迎春,陈无畏. 基于 ANSYS 的轿车转向节疲劳寿命分析[J]. 汽车科技,2008(3):32-36.
- [2] 袁旦. 汽车转向节有限元分析与优化设计[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院,2008.
- [3] 蒋玮. 转向节有限元分析及试验验证[J]. 车辆与动力技术,2008(4):5-8.
- [4] 许志. 汽车转向节可靠性及灵敏度分析[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院,2012.
- [5] 冯美斌. 转向节的强度和实验[J]. 汽车科技,1994(5):16-18.
- [6] 郭彬彩. STEYR 转向节建模与强度分析[J]. 河南科学,2006(2):272-273.
- [7] 周英雄,王勇,宋焯. 高速动车转向架构架静强度试验和仿真研究[J]. 机械,2014(7):7-11.
- [8] 杨保利,李兴,柴海泽. CAE 在汽车前转向节设计中的应用[J]. 科技与企业,2014(8):299.
- [9] 周宁,李磊. 轿车用转向节试验方法[J]. 汽车工程师,2011(8):44-46.
- [10] 陈建国,袁海兵. 汽车转向轴扭转疲劳试验台开发[J]. 机电工程技术,2013(12):11-13.
- [11] 杨晓东,雷宏刚. 疲劳试验研究的动态评述[J]. 科学之友,2008(4):109-111.
- [12] 刘素红. 基于 SFEM 的汽车转向节疲劳可靠性研究[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院,2010.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

杨苍禄,朱传敏,刘素,等. 汽车转向节疲劳寿命分析和试验研究[J]. 机电工程,2015,32(7):950-953.

YANG Cang-lu, ZHU Chuan-min, LIU Su, et al. Fatigue life analysis and experimental validation of automobile steering knuckle[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(7):950-953.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>