

跨座式单轨车辆转向架构架 结构疲劳寿命分析

杜子学, 李吉慧, 朱兴高

(重庆交通大学, 重庆 400074)



作者简介: 杜子学 (1962-), 男, 博士, 教授, 研究领域为现代车辆 (汽车) 设计方法与理论、载运工具运行品质、交通安全。

摘 要: 以跨座式单轨车辆转向架构架为研究对象, 利用有限元方法对其结构进行强度分析, 以分析计算结果为基础, 结合材料的 $S-N$ 曲线和线性累积损伤理论, 计算疲劳寿命。结果表明跨座式单轨车辆转向架构架满足强度和疲劳性能方面的要求。

关键词: 跨座式单轨车辆; 转向架构架; 疲劳寿命; 有限元分析

中图分类号: U260.331; U270.331 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2011)06-0052-02

Fatigue Life Analysis of Bogie Frame for Straddle Type Monorail Vehicle

DU Zi-xue, LI Ji-hui, ZHU Xing-gao

(Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: In this paper, the structural strength analysis of bogie frame for straddle type monorail vehicle with the finite element method was provided. Based on the analysis results, combined with the material $S-N$ curve and linear cumulative damage theory, the fatigue life of bogie frame was calculated, and the results showed that the strength and fatigue performance of bogie frame of monorail vehicle met the requirements.

Key words: straddle type monorail vehicle; bogie frame; fatigue life; FEM

0 引言

单轨车辆转向架构架主要承受的载荷由垂直载荷和预压力组成, 是车辆重要的承载构件, 它的性能决定了车辆运行品质和行车安全。国内外大量研究表明, 车辆转向架的破坏形式多为随机载荷作用下引起的疲劳破坏。构架受到外界载荷作用时, 若构架所受应力值超过材料的强度极限, 构架结构将发生损伤, 对于应力值始终没有超过材料的强度极限, 甚至比屈服极限还低的情况, 所产生的结构破坏可以称为疲劳破坏^[1]。因此, 为了确保车辆的行车安全, 仅仅对转向架的构架进行静强度分析是不够的, 还必须对其进行疲劳分析, 研究构架在外界载荷作用下的疲劳强度。

本文以疲劳累积损伤理论为基础, 针对重庆跨座式单轨车辆转向架构架, 采用有限元分析软件和疲劳分析软件, 应用应力疲劳分析法对其进行了疲劳寿命的分析计算和预测。

1 跨座式单轨车辆转向架构架结构

转向架构架是驱动装置、走行轮、稳定轮、导向轮、基础制动装置、车体悬挂装置、牵引装置、受流器、接地装置等功能部件的安装基础, 是关乎运行安全的主要承载结构件。构架采用 16MnR 材料, 构架体由左右侧梁、牵引横梁和前后端梁焊接成“日”字形结构。侧梁中部焊有稳定轮支架, 支架上部为空气弹簧安装座, 下部为稳定轮安装座, 支架一侧焊有电机座^[2], 侧梁四角处为导向轮支架, 端梁中部为走行轮辅助轮安装座, 牵引横梁中部开有矩形孔。总体结构见图 1。

2 构架结构疲劳寿命计算模型的建立

2.1 疲劳载荷谱

对构架进行疲劳寿命分析, 需要知道车辆运行时作用在构架上的载荷历程, 然后通过分析和处理进行编谱, 最终获得载荷谱。载荷时间历程通常可通过动力学仿真方法或实际测量方法获得。本文采用动力学仿真方法, 得到车速在 60 km/h 时空气弹簧座处 32 s 的垂向载荷历程, 中心销处 32 s 的横向载荷历程和纵向载

收稿日期: 2011-06-05

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAG06B01)

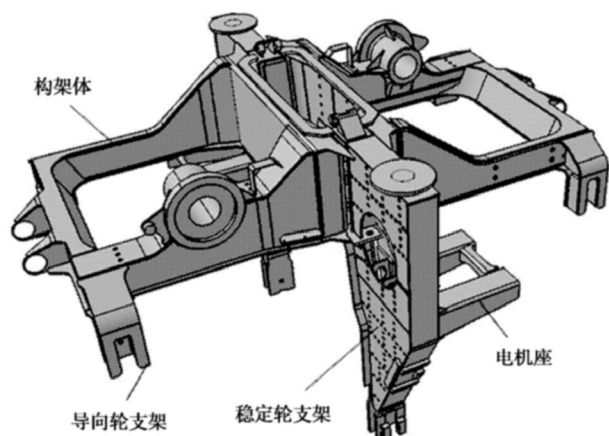


图1 构架

荷历程, 并以此为基础, 通过外推法将载荷时间历程扩展到一个循环^[3]。

重庆市2号线全长19.15 km, 以60 km/h的速度(不考虑停车)往返大约需要 $19.15 \times 1000 \times 2 \div 60 \times 3.6 = 2\,298$ s。利用MATLAB编程, 按往返里程将仿真得到的载荷时间历程外推得到一个循环载荷时间历程, 如图2~4图所示。

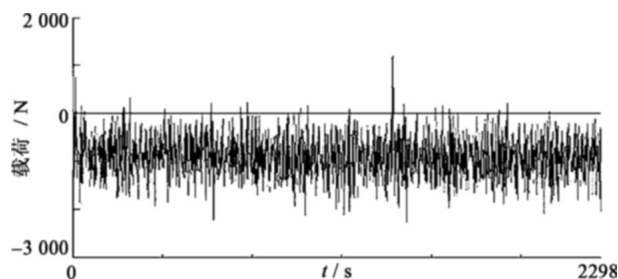


图2 垂向循环载荷时间历程

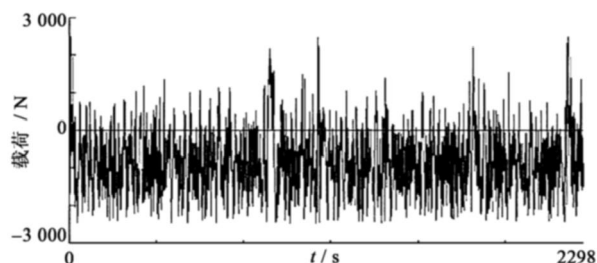


图3 纵向循环载荷时间历程

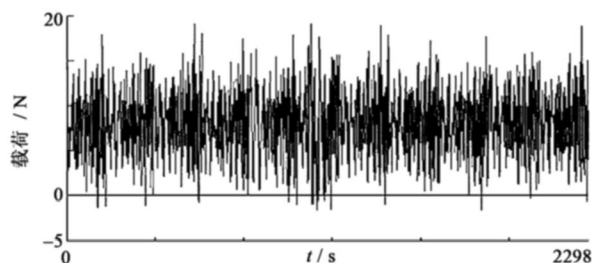


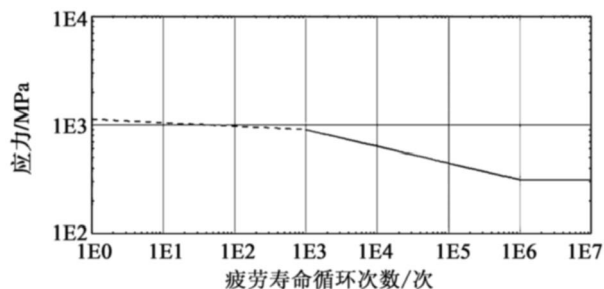
图4 横向循环载荷时间历程

2.2 材料的疲劳特性

疲劳寿命为疲劳失效以前所经历的应力或应变循环数, 一般用 N 表示。试样的疲劳寿命取决于材料的力学性能和施加的应力水平。材料的强度极限越高, 外加的应力水平越低, 试样的疲劳寿命越长; 反之, 疲劳寿命就越短。描述这种外加应力 S 和试样疲劳寿命 N 之

间关系的曲线称为 $S-N$ 曲线^[4], 它是应力疲劳分析的基础, 反映材料的疲劳性能。

跨座式单轨车辆转向架构架的循环寿命较高, 属于高周疲劳范围, 因此选用材料的 $S-N$ 曲线对其进行寿命分析。构架材料16MnR的弹性模量 $E=2.09 \times 10^5$ MPa, 柏松比 $\mu=0.3$, 屈服极限为396 MPa, 强度极限为566 MPa, 将这些参数输入到MSC.Fatigue材料设定模块中, 得到所需的 $S-N$ 材料曲线如图5所示。

图5 16MnR 材料的 $S-N$ 曲线

3 构架疲劳计算

采用疲劳分析软件MSC.Fatigue, 以静力学计算结果、材料的疲劳特性和车辆动力学仿真获得的外推载荷谱为基础, 结合应力疲劳分析理论对构架进行了全寿命疲劳计算, 得到构架的疲劳寿命分布云图如图6、图7所示。

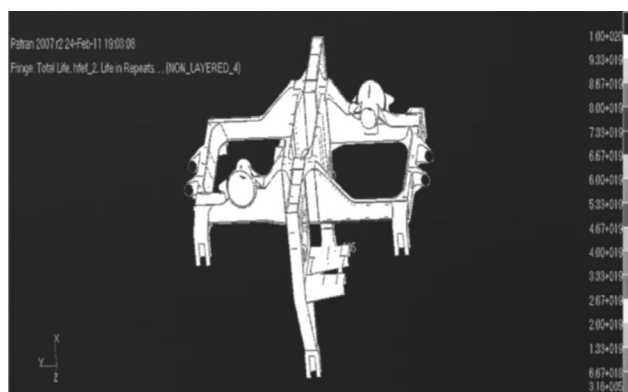


图6 构架的疲劳寿命云图



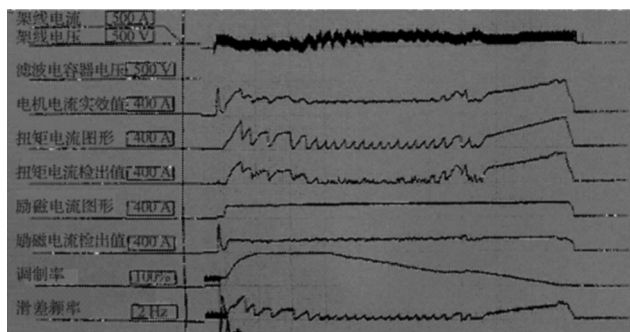
图7 构架疲劳寿命最短的位置

从结果云图中可以看出, 构架最易发生疲劳的位置为电机座左右支架与电机连接的螺栓处。构架疲劳寿命较短点的疲劳寿命结果如表1所示。

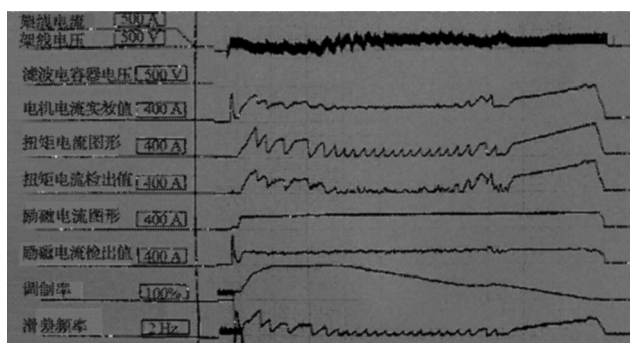
(下转第57页)

3 车辆试验结果

在对西安地铁2号线首列车进行牵引性能试验时,测量了相电流、架线电压和电流、滤波电抗器电压、扭矩电流、滑差频率等。图11为车辆牵引系统试验波形图,其中,图11(a)为车辆在4级牵引加速至80 km/h的波形图,图11(b)为车辆运行在60 km/h时实施B7电制



(a) 4 N-80 km/h



(b) 60 km/h-电制动 B7

图 11 牵引系统试验波形图

动直至车辆停止时的波形图。

从图11试验结果可以看出,车辆在牵引和电制动工况下,架线电流、电机电流、线电流、扭矩电流、滑差频率、磁链均达到了理想的结果,电机运行稳定可靠,说明牵引系统的矢量控制设计能够满足车辆正式运营的需要。

4 结语

以西安地铁2号线车辆为研究对象,主要分析了地铁牵引主电路系统和异步电机矢量控制原理、应用矢量控制的空转滑行控制、应用矢量控制的轻负荷再生控制。研究表明,异步电机通过坐标变换,可对励磁电流和力矩电流进行解耦,调控特性好。通过车辆性能方面的试验结果来看,异步牵引电机的矢量控制调速精度高,动态性能非常优良,在外界负载变化的情况下,能够快速得到响应,满足了西安地铁2号线地铁车辆对牵引系统性能的要求。

参考文献：

- [1] 李华德. 交流调速控制系统 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [2] 许大中, 贺益康. 电机控制 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2007.
- [3] 崔俊国, 陶生桂. 上海地铁2号线车辆交流传动系统仿真分析 [J]. 机车电传动, 2002 (1): 29-35.
- [4] 陈郭霞, 关振宏, 等. 三电平逆变器电压空间矢量控制方法分析 [J]. 机车电传动, 2007 (6): 34-37.

(上接第53页)

表1 疲劳寿命列表

节点	损伤值	循环次数	对数循环次数	对数循环损伤
218794	1.393E-6	3.160E5	5.8561	-5.8561
569347	1.393E-6	3.160E5	5.8561	-5.8561
557271	9.674E-7	1.024E6	6.0104	-6.0104
206718	9.022E-7	1.108E6	6.0447	-6.0447
206026	8.343E-7	1.199E6	6.0787	-6.0787
556579	8.343E-7	1.199E6	6.0787	-6.0787
568451	8.343E-7	1.199E6	6.0787	-6.0787
217898	8.093E-7	1.236E6	6.0919	-6.0919
262915	2.454E-8	4.075E7	7.6102	-7.6102
613468	2.454E-8	4.075E7	7.6102	-7.6102

4 结论

从寿命分布云图和疲劳寿命列表中可以看出,疲劳寿命最短的节点编号为218794和569347,对应的部位

是牵引电机座支架板上固定牵引电机的螺栓处。218794和569347两个节点可经受的循环次数为3.16E5次。按车辆每天运行12个往返循环计算,构架疲劳寿命为 $316000 \div 12 \div 365 = 72$ 年,远远大于转向架的使用寿命30年,满足设计要求。所以从节省成本的角度,可以为结构轻量化设计提供参考。但针对构架易出现裂纹的位置,可以结合一些优化设计理论,对该位置部件的结构进行优化改进。

参考文献：

- [1] 曾春华. 奇妙的疲劳现象 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [2] 刘绍勇. 重庆跨坐式单轨转向架的研制 [J]. 铁道车辆, 2003, 41(9): 18-21.
- [3] 杜子学, 吴洪博. 跨座式单轨车体骨架疲劳寿命分析 [J]. 铁道车辆, 2009(3).
- [4] 姚卫星. 结构疲劳寿命分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.