

文章编号:1001-4373(2011)03-0051-04

# CW-200K 转向架构架疲劳强度及模态分析研究

吴 丹, 郭富强, 商跃进, 王 红

(兰州交通大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘 要:**根据 CW-200K 转向架构架的结构和承载特点,运用 Solidworks 建立构架的实体模型,并将模型导入 ANSYS 中进行有限元分析,依据分析结果并参照标准 JIS E4207—2004 和焊接材料的 Goodman 疲劳极限图对构架进行疲劳强度评估。此外,还对构架进行模态分析,分析构架在某一频段内的振动模态,从而评价构架的动态性能是否满足设计要求。分析结果表明:各关键点的等效应力均小于许用值,构架满足疲劳强度的要求;构架的最低自振频率为 33.944 Hz,能够有效地避开激振频率。这为优化构架结构提供相关的参数依据。

**关键词:**构架;有限元;疲劳强度;模态分析

**中图分类号:**U270.331

**文献标志码:**A

转向架构架是车辆的主要承载和传力部件,车辆在运行过程中,构架不仅要承受载荷作用,还需要传递车体与轮对间的各种作用力,其可靠性直接影响车辆的运行安全,而且其振动也会影响车辆的稳定性和安全性。所以,国内外对构架的强度分析和动态评估很重视,国内专家对各主型转向架都做了相应的强度和动态分析,但是针对 CW-200K 转向架构架的强度和动态特性的研究却很少,因此,对 CW-200K 转向架构架进行强度和动态评估具有重要的意义。本文在基于 JIS E 4207—2004 规范的基础上,运用 CAD/CAE 技术对 CW-200K 转向架构架进行疲劳强度和模态分析,以便评价构架是否满足强度和动态特性的设计要求,并为构架结构优化提供相关的参数依据。

## 1 CW-200K 型转向架构架

### 1.1 构架结构

CW-200K 转向架构架是 H 形钢板焊接结构,由两根侧梁和两根横梁组成。侧梁为中间下凹的鱼腹形,由 4 块钢板组焊成箱形封闭结构,其内部由密封板隔开,将侧梁内腔变成空气弹簧的附加空气室。横梁采用日本进口无缝钢管,外径为 165.2 mm,壁厚 14.3 mm。在侧梁上焊有定位座、横向减震器座、高度阀座和防过充装置座等,在横梁上焊有盘形制动吊座,抗侧滚扭杆座、牵引拉杆座。

### 1.2 有限元模型

综合考虑整个构架的计算精度及结构的实际情况,选定整体构架作为离散模型,对构架的离散模型采用 10 节点实体单元 Solid 92,运用大型通用有限元分析软件 ANSYS 对构架整体进行有限元离散和计算,在构架的轴箱弹簧安装座下面加 12 个 Combine 14 弹簧单元,弹簧单元的刚度系数和轴箱弹簧的刚度一致。最终离散出的节点数为 319 459,单元数为 163 292,离散的有限元模型如图 1 所示<sup>[1]</sup>。

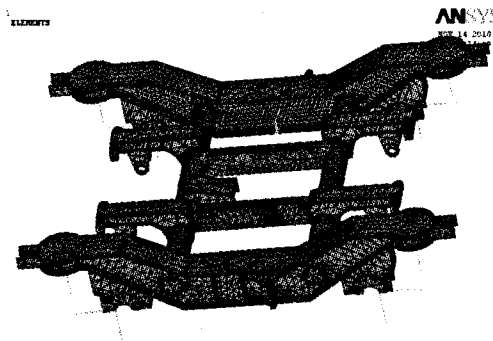


图 1 构架有限元模型

Fig. 1 Finite element mode of frame

### 1.3 评价标准

#### 1.3.1 载荷条件

依据 JIS E4207—2004 规范计算出 9 种载荷工况下构架受到的各种载荷值,其大小和方向如图 2 所示。

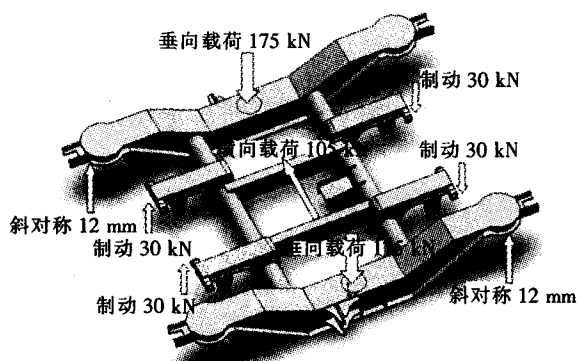


图2 CW-200K 转向架构架

Fig. 2 Bogie frame of CW-200K

### 1.3.2 平均应力

平均应力为静载荷所产生的应力加上脉动载荷所产生应力的1/2。根据已知9种载荷工况,分别计算出驱动和制动工况下的平均应力。

驱动工况下的平均应力:

$$\sigma_{m1} = A + \frac{B+C}{2} + \frac{D+E}{2} + \frac{F+G}{2} \quad (1)$$

制动工况下的平均应力:

$$\sigma_{m2} = A + \frac{B+C}{2} + \frac{D+E}{2} + \frac{F+G}{2} + \frac{I+J}{2} \quad (2)$$

式中: A为垂直载荷下产生的应力; B、C为扭转载荷(方向相反)产生的应力; D、E为纵向载荷上产生的应力; F、G为横向载荷产生的应力; I、J为制动载荷产生的应力。

### 1.3.3 应力幅

应力幅为动载荷应力的合成数,根据规范按下式进行计算,

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2} \quad (3)$$

其中: 脉动载荷所产生的应力按其1/2进行合成,

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \left(\frac{\sigma_i}{2}\right)^2 + \dots + \sigma_n^2} \quad (4)$$

根据已知的9种载荷工况,分别计算出驱动工况和制动工况下的动应力<sup>[2]</sup>。

驱动工况下的应力幅:

$$\sigma_{a1} = [(A \times 0.3)^2 + \left(\frac{B-C}{2}\right)^2 + \left(\frac{D-E}{2}\right)^2 + \left(\frac{F-G}{2}\right)^2]^{1/2} \quad (5)$$

制动工况下的应力幅:

$$\sigma_{a2} = [(A \times 0.3)^2 + \left(\frac{B-C}{2}\right)^2 + \left(\frac{D-E}{2}\right)^2 + \left(\frac{F-G}{2}\right)^2 + \left(\frac{I-J}{2}\right)^2]^{1/2} \quad (6)$$

## 2 应力计算结果

运用大型通用有限元分析软件 ANSYS 分析出9种载荷工况下的应力值,并按照 JIS E4207—2004 规范将9种载荷工况下的应力组合叠加,计算出驱动工况下的平均应力和应力幅分别为 216.1 MPa 和 80.2 MPa,制动工况下的平均应力和应力幅分别为 203.7 MPa 和 87.8 MPa,并运用 ANSYS 软件中的工况组合项,将9种工况载荷按 JIS E4207—2004 规范组合后施加在构架上,分析计算出构架的平均应力和应力幅,如表1所示。

表1 应力计算结果

Tab. 1 Stress calculation results MPa		
计算载荷	平均应力	应力幅
驱动工况	216.1	80.2
制动工况	203.7	87.8

## 3 强度评估

CW-200K 转向架构架的材料为 16MnR 钢,其强度极限  $\sigma_b$  为 510~655 MPa,屈服极限  $\sigma_s$  为 340 MPa,非焊缝区的安全系数取为 1,即许用应力为 345 MPa,焊缝区的许用应力为 305 MPa,构架的疲劳极限  $\sigma_{-1}$  为 290.8 MPa<sup>[3]</sup>。

根据两种工况下的应力分布情况,选出一些关键位置作为驱动和制动工况下疲劳强度评价的关键点,其中关键点包括应力最大点、应力幅最大点和关键吊座连接部位对应点。本文选取以下4个关键点作为疲劳强度的评估位置: 1) 纵向梁下盖板与横梁连接的圆弧弯角部位; 2) 定位座与侧梁连接处; 3) 在侧梁上盖板中央与空气弹簧垫板交接处; 4) 制动吊座与横梁连接处。4个关键点对应的平均应力、应力幅值如表2所示。

表2 关键点的应力计算值

Tab. 2 Stress calculation results of key positions MPa			
关键点	平均应力	驱动应力幅	制动应力幅
1	125.6	38.9	53.5
2	179.5	55.6	67.8
3	213.9	80.2	75.6
4	25.6	—	87.8

根据材料的疲劳极限图对关键点的应力值和应力幅值进行疲劳强度评估,结果如图3所示。由图3可知,各关键点的应力均在允许范围内。因此,CW-200K 转向架构架满足疲劳强度要求。

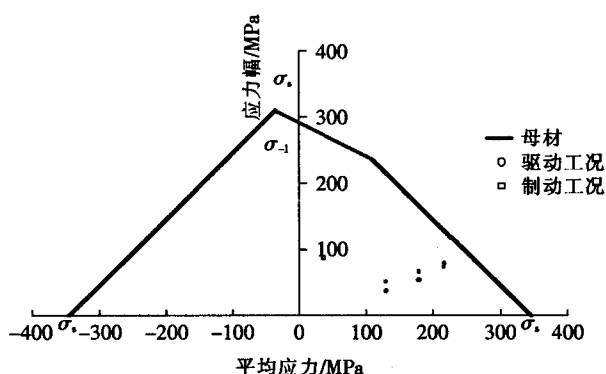


图3 16MnR 钢的 Goodman 疲劳极限

Fig. 3 Goodman diagram of 16MnR steel

#### 4 模态分析

正确施加约束是动态分析的先决条件,约束施加不当会导致构架局部过刚,直接影响分析结果。根据构架实际情况,在模态分析中,只对构架施加弹性约束,计算出构架的前6阶模态。构架的前6阶固有振动频率和对应的振型见表3,其中第1阶和第5阶的振型如图4和图5所示。

结果表明:构架的最低自振频率为33.944 Hz,避开了激振频率10 Hz<sup>[5]</sup>,可以有效地避免共振现象的发生。

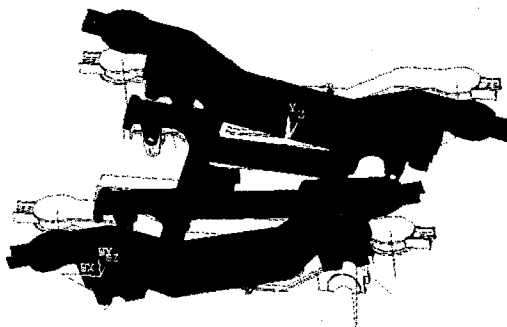


图4 构架的第1阶振型

Fig. 4 The first order vibration modal of frame

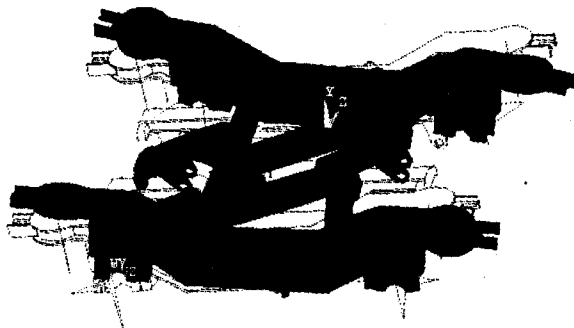


图5 构架的第5阶振型

Fig. 5 The fifth order vibration modal of frame

表3 构架模态分析结果

Tab. 3 Modal analysis results of frame

阶次	频率/Hz	振型
1	33.944	两侧梁绕横梁的反向扭转
2	61.250	两侧梁向两侧弯曲摆动
3	69.620	两侧梁在水平面内同向摆动
4	99.709	两侧梁在水平面内反向摆动
5	100.60	两侧梁和制动吊座的反向纵向扭转
6	112.73	两侧梁在水平面内的同向弯曲

由表3可知,构架的第1阶振型为两侧梁绕横梁的反向扭转,这说明构架的扭转刚度相对较小,有利于转向架适应垂向不平顺的线路<sup>[4]</sup>,构架的第5阶振型为侧梁和制动吊座的扭转,这表明制动吊座的连接刚度较大,构架的第6阶振型为两侧梁在水平面内的同向弯曲,这说明两侧梁的横向刚度较大,有利于构架承受横向载荷。

#### 5 结论

1) 依据JIS E4207—2004 规范计算出构架在驱动工况和制动工况时的平均应力和应力幅,通过对考察点的分析得知,各关键点的等效应力值均落在焊接材料的疲劳极限图内,所以CW-200K 转向架构架满足疲劳强度要求。

2) 运用ANSYS 软件计算出构架的固有振动频率和相对应的振型,结果表明:构架的抗扭刚度相对较小,有利于通过垂向不平顺的线路,构架能够避开其它激振频率。

3) 运用CAD/CAE 技术分析CW-200K 转向架构架,不仅可以有效地对结构进行模拟分析,而且可以缩短研发周期、降低成本,提高工作效率。

#### 参考文献:

- [1] 刘万选,王红,商跃进. Y25 型新型转向架轴箱强度性能分析[J]. 兰州交通大学学报,2010,29(4):115-118.
- [2] 王文静,刘志明,李强,等. CRH2 动车转向架构架疲劳强度分析[J]. 北京交通大学学报,2009,33(1):6-9.
- [3] 周兴建. CW-220 型转向架构架结构优化设计[J]. 铁道车辆,2008,46(7):11-24.
- [4] 刘寅华,李芾,黄运华,等. 变轨距货车转向架构架疲劳强度及模态分析[J]. 铁道车辆,2007,45(11):1-4.
- [5] 李永春,张锁怀,孙军帅. 新型地铁车辆转向架构架有限元模态分析[J]. 机械制造,2007,45(11):19-21.

## Fatigue Strength and Modal Analysis of CW-200K Bogie Frame

WU Dan, GUO Fu-qiang, SHANG Yue-jin, WANG Hong

(School of Mechatronic Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Based on the structure and load characteristics of CW-200K bogie frame, the solid model is built by using Solidworks according to the structural parameters of CW-200K bogie frame. According to the analytical results, the fatigue strength of the frame is checked referring to JIS E 4207 and Goodman sketch for welding materials. In addition, the modal analysis of the frame is made and the vibrational modal of frame in given frequency-domain is predetermined to evaluate the dynamical behavior of the frame in order to meet the dynamical design requirements. Analyzed with the simulation results, the test stress values are lower than standard values and the frame meets the requirement of fatigue strength. The lower self-vibration frequency of the frame is 33.944 Hz which can avoid excited frequency of the frame. The optimization in structural behavior of the frame is provided with theoretical parameters.

**Key words:** frame; finite element; fatigue strength; modal analysis

~~~~~  
(上接第 50 页)

## Influence of the Mass Eccentricity on the Nonlinear Dynamic Characteristics of a Cracked Rotor

SHAO Ze-kuan, LIU Feng-juan

(Department of Electrical Engineering, Xi'an Railway Vocational and Technical Institute, Xi'an 710014, China)

**Abstract:** An impeller system is simplified to a Jeffcott rotor system. The dynamic model of the cracked rotor with both nonlinear oil-film force and nonlinear fluid force is built and dimensionless equations of the system are derived. The system's bifurcation characteristics are studied by using the numerical integral method. The influence of mass eccentricity on the system's dynamic characteristics is analyzed in detail. The results show that nonlinear oil-film force and nonlinear fluid force make the motion more complicated as the mass eccentricity increases.

**Key words:** rotor; nonlinear fluid force; nonlinear oil-film force; crack; bifurcation