

doi:10.16576/j.ISSN.1007-4414.2023.05.035

CRH2 动车组轮对与轴箱弹簧的强度分析\*

张小力,王 勉,宋 婷

(陕西铁路工程职业技术学院,陕西 渭南 714000)

摘 要:高速列车运行超过蛇行稳定性临界速度时会出现安全隐患。为了解决这一隐患需对 CRH2 型动车组转向架进行数学建模。首先通过对轴箱体的简化处理及受力分析,在 Pro/E 软件中整体建模,并导入到 Mechanica 模块;然后对 CRH2 车轴建立刚性节点和弹性节点;最后进行静强度分析。结果表明,简化后的 CRH2 型转向架模型在临界速度上较初始模型有了一些改善,并且各个动力学参数均满足行业标准要求。

关键词:临界速度;动车组轮对;轴箱弹簧;强度分析

中图分类号:U292.91+4

文献标识码:A

文章编号:1007-4414(2023)05-0132-03

Strength Analysis on Wheel Set and Axle Box Spring of CRH2 Multiple Unit

ZHANG Xiao-li, WANG Mian, SONG Ting

(Shaanxi Railway Institute, Weinan 714099, Shaanxi, China)

Abstract: When the high-speed train runs beyond the critical speed of hunting stability, there will be potential safety hazards. In this paper, the mathematical model of CRH2 bogie is established. Through the simplified treatment and stress analysis of axle box body, an overall model is built in Pro/E software, and then imported into the Mechanica module to establish rigid and elastic joints for the CRH2 axle so as to perform static strength analysis. The results show that the simplified CRH2 bogie model has some improvement over the initial model in terms of critical speed, and all dynamic parameters meet the requirements of industry standards.

Key words:critical speed; wheel set of EMU; axle box spring; strength analysis

0 引 言

目前,在高速列车的转向架设计方面,须解决列车高速运行时的稳定性以及小曲率半径下通过的平稳性等关键技术问题。

国内学者采用各种优化设计方法对转向架结构、材料及提高临界速度等进行研究,尤其对列车运行超过临界值时保证运行平稳性方面做了大量的研究。潘迪夫等<sup>[1]</sup>研究了 CRH2 型拖车转向架,分析了 SK-TB-200 型拖车的悬挂系统及相关参数,建立了 SIM-PACK 动力学模型。通过悬挂参数的变化,观察其对整车动力学性能的影响,然后以此作为参考依据,对一系列弹簧和空气弹簧的刚度进行优化设计,最终通过提高临界速度改善了列车运行的稳定性;彭国平等<sup>[2]</sup>提出一种动车组检修新方案,通过前期检修和相关试验,增加了齿轮箱体内部清洗,设计了小轴的轴向游隙测量的全新工装。经过验证,得到转向架 600 000 km 的新专项检修的可行性;陈祺等<sup>[3]</sup>以 CRH2 为研究对象,通过分析轮对简化力元建模以及列车通过曲线段的速度返渭,得到过超高工况下的轮轨横向力、轮轨垂向力、车体横向振动加速度等动力学仿真结果,得出当列车通过超高工况时,曲线半径

越大,速度越小,轮轨横向力、轮轴横向力、车体横向加速度越大;王康<sup>[4]</sup>对 CRH2 型动车组轴箱弹簧进行 SolidWorks 建模,通过对轴箱弹簧的刚度与强度的分析评价以及校核,得到最大应力出现的实际位置,验证后发现符合实际效果。

高速运行的列车正常运行时,如果出现一定的线路扰动会使列车发生横向偏移。但该扰动消失后,列车的横向振动也会减弱消失,最终列车回归中间位置。但是当列车以高于某一速度运行时,蛇行运动的振幅会越来越大,最终致使车轮轮缘与钢轨发生碰撞,造成车辆及线路的损伤<sup>[5]</sup>。严重时甚至发生列车脱轨、倾覆等行车安全事故。因此,列车运行超过蛇行稳定性临界速度时,将会产生安全隐患。笔者通过改变(CRH2)列车转向架结构、优化参数来提高临界速度,从而提高列车运行安全性。

1 CRH2 型转向架结构

1.1 CRH2 型车悬挂系统

常见高速转向架结构为无摇枕、空气弹簧悬挂结构,具有回转阻尼,可加装弹性定位等装置。转向架结构包括机架、轮对、弹簧悬挂装置、牵引装置、轴箱定位装置等结构。而 CRH2 型转向架是在原川崎重

\* 收稿日期:2023-04-10

作者简介:张小力(1986-),男,陕西渭南人,讲师,研究方向:CAD/CAE,机电控制。

工生产的动车转向架 DT206 和拖车转向架 TR7004B 基础上改进发展而来<sup>[6]</sup>。动车组每节车厢下有两个动力转向架,主要由构架、轮对轴箱、牵引装置、基础制动装置、二系悬挂装置、牵引电机、驱动装置组成,如图 1 所示。动力转向架有两根动力轴,电机通过架悬方式,降低了簧下品质,改善了动力学性能。CRH2 型动车组主要参数如表 1 所列。

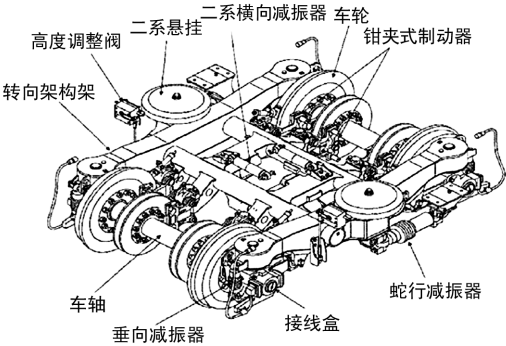


图 1 CRH2 型转向架主悬挂结构

表 1 车辆主要参数

主要参数	尺 寸
转向架中心距/mm	17 500
轴距/mm	2 500
车轮滚动圆横向跨距/mm	1 493
车轮滚动圆直径/mm	860
轴承中心间距/mm	2 000
轮对内侧距/mm	1 353
额定轴重/mm	137.2
钢轨外形/(kg/m T)	60

1.2 CRH2 型车动力学性能评价指标

CRH2 型车动力学参数主要有运行平稳性、稳定性及曲线通过性能。列车运行的第一要求是安全,第二要求是稳定。因此,乘客的舒适性和货物的完好是需要考虑的首要问题。

列车运行的稳定性包括:防止蛇形运动稳定性(在蠕滑力作用下,列车会发生自激振动)、防止脱轨稳定性(车辆与线路发生脱轨)以及防止列车倾覆的稳定性等三要素。

列车运行的平稳性是指列车在运行中产生的振动大小,它直接影响到乘客的舒适性和货物的完好性。平稳性即列车运行时的振动加速度,一般通过 Sperling 指标来评价,如表 2 所列。

表 2 列车运行平稳性指标

平稳性等级	评 定	平稳性指标
1	优	<2.5
2	良	2.5~2.75
3	合格	2.75~3.0

2 CRH2 型转向架优化设计

2.1 CRH2 轮对优化设计

打开 Pro/E 软件,进入二维草绘界面,绘制 CRH2 车轴、车轮零件图,如图 2 所示。然后进入装配界面,使用销钉连接,装配左右车轮,组成 CRH2 轮对,如图 3 所示。

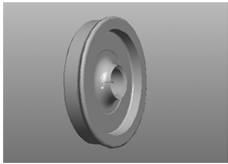


图 2 CRH2 车轮零件图

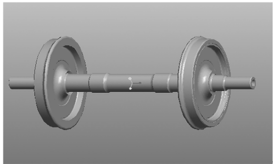


图 3 CRH2 轮对装配图

2.2 CRH2 内外圈弹簧 CAD 设计与装配

新建档,打开插入选项里面的螺旋扫描伸出项命令,依次选择变截面、垂直轨迹、右手定则,使用缺省进入二维草绘界面。选择中心线,扫引轨迹长度为弹簧的自由高度。顺次定义弹簧首端、末端、中间的节距。通过对弹簧两端拉伸去除材料,最后得到 CRH2 外弹簧的零件图。依次设计 CRH2 内圈弹簧 CAD 及装配,如图 4 所示。

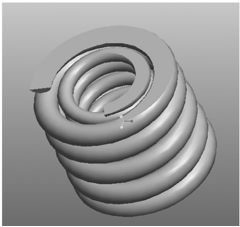


图 4 CRH2 内外圈弹簧装配图

3 CRH2 型转向架 CAE 强度分析

3.1 CRH2 转向架受力分析

CRH2 转向架中各种力的传递关系如图 5 所示。

- (1) 垂向力 由车体、空气弹簧、构架侧梁、轴箱弹簧、轴箱、车轴、车轮、最终传递到钢轨。
- (2) 横向力 从车轮、车轴、轴箱、轴箱弹簧、构架侧梁、空气弹簧、车体、构架横梁、横梁连接梁、横向侧挡、车体侧挡、最终到车体。
- (3) 纵向力(牵引、制动、纵向冲击) 由车轮开始,经过车轴、轴箱、轴箱拉杆、构架侧梁、构架横梁、牵引拉杆、中央牵引拉杆座、最终到达车体与车钩。

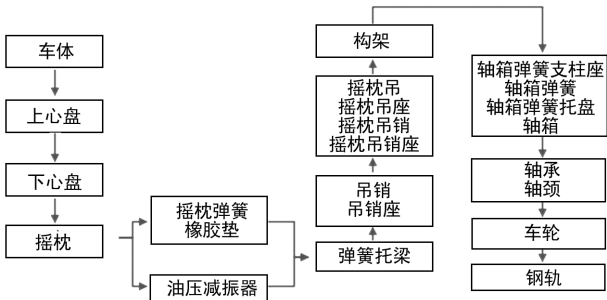


图 5 CRH2 转向架垂向力、横向力、纵向力的传递关系图

在研究 CRH2 的转向架时,转臂与轴箱体铸造成一体结构,所以转向架主要由轴箱弹簧、车轴与轮对组成。车辆运行过程中承受较大载荷,因此需要相应的假设来建立模型,故可把实际中的系统都视为理想刚体<sup>[7]</sup>,如图 6 所示,转向架所用材料性能如表 3 所列。

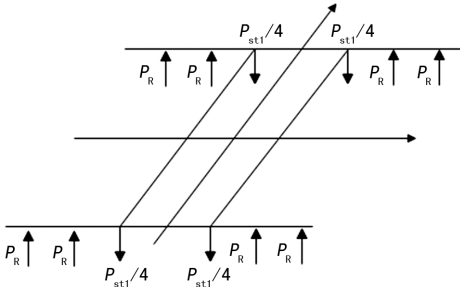


图 6 简化模型受力分析

表 3 转向架所用材料性能 /MPa

材 料	采用标准	抗拉强度	屈服强度	备 注
轴箱体	EN1563-1997	400	240	铸件
轮对	EN13260	723	620	碳素钢

相应的数字建模如下。

(1) 垂向静载荷(“自下而上”法):

$$P_{st} = 10(nP_R - P_T) \text{ (kN)} \tag{1}$$

$$P_{st1} = 10(nP_R - P_T + P_{T1})/m \tag{2}$$

(2) 垂向动载荷:

$$P_d = K_{dy}P_{st} \tag{3}$$

CRH2 的转向架在分析其应力构件时,应该求其当量应力,且此应力不能超过其材料的屈服强度。当量应力的计算公式如下:

$$\sigma_e = \sqrt{0.5[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \tag{4}$$

式中: $\sigma_e$  为当量应力,MPa; $\sigma_i$  为主应力( $i=1,2,3$ ),MPa。

3.2 CRH2 型转向架 CAE 强度分析

(1) 轴箱弹簧 CAE 强度分析

对 CRH2 型轴箱弹簧进行前处理:①定类型弹簧:结构和载荷具有对称性,且符合弹性力学平面应力问题;②画模型:创建整个弹簧模型;③设属性:在 Pro/E 中设置属性,零件材料为 steel;④分网格:采用网格划分,共有 12 476 个元素和 12 372 个节点。

对轴箱弹簧模型进行前处理:①添约束:在底面上施加约束;②加载荷:在另一面右处施加载荷;③查错误:载荷列表后进行检查,然后进行有限元分析;④列结果:列约束反力,绘制变形图、应力图和外边界路径图,显示变形动画和应力动画等。

(2) CRH2 车轴的 CAE 强度分析

打开零件图,依次进入应用程序以及 Mechanica 中结构模块中的有限元模型;分派 STEEL(钢)材料给这个车轴;设置相关的载荷和约束;划分网格面。首先是创建网格面控制的设置,然后正式划分网格面,选择“边界”选项,FEM 网格设置,壳元素类型设置为四边形和三角形。方法与轴箱弹簧一致。

(3) CRH2 轮对的 CAE 强度分析

打开车轮零件图,进入 Mechanica 结构模块中的有限元模型;选择材料指定命令,分派 STEEL 为车轮的材料;设置相关的约束和载荷。约束采用圆销约束加面约束。载荷选用从轮孔向四周的均布压力,划分网格界面。首先是创建网格面控制的设置,然后依次选择“边界”、“四边形和三角形”,再运行分析命令。

在超常载荷工况下,CRH2 轮对各工况应力云图如图 7 所示,最大应力为 507 MPa,小于其材料的屈服强度 620 MPa,静强度满足设计要求。

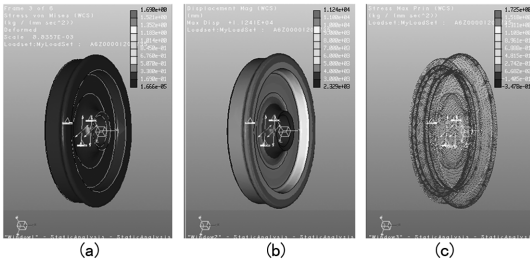


图 7 CRH2 轮对 CAE 强度分析

4 结 语

文章主要对 CRH2 型转向架进行数学建模,首先在 Pro/E 软件中进行模型简化,然后导入到 Mechanica 模块,对 CRH2 车轴进行 CAE 强度分析,仿真分析验证了静强度满足设计要求,各个动力学参数均满足 GB5599-58 和 95J01-M 行业标准要求。

但同时也有一定局限性,需要相关试验支撑并根据试验结论进行改进。因而后续工作将尽可能和相关企业联合做试验,以进一步完善 CRH2 轮对 CAE 强度分析的相关理论。

参考文献:

[1] 潘迪夫,全柏达,杨 松.CRH2 悬挂刚度参数对车辆动力学性能的影响[J].物流工程与管理,2018,40(5):135-139+147.  
[2] 彭国平,弓海斌,王海涛,等.CRH2 型动车组转向架三级修优化研究[J].铁道机车车辆,2020,40(1):111-115+126.  
[3] 陈 祺,火巧英,刘 艳,等.基于 UM 的 CRH2 型车曲线通过性能分析[J].机械制造与自动化,2022,51(4):157-160+165.  
[4] 王 康.基于 SolidWorks 2010 的高速动车组轴箱弹簧分析[J].技术与市场,2017,24(7):305.  
[5] 任尊松.车辆动力学基础[M].北京:中国铁道出版社,2009.  
[6] 严隽雋,傅茂海.车辆工程[M].北京:中国铁道出版社,2011.  
[7] 冯永华,杨东晓,张振先,等.CRH2 型动车组转向架减振器[J].机车车辆工艺,2019(3):4-6.