

文章编号:1005-0523(2014)01-0013-04

CRH5 拖车动力学性能分析

刘宇,王自力

(西南交通大学牵引动力国家重点实验室,四川 成都 610031)

摘要:利用 ADAMS/Rail 多体动力学软件建立 CRH5 拖车动力学仿真模型,通过在直线轨道上施加轨道激励来分析其临界速度、车体最大横向和垂向加速度;在曲线上分析脱轨系数、轮轴减载率和轮轴横向力,进而评估 CRH5 拖车的曲线通过能力。计算结果表明:CRH5 拖车具有足够的运行稳定性、安全性、乘坐舒适性和良好的曲线通过性能。

关键词:CRH5 拖车;动力学分析;临界速度;运行稳定性

中图分类号:U271

文献标志码:A

近年来,我国高速铁路得到了飞速的发展,一批具有世界先进水平的国产化动车组和大功率机车投入使用,使既有铁路的列车速度、运输能力、服务水平得到大幅提升,这对车辆系统动力学性能提出了越来越多的要求。以 CRH5 拖车为分析对象,建立动力学模型,对其临界速度、线路响应进行分析。

1 CRH5 拖车动力学仿真模型

CRH5 型电力动车组采用动力分散式设计,每列 8 节编组,共 5 节动车和 3 节拖车(5M3T),列车可通过两组联挂方式增至 16 节。设计营运速度为 $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,最高实验速度 $250 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,适应轨距 $1\,435 \text{ mm}$,最大轴重 17 t 。

转向架一系悬挂装置采用成熟的上、下双拉杆轴系定位方式,由双组钢弹簧双转臂定位和液压减振器组成。二系悬挂由上枕梁、空气弹簧系统、抗侧滚扭杆、二系横向和垂向减振器、抗蛇行减振器、横向止挡和 Z 字形牵引拉杆组成。轮对内侧距为 $1\,351 \text{ mm}$,空心车轴,车轮直径 890 mm ,采用圆锥滚子轴承^[1]。

1.1 模型自由度

利用 ADAMS/Rail 多体动力学软件建立 CRH5 拖车动力学仿真模型,如图 1 所示。CRH5 拖车单车模型中共有 15 个刚体,即由 1 个车体、2 个构架、4 个轮对和 8 个转臂组成,车体与转向架之间的连接弹簧和减振器等看作是无质量的连接单元,单元的刚度和阻尼值与实际参数相同。转向架上的悬挂部件重量转化到构架上。车体和转向架构架均为 6 个自由度,轮对具有 4 个自由度,每个转臂有一个点头自由度共 8 个自由度,抗侧滚扭杆有一个点头自由度共 2 个自由度,抗侧滚扭立杆有侧滚和点头两个自由度共 8 个自由度,故单车系统共有 52 个自由度。

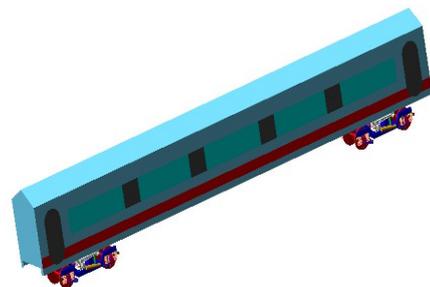


图1 CRH5 托车动力学仿真模型

Fig.1 The dynamic simulation model of CRH5 trailer

收稿日期:2013-10-01

基金项目:四川省科技计划项目(2013GZ0032)

作者简介:刘宇(1989—),男,硕士研究生,从事车辆系统动力学研究。

1.2 系统中的非线性环节

为了更好的模拟CRH5拖车实际运行情况,考虑了车辆的悬挂系统、轮轨接触几何、蠕滑非线性环节^[2-3]。

1.2.1 悬挂系统非线性

CRH5拖车本身存在着悬挂非线性,如二系空气弹簧刚度非线性,阻尼器阻尼的非线性等,其悬挂刚度和阻尼均按照实测取值。

1.2.2 轮轨接触几何非线性

车轮踏面外型选采用LM磨耗形踏面。车轮与钢轨接触几何关系和轮轨作用力都存在明显的非线性。根据磨耗型踏面和钢轨顶面形状,以1 mm的间隔采集每一踏面外形的平面坐标值,并在ADAMS/Rail软件环境下计算与60 kg钢轨匹配、轨底坡为1:40时的非线性轮轨接触几何参数表,LM踏面和钢轨形状示于图2。

1.2.3 蠕滑非线性

根据Kalker线性蠕滑理论可知,在小蠕滑范围内,蠕滑力和蠕滑率基本上成线性关系,但实验表明蠕滑力和蠕滑率之间存在着严格的非线性,因此为了更准确分析车辆的动力学性能,考虑车辆蠕滑非线性问题。

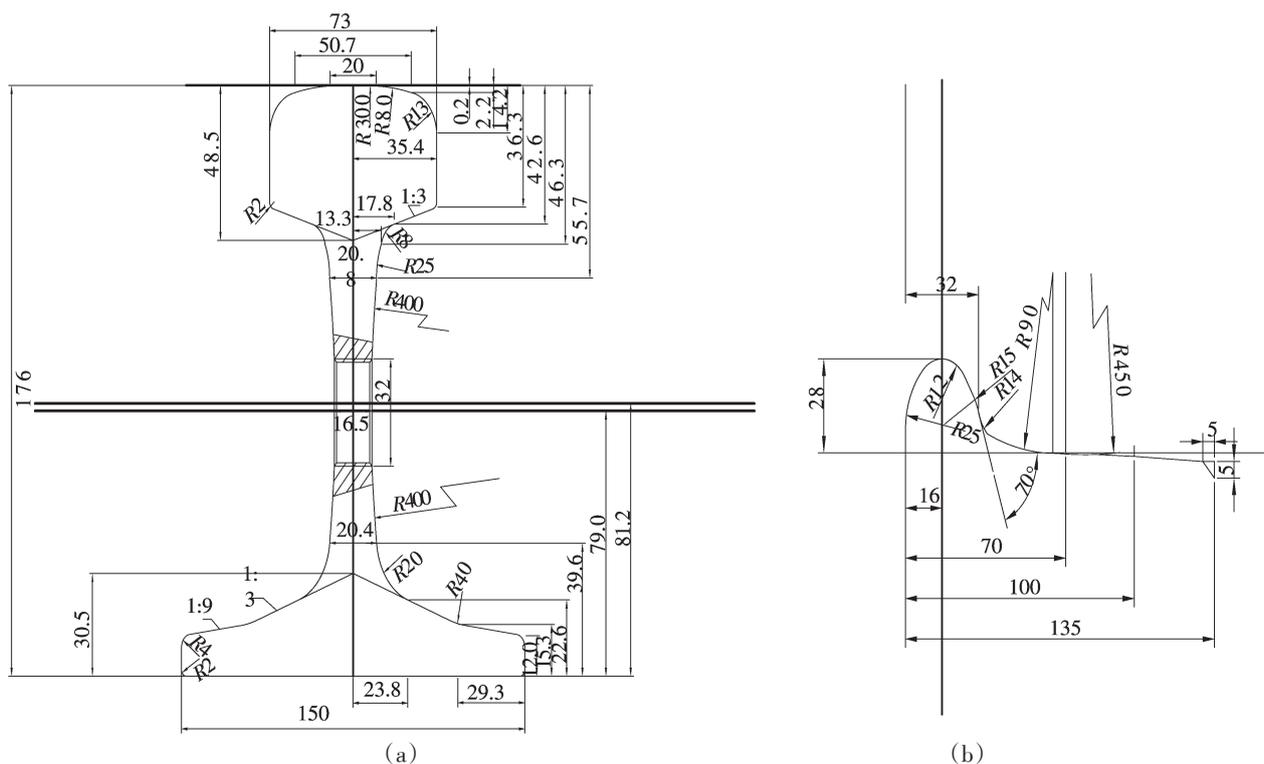


图2 LM型踏面和60 kg钢轨形状(单位:mm)

Fig.2 LM type treads and 60 kg rail shape(Unit:mm)

2 动力学计算分析

利用ADAMS/Rail多体动力学软件对CRH5拖车进行动力学计算分析,计算内容包括蛇行运动稳定性分析、直线和曲线通过响应分析等内容^[4]。

2.1 运行稳定性计算结果及分析

运行稳定性分析主要是指抗蛇行稳定性分析,车辆蛇行运动产生的主要原因是车轮踏面具有斜率并

且在运行时与轨道存在着复杂的动力作用。在ADAMS/Rail软件环境下建立分析模型,并进行计算。求解运行稳定性时,线路长度为2 000 m,通过在430~520 m区间内加2级轨道不平顺激励^[5-6](如图3)来分析其非线性临界速度。通过不同速度下的仿真模拟,以轮对的横向位移的收敛性来分析其临界速度,若在某一速度下收敛,则加大速度,直至找到发散时的速度即为临界速度。

以一位轮对的横向位移来评定,从图4中可知速度为481.8 km·h⁻¹时,轮对横向位移随时间的变化历程是收敛的,再稍加增加速度时,轮对横向位移明显发散,如图5所示,故可知原型参数时,CRH5拖车的稳定运行临界速度为481.8 km·h⁻¹,该非线性临界速度远大于最高运行速度和最高试验速度,说明CRH5拖车具有足够的运行稳定性。

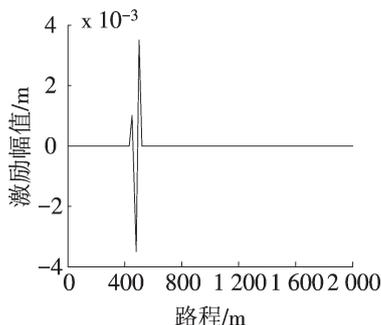


图3 加有部分2级轨道不平顺直线轨道

Fig.3 The track of some 2-level track irregularity

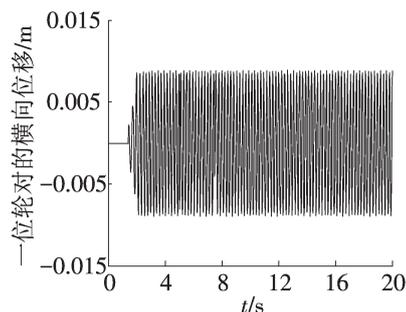


图4 收敛时轮对的横向位移

Fig.4 The lateral displacement of the convergence

2.2 乘坐舒适性计算结果及分析

受轨道随机不平顺激励,车辆-轨道耦合系统会产生随机振动,会影响旅客乘坐舒适性。采用德国高速低干扰轨道谱,在直线轨道上加上持续的轨距、高低和水平不平顺激励,来评价CRH5拖车的旅客乘坐舒适性。

客车运行平稳性(旅客乘坐的舒适性)分别按平稳性指标和平均最大振动加速度评定。CRH5拖车的最大实验速度是250 km·h⁻¹,《高速动车组整车试验规范》^[7]规定动车组最大横加速度是2.5 m·s⁻²,最大的垂向加速度是2.5 m·s⁻²。CRH5拖车以250 km·h⁻¹运行时,车体中心的最大横向加速度为1.53 m·s⁻²,车体中心的最大垂向加速度为1.56 m·s⁻²,均满足要求。计算求得车体中心的横向平稳性指标为1.9,垂向平稳性指标为1.8,都小于《高速动车组整车试验规范》规定的平稳性指标2.5的标准值,说明CRH5托车的平稳性是一级,旅客的乘坐舒适度满足要求。

同时对CRH5拖车直线运行时的轮重减载率、脱轨系数等稳定性指标进行分析,计算结果和评价标准如表1所示,说明CRH5拖车在直线上有足够的稳定性。

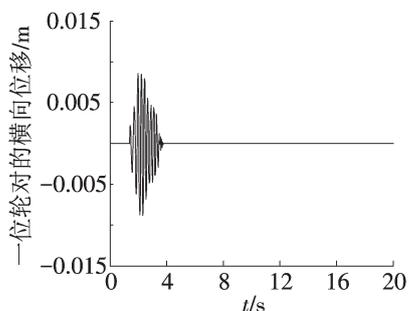


图5 发散时轮对的横向位移

Fig.5 The lateral displacement of the divergence

表1 计算结果和评定标准

Tab.1 The results of calculation and the evaluation standard

参数	计算结果最大值	评价标准
轮重减载率	0.53	准静态 ≤ 0.65 动态 ≤ 0.65
脱轨系数	0.67	≤ 0.8

2.3 曲线通过能力计算结果及分析

曲线通过能力主要以CRH5拖车的脱轨系数、轮重减载率和轮轴横向力等稳定性指标进行评价^[8]。线路选用1 200, 2 000, 2 500 m三种不同半径曲线, 曲线分别为50 m直线-350 m缓和曲线-300 m圆曲线-350 m缓和曲线-50 m直线组成, 施加德国高速低干扰轨道激励, 考虑了轨距、高低、方向不平顺, 运行速度为250 km·h⁻¹。利用ADAMS/Rail软件仿真, 曲线计算结果如表2, CRH5拖车以一定速度运行时, 轮轴横向力、轮重减载率和脱轨系数随着曲线半径的增大而减小。CRH5拖车的稳定性指标满足《高速动车组整车试验规范》的评定标准, 说明CRH5拖车具有良好的曲线通过性能。

表2 曲线分析结果

Tab.2 The results of curve analysis

曲线半径/m	超高值/mm	轮轴横向力 最大值/kN	轮重减载率最大值	脱轨系数最大值
1 200	120	50.17	0.56	0.73
2 000	130	48.94	0.53	0.71
2 500	150	47.12	0.52	0.69

3 结束语

通过前述计算分析, 可以得出结论如下:

1) 根据原型参数仿真知, CRH5拖车的非线性稳定运行临界速度为481.8 km·h⁻¹, 远大于最高运行速度和最高试验速度, 说明CRH5拖车具有足够的运行稳定性。

2) 由直线上运行分析可知, CRH5拖车的横向和垂向最大振动加速度、平稳性指标均符合标准, 说明CRH5拖车乘坐舒适性满足要求, 平稳性等级为一级。

3) 由曲线上运行分析可知, CRH5拖车的轮轴横向力、轮重减载率、脱轨系数的最大值均低于标准值, 说明CRH5拖车具有良好的曲线通过性能, 并且具有足够的安全性能。

仿真的结果只是用来分析改进CRH5动车组拖车的动力学性能, 与实际运行还有一定的差异, 主要表现在线路激扰情况复杂, 应进行现场试验与仿真结果进行对比分析, 进而更加准确评价CRH5动车组拖车动力学性能, 这一点值得进一步研究。

参考文献:

- [1] 张卫华. 动车组总体与转向架[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011: 143-152.
- [2] 王福天. 车辆系统动力学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1994: 200-212.
- [3] 严隽彗, 付茂海. 车辆工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008: 215-222.
- [4] 马卫华, 罗世辉, 宋荣荣. 横风对高速动车组直线运行动力学性能的影响[J]. 重庆工学院学报: 自然科学版, 2009, 23(3): 1-5.
- [5] 杨震, 王效堂, 练松良, 李再伟. 合武客专无砟轨道曲线段不平顺谱分析[J]. 华东交通大学学报, 2010, 27(5): 11-16.
- [6] 陈鑫, 练松良, 李再伟. 轨道交通无砟轨道不平顺谱的拟合与特性分析[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(1): 46-51.
- [7] 李芾, 安琪, 付茂海, 黄运华. 高速动车组转向架的发展及其动力学特性综述[J]. 铁道车辆, 2008, 46(4): 5-9+47.
- [8] 孙勇捷, 王伯铭, 张海霞. 弹性架悬式驱动装置对高速动车组动力学性能的影响[J]. 电力机车与城轨车辆, 2012, 35(1): 14-18.

(下转第 101 页)

The Drazin Inverses of Block Matrices with Zero Generalized Schur Complement

Liu Xifu

(School of Basic Science, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Considering the block matrix $M = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$ with the generalized Schur complement $S = D - CA^p B = 0$, we present several formulations for the Drazin inverses of M under some conditions.

Key words: Drazin inverse; block matrix; generalized Schur complement

(上接第 16 页)

Dynamic Performance Analysis of CRH5 Trailer

Liu Yu, Wang Zili

(State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract: Using multi-body dynamics software ADAMS / Rail, this paper establishes the dynamic simulation model of CRH5 trailer. Through a track incentive on the straight track, it analyzes the critical speed and the body's largest lateral and vertical acceleration. By analyzing derailment coefficient, axles load reduction rate and axle lateral force in the curves, it assess CRH5 trailer's curving capacity. The results show that the CRH5 trailer has sufficient operational stability, security, comfort and good curving performance.

Key words: CRH5 trailer ; dynamic analysis ; critical speed ; operational stability