

一种 100km/h A 型城轨车辆运行动力学分析

山丽 张博 于连震

(中车大连机车车辆有限公司 辽宁 大连 116021)

摘要: 100km/h 速度等级 A 型城轨车辆的动力学性能符合 GB 5599-1985 标准相关要求。利用 SIMPACK 多体动力学分析程序对车辆的平稳性和稳定性进行了综合性的优化分析, 选择合理的悬挂参数匹配, 使其具有较高的临界速度和较好的小曲线通过能力。并通过线路动力学试验验证, 为全面评价城轨车辆动力学性能提供了科学依据。

关键词: 城轨车辆; 动力学; 计算分析; 试验; 性能

0 引言

现代车辆在设计阶段都会进行动力学分析和试验, 使得车辆性能不断提升。随着我国城市化进程的不断加快, 城市轨道交通在各大城市得到了广泛应用, 随着运行速度的提高, 对车辆的总体性能要求也更高, 对地铁车辆的设计提出了更高的要求。本文拟对 100km/h 速度等级 A 型城轨车辆动力学性能进行分析, 相信会为我国城市轨道交通车辆的发展提供参考。

1 该型城轨车辆转向架基本结构

转向架采用无摇枕转向架, 分为动车转向架和拖车转向架两种形式。两种转向架结构基本相似。构架型式为箱形低合金钢板焊接结构、H 型构架。承载方式采用 Z 字形牵引杆牵引装置和两系悬挂装置。每个转向架有左右 2 个空气弹簧、2 个二系垂向液压减振器和 1 个横向液压减振器, 并安装有抗侧滚扭杆。另外, 二系悬挂还设有高度阀、差压阀以及非线性横向止档。一系悬挂由钢弹簧和轴箱转臂节点等组成, 每个轴箱安装有 1 个一系垂向液压减振器。车轮型式采用整体辗钢车轮、LM 磨耗型踏面。两种转向架的主要区别是动车转向架上安装有驱动传动装置, 而拖车转向架上没有安装。

2 动力学计算分析

在设计转向架时, 充分考虑车辆运行的平稳性和舒适性, 可通过降低簧间质量与簧下质量、选择适当的轴箱纵向及横向定位刚度来提高车辆运行的平稳性和舒适性。与西南交通大学机车车辆研究所合作, 利用 SIMPACK 多体动力学分析软件对车辆的悬挂系统进行综合性的优化分析, 选择合理的悬挂参数匹配, 使其具有较高的临界速度和较好的小曲线通过能力。根据车辆的特点建立的车辆系统动力学计算模型如图 1 所示。

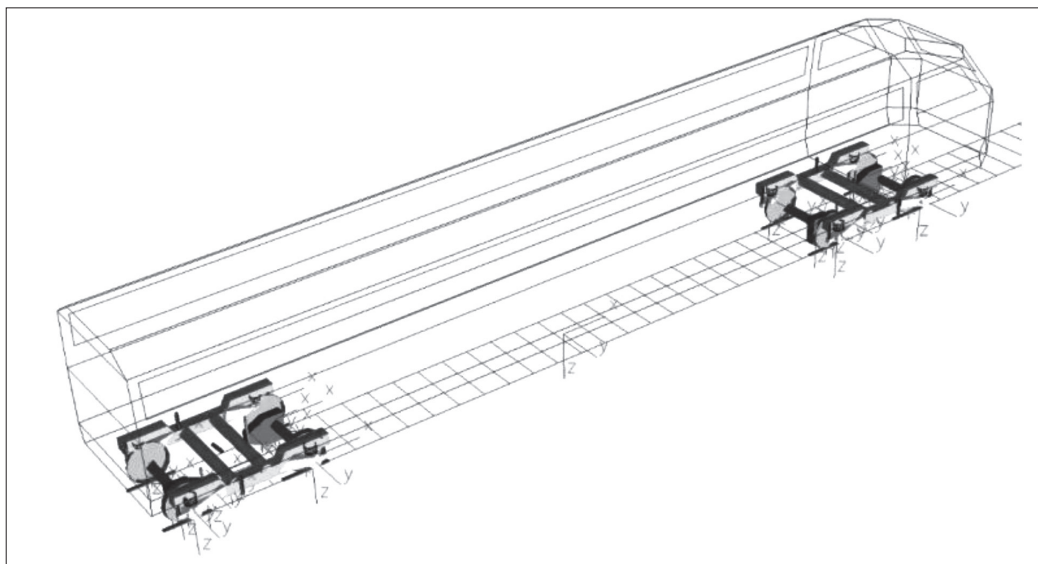


图 1 动力学计算模型

2.1 程序功能

SIMPACK 软件功能较强大, 国际上采用 SIMPACK 程序的铁路企业也为数众多。SIMPACK 软件主要功能模块有运动学和动力学模块、轮轨模块、汽车模块、用户模块、控制模块、有限元模块以及梁模块。

用 SIMPACK 软件进行机车车辆仿真时常用到以下功能: 构建适合中国铁路的轨道和车辆型面的各种前处理功能; 进行额定力计算、线性分析与积分求解的强大求解功能; 获得评价机车车辆性能的各种结果的强大后处理功能; 建模窗口的 3D 功能; 直接调用 CAD 数据功能; 与 FEM 程序的接口可以处理弹性体的问题, 实现多柔体动力学分析功能; 与 MATLAB 程序的接口使得程序可以方便地处理多体系统的控制问题, 实现对机电系统仿真的功能。

2.2 平稳性

为保证车辆的平稳性, 转向架的设计应充分考虑其扭转刚度, 保证车辆的抗蛇行性能, 同时也应充分考虑轮轨间的动态作用, 降低轮轨间横向作用力, 使钢轨的磨损最小。

对于地铁车辆的运行平稳性计算, 采用美国五级谱, 轨道具有 4 个方向的随机不平顺。运行平稳性指标为: 在正常交付使用的轨道上, 车辆在各种载荷和速度工况下, 其运行平稳性的指标符合 UIC513 标准的要求。对于 AW0 与 AW3 之间的任意车辆载荷和正常运行速度工况, 垂向及横向舒适度指标 ≤ 2.5 。当经过 150000km 的运行后, 垂向和横向舒适度指标 ≤ 2.75 。

GB 5599-1985 中规定, 客车运行平稳性采用车体上心盘 (转向架中心) 偏离横向 1000mm 处地板面上的横向平稳性指标和垂向平稳性指标来表示。校核计算时均以 GB 5599-1985 中规定选取测量点为准。计算结果见图 2。计算结果表明: 在 AAR5 级线路上, 车辆横向、垂向平稳性指标在 100km/h 及以下速度优秀; 在 AAR6 级线路上, 横向、垂向平稳性指标优秀。

2.3 蛇行稳定性

地铁车辆转向架的蛇行稳定性是系统本身的固有属性, 也是决定车辆能否安全运行的关键因素。在不同速

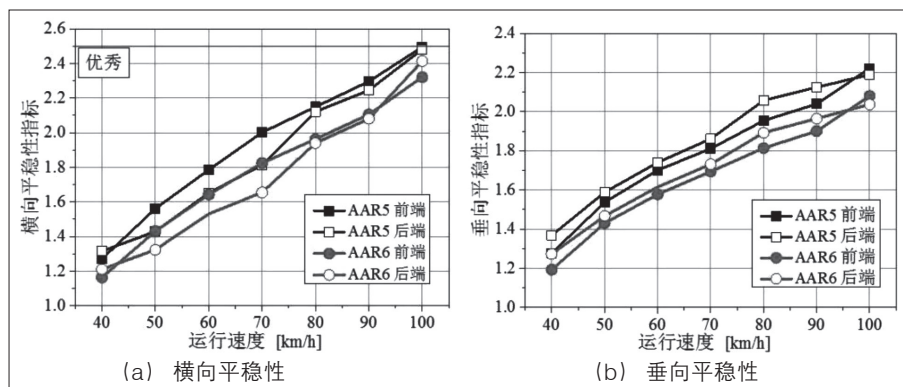


图 2 运行平稳性评估

度下通过观察车辆系统各刚体的横向位移振动收敛情况来判定非线性车辆系统的蛇行临界速度, 如图 3 所示。

由于车辆非线性稳定性临界速度与车辆的初始状态有关, 因此应当在最不利的初始状态下进行非线性稳定性临界速度计算。车辆失稳状态属于最不利的初始状态。首先, 通过给定轮对一个较大的横移量, 并让车辆以较高的速度在理想平直道上运行一段时间, 车辆将发生蛇行失稳。然后, 将计算得到的车辆最终失稳状态设置为其初始状态, 在此初始状态下, 让该车辆以一定速度 v 在理想平直道上运行, 通过逐渐降低车辆运行速度, 观察失稳初始状态的车辆各刚体在减速运动中的振动收敛过程。

经过计算, 新轮新轨匹配下, 当速度达到 177km/h 时, 车辆可以从失稳状态迅速收敛到平衡位置, 因此车辆的稳定性满足时速 100km 及 10% 裕量的要求, 即满足 110km/h 最高试验速度要求 (图 4)。

车辆以 110 km/h 运行时, 车轮磨损前、后导向轮对的收敛情况如图 5 所示。结果表明: 轮缘磨损使踏面锥度接近 0 后, 蛇行振动频率显著降低, 收敛变慢, 稳定性临界速度由 177km/h 降低到 125km/h, 满足列车 100km/h 最大运行速度和具有 10% 裕量 (110km/h) 稳定运行的要求。

2.4 曲线通过安全性

车辆运行安全性指车辆在最高运行速度范围内, 在

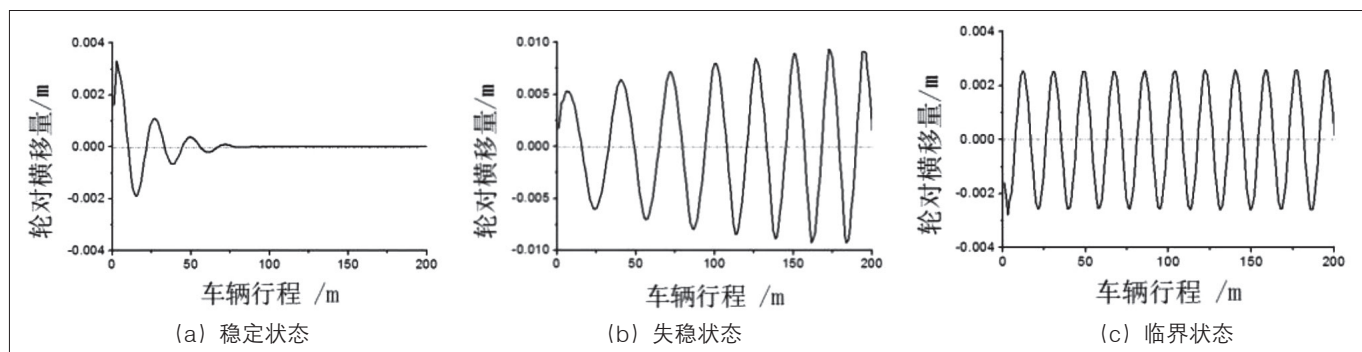


图 3 车辆蛇行运动稳定性示意图

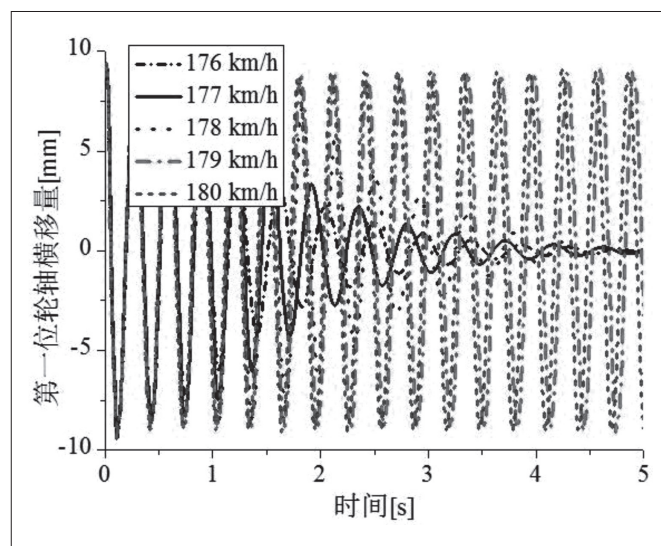


图4 非线性稳定性临界速度判断图

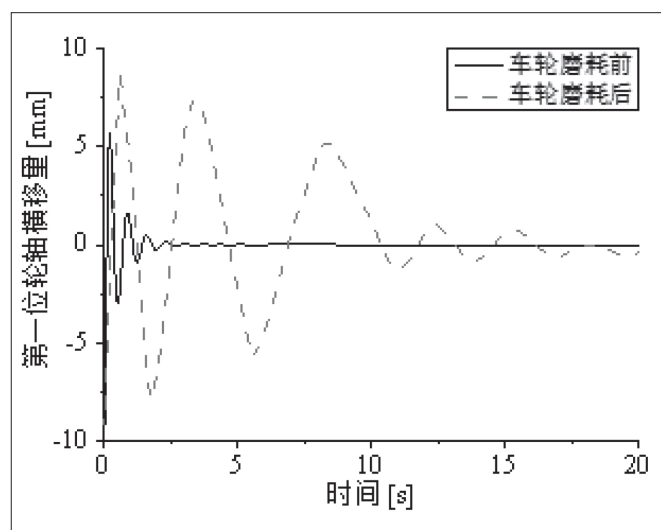


图5 导向轮对横向振动收敛情况

规定线路运行时,不会产生脱轨、倾覆等性能。为了具有良好的曲线通过安全性,就需要车辆在以不同的速度通过不同半径的曲线时,克服复杂的轮轨作用力,各项动力学指标都符合 GB 5599-1985 标准要求。

根据提供的线路条件,计算车辆在不同曲线线路下

的安全性,计算中考虑轨道的随机不平顺激励,采用美国五级谱。经过计算,新轮和磨损轮状态下,车辆的轮轴横向力、轮轨垂向力、脱轨系数、轮重减载率和倾覆系数等安全性指标均未超过 GB 5599-1985 标准规定的限度值,表明该车辆具有良好的曲线通过安全性。对该型车辆而言,同等曲线通过工况下,拖车重车通过性能最好,其次为动车重车,再次为动车、拖车空车。

3 动力学线路试验验证

在首列车完成 5000km 跑合后,根据地铁车辆的编组方式和车辆类型,选择其中 1 辆动车和 1 辆拖车作为被试车辆,在空车和重车正常工况下以及空车和重车空气弹簧故障工况下,在业主线路上进行运行安全性和运行平稳性试验。最高试验速度 110km/h,试验结果表明车辆运行的安全性和平稳性指标符合评定标准 GB 5599-1985 的要求。

车辆在正线线路上运行 150000km 后,选择其中 1 辆动车和 1 辆拖车作为被试车辆,在空车正常工况下,在业主线路上进行平稳性试验,最高试验速度 100km/h,试验结果表明运行平稳性指标为优级,符合评定标准 GB 5599-1985 的要求。

4 结语

经过动力学分析计算和动力学线路试验,充分验证了 100km/h 速度等级 A 型城轨车辆的安全性、平稳性和舒适性。到目前为止,该车辆已经过 800000km 运营考核验证,受到业主和乘客的一致好评。

参考文献:

- [1] 罗仁,石怀龙.铁道车辆系统动力学及应用[M].成都:西南交通大学出版社,2018.
- [2] 严隽髦.车辆工程[M].北京:中国铁道出版社,1999.
- [3] 鲍维千.内燃机车总体走行部[M].北京:中国铁道出版社,2004.