

研
究
开
发半体悬式与弹性架悬式 200 km/h
高速动力车动力学性能对比分析

王 勇, 陈 康

(西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 四川 成都 610031)



作者简介: 王 勇 (1988-), 男, 硕士研究生, 从事车辆系统动力学方面的研究。

摘 要: 以半体悬式和弹性架悬式 200 km/h 高速动力车为研究对象, 分别建立了动力学分析模型, 进行 2 种方案的动力学性能对比。结果表明二者均能满足运行速度 200 km/h 的运行要求, 且对动力车曲线通过性能影响不大。但采用半体悬式方案时, 动力车非线性临界速度高于采用弹性架悬式方案, 其垂向平稳性指标比弹性架悬略差, 直线运行平稳性能则优于弹性架悬方案。

关键词: 高速动力车; 动力学性能; 半体悬; 弹性架悬

中图分类号: U260.11

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2012)02-0007-03

Contrast and Analysis of Dynamic Performance of 200 km/h High-speed Power Cars with Semi-body and Flexible Suspensions

WANG Yong, CHEN Kang

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

Abstract: Dynamic models of 200 km/h high-speed power cars with semi-body and flexible suspensions were established respectively, the dynamic performance of which was compared and analyzed. It was showed that both of the suspension mode satisfied the speed requirement of 200 km/h and affected car's curve passing performance little, and the high-speed power car with semi-body suspension had higher nonlinear critical speed and better straight riding quality but worse vertical riding comfort.

Key words: high-speed power car; dynamic performance; semi-body suspension; flexible suspension

0 引言

当运用速度高于 140 km/h 时, 机车牵引驱动装置悬挂方式大致可分为体悬、半体悬和弹性架悬 3 种; 当运用速度低于 140 km/h 时, 也可以考虑采用驱动装置轴悬式方案。文献[1]分别对轴悬式、架悬式、全体悬式和半体悬式驱动装置进行了分析研究, 结果表明半体悬和全体悬悬挂方式可以满足高速的要求, 并具有较高的轮轨作用力。我国自主研发的“蓝箭”、“中华之星”高速动力车转向架驱动装置均采用了半体悬悬挂方式, 使驱动制动单元大部分质量在垂向和横向均置于二系簧上, 从而减小了转向架簧间质量、簧下质量和转向架回转转动惯量, 提高了动力车高速运行时的平稳性, 减轻了轮轨作用力^[2]。我国 140~160 km/h 直流传动机车上普遍采用驱动装置刚性架悬的全悬挂方式。近年来弹性架悬式悬挂方式开始在我国 160 km/h

交流传动提速机车上得到运用, 有文献认为, 这种悬挂方式可以提高机车的稳定性, 降低横向轮轨力, 改善机车的横向性能和电机工作条件, 减小机车对线路和参数变化的敏感性^[3]。

全体悬式、半体悬式高速动力车与弹性架悬式高速动力车相比, 结构复杂, 成本较高, 维护困难。本文以半体悬式高速动力车为研究目标, 建立了半体悬式和与之相应的弹性架悬式动力车模型, 并对它们的动力学性能进行了对比分析。

1 高速动力车模型

在 SIMPACK 多系统动力学环境中分别建立了半体悬式与弹性架悬式高速动力车模型。高速动力车由车体、构架、轮对、空心轴、驱动制动单元、牵引拉杆、一系悬挂装置、二系悬挂装置及驱动制动单元的吊挂装置组成。半体悬式高速动力车驱动制动单元一端通过橡胶关节与车体相连接, 另一端通过 2 根吊杆及橡胶

收稿日期: 2011-09-11

关节吊挂在构架的端梁上,约2/3的驱动制动装置质量吊挂在车体上,1/3的质量吊挂在构架上。200 km/h弹性架悬式高速动力车以“中华之星”半体悬式高速动力车为原型,将轴距由3 000 mm增大到3 200 mm,将驱动制动单元与车体的连接点,改为通过橡胶关节与构架的中间横梁相连接,其他部分保持不变。

模型中采用的轮轨关系为JM3磨耗型踏面与60 kg钢轨匹配,1/40轨底坡,轮轨摩擦系数取0.25,并考虑了悬挂装置阻尼的非线性特性,如一系垂向减振器、二系横向、垂向和抗蛇行减振器及电机横向耦合减振器。

2 非线性稳定性

稳定性计算方法主要有线性(根轨迹法)和非线性2种。这里只计算与实际较接近的非线性临界速度。计算方法是截取一段50 m的美国AAR4级线路作为轨道激励,让高速动力车以一定的速度通过不平顺后,在平顺的直线轨道上继续运行,通过观察动力车各刚体横向振动是否能够快速收敛来判断动力车是否失稳。

动力车在不同运行速度下第三轮对横向振动的极限环振幅见图1,运行速度470 km/h时第三轮对横向位移的时间历程见图2。从图中可以看出,半体悬式高速动力车的非线性临界速度能够达到470 km/h,弹性架悬式高速动力车的非线性临界速度为320 km/h。

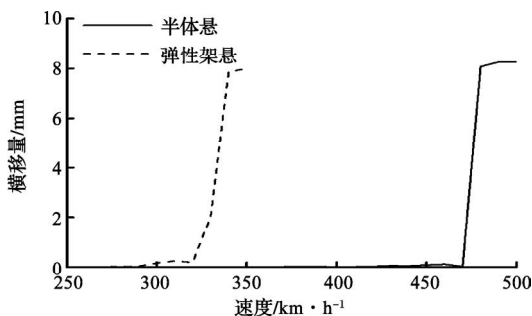


图1 极限环幅值

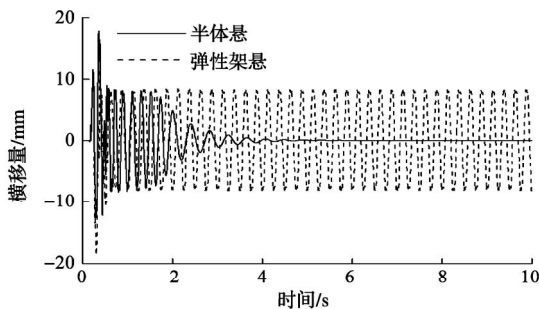


图2 时间历程 (470 km/h)

3 直线运行平稳性对比

高速动力车的平稳性主要以车体司机室的横向和垂向平稳性指标来衡量。模拟计算时,选取德国高干扰线路,弹性路基,计算速度范围为100~250 km/h。

3.1 平稳性指标对比

图3和图4分别为前、后司机室垂向平稳性指标。从图中可以看出,随着速度的增加,半体悬式与弹性架悬

式高速动力车的垂向平稳性指标整体上呈现增加的趋势,半体悬式高速动力车的前司机室垂向平稳性指标大于弹性架悬式高速动力车。后司机室垂向平稳性指标在速度100~160 km/h和225~250 km/h时,半体悬大于弹性架悬;160~225 km/h时,弹性架悬略大于半体悬。

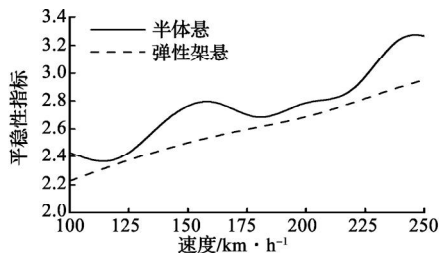


图3 前司机室垂向平稳性指标

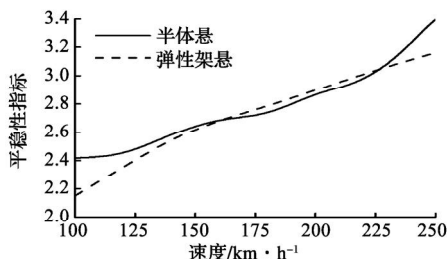


图4 后司机室垂向平稳性指标

图5和图6分别为前、后司机室横向平稳性指标。从图中可以看出,随着速度的增加,半体悬式与弹性架悬式高速动力车的横向平稳性指标也在增加,增加的幅度降低。运行速度在100~140 km/h时,半体悬式高速动力车的前司机室横向平稳性指标大于弹性架悬式高速动力车;速度大于140 km/h时,半体悬式高速动力车的前司机室横向平稳性指标就比弹性架悬的小。对于后司机室横向平稳性指标,半体悬式小于弹性架悬式。

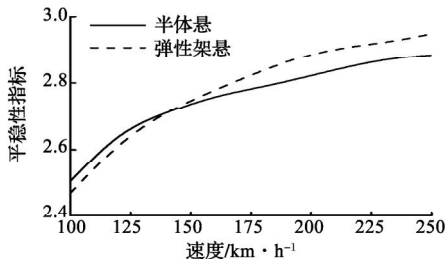


图5 前司机室横向平稳性指标

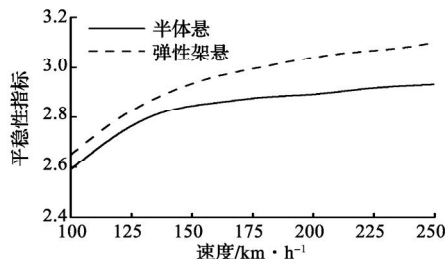


图6 后司机室横向平稳性指标

3.2 车轴横向力对比

当车轴横向力过大时有可能引起扩轨掉道,车轮的横向力较大且垂向力过小时,则可能引起车轮脱轨。图7是高速动力车车轴横向力最大的第四

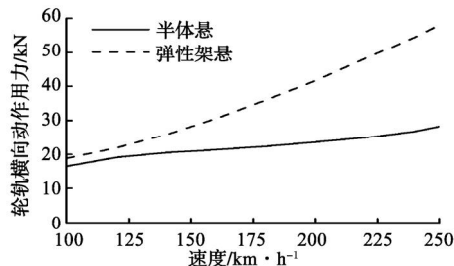


图7 第四轮对车轴横向力 (3σ值)

轮对车轴横向力变化趋势图。从图中可以看出, 随着速度的增加, 半体悬式高速动力车的轮轨横向作用力增加缓慢, 但弹性架悬式高速动力车的轮轨横向作用力增加较快, 并且在数值上远大于半体悬式高速动力车。

图 8 为高速动力车垂向力最大的第四轮对垂向作用力变化趋势图。随着速度的增加时, 垂向力动态部分也在增加, 在 100~150 km/h 之间时, 半体悬式高速动力车的垂向作用力略大于弹性架悬式高速动力车; 在 150~250 km/h 之间时, 半体悬式高速动力车的垂向轮轨作用力要低于弹性架悬式高速动力车。

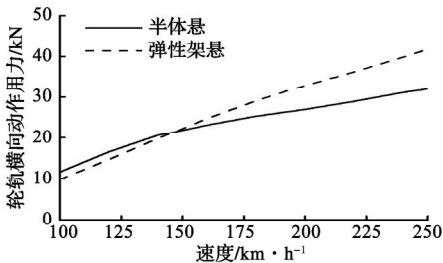


图 8 第四轮对垂向作用力 (3 σ值)

4 曲线通过性能对比

高速动力车的曲线通过性能主要由导向力、外轮垂向力、轮轴横向力、轮重减载率及脱轨系数等动力学指标评价。

分析曲线通过时, 不同曲线半径、超高、通过速度都对动力学性能有较大的影响, 在仿真时, 分别采用小、中、大 3 种半径曲线进行计算。高速动力车的运行速度分别为 70 km/h、120 km/h 和 160 km/h; 圆曲线半径分别为 300 m、800 m 和 1 600 m; 曲线外轨超高 120 mm, 直线 30 mm, 缓和曲线 120 m, 圆曲线 200 m, 线路激励为德国高干扰谱。

表 1 为高速动力车在不同的运行工况下曲线通过性能的计算结果。通过对比分析表明, 随着曲线半径的增大, 曲线通过的各项指标都有所减小, 曲线通过性能提高。弹性架悬式高速动力车的曲线通过性能略优于半体悬式高速动力车。

表 1 曲线通过性能计算结果

曲线半径/m	悬挂方式	导向力/kN	外轮垂向力/kN	轮轴横向力/kN	轮重减载率	脱轨系数
300	半体悬	-38.6	117.1	-20.2	0.252	-0.329
300	弹性架悬	-37.1	116.2	-18.5	0.240	-0.320
800	半体悬	-17.4	114.8	-20.4	0.228	-0.150
800	弹性架悬	-18.6	114.4	-18.5	0.214	-0.161
1 600	半体悬	-11.9	112.1	-18.7	0.195	-0.105
1 600	弹性架悬	-11.4	111.3	-17.7	0.185	-0.101

体悬式与弹性架悬式高速动力车通过 1 600 m 曲线时, 前司机室的横向加速度如图 9 和图 10 所示。通过对图 9 和图 10 进行对比分析, 可以看出 2 点: 一是半体悬式高速动力车的横向加速度频率较高; 二是半体悬式高速动力车的横向加速度最大值比弹性架悬式高速动力车的大。

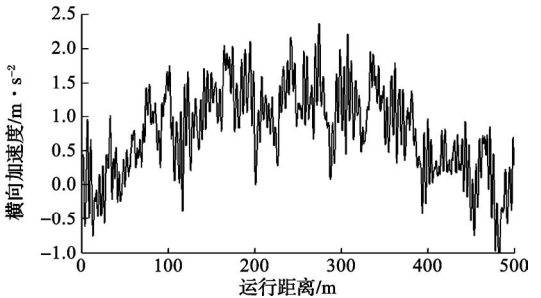


图 9 半体悬式高速动力车前司机室横向加速度

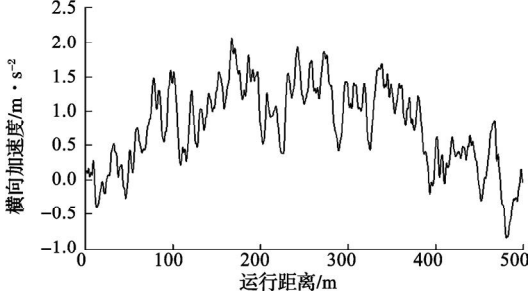


图 10 弹性架悬式高速动力车前司机室横向加速度

5 结语

① 驱动装置由半体悬改为弹性架悬后, 高速动力车的非线性临界速度降低较多, 但完全能够满足运行速度 200 km/h 的要求。

② 由于半体悬式高速动力车的驱动装置与车体的垂向连接刚度较大, 受驱动装置垂向振动的影响, 垂向平稳性指标比弹性架悬的大。垂向轮轨作用力在运行速度较低时差别不大, 但运行速度较高时, 半体悬式高速动力车的垂向轮轨作用力比弹性架悬的明显降低。

③ 半体悬式高速动力车的横向平稳性指标和横向轮轨作用力在运行速度较低时差别不大, 但运行速度较高时, 半体悬式高速动力车的横向平稳性指标和横向轮轨作用力都比弹性架悬有了明显的改善。

④ 通过曲线时, 两动力车的通过性能差别不大, 弹性架悬式高速动力车的曲线通过性略优, 横向加速度值与振动频率也相对较小。

以上模拟计算, 弹性架悬式高速动力车的计算模型是在半体悬式高速动力车模型的基础上进行简单的修改而完成的, 与实际的弹性架悬式动力车有一定的偏差, 需更进一步地进行研究分析。

参考文献:

[1] 金鼎昌, 罗 赞, 黄志辉. 牵引电动机悬挂方式对机车或动车动力学性能的影响 [J]. 铁道学报, 1994, 16(S1): 43-47.
[2] 钟文生, 张红军. 高速轮对空心轴式转向架驱动制动单元系统分析 [J]. 西南交通大学学报, 1999(1): 93-98.
[3] 罗 赞, 罗世辉, 金鼎昌. 采用弹性与刚性架承式驱动装置的机车横向性能比较 [J]. 机电传动, 2005(3): 41-43.
[4] 景维钟. 几种体悬式高速动力车转向架驱动装置述评 [J]. 内燃机车, 1995(12): 31-35.
[5] 陈 康, 金鼎昌. 高速动力车的平稳性分析 [J]. 西南交通大学学报, 1995(1).
[6] 王福天. 车辆系统动力学 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2004.