

文章编号: 1005-0523(2007)02-0044-04

后轮对独立回转新型转向架的曲线通过性能研究

罗文俊, 雷晓燕

(华东交通大学, 江西 南昌 330013)

摘要: 利用力(矩)的平衡原理, 分析了新型转向架曲线导向性能提高的机理. 在文献[2]的基础上对最佳的一系列纵向刚度布置的新型转向架和传统转向架车辆的曲线性能进行了仿真对比. 研究结果表明新型转向架的曲线导向性能优于传统转向架.

关键词: 转向架; 独立回转车轮; 曲线通过

中图分类号: U270.1

文献标识码: A

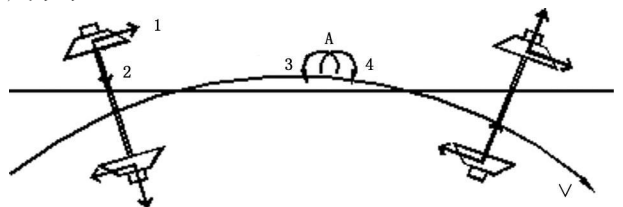
由于列车横向失稳和通过曲线轨道都会导致轮轨间的强烈相互作用, 引起严重的轮轨磨耗, 甚至造成对线路的严重危害, 因此横向稳定性和曲线导向性都是设计机车车辆所必须研究的重要问题, 但二者对转向架悬挂参数的要求通常是相互矛盾的. 本文介绍的新型转向架为无摇枕转向架, 前轴车轮为常规轮对, 后轴车轮可独立回转, 以实现转向架的自导向. 在文献[2]中作者利用典型的线性稳态模型对新型转向架(后轮对独立回转转向架)的曲线导向能力进行了分析, 结果表明新型转向架的曲线导向性能主要取决于其前轴的一系列纵向定位刚度, 而后轴的一系列纵向定位刚度对导向性则影响较小. 据新型转向架的这一特点, 提出对转向架一系列纵向刚度进行前后非对称布置, 得出了最佳的一系列纵向刚度布置方案.

1 新型转向架曲线导向性能提高机理

1.1 轮缘非接触时提高性能的机理

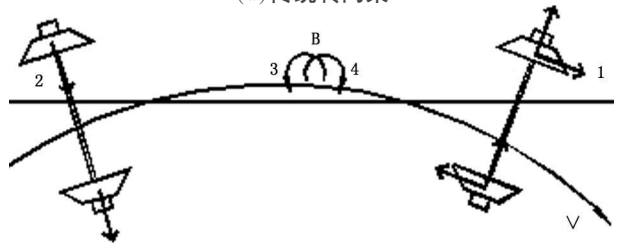
在不考虑轮缘接触的计算结果中, 转向架的力(力矩)平衡如图1所示. 即当作用于后轴的纵向蠕滑力和前轴同方向作用时, 也就是说当后轴横向位移与前轴一样在纯滚动的位移外侧时, 由于新型转向架后轴没有纵向蠕滑力作用, 因此与纵向蠕滑力

有关的力矩降低了, 即与其平衡的横向蠕滑力(横向力)相关的力矩也降低了, 其结果, 横向力和冲角都减小了.



1 纵向蠕滑力; 2 横向力; 3 横向力产生的力矩;
4 纵向力产生的力矩; A 力矩平衡

(a) 传统转向架



1 纵向蠕滑力; 2 横向力; 3 横向力产生的力矩;
4 纵向力产生的力矩; B 力矩平衡

(b) 后轮对为独立旋转车轮的新型转向架

图1 非轮缘接触时轮对受力图

由图1(a)和图1(b)对比可知, 图1(b)中由于后轮对不存在纵向蠕滑力, 使得纵向力产生的力矩减小, 根据力矩的平衡可知, 横向力将会减小.

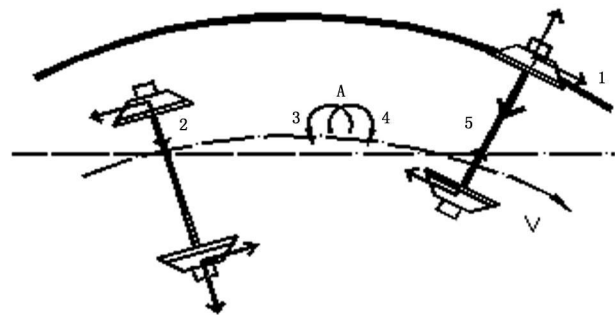
收稿日期: 2007-01-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(50568002), 华东交通大学校立基金(06ZKJC02)

作者简介: 罗文俊(1979-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 讲师, 硕士。

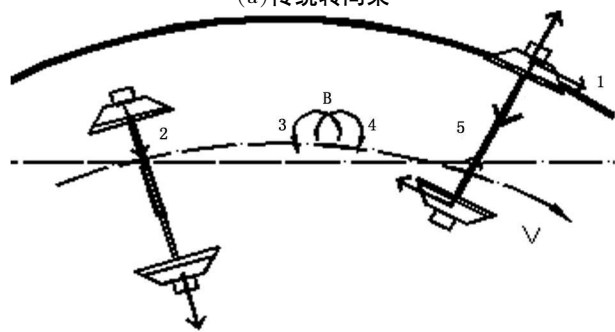
1.2 轮缘接触时提高性能的机理

在曲线上,前轴的曲线外侧车轮的轮缘与钢轨接触时,车轮受到的横向力,是由巨大的钢轨反力(轮缘力)提供的.过去的理论是以尽可能避免轮缘接触为前提的,但必须考虑假设轮缘接触的情况.图2中显示出新型转向架轮缘力减小了.



1 纵向蠕滑力;2 横向力;3 横向力产生的力矩;
4 纵向力和轮缘力产生的力矩;5 轮缘力;A 力矩平衡.

(a)传统转向架



1 纵向蠕滑力;2 横向力;3 横向力产生的力矩;
4 纵向力、轮缘力产生的力矩;5 轮缘力;B 力矩平衡.

(b)后轮对为独立旋转车轮的新型转向架

图2 轮缘接触时轮对受力图

由图2(a)和图2(b)对比可知,图2(b)中由于后轮对不存在纵向蠕滑力,使得纵向力产生的力矩减小,根据力矩的平衡可知,横向力将会减小.如果与后轴纵向蠕滑力的力矩作用方向相反,则轮缘力的增减也相反.其后轮对纵向蠕滑力的方向与前轮对相反,是因为当前轮对与轨道侧面接触时,后轮对的横向位移靠近轨道中心一侧,由于比纯滚动的位移还要向内侧偏移,所以纵向蠕滑力成为负值,这一点在本文后面的图5中得到验证.

2 车辆通过曲线的非线性模型

2.1 车辆模型

为定量分析和比较新型转向架和传统转向架车辆通过曲线的性能,本文研究的车辆模型是由两个转向架组成,前转向架为传统转向架,后转向架为新

型转向架,前后转向架的参数相同.对研究车辆进行了动力学建模,车辆模型为具有14个自由度的非线性模型,包括4个轮对、2个转向架、1个车体共7个刚体,每个刚体均考虑横移和摇头运动两个自由度.线路由直线、缓和曲线和圆曲线连接而成,并只考虑其规则几何形位变化.

2.2 线路的描述

轨道是由一段直线、缓和曲线和圆曲线组成的线路,长度(或弧长)分别为50m、50m、60m,曲率范围为 $[0, \frac{1}{R}]$.取外轨超高为0.12m,轨距为1.435m,车辆速度为平衡通过速度.

2.3 运动方程

本文研究的新转向架的后轮对是有公用轴的独立旋转车轮,其车辆在结构形式上与传统客车基本上一致.需要指出的是,据文献[3]对于独立旋转车轮转向架,由于其左右车轮的角速度不同,在独立旋转车轮的运动方程中左右车轮的点头方程是独立的,而本文未考虑轮对竖向振动.因此,有公用轴独立旋转车轮客车在曲线上的物理模型与传统客车基本相似,由于其轮轨之间不存在纵向蠕滑力^[4-5],即令传统客车的运动微分方程中纵向蠕滑力等于零,可得到其运动微分方程.采用Johnson非线性蠕滑理论来模拟轮轨蠕滑力,将轮缘力模拟为一根线性弹簧轨条的弹力,同时考虑重力刚度和重力角刚度的影响,分别建立单个轮对、转向架和车辆通过曲线轨道时的横向运动方程.运动方程在文献[2]中已经给出,本文不再赘述.

3 传统转向架、新型转向架仿真结果对比分析

文献[2]中运动方程是二阶微分方程,在求解时首先用替换法将二阶微分方程化为形如 $y=f(x, y)$ 的一阶微分方程.这样运动方程即为28维一阶微分方程组.可写成统一的格式为:

$$\begin{cases} \dot{y}_j = f_j(t, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, \dots, y_{27}, y_{28}) \\ y(t_0) = y_0 \end{cases}$$

($j=1, 2, \dots, 27, 28$)

采用MATLAB语言编写计算程序来实现仿真,对研究车辆进行了通过曲线轨道时的动力学特性分析.对比结果如下:

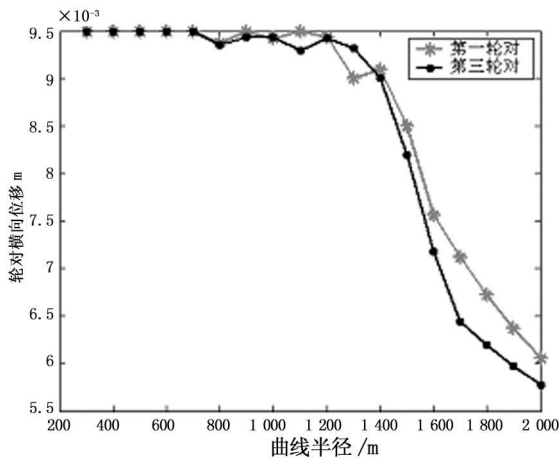
3.1 轮对横向位移的比较

轮对横向位移随轨道曲线半径变化的仿真结果如图3所示,图中显示了新型转向架和传统转向架的轮对横向位移的比较.

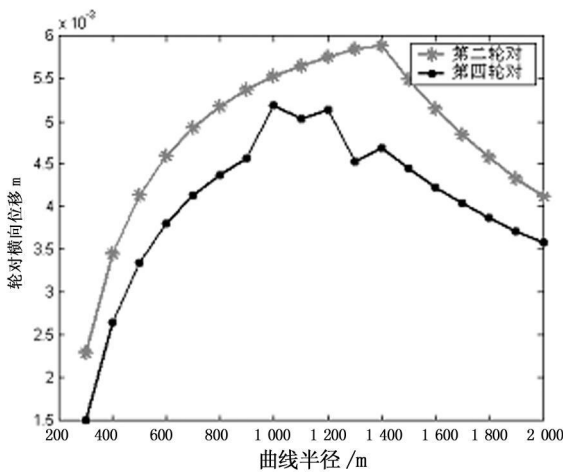
由图3可以看出在每个转向架的前轮对(研究

车辆的第一、三轮对)不能避免轮缘侧向接触的曲线半径 $R=800\text{m}$ 以下的小半径曲线的区域中,新型转向架的前一轮对(研究车辆的第三轮对)的横向位移较传统转向架没有很大的区别,此区域中两转向架后轮对(研究车辆的第二、四轮对)的横向位移有所差别,新型转向架明显好于传统转向架.在曲线半径 $R=800\text{m}$ 至 1200m 之间的区域中,由于前轮对的轮缘与钢轨侧向接触与不接触交替出现,属于不稳定区域,此时由于车轮与轨道的接触的非线性特性,只能通过参数的变化取几种状态,因此计算时的结果不稳定.在前轮对不会和钢轨侧面接触的 $R=1200\text{m}$ 以上的区域,可以看出无论是前轮对还是后轮对的横向位移新型转向架明显好于传统转向架.

3.2 轮对冲角的比较



(a) 第一、第三轮对的横向位移



(b) 第二、第四轮对的横向位移

图3 轮对的横向位移与曲线半径关系曲线

车辆通过曲线轨道时,希望轮轨产生的磨损越小越好,因此希望轮对能处在径向的位置上,即轮对的冲角为零.因此轮对的冲角也是车辆通过曲线轨道横向运动特性分析的一个重要物理量之一.转向

架通过曲线轨道时,前轮对的冲角要大于后轮对的冲角,因此本文只对比两个转向架前轮对的冲角.图4显示了新型转向架和传统转向架前轮对冲角的比较.

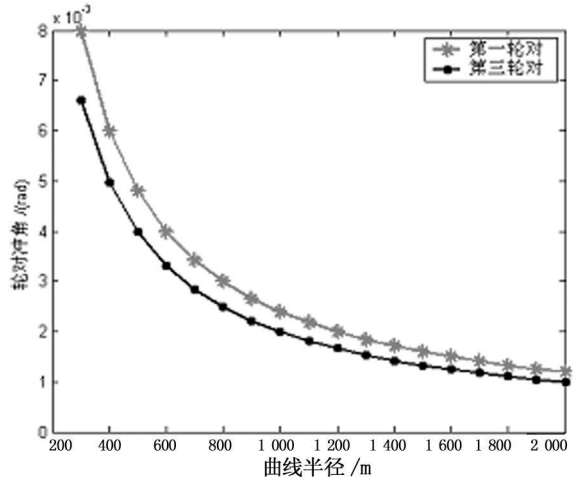


图4 第一、第三轮对的冲角与曲线半径关系曲线

由图4可以看出无论是在轮轨侧向接触的半径区域,还是在其他区域,新型转向架前轮对(第三轮对)的冲角位移明显小于传统转向架前轮对(第一轮对)的冲角位移.这与文献[2]稳态曲线通过性能分析时所得的结果是一致的.

3.3 轮轨横向力的比较

以前的车辆转向架由于重视稳定性而忽略导向性,由此带来的弊病是在曲线段轮轨间产生巨大的横向力,且由于此力导致轨道和车轮的磨损,产生噪音和增大运行阻力.这些弊病与成本、舒适性、环境保护、节省能源等方面均相关联,是亟待解决的问题.

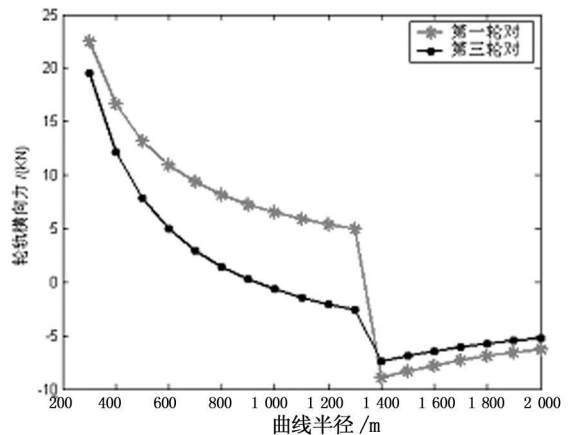


图5 第一、第三轮对的轮轨横向力与曲线半径关系曲线

题.因此车辆通过曲线轨道时横向力的大小是判断转向架导向性好坏的重要指标之一.而且车辆在通过曲线轨道时转向架前轮对的横向力远远大于后轮对的横向力,所以本文只是对比了两种转向架前轮

对的轮轨横向力.

由图5可以看到在前轮对不能避免轮缘侧向接触的曲线半径 $R=800\text{m}$ 以下的小半径曲线的区域中,能够得到新型转向架的横向力显著降低的结论.这时传统转向架后轮对(第二轮对)的横向位移靠近轨道中心一侧由于比纯(图3b),滚动的位移还向内侧移动,故纵向蠕滑力(切向力)成为负值.从本文图2的受力图中可得出,前轴轮缘接触钢轨时且后轴纵向蠕滑力为负值时,新型转向架的横向力降低.这在数值分析中再次得到确认.

3.3 脱轨系数的比较

为了鉴别车辆脱轨的安全性,就要分析车辆脱轨时的受力情况,并找出临界条件.评定脱轨的指标很多,目前我国主要采用轮对的脱轨系数来衡量.为了衡量两种转向架的曲线导向性能,本文将两种转向架前轮对的脱轨系数进行了对比.

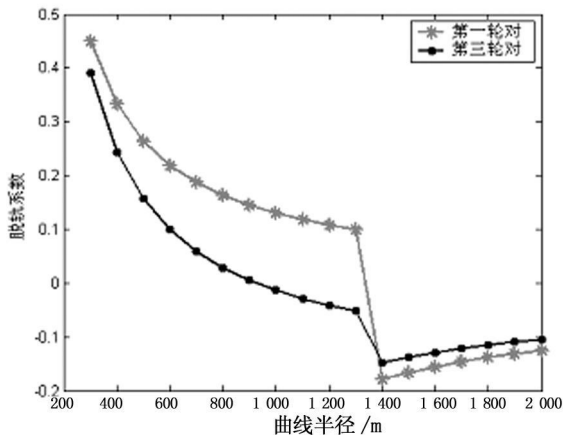


图6 第一、第三轮对的轮轨脱轨系数与曲线半径关系曲线
由图6可以明显地看出在整个数值模拟的半径范围内,新型转向架前轮对(第三轮对)的脱轨系数

明显小于传统转向架的(第一轮对).

4 结束语

由于传统的自导向型径向转向架受一系定位刚度的限制,当轨道曲线半径较大时可以改善曲线通过的导向性能,而当轨道曲线半径较小时则难以达到较理想的性能^[6].迫导向型转向架的曲线通过性能对机构精度、机构参数以及曲线半径等参数依赖性较大.主动导向型转向架虽然可以达到理想的性能,但控制系统本身使轮轨系统更为复杂^[7],故障率也会提高.因此本文所研究的新型转向架在曲线轨道上应用的前景将会很好.

参考文献:

- [1] 王福天. 车辆系统动力学[M],第2版.北京:中国铁道出版社,1983.
- [2] 罗文俊,雷晓燕.后轮对独立回转新型转向架曲线通过性能的研究[J].中国铁道科学,2006,(2):94-97.
- [3] 黄运华,李芾,傅茂海.独立旋转车轮转向架横向动力学研究[J].西南交通大学学报,2002,37(3):254-259.
- [4] 张丽平,李芾.独立旋转车轮轮轨蠕滑率研究[J].中国铁道科学,2002,23(4):18-23.
- [5] 池茂儒,王开文等.磁流变耦合轮对的研究[J].中国铁道科学,2002,23(6):55-59.
- [6] ILLINGWORTH R, POLLARD M G. The use of steering axle suspensions to reduce wheel and rail wear in curves [J]. ImechE, 1982, 196:379-385.
- [7] POWELL A J, WICKENS A H. Active guidance of railway vehicles using traction motor torque control [J]. VSD, 1996, 25 (suppl):573-584.

Study on Curving Negotiation Capability of The New Type Bogie with Independently Rotating Wheels in Rear Axle

LUO Wen-jun, LEI Xiao-yan

(East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: By equilibrant theory study has been carried out for the causation to improve the oriented capability of the new type bogie to passing through the curve line. The oriented capability of between the new type bogie with the optimum schemes of longitudinal rigidity arrangement in the primary suspension and traditional bogie is analyzed and compared based on literature [2]. It is shown that the oriented capability of the new type bogie is better than traditional bogie.

Key words: Bogie; independently rotating wheels; curving capability.