DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2014.02.004

文章编号:1005-0523(2014)02-0044-04

非对称轮轨外形下踏面等效斜度计算

毛 鑫,沈 钢

(同济大学铁道与城市轨道交通研究院,上海 201804)

摘要:踏面等效斜度是衡量轨道车辆曲线通过性能和导向性能的重要指标,它同时关系到车辆的行车安全和乘客乘坐舒适性(或货物的完整性),现今有诸多标准对此作出限定,也有多位研究者就其计算方法给出了不同的意见[1]。然而这些计算方法各有许多缺陷,且尚未在非对称的轮轨踏面外形下得以应用。此次研究基于一系列等效斜度的计算方法,提出了一种近似于UIC-519传统积分方法[2]的改进积分方法,这种积分方法具有较高的计算精度和比传统积分法更高的计算效率。此外,又将该方法应用于CRH高速列车等的非对称等效斜率计算中,研究了非对称情况下踏面等效斜度的影响因素及影响程度。

关键词:等效斜度;非对称;UIC-519;简化算法

中图分类号:U211.5 **文献标志码**:A

1 算法描述

图1给出了自由轮对蛇行运动模型,由图可见:自由轮对各个时刻的蛇行运动状态与左右轮径差、轮对角速度 ω_0、半轨距 b 等参数相关,在一般情况下,由于轮对踏面的外形呈非线性,且轮轨接触几何对轮轨关系影响非常大,不同踏面形成不同轮轨接触几何关系[3],因此在求解轮对蛇行运动时应采用离散的数值积分方法。

对自由轮对的蛇行运动作分解,推导数值积分迭代式前,作如下假设:

1) 在任一给定的微小时间段 Δt 内,轮轴旋转角速度 ω_0 和摇头角速度 $\dot{\psi}$ 均为常数,由此可得:轮对质心前进速度(v)也为常数。

2) v 的方向时刻保持与轮轴方向垂直,且轮对始终处于纯滚动状态。

3) 设定轮对的逆时针转向和右向横移为其正方向,如图1所示。

若已知轮对在前一时刻的状态:ψ_{n-1} , y_{n-1} , $\dot{\psi}$ 和 v ,则通过上述假设可知:

Δt 时间内,轮对通过的转角 $\Delta\psi = \dot{\psi}\Delta t$

由此得出 $\psi_n = \psi_{n-1} + \Delta\psi = \psi_{n-1} + \dot{\psi}\Delta t$

轮对通过的横向位移由两部分组成:①平移运动产生的位移△y_1,②旋转运动产生的牵连位移△y_2。其中,平移运动产生的位移 $\Delta y_1 = v\sin(\psi_{n-1})\Delta t \approx v\Delta t\psi_{n-1}$

旋转运动产生的牵连位移 $\Delta y_2 = s\sin(\Delta\psi) \approx s\Delta\psi = v\Delta t\Delta\psi$

产生的总位移 $\Delta y = \Delta y_1 + \Delta y_2 = v\Delta t\psi_n$

由此得出 $y_n = y_{n-1} - \Delta y = y_{n-1} - v\Delta t\psi_n$

将:$\dot{\psi} = \dfrac{v_{r,n-1} - v_{l,n-1}}{2b} = \dfrac{\omega_0(r_{r,n-1} - r_{l,n-1})}{2b}$ ($(r_{r,n-1} - r_{l,n-1})$ 为左右轮径差)代入式,再与式联立,并用 dt 代替 Δt ,可得迭代序列组

收稿日期:2013-12-12

作者简介:毛鑫(1989—),男,在读硕士,研究生,研究方向为车辆工程(轨道交通);沈钢(1962—),男,教授,博士,研究方向为车辆工程。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\begin{cases}\psi_n=\psi_{n-1}+\dfrac{\omega_0\Delta r}{2b}\mathrm{d}t\\ y_n=y_{n-1}-v\psi_n\mathrm{d}t\end{cases}$$

通过以上分步积分公式,经由MATLAB科学计算软件可得到一系列初始横移量下自由轮对蛇行运动曲线,得到蛇行运动曲线后可据此算出蛇行运动波长,轮对踏面等效斜度λ_e可通过Klingel公式获得

$$\lambda_e=\left(\frac{2\pi}{L_w}\right)^2 br_0$$

从而可得横移量—等效斜度曲线。式中:b为半轨迹;r为滚动半径;$\triangle r$为滚动半径差;L_w为轮对蛇形波长。

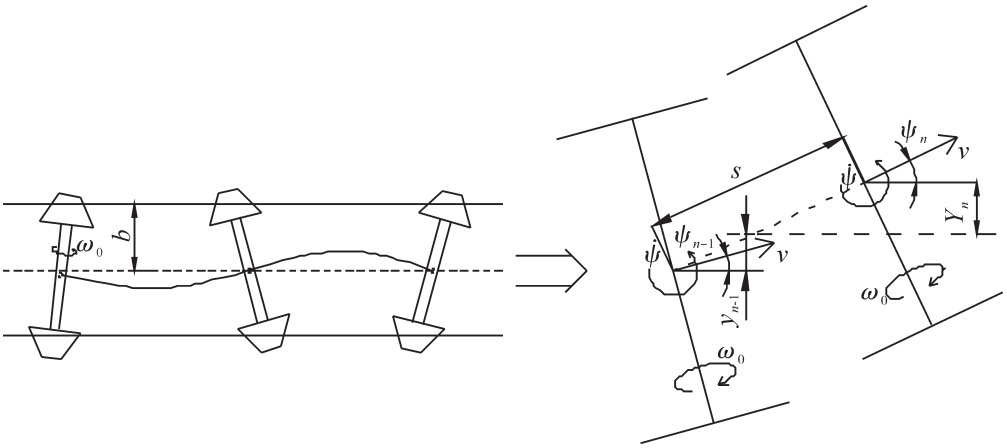


图1　自由轮对蛇行运动模型

Fig.1　Wheelset hunting motion model

2　算法验证

该算法的可行性可通过与Simulink时域积分模型进行对比阐明。Simulink模型可根据如下微分方程组建立:

$$\begin{cases}\dot{\psi}=\dfrac{\omega_0(r_r-r_l)}{2b}\\ \dot{y}=\omega_0 r_0\psi\end{cases}$$

为加快计算效率,仅以轮轨外形对称情况下的计算结果进行对比(该验证过程易推广到轮轨外形非对称的情况下),得到时域积分下得到的横移量—等效斜度曲线与分步积分曲线对比图(见图2),可见两者的结果非常接近,满足工程精度要求,故新算法的可行性得到验证。

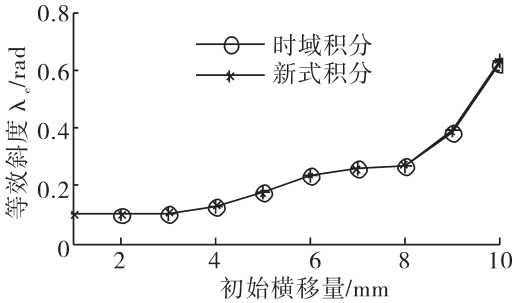


图2　两种积分方法的结果对比

Fig.2　Result comparison of two integration methods

3　不同轮轨外形条件下等效斜度的计算

仿真条件分为以下4种:

1)对称踏面与对称轨道的组合。踏面外形数据分别来自实测的单侧LM型踏面(LM)、锥形踏面(TAPER)、货车踏面(TRUCK)、高速列车踏面(CRH)和地铁车辆踏面(METRO)。轨道外形数据均采用最为常用的60轨外形。

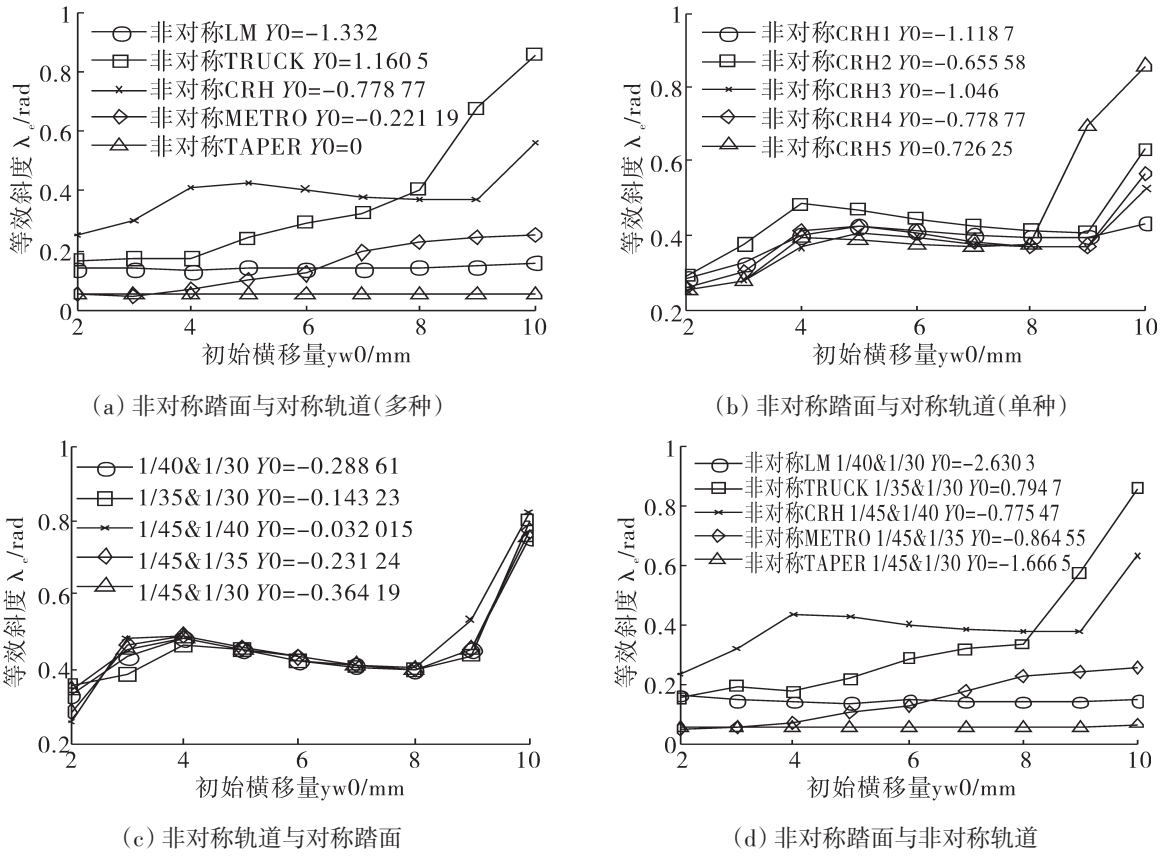
2)非对称踏面与对称轨道的组合。踏面数据选取多种实测轮对左右踏面数据(图3a)和单种型面踏面的多组数据(图3b),轨道外形数据仍均采用60轨数据。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3）非对称轨道与对称踏面的组合（图3c）。对称踏面取单侧实测CRH踏面数据。非对称轨道为假想轨道，通过在原有60轨基础上改变轨底坡得到，左右轨轨底坡组合有：1/40&1/30，1/35&1/30，1/45&1/40，1/45&1/35，1/45&1/30。

4）非对称踏面与非对称轨道的组合（图3d）。踏面组合类型与情形2相同，轨道设置与情形3相同。

（以下各图中*Y*0表示表示零位偏移量）



（a）非对称踏面与对称轨道（多种）　（b）非对称踏面与对称轨道（单种）

（c）非对称轨道与对称踏面　（d）非对称踏面与非对称轨道

图3　不同轮轨外形条件下等效斜度的计算

Fig.3　Equivalent conicity under different circumstances

仿真结果分析：

1）对比图3（b）中单种踏面的情况和图3（c）可知：非对称轨道外形对等效斜度的影响不大，非对称踏面外形组合对等效斜度的影响较大，对于对称情况下等效斜度变动范围较大的踏面尤为如此。

2）对比对称情况下和图3（d）可知：非对称情况下自由轮对的等效斜度通常会高于对称情况下自由轮对的等效斜度，当两侧踏面等效斜度均处于弱非线性（近似线性）区域时，非对称踏面和对称踏面的等效斜度相差不大，当至少一侧踏面等效斜度处于强非线性区时，两种情形下的等效斜度相差较大。

3）对比图3（a）中多种踏面的情况和图3（d）可知：在非对称踏面外形和非对称轨道外形的综合作用下，踏面的等效斜度会以非对称踏面所获得的等效斜度为基准值进行上下波动，波动的幅值与两侧轨道不对称程度有关。图3中还可见：有些踏面的小横移段曲线对轨道不对称度敏感，有些踏面的大横移段曲线对轨道不对称度敏感。

4）总体上看，无论怎样的组合，基本趋势为：等效斜度随初始横移量的增大而增大，在踏面的强非线性区尤其如此。较大的等效斜度意味着较强的曲线通过能力和较差的横向稳定性。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4　结论和展望

1）相较于对称的轮轨配置,非对称轮轨踏面配置(特别是非对称的踏面配置)往往能够增大轮对踏面的等效斜度,从而增强轮对曲线通过能力,但也降低了轮对的横向稳定性。

2）由于轨道外形的变动对非对踏面等效斜度的影响较小,且轨道线路条件通常难以改变,故在车辆上采取非对称配置时,可主要考虑轮对踏面的组合。

3）由于不同的轮对踏面组合会使等效斜度在很大的范围内变动,故在实际应用非对称配置时,仿真结果仅提供一定可信度的参考,建议进行实车测试。

4）在已知线路条件的情形下可以进一步展开研究,探究何种踏面外形组合能够获得较好的运行性能。

参考文献:

[1] 任利惠,谢纲,沈钢等.踏面等效斜率计算方法的比较[J].城市轨道交通研究, 2011(6):9-13.

[2] EN 15302 Railway Applications-Method for Determining The Equivalent Conicity [s]. CEN,Brussels,2007.

[3] 周新建,王琦,王成国,等. 不同车轮踏面对高速轮轨关系的影响研究[J].华东交通大学学报, 2011,28(2):14-18.

[4] 杨国桢. 磨耗形踏面轮轨接触几何参数的研究[J]. 中国铁道科学, 1980:83-95.

[5] 严隽耄,王开文. 锥形及磨耗形踏面轮对的空间轮轨接触几何约束特点[J]. 铁道学报, 1985:9-17.

[6] CAI Y,CAO Z,SUN H,et al. Effects of the dynamic wheel-rail interaction on the ground vibration generated by a moving train[J]. International Journal of Solids and Structures,2010,47(17):2246-2259.

[7] Pearce T G. Derivation of conicity and contact angle parameter from rolling radius difference and contact angle differences graph [R]. Derby: British Rail Research,1993.

[8] 李艳,张卫华,池茂儒,等. 车轮踏面外形及轮径差对车辆动力学性能的影响[J]. 铁道学报, 2010,32(1):104-108.

[9] JURY A, ENRICO M, STEFANO F. Dynamic simulation of railway vehicles: wheel/rail contact analysis[J]. Vehicle System Dynamics, 2009,47(7): 867-899.

Equivalent Conicity Calculation for Unsymmetrical Wheel and Rail Profiles

Mao Xin, Shen Gang

(Institute of Railway and Urban Rail Transit, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Equivalent conicity is an important index for evaluating the guide performance and curve-steering ability of the rail vehicle. And it also concerns comfort and safety of the passengers (or integrity of the goods) on the train. There have been many standards specifying this index in rail-vehicles and different scholars have presented their own ways to calculate the index. So far, the methods for calculating the equivalent conicity have more or less some advantages, which have never been applied to unsymmetrical conditions before. Based on calculation methods of equivalent conicity, this paper proposes an improved integration method similar to UIC-519, which has higher calculation preciseness and efficiency. This method is then applied for calculating the equivalent conicity of unsymmetrical wheel and rail profiles in CRH high speed vehicles, thus illustrating the relevant influencing factors of equivalent conicity under unsymmetrical conditions.

Key words: equivalent conicity; unsymmetrical; UIC-519; simplified algorithm

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net