

文章编号:1005-0523(2011)05-0063-03

车轮与曲线钢轨接触的有限元分析

卢奕志,刘永明

(同济大学铁道与城市轨道交通研究院,上海 201804)

摘要:分析车轮与曲线钢轨接触的应力和变形,借助于Hypermesh有限元软件,建立了磨耗后的轮轨全接触和轮轨轮缘贴靠的轮轨三维弹塑性接触有限元模型。并应用Marc软件进行了充分的非线性弹塑性接触计算,整理并分析接触位置,以及接触Mises应力数据。此外根据计算结果,全面分析了接触斑和Mises应力的变化规律,得出了轮轨在不同工况下的接触及磨耗情况,根据轮缘贴靠模型的计算数据得出:机车通过曲线时增大横向力会增大外轮的磨耗面积及磨耗速度,但会有效减缓内轮的磨耗程度等重要结论。为解决轮轨磨耗问题提供有利依据。

关键词:轮轨磨耗;有限元;弹塑性;接触应力

中图分类号:U213.2

文献标志码:A

如今,铁路运输业目前正朝着高速和重载两方面发展,轮轨系统的工作状况日趋复杂,因此,轮轨磨耗问题受到极大重视。轮轨磨耗是一个极为复杂的问题,受轮轨作用力、轮轨材质等许多因素的影响。为减缓轮轨的磨耗,世界各国的学者从轮轨相互作用关系出发,对轮轨磨耗问题进行了长期大量的研究。

张焱等^[1]用三维弹性体非Hertz滚动接触应力计算程序CMEF,计算分析了轮轨摩擦系数、轴重对轨头内弹塑性接触应力场的影响。张军等^[2]采用了参变量变分原理及基于此原理的有限元参数二次规划法来求解轮轨接触问题,研究了标准轮轨型面间的法向接触力受牵引力的影响情况,接触斑和粘着区的面积随轴重和轮径影响情况。瑞典的Telliskivi等^[3]利用多体动力学和有限单元法对磨耗状态下的轮轨接触问题进行了分析研究。

几十年来轮轨接触理论的研究尽管取得了较大的进展,但它们还不能用来解决轮轨接触过程中产生的某些问题,如轮轨接触过程中产生的两点接触、弹塑性变形和残余变形累积过程等。随着数值仿真技术的不断发展,有限单元法(FEM)在工程分析中得到了广泛的应用。有限单元法不受半空间假设和线弹性材料的限制,能够比较精确地处理轮轨间两点接触和材料塑性变形问题,弥补了传统方法的不足。一些研究人员已经开始使用有限元技术来分析轮轨接触问题,可以预见,有限单元法将成为研究轮轨相互作用关系问题的主要途径。

目前,大多数应用有限元方法研究轮轨磨耗问题是基于直线轨道上的。然而,列车经过曲线时,轮轨磨耗较为严重。所以车轮与曲线钢轨接触的有限元分析,对解决磨耗问题具有重要意义。

1 轮轨模型的建立

1.1 利用Hypermesh软件建立模型

首先,将导入的旧轮旧轨的线条与新轮新轨拟合,并且调整到需要研究的两个位置:旧轮旧轨全接触,旧轮旧轨轮缘贴靠(旧轮旧轨指的是磨耗后的轮轨,轨道为 $120\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的线路,轮轨磨耗程度约为25%,新轮新轨指的是没有磨耗的标准轮)。

然后,建立二维有限元网格。接触区网格采用1 mm边长的正方形网格,轮轨各有两层接触区网格。

收稿日期:2011-08-25

作者简介:卢奕志(1987—),男,硕士研究生,研究方向为交通运输管理。

由于轮轨外侧轮缘和踏面接触,接触区呈弧形,为了保证轮轨接触区的网格结点对应,在划分轮轨外侧接触区网格时采用辐射式划分方法^[4]。

要将轨的二维网格通过拉伸形成三维网格,首先需要将要拉伸的二维网格复制并移动到要拉伸到的位置,通过两个面网格间的拉伸方可生成体网格。由于轮对属于回转体,所以需要旋转的方法,旋转的时候应按照轮和轨上的单元结点对应的原则,通过计算得出每一份需要旋转的角度=单元边长/轮对半径^[5],再乘以总的份数才可以旋转成三维单元。

要得到一个完整的轮轨三维有限元模型可以将之前画好的一半模型通过镜像的方法补全。至此,三维网格就基本完成了,之后进行模型检查,可以通过“face”检查三维网格里面是否有不连续的单元或者相邻很近但没有连上的结点。此时的检查距离不宜选择过大,一般选择0.01~0.1 mm为好^[6]。

2 Marc计算参数的设定

2.1 材料属性的定义

本次研究采用了等效塑性应变的方法,要将轮轨外侧的一排单元的弹性模量设成0.01 MPa,其余部分的材料弹性模量设成205 000 MPa,摩擦系数统一设置成0.3^[7]。

2.2 接触的定义

接触体的定义:由于是研究轮缘及踏面的磨耗问题,所以第一接触体应定义为轮对,摩擦系数仍为0.3。接下来定义接触表,由于研究的是轮轨接触问题,所以接触类型应定义为TOUCHING,接触容差定义为0.05~0.1(根据不同工况,在保证计算收敛的情况下尽可能小),偏移系数定为0.9,摩擦系数仍为0.3^[8]。

2.3 边界条件的定义

- 1) 将轨底面所有结点 x, y, z 三个方向进行全约束。
- 2) 在轴左右两侧定义两个分别为115 000 kN的垂向力作为轴重。

2.4 施加横向载荷

在轮对内侧分别施加0, 5, 10 t轴端横向力,方向为沿着曲线圆心向外,可均匀分部在几个点上。

3 计算结果分析

3.1 旧轮旧轨和旧轮新轨全接触模型在相同工况下的比较

主要对旧轮旧轨和旧轮新轨在相同工况下(全接触位置0, 5, 10 t横向力),接触位置和Mises应力的比较。

1) 不同横向力时外轮外轨接触位置的比较。旧轮旧轨的接触斑出现在轮缘根部及踏面上的一大部分区域,而旧轮新轨的接触斑仅出现在轮缘根部两侧的两个条状区域;且接触斑面积比旧轮旧轨小很多。还可以发现,在加大横向力的同时轮缘根部的接触区都在逐渐增大,这说明机车在高速通过曲线时主要磨耗位置发生在轮缘根部;横向力越大磨耗区域越大。

2) 0 t横向力时轮轨Mises应力的比较。由计算数据得,新轨的外轮最大应力达到1 490 MPa,内轮的最大应力达到了675 MPa,而旧轨的外轮最大应力只有670 MPa,内轮的最大应力只有569 MPa。所以得出结论:当没有横向力时,新轨外轮的最大应力比旧轨大一倍以上,内轮的最大应力也比旧轨要大,且外轮最大应力位置在轮缘部位。旧轨时外轮的应力比较分散,踏面上也承担了一部分应力,而旧轮新轨时的外轮应力比较集中,踏面上的应力很小,这就说明当旧轮在新轨上运行时外轮轮缘根部附近磨耗比较严重,磨耗一定时间后踏面部分逐渐接触,承担应力,此时就是旧轮旧轨的配合,轮缘根部和踏面同时磨耗,应力较小,磨耗速度也大大降低了。

3) 5 t横向力和10 t横向力时轮轨Mises应力比较。纵向比较新轨模型的应力可看出10 t横向力时比5 t横向力的最大应力要小,在其他工况都相同时,5 t横向力时磨耗更严重(见图1)。而当列车通过曲线时速度越大对钢轨产生的横向力越大,这也说明了新轨时增大机车过曲线时的运行速度有助于减缓磨耗。

而旧轨模型所体现的结果正好相反,10 t横向力时的应力要比5 t横向力时的应力要大,这说明轮磨耗一定时间后在通过曲线时,减小机车运行速度有助于减缓轮轨磨耗。这一结论告诉我们,由于机车在线路上运行时基本90%以上的时间都是处于旧轮旧轨配合,所以在机车通过曲线时可以控制运行速度来达到减缓磨耗目的。

3.2 旧轮旧轨轮缘贴靠模型不同横向力的应力分析

应力最大位置普遍位于轮缘根部,且最大值变化不大,变化的是随着横向力的增大轮缘部分的应力增大,踏面部分的应力区域也随之增大,整体的平均应力也随之增大。所以机车在过曲线时磨耗的主要部位在轮缘根部,且机车速度越快横向力越大轮轨外侧磨耗越严重,而且磨耗面积也越大。

内轮的接触斑面积随着横向力的增大逐渐减小,且应力的分布更加平均,而且从5 t横向力加大到10 t横向力后,最大应力值减小较为明显,这说明随着横向力的增大内轮的接触区域变小,平均应力由于轮缘摩擦力增大抵消一部分轴重而减小。

4 结论

1) 全接触位置时,随着横向力的增大外轮轮缘根部的接触斑增大,旧轮与新轨配合时的踏面上的接触斑面积很小;旧轮与旧轨配合时,踏面上接触斑面积很大,且随着横向力的增大接触斑面积减小。新轨的轮缘根部磨耗较明显,旧轨的踏面磨耗较明显。

2) 接触位置时,在钢轨使用初期,因轮轨配合不适,接触面积偏小,接触压力过大,轮轨接触状态变化较大,钢轨处于剧烈磨耗阶段,由于轨头经过磨耗和塑性变形,轮轨廓形相互适应,接触斑面积变大,钢轨应力下降,轮轨接触状态变化趋于平缓,钢轨处于稳定磨耗阶段。

3) 根据全接触不同横向力下的新轨和旧轨的内外轮应力分析得出,新轨的磨耗速度比旧轨快,且外轮磨耗集中在轮缘根部附近,内轮磨耗在与轨顶接触的车轮踏面附近。

4) 根据旧轮旧轨轮缘贴靠模型的应力,机车通过曲线时增大横向力会增大外轮的磨耗面积及磨耗速度,但会有效减缓内轮的磨耗程度。

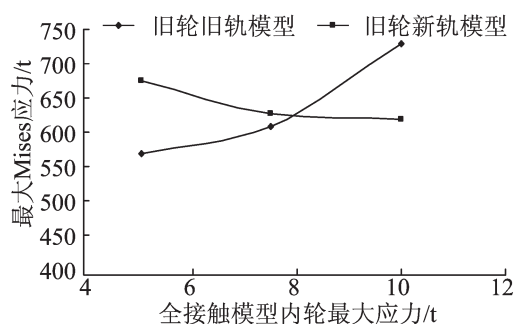


图1 全接触模型内轮最大应力图
Fig.1 Maximum mises stress of the all-contact wheel

参考文献:

- [1] 张焱,孔祥安,金学松. 轨头内弹塑性接触应力场与工况参数[J]. 铁道学报,1999,21(5):33-36.
- [2] 张军. 基于有限元法的轮轨蠕滑理论研究[D]. 大连:大连理工大学博士学位论文,2003:27-32.
- [3] TELLISKIVI T, OLOFSSON U. Contact mechanics analysis of measured wheel — rail profiles using the finite element method[J]. Journal of Rail and Rapid Transit, 2001, 21(5): 65-72.
- [4] 孙传喜,张军,王春艳,等. 地铁车辆曲线区段轮轨接触的有限元分析[J]. 大连交通大学学报,2008,29(4):45-49.
- [5] 唐崇义,王成国,金鹰. 基于三维动态有限元模型的轮轨磨耗数值分析[J]. 中国铁道科学,2008,29(4):134-139.
- [6] 马昌红,史生良,吴亚平. 轮轨接触应力的有限元分析[J]. 石家庄铁道学院学报,2006,19(3):88-93.
- [7] 卢萍,崔大宾,王宁. 轮轨接触应力数值计算方法[J]. 润滑与密封,2009,34(7):35-40.
- [8] 张澎湃,井秀海. 轮轨接触应力的有限元计算[J]. 铁道车辆,2007,45(6):66-71.

(下转第120页)

On Sports Leisure Preferences and Health Guide of Town Residents in Jiangxi

Du Guoru

(School of Physical Education, East China JiaoTong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to develop leisure sports in town, enrich cultural life of the sports in community, improving the life quality of town's residents in Jiangxi, China. Through investigation, the paper analyzes the developing status of leisure sports preferences in the central town residents, cognitive standard in leisure sports of citizens, content preferences of residents, and sports leisure time and selected place for residents. The sports development strategies of health guide for town residents are explored. To promote the development of culture and sports of community, promote a healthy and civilized way of leisure life, it is significant to develop the nationwide physical fitness campaign.

Key words: Jiangxi ; town residents; recreation and sports; preferences; health; guide

(上接第65页)

Finite Element Analysis of Contact between the Wheel and the Curve Rail

Lu Yizhi, Liu Yongming

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

Abstract: This paper mainly researches stress and deformation of wear v-wheel in contact with curve rail. It uses Hypermesh finite element method (FEM) software to establish three-dimensional FEM model of wheel-rail all contact and flange of wheel near the rail. Marc FEM software is used to calculate plastic contact and research the contact position and contact Mises stress. Based on the simulation results, we comprehensively analyze and conclude the laws the contact spot and Mises stress, and then obtain situations of abrasion and contacts of the wheel-rail in different working conditions. Results of model calculations show that when the locomotive increases, running speed through the curve will increase wear outer wear size and speed, but will effectively reduce the degree of wheel wear and other important conclusions. These help to solve the problems of wheel-rail wear to provide a favorable basis.

Key words: wheel-rail wear; FEM (Finite Element Method); elastic plastic; contact stress