

文章编号:1006—2106(2002)04—0026—02

# 轮载作用下轨道几何形位变化的研究

柳拥军\*

(北方交通大学 机械与电子控制工程学院, 北京 100044)

**提 要:** 轮载作用下轨道几何形位将发生变化,影响到行车安全。本文建立了轨道的有限元模型,讨论了轮载作用下轨距扩大、钢轨翻转以及扣件扣压力减小等问题。

**关键词:** 扣压力; 轨距; 轨底坡; 有限元

**中图分类号:** U211.5 **文献标识码:** A

轨道几何位形是指轨道各部分的几何形状、基本尺寸和相对位置。由于轨道对机车车辆起着支承和引导作用,其几何位形正确与否,对行车安全、乘坐的舒适度以及轨道设备的使用寿命和养护费用等有着重要的影响。扣件是维持轨道几何位形稳定的重要部件之一,扣件越强,扣压力越大,钢轨横移和翻转也越困难;反之,扣件越弱,扣压力越小,钢轨就越容易发生横移和翻转。列车通过时,受垂向轮载作用扣件扣压力将减小,减小幅度过大时将无法保证钢轨在轨枕上的稳定,危及列车运行安全。增大螺栓扭矩可以产生更大的初始扣压力,然而过大的初始扣压力会使轨底橡胶垫板因压缩过度而弹性减小,造成轨道垂向弹性的降低,同样对列车运行安全不利。本文在大型结构非线性分析软件 DELSAS 的基础上,利用有限元方法对轮载作用下扣压力、轨距以及轨底坡的变化规律进行了初步的研究。

## 1 轨道有限元模型

在建立有限元模型时,取轨道结构中轨枕以下的结构,轨枕以上的结构认为是无限大刚性体。为充分考虑多个扣件对钢轨翻转的影响,截取了四跨长度(2.174 m)的钢轨,含四根轨枕。有限元模型如图1所示。

为精确描述扣件扣压力,引入了有限元理论强的非线性接触理论。如图2所示,轨道上部结构由钢轨、扣件、螺栓、轨底橡胶垫板、轨枕、道床等构成,当螺栓旋紧后,螺栓预紧力传递到扣件上,形成扣件压力,钢

轨在扣压力的作用下被约束在轨枕上。

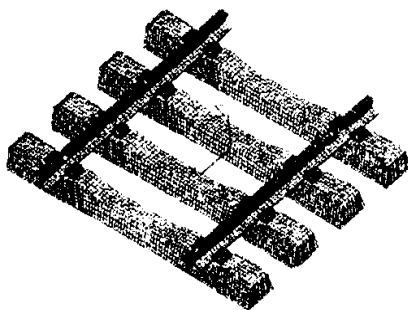


图1 轨道有限元模型

按照上述结构,在扣件与轨底的接触面上建立了接触单元。通过在接触单元之间添加适当的过盈量,模拟出螺栓旋紧时的伸长量,由伸长量转化为接触单元的两接触点对之间的扣件扣压力,因此这样描述的扣压力是随着钢轨位移的变化而变化的。为便于建模,以均匀弹性体模拟轨底橡胶垫板,在钢轨轨底与橡胶垫板之间也建立了接触单元。图2是弹条I型扣件、螺栓的结构以及局部有限元模型的放大图。计算所涉及的材料参数为,钢的弹性模量取  $210 \text{ GN/m}^2$ ;标号为500的混凝土轨枕的弹性模量取  $35 \text{ GN/m}^2$ ;轨底橡胶垫板弹性系数取  $110 \text{ MN/m}$ 。

## 2 轮载

当车辆在轨道上行驶时,车轮作用在钢轨上的力和弯矩如图3所示,横向力  $H$  和垂向力  $P$  都作用在轨

\* 收稿日期 2002-04-15 柳拥军 工程师 男 1976年月出生

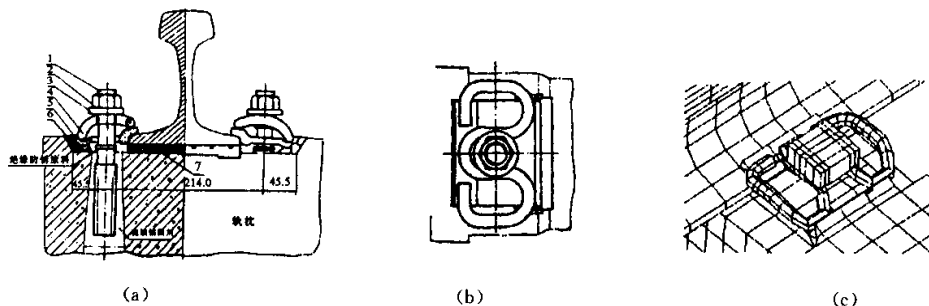


图2 弹条 I 型扣件与对应的有限元模型

头上。由于垂向力和横向力不是作用在钢轨截面的剪力中心上,因此都在钢轨上作用有扭矩,这扭矩将引起钢轨的扭转和轨距扩大。轮载产生的扭矩可按如下公式计算:

$$M_F = aH - eP \quad (1)$$

式中: $e$ ——垂直荷载偏心距;

$a$ ——横向力与钢轨截面剪力中心之间距离;

$b$ ——轨底离剪力中心之间的距离。

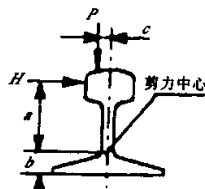


图3 钢轨上的力和弯矩

按照这种算法,取不同的垂向力和横向力就可以模拟出不同的运行工况下的轮对载荷条件。不失一般性,本算例中假定轨道采用弹条 I 型扣件,而列车运行于 1 000 m 半径的曲线上。由仿真计算得到的第一轮对作用于钢轨上的轮对载荷条件如表 1 所示。

表1 曲线上的载荷条件

垂直轮载(kN)		横向轮载(kN)		扭矩 kN·m	
左	右	左	右	左	右
96	119	16	24	1.2	2.6

### 3 计算结果与分析

#### 3.1 扣件扣压力

当轮载作用于钢轨时,初始扣件扣压力将出现减小的现象,本次计算证明了这一点。图 4、图 5 是不同初始扣压力下的扣压力损失,从图中可看出,初始扣压力越大,扣压力损失越少。同时受横向力方向的影响,

钢轨两侧扣件扣压力的减小幅度显著不同。

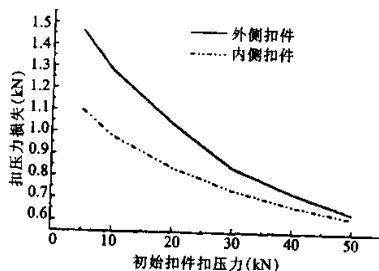


图4 左轨扣件扣压力变化

#### 3.2 轨距和轨底坡

保持表 1 中的轮载不变,改变初始扣压力可以得到不同的钢轨横移和翻转。图 6 是钢轨横移与扣压力的关系曲线。可以看到随着初始扣压力的增加,钢轨横移量呈减小的趋势。图 7 是钢轨翻转与扣压力的关系曲线。从图 7 中可看出,随着初始扣压力的增加,钢轨翻轨角也呈现减小趋势。

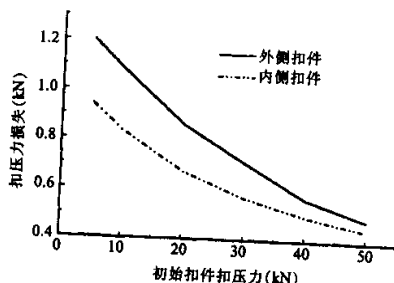


图5 右轨扣件扣压力变化

图 6 中,初始扣压力为 15 kN 时,左右钢轨的横移量分别为 2.1 mm 和 2.4 mm,由此产生的轨距扩大约为 4.4 mm。其他的计算结果为:初始扣压力为 20 kN 时,轨距扩大 4.0 mm;初始扣压力为 30 kN 时,轨距扩大 3.6 mm。图 7 中,在 15~50 kN 初始扣压力的范

(下转第 25 页)

Bureau of China Railway

**Abstract:** High-speed railway asks for strict criteria of chemical composition, physical mechanics and size deviation of rails. It also asks for superior quality of welding joint of the CWR on extra long seamless tracks. The paper, based on great number of tests carried out for rail butt weld technology, studies the weldability of high-speed heavy type mould casting PD3 steel rail made by Panzhihua Steel Mill and the gang-mould casting PD3 60 kg/m steel rail made by AnshanSteel Mill. The study has improved the quality of the rails to meet with the technical requirement of the Standard of Rail Welding Industry and the Technical Specifications of 200 km/h Rails of MOR. The random check of welds in the production base shows that the quality of weld is reliable and the property is stable.

**Key words:** high speed heavy rail; seamless track; weldability

(上接第27页)

围内,钢轨翻转角处于  $0.012 \sim 0.017$  rad 之间,这将导致轨底坡显著变化。

的钢轨横移和翻转将使轨距扩大而轨底坡减小,在轨道的铺设中应考虑这一因素。

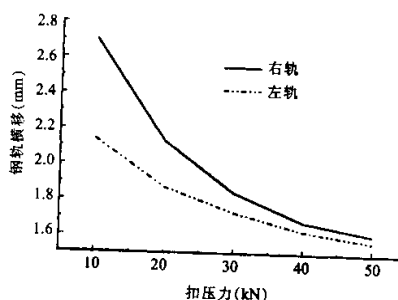


图6 钢轨横移与扣压力的关系曲线

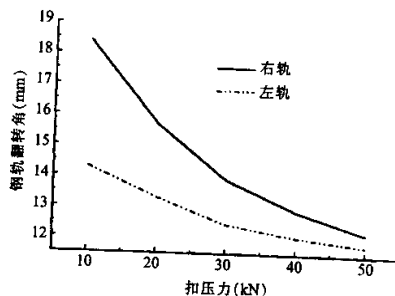


图7 钢轨翻转角与扣压力的关系曲线

## 4 结论

建立合理的轨道结构有限元模型为轨道刚度参数设计提供了新的研究方法。对弹条 I 型扣件的初步研究表明:在轮载作用下扣件扣压力将减小,并且横向力对内外侧扣压力减小的幅度有影响;在轮载不变时,扣件初始扣压力对钢轨横移和翻转有很大的影响,增加初始扣压力可以显著减小钢轨横移和翻转。轮载引起

## 参考文献

- [1] 无缝道岔计算理论与试验分析研究[R]. 北方交通大学, 1996, 01.
- [2] 柳拥军. 高速轮轨接触几何学及高速轮轨几何型面优化的研究[D]. 铁道部科学研究院博士论文, 1999.
- [3] 岳渠德. 列车-轨道系统三维耦合动力学模型及其动力响应研究[D]. 铁道部科学研究院博士论文, 1995.

## ELEMENTARY RESEARCH ON THE OVERTURNING STIFFNESS OF TRACK UNDER LOAD

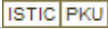
LIU Yong-jun

Electromechanical college of Northern Jiaotong University

**Abstract:** The load of wheel will effect the geometrical shape of track. It has great influence on the security of train. In this paper, a finite element model of track has been established. The decrease of clamping force of fastener, the gauge widening and the rail overturning are discussed.

**Key words:** clamping force of fastener; gauge widening; rail overturning; finite element

# 轮载作用下轨道几何形位变化的研究

作者：[柳拥军](#)  
作者单位：[北方交通大学机械与电子控制工程学院, 北京, 100044](#)  
刊名：[铁道工程学报](#)   
英文刊名：[JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)  
年, 卷(期)：2002 (4)  
被引用次数：4次

## 参考文献(3条)

1. [无缝道岔计算理论与试验分析研究](#) 1996
2. [柳拥军](#) [高速轮轨接触几何学及高速轮轨几何型面优化的研究](#)[学位论文] 1999
3. [岳渠德](#) [列车-轨道系统三维耦合动力学模型及其动力响应研究](#) 1995

## 本文读者也读过(10条)

1. [张宏海](#) [钢轨横向力对钢轨扭转变形的影响](#)[期刊论文]-[科技资讯](#)2010 (35)
2. [段建奎](#), [柳拥军](#), [DUAN Jian-kui](#), [LIU Yong-jun](#) [长大货物列车钩舌折断的原因分析](#)[期刊论文]-[铁道车辆](#) 2007, 45 (11)
3. [练松良](#), [刘丽波](#), [Joe. Kalousek](#), [LIAN Song-liang](#), [LIU Li-bo](#), [Joe. Kalousek](#) [荷载作用下轨距扩大的理论分析](#)[期刊论文]-[铁道学报](#)2000, 22 (z1)
4. [刘晓芳](#), [何庆复](#), [柳拥军](#), [LIU Xiaofang](#), [HE Qingfu](#), [LIU Yongjun](#) [前门“铛铛车”车轮断面减振降噪优化设计](#)[期刊论文]-[北京交通大学学报](#)2010, 34 (1)
5. [刘羽宇](#), [葛玉梅](#), [杨翊仁](#), [LIU Yu-yu](#), [GE Yu-mei](#), [YANG Yi-ren](#) [跨座式轻轨钢轨道梁的动力特性有限元分析](#)[期刊论文]-[世界桥梁](#)2010 (1)
6. [柳拥军](#) [切比雪夫多项式在磨耗形踏面设计中的应用](#)[期刊论文]-[北方交通大学学报](#)2000, 24 (4)
7. [张宏海](#), [李培楠](#), [刘信立](#) [轨底坡对钢轨横向变形及扭转变形的影响](#)[期刊论文]-[四川建筑](#)2009, 29 (5)
8. [李尧臣](#), [元峰](#), [LI Yao-chen](#), [QI Feng](#) [弹性基础上无缝轨道应力分析的半解析法](#)[期刊论文]-[力学季刊](#)2007, 28 (4)
9. [杨广全](#), [张长青](#), [李善坡](#), [刘振东](#), [YANG Guang-quan](#), [ZHANG Chang-qing](#), [LI Shan-po](#), [LIU Zhen-dong](#) [普通平车运输长钢轨的有限元分析](#)[期刊论文]-[铁道运输与经济](#)2010, 32 (7)
10. [柳拥军](#), [杨中平](#), [Liu Yongjun](#), [Yang Zhongping](#) [直线感应电机悬挂技术](#)[期刊论文]-[都市轨道交通](#)2006, 19 (1)

## 引证文献(4条)

1. [邱金帅](#), [蔡小培](#), [安彦坤](#) [扣件间距对无砟轨道动态轨距的影响](#)[期刊论文]-[铁道建筑](#) 2011 (8)
2. [王开云](#), [翟婉明](#), [蔡成标](#) [钢轨扭转运动对轮轨动态相互作用的影响](#)[期刊论文]-[中国铁道科学](#) 2008 (3)
3. [常卫华](#) [重载铁路横向力对钢轨倾覆影响研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2011 (2)
4. [肖新标](#) [轨道运动对列车脱轨影响的研究初探](#)[学位论文] 硕士 2005

引用本文格式：[柳拥军](#) [轮载作用下轨道几何形位变化的研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2002 (4)