

文章编号: 1000-4750(2010)05-0247-03

梯形轨枕竖向振动模态分析

*马 娜, 李成辉

(西南交通大学道路与铁道工程系, 四川, 成都 610031)

摘 要: 梯形轨枕轨道作为一种新型的轨道结构, 是基于纵枕轨道理论的基础研制的, 在很多方面弥补了传统横向轨枕的不足, 但其自身特点还有待进一步研究。已有的研究大多集中在静力方面, 高速列车的发展引发的种种问题使得动力问题越来越突出。为了充分了解梯形轨枕的动力特性, 并为进一步分析梯形轨枕轨道打下基础, 论文对梯形轨枕的竖向振动模态进行分析, 得到了其固有频率和振型, 分析结果表明梯形轨枕具有整体性和传递性的特点。

关键词: 梯形轨枕; 模态分析; 固有频率; 振型; 整体性; 传递性

中图分类号: U213.3 **文献标识码:** A

THE VERTICAL VIBRATION MODAL ANALYSIS OF THE LADDER SLEEPER

*MA Na, LI Cheng-hui

(Road and Railway Engineering Department, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: As a new type of track, Ladder Sleeper is developed based on the theory of Longitudinal sleeper. It overcomes the shortage of the traditional Lateral sleeper in many aspects, but some of its important features remain unaddressed. The existing research mostly focuses on the static behaviors. With the development of the high-speed train, the dynamic problems of railway are becoming more and more prominent. In order to understand the dynamic characteristics of Ladder Sleeper fully and to lay the foundation for the analysis of Ladder Sleeper Track, this paper investigates the vertical vibration modal to get the natural frequency and vibration mode. The results show that Ladder Sleeper has the characteristic of integrity and transitivity.

Key words: ladder sleeper; modal analysis; natural frequency; vibration mode; integrity; transitivity

随着铁路的发展, 列车速度不断提高, 对轨道结构的高可靠性、低成本、少维修、低振动、低噪音、高抗震性等方面有了更高要求。为了适应这些高要求, 各国铁路在轨道结构方面做了大量的工作。轨枕是轨道结构的重要组成部分, 按轨枕形式可以将轨道结构分为两种类型: 纵枕轨道和横枕轨道, 前者轨枕与钢轨平行, 后者轨枕与钢轨垂直, 其中梯形轨枕轨道就是纵枕轨道之一。

日本从 1995 年开始研制梯子式轨道, 它就是

基于纵枕轨道理论的基础开发的。其中的轨枕是由两片矩形截面的预应力混凝土纵梁和横向钢管联接构成的, 形状像梯子, 所以叫梯形轨枕。梯形轨枕的出现, 在很多方面解决了传统横向轨枕的不足。梯形轨枕为轨道提供了连续支撑, 与横向轨道相比, 其刚度非常大, 在承载力方面有更大的优势, 又由于其“复合钢轨”的混凝土制部分, 是用钢管横撑组成的格子结构, 在左右稳定性方面都比横向轨枕要好, 随着横向阻力的加大, 不用担心轨道的

收稿日期: 2008-11-24; 修改日期: 2009-06-23

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-05-0798)

作者简介: *马 娜(1982—), 女, 吉林大安人, 硕士生, 从事道路与铁道工程研究(E-mail: mana11666@163.com);

李成辉(1955—), 男, 四川成都人, 教授, 博士, 博导, 从事道路与铁道工程研究(E-mail: chli163chli@163.com)。

失稳,是个高安全性、高稳定性的轨道结构^[1]。

近年来的理论分析和应用实践^[2-6]证明,梯形轨枕轨道系统具有轻量化质量弹簧系统、减振降噪能力好、大幅度减少维护管理成本等优越性。这一系统不仅能对土木结构的减振降噪起到良好作用,还因其具有改善车辆-轨道结构相互作用系统的动力特性的特点,对车辆运行系统起到了良好作用^[7],而且在改善了车辆的动力学特性的同时,也减轻了轨道的荷载。

梯形轨枕轨道作为一种新型轨道结构,在我国还没有应用,其自身特性还待进一步研究。对于轨枕来说,多数是对其静力特性进行分析^[8-9],随着列车速度提高,轨道交通引起的振动和噪声问题越来越明显,其动力问题越来越突出,动力特性成为优化轨道结构系统动态特性的重要手段。国内外对梯形轨道结构的研究工作,虽然有对其动力进行分析^[7,10],但是多数侧重于其减振降噪方面,而对于轨道破坏来说,竖向动力作用起着主要的作用^[11],因此本文对梯形轨枕的竖向振动进行模态分析,充分了解梯形轨枕的动力特性,并为进一步分析梯形轨枕轨道打下基础。

1 模型

在有砟轨道上,梯形轨枕按照其连结方式的不同可以分为:金属板铆接、圆形结构联结、直金属板联结、末端封闭型。前3种连接方式,都应用螺栓将两片轨枕连接起来,属于刚性过渡。从而,在轨枕连接处需要像轨枕中部一样的钢轨支承。末端封闭型梯形轨枕应用预应力混凝土横梁将两根纵梁的末端连接起来,它省略了两个轨枕之间的联结装置。基于这种特点,本文以末端封闭型梯形轨枕为例来进行研究。

在有砟轨道结构中,梯形轨枕浮置于道砟上,钢轨置于梯形轨枕上,用扣件与梯形轨枕连接,末端封闭型梯形轨枕即在两根纵向轨枕间以端部封闭梁和钢管连接。如图1所示。

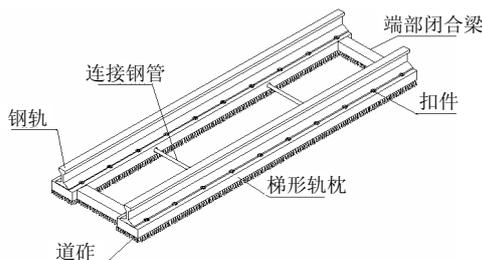


图1 梯形轨枕有砟轨道系统

Fig.1 Ladder sleeper in ballast track

本文仅研究梯形轨枕自身的竖向动力特性,因而,可不考虑钢轨及车体等的影响,而对于梯形轨枕,可看成弹性支承与弹性体-道床上,道床的弹性用一系列的弹簧来模拟的,其力学分析模型如图2所示。

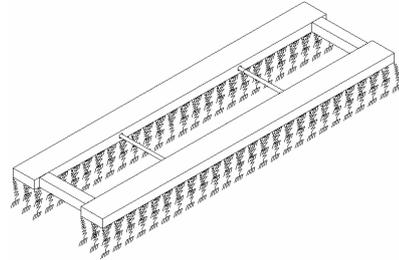


图2 梯形轨枕力学分析模型

Fig.2 Mechanical model of ladder sleeper

在力学模型的基础上,利用有限元方法进行计算。轨枕纵梁和钢管均采用实体单元,在网格划分中,对深入纵梁中的钢管采用特殊方法处理,其余部分划分本着保证长宽高方向的比例适当的原则。

模型中梯形轨枕(单侧)长×宽×高为 6.15m×0.46m×0.175m,弹性模量为 34.5GPa,泊松比为 0.17,密度为 2500kg/m³;端部闭合梁长×宽×高为 0.975m×0.2m×0.175m;连接钢管直径为 0.08m;道床的刚度为 120MN/m。

2 计算结果及分析

模态分析是系统振动特性的一种表征形式,由此可以得到梯形轨枕结构在各阶固有的频率以及对应的振型。限于篇幅,本文给出了前十阶固有频率和振型。梯形轨枕的前十阶固有频率如表1所示。

表1 梯形轨枕的固有频率

Table 1 Natural frequency of ladder sleeper

阶数	一阶	二阶	三阶	四阶	五阶	六阶	七阶	八阶	九阶	十阶
频率/Hz	19.4	20.4	29.3	35.1	44.5	61.2	68.1	89.4	117.5	134.0

振型是结构的相对变形,反映了梯形轨枕所固有的振动表现形态。从振型可以看出,一阶、二阶振动主要是刚体运动,轨枕变形很小,反映了梯形轨枕整体支承于道床上的刚体运动,一阶为整个轨枕的上下平动(图3),二阶为整个轨枕绕水平轴的转动(图4),这两阶振动频率主要由道床弹性决定。

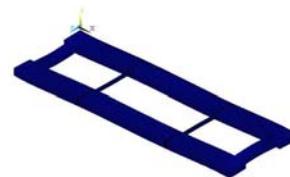


图3 一阶振型

Fig.3 First mode of vibration



图 4 二阶振型
Fig.4 Second mode of vibration

更高阶的振动主要反映了梯形轨枕的变形，在前五阶中，奇数阶振型是与轨道中心线反对称的(图 5、图 6)，偶数阶振型是与轨道中心线对称的(图 7)；在后五阶中，奇数阶振型是与轨道中心线对称的(图 8、图 9)，偶数阶振型是与轨道中心线反对称的(图 10、图 11、图 12)。因此，在对轨道结构进行竖向振动分析时，若以轨道中心线为对称线取轨道一半研究，将漏掉梯形轨枕的反对称振动对轨道结构的影响。



图 5 三阶振型
Fig.5 Third mode of vibration



图 6 五阶振型
Fig.6 Fifth mode of vibration



图 7 四阶振型
Fig.7 Fourth mode of vibration



图 8 七阶振型
Fig.8 Seventh mode of vibration



图 9 九阶振型
Fig.9 Ninth mode of vibration



图 10 六阶振型
Fig.10 Sixth mode of vibration



图 11 八阶振型
Fig.11 Eighth mode of vibration

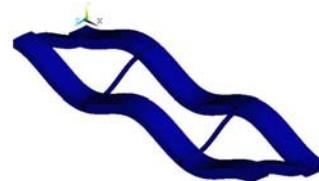


图 12 十阶振型
Fig.12 Tenth mode of vibration

其次，由于梯形轨枕的整体性，高阶振动时梯形轨枕是翘曲的，可能沿钢轨纵向传递给相应位置的钢轨，导致轨道出现类似三角坑的几何误差。

3 结论

从对梯形轨枕模态分析的结果得到了梯形轨枕前十阶的频率和振型，对各阶振型分析得出，梯形轨枕具有普通轨枕所不具备的整体性和传递性特点，在对梯形轨枕进行分析时，不适宜采用通常的取半枕方法，这样会漏掉梯形轨枕中反对称的情况。梯形轨枕的高阶振动中有翘曲和扭转等现象，这样可能导致轨道出现类似三角坑的几何误差。所得到的结果为其他动力特性的分析如谐响应、频谱分析等提供了一个关键的模态参数。

(参考文献转第 256 页)

- [3] 万荣, 崔勇, 崔江浩, 王欣欣, 朱文斌. 一种基于有限元原理的养殖网箱耐流特性的数值计算方法[J]. 中国海洋大学学报, 2007, 37(5): 709—712.
Wan Rong, Cui Yong, Cui Jianghao, Wang Xinxin, Zhu Wenbin. A method of numerical calculation for the anti-current characteristics of fish cages based on FEM [J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37(5): 709—712. (in Chinese)
- [4] 郑艳娜, 董国海, 桂福坤, 李玉成, 关长涛, 林德芳. 圆形重力式网箱浮架结构在波浪作用下的运动响应[J]. 工程力学, 2006, 23(增刊 I): 222—228.
Zheng Yanna, Dong Guohai, Gui Fukun, Li Yucheng, Guan Changtao, Lin Defang. Movement response of floating circle collars of gravity cages subjected to waves [J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(Supplement I): 222—228. (in Chinese)
- [5] Li Yucheng, Zhao Yunpeng, Gui Fukun, Teng Bin, Dong Guohai. Numerical simulation of the influences of sinker weight on the deformation and load of net of gravity sea cage in uniform flow [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 25(3): 125—137.
- [6] ANSYS Training Manual [Z]. ANSYS Inc., 2000.
- [7] 李茜, 杨树耕. 采用 ANSYS 程序的自升式平台结构有限元动力分析[J]. 中国海洋平台, 2003, 18(4): 41—46.
Li Qian, Yang Shugeng. The finite element dynamic analysis for self-elevating platform by ANSYS/multi-physics program [J]. China Offshore Platform, 2003, 18(4): 41—46. (in Chinese)
- [8] Tsukrov I, Eroshkin O. Finite element modeling of net panels using consistent net element [J]. Ocean Engineering, 2003, 30: 251—270.
- [9] Wan R, Huang W Q. Statics of a gillnet placed in a uniform current [J]. Ocean Engineering, 2004, 31: 1725—1740.
- [10] Suhey D J, Kim H N, Niezrecki C. Numerical modeling and design of inflatable structures—Application to open-ocean-aquaculture cages [J]. Aquacultural Engineering, 2005, 33: 285—303.

(上接第 249 页)

参考文献:

- [1] 周宇, 许玉德, 李海峰. 梯子式轨道结构系统[J]. 城市轨道交通研究, 2002(1): 21—23.
Zhou Yu, Xu Yude, Li Haifeng. The system of ladder sleeper track [J]. Urban Mass Transit, 2002(1): 21—23. (in Chinese)
- [2] Hajimew, Nobuyukim, Hiroyukio, Kiyoshia. Structure and design of ladder sleeper [J]. New Railway Structure, 2002, 56(3): 26—28.
- [3] Hajimew, Nobuyukim, Hiroyukio, Kiyoshia. Performance and application of ballast ladder track [J]. New Railway Structure, 2002, 56(4): 32—34.
- [4] Hajimew. Nobuyukim performance test of ballasted ladder track at TTCI and floating ladder track in Japan [R]. Transportation Research Board Annual Meeting, 2002.
- [5] Hiroyukio, Masamichis, Nobuyukim, Hajimew. Environmental performance improvement of railway structural system using ladder track [R]. Research Report of Railway Technical Research Institute, 2003.
- [6] 齐琳, 夏禾, 任静. 梯形轨枕的减振特性及论证[J]. 铁道标准设计, 2007(10): 67—70.
Qi Lin, Xia He, Ren Jing. Damping characteristics and verification of ladder sleeper [J]. Railway Standard Design, 2007(10): 67—70. (in Chinese)
- [7] 邓玉姝, 夏禾, 邹永伟. 城市轨道交通高架桥梯形轨枕轨道动力及减振作用分析[J]. 铁道标准设计, 2007(10): 55—58.
Deng Yuzhu, Xia He, Zou Yongwei. Dynamic and damping analysis of ladder sleeper track on elevated bridge in urban mass transit [J]. Railway Standard Design, 2007(10): 55—58. (in Chinese)
- [8] 白海峰. 基于连续弹性地基梁的轨枕静力响应研究[J]. 铁道工程学报, 2007, 24(5): 22—27.
Bai Haifeng. Static Response of sleeper based on continuous elastic foundation beam [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, 24(5): 22—27. (in Chinese)
- [9] 任彦茹, 段树金, 王翠娟. 轨道结构路桥过渡段静力分析[J]. 石家庄铁道学院学报, 2006, 19(1): 76—79.
Ren Yanru, Duan Shujin, Wang Cuijuan. The static analysis of transition section about track between roadbed and bridge [J]. Journal of Shijiazhuang Railway, 2006, 19(1): 76—79. (in Chinese)
- [10] 苏宇, 刘维宁, 孙晓静. 梯形轨道减振性能试验研究和数值模拟分析[J]. 都市快讯交通, 2007, 6(6): 50—54.
Su Yu, Liu Weining, Sun Xiaojing. Damping experimental research and numerical simulation analysis about ladder sleeper track [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2007, 6(6): 50—54. (in Chinese)
- [11] 李成辉. 轨道、车辆系统竖向振动模态分析[J]. 西南交通大学学报, 1995, 30(3): 291—294.
Li Chenghui. Vertical vibration mode analysis about the system of track and vehicle [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1995, 30(3): 291—294. (in Chinese)