

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.S2.012

高速列车运行下 WJ-7 型扣件动力分析

罗曜波, 伍曾, 魏中臣, 张景坤

(昆明理工大学 建筑工程学院, 昆明 650500)

摘要:采用大型有限元软件分析 WJ-7 型扣件弹条在列车运行下所引起的铁轨对弹条的冲击, 建立详细的扣件系统有限元模型, 基于车辆-轨道耦合动力学理论下分析 WJ-7 型扣件弹条在安装过程中的受力, 以及列车冲击荷载作用下的受力特性。分析静力与冲击力下的应力大小与位置, 在不同冲击力作用下发现弹条的最大应力发生在与铁垫板接触的部位, 最大应力为 1 853 MPa。10 kN 的扣压力下的静力分析, 弹条的最大应力同样发生在与铁垫板接触的部位, 最大应力为 1 765 MPa。弹条与绝缘块接触部位为了实现固定钢轨的作用受到的冲击随着冲击力的增大位移也不断增加, 同时两臂向上翘起且变形越来越明显, 弹条的弹程随扣压力的增大呈线性增加趋势。随着列车的反复通过, 弹条容易在这区域萌生裂纹最终裂纹扩展导致弹条发生疲劳断裂。数值分析结果与现场多处弹条断裂破坏位置吻合, 分析结果可为以后弹条的设计、优化、安全提供参考依据。

关键词:应力; WJ-7 型弹条; 冲击荷载

中图分类号: U238 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2016)S2-0060-04

Dynamic simulation analysis of WJ-7 type fastener under impact load of train

Luo Yaobo, Wu Zeng, Wei Zhongchen, Zhang Jingkun

(Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: In order to analyze the impact of the railway track of the WJ-7 rail fastening clip by the high speed running, using the FEA Midas finite element software to establish the finite element model of the fastener system. Based on the theory of vehicle track coupling dynamics, analysising of the stress characteristics of WJ-7 type fastener bullet strip during installation and under the influence of train impact load. Comparing to the stress position and size under static and impact stress or different impact force. Elastic bar in impact force of 1kn, 2Kn and 3 kn, which is found maximum stress occurs at the contact site of elastic bar and iron backing plate. The maximum stress is 1 853 MPa. In the 10 kN buckle pressure of the static analysis, elastic strip maximum stress also occurred at the contact with the iron plate part, the maximum stress for 1 765 MPa. With the passage of the train, the elastic strip is easy to crack propagation in this region and the final crack propagation leads to fatigue fracture. The numerical analysis results are consistent with the location of multiple elastic strip breakage and the results can provide reference for the design, optimization and safety of the elastic strip in the future.

Key words: stress; type WJ-7 rail fastening clip; impact load

收稿日期: 2016-10-26

基金项目: 国家自然科学基金(51208240, 51468027); 中国博士后基金(2014M552549XB)

作者简介: 罗曜波(1993-), 男, 硕士生, 主要从事高速铁路轨道结构与力学研究, (E-mail) 1579124883@qq.com。

伍曾(通信作者), 男, 博士, 副教授, (E-mail) 11856658@qq.com。

扣件技术是无砟轨道结构的关键技术,其工作原理是利用自身弹性变形产生扣压力,将钢轨与轨下结构长期有效地联结成一个整体。轨道扣件系统利用弹条弹性变形时储存的能量,对轨道起到缓解机械振动和冲击的作用。钢轨的稳定主要靠弹条来固定,当列车在钢轨上高速通过时会使钢轨向上震动给弹条施加一个向上的冲击力。目前国内外虽然进行了一些针对弹条力学特性的相关研究,但大多集中在以下几方面:1)从静力角度进行弹条安装状态的受力分析与弹条的优化设计^[1-2];2)列车动荷载作用下的振动特性研究^[3];3)高速铁路扣件系统弹条疲劳性能研究^[4-5]。但是,对扣件在列车高速运行下所引起的铁轨对弹条冲击的文献研究很少。本文以 WJ-7 型扣件弹条(图 1)为研究对象,采用 Midas FEA 有限元软件建立详细的扣件系统有限元模型,基于车辆-轨道耦合动力学等动力分析理论和方法^[6-9],对扣件在不同冲击力下的应力大小和位置变化进行对比,扣件在静力状态下与冲击力下的应力大小和位置变化进行对比。分析结果与实际扣件弹条断裂现象相符,分析结果可为以后弹条的设计,优化、安全提供参考依据。



图 1 WJ-7 扣件系统

1 扣件计算模型

1.1 冲击模型设置

弹条在列车经过时会受到钢轨的冲击,为了比较真实地模拟弹条冲击荷载下的受力状态,采用 Midas FEA 软件建立弹条的有限元模型(图 2)。弹条所用材料属性见表 1,弹条应力-应变关系采用理想弹性模型。为了准确的分析弹条受列车冲击的应力特点,约束弹条趾端下部的 2 个水平方向方向 (x, y) 的位移;约束弹条跟端下部的 z 方向的位移;假设弹条与螺栓的接触为理想状态,约束弹条顶端

z 方向的位移。

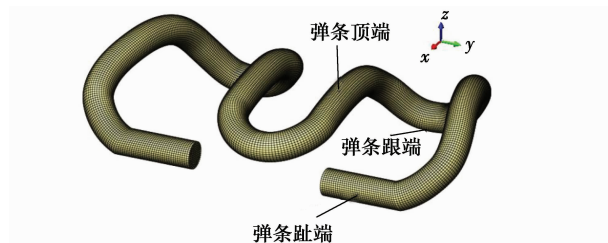


图 2 弹条力学分析有限元模型

表 1 材料参数

结构部位	材料名称	弹性模量/MPa	泊松比	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
弹条	60Si ₂ MnA	2.05×10^5	0.3	7 850

2 冲击受力分析

根据图 2 所示有限元模型来分析弹条在列车冲击荷载下的受力,选用 Midas FEA 动力分析里的直接积分法进行分析。即采用将整体分析的时间分为若干个微小间隔,在每个时间间隔内求解动力平衡方程的数值积分方法。以时速 250 km/h 的列车为例,一次冲击的周期约为 0.08 s,弹条在一个周期内受到列车冲击的时间力函数见图 3。通过在弹条趾端下部表面选取一组节点施加动力节点荷载来模拟冲击力,运用 Midas FEA 对这一个周期弹条受到列车冲击的影响进行动力仿真分析,并获取列车冲击作用下铁轨对弹条的冲击应力分布大小和位置。

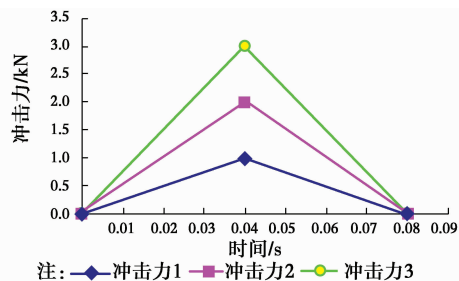


图 3 时间力函数

为了获取弹条在不同冲击力作用下的应力分布特点,分别进行了 1 kN、2 kN、3 kN 冲击力下的弹条的动力计算。图 4 为不同扣压力下弹条的 Von Mises 应力分布云图。根据图 3 计算结果把弹条应力比较明显的位置标注为 A、B、C、D、E、F,见图 4(c)。弹条受到 1 kN 的冲击力时,B、C、E3 处发生较大应力,其中最大应力产生在 C 处,该现象主要原因是弹条受到冲击弹条根部与铁垫板发生挤压,产

生应力集中现象,弹条最大应力为 606 MPa。冲击力达到 2 kN 时,应力分布与 1 kN 冲击力时接近, B、C、E3 处发生较大应力,其中最大应力产生在 C 处,最大应力为 1 179 MPa。冲击力扩大到 3 kN 时, A、B、C、D、E、F 处都发生较大应力,最大应力仍产生在 C 处,最大应力为 1 853 MPa。

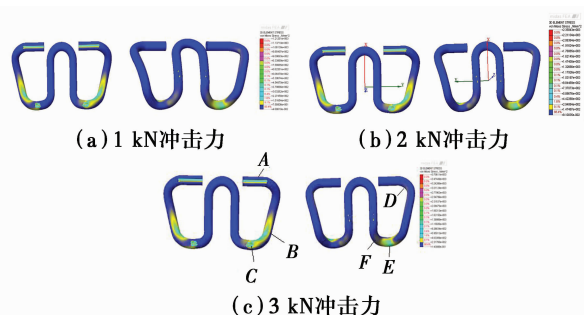


图 4 不同冲击力下的弹条应力

为了更加详细的分析弹条各部位的应力随着冲击力的变化规律,在标记的位置处各选取了一组节点并提取这些节点的应力数值,见图 5。A 处有一小部分点应力明显增大,主要原因是这些点是弹条与铁垫板的接触点,受到钢轨的冲击发生挤压产生了应力集中。B 处的应力随冲击力的增大而增加。C 区域最大应力不仅超过了材料的屈服强度,还超过了材料的强度极限。随着列车的反复通过,弹条容易在这区域萌生裂纹最终裂纹扩展导致弹条发生疲劳断裂。D、E、F 处的应力规律跟 B 处相似。

冲击动力分析中较大应力集中为 B、C、E3 个区域,随着列车的反复通过 C 处会首先出现疲劳破坏。对比弹条在 10 kN 的扣压力下的静力分析发现,应力集中在 C、E、F 处,最大应力出现在 C 处,最大应力为 1 765 MPa。

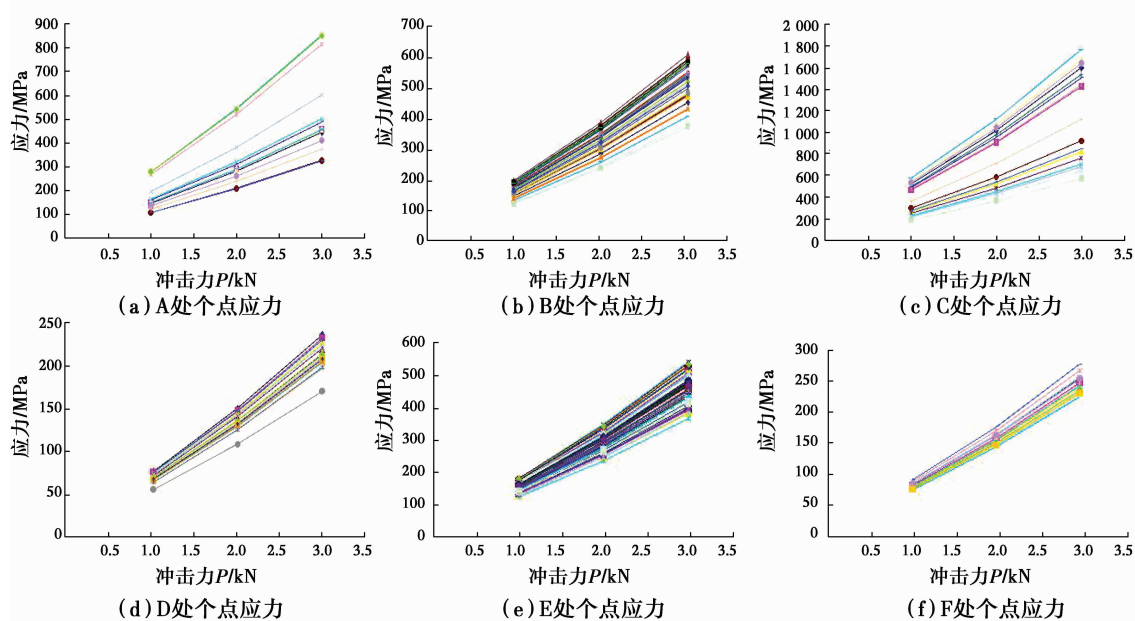


图 5 各标记处点 MPa-P 曲线

3 不同冲击下弹条位移

在动力计算结果基础上,分别提取弹条在 1 kN、2 kN、3 kN 的动力冲击下的弹条位移图,如图 6 中所示,分析弹条位移随扣压力的变化情况,进一步研究弹条的静力性能。

如图 6(a)所示,1 kN 冲击作用下,弹条与螺栓和弹条与铁垫板之间位移很小几乎可以忽略不计,弹条与绝缘块处有 1~1.34 mm 的竖向位移,该部分为最大位移发生处,同时弹条两臂稍向上翘起,位移在 0.2~1 mm 之间。弹程表达了弹条在冲击力

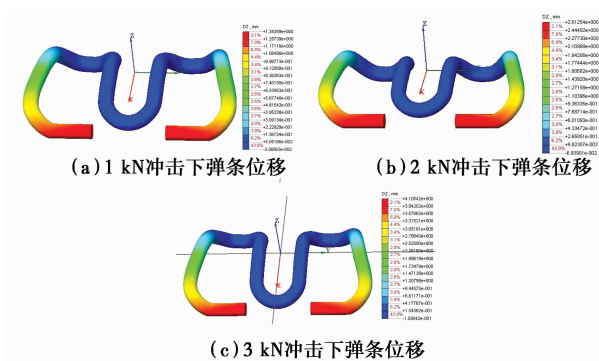


图 6 弹条位移图

作用下的变形,本文通过提取荷载下的分析结果,得

到 1 kN 冲击荷载下的弹条的弹程为 1.34 mm。

如图 6(b)所示, 2 kN 冲击作用下, 弹条与螺栓和弹条与铁垫板接触部位位移仍可以忽略, 弹条与绝缘块处有 2~2.6 mm 的竖向位移, 同时弹条两臂发生变形, 位移在 1~2 mm 之间。弹程表达了弹条在冲击力作用下的变形, 本文通过提取荷载下的分析结果, 得到 2 kN 冲击荷载下的弹条的弹程为 2.6 mm。

如图 6(c)所示, 3 kN 冲击作用下, 弹条与铁垫板接触部位发生 1 mm 位移, 弹条与绝缘块处有 3~4.1 mm 的竖向位移, 同时弹条两臂发生明显变形, 位移在 2~3.3 mm 之间。弹程表达了弹条在冲击力作用下的变形, 本文通过提取荷载下的分析结果, 得到 3 kN 冲击荷载下的弹条的弹程为 4.1 mm。

不难看出, 经过列车运行过程中导致钢轨对弹条的冲击作用下, 弹条与绝缘块接触部位为了实现固定钢轨的作用受到的冲击随着冲击力的增大位移也不断增加, 同时两臂向上翘起且变形越来越明显, 弹条的弹程随扣压力的增大呈线性增加趋势。

4 结论

建立了 WJ-7 型弹条有限元模型, 对比分析了弹条在不同冲击力下对弹条应力的影响和弹条 10 kN 扣压力下的静力分析与冲击力下的动力分析, 基于数值结果得出以下结论:

1) 通过对比弹条在 1 kN、2 kN 和 3 kN 冲击力作用下的受力分析, 弹条的最大应力发生在与铁垫板接触的部位, 最大应力为 1 853 MPa, 随着列车反复通过容易发生疲劳断裂。

2) 通过对比弹条在不同冲击动力作用下和 10 kN 的扣压力下的静力分析, 静力分析中弹条的最大应力同样发生在与铁垫板接触的部位, 最大应力为 1 765 MPa。

3) 弹条与绝缘块接触部位为了实现固定钢轨的

作用受到的冲击随着冲击力的增大位移也不断增加, 同时两臂向上翘起且变形越来越明显。弹条的弹程随扣压力的增大呈线性增加趋势变化值很小位移为 1.34~4.1 mm。

4) 冲击力对弹条的应力破坏有着明显的影响, 分析结果与实际扣件弹条断裂现象相符, 分析结果可为以后弹条的设计, 优化、安全提供参考依据。

参考文献:

- [1] 武青海, 陈厚嫦, 周虹伟, 等. 应用非线性接触理论分析弹条Ⅲ型扣件中弹条的应力和变形[J]. 中国铁道科学, 2003, 24(1): 69-73.
- [2] 肖俊恒, 赵汝康. 弹条扣压件的优化设计与研究[J]. 中国铁道科学, 1995, 16(4): 42-47.
- [3] 朱胜阳, 蔡成标, 尹镪, 等. 高速铁路扣件弹条动力学分析[J]. 工程力学, 2013, 30(6): 254-287.
- [4] 余自若, 袁媛, 张远庆, 等. 高速铁路扣件系统弹条疲劳性能研究[J]. 铁道学报, 2014, 36(7): 90-95.
- [5] 伍曾, 黄伟, 魏中臣, 等. 室温蠕变对 WJ-7 型无砟轨道扣件扣压力损失的试验研究与分析[J]. 昆明理工大学学报, 2015, 40(4): 33-37.
- [6] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [7] KNOTHE K. Past and future of vehicle/track interaction [J]. Vehicle System Dynamic Supplement, 1995, 45(24): 1-3.
- [8] 王勖成. 有限单元法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [9] KÜBLER L, EBERHARD P, GEISLER J. Flexible multibody systems with large deformations and nonlinear structural damping using absolute nodal coordinates [J]. Nonlinear Dynamics, 2003, 34(1): 31-52.

(编辑 胡玥)