

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.01.011

# 铁路无缝线路温度应力的有限元分析

潘文彬<sup>1</sup>, 叶 渊<sup>1</sup>, 韩洪江<sup>2</sup>, 杨 韬<sup>1</sup>, 宋家旺<sup>2\*</sup>

(1. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310000;

2. 吉林大学 超塑性及塑性研究所, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 针对环境温度变化时,无缝线路内部产生的巨大温度应力会危及轨道安全的问题,在结合无缝线路实际结构的基础上,基于有限单元法,采用三维软件CATIA建模,并在有限元软件ABAQUS中对无缝线路模型的温度应力进行了模拟分析,考虑了扣件、轨道板和底座等结构,采用边界条件控制环境的温度变化,从而获得钢轨内部温度应力场的分布,并进一步分析了mises、纵向、切向和垂向的温度应力分布图。研究表明,当环境温度变化时,钢轨内部会产生较大的温度应力,由温度分布应力图得到扣件与钢轨的接触面是温度应力的集中部位;无缝线路的温度应力分量中纵向温度应力数值最大,与实际数据比较后,纵向温度应力小于钢轨屈服强度;因此使用有限元软件ABAQUS进行无缝线路温度应力的分析具备可行性,同时也为接下来进一步深入研究提供参考。

**关键词:** 高速铁路; 无缝线路; 温度应力; 有限元分析

中图分类号: TH140; U211.2; O242.21 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)01-0047-04

## Finite element analysis on temperature stress in continues welded rail

PAN Wen-bin<sup>1</sup>, YE Yuan<sup>1</sup>, HAN Hong-jiang<sup>2</sup>, YANG Tao<sup>1</sup>, SONG Jia-wang<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310000, China;

2. Superplasticity & Plasticity Institute, Jilin University, Changchun 130022, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the large temperature stress in continues welded rail (CWR) could threaten the track safety appliances, based on the finite element method, considered with the resistances of fasteners and rail bed, the finite element analysis software ABAQUS and 3D modeling software CATIA was applied to simulate the temperature stress in the rail. Using the boundary conditions to control the temperature change of the environment, the distribution of temperature stress field in the rail was obtained. On this basis, the distribution of mises, longitudinal, tangential and vertical stress was analyzed. The research results indicate that, while ambient temperature changes, the rail will produce large temprature stress, the contact surface of the fastener and the rail is the temperature stress concentration, the longitudinal stress is the maximum stress in the temperature stress component of CWR. Compared with the practical data, the longitudinal temperature stress force is less than the rail yield strength. Thus, the CWR temperature stress analysis of finite element software ABAQUS has feasibility, it also lays a good foundation for further study.

**Key words:** high-speed railway; continues welded rail(CWR); temperature stress; finite element analysis(FEA)

## 0 引 言

无缝线路是将标准长度的钢轨焊接成长轨条并铺设到线路上,当环境温度发生变化时,由于轨枕等附属设施的存在,使得焊接长轨条不能进行自由伸缩,钢轨内部会产生巨大的温度应力,同时会破坏轨

道结构。

无缝线路稳定性的研究始于德国。1902年德国科学家哈尔曼(A.Harrmann)首次讨论了无缝线路踏曲的可能性。我国一直十分重视无缝线路稳定性的理论研究工作。1977年以铁道科学研究所和长沙铁道学院为主的科研小组,在总结以往研究成果的基础

收稿日期: 2012-07-10

作者简介: 潘文彬(1989-),男,浙江绍兴人,主要从事无缝线路稳定性分析方面的研究. E-mail: panwenbin198989@sina.com

通信联系人: 宋家旺,男,博士,副教授. E-mail: songjw@jlu.edu.cn

上,提出了“统一无缝线路稳定性计算公式”<sup>[1-3]</sup>。罗雁云等<sup>[4-6]</sup>通过建立无缝线路轨道胀轨曲理论模型,分析无缝线路胀轨时的位移变化规律,研究温度应力作用下无缝线路轨道胀轨的变化特征以及轨道参数对其的影响。石现峰等<sup>[7]</sup>利用传热学的基本理论,采用有限元分析软件 ABAQUS 对板式无砟轨道结构在温度作用下的影响进行仿真计算,分析不同支撑形式及不同轨道板宽度和厚度对无砟轨道结构温度效应的影响。此外,国内外学者在分析无缝线路稳定性方面做了大量的工作,并取得了一定的成果<sup>[8-12]</sup>。

本研究以无缝线路胀轨理论为依据,结合有限元方法,利用大型有限元分析软件 ABAQUS 对无缝线路进行温度应力的分析研究。

## 1 有限元分析

### 1.1 钢轨模型的建立

本研究参考的无砟轨道模型如图 1 所示<sup>[13]</sup>。

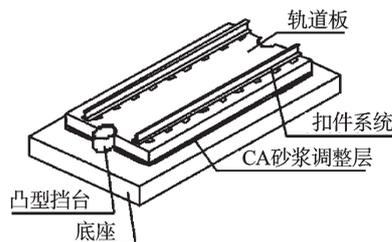


图1 I型板式无砟轨道结构示意图

由于 ABAQUS 的建模功能并不强大,笔者使用三维建模软件 CATIA 建立模型,再将模型导入 ABAQUS。钢轨的模型选择 60 kg/m 轨型。

无缝线路模型的参数取值如表 1<sup>[14-15]</sup>所示。本研究主要针对钢轨内部温度应力的变化,轨道板及其底座的物理参数数非常接近,故在模型中将轨道板和底座简化在一个模型中。由于每组扣件都对钢轨的垂向、纵向以及横向运动限制,笔者将每个扣件简化为 3 个弹簧单元。钢轨与轨道板的连接主要通过 3 个组模拟扣件的弹簧连接。

表1 无缝线路模型力学性能和材料参数

参数	单位	数值
钢轨弹性模量	Pa	$2.1 \times 10^{11}$
钢轨密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	7 800
钢轨泊松比		0.3
钢轨热导率	$\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K}^{-1})$	59.71
钢轨比热	$\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})$	419.5
钢轨线膨胀系数	$\text{m} \cdot \text{C}^{-1}$	$1.18 \times 10^{-5}$
扣件刚度	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$	$6.0 \times 10^7$
轨道板密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	2 500
轨道板弹性模量	Pa	$3.25 \times 10^{10}$
轨道板泊松比		0.17

无缝线路模型如图 2 所示。

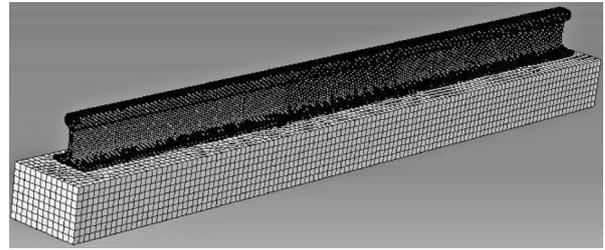


图2 初始无缝线路模型

### 1.2 有限元分析过程

结合文献[1]可得到钢轨温度变化数值,分析过程主要分为 3 步:

(1) 建立钢轨模型的初始边界条件。初始边界条件分为两个部分,其一是初始温度场,即钢轨的锁定轨温,这里取 22 ℃。

(2) 模拟气温上升到最高气温。最高轨温取值 62.7 ℃,模拟钢轨轨温上升到相应的温度,并输出最高轨温时钢轨的温度应力截图。

(3) 模拟气温从最高点下降至最低气温 -27 ℃,钢轨轨温也降至相应的最低点,并输出钢轨模型的温度应力。

### 1.3 有限元分析结果

本研究采用有限方法对得到的结果进行分析<sup>[16-17]</sup>,取模型中间的中心的一截钢轨,钢轨与扣件接触面位于底面正中间,在轨温最高点的温度应力模型如图 3 所示。从图 3 中可以看出,温度应力最大处主要集中在扣件所在位置,应力集中区域沿着扣件逐渐减小。

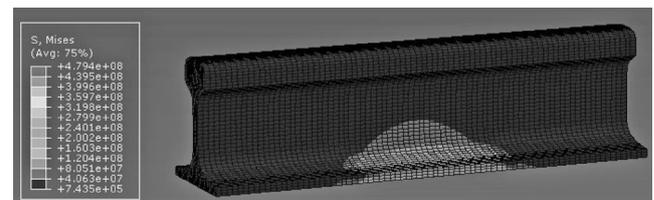


图3 最高轨温下无缝线路的mises应力图

由于 mises 应力适用于第 4 强度理论,而无缝线路中的钢轨材料为脆性材料,多用第 1 强度理论,即只考察最大主应力,本研究继续对各向应力分量进行讨论。

由于扣件、轨道板等基础设施的约束,温度变化时钢轨将不能自由伸缩。因而无缝线路中最危险的就是钢轨纵向温度应力,纵向温度应力分布如图 4、图 5 所示。钢轨纵向温度应力最大点位于扣件与钢轨接触面积边缘,以最高轨温为例进行分析(如图 4 所示):由于扣件的直接约束,使得钢轨与扣件接触面不能自由膨胀,在接触面受到压应力时,最大值为 164.9 MPa,同时导致接触面左右两端的钢轨底面受到过大的纵向拉应力,最大值为 131.7 MPa。同理可得图 5 中纵向温度应力最大压应力为 158.5 MPa,拉应力为 198.5 MPa。由

于纵向钢轨温度应力对无缝线路影响最大。查文献[1]得无缝线路钢轨强度为457 MPa。经比较得,纵向温度应力满足钢轨强度。

无缝线路钢轨切向温度应力分布图如图6、图7所示。以最高轨温为例(如图6所示),轨温升高时,由于扣件的约束,钢轨与扣件接触面积处为应力最大区域,最大压应力为165.1 MPa。图7中最大拉应力为198.7 MPa。

无缝线路中钢轨的垂向温度应力分布如图8、图9

所示。以图8为例,轨温升高时,应力集中区域还是位于扣件与钢轨接触面上,沿着接触面积的轮廓分布,最大温度应力值为219.4 MPa。在图9中,轨温降低,温度应力最大值为264.2 MPa。

## 2 结束语

本研究以无砟轨道为理论模型,考虑了扣件、轨道板等附属设施的约束,并按照对应的材料参数,完

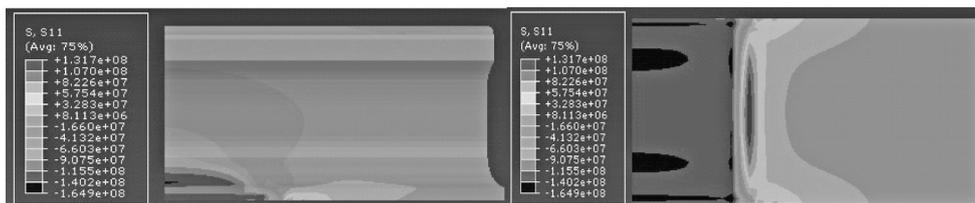


图4 最高轨温时钢轨纵向温度应力分布图

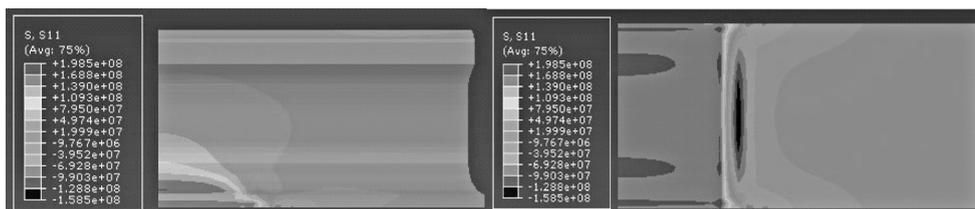


图5 最低轨温时钢轨纵向温度应力分布图

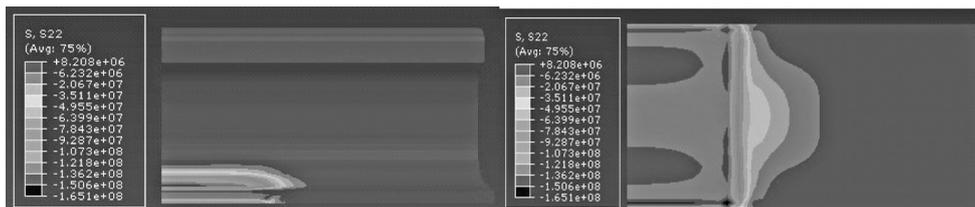


图6 最高轨温时钢轨切向温度应力分布图

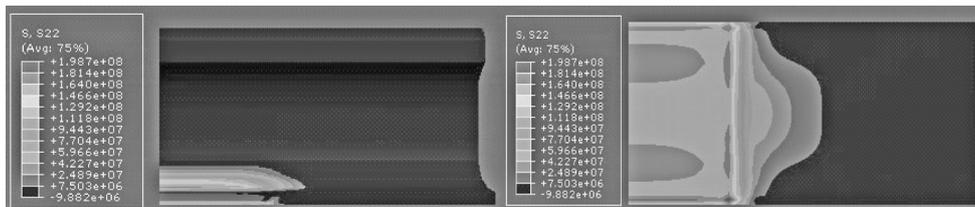


图7 最低轨温时钢轨切向温度应力分布图

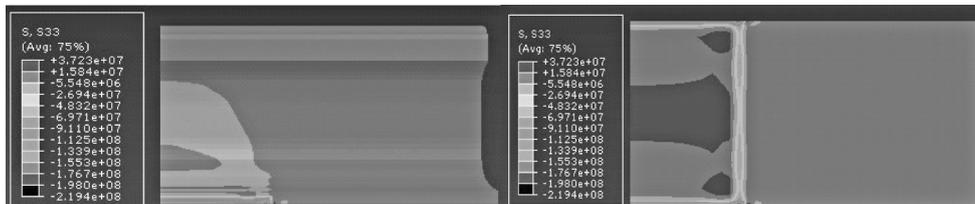


图8 最高轨温时钢轨垂向温度应力分布图

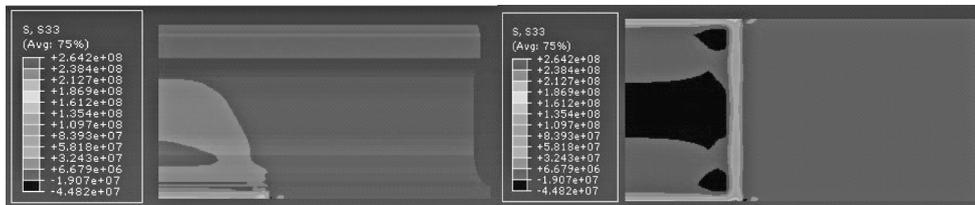


图9 最低轨温时钢轨垂向温度应力分布图

成了无缝线路的有限元建模,在轨温升降的基础上,得到了相应的温度应力分布模型图。通过进一步分析mises应力、纵向、切向和垂向的温度应力分布图,得到了钢轨在轨温变化时钢轨的受压以及受拉应力部位,并在图像中显示出来。根据第一强度理论得出:温度变化时钢轨内部最大应力为纵向温度应力,并且经过比较,该应力满足钢轨强度。

笔者的研究作为为进一步研究无缝线路温度应力打下了基础,提供了一定的思路。但在模型上还具有一定的局限性,以后的研究工作将在此基础上继续完善轨道模型,不断深入研究。

**参考文献(References):**

[1] 广钟岩,高慧安. 铁路无缝线路[M]. 4版. 北京:中国铁道出版社,2005.  
 [2] KISH A, SAMAVEDAM G, JEONG D. Analysis of Thermal Bucking Tests on U. S. Railroads[R]. Technque Report, NTISPB83-203554, 1982:21-102.  
 [3] JEONG D, SAMAVEDAM C, KISH A. Determination of Track Lateral Resistance from Lateral Pull Tests[R]. Final Report, NTIS-PB86-225612, 1986:1-49.  
 [4] 金寿延,朱剑月,罗雁云,等. 无缝线路轨道的温度力与振动特性关系的研究[J]. 机械强度,2002,24(1):144-147.  
 [5] 罗雁云,施董燕,谭晓春. 纵向力作用下无缝线路动态特性有限元分析[J]. 力学季刊,2008,29(2):284-290.

[6] 罗雁云,李振廷. 轨道参数变化对无缝线路稳定性影响[J]. 中国铁道科学,2008,29(2):34-36.  
 [7] 石现峰,李建斌. 温度对板式无砟轨道结构的影响研究[J]. 铁道工程学报,2008(5):30-32.  
 [8] DAXUN T. Distribution of Temperature Stresses along the Continuously Welded Track[R]. American Railroad Engineering Association, Bulletin 692, 1983:35-51.  
 [9] 张 斌,雷晓燕. 基于车辆-轨道单元的无砟轨道动力特性有限元分析[J]. 铁道学报,2011,33(7):78-85.  
 [10] 雷晓燕. 轨道力学与工程新方法[M]. 北京:中国铁道出版社,2002.  
 [11] 童大垵. 铁路轨道[M]. 3版. 北京:中国铁道出版社,1996.  
 [12] 钟方千,周小林,褚卫松. 无砟轨道无缝道岔温度纵向力研究[J]. 山西建筑,2008,34(18):24-25.  
 [13] 李中华. CRTS I型与CRTS II型板式无砟轨道结构特点分析[J]. 华东交通大学学报,2010,27(1):22-28.  
 [14] 李 伟,温泽峰,金学松,等. 滚滑接触下钢轨热力耦合分析[J]. 工程力学,2010,27(8):199-205.  
 [15] 李春霞,殷明旻,车晓娟. 路基上无砟轨道机床反力系数取值的探讨[J]. 铁道建筑,2009,27(8):199-205.  
 [16] 陈乐平,单 磊,陈 罡. 基于 Moldflow 和 ANSYS 的防眩板有限元分析[J]. 轻工机械,2012,30(1):5-9.  
 [17] 石亦平,周玉蓉. ABAQUS有限元分析实例讲解[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

[编辑:张 翔]

(上接第42页)

明显优于液压制动。

线圈在进行了0.5 h的连续试验后温度为85℃左右,小于所用的聚酯漆包线的温升要求,电磁体散热状况良好。

经过对样机进行系统试验,实验结果表明该电磁制动器的总体设计方案可行,电磁力及增力机构能够完成预定制动要求,满足节能减排的环保要求。但是,在制动器防水方面还没有考虑周全,此外,其尺寸还是偏大,制动力的大小还只能适应小型汽车制动。将该电磁制动器实际应用到车上还有一定距离,有待于进一步完善研究。

**致 谢**

本文在撰写过程中得到同事的帮助、部门领导的悉心指导并提出许多宝贵的意见和建议,同时也得到《机电工程》专家们的大力支持和帮助,提出有建设性的修改意见。在此,全体作者向以上帮助过我们的所有人员表示衷心地感谢。

**参考文献(References):**

[1] 沈向明. 汽车电磁制动器:中国,94106023. 3[P]. 1995-04-14.  
 [2] 全 力,陈照章,杨泽斌,等. 车用鼓式电磁制动器电磁体磁路[J]. 机械工程学报,2005,41(12):205-210.  
 [3] 黄国兴,侯永涛,王国林,等. 汽车电磁制动器CAD平台的研究[J]. 机械工程学报,2006,42(12):232-238.  
 [4] 常 润. 电工手册[M]. 2版. 北京:北京出版社,1997.  
 [5] 刘惟信. 汽车制动系的机构分析与设计计算[M]. 北京:清华大学出版社,2004.  
 [6] 杨 欣,王玉凤,刘湘黔,等. 电子设计从零开始[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2005.  
 [7] 杨儒贵. 电磁场与电磁波[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2007.  
 [8] 国家标准化工作委员会. GB 7258—2004 机动车运行安全技术条件[S]. 北京:中国标准出版社,2004.  
 [9] 余志生. 汽车理论[M]. 5版. 北京:机械工业出版社,2009.  
 [10] 赵凯华,陈熙谋. 电磁学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2003.

[编辑:张 翔]