

Finite Element Analysis of CRTS II Double Block Ballastless Track

Qingzhong Duan

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: With the improvement of the safety, stability and comfort of modern railway traffic, ballastless track system has been widely accepted by the industry and has been widely used in China. In order to provide a deeper understanding of ballastless track and provide a solid foundation for further research, it is necessary to reasonably design the ballastless track structure and its construction. In this paper, the stress response and displacement response of the CRTS II double block ballastless track concrete track slab and the base plate on the subgrade under the action of the track load on the subgrade are emphatically analyzed by the numerical simulation software ANSYS. Select reasonable finite element type and calculation parameters, and establish foundation plate model, track slab model and sleeper model, rail and fastener model. The stress and strain results of the CRTS II type double block ballastless track on the subgrade under the load of the train are obtained by analyzing the action mode and the action position of the train load.

Keywords: Ballastless track; Concrete; Track board; Finite element analysis

CRTS II 型双块式无砟轨道有限元分析

段清中

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400000

摘要: 随着现代铁路交通对列车运行安全性、平稳性和舒适性需求的提高, 无砟轨道系统受到业界的普遍认可, 并在我国得到了广泛的运用。为了对无砟轨道进行更加深入的了解从而为进一步的研究提供扎实的基础, 合理地设计无砟轨道结构及其施工是十分必要的。本文运用数值模拟软件 ANSYS 重点分析研究了路基上 CRTS II 型双块式无砟轨道混凝土轨道板和底座版在轨道荷载作用下的应力响应和位移响应。选择合理的有限元单元类型、计算参数, 建立底座板模型、轨道板模型和轨枕模型、钢轨和扣件模型。通过分析列车荷载的作用方式与作用位置得到了路基上 CRTS II 型双块式无砟轨道在列车荷载作用下的应力及应变结果。

关键词: 无砟轨道; 混凝土; 轨道板; 有限元分析

1 引言

ANSYS 是由美国 ANSYS 公司 (原 Swanson 分析系统公司) 开发的一款有限元分析软件。该软件涵盖了结构、热、流体、电磁、声学的有限元分析, 广泛的应用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源、国防军工、电子等诸多工业及科学领域。ANSYS 最初只能进行一些简单的线性分析, 之后为了满足其他领域的要求, ANSYS 公司逐步为 ANSYS 融入了更多的单元类型, 增加了软件非线性分析等功能。经过几十年的发展, ANSYS 有限元分析软件技术日益成熟, 如今已经可以实现包括多物理场复杂分析在内的多种有限元分析, 并且实现了与 AutoCAD、I-DEAS、Pro/Engineer、NASTRAN 等多数

高级 CAD 软件的数据结合共享。

ANSYS 求解过程:

前处理: 前处理是指创建实体模型和有限元单元模型。前处理包括创建实体模型、修改模型、单元属性定义、有限元网格划分及划分设置。

创建实体模型可遵循自底向上(点线面体)的顺序创建也可按照自顶向下(体面线点)的顺序建立。模型修改(布尔运算)可对模型进行拖拉、旋转、复制、移动、删除、相加、相减、分割、粘合等一系列操作。ANSYS 还可从 CAD 系统中直接导入实体模型。

在进行单元网格划分之前需确定单元类型、单元实常数、单元材料性质以及单元坐标系。确定好合理网格划分的单元尺寸、单元形状、单元划分类型之后再对实体进行网格划分。较为常用的单元形状有六面

体、四面体、四边形、三角形，划分方式则为延伸划分、映射划分、自由划分以及自适应划分。前处理是指创建实体模型和有限元单元模型。前处理包括创建实体模型、修改模型、单元属性定义、有限元网格划分及划分设置。

加载和求解: ANSYS 中可添加的荷载主要分为自由度 DOF 约束、集中荷载、面荷载、体荷载、惯性荷载。施加荷载可施加于实体也可施加于有限单元，如果施加于实体则允许用户更改网格而不必重新加载，但施加关键点约束比较麻烦。如果荷载施加于有限单元则可将荷载直接施加于主节点上，约束施加比较方便。本文加载方式选择施加于有限单元。荷载可通过荷载步、子步分步施加求解，本文因不考虑时间因素故不考虑荷载步的影响。加载求解过程中需注意单位的统一及坐标系的变换。

后处理: ANSYS 提供了两个后处理器: 通用后处理(POST1)和时间历程后处理(POST26)。通用后处理可用以查看模型某一时刻的结果，并能实现简单的图像显示或针对更为复杂数据操作的列表显示，还可以把结果数据映射到模型的某一路径上。时间历程后处理可用来查看模型在不同时刻的结果，显示结果项与时间的关系，或在非线性分析中表示作用力与变形的关系。

2 CRTS II 型双块式无砟轨道设计分析

2.1 CRTS II 型双块式无砟轨道设计参数

2.1.1 扣件

CRTS II 型双块式无砟轨道使用的扣件为 WJ-7 型弹性扣件，根据相关参考文献可知扣件刚度过小会导致钢轨位移超限。扣件对轨道板位移影响较小，其垂直静刚度合理取值在 35~50kN/m 之间，本文取 45kN/m。

2.1.2 钢轨

钢轨使用标准 60kg/m 钢轨，其截面尺寸遵循我国钢轨相关技术标准。

2.1.3 轨道板

轨道板参考我国秦沈客运专线板式无砟轨道，为方便网格划分板长取值 4875mm，考虑横向弯矩对轨道板受力的影响及相关设计经验板宽取值 2.4m，为适应单轮双轴 300kN 轴重、钢筋保护层厚度的增加轨道板厚度取值 0.19m。

2.1.4 CA 砂浆层

砂浆温度为 5~40 °C，弹性模量 (28d) 在 100~300MPa 之间，考虑最不利情况本文取值 100MPa，厚度取为 50mm。

2.1.5 混凝土底座

考虑到技术合理性和经济合理性，底座相关参考厚度为 0.2~0.4m，本文取值 0.25m。底座板宽于轨道板，为方便施工和避免多余宽度过大造成的不经济，底座宽本文取值 3.0m。

2.1.6 地基系数

假想地基为层状弹性半无限体。根据无砟轨道基床技术标准及以往无砟轨道设计经验，基床表层地基系数 K30 应达到 190MPa/m。地基系数与地基刚度满足关系: 地基刚度 $E = \text{地基系数 } k \times \text{基床厚度 } h$ 。本文取基床表层厚度 0.4m，地基系数 190MPa/m。

3 基于 ANSYS 的有限元分析

利用 ANSYS 软件对 CRTS II 型双块式无砟轨道进行模拟计算求解主要步骤有: 定义单元类型、定义实常数、定义材料属性、建模、网格划分、加载约束、求解、结果显示。本文计算运用的 ANSYS 软件版本为 12.0。使用的力学单位统一为 N，长度单位统一为 mm。

3.1 定义单元类型

本设计定义了三种单元类型，分别是梁单元 BEAM188、壳单元 SHELL181 以及弹簧单元 COMBIN14。梁单元 BEAM188 用以模拟 60kg/m 钢轨；壳单元 SHELL181 用以模拟轨道板及混凝土底座；弹簧单元 COMBIN14 用以模拟弹性扣件、CA 砂浆层以及地基。

3.2 定义实常数

壳单元 SHELL181 只设置板层厚度，弹簧单元 COMBIN14 只定义弹簧刚度 K。ANSYS12.0 不允许对梁单元 BEAM188 进行实常数设定，钢轨截面简化为工字钢，属性通过 Sections 命令输入。

3.3 定义材料属性

根据 CRTS II 型双块式无砟轨道相关参数可定义五种材料，每种材料均需定义其弹性模量和泊松比。

3.4 建模

采用自底向上的建模方法，轨道板、混凝土底座建立平面实体，钢轨建立线实体；网格划分后，钢轨与轨道板之间建立点支撑弹簧单元，模拟弹性扣件；轨道板与混凝土底座之间建立均布弹簧单元，模拟CA砂浆层；在混凝土底座下合理高度处创建节点，于混凝土底座和其下部相应节点之间建立均布弹簧单元，模拟地基（图1）。

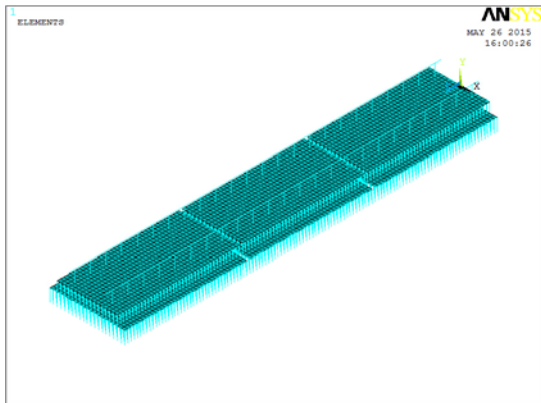


Figure 1. Finite element simulation model of ballastless track
图 1. 无砟轨道有限元模拟模型图

3.5 网格划分

为方便网格划分，选取轨道板平面尺寸为 4875mm×2400mm，混凝土底座平面尺寸为 4875mm×3000mm，相邻板间隔 125mm，相邻扣件间隔 625mm，轨道板、底座进行映射划分，划分网格尺寸均为 125mm×150mm；钢轨进行线划分，单元尺寸为 125mm。

3.6 加载、约束

荷载采用单轮双轴 300kN 荷载，轮对间距近似取 2500mm，沿 Y 轴负方向作用于钢轨模型中部四个节点上。

为保证求解的正常进行，需对模型进行必要约束。地基底层全部节点进行全约束；轨道板及混凝土底座纵向两端进行线约束，限制其 Z 轴方向位移；轨道板及混凝土底座横向任选一端进行线约束，限制其 X 轴方向位移；两根钢轨四个端节点进行点约束，限制其 X 轴旋转和水平方向即 X 轴 Z 轴方向位移。

3.7 求解

检查无错误后通过 ANSYS 软件 solve>Current LS 命令进行求解，如求解成功会出现 solution is done! 图框，求解过程结束。

3.8 结果显示

本设计结果提取了轨道板及混凝土底座的横纵向应力和横纵向弯矩图用以进行配筋计算。

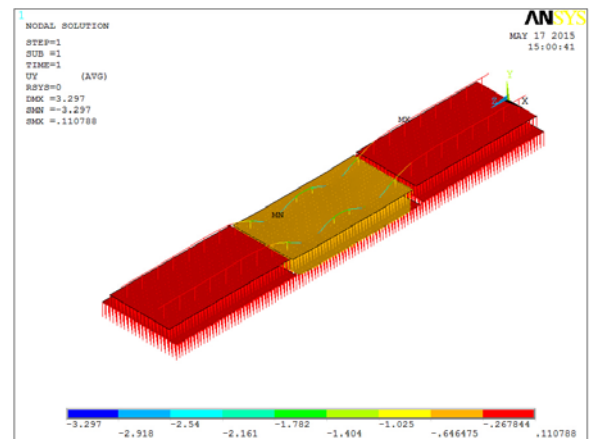


Figure 2. Total displacement map of ballastless track model
图 2. 无砟轨道模型总位移图

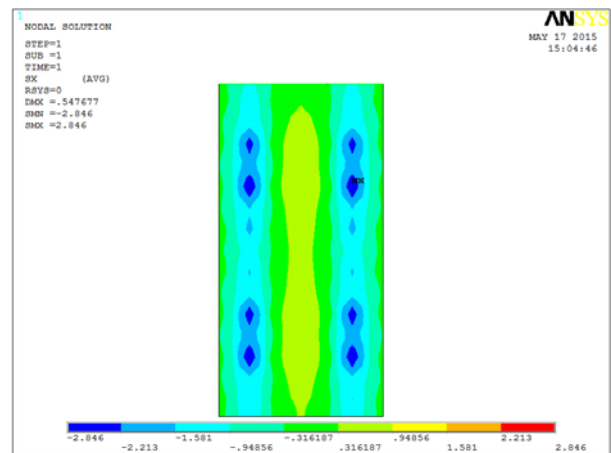


Figure 3. Transverse stress of the top surface of a rail plate
图 3. 轨道板顶面横向应力图

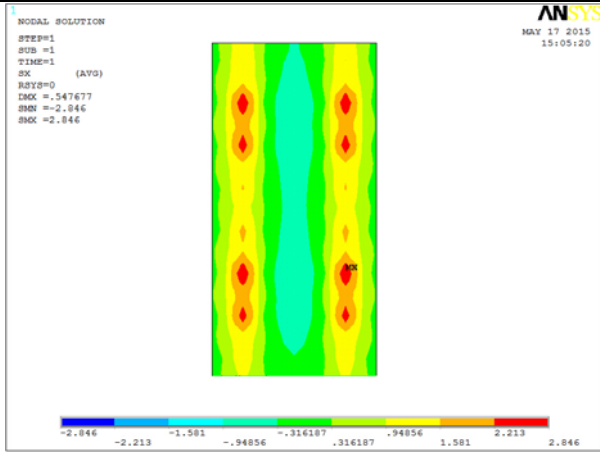


Figure 4. Transverse stress of the bottom of a rail plate
图 4. 轨道板底面横向应力图

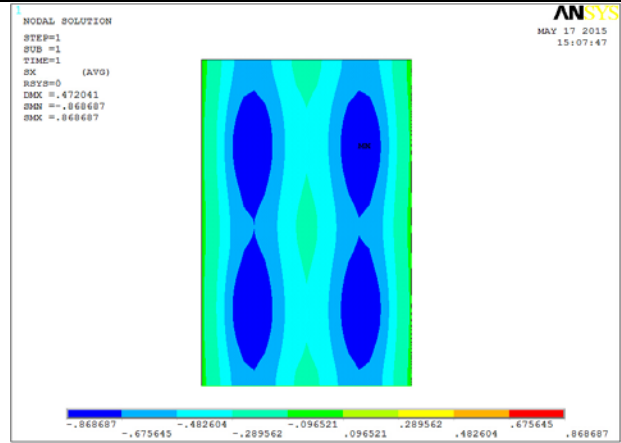


Figure 7. Transverse stress of the top surface of the base plate
图 7. 底座板顶面横向应力图

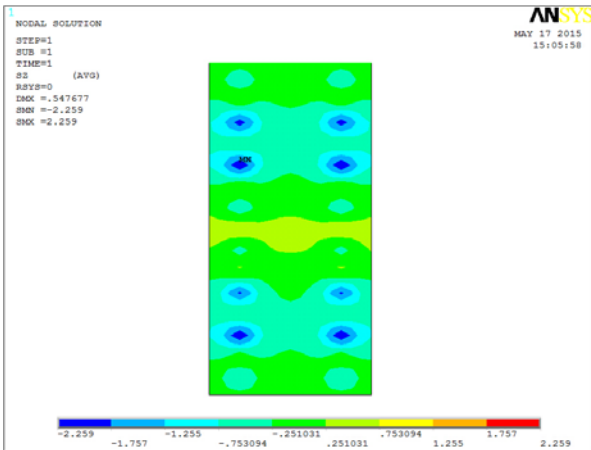


Figure 5. Longitudinal stress stripe of the top surface of a rail plate
图 5. 轨道板顶面纵向应力图

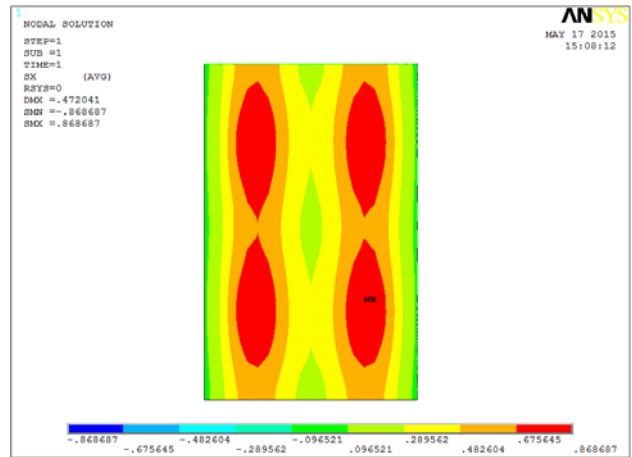


Figure 8. Transverse stress of the bottom of the base plate
图 8. 底座板底面横向应力图

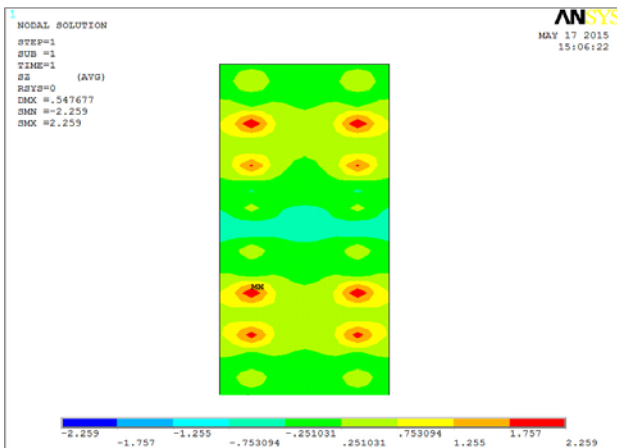


Figure 6. Longitudinal stress in the bottom of a rail plate
图 6. 轨道板底面纵向应力图

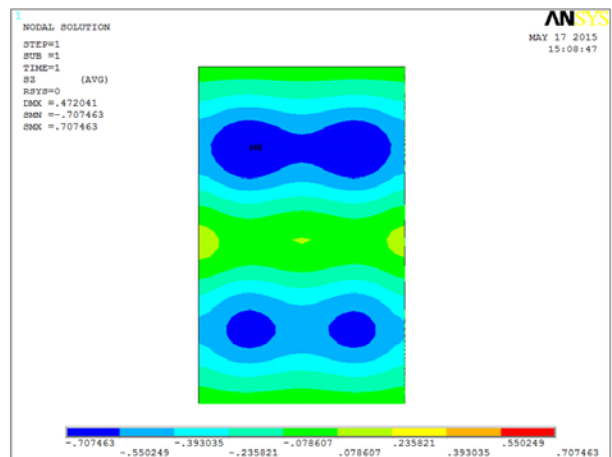


Figure 9. Longitudinal stress stripe of the top surface base plate
图 9. 底座板顶面纵向应力图

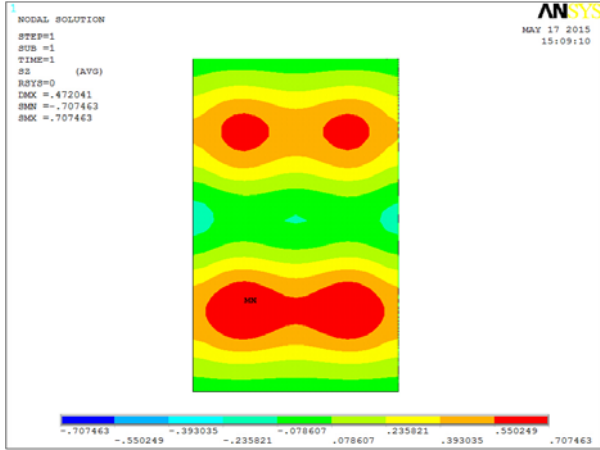


Figure 10. Longitudinal stress in the bottom of the base plate

图 10. 底座板顶面纵向应力图

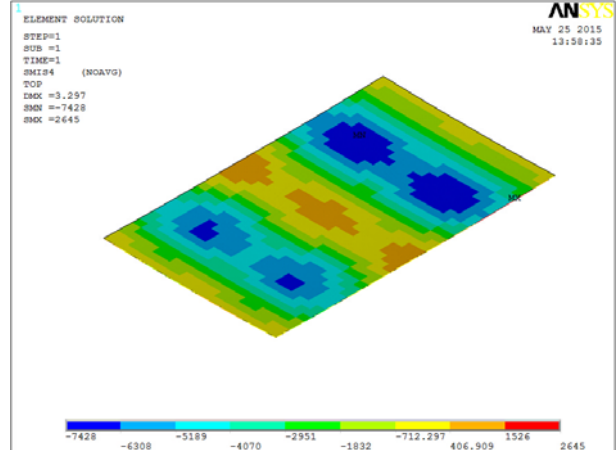


Figure 13. Transverse bending moment diagram of the base

图 13. 底座横向弯矩图

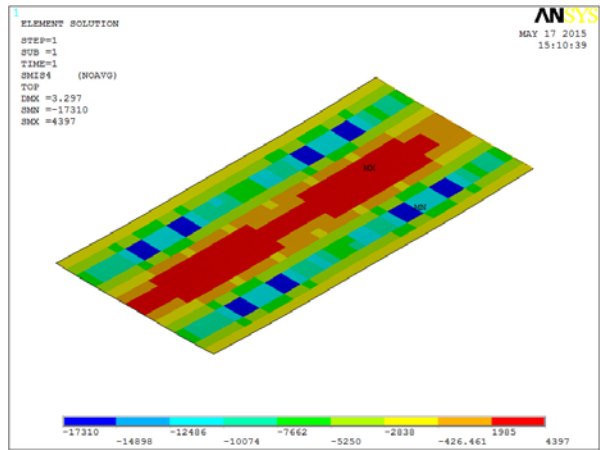


Figure 11. Transverse bending moment diagram of track plate

图 11. 轨道板横向弯矩图

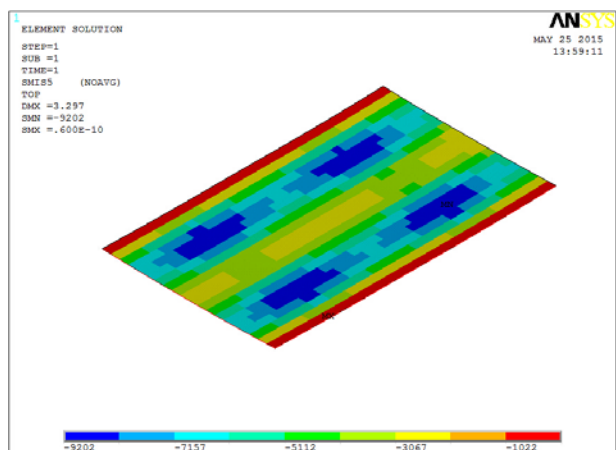


Figure 14. Longitudinal bending moment diagram of the base

图 14. 底座纵向弯矩图

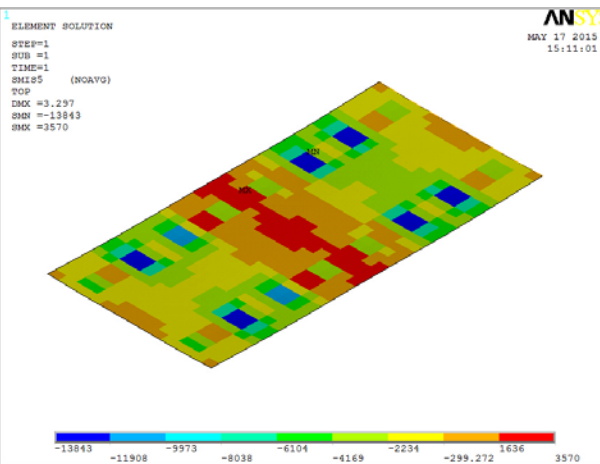


Figure 12. Longitudinal bending moment diagram of track plate

图 12. 轨道板纵向弯矩图

Table 1. Table of calculation results of double-block ballastless track

表 1. 双块式无砟轨道计算结果表

名称	数值
轨道最大位移	3.297 (mm)
轨道板横向最大正弯矩	4397 (N·m/m)
轨道板横向最大负弯矩	17310 (N·m/m)
轨道板纵向最大正弯矩	3570 (N·m/m)
轨道板纵向最大负弯矩	13843 (N·m/m)
底座横向最大正弯矩	0.6×10^{-10} (N·m/m)
底座横向最大负弯矩	9202 (N·m/m)
底座纵向最大正弯矩	2645 (N·m/m)

底座纵向最大负弯矩	7428 (N·m/m)
-----------	--------------

References (参考文献)

- [1] Liu Yuxiang. Study on the analysis method of slab ballastless track of railway, Central South University, 2006.
刘玉祥. 铁路板式无砟轨道结构分析方法的研究, 中南大学, 2006.
- [2] Sun Li. Double block ballastless track design for Wuhan Guangzhou passenger dedicated line, railway standard design, 2006
孙立. 武广客运专线双块式无砟轨道设计, 铁道标准设计, 2006
- [3] Yan Hongliang. Study on track structure selection of passenger dedicated line, railway construction, 2005.2
阎红亮. 客运专线轨道结构选型研究, 铁道建筑, 2005. 2
- [4] Introduction to mechanical calculation of Subgrade of Rheda2000 ballastless track in Germany. Standard design of railway, 2006
管吉波. 德国 Rheda2000 无砟轨道路基地段的力学计算简介, 铁道标准设计, 2006 姜平. 曾庆元. 移动荷载作用下连续粘弹性基础支承无限长梁的有限元分析阴. 交通运输学报, 2003
- [5] Lin Huanzhang. Analysis of selection and application conditions of ballastless track of high speed railway, railway standard design, 2006
林焕章. 高速铁路无砟轨道选型及应用条件分析, 铁道标准设计, 2006
- [6] Study on structural type selection of ballastless track for Yang Jingdong Harbin Dalian passenger dedicated line, railway construction 2008, 8
杨靖东. 哈大客运专线无砟轨道结构选型研究, 铁道建筑 2008, 8
- [7] Construction technology of double block ballastless track on Chen Weidong Wu Guang passenger dedicated line, Shanxi architecture, 2008, 8
陈卫东. 武广客运专线双块式无砟轨道施工工艺, 山西建筑, 2008, 8
- [8] Wang Xucheng Tai min. Basic principles and numerical methods of finite element method [M]. Beijing: Tsinghua University, 2003.
王勖成. 邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京: 清华大学, 2003.
- [9] Shao Zuqiu. ANSYS8, 0 finite element analysis example navigation. China Railway Publishing House. 2004. Beijing
邵茁秋. ANSYS8, 0 有限元分析实例导航. 中国铁道出版社. 2004. 北京.
- [10] Gong Shuguang Xie Guilin. ANSYS operation command and parameterized programming. Machinery Industry Press. 2004. Beijing
龚曙光. 谢桂兰. ANSYS 操作命令与参数化编程. 机械工业出版社. 2004. 北京
- [11] Zhao Jingwen Wang Hongyu structure finite element analysis [M]. Beijing: Science Press, 2001.
赵经文. 王宏钰结构有限元分析[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [12] Lou Ping. Ceng Qingyuan. Finite element analysis of a continuous viscoelastic foundation supported infinite beam under moving loads. Journal of transport, 2003
姜平. 曾庆元. 移动荷载作用下连续粘弹性基础支承无限长梁的有限元分析阴. 交通运输学报, 2003
- [13] Yan Hongliang. Selection of track structure for passenger dedicated lines. Tian. Railway construction, 2005
阎红亮. 客运专线轨道结构选型研究田. 铁道建筑, 2005.