

文章编号: 1673-0062(2010)02-0108-05

Rheda2000 型无碴轨道道床板疲劳寿命分析

陈大磊^{1,2}, 杨建明¹, 蒋传开²

(1. 南华大学 城市建设学院, 湖南 衡阳 421001; 2 上海铁路局蚌埠工务段, 安徽 蚌埠 233000)

摘要: 通常国内无碴轨道设计中不进行疲劳损伤设计, 而实际情况中道床板结构承受轮轨垂向力荷载等循环荷载作用, 极有可能在其使用年限内产生疲劳损伤, 故对道床板的疲劳损伤及其使用寿命进行研究有着非常重要的意义. 本文主要阐述了利用 S-N 曲线 (又称 Wöhler 曲线) 法对国内设计中 24 m 单孔箱梁上 Rheda2000 型无碴轨道道床板进行疲劳寿命预测分析.

关键词: Rheda2000 道床板; 疲劳寿命; 有限元法

中图分类号: U213.244 **文献标识码:** B

The Fatigue Life Analysis of the Rheda2000 Ballastless Track slab

CHEN Da-lei^{1,2}, YANG Jian-ming¹, JIANG Chuan-kai²

(1. School of Urban Construction, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2. Bengbu Engineering Section, Shanghai Railway Administration, Bengbu, Anhui 233000, China)

Abstract The design of ballastless track usually does not consider the influence of the structure fatigue in our country. Actually, the ballastless track slab structure bears the cycle force influence, such as vertical force from the wheel and so on. It is possible that fatigue destroy will occur in during its using age. So it is important to research the fatigue damage and life of the slab. This paper mainly analyse the fatigue life of the Rheda2000 ballastless track slab on the 24 m abutment bridge of the design by the method of S-N curve (Wöhler curve) in our country.

Key words Rheda2000 slab; fatigue life; finite element method

美国试验与材料协会 (ASTM) 在《疲劳试验及数据统计分析之有关术语的标准定义》(ASTM E206-72) 中定义: 在某点或某些点承受扰动应力, 且在足够多的循环扰动之后形成裂纹或完全断裂的材料中发生的局部的、永久结构变化的发

展过程, 称为疲劳^[1-2]. 在结构的各种失效形式中, 疲劳是结构失效的最主要原因之一, 也是结构可靠性试验要考虑的最主要的因素. 本文是以有限元结构分析软件 ABAQUS 对道床板在 CRH3 型动车组以 300 km/h 的速度通过时的三维实体

收稿日期: 2010-01-25

作者简介: 陈大磊 (1984-), 男, 安徽蚌埠人, 上海铁路局蚌埠工务段助理工程师, 硕士. 主要研究方向: 轨道结构工程.

模型受力分析结果为基础^[3], 并利用大型有限元分析软件 MSC. Fatigue与疲劳累积损伤理论^[4]相结合的方法对其道床板进行疲劳寿命分析。

1 道床板受力仿真分析

1.1 道床板模型参数的选取

道床板结构属于钢筋混凝土结构, 一般钢筋混凝土结构的有限元模型主要有三种方式: 分离式、组合式与整体式。组合式是当钢筋和混凝土之间粘结较好, 可以认为两者之间无滑移时, 可以采用组合式模型, 此时认为钢筋埋置于混凝土单元中, 钢筋与混凝土之间完全粘结, 两者位移应变完全协调一致, 钢筋成为这种单元的一个组成部分, 本文不考虑钢筋的滑移, 采用此种模型分析。

道床板结构是本文分析的重点, 采用桥上常用的 7.8 m 长, 2.8 m 宽, 0.26 m 高的结构形式, 轨枕间距采用 0.65 m, 建模时采用 3D- Deformable- Solid- Extnusion 类型, 道床板材料采用 C40 混凝土, 弹性模量取 3.25E+4 MPa, 泊松比 0.16

道床板中的钢筋结构纵向采用 HRB335Φ18 横向钢筋采用 HRB335Φ16, 间距 200 mm, 因道床板的竖向钢筋在结构中主要起支架作用, 固本文在建模时不予考虑。建模时采用 3D- Deformable

- Shell- Planar 类型, 弹性模量取 2.06E+5 MPa, 泊松比 0.3, 截面类型采用 Surface Rebar Layers 模块中: Area per Bar 取 0.000 255 m², Spacing 取 0.2 m, 网格划分采用 SFM 3D4R 单元。

1.2 模型荷载取值计算与结果

轨道垂向力除车辆静轮载外, 还要考虑列车动力作用, 包括: 钢轨横向弯曲; 垂直偏心荷载; 在行车过程中出现的轮重分布; 由于速度引起的垂直冲击力; 轨道及车轮、钢轨断面不平顺和不均匀引起的冲击荷载等。轨道垂向荷载一般可以表示为静轮重的函数, 即: $P_d = \phi P_j$,

式中: P_d ——轨道设计轮重;

ϕ ——动力系数;

P_j ——静轮重。

我国经过六次大提速后, 根据国外经验及国内秦沈客运专线试验结果: 无碴轨道试验速度 321 km/h 时, 长枕埋入式无碴轨道动力系数最大为 1.94, 板式无碴轨道动力系数最大为 1.57。对于高速铁路而言, 曲线荷载系数一般取 1.2。本文模拟试验轮对荷载取值采用 170 kN 进行计算。ABAQUS 受力仿真结果如图 1。

同时, 也可根据车轮荷载分布形式图 (图 2), 每个轨枕上的压力按连续支承梁模型进行计算。

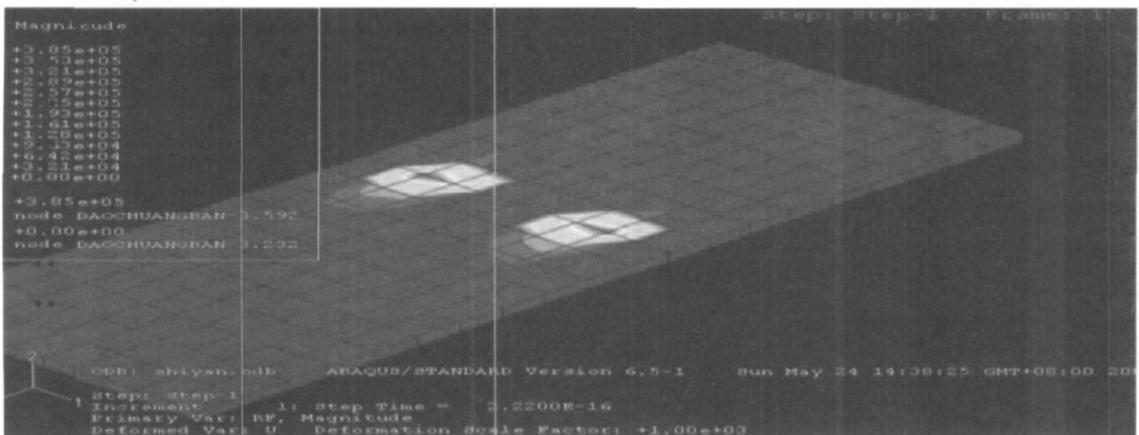


图 1 道床板垂向压应力仿真图

Fig 1 The vertical stress picture of the slab

计算公式为:

$$S_0 = \frac{ak}{2} \sum_{i=1}^n P_{oi} e^{-kx_i} (\cos kx_i + \sin kx_i) \quad (1)$$

式中: P_{oi} ——各车轮的静轮载;

X_i ——各轮位与计算截面之间的距离;

k ——轨道系统特性参数;

$$K = \sqrt[4]{\frac{u}{4EI}} \quad \mu \text{ 为刚比系数。}$$

当列车按图 3 所示, 运行至 $S_0 - S'_0$ 时, 轨枕反力具体计算结果如下:

$$S_0 = S'_0 = 59 \text{ kN};$$

$$S_1 = S'_1 = 24.28 \text{ kN};$$

$$S_2 = S'_2 = 35.21 \text{ kN};$$

$$S_3 = S'_3 = 31.56 \text{ kN};$$

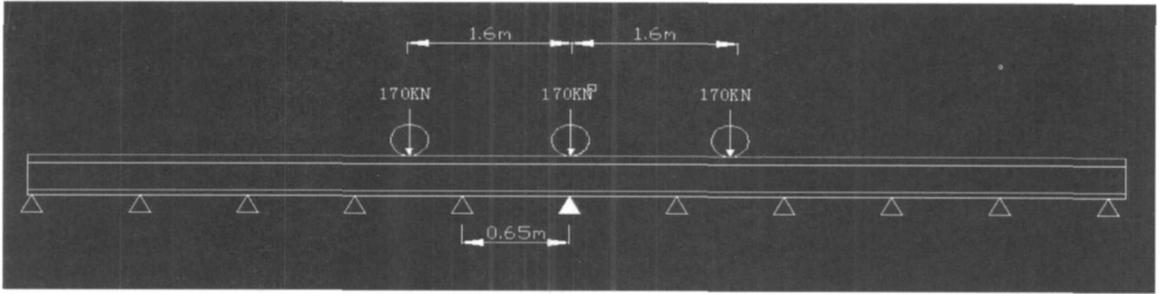


图 2 车轮荷载分布形式图

Fig 2 The distributed form picture of wheel load

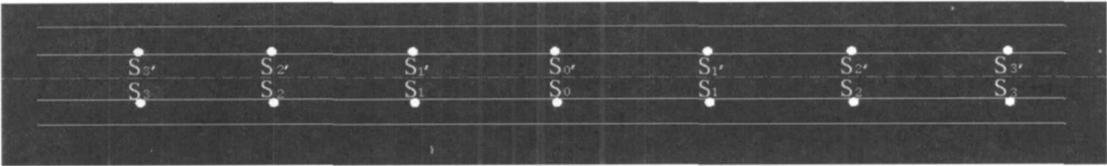


图 3 轨枕支承平面示意图

Fig 3 The ichnography picture of track ichnography support

根据以上计算结果,把相应的压力施加在对应的轨枕上,得出道床板最大垂向压应力为 0.384 MPa.由图 1 也可以看出,当列车从左至右通过,当轮对处于某块轨枕正上方时,道床板所受的最大压应力值为 0.385 MPa,与理论计算基本吻合,且位于节点编号 592 处暨轨枕与道床板的结合部位.由于实体模型更好的模拟了道床板实际的受力情况,所以利用 ABAQUS 计算所得到的应力值更加接近实际情况.

进入 Loading Information 对话框,定义疲劳循环应力.因疲劳应力循环大小变化与轨枕荷载大小变化相关,故循环应力可按照下面公式计算.

$$\sigma = \sigma_0 \sum_{i=1}^n e^{-k v_i t} (\cos^{k v_i t} + \sin^{k v_i t}) \quad (2)$$

式中, σ_0 ——道床板最大压应力,由有限元分析结果得到;

v_i ——第 i 组轮对的速度

该循环应力的一个循环周期为前一个轮对荷载作用在轨枕上到相邻轮对荷载作用在这个轨枕上的时间差值,列车以 300 km/h 通过的循环载荷曲线如图 4

2 疲劳仿真分析

2.1 定义疲劳载荷及工况

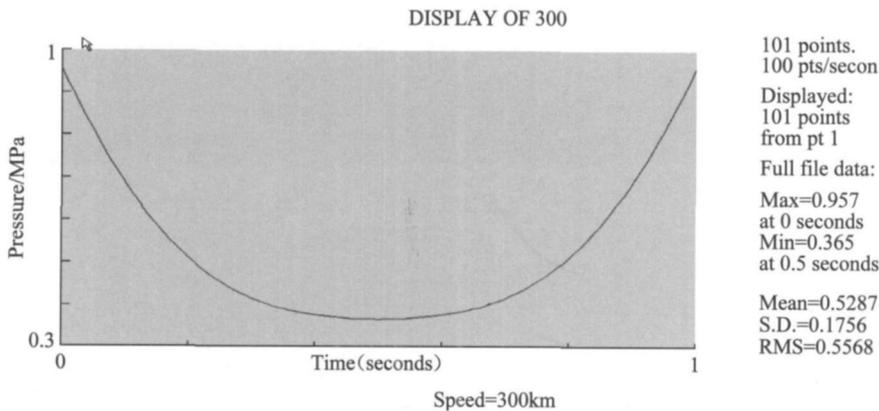


图 4 时速 300 km/h 的循环载荷曲线图

Fig 4 The cycle force curve sketch of 300 km/h

2.2 定义材料的疲劳特性

进入 Materials Database Manager 模块,创建材料的 S-N 曲线.

进入 Materials Information 对话框,利用 Materials Database Manager 模块,创建材料的 S-N 曲线.因道床板混凝土在轮轨垂向力作用下是受压.

循环, 根据混凝土疲劳寿命与应力上限水平的关系式线性内差得到道床板混凝土材料的 S-N 曲线表达式: $f_{max} = 26.8 - 2.057 \lg N$, 式中 f_{max} 表示混凝土名义应力, N 表示疲劳破坏次数.

道床板钢筋同样根据钢筋 S-N 曲线公式, 将钢筋的荷载循环过程视作脉动 (即应力比 $R = 0$), 可得到道床板钢筋 S-N 曲线表达式如下:

$$\begin{cases} \lg S = 3.3196 - 0.1247 \lg N & (N < 10^7) \\ \lg S = 3.1453 - 0.0998 \lg N & (N \geq 10^7) \end{cases} \quad (3)$$

式中: S 表示名义应力, N 表示疲劳破坏次数. 道床板的 S-N 曲线及道床板钢筋的 S-N 曲线创建如图 5、图 6

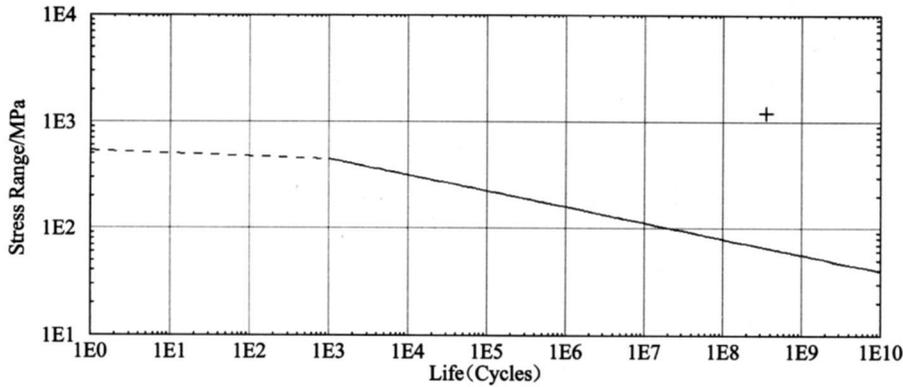


图 5 道床板混凝土 S-N 曲线图

Fig 5 The S-N curve sketch of concrete in the slab

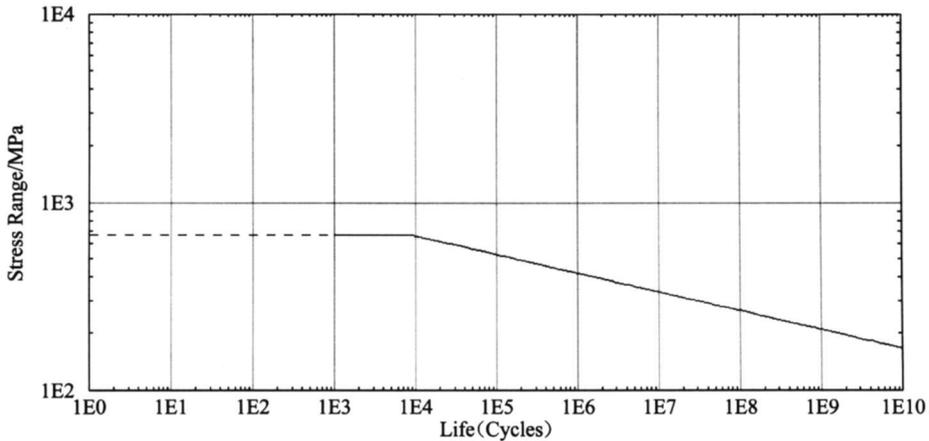


图 6 道床板钢筋 S-N 曲线图

Fig 6 The S-N curve sketch of steel bar in the slab

3 结果与分析

提交分析成功后, 运行 Import Fatigue Results 模块, 选择 Read Results 选项查看分析结果, 生成的疲劳寿命云图结果如图 7.

在整个循环过程中, 钢筋疲劳寿命很高 ($> 10^{20}$ 次), 说明其一直没发生疲劳破坏, 故可认为在轮轨垂向力作用下, 道床板主要破坏形式是道床板混凝土受压破坏, 按照混凝土损伤 (变形) 累积三个阶段发展规律^[3]可知, 受压区混凝土在

疲劳荷载作用下, 混凝土的内部损伤增加, 变形随荷载循环次数的增加而增大. 此外, 道床板板面与轨枕结合面受拉区域, 这个区域是拉应力较大的区域, 受拉区钢筋和混凝土之间的粘结力在重复荷载作用下将发生退化, 钢筋和混凝土之间的滑移量不断增大, 以及钢筋和混凝土在疲劳荷载作用下残余变形不断增加, 都将导致道床板刚度降低, 应变和裂缝宽度增大^[4]. 同样根据推理可知, 列车以不同速度通过道床板时, 当列车速度增快时, 由于动载效应, 将有更大的压应力作用在道床

板上,这将使得道床板的疲劳寿命减短.

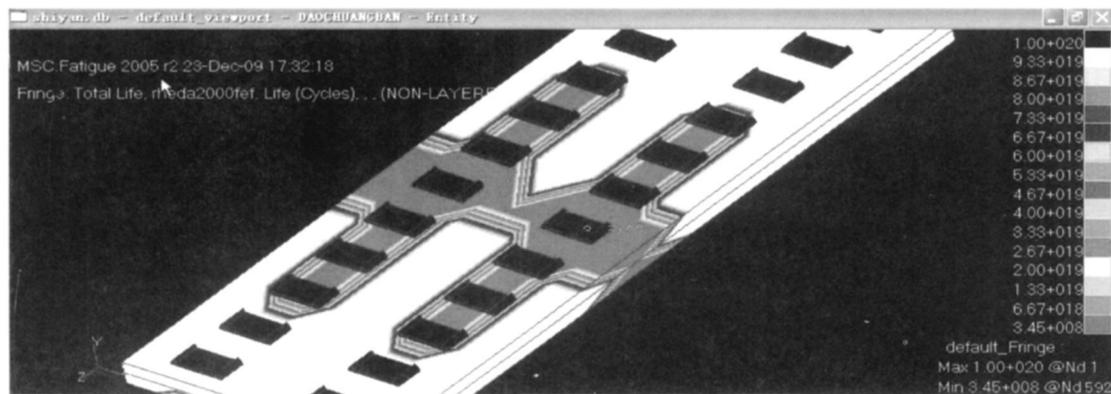


图 7 道床板疲劳寿命云图

Fig 7 The fatigue life cloud picture of the slab

假设此客运专线每小时发 20 列 8 编组 CRH3 型动车组,即按每年 5 606 400 次轮轨循环荷载作用,计算道床板的疲劳寿命.根据图 7 道床板疲劳寿命云图可知,Rheda2000 型无碴轨道道床板在承受 $3.45E+8$ 次循环荷载暨使用约 61.5 年后,在轮轨荷载作用下道床板与轨枕的新旧混凝土结合面暨 592 号节点处会出现疲劳破坏并将扩展,这也是道床板的薄弱部位,加之轨枕是预先制作的,容易出现新旧混凝土粘结不良而出现道床板与轨枕交接处的四个角端有 40° 左右的角裂缝.同时,运营后随着列车运营次数的增加,裂缝还将进一步扩

大,在设计与施工工艺中要特别注意.

参考文献:

- [1] 陈大磊,于绍峰,杨建明. Rheda2000 型无碴轨道道床板受力仿真分析[J]. 上海道科技, 2009, 4(4): 84-86
- [2] 王国军. MSC Fatigue 疲劳分析实例指导教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [3] 李靖华,李果,刘刚. 混凝土疲劳寿命规律预测新方法[J]. 大连理工大学学报, 1997, 37(1): 115-121
- [4] 庞林飞. 钢筋混凝土板疲劳损伤识别及疲劳寿命预测[D]. 南京: 东南大学士, 2004.

(上接第 107 页)

- [6] 李萌,孙宝盛,曹伟. 活性污泥膨胀的机理及控制措施的研究[J]. 天津化工, 2007, 21(3): 53-55
- [7] 陈丽华,王增长,牛志卿. 活性污泥膨胀的相关理论及控制方法[J]. 科技情报开发与经济, 2003, 13(2): 123-126
- [8] 文湘华,王建龙. 环境生物技术原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [9] Caravelli A, Giannuzzi L D, Zaritzky N. Effect of chlorine on filamentous microorganisms present in activated sludge as evaluated by respirometry and NT-dehydrogenase activity[J]. Water Research, 2004, 38: 2395-2405.
- [10] Caravelli A, Contreas EM, Giannuzzi L, et al Modeling of chlorine effect on floc forming and filamentous micro-

organism of activated sludges[J]. Water Research, 2003, 37: 2097-2105

- [11] Juang D E Effects of synthetic polymer on the filamentous bacteria in activated sludge[J]. Bioresource Technology, 2005, 96: 31-40
- [12] Daine A, Kunst S Control of bulking sludge caused by Type 021N and Type 0961 in an industrial wastewater treatment plant with an aerobic selector[J]. Water Science and Technology, 2002, 46(1/2): 29-33
- [13] Martins A, Pagila K, Heijnen J J et al Filamentous bulking sludge- a critical review[J]. Water Research, 2004, 38: 793-817.
- [14] Knuit J Visser A. Bulking sludge solved[J]. Water Science and Technology, 2002, 46(1/2): 457-464.