

# Design and Analysis of In-Door Experiments of Prefabricated Short Slab Track in Urban Rail Transit

Yaoyan Cheng

Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai  
Email: 97707@tongji.edu.cn

Received: Oct. 25<sup>th</sup>, 2016; accepted: Nov. 8<sup>th</sup>, 2016; published: Nov. 11<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The floating slab track of the prefabricated short slab installation solution effectively overcomes the defects such as time-consuming in construction and limiting the methods of construction, and so they are widely used. But those changes in structures cause the change of force characteristics and mechanics status under the train loads, and affect their strength safety, stability and service life. Combing the in-door experiments' requirement and objectives, the design of the experiments solutions to the prefabricated slab track, data analysis method and typical measurement result etc. are introduced briefly in this paper.

## Keywords

Urban Rail Transit, Floating Slab Track, Prefabricated Short Slab Track, Experiment, Analysis

---

# 城市轨道交通预制短板轨道的实验方案设计与分析

程曜彦

同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海  
Email: 97707@tongji.edu.cn

收稿日期: 2016年10月25日; 录用日期: 2016年11月8日; 发布日期: 2016年11月11日

## 摘要

预制短板节段拼装方案的浮置板轨道有效克服了常规钢弹簧浮置板轨道施工进度慢、施工方式受限等问题而得到推广。但结构上的这种变化引起其在列车荷载作用下受力特征和力学状态的改变,进而影响到轨道结构的强度安全、稳定性以及使用寿命。本文结合室内试验需求和目标,对预制短板轨道的室内试验方案设计、数据分析方法和典型测试结果等做一简要的介绍。

## 关键词

城市轨道交通, 浮置板, 预制短板轨道, 试验, 分析

## 1. 引言

钢弹簧浮置板轨道结构具有良好的减振性能和效果[1] [2] [3], 并在城市轨道交通中得到了广泛使用[4] [5]。常规钢弹簧浮置板轨道结构一般采用现场浇注的施工方式, 施工进度缓慢, 成为施工工期的瓶颈环节。因此, 钢弹簧浮置板轨道的施工进度成为困扰国内外地铁建设各方的重大问题[6]。预制短板节段拼装方案的浮置板轨道应需而生, 并在部分地铁得到了应用, 加快了施工进度, 解决了困扰施工工期的瓶颈问题。由于预制短板轨道在结构形式上与常规浮置板轨道有较大的差别, 在列车荷载作用下其受力特征和力学状态也将不可避免产生变化, 进而影响到轨道结构的强度安全、稳定性以及使用寿命, 对行车安全性和平稳性也将产生影响。

为此, 本文结合实验室试验及相关规定, 对预制短板轨道的室内试验方案、数据分析方法和典型测试结果等做一简要的介绍。

## 2. 试验方案的设计

### 2.1. 试验目的

测试并分析预制短板的静态荷载下主筋和混凝土应力、板垂横向位移及刚度和疲劳荷载作用下混凝土应力、动刚度等参数,

### 2.2. 试验内容

根据研究需要, 设计开展静载试验和疲劳试验两部分。

#### 1) 静载试验内容

在不同支承条件下, 对预制短板进行分级加载, 对预制短板不同受力位置表面和混凝土内部主筋的应变进行测试, 分析不同荷载作用下预制短板表面和混凝土内部钢筋的强度特性。对预制短板的不同位置的位移和挠度进行测试, 分析预制短板的变形特性。

#### 2) 疲劳试验内容

疲劳荷载为 30~180 kN, 在加载前、加载 50 万次、70 万次、100 万次、170 万次、200 万次、300 万次后, 对板的动态位移和混凝土应变进行测试, 观察并记录裂纹产生及其拓展趋势。

### 2.3. 试验条件设计

#### 1) 加载方式

考虑到运营效果和预制短板的特点，加载方式分为3种，如图1所示，即：车辆的一个转向架作用在一块预制短板上、一个轮轴作用在预制短板跨中和预制短板1/3板长上。

2) 支承方式

预制短板有4个弹簧减振器，分布在板中间位置，两侧端部为4个弹性橡胶支座。考虑预制短板受力特性及其承载能力，试验设计了3种支承条件，即：弹簧1, 2, 3, 4为正常弹性支承；弹簧1, 2, 3, 4脱空；弹簧1, 2为正常支承；3, 4为弹簧脱空。

3) 静载、疲劳试验的工况组合

根据对加载方式和支承方式的研究，拟定5种试验工况，如表1所示。

2.4. 测点布置

2.4.1. 钢筋测点布置

分别在浮置板跨中和1/3板长处，选取板顶和板底各3根主筋作为测点，具体测点布置如图2所示。

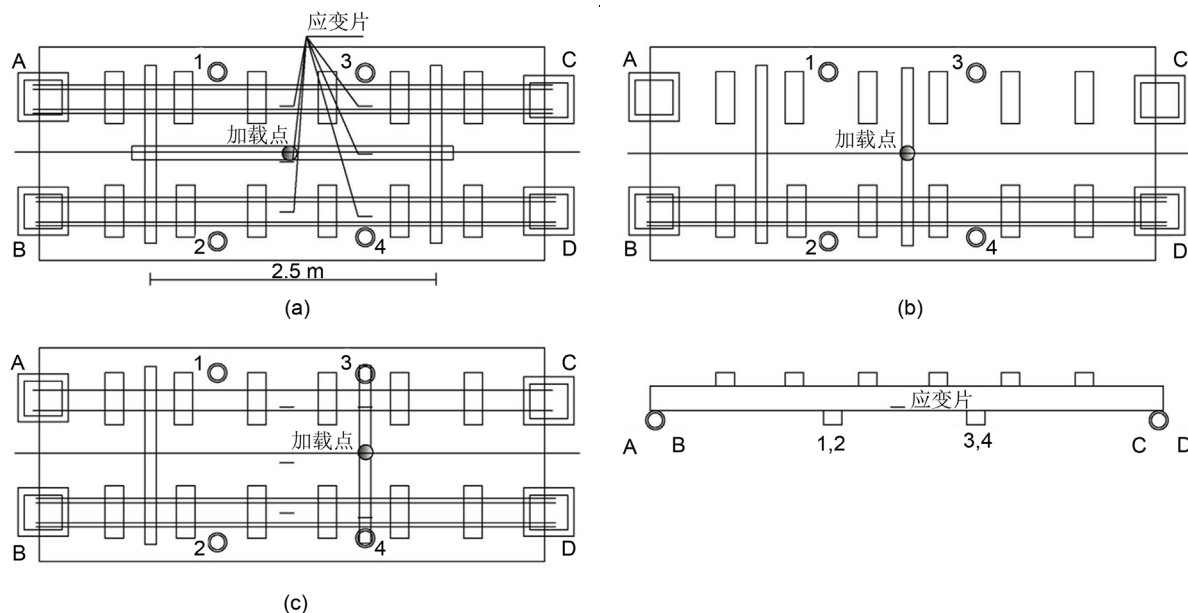


Figure 1. Type of experiment loading. (a) Type of loading one; (b) Type of loading two; (c) Type of loading three  
图1. 试验加载方式。(a) 加载方式1；(b) 加载方式2；(c) 加载方式3

Table 1. Cases of the static load experiment of prefabricated short slab track  
表1. 预制短板静载试验工况

试验工况	加载方式	支承条件	钢筋测点	混凝土测点	位移测点
工况1	加载方式1	支承方式1	板中钢筋6点	板中8点	共6点
工况2	加载方式2	支承方式1	板中钢筋6点	板中8点	共6点
工况3	加载方式3	支承方式3	板长1/3处6点	板长1/3处8点	共6点
工况4	加载方式2	支承方式2	板中钢筋6点	板中8点	共6点
工况5	加载方式1	支承方式2	板中钢筋6点	板中8点	共6点

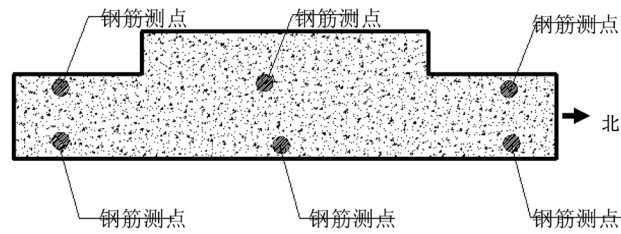


Figure 2. Sketch cross-profile graph of steel reinforcement in prefabricated slab track

图 2. 预制短板横剖面钢筋略图

#### 2.4.2. 预制短板混凝土和位移测点布置

分别在板跨中和 1/3 板长处板顶面贴纵、横向应变片(共 12 点), 在板底面两侧贴纵向应变片(共 4 点)。在浮置板四个角以及南北两侧的板跨中布置位移传感器。混凝土应变测点共 16 点, 位移测点共 6 个, 如图 3 所示。

### 3. 试验数据分析方法

测试的数据采集软件为东华 DH5920 动态信号采集分析系统, 数据分析软件为 MATLAB。

#### 3.1. 静载试验数据分析

##### 3.1.1. 预制短板应力强度分析

通过对预制短板表面的应变测试, 可以得出各工况条件下预制短板表面各测点的应变数据, 根据公式(1)计算并得到各工况下各测点的应力值。

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1)$$

式中:  $\sigma$  ——应力(Pa);

$E$  ——弹性模量(Pa);

$\varepsilon$  ——应变。

##### 3.1.2. 预制短板钢筋强度分析

通过对预制短板钢筋应变测试, 得出各工况条件下混凝土内部钢筋的应变数据, 然后按照公式(1)计算, 可以得到各测点的应力值。

##### 3.1.3. 预制短板垂向位移测试

通过对预制短板垂向位移的测试, 可得出各工况下各测点的垂向位移。对每个工况下各荷载时各测点的位移进行平均, 得到预制短板的整体平均垂向位移。

根据不同工况条件下预制短板的平均垂向位移, 可对预制短板的垂向刚度进行评判, 计算公式如式(2)所示。

$$K_i = F_i / \Delta x_i \quad (2)$$

式中:  $K_i$  ——第  $i$  级荷载对应的刚度;

$F_i$  ——第  $i$  级荷载;

$\Delta x_i$  ——第  $i$  级荷载对应的相对挠度。

##### 3.1.4. 横向静载测试数据分析

通过对预制短板横向位移的测试, 可得出各工况条件下预制短板的横向位移, 并汇总形成不同荷载条件下各测点的平均位移。

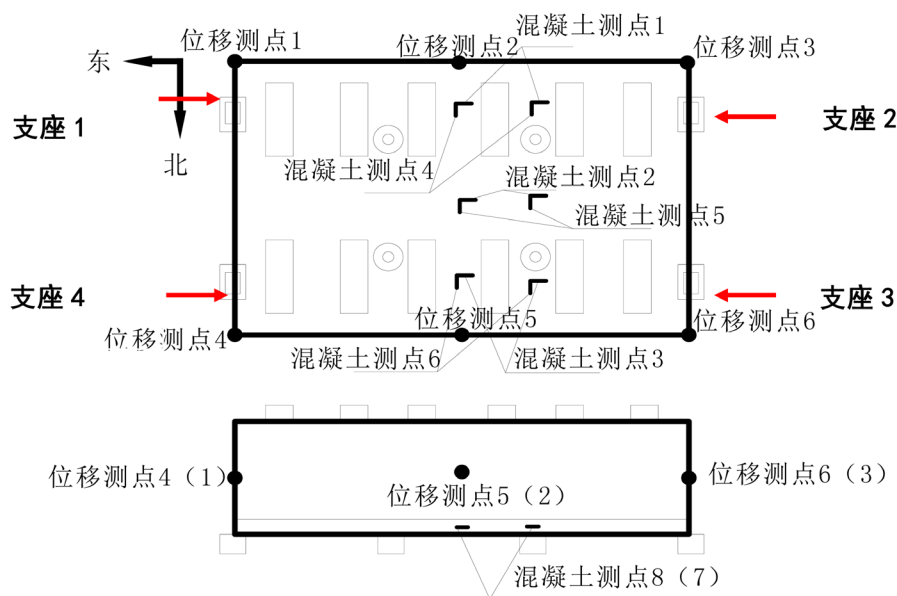


Figure 3. Layout of strain measurement positions on the concrete slab

图 3. 混凝土应变测点布置图

将预制短板 3 横断面上预制短板两侧的横向位移进行相减，可以得到预制短板横向相对挠度。在统计得出预制短板横向相对挠度的基础上，对预制短板的横向刚度进行评估。

## 3.2. 疲劳试验数据分析

### 3.2.1. 动位移测试分析

记录不同加载条件下各个测点的动位移，然后将位移最大值和最小值相减得到位移幅值。将不同疲劳循环次数加载后测得的各测点位移幅值取平均值，根据公式(2)，可得出预制短板轨道垂向动刚度值。

### 3.2.2. 混凝土板动应力测试分析

在疲劳荷载作用下，对预制短板混凝土表面应变进行测试，分析在不同循环次数的疲劳荷载作用下混凝土动应力的变化规律。

### 3.2.3. 预制短板疲劳裂纹观测

观测试验前及试验加载中预制短板是否产生裂纹。

## 4. 典型试验结果及其分析

### 4.1. 实验现场

测试实验如图 4 和图 5 所示。

### 4.2. 实验结果分析

限于篇幅，这里仅以预制短板和疲劳试验数据为例做一简要分析。

#### 1) 预制短板垂向位移测试

所列的预制短板垂向刚度随荷载变化的趋势采用折线图的进行描绘，得出荷载对预制短板垂向刚度的影响规律，如图 6 所示。



Figure 4. Static load experiment  
图 4. 静载试验



Figure 5. Fatigue experiment  
图 5. 疲劳试验现场

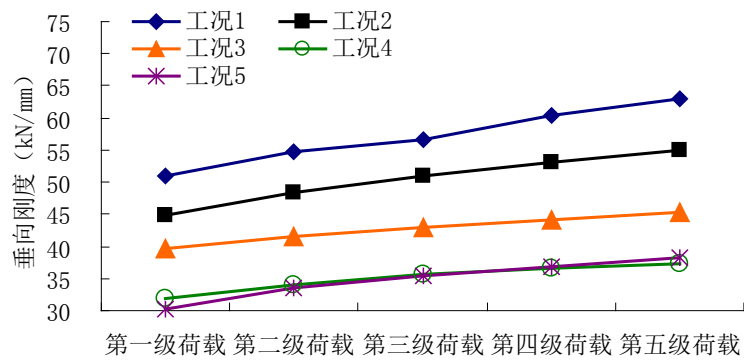


Figure 6. Vertical stiffness graph of all cases of the prefabricated slab track  
图 6. 预制短板各工况垂向刚度图



综上所述：预制短板的垂向变形随着荷载的增加而增大，在工况 1 中加载到 960 kN 时，垂向位移最大值可达 15.23 mm。在相同支承条件和试验加载条件下，预制短板垂向刚度随着荷载的增加而增大，其刚度值分布在 30.24~63.05 kN/mm 范围内。

## 2) 疲劳试验数据分析

疲劳荷载作用下，预制短板垂向平均动位移和垂向动刚度测试结果如图 7 和图 8 所示。

分析表明，疲劳荷载作用下，预制短板垂向平均动位移和垂向动刚度基本上不受加载次数的影响，垂向动位移约为 3.4 mm，垂向动刚度值为 52 kN/mm 左右。

## 5. 结论

通过对预制短板轨道结构进行静载和疲劳加载试验数据分析，可以得出以下结论：

1) 在标准轴重荷载作用下，混凝土受到的最大压应力为 2.4 MPa (标准限值 33.4 MPa)，最大拉应力为 2.0 MPa (标准限值为 3.1 MPa)，钢筋受到的最大压应力为 9.66 MPa (标准限值为 235 MPa)，拉应力为 10.7 MPa (标准限值为 235 MPa)，满足设计要求；

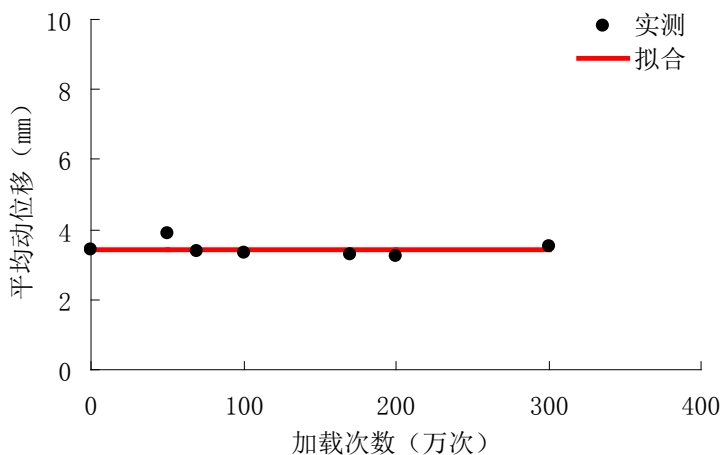


Figure 7. Average vertical dynamic displacement of the prefabricated slab track

图 7. 预制短板垂向平均动位移

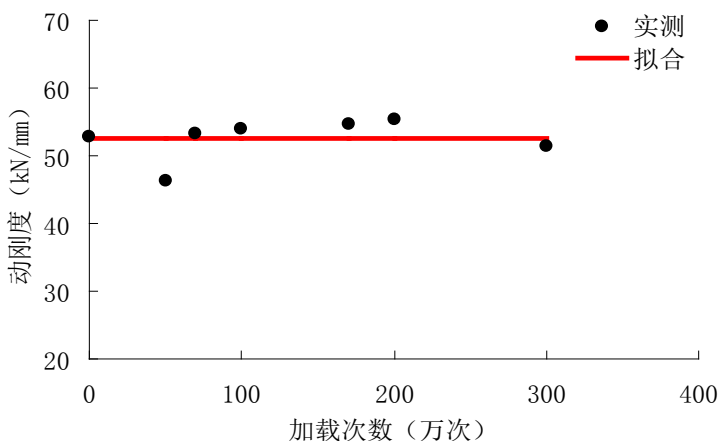


Figure 8. Vertical dynamic stiffness of the prefabricated slab track

图 8. 预制短板垂向动刚度

- 2) 在标准轴重荷载作用下, 预制短板的最大垂向位移为 6.95 mm, 在 3 倍标准轴重荷载作用下预制短板的最大位移为 15 mm; 静刚度值分布在 30~63 kN/mm 的范围内, 随荷载增加而增大;
- 3) 预制短板轨道在进行横向加载试验中, 在 30 kN 的载的作用下, 横向位移可达 1.95 mm; 横向刚度受荷载影响较小, 刚度值约为 15.5 kN/mm;
- 4) 疲劳荷载作用下, 预制短板轨道结构垂向动位移在 3.4 mm 左右, 垂向动刚度值约为 52 kN/mm 左右;
- 5) 预制短板经过 300 万次疲劳加载后, 混凝土表明未发现裂纹, 疲劳强度满足要求。

### 参考文献 (References)

- [1] Cox, S.J. and Wang, A. (2003) Effect of Track Stiffness on Vibration Levels in Railway Tunnels. *Journal of Sound and Vibration*, **267**, 565-553. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-460X\(03\)00724-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-460X(03)00724-7)
- [2] Liang, G., Yin, K.-M. and Zhang, G.-Y. (2006) Study on Dynamics Characteristics of Concrete Floating Slab Track in Urban Track. *Key Engineering Materials*, **302-303**, 700-705. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.700>
- [3] 贾嘉陵, 李晓霖. 地铁列车不同轨道参数的减振效果分析[J]. 中国安全科学学报, 2003, 13(11): 66-72.
- [4] 练松良, 刘加华. 城市轨道交通减振降噪型轨道结构的选择[J]. 城市轨道交通研究, 2003, 6(3): 35-41.
- [5] 焦金红, 黄俊飞, 周宇. 减振降噪型轨下基础——浮置板轨道结构[J]. 都市快轨交通, 2002(4): 29-31.
- [6] 焦金红, 张苏, 耿传智, 谭复兴. 轨道结构的减振降噪措施[J]. 城市轨道交通研究, 2002, 5(1): 61-66.

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ojtt@hanspub.org](mailto:ojtt@hanspub.org)