

文章编号: 1005-8451 (2009) 10-0019-04

## 无砟—有砟轨道过渡段设计分析

林长森, 唐进锋, 肖治群

(中南大学 土木建筑学院, 长沙 410075)

**摘要:** 采用 Fortran 语言编制无砟—有砟轨道过渡段的力学分析程序。对比分析无砟—有砟轨道过渡段刚度过渡设置方式, 并提出几种过渡段的结构设计方案, 对无砟—有砟轨道过渡段的设计施工有一定的指导意义。

**关键词:** 无砟轨道; 有砟轨道; 过渡段; 刚度差

**中图分类号:** U213.2      **文献标识码:** A

### Design analysis on ballastless-ballast track transition sections

LIN Chang-sen, TANG Jin-feng, XIAO Zhi-qun

(School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** It had established ballastless-ballast track transition sections' mechanics analysis program with FORTRAN Language. It was analysed and contrasted the dynamic behavior of several kinds of stiffness setting. Several structural design of the transition remedies was listed. The article on the ballastless-ballast track transition sections design and construction had a certain significance.

**Key words:** ballastless track; ballast track; transition section; stiffness difference

根据高速铁路轨道结构中是否存在碎石道床, 把轨道划分为有砟轨道与无砟轨道。无砟—有砟轨道过渡段广泛存在于路桥、路隧连接地段, 无砟与有砟轨道迥异的结构形式, 造成无砟—有砟轨道过渡段在力学性能方面的刚度差效应。轨道刚度差达到一定程度, 将会造成钢轨较大挠度差, 随

收稿日期: 2009-02-28

作者简介: 林长森, 在读硕士研究生; 唐进锋, 副教授。

着通过总重增加形成轨面不平顺, 进而加剧轮轨系统冲击, 形成恶性循环; 新线建设铺轨之后, 无砟与有砟轨道存在不同的工后沉降, 差异沉降形成的轨面不平顺严重影响轨道的使用和旅客乘坐舒适性。因此, 应在尽量减小无砟与有砟轨道工后差异沉降基础上, 设置合理长度的轨道刚度过渡段。本文针对 CRTS I 型板式无砟轨道与有砟轨道过渡段进行分析研究。

该阻抗式距离自动化开关有较高的实用性, 而且制造该继电器的成本相对较低, 在铁路电气化改造中可以广泛应用。

#### 参考文献:

- [1] 胡 滨. 柱上自动化开关的研制[D]. 贵州大学, 2006.
- [2] 孙国凯, 田有文. 电力网继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [3] 邵玉槐, 秦文萍. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [4] 刘学军. 继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [5] 高 亮. 电力系统微机继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [6] 杨晓敏. 电力系统继电保护原理及应用[M]. 北京: 中国电

力出版社, 2002.

- [7] 廖致刚. 10 KV 配电网单相接地故障定位研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007.
- [8] 刘明光, 程辉海, 潘光瑞, 等. 贯通线故障自动处理系统研究[J]. 电气化轨道, 2005 (1): 8-10.
- [9] 王宝华. 电力系统故障分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006, 7.
- [10] Syofvi F. Roekman, Moofik Al-Tall, S.B. Tennakoon, Anthony Perks<sup>3</sup>, ADVANCED REAL-TIME DIGITAL SIMULATOR FOR ASSESSING THE HIGH PERFORMANCE OF NUMERICAL DISTANCE RELAYS IN THE INDO-NESTIAN 500 KV TRANSMISSION LINE SYSTEM[D], Universities Power Engineering Conference, 2004. Page(s):717-721.

## 1 无砟—有砟轨道过渡段分析模型的建立

根据无砟—有砟轨道过渡段实际结构形式, 取半宽轨道进行研究。无砟轨道采用双层叠合梁有限元模型, 钢轨被模拟成粘弹性点支承 Euler 长梁, 轨道板被模拟成连续粘弹性支承 Euler 自由短梁。有砟轨道采用 3 层弹性点支承有限元模型, 不考虑道床剪切作用。单个车辆采用 6 自由度多刚体组合模型, 完成了多个车辆运行模拟。运用轮轨密贴假定实现车轮与轨道的位移衔接, 应用弹性系统总势能不变值原理和形成矩阵的“对号入座”法则建立系统竖向振动有限元方程, 并采用 Fortran 语言编制了计算分析程序。

## 2 不同工况下的模型应用分析

### 2.1 无砟—有砟轨道刚度过渡形式

#### 2.1.1 有砟侧路基支承刚度过渡

有砟侧路基支承刚度变化与有砟轨道整体刚度近似成线性关系。若要保证有砟轨道整体刚度线性变化, 则路基支承刚度必为非线性变化, 这在施工时是很难控制的, 所以路基支承刚度线性变化是非常合理的。其次, 随着路基支承刚度的增强, 有砟轨道整体刚度的增长趋势趋于平缓, 最终将不再增加, 这说明单纯通过增大路基支承刚度来实现有砟轨道与无砟轨道等同刚度几乎是不可能的。假设无砟—有砟轨道分界点处有砟轨道路基支承刚度为  $k_{sj1}$ , 过渡段末路基刚度为  $k_{sj2}$ , 过渡段长为  $L_g$ , 如图 1。

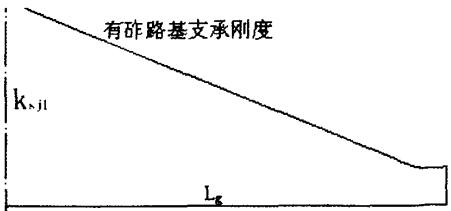


图 1 有砟侧路基支承刚度变化示意

设定  $K_{sj1}=1.898 \times 10^8 \text{ N/m}$ ,  $k_{sj2}=5.665 \times 10^7 \text{ N/m}$ , 分别计算过渡段长度  $L_g=15 \text{ m}$ 、 $25 \text{ m}$  和  $35 \text{ m}$ , 行车速度为  $250 \text{ km/h}$ , 轨面平顺情况下的动力响应。图 2 为不同刚度过渡段长度下钢轨挠度比

较。

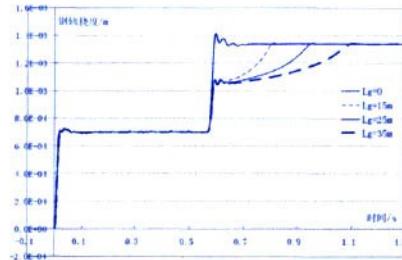


图 2 不同刚度过渡段长度下的钢轨位移

由图 2, 在有砟侧设置路基支承刚度线性过渡后, 钢轨挠度差减小, 但是也没能实现钢轨挠度从无砟轨道侧的  $0.697 \text{ mm}$  向有砟侧的  $1.34 \text{ mm}$  均匀过渡, 主要原因是单纯通过增大路基支承刚度很难实现有砟与无砟轨道等同的整体刚度, 必然还会存在刚度差引起的钢轨挠度差, 钢轨挠度差大小为  $0.38 \text{ mm}$ 。从这一点考虑, 将板式无砟轨道支承层局部加厚而向有砟轨道侧设计成斜坡状将是一个不错的方法。同时, 随着路基支承刚度过渡段长度的增加, 钢轨挠度变化更加缓慢, 所以, 理论上过渡段长度越长越好。

#### 2.1.2 辅助轨过渡设置

辅助轨是指在 2 股走行轨之间设置 2 股附加钢轨, 以增强轨排的竖向与横向抗弯刚度。辅助轨设置长度一般为  $25 \text{ m}$  标准轨长度,  $20 \text{ m}$  长位于有砟轨道,  $5 \text{ m}$  长度位于无砟轨道范围内。将辅助轨的截面抗弯刚度叠加到走行轨上, 进行辅助轨过渡设置时钢轨挠度的计算。假定行车速度  $250 \text{ km/h}$ , 轨面平顺, 有砟侧路基支承刚度过渡段中辅助轨长度为  $35 \text{ m}$ , 辅助轨分为  $50 \text{ kg/m}$  轨与  $60 \text{ kg/m}$  轨 2 种。

由图 3 得知, 辅助轨的设置增强了钢轨的抗弯刚度, 使钢轨的挠度减小, 但由于辅助轨 2 端头存在刚度突变, 使钢轨挠度在此处将发生突变, 不过此处钢轨挠度差较小 ( $0.14 \text{ mm}$ ), 不会对轨道变形造成危害。从图 3 看出, 设置辅助轨未能解决轨道连接部位出现的钢轨挠度突变, 设置  $50 \text{ kg/m}$  辅助轨时, 钢轨挠度差为  $0.3 \text{ mm}$ ; 设置  $60 \text{ kg/m}$  辅助轨时, 钢轨挠度差为  $0.28 \text{ mm}$ 。减小幅度不大, 这是因为过高估计了辅助轨对无砟侧轨道刚度的

增强效果。

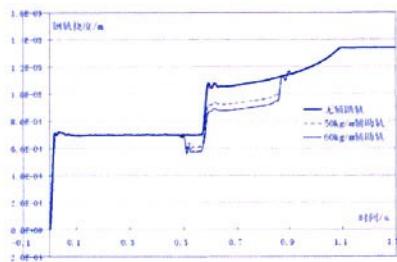


图3 设置辅助轨时的钢轨位移

## 2.2 无砟—有砟轨道过渡段设置长度

路基从上往下一般是由基床表层、基床底层、碎石灰土、灰土、地基分层填筑而成的，路基的沉降是以上各分层沉降的综合效应。实际施工过程中，通过控制各路基分层的材料匹配、压实要求来实现路基支承刚度的均匀过渡。当无砟—有砟轨道连接部位设置过渡段后轨面差异沉降将发生一定变化，如图4。

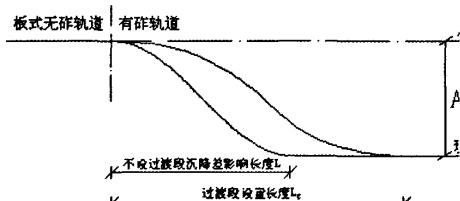


图4 过渡段设置后差异沉降引起的轨面变形

从图4可见，对于是否设置过渡段，差异沉降引起的轨面变形线形没有很大差异，设置过渡段只是将差异沉降的影响长度扩大了，即  $L_g > L$ ，所以设置过渡段后差异沉降引起的轨面变形中  $L$  替换为过渡段长度  $L_g$ 。

本文分析无砟—有砟轨道存在差异沉降为2 cm时，行车速度分别为160 km/h, 250 km/h, 350 km/h情况下，过渡段的长度取值。采用参数影响分析方法，即分析一定的轨道差异沉降值和行车速度的情况下，不同过渡段长度时的动力响应，当过渡

段长度小于某一值时，主要动力响应迅速增加，大于这一值时各动力响应变化缓慢，这一过渡段长度值所要寻求的合理最小过渡段长度值。

计算无砟—有砟轨道过渡段差异沉降2 cm，行车速度分别为160 km/h, 250 km/h, 350 km/h情况下的车辆—轨道系统竖向振动响应。主要动力响应包括，钢轨位移、钢轨加速度、轮轨力、车体竖向加速度。主要动力响应极值如表1。表中，速度单位为km/h， $L_g$ 表示过渡段长度，单位为m。

从表1可知：差异沉降为2 cm情况下，各主要动力响应均未超限；行车速度越高，系统主要动力响应越大；过渡段长度越短，系统主要动力响应越大。行车速度为350 km/h时，过渡段长度从25 m减小为15 m，减小40%，钢轨位移从1.506 mm增大到1.539 mm，增大2.2%。但是，当过渡段长度从15 m减小到10 m，减小33%，钢轨位移从1.539 mm增大到了1.759 mm，增大14%。也就是说，当过渡段长度大于15 m时，钢轨位移随过渡段长度增大而减小缓慢，小于15 m时，钢轨位移随过渡段长度减小而急速增大。因此，当无砟—有砟轨道过渡段差异沉降为2 cm，行车速度为160 km/h和250 km/h时，过渡段长度不宜小于15 m；考虑到行车速度为350 km/h时各动力响应量值较大，所以，过渡段长度设置以不小于20 m为宜。

## 3 无砟有砟轨道过渡段处理工程措施

轨道过渡段设计目的是使轨道刚度连续变化，沉降连续变化，钢轨变形连续，保证系统低动力效应。由于存在轨道刚度差，钢轨必定存在位移差，时间推移将会在轨面形成不可恢复的变形，即不平顺，因此过渡段处理的工程措施中，减小无砟轨道与有砟轨道的刚度比是非常重要的。其次，2种

表1 差异沉降2 cm时主要动力响应极值数据

速度 $L_g$	钢轨位移 (mm)			钢轨加速度 (m/s <sup>2</sup> )			轮轨力 (kN)			车体加速度 (m/s <sup>2</sup> )		
	160	250	350	160	250	350	160	250	350	160	250	350
10	1.471	1.542	1.759	21.153	51.309	114.87	150.72	156.17	167.38	0.366	0.523	0.656
15	1.453	1.485	1.539	20.820	49.242	102.48	149.40	149.80	154.54	0.260	0.411	0.536
20	1.422	1.476	1.509	20.364	49.017	98.010	148.98	148.97	150.54	0.205	0.383	0.531
25	1.395	1.464	1.506	19.977	48.561	97.260	148.40	149.09	149.52	0.171	0.354	0.510

不同的轨道结构连接时,必定会产生差异沉降,应保证差异沉降值尽量小,同时也应使无砟与有砟轨道之间的沉降差值变化均匀。根据前文的分析,并参照国内外处理线路过渡段的实例,综合整理出无砟—有砟轨道过渡段的工程措施。

### 3.1 有砟侧路基支承刚度的增强

主要目的是通过有砟轨道路基结构,减小两种轨道的刚度比,从而减小路基沉降,进而减小过渡段轨面不平顺。这类方法主要有以下几种。

#### 3.1.1 无砟侧混凝土底座向有砟侧延伸

该方法是在有砟轨道与无砟轨道衔接部位无砟轨道一端,将一定长度内的板式轨道的混凝土底座厚度加大,并沿有砟轨道一侧修筑为斜坡状。这种方法可以较好地实现路基刚度的连续变化。

#### 3.1.2 过渡板法

该方法是从无砟轨道侧的混凝土底座延伸出一块钢筋混凝土板,类似于桥头搭板。这一方法能够加大路基刚度,显著减小路基的变形,并且可以防止道砟陷入基床,对防止雨水渗入基床也起到一定作用。

#### 3.1.3 基床表层铺设沥青混凝土(HMA)

该方法是在有砟轨道一侧基床表层铺设一定厚度的沥青混凝土,沿纵向设置为阶梯状,该方法可以提高路基刚度,尤其在防止道砟嵌入基床,阻止雨水渗入基床方面效果比较优良。

### 3.2 有砟侧道床刚度的增强

道床刚度增强有利于减缓道床的残余变形,从而防止轨面不平顺的出现或者扩大。增加道床刚度的方法很多,除提高道床本身材质之外,加大轨枕底部受力面积均可以间接增大道床刚度。

#### 3.2.1 过渡段有砟侧采用铺砌轨道

铺砌轨道上是一种宽轨枕轨道。采用特殊的混凝土宽轨枕埋入式道床,显著增大了轨枕底部受力面积,施加于道床和基床的压力比使用普通轨枕小。轨枕底部及周围的道砟均采用特种沥青粘结,道床顶面及肩宽也用沥青混凝土封闭,有效防止道床脏污,防止雨水渗漏。其次,道砟间隙填充沥青物之后,碎石具有粘结力,可以防止碎石相互摩擦成粉末。

#### 3.2.2 过渡段有砟侧轨枕长度渐变

在有砟侧铺设长度渐变的轨枕来处理过渡段。由于轨枕长度增加使得轨枕底部受力面积增大,

可以起到间接增强道床刚度的作用。但是,长度渐变的轨枕制造统一化规格不高,且不同的轨枕长度所需要的道床宽度也不同,这给施工及养护维修造成不便的。

### 3.3 增强过渡段轨排抗弯刚度

增强过渡段钢轨抗弯刚度的常规方法就是设置辅助轨。辅助轨是在2股走行轨内侧设置的2根附加钢轨。辅助轨的长度一般为25 m,其中有砟侧20 m,无砟侧5 m。辅助轨采用扣板扣件扣结于过渡段有砟侧专用轨枕上。对于过渡段板式无砟轨道侧,应事先预留螺栓孔,便于扣板扣件的安装。

### 3.4 过渡段无砟轨道刚度的降低

降低无砟轨道整体刚度,可以减小无砟轨道与有砟轨道的钢轨挠度差,减缓过渡段不平顺的产生或扩大,但不能减小无砟轨道与有砟轨道的工后差异沉降,单独使用的意义不大,必须和前面所述方法搭配使用。为了降低过渡段无砟轨道的整体刚度,常规做法是在轨道分界点无砟侧5块轨道板范围内采用低刚度扣件,同时板下粘贴橡胶。

## 4 结束语

(1) 无砟—有砟轨道过渡段由于存在刚度差响应,势必存在钢轨挠度差,必须采取措施使钢轨挠度差尽量小,并且应使得钢轨的挠度变化率尽量小。最直接的做法就是减小轨道刚度差,即缩小轨道刚度比,并且使得轨道刚度过渡均匀变化;

(2) 对于由于2种截然不同的轨道结构进行连接而形成的工后沉降差异,在设计和施工中我们设法减小这种沉降差异,通过提高道床本身材质,加大有砟侧路基支承刚度等路基工程诸多处理措施来应尽量减小有砟轨道的工后沉降。

## 参考文献:

- [1] 童大埙. 铁路轨道[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1990.
- [2] 王于. 轨道过渡段动力学性能分析及设置条件[D]. 成都: 西南交通大学, 1998.
- [3] 何华武. 无砟轨道技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [4] 赵国堂. 高速铁路无砟轨道结构[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [5] 罗强, 蔡英. 高速铁路路桥过渡段技术处理措施的研究[J]. 铁道工程学报, 1999 (3): 30-33.