

# 软基上高速铁路路桥过渡段的技术措施研究

杨广庆<sup>1</sup>, 彭 华<sup>2</sup>, 刘建坤<sup>2</sup>

(1. 石家庄铁道学院 土木分院, 河北 石家庄 050043; 2. 北方交通大学 土木建筑学院, 北京 100044)

**摘 要** 通过对高速铁路路基与桥梁过渡段动力特性分析, 指出结构物沉降差是导致轨面不平顺的主要因素。分析了沉降差产生的原因, 提出了软基上路桥过渡段的结构设计方案, 并对其施工方法及质量检测标准进行了探索。

**关键词** 高速铁路 软土地基 路桥过渡段 沉降差

**中图分类号** :U443 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-3746(2002)05-0013-03

**Study on Technical Measures of the Soft-foundation in the Transition Section from Road to Bridge for Express Railway/**  
YANG Guang-qing<sup>1</sup>, PENG Hua<sup>2</sup>, LIU Jian-kun<sup>2</sup>(1. Shijiazhuang Railway College, Shijiazhuang Hebei 050043, Chi-  
na; 2. Northern China Communication University, Beijing 100044, China)

**Abstract** : Main reasons , of which settlement differences of structure materials lead to uneven rail surface , were pointed out through dynamical characteristic analysis of express railway foundation of the transition-section from road to bridge. The reasons of settlement differences were analyzed and design program of soft-foundation of the transition-section from road to bridge was presented. The measures and quality inspection standards also were discussed.

**Key words** : express railway ; soft-soil foundation ; transition-section from road to bridge ; settlement difference

以轨面的高平顺性为前提条件的高速铁路要求必须有一个坚实、稳定的轨下基础。作为散体材料构成的路基,在列车运行荷载和填料自重作用下发生变形是不可避免的,而其变形的大小直接反映在轨面上。在软土地段,特别是在路基与桥梁连接处,一方面由于路基、桥台本身结构的差异以及处理后软基沉降量的不一致,会产生沉降差,引起轨面弯折;另一方面,由于两种结构物刚度不同,会引起轨道竖向刚度的突变。当列车高速通过时,势必会增加列车与线路的振动,引起列车与线路结构作用力的增加,影响线路结构的稳定与行车安全(图1)。

因此,必须在路基和桥梁之间设置一定长度的过渡段,使轨道的刚度逐渐变化,并最大限度地减少路桥间的沉降差。计算结果表明<sup>[1,2]</sup>(1)路桥结构的刚度差引起的轨道刚度的变化对高速行车的影响并不显著,车体垂向振动加速度和轮轨垂向接触力等数据距有关控制标准具有较大距离,不成为控制条件;(2)车体的垂向振动加速度和轮轨垂向接触力等动力学性能指标对轨面的弯折变形非常敏感,轨面弯折角 $\theta > 1.5\text{‰} \sim 2\text{‰}$ 后,就可能对行车的舒适和安全产生严重影响;(3)由路桥结构的刚度差引起的轨道刚度的变化,对行车的影响远不及轨面弯折的影响。由路桥结构的沉降差引起的轨面弯折变形是影响高速列车安全平稳运行的主要因素。过渡段的处理应以减小路桥结构的沉降差,严格控制轨面的弯折变形为重点。通过正确分析过渡段沉降差,从结构设计到施工组织,工期安排到质量控制都必须采取有力措施,以确保轨面的高平顺性,满足高速铁路的要求。

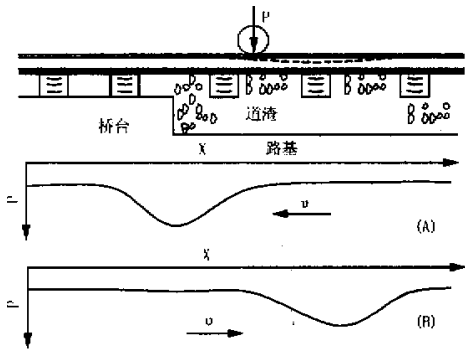


图1 轮轨作用力在路桥过渡段的分布

## 1 路桥过渡段产生沉降差的原因

### 1.1 路桥的结构差异

由于桥台与路基本身所用材料不同,决定了它

收稿日期 2001-08-29; 改回日期 2002-08-04  
作者简介: 杨广庆(1971-),男(汉族),河北献县人,石家庄铁道学院讲师,岩土工程专业,从事岩土工程方面的教学、科研工作,河北省石家庄市北环东路17号(0311)7935535; 彭华(1971-),男(汉族),河北献县人,北方交通大学讲师,岩土工程专业,从事岩土工程方面的教学、科研工作,北京市海淀区上园村3号; 刘建坤(1965-),男(汉族),山东人,北方交通大学副教授,岩土工程专业,从事岩土工程方面的教学、科研工作(010)5810180

们的竖向位移、塑性变形以及对外部环境改变的相应的差异,桥台要比路堤小得多。路桥过渡段作为刚性桥台与柔性路堤的结合部位,在结构上是塑性变形和刚度的突变体(图2)。只有当柔性路堤的塑性变形相对为零或其值的大小所引起的轨面弯折(轨道不平顺)满足高速行驶的要求时,才不会出现如图1所示的情况。而柔性结构的路堤发生变形是不可避免的,因此,必须从过渡段的地基条件、软基处理方法、填料选择、压实标准、质量检测上采取措施,以减少两者之间的塑性变形差,实现平稳过渡。

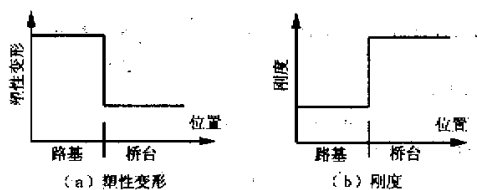


图2 过渡段塑性变形和刚度突变图

## 1.2 雨水的侵蚀作用(塑性累积变形)

过渡段经过一段时间的外力(列车和载荷填料自重)作用以及地基的不均匀沉降,可能会在桥台后的填土上产生伸缩裂缝。由于线路长期受到雨水的侵蚀作用,使填土的孔隙率发生改变,路堤填土出现病害,强度降低,产生过大沉降,或由于水的渗透流动带走填料中的细粒土,使过渡段出现沉降变形。

## 1.3 过渡段填料压缩变形

如何减小过渡段填料的塑性变形是解决过渡段沉降差的重要因素。在施工期间,伴随着压实设备的反复碾压,填料颗粒间的孔隙不可能完全消除。线路通车后在列车载荷和填料自重的作用下,填料逐渐被压缩,孔隙率继续减少,故而还会发生塑性变形。不同性质的填料产生的沉降大小亦不相同。在相同的压实标准下,强度低、刚度小的填料较强度高、刚度大的填料产生的压缩变形大得多,因此,过渡段中应使用强度高、刚度大的优质填料,如级配良好的级配粗粒料或素混凝土等。

## 1.4 软基处理方法的差异

在软土地基区段,由于过渡段和桥台地基的处理方法的差异也是引起过渡段沉降差的重要原因。桥台处一般采用刚性的钻孔灌注桩,深度达数十米,可认为其基本上不产生变形。而路堤则采用常用的排水固结法、深层搅拌桩法、碎石桩法等,地基固结度很难达到100%,并且由于次固结沉降的存在,使工后沉降经历很长的时间才能稳定,其变形要比刚性桩大得多,从而会在桥台台背处出现纵坡突变点。

## 1.5 施工技术原因

一般工程的施工,往往构造物下部先行施工,待桥台工程完工后,再进行桥台后路基的填筑。但一般路段的施工大部分是路基先成型,过渡段的填土施工安排在施工工期的尾部。一方面为了赶工期,填土的压实质量控制不够严格,使填土本身出现过大的沉降变形;另一方面,由于桥头路基位置特殊,桥台背后填料往往会由于作业面狭窄而压实机械压实不到位,压实质量下降。纵然使用小型振动机械,如不严格施工管理,也很难达到设计要求。路基成型通车后,会引起过渡段路堤的压密下沉。

## 2 高速铁路路桥过渡段的结构设计

### 2.1 选择合理的过渡段地基处理方法

软土地基上修建过渡段,地基的沉降是诱发轨面不平顺的关键因素。应对其处理方法进行特别设计。以综合处理方案为宜,或采用粉喷桩加土工合成材料和砂垫层并利用长短桩逐渐过渡,靠近桥台处的粉喷桩最长,且最好桩端支撑在硬层上,或采用排水固结法加土工合成材料,并辅以超载预压,采用加密区、密疏过渡区和一般区方式,由桥台向路基过渡。关于竖向排水通道,大通道塑料排水板的处理效果要比袋装砂井好一些。因为在施工中对砂的质量和灌砂率难以掌握,可能会出现缩颈或隔断,继而影响排水效果。土工合成材料宜采用抗拉强度高的土工格栅或土工格室。粉喷桩加土工合成材料处理软基,可以加速施工,有效缩短固结时间,减少差异沉降,并且复合地基的沉降量和地基土侧向位移较小,可有较大的填土速率,可缩短工期,是过渡段软基处理解决轨面不平顺的最有效的途径之一。排水固结法可加速地基的主固结沉降,而对长期起作用的次固结沉降无效,由此而产生的残余沉降会导致过渡段处出现错台。因此,在过渡段处,除路堤断面以倾斜域填筑外,宜采用长短逐渐过渡的粉喷桩处理地基,以确保轨面的弯折角满足设计要求。

### 2.2 过渡段合理填料的确定

路桥过渡段的沉降差主要由路堤压缩沉降和地基沉降引起。由动荷载引起的基床范围内的变形在强化基床表层后处于较低的水平,而线路大部分的沉降主要是由于恒载作用下产生的路堤下部以及地基土层的沉降。对于路堤下部填料而言,不同填料在达到同一压实度的情况下,在同一荷载作用下的压密下沉是不相同的。强度低、刚度小的材料较强度高、刚度大的材料大得多,即用强度低、刚度小的

材料即使达到规范要求的压实度,在较大荷载作用下仍产生较大的塑性变形,因此为减少轨面的弯折变形,应采用强度高、刚度大的级配粗粒料,包括级配碎石、级配砂砾石、水泥石灰改良砂石土或低标号混凝土等。该种材料具有较大的内摩擦角,能较好地减少路基的压缩下沉,而且可以将沿台背缝隙中渗入的雨水沿盲沟或泄水孔顺利排出路基外。

### 2.3 加筋土路堤结构技术

在路桥过渡段中埋设一定数量的加筋材料,一方面,使表观侧向应力增加许多,从而极大地限制了土体的侧向变形,提高加筋土的整体强度,限制了加筋土的整体变形。另一方面,铺设了加筋材料后,若将土筋看作一个复合体,则加筋材料的铺设增加了路基土的刚度。这一刚度的增加程度视土工材料铺设的层数、间距及其力学特性而定。因此,若在有效的压缩层厚度中设置数层加筋材料,则由于土筋之间的剪阻约束作用,使得土层的沉降被有效地减少。从而通过调整加筋材料的布置间距和位置,可将桥台后过渡段的台阶式沉降变成连续的斜坡式沉降,以及降低台背处的侧向和垂直应力所引起的很大的剪应力,以达到路桥过渡段平稳过渡的目的。

国内外的现场试验表明,加筋土路堤结构能有效地处理由于台背路基土的沉降引起的线路不顺,在施工中只要按照一定的压实标准填筑,选用适当的拉筋材料,可将台背路基表面沉降控制在 5 cm 范围内<sup>[3]</sup>,实现沉降的连续变化。

### 2.4 过渡搭板的设置技术

在路桥过渡段范围内路堤上设置钢筋混凝土搭板。搭板一端置于台后的盖梁“牛腿”上,另一端支撑在基床底层填土表面。搭板的放置,一方面可减小轨面弯折角,另一方面利用其较大的抗弯刚度来增大轨道的刚度。由于搭板一端铰支于刚度极大的“牛腿”上,可视为不可压缩且无位移,而另一端可视为支撑于弹性基础上。随着路基下沉,支撑面面板底面弹性层承托转为搭板部分承托,并产生变位角,此时的支撑力发生应力重分布,使面板承受局部拉应力,因此在搭板的设计中应进行配筋内力计算,否则产生的工后沉降会在搭板支撑面下形成脱空的同时,由不均匀的支撑会引起在脱空区最大沉降值处的板下位置处产生应力集中。当应力值超过允许弯拉应力时,搭板断裂,严重影响行车安全、速度与舒适性。因此,在对搭板合理设计的同时,严格控制填料及压实标准,并且在搭板支撑的范围内,采取措施加固路基。如在一定的宽度和深度范围内的填料孔

隙中采用压浆等措施,这不仅填补已有的沉降空隙和基床底层孔隙,还能在一定的深度范围内形成保护膜,将下渗的雨水排出路堤,防止了雨水的下渗破坏,避免了雨水对台背沉降产生的催化作用,以尽量减小搭板范围内路基沉降。

搭板长度应根据过渡段工后沉降要求确定。德国莱翁哈特认为由路堤与桥台产生的沉降差引起的公路路面弯折角为 5‰ 时,5 cm 的沉降需要 10~15 m 的搭板长度,日本道路公团认为搭板长度为 5~8 m。美国和前苏联台后搭板长度都超过 10 m,且认为搭板长度越长,路面的平顺性越好。对于高速铁路路桥过渡段,由于填料采用具有良好性能的级配碎石或素混凝土,并且压实标准较高,计算结果表明,如设搭板其长度为 8~10 m 时可满足要求。

### 2.5 路基排水设施的合理设置

为了减小雨水对过渡段的侵蚀作用,在过渡段路堤填筑前,应在原地基土拱上设置泄水管或盲沟。泄水管的设置方法是:对基底做必要的处理后,填筑横坡为 3%~4% 的夯实粘土土拱,再在土拱上挖一条成双向坡的地沟,然后在台背全宽范围内满铺一层隔水材料,在地沟内四周铺设有小孔的硬塑料管,塑料泄水管的出口应伸出路基外,然后在硬塑料管四周填筑透水性好、粒径较大的砂石材料,再分层填筑过渡段透水材料,直至基床表层底面。盲沟设置与泄水孔设置方法相同,取消泄水管,代以渗透系数较大的透水性材料(大粒径碎石)填筑地沟,用土工布包裹盲沟出口处,并作必要处理。

## 3 结语

软土区段高速铁路路桥过渡段对线路工程的重要性已成共识。由于其要求标准高,处理困难,而我国又无高速铁路的设计和施工经验可借鉴,所以,通过路桥过渡段车辆/线路系统的动力分析,并针对该部位的特点和要求,参考国外的相关资料和国内高速公路治理桥头跳车的经验及科研成果,对高速铁路过渡段的结构设计及施工工艺进行深入全面的分析,提出一套适合我国国情的设计方案和施工方法,以确保列车高速、安全、平稳地通过软土地区。

### 参考文献:

- [1] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 北京:中国铁道出版社, 1997.
- [2] 翟婉明. 车辆-轨道垂向系统统一模型及其耦合动力学原理[J]. 铁道学报, 1992, 14(3).
- [3] 杨广庆, 刘树山, 刘田明. 高速铁路路基设计与施工[M]. 北京:中国铁道出版社, 1999.