

## 高速公路桥梁与路基一体化施工技术研究

徐鹏鹏

湖北省路桥集团有限公司, 湖北 武汉 430000

**[摘要]**高速公路桥梁与路基一体化施工方式是预防桥头跳车病害、保证结构平稳过渡的重要工艺措施。文章以一体化施工技术为主线,对路桥结合部的设计力学模型以及差异变形原理进行了较为全面的研究,在此基础上提出了一系列如过渡段结构设计改进、软土地基一体化处理的设计思路;并对如何进行施工方案统筹安排、同步浇筑、分层摊铺等问题展开讨论,研究结果表明:一体化施工能够很好地克服传统分开施工存在的刚度突降和沉降差大的缺点,从而增强行车舒适性和结构耐久程度。文章构建了包括设计、施工、检测在内的全过程技术体系框架,可作为高速公路桥路一体化施工的技术参考依据。

**[关键词]**高速公路;桥梁与路基一体化;同步施工

DOI: 10.33142/sca.v9i5.19761

中图分类号: U448.15

文献标识码: A

## Research on Integrated Construction Technology of Highway Bridges and Roadbeds

XU Pengpeng

Hubei Road & Bridge Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

**Abstract:** The integrated construction method of highway bridges and roadbeds is an important technological measure to prevent bridge head jumping and ensure smooth structural transition. The article focuses on integrated construction technology and conducts a comprehensive study on the design mechanics model and differential deformation principle of road bridge joints. Based on this, a series of design ideas are proposed, such as improving the design of transition section structures and integrating soft soil foundation treatment; Discussions were held on how to coordinate construction plans, synchronize pouring, and layer by layer paving. The research results showed that integrated construction can effectively overcome the disadvantages of sudden stiffness drop and large settlement difference in traditional separate construction, thereby enhancing driving comfort and structural durability. The article constructs a technical system framework for the entire process including design, construction, and testing, which can serve as a technical reference for the integrated construction of highways, bridges, and roads.

**Keywords:** highway; integration of bridges and roadbeds; synchronous construction

### 引言

高速公路是交通基础设施中的重要组成部分,它的质量和强度直接影响到行车的安全性和舒适性。近年来随着我国高速公路的不断发展扩建,桥头跳车现象越来越突出,逐渐成为危害行车安全的主要病害之一。而桥头跳车的本质在于由于桥台和路堤交接部位存在过大的差异性沉降而造成的,在很大程度上是支承桥台地基同支承路堤地基的不同沉降特性造成的。在传统分离式的施工方式下,桥梁以及路基各自独立设计,分步进行施工,造成桥台及路堤各自的刚度不同、沉降程度不同以及变形不同等,从而形成了一个最易引发跳车问题过渡带。桥隧路基一体化施工技术就是通过对设计、施工、控制三个环节的一体化施工来达到刚柔结构间平滑过渡的目的。本文在分析其受力

原理的基础上,对一体化的设计理念及施工技术进行了系统的总结探讨,希望可以对高速公路的建设有所借鉴。

### 1 一体化施工理论基础与关键问题分析

#### 1.1 路桥连接部位受力特性与破坏机理

桥梁联结处就是刚性桥台与柔性路堤的衔接节点,从结构角度而言是一个刚度突变体,桥台一般用钢筋混凝土建造,刚性强,变形小,路堤是用填筑粘土建造起来的,所以是柔性的,在外力作用下可以发生较大的塑性变形,在车由桥面到路堤的过程中,结构刚度发生了突变引起额外的动力影响,这就是桥头跳车现象的物理基础,从受力方面来说,路桥衔接点受到以下三类荷载的影响:一是结构自身的重量以及填料荷载,二是汽车行驶中的车轮冲击动载以及其他车辆行驶造成的动载,三是温差变化引起结

构的伸缩收缩。在静态载荷作用下由于桥台、路堤的沉降速度不一样，在接触面上造成剪应力集中；动力荷载下，车辆经过刚度突变处，产生一个冲击的效果，造成界面破坏。实验证明，桥头跳车的发生与路堤土体累积的塑性变形有关系，当工后沉降大于容许时，路面平顺度降低，行车体验差。破坏机理上，桥梁与道路相接处典型的破坏模式为：桥台台背沉降产生错台、接缝处裂缝、滑动板脱离、渗漏引起水毁等现象。彼此之间相互联系着，在填土沉降的作用下产生滑动板脱离，在滑动板脱离的过程中受到动力冲击的影响导致进一步的沉降及开裂，所以一体化施工的关键是从根本上避免刚度突变和沉降差异的存在，从而达到整体结构能够协调变形的目的。

### 1.2 差异沉降机理及主要影响因素

差异沉降即桥台与相邻路堤由于施工期结束以后所形成的差异性沉降。造成差异沉降的原因可以从地基、填筑物以及结构三个方面来分析。就地基方面来说，桥台的基础是用桩基础或者是扩展基础，承载荷载直接传达到深持力层上，沉降量小而且速度快，而路堤的地基要负担大面积的填土荷载，在附加应力之下发生固结沉降，沉降量大并且持续的时间也较长。这就是造成地基条件的不同是引起差异沉降的主要因素。就填筑物方面来说，路堤的填料因为受到自重和车辆荷载的作用会发生压实用力沉降和次固结沉降。台后区域的空间有限，压实设备无法进行工作，不能满足压实度的标准，因此产生了较大的工后沉降。填土压缩模量也决定着沉降等级高低，模量越小沉降越大，从结构上看，桥台对邻近路堤形成侧面约束，改变了路堤内部应力状态，在交界面上出现应力集中现象，另外路堤沉降给桥台带来负摩擦力，加大了桩基的附加荷重，可能造成桥台位移或者桩基下沉的现象。差异沉降的影响因素主要有：地基土质情况、填筑材料特性、施工质量和压实度控制、排水状况以及工法的选择等等，而最根本的因素还是处于地基土性质方面，软弱地基容易导致差异沉降超限的风险。美国联邦公路局研究指南表明，加筋土整体式箱梁桥在碰到很松软的土层的时候，差异沉降的控制

能力就会下降很多甚至是超出允许范围。这一发现表明，软基处理是一体化施工成功的关键前提。

## 2 桥梁与路基一体化设计关键技术

### 2.1 桥台-路基过渡段结构优化设计

过渡段结构优化设计方案是为了使桥台与路堤之间的刚度连续、尽量减小沉降差而采取的设计。一体化设计超越了传统的分离式设计的理念，把桥台、搭板、路堤、地基看作一个整体进行共同受力。结构优化设计方案的主要参数有：搭板长度及倾角；填料模量递增比例，过渡段长度等等。搭板是联系桥台、路堤的重要部件，搭板长度决定了应力传导的效果好坏，理论计算出搭板长度需综合考虑差异沉降量级大小及地基情况、填料特性等因素，通常为 5~8m 左右。适当的搭板倾角可以使得搭板能够自我适应工后沉降并能保持路表面的平顺。填料模量递增方式则是过渡段结构优化的主要措施之一。借助对桥台台背施加梯度变化的填料层来使得结构刚度从桥台端到路堤端逐步降低从而避免了突变面的存在。一般的做法是从桥梁端开始依次放置碎石颗粒级配、水泥稳定土、常规填料，形成三级台阶式模量过渡。主要的设计指标和质量保证如表 1 所示。

类似工程实例证明，对于预制梁施工来说运用通用性、模块化的设计理念可以减少工程造价而且提升施工进度。参考此法，过渡段结构设计应该实行统一的标准尺寸，降低非标准件的比例，方便在工厂里预制加工后现场组装。

### 2.2 软弱地基一体化处理技术

软土地基是引起路桥过渡段差异沉降过大的重要隐患。软土地基综合处理技术即是要统筹好桥台基础以及路堤地基的沉降性质，使其差异在允许值内。常见软基处理措施有：刚性桩复合地基法、排水下沉法、粉喷桩加土工布组合法等。刚性桩复合地基法使用 CFG 桩、PHC 管桩，这些刚性桩穿过软夹层把荷载传给到持力层上，大大减少了沉降量，适用于软土层较厚的地基环境。排水下沉法则是铺设砂井或是塑料排水板来加快地基中水排出的过程，在填方之前已经基本完成了大部分的沉降，适用于进度宽

表 1 过渡段结构优化设计参数表

设计参数	优化范围	影响因素	控制目标
搭板长度	5~8m	差异沉降量、地基条件	应力扩散均匀，避免脱空
搭板倾角	0%~2%	工后沉降预估值	工后路面平顺，坡度渐变
过渡段长度	10~15m	填料模量、填土高度	刚度平顺过渡，消除突变
填料模量梯度	100~300MPa	填料类型、压实度	模量递减率均匀
加筋层间距	0.5~1.0m	土工格栅类型、填土性质	增强整体性，限制侧向变形

松的工程。粉喷桩结合土工格栅复合加固方案适用于桥梁过渡段桥头路基施工。它是用槽钢和 U 形钢板把方块同附近预制的钢筋混凝土构配件联结成一个比较稳固的整体,特殊的构造可以使路堤产生较小的水平位移以及减轻路堤与桥涵刚性连接的差异沉降,使路堤更为稳固可靠,同时也增大了荷载分担比例。桩网结构依靠土拱作用把路堤荷载转移到桩顶上,减少了桩间土层所承受的压力,达到控制沉降的目的。软基加固方案的选择要结合工程地质情况、填筑厚度、工期长短及经济因素等进行。对于填方较高的地段,最好使用钢筋混凝土桩基础复合路堤。针对中低压缩性地基土,可以采取排水固结加载预压的方式来进行加固,而对于易损环境区,应当选择对周围影响较小的处理措施。

### 2.3 抗沉降与结构协调控制设计方法

防沉降及结构配合控制设计方案注重对整个生命周期内沉降差异的抑制。其本质在于制定差异沉降控制指标并依此进行结构设计参数调整。据研究得知:工后沉降控制标准一般取值小于路基填筑高度的 0.4%,桥台至路堤过渡段差异沉降量不宜大于 5cm。结构配合控制设计主要是利用桩网体系保证荷载分配协调;设置变形调节层来消纳不均匀沉降的影响;优化桥台搭板连接形式;选择合理的填筑速度及预压周期。根据桥梁桩基沉降控制的路桥一体化设计理念,通过对桩长、桩径的更改使得桥台沉降与路堤沉降同步化,从而根治了沉降差异问题。

## 3 高速公路桥梁与路基一体化施工关键技术

### 3.1 一体化施工组织与工序衔接控制

一体化施工组织的重点是如何突破原来传统的先桥后路的工种界限,让桥隧和路基可以同时开展、共同前进。在工序衔接方面,要合理把握好桥梁台身施工同路堤填筑的交错时机。如果是采用先填后桩的方法,则先将路堤填筑到设计高度,之后再实施桥台灌注桩,利用填土自重加快下卧层压缩沉降;若是用先桩后填的方式,则应该先完成桩基础及梁板、桥台建设后,再实施填土筑台。两种方法都要根据现场实际情况选择适合的方法。过渡段施工之前,应根据地形地貌采取适当的防排水措施,对于台背回填土层表面要采取措施避免雨水渗透。

### 3.2 桥台与路基同步施工技术

桥头与路堤同建是为了去掉桥头与路堤间施工缝,达到结构的整体化,在施工过程中做到桥头构造物与其背坡填筑同时进行,克服传统形式中的难以碾压难题,过渡填料与两侧路堤、锥坡一同施工,按大约相同的高度分层填筑均匀碾压,对桥头附近填筑部分采用小型机械配合大型

压路机共同施工,保证填筑全断面压实符合要求;桥梁下部基础施工时使用以土代钢的新思路大大节约了工程费用和时间进度,用支护桩做为施工支撑,集多项操作于一体,节省了许多钢材。

### 3.3 地基处理与填筑协同施工技术

地基处理与填筑同步施工注重地基加固及路堤填筑时间和空间的一致性。同步施工的核心是要适时调整填筑速度,防止过快填筑导致地基破坏,在进行桩基施工结束后必须经过一段时间让桩体强度满足设计要求之后才能开展上部填筑工作,在填筑当中要阶梯式地增加荷载,在梯段上一次加高 1~2m 厚并待该段地基沉降稳定后继续下一水平段的加高。过渡段内的基坑回填一定要在隐蔽工程检查合格以后才可以实施。桩网体系的施工流程是这样的:先行施工桩体、然后再铺设碎石垫层、接之铺设土工格栅以及最终逐层填筑路堤。土工格栅铺设方向要与路堤纵轴线垂直,搭接宽度要达到设计标准,且要用 U 型钉固定在地面上。

### 3.4 过渡段分层填筑与压实控制技术

过渡段分层填筑及压实控制技术直接影响到过渡段施工质量和工后沉降等级大小。过渡段施工应严格按分层填筑,分层压实的原则作业,每一层填筑高 $\leq 30\sim 50\text{cm}$ ,压实度符合要求,填料应选择级配良好的砂砾料或者碎石土,最佳含水量 $\pm 2\%$ ,压实质量应通过仪器检查与人工检验相结合的方式,每填筑一层均需验收合格之后才能进入下一层施工,在黄土地区的路基桥涵过渡段施工中利用石灰土挤密桩复合地基加多层土工格栅综合加固处理措施得到了较好的沉降控制效果,工后沉降增长速度越来越慢,最后趋于平稳。

### 3.5 一体化施工质量检测与效果评价

一体化施工质量控制和效果评估是检验施工效果的关键步骤。对工程的质量控制要贯穿整个施工过程之中,主要包括原材料检测、施工过程中质量控制检测以及工程成品验收检测。过渡段施工完成后需要开展质量检查工作,通过对过渡段进行检测、试验等方式来确定其是否满足设计及质量要求。效果评估需依托长期沉降监测数据分析,在桥台、过渡段、一般路基这三个区域布设监测点,纵向每隔 5~10m 布设一个监测断面,在每一个断面上布置路基中部、两边路肩共计三个监测点。主要监测指标及其控制值见表 2。

新的高精度压差沉降测量技术被应用于黄土地带桥台路基结合处进行长期观测,并可以精确地探测微小沉降情况的变化趋势,为后期沉降预报提供依据。

**表 2 一体化施工质量检测与效果评价指标表**

检测类别	检测指标	检测方法	控制标准	评价目的
压实质量	压实度	灌砂法、核子密度仪	不小于 96%	确保填筑密实，控制工后沉降
强度指标	弯沉值	贝克曼梁、落锤式弯沉仪	不大于设计值	评价整体承载能力
几何尺寸	平整度	3m 直尺	不大于 5mm	保证行车舒适性
沉降控制	工后沉降	精密水准仪	不大于 5cm	验证差异沉降控制效果
结构完整性	脱空检测	地质雷达	无脱空	检测搭板与填土结合状况

#### 4 结语

高速公路桥梁和路段一体化施工技术对解决桥头跳车问题具有积极意义。从原理上讲，桥梁与路段衔接处出现差异沉降主要是由于桥台与路堤之间存在的差异性地基、截面刚度等因素所导致，抑制差异沉降就是一体化施工的主要目的，在设计中，过渡段结构的设计优化及软基的一体化处理也是重点所在，采用搭板设计优化，桩网结构等方式能够达到刚柔结构的平滑过渡，在施工上，同步施工，联合填筑，分层压实是主要的技术要点，合理规划施工顺序以及控制填筑速度是保证工程质量的关键。在管理方面，全生命周期的质量监控以及长期的效果评估是最基本的保证措施，在此基础之上形成包括压实度、弯沉值

及沉降量在内的监控体系，通过监测信息来进行效果检验。从长远来看，BIM、数字孪生、物联网监测等信息技术的发展，将会促进一体化施工向着智能化、可视化方向不断发展。

#### [参考文献]

- [1]王安.高速公路路基施工技术要点分析[J].交通科技与管理,2024,5(16):97-99.
- [2]梁豪.高速公路路基与桥梁施工技术要点探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2025(35):145-147.
- [3]孙慧英.道路桥梁工程路基路面振荡压实施工技术研究[J].科学技术创新,2024(06):179-182.

作者简介：徐鹏鹏（1993—），男，汉族，湖北孝昌人，本科，工程师，研究方向为高速公路改扩建施工。