

# 公路桥梁与路基衔接段施工沉降控制技术研究

雒国锋

新疆北新路桥集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 公路桥梁与路基衔接段(通常称为桥头跳车区域)是高速公路和高等级公路中常见的病害高发区。由于桥梁结构物与柔性路基在刚度、压缩性及工后沉降特性上存在显著差异,极易导致衔接处产生不均匀沉降,引发“桥头跳车”现象,严重影响行车舒适性、安全性,并加速路面结构破坏。本文系统阐述了桥头跳车问题的成因机理,重点分析了影响衔接段沉降的关键因素,并在此基础上,全面梳理和深入探讨了当前工程实践中应用的多种沉降控制技术,包括地基处理技术、路堤填筑优化技术、过渡段结构设计技术以及新型材料与智能监测技术。通过对比分析各类技术的适用条件、优缺点及工程效果,旨在为类似工程的设计与施工提供理论参考和技术支撑,从而有效提升公路工程的整体质量与服役性能。

**关键词:** 桥头跳车; 不均匀沉降; 衔接段; 沉降控制; 地基处理; 过渡段设计

## 引言

随着我国交通基础设施建设的飞速发展,高速公路网日益完善,对道路的平顺性、舒适性和耐久性提出了更高要求。然而,在长期运营过程中,桥梁与路基的衔接部位频繁出现“桥头跳车”这一顽疾,成为制约公路服务水平提升的关键瓶颈。“桥头跳车”不仅给驾乘人员带来强烈的颠簸感,降低行车舒适度,更会因反复冲击荷载加速桥梁台背、支座及路面结构的疲劳损伤,缩短其使用寿命,同时增加车辆的燃油消耗和维护成本,甚至可能诱发交通事故,威胁行车安全。究其根本,“桥头跳车”的核心在于桥梁结构与路基之间产生了不可忽视的差异沉降。桥梁基础通常采用桩基等深基础形式,其沉降量极小且在施工期间基本完成;而与之相连的路基则多为天然地基或浅层处理后的地基,其压缩模量低、孔隙比大,在车辆荷载和路堤自重的长期作用下,会产生持续的、显著的工后沉降。这种刚柔突变导致的沉降差,使得衔接处形成台阶或纵坡突变,即为“桥头跳车”的直接表现<sup>[1]</sup>。因此,如何在设计和施工阶段采取科学有效的措施,主动控制并最大限度地减小衔接段的不均匀沉降,是解决“桥头跳车”问题的根本途径。近年来,国内外学者和工程技术人员围绕此课题开展了大量研究,形成了多种沉降控制理念与技术体系。本文旨在系统梳理这些研究成果,深入剖析其技术原理与适用性,为未来公路工程建设提供一套更为完善的沉降控制解决方案。

## 1 桥头跳车成因机理分析

要有效控制沉降,必须首先明晰其成因。桥头跳车是一个复杂的系统性问题,其成因可归纳为以下几个方面:

### 1.1 刚度差异

这是最根本的原因。桥梁结构(尤其是其下部结构如桥台、桩基)具有极高的刚度,几乎不产生压缩变形。而路基,特别是软土地基上的路基,是一种典型的弹塑性体,其刚度远低于桥梁结构。当车辆驶过衔接处时,刚性的桥台与柔性的路基在相同荷载下产生迥异的变形响应,从而形成明显的纵坡变化。

### 1.2 地基条件不良

衔接段下方的地基往往是整个路段中最薄弱的环节。在河谷、滨海、湖沼等地区,常存在深厚的软黏土、淤泥质土等高压缩性土层。这些土层天然含水量高、孔隙比大、强度低、固结速度慢,在路堤荷载作用下会产生巨大的主固结沉降和次固结沉降。有时出于经济或工期考虑,对桥头段地基的处理深度或强度未能达到要求,导致其承载力和压缩模量不足以抵抗上部荷载,成为沉降的源头。

### 1.3 路堤填料及压实质量问题

传统上常就地取材,使用细粒土或含有有机质的土作为台背回填料。这类材料透水性差、压缩性高、易受水侵蚀,难以被充分压实,自身就会产生较大压缩变形。更为关键的是,桥台背后作业面狭窄,大型压实机械难以靠近,只能依赖小型机具进行夯实<sup>[2]</sup>。这极易造成“死角”区域压实度严重不足,形成松散的填土体,成为后期沉降的主要来源。

### 1.4 排水系统失效

良好的排水是保证路基稳定的关键。若衔接段的排水系统(如盲沟、渗沟、防水层等)设计不合理或施工质量不佳,会导致地表水或地下水渗入台背填土。水分

的侵入会软化填料,降低其强度和模量,同时增加土体自重,加剧沉降。在冻融地区,水分还会引发冻胀和融沉,进一步恶化不均匀沉降问题。

### 1.5 施工工艺与顺序

不合理的施工组织也会埋下隐患。例如,在桥台施工完成后才进行台背回填,此时桥台已基本稳定,而新填筑的路基尚处于沉降初期,二者沉降不同步。此外,分层填筑厚度控制不严、碾压遍数不足等施工细节问题,都会直接影响最终的压实效果和沉降量。

## 2 衔接段沉降控制关键技术

针对上述成因,工程界发展了一系列沉降控制技术,主要可归纳为以下几类:

### 2.1 地基处理技术

地基处理是治本之策,旨在提高衔接段地基的整体承载力和压缩模量,加速其固结过程,从根本上减少沉降总量。对于浅层软弱地基,换填法是一种简单直接的选择,即将桥台前后一定范围内的软弱土层全部挖除,换填以砂砾、碎石等透水性好、强度高、压缩性低的优质材料,并分层压实。该方法效果显著,但工程量大,成本较高,且对深层软基无效。对于中厚层乃至深厚软基,复合地基法则更为适用。其中,水泥搅拌桩(CFG桩)通过深层搅拌机械将水泥浆(或粉)与原位软土强制拌和,形成具有一定强度的水泥石桩体,桩体与桩间土共同构成复合地基,能大幅提高承载力,减小沉降<sup>[3]</sup>。CFG桩(CementFly-ashGravelPile)是在水泥土中加入碎石、粉煤灰等形成的高粘结强度桩,其承载力和刚度更高,是目前应用最广泛的桥头地基处理方法之一。而对于沉降控制要求极高的场合,预应力高强度混凝土管桩(PHC桩)则成为首选。它采用工厂预制的高强度混凝土管桩,通过静压或锤击方式打入持力层,单桩承载力极高,沉降极小,能有效将荷载传递至深层坚硬土层。在工期允许的情况下,排水固结法也是一种经济有效的选择。塑料排水板(PVD)结合堆载预压,通过在软基中插入塑料排水板作为竖向排水通道,再施加超载,可以加速孔隙水排出,促进土体固结,有效减小工后沉降。真空预压则是利用大气压力作为预压荷载,无需大量填料,对周围环境影响小,且荷载均匀,不易引起地基失稳。

### 2.2 路堤填筑优化技术

通过改进填料性质和施工工艺,可以从路堤自身入手减小压缩变形。轻质填料技术便是其中的代表。使用重度远低于普通土的材料作为台背回填料,能显著减小作用于地基上的附加应力。泡沫轻质土(由水泥、水、EPS颗粒等混合而成)或直接使用EPS块体,其密度可低

至普通土的1/3到1/5,具有自立性好、压缩性极低、施工便捷等优点。工业废料粉煤灰也是一种质轻、透水性好、后期强度增长的经济环保型轻质填料。除了改变填料,精细化的台背回填施工同样至关重要。应严格选用透水性好、内摩擦角大、压缩性低的粗粒料,如级配碎石、砂砾等<sup>[4]</sup>。在施工过程中,必须采用小型振动压路机、液压夯实机等专用设备,确保在狭窄空间内也能达到规范要求的压实度,通常要求高于96%。同时,严格控制分层厚度(一般不超过15厘米),确保压实均匀,彻底消除压实盲区。此外,在路基与桥台衔接处设置反开挖台阶,将原路基边坡开挖成向内倾斜的台阶,可以有效增加新老路基的接触面积和咬合力,防止沿界面滑动和不均匀沉降。

### 2.3 过渡段结构设计技术

通过在桥梁与路基之间设置一个物理或力学性质渐变的过渡段,可以使刚度实现平缓过渡,从而分散和缓解差异沉降带来的不利影响。传统的搭板法在桥台与路基之间设置一块一端简支于桥台牛腿、另一端自由搭在路基上的钢筋混凝土板。当路基发生沉降时,搭板随之转动,避免了直接的台阶式落差。然而,搭板末端下方的路基仍可能发生二次沉降,形成新的“二次跳车”点,这是其固有缺陷。为克服这一缺陷,刚性桩复合地基过渡段的设计理念应运而生。该方法在桥台后一定长度范围内(如30至50米),采用刚性桩(如PHC管桩、CFG桩)进行地基处理,形成一个高刚度的复合地基区。该区域的沉降量被控制在极小范围内,与桥梁的沉降量接近。差异沉降被转移到远离桥台的位置,且沉降梯度大大减缓。另一种思路是构建变刚度路基过渡段,通过调整过渡段内路堤的填料和结构,使其整体刚度从桥台处向路基方向逐渐减小<sup>[5]</sup>。例如,在靠近桥台处填筑级配碎石等高模量材料,向外逐渐过渡到普通路基填料;或者在路堤内部设置土工格栅、土工格室等加筋材料,形成加筋土路堤,其加筋密度从桥台向路基方向递减,旨在实现力学性能连续过渡。

### 2.4 新型材料与智能监测技术

随着科技发展,新材料和新技术的应用为沉降控制提供了新思路。土工合成材料在其中扮演了重要角色。铺设于路堤内部的土工格栅或格室,能够利用其抗拉性能约束土体的侧向变形,提高路堤的整体性和承载能力,从而减小不均匀沉降。而土工布或复合排水板则主要用于隔离、反滤和排水,防止不同填料混杂,并快速排出渗入的水分,保持路基干燥稳定。与此同时,智能监测与信息化施工技术正逐步成为沉降控制的有力工具。在

衔接段关键位置预埋沉降板、分层沉降仪、孔隙水压力计、应变计等传感器，可以构建一个实时监测系统。通过物联网技术，将沉降、应力、孔压等数据实时传输至管理平台。工程师可根据这些动态数据评估地基固结状态和沉降发展趋势，及时调整后续施工方案，例如决定何时卸载预压土、何时铺筑路面，从而实现精准化、信

息化的沉降控制，将风险降至最低。

### 3 技术方案综合比选与工程应用建议

不同的沉降控制技术各有其适用条件和优劣。在实际工程中，应根据具体地质条件、沉降控制标准、工期、成本等因素，进行综合比选，甚至采用多种技术组合的“综合治理”策略。

表1：公路桥梁与路基衔接段施工沉降控制技术方案综合对比

技术类别	代表技术	适用条件	主要优点	主要缺点	成本
地基处理	CFG桩	中厚层软基，沉降要求高	承载力高，沉降小，工期适中	对施工质量敏感，需考虑负摩阻力	中高
	PHC管桩	深厚软基，沉降要求极高	沉降极小，承载力极高	成本高，施工噪音大	高
	塑料排水板+堆载	厚层饱和软黏土，工期充裕	成本较低，能有效减小工后沉降	需要长预压期，占用大量土方	低
路堤优化	轻质填料(泡沫土)	任何地基，尤其适用于净空受限	自重轻，压缩性极低，施工快	材料成本较高	中高
	精细化回填	通用	直接解决台背压实难题	对施工管理和设备要求高	低
过渡段设计	刚性桩复合地基	沉降控制要求极高的关键节点	效果最好，能根本性解决问题	综合成本最高	高
	搭板	通用，作为辅助措施	结构简单，历史悠久	存在“二次跳车”风险	低

基于此，提出以下工程应用建议：首先，必须坚持地质先行的原则，通过详细勘察准确评估桥头段的沉降潜力，这是选择技术方案的前提。其次，沉降控制应贯穿于设计、施工全过程，预防为主，而非事后补救。再次，在具体实施中，应摒弃单一技术的局限，积极推行“地基处理+路堤优化+过渡段设计”的综合技术路线，从根源到表现多层次协同控制沉降。此外，必须高度重视台背回填等施工细节，制定专项方案，配备专用设备，加强过程监管。最后，应积极拥抱新技术，应用智能监测系统，实现对沉降过程的动态感知和反馈控制，确保工程质量和长期安全。

### 4 结语

公路桥梁与路基衔接段的不均匀沉降是引发“桥头跳车”病害的核心原因，其治理是一项涉及岩土工程、结构工程和施工技术的系统工程。本文通过对成因机理的深入剖析，系统梳理了当前主流的沉降控制技术体系。研究表明，单纯依赖某一种技术难以取得理想效果。未来的沉降控制策略应朝着精细化、系统化、智能化的方向发展。一方面，应继续深化对刚柔过渡机理的研究，优

化过渡段结构形式和设计参数；另一方面，应大力推广高性能轻质填料、高效能压实设备和智能监测系统的应用。在具体工程实践中，必须坚持“因地制宜、综合治理”的原则，将先进的地基处理技术、优质的路堤填筑工艺与科学的过渡段设计理念有机结合，并辅以全过程的信息化监控，方能从根本上有效控制衔接段的不均匀沉降，彻底根治“桥头跳车”顽疾，从而全面提升我国公路基础设施的建设品质和长期服役性能。

### 参考文献

[1]李太平.高速公路路基、桥梁、隧道衔接方案研究[J].运输经理世界,2024,(02):89-91.  
 [2]邓永军.高速公路路基、隧道与桥梁的衔接方案分析[J].运输经理世界,2022,(03):109-111.  
 [3]郭问.公路桥头跳车问题形成的原因及预防治理[J].汽车周刊,2025,(11):182-184.  
 [4]王林峰.路桥工程桥头跳车原因分析与处理措施[J].工程建设与设计,2024,(13):98-100.  
 [5]赵文鑫.普通公路桥头跳车病害成因及综合治理技术研究[J].汽车画刊,2025,(07):116-118.