

公路桥梁与路基衔接段施工沉降控制措施研究

朱栩志

杭州市交通工程集团有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 公路桥梁与路基衔接段(即桥头过渡段)是道路工程中的关键部位,其不均匀沉降问题长期困扰着工程界,常导致“桥头跳车”现象,严重影响行车安全、舒适性及道路使用寿命。本文旨在系统研究桥头过渡段沉降机理,并提出一套综合性的沉降控制措施。首先,深入剖析了桥台与路基在刚度、荷载传递及压缩特性上的本质差异,明确了不均匀沉降的根本成因。其次,从设计、材料、施工工艺及监测维护四个维度,全面梳理并评述了当前主流的沉降控制技术,包括合理设置过渡段长度、优化地基处理方案(如CFG桩、碎石桩、强夯等)、采用轻质填料(EPS、泡沫混凝土等)、实施分层填筑与智能压实以及加强施工过程监控。研究表明,单一措施难以根治沉降问题,必须采取“预防为主、治理为辅、多措并举、动态调整”的综合策略,才能有效控制桥头过渡段的不均匀沉降,保障公路工程的整体质量与运营安全。

关键词: 桥头跳车; 不均匀沉降; 桥台-路基衔接段; 地基处理; 轻质填料

引言

我国交通基础设施发展迅速,高等级公路网络不断完善,但“桥头跳车”仍是普遍且顽固的质量问题。车辆高速经过桥路连接处,因路面高程突变颠簸跳跃,既降低行车舒适性与安全性、加速车辆磨损,又冲击桥路结构、缩短使用寿命、增加养护成本。“桥头跳车”根源在于桥台与柔性路基不均匀沉降,桥台基础特殊加固、沉降极小,而高填方路基在长期荷载下持续压缩变形、工后沉降可观,刚柔交界沉降差使路面纵坡不连续,形成台阶或凹陷引发跳车。桥头过渡段沉降控制是综合性技术难题,传统修补治标不治本。因此,需从沉降机理出发,系统研究整合全生命周期沉降控制措施。本文将围绕此目标,深入分析成因、评述现有技术,为同类工程提供参考指导。

1 桥头过渡段不均匀沉降机理分析

要有效控制沉降,必须首先深刻理解其发生的内在机理。桥头过渡段的不均匀沉降主要源于以下三个方面的本质差异:

1.1 刚度差异

这是最核心的原因。桥梁结构,特别是其下部的桥台和桩基础,具有极高的刚度(弹性模量)。在荷载作用下,其自身的压缩变形微乎其微。而路基填土则是一种典型的弹塑性材料,刚度远低于混凝土结构。当车辆荷载通过路面传递下来时,刚性的桥台几乎不发生变形,而柔性的路基则会产生明显的竖向压缩。这种巨大的刚度反差,使得在衔接处形成了一个“硬-软”突变界面,应力和应变在此集中,极易诱发不均匀沉降。

1.2 荷载传递路径差异

桥台上的荷载主要通过其深基础(如桩基)直接传递至深层稳定的持力层,绕过了浅层软弱土层。而路基的荷载则是通过逐层填筑形成的土体,自上而下扩散,最终作用于天然地基表层^[1]。这意味着,即使桥台和路基顶部承受相同的路面荷载,它们下方的地基所承受的实际附加应力及其分布形态也截然不同。路基下方的浅层土体承受了绝大部分荷载,成为沉降的主要来源。

1.3 压缩特性与时效性差异

桥台基础下的地基经过处理,其固结沉降在施工期间基本完成。而路基填土的沉降是一个复杂的、长期的过程,主要包括瞬时沉降、主固结沉降和次固结沉降。其中,主固结沉降是指土体孔隙水在荷载作用下被挤出,土颗粒重新排列导致的体积压缩,对于饱和软黏土,这是一个缓慢的排水固结过程;次固结沉降则是在主固结完成后,在有效应力不变的情况下,由于土骨架的蠕变而产生的持续沉降。这两者共同构成了路基的主要工后沉降,其历时可能长达数年甚至十几年。而桥台的沉降早已稳定,二者沉降发展的不同步性,进一步加剧了不均匀沉降的程度。

综上所述,桥头过渡段的不均匀沉降是刚度、荷载路径和土体压缩特性三者共同作用的结果。任何有效的控制措施都必须针对这些根本原因进行干预。

2 公路桥梁与路基衔接段沉降控制措施体系构建

基于上述机理分析,沉降控制的核心思想是“减小路基沉降”和“平顺过渡”。为此,需要构建一个涵盖设计、材料、施工和监测四大环节的综合措施体系。

2.1 优化设计阶段的预防措施

2.1.1 过渡段长度与线形设计

设计是沉降控制的源头,合理的方案能事半功倍。其中,过渡段长度的确定至关重要。其作用在于使路基沉降沿纵向平缓变化,避免在桥台处形成突变。过渡段的长度并非随意设定,而应根据路基高度、填料性质、地基条件以及预期的沉降量进行科学计算。经验公式如 $L = nH$ (n 为系数,一般取2~5)虽可提供初步参考,但更为精确的方法是借助数值模拟技术,例如有限元分析,对沉降曲线进行预测,从而确保在该过渡段长度内,沉降坡差率($\Delta i = \Delta S/L$)能够被有效控制在规定允许的安全阈值之内(通常小于0.4%~0.6%),以实现行车的平顺过渡。

2.1.2 台背填料选择与搭板设置

在设计阶段,对台背回填材料的选择同样不可忽视。优先选用透水性良好、强度高且易于压实的粗粒料,如砂砾或碎石,不仅能保证足够的承载力,还能加速地基内部的排水固结过程,有效缩短主固结沉降的时间。同时,应严格限制填料中的含泥量和有机质含量,以防其在长期使用中发生劣化。此外,设置钢筋混凝土搭板是一种常见的补救性设计措施。搭板一端稳固地支承在桥台上,另一端则置于路基之上。当路基不可避免地发生沉降时,搭板凭借其自身刚度,能够起到类似“杠杆”的作用,将集中的沉降差分散到更长的距离上,从而显著减缓纵坡的突变程度^[2]。然而,必须认识到,搭板的有效性高度依赖于路基沉降的可控性,若路基沉降过大或不均,搭板自身也可能因受力复杂而产生开裂,故其应用需与其他主动控制措施相结合。

2.2 地基处理技术

2.2.1 复合地基法的应用

地基处理是从根本上提升承载能力、减少压缩变形的最直接手段。复合地基法通过在天然地基中引入高强度的增强体,使其与原状土共同承担上部荷载,从而形成性能优越的复合地基。其中,CFG桩(水泥粉煤灰碎石桩)因其优异的性能和广泛的适用性而备受青睐。它由碎石、石屑、粉煤灰、水泥和水拌合而成,具有较高的强度和模量。CFG桩通过置换软弱土、挤密周围土体以及依靠桩顶褥垫层的调节作用,能有效协调桩—土变形,大幅减小整体沉降,尤其适用于处理深厚的软弱地基。另一种常见的复合地基形式是碎石桩或砂桩,其主要通过振动或冲击成孔后填入碎石或砂并加以压实,核心作用在于挤密周围的松散土体,并形成高效的竖向排水通道,从而加速饱和软黏土的固结进程。

2.2.2 强夯与预压法的实施

对于非饱和或稍湿的土层,强夯法是一种高效且经济的地基处理技术。该方法利用重锤从高处自由落下所产生的巨大冲击能,对地基土进行强力夯实,能显著提高地基的密实度和承载力,同时降低其压缩性。然而,强夯施工过程中产生的强烈振动可能对周边环境及既有构筑物造成不利影响,且其效果对土体的含水量极为敏感,因此在正式施工前必须通过试夯来确定最优的夯击能、落距和夯点间距等关键参数^[3]。相比之下,预压法则是一种更为温和但耗时较长的方法。它通过在路基施工前预先施加等于或大于设计荷载的堆载(堆载预压),或结合塑料排水板、砂井等竖向排水体并施加负压(真空预压),来加速地基土的排水固结。待监测数据显示地基沉降已基本稳定后,再卸除预压荷载,进行正常的路基填筑。这种方法能有效消除大部分主固结沉降,但其漫长的工期和对场地的占用是其主要缺点。

2.3 应用轻质填料技术

EPS与泡沫混凝土的工程应用:减轻路堤自重是从源头上减小附加应力、从而控制沉降的根本途径。近年来,轻质填料技术得到了长足发展。EPS(聚苯乙烯泡沫)块体作为一种超轻质材料,其密度仅为普通土的1/50至1/100,却拥有较高的抗压强度和良好的耐久性。将其用于台背填筑,可以大幅度降低作用于地基的荷载,从而显著减少沉降量。同时,EPS材料的自立性好,还能有效减小对桥台结构的侧向土压力。尽管其初始成本较高,并需注意防火及防生物侵害等问题,但其长期效益显著。泡沫混凝土则是另一种极具前景的轻质材料,它由水泥、水和发泡剂等制成,其密度可在300至1600 kg/m³范围内灵活调节。泡沫混凝土具有优异的流动性和自密实性,无需振捣即可在狭窄的台背空间内实现均匀填充,特别适合于复杂工况下的回填作业。与EPS类似,它也能有效减轻荷载,且与混凝土结构相容性好,其力学性能和耐久性可通过配合比设计进行精确调控。

2.4 精细化施工工艺控制

2.4.1 填筑压实与界面处理

再完美的设计方案,若缺乏精细化的施工工艺作为支撑,也难以达到预期的控制效果。台背回填施工必须遵循严格的分层填筑原则,每层的松铺厚度不宜过大,通常控制在15至20厘米以内,并采用专门的小型压实机具,如液力夯压机或小型振动压路机,进行充分、均匀的压实,确保压实度满足甚至高于一般路基的标准(通常高出2~3个百分点)。这是保证填料自身稳定性、最大限度减少其自身压缩变形的关键环节。与此同时,路基与桥台接触面的处理同样重要。施工时应将接触面开挖成内倾的台阶状,

并彻底清理干净,必要时涂刷专用的界面剂,以增强新旧结构间的结合力,防止沿界面形成滑动面或薄弱区域,从而确保整个过渡段结构的整体性。

2.4.2 施工速率与排水系统控制

对于软土地基上的高填方路基,填筑速率的控制尤为关键。应严格遵循“分级加载、动态监测”的施工原则。通过实时监测地基的沉降速率和水平位移等关键指标,动态调整每日或每周的填筑高度。一旦监测数据出现异常,如沉降速率突然加快或水平位移超出预警值,必须立即暂停填筑,分析原因并采取相应的工程措施,以防止因地基失稳而导致灾难性后果^[4]。此外,完善的排水系统是保障路基长期稳定的重要防线。应在台背及路基内部合理设置盲沟、渗沟等地下排水设施,并确保其与路基外的排水系统顺畅连接,以便及时排除地表水和地下水,防止水分积聚软化填料和地基土,从而维持其应有的强度和稳定性。

2.5 施工过程监测与信息化管理

2.5.1 监测体系建立与预警机制

沉降控制是一个动态演进的过程,离不开全过程、系统化的实时监控。在施工初期,就应在桥台、过渡段及相邻的一般路基上科学布设沉降板、分层沉降标、测斜管等多种类型的监测点,构建一个完整的监测网络。通过对沉降量、沉降速率、分层沉降以及水平位移等数据的长期、系统观测,可以全面掌握结构物的变形规律。在此基础上,应建立一套科学的预警机制,将实测数据与理论预测值或规范限值进行对比分析。一旦发现数据偏离正常范围,系统应自动触发预警,提示工程技术人员及时介入,分析沉降异常的根源,并迅速制定和实施针对性的补救措施,将风险扼杀在萌芽状态。

2.5.2 信息化施工平台的集成

随着信息技术的发展,信息化施工已成为提升工程管理水平的重要方向。可以将现场采集的各类监测数据、施工日志、材料检验报告以及设计图纸等信息,集

成到BIM(建筑信息模型)平台或专门开发的工程管理信息系统中。通过该平台,可以实现施工过程的可视化、数字化和智能化管理。管理人员可以随时随地调阅工程状态,进行多维度的数据分析,为动态设计调整、施工方案优化和精准决策提供强有力的数据支持,从而确保各项沉降控制措施能够精准落地,最终实现对桥头过渡段不均匀沉降的有效驾驭。

3 结语

本文深入剖析公路桥梁与路基衔接段不均匀沉降机理,构建了涵盖设计、地基处理等多方面的综合沉降控制措施体系。主要结论有:桥头过渡段不均匀沉降是复杂系统性问题,源于桥台与路基在刚度等多方面的本质差异;单一控制措施难奏效,需坚持“预防为主、多措并举”,将主动减沉与被动适应技术结合形成组合方案;施工精细化管理和信息化监控是确保措施生效关键,能实现沉降风险早发现早处置。展望未来,桥头沉降控制技术将向智能化、绿色化、一体化发展,开发智能预测模型与自动化监测预警系统,研发新型轻质填料,推动BIM技术全生命周期应用。通过持续创新与实践,我们有信心根除“桥头跳车”顽疾,为公众营造更优质公路交通环境。

参考文献

- [1]柯于仟,田青.公路桥梁工程桥头接线沉降段路基路面施工技术研究[J].现代工程科技,2026,5(02):89-92.
- [2]巩帆.公路桥梁过渡段路基路面施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(05):121-123.
- [3]王伟.城市连续放坡桥头路段地基沉降分析[J].中国新技术新产品,2026,(01):101-103.
- [4]赖威锦.桥头路基沉降的病害成因分析及解决方法探讨[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第九届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会议论文集.吉林建筑大学;2025:278-280.