

市政道路桥梁工程沉降段路基路面施工技术

陈泊豪

天津市政工程设计研究总院有限公司 天津 300051

摘要: 在城镇化高速发展的背景下,市政道路与桥梁工程作为城市交通网络的骨架,其建设质量直接关系到城市运行效率与公共安全。其中,桥头跳车现象是长期困扰市政工程领域的顽疾,其根本原因在于桥梁结构物与路基填土之间存在的差异沉降。本文聚焦于市政道路桥梁工程中的沉降段(即桥台与路堤过渡段),系统阐述了差异沉降的成因机理,并在此基础上,深入探讨了当前主流的路基加固、路面结构优化及精细化施工控制等关键技术。文章详细分析了换填法、强夯法、注浆法、桩体复合地基(如CFG桩)以及土工合成材料加筋等路基处理技术的适用条件与施工要点;同时,对搭板设置、柔性搭板、路面结构层优化等路面应对措施进行了论述。最后,强调了全过程动态监测与信息化施工管理在保障沉降段工程质量中的核心作用。研究表明,通过科学选用并组合多种技术手段,辅以严格的施工过程控制,能够有效控制差异沉降,从根本上解决桥头跳车问题,提升市政道路的整体服务水平和耐久性。

关键词: 市政道路;桥梁工程;沉降段;差异沉降;路基处理;路面结构;施工技术

引言

随着我国城市化进程加速,市政道路与跨线桥梁作为城市交通骨干,其通行舒适性备受关注。然而,“桥头跳车”这一常见病害严重影响行车平顺性与安全,加剧车辆损耗和养护成本。其本质是桥梁结构与相邻路堤间因刚度差异产生的“差异沉降”:桥梁基础置于高承载力持力层,沉降极小,可视为刚性体;而路堤填土在自重、车辆荷载及地下水等作用下持续压缩固结,形成沉降台阶。沉降段即桥台与路基间的过渡区,是整个系统中力学最薄弱、技术最复杂的环节。传统单一处理方法难以奏效,必须采用系统性、多维度的技术集成方案,科学有效控制差异沉降,方能根治桥头跳车问题。

1 沉降段差异沉降的成因机理分析

要有效治理差异沉降,首先必须深刻理解其形成机理。沉降段的差异沉降主要源于以下几个方面:

1.1 地基条件差异

这是最根本的原因。桥梁基础设计要求高,通常会穿透软弱土层,将荷载传递至深层稳定、承载力高的土层或岩层,因此其沉降量微乎其微。而路堤地基则往往直接坐落在天然地基上,尤其是当路线经过河塘、洼地或新近填土区域时,地基土质松软、压缩性高、承载力低。在相同荷载作用下,路堤地基会产生远大于桥基的沉降量。

1.2 填料性质与压实度不足

台背回填空间狭小,大型压实机械难以进入,施工操作困难,极易形成压实盲区。加之部分施工单位为赶工期,未严格按照分层填筑、分层压实的工艺要求施工,

导致回填土压实度达不到设计标准(通常要求 $\geq 96\%$)。压实不足的填料孔隙率大,在后期荷载作用下会产生显著的次固结沉降。此外,若选用透水性差、易压缩的不良填料(如腐殖土、淤泥质土),也会加剧沉降。

1.3 设计与施工脱节

部分设计图纸对台背回填的特殊性考虑不足,未明确指定高性能的轻质或高强度填料,也未对压实工艺提出具体可行的要求。施工方在缺乏有效指导的情况下,容易沿用普通路基的施工方法,埋下质量隐患。同时,排水系统设计不合理或施工不到位,导致台背区域积水,软化填料和地基,进一步诱发沉降。

1.4 荷载效应

车辆反复通行产生的动荷载会对已存在微小沉降的过渡段产生冲击和疲劳效应,加速沉降的发展。特别是在重载交通比例较高的市政干道上,这种效应更为显著。

2 路基处理关键技术

路基处理是控制差异沉降的第一道防线,其核心目标在于提升台背区域地基与填料的整体强度、刚度及稳定性,最大限度地减小其压缩变形。

2.1 换填法

换填法是一种应用广泛且原理直观的地基处理方式,其核心在于将台背一定深度和范围内的软弱土或不合格填料彻底清除,并替换为性能优越的工程材料。该方法适用于软弱土层埋深较浅(通常不超过3米)的工程场景。在材料选择上,应优先考虑透水性好、强度高、易于压实的优质填料,如级配碎石、砂砾、水泥稳定碎石或石灰改良土。近年来,轻质泡沫混凝土(LFC)因其超轻

质(密度仅为普通混凝土的1/5至1/8)、高流动性、自立性强以及压缩模量高等优异特性,在高端市政项目中逐渐得到推广。通过使用LFC回填,可从源头上大幅减轻路堤自重,从而显著降低附加应力引起的沉降^[1]。施工过程中,必须严格控制开挖范围与深度,确保分层填筑厚度不超过20厘米,并采用小型振动压路机、平板夯或液压夯实机对狭窄区域进行充分压实,确保压实度达标;同时,需特别注意新旧土体的衔接处理,避免形成新的力学薄弱界面。

2.2 强夯法与冲击碾压

强夯法与冲击碾压均属于动力固结类地基处理技术,旨在通过高能量冲击作用挤密深层土体,提高地基整体承载能力。强夯法利用重达10至40吨的夯锤从6至20米高处自由下落,对地基施加强烈冲击,适用于处理碎石土、砂土及低饱和度的粉土和黏性土地基。然而,在城市密集建成区,强夯产生的巨大冲击波可能对邻近的既有桥梁结构、地下管线乃至周边建筑物造成不利影响,因此需谨慎评估环境适应性。相比之下,冲击碾压采用非圆形(如三边形)冲击轮,在牵引设备带动下滚动前进,周期性地对地面施加集中冲击能量。其影响深度虽不及强夯,但作用更为均匀,对周边环境扰动较小,更适合在场地受限的城市环境中应用,常用于大面积路基的预压处理,为后续沉降段施工创造良好条件。

2.3 注浆加固法

注浆加固法通过压力设备将特定配比的浆液注入地基土的孔隙或裂隙中,待浆液凝固后与原状土形成整体,从而提升地基的强度、刚度和抗渗性能。该方法特别适用于处理局部松散、存在空洞或渗透性较强的砂层、卵石层等地基。常用的浆液类型包括纯水泥浆、水泥-水玻璃双液浆以及各类化学浆液。施工前需进行详尽的地质勘察,精准布设注浆孔位;施工中则需严格控制注浆压力、流量及浆液水灰比,既要保证浆液有效扩散填充,又要防止因压力过大导致浆液流失或对邻近结构物产生过大的侧向推力。注浆完成后,还需通过钻孔取芯、静力触探等手段对加固效果进行验证,确保达到预期目标。

2.4 桩体复合地基法

桩体复合地基法通过在台背区域施打竖向增强体(如CFG桩、碎石桩或预制管桩),形成桩-土共同承担荷载的复合体系,将上部荷载有效传递至深层稳定土层,从而显著控制沉降。其中,CFG桩(水泥粉煤灰碎石桩)因其施工便捷、造价经济、加固效果显著,已成为市政工程中最主流的桩型之一^[2]。CFG桩由水泥、粉煤灰、碎石及石屑加水拌和而成,兼具较高的桩体强度和良好的置

换挤密效应。施工时需先进行试桩,以确定最优的桩长、桩径、桩距及配合比参数;成桩后必须铺设一定厚度的级配碎石褥垫层,以调节桩-土之间的荷载分担比例,确保二者协同工作,充分发挥复合地基的整体效能。

2.5 土工合成材料加筋技术

土工合成材料加筋技术是在路基填筑过程中分层铺设土工格栅或土工格室,利用其高抗拉性能约束填土的侧向变形,形成“加筋土”复合结构体,从而提升路基的整体性、承载力和抗变形能力。其作用机理在于,格栅通过与填料颗粒间的摩擦咬合作用,将局部集中应力有效扩散,均化路基内部的应力分布,减缓差异沉降的发展。施工中应根据设计要求选择合适型号的格栅(重点关注其抗拉强度与延伸率指标),铺设时务必保证平整、张紧,不得出现褶皱或扭曲;格栅接缝处应按规范要求,进行可靠搭接或机械连接;同时,回填料的粒径需与格栅网孔尺寸相匹配,避免尖锐颗粒刺穿或损伤格栅,确保加筋效果的长期稳定。

3 路面结构优化技术

即便路基处理得当,微小的残余沉降仍难以完全避免。因此,通过优化路面结构设计,可在路面上层形成有效的“缓冲”与“适应”机制,进一步消除行车跳动感,提升舒适性。

3.1 设置桥头搭板

桥头搭板是最传统且行之有效的路面过渡构造措施。刚性搭板通常采用钢筋混凝土预制或现浇形式,一端牢固支撑于桥台上,另一端通过混凝土枕梁支承于经处理的路基之上。搭板长度需根据预期工后沉降量及允许的纵坡变化率精确计算,一般取6至12米。其核心功能在于将车辆荷载跨越沉降区域,直接传递至刚性桥台,避免车轮直接冲击沉降台阶^[3]。施工中,枕梁基础必须坚实可靠,必要时需对其进行独立的地基加固;搭板与桥台、搭板与常规路面之间应设置性能优良的伸缩缝和防水层,防止雨水沿缝隙下渗软化路基;此外,搭板下方宜预留适当空间或填充可压缩材料(如聚苯乙烯泡沫板),以适应未来可能发生的路基沉降,避免因路基下沉导致搭板被顶起而发生断裂。

3.2 柔性搭板技术

针对传统刚性搭板在长期使用后可能出现“二次跳车”(即搭板末端与路基衔接处再次形成台阶)的问题,柔性搭板技术应运而生。该技术摒弃了刚性混凝土板,转而采用具有一定弹性与可变形能力的高性能材料,如高模量改性沥青混合料或特殊级配的水泥稳定碎石,作为过渡结构层。柔性搭板能够更好地顺应路基的不均匀

沉降变形,实现真正意义上的平滑过渡,有效消除了刚性搭板常见的“跷跷板”效应。其优势不仅体现在卓越的行车舒适性上,还在于施工便捷——可与沥青面层一体化摊铺,无缝衔接,避免了接缝处理难题,提升了结构的整体性和耐久性。

3.3 路面结构层优化

除设置专门的过渡构造外,对常规路面结构层本身进行针对性优化也是重要的补充手段。例如,可在基层或底基层增设一层或多层高性能、高模量的沥青稳定碎石(ATB)或改性沥青混凝土作为应力吸收层或过渡层,以增强路面结构抵抗弯曲拉应力和疲劳开裂的能力。在面层材料选择上,优先采用SBS改性沥青、橡胶沥青等高性能胶结料,可显著提升混合料的高温稳定性、低温抗裂性及长期耐久性,使其更能承受因微小沉降引起的局部应力集中^[4]。更进一步,可基于路基处理后的预计工后沉降曲线,对沉降段区域的路面各结构层厚度进行动态调整,使最终成型的路面纵断面尽可能平顺,从几何形态上消除跳车隐患。

4 精细化施工控制与动态监测

再先进的技术方案,若缺乏严谨的施工过程控制,亦难以转化为优质的工程实体。

4.1 施工过程精细化管理

针对沉降段这一关键部位,必须编制详尽的专项施工技术方​​案,明确材料规格、工艺流程、机械​​设备配置、质量控制标准及应急预案。所有进场材料,包括填料、土工合成材料、水泥、沥青等,均需进行严格检验,确保其性能指标符合设计及规范要求。尤其对于台背、墙背等大型机械无法作业的狭窄区域,应配备足够数量的小型压实设备(如液压夯实机),并安排专人负责补强压实,同时采用无核密度仪等先进检测手段实时监控压实度,杜绝压实盲区。此外,完善的排水系统是防止水损害的关键,必须确保台背区域的排水盲沟、泄水管等设施位置准确、连接通畅、防渗可靠,从源头上隔绝水分对路基稳定性的不利影响。

4.2 全过程动态监测与信息化施工

建立覆盖施工期及工后初期的全过程动态监测体系,

是保障沉降段工程质量的最后一道防线。监测内容应包括沉降观测(通过设置沉降板、分层沉降标)、水平位移观测以及孔隙水压力监测等。依托现代信息技术,可构建施工监控量测信息系统,实现监测数据的自动采集、实时传输与智能分析。通过对监测数据的趋势研判,可准确评估地基固结程度和沉降发展态势。一旦发现沉降速率异常或累计沉降量接近预警阈值,即可立即启动应急预案,采取补充注浆、延长预压期或调整路面铺装方案等补救措施,真正实现“动态设计、信息化施工”,将工程风险控制在萌芽状态。

5 结语

市政道路桥梁工程沉降段的差异沉降问题是一个涉及岩土、结构、材料与施工多学科交叉的复杂系统工程。本文研究表明,解决该问题必须坚持“预防为主、防治结合、多措并举”的综合治理理念,依据地质条件、交通荷载及环境约束等因素,科学组合路基加固、路面优化与施工控制等技术手段;源头控制是关键,优质填料、充分压实与坚实地基构成沉降防控的三大基石,轻质泡沫混凝土与CFG桩等高效技术代表发展方向;而再优的设计也需依赖全过程精细化施工管理,尤其在狭窄区域压实、材料质量与排水系统等环节;同时,依托动态监测体系实现信息化、智能化施工,是保障长期性能的核心。展望未来,随着BIM数字孪生、物联网智能传感及自修复智能材料等新技术的深度融合,桥头跳车这一世界性难题有望被彻底攻克,推动市政基础设施迈向更安全、耐久与智慧的新阶段。

参考文献

- [1]万君伟.市政道路桥梁沉降段路基路面施工技术要点[J].工程建设与设计,2025,(19):206-208.
- [2]王航航.沉降段路基路面施工技术在道路桥梁工程建设中的应用探究[J].科技资讯,2025,23(15):121-123.
- [3]李玉侠.市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术[J].居业,2025,(07):97-99.
- [4]李杰.市政道路桥梁工程中沉降段路基路面的施工技术[J].城市建设,2025,(14):29-31.