

软基路桥过渡段不均匀沉降控制技术研究

杨立龙

新疆三利建筑有限责任公司 新疆 伊犁 833200

摘 要：路桥过渡段是道路工程沉降病害的高发区域，软基土体的特殊工程特性极易引发结构变形差异，影响道路通行的稳定性。本文结合软基土体结构特点与路桥衔接受力特征，系统剖析过渡段不均匀沉降的形成机理与协同变形规律，探究地基预处理、路基填筑、结构优化及排水配套等多元控制技术，从精细化施工工艺、分区管控、材料配比及结构改良多个维度，梳理适配软基工况的沉降防控优化方法，能够有效弱化刚柔结构变形差值，提升路桥过渡段整体服役稳定性。

关键词：软基；路桥过渡段；不均匀沉降；变形机理；沉降控制

引言：软基区域路桥过渡段普遍存在不均匀沉降问题，长期困扰道路工程的建设质量与运营安全。软土孔隙发达、含水率高、固结周期长的特点，搭配路桥结构固有的刚度差异，极易造成衔接区域变形不均，引发路面错台、平整度衰减等各类病害。为有效解决过渡段沉降变形问题，规避结构刚度突变带来的施工与运营隐患，依托软基变形与结构受力相关特征，系统梳理沉降控制技术、施工工艺及防控优化策略，为软基路桥过渡段工程质量提升提供技术参考。

1 软基路桥过渡段沉降成因与变形机理

1.1 软基土体基本工程特性

软基土体多由淤泥、淤泥质土及粉质黏土组成，是路桥工程中稳定性较差的地基土体类型。这类土体孔隙占比大，天然含水率远超常规土体标准，颗粒结构松散，整体密实度处于较低水平。土体自身抗剪强度弱，承载能力无法匹配道路行车荷载与结构自重荷载。在外力持续作用下，土体内部孔隙会逐步压缩，水分缓慢排出，引发持续性的压缩变形^[1]。土体固结周期漫长，初期变形速度快，后期变形趋于平缓，长期累积会产生可观的沉降量，这也是软基路段易出现变形病害的基础原因。

1.2 路桥过渡段结构受力特性

路桥过渡段连接柔性路基与刚性桥梁结构，两种结构材质、刚度存在巨大差异，受力表现截然不同。桥梁主体依托桩基、承台传递荷载，基础嵌固于深层稳定土层，整体刚度大，受力后形变幅度极小。过渡段路基为填土压实结构，刚度远低于桥梁构件。车辆往复碾压、结构自重传递的荷载会在过渡段形成受力不均的状态，路基局部会出现应力集中现象。荷载传递过程中，刚性

结构约束周边土体变形，柔性路基持续产生形变，结构受力差异会持续放大区域变形偏差。

1.3 过渡段不均匀沉降内在成因

过渡段不均匀沉降的核心根源是地基与结构的刚度差，施工细节缺陷会进一步加剧病害问题。路基填筑施工时，填料压实度难以做到全程均匀，边角、衔接位置易出现压实不足的问题。软土地基预处理不到位，残留压缩空间，后期土体固结会产生自然沉降。行车荷载反复冲击会扰动路基土体结构，让松散土体进一步压缩。桥梁基础几乎不产生沉降，路基持续下沉，两种结构竖向变形差值逐步拉大，最终形成不均匀沉降台阶。

1.4 软基与路桥结构协同变形规律

软基和路桥结构的变形存在明显差异化时序特征。施工初期，路基填土自重快速挤压软基，土体孔隙快速收缩，路基沉降速率处于峰值。桥梁基础受深层土体约束，变形数值基本可以忽略。工程运营阶段，软基进入缓慢固结阶段，沉降速度放缓但持续时间久。过渡段路基会随软基固结持续微量下沉，桥梁结构始终保持稳定状态。长期运营中，竖向变形差值不断累积，过渡段路面出现坡度突变、平整度下降等问题，形成的纵坡突变段会直接降低行车舒适度与安全性，直接影响道路通行稳定性。

2 软基路桥过渡段沉降核心控制技术

2.1 软土地基预处理技术

软土地基整体承载力薄弱，是诱发过渡段沉降问题的底层诱因，地基预处理可以从源头降低土体变形概率。现阶段常用处理方式包含堆载预压、真空预压、水

泥搅拌桩加固等主流工艺。堆载预压通过在地基表层施加配重荷载,挤压土体内部孔隙,加速孔隙水排出,促进土体固结成型,有效提升地基整体密实程度^[2]。真空预压依托负压环境抽出土体水分,缩短地基固结周期,适配大面积浅层软基改造场景。水泥搅拌桩利用固化材料与原位软土充分混合,形成整体性较强的复合地基,提升土体抗变形能力,削减后期沉降幅度。不同工艺可根据施工现场土层厚度、含水率及工程工期灵活选用。

2.2 过渡段路基填筑压实技术

路基填筑压实质量直接决定过渡段整体稳定性,是把控不均匀沉降的关键工序。施工阶段优先选用级配优良、稳定性高的砂砾、碎石类填料,规避粉质土、淤泥质土等易变形劣质填料。填料铺设遵循分层摊铺、分层压实的施工原则,严格把控每层摊铺厚度,杜绝厚层填筑带来的压实不彻底问题。施工设备选用重型压路机针对路桥衔接死角、路基边缘等薄弱区域重点碾压。全程检测压实度、孔隙率等核心指标,确保路基整体密实度均匀统一。规范的压实工艺可以大幅降低路基后期压缩变形的可能性,缩小路基与桥梁结构的变形差距。

2.3 路桥衔接结构优化技术

路桥结构刚度差异是过渡段沉降病害的核心诱因,结构优化能够有效弱化刚柔结构的变形差。工程中常通过增设搭板、渐变刚度填筑、调整桥台结构形式等方式优化衔接体系。桥头搭板可承接路基传递的行车荷载,分散局部集中应力,让竖向变形实现平缓过渡。渐变刚度填筑通过调整过渡段不同区域填料配比,实现路基刚度由柔性向刚性平稳过渡,避免刚度突变引发的路面沉降台阶。优化桥台基础结构尺寸与埋深,强化桥梁基础整体约束能力,减少结构细微形变,提升路桥衔接位置的整体受力稳定性。

2.4 过渡段排水固结配套技术

软基土体水分长期滞留会延缓固结进程,加剧土体软化变形,完善排水体系是防控沉降的辅助核心手段。施工中可在过渡段基底、边坡及表层设置立体化排水系统。基底铺设砂垫层、排水板,搭建竖向与横向结合的排水通道,快速导出土体内部积水。边坡设置排水沟,拦截地表积水,避免雨水渗入路基土体。路面增设防水铺装层,阻断雨水下渗路径。通畅的排水体系可以快速排出土体多余水分,加快软基固结成型速度,维持土体结构稳定性,减少水损引发的沉降、塌陷等路面病害^[3]。

3 软基路桥过渡段沉降精细化控制工艺

3.1 过渡段分层填筑施工工艺

过渡段填筑施工是把控路基变形的核心环节,精细化分层作业能够从施工层面弱化沉降隐患。正式填筑前,需要清理基底表层的杂物、浮土与软弱土层,对基底进行平整压实处理,保障基底承载面规整坚实。填筑作业采用薄层摊铺、逐层压实、逐层检测的施工模式,严格限定单层填料摊铺厚度,杜绝厚层施工造成的内部压实不均问题。根据过渡段不同位置的受力特点调整填料类型,桥头近端选用高强度、低压缩性的碎石填料,远离桥头区域采用级配砂石混合料。每一层填筑完成后,都会开展密实度、平整度检测工作,各项指标达标后才可进入下一道施工工序,有效缩小路桥衔接区域的填筑质量差异,从施工源头削减路基非均匀变形风险。

3.2 地基加固精细化施工工艺

软基加固的施工精度,直接影响过渡段长期沉降控制效果。常规地基加固工艺需结合现场地质条件开展精细化调整,摒弃统一化的施工参数。采用水泥搅拌桩加固时,精准控制钻机钻进深度、搅拌速度与注浆量,保证固化材料与原位土体充分拌合,桩体成型质量规整,桩间土加固效果均匀。开展预压加固施工时,按照土层分布情况分区布设荷载,根据土体固结状态动态调整预压时长。全程记录施工数据,针对局部含水率偏高、土质偏弱的区域,增设补强加固工序,消除地基层局部软弱缺陷,提升整体地基承载均匀性。

3.3 路桥衔接部位施工管控工艺

路桥衔接部位结构复杂、受力特殊,是沉降病害的高发区域,需要落实全流程精细化管控。桥台施工完成后,对衔接基面进行打磨找平,清除结构表面凸起杂物,保证路基填筑与桥梁结构衔接顺畅。搭板安装阶段,精准把控安装标高与水平度,调整垫层铺设厚度,让搭板受力均匀稳定。填筑施工避开桥台结构薄弱时段,待桥梁结构强度完全达标后再开展后续填土作业。重点管控衔接死角的压实质量,选用小型压实设备辅助作业,弥补大型机械的施工盲区,避免局部土体松散引发的后期变形问题。

3.4 差异化沉降分段控制工艺

路桥过渡段不同区段的地基条件、结构刚度、受力状态存在明显区别,分段控制可以有效削弱不均匀沉降问题。按照距离桥台的远近,将过渡段划分为桥头紧邻段、中间过渡段、常规路基段三个区域。针对刚度差异最大的桥头紧邻段,采用高强度填料与加密加固的施工方式,提升结构抗变形能力。中间过渡段采用渐变刚度填筑方式,逐步调整填料配比与压实标准,实现结构刚

度平稳过渡^[4]。常规路基段以常规压实加固工艺为主,严控整体施工质量。分区差异化管控能够消解刚柔结构的变形差值,大幅降低路面沉降台阶、平整度破损等病害的发生概率。

4 软基路桥过渡段沉降防控优化策略

4.1 填料选材与配比优化方式

填料性能是决定软基路桥过渡段后期沉降变形效果的关键因素。传统单一填料性能单一,难以适配软基复杂的受力与水文环境。选材阶段优先选用低压缩、高强度、透水效果好的硬质集料,杜绝使用含泥量高、遇水易软化的劣质填土。碎石、砂砾石等粗粒集料结构稳定性好,可长期承受行车荷载作用,减少土体塑性变形累积。配比设计结合现场土工试验结果,根据过渡段不同位置的受力差异调整粗细骨料比例,利用细料填充骨料空隙,形成密实稳定的嵌挤结构。施工中严格控制填料含水率,保证填筑体达到最佳压实状态。优化后的填料整体密实度与抗压缩能力大幅提升,缓解车辆反复碾压造成的土体松动问题,从材料源头降低过渡段不均匀沉降风险。

4.2 地基加固方案优化思路

传统软基加固多采用统一施工参数,未考虑场地土层厚度、含水率、固结程度的空间差异,极易造成加固效果不均、局部地基偏弱的问题。为解决这一问题,加固设计需依托精细化地质勘察资料,采用分区、分级的差异化加固方式。浅层软土区域采用真空预压结合砂垫层排水工艺,加快土体固结排水速度,缩短地基成型周期,提升浅层路基整体稳定性。深层厚层软土区域则采用水泥搅拌桩、CFG桩等复合地基处理技术,常规工况桩间距控制在1.2~1.5m,依靠刚性桩体分担上部荷载,有效提升深层土体承载力与整体刚度。施工过程摒弃固定参数模式,依据各点位承载力检测数据动态调整桩长、桩间距及注浆参数,实现精准补强。通过针对性处理地基薄弱区域,可将工后残余沉降控制在5cm以内,有效均衡整体地基受力性能,减少不均匀沉降隐患。

4.3 过渡段结构形式优化方法

桥台刚性结构与路基柔性结构的刚度突变,是路桥过渡段出现沉降、错台、开裂等病害的主要原因,优化结构形式能够弱化刚度差异,从源头控制变形问题。传统直接衔接方式应力集中效应显著,长期通车后易出现路面破损与沉降病害。对此,工程中可采用刚度渐变式过渡结构,在桥台与标准路基之间设置不小于15m的渐

变段,通过逐级调整填料类型、压实标准,平缓过渡结构刚度,避免力学性能突变。同时适当延长桥头搭板长度,优化垫层施工工艺,分散局部集中应力,保障行车荷载均匀传递至下部路基与地基。针对复杂工况,可在路基填筑层内分层铺设土工格栅,每2~3层填筑层设置一道,利用格栅约束土体侧向变形,增强路基整体性与连续性,提升过渡段的整体抗沉降、抗变形能力。

4.4 长期沉降稳定防控优化措施

软基路桥过渡段沉降具备明显的滞后性与长期性,仅靠施工阶段管控无法彻底规避后期变形风险,需建立覆盖施工、静置、运营的全周期防控体系。路基填筑完成后,预留不少于180天的静置固结期,充分释放土体前期固结变形,降低通车后的残余沉降量。同步建立常态化监测机制,每15天采集一次沉降数据,持续跟踪路面沉降、结构位移、土体含水率等关键指标,动态掌握过渡段变形发展规律。针对运营期间出现的轻微沉降、路面平整度衰减等早期病害,及时开展找平、微修补处理,防止病害持续发展为结构性问题^[5]。日常养护中定期疏通过渡段排水系统,消除路面积水浸泡隐患,避免路基土体软化失稳。整套全周期防控手段可长期维持过渡段结构稳定,延长道路整体服役年限。

结束语

路桥过渡段不均匀沉降是软基道路工程中较为突出的结构性问题,土体自身变形特性与路桥结构受力差异是病害产生的主要诱因。通过梳理各类沉降控制技术与精细化施工工艺,从材料、地基、结构、施工及运维多维度完善沉降防控体系,可平衡过渡段结构变形差异,改善软基路桥衔接段的整体受力状态,提升路基结构的整体性与稳定性,为同类软基路桥工程的质量管控提供成熟的技术参考。

参考文献

- [1] 陈永章. 软土地基路桥过渡段沉降控制与施工优化[J]. 现代工程科技, 2025, 4(9): 45-48.
- [2] 李景韶. 市政路桥过渡段软基路基路面高质量施工方法[J]. 建筑·建材·装饰, 2026(5): 145-147.
- [3] 马骏. 市政路桥过渡段软基路基路面施工策略研究[J]. 中国科技纵横, 2025(20): 112-114.
- [4] 王刚. 高速公路软土路基路桥过渡段差异沉降研究[J]. 山东交通科技, 2024(1): 14-17.
- [5] 李景韶. 市政路桥过渡段软基路基路面高质量施工方法[J]. 建筑·建材·装饰, 2026(5): 145-147.