

# 道路桥梁过渡段不均匀沉降成因及防治措施研究

杨昌昌

新疆金正建设工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 道路桥梁过渡段作为公路与桥梁结构衔接的关键部位,其稳定性直接关系到行车安全、舒适性以及整个交通基础设施的服役寿命。然而,在实际工程运营过程中,过渡段常出现不同程度的不均匀沉降问题,导致“桥头跳车”等典型病害,严重影响道路使用性能和行车体验。本文系统分析了道路桥梁过渡段不均匀沉降的主要成因,包括地基土体差异、结构刚度突变、施工质量控制不足、排水系统失效及交通荷载长期作用等因素;在此基础上,从设计优化、材料改良、施工工艺改进及后期维护管理等多个维度,提出了一系列针对性的防治措施。研究表明,通过综合运用复合地基处理、轻质填料回填、设置过渡板、加强排水系统及实施智能监测等技术手段,可有效控制过渡段沉降差,提升结构整体协调性与耐久性。研究成果对提升我国道路桥梁工程的质量控制水平具有重要的理论价值和实践指导意义。

**关键词:** 道路桥梁; 过渡段; 不均匀沉降; 成因分析; 防治措施; 桥头跳车

## 引言

随着我国交通基础设施建设的高速发展,高速公路、城市快速路及干线公路网络日益完善。在这些线性工程中,桥梁作为跨越障碍物(如河流、山谷、既有道路等)的重要构筑物,与路基路面之间必然存在结构形式和力学特性的显著差异。这种差异集中体现在“道路-桥梁过渡段”这一关键连接区域。该区域通常指桥梁台背至一定距离(一般为30~50米)范围内的路基路段。由于桥梁结构刚度大、沉降小,而路基填土压缩性强、易发生固结沉降,二者在荷载作用下变形特性不一致,极易引发过渡段的不均匀沉降。这种沉降差不仅造成路面平整度下降,形成明显的“台阶”,引发“桥头跳车”现象,还会加速路面结构破坏,增加车辆运行成本与安全隐患,甚至影响桥梁结构的长期稳定性。尽管工程界对过渡段问题已有较长时间的关注,并采取了多种处理措施,但不均匀沉降问题仍屡见不鲜,尤其在软土地区、高填方路段或重载交通条件下更为突出。因此,深入剖析过渡段不均匀沉降的成因机制,系统总结并创新防治技术,对于提升道路桥梁工程的整体质量与服役性能具有迫切的现实需求和重要的工程价值。

## 1 道路桥梁过渡段不均匀沉降的主要成因分析

### 1.1 地基土体性质差异

地基是承载上部结构的基础,其物理力学性质直接决定了结构的沉降行为。在桥梁位置,通常采用桩基础或扩大基础,将荷载传递至深层稳定土层或岩层,沉降量极小。而在相邻路基段,尤其是软土、淤泥质土、湿陷性黄土或高含水量黏性土地基上,路基填土自重及交

通荷载会引起显著的压缩沉降和次固结沉降。这种地基承载能力与压缩模量的巨大差异,是导致过渡段不均匀沉降的根本原因。例如,在沿海软土地区,天然地基承载力低、压缩性高、固结时间长。若未进行有效处理,路基在通车后数年内仍持续沉降,而桥梁几乎无沉降,两者之间形成明显高差。

### 1.2 结构刚度突变

桥梁结构(尤其是桥台)通常由钢筋混凝土或预应力混凝土构成,具有极高的抗压、抗弯刚度。相比之下,路基主要由松散或半固结的填土构成,其弹性模量远低于混凝土结构(通常相差1~2个数量级)。当车辆驶过过渡段时,由于刚度突变,荷载传递路径发生改变,路基侧产生较大的附加应力和变形,而桥台侧变形微小,从而在界面处形成应力集中和变形不连续,加剧了不均匀沉降的发展<sup>[1]</sup>。此外,桥台与路基之间的接缝若处理不当,例如填料密实度不足或未设置柔性连接构造,也会成为结构薄弱环节,进一步放大局部变形,加速差异沉降的发生。

### 1.3 施工因素

施工质量是影响过渡段沉降控制效果的关键环节。在实际工程中,桥台后方作业空间狭窄,大型压实设备难以进入,往往依赖小型机具甚至人工夯实,导致台背回填土压实度难以达到规范要求,形成潜在的“疏松带”。这种疏松区域在后续交通荷载反复作用下极易发生压缩变形,成为不均匀沉降的诱因之一。同时,若施工过程中未能严格执行分层填筑与压实工艺,例如单层填土过厚、含水率控制不当或碾压遍数不足,也会造成

填土整体密实度不均,进而影响长期稳定性。此外,部分工程在填料选择上存在误区,使用高塑性黏土、有机质土或未经处理的原状土进行回填,这类材料不仅压缩性大,且遇水易软化,抗剪强度迅速降低,进一步加剧沉降风险。施工顺序安排不合理,如先完成桥台再回填路基,未预留足够时间让路基在自重作用下完成大部分固结沉降,也容易导致通车后工后沉降过大,形成明显的高差。

#### 1.4 排水系统失效

良好的排水系统是保障路基长期稳定的重要前提。然而在许多过渡段工程中,排水设计往往被忽视或施工质量不达标,导致雨水或地下水长期滞留于台背区域。水分渗入填土后,一方面会降低土颗粒间的有效应力,削弱土体强度;另一方面增加土体自重,诱发附加沉降。在季节性冻融地区,水分的冻结膨胀与融化收缩循环作用还会对填土结构造成反复扰动,形成空洞或软弱夹层,进一步恶化沉降状况。常见的排水失效情形包括:未按设计设置纵向盲沟或横向排水管,已设排水设施因施工回填时破损或未包裹土工布而迅速淤堵,以及边坡截排水系统不完善导致地表径流直接冲刷或渗入台背区域。这些问题共同作用,使得过渡段在潮湿环境下更容易发生不均匀变形。

#### 1.5 交通荷载的长期累积效应

虽然车辆荷载本质上属于动荷载,但在高频次、重载交通条件下,其对路基的反复碾压会产生不可逆的累积塑性变形,即所谓的“交通荷载引起的永久变形”。过渡段由于存在刚度突变,车辆通过时会产生明显的冲击效应,导致局部应力显著高于常规路段。这种应力集中会加速填土颗粒的重新排列与压密,尤其在压实不足或材料性能较差的区域,更容易发生剪切滑移或局部塌陷<sup>[2]</sup>。随着时间推移,即使初始阶段沉降控制良好,长期的疲劳效应仍可能导致沉降差逐渐增大,最终表现为路面起伏不平。因此,交通荷载不仅是触发因素,更是推动不均匀沉降持续发展的关键动力。

## 2 道路桥梁过渡段不均匀沉降的防治措施

### 2.1 设计阶段的优化措施

#### 2.1.1 合理设置过渡段长度

过渡段长度的科学确定是控制沉降梯度的基础。若长度过短,沉降变化过于陡峭,无法实现平顺过渡;若过长,则增加工程造价且未必带来显著效益。因此,应根据具体工程条件,如地基土质、填土高度、交通荷载等级及气候环境等,通过沉降计算或经验公式合理确定过渡段的有效范围。一般而言,在普通地基条件下,过

渡段长度宜不小于填土高度加5至10米;而在深厚软土地基区域,则建议采用两倍填高或通过数值模拟反演确定,以确保纵坡变化率控制在0.5%以内,从而保障行车舒适性与结构安全性。

#### 2.1.2 采用刚度渐变设计理念

为缓解桥梁与路基之间的刚度突变,现代设计理念强调“刚度渐变”原则,即通过结构或材料手段使刚度从桥台向路基方向平缓过渡。其中,设置钢筋混凝土过渡板是一种成熟有效的做法。该板一端牢固锚固于桥台,另一端自由支承于处理后的路基上,能够有效分散车轮荷载,减少应力集中,并抑制路基侧的过大变形。此外,还可结合土工合成材料技术,在过渡段路基中铺设多层土工格栅或采用土工格室结构,通过加筋作用提高填土的整体性和抗变形能力,从而在不显著增加刚度的前提下改善受力状态,实现更协调的变形响应。

#### 2.1.3 优化排水系统设计

完善的排水系统是防止水分侵入、维持路基稳定的核心保障。在设计阶段,应在台背区域系统布置由纵向盲沟、横向排水管及外包土工布组成的复合排水体系。盲沟宜采用透水性良好的碎石或砂砾填充,确保水流顺畅排出;横向排水管应按一定间距(通常2米左右)设置,并向外倾斜,避免倒坡积水<sup>[3]</sup>。同时,可在台背与原地基之间设置高密度聚乙烯(HDPE)防渗膜等防水隔离层,阻断毛细水上升路径。此外,路基两侧的边沟、截水沟也需同步优化,形成完整的地表与地下排水网络,从根本上消除水损害隐患。

## 2.2 地基处理技术

针对软弱地基条件下的道路桥梁过渡段,必须采取系统性的地基处理措施,以从根本上控制差异沉降。常规的自然沉降往往历时过长且不可控,难以满足现代高速公路对工后沉降的严格限制。因此,工程实践中通常根据地质勘察结果、填土高度及工期要求,选择适宜的地基加固方案。对于浅层软土(厚度小于3米),换填法是一种经济高效的选择,通过彻底清除高压缩性土层,并回填级配碎石、砂砾或改良土等优质材料,可显著提升地基承载力并缩短固结周期。然而,在深厚软基地区(如沿海淤泥质土层厚度超过10米),则需采用更深层的复合地基技术。其中,水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩)因其施工便捷、成本适中且承载性能优异,被广泛应用于高速公路过渡段工程。CFG桩通过与桩间土共同受力形成复合地基,有效减小总沉降量并提高沉降均匀性。此外,碎石桩适用于透水性较好的地基,可通过振冲或干振工艺形成排水通道,加速固结;而粉喷桩或浆喷桩

则更适合处理高含水量黏性土,通过固化剂与原位土体发生化学反应形成强度较高的桩体。在工期允许的情况下,堆载预压或真空联合堆载预压也是控制工后沉降的有效手段,其通过施加超载促使孔隙水提前排出,使大部分沉降在施工期内完成。值得注意的是,单一处理方法往往难以兼顾沉降控制、稳定性与经济性,因此当前工程趋势倾向于多技术协同,例如“CFG桩+土工格栅+轻质路堤”的组合体系,既能发挥桩体的承载优势,又可通过加筋和减载进一步优化变形协调性,从而实现过渡段长期性能全面提升。

### 2.3 台背回填材料与工艺改进

#### 2.3.1 选用高性能回填材料

传统黏性土回填难以满足过渡段对低压缩性、高稳定性的要求,因此应优先选用高性能回填材料。泡沫混凝土因其密度低(通常为400-1200 kg/m<sup>3</sup>)、自立性强、施工便捷且具备一定保温隔热性能,近年来在台背回填中得到广泛应用。其轻质特性可显著降低对下卧软基的附加应力,从而有效抑制沉降。EPS(聚苯乙烯泡沫)块体也是一种成熟的轻质材料,虽需额外防护层防止紫外线老化,但在特定工程中表现优异。此外,级配良好的碎石或砂砾不仅透水性好、易于压实,还能形成骨架结构,提高整体稳定性。对于就地取材受限的项目,也可对原状土进行石灰、水泥或新型固化剂改良,提升其工程性能。

#### 2.3.2 优化施工工艺

即便选用了优质材料,若施工工艺不当,仍难以发挥预期效果。因此,必须严格控制台背回填的全过程。首先,应坚持分层填筑原则,每层厚度不宜超过20厘米,并采用专用小型压实设备(如液压夯压机、蛙式打夯机)进行充分碾压,确保压实度不低于96%。其次,可推行“反开槽”施工法,即先整体填筑路基至设计标高,再反挖桥台位置进行下部结构施工,从而减少台背狭小空间的填筑难度<sup>[4]</sup>。此外,施工期间应同步布设沉降观测点,开展动态监测,一旦发现异常沉降趋势,可及时采取补压、注浆抬升等干预措施,避免病害累积。

### 2.4 智能监测与预防性养护

随着智慧交通与数字孪生技术的发展,过渡段的长期性能管理已进入智能化新阶段。通过在关键位置埋设沉降板、孔隙水压力计、土压力传感器等物联网设备,可实时采集结构变形、土体应力及含水状态等多维数据,并上传至云端管理平台进行分析预警。结合定期无人机航测或车载激光雷达扫描,可高精度获取路面高程变化信息,实现沉降差的可视化追踪。在此基础上,建立基于大数据的沉降预测模型,可提前识别高风险区段,推动养护模式从“事后维修”向“事前预防”转变。一旦监测数据显示沉降差接近临界值(如2厘米),即可启动预防性养护程序,如局部铣刨加铺、微膨胀注浆抬升等,有效延长结构使用寿命,降低全生命周期成本。

### 3 结语

道路桥梁过渡段不均匀沉降成因涉及地质、结构、材料、施工及环境等多方面因素。单一措施往往难以奏效,必须采取“地质处理为基础、结构优化为核心、材料改良为支撑、精细施工为保障、智能监测为延伸”的综合防治策略。本文研究表明:地基差异与刚度突变是沉降不均的内在主因,需从源头控制;轻质填料(如泡沫混凝土)、复合地基(如CFG桩)与过渡板技术是当前最有效的工程手段;施工过程控制(尤其是压实质量)对长期性能具有决定性影响;引入数字化、智能化监测技术,可实现从“被动维修”向“主动预防”的转变。未来研究方向应聚焦于:开发更环保、低成本的新型轻质回填材料;建立考虑交通荷载-环境耦合作用的沉降预测模型;推广BIM+GIS技术在全生命周期管理中的应用;制定更精细化的过渡段设计与验收标准。

### 参考文献

- [1]石川.路桥过渡段不均匀沉降原因及控制措施[J].四川水泥,2025,(10):268-270.
- [2]陈强,韩佩.不均匀沉降下的道路桥梁过渡段路基路面施工方法[J].建材发展导向,2025,23(19):28-30.
- [3]陈紫媛.路桥过渡段不均匀沉降控制[J].交通世界,2025,(28):156-158.
- [4]胡家波.桥梁路基过渡段不均匀沉降防治措施[J].汽车周刊,2025,(07):110-112.