

高速公路改扩建工程中新旧路基衔接缺陷控制技术研究

李章韬 余 松

云南交投公建工程养护有限公司 云南 昆明 650000

摘 要：在高速公路改扩建过程中，新旧路基的衔接问题成为制约工程质量与长期性能的关键技术难点。由于新旧路基在材料特性、压实度、沉降历史及荷载响应等方面存在显著差异，若处理不当，极易在拼接部位产生不均匀沉降、纵向裂缝、路面错台等结构性缺陷，严重影响行车安全与舒适性，并大幅增加后期养护成本。本文系统分析了新旧路基衔接处常见缺陷的成因与机理，梳理并评估了当前主流的衔接处理技术，包括台阶开挖法、土工合成材料加筋、轻质填料应用、桩承式路堤（Piled Embankment）以及智能压实与监测技术等。在此基础上，结合工程实例，提出了“精准勘察—科学设计—精细施工—动态监测”四位一体的全过程缺陷控制策略。研究表明，通过多技术协同应用与全过程精细化管理，可有效控制新旧路基差异沉降，保障改扩建高速公路的整体性与耐久性，为同类工程提供理论参考与实践指导。

关键词：高速公路；改扩建；新旧路基衔接；差异沉降；缺陷控制；土工合成材料；桩承式路堤

引言

自20世纪90年代以来，我国高速公路建设经历了跨越式发展，形成了全球规模最大的高速公路网络。然而，受当时建设标准、资金投入及技术条件限制，早期建成的高速公路普遍存在车道数少、设计时速低、线形指标不足等问题。进入21世纪后，伴随区域经济一体化进程加速和机动车保有量激增，这些高速公路的交通拥堵现象日益严重，服务水平急剧下降。在此背景下，对既有高速公路实施“四改八”、“六改十”乃至更高标准的改扩建工程，已成为优化国家综合立体交通网、服务高质量发展的必然选择。高速公路改扩建的核心在于如何实现新旧结构物的无缝、稳固衔接。其中，路基作为道路工程的基础，其衔接质量直接决定了上部路面结构的完整性与服役寿命。新旧路基衔接面是一个典型的“软弱界面”，新填筑路基尚未完成固结沉降，而旧路基则已处于相对稳定状态。这种固有的力学与变形不连续性，使得衔接区域成为整个改扩建工程中最薄弱的环节。因此，深入研究新旧路基衔接缺陷的形成机理，并探索高效、可靠的控制技术，具有极其重要的理论价值与现实意义。

1 新旧路基衔接缺陷的成因与机理分析

1.1 主要缺陷类型

在高速公路改扩建工程中，新旧路基衔接区域常见的缺陷主要包括：

1.1.1 纵向裂缝

项目信息：云南交投集团公路建设有限公司科技创新项目（GLJS-ZZLX-2025-07）

沿新旧路基分界线出现的贯穿性或非贯穿性裂缝，是最直观、最常见的病害。

1.1.2 不均匀沉降

新路基沉降量远大于旧路基，导致衔接面附近形成“台阶”或“锅底”状凹陷。

1.1.3 路面错台

由不均匀沉降引发，表现为新旧路面高程不一致，影响行车平顺性。

1.1.4 基层/底基层断裂

在差异沉降产生的附加弯拉应力作用下，半刚性基层易发生开裂甚至断裂。

1.1.5 边坡失稳

在高填方或软土地基路段，新路基的加载可能诱发旧路基边坡的滑移或坍塌。这些病害不仅破坏了路面的平整度和结构连续性，更在长期交通荷载作用下加速了路面结构的疲劳损伤，严重时甚至威胁行车安全。尤其在软土地基或高填方路段，此类问题更为突出，往往在通车后短期内即显现，成为改扩建工程质量控制的重点和难点。

1.2 缺陷形成机理

上述缺陷的根本原因在于新旧路基之间存在的物理力学性质差异和变形不协调，具体可从以下几个层面进行剖析：

1.2.1 沉降历史差异

旧路基经过多年的交通荷载和自重作用，其主固结沉降已基本完成，处于一个相对稳定的平衡状态。而新路基为近期填筑，其土体孔隙水尚未完全排出，固结过

程正在进行中,将产生可观的后期沉降。这种沉降时序上的巨大差异是导致不均匀沉降的直接原因。

1.2.2 物理力学参数差异

新旧路基填料的来源、级配、压实工艺往往不同,导致其物理力学参数(如压缩模量 E_s 、内摩擦角 ϕ 、粘聚力 c 、渗透系数 k 等)存在显著差异。通常,新路基的密实度和强度低于旧路基,使其在相同荷载下表现出更大的变形^[1]。

1.2.3 界面结合强度不足

新旧路基的接触面是一个天然的薄弱面。如果处理不当(如未清除表层松散土、未开挖台阶或台阶尺寸不足),该界面的抗剪强度极低,在差异沉降产生的剪力作用下极易发生相对滑移,进而引发上部结构开裂。

1.2.4 地基条件复杂性

当工程位于软土、湿陷性黄土、膨胀土等不良地质区域时,问题更为复杂。新路基的加载会改变原有地基的应力场,可能诱发旧路基下方软弱土层的二次固结或侧向挤出,加剧不均匀沉降。综上所述,新旧路基衔接缺陷是多种因素耦合作用的结果,其核心矛盾是“新动”与“旧静”之间的变形不协调。因此,控制技术的核心目标就是减小新路基的绝对沉降、协调新旧路基的变形、增强界面的整体性。

2 新旧路基衔接缺陷控制关键技术

2.1 台阶开挖法

台阶开挖法是处理新旧路基衔接最基础且应用最为广泛的技术手段。该方法通过在既有路基边坡上逐级开挖出具有一定宽度和高度的水平台阶,旨在增加新旧路基的有效接触面积,并利用台阶结构产生的嵌锁效应来增强界面的整体性和荷载传递能力。在实际操作中,台阶的宽度通常不小于1.0至2.0米,高度控制在0.5至1.0米之间,并设置2%至4%的内倾坡度,以利于新填土体的稳定和排水。开挖完成后,必须彻底清除台阶表面的松散、风化或植被覆盖层,并对基底进行充分压实,确保新填土能与旧路基形成牢固结合。尽管该方法施工简便、成本低廉,但对于高填方路段或深厚软土地基,仅依靠台阶开挖难以有效控制深层沉降,通常需与其他主动控制技术协同使用,方能达到理想的沉降协调效果。

2.2 土工合成材料加筋技术

土工合成材料加筋技术通过在新旧路基衔接区域或新路基内部铺设土工格栅、土工格室或高强度土工布,利用其优异的抗拉性能来改善土体的力学行为。其作用机理主要体现在三个方面:首先,加筋材料能够有效约束土体颗粒的侧向位移,提高复合土体的整体抗剪强

度;其次,它能够将集中的轮载应力扩散至更大范围,从而减小新旧路基之间的应力梯度,实现应力的均匀化分布;最后,当差异沉降发生时,跨越衔接界面的土工合成材料能够直接承担由此产生的拉应力,起到“桥接”作用,延缓甚至阻止裂缝向上部路面结构的扩展^[2]。在工程实践中,通常在新路基底部及衔接面附近多层铺设高模量、低蠕变的聚酯(PET)或玻璃纤维(GF)土工格栅,层间距控制在0.3至0.5米,以充分发挥其加筋与协调变形的功能。

2.3 轻质填料技术

轻质填料技术是一种从源头上减轻荷载、控制沉降的主动策略。该技术采用容重远低于常规填土的轻质材料作为新路基的填筑体,从而显著降低对下卧软弱地基的附加应力,有效抑制总沉降量。目前工程中常用的轻质材料主要包括泡沫轻质土和聚苯乙烯泡沫板(EPS)。泡沫轻质土由水泥、水和发泡剂等按比例混合而成,其容重可灵活调控在3至8kN/m³之间,具有自立性好、流动性强、无需振捣、施工便捷等优点,特别适用于桥头、通道、涵洞等对沉降控制要求极高的敏感部位。而EPS块体则以其超轻质(容重仅约0.1至0.3kN/m³)和高抗压强度著称,但需注意其防火和防油污性能。尽管轻质填料成本相对较高,但其在控制沉降方面的卓越表现,使其在深厚软基或空间受限的改扩建工程中具有不可替代的优势。

2.4 桩承式路堤

桩承式路堤(Piled Embankment)代表了当前沉降控制技术的先进水平。该技术通过在新路基下方设置刚性桩(如CFG桩或预制管桩),将大部分路堤荷载通过桩体直接传递至深层稳定的持力层,从而绕过软弱土层,实现“以桩代土”的设计理念。其核心构造包括刚性桩、桩帽以及位于桩顶的土工合成材料加筋垫层。在路堤荷载作用下,桩间土体首先发生沉降,导致上方的土工格栅产生挠曲并张拉受力,进而将部分原本作用于桩间土的荷载“转移”至桩顶,形成显著的“土拱效应”^[3]。这一机制极大地减小了桩间土的荷载分担比,从而有效控制了总沉降和新旧路基间的差异沉降。桩承式路堤尤其适用于对沉降控制标准极为严格的路段,虽然其初期投资较高,但其卓越的沉降控制效果、较短的工期以及对周边环境的影响小的特点,使其在高要求的改扩建工程中日益受到青睐。

2.5 智能压实与动态监测技术

随着信息技术的发展,智能压实与动态监测技术为新旧路基衔接质量的精细化控制提供了全新手段。智能

压实技术通过在压路机上集成GPS、加速度计等传感器,实时采集压实遍数、振动响应(如CMV值)等数据,并生成全场压实质量云图,确保新路基达到设计要求的均匀密实度,从源头上减少因压实不均导致的自身沉降差异。与此同时,动态监测技术则贯穿于施工期及运营初期,在关键断面布设沉降板、测斜仪、孔隙水压力计乃至光纤光栅传感器,对差异沉降、水平位移、土压力等关键参数进行长期、自动化监测。通过对这些实时数据的分析,不仅可以评估实际沉降发展是否与设计预测相符,还能在发现异常时及时启动应急预案或进行动态设计修正,从而实现对工程质量的闭环管理和风险的前瞻性防控。

3 全过程缺陷控制策略与工程实践

3.1 “四位一体”全过程控制策略

面对新旧路基衔接这一系统性难题,单一技术的应用往往难以奏效。成功的工程实践表明,必须构建并实施一套覆盖项目全生命周期的系统性控制策略。本文提出“精准勘察—科学设计—精细施工—动态监测”四位一体的全过程缺陷控制框架。首先,精准勘察是所有后续工作的基石,必须通过钻探、地质雷达、静力触探等多种手段,全面掌握旧路基的历史状况、材料特性、压实度分布以及下卧地基的详细工程地质与水文地质条件,为科学设计提供可靠依据。其次,科学设计应基于精准的勘察数据,借助PLAXIS、MIDASGTS等数值分析软件,对不同衔接方案下的差异沉降进行精细化模拟与比选,遵循“因地制宜、技术可行、经济合理”的原则,优选或组合应用前述各项控制技术^[4]。再次,精细施工是将设计蓝图转化为实体工程的关键环节,必须严格把控台阶开挖质量、新路基填料的选用与分层压实、土工合成材料的铺设张拉与连接、轻质填料的配比与浇筑工艺等每一个细节,并全面推广智能压实技术,确保施工质量的均匀性和可控性。最后,动态监测作为质量保障的“眼睛”,通过建立覆盖施工期和运营初期的自动化监测体系,实现对工程性能的实时感知与评估,为动态设计和风险预警提供数据支撑,最终形成一个闭环的质量控制体系。

3.2 工程案例

某高速公路“四改八”改扩建工程中的一段(K56+200~K58+500)为典型深厚软土路段,旧路基平均沉降已稳定,但新拓宽部分最大填高达6米,对差异沉降控制提

出了极高要求。项目团队严格遵循“四位一体”策略:在勘察阶段,综合运用钻探、十字板剪切和CPTU等手段,查明淤泥层厚度达15-20米;在设计阶段,采用了削坡开挖台阶、CFG桩复合地基、双层土工格栅加筋垫层及改良土填筑的综合方案;在施工阶段,应用智能压实系统确保全场压实质量均匀达标;在监测阶段,布设12个沉降观测断面进行为期18个月的连续监测。最终监测数据显示,新路基最大沉降量为8.2厘米,新旧路基间最大差异沉降仅为3.1厘米,远优于5厘米的设计控制标准。通车两年后,路面平整如新,未见任何结构性病害,充分验证了该全过程控制策略与综合技术方案的有效性与可靠性。

4 结语

本文聚焦高速公路改扩建工程中新旧路基衔接这一关键技术难题,系统剖析了缺陷成因与机理,梳理评述了当前主流控制技术。研究发现,新旧路基衔接缺陷源于二者在沉降历史、物理力学性质及变形特性上的不协调,外在表现为不均匀沉降及引发的结构性病害。目前,以台阶开挖为基础、土工合成材料加筋为核心,结合轻质填料、桩承式路堤等主动控制技术,已形成较完善技术体系,智能压实与动态监测技术则为精细管理和风险防控提供支撑。成功工程实践依赖“精准勘察—科学设计—精细施工—动态监测”四位一体的全过程、系统性控制策略。面对复杂工程地质条件和高性能要求,未来需多种技术协同、优化与集成创新。研究与实践可重点关注深化BIM+GIS技术应用、探索新型轻质填料与高性能土工合成材料、建立长期性能演化模型、推广建筑固废再生利用技术方向,通过持续创新与实践,更高效、可靠地解决新旧路基衔接难题,为建设现代化高质量综合立体交通网奠定基础。

参考文献

- [1]张阳,陈帅,肖瑶,等.高速公路改扩建新旧路基衔接处的施工质量控制探讨[J].全面腐蚀控制,2025,39(06):99-101.
- [2]张俊财.高速公路改扩建新旧路基衔接处施工质量控制[J].交通世界,2022,(Z1):185-186.
- [3]樊家志,匡志光.高速公路改扩建工程新旧路基衔接技术[J].工程建设与设计,2021,(23):109-111+139.
- [4]胡玲燕,郭鸿涛,胡右波.高速公路改扩建工程新旧路基衔接技术[J].运输经理世界,2021,(28):38-40.