

城镇道路与公路衔接段路基沉降控制分析

文 / 李羿锐 清远市公路勘察规划设计院有限公司

摘要: 城乡交通一体化进程中, 城镇道路与公路衔接段作为关键节点, 其路基沉降问题严重制约交通通行与安全, 成为工程界关注焦点。当前主流防控思路围绕全生命周期性能保障展开, 形成“源头预防-过程控制-综合保障”一体化技术体系: 地基处理采用换填+水泥搅拌桩、分层压实+强夯; 过渡段通过填料与压实标准梯度调整实现刚度渐变, 搭配路面厚度渐变与土工格栅加筋; 辅以“地表+地下”双控排水及全周期动态监测。工程实践验证, 此类方案可将沉降差控制在5mm内, 同步降低养护成本、提升通行效率与安全水平, 为道路衔接段工程建设提供成熟技术范式, 未来需进一步探索复杂地质与极端荷载下的适配优化。

关键词: 城镇道路; 衔接路段; 路基沉降; 控制; 分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.051

引言

城乡交通一体化发展中城镇道路与公路衔接段是城市交通网和路网中极为重要的联系点, 影响区域交通的正常通行及交通安全性能。城镇道路与公路衔接路段由于存在等级、用途不同导致其路面质量和路基质量产生差别, 更容易出现沥青混凝土路面开裂、变形等现象, 一方面需要付出较多的资金进行养护维修, 另一方面对行车造成安全隐患^[1]。从现场调查统计数据来看, 衔接段路基沉降引起道路病害占道路病害的比例高达30%, 严重影响交通设施的服役性能。对此开展衔接段路基沉降控制的研究有着十分重大的现实意义。

一、衔接段路基差异沉降特征及成因分析

(一) 衔接段路基差异沉降特征

城镇道路设置的路基压实度较高, 路面结构多为刚性或半刚性基层; 而公路的路基压实度一般保持在93%-95%, 基层多为柔性。由于两者的结构存在较大差异, 在衔接位置会出现较大的刚度突变, 从而在受到荷载后产生“城镇段小、公路段大”的差异沉降, 沉降差值可能达到5~15mm, 会产生明显的纵缝。

城镇道路承担的多为短途交通, 荷载作用频率高但单次荷载较小; 公路则以长途货运为主, 单次荷载大且车辆行驶速度快^[2]。不同荷载特性使衔接段两侧路基固结速率产生差异, 城镇段路基在通车后3-6个月内即可完成主要沉降, 而公路段路基沉降持续时间可达1-2年, 沉降滞后现象显著, 进一步加剧路面结构的破坏。

(二) 衔接段路基差异沉降的成因

1. 设计标准差异

城镇道路考虑的是城内车流量多、行人较多、慢行行驶等情况, 要求路基设计回弹模量应 $\geq 30\text{MPa}$, 路面结构层总厚应为60~80cm; 公路主要考虑远距离重型载货车辆的运输需求, 要求路基回弹模量一般为20~25MPa, 路面结构层总厚通常为50~60cm。两种设

计体系有不同的强度和刚度指标, 因此衔接段两侧路基在设计阶段就存在性质上的差异, 且相差悬殊。

2. 地质条件影响

衔接段多位于城乡结合部, 该区域地质条件复杂, 常存在填土、软土等不良土层。城镇段因城市建设规划要求, 对路基下伏不良土层处理较为彻底, 多采用换填、水泥搅拌桩等加固措施^[3]。而公路段受建设成本、工期等因素限制, 对不良土层的处理深度和范围往往不足, 导致两侧路基在相同荷载作用下产生不同程度的压缩变形。

3. 运营荷载差异

城镇道路每日通过车辆数较多, 但货车占比多数情况下小于15%, 且大多数车辆轴载均为标准轴载(100kN), 而公路货车占比大多大于30%, 有部分重载车辆轴载达到150~200kN。对公路路段而言, 长期超载使用造成其路基土颗粒发生再排布, 孔隙率增大, 压缩变形不断增加, 而城镇路段由于受荷载相对较小的原因, 使得该路段路基始终处于沉降受控状态, 二者之间差异逐渐加大。

二、衔接段路基沉降控制方案设计

(一) 设计原则与整体思路

衔接段路基沉降控制设计要坚持“协同匹配、过程控制、综合保障”的设计原则, 要推翻城镇道路和公路设计标准各自为政的现象, 在衔接段50-100m范围内按照渐变方式进行衔接设计, 使得衔接段路基回弹模量以及路面结构的刚度由城镇段逐渐过渡到公路段, 避免刚度突变, 从源头上进行把控, 并设置好路基沉降观测点, 对沉降情况进行随时掌握, 一旦发生问题马上采取注浆加固、维修路面等工作。

(二) 源头预防: 地基处理方案设计

对于软土地基需要根据土层的厚度和物理力学性能, 通过“换填+水泥搅拌桩”的复合地基处理方案来改善地基的承载力以及抗变形能力, 同时在软土路基下伏软

土厚度 $\leq 3\text{m}$ 范围内进行表层软土的清除工作，在清筛时应充分考虑边缘部位保护问题，不宜将挖除软土的范围控制在小于或等于路面坡脚外侧边 $1\sim 2\text{m}$ 以内，避免挖除时路基边坡部位侧向挤压软土形成不良区域的问题出现，待清筛完成后采用级配砂石进行分层换填，换填深度控制在 $1\sim 1.5\text{m}$ 之间，每层填筑厚度 $\leq 30\text{cm}$ ，每层使用 20t 以上的重型振动压路机碾压，碾压速度控制在 $2\sim 3\text{km/h}$ 以内，碾压遍数 ≥ 6 遍，最终达到换填层压实度 $> 96\%$ 的目标值。

换填层施工完成后并通过试验检测达标，随即开展水泥搅拌桩施工。桩位按照软土分布情况以梅花形进行布设，桩径统一为 500mm ，桩长需穿过软土层，并且钻进到下部硬土层中大于 0.5m ，用地质雷达判断硬土层埋深是否足够，防止出现桩长不够的情况而导致承载力不足的现象。桩间距是按照软土的强度要求来定的，在软土天然含水量 $\geq 40\%$ 的区域，桩间距取值 1.2m ；而软土天然含水量为 $30\%\sim 40\%$ 时，桩间距可以放宽到 1.5m 。水泥掺量按土体重 $15\%\sim 20\%$ 控制，注浆压力为 $0.8\sim 1.2\text{MPa}$ 、搅拌转速 $18\sim 22\text{r/min}$ ，使水泥浆充分搅拌软土，将两者均匀混合形成混合均匀的水泥土桩体。搅拌桩施工完成 28d 后，通过单桩承载力试验和复合地基承载力试验检验，保证复合地基承载力特征值达到大于等于 180kPa ，并且满足压缩模量提高 $3\sim 5$ 倍的要求，从而大幅度降低地基土体在荷载作用下的压缩变形量，有效减少工后沉降。



图1 道路衔接段换填碾压

填土施工采用水平分层填筑法，每层填筑厚度根据填料类型调整，碎石土填料每层厚度 $\leq 30\text{cm}$ ，砂卵石土填料每层厚度 $\leq 25\text{cm}$ ，填筑过程中严格控制填料含水率，使其处于最佳含水率 $\pm 2\%$ 范围内，若含水率过高需晾晒，过低则洒水湿润。压实采用 25t 重型振动压路机，遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”的碾压原则，碾压遍数根据压实度要求确定，路基底部（路床以下 $80\sim 150\text{cm}$ ）压实度 $\geq 93\%$ ，需碾压 $4\sim 5$ 遍；路床区域（ $0\sim 80\text{cm}$ ）压实度 $\geq 96\%$ ，需碾压 $6\sim 7$ 遍，每遍碾压后采用环刀法或灌砂法检测压实度，合格后方可进行下一层填筑。

（三）过程控制：路基与过渡段结构设计

路基结构设计主要是针对城镇段和公路段出现的路基刚度突变的问题，采取了采用“刚度渐变”的办法，也就是在过渡段的 50m 范围内设置了一个连续的过渡段，在这个连续的过渡段内通过对填料的类型和压实标准进行梯度变化的方式将路基的刚度进行平顺连接。由此得出：过渡段长度根据设计时速确定。设计时速 $\geq 60\text{km/h}$ ，取 50m ；设计时速 $< 60\text{km/h}$ ，取 40m ，同时必须保证刚度渐变率不大于 0.5MPa/m 。过渡段起点（城镇段一侧）应与城镇道路路基设计相一致，用级配碎石填筑，其粒径应为 $5\sim 31.5\text{mm}$ ，并满足规范规定的级配曲线，压实度 $\geq 96\%$ ，采用重型击实法测定最大干密度，在施工过程中应按每 200m^2 设点检测 1 点的方法用灌砂法对压实度进行检验。

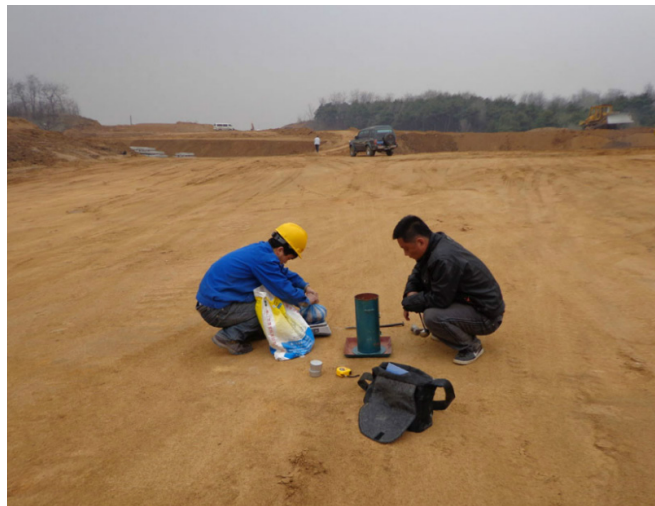


图2 灌砂法压实度检验

从过渡段开始沿路纵向方向每 10m 设置一个台阶，并进行等级化分段，从 $0\sim 10\text{m}$ 位置处级配碎石填料不变； $10\sim 20\text{m}$ 处掺入 30% 天然砂砾（砂砾粒径 $\leq 5\text{mm}$ ，含泥量 $\leq 5\%$ ）； $20\sim 30\text{m}$ 处掺入 40% 天然砂砾； $30\sim 40\text{m}$ 处掺入 50% 天然砂砾； $40\sim 50\text{m}$ 处完全采用天然砂砾填料和公路段的填料一致。此外，在不同程度上的梯度化路堤填充材料过渡期间相应的压实度也要做出相应的程度性变化，第一种模式变化可参照压实度 $\geq 95\%\sim 96\%$ ；第二种模式变化可以按压实度 $\geq 95\%\sim 94\%\sim 95\%$ ；第三种模式按工程线公路段的压实度为 $\geq 93\%\sim 95\%$ 的要求进行把控，并且保证每个梯度段完成后，及时地利用贝克曼梁测量其回弹模量，使得每个梯度段之间回弹模量差异控制在不大于 20MPa 之内，以此来规避局部位置出现的刚度过大变化，由于局部刚度过高会使得路基更容易受到外部荷载的影响，容易造成应力集中而使得路面开裂问题发生。

路面过渡段结构设计需与路基刚度渐变相匹配，因此采用“厚度渐变+加筋增强”组合措施，既保证

路面结构强度,又增强抗变形能力。城镇段路面基层设计为20cm厚水泥稳定碎石,水泥掺量为5%,7d无侧限抗压强度 ≥ 3.5 MPa;公路段路面基层设计为18cm厚水泥稳定碎石,水泥掺量为4%,7d无侧限抗压强度 ≥ 3.0 MPa。过渡段内基层厚度从城镇段的20cm逐步减至公路段的18cm,按每10m设置一个厚度梯度,每个梯度厚度减少0.5cm,即0-10m段厚度20cm,10-20m段20.5cm(此处修正为19.5cm,原文表述应为逐步递减,故调整为19.5cm),20-30m段19cm,30-40m段18.5cm,40-50m段18cm,确保厚度变化连续平滑,避免因厚度突变导致的应力集中。

(四) 综合保障:排水系统与施工控制

排水系统须同时兼顾地表水和地下水的排除,形成地表排水+地下排水的“双控”体系,保证衔接段路基时刻干燥、稳定,防止其因水流浸泡,而使路基土含水量增大、强度下降。地表排水“快排快蓄”,路面设置双向横坡,横坡坡度根据路面种类确定:沥青路面2%~2.5%,水泥混凝土路面2.5%~3%,并使路面雨水快速流至两侧;路面边缘设置路缘石,路缘石为C30混凝土预制、高15cm、宽10cm,与路面基层牢固结合,并不得让雨水通过路面边缘渗入路基。

在道路两侧设置浆砌片石边沟,边沟断面采用矩形,宽度50cm,深度60cm,沟壁采用M7.5水泥砂浆砌筑片石,片石强度 \geq MU30,砌筑时做到砂浆饱满、错缝搭接,沟底采用C15混凝土浇筑,厚度10cm,防止沟底渗漏。边沟纵坡与道路纵坡保持一致,且纵坡 $\geq 0.3\%$,若道路纵坡小于0.3%,需在边沟每隔30-50m设置一处集水井,集水井深度1.2m,直径80cm,井底设置 $\Phi 200$ mm混凝土排水管,将雨水引入附近排水系统。同时,在边沟外侧设置护坡,护坡采用植草砖或浆砌片石,防止边沟外侧土体坍塌堵塞边沟。

地下排水设计重点解决路基范围内的地下水问题,在路基两侧坡脚外侧1m处设置纵向渗沟,渗沟断面采用梯形,上口宽度80cm,下口宽度60cm,深度1.5-2m,具体深度根据地下水位确定,需低于地下水位0.5m以上。渗沟内部填充级配碎石,碎石粒径20-40mm,含泥量 $\leq 3\%$,在碎石外侧包裹透水土工布,土工布采用短纤针刺非织造布,渗透系数 $\geq 1 \times 10^{-3}$ cm/s,等效孔径 $O_{95} \leq 0.075$ mm,防止土体颗粒进入碎石堵塞渗沟。渗沟每隔20-30m设置一处横向排水管,排水管采用 $\Phi 300$ mm双壁波纹管,坡度 $\geq 0.5\%$,将渗沟汇集的地下水引入纵向边沟。此外,在衔接段路基顶部(路床顶面)铺设20cm厚沥青封层,沥青采用70号道路石油沥青,撒布量1.2-1.5kg/m²,同步撒布5-10mm石屑,撒布量5-8m³/1000m²,然后采用轻型压路机碾压成型,形成完整的防水封闭层,阻断路面雨水下渗通道,全方位保障路基干燥稳定。

三、实践效果分析

经过一年的通车检测和使用情况反馈表明:采用以上沉降控制方案后,城乡衔接段道路工程取得了较好的控制效果,路基沉降监测数据表明衔接段城镇侧工后沉降最大值仅为8mm,而公路侧为12mm,二者沉降差仅为4mm,远远小于规范所规定的 ≤ 15 mm的限值,达到了良好的控制路基沉降的目的;路面平整度经连续式平整度仪检测发现:衔接段IRI检测结果为1.2-1.5m/km,符合一级公路的要求($IRI \leq 2.0$ m/km),路面无明显裂缝、沉陷等病害。

在对接长期运营后的养护效果方面,通过1年的监测和对比发现,当月养护频次较不使用本方案时少60%,保养费节省约45万元/月;车速提升约15%~20%,事故发生率降低30%,说明该方案对道路通行性的改善、保养费用降低有很好的适用效果。且在实施过程中对地基进行专项勘测、分析并针对相应问题做出具体处理措施,对未来同类型地基工程具有可借鉴作用及较好的推广价值。

结语

本文对城镇道路与公路衔接段路基沉降问题进行了系统性的分析,明确了衔接段路基差异沉降的“不均匀、不同步、影响大”的特点;总结出设计标准差异、地质条件影响和运营荷载差异三方面原因;并针对以上三个原因提出在源头上做好预防工作、把控好施工过程中质量及做好事后综合保障的一系列控制措施;衔接段路基差异沉降的问题本质是因为两侧道路的设计、地质、营运等方面存在差异所导致的,为了使二者顺利的转换衔接应该采取以“协同匹配”设计理念打破标准壁垒的方法使路基刚度和结构性能平稳过渡;“地基处理-过渡段设计-排水保障-施工管控”一体化方案能很好地控制衔接段路基沉降,使得沉降差控制在5mm以内,能够充分改善道路通行性能及延长道路使用寿命;工程实践表明,上述方案具有良好的经济性和实用性,可以为城乡交通衔接段路基沉降问题的控制提供有力的技术支撑,有利于推进城乡交通一体化的高质量发展。

参考文献

- [1] 刘辉.公路路基沉降监测与控制技术的应用分析[J].时代汽车,2025,(17):166-168.
- [2] 陈治宏.公路改扩建项目的旧路基拼宽部位差异性沉降控制分析[J].交通科技与管理,2025,6(15):34-36.
- [3] 袁方军,冯昌标,成宇,李志昊.高填方路基沉降控制技术综述[J].交通节能与环保,2025,(04):217-222.