

公路工程桥涵过渡段路基路面施工控制及防治研究

文 / 王 桃 深圳市天健西部建工第一建设工程有限公司

摘要：为了确保公路工程桥涵过渡段路基路面施工质量，有效解决桥涵与路基连接部位的差异沉降和结构病害问题，文章分析了过渡段施工控制的技术要点与质量管理方法，研究了桥涵过渡段常见病害的形成机理及其影响因素。研究表明，通过建立科学的施工控制体系、准确识别病害成因并制定针对性防治措施，能够显著提升桥涵过渡段的施工质量和使用寿命。

关键词：公路工程；桥涵过渡段；路基路面施工；病害防治

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.042

引言

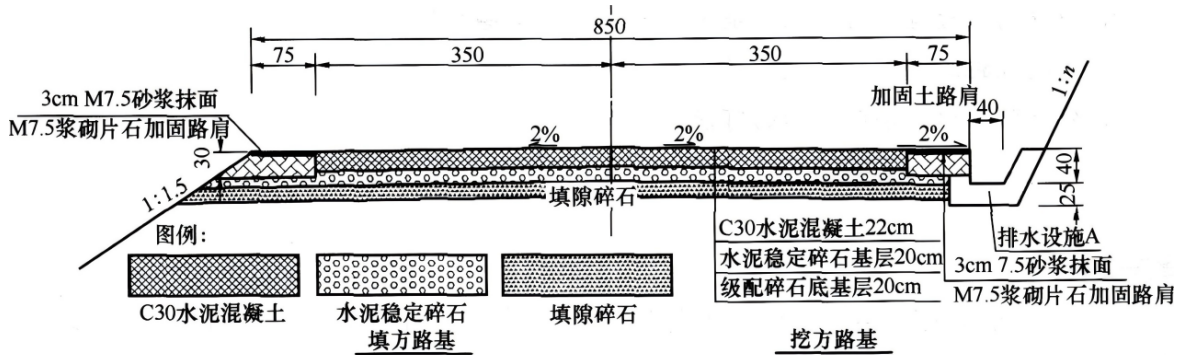
桥涵过渡段路基路面施工的核心在于解决结构刚度突变引起的差异沉降问题。路基处理方面需要采用高强度填料进行分层碾压，深圳南坪快速路三期工程在桥头路基采用 $\phi 500$ 毫米砂石桩、 $\phi 600$ 毫米水泥搅拌桩等地基加固措施，处理总面积达 26 万平方米，确保承载力均匀分布。路面铺装施工中搭板设置成为关键环节，坪盐通道工程设置的特长隧道总长 15.799 公里采用复合式衬砌结构，在隧道与路基连接段采用钢筋混凝土结构形成刚柔过渡。施工工艺要求严格控制压实度指标，马峦北路南段道路工程采用沥青混凝土机动车道总厚度 69 厘米的分层铺装方案，有效减少桥头跳车现象。

一、公路工程桥涵过渡段路基路面施工控制技术

(一) 过渡段路基填料选择与压实控制技术

过渡段路基填料选择必须考虑材料的工程特性与施工环境的适应性，优质填料应具备良好的级配组成、适

宜的塑性指数及较高的 CBR 值。粗粒土填料因其良好的排水性能成为桥涵过渡段的首选材料，粒径控制在 5-40mm 范围内的碎石土能够提供足够的承载力，同时避免细粒含量过高导致的水稳定性问题。填料的干密度应达到 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$ 以上，最佳含水率控制在 6-10% 区间内，确保压实效果达到设计要求^[1]。压实控制技术的核心在于分层厚度与压实遍数的精确控制，每层松铺厚度不宜超过 30cm，采用重型压路机进行碾压时需要控制碾压速度在 2-4km/h 范围内（如图 1 所示）。压实度检测应采用灌砂法或核子密度仪进行现场测定，桥台背后 8m 范围内压实度必须达到 96% 以上，距离桥台 8-20m 范围内压实度不低于 94%。碾压工艺需要遵循先轻后重、先慢后快的原则，静压 1 遍后进行振动碾压 4-6 遍，最后采用静压收光 2 遍，确保填料密实度均匀分布，避免局部松散或过压现象的发生。



注：图中单位均以厘米计。

图 1. 过渡段路基填料选择与压实

(二) 过渡段路面结构层厚度与强度控制方法

过渡段路面结构层厚度控制需要根据交通荷载等级及地基承载力确定合理的层位配置，厚度设计应体现由桥涵刚性结构向柔性路基的逐步过渡特征。深圳南坪快速路三期工程采用沥青混凝土机动车道总厚度 68 厘米的多层结构设计，其中面层厚度 4 厘米、上基层厚度 8 厘米、下基层厚度 16 厘米、底基层厚度 40 厘米，各结构层厚度呈递增分布模式有效分散了荷载应力。坪盐通道工程在桥头过渡段设置厚度为 23.5 厘米的非机

动车道结构层，采用分层铺筑方式确保层间结合紧密，避免因厚度突变引起的应力集中现象。结构层强度控制的关键在于材料配合比设计及施工质量管控，基层材料应选用水泥稳定碎石或石灰粉煤灰稳定碎石，7 天无侧限抗压强度应达到 3-5MPa 标准。马峦北路南段道路工程采用 C30 混凝土路缘石进行边界约束，桩径 400 毫米的素混凝土桩间距控制在 1.8-2 米范围内，形成有效的侧向支撑体系。面层沥青混合料需要选用改性沥青 AC-13 或 AC-16 级配，马歇尔稳定度不低于 8kN，

流值控制在 2-4mm 区间内，确保路面具备良好的抗车辙性能。

(三) 桥涵与路基连接部位的变形控制措施

桥涵与路基连接部位的变形控制措施需要从结构刚度过渡、地基处理、施工工艺三个层面建立系统性控制体系，核心目标在于消除刚性桥涵结构与柔性路基之间的沉降差异。搭板设置作为变形控制的主要技术手段，其长度应根据桥台高度、填土性质、预期沉降量进行计算确定，一般控制在桥台高度的 0.75-1.0 倍范围内，搭板厚度采用变厚度设计，桥台端厚度 30-40 厘米，路基端厚度 20-25 厘米，形成平顺的刚度过渡。搭板下方需要设置弹性垫层，采用泡沫混凝土或土工格室填充轻质

材料，减缓荷载传递过程中的应力集中现象，垫层厚度控制在 15-20 厘米范围内，弹性模量应与上下结构层形成合理匹配关系。地基加固措施需要延伸至桥台背后一定范围，采用水泥搅拌桩、CFG 桩或强夯处理提高地基承载力，加固深度应穿透软弱土层进入相对坚硬地层不少于 2 米，桩间距控制在 1.5-2.0 米范围内形成复合地基。台背回填材料选择透水性良好的级配砂石或轻质材料，分层厚度严格控制在 20 厘米以内，采用小型压实设备进行充分压实，避免大型机械对桥台结构产生侧向推力^[2]。伸缩缝设置位置应距离桥台一定距离，预留足够的变形空间，采用柔性填缝材料确保密封效果的同时允许适度变形（如图 2 所示）。

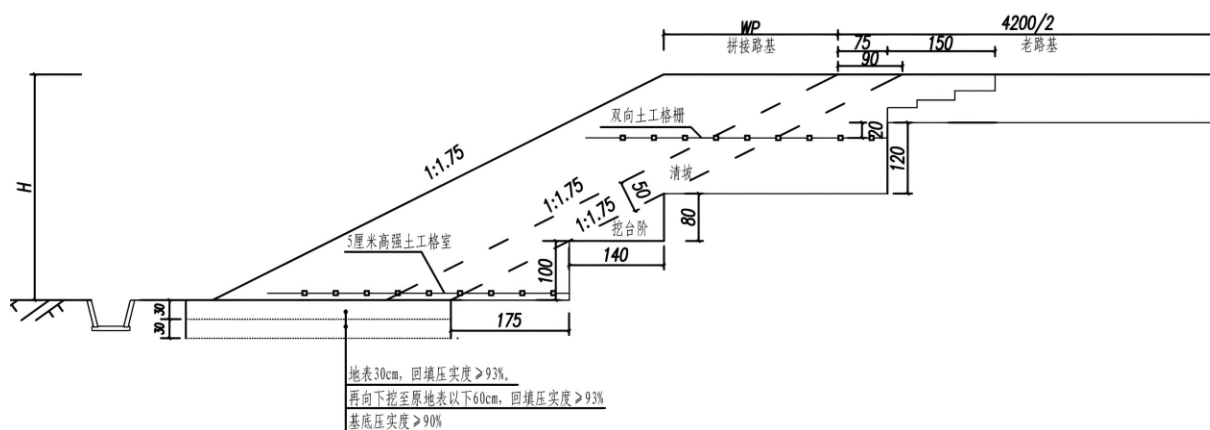


图 2. 桥涵与路基连接部位的变形控制

二、桥涵过渡段路基路面病害成因分析

(一) 过渡段差异沉降形成机理与影响因素分析

过渡段差异沉降形成机理本质上源于桥涵刚性基础与路基柔性地基在荷载传递过程中的力学响应差异，桥涵结构依托桩基础或扩大基础将荷载直接传递至深层稳定土层，而路基填土则依靠浅层地基承载，两种基础形式在相同荷载作用下产生的沉降量存在显著差别。土体固结过程成为差异沉降发展的主要驱动机制，路基填土荷载作用下孔隙水压力逐渐消散，土颗粒重新排列导致体积压缩，沉降发展呈现初期沉降、主固结沉降、次固结沉降三个阶段，而桥涵基础几乎不产生工后沉降，时间效应使得沉降差异持续扩大。地质条件构成差异沉降的决定性影响因素，软黏土地基压缩性高、透水性差，固结时间延长导致沉降持续发展，地下水位变化引起土体有效应力改变，进一步加剧沉降不均匀性^[3]。

(二) 路面裂缝与跳车现象的成因识别与分类

路面裂缝成因可从应力集中、材料疲劳、环境作用三个维度进行识别分类，应力型裂缝主要源于差异沉降引起的拉应力超过材料抗拉强度，表现为横向裂缝、纵向裂缝、网状裂缝等形态特征。横向裂缝通常出现在桥头过渡段 5-15 米范围内，裂缝宽度随沉降差增大而扩展，初期宽度 1-3 毫米，后期可达 10 毫米以上，裂缝深度往

往贯穿整个面层厚度。疲劳型裂缝源于车辆荷载反复作用下材料强度衰减，沥青混合料在应力水平达到疲劳极限时产生微观裂纹，裂纹逐步扩展连通形成宏观裂缝，疲劳裂缝多呈不规则分布，裂缝密度与交通量、轴载水平密切相关。环境型裂缝主要由温度变化、湿度循环引起，低温收缩导致材料脆性增加，热胀冷缩产生温度应力，超过材料承受能力时形成温缩裂缝（如图 3 所示）。

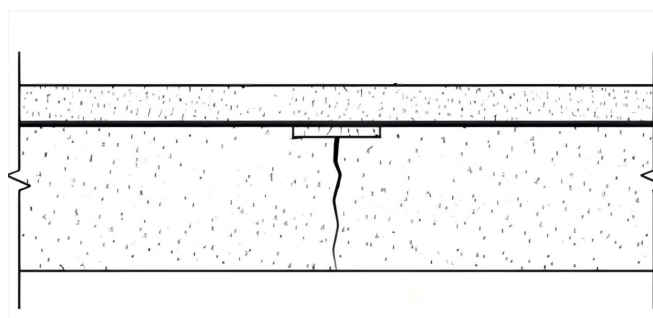


图 3. 路面裂缝

跳车现象成因机制在于路面标高突变破坏了行驶轨迹的连续性，车辆经过沉降段时产生垂直冲击力，冲击力大小与车速、沉降差呈正相关关系。轻微跳车表现为车辆轻微颠簸，沉降差控制在 5-10 毫米范围，中度跳车沉降差达到 20-30 毫米，严重跳车沉降差超过 50 毫米，此时车辆产生明显腾空现象，对行车安全构成威胁。

（三）过渡段排水不畅导致的路基软化成因机制

过渡段排水不畅导致路基软化的成因机制源于水分在土体中的渗透积聚改变了土体的物理力学性质，水分侵入使得土颗粒间的有效应力降低，土体强度参数发生劣化。桥涵结构形成的排水障碍是导致积水的主要原因，桥台背后回填区域往往形成相对封闭的空间，地表径流汇集后难以及时排出，台背排水设施设置不当或维护不及时加剧了积水问题。路面裂缝为水分下渗提供了渗透通道，雨水沿裂缝渗入路基内部，在不透土层上方形成滞水层，长期浸泡使得填土含水率超过最佳含水率范围。土体饱和过程中孔隙水压力上升，有效应力相应减小，根据库仑强度理论，土体抗剪强度与有效应力成正比关系，有效应力降低直接导致承载力下降。

三、桥涵过渡段路基路面病害防治对策

（一）过渡段差异沉降预防与治理技术措施

过渡段差异沉降预防技术措施需要从设计阶段建立系统性控制策略，地基处理方案应根据地质条件选择适宜的加固方法，软土地基采用深层搅拌法、高压旋喷桩或预压处理提高承载力，加固深度需穿透软弱土层并进入持力层不少于3倍桩径，桩体28天无侧限抗压强度应达到0.8-1.2MPa标准。预压处理包括堆载预压、真空预压、真空联合堆载预压等方式，预压荷载应为设计荷载的1.2-1.5倍，预压时间根据固结度要求确定，一般不少于6个月，预压期间需要进行沉降观测，当连续两个月沉降速率小于5mm/月时方可卸载。轻质填料替换技术能够从源头减少荷载引起的沉降量，发泡混凝土、EPS颗粒混合轻质土、陶粒混凝土等材料密度仅为普通填土的30%-50%，有效减轻地基荷载的同时保证填料强度满足要求。治理技术措施主要针对已经产生差异沉降的过渡段进行修复，注浆加固技术采用水泥浆液或化学浆液对松散填土进行加密处理，注浆压力控制在0.2-0.5MPa范围内，注浆量根据土体孔隙率计算确定^[4]。微型桩加固技术在路面开挖后植入小直径钻孔灌注桩，桩径150-300mm，桩长根据持力层深度确定，桩间距控制在2-3倍桩径范围内形成桩网复合结构。

（二）路面裂缝修复与跳车现象消除方法

路面裂缝修复技术需要根据裂缝类型、宽度、深度选择相应的处理方法，细微裂缝采用灌缝技术进行封闭处理，裂缝宽度小于3mm时使用改性乳化沥青或聚合物密封胶进行表面封闭，灌缝前需要清除裂缝内杂物，采用压缩空气吹净后再进行填缝材料施工。中等宽度裂缝采用开槽灌缝法处理，沿裂缝走向开设宽度10-15mm、深度15-20mm的槽口，槽内涂刷粘结材料后填入热拌密级配沥青混合料，压实后表面应与原路面齐平。严重裂缝需要采用挖补修复技术，将裂缝周围松散破碎部分清除，挖除深度应达到密实层，重新铺筑沥青混合料并充分压实，新旧材料接缝处应涂刷粘层油确保结合牢固。跳车现象消除方法的核心在

于恢复路面标高的连续性，轻微跳车采用微表处或稀浆封层技术进行调平，通过控制材料摊铺厚度实现平顺过渡，施工厚度一般控制在5-10mm范围内。中度跳车需要采用铣刨重铺技术，将沉降段路面铣刨后重新摊铺沥青混合料，摊铺厚度应确保修复后路面标高与周围路段形成平顺连接，纵坡差控制在0.3%以内。严重跳车现象需要结合路基处理进行综合修复，先对路基进行注浆加固或换填处理，再进行路面结构层重建，修复范围应延伸至稳定路段，确保修复效果持久有效。

（三）过渡段排水系统优化与路基加固防治策略

过渡段排水系统优化需要建立立体化排水网络，确保地表水及地下水能够及时有效排除，防止水分在路基内部滞留引起软化。地表排水系统优化应重点加强桥台背后区域的排水设施配置，在台背设置纵向排水沟，沟底纵坡不小于0.5%，沟槽断面采用梯形或矩形设计，底宽不小于0.4米，边坡比例控制在1:1.5范围内，沟壁采用浆砌片石或混凝土预制块进行防护。横向排水管道应穿越路基连接两侧排水沟，管径根据汇水面积计算确定，一般采用DN300-500mm钢筋混凝土管或HDPE波纹管，管道坡度不小于0.3%，管底标高应低于路基底面0.5米以上。地下排水系统重点解决路基内部渗水问题，在路基底部设置渗沟或盲沟，沟槽宽度0.6-1.0米，深度根据地下水位确定，沟内填充级配良好的碎石或砾石，渗透系数不小于 1×10^{-3} cm/s，碎石层上方铺设土工布防止细料侵入。路基加固防治策略需要根据软化程度选择相应的处理方案，轻度软化区域采用石灰或水泥改良处理，掺量控制在3-6%范围内，改良后土体7天无侧限抗压强度应达到0.8MPa以上。

结语

桥涵过渡段路基路面病害防治技术正朝着智能化监测、新材料应用、精细化施工方向发展。传感器技术与物联网融合将实现过渡段变形实时监控，为预防性养护提供数据支撑。新型轻质填料、高性能改性材料的推广应用将从根本上改善过渡段受力状态，减少病害发生。施工工艺标准化、装备智能化水平不断提升，病害防治效果将显著改善，为公路工程质量提升奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 范洪星, 赵久敏. 市政路桥过渡段路基路面施工探讨[J]. 中国住宅设施, 2025, (04): 163-165.
- [2] 孟祥德. 路桥过渡段路基路面施工技术应用分析[J]. 运输经理世界, 2024, (01): 44-46.
- [3] 林哲民. 市政路桥过渡段路基路面施工技术研究[J]. 中国住宅设施, 2023, (12): 109-111.
- [4] 蔡建华. 公路工程路基路面与桥梁过渡段施工工艺[J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(07): 44-45.

作者简介: 王桃(1987年5月—), 男, 汉族, 四川省威远县人, 本科, 工程师, 研究方向: 路桥施工。