

公路桥梁与道路衔接段施工质量控制要点

郑国亮

天津市国腾公路咨询监理有限公司 300000

【摘要】公路桥梁与道路衔接段是结构刚度、材料性能、沉降特性差异集中的关键部位，易诱发桥头跳车、界面开裂、错台、水损害等早期病害，直接影响行车安全与道路服役寿命。现行《公路路基设计规范》(JTG D30-2015)、《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50-2011)等文件明确了衔接段施工的基础要求，但传统模式常存在沉降控制不足、层间衔接薄弱、排水体系割裂、数字化管控滞后等痛点。本文立足规范核心条款，结合工程实践与创新技术，系统梳理衔接段施工的地基处理、填料选择、分层填筑、层间衔接、排水与防裂、搭板与伸缩缝施工等关键控制要点；重点从渐变刚度设计、智能压实监测、BIM+物联网全过程管控、新型轻质填料应用、人车-路协同评价五方面提出创新控制措施，有效破解差异沉降与界面病害难题。研究成果可完善衔接段施工质量控制体系，为高等级公路桥梁与道路衔接段工程的标准化、智能化、长效化建设提供技术支撑。

【关键词】公路桥梁；道路衔接段；质量控制；差异沉降；智能压实；BIM+物联网

Key Points of Construction Quality Control for Road-Bridge Connection Segments

Zheng Guoliang

Tianjin Guoteng Highway Consulting and Supervision Co., Ltd. Postal Code 300000

【Abstract】The connection segments between highway bridges and roads represent critical areas where structural stiffness, material properties, and settlement characteristics exhibit significant variations. These sections are prone to early-stage defects such as bridgehead bumping, interface cracking, differential settlement, and water-induced damage, directly impacting traffic safety and road service life. While current standards like the Highway Subgrade Design Code (JTG D30-2015) and Highway Bridge and Culvert Construction Technical Specifications (JTG/T F50-2011) outline fundamental requirements for connection segment construction, traditional approaches often suffer from inadequate settlement control, weak interlayer bonding, fragmented drainage systems, and lagging digital management. This paper systematically reviews key control measures—including foundation treatment, fill material selection, layered filling techniques, interlayer bonding, drainage and crack prevention systems, and slab and expansion joint construction—based on core regulatory provisions and integrated with engineering practices and innovative technologies. It proposes five innovative solutions: gradient stiffness design, intelligent compaction monitoring, BIM+IoT-based whole-process management, application of lightweight fill materials, and human-vehicle-road collaborative evaluation, effectively addressing differential settlement and interface defect challenges. The research findings enhance the construction quality control framework for connection segments and provide technical support for standardized, intelligent, and sustainable development of high-grade highway bridge-road junction projects.

【Key words】highway bridge; road junction section; quality control; differential settlement; intelligent compaction; BIM + Internet of Things

一、引言

公路桥梁与道路衔接段（简称“路桥衔接段”）是桥梁结构与路基道路的过渡区域，涵盖台背回填、搭板布设、伸缩缝安装、层间衔接等关键工序，其施工质量直接决定道路整体稳定性与行车舒适性。随着我国公路交通向“重载化、大流量、高等级”转型，衔接段长期承受重载反复荷载、温度应力与水损害耦合作用，传统分离式设计 with 粗放式施工模式的弊端日益凸显：台背回填压实不均、工后沉降过大导致错台，层间粘结不足引发开裂与剥离，排水体系不完善加剧水损害，搭板与伸缩缝施工偏差放大桥头跳车风险。

二、公路桥梁与道路衔接段施工核心控制要点

（一）地基处理与前期准备控制

地基是衔接段的基础，其承载力与沉降特性直接决定整体稳定性，施工前必须完成全面勘察与专项设计。

1. 勘察与评估：采用地质雷达、钻探取样等手段，明确衔接段地层分布、岩土物理力学指标、地下水位及软土厚度，对软基、杂填土、膨胀土等不良地质进行专项风险评估，制定针对性处理方案。

2. 地基处理工艺：软土地基优先采用“换填垫层+排水固结”组合工艺，换填级配砂石或灰土垫层厚度不小于

50cm, 同步铺设塑料排水板或砂井加速孔隙水排出, 提升地基承载力; 高填方或高承载力需求区域采用强夯法, 重锤落距控制在6-10m, 夯击遍数3-4遍, 夯后检测地基承载力特征值 $\geq 180\text{kPa}$; 一般地基清除地表腐殖土、杂草及杂物, 低洼处回填素土并分层压实, 压实度 $\geq 94\%$ 。

(二) 填料选择与配合比控制

填料性能决定台背回填质量, 需兼顾强度、水稳定性与变形协调性, 严格执行“优选、检验、管控”三级标准。

1. 填料优选: 优先选用级配良好的碎石土、砂砾土等粗颗粒材料, 粒径控制在5-40mm, 含泥量 $\leq 5\%$, 具备良好的压实性与透水性; 禁止使用粉质土、膨胀土、有机质土等易变形、易湿陷填料。软基或高填方衔接段可采用轻质填料, 如泡沫混凝土、陶粒混凝土, 干密度为传统填料的1/3-1/2, 有效降低自重沉降。

2. 填料检验: 每批次填料进场后按规范取样检测, 碎石土检测压碎值、级配、含泥量; 轻质材料检测密度、强度、吸水率, 不合格材料严禁入场。

3. 配合比优化: 常规填料可掺入3%-5%水泥或石灰改良, 提升水稳定性与强度; 轻质填料采用分层摊铺, 泡沫混凝土摊铺厚度30-50cm/层, 平板振动器振捣密实, 通过试铺确定最佳配比与压实参数。填料分类堆放, 覆盖防雨布, 防止含水率异常影响压实质量。

(三) 分层填筑与压实控制

分层填筑与压实是控制衔接段沉降的核心, 需严格遵循“分层、均匀、密实”原则, 杜绝漏压、欠压。

1. 分层填筑规范: 填筑厚度控制在15-20cm/层, 台背5m范围内缩减至10-15cm, 确保压实均匀。大型压路机距桥台背保持50cm距离, 该区域采用液压振动夯(激振力 $\geq 40\text{kN}$)分层夯实, 夯击次数 ≥ 8 次/层。新旧路基拼接位置开挖咬合台阶, 台阶宽度 $\geq 1\text{m}$ 、高度 $\leq 0.5\text{m}$, 反向碾压提升结合强度。

2. 压实工艺控制: 遵循“先轻后重、先慢后快、先静压后振动、由边向中”原则。初压采用15-18t光轮压路机静压2遍, 速度1.5-2km/h; 复压采用20t以上振动压路机碾压3-4遍, 速度2.5-3km/h; 终压采用胶轮压路机静压1遍收光, 消除轮迹。碾压重叠宽度 $\geq 1/3$ 轮宽, 避免压实死角。

3. 压实质量检测: 每层压实后采用灌砂法或核子密度仪检测压实度, 衔接段核心区压实度 $\geq 98\%$, 一般区域 $\geq 96\%$; 同时采用K30平板载荷试验($\geq 150\text{MPa/m}$)、Evd动态变形模量($\geq 50\text{MPa}$)进行双控, 确保地基承载力与变形性能达标。

(四) 层间衔接与防裂控制

层间衔接质量直接影响结构整体性, 需通过界面处理、加筋措施阻断裂缝扩展, 提升协同受力能力。

1. 界面处理规范: 下承层表面清扫干净, 清除浮浆、松散层, 高压水枪冲洗后喷洒透层油或粘层油, 增强层间粘结力; 旧路衔接段铣刨拉毛深度2-3cm, 清除松动部分, 若旧基层脱空、强度不足, 采用水泥-水玻璃双液浆注浆加固。

2. 加筋措施应用: 在基层与面层、新旧路基衔接处铺设双向土工格栅(抗拉强度 $\geq 80\text{kN/m}$)或土工格室(高度

15-20cm), 格栅横向搭接长度 $\geq 30\text{cm}$ 、纵向锚固长度 $\geq 50\text{cm}$, U型钉固定间距 $\leq 1\text{m}$ 。加筋材料可分散差异沉降应力, 减少反射裂缝, 实测可使纵向裂缝减少60%以上。

(五) 排水系统与防水控制

水损害是衔接段病害的核心诱因, 需构建“表层导排、层间防渗、基底疏干”三位一体排水体系。

1. 排水系统施工: 衔接段路面横坡优化为2%-3%, 快速排除路面积水; 基层内部设置纵向盲沟、横向排水通道, 采用 $\phi 200\text{mm}$ 高密度聚乙烯泄水管与碎石盲沟组合, 间距10-15m, 及时排出基底积水; 台背周边设置截水沟, 拦截地表雨水, 防止渗入台背土体。

2. 防水措施落实: 各结构层间铺设防渗土工布(渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-3}\text{cm/s}$), 搭接宽度 $\geq 300\text{mm}$, 热风焊接密封; 搭板与桥台接缝处填充沥青麻絮, 缝宽20mm, 阻断雨水竖向渗透; 基层养生期采用土工布覆盖洒水, 避免雨水直接冲刷基层表面, 防止基层软化与开裂。

(六) 搭板与伸缩缝施工控制

搭板与伸缩缝是衔接段的关键构造, 直接影响行车舒适性与结构耐久性, 施工需精准、规范。

1. 搭板施工控制: 搭板采用C30钢筋混凝土, 厚度30cm, 设置3道伸缩缝, 搭板与桥台连接处预埋传力杆($\phi 25\text{mm}$, 长50cm, 间距30cm), 确保荷载传递均匀。搭板施工需在过渡段填筑完成并沉降稳定后进行(沉降速率 $\leq 0.5\text{mm/天}$); 搭板底面铺设5cm厚橡胶缓冲层, 吸收路基沉降变形, 搭板顶面与路面平顺衔接, 高差 $\leq 3\text{mm}$ 。

2. 伸缩缝施工控制: 伸缩缝型号与设计荷载匹配, 安装前清理槽口, 确保槽口尺寸、标高精准。伸缩缝钢筋与桥梁、道路钢筋牢固焊接, 混凝土浇筑振捣密实, 强度等级 $\geq \text{C40}$ 。伸缩缝安装完成后进行养护, 通车前确保混凝土强度达到设计值的100%, 避免早期损坏。

三、公路桥梁与道路衔接段施工创新质量控制要点

(一) 渐变刚度协同设计控制

打破传统“刚性衔接”模式, 采用“刚度渐变+变形协调”设计理念, 实现桥梁与道路刚度平滑过渡。

1. 渐变刚度结构设计: 从桥台向路基方向, 依次设置轻质填料层、改良土填料层、常规填料层, 通过材料密度、强度渐变降低刚度突变。搭板采用变厚度设计, 桥台端厚度80cm, 远离端40cm, 底部设置橡胶缓冲层, 适配不同部位沉降差异。

2. 变形协同验算: 采用有限元软件模拟车辆荷载、温度变化下的结构响应, 验算衔接段沉降、弯沉、剪切性能, 优化搭板长度、填料配比及加筋措施, 确保结构变形协调。依据行车烦恼率模型, 明确容许错台高度 $\leq 2.3-2.8\text{cm}$ 、工后差异沉降率 $\leq 0.35\%-0.81\%$, 以人车-路协同评价处治效果。

(二) 智能压实与全过程监测控制

引入数字化技术, 实现压实质量与沉降过程的实时、精准管控, 解决传统人工监测滞后、误差大的问题。

1.智能压实监测：每台振动压路机配备GNSS定位、振动传感器与数据传输模块，实时采集碾压速度、遍数、振动频率与压实度数据，传输至管控平台。系统自动识别薄弱区域，预警补压，杜绝漏压、欠压、过压，压实度检测误差 $\leq \pm 1\%$ 。

2.沉降动态监测：在衔接段布设沉降板、观测桩，间距 $\leq 50\text{m}$ ，关键区域加密至 30m 。采用自动化全站仪、静力水准仪构建三维监测网络，实时获取沉降数据，当沉降速率连续3天超 3mm/d 或累计沉降超设计值 80% 时，立即停工整改。

3.数字化数据管理：搭建BIM+物联网管控平台，整合地基处理、填料、压实、沉降等数据，建立衔接段三维模型。实现施工全过程可视化、可追溯，质量问题自动预警，提升管控效率。

（三）新型材料与工艺创新应用

推广低碳、高效新材料与新工艺，提升衔接段抗裂、抗沉降性能，实现工程绿色化与长效化。

1.新型轻质材料应用：采用泡沫混凝土、陶粒混凝土等轻质填料，替代传统土方，降低自重沉降 $30\% - 50\%$ 。泡沫混凝土施工便捷、强度可控，适用于软基台背回填，可缩短工期 20% 以上。

2.生态加筋与防护工艺：采用生态型护坡技术，将高强度植物纤维网格与改性防护砂浆复合，提升边坡稳定性与景观协调性。土工格栅与土工格室组合加筋，可使路基工后沉降减少 $25\% - 35\%$ 。

3.模块化施工工艺：将衔接段施工划分为地基处理、填料填筑、层间衔接、搭板伸缩缝安装等模块化单元，标准化施工流程，提升施工效率与质量一致性。

（四）特殊工况专项控制

针对雨季、高温、低温、旧路改扩建等特殊工况，制定专项质量控制措施，避免环境因素引发质量问题。

1.雨季施工控制：缩短路基裸露时间，随填随压、及时封闭；混合料运输、摊铺、压实快速衔接，遇雨立即停工，已摊铺混合料遇雨铲除重铺；做好排水设施，防止积水浸泡衔接段。

2.高温施工控制：避开 $11:00 - 15:00$ 高温时段，摊铺温度控制在 $160 - 180^\circ\text{C}$ ，运输加盖篷布，减少水分蒸发与混合料老化；压实及时完成，避免高温开裂。

3.低温施工控制：施工气温 $\geq 5^\circ\text{C}$ ，低于 5°C 停止施工；填料保温运输，摊铺后覆盖保温材料，加强养生，防止冻害。

4.旧路改扩建控制：旧路基层铣刨拉毛后，采用注浆加固补强，铺设土工格栅增强新旧结构粘结；衔接段与旧路同步沉降观测，确保差异沉降控制在允许范围内。

参考文献

[1]交通运输部公路科学研究院. 城镇道路路桥过渡段技术规程: DBJ33/T 1348-2025[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2025.

[2]交通运输部. 公路路基设计规范: JTG D30-2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司

四、工程应用案例分析

某高速公路改扩建工程，全长 45km ，双向八车道，设计时速 120km/h ，含桥梁 12 座，路桥衔接段 24 处，主要分布于软基、高填方区域，传统施工易引发桥头跳车与开裂病害。

项目全面采用本文提出的控制要点与创新技术：地基处理采用“换填垫层+塑料排水板”组合工艺，软基加固后承载力提升 40% ；台背回填采用陶粒混凝土轻质填料，搭配双向土工格栅加筋；实施智能压实监测与沉降动态监测，搭建BIM+物联网管控平台；搭板采用变厚度设计，伸缩缝精准安装，配套立体排水体系。

施工完成后，衔接段压实度合格率 100% ，工后沉降量 $\leq 15\text{mm}$ ，错台高度 $\leq 2\text{mm}$ ，远低于规范限值（工后沉降 $\leq 30\text{mm}$ 、错台 $\leq 10\text{mm}$ ）。通车 2 年跟踪监测，无明显开裂、跳车、水损害等病害，结构整体性良好，养护成本较传统工艺减少 50% ，验证了本套质量控制体系的可行性与优越性。

五、结论与展望

（一）结论

本文围绕公路桥梁与道路衔接段施工质量控制，系统梳理了地基处理、填料选择、分层压实、层间衔接、排水防裂、搭板伸缩缝等核心控制要点，结合工程创新提出渐变刚度协同设计、智能压实监测、新型材料工艺、特殊工况专项四大创新措施，得出以下结论：

1.严格执行现行规范是衔接段施工质量的基础，地基处理、分层压实、层间衔接、排水防裂等环节的标准化管控，可有效控制差异沉降与界面病害。

2.渐变刚度设计、智能压实监测、BIM+物联网数字化管控等创新技术，能精准破解衔接段刚度突变、压实不均、沉降失控等痛点，显著提升结构稳定性与行车舒适性。

3.新型轻质材料与特殊工况专项控制，可适配复杂地质与环境条件，实现衔接段施工的绿色化、高效化与长效化。

（二）展望

未来路桥衔接段施工将持续向智能化、低碳化、装配化方向发展。后续可进一步深化：研发高性能轻质再生材料，降低工程碳排放；推进AI与大数据技术融合，开发沉降风险智能预测与自动决策系统；建立衔接段全生命周期健康监测平台，实现施工期与运营期病害精准预警与养护决策，持续提升公路桥梁与道路衔接段工程质量与服役寿命。