

道路桥梁沉降段路基路面施工技术研究

王 雷

辽宁驰通工程管理有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘要：桥梁道路工程结构中涉及路基、路面、路基等，在工程施工的过程中任何环节出现问题都会造成难以预估的损失。施工过程中沉降段路基路面的施工效果显得尤为重要，加大力度对道路桥梁沉降段路基路面问题进行预防和治理，对整体工程的质量显得尤为重要。优化设计合理性（如精确搭板锚固）、强化地基处理、严控台背压实工艺是解决沉降问题的核心；同时需配合动态监测与标准化施工流程，以保障道路长效安全运营。

关键词：道路；桥梁；制造；沉降段；路基；路面

沉降是地基承载力不足、施工控制疏漏、排水失效及结构设计缺陷共同作用的结果，需针对性优化勘察、设计与工艺控制。沉降段施工需统筹地质勘查、材料控制、结构设计和实时监测，核心在于减少刚性桥台与柔性路基的刚度差异，并通过精细化工艺保障过渡段均匀受力。

1 道路桥梁沉降段路基路面定义

1.1 定义核心要素。空间范围，指桥梁构造物（如桥台、涵洞）与相邻道路引道之间的过渡衔接区域，该区域因结构刚度差异（刚性桥台→柔性路基）及荷载传递特殊性，易发生不均匀位移。结构组成，路基：位于路面下方、支撑路面的岩土结构体，通过压实填土或天然地基形成，承受路面传递的车辆荷载并分散至地基。在沉降段，路基常包含台背回填区（桥台后方填土区域），其压实质量控制尤为关键。路面：铺筑于路基顶面的层状结构（如沥青层、水泥混凝土层），直接承受车轮荷载并提供行车表面。沉降段路面需适应过渡区变形协调需求。

1.2 特性表现。沉降现象：因地基压缩（如软土含水率高）、台背填土不密实或设计缺陷，导致该区域路基发生超出允许范围的垂直位移；病害关联：沉降引发桥头跳车（差异沉降 $> 2.7\text{cm}$ 时显著）、路面开裂及结构变形等典型问题。道路桥梁沉降段路基路面特指桥梁构造物（桥台/涵洞）与道路引道衔接的过渡区域中，由地基、填筑路基及铺装路面构成的承载结构体系。该区域因刚性桥台与柔性路基的刚度突变、荷载分布不均及施工控制难度，易发生超出设计允许值的差异沉降，导致路面平整度丧失并诱发桥头跳车等安全隐患。

2 道路桥梁沉降产生的原因

2.1 地基问题。软弱地基：桥涵位于软土、湿陷性黄土或高含水率土层时，地基承载力不足，易压缩变形。

地质勘探不足：未探明暗沟、溶洞或断层等隐蔽地质缺陷，导致地基处理方案失效。地下水变动：地下水位上升软化土体，或过度抽水引发固结沉降。

2.2 填筑施工缺陷。台背回填压实不足：分层厚度超标（ $> 20\text{cm}$ ）、压实机械选用不当，导致密实度不均；狭窄区域（如桥台背后）压实困难，形成空洞。填料不合格：采用含有有机质、塑性土或级配不良的透水性材料，变形稳定性差。填土速度过快：软土地基未充分固结即快速填筑，附加应力超限引发沉降。

2.3 排水系统失效。边沟、盲沟堵塞或设计不合理，雨水/地下水渗入路基，降低土体抗剪强度；长期积水浸泡软化地基，加速沉降。

2.4 结构与设计缺陷。刚度突变：刚性桥台与柔性路基衔接处缺乏过渡措施（如搭板长度不足），应力集中导致差异沉降。桥台搭板设计不合理：锚固间距过大或支撑点受力不均，加剧末端沉降。荷载预估不足：未考虑长期超载车辆作用，超出地基承载力设计值。

2.5 环境与外力作用。水文侵蚀：洪水冲刷桥墩基础，掏空地基（如厦蓉高速桥梁垮塌案例）；地质灾害：滑坡、岩溶塌陷直接破坏地基稳定性；冻融与温差：冻土区融沉或温度应力引发裂缝扩展。沉降是地基承载力不足、施工控制疏漏、排水失效及结构设计缺陷共同作用的结果，需针对性优化勘察、设计与工艺控制。

3 沉降对道路桥梁的影响分析

3.1 结构完整性破坏。桥头跳车现象，直接诱因：桥台与引道衔接处差异沉降 $> 2.7\text{cm}$ 时，形成明显台阶状错台，车辆通过时产生剧烈颠簸。加速结构损伤：反复冲击荷载导致搭板锚栓松动、伸缩缝破损，严重时引发搭板断裂或桥台混凝土剥离。裂缝与变形扩展，不均匀沉降使路面产生纵向/横向裂缝，雨水渗透加速基层软化，诱发局部塌陷或网裂；桥墩因地基沉降不均发生倾斜（如近断

层地震引发桥墩动态失稳),降低结构承载力。

3.2 行车安全风险。车辆操控失控,高速车辆($\geq 80\text{km/h}$)通过沉降段时,跳车导致方向盘异常抖动,增加侧翻风险;紧急避让沉降坑洼易引发追尾事故,尤其雨雪天气路面湿滑时。机件损耗加剧,频繁颠簸使车辆悬架系统、轮胎磨损率提高30%以上,缩短车辆使用寿命。

3.3 经济与运维成本。养护费用激增,沉降路段修补频率为普通路段的2~3倍,注浆加固单次成本超8万元/公里;长期沉降需重建过渡段(如土工格栅加筋层),造价提升15%~20%。通行效率下降,沉降段限速(常降至40km/h)造成交通瓶颈,路段通行能力缩减35%;封闭维修导致绕行,增加物流时间成本。危害:严重沉降可演变为结构性垮塌,威胁公共安全并造成重大社会经济损失。沉降防控需综合地基处理(如灌注桩加固)、动态监测(物联网实时预警)及标准化施工(台背压实度 $\geq 95\%$)三重措施。

4 道路桥梁沉降段路基路面施工技术现状

4.1 结构设计缺陷。搭板设计不合理,部分工程未根据地质条件计算搭板长度,导致末端支撑力不足,车辆荷载下产生显著沉降峰值(差异沉降率 $> 10\text{mm}/3\text{m}$);搭板与路基顶面标高未保持平行,加剧桥台连接处裂缝扩展。过渡段刚度协调不足:刚性桥台与柔性路基间缺乏有效过渡结构(如级配碎石渐变层),应力集中引发跳车风险。

4.2 填筑施工质量控制薄弱。台背回填压实缺陷,狭窄区域(桥台背后)机械压实困难,人工补压导致密实度不均(压实度 $< 93\%$);分层填筑厚度超限($> 30\text{cm}$)、填料含有机质或塑性土,压缩变形量增加40%。施工时序错误:软土地基未完成固结即快速填筑,附加应力引发沉降速率 $> 5\text{cm}/\text{年}$ 。

4.3 质量监测与验收漏洞。沉降观测点布设不科学(如未覆盖搭板末端),无法精准捕捉差异沉降;验收环节忽视台背压实度复测,依赖表面平整度判断质量。现状改进方向,技术优化:推广液压调平搭板技术,实现坡度动态适配沉降;采用轻质泡沫土回填台背(密度 $\leq 0.3\text{g}/\text{cm}^3$)减少附加应力。管理强化:建立施工全过程沉降云监测系统,实时预警偏差;推行台背压实度“分层验收”制度(每层 $\geq 95\%$)。当前沉降段施工仍受限于地质勘探精度不足、填筑工艺粗放及设计-施工协同脱节,需融合精细化勘察(如三维地质雷达)、智能压实监控及地域适应性技术实现突破。

5 道路桥梁沉降段路基路面关键施工技术

5.1 地基加固技术。软基专项处理,桩基强化:采用

水泥粉喷桩、塑料排水板加速固结,桩端需嵌入稳定岩层 $\geq 0.5\text{m}$ 且岩层顶板厚度 $\geq 6\text{m}$;强夯控制:夯击能级与深度需匹配地质条件,避免断桩或隔层,处理后承载力提升 $\geq 30\%$ 。隐蔽缺陷探查:施工前采用三维地质雷达扫描暗沟、溶洞,针对性注浆填充。

5.2 台背回填核心技术。分层压实工艺,每层填筑厚度 $\leq 20\text{cm}$,压实度 $\geq 95\%$ (尤其桥台背后狭窄区);采用小型冲击夯补压机械死角,避免人工压实导致的密实度不均。填料优化,禁用有机质土或塑性土,优先选用砂砾石等透水性材料;南方多雨区添加石灰改良土体(含水率控制在 $\pm 2\%$ 最佳值)。

5.3 搭板与过渡段创新技术。搭板精准调平,长度按地质计算确定(一般 $\geq 8\text{m}$),末端增设枕梁分散应力;采用液压调平系统,使搭板顶面与路基标高误差 $\leq 3\text{mm}$ 。刚度渐变过渡,路基顶面铺设30~50cm级配碎石层,模量梯度递增至桥台;北方冻土区搭板锚固深度增加20%,抗冻胀位移。

5.4 全过程质量控制技术。智能压实监测:压路机安装北斗定位与压实度传感器,实时生成压实云图;分层验收制度:每层回填完成后立即检测压实度,不合格则返工;沉降动态预警:布设物联网传感器(精度0.1mm),差异沉降 $> 2\text{mm}$ 自动报警。技术突破方向,轻质材料应用:台背填充泡沫轻质土(密度 $\leq 0.3\text{g}/\text{cm}^3$),降低附加应力40%;BIM模拟预控:施工前模拟填筑沉降过程,优化参数。通过上述技术,桥头差异沉降可控制在 $\leq 5\text{mm}/3\text{m}$,跳车事故率下降80%。需重点强化地质适配性设计、台背压实闭环管理及智能监测覆盖三大环节。

5.5 强夯施工技术在道路桥梁沉降段的应用。核心技术原理,冲击波压实机制,100~400kN重锤从6~40m高度自由落体,产生冲击波破坏土体原始结构,促使颗粒重组密实;对砂土承载力提升达4倍,黏土提升1~3倍,显著降低压缩性。差异沉降控制:均匀夯击使地基压缩性降低2~10倍,差异沉降趋近于零。关键施工流程,地质适配性设计,软土区采用水泥粉喷桩复合强夯(桩端入岩 $\geq 0.5\text{m}$);杂填土区夯前掺石灰改良含水率(偏差 $\leq \pm 2\%$)。分层夯击工艺,初夯:12~15击/点,消除70%空隙率;复夯:6~8击/点聚焦薄弱区;终夯:3~5击/点控制表面平整度 $\leq 5\text{mm}/3\text{m}$ 。动态参数调控,单击夯击能按公式 $E = 0.5mv^2$ 计算(通常25~45kJ);最后两击夯沉量 $\leq 50\text{mm}$ (单击能 $< 4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 时)。特殊工况应对措施,高地下水位区:夯前铺设复合土工膜(渗透系数 $\leq 10^{-11}\text{cm}/\text{s}$)阻断毛细水;冻融敏感区:增加夯

击能20%抵消冻胀力,满夯锤印搭接 $\geq 1/4$ 夯锤直径;邻近构造物防护:开挖减震沟或预埋应力监测光纤。质量风险防控,过夯预警:实时监测夯坑周围地表隆起量,超过5cm即停夯;沉降跟踪:工后布设传感器,差异沉降 $> 2\text{mm}$ 时启动注浆加固。通过定制化夯击能与分层工艺,桥头差异沉降可控制在 $\leq 5\text{mm}/3\text{m}$,跳车风险下降80%。需重点把控地质适配设计、夯击能精准计算及全过程变形监测三大环节。

6 道路桥梁沉降段路基路面施工质量控制与管理

道路桥梁沉降段路基路面施工质量控制与管理的关键要点,结合地质处理、施工工艺、监测预警及制度保障四个维度进行系统总结:

6.1 地质勘探与地基处理。精细化地质勘探,施工前采用三维地质雷达扫描软土、溶洞等隐患,勘探深度需穿透软弱层至稳定岩层(顶板厚度 $\geq 6\text{m}$);南方多雨区加密地下水位监测点,控制填料含水率偏差 $\leq \pm 2\%$ 。地基强化技术,软基区采用水泥粉喷桩复合强夯(桩端嵌岩 $\geq 0.5\text{m}$),承载力提升 $\geq 30\%$;北方冻土区增加夯击能20%,锚固深度加深20%抗冻胀。

6.2 填筑施工核心控制。(1)台背回填工艺,分层压实:每层厚度 $\leq 20\text{cm}$,压实度 $\geq 95\%$;桥台背后狭窄区采用小型冲击夯补压,消除机械死角;填料优选:禁用有机质土,砂砾石透水材料优先;高水位区掺石灰改良土体。

6.3 结构设计与过渡段控制。搭板精准施工,长度按地质计算确定(一般 $\geq 8\text{m}$),末端增设枕梁分散荷载;液压调平系统控制搭板顶面与路基标高误差 $\leq 3\text{mm}$ 。刚度渐变过渡:路基顶铺设30~50cm级配碎石层,模量梯度递增至桥台。

6.4 全过程质量监测与预警。智能压实监控,压路机集成北斗定位与压实度传感器,实时生成压实云图并

预警薄弱区;沉降动态监测,布设物联网传感器(精度 0.1mm),差异沉降 $> 2\text{mm}$ 自动报警;桥墩沉降采用静力水准仪实时监测,年沉降量超 8mm 启动加固。验收闭环管理:推行分层压实度检测(每层 $\geq 95\%$),不合格立即返工。

6.5 风险防控与事故案例警示。暴雨灾害预警:山体滑坡高风险区部署微震传感系统,联动交通管制;桥头跳车防治:差异沉降率 $> 5\text{mm}/3\text{m}$ 时采用注浆加固或轻质泡沫土换填(密度 $\leq 0.3\text{g}/\text{cm}^3$);案例教训:贵州猴子河特大桥引桥因暴雨滑坡垮塌,暴露地质-气象耦合灾害风险,需强化空天地一体化监测。

6.6 管理制度优化方向。技术交底制度化:施工前模拟填筑沉降过程(BIM技术),优化参数;责任追溯机制:建立桥梁“健康档案”,质保期内沉降超限由施工方承担修复责任(如三年累计沉降 \leq 设计值);区域适应性标准:南方多雨区:台背回填区年沉降量 $\leq 8\text{cm}$;北方冻土区:冬季搭板接缝开裂率需低于35%。管理成效目标:通过上述措施,桥头差异沉降控制在 $\leq 5\text{mm}/3\text{m}$,跳车事故率下降80%。需重点落实地质适配性设计、智能监测全覆盖及分层验收闭环三大核心环节。

总之,需要综合考虑土壤、气候、人文、桥梁需求等诸多因素,并通过合理的施工技术和方法寻找最合适的解决方案。因此,需要对桥梁沉降段路基路面施工技术做进一步的研究,以期待达到更好的效果。

参考文献

- [1]刘艺.试析道路桥梁沉降段路基路面施工技术要点.2023.
- [2]张华萍.关于道路桥梁沉降段路基路面施工技术研究.2023.
- [3]李海静.赵慧园,等,道路桥梁沉降段路基路面施工技术的探讨.2022.