

市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术应用分析

胡国林

温州市宏泰建设有限公司 浙江 温州 325000

【摘要】：在城市基建浪潮中，市政道路桥梁沉降段施工质量关乎交通命脉。文章聚焦沉降段路基路面施工，深度剖析填料优化、地基强化等核心技术；构建智能监测、压实度严控、工艺标准化发管控体系，为攻克市政工程沉降难题、提升基建品质筑牢技术基石。

【关键词】：市政工程；道路桥梁；沉降段；路基路面；施工技术

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.067

在城市现代化建设进程中，市政道路桥梁作为交通网络的核心骨架，其工程质量直接关乎城市运行效率与民众出行安全。而沉降段路基路面因受地质条件（如软土、湿陷性黄土）、荷载差异（桥梁-路基衔接处）等因素影响，极易出现“不均匀沉降→路面开裂→结构损坏”的连锁问题。传统施工技术在应对复杂工况时存在局限性，因此，深入研究并创新应用沉降段路基路面施工技术，对突破工程瓶颈、提升市政工程品质具有不可替代的现实价值。

1 市政道路桥梁沉降段施工的核心挑战

1.1 复杂地质条件的制约

市政工程建设区域地质条件复杂多变，沉降段常面临软土地基、湿陷性黄土、膨胀土等特殊土质。以软土地基为例，其高含水量、低强度、高压缩性的特性（孔隙比 >1.0 ，压缩模量 $<4\text{MPa}$ ），使得地基承载力难以满足路基路面荷载要求。地下水水位波动（如雨季上升、旱季下降）、土层分层不均（砂层与黏土层交替分布）等问题，进一步加剧了沉降控制难度。

1.2 荷载差异引发的结构矛盾

道路与桥梁衔接处存在天然的刚-柔过渡难题：桥梁结构（刚性）与路基（柔性）在受力变形特性上的显著差异，导致沉降段成为应力集中区域。城市交通流量的不平衡性（主干道 $>$ 支路）、重型车辆（如货车、工程车）的频繁碾压，使得不同路段承受的动、静荷载差异显著。这种荷载梯度变化（可达3-5倍），极易引发路基路面不均匀沉降与结构性破坏^[1]。

1.3 沉降监测精度控制问题

在对市政道路桥梁沉降段进行监测的过程中，对于监测精度的控制面临来自各方面的挑战，尤其是在设备的选择与环境适应性方面，诸如全站仪、水准仪、GNSS接收机等设备虽然有着明显优势，不过在面临复杂的施工环境时很容易受到干扰而影响精度，比如全站仪会因为施工区域的粉尘、振动导致的光线折射偏差让单次测量误差达到 $\pm 2\text{mm}$ ；水准仪对于地面平整度要求较高，沉降段若是坡度过大则会导致读书误差；GNSS接收机则容易受到卫星信号遮挡影响，尤其是在桥梁结构密集区会增加信号失锁概率，而且数据采用间隔也会从1秒延长到

10秒，导致动态沉降信息捕获存在滞后性。监测点的布置合理性也会影响沉降监测的效果，在沉降段，监测点应当覆盖路基、桥台、桥面等关键部位，不过由于受到现场施工情况的限制，路基部分的监测点很容易由于土方碾压发生位移，若埋设深度不足80cm，则会随表层土体沉降产生数据偏差；而桥台与桥面衔接处的监测点会受到温度应力影响，导致混凝土伸缩造成点位偏离预设坐标造成的偏差情况。沉降监测点精度得不到控制，则很容易导致信息传递不畅、信息不准确等问题，若是某一环节出现偏差则很容易影响整体的检测精度，施工的安全性也难以得到保障。

1.4 新旧结构衔接技术瓶颈

在市政道路桥梁施工的过程中，若是面临新旧结构衔接方面的施工，二者之间的差异则会影响沉降段施工的整体质量。其中在材料性能差异方面，由于旧结构经过长期使用后混凝土强度会随时间衰减，其弹性模量会较设计值降低15%-20%，而新浇筑结构通常采用高强度混凝土，弹性模量较高，两者在受力时的变形系数差异能够达到25%以上，而这种差异会导致结合面在荷载作用下产生附加应力，当应力值超过材料的抗拉极限时很容易出现裂缝问题。而且新旧混凝土的收缩特性不同，旧混凝土的收缩已基本完成，新混凝土在硬化过程中依然会产生0.03%-0.05%的收缩量，如果没有及时采取有效的补偿措施，结合面会因为收缩不一致出现缝隙，影响沉降结构的整体性。而在进行新旧结构衔接施工时，结构受力的连续性是非常显著的技术调整，新旧结构的荷载传递路径必须要无缝衔接，不过旧结构的受力状态已趋于稳定，新结构在施工及使用过程中会产生新的应力场，两者交汇区域易形成应力集中，集中系数可达1.5-2倍，尤其是在沉降段，由于地基不均匀沉降，新旧结构的沉降速率也存在一定差异，一旦差异超过2mm/天时，衔接部位会产生附加弯矩，导致配筋不足区域出现开裂，工程整体的安全性也会受到影响。

2 沉降段路基路面施工关键技术体系

2.1 路基填料优化技术

路基填料质量是控制沉降的基础，需遵循“强度优先+水

稳达标+级配合理”原则。优先选用级配碎石、砂砾等优质材料，通过筛分试验与击实试验验证确保粒径分布符合规范。对于含水量超标的填料，采用晾晒脱水与固化改良组合工艺：添加3%-5%生石灰降低含水量，同时激发土壤活性；掺入水泥（剂量5%-8%）形成胶结体，提升整体强度。施工中严格控制松铺厚度（ $\leq 30\text{cm}$ ）与压实度（ $\geq 96\%$ ），确保路基密实均匀[2]。

2.2 地基强化处理技术群

针对不同地质条件，需精准选择地基处理技术（表1）。

表1 不同的地基处理技术

处理技术	适用地质	原理	优势
换填法	浅层软土（深度 $< 3\text{m}$ ）	挖除软土，换填砂石、灰土	工艺简单，成本低
深层搅拌法	软黏土、淤泥质土	水泥/石灰与土强制搅拌形成桩体	加固深度大（5-15m）
强夯法	砂土、碎石土、低饱和度黏土	重锤冲击压实土体	效率高，密实效果显著
CFG桩法	各类软弱地基	水泥粉煤灰碎石桩复合地基	承载力提升幅度大

强夯法施工时，通过夯击能分级控制与间歇期设置优化工艺：首遍夯击能 $1500\text{-}2000\text{kN}\cdot\text{m}$ ，间隔7-14天待土体固结后，进行2-3遍低能量满夯（图3）。深层搅拌法需严格控制水泥掺量（12%-18%）与搅拌深度，确保桩体强度达标（无侧限抗压强度 $\geq 1.2\text{MPa}$ ）。

2.3 路面结构改良与过渡设计

沉降段路面需构建抗变形与应力分散的复合结构体系。基层采用水泥稳定碎石与土工格栅”组合：铺设双向拉伸土工格栅（抗拉强度 $\geq 50\text{kN/m}$ ），利用其“加筋-隔离-应力扩散”三重效应，增强基层整体性；面层设置沥青应力吸收层（SAMI），厚度2-3cm，选用高弹性改性沥青，有效缓冲路基不均匀沉降产生的拉应力。同时，在桥梁-路基过渡段设置渐变式搭板（长度8-12m），实现刚度平稳过渡。

2.4 路基路面协同压实工艺体系

路基路面协同压实工艺体系在市政道路桥梁沉降段施工中能够通过统一的压实参数控制，实现路基与路面结构的刚度渐变，减少两者之间的刚度突变带来的反射裂缝风险。协同压实工艺要求路基压实度达到96%以上，路面基层压实度不低于97%，面层压实度维持在98%-99%，在梯度设置下能够让荷载从路面传递至路基的过程中应力分布更均匀。在具体的应用时，施工单位应当根据路基土的含水率调整压实机械的吨位与碾压速度，当含水率处于最佳含水率 $\pm 2\%$ 范围内时可以选择20-25t振动压路机，碾压速度需要控制在2-3km/h，确保土颗粒充分密实；而路面基层的水泥稳定碎石材料则应当采用重型

振动压实，激振力设定为300-350kN，避免出现松散或离析问题。而且在进行协同压实的过程中，必须要保障碾压方向的一致性，从沉降段边缘向中心推进，重叠宽度不小于1/3轮宽，以此确保压实能量在路基路面结构中能够均匀传递，避免结构层间剪切破坏问题。在进行协同压实工艺时，施工单位还需要注重路基路面的层间结合性能，通过该工艺增强结构的整体性以减少层间滑移现象，而在施工过程中需要对路基顶面进行拉毛处理，拉毛深度应当控制在3-5mm，确保能够让路面基层与路基的接触面积增加20%-30%，提高层间摩擦力，并保障路基路面结构在车辆荷载作用下协同变形，减少因相对位移产生的疲劳损伤，增强沉降段的耐久度。

2.5 防排水基础技术

防排水基础技术能够通过构建分层排水系统，阻断水分侵入沉降段地基与结构层，减少土体软化和材料劣化，是保障路基路面稳定性，提高沉降段使用寿命的关键。在实际应用的过程中，应当在沉降段的路基路面设置纵向盲沟与横向排水管，盲沟采用透水土工布包裹碎石，碎石粒径控制在20-30mm，确保渗透系数不低于 $1\times 10^{-3}\text{cm/s}$ ，纵向坡度不小于0.3%，以此保障路基的积水能够快速排出。路面结构层则需要设置排水基层，采用多孔水泥稳定碎石，孔隙率要控制在15%-20%，并与路缘石处的纵向集水管相连，集水管直径要大于10cm，排水坡度需要大于0.5%，确保能够将路面渗水在24小时内排出结构外。而且路基与路面排水系统还应当做好检查井衔接，井间距控制在30-50m，以此保障水流顺畅过度，并实现分层排水系统的协同作用，有效降低结构层内的含水率，减少积水对沉降段造成的影响。

3 沉降段施工质量全过程管控

3.1 智能监测与动态调整

在沉降段施工质量管控中，构建起“感知-分析-响应”的全链条管控体系。通过布设传感器矩阵与数据传输网络，在桥梁台背、填挖交界处等沉降敏感区域，精准埋设沉降板、位移计、孔隙水压力计等监测设备（如图1所示），这些设备实时采集路基路面的沉降量、位移变化、孔隙水压力等关键数据。



图1 设备图

采用北斗定位技术,实现水平位移监测精度达到 $\pm 2\text{mm}$,数据通过物联网实时传输至BIM管理平台。该平台运用AI算法,对海量监测数据进行深度分析,构建沉降趋势预测模型,如同为工程配备了预测罗盘。当监测数据超过预警值(如累计沉降 $>10\text{mm}/\text{月}$)时,系统立即触发应急预案,自动推送补夯、注浆加固等处理指令。例如,若监测到某区域沉降速率加快,系统会迅速规划补夯路线,计算注浆点位与剂量,施工人员可依据指令精准作业,实现从数据异常发现到处置措施执行的无缝衔接,确保工程质量与安全^[3]。

3.2 压实度精准控制体系

精准控制压实度需构建“设备适配+过程严控+检测校准”的闭环管理体系。在设备选择上,依据填料特性实施差异化适配:针对级配碎石、砂砾等粒料类填料,选用振动式压路机,利用高频振动使颗粒重新排列、相互嵌挤;对于细粒土填料,则采用静压式压路机,依靠重力压实土体。

施工过程中,严格执行三阶段碾压工艺:初压阶段,以 $2\text{--}3\text{km}/\text{h}$ 的低速行驶,初步稳定路基表面,为后续压实奠定基础;复压阶段,将速度提升至 $3\text{--}4\text{km}/\text{h}$,通过增加碾压遍数与激振力,使土体达到较高密实度;终压阶段,再降速至 $2\text{--}2.5\text{km}/\text{h}$,消除轮迹,使表面平整密实。同时,采用核子密度仪进行压实度快速检测,其精度可达 $\pm 0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。每层抽检频率 ≥ 3 点/ 1000 m^2 ,一旦发现压实度不达标,立即分析原因,可能是含水量异常、碾压参数不当等,随即调整施工参数,重新

碾压,确保每一层路基路面的压实度合格率达到100%,为工程筑牢坚实根基。

3.3 施工工艺标准化管理

通过“标准制定+样板先行+过程监督”三维管控,确保施工全过程规范有序。首先,编制《沉降段施工操作细则》,将施工工艺细化到毫米级标准:在地基处理环节,规定深层搅拌桩垂直度偏差 $\leq 1\%$ 、桩位偏差 $\leq 50\text{mm}$,确保桩体受力均匀;路面施工时,明确摊铺温度控制在 $140\text{--}160^\circ\text{C}$,保证沥青混合料的和易性,碾压终了温度 $\geq 80^\circ\text{C}$,避免因温度过低导致压实度不足。

推行样板引路制度,每个分项工程开工前,先选取一段试验区进行样板施工。施工过程中,技术人员对每道工序进行详细记录与分析,验证施工工艺的可行性与合理性。例如,在路基填筑样板段施工中,测试不同填料配比、压实机械组合下的压实效果,形成标准化施工参数。经检测合格后,组织施工人员现场观摩学习,将样板段的成功经验推广至整个工程^[4]。

4 结语

市政道路桥梁沉降段路基路面施工技术的创新应用,是破解工程质量难题的核心。通过填料优化、地基加固、结构改良、智能监测的综合技术方案,可有效降低沉降风险,提升工程耐久性。未来应进一步探索新材料(如纳米改性沥青)、新技术(3D打印路基)的应用,结合数字孪生技术实现施工全过程可视化管理,为城市交通基础设施建设注入新动能。

参考文献:

- [1] 何敬强,王先刚.市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术研究[J].广东建材,2025,41(1):145-148.
- [2] 高鹏宇.沉降段路基路面施工技术在市政道路桥梁工程中的运用探究[J].模型世界,2024(21):122-124.
- [3] 朱杰峰.沉降段路基路面施工技术在市政道路桥梁工程中的应用研究[J].砖瓦世界,2023(3):172-174.
- [4] 刘天瑜,陈柏予,张君谊,等.市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术运用[J].建材与装饰,2025,21(17):124-126.