

市政桥梁施工中高填方路基沉降控制技术与实践研究

许文杰

532525*****0317

摘要:市政桥梁作为城市交通网络的关键节点,其附属高填方路基的沉降稳定性直接影响桥梁与路基衔接段的行车安全与结构耐久性。本文针对市政桥梁施工中高填方路基因填土高度大、地基处理复杂、工后沉降控制要求高等特点,系统分析了沉降产生的主要影响因素,包括地基土体特性、填筑材料性能、施工工艺参数及环境条件等;重点研究了分层碾压、强夯加固、排水系统优化、过渡段差异化填筑等核心控制技术,并结合工程实践验证了技术的适用性与有效性。研究表明,通过“地基预处理+填筑过程动态控制+排水体系协同”的综合技术体系,可将高填方路基工后沉降控制在规范允许范围内(一般路段 ≤ 15 厘米,桥头衔接段 ≤ 10 厘米),为同类市政桥梁工程提供理论与实践参考。

关键词:市政桥梁;高填方路基;沉降控制;分层碾压;强夯加固;过渡段填筑

DOI: 10.69979/3029-2727.25.12.003

引言

随着城市化进程加速,市政桥梁作为连接城市各功能区的关键交通设施,其建设规模与数量持续增长。高填方路基是市政桥梁与周边道路衔接的常见形式,尤其在跨越沟谷、洼地或地形起伏区域时,为满足桥头路基与桥梁结构的平顺过渡,常需填筑数米至数十米高的填土体。然而,由于高填方路基具有填土高度大、荷载集中、地基变形敏感等特点,若沉降控制不当,极易导致桥头跳车、路基开裂、结构不均匀沉降等问题,不仅影响行车舒适性与安全性,还会缩短工程使用寿命,增加后期维护成本^[1]。当前,市政桥梁施工中高填方路基沉降问题的研究多集中于高速公路领域,针对城市复杂环境(如地下管线密集、施工场地受限、环境敏感度高)的专项技术研究仍显不足。因此,系统分析高填方路基沉降机理,研发适配市政工程特点的沉降控制技术,并通过实践验证其有效性,具有重要工程价值与理论意义。

1 高填方路基沉降的主要影响因素分析

1.1 地基土体特性

地基作为高填方路基的承载基础,其物理力学性质直接决定了沉降量的大小与分布特征。市政桥梁周边地基常因原始地貌差异呈现显著的不均匀性,例如:软黏土、淤泥质土等高压缩性土层具有含水量高、孔隙比大、抗剪强度低的特点,在填土荷载作用下易发生塑性变形,且压缩过程具有长期性;砂性土、碎石土等粗颗粒土虽透水性好、压缩性低,但若存在松散堆积或密实度不足

的情况,也会因填土荷载传递不均导致局部沉降。此外,地基土的结构性(如原状土的团粒结构)在施工扰动下易被破坏,进一步加剧沉降风险。

1.2 填筑材料性能

高填方路基的填筑材料(如土、砂砾、级配碎石等)的级配组成、含水量及压实特性是影响沉降的关键因素。若填料的颗粒级配不良(如细颗粒含量过高或粗颗粒过于集中),会导致土体孔隙率大、压实后密实度不足;含水量偏离最佳含水量范围(过湿时土体黏结力下降、过干时颗粒间摩擦力减小)会显著降低压实效果,形成“弹簧土”或松散层;此外,填料的CBR值(加州承载比)不足时,其抵抗变形的能力较弱,在车辆荷载与自重应力叠加作用下易产生累积沉降。

1.3 施工工艺参数

施工过程中的填筑厚度、碾压遍数、碾压速度及分层顺序等参数直接影响路基的压实质量与沉降控制效果。若单层填筑厚度过大(超过规范允许的30~50厘米范围),压实机械的能量难以有效传递至下层土体,导致下层压实度不足;碾压遍数不足或速度过快(超过3~4千米/小时)会使土体颗粒重新排列不充分,形成局部松散区;分层填筑时若未遵循“先轻后重、先慢后快”的原则,或未对不同性质的填料进行合理分层(如将透水性差的黏土与透水性好的砂砾直接接触),会导致水分积聚与不均匀沉降。

1.4 环境与外部条件

市政桥梁施工区域常面临复杂的地下水条件（如地下水位高、径流丰富）、气候因素（如雨季施工导致填土含水量剧增）及周边环境干扰（如既有建筑物基础沉降耦合、地下管线渗漏）。地下水位过高时，土体有效应力降低，抗剪强度与压缩模量减小；降雨入渗会使填土含水量短期内大幅上升，软化土体并增加自重荷载；此外，季节性温差引起的土体冻融循环也会导致结构疏松，加剧工后沉降^[2]。

2 高填方路基沉降控制核心技术研究

2.1 地基预处理技术：消除基础变形源

地基预处理是控制高填方路基沉降的首要环节，其核心目标是提高地基承载力、降低压缩性并增强抗变形能力。针对市政桥梁周边常见的软弱地基（如淤泥质土、杂填土），可采用以下差异化处理方案：

（1）强夯加固技术：适用于处理浅层（深度≤8米）中高压缩性土层。通过重锤（质量10-25吨）从高处（落距10-20米）自由落下，对地基土施加冲击能量（单点夯击能1000-3000千焦），使土体产生瞬时超孔隙水压力与动力固结效应，从而提高密实度与抗剪强度。施工时需根据地基土类型确定夯击点间距（一般为3-5米）、夯击次数（每点3-6击）及夯击遍数（2-3遍），并通过现场试夯确定最佳参数。

（2）换填垫层技术：当表层（深度≤3米）存在杂填土、腐殖土等不良土层时，将其全部挖除并换填级配良好的砂砾、碎石或低压缩性黏土，换填厚度需根据地基承载力检测结果确定（一般≥0.8米）。换填后采用小型振动碾压机具分层压实（每层厚度≤20厘米），确保压实度≥95%（重型击实标准）。

（3）水泥搅拌桩复合地基：针对深层（深度>8米）软黏土地基，通过深层搅拌机械将水泥浆液与地基土强制拌和，形成具有一定强度的水泥土桩体（单桩承载力≥150千牛），并与桩间土共同构成复合地基。桩间距一般为1.2-1.5米，桩体长度需穿透软弱土层至硬持力层（≥3米），桩顶设置0.5米厚的碎石垫层并铺设双向土工格栅（抗拉强度≥30千牛/米），以提高桩土协同工作性能^[3]。

2.2 填筑过程动态控制技术：保障压实质量

填筑过程是高填方路基沉降控制的核心阶段，需通过“分层厚度优化+碾压参数精细化+含水量精准调控”

实现动态质量控制。

分层厚度与碾压参数匹配：根据填料类型确定单层填筑厚度——砂砾类填料建议厚度30-40厘米，黏性土类填料建议厚度20-30厘米。碾压设备选用重型振动压路机（激振力≥30吨）与轮胎压路机组合，初压采用静压（速度2-3千米/小时）1-2遍，复压采用振动碾压（速度3-4千米/小时）4-6遍，终压采用静压2遍消除轮迹。碾压顺序遵循“从低到高、从两侧向中间”的原则，相邻两区段纵向搭接长度≥2米，横向接头重叠碾压宽度≥1米。

含水量实时监测与调控：填筑前测定填料最佳含水量（通过标准击实试验确定），施工过程中每2小时检测一次填土含水量（采用烘干法或快速水分测定仪）。若含水量过低（低于最佳值-2%），采用洒水车均匀喷洒（洒水量=松铺面积×松铺厚度×含水量差值×土的干密度），并闷料4-6小时使水分均匀渗透；若含水量过高（高于最佳值+2%），采用推土机翻晒（厚度≤30厘米）并结合旋耕机打散，直至含水量达标。

（3）差异化填料过渡处理：桥头衔接段（距桥台背10-15米范围）与一般路基段采用不同填料与压实标准——桥头段优先选用透水性好的级配碎石（最大粒径≤37.5毫米）或低压缩性砂砾（CBR值≥8%），压实度要求≥98%（一般路基为96%）；过渡段设置渐变填筑区（长度≥20米），从桥头高密实度填料向一般路基填料逐步过渡，避免刚度突变导致的应力集中^[4]。

2.3 排水体系协同技术：减少水致沉降

水分是诱发高填方路基沉降的关键外部因素，完善的排水体系可有效降低孔隙水压力、减少土体软化与冻胀风险。

（1）地表排水：路基两侧设置梯形边沟（底宽0.6米、深0.8米，边坡坡率1:1.5），沟底采用M10浆砌片石铺砌并设置1%-2%的纵坡，将地表水引至桥梁泄水孔或市政排水管网。填筑区顶部设置截水沟（与自然沟谷或既有排水系统连通），防止坡面汇水冲刷路基。

（2）地下排水：在地基与路基内部设置纵横交错的盲沟系统——纵向盲沟沿路基中心线布置（间距20-30米，沟深≥1.5米），横向盲沟垂直于纵向盲沟（间距10-15米，沟深≥1.0米），盲沟内填充碎石（粒径20-40毫米）并包裹土工布（渗透系数≥1×10⁻²厘米/秒），将地下水引至集水井后通过水泵排出。对于地下水位较高的区域，可在路基底部铺设0.3米厚的碎石垫

层（厚度 ≥ 0.3 米）作为透水层，加速地下水消散。

（3）防渗与反滤设计：填筑材料与地基土之间设置30~50厘米厚的天然级配砂砾反滤层（级配范围20~80毫米，含泥量 $\leq 5\%$ ），防止细颗粒土流失；桥台背与路基衔接处涂抹沥青防水涂层（厚度2~3毫米），阻断地表水下渗路径。

3 工程实践验证与效果分析

3.1 工程背景

某市政桥梁工程位于城市新区，桥梁全长320米，桥宽24.5米，桥头两侧衔接高填方路基（填土高度8~12米，总填方量约12万立方米）。地质勘察显示，原地基主要为第四系冲积形成的粉质黏土（天然含水量28%~32%，压缩模量4~6兆帕，承载力特征值120千帕）与局部淤泥质土（厚度1~2米，承载力特征值80千帕），地下水位埋深1.5~2.0米。工程要求路基工后沉降 ≤ 15 厘米（一般路段）、 ≤ 10 厘米（桥头衔接段），差异沉降坡率 $\leq 1/1000$ 。

3.2 技术方案实施

（1）地基预处理：针对淤泥质土区域（桥头10米范围内），采用直径0.5米、间距1.2米的水泥搅拌桩（桩长6米，水泥掺量15%），桩顶设置0.5米厚碎石垫层（级配20~40毫米）并铺设双向土工格栅（抗拉强度40千牛/米）；对粉质黏土地基，采用强夯法（夯击能2000千焦，夯点间距3米，夯击3遍）处理表层3米范围，夯后检测地基承载力提升至180千帕。

（2）填筑过程控制：桥头衔接段填筑级配碎石（最大粒径31.5毫米，CBR值10%），压实度 $\geq 98\%$ ；一般路基段填筑砂砾（级配良好，CBR值8%），压实度 $\geq 96\%$ 。分层厚度严格按20厘米（黏性土）与30厘米（砂砾）控制，碾压时采用振动压路机（激振力35吨）静压1遍+振动4遍+静压2遍的组合工艺，现场检测压实度合格率达98%以上。

（3）排水体系构建：路基两侧设置梯形边沟（底宽0.6米、深0.8米），底部采用M10浆砌片石铺砌；地基内纵向盲沟（间距25米，深1.8米）与横向盲沟（间距12米，深1.2米）连通，填充碎石并包裹土工布；桥台背与路基衔接处涂抹2毫米厚沥青防水层，填筑层间设置30厘米厚天然砂砾反滤层。

3.3 效果评价

工程完工后通过沉降观测板（间距10米）、分层沉降仪（桥头段加密至5米）及测斜仪（监测水平位移）进行为期1年的跟踪监测。结果显示：一般路段最大工后沉降为12.3厘米（小于规范要求的15厘米），桥头衔接段最大沉降为8.7厘米（满足 ≤ 10 厘米的要求），差异沉降坡率为1/1200（优于 $\leq 1/1000$ 的控制目标）；未出现路基开裂、桥头跳车等病害，行车舒适性评分达90分以上（满分100分），验证了综合控制技术的有效性。

4 结论与展望

4.1 结论

本文针对市政桥梁施工中高填方路基沉降问题，系统分析了地基土体、填筑材料、施工工艺及环境条件等影响因素，提出了“地基预处理+填筑过程动态控制+排水体系协同”的综合控制技术体系。工程实践表明，该技术可有效降低高填方路基的工后沉降与差异沉降，满足市政工程对沉降控制的严格要求，具有显著的工程适用性与推广价值^[5]。

4.2 展望

未来研究可进一步结合数值模拟（如有限元分析）优化地基处理参数，探索新型轻质填料（如泡沫轻质土）在桥头衔接段的应用，同时加强长期性能监测（如10年以上沉降跟踪）以完善技术标准体系，为城市复杂环境下的高填方路基工程提供更精准的技术支撑。

参考文献

- [1] 吕卫东,曹亚西.高填方软土路基施工关键技术及沉降控制技术研究[J].建筑机械,2025(4):113~117.
- [2] 谢军才,龙文帝,何林.高填方路基沉降控制标准与施工设计[J].四川水泥,2022(2):116~117.
- [3] 宋桥.高填方路基沉降特征与施工控制措施[J].北方建筑,2025(3):135~139.
- [4] 吴维义,姬同旭,李昌龙.基于D-P本构模型的某公路高填方路基沉降规律研究[J].路基工程,2020(3):37~139.
- [5] 翟克.冲击碾压技术在高速公路高填方路基施工中的应用[J].交通世界,2019(29):66~67.