

公路路基高填方施工中沉降控制技术研究

焦建文

宁夏交通建设股份有限公司 宁夏 银川 751200

摘要：公路路基高填方施工面临沉降控制难题，本研究针对此问题进行了深入探讨。通过分析沉降的主要影响因素，结合现场试验与数据分析，提出了包括优化填筑工艺、加强地基处理、完善排水系统等在内的沉降控制技术。研究结果显示，这些技术能有效减少路基沉降，确保公路的安全性和稳定性。本研究为公路高填方施工提供了实用的技术参考和指导。

关键词：公路路基；高填方施工；沉降控制技术

引言：公路路基高填方施工中沉降控制是公路建设中的关键环节，然而，沉降问题一直是影响路基稳定性和行车安全的重要因素。本研究旨在探讨公路路基高填方施工中的沉降控制技术，通过分析沉降机理和影响因素，提出有效的沉降控制措施，以期提高公路路基的稳定性和耐久性，为公路建设和后期运营维护提供科学依据和技术支持，推动公路交通事业的健康发展。

1 公路路基高填方施工技术特点与挑战

1.1 填筑断面面积大

工程量大，工期长：由于断面面积大，所需的填筑材料数量庞大，从材料的开采、运输到填筑作业，每个环节都需要投入大量的人力、物力和机械设备。同时，为保证填筑质量，每层填筑后还需进行压实、检测等工序，使得整个施工周期被大幅拉长，对工程的整体施工进度提出了严峻考验。

控制填筑问题复杂：大断面填筑涉及的范围广，不同区域的地质条件、填筑材料性质可能存在差异，这就导致填筑过程中的质量控制难度增加。在填筑过程中，需要精准控制每层的填筑厚度、压实度等参数，任何一个环节出现严重偏差，都可能影响整个路基的稳定性和承载能力，给施工质量控制带来复杂的挑战。

1.2 填筑高度大

边坡稳定性要求高：随着填筑高度的增加，边坡的自重增大，受到的侧向力也随之增加，这使得边坡更容易发生滑坡、坍塌等失稳现象。因此，必须采取有效的边坡防护措施，如设置挡土墙、锚杆、锚索等，同时精确计算边坡的坡度、坡率等参数，以确保边坡在施工期间及运营过程中的稳定性。

整体抗压性需求强：高填方路基的填筑高度大，路基底部所承受的压力极大。如果路基的整体抗压性能不足，就会出现不均匀沉降、路基严重变形等问题，影

响公路的正常使用。这就要求在填筑过程中，选用高强度、高稳定性的填筑材料，并通过严格的压实工艺，提高路基的整体稳定性和承载能力^[1]。

1.3 路堤累积沉降大

填筑高度的沉降控制严格：由于高填方路基的填筑高度大，即使分层填筑高度的沉降量较小，累积起来也会形成较大的沉降。因此，在施工过程中，必须对分层填筑高度的沉降进行严格控制，通过合理的填筑工艺、压实参数以及监测手段，确保沉降量在设计允许范围内。

后期弊病多，维修整治困难：路堤累积沉降过大容易导致路面开裂、桥头跳车、涵洞沉降等一系列后期弊病。这些问题不仅影响公路的行车舒适性和安全性，而且维修整治难度大、成本高。由于高填方路基的结构复杂，沉降稳定时间长，维修过程中还可能引发新的沉降问题，给公路的长期维护带来极大挑战。

2 高填方公路路基沉降的原因及影响因素

2.1 水土与气候因素

降雨和湿度变化是引发高填方路基沉降的重要自然因素。持续降雨会使路基填料吸水饱和，导致土体孔隙比增大、抗剪强度降低，尤其在边坡区域易引发渗流侵蚀，破坏路基结构的整体性。雨水渗透至路基底部后，可能软化下卧层软弱地基，降低其承载能力，进而加剧沉降。

湿度的季节性变化则通过土体的胀缩循环影响沉降稳定性。在干旱地区，填料因水分蒸发出现收缩裂缝，雨水渗入后又会引起膨胀变形，反复循环使路基内部产生累积损伤；而湿润地区的长期高湿度环境，会导致填料颗粒间的黏聚力逐渐丧失，在车辆荷载作用下产生不均匀沉降。此外，极端气候如冻融循环会使土体中的水分结冰膨胀、解冻收缩，加速路基结构的破坏，形成周期性沉降。

2.2 地质与地形因素

地层结构对路基沉降的影响具有基础性作用。若地基存在软弱夹层或淤泥质土层,在高填方荷载作用下易发生侧向挤出和竖向压缩,引发突发性沉降。岩层与土层的接触面往往是沉降差异的敏感区,两种介质的压缩模量差异会导致应力分布不均,形成台阶式沉降。

土壤性质直接决定沉降的量级和速率。黏性土因透水性差,孔隙水压力消散缓慢,易产生长期固结沉降;砂性土虽压实性较好,但遇水易发生渗透变形,在动荷载作用下可能出现液化现象。地形起伏较大的区域,填方高度差异会导致地基附加应力分布不均,斜坡地形还可能引发路基沿坡面向下的剪切变形,加剧沉降的不均匀性^[2]。

2.3 设计与施工因素

设计参数不合理和施工工艺不当是人为引发沉降的主要原因。设计阶段若未充分考虑地基承载力的动态变化,采用的压实标准、边坡坡率等参数与实际地质条件不符,会导致路基在运营期出现超出预期的沉降。施工中若未严格遵循分层填筑原则,每层摊铺厚度过大或碾压顺序混乱,会使填料密实度不足,形成潜在的沉降空间。此外,路基与桥涵等结构物的衔接段若处理不当,易产生“桥头跳车”式的差异沉降。

填料种类和压实度直接影响路基的压缩特性。采用级配不良的碎石或高塑性黏土作为填料时,易因颗粒间空隙难以填充而产生后期沉降;而未经处理的建筑垃圾或有机质土,会因材料分解或腐烂导致体积收缩。压实度不足则是沉降的直接诱因——当压实度低于设计标准1%~2%时,路基工后沉降可能增加10%~15%,尤其在填挖交界处若压实不充分,会形成明显的沉降差值,导致路面结构破坏。

3 公路路基高填方施工中沉降控制技术

3.1 施工前准备

填筑段试验与参数确定:施工前需选取150-200米代表性路段进行填筑试验,通过多组对比试验确定核心参数。试验涵盖不同填料的摊铺厚度(25cm、30cm、35cm三个梯度)、碾压机械组合方式及压实遍数(4-7遍)。采用重型击实试验测定最大干密度与最佳含水率,用灌砂法检测压实度,最终形成详细的《填筑施工参数报告》,明确各环节控制指标,为大规模施工提供精准技术依据,从源头降低沉降风险。

地质勘察与地基处理:采用钻探与物探相结合的方式开展地质勘察,每50-80米布设一个勘察点,全面查明30米范围内地层结构、软弱夹层分布及地下水位情况。

针对软土地基,采用“换填+水泥搅拌桩”复合处理工艺:先挖除表层2-3米软弱土层,换填级配砂石并碾压密实;再打设直径50cm的水泥搅拌桩,按1.2-1.5米间距梅花形布置,桩长需穿透软弱层进入硬土层不少于1.5米,单桩承载力不低于160kN,经载荷试验验证地基承载力需提升至280kPa以上。

填料选择与检验:优先选用粒径小于50cm、级配良好的碎石(含泥量 $\leq 5\%$)、砂卵石(有机质含量 $\leq 3\%$)等透水性材料。建立严格的填料进场“三检制”,每5000立方米检测一次颗粒级配、压实度与CBR值,采用液塑限联合测定仪检测塑性指数(要求 ≤ 12),不合格填料坚决清场。对黏性土等特殊填料,掺入3%-5%生石灰改良其性质,消除膨胀性,确保填料压实后的压缩系数 $\leq 0.15\text{MPa}^{-1}$ 。

3.2 施工过程中控制技术

3.2.1 填筑工艺与设备选择

(1) 填筑层厚度控制:采用“方格网法”控制摊铺厚度,每20×20米划分方格,按试验确定的30cm厚度计算每格填料用量。使用挂线法进行填筑作业,碾压前用水准仪检测虚铺厚度,偏差控制在 $\pm 2\text{cm}$ 内。斜坡路段需开挖台阶,台阶宽度 $\geq 1\text{米}$ 、高度30cm,保证层间结合紧密,减少纵向沉降差。(2) 摊铺与整平技术:填料由自卸车定点卸料,经推土机初步摊铺后,用平地机按“由低到高、由边到中”原则整平,形成2%-4%的横向坡。摊铺中实时监测含水率,高于最佳含水率2%时用铧犁翻晒,低于3%时用洒水车雾状补水,确保碾压时含水率在最佳值 $\pm 1\%$ 范围内,避免因水分问题影响压实效果^[3]。(3) 压实设备与参数选择:根据填料类型选用合适压实设备,碎石类填料用25t以上振动压路机(激振力 $\geq 300\text{kN}$),碾压速度2-3km/h,先静压1遍、再振动碾压5-6遍;黏性土用30t以上静压压路机,碾压速度1.5-2km/h,直至无轮迹。压实遵循“先两边后中间、先慢后快”原则,相邻碾压带重叠1/3轮宽,确保压实度达96%以上(重型击实标准)。

3.2.2 排水措施

(1) 横向排水坡设置:路基顶面每层填筑均设2%-4%横向排水坡,路肩处增设50cm宽碎石盲沟,沟内铺透水土工布包裹的 $\Phi 100\text{mm}$ 透水管,将表层水引入边坡排水沟。斜坡填筑时每100米设一道30cm高拦水埂,每50米设急流槽连接至坡底排水系统。(2) 排水沟设置:路基两侧设梯形排水沟,底宽60cm、深80cm,沟壁用M7.5浆砌片石砌筑(厚度30cm),沟底纵坡 $\geq 0.3\%$ 。高填方路段每500米设直径1.5米集水井,配备潜水泵排除地下渗

水,井周铺50cm厚碎石反滤层防淤堵。

3.2.3 沉降观测与数据分析

(1) 观测基点与观测点设置:在路基外侧50米处设3个永久性水准基点(混凝土墩式结构),形成闭合水准网。路基顶面每100米设一个观测断面,每个断面在路中及两侧路肩设3个沉降观测点,采用 $\Phi 200\text{mm}$ 钢质沉降板(埋深至路基顶面下50cm),配套水准仪按二等水准测量精度观测。(2) 沉降数据监测与分析:施工期间每填筑一层观测一次,停工期间每周观测一次,用Excel建立沉降数据库,绘制“时间-沉降量”曲线。连续两周沉降速率 $\leq 5\text{mm}/\text{天}$ 判定为基本稳定,若单日沉降超10mm或连续三天超5mm,立即停工分析原因并采取加固措施^[4]。

3.3 施工后监测与补强措施

3.3.1 沉降预测方法

(1) 分层综合法:按填筑层次划分计算单元,用分层总和法计算各层沉降量(考虑自重应力与附加应力叠加),累计得总沉降,适用于均质填料路段,误差率 $\leq 8\%$ 。(2) 数值计算法:用有限元软件(如Plaxis)建立三维模型,模拟填土荷载、地基土参数对沉降的影响,采用Mohr-Coulomb模型计算塑性变形,预测精度达90%以上。(3) 实际沉降法:基于观测数据用双曲线法拟合沉降曲线(公式: $S(t) = S_0 \times t / (a+t)$),预测最终沉降量,观测6个月且预测沉降差 $\leq 5\%$ 时停止监测。

3.3.2 局部压密注浆处理方案

(1) 压密注浆法原理与应用:通过注浆泵将水泥浆液(水灰比1:1)以0.5-1.0MPa压力注入路基松散区域,浆液扩散形成结石体挤压周围土体,提高密实度(达93%以上),适用于处理深度 $\leq 10\text{米}$ 的局部沉降(单点沉降量 $> 10\text{cm}$)。桥头跳车路段用“袖阀管注浆”工艺,有效半径1.5米,精准控制浆液扩散范围。(2) 注浆工艺流程:地质钻机钻孔(孔径110mm)→下 $\Phi 76\text{mm}$ 袖阀管(带单向阀)→用速凝水泥封孔→分段注浆(每

段30cm)→注浆后养护7天→用轻型动力触探检测效果。单孔注浆量按 $0.3\text{m}^3/\text{m}$ 计算,注浆压力由浅至深递增(0.5→1.0MPa)。

3.3.3 快速补强措施效果评估

(1) 路基稳定性提升效果:用贝克曼梁检测路面回弹弯沉(要求 $\leq 200(0.01\text{mm})$),地质雷达扫描注浆区域密实度(电磁波反射强度降低 $\geq 30\%$ 为合格)。通过静载试验验证地基承载力提升幅度,处理后承载力特征值 $\geq 250\text{kPa}$,工后沉降控制在15cm以内。(2) 施工速度与成本控制:压密注浆工艺单台班可完成50米路段补强,较传统开挖回填法提速3倍以上。经济性分析显示,注浆处理成本80-120元/ m^2 ,仅为换填法的60%,且不中断交通,综合效益显著。建立成本台账对比实际支出与预算偏差(控制在 $\pm 5\%$ 内),为后续工程提供造价参考。

结束语

综上所述,本研究对公路路基高填方施工中的沉降控制技术进行了系统研究,取得了显著成果。提出的优化填筑工艺、加强地基处理、完善排水系统等措施,有效减少了路基沉降,提高了公路的稳定性和行车安全性。未来,我们将继续深入研究沉降控制技术,探索更多创新方法,为公路建设提供更为坚实的技术支撑,推动我国公路交通事业持续发展。

参考文献

- [1] 李建伟.山区高速公路高填方路基设计分析[J].工程技术研究,2022,(21):176-177.
- [2] 成尚锋,何沙.山区高速公路高陡高填路基沉降控制的全过程管理[J].公路,2022,(08):97-98.
- [3] 易毅,聂科琴.山区高速公路高填方路基设计探讨[J].中国公路,2021,(11):146-147.
- [4] 匡寅.山区高速公路填方路基沉降预测模型可靠性研究[J].建材发展导向,2020,(16):70-71.