

# 高填方路基沉降预测与控制技术研究

乔 牧

内蒙古新鑫工程建设有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 014300

**摘要:** 本文聚焦高填方路基沉降问题,分析其沉降机理,指出土体压缩变形、水分排出及软弱土塑性变形是主因,填料、施工、地基和环境等因素影响显著。研究沉降监测技术,明确监测目的、原则及断面测点布置等要点。探讨地基处理、填筑压实等沉降控制技术,构建动态施工控制体系,开展参数反分析与工后沉降评估,为高填方路基沉降预测与控制提供全面指导。

**关键词:** 高填方路基; 工后沉降; 沉降预测; 控制措施

引言: 高填方路基沉降是公路工程常见且需重点关注的病害,其沉降机理复杂,受土体压缩、水分排出及软弱土特性等多种因素影响,同时填料性质、施工工艺、地基条件和环境因素等也会对其产生作用。沉降若控制不当,会引发路面开裂、路基滑移等严重问题,威胁路基稳定性与安全性。因此,深入研究高填方路基沉降预测与控制技术具有重要的现实意义。

## 1 高填方路基沉降机理与影响因素分析

高填方路基沉降是公路工程中常见且需重点关注的病害,其沉降机理复杂多样。从力学角度看,沉降主要由土体的压缩变形引起。在填筑过程中,填料在自重及车辆荷载作用下,颗粒间孔隙逐渐被压缩,土体发生固结沉降。同时,土体中的水分在压力作用下排出,导致土体体积减小,进一步引发沉降。另外,若填料为软弱土,其抗剪强度低、压缩性高,在荷载作用下易产生较大的塑性变形,加剧沉降。影响高填方路基沉降的因素众多。填料性质是关键因素之一,填料的粒径、级配、含水量等直接影响其压缩性和抗剪强度。施工工艺也至关重要,如填筑速度过快,土体来不及充分固结,易产生较大沉降;压实度不足,土体内部存在空隙,也会在后期使用中引发沉降<sup>[1]</sup>。地基条件同样不可忽视,若地基承载力不足,存在软弱下卧层,在填方荷载作用下,地基会发生不均匀沉降,进而影响路基稳定性。此外,环境因素如降雨、地下水变化等,会改变土体的含水量和物理力学性质,导致沉降增加。因此,在高填方路基设计与施工中,需综合考虑这些因素,采取有效措施控制沉降,确保路基的稳定性和安全性。

## 2 高填方路基沉降监测技术研究

### 2.1 监测目的与原则

高填方路基沉降监测的核心目的是实时掌握路基沉降的发展规律,及时发现异常沉降现象,为施工控制、沉

降预测及工后验收提供科学依据,保障路基工程的安全性和稳定性。具体而言,通过监测可验证地基处理和填筑施工工艺的合理性,调整施工参数;跟踪沉降发展速率,判断路基是否处于稳定状态,预防不均匀沉降引发的路面开裂、路基滑移等病害;积累监测数据,为后续同类工程的设计和施工提供参考。监测工作需遵循四大原则:一是系统性原则,监测断面、测点布置需覆盖路基关键部位,形成完整的监测体系,全面反映路基沉降状况;二是准确性原则,选用精度符合要求的监测仪器,规范监测操作,确保监测数据真实可靠;三是及时性原则,定期采集监测数据,及时分析处理,发现异常立即反馈并采取防控措施;四是经济性原则,在满足监测精度和目的的前提下,优化监测方案,合理选用仪器和布置测点,降低监测成本。

### 2.2 监测断面与测点布置

高填方路基沉降监测断面与测点布置需结合路基断面形式、地质条件、施工进度及病害风险点,确保监测数据的代表性和全面性。监测断面主要设置在路基高填路段、地基承载力薄弱路段、桥头过渡段、涵背回填段及地形变化较大路段,一般每50~100m设置一个常规监测断面,高填陡坡路段、地质复杂路段加密至每20~50m一个。每个监测断面内需布置表面沉降测点、分层沉降测点及水平位移测点,表面沉降测点沿路基横断面均匀布置,路基中心线、路肩两侧各布置1个,宽幅路基可适当增加测点数量;分层沉降测点布置在路基中心线及两侧路肩下方,沿深度方向每隔2~3m布置一个测点,重点监测填料与地基接触部位及软弱土层位置<sup>[2]</sup>。桥头过渡段需在桥头搭板末端、路基与桥台衔接处增设监测测点,涵背回填段需在涵身两侧及顶部布置测点,确保全面监测过渡段沉降差异,预防桥头跳车、涵背沉降等病害。

### 2.3 监测数据处理与分析

高填方路基监测数据处理与分析是发挥监测作用的关键,核心是对采集的原始数据进行整理、校验、分析,提炼沉降规律,判断路基稳定性。首先对原始监测数据进行预处理,剔除异常数据、缺失数据,对数据进行修正,确保数据的准确性和完整性;然后采用绘制沉降-时间曲线、沉降-荷载曲线、分层沉降曲线等方式,直观反映沉降发展趋势。数据分析主要包括沉降速率分析、沉降量累积分析及沉降均匀性分析,沉降速率是判断路基是否稳定的核心指标,当连续多日沉降速率小于 $0.1\sim 0.2\text{mm/d}$ 时,可判断路基趋于稳定;累积沉降量用于评估路基总变形是否满足设计要求;沉降均匀性分析用于判断路基是否存在不均匀沉降,避免出现路面开裂等病害。同时,结合施工进度、地质条件等因素,建立数据与施工参数的关联关系,为施工参数调整、沉降预测提供数据支撑,确保路基施工安全。

### 3 高填方路基沉降控制技术研究

#### 3.1 地基处理技术

地基处理是高填方路基沉降控制的基础,核心是提高地基承载力、降低地基压缩性,减少地基沉降量,适用于软土地基、杂填土地基等承载力不足的路段。常用的地基处理技术主要分为换填垫层法、夯实法、排水固结法及复合地基法。换填垫层法是将地基表层软弱土层挖除,换填强度高、压缩性小的填料(如级配砂石、灰土等),分层压实,提高地基承载力,适用于软弱土层厚度较浅(小于 $3\text{m}$ )的路段。夯实法分为重锤夯实和强夯法,通过重锤冲击或振动,使地基土密实,提高抗剪强度和承载力,适用于碎石土、砂土及杂填土地基,强夯法处理深度可达 $5\sim 10\text{m}$ ,效果显著。排水固结法通过设置排水通道(如砂井、塑料排水板),加速地基土孔隙水排出,促进土体固结,提高地基承载力,适用于软土地基。复合地基法(如CFG桩、水泥搅拌桩)通过在地基中设置增强体,与地基土共同承担荷载,提高地基整体承载力,减少沉降,适用于深层软土地基。

#### 3.2 填筑材料与压实控制

填筑材料与压实控制是控制高填方路基沉降的关键环节,直接影响路基的密实度、强度和稳定性,减少填料自身压缩沉降。填筑材料应选用级配良好、强度高、压缩性小、水稳定性好的填料,优先选用碎石土、砾石土等粗粒土,避免使用淤泥、泥炭、膨胀土等不良填料;填料的含水量需控制在最佳含水量 $\pm 2\%$ 范围内,含水量过高易导致压实不密实,含水量过低则难以达到规定压实度。压实控制核心是确保填料分层压实,严格控制分层厚度、压实遍数和压实机械选型,分层厚度一般控制在

$20\sim 30\text{cm}$ ,根据填料类型和压实机械性能调整;压实机械选用重型压路机,压实遍数不少于 $6\sim 8$ 遍,直至达到设计压实度(一般不低于 $95\%$ )。施工过程中需实时检测填料含水量和压实度,对不合格路段及时返工处理,确保路基填料密实,减少后期压缩沉降<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 预压与超载预压技术

预压与超载预压技术是通过在路基填筑完成后,施加临时荷载,加速路基填料和地基的固结沉降,减少工后沉降,确保路基在运营期间沉降稳定。常规预压是在路基填筑至设计高度后,自然堆放一定时间(一般 $3\sim 6$ 个月),利用路基自身重力进行预压,促进孔隙水排出,土体密实,适用于沉降要求不高、工期较宽松的工程。超载预压是在设计路基高度基础上,额外施加一定的超载荷载(一般为设计荷载的 $1.1\sim 1.3$ 倍),加速固结过程,缩短预压时间,适用于工后沉降要求严格、工期紧张的工程。预压过程中需实时监测路基沉降速率和累积沉降量,当沉降速率达到稳定标准后,卸载超载部分,进行后续路面施工。该技术操作简单、效果显著,是控制高填方路基工后沉降的有效手段之一。

#### 3.4 施工速率控制

高填方路基施工速率过快是导致路基沉降过大、不均匀沉降的重要原因之一,施工速率控制的核心是避免荷载施加过快,给地基和填料足够的固结时间,减少塑性变形累积。施工过程中需根据地基条件、填料类型和沉降监测数据,合理控制填筑速率,一般情况下,软土地基路段填筑速率控制在 $1\sim 2\text{m/月}$ ,密实地基路段可适当提高至 $2\sim 3\text{m/月}$ 。当监测数据显示沉降速率超过预警值(一般为 $0.5\text{mm/d}$ )时,需暂停填筑,待沉降速率降至稳定范围后,再恢复施工。同时,分层填筑、分层压实,避免一次性填筑过高,减少对地基的瞬时冲击;施工过程中加强沉降监测,根据监测数据动态调整施工速率,确保路基沉降均匀、稳定发展,避免因施工速率过快引发路基滑移、开裂等病害。

#### 3.5 过渡段处理技术(桥头、涵背)

桥头、涵背过渡段是高填方路基沉降的薄弱环节,由于桥台、涵洞与路基填料的刚度差异较大,荷载作用下易产生不均匀沉降,导致桥头跳车、涵背开裂等病害,因此需针对性采取过渡段处理技术。桥头过渡段处理核心是减小桥台与路基的刚度差异,采用渐变过渡设计,过渡段长度一般为 $5\sim 10\text{m}$ ,从桥台向路基方向,填料强度逐渐降低、颗粒级配逐渐变细。涵背过渡段需采用透水性好、强度高、压缩性小的填料(如级配砂石、碎石土),分层压实,压实度不低于 $96\%$ ,同时设置排水盲沟,及时

排出涵背填料中的水分,减少沉降。另外,可在过渡段铺设土工格栅等加筋材料,增强填料整体性,约束变形;桥头搭板末端设置沉降缝,缓解不均匀沉降对路面的影响,确保过渡段沉降均匀,避免桥头跳车、涵背沉降等质量病害。

#### 4 基于动态监控的沉降预测与控制反馈

##### 4.1 动态施工控制体系构建

基于动态监控的高填方路基沉降控制体系,核心是将沉降监测、数据处理、沉降预测、施工调整有机结合,形成“监测-分析-预测-反馈-调整”的闭环控制流程,确保路基沉降始终处于可控范围。该体系主要由监测系统、数据处理系统、沉降预测系统和施工反馈系统四部分组成。监测系统负责实时采集路基沉降、水平位移等数据,为体系运行提供基础数据;数据处理系统对监测数据进行整理、校验和分析,提炼沉降规律;沉降预测系统基于监测数据和理论模型,预测路基后期沉降量和工后沉降,判断是否满足设计要求;施工反馈系统根据沉降预测结果和监测数据,及时调整施工参数(如填筑速率、压实度、地基处理方案等),对异常沉降及时采取防控措施。体系构建需结合工程实际,明确各系统的职责和流程,实现施工过程的动态管控,保障路基施工安全和沉降控制效果。

##### 4.2 基于实测数据的参数反分析

基于实测数据的参数反分析,是利用高填方路基沉降监测数据,反演计算路基填料和地基土的物理力学参数(如压缩模量、抗剪强度、固结系数等),修正初始设计参数,提高沉降预测的准确性和施工控制的科学性。初始设计阶段,土体参数主要通过室内试验和现场勘察获取,存在一定误差,而实测沉降数据能真实反映土体的实际受力和变形特性。反分析过程中,结合监测数据和沉降计算模型(如分层总和法、有限元法),通过迭代计算,调整土体参数,使计算沉降值与实测沉降值趋于一致,得到贴合工程实际的土体参数。反分析得到的参数可用于修正沉降预测模型,提高后期沉降预测精度,同时为施工参数调整提供依据,例如根据反演的压缩模量,优化填筑速率和压实标准,确保路基沉降控制符合

设计要求。

##### 4.3 工后沉降评估与交工验收标准

工后沉降评估是高填方路基交工验收的核心内容,目的是判断路基沉降是否达到稳定状态,工后沉降量是否满足设计要求,保障公路运营期间的安全性和舒适性。工后沉降评估主要基于长期沉降监测数据,结合沉降预测结果,分析路基沉降的发展趋势,判断沉降是否趋于稳定<sup>[4]</sup>。评估指标主要包括工后沉降量、沉降速率和不均匀沉降差,其中工后沉降量需符合设计规定(一般高速公路高填方路基工后沉降量不超过15cm),沉降速率需持续稳定在0.1~0.2mm/d以下,不均匀沉降差需控制在允许范围内,避免路面开裂。交工验收标准需结合工程设计要求、监测数据和评估结果,明确验收指标、检测方法和合格标准,对工后沉降满足要求、路基稳定的路段,方可通过交工验收;对未达到验收标准的路段,需采取补充处理措施(如超载预压、加固处理),直至满足要求后再进行验收。

##### 结束语

高填方路基沉降预测与控制对公路工程至关重要。通过剖析沉降机理与影响因素,明确监测目的、原则及方法,掌握数据处理与分析技巧,运用多种沉降控制技术,构建动态施工控制体系,进行参数反分析与工后沉降评估,能有效预测和控制沉降。未来,随着技术发展,应持续优化相关技术,提高预测精度与控制效果,保障公路工程长期安全稳定运行。

##### 参考文献

- [1]苏谦,张棋,张宗宇,等.基于协同降噪与IGWO-SVR的高填方路基沉降预测[J].铁道学报,2024,46(3):87-98.
- [2]连浩.道路工程中高填方路基沉降预测模型与控制技术研究[J].电脑应用文粹,2025(2):373-375.
- [3]马学宁,陈玉燕,王旭.高速铁路车站岔区高填方路基沉降组合预测研究[J].铁道学报,2023,45(1):105-113.
- [4]张自光,张梦晴,何宏盛,等.高速铁路桥隧衔接段高填方路基沉降变形与预测[J].兰州工业学院学报,2025,32(1):41-47.