

高填方路基不均匀沉降预测及断面优化设计方法

王定强

湖北省城建设计院股份有限公司 湖北 武汉 430051

【摘要】：高填方路基是山区公路、市政道路工程中常见的结构形式，由于地基土质不均、填筑层压实程度不同、地形坡度变化等原因，工后容易产生不均匀沉降病害，造成路面开裂、沉陷、平整度超高等质量问题，严重危及道路通行安全和使用寿命。为了有效地控制路基沉降变形，本文对高填方路基不均匀沉降的主要原因进行了系统的分析，并对分层总和法、双曲线法、数值模拟法等主要的沉降预测方法的适用范围及精度进行了对比梳理，在山区公路工程实例的基础上提出了不同的工况下路基断面优化设计方法。根据工程实测数据可知，优化后的路基断面可以减小不均匀沉降差值，提高路基的整体稳定性和均匀性，可以给同类高填方路基的设计、施工和病害防治提供一定的技术参考。

【关键词】：高填方路基；不均匀沉降；沉降预测；断面优化；路基稳定性

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.001

1 高填方路基不均匀沉降核心成因

1.1 地基基础条件的差别

山区路基原始地基多存在土质不均、软硬交替、土层厚度不一致等现象，部分路段有软弱土层、坡积土和风化岩层，地基的承载力及压缩性在空间上存在较大的差别。同一路基断面内，硬质地基区域的压缩变形小，软质土层区域的压缩变形大，在路基自重和行车荷载的作用下，必然产生不同的沉降。陡坡地段原始地面有坡度，路基填筑后土体侧向应力分布不均，容易产生侧向滑移的趋势，从而加重不均匀沉降变形。

1.2 填筑材料和结构缺陷

路基填筑时，填料级配、含水率、压实度的局部差异属于造成不均匀沉降的主要内在因素。施工现场填料来源分散，不同批次填料的颗粒组成、孔隙率、压缩模量不同，填筑后各层土体压缩性能不一样。施工过程中如果局部压实度不够，土体孔隙残留量大，后期土体固结压缩变形就会增大，与压实达标区形成沉降差。高填方路基分层填筑厚度过大、层间结合处理不到位，造成填筑体整体连续性差，受力后出现分层差异化变形。

1.3 施工工艺控制不到位

施工流程不规范、质量控制不到位会造成路基沉降差异的扩大。路基填筑没有严格按照分层对称填筑的原则进行，单侧填筑过快、压实顺序不合理，会造成路基应力分布不均。边坡、路肩等边缘区压实设备作业受限，压实度普遍低于路中区，是沉降薄弱区。施工排水系统不健全，雨水渗透到路基内部，会使填料变软、土体强度下降，造成局部沉降增大，使整个不均匀沉降加重。

1.4 外部荷载及环境影响

道路运营阶段，行车荷载的反复作用、车辆通行位置的不均衡分布都会造成路基各个位置的累积变形不一样。山区气候

条件复杂，干湿循环、冻融交替会改变土体的物理力学性质，长期作用下路基局部土体刚度逐渐降低，沉降变形不断加大，最终产生明显的不均匀沉降病害。

2 高填方路基不均匀沉降预测方法对比与优化

2.1 分层总和法

分层总和法是路基沉降计算的常用方法，基本原理就是把路基填筑体和下部地基分成若干薄层，分别计算各个分层土体在附加应力作用下的压缩沉降量，然后累计得到总的沉降量。该方法考虑了土层厚度、压缩模量、附加应力随深度变化的规律，计算逻辑符合土体固结变形机理，适合于地质分层清楚、地形平缓的常规高填方路基。该方法的优点在于理论成熟、计算参数清楚，工程适用性强，但是它忽略了土体侧向变形和施工时序的影响，对于陡坡、软硬交替地基等复杂的工况预测精度不高，预测结果较保守。

2.2 双曲线法

双曲线法是实测数据拟合预测方法，利用路基施工期和初期运营期沉降监测数据建立沉降时间拟合模型，计算工后最终沉降量和沉降发展速率。此法不需要复杂的地质参数，计算过程简单，可以动态修正预测结果，适合路基长期沉降变形预测。在实际应用中，利用前期实测数据拟合曲线参数，可以准确预测后期沉降变化趋势，特别适合于填筑完成后路基残余沉降的预测。但是该方法需要实测数据，施工前期没有监测数据时不能进行预测，存在一定的应用局限性。

2.3 有限元数值模拟法

利用有限元软件建立路基实体模型，重现原始地形、地质分层、填筑结构和荷载情况，模拟路基填筑、固结、运营全过程的应力应变变化规律，可以准确得到路基断面各个位置的沉降变形数据，清楚地看出不均匀沉降分布情况。该方法可以考虑土体非线性变形、地形坡度、荷载耦合等因素，适合于陡坡高填方、软硬不均地基等复杂工况的预测，预测精度最好。数

值模拟法可以对断面多点沉降进行预测，给断面差异化优化设计提供数据支持，但是建模过程复杂，参数取值要求高，需要结合工程地质勘察数据校准模型，计算周期长。

3 高填方路基断面优化设计方法

3.1 不同断面结构的设计

根据路基断面不同位置的沉降预测数据，将沉降稳定区、轻微沉降区、重点沉降管控区进行划分，实行分区差异化设计。路中区域地基应力集中、沉降量大，适当提高填筑体压实标准和路基有效厚度，提高整体刚度；路肩及边坡边缘压实薄弱、易产生侧向变形，增设加筋结构，改善断面受力分布。对软硬交替地基路段，软基对应断面位置适当增大填筑预留厚度，抵消后期差异沉降，防止路面出现波浪变形。

3.2 边坡坡率分级优化

常规统一边坡坡率设计容易造成高填方路基上部滑移、下部挤压变形。根据填方高度和沉降特性采用分层变坡设计。路基下部填筑体自重荷载大、沉降变形稳定，用较缓坡率提高整体稳定性；上部填筑体高度小、侧向变形风险高，用较陡坡率减少土方填筑量，降低路基整体自重，减小沉降总量。陡坡地形路段放缓内侧边坡坡率，抵消地形坡度引起的应力不均问题，抑制不均匀沉降的发展。

3.3 分层填筑和压实优化

改善路基分层填筑参数，高填方下部核心承重区减小分层填筑厚度，提高压实均匀性，减少土体残余孔隙率，降低固结沉降；上部区域可以适当放宽填筑厚度，平衡施工效率和工程质量。对断面边缘压实不足处使用小型压实设备进行补压，保证全断面压实度一致，消除由于压实不同造成的不均匀沉降。同时严格控制填料的含水率和级配，统一全断面填料指标，从源头上控制沉降差。

3.4 地基过渡段断面优化

对地基土质不均匀、新旧路基衔接容易出现沉降差的地段，设置渐变式地基过渡断面。软基和硬基交界处用渐变填筑厚度、渐变压实标准，防止出现断面刚度突然变化的情况。新老路基拼接路段，在加宽拼接断面范围内设置土工格栅加筋体系，使沉降平缓过渡，控制新旧路基不均匀沉降差。

3.5 断面排水体系配套优化

水分侵入是引起路基不均匀沉降的主要原因，断面优化要同步完善排水系统。在路基断面底部设透水垫层，在侧面设边坡排水盲沟，在顶部设封闭排水层，形成全方位排水系统。优化断面横向坡度，保证路面雨水及时排出，防止雨水渗透到填筑体里造成局部土体软化变形，保证路基断面沉降均匀。

4 工程实例验证

4.1 工程概况

某山区二级公路高填方段，主线长 320m，最大填方高 18.6m，原地面坡度 $15^{\circ} \sim 22^{\circ}$ ，场地土层由上到下为素填土、粉质黏土、风化页岩，局部段落有软弱粉质黏土层，地基土质不均，施工和运营阶段容易出现不均匀沉降。原设计采用统一标准路基断面，前期勘察预测工后最大沉降差可达 42mm，超过规范允许的限值，需要做沉降预测优化和断面优化设计。

4.2 沉降预测结果

采用组合预测的方法对本路段路基断面沉降进行预测，用分层总和法做初始沉降计算，用现场监测数据做双曲线法修正，用有限元模型模拟断面沉降分布，得到断面各个位置的沉降预测值，如表 1 所示。

表 1 优化前路基断面沉降预测数据

断面位置	左路肩	路中	右路肩
填方高度/m	16.2	18.6	17.1
初始预测沉降量/mm	68.3	109.5	72.6
修正后预测沉降量/mm	65.7	106.9	70.4
原设计沉降差/mm	41.2	41.2	41.2

4.3 断面优化方案实施

根据沉降预测结果，对本段路基断面做全方位的优化。采用分级变坡边坡设计，第一级路肩往下开始 1:1.5，第二级 1:1.75，适应不同的沉降特点。二是分层填筑，路中核心区填筑厚度控制在 20cm 以内，压实度不小于 96%，路肩填筑厚度为 25cm，压实度不小于 94%，全断面填料级配一致。三是在软基对应断面处设 5m 渐变过渡段，铺两层双向土工格栅以提高断面整体性。四、优化断面排水结构，在底板下设透水垫层和边坡排水盲沟，横向排水坡度改为 2.5%。

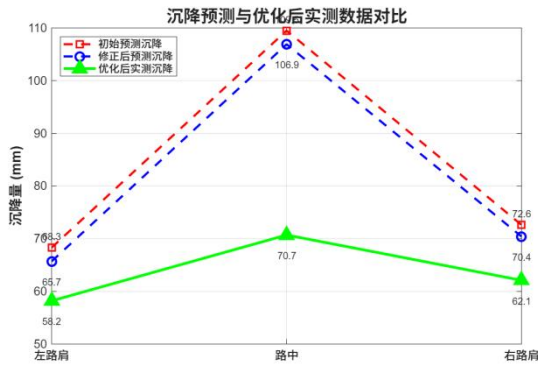


图1 沉降预测对比

4.4 优化效果检测

路基施工结束后,进行12个月的沉降观测,每隔30天观测一次断面各点沉降情况,最后得到的沉降实测值见表2。

表2 优化后路基断面实测沉降数据

断面位置	左路肩	路中	右路肩
优化后实测沉降量/mm	58.2	70.7	62.1
优化后沉降差/mm	12.5	12.5	12.5
沉降控制效果	满足规范要求	满足规范要求	满足规范要求

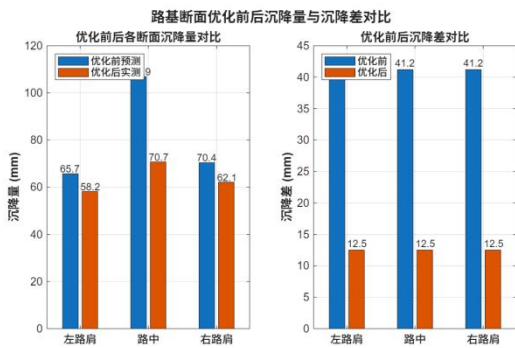


图2 沉降量沉降差对比

从监测数据可知,断面优化后路基最大不均匀沉降差值由

原来的41.2mm降低到现在的12.5mm,大大低于公路路基规范允许的最大沉降差值30mm。整体沉降量明显减少,断面沉降均匀性得到明显改善,运营期间没有出现路面开裂、沉陷等病害,说明本次沉降预测方法和断面优化设计方案有较好的工程效果。

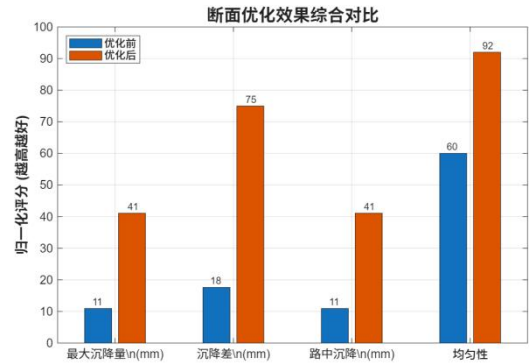


图3 综合效果对比

工程实例证明,优化后方案的高填方路基不均匀沉降差在规范允许范围内,可以降低后期病害和养护费用。后续研究可把智能监测技术运用到路基沉降的动态预估以及断面自适应改良当中,以此来加强高填方路基工程的设计精确度和运行品质。

5 结论

本文通过对高填方路基不均匀沉降的多方面原因进行分析,对主流沉降预测方法进行了对比,提出了一种分区适应的路基断面优化设计方案,并且用工程实例进行了验证,得出如下结论。高填方路基不均匀沉降是由地基条件、填料特性、施工控制、外部环境等多因素共同作用而产生的,地基土质不均和施工压实差异是主要的可控制因素,是沉降防控的主要控制方向。分层总和法、双曲线法、数值模拟法三者结合的预测模式可以满足不同施工阶段沉降预测的需求,提高复杂工况下沉降预判的精度,给断面优化提供准确的数据支持。根据沉降分区不同来制定差异化的断面结构、分级边坡坡率、分层压实优化、过渡段加固以及配套排水设计,可以较好地控制路基断面沉降变形,大大减少不均匀沉降差值,明显提高路基工程质量。

参考文献:

- [1] 林细旗.路基不均匀沉降下路面施工平整度调控技术[J].运输经理世界,2026,(9):16-18.
- [2] 张军辉,周梦绮,杨豪,等.公路路基拓宽工程差异沉降双控标准研究[J/OL].中国公路学报,1-23[2026-08-09].
- [3] 刘浩.新旧路基差异沉降控制措施与效果分析[J].四川水泥,2025,(10):197-199.
- [4] 彭建华.公路路基不均匀沉降及控制措施研究[J].交通世界,2024,(33):102-104.
- [5] 冉守霞.拓宽路基不均匀沉降控制与变形预测技术研究[J].工程机械与维修,2023,(4):147-149.