

公路路基高填方沉降控制与压实工艺优化

曾拥军¹ 芦欢² 光鹏³ 马洪飞⁴

1.河南省上蔡县百尺乡大何庄村林庄 河南 驻马店 463800

2.江西省樟树市刘公庙镇横塘村 江西 樟树 331200

3.安徽省枞阳县麒麟镇麒麟村 安徽 安庆 246700

4.山东省青岛市城阳区荟城路 506号 山东 青岛 266000

【摘要】：高填方路基在山区公路建设中比较常见，填筑高度大、土层分层多、受力工况复杂，容易产生不均匀沉降、路面开裂、路基变形等病害，直接危及公路通行安全和使用寿命。为了解决上述工程问题，根据某山区公路高填方路基工程的实际情况，对高填方路基沉降的主要原因进行分析，通过现场试验优化传统的压实工艺，确定最优施工参数，配套完善沉降控制技术措施。工程实践证明，改进后的压实工艺可以明显提高路基压实均匀性，减少路基工后沉降量，避免路基病害的发生，可以给同类高填方路基施工提供技术参考。

【关键词】：高填方路基；沉降控制；压实工艺；参数优化；工程实践

DOI:10.12417/3083-5526.26.02.012

引言

目前部分山区公路高填方路基施工仍然采用传统的固定碾压工艺，没有根据现场填料特性、地形条件来优化施工参数，施工针对性和适配性较差，不能满足高填方路基长期稳定的质量要求。因此，本文以实际山区公路高填方路基工程为基础，对路基沉降的主要原因进行系统的分析，并通过现场试验来优化压实施工工艺，同时配合完善的全过程沉降控制技术措施，对工艺优化的应用效果进行对比验证，为提高山区高填方路基施工质量、控制工后沉降提供工程实践依据。

1 工程概况

本次研究采用的是某山区二级公路改扩建工程，该路段K12+300-K12+800段为高填方路基，最大填筑高度为22.6m，属于典型的超高填方路基。场地原始地貌为山间谷地，地形起伏大，表层为素填土和粉质黏土，下层为风化岩土层，地基承载力整体较弱。路基填料选用场区就近开挖的土石混合料，含石量控制在65%~75%之间，填料整体力学性能较好，但是级配不均，常规压实工艺施工后容易出现局部压实不足、后期沉降偏大等问题。该路段原设计用传统分层碾压法，填筑厚度均为30cm，碾压参数不变，施工后检测部分区段压实度达不到规范要求，工后沉降量大于规范允许值。为了保证路基施工质量，在该路段上进行沉降成因分析及压实工艺优化试验研究。

2 高填方路基沉降成因分析

2.1 地基基础沉降成因

从本工程现场勘察和施工监测数据可知，地基沉降属于高填方路基整体沉降的主要组成。本工程场地为山间谷地，原始土层以素填土、粉质黏土为主，土层结构松散、孔隙率大、压缩性高。施工前期基底清表和换填处理只对表层松散土体进行处理，软弱土层处理深度不够，残留基底土体承载力低、固结

度差。路基分层填筑完毕之后，上部土体一直承受竖向荷载，基底软弱土层慢慢被挤压密实，土体孔隙逐渐闭合，产生持续的固结沉降，进而促使整个路基发生下沉变形。

2.2 路堤本体沉降成因

路堤本体沉降是高填方路基不均匀沉降的主要原因，主要原因是传统的压实工艺不适合。本工程路基填料为土石混合料，填料级配分布不均，大小颗粒混杂。传统的施工采用固定的填筑厚度、固定的碾压遍数的标准化施工方式，没有根据填料性质来动态调节参数。厚层摊铺碾压时，压路机的压实能量只能作用于路基表面，土层内部和底部有很多松散的地方，土体中留有大量孔隙。后期车辆的往复荷载、雨水渗透、温度变化等长期作用会使内孔隙不断被压缩闭合，路堤本体不断发生沉降变形。施工期间碾压速度忽快忽慢、轮迹重叠宽度不够，造成路基断面压实度参差不齐，进而产生不均匀沉降。

2.3 施工养护人为成因

施工控制不严格、养护措施不到位，都会加重路基沉降。高填方路基填筑层数多、施工周期长，现场施工中容易出现摊铺平整度不够、填料含水率偏离最佳区间、分层填筑厚度偏差超标的状况，从而影响到分层压实的质量。同时部分施工工序衔接紧密，路基填筑完毕后没有给土体留出足够长的预压养护期，土体自然固结尚未结束就进行路面结构施工，后期土体持续固结变形，造成工后沉降量急剧增大，对路基整体稳定性造成很大影响。

3 路基压实工艺优化试验研究

3.1 试验方案设计

为了克服传统压实工艺存在的质量缺陷，根据本工程土石混合料填料的物理性质，对现场典型试验段进行压实工艺优化试验。试验主要以路基压实度、单次碾压沉降量为评价指标，

主要研究分层填筑厚度、碾压遍数、碾压速度这三个主要参数对压实质量的影响。试验设备统一采用26t重型振动压路机，固定施工碾压流程，采用先静压、后振压、最后终静压的工序，通过多组参数对比试验，筛选出适合本工程的最优施工参数组合，试验分组及对应的参数如下表所示。

3.2 试验参数与结果

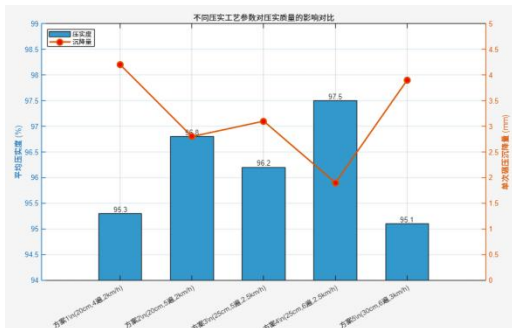
本次试验共设五组不同的施工参数，严格控制一个变量，保证试验数据的准确性、有效性，各组试验参数和检测结果如下表所示。

表1 不同压实工艺参数试验结果对照表

试验组别	分层填筑厚度 cm	碾压遍数	碾压速度 km/h	平均压实度 %	单次碾压沉降量 mm
1	20	4	2.0	95.3	4.2
2	20	5	2.0	96.8	2.8
3	25	5	2.5	96.2	3.1
4	25	6	2.5	97.5	1.9
5	30	6	3.0	95.1	3.9

3.3 试验结果分析与参数确定

经过对五组试验数据的综合比较可知，分层填筑厚度对路基压实质量影响最大。填筑厚度为30cm时，压路机的压实能量不能有效地传到土层底部，路基底层土体压实不足，整体压实度较低，单次碾压沉降量大。填筑厚度控制在20cm时压实质量合格，但是单层填筑厚度过小，大大增加了填筑层数和施工工序，降低了整体施工效率，不利于工程进度的控制。根据压实质量、施工效率、工程成本等各方面因素的考虑，确定本工程高填方路基最优压实工艺参数。分层填筑厚度控制为25cm，碾压组合方式为初静压1遍、振动碾压4遍、终静压1遍，总碾压遍数6遍，碾压行驶速度保持在2.5km/h，施工期间轮迹重叠宽度不小于15cm。该种参数组合下路基压实均匀性最好，平均压实度达到97.5%，单次碾压沉降量最小，施工质量与施工效率达到最优。



3.4 配套施工工艺优化

在核心碾压参数优化的基础上，同时完善摊铺和含水率控制工艺。采用推土机初步摊铺配合平地机精平的方式，保证路

基摊铺层面平整均匀，统一设置2%路基横坡，防止表面积水影响路基稳定性。同时严格控制填料含水率，采用现场晾晒、洒水加湿的方法，使填料含水率保持在18%~22%的适宜范围内，防止含水率过高造成土体弹簧、含水率过低造成压实不密实的问题，从各个方面保证路基压实施工质量。

4 配套沉降控制综合措施

4.1 强化地基预处理

对路基基底软弱土层进行彻底清表，清除杂草、淤泥和松散土层，清表深度不小于30cm，彻底剔除基底范围内有机质土体和杂质，防止软弱夹层残留影响地基整体受力均匀性。针对本工程山间谷地基底土质偏软、承载力不足的问题，基底统一换填40cm厚级配碎石垫层，选用粒径均匀、强度高、风化程度低的碎石材料，严格控制碎石含泥量和针片状颗粒含量，分层摊铺、分层夯实，逐层检测垫层压实度，保证垫层整体刚度和承载性能均匀一致。垫层顶部设双层土工格栅，土工格栅为高强度双向土工格栅，合理控制格栅搭接宽度和锚固长度，提高地基土体的整体性和抗变形能力，能较好地分散上部路基传来的竖向荷载和侧向应力，约束土体横向位移，大大减小地基不均匀沉降问题。对基底局部承载力偏低、土体压缩性较高的低洼区，采用小型强夯工艺进行补强处理，利用动态冲击能量压实深层土体，消除地基内部空隙和松散结构，提高地基整体固结稳定性及承载能力，给上部高填方路基填筑提供坚实的基础保证，从源头上控制地基固结沉降隐患。

4.2 分层分段填筑管控

严格按照薄层分段、分层压实的科学施工原则，全程按优化后的25cm标准分层厚度进行填筑作业，安排专人全程控制摊铺厚度，采用水准测量配合标尺校核的方式，杜绝超厚摊铺、厚度不均等违规施工问题，保证每层路基填筑质量均匀可控。根据高填方路基填筑高度大、填筑范围广的特点，采用分段错缝填筑的标准化施工方法，合理划分施工段落，相邻填筑段搭接长度不小于2m，错开上下层填筑接缝位置，避免接缝集中形成结构性薄弱层，有效规避接缝位置后期开裂、沉降的病害问题。路基主体大范围碾压用26t重型振动压路机施工，严格按照规定的碾压顺序和速度进行，保证轮迹重叠均匀，防止漏压、欠压、过压等现象的发生。对路基边坡、转角、桥头衔接处等大型压路机不能覆盖的碾压盲区，用小型振动夯实设备进行补压夯实，反复碾压至压实度达到要求，保证路基全断面、无死角压实均匀。同时严格控制填料摊铺平整度，及时清理局部粗细集料离析区，人工补料找平，防止局部空隙过大影响路基整体密实度，全方位提高路堤本体填筑稳定性。

4.3 后期预压与监测管控

路基分层填筑全部完成、初压验收合格之后，设置不少于90天的自然预压养护周期，利用土体自身的重力应力促使内部

水分快速排出并完成颗粒重组，加快土体固结沉降的速度，提前释放掉大部分的工后沉降变形，从而减小道路运行期间的沉降幅值。预压阶段严格按照规范要求要求在路基顶面、边坡、中轴线等重要部位设置沉降观测点，观测点位分布合理、标识清楚、保护到位，防止施工扰动造成观测点位偏移损坏。安排专业人员定时进行沉降观测记录，7天内完成一次数据采集，遇雨季、高温等特殊天气增加观测频率，及时掌握路基沉降速率及沉降变化趋势，绘制沉降变化曲线，预测沉降稳定阶段，为以后路面施工工序的开展提供数据支持。沉降观测点位布置如图所示。

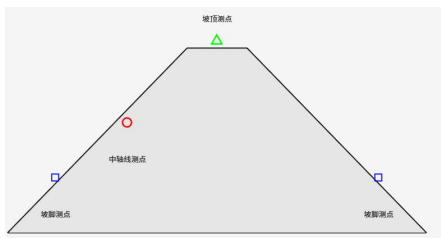


图2 高填方路基沉降观测点位布设示意图

同时建立全程常态化质量检测机制，创建分层检测、层层验收的质量管控体系，每一层填筑碾压完成后立即用灌砂法进行压实度检测，随机选取多处断面、多点位进行检测，保证检测数据具有代表性。对检测不合格的区域立即进行标记，返工复压，重新检测验收，直到压实度达到规范要求为止，不得有不合格层位覆盖施工。同时还要观察路基有无局部隆起、开裂、边坡滑移等异常现象，对发现的病害隐患立即停止施工进行分析原因，采取补压、换填、加固等措施进行处理，消除路基质量隐患，保证高填方路基长期稳定的使用效果，有效地控制后期沉降变形。

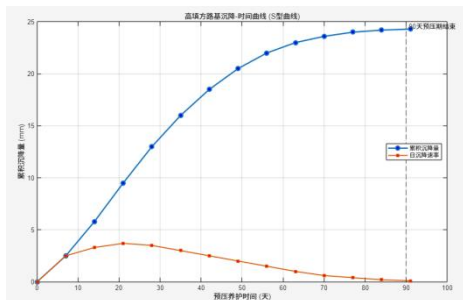


图3 沉降时间曲线

5 工程应用效果分析

5.1 效果对比方案

为了准确检验优化工艺和沉降控制措施的应用效果，选取

参考文献:

- [1] 伍腾,石礼海,徐鹏贵,等. 基于神经基础扩展分析网络的改扩建公路沉降预测模型研究 [J/OL]. 湖南交通科技, 1-8[2026-06-05].
- [2] 杨建林. 高速公路高填方路基路面沉降病害处治 [J]. 中国科技纵横, 2026, (4): 115-117.
- [3] 戴生春. 基于不均匀沉降控制的高速公路高填方路基结构优化设计研究 [J]. 低碳世界, 2026, 16 (2): 128-130.

本工程相邻两段工况一致的高填方路基作为对比试验段，两段路段填筑高度、填料种类、地质状况完全一样。对照组用传统的施工工艺，试验组用优化后的压实工艺和配套的沉降控制措施。施工结束后，对两段路基的压实度、工后沉降量、不均匀沉降差值等主要指标进行持续检测，分析施工质量的不同。

5.2 核心指标检测对比

经过现场全方位检测，传统工艺施工的对照路段施工质量存在着明显的不足，路基平均压实度为94.2%，多处检测点位的压实度达不到规范要求。道路通车6个月后，实测最大工后沉降量为23.6mm，路基不均匀沉降差值最大达到8.2mm，路段存在明显的压实薄弱区，长期运营容易产生沉降开裂病害。采用优化工艺施工的试验路段施工质量明显提高，路基整体压实均匀，所有检测点位压实度均达到规范要求，平均压实度达到97.3%。通车6个月后实测最大工后沉降量为14.8mm，不均匀沉降差值小于3mm，路基整体沉降均匀，没有出现局部沉降、路面开裂、路基变形等问题。

5.3 施工效果数据对比

为了直观地反映工艺改进的效果，把两组试验段检测数据结合起来，对传统工艺和优化工艺的施工质量、沉降指标进行量化比较，具体数据见下表。

表2 新旧工艺施工质量及沉降指标对比表

施工工艺类型	平均压实度 (%)	最大工后沉降量 (mm)	最大不均匀沉降差值 (mm)	施工质量情况
传统施工工艺	94.2	23.6	8.2	存在压实薄弱区，指标不达标
优化后施工工艺	97.3	14.8	3.0	压实均匀，全部指标达标

6 结论

高填方路基沉降病害是由地基处理不到位、压实工艺不合理、施工控制不严格等因素造成的，压实工艺参数是决定路基压实质量及后期沉降的关键。根据实际山区公路工程开展现场试验，确定出适合于土石混合料填料的压实参数，合理控制填筑厚度、碾压遍数、碾压速度，可以提高路基压实质量。采用地基预压处理、分层精准施工、后期预压监测相结合的沉降控制体系，可以从根本上避免高填方路基不均匀沉降问题，提高路基整体稳定性和耐久性。本次优化工艺操作简便、实用，施工成本可控，适合于山区高填方路基施工，可以给同类公路工程提供可靠的技术借鉴。