

分析高填方路基冲击碾压补强技术的应用和质量控制要点

文 / 陈雨民 安徽建工公路桥梁建设集团有限公司

摘要：本文详细探讨了高填方路基冲击碾压补强技术在工程建设中的应用情况以及质量控制核心要点。通过分析该技术的工作原理、适用条件、施工流程与质量控制措施，旨在为相关工程技术人员提供实用参考。研究表明，冲击碾压补强技术在处理高填方路基时具有显著优势，能有效提高路基承载力、减少后期沉降量，为道路工程质量保障提供可靠技术支持。

关键词：高填方路基；冲击碾压；补强技术；质量控制；施工管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.027

引言

随着我国基础设施建设的飞速发展，山区公路建设日益增多，高填方路基工程量逐年攀升。高填方路基因其自重大、填筑高度高、地基承载力不足等特点，常出现不均匀沉降、稳定性差等问题，严重影响道路使用寿命与安全性。传统压实方法难以满足高填方路基的质量要求，冲击碾压补强技术作为一种新型路基加固技术，近年来逐渐受到工程界青睐。该技术利用高能量冲击力瞬间释放，使路基深层密实，改善路基工程性能，具有施工效率高、压实质量好、经济效益显著等优点。

一、高填方路基冲击碾压补强技术的应用分析

(一) 技术原理与工作原理

冲击碾压补强技术主要依靠特制的冲击式压路机，通过激振器产生高频振动，再借助压路机自重，将巨大的冲击力传递至路基深层。在这一过程中，土体颗粒受到强烈振动而重新排列，填料间隙减少，干密度增大，从而提高路基整体刚度与承载力。冲击碾压过程可视为一种高能量的动力压实过程，其核心在于将动能转化为压实能，使土体在短时间内受到高强度的冲击力作用^[1]。通过精确控制冲击频率、幅度以及行走速度，能够实现对接路基不同深度的有效压实。冲击碾压技术较传统静压实方法具有压实深度大、压实效率高、适应性强等优势，特别适用于高填方路基这类特殊工程，原理如图1所示。

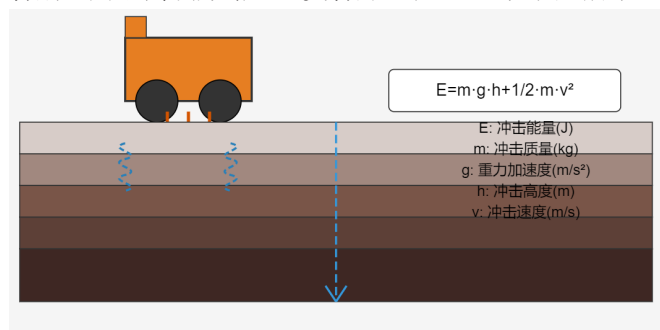


图1 冲击碾压工作原理示意图

冲击碾压的工作原理可用以下公式表示：

$$E=m \cdot g \cdot h+1/2 \cdot m \cdot v^2$$

式中：E为冲击能量(J)；m为冲击质量(kg)；g为重力加速度(m/s²)；h为冲击高度(m)；v为冲击速度(m/s)。

(二) 应用场景与适用条件

冲击碾压补强技术适用范围广泛，尤其在高填方路

基工程中应用效果显著。该技术主要适用于填筑高度超过8米的高填方路基、软土地基上的路基工程、桥头跳车治理工程、路基拓宽工程中新旧路基结合部位、地基承载力不足的路基工程等多种场景。从土质适应性来看，冲击碾压技术对大多数填料均有良好效果，但土质特性也是影响压实效果的重要因素。砂性土、砾石土、低塑性黏土等材料通常压实效果最佳；而含水量过高的黏性土、有机质含量高的软土、膨胀土等特殊土质，则需结合其他技术综合处理^[2]。工程实践表明，冲击碾压技术能使常规填料压实度达到98%以上，有效提高路基承载力，减少后期沉降量。该技术还具有施工速度快、施工成本低、环境影响小等优点，近年来在我国高等级公路建设中得到广泛应用。

二、高填方路基冲击碾压补强技术的施工流程

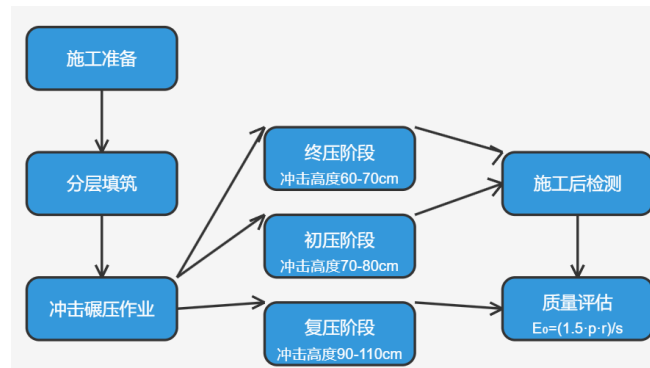


图2 冲击碾压施工流程图

(一) 施工准备

高填方路基冲击碾压施工前，需进行充分的准备工作，包括设备材料准备与地基处理。设备材料方面，需准备冲击式压路机（一般选用12-18吨级）、推土机、挖掘机等辅助机械设备，测量仪器（水准仪、全站仪等），检测设备（灌砂筒、密度仪等），以及满足设计要求的填料。地基处理与分层填筑是施工准备的关键环节，包括清除表层杂物、软弱土层置换、地基加固等工作。地基处理完成后，按照设计要求进行分层填筑，每层厚度一般控制在30-40cm，以确保压实质量。填筑过程中需注意控制填料含水量，使其接近最佳含水量，为后续冲击碾压创造有利条件。此外，还需对施工人员进行技术交底，确保其熟悉冲击碾压技术要点与操作规程，掌握质量控制标准与安全注意事项^[3]。

(二) 冲击碾压作业

冲击碾压作业是整个施工过程的核心环节，其质量直接影响路基性能。冲击碾压作业开始前，需根据填料性质与设计要求，设定合理的冲击参数，包括冲击高度（一般控制在 80-120cm 之间）、冲击频率（通常为 40-60 次/分钟）、行走速度（控制在 2-3km/h）等。冲击碾压采用错轮法施工，即后轮压实前轮未压实部分，确保路基全面压实。碾压过程一般分为初压、复压与终压三个阶段，各阶段冲击参数需适当调整：初压阶段主要调整填料含水量与结构，冲击高度较低；复压阶段侧重提高压实度，冲击高度适当提高；终压阶段则着重完善路基表面，冲击高度再次降低。碾压遍数是确保压实质量的关键参数，可通过经验公式计算：

$$N=K \cdot \ln(\gamma d / \gamma d_0)$$

式中：N 为碾压遍数；K 为经验系数，一般取 5-8； γd 为设计干密度 (g/cm^3)； γd_0 为初始干密度 (g/cm^3)。

(三) 施工后检测与评估

冲击碾压施工完成后，需进行全面的质量检测与评估，以验证施工效果。沉降观测与密实度检测是基本检测项目，沉降观测采用水准测量法，在路基表面设置观测点，定期记录沉降量；密实度检测采用灌砂法或环刀法，检测点布置按照规范要求，检测频率通常为每 1000m² 不少于 3 点。路基回弹模量与承载力测试是评价路基性能的重要手段，测试方法主要包括平板载荷试验、贝克曼梁法等。回弹模量计算公式如下：

$$E_0=(1.5 \cdot p \cdot r) / s$$

式中： E_0 为回弹模量 (MPa)；p 为单位压力 (MPa)；r 为承压板半径 (cm)；s 为回弹值 (mm)。

测试结果需满足设计要求，一般路基顶面回弹模量不小于 30MPa，承载比 (CBR) 不小于 8%。此外，还需通过动态监测评估路基长期性能，包括路基沉降量变化、路基压实度变化等指标，判断冲击碾压补强效果，施工流程如图 2 所示。

三、高填方路基冲击碾压补强技术的质量控制要点

(一) 填料质量控制

填料质量控制是高填方路基冲击碾压补强技术成功实施的基础。合格的填料应满足设计要求，粒径分布合

理（最大粒径一般控制在 60-80mm 以内），有机质含量低 ($\leq 5\%$)，无冻土、膨胀土等不良材料。工程实践数据显示，当填料中液限 $< 45\%$ 、塑性指数 $IP < 18$ 时，冲击碾压效果最佳，压实度可达 98.5% 以上。填料进场前需进行室内试验，确定最佳含水量与最大干密度，为现场施工提供依据。不同填料压实特性不同，冲击碾压参数也需相应调整。填料粒径对冲击碾压效果影响显著，级配良好的砂砾类填料（不均匀系数 $C_u > 5$ ，曲率系数 C_c 在 1-3 之间）最易达到高压实度；而黏性土则需格外注意含水量控制。某高速公路工程数据表明，使用级配良好的砂砾填料，路基压实度平均达 99.2%，而使用黏性土填料时，即使增加 50% 的碾压遍数，压实度平均仅为 97.8%。填料堆放过程中需采取防雨、防污染措施，避免材料性质发生变化^[4]。填筑过程需严格控制每层厚度，保持均匀平整，为冲击碾压创造有利条件。统计数据表明，当每层填筑厚度控制在 $35 \pm 5cm$ 时，压实均匀性最好，压实标准差不超过 1.2%。

(二) 含水量控制

含水量是影响冲击碾压效果的关键因素，适宜的含水量能显著提高压实效率与压实质量。实践研究表明，当填料含水量接近最佳含水量时，在相同压实功下可获得最大干密度。工程测试数据显示，砂性土最佳含水量通常在 8%-12% 范围内，砂质黏土为 12%-16%，黏性土为 16%-22%。现场含水量控制一般在最佳含水量 $\pm 2\%$ 范围内，若含水量偏低（低于最佳含水量 3% 以上），需适当洒水处理；若含水量偏高（高于最佳含水量 2% 以上），则需晾晒或添加干燥材料调节。大量工程实例数据分析表明，当含水量偏离最佳值每 1%，最终干密度平均下降 $0.03g/cm^3$ ，压实度下降约 0.9%。含水量控制需结合天气条件与填料特性灵活调整：雨季施工时，应采取有效排水措施，避免雨水渗入；干旱季节（气温超过 $28^\circ C$ ，相对湿度低于 45% 时），则需做好保湿工作，防止填料失水过快（每小时水分蒸发率可达 0.5%-0.8%）。含水量检测应采用快速测定法，检测频率不少于每 500m² 一次，确保及时掌握填料含水状态，以便进行针对性调整。不同深度、不同位置的含水量可能存在差异，需进行全面检测，确保整体含水量符合要求，如图 3 所示。

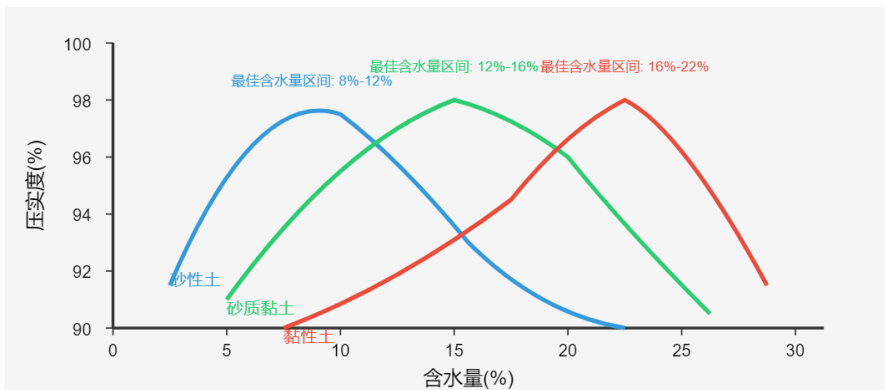


图 3 含水量对压实度影响关系图

(三) 压实参数优化

压实参数优化是提高冲击碾压效果的技术核心，合理

的压实参数能够在保证质量的前提下提高施工效率、降低成本。压实参数包括冲击高度、冲击频率、行走速度以及

碾压遍数等，需根据填料性质与路基要求进行优化。工程实测数据显示，15吨级冲击碾压机在标准工况下（冲击高度100cm，频率50次/分钟），单次冲击能量可达22-25kJ，有效压实深度可达1.2-1.5m。压实参数优化可通过试验路段确定，根据试验结果调整施工方案。一般规律是：砂性土适合高频率（55-60次/分钟）低振幅（80-90cm），粘性土适合低频率（40-45次/分钟）高振幅（100-120cm）；初压阶段冲击高度较低（70-80cm），主要调整填料结构；复压阶段冲击高度提高（90-110cm），重点提高压实度；终压阶段冲击高度再次降低（60-70cm），完善路基表面。

某高速公路工程实验数据显示，采用优化参数后，路基压实质量合格率从92.7%提高到98.5%，同时施工效率提高了22.3%。行走速度直接影响单位面积上的冲击次数，实测数据表明，当速度为2.5km/h时，每平方米区域接受冲击次数约为32-36次，压实效果最佳；速度超过3.5km/h时，压实质量明显下降。碾压遍数是确保压实质量的保障，一般不少于6遍，具体遍数可根据现场检测结果适当增减。统计分析显示，对于普通填料，压实度随碾压遍数呈对数增长趋势，6-8遍后增长趋于平缓，经济效益最佳，如图4所示。

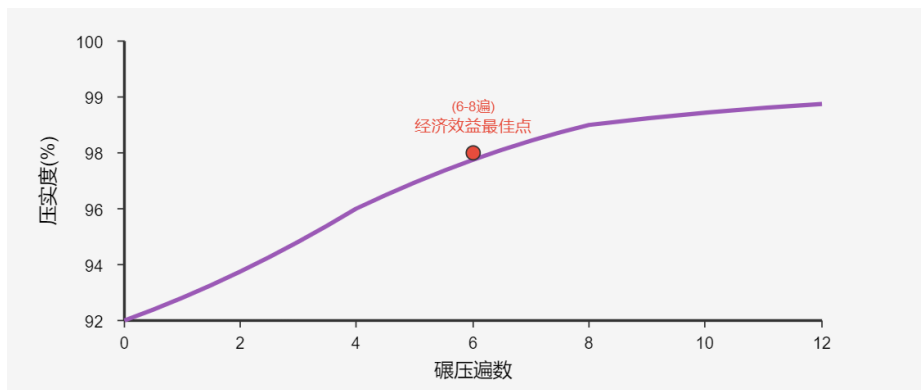


图4 压实参数对路基质量影响分析

（四）现场监控与管理

现场监控与管理是确保冲击碾压质量的组织保障，需建立完善的监控管理体系。该体系包括参数监控、质量检测、数据记录与分析等多个环节。参数监控方面，需实时监测压实设备的工作状态，确保冲击高度、频率等参数符合设计要求，偏差控制在±5%以内；质量检测环节，按照规范要求每1000m²检测不少于3点，检测内容包括压实度（K30值不低于150MPa）、含水量、CBR值（不低于8%）等指标，发现问题及时调整；数据记录与分析是科学管理的基础，需详细记录每日施工情况，包括施工范围、压实参数、检测结果等，并进行统计分析，为后续施工提供参考。某省高速公路建设数据显示，经过专业培训的操作人员施工的路段，质量合格率提高了12.7%，设备故障率降低了35.3%。此外，还需建立健全的质量责任制，明确各方职责，形成全过程质量控制链条。经验表明，严格的现场监控与科学的管理措施，能够有效预防质量问题，确保工程质量。通过信息化手段进行工程管理，如采用自动化检测系统、数字化施工记录平台等现代化技术，能够显著提高监控效率与管理水平，实践数据显示，采用信息化管理后，质量问题响应时间平均缩短了62.5%，质量数据准确率提高了18.9%，为冲击碾压补强工程质量提供有力保障。

（五）施工记录与数据分析

施工记录与数据分析是高填方路基冲击碾压补强技术质量控制的技术支撑，科学的数据分析能够指导施工实践、优化工艺参数。完整详实的施工记录是质量控制的基础资料，每天需记录施工范围、压实参数、检测结果等信息，建立详细的施工日志。实践表明，规范的施工记录能够提高问题追溯率87.5%，减少质量纠纷发生

率56.3%。施工记录内容应包括天气条件（温度、湿度、降水量等）、设备型号、操作人员、冲击参数（高度、频率、行走速度等）、压实遍数、检测点位置以及检测结果（压实度、含水量、回弹模量等）等多项内容。某省交通建设厅的数据分析显示，通过对大量施工记录的大数据分析，发现87.3%的路基质量问题出现在气温超过32℃或降雨量超过15mm/天的工况下，为工程管理提供了重要参考。收集的数据经过整理分析，可绘制压实度分布图、沉降量变化曲线（初期沉降率28-35mm/月，稳定期沉降率应小于5mm/月）、含水量分布图等直观图表，展现施工质量状况。

结语

高填方路基冲击碾压补强技术通过高能量冲击力，有效改善路基工程性能，其应用前景广阔。合理的技术应用与严格的质量控制是确保工程质量的关键。在实际应用中，需根据具体工程条件，优化施工参数，制定科学的质量控制措施，方能发挥冲击碾压技术的最大效益。随着科技进步，冲击碾压技术将不断完善，为高填方路基工程质量提升提供更加有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 张峻宾，罗光能，陈官正. 高填方路基冲击碾压施工技术研究 [J]. 云南水力发电, 2024, 40 (1): 110-112.
- [2] 张武鹏. 冲击碾压技术在高速公路高填方路基施工中的应用 [J]. 中国高新技术, 2022 (000-008).
- [3] 张自强，胡明，罗琪. 高填方软岩路堤冲击碾压技术试验研究 [J]. 中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术, 2022 (11): 3.
- [4] 赵洋. 冲击碾压技术在高填方路基施工中的应用 [J]. 华东公路, 2023 (5): 61-62.