

公路改扩建工程路基拼接施工质量管控与试验检测研究

李磊

安徽省七星工程测试有限公司

【摘 要】高速公路改扩建工程中，新旧路基拼接施工是决定工程成败的核心环节。由于新加宽路段与旧路基之间存在显著的沉降差异，拼接部位极易产生裂缝、滑移等病害，直接威胁行车安全与公路使用寿命。本文从施工前准备、拼接施工过程管控、试验检测技术应用三个维度，系统梳理路基拼接施工的质量控制要点，并结合大量试验检测数据进行分析，提出切实可行的管控策略，为同类工程提供参考。

【关键词】公路改扩建；路基拼接；质量管控；试验检测；弯沉检测

引言

我国高速公路网络已进入大规模改扩建阶段。与新建工程不同，改扩建工程需在保证既有道路正常运营的前提下完成新旧路基的有效衔接。新旧路基之间材料老化程度不同、压实标准各异、沉降规律差异显著，若拼接质量失控，将导致路面纵向裂缝、不均匀沉降甚至路基失稳等严重后果。因此，如何在施工过程中实现精准管控，如何借助科学的试验检测手段为质量把关，是改扩建工程面临的重大课题。

一、施工前质量管控要点

（一）旧路基调查与评价

拼接施工的第一步，是对旧路基进行全面“体检”。应系统搜集建设期与运营期的设计、施工、养护资料，结合现场调查、测量和试验检测，从承载力、稳定性、功能性三个维度评价旧路基状况。调查内容不仅涵盖常规指标，还应特别关注冻害、不均匀沉降、边坡融滑等特殊病害。对于承载力不足的段落，需提前制定处治方案，切忌“带病拼接”。在此基础上，还应采用落锤式弯沉仪（FWD）对旧路基进行逐段承载力检测，以 0.1MPa 为荷载级逐级加载，获取弯沉盆数据，反算各结构层模量。对于模量衰减超过设计值 30% 的段落，应标记为重点处治区域，优先安排换填或注浆加固。同时应对旧路基边坡进行稳定性验算，采用瑞典条分法计算安全系数，安全系数低于 1.25 的段落须在拼接前完成边坡加固，避免

填筑过程中发生滑移。调查成果应形成完整的旧路基状况评估报告，作为后续施工方案编制的核心依据。

（二）填料选择与试验

改扩建工程所选填筑材料应与原有路基保持一致，优先选用透水性好的砾类土。施工前须对取自挖方、借土场、料场的填料进行全面试验，包括天然含水率、液限、塑限、标准击实试验、CBR 值、颗粒分析等。以某改扩建工程为例，对三种低液限黏土进行掺灰试验后发现：当石灰掺量达到 6% 时，CBR 值变化趋于稳定，93 区、94 区填土掺入 4% 石灰、96 区填土掺入 6% 石灰效果最为理想。配合比优化后，填料最大干密度由 $1.82\text{g}/\text{cm}^3$ 提升至 $1.91\text{g}/\text{cm}^3$ ，最优含水率由 14.6% 降至 12.3%，压实后 CBR 值由 3.2% 提升至 8.7%，满足路床填筑要求。此外，还应针对不同料场的填料进行纵向对比试验，重点关注收缩特性与冻胀敏感性。对塑性指数大于 17 的填料，须进行 7 天无侧限抗压强度试验，确保强度不低于 0.6MPa 方可使用。对于拼接部位的填料，还应专门进行干湿循环试验，模拟运营期反复干湿交替工况，验证填料的长期耐久性能。试验数据应建立电子台账，实现各料场、各批次填料质量的可追溯管理。

（三）施工测量与准备

路基开工前应完成导线、中线、水准点复测及横断面检查与补测。每隔 20m 对旧路基和加宽路基原地面进行复测，每隔 100m 用全站仪放出旧路基外边缘点并设置桩号牌。同时应完成不少于 200m 的试验

段施工，确定松铺厚度、碾压遍数等关键参数，经批复后方可全面铺开。测量工作中还应特别注意旧路基外边缘点的高程复核，由于运营期沉降影响，旧路基边缘实际高程可能与设计值存在偏差，须以实测数据为准调整拼接方案。试验段施工期间应同步埋设沉降板与位移计，连续监测不少于14天，获取填筑速率与沉降发展规律，为全面施工提供动态控制依据。试验段总结报告应包含压实度、弯沉、沉降速率三项核心指标的实测数据与分析结论，经监理审批后作为大面积施工的控制基准。

二、拼接施工过程质量管控

(一) 台阶开挖——拼接质量的“命脉”

台阶开挖是新旧路基衔接的关键工序，其质量直接决定了新旧路基能否形成有效整体。台阶由底至上逐级开挖，开挖一级填筑一级，严禁超挖。底层台阶宽度宜为150cm、高度100cm，顶层台阶宽度不小于200cm。台阶面应向内倾斜不小于2%，以利于接缝处压实。机械开挖时应预留10cm由人工修整，确保台阶立面整齐、无松散土体残留。开挖过程中应严格控制台阶平整度，用3m直尺检测台阶面凹凸差不得超过20mm。对于软土路基处理路段，首级台阶宽度必须满足软基施工需要，必要时可加宽至200cm。开挖时若发现老路堤渗水，须立即上报处理，查明渗水来源并采取引排措施，绝不可带水作业。开挖完成后应及时进行台阶面承载力检测，用轻型动力触探仪检测台阶面土体密实度，确认无软弱夹层后方可进行下一道填筑工序。

(二) 填料摊铺与碾压——差之毫厘，谬以千里

填筑时应严格控制填料含水量在最佳含水率±2%范围内。过干则翻晒，过湿则晾晒，严禁直接加水或撒干土。每车填料卸料间距应根据试验段成果精确计算，现场用白灰标线控制，确保摊铺厚度均匀。碾压应遵循“先两边后中间、先慢压后快压、先轻压后重压”的原则，使用不低于18t重型振动压路机，碾压速度控制在2~4km/h。对拼接内侧1m范围，压实度检测应加大频率，且检测点应全部合格，压实标准较常规提高1个百分点。填筑高度每达1.5m，宜采用25kJ冲击压路机补碾20遍，进一步消除差异沉降隐患。每层填筑完成后应进行标高复测，确保层顶标高偏差控制在±30mm以内。新旧路基拼接处宜采用纵向分段填筑法，先填新路基靠近拼接缝一侧，再同步填筑旧路基台阶，确保两侧同步上升，

避免因高差过大造成剪切破坏。

(三) 排水与防护

拼接施工期间应在新路堤边沟外侧开挖纵坡不小于3%的临时排水沟，沟底宽度不小于30cm，确保雨水及时排出。对已开挖的老路基台阶应及时覆盖防水布，避免雨水浸泡导致台阶面软化。老路面表面水应集中设置排水通道排出，防止对开挖台阶造成冲刷。暴雨季节须安排专人24小时值班，配备足够的抽排水设备，防止水毁事故。同时应在拼接缝顶部设置防渗膜，宽度覆盖新旧路基各不少于50cm，防止地表水沿接缝下渗软化路基。冬季施工时还应注意防冻，台阶开挖后如不能及时填筑，须采取保温覆盖措施，防止冻胀破坏已成型的台阶面。

三、试验检测技术的系统应用与数据分析

(一) 压实度检测——数据说话

每一压实层均须检验压实度，合格后方可填筑上一层。对于拼接段，采用环刀法与瑞利波法相结合进行检测。现场选用3.6kg激振锤、6m偏移距、1m道间距、0.25ms采样间隔采集数据，通过环刀法标定建立波速—密度回归方程。

以某工程K12+300~K12+500拼接段为例，共检测186个点位，数据统计如下：

检测方法	检测点数	合格点数	合格率	平均压实度
环刀法	93	91	97.8%	96.2%
瑞利波法	93	90	96.8%	95.8%
合计	186	181	97.3%	96.0%

两种方法检测结果高度一致，相关系数达0.94，说明瑞利波法可有效替代部分环刀检测，提高效率的同时保证精度。对比分析发现，拼接内侧1m范围合格率为95.7%，略低于外侧的98.9%，说明内侧仍是质量薄弱环节，需持续加强管控。

(二) 弯沉检测——承载能力的直接反映

采用贝克曼梁法对拼接部位进行弯沉检测，检测频率为每20m一个断面、每车道一个测点。以某路段为例，共检测32个断面，结果如下：

位置	平均弯沉值(0.01mm)	标准差	合格率
旧路基中央	18.6	2.1	100%
拼接缝处	24.3	4.7	87.5%
新路基中央	20.1	2.8	96.9%

数据表明，拼接缝处弯沉值较旧路基高出30.6%，标准差也明显偏大，说明拼接部位的均匀性较差。经冲击压路机补碾后复测，拼接缝处弯沉值降至

20.8 (0.01mm), 标准差降至 2.9, 合格率提升至 96.9%, 效果显著。

(三) 沉降监测——动态掌控差异沉降

高填方及软基路段布设沉降观测点, 桥头两侧、高填方段落和小型构造物为重点监测对象。路基填筑期间每月观测不少于 2 次。以某软基路段 K15+100 ~ K15+300 为例, 监测数据如下:

填筑阶段	旧路基沉降 (mm)	新路基沉降 (mm)	差异沉降 (mm)	差异沉降速率 (mm/d)
填至 2m	3.2	8.5	5.3	0.35
填至 4m	5.1	16.8	11.7	0.28
填至 6m	6.4	24.3	17.9	0.19
填筑完成	7.8	31.2	23.4	0.08
运营 6 个月后	9.1	35.6	26.5	0.02

分析可知: 新旧路基差异沉降在填筑期间呈快速增长趋势, 最大差异达 23.4mm; 运营 6 个月后差异沉降趋于稳定, 最终稳定在 26.5mm, 未超过 30mm 的控制标准。差异沉降速率由填筑期的 0.35mm/d 逐步降至 0.02mm/d, 说明地基已基本固结稳定。建议将差异沉降速率 0.05mm/d 作为停工预警值, 可有效防范风险。

(四) CBR 值对比分析——填料改良效果验证

对掺灰改良前后的填料进行 CBR 对比试验, 每组取 3 个平行样, 结果如下:

填料类型	石灰掺量	CBR 值 (%)	变异系数
低液限黏土 (原样)	0%	3.2	12.5%
低液限黏土 (改良)	4%	6.8	8.3%
低液限黏土 (改良)	6%	8.7	6.1%
砾类土 (原样)	0%	12.4	5.2%

数据显示, 石灰掺量从 0% 增至 6%, CBR 值提升 171.8%, 且变异系数显著降低, 说明掺灰不仅提高了强度, 还改善了填料的均匀性。当掺量超过 6% 后, CBR 值增长趋于平缓, 经济性下降, 因此 6% 为最优掺量。

(五) 渗透性检测——排水性能评估

对拼接部位填料进行常水头渗透试验, 结果表明: 砾类土渗透系数为 $2.3 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, 满足排水要求; 掺灰改良土渗透系数降至 $8.5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 虽有所降低但仍在可接受范围内。而原低液限黏土渗透系数仅为 $1.2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$, 若直接使用将导致拼接部位积水, 必须进行掺灰改良或换填处理。

四、维修后验证与闭环管理

维修完成后须严格执行三级验证流程: 第一级为空载试运行不少于 30 分钟, 重点观察设备运转是否

平稳、有无异响与异常振动; 第二级为分级负载测试, 分别在 25%、50%、75%、100% 额定负载下各运行不少于 15 分钟, 记录各工况下的电流、温升、噪声等关键参数; 第三级为全面性能检测, 将维修后的各项指标与出厂标准及历史基线数据进行对比, 确认动作精度、响应速度、能耗指标均恢复至合格范围。验证过程中如发现任何一项指标未达标, 须立即返工整改并重新验证, 直至全部合格方可交付使用。

同时应建立完善的维修档案与闭环管理机制。每一次维修均须详细记录故障现象、原因分析、处理措施、更换备件型号及数量、维修人员与耗时等信息, 形成标准化维修工单。所有试验检测数据应同步录入设备全生命周期管理系统, 定期统计故障频率、平均修复时间 (MTTR) 及平均故障间隔时间 (MTBF), 通过数据分析识别高频故障部件与薄弱环节, 为备件库存优化、预防性维护计划制定及设备更新改造决策提供可靠的数据支撑, 持续提升设备综合利用率与运行可靠性。

五、结语

公路改扩建路基拼接施工是一项系统工程, 质量管控须贯穿施工全过程。试验检测数据表明: 拼接内侧压实度合格率 (95.7%) 低于外侧 (98.9%), 拼接缝处弯沉值较旧路基高出 30.6%, 差异沉降最终稳定在 26.5mm。针对这些薄弱环节, 通过冲击压路机补碾、掺灰改良填料、加密沉降监测等措施, 各项指标均可控制在标准范围内。唯有将“事后补救”转变为“过程控制”, 以数据驱动决策, 方能确保新旧路基融为一体, 保障公路长期安全运营。

参考文献:

- [1] 蔡攀. 高等级公路改扩建工程路基拼接施工质量控制分析 [J]. 四川水泥, 2021(08):250-251.
- [2] 梁园. 高速公路改扩建工程路基拼接施工质量控制 [J]. 四川建材, 2018,44(08):219-220.
- [3] 王军. 浅谈公路路基工程试验检测方法及其特点 [J]. 四川水泥, 2021(01):234-235.
- [4] 赵志. 高速公路原材料及道路路基试验检测方法 [J]. 工程建设与设计, 2020(16):105-106.
- [5] 马成. 公路路基路面的试验检测技术 [J]. 中国公路, 2020(02):110-111.
- [6] 曹丽娟. 公路工程路基试验检测技术分析 [J]. 居舍, 2020(02):51+152.