

道路桥梁工程路基路面压实施工技术分析

傅小麟

四川省交通建设集团有限责任公司隧道工程分公司 四川成都 610000

摘要：道路桥梁工程作为现代交通基础设施的核心组成部分，其质量直接关系到交通运输安全、工程寿命及社会经济效益。路基路面压实是道路施工中的关键环节，其技术优劣直接影响路面的承载力、耐久性与平整度。然而，在复杂地质条件、多样化材料特性及动态施工环境下，传统压实技术常面临效率低、均匀性差、质量波动大等问题，导致工程后期出现沉降、裂缝等病害。为此，深入研究路基路面压实施工技术的优化与创新，对提升工程质量、推动行业技术进步具有重要意义。本文结合理论分析与工作经验，系统探讨压实工艺参数优化、智能压实技术应用及质量评价方法，以期为行业提供科学参考。

关键词：道路桥梁；路基路面；压实施工；技术要点

引言

随着我国交通网络规模的迅速扩张，截至2022年，全国公路总里程已突破535万公里，其中高等级公路占比逐年攀升。在此背景下，道路桥梁工程对路基路面的稳定性与耐久性提出了更高要求。作为道路结构的基础支撑层，路基的压实质量直接影响上部结构的性能表现。

一、路基路面压实的重要性及影响因素

路基路面压实是道路桥梁工程施工中的核心环节，直接决定道路结构的承载能力、耐久性及抗变形性能。通过机械碾压，可有效减小填筑材料的孔隙率，提升密实度与整体性，从而增强路基的抗渗透性和稳定性，避免因不均匀沉降引发路面开裂、车辙等病害。然而，压实效果受多重因素制约：材料性质是基础，填料的颗粒级配、最大干密度及最佳含水率需符合设计要求，例如黏土需控制含水率避免“弹簧土”，而砂砾料则需优化级配以提高嵌锁力；施工工艺直接影响压实均匀性，包括压路机选型（振动压路机适用于砂砾层，胶轮压路机利于沥青层揉压）、碾压速度与遍数（过快导致漏压，过慢降低效率）、分层厚度（超厚易出现压实盲区）等；此外，环境条件如地基湿度、气温变化（沥青混合料低温碾压易开裂）以及降雨等自然因素，也可能干扰压实效果，需通过动态调整施工方案加以应对。因此，科学把控材料、机械与环境的协同作用，是保障压实质量的关键。

二、路基压实施工技术要点

1. 路基填料选择与处理

路基填料的选择与处理是保障压实质量的基础，需

依据工程需求与地质条件综合确定。填料类型方面，常见材料包括砂土、黏性土、碎石及改良土等：砂土透水性强但黏聚力低，适用于排水要求高的路段；黏性土经压实后强度高，却需严格控制含水率以防“弹簧土”现象；碎石填料凭借良好级配和嵌锁效应，多用于高承载力路基或软基处理；而对CBR（加州承载比）值不足的土体，可通过掺入石灰、水泥等进行改良，提升其稳定性和抗变形能力。含水率控制则是核心工艺环节，填料需调整至最佳含水率（通常通过击实试验确定），若含水率过高需翻晒或掺入石灰吸水，过低时则需分层洒水闷料，确保碾压时土粒间润滑与密实效果平衡。此外，填料中夹杂的有机物、冻土或大粒径块石必须筛分剔除，避免形成结构薄弱区。例如，高等级公路路基常采用碎石与黏土混合料，兼顾强度与密实需求，而潮湿多雨地区施工时，需优先选用透水性填料并加强排水措施，防止含水率波动导致压实度不达标。科学选材与精细化处理可显著降低后期沉降风险，提升路基整体性能。

2. 碾压设备选型

碾压设备选型需综合填料特性、施工条件与工程目标，直接决定压实效率与质量。振动压路机凭借高频激振力穿透颗粒间隙，适用于砂砾、碎石等非黏性材料，通过调整振幅（1.5~2.0mm）与频率（25~40Hz）优化不同层厚压实效果；胶轮压路机利用轮胎揉压提升沥青混合料密实度，胎压调节范围500~800kPa可适应不同沥青层温度与厚度需求。冲击式压路机以高能量冲击波破碎土体结构，多用于高填方或旧路改建中的深层补强，冲击能量达15~25kJ/m²，但需规避邻近敏感构筑物。狭窄

区域或桥涵台背常选用小型手扶式压路机或蛙式夯，确保边角压实无死角。智能化设备集成GPS与压实度传感器，实时反馈碾压轨迹、温度及密实度数据，动态调整碾压遍数与速度，避免欠压或过压；例如，重载交通路段采用30t以上重型压路机增强路基刚度，而高原冻土区优先选择低转速设备防止冻土层扰动。设备组合策略亦需考量：砂土路基可“振动压路机+胶轮压路机”联合作业，黏性土则搭配凸块式碾压轮提升剪切破碎效果。选型不当易导致材料离析、层间结合弱化或能耗浪费，需基于试验段数据验证设备适配性。

3. 施工工艺步骤

路基压实施工需遵循“分层填筑、逐层碾压”的原则，确保整体均匀性与密实度达标。分层填筑阶段，每层松铺厚度需根据填料类型及压路机性能严格控制（通常砂土30~50cm、黏性土20~30cm），过厚易导致底层压实不足，过薄则降低工效；填筑时应由低向高、横向全断面推进，避免纵向接缝错台。碾压作业分为初压、复压和终压三个阶段：初压采用轻型压路机（如静压式）初步稳定填料，减少位移；复压使用重型振动压路机高频振捣，消除空隙并提升密实度；终压则通过胶轮压路机消除轮迹、整平表面。碾压顺序遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”原则，轮迹需重叠1/3~1/2轮宽以确保全覆盖，桥涵台背等死角区域改用小型夯机补压。施工中需动态监测含水率与压实度，每层碾压后经灌砂法检测合格方可进行上层填筑。例如，高速公路高填方段常采用“薄层轮换碾压法”，通过GPS定位系统实时追踪碾压轨迹，避免漏压或过压，实现高效精准施工。

三、路面压实施工技术要点

1. 沥青混凝土路面压实

沥青混凝土路面压实是确保路面密实度、抗滑性与耐久性的关键，其工艺精度直接关系高温抗车辙与低温抗裂性能。初压阶段采用双钢轮压路机紧跟摊铺机作业，利用静压或弱振模式初步稳定混合料，温度需控制在150~160℃区间以防止集料推移；复压以胶轮压路机为主，通过轮胎揉搓作用增强沥青胶浆与骨料的嵌挤，配合重型振动压路机高频振动消除孔隙，此阶段温度不低于130℃，碾压速度限制在2~4km/h以平衡效率与密实效果。终压选用宽幅双钢轮压路机静压收光，消除轮迹并提升平整度，终压温度应高于90℃避免残留内应力。碾压轨迹遵循“先低侧后高侧、先内后外”原则，轮迹重叠1/3轮宽，纵向接缝处预留20cm暂不碾压，待后续摊铺后跨缝碾压确保无缝衔接。特殊部位如弯道或路肩通

过小型压路机或人工夯锤补充压实，桥面铺装则需降低振幅防止结构损伤。施工中采用红外测温仪与GPS压实度监测系统联动反馈，动态调整碾压参数；成型后通过核子密度仪或钻芯取样检测，压实度需达到理论密度的96%以上，空隙率控制在3%~5%范围，实现结构强度与抗疲劳性能的协同优化。

2. 水泥混凝土路面压实

水泥混凝土路面压实以振捣密实为核心，其工艺聚焦于消除混合料内部空隙并确保结构均匀性。振动梁沿模板导轨高频振动，驱动混凝土颗粒重新排列下沉，配合插入式振捣棒对边角及钢筋网周边局部补强，消除气泡滞留风险；平板振捣器则以水平往复运动提升粗骨料嵌锁力，振捣时长需严格控制在20~40秒，避免过振引发浆体上浮、骨料下沉的分层离析现象。表面处理采用三次精细化操作：初凝前用磨光机粗抹封闭泌水通道，终凝前精刮尺找平，终凝后人工拉毛或刻槽增强抗滑纹理，同时植入传力杆与缩缝切割协同作用，抑制温度应力导致的反射裂缝。混合料配比需兼顾工作性与强度——水灰比控制在0.4~0.5减少干缩率，掺入聚丙烯纤维可提升抗裂韧性；施工中依托激光整平机动态监测标高，确保平整度误差 $\leq 3\text{mm}/3\text{m}$ 。极端环境采取适应性措施：高温时段覆盖湿麻袋延缓水分蒸发，低温环境掺入早强剂并搭建保温棚防冻。养护阶段采用透水土工布覆盖洒水或喷涂养护剂，维持湿度 $\geq 90\%$ 持续7~14天，强度达标后以切割机按板长5~6m分段切缝，深度达面板1/3~1/4，灌注沥青胶体阻隔雨水侵蚀。全过程通过无损超声仪检测密实度，核心指标抗折强度 $\geq 5.0\text{MPa}$ ，实现耐久性与功能性的统一。

3. 特殊路段压实技术

特殊路段压实需针对性解决地质薄弱与结构突变难题，桥头过渡段常采用级配碎石填筑结合预应力管桩地基处理，重型压路机与冲击夯协同作业，搭板末端压实度递增设计（从95%过渡至98%）以缓解跳车效应；高填方路段执行“薄层填筑+分层强夯”工艺，单层填土厚度 $\leq 30\text{cm}$ ，冲击式压路机以15~25kJ/m²能量补强深层密实度，坡面预留台阶增强新旧层结合。软土地基路段采用真空预压联合碎石桩排水固结，摊铺土工格栅加筋分散荷载，压实时监测孔隙水压力，避免剪切破坏。弯道及陡坡区域选用履带式压路机或小型双向振动夯，逆坡碾压时由低向高逐层推进，横向错轮1/3宽度防止混合料侧移。冻土区施工限定低温时段作业，填筑掺入冷阻剂材料，碾压设备选用低频振动减少热量输入，顶层覆

盖EPS隔热板抑制冻融循环。城市互通匝道等异形区域采用3D数字化建模规划碾压路径,智能压路机实时反馈压实度与轨迹重叠率,确保复杂线形下均匀密实。

四、施工质量控制与检测方法

1. 质量控制标准

质量控制是压实施工的核心保障,需依据规范与实测数据双向验证。压实度作为核心指标,路基填筑层要求 $\geq 95\%$ (重型击实标准),沥青面层压实度 $\geq 96\%$ (马歇尔试验理论密度),检测手段涵盖灌砂法、核子密度仪及无核密度仪,其中灌砂法适用于粗粒土,核子法则需标定修正以消除材质差异影响;平整度依托激光断面仪或连续式平整度仪检测,高速公路要求标准差 $\leq 1.2\text{mm}$,弯沉值采用落锤式弯沉仪(FWD)动态测试,路基顶面回弹模量需 $\geq 40\text{MPa}$ 。混合料配比需符合设计级配曲线,沥青混合料抽提筛分验证油石比偏差 $\pm 0.3\%$,水泥混凝土抗折强度 $\geq 5.0\text{MPa}$,钻芯取样检测空隙率与厚度偏差。智能化监控技术逐步替代传统抽检,如GPS压实度实时图谱指导碾压遍数,红外热成像监测沥青摊铺温度均匀性,三维探地雷达(GPR)识别层间脱空隐患。特殊路段执行差异标准:桥头过渡段压实度提高2%~3%,冻土区填筑含水率控制精度 $\pm 1.5\%$;施工中同步留存过程影像与数据链,实现质量可追溯。规范体系兼融国标《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)与ASTM D698/D1557,动态调和标准刚性约束与现场实操柔性适配。

2. 智能化监控技术

智能化监控技术正深度革新压实施工质量控制模式,依托多源传感与大数据分析实现施工过程的全要素动态优化。高精度GPS定位模块集成于压路机,实时采集碾压轨迹、速度及遍数,生成热力图直观标识欠压或过压区域,指导操作员动态调整路径,轨迹重复率偏差可控制在5%以内;车载压实度连续测量系统(CCM)基于振动反馈反演土体刚度,将密实度换算值同步显示于驾驶舱屏幕,误差范围 $\pm 2\%$,较传统抽检效率提升70%以上。红外热成像仪以非接触方式扫描沥青层温度场,识别低温区并预警,确保复压阶段混合料温度梯度 $\leq 10^\circ\text{C}/\text{m}$,避免局部松散缺陷。三维探地雷达(GPR)以电磁波反射信号解析结构层厚度与密实度分布,检测深度达1.5m,分辨率达2cm,精准定位脱空或渗水隐患。物联

网平台整合压路机、摊铺机与实验室数据流,通过机器学习构建压实质量预测模型,依据填料含水率、环境温度湿度等参数推荐最优碾压方案,施工后自动生成数字化验收报告。例如,某高速铁路基工程引入无人驾驶压路机群,基于5G网络与边缘计算实现集群协同碾压,工效提升30%且压实度波动率降低至1.5%。BIM模型同步集成压实数据,为后期养护提供孪生数据库,推动道路工程全生命周期管理的智能化转型。

结束语

道路桥梁工程路基路面压实施工技术是保障道路结构稳定性、耐久性与安全性的核心环节。本研究表明:科学的分层填筑与碾压工艺可显著提升路基均匀密实度,沥青混凝土三阶段压实与水泥混凝土精细化振捣工艺分别解决了高温车辙与低温开裂难题;特殊路段通过差异化压实策略(如桥头跳车过渡压实、软基复合处理)有效规避了结构病害。智能化监控技术的应用(如GPS实时追踪、红外温度场监测)推动施工质量控制从“经验判断”向“数据驱动”跨越,大幅提升了检测效率与精度。然而,当前施工中仍存在复杂地质适应性不足、环保材料压实机理研究滞后等问题。未来研究需进一步融合人工智能与新型复合材料技术,探索低能耗高精度的无人压实装备体系,同时深化全寿命周期性能预测模型,以实现道路工程在高效施工、生态友好与长效服役间的平衡,为智能交通基础设施建设提供技术支撑。

参考文献

- [1]倪勇.道路桥梁工程路基路面压实施工技术探讨[J].智能建筑与工程机械,2024,6(10):22-24.
- [2]富召年.道路桥梁工程路基路面压实施工技术研究[J].智能城市应用,2024,7(7):35-37.
- [3]高福,曾龙.关于道路桥梁工程路基路面压实施工技术研究[J].低碳世界,2024,14(3):148-150. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2066.2024.03.050.
- [4]赵海涛.道路桥梁工程路基路面压实施工技术研究[J].自动化应用,2023,64(S01):172-173.
- [5]邱定国,张昌钊,靳其家.公路桥梁工程中路基路面压实施工技术的思考[J].中国地名,2023(6):0016-0018.