

阐述道路桥梁工程路基路面压实技术的研究与应用

董琪

宇航交通建设集团有限公司, 浙江杭州, 311199;

摘要: 道路桥梁路基路面压实技术是保障工程耐久性与安全性的核心环节, 研究揭示了材料特性、设备参数及工艺控制对压实效果的深层作用机制, 针对性提出特殊路段的薄层碾压与动态补强工艺, 应用实践表明, 基于材料响应优化压实参数, 结合智能压实技术实时监控, 可显著提升压实均匀性与结构整体性, 为道路全寿命周期性能奠定基础。

关键词: 路基路面压实; 材料特性; 设备参数

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 04. 030

1 影响道路桥梁工程路基路面压实效果的关键因素

1.1 材料因素

道路桥梁工程中路基路面压实效果的首要决定性变量在于构成其主体的工程材料本身的物理与力学特性, 其中材料的内在组成结构与其所处的状态条件构成了影响压实密实度与均匀性的核心要素, 一方面, 不同类别填筑土石料或混合料的粒径分布、颗粒形状、棱角性以及矿物成分等内在属性, 直接决定了其在外部压实功作用下颗粒间重新排列组合、克服摩擦阻力并填充空隙的难易程度与最终所能达到的密实状态, 如级配良好的砂砾石料因其颗粒间的嵌挤作用显著且内摩擦力相对适中故而较之均匀单一的细粒土或棱角尖锐的大块石料更容易在常规压实条件下达到理想的压实效果。另外一方面, 材料在压实过程中的关键状态参数, 特别是对于细粒土而言的最佳含水率以及对于沥青混合料而言的最佳沥青用量与适宜的压实温度窗口, 更是压实成败的命脉所在, 偏离最佳含水率的土体无论是过干导致颗粒间润滑不足、摩阻力过大阻碍有效位移, 抑或是过湿产生过大的孔隙水压力甚至引发“弹簧”现象, 均会致使压实功难以转化为有效的密实效果, 同样地, 沥青混合料若温度不足则粘度激增导致流动性丧失难以充分压实, 而温度过高则可能导致沥青老化或混合料稳定性下降, 故而精确控制材料的状态参数是实现高效压实不可或缺的前提条件。

1.2 设备因素

压实机械作为施加外部能量促使材料致密化的直接工具, 其类型选择的适配性以及工作参数设定的科学性构成了影响压实效果的另一个关键维度, 这直接关系到压实能量能否高效且均匀地传递至材料内部并被有效吸收利用, 其中首要考量在于压实设备的选型必须严

格匹配于被压实材料的特性、结构层的类型及其厚度等具体工况, 如重型振动压路机凭借其强烈的冲击与振动能量对于深层路基的粗颗粒土石方压实效果显著, 而轮胎压路机则依靠其独特的揉搓作用更适用于需要形成表面封水层并进一步消除轮迹的沥青面层终压阶段, 至于桥台台背等狭窄或异形区域则必须依赖小型冲击夯或振动平板夯等专用设备才能实现有效压实, 倘若设备选型不当, 可能难以达到预期压实度, 甚至会因能量形式不匹配而造成材料离析、表面开裂或结构损伤等负面效应。另一方面, 即便选定了合适的设备类型, 其具体工作参数如振动压路机的振幅、频率、激振力, 轮胎压路机的接地比压(通过轮胎气压调节)以及各类压路机的碾压速度等, 均需根据现场材料的具体响应进行精细调整与优化设定, 过高的振幅或激振力可能对结构物周边或薄层材料造成扰动破坏, 而过低的参数设定又可能导致压实深度不足或效率低下, 碾压速度过快则单位面积内承受的压实遍数减少且能量作用时间不足, 致使压实效果大打折扣, 因此动态优化压实设备的各项核心工作参数是实现高效、均匀、高质量压实的核心操作环节^[1]。

1.3 工艺因素

压实工艺的组织设计与过程控制是连接材料特性、设备能力与最终压实质量的实践桥梁, 其合理性与精细度直接决定了压实作业的成败, 其中施工工序的科学衔接与时空参数的严格管理构成了工艺控制的核心支柱, 科学合理的压实工艺首先体现在严谨有序的分层填筑与碾压工序衔接上, 无论是路基还是路面结构层, 严格遵循规定的松铺厚度进行分层摊铺与碾压是确保每一层都能获得充分且均匀压实的基本保障, 过厚的铺层将导致深层区域压实能量衰减而难以密实, 同时必须明确划分初压、复压和终压等不同阶段, 每个阶段配置相应功能与能力的压实设备并执行特定的压实目标, 如沥青

路面施工中初压侧重于稳定混合料并初步压实,复压是为达到规定压实度的关键阶段而需采用强效设备,终压则是专注于消除轮迹和修饰表面,任何工序的缺失、颠倒或衔接不当都将显著削弱整体压实效果甚至导致质量缺陷。更进一步地,对压实过程中一系列关键时空参数如碾压速度、碾压遍数、碾压轨迹的重叠宽度以及特定材料的温度控制等实施精细化、动态化的管理至关重要,碾压遍数不足显然无法达到目标密实度,但盲目增加遍数不仅效率低下甚至可能造成材料过度碾压破坏其结构;碾压速度过快会减少单位面积的有效压实时间并可能引发材料推移,过慢则影响施工效率并可能导致沥青混合料温度散失过快;碾压轨迹若重叠不足则易产生漏压带,重叠过多则造成局部过压与效率损失;对于温度敏感性材料如沥青混合料,从摊铺到各压实阶段对温度窗口的精准把控更是工艺控制的命门所在,任何环节的温度失控都将直接导致压实困难或质量下降。

2 压实材料特性与要求

2.1 路基填筑材料压实要求

路基作为道路结构的基础承重层,其填筑材料的压实质量直接决定了整体工程的长期稳定性与抗变形能力,其中对材料关键物理状态指标的控制以及针对特殊土质的针对性处置策略构成了确保压实效果达标的两个核心支柱,首要且普遍适用的核心控制指标是材料的最佳含水率,这是实现最大干密度亦即最优压实效果的物质基础状态,各类土石填料因其内在颗粒组成与矿物成分的差异均存在一个特定的含水率区间,在此区间内水分的润滑作用能有效降低颗粒间的内摩擦阻力同时孔隙水压力又未显著增大,进一步促使颗粒在外力作用下更容易产生相对位移并重新排列至最紧密状态,故而施工过程中必须通过精细的晾晒或洒水手段将天然含水率严格调控至最佳范围附近,任何显著的偏离都将导致压实功的浪费与压实度的不足。另一方面,工程实践中常遭遇如膨胀土、湿陷性黄土、有机质软土等具有不良工程特性的特殊填料,这些材料若直接按常规方法压实不仅难以达到标准要求,更可能在后期因环境湿度变化或荷载作用引发显著的体积变形进而威胁路基稳定,因此必须采取针对性的改良或置换策略,如向膨胀土中掺入石灰或水泥等固化剂以抑制其亲水性并提高强度,对湿陷性黄土进行强夯预处理以破坏其大孔结构并降低遇水沉降敏感性,或对承载力极低的深厚软土实施碎石桩、水泥搅拌桩等地基处理结合轻质材料置换以减小工后沉降,这种基于材料特性差异而采取的预处理或改良措施是保障特殊地质条件下路基压实质量与长期性能不可或缺的关键环节。

2.2 路面结构层材料压实要求

路面结构层直接承受行车荷载与环境作用,其各层材料的压实要求呈现出显著的差异性,其中无机结合料稳定类基层材料的时效性压实约束以及沥青面层混合料在高温状态下的粘度控制与空隙率管理,构成了保障路面结构整体性能的两个核心维度,对于广泛使用的石灰、水泥或石灰粉煤灰等无机结合料稳定碎石或砂砾基层/底基层材料而言,其压实过程存在一个严格的时间窗口限制,则由于胶凝材料与水发生的水化反应具有时间依赖性,从拌和均匀到初凝开始的这段有限时间被称为“延迟时间”,在此时间段内混合料尚保持足够的可塑性便于碾压密实,一旦超出此窗口则水化形成的初始结构强度将急剧增大导致压实困难甚至造成结构破坏,因此施工组织必须确保从拌和、运输、摊铺到压实完成的整个流程高度紧凑高效,任何不必要的延误都将导致压实度不足或结构松散,这直接关系到基层的承载能力与抗疲劳性能。而对于直接承受磨耗与气候作用的沥青混凝土面层,其压实质量的核心控制要素在于混合料在碾压过程中的温度-粘度特性以及最终形成的空隙率水平,沥青作为较为典型的温度敏感性粘结材料,其粘度随温度下降呈指数级增长,由此决定了压实作业必须在混合料保持足够高的温度亦即足够低的粘度状态下迅速完成,通常要求初压、复压和终压分别在明确的温度阈值之上结束,温度不足时混合料过硬难以充分压实,温度过高则可能导致沥青老化或集料压碎,同时压实后的面层必须达到设计要求的空隙率范围,过低则可能因高温季节沥青膨胀引发车辙,过高则导致透水与耐久性下降加速水损害和老化,故而精准掌控碾压温度窗口并最终实现目标空隙率是沥青面层压实成功与否的终极判据^[2]。

3 道路桥梁工程路基路面压实施工工艺与控制

3.1 路基压实工艺

路基压实工艺的核心在于建立科学的分层控制体系并实现压实能量的高效传递与均匀分布,其中严格的分层填筑厚度管理以及基于材料响应的动态碾压参数调整构成了工艺成功的两大基石,分层填筑是确保路基整体压实均匀性的根本性原则,必须依据填料类型与压实设备能力精确控制每层的松铺厚度,过厚的铺层将导致压实能量在传递至底层过程中显著衰减,致使深层区域难以达到规定压实度而形成薄弱夹层,进而为工后不均匀沉降埋下隐患,故而施工中需严格遵守设计或规范对各类填料的允许最大松铺厚度限制,并需通过现场试验段的施工从而确定最优松铺参数。与此同时,碾压过程绝非简单的遍数累积,而是需要根据填料含水率变化、设

备工作状态及下层压实效果反馈进行实时调整的动态系统工程,例如对于砂性土因其透水性好、失水快,需适当提高碾压速度并缩短作业间隔以防止表层松散,而粘性土则需采用较低碾压速度并增加静压遍数以确保能量充分渗透,在碾压过程中还需密切观察表面是否出现弹簧、起皮或过压裂纹等异常现象,这些现象往往是含水率不当或碾压参数不匹配的直接信号,须立即暂停作业并分析原因进行参数修正,唯有建立这种基于现场实时反馈的精细化、自适应碾压模式,方能克服路基填筑中材料与环境的复杂变异性,最终实现从表层至深层的全断面均匀密实,为上部结构提供稳定可靠的基础支撑。

3.2 路面基层/底基层压实工艺

路面基层与底基层材料的压实工艺关键在于把握材料凝结硬化前的有限可塑窗口期并优化碾压组合以实现结构密实与均匀性的统一,其中无机结合料稳定类材料的时效性压实约束以及级配碎石材料的颗粒嵌挤状态控制构成了工艺实施的核心关注点,对于水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定砂砾等无机结合料稳定材料,其压实成败高度依赖于对水化反应进程的精准预判与施工流程的紧密衔接,自混合料拌和均匀并加水开始,胶凝材料的水化反应即不可逆地启动,其工作性随初凝时间逼近而急剧下降,必须在有限的“延迟时间”内完成摊铺、整平与充分碾压,任何环节的延误都将导致混合料可塑性丧失,此时强行碾压不仅难以达到目标密实度,更会破坏正在形成的早期强度骨架结构,造成结构松散或层间结合不良,因此施工组织必须确保拌和站产能、运输距离、摊铺速度与压实设备配置高度协同,必要时掺加缓凝剂以适度延长可压实时间窗口。而对于级配碎石等粒料类基层,其压实目标在于通过外荷载促使粗细颗粒充分嵌挤形成骨架密实结构,因而碾压工艺的核心在于设备选型与碾压阶段的合理匹配,通常采用振动压路机进行主压实以利用振动能量促使颗粒克服摩擦阻力产生位移重组,后续则辅以轮胎压路机进行终压,借助其柔性揉搓作用进一步填充细微空隙并提升表面密实度与平整度,碾压过程中需特别注意防止过振导致粗骨料破碎或细料上浮造成离析,级配的破坏将显著削弱基层的整体强度与排水性能^[3]。

3.3 沥青路面压实工艺

沥青路面压实工艺的精髓在于对混合料温度-粘度

特性的精准驾驭与三阶段碾压策略的协同优化,其中严格遵循温度窗口约束以及科学配置各阶段碾压设备功能构成了实现高密实度与优良表面特性的核心手段,沥青混合料作为道路工程典型的粘弹性材料,其压实性能对温度变化极为敏感,粘度的指数级增长特性决定了压实作业本质上是一场与时间赛跑的工程实践,必须将初压、复压和终压三个关键阶段严格限定在各自设计温度阈值内完成,初压要紧接着摊铺后在混合料仍处于最高温度(通常 140-150°C 以上)时开始,此时混合料的流动性为最佳,采用双钢轮压路机进行静压或低振幅振动碾压可有效稳定材料并初步密实,防止后续碾压推移混合料。复压是达到目标压实度的决定性阶段,需在混合料温度降至足以保持塑性但尚未过度硬化(通常 120-135°C)的窗口期内,采用重型轮胎压路机或高振幅双钢轮压路机施加主要压实功,轮胎压路机的揉搓作用可促进沥青膜均匀分布并进一步减少内部空隙,而振动压路机则提供强大的渗透能量;终压则主要是在复压后混合料温度降至约 90-110°C 时进行,旨在消除轮迹、修饰表面纹理并封闭微小孔隙,需采用宽钢轮静力压路机精细作业,任何阶段超出其温度窗口都将导致压实效果急剧下降甚至失败。进一步地,碾压参数(速度、遍数、重叠量)需与层厚、混合料类型及环境条件精细匹配,碾压速度过快易导致压实不足和表面不平整,过慢则降低效率并加速混合料降温,碾压遍数需基于试验段确定,不足则空隙率超标,过度则可能压碎石料或使沥青上浮。

4 结束语

压实技术的精细化控制是道路桥梁工程质量的基石,研究表明,材料状态精准调控、设备参数动态适配及工艺链高效协同,可显著优化压实均匀性与结构密实度,随着智能压实技术的发展,实时监控与数据驱动决策将进一步推动压实作业向标准化、智能化升级,未来需深化复杂工况下材料-设备-工艺耦合机制研究,以技术创新筑牢道路耐久、安全通行的核心支撑。

参考文献

- [1] 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 (03): 148-150.
- [2] 戴岩. 市政道桥工程路基路面压实技术分析[思考][J]. 黑龙江环境通报, 2022, 35 (04): 136-139.
- [3] 郑波. 道路桥梁工程路基路面压实技术研究[J]. 居舍, 2020, (35): 65-66.