

土木工程路基填筑施工工艺及稳定性控制研究

张建龙 高建雄

陕西煤业化工建设(集团)有限公司路桥分公司 陕西 西安 710021

摘要:路基作为土木工程路面结构的核心承载载体,其填筑质量与稳定性直接决定整个工程的服役寿命与安全性能。本文围绕路基填筑材料选型与处理、分层填筑、特殊工况填筑三大工艺展开,系统阐述填料调控、碾压组合、搭接处理等关键环节,同时从压实度检测、边坡防护、沉降监测三个维度,提出针对性的稳定性控制技术。通过优化工艺参数、完善控制措施,解决填筑过程中出现的压实不足、沉降不均等问题,实现路基施工质量与稳定性的同步提升,为土木工程路基填筑施工提供技术支撑。

关键词:土木工程;路基填筑;施工工艺;稳定性控制;填料改良

引言:在土木工程建设中,路基承担着传递上部结构荷载、分散应力的重要功能,其施工工艺合理性与稳定性直接关联工程整体质量,也是防范路面开裂、路基坍塌等病害的关键。当前路基填筑施工中,常因填料选型不当、工艺参数不合理、特殊工况处理不到位等问题,导致路基稳定性不足,影响工程正常服役。结合路基填筑施工实际,梳理填筑材料处理、分层作业、特殊工况应对等工艺要点,探索科学有效的稳定性控制技术,优化施工流程、完善控制体系,对提升土木工程路基施工质量具有重要现实意义。

1 路基填筑材料选型与处理工艺

1.1 填筑材料分类与力学性能要求

路基填筑材料按颗粒组成特征划分为巨粒土、粗粒土、细粒土及特殊土四大类别。巨粒土含漂石、卵石等粗颗粒组分,颗粒间嵌锁作用强,承载能力高,可用于路基底层及承重区域填筑。粗粒土包含砾类土与砂类土,砾类土内摩擦角大,压实后结构密实,砂类土透水性佳,能减少水分积聚引发的病害^[1]。细粒土涵盖黏性土、粉土等,黏性土黏聚力较强但遇水易软化,粉土抗冲刷能力弱,需结合工程需求筛选使用。特殊土如膨胀土、淤泥质土等,自身稳定性差,未经改良不得直接用于填筑。力学性能需契合路基承载与稳定需求,核心控制指标包含加州承载比、抗剪强度及压实特性。加州承载比反映填料抵抗局部荷载压入变形的能力,路床区域填料需具备较高数值以承受上部结构传递的荷载。抗剪强度决定填料抵抗剪切破坏的极限能力,粗粒土抗剪强度多由颗粒间摩擦力提供,细粒土则依赖黏聚力与摩擦力共同作用。压实特性体现填料在机械作用下达到密实

状态的难易程度,优质填料可在常规压实机械作用下快速实现设计密实度。

1.2 填料含水量调控与改良处理

填料含水量偏离合理区间会直接影响压实质量,过高易导致土体弹簧、推移,过低则难以压实成型。调控前需通过室内击实试验确定最佳含水量,以此为基准开展现场调控作业。含水量偏高时,采用分层翻晒工艺,控制翻晒厚度,通过自然晾晒或机械翻拌加速水分蒸发,过程中定时检测含水量,达标后停止晾晒。含水量偏低时,采用洒水焖料方式,通过洒水车均匀补水,补水后覆盖保湿材料静置,使水分在填料内部均匀渗透,避免局部干湿不均。改良处理针对天然填料性能缺陷开展,常用改良材料包含石灰、水泥及粉煤灰等无机结合料。黏性土掺入石灰可降低塑性指数,增强水稳性,减少遇水膨胀软化现象。粉土掺入水泥能提升结构强度与抗变形能力,改善松散特性。改良工艺分路拌法与厂拌法,路拌法直接在填筑现场摊铺填料与改良材料,通过拌和设备充分拌和;厂拌法在固定拌和站集中生产,保障混合料均匀性,适用于高等级公路路基施工。

1.3 粗粒料级配优化与碎石掺配工艺

粗粒料级配决定颗粒排列密实程度,优化目标为形成连续级配曲线,减少孔隙率,提升压实后结构稳定性。级配优化前开展颗粒筛分试验,获取不同粒径颗粒分布数据,依据试验结果调整各粒组比例。合理级配需兼顾粗颗粒骨架作用与细颗粒填充效果,粗颗粒形成嵌锁骨架提供强度支撑,细颗粒填充骨架间隙降低孔隙率。优化过程中通过多组试配试验,测定不同级配下填料干密度与强度指标,筛选最优级配方案。碎石掺配用

于改善填料级配与力学性能, 掺配前明确碎石粒径规格与掺配比例, 优先选用质地坚硬、风化程度低的碎石。掺配工艺采用分层掺拌方式, 先摊铺底层填料, 按设计比例均匀撒布碎石, 再通过拌和设备使碎石与原填料充分混合, 避免局部碎石聚集或分布不均。掺配过程中控制拌和深度与遍数, 保障混合料均匀性, 防止离析现象发生。掺配后检测混合料颗粒级配、含水量及压实特性, 确保掺配效果满足路基填筑技术标准, 为后续压实作业提供合格填料。

2 路基分层填筑施工工艺

2.1 分层厚度控制与摊铺整平工艺

分层厚度控制直接决定路基压实质量, 取值需结合填料类型、压实机械性能及路基设计标准, 严格遵循公路路基施工技术规范规定^[2]。粗粒土颗粒嵌锁性强, 填筑厚度可适度加大; 细粒土及改良土水稳性较弱, 厚度需相应缩减, 防止厚度过大导致压实能量传递不足, 出现压实度不达标问题, 厚度过小则会增加工序冗余, 影响施工效率且易造成层间衔接不良。施工中采用水准测量与标杆控制结合的方式, 在路基两侧布设高程控制桩, 标注每层填筑设计厚度, 摊铺过程中实时监测调整, 保障每层厚度均匀。摊铺整平需与厚度控制协同推进, 采用平地机或推土机作业, 控制合理摊铺速度, 避免填料堆积或局部凹陷。摊铺时根据填料颗粒大小调整方式, 粗粒料摊铺需防止颗粒离析, 细粒料摊铺需保证表面平整。整平采用平地机刮平, 调整刮刀角度使填筑层表面坡度符合排水设计, 便于水分排出, 整平后清除表面较大杂物, 消除明显凸起与凹陷, 为后续碾压作业筑牢基础。

2.2 碾压组合方式与遍数控制

碾压组合方式需结合填料类型、压实厚度及机械性能科学选取, 常用分级碾压模式, 即轻型压路机预压、重型压路机主压、轻型压路机终压。轻型压路机预压可使填料颗粒初步密实, 减少后续重型碾压产生的推移变形, 预压速度放缓, 确保填料均匀受力。重型压路机主压是压实核心, 通过高压作用使填料颗粒紧密嵌锁, 提升密实度与力学性能, 主压时控制速度与轨迹, 采用纵向进退式碾压, 相邻轨迹重叠一定宽度, 杜绝碾压死角。碾压遍数通过室内试验与现场试碾压确定, 不同填料、机械对应的遍数存在差异。碾压过程中定时检测压实度, 达标后立即停止, 避免过度碾压破坏填料结构, 或碾压不足导致密实度不够。碾压顺序遵循从路基两侧向中心推进, 两侧碾压次数可适度增加, 保障边坡压实质量。终压采用轻型压路机, 消除主压轮迹, 使填筑层

表面平整, 提升整体外观与压实均匀性。

2.3 填筑搭接处理与层间结合质量控制

填筑搭接处理针对分段填筑、横向衔接及纵向延伸部位, 搭接宽度严格遵循施工规范, 确保搭接部位压实度与整体一致。分段填筑时, 相邻施工段预留搭接台阶, 台阶高度与分层厚度匹配, 坡度设置合理, 便于后续填料摊铺碾压, 避免搭接处出现缝隙或沉降差。横向搭接采用分层搭接碾压, 先补压已填筑段边缘, 再摊铺新填料, 杜绝松散、空洞现象。层间结合质量是提升路基整体稳定性的关键, 每层填筑完成后, 对表层进行拉毛或刨毛处理, 清除浮土与松散颗粒, 增强层间摩擦力与黏结力。拉毛深度根据填料类型调整, 粗粒土可适当加大, 细粒土需控制深度, 避免破坏下层压实结构。层间需保持清洁无杂物、无积水, 摊铺新填料前可适度洒水湿润, 促进层间紧密结合, 防止层间滑动或脱空, 对结合不紧密部位及时补压, 保障路基填筑连续性与稳定性。

3 特殊工况路基填筑工艺

3.1 高填方路基分层加载与沉降控制工艺

高填方路基填筑需遵循分层加载原则, 加载速度与加载量需结合地基承载力与填料特性确定, 严格按照公路路基施工技术规范执行^[3]。分层加载需循序渐进, 避免加载过快导致地基产生不均匀沉降, 加载过程中需控制每层加载厚度, 结合压实质量逐步提升加载强度。沉降控制需贯穿填筑全过程, 通过布设沉降观测点, 定期监测沉降量与沉降速率, 根据观测数据调整加载节奏, 当沉降速率超出允许范围时, 暂停加载, 待沉降稳定后再继续施工。

3.2 软基路段路基填筑预压与排水工艺

软基路段路基填筑前需开展预压处理, 预压方式根据软基厚度与地质条件选取, 常用堆载预压或真空预压工艺。预压目的是排出软基内部水分, 加速软基固结, 提升地基承载力, 减少填筑后沉降。预压期间需合理控制预压荷载, 避免荷载过大造成软基破坏, 同时加强沉降与孔隙水压力监测, 掌握软基固结进度。排水工艺需与预压处理协同配合, 在软基内部布设排水盲沟、排水板等排水设施, 加快水分排出速率, 缩短预压工期。排水设施布设需符合设计要求, 确保排水通畅, 避免出现排水堵塞导致软基固结延迟。

3.3 路基与结构物衔接段填筑工艺

路基与结构物衔接段填筑需重点控制衔接质量, 避免出现沉降差导致结构物损坏或路面开裂。填筑前需清理结构物表面杂物, 对结构物与路基衔接面进行凿毛处

理,增强填料与结构物的黏结力。填筑时选用强度高、水稳性好的填料,控制填筑厚度,采用小型压实机械作业,确保衔接部位压实度达标,避免大型机械碾压对结构物造成碰撞损坏。衔接段填筑需与路基主体同步推进,分层碾压、分层检测,层间结合需符合质量要求,避免出现松散、脱空现象。填筑完成后需加强养护,减少衔接段沉降,保障路基与结构物衔接平顺、稳定。

4 路基稳定性控制技术

4.1 压实度检测与动态补强控制

压实度是路基稳定性的核心控制指标,检测工作需贯穿填筑全过程,检测方法需符合公路路基施工技术规范要求,根据填料类型选用适配方式。粗粒土优先采用灌砂法检测,细粒土及改良土可采用环刀法,检测频率需满足施工质量控制标准,随机选取检测点,确保检测结果客观反映实际压实质量。检测过程中需严格控制操作流程,避免操作不当导致检测数据偏差,对检测不合格部位需及时标记,明确整改范围与要求^[4]。动态补强控制针对压实度不合格区域开展,补强方式需结合不合格程度与填料特性确定。轻度不合格区域可采用增加碾压遍数、调整碾压参数的方式补强,重度不合格区域需先开挖不合格填料,重新摊铺、碾压后再次检测。补强过程中需实时监测压实度变化,逐步调整补强方案,确保补强后压实度达到设计标准。动态补强需兼顾施工效率与质量,避免过度补强造成填料结构破坏,更要避免补强不到位而遗留路基稳定性隐患。

4.2 路基边坡稳定性防护与加固工艺

路基边坡稳定性直接影响路基整体安全,防护与加固工艺需结合边坡坡度、填料类型及外部环境确定,遵循因地制宜原则。边坡防护重点防控雨水冲刷、风化侵蚀,常用工艺包括植草防护、喷播防护及浆砌片石防护。植草防护适用于坡度较缓的边坡,通过种植耐旱、固土能力强的草本植物,增强边坡表层稳定性,减少水土流失;喷播防护适用于坡度较陡边坡,将草种、基材混合喷播至边坡表面,快速形成防护层;浆砌片石防护适用于雨水冲刷强烈、边坡稳定性较差区域,通过砌筑片石形成防护墙,抵御雨水侵蚀与边坡坍塌。边坡加固工艺针对边坡潜在滑动风险开展,常用方法包括锚杆加固、抗滑桩加固及换填加固。锚杆加固通过将锚杆植入边坡深层土体,传递边坡应力,增强土体抗滑能力;抗滑桩加固适用于边坡滑动隐患较大区域,通过浇筑抗滑

桩嵌入稳定土层,阻挡边坡滑动;换填加固针对边坡表层软弱土体,开挖软弱土层后换填强度高、稳定性好的填料,提升边坡承载能力。

4.3 路基不均匀沉降监测与变形控制

路基不均匀沉降是引发路面开裂、结构损坏的主要原因,监测工作需贯穿施工及运营初期,监测方案需符合路基施工质量控制规范。监测点布设需覆盖路基关键部位,包括高填方路段、软基路段及结构物衔接段,采用沉降观测桩、水准仪等设备,定期监测沉降数据,记录沉降量与沉降速率,建立监测台账,跟踪沉降变化趋势。监测过程中需及时整理监测数据,发现沉降异常时,立即分析原因,采取针对性控制措施。变形控制需结合监测数据开展,针对沉降速率过快、不均匀沉降差值过大的区域,采取相应控制措施。软基路段可通过加快排水、调整加载节奏控制沉降;高填方路段可采用分层加载、动态补强方式减少沉降差异;结构物衔接段可加强层间结合、优化填料类型,控制衔接部位沉降。变形控制需提前预判潜在沉降风险,主动采取防控措施,避免沉降发展引发路基失稳,确保路基变形量控制在设计允许范围内,保障路基长期稳定。

结束语

路基填筑施工工艺与稳定性控制是保障公路工程质量的关键技术环节。从材料选型与改良处理入手,结合分层摊铺、碾压组合及搭接处理等核心工序,能够有效保障填筑层压实质量与层间结合强度。针对高填方、软基及结构物衔接段等特殊工况,采用分层加载、预压排水及小型机械作业等差异化工艺,可显著降低沉降与变形风险。压实度动态补强、边坡防护加固及不均匀沉降监测等稳定性控制手段的综合运用,为路基长期安全运营奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 陈豪凯. 土木工程道路路基施工技术分析 [J]. 低碳世界, 2024, 14(2): 154-156.
- [2] 吴彬. 市政道路路基填筑施工工艺研究 [J]. 建筑·建材·装饰, 2024(16): 91-93.
- [3] 刘昌运. 高速公路路基填筑施工质量控制技术研究 [J]. 工程与建设, 2026, 40(1): 237-239.
- [4] 戴璐. 高速公路路基填筑施工技术研究 [J]. 运输经理世界, 2025(3): 55-57.