

软土路基换填碎石土施工技术分析

刘 雷

(乐山市市中区国省干线公路建设发展中心, 四川 乐山 614000)

摘 要 软土路基是道路工程中常见的地质类型, 具有承载力低、压缩性大等特点, 容易导致路基沉降, 严重影响道路的使用寿命。软土路基换填碎石土施工技术是公路、铁路等基础设施建设中常用的地基处理方法之一, 广泛应用于软土地区的道路、桥梁等工程。本文将从软土路基的特性及危害出发, 阐述换填碎石土施工技术的原理及优势, 并深入探讨该技术具体的施工步骤、质量控制要点及常见问题的处理措施, 以期软土路基施工提供技术指导, 进而推动该技术的普及。

关键词 软土路基; 换填碎石土施工技术; 质量控制

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.014

0 引言

软土路基由于土质松软、含水量较高以及强度较低等物理特性, 承载能力差, 在重交通负荷下会出现严重的变形, 影响路基的稳定性。同时, 在道路建设中, 堆载、预压等传统的软土路基处理方法, 施工周期长且效果不明显。近年来, 软土路基换填碎石土施工技术因施工简便、效果明显, 受到工程技术人员的广泛关注, 逐渐成为软土路基工程中的主流技术。

1 软土路基的特性及危害

1.1 软土路基的物理特性

软土是指天然含水量较高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的细粒土, 主要包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。根据《公路路基设计规范》(JTG D30-2015), 软土可按其物理力学性质进一步划分为软黏性土、有机质土和泥炭土等类型。软土主要由水分以及有机质构成, 粒径较小、孔隙比大, 其水分含量及塑性较高。软土的天然含水量通常接近或超过液限, 这导致其具有较强的流动性以及不稳定性。此外, 软土的孔隙比通常大于 1, 土体结构松散, 承载力低。软土的抗剪强度低, 在外部荷载作用下极易发生剪切破坏, 特别是在交通荷载或天气变化的影响下, 路基可能发生严重的沉降现象。同时, 软土的渗透系数较低, 所以水分排出缓慢, 也会加剧其工程危害。

1.2 软土路基的危害

软土路基普遍存在于湖泊、湿地等地区, 其主要危害表现为承载力低、抗剪强度差、易受水分变化影响、压缩性大、容易产生沉降等。软土路基的承载力较低,

这意味着其难以承担交通荷载, 长期使用可能导致路基不稳定, 产生沉降或开裂等现象, 严重影响道路的正常使用寿命^[1]。由于软土具有高压缩性、低强度的特性, 路基在车辆荷载作用下容易产生不均匀沉降, 进而影响路面的平整度。软土路基与桥台连接处易产生差异沉降, 导致桥头跳车现象, 影响行车安全性。沉降过大的软土路基会导致路面开裂、结构不稳, 严重时还会引发道路沉陷, 降低道路使用寿命。同时, 软土路基的边坡稳定性差, 易发生滑塌等地质灾害。此外, 软土对水分的敏感性也增加了路基变形的风险, 导致软化现象, 进一步影响路基的稳定性。

由于软土的渗透性较差, 难以快速排出水分, 长期积水会加剧路基软化, 进一步降低其承载能力。在雨季或地下水位上升时, 软土路基容易饱和, 导致土体强度急剧下降, 甚至引发局部塌陷或滑坡。软土路基的沉降问题还会破坏地下管线、涵洞等附属设施, 增加维修成本。在寒冷地区, 软土路基还容易受到冻融循环的影响, 冻胀、融沉现象会加剧路基的不均匀沉降, 导致路面开裂。软土路基的长期变形还会对沿线建筑物、桥梁等结构产生不利影响, 引发连锁反应, 增加整体工程的维护难度和费用。

2 换填碎石土施工技术的原理及优势

2.1 换填碎石土施工技术的原理

换填碎石土施工技术的原理是借助置换软弱土层与强化地基结构提升路基性能。该方法的核心在于彻底挖除路基范围内的低强度软土, 替换为具备优异工程特性的碎石土材料, 凭借改变物理力学性质加固地基^[2]。其作用机理首先体现为材料性能的全面升级:

软土层因高含水量与松散结构易产生压缩变形,而碎石土凭借颗粒间的摩擦咬合作用,能将上部荷载以更优化的角度向深层土体扩散,避免应力过度集中于局部区域,这种应力重分布效应可提高地基的承载安全系数以及增强抗压能力,同时粗颗粒间的嵌锁作用赋予材料更强的荷载传递效率。这种结构性转变能有效减少软土地基的持续沉降趋势,大幅改善路基整体刚度。另外,碎石土材料的透水特性形成第二重加固机制。其天然形成的孔隙网络可快速疏导地下水,加速软土层的排水固结过程,既缩短了地基稳定所需时间,也降低了孔隙水压力,增强了土体抗剪强度。

此外,在施工过程中需重点把控制材料配比与压实工艺,确保碎石、砂土与黏土形成稳定的三相体系。同时,使用分层碾压形成致密结构层,既能形成有效排水通道,又可构筑具有连续支撑能力的刚性基础。该技术尤其适用于浅层软基处理,在消除地基不均匀沉降、提升抗变形能力方面具有显著优势,为道路工程提供了可靠的结构保障。

2.2 换填碎石土施工技术的优势

换填碎石土施工技术作为软土路基处理的核心工艺,在工程实践中展现出多重优势。该技术通过置换低强度软土并采用碎石土分层压实,从根本上改善路基结构性能。碎石土材料具备优异的承载特性,其颗粒间的嵌锁效应形成稳定的骨架结构,可显著提升路基抗变形能力。相较于传统软基处理工艺,碎石土换填的透水性能优势突出,既能快速排出地层孔隙水加速固结,又可避免积水软化路基,形成良性水文循环系统^[3]。在施工过程中,碎石土材料的广泛适应性使其可因地制宜地取材,从而大幅降低远距离运输成本。分层碾压工艺结合机械与人工配合,保证每层压实度均匀达标,形成整体性良好的复合地基。对于桥头过渡段等差异沉降敏感区域,碎石土的高刚度特性可有效协调结构物与路基,预防跳车现象。在施工效率方面,该技术无需复杂化学处理工序,规避出现材料配比误差的风险,工序衔接紧凑,质量可控性强。从长期性能分析,碎石土路基的压缩模量高于原状软土,可有效抑制工后沉降发展。其粗颗粒骨架在水文条件变化时仍能保持稳定,避免因含水量波动引发的强度衰减问题。针对浅层软土处理,该技术既能保证处理深度内的土体改良效果,又不会扰动下部持力层,维持地基系统的整体稳定性。施工单位借助规范化的填料筛选、摊铺厚度控制及碾压参数优化,可系统性提升路基工程品质,为道路全寿命周期性能提供可靠保障。

3 软土路基换填碎石土施工技术的施工步骤

3.1 施工前准备

软土路基换填碎石土施工技术的施工前准备需遵循系统化流程。施工前应对软土路基开展全面地质勘察,利用钻孔取样与室内试验明确软土层的分布特征、物理力学参数及地下水位变化规律,为确定换填范围与深度提供科学依据。现场需布设控制桩网定位三维坐标,精准标定换填边界与高程基准点。碎石土材料选取需综合考虑粒径分布、透水系数与抗冻性能,优先采用天然级配碎石与机制砂混合料,经筛分试验确认级配曲线处于设计包络线范围内。材料进场前需核出厂合格证明,抽检含泥量、针片状颗粒比例等关键指标,运输过程采取防离析措施。施工机械配置需结合换填深度与作业面尺寸,通常采用履带式挖掘机配合自卸车进行土方作业。技术交底环节需重点说明基底处理标准、换填分层厚度及压实工艺参数,同步完成试验段施工以验证松铺系数与碾压遍数。对于浅层软土区域,需预先开挖排水盲沟降低地下水位,确保基底处于最佳含水量状态。同时,制定详细的施工组织设计,明确各工序的衔接。对于特殊地质条件或复杂路段,需提前制定应急预案,以应对出现的突发情况。施工前还需与相关部门协调,妥善保护施工区域内的管线、电缆等设施。

3.2 施工工艺流程

施工人员根据设计图纸,确定换填范围和高程,并进行现场放样。在换填区域周围开挖排水沟,排除地表水和地下水。采用机械或人工方式挖除路基范围内的软土,直至达到设计标高。在施工过程中,首先需要清理软土路基上的杂物、植物及其他障碍物,然后利用挖掘机清理软土,保证换填层的平整度^[4]。施工时首先需清除软土层,通常使用挖掘机或铲车进行开挖。在清除过程中,应注意避免扰动周围土体,保证路基的稳定。在换填碎石土时,需要进行分层填充,每层的厚度一般不超过 30 cm,填料应均匀铺设,并且在每层之间进行充分的压实。将碎石土分层填筑至换填区域,每层厚度一般为 20 ~ 30 cm。每层填筑的厚度应根据材料的性质,确保每一层压实度达到标准。换填过程中要严格控制水分含量,要求碎石土在最适宜的含水量下进行压实。采用压路机碾压夯实每层碎石土,要求压实度达到设计要求。每层碎石土填筑后,需进行充分压实,压实方式可以选择振动压路机、轮式压路机等设备,也可采用静态压路机和振动压路机交替使用,以确保每层碎石土的密实度达到设计要求。

压实度是确保路基承载力、稳定性的关键指标,通常要求压实度达到95%以上。在上述过程完成后,需要对换填后的路基进行压实度、承载力等指标检测,确保施工质量。换填施工完成后,必须对碎石土进行质量检验,包括粒径级配、含水量、压实度等项目,确保其符合设计要求。同时,需要进行沉降监测,确保换填后的路基不发生过度沉降。

3.3 施工质量控制要点

在实施软土路基换填碎石土之前,必须详尽地勘查施工现场。施工人员需全面调查土质、地下水位、环境条件等,以了解现有的土壤条件,帮助工程师选择合适的碎石土材料及其换填的深度。此外,要确认场地的排水条件,以避免在施工过程中出现积水,从而对路基造成影响。材料必须符合相关的国家及行业标准,具备良好的颗粒级配、压实性能和一定的抗压强度。对碎石土进行现场取样,实施粒径分析、密度测试等,以确保所用材料的质量^[5]。确保材料中无有机物、盐分及其他不合格的颗粒,留存原材料的检验结果,以备后续审查。换填时应分层进行,每层的厚度应控制在20~30 cm,以便于充分压实。在施工过程中,应使用滚筒压路机、振动压路机等压实设备,确保达到设计要求的密实度。在压实过程中,需要定期取样,检测每层的密实度,以达标准,不合格的部分需进行返工。在施工阶段,监测是确保工程质量的重要环节。应在施工现场设置监测点,实时记录换填后的路基沉降情况和其他应力变化。这不仅可以及时发现潜在问题,还能为后续的维护与评估提供数据支持。换填施工完成后,需进行适当的养护,以保证路基的稳定性。保持路基的湿润状态有助于提高其密实度和强度,避免因干缩引起的裂缝、沉降等问题。养护周期应根据气候条件和土质情况灵活调整,在养护期满后,进行最终验收,检查换填碎石土的整体质量,确保满足设计要求。

3.4 施工常见问题及处理措施

沉降是软土路基常见的问题,尤其是在换填后,若不均匀压实,会导致局部沉降。为了解决这个问题,施工方在施工过程中应确保各层的均匀性,及时监测沉降情况。如果发现沉降不均,可根据情况进行加固处理,增加局部的碎石填料,以及重新压实。施工层厚度过大、压实设备不当可能导致压实度不够、碎石土的承载力不足。针对这一问题,可采用分层压实的方法,确保每层达到要求的密实度。若发现基层物理性质不达标,应停止施工,重新增加碎石土并重新压实。软土路基

换填碎石土后,如果排水性不好,可能会引发水分积聚,造成地基的软化。施工时要注意排水设施的设置,确保及时排除雨水或地下水。若发现某一段落存在排水不畅的情况,要加强排水设施,并评估影响范围,进行及时的整改。在某些情况下,使用的碎石土材料可能存在不合格现象,这不仅影响路基的强度,也会造成后期的安全隐患。在材料进场前需进行严格的质量检验,一旦发现材料不合格,需立即更换,同时评估已使用的部分风险并进行相应的处理,确保不影响整体工程。天气条件、气温变化、水位等环境因素对软土路基的施工有重要影响。例如:雨天施工可能导致土体的流失与淤泥混合,这时现场需做好防护措施,必要时暂停施工。此外,在施工过程中还应根据天气变化灵活调整工艺。施工设备的选择与维护也会影响施工质量,如果设备出现故障,会导致施工进度慢和质量偏差。因此,应做好设备的日常维护、定期检查,确保其处于良好工作状态。同时,选用与施工要求相符的设备,可以提高施工效果,保障施工安全。

4 结束语

软土路基的处理是道路建设中的一个关键问题,换填碎石土施工技术为解决软土路基的承载力问题提供了有效途径。换填碎石土施工技术不仅可以显著提高路基承载力,还能改善其排水、抗压性能,为路基工程的稳定性提供了有力保障。但在实施过程中仍需注意材料选择、施工管理和质量控制等方面以及具体的地质条件,合理设计施工方案,严格控制施工质量,通过细致的质量控制与及时的问题处理,有效提高软土路基换填碎石土的施工质量,确保路基的稳定性,为后续的工程建设打下坚实的基础。未来,随着新材料和新工艺的发展,换填碎石土施工技术将进一步完善,在软土路基的处理中发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 钟儒华.软土路基施工技术在高速公路施工中的应用[J].建设机械技术与管理,2025,38(01):148-150.
- [2] 张祯.路基软基处理技术在高速公路施工中的应用[J].工程技术研究,2025,10(02):62-64.
- [3] 高苏辉.软土路基处理方法及路基换填施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025(02):118-120.
- [4] 郭吉葵,陈国强,吴伟,等.碎石桩加固软土路基的有限元分析及加固机理探讨[J].四川水泥,2025(01):178-181.
- [5] 林海燕.道路软土路基地基处理造价指标分析[J].江苏建材,2024(06):142-144.