

Analysis of subgrade reinforcement methods for road construction in poor sections

Zuodong Bi¹ Siyuan Sun²

1. Binzhou Transportation Investment Construction Co., Ltd., Binzhou, Shandong, 256600, China

2. Binzhou Transportation Investment and Development Group Co., Ltd., Binzhou, Shandong, 256600, China

Abstract

The effective implementation of subgrade reinforcement for poor sections during highway construction is crucial to the quality of the project, its service life after commissioning, and even traffic safety. It is essential to analyze and optimize construction methods based on the specific conditions of poor sections in highway engineering. This article primarily discusses five methods for reinforcing subgrades in poor sections: soil replacement and filling, drainage consolidation, mechanical compaction, pile foundation reinforcement, and deep mixing. It analyzes the technical principles, operational points, applicable scope, and advantages of each method, aiming to provide a reference for relevant construction personnel.

Keywords

highway engineering; subgrade reinforcement; construction technology; bad section

公路工程施工不良路段路基加固方法分析

毕作东¹ 孙思远²

1. 滨州交投工程建设有限公司, 中国·山东 滨州 256600

2. 滨州市交通投资发展集团有限公司, 中国·山东 滨州 256600

摘要

在公路工程施工建设期间不良路段路基加固工作的有效落实对于公路工程的建设质量、投入使用以后的使用寿命甚至交通安全都会起到至关重要的影响, 必须结合公路工程施工不良路段的实际情况具体问题具体分析优化施工方法。基于此, 文章主要从换土填层法、排水固结法、机械碾压法、桩基加固法、深层搅拌法五个方面讨论不良路段路基加固方法, 分析不同方法的技术原理、操作要点、适用范围和应用优势, 希望可以为相关施工人员提供参考。

关键词

公路工程; 路基加固; 施工技术; 不良路段

1 引言

在公路工程建设期间不良不良路段路基加固是十分重要的, 这对于后续道路施工能否正常顺利开展以及道路施工是否满足于质量验收标准都会起到至关重要的影响, 而就现阶段来看公路工程施工中不良路段路基加固方法相对较多, 较为常用的主要包含换土填层法、排水固结法、机械碾压法、桩基加固法、深层搅拌法等相应技术方法。

2 换土填层法

换土填层法是指在公路工程施工中若发现不良路段可通过挖除不良土层置换填料配合压实作业来消除原土层缺陷, 改善路基整体承载力和力学性能, 避免路基开裂、沉陷

等相应病害问题, 在换土填层法应用的过程中应注意如下几个关键点。首先, 应落实勘察与开挖作业, 通过现场地质勘探对于该地区不良土层的分布范围、土层类型及厚度有较为全面的了解和认识。在此基础之上通过人工开挖或机械开挖的方式去除不良土层并落实基坑底面平整工作^[1]。其次, 应结合公路工程质量验收标准、建设规模、公路应用方向、应用需求具体问题具体分析, 科学选择填料, 并加强对填料的质量控制, 常用填料包含碎石、素土、灰土等等, 不同填料应用之前所需要考量的问题也存在一定差异, 例如若选用砂砾土则需控制含砂量, 保障其数值在 5% 以下, 若选择灰土则保障搅拌均匀, 若选用碎石类填料则需加强碎石的级配控制和填料含水率控制。再次, 应通过分层回填与压实作业来提高路基的荷载能力和物理学性能, 在分层回填中应控制分层厚度, 一般多选择将厚度数值控制为 30cm, 具体应根据压实机械和质量验收标准确定, 在回填中应遵循先低后高、先两侧后中间的填筑顺序, 而在压实作业中应着重关注

【作者简介】毕作东(1990-), 男, 中国山东滨州人, 本科, 工程师, 从事公路研究。

压实机械设备的选择问题，加强对振动压路机、冲击夯等相应机械设备的型号、参数控制，在此之后可通过现场实验来确定压实参数，例如明确压实遍数、压实速度等等，在施工建设的过程中则是严格按照试验参数来控制施工参数，保证压实效果，确保压实度达到设计标准的 94%~96% 之间。最后，需落实排水工作，设置临时排水设施，避免雨水浸泡影响压实度。若采用分层压实的方式，则需在每层压实后采用灌砂法、环刀法等相应检测方法确定压实度是否达标，若达标则可填入下一层，若不达标则需重复碾压作业。

换土填层法更适用于浅层软土地基、湿陷性黄土地基、膨胀土地基、杂填土地基等相应不良土层。该项技术的应用优势是十分鲜明的，其操作难度相对较低且施工工艺较为成熟，质量可控性较强，适用于大多数不良土层，可根据不良土层的特性针对性选择填料，同时相较于其他技术方法该项技术方法的填料来源广泛、可替代性强、施工周期短，成本可控，在后期维护上难度也相对较低^[2]。

3 排水固结法

排水固结法是通过竖向排水体和水平排水垫层的设置完善排水通道，配合预压荷载去除土壤中的孔隙水，提高土体密实度和土体强度，最终使地基达到设计荷载要求。排水固结法在实践应用的过程中需注意如下几个关键要点。首先，应做好排水系统施工，紧抓竖向排水体和水平排水垫层的两大关键要点加强施工技术控制，在竖向排水体施工中可通过砂井、塑料排水板的设置保障排水畅通，若选择埋设排水法，可引入振动沉管法、静压法或水冲法埋设，并保障塑料排水板的间距在 1m ~ 1.5m 之间，且其深度应当穿透软

土层。而在水平排水垫层设置中可铺设中粗砂垫层，并保证其垫层厚度在 0.5~1m 之间，然后落实压实作业，并加强压实后的平整度控制，保障平整度误差在 5cm 以下。其次，施加预压荷载，在该环节可通过堆载预压或真空预压的方式提高预压荷载施加效果，在堆载预压中可引入砂袋、填土分等级加载，并控制沉降速率，当沉降速率小于 1~2mm/d 以后再展开下一项工作，确保总预压荷载超过设计预压荷载^[3]。在真空预压中需要在加固区铺设 3~4 层密封膜，在此之后引入真空泵，抽出膜下空气，保障其真空度大于 80kPa。最后通过监测与卸载工作的落实完成施工，在该环节可通过孔隙水压力计的布置配合沉降板监测来获得沉降速率数值，在确保沉降速率小于 0.5mm/d 并持续 10 天以上且总沉降量达到预估 80% 以上时可落实分级卸载工作。

排水固结法更适用于饱和软粘土、淤泥质土等相应渗透性较强、固结周期长的土层，该项技术的应用优势在于可以有效处理较深的土层，减少施工后因沉降引发的病害问题，保障地基稳定性，同时在实践施工的过程中不需要大量堆载材料，可以有效缩短工期，其经济成本更低。在施工时也不会出现噪音、泥浆污染等相应问题，环保性较好。此外，在该项技术应用中可借助沉降与孔隙水压力监测数据分析精准评估加固效果和施工质量，保障质量的可控性。

4 机械碾压法

机械碾压法是借助压路机、夯实机等相应机械设备，通过振动荷载、静压力、冲击力重新排列土壤颗粒，缩小孔隙体积，进而提高地区的密实度和荷载力。一般情况下可根据机械类别对机械碾压法进行类型划分，如表 1 所示。

表 1: 机械碾压法类型及适用范围

机械碾压法类型及适用范围		
类型	方法	适用范围
静压法	压路机重力静载压实	粘性土、砂性土的浅层压实
振动碾压法	振轮机激振力使土颗粒共振错动	砂类土和碎石土处理
冲击碾压法	多边形压实轮高能冲击	深层压实及旧路改造

在机械碾压法应用的过程中应注意如下几个关键要点，首先应做好碾压前的准备工作。一方面应去除地表杂物，保障场面清理整洁。另外一方面应加强对摊铺土层厚度的控制和管理，保障其厚度达标且含水率达标。其次，应当控制工艺参数，具体应根据不同技术方法作出适当调节，例如在路基加固处理中采用静压法则应坚持先轻后重、先慢后快的原则，控制初压速度、终压速度和碾压遍数，一般多将数值确定为 2~3km/h、3 ~ 5km/h、6 ~ 8 遍。若选用振动碾压方式则应当静压 2 遍，再开展振动碾压的方式，提高路基加固效果，而在振动碾压中应控制振动频率和振幅以及重叠轮宽，可将数值分别设置为 25 ~ 50Hz、0.5mm ~ 2.0mm、1/3 ~ 1/2。在冲击碾压的过程中需控制行驶速度，明确网格轨迹，在碾压固定遍数以后完成对边角的强夯处理，一般

情况下在冲击碾压中应当将行驶速度控制在 10 ~ 12km/h，碾压遍数多为 20~25 遍。最后进行压实度检测可通过灌砂法、核子密度仪等相应检测方法来判断压实度是否达标，在达标以后展开下一层施工。

机械碾压法在实践应用中更契合于粉土、低塑性粘土、回填土、松散砂土等相应软弱地基。而在淤泥质土、膨胀土等含水量相对较高的软弱地基处理中采用机械碾压方法往往无法达到较好的应用效果。当然机械碾压技术在实践应用中也有其独特的优势，一方面可借助机器设备进一步提高机械碾压的碾压效率和质量，缩短工作周期。另外一方面，在施工建设中不需要额外材料，其设备通用性较强，施工成本及后续维护成本都相对较低，此外压实度检测方法现阶段也是较为成熟的，这也为质量量化检测分析提供了更多的帮

助，提高了质量的可控性^[4]。

5 桩基加固法

桩基加固法是指在不良地基中打造特殊桩体，例如水泥土桩、预制桩灌注桩等等，利用桩体来提高路基荷载能力，形成桩土复合地基。在该项技术应用过程中需抓住如下几个关键点。首先，需做好桩型的选择和设计，通过实地勘

测对于拟建区域的地势地形、土壤特点有较为全面的了解，根据质量验收标准和公路荷载要求对桩型作出科学选择。在此基础上还需要做好桩长、桩径和桩间距的控制与管理。其次，应加强成桩施工环节的技术控制，可从预制桩、灌注桩、水泥桩等多个维度来确定不同桩体施工过程中应注意的关键问题，如表 2 所示。

表 2: 成桩技术要点

成桩技术要点	
类别	技术要点
预制桩	通过锤击、静压法沉桩来保障成桩质量，同时在施工过程中应加强现场监控，控制桩体的垂直度，保障其偏差小于 1%，桩顶标高符合设计要求。
灌注桩	需通过旋挖钻机完成钻孔操作，在清孔结束以后沉入钢筋笼并浇筑混凝土。
水泥土桩	可通过深层搅拌法完成成桩施工，控制水泥掺量和搅拌提升速度，保障桩体的质量均匀。

再次，需做好桩顶处理，一般多通过铺设碎石垫层并保障垫层厚度在 30~50cm 配合土工格栅的方式避免桩顶应力集中影响施工质量和施工效果。最后，需通过检测验收确保桩身完整、承载力达标，然后展开路基填筑施工^[5]。

该项技术更适用于深厚软土层和高填方路、基岩溶地区、软弱下卧层路段。桩基加固法在实践应用中的应用优势具体体现为承载力较强、沉降幅度较低、适应性较强。在复杂地层地基处理中可根据土质条件来选择桩体。此外，在该项技术应用的过程中还可通过机械设备的引入保障质量的稳定性，提高施工效率，降低施工成本。

6 深层搅拌法

深层搅拌法是借助搅拌机械将固化剂与软土强制拌合，进而提高土层荷载能力和强度，在实践应用的过程中需着重引起关注和重视的则是做好设备定位，明确搅拌机的具体位置及搅拌深度。在此基础上科学选择固化剂，并按照对应的要求和设计标准注入固化剂，在搅拌均匀以后进行取芯检测，分析路基强度性能是否达标。深层搅拌法更适用于天然含水率在 30%~70% 的软粘土、淤泥质土、粉土等相应区域，若施工区域存在大块碎石且有机质含量相对较高，采用单项技术往往无法达到较好的应用效果。同时，深层搅拌法在实践应用的过程中并不需涉及开挖置换等相应问题，减少了弃

土污染和化学污染，在施工建设中引入到的仪器设备大多体型较小，可以满足各种不良路段施工需求^[6]。

7 结语

在路基加固中科学选择加固方法可更好地保障公路工程的施工质量，相关工作人员可紧抓换土填层法、排水固结法、机械碾压法、桩基加固法、深层搅拌法等技术展开分析，根据不同技术方法的适用范围和应用优势对技术进行科学选择，在此基础上明确不同技术方法的应用要点，提高技术应用效果。

参考文献

[1] 刘俊驰. 探析公路工程施工不良路段路基加固的处理方法 [J]. 工程建设与设计, 2025, (06): 196-198.

[2] 张小晴. 公路工程施工不良路段路基加固的处理方法 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (26): 127-129.

[3] 苏阳. 公路工程施工中不良路段路基加固处理方法研究 [J]. 运输经理世界, 2024, (21): 43-45.

[4] 李岩,毛新玲. 公路工程施工中不良路段路基加固的处理方法 [J]. 运输经理世界, 2023, (20): 108-110.

[5] 张磊. 公路工程施工不良路段路基加固的处理方法 [J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44 (06): 32+34.

[6] 冯春蕾. 公路工程施工不良路段路基加固的处理方法 [J]. 四川水泥, 2020, (11): 127-128.