

市政公路软土地基加固施工技术的优化应用研究

熊 军

新疆银通建设监理有限公司 新疆 奎屯 833200

【摘要】：我国新疆的南疆和北疆及湖沼区均分布有重盐渍土地带该地带主要为软粘土呈带状分布，具有“双高双低”特性，即高含水量、高压收缩、低承载力和低渗透性，已成为城市道路、国省道及农村公路提质的主要瓶颈。传统的简单的换填和超载预压方法，不仅占地面积大，工期长，而且容易引起周边建筑物及林床的差异沉降和地下管线的开裂，一旦超限，会导致路拱边角断裂、检测井跳车等病害反复发生，养护成本成倍增加。在“双碳”约束和城市更新背景下，如何利用有限的空间和最短的交通中断时间，精准提升软弱地基的刚度和稳定性，是当前市政工程面临的核心技术难题。

【关键词】：市政公路；软土地基加固；施工技术；优化应用

DOI:10.12417/2811-0536.26.03.068

软土地基加固的实质就是人为地加速土的排水固结，增强土体骨架强度，减少后期压缩电位，而不破坏生态平衡。城市道路红线窄，管网密实，交通组织复杂，对“微扰-快固结-可控沉降”三重目标提出了要求。同时，路面结构、排水系统和地下设施是协同工作的，任何加固方案都需要与道路的生命周期管理相结合。因此，构建“设计-施工-运营”一体化技术体系，从“材料-工艺-监测”三个层面对软基处理从经验到科学、从粗放向精细化转变。

1 市政公路软土地基加固施工重要性

1.1 保障公路结构安全稳定

作为城市交通运输网络的核心部分，市政公路的结构安全直接影响着城市交通的安全和交通效率。软土地基天然含水量高、孔隙比大、抗剪强度低，易发生不均匀沉降和侧移等变形，如不采取有效措施，将导致结构破坏，如路面开裂，桥头跳车，路基失稳等。本项目拟采用室内试验和理论分析相结合的方法，对路基和路面结构进行加固处理，以改善其物理力学性质，改善其承载能力和变形能力，从源头上抑制地基沉降和变形，保证公路路基和路面结构在设计使用年限内的稳定性。同时，本项目还可增强地基整体性和均匀性，避免因局部基础强度不足而引起的结构应力集中，降低路面破损、塌陷等安全隐患，为公路结构的长期稳定性提供核心保障，是市政道路工程质量控制的重要环节。

1.2 提升公路通行质量与效率

如果没有对软土地基进行加固，公路投入运营后

容易产生路面不平和沉降变形，从而影响行车的舒适性和舒适性，增加车辆的阻力和能源消耗。严重的沉降变形也会引起道路交通堵塞、车辆颠簸，甚至失效，降低高速公路通行效率。经过科学的加固处理，可以有效地控制路基沉降，保证路面的平整度达到设计要求，为行车提供平稳的行车环境^[1]。优化路基加固方法，它可以提高路基承载能力，降低路面病害的发生率，减少维修养护的频率和费用，延长高速公路的有效通行时间。此外，稳定的基础是排水和降水系统、交通标志等道路附属设施正常运转的基础，通过对其进行加固处理，可以避免因地基变形而导致附属设施失效，从而进一步保证市政公路的连续和高效，满足日益增长的城市交通需求。

1.3 降低工程后期养护维修成本

市政公路建设费用和后期维修费用息息相关，若处理不好，将导致公路病害频发，大大增加维修养护费用。在长期荷载和自然环境的共同作用下，软粘土地基的沉降变形不断加剧，出现路面开裂、路基滑移等病害，需要经常进行维修、翻修等维修工作，不仅耗费大量的人力、物力和财力，还影响交通。而早期规范的加固施工，可以从根本上改善软土的工程性状，降低病害的发生几率，延长道路使用寿命，减少后期维修养护次数和强度。同时，合理的加固方案也可避免因基础问题而造成的大量返工返工，降低资源浪费，实现对整个工程生命周期造价的最优控制。从长期看，加强工程前期投资可以有效避免后期高额养护费用，是市政公路工程经济运行的重要保证。

1.4 适配城市建设与发展需求

随着我国城镇化进程的不断推进,城市道路建设规模不断扩大,建设用地逐步向重盐渍土分布较广的城郊和湖沼地区扩展,软土地基的加固建设显得尤为重要。加固工程可以为软土地区的公路建设提供工程条件,扩大城市交通运输网络覆盖面,促进区域经济交流^[2]。同时,城市道路不仅承载着交通功能,同时也与地下管线、轨道交通等基础设施紧密相连,稳定的软土地基可以支撑各种基础设施的同步建设,避免因地基变形造成的基础设施破坏,保证城市功能的正常运行。同时,在加固施工中采用绿色、高效的技术方案,可以降低对周边生态环境的损害,满足城市可持续发展的需求,有助于建设安全、高效、绿色的城市交通系统,为城市建设和发展提供坚实的基础保障。

2 市政公路软土地基加固施工技术的优化应用

2.1 换填垫层加固技术优化应用

换填垫层法是将地基地面以下一定深度的软土挖掉,然后换填高强度和高稳定性和透水性较好的垫层料,分层夯实至规定的密实度,从而提高地基的承载力、和透水性减小沉降。在优化应用过程中,需要精确确定换填范围和深度,结合地质勘察资料和道路荷载需求,对换填深度进行计算分析,确定换填厚度,避免因过度换填导致资源浪费或换填不足而影响加固效果^[3]。根据软土的性质和工程需求,合理选择级配好的砂砾、碎石等填料,也可根据软土的性质和工程需求,合理选择合适的级配砾石,并加入水泥、石灰等胶结材料以提高垫层的强度和稳定性。施工采用分层填筑,分层压实的方法,将每层填料的厚度控制在合理的范围内,采用振动压路机等重型压实机械对其进行压实作业,并对压实过程中的压实度进行实时监测,保证各层压实度达到设计要求。施工前应做好场地平整和排水工作,防止因积水引起的换填料含水率异常而影响压实效果。

2.2 排水固结加固技术优化应用

排水固结法是利用排水系统加速软粘土孔隙水排出,可实现土体的固结和压缩,提高土体的抗剪强度和承载力。在排水系统优化方面,根据软粘土的厚度和渗透性等特点,对塑料排水板、砂井等排水方式进行合理选择,并对其布置形式(如方形、等边三角形等)进行优化,调整排水距和深度,保证排水路径短,排水效率高。在塑料排水板的施工过程中,利用专用插板设备,优化插板工艺,使排水板不发生扭曲、断裂或不够深,保证排水板和垫层紧密结合,形成完整

的排水通路。根据工程实际情况,选择合适的增压模式,如堆载预压,真空预压,联合预压,分层加载,控制加载速度,防止快速加载引起地基失稳。在真空预压过程中,要优化覆膜工艺,保证覆膜的密封性和稳定的真空度。加强施工期间的沉降监测和孔压监测,根据监测结果及时调整加载速度和加载速度,保证固结的顺利进行^[4]。同时,优化施工时序,及时加压施工,降低土体扰动引起排水通道失稳的风险,实现排水-增压系统的优化协同,提高加固效果和施工效率。

2.3 复合地基加固技术优化应用

复合地基是一种在软弱地基中设置增强体,使其与天然地基共同承担荷载的复合地基,常用的有水泥土搅拌桩、碎石桩、CFG桩等。根据软土性质、道路荷载及施工条件等因素,优选采用水泥土搅拌桩,利用水泥土与软土发生化学反应形成高强度桩。对于渗透性良好的软粘土,可以选择碎石桩,利用桩的排水性和置换作用来提高地基承载力,CFG桩作为一种新型的地基处理方法,在公路工程中具有很好的应用前景。在施工工艺优化方面,通过对搅拌速度、提升速度、注浆压力等参数的优化,保证水泥浆与软土的充分混合,通过双向搅拌技术提高桩体的密实度和均匀性,并在施工结束后及时进行养护,保证桩的强度发展^[5]。在碎石桩的施工过程中,采用振动沉管法、冲击成孔等方法,优化成孔工艺,防止塌孔,并对灌注桩的填料量和夯实质量进行严格控制,保证桩的密实度和承载力。在CFG桩施工过程中,通过对混凝土配合比进行优化,提高桩体强度,采用长螺旋钻压灌成形技术,减少桩底沉渣,改善桩身与地基的接触效应。在此基础上,对复合地基的布桩形式和间距进行优化,根据地基承载力需求合理布置,保证荷载传递均匀,在施工过程中,加强桩位偏差、桩长和桩身质量的控制,实现复合地基的协同承载,提高加固效果。

2.4 注浆加固技术优化应用

注浆加固技术是将具有胶结性的浆液灌注于软土地基中,使其渗透、填满土体的孔隙和胶结土颗粒,形成一个整体,达到提高地基承载能力和减小沉降的目的。根据软粘土的物理力学特性和加固要求,合理选择水泥浆、水泥-水玻璃双液浆、化学浆液等浆液类型,通过调节水灰比、外加剂掺量等参数,提高其流动性、凝结时间和强度。对于渗透性差的软粘土,可以使用超细水泥浆或掺有渗透性的泥浆来改善其渗透性,对于需要快速凝结的工程,可以选择水泥-水玻璃双液浆液,并通过调节两种浆液的配比来控制其凝结时间。对于灌浆工艺的优化,可以采取分段灌浆和压

力灌浆的方法，根据地质条件对灌浆区段进行合理划分，并对灌浆压力和注浆量进行控制，防止压力过大造成土体隆起和浆液流失，压力过小又影响浆液的渗透范围。为保证注浆均匀分布于土中并形成连续的加固体，需对孔间距和孔深进行优化，在施工过程中，采用注浆量和注浆压力双重控制方法，对灌浆参数进行实时监测，并结合钻孔取样和标准贯入试验对加固效果进行检验，及时调整灌浆方案^[6]。同时，对钻孔封孔，防止地下水渗入，影响加固效果；施工前，开展现场注浆试验，确定最优注浆配方和施工参数，综合各方面优化措施，提高注浆加固技术的适用性和加固质量。

3 案例分析

以外环东路市政公路（K1-200-K2+100）为例，穿越河流-冲软土区（900m），软土自然含水量 53.6%，孔隙比 2.12，天然重 16.8kN/m³，抗剪强度仅 12.5kPa，远低于公路设计荷载 180kPa，如得不到有效加固，容易发生路基失稳、路面开裂等重大病害。在施工前铺设 0.8m 厚砂垫层作为排水层，同步铺设塑料排水板，排水板间距 1.2m，插入深度 15m，按等边三角形布置；水泥搅拌桩直径为 600mm、桩长为 18m、间距为 2.0m 的水泥搅拌桩共施工 2380 根，桩身水泥掺入量为 18%。真空预压期维持 85kPa 以上的真空度，45 天后再进行分层堆载预压，最高堆载强度为 80kPa。加固结束后，经静载荷试验、标贯试验和沉降观测，表明该复合地基的承载力提高到 225kPa，满足设计要求；在 12 个月的观测期间，累计最大沉降和差异沉降分别为 11.3mm 和 2.8mm，都在设计允许的范围之内。公

路通车 3 年以来，经定期检测发现，该路段路面平整度一直保持在 2.3m/公里以内，未出现明显的开裂和沉降等病害，基本消除了桥头跳车现象，累计养护成本仅为同类方案的 30%。项目将两种加固方法相结合，充分发挥排水固结法和复合地基的叠加优势，既能解决软土地区高含水率、排水困难的难题，又能显著提高地基承载力和稳定性，既能保证公路结构的安全和通行质量，又能显著降低后期养护费用，其施工参数和技术组合可为类似软土地区的市政公路建设提供可借鉴的经验（加固前后指标对比如表 1）。

表 1 加固前后指标对比

指标	加固前	加固后	设计允许值
承载力(kPa)	78.0	225.0	≥180.0
最大沉降(mm)	-	11.3	≤18.0
不均匀沉降差(mm)	-	2.8	≤5.0
平整度指数(m/km)	-	2.3	≤3.0

4 结语

综上所述，市政公路软土地基加固施工技术的优化应用研究，不仅可以在狭小的红线范围内快速实现承载能力的快速提升，缩短施工周期，降低全生命周期维修成本，还可以充分发挥城市存量空间的潜力，实现“海绵城市”、“地下综合管廊”和“智慧基础设施”的建设。研究成果将推动软基处理从“事后补救”向“全过程控制”转变，为我国建设“韧性城市”和“交通强国”战略发挥基础性和先导性作用。

参考文献：

[1] 乔梦华,冯泽林,李焕辉.高速公路软土地基处理措施的探究[J].交通科技与管理,2024,5(24):106-108.
 [2] 杨毅.公路桥梁施工中软土地基施工技术的应用实践探究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(20):148-150.
 [3] 邓温梯,林森,范远平,杨钊,龚玉磊,张豹.高速公路软土地基时效变形机理及治理方案[J].广东公路交通,2023,49(04):7-11.
 [4] 李浩.公路桥梁工程软土地基加固施工技术[J].工程机械与维修,2023,(04):199-201.
 [5] 赵春辉.软土地区公路路基设计及地基处理技术研究[J].黑龙江交通科技,2023,46(05):43-45.
 [6] 庞壮.软土地区公路路基设计及地基处理方法应用研究[J].交通科技与管理,2023,4(06):105-107.