

道路路基工程施工中的软基处理技术研究

吴坤明

(四川三江交通建设工程有限公司, 四川 宜宾 644000)

摘要 随着交通基础设施建设的快速发展, 道路工程施工中软基处理技术的重要性日益凸显。软基具有高含水量、低承载力以及高压缩性的特点, 若不进行有效处理, 容易导致沉降不均、路基开裂甚至整体失稳, 影响道路的使用寿命。因此, 施工人员研究软基处理技术的应用, 对于保障道路工程质量、提升路基稳定性具有重要意义。本文详细阐述了软基处理技术在道路路基工程中的应用, 介绍了预压法、排水固结法、换填法、加筋法及深层搅拌法等常用技术, 并分析了其适用条件以及施工要点, 强调了施工前的详尽勘察、科学设计、分层填筑、动态监测及后期养护的重要性, 以期为保障道路路基的长期稳定提供借鉴。

关键词 道路路基工程; 软基处理技术; 地质勘察; 排水固结

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.08.035

0 引言

道路路基工程作为公路建设的重要组成部分, 其质量直接关系到道路的使用性能。根据《公路路基设计规范》(JTGD30-2015)、《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610-2019)等国家标准, 软基处理需根据地质条件及工程需求, 采用预压法、排水固结法等多种技术, 保证地基承载力满足设计要求, 减少工后沉降, 提升路基整体性能。施工人员需结合国家标准框架下的软基处理技术应用现状及发展趋势, 探究该技术在道路路基施工中的应用, 助力交通工程的可持续发展。

1 软基处理技术概述

软基处理技术是道路路基工程施工中常见且重要的施工技术, 主要应用于土质较为松软、承载力较低的地基环境中, 旨在提高地基的稳定性, 减少不均匀沉降, 保障路基的长期使用性能。随着道路工程建设规模的不断扩大, 软基处理技术也在不断发展, 形成了多种高效实用的处理方法^[1]。常用的软基处理技术有预压法、排水固结法、换填法、加筋法和深层搅拌法等。预压法是在软基上施加预加荷载, 排出地基土体中的孔隙水, 提高地基强度。排水固结法则利用铺设砂井、塑料排水板等排水设施, 加快排出地基土体中的水分, 缩短固结时间。换填法是将软弱土层部分或全部挖除, 换填较为坚硬的砂石、碎石等, 以提高地基承载力。加筋法是在软基中设置土工布、土工格栅等加筋材料, 增强地基的整体稳定性。深层搅拌法是利用机械设备将水泥、石灰等固化剂与软土在地基深处充分搅拌, 形成具有较高强度的稳定土层。软基

处理技术的应用, 需要根据工程所在地的地质条件、施工要求和经济成本等因素, 合理选择合适的处理方法, 科学设计施工方案, 确保施工质量。

2 道路路基工程施工中的软基处理技术应用要点

2.1 勘察详尽, 掌握软基分布

在道路路基工程施工中, 施工人员需采用全站仪或GPS-RTK定位系统, 将勘探误差控制在 ± 2 cm以内, 利用钻探取样、静力触探, 布置勘探点位密度为每1 000 m²至少2个钻孔, 钻探深度达到软基以下2 m稳定土层, 全面获取软基厚度、分布范围等参数, 利用三维地质建模技术, 可视化处理勘察数据, 精确标定软基边界、厚度变化和软弱夹层分布, 结合地下水动态监测数据, 掌握地下水位年变幅在 ± 0.3 m范围内的变化趋势, 借助室内物理力学实验, 测定软土含水量在30%~50%之间、液限在40%~60%、塑性指数在10~30之间、压缩系数大于0.5 MPa⁻¹、抗剪强度小于20 kPa, 利用数值分析软件模拟不同加载条件下的软基沉降, 控制沉降预测误差不超过5%, 根据勘察结果优化软基处理方案, 选择预压、排水固结、深层搅拌等技术, 并实时应用高精度位移监测系统, 每日采集至少4组沉降、位移数据, 调整处理措施, 将软基承载力提高至 ≥ 80 kPa, 最终实现路基沉降量控制在30 mm以内, 满足道路长期使用要求。

2.2 设计科学, 优化处理方案

在道路路基工程中, 软基处理技术的设计科学性是保证工程质量的关键。施工人员需借助地质勘察确定软基的土壤的含水量、孔隙比等关键参数, 采用钻

孔取样、静力触探 (CPT) 等方法获取数据, 并绘制地质剖面图, 分析软基的分布范围、厚度及变化规律, 为后续设计提供依据^[2]。基于勘察数据, 采用极限平衡法及有限元分析评估稳定性。极限平衡法依据计算滑移面和抗滑力评估地基稳定性, 有限元分析则模拟软基在不同荷载条件下的应力—应变关系, 预测沉降情况, 确保稳定性分析的安全系数满足设计要求 (通常大于 1.5)。同时, 施工人员根据软基厚度和承载力要求, 选择合适的处理方法:

1. 深层水泥搅拌桩: 适用于软基厚度较大、承载力要求较高的路段。水泥掺入比控制在 12% ~ 15%, 搅拌深度应达到软基底部, 桩径一般为 0.5 ~ 0.8 m, 桩间距为 1.5 ~ 2.5 倍桩径。

2. 碎石桩: 适用于软基厚度中等、需提高承载力和减少沉降的路段。桩径一般为 0.5 ~ 1.0 m, 桩间距为 2.5 ~ 3.5 倍桩径, 桩长应贯穿软基层。

3. 塑料排水板: 适用于软基厚度较大、需加速排水固结的路段。排水板间距为 1.0 ~ 1.5 m, 深度应贯穿软基层。

在施工过程中, 对于深层水泥搅拌桩, 施工人员需控制水泥浆的水灰比, 采用深度传感器监控搅拌深度, 利用钻芯取样或静载试验检测桩体强度。同时, 针对碎石桩, 采用振动法或冲击法施工, 密实度达到 95% 以上, 桩体垂直度误差不超过 1%。最后是塑料排水板, 要求排水板铺设平整, 间距符合设计要求, 排水板与排水系统连接良好。施工人员实时监测地表沉降、深层水平位移、孔隙水压力等数据, 利用沉降板、测斜仪等设备监测, 根据监测数据及时调整施工方案。

2.3 排水固结, 提升承载能力

在道路路基工程中, 排水固结的核心是借助降低软基中的孔隙水压力, 促进土体固结, 从而提高地基强度。为此, 施工人员采用塑料排水板或砂井作为竖向排水体, 塑料排水板间距通常为 1.0 ~ 1.5 m, 深度贯穿软基层, 砂井直径一般为 0.3 ~ 0.5 m, 间距为 2.0 ~ 3.0 m, 布置方式采用等边三角形或正方形排列, 以优化排水路径。结合水平排水层 (如砂垫层) 形成立体排水系统, 砂垫层厚度一般为 0.3 ~ 0.5 m, 渗透系数不低于 1×10^{-3} cm/s。在施工过程中, 利用预压荷载加速排水固结, 预压荷载一般为设计荷载的 1.2 ~ 1.5 倍, 加载速率控制在每日 5 ~ 10 kPa, 避免过快加载导致地基失稳^[3]。同时, 采用孔隙水压力计实时监测孔隙水压力消散变化, 对于高含水量软基, 可结合真空预压技术, 利用抽真空形成负压环境, 加速排出孔隙水, 真空度通常维持在 80 ~ 90 kPa, 预压时间根据软基厚度、固结度要求确定, 一般为 3 ~ 6 个月。在固结完成后, 使用静力触探试验 (CPT) 或标准贯入试

验 (SPT) 检测地基承载力, 要求其达到设计值 (通常不小于 120 kPa)。此外, 施工过程中需严格控制排水体的垂直度、平整度, 塑料排水板垂直度误差不超过 1%, 砂垫层平整度误差不超过 10 mm。

2.4 分层填筑, 严格质量控制

在分层填筑过程中, 施工人员依据软土层厚度、土质特性及施工区域荷载要求, 确定最佳填筑层厚, 一般控制在 20 ~ 30 cm, 每层填筑厚度根据土工试验数据调整, 要求压实度达 95% 以上, 采用超声波测厚仪检测厚度。逐层填筑采用“横断分块法”或“纵向分块法”, 使用 25 t 以上重型振动压路机碾压, 纵横交叉碾压不少于 6 遍, 每遍压实度检测误差控制在 1% 以内, 形成高密度填层。填筑材料经筛分试验, 选择砂砾石、级配碎石, 粒径控制在 0.075 ~ 60 mm, 控制含水量 $\pm 2\%$ 范围, 避免黏性土以及高含水量土体, 采用渗压固结法加速排水, 预防沉降不均。实时监测采用高精度 GPS, 厚度误差小于 5 mm, 压实度采用核子密度仪逐层检测, 检测频率每 50 m² 至少一次。设置塑料排水板间距 1 ~ 1.5 m, 砂井深度不小于软基厚度, 形成排水网络。质量控制贯穿全程, 建立填筑台账, 记录时间、材料、压实工艺、检测数据, 执行动态变形监测, 实时反馈调整, 保证软基承载力 $\geq$ 设计标准要求。

2.5 动态监测, 确保施工安全

软基处理技术的动态监测需采用高精度监测设备、实时数据分析及预警系统, 形成多维度监测网络。动态监测技术涵盖位移监测、沉降监测、孔隙水压力监测以及应力应变监测, 使用全站仪、GPS 监测位移与沉降, 精度达 ± 1.5 mm, 监测频率为 24 次 / 天, 最小化误差, 采用振弦式孔隙水压力计测量孔隙水压力变化, 量程 0 ~ 200 kPa, 精度 $\pm 0.25\%$ FS, 实时监控软土层的排水固结过程, 应用光纤光栅应力应变计检测土体内部应力变化, 精度控制在 $\pm 0.3\%$, 反映土体受力与变形状态^[4]。监测断面布设间距调整为 20 ~ 30 m, 每个断面设置 5 至 7 个监测点, 实现全覆盖。自动化监测系统每 30 分钟采集一次数据, 上传至云端管理平台, 利用数据拟合分析, 预测未来稳定性变化趋势, 动态调整施工参数。建立更细致的四级预警机制, 位移累计变形超过 20 mm、沉降速率超 1.5 mm/d、孔隙水压力超标 5% 及应力变化超标 3% 时触发预警, 及时实施换填、注浆、反压等加固措施, 确保软基变形可控、施工安全可控。

2.6 材料优选, 提高工程稳定

在路基工程中, 材料是工程的核心, 施工人员需依据软土层特性、荷载需求及施工条件科学选择填筑

材料、加固材料与排水材料。填筑材料优选级配良好的砂砾石或碎石,粒径范围控制在 $0.075\sim 60\text{ mm}$,含泥量不超过5%,透水系数大于 10^{-3} cm/s 。加固材料选用水泥土、石灰土或粉煤灰,根据软土含水量及塑性指数调整配比,水泥掺量一般为8%至12%,石灰掺量为6%~10%,粉煤灰掺量为10%~15%,形成高强度复合地基,28天无侧限抗压强度不低于 1.5 MPa 。土工合成材料应用土工布、土工格栅和土工膜,土工布拉伸强度不低于 20 kN/m ,延伸率控制在25%以内,土工格栅纵横向极限拉伸强度不低于 40 kN/m ,铺设间距小于 0.5 m ,增加土体抗剪强度,减少侧向位移。排水材料选用塑料排水板,断面尺寸 $90\times 4\text{ mm}$,排水量 $\geq 1.0\times 10^{-5}\text{ m}^3/\text{s}$,布设间距 $1\sim 1.5\text{ m}$,砂井粒径 $5\sim 40\text{ mm}$,渗透系数 $\geq 1\times 10^{-2}\text{ cm/s}$,促进孔隙水压力消散,加快软基固结。材料进场需进行颗粒级配、含水量、强度及渗透性检测,确保满足设计要求,施工过程中严格控制材料的铺设厚度、压实度及搭接长度,采用标准贯入试验检验质量,保证软基处理后的地基承载力 $\geq 180\text{ kPa}$,沉降量控制在允许范围内。

3 道路路基工程施工中的软基处理技术应用注意事项

3.1 因地制宜,合理选择方法

软基处理技术应用需因地制宜,对于高含水量、低承载力的淤泥质软土,施工人员采用排水固结法,设置塑料排水板、砂井或袋装砂井,加速分散软土层中孔隙水压力,提升地基强度;若软土层厚度较大且沉降控制要求高,可选用真空预压法,铺设密封膜、设置真空管路系统,形成负压环境,加快软基固结,提高承载力。针对局部软弱地段,宜采用换填法,清除软弱土层,填入级配良好的砂砾石或碎石,提高地基稳定性^[5]。如若软基存在较大侧向变形风险,应选择铺设土工格栅或土工布,增强土体整体稳定性。在快速施工的项目中,可采用深层搅拌法,借助水泥土搅拌桩加固软基,形成高强度复合地基。在施工过程中应充分考虑地质勘察结果,分析软土层厚度、含水量、压缩性及抗剪强度,综合评估不同软基处理技术的适用性、经济性及施工可行性,避免盲目采用单一方法或不适宜的技术。

3.2 加强养护,保证整体稳定

在道路路基工程施工中,软基施工结束后需加强养护,保证整体稳定。在排水方面,要求软基排水系统畅通无阻,施工人员定期清理塑料排水板、砂井和排水沟,防止淤堵影响排水固结效果,从而降低孔隙水压力,提升地基承载力。沉降监测需持续进行,利用高精度沉降仪,实时跟踪软基沉降速率,控制沉降

速率在 2 mm/d 以内,发现异常及时采取加固措施。在地基加固养护中,定期检查水泥土搅拌桩、砂桩等,防止因施工荷载或环境变化损伤结构,必要时补强处理。防护措施包括表面覆盖防渗膜或土工布,减少雨水入渗对软基的影响,同时在路基两侧设置排水边沟,降低地下水位,减少地基浸泡时间。此外,施工完成后需限制大型车辆通行,避免超载压实引发过度沉降或剪切破坏。

3.3 控制沉降,预留足够工期

道路路基工程施工前,施工人员应借助地质勘察精确测定软土层厚度、压缩性、含水量及孔隙比,计算预期沉降量及固结时间,作为工期安排的依据。采用预压法时,合理设置预压荷载,控制在设计荷载的 $1.1\sim 1.3$ 倍,预压时间不少于 $3\sim 6$ 个月。使用塑料排水板进行竖向排水时,排水板间距控制在 $1\sim 1.5\text{ m}$,加快孔隙水压力消散,提高固结效率。动态监测沉降速率,要求控制在 2 mm/d 以内,发现异常需立即调整荷载。采用分阶段加载法,避免一次性加载引发快速沉降,设置沉降观测期,路基变形趋于稳定后方可进行后续施工。

4 结束语

道路路基工程施工中的软基处理技术对于提升地基稳定性、承载力及道路使用寿命具有重要意义。借助合理选择预压法、排水固结法等软基处理技术,结合详尽的地质勘察、科学的设计优化、严格的施工质量控制以及高精度的动态监测,施工人员能够有效应对复杂多变的软基条件,减少不均匀沉降,保障路基长期稳定性。同时,软基处理技术的应用需因地制宜,根据不同的地质条件、施工要求,综合评估选择最优方案。未来,随着技术的不断进步,软基处理技术将在道路路基工程中发挥更加重要的作用,为交通基础设施建设提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 吕清容.道路路基工程施工中的软基处理技术研究[J].价值工程,2025,44(02):32-34.
- [2] 何维佳,谢志云.钢结构桥梁软基处理技术规范与实施策略[J].城市建设理论研究:电子版,2025(02):155-157.
- [3] 卢航奇.公路工程软基处理技术方法的优化研究[J].建筑技术开发,2025,52(01):115-118.
- [4] 张建礼.路基软基处理的施工技术探讨[J].四川建材,2025,51(01):182-184,192.
- [5] 陈正佳.软基处理技术在市政道路路基工程施工中的应用分析[J].建材发展导向,2024,22(17):101-104.