

公路路基路面设计中的软基处理问题

林钦钊

(绵阳市川交公路规划勘察设计有限公司, 四川 绵阳 621000)

摘要 我国地形复杂多样, 不同地区地质条件差异显著, 其中沿海、沿江及湖泊周边区域存在大面积软土地基。此类地基承载力低、压缩性强, 公路工程容易出现路面沉降、变形等情况, 影响公路的使用寿命。本文分析了软土地基特性, 介绍了软基处理常用技术方法, 从分层处理、就地取材、强化排水、简易加筋和选择技术等方面深入探讨了公路路基路面设计中的软基处理策略, 旨在为公路建设提供有益参考。

关键词 公路; 软土地基; 换填法; 预压法; 复合地基法

中图分类号: U416.02

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.031

0 引言

公路作为民生出行与城乡融合的重要基础设施, 其建设质量直接关系到乡村振兴成效。当前我国公路面临软土地基分布广、空间异质性强的挑战, 传统处理技术存在“高成本难适配、低成本欠可靠”的双重矛盾。施工方需因地制宜地探索经济可靠的软基处理方案, 通过技术创新与工程实践相结合, 形成可推广的技术路径, 为公路建设提供科学指导, 切实提升道路质量与服务效能。

1 软土地基特性分析

软土是指天然含水量高、空隙多且承载力极低的黏性土, 常见于河滩等低洼区域, 因沉积时间短多呈软塑状态, 质地黏滑, 颜色以灰黑色为主。根据成因差异软土主要包括淤泥、淤泥质土、泥炭土及冲积软土四类。这类土层在路基施工作用下, 因排水缓慢导致持续沉降, 且因抗剪强度低, 易受地下水位变化影响。因此无法直接在其之上进行施工, 否则很容易产生不均匀沉降, 最终对整体公路施工质量造成严重的影响。尤其是在公路工程建成后, 路基由于本身较软, 再加上车辆反复的荷载影响, 很容易导致路面开裂, 出现严重的裂缝, 不仅影响行车体验, 同时对行车安全也会带来严重的影响^[1]。

2 软基处理常用技术方法

2.1 换填法

软土路基施工环境复杂, 对施工技术提出了较高的要求, 在实际处理工作中常应用到换填法, 主要适用于软土深度小于 3 m 的情况^[2]。具体应用时, 施工人员需根据地质勘察数据确定软土分布范围和换填深

度, 并在施工前排除作业区域积水并清理表层杂质, 随后采用挖掘机开挖至设计标高, 若遇地下水需设置临时排水沟降水。回填材料优先选用砂砾等当地易获取的材料, 分层铺筑厚度不超过 30 cm, 每层采用压路机逐层压实, 压实度需达到 93% 以上。对于换填区边缘与原地基的过渡区域, 需按 1:1 ~ 1:2 坡度开挖台阶并错缝回填, 避免新旧土体接触面形成滑动带。施工中施工人员需同步完善排水设施, 在换填层底部铺设透水土工布, 防止地下水反渗软化地基, 完成换填后需进行承载力检测, 采用轻型动力触探验证处理效果, 保障地基满足设计要求。

2.2 预压法

预压法是指施加外部荷载加速软土排水固结、提高地基强度的处理方法。施工人员实施时需先开展地质勘察, 确定软土层的分布、渗透系数及压缩性参数, 据此设计预压荷载大小与持续时间。荷载通常采用土石方等材料堆载, 其总重量需达到或超过设计荷载的 1.2 ~ 1.5 倍, 并采取分级加载避免一次性加压引发土体剪切破坏。施工前施工人员需在软基表面铺设砂垫层, 并与垂直排水体连接形成立体排水网络, 排水板间距按 0.8 ~ 1.5 m 梅花形布置, 深度穿透软土层至硬底。堆载过程中需严格控制加载速率, 依据沉降观测数据和孔隙水压力监测结果动态调整, 防止地基失稳。预压时间通常需 3 ~ 6 个月, 待沉降速率连续两周小 0.5 mm/d 且固结度达 90% 以上方可分级卸载。

2.3 复合地基法

施工人员在地基中设置竖向增强体与原地基土共同承担荷载, 形成复合承载层的处理方法被称作复合地基法。施工前需平整场地并设置排水沟, 采用专用

设备按设计点位进行成桩作业。对于柔性桩,可借助振动沉管法将桩管压入软土至设计标高,灌入碎石后边振边拔管形成密实桩体。刚性桩则可以使用深层搅拌工艺,将水泥浆与原位土强制混合形成固化桩体。桩体布置多采用矩形网格,桩间距通常为1.0~2.0倍桩径,桩长需穿透软土层进入硬底^[3]。成桩后施工人员需在桩顶铺设30~50 cm厚砂石褥垫层,采用压路机分层压实至密实度 $\geq 95\%$,保证桩土协同受力。施工中还需实时监测桩体垂直度、灌料量及成桩深度,完工后借助静载试验验证桩身完整性及复合地基承载力。

2.4 加筋法

在路基路面设计中,施工人员使用加筋法可以在软土地基中铺设土工合成材料,利用其抗拉性能约束土体变形,增强地基整体稳定性。施工前需根据软土层的力学特性及荷载要求,计算加筋材料的抗拉强度、铺设层数和水平间距,通常选择双向拉伸,极限抗拉强度不低于50 kN/m。施工时施工人员先对软基表面进行整平压实,清除尖锐石块等杂物,随后沿路基横向展开加筋材料,保持铺设方向与路基轴线垂直,相邻幅间搭接宽度 ≥ 30 cm并用U型钉锚固,边缘预留1~2 m反包长度以便与上层填土包裹。铺设完成后分层填筑填料,每层虚铺厚度控制在20~30 cm,采用轻型压路机从加筋材料中部向两侧碾压,避免机械急转弯造成材料位移。施工中还需实时监测填筑速率,控制每日填土高度不超过50 cm,防止加载过快引发地基剪切破坏^[4]。完工后需对加筋材料进行张拉试验,验证其与土体的界面摩擦系数是否满足设计要求,局部薄弱区域可采用二次加筋补强。

3 公路路基路面设计中的软基处理策略

3.1 分层处理,因地制宜

公路软基处理需基于软土分布特点与工程实际条件灵活实施。施工人员对于浅层软土(厚度小于3 m),通常采用局部换填法,在地质触探确定软土边界后,挖除软弱土层至硬底,换填材料优先选用当地砂砾,换填层底部铺设双向土工格栅以增强界面抗剪能力,边缘区域按1:1.5坡度开挖台阶并分层错台回填,避免新旧土层差异沉降。若软土呈透镜体状分布,则针对性地对软弱区进行“挖补”处理,周边衔接区采用土工格栅水平加筋,形成连续受力结构。针对中深层软土(3~8 m),采用竖向排水体与水平加筋协同加固,按1.2~1.5 m间距插设塑料排水板,排水板深度穿透软土层至硬底,顶部铺设30~50 cm砂垫层并嵌入

高强度土工格栅,采用分层填土预压加速排水固结,同时利用格栅张力约束侧向变形。若软土夹粉砂薄层,则优化排水路径,加密排水板至1.0 m间距并采用“短密型”布置,缩短排水距离以提高效率。对于深层软土(厚度超8 m),采用浅层处理与深层控制结合的方式,挖除表层1~2 m软土后换填碎石土,下部软基采用小直径(30~40 cm)水泥土搅拌桩,桩间2.0~2.5 m,桩长穿透高压缩性土层进入相对硬层,桩顶设置20 cm厚级配碎石褥垫层调节桩土应力分配。

3.2 就地取材,节约成本

施工人员充分利用当地易获取的材料替代高价外购资源,以工艺适配降低综合造价。具体实施时,其可以系统调查周边可利用材料,如河道砂砾、农业副产品及工业废料等,结合软基处理需求匹配材料特性^[5]。在浅层换填工程中,优先采用级配良好的天然砂砾替代外购碎石,换填层底部铺设竹篾编织网作为简易加筋材料,降低土工合成材料采购成本。对于软土改良,采用生石灰替代部分水泥,按10%~15%的掺量分层拌合软土,现场进行击实试验确定最优含水率。在加筋法施工中,施工人员可选用竹筋加工而成的纤维带替代土工格栅,增加铺设层数补偿材料强度差异,同时利用植物纤维的天然抗腐蚀性适应潮湿环境。对于排水固结工程,可采用芦苇秆捆扎成束作为竖向排水体的补充,与塑料排水板间隔布置。施工过程中还需动态优化工艺参数,当就地材料强度不足时,可调整配比弥补性能短板。面对材料粒径不均匀问题时,采用人工筛分与机械破碎结合的方式提升级配合理性。

3.3 强化排水,防治结合

在公路软基处理中,施工人员采用系统性排水设计阻断水分对软土的持续侵蚀,同时预防次生灾害。其需要先根据地表水与地下水分别构建排水网络。在地表,沿路基两侧设置梯形,沟底纵坡坡度 $\geq 0.5\%$,采用预制U型槽结构,沟底铺设透水土工布防止渗漏。低洼易积水路段,可增设横向截水沟与纵向排水沟衔接,将径流引导至自然水系,避免积水下渗软化地基。在地下,软基内部设置立体排水体系,对于浅层软土(< 3 m),在换填层底部铺设30~50 cm厚砂砾垫层作为水平排水通道,垫层内预埋PVC多孔管,按10~15 m间距设置集水井,使用轻型水泵定期抽排。对于中深层软土(3~8 m),需采用塑料排水板作为竖向排水体,板间距1.0~1.5 m,深度穿透软土层至硬底,顶部与砂垫层连接形成“竖向排水+水平导流”的复合通路。

施工人员在施工中强化防渗措施,在路基与农田交界处埋设复合土工膜(厚度 ≥ 0.5 mm)垂直防渗墙,深度延伸至不透水层以下 0.5 m,阻断毛细水与农田灌溉水的横向渗透,遇到有机质含量高的泥炭土,可以在排水板外围包裹无纺土工布滤层,防止细颗粒堵塞排水通道。同时,施工人员需要动态监测排水系统,基于监测结果及时维护,预埋孔隙水压力计与沉降观测桩,实时监测排水固结进程,当孔隙水压力消散速率低于设计值的 70% 时,及时疏通排水管。

3.4 简易加筋,提升整体性

施工人员引入抗拉材料约束土体变形,可显著提升路基整体稳定性,其需要优先选用低成本土工合成材料作为加筋介质,施工前需对软基表面进行简易整平,随后沿路基横断面方向展开加筋材料,铺设方向需与行车荷载主应力方向垂直,相邻幅间采用 U 型钉锚固并预留 30 ~ 50 cm 搭接长度,边缘区域向上反包 1 ~ 2 m 形成闭合包裹结构。填筑时采用分层摊铺法,每层虚铺厚度控制在 20 ~ 30 cm,填料优先选用砂质土或改良黏土(石灰掺量 5% ~ 8%),使用小型振动压路机从路基中线向两侧对称碾压,碾压遍数不少于 6 遍,压实度需达 93% 以上。对于多层加筋结构,层间距通常为 40 ~ 60 cm,上下层加筋体需错缝布置以分散应力集中,边坡区加筋材料末端需与上层填土锚固,形成连续抗滑界面。施工中需严格控制填筑速率,每日填土高度不超过 50 cm,并使用简易沉降观测桩监测差异沉降,若单日沉降量超过 15 mm 则暂停加载并补强加筋层数。对于局部软弱区,可采用“十”字形加筋补强,提升土体抗剪能力。在材料选择上,采用植物纤维,需预先浸泡防腐剂并控制含水率在 18% ~ 22%,防止生物降解导致强度衰减。使用再生塑料格栅时,需抽样检测其紫外线老化性能,露天存放时间不宜超过 7 天。施工后需对加筋界面进行摩擦系数验证,采用简易拉拔试验,保障筋材与土体的咬合力 ≥ 15 kPa,薄弱区域可在表面覆土碾压增强界面摩擦。

3.5 选择技术,绿色施工

在公路软基处理中,施工人员需要注重施工全过程中降低生态干扰,优先采用环境友好型工艺。实施时,其需要筛选低扰动、可再生的处理方法。针对浅层软土,优先选用植物根系加固技术,在换填层中混入紫穗槐等深根系植物种子,借助其根系网络增强土体抗剪强度,取代部分合成加筋材料。对于中高含水率软土,可推广微生物诱导碳酸钙沉淀技术,利用本

地菌群与尿素溶液灌注入土体,生成碳酸钙胶结颗粒,减少水泥等高耗能材料使用。在施工材料选择上,施工人员需要充分利用农业废弃物及工业副产品作为改良剂,采用腐殖酸化改良土体结构,同时利用钢渣替代 30% ~ 50% 碎石用于排水垫层,降低天然石材开采量。另外,采用静压桩机替代冲击式打桩机,减少噪声对周边民居的影响,拌合石灰时设置移动式防尘罩,配合喷雾降尘系统抑制扬尘扩散,泥浆池与机械清洗废水经沉淀过滤后循环利用,避免直接排入农田水系。在此基础上,施工人员也可以在路基边坡采用三维植被网与客土喷播技术,选用狗牙根等本土草种快速固土。临时施工便道利用可拆卸钢栈桥,完工后回收材料并恢复原地貌。此外,还需避免对有机质软土大规模开挖翻晒导致的甲烷释放,改用浅层旋耕掺入木屑,使用好氧发酵加速有机物分解。施工结束后,对取土坑、弃渣场进行生态重塑,回填建筑垃圾破碎料作为基层,表层覆盖种植土并播撒耐旱植物种子,促进土地复绿。

4 结束语

公路的软基处理不是单纯的技术选择题,而是需要在现实条件与工程需求间寻找平衡点的实践命题。此过程需要施工人员综合考量地质条件、工期安排和预算限制,还需统筹区域材料供应、施工便捷性以及长期运营安全等多重因素,建立技术与实际联系。未来,施工人员还需在材料再生利用、小型化施工设备研发等方面持续探索,推动绿色建材的普及应用、改进现场施工工艺、提升机械智能化水平,进一步降低软基处理成本,提高施工效率,为公路工程可持续发展提供坚实的支撑。

参考文献:

- [1] 辛瑞钧.公路路基路面设计中的软基处理问题与优化对策解析[J].居舍,2021(15):111-112.
- [2] 李佳.公路路基路面设计中的软基处理问题与优化对策[J].工程建设与设计,2021(03):34-36.
- [3] 卢彩霞.公路路面设计中关于软基处理的问题[J].城市建设理论研究(电子版),2024(32):162-164.
- [4] 沈月烽,范晓杰.针对软基问题的大型桥梁工程处理技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(23):157-159.
- [5] 王常生.水利工程软基处理问题研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(22):199-201.