

农村公路软土地基处理方法对路基稳定性的影响

姜红敏

永善县地方公路管理段 云南 昭通 657300

【摘要】：农村公路作为乡村振兴的重要基础设施，其路基稳定性直接决定道路使用寿命与通行安全。软土地基因具有高含水量、高压缩性、低强度等特性，易导致路基沉降、开裂、失稳等问题，成为农村公路建设的核心技术难题。本文基于农村公路荷载较低、施工条件有限、成本控制严格的特点，系统梳理换填法、排水固结法、复合地基法、化学加固法及简易处理法等主流软土地基处理技术，深入分析各方法的作用机理及其对路基承载能力、沉降控制、抗滑性能等稳定性指标的影响，提出适配农村公路场景的处理方法选择策略。研究表明，不同处理方法通过改善软土物理力学性质或增强路基整体刚度，可从不同维度提升稳定性，而结合地质条件、公路等级与施工成本的差异化选择，是保障农村公路路基长期稳定的关键。

【关键词】：农村公路；软土地基；处理方法；路基稳定性；承载能力；沉降控制

DOI:10.12417/2705-0998.25.18.073

1 研究背景

农村公路是乡村振兴战略实施的重要基础设施，但其建设常面临软土地基难题。软土地基由淤泥、淤泥质土等组成，具有天然含水率高、孔隙比大的特点，若处理不当，易导致路基工后沉降超标、路面开裂甚至结构失稳，直接影响公路使用寿命与通行安全。

软土地基若未经有效处理，路基在自重与行车荷载作用下易发生两类稳定性问题。竖向沉降表现为路基工后沉降超标，导致路面开裂、桥头跳车；侧向失稳表现为路基边坡滑移、路基整体倾斜，严重时引发道路中断。此外农村公路施工多依赖小型设备，施工周期短、资金投入有限，传统针对高等级公路的复杂处理技术难以直接适配。因此研究农村公路场景下软土地基处理方法的技术特性，明确其对路基稳定性的影响机制，进而选择经济可行、技术适配的处理方案，对提升农村公路建设质量、降低后期维护成本具有重要现实意义。

2 农村公路软土地基的核心特性

软土地基的不良工程特性是导致路基稳定性问题的根源，其核心特性可概括为“三高两低”。农村公路软土地基多形成于静水沉积环境，土体中自由水含量高，部分区域含水量可达40%~60%，导致土体呈流塑或软塑状态，颗粒间粘结力弱；软土颗粒排列松散，孔隙比大，在路基自重与行车荷载作用下易发生孔隙压缩，且压缩过程持续时间长，易产生工后沉降。软土受扰动后，土体结构破坏，强度急剧下降，可能从固态转为流态，增加路基施工期间失稳风险。软土天然不排水抗剪强度通常低于20kPa，难以承受路基填土荷载，易导致路基基底剪切破坏，引发路基沉降或滑移；软土颗粒细小，渗透系数小，水分排出困难，若仅依赖自然排水，土体强度提升缓慢，无法满足路基施工时效要求。高含水量与低渗透性导致软土排水固结慢，强度提升滞后于荷载施加；高压缩性与低强度则直接导致路基承载能力不足，易引发沉降与失稳，因此需通过针对性

处理方法改善软土特性，为路基稳定奠定基础。

3 农村公路软土地基处理方法及对路基稳定性的影响

针对农村公路软土地基特性与工程需求，主流处理方法可分为五大类，各类方法通过不同作用机理影响路基稳定性，具体分析如下。

3.1 换填法提升基底承载力

换填法是农村公路处理浅层软土厚度通常小于3m的常用方法，其核心原理是将路基范围内的软弱土层挖除，替换为强度高、压缩性低的填料，通过改善基底土体性质提升路基稳定性。替换后的填料天然承载力可达200kPa以上，远高于原软土，可有效避免路基基底因承载力不足引发的剪切破坏，减少路基整体沉降；换填材料压缩系数小，在荷载作用下压缩量仅为原软土的1/5~1/3，能显著降低路基浅层沉降，避免路面因沉降不均出现开裂。该方法的优势在于施工工艺简单，适配农村公路小型施工设备，且处理效果直观；但受限于换填深度，对深层软土处理成本过高，易导致经济性失衡，因此仅适用于浅层软土区域，其稳定性提升效果集中于路基0~3m深度范围。

3.2 排水固结法加速软土排水

排水固结法通过设置排水通道，加速软土中水分排出，促进土体固结，从而提升软土强度与刚度，适用于农村公路中深层软土处理，尤其适配河网密布、地下水位高的区域。通过路基填土预压，在软土中形成孔隙水压力差，水分通过排水通道排出，土体孔隙比减小，体积压缩，初步控制路基沉降；随着水分排出，软土颗粒紧密排列，黏聚力与内摩擦角增大，天然不排水抗剪强度可提升50%~100%，路基抗剪切能力显著增强，降低侧向失稳风险；固结完成后，软土压缩性大幅降低，工后沉降可控制在5cm以内，避免后期行车荷载引发的附加沉降，保障路基长期稳定。对农村公路而言，该方法无需复杂设备，塑料排水板可通过小型插板机施工，成本适中，但处理周期较

长,通常需3~6个月预压期,需结合施工工期合理安排;其稳定性提升核心在于“时间换强度”,通过排水固结从根本上改善软土力学性能,而非仅依赖外部增强。

3.3 复合地基法增强整体刚度

复合地基法通过在软土地基中设置增强体,与周边软土形成“增强体-软土”共同受力的复合地基,提升路基整体承载能力与稳定性,适用于农村公路中深层软土或承载力要求较高的路段。碎石桩具有良好透水性,既能作为排水通道加速软土固结,又能通过桩体分担路基荷载,减少软土受力,同时增强路基抗滑能力,避免边坡滑移;水泥土搅拌桩复合地基通过水泥与软土的化学反应,形成强度较高的水泥土桩,桩体与软土形成刚性复合地基,大幅提升基底承载力,控制路基沉降,尤其适用于软土含水量高、渗透性极差的区域;利用石灰与软土的胶结作用形成灰土桩,提升地基整体刚度,同时石灰吸水可降低软土含水量,进一步改善软土特性,成本低于水泥土搅拌桩,适配农村公路预算有限的场景。复合地基法对路基稳定性的提升具有“全域性”,不仅改善基底承载能力,还能增强路基侧向约束,减少边坡失稳风险;但相较于换填法,其施工工艺稍复杂,需结合农村公路施工条件选择简易成桩技术。

3.4 化学加固法改良软土结构

化学加固法通过向软土中注入化学浆液,与软土颗粒发生物理化学反应,形成固化体,快速提升软土强度,适用于农村公路软土局部处理或工期紧张的路段。其对路基稳定性的影响主要体现在“快速性”与“针对性”。化学浆液注入后,通常24~72小时即可形成固化体,软土强度可从20kPa提升至100kPa以上,能快速满足路基施工荷载要求,避免工期延误;对局部软土缺陷,可通过定向注浆填充空隙、固化软弱土体,消除局部沉降隐患,保障路基整体稳定;注浆施工无需大规模开挖,对周边农田、植被扰动小,适配农村公路沿线生态保护需求。需注意的是,化学加固法成本较高,且加固效果受浆液扩散范围影响,不适用于大面积软土处理;其稳定性提升集中于局部区域,需与其他处理方法结合使用,形成“局部强化+整体改善”的稳定体系。

3.5 简易处理法适配农村条件

针对农村公路施工设备简陋、资金有限的特殊场景,可采用抛石挤淤、砂垫层铺垫、土工合成材料加筋等简易处理法,以最低成本保障路基基础稳定。抛石挤淤法向流塑状态的软土中抛填块石,块石挤压软土并置换部分水分,形成“石骨架”承载路基荷载,适用于软土厚度小于2m、含水量极高的区域,可快速形成稳定基底,避免路基深陷;砂垫层铺垫法在软土表面铺设30~50cm厚砂垫层,兼具排水与扩散荷载作用。砂垫层可加速软土表层水分排出,同时将路基荷载分散至更大范围软土,减少局部应力集中,降低基底破坏风险;土工合成材料加

筋法在路基填土与软土之间铺设土工格栅、土工布,通过材料的抗拉强度约束软土侧向变形,增强路基抗滑能力,同时减少路基填土与软土的差异沉降,避免路面开裂。简易处理法的核心优势在于“低成本、易施工”,但稳定性提升效果有限,通常适用于农村公路低等级路段或临时便道;其对路基稳定性的保障集中于“基础防护”,需配合后期路基压实与养护,避免长期荷载引发的累积变形。

4 农村公路软土地基处理方法的选择策略

农村公路软土地基处理需兼顾稳定性需求与工程实际条件,避免盲目选择高技术、高成本方案,应从以下四维度制定选择策略。

4.1 基于软土厚度与特性选择

浅层软土厚度<3m优先选择换填法或抛石挤淤法,若软土含水量较高,可搭配砂垫层加速排水;中深层软土厚度3~8m选择排水固结法(塑料排水板+预压)或复合地基法,平衡稳定性与成本;特深层软土厚度>8m采用复合地基法,必要时结合排水固结,提升地基整体刚度;局部软土缺陷采用化学加固法进行局部处理,配合周边整体处理方法。

4.2 基于公路等级与荷载需求选择

乡道、村道公路-II级以下优先选择简易处理法(砂垫层、土工格栅加筋)或换填法,满足低荷载下的稳定性需求;县道、重要乡道公路-II级中浅层软土选择换填+排水固结,中深层软土选择复合地基法,确保承载能力与沉降控制达标;桥头、交叉口等特殊路段荷载集中且对沉降敏感,选择复合地基法(水泥土搅拌桩)或化学加固法,严格控制工后沉降。

4.3 基于施工条件与工期选择

施工设备简陋、技术水平有限,选择换填法、抛石挤淤法、砂垫层法,避免复杂成桩设备依赖;工期紧张选择化学加固法或抛石挤淤法,快速形成稳定基底;工期充裕选择排水固结法,通过预压充分提升软土强度,保障长期稳定。

4.4 基于成本与经济性选择

预算有限优先选择抛石挤淤、砂垫层、土工格栅加筋等简易方法,成本控制在5~15元/m²;预算适中选择换填法或复合灰土桩,成本15~30元/m²;高稳定性需求适当投入水泥土搅拌桩或化学加固法,确保工程质量,避免后期维修成本。

5 农村公路软土地基处理案例分析

结合农村公路软土分布场景与处理方法适配性,选取典型案例,从工程背景、处理方案选择、实施要点及稳定性效果展开分析,为同类工程提供实践参考。

5.1 浅层软土换填法应用

5.1.1 工程背景

某村道改造项目公路-IV级,路线穿越连片稻田,路基段软土厚度 1.2~2.5m,含水量 45%~55%,呈软塑状态,天然承载力 65~75kPa。原路基未处理时,雨后出现明显沉降,路面开裂宽度达 5~8mm,影响村民通行。

5.1.2 处理方案选择依据

软土厚度小于 3m,公路等级低。施工设备仅配备小型挖掘机、压路机,预算有限。结合“基于软土厚度与公路等级选择”策略,优先采用碎石换填法,兼顾施工简易性与稳定性需求。

5.1.3 实施要点

分段开挖软土,每段长度 10~15m,避免基坑坍塌。稻田区软土抗剪强度低,开挖深度至原软土底部以下 20cm;采用粒径 20~50mm 的碎石,分层填筑,每层厚度 30cm,用小型振动压路机(激振力 25t)碾压,压实度控制在 93%以上;换填层底部铺设 10cm 厚砂垫层,加速开挖后残留水分排出,避免换填层下卧软土二次扰动。

5.1.4 稳定性效果

换填后路基基底承载力提升至 180~200kPa,通车 1 年后工后沉降量小于 3cm,路面无新增开裂;雨季无路基积水或局部下沉现象,满足村道低荷载长期通行需求,处理成本低且施工周期仅 7 天,适配农村公路快速改造需求。

5.2 深层软土排水固结法应用

5.2.1 工程背景

某县道升级项目,路线沿河岸布设,部分路段软土厚度 4~6m,含水量 50%~60%,渗透系数 10^{-7} ~ 10^{-6} cm/s,天然不

排水抗剪强度 15~18kPa。原临时便道通车 3 个月后,路基沉降达 12cm,边坡出现小范围滑移。

5.2.2 处理方案选择依据

软土厚度 3~8m 中深层,公路等级较高,工期充裕。结合“基于软土厚度与工期选择”策略,采用“塑料排水板+填土预压”的排水固结法,从根本上改善软土强度,控制长期沉降。

5.2.3 实施要点

排水系统布设采用宽度 100mm、厚度 4mm 的塑料排水板,用小型插板机插入软土至底部 50cm,板间距 1.5m,呈正三角形布置;排水板顶部铺设 50cm 厚砂垫层,形成水平排水通道;分 3 级填筑路基填土,每级填筑后静置 7 天,监测孔隙水压力消散情况,避免荷载骤增引发软土失稳;在预压期内每周测量路基沉降,当连续 2 周沉降量小于 0.5mm/天时,判定固结完成。

5.2.4 稳定性效果

固结完成后软土天然不排水抗剪强度提升至 32~35kPa,工后沉降控制在 4~5cm,通车 2 年内无路面开裂或桥头跳车现象;路基边坡坡率 1:1.5,经雨季暴雨考验无滑移风险,满足县道中型货车通行需求,处理成本低于复合地基法,适配县道预算水平。

6 结论

农村公路软土地基处理的核心目标是通过改善软土不良特性,提升路基承载能力、控制沉降、增强抗滑性能,最终保障道路长期稳定。在实际工程中,农村公路软土地基处理需避免“技术一刀切”,应结合软土厚度、公路等级、施工条件与成本预算,选择“技术适配、经济可行”的方案。对浅层软土优先采用换填与简易处理,对中深层软土结合排水固结与复合地基,对局部缺陷辅以化学加固,同时注重施工后的路基压实与养护,形成全流程稳定保障体系。

参考文献:

- [1] 裴伟志.基于路基施工技术的农村公路施工方法研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(15):106-108.
- [2] 郑旭莲.农村公路施工中软土地基处理技术分析[J].运输经理世界,2025,(07):49-51.
- [3] 王晓东.真空联合堆载预压技术在农村公路不良土地基处理中的应用[J].四川水泥,2024,(06):228-230.