

城市道路施工中的软基加固施工技术应用研究

谢 泽 王 晓

中建八局轨道交通建设有限公司 浙江 绍兴 312030

摘 要：软基加固技术在道路工程中具有广泛的应用前景和重要意义。通过科学合理的施工设计和管理，软基加固技术可以显著提高道路的承载能力和稳定性，解决路面凹陷和裂缝问题，提高道路的安全性和舒适度。随着城市化进程的不断推进，城市交通网络的建设和改造工程也将越来越多，软基加固技术将会得到更广泛的应用和发展，同时也将会面临更多的挑战和机遇。

关键词：道路施工；软基；加固技术

随着社会经济的发展，城市建设进程不断加快，道路工程施工期间，软土地基处理是影响城市道路建设质量与效果的关键。针对软土地基处理问题展开论述，探究软土地基的基本特征，在分析软基加固技术重要性的基础上，阐述软土地基加固技术在城市道路施工中的具体应用^[1]。

1 软基加固的重要性

1.1 防止地基破坏与失稳。增强抗剪强度：软基土体天然抗剪强度低（黏粒含量高、腐殖质多），易引发地基剪切破坏或边坡滑塌。加固技术（如碎石桩、灰土挤密桩）可提高土体抗剪强度，保障建筑物和道路稳定性。避免地质灾害：未加固的软基易因地下水位变化或外力扰动导致塌陷、滑坡，威胁工程安全及周边环境。

1.2 控制沉降与差异变形。降低压缩性：软基压缩系数高（可达 $1.5\sim 4.5\text{MPa}^{-1}$ ），工后沉降显著，通过换填法或预压技术可减少沉降量（尤其是差异沉降），避免路面断裂或桥头跳车。缩短固结周期：采用排水固结法（如真空预压、砂井）加速孔隙水排出，提升工效并减少长期次固结风险。

1.3 改善透水性及渗流问题。优化排水性能：软基渗透系数低（ $10^{-7}\sim 10^{-9}\text{cm/s}$ ），易形成超孔隙水压力。设置排水盲沟或塑料排水板可提升透水性，防止渗漏、管涌等次生灾害。

1.4 应对特殊土质不良特性。消除湿陷性与膨胀性：针对黄土湿陷、膨胀土胀缩等问题，加固技术（如注浆、化学固化）可改善土体物理特性，提升地基稳定性。

1.5 提升工程耐久性与安全性。增强抗震性能：通过微型桩、复合地基等技术改善软基动力特性，减少地震或振动引发的液化风险，保障结构抗震能力。延长使用寿命：加固后软基承载力提高（如碎石桩复合地基承载力提升 $30\%\sim 50\%$ ），减少后期维护成本，延长道路、建

筑使用寿命。

2 软基加固的目的

2.1 增强地基强度与稳定性。提高抗剪强度：通过加固提升软土地基的抗剪能力，避免因承载力不足导致的失稳、滑移或剪切破坏。确保结构稳定：减少因地基软弱引发的建筑物倾斜、塌陷等风险，保障工程整体安全性^[2]。

2.2 控制沉降与变形。降低压缩性：减少地基的高压压缩性，控制工后沉降量及不均匀沉降，防止路面开裂、桥头跳车等问题。抑制长期变形：通过加速排水固结或增强土体刚度，缓解次固结沉降及流变效应带来的持续变形风险。

2.3 改善透水性及动力特性。优化排水性能：增强土体透水性或降低孔隙水压力，减少渗流破坏（如管涌、流砂）。提升抗震性能：改善软基的动力特性，防止地震或振动引发的液化、振动下沉等问题。

2.4 消除特殊土不良特性。处理特殊土质：消除湿陷性黄土的湿陷性、膨胀土的胀缩性及冻土的冻胀性，确保地基适应复杂环境。

2.5 基坑加固专项目的。减少围护结构位移：通过坑内土体加固增强被动区抗力，限制围护结构变形。防止坑底破坏：抑制土体隆起、渗流破坏，弥补围护结构插入深度不足等风险。软基加固的核心目标包括提升强度稳定性、控制沉降、改善土体特性及解决特殊地质问题，同时针对基坑工程需专项强化被动区抗力与抗隆起能力。

3 城市道路软基特点

3.1 高含水量与低承载力。天然含水量高：软基土体含水量普遍达 $20\%\sim 70\%$ ，孔隙比大，土质呈流塑状，导致地基承载力不足（通常低于 150kPa ）。抗剪强度低：土体黏粒含量高且含腐殖质，易发生剪切破坏，难以支撑道路荷载，易引发局部塌陷或整体失稳。

3.2 高压缩性与沉降问题。压缩性显著：软基压缩系数多超过 0.5MPa^{-1} ，工后沉降可占总沉降量的30%-60%，且固结周期长达数年，导致路面不均匀沉降和桥头跳车现象。长期沉降风险：土体流变性强，即使完成主固结沉降，仍可能因次固结作用产生持续变形。

3.3 低渗透性与排水困难。透水性差：渗透系数通常为 $10^{-7}\sim 10^{-9}\text{cm/s}$ ，孔隙水排出缓慢，施工后易形成超孔隙水压力，加剧地基变形风险。排水固结周期长：需依赖预压法或竖向排水井等辅助手段加速排水，否则难以满足城市道路建设工期要求。

3.4 触变性与结构破坏风险。触变效应明显：振动或施工扰动易破坏土体絮凝结构，导致强度骤降（如“弹簧土”现象），影响路基稳定性。

3.5 特殊分布与衍生病害。区域分布集中：多见于河网、滨海、湖泊等沉积区，与城市道路常需跨越水体或填方区的特点叠加，施工难度大。衍生病害多：易引发路面侵蚀（雨水冲刷松散）、管道断裂及边坡滑塌等次生问题，增加后期维护成本。城市道路路基具有“两高一低”（高含水量、高压缩性、低承载力）的核心特征，需结合其渗透性差、触变性强等特性，针对性选用加固技术以控制沉降、提升稳定性。

4 软基加固施工方法

4.1 传统物理加固方法。换填法。将软土层挖除后替换为高强度材料（如砂石、灰土或水泥土），分层压实以提高承载力，适用于浅层软土（深度 $\leq 3\text{m}$ ）。施工要点：回填材料需控制粒径与级配，分层厚度 $\leq 30\text{cm}$ ，采用重型压路机逐层压实，避免基底受污染。抛石挤淤法。向软基中抛投 $\geq 30\text{cm}$ 的片石，通过机械碾压强制置换淤泥形成稳定地基，适用于流动性淤泥或沼泽区域。注意事项：抛投需从路基中部向两侧扩展，并用碎石填充空隙，防止局部空洞；抛石后需配合强夯或振动碾压。

4.2 排水固结技术。堆载预压法。在软基表面堆载砂石或土料，通过重力加速孔隙水排出，缩短固结周期，适用于深厚饱和软土。控制要点：堆载速率需与排水速率匹配，防止超孔隙水压力引发地基剪切破坏；预压荷载需超过设计荷载20%-30%。真空预压法。覆盖密封膜后抽真空形成负压，加速排水固结，适用于低渗透性软土（如吹填土）。优化措施：结合塑料排水板或砂井（间距1-2m）增强排水效率，预压期一般需3-6个月。

4.3 复合地基技术。灰土挤密桩。成孔后分层填入灰土（石灰：土=2：8或3：7）并夯实，形成竖向增强体，适用于湿陷性黄土或松散填土。参数设计：桩径30-50cm，桩间距1.5-2倍桩径，桩长需穿透软土层至硬底。

预应力管桩复合地基。采用混凝土管桩（直径40-60cm）与桩顶褥垫层（碎石+土工格栅）协同承载，适用于高荷载公路或建筑地基。优势：桩网结构可分散应力，减少差异沉降，桩间距可调整至2-4m以优化成本。

4.4 动力加固技术。强夯法。利用重锤（10-40t）自由落体冲击土体，提高密实度，适用于砂性土或非饱和黏土。参数控制：夯击能级800-3000kN·m，夯点间距5-8m，夯击次数6-10次/点，需监测夯沉量。高压注浆法。将水泥基或化学浆液（水灰比0.6-1.0）高压注入软土层，形成胶结体增强承载力，适用于深层软弱地基。注浆工艺：注浆压力0.5-5MPa，扩散半径1-3m，采用分段注浆避免浆液流失。

4.5 特殊工艺与新型装置。石笼墙+排水体协同防护。结合深埋盲沟排水系统（混凝土垫层+碎石层+保温层）与交错堆叠石笼墙，用于高寒多雨地区边坡防滑塌。排水设计：混凝土垫层需深入冻融线以下，保温层采用聚苯乙烯泡沫板，保障冻土层排水效果。可调节加固支撑装置。采用压板伸缩杆与升降螺杆杆动态调整支撑压力，减少软基沉降对固定装置的破坏，装置可二次修复。应用场景：适用于城市道路软基加固，降低维护成本并提高施工灵活性。

5 高寒多雨地区软基加固方法

5.1 排水防冻协同设计。深埋盲沟排水系统。在软基边坡开挖盲沟，内设多层排水结构（混凝土垫层、碎石层、砂砾层及保温层），其中混凝土垫层需深入冻融线以下区域，保温层采用聚苯乙烯泡沫板，确保冻融区排水通畅并减少冻胀破坏。排水体需与边坡坡面形成连续导水通道，防止积水渗透加剧冻融循环。真空预压联合保温层。覆盖密封膜后抽真空加速排水固结，同时在冻融敏感区铺设保温材料，抑制冻土层水分迁移，适用于低渗透性软土。

5.2 结构加固与防护体系。石笼墙+墙体基础。沿边坡坡面自下而上交错堆叠石笼，覆盖排水盲沟，增强抗滑能力；底部设置混凝土墙体基础分散荷载，防止冻融导致结构变形。石笼填充片石粒径 $\geq 30\text{cm}$ ，缝隙填充碎石以提高整体性和抗冲刷能力。微型桩与注浆联合加固。在软基中打入钢管桩或CFG桩，桩间采用高压注浆填充孔隙（水泥基浆液需添加抗冻剂），形成复合地基，提升承载力。

5.3 抗冻材料与施工工艺。耐低温材料选择。换填材料选用级配砂石或防冻灰土（掺入防冻添加剂），分层压实（每层 $\leq 30\text{cm}$ ）；混凝土垫层采用抗冻标号 $\geq \text{F200}$ 的混凝土，并添加引气剂减少冻胀开裂。季节性施

工控制。避开雨季和极低温时段施工,冬季采用电热毯或蒸汽养护保持材料温度,确保压实度达标;雨后及时覆盖防渗土工布防止二次浸水。

5.4 动态监测与维护。布置沉降监测点与孔隙水压力传感器,实时监测冻融期地基变形及渗流状态,及时修复局部塌陷或裂缝。定期清理排水盲沟淤积物,检查石笼墙结构完整性,确保长期防护效果。高寒多雨地区软基加固需以排水防冻和结构抗滑为核心:排水防冻:通过深埋盲沟排水系统(混凝土垫层+保温层)和真空预压联合保温层,解决冻融破坏与排水难题;结构加固:采用石笼墙与微型桩注浆形成复合地基,提升抗滑性和承载力;材料与工艺:选用抗冻材料并控制施工季节,结合动态监测保障长期稳定性。

6 软基加固施工注意事项与质量控制

6.1 施工前准备。地质勘察与方案设计。需通过地质勘探明确软土类型(如淤泥、粉质黏土等)及分布范围,针对性选择加固方法(换填法、真空预压法、水泥搅拌桩等)。制定详细施工方案,明确荷载预压值、分层厚度、排水系统布置等关键参数,避免施工随意性导致质量隐患。材料与设备控制。换填材料需符合级配要求(如砂石粒径 $\leq 30\text{cm}$ 、灰土配比2:8或3:7),水泥搅拌桩应选用42.5级普通硅酸盐水泥,水灰比控制在0.45-0.55。设备需校验精度(如桩机垂直度偏差 $\leq 1\%$ 、注浆泵压力误差 $\leq 5\%$),确保工艺参数达标。

6.2 施工过程控制。换填与抛石挤淤。换填时需分层压实(每层 $\leq 30\text{cm}$),采用重型压路机碾压6-8遍,压实度 $\geq 93\%$;抛石挤淤应从路基中部向两侧扩展,片石粒径 $\geq 30\text{cm}$,空隙用碎石填充并二次强夯。雨季施工需覆盖防渗土工布,防止软基二次浸水。排水固结技术。真空预压法需确保密封膜无破损,抽真空负压 $\geq 80\text{kPa}$,并配合塑料排水板(间距1-2m)加速排水,预压

期 ≥ 3 个月。堆载预压荷载需超设计值20%-30%,加载速率与孔隙水压力消散速率匹配,避免剪切破坏。桩基与注浆加固。水泥搅拌桩需全程复搅,喷浆量 $\geq 50\text{kg/m}$,桩体垂直度偏差 $\leq 1\%$,成桩7天后检测无侧限抗压强度 $\geq 1.2\text{MPa}$ 。高压旋喷桩注浆压力 $\geq 20\text{MPa}$,旋转速度 $\leq 20\text{r/min}$,注浆后需取芯检测桩体完整性与强度。特殊工艺控制。石笼墙施工中,片石填充需交错堆叠,缝隙填充碎石并压实;微型桩注浆需添加抗冻剂(高寒地区),注浆压力根据土层渗透性动态调整。

6.3 质量检测与维护。过程监测。布置沉降观测点(间距 $\leq 50\text{m}$)和孔隙水压力传感器,实时监测地基变形及排水效果,异常时暂停施工并调整方案。注浆加固后需进行静载试验,承载力检测值需 $\geq$ 设计值的1.2倍。验收与维护。换填层验收压实度、碎石桩检测密实度(动力触探法)、水泥土桩取芯检测完整性,不合格区域需补桩或返工。完工后定期清理排水盲沟淤积物,检查石笼墙结构稳定性,防止冻融或冲刷破坏。关键控制点总结:材料与设备:级配砂石、抗冻水泥、校准设备;工艺参数:分层压实厚度、真空负压、注浆压力;动态监测:沉降、孔隙水压力、桩体强度;环境适应:雨季防渗、高寒抗冻、动态调整工艺。

总之,软基加固需结合地质条件选择方法,浅层软土优先换填或抛石挤淤,深厚软土适用排水固结,高荷载场景推荐复合地基,特殊环境(如高寒、振动敏感区)可搭配石笼墙或可调节装置。施工中需严格控制分层压实、排水速率及材料性能,确保加固效果与工程安全。

参考文献

- [1]刘建娟.道路施工中的软基加固施工技术应用.2021.
- [2]李志静.城市道路施工中的软基加固施工技术应用探讨.2023.