

# 软基础浸水条件下道路基础快速处理技术

刘 义

孝感市永成建设有限责任公司 湖北 孝感 432000

**摘要：**软基础浸水条件下的道路基础快速处理技术，是针对软弱土层在浸水环境下承载力骤降、稳定性不足等问题的创新解决方案。该技术通过优化填筑材料选用、构建高效排水系统及动态压实工艺，实现快速固结与强度提升。同时结合智能监测与质量控制体系，确保施工效果稳定可靠。其应用可显著缩短工期、降低长期沉降风险，为沿海、河滩等软基区域道路建设提供技术支持，推动基础设施工程高效、安全实施。

**关键词：**软基础；浸水条件；道路基础；快速处理技术

## 1 软基础浸水特性分析

### 1.1 软基础物理力学性质

软基础通常指天然含水量高、压缩性大、强度低且渗透性差的软弱土层（如淤泥、淤泥质土或高液限黏土）。其物理力学性质具有以下典型特征；高含水量与低强度：天然含水量常超过液限，导致无侧限抗压强度低（通常  $< 50\text{kPa}$ ），抗剪强度参数（黏聚力 $c$ 和内摩擦角 $\phi$ ）显著弱化。高压缩性与低渗透性：压缩系数（ $a_{1-2}$ ）通常  $> 0.5\text{MPa}^{-1}$ ，固结过程缓慢；渗透系数（ $k$ ）多处于  $10^{-7}\sim 10^{-9}\text{m/s}$ 量级，排水条件极差。结构性敏感：软土颗粒间存在胶结作用或絮凝结构，受扰动后强度骤降，触变性显著。流变性特征：长期荷载下易产生蠕变变形，导致工后沉降难以控制。

### 1.2 浸水条件下的工程问题

软基础浸水后易诱发以下工程问题；水分渗透破坏土体结构，黏聚力骤降，导致地基承载力不足，可能引发局部剪切破坏或整体失稳（如边坡滑塌、路基塌陷）。浸水加剧土体压缩性差异，引发差异沉降，导致上部结构开裂或倾斜<sup>[1]</sup>。低渗透性土层在集中渗流作用下可能发生流土、管涌等渗透破坏，危及工程安全，浸水后土体固结时间延长，工后沉降量显著增加，影响工程使用寿命，浸水可能引发次生灾害（如土体液化、冻融循环加剧），进一步恶化工程条件。

### 1.3 快速处理需求

针对软基础浸水问题，快速处理需求体现在以下方面：（1）时效性要求。浸水后土体强度衰减迅速，需在短期内（如72小时内）采取加固措施，防止变形失稳扩展；（2）应急抢险需求。突发浸水事件（如暴雨、洪水）需立即启动应急预案，采用速凝材料（如水泥-水玻璃双液浆）或快速排水技术控制险情；（3）工期敏感性。基础设施工程（如高速公路、机场跑道）对工期要

求严格，需采用高效加固技术（如真空预压联合强夯）缩短处理周期；（4）经济性考量。快速处理可减少次生灾害损失，避免因长期停工或修复导致的成本激增；（5）技术适配性。需结合现场条件选择可快速实施的方案（如微型桩、土工合成材料加筋），确保施工可行性与效果可靠性。

## 2 软基础浸水条件下道路基础快速处理技术研究

### 2.1 填筑材料的选用与要求

在软基础浸水条件下，填筑材料的选择需兼顾排水性、稳定性及施工便捷性。河滩细砂因其颗粒均匀、渗透性强（渗透系数通常  $> 1\times 10^{-3}\text{m/s}$ ）且易于压实，成为理想材料。其要求如下：物理性质，细砂粒径宜控制在  $0.075\sim 2.0\text{mm}$ ，含泥量  $\leq 5\%$ ，避免杂质堵塞排水通道；排水性能，需确保填筑层形成连续透水通道，加速软土固结，减少孔隙水压力积聚<sup>[2]</sup>；抗液化能力，在地震或振动荷载下，细砂需通过密实度控制（相对密度 $D_r \geq 70\%$ ）或掺入少量水泥（ $3\%\sim 5\%$ ）提升抗液化性能；经济性，优先选用本地河滩砂料，降低运输成本，同时减少对环境的影响。

可结合工程需求掺入碎石或纤维材料，增强填筑层整体稳定性。

### 2.2 填筑平台的构建与操作

填筑平台的构建是快速处理技术的核心环节，需通过分层填筑与阻隔措施实现软基隔离与荷载传递。（1）细砂平台填筑，每层填筑厚度  $\leq 30\text{cm}$ ，采用“薄层轮压法”确保密实度均匀（压实度  $\geq 95\%$ ）。平台边坡坡比宜为 $1:1.5\sim 1:2.0$ ，防止滑塌；浸水区域需设置反滤层（如土工布），避免细砂流失。（2）粘土阻隔墙体设置，沿填筑平台边缘设置，深入软土层底部（ $\geq 2\text{m}$ ），阻断地下水侧向渗透。采用泥浆护壁成槽技术，墙体厚度  $\geq 50\text{cm}$ ，渗透系数  $\leq 1\times 10^{-7}\text{m/s}$ ，确保隔水效果。在关键部

位（如桥台过渡段）可增设碎石桩或水泥搅拌桩，形成“刚柔并济”的复合地基。

### 2.3 排水技术的应用与优化

高效排水技术是缩短软基固结时间的关键，需结合主动与被动排水措施；一是塑料排水管埋设。采用梅花形或正方形网格布置，间距1.0~1.5m，深入软土层底部（ $\geq 3\text{m}$ ）。优先选用带滤膜的高强度PVC排水管（直径 $\geq 100\text{mm}$ ），滤膜孔径 $\leq 0.1\text{mm}$ ，防止淤堵。二是排水沟槽设置。沿道路纵向开挖盲沟（宽度 $\geq 0.5\text{m}$ ，深度 $\geq 1.0\text{m}$ ），内填碎石或陶粒，表面覆盖反滤土工布。沟槽与排水管通过三通接头连接，形成立体排水网络，提升排水效率。三是优化措施。在填筑层表面铺设密封膜，抽真空压力 $\geq 80\text{kPa}$ ，加速孔隙水排出。埋设孔隙水压力计与沉降标，实时调整排水参数，实现动态优化。

### 2.4 压实技术与设备

压实技术是确保填筑层密实度与承载力的直接手段，需根据材料特性与工况合理选择设备；压路机选型：优先选用振动压路机（激振力 $\geq 300\text{kN}$ ），频率25~30Hz，振幅1.5~2.0mm，避免过载导致颗粒破碎。采用静力压路机（碾重 $\geq 15\text{t}$ ）或冲击式压路机，分层压实厚度 $\leq 20\text{cm}$ 。操作要求：振动压路机宜控制在2~4km/h，静压压路机 $\leq 3\text{km/h}$ ，确保压实均匀性。细砂层需碾压6~8遍，粘土阻隔墙需静压3~4遍后冲击压实2~3遍。纵向接缝搭接宽度 $\geq 50\text{cm}$ ，横向接缝错开 $\geq 1.0\text{m}$ ，避免薄弱面。质量控制：采用灌砂法或核子密度仪，每200m<sup>2</sup>检测1点，合格率 $\geq 90\%$ 。3m直尺测量最大间隙 $\leq 15\text{mm}$ ，保障后续施工层间结合。

## 3 软基础浸水条件下道路基础快速处理技术实施要点

### 3.1 施工前准备

施工前准备是软基础浸水条件下道路基础快速处理技术的关键前提，需从技术、材料与现场三方面系统推进。首先，需开展精细化地质勘察，通过钻探、原位测试及室内试验，精准掌握软土层的分布范围、含水量、渗透系数及地下水位动态，为设计提供可靠依据<sup>[3]</sup>。其次，结合勘察结果制定专项施工方案，明确填筑材料（如河滩细砂）的级配要求、排水系统（如塑料排水管）的布置间距及压实工艺参数，并通过专家论证优化细节。需提前规划材料储备与设备调配，确保细砂、粘土等填筑材料质量合格且供应充足，压路机、真空泵等关键设备性能稳定。另外，需完成现场“三通一平”，设置临时排水沟与集水井，避免地表水渗入施工区域。技术交底工作需覆盖全体施工人员，重点强调浸水风险防控与应急处理措施。最后，建立施工监测网络，预埋

孔隙水压力计、沉降标等传感器，为后续动态调整提供数据支撑，确保施工安全与效率。

### 3.2 施工工艺流程

软基础浸水条件下道路基础快速处理的施工工艺需遵循“分层填筑、动态排水、实时压实”的原则，具体流程如下：（1）场地预处理。清除表层杂物后，开挖排水盲沟并回填碎石，形成初级排水通道，降低地下水位；（2）阻隔层施工。沿处理区域边缘设置粘土阻隔墙或水泥搅拌桩，深入不透水层，阻断侧向渗流路径；（3）分层填筑。采用河滩细砂分层填筑，每层厚度控制在30cm以内，摊铺后初步整平，避免材料离析；（4）排水系统安装。在填筑层中埋设带滤膜的塑料排水管，按梅花形布置，间距1.0~1.5m，并与盲沟连通；同步铺设土工布反滤层，防止细砂流失；（5）压实作业。使用振动压路机按“先轻后重、先慢后快”原则碾压，激振力 $\geq 300\text{kN}$ ，碾压遍数6~8遍，确保压实度 $\geq 95\%$ ；（6）动态监测与调整。通过埋设的孔隙水压力计和沉降标实时监测，若渗流速率或沉降量超限，立即增设临时排水措施或调整压实参数；（7）封闭与养护：填筑完成后铺设防渗膜，抽真空辅助固结（真空度 $\geq 80\text{kPa}$ ），养护至沉降速率稳定（ $\leq 2\text{mm/d}$ ）后方可进行上层施工。

### 3.3 质量控制与监测

软基础浸水条件下道路基础快速处理的质量控制与监测需贯穿施工全过程，确保技术效果与工程安全。质量控制方面：严格把控填筑材料质量，细砂含泥量 $\leq 5\%$ ，粘土阻隔墙渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7}\text{m/s}$ ，进场材料需100%检验合格。压实度采用灌砂法或核子密度仪检测，每层抽检频率 $\geq 3\text{点}/200\text{m}^2$ ，合格率需达95%以上；表面平整度误差 $\leq 15\text{mm}$ ，避免层间脱空。排水管滤膜孔径 $\leq 0.1\text{mm}$ ，反滤层土工布搭接宽度 $\geq 30\text{cm}$ ，防止淤堵或渗漏。动态监测方面：埋设孔隙水压力计、沉降标及水平位移计，实时监测渗流场与变形场，数据采集频率 $\geq 1\text{次}/6\text{小时}$ 。若单日沉降量 $> 10\text{mm}$ 或孔隙水压力突增，立即启动应急排水或暂停填筑，分析原因后调整工艺参数。施工结束后持续监测30天，确保沉降速率 $\leq 2\text{mm/d}$ 且差异沉降 $\leq 3\text{‰}$ ，方可验收。

## 4 快速处理技术应用中的问题与对策

### 4.1 技术应用中的常见问题

#### 4.1.1 处理效果不稳定

处理后地基仍存在局部沉降差异（如差异沉降量 $> 5\text{cm}$ ）、承载力不足（回弹模量低于设计要求）或长期蠕变变形，导致路面开裂或桥头跳车。成因分析：地质条件复杂，软土层厚度不均、夹杂透镜体或有机质含量过

高,影响加固均匀性。工艺参数偏差,压实遍数不足、排水系统堵塞或真空度未达设计要求,导致固结不完全。监测与反馈滞后,缺乏实时动态监测,未能及时调整施工参数。

#### 4.1.2 施工成本过高

材料运输费用(如远距离采购细砂)、设备租赁成本(如高功率真空泵)及工期延长导致的间接费用显著增加,总成本超预算20%~30%。成因分析:材料选择单一,过度依赖河砂等特定材料,未充分利用本地资源(如建筑废料再生骨料)。设备配置不合理,大型设备闲置或低效运转,如压路机型号与填筑层厚度不匹配。工期管理粗放:工序衔接不畅,导致人工与机械闲置。

#### 4.1.3 环境影响问题

施工扬尘、噪声污染(压路机噪声 > 85dB)及废水排放(含泥浆水未经处理直排)引发周边居民投诉,甚至导致生态敏感区植被破坏。成因分析:环保措施缺失:未设置围挡、喷淋降尘系统或三级沉淀池。施工时序不当:在鸟类繁殖期进行土方作业,破坏栖息地。废弃物处置不当:废弃土方随意堆放,未进行资源化利用。

### 4.2 应对策略与建议

#### 4.2.1 质量控制与监督

为确保软基础浸水条件下快速处理技术的可靠性,需构建全过程质量控制体系:制定分级验收标准,明确各工序(如填筑层厚度误差  $\leq \pm 2\text{cm}$ 、压实度  $\geq 95\%$ )的合格指标,采用“三检制”(自检、互检、专检)强化过程管控。引入物联网传感器实时监测孔隙水压力、沉降量及压实度,数据同步上传云平台,通过AI算法预警潜在质量风险(如渗流速率突增)。委托专业检测机构对关键材料(如排水管滤膜抗拉强度)及隐蔽工程(如阻隔墙完整性)进行抽检,抽检比例不低于30%,确保合规性。建立施工档案,记录材料批次、设备参数及操作人员信息,实现质量问题可追溯、可追责<sup>[4]</sup>。

#### 4.2.2 成本控制措施

通过优化资源配置与技术方案的实施成本:推广本地化材料替代(如建筑垃圾再生骨料替代部分细砂),建立材料价格动态数据库,选择性比价最优供应商,降低采购成本10%~15%。采“设备共

享租赁”模式,根据施工进度动态调配压路机、真空泵等设备,减少闲置率;推广小型化、模块化设备(如履带式冲击夯),适应狭窄工况。应用“薄层快压”技术(每层填筑厚度  $\leq 20\text{cm}$ ),缩短固结时间30%以上;采用强夯置换法替代部分水泥搅拌桩,降低材料费用。利用BIM技术模拟施工流程,优化工序衔接,减少人工与机械闲置时间;设置阶段性奖励机制,激励团队提前完成关键节点。

#### 4.2.3 环境保护措施

践行绿色施工理念,最大限度减少快速处理技术对环境的影响:设置全封闭围挡与喷淋降尘系统,控制施工扬尘( $\text{PM}_{10}$ 浓度  $\leq 150\mu\text{g}/\text{m}^3$ );采用低噪声设备(如电动压路机),夜间施工噪声  $\leq 55\text{dB}$ 。建设三级沉淀池处理泥浆水,达标后回用于洒水降尘;废弃土方经固化处理后用于路基填筑,实现资源化利用率  $\geq 80\%$ 。施工结束后,对临时占地实施植被恢复(如种植本地草本植物),覆盖率  $\geq 90\%$ ;在生态敏感区设置缓冲带,减少施工干扰。施工前开展环保宣传,公示施工计划并设立投诉渠道;定期邀请居民代表参与环保检查,增强透明度与信任度。

### 结束语

软基础浸水条件下的道路基础快速处理技术,是土木工程领域应对复杂地质挑战的重要突破。该技术以“排、隔、压”为核心,通过材料创新、工艺优化与智能管控的协同作用,有效解决了软基处理中效率与质量的矛盾。未来,随着生态环保要求的提升与智能化技术的融合,该技术将更加注重绿色施工与资源循环利用,推动行业向低碳化、精细化方向发展。

### 参考文献

- [1]黎梓峰.预应力技术在道路工程施工中的质量管理研究[J].运输经理世界,2023(36):126-128.
- [2]郭成田.道路工程伸缩缝施工质量控制研究[J].运输经理世界,2023(16):82-84.
- [3]胡正伟.道路与桥梁基础施工技术要点分析[J].居舍,2021,(11):39-40+56.
- [4]朱建华.道路与桥梁基础施工技术要点[J].建材发展导向,2022,20(20):166-168.