

# 道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用

张锦城

广东省路桥建设发展有限公司广贺分公司 广东 肇庆 526000

**摘要：**软土地基含水量高、压缩性强、抗剪强度低等特性，在道路桥梁施工中易引发沉降、失稳等问题，严重影响工程安全与使用寿命。本文聚焦道路与桥梁施工中软土地基处理问题，分析了软土地基的定义、分类、物理力学特性及对施工的不利影响，再系统研究换填法、排水固结法、复合地基法、注浆加固法四种核心施工技术的适用场景、施工流程与质量控制要点，最后梳理施工中常见的工期延误、成本超支、技术参数偏差等问题，并提出针对性应对策略。研究表明，合理选用软土地基处理技术并强化全流程管控，可有效提升道路桥梁工程质量，为同类工程提供技术参考。

**关键词：**道路与桥梁施工；软土地基；施工技术应用

引言：随着交通建设向沿海、河网等软土分布区拓展，软土地基处理难度不断加大。当前部分工程存在技术选型不当、施工管控不足等问题，导致工期延误与成本超支。因此深入分析软土地基特性，研究实用施工技术及问题应对策略，对保障道路桥梁工程质量、推动交通建设高质量发展具有重要现实意义。

## 1 道路与桥梁施工中软土地基的特性及影响分析

### 1.1 软土地基的定义与分类

软土地基是道路与桥梁工程中常见的特殊地基类型，通常指天然含水量高、孔隙比大、压缩性强、抗剪强度低且渗透性小的土层集合体，其工程特性难以满足道路桥梁结构对地基承载力与稳定性基本要求。从成因角度划分，软土地基可分为以下三种：（1）滨海相软土由海水沉积形成，分布于沿海区域；（2）三角洲相软土因河流入海口泥沙堆积而成，土层分布较广；（3）湖沼相软土形成于湖泊、沼泽环境，有机质含量较高；（4）河漫滩相软土则随河流泛滥沉积形成，多分布于河流两岸。

### 1.2 软土地基的物理力学特性

软土地基的物理力学特性直接决定其工程适应性，核心特性体现在三方面：（1）压缩性显著，表现为压缩系数大、压缩模量小，在道路桥梁荷载作用下易产生较大压缩变形，且变形持续时间长；（2）渗透性差，渗透系数通常处于 $10^{-6}\sim10^{-8}\text{cm/s}$ 量级，土层内部水分难以快速排出，导致地基固结速率缓慢；（3）抗剪强度低，天然状态下软土地基的内摩擦角与黏聚力较小，受含水量变化影响明显，荷载作用下易因抗剪能力不足引发力学平衡破坏，且强度增长随固结进程缓慢提升。

### 1.3 软土地基对道路桥梁施工的不利影响

软土地基的特性会对道路桥梁施工产生以下不利影

响：（1）沉降问题，地基压缩性与渗透性差异易导致施工期间及运营阶段出现不均匀沉降，破坏道路平整度或桥梁支座受力平衡；（2）失稳风险，施工中若荷载施加过快或地基处理不及时，软土地基抗剪强度不足会引发基坑边坡滑动、路基整体失稳等事故，威胁施工安全；（3）结构破坏，地基的持续变形会将应力传递至上部道路基层、面层或桥梁墩台、梁体，导致结构出现裂缝、位移等损伤，降低道路桥梁的承载能力与使用寿命<sup>[1]</sup>。

## 2 道路与桥梁施工中软土地基施工技术的应用

### 2.1 换填法在道路桥梁软土地基施工中的应用

换填法作为浅层软土地基处理的核心技术，核心逻辑是通过“置换-夯实-承载”的闭环，解决软土承载力不足问题，在道路基层、桥梁基坑回填等场景应用广泛。其适用边界明确，主要针对软土分布深度 $\leq 3.0\text{m}$ 、地下水位低于换填底面 $0.5\text{m}$ 以上的区域，若软土深度超 $3.0\text{m}$ ，会因开挖量、材料用量激增导致成本超支，且易引发基坑边坡坍塌风险。

实际施工要遵循“分层作业、全程控质”原则。材料选择需满足工程特性：优先选用级配良好的碎石、卵石或粉质粘土，禁止使用腐殖土、生活垃圾土；若处于季节性冻土区，需掺入3%-5%石灰改善抗冻性。开挖环节需控制两点：一是按“分段开挖、先支后挖”流程，每段长度 $\leq 20\text{m}$ ，边坡坡度根据土质设定为1:1.5-1:2.0，必要时采用钢板桩支护；二是基底预留20-30cm人工清理层，避免机械开挖扰动原土结构，清理后需及时验收基底承载力。

回填压实是关键工序，采用“分层摊铺、分层压实”工艺：每层虚铺厚度控制在15-25cm（碎石类材料取上限，粘性土取下限），压实机械根据材料类型选择——

碎石类用振动压路机,粘性土用光轮压路机,首层压实禁用强振模式,防止基底翻浆。质量验收需覆盖三方面:压实度通过环刀法(粘性土)或灌砂法(碎石类)检测,要求 $\geq 95\%$ (道路基层)、 $\geq 93\%$ (桥梁基坑);承载力采用静载荷试验,每 $1000\text{m}^2$ 不少于3个检测点;顶面平整度用2m靠尺检测,偏差 $\leq 5\text{mm}$ ,确保后续结构施工的基础平整度。

## 2.2 排水固结法在道路桥梁软土地基施工中的应用

排水固结法通过“排水通道+预压荷载”的协同作用,加速软土内部水分排出,促进土体固结硬化,适用于深厚软土(深度3.0-15.0m)、高含水量的道路路基、桥梁台背等区域,尤其适合工期充裕的项目。其技术核心是构建高效排水系统与合理预压体系,两者需匹配土渗透性、压缩性参数。

排水系统施工需精准控制关键参数。竖向排水体常用塑料排水板(宽度100mm、厚度4-5mm)或袋装砂井,打设采用专用插板机或打桩机,深度需穿透软土层至下卧硬土层0.5-1.0m,桩位偏差 $\leq 100\text{mm}$ ,垂直度偏差 $\leq 1.5\%$ ;水平排水系统采用砂垫层(厚度30-50cm,粒径0.5-2.0mm),铺设前需平整场地,若软土表面泥泞,可先铺设土工布隔离,砂垫层需分层压实,压实度 $\geq 90\%$ 。

预压施工分三种模式,实际应用需按需选择:堆载预压采用分级加载,每级加载量不超过总荷载的50%,加载间隔 $\geq 7$ 天,同时监测孔隙水压力,防止软土失稳;真空预压需铺设2-3层密封膜,膜下真空度需稳定在80kPa以上,持续时间 $\geq 15$ 天,密封沟深度需嵌入不透水层0.5m。真空-堆载联合预压则在真空预压15-20天后,叠加堆载,可缩短预压周期30%-40%。施工效果验收需检测:固结度 $\geq 85\%$ ,沉降速率 $\leq 0.5\text{mm/d}$ (连续10天),十字板抗剪强度较原土提升 $\geq 50\%$ <sup>[2]</sup>。

## 2.3 复合地基法在道路桥梁软土地基施工中的应用

复合地基法通过在软土中设置增强体(桩体),形成“桩体主承、桩间土协同”的承载体系,适用于各类深度软土,尤其适合对沉降控制要求高的桥梁墩台、道路交叉口区域。实际应用中,需根据软土性质、承载力要求选择桩型,常见有CFG桩、水泥土搅拌桩、碎石桩三类。

CFG桩(水泥粉煤灰碎石桩)施工需把控材料与参数:混凝土强度等级C15-C25,坍落度160-200mm,采用长螺旋钻孔灌注工艺,桩径400-600mm,桩间距1.5-2.5m(按等边三角形布置);施工时钻杆提升速度控制在1.2-1.5m/min,避免出现断桩、缩颈,桩顶需超灌0.5-0.8m,破除浮浆后预留100mm褥垫层空间。质量控制重点:桩

身完整性采用低应变检测(检测比例 $\geq 30\%$ ),复合地基承载力采用静载荷试验(每200根桩不少于1点),承载力需满足设计值的1.2倍以上。

水泥土搅拌桩适用于软土含水量 $\geq 30\%$ 的区域,施工核心是“均匀搅拌、足量掺灰”:采用双轴搅拌桩机,水泥掺入量按软土干密度计算,浆液水灰比0.5-0.6;钻进速度 $\leq 1.0\text{m/min}$ ,提升速度 $\leq 0.8\text{m/min}$ ,全程复搅,确保搅拌均匀性;桩径500-600mm,桩间距1.2-2.0m,桩顶需超灌0.3-0.5m。质量验收需检测:桩身水泥土强度(28天无侧限抗压强度 $\geq 1.2\text{MPa}$ ),采用钻芯取样(每50根桩不少于1点),复合地基承载力需通过静载荷试验验证,同时检查桩位偏差、垂直度。

碎石桩(振动碎石桩)主要用于松散砂性软土或粉土,施工采用振动器,桩径600-800mm,桩间距1.5-2.5m;施工时按“成孔-填料-振密”流程,填料采用级配碎石(粒径20-50mm,含泥量 $\leq 3\%$ ),每次填料量控制在0.3-0.5m<sup>3</sup>,振密电流需达到额定值的80%以上,留振时间5-10s;桩顶铺设300-500mm厚碎石褥垫层(粒径5-30mm),压实度 $\geq 95\%$ 。质量控制需检测:桩体密实度,复合地基承载力提升幅度需 $\geq 40\%$ ,同时监测施工后地基沉降量。

## 2.4 注浆加固法在道路桥梁软土地基施工中的应用

注浆加固法通过“渗透-填充-固化”的技术路径,将胶凝性浆液注入软土孔隙,改善土体物理力学性能,适用于软土分布不均、局部承载力不足的道路路基、桥梁墩台基础区域,尤其适合已有结构下的软基加固或深度3.0-10.0m的中小型软土处理场景,对周边结构扰动较小。

实际施工需精准把控材料与工艺适配性:浆液优先选用水泥浆或水泥-水玻璃双液浆,软土有机质含量高时需掺入10%-15%粉煤灰改良;注浆设备选用压力0-10MPa的注浆机,精度控制在 $\pm 0.1\text{MPa}$ 。钻孔采用地质钻机,孔径50-100mm,孔距1.0-2.0m,按梅花形布置,孔深需穿透软土层0.3-0.5m。

注浆按“从下至上、先外围后中间”顺序施工,压力根据软土密实度调整:松散软土控制在0.3-0.5MPa,稍密软土为0.5-0.8MPa,相邻孔溢出浆液后关闭当前注浆嘴。质量验收需检测两方面:采用标准贯入试验检测土体强度,锤击数较原土提升 $\geq 30\%$ ;通过超声波检测浆液填充率,要求 $\geq 95\%$ ,同时监测地基沉降量,确保 $\leq 5\text{mm}/\text{月}$ <sup>[3]</sup>。

## 3 道路与桥梁软土地基施工技术应用中的常见问题及应对策略

### 3.1 施工中常见问题

道路桥梁软土地基施工中，常见问题集中体现在以下方面：（1）工期延误方面，主要表现为软土地基处理周期超出计划时长，如排水固结法预压沉降未达设计要求需延长工期、复合地基桩体施工效率低于预期导致后续工序滞后；部分项目因软土勘察不充分，施工中突发地质异常，需临时调整方案，进一步拖慢进度。（2）成本超支问题多源于材料与施工管控不当：换填法中优质填料采购价高于预算，或因开挖深度超预期导致填料用量激增；排水固结法真空设备租赁时间延长、复合地基桩体施工中废桩率过高，均会增加设备与材料成本；软土地基施工中突发的边坡支护加固、降水措施升级等临时工程，也易造成成本突破预算。（3）技术参数偏差则直接影响施工质量，具体表现为换填法分层压实度未达设计标准、排水固结法竖向排水体打设深度不足或间距超标、复合地基桩体垂直度偏差超1%、桩身强度未达设计等级；部分项目孔隙水压力监测数据失真、沉降观测频率不足，导致技术参数反馈滞后，无法及时调整施工策略。

### 3.2 针对性的应对策略

针对上述问题，可从全流程制定应对策略。（1）在工期管控上，前期需结合软土特性制定弹性进度计划，为排水固结预压、桩体养护等关键工序预留10%-15%的缓冲时间；施工中建立“勘察-设计-施工”联动机制，若发现地质异常，24小时内组织专家评审调整方案，避免工期大幅延误；同时优化施工流程，如复合地基采用多机组平行作业，提高桩体施工效率。（2）成本控制要聚焦事前预防与事中管控：勘察阶段精准确定软土参数，避免设计方案保守导致成本浪费；材料采购采用“集中招标+长期合作”模式，锁定优质填料、水泥等核心材料价格，同时建立材料损耗台账，将换填法填料损耗率控

制在3%以内、复合地基桩体废桩率控制在1%以下；临时工程费用纳入预算时预留5%-8%的浮动空间，避免突发情况导致成本失控。（3）技术参数管控要强化全链条监督：施工前对作业人员开展专项培训，重点考核换填压实、排水体打设、桩体施工等关键工序操作规范；设备进场前进行性能检测，定期维护保养，确保钻孔机、压实机等设备精度；质量检测实行“双人复核制”，压实度检测按每100m<sup>2</sup>不少于1个取样点、桩身完整性检测覆盖所有桩号的30%以上；建立实时监测系统，孔隙水压力监测频率提升至每6小时1次、沉降观测每天1次，及时反馈参数偏差并调整施工参数<sup>[4]</sup>。

结束语：本文系统梳理了道路桥梁软土地基施工的核心技术与问题应对方案，明确了不同软土地基处理技术的适用边界与操作要点，提出的工期、成本、技术参数管控策略具有较强实用性。但软土地基处理技术仍需结合工程实际持续优化，未来可进一步探索绿色环保材料的应用与智能化监测技术的融合，以提升软土地基处理的效率与经济性。

### 参考文献

- [1]高宏亮.道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(4):152-155.
- [2]李海.道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用解析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(6):005-008.
- [3]李光.道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(1):018-021.
- [4]陈银钢.道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用[J].安装,2024(S2):194-196.