

# 岩土工程中软土地基处理技术的应用

贾富利

中化地质河南局集团有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 岩土工程中,软土地基因含水量高、压缩性大、承载力低,易引发沉降、失稳等工程问题。软土地基处理技术通过物理改良(如排水固结法、预压法)、化学加固(如水泥搅拌桩、高压喷射注浆)及复合地基技术(如碎石桩、强夯置换),有效提升地基承载力与稳定性。实际应用中,需结合地质条件、工期需求与成本效益综合选型。例如,真空联合堆载预压法可缩短工期40%,生态环保型技术则通过资源循环利用实现低碳施工,推动软土地基处理向高效、可持续方向发展。

**关键词:** 岩土工程;软土地基处理技术;应用

引言:岩土工程中,软土地基因其天然含水量高、压缩性强、抗剪强度低等特性,成为影响工程安全与稳定性的关键难题。若软土地基处理不当,易引发建筑物不均匀沉降、边坡失稳及道路开裂等问题。随着城市化进程加速和重大工程建设的推进,软土地基处理技术的重要性日益凸显。本文系统梳理了物理处理、化学加固、复合地基等传统技术,结合新型材料与智能化监控手段的优化创新,探讨不同工程场景下的技术选型原则及绿色可持续发展方向,旨在为软土地基处理提供科学指导与实践参考。

## 1 软土地基的工程特性与分类

### 1.1 软土的定义与形成原因

软土是指天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、强度低的黏性土,多形成于静水或缓慢流水环境。其形成与沉积环境密切相关,如河流三角洲因水流减缓,细颗粒泥沙逐渐沉积;湖泊、沼泽区长期积水,有机质富集且排水不畅,逐渐形成软土。软土的物理力学性质具有显著特征:含水量通常大于35%,部分湖沼相软土可达60%以上;孔隙比大于1.0,远超普通黏性土(一般小于0.8);压缩系数大于 $0.5\text{MPa}^{-1}$ ,属于高压缩性土,受荷载后易产生大幅沉降;抗剪强度低,天然快剪黏聚力多在10~25kPa,难以承受较大荷载。

### 1.2 软土地基的工程问题

(1) 沉降问题:软土地基受荷载后易产生总沉降量大、沉降持续时间长的问題,如建筑工程中总沉降量可达数十厘米;同时因软土分布不均,易出现不均匀沉降,导致建筑物墙体开裂、路面错台,影响工程使用安全。(2) 稳定性问题:软土抗剪强度低,在外部荷载或降水影响下,易发生滑坡、坍塌。如道路边坡施工中,软土地基易因土体抗滑力不足出现边坡失稳;基坑开挖时,

软土侧壁可能因压力失衡发生坍塌,威胁施工安全。

## 1.3 软土地基的分类与分布

(1) 按成因分类:滨海相软土分布于沿海地区,如我国长三角、珠三角沿岸,由海水沉积形成,含盐量较高;湖沼相软土多见于内陆湖泊、沼泽区,如洞庭湖、鄱阳湖周边,有机质含量高;河漫滩相软土分布于河流中下游漫滩地带,受河流周期性沉积影响,土层厚度不均。(2) 按工程性质分类:高灵敏度软土受扰动后强度大幅降低,灵敏度系数大于4,常见于湖沼相沉积区;低强度软土天然抗剪强度小于15kPa,难以满足常规工程承载力要求,多分布于长期积水的低洼地带。

## 2 岩土工程中软土地基处理技术分类与原理

### 2.1 物理处理技术

(1) 排水固结法:通过在软土中设置排水通道,加速土体排水固结,提高地基承载力。砂井法是将砂料填入钻孔形成砂井,作为排水通道,使软土中的孔隙水通过砂井排出;塑料排水板法则用塑料排水板替代砂井,其具有重量轻、排水效率高的特点,能缩短孔隙水排出路径,加快土体固结速度<sup>[1]</sup>。(2) 预压法:通过预先施加荷载,使软土地基提前完成部分沉降,减少后期建筑物施工后的沉降。堆载预压是在地基表面堆置砂石等荷载,通过逐渐增加荷载,促使土体排水固结;真空预压是在地基表面铺设密封膜,抽取膜下空气形成真空,利用大气压力作为预压荷载,实现土体固结。

### 2.2 化学处理技术

(1) 水泥搅拌桩法:将水泥作为固化剂,通过搅拌设备将其与软土均匀混合,发生化学反应形成水泥土桩,增强地基强度。深层搅拌法是利用深层搅拌机械,在地面以下一定深度将水泥浆与软土搅拌混合;粉喷桩法则是将水泥粉通过专用设备喷入软土中,经搅拌使水泥粉

与软土充分混合固化。(2) 高压喷射注浆法: 利用高压喷射设备将水泥浆等浆液以高压喷射的方式注入软土中, 浆液与软土混合凝固后形成固结体, 改善地基性能。旋喷桩是浆液在高压喷射时, 喷射管同时旋转, 形成圆柱形固结体; 定喷桩则是喷射管不旋转, 仅按固定方向喷射, 形成板状固结体<sup>[2]</sup>。

### 2.3 复合地基处理技术

(1) 碎石桩法: 采用碎石等散体材料形成桩体, 与周围软土共同作用形成复合地基, 提高地基承载力。振冲碎石桩通过振冲器的振动和水冲作用, 将碎石填入地基中形成桩体; 干法碎石桩无需冲水, 直接通过机械将碎石压入软土中形成桩体。(2) 强夯置换法: 利用强夯机械的巨大冲击力, 将碎石等置换材料夯入软土中, 形成碎石墩, 同时对周围土体进行挤密加固。动力置换是依靠强夯的动力将置换材料挤入软土; 强夯碎石墩则是通过多次强夯, 使碎石在软土中形成连续的碎石墩, 增强地基稳定性。

### 2.4 其他新型技术

(1) 真空联合堆载预压法: 结合真空预压和堆载预压的优点, 在真空预压的基础上叠加堆载荷载, 能更快地促使软土固结, 适用于对沉降控制要求高、工期紧的工程。(2) 生态环保型处理技术: 以生物固化法为代表, 利用微生物的代谢作用, 使软土中的矿物质发生反应, 改善土体结构和强度, 该技术具有无污染、节能环保的特点, 符合现代工程对生态环保的要求。

## 3 岩土工程中软土地基处理技术的应用

### 3.1 道路工程中的应用

(1) 高速公路软基处理案例: 某沿海高速公路途经滨海相软土区, 该区域软土含水量达45%~60%、孔隙比1.2~1.6, 天然承载力仅60~80kPa。工程采用“塑料排水板+堆载预压”组合技术, 先在软土中插入塑料排水板, 间距1.5m, 深度贯穿软土层至下卧硬层; 再分层堆载砂石, 最大堆载高度3m, 预压期6个月。通过该技术, 有效加速软土排水固结, 避免路基施工后出现大幅沉降。(2) 工后沉降控制效果分析: 上述沿海高速工程完工后持续监测3年, 监测数据显示, 路段工后累计沉降量均控制在15cm以内, 不均匀沉降差小于5cm/100m, 累计沉降量远低于规范要求的30cm限值, 不均匀沉降差远低于规范要求的10cm/100m限值, 且路面未出现开裂、错台等病害。相比传统砂井排水法, 该技术将工后沉降控制效果提升40%, 同时缩短预压工期2个月, 保障了高速公路的通行安全性与耐久性<sup>[3]</sup>。

### 3.2 建筑工程中的应用

(1) 高层建筑地基加固实例: 某超高层住宅项目位于湖沼相软土区, 建筑高度120m, 对地基承载力要求达300kPa。工程采用“水泥搅拌桩复合地基+筏板基础”方案, 水泥搅拌桩直径600mm, 桩长18m, 桩间距1.2m, 形成复合地基; 同时配合筏板基础分散上部荷载。施工过程中, 通过现场荷载试验验证, 复合地基承载力特征值达320kPa, 满足设计要求, 最终建筑封顶后沉降量仅8cm, 沉降均匀性良好。(2) 复合地基承载力设计: 该项目复合地基设计时, 综合考虑软土物理力学参数(含水量50%、压缩系数0.8MPa<sup>-1</sup>)与水泥搅拌桩加固效果, 采用《建筑地基处理技术规范》公式计算承载力:  $f_{spk} = m \times R_a / A_p + \beta \times (1 - m) \times f_{sk}$ 。其中, 桩土面积置换率 $m$ 取0.25, 单桩竖向承载力特征值 $R_a$ 经计算为180kN, 天然地基承载力特征值 $f_{sk}$ 为70kPa, 最终得出复合地基承载力特征值 $f_{spk} = 315kPa$ , 与试验值基本一致, 确保设计安全可靠。

### 3.3 港口与水利工程中的应用

防波堤、码头软基处理技术对比: 在某港口工程中, 防波堤与码头均位于滨海淤泥质软土区, 软土厚度10~15m。防波堤采用“振冲碎石桩+抛石堤”技术, 振冲碎石桩直径800mm, 桩长12m, 间距2.0m, 通过碎石桩增强地基抗剪强度, 配合抛石堤抵御波浪荷载, 处理后地基承载力达150kPa, 满足防波堤抗滑稳定要求; 码头因需承受集装箱堆放荷载, 采用“高压喷射注浆+钢筋混凝土承台”技术, 旋喷桩直径1.2m、桩长15m(入粉质黏土层1.5m)、间距1.5m, 经静载试验验证复合地基承载力达220kPa, 桩体渗透系数 $\leq 10^{-6}$ cm/s, 防渗效果良好。对比来看, 防波堤技术侧重抗滑稳定性, 成本较低(约80元/m<sup>2</sup>); 码头技术侧重高承载力与防渗, 成本较高(约150元/m<sup>2</sup>), 二者均根据工程功能需求实现了针对性处理<sup>[4]</sup>。

### 3.4 技术选型原则与经济性分析

(1) 地质条件考量: 软土厚度小于5m、承载力要求较低时, 优先选用强夯置换法; 软土厚度大于10m、需快速排水固结时, 选择塑料排水板+真空预压法。如某内陆洼地工程, 软土厚度仅3m, 采用强夯置换法, 成本比排水固结法降低30%。(2) 工期考量: 工期紧张(如6个月内)的项目, 优先选用真空联合堆载预压法或高压喷射注浆法, 这类技术固结速度快; 工期宽松(1年以上)的项目, 可选用堆载预压法, 虽工期长, 但成本低。如某应急道路工程, 工期仅4个月, 采用真空联合堆载预压法, 比堆载预压法缩短工期3个月。(3) 成本考量: 在满足工程要求的前提下, 对比不同技术单位面积成本。如滨海地区软基处理, 塑料排水板法单位成本约60元/m<sup>2</sup>, 水泥

搅拌桩法约120元/m<sup>2</sup>，当承载力要求不高时，优先选塑料排水板法；若需提高承载力，再选用水泥搅拌桩法。综合来看，技术选型需平衡地质适应性、工期需求与成本投入，实现工程效益最大化。

#### 4 岩土工程中软土地基处理技术的优化与创新

##### 4.1 现有技术的局限性

(1) 排水固结法工期较长：传统排水固结法依赖软土自身孔隙水排出实现固结，即使采用塑料排水板缩短排水路径，对于厚度超过15m的深厚软土，预压期仍需6-12个月。如某沿海新区道路工程，软土厚度达20m，采用“塑料排水板+堆载预压”技术，仅预压阶段就耗时8个月，占整个工程总工期的40%，严重影响项目整体推进效率，难以满足工期紧张的工程需求。(2) 化学处理法的环境影响：化学处理法中常用的水泥、化学固化剂含有重金属离子和碱性物质，在施工过程中易渗透至地下水体，导致土壤pH值升高、地下水污染。某工业园区地基处理项目采用水泥搅拌桩法后，检测发现周边地下水中钙离子浓度较处理前升高30%，pH值从7.2升至8.8，超出地下水环境质量标准限值，对周边生态环境造成潜在威胁。

##### 4.2 技术优化方向

(1) 新型材料的应用：纳米材料可通过填充软土孔隙、改善土体结构提升加固效果，如在水泥搅拌桩中掺入纳米二氧化硅，能使水泥石早期强度提高25%，缩短养护周期30%；环保型固化剂以植物提取物、工业副产物为原料，替代传统化学固化剂，某软土地基项目采用秸秆环保固化剂，不仅使软土承载力提升至120kPa，且固化后土壤重金属离子溶出量符合国家标准，无环境污染风险。(2) 智能化施工监控：借助物联网与传感器技术，可实时监测软土地基处理过程中的关键参数。某超高层项目在水泥搅拌桩施工中，在桩身内置压力传感器和位移传感器，通过物联网平台实时传输桩身压力、垂直度数据，当检测到桩身垂直度偏差超过0.5%时，系统自动预警并调整施工参数，使桩体施工合格率从传统人工监控的85%提升至98%，同时实现对地基沉降的动态监测，

为后续工程调整提供数据支撑。

##### 4.3 绿色可持续处理技术

(1) 资源循环利用：将建筑废料、工业废渣转化为地基填料，实现资源循环。某港口工程将拆除建筑物产生的碎砖石加工成级配碎石，用于振冲碎石桩填料，替代天然碎石，不仅减少建筑垃圾填埋量约5万立方米，还降低填料采购成本20%；钢铁厂产生的钢渣经无害化处理后，可作为复合地基基层材料，其强度高于天然砂石，且能吸附软土中的重金属离子，实现“以废治废”。(2) 低碳处理工艺：采用低能耗施工设备、优化施工流程减少碳排放，如真空预压法相比堆载预压法，无需运输大量砂石填料，可减少运输环节碳排放40%；某市政道路工程采用太阳能驱动真空预压设备，施工期间能耗较传统柴油驱动设备降低35%，同时通过优化排水系统设计，提高排水效率，缩短预压工期，进一步减少施工过程中的能源消耗，符合低碳环保的工程发展趋势。

##### 结束语

软土地基处理作为岩土工程的核心挑战之一，其技术进步直接关乎工程安全与可持续发展。本文通过分析物理改良、化学加固及复合地基等传统技术，结合新型材料应用与智能化施工监控的创新实践，揭示了技术选型需兼顾地质条件、工期效率与生态环保的平衡。未来，随着低碳工艺与资源循环利用技术的深化，软土地基处理将向高效化、绿色化方向迈进。工程实践中，应持续探索技术优化路径，强化全生命周期管理，为城市化与重大工程建设提供更安全、经济、环保的地基解决方案。

##### 参考文献

- [1]王洪志.岩土工程中软土地基处理技术的应用[J].中国高新科技,2023,(09):69-70.
- [2]陈立学.浅析岩土工程施工中的软土地基处理技术[J].房地产世界,2024,(14):158-160.
- [3]黄奕轩.岩土工程软土地基就地固化处理技术[J].中国新技术新产品,2024,(12):76-78.
- [4]卢春平.软土地基处理技术在岩土工程中的运用[J].冶金与材料,2023,(16):145-147.