

# 软土地基处理技术在高速公路路基施工中的应用分析

郭 静

新疆交通投资（集团）有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要：**随着高速公路建设步伐加快，软基难题凸显。本文聚焦软土地基处理技术在高速公路路基施工中的应用。首先阐述软土地基含水量高、压缩性大、强度低、渗透性差的特点，以及其对高速公路路基造成的沉降、失稳和影响结构物安全等危害。接着介绍常见软土地基处理技术，包括换土垫层法、高压旋喷注浆法等。随后详细分析这些技术在高速公路路基施工中的应用，涵盖工程前期准备、施工过程控制以及质量检测与验收等环节，旨在为高速公路软土地基处理提供理论支持与实践参考。

**关键词：**软土地基；处理技术；高速公路；路基施工；应用分析

**引言：**在高速公路建设蓬勃发展的当下，软土地基处理成为保障工程质量的关键环节。软土地基因其独特的物理力学性质，若处理不当，会给高速公路路基带来诸多不良影响，如路基沉降、失稳等，严重影响道路的使用性能与安全性，甚至威胁到周边结构物的安全。因此，选择合适的软土地基处理技术至关重要。本文深入探讨软土地基的特点及危害，剖析常见处理技术，并详细分析这些技术在高速公路路基施工中的具体应用，以期为相关工程实践提供有益借鉴，推动高速公路建设质量的提升。

## 1 软土地基的特点及危害

### 1.1 软土地基的特点

#### 1.1.1 含水量高

软土地基中的土体含水量通常处于较高水平，一般可达 30% - 70%，甚至更高。这主要源于其形成环境，多处于地下水位较高或长期积水区域。高含水量使土颗粒间被大量水分填充，土体呈软塑或流塑状态，黏性增加，流动性明显。这不仅导致土体自身稳定性差，还严重影响后续施工操作，为地基处理带来极大挑战，是软土地基诸多不良特性的重要根源之一。

#### 1.1.2 压缩性大

软土地基具有显著的压缩性，在荷载作用下，土体体积会产生较大压缩变形。这是由于其土颗粒结构松散，孔隙比大，且孔隙中多为软弱的水和气体。当受到上部结构传递的荷载时，孔隙中的水和气体被挤出，土颗粒相互靠拢，从而产生较大的沉降变形。这种过大的压缩性会导致高速公路路基不均匀沉降，影响路面的平整度和行车舒适性，甚至危及行车安全。

#### 1.1.3 强度低

软土地基的强度较低，其抗剪强度指标，如黏聚力

和内摩擦角都较小。这是因为软土的颗粒细小，比表面积大，表面能低，颗粒间的连接较弱。在承受外部荷载时，土体很容易发生剪切破坏，无法提供足够的承载能力来支撑高速公路路基及上部结构。低强度特性使得软土地基在施工和使用过程中容易出现路基失稳、边坡滑塌等问题，严重影响工程的安全性和耐久性。

#### 1.1.4 渗透性差

软土地基的渗透系数通常很小，一般在 $10^{-6}$ - $10^{-8}$ cm/s之间。这主要是由于软土颗粒细小，孔隙微小且连通性差，水在其中的流动阻力较大。渗透性差使得软土地基在受到荷载作用时，孔隙水压力消散缓慢，土体固结时间长。在高速公路施工中，这会导致路基沉降持续时间长，难以在短期内达到稳定状态，给工程的进度控制和质量保障带来困难。

## 1.2 软土地基对高速公路路基的危害

### 1.2.1 路基沉降

软土地基含水量高、压缩性大，在高速公路路基荷载作用下，土体中孔隙水被逐渐挤出，土颗粒重新排列，引发显著沉降。且沉降往往不均匀，不同位置沉降量差异大。这会造成路面不平整，出现波浪、坑洼，影响行车舒适性；长期下来，还会导致路面结构损坏，如裂缝、断板等，增加养护维修成本，缩短道路使用寿命。

### 1.2.2 路基失稳

软土地基强度低、抗剪能力弱，当受到较大荷载或外界因素（如降雨、地震）影响时，土体内部剪应力超过其抗剪强度，就会发生剪切破坏，导致路基失稳。表现为路基边坡滑塌、整体滑动等，这会中断交通，阻碍车辆通行，严重时还可能引发交通事故，对过往人员和车辆安全构成严重威胁，修复难度大且费用高昂。

### 1.2.3 影响结构物安全

高速公路上的桥梁、涵洞等结构物基础多坐落于地基之上，软土地基的不均匀沉降会使结构物基础承受不均匀应力。长期作用下，结构物会产生附加内力，导致结构构件开裂、变形，影响其正常使用功能和耐久性<sup>[1]</sup>。

## 2 常见软土地基处理技术

### 2.1 换土垫层法

换土垫层法是将软土地基部分或全部软弱土层挖除，换填强度较高、压缩性较低且性能稳定的材料，如砂石、灰土等，形成垫层。该方法适用于浅层软土地基处理，能有效提高地基承载力，减少沉降量。施工时，先准确确定换填范围和深度，将软土彻底清除，避免残留软弱层。然后分层铺填换填材料，每层厚度控制在 20-30cm，采用机械或人工夯实，确保压实度符合要求。换土垫层法施工工艺相对简单，成本较低，但换填深度有限，对于深层软土处理效果不佳。且换填材料的质量和压实度对处理效果影响较大，需严格控制施工质量，以保证垫层的均匀性和稳定性，从而达到改善地基性能的目的。

### 2.2 高压旋喷注浆法

高压旋喷注浆法是利用钻机将带有特殊喷嘴的注浆管钻至设计深度，然后以高压喷射流（一般压力大于 20MPa）冲击破坏土体，同时注入水泥浆液，使浆液与被切割的土体充分搅拌混合，形成具有一定强度的固结体。该方法适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土等多种软土地基，能显著提高地基强度和抗渗性。施工时，需精确控制注浆压力、旋转速度和提升速度等参数，确保固结体的直径和质量。高压旋喷注浆法形成的固结体形状多样，可根据工程需要进行设计，但施工设备复杂，成本较高，且对施工人员的操作技术水平要求较高，需严格按照规范施工，以保证处理效果。

### 2.3 碎石桩法

碎石桩法是通过振动、冲击或水冲等方式在软土地基中成孔，然后将碎石填入孔内，形成密实的碎石桩体。碎石桩与周围软土构成复合地基，共同承担上部荷载。该方法适用于处理松散砂土、粉土、黏性土等软土地基，能提高地基承载力，减少沉降，增强地基的稳定性。施工时，先进行场地平整和测量放线，确定桩位。然后采用合适的成桩设备成孔，成孔过程中要控制好垂直度和孔径。填料时，应分层填入碎石，并用振动机具振密，确保碎石桩的密实度。碎石桩法施工速度快，效果显著，但施工过程中可能会产生较大的振动和噪音，对周围环境有一定影响，需采取相应的防护措施。

### 2.4 水泥搅拌桩加固法

水泥搅拌桩加固法是利用水泥作为固化剂，通过特制的深层搅拌机械，将水泥浆液或粉体与软土强制搅拌，使软土硬结，形成具有整体性、水稳定性和一定强度的桩体。该方法适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土等软土地基，能有效提高地基承载力，减少沉降。施工时，先进行试桩，确定水泥掺量、搅拌速度、提升速度等施工参数。然后按照设计要求进行桩位布置，采用合适的搅拌机械进行施工，确保桩体的均匀性和强度。水泥搅拌桩加固法对周围环境影响小，施工噪音低，但施工质量控制难度较大，需严格控制水泥用量、搅拌时间和深度等参数，以保证桩体质量。

### 2.5 静力排水固结法

静力排水固结法是在软土地基中设置竖向排水体（如砂井、塑料排水板等），然后利用堆载预压或真空预压等方法，使地基土中的孔隙水缓慢排出，土体逐渐固结，强度不断提高。该方法适用于处理饱和软黏土地基，能有效减少地基的沉降量，提高地基的稳定性。施工时，先进行场地平整和测量放线，然后按照设计要求设置排水体，排水体的间距和深度需根据地基土的性质和工程要求确定。设置好排水体后，进行预压加载，加载过程中要控制加载速率，避免地基发生破坏。静力排水固结法施工周期较长，但处理效果较好，且成本相对较低，是一种常用的软土地基处理方法<sup>[2]</sup>。

## 3 软土地基处理技术在高速公路路基施工中的应用

### 3.1 工程前期准备

#### 3.1.1 地质勘察

地质勘察是高速公路软土地基处理的基础与关键。需运用多种勘察手段，如钻探取样、原位测试、室内试验等，全面了解软土的分布范围、厚度、物理力学性质，包括含水量、压缩性、强度、渗透性等指标。同时，查明地下水位、地质构造及不良地质现象。通过详细的地质勘察，获取准确的数据资料，为后续处理方案的设计提供可靠依据。若勘察不准确，可能导致处理方案不合理，无法有效解决软土地基问题，甚至引发路基沉降、失稳等工程事故，影响高速公路的质量与安全。

#### 3.1.2 处理方案选择

在掌握地质勘察资料后，需综合考虑多方面因素选择软土地基处理方案。要考虑工程的重要性、使用要求、工期和造价等。对于重要工程且对地基变形要求严格时，可选用复合地基处理方法，如水泥搅拌桩加固法、碎石桩法等，以提高地基承载力和减少沉降；若工期较紧，可考虑换土垫层法等施工速度较快的方法；若造价受限，静力排水固结法等成本较低的方法可作为选择。

### 3.2 施工过程控制

#### 3.2.1 换填法施工

换填法施工时，先精准确定换填范围与深度，彻底清除软土至设计标高，避免残留软弱层。选用的换填材料，如砂石、灰土等，质量要符合要求。分层铺填换填材料，每层厚度控制在 20 - 30cm，采用合适的压实机械，如压路机、振动夯等进行压实。压实过程中，控制压实遍数和压实速度，确保压实度达到设计标准。施工期间做好排水措施，防止雨水浸泡。换填完成后，进行承载力检测，若不满足要求，需及时处理，保证换填地基能稳定承受高速公路路基荷载。

#### 3.2.2 排水固结法施工

排水固结法施工，先按设计布置砂井或塑料排水板等竖向排水体，确保其垂直度和间距准确。堆载预压时，分级加载，控制加载速率，避免地基失稳。加载过程中，密切监测地基沉降和孔隙水压力变化。若采用真空预压，密封膜要铺设平整、严密，防止漏气。定期检查真空泵运行情况，保持真空度稳定。

#### 3.2.3 深层搅拌法施工

深层搅拌法施工前，进行试桩确定水泥掺量、搅拌速度等参数。施工时，将搅拌机定位准确，保证桩位的偏差在允许范围内。下钻和提升过程中，严格控制速度，确保水泥浆液或粉体与软土充分搅拌混合。搅拌头转速要适中，保证切割土体和混合效果。同时，注意水泥浆液的配制质量，控制好水灰比。施工过程中，对每根桩的施工参数进行记录，以便检查。施工完成后，按要求进行桩身质量检测，确保深层搅拌桩满足设计强度要求。

#### 3.2.4 强夯法施工

强夯法施工前，根据场地条件和设计要求，确定夯击能、夯击次数和夯击间距等参数。清理并平整场地，在夯点位置做出明显标记。起重机就位后，将夯锤提升至预定高度，自由落下进行夯击。每夯击一遍，用推土机平整场地，测量夯沉量。根据设计要求，进行多遍夯击，最后一遍夯击后，用低能量满夯一遍，保证表层土的压实度。施工期间，做好安全防护措施，防止夯锤飞出伤人。强夯完成后，检测地基承载力和压实度，确保满足高速公路路基施工要求。

#### 3.2.5 土工合成材料加固法施工

土工合成材料加固法施工时，先检查土工合成材料的质量，确保其无破损、老化等问题。按设计要求裁剪

材料，铺设时要平整、拉紧，与下承层紧密贴合，避免褶皱和扭曲。相邻材料之间搭接宽度符合规范，采用缝合或绑扎等方式连接牢固。在材料上铺筑填料时，要控制填料的含水量和粒径，采用轻型机械或人工摊铺，避免损坏土工合成材料。随着填筑高度的增加，逐步压实填料，确保土工合成材料与填料共同发挥作用，提高高速公路路基的稳定性和承载能力。

### 3.3 质量检测与验收

#### 3.3.1 检测方法

软土地基处理后的质量检测方法多样，包括静载试验、静力触探试验、标准贯入试验、十字板剪切试验等。静载试验用于检测复合地基承载力，抽检比例通常为总桩数的0.5%~1%，且每项单体工程不少于3点；静力触探试验可评估桩间土加固效果；标准贯入试验和十字板剪切试验则通过对比处理前后的强度变化，计算地基增强量。此外，还可采用波速试验、无损检测法及成孔质量检测法，对桩身完整性和灌注桩质量进行全面检测。

#### 3.3.2 验收标准

软土地基处理验收需满足多项标准：首先，地基承载力应达到设计要求，可通过平板载荷试验验证，加载量需达2倍设计值；其次，处理后的地基沉降应控制在允许范围内，如快速路工后沉降需  $\leq 0.1m$ ；同时，挤密桩法等施工工艺参数需符合规范，如夯实地基最后两击平均夯沉量  $\leq 50mm$ 。验收时还需检查施工记录、材料试验报告等资料完整性，并通过现场验槽确认基槽尺寸、标高及土质条件，确保软土地基处理质量全面达标<sup>[3]</sup>。

### 结束语

软土地基处理技术在高速公路路基施工中意义重大且成效显著。通过合理运用换填法、排水固结法、深层搅拌法等多种技术，结合精准的工程前期准备与严格的施工过程控制，有效解决了软土地基承载力低、沉降大等问题，保障了高速公路路基的稳定性与安全性。质量检测与验收环节的严格把关，进一步确保了工程质量。

### 参考文献

- [1] 黄宁.软土地基处理技术在高速公路工程中的应用研究[J].工程建设与设计,2021(11):49-51.
- [2] 王德民.高速公路工程中软土地基处理技术应用[J].城市建设理论研究:电子版,2022(15):40-40.
- [3] 崔冀龙.软土地基处理技术在公路施工中的应用探究[J].江西建材,2021(15):137-138.