

# 公路工程路面路基工程中软土地基和特殊结构的优化设计

文 / 冯冉杰 四川公路桥梁建设集团有限公司勘察设计分公司

**摘要：**公路工程中的软土地基和特殊结构的优化具有极大的价值，不仅能提高路基的承载力、减少沉降、改善排水性，还能提高结构的稳定性、安全性、节省成本，最终延长道路的使用寿命并提高交通运输的安全性与通行能力。在实际工程中，软土地基与特殊结构的协同优化是实现高效、安全、经济道路工程建设的重要手段。本文结合公路工程路面路基工程中软土地基和特殊结构的优化设计进行分析，以供参考。

**关键词：**公路工程；路基路面；软土地基

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.050

## 引言

软土地基的特点是承载力较低、沉降大、稳定性差，直接影响道路的稳定性和使用寿命。对软土地基进行优化，能有效改善这些问题。

### 一、公路工程路面路基工程中软土地基和特殊结构的优化价值

#### （一）软土地基优化的价值

通过采用地基处理技术（如换土、深层搅拌、预压法、桩基等）增加土层的密实度或改善土壤的力学性质，提升土壤的承载能力，从而提高道路路基的稳定性和安全性。软土地基处理可以减少道路建设后期可能发生的沉降，确保路面平整，防止出现裂缝和变形，从而延长道路使用寿命。软土地基往往伴随有较差的排水性能，通过优化软土地基的排水结构（如设置排水管、排水层等），可以减少水的积聚，防止土体软化和变形。采用地基处理技术后，虽然初期的工程投资较高，但可以降低后期维护的费用，并且减少了因为地基不稳定带来的修复成本。

#### （二）特殊结构优化的价值

在公路建设中，有时会遇到需要特殊结构设计的情况，如桥梁、隧道、路基加固等。优化这些特殊结构可以在保证结构安全的同时，提高工程经济性。对于有特殊设计要求的桥梁、隧道或高架桥，优化设计可以有效提升结构的安全性和耐久性。比如，通过改进桥梁支座、采用抗震设计、提高结构的抗风性等，确保特殊结构在各种复杂环境下能够稳定工作。通过优化结构设计，可以减少施工时的难度和时间，提高施工效率，缩短工程周期。比如，使用预制构件、改进施工方法等，能够提高施工速度并降低人工成本。优化特殊结构的设计可以减少不必要的材料浪费，降低整体造价。例如，采用轻型高强度材料、优化结构形状等，可以有效降低工程预算。在特殊结构的设计中，考虑到环境因素（如地质条件、气候条件等）进行优化设计，可以提高工程在不同环境下的适应性和长期稳定性。

#### （三）综合考虑软土地基和特殊结构的协同优化

在公路工程中，软土地基和特殊结构往往是密切相关的。优化软土地基的同时，也需要考虑如何优化与之

配套的特殊结构，以确保整体工程的协调性和稳定性。软土地基优化后，需要根据地基承载力的改善，调整特殊结构的设计，确保结构的负荷均匀分布，避免局部超载。在软土地基的处理过程中，采取高效的地基处理技术和合理的结构优化设计，能够缩短整体工程的建设周期，提升工程的整体效率。

### 二、公路建设项目中软基路段的特点

#### （一）含水成分系数高

软基土壤通常具有较高的含水量，这使得其力学性质与干燥土壤相比发生了显著变化。高含水量的土壤容易发生液化、膨胀或沉降，导致其稳定性较差。水分的增加会使土壤颗粒之间的摩擦力降低，进而降低土壤的承载能力。软基区域的含水成分高，尤其在季节性变化或降雨量大时，地下水位可能波动，进一步加剧土壤的不稳定性。高含水量还会导致水土分离，使路基变得松软，容易发生不均匀沉降。高含水量土壤需要特别考虑排水措施，如排水层、排水管道等，以防止水分过多积聚，导致地基长期处于不稳定状态。

#### （二）抗剪强度较低

软土地基的抗剪强度相对较低，这使得其在承受外部荷载时容易发生变形甚至破坏。在外部荷载作用下，软土的抗剪强度不足，容易发生剪切滑移或沉降，进而导致路基不均匀沉降，影响路面的平整性和承载能力。低抗剪强度土层的土体不仅在施工过程中容易变形，而且在长期使用中也可能由于压实不足而进一步降低强度。由于抗剪强度较低，软土地基在强降水或施工振动下容易发生滑移或不均匀沉降，从而影响公路的长期稳定性。因此，需要采用合适的地基处理措施（如预压、桩基、换填等）来提高抗剪强度。通常通过改良土壤性质（如使用固化剂、加深基础等）或加固结构（如桩基、地基加固）来提升抗剪强度，确保路基的承载力和稳定性。

#### （三）土壤强度不高

软基路段的土壤通常具有较低的强度，特别是无粘性或颗粒土的部分，这使得其在承受长期荷载或施工压力时容易发生变形。低强度的土壤在长期荷载作用下容易发生不均匀沉降，造成地面沉降和裂缝，影响路基的平整性和结构的稳定性。随着时间推移，软土地基的强

度可能进一步降低，导致道路下沉、开裂，甚至造成结构的破坏。软基土壤承载力低，施工过程中需要特别关注路基的稳固性。使用不合适的材料或施工方法可能导致土壤压实不充分，无法提供足够的支持力，进而影响路面质量。为了解决土壤强度较低的问题，常采取加强处理措施，如深层搅拌、换填、施加预压等方法，增强土壤的强度和承载力。通过这些处理，土壤的强度得以提高，改善路基的稳定性和使用寿命。

### 三、公路工程路面路基工程中软土地基和特殊结构的优化设计措施

在公路工程中，路面路基的设计和施工是决定道路长期稳定性和使用性能的关键环节。软土地基和特殊结构的优化设计措施，旨在克服软土地基的不利因素，提高结构的承载力、稳定性和耐久性，确保公路的安全性和经济性。

#### (一) 软土地基的优化设计措施

##### 1. 地基加固措施

桩基技术通过在软土地基中打入桩基(如混凝土桩、钢管桩、灌注桩等)，将荷载传递到下部较为坚实的土层，增强路基的承载能力。桩基能够有效地加固软土，提高地基的稳定性，防止地基沉降。采用换填法将软土地基中的不良土层挖除，并用具有较高承载力的材料(如砂、碎石等)进行填补，改善地基的稳定性。换填的土壤密实度较高，有助于提高承载力。通过深层搅拌，将水泥、石灰等固化剂与软土进行混合，使土壤的强度和稳定性得到显著提高。这种方法适用于处理较深的软土地基。通过施加外部压力(如临时堆载物)使软土压实，促使其产生早期沉降，并且在施加荷载后的长时间内稳定沉降，从而加速地基沉降的过程，减少最终的沉降量。具体如下图1所示。

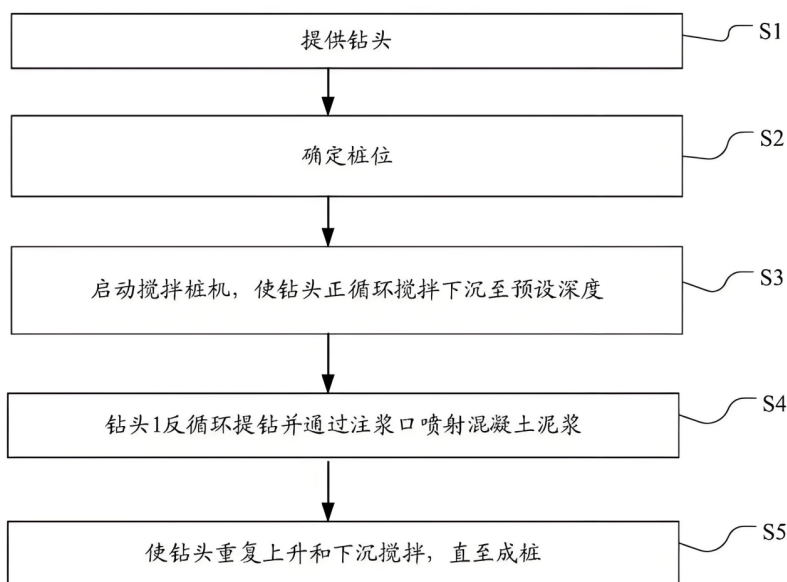


图1 地基加固

##### 2. 排水与防水措施

在软土地基中，水分的积聚可能会引起土壤的强度下降，导致基础设施的稳定性受到影响。因此，排水与防水措施是软土地基处理中非常重要的一部分。通过地下排水管道系统，可以有效地将积水从软土地基中排出，避免水分在土层中停留，减少对土壤强度的负面影响。例如砂井和排水板等，通常用于深层软土区域。砂井是一种通过在软土层内钻孔并填充砂砾来创建的垂直排水通道，能够有效加速地下水的排出；排水板则是在地下土层中设置的专门排水设备，能够防止水分在软土层中积聚。防水膜或防水板通常用来在土壤表面或地下设置屏障，以减少地下水的渗透。它们能够有效防止水分渗入软土地基，避免因水分浸润导致土壤强度下降，进一步保障基础设施的稳定性。排水与防水措施的实施能够显著提高软土地基的承载力与稳定性，减少因水分积聚而导致的地基软化问题。具体如下图2所示。

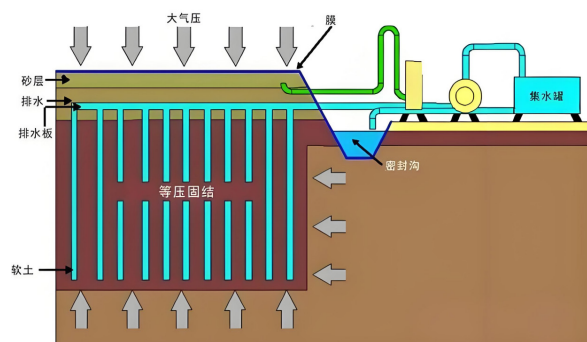


图2 排水与防水

##### 3. 软基土改良技术

软基土改良技术的目的是提高软土的物理性质和工程性能，增强土壤的强度、稳定性和抗渗能力，从而确保地基的安全性。通过向软土中添加固化剂，如水泥、石灰、粉煤灰等，使土壤发生化学反应，增强其强度和稳定性。这些固化剂与软土反应后，能够将土体中的水

分吸附并转化为稳定的结构，从而提高土壤的抗压强度和抗渗透能力。化学注浆技术是将固化剂（如水泥浆、化学树脂或其他化学溶液）通过注浆管道注入软土层，通过化学反应使土壤中的颗粒凝结，从而形成更加坚固和稳定的土体结构。这种方法能够提高土壤的密实度，减少水分渗透，并增加土壤的承载能力。

#### 4. 振动与动力荷载优化

在软土地基中施工时，高振动机械（如压路机、震动打桩机等）会对软土地基产生较大影响，尤其是在施工过程中会造成地基的扰动和不均匀沉降。因此，应避免在软土地基上使用高振动的设备，尤其是在进行基础处理和路基施工时，选择低振动设备以减轻对土壤结构的干扰。对于软土地基的施工，应优先考虑使用低振动的施工方法。例如，采用静力压桩而非振动桩，或采用预压法等温和的地基处理手段。这些方法能有效减少施工过程中对软土的扰动，避免引发过度沉降。合理设计道路和桥梁的荷载分布，避免局部超载，可以防止软土承受过大的局部压力。通过设计宽度较大的路基或使用加宽基础等措施，可以使荷载均匀地分布到软土地基上，从而减少局部沉降现象的发生。根据软土地基的承载力和分布情况，设计不同强度的分级荷载。这种设计可以根据道路或桥梁使用的交通量来调整荷载，以确保荷载不会超过土壤的承载能力。通过采取预压、固化或其他加固技术，控制软土地基的沉降速率，使沉降过程更为均匀，避免局部沉降过快，导致路面不平或基础设施的倾斜。软土地基上可以通过多层结构设计来增强路基的稳定性。例如，在路基下部采用强化材料（如碎石、石灰土等），使地基具有更好的负荷承载能力，同时通过多层材料的叠加分散压力，减少土壤的沉降和变形。

### （二）特殊结构的优化设计措施

#### 1. 桥梁和高架桥优化设计

为了保证桥梁的稳定性和耐久性，需要优化桥梁支座的设计，选择合适的支座类型（如弹性支座、滑动支座等），并确保支座能够适应地基的沉降和变形。对于位于地震多发区的桥梁和高架桥，应采取抗震设计，确保结构能够抵抗地震带来的水平力和垂直力，避免桥梁发生倒塌或严重损坏。在软土地基上，桥墩的基础设计至关重要，可以采用深桩基础或扩展基础，确保桥墩稳固，避免下沉或倾斜。

#### 2. 隧道的优化设计

隧道在软土地基上施工时，支护结构需要设计得足够牢固，以承受周围土层的压力。常用的支护结构有喷射混凝土、钢支撑、钢筋网等。隧道施工过程中，可以采用注浆加固技术，在隧道前方的土体中注入水泥浆或化学浆液，以增强土体的强度和稳定性，防止坍塌。由于软土地基中的地下水常常较为丰富，因此隧道的防水设计非常重要。通常采用防水膜、渗水控制层、排水系统等措施，防止水渗透进入隧道。

#### 3. 特殊路面结构优化

对于软土地基，可以选择适合的路面结构。柔性路面（如沥青路面）通常适用于承载力较低的软土地基。

这是因为柔性路面具有良好的适应性，能够随软土地基的沉降而发生形变，减少局部压力的集中。沥青路面通过其自重和结构的弹性，可以均匀地分布交通荷载，减少软土层承受的压力，因此更适合在承载力较低的土层上使用。在部分承载力较强的土层上，刚性路面（如水泥混凝土路面）能够更有效地分布荷载。刚性路面结构坚固，能够有效地将交通荷载分散到较大的面积，避免局部压强过大。这种路面设计适用于土层承载力较强的区域，可以在承受更大荷载的情况下提供长久的稳定性。为了提高路基的承载能力，可以采用多层路基设计。这种设计通过在路基中设置不同层次的材料（如石灰土、砂垫层、碎石层等），逐步增强土层的承载力和稳定性。每一层材料的功能不同，通常是上层设计为较强的承载材料（如碎石层），下层则可以使用具有改善土质功能的材料（如石灰土层）。通过多层设计，可以有效防止软土地基沉降过快，确保路面结构的稳定性。

#### 4. 环境适应性设计

特殊路面结构设计不仅要考虑地基土质，还需考虑地区的自然环境和灾害风险。不同的自然条件对道路和桥梁等工程设施的设计有着重要影响，抗震设计应包括加强结构的抗震能力，如采用柔性材料和结构、加固关键部位、增加抗震支撑等。同时，还要在设计中考虑震动引起的土壤液化、基础设施位移等问题，确保在地震发生时，结构能够保持稳定并避免破坏。抗风设计可以包括加固结构（如增加桥梁支撑、使用抗风的建筑材料）、合理规划桥梁高度和跨度、采用流线型设计等。还需要考虑风荷载对结构的长期影响，减少风力对道路、桥梁和隧道结构的损害。寒冷地区的温差变化较大，极端低温和温差变化会影响路面材料的性能。常见的设计措施包括使用耐低温的沥青、添加抗冻剂、改进路面材料的热膨胀性能等。此外，寒冷地区的路面结构应防止因冻胀现象造成的沉降或破坏。

### 结语

综上所述，软土地基和特殊结构的优化设计是公路工程不可忽视的重要部分。通过采用合适的地基加固、排水、防水、抗震等措施，可以显著提高软土地基的承载力、稳定性和耐久性；同时，通过优化特殊结构的设计，确保桥梁、隧道、高架桥等结构的安全性和功能性。这些优化设计不仅能够提高工程质量，减少维护成本，还能有效延长道路的使用寿命，保障交通安全。

### 参考文献

- [1] 刘占丽. 探究面向城市道路建设流程的交通优化设计[J]. 科技风, 2013(01).
- [2] 寇成龙, 姚君. 车载三角警示器功能优化设计[J]. 机电产品开发与创新, 2024(04).
- [3] 钟健. 人性化设计在城市道路优化设计中的应用[J]. 交通世界, 2020(34).
- [4] 俄广迅; 曹卫东; 钟国强; 刘树堂; 颜子骥. 掺加细粒风化石料的水泥稳定碎石级配优化设计方法[J]. 新型建筑材料, 2024(08).
- [5] 施华金. 公路工程路面路基工程中软土地基和特殊结构的优化设计[J]. 石油化工建设, 2022, 44(3): 144-146.