

# 公路工程施工中软土路基处理技术研究

胥晓勇

汉中市南郑区农村公路管理站 陕西 汉中 723100

**摘要：**近年来，交通基础设施建设迅猛发展，公路工程在国民经济发展中发挥着重要作用。然而，在实际施工过程中，软土路基问题日益突出，成为影响工程质量的关键因素之一。由于软土具有含水量高、压缩性强、承载力低等特点，若处理不当，极易引发地基沉降不均、路面裂缝等问题，进而缩短道路使用寿命，威胁行车安全。因此，深入探讨和优化软土路基的处理技术，具有重要的现实意义。本文系统分析了软土路基的基本特性，归纳总结了几种常见的加固与改良方法，并对其应用效果及适用条件进行了比较研究，同时对未来技术发展方向提出展望，以期为相关工程实践提供科学依据和技术支持。

**关键词：**公路工程；软土路基；处理技术

## 1 引言

作为国家基础建设的重要组成部分，公路工程在推动区域经济发展和进步方面起着不可替代的作用。路基作为整个道路结构的基础，直接承受来自路面结构层及车辆荷载的作用，其稳定性直接影响整体工程的质量与耐久性。在我国沿海地区以及内陆湖泊河流周边，广泛分布着软弱地基，因其物理力学性能较差，施工难度较大，给工程建设带来诸多挑战。传统处理手段往往存在效率低、成本高或环境影响大等不足，难以适应现代公路对质量、工期和可持续发展的更高要求。因此，探索更加高效、经济且环保的软土路基处理新技术，提升其承载能力和长期稳定性，已成为当前公路工程领域亟待解决的核心课题之一。

## 2 软土路基的特性分析

软土路基主要由天然含水量高、孔隙比大、压缩性高和抗剪强度低的细粒土构成，如淤泥和冲填土，其含水量常高于液限，某些沿海地区的软土含水量可达60%-80%甚至更高，孔隙比大于1.0，有时达到1.5-2.0。这些特性使得软土具有流体性质，在外力作用下易变形且强度和稳定性差。软土的高压缩性导致在荷载作用下产生显著的压缩变形，以某软土路基为例，在100kPa荷载下，初始孔隙比为1.8的软土一年后压缩量可达10-15cm，容易引起不均匀沉降影响路面质量。此外，软土抗剪强度仅为5-20kPa，低抗剪强度使其在受力时易发生破坏，增加路基失稳风险。软土渗透系数低（ $10^{-6}$ - $10^{-8}$ cm/s），排水固结过程缓慢，极大地增加了处理时间和难度，例如，渗透系数为 $10^{-7}$ cm/s的软土要达到90%固结度可能需要数年。

## 3 常用软土路基处理技术及评价

### 3.1 排水固结法

排水固结法是在软土路基中设置排水通道，加快土体内部孔隙水的排出，促使土体压缩固结，从而提升其强度与稳定性。常用的排水结构包括竖向排水体（如塑料排水板、袋装砂井等）和水平排水层。塑料排水板通常按正方形或梅花形布置，间距为1.0-1.5m；袋装砂井直径一般为70-100mm，间距1.5-2.0m。水平排水层常采用中粗砂或碎石铺设，厚度不低于50cm。该方法适用于软土层较厚且含水量较高的区域。在公路建设中，通常先施工竖向排水体，再铺设水平排水层，并施加预压荷载（如堆载或真空预压），以促进排水固结。堆载预压荷载一般取设计荷载的1.2-1.5倍；真空预压的负压控制在80-90kPa之间。排水固结法技术成熟，加固效果良好，可有效增强地基承载力并减少后期沉降<sup>[1]</sup>。但其缺点是处理周期较长，需待软土充分固结后才能达到设计强度，可能导致工期延长。例如，要使软土完成80%的固结度，可能需要6至12个月的时间。

### 3.2 换填法

换填法是将软土路基中一定深度内的软弱土层清除，并替换为砂、碎石、灰土等强度高、压缩性低的材料，经分层压实形成稳定的持力层，从而增强路基的承载能力和稳定性。换填深度通常依据软土层的厚度与性能确定，一般不超过3m。施工时每层回填厚度不宜超过30cm，压实度需满足设计标准。该方法适用于软土层较浅（一般不超过3m）的情况。在公路建设中，根据软土的具体条件确定换填深度及选用合适的填料类型。换填法多用于小型道路工程或对沉降控制要求较高的路段。其优点在于工艺简单、质量易控、加固效果明显。处理后形成的持力层可显著提升地基承载力，并有效减少后期沉降<sup>[2]</sup>。例如，某工程采用换填法后，路基承载力提升

了2至3倍,工后沉降控制在5cm以内。此外,填筑材料可根据当地资源情况选择,具有较好的经济性。缺点是当软土层较厚时,挖除和回填工作量大,成本上升,且可能对周边环境造成一定扰动。

### 3.3 强夯法

强夯法是通过重锤自由下落产生的冲击能量对软土路基进行夯实,使土体颗粒重新排列、孔隙减小,从而提升土体的密实度与承载能力。单击夯击能一般根据软土特性及设计要求选取,通常在1000-5000kN·m范围内。夯点间距常为3-6m,布置形式多为正方形或梅花形,每点夯击次数一般为4-8次。该方法适用于碎石土、砂土、低饱和度粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土及杂填土地基的处理。在公路工程中,当软土路基中存在一定厚度砂土或粉土夹层时,强夯法可取得良好加固效果。其优点为设备简单、施工速度快、加固深度大(一般可达10m左右),能显著提高地基承载力并减少后期沉降。但施工过程中会产生较大振动和噪音,可能影响周边环境,尤其在邻近居民区或对震动敏感的建筑附近,需采取减震沟、降低夯击能等措施加以防护。例如,在某施工场地100m范围内有居民住宅时,采用减震沟配合降低夯击能的方法以减轻影响。此外,强夯法对高饱和度软土处理效果较差,且加固后土体均匀性可能不理想。

### 3.4 水泥搅拌桩法

水泥搅拌桩法是利用深层搅拌机械,将水泥等固化剂与软土强制搅拌,使软土与固化剂发生一系列物理化学反应,形成具有一定强度和稳定性的水泥土加固体,从而提高软土路基的承载能力。水泥掺入比一般根据软土的性质和设计要求确定,通常在10%-20%之间。搅拌深度一般可达15-20m,搅拌叶片的转速一般为50-70r/min。适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、黏性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基。在公路工程中,水泥搅拌桩法常用于软土路基加固、桥台台背处理等。水泥搅拌桩法施工时对周边环境的影响较小,无振动、无噪音。处理后的水泥土加固体强度较高,一般28天无侧限抗压强度可达1.0-3.0MPa,能够显著提高软土路基的承载能力,减少工后沉降。缺点是施工工艺要求较高,需要严格控制水泥的掺入量、搅拌均匀性和成桩质量。例如,若水泥掺入量不足或搅拌不均匀,会导致水泥土加固体强度降低,影响处理效果。此外,水泥搅拌桩法的处理成本相对较高,且在施工过程中可能会出现桩体强度不均匀、桩身完整性差等问题。

### 3.5 粉喷桩法

粉喷桩法与水泥搅拌桩法类似,但它是利用粉体喷射搅拌机械,将干燥的粉体固化剂(如水泥、石灰等)通过压缩空气喷射到软土中,并在原位强制搅拌,使软土与固化剂充分混合,形成具有一定强度的粉喷桩加固体,从而提高软土路基的承载能力。粉体固化剂的喷射量一般根据软土的性质和设计要求确定,通常每米桩长喷射水泥量为50-70kg。搅拌深度一般可达15m左右,搅拌叶片的转速一般为40-60r/min。适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、黏性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基。在公路工程中,粉喷桩法常用于软土路基加固、提高路基稳定性等。优点是粉喷桩法施工时无泥浆排出,对周边环境的影响小<sup>[3]</sup>。粉体固化剂可以精确计量,有利于保证桩体质量。处理后的粉喷桩加固体强度较高,一般28天无侧限抗压强度可达0.8-2.5MPa,能够有效提高软土路基的承载能力,减少工后沉降。缺点是粉喷桩法施工工艺复杂,对施工设备和操作人员的技术要求较高。施工过程中容易出现粉体输送不畅、搅拌不均匀等问题,影响桩体质量。例如,若粉体输送管道堵塞或搅拌叶片磨损,会导致粉体固化剂喷射不均匀或搅拌不充分,从而降低桩体强度。

## 4 软土路基处理技术选择的影响因素

### 4.1 土壤特性

软土的厚度、含水量、压缩性及抗剪强度等物理力学属性是决定处理技术的关键因素。比如,在面对厚层且高含水量的软土时,排水固结法可能是更优的选择;而当软土层薄且强度低时,换填法则更为适宜。若软土渗透率低,则排水固结法需较长周期才能见效,此时结合水泥搅拌桩法可增强效果。

### 4.2 工程需求

公路等级、用途及其设计寿命的要求同样影响着软土路基处理方法的选择。高等级道路对路基承载力、稳定性和沉降控制有着严格标准,可能需要采用多种技术联合使用;相比之下,低等级公路则可根据具体条件选用较为简便经济的方法。例如,高速公路桥台后背加固常使用水泥搅拌桩或粉喷桩以确保连接稳固,降低工后沉降。

### 4.3 施工环境

施工现场的地貌特征、周边状况以及可用设备也左右着处理技术的选择。在居民区或振动敏感建筑附近作业时,应避免采取强夯法这类会产生显著振动的方式;而在场地受限、设备运输不便的情况下,宜选用施工简易、占地小的技术方案。此外,施工季节亦是一个考量

因素,如雨季实施排水固结法可能会受到不利影响。

#### 4.4 经济考量

不同软土路基处理技术之间存在较大的成本差异,在满足工程要求的同时,应尽量挑选性价比高的解决方案。评估经济成本时,除了直接建设费用外,还需考虑后期维护费用和使用寿命等因素。虽然水泥搅拌桩与粉喷桩的效果较佳但成本较高;换填法成本较低,但如果软土层过厚,换填量大也会导致总成本上升。

### 5 软土路基处理技术未来发展方向

#### 5.1 绿色环保处理技术

随着人们对环境保护意识的不断提高,未来软土路基处理技术将更加注重绿色环保。研发和应用无污染、低能耗的处理技术,减少施工过程中对周边环境的破坏,将成为软土路基处理技术发展的重要方向。例如,利用工业废渣、建筑垃圾等作为换填材料或固化剂,不仅可以降低处理成本,还能实现资源的循环利用<sup>[4]</sup>。同时,开发新型的生物加固技术,利用微生物的作用改善软土的物理力学性质,也是一种具有潜力的绿色环保处理技术。

#### 5.2 复合处理技术

单一的软土路基处理技术往往存在一定的局限性,无法满足复杂地质条件下公路工程的要求。因此,未来将更多地采用复合处理技术,即将两种或两种以上的处理技术相结合,发挥各自的优势,提高软土路基的处理效果。例如,排水固结法与水泥搅拌桩法相结合,先通过排水固结法加速软土排水固结,提高软土的强度,然后再施工水泥搅拌桩,进一步提高路基的承载能力和稳定性。又如,强夯法与换填法相结合,对于软土层较厚且局部存在软弱夹层的情况,先采用强夯法对软土进行初步加固,然后再对软弱夹层进行换填处理。

#### 5.3 智能化施工与监测技术

随着信息技术和自动化技术的不断发展,未来软土路基处理施工将更加智能化。利用传感器、无人机、自动化控制系统等技术,实现对施工过程的实时监测和精确控制,提高施工质量和效率。例如,在水泥搅拌桩施工过程中,通过在搅拌机械上安装传感器,实时监测

水泥的掺入量、搅拌速度和深度等参数,确保施工质量符合设计要求。同时,建立完善的软土路基监测体系,对路基的沉降、变形、应力等进行长期监测,及时发现潜在的安全隐患,为公路工程的维护和管理提供科学依据。利用无人机可以对施工场地进行定期巡查,及时发现施工中的问题。

#### 5.4 新型材料与工艺的应用

研发和应用新型的软土路基处理材料和工艺,是提高软土路基处理技术水平的关键。例如,开发高性能的固化剂、新型的排水材料等,能够进一步提高软土路基的强度和稳定性。此外,采用3D打印技术、生物加固技术等新型工艺,也可能为软土路基处理带来新的突破。3D打印技术可以根据设计要求精确制造路基结构,提高路基的质量和稳定性;生物加固技术利用微生物或植物根系的作用改善软土的性质,具有环保、经济的优点。

#### 结语

软土路基处理是公路工程的关键环节,直接影响工程质量与使用性能。本文分析了软土特性,探讨了排水固结法、换填法、强夯法、水泥搅拌桩法和粉喷桩法等常用处理技术,介绍了其技术细节、应用效果及适用范围,并分析了处理技术选择的影响因素,如软土性质、工程要求、施工条件和经济成本。未来,软土处理技术将向绿色环保、复合处理、智能化施工监测及新材料应用方向发展。实际工程中应结合具体情况合理选型,强化施工质量控制与监测,确保处理效果,保障公路安全稳定运行。随着科技进步,软土路基处理技术将持续优化,助力公路建设高质量发展。

#### 参考文献

- [1]徐亦湾.浅析软土路基处理技术在公路工程施工中的运用[J].中国设备工程,2025,(03):251-253.
- [2]金科.公路工程中软土路基换填施工技术研究[J].汽车周刊,2025,(02):216-218.
- [3]代佳鑫.公路工程软土路基施工处理技术[J].运输经理世界,2024,(09):40-42.
- [4]谢发稳.公路工程软土路基处理的注意事项和常见方法[J].汽车画刊,2025,(03):101-103.