

# 解析公路软土路基处理技术及精准应用策略

赵阳

河北建设集团股份有限公司, 河北 保定 071000

DOI: 10.61369/ERA.12270

**摘要：** 在公路工程建设领域，软土路基的处理质量对公路的整体性能与使用寿命起着决定性作用。本文对软土路基处理技术展开多维度解析，从力学特性、地质条件、施工环境等维度<sup>[1]</sup>深入剖析软土特性对处理技术选择的影响，详细探讨如排水固结法、深层搅拌法、强夯法等常见技术的作用机理、适用范围及技术优势。同时，基于工程实践与理论研究，提出精准应用策略，包括结合工程实际条件精准选型处理技术，运用数字化监测手段对施工过程进行动态管控，依据软土特性与处理目标优化技术参数<sup>[2]</sup>，从而确保软土路基处理的高效性与稳定性，为公路工程建设提供坚实的技术支撑，助力提升公路工程的建设质量与经济效益。

**关键词：** 软土路基；处理技术；多维度解析；精准应用

## Analysis of Highway Soft Soil Subgrade Treatment Technologies and Precise Application Strategies

Zhao Yang

Hebei Construction Group Co., Ltd. Baoding, Hebei 071000

**Abstract:** In the field of highway engineering construction, the treatment quality of soft soil subgrades plays a decisive role in the overall performance and service life of highways. This paper conducts a multi-dimensional analysis of soft soil subgrade treatment technologies. It deeply analyzes the influence of soft soil characteristics on the selection of treatment technologies from dimensions such as mechanical properties, geological conditions, and construction environment<sup>[1]</sup>. It also elaborates on the action mechanisms, application scopes, and technical advantages of common technologies such as the drainage consolidation method, deep mixing method, and dynamic compaction method. Meanwhile, based on engineering practices and theoretical research, precise application strategies are proposed. These strategies include precisely selecting treatment technologies according to actual engineering conditions, using digital monitoring means to dynamically control the construction process, and optimizing technical parameters based on soft soil characteristics and treatment objectives<sup>[2]</sup>. This ensures the high-efficiency and stability of soft soil subgrade treatment, provides a solid technical support for highway engineering construction, and helps to improve the construction quality and economic benefits of highway projects.

**Keywords:** soft soil subgrade; treatment technology; multi-dimensional analysis; precise application

随着我国交通事业的蓬勃发展，公路工程建设规模不断扩大，在建设过程中不可避免地会遇到各种复杂地质条件，其中软土路基是较为常见且棘手的问题<sup>[3]</sup>。软土路基由于其自身特殊的物理力学性质，如高含水量、大孔隙比、低强度、高压缩性和差透水性等<sup>[4]</sup>，若处理不当，极易引发公路路基的不均匀沉降、开裂甚至失稳等病害，严重威胁公路的结构安全与正常使用，增加后期维护成本，缩短公路的使用寿命。

以某地区的一条二级公路为例，该公路在建成通车后的短短几年内，就出现了多处路面开裂和不均匀沉降的情况。经检测，发现是由于软土路基处理不当导致的。由于软土的高压缩性，在车辆荷载的反复作用下，路基产生了过大的沉降，而不均匀的沉降则使得路面出现了裂缝。这不仅影响了车辆的行驶舒适性，还增加了交通事故的风险。为了修复这些病害，当地政府投入了大量的资金进行维修，不仅浪费了资源，还对交通造成了长时间的拥堵。因此，深入研究软土路基处理技术，从多个维度进行解析，并制定精准的应用策略，对于保障公路工程质量、提高工程效益具有至关重要的现实意义。

## 一、软土路基特性分析

### (一) 物理特性

软土的天然含水量通常较高，一般处于30% - 80%的范围，部分特殊区域的软土含水量甚至更高。高含水量使得软土呈饱和状态，土体颗粒间被大量水分填充。其孔隙比普遍大于1.0，有的软土孔隙比可达2.0以上，大孔隙比导致软土的结构较为疏松，土体密度相对较小，一般在1.5 - 1.9g/cm<sup>3</sup>之间。

在我国南方的一些沿海地区，如珠江三角洲，软土的含水量常常超过60%，孔隙比也多在1.5以上。这种高含水量和大孔隙比的特性，使得软土在受到外力作用时，容易发生变形，而且变形量往往较大。

### (二) 力学特性

从力学角度看，软土的抗剪强度极低，内摩擦角一般在5° - 15°之间，粘聚力也较小，通常仅在10-30kPa之间。这使得软土在承受外部荷载时，抵抗剪切变形的能力很差，容易发生剪切破坏。同时，软土的压缩系数较大，在荷载作用下会产生显著的沉降变形，而且沉降稳定所需的时间漫长，可能需要数年甚至更长时间才能达到最终沉降稳定状态。

在一些软土分布广泛的地区，如长江中下游平原，公路建设中常常会遇到软土路基沉降问题。由于软土的压缩系数大，在路基填筑后，会持续产生沉降，而且沉降过程可能会持续很长时间。这就要求在设计和施工过程中，必须充分考虑软土的这一特性，采取相应的措施来控制沉降。

### (三) 工程特性

软土的透水性极差，地下水在软土中的渗流速度非常缓慢。这一特性使得软土路基在排水固结过程中面临较大困难，排水时间长，固结效率低。此外，软土还具有触变性，当土体受到扰动时，其内部结构会遭到破坏，强度降低，工程性质恶化，如在施工过程中的机械振动、挖掘等操作都可能引发软土的触变现象。

在软土地区进行桥梁基础施工时，由于软土的透水性差，在进行井点降水等排水措施时，效果往往不理想，导致施工难度增加。而且，在施工过程中，如果对软土扰动过大，就会引发软土的触变现象，使得土体强度降低，影响基础的稳定性。

## 二、软土路基处理技术的多维度解析

### (一) 基于力学特性维度

#### 1. 排水固结法

排水固结法是利用土的有效应力原理来处理软土路基。在软土中设置竖向排水体，如砂井或塑料排水板，同时施加预压荷载，如堆载预压或真空预压。在附加应力作用下，软土中的孔隙水通过排水体排出，孔隙体积减小，土体逐渐固结，有效应力增加，从而提高土体的强度和承载能力<sup>[6]</sup>。对于高压缩性、透水性差的软土，排水固结法能够有效加速土体的固结过程，减小后期沉降。例如，在深厚软土层的公路路基处理中，通过合理设置塑料排水板间距和堆载预压荷载及时间，可使软土在较短时间内达到

较高的固结度，满足工程要求。

#### 2. 加固法之深层搅拌法

深层搅拌法是通过搅拌机械将水泥、石灰等固化剂与软土在原位进行强制搅拌，使软土与固化剂发生一系列物理化学反应<sup>[6]</sup>。固化剂中的成分与软土颗粒发生离子交换、团粒化作用以及硬凝反应等，形成具有整体性、水稳性和一定强度的加固体。从力学角度分析，这种加固体改变了软土的力学性质，提高了土体的抗剪强度和承载能力，有效增强了软土路基的稳定性。适用于处理各种成因的饱和软黏土，尤其是对淤泥质土的处理效果显著。

### (二) 基于地质条件维度

#### 1. 浅层处理技术 - 换填法

当软土层较浅，一般厚度在5m以内时，换填法是一种常用的处理方法。它是将浅层的软土挖除，换填强度较高、压缩性较低的材料，如砂、碎石、灰土等。换填材料能够扩散上部荷载，减小软土层所承受的附加应力，从而降低沉降量。在地质条件简单、软土层较薄的地区，换填法施工方便、成本相对较低，且处理效果明显。例如，在一些内陆平原地区的公路工程中，若遇到浅层软土，采用换填砂垫层的方法，能够快速有效地改善路基的承载性能。

#### 2. 深层处理技术 - 强夯法

对于深层软土，强夯法是一种有效的处理手段。强夯法是利用重锤从高处自由落下产生的强大冲击力，对地基土进行强力夯实<sup>[7]</sup>。在地质条件复杂、软土层较厚且地下水位较低的区域，强夯法能够使深层软土瞬间受到巨大的冲击能量，土体结构被破坏后重新排列、压实，从而提高地基的强度和密实度，减小压缩性。不过，强夯法对周边环境有一定的振动影响，在应用时需要充分考虑周边建筑物和地下管线等的安全。

### (三) 基于施工环境维度

#### 1. 原位处理技术 - 真空预压法

在一些施工场地狭窄、周边环境复杂且对噪声、振动等污染限制严格的区域，真空预压法具有独特优势。真空预压法是在软土地基中设置砂井或塑料排水板，然后在地面铺设密封膜，通过抽真空使膜内形成负压，加速软土中的孔隙水排出，实现土体固结。该方法无需大量堆载材料，施工过程中无振动、无噪声，对周边环境影响小，适用于城市区域或对环境要求较高的公路工程建设。

#### 2. 综合考虑施工环境的技术组合

在实际工程中，有时单一的处理技术难以满足复杂施工环境的要求，需要采用技术组合。例如，在沿海地区的公路建设中，软土路基常伴有高地下水位和海水侵蚀的问题。此时可采用排水固结法结合土工合成材料加固的技术组合。先通过设置塑料排水板和真空预压进行排水固结，提高土体强度；再铺设土工格栅等土工合成材料，增强路基的整体性和抗冲刷能力，同时抵御海水侵蚀对路基的破坏。

## 三、软土路基处理技术的精准应用策略

### (一) 结合工程实际条件精准选型处理技术

在公路工程建设前，必须进行详细的地质勘察，全面掌握软

土的分布范围、厚度、物理力学性质以及地下水位等信息。同时,考虑工程的具体要求,如公路的等级、设计车速、预计交通量等,以及施工条件,包括施工场地的尺寸、周边环境、施工设备和材料的供应情况等。根据这些实际条件,综合评估各种软土路基处理技术的适用性。例如,对于等级较低、交通量较小且工期较短的乡村公路,若软土层较浅,可选用简单经济的换填法;而对于高等级高速公路,在经过深厚软土区域时,则可能需要采用排水固结法与加固法相结合的综合处理方案。

### (二) 运用数字化监测手段对施工过程进行动态管控

利用先进的数字化监测技术,对软土路基处理施工过程进行实时、全面的监测。在排水固结法施工中,通过在软土中埋设孔隙水压力计、沉降观测标和侧向位移监测设备等,实时采集孔隙水压力、地面沉降和侧向位移等数据。利用无线传输技术将这些数据实时传输到监控中心,通过专业软件进行分析处理。根据监测数据,及时调整施工参数,如堆载预压的加载速率、加载时间等<sup>[9]</sup>。若发现孔隙水压力增长过快或地面沉降异常,可暂停加载或采取相应的处理措施,确保施工过程的安全和处理效果。在深层搅拌法施工中,利用智能化搅拌设备,实时监测固化剂的掺入量、搅拌速度和提升速度等参数,并根据预设的标准进行自动调整,保证搅拌质量的均匀性和稳定性。

### (三) 依据软土特性与处理目标优化技术参数

不同地区的软土特性存在差异,即使在同一地区,软土的性质也可能随深度变化。因此,需要根据具体的软土特性和处理目标来优化处理技术的参数。对于排水固结法,根据软土的渗透系数、压缩系数等特性,合理确定竖向排水体的间距、长度和直径。渗透系数小的软土,排水体间距应适当减小,以提高排水效率;压缩系数大的软土,预压荷载和预压时间应相应增加,以确保土体充分固结。在深层搅拌法中,根据软土的含水量、有机质含量等,调整固化剂的种类和掺入量。对于含水量高的软土,适当增加固化剂的掺入量,以保证加固体的强度;对于有机质含量较高的软土,选择合适的固化剂类型,提高固化效果。

## 四、工程案例

### (一) 工程概况

某高速公路项目位于沿海地区,该路段存在大量软土路基。软土厚度在4-10m之间,天然含水量为45%-65%,孔隙比为1.4-1.9,地基承载力低,且地下水位较高。同时,该路段周边有居民区和一些重要的地下管线,对施工过程中的噪声、振动和环境影响有严格要求。

### (二) 处理技术选择与参数设计

根据工程实际情况,采用塑料排水板结合真空预压的处理技术。塑料排水板选用宽度为100mm、厚度为4mm的标准型,间距设计为1.0m,长度根据软土厚度确定,一般为6-8m。真空预压的膜内设计真空度为80kPa,密封膜采用3层聚乙烯薄膜。

### (三) 施工过程控制与监测

在施工过程中,严格控制塑料排水板的插入深度和垂直度,

确保排水板不出现回带、折断等问题。采用专业的真空设备进行抽真空,保证真空度稳定上升并维持在设计值。利用数字化监测系统,实时监测孔隙水压力、地面沉降和侧向位移<sup>[9]</sup>。监测数据显示,在抽真空初期,孔隙水压力迅速下降,地面沉降逐渐增加;随着时间推移,孔隙水压力趋于稳定,地面沉降速率逐渐减小。

### (四) 处理效果评估

处理完成后,通过现场平板载荷试验检测,地基承载力达到设计要求,满足高速公路路基的承载标准。经过一段时间的沉降观测,路面沉降量在允许范围内,未出现明显的不均匀沉降现象。同时,施工过程中对周边环境的影响较小,未对居民区和地下管线造成不良影响,证明该软土路基处理技术的选择和应用策略是成功的。

## 五、结论

软土路基处理技术在公路工程建设中是一个复杂而关键的环节。通过从力学特性、地质条件、施工环境等多维度对软土路基处理技术进行深入解析,能够清晰地认识到不同处理技术的适用条件和优势<sup>[10]</sup>。同时,采取精准的应用策略,包括结合工程实际精准选型、运用数字化监测手段动态管控施工过程以及依据软土特性优化技术参数等,能够有效提高软土路基处理的效果,确保公路工程的质量和稳定性。

在未来的公路工程建设中,随着技术的不断进步和创新,应进一步完善软土路基处理技术体系,加强对新型处理技术和材料的研究与应用,以更好地应对各种复杂的软土地质条件,推动公路交通事业的可持续发展。例如,研发更加高效的排水材料和设备,提高排水固结的效率;探索新型的固化剂和加固方法,增强软土路基的处理效果;利用人工智能和大数据技术,实现软土路基处理的智能化设计和施工等。通过不断的技术创新和实践经验总结,为公路工程建设提供更加可靠的软土路基处理方案,保障公路交通的安全和畅通。

## 参考文献

- [1] 乔攀攀,穆玲建,田磊.软土路基施工技术在高速公路施工中的研究[J].产业创新研究,2023,(24):129-131.
- [2] 吕启松,田昌凤,万永超,等.软土路基低干扰处理施工技术应用研究[C]//《施工技术》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2023年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册).云南省建设投资控股集团有限公司,2023:488-490.
- [3] 胡欣.软土地基非对称复合式路基断面(路一堤共建)建设关键技术.天津市,天津滨海新区高速公路投资发展有限公司,2022-12-27.
- [4] 陈春华.公路施工中软土路基的施工技术理论与实践研究[C]//上海彼虞文化传播有限公司.Proceedings of 2022 Engineering Technology Innovation and Management Seminar(ETIMS 2022).重庆公路养护工程(集团)有限公司,2022:157-159.
- [5] 罗平.软土路基固化土工艺的应用研究[J].安徽建筑,2022,29(11):41-43.
- [6] 陈锡辉.应用深层搅拌桩加固软土地基[J].山西建筑,2005,(07):82-83.
- [7] 唐荣光.复合地基在软弱地基处理中的应用[J].山西建筑,2011,37(18):41-42.
- [8] 陈建民.软土路基处理技术探讨[J].建材发展导向(上),2020,18(5):257-258.
- [9] 王旭.道路桥梁施工中软土路基施工探微[J].环球市场,2020(1):304.
- [10] 刘艳瑞.公路工程软土路基换填施工技术[J].黑龙江交通科技,2020,43(1):52-53.