

公路路基施工中软土路基处理技术分析

刘善伍

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 310000

DOI:10.61369/ME.2025040024

摘 要： 软土路基因具有承载力低、压缩性高、透水性差等特点，在公路建设中若处理不当，易引发路基沉降、失稳等问题，严重影响公路的使用寿命和行车安全。本文围绕公路路基施工中软土路基处理技术展开分析，首先阐述软土路基的特性及对公路施工的危害，接着介绍常见的软土路基处理技术，包括换填法、排水固结法、复合地基法、加筋法等，并结合具体案例说明各技术的应用情况，然后探讨软土路基处理技术的选择依据，最后总结软土路基处理技术的应用要点及发展趋势，旨在为公路工程中软土路基的处理提供参考。

关 键 词： 公路路基；软土路基；处理技术；换填法；排水固结法

Analysis of Soft Soil Subgrade Treatment Technology in Highway Subgrade Construction

Liu Shanwu

Zhejiang Jiaotong Hongtu Transportation Construction Co., LTD., Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract： Soft soil roads are characterized by low bearing capacity, high compressibility, and poor permeability. If not properly handled during highway construction, they can easily lead to problems such as subgrade settlement and instability, seriously affecting the service life of the highway and driving safety. This article focuses on the analysis of soft soil subgrade treatment technologies in highway subgrade construction. Firstly, it elaborates on the characteristics of soft soil subgrades and their hazards to highway construction. Then, it introduces common soft soil subgrade treatment technologies, including replacement and filling method, drainage consolidation method, composite foundation method, reinforcement method, etc., and explains the application of each technology through specific cases. Finally, it explores the basis for selecting soft soil subgrade treatment technologies. Finally, the application key points and development trends of soft soil subgrade treatment technology are summarized, aiming to provide a reference for the treatment of soft soil subgrades in highway engineering.

Keywords： highway subgrade; soft soil subgrade; processing technology; substitution method; drainage consolidation method

引言

随着我国交通事业的快速发展，公路建设规模不断扩大，在公路施工过程中，常常会遇到各种复杂的地质条件，其中软土路基是较为常见且棘手的问题之一。软土主要由淤泥、淤泥质土、泥炭等组成，广泛分布于我国沿海、沿江、湖泊周边等地区。由于软土自身的不良工程特性，若在公路路基施工中不对其进行有效的处理，会导致路基在车辆荷载和自身重力作用下发生较大沉降、不均匀沉降，甚至出现滑坡、坍塌等病害，不仅会增加公路的维护成本，还会严重威胁行车安全。因此，深入研究软土路基处理技术，选择合适的处理方法，对于提高公路路基的稳定性和承载能力，保障公路工程质量具有重要意义。本文将对公路路基施工中软土路基处理技术进行详细分析，以期对相关工程实践提供借鉴。

一、软土路基的特性及对公路施工的危害

（一）软土路基的特性

软土路基具有一系列独特的工程特性，主要包括以下几个方面：

高含水量：软土的含水量通常较高，一般在30% 70%之间，部分甚至超过100%。这使得软土颗粒之间的结合力较弱，土的抗剪强度降低。例如，在我国东南沿海地区的淤泥质软土，其含水量普遍在50% 60%左右，土体呈流塑状态。高压缩性：软土在压力作用下会产生较大的压缩变形，压缩系数通常大于 0.5MPa^{-1} 。

这意味着在公路路基荷载作用下，软土路基容易发生沉降。如某地区的泥炭质软土，压缩系数可达 1.5MPa^{-1} 以上，在相同荷载作用下，其压缩量远大于一般黏性土。低承载力：软土的天然地基承载力较低，一般在 $50\sim 100\text{kPa}$ 之间，难以满足公路路基的承载要求。以某湖泊周边的淤泥为例，其天然地基承载力仅为 60kPa 左右，无法直接作为公路路基的持力层。低透水性：软土的孔隙比大，但孔隙多为封闭的微小孔隙，透水性较差，渗透系数通常小于 10^{-6}cm/s 。这导致软土中的水分难以排出，土体的固结速度缓慢。例如，某河流三角洲地区的软土，渗透系数仅为 10^{-7}cm/s ，水分排出十分困难。触变性：软土受到扰动后，其结构会遭到破坏，抗剪强度会急剧降低，甚至出现流动状态。在施工过程中，若对软土路基扰动过大，就可能引发路基失稳。^[1]

（二）软土路基对公路施工的危害

软土路基的不良特性会对公路施工造成多方面的危害，具体如下：

路基沉降过大：由于软土具有高压缩性，在公路路基荷载作用下，软土路基会发生较大的沉降。若沉降量超过设计允许范围，会导致路面出现开裂、凹陷等现象，影响公路的平整度和使用寿命。例如，某高速公路在施工完成后，由于软土路基处理不当，在通车后的一年内，部分路段的沉降量达到了 50cm 以上，路面出现了严重的龟裂和沉降。

不均匀沉降：软土路基的分布往往不均匀，不同位置的软土性质存在差异，这会导致路基在荷载作用下发生不均匀沉降。不均匀沉降会使路面产生错台、扭曲等病害，影响行车安全。如某一级公路经过一片软土分布区，由于该区域软土厚度不一致，在通车后，路面出现了明显的高低差，最大高差达到了 30cm ，严重影响了车辆的正常行驶。

路基失稳：软土的抗剪强度较低，在受到外力作用（如车辆荷载、地震等）时，容易发生剪切破坏，导致路基失稳，出现滑坡、坍塌等事故。例如，某山区公路在施工过程中，由于软土路基抗剪强度不足，在暴雨冲刷下，发生了路基滑坡，造成了严重的经济损失和人员伤亡。^[2]

增加施工难度和成本：软土路基的处理需要采取特殊的技术措施，这会增加施工的难度和工期。同时，处理软土路基所需的材料、设备和人工等费用也较高，会增加工程的成本。

二、常见的软土路基处理技术及应用案例

（一）换填法

换填法是将路基范围内的软土挖除，然后回填强度较高、稳定性较好的材料（如砂、碎石、灰土等），并分层压实的处理方法。该方法适用于软土厚度较薄（一般小于 3m ）的情况。

应用案例：某城市道路扩建工程中，遇到一段软土路基，软土厚度约为 2m ，含水量较高，承载力较低。施工单位采用换填法进行处理，将软土挖除后，回填级配碎石，分层压实，压实度达到 96% 以上。处理完成后，经过检测，路基的承载力满足设计要求，在后续的使用过程中，未出现明显的沉降现象。

（二）排水固结法

排水固结法是通过设置排水系统（如砂井、塑料排水板等），排出软土中的水分，使土体固结，提高地基承载力的处理方法。该方法适用于软土厚度较大、透水性较差的情况。

排水固结法主要包括堆载预压法、真空预压法和真空-堆载联合预压法等：堆载预压法是在软土路基上堆放一定重量的荷载（如土袋、砂石等），通过荷载的作用，促使软土中的水分排出，土体固结。例如，某高速公路软土路基处理工程中，软土厚度约为 8m ，采用堆载预压法，堆载高度为 3m ，预压时间为 6 个月。经过处理后，路基的沉降量明显减少，承载力得到显著提高。真空预压法是在软土路基表面铺设密封膜，利用真空泵抽气，使膜内形成真空，在大气压力作用下，促使软土中的水分排出，土体固结。如某沿海地区的公路工程，软土厚度达 10m ，采用真空预压法处理，真空度维持在 80kPa 以上，预压时间为 4 个月。处理后，地基土的孔隙比减小，抗剪强度提高，满足了路基施工的要求。真空-堆载联合预压法是将真空预压和堆载预压结合起来使用，充分发挥两种方法的优势，加快土体固结速度。某工业园区道路工程中，软土厚度为 12m ，采用真空-堆载联合预压法，先进行真空预压 2 个月，然后再施加堆载，堆载高度为 2m ，继续预压 4 个月。该方法比单一的真空预压或堆载预压节省了约 30% 的时间，处理效果良好。^[3]

（三）复合地基法

复合地基法是通过在软土地基中设置增强体（如碎石桩、水泥土搅拌桩、粉喷桩等），与原地基土共同作用，形成复合地基，提高地基承载力的处理方法。该方法适用于各种软土类型和厚度的情况。

常见的复合地基法：

碎石桩法：采用振动、冲击或水冲等方式在软土中成孔，然后填入碎石，形成碎石桩。碎石桩与周围软土共同组成复合地基，提高地基的承载力和抗剪强度。例如，某省道改建工程中，软土路基的承载力为 80kPa ，采用碎石桩处理，桩径为 500mm ，桩长为 6m ，桩间距为 1.5m 。处理后，复合地基的承载力达到了 180kPa ，满足了设计要求。

水泥土搅拌桩法：利用水泥作为固化剂，通过特制的搅拌机械将水泥与软土强制搅拌，使软土硬结成具有一定强度的水泥土桩。水泥土桩与原地基土形成复合地基，提高地基的承载能力。某城市快速路工程中，软土厚度为 5m ，采用水泥土搅拌桩处理，桩径为 600mm ，桩长为 7m ，水泥掺量为 15% 。处理后，地基的承载力得到了有效提高，路基沉降量控制在设计范围内。^[4]

粉喷桩法：将水泥粉通过粉喷机械喷入软土中，与软土充分搅拌，形成水泥土桩。该方法适用于含水量较高的软土处理。如某湖区公路工程，软土含水量为 65% ，采用粉喷桩处理，桩径为 500mm ，桩长为 8m 。处理后，地基的稳定性和承载能力得到了明显改善。

（四）加筋法

加筋法是在软土路基中铺设筋材（如土工格栅、土工布等），利用筋材的抗拉强度，改善路基的受力状态，提高路基的稳定性

和承载能力的处理方法。该方法适用于软土路基的浅层处理或其他处理方法联合使用。

应用案例：某乡村公路施工中，遇到一段软土路基，软土厚度约为1.5m，为提高路基的稳定性，施工单位采用加筋法处理，在路基底部铺设两层土工格栅，格栅之间的间距为30cm，然后回填土并压实。处理完成后，经过车辆荷载的长期作用，路基未出现明显的变形和沉降，取得了良好的处理效果。

三、软土路基处理技术的选择依据及应用要点

（一）软土路基处理技术的选择依据

在选择软土路基处理技术时，需要综合考虑以下因素：

软土的性质：包括软土的厚度、含水量、压缩性、承载力、透水性等。不同性质的软土适用的处理技术不同，例如，对于厚度较薄的软土，换填法较为经济有效；对于厚度较大、透水性较差的软土，排水固结法或复合地基法更为合适。公路的等级和使用要求：高等级公路对路基的稳定性和沉降控制要求较高，应选择处理效果好、可靠性高的技术；低等级公路可根据实际情况选择经济实用的处理技术。施工条件：包括施工场地的大小、地形地貌、周边环境、施工设备和材料的供应情况等。例如，在施工场地狭窄的地区，不宜采用大型机械设备进行施工的处理方法。工程造价和工期：不同的处理技术所需的费用和工期不同，应在满足工程质量要求的前提下，选择经济合理、工期较短的处理技术。^[4]

（二）软土路基处理技术的应用要点

施工前的勘察和试验：在进行软土路基处理前，应进行详细的地质勘察，查明软土的分布范围、厚度、性质等情况，并进行室内试验和现场试验，为处理技术的选择和设计提供依据。例如，通过静力触探试验可以了解软土的承载力和分层情况；通过室内压缩试验可以确定软土的压缩系数和压缩模量。

施工过程中的质量控制：严格按照设计要求和施工规范进行施工，加强对施工过程的质量控制。例如，在换填法施工中，应控制回填材料的质量和压实度；在排水固结法施工中，应保证排水系统的畅通和预压荷载的均匀施加；在复合地基法施工中，应控制桩体的质量和间距。

施工后的监测和检测：在软土路基处理完成后，应进行长期的监测和检测，包括路基的沉降、位移、孔隙水压力等指标的监测，以及地基承载力的检测。通过监测和检测，可以及时发现问

题并采取相应的处理措施，确保路基的稳定性和安全性。例如，在某高速公路软土路基处理工程中，设置了沉降观测点，定期进行观测，根据观测数据调整后续的施工方案。

（三）软土路基处理技术的发展趋势

随着科技的不断进步，软土路基处理技术也在不断发展和创新，主要呈现以下趋势：

环保型处理技术的应用：越来越注重处理技术的环保性，减少对周边环境的影响。例如，采用新型环保固化剂替代传统的水泥、石灰等固化剂，降低对土壤和水资源的污染。智能化施工技术的应用：利用智能化设备和技术，实现软土路基处理的自动化和精准化施工。例如，采用自动化的搅拌设备控制水泥土搅拌桩的施工质量，利用物联网技术对施工过程进行实时监测和控制。复合处理技术的推广：单一的处理技术往往难以满足复杂软土路基的处理要求，复合处理技术将多种处理方法结合起来，充分发挥各自的优势，提高处理效果。例如，排水固结法与复合地基法联合使用，可以加快土体固结速度，提高地基承载力。^[5]

（四）软土路基处理技术应用中的注意事项

避免过度处理：在选择处理技术时，应根据软土的实际情况和公路的使用要求，合理确定处理深度和范围，避免过度处理造成不必要的浪费。考虑后期维护：在设计和施工过程中，应考虑到公路运营期间的维护问题，选择便于维护的处理技术，降低后期的维护成本。做好应急预案：在软土路基施工过程中，可能会遇到各种突发情况，如路基失稳、沉降过大等，应制定完善的应急预案，及时采取措施进行处理，确保施工安全。

四、结语

软土路基处理是公路路基施工中的关键环节，直接关系到公路工程的质量和安全性。本文对软土路基的特性及危害进行了分析，介绍了换填法、排水固结法、复合地基法、加筋法等常见的处理技术，并结合案例说明了各技术的应用情况，探讨了处理技术的选择依据、应用要点及发展趋势。在实际工程中，应根据软土的性质、公路的等级和使用要求、施工条件等因素，合理选择处理技术，并严格控制施工质量，加强施工后的监测和检测，以确保软土路基处理的效果。随着科技的不断发展，相信会有更多先进、环保、高效的软土路基处理技术应用于公路工程中，为我国交通事业的发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 徐芝飞. “长板+短桩”在软土路基处理中的应用[J]. 路基工程, 2021, No.233(05): 185-189.
- [2] 高速公路软土路基处理技术分析及规范[S]. 中交一公局第三工程有限公司. 2023.
- [3] 某高速公路施工中采用碎石桩和加筋碎石桩复合地基进行软基加固[J]. 中国公路, 2021(13): 78-79.
- [4] 张秀娟. 如何做好高速公路路基软基处理[J]. 中国高新科技, 2021(19): 130-131.
- [5] 王超. 软土地基处理技术在公路施工中的应用探究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2020(05): 96.
- [6] 吕金锋. 软土路基施工工艺与定额套用分析[J]. 四川建材, 2024, 50(06): 165-166.