

公路工程施工中软土地基处理技术及其对工程质量的影响分析

文 / 刘丹 济宁市公路管理局邹城公路局

摘要：当进行公路工程建设之际，施工往往因软土地基特性遭遇难题，鉴于此找寻科学处理技术意义十分重大。凭借对平原地区等复杂软土地基案例做分析，全面考量地质、工程、环境以及经济方面要素，采用排水固结跟强夯联合等技术措施，切实提高了地基承载能力水平，对沉降实施了有效把控，实现了公路质量的相关要求，达成环保目标且兼顾成本把控。研究表明始终坚持对软土地基处理技术的探索创新，有利于推动公路建设往绿色、高效、经济方向拓展，为交通事业筑牢后盾。

关键词：公路工程；软土地基；处理技术；工程质量

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.056

引言

跟随交通网络的持续延展，公路工程建设规模不断朝着扩大态势迈进，不可避免地屡次遭遇软土地基。软土地基犹如公路建设阶段的“拦路虎”，以复杂特性对施工进度、工程质量和长期稳定性构成诸多严峻考验。在绿色、高效、可持续的新发展理念引领下，如何以合理、经济且科学的途径处理软土地基，成为公路建设领域急需应对的关键课题。对平原等地区案例做深入剖析，为探索创新处理技术给出了指引，后续会围绕对软土地基处理技术多维度考量及其应用效果开展，谋求实现公路建设高质量发展的有效路径。

一、软土地基处理技术概述

（一）软土地基特性与处理需求

软土地基通常具有高含水量、大孔隙比、低承载力等特点，难以承受公路交通荷载。若按传统方式施工，易出现不均匀沉降、开裂等问题，降低公路寿命并增加维修成本。因此，需采用科学方法提升地基强度与稳定性，同时兼顾资源利用与环境保护，推动公路建设可持续发展。

（二）常见软土地基处理技术分类与原理

软土地基处理技术主要分为置换类、排水固结类和夯实挤密类。置换类技术通过抛石挤淤等方式，将软土层置换为承载能力更高的材料，从而改善地基性能。排水固结类技术利用砂垫层、排水板等设施，加速软土地基的排水固结过程，使土体逐渐固结稳定，提高地基承载能力^[1]。夯实挤密类技术则通过重锤夯实、挤密砂桩等手段，利用物理作用改变土体结构，增加土体密实度，从而提升地基的承载能力和稳定性。

二、常见软土地基处理技术详解

（一）换填法

换填法是一种地基加固技术，通过移除或部分移除软土层，并用颗粒状材料如碎石、砂砾等进行替换，以提高地基的承载能力和稳定性。这种方法适用于浅层软土地基，操作简单，成本相对较低。换填法能够显著提

升地基的压实度和承载力，减少地基沉降，提高工程的安全性和耐久性。此外，换填法还具有环保优势，可以通过合理利用挖出的软土和当地材料，减少资源浪费和运输成本，降低碳排放，符合绿色发展和可持续发展的理念。这种方法不仅提升了地基性能，还有助于实现资源的循环利用，是一种经济且环境友好的地基处理方式。

（二）排水固结法

排水固结法是一种通过加速软土地基中水分排出，使其固结来提高地基强度的方法。该技术通常包括在地基中设置排水系统，如塑料排水板，以及在地表铺设砂垫层，以促进水分的排出。随后，通过施加荷载，如真空预压或堆载预压，来加速土体的固结过程^[2]。这种方法适用于深层软土地基，能够有效控制地基沉降，提高地基承载力。排水固结法施工周期较长，但能显著降低地基的长期沉降风险，减少后续维护成本。此外，该方法对环境影响较小，是一种经济且可持续的地基处理技术，有助于实现公路工程的长期稳定和经济效益。

（三）深层搅拌法

深层搅拌法是一种地基加固技术，通过在地基中搅拌水泥等固化剂与软土，形成具有一定强度的搅拌桩，从而提高地基的承载能力和稳定性。这种方法适用于高压缩性、低强度的软土地基，能够显著提升地基的承载力和减少沉降。深层搅拌法施工时，搅拌机械在地基中下沉和提升，使得固化剂与土体充分混合。搅拌桩形成后，经过一定时间的养护，可以达到预期的强度。该方法施工过程中对周边环境的影响较小，噪音和粉尘排放低，符合环保要求，是一种环境友好型的地基处理技术，特别适合于城市区域等对环境要求较高的场合使用。

（四）强夯法

强夯法是一种通过重锤自由下落对地基进行冲击压实的加固技术。它利用强大的冲击能量来增加土体的密实度，从而提高地基的承载力和减少沉降。这种方法特别适用于大面积的软土地基处理，施工效率高，能够快速完成大面积的地基加固。强夯法在施工过程中，

通过合理安排夯击的顺序和能量分布，可以有效避免过度夯击，减少资源浪费。此外，强夯法施工速度快，对周围环境的影响相对较小，是一种经济且环境友好的地基处理方法。它不仅能够提升地基的稳定性，还能够降

低长期维护成本，符合现代工程建设中对高效、环保的要求。

在进行软土地基处理时，选择合适的技术至关重要，以下是图 1 展示的几种常见处理技术的详解：

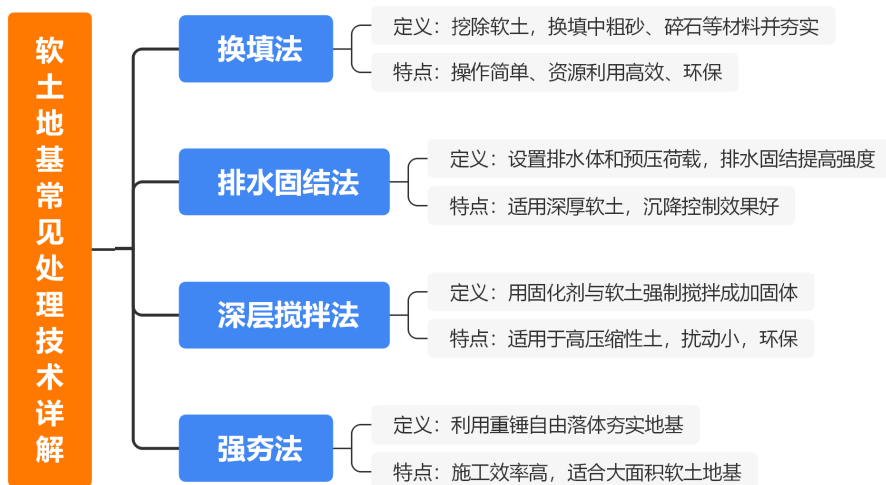


图 1：软土地基常见处理技术详解

三、软土地基处理技术对公路工程质量的影响

(一) 对地基承载能力的影响

软土地基由于其天然承载能力不足，常需通过工程手段进行加固以适应公路建设的需求。换填法通过将软土层替换为碎石等具有较高承载力的材料，并进行分层压实，从而显著增强地基的承载能力。排水固结法则是在地基中布置排水板和砂垫层，通过预压过程促使土体中的水分排出，加速土体固结，进而提高地基的承载力^[3]。深层搅拌法利用水泥等固化剂与软土混合，形成具有较高强度的搅拌桩，这些桩体与周围土体共同作用，增强了地基的整体承载能力。强夯法则是通过重锤的反复夯击，使土体密实，从而大幅度提升地基的承载力，确保公路的长期稳定运行。

(二) 对地基沉降的影响

公路工程面临的一个主要挑战是软土地基可能引起的工后沉降问题。如果不采取适当的地基处理措施，沉降量可能非常显著，达到 1.5 米，这将严重影响公路的使用性能和安全性。排水固结法通过在地基中设置排水系统和施加预压荷载，可以有效地减少沉降量至 800 毫米以下，并且随着时间的推移，沉降速率会显著降低。换填法则通过用更稳定的材料替换部分或全部软土，可以减少沉降量大约 60%。深层搅拌法通过在地基中形成加固的搅拌桩体，能够进一步将地基沉降量控制在 300 毫米以内。而强夯法则通过重锤的冲击力压实土体，显著降低土体的压缩性，从而有效抑制沉降，确保公路的长期稳定运行。

(三) 对公路稳定性的影响

不良软土地基容易致使公路出现倾斜、裂缝等不稳

定状况。有一处软土地基路段，在未处理之时，由于地基不均匀沉降，公路产生好多处裂缝，最大裂缝宽度达到 5mm，对行车安全和公路寿命影响严重。换填法能够改善地基均匀性，增强公路稳定性，有个换填处理的路段，经过多年运营，都没出现明显病害。排水固结法可以减少工后沉降差，滨海公路运用此方法，有效防止了因沉降不均造成的路面起伏，保障行车平稳。深层搅拌法所形成的加固土体，提高了地基抗剪强度，城市近郊公路采用该法后，边坡稳定性得以增强，没有发生滑坡等灾害^[4]。强夯法提升土体密实度与强度，公路枢纽工程经处理后，公路整体稳定性大大提升，能满足交通荷载长期作用的要求，与安全、可持续的公路建设发展理念相契合。

四、软土地基处理技术选择的影响因素

(一) 地质条件

在山东某公路建设项目中，软土地层特性复杂多样。软土层厚度在 3 到 10 米之间变化，经检测天然含水量高达 420g/kg，孔隙比达到 1.5，地基承载能力仅为 45kPa。该地区地形虽相对平坦，但部分路段软土地基下存在古河道沉积物，其硬度与完整性差异较大，进一步增加了地基处理技术选择的难度。这种地质条件下，单一的常规处理技术难以满足需求，需要多种技术联合使用。例如，在软土较薄的区域采用水泥土搅拌桩法，通过搅拌桩与软土形成复合地基，增强地基承载能力；在软土较厚且下卧古河道沉积物较稳定的区域，结合预应力管桩与高压旋喷桩加固技术，利用预应力管桩提供较高的承载力，高压旋喷桩对桩周土体进行加固，确保地基的稳定性和均匀性，满足公路对地基强度和变形的严格要求。

表 1：不同软土地基处理技术在多参数条件下对公路工程关键性能指标的影响评估

处理技术	软土厚度 (m)	土体含水率 (%)	处理深度 (m)	处理周期 (天)	平均承载力提升 (kPa)	平均沉降控制率 (%)	平均造价 (万元 /100m ²)
换填法	1.5	35	2.0	15	95	55	12.3
排水固结法	3.0	48	12.0	240	70	85	18.7
深层搅拌法	4.0	42	8.0	30	110	70	22.5
强夯法	2.5	30	4.0	10	150	60	9.8
复合处理法①	3.5	50	10.0	90	180	90	26.4
真空预压法	3.2	52	10.0	180	65	80	20.1

(二) 工程要求

山东某公路是连接重要交通枢纽与内陆物流园区的关键交通线路，承担着大量的货物运输任务，其中不乏重型货车。因此，对地基承载能力和稳定性的要求极为严格。按照设计规范，地基承载能力需达到 160kPa 以上，工后沉降量要控制在 40mm 以内，以保障重型车辆的安全行驶和路面结构的长期稳定。为实现这一目标，工程采用了真空预压法联合振冲碎石桩的综合处理方案。在软土地基中设置间距 1.2 米、长度 15 米的塑料排水板，施加 100kPa 真空预压荷载，持续预压 8 个月，同时在地基中布置振冲碎石桩，桩径 0.8 米，间距 2.0 米，呈梅花形布置。经过处理后，地基承载能力提升至 170kPa，工后沉降量控制在 35mm 以内，完全符合工程的高要求。而在一些旅游区内的低等级公路建设中，交通流量相对较小，但考虑到要保护生态环境和景观协调性，对地基处理时的环境影响控制要求较高。因此，在这些区域优先选用深层搅拌法这类环境友好型处理技术，减少对周边环境的干扰和破坏，确保公路建设与生态环境的和谐发展。

(三) 施工环境

在山东某沿海城市繁华商业区的公路改造工程中，面临着施工场地狭窄、周边建筑密集以及交通流量大的复杂施工环境。由于场地受限，大型强夯设备无法进场，同时为了避免施工对周边居民生活和商业活动造成严重干扰，降低噪声和粉尘污染成为关键。在这种情况下，采用了静压注浆法处理软土地基。该方法所用设备体积小，能够在狭窄空间灵活作业，施工过程中噪音和振动极小，有效减少了对周边环境的影响。而在山东某自然保护区内的公路建设项目中，生态保护是首要考虑因素。为了减少对保护区生态系统的破坏，采用了生态袋置换法。施工人员将装满无污染种植土和本土植物种子的生态袋替换软土，不仅稳固了地基，还促进了植被的恢复，实现了公路建设与生态保护的双赢，充分践行了绿色发展理念。

(四) 经济成本

山东某公路建设项目在地基处理方案选择时，充分考虑了经济成本因素。最初设计采用全桩基础搭配深层搅拌法处理软土地基，初步估算工程成本高达 7000 万元。经过详细地质勘察和方案优化，根据不同区域的地质条件，对软土较薄地段采用换填法，利用当地优质的海砂进行换填，海砂资源丰富且价格相对较低，降低了材料成本；在软土厚且地质条件复杂的区域，采用桩基础结合真空预压法，通过合理调整桩间距和预压参数，在保证地基处理效果的前提下，减少了桩的数量和预压时间，最终工程成本降低至 5500 万元，节省了 21% 的费用。在山东沿海某乡村公路建设项目中，资金相对匮乏，经济成本控制至关重要。项目团队就地取材，利用当地丰富的河砂和废弃建筑石料进行换填处理，每立方米材料成本仅为 20 元，相比从外地采购优质砂石材料大幅降低了成本。同时，合理安排施工顺序，采用小型机械设备，减少了设备租赁费用，既保证了工程质量，又实现了经济成本的有效控制，体现了资源节约与成本效益最大化的建设思路。

结语

软土地基处理技术对公路工程质量具有深远影响。通过科学选择与应用技术，可显著提升地基承载能力、有效控制沉降并增强公路稳定性，为工程质量提供坚实保障。未来应持续探索创新，结合地质、工程、环境和经济多因素，推动公路建设向绿色、高效、可持续方向发展。

参考文献

[1] 张腾，王大伟. 浅谈水利工程施工中软土地基处理技术 [J]. 治淮, 2025, (03): 49-50+67.
 [2] 马婧茹，高明. 软土地基处理技术在市政道路桥梁工程施工中运用研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (04): 148-150.
 [3] 刘敬美. 水利工程施工中软土地基处理关键技术研究 [J]. 水上安全, 2025, (02): 121-123.
 [4] 吴中林. 公路工程中软土地基处理技术应用研究 [J]. 运输经理世界, 2025, (02): 44-46.