

软土地基上公路路基加固技术研究与实践

张小泉

延安市公路局 陕西 延安 716000

摘要：软土地基因其含水量高、孔隙比大、抗剪强度低等特点，在公路建设中常常导致路基沉降、变形等问题。本文分析了软土地基的物理、力学和工程地质特性，探讨了置换法、排水固结法、深层搅拌法、强夯法和加筋法等加固技术的原理与应用，提出了现有加固技术的改进与优化方向，并展望了新技术在软土地基加固中的应用和未来发展趋势。研究结果为软土地基上公路路基加固提供了理论依据和技术参考。

关键词：软土地基；公路路基；加固技术；研究分析

引言：随着我国交通事业的快速发展，公路建设不断向复杂地质条件区域延伸。软土地基作为常见的地质问题，对公路的稳定性和安全性构成了严重威胁。开展软土地基上公路路基加固技术的研究与实践具有重要意义。

1 软土地基特性分析

1.1 软土的物理特性

软土主要由黏土矿物、有机质和细粒土组成，其含水量高是显著特点之一。高含水量不仅增加了软土的流动性，还使得土体在受到外力作用时易于发生形变，降低了土体的抗剪强度和承载能力。当软土中的水分含量过高时，土颗粒间的有效应力减小，导致土体的整体强度下降，流动性增强，这在施工过程中可能导致路基的坍塌或滑坡。软土的大孔隙比也是其物理特性的重要方面。大孔隙比意味着土体中存在着大量的空隙，这些空隙在受到荷载作用时容易被压缩，导致土体发生显著的压缩变形。这种变形不仅表现为垂直方向的沉降，还可能引发水平方向的侧向位移，对路基的稳定性构成威胁。大孔隙比还使得软土在排水固结过程中需要更长的时间来达到稳定状态，增加了施工周期和成本。

1.2 软土的力学特性

软土的力学特性主要体现在其抗剪强度和压缩变形特性上。抗剪强度，作为评价土体稳定性的核心指标，它决定了土体在受到剪切力作用时能否保持完整^[1]。软土的抗剪强度通常较低，且在不同应力情形下表现出明显的变化规律。例如，在竖向应力作用下，软土的抗剪强度可能会随着应力的增加而逐渐提高；而在水平应力作用下，则可能因土体的侧向膨胀而降低。这种抗剪强度的变化特性对路基边坡的稳定性具有重要影响，需要采取相应措施进行加固处理。在压缩变形特性方面，软土在荷载作用下的压缩变形是一个复杂的过程，涉及土体的固结和排水。固结是指土体在受到压力作用时，孔

隙中的水被挤出，土体体积逐渐减小的过程。固结时间的长短取决于土体的排水性能和荷载大小。在固结过程中，软土的沉降量和沉降速率会逐渐减小，直至达到稳定状态。由于软土的固结过程往往较长，且沉降量较大，在实际工程中需要采取预压、排水等措施来加速固结过程，减小沉降量。

1.3 软土的工程地质特性

软土地基在不同地质地貌区域的分布特征各异。在沿海地区，由于海水侵蚀和沉积作用，形成了大片的软土分布区。这些软土通常具有含水量高、压缩性大、抗剪强度低等特点，对公路施工和运营构成了严重威胁。在河流三角洲地区，由于河流携带的泥沙在河口处沉积，也形成了大量的软土。这些软土往往具有较厚的覆盖层，且分布广泛，对路基的稳定性和承载力提出了更高要求。软土地基可能引发的潜在危害不容忽视。由于软土的压缩性大和抗剪强度低，路基在荷载作用下易发生不均匀沉降，导致路面出现波浪状起伏或开裂。软土还可能因受到外力作用而发生侧向滑移，进一步加剧路基的不稳定性。这些危害不仅影响公路的行车安全和舒适性，还可能对周边环境造成破坏，必须采取有效的加固措施进行治理。

2 软土地基公路路基加固技术原理

2.1 置换法

置换法，是通过挖除地基中的软土，并用强度高、压缩性低的材料（如砂石、灰土等）进行换填，从而改良地基的承载能力和变形特质。砂石作为一种理想的换填材料，因其颗粒间空隙大、透水性强、压缩性低，能显著提高地基的承载力，减少沉降。砂石材料的来源广泛，施工简便，成本相对较低，在许多工程中得到了广泛应用。砂石换填也有其局限性，如对于地下水位较高的地区，需要采取额外的排水措施。灰土换填则是另一

种常用的方法,灰土材料具有较好的强度和稳定性,且造价低廉,适用于对承载力要求不高的场合。但灰土材料的抗渗性能较差,需要特别注意防水处理。在选择换填材料时,除了考虑其工程特性外,还需要综合考虑经济成本、施工条件、材料来源等因素,以达到最优的加固效果。

2.2 排水固结法

排水固结法,是通过在地基中设置排水系统(如砂井、塑料排水板等),加速软土孔隙水的排出,促使土体固结,从而提升地基强度。砂井是一种传统的排水系统,通过在软土中设置竖向的排水通道,加速水分的排出。砂井的间距、直径和深度等参数的确定,需要根据地基土的渗透系数、排水要求和施工条件等因素进行综合考虑。间距过大可能导致排水不畅,间距过小则增加施工成本。砂井的直径和深度需满足排水要求,同时考虑施工难度和成本。塑料排水板则是一种新型的排水系统,具有重量轻、施工简便、排水效果好等优点^[2]。塑料排水板的规格包括宽度、厚度和排水通道的尺寸等,需根据地基土的特性和加固要求选择。排水固结法的原理是利用排水系统加速软土中的水分排出,减小孔隙比,提高土体密度和强度。排水固结过程伴随着土体的压缩变形,需通过预压等措施控制沉降量。排水固结法适用于处理含水量高、压缩性大的软土地基,可以显著提高地基的承载力和稳定性。

2.3 深层搅拌法

深层搅拌法,是利用特制搅拌机械将固化剂(如水泥、石灰等)与软土强制搅拌混合,形成具备一定强度和水稳性的加固土体的方法。水泥作为一种常用的固化剂,与软土混合后,可以发生化学反应和物理作用,形成新的矿物结构,提高土体的强度和稳定性。水泥加固土的强度发展快,耐久性好,适用于各种软土地基加固。但水泥成本较高,且加固过程中会产生一定的热量,需要注意控制施工温度。石灰则是一种价格较低、来源广泛的固化剂,与软土混合后,可以发生离子交换和碳酸化反应,提高土体的凝聚力和强度。但石灰加固土的强度发展较慢,且抗渗性能较差,需要特别注意防水处理。在确定固化剂掺量时,需要根据软土的性质、加固要求和施工条件等因素进行综合考虑。固化剂掺量过高可能增加成本,掺量过低则影响加固效果。深层搅拌法适用于处理各种深度的软土地基加固,且施工简便、效率高。通过深层搅拌法加固后的土体具有较高的强度和稳定性,可以显著提高地基的承载力和抗变形能力。

2.4 强夯法

强夯法,是一种采用重锤从高处自由落下,对地基土进行强力夯击的方法。夯击作用可以使土体颗粒重新排列,减小孔隙比,提高土体密度和强度。强夯法的加固效果与夯锤重量、落距、夯击次数、夯击遍数以及夯点间距等参数密切相关。夯锤重量越大、落距越高,夯击能越大,加固效果越好。但需注意控制施工噪音和振动对周边环境的影响。夯击次数和夯击遍数需根据地基土的特性和加固要求确定,合理的夯击参数可以确保加固效果并控制施工成本。夯点间距则需要根据地基土的均匀性和加固要求确定,间距过大可能导致加固不均匀,间距过小则增加施工成本。强夯法适用于处理碎石土、砂土、粉土和粘性土地基,且加固效果显著。通过强夯法加固后的地基具有较高的承载力和稳定性,可以显著提高公路的使用寿命和安全性。

2.5 加筋法

加筋法,是在软土地基中铺设土工合成材料(如土工格栅、土工布等),利用筋土摩擦力约束土体变形,增强地基整体稳定性的方法。土工格栅具有较高的强度和刚度,能够很好地约束土体的侧向变形,提高地基的承载力。土工格栅还具有良好的透水性和过滤性能,有助于排水固结和防止土体流失。土工布则主要用于防止土体颗粒的流失和过滤水分,适用于排水固结和防止土体冲刷等场合。在铺设土工合成材料时,需要考虑其铺设层数、位置和锚固方式等技术要点。铺设层数需要根据地基土的特性和加固要求确定,多层铺设可以增强加固效果。铺设位置则需要根据地基土的变形情况和加固要求确定,一般铺设在软土地基的表层或中层。锚固方式则需要确保土工合成材料在土体中的稳定性,防止其发生位移或撕裂。常用的锚固方式包括埋入式、绑扎式和拉锚式等。加筋法适用于各种软土地基加固,且施工简便、成本较低。通过加筋法加固后的地基具有较高的承载力和抗变形能力,可以显著提高公路的稳定性和安全性。

3 软土地基上公路路基加固技术的创新与发展

3.1 现有加固技术的改进与优化方向

在软土地基上公路路基加固技术的领域内,尽管已有多种成熟的技术方法,但随着工程实践的深入和科学技术的发展,对现有加固技术的改进与优化仍是推动该领域进步的重要动力。(1)换填法技术的改进:换填法作为传统的软土地基加固方法,其核心在于通过换填优质土料来提高地基的承载力^[3]。在实际操作中,换填材料的选取、换填层的厚度以及换填后的压实度等因素均会直接影响加固效果。对换填法技术的改进应着重于以下几

个方面：一是研发更加环保、经济的换填材料，如利用工业废弃物进行资源化利用；二是优化换填层的结构设计，确保换填层既能满足承载力要求，又能有效控制地基沉降；三是提高换填施工的机械化水平，实现换填过程的精确控制和高效施工。(2)复合地基技术的优化：复合地基通过在软土地基中设置加固体（如桩、墙等），形成复合受力体系，从而提高地基的承载力。对于复合地基技术的优化，关键在于提高加固体与软土的协同作用能力。一方面，可以通过改进加固体的材料和形状，如采用高强度、耐腐蚀的复合材料制作加固体，以提高其耐久性；另一方面，可以优化加固体在软土中的布置方式，如采用更加合理的桩距和桩长，以实现加固体与软土的最佳协同作用。(3)强夯法技术的创新：强夯法通过重锤的自由落体运动产生的冲击力来压实软土地基，从而提高其承载力。强夯法在实际应用中往往存在能耗高、噪音大、施工周期长等问题。对强夯法技术的创新应着眼于降低能耗、减少噪音、缩短施工周期等方面。例如，可以研发更加高效的强夯设备，提高重锤的冲击力；可以通过优化施工工艺，如采用分层强夯、间歇强夯等方法，以降低施工过程中的能耗和噪音。

3.2 新技术在软土地基加固中的应用探索

(1)高分子材料加固技术：高分子材料加固技术是一种利用高分子材料（如聚氨酯、环氧树脂等）对软土地基进行加固的方法。这些高分子材料具有优异的物理力学性能和化学稳定性，能够有效地提高软土地基的承载力。高分子材料加固技术还具有施工简便、固化速度快、对环境影响小等优点。该技术在工程实践中得到了广泛的应用。(2)微生物加固技术：微生物加固技术是一种利用微生物的代谢活动产生的生物化学作用来加固软土地基的方法。该技术通过在软土地基中注入特定的微生物菌液，利用微生物在代谢过程中产生的胶凝物质（如胞外聚合物）来填充软土颗粒间的空隙，从而提高地基的承载力。微生物加固技术具有环保、经济、施工简便等优点，是未来软土地基加固领域的重要发展方向之一。(3)纳米材料加固技术：纳米材料加固技术是一种利用纳米材料的特殊性质（如高比表面积、高活性等）对软土地基进行加固的方法。纳米材料可以填充软土颗粒

间的空隙，形成更加紧密的结构，从而提高地基的承载力。纳米材料还可以与软土中的水分子发生化学反应，生成新的胶凝物质，进一步增强地基的强度。纳米材料加固技术具有加固效果好、施工简便等优点，但目前在实际工程中的应用还相对较少，需要进一步的研究和推广。

3.3 软土地基加固技术的未来发展趋势

(1)智能化与信息化：未来软土地基加固技术将更加注重智能化与信息化的应用。通过引入传感器、物联网等技术手段，实现对加固过程的实时监测和数据分析，从而实现对加固效果的精确控制和优化。还可以利用大数据、人工智能等技术手段对加固方案进行智能设计和优化，提高加固效率和效果。(2)绿色环保与可持续发展：随着环保意识的不断提高和可持续发展理念的深入人心，未来软土地基加固技术将更加注重绿色环保和可持续发展。一方面，将研发更加环保、可再生的加固材料；另一方面，将优化加固工艺和施工方法，降低能耗和排放，减少对环境的负面影响。(3)多元化与综合化：未来软土地基加固技术将呈现出多元化和综合化的特点。不同的加固技术将相互融合、相互补充，形成更加完善的加固体系。还将根据具体工程的特点和要求，选择最适合的加固技术和方法，实现加固效果的最大化。

结束语：软土地基上公路路基加固技术是保证公路建设质量和安全的关键。通过深入分析软土地基的特性，探讨现有加固技术的原理与应用，提出改进与优化方向，并展望新技术的应用和未来发展，为软土地基加固提供了科学依据和技术支持。未来，随着科学技术的不断进步和工程实践的深入，软土地基加固技术将更加智能化、绿色环保和多元化，为公路建设提供更加可靠的保障。

参考文献

- [1]丁星.软土路基加固处理技术在公路工程中的应用分析[J].运输经理世界,2023,(27):40-42.
- [2]杨志明.高速公路施工中软土地基加固技术应用分析[J].运输经理世界,2024,(02):38-40.
- [3]刘孟良.公路软土路基就地固化设计方案与处理效果分析[J].黑龙江科学,2024,15(02):112-115.