

公路桥梁软土地基加固技术研究

徐 敏

新疆塔建三五九建工有限责任公司 新疆 阿拉尔 843300

摘 要：软土地基因其承载力低、变形大等特点，对公路桥梁施工带来了诸多挑战。本文深入探讨了公路桥梁软土地基加固技术的相关研究。分析了软土地基的特性及其对公路桥梁施工的影响，强调了加固技术的必要性。研究了排水挤密加固、换填土处理、强夯、深层密实加固、高压喷射注浆、孔内深层强夯法以及堆载预压处理等。提出了提升软土地基加固技术施工质量控制的有效策略，旨在为公路桥梁建设提供坚实的技术支撑和质量保障，确保工程的安全与稳定。

关键词：公路桥梁；软土地基加固；技术研究

引言：随着交通基础设施建设的快速发展，对地基承载力和稳定性的要求日益提高。因此，研究公路桥梁软土地基加固技术显得尤为重要。本文旨在全面分析软土地基的特性及其对施工的影响，并探讨有效的加固技术和质量控制策略，为实际工程提供理论参考和实践指导。

1 软土地基特性及其对公路桥梁施工的影响

1.1 软土地基特性

软土地基以其独特的物理特性，对工程建设尤其是公路桥梁施工构成重要影响。其显著特点有（1）高压缩性。源于其大孔隙比和高含水量，导致地基长期难以稳定；抗剪强度低，要求施工中特别关注地基的稳定性，以防结构破坏。（2）透水性低。不利于排水固结，导致建筑物沉降过程漫长。（3）触变性。其结构易受扰动而迅速丧失强度。在持续荷载作用下，软土还会发生流变，长期强度远低于瞬时强度，影响结构耐久性。（4）物质分布复杂。易导致不均匀沉降，进一步威胁结构安全。因在公路桥梁施工中，必须充分考虑软土地基的这些特性，采取适当措施进行加固处理。

1.2 对公路桥梁施工的影响

软土地基对公路桥梁施工的影响深远。地基处理不当会显著降低路桥的抗震能力，使其难以抵御自然灾害，存在重大安全隐患。地基坚硬程度处理不均匀会导致基础难以均匀沉降，桥身因此可能出现倾斜、坍塌等严重问题^[1]。软土地基沉降还可能造成桥面断裂，特别是桥头路面沉降裂缝，导致路面断裂不平，增加了车辆行进中的坑洼跳车现象，影响公路的运行质量，还严重威胁路桥的安全使用。在软土地基上进行公路桥梁施工时，必须采取针对性的地基处理技术，如强夯法、换填垫层法、砂石桩法、真空预压法和电渗法等，以提高地基的稳定性和承载能力。同时加强施工现场的勘察工

作，确保施工方案的合理性和规范性，是保障工程质量和安全的重要措施。

2 公路桥梁软土地基加固技术的必要性

2.1 提升地基稳定性

软土地基具有承载力低、抗剪强度弱、易变形等特点，如果不进行加固处理，地基容易发生不均匀沉降，导致桥梁结构失稳，甚至发生坍塌事故。加固技术能够显著提高地基的强度和稳定性，确保桥梁在长期使用过程中不发生明显变形和沉降，保障行车安全。

2.2 保障工程质量与安全

在公路桥梁施工过程中，地基处理是关键环节之一。软土地基加固技术能够确保地基满足设计要求，避免因地基问题导致的工程质量问题^[2]。加固技术还能提高桥梁结构的整体稳定性，减少施工过程中的安全隐患，保障施工人员的生命安全。

2.3 延长桥梁使用寿命

软土地基加固技术能够改善地基的力学性质，提高地基的承载能力和耐久性。经过加固处理的地基能够更好地抵抗外部荷载和自然环境的影响，减少桥梁结构的损伤和老化速度，从而延长桥梁的使用寿命。

2.4 降低维护成本

软土地基加固技术能够减少桥梁在使用过程中因地基问题导致的维修和加固次数，从而降低维护成本。加固后的地基能够保持较好的稳定性和承载能力，减少因地基沉降、变形等问题导致的桥梁损坏和维修费用。

2.5 适应复杂地质条件

在公路桥梁建设中，经常遇到复杂的地质条件，如软土、淤泥等。这些地质条件对桥梁施工和地基处理提出了更高的要求。软土地基加固技术能够适应这些复杂地质条件，确保桥梁施工顺利进行，同时提高地基的承

载能力和稳定性。

3 公路桥梁软土地基加固施工技术

3.1 排水挤密加固技术

排水挤密加固技术作为一种高效、经济的加固方法，在软土地基处理中得到了广泛应用。排水挤密加固技术主要适用于含水量较高的沼泽、江河湖海等周边的软土地基。这种技术的核心在于通过特殊方式进行排水吸水，以此来加固软土地基的承载能力。具体而言，施工人员会利用机械将塑料排水板插入软土层中，这些排水板具有良好的透水性能，能够有效地引导地基中的水分排出。通过预压负荷的作用，地基中的水分会沿着排水板上渗到砂垫层中，从而实现地基的加固。排水挤密加固技术的优势在于其造价相对较低，施工方便，且加固处理效果好。通过排水和挤密的作用，地基中的孔隙比减小，强度提高，从而有效地提升了地基的承载能力。在实际应用中，排水挤密加固技术需要结合具体的工程条件和地质情况来确定施工方案。施工人员需要充分考虑地基的含水量、土层厚度、土壤性质等因素，以确保加固效果达到最佳。

3.2 换填土处理技术

换填土处理技术，作为公路桥梁软土地基加固的重要手段，其核心在于通过替换原有软土，以性能更优的土壤或材料填充地基，从而大幅提升地基的承载能力和稳定性。在实际操作中，换填土处理技术首先需要软土地基进行彻底清理，确保地基表面无杂物、无软弱土层。根据地基的实际情况和设计要求，选择合适的换填材料，如高性能土壤、碎石、砂砾等。这些材料通常具有较高的强度和稳定性，能够有效提升地基的承载能力。换填过程中，严格控制换填层的厚度和压实度，确保换填材料能够紧密填充地基空隙，形成稳定的地基结构。还需注意排水措施的设置，以避免换填层内部积水，影响地基的稳定性。换填土处理技术的优势在于其能够针对软土地基的弱点进行精准加固，通过替换软弱土层，从根本上提升地基的承载能力。

3.3 强夯技术

强夯技术，作为公路桥梁软土地基施工中的核心关键技术，以其高效能、低成本的特点，成为解决软土地基强度不足问题的优选方案。该技术又称动力固结法，通过利用15至45吨重的重锤对地面进行反复自由落体夯实，借助重锤的巨大冲击力，有效排出软土地基中的水分，同时压实地基内部的空隙，显著提升地基的承载力。强夯技术的优势不仅在于其显著的处理效果，更在于其施工过程的简便与成本的经济性^[3]。实操过程中可

能产生的噪音问题也不容忽视。为确保施工过程的环保性，施工前在周边区域安装隔音设施，以减轻噪音对周边居民的影响。随着技术的不断进步，强夯技术的应用范围也在不断扩大。从最初的砂石地基，到如今已能适用于细砂类土壤，强夯技术的适用性和灵活性得到了显著提升。其处理原理独特，但在粉土施工中的应用仍受限。因此，在实际应用中，工作人员需根据现场具体情况，综合考虑地基类型、施工条件等因素，选择最合适的软土地基施工技术。

3.4 深层密实加固技术

深层密实加固技术，其核心在于通过夯实、振动及挤压等物理方法，对深层软弱土层进行振密或挤密处理，从而显著提升地基的强度和稳定性。在实际操作中，深层密实加固技术通常利用振动打桩机、强夯机等专用机械设备，对地基进行高频振动或强力夯实。这些设备产生的巨大能量，能够有效传递至深层土壤，使土壤颗粒之间产生相对位移，小颗粒填充大颗粒间的空隙，从而实现土壤的密实化。该技术还可结合挤密法，通过在软土地基中成孔并填入砂、石、土或其他高强度材料，形成挤密桩。挤密桩与周围土壤共同作用，形成复合地基，进一步提升地基的承载能力。

深层密实加固技术的优势在于其加固深度大，能够处理中厚层及深层软土地基；该技术加固效果显著，能够大幅提升地基的强度和稳定性。

3.5 高压喷射注浆技术

高压喷射注浆是一种高效、先进的软土地基加固技术，特别适用于公路桥梁等基础设施建设中的软土地基处理。该技术利用高压设备将浆液或水、空气等介质以20~40MPa的高压射流形式，从喷嘴中喷射出来，冲击、切割并扰动土体，同时钻杆逐渐提升，将浆液与土粒强制搅拌混合。在高压喷射注浆法中，浆液与土粒的混合过程是关键。在高压射流的冲击下，土体被切割、破碎，形成空穴和裂隙，而浆液则迅速充填这些空穴和裂隙，并与土粒充分混合，形成新的固结体。这些固结体具有较高的强度和稳定性，能够有效提升地基的承载能力。高压喷射注浆法还具有可控性强的特点。通过调整喷射压力、提升速度、喷嘴直径等参数，可以精确控制固结体的形状、大小和强度，以满足不同工程需求。这种灵活性使得高压喷射注浆法在复杂地质条件下的应用更加广泛。

3.6 孔内深层强夯法

孔内深层强夯法（DDC法）是一种高效的深层地基处理方法。该方法通过机具成孔至预定深度，然后自下而上分层填料并强夯，形成高承载力的密实桩体和强

力挤密的桩间土。这种技术适用于素填土、杂填土、砂土等多种地基，还能利用建筑垃圾、工业废料等作为填料，实现资源的再利用。DDC法的技术特点显著。首先，它采用特制重锤进行夯击作业，由于桩锤直径小，能产生数千 $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}^2$ 的高压强动能，单位面积夯击能量远大于传统的强夯法。施工时由深及浅在孔内分层填料、分层强夯击或边填边夯，具有高动能、高压强、强挤密作用，加固深度大，最深可达30m。再者，DDC法的桩锤形状多样，如尖锥杆状或橄榄形状，夯击时比平面锤更优越，能更有效地对下层填料进行深层动力夯、砸、压密，对上层新填料则是动力夯、砸、劈裂和强制侧向挤压。DDC法的应用效果显著。它能显著提高地基的密实度和抗剪强度，改善土的变形特性，能消除地基土的湿陷性和液化性，增强地基的承载力和稳定性。处理后的复合地基整体刚度均匀，沉降变形小，地基压缩模量高，承载性状好。

3.7 堆载预压处理技术

堆载预压处理技术是一种针对软土地基进行加固的有效方法。该技术通过在软土地基上施加一定的堆载，利用堆载产生的压力使地基土壤逐渐固结，从而提高地基的强度和稳定性。在实际操作中，堆载预压处理技术通常分为两个阶段。在软土地基上堆放足够的重物，如沙袋、石块等，以产生足够的预压荷载^[4]。这一步骤的目的是通过施加外部压力，加速地基土壤的排水和固结过程。在堆载过程中，需要严格控制堆载的速率和总量，以避免地基因压力过大而产生过大的变形或破坏。随着堆载时间的延长，地基土壤中的水分逐渐排出，土壤颗粒间的空隙逐渐减小，地基的强度和稳定性逐渐提高。当达到预定的固结时间后，卸载堆载，此时地基已具备一定的承载能力，能够满足后续工程建设的需要。

堆载预压处理技术的优势在于其加固效果显著，且施工简便、成本相对较低。但该技术也存在一定的局限性，如需要占用较大的场地进行堆载，且堆载期间可能会对周边环境产生一定的影响。

4 提升软土地基加固技术的施工质量控制策略

软土地基加固技术是确保公路桥梁等基础设施安全

稳定的关键。为了提升施工质量，以下策略至关重要：

(1) 前期勘探与评估。在施工前，进行全面的地质勘探和评估是基础。通过静力触探、十字板剪切试验等方法，了解地基的力学特性和变形特性，为加固设计提供准确依据。(2) 优化加固方案。根据勘探结果，结合工程需求和环境条件，制定科学合理的加固方案。在选择加固技术时，要充分考虑地基类型、施工难度和成本效益，确保方案既经济又有效。(3) 严格施工控制。在施工过程中，要严格按照加固方案进行施工，确保施工质量和安全。对于堆载预压、高压喷射注浆等加固技术，要严格控制施工参数，如堆载重量、注浆压力等，避免对地基造成过大的扰动。(4) 实时监测与反馈。在加固施工过程中，要对地基的变形、沉降等进行实时监测。一旦发现异常情况，要及时调整施工方案，确保加固效果。同时，要建立反馈机制，对施工过程中的问题进行及时总结和改进。(5) 加强人员培训与管理。施工人员是确保加固施工质量的关键因素。要加强对施工人员的培训和管理，提高他们的专业技能和责任意识。

结束语：公路桥梁软土地基加固技术的研究对于确保工程质量和安全具有重要意义。通过深入分析软土地基的特性及其对施工的影响，掌握了多种有效的加固技术。提升施工质量控制策略也为加固技术的实施提供了有力保障。随着技术的不断进步和创新，软土地基加固技术将更加完善，为公路桥梁等基础设施建设提供更加可靠的技术支持。

参考文献

- [1]陈永长.公路桥梁工程软土地基施工处理技术探析[J].交通世界2019,(25):48-49.析[J].黑龙江交通科技,2021,44(09):130+132.
- [2]张爽,公路桥梁工程软土地基施工中技术处理要点探析[J].名城绘,2020,8(3):65-66.
- [3]董业明.软土地基施工技术在道路桥梁施工的应用[J].国际援助,2020(14):107.
- [4]宋述评.公路桥梁施工中软土地基施工应用分析[J].黑龙江科学,2021,12(10):108-109.