

软基加固技术在路桥施工中的应用研究

左华

湖北长江路桥有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8310

[摘要] 软土地基的处理作为路桥施工中的重要环节，具有承载力低、变形大等特点，施工难度大且影响质量，因此，需要应用软基加固技术，确保施工质量和工程安全，进而提升路桥稳定能力，加快城市化进程。本文将以X公路桥梁工程为例，首先阐述软基加固技术在路桥施工中的应用难点与要点，其次重点分析软基加固技术在路桥施工中的具体应用，提出更加高效、经济、可持续的解决方案，以期有效解决施工质量问题，避免地基沉降、路面开裂等现象发生，为路桥建设领域的持续创新提供有益参考，推动城市化进程的稳健发展。

[关键词] 软基加固技术；路桥施工；软基换填技术；排水固结技术；地基强夯法

Research on the Application of Soft Foundation Reinforcement Technology in Road and Bridge Construction

Zuo Hua

Hubei Changjiang Road and Bridge Co., Ltd.

[Abstract] The treatment of soft soil foundation, as an important part of road and bridge construction, has the characteristics of low bearing capacity and large deformation. It is difficult to construct and affects the quality. Therefore, it is necessary to apply soft soil reinforcement technology to ensure construction quality and engineering safety, thereby improving the stability of roads and bridges and accelerating the urbanization process. This article will take the X highway bridge project as an example to first explain the application difficulties and key points of soft foundation reinforcement technology in road and bridge construction. Secondly, the specific application of soft foundation reinforcement technology in road and bridge construction will be analyzed, and more efficient, economical, and sustainable solutions will be proposed to effectively solve construction quality problems, avoid foundation settlement, pavement cracking, and other phenomena, provide useful references for continuous innovation in the field of road and bridge construction, and promote the steady development of urbanization.

[Key words] Soft foundation reinforcement technology; Road and bridge construction; Soft foundation replacement technology; Drainage consolidation technology; Ground compaction method

随着国家公路网及农村公路建设的不断推进，道路桥梁建设实现快速增长，不仅出界了区域经济发展，还有效改善了人们的生活环境。然而，在进行路桥施工作业时，会出现软土地基问题，对施工效率、质量及安全造成严重影响。软土地基具有稳定性差、渗透性弱、压缩性高以及抗剪强度不确定性等特征，这些问题极易导致路面侵蚀、下沉和硬化，不仅会严重影响路桥的整体施工质量，还会缩短其使用寿命，增加安全隐患^[1]。所以，为了克服这些挑战，确保路桥施工工作的顺利开展，施工人员必须深入了解并充分发挥软基加固技术的作用与优势。通过科学合理的软基加固处理，能够保证工程质量，提高其物理力学性能，使其达到路桥施工的技术标准，从而确保施工建设的质量与效率。因此，本文对软基加固技术在

路桥施工中的应用进行深入研究，对于提升工程质量、保障交通安全具有重要意义。

1 软基加固技术在路桥施工中的应用难点

1.1 地基渗透性较弱

软土地基的一个显著特点是其渗透性较弱。这主要是因为软土地基中含有大量的天然水分，土质之间的缝隙较大，空隙比值通常在1~2之间，综合含水量往往超过45%，这种高含水量和松散的土质结构导致水分在软土地基中的流动速度缓慢，难以迅速排出，不仅会影响地基的固结速度，还会降低地基的强度和稳定性，给路桥施工带来极大的挑战。

1.2 地基压实处理难度大

由于软土地基中含有较高的水分，土壤颗粒之间的摩擦力

减小,使得土壤易于被压缩,所以在压实处理过程中,需要施加更大的外力才能达到理想的压实效果。同时,由于软土地基的不均匀性,压实过程中还容易出现局部沉降和变形等问题,也进一步增加了压实处理的难度。此外,在开展路桥施工工作的过程中天气也会影响施工效果,增加地基压实处理难度,比如,暴雨天气会导致路基周围水位变高,软土地基储存大量雨水,呈饱水状态,降低承载力,进而危害路桥工程整体安全。

1.3 地基强度等级低

软土地基的强度等级通常较低,其承载能力和抗剪强度有限。未经夯实、加固或换填处理的软土地基,在施工后会因其自身强度等级低、结构稳定性差等特征,严重影响路桥地基的稳固性,导致路桥结构在荷载作用下发生沉降、开裂甚至坍塌等严重问题,不仅影响路桥的整体施工质量,以及使用功能和安全性,还会造成巨大的经济损失和社会影响。

2 软基加固技术在路桥施工中的应用要点

2.1 技术选择原则

技术选择是软基加固工程的首要任务。在选择加固技术时,应充分考虑地基的工程地质、水文条件、施工条件、投资规模、工期要求、经济成本以及环境保护等因素^[2]。具体而言,应遵循以下原则,针对性原则,根据地基的具体问题选择合适的加固技术;经济性原则,显著提高加固效果,并尽量降低工程成本;可行性原则,确保所选技术便于施工操作,并且不会对环境造成严重影响。如图1所示。

加固技术	软土类型	软土厚度/m	施工工期	造价水平
换填法	淤泥质土、杂填土	≤ 3	较短	较低
强夯置换法	淤泥质土、素填土	3~8	较短	较低
水泥土搅拌桩	淤泥质土、粉土、沙土	5~25	较长	较高
高压喷射注浆	淤泥质土、粉土、砂土	5~30	较短	较高
真空预压	饱和粉土、黏性土	> 10	较长	较低

图1 软基加固技术适用条件对比

2.2 施工准备

施工准备是确保软基加固工程顺利进行的基础。在施工前,应做好准备,首先对地基进行详细的勘察和测试,了解地基的土质、含水量、承载力等关键指标;其次,从实际出发,成立专门施工管理机构,制定详细的施工方案和计划,包括加固技术的选择、施工流程的安排、人员设备的配置等,明确其工作职责;最后,做好安全教育培训及技术交底工作,加强软基加固技术教育培训,提高施工人员的综合素质及专业能力,使其能够应用专业知识,根据相关操作流程高效开展施工工作,提高施工质量。同时,确保施工人员能够对施工设备、检测仪器以及施工材料等进行严格检查,满足相关规范及设计要求的同时,做好施工现场“三通一平”准备工作。

2.3 质量控制

质量控制是软基加固工程的核心环节,贯穿于施工全过程。施工时应强化质量管理体系建设,严格控制各项施工参数和指标,确保加固效果达到设计要求。在材料控制方面,加强对原材料的质量检测,确保材料性能符合标准;在工艺控制方面,对施工过程进行全程监控,及时发现并纠正施工中的问题,严格按照既定的工艺流程与规范施工,确保施工质量和进度;

在检测控制方面,对加固后的地基进行严格的检测和评估,通过钻芯取样、静载试验等检测手段,确保其满足设计要求和用户需求。

2.4 效果检测与评估方法

效果检测与评估是验证软基加固效果的重要手段。在加固完成后,一般采用现场监测和室内试验相结合的方法对地基进行检测和评估,验证加固效果是否达到预期。常用的检测方法包括地表沉降观测、水平位移观测、孔隙水压力监测等,常用评估方法包括对比分析土体含水量、压缩系数、抗剪强度等指标,观察地基在长期荷载作用下的稳定性表现。通过检测和评估,可以及时发现加固工程中的问题,为后续的施工和维护提供重要参考,指导后续的养护维护工作。

3 软基加固技术在路桥施工中的具体应用

3.1 工程概况

X公路桥梁工程坐落于经济开发区的装备制造区,全长16公里,是一项采用一级公路技术标准建设的重要基础设施。该项目以高标准设计为核心,双向四车道布局确保了交通流量的高效管理,设计速度高达100公里/小时,路基宽度达到30米,确保了交通的流畅与安全。桥涵部分则遵循公路1级荷载标准,与路基同宽,为车辆行驶提供了宽敞的空间,有效保障了行车的流畅性与安全性。路面采用高性能的改性沥青混凝土,旨在提升行车舒适度和使用寿命。然而,该工程面临地理环境复杂的挑战,特别是存在多处软土路段,施工难度大。因此,需使用软基加固技术,以确保工程质量和行车安全,推动区域经济社会的持续发展。软土地基处理工序流程如图2所示。

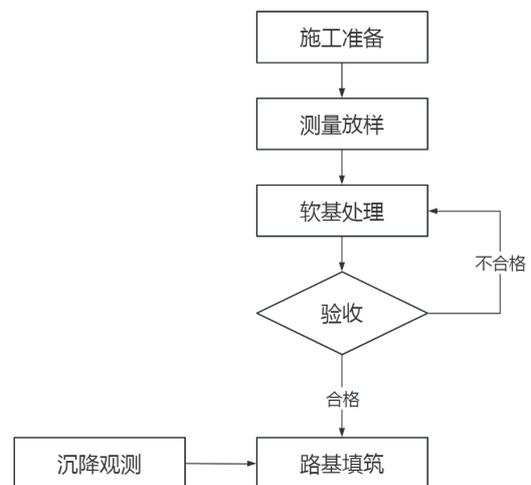


图2 软土地基处理工序流程图

3.2 具体应用

3.2.1 地基强夯法

在路桥工程中,地基强夯法能有效改善软土地基的软弱性,显著增强土壤密实度,具有要求相对较低,夯实效果明显,且成本较低,技术和经济优势显著的优点^[3]。应用强夯法处理软土地基时,需遵循“轻夯多遍”原则,通过试夯观察软土地基隆起情况,合理控制夯击次数,适时调整重锤的夯击参数。同时,应密切关注土基破坏情况,如夯击坑周围隆起明显或击打区域出现侧向位移时,及时停止夯击并记录沉降量,防止土体结构破坏,当夯坑总沉夯量超过60cm时,及时收锤,确保加固效果^[4]。地基强夯法流程为前期准备→设备选择→强夯参数→点夯相关事宜→试夯→夯击作业,如图3所示。

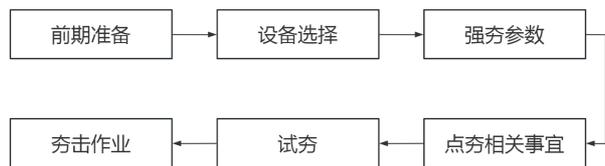


图3 地基强夯法施工工艺流程图

具体操作时,对地基进行清理和平整,确保无杂物干扰,每层厚度孔在40~50cm;接着,根据地基特性和加固需求,选择合适的强夯设备,如50t履带式起重机,夯锤直径为2.2~2.4m,铸钢锤重量为16.5t,配备140W推土机、水准仪以及起重机等;再依据地质勘察结果,确定合适的夯击能、夯击次数等参数,第一次夯击位置和第二次夯击位置保持10m的距离,处理深度为5~6m;随后,在预定位置进行点夯布置,并通过试夯验证参数合理性,每个夯点连续夯击6~8次,两次时间间隔为14d;最终,按既定方案进行夯击作业,直至达到设计要求的加固效果,单次夯击能量达到2500kN·m。

3.2.2 软基换填技术

软基换填技术是路桥施工中另一种常用的软基加固方法,旨在通过替换原有软弱土层,提高地基的稳定性和承载能力。该技术严格按照设计要求执行,确保施工质量和安全,以及地基的稳定性和承载能力^[5]。在换填过程中,填料的分层松铺厚度是关键参数之一,需根据地基实际情况和设计要求进行精确控制,厚度<50cm,压实度达到90%。填料的选择也至关重要,应选用质地坚硬、无裂缝、无风化且粒径均匀的优质材料,如透水性良好的碎石、砂砾等,对于石渣填料,严格控制其含水量和级配。在回填碎石土或强风化石渣时,采用灌砂法进行检测,以验证填料的密实度和均匀性。而对于回填中粗砂,需控制碾压遍数不少于3遍。此外,在回填过程中,每填筑一层都需进行测量定线,确保回填的准确性和均匀性,在回填完成后,对地基的沉降量、水平位移等关键参数进行量测,以评估地基的加固效果,并提交根据测量资料所绘制的纵断、横断面图,以供后续施工和验收参考。

3.2.3 排水固结技术

作为路桥软土地基加固的有效手段,排水固结技术利用降低土壤含水量的原理,增强地基的固结性能,确保路桥地基的稳定。实施时,先在软土层上铺设砂垫层,形成排水通道,再通过加压或挤压软土,加速地基土的排水固结过程,从而提高地基的强度和稳定性。对于含水量特别大的软土地基,施工人员在初次压实后还需进一步采取措施,如增设排水井等,加速排水过程,提升地基的固结速度和效果,为路桥施工提供坚实的地基支撑^[6]。具体操作如下。首先,在设置排水井时,需根据地基的实际情况和设计要求进行精确布置,设置排水井时,需确保排水体内间距保持在1~1.2m,且排水板深度进入硬土层,深度不宜超过30m,显著提高排水效果。针对稳定性较差的地基,通过铺设土工格栅的拉伸强度和稳定性来增强路堤的整体稳定性。其次,为了实时掌握路基的排水情况,可以使用自动记录仪进行监测,通过自动记录仪记录的数据,及时了解路基的排水进度和效果,准确计算路桥地基的工后沉降误差,为后续的施工处理提供重要参考。一般情况下,路基沉降误差需控制在30cm以内,以确保施工质量和路基的稳定性;对于桥梁、涵洞等结构物,其工后误差应小于15cm,以满足设计要求和需求。同时,施工人员在填筑路基、预压处理后,还应及时监测路基沉降情况,根据监测结果进行相应的调整和处

理。最后,砂垫层的铺设厚度也是排水固结技术中的关键参数之一,砂垫层不仅能够起到排水作用,还能增强地基的承载能力。通常,砂垫层厚度应保持在12~25cm之间,确保排水顺畅并增强地基承载力。

3.2.4 粒料桩施工技术

粒料桩施工也是路桥软土地基加固的一种有效方法,其施工工艺流程严谨且规范。具体工艺流程如图4所示。

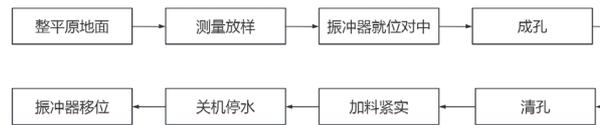


图4 粒料桩施工工艺流程图

具体操作为:(1)在施工规定方面,粒料桩的材料选择尤为关键。选择含沙量5%以下的沙桩,有助于地基的排水固结和承载力的提升,或者渗透系数大于 $5 \times 10^{-2} \text{mm/s}$ 的中、粗砂,透水性强,易于密实,能够有效形成坚固的桩体,增强地基的整体稳定性,以确保良好的透水性和固结性能。(2)在施工准备阶段,施工单位需提前提供砂、碎石等材质的检验报告,确保材料质量达标施工单位提前提供用于工程的砂、碎石材质检验报告,以及施工设备和施工方法,并报监理工程师批准,确保施工质量的前提和基础。(3)正式施工前,进行成桩试验至关重要,通过试验调整施工工艺参数,验证施工方案的可行性,为后续大面积施工奠定坚实基础。试桩时,业主、监理、设计、施工单位代表到场见证,共同监督试验过程,确保试验的公正性和准确性。需要注意的是,振冲器需配备出水口水压为400~600kPa,流量20~30m³/h的供水设备,以确保振冲器能够稳定、高效地工作。此外,配备起吊能力大于100~200kN的起重机,以满足试桩过程中对桩体提升和定位的需求。

综上所述,通过研究可以发现软土地基由较为松弛的土壤和含有孔隙的砂砾组成,软基加固技术在路桥施工中的应用难点包括地基渗透性较弱、地基压实处理难度大、地基强度等级低。因此,在实际施工过程中应严格遵循技术选择原则,做好施工准备、质量控制以及效果检测与评估工作,结合施工现场实际状况,并综合考虑以往施工经验,通过有效软基加固技术,如地基强夯法、软基换填技术、排水固结技术、粒料桩施工技术,显著提升加固效果,加速推进路桥工程建设。

【参考文献】

- [1]庄伟东.市政路桥施工中的软基加固技术研究[J].散装水泥,2022,(06): 145-147.
- [2]于滨.软基加固技术在市政路桥施工中的应用[J].汽车画刊,2024,(11): 89-91.
- [3]吴奇峰.市政路桥施工中的软基加固技术[J].城市建设理论研究(电子版),2022,(25): 85-87.
- [4]王光才.路桥施工中的软土地基施工技术[J].交通世界,2022,(13): 97-99.
- [5]李旭东,吴法铨.道桥施工中软基加固技术的应用研究[J].运输经理世界,2021,(03): 93-94.
- [6]杨洋.软基加固技术在路桥施工中的应用[J].汽车周刊,2025,(03): 151-153.

作者简介:左华,1983.04.18,男,湖南邵阳,汉族,本科,副总工。