

市政道桥施工中软土基础的处理技术

文 / 徐劲松 衡宇建设集团有限公司

摘要：为解决市政道桥施工中软土基础带来的挑战，保障工程质量与稳定性，文章通过综合运用地基加固、软土换填、深层搅拌及桩基施工等多种技术，详细阐述各技术具体实施方式，如地基加固中的土工合成材料与高压喷射灌浆方法，软土换填对土层选择与施工把控要点等。经研究发现，从强化施工质量把控、引入先进设备、推动技术创新及增强环境适应性等多维度着手，可显著提升软土基础处理技术效能，确保市政道桥在软土地基上稳固建设，为后续同类工程提供技术参考与实践指导。

关键词：市政道桥；软土基础；处理技术；地基加固

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.08.050

引言

随着城市化的快速推进，市政道桥建设在城市基础设施完善中扮演着愈发关键的角色。然而，软土基础广泛分布，成为道桥施工的棘手难题。软土因其独特的物理力学性质，如高含水量致使土体松软、大孔隙比降低结构密实度、强压缩性易引发过度沉降，以及低抗剪强度削弱土体稳定性，极大地影响地基承载能力。在实际工程中，软土基础常引发道桥路面开裂、桥墩倾斜等问题，严重危及工程安全与耐久性。为满足城市日益增长的交通需求，确保市政道桥稳固可靠，亟需深入探索高效、可靠的软土基础处理技术，以提升地基性能，保障道桥工程质量与长期使用安全。

一、市政道桥施工软土基础的常见处理技术

（一）地基加固技术

1. 土工合成材料加固

土工合成材料加固软土基础主要基于其加筋、隔离、排水和防护等功能。这种材料具有高强度、耐腐蚀、质量轻等特性，能有效改善软土地基的力学性能。在实际应用中，如铺设土工格栅，通过格栅与土体之间的相互咬合作用限制土体的侧向位移增强土体的整体性和稳定性。施工时，首先要确保场地平整避免土工格栅铺设过程中出现褶皱或破损。铺设过程应严格按照设计要求控制搭接长度和铺设方向，保证格栅间的连接牢固。同时在格栅铺设完成后，及时进行覆土防止长时间暴露而受损。土工合成材料加固不仅施工便捷，能有效缩短工期，还能减少对周边环境的扰动。在一些对工期要求较高的市政道桥项目中，土工合成材料加固技术发挥了重要作用，显著提升了软土地基的承载能力，保障了道桥结构的稳定。

2. 高压喷射灌浆加固

高压喷射灌浆加固是利用高压喷射设备，将水泥浆等固化剂以高速喷射到软土层中，使土体与固化剂强制混合形成具有一定强度和抗渗性的加固体。该技术通过高压喷射流的冲击力、切割力和挤压力，破坏原有的土体结构使固化剂与土体充分交融。在施工过程中，对喷射压力、喷射角度、提升速度等参数的控制尤为关键^[1]。

例如，喷射压力需根据软土的性质和加固深度进行调整，确保固化剂能够有效渗透到土体中。同时，要注意相邻喷射孔之间的间距和施工顺序，避免出现加固不均匀的情况。高压喷射灌浆加固适用于多种软土地质条件，能够有效提高地基的承载力减少沉降。在处理较厚的软土层时该技术能形成连续的柱状或板状加固体，为市政道桥工程提供坚实的基础支撑。

（二）软土换填技术

1. 换填土层的选择与施工方法

换填土层的选择对软土换填技术的成效起着决定性作用。一般优先选用透水性好、强度高且压缩性低的材料，如中粗砂、碎石、灰土等。中粗砂具有良好的透水性，能有效加速软土中水分排出，提高地基固结速度；碎石则凭借较高的强度，可显著增强地基承载能力。施工时，首先要准确确定换填范围与深度，通过现场勘察和地质资料分析来明确。然后进行软土开挖，采用分层分段开挖方式避免对周边土体产生过大扰动。开挖完成后，对基底进行平整和夯实处理，确保基底的平整度和压实度。接着铺设换填材料，同样分层铺设，每层厚度严格控制在设计范围内，并采用机械或人工夯实，保证每层的压实质量。

2. 换填效果的控制

换填效果控制是确保软土换填技术达到预期目标的关键环节。在施工过程中，对换填材料的质量检测不可或缺。每一批次的换填材料都要进行抽样检验，检查其颗粒级配、含水量、强度等指标是否符合设计要求^[2]。施工完成后通过多种检测手段评估换填效果。例如采用静力触探试验，检测地基土的贯入阻力以此判断地基强度是否满足设计标准；利用沉降观测，持续监测地基的沉降情况，若沉降量在规定范围内且趋于稳定，表明换填效果良好。同时，还需对换填层的均匀性进行检查避免出现局部强度不足的情况。通过严格的换填效果控制，能切实保障市政道桥软土基础的稳定性为后续工程建设奠定坚实基础。

（三）深层搅拌技术

1. 深层搅拌的原理与施工工艺

深层搅拌技术旨在改良软土地基性能。其原理是通

过机械搅拌促使软土与固化剂充分交融发生复杂物理化学反应。以水泥作为常用固化剂为例，遇水后，水泥中的硅酸三钙、硅酸二钙等成分迅速水解，释放出钙离子、氢氧根离子等，与软土中的黏土矿物进行离子交换与团粒化反应，逐渐形成坚固的空间网状结构，使软土硬结提升强度与稳定性。施工时，首要步骤是精准测量放线，确定搅拌桩位置。搅拌机械就位后，需调试设备确保运行正常。搅拌叶片下沉过程，以均匀速度钻进，同时按设计比例喷入固化剂，保证土体与固化剂初始混合。到达设计深度后，搅拌叶片反转提升，此阶段更要严格控制提升速度与搅拌力度，通常提升速度不宜过快确保固化剂与软土全方位、深层次搅拌均匀，形成质量稳定的加固桩体。

2. 深层搅拌的优缺点

深层搅拌技术优势显著（如图 1 所示）。在软土地基处理中它能大幅提升地基承载能力，有效控制沉降。某市政道路工程，经深层搅拌技术处理后，地基承载能力提高超 50%，沉降量降低约 70%。该技术绿色环保，施工无振动、低噪声，对周边建筑和居民生活干扰小。而且设备相对简单，操作便捷，成本低于部分大型桩基施工。然而该技术也存在局限。施工质量高度依赖操作人员技能，若搅拌速度、固化剂喷射量控制不当，易出现搅拌不均、桩体强度离散等问题。在含有大量砾石、大块石的软土地层，搅拌设备易受损，搅拌效果大打折扣；软土中有机质含量过高时，会阻碍水泥水化反应降低加固效果。



图 1 深层搅拌施工

（四）桩基施工技术

1. 桩基的类型与选用

桩基类型多样常见的有预制桩和灌注桩。预制桩又分为混凝土预制桩和钢桩，混凝土预制桩制作方便、成本较低，且桩身质量易控制；钢桩则强度高、穿透能力强。灌注桩根据成孔方式不同包括钻孔灌注桩、冲孔灌注桩和挖孔灌注桩等。钻孔灌注桩适用于多种土层，施工时无振动、无挤土；冲孔灌注桩则能穿透较硬地层；挖孔灌注桩在人工可操作的条件下，能直观检查桩孔质量^[3]。

在软土基础中选用桩基类型，需综合考虑地质条件、荷载大小、施工环境等因素。若软土层较厚且地下水位较高，可优先考虑钻孔灌注桩；若对桩身强度和垂直度要求极高，混凝土预制桩可能更为合适。

2. 桩基施工方法与注意事项

桩基施工方法因桩型而异。预制桩常用锤击法、静压法沉入地基。锤击法施工速度快，但噪音和振动较大；静压法无噪音、无振动，对周边环境影响小。灌注桩施工时，钻孔灌注桩需先利用钻机成孔，再吊放钢筋笼、浇筑混凝土；冲孔灌注桩则通过冲击锤冲孔。施工过程中有诸多注意事项。如预制桩施工时要控制好桩的垂直度和入土深度，避免桩身倾斜或断裂；灌注桩施工时，要保证泥浆质量，防止塌孔，同时确保混凝土浇筑的连续性，避免出现断桩现象。在灌注桩施工中，钢筋笼的下放速度也需严格把控，过快可能导致钢筋笼变形，过慢则会影响到施工进度，并且在浇筑混凝土时，要实时监测混凝土的坍落度保证其符合设计要求。

3. 桩基对软土基础的改善作用

桩基能够有效改善软土基础性能。首先，桩基凭借自身较高的强度和刚度，将上部结构的荷载传递到深层坚实土层，大大提高软土基础的承载能力减少地基沉降。其次，群桩基础可对周围软土产生挤密作用，增强软土的密实度和稳定性。在一些大型市政道桥工程中，软土基础采用桩基后，经监测地基沉降量明显减小结构稳定性显著提升，保障了道桥在软土地质条件下的安全使用。此外，桩基还能提升软土基础的抗震性能。在地震频发区域的市政道桥建设中合理布置的桩基可以有效分散地震力，降低地震对道桥结构的破坏风险，保障交通生命线在地震灾害中的正常运行。

二、提高市政道桥软土基础处理技术应用效果的策略

（一）强化施工质量控制

在市政道桥软土基础处理施工中强化质量控制至关重要。首先，需建立完善的质量管理制度，明确各环节的质量标准与责任人，从材料采购到施工工艺的每一步骤都严格把控。例如，在软土换填技术中，对换填材料的质量检测必须细致，确保其颗粒级配、强度等指标符合设计要求，杜绝不合格材料进入施工现场。施工过程中加强现场监督力度。安排专业的质量监督人员，对地基加固、深层搅拌等关键工序进行实时监控^[4]。一旦发现施工参数不符合规范，如高压喷射灌浆（如图 2 所示）加固时的喷射压力不足应立即要求施工人员整改，保证每一道工序都能达到预期质量目标。此外，还应注重施工人员的培训与管理。定期组织质量培训，提升施工人员的质量意识与操作技能，使其清楚了解软土基础处理的要点与质量要求。通过严格的质量控制，可有效减少因施工质量问题导致的软土基础处理效果不佳情况，确保市政道桥工程的稳定性与安全性。

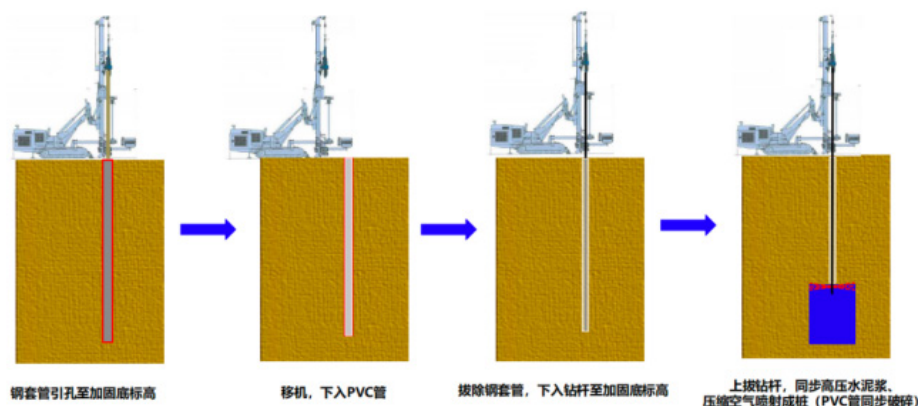


图2 高压喷射灌浆

(二) 采用先进的施工设备

先进的施工设备是提升软土基础处理技术应用效果的有力保障。在地基加固施工中,采用新型的土工合成材料铺设设备,能够提高铺设效率与平整度保证土工合成材料发挥最佳加固效果。例如,自动化的土工格栅铺设机械,可精准控制铺设位置与拉伸程度,避免人工铺设产生的误差。对于深层搅拌技术,先进的搅拌设备能够更精确地控制搅拌深度、速度与均匀度。如智能化的深层搅拌桩机,可通过传感器实时监测搅拌参数,并根据预设程序自动调整,确保软土与固化剂充分混合,提升桩体的强度与稳定性。在桩基施工中,先进的打桩设备能提高桩的打入精度与效率。液压式打桩机相比传统打桩机,具有噪音小、振动小、打击力可控等优点,不仅能减少对周边环境的影响还能更好地保证桩基质量。采用先进的施工设备,不仅能提高施工效率还能从根本上提升软土基础处理的质量与效果。

(三) 技术优化与创新

技术优化与创新是解决软土基础处理难题的核心驱动力。一方面,对现有处理技术进行优化。例如,在软土换填技术中,研究不同换填材料的组合方式,通过试验对比,找到既能满足工程要求又经济合理的材料搭配。同时,优化换填施工工艺,如采用分层压实与动态监测相结合的方法,确保换填层的压实度均匀且符合设计标准。另一方面,积极探索创新技术。比如,研发新型的固化剂,提高软土的固化效果与强度增长速度。利用纳米技术,开发具有特殊性能的土工合成材料,增强其对软土的加固能力^[5]。此外,结合数字化技术,建立软土基础处理的数值模拟模型,通过模拟分析不同施工方案的效果,提前优化施工设计减少现场施工的盲目性,为技术创新提供有力支持。

(四) 提高环境适应性

市政道桥工程所处环境复杂多样提高软土基础处理技术的环境适应性意义重大。在湿地、河滩等含水量极高的软土区域,传统处理技术可能效果不佳。此时,可采用针对性的技术措施,如设置排水板结合堆载预压的方法,加速软土中水分的排出,提高地基强度。在震

频发地区,软土基础处理需考虑抗震性能。通过采用抗震桩型或增设地基隔震装置,增强软土基础的抗震能力,减少地震对道桥结构的破坏。同时,还需关注环境保护。在施工过程中,选择环保型的材料与施工工艺,减少对周边土壤、水体的污染。例如,采用无泥浆的桩基施工技术,避免泥浆排放对环境造成的负面影响。提高软土基础处理技术的环境适应性,既能保证工程质量又能实现工程与环境的和谐共生。

结语

综上所述,在市政道桥施工面对软土基础这一复杂难题时,桩基施工技术展现出了卓越的适用性与有效性。通过对预制桩和灌注桩等多种类型的合理选用,依据地质条件、荷载需求及施工环境等因素精准匹配桩型,为工程奠定坚实基础。

在施工过程中,无论是预制桩的锤击法、静压法,还是灌注桩的成孔浇筑工艺,都严格把控施工方法与注意事项,确保了桩基质量。实践证明,桩基施工技术显著改善了软土基础性能,大幅提升承载能力,有效控制地基沉降,增强结构稳定性。在众多大型市政道桥工程中已得到成功验证。未来,随着技术的不断进步,桩基施工技术有望在软土基础处理领域进一步创新,为市政道桥建设提供更可靠、高效的解决方案,推动城市基础设施建设迈向新高度。

参考文献

- [1] 杨长文. 市政道桥工程中软土路基施工处理技术研究[J]. 汽车周刊, 2024, (11): 252-254.
- [2] 黄丽丽. 市政道桥施工中预应力技术应用分析[J]. 运输经理世界, 2022, (28): 98-100.
- [3] 王海涛. 混凝土技术在市政道桥施工中的应用[J]. 河南科技, 2020, 39(26): 112-114.
- [4] 侯奇男. 探讨市政道桥工程施工中常见的问题及应对措施[J]. 四川水泥, 2016, (06): 21.
- [5] 孙必祥, 黄诚. 软土地基处理技术在基础工程建设中的应用[J]. 新城建科技, 2024, 33(01): 145-147.

作者简介: 徐劲松, 1974-07, 男, 汉族, 六安市叶集区人, 一级建造师市政及房建专业, 本科学历, 研究方向: 市政道桥。