

市政道路软土地基沉降加固施工技术研究

钟天资

(深圳市政集团有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要 在城市道路建设中,软土地基沉降是一个普遍且严重的问题,它直接关乎道路建设的质量与使用寿命。本文深入探讨了市政道路软土地基沉降的成因及其带来的危害,通过对软土地基特性的细致剖析,研究了相应的沉降加固施工技术,提出了一系列有效的加固处理方法,包括:排水固结法,适用于提高地基的承载力和稳定性;粉喷桩施工技术,可用于增强地基的整体强度;夯实法,适用于浅层地基的加固处理;土壤置换处理,针对地基土质不佳的情况进行改良;高压注浆法,用于填充地基中的空隙,提高密实度。本文旨在为市政道路建设领域提供有价值的技术借鉴。

关键词 市政道路;软土地基;沉降加固施工技术

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.004

0 引言

市政道路作为城市建设的基石,其质量优劣直接影响着城市的交通流畅度和居民的生活品质。然而,软土地基沉降问题始终是市政道路建设领域的一大挑战。软土地基的特征在于高度的流变性和可压缩性,以及较低的剪切强度,这使得它在外力作用下极易发生沉降。这种沉降不仅会导致道路结构变形,缩短道路使用寿命,还可能引发道路坍塌等严重的安全隐患。因此,对市政道路中的软土地基进行沉降加固处理,就显得尤为迫切和重要。

1 工程概况

某市的市政道路工程被策划为一条全长1 290.4米的城市次干路,其红线宽度达37米,设计时速设定为舒适的42公里。该道路布局科学合理,中央的机动车道宽敞明亮,宽达15米,确保了交通的流畅性。两侧各设有3.7米宽的非机动车道,为骑行者提供了安全与便捷。此外,道路外侧还贴心地规划了各宽3.7米的无障碍人行步道,体现了人文关怀的设计理念。在道路纵断面设计上,严格控制各项关键参数以确保行车平稳舒适。其中,最大纵坡严格限制在3%以内,最小纵坡为1.2%,而平均纵坡则被巧妙地设定为1.70%。同时,为保障行车安全,最大坡长被科学规划为200米;为满足道路设计的实际需求,最小坡长也不低于110米。此工程项目涵盖多个关键领域,包括道路建设、电力系统、污水处理、雨水管理、再生水利用、给水系统、桥梁施工、交通管理设施以及园林绿化等。施工团队将秉持工匠精神,严格按照施工图纸进行精心规划与

施工,整个工程预计将在约276天内高质量完成。高程范围被精心设定在52米至55米之间,地面高程则在53米至56米之间波动。至于土建施工部分,严格按照工艺要求,从下到上依次构筑了砾砂层、黏土层和素填土层,形成了一个稳固的道路地基持力层,为道路的长期安全使用奠定了坚实的基础。

2 市政道路软土地基的危害和影响因素

2.1 软土地基的危害性

软土地基作为市政道路施工中的一种特殊且棘手的地质条件,对工程顺利推进构成了巨大挑战。因其承载力和抗剪强度相对较低,若缺乏有效加固,施工后地基极易失稳,进而引发塌陷、沉降等一系列严重后果。特别是在市政道路通车后,持续的车载负荷会加剧路面凹凸不平的现象,这既严重影响道路交通的流畅性,又增加了交通事故的风险。因此,在市政道路工程中遭遇软土地基时,采取必要的加固措施尤为关键。只有经过妥善加固的软土地基路段,才能确保其使用寿命达到预期^[1]。

2.2 软土地基沉陷影响因素

软土地基沉陷的产生是多重因素综合作用的结果。当土质中易溶盐含量较高时,软土的敏感性会显著提升,可能导致突发性沉陷;而当难溶盐含量占主导时,沉陷则可能呈现一定的滞后性。此外,软土的沉陷还与土体的含水量、天然孔隙比及所受压力等因素密切相关。具体而言,天然孔隙比越小、含水量越高,软土沉陷的风险就越大。在含水量和孔隙比相对稳定的情况下,随着所受压力的增大,软土的湿陷性也会相

应增强。然而，当压力达到某一临界值时，继续加压反而会导致湿陷性减弱。

3 市政道路软土地基沉降加固施工技术

3.1 各种加固技术的优缺点及适用范围

排水固结法是一种既经济又实用的地基处理技术，特别适用于含水量高、土层较厚的软土地基处理。从成本构成来看，排水设施的建设占据了该方法的主要支出部分。然而，在施工过程中，如何合理布置排水系统并精确控制预压荷载，以确保处理效果，成为主要挑战。相比之下，换填法能够迅速提升地基承载力，效果显著，但成本也相对较高，并可能受到土源供应的限制。因此，该方法更适合用于处理软土层较薄、面积较小的地基。而施工难度则主要体现在边坡稳定控制以及新填土层的压实作业上。强夯法以其施工速度快、效果显著而著称，但可能会对周边环境产生噪声和振动影响，因此主要适用于饱和度较低的粗颗粒地基。在成本方面，强夯法主要涉及设备租赁和施工费用。施工过程中的难点在于如何精确调控夯击能量和次数，以达到最佳处理效果。水泥搅拌桩法则是一种有效提升地基整体性和稳定性的方法，且对周边环境影响较小。然而，该方法成本较高，施工工艺也相对复杂，主要适用于淤泥质土、粉土等软弱地基的处理。

3.2 软土地基沉降量分析

鉴于软土具备高天然含水量、大天然孔隙比及高压缩性等物理特性，在路基施工中采用此类土壤时，确实常会导致地面沉降的现象。软土应用于路基所引起的沉降，可科学地划分为以下三个阶段：初始沉降阶段（ A_1 ）、固结沉降阶段（ A_2 ，也即沉降发展阶段）以及次固结沉降阶段（ A_3 ，可视为沉降逐渐稳定阶段的一个延续）。沉降总量的公式为：

$$A(k) = A_1(k) + A_2(k) + A_3(k) \quad (1)$$

式中，用符号 k 表示时间年份，将沉降过程细化为以下三个阶段来深入剖析：第一阶段为 $A_1(k)$ ，此时，道路工程已圆满完成，然而，路面表层随后便遭受了强烈的荷载作用，致使地基迅速产生了剪切变形。这一变化触发了软土层内部结构的调整过程。尽管地基沉降速度在一定程度上因孔隙水缓慢排出而得到减缓，但沉降现象仍不可避免地发生了。紧接着，地基沉降进入了名为 $A_2(k)$ 的发展期阶段。在这一关键阶段，软土地基的上部区域逐渐展现出显著的弹塑性特性。随着外部荷载的持续累积，土层结构因孔隙内水分的不断缓慢释放而变得更加密实。

此阶段的沉降速率相较于 $A_1(k)$ 阶段有所上升，但与后续阶段相比，其沉降速度仍相对平稳。最终，第

三阶段 $A_3(k)$ ，即地基沉降的稳定期。在这一阶段，孔隙中的水在持续外部荷载的作用下基本排出，地基发生蠕变并逐渐达到固结状态。因此，沉降趋势明显放缓，并逐渐趋于稳定^[2]。

本研究利用软土地基加固技术解决沉降问题，首先对软土地基的整体固结度 γ 进行分析，计算表示为：

$$1 - \gamma = (1 - \gamma_1)^{\omega} (1 - \gamma_2) \quad (2)$$

$$\gamma_1 = 1 - \exp \left[\frac{-8 \frac{Dk}{S^2}}{\frac{r^2}{r^2 - 1} \ln(r) - \frac{3r^2 - 1}{4r^2}} \right]$$

$$\gamma_2 = 1 - \sum_{h=0}^{\omega} \frac{2}{C^2} \exp(-C^2 \frac{D'k}{S^2})$$

式中， r 代表土体颗粒的半径，其单位为米（m）。 C 代表软土地基的压缩系数，单位为 $1/\text{kPa}$ ； γ_1 表示在水平渗流作用下，路基所达到的平均固结度，单位为 N/m^3 ，而 D 则是描述水平渗流方向上固结过程的矢量。相应地， γ_2 代表竖直渗流作用下的路基平均固结度，单位为 N/m^3 ， D' 则是竖直渗流方向上的固结矢量。固结度是衡量土体稳定性、变形特性及强度变化的关键指标。鉴于本项目中软土层稳定性欠佳且埋藏较深，决定采用水泥粉煤灰碎石桩加固技术。该技术旨在有效应对沉降问题，并大幅提高软土结构的承载能力^[3]。

3.3 原材料选择

在水泥的选取上，通常倾向于采纳强度等级不低于 35 级的普通硅酸盐水泥。若施工区域面临如腐蚀性地下水等恶劣环境条件，则需改选具备抗腐蚀性能的水泥品种。针对碎石规格，设定了严格的标准：碎石的最大粒径不可逾越 48 毫米，扁平及长条颗粒的含量须严格控制在总量的 15% 以内，同时，碎石必须保持纯净，不含任何杂质。在选择粗集料时，要优先考虑干燥、表面粗糙且纯净的玄武岩。这些玄武岩需满足一系列高标准要求：粘附性等级需达到 5 级或以上，吸水率必须低于 3%，软石含量亦不得超过 4%。至于细集料，则采用人工轧制的类型，其表面应保持清洁无杂质。细集料的表观相对密度需超过 2.5，含泥量应控制在 5% 以下，同时，砂当量也需保持在 50% 以上，以确保其质量。在粉煤灰的选择上，密度不得小于 2.0 克/立方厘米，粒径范围需在 0.002 至 1.8 毫米之间，且水分含量必须严格控制在 3% 以内。

3.4 施工工艺

CFG 水泥粉煤灰碎石桩是一种由碎石、石屑、水泥及粉煤灰等原材料，通过水的混合作用凝结固化而成的桩体。优化这些原材料的配比，可以大幅度提升桩

体的强度,使其强度等级达到C25的最高标准。这类桩体在加固承载力超过26 kPa的淤泥质土等复杂地基工程中展现出了极高的应用价值。CFG桩的施工流程条理清晰,严谨而有序,具体涵盖以下关键步骤:首先,进行全面的施工前准备工作,包括对施工设备的清点与检查,以及施工人员的合理调配,确保施工条件完备。其次,严格按照设计人员提供的配合比,精确计量并混合各种原材料,这是保证桩体质量的关键环节。其次,利用测量板精确测定施工边桩与基桩的位置,进行精确的桩位布置与放线。桩基定位准确后,启动钻孔作业,并通过钻杆芯管连续注入预先均匀搅拌的混凝土。在钻杆芯管内混凝土充盈时,及时提升钻杆,确保混凝土均匀填充桩孔。完成一根桩的施工后,桩机迅速转移至下一桩位,重复上述流程,直至所有桩体施工圆满结束^[4]。

3.5 质量保障措施

相关研究表明,CFG桩的施工质量受到多种因素的共同作用。为确保桩体的高质量构建,以下三个方面需予以高度重视:

1. 精细的桩间土回填作业:鉴于CFG桩具备高密度特性,施工时必须高度警惕桩位偏差和桩体折断的风险。因此,我们通常采取人工夯实或机械压实的方式,将基坑回填土仔细夯实,直至达到桩顶以上约1.2米的高度(允许有 ± 0.5 米的浮动范围)。施工结束后,还需进行反开挖作业,凿除桩头,从而更有效地保护并支撑地表结构。

2. 坍落度与提管速度的精确控制:为确保施工质量达标,必须严格按照设计的混合料配比进行施工,并将坍落度精准控制在60毫米左右。坍落度过高或过低均会对施工质量产生不良影响。在拔管过程中,应维持每分钟3米至4米的匀速提拔,并确保提拔动作与供料的连续性,从而避免流动性不佳进一步加剧塌落风险。

3. 施工顺序的合理规划:为尽量减少桩间土的扰动,建议优先采用圆环形或正方形网格状的布桩方式。在特定情境下,也可选择间隔跳打法进行施工,以进一步优化整体施工流程。

3.6 软土地基沉降结果分析

经过全面而细致的数据分析,发现加固技术在道路工程中的应用显著提升了各项物理力学性质。具体而言,虽然弹性模量增长了7.4%,但压缩系数却实现了68.1%的大幅改善,这一鲜明对比凸显了加固技术在增强市政道路地基强度中的关键作用。为了更精确地评估加固技术的效果,沿地基中心线在100米范围

内精心设置了监测点,每隔10米安装一个地基变形监测器。通过对比加固前后的地基沉降量数据,并参照初始值,得出了明确的结论。数据显示,在软土地基的中心区域,加固技术的运用使沉降量大幅降低,中心点沉降量从原来的27.5厘米减少到10.05厘米,整体降幅达到63%。通过图1可以直观地看出,加固技术对市政道路软土地基的承载力和沉降量具有决定性影响。因此,在道路工程中广泛推广和应用加固技术,将有效解决软土地基沉降问题,为道路的安全性和稳定性提供坚实的保障^[5]。

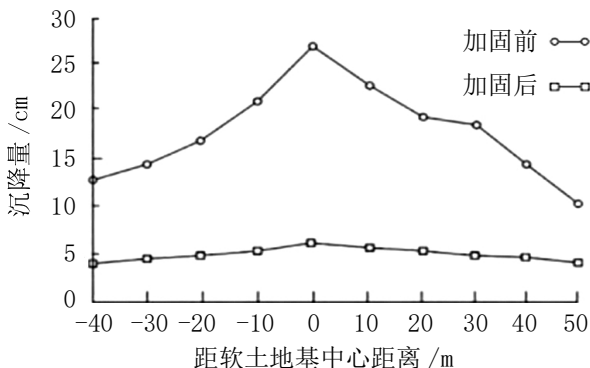


图1 软土地基加固前后沉降变形量对比

4 结束语

对市政道路软土地基沉降加固施工技术的研究,对于提升道路质量、确保交通安全具有至关重要的作用。在实际工程项目中,应根据具体的工程条件和要求,科学选择应用合理的加固方法。同时,还需结合工程实践,不断优化施工工艺和技术参数,以确保加固效果能够完全满足设计要求。此外,还应高度重视对软土地基沉降的监测与评估工作,通过及时发现并妥善处理潜在的安全隐患,可以为市政道路的长期稳定运行提供坚实可靠的保障。

参考文献:

- [1] 黄敏,郭胜.市政道路工程软土地基沉降处理设计分析[J].四川水泥,2018(10):36.
- [2] 梁玮.软基加固施工技术在市政道路施工中的应用[J].交通科技与管理,2023,04(19):155-157.
- [3] 马志远.市政道路工程软土地基沉降加固技术[J].工程机械与维修,2023(03):217-219.
- [4] 杨斌.市政道路加宽工程地基沉降控制方法研究[J].市政技术,2021,39(03):17-20.
- [5] 张兴伟.市政旧桥加宽桩基础沉降施工控制技术研究[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2020,22(01):1-3.