

软土地基条件下市政道路沉降控制与处治技术

闵玮

江西安基建设工程有限公司，江西省南昌市，330000；

摘要：软土地基因高含水率、大孔隙比及低承载能力等固有特性，在市政道路建设与运营中易引发不均匀沉降，进而导致路面开裂、结构破损等病害，严重影响通行质量与使用寿命。本文以软土地基工程特性为切入点，系统分析市政道路沉降的诱发机制与关键影响因素，梳理沉降控制的核心原则与实施要点。重点探讨换填法、复合地基法等多元化处治技术的适用场景与操作规范，结合施工控制与沉降监测手段，构建全流程沉降管控体系。

关键词：软土地基；市政道路；沉降控制；处治技术；工程特性

DOI：10.64216/3104-9664.25.02.012

引言

市政道路是城市交通运转的核心载体，其工程质量直接关联城市功能与居民出行体验。我国沿海、沿江及三角洲地区广泛分布的软土地基，给市政道路建设带来诸多挑战。软土地基特殊的物理力学性能，导致道路从施工期到运营期的沉降问题频发，不仅增加后期维护成本，还可能引发交通安全隐患。当前相关研究虽取得一定进展，但不同区域软土地基特性差异较大，沉降控制技术的适配性仍需优化。

1 软土地基的工程特性及沉降机理

1.1 核心工程特性

软土地基多由淤泥、淤泥质土及泥炭等软弱土体构成，其工程特性与普通地基差异显著。高含水率是最突出的特征，水分含量通常远超土体液限，导致颗粒间结合力薄弱，土体呈流塑或软塑状态。大孔隙比使土体结构疏松，在外力作用下易发生压缩变形，且变形量较大。低承载能力与低抗剪强度的特点，使得地基在承受道路结构自重及车辆荷载时，难以提供稳定支撑，易出现持续沉降。

1.2 沉降诱发因素

软土地基市政道路沉降是多因素共同作用的结果，各因素相互影响形成复杂的沉降机制。地基自身特性是内在根本原因，不同成因的软土地基，如河口淤积型、滨海沉积型等，其沉降潜力与变形规律存在明显差异。道路工程荷载是直接外部驱动力，包括道路结构层的自重荷载，以及运营过程中车辆通行产生的动态荷载。荷载的大小、分布均匀性及作用时长，都会直接影响沉降的发展速度与最终量级。施工工艺的合理性至关重要，

基坑开挖过深、土方回填压实不足等操作不当行为，会破坏软土地基原有结构，加剧沉降风险。

1.3 沉降发展规律

软土地基市政道路的沉降过程通常呈现清晰的阶段性特征，各阶段沉降规律为控制措施制定提供重要依据。施工期沉降主要源于地基对施工荷载的瞬时响应与初期压缩，此阶段沉降速度较快。随着路基填筑、结构层施工等荷载逐步施加，土体孔隙水快速排出，颗粒发生初步重组，沉降量在短期内呈现明显增长。运营初期是沉降发展的关键阶段，道路结构与车辆荷载持续作用，土体孔隙水缓慢消散，颗粒进一步挤压密实。此阶段沉降速度较施工期有所减缓，但仍处于较高水平，路面轻微开裂等初期病害易在此阶段显现。运营后期沉降逐渐趋于稳定，随着地基土体排水固结过程基本完成，沉降量增长缓慢，道路进入长期稳定运营状态。

2 软土地基市政道路沉降控制的核心原则与目标

2.1 核心指导原则

软土地基市政道路沉降控制需遵循科学的指导原则，确保措施的针对性与有效性。因地制宜原则是基础，需通过详细勘察明确工程所在地软土地基的分布范围、厚度及物理力学指标，结合道路等级与使用要求，制定差异化的控制方案。预防为主原则强调源头管控，在工程规划与设计阶段，就需对沉降风险进行全面评估，通过优化地基处理方案与道路结构设计，从根本上降低沉降隐患。系统协同原则要求将沉降控制视为涵盖设计、施工、监测等多环节的系统工程，各环节需紧密配合、信息共享，形成管控合力。

2.2 具体目标设定

沉降控制需设定清晰具体的目标,为技术方案制定提供明确导向。首要目标是控制总沉降量,需将道路整体沉降量严格控制在规范允许范围内,避免因沉降过大导致路面结构出现结构性破坏,影响道路承载功能。控制不均匀沉降是关键目标,道路不同区域如路基与桥头、快车道与慢车道等的沉降差,是引发路面开裂、错台等病害的主要原因,需通过合理措施减小沉降差,保障路面平整度与行车舒适性。沉降稳定时间控制也尤为重要,需通过优化处治技术加快地基固结速度,缩短沉降稳定周期,确保道路能够尽快达到稳定运营状态,减少后期维护成本。

2.3 关键因子把控

沉降控制需精准把控各类关键影响因子,确保管控措施直击核心。地基承载力是核心因子,软土地基本身承载能力较低,需通过换填、复合地基等处治技术提升承载力,使其满足道路荷载要求并留有安全储备。荷载控制是直接影响因子,设计阶段需合理确定道路结构层厚度与材料选型,采用轻质高强材料减少结构自重;运营阶段需加强交通管理,严格控制超载车辆通行,避免荷载超出地基承载能力。排水条件对沉降影响显著,软土地基中孔隙水压力的消散是沉降发展的重要过程,需建立完善的地表与地下排水系统,加速地基土体排水固结,降低孔隙水压力。

3 软土地基市政道路沉降控制的前期勘察与设计优化

3.1 专项勘察要点

软土地基专项勘察是沉降控制的前提,需明确勘察范围、深度与方法,确保获取准确参数。勘察范围应覆盖道路全线及两侧一定影响区域,对于软土地基分布不规则区域,需适当扩大勘察范围。勘察深度需穿透所有软土层,到达下卧硬土层一定深度,确保全面掌握软土层厚度变化情况。勘察方法应采用钻探取样、原位测试与室内试验相结合的方式,钻探取样需按规范要求选取代表性土样,原位测试可采用静力触探、标准贯入试验等方法,快速获取地基承载力等参数。

3.2 设计参数优化

基于勘察获取的参数进行科学沉降预测,是优化设计参数的核心依据。可采用分层总和法、弹性理论法等多种方法进行沉降预测,通过方法对比验证确保预测结果的可靠性。根据沉降预测结果,优化地基承载力设计

参数,对于沉降量较大区域,需适当提高地基承载力设计值,确保地基稳定。道路结构设计参数优化需聚焦基层与底基层,合理选择水泥稳定碎石、石灰土等材料类型,通过调整结构层厚度增强整体刚度,减少地基沉降对路面的影响。

3.3 适应性设计

道路线形与结构的适应性设计,可有效降低软土地基沉降带来的不利影响。线形设计中,应尽量避开软土地基厚度变化剧烈区域设置急弯、陡坡,减少因线形变化导致的荷载分布不均,从而降低不均匀沉降风险。对于无法避开的区域,需通过优化线形指标减小沉降影响。结构设计中,采用柔性基层与刚性面层相结合的形式,柔性基层可吸收部分地基沉降变形,刚性面层保障路面承载与耐磨性能,提升路面整体抗变形能力。桥头、涵洞等结构物与道路衔接部位是沉降问题高发区,需进行特殊过渡设计,设置渐变段调整结构刚度,减少因沉降差异引发的跳车问题。

4 软土地基市政道路沉降处治核心技术及应用

4.1 地基改良技术

地基改良类技术通过改变软土地基本身性质提升承载能力,适用于不同工况条件。换填法适用于软土层厚度较薄(通常小于3米)的区域,施工时将表层软弱土体挖除,换填碎石、砂砾、灰土等强度较高的材料,分层压实至设计压实度。该方法工艺简单、效果直接,能快速提高地基表层承载力,减少沉降量。排水固结法适用于饱和软土地基,通过设置塑料排水板、砂井等垂直排水通道,结合堆载预压或真空预压,加速地基土体中孔隙水的排出。随着水分消散,土体颗粒逐渐密实,强度不断增长,沉降得到有效控制。强夯法适用于颗粒含量较多的软土地基,利用重锤(通常10-40吨)从高处(8-20米)自由落下产生的强大冲击力,夯实土体。

4.2 复合地基技术

复合地基类技术通过设置增强体与软土地基共同承载,是软土地基处治的常用技术。CFG桩复合地基技术应用广泛,通过在软土地基中设置CFG桩,由桩体、桩间土及褥垫层共同组成复合地基。桩体承担大部分荷载,显著提高地基整体承载能力,减少沉降量。实施过程中需严格控制桩长、桩径、桩间距等参数,确保桩体与桩间土协同工作。成桩后需进行低应变检测与静载试验,验证桩体完整性与复合地基承载力。水泥土搅拌桩复合地基技术利用水泥作为固化剂,通过搅拌机械将水

泥浆与软土充分混合,形成具有一定强度的水泥土搅拌桩。该技术适用于处理淤泥、淤泥质土等软土地基,实施要点包括控制搅拌桩的垂直度、搅拌均匀性及水泥掺量,避免出现断桩、夹泥等质量问题。施工完成后需进行复合地基承载力检测,确保处治效果满足设计要求。

4.3 结构加强技术

结构加强类技术通过增设加强结构约束土体变形,适用于特定沉降控制需求。加筋土技术通过在软土地基中铺设土工格栅、土工布等加筋材料,利用加筋材料的高强度与抗拉性能,约束土体侧向变形,提高地基整体刚度与稳定性。该技术施工简便、成本较低,适用于道路边坡、路堤等部位的沉降控制,能够有效减少边坡滑塌与路堤沉降,增强路基整体稳定性。桩板结构技术适用于软土层厚度大、沉降要求严格的区域,如城市主干道、高架桥引道等。通过设置桩基深入下卧硬土层,上部设置钢筋混凝土承载板,将道路荷载直接传递至硬土层,从根本上控制地基沉降。应用过程中需确保桩基嵌入硬土层的深度满足设计要求,承载板与桩基连接牢固,避免出现不均匀沉降。施工完成后需对结构变形进行监测,确保满足使用要求。

5 软土地基市政道路沉降的施工控制与监测

5.1 施工控制措施

施工过程中的沉降控制是保障工程质量的关键环节,需从多方面采取针对性措施。施工前需做好场地平整与排水工作,彻底清理场地表层杂物与杂草,设置完善的临时排水边沟与集水井,防止雨水浸泡地基导致土体强度降低。在软土地基区域进行土方开挖时,严格采用分层开挖、分层回填的方式,控制开挖速度与单次开挖深度,避免因开挖过深、过快导致地基失稳产生坍塌。对于采用预压法处治的地基,需严格控制预压荷载的施加速率与大小,实行分级加载,待前一级荷载作用下地基沉降稳定后再施加下一级荷载,防止地基发生剪切破坏。在道路结构层施工中,根据不同结构层材料特性选择合适的压实机械,严格控制压实度与压实遍数,确保结构层密实度满足设计要求,提高结构层的承载能力与抗变形能力。施工过程中需做好各工序的衔接,避免工序间隔过长导致地基暴露时间过久。

5.2 监测系统布设

沉降监测系统的科学布设与稳定运行,是掌握沉降动态的重要手段。监测系统需涵盖监测点位布设、监测仪器选型、监测频率确定等核心内容。监测点位应根据

道路工程特点、软土地基分布情况及沉降风险区域进行合理布设,沿道路纵向按一定间距设置监测断面,横向在路基中心、路肩等位置布设监测点,重点布设在桥头、涵洞衔接处、软土层厚度较大区域等关键部位。监测仪器可采用沉降板、水准仪、全站仪等常规设备,对于大型复杂工程或沉降要求严格的区域,可采用自动化监测设备,实现沉降数据的实时采集、传输与存储,提高监测效率与数据准确性。监测频率需根据施工阶段与沉降发展情况动态调整,施工期荷载变化频繁,监测频率应高于运营期,通常每3-7天监测一次。

5.3 数据反馈机制

建立完善的监测数据处理与反馈机制,是实现动态沉降控制的核心。需建立专业的监测数据处理团队,对采集的沉降监测数据进行及时整理、审核与分析,剔除因仪器故障、人为操作等因素导致的异常数据,确保数据的准确性与可靠性。通过绘制沉降-时间曲线、沉降-距离曲线等图表,直观分析沉降发展趋势、沉降速率及沉降分布规律,判断地基沉降是否处于稳定状态。建立高效的监测数据反馈机制,将分析结果定期反馈给设计、施工及监理单位。

6 结论

软土地基条件下市政道路沉降控制是一项系统性工程,需结合软土地基特性与道路工程要求,构建全流程管控体系。软土地基的高含水率、大孔隙比等特性是沉降发生的内在根源,而荷载作用、施工扰动等则是沉降发展的主要外部因素,明确各因素作用机制是制定控制措施的基础。沉降控制需遵循因地制宜、预防为主等原则,通过科学设定控制目标,精准把控地基承载力、荷载等关键因子,实现针对性管控。

参考文献

- [1] 刘忠勇. 市政道路桥梁隧道软土地基处理对策分析 [J]. 石材, 2025, (11): 71-73.
- [2] 孙剑斌. 市政道路施工中的软基加固施工技术分析 [J]. 居业, 2025, (07): 67-69.
- [3] 陈勇, 卢青峰. 市政道路工程软土路基施工技术研究 [J]. 科技创新与应用, 2025, 15(17): 190-192+196.
- [4] 李瑞瑞. 市政道路施工中软基加固施工技术应用研究 [J]. 现代工程科技, 2025, 4(11): 129-132.
- [5] 赵楠楠. 市政道路桥梁连接处设计与施工研究 [J]. 散装水泥, 2025, (02): 230-232.