

软土地基条件下市政道路路基施工关键技术研究

戴涵韬

浙江省建投交通基础建设集团有限公司 浙江 杭州 310012

【摘要】：软土地基在市政道路建设中普遍存在高压缩性、低承载力及显著变形敏感性等问题，若处理不当易导致路基沉降不均、开裂与结构失稳。为提高道路工程质量，需要依据软土物理力学特性选择适配的施工技术。本研究以提升路基整体稳定性与长期使用性能为目标，分析软土地基常见病害成因，探讨预压排水、强夯、桩基联合处理、土工合成材料等关键技术的适用条件与实施要点，并对施工监测与质量控制方法进行整理。研究表明，因地制宜的处理策略与全过程动态控制是确保软土路基安全性与耐久性的核心途径，可为市政道路建设提供技术参考。

【关键词】：软土地基；市政道路；路基施工；加固技术；沉降控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.067

引言

软土广泛分布于沿海与河湖地区，其高含水量、低强度与显著压缩性，使道路工程在施工与运营阶段极易遭遇沉降失控、结构开裂与稳定性不足等风险。随着市政道路建设规模不断扩大，软土地基处理水平已成为影响道路使用质量的关键因素。如何在复杂地质条件下选择技术路径、控制施工参数并实现可预期的地基加固效果，成为工程实践关注的重点。本研究围绕软土地基路基施工中的关键技术展开探讨，通过梳理常用处理方法的机制与适用性，为提升市政道路路基的安全性和耐久性提供系统性的技术思路。

1 软土地基路基施工中的主要技术挑战

软土地基在市政道路建设中广泛分布，其复杂的沉降行为与结构不稳定性使路基工程面临高度不确定性。高含水量与孔隙比使软土在外荷载作用下容易产生显著固结压缩，导致路基早期沉降速率快、后期沉降持续时间长，这一特征对道路整体结构的均衡受力带来挑战。软土的抗剪强度偏低，在车辆荷载和施工扰动叠加下，基底出现滑动破坏的风险提升，尤其在沟槽回填、边坡成型或局部荷载集中区域更易表现出塑性流动现象^[1]。部分软土还具有触变性，受到机械扰动后强度下降，使施工稳定性控制变得更加困难。地下水位较高的区域中，孔隙水压力消散缓慢，对路基承载能力形成持续影响，若未在施工阶段进行准确预测，往往引发结构变形失控的隐患。

面对软土地基强度不足与变形特性的组合影响，市政道路路基施工的荷载传递路径常出现不均衡状态，致使结构内部产生复杂的应力集中。软土层厚度变化不规律时，道路沿线沉降差异放大，增大路面开裂与局部塌陷的概率。地基结构在外荷载长期循环作用下可能发生累积塑性变形，加剧不均匀沉降的发展趋势，尤其是交通量较大的城市主干道，对路基稳定性提出更高要求。施工中若需要开挖或降水，软土强度变化更为敏感，一旦排水速率控制不当，基底将产生附加沉降或侧向变形。某些地段同时存在淤泥质土、粉质黏土和夹层砂土的复合分布，地层软硬相间，使处理方案难以统一，导致施工工艺与设

备选择受到限制。

软土地基对施工过程的不确定性影响不仅体现在土体本身，还与周边环境条件和城市地下设施密切相关。沿线若存在老旧管线、地下通道或邻近建筑物，软土在施工荷载和振动作用下的侧向位移可能触发周边结构变形，形成新的工程风险点。复杂的水文地质条件也会干扰路基处理效果，高渗透性夹层可能导致预压排水系统效率降低，而低渗透性黏性软土又限制了孔压消散速度，使加固周期被迫延长。城市道路施工往往要求在有限的工期内完成地基处理，但软土固结时间难以压缩，若处理不到位，后期沉降会通过路面反射裂缝等形式表现出来。因此，如何在复杂软土环境中准确判断地基响应、控制变形发展并维持施工阶段的结构稳定性，成为市政道路路基建设必须面对的主要技术难题。

2 软土工程特性的识别与路基风险判断方法

软土工程特性的识别是市政道路路基施工的基础环节，准确掌握软土的物理状态、力学指标与结构组成，有助于判断地基在施工与运营阶段的变形趋势。软土通常具备高含水量、低液限差值、孔隙比偏大的特征，通过室内试验可获得压缩系数、固结系数和抗剪强度等关键参数。这些指标能够反映土体在受力后的固结速度、压缩潜能与抗剪破坏趋势^[2]。勘察阶段需要结合静力触探、十字板剪切、波速测试等多种方法，构建连续性的剖面信息，以明确软土层厚度变化及结构性分布。部分软土存在敏感性或触变性，其强度受扰动后会显著降低，因此在识别过程中应关注天然结构的破坏程度和强度恢复能力，为路基承载性能的科学判断提供依据。

路基风险判断依赖于软土固有特性与外部荷载之间的相互关系。在市政道路工程中，交通荷载呈周期性变化，软土在反复作用下容易出现累积塑性变形，若固结速率不足以抵抗荷载增长，沉降将持续发展并传递至路面结构层。为识别这种趋势，可通过建立变形预测模型，对施工阶段产生的附加应力与长期运营条件下的压缩形态进行推断。软土的侧向位移特性也是风险判断的重要内容，当地基水平变形超过极限范围时，基

底稳定性下降,可能诱发剪切破坏或滑移结构。在高水位区域,还需评估孔隙水压力累积带来的影响,若排水条件不足,土体强度会进一步下降,导致地基在外荷载下的反应更加敏感。

针对不同软土类型与地质环境进行分区评估,是构建合理风险判断体系的有效方式。通过综合分析地层均匀性、软土厚度差异、水文条件以及道路等级要求,可划分高风险、中风险与稳定区段,从而为施工工艺选择与加固方案设计提供依据。在具有多层软弱夹层的路段,需重点关注软硬交替地层的变形协调能力,因为差异沉降是造成路基裂缝与结构不均匀变形的主要触发因素。风险判断还应结合现场监测数据,包括沉降速率、孔压消散、基底变形等动态指标,使软土特性识别从静态评价延伸至全过程控制。通过持续获取施工期的地基响应,可及时调节施工节奏和荷载施加方式,减轻软土不可预测性带来的工程影响。

3 软土地基路基加固的关键技术路径

软土地基在市政道路工程中的加固路径,需要紧扣软土本身的变形规律与承载机制,通过改变地基结构状态或优化排水固结条件,使路基具备长期稳定的承载能力。预压与排水固结技术在软土处理体系中应用频率极高,通过设置堆载或真空预压,使软土在施工期提前完成大部分固结变形,从而减轻运营阶段的沉降量。预压措施常与袋装砂井、塑料排水板等竖向排水系统配合,以加速孔隙水压力消散^[3]。真空预压则通过形成负压场减少荷载需求,提高软土的固结效率,特别适用于高含水量、厚层软黏土区域。在设计路径时,需依据固结系数、渗透系数和最终沉降量预测结果确定预压时长与加载方式,使加固效果与施工周期保持协调。

在承载力要求较高或软土厚度超出可控范围的地段,复合地基技术成为主要加固方向。石灰桩、水泥搅拌桩和CFG桩能够通过改变地基结构性与力学特性,为上部路基提供稳定承载平台。深层搅拌桩适用于强度偏低和高含水量软土,通过固化剂与原状土体的化学反应形成固结体,提升抗剪强度与变形模量。强夯置换则依靠冲击能量压密松散土层,并替换部分软弱土体,使基底结构更加密实。在交通荷载较大的主干道工程中,桩—土共同作用形成的复合承载体系,可有效限制沉降量并提高路基整体稳定性。加固路径的选择需要结合地层分布、荷载等级和施工可达性,使处理后的地基满足变形控制要求。

软土地基的加固过程还依赖于地表结构层的协调设计与土工合成材料的合理配置。加筋垫层能够改善荷载在地基中的分散方式,降低局部应力集中,使软弱层的变形更加均匀。土工格栅、土工格室和加筋土垫层通过拉伸效应形成空间结构,提高地基的抗拉与抗变形能力,特别适用于存在侧向位移风险的路段。对于含有高水位或渗流条件复杂的地段,需要设置有效的排水系统,使地下水位保持稳定,避免软土因浸润或孔压累积导致强度衰减。加固路径的实施需在施工阶段严格控制加

载速率、桩体质量与地表填筑厚度,使加固体系保持整体协调,从而减少不可控变形对路基结构产生的影响。

4 软土路基施工过程的控制要点与监测措施

软土路基施工过程中,控制措施必须围绕软土自身的固结特性和应力敏感性展开,通过掌握施工荷载施加节奏与地基响应规律,使地基在受力状态下保持稳定。软土对荷载变化十分敏感,填筑速率若超出地基可承受的固结速度,会导致孔隙水压力急剧升高,影响基底抗剪强度,因此施工阶段应根据固结试验结果确定合理的填筑厚度与分层压实方式,使路堤荷载逐步传递至软土内部^[4]。对于采用预压、堆载等加固措施的路段,需要严格控制加载速率和分级加载幅度,避免因过度加载引发侧向变形扩展。施工机械运行时也应保持低振动、低扰动的作业方式,以减少软土结构破坏,防止因扰动导致强度明显衰减。

在处理工艺实施过程中,各环节的衔接对路基稳定性具有关键意义。地基排水系统需要保持畅通,使孔隙水压力能够充分消散,否则软土固结过程会受到抑制并影响沉降控制效果。桩基施工段必须确保桩体强度、竖向承载力和桩间土的变形协调性,以构成具有整体性的复合承载体系。对于以土工合成材料作为辅助手段的区域,应根据填土厚度和受力路径合理配置材料位置,使加筋效果在填筑过程中逐步形成。施工路段若存在高水位或渗流条件,需设置截水沟、盲沟或临时降水措施,使水力梯度保持稳定,避免软土因水分迁移而发生结构松弛。在施工参数难以精准控制的复杂地段,还需根据地基反应随时调整施工工艺,使软土地基处理与填筑节奏保持协调。

监测措施在整个施工过程中发挥实时反馈作用,通过动态掌握地基变形与应力变化,减少软土不可预测性带来的影响。沉降观测、孔隙水压力监测、基底水平位移测量及桩体应力监测等,是评价施工阶段路基稳定状态的重要指标。沉降速率若呈现持续增幅,表明地基固结尚未达到预期阶段,需要延长施工间歇或降低填筑荷载;孔压消散不足则提示排水条件或加载制度需调整。水平位移监测能反映软土侧向变形趋势,有助于判断基底稳定极限。当监测数据出现与理论预测偏差时,应及时采用补充加载、延缓施工、局部加固或调整填筑结构形式等方式,使地基保持在安全可控范围内。通过监测体系与施工控制的联动作用,可使软土路基在复杂地质条件下维持稳定的受力与变形状态,为后续结构层施工创造可靠条件。

5 软土地基路基施工技术的综合评价与工程启示

软土地基路基施工技术的综合评价,应围绕软土工程行为特征、加固体系运行机制及施工条件变化展开,通过对各类技术路径的适应性与控制效果进行分析,判断其在不同地质环境下的可靠性。软土固结速度、抗剪强度发展规律和孔压消散效率对技术选择具有决定意义,而各类加固工艺在改善结构强度、提高承载能力和抑制沉降方面表现并不相同^[5]。预压排水

体系更适合厚层软黏土地基,通过固结变形提前释放,使运营期沉降更为可控;复合地基技术在承载需求较高的主干道路段具有明显优势,能够依托桩土协同作用构建稳定的应力传递结构;土工合成材料强化的加筋措施则对地基变形协调性产生积极影响,使填筑体在不均匀变形下保持整体性。这些技术在不同应用场景中的表现差异,为工程实践提供了多元化的地基处理途径。

在软土类型复杂、地层分布不均或地下水条件变化明显的区域,加固技术的协同组合更能体现其工程价值。联合使用预压与排水、复合地基与加筋垫层、降水控制与地基加固等方法,可在多重机制共同作用下提升地基稳定性。施工阶段的控制精度与监测体系的响应速度,也是决定技术效果的重要因素。沉降速率、孔压消散曲线、侧向位移发展趋势等监测数据能够反映地基的真实反应,使技术调整具有时间敏感性。施工条件若与设计预测偏差较大,通过调整填筑节奏、增设排水体、加强局部加固等手段,可使加固体重新回到可控状态。因此,软土地基处理技术的评价不仅取决于工艺本身,还依赖于施工期对地基反应的掌控能力。

在大量市政道路工程应用中,软土路基加固技术不断显示出其对道路安全性、耐久性 & 运营性能的影响。通过对工程实

例的对比分析可知,能够有效控制沉降量、提高地基承载力、减少侧向变形的发展,是评价技术优劣的核心依据。软土区域交通荷载频繁、城市地下设施复杂,使得路基结构必须具有较强的适应能力,而加固技术在满足结构需求的同时,也被要求兼顾经济性与施工可行性。不同技术路径在特定环境下展现出的表现差异,促使工程实践更加重视软土特性识别和地基响应预测的准确性,使处理策略能够与地质条件和道路等级形成有效匹配。这些经验为后续工程提供了可借鉴的技术方向,使软土地基路基施工更趋于规范化与精细化。

6 结语

软土地基路基施工的实践表明,地基特性识别、加固技术路径选择以及施工阶段的动态控制共同构成保障道路稳定性的关键环节。软土在结构强度、固结行为和变形特性上的敏感性,使施工过程必须建立在精准判断与持续监测的基础之上。多种加固措施在不同地质环境下展现出差异化优势,为市政道路建设提供了灵活的技术组合。随着工程经验不断积累,软土地基处理体系在适应复杂地质条件与满足道路使用要求方面呈现更高的可靠性,相关技术思路也将为后续工程提供有益借鉴。

参考文献:

- [1] 黄敬泽.市政道路路基填筑施工技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(31):136-138.
- [2] 戚徐峰.市政道路工程中水泥稳定碎石基层施工技术运用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(31):145-147.
- [3] 毛源源.市政道路工程概预算编制质量提升及审查方法[J].中国建筑金属结构,2025,24(21):181-183.
- [4] 许跃平.市政道路工程施工进度影响因素及管控举措[J].中华建设,2025,(11):79-81.
- [5] 陈美容.市政道路工程沥青路面施工管理路径分析[J].中华建设,2025,(11):88-90.