

软土地区路基工程中地质勘察与地基处理的关键问题

文 / 王 闯 江苏省水文地质工程地质调查大队

摘要：软土地区由于其独特的工程地质特性，在路基工程建设中往往面临诸多难题。准确把握软土地区的地质条件，采取有效的地基处理措施，是保障路基工程质量和安全的关键。本文通过分析软土地区的工程地质特征与分布规律、地下水状况及其影响、潜在的不良地质现象与灾害，探讨了软土地区路基工程地质勘察的重点内容。针对软土地基承载力不足、变形和沉降等问题，提出了相应的地基处理方法和质量控制措施。在此基础上，从勘察技术创新、处理方案优化、施工监测管理等方面，总结了软土地区路基工程地质勘察与地基处理的优化对策，以为同类工程提供借鉴和参考。

关键词：软土地区；路基工程；地质勘察；地基处理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.12.006

引言

我国幅员辽阔，软土分布广泛，给路基工程建设带来诸多挑战。软土地基的高压缩性、高灵敏性、低强度和低渗透性，以及复杂多变的水文地质条件，使得路基稳定性和使用寿命面临严峻考验。因此，如何精准探查软土地区的工程地质条件，并采取科学有效的地基处理措施，成为业界关注的焦点。本文拟从地质勘察与地基处理两个维度，系统研究软土地区路基工程面临的关键问题，并提出相应的解决思路和优化建议，旨在为软土地区路基工程建设提供理论支撑和实践指导。

一、软土地区路基工程中地质勘察的关键问题

(一) 软土地区地基工程地质特征与分布规律分析

软土是一种具有高含水量、高压缩性和低剪切强度特点的细粒土，天然含水量通常达到75%，压缩模量仅1.8兆帕，剪切强度低至12千帕。我国软土主要分布在东部沿海平原、长江中下游平原以及内陆湖盆等地区，这些区域地势低平，古代河道与湖泊沼泽发育，沉积物颗粒细小。软土的物理力学性质极为特殊，表现为天然含水量高、孔隙比大、压缩性高，渗透系数低且各向异性明显，强度低，触变性强，稳定性差，工程中极易发生大变形。在软土地区进行路基工程建设时，必须通过工程地质测绘、钻探取样、物探试验等手段，查明软土的空间分布、厚度变化、物理力学参数等关键指标，为工程设计和施工提供可靠的地质依据。基于系统的勘察工作，制定针对性的地基处理方案^[1]。

(二) 软土地基地下水分布及其对工程的影响评估

软土地区地下水埋藏深度普遍在2.5米以内，年内水位变幅达1.6米，单位面积涌水量可达480升/小时。浅层地下水给路基工程带来诸多不利影响：高地下水位增大了土体的饱和度，降低了软土强度，加剧了变形和沉降；地下水的渗流作用会引发软土颗粒迁移，造成土体结构破坏，诱发大范围沉降或局部失稳。地下水的动态变化还直接影响路基填筑和地基处理施工，如汛期施工易引起基坑涌水和流砂等问题。通过全面查明软土地区地下水的埋藏条件、补给来源、水位动态变化规律，

准确评估其对路基稳定性的影响，并结合工程经验制定合理的地下水控制措施和施工方案，确保路基工程施工安全与质量。地下水补给来源示意图如图1。

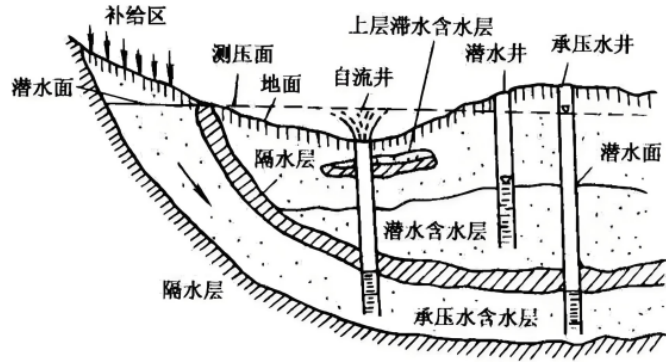


图1 地下水补给来源示意图

(三) 软土地区工程地质不良现象与灾害识别研究

软土地区的工程地质灾害主要包括土体液化、地基不均匀沉降、边坡失稳等。当地震加速度达到0.15g时，饱和软土极易发生液化；软土层厚度每增加5米，沉降量可增加180毫米；边坡安全系数低至1.05时，极易发生失稳。针对这些地质灾害，必须开展系统的勘察工作，采用钻探、物探等手段进行调查识别。重点关注土的液化评估指标、沉降变形特征和边坡稳定性参数，深入分析软土层的分布状态、承载能力和固结特性。通过详细的勘察资料，制定针对性的工程措施，有效防范地质灾害风险。在勘察过程中，建立完整的监测系统，及时掌握地质体变形特征，为工程建设和运营安全保障^[2]。

二、软土地区路基工程中地基处理的关键问题

(一) 软土地基承载力不足与变形控制处理方法

软土地基承载力通常仅为15-30千帕，在路基荷载作用下容易产生变形和不均匀沉降，进而引发路面开裂、路基失稳等病害。为确保路基工程整体稳定性和使用性能，需采取多种地基处理方法提高承载能力。强夯置换采用25吨重锤、30米落距进行夯击，将软土挤密排水，

形成夯实垫层改善地基抗变形性能。砂桩加固技术通过设置直径 800 毫米的砂桩，利用排水固结和碎石桩挤密效应，加速软土固结。水泥粉煤灰桩复合地基技术结合水泥胶结强度和粉煤灰自重压密特点，显著提升地基承载力。粉喷桩工艺将粉煤灰浆液与软土充分搅拌，既加速固结又置换软土，形成半刚性桩型地基。高压喷射注浆采用高速射流将水泥浆注入地层，填充孔隙提高地基整体性，工程实践证明综合采用多种处理措施能满足路基工程要求。

(二) 路基工程沉降稳定性及其防治措施的应用

软土地基固结沉降速率缓慢，处理不当易影响工程进度和使用性能。塑料排水板超前预压技术采用间距 1.5 米、深度 18 米的排水板布置，有效缩短水流路径，加快孔隙水排出。真空联合堆载预压采用 80 千帕负压，相当于增加预压荷载，提高固结效率。针对沉降病害防治，需在路基施工中采取合理措施：设置纵向排水盲沟系统，铺设单向拉伸强度 120 千牛 / 米的土工格栅，实施桩网加筋等工艺，提高路基整体稳定性和抗变形能力。运营

期间应定期开展病害检测和沉降观测工作，通过灌浆、裂缝修补等养护措施，延长路基使用寿命。通过科学设计和严格执行各项防治措施，能有效控制软土路基工程的沉降变形，保证道路平整度和结构安全性^[3]。

(三) 软土地基施工过程中的质量控制与监测管理

软土地基处理施工质量控制需严格把关各个环节。地基换填要求填料最大粒径控制在 75 毫米以内，压实度达到 95% 以上；砂桩施工桩位偏差应控制在 50 毫米范围内，确保桩体完整性和强度。施工过程监测是确保工程质量的重要手段，需布设多种监测设备：沉降观测点间距 20 米，孔隙水压力计埋设深度 8-15 米，测斜管以 5 米间隔布置。基于监测数据分析，动态优化施工参数，确保工程质量达标。同时做好现场管理工作，建立完善的排水系统，做好临时道路维护。施工信息化管理平台的应用能提升质量控制效率，实现数据实时共享和协同作业，为工程质量控制提供有力支撑，最终确保软土路基工程建设目标的实现。软土路基工程关键技术措施表如表 1。

控制类别	关键问题	主要技术措施
承载力与变形控制	承载力不足、变形过大	强夯置换处理；砂桩加固；水泥粉煤灰桩；粉喷桩工艺；高压喷射注浆
沉降稳定性控制	沉降速率慢、不均匀	塑料排水板预压；真空联合堆载；土工格栅加筋；纵向排水系统布设
施工质量控制	工程质量保证	填料质量控制；桩体施工控制；监测系统布设；信息化管理平台

表 1 软土路基工程关键技术措施表

三、软土地区路基工程中地质勘察与地基处理的优化策略

(一) 软土地区勘察技术方法创新与精度提升研究

传统的软土地区工程地质勘察以钻探取样和室内试验为主，存在工作量大、周期长、局限性强等不足，难以全面反映软土地层的空间分布规律和物理力学性质的变异特征。为提高软土地区勘察的精度和效率，亟需开展技术方法创新研究。一是强化多手段联合勘察。综合运用工程物探、原位测试、地球物理勘探等技术，并结合钻探取样和室内试验，构建全方位立体化勘察方法体系。如利用静力触探、十字板剪切、波速测试等原位测试技术，快速获取软土的强度和变形参数；采用瑞雷波、高密度电阻率、地质雷达等物探技术，精细刻画软土层结构和埋深；综合运用 CPT、SCPT、CPTU 等探测技术评价软土液化特性等。二是加强勘察数据分析与建模。运用大数据分析、机器学习等技术，挖掘海量勘察数据中蕴藏的规律性认识，建立软土地质属性与路基工程性能的关联模型，指导设计施工。三是发展智能化勘察装备。研发智能化钻机、自动取芯设备、便携式原位测试仪等，提高野外作业效率和数据采集精度。四是推进勘

察信息化建设。基于物联网、云计算等技术，构建勘察数据实时传输与共享平台，实现数据高效处理和成果可视化表达，为工程建设全过程提供及时准确的地质信息服务^[4]。

(二) 地基处理方案的技术经济分析与优化设计

软土地基处理往往投资大、工期长，如何在保证工程质量和安全的前提下，优化处理方案、节约成本、缩短工期，是业主和设计施工单位十分关注的问题。针对不同软土地质条件和工程要求，应开展地基处理方案的技术经济分析，权衡方案的适用性、可靠性、经济性和环保性等因素，选择最优的处理措施。例如，当软土厚度较大时，宜优先采用排水固结法，如塑料排水板超前预压、真空联合堆载预压等，而对于厚度较小的软土路基，则可采用强夯置换、水泥粉煤灰桩等复合地基处理措施。当软土含有较多腐殖质、易溶盐等时，应合理选用水泥、石灰等固化材料，避免加固效果欠佳或产生有害环境影响。在制定地基处理方案时，还应重视新技术、新材料、新工艺的应用。如采用轻质泡沫混凝土填筑路基，可显著降低软土地基荷载；应用土工合成材料加筋路基，能有效提高抗变形能力；采用电渗固结技术处理

含盐软土，可同步实现加固和脱盐等。优化后的地基处理方案，应满足安全可靠、技术先进、经济合理、绿色环保的要求。鼓励设计人员充分吸收国内外先进工程经验，不断创新优化设计理念和路线，为软土地区路基工程建设提供更优的解决方案。

(三) 路基工程施工质量监测与反馈管理体系

软土路基工程施工环节多、持续时间长，影响因素复杂多变，为确保施工质量，必须建立完善的监测与反馈管理体系。一方面，监测内容应全面覆盖地基处理、路基填筑、排水工程等各环节，重点监测地表沉降量每天不超过 5 毫米、横向位移控制在 50 毫米以内、孔隙水压力应保持在 35 千帕以下等关键指标。另一方面，根据软土地基的空间异质性，需合理布设监测断面和测点，通常每隔 100 米设置一个监测断面，全面评估路基的整体性能。监测数据要做到自动采集、实时传输、动态分析，建立施工过程质量评价和预警系统。当监测数据出现异常或超出控制标准时，应及时反馈，采取工艺调整、返工处理等措施^[5]。此外，质量监测还要与设计、施工等部门紧密配合，优化信息共享机制，在确保工程进度的同时提高质量管理水平。通过引入第三方监测机构，客观评价质量状况，提高监管的公正性和权威性。同时，施工过程中还应重视现场巡查，直观判断软土路基的沉降、裂缝、隆起等质量缺陷，并及时处理。最终，以监测数据为依据，形成“监测 - 分析 - 评价 - 预警 - 处置”的动态质量反馈管理机制，

切实提升软土路基工程建设水平，确保工程质量达到设计要求。

(四) 地质勘察与地基处理的新技术应用创新

近年来，现代信息技术与交通基础设施建设加速融合，为软土地区路基工程的地质勘察与地基处理带来广阔的创新空间。勘察领域，以物联网、大数据、智能化为代表的新技术正深刻重塑传统作业方式。如利用物联网技术，构建集数据采集、传输、处理、共享于一体的实时监测系统，大幅提高信息化水平。再如，利用大数据分析技术，对海量工程勘察数据进行关联挖掘，揭示软土的空间分布规律、工程属性演化机理等，为工程决策提供科学依据。地基处理领域，新材料、新工艺不断涌现并逐步应用。如采用复合土工材料筑路，通过优化路基结构提高稳定性；基于微生物技术固化软土，实现环保高效加固；利用真空电渗技术处理饱和软土，加快固结进程。BIM、GIS 等先进技术在工程建设全过程中也得到日益广泛应用，助力设计优化、施工管控、形变监测等。针对新技术应用中存在的工程适用性、配套标准、质量评价等问题，还需开展持续的创新研究和工程实践，加快成果转化步伐，推动行业技术进步。同时，注重发挥产学研用联合机制优势，完善科研资金支持、人才培养激励等政策，调动社会各界力量协同创新。相信随着理念、技术、管理等多维创新的深入，必将为软土地区路基工程建设注入新的活力。软土地区路基工程地质勘察与地基处理优化策略表如表 2。

优化方向	主要内容	关键措施
勘察技术创新	多手段联合勘察;数据分析与建模;智能化装备研发	综合物探、原位测试等技术;运用大数据分析和机器学习;开发智能钻机和自动化设备
地基处理方案优化	技术经济分析;新技术应用;环保性考虑	因地制宜选择处理方案;采用新材料、新工艺;注重环境影响评估
施工质量监测	全面监测体系;动态反馈管理;质量控制指标	建立自动监测系统;实时数据分析和预警;严格控制沉降、位移等指标
新技术应用创新	信息化建设;材料工艺创新;产学研结合	应用 BIM、GIS 等技术;开发新型处理工艺;加强创新成果转化

表 2 软土地区路基工程地质勘察与地基处理优化策略表

结语

软土地区路基工程建设涉及地质勘察和地基处理两大关键领域，通过系统研究软土的工程地质特性、地下水分布规律及不良地质现象，采取强夯置换、砂桩加固、真空预压等多种地基处理技术，建立完善的质量监测与反馈管理体系，充分运用物联网、大数据等现代信息技术，不断推进勘察与处理技术创新，为确保路基工程质量和安全提供了有力保障。未来应进一步加强新技术、新工艺的研发应用，持续提升软土地区路基工程建设水平，为交通基础设施建设高质量发展贡献力量。

参考文献

[1] 金东. 软土路基的工程地质勘察及评价 [J]. 北方交通, 2024, (01): 55-57.
 [2] 周渊. 高速公路软土路基勘察及加固措施研究 [J]. 建筑技术开发, 2024, 51(01): 120-122.
 [3] 赵春辉. 软土地区公路路基设计及地基处理技术研究 [J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(05): 43-45.
 [4] 庞壮. 软土地区公路路基设计及地基处理方法应用研究 [J]. 交通科技与管理, 2023, 4(06): 105-107.
 [5] 魏清. 软土地区公路路基设计及地基处理研究 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(22): 203-205.