

道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用分析

廖斌

四川铭泰远建筑工程有限公司 四川成都 610000

【摘要】软土地基广泛分布于我国沿海地区，给道路与桥梁工程建设带来诸多不利影响。本文系统阐述了当前道路桥梁施工中常用的软土地基处理技术，包括表层处理技术、排水固结技术、强夯置换技术、化学固结技术、加筋土技术等，并结合某道路与桥梁工程实例，详细介绍了片石换填法处理软土路基的施工工艺与质量控制要点。最后，提出了加强软土地基施工质量控制与管理的措施建议。通过合理选用先进可靠的软土地基处理技术，规范施工操作，强化过程管控，定期开展沉降观测，可确保工程质量，推动道路桥梁事业可持续发展。

【关键词】道路与桥梁工程；软土地基；施工技术；片石换填法；质量控制

引言

软土地基是指由高含水量、高压缩性、高液限、低渗透性的粉土、粘土等组成的具有流变性的特殊土层。我国东部沿海地区软土分布广泛，尤其是在长江三角洲、珠江三角洲等地区，软土层厚度可达数十米。软土地基的不利工程特性，如低承载力、高压缩性、强流变性等，给公路、铁路、机场、建筑物地基等工程建设带来极大挑战。如何采取有效的软土地基处理技术，确保工程质量，控制施工风险，是道路桥梁施工中亟需解决的关键问题。

1 道路桥梁施工中常用的软土地基处理技术

1.1 表层处理技术

表层处理主要包括表层排水、砂垫层处理、土工织物铺设等方式。表层排水是在地基表面开挖排水沟，铺设砂砾等透水性良好的材料，将地表水和上层土中的水排出，快速降低含水率。砂垫层处理适用于浅层软土，通过在地基表面铺设一层中粗砂形成垫层，利用砂的透水性加速软土固结，提高地基承载力^[1]。当软土层厚度较大时，可在砂垫层上方再铺设一层无纺土工布，阻隔砂层和软土层，防止两者互相污染，同时可加速排水固结。表层处理施工简便、见效快，适用于地下水位以上的浅层软土地基。

1.2 排水固结技术

排水固结是在软土地基中设置竖向排水体，在排水体两端施加荷载，排出软土中的孔隙水，利用有效应力原理促进土体固结。常用的竖向排水体有砂井、袋装砂井、塑料排水板等。砂井施工时，可采用套管护壁，边振动沉管边回填砂料。塑料排水板由聚乙烯、聚丙烯等高分子材料制成，具有化学稳定性好、渗透系数高、抗堵塞能力强等优点，施工方便快捷，已在软土地基处理领域得到广泛应用。

用。超载预压可进一步提高排水固结效果，一般通过堆载施工、真空负压等方式实现。排水固结技术适用于厚度较大的高压缩性软土^[2]。

1.3 强夯置换技术

强夯是利用10~40t重锤自由下落产生的巨大冲击动能，瞬间将应力波传入地层，挤密软弱土层，提高土体密实度和承载力的一种动力密实法。强夯可置换部分软土，改善软弱地基，适用于处理中等厚度、饱和度较低的淤泥质土和素填土^[3]。通常采用与强夯配套的开挖回填、强夯置换等综合方案，将表层软土开挖后，回填中粗砂、碎石或素土，再予以强夯，以进一步提高地基强度。对于厚度大、饱和度高的软土层，强夯效果往往不佳，需结合排水固结等其他方法联合处理。

1.4 化学固结技术

化学固结法是向软土中掺入石灰、水泥、粉煤灰等固化剂，通过离子交换、凝胶化、胶结等作用提高软土的强度和稳定性。固化剂可采用干喷法、湿喷法、搅拌法等工艺均匀掺入软土中。其中，水泥土搅拌桩因具有较高的强度、刚度和耐久性等优势，在软土路堤地基处理中应用最为广泛。化学固结可用于处理厚度大、含水量高的淤泥质软土，尤其适用于对变形控制要求严格的软土路堤。但化学固结法造价相对较高，对水泥用量和现场施工要求高，工艺控制难度较大。

1.5 加筋土技术

加筋土是将高强度的钢塑格栅、土工布等柔性材料铺设于软土中，利用加筋材料与土体的相互作用，提高软土地基的整体稳定性和抗剪切性能。加筋材料可有效限制软土的侧向变形，减小不均匀沉降。加筋土技术可单独使

用，也可与排水固结等方法联合使用，适用于软土路堤、软土地基等广泛工程领域。但由于柔性材料易受损坏，施工时需严格控制铺设位置和铺设工艺。此外，加筋土内部易藏匿较大变形，需做好变形观测，避免使用过程中突发性破坏^[4]。

2 工程案例

2.1 工程概况

以某市新建道路工程为例，路线全长约7km，双向四车道，设计时速80km/h，路基宽24.5m。经勘察，路基下方普遍存在厚度0~2.5m的淤泥质软土。经综合比选，最终确定采用片石换填法处理路基软土。

2.2 技术方案

片石换填施工范围为软土路段纵向全长，横向至路肩外0.75m，桥头路基施工至桥台锥坡脚。软土开挖后，采用粒径不小于4cm、强度不低于15MPa的中硬片石回填，片石含量不低于70%，填料不均匀系数控制在20%以内。片石换填后再铺设厚30cm的碎石垫层和厚30cm的路堤填料。

2.3 施工准备

首先进行施工测量放样，确定软土开挖范围和标高，并对地下管线进行调查避让。根据设计要求编制专项施工方案，明确施工工艺流程、技术参数、质量标准等。优选合格的碎石、片石等材料，备足施工机械，培训操作人员，做好软土路基处理的各项准备工作。

2.4 关键工序

(1) 软土开挖：采用1m³挖掘机清除淤泥，开挖深度控制在设计标高以下50cm。软土应及时运走，不得在现场堆放。

(2) 基底整平：采用推土机整平软土路基，切断地表水，压实系数不小于0.92。局部高差超过5cm的区域，应用素土找平并碾压密实。

(3) 片石回填：片石采用分层回填，每层虚铺厚度30cm，分两次碾压，压实系数不小于0.96。首层片石应择优选用粒径较大的石料，以增强基底的滤水和排水能力。

(4) 级配碎石垫层：在片石层之上铺设厚30cm的级配碎石垫层，压实系数不小于0.98。碎石应洁净、级配良好、最大粒径不超过垫层厚度的2/3。

(5) 路堤填筑：对片石换填后的路基，须按设计要求分层摊铺路堤填料，控制好含水率和压实度，每层松铺厚度30cm，压实厚度不大于20cm。

2.5 施工质量检测

为有效控制片石换填施工质量，应落实“首件制”和“

三检制”，确保各工序质量满足设计及规范要求。压实度可采用环刀法、灌砂法测定，软基处理厚度可用钢针插入法检查，换填后地基承载力可用静载荷试验测定。对于质量不合格的部位，应及时采取补强、返工等措施进行处理。软土路基施工质量检测数据须完整记录并存档，作为竣工验收的重要依据。

表1 片石换填施工质量检测表

检测项目	检测方法	检测频率	质量标准
片石压碎强度	材料试验	每500m ³ 检测一组	不小于15MPa
片石含泥量	材料试验	每500m ³ 检测一组	不大于3%
虚铺厚度	钢尺量测	每500m ² 检测20点	30cm±5cm
碾压遍数	现场检查	逐层检查	不少于8遍
压实度	灌砂法、环刀法	每1000m ² 检测5点	不小于90%
地基承载力	静载荷试验	每1000m ² 检测1点	满足设计要求

3 软土地基施工的质量控制与管理措施

3.1 严格材料质量把控，优选强度高、粒径合适的片石料

在软土地基施工的质量控制与管理中，材料质量的严格把控是首要且至关重要的环节。针对换填处理所需的片石料，其选取标准必须遵循严格的行业规范与工程要求。具体而言，片石应展现出高强度特性，其抗压强度不得低于15MPa，以确保在压实过程中不易破碎，从而有效支撑地基结构。此外，片石的粒径选择亦需精细考量，理想粒径应大于4cm，且宜采用中硬岩石，以优化颗粒间的嵌锁作用，提升地基的承载能力和稳定性。

为实现这一目标，施工单位需深入石料产地，进行详尽的实地考察与评估，从中优选那些品质稳定、开采规范的矿山作为材料来源，并留存详尽的质量证明文件作为追溯依据。对于砂石料，同样需确保其洁净度，含泥量严格控制在3%以下，以减少对地基强度的不利影响。

材料进场前，实施严格的批次检验制度，利用科学的检测方法对每一批次材料进行细致审查，对任何抽检不合格的材料采取零容忍态度，坚决予以清退，确保无一不合格材料流入施工现场。同时，考虑到自然因素对材料质量可能造成的潜在影响，应尽量减少材料在施工现场的堆放时间，采取覆盖等措施保护材料免受风吹日晒，以免强度受损。

在大型工程项目中，考虑到运输成本与时间效率，可就

近设立砂石料加工厂。这不仅便于对开采的片石进行初步的人工除杂、冲洗及粒径控制，还能根据工程实际需求灵活调整加工规格，确保最终的材料质量能够精准满足设计与规范的所有要求，为软土地基施工奠定坚实的基础。

3.2 加强施工过程管理，做到分层填筑、分段碾压，严控厚度

片石换填施工的核心在于分层填筑与压实，这关乎地基的密实度和均匀性。开挖后的基坑应尽快清理平整，不得有积水或杂物。软土回填应分层进行，每层虚铺厚度控制在30—40cm。若采用水平分段施工，填筑层纵向搭接宽度不得小于1m，横向搭接不小于2m。为确保压实效果，宜采用不小于18t的振动碾进行碾压，对位于构造物附近无法碾压的部位，改用平板夯实。经检测，每层片石填筑的压实度应达到90%以上。软土开挖、片石摊铺、碾压等工序须密切配合，做到随挖、随填、随压。如需间歇施工，应在已处理路基面铺设无纺布，再铺设20—30cm厚的片石保护层，避免坑面暴晒或受水浸泡而失稳。施工期应设专人负责铺填厚度的检查，可用钢板桩作为标志桩，严控填土高度。同时，加强全程巡视，发现离析、掺杂、蜂窝麻面等问题及时整改。

3.3 配备专业技术人员，做好施工现场的技术指导和质量监督

换填法加固软基是一项较为复杂的专业工程，对施工组织、技术工艺、质量控制等均有较高要求。为确保工程质量，承包人应组建一支专业素质过硬的管理团队，配备软基处理方面的技术专家和质量员。施工前，技术人员应对图纸会审中提出的各类问题给予明确答复，编制针对性的施工组织设计，并向操作人员进行方案交底。施工中，质量员应在现场设置工地试验室，配备必要的检测设备，加强对原材料、中间产品、成品的抽检。如发现不合格产品，应及时通知施工员停工整改，复检合格后方可进入下道工序。对于基坑开挖、回填碾压等关键工序和隐蔽工程，旁站监理须全过程旁站，施工单位专职质量员应持证上岗，坚持“三检制”。针对施工过程的疑难问题，及时上报总工办公会，形成会议纪要。完工后，还应进行“交工检测”，对地基承载力、压缩模量等指标进行检验，出具完整的自检报告。

3.4 施工后定期开展沉降观测，及时采取措施应对不均匀沉降

换填法处理后，软土地基的固结沉降过程往往需要较长时间。如施工期监测不到位，极易引发工后沉降，造成道路的波浪变形或断裂。为控制变形，有必要在竣工后对地基沉降进行长期跟踪监测。监测点的埋设应选在软土路堤的特

征断面，纵向间距不宜大于50m，高度宜设置在路堤1/2-2/3处。常用的方法有水准仪高程测量和沉降板观测，近年来随着光纤传感、激光雷达等新技术的发展，自动化监测系统的应用日益广泛，实现了沉降数据的远程采集、无线传输、云端管理，大幅提高了信息化水平。当监测数据显示局部路段沉降量过大或不均匀性突出时，应及时启动预警机制。对初期下沉较快的路段，如调查发现与排水不畅有关，宜及时采取疏浚边沟、更换盲沟等措施；对已出现路面裂缝、错台等病害的路段，可视严重程度采取注浆加固、开挖回填、桩基托底等补救措施，必要时应对交通进行限载甚至交通管制，避免路况进一步恶化。

道路桥梁施工中的软基换填技术涉及诸多工序，工程不确定因素较多。施工单位只有严把“入口”和“过程”关，强化材料质量控制和过程旁站管理，并运用信息化手段加强工后沉降观测，才能从源头消除质量隐患，从而保障工程性能和使用寿命，提高软土路基施工的科学化、精细化水平。

4 结语

道路桥梁工程建设事关社会经济发展和民生福祉，直接影响着国计民生。软土地基处理技术在道路桥梁施工中占据重要地位，纷繁复杂的软土地质条件对工程建设提出了更高要求。只有遵循因地制宜、局部优化、综合治理的基本原则，针对工程实际采用切实可行的软土地基处理技术，才能最大限度规避软基施工风险，保障道路桥梁工程安全和使用功能。与此同时，还应强化软土地基施工过程控制，建立完善的质量管理体系，做到事前控制有力、事中监管到位、事后考核严格。通过现代化的施工工艺、精细化的质量管理、专业化的技术力量，定能推动我国道路桥梁建设再上新台阶，为人民群众出行提供更加安全、便捷、舒适的保障。

参考文献：

- [1] 李哲. 道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用分析 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023 (6): 178-181.
- [2] 侯兵. 道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用分析 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2022 (3): 66-69.
- [3] 骆钱飞. 道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用分析 [J]. 华东科技 (综合), 2020 (10): 165-165.
- [4] 莫世航, 陈封城. 道路桥梁施工中常见问题及检测技术分析 [J]. 模型世界, 2022 (25): 52-54.