

复杂地质条件下市政道路路基施工关键技术及质量控制研究

徐勋祺

中化学交建(上海)工程有限公司 上海 201600

【摘要】：城市扩容建设不断向外延伸，市政道路工程常会途经软黏土层、回填杂土、岩溶带、高含水地层等多种不利土层共存区域，城区地下管线密布、沿街建筑物紧邻施工红线，留给路基作业的施工场地十分有限。道路整体承载性能完全依托路基基底，极易出现路面不均沉降等长期病害，长期运维成本居高不下。本文将立足城市受限施工环境，梳理地基改良、分层填筑、防渗排水等核心施工手段，搭建分段质量管控细则，为同类复杂地质市政道路项目落地提供可实操依据。

【关键词】：复杂地质条件；市政道路；路基施工关键技术；质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.087

引言

路基工程是市政道路基础组成部分，其质量好坏直接影响着道路的使用寿命与通车性能，并在一定程度上决定着市政道路工程建设的成本、进度与质量。因此，针对复杂地质条件下市政道路路基施工关键技术及质量控制进行深入研究极为重要。

1 市政道路路基施工的复杂地质条件分析

城市向外拓建过程中，市政道路线路经常穿越多种不良土层交错分布的地块，地层结构杂乱无章，直接加大路基成型稳定控制难度。场地深处普遍埋藏厚层软塑黏性土，这类土体孔隙发达、受压后压缩变形明显，通车后会持续产生缓慢蠕变下沉；沿线多处存在早年人工随意堆填的杂填土，内部物料混杂不均，整体密实程度落差极大，很难形成均匀受力基底。部分区段地下发育小型溶蚀孔洞与土洞，路基基底存在局部掏空、突发塌陷风险，区域地下水埋深偏小，水位随降水、季节产生明显起伏，长期浸泡土层会持续削弱土体承载能力。城区各类地下管线纵横排布，大幅制约换填、强夯等大范围基底改良工序开展，多种地质缺陷相互叠加干扰，单一处理工艺很难同步兼顾整体稳定与变形约束，道路交付使用后会频发路面断缝、边坡滑动、井体偏移等长久病害。

2 复杂地质条件下市政道路路基施工关键技术分析

2.1 软土换填压实施工技术

该项工艺主要应用于软弱土层厚度在3米以内的浅层不良地基处理，施工核心逻辑为彻底清除基底软弱土体，替换高强度、高稳定性填料后实施分层压实作业。现场施工时，需彻底挖除路基范围内的淤泥层、腐殖土层等劣质土体，统一换填级配均匀的碎石土材料，严格把控填料指标，其中含石量区间维持在30%~50%，填料最大颗粒粒径不得超过10cm。施工严格遵循薄层、分层、匀速压实原则，摊铺虚铺厚度控制在20

至25cm，压实固结后的有效厚度不超过20cm，路床顶层压实成型厚度不低于10cm，碾压完成后路基压实度标准需达到96%及以上，从根本上解决浅层软土地基承载力不足的施工难题。

2.2 水泥搅拌桩地基加固技术

面对厚度较大的淤泥质软土地基，常规换填工艺难以满足施工要求，深层水泥搅拌桩加固工艺是最优解决方案，可有效提升地基整体刚性与整体性。现场施工按照梅花式排布桩体点位，标准桩体直径设定为500毫米，桩体间距控制在1.2米至1.5米，水泥掺量根据土体含水率精准调控，稳定在15%~18%。施工过程中严格管控设备运行参数，保持0.8~1.2m/min的匀速钻进、喷浆与提杆速度，保障土体与水泥浆液充分融合，杜绝断桩、夹泥、搅拌不均等施工缺陷。成桩养护完成后，复合地基承载能力可稳定突破180kPa，有效规避路基后期不均匀沉降问题。

2.3 高填方分层填筑管控技术

市政道路高填方施工段落普遍存在填土厚度大、土体压缩性高的特点，极易诱发边坡滑移、分层沉降、路基变形等病害，因此精细化分层填筑压实是该路段施工的核心要点。施工优先选用固结性、稳定性优异的碎石土作为填筑材料，严禁超厚度摊铺填筑，配套25吨重型压实机械开展碾压作业。现场严格执行标准化分层施工标准，单层虚铺厚度最大不超过25cm，每一层碾压作业次数不少于6遍，填方路基各分层压实度不低于95%，路基顶面实测弯沉值控制在220(0.01mm)合格区间内，同步修整边坡坡度、夯实边坡土体，全方位保障高填方路基的整体稳固性。

2.4 路基排水防渗施工技术

湿陷性黄土、富水地层的核心施工难点为土体遇水软化、承载力骤降，完善的排水防渗体系是规避路基病害的关键举措。施工前期优先搭建场地排水系统，开挖标准化边沟、盲沟

疏导地表及浅层积水,路基基底铺设 HDPE 防渗土工膜,膜体搭接宽度不小于 20cm,杜绝水体渗透。填筑作业前,对基底土体进行晾晒处理,将土体含水率调控至最佳含水率 $\pm 2\%$ 的施工适配区间,禁止带水、积水填筑。路基边坡按 2 米 $\times$ 2 米的矩阵间距布设泄水孔,快速导出路基内部滞留水体,防止土体长期泡水软化,保障地基承载性能稳定。

2.5 CFG 桩复合地基施工技术

CFG 桩复合地基加固工艺适配高填方路基、深厚软弱土层等复杂施工工况,可大幅提升地基综合承载与抗变形能力。现场采用 C20 素混凝土浇筑 CFG 桩,标准桩径 400 毫米,桩体布设间距为 1.5 米 $\times$ 1.5 米,施工时确保有效桩体穿透全部软弱土层,嵌固于下部坚硬持力层。所有桩体施工完成并养护达标后,统一铺设 30 厘米厚碎石垫层,实现桩土协同受力。完工后通过静载试验检测施工质量,要求复合地基承载力不小于 200kPa,整体沉降总量控制在 30 毫米以内,有效提升复杂地质条件下路基的耐久性与稳定性。

3 复杂地质条件下市政道路路基施工质量控制困境

3.1 地层结构紊乱无序

城区建设历经多次人工改造,施工区域土层交错堆叠,岩溶孔洞零散分布,软质土层厚度起伏较大,地层整体分布无固定规律,局部区段土体物理指标会发生突发性变化。常规现场勘察多采用定点采样、局部探测的方式,难以完整覆盖施工全域的隐蔽缺陷,无法精准识别微型空洞、薄层软弱带、零散富水夹层等细微地质问题。勘察数据存在的局部盲区与偏差,会造成施工工艺选型、技术参数设定与现场实际工况不匹配,为路基后期不均匀沉降、局部塌陷等结构性病害埋下隐患,从工程前期阶段增大质量管控压力。

3.2 城区作业空间狭小

市政道路沿线紧邻已投用建筑、城市管网及交通干线,有效作业区域被严重挤压,无法开展大范围、整体性的机械化标准施工。针对软质土层换填、基底强力夯实、大面积注浆固结等核心改良工艺,现场往往不满足完整施工条件,只能采取局部分段、小型设备作业的变通施工方式。这种受限作业模式会导致部分标准工序简化删减,关键施工参数无法达到设计阈值,路基整体加固均匀性难以统一,行业既定的质量管控标准无法全面落地执行,整体施工质量稳定性难以保障。

3.3 水文环境动态波动

复杂地质区域地下水受降水、季节更替影响显著,水位动态起伏较大,长期持续浸润、溶蚀路基土体,逐步弱化土体结构强度与承载能力。这类水文侵蚀作用具备隐蔽性、持续性特

点,施工阶段无法直观体现结构损伤,路基压实密实度、土体固结稳定性会在工程完工后逐步衰减。水体渗透引发的土体缓慢蠕变、内部缝隙扩张等问题发展周期较长,不会在竣工验收阶段暴露,导致阶段性质量检测无法有效预判长期服役的安全风险,大幅增加后期运维压力。

3.4 施工工序交叉重叠

复杂地质路基改造涉及基底清理改良、深层土体加固、排水体系布设、分层填筑碾压等多项施工内容,各工序衔接紧密、交叉作业频繁,彼此之间存在一定施工干扰。现场高强度的作业节奏容易造成细部工序管控疏漏,同时不同施工工艺的质控指标、作业标准存在差异化特点,人工操作误差、设备作业偏差会不断累积,造成路基不同区段施工质量不均衡,难以实现全域统一化、精细化的质量管控,极大提升了整体施工质量把控难度。

4 复杂地质条件下市政道路路基施工质量控制的有效策略

4.1 强化施工前期地质勘察与方案适配管控

精准开展场地地质勘测、定制适配性施工方案,是复杂地质路基质量管控的前置核心工作,可从施工源头规避工艺不符、流程不合理引发的各类质量缺陷。正式启动路基施工作业前,摒弃传统局部位点抽样勘测的粗放模式,采用全域网格布点勘测方式,对施工全线土层分布状态、软弱夹层厚度、土体天然含水率、地下水位埋深及原位地基承载力等关键指标进行全面摸排,精准划分差异化地质施工单元,明确各路段施工重难点。依托实地勘测获取的真实地质数据,结合道路设计轴载标准、路基填筑高度等核心参数,编制针对性专项施工方案。针对软土、湿陷性黄土、富水地层等不同不良地质,分别配套换填压实、深层桩体加固、土体挤密固结、整体防渗隔离等适配工艺,明确各工序量化施工标准,其中软基改良水泥掺入量控制在 15%~18%,换填碎石骨料最大粒径严格限定在 10cm 以内。同时,落实全员专项技术交底,结合场地地质风险隐患优化施工流程,剔除通用性强、现场适配度低的固化工艺,确保施工方案完全贴合现场实际工况,为现场标准化、精准化作业提供可靠技术支撑。

4.2 严控原材料质量与基底预处理施工标准

路基填料性能与基底处置效果直接决定基础结构的承载能力与变形稳定性,是复杂地质工况下质量管控的核心抓手,需建立从材料进场到基底成型的全链条标准化管控机制。针对基底换填、分层填筑所用的碎石、砂砾、改良土等填筑材料,落实批次化进场抽检制度,重点核验物料颗粒级配、坚硬程度、天然含水率及杂质含量等核心指标,杜绝劣质、指标不达标

物料投入施工。同时依据不同区段土体改良需求分类选用填筑材料,保证物料特性与地层加固工艺相互匹配。在基底预处理作业中,严格落实不良土体清除、岩溶空洞处置、基底整平夯实等标准化工序,对浅层软弱土层完成彻底置换清理,严格把控单次回填厚度与压实标准。对存在溶洞、土洞的岩溶区段,根据空洞埋深与规模采取填充夯实或注浆封堵方式完成基底加固,彻底消除基底脱空、土体松散等结构性隐患,杜绝粗放作业导致的基础稳定性不足问题,夯实路基整体受力基础。

4.3 有序统筹交叉工序流水施工,规避作业干扰

复杂地质路基施工涵盖基底整改、深层土体加固、排水结构施工、分层压实填筑等多项作业,工序重叠度高、同步作业干扰性强,极易造成施工偏差叠加、局部质控失准。为解决此类问题,现场必须严格遵照先后施工逻辑推行流水作业管控,明确各工艺的施工时序边界。工程优先完成基底清表与土体改良作业,验收合格后实施水泥搅拌桩加固施工,把控0.8~1.2m/min匀速钻进参数,待桩体28天养护结束、地基承载力稳定达到180kPa以上,再依次开展排水系统布设、防渗层铺设与土方碾压施工。施工过程错峰排布冲突工序,统一全域质控标准,将路基填筑含水率浮动范围控制在最佳数值 $\pm 2\%$,分层压实度不低于95%,防渗膜搭接宽度严格大于20cm,依靠时序化、标准化作业消除交叉施工隐患,保障路基整体施工质量均匀稳定。

4.4 构建水文地质动态防控与防渗控水质控体系。

地层地下水丰富、水位随季节动态波动是造成路基土体软化、强度衰减、边坡失稳的主要诱因,需依托立体化排水防渗工艺,建立动态适配水文变化的防控质控体系。施工全程跟进监测场地地下水位、土体天然含水率的动态变化,结合旱季、雨季的水文差异灵活调整排水防渗施工节奏与工艺参数,减少水体长期浸润对路基土体的弱化影响。同时,严格管控地下盲

沟、透水管、地表排水沟槽的施工精度,保障各类排水设施衔接顺畅、整体贯通,可快速疏导路基内部积水与地表汇水,避免水体滞留引发的土体蠕变、边坡滑移等病害。并强化防渗结构施工管控,保证防渗垫层铺设平整、搭接严密,无破损、无空隙,有效阻隔地下水向上渗透的路径。针对高含水软土特殊区段,采用换填改良与排水控水协同施工模式,在优化基底土体性能的同时完善控水体系,以控水固土的方式稳定路基结构强度,提升复杂富水地层路基整体稳定性。

4.5 完善完工检测验收与后期养护管控机制。

构建全过程动态检测与闭环管控体系,是排查路基隐蔽质量隐患、保障各工序施工质量达标的核心保障。复杂地质路基施工存在现场工况多变、质量隐患隐蔽性强、施工容错率低的特点,仅依靠竣工收尾抽检无法全面把控工程整体质量,必须建立风险预判、过程管控、闭环验收的全链条质量管理模式。现场配置专职质检人员全程旁站监管,对基底清理处理、填料摊铺整平、重型碾压固结、桩体加固成型、防渗材料铺设等关键工序实施全过程监督,及时纠正各类不规范施工作业行为,避免隐蔽性质量缺陷遗留。同时,严格落实分层、分段、逐序检测制度,常态化检测路基压实度、土体含水率、顶面弯沉值、地基承载力、沉降位移等核心质量指标,所有检测数据实时记录归档,实现施工质量全程可追溯、可核查。针对检测参数不达标的施工段落,第一时间制定专项整改方案,返工处理并复验合格后,方可推进后续工序施工,并结合现场突发地质变化动态优化施工工艺与管控标准,全方位保障复杂地质路基施工质量合规可控。

总而言之,现有施工处置手段大多仅适配单一地质类型,缺少适配复杂地层的成套工艺与全流程质量管控办法。后续仍需结合本地地质勘探数据优化动态监测方案,依托现场实测数据完善分层施工参数标准,助力提升道路基底长期稳定性。

参考文献:

- [1] 张莉.市政道路工程填方路基施工关键技术[J].科技创新,2026,(12):145-148.
- [2] 张世玺.市政道路工程建设中的特殊路基施工关键技术[J].散装水泥,2026,(3):89-91.
- [3] 赵公龙.市政道路路基施工技术及其质量控制研究[J].居业,2025,(11):103-105.
- [4] 张莉莉.市政道路路基工程施工质量控制措施[J].建材发展导向,2025,23(14):19-21.
- [5] 陈海军.市政道路施工中路基沉降段施工关键技术及其质量控制[J].四川水泥,2025,(7):254-255+264.