

公路与城市道路工程路基处理技术研究

孙广宁 王志磊

菏泽市政工程设计研究院有限责任公司 山东 菏泽 274000

摘要:随着我国城镇化推进与交通网络完善,公路与城市道路建设规模扩大,复杂地质下的路基处理成为保障道路质量的核心。本文研究相关处理技术,分析了路基施工环境复杂、规模大、质量要求严的特点,重点探讨不同地基的处理技术:软土地基的换填、排水固结、深层搅拌法,湿陷性黄土地基的强夯、灰土挤密桩法,膨胀土地基的土质改良与隔离层设置,及路基压实技术。同时展望了新材料应用、新技术研发等发展趋势,为提升路基工程质量与稳定性提供参考。

关键词:公路;城市道路;路基处理技术;研究

引言:路基作为公路与城市道路工程的基础,其稳定性直接影响道路使用寿命与行车安全。当前,随着交通建设的快速发展,路基施工面临复杂地质条件、多样环境因素及严格质量标准的多重挑战。软土、湿陷性黄土、膨胀土等特殊地基处理问题突出,传统技术已难以满足现代工程需求。文章基于路基施工特点,系统梳理各类地基处理技术的原理与应用,结合行业发展动态,探讨新材料、新技术及信息化手段在路基工程中的应用前景,旨在为解决路基处理难题、推动道路工程技术进步提供理论与实践借鉴。

1 公路与城市道路工程路基施工特点

1.1 施工环境复杂

公路与城市道路路基施工环境复杂,受自然条件和周边环境双重影响。自然方面,需跨越山地、河谷、湿地等多样地形,面临暴雨、严寒、强风等天气干扰,地质条件常包含软土、冻土、溶洞等特殊地层。周边环境中,城市道路施工涉及既有建筑、地下管线、交通疏导等问题,公路施工可能穿越生态保护区、农田等区域,需兼顾环保与施工进度。此外,不同区域的水文条件差异大,地下水位高低、地表水径流情况直接影响路基稳定性,增加了施工方案设计与现场管理的难度。

1.2 工程规模较大

公路与城市道路工程路基施工通常具有较大规模,体现在施工范围广、工程量大、参与方多等方面。一条公路或城市主干道的路基施工可能绵延数十甚至数百公里,涉及土方开挖与填筑量可达数百万立方米。工程需协调勘察、设计、施工、监理等多方主体,同步推进清表、碾压、排水等多道工序。同时,大规模施工对设备投入要求高,需配备挖掘机、压路机、摊铺机等大型机械数十台,且需统筹材料运输、人员调度等资源,施工

组织管理的复杂性随规模扩大而显著提升,对项目统筹能力提出严峻考验。

1.3 质量要求严格

路基作为道路工程的基础,其质量直接决定道路结构的承载能力和使用寿命,因此质量要求极为严格。施工需满足《公路路基施工技术规范》等标准,对路基压实度、平整度、承载比等指标有明确数值规定,如高速公路路基压实度需达到96%以上。路基质量与行车安全密切相关,若出现沉降、开裂等问题,可能引发路面破损、交通事故等严重后果。此外,城市道路路基还需适应地下管线荷载、地面交通振动等长期作用,需通过严格的质量检测与验收流程,确保路基在设计使用年限内保持稳定,为路面结构提供可靠支撑^[1]。

2 公路与城市道路工程路基处理的技术

2.1 软土地基处理技术

2.1.1 换填法

换填法是处理浅层软土地基的常用技术,其核心原理是将路基范围内一定深度的软土挖除,置换为强度高、稳定性好的材料(如碎石、砂砾、灰土等),通过分层填筑、碾压密实,形成满足承载力要求的垫层。该方法适用于软土层厚度小于3米的区域,操作流程包括基坑开挖、材料摊铺、机械碾压等环节。施工时需严格控制换填材料的级配与含水量,分层厚度通常为20-30厘米,碾压次数根据材料特性确定,确保压实度达到设计标准。换填法能快速提高地基承载力,减少后期沉降,且施工工艺简单、成本较低,但对深层软土处理效果有限,需结合地质勘察确定换填深度。

2.1.2 排水固结法

排水固结法通过设置排水系统加速软土地基的排水固结,利用土体自重或外部荷载(如堆载预压、真空预

压)产生的压力,促使软土中的孔隙水排出,土体孔隙体积减小,从而提高地基强度与稳定性。该技术适用于饱和软黏土、淤泥质土等渗透性差的地层,核心在于构建竖向排水体(如塑料排水板、砂井)和水平排水层(如砂垫层),形成完整的排水通道。施工中需控制排水体的间距、深度及预压荷载大小,根据监测数据调整预压时间,确保地基沉降量满足设计要求。排水固结法能有效减少工后沉降,但处理周期较长,通常需数月甚至数年,适用于对工期要求相对宽松的工程。

2.1.3 深层搅拌法

深层搅拌法是通过特制机械将水泥、石灰等固化剂与软土在地下深处强制搅拌,使固化剂与软土发生化学反应,形成具有一定强度的水泥土桩或复合地基。该方法适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土等软土地基,处理深度可达5-15米,能显著提高地基承载力并降低压缩性。施工时需控制搅拌桩的垂直度、桩长及固化剂掺入量(通常为土重的10%-15%),采用“四搅四喷”或“二搅二喷”工艺确保搅拌均匀。深层搅拌法施工过程中无振动、无噪音,对周边环境影响小,且能适应复杂地形,但对含有大块石或有机质含量高的软土处理效果欠佳,需提前清理障碍物或调整固化剂配方。

2.2 湿陷性黄土地基处理技术

2.2.1 强夯法

强夯法是处理湿陷性黄土地基的高效技术,其原理是利用重锤(通常10-40吨)从高处(6-40米)自由落下,对地基土体施加巨大冲击能,迫使黄土颗粒重新排列、孔隙压缩,消除湿陷性并提高地基承载力。该方法适用于处理地下水位以上、饱和度较低的湿陷性黄土,处理深度可达3-10米,能有效改善黄土的压缩性与稳定性。施工时需根据地质条件确定夯击能量、夯点间距及夯击次数,通常采用“先轻后重、先浅后深”的原则,夯后需通过载荷试验检测地基承载力。强夯法施工工艺简单、工期短、成本较低,但振动与噪音较大,不适用于城市建成区或周边有精密设备的区域,且需做好施工区排水措施以防雨水渗入地基。

2.2.2 灰土挤密桩法

灰土挤密桩法通过将钢管打入湿陷性黄土地基形成桩孔,再填入灰土(通常为消石灰与黏土按3:7或2:8比例混合)并分层夯实,利用桩体挤压作用使桩间土密实,同时灰土与桩周土发生化学反应形成复合地基,从而消除黄土湿陷性。该技术适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土,桩长一般3-15米,可根据湿陷性等级调整桩间距与桩径。施工中需控制桩体压实度(不小于93%)及

灰土配合比,成桩后需养护28天方可进行下道工序。灰土挤密桩法对周边环境影响小,适用于城市道路等敏感区域,且能就地取材降低成本,但对饱和黄土地基处理效果有限,施工时需避免桩孔出现缩颈或坍塌现象。

2.3 膨胀土地基处理技术

2.3.1 改良土质

改良土质是通过向膨胀土中掺入改良剂,改变其矿物成分与物理性质,降低胀缩性的处理技术。常用改良剂包括石灰、水泥、粉煤灰等,其中石灰应用最广泛,掺入量通常为土重的3%-8%。其原理是利用石灰与膨胀土中的黏土矿物发生化学反应,生成稳定的胶凝物质,减少土颗粒间的孔隙,降低吸水膨胀与失水收缩的幅度。施工时需将膨胀土破碎、晾晒至最佳含水量,与改良剂均匀拌合后分层摊铺碾压,压实度需达到90%以上。该方法适用于浅层膨胀土地基(处理深度一般小于3米),能有效提升地基稳定性,但需严格控制改良剂掺量与拌合均匀性,避免因局部改良不充分导致后期变形。

2.3.2 设置隔离层

设置隔离层是通过在膨胀土路基表面铺设不透水或弱透水材料,阻断地表水与膨胀土的直接接触,减少水分变化引发的胀缩变形。常用隔离材料有土工合成材料(如土工膜、复合土工布)、级配砂石、灰土等,铺设厚度通常为30-50厘米。施工时需先对膨胀土地基进行平整碾压,再按设计要求铺设隔离层,确保层间衔接紧密,周边做好防渗处理(如设置截水沟、护坡)。该技术适用于中深层膨胀土地基或地形复杂区域,能配合其他处理方法形成复合防护体系。隔离层不仅能阻隔水分,还可分散上部荷载,但需定期检查材料完整性,防止因破损导致雨水渗入,影响处理效果。

2.4 路基压实技术

路基压实技术是通过机械外力作用,促使土颗粒紧密结合,以此提升路基的强度与稳定性,减少后期沉降。该技术的实施需结合土的物理特性制定针对性方案,对于黏性土,因其黏聚力较强,需采用重型振动压路机,利用高频振动打破土颗粒间的吸附力,通过多次碾压让土颗粒充分密实;而砂性土透水性较好,适合采用光轮压路机并配合振动功能,借助振动让颗粒重新排列以达到密实效果。在施工过程中,要严格遵循“先轻后重、先慢后快、轮迹重叠”的原则,从路基边缘向中心逐步推进,保证路基全断面都能得到均匀压实。对于桥涵台背等空间受限的特殊路段,需使用小型冲击夯或液压振动夯进行补压,避免这些部位因压实不足出现沉降差。同时,施工时要避开雨天,碾压完成后需及时覆

盖保湿,防止路基表层因失水而开裂,从而保障路基长期处于稳定状态^[2]。

3 公路与城市道路工程路基处理技术的发展趋势

3.1 新材料的应用

新材料正成为路基处理技术升级的核心驱动力,有效弥补了传统材料的性能短板。高性能土工合成材料如聚酯长丝土工布、复合土工膜,凭借出色的抗拉强度和抗老化性,在路基防参与加固中发挥关键作用,通过与土体协同分散荷载,减少不均匀沉降。以工业废料为基材的生态固化剂,降低了对水泥、石灰等传统材料的依赖,在提升软土、黄土强度的同时实现废弃物资源化。轻质高强材料如泡沫混凝土、轻质陶粒,显著降低地基附加应力,特别适用于软土地基或既有结构物附近的路基处理。纳米材料的应用为性能优化提供新路径,纳米碳酸钙、纳米硅灰等掺合料可填充土颗粒微孔隙,提升密实度与抗渗性。未来,新材料将向多功能化发展,集强度、环保与智能感知于一体,为路基长效稳定提供更可靠保障。

3.2 新技术、新工艺的研发

新技术与新工艺不断突破传统局限,为复杂地质条件提供创新解决方案。多向搅拌桩技术通过多轴机械立体搅拌,实现固化剂与土体全方位混合,大幅提升桩体均匀性与承载能力,适用于富含夹层的复杂地层。冲击碾压联合强夯工艺结合高频低幅振动与低频高幅冲击,既能快速密实表层土体,又能深层消除地基湿陷性,施工效率提升显著。电化学加固技术通过电极直流电作用,利用电渗排出孔隙水并促使土颗粒胶结,解决高含水量软土地基处理工期长的问题。模块化预制路基技术将结构分解为标准化构件,工厂批量生产后现场组装,减少现场作业时间与扬尘污染,提升整体稳定性。未来,新技术与新工艺将更注重与地质条件的适配性,通过智能化装备与精细化施工,实现处理效果的精准可控。

3.3 信息化施工

信息化施工借助数字技术与智能装备,实现了路基处理全过程的可视化与可控化。BIM技术整合勘察、设计、施工信息构建三维模型,设计人员可模拟不同地质条件下的变形趋势以优化方案,施工人员依据模型精准操作,减少返工。物联网监测系统通过植入沉降计、测

斜仪等传感器,实时采集土体变形、应力分布等数据,经云端平台AI算法分析生成预警信息,指导动态调整施工参数,避免地基失稳。无人机航测与三维激光扫描技术为进度与质量监控提供高效手段,无人机航拍生成正射影像可快速识别超挖、欠填问题,三维激光扫描能精准评估压实平整度与坡度偏差。未来,信息化施工将向“数字孪生”发展,通过虚拟模型实现全生命周期动态管理,提升智能化水平。

3.4 节能环保

节能环保推动路基处理向绿色低碳转型,实现工程与生态协同发展。低碳施工工艺不断创新,低冲击强夯通过调整锤重与落距减少振动噪音影响;原位再生技术将旧路面材料破碎筛分后重新利用,每公里路基可节约大量石料,减少建筑垃圾与新料开采。生态防护技术促进路基与自然融合,植被混凝土、生态袋等材料在保证边坡稳定的同时为植物提供生长基质,形成绿色屏障;淤泥固化再利用技术将河道淤泥处理后用于路基填筑,避免土地占用与水体污染。清洁能源装备如电动压路机、太阳能监测设备降低碳排放,新型保湿养护材料减少用水消耗。未来,节能环保将注重全生命周期绿色评估,实现各环节能耗与污染最小化,推动路基工程进入可持续发展新阶段^[3]。

结束语

综上所述,公路与城市道路工程路基处理技术对保障道路结构安全与寿命至关重要。本文梳理了不同地基类型的处理技术,分析了施工特点,并展望了新材料、新技术、信息化及节能环保的发展方向。这些技术的应用与创新,为解决复杂地质条件下的路基难题提供了支撑。未来,需持续推动技术升级与实践融合,以适应交通建设高质量发展需求,为构建安全、高效、绿色的道路网络奠定坚实基础。

参考文献

- [1]卢垒.浅谈城市道路路基填筑施工技术[J].绿色环保建材,2021(05):106-107.
- [2]晏世海.城市道路路基施工技术及其质量控制探讨[J].黑龙江交通科技,2022,41(05):17+19.
- [3]毋军红.公路及城市道路路基施工技术研究[J].西部交通科技,2022(01):14-16+19.