

交通公路工程软基处理的研究

周楠

三门峡市国道三一零南移项目建设管理有限公司 河南 三门峡 472000

摘要: 交通公路工程中,软土地基因含水量高、压缩性强、抗剪强度低等特性,易引发沉降、滑坡等问题,威胁工程安全。当前软基处理技术多样,涵盖换填法、排水固结法、深层搅拌法、预压法及复合地基法等。技术选择需综合地质条件、工程要求、经济性及环保性。优化施工质量控制,加强沉降监测与桩体检测,可显著提升软基处理效果,保障公路工程稳定性与耐久性。

关键词: 交通公路工程;软基处理;施工质量控制

引言: 交通公路建设作为国家基础设施发展的核心环节,其稳定性与耐久性直接关系到区域经济与民生安全。然而,软土地基因其高含水量、低强度、高压缩性等特性,常导致路基沉降、不均匀变形及边坡失稳等工程病害,显著增加施工难度与后期维护成本。如何科学选择与优化软基处理技术,成为保障公路工程质量的课题。本文系统梳理软基工程特性,分析主流处理技术原理与适用性,并提出技术选型及施工控制策略,为同类工程提供理论参考。

1 交通公路工程软土地基的工程特性与分类

1.1 软土的定义与形成条件

(1) 地质成因: 软土多形成于第四纪晚期,主要由河流、湖泊、海洋等水域沉积而成。河流沉积型软土多分布于河流泛滥平原、三角洲地带,因水流搬运的细颗粒泥沙长期淤积形成;湖泊沉积型软土常见于内陆湖泊周边及湖底,由湖泊水体中悬浮的黏土、粉土颗粒缓慢沉降形成;海洋沉积型软土则分布于沿海滩涂、近海区域,由海水携带的细颗粒物质在静水环境下沉积形成。

(2) 物理力学性质: 软土具有高含水量特性,通常含水量大于30%,部分可达60%以上;孔隙比大,一般大于1.0,部分超过1.5;压缩模量低,多在2-5MPa之间,压缩性极强;抗剪强度低,内摩擦角多小于 10° ,黏聚力通常小于20kPa,且触变性和流变性显著。

1.2 软土地基的分类

(1) 按沉积环境分类: 主要包括滨海软土、河湖软土、沼泽软土和谷地软土。滨海软土含盐量高,工程性质受海水影响显著;河湖软土分布广泛,厚度不均;沼泽软土富含腐殖质,有机质含量高;谷地软土多形成于山间谷地,受地形限制分布范围较窄。(2) 按工程性质分类: 可分为高灵敏度软土、腐殖质软土、淤泥质软土等。高灵敏度软土受扰动后强度急剧降低,灵敏度可达10

以上;腐殖质软土有机质含量大于5%,稳定性极差;淤泥质软土颗粒更细,压缩性和含水量较普通软土更高^[1]。

1.3 软基对公路工程的危害

(1) 沉降过大导致路面开裂: 软土压缩性强,公路运营期间易产生较大工后沉降,当沉降量超过路面承受极限时,会导致路面出现纵向、横向裂缝,影响行车舒适性和安全性。(2) 不均匀沉降引发结构破坏: 软土地基分布不均或厚度变化大时,易产生不均匀沉降,导致公路路基、桥涵台背等结构出现倾斜、错台,严重时会造成桥梁支座损坏、涵洞开裂等结构性破坏。(3) 稳定性不足导致滑坡或坍塌: 软土抗剪强度低,在公路路基自重、行车荷载及降雨、地下水渗透等外力作用下,易发生路基边坡滑坡、基底坍塌等灾害,直接威胁公路工程安全,甚至导致交通中断。

2 交通公路工程软基处理技术分类与原理

2.1 物理处理法

(1) 换填法: 适用条件为软土厚度较薄(通常小于3m)、承载力要求不高的公路路基段,尤其适用于浅层软土分布均匀的区域。施工要点包括: 先清除表层软土至稳定土层,选择级配良好的碎石、砂砾等透水性材料作为换填层,分层摊铺厚度控制在20-30cm,采用压路机分层碾压密实,压实度需达到93%以上,确保换填层承载力满足设计要求。(2) 排水固结法: 核心原理是通过设置排水通道加速软土中孔隙水排出,促进土体固结硬化。常用形式包括砂井排水和塑料排水板排水,砂井采用直径30-50cm的砂柱,按等边三角形或正方形布置,间距1.5-3m;塑料排水板具有排水效率高、施工便捷的优势,采用插板机植入软土,形成垂直排水通道,配合地表排水系统实现孔隙水快速消散^[2]。(3) 预压法: 通过预先施加荷载使软土提前完成大部分固结沉降,减少工后沉降。堆载预压适用于软土厚度中等的区域,采用土

石等材料分层堆载,荷载逐级施加,避免土体扰动;真空预压通过在软土表面铺设密封膜,利用真空泵形成负压,促使软土孔隙水向排水通道流动,适用于对周边环境要求较高的区域,无需堆放重物。

2.2 化学处理法

(1) 水泥搅拌桩:原理是通过搅拌机将水泥浆与软土强制搅拌均匀,水泥与软土发生水化反应生成固化产物,提升土体强度和稳定性。适用范围为软土厚度3-15m、承载力要求中等的路基及桥涵台背处理,不适用于有机质含量过高(大于10%)的软土。(2) 高压喷射注浆法:通过高压注浆泵将水泥浆以20-40MPa的压力从喷嘴喷出,冲击切割软土并与其混合凝固,形成柱状、壁状等固结体。工艺参数控制要点包括:注浆压力根据软土密实度调整,喷射速度控制在0.8-1.5m/min,提升速度0.1-0.3m/min,确保固结体强度均匀,适用于深层软土及复杂地质条件的软基处理。(3) 化学加固剂改良:利用石灰、粉煤灰、水泥土等化学材料与软土混合,通过离子交换、胶凝作用改善软土物理力学性质。石灰改良适用于塑性指数较高的软土,可降低含水量、提升强度;粉煤灰改良兼具经济性和环保性,与水泥配合使用可增强固化效果,适用于大面积浅层软基处理。

2.3 复合处理法

(1) 桩-网复合地基:通过在软土中设置桩体(如水泥搅拌桩、CFG桩、碎石桩等)与上部土工格栅网垫组成复合体系,桩体承担主要荷载,网垫分散应力、抑制浅层沉降。桩体类型根据软土性质选择,承载力要求高时选用CFG桩,软土含水量极高时选用碎石桩;网材选择高强度土工格栅,抗拉强度不小于80kN/m,确保整体承载稳定性。(2) 加筋土技术:将土工格栅、土工布等加筋材料埋入软土路基中,利用加筋材料的抗拉性能约束土体变形,提升路基整体刚度和承载力。土工格栅适用于路基边坡加固及基底处理,可有效防止边坡滑移;土工布兼具排水和加筋作用,常用于浅层软基表面铺垫,减少不均匀沉降,适用于软土分布零散的路段^[3]。

2.4 新兴技术

(1) 真空联合堆载预压技术:结合真空预压和堆载预压的优势,通过负压和堆载双重作用加速软土固结,相比单一预压技术,固结时间缩短30%-50%,适用于深厚软土路段,可显著提升地基承载力,减少工后沉降。

(2) 动力排水固结法:在传统强夯法基础上改进,通过强夯冲击产生的动力使软土孔隙水快速排出,同时促进土体密实,适用于饱和粉土、粉质软土等可排水软土,施工时需控制夯击能量和间距,避免对周边构筑物造成

扰动。(3) 生物酶固化技术:采用环保型生物酶作为加固剂,通过生物酶催化作用改善软土颗粒结构,提升土体凝聚力,具有无污染、施工便捷、固化周期短的优势,适用于对环保要求高的公路路段,尤其适用于浅层软基改良。

3 交通公路工程软基处理技术选择与优化

3.1 技术选择原则

(1) 适配地基条件:需精准匹配软土核心参数,软土厚度小于3m时优先选用换填法;厚度3-15m且含水量高时,排水固结法、水泥搅拌桩法更适用;埋深大、分布不均的深层软土则需考虑高压喷射注浆法或桩-网复合地基。同时需结合含水量、孔隙比等指标,对高灵敏度软土避免采用强扰动类技术。(2) 满足工程要求:严格契合承载力与沉降控制标准,高速公路等重载交通路段,需选用桩-网复合地基等高强度处理技术,确保地基承载力 $\geq 180\text{kPa}$;对工后沉降要求严苛(如桥涵衔接段),优先采用真空联合堆载预压等快速固结技术,控制沉降量 $\leq 10\text{cm}$ 。(3) 兼顾经济性与环保性:经济性方面,需对比施工材料、机械租赁、工期成本,优先选择本地材料易获取、施工工艺简便的技术;环保性上,避开对周边水体、土壤有污染的化学加固剂,在生态敏感区优先采用生物酶固化、真空预压等环保型技术。

3.2 多因素综合评价模型

(1) 层次分析法(AHP)在技术选型中的应用:通过构建三层评价体系实现科学选型,目标层为“最优软基处理技术”,准则层涵盖地基适配性、工程达标度、经济性、环保性,方案层为备选处理技术。通过两两对比确定各指标权重,经一致性检验后计算综合得分,得分最高者即为最优方案,可有效降低主观决策误差。

(2) 模糊综合评价法示例:以某滨海软土路段为例,选取换填法、塑料排水板+堆载预压、水泥搅拌桩三种方案,设定“地基适配性、施工难度、成本、环保性”4个评价因素,邀请5名专家按“优秀、良好、一般、较差”四级评分。通过建立模糊评判矩阵,结合权重向量计算各方案隶属度,最终得出塑料排水板+堆载预压方案隶属度最高,为该路段最优选择,适用于参数模糊的复杂地质场景^[4]。

4 交通公路工程软基处理施工质量控制

4.1 施工前准备

(1) 地质勘察与试验段验证:施工前需开展详细地质勘察,采用钻探、原位测试等手段,精准查明软土分布范围、厚度、含水量、孔隙比、压缩模量等核心参数,为技术选型和施工方案制定提供依据。同时,必须

设置试验段,选取代表性路段复刻正式施工工艺,通过试验段施工验证施工参数的合理性,如排水固结法的排水板间距、预压荷载分级标准,水泥搅拌桩的搅拌转速、注浆量等,明确施工流程中的关键控制点,形成试验总结报告指导全域施工。(2)材料质量检测:严格把控核心材料进场质量,水泥需核查出厂合格证、检验报告,进场后按批次抽样检测强度、安定性等指标,确保符合设计要求,严禁使用受潮、过期水泥;土工合成材料(土工格栅、土工布、塑料排水板等)需检测抗拉强度、延伸率、渗透系数等关键性能,进场前进行抽样复试,不合格材料坚决清退出场;砂石料、化学加固剂等其他材料也需按规范完成进场检测,建立材料质量台账,实现全程可追溯。

4.2 施工过程监控

(1)沉降观测与孔隙水压力监测:在软基处理区域布设沉降观测点和孔隙水压力计,观测点按等边三角形或正方形布置,间距根据地质条件确定为10-30m,关键路段加密设置。施工期间每日监测沉降量和孔隙水压力变化,预压阶段需跟踪沉降速率,当沉降速率大于10mm/d时暂停加载,待速率稳定后再继续;孔隙水压力达到设计值的80%时需放缓施工节奏,确保软土固结稳定,避免因加载过快引发地基失稳,监测数据实时整理分析,作为调整施工参数的重要依据。(2)桩体完整性检测:针对水泥搅拌桩、CFG桩等桩体结构,采用低应变动力试桩法进行完整性检测,检测数量不低于总桩数的10%,且每个施工班组、每台设备至少检测1组。检测时通过传感器采集桩体反射波信号,判断桩身是否存在断桩、缩颈、夹泥等缺陷,若发现不合格桩,需及时查明原因,采取补桩、注浆加固等措施处理。同时,施工过程中同步监控桩位偏差、桩长、注浆量等参数,桩位偏差控制在50mm以内,确保桩体承载性能达标^[5]。

4.3 常见问题与防治措施

(1)排水不畅导致固结时间延长:防治措施为优化排水系统设计,确保排水板、砂井等排水通道布置均匀,插入深度达标,避免出现断裂、错位;砂垫层施工需保证厚度均匀、压实密实,防止出现局部凹陷导致排

水受阻;施工过程中及时清理排水通道内的淤泥、杂物,定期检查排水系统通畅性,必要时增设辅助排水设施加速孔隙水排出。(2)桩体偏位或断桩处理:预防方面,施工前精准放桩位并设置定位导向装置,钻机就位后校准垂直度;施工中控制钻进速度和提升速度,避免扰动周边土体导致桩位偏移。若出现桩体偏位,偏差较小时可调整后桩位进行补偿,偏差过大时需拆除重新施工;发现断桩时,需在断桩两侧补打加强桩,或采用压浆加固法处理断桩区域,确保桩体受力均匀。(3)施工对周边环境的影响:针对振动影响,选用低振动施工机械,在临近建筑物、管线的区域设置减震沟,控制强夯、钻孔等施工工序的作业强度和时长;对于噪音污染,合理安排施工时段,避开夜间和午休时间施工,对施工机械进行降噪改造,在施工区域周边设置隔音屏障。同时,建立环境监测机制,实时跟踪振动、噪音指标,确保符合环保标准。

结束语

交通公路工程软基处理是保障道路安全与耐久性的关键环节。通过系统研究软土工程特性,合理选择换填、排水固结、化学加固及复合地基等技术,并结合地质条件、工程需求与环保要求进行优化,可有效控制沉降变形,提升地基承载力。未来需进一步探索智能化监测与绿色加固技术,推动软基处理向高效、可持续方向发展,为交通基础设施高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]何伟龙.公路施工中软土地基处理技术应用研究[J].企业科技与发展,2022,(05):22-24.
- [2]任喜明,乔艳军.浅析公路工程施工中软土地基问题及处理技术[J].技术与市场,2021,(03):90-92.
- [3]麻江涛.公路施工中软土地基处理分析[J].四川水泥,2020(09):33-35.
- [4]刘晓东.公路设计中软土的处理策略初探[J].黑龙江交通科技,2021,(11):34-36.
- [5]赵孝斌.建筑工程中软土地基处理技术的应用分析探究[J].工程建设与设计,2022,(12):112-114.