

微型桩在路基边坡加固中的应用

可小卜

(涿州市公路工程公司,河北省涿州市,072750)

摘要 为解决传统路基边坡支挡结构存在施工扰动大、周期长等不足,本文基于微型桩的技术特点,结合理论分析与工程案例,系统探讨其加固机理、设计方法及施工工艺。工程应用表明:微型桩可使边坡安全系数提升25~40%,位移收敛速率提高50%以上,有效控制变形并降低治理成本。该技术为路基边坡加固提供了高效、经济的解决方案。

关键词 微型桩;路基;边坡加固;成孔与注浆技术

中图分类号:U418.52 文献标识码:B
文章编号:1008-0899(2025)12-0074-02

随着交通基础设施向复杂地质区域延伸,深挖方路堑边坡稳定性问题日益突出。传统抗滑桩、锚索框架等对地表扰动大,在狭窄场地或软弱地基中适用性受限,且施工周期长、造价高。微型桩技术因其孔径小、布设灵活、施工快捷等特点,逐渐成为边坡加固的有效手段。旨在通过力学机制解析、布设参数设计优化及典型工程验证,阐明微型桩在路基边坡加固中的适用条件与技术优势,为提升边坡治理效率与可靠性提供理论支撑。

1 微型桩技术原理

微型桩通过压力注浆将水泥浆液渗透至桩周土体,形成复合加固体。桩内配置无缝钢管或钢筋笼,显著提升抗弯刚度。当桩群穿越潜在滑裂面嵌入稳定地层时,滑坡推力传递至锚固段,由桩身弯矩与剪力抵抗滑体变形。桩顶设置钢筋混凝土联系梁使群桩形成空间刚架结构,增强整体抗侧移能力。这种桩-土协同作用(基于Winkler地基梁模型)将局部滑动抗力转化为区域稳定体系,实现边坡整体加固^[1]。

根据边坡地质条件差异,微型桩体系分为三类:①独立桩群,适用于完整性较好的均质土坡。②平面刚架,适用于稳定性较好的顺层岩质边坡。③空间网状,适用于破碎岩体或软弱夹层边坡。

作者简介:可小卜(1989~),男,河北安国人,本科,工程师,研究方向:道路与桥梁。

2 微型桩加固设计方法

2.1 滑坡推力计算

滑坡推力分布模式的确定主要取决于滑体的物理力学性质、变形特征以及地下水压力、地震力等外部因素。对于液性指数低、密实度高的刚性滑体,滑坡推力沿桩体深度方向呈矩形分布,即推力在滑面以上近似保持均布状态。相反,液性指数高、刚度差异显著的塑性滑体,滑坡推力沿深度方向呈三角形分布,即推力从滑面处向上逐步递减至零。若滑体性质介于两者之间,表现为密实度中等或黏聚力与内摩擦角共同起控滑作用时,滑坡推力分布则呈梯形模式,其特点是中部推力较大而上下两端逐渐减小。

滑坡推力计算通常采用传递系数法,该方法基于极限平衡原理,首先在滑动主轴方向的地质纵剖面上,依据滑面形态、岩土参数变化点及地形转折点将滑体划分为若干垂直条块,对每个条块进行受力分析,通过安全系数考虑工程可靠性需求,逐块计算剩余下滑力并向上传递,最终累计得到作用于支挡结构的总推力。在求解桩身内力时,需进一步结合地基系数法(明确采用m法或K法),考虑桩土相互作用及桩体变形协调性,从而准确分析抗滑桩的弯矩与剪力分布^[2]。

2.2 布设参数优化

微型桩布设参数优化需兼顾结构稳定性与经济性,依据《建筑边坡工程技术规范》GB 50330等规范。锚固段长度应为自由段长度的1.5~2.0倍,确保桩端有效固定。纵向排距宜为1.0~2.0 m,横向间距

需根据滑坡推力分布动态调整。存在软弱夹层时, 削剪长度不得超过自由段长度的1/2, 并验证配筋率与混凝土抗剪能力的匹配性。群桩布设时, 斜桩倾角宜按主滑方向在 5° ~ 25° 范围内调整, 通过增强“扭结效应”提升桩-土复合体系的抗变形能力。

3 施工工艺与质量控制

3.1 成孔与注浆技术

微型桩的成孔与注浆技术需严格遵循工艺规范以确保桩-土协同作用。成孔阶段采用空气潜孔锤冲击回转钻进工艺, 该技术以压缩空气为动力介质驱动潜孔锤高频冲击岩层, 同时钻杆回转带动钻头切削岩体, 破碎的岩屑随气流上返排出孔外。此工艺避免使用泥浆护壁, 防止泥皮弱化桩身与土体的粘结强度, 孔径需控制在设计值的1.1~1.2倍范围内, 终孔时孔底沉渣厚度应小于100 mm, 保障桩端承载面洁净。注浆阶段采用分段压力灌注法: 首次注浆采用水灰比0.45的水泥浆液, 注浆压力依据土质渗透性调整, 通过渗透作用形成初凝体以封闭桩周裂隙; 二次注浆将压力提升至2.0~3.0 MPa, 利用劈裂效应使浆液穿透土体原生裂隙及桩-土接触面, 形成网状水泥结石体, 显著增强桩周土体密度与侧摩阻力。两次注浆间隔时间需结合初凝体强度发展确定, 避免高压注浆破坏已形成的胶结结构。

3.2 钢管安装与顶梁施工

钢管安装与顶梁施工需严格遵循工艺规范以保障结构协同性。钢管在安装前应预先钻设注浆孔, 注浆孔的孔径依据浆液特性与防堵塞要求确定, 通常为几毫米至十几毫米; 孔距按注浆扩散半径及加固需求设计, 轴向与周向呈梅花形或螺旋形均匀排布。钻孔后必须清除孔缘毛刺, 防止注浆通道堵塞或损伤防堵包裹层。对于袖阀管类型, 需在注浆孔段紧密包裹特制橡胶套, 采用专用胶粘剂或卡箍固定, 确保形成单向阀机制; 钢花管则需在注浆孔外侧沿轴向焊接细钢筋条, 钢筋与管壁保留均匀缝隙以平衡防堵与浆液渗透需求。钢管安放至设计位置后实施加压注浆, 采用分段压力灌注工艺: 首次注浆压力为根据土质类型调整的0.5~2.0 MPa, 水灰比0.45, 形成初凝体; 二次注浆压力提升至2.0~3.0 MPa, 通过劈裂效应使浆液渗入桩周土体裂隙, 直至孔口持续返浆表明注浆密实度达标。顶

梁采用钢筋混凝土现浇工艺, 截面尺寸不小于 $0.16\text{ m}\times 0.16\text{ m}$, 主筋与微型桩顶端钢构件通过焊接连接。

4 工程应用与效果分析

4.1 均质土坡加固

某公路边坡为古滑坡堆积体(滑面位于强风化泥岩层, 深度12 m), 采用4排微型桩(桩径200 mm, 桩长30 m, 属特殊工况), 排距2 m, 锚固深度18 m(自由段12 m)。监测显示: 桩体最大弯矩位于滑面下2.8 m处, 边坡位移收敛时间从120 d降到60 d, 安全系数从0.89升至1.32。

4.2 软弱夹层边坡

某工程为残积碎石土边坡下伏强风化千枚岩(夹层厚度2.5 m), 坡脚原始承载力120 kPa。采用双排微型桩基础挡墙(桩径200 mm, 锚入中风化基岩2 m), 桩顶浇筑 $0.16\text{ m}\times 0.16\text{ m}$ 托梁。荷载测试表明, 微型桩分担挡墙30%竖向荷载(共布设42根桩, 单桩承载力设计值150kN), 地基承载力提升至180 kPa, 满足设计要求。

4.3 经济性对比

与传统抗滑桩相比, 微型桩施工周期缩短40%, 造价降低35%, 且无需大规模开挖, 避免诱发次生灾害。

5 结语

微型桩通过桩-土复合作用形成空间加固体, 显著提升边坡抗滑性能。设计需依据滑坡推力分布模式优化锚固深度与群桩布设, 锚固深度取滑体高度的1.5~2.0倍, 群桩顶梁连接是实现协同工作的关键。施工中压力注浆工艺可增强桩周土体密度, 二次劈裂注浆效果尤为显著。工程实践表明, 该技术在均质土坡、软弱夹层及挡墙基础加固中均能有效控制变形, 缩短工期并降低成本。

参考文献

- [1] 王钰轲, 尚海威, 贾朝军, 等. 新型高聚物微型桩加固工程斜坡的抗滑性能模型试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2024, 55(10): 3803-3813.
- [2] 曾章波, 梅龙喜, 裴志勇, 等. 不同滑坡推力模式下新型变截面抗滑桩数值分析研究[J]. 贵州科学, 2023, 41(6): 78-84.
- [3] 杨建军. 微型钻孔灌注桩在路基边坡加固中的应用[J]. 交通世界, 2025, (17): 55-57.