

## 抗滑桩参数变化对土质边坡稳定性的影响研究

丁桥军, 董铁斌

(湖南路桥建设集团有限责任公司, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 为研究抗滑桩不同施工参数对土质稳定性的影响, 针对某人工加固土质边坡工程, 采用 FLAC<sup>3D</sup> 建立数值模型, 对抗滑桩不同截面尺寸、锚固深度和桩间距对边坡位移、安全系数、最大弯矩和剪力的影响进行分析。结果表明, 增大抗滑桩截面尺寸可降低边坡变形, 减小边坡受力, 提高边坡的稳定性; 适宜的抗滑桩锚固深度和间距可使边坡变形最小、受力最合理、稳定性最好。

**关键词:** 公路; 土质边坡; 抗滑桩; 截面尺寸; 锚固深度; 桩间距; 稳定性

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)01-0068-04

抗滑桩以其经济实用、布置方便和超强的抗滑能力等优点而成为公路边坡防护的重要形式之一。但实际工程中由于抗滑桩参数设计不足等缺陷导致边坡失稳的现象时有发生, 研究抗滑桩的设计参数对维护边坡稳定性具有重要意义。罗勇等对 h 型抗滑桩在滑坡治理中的变形特性及内力进行分析, 得出 h 型抗滑桩治理特大型滑坡的效果显著, h 型抗滑桩形成整体后的一段时间内滑坡变形收敛, 边坡趋于稳定; 李梅等基于土拱效应对抗滑桩桩距展开研究, 从经济与安全两方面综合考虑选取最优桩距, 优化后桩距从 5.16 m 增为 5.5 m, 经济上节约 11%; 李恒杨等针对圆形与矩形截面门架式抗滑桩性能进行对比分析, 发现相同截面积和埋深情况下圆形门架桩的抗滑性能优于矩形门架桩, 且能减少配筋; 吴静华等对桩前不开挖的抗滑桩进行离心机模型试验研究, 得出在不开挖情况下抗滑桩对周围土体响应有一定加固和阻滞作用, 桩顶位移随地震波的输入变大。上述研究基本只对抗滑桩的单一参数或性能及布置形式, 对抗滑桩本身设计参数变化的影响研究较少。该文以某人工加固土质边坡为工程背景, 分析抗滑桩不同设计参数对边坡变形、内力及稳定性的影响, 为边坡工程抗滑桩设计提供参考。

## 1 工程概况

某人工加固土质边坡处于丘陵地带, 坡角为  $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ , 顶平坡陡。边坡地层填土分别为带碎石的粉质黏土、滑坡体土及黏土, 其物理力学参数见表 1。存在滑坡危害的坡体长度近 85 m, 滑坡体积达 3 万  $m^3$ , 同时滑坡体顶部出现大量裂缝, 中部出现多道张拉裂缝, 存在严重滑坡隐患。该边坡地面长

116 m, 整体坡高 33 m, 边坡后缘长 12 m, 前缘长 20 m。为加固边坡, 在离坡角约 20 m 处平行设置两道长度为 19 m 的矩形截面抗滑桩, 间距为 4 m, 截面尺寸为  $2\text{ m} \times 3\text{ m}$ 。边坡截面见图 1。

表 1 边坡土体的物理力学参数

地层	重度/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	粘聚力/ kPa	内摩 擦角/ ( $^{\circ}$ )	弹性 模量/ MPa	泊松 比
粉质黏土	21	18	25	25	0.30
滑坡体土	22	17	20	30	0.30
黏土	21	13	15	20	0.25

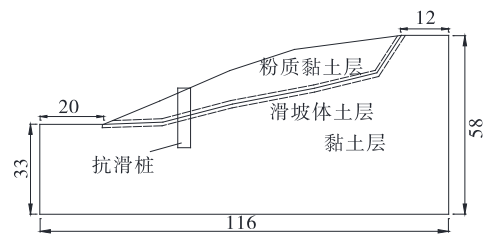


图 1 边坡截面简化示意图(单位: m)

## 2 模型建立

运用有限元软件 FLAC<sup>3D</sup> 建立长、高分别为 116 和 58 m 的人工加固边坡数值模型, 包含 4 525 个单元、6 682 个节点(见图 2)。

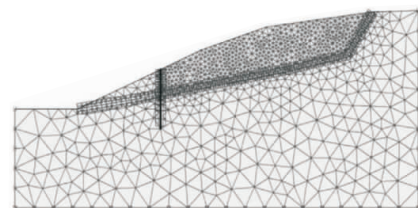


图 2 边坡有限元模型

模型中采用强度折减法计算边坡安全系数,以计算收敛值判定边坡是否失稳。选取自重应力场作为初始应力场。假定条件为抗滑桩与岩土均为理想线弹性体,土体为理想弹塑性体。本构模型采用可同时考虑关联流动拉伸屈服与非关联流动剪切屈服的摩尔-库仑模型。边界条件为上部设置为自由边界,两侧进行法向约束,底部采用固定约束。抗滑桩选用桩单元模拟,桩单元和模型网格间的相互作用采用法向与切向的耦合弹簧模拟,耦合弹簧为非线性弹簧-滑块连接体。抗滑桩的物理参数见表2。

表2 抗滑桩的物理力学参数

项目	参数值	项目	参数值
桩径/mm	2 800	弹性模量/MPa	35
桩间距/m	4	泊松比	0.2
法向刚度/ (kN·m <sup>-1</sup> )	2.8×10 <sup>7</sup>		

### 3 结果与分析

#### 3.1 截面尺寸

抗滑桩一般分为矩形截面和圆形截面两种布置形式,实际工程中应用较多的为矩形截面抗滑桩。为研究不同矩形截面尺寸抗滑桩对边坡变形、内力及稳定性的影响,分别针对布置截面尺寸为0.5 m×1 m、1 m×1.5 m、1.5 m×2 m、2 m×2.5 m、2 m×3 m抗滑桩的边坡水平和竖直位移、最大弯矩和剪力、安全系数进行对比分析。抗滑桩截面尺寸对边坡变形、结构内力和稳定性的影响分别见图3、图4、图5。

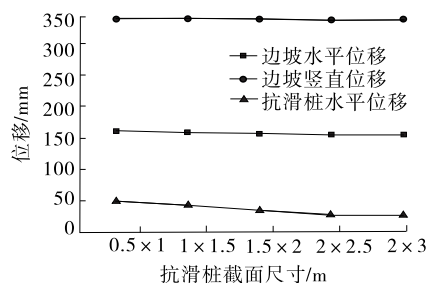


图3 抗滑桩不同截面尺寸一位移变化曲线

由图3可知:随着抗滑桩截面尺寸的增大,边坡水平位移、竖直位移及抗滑桩水平位移均逐渐减小,其中边坡水平和竖直位移的减小趋势较平缓,抗滑桩水平位移变化较大;截面尺寸超过2 m×2.5 m后,各方向位移变化均趋于稳定,说明增大抗滑桩截面尺寸虽能减少边坡变形,但当截面尺寸达到某值

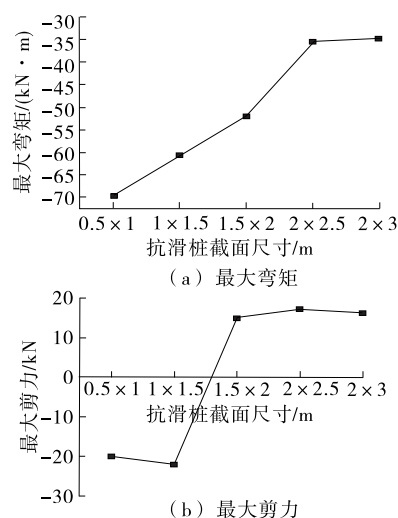


图4 抗滑桩不同截面尺寸一边坡结构内力变化曲线

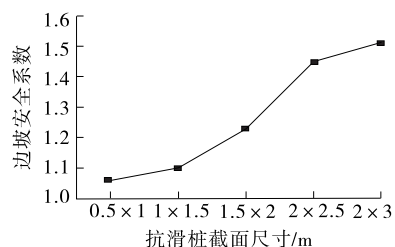


图5 抗滑桩不同截面尺寸一边坡安全系数变化曲线

时将不再对边坡变形造成影响。

由图4可知:1) 随着抗滑桩截面尺寸的增大,边坡的最大负弯矩不断减小,整体降幅较大。截面尺寸由0.5 m×1 m增至2 m×2.5 m时,最大负弯矩呈现较大减小趋势;截面尺寸超过2 m×2.5 m后,最大负弯矩逐渐趋于稳定。说明增大截面尺寸可降低最大负弯矩,维护边坡的稳定。2) 边坡的最大剪力随着抗滑桩截面尺寸的增大呈现先负向增大后正向增大的不规则变化,截面尺寸较小时,最大剪力呈现较大负值;截面尺寸较大时,最大剪力开始转为正值;截面尺寸超过2 m×2.5 m后,最大剪力趋于稳定。

由图5可知:随着抗滑桩截面尺寸的增大,边坡安全系数呈现逐渐增大趋势,且呈现明显的分段性增幅,说明增大抗滑桩截面尺寸可提高边坡的稳定性;截面尺寸达到2 m×2.5 m后,安全系数逐渐趋于稳定。

综上,增大抗滑桩截面尺寸可减小边坡变形和受力,提高边坡的稳定性。考虑到成本控制和施工难度,不能过大增加抗滑桩截面尺寸,实际工程中抗滑桩矩形截面尺寸以2 m×2.5 m为宜。

### 3.2 锚固深度

抗滑桩埋入边坡土层的桩长即为锚固深度,不同埋深对边坡的影响存在较大差异。为研究抗滑桩不同锚固深度对边坡变形、内力及稳定性的影响,针对布置锚固深度分别为4、6、8、10及12 m抗滑桩的边坡水平和垂直位移、最大弯矩和剪力、安全系数进行对比分析。不同抗滑桩锚固深度对边坡变形、结构内力和稳定性的影响分别见图6、图7、图8。

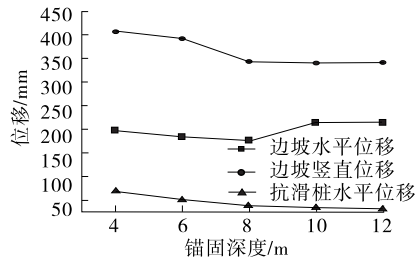


图6 抗滑桩不同锚固深度一位移变化曲线

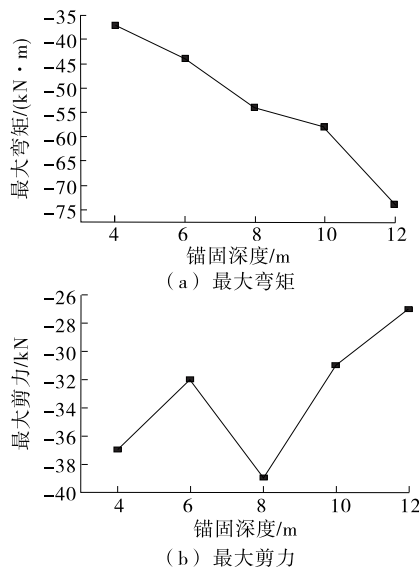


图7 抗滑桩不同锚固深度一边坡结构内力变化曲线

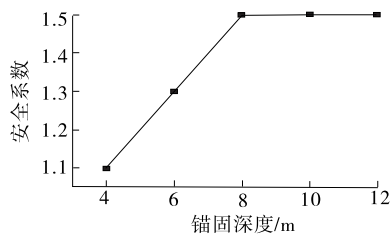


图8 抗滑桩不同锚固深度一边坡安全系数变化曲线

由图6可知:随着抗滑桩锚固深度的加大,边坡垂直位移和抗滑桩水平位移均逐渐减小,边坡水平位移则先减后增最后逐渐达到稳定。锚固深度由4 m增至8 m时,各方向位移减小趋势较明显;锚固

深度超过8 m后,边坡位移变化逐渐达到稳定状态。增加抗滑桩锚固深度可减少边坡变形,考虑到边坡水平位移的变化,锚固深度为8~10 m时,边坡变形整体最小。

由图7可知:1) 随着抗滑桩锚固深度的增加,边坡最大弯矩不断增大,说明锚固深度越大,抗滑桩受力越大,发生的弯曲越大。锚固深度为10~12 m时,最大弯矩增幅最大,说明过大的锚固深度会对抗滑桩受力造成较大影响,从而导致边坡稳定性下降;锚固深度为8~10 m时,最大弯矩增幅最小,抗滑桩的受力合理,可更好地维持边坡的稳定。2) 随着抗滑桩锚固深度的加大,边坡最大剪力呈先减后增再减的变化趋势。锚固深度由4 m增至6 m时,最大剪力减小约5 kN;锚固深度由6 m增至8 m时,剪力增大约7 kN;锚固深度超过8 m后,最大剪力直线下降。抗滑桩锚固深度过大容易造成抗滑桩剪力损失较大,导致边坡稳定性下降。

由图8可知:边坡安全系数随着抗滑桩锚固深度的增加而增大,并逐渐达到一个稳定值。锚固深度由4 m增至8 m时,边坡安全系数呈线性增加;锚固深度超过8 m后,稳定系数不再变化。

综上,为保证边坡变形最小、受力最合理、稳定性最强,对于长度为19 m的抗滑桩,锚固深度以8 m为最佳。

### 3.3 桩间距

合理的抗滑桩间距不仅能提升边坡的稳定性,更能减少工程造价、降低施工难度。为研究抗滑桩不同间距对边坡变形、内力及稳定性的影响,针对桩间距分别为3、3.5、4、4.5、5 m的边坡水平和垂直位移、最大弯矩和剪力、安全系数进行对比分析。不同抗滑桩间距对边坡变形、结构内力和稳定性的影响分别见图9、图10、图11。

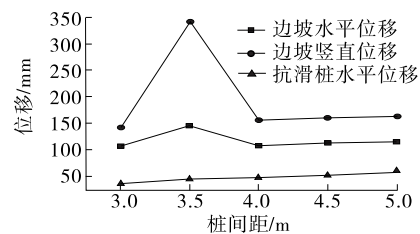


图9 抗滑桩不同间距一位移变化曲线

由图9可知:边坡水平和垂直位移随着抗滑桩间距的增大呈现先增大后减小的趋势,抗滑桩的水平位移随着桩间距的增大而逐渐增大。桩间距由3 m

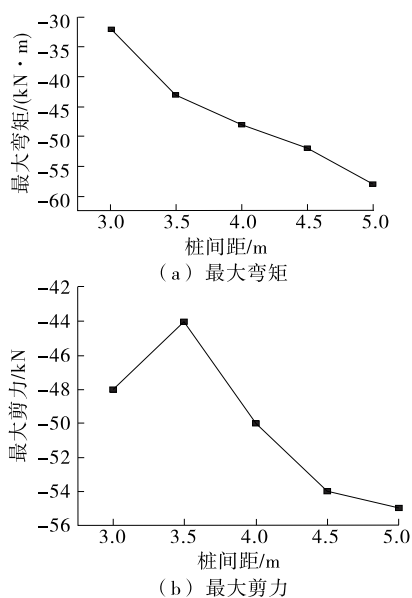


图10 抗滑桩不同间距一边坡结构内力变化曲线

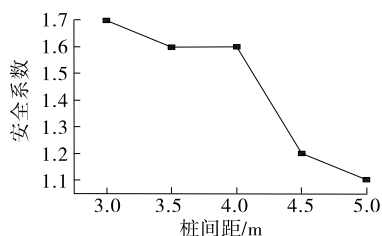


图11 抗滑桩不同间距一边坡安全系数变化曲线

增大至4 m时,边坡位移整体变化较明显;桩间距超过4 m后,边坡位移变化逐渐平缓。桩间距小于4 m时,内部相互作用过大,导致边坡发生较大位移,而桩间距过大会对抗滑桩位移造成较大影响,为防止边坡发生变形失稳,桩间距宜设置为4 m。

由图10可知:1)随着抗滑桩间距的增大,边坡最大负弯矩不断变大,说明桩间距增加会增大单个抗滑桩的受力,发生过大弯曲,导致抗滑桩加固性能下降。桩间距小于4 m时,最大弯矩增长幅度逐渐减小;桩间距大于4 m时,最大弯矩增长幅度逐渐增大。说明桩间距趋于4 m时,最大弯矩最稳定,边坡受力最均匀。2)随着桩间距的增加,边坡最大剪力呈先减小后增大的趋势。桩间距小于4 m时,最大剪力较小,边坡受力过小;桩间距大于4 m时,最大剪力较大,边坡受力较大。边坡受力过大或过小都极易导致边坡失稳,桩间距布置为4 m时边坡受力最合理。

由图11可知:边坡安全系数随着抗滑桩间距的增大而减小;间距小于4 m时,安全系数变化较小;

间距超过4 m后,安全系数急剧降低。说明增大桩间距会导致边坡稳定性下降,桩间距不宜过大。

综上,抗滑桩间距取4 m时,边坡安全系数最高,稳定性最好。

## 4 结论

(1)增大抗滑桩截面尺寸可降低边坡变形,减小边坡受力,提高边坡的稳定性。考虑到成本控制和施工难度,不能过大地增加抗滑桩截面尺寸,实际工程中抗滑桩矩形截面尺寸以2 m×2.5 m最适宜。

(2)适宜的抗滑桩锚固深度可保证边坡变形最小、受力最合理、稳定性最强,对于长度为19 m的抗滑桩,锚固深度采用8 m最佳。

(3)随着抗滑桩间距的增大,边坡位移先增大后减小,边坡受力整体呈增大趋势,安全系数逐渐降低。桩间距设置为4 m时,边坡变形最小,受力最合理,稳定性最好。

## 参考文献:

- [1] 罗勇,唐华伟,管贵平,等.基于综合监测技术的大型岩堆边坡防治研究[J].中外公路,2016,36(6).
- [2] 陈黎阳.高速公路高边坡滑塌治理方案浅析[J].公路,2016(12).
- [3] J Zhang, H Wang, H W Huang, et al. System reliability analysis of soil slopes stabilized with piles[J]. Engineering Geology, 2017, 229(7).
- [4] Changdong Li, Junjie Wu, Huiming Tang, et al. Model testing of the response of stabilizing piles in landslides with upper hard and lower weak bedrock[J]. Engineering Geology, 2016, 204.
- [5] 罗勇,姜波,李春峰,等.h型抗滑桩滑坡治理中的变形特性及内力研究[J].地下空间与工程学报,2017,13(6).
- [6] 李梅,钱锐,惠明星.基于土拱效应的抗滑桩桩距优化设计[J].武汉理工大学学报,2017,39(2).
- [7] 李恒杨,戴自航,卢才金.圆形与矩形截面门架式抗滑桩性能的数值分析对比[J].土工基础,2016,30(3).
- [8] 成峪磊.抗滑桩长度对边坡稳定性影响研究[J].公路与汽运,2018(5).
- [9] 王张军.基于数值模拟的顺层岩质边坡抗滑桩支护设计[J].公路与汽运,2016(4).
- [10] 吴静华,孙勇.关于桩前不开挖的抗滑桩动力离心机模型试验研究[J].工程建设,2016,48(4).