

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.05.015

抗滑桩加固边坡影响因素分析

韩雷

(广东省冶金建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510080)

摘要: 针对现有抗滑桩设计的不足,以广东省云浮市某边坡防护为原型,开展抗滑桩加固前后边坡稳定性研究,探讨抗滑桩长度、桩间距、截面尺寸及设置位置对边坡安全系数的影响。结果表明,其他条件相同时,边坡安全系数随桩长和截面尺寸的增大呈非线性关系增大,随桩间距增大呈非线性关系减小;增大桩长和截面尺寸能提高边坡安全系数,但超过其有效加固范围时对边坡安全系数的提高不明显;设桩位置对边坡的越顶破坏有较大影响,抗滑桩置于阻滑段的后半部可有效降低抗滑桩发生越顶破坏的风险。

关键词: 公路;边坡;抗滑桩;安全系数;影响因素分析

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)05-0058-04

抗滑桩具有抗滑效果好、桩位设置灵活、适用范围广等优点,在滑坡防治中应用广泛。高波等通过现场试验,研究了不同自由段长度抗滑桩在顺层岩质滑坡下滑推力作用下的受力和变形特性;马显春等通过物理模型试验,研究了不同锚固深度抗滑桩锚固段的受力状态和桩前滑床破坏特征;单恒年等通过数值模拟,提出了考虑抗滑桩桩身内力、整体稳定系数及工程费用的最优抗滑桩布置方案;黄俊等将一阶可靠度与响应面法相结合,计算了边坡的失效概率;何文野等采用强度折减法,分析了不同抗滑桩长度、间距和截面尺寸等参数对边坡安全系数的影响;赵军等结合南京某滑坡治理工程,探讨多排抗滑桩在大型滑坡治理工程中的应用,认为对于滑面较长、下滑力较大的滑坡,采取多排抗滑桩加固能有效减少抗滑桩所受滑坡推力。上述研究主要通过理论和试验分析抗滑桩设计参数和设桩形式等对边坡整体稳定性的影响,而对抗滑桩越顶、绕底失效研究较少。本文以广东省云浮市某边坡防护工程为原型开展抗滑桩加固前后边坡稳定性研究,分析抗滑桩长度、桩间距及截面尺寸等参数对边坡安全系数的影响,进而对抗滑桩越顶、绕底失效情况进行优化设计,为采用抗滑桩加固边坡提供参考。

1 工程概况

广东省云浮市处于亚热带季风气候区,暴雨、洪涝及强对流天气频发,特殊的地理环境和极端的天气极易导致边坡滑塌等地质灾害。某边坡所在场地

为丘陵地貌,地势起伏较大,地形为月弧形,坡度为 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$,坡顶为特殊教育学校。根据 GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》,该永久性边坡工程的安全等级为一级。根据勘察资料,场地抗震基本设防烈度为 6 度,无需进行地震工况下边坡稳定性校核,可不考虑断裂构造对场地稳定性的影响。场地内主要覆盖 4 种地层,分别为人工填土层、冲洪积层、残积层和泥盆系基岩层。基坑开挖深度范围内各土层参数见表 1。

表 1 岩土层分布及材料参数

地层名称	层厚/ m	重度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	内摩擦 角/($^{\circ}$)	黏聚力/ kPa
素填土	3.8	17.9	8.0	10.0
粉质黏土	5.9	18.9	11.7	18.7
全风化砂岩	11.7	19.8	20.6	33.1

2 边坡稳定性分析

常用边坡稳定性定量分析方法有极限平衡法和数值分析法两类。不平衡推力法作为极限平衡法的一种,它假定边坡处于极限平衡状态时存在滑移面,并沿滑移面将边坡划分成若干条块,只考虑各条块的静力平衡,不考虑其力矩平衡,建立条块之间的极限平衡方程,通过迭代求解方程得到边坡的安全系数。该边坡存在多个滑面,采用不平衡推力法进行计算,安全系数小于 1.35,且最小仅为 0.98(见图 1),边坡处于不稳定状态,需进行支挡设计。

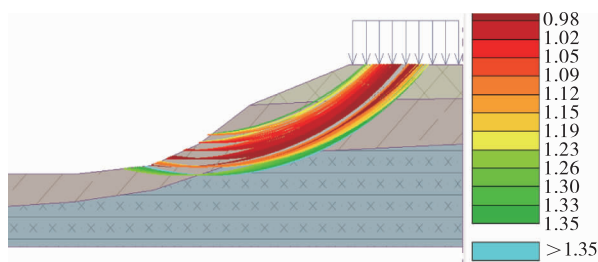


图 1 边坡稳定安全系数

3 抗滑桩加固边坡影响因素分析

3.1 抗滑桩加固原理

抗滑桩对于浅层和深层滑坡均有较好的加固效果,其加固原理主要是抗滑桩穿过坡体滑动面处于稳定持力层中,利用稳定地层的锚固作用平衡滑坡体推力,增强坡体的稳定性。处于滑动面以上的抗滑桩主要受桩后滑坡推力和桩前滑体抗力(见图 2),而滑坡推力和滑坡抗力之差产生的剩余下滑力则作用在抗滑桩桩体,并沿桩身传递至稳定地层中,通过抗滑桩抵消剩余下滑力,进而提高不稳定滑面的安全系数(见图 3、图 4)。

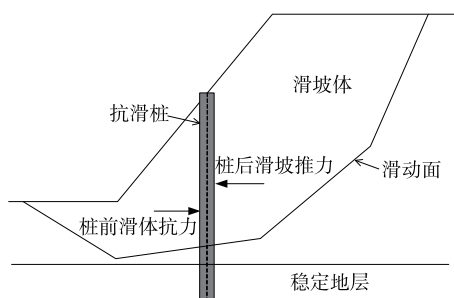


图 2 抗滑桩受力示意图

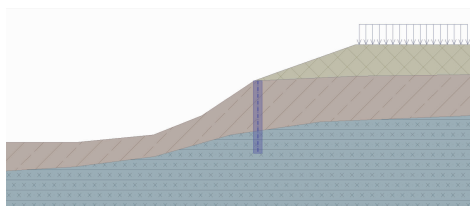


图 3 抗滑桩支护边坡剖面图

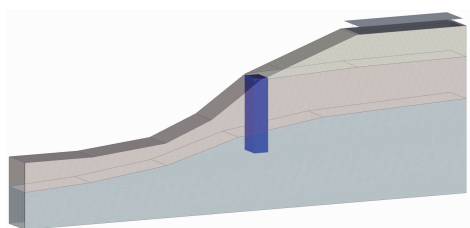


图 4 抗滑桩支护边坡立面图

该边坡的安全系数 <1.35 ,处于不稳定状态,设

计采用矩形抗滑桩进行支护,提高边坡的安全系数。为得到抗滑桩支护边坡最优方案,采用单因素分析法,以抗滑桩长度、桩间距及截面尺寸作为研究参数,通过计算获得抗滑桩不同设计参数与边坡安全系数的关系。

3.2 抗滑桩长度对边坡稳定性的影响

根据抗滑桩加固原理,抗滑桩必须穿过滑面一定深度,保证嵌固段稳定地层能提供足够的锚固力。桩长决定抗滑桩的嵌固深度,影响边坡的加固效果。为分析抗滑桩长度对边坡稳定性的影响,在确定抗滑桩设置位置后,在抗滑桩间距 $d=4\text{ m}$ 、截面尺寸 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 不变的情况下,分别设置桩长为 6.0 m 、 7.0 m 、 7.5 m 、 8.0 m 、 8.5 m 、 9.0 m 、 10.0 m ,计算在不同桩长抗滑桩支护下边坡的安全系数,结果见图 5。

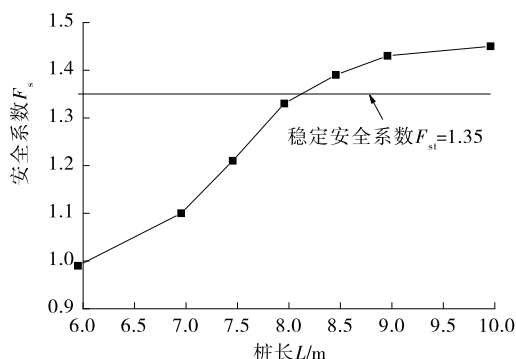


图 5 抗滑桩长度与边坡安全系数的关系

由图 5 可知:随着抗滑桩长度的增大,边坡安全系数呈非线性增大,边坡安全系数 F_s 大于稳定安全系数 $F_{st}=1.35$ 后,随桩长增加边坡安全系数增大速率减缓。抗滑桩长度 $L=6\text{ m}$ 时, $F_s=0.99<1.35$,边坡处于不稳定状态,原因是抗滑桩长度未超出边坡的潜在滑裂面,不能提供滑坡抗力; $L=8.5\text{ m}$ 时, $F_s=1.39>1.35$,边坡处于稳定状态,原因是抗滑桩嵌固长度增大,能提供阻滑抗力,使边坡安全系数逐渐增大且满足规范要求。增大抗滑桩长度能有效提高边坡的稳定性,但抗滑桩嵌固长度超过有效锚固长度时,继续增大桩长对边坡安全系数的提高不明显。

3.3 桩间距对边坡稳定性的影响

合理的抗滑桩间距决定桩间土拱效应的发挥,有利于提高边坡稳定性。为分析桩间距对边坡稳定性的影响,保持抗滑桩设置位置和截面尺寸 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 不变,分别设置桩间距为 4 m 、 5 m 、 6 m 、 7 m 、 8 m 、 9 m 、 10 m ,计算抗滑桩不同桩间距下边坡安全系数,结果见图 6。

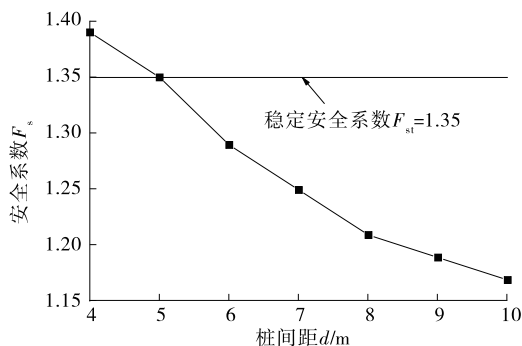
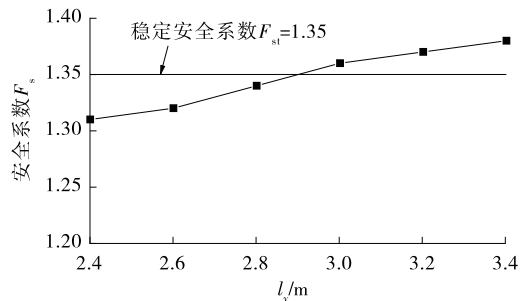


图6 抗滑桩间距与边坡安全系数的关系

由图6可知:随着抗滑桩间距的增大,边坡安全系数呈非线性减小。抗滑桩间距 $d=4\text{ m}$ 时, $F_s=1.38>1.35$, 边坡处于稳定状态,这是由于抗滑桩间距较小,有利于形成桩后土拱,土拱强度将承担一部分滑坡推力,限制桩间土体位移,使其不会沿桩间滑出; $d=8\text{ m}$ 时, $F_s=1.21<1.35$, 不满足规范要求,其原因是随桩间距增大,桩间土体自身强度无法承担由上部坡体传递的滑坡推力,在推力作用下桩间土体将沿两抗滑桩间滑出或产生绕桩滑动,导致桩间土拱失效,进而使抗滑桩不能发挥支挡作用,降低边坡安全系数。可见,桩间距和桩间土体强度对土拱效应的发挥影响较大,应结合土性和边坡情况设置合理的桩间距,以更好地发挥土拱效应,提高边坡安全系数。

3.4 截面尺寸对边坡稳定性的影响

工程中常采用矩形截面的抗滑桩支护边坡,而抗滑桩的截面尺寸会影响桩的抗滑能力。为分析截面尺寸对边坡稳定性的影响,保持抗滑桩设置位置、桩长和截面宽度 $l_x=2\text{ m}$ 不变,分别设置截面长度 $l_y=2.2\text{ m}$ 、 2.4 m 、 2.6 m 、 2.8 m 、 3.0 m 、 3.2 m 、 3.4 m , 计算抗滑桩不同截面尺寸下边坡安全系数,结果见图7。

图7 抗滑桩截面长度 l_y 与边坡安全系数的关系

由图7可知:随着抗滑桩截面长度 l_y 的增大,边坡安全系数呈非线性增加,但增加幅度较小。 l_y

由 2.4 m 增大至 3.4 m 时, F_s 从 1.31 增加至 1.38 , 截面尺寸增加能有效提高边坡安全系数,但增大速率较小。增加抗滑桩截面尺寸有利于边坡稳定,但其对边坡安全系数的提高存在限值,不能盲目通过增大桩身尺寸来增强边坡的稳定性。

3.5 抗滑桩越顶或绕底破坏对边坡稳定性的影响

由于滑坡体主滑面或次级滑面以上的抗滑桩高度较低,滑坡桩顶以上坡体极易产生次级滑面,导致抗滑桩出现越顶破坏(见图8)。若抗滑桩长度较小导致嵌岩深度不够,滑动面绕过抗滑桩底部发生破坏,此即绕底破坏。

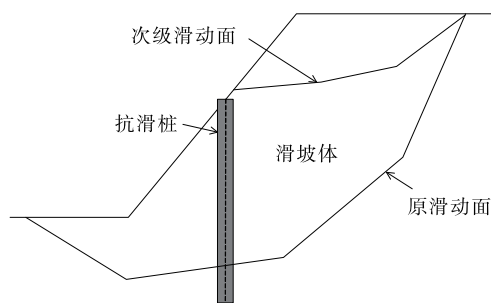


图8 滑坡越顶破坏示意图

根据上述分析,桩长超过 8.5 m 时,边坡安全系数大于 1.35 ,故选取桩长 9 m 、桩间距 5 m 及截面尺寸 $2\text{ m}\times 3\text{ m}$ 进行抗滑桩越顶或绕底破坏分析,计算结果见图9、图10。

由图9和图10可知:抗滑桩长度为 9 m 、桩间距为 5 m 、截面尺寸为 $2\text{ m}\times 3\text{ m}$ 时,滑动面经过抗滑桩时,边坡安全系数大于 1.35 ,满足规范要求,抗滑桩不会发生绕底破坏;抗滑桩桩顶滑坡安全系数为 $1.08\sim 1.20$,不满足规范要求,可能发生越顶破坏,需进行抗滑桩越顶破坏验算。

设置抗滑桩后,滑坡体应力产生重分布,抗滑桩加固部分稳定性得到提高,而桩顶坡体未得到增强,可能产生新的次级滑动面,次级滑动面的稳定性大小决定滑坡是否会发生越顶破坏。抗滑桩设置位置对越顶破坏影响较大。将抗滑桩设置于阻滑段的后

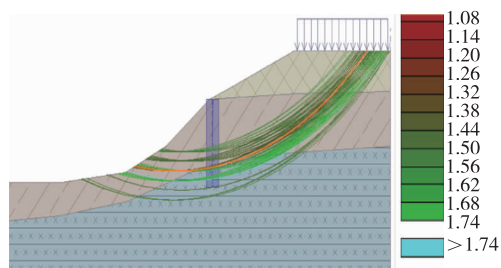


图9 滑坡绕底破坏稳定性计算结果

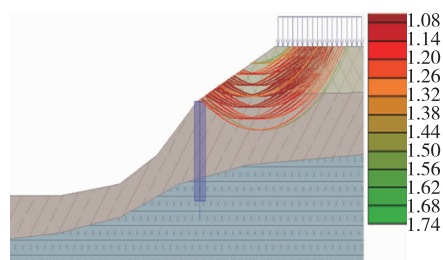


图10 滑坡越顶破坏稳定性计算结果

半部时,边坡安全系数见图11。

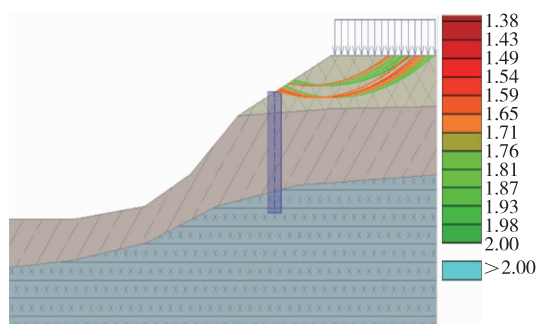


图11 调整设桩位置后边坡稳定性计算结果

由图11可知:设桩位置为阻滑段的后半部时,桩顶滑坡安全系数为1.35~2.0,采用不平衡推力法计算的安全系数为1.51,满足规范要求,边坡稳定。可见,合理的设桩位置可有效降低抗滑桩发生越顶破坏的风险。

4 结论

(1) 边坡安全系数随抗滑桩长度和截面尺寸的增大呈非线性关系增大,随抗滑桩间距的增大呈非线性关系减小。

(2) 在桩长和截面尺寸的有效加固范围内,增大桩长和截面尺寸能提高边坡安全系数。但超过其有效加固范围时,继续增大桩长和截面尺寸对边坡安全系数的提高不明显。

(3) 设桩位置对边坡的越顶破坏有较大影响,将抗滑桩设置于阻滑段的后半部,可有效降低抗滑桩发生越顶破坏的风险。

参考文献:

- [1] 《中国公路学报》编辑部.中国路基工程学术研究综述·2021[J].中国公路学报,2021,34(3):1—49.
- [2] 尹平保,贺伟,张建仁,等.斜坡基桩的斜坡空间效应及其水平承载特性研究[J].土木工程学报,2018,51(4):94—101.
- [3] 高波,石胜伟,张世林,等.不同自由段长度的滑坡前缘抗滑桩受力变形特性的现场模型试验研究[J].自然灾害学报,2017,26(5):183—190.
- [4] 马显春,罗刚,邓建辉,等.陡倾滑面堆积层滑坡抗滑桩锚固深度研究[J].岩土力学,2018,39(增刊2):157—168.
- [5] 单恒年,李家华,陈勇康.基于MIDAS的抗滑桩三维数值模拟及优化[J].水运工程,2019(9):259—264+272.
- [6] 黄俊,赵江,段祥睿,等.基于强度折减法的抗滑桩加固边坡可靠度分析[J].土木与环境工程学报(中英文),2020,42(6):11—18.
- [7] 何文野,范荣全,唐杨,等.抗滑桩参数对边坡稳定性影响研究[J].人民长江,2020,51(增刊1):191—195.
- [8] 赵军,刘静德,梁志荣.多排抗滑桩在大型滑坡治理中的工程应用研究[J].建筑科学,2020,36(增刊1):156—161.
- [9] 林峰,梅荣均,王健伟.深圳某边坡工程滑坡实例及原因分析[J].广东土木与建筑,2021,28(8):53—55+67.
- [10] 李玲玲.广东省某市地质灾害发育环境及特征分析[J].地下水,2019,41(6):117—119.
- [11] 重庆市城乡建设委员会.建筑边坡工程技术规范:GB 50330—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [12] 徐宏,夏琼,王旭.边坡安全系数影响因素敏感性分析[J].铁道建筑,2021,61(8):98—101.
- [13] 向俐蓉,陈伟志,郭在旭,等.大型滑坡抗滑桩—桩板结构受力变形研究[J].水文地质工程地质,2021,48(2):125—131.
- [14] 尹平保,杨莹,雷勇,等.考虑基岩水平破坏的嵌岩桩嵌岩深度计算方法[J].工程科学与技术,2019,51(2):71—77.

收稿日期:2021—10—12

(上接第49页)

- [15] 王力杰.矿渣对气泡混合轻质土耐久性能的影响[J].四川建筑科学研究,2018,44(4):108—112.
- [16] 汪增武,何玉涛,周杰.砂土掺量对泡沫轻质土强度特性的影响研究[J].西部交通科技,2015(8):25—27.
- [17] 赵春新,张智强,段东方.聚合物改性水泥基泡沫混凝土

土的试验研究[J].墙材革新与建筑节能,2011(10):31—34.

- [18] 李国华.泡沫轻质土在桥头路基治理中应用研究[J].公路与汽运,2021(2):56—57+60.

收稿日期:2021—10—18