

深层水毁防治技术在花岗岩残积土路基边坡中的应用研究^{*}

王成皿¹, 兰天², 刘龙武²

(1. 广东省长大公路工程有限公司, 广东 广州 510007; 2. 长沙理工大学, 湖南 长沙 410004)

摘要: 针对厚层强风化花岗岩及其残积土的深层水毁破坏特征, 提出了一种基于内排水防护结构设计思路的新型边坡深层水毁防护技术方法, 并介绍了其施工工艺与施工要点; 依托实际边坡工程, 利用有限元软件对采用该防护技术处治前后边坡渗流场与稳定性进行仿真计算分析, 结果表明该防护技术能有效减小坡表雨水入渗量, 减缓基质吸力的消散, 降低浅层土体的含水率; 雨强越大, 降雨历时越长, 该防护结构的防排效用越明显; 该防护技术能提高花岗岩残积土边坡在多雨条件下的稳定性, 具有较好的工程应用价值。

关键词: 公路; 边坡; 水毁防治; 花岗岩残积土; 渗流与稳定

中图分类号: U418.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)02-0104-03

花岗岩残积土的分布范围广, 其主要特点是富含云母, 为颗粒松散的砂泥质结构。风化花岗岩岩体松散破碎、水稳性差、抗冲刷能力弱, 在公路工程施工过程中容易引起变形破坏, 有的甚至在防护好且公路已运行多年的情况下仍发生失稳, 给公路运营安全和生态环境造成严重危害。如何有效防治强风化花岗岩边坡的冲刷水毁是现今相关研究领域的热点。

降雨是影响土质边坡稳定性、导致边坡失稳破坏的最主要和最普遍的环境因素, 由降雨引起的水毁问题日趋严重, 如何有效防治水毁造成的灾害是研究者们长期面临的课题。方向池等通过研究云南地区山区公路水毁灾害特征, 划分了水毁环境并提出了相应预防减灾实施策略。高冬光主要研究了公路与桥梁在河流水流作用下的水毁防治措施。蒋焕章不仅提出了水毁防治措施, 并对水毁原因进行了较详细论述。高民欢等在深入研究高等级公路边坡冲刷理论的基础上, 提出采用植被防护技术进行边坡养护与治理。但现有研究大多以河流冲刷与表层冲刷为主, 对渗流引起的深层水毁研究尚不足, 水毁防治理论研究还落后于工程实践。该文结合广佛肇(广州—佛山—肇庆)高速公路实际边坡工程, 对厚层花岗岩全风化层的公路路堑边坡因降雨入渗引发的深层水毁防治技术进行研究, 并对治理前后的边坡稳定性进行对比分析。

1 工程概况

广佛肇高速公路肇庆段沿线以低缓丘陵地貌为主, 局部为山间洼地, 谷地浅层分布数米厚的第四纪冲、洪积物, 基底和丘陵中分布燕山期花岗岩, 其地表花岗岩风化带厚度大, 受构造、土质、雨水、气温等影响, 大量发育水土流失, 容易出现崩塌, 大部分风化层发生水土流失、崩塌等不良地质现象。工程地质分区属Ⅲ区间夹Ⅰ区。路基边坡在雨水侵蚀下容易发生冲刷破坏和水毁破坏, 需加强治理和防护。

其中 K126+610—715 右路堑边坡坡体为均质的花岗岩残积土, 地下水位位于路面以下约 1 m 位置。边坡断面见图 1, 土体的主要力学参数见表 1。

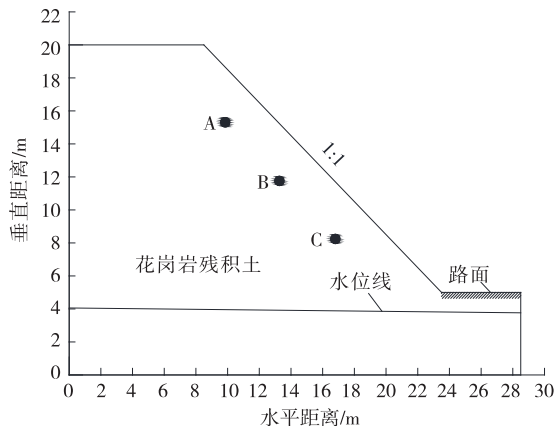


图 1 试验段原始边坡断面

^{*} 基金项目: 广东省交通运输厅科技计划项目(2013-00-002)

表 1 路堑边坡土体主要计算参数

土样	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	饱和渗透系 数/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	内摩擦 角/($^{\circ}$)	粘聚 力/kPa
花岗岩	1.58	6.10×10^{-7}	31	12
残积土				
素土	1.43	5.60×10^{-6}	30	16
碎石	2.68	4.50×10^{-4}	37	0

2 深层水毁防治技术

根据现有研究成果,花岗岩残积土边坡的深层水毁破坏主要与花岗岩风化层的水理特性、抗剪强度特性有关,同时还受到降雨作用及坡面微地貌、微水文等地质条件的影响。为了从工程上对水毁边坡进行综合治理,采取以防治为主、抗蚀为辅的处治原则,同时兼顾经济性与环境可持续性。下面以 K126+610—715 右路堑边坡为对象,研究厚层花岗岩风化区路堑边坡深层水毁防护技术方法。

2.1 水毁防治措施设计

- (1) 加强水平排水,加大平台宽度,采用宽平台边沟结构。
- (2) 采用偏陡边坡坡率,一级和三级边坡采用 1:1 的坡率,二级边坡采用 1:0.5 的坡率。
- (3) 为提高边坡整体稳定性,减小整体坡率,降低平台设置高度,采用多平台边坡结构,按每 5 m 高设置一个平台,每级坡脚均设置护坡护脚;加强平台和坡顶防水,采用防渗土工布封闭坡顶和平台。
- (4) 提高坡面的抗冲刷能力,采用 CF 生态网植草进行坡面防护。

2.2 内排水设计与施工要点

采用截水盲沟排除坡面及坡后入渗雨水,在截水沟下方及每级平台内边缘设置一深 2 m、宽 0.5 m 的截水盲沟,截水盲沟由防渗土工布截水,在沟底设置一个断面为 0.5 m×0.5 m 的碎石集排水沟,并在沟底部设置一根 $\phi 7.5$ 硬式水管(见图 2、图 3)。

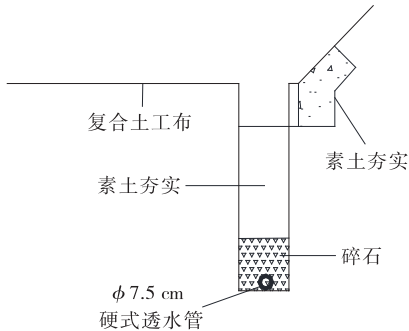


图 2 具有内排水结构的防渗平台

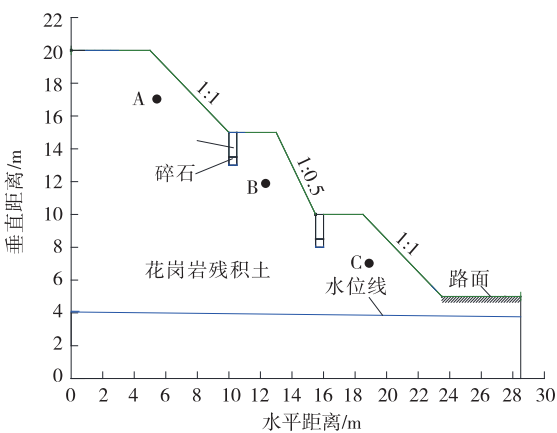


图 3 试验段处治后边坡断面

以由坡顶至坡脚的分级开挖顺序,按设计断面要求进行坡面开挖,挖好顶部一级边坡后,即刻进行截水盲沟开挖。截水盲沟的回填施工顺序为铺设土工布→放置硬式水管→填筑底部碎石→回填开挖的花岗岩挖方土至 2 m 厚并压实。

3 深层水毁防治技术对边坡渗流与稳定性的影响

试验段边坡所在位置常年遭受雨水侵蚀,根据当地气象资料,选取 3 种不同雨强并以工况 1~3 从大到小分别命名,分别为 2.38×10^{-6} 、 5.80×10^{-7} 及 $1.24 \times 10^{-7} \text{ m/s}$,计算降雨历时 2 d 内采用上述深层水毁防治措施处治前后边坡的渗流场及稳定性,设定流量边界条件模拟降雨。

3.1 对边坡渗流场的影响

在一定降雨持续时间内,降雨入渗对边坡内部渗流场的影响相对较弱,故只选取路堑边坡表层特征部位进行相对完整的渗流场分析。在边坡表层下 2 m 左右位置分别设置特征点 A、B、C(见图 1、图 3),通过特征点处孔隙水压力及含水率变化分析处治前后边坡渗流场随降雨雨强、降雨历时的变化趋势。相同降雨雨强下处治前后边坡的含水量情况见图 4,特征点位置孔隙水压力随降雨雨强、降雨历时的变化见图 5。

由图 4 可知:在降雨雨强为 $2.38 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ 时,防治措施对边坡渗流的影响显著。降雨持续 1 d 时,原始边坡内部高含水率所占比例远大于处治后边坡(颜色由浅到深代表含水率由低到高),且边坡表层由于大量雨水入渗已形成局部暂态饱和区;而采取防治措施的边坡其暂态饱和区狭长且主要集中在盲沟附近,此处的结构稳固,不易发生滑塌。

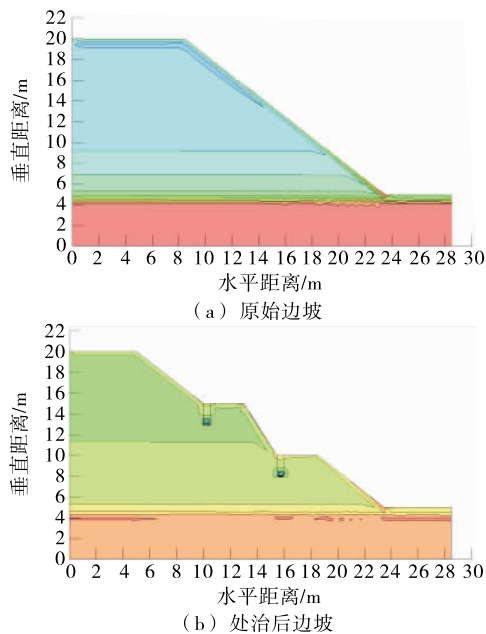


图4 工况1下降雨1d时处治前后边坡的含水量云图

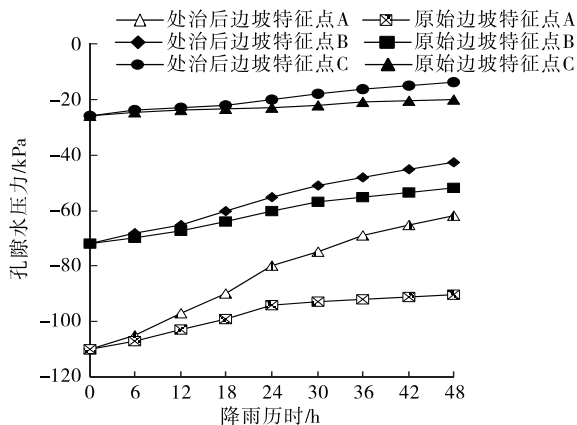


图5 不同工况下边坡特征点位置孔隙水压力随时间的变化

由图5可知:随着降雨的进行,表层土体的负孔隙水压力逐渐减小。未处治边坡在遭遇强降雨时,边坡表层土体的基质吸力丧失较快,雨水沿土体的孔隙通道进入边坡内部,造成局部软化,降低了深层土体的抗剪强度,极易发生水毁破坏。根据图4,原始边坡表层汇聚了大量滞水,造成土壤水分趋于饱和,形成暂态饱和区,浸水土壤在雨水冲刷作用下容易形成冲蚀沟壑,使坡体剥落、坍塌,从而引起深层坡体滑移,造成水毁灾害。

3.2 对边坡稳定性的影响

利用 SLOPE 模块对处治前后边坡的稳定性进行分析。首先基于已有花岗岩土体试验参数计算饱和、非饱和条件下的瞬态渗流场分布,然后添加降雨

条件,导入抗剪强度参数,结合 SEEP 模块计算得到的孔隙水压力,采用刚体极限平衡法计算边坡安全系数。安全系数计算结果见图6,不同雨强下边坡安全系数随时间的变化见图7。

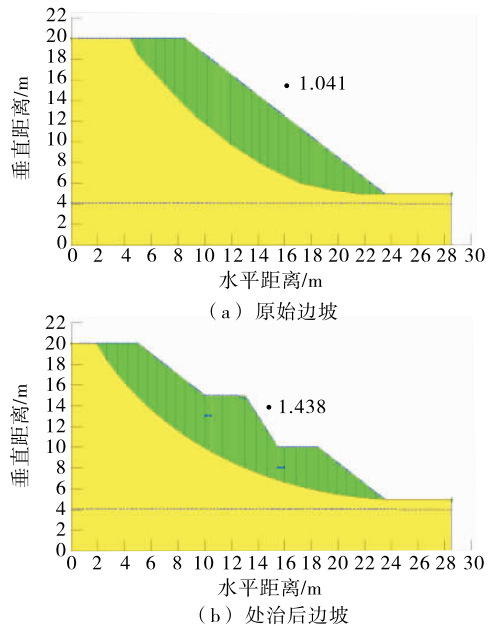


图6 初始条件下边坡的滑移情况

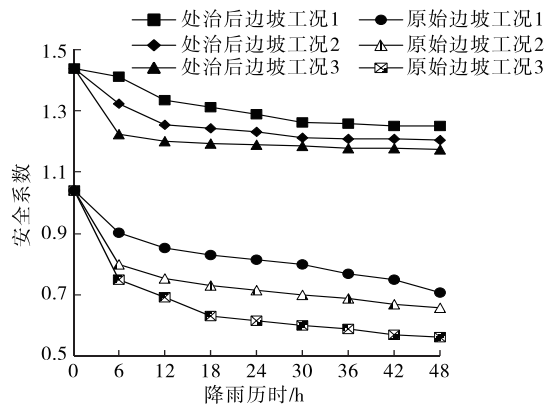


图7 不同工况下边坡安全系数随时间的变化

由图6可知:采用新型边坡深层水毁防护措施后,边坡初始时刻的稳定安全系数由1.041提高到1.438,得到较大提高。

由图7可知:随着降雨历时的增加,无论边坡是否采取防治措施,边坡的安全系数都逐渐减小,抗滑能力降低。但采用新型边坡深层水毁防治技术后,边坡的安全系数受降雨雨强和降雨历时的影响小于原始边坡。这是由于随着降雨量的增加,采用新型防治结构的边坡很大一部分雨水在坡表汇聚后流入碎石层的排水管道内,由坡表进入坡体的入渗量减

(下转第110页)

3 结论

(1) 针对膨胀土的稳定化,粉煤灰的最佳掺量为20%。在膨胀土中添加20%的粉煤灰时其无侧限抗压强度增加58%,浸泡CBR值增加91%,膨胀压力减少38%。

(2) 纤维长度一定时,随着纤维掺量的增加,粉煤灰稳定膨胀土的最大干密度持续降低,最佳含水量不断增加。

(3) 纤维长度一定时,随着纤维掺量的增加,粉煤灰稳定膨胀土的无侧限抗压强度有所增强,但掺量大于1.0%后强度降低。选用12 mm纤维时,其强度达到最大值。将加纤维和不加纤维的粉煤灰稳定土作比较,前者强度提高70%;与原生土壤相比,加纤维土的强度增加170%。

(4) 纤维长度一定时,随着纤维掺量的增加,粉煤灰稳定膨胀土的浸泡CBR值增大,但掺量大于1%后浸泡CBR值减小。选用12 mm纤维时,其CBR值达到最大。将加纤维和不加纤维的粉煤灰稳定土作比较,前者的CBR值提高81%;与原生土壤相比,加纤维土的CBR值增加247%。

(5) 纤维长度一定时,随着纤维掺量的增加,粉煤灰稳定膨胀土的膨胀压力减小。采用12 mm聚丙烯纤维时,其膨胀压力降低最大。选用12 mm纤维

且其掺量为1.5%时,土的膨胀压力为零。

(6) 在最佳粉煤灰掺量20%情况下,用于膨胀土加固的聚丙烯纤维的最佳掺量为1.0%,最佳长度为12 mm。

参考文献:

- [1] 胡斌,王新刚,连宝琴.纤维类材料改善膨胀土工程性能的适用性探讨[J].岩土工程学报,2010,32(增刊2).
- [2] 吴继玲,张小平.聚丙烯纤维加筋膨胀土强度试验研究[J].土工基础,2010,24(6).
- [3] 张小平,施斌.加筋纤维膨胀土的试验研究[J].长江科学院院报,2008,25(4).
- [4] 余伟.纤维改性膨胀土工程性质的试验研究[D].合肥:合肥工业大学,2014.
- [5] 余晓彦.石灰-玄武岩纤维改良膨胀土特性的试验研究[D].武汉:湖北工业大学,2015.
- [6] 潘军,王桢.纤维土的发展及其在膨胀土中的应用[J].路基工程,1996(5).
- [7] 李天龙.掺纤维改良膨胀土的实验研究[J].工程与建设,2012,26(2).
- [8] 庄心善,游鹏,余晓彦,等.粉煤灰-玄武岩纤维改良膨胀土试验研究[J].公路工程,2016,41(3).
- [9] 李治朋,张宇亭,马希磊.纤维对石灰改良膨胀土性质的影响分析[J].岩土工程技术,2011,25(4).

收稿日期:2016-10-14

(上接第106页)

小,外界水汽很难由土体孔隙通道进入边坡深层,使边坡内部的基质吸力得以维持在一个较高水平,抗剪强度受到的影响不大,阶梯式的边坡形式也在一定程度上减小了坡体整体滑移的可能性,提高了边坡的稳定性。

4 结论

(1) 基于内排水防护结构设计思路的新型边坡深层水毁防护技术具有很好的防排水效果,能有效减小坡表水向坡体的入渗,减缓降雨期基质吸力的降低,延缓暂态饱和区的生成与扩展。

(2) 边坡深层水毁防护措施能显著提高边坡的安全系数,随着降雨历时的增加,处治前后边坡安全系数随时间的变化趋势大体相同,但雨强越大,防护结构的效用越明显,能减小边坡稳定性受降雨的影响,提高边坡的安全性。

(3) 边坡深层水毁防护结构设计简单、施工方

便,具有在相关工程领域中推广和应用的价值。

参考文献:

- [1] 邹静蓉,李志勇.全风化花岗岩路堑边坡稳定防护研究[J].湖南交通科技,2002,28(1).
- [2] 刘云鹏,黄润秋,霍俊杰.某高速公路花岗岩边坡稳定性评价及防护措施研究[J].防灾减灾工程学报,2008,28(1).
- [3] 高刚.降雨入渗对土质边坡稳定性的影响研究[J].中外建筑,2015(6).
- [4] 蒋焕章.公路水文勘测设计与水毁防治[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [5] 方向池,黄润秋.山区公路水毁灾害研究及治理[M].成都:四川大学出版社,2002.
- [6] 高民欢,李辉,张新宇,等.高等级公路边坡冲刷理论与植被防护技术[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [7] 高冬光.公路与桥梁水毁防治[M].北京:人民交通出版社,2002.

收稿日期:2016-11-22