

基于 Midas GTS 的 邗江区典型岸坡护坡设计研究

高 欣

(扬州市邗江区水利局, 江苏 扬州 225000)

摘要:为探究邗江区境内河流岸坡生态护坡方案,采用 Midas GTS 建立典型岸坡计算模型,研究自然生态护坡、全覆盖草皮护坡及四季春护坡3种方案下岸坡稳定系数与孔隙水压力特征。四季春护坡方案下安全系数最高,且该方案下岸坡稳定性受运营期影响最低。降雨强度愈大,则岸坡安全系数愈低,但四季春护坡方案下安全系数受影响最小。岸坡安全系数与降雨时长具有二次函数的负相关关系,自然生态护坡、四季春护坡及全覆盖草皮方案下降雨时长每增大3h,可导致安全系数分别降低5.6%、3.3%、4.7%。降雨强度愈大,则孔隙水压力愈高;自然生态与全覆盖草皮护坡方案中孔隙水压力的增长具有慢-快转变节点,为15h,而四季春植物护坡下孔隙水压力增长稳定。

关键词: Midas GTS; 岸坡; 生态护坡; 邗江区

中图分类号: TV861

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2023)01-0018-0006

Research on the design of typical bank slope protection in river area based on Midas GTS

GAO Xin

(Water Resources Bureau of Hanjiang District, Yangzhou City, Yangzhou 225000, China)

Abstract: In order to explore the ecological slope protection scheme of river bank slope in Hanjiang District, Midas GTS was used to establish a typical bank slope calculation model to study the characteristics of bank slope stability coefficient and pore water pressure under three schemes of natural ecological slope protection, full coverage turf slope protection and four seasons spring slope protection. The safety factor under the four seasons spring slope protection scheme is the highest, and the stability of the bank slope under this scheme is the lowest affected by the operation period. The greater the rainfall intensity is, the lower the safety factor of the bank slope is, but the safety factor under the four seasons spring slope protection scheme is the least affected. The safety factor of bank slope has a negative correlation with the rainfall duration in a quadratic function. The safety factor can be reduced by 5.6%, 3.3% and 4.7% respectively when the rainfall duration of natural ecological slope protection, four season spring slope protection and full coverage turf schemes increases by 3 hours. The greater the rainfall intensity, the higher the pore water pressure; The increase of pore water pressure in the natural ecology and full coverage turf slope protection scheme has a slow fast transition node, which is 15h, while the pore water pressure under the four seasons spring vegetation slope protection is stable.

Key words: Midas GTS; bank slope; ecological slope protection; Hanjiang District

收稿日期: 2022-03-03

作者简介: 高欣(1988—), 女, 工程师, 主要从事农村水利与水土保持研究工作。Email: mkpf48@163.com

河坡是河流水利安全的重要因素,河道岸坡的稳定性及水土保持良好可以确保河流运营安全,也可河道上各类水工设施的安全建设提供保障^[1-2]。针对河道岸坡安全稳定性开展护坡技术研究及实施具有重要意义^[3-4]。高彦君^[5]、赵勇^[6]基于河坡水生态体系,探讨以水质净化及水质处理为研究方向,利用水生态植物根系固土、稳水作用,提升整体岸坡稳定性,降低坡内径流活动。从河道岸坡稳定性计算考虑,刘丽琴^[7]、陈强等^[8]、叶慧君^[9]采用 ANSYS、FLAC 3D 等有限元平台建立岸坡计算模型,基于坡体实际工况施加相应荷载,进而研究坡体在模拟工况下的稳定性,包括位移及应力分布特征,为护坡工程提供依据。针对岸坡稳定性,其渗流场特征研究也很有必要,范孟华等^[10]、李梦龙^[11]、张江昊^[12]通过 Midas GTS 等流场计算单元,分析岸坡内孔隙水压力、体积含水率特征,从而为评价岸坡渗流安全及失稳提供参考。在研究岸坡稳定性的基础上,李寻昌等^[13]、尚亚雄等^[14]、凌峰等^[15]也通过对各种护坡方案的技术特点开展分析,研究了岸坡护坡的混凝土材料、生态护坡植物根系固土机理等,为确定最适配岸坡护坡方案提供基础。本文基于邗江区各水系岸坡现状,开展不同类型植物护坡方案的计算研究,分析各方案岸坡在降雨因素影响下稳定性及渗流特征演变,旨在为岸坡护坡设计提供参考。

1 工程现状分析与设计

1.1 工程概况

邗江区境内水资源丰富,大小河流众多,其南部支流的上游建设有蓄水库,最大的蓄水库位于仪扬河上游,最大库容为 235 万 m^3 ,承担着邗江区南部生活供水、防洪排涝等水利功能。邗江区内古运河分布有 2 个区段,从水闸控流效应来看,第一区段乃是扬州闸至便益门闸,长度约 3.47 km,全河道内岸坡坡度分布为 1:2.5~1:3.5,坡内土体以粉质壤土、碎石土为主,坡内渗流活动较稳定,特别是靠近扬州闸水利设施处防渗效果较佳,设置有多个防渗挡墙结构,既可确保河道岸坡安全稳定性,亦可针对水闸控流提升渗流安全性,其两侧河坡采用图 1 所示设计进行生态与硬化结合式护坡。古运河第二段自三汉口与仪扬河汇合,并从瓜洲闸汇入长江,全长 16.76 km,瓜洲闸乃是古运河的重要水利控制枢纽,其两侧岸坡已做硬化处理,监测表明瓜洲闸沉降不超过 8 mm,这也得益于瓜洲闸所处地层基岩

较稳定,承载力较大,可满足大型水工结构建设。瓜洲闸上段河口宽 70~120 m,河床底宽 40 m,河底标高约为 -1~-2 m,而沿瓜洲闸下游直至新江口汇入段,河底标高为 -2 m,两侧岸坡受水力冲刷的影响较弱,河口宽度约为 80~100 m。邗江区内流域长度仅为 8.12 km 的仪扬河与三汊河在古运河第一区段处会合,河口宽 70~100 m,河底标高 0 m,河底宽 10 m,两侧岸坡受水力侵蚀影响较大,导致仪扬河在与古运河交汇处泥沙含量较大,两侧岸坡水土流失也较为严重,此一定程度上对堤防岸坡稳定性具有负面影响,目前两侧岸坡坡度稳定在 1/3~1/4。青龙港港底宽 4~6 m,港底标高 0~0.5 m,河口宽 25~32 m,该河流乃是邗江区瓜洲片区全境农田主引排干河,承担着区域内农业用水供应,所建设引水灌渠长度约为 70 km,采用全渠 U 型防渗结构形式,全渠道输水耗散率不超过 25%。赵家沟河流走向与宁通公路相垂直,全长 8.56 km,以公路划分赵家沟为南、北两段,南北两段分别长 4.5 km、4.06 km,河底标高 1.5~2 m,河坡坡比分别为 1:2.5、1:3;赵家沟全河段内采用碎石土堆筑堤坝,沿线设置有 6 个水闸设施,最大控水流量为 355 m^3/s ,但赵家沟两侧河坡未进行硬化处理,局部区段内渗流活动处于非稳状态,其部分区段现状如图 2 所示。根据对邗江区内多个河流的调查分析,大多河道岸坡稳定性欠佳,且并未开展生态护坡设计,仅为自然生态护坡面,不利于邗江区整体水利安全性。因而,从邗江区境内各河道岸坡护坡设计角度考虑,以典型岸坡为分析对象,探讨邗江区境内河坡的最适配设计方案。

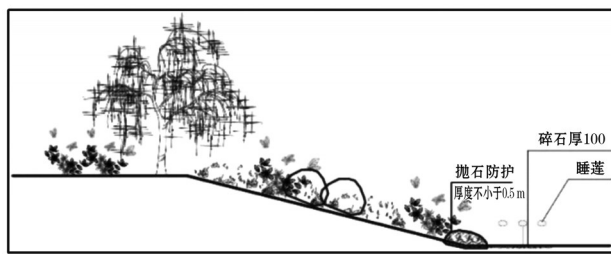


图1 生态与硬化结合式护坡设计方案



图2 河坡现状

1.2 建模设计

针对邗江区内各河流岸坡护坡设计问题,以仪扬河与三汊河在古运河交汇处区段内K2+108岸坡为分析对象,在简化岸坡以外的其他水利设施的基础上,以Midas GTS建立该岸坡有限元模型^[12,16],如图3所示,并按照108岸坡实际岩土层建立材料本构模型。以该岸坡迎水侧水位1.5 m为初始条件,给定岸坡初始孔隙水压力分布解,坡面层边界设定为单位径流量,模型顶、底部分别设定为YZ向自由及XY向自由,基于单元网格划分获得5 288个微单元体,节点数4 872个。

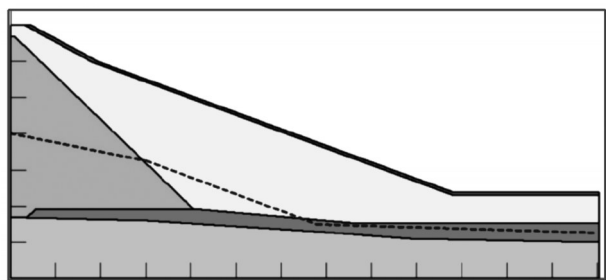


图3 岸坡有限元模型

从生态护坡设计考虑,计划对模型分别采用原始自然生态护坡(A方案)、全覆盖草皮护坡(B方案)、四季春植物护坡(C方案)3种方案,3种方案均采用植物网格分布与混凝土硬化形式,除植物类型有所差异外,其他结构层均保持一致,各方案护坡面深度按照植物的影响面设定,A~C 3种方案的护坡面深度分别为0.2 m、0.5 m、0.8 m。模型中护坡区域如图4所示,该区域内网格密度较大,确保计算结果精度与可靠度。

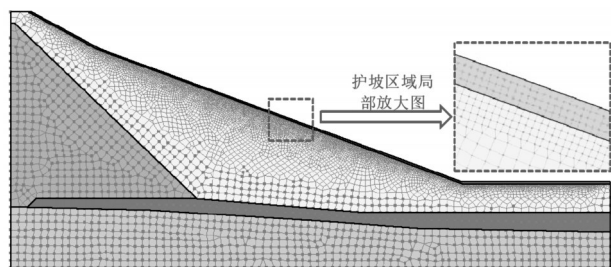


图4 模型护坡区域

根据实验室测定的3种不同植物类型护坡土水特征,获得壤土、自然生态护坡面及四季春护坡面渗透特性,如图5所示,岸坡渗流计算时以此为基准。模型中壤土层及生态护坡的物理力学参数按照实测取值,其中108岸坡土体含水量为17.5%。

考虑邗江区内降雨因素影响,在2018、2019、2020、2021年区内日最大降雨强度基础上,设定降雨强度影响方案分别为200 mm/d、250 mm/d、300 mm/d、350 mm/d,日降雨时长分别设定为3 h、6 h、9 h、12 h、15 h、18 h、21 h、24 h共8个方案。基于降雨因素的耦合影响下,分析计算3种植物护坡设计方案下的岸坡稳定性与渗流特征。

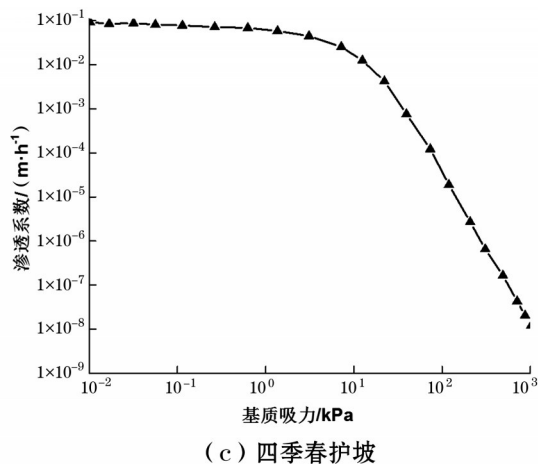
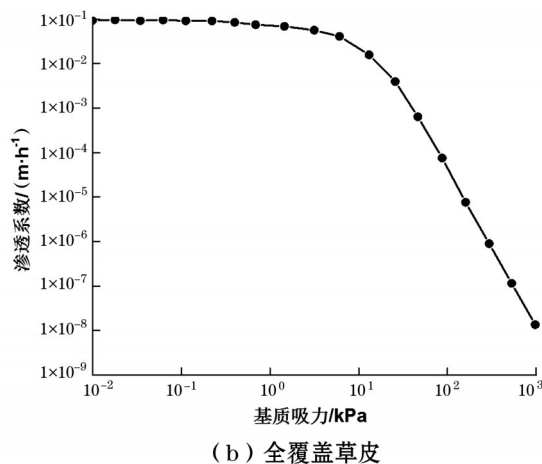
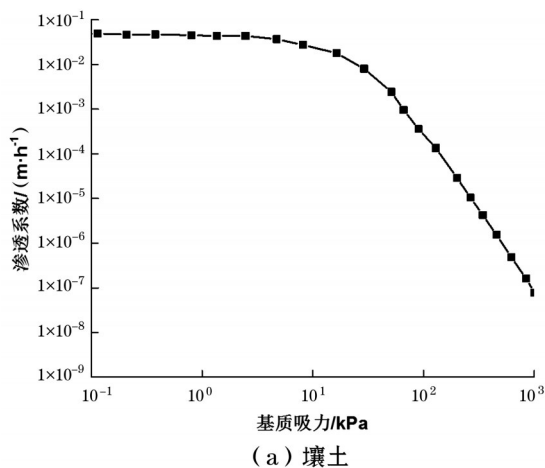


图5 各护坡方案渗透特性

2 不同护坡方案下安全稳定性

2.1 运营期内安全稳定性

根据对不同护坡方案安全稳定性计算,获得3种植物护坡形式的岸坡安全系数变化特征,如图6所示。观察图中安全系数变化趋势可知,整体以四季春护坡方案安全系数最高,在全运营期内安全系数平均值为2.55,而自然生态护坡方案平均安全系数为前者的81.5%,另全覆盖草皮护坡方案安全系数与四季春护坡方案较为接近,局部运营期安全系数甚至超过四季春护坡方案。当运营期增长后,受水力冲刷导致的水土流失影响,各方案岸坡安全稳定性系数均递减,全覆盖草皮护坡方案中,运营期第10 d时岸坡安全系数为2.58,而在运营期第50 d、130 d、170 d时安全系数较第10 d时分别减少了2.2%、12.9%、18.2%,运营期每增长40 d,可导致岸坡安全系数平均降低6.5%。同时,在四季春护坡及自然生态护坡方案中,安全系数随运营期的变化导致的安全系数平均损耗分别为3.1%、14.2%,由此可见,四季春护坡方案中岸坡安全系数受运营期影响最小,对河道岸坡的水土保持具有较好作用。

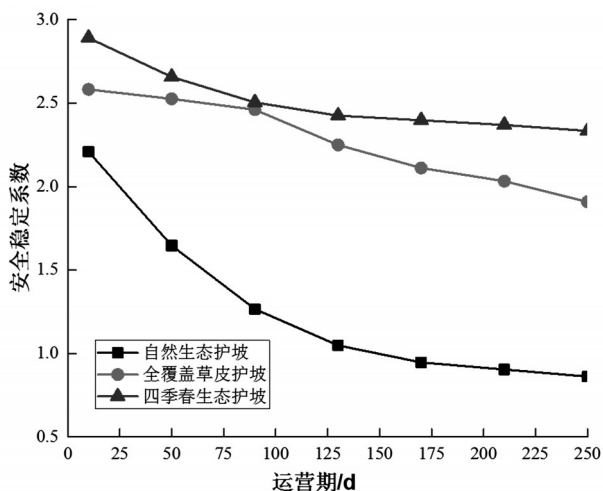


图6 不同植物类型护坡岸坡安全系数

2.2 降雨强度影响

图7为叠加降雨强度因素3种护坡方案安全系数变化特征。从岸坡安全系数受降雨强度影响变化可知,降雨强度越大,则岸坡安全系数越低,以自然生态护坡方案为例,其在降雨强度为200 mm/d时,安全系数为2.75,而降雨强度为250 mm/d、350 mm/d时,安全系数分别减少了26.2%、73.5%,该类型护坡方案中降雨强度每增长50 mm/d,可导致安全系数降低35.4%。笔者认为,降雨强度越大,对

岸坡内径流活动越能促进,从而导致岸坡内滑移面位移加大,此也是安全系数降低的内在原因。四季春护坡方案在各降雨强度方案中安全系数分布为1.92~3.5,降雨强度每增长50 mm/d,平均可导致岸坡安全系数降低18.4%,而全覆盖草皮护坡受影响的平均降幅为26.4%。对比3种护坡方案受降雨强度的影响变化可知,以四季春护坡方案安全系数变幅最小,此与四季春这类植物根系固土、强沙效应有关联,当降雨强度增大后,四季春护坡方案的岸坡内抗水土流失效应较好,可减少岸坡潜在滑移面倾覆威胁,故安全系数增大^[17-18]。

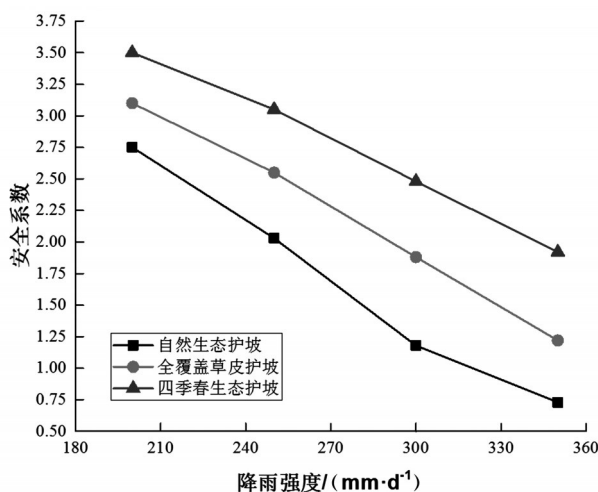


图7 降雨强度影响岸坡安全系数

2.3 降雨时长影响

3种不同类型岸坡安全系数受降雨时长的影响,如图8所示。分析图8中降雨时长影响作用可知,岸坡安全系数与降雨时长呈负相关变化特征,在自然生态护坡方案中,降雨时长3 h时安全系数为1.38,而降雨时长为9 h、15 h时安全系数较前者分别减少了6.5%、11.4%,降雨时长每增大3 h,可导致岸坡安全系数减少5.6%。同样在四季春与全覆盖草皮护坡方案中安全系数受降雨时长影响的降幅分别为3.3%、4.7%。从整体来看,岸坡安全系数与降雨时长具有二次函数关系。3种护坡方案中,以四季春生态护坡方案受降雨因素综合影响敏感最低,该方案护坡、固土技术优势最为显著,有利于岸坡运营稳定性。

3 不同护坡方案下渗流特征

为探讨各护坡方案岸坡稳定性,本文计算获得降雨因素影响下岸坡渗流特征,以坡内孔隙水压力

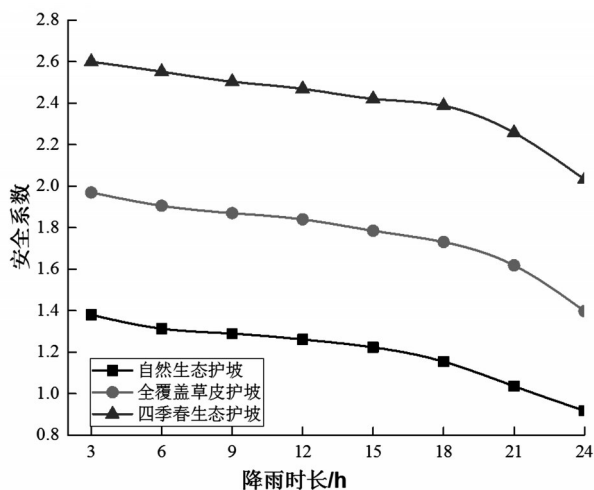
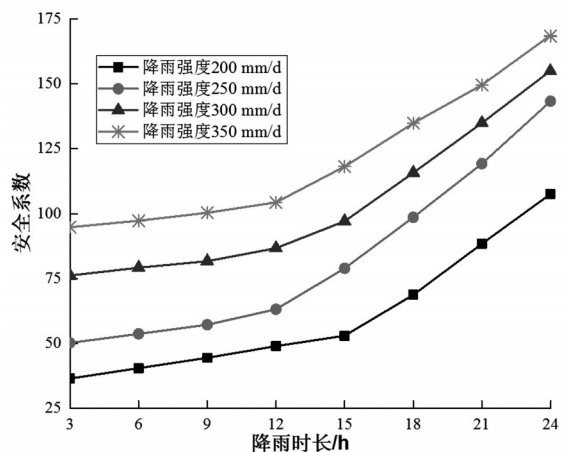


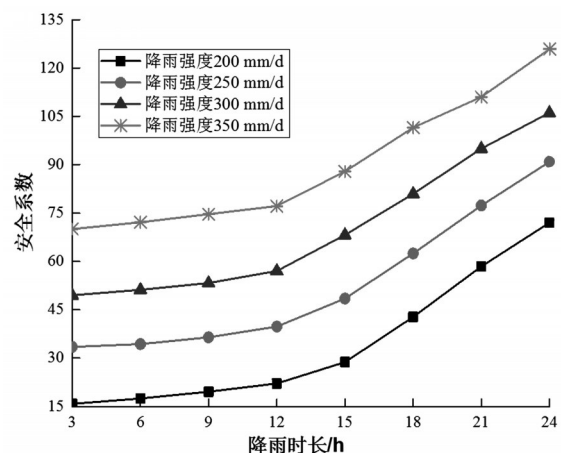
图8 降雨时长影响岸坡安全系数

分布为分析对象,如图9所示。

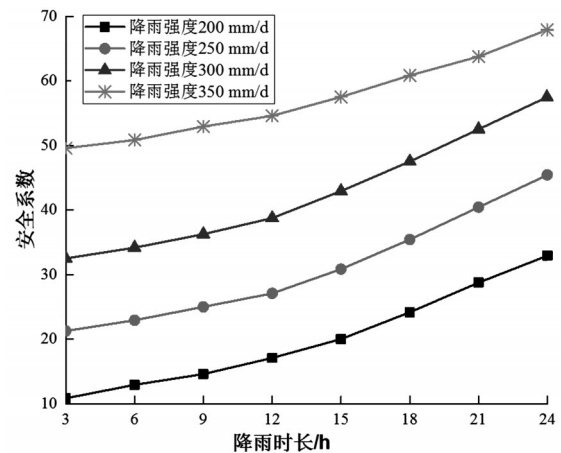
根据图中孔隙水压力变化可知,在相同类型护坡方案中,降雨强度越大,则坡内孔隙水压力值水平越高,如在覆盖草皮护坡方案中,降雨强度为250 mm/d时岸坡在各降雨时间内的平均孔隙水压力为52.9 kPa,而降雨强度每增长50 mm/d,则平均孔隙水压力可增长38%。当降雨强度增大,径流效应超过坡内土体渗透系数,此时坡内孔隙水压力会受到地表径流影响,导致土体孔隙水压力特征参数增多。降雨时长与岸坡孔隙水压力呈正相关变化;在自然生态护坡方案中,每延长3 h降雨,则各降雨强度工况中孔隙水压力平均递增8.7%~17%;与之类似,全覆盖草皮、四季春护坡方案中孔隙水压力随降雨时长平均增长分别为8.9%~24.9%、4.5%~17.2%。3种护坡方案中不仅孔隙水压力受影响的增幅有所差异,且孔隙水压力随降雨时长变化曲线也有所不同,自然生态护坡与全覆盖草皮护坡方案中孔隙水压力的增长以降雨时长15 h为转变节点,在该时长节点前、后方案内增幅处于较慢与较快状态,当降雨强度为300 mm/d时,全覆盖草皮护坡方案在降雨时长3~15 h内孔隙水压力平均增幅为7.2%,而降雨时长超过15 h后,平均增幅可达16.2%。分析表明,在全覆盖草皮护坡与自然生态护坡体系中,坡内孔隙水压力受降雨时长的影响具有一个增长过渡阶段,当降雨时长过大时,孔隙水压力的变化会朝着不可预见方向发展,极易出现岸坡失稳现象。四季春护坡方案中各降雨强度工况下孔隙水压力随降雨时长的增长均较稳定,降雨强度的改变,对孔隙水压力受降雨时长的稳定增幅变化无显著影响,即四季春护坡方案中孔隙水压力的



(a) 自然生态护坡



(b) 全覆盖草皮护坡



(c) 四季春护坡

图9 岸坡孔隙水压力影响变化特征

变幅是可预见、可控状态,不会出现突变,这也反映四季春护坡方案岸坡具有较佳的稳定性。

4 结 论

(1) 四季春护坡方案安全系数最高,且该方案岸坡稳定性受运营期影响最低;运营期每增长40 d,

可导致全覆盖草皮、四季春护坡及自然生态护坡下安全系数分别平均降低6.5%、3.1%、14.2%。

(2)降雨强度越大,则岸坡安全系数越低,但四季春护坡方案安全系数受影响最小;自然生态护坡、四季春护坡及全覆盖草皮方案降雨强度每增长50 mm/d,可导致安全系数降低35.4%、18.4%、26.4%。

(3)岸坡安全系数与降雨时长呈二次函数的负相关关系,自然生态护坡、四季春护坡及全覆盖草皮方案降雨时长每增大3 h,可导致安全系数降低5.6%、3.3%、4.7%。

(4)降雨强度或降雨时长越大,孔隙水压力水平越高;自然生态与全覆盖草皮护坡两种方案孔隙水压力的增长以降雨时长15 h为转变节点,降雨时长突破该节点,则孔隙水压力增长迅速,而四季春护坡方案中孔隙水压力随降雨时长增长稳定。

参考文献:

- [1] 邹雨良,肖梦芬.土工布加筋颗粒土力学特性及其在河道护坡工程中的应用研究[J].水利技术监督,2022(1):211-214.
- [2] 邓西标.复杂地质条件下重力坝岸坡抗滑稳定分析[J].治淮,2022(1):19-21.
- [3] 邹雨良,肖梦芬.土工布加筋颗粒土力学特性及其在河道护坡工程中的应用研究[J].水利技术监督,2022(1):211-214.
- [4] 曾辉.生态护坡在庄湾马家水项目中的应用[J].黑龙江水利科技,2021,49(12):143-145.
- [5] 高彦君.格宾石笼生态护岸技术在滹沱河防洪整治工程中的应用[J].水科学与工程技术,2021(6):73-75.
- [6] 赵勇.水生态修复技术的主要类型及其在河道治理中的应用[J].工程技术研究,2021,6(21):88-89.
- [7] 刘丽琴.强降雨下的高边坡稳定性数值模拟研究[J].水利科技与经济,2022,28(2):82-86.
- [8] 陈强,李凤成,于兴国,等.基于FLAC3D的V型沟谷高填方路基稳定性分析[J].四川建筑,2019,39(6):133-135.
- [9] 叶慧君.纳界河岩质边坡稳定性数值分析[J].四川建筑,2011,31(2):70-72.
- [10] 范孟华,王凯,闫保衡,等.基于Midas非饱和土边坡降雨稳定性分析[J].河南大学学报(自然科学版),2022,52(1):82-88.
- [11] 李梦龙.基于BIM与Midas联合应用的复杂边坡有限元分析[J].水利技术监督,2021,(7):44-47,200.
- [12] 张江昊.基于MIDAS—GTS的渗流—应力耦合作用下边坡稳定性分析[J].甘肃科技,2016,32(8):112-113.
- [13] 李寻昌,李平安,许锐,等.蒿属植物黄土边坡固土效应数值研究[J].甘肃科学学报,2022,34(1):95-99.
- [14] 尚亚雄,薛珺华,刘艺超,等.黄土边坡生态护坡应用研究——以三原清河流域段黄土边坡治理为例[J].环境科学与管理,2022,47(1):148-152.
- [15] 凌峰,石艳龙,罗冰.大型抽水蓄能电站水土保持生态护坡技术与实践——以河北丰宁抽水蓄能电站一二期工程为例[J].海河水利,2021(6):42-45.
- [16] 范卫琴,张仁巍,康海鑫,等.基于Midas/GTS的某高速公路边坡稳定性分析[J].常州工学院学报,2021,34(3):11-15.
- [17] 李珍玉,欧阳森,肖宏彬,等.植物根系生长形态对膨胀土边坡土体抗剪强度的影响[J].中南大学学报(自然科学版),2022,53(1):181-189.
- [18] 陈雪冬,李尤亮,杨旸.植物根系对浅层边坡的水文学加固研究[J].三峡大学学报(自然科学版),2022,44(1):33-40.