

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2020.10.031

生态袋护岸的设计要点探讨

石永超, 张琳琳, 翟晶

(上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092)

摘要: 通过算例探讨了生态袋在边坡稳定分析中的作用和水位波动区下满足局部稳定的生态袋最小尺寸, 给出了生态袋安全分析方法。结果表明: 生态袋能提高边坡的稳定, 避免表层的浅层滑动, 边坡稳定安全系数随着生态袋防护范围厚度的增加而增加; 生态袋的尺寸基本随河道流速的增长呈幂指数增长, 对河道流速较为敏感; 生态袋护岸抗滑移分析、抗倾覆分析和抗剪切分析计算公式简单直观, 但技术参数和安全系数的取值是关键。

关键词: 生态袋; 边坡稳定; 局部稳定; 安全分析

中图分类号: TV871

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2020)10-0108-03

0 引言

近年来, 生态护岸的建设理念在新时期水利工程中得到了大力贯彻。而生态袋作为生态护岸应用最多的材料之一, 将护岸安全和生态两者结合在一起。虽然目前生态袋工程应用案例较多^[1-3], 且开展了生态袋本身材料性能方面的研究^[4-5], 但作为挡土或防护结构, 对于生态袋的作用机理和安全分析还存在一定盲区。在整体稳定分析中, 往往考虑生态袋所有富余值, 而对于水位波动区域, 却往往忽视生态袋的自身稳定分析。另外, 现有的生态袋护岸安全标准并未针对生态袋护岸安全分析给出明确的方法。

本文探讨了边坡稳定中生态袋的作用程度、水位波动区生态袋的稳定性及其安全分析方法, 以期给相关工程提供一定参考。

1 边坡稳定分析中生态袋作用

护岸边坡稳定分析中往往不考虑生态袋的作用, 仅将其作为提高边坡稳定的富余值考虑。由于生态防护区域土层以表层土为主, 本文基于国际上 ACADS 的考题^[6], 建立单一土层不同坡比和不同生态袋护坡厚度的边坡稳定计算模型来分析整体稳定下生态袋的作用。土层参数参考《地基基础设计标准》(DGJ 08—11—2018)中以建筑弃料作为回填土的指标, 取其黏聚力 $c=0$ kPa, 内摩擦角 $\phi=30^\circ$; 生态袋黏聚力和内摩擦角的取值根据文献^[7]大型直剪试验中厚针织无纺布+连锁扣的试验成果, 取 $c=13.54$ kPa, $\phi=19.9^\circ$ 。图 1 给出了单一

土层边坡坡比 1:2 的边坡稳定计算模型示意图。

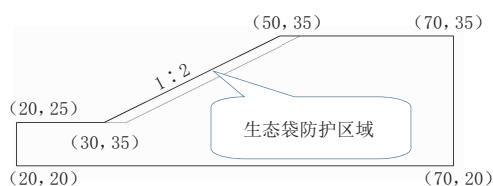


图 1 不同生态袋防护厚度下坡比 1:2 的边坡稳定计算模型(单位:m)

在本次算例中, 边坡稳定在最小矢高大于 0.5 m 下最危险滑弧(见图 2)表明, 边坡采用生态袋防护后, 最危险圆弧滑动从边坡的表层圆弧滑动调整为生态袋防护范围内的圆弧滑动, 避免了表层的浅层滑动。

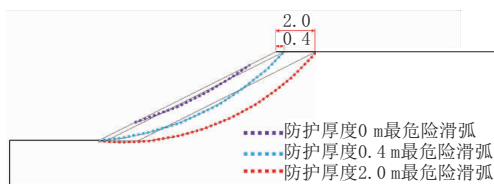


图 2 不同生态袋防护厚度下边坡最危险滑弧(单位:m)

不同生态袋防护厚度下边坡稳定安全系数计算结果见图 3。

由图 3 可知: 边坡稳定安全系数随着生态袋防护厚度的增加而增加(基本呈线性变化), 且随着边坡坡度的放缓, 生态袋提高边坡稳定的作用呈降低趋势。

2 水位波动区生态袋的局部稳定

在生态袋局部稳定分析中, 现有规范条文中没有明确单个生态袋的抗滑移和抗倾覆分析, 尤其是缺乏水位变动区挡土型生态护岸中生态袋的稳定分析。Oumeraci 等^[8-10]对波浪中生态袋进行安全分析后, 分别给出了满足防浪作用的生态袋尺寸

收稿日期: 2020-01-04

作者简介: 石永超(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事堤防设计工作。

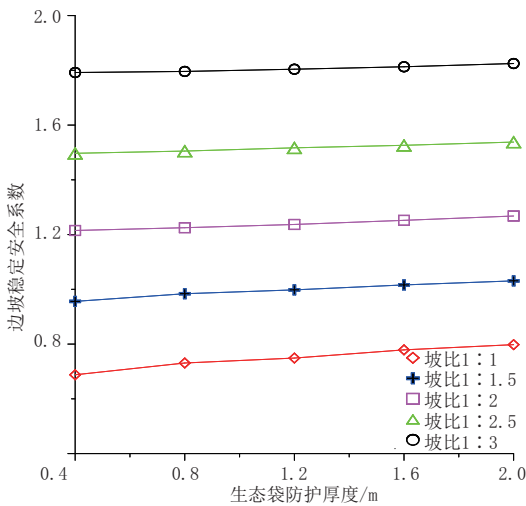


图3 不同生态袋防护厚度下边坡稳定安全系数计算公式。本文基于文献[10]的研究成果,选取边坡坡比1:1,生态袋尺寸取长:宽:高为1:0.5:0.2(常见的生态袋规格为80cm(长)×40cm(宽)),探讨生态袋的最小尺寸要求。

Recio等^[10]根据Morison方程和土工袋的受力平衡分析(见式(1)),得出水位波动区生态袋局部稳定所需的规格应满足式(2)、式(3)的要求。

$$\mu(F_g - F_L) \geq F_D + F_M \quad (1)$$

式中： F_g 为生态袋的重力； F_L 为生态袋的浮力； F_D 为生态袋的拖拽力； F_M 为生态袋的惯性力； μ 为摩擦系数。

对于顶部生态袋的长度 l 应满足：

$$l \geq \max \left\{ \frac{u^2 0.5 S_D C_D + 2.5 \mu S_L C_L}{\mu S_R \Delta g - S_M C_M a}, \frac{u^2 0.05 O_D C_D + 1.25 \mu O_L C_L}{0.5 O_R \Delta g - 0.1 O_M C_M a} \right\} \quad (2)$$

对于波动区中间位置生态袋长度 l 应满足：

$$l \geq u^2 \frac{0.5 S_D C_D + 2.5 \mu S_L C_L}{\mu S_R \Delta g - S_M C_M a} \quad (3)$$

$$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1 \quad (4)$$

式中： S_D 为生态袋拖拽力变形系数； C_D 为生态袋拖拽力经验系数； S_L 为生态袋上升力变形系数； C_L 为生态袋上升力经验系数； S_R 为生态袋浮力变形系数； S_M 为生态袋惯性力变形系数； C_M 为生态袋惯性力经验系数； g 为重力加速度； u 为河道流速； a 为河道流速加速度； O_D 为生态袋拖拽力倾覆系数； O_L 为生态袋上升力倾覆系数； O_R 为生态袋浮力倾覆系数； O_M 为生态袋惯性力倾覆系数； ρ_s 为生态袋填充材料密度； ρ_w 为水的密度。

对于在船行波影响范围内的通航河道，如采用生态袋，应考虑上述问题。船行波可视为由多个不同振幅、不同周期和不同相位的简谐余弦波叠加而成，且随着传播距离的增大，船行波波速和波

高呈递减趋势^[11]。本文不计河道流速加速度的影响(即取 $a=0 \text{ m/s}^2$,研究成果偏于危险),根据文献[12]的研究成果,取摩擦系数 $\mu=0.537$,得到不同流速下生态袋的最小长度(见图4)。

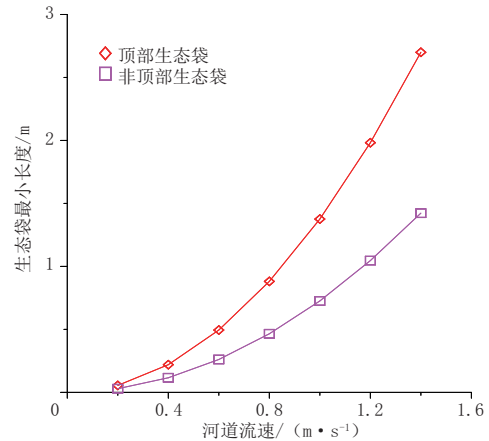


图4 不同河道流速下生态袋的最小长度

计算结果表明:(1)生态袋的尺寸基本随河道流速的增长呈幂指数增长,对河道流速较为敏感。目前上海市生态袋的长度规格量级在0.8m左右(以0.8m×0.4m较为常规),在算例工况下,若在船行波影响范围内采用生态袋结构时需加以重视。(2)顶部生态袋的尺寸规格大于非顶部位置的生态袋尺寸,基本在1.9倍左右,工程设计采用同种规格生态袋时,可考虑将生态袋防护至水位变动区以上。

式(1)没有考虑上部生态袋(如有)的压载作用和边坡范围内的土压力作用,尤其是挡土型生态袋护岸结构在墙后存在荷载的工况下,所得的分析结果偏于危险。在式(1)基础上,考虑上部生态袋(如有)的压载作用和所受土的侧向压力,生态袋局部稳定公式调整为:

$$\mu(F_w + F_g - F_L) \geq F_e + F_D + F_M \quad (5)$$

式中： F_e 为生态袋所受土的侧向压力； F_w 为生态袋所受上部生态袋的重力。

生态袋所受土的侧向压力根据土力学原理计算,所受上部生态袋的重力以生态袋结构影响高度范围内的重力计。在生态袋尺寸取长:宽:高为1:0.5:0.2下,非顶部区域生态袋所受上部生态袋的重力 F_w 为:

$$F_w = 0.5l^3 \tan \alpha \quad (6)$$

式中： α 为边坡的角度。

由式(5)得不出生态袋最小尺寸,但可根据式(1)~式(4)初步确定生态袋最小尺寸的初始试算值,再代入式(5),即可试算得出水位波动区满足自身稳定的生态袋最小尺寸。

3 生态袋护岸设计方法探讨

目前标准并未针对生态袋护岸安全分析给出明确的分析方法,在不计波动水位的影响下,生态袋护岸的设计方法可结合《水工挡土墙设计规范》(SL 379—2007)和美国混凝土砌体协会(NCMA)发布的《砌块干垒挡土墙设计手册》(第3版)分为整体稳定分析、抗滑移分析、抗倾覆分析、抗剪切分析和下部基础的地基承载力分析这5项内容。整体稳定分析和地基承载力分析详见相关规范,本文主要进行抗滑移分析、抗倾覆分析和抗剪切分析。

3.1 抗滑移分析

根据生态袋的抗滑移受力分析,生态护岸的抗滑稳定安全系数 F_{SL} 和生态护岸的抗滑力 R_{sc} 计算公式为:

$$F_{SL} = R_{sc} / (P_{sh} + P_{qh}) \quad (7)$$

$$R_{sc} = \mu(G + P_{sv} + P_{qv}) \tan \phi \quad (8)$$

$$G = \gamma H W \quad (9)$$

式中: G 为护岸生态袋的自重; μ 为计算断面处的基地摩擦系数; P_{sv} 、 P_{sh} 分别为土体自身产生的垂直荷载分量合力和水平荷载分量合力; P_{qv} 、 P_{qh} 分别为墙后荷载引起的垂直荷载分量合力和水平荷载分量合力; ϕ 为墙后回填土的内摩擦角; H 为计算高度。

3.2 抗倾覆分析

根据生态袋的抗倾覆受力分析,生态护岸的抗倾覆稳定安全系数 F_{S0} 计算公式为:

$$F_{S0} = M_r / M_0 \quad (10)$$

$$M_r = GX_w + P_{sv}(W_u + Y_s \tan \varepsilon) + P_{qv}(W_u + Y_q \tan \varepsilon) \quad (11)$$

$$M_0 = P_{sh} Y_s + P_{qh} Y_q \quad (12)$$

$$X_w = 0.5W_u + 0.5H \tan \varepsilon - 0.5\Delta \quad (13)$$

式中: M_r 为生态护岸的抗倾覆弯矩; M_0 为生态护岸的倾覆弯矩; X_w 为护岸生态袋自重的倾覆力臂; Δ 为生态袋与生态袋之间的错台距离; Y_s 为土体自身产生的垂直荷载分量合力的倾覆力臂; Y_q 为墙后荷载产生的垂直荷载分量合力的倾覆力臂。

3.3 抗剪切分析

参照NCMA发布的《砌块干垒挡土墙设计手册》(第3版),生态袋护岸的抗剪切安全系数 F_{SV} 和生态袋护岸的抗剪切力 V_u 为:

$$F_{SV} = V_u / P_{ah} \quad (14)$$

$$V_u = c A + G \tan \theta \quad (15)$$

式中: c 为护岸生态袋之间的黏聚力; θ 为护岸生态袋之间的摩擦角; A 为护岸生态袋之间的有效

计算截面积。

3.4 安全分析探讨

生态袋护岸安全分析公式简单直观,但参数取值和安全系数取值有待进一步确定。

参数取值方面:生态袋之间的黏聚力、内摩擦角和摩擦系数是生态袋护岸安全分析的核心。其中黏聚力和内摩擦角是抗剪切分析中的关键参数,也是提升整体稳定分析结果精度的关键;摩擦系数是度量生态袋之间抗滑作用的关键参数。上述3个参数目前并无公认的取值方法,具体应用只能结合试验确定,建议随着生态袋试验参数样本容量的增长,给出建议的参数取值范围。

安全系数取值方面:NCMA发布的《砌块干垒挡土墙设计手册》(第3版)规定了砌块干垒挡土墙的抗滑移稳定、抗倾覆稳定和抗剪切稳定的安全系数;《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)给出了岩基上防洪墙抗倾覆稳定安全系数和抗滑移稳定安全系数。但它们均与生态袋护岸安全分析的允许安全系数有所差异,造成生态袋护岸设计成果偏于保守,有待历年的工程经验积累来确定合理的安全系数。

4 结语

(1)边坡采用生态袋防护后,可以提高边坡的整体稳定性,避免表层的浅层滑动。边坡稳定安全系数随着生态袋防护厚度的增加而增加(基本呈线性变化),且随着边坡坡度的放缓,生态袋提高边坡稳定的作用呈降低趋势。

(2)满足局部稳定的生态袋最小尺寸基本随河道流速的增长呈幂指数增长,对河道流速较为敏感,因此在船行波影响范围内采用生态袋结构时应加以重视;顶部生态袋的尺寸规格大于非顶部位置的生态袋尺寸,工程设计采用同种规格生态袋时,可考虑将生态袋防护至水位变动区以上。

(3)考虑上部生态袋的压载作用和所受土的侧向压力,得出水位波动区满足生态袋局部稳定的修正公式,可用于水位波动区生态袋的局部稳定分析。

(4)本文给出了生态袋护岸抗滑移分析、抗倾覆分析和抗剪切分析计算公式,并探讨了生态袋安全分析中技术参数和安全系数的取值问题。

参考文献:

- [1] 罗敏敏,徐超.生态袋+SNS柔性防护网在岩石护坡中的应用[J].地下空间与工程学报,2015,11(增刊1):278-281.
- [2] 吴宏章.生态袋防护技术在稀土矿山生态修复中的应用[J].湖南

结构。

3.4 土石方岛体、围堰及栈桥拆除

土石方岛体、钢板桩围堰及栈桥均属于沱江河道内临时工程,洪水来临时将影响上游水电站泄洪及坝体稳定,在其功能有效发挥后,应及时拆除并对河道进行清理,特别是岩体上部栈桥墩柱将影响沱江水流,应当切割废除。此次工后应拆除项目主要包括钢板桩围堰、钢板桩间中粗砂、临时栈桥。应先对钢板桩堰内水、泥沙抽排,钢板桩围堰工程分步拆除,从主墩处向岸边逐步挖除土石方岛体,在相应墩柱完成后逐步拆除钢栈桥。

4 结 语

该工程于2019年3月开始施工,截至6月初已顺利完成围堰及栈桥施工,为下阶段实施承台提供有利的技术基础。实践证明,在淮口沱江特大桥处采用筑岛+钢板桩围堰+钢栈桥方案进行该段大桥下部结构施工的方案比较合理,技术可靠,工序衔接紧凑,符合工期进度要求。该方案运用多种措施结合协调推进,保障汛期来临前大桥下部结构施工完成,不影响上部结构施工进度,其优点

主要包含以下几个方面:

(1)短期占用河道,不会对泄洪造成影响,筑岛、围堰及栈桥等临时工程可在汛期来临前工期紧张条件下加快施工进度。

(2)施工方法简单紧凑,可操作性强;筑岛后可立即开始桩基及围堰施工,同时也可开展栈桥施工,汛期来临后也可稳步施工。

(3)筑岛施工方便快捷,安全性好,承台桩基质量能够得到保障。

该工程的应用为沱江上下游类似项目建设提供了经验基础,同时也为旅游环线完成产值计划、突破建设障碍提供有利保障。

参考文献:

- [1] 武向东,吴中鑫,姚振海.松花江大桥抢险维修加固钢板桩围堰设计[J].公路,2013(1):153-157.
- [2] 王军.浅滩裸岩区锁扣桩围堰施工技术看[J].铁道建筑,2016(12):33-36,45.
- [3] 李迎九.钢板桩围堰施工技术[J].桥梁建设,2011(2):76-79,84.
- [4] 王会永.双壁钢板桩围堰施工技术与工程运用[J].中外公路,2019,39(1):155-157.

(上接第110页)

- 城市学院学报(自然科学版),2015,24(2):95-97.
- [3] 彭超,徐洲平.生态袋挡墙护坡技术在运河航道整治工程中的应用[J].水利规划与设计,2010(5):100-102.
 - [4] 彭超,刘颖卓.论生态袋理化性能与生态护坡工程质量的内在关系[J].中国建材科技,2010(增刊2):237-241.
 - [5] 朱海生,陈健,张桂荣,等.生态袋挡墙护岸结构设计及其力学性能变化[J].水利水运工程学报,2015(4):48-55.
 - [6] 陈祖煜.土质边坡稳定分析——原理·方法·程序[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
 - [7] 陈明致,金来鏊.堆石坝设计[M].北京:水利出版社,1982.
 - [8] BOUYZE J G, SCHRAM A R. Stabiltiteit van Grondkribben en Onderwatergollbrekers Opgebouwd uit Zandworsten [R]. [S.l.]: TU-Delf, 2000.
 - [9] OUMERACI H, BLECK M, HINZ M, et al. Großmaßstabliche

- Untersuchungen zur Hydraulischen Stabilität geotextiler Sand-container unter Wellenbelastun (Large-scale Model Tests for the Hydraulic Stability of Geotextile Sand Containers under Wave Attack) [R]. German:Leichtweiss Institute for Hydraulic Engineering and Water Resources 62, Research Report No. 878, 2002.
- [10] RECIO J, OUMERACI H. Process based stability formulae for coastal structures made of geotextile sand containers [J]. Coastal Engineering, 2009, 56(5-6):632-658.
 - [11] 李志松,吴卫,陈虹,等.内河航道中船行波在岸坡爬高的数值模拟[J].水动力学研究与进展(A辑),2016,31(5):556-566.
 - [12] 刘斯宏,樊科伟,陈笑林,等.土工袋层间摩擦特性试验研究[J].岩土工程学报,2016,38(10):1874-1880.