

文章编号:1671-6833(2012)05-0087-05

# 土质岸坡生态防治技术研究

张桂荣<sup>1</sup>, 赵波<sup>1</sup>, 饶志刚<sup>2</sup>, 肖红玲<sup>2</sup>

(1. 南京水利科学研究院 岩土工程研究所, 江苏 南京, 210024; 2. 江苏省常州市航道管理处, 江苏 常州 213004)

**摘要:** 针对航道岸坡失稳的普遍问题及绿色航道建设要求, 分析了生态护岸机理, 阐述了适合内河航道土质岸坡的绿色生态治理理论及航道生态护岸构建技术. 兼顾生物栖息地的改善需求, 提出了石笼生态挡墙、生态袋柔性护岸及土工格室护岸3种生态护岸技术. 以丹金溧漕河典型航道为依托工程, 研发出2种复合型土质岸坡防治技术. 研究护坡固土植物栽培及生物栖息地恢复技术与生态护岸结构的有机结合, 构建出岸坡结构稳定、透水透气和生物多样性的绿色生态恢复技术, 并采用商业软件对其变形稳定性进行评价. 结果表明, 提出的2种生态航道护岸设计方案均满足地基及岸坡稳定性要求, 由于采用了柔性护岸结构形式, 岸坡变形具有很大的自适应; 同时该设计具有生态环保、景观宜人、造价低廉等诸多优点.

**关键词:** 土质岸坡; 生态护岸; 石笼; 生态袋; 土工格室; 稳定性

**中图分类号:** TD853.34

**文献标志码:** A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.05.019

## 0 引言

航道岸坡失稳、滑坡、坍塌在国内外屡见不鲜, 这主要是由土体性质的复杂性、水流作用下土体易变性和航道岸坡的特殊性所决定的. 在传统的护岸设计中, 往往只片面强调岸坡的耐久性, 一般采取刚性护岸的结构形式, 在保持岸坡的稳定性、防止水土流失以及保证防洪安全等方面起到了一定的作用, 较少考虑护岸与河流生态之间的关系. 但刚性护岸的结构形式也在不同程度上人为地干扰了自然环境, 对景观环境和生态产生了不良的影响, 造成水体与陆地环境恶化和生态破坏.

丹金溧漕河整治航道位于江苏省西南部, 是江苏省干线航道网规划“两纵四横”中“第一纵”. 该航道大部分岸坡常年受船行波的冲刷, 两岸土坡坍塌严重, 泥沙淤积, 浅滩较多; 部分航道段落为浆砌片石驳岸, 修建年代较早, 冲刷侵蚀也很严重. 航道通航能力受限, 无法适应航道周边地区经济发展. 如何在满足内河航道航运功能的前提下, 实现护岸结构耐久性与生态性的有机结合, 达到岸坡安全、景观亲水、生态宜人, 并恢复河道自然

生态体系的功能, 是目前国内外普遍关注的问题.

## 1 生态航道护岸机理及特点

### 1.1 植被护岸作用分析

在岸坡防护工程中, 结合应用植被措施不仅能改善河流廊道栖息地环境, 而且还能提高河道岸坡的抗侵蚀能力和抗滑稳定性.

植被的抗侵蚀能力体现在以下3个方面: ①截流. 地面植物落叶及残枝腐殖层可以吸收水流能量, 减少表层土颗粒的流失; ②抑制. 植物根系能够固结土壤颗粒, 同时植被位于地表的部分可过滤地表径流中的泥沙; ③延缓. 植物的茎、叶部分可增加岸坡糙率, 降低土体表层水流速度和作用于土体颗粒的剪应力<sup>[1-2]</sup>.

植物对航道岸坡的抗滑稳定性影响包括水文效应和力学效应两个方面. 植被根系在坡土中起着类似土钉的作用. 一般乔灌木植被的根系大都分布在2 m深的边坡面层内, 有的发达草本植被例如香根草的根系也可以达到2 m以上的长度. 坡面植被可以帮助边坡改善坡面以下1.5 m深的水文环境, 一些乔木甚至可以影响到5 m深以下的坡土, 这些影响有时产生的吸力超过100 kPa.

收稿日期: 2012-02-26; 修订日期: 2012-05-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51009097); 江苏省交通运输科学研究计划项目(2011Z01-1)

作者简介: 张桂荣(1979-), 女, 湖北钟祥人, 高级工程师, 博士, 从事环境岩土与地质灾害防治研究工作, E-mail:

grzhang@nhri.cn

有时岸坡土体增加 10 ~ 15 kPa 的吸力就能防止浅层滑坡. 通过适当管理, 帮助岸坡维持一个适宜的湿度环境和水文边界, 利用植被自适应控制吸力在岸坡土体中的分布, 不啻为一种事半功倍的最便宜的方法. 但植被根系的加筋作用比较复杂, 很难简化为一个简单的力学模型来合理确定相关参数.

## 1.2 生态航道柔性护岸技术特点

柔性生态岸坡防护设计中尽量采用有利于植物生长的多孔透水材料, 特别注意采用当地天然材料, 以保证水、土、气之间的相互联系, 保持河流的横向连通性, 并减小发生生物入侵现象的可能性. 利用柔性网络及植被根系和枝茎的生态自适应性, 形成一体化的变形自适应的柔性防护体系, 增强岸坡的整体抗剪切、抗膨胀、抗冻融、抗冲刷能力, 同时实现环境的绿化美化.

柔性生态岸坡防护技术解决了混凝土不能繁衍花草的难题, 既有岸坡在不改变原有功能的基础上绿化, 又能使绿化在保证原有景观中得到展示和运用, 彻底解决了“绿化”和“硬化”的矛盾, 实现了工程建设与环境保护的有机结合, 取代了河堤、山坡上的水泥和石块.

## 2 生态航道设计理论和技术

### 2.1 适合于航道岸坡的绿色生态治理理论

#### 2.1.1 构建与生态防护相适应的工程结构形式和措施

安全稳定是岸坡绿化与生态防护设计必须遵循的首要原则. 结合岸坡的立地条件, 植被防护与工程加固、防护有机结合, 进行岸坡护岸结构设计, 建立既稳固又有良好生态效应的坡面综合防护体系.

生态治理需要着重强调土质岸坡的物理稳定性, 防治岸坡崩塌影响航道正常运行. 在航道岸坡稳定分析与判定的基础上, 建立各类工程结构措施, 充分考虑因地制宜和融合生态设计理念的要求, 构建与生态防护相适应的工程结构措施.

#### 2.1.2 生态优先

岸坡防护要遵循自然规律、生态优先的原则. 在保证岸坡稳定的前提下贯彻生态优先, 采用生物措施对坡面生态进行修复. 在岸坡生物措施设计中, 植物选择必须因地制宜、适地适树, 选择根系发达、固土能力强的乡土物种. 物种中间配置充分利用生态位、种间关系、生物多样性、群落演替等的理论, 保护、恢复和改善航道岸坡生态环境,

营造和谐融洽的岸坡生态系统<sup>[3]</sup>.

同时, 选择一些耐水淹、根系发达且对水中污染物有吸附降解作用的小灌木和草本植物, 并与周围环境相结合, 在护岸固坡的同时形成航道净化带.

#### 2.1.3 稳定植物群落的选型与建立

岸坡生态防护设计不能满足单一品种的植被绿化, 要多品种植物结合取得综合绿化的效果. 合理选择植物主景, 将乔、灌、草、花合理配置, 形成立体复合结构. 同时, 利用植物措施实现固坡工程结构物隐蔽遮盖, 突出植被景观.

不同植被护岸材料的有效性在很大程度上取决于它们对水位和底土土质的适应性. 可根据不同水位, 结合当地情况, 将河岸带分为干燥、偶然的洪泛区、潮湿、季节性洪泛区、沿岸水位变动带和淹没区等几个区域, 在不同区域选取适合的植物种类.

#### 2.1.4 经济适用

岸坡生态防护设计在保证安全稳定和生态的情况下, 还需做到经济适用. 一般情况下, 采取工程与生物相结合的综合生态护岸设计比单一的工程护岸节约造价、经济可行. 在选择岸坡生态防护技术方案时, 要做到因地制宜, 技术措施本土化, 加强技术措施的组合、创新, 实现经济效益、社会效益和环境效益的统一.

### 2.2 生态航道护岸设计及构建技术研究

研究多样性内河航道的绿色生态护岸结构形式, 包括自然性亲水护岸、景观挡墙组合、坡面滩地立体绿化、岸坡土壤改良及水体生态净化技术、以及植物选择和搭配等, 开发内河航道绿色生态护岸设计方法及构建技术.

#### 2.2.1 多样性航道驳岸

基于航道流向特点、岸坡土的力学特征, 通过融合两岸区位地形特征, 构建天然自成的驳岸形式, 例如抛石插枝、生态袋覆植、植活木桩木锚、石笼生态灌浆覆植、三维植被网垫覆植护岸及植生挡墙等.

#### 2.2.2 人工自然性亲水护岸材料研究

对绿色生态护岸材料的厚度和组成进行试验研究, 确立航道岸坡安全条件下的材料组成、力学强度及结构组成等具体技术指标, 构造宜人的亲水环境与护岸结构形式.

#### 2.2.3 新型景观挡墙护岸结构及生态柔性护坡护岸结构

根据岸坡的高度和坡度, 结合景观景点的结

构要求,构建由各类生态砌块组成的景观挡墙,诸如结构上的自嵌式、加筋式以及复合柔性式等挡土护岸结构,以及生态柔性护坡护岸结构<sup>[4]</sup>。

#### 2.2.4 滩地与岸坡的立体绿化

采用喷播、浆播、插播、压播等种植技术和草皮技术,形成和谐物种变化生态圈带,构筑平面、立体绿化的融合模式。开发复合式多层次生态防护技术,构筑平面、立体相融合的绿化模式。

#### 2.2.5 岸坡土壤改良及水体生态净化技术

利用生态工程技术,构建能够保证植物生长稳定的土壤物理化学环境。针对岸坡渗流特征,研究新型导渗、析渗技术措施,使之集抗渗、导渗、析渗于一体,并满足岸坡综合安全的水力作用,从而形成岸坡土壤改良及水体生态净化的实用技术。

#### 2.3 护岸与护坡植物选择

在航道河面较宽地段(如弧形水岸、导流岛等),现状岸坡与设计航道中心线距离大于40 m,有条件根据地形因地制宜设置自然生态护岸段。

在弧形水岸中,形成浅水区、滩地、岸坡、坡顶的立体绿化。浅水区种植芦苇、菖蒲、千屈菜、梭鱼草、水葱、鸢尾等水生植物,根系的分布深度一般在30 cm左右,起到固土消浪、净化水质的作用;滩地种植耐水淹的禾本科植物如蘆草、香根草等,固土护坡,保护岸坡稳定及净化水质;岸坡上种植高羊茅、黑麦草、狗牙根等草种防止水土流失;坡顶种植常春藤、迎春花、爬山虎等藤灌植物营造美观宜人的环境。

### 3 生态航道柔性护岸结构研究

航道岸坡防护设计除应考虑传统的技术要求外,还要兼顾生物栖息地的加强和改善需求,因此需引入一些新的结构型式。常见的岸坡防护与植被恢复技术主要包括有石笼、生态袋、混凝土空心块、土工格室、三维植被网垫、生态砖和鱼巢等。按照稳定、经济与适用的原则,本文选择了如下3种岸坡生态护岸类型。

#### 3.1 石笼生态挡墙护岸技术

该岸坡防护技术适用于高流速、冲蚀严重、岸坡渗水多的缓坡河岸。

石笼经块石填充,构成具有柔性、透水性及整体性的结构,能适应比较大的岸坡不均匀沉降,耐冲刷性好,形成粗糙化断面,并且内外透水性良好。块石间的空隙能为河流中的微生物、鱼类及其他水生物提供一个良好的生态环境。在块石表面形成的生物膜有利于水质改善;通过间插枝条生

长出的植被能为生物提供遮蔽层、避难所以及有机物来源,并可减缓水流冲击,促进泥沙淤积,最终形成自然景观。

#### 3.2 生态袋柔性护岸技术

生态袋是由聚丙烯(PP)及其他高分子材料为原材料,复合针刺制成的双面熨烫无纺布加工而成的袋子。该护岸技术是在生态袋中装入客土,再将生态袋通过链接扣、加筋格栅等组件相互连接,形成力学稳定的软体岸坡,既能防止岸坡坍塌(根植土深度达0.3m以上),又可使植物存活和生长如图1,2所示。在冲刷较严重的坡脚部位,利用石笼作为护脚,结合生态袋护坡技术,可保持岸坡稳定,并提供多样性栖息地环境。与常规的灌木植被防护技术相比,该技术能抵御相对较大的流速,并起到护脚和增加岸坡稳定性的作用。生态袋本身具有较高的挠曲性,可适应坡面的局部变形,并可形成阶梯坡状。因而,特别适合于岸坡坡度不均匀的区域。

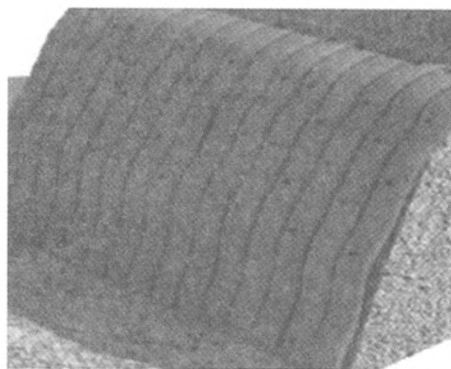


图1 长生态袋护岸示意图

Fig.1 The diagram of bank revetment by ecological bag



图2 植物小锚杆在生态袋挡墙上实现生态护坡

Fig.2 The diagram of bank ecological revetment by small plant anchors

#### 3.3 土工格室生态护岸技术

土工格室是由聚乙烯片材经高强度焊接而制成的一种三维网状格室结构。利用其三维侧限原

理,该结构通过改变其深度和孔型组合,可获得刚性或半弹性的板块,大幅度提高松散填充材料的抗剪强度,抗冲蚀能力较强.土工格室可置于岸坡土体中,并在形成的格室里面放置腐殖土、本土植物物种、碎石等材料组成的混合物,同时还可扦插不同植物类型的活枝条.由于土工格室具有围拢及抗拉作用,因此其内填料在承受水流作用时可免于冲刷.植被生长充分后,可使坡面自然化,形成的植被有助于减缓流速,为生物提供栖息地.同时,植被根系可以增强边坡整体稳定性.

4 生态航道型护岸结构设计

丹金溧漕河航道航段按三级航道通航标准整治,设计最高通航水位为▽4.38,设计最低通航水位为▽0.84,设计常水位为▽1.9;设计河底高程为▽-2.36.根据航道定线,结合沿线地形,采用合适的生态护岸结构型式,选择25K+597.8~

26K+047.1航段(弧形水岸)开展生态航道护岸结构型式研究,作者主要介绍生态袋+石笼网护岸方案.

该方案采用木桩+土工布维护种植芦苇等挺水植物,结合香根草生态浮床消浪,石笼网护脚,短生态袋+香根草+扦插植物锚杆护岸,生态袋顶用灌藤垂帘.

弧形水岸处采用填砂土护底,并在填土上适当种植芦苇、菖蒲、千屈菜、梭鱼草等水生植物.为避免船行波吸力的影响,在现状岸坡堤角处考虑布设一排桩长为2.5m的活木桩(梢径不小于120mm)形成防护带,木桩后加竹篱或土工布(1m高)起到固土作用,木桩间距控制为30cm左右.水生植物背后种植香根草,形成50cm左右的长带,经过2~3个季节形成篱笆和生态浮床后,即可起到较好的消浪效应,并有效拦截径流,透水不透土,起到防止岸坡坍塌及水土流失的作用.

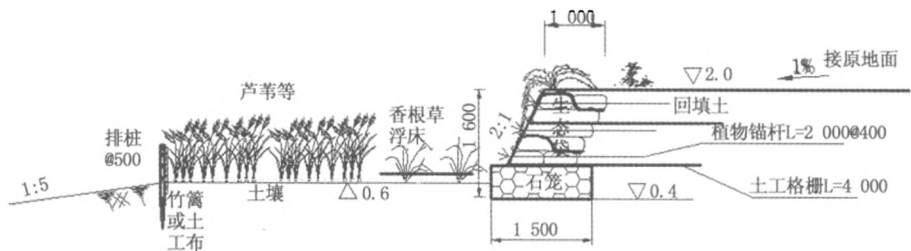


图3 生态袋+石笼网生态护岸结构断面图

Fig.3 Section of ecological slope protection structure of ecological bag and stone cage net

该护岸方案采用石笼柔性基础护脚,为护岸结构提供支承力及抵抗坡脚处的水流冲刷.原岸坡处采用短生态袋护岸方式.护岸顶高程为▽2.0生态袋中充填草籽(高羊茅、黑麦草、狗牙根等)、碎石、腐殖土等材料,并在生态袋之间种植香根草、扦插活枝条.每铺设两层生态袋即扦插活枝条作为植物锚杆,长约2.0m、直径约为20mm,插条的粗端深入岸坡土体50cm左右;每铺设三层生态袋即设置土工格栅包裹,以增强生态袋的整体稳定性,土工格栅长度约为4.0m.生态袋顶铺

填10~15cm的腐殖土后撒播或栽植常春藤、迎春花等藤灌植物,营造宜人景观.

5 新型护岸结构稳定性计算

主要考虑墙前设计常水位工况下的护岸结构稳定性情况.丹金溧漕河航道设计常水位为▽1.9,一般护岸结构的安全等级为3级.

表1为各方案的计算参数,包括重度 $\gamma$ 、黏聚力 $c$ 、内摩擦角 $\varphi$ 、变形模量 $E$ 、泊松比 $\mu$ 及侧向土压力系数 $K_0$ .

表1 计算参数

Tab.1 Calculation parameters

材料	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$c/\text{kPa}$	$\varphi/(^{\circ})$	$E/\text{MPa}$	$\mu$	$K_0$
土层	19.8	20	10	9.62	0.31	0.5
石笼	21	80	40	80	0.2	0.31
生态袋	18.5	30	30	50	0.3	0.5
回填土	18.5	18	20	7	0.3	0.4

图4为生态袋护岸方案稳定性计算结果.如图4所示最危险滑动面表现为原岸坡土体可能的剪

出破坏,即以可能的整体破坏为主.计算结果表明,生态护岸结构体发生破坏的概率很小,岸坡稳定性安全系数满足工程要求.另外,岸坡堤角处(水生植物前缘)满足水流冲刷作用下的工程安全要求.

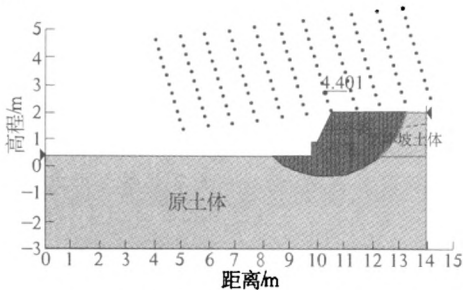


图4 生态袋柔性岸坡最危险滑弧面  
Fig.4 The most dangerous slip surface  
of ecological bag slope

## 6 结束语

生态护岸结构型式的设计是多种多样的,需要结合各航道的实际特点来考虑,但设计理念和设计思路是一致的,最重要的是在内河航道整治工程的建设中,融入生态护岸的设计理念,尽可能的促进航道建设生态化<sup>[5]</sup>.

作者主要针对丹金溧漕河航道进行生态航道

护岸结构设计及稳定性分析.岸坡稳定性初步分析结果表明,两种生态航道护岸设计方案均满足地基及岸坡稳定性要求.岸坡荷载本身没有增加,不需地基处理.由于采用了柔性护岸结构形式,变形具有很大的自适应;同时具有生态环保、景观宜人、经济价廉等诸多优点.本设计需要结合理论试验和现场模型试验及试验段来开发推广应用生态航道护岸新技术.

## 参考文献:

- [1] 董哲仁,孙东亚.生态水利工程原理与技术[M].北京:中国水利水电出版社,2007.
- [2] 郑文宁.植物防护对边坡稳定性的影响[J].中外公路,2005,25(4):218-220.
- [3] 赵方莹,赵廷宁.边坡绿化与生态防护技术[M].北京:中国林业出版社,2009.
- [4] 王国体,李宏卓.河道岸坡生态防护结构组成和控制指标研究[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2010,33(5):713-716.
- [5] 赵东华,陈虹.从欧洲内河航道生态化建设理念谈我国内河航道生态护岸设计思路[C]//第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集:北京:海洋出版社,2009:1164-1170.

## Study on Ecological Controlling Techniques for Soil Bank Slope of Channel

ZHANG Gui-rong<sup>1</sup>, Zhao Bo<sup>1</sup>, RAO Zhi-gang<sup>2</sup>, XIAO Hong-ling<sup>2</sup>

(1. Geotechnical Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China; 2. Changzhou Waterway Administrative of Jiangsu Province, Changzhou 213004, China)

**Abstract:** According to the problems of bank slope instability and the construction request of green channel, this article analyzes mechanism of ecological bank-protecting, elaborates green ecological governance theories of soil bank slope and construction technology of ecological bank-protecting for inland waterway. In view of ecological habitat improvement demands, this article put forwards three ecological revetment technologies, including the ecological retaining wall of stone cage, flexible bank revetment of ecological bag and geo-cell embankment. Based on typical channel project of Dan Jin Li Cao river, two kinds of composite ecological bank-protecting technologies for soil bank slope are developed. Based on study of organic combination of vegetation cultivation, biological habitat restoration technology and ecological slope protection structure, the green ecological recovery technology is built, with the features of stable structure, water permeability and air permeability and biological diversity. By using commercial software, its deformation stability has been evaluated. The results show that the two kinds of ecological bank-protecting design scheme can meet the stability requirements of foundation and bank slope, and due to the adoption of flexible bank prevention structure, the design has many advantages, such as great adaptive deformation of bank slope, ecological environmental protection, pleasant landscape, low cost etc..

**Key words:** soli bank slope; ecological bank-protecting; stone cage; ecological bag; geo-cell; stability