

# 基于生态砖构建的新型河堤结构及位移分析

郝伟<sup>1</sup>, 武雷<sup>1</sup>, 李清曼<sup>2</sup>

(1. 东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 中国科学院 水生生物研究所, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 结合生态治理的要求, 在分析国内外生态河堤的发展状况及相关的优缺点的基础上, 提出了新型生态河堤, 并通过 ANSYS 有限元软件对生态河堤的承载力及刚度进行有限元分析, 对局部河堤结构进行了试验探究, 并将有限元结果与试验结果进行对比, 吻合情况较好。同时有限元结果也表明结构有较好的承载力、刚度、稳定性以及生态效果等, 真正达到了人与自然的关系的和谐。

**关键词:** 生态河堤; 生态砖; 承载力; 刚度; 位移; 荷载

中图分类号: TV871

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)05—0041—04

## Analysis on New Riverbank Structure with Ecological Bricks and Its Displacement

HAO Wei<sup>1</sup>, WU Lei<sup>1</sup>, LI Qing-man<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China;

2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430072, China)

**Abstract:** Combined with the requirements of ecological management, the development situation of ecological riverbank at home and abroad is analyzed, and the new type of ecological riverbank is put forward. Then, the bearing capacity and stiffness of the ecological riverbank are analyzed through the finite element software ANSYS, and the experiment for the part of the riverbank structure is carried out. At last, the results of ANSYS are compared with experimental results, and the results are very similar. The results of finite element method also show that the structure has good bearing capacity, stiffness, stability, ecological effect and so on, really making the relationship between man and nature in harmony.

**Keywords:** ecological riverbank; ecological brick; bearing capacity; stiffness; displacement; load

随着人类文明的不断进步, 人们对人与自然关系的认识也不断升华, 并首先在西方发达国家提出了生态城市的概念。城市的河流生态系统是整个生态城市建设的核心系统<sup>[1]</sup>。

目前国外河流生态修复技术有很多种, 主要包括: 在河流整治中, 结合洪水管理, 贯彻“给河流以空间”的理念, 建设分洪道和降低河漫滩高程; 为了实现纵向连通及河道与河漫滩区的横向连通的河流连续性恢复, 建设低坝并设置鱼道、堤防拆除; 恢复河流蜿蜒性; 河道岸坡生态防护等。此外, 结合河流生态修复规划和设计, 一些规划设计模型和方法也被提出。在筑坝河流上, 针对改善下游河流的生态系统状况, 有关水库优化调度方式的研究和示范在一些国家也进行了研究, 并初步取得一些成果。

我国在河流生态修复方面的研究工作起步较晚, 尚处于学习引进国外先进经验的阶段。我国在河道治理当中主要存在以下几个问题: (1) 河道整治中硬化渠道, 导致生态系统和水体的破坏; (2) 裁弯取直, 改变了河道的自然流态<sup>[2-3]</sup>。

本文结合生态治理的要求, 开展城市河道的新型生态河堤的研究, 提出了具有防冲刷、透水、水土保持、适宜植被鱼类生长的复合河道系统的建设方案, 满足河口水质净化与景观提升的要求, 达到了人与自然关系的和谐。

### 1 国内外常用的生态河堤的形式

#### 1.1 椰子纤维捆堤岸<sup>[4]</sup>

将椰子壳纤维用麻线织物捆绑成圆筒状, 一般

收稿日期: 2012-03-21

修稿日期: 2012-04-27

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07102-003-4)

作者简介: 郝伟(1986—), 男(汉族), 江苏人, 硕士研究生, 研究方向为土木工程。

直径为 30 cm, 长为 600 cm, 用木桩固定在堤岸坡角, 通常放置在高水位线处、齐岸处, 见图 1。

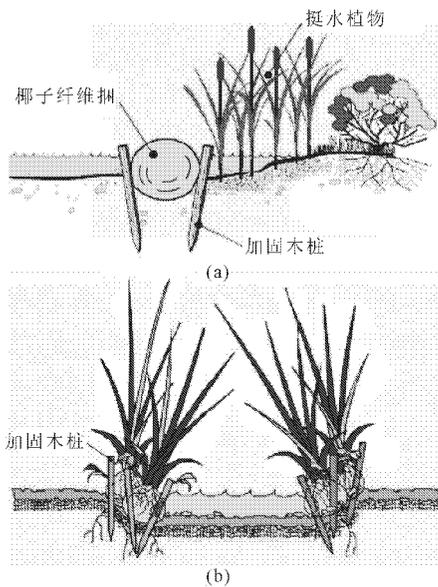


图 1 椰子纤维捆堤岸

该堤岸能够将沉积物拦下, 利于植被生长并保护堤岸坡角, 免受流水侵蚀; 椰子壳纤维捆具有弹性, 能够保持堤岸蜿蜒曲折的自然属性; 这种技术必须与其他生态技术结合使用。也可以应用在湖泊、人工景观水系等水面较为平静的水系岸边, 有助于水生植物的生长。也可以将芦苇等水生植物的种子放置在椰子纤维捆中, 并用木桩将其固定在岸边, 待种子发芽成长以后, 形成活植物捆堤岸, 为微生物提供良好的生活栖息环境, 过滤沉淀泥沙, 保护水系堤岸。

### 1.2 活桩堤岸<sup>[5]</sup>

将活的树桩(一般用柳树)直接夯入河岸边土壤当中, 树桩生根后将土壤盘结为一个整体, 起到稳定堤岸土壤的作用, 见图 2。

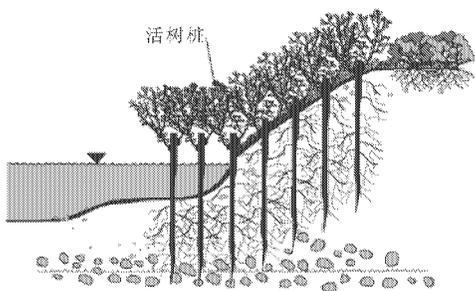


图 2 活桩堤岸

该堤岸适用于坡度较小但冲刷较为严重的堤岸, 以及容易发生小块滑坡和坍塌的堤岸, 还可作为

不同形式生态堤岸之间的过渡段。奥地利在对多瑙河的改造中使用了这种方式, 取得了很好的效果。

### 1.3 原木和根垫堤岸<sup>[6]</sup>

用块石或混凝土砌块将原木和树根固定在岸边, 为野生生物提供理想的生活栖息环境, 见图 3。

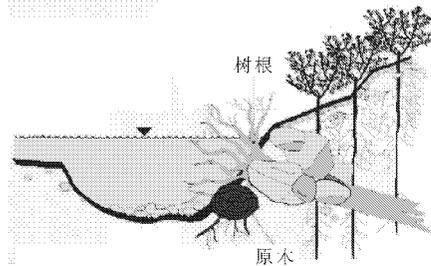


图 3 原木和根垫堤岸

该堤岸适合于蜿蜒曲折、水流流速平缓、水体没有漫上堤岸的水系; 与其他生态技术结合使用; 为鱼类和昆虫等生物提供生活空间, 增加水系走廊的生物多样性。

## 2 基于生态砖构建的新型生态河堤

### 2.1 生态砖的定义以及相关工作原理

所谓生态砖, 至少应具备下面两个要素: 首先, 它属于砖的范畴, 但也不等同于工程中普遍使用的粘土砖、粉煤灰砖、水泥砖等, 而是多采用工业废料制作而成, 不会对环境造成二次污染; 其次, 它的孔隙率较一般较大, 体现出生态的要求, 为水中的鱼类提供良好的栖息环境, 同时也实现了水体的良好循环。

生态砖内多以砾石、卵石为填充物, 日本、韩国采用了比较成熟先进的生物接触氧化工艺技术。生物接触氧化法是一种介于活性污泥法与生物滤池之间的生物膜法工艺, 具有处理效率高、占地小、对水质适应性强、耐冲击性能好、产泥量少、出水水质稳定等优点。填料作为微生物的载体是生物接触氧化池的核心。填料的表面栖息着大量的高活性微生物, 它们能够高效快速地吸附合成和氧化分解污水中的有机物。根据河道不同河段水力学特征, 在河道水质得到改善的基础上, 运用不同水生植物生长习性互补原理, 对不同水生植物种群进行组合、优化, 筛选出适合于河流生态系统恢复的种群配置, 更好的吸收空气中以及分解水中的污染物, 为水中的鱼类提供更好的繁殖场所。

### 2.2 生态河堤的构造

国外生态堤岸更注重生态的保护, 利用天然的

植物,如椰子纤维、活桩、活枝条、灌木、原木等来构造堤岸,更能体现河堤的核心生态。国内生态堤岸的做法多使用刚性堤岸,充分利用了混凝土、块石的特性,与传统河堤的做法只是稍微做了改进,并未真正的达到生态的效果。

城市河道的整治当中,河堤一般有两种做法:一种是采用挡土式河堤,一种是采用护坡式河堤。常用的挡土结构有混凝土搅拌桩重力式挡墙、挡土灌注排桩、钻孔灌注桩加水泥土搅拌桩等形式,可以根据水文地质条件,以及现场的实际情况选择各种挡土式结构。护坡式主要有浆砌或干砌块石护坡、现浇混凝土护坡以及预制混凝土块体护坡等做法。块石护坡对原材料的块石质量有一定的要求,需要块石有一定的平整度,施工供料上存在较大的困难,且对砌筑的砂浆强度也有一定的要求。现浇混凝土护坡实用、美观,施工进度快,质量好,材料供应广泛。但混凝土护坡在维修时往往因为新旧混凝土不宜结合牢固,修补不方便,而块石护坡损坏后可以随时更换、随时修补。预制混凝土板护坡可以先在加工厂进行预制,再运至现场进行铺设,具有可进行工厂化施工、节省工期、混凝土质量好等优点。同时也适用与施工场地狭小,施工工期短的的护坡工程<sup>[7-10]</sup>。

以上两种做法各有优缺点,缺点都硬化了河道,随着社会经济的发展,人们也逐渐意识到这些给生态环境带来了不良的影响,造成了生态的恶化,一些水生动植物也濒临灭绝。挡土式河堤施工费用高,且施工复杂,护坡式利用土坡本身的自稳型,在其表面浆砌块石或浇筑混凝土,割裂了土壤与水体的关系,加剧了河道的水污染,同时破坏了水生动植物的生存环境。在总结各方面优缺点的基础上,充分考虑工程造价的经济性,本文提出了新型生态堤岸的方案,充分利用土体本身的自稳性,并保留了水体与土体的相互联系,同时不破坏水生动植物的栖息环境。

生态河堤坡度的确定是利用了天然土坡的自身稳定性,必要时进行相应的土坡稳定性分析验算。天然土坡形成稳定的坡度以后,即可以沿着河流的方向每隔 10 m 压入截面尺寸为 250 mm × 400 mm 的矩形桩,为了防止由于河水常年冲刷及河堤自身的原因导致的不均匀沉降,在河堤底部做抛石处理。选择在河流枯水期进行施工,一般水平的分格梁设置在河流的常水位处,如果河流较深也可以设置几道水平分格梁,分格柱与水平的分格梁形成框架,在形成的框架内安装生态砖(见图 4、图 5)。分格梁采

用预制梁,预制柱与分格梁间采用预留孔插筋灌浆进行连接。生态砖间、生态砖与柱及分格梁间采用螺栓连接。河堤的顶部可结合人行道路做现浇钢筋混凝土顶盖。生态砖采用 C30 的混凝土预制而成,基本尺寸为 900 mm × 450 mm × 400 mm(见图 6)<sup>[11]</sup>。

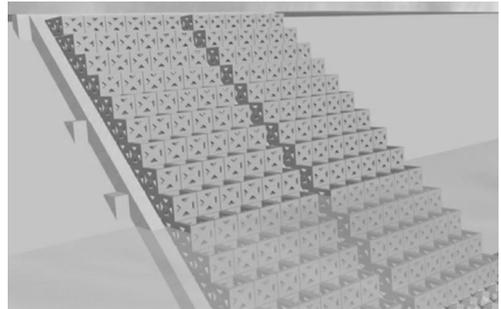


图 4 生态河堤三维图

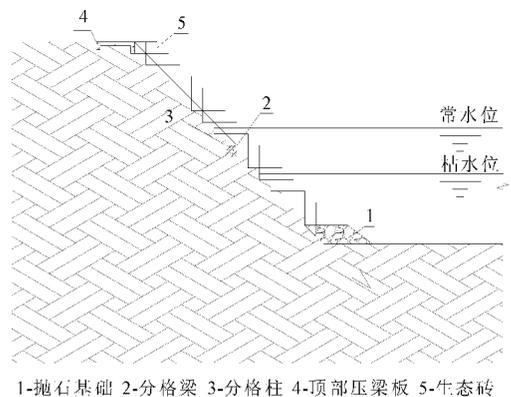


图 5 生态河堤剖面图

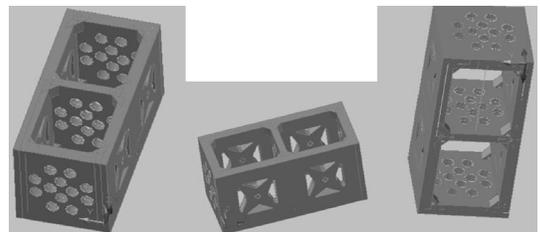


图 6 生态砖三维图

### 3 生态河堤整体结构性能研究

#### 3.1 整体结构的有限元模拟

为研究生态河堤的整体结构性能,采用 ANSYS 有限元进行生态河堤的模拟分析,钢筋混凝土生态砖采用 SOLID65 单元,土体采用 SOLID45 单元,土体与生态砖之间的粘结滑移采用 TARGET170 单元与 CONTACT173 单元进行模拟。水流影响简化为静力作用,模拟了结构在恒载与活载组合下的工况,活荷载通过在生态砖上的施加面荷载  $0.0033 \text{ N/mm}^2$ ,通过计算分析,整个生态河堤结构 X 方向的最大位移

$u_{X_{max}} = 1.36 \text{ mm}$ , 最小位移  $u_{X_{min}} = -0.032 \text{ mm}$ 。Y 方向的最大位移  $u_{Y_{max}} = 0.63 \text{ mm}$ , 最小位移  $u_{Y_{min}} = -1.64 \text{ mm}$ 。最大等效应力  $s_{max} = 1.79 \text{ MPa}$ , 模拟结果表明, 整体结构的刚度性能良好。

### 3.2 考虑生态河堤局部不均匀沉降的情况下结构工作性能

为了确定局部生态河堤结构的承载力及相应的变形, 用 ANSYS 有限元进行模拟分析, 模拟了三块砖中间一块的地基出现局部塌陷工况下结构的承载力, 经过有限元模拟分析计算可知, 河堤在局部不均匀的情况下仍能保持良好的结构承载力与稳定性。

对于以上的分析我们进行了相应的试验研究, 试验由三块生态砖连接而成, 不同生态砖之间通过 M12 的螺栓进行连接, 形成一个变截面梁, 两端的约束为简支, 在每块砖的上部布置百分表, 最终形成的试验模型(见图 7)。整个结构的试验破坏荷载为 33.3 kN 与 ANSYS 有限元分析的 36 kN 非常接近, 结构的竖向最大位移为 13.1 mm。

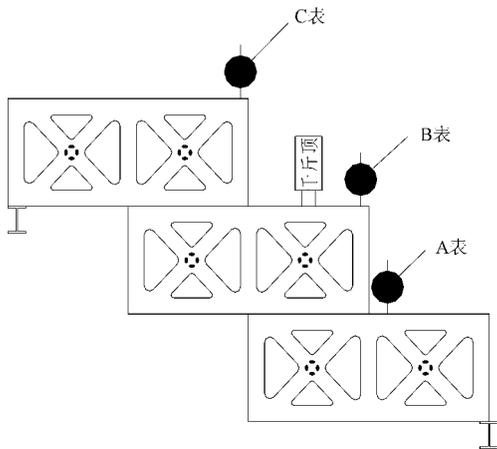


图 7 试验模型

## 4 基于生态砖构建的新型生态河堤建造工艺

### 4.1 工艺流程

边坡修整 → 定位放线 → 静压分格柱 → 基底抛石 → 安装生态砖 → 安装分格梁 → 安装分格梁上部的生态砖 → 堤顶压梁板施工 → 生态砖充填填充物 → 砖内种植生态植物。

### 4.2 主要工艺要求

施工过程中定位放线要准确, 控制基底抛石的质量, 并应严格检查预制生态砖的质量, 孔洞的尺寸, 以保证在拼装过程中, 砖的上下左右都要连接牢固, 防止使用中松脱。生态砖内填充卵石、砾石以后

种植水草植物时应避免选择高温天气, 因为砖本身加上内部的充填物吸热量较大, 要保证水草的水分供应。

## 5 结 语

本文采用生态砖作为堤岸坡面, 辅以分格柱、梁来加强堤岸结构的整体性, 形成了新型生态河堤。通过 ANSYS 有限元分析及局部试验研究, 可以得到以下几点结论:

(1) 局部生态砖组成的河堤仍具有一定的承载力, 承载力达到了 33 kN, 满足施工以及正常使用中的相关要求, 同时与有限元模拟的 36 kN 非常接近;

(2) 整个河堤结构体现出较好的生态性, 加强水体净化循环的同时, 也为鱼类提供良好的栖息环境。

(3) 在堤岸上种植生态植物净化水体, 提升河堤景观的功能性要求。

新型生态河堤的提出, 丰富了河流生态治理的方法, 同时这与建设生态城市的要求是一致的, 在国内外具有较好的可行性。

### 参考文献:

- [1] 胡大伟, 程吉林. 城市生态河堤建设的限制性因素分析[J]. 水利规划与设计, 2009, (2): 14-16.
- [2] 于春延, 宋 剑, 张新红. 生态河堤的研究及其在河道治理工程中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2008, (6): 23, 26.
- [3] 赵斌. 生态河堤应用问题研究[J]. 科技致富向导, 2011, (14): 393, 414.
- [4] Hollis H A, James R L. Bioengineering for stream bank erosion control, technical report EL[R]. Washington D C: US Army Corps of Engineers, 1997, 97(8): 35.
- [5] Browne F X. Borough of Perkasie stream restoration [EB/OL]. [2009-03-31].
- [6] Jurgen Z. Ingenieurbiologische bauweisen[R]. Freising: studienfakult frostiest senschaft und ressourcenm - anagement, 2004: 43.
- [7] 王 骏. 城市河道整治中的生态护坡结构探讨[J]. 中国西部科技, 2011, 10(1): 58-60.
- [8] 曹仲宏, 徐 泽. 现代城市河道生态护坡浅谈[J]. 城市道桥与防洪, 2011, 2(2): 50-53.
- [9] 田晓静, 高金超, 王迎风. 防洪河道生态护坡工程探析[J]. 黑龙江水利科技, 2009, 37(6): 97-98.
- [10] 李 颖, 杨健荣. 生态型护坡介绍及其发展展望[J]. 环境工程, 2010, 28(S1): 428-430.
- [11] 郭忠义, 鲍卫锋, 赵 微, 等. 生态砖在城市河道治理中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2007, (1): 88-89.