

# 装配式生态护岸工程的设计与施工

陈锡林<sup>1</sup>, 金忠良<sup>2</sup>, 陈 于<sup>3</sup>, 葛明明<sup>2</sup>

(1. 江苏省水利厅, 江苏 南京 210000; 2. 建华建材(中国)有限公司, 江苏 镇江 212000;  
3. 江苏省农村水利科技发展中心, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 简要介绍了装配式生态护岸的概念及发展历史, 阐述了装配式生态护岸的分类及结构选型, 给出了不同生态框构件的类型, 并对比了装配式生态护岸和传统护岸在设计理念和施工工法上的差异性。

**关键词:** 装配式; 生态护岸; 设计; 施工

中图分类号: TU375.1

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2022)06-0001-0005

## Design and Construction of Prefabricated Ecological Revetment Engineering

CHEN Xilin<sup>1</sup>, JIN Zhongliang<sup>2</sup>, CHEN Yu<sup>3</sup>, GE Mingming<sup>2</sup>

(1. Water Resources Department of Jiangsu Province, Nanjing 210000, China;

2. Jianhua Construction Materials (China) Co., Ltd., Zhenjiang 212000, China;

3. Jiangsu Rural Water Conservancy Science and Technology Development Center, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** This paper briefly introduces the concept and development history of prefabricated ecological revetment, and expounds its classification and structure selection. Different types of ecological frame components are provided as well. Furthermore, the differences between prefabricated ecological revetment and traditional revetment in design concept and construction method are compared.

**Key words:** prefabricated mode; ecological revetment; design; construction

在河道岸坡用块石或混凝土铺砌以保护河岸的构筑物称为护岸。随着社会经济的发展, 人们对护岸的需求也逐渐从以往的防洪功能向生态功能转变。在河道治理工程中, 兼顾结构性的同时, 也不得不考虑景观、生态、环保等其他要求。

传统的护岸结构形式包括砌石挡墙、钢筋混凝土挡墙、木桩和石笼挡墙等, 其主要目的是防止河道冲刷, 维持岸坡稳定, 发挥河道灌溉、防洪、航运等功能。砌石挡墙和钢筋混凝土挡墙护岸属于硬化护岸结构, 建成后阻隔了护岸前后水体交换, 会

使河道的生态系统遭受一定破坏; 木桩与石笼挡墙虽能维持一定的生态交换功能, 但其原材料为不可再生资源, 对自然资源消耗巨大, 且耐久性不佳。传统的护岸结构已不再能满足国家现行的生态治理环境要求。

同时, 随着我国整体工业化水平的不断提升, 以结构标准化、构配件生产工厂化、施工机械化和组织管理科学化<sup>[1]</sup>为基础的装配式设计理念不断创新和推出, 以现浇结构为主的传统施工作业占比越来越少, 装配式结构的设计已经成为建筑业现代

收稿日期: 2022-3-21

基金项目: 江苏省水利科技项目(2019037)

作者简介: 陈锡林(1952—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事水利工程建设管理工作。联系电话: E-mail: 409044719@qq.com

化发展的重要标志和因素。

因此,为解决传统护岸建设弊端,以保护生态及自然景观为前提,以文明绿色施工为支撑<sup>[2]</sup>,在护岸结构中引入装配式设计理念是现代河流岸坡生态治理的必然趋势,而装配式生态护岸工程就是其中一项重要成果。

## 1 生态护岸的发展

1956年,苏联科学院布德尼柯夫院士提出了一种新型多孔混凝土,并系统地介绍了这一类新型建筑材料的制造方法及性能<sup>[3]</sup>。1995年,日本混凝土工学协会首先提出了生态混凝土(environmentally friendly concrete/eco-concrete)的概念。在国内,中国工程院院士吴中伟最早提出绿色混凝土概念,并指出绿色高性能混凝土是今后混凝土的发展研究方向。

21世纪以来,生态文明建设持续强力推进,生态工程理念深入人心,各型生态护岸技术和产品不断发展,迎来了日益广阔的科技推广空间<sup>[4]</sup>。

## 2 装配式生态护岸概念

装配式生态混凝土护岸是指能适应生物生长,并具有多孔透水性的一种预制混凝土护岸,它具有环境友好型和资源节约型两个重要特征。环境友好型是指护岸能够尊重物种多样性,维持植物生境和动物栖息地的质量,有助于改善人居环境及生态系统的健康;资源节约型是指护岸结构生产可降低自然资源消耗,减少碳排放以及能尽量减少施工对环境的破坏。

## 3 装配式生态护岸分类及结构选型

装配式生态护岸按结构形式可分为墙式护岸和坡式护岸。

### 3.1 墙式护岸

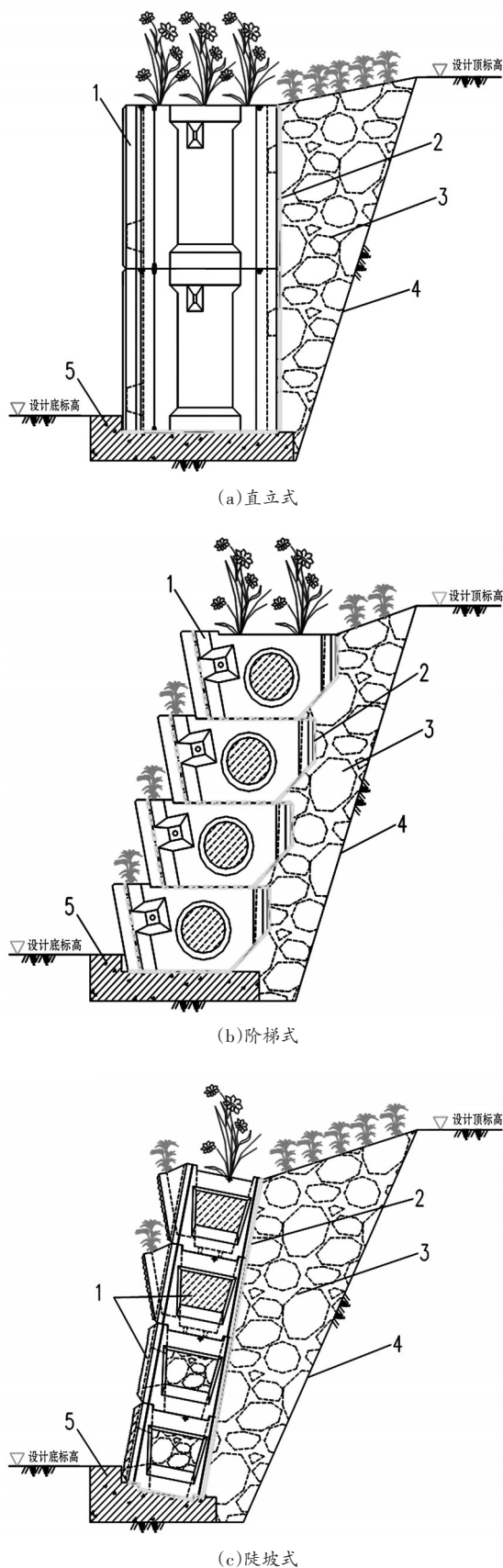
墙式护岸断面小、占地少,按断面布置形式可采用直立式、阶梯式和陡坡式等,如图1所示。

### 3.2 坡式护岸

坡式护岸是将建筑材料直接铺护在堤防或滩岸临水坡面,形成连续覆盖层,从而防止水流侵蚀和冲刷的结构,这种护岸宜采用斜铺式和阶梯式等,如图2所示,其中坡比不宜陡于1:1.5。

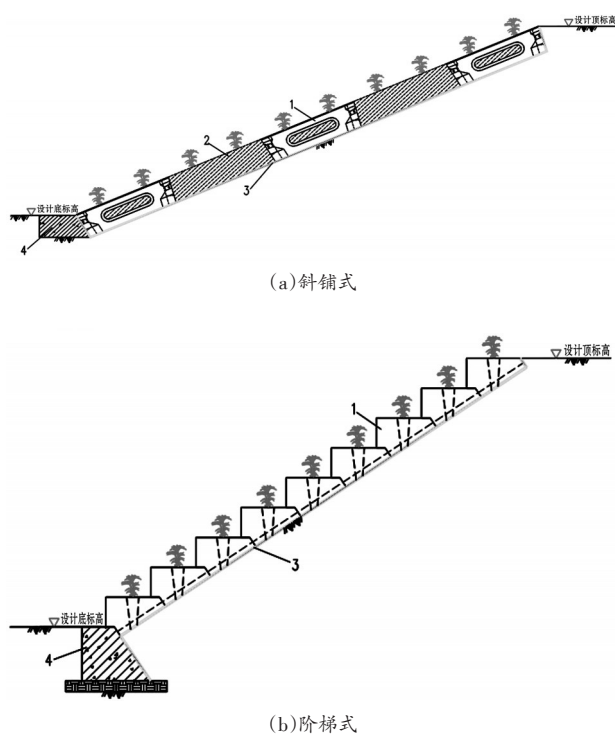
### 3.3 护岸结构选型

影响护岸结构选型的主要因素包括护岸自身因素(如工程特性、经济特性、施工特性、生态环境



1—生态护岸制品;2—土工布;3—墙背回填碎石;4—开挖边坡;5—底板

图1 不同种类的墙式护岸示意



1—生态护岸制品;2—回填料;3—土工布;4—护脚

图2 不同种类的坡式护岸示意

特性等)及外部因素(如地质、水文等外部条件)两大类<sup>[3]</sup>,实际应用时,应根据自然条件、场地条件、使用要求、施工条件、生态与景观要求等因素,按照表1进行护岸结构选型。

### 3.4 护岸构件

装配式生态护岸常用的护岸构件为生态框,其主要结构形式为钢筋混凝土镂空构件,在立面设置有镂空或装饰纹路,并具备一定的透水性及装饰性。生态框具有阶梯式、箱式、植草式、鱼巢式及平铺式等多种构件类型,如表2所示。

## 4 装配式生态护岸的设计要点

装配式生态护岸的设计计算大体上可沿用传统护岸结构,但由于其特有的装配式构造、镂空的结构形式以及生态功能需求,导致装配式生态护岸

在进行抗倾覆、抗滑及生态设计时有所不同,主要体现在如下3方面:①生态护岸一般为块状层叠结构,除考虑基底面抗滑以外,还需考虑块体之间的抗滑稳定;②在进行抗倾覆稳定计算时,同样也需考虑自下而上各层的倾覆稳定;③在进行生态景观设计时,应重点考虑构件选型、布置及绿植搭配等,以满足生态功能需求。

### 4.1 抗滑稳定验算

以装配式墙式护岸为例,生态护岸各层之间(含基底面)的最小抗滑安全系数应满足规范要求,各层抗滑稳定安全系数按下列公式计算确定:

$$\min\{K_{e,1}, K_{e,2}, \dots, K_{e,i}, \dots\} \geq K_e \quad (1)$$

$$K_{e,i} = \frac{f \sum G_i}{\sum H_i} \quad (2)$$

式中: $K_e$ 为抗滑稳定安全系数; $K_{e,i}$ 为第*i*层构件底面(含基底面)的抗滑稳定安全系数; $f$ 为基底面及各层构件之间的摩擦系数,取混凝土面之间的摩擦系数,也可由试验或工程经验确定; $\sum G_i$ 为作用在第*i*层构件底面、基底面上垂直于滑动面的荷载之和, $kN$ ;  $\sum H_i$ 为作用在第*i*层构件底面、基底面上平行于滑动面的荷载之和, $kN$ 。

各层构件间除通过混凝土界面的摩擦保证抗滑力外,还可在界面设置钢销或在构件之间设置错台等辅助措施来增加抗滑稳定性,如图3所示,其中钢销在使用前需要进行防腐处理。混凝土基础底板处一般需采取构造措施如设置抗剪键,以增强最下层生态框的抗滑稳定,如图4所示。

此外,为增加装配式生态护岸的稳定性,还可将其基底面向填土方向倾斜,如图5所示,抗滑稳定安全系数可按下式计算:

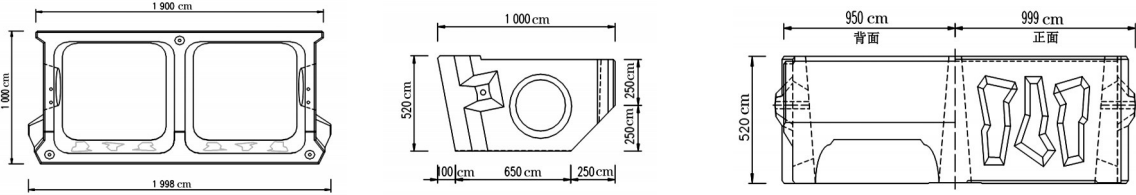
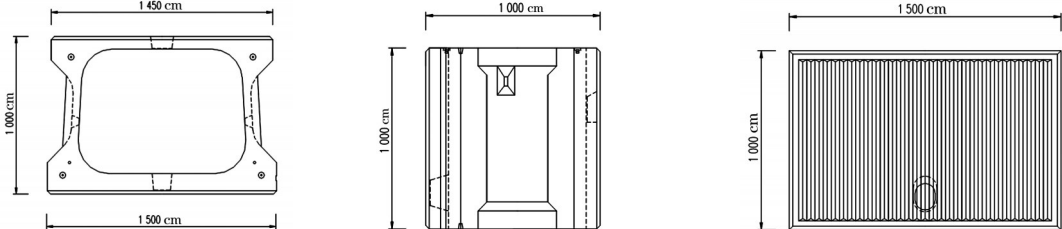
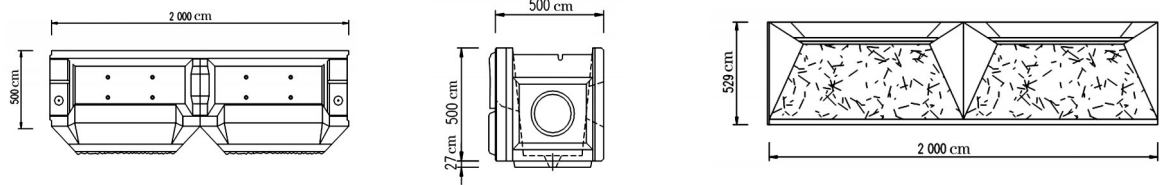
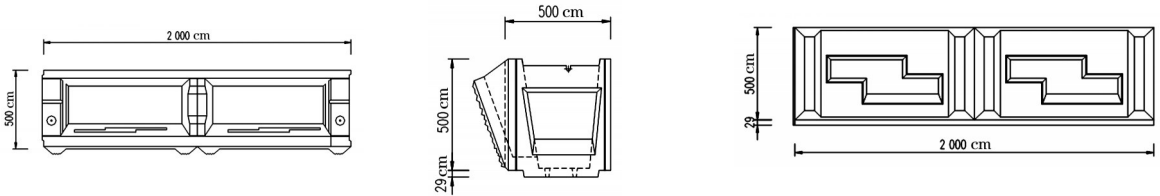
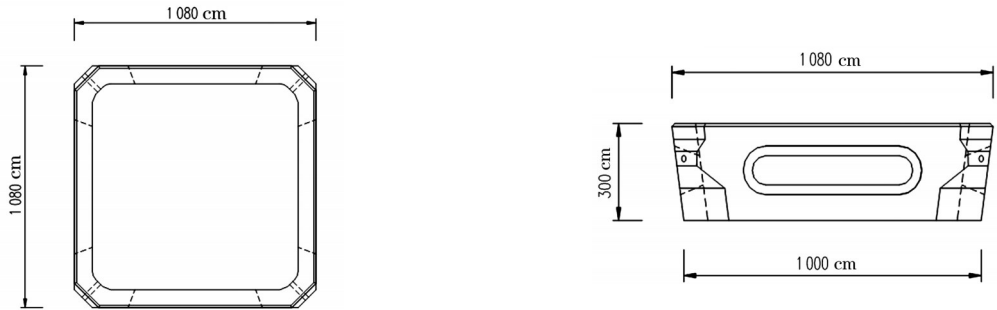
$$K_{e,i} = \frac{f(\sum G_i \cos \alpha + \sum H_i \sin \alpha)}{\sum H_i \sin \alpha - \sum G_i \cos \alpha} \quad (3)$$

式中: $\alpha$ 为基底面或生态构件底面与水平面的夹角( $^\circ$ ),土质地基中不宜大于 $7^\circ$ ,岩石地基中不宜大于 $12^\circ$ 。

表1 装配式生态护岸结构选型

护岸结构形式	结构类型	适用范围	可选构件种类
墙式护岸	直立式	适用于河道狭窄,易受水流冲刷,受地形条件限制及行洪要求较高的河道	鱼巢、仿石、植草、卵石、箱型
	阶梯式		阶梯、仿石、箱型
	陡坡式		鱼巢、仿石、植草、卵石、箱型
坡式护岸	斜铺式	适用于岸坡基本稳定,行洪要求不太高,但对坡面冲刷有一定防护要求的河道或堤防	斜铺型、联锁型
	阶梯式		自嵌型

表1 装配式生态护岸结构选型

序号	构件类型	结构尺寸(长×宽×高)	结构特点及连接方式
1	阶梯式生态框	2 m×1 m×0.5 m	立面设置仿石型装饰面及镂空,侧向采用螺栓连接,上下层采用钢销固定
			
2	箱式生态框	1.5 m×1 m×1 m	单仓结构,立面设置装饰条纹,侧向采用现浇连接,上下层堆砌组合
			
3	植草式生态框	2 m×0.5 m×0.5 m	水面以上使用,立面设置植草挑篮,侧向采用螺栓连接,上下层采用插槽固定
			
4	鱼槽式生态框	2 m×0.5 m×0.5 m	水面以下使用,立面设置镂空鱼槽,侧向采用螺栓连接,上下层采用插槽固定
			
5	平铺式生态框	1 m×1 m×0.3 m	六面镂空,构件四角采用螺栓相互连接
			



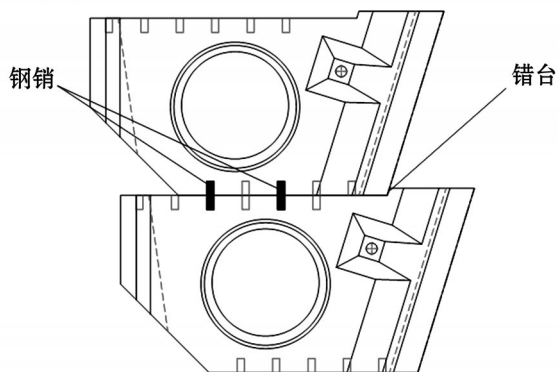
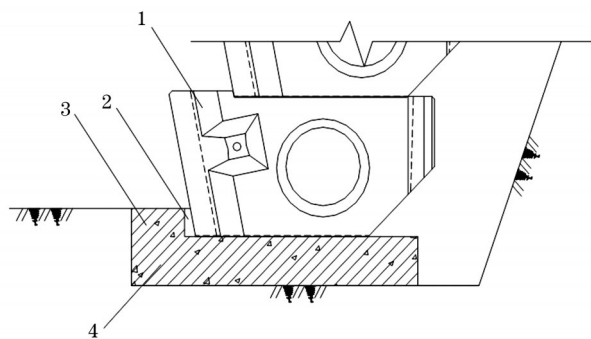


图3 各层构件间的辅助抗滑措施



1—生态框;2—素混凝土填充;3—抗剪键;4—底板

图4 基础底板设置抗剪键

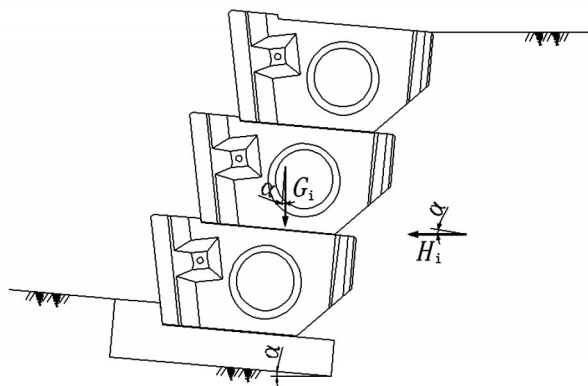


图5 生态护岸倾斜布置

#### 4.2 抗倾覆稳定验算

预制装配式墙式护岸应按式(4)计算对于基底前趾点和各构件底面前趾点的抗倾覆稳定安全系数:

$$\min\{K_{0,1}, K_{0,2}, \dots, K_{0,i}, \dots\} \geq K_0 \quad (4)$$

$$K_{0,i} = \frac{\sum M_{V,i}}{\sum M_{H,i}} \quad (5)$$

式中:  $K_0$  为抗倾覆稳定安全系数;  $K_{0,i}$  为第  $i$  层预制构件底面、基底面的抗倾覆稳定安全系数;  $\sum M_{V,i}$  为

用在第  $i$  层预制构件底面、基底面前趾点的抗倾覆力矩,  $\text{kN} \cdot \text{m}$ ;  $\sum M_{H,i}$  为作用在第  $i$  层预制构件底面、基底面前趾点的倾覆力矩,  $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

对于坡式护岸,一般放坡比较大,生态护岸构件直接铺设在表面形成生态绿化面层,可不作为受力结构,只进行护岸边坡整体稳定和边坡内部稳定验算<sup>[6]</sup>。

#### 4.3 生态设计

装配式生态护岸应根据生态性原则进行护岸设计。在保证水体两侧建构筑物基础无浸没危害的前提下,护岸设计宜选取生态型或透水型护岸,它可作为护岸前后水体交换的通道,也为水生物的生存和繁衍提供了条件,从而增强水体的自净能力。生态护岸构件的墙背一般需设置土工布来防止水土流失,构件在水面以下的内部回填料采用碎石或块石等,水面以上的内部回填料采用种植土。

护岸型式宜根据河道(湖泊)所处环境风貌及河道(湖泊)的尺度进行合适选择。小尺度城市河流(湖泊)护岸宜选用卵石型生态框、植草型生态框;大尺度城市河流(湖泊)护岸宜选用阶梯型生态框、箱型生态框;小尺度郊野河流(湖泊)护岸宜选用植草型生态框;大尺度郊野河流(湖泊)护岸宜选用平铺型生态框。在常水位以下宜合理配置鱼巢型生态框,为鱼类提供产卵、栖息的场所。

在装配式生态护岸植物的选择上,应考虑当地河道的环境条件,并结合生态混凝土温度变化的特点,选用适合当地生长的植物。对于需增加绿化覆盖率的护岸,宜选用匍匐型品种,以减少对混凝土框架的影响。常水位以下植物应选择耐水湿品种,常水位以上宜根据河道(湖泊)风貌情况,不同河段选择叶形和色彩不同的植物,以提升河道整体观感。阶梯型护岸可根据河段景观需要,选择色叶类植物,形成具有一定规模的色块效果。

### 5 装配式生态护岸的施工要点

装配式生态护岸的施工包括基坑(槽)开挖、排水设施、地基处理、基础浇筑、坡面处理、生态护岸制品安装、填料铺摊和绿化种植等步骤。与传统护岸施工的不同点主要在于护岸制品的安装和回填绿化等方面。

生态护岸制品应按吊装设计要求采取3点吊或4点吊,吊装过程中应慢起慢落,并按设计坡比要求进行错台或堆叠,吊装就位后及时安装构件之间的

(下转第11页)

- power station optimal scheduling considering ecological water demand[C]. 2013.
- [6] 于世伟. 考虑白洋淀生态需水的水库生态调度研究[D]. 北京:北京师范大学,2010.
- [7] TIAN S, YI Z, WANG Y, et al. Study on Ecological Scheduling of the Xiaolangdi Reservoir Based on the Ecological Needs of Estuarine Fishes[J]. MATEC Web of Conferences, 2018(246): 1-5.
- [8] 王学斌, 畅建霞, 孟雪姣, 等. 基于改进NSGA-II的黄河下游水库多目标调度研究[J]. 水利学报, 2017, 48(2): 135-145.
- [9] STEINSCHNEIDER S, BERNSTEIN A, PALMER R, et al. Reservoir management optimization for basin-wide ecological restoration in the Connecticut River[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2014, 40(9): 1-10.
- [10] 王海霞. 考虑生态目标的水库引水与供水联合调度研究[D]. 大连:大连理工大学,2015.
- [11] DHI D. Mike-11: a modelling system for rivers and channels, reference manual[J]. DHI-Water and Development, Horsholm, Denmark, 2003.
- [12] 徐海波, 苏飞, 王士武. 余姚市河网平枯水期水质模拟研究[J]. 浙江水利科技, 2008(1): 27-34.
- [13] 白玉川, 万艳春, 黄本胜, 等. 河网非恒定流数值模拟的研究进展[J]. 水利学报, 2000(12): 43-47.
- [14] ABBOTT M B, MINNS A W. Computational hydraulics [M]. Routledge, 2017.
- [15] 郭天恩, 孙西欢. 国内外水质数学模型的研究与发展[J]. 西北水资源与水工程, 1994(3): 9-12.

(上接第5页)

连接螺栓。每层护岸构件安装完毕后及时回填框体内填料,在最高水位线以下,框体内回填块石或卵石,块石或卵石的尺寸不应小于框体表面开孔处的最小尺寸,防止水流冲刷流失。在水位线以上,镂空的框体内按设计垫好土工布后再回填种植土。墙背反滤层回填及土工布铺贴应和框体回填同步进行,滤料的规格和质量应满足设计要求。

装配式生态护岸制品上播种植物时,可选用撒播、喷播、栽种等方式,在草根穿透砌块扎入坡体土壤后,视草种特点及气候条件确定是否养护。

## 6 结 语

本文从水生态功能和资源可再生等方面,简要介绍了装配式生态护岸相比于传统护岸所具有的优势,给出了墙式和坡式两种装配式生态护岸形式的特点以及适用范围,并总结了基本生态构件即生态框的不同类型,最后从设计理念和施工工法上对装配式生态护岸和传统护岸的差异性进行了说明。

近年来,由于装配式生态护岸施工速度快、造价合理、生态环保、质量可靠等优点,在工程中的运用越来越广泛。相比传统护岸其空箱式的结构既节约了材料,又实现了生态和景观功能,还符合工厂化、装配化的发展趋势,其推广前景广阔。

## 参考文献:

- [1] 朱红亮, 沈旭鸿. 工业化装配式技术在内河航道重力式护岸中的应用[J]. 中国水运月刊, 2016, 16(4): 252-253.
- [2] 刘铁杰. 护岸工程装配式设计与传统设计的成本比较分析[J]. 建筑经济, 2021, 42(2): 90-93.
- [3] 高婷, 尹健, 桑正辉, 等. 绿色生态混凝土研究进展[J]. 商丘师范学院学报, 2017, 33(3): 46-50.
- [4] 张东艳, 宗永臣. 高原城镇河道演变与生态护岸措施[J]. 水资源保护, 2021, 37(6): 157-161.
- [5] 史云霞. 长江三角洲地区内河航道护岸结构选型研究[D]. 南京:东南大学,2008.
- [6] GB 50286—2013 堤防工程设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2013.