

文章编号: 1674 - 5566(2013)02 - 0246 - 07

湖滨带直立式硬质驳岸特征与生态景观构建模式探析

金晶¹, 张饮江¹, 董悦¹, 李岩¹, 曹世伟², 刘晓培¹, 翟斯凡¹

(1. 上海海洋大学 水域环境生态上海高校工程研究中心, 上海 201306; 2. 上海园林绿化建设有限公司, 上海 200126)

摘要: 湖滨带是水陆生态交错带, 具有较高的环境、生态、经济及美学价值。但近年来, 由于缺乏合理的生态规划意识, 多数湖岸建设与改造, 忽略了直立式驳岸对湖滨带生态环境的影响, 造成湖滨带退化, 水生植物消失, 生物群落丧失, 湖岸生态环境日趋恶化。基于淀山湖湖滨带直立式驳岸带来的水生态环境日趋恶化的现状, 分析了水位多变下直立式驳岸型淀山湖湖滨带构建难点, 创新阶梯型植物床和消浪、防浪等湖滨带生态景观构建技术, 探索出湖滨带直立式驳岸生态景观构建的新模式, 实现湖滨带直立式驳岸水生态系统净化与生态景观的有机融合, 为我国退化湖滨带生态景观带植物群落生态修复技术的研究提供技术支撑。

研究亮点: 分析水位多变、风浪较大型湖泊直立式硬质护岸湖滨带构建难点, 提出创新设计的新型阶梯型植物床, 并结合生物消浪防浪技术, 综合考虑生态、经济及景观美学价值, 探索出新型构建模式, 并与以往模式比较, 分析新型模式优势, 为直立式退化湖滨带生态景观修复技术提供参考。

关键词: 湖滨带; 直立式护岸; 阶梯型植物床; 水岸生态系统; 淀山湖

中图分类号: Q 178.531

文献标志码: A

随着我国社会、经济的快速发展, 工农业生产对环境造成的污染加剧, 水质恶化等问题日益突出。自 20 世纪 60 年代以来, 我国湖泊富营养化日趋严重, 水生植物衰退, 水环境污染日益加剧, 水质下降^[1-2], 水生态系统遭到严重破坏。湖滨带是陆地和湖泊水域之间的生态交错带, 具有明显的边缘效应, 拥有丰富的物质、养分和能量流动, 在抵御洪水、调节径流、蓄洪抗旱、降解污染、调节气候、控制土壤侵蚀、滞淤造陆及美化环境等方面具有其它系统不可替代的作用^[3], 形成城乡最富有魅力的界面, 也是城乡景观中最具表现力的地带。但近几年来, 由于缺乏合理的生态规划意识, 多数城乡的湖滨带岸线改造, 忽略了直立式护岸对湖滨带生态环境的影响, 造成湖滨带生态功能退化, 水生植物消失, 生境片断化严重, 水生态环境恶化。

在可持续发展思想的指导下, 生态系统健康学逐渐成为一门新兴学科^[4], 水岸生态系统的环

境功能、生态功能、经济以及美学价值是否健全, 是衡量湖滨带水环境是否健康稳定的主要因素。完整的水岸生态系统有利于实现水陆连通, 促进水陆系统之间的物质、能量流, 保证水、陆生态系统健康和稳定。目前, 直立式护岸型湖滨带生态景观构建主要运用生物和生态工程等技术构建湖滨带生态系统, 往往存在工程量大、景观效果不明显、经济效益低等缺点。为此, 本文以淀山湖昆山湖区湖滨带为对象, 运用现代生态学及景观生态学的理论与技术, 提出了湖滨带生态系统^[5]构建、景观设计的新模式, 旨在改善淀山湖湖滨带生态环境、增强边缘效应、建立稳定的水岸生态系统, 实现湖滨带水岸生态系统净化与水域生态景观的有机结合。同时, 为水位多变与风浪较大型湖滨带直立式护岸生态景观构建, 以及退化水岸生态系统生态修复等提供理论依据和技术支撑。

收稿日期: 2012-06-26 修回日期: 2012-09-24

基金项目: 国家水专项(08zx07101-005-01); 上海市重点学科建设项目(Y1110, S30701)

作者简介: 金晶(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水域环境生态修复。E-mail: jing200620@163.com

通信作者: 张饮江, E-mail: yjzhang@shou.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 淀山湖(昆山湖区)湖滨带现状概况

淀山湖位于江苏、上海交界处,介于北纬 30°59'~31°16',东经 120°53'~121°17',是吞吐型弱感潮浅水型天然淡水湖泊^[6]。淀山湖昆山湖区总面积 2 000 hm²,多年平均水深 2.63 m,最大年变幅 1.57 m,最小年变幅 0.6 m,平均年变幅 1.05 m,沿岸水深 0.2~1.5 m,平均流速 0.035 m/s,最大值可达 0.097 m/s。湖区属亚热带湿润性季风海洋性气候,温暖潮湿多雨,四季分明,日光充足,年日照时数 2 071.1 h;气候温和,年均气温 15.5℃;雨量充沛,年平均降水量 1 100 mm。

表 1 淀山湖不同季节水质变化

Tab. 1 Changes of water quality of Dianshan Lake in different seasons

取样断面	夏季			秋季			冬季		
	透明度/cm	TN/(mg/L)	TP/(mg/L)	透明度/cm	TN/(mg/L)	TP/(mg/L)	透明度/cm	TN/(mg/L)	TP/(mg/L)
千灯浦口	37	2.580	0.337	32	2.538	0.241	33	2.649	0.341
毛柴泾	35	2.032	0.279	30	2.274	0.259	30	2.041	0.333
梅浜	36	1.788	0.203	30	2.316	0.195	32	2.329	0.246
后港	38	2.829	0.297	35	2.815	0.330	37	2.417	0.392
南港	35	2.572	0.401	33	1.927	0.287	32	2.843	0.362
拦湖大簕	37	2.711	0.420	32	2.335	0.449	33	3.093	0.428

1.2 湖滨带生态景观功能定位

1.2.1 生态功能

直立式护岸生态景观的构建需要重视景观边界的生态学意义,保留原有植物群落的同时,选择长势旺盛、观赏效果好的乡土化特色植物,利用湖滨带水岸生态系统中通道和廊道作用、过滤和障碍作用、生境作用等^[7],最大限度地进行植物群落空间配置,有效增加生物多样性、提高底泥团体结构肥力、削减污染物负荷、发挥水生植物强净化能力、增强边缘效应、改善湖泊生态系统,并且提供水生动物及鸟类等生物觅食、繁衍的生存空间,缓和直立式护岸对湖滨带的破坏,增强滨水沿岸生态廊道功能,从而改善水质,优化群落空间结构,恢复和稳定水岸生态系统,提升湖滨带环境与生态水平。

1.2.2 景观功能

湖滨带是一种独特的线型景观,具有开敞的视野、新鲜的空气、愉悦的鸟鸣,是游憩行为发生最频繁的地带。通过配置滨水空间植物群落、构建生态景观,强化水系的个性和特色,使滨水空间绿化面积增加,湖滨带自然古朴,硬质护岸软

化,生物多样性增加,景观生态格局优化,滨水景观效果明显,创造出符合人类行为心理和精神活动的滨水空间^[8]。

环昆山湖区西部及北部直立式护岸的兴建,强化了淀山湖防洪、蓄水,护岸稳定等功能,但却隔断了湖滨带水陆的自然生态系统,湖滨带硬化、白化,植物空间破坏,生境片断化严重,护岸景观、生态、休闲等功能丧失。风浪所引起的湖水紊动加剧,同时植物对底泥的作用削减,水体透明度下降,抑制、破坏植物生长,水陆两栖动物亲水通道、栖息地、繁衍地退化,湖滨带生态系统破坏,影响湖区整体水质。测定不同季节昆山湖区湖滨带水体平均污染程度(表 1),根据《国家地表水环境质量标准》GB 3838—2002,环昆山湖区西部及北部水质处于 IV—劣 V 类。

化,生物多样性增加,景观生态格局优化,滨水景观效果明显,创造出符合人类行为心理和精神活动的滨水空间^[8]。

1.3 湖滨带构建技术难点、挑战和目标

昆山湖区(图 1)西部及北部湖滨带主要由直立式护岸组成,水域、陆域分界线明显,水位变化大,水生植物已基本消失。该区域湖滨带生态构建所面临的主要问题有以下几个方面。

1.3.1 水体较深,水位变化大

直立式护岸带来湖滨带水深较深,且水位随淀山湖水位变化而变化。昆山湖区西部及北部湖滨带湖底起伏,水位年变幅较大,约 1 m,影响水生植物生长。

1.3.2 风浪大,植物难扎根

水体底泥是水域生态环境的重要组成部分^[9]。风浪大,湖底松软泥沙难以停留堆积,水生植物难扎根,移栽存活难度大。湖底底质为褐色或灰褐色冲击性粘土。

1.3.3 水体再悬浮物含量高,透明度高

风浪引起的底泥再悬浮,加之大量浮游藻类生物,导致湖滨带水体透明度(30~38 cm)低,水

下可见光能不足,水生植物生长慢、繁殖能力低。

湖滨带直立式护岸现状既影响了水岸生态系统健康,又降低了湖滨带的景观效益。因此,如何在水位多变的直立式护岸型湖滨带下,构建一个植被葱郁的生态化水陆边缘,水-生物相融共生,同时,又能体现生态景观功能的湖滨带廊道是面临的挑战和目标。

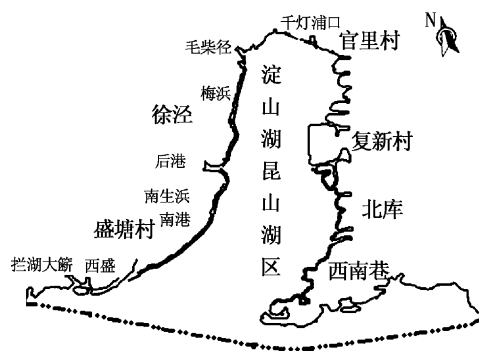


图1 湖滨带构建区示意

Fig. 1 Construction area of lakeside zone

2 淀山湖湖滨带生态景观构建模式探析

2.1 生态景观构建技术

根据湖滨带的构成和生态系统特征,基于构建区域现状及难点,笔者开展了室内模拟实验、野外现场考察和研究,结合环境生态、经济、景观美化原则,利用张建春和彭补拙^[10]提出的退化水岸生态重建内容包括生物重建、缓冲带生境重建和生态系统结构与功能恢复3个部分,确定了淀山湖湖滨带生态景观构建技术(表2)。

表2 淀山湖直立式护岸型湖滨带生态景观构建技术
Tab. 2 The technologies of ecological and landscape construction for vertical revetment type of lakeside zone in Dianshan Lake

构建类型	对象	技术体系
生境条件	水体	水体原位修复、水位调控、阶梯型种植床技术等
	基底	消浪防浪、基底改造技术等
	大气	大气污染调控技术等
生物因素	物种	物种选育、先锋物种引入技术等
	种群	生态位、动态调控技术
	群落	种植结构优化配置与组建、廊道恢复技术等
水岸生态系统	结构与功能	结构及功能优化配置与调控、稳定化管理等
水域生态景观	尺度格局	景观文化、景观设计技术、景观稳定性等

2.1.1 阶梯型植物床技术

植物种植床是一种有效的水体原位修复技术,具不改变护岸现状、低投入、低成本、易管理、美学价值等优点,利用植物床可增加植物移栽品种,提升植物移栽成活率,通过植物根系吸收、过滤及共生生物的降解作用对水体进行净化。不同水生植物种类对营养元素的吸收能力不同^[11],传统植物床多为单一植物床型,固定水深深度,植物品种选择较窄,品种易单一。段志勇等^[12]研究发现复合植物床根系泌氧性能和氮磷吸收性能均优于传统植物床,能更有效地净化水体。

为解决淀山湖直立式护岸带来的水深较深、水位变化大等构建难点,设计阶梯型组装式复合植物床模式,充分发挥物种共生、生态位、物种多样性和景观生态学等原理。比较直立式护岸下设置传统植物床、阶梯型植物床和不设置植物床的空白对照,发现阶梯型植物床在生态、景观等方面都优于传统植物床(表3)。

表3 植物床功效比较分析

Tab. 3 The efficacy comparison on plants beds

		传统植物床	阶梯型植物床	空白对照
水生植物	种类	++	+++	+
	成活效果	+++	+++	+
	生长性状	++	++	+
环境效益	生物多样性	++	+++	+
	净化能力	+	+++	-
	生态结构	+	++	-
	景观美学	++	+++	+
经济投入		++	++	+++

注: + 为正效益, - 为负效益。

在淀山湖直立式护岸最高水位与湖底之间,设置3~4级阶梯型复合植物床(图2)。植物床可通过不锈钢、镀锌铁、竹子等材质搭建,同时在床下适当放置生态袋,促进植物更好扎根、稳固。根据湖滨带实际风浪强度及床上植物密度选择材质。本项目采用竹子进行搭建,强度中等,无二次污染。通过各台阶水位变化及水深情况,选择不同生态位的乡土植物,形成“水生-沼生-湿生-中生”植物群落带^[13]。阶梯型植物床随水位的变化在不同时段内完全或部分被水淹没,形成仿自然型岸坡的阶梯型种植台,可加大移栽植物种类,增加生物多样性,构建湖滨带生态景观廊道^[14],可有效去除水体中氮和磷,降低水体富营养化风险。

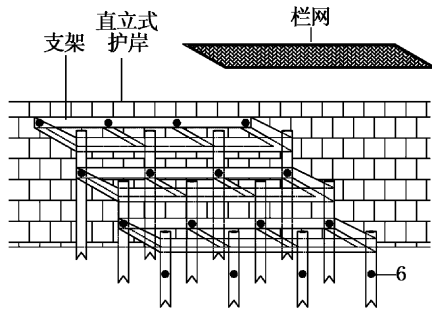


图2 阶梯型植物床

Fig. 2 Plants bed of ladder type

2.1.2 防浪、消浪技术

生物消浪是一种生态消浪模式,与传统消浪方法相比,具有增强护岸稳定、防蚀促淤、防风消浪、成本低、环境协调性好、维护方便等优点。淀山湖沿岸风浪侵蚀严重,最大浪高可达 0.5 m 以上,为保证湖滨带植物群落空间构建的有效性,需在构建区域设置消浪效率高、水位变化适应性强、内湖滨带与外界水体交换畅通的消浪结构,使风浪对湖滨带的冲刷和侵蚀降低,并有利于水生植物的移栽。结合淀山湖湖滨带地形、风浪强度和土壤条件,选用耐淹性好、材质柔韧、树冠发达、生长速度快的物种^[15],待植物群落构建后挺水植物、漂浮植物、浮叶植物的生长有改良基底的作用,增加底泥的有机物含量,改善底泥结构,增加底泥抗侵蚀的机械强度,起到一定的护岸固底作用。

植物移栽前,在种植区外设置毛竹桩(图3)和消浪浮体^[16],起到消浪、固沙作用,提高植物移栽存活率;减少再悬浮,有利于植物光合作用,促进植物生长,形成良性循环,更有利于植物群落空间的构建,同时,可逐步提升水体自净能力。本技术具有重量轻、结构简单、造价低等优点,且待植物长势良好,依次撤移防浪、消浪层,不破坏水域的整体性和生态环境。

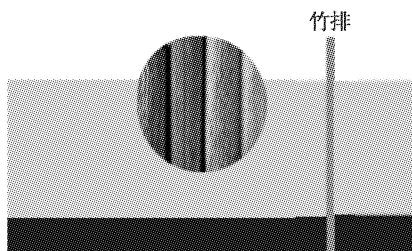


图3 抗浪挡风竹排

Fig. 3 The bamboo in reduction of wave and wind

2.1.3 植物群落配置技术

湖滨带廊道的植物景观是指沿水岸线一定范围内所有植被按一定结构构成的自然综合体,是湖滨带廊道的重要组成部分。根据不同植物配置形式及其丰富的季相变化,构建不同的景观效果。颜昌宙等^[17]在云南洱海湖滨带近3年的生态恢复与重建的调查试验表明,湖滨带水生植被得到恢复,水质净化作用明显,水岸生态系统生物多样性和稳定性增加。

淀山湖湖滨带直立式护岸规整,自然植被破坏,生境片断化严重。在植物景观配置中,根据景观生态学原理,由“斑块-廊道-基质”组成的镶嵌体^[18],利用阶梯型复合植物床,统一性原则,同时考虑植被景观的形态美,兼顾色彩、季相等,选取不同挺水、浮叶和漂浮植物,构建结构紧密、绚丽多彩、层次丰富的滨水植物群落景观带(图4)。



图4 水岸生态系统群落空间布局

Fig. 4 The community space layout of riparian ecosystem

植被带的过滤功能可以明显滞留并减少氮、磷含量^[19],水生植物对 N 的吸收速率在 0.134 ~ 0.187 g/(m²·d) 之间,对 P 的吸收速率在 0.012 1 ~ 0.016 7 g/(m²·d) 之间^[20]。不同水生植物净化水体功效不同^[21](表4),不同种类挺水植物移栽耐水水深也不同;浮叶植物和漂浮植物的生长适应湖滨带水位变化;沉水植物需提高湖滨带水体透明度后种植。依据水位及透明度变化,选择不同种类乡土植物,形成湖滨带生态景观带。

2.1.4 湖滨带生态系统构建

湖滨带是由多种单一生态系统与各种景观要素组成的特定景观水岸生态系统。淀山湖湖滨带植物消亡、生境片断化严重,扩大了斑块之间的距离,导致小斑块中生境质量恶化,边缘长度对斑块面积比例增加,没有受干扰的生境减少^[7],陆生动物被迫迁徙,水岸生态系统破坏。因地制宜,营造淀山湖湖滨带护岸仿自然“斜

坡”,鱼、草、贝等吸收水体中的污染物质、减少水体肥度、有效缓解水体富营养化;水下植物扎根底泥,扩大生物栖息地面积,抑制蓝藻发生,进一步提高水质。同时,随着水际边缘生物群落的形

成,大量鸟类等陆生动物得以迁徙、觅食、获得繁衍空间^[22],生物多样性增加,边缘效应明显,水生生态系统健康、稳定。

表4 水生植物净化水体功效分析

Tab. 4 The efficacy analysis in purification of aquatic plants

类别	适合水深/cm	常见植物		净化能力		
		中文名	学名	TN/%	TP/%	
挺水植物	湿地型	≤20	梭鱼草	<i>Pontederia cordata</i> L.	12.6~91.9	50.9~99.5
			菖蒲	<i>Acorus calamus</i>	74~83.23	80.2
			石菖蒲	<i>Acorus gramineus</i>	81.2	77.2
			水芹菜	<i>Oenanthe decumbens</i>	51.3~78.6	55.6~74.4
			香菇草	<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	89.0	81.9
			黄菖蒲	<i>Iris pseudacorus</i>	68.7	73.6
	浅水型	20~80	黄花鸢尾	<i>Iris wilsonii</i>	24~79.7	79.0
			千屈菜	<i>Spiked Loosestrife</i>	69.7	74.1
			美人蕉	<i>Canna indica</i>	27.9~82	60.5~88.0
			慈姑	<i>Sagittaria sagittifolia</i>	81.2	60.9
			芦苇	<i>Phragmites communis Trin</i>	31.4~78.7	40.1~96.9
			水葱	<i>Scirpus tabernaemontani Gmel</i>	66.7~89.5	78.9~83.3
深水型	≥80	茭白	<i>Z. latifolia Turcz.</i>	17.8~52.2	59.6~71.6	
		睡莲	<i>Nymphaea tetragona</i>	13.8	15.8	
浮叶植物	≤250	荷花	<i>Nelumbo nucifera</i>	15.2~48.8	62.4~75.9	
漂浮植物	≤250	凤眼莲	<i>Eichhornia crassipes</i>	34.2~47.7	69.6~80.2	
		空心莲子草	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	14.4~35.7	63.7~75.7	
沉水植物	≤200	伊乐藻	<i>Elodea Canadensis</i>	60.7~61.2	70.2~74.4	
		眼子菜	<i>Potamogeton octandrus Poir</i>	42.68	61.27	
		金鱼藻	<i>Ceratophyllum demersum L.</i>	43.99	62.23	
		菹草	<i>Potamogeton crispus</i>	16.57	47.4~87.9	

2.2 新型直立式护岸生态景观构建模式分析

直立式护岸型植物群落空间的生态构建模式主要可分为生物篱笆+消浪模式、植物浮床+消浪模式、生态混凝土护坡模式。生物篱笆+消浪模式是将水生植物栽种在容器中,用铁丝悬挂于柱桩上,随着植物生长逐渐将容器放入水底,适合植物移栽,生长迅速,对湖滨带构建有一定作用^[23],但此模式操作工程量大,直立式护岸引起的水深较深,适用植物类别少,而且湖滨带风浪较大,大风浪拍打在石驳岸上引起的回浪将大部分的泥土带入湖心,水生植物缺土无法扎根而漂浮在水面上死亡;应用植物浮床+消浪模式不改变驳岸现状,植物品种选择范围变宽,对恢复水体生态系统有一定作用,但传统浮床形式,固定水深深度,植物品种选择仍较窄;水生植物通过生态混凝土护坡模式稳定覆盖,具有结构简单,抗风浪强度大,适用范围广等特点^[24],但此模式需改变原有驳岸形式,工程量大,经济效益低,且易造成二次污染。

针对直立式护岸型湖滨带特点,以生态系统构建、景观设计为目的,充分考虑湖滨带在湖泊流域中的生态环境功能和人类对湖滨带的利用,因地制宜^[25],利用生态景观构建技术,设计仿自然型护坡,构建湖滨带阶梯型复合植物床+消浪模式。在生态、经济、景观美化等方面对现有模式及本文设计的阶梯型复合植物床+消浪模式进行研究分析(表5),发现阶梯型复合植物床+消浪模式能通过最小负效益达到最大正效益。

2.3 新型直立式护岸生态景观构建模式特征

2.3.1 水岸生态系统净化特征

将人工调控与自然调控相融合,改良植物床生态修复技术,充分发挥物种共生、生态位原理,优化生物操纵,采用抗污染能力强、观赏性高的湿生、水生植物,养殖滤食性水生动物,培养耐污性强、活性高的微生物^[26],促进水岸生态系统构成,完善食物链网,连通生物生态廊道,保证水陆的沟通、连接以及生物在生态系统中的迁移运动,使其高效稳步地与所在环境体系自行建立相

互联系,进而加速水岸生态系统中生物与生物之间、生物与环境之间的物流、能流、信息流、生物流^[27],扩大适宜多种水生植物、水生动物和陆生动物的栖息地,提高生物多样性,发挥水生态系统功能和自净作用,恢复水系统的再生能力,削减污染物,改善水质。

表 5 直立式护岸构建模式分析

Tab.5 The research of construction mode in vertical revetment

	生物篱笆 + 消浪模式	植物浮床 + 消浪模式	生态混凝土 护坡模式	阶梯型复合植 物床 + 消浪模式
生物多样性	+	++	+++	+++
净化能力	++	+	+++	+++
生态结构	+	+	++++	++++
景观美化	+	+	++	+++
抗浪能力	+	+	+++	++
人为干扰强度	-	--	----	--
工程投资	--	-	----	-
二次污染	-	-	----	-

注: + 为正效益, - 为负效益。

2.3.2 水体生态景观特征

湖滨带是水域和陆域的景观边界,在特定时空尺度下,水、陆相对均质的景观之间所存在的异质边缘景观。应用生态景观立体格局,恢复大量被破坏的景观再生能力,构建湖滨带廊道生态景观。仿自然坡岸,利用景观性植物营造生态水系生物群落要素,美化湖岸;不同区域、不同景观群落有机结合,提高生物多样性,使湖滨带景观富有时空和色彩的变化^[28];水-生物相融共生,边缘效应明显,湖滨带生态景观突出,体现人与自然融合的生态特色景观。

3 结语

湖滨带生态景观构建涉及众多类型与学科,通过对淀山湖湖滨带直立式硬质护岸环境的实际调研,就其生态景观构建做出探析,为解决原有构建技术与模式存在的工程量大、景观效果不佳、经济效益较低等缺点,改良现有生态景观构建技术,探索出一种适合水位多变与抗风浪的直立式硬质护岸湖滨带生态构建与景观设计的新模式,具有工程量最小化、外型缓坡化、内外透水化、表面生态化和成本经济化等特点,且能有效实现直立式硬质护岸型滨水带水岸生态系统生态修复,水体净化及水体生态景观的有机结合,从而促进湖泊水资源的可持续利用,最终实现水

岸生态系统的健康发展。

参考文献:

- [1] 倪乐意. 富营养水体中肥沃底质对沉水植物的胁迫[J]. 水生生物学报, 2001, 25(4): 399 - 405.
- [2] 蔡云龙, 藏维玲, 姚庆祯, 等. 四种滤料去除氨氮的效果[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 138 - 142.
- [3] 吴健, 王敏, 吴建强, 等. 滨岸缓冲带植物群落优化配置试验研究[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(4): 42 - 45, 52.
- [4] 戈锋, 叶春, 冯冠宇, 等. 基于熵权综合健康指数法的太湖湖滨带水生生态系统研究[J]. 内蒙古师范大学学报, 2010, 39(6): 623 - 626.
- [5] 卢宏伟, 曾光明, 金相灿, 等. 湖滨带生态系统恢复与重建的理论、技术及其应用[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 91 - 93.
- [6] 苏丽丹, 林卫青, 杨漪帆, 等. 淀山湖底泥氮、磷释放通量的研究[J]. 环境污染防治, 2011, 33(5): 32 - 35, 39.
- [7] 王莹莹, 王幼芳, 汪岱华, 等. 千岛湖生境片断化对苔藓植物多样性的影响[J]. 植物科学学报, 2011, 29(4): 435 - 445.
- [8] 树全. 城市水景中的驳岸设计[D]. 江苏: 南京林业大学, 2007: 33 - 34.
- [9] 彭自然, 张饮江, 杨杰, 等. 上海世博园区水体底泥重金属污染特征与评价[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(6): 695 - 699.
- [10] 张建春, 彭补拙. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J]. 生态学报, 2003, 21(1): 56 - 63.
- [11] 曹向东, 王宝贞, 蓝云兰, 等. 强化塘-人工湿地复合床生态系统氮和磷的去除规律[J]. 环境科学研究, 2000, 13(2): 15 - 19.
- [12] 段志勇, 刘超翔, 施汉昌, 等. 复合植物床式人工湿地研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(8): 4 - 7.
- [13] 俞孔坚, 胡海波, 李健宏. 水位多变情况下的亲水生态护岸设计[J]. 中国园林, 2002, 18(1): 37 - 38.
- [14] 车生泉, 杨知洁, 倪文峰. 上海淀山湖沿岸带生态修复景观模式研究[J]. 中国园林, 2008, 24(5): 9 - 14.
- [15] 黄锦林, 程永东. 海堤和护岸消浪型式选择[J]. 广东水利水电, 2009(4): 37 - 40.
- [16] 郭彪, 张伟, 邓泓. 围堰技术在淀山湖环湖带水生植被恢复中的应用[J]. 中国科技信息, 2010(22): 19 - 20.
- [17] 颜昌宙, 金相灿, 赵景柱, 等. 湖滨带退化生态系统的恢复与重建[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 360 - 364.
- [18] 傅伯杰. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 5 - 6.
- [19] NARUMALANI S, ZHOU Y C, JENSEN J R. Application of remote sensing and geographic information systems to the delineation and analysis of riparian buffer zones[J]. Aquatic Botany, 1997(58): 393 - 409.
- [20] 祝宇慧, 赵国智, 李灵香玉, 等. 湿地植物对模拟污水的净化能力研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 166 -

- 172.
- [21] 张饮江, 金晶, 董悦, 等. 退化滨水景观带植物群落生态修复技术研究进展[J]. 生态环境学报, 2012, 21(7): 1366 - 1374.
- [22] 刘永, 郭怀成. 城市湖泊生态恢复与景观设计[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 51 - 53.
- [23] 李伟, 程玉. 一种建立水生植物篱笆的方法: 中国, 01138306.2[P]. 2003-6-25.
- [24] 吴义锋, 吕锡武, 王新刚, 等. 4 种生态混凝土护坡护砌方式的生态特性研究[J]. 安全与环境工程, 2007, 14(1): 9 - 12.
- [25] 叶春, 金相灿, 王临清, 等. 洱海湖滨带生态修复设计原则与工程模式[J]. 中国环境科学, 2004, 24(6): 717 - 721.
- [26] 霍恒翠, 张饮江, 董悦, 等. 高尔夫球场水域生态环境构建与生态修复[J]. 高尔夫球场建设与管理, 2011(39): 22 - 27.
- [27] 冯育青, 王邵军, 阮宏华, 等. 苏州太湖湖滨湿地生态恢复模式与对策[J]. 南京林业大学学报, 2009, 33(5): 126 - 130.
- [28] 衡水学院生命科学系课题组. 衡水湖湖滨带植被恢复及植物景观规划研究[J]. 衡水学院学报, 2009, 11(1): 49, 66 - 70.

The characteristics and discussion of ecological and landscape construction mode for vertical horniness revetment type of lakeside zone

JIN Jing¹, ZHANG Yin-jiang¹, DONG Yue¹, LI Yan¹, CAO Shi-wei², LIU Xiao-pei¹, ZHAI Si-fan¹

(1. Engineering Research Center for Water Environment Ecology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Gardening-Landscaping Construction Co., Shanghai 200126, China)

Abstract: Lakeside zones are ecotones between lake and land, with strong environmental, ecological, economic and aesthetic values. In recent years, due to the lack of ecological awareness of scientific and rational planning, most of lakeside zones were rebuilt. Lakeside zones have been degenerated. The aquatic plants have been destroyed, biological communities have been reduced, and the ecological environment of lakeside zone is getting worse and worse. According to the current deterioration of water ecological environment by the vertical revetment of Dianshan Lake, and the functional orientation of ecological landscape restoration, the construction difficulties of lakeside zone with vertical revetment under variable water level in Dianshan Lake are analyzed in this paper. The technologies of ladder type plants bed and reduction of wave and wind are innovated in the program, and finally the new mode of ecological construction and landscape design on lakeside zone with vertical revetment is created, which can suit the variable water level and realize the integrative functions of water ecological purification and ecological waterscape, and this provides a reference to ecological restoration integration technologies with ecological landscape plant communities for China's degraded lakeside zones.

Key words: lakeside zone; vertical revetment; plants bed of ladder type; riparian ecosystem; Dianshan Lake