

城市边缘区河道景观生态修复策略研究

张雅卓¹, 吕淑婷¹, 季廷翠²

(1. 天津大学 建筑学院, 天津 300072; 2. 天津大学 建筑设计研究院, 天津 300072)

摘要: 从生态修复的角度出发, 探索城市边缘区河道治理新方式, 立足解决我国城市化进程中带来的河道环境问题。在分析城市边缘区河道的景观生态基本性征的基础上, 提出该区域河流水体的纵向连通、河流水系的水质处理、河流曲线自然化修复、分层级生态景观营建、滩地景观型人工湿地、可持续性的植物配置等修复策略, 以期在城市边缘区景观生态保护和建设工程提供借鉴。

关键词: 边缘区; 河道; 生态修复; 水生态; 景观

中图分类号: TU443

文献标识码: A

Study on Ecological Restoration Strategy of River Landscape in Urban Fringe

ZHANG Yazhuo¹, LV Shuting¹, JI Tingcui²

(1. School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Institute of Architectural Design and Research, Tianjin University, Tianjin, 300072, China)

Abstract: From the point of ecological restoration, a new way of river treatment in urban fringe area are explored to solve the problems of river environment in the process of urbanization in China. Based on the analysis of the basic characteristics of landscape ecology in urban fringe areas, these repair strategies proposed in this paper such as the longitudinal connection of river water body, the treatment of water quality of river system, the naturalized restoration of river curve, the construction of hierarchical ecological landscape, the landscape constructed wetland of beach land and the sustainable plant allocation are expected to provide a reference for landscape ecological restoration in urban fringe areas.

Key words: urban fringe area; river course; ecological restoration; water ecology; landscape

城市边缘区作为城市和乡村之间的过渡地区, 承担着城市中心区和乡村在土地利用、自然生态、社会性征和人口特征等要素间的相互渗透、相互转换作用, 是城市化进程中最为敏感多变的动态演化区域^[1-4]。相比一般河道, 城市边缘区河道具有基底资源多样、边缘界面脆弱、河流功能多元、水体污染严重、水文条件复杂、土地空间广阔、用地动态变化等特征。从以往的文献来看, 缺乏就城市边缘区河道生态修复方法系统性的研究和论述。面向此区域的景观格局和生态修复研究, 促进在边缘区域这一生态敏感区营建可持续发展的健康型河流、建立多元复合的动态生态平衡体系, 对于区域的环境

保护、经济发展、社会进步都有着极其重要的作用。

1 河流水体的纵向联通策略

河流水体的纵向联通, 是河流上下游物质和能量交换的基本条件。在城市边缘区, 生物种群较之城市中心区更加丰富, 因此为维系生物多样性的存在, 保持河流水体的纵向联通, 恢复多样化的水流生境条件, 为洄游生物营建生命通道, 显得尤为重要。

1.1 减少建设水工构筑物, 拆除废旧拦河闸坝

少建不必要的水工构筑物、拆除废旧拦河闸坝,

收稿日期: 2019-10-01

基金项目: 国家外专局基金资助项目 (B13011)

作者简介: 张雅卓 (1979-), 女, 天津人, 博士, 副教授, 主要研究方向为城市水景观。

尽量加长具有连续水体的河道段。减少水利工程建设的方法主要有：一是采用整体分析法、水文指数法、水力学等方法准确预估生态需水量，合理进行生态调度，减少工程建设^[5]。二是减少河道段梯级，由此导致的景观常水位与两岸滩地高差增加的现象，可以通过设计复式断面或临水栈道的方解决亲水问题。河道梯级减少致使滩、水高差加大所对应的景观优化方法示意图见图1。

1.2 设置缓坡型跌水，减小原态水文特征干扰

设置缓坡型跌水，维持河流连续性，减小对河流原态水文特征的改变。对于高差较大的河流地势，可以选用多层缓坡跌水，来逐级消化水位落差，增加鱼类溯游的可能性。在构建缓坡型跌水时，应尽量选用卵石、山石、木桩等材料，并根据当地情况就地取材，力求为河流生物提供更好的亲适性。

1.3 建设仿生型过鱼设施，增加河道过鱼率

建设仿生型过鱼设施，如采用天然漂石构建鱼道，并采取过鱼竖缝或窄深型通道的方式，营造鱼类熟悉的材料及过流环境，以此取代传统的混凝土鱼道，增加过鱼率。

2 河流水系的水质处理策略

受到面源污染等诸多因素的影响，城市边缘河

道的水体污染更加严重，又往往位于中心城区水系的上游，就地解决其河流水体受污问题，并从河流水流域层面进行水质处理，是十分必要的。

2.1 发展绿色农业，控制面源污染

建立城市边缘区垃圾清运及处理系统，加大宣传和监管力度，培养居民的清洁环保意识。禁止使用高毒高残留农药，推广生物农药和有机肥，推行土地休耕、粮豆轮耕，推进发展绿色农业。

2.2 构建水网体系，优选循环方案

建立流域层面的水系联通体系和区域层面的水网体系，通过河库渠水系的清挖疏通，以及水利枢纽的控制，实现上下游水系的贯通及区域水网的水体循环置换。在水系上游建设雨水湿地和调蓄塘，实现对上游来水的源头处理。在河流汇流口建设过滤性缓释区，提高水网体系支流的蓄滞和自净能力。

城市边缘区的河流水量往往并不富足，需选择最优的水体循环方案。在河间市环城水系联通及水体置换规划设计项目中，采用差量周期法进行水体置换，合理建设和控制闸门和泵站运行，先对污染水体进行降水位排放，再通过控制汇入流量进行升水位掺混，周期地进行两个步骤直至达到水质要求。河间市环城水系联通和水动力循环示意图见图2^[6]。

2.3 完善基础设施，实现雨污分流

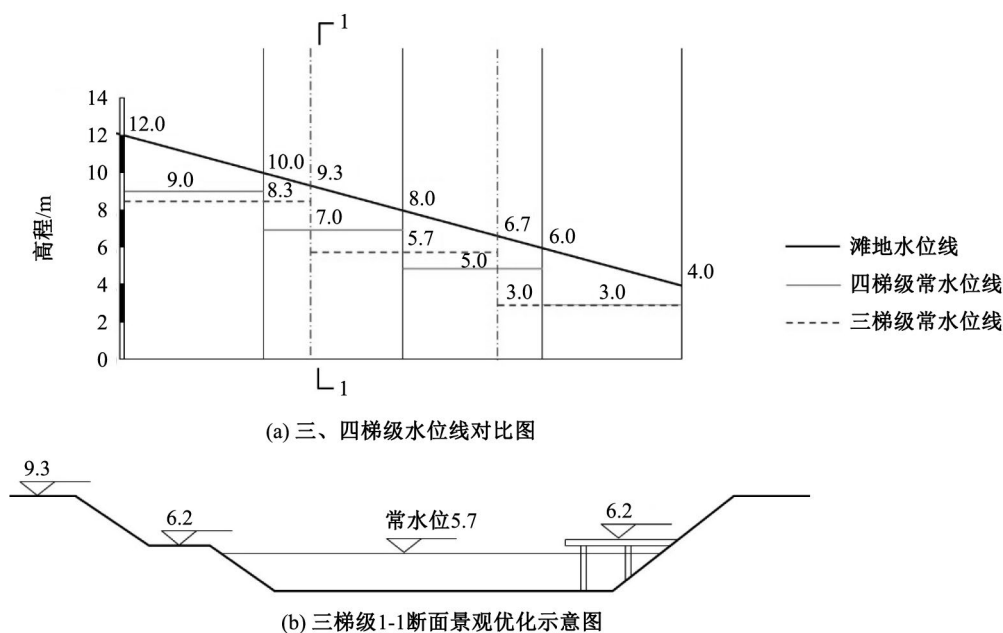


图1 少建闸坝减少河道梯级相应景观优化示意图(单位:m)

Fig.1 Schematic diagram of landscape optimization for less sluice dam and less river cascade



图 2 河间市环城水系联通和水动力循环示意图
Fig.2 Schematic diagram of water system connectivity and hydrodynamic cycle around Hejian city

城市边缘区雨污合流现象普遍存在，为此，应建立雨污分流管网体系，合理规划污水处理厂，完善城乡结合部的基础设施体系。构建雨水初期弃流设施，对进入河道的雨水进行处理。加强监管，对污染物排放从严管控，防止污水排入河道。

3 河道曲线自然化修复策略

城市边缘区河道常兼具自然和人工的双重特性，在河道治理和生态修复时，应注意保护尚未被破坏的河流形态，对退化河段进行自然化修复。城市边缘区具有土地利用优势，释放了空间拓展的束缚，为河流形态自然化创造了有利条件。

3.1 维护或修复蜿蜒型河道

蜿蜒性是自然河流形态最重要特征，也是河流健康体系评价的重要指标。蜿蜒型河道是河流弯曲系数（河床长度与河谷长度比值）大于 1.5 的，平面形态呈现对称型弯曲的河道。主流与次生流叠加产生螺旋状水流，冲刷淤积导致相应形成凹岸和凸岸，是天然河流蜿蜒性的主要成因^[7]。

对城市边缘区河道进行综合治理时，应尽量保留自然河流原态；对于人工痕迹较重的河流进行修复时，应合理设计河道段平面线形，使其尽量优化为蜿蜒型河道。恢复河流的多向性流动，形成不同的水文条件，更多地激发微生物的生物活性，对水质净化产生积极作用，并为河流生物创造更加丰富的仿生条件。

3.2 营建多自然型驳岸

多自然型驳岸是指根据河流走势、流速及边坡特性，选择不同种类的生态材料构建的河道驳岸，以营建会呼吸、可循环、具有自净功能的生态河流。多自然型驳岸一般包括自然原型驳岸、半自然型驳岸、人工渗透型驳岸三种类型，见表 1。

城市边缘区河道比城市河道的可利用空间一般较大，为营建多自然型驳岸创造了条件。在城市边缘区河道治理中选择多自然型驳岸，不但符合生态修复的理念，构建可持续发展的健康型河流，也实现了与周边环境最大限度地过渡与融合。

3.2.1 自然原型驳岸

表 1 多自然型驳岸类型及性能
Tab.1 Types and properties of multi-natural barge

类型	选用材料	优点	缺点	示例图
自然原型驳岸	根系发达、能耐短期水淹、易于管理的植物品种	生态适应性强、美化环境	不适于陡坡、流速大的河段，易造成水土流失	
半自然型驳岸	置石、木桩、柳枝插杆	抗冲能力较强，透水性较好	不适于流速大的河流险工段	
人工渗透型驳岸	生态护坡袋、格宾石笼、生态混凝土、集约型生态模块等	抗冲刷能力强	生态性较前二者差，栽植品种受限	

自然原型驳岸是采用种植植被保护河岸, 增强其抵抗洪水的能力, 从而保持自然堤岸特性的护岸形式。自然型驳岸常选择根系发达、且能耐短期水淹、易于管理的植物品种, 如五叶地锦、马蔺、委陵菜、迎春、紫穗槐、胡枝子、茛苕、锦鸡儿等。

3.2.2 半自然型驳岸

半自然驳岸是在自然驳岸的基础上增加一定的工程措施, 采用植被与石材、木材等自然材料相结合, 使坡面既有一定的防洪能力, 又为植被生长提供适宜基质的驳岸形式。通常应用于水流流速不大、河道有一定弯曲或坡度较陡但冲刷力不大的河段。由于水流对河流内坡脚的冲力最大, 常采用置石或木桩固定在坡脚处。

3.2.3 人工渗透型驳岸

人工渗透型驳岸是指采用生态护坡袋、格宾石笼、生态混凝土、集约型生态模块等新型材料, 具备较好的渗透性, 在满足种植条件的同时, 具有较强抗冲刷能力的驳岸形式。通常应用于水流流速大, 河道急弯处, 冲刷剧烈, 且需要对防护手段进行生态化处理的位置。

3.3 主槽分流代替截弯取直

河流的行洪和通航功能, 对河道的顺直性提出要求, 因而在河道综合治理的传统水利设计时, 通常将蜿蜒的河道进行截弯取直, 但此举对河流水文条件和生态环境多样性造成了不利影响。为平衡水利、航道和生态之间的关系, 可采用主槽分流代替截弯取直的方式, 保留原有弯曲河段, 开辟较为顺直河道, 或利用河湾滩地开挖沟渠进行分流, 缓解河流行洪对主河槽的冲刷, 并为行洪保驾护航。截弯取直与主槽分流工程措施对比见表 2。

3.4 营建深潭—浅滩河流原态

深潭和浅滩是自然河流所具有的典型地貌特征, 深潭是低于周边河床较深且有回流的槽状地貌, 浅滩则是指河流浅水并形成大面积较为平坦的区域。深潭和浅滩具有不同的水流特征, 深潭的水流速度低, 浅滩的流速相对较高。此外, 二者在阳光照度、水温、含氧量、泥沙沉积等方面均产生不同的性状特征, 从而形成了不同的生境空间。特别是浅滩区, 常常是两栖动物、鸟类、昆虫等动物钟爱的栖息地, 更是某些浅水类挺水植物唯能生长的水深空间。

城市边缘河道的生态修复, 应设计深潭—浅滩交错的河道断面, 将沟渠化的河流形态恢复为河流自然原态。在断面构建过程中, 根据水利设计最小过流断面界定河底高程线, 对标高低于河底高程线的河床部分不予填平, 使其自然形成深潭。在满足水利设计行洪主槽的前提下, 向外边界浅挖土方, 形成浅水滩地, 并营建出水面开阔、生境多样的复式断面。景观优化断面形成的深潭—浅滩示意图 3^[8]。

4 分层级生态景观营建策略

城市边缘区河道受水文条件复杂多变的影响, 水位落差变化较大。分层级景观设计主要是根据不同的水位区间, 制定不同的景观设计和植物种植方案。基于水位变化影响的分层级生态景观营建模式见图 4^[9]。

4.1 常水位以下的景观生态修复

这部分区域常年处于被水浸泡状态, 应主要选择水生植物和湿生植物进行生态修复, 根据不同植物对不同水深的适应性, 进行相应种植。不同水深

表 2 截弯取直与主槽分流对比

Tab.2 Comparison of section bending straightening and main slot shunt

工程措施	定义	改造前	改造后
截弯取直	过度弯曲河段顺河流主行进方向改道, 废弃原有河道, 从而使河道顺直的工程措施		
主槽分流, 新增顺直河道, 原河道保留	主干河流旁开挖引河, 分出一条或多条河道, 分泄河流洪水压力的工程措施		
主槽分流河湾滩地开挖多条沟渠	主干河流旁开挖引河, 分出一条或多条河道, 分泄河流洪水压力的工程措施		

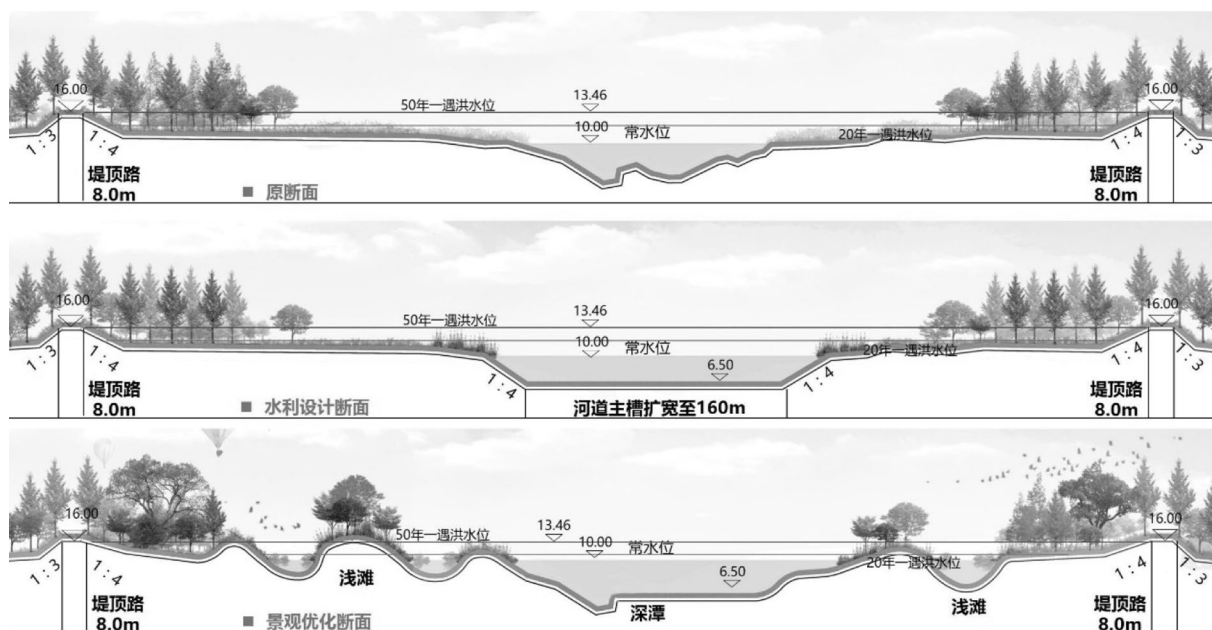


图 3 景观优化断面形成深潭浅滩示意图 (单位: m)

Fig.3 Schematic diagram of landscape optimization forming deep pool and shoal

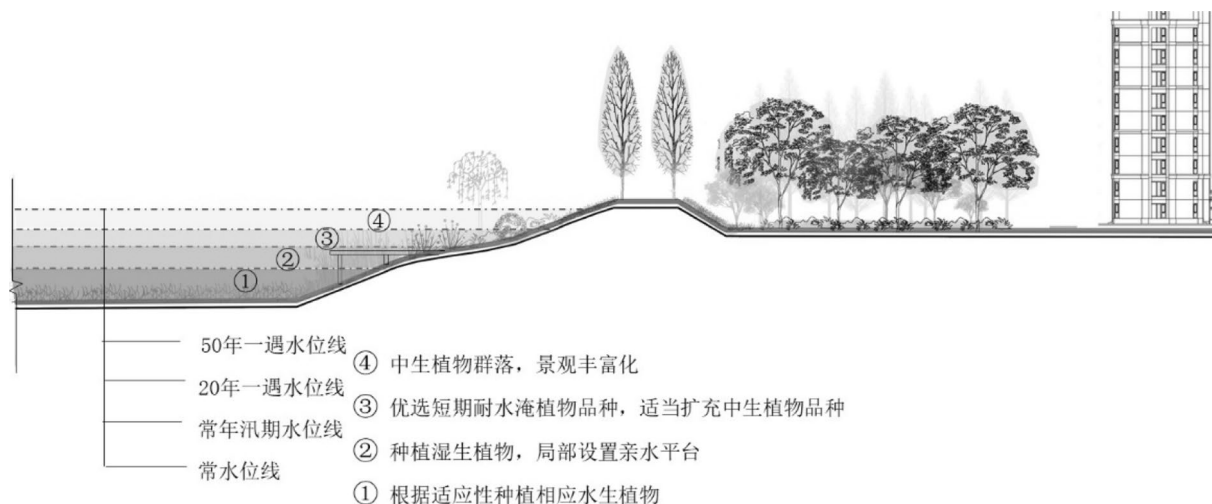


图 4 基于水位变化影响的分层级生态景观营建模式

Fig.4 Construction mode of sub-level ecological landscape based on the influence of water level change

条件适宜生长的水生植物和湿生植物见表 3^[9]。

4.2 常水位至常年汛期水位线间的景观生态修复

常年汛期水位是指正常年份发生的定时性水流上涨时期对应的水位。该区间每年会有短期被水淹没，常年地表湿度大或地下水位高。故而要求选择喜潮湿环境、具备一定的耐旱能力、同时又能耐短期水淹的植物品种，湿生植物的大部分品种可以满足这样的要求。此外，乔木品种中的垂柳、旱柳、金丝柳、枫杨、池杉、落羽杉、水松、湿地松等，以及灌木品种中的栀子、紫穗槐、山胡椒、溲疏、

冬青、连翘、迎春等，均可以作为该层级生态修复的可选植物品种。

此外，在此空间可以局部设置亲水步道和亲水平台，但须选择耐水淹的建筑材料。如果选择木材或竹木、塑木等材料，也要做好防腐处理，并注意汛期过后的及时维护。

4.3 常年汛期水位线至防洪水位线间的景观生态修复

此层级区间不会历年均呈现被水浸泡的时间段，只在极端年份才受洪水侵袭，因而作为亲水景观和

表 3 不同水深条件适宜生长的水生植物和湿生植物
Tab.3 Aquatic plants and wet plants suitable for growth at different water depths

水深条件	植物性质	主要植物品种
常水位以下, 水深 1 m 以上	水生环境的深水区, 应种植水生植物中的沉水植物和漂浮植物	茭菜、金鱼藻、狐尾藻、黑藻、苦草、眼子菜、沮草、金鱼草、浮萍、槐叶萍、大漂、凤眼莲、蓬萍草等
常水位以下, 水深 0.6 ~ 1.0 m	水生环境的中深区, 可种植水生植物中植株高大的挺水植物及浮叶植物	荷花、睡莲、再力花、芦苇、芦竹、水烛、芡实等
常水位以下, 水深 0.3 ~ 0.6 m	水生环境的中浅区, 应种植水深要求较高的挺水植物	慈姑、黄菖蒲、梭鱼草、香蒲、菰、蘆草、千屈菜等
常水位以下, 水深 0.3 m 内	水生环境的浅水区, 应种植水生植物中适宜在浅水生长的植物品种及部分湿生植物	泽泻、水生美人蕉、玉蝉花、花叶芦竹、灯心草、香菇草、石菖蒲、旱伞草等

滨水景观营建区。按照防护等级, 又分 20 年一遇的防洪水位线和 50 年一遇的防洪水位线。其中, 20 年一遇防洪水位线以下可优选耐短期水淹的植物品种, 但可适当进行一般中生植物品种的扩充, 以形成丰富的植物生态群落, 但尽量摒弃名贵的植物品种进行栽植。20 年一遇到 50 年一遇防洪水位线之间区域, 受洪水侵袭的概率更低, 则可正常选择中生植物品种进行植物生态结构的组建, 并可丰富景观雕塑、小品等文化元素和休闲设施。

4.4 50 年一遇防洪水位线以上景观生态修复

此地段是受防洪设施保护的区域, 受河道水文变化影响的概率低, 应结合城市边缘区现有的农田、林地和现状景观元素, 营建生态植被群落和休闲、娱乐场所。尽量形成宽厚的生态廊道, 建立河道与居住区的缓冲区域, 同时也为生物提供多样化的栖息环境。

5 滩地景观型人工湿地策略

城市边缘区河道往往具有较大范围的河滩地利用空间, 利用这些滩地建设内河人工湿地, 对于提高河道蓄滞洪能力、提高河流水体质量、改善河道生态环境有重要的作用。

5.1 景观型人工湿地的可行性

普通人工湿地的典型工艺流程是污水预处理—多级湿地床—集水池, 其外观形态由多个串联、并联的混凝土池组成, 虽然可以满足水质净化的需求, 但美观性和生态性存在缺陷。

景观型人工湿地弥补了上述这些不足, 但同样的水处理效率下对占地空间提出了更高的要求。城市边缘区较为广博的土地利用空间, 特别是河道滩地和外围近水空间的未开发状态, 恰使景观型人工湿地的实现成为可能。

5.2 景观型人工湿地的建设途径

结合用地性质规划, 在河道上游滩地或毗邻河道的适宜空间选择适当位置, 营造大面积的人工湿地, 将河道的污水引入, 通过湿地系统的物理、化学、生物过程完成处理, 净水排入河道下游。在完成河道水体的生态净化的同时, 人工湿地自身的植物群落配置, 也优化了河道滨水空间的生态系统^[10]。

首先, 设置功能性景观瀑布或跌水, 通过暗管泵站取水将河水引入人工湿地系统, 实现曝气功能, 最大限度增加水中溶解氧含量, 有效降低 COD 和 BOD 浓度。

厌氧沉淀是人工湿地生物净化系统的预处理装置, 水经瀑布曝气后进入预处理沉淀池, 经过厌氧沉淀进行物理处理, 去除大部分悬浮物和部分可溶性有机物。

经过沉淀预处理后的水流进入湿地塘/床, 通过植物塘和植物碎石床, 构建表面流和潜流串联或并联的湿地系统, 提供好氧和厌氧交替运行的处理环境, 依靠湿地植物的生物活力以及碎石等填料实现对污染物的吸收分解。同时, 湿地能为微生物的生长创造有利环境, 促进生物膜的形成, 生物膜是湿地实现水质提升的主要因素。

最后, 出口附近设置观测点, 并可结合观鱼池、亲水浅滩, 为游人提供亲水活动场地, 同时也是对

前道工序净水效果的直接观测。处理和观测后的净水排入河道下游^[10]。

按照上述工艺流程原理营建的第三届中国绿化博览会天津园景观型人工湿地，设计平面及效果图见图5^[11]。

6 可持续性的植物配置策略

城市边缘区河道及滨河空间通常承担着更为重要的生态修复功能，加之该区域农业用地分布较多，以及其建设和后期管护成本的限制，使得此空间的植物配置模式具有特殊性。

6.1 优先选用乡土树种，建设可持续性滨河空间

边缘区河道景观植物配置时，应遵循生态性原则，科学选择植物，并保持植物生长的稳定性。遵循可持续性发展原则，优先考虑抗逆性较强的乡土植物。

这类植物造价相对低廉，对环境适生度高，易成活，不致引入生物侵害，还可展示当地的乡土文化和地域风貌。不仅减少初期建设成本，避免植物大面积死亡引发的二次投资，也可降低后期的养护和管理费用。

6.2 丰富植物配置模式，形成复合型生境条件

城市边缘区河道及滨水空间，呈现水体、河滩地、农田、林地、绿地等不同的植被生长环境，应选择不同的植物配置模式，尽量恢复植物的自然生长状态，形成多样化的生境空间。

水陆过渡型植物搭配：在河道水体及岸边的水陆过渡带，根据不同的水位特征，选择不同的水生植物、湿生植物、中生植物，建立陆生植被—陆生+水生植物—水生植物过渡型的植物群落。优选既

可以适应陆生条件又可在淹没条件下适生的“两栖植物”。

混合型林带植物配置：在滨水空间的林地修复中，强调树种混交、针阔混交、树龄多样化、物种多样化原则，并增加果树、花灌木、林下植物的种植，增强抵御病虫害的能力，形成异质性林带景观。

乔灌木搭配的植物群落：营建乔灌木搭配的复合植物结构，其物种的多样性和空间的多层性为生物提供了更为丰富的生栖环境，具备更好的生态适应性和群落稳定性。

农田缓冲带的植物模式：农田种植品种的单一性给生态演替带来束缚，其边界缓冲带的建设尤为重要。农田边界缓冲带，可以起到抑制杂草生长，提高农田病虫害抵御能力的重要作用，还可成为某些捕食性动物的生存场所，以及蜜源型动物的食材来源。选择易养护、具有观赏性的宿根地被，如金鸡菊、委陵菜、金光菊、滨菊、萱草、马蔺、柳叶马鞭草、矢车菊等，并适当搭配大冠幅的乔木品种，作为构建农田缓冲带的主要植物。

6.3 农田农地多样利用，营建经济型农林景观

农田农地是城市边缘区河道景观不同于城市河道景观的重要特色，较之城市绿地的组团化植物生境，连片单一的农作物品种成为生态系统稳定性的不利因素。如何在保证农业用地土地性质不变的前提下，营建多样化的生境条件，是城市边缘区河道生态修复需要考虑的一大重点。

6.3.1 合理间作套种，立体发展农作物群落结构

农田作物单一化，是其生态脆弱性的最根本因素。应优化农田生态结构，合理进行套种，将农作物栽培一年一作改为一年两作或一年多作，如棉麦套作、稻麦套作、小麦玉米套作，可以更有效地利用物质能量资源，提高农业生产力，实现农田生境

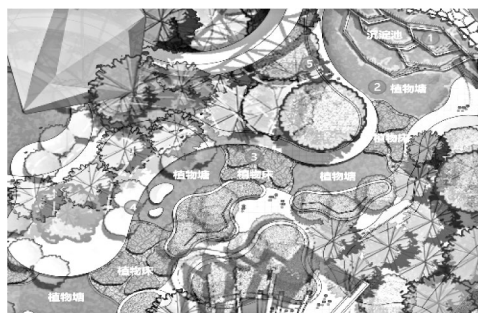


图5 景观型人工湿地平面-效果图

Fig.5 Plan and effect drawing of landscape type constructed wetland

的可持续发展^[12]。

此外,农作物间作,可以起到相互“扶持”的作用。如向日葵、玉米的分泌物可相互杀菌,玉米、洋葱分泌物可防止白菜的软腐病,花生的分泌物可减轻螟虫对玉米的危害等等。从而改善农业生态环境,形成较为稳定的农田生态系统。

建立农作物群落的立体化结构,也是提高农田农地生物多样性,改善农业生境的有利举措。可以进行蔬菜、瓜果、粮食立体化种植,如洋葱、菠菜、生菜、玉米立体种植,洋葱、生菜、番茄立体种植。还可选择农林立体栽培模式,如泡桐与小麦、棉花,杨树与小麦、棉花、玉米,枣树与谷类、豆类等的立体化种植。

6.3.2 改变传统模式, 营造多样化特色农林景观

改变传统、单一的农业耕种模式,丰富农地种植品种,营造多样化特色农业景观。如可栽植油料、瓜菜、桑茶等经济作物,种植油菜、向日葵、彩色水稻等,提升农田的复合性和观赏性。大面积种植产生强烈的景观视觉冲击,形成可自循环的滨河空间。

还可拓展种植思路,在河道滨水空间的农田农地引导农民种植中药。很多中药材具有良好的生态价值和景观观赏价值,如乔木品种玉兰、银杏、山楂,灌木品种金银花、枸杞、连翘,草本地被植物桔梗、射干、知母、蒲公英、瞿麦、板蓝根、麦冬、紫花地丁,水生植物荷花、芡实、芦苇等。此外,还可以在除基本农田以外的其他农用地种植果树,如桃树、李树、梨树、杏树、枣树、柿树等。由此形成差异化的田林风貌,复合型的种植层次,提高了农田农地的生态保育功能。

6.3.3 发展休闲农业, 丰富绿色农业发展新模式

发展观光农业和休闲农业,开拓田园综合体等绿色农业发展模式,调整农业景观生态格局。如利用城市边缘河道节点空间规划农耕文化园,在农田农地的基本格局中穿插绿色空间、休闲空间、体验空间,布局特色农业种植、农耕农具展示、农耕文化科普、农俗文化宣展、家庭农场、实习体验基地等功能,营造集观光、休闲、游乐、体验、科普于一体的观光休闲农业基地。在复合农业生态结构、修复生态系统的基础上,平衡多种需求,构建农业经济和生态效益双赢的特色景观。

7 结论

针对城市边缘区河道的典型特征,以重构河流退化的水生态系统为目标,有针对性地分析和提出了河流水体的纵向连通、河流水系的水质处理、河流曲线自然化修复、分层级生态景观营造、滩地景观型人工湿地、可持续性的植物配置等修复策略。在城市边缘区河道生态修复方面将展开更多的实践探索,为构建可持续、多元化、复合型的生态平衡体系奠定基础。

参考文献:

- [1] 罗彦,周春山.中国城乡边缘区研究的回顾和展望[J].城市规划,2005(12):25-30.
- [2] 孟捷.北方季节性河流生态修复功能下的景观构建研究[D].西安:西安建筑科技大学,2017.
- [3] 王雪娇.城市边缘区湿地景观规划设计研究[D].重庆:重庆大学,2016.
- [4] 田健,黄晶涛,曾穗平.基于复合生态平衡的城市边缘区生态安全格局重构——以铜陵东湖地区为例[J].中国园林,2019(2):92-97.
- [5] 韩素丽.生态水利工程在河流廊道工程中的应用研究[J].山西水利科技,2018(4):73-88.
- [6] 张雅卓,马超,王俊宝,等.河间市环城水系联通及河道综合治理工程设计[R].天津:天津大学建筑设计研究院,2011.
- [7] 王宏涛,董哲仁,赵进勇,等.蜿蜒型河流地貌异质性及生态学意义研究进展[J].水资源保护,2015,31(6):81-85.
- [8] 张雅卓,么健旭.河北省香河县潮白河综合治理设计[R].天津:天津大学建筑设计研究院,2018.
- [9] 张雅卓.多元属性耦合的景观河道设计方法研究[D].天津:天津大学,2012.
- [10] 张雅卓.河流景观型人工湿地系统构建方法研究[J].中外建筑,2016(11):128-132.
- [11] 张雅卓,么健旭.第三届中国绿化博览会天津展园设计[R].天津大学建筑设计研究院,2015.
- [12] 张永生,欧阳芳,袁哲明.华北农田生态系统景观格局的演变特征[J].生态科学,2018,37(4):114-122.

(责任编辑 王利君)