

城市河流景观廊道生态修复技术研究

王伟¹, 刘玥含¹, 杜悦¹, 姜小涵¹, 程树杰²

(1. 西安建筑科技大学 艺术学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安高新第一中学, 陕西 西安 710019)

摘要: 城市河流景观廊道对于提升城市的历史文化价值、承担郊野游憩的能力、廊道景观价值具有重要的意义。通过对相关案例和现阶段城市河流存在问题的剖析, 结合现代城市的发展和人身心需求的研究, 针对性提出强化湿地生态功能、营造内河湿地、截污系统与生物净化水质、加强保水措施与加固河床、建立沿岸生态涵养林地等措施。旨在科学的构建河道景观廊道, 完善整体景观结构, 最终形成生态的城市水体景观格局。

关键词: 城市河道; 景观廊道; 生态功能; 城市水景体; 生态修复

中图分类号: TU451

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2020)04-0602-08

Study on ecological restoration technology of urban river landscape corridor

WANG Wei¹, LIU Yuehan¹, DU Yue¹, JIANG Xiaohan¹, CHEN Shujie²

(1. School of Art, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. Xi'an Gaoxin No. 1 High School, Xi'an 710019, China)

Abstract: Landscape corridors of urban rivers are of great significance in enhancing the city's historical and cultural value, the ability to undertake recreation in the countryside, and the value of corridor landscape. Through analysis of relevant cases and problems existing in urban rivers at the present stage, this paper combines the development of modern cities with the study of people's physical and mental needs. Some measures are put forward, such as strengthening the ecological function of wetlands, creating inland wetlands, sewage interception system and biological purification of water quality, strengthening water conservation measures and strengthening riverbed, and establishing coastal ecological conservation forest land. The purpose is to construct the river landscape corridor scientifically, improve the overall landscape structure, and ultimately form the ecological landscape pattern of urban water body.

Key words: urban river; landscape corridor; ecological function; city waterscape; ecological restoration

河流是一个城市的血脉, 具有十分重要的生态价值、经济价值和历史文化价值, 河流不仅能带动一个城市的发展, 保护城市生态环境, 完善城市河流生态结构, 还能在一定程度上提升城市整体景观品质, 展示城市形象。可以说, 城市与河流之间的影响是相互的, 随着世界范围内工业的迅速发展推动的城市数量和城市规模不断增加, 城市河流承载的压力越来越大, 人类活动过度干预, 导致多数河流生态失衡、生态系统逐渐退化, 同时严重的水污染也使得河流对城市生态的调节作用减弱, 河流与城市的矛盾逐渐变大。进入二十一世纪以来, 越来越多的国家和地区开始重视城市河流修复并进行了相关研究和实践, 为我国城市河流景观廊道的建设提供了参考和借鉴。我国应积极探索城市河流景观廊道的生态修复技术

与方法, 改善城市河流生态, 继承和保护城市水文文化, 创造出自然优美并且具有高品质高景观价值和地方特色的城市河流景观廊道环境。

1 国内外研究综述

1.1 国外河流景观廊道生态修复研究

(1) 理论研究

自 20 世纪 70 年代起, 以德国、美国等为首的发达国家意识到人类活动对于自然生态环境的干扰, 开始重视城市河流的自然修复并开启了一系列生态修复理论与技术研究。德国的 Selferr 首先提出近自然河溪治理的概念, 是一种能够在完成传统河道治理任务的基础上, 接近自然、经济并保持景观美的一种治理方案^[1]; 美国的 H. T. Odum 等于 1989 年提出生态工程概念, 奠定了“多自然型河道

生态修复技术”的理论基础^[2]；20 世纪 90 年代，日本推出改良工程措施以保护河流周边环境的《近自然工法》，并在随后的实践中不断改变建设理念，于本世纪初提出实施生态工法保护生物多样性的面向二十一世纪的河流治理策略。

(2)实践探索

位于美国的波士顿大都市公园构建了完整的绿色生态廊道，不仅优化了环境资源，还将城市与绿廊完好的结合在一起，使景观资源集中于河流景观廊道中，在形式、文化和生态保护等方面都充分展现出了良好的连通性(见图 1)。在此规划中，奥姆斯特德沿着波士顿淤积河泥的排放区域建造，将富兰克林公园、阿诺德公园、牙买加公园和波士顿公园 4 大公园及其他绿地系统有机联系起来^[3](见图 2)形成波士顿大都市公园系统。其中查尔斯河因生态失衡、洪水泛滥、河流污染等问题，成了波士顿大都市公园河流整治规划中改造重点之一。波士顿大都市公园系统通过综合规划方法将查尔斯河恢复为自然状态，采用划定自然沼泽与城市发展边界地具体措施，并在河岸两侧大量种植能够抵抗周期性洪水和盐碱的植被使之能够自然地生长，从而恢复了沼泽地整体的自然演进过程^[4]。在城市空间再生方面，波士顿大都市公园中的生态绿色廊道与商业、居住和绿化空间结合，也使得城市与河流的联系更加密切。



图 1 波士顿大都市公园绿色廊道
Fig. 1 Boston Metropolitan Park green corridor



图 2 波士顿大都市公园绿色廊道平面
Fig. 2 Green corridor plan of Boston Metropolitan Park

1.2 国内河流景观廊道生态修复研究

(1)理论研究

我国古代便有如大禹治水和都江堰等优秀的水利案例及伟大的工程，自新中国成立以来，我国专家学者也一直从事着河流生态修复方面的探索与研究。董哲仁于 2003 年首次提出“生态水工学理论”，强调在河流修复时，整体的将河流生态系统看成一个具有生命力的生态系统，通过人为干扰来引导河流自我修复的重要性^[5]；俞孔坚在《城市河道及滨水地带的“整治”与“美化”》一书中强调景观生态学运用到河流与滨河空间生态修复中的重要性，并在书中详细讲解维护及修复河流和滨水区域的方式。

(2)实践探索

随着工业的快速发展以及城市化的发展，城市人口递增，大量的工业废水和生活污水的排入导致河北迁安三里河，污染十分严重。三里河改造分为上游区段、核心区段以及下游区段(见图 3)，三里河核心区段为中部城市段，主要进行河道堤岸工程类改造以及河流两岸特色景观的营造。在工程改造方面，首先采用台式堤岸的处理方法，河道断面的改造保持河道基本宽度，结合当地条件进行堤岸分两级处理，不仅添加了层次丰富的植物群落，还形成连续良好的生态隔离带；其次在河道内部设置拦蓄构筑物控制水位，结合岸线的曲折度设置跌水、滚水坝等拦蓄工程，局部拓

宽水域面,抬高水位,使河水下渗补给地下水的水量增多,同时还可净化三里河水体;最后沿河道设置多个雨水排放口,用以雨水收集和处理,加设市政污水管道有效截留处理城市污水,并结合周边湿地构建生态完好的河流景观廊道系统。三里河的生态改造延续了当地的文化景观,并且结合周边自然环境营造开敞的公共空间,重建了三里河生态湿地系统,营造出层次多样变化丰富的湿地景观。此外还建立交通慢行系统,与城市河道外部交通有序结合,为三里河形成良好的可达性和游憩性(见图4)。

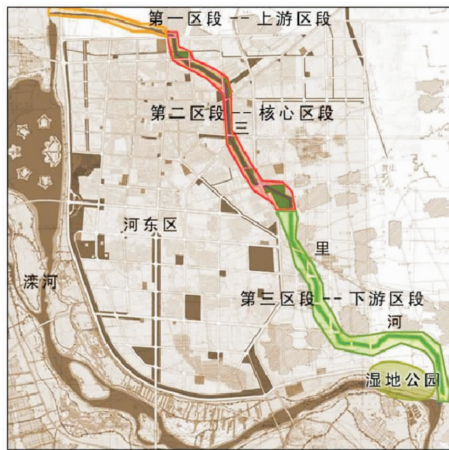


图3 河北迁安三里河道平面图

Fig. 3 Plane map of Sanli River in Qian'an, Hebei



图4 河北迁安三里河道

Fig. 4 Sanli River in Qian'an, Hebei Province

2 城市河流景观廊道建设的意义

2.1 提升城市活力,促进城市经济发展

在城市人口集中,水源需求量大的背景下,河流的供水功能能够更加方便快捷的为城市供水,满足城市居民生活基本需求,保证城市基本发展;城市河流的交通运输功能,能够沟通内外水系,促进商业来往同时也承载一个城市的文化。重视城市河流景观廊道生态建设,高效保护两岸生态

景观,强化城市滨水区域在城市建设中的地位河作用,加强空间联系,发掘城市内涵,凝聚城市活力,能够不断提升城市景观品质和优化城市形象。

2.2 联系城市与郊野,带动城市发展

河流能够沟通城市内外水系,使城市与郊野的连接性增强,在城市开发与规划中具有重要地位。在城市建设中应注重把握和激发滨水空间活力,营造多层次河流景观,形成完好水系;河流景观的亲水空间可以促进自然与城市居民的交流,使居民更加具有归属感,同时能够加强城市标志性,带动一个城市的发展。

2.3 维护城市生态安全

生态廊道由水体、植被等生态性结构要素构成,而河流廊道作为生态廊道之一也具有多种功能:通道功能、动态平衡功能、栖息地功能以及过滤和阻隔功能等。河流能够平衡自然环境与城市环境的生态关系,解决部分城市污染等问题,河流景观廊道生态修复,是城市环境保护与开发建设的重要部分,因此在城市河流修复过程中,首先要确保生态性,尊重河流季节性变化,协调河流景观的塑造与河流周边区域开发建设的关系。

3 城市河流存在的主要问题

3.1 丧失自然河流功能

随着城市建设的推进,城市河流的空间形态也不断发生变化,河流原有的自然形态和走向被改变重建,自然特征逐渐消失,具体表现为河流形式单一、河流多样性被破坏、河流景观匮乏以及自然河流生态功能减弱。在城市建设中,多利用裁弯取直的方式处理城市河流,形式僵硬缺乏空间变化,形态单一,致使河床的硬化严重、两岸草木匮乏,减弱了河流的蜿蜒性和自然性,破坏了周边自然生态系统,还损害了区域内的水气循环。

3.2 防洪压力大

城市现代化的发展导致与周边地区温差较大,热岛、雨岛效应逐渐增强,局部降雨量增大。城市建设大面积使用不透水的道路和硬质铺装,影响地表下渗能力,导致地下水量减少的同时地上径流量增加。与此同时河岸河道硬化后渗透和涵养水源的能力下降,雨水缺乏下渗和植被阻挡,直接流入河流,使河水水流速加快,洪峰增大,洪水更为频繁。

3.3 河水污染严重

城市用地扩张,城市河道不断被挤压变窄,另受城市排污系统建设的影响,河道泥沙淤积,河流水质富营养化的现象也逐渐增多。在被不同程度的人类活动的干扰和破坏后,较为敏感的河岸与滨水区域内的生态系统物质能量循环受到了影响,导致河流自身净化和恢复能力下降,不断恶性循环,城市河流污染问题逐渐严重并且难以解决。

3.4 河岸植被缺失,河岸自然空间紧缩

城市不断发展,城市用地的扩张,导致城市河流日益萎缩,河岸硬质化严重,河畔植被的生存空间被压缩,河岸植被严重缺失。同时由于城市人口增多,城市居民对于河流所提供的亲水性、休闲娱乐、商业活动等空间需求逐渐增大,河岸自然空间紧缩。传统河流护岸虽然在一定程度上保证了河流水利工程的安全性,但也在一定程度上破坏了周边生态平衡,因此在这种情况下,是十分必要和重要建立生态护岸的,它在一定程度上能够涵养水源,为植物提供良好的生存基质,建立完好的河流生态系统。

3.5 河流可达性差,缺乏游憩系统

现今许多城市与河流的连接度和交通可达性较差,河流虽流经城市内部,但是在多数情况下是独立于城市系统而存在的,这样的河流景观缺少休闲游憩系统,不仅无法满足城市居民的亲水性以及游乐休闲需求,也没有很好的融入到城市景观系统之中。因此,想要增强河流与城市的联系,在河道改造建设中需充分考虑其交通可达性,形成一份生态型良好并且融汇城市文化、教育、休闲的综合廊道。

4 城市河流景观廊道生态修复方法

4.1 强化河流生态功能,恢复其自然形态

现城市河流多为直线形态,堤岸硬化严重,缺少与周边区域的互动性,生态系统单一(见图5)。城市河流景观廊道的河岸修复可以尽量采取生态护岸,比如:植物护岸、生态工程型护岸以及生态工程、植物复合型护岸等等(见图6)。恢复河体的自然形态使岸线界面扩展,河道蜿蜒能够增加水体与周边区域的互动,保证周边自然环境生态平衡并且维持生物多样性。在河道内部利用人力工程构筑深潭或浅滩,恢复河流的自然形态,形成河道水域面和岸线的自然形态产生自然韵律,保持河流的自然力量。建设河道内湿地、生态隔

离带和生态缓冲带,营造生态人工湿地系统,形成植物、水生生物和底泥基质之间的相互依存和相互作用,形成一个完成的生态修复区域,加快河流自然功能和湿地生态功能的恢复。

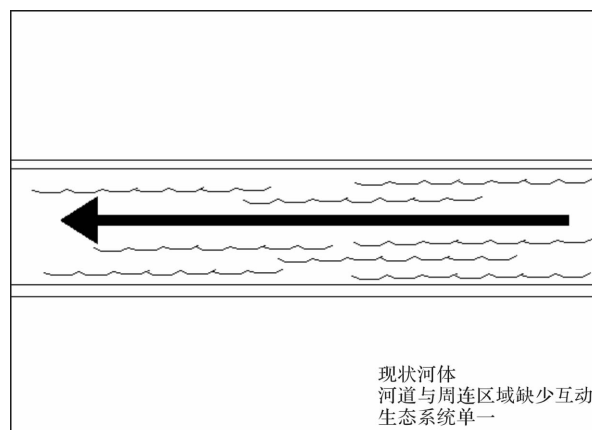


图5 现状河体

Fig. 5 Current situation of river body

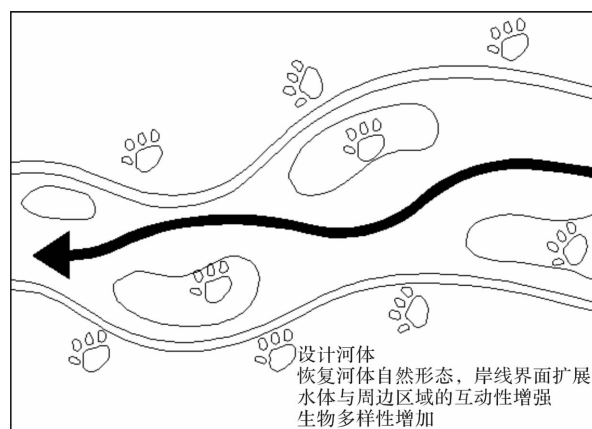


图6 设计河体

Fig. 6 Designing river body

4.2 营造内河湿地,进行雨水收集及旱涝调节

构建多元化的河流生境和稳定的河流湿地生态系统,需要建设分散的雨洪收集控制区,采取源头分散的收集措施,将雨洪资源截流,并利用具有高差的场地收集雨水净化水源(见图7)。同时,在城市河流边坡区域设置绿地下沉设施,便于收集雨洪资源,可布置卵石区和滞水区,在雨洪径流进入河道之前降低水体流速,延长水体前期净化的时间。对不同时期雨洪水量进行分析,打造旱涝调节系统,结合绿地植物对雨洪水体进行拦截、消纳和渗透,使雨洪径流中的污染物质得到充分的分化、降解和滞留,保证了雨洪水体在进入河道前的初期净化,为河流内部的湿地等净水措施减轻了工作负荷(见图8、9、10)。

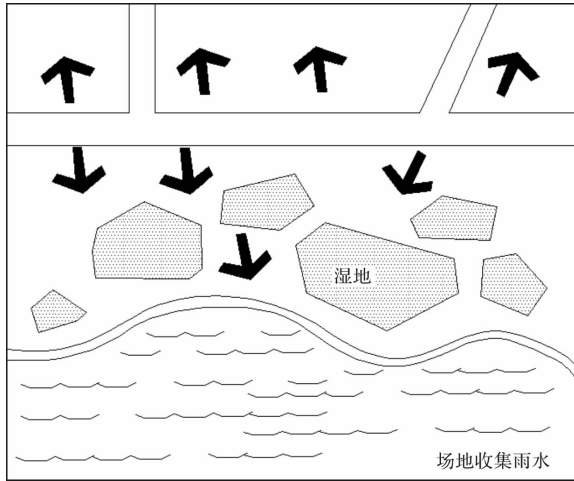


图7 场地收集雨水示意图

Fig. 7 Drawing of rainwater collection on site

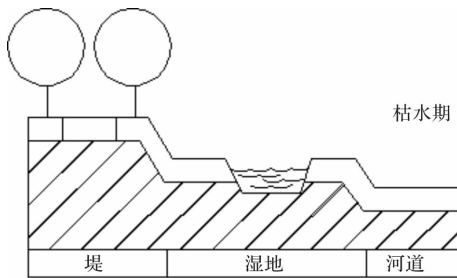


图8 旱涝调节系统示意图(枯水期)

Fig. 8 Drawing of wetland drought and flood regulation system (low water period)

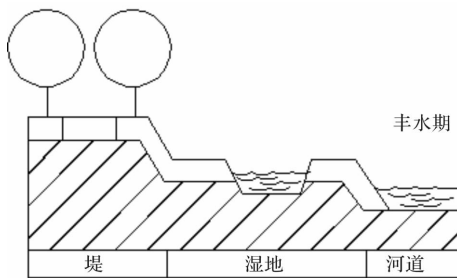
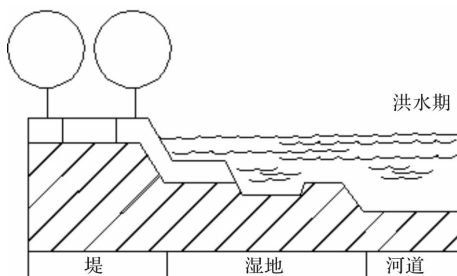


图9 旱涝调节系统示意图(丰水期)

Fig. 9 Drawing of wetland drought and flood regulation system (high water period)



湿地旱涝调节系统

图10 湿地旱涝调节系统示意图(洪水期)

Fig. 10 Drawing of wetland drought and flood regulation system (flood period)

4.3 促进河流的连续性, 筑堰蓄水, 保证河体水面需求

根据地形条件设置高差, 如采用阶梯状跌水形式, 不仅可以提高城市河流的连续性促进生态修复, 增强河流的复氧能力, 还产生了水流变化, 丰富了视觉、听觉景观(见图11)。同时增强河流

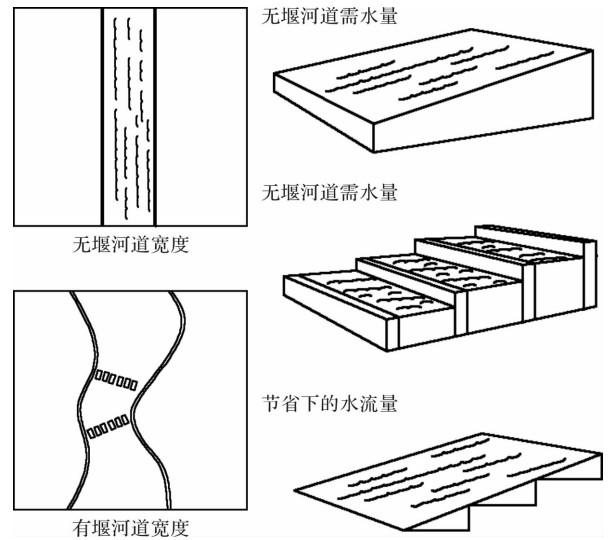


图11 无堰河道与有堰河道对比

Fig. 11 Comparison of weir-free and weir-free rivers

的流动动感以及生动性, 促使鱼类上溯、保持生物活力, 保证生物多样性。在高差较大的河道, 可以通过筑堰等形式减小河流对近岸的剪应力、流速和能量的作用, 增加河道中心区域能量的作用。也可以蓄积水源, 分段利用河流现有水量, 使河道保持一定水面, 保持较好景观效果。

4.4 建立沿河截污系统

城市范围内由于用地日益紧张, 河流缺水严重的同时水质污染形势也较为严峻, 因此需建立沿河截污系统(见图12)。采用管道截污的方式对河道水质影响较大的工业排放的金属污染和化学污染进行污水收集和净化, 通过湿地净化系统净化轻度污染的污水。另外需遵从景观、经济、生态的原则, 通过生物净化水质, 选取该河流或附近区域自然状态下的植被, 尽可能选用当地种类, 使之在自然力的作用下生长良好并形成稳定的生态系统, 恢复自然生态。同时为了增加动物的食源和栖息场所也可适当配置饵料或蜜源植物, 有利于生物多样性的提高以及该区域生态的恢复。

4.5 加强保水措施

随着城市化的不断发展, 城市河流出现渠化现象, 不仅加速了水流速度还严重影响到了河流与地下水之间的互相渗透, 因此在河流景观廊道的建设和改造中, 要采取相应保水措施, 如优先

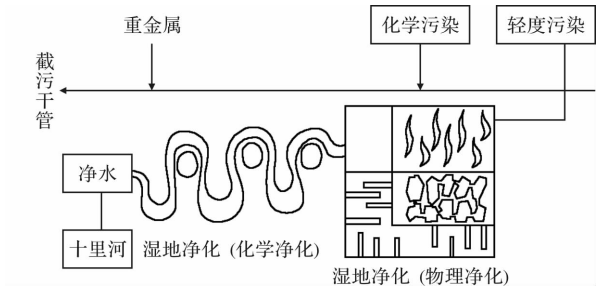


图 12 沿河截污系统示意图

Fig. 12 Diagram of sewage interception system along river
做好安全防渗, 采取自然式的防渗措施(见图 13), 运用当地粉煤灰等材质, 防止景观用水大量下渗, 采用卵石覆盖、边坡植栽方式, 防止水体大量蒸发.

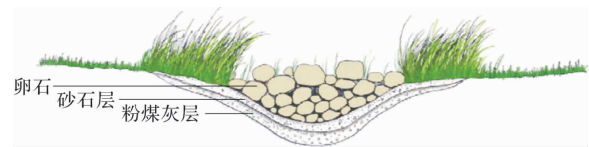


图 13 自然式防渗措施示意图

Fig. 13 Sketch of natural seepage control measures

4.6 加固河床防止水土流失及泥沙沉积

未经加固和保护的河床会因长期受雨水冲刷腐蚀变得松软导致河岸安全系数降低, 因此在保障堤岸的生态性的同时需要加固河流堤岸及河床. 修筑堤岸时建议以生物工程堤为主, 在河流沿岸种植湿生和水生植物并在河岸冲刷处堆置块石来加固河基, 构成生态的防冲刷堤岸, 能够有效减少泥沙沉积, 控制水土流失(见图 14).

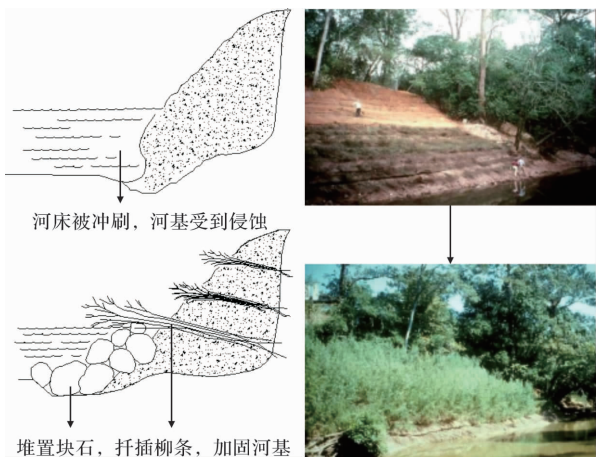


图 14 生态防冲刷堤岸示意图

Fig. 14 Diagram of ecological anti-scouring embankment

4.7 建立沿岸生态涵养林地

河流沿岸应充分考虑其当地自然条件和因素进行生态建设, 配合修建河流生态护岸, 选取适宜当地生长的植物, 保护和维持当地原有生态环境和生态平衡, 建设沿岸生态廊道涵养林地(见图

15), 达到保持水土, 涵养水源的目的, 逐渐形成稳定生境.

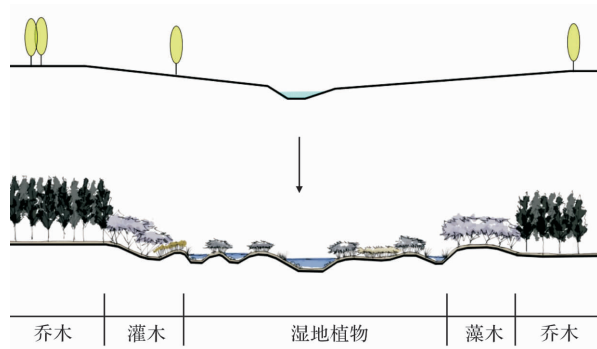


图 15 生态廊道涵养林示意图

Fig. 15 Sketch map of ecological corridor conservation forest

4.8 生态廊道外围种植防风林

通过在河流沿岸种植防风林带, 不仅可以营造舒适小环境, 避免外围不良干扰, 还可以对河流沿岸起到防风固沙、降低水体蒸发量、保持水土的作用. 在近期来看可沿河岸布点种植防风林带, 初步起到抵制风沙的效果; 在远期来看随着树木的生长, 防风林由点状蔓延为条带状, 从而达到更好的防风固沙的效果(见图 16、17).

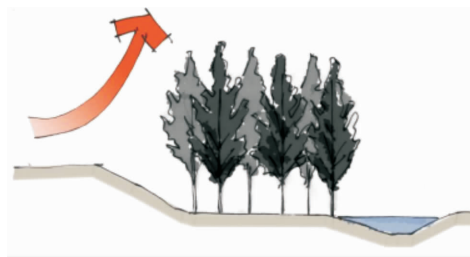


图 16 防风林立面示意图

Fig. 16 Planting windbreak forest elevation sketchForest

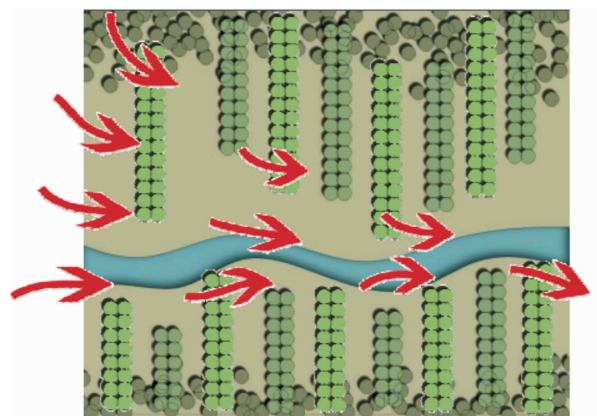


图 17 防风林平面示意图

Fig. 17 Plane sketch of planting windbreak forest

4.9 提高城市与河流廊道的连接度

设置滨河车行道、合理规划周边道路网络以

及建设沿河慢行系统,使城市河流与外部交通有序结合,可利用人行、车行的横向连通作用提高城市河流的交通可达性和游憩性。同时在河流沿岸增加游玩休憩空间以及亲水参与性空间等,结合具有城市特色的文化景观,因地制宜城市营造特色景观,提升城市河流景观廊道的景观价值,突出城市特色,满足城市居民的观赏游玩、亲水休憩等功能需求(见图18)。

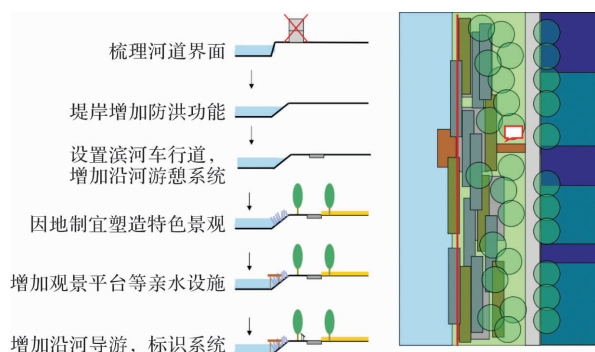


图18 滨河游憩系统示意图

Fig. 18 Drawing of riverside recreation system

5 结论

河流与城市之间的关系是相互依存相互促进的,城市河流是展示城市文化的重要纽带,也是维护城市生态安全,联系城市与郊野的重要廊道。在城市的不断建设与发展过程中,城市河流除了需要满足城市供水防洪等需求,还需具有保护生态自然环境、美化城市景观、展示城市地域文化等功能。

因此,需要重视对城市河流进行生态性的修复和改造,形成具有良性生态循环系统的城市河流景观生态廊道,促进城市可持续性发展。本文从相关案例进行剖析,并结合当下城市河流存在的问题进行深入思考,进一步提出城市河流景观廊道修复策略,结论如下:

(1)城市河流尽量采取生态护岸,内部人力构筑深潭或浅滩配合营造人工生态湿地系统,恢复河流的自然形态,完善周边生态修复功能;选取当地植物进行种植,外部加种生态涵养林保持水土,建设成为生态防冲刷堤岸,能够减少河流泥沙沉积,有效涵养水源,防止水土流失;

(2)建设雨洪收集控制区拦截雨洪资源,配合旱涝调节系统,完成雨洪水体进入河流之前的初步净化;沿河采用管道截污的方式对排入河流的污水进行净化,运用自然力的修复作用修复当地生态系统;同时做好保水措施,采取自然式防渗措施做好安全防渗,保证河流与地下水的互相渗透;

(3)为促进河流延续性,可设置高差来加强水流动态,激发生物活力,保证生物多样性;在高差较大的河道,可筑堰蓄水分段利用水量,丰富视听景观;

(4)合理规划道路,建立沿河慢行系统,增加河流的交通可达性;沿河岸建设休闲游憩空间及亲水平台,营造城市特色景观,提升城市河流景观廊道的功能价值。

参考文献 References

- [1] 卫明. 日本横滨市水环境综合整治综述与启示[J]. 水利规划与设计, 2001(2):5-7.
WEI Ming. Summary and enlightenment of comprehensive improvement of water environment in Yokohama City, Japan[J]. Water Conservancy Planning and Design, 2001(2):5-7.
- [2] 崔伟中. 日本河流生态工程措施及其借鉴[J]. 人民珠江, 2003(5):1-4.
CUI Weizhong. River ecological engineering measures in Japan and its reference[J]. People's Pearl River, 2003(5):1-4.
- [3] 王玮. 都市新景观——波士顿罗斯·肯尼迪绿道[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计版), 2014(3):175-179.
WANG Wei. New urban landscape: Boston ross kennedy greenway[J]. Journal of Nanjing Academy of Art, 2014(3):175-179.
- [4] 刘东云, 周波. 景观规划之杰作:从“翡翠项链”到新英格兰地区之绿色通道规划[J]. 中国园林, 2001(3):59-60.
LIU Dongyun, ZHOU Bo. Masterpieces of landscape planning: from Emerald Necklace to green channel planning in New England[J]. Chinese Garden, 2001(3):59-60.
- [5] 董哲仁. 河流健康的内涵[C]. 河流生态修复技术研讨会论文集. 北京:中国水利水电出版社, 2005:21-26.
DONG Zheren. Connotation of river health[M]. Proceedings of the Symposium on river ecological restoration technology. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2005:21-26.
- [6] 杨冬辉. 因循自然的景观规划:从发达国家的水域空间规划看城市景观的新需求[J]. 中国园林, 2002(3):12-15.
YANG Donghui. Landscape planning based on Nature: new demand of urban landscape from the perspective of water space planning in developed countries[J]. Chinese Garden, 2002(3):12-15.
- [7] 张健. 城市河道生态治理和环境修复研究[J]. 城市建设理论研究, 2020(16):17.
ZHANG Jian. Study on urban river ecological management and environmental restoration[J]. Theoretical Study On Urban Construction, 2020(16):17.
- [8] 刘璐凡. 基于弹性设计理念的河道景观修复——以深圳大梅沙河为例[J]. 中外建筑, 2020(6):159-163.
LIU Lufan. River landscape restoration based on elastic design concept: A case study of Shenzhen Dameisha

- River[J]. Chinese and Foreign Architecture, 2020(06):159-163.
- [9] 马焕春. 城市河道生态治理与环境修复[J]. 环境与发展, 2020, 32(04):74-75.
MA Huanchun. Ecological management and environmental restoration of urban rivers[J]. Environment and Development, 2020, 32(4):74-75.
- [10] 付飞, 董靓. 基于生态廊道原理的城市河流景观空间分析[J]. 中国园林, 2012, 28(9):57-69.
FU Fei, DONG Liang. Spatial analysis of urban river landscape based on ecological corridor principle[J]. Chinese Garden, 2012, 28(9):57-69.
- [11] 汤学虎. 河流廊道生态修复的工程技术原理和应用——以中法武汉生态城高罗河生态廊道为例[J]. 中外建筑, 2018(8):181-184.
TANG Xuehu. Principle and application of engineering technology for ecological restoration of river corridors; Taking Gaoluo River ecological corridor in Wuhan Eco-city of China and France as an example[J]. Chinese and Foreign Buildings, 2018(8):181-184.
- [12] 杨楠. 基于生态修复的河流廊道规划研究与实践[A]//2018城市发展与规划论文集. 苏州:北京邦蒂会务有限公司, 2018:10.
- YANG Nan. Research and practice of river corridor planning based on ecological restoration[A]//Collection of papers on urban development and planning in 2018. Suzhou: Beijing Bangdi Conference Services Co., Ltd., 2018:10.
- [13] 徐静. 基于生态修复视角的中水补给性城市河道景观设计研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2018.
XU Jing. Landscape design of rechargeable urban rivers based on ecological restoration perspective[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2018.
- [14] 田静. 城市湿地公园的水景营造研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2015.
TIAN Jing. Study on the waterscape construction of urban wetland park[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2015.
- [15] 张龙. 城市河道生态景观改造研究[D]. 昆明:西南林业大学, 2015.
ZANG Long. Study on the ecological landscape reconstruction of urban rivers[D]. Kunming: Southwest Forestry University, 2015.

(编辑 沈波)

(上接第593页)

- [15] FRONTCAK M, ANDERSEN R V, WARGOCKI P. Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing[J]. Building and Environment, 2012, 50:56-64.
- [16] ASH RAE. Interactions affecting the achievement of acceptable indoor environments [s]. Atlanta, Georgia: ASHRAE Guideline, 2010.
- [17] FRONTCAK M, WARGOCKI P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments[J]. Building and Environment, 2011, 46(4):922-37.
- [18] WONG LT, MUI KW, HUIP S. A multivariate-logistic model for acceptance of indoor environmental quality (IEQ) in offices [J]. Building and Environment, 2008, 43(1):1-6.
- [19] MIHAI T, IORDACHE V. Determining the indoor environment quality for an educational building[J]. Energy Procedia, 2016, 85:566-574.
- [20] LAI A C K, MUI K W, WONG L T, et al. An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings[J]. Energy and Buildings, 2009, 41(9):930-936.
- [21] 丁彦, 周士园, 杭咏新. 冬季高校图书馆室内环境舒适度与建筑综合征的相关性[J]. 中国学校卫生, 2016, 37(1):104-107.
DING Yan, ZHOU Shiyuan, HANG Yongxin. Investigation of the correlation of university library indoor comfort degree and sick building syndrome in winter [J]. Chinese Journal of School Health, 2016, 37(1):104-107.
- [22] 李武涛, 赵安军. 基于多指标的教室室内环境状况分析的评估模型研究[J]. 资源信息与工程, 2018, 232(4):163-165.
LI Wutao, ZHAO Anjun. Research on evaluation model of classroom indoor environment condition analysis based on multiple indicators [J]. Resource Information and Engineering, 2018, 232(4):163-165.
- [23] Macpherson. The assessment of the thermal environment [J]. British Journal of Industrial Medicine, 1962, 27(10):19.
- [24] WANG R L, CHEN C P. Field study on behaviors and adaptation of elderly people and their thermal comfort requirements in residential environments[J]. Indoor Air, 2010, 20(3):235-245.
- [25] HUMPHREYS M A. Quantifying occupant comfort: are combined indices of the indoor environment practicable[J]. Building Research & Information, 2005, 33(4):317-325.
- [26] 王世强. 低频噪声对老年人健康的影响[J]. 黑龙江科技信息, 2007(1):189.
WANG Shiqiang. Effect of low-frequency noise on the health of the elders [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2007(1):189.

(编辑 沈波)