

绿色基础设施视角下重庆盘溪河河流廊道生态修复研究

Ecological Restoration of Panxi River Corridor in Chongqing from the Perspective of Green Infrastructure

冷苗* 刘骏
LENG Miao*, LIU Jun

摘要: 传统水利工程措施展现的弊端促使着城市河道管理的范式由工程治理向生态修复转变。而绿色基础设施 (GI) 在尺度、功能等方面对城市河流问题都有其相对应的“柔性”调控方式。从 GI 视角出发, 类比河流廊道与 GI 网络的功能特征并探索其定位与功能, 提出了基于 GI 理念的河流廊道生态修复流程, 并以重庆盘溪河为实例提出多尺度 (中观-微观) 生态修复策略, 即在中观尺度下进行水系、绿地等空间网络格局构建, 提升城市“河流-绿地”生态网络的连通性; 在微观尺度下通过河流廊道景观空间设计及生态弹性建设等方式进行复合功能优化。

关键词: 河流廊道; 绿色基础设施; 生态修复; 网络连通性

中图分类号: TU986

文献标志码: A

文章编号: 1671-2641 (2021) 01-0013-05

收稿日期: 2020-09-18

修回日期: 2020-11-25

Abstract: The disadvantages of traditional water conservancy engineering measures promote the transformation of urban river management paradigm from engineering governance to ecological restoration. Green infrastructure (GI) has "flexible" regulation mode for urban river problems in terms of scale and function. From the perspective of GI, this paper compares the functional characteristics of river corridor and GI network, explores their positioning and functions, puts forward the ecological restoration process of river corridor based on GI concept. It takes Panxi River in Chongqing as an example, puts forward multi-scale (meso-scale and micro-scale) ecological restoration strategy, that is, to construct the spatial network pattern of water system and green space at the meso-scale, so as to enhance the connectivity of the urban "river green space" ecological network, and to optimize the composite function of Panxi river corridor at the micro-scale by landscape design and ecological elastic construction.

Key words: River corridor; Green infrastructure; Ecological restoration; Network connectivity

我国的河流修复处于由“消黑除臭”的治污阶段向生态系统修复转变的过程^[1]。但多数项目受资金、土地等因素制约, 目前还是以建设水库、坝等传统工程措施为主。而传统的水利水电工程设施对河流的生态功能有两方面影响: 一是改变了河流自然水文地貌进程, 二是阻隔了水生种群的物种交换、信息交流等^[2]。传统河道工程消耗了大量的绿色开敞空间, 同时使得自然系统破碎, 逐渐难以满足社会及环境的诉求。故对于河流治理需要寻求更加有效、多元化的治理方式。

“绿色基础设施”(Green infrastructure, 以下简称“GI”)属于系统性框架的规划理念, 在空间层面表现为网络结构, 由网络中心

(Hubs)、连接廊道 (Links)、节点 (Sites) 组成^[3]; 在研究层面上其囊括了国土空间、城乡空间和社区居民点, 属于一种宏观到微观的多尺度规划。其在宏观尺度上, 着力于构建区域及城市绿地系统网络, 包括了国家公园、大型河流廊道等网络中心及连接廊道; 中观尺度主要包括公园、河流廊道等城市级别的网络中心及连接通道; 微观尺度主要为社区绿地网络建设及邻里服务系统的建设, 包括庭院、街角公园等绿色设施建设。

自 2000 年起国内逐步有学者引入 GI 的相关概念, 其中张秋明^[4]、沈清基^[5]、俞孔坚^[6]等对 GI 的定义、规划方法、原则及意义等方面进行了阐述和探讨。随着研究的深入, 学者们对 GI 进行本土化实践探索及多学

科应用拓展。周锋等^[7]通过潍坊市白浪河景观设计实践, 讨论 GI 在河流景观设计中的具体应用: 将自然生态、基础设施、健康、游憩等多重功能进行整合设计。在过往研究中, 众多学者从多学科、多视角、多功能进行了城市 GI 网络构建的探讨, 也将 GI 网络与城市空间格局、绿地系统等进行耦合研究, 可见 GI 在多学科多方向的理论与实践中的普适性与可行性。

因此, 本文以 GI 为城市河道生态修复框架, 从多尺度类比分析河流廊道与 GI 网络的功能特征, 探讨基于 GI 网络进行河道生态修复的可行性, 提出河流廊道生态修复流程。并以重庆盘溪河河流廊道为例, 从中观与微观角度出发, 统筹考虑盘溪河两

江新区段河流廊道的基础设施建设特点,在流域既有的水利治理基础上进行 GI 网络的生态修复、功能优化及景观提升,以期为盘溪河流域及其他同类型河道生态修复建设奠定相应研究基础。

1 GI 视角下河流廊道生态修复研究

1.1 河流廊道及 GI 功能类比分析

河流廊道 (river corridor) 是指河流及两侧分布的,与周围本底不同的植被带,包括河床边缘、漫滩、堤坝及部分岸上的高地^[8],是一种对人类社会十分重要的生态系统。其控制着河水以及从周围陆地进入河流的物质运动,也影响着河流自身的运输(物质、能量、信息),发挥着生境、传输通道、过滤、屏障,与作为源(source)和汇(sink)等重要的生态功能^[9]。

将河流廊道与 GI 网络的含义及功能(表 1)进行类比,根据河流廊道的特征如廊道宽度、绿地连接等,可将其分为网络中心、连接廊道、节点,对应 GI 网络中的不同组成部分。这表明河流廊道属于 GI 网络的重要组成部分,应承担其重要的功能与责任。

对于 GI 网络的功能特性,国内外学者都进行了深入的研究。2006

年英国西北 GI 小组提出 GI 有 5 个特征^[13]:类型学、功能性、脉络、尺度和连通性。2010 年,贺炜、刘滨谊^[13]提出了 GI 相对于绿带、绿道、生态网络等规划概念,其在规划的主动性、功能复合性和弹性 3 个方面表现出优势。主动性是指绿地规划应当通过主动方式来适应城市发展要求;功能复合是指 GI 应考虑兼具保护水质、优化水文、提供游憩场所等功能;弹性是指其应当具有应对城市、气候变化等问题的能力^[14]。因此,城市尺度下的河流廊道应具有网络连通性、生态弹性、功能复合性等功能特点。

同时在规划层面,GI 为河流廊道生态修复提供了一个整合生态和城市的框架:城市河流廊道作为 GI 网络的重要连接廊道和节点,承担相关功能的同时,也促进其他 GI 系统的建立;此外,城市河道修复将社区居民、社会组织及活动、项目实践连接到 GI 网络,并形成与其密切相关的社会网络系统。

1.2 城市河流廊道生态修复流程

GI 并非硬性的土地规划,而是具有强操作性的“柔性”调控,对于已有流域整治历史的河流,可利用其“柔性”调控将传统的水利工程措施生态化,并和 GI 网络有机地结合起来,实现 GI 视角下河流廊道的生态修复。

本文在参考国内外多项 GI 与水

系、绿地规划结合的实践案例等资料后,提出了 GI 视角下的城市河流廊道生态修复流程。其规划流程可分为 5 个步骤:1) 进行城市流域资源调查分析;2) 对流域的现状绿地、空间格局、水系格局、水质情况等进行分析阐述;3) 提出整体的景观规划和生态修复策略,如包含宏观、中观、微观视角的多层次分析规划;4) 针对不同层级的规划提出具体策略;5) 后期规划管理及动态监测。并以重庆市盘溪河流域为实例进行验证,以期对相关案例提供参考。

2 盘溪河河流廊道生态修复

2.1 流域现状

盘溪河为嘉陵江一级支流,地处重庆市中心城区。2000 年至今,系列治理措施使盘溪河基本消除“黑臭”,但在河道生态修复方面仍未见改善。研究流域的整治范围横跨北碚、渝北、江北 3 个重要城区,整治范围内河道长 10.51 km,其中暗涵段长 7.23 km,暗涵率 68.81%;河道断面多为梯形,直立型护岸结构,渠化情况严重;河谷深切,水少且浅。同时流域范围内湖库众多,有 7 座水库(胡家沟、六一、茶坪、青年、百林、人和、战斗),总库容 1 240 km³(图 1)。

盘溪河串联着众多湖库公园等绿

表 1 GI 网络的含义及生态功能

名称	解析	涵盖内容	生态功能
网络中心	具有各种形式和规模,并随不同的层级而变化,既是野生动植物栖息地,又是系统中动植物和人类等生态过程的交汇区域	宏观尺度:1)面积和规模较大的预留地,如大型国家公园和原生态野生动物栖息地等;2)规模较大的公共土地空间,如受国家管辖的大型森林等 中观尺度:1)规模不一的农地,如中小型的农场、覆盖面积较广泛的林地或用于畜牧的牧场等;2)城市中建设开发的大型公园以及部分得到绿化处理的开放空间等	生境、源和汇
连接廊道	是线性生态廊道,连接不同方位的网络中心与节点,是 GI 体系连接的纽带	宏观尺度:国家级河流廊道、国家徒步旅行网络、国家自行车网络、海岸线 中观尺度:省市级河流廊道、带状绿地 微观尺度:市区级河流、带状绿地	传输通道、过滤、屏障
节点	规模上小于网络中心,是在网络中心或连接廊道无法连通的情况下,为动物迁移或人类休憩而设立的生态节点,是对两者的补充,并独立于大型自然区域的小生境和游憩场所。	面积和规模较小的城市公园、预留地、农地等,如社区公园、河滨公园等	生境、生态踏脚石

注:内容整理自参考文献[10~12]。

地节点，湖库景观条件较好，在前期治理中大多结合周边绿地形成湖库公园，有良好的景观基础，在城市环境占据着重要地位，有着较好的生态与人文优势。但河流干流存在较严重的问题：1) 连通性较低，沿线绿地多以斑块形式存在，同时路桥等建设截断水系，导致水系虽辐射全线，但多为暗涵连接，廊道景观断裂严重，生境连通性低；2) 水资源污染严重，上游河道基流与暗涵污水混合，大部分水库及干流水质常年处于劣Ⅳ类，六一水库水质常年处于劣Ⅴ类，自净化承载能力不足；3) 河床驳岸硬化，生物栖息地丧失，河道水量小，缺乏可供鱼类产卵的区域，生物多样性低；4) 岸线亲水性差，空间封闭，滨水可达性差，因重庆地形特殊，河流岸边绿地与水体大多存在较大高差，驳岸陡峭，滨河步道狭窄，难以形成休憩停留节点，较难开展亲水活动；5) 景观匀质化，干流在前期治理中多进行渠化处理，且驳岸形式单一，缺乏盘溪河流域文化及重庆山城文化的体现。

2.2 生态修复多层次分析规划

盘溪河串联着多个湖库、绿地节点，但因其并未形成较为完整的绿地网络，所以生态效益甚微。本研究从

GI 网络的视角出发，以中观、微观 2 个尺度进行生态修复建设，从而构建完善的 GI 网络，促进河流廊道的正向发展。在中观尺度下，先进行以水文调节及水质提升为主的水利工程建设，接着对水利设施建设形成的工程开挖及生态破坏进行生态修复，最后对河流廊道的网络连通性进行优化，调整城市维度的水系格局，修复城市“河流-绿地”生态网络的连通性。在微观尺度下，先通过河流廊道适应性设计及多尺度网络进行低影响开发措施 (LID) 布局，完成河流廊道生态弹性建设；再通过挖掘山城及盘溪文化，结合场地现状进行设计，激活滨水空间，实现其功能复合性优化及景观提升。

2.3 生态修复多层级策略

2.3.1 中观尺度下生态格局调整

1) 水文优化

盘溪河流域中此前建有污水处理厂及排污管道，在晴天时可满足污水转输及处理需求，但在雨天时无法满足相应需求，大量混流水溢流，造成污染。故需考虑混流水的截流调蓄及处理等问题。前期流域治理采用“上蓄水、中固堤、下利泄”的方式，上游蓄水分洪，中游加固生态化堤防，下游增强河道排泄能力；建立城乡互补的洪水调节

涵蓄系统，利用水利及生态措施一体建设进行基础水文调节及水质提升。雨污分流及污水处理设施是前期水利工程建设的主要内容，雨污分流设施主要包括排污管道、箱涵、调蓄池和生态库，污水处理设施主要包括一体化水质提升回用设施和水质提升回用设施。通过建设地埋式污水处理设施对污水、雨水进行处理后排至河道，提升河道水质。同时对地埋式调蓄池、水质提升回用设施等大体量设施顶部及周边进行覆土复绿并延展景观设计，结合周边用地进行场地设计，在减小其生态影响的同时恢复绿地连通，使其具有良好生态及景观效益。

2) 廊道连通性优化

河流廊道连通性包含河道结构与功能的连通，以及两侧滨河绿地的连通。因路桥对河流廊道的截断较为常见，故连通性优化不仅是河流、绿地之间的连接度优化，还应该从 GI 角度，将沿河流廊道的市政设施、路桥等“灰色基础设施”进行整合。从城市绿地网络规划的宏观尺度出发，通过集成规划，最大化地给予绿地空间，对断裂点进行绿地弥补，将河流廊道绿地与其他城市绿地连通，形成城市复合绿地系统网络，提高城市绿地的连通度。



图 1 盘溪河流域水系图

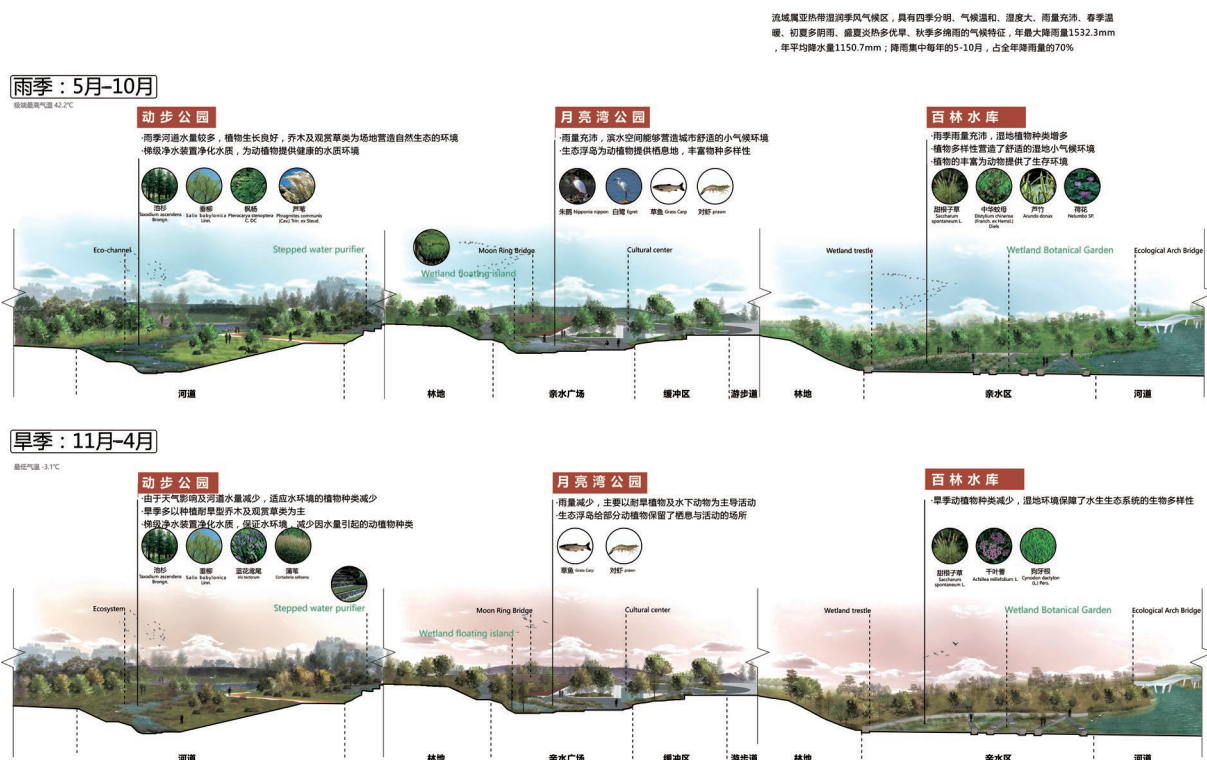


图2 河流廊道生态弹性建设图示

因此，本研究从3个方面进行连通性优化：a. 通过驳岸软化、河岸拓宽、新增湿地和浮岛等措施，来增加河道两岸绿地面积及横向联系；b. 通过暗渠复明、生物滞留设施等手段恢复廊道中纵向的断裂点，提升连通性及完善城市绿地系统；c. 在可达性断点上，连接市政道路与内部游步道，完善道路网络，将有效加强河流廊道可达性，缓解城市交通压力，发挥河流廊道更多服务功能。以上3方面的优化，可以提高河流廊道生态连通度与河流自净能力，丰富生物多样性，同时可以提升河流与城市的耦合度，增强滨河步道的可达性与连通性。

3) 河流廊道宽度优化

在河流廊道优化时，一般指定固定数值作为缓冲区宽度，如美国西北部多使用30 m作为缓冲区最小宽度^[15]。这实际上不够科学，缺乏普适性，正如盘溪河位于城市中心区，廊道宽度受限于周边用地性质，多为20~30 m。针对其优化，需首先确定合理宽度，再对周边用地进行合理协调扩展。对此，本文参照相关研

究^[15-17]，提出确定适宜宽度的3个步骤：a. 明确所研究的河流廊道的关键生态过程及功能；b. 基于廊道空间结构，将河流从源头到出口划分为不同的类型；c. 将最敏感的生态过程与空间结构相联系，确定每种类型所需的廊道宽度。本研究主要通过对缓冲带植物配置及空间设计，提升盘溪河河流廊道生态稳定性及社会价值，对其适宜宽度的具体计算不作赘述。

2.3.2 微观尺度下功能复合及生态弹性建设

1) 生态弹性建设

生态弹性建设主要从适应性设计及多尺度网络2个方面开展，主要采取的手段有：a. 多层次植物群落配置。通过对挺水、浮水、沉水不同层级高度的植物群落进行配置，使流域生物群落可以适应雨旱季不同水量情况的变化。b. 旁路高效湿地，是一种新型的高效人工湿地，相较于自然湿地提升了生态效益，兼具景观性与生态性。c. 生态浮岛，可置于湖心、水岸等地，为生物群落提供栖息场地的同时，兼具“生态踏脚石”的作用。

d. 底泥修复。向底泥中添加营养物或接种微生物菌种等，利用微生物降解底泥中的有机污染物，提升湖水水质。e. 驳岸调整。对有条件的区域进行驳岸“软化”，将原有的渠化驳岸拆除，改建为自然式或混合式驳岸（图2~3）。上述措施增强了河道生态弹性：在雨季雨量充沛时，湿地植物种类增多，营造了舒适小气候的同时，也提供了栖息地；旱季雨量减少，以耐旱植物及水下动植物为主导，连接生态浮岛及驳岸，保障与完善了河道水库生态系统，建立起河流廊道横向与纵向联系。

2) 场地人文记忆激活及植物梳理

因此前的河道渠化等统一改造措施，盘溪河河岸景观同质化且单一，缺乏场地文化记忆及场地特色的挖掘与展示。本文对因地势低洼而闭塞的场地进行展示界面展开，并充分利用场地山地地形特色进行设计及生态处理，形成天然的展示界面与自然科普基地，激活场地人文资源（图4）。对河道现有郁闭度较高、生长杂乱的种植区域进行中下层梳理

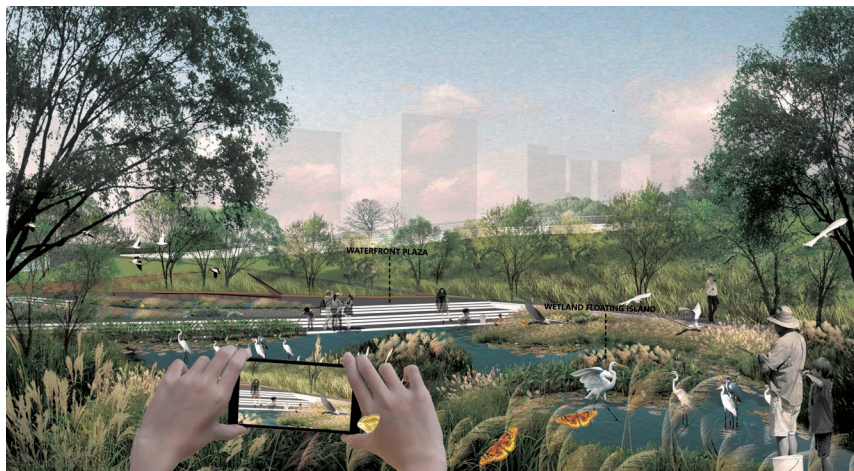


图3 驳岸调整效果图



图4 场地人文激活效果图

及重新种植,考虑“一段一策”,不同区块以不同的植物主题进行种植,如“百林公园-月亮湾公园-动步公园”城市中轴沿线以樱花 *Cerasus* spp. 为主题,种植多种樱花,形成城市樱花主轴;“吴家湾茶坪水库-六一水库-胡家沟水库”线以玉兰 *Yulania denudata* 为主题,以多品种玉兰打造城市玉兰宜居区;“人和水库-战斗水库”线以桃花 *Amygdalus persica* 为主题,种植多品种桃树,形成城市办公区桃花沿途景色。

3 结语

本文针对重庆盘溪河的流域情况及现状问题,提出了多尺度的 GI 网络建设方法:在中观尺度上修复网

络连通性,在微观尺度上优化河流廊道的生态弹性及功能复合性,从而完善城市河流及 GI 网络系统。论证了 GI 视角下的河流廊道生态修复的可行性及普适性,为城市河流廊道的健康发展及相关河流生态修复提供参考,也为打造河道可持续发展模式提供研究基础。

同时研究也存在几点不足:1) 主要研究区域为盘溪河流域两江新区段,故多为中微观尺度研究,缺乏大尺度下城市研究及绿地网络规划;2) 研究区域此前有水利设施及绿地建设基础,故多采用改善及提升类措施,存在一定局限性。在今后的研究中应进一步掌握各指标(如廊道宽度、植物、连通度等)对河流生态修复的影响,从更科学合理的角度出发进行实

践,使得城市河流系统更具持续性与长久性。

注:本文图片均来源于盘溪河项目组。

参考文献:

- [1] 袁兴中,贾恩睿,刘杨靖,等.河流生命的回归——基于生物多样性提升的城市河流生态系统修复[J].风景园林,2020,27(8):29-34.
- [2] 张益章,周语夏,刘海龙.国土尺度河流干扰度评价与空间分布制图研究[J].风景园林,2020,27(8):10-17.
- [3] 张云路.基于绿色基础设施理论的平原村镇绿地系统规划研究[D].北京:北京林业大学,2013.
- [4] 张秋明.绿色基础设施[J].国土资源情报,2004(7):35-38.
- [5] 沈清基.《加拿大城市绿色基础设施导则》评介及讨论[J].城市规划学刊,2005(5):102-107.
- [6] 俞孔坚,张蕾.基于生态基础设施的禁建区及绿地系统——以山东菏泽为例[J].城市规划,2007(12):89-92.
- [7] 周峰.绿色基础设施型河流的景观设计——以潍坊白浪河为例[J].农业科技与信息(现代园林),2012(1):36-39.
- [8] Forman R T T, Godron M. Landscape ecology[M]. New York: Wiley, 1986: 121-155.
- [9] 郭建国.景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2000:30-31.
- [10] 刘天颖.城市绿色基础设施网络构建及优化设计研究[D].邯郸:河北工程大学,2020.
- [11] 官聪.绿色基础设施导向的城市公共空间系统规划研究[D].南京:东南大学,2018.
- [12] 宗敏丽.城市绿色基础设施网络构建与规划模式研究[J].上海城市规划,2015(3):104-109.
- [13] 吴伟,付喜娥.绿色基础设施概念及其研究进展综述[J].国际城市规划,2009,24(5):67-71.
- [14] 贺炜,刘滨谊.有关绿色基础设施几个问题的重思[J].中国园林,2011,27(1):88-92.
- [15] 朱强,俞孔坚,李迪华.景观规划中的生态廊道宽度[J].生态学报,2005(9):2406-2412.
- [16] 钱进,王超,王沛芳,等.基于层次分析法的河湖滨岸缓冲带宽度适宜性评价[J].水资源保护,2008(6):76-79.
- [17] 王宁,许先升,许晓倩.基于空间句法的海甸溪城市河流廊道空间形态特征分析[J].广东园林,2019,41(1):42-47.

作者简介:

(*通信作者) 冷苗/1996年生/女/四川眉山人/重庆大学建筑城规学院(重庆400030)/在读硕士研究生/专业方向为风景园林规划与设计/E-mail: 1730299592@qq.com

刘骏/1969年生/女/重庆人/硕士/重庆大学建筑城规学院(重庆400030)/副教授/研究方向为风景园林规划与设计、城市绿地系统规划