

王敬儒, 岳邦瑞, 兰泽青 · 从自然科学技术原理向风景园林设计语言转译: 河段尺度下的生态设计手法研究 [J]. 风景园林, 2019, 26 (8) : 111-115.

# 从自然科学技术原理向风景园林设计语言转译——河段尺度下的生态设计手法研究

## Translation from Principles of Natural Science and Technology to Design Language of Landscape Architecture: Study on Ecological Design Techniques of River Reach Scale

王敬儒 岳邦瑞\* 兰泽青  
WANG Jingru, YUE Bangrui\*, LAN Zeqing

中图分类号: TU986  
文献标识码: A  
文章编号: 1673-1530(2019)08-0111-05  
DOI: 10.14085/j.fjyl.2019.08.0111.05  
收稿日期: 2018-09-28  
修回日期: 2019-04-09

王敬儒 / 女 / 西安建筑科技大学在读博士研究生 / 研究方向为西北脆弱生态区景观生态规划理论与方法  
WANG Jingru is a doctoral student in the School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology. Her research focuses on the theory and method of landscape ecological planning in fragile ecological areas of Northwest China.

岳邦瑞 / 男 / 博士 / 西安建筑科技大学建筑学院教授、博士生导师 / 研究方向为西北脆弱生态区景观生态规划理论与方法、西部乡土景观生态智慧、大秦岭生态保护  
通信作者邮箱 (Corresponding author Email) : 15929309001@126.com  
YUE Bangrui, Ph.D., is a professor and doctoral supervisor in the School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology. His research focuses on the theory and method of landscape ecological planning in fragile ecological areas of Northwest China, the ecological wisdom of rural landscape in Western China, and the ecological protection of Qinling Mountains.

兰泽青 / 男 / 西安建筑科技大学在读博士研究生 / 研究方向为西北脆弱生态区景观生态规划理论与方法  
LAN Zeqing is a doctoral student in the School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology. His research focuses on the theory and method of landscape ecological planning in fragile ecological areas of Northwest China.

**摘要:** 在河流生态修复的研究中, 理论与实践之间存在着落差, 风景园林学正是整合不同学科理论并最终转化为实践的最佳途径。本研究的核心工作是将河流生态修复中的理论转化为风景园林设计语言, 即生态设计手法, 主要采用 T-P-C (Theory-Pattern-Case) 法。首先对河流空间要素进行分析, 再依据相关自然科学技术原理, 转译出一组设计法则, 最后结合河流生态问题, 提炼出“改造边滩蜿蜒度”“生态河床”“生态筑坝”等 15 种河段尺度的生态设计手法, 为设计师提供一套生态性、空间性、归纳性、尺度性和类型性的设计工具。  
**关键词:** 风景园林设计; 河流生态修复; 生态设计手法; T-P-C 法  
**基金项目:** 国家自然科学基金 (编号 51578437)

**Abstract:** There is a gap between theory and practice in the study of river ecological restoration. Landscape architecture science is the best way to integrate theories of various disciplines and eventually transform them into practice. The core of this study is to transform the theory of river ecological restoration into landscape design language, i. e. ecological design techniques, mainly with the T-P-C (Theory-Pattern-Case) method. Firstly, it analyzes the spatial elements of rivers, and then translates a set of design rules according to relevant principles of natural science and technology. Finally, along with ecological problems of rivers, it extracts 15 ecological design techniques under river reach scale, such as "flood land bending reconstruction", "ecological riverbed", "ecological dam reconstruction", to provide designers with a set of ecological, spatial, inductive, multi-scale and typological design tools.  
**Keywords:** landscape architecture design; river ecological restoration; ecological design techniques; Theory-Pattern-Case method  
**Fund Item:** National Natural Science Foundation of China (No. 51578437)

### 1 河流生态修复中理论与实践的落差

在河流生态修复研究中, 理论与实践之间存在着较大的落差。20 世纪 60 年代, 河流生态问题引起了欧美发达国家的注意, 由此开始了河流生态修复的理论与实践研究。河流生态修复是指通过适度的人工干预, 促进河流生态系统恢复到近自然状态的过程<sup>[1]</sup>。河流生态修复问题较为复杂, 无法依赖单一学科进行, 它包括生态学、水文学、地貌学、水利工程、环境工程、风景园林学等多个学科方向的交叉融合。综合国内外研究可知, 河流生态修复的研究主要包含 3 类: 1) 近自然生态工法; 2) 水文模

式修复法; 3) 河流分类法<sup>[2]</sup>。在技术层面上, 河流生态修复主要包括河流形态多样性的修复、河流水文条件的改善以及水质净化等<sup>[3]</sup>。除此以外, 生态学中的尺度等级也是研究河流的重要理论, 在不同时空尺度下研究不同问题, 并采取不同的措施<sup>[4]</sup>。目前, 历经大半个世纪的河流生态修复已具备了丰富的理论研究与实践探索, 已经从单纯的结构性修复发展到生态系统整体的结构、功能与动力学过程的综合修复。然而, 河流生态修复研究中丰富的理论并未完全运用到实际中。  
究其根本, 河流的治理工作由水利部门主导,

而水利工程是以控制和调配自然界水资源,达到除害兴利而兴建的工程。水利工程的基本目标不同于风景园林,风景园林的规划设计以生态为本,而水利工程则倡导基于防洪排涝等功能之上的生态修复,因而导致河流生态修复理论与实践之间的落差。

## 2 风景园林学在河流生态修复中的关键角色

风景园林学是可以整合不同学科理论,并最终转化为实践的最佳途径。不仅能解决河流生态修复研究中理论与实践的落差问题,更能满足人类对河流的多元化需求。原因在于以下2个方面。

1) 风景园林具有落地性。风景园林的落地性体现为一切风景园林现象都是有关土地营造的现象,都是不同尺度的土地上发生的现象<sup>[5]</sup>。这一特性使风景园林学作为工学学科,不同于生态学、地理学、林学等学科,能将河流生态修复研究中的理论转化为空间设计语言。然而,落地性在水利工程中也有所体现,水利工程的落地性表现为工程技术的落地性,主要解决河流治理中的某一类问题,而风景园林的落地性则强调各类要素在地表空间系统上的组织,更注重空间的营造,因此笔者以河流的空间营造为基本,提炼出一套风景园林设计语言。

2) 风景园林具有整合性,整合性并不是指要素间的简单拼贴,而是在河流生态修复中在充分认识机制的基础上,发挥设计师的创造力<sup>[6]</sup>。整合性体现在2个层面:①对学科的整合,风景园林提供了一个连接的桥梁和框架,衔接人文与自然两大领域,实现两者的协调与统一,再将两者整合为一个有机体系,发挥比单一学科更大的效能<sup>[7]</sup>;②人与自然的整合,风景园林的整合性是将人与自然视为一体,旨在创造人与自然和谐共生的环境,最终达成人与河流共同发展的长远目标<sup>[8,9]</sup>。

在当下研究中,从自然科学技术原理到风景园林设计语言的转译仍处在初探阶段。在理论研究方面,束晨阳等对城市河道的设计原则进行了分析,并给出河道平面、断面、河岸等3种设计模式<sup>[10]</sup>;温全平等侧重于堤岸景观生态化设计,提出了3种模式及其适用范围<sup>[11]</sup>;

付飞等根据生态廊道原理提出了城市河流的景观空间模式<sup>[12]</sup>;王文奎等将河流进行分类,提出与之相适应的近自然化景观策略<sup>[13]</sup>。然而,上述研究或针对单一类型的问题,给出几种设计模式,或将河流问题进行分类,给出几种优化策略,缺乏将自然科学技术原理转化到设计中的系统性研究。因此,本研究的核心是将河流生态修复中自然科学技术原理转化为风景园林设计语言,提供一套具备生态性、空间性、归纳性、尺度性和类型性的设计工具。该设计工具重点在于拉近规划设计与生态修复理论之间的落差,以生态修复为基本目标,在实践中为设计师提供参考。设计师可在此基础上开展多样化设计,尽可能满足人类对河流的多元化需求。

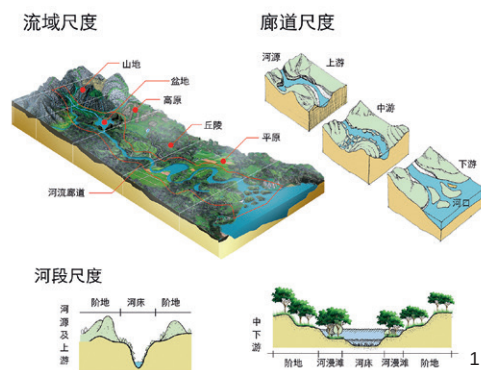
## 3 河段尺度下的生态设计手法研究

本研究的核心工作是将河流生态修复中的理论转化为生态设计手法,主要采用T-P-C途径。即从原理(theory)推导出基于原理的设计空间导则或空间格局(pattern),并最终通过有效实践案例(case)进行应用检验与修正<sup>[14]</sup>。该方法在《图解景观生态规划设计原理》一书中被提出,可证明T-P-C途径具有广泛的普适性<sup>[15]</sup>。本研究中的T指的是河流空间要素的划分与河流生态学原理的选择;P指的是对河流修复相关原理的分析,并基于原理提炼出相应的设计法则;C指的是将法则放在某一具体情境或问题中,给出具体的生态设计手法,并用案例进行验证。

### 3.1 T: 河段尺度的空间特征与相关原理

#### 3.1.1 河段尺度的空间特征

按照T-P-C途径,首先从风景园林学的角度对河流空间要素进行分析(图1)。河流空间要素的划分包括3个尺度:流域尺度、廊道尺度和河段尺度<sup>[16]</sup>。本研究以河段尺度为主要研究对象,原因有二:1)在流域与廊道尺度上,河流的生态问题主要在于人类活动所引发的水生态环境保护与经济社会发展间的矛盾,风景园林学在理论与实践更关注管控策略而非设计,因此该尺度不作为本研究的讨论对象;2)在河段尺度上,河流受人工干扰程度较大,生态问题较多,且风景园林学



1 河流空间要素分析  
The analysis of river spatial elements

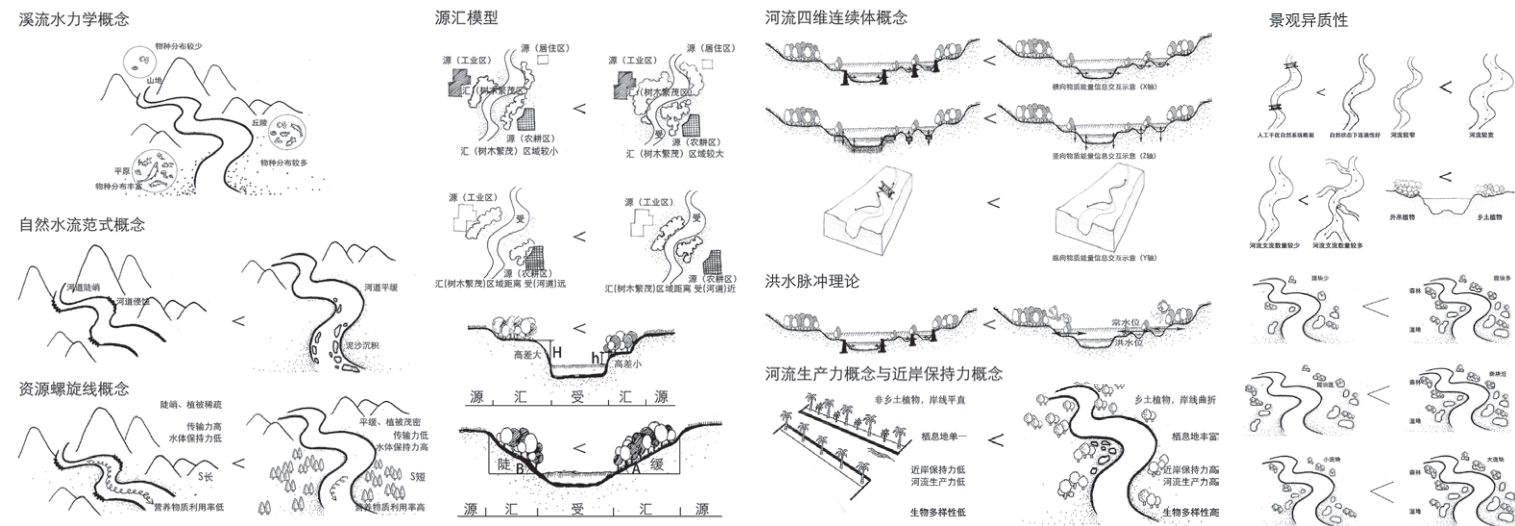
在河段尺度上的理论与实践研究以设计为主,与本研究生态设计手法的研究相符,更具研究价值。

在流域尺度上,每条河流都有自己的流域,一个大流域可以按照水系等级分成数个小流域,小流域又可以分成更小的流域<sup>[17]</sup>。在大流域中,河流单独作为一个子系统,其周围的地貌环境为地貌子系统,2个子系统共同组成了流域。地貌子系统主要包括了五大地形,即山地、盆地、高原、丘陵和平原<sup>[18]</sup>。河流子系统即河流廊道,河流廊道在纵向上可划分为河源、上游、中游、下游和河口5个部分。

河段尺度的空间要素划分主要以横向结构为主,横向结构涉及河流的横向自然过程。河流从河源到河口,由于坡降比的变化,河流在不同河段上的横向结构是不同的。河流的河源区多为冰川、沼泽,是河流的水源地。河流的上游段大多位于山区或高原,纵坡陡峭,水流湍急,以河流的侵蚀、冲刷为主,其空间要素由河床和阶地构成<sup>[19]</sup>。河流的中游段大多位于山区与平原交界处,下游段大多位于平原区,纵坡趋于平缓,侧向侵蚀明显,以河流的淤积作用为主。因此,中下游的空间要素由河床、河漫滩和阶地构成。河口由于潮汐作用的影响,其空间要素的构成更为复杂,是由主河道、分支河道、天然堤、决口扇和三角洲构成<sup>[20]</sup>,河口在本研究中暂不做考虑。河漫滩包括了岛、湖泊、沼泽和天然堤。阶地是指高出洪水期水位的阶梯状地形。河漫滩的范围是指河流漫过河床的水位,在某一频率下所对应的淹没区域,在该空间要素上发生的生态过程较多,所以河

表 1 河流景观生态学原理  
Tab. 1 River landscape ecology principles

| 原理              | 内涵                                                                                      | 法则                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 溪流水力学概念         | 不同区域水温及流速影响水生生物的分布                                                                      |                                                  |
| 自然水流范式概念        | 动态水流条件影响河流营养物质输移转化以及泥沙运动，从而影响河床—滩区系统的地貌特征和异质性，并形成与之匹配的自然栖息地                             | 地貌环境越平缓，异质性越高，生物多样性越高                            |
| 资源螺旋线概念         | 河流地貌特征及异质性影响营养物质输移循环，如森林覆盖率比较高的河流上游、河流两岸边界及洪泛滩区保持力高，营养物质利用率高，螺旋线短                       |                                                  |
| 源汇模型            | 河流周围的居民点、工厂为污染源，绿地斑块、湿地为汇。汇具有吸收污染物的作用，河流是最终的受体。汇与河流的距离近、面积大、高度低、坡度小时，对于污染物质的吸收率越大，反之亦然  | 汇的面积越大越好；汇离受越近越好；汇的高度越小越好；汇的坡度越缓越好               |
| 河流四维连续体概念       | 河流是具有横向、纵向、竖向和时间尺度的四维生态系统，它是流动的、连续的、独特而完整的系统                                            | 保障河流各项空间要素的完整性及连通性                               |
| 景观异质性           | 在流域尺度下，河流廊道网络具有特定的基底背景，与其他形式的廊道一起将不同性质和特征的缀块联通起来，共同形成流域的空间景观格局。河流的空间异质性影响河流的初级生产力及生物多样性 | 河流廊道：连通性高、宽度大、支流多、种植本土植物；河漫滩的植物、湿地斑块：距离近、面积大、数量多 |
| 串联非连续体概念        | 人工干扰打断河流纵向连通性，进而造成生物多样性低                                                                | 保障河流纵向连通性（与景观异质性中的联通度高相同）                        |
| 洪水脉冲理论          | 河床、河漫滩的完整性保障洪水蔓延，促进能量、物质、生物输移，从而提高生物多样性                                                 | 保障河流空间结构完整性及横向连通性                                |
| 河流生产力概念、近岸保持力概念 | 两个概念均强调河漫滩的交换过程。河漫滩上栖息地环境影响河流的近岸保持力及河流生产力，从而影响初级生产力及生物多样性                               | 河漫滩种植乡土植物，岸线曲折丰富                                 |



2 河流景观生态学原理图示  
River landscape ecology principles diagram

漫滩的研究价值相对较高。

3.1.2 河流生态修复原理的选择

对河流生态修复原理的研究，是河流生态设计手法提炼的理论基础。河流生态修复原理包括了河流景观生态学原理以及景观生态学原理的相关内容，主要研究景观格局与生态过程之间的关系。河流景观生态学迄今提出的较有影响力的概念模型主要有 10 种，除去流域等级概念以及地带性概念与河流生态设计手法研究关联较小，另有景观异质性以及源汇理论 2 个原理与河流生态修复密切相关<sup>[21]</sup>。笔者基于河流生态修复相关原理推

导出设计法则，将设计法则放在具体问题中，可提炼出生态设计手法。

3.2 P：基于原理的设计法则推导

从原理推导出设计法则的具体方法，是将 8 个河流景观生态学的概念模型以及 2 个景观生态学原理<sup>[22-24]</sup>进行诠释，对其空间因子及相关生态功能进行分析（表 1），根据分析作出图示(图 2)，并推导出相应的设计法则。

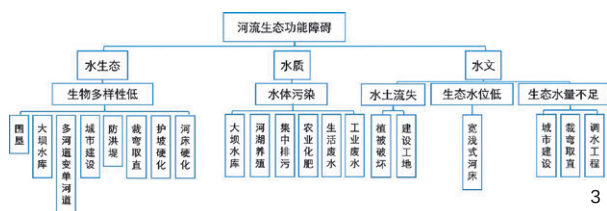
3.3 C：通过案例解析提炼有效手法

3.3.1 河流生态问题分析

对河流生态问题的指认，是运用设计法则解决现实问题的基础。河流生态修复旨在改

善河流生态功能，而河流生态功能障碍则由人工干扰所引起，因此通过对河流生态功能与人工干扰因素的分析来指认河流生态问题。按照河流生态系统的结构来划分，生态系统是由生物群落与无机环境构成的统一整体<sup>[25]</sup>，所以河流的生态功能主要包含两方面。首先，从河流生态系统中的生物群落出发，即水生态的角度，河流生态系统的功能主要体现在生物多样性及初级生产力。其次，从河流生态系统中的无机环境出发，即水文和水质的角度，河流生态系统具有提供水资源、调节气候等与生态水量相关的功能，以及调节洪





3 河流生态修复目标及人工干扰因素的关系

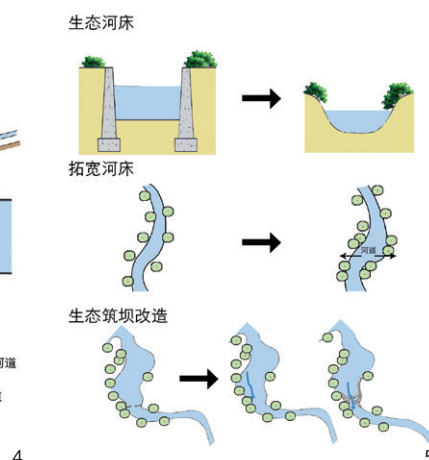
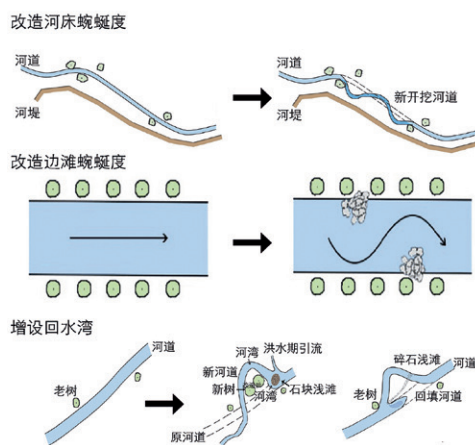
The relationship between river ecological restoration targets and artificial interference factors

#### 4 直线化河道修复

The restoration of river cutoff

#### 5 河床改造

The reconstruction of riverbed



水等与生态水位相关的功能,还有泥沙输移、泥沙拦截等与物质传输相关的功能,并且还具有水体净化等与水质净化相关的功能<sup>[26]</sup>。综上所述,河流的生态功能主要分为3类,共计7种。

通过文献综述可知,河流存在20种人工干扰因素(图3),将6类生态问题(即生态修复目标)与20种人工干扰因素进行对照,可解析出河流的生态问题因何而起,然后结合设计法则,提出应对河流生态问题的设计手法,使河流恢复原有的生态功能。

#### 3.3.2 河段尺度下的生态设计手法与案例

生态设计手法是依据河流生态问题,结合相应的设计法则而提炼的,并通过案例进行验证。在河段尺度上,河流的生态设计手法提炼根据其空间要素划分为河床、河漫滩及河床—河漫滩3个方面,其目标以生态修复为主,恢复河流的生态功能。本研究以平原地区的城市河流为主要研究对象,其他特殊情况暂不做考虑。

1) 河床部分。河床部分的人工干扰问题主要有5个,即裁弯取直、河床硬化、城市建设、大坝水库、各类污水导致的水体污染。针对以上5个问题,分别有不同的生态设计手法。

① 由于裁弯取直导致的河道的直线化问题,根据河流生产力及近岸保持力原理,提炼出“改造河道蜿蜒度”“改造边滩蜿蜒度”“增设回水湾”3种手法(图4),运用该手法将直线化的河道恢复为原有的自然弯曲状态,可提高河流中的生态水量,提高河流生产力及生物多样性,以上手法可在美国圣安东尼奥河流

改造设计和洛杉矶铁路站场可行性研究中得到验证。

② 河道硬化问题,根据河流四维连续体概念,可提炼出“生态河床”的手法(图5),运用该手法可改善河流在竖向上的物质能量交换,由此提高生物多样性,该手法可通过德国伊萨河修复的案例进行验证。

③ 由于城市建设挤压河道,而导致河道变窄的问题,根据景观异质性原理,可提炼出“拓宽河床”的手法(图5)。该手法根据廊道越宽生态效益越高的原理,提高生态水量与生物多样性,可通过新加坡碧山宏茂桥公园的案例进行验证。

④ 河道筑坝问题,根据河流四维连续体概念及串联非连续体概念,提炼出“生态筑坝”的手法(图5)。该手法将普通大坝水库改为生态筑坝,提高河流在纵向上的连通性,以此提高生物多样性,以德国伊萨河河流改造设计中生态筑坝为例进行验证。

⑤ 由于各类污水排放导致的水体污染问题,根据源汇模型提炼出了“人工湖改造”的手法(图6)。通过增大水域面积提高水体自净能力,解决水体污染问题,以美国圣安东尼奥河流改造设计中开挖人工湖为例进行验证。

2) 河漫滩部分。在河漫滩部分,人工干扰问题主要有城市建设、围垦、植被破坏等,由此而导致河漫滩结构单一化、河漫滩受挤压、河漫滩用地不合理等问题。针对以上3个问题,分别有不同的生态设计手法。

① 河漫滩结构单一化,根据河流生产力、近岸保持力、河流四维连续体概念、源汇模型

等原理,提炼出“湿地复原”的手法(图7)。主要通过恢复河漫滩湿地来提高河漫滩结构的多样性,以此提高河流生态多样性,以贵州六盘水明湖湿地公园为例进行验证。

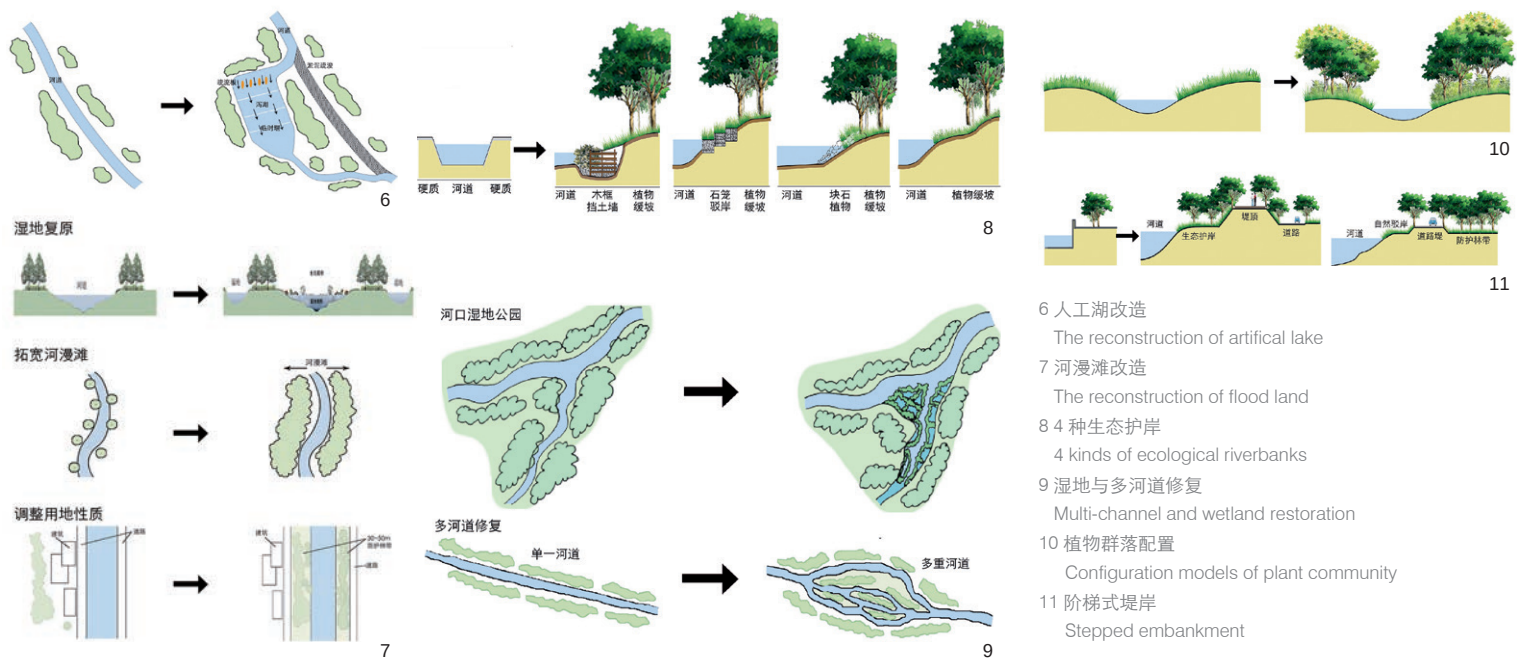
② 河漫滩受挤压问题,根据景观异质性原理,提炼出“拓宽河漫滩”的手法(图7)。该手法运用廊道越宽生态效益越高的原理,运用该手法可提高河流生物多样性,以新加坡碧山宏茂桥公园为例进行验证。

③ 河漫滩用地不合理,根据河流生产力、近岸保持力、河流四维连续体概念,提炼出“调整用地性质”的手法(图7)。将城镇用地调整到离河漫滩较远的位置,恢复河漫滩绿地,以此提高河流生物多样性,以宁波生态走廊规划设计为例进行验证。

3) 河床—河漫滩部分。在河床—河漫滩部分,人工干扰问题主要因城市建设导致的护坡硬化、多河道变单河道、植被破坏、防洪堤等问题,分别有不同的生态设计手法。

① 护坡硬化问题,根据河流四维连续体及近岸保持力概念,提炼出“木框挡土墙”“石笼驳岸”“块石驳岸”“植物驳岸”4种生态护岸的手法(图8)。运用该手法可提高河流物质、能量在横向上的交换,提高河流生物多样性,通过美国圣安东尼奥河流改造设计、金华燕尾洲公园、秦皇岛海滨生态恢复、宁波生态走廊4个案例进行验证。

② 多河道变单河道的问题,主要有2种。一种是两河交汇处河道结构由繁变简,根据景观异质性原理,提炼出“河口湿地公园”的手法(图9)。通过恢复河口处湿地来提高



空间结构复杂性，从而提高河流生物多样性，以涝涸湿地改造为例进行验证。另一种是由于城镇发展将原有的多条河道挤压成单条河道，根据景观异质性原理，提炼出“多河道修复”的手法（图9）。通过恢复多河道，提高空间结构复杂性，从而提高河流生物多样性，以中国迁安三里河绿道项目为例进行验证。

③ 植被破坏问题，根据河流生产力概念和近岸保持力概念，提炼出“植物群落配置”的手法（图10）。恢复河流周边植被，提高河流生物多样性，以英国小乌斯河河岸修复为例进行验证。

④ 防洪堤问题，根据河流四维连续体概念，提炼出“阶梯式堤岸”的生态防洪手法（图11）。通过堤岸与地形结合的形式，在保障河流横向连通性的同时防止洪水泛滥，以芝加哥滨河步道的四维设计为例进行验证。

#### 4 结语

风景园林学在河流修复方面有诸多研究，但在自然科学技术原理向风景园林设计语言转译方面，仍处在初探阶段。笔者通过对河流生态修复中自然科学技术原理的分析，总结并提炼出15种生态设计手法，并以实践案例进行验证。设计师可通过对上述手法的运用，

解决河段尺度下的生态问题，也可在此基础上注入创造性思维，发挥河流的多样化功能。目前本研究尚未对山地型河流、河段中的河口部分等特殊区域展开研究，在后续研究中将继续进行探索。

#### 参考文献 (References):

- [1] 董哲仁. 河流生态修复 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [2] 高永胜, 叶碎高, 郑加才. 河流修复技术研究 [J]. 水利学报, 2007 (S1): 597-601.
- [3] 陈兴茹. 国内外河流生态修复相关研究进展 [J]. 水生态学杂志, 2011, 32 (5): 122-128.
- [4] 赵彦伟, 杨志峰. 河流生态系统修复的时空尺度探讨 [J]. 水土保持学报, 2005, 19 (3): 196-200.
- [5] 杨锐. 风景园林学科建设中的9个关键问题 [J]. 中国园林, 2017, 33 (1): 13-16.
- [6] 张晋. 基于城市与自然融合的新城绿地整合性研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [7] 鲍梓婷. 景观作为存在的表征及管理可持续发展的新工具 [D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [8] 吴丹子. 城市河道近自然化研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- [9] 吴丹子. 河段尺度下的城市渠化河道近自然化策略研究 [J]. 风景园林, 2018, 25 (12): 99-104.
- [10] 束晨阳. 城市河道景观设计模式探析 [J]. 中国园林, 1999, 15 (1): 8-11.
- [11] 温全平. 城市河流堤岸生态设计模式探析 [J]. 中国园林, 2004, 20 (10): 19-23.
- [12] 付飞. 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 (8): 57-61.
- [13] 王文奎. 福州城市河流的多样性及其近自然化景观策略 [J]. 中国园林, 2016, 32 (10): 54-59.

- [14] 岳邦瑞, 费凡. 从生态学语言向景观生态规划设计语言的转化途径 [J]. 风景园林, 2018, 25 (1): 21-27.
- [15] 岳邦瑞. 图解景观生态规划设计原理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [16] 薛巍, 王锦. 城市河流廊道研究进展 [J]. 山东林业科技, 2008, 38 (5): 87-89.
- [17] 马什. 景观规划的环境学途径 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [18] 陈玉, 李峨, 闫大昌. 世界地形 (立体) [M]. 北京: 中国地图出版社, 2003.
- [19] 高抒, 张捷. 现代地貌学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [20] 伍光和, 王乃昂, 胡双熙, 等. 自然地理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [21] 董哲仁, 孙东亚, 赵进勇, 等. 河流生态系统结构功能整体性概念模型 [J]. 水科学进展, 2010, 21 (4): 550-559.
- [22] 董哲仁. 河流生态系统研究的理论框架 [J]. 水利学报, 2009, 40 (2): 129-137.
- [23] 董哲仁. 河流生态修复的尺度格局和模型 [J]. 水利学报, 2006, 37 (12): 1476-1481.
- [24] 孙然好, 陈利顶, 王伟, 等. 基于“源”“汇”景观格局指数的海河流域总氮流失评价 [J]. 环境科学, 2012, 33 (6): 1784-1788.
- [25] 陈进. 把脉长江水资源: 四谈长江生态系统保护 [J]. 中国水利, 2016 (18): 62-64.
- [26] 彭静. 论河流保护与修复的生态目标 [J]. 长江流域资源与环境, 2007 (1): 66-71.

#### 图表来源 (Sources of Figures and Table):

文中图片均由作者绘制; 表1根据参考文献 [20-23] 绘制。

(编辑 / 逆羽静)