



Delft University of Technology

河流样式框架：基于水文地貌评估支撑河流景观的可持续修复与管理

Bao, Ziting ; Zhang, Tingting; Nijhuis, S.; Zhang, H.

DOI

[10.19775/j.cla.2024.03.0048](https://doi.org/10.19775/j.cla.2024.03.0048)

Publication date

2024

Document Version

Final published version

Published in

Chinese Landscape Architecture

Citation (APA)

Bao, Z., Zhang, T., Nijhuis, S., & Zhang, H. (2024). 河流样式框架：基于水文地貌评估支撑河流景观的可持续修复与管理. *Chinese Landscape Architecture*, 40(3), 48-54. <https://doi.org/10.19775/j.cla.2024.03.0048>

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Green Open Access added to TU Delft Institutional Repository

'You share, we take care!' - Taverne project

<https://www.openaccess.nl/en/you-share-we-take-care>

Otherwise as indicated in the copyright section: the publisher is the copyright holder of this work and the author uses the Dutch legislation to make this work public.

河流样式框架: 基于水文地貌评估支撑 河流景观的可持续修复与管理

River Style Framework: A Hydro-morphology Assessment Framework for Sustainable Riverscape Restoration and Management

鲍梓婷

张婷婷

(荷)史蒂芬·奈豪斯

张皓翔

BAO Ziting

ZHANG Tingting

(Netherlands) Steffen Nijhuis

ZHANG Haoxiang

摘要: 河流景观是人类需求与自然基底相互作用形成的复杂、多尺度嵌套的社会生态和水文地貌系统。基于水文地貌学原理的“河流样式框架”为理解河流“形式与过程”之间的关系提供了一个成熟的分析工具。系统梳理河流样式框架的基本原则、具体步骤与核心内容, 提出多尺度的空间层级划分、河流样式与地貌单元的分类体系是该框架解释河流特征与河流行为的核心方法。进而在流域尺度依据地貌状况与修复潜力评估结果确定各个河段修复管理的优先次序, 在河段尺度通过河流演变轨迹分析预测河流的变化趋势。以期为“基于过程”的河流景观修复设计与行动计划提供理论支持。

关键词: 风景园林; 河流景观修复; 河流样式框架; 水文地貌评估

文章编号: 1000-6664(2024)03-0048-07

DOI: 10.19775/j.cl.2024.03.0048

中图分类号: TU 986

文献标志码: A

收稿日期: 2022-08-03

修回日期: 2023-12-01

基金项目: 广东省哲学社会科学规划项目(编号GD23YYS22)

和广州市科技计划项目(编号202102021193)共同资助

Abstract: Riverscape is a complex and multi-scale socio-ecological and hydrogeomorphic system, which is the result from the interaction between human and nature. The "River Style Framework", based on the principles of hydrogeomorphology, provides a mature learning tool to understand the "form and process". The paper made a systematic review of the main principles, procedures and contents of river style framework. The multi-scale spatial framework, the classification system of river style and geomorphic units provide the basic approach for describing and interpreting river character and behavior. At the watershed scale, the priority of restoration strategy of each reach can be identified after the geomorphological condition assessment and the restoration potential assessment; at the reach scale, with the evolution trajectory analysis of the specific reach, the change trend can be predicted, and providing knowledge evidence for "process-based" riverscape restoration design and actions.

Keywords: landscape architecture; riverscape restoration; river style framework; hydro-morphology assessment

气候变化背景下, 洪水频率和严重程度日益增加, 人们逐渐意识到需要为河流腾出更多空间, 从“与水作斗争”转向“与水共存”^[1]。河流景观的生态修复涉及多个尺度^[2], 通过一系列生态、物理、空间和管理措施修复河流系统的自然状态和功能, 以支持生物多样性、娱乐、洪水管理和景观品质等多功能目标, 为人们提供丰富多元的社会生态系统服务功能。

中国地域辽阔, 河流系统贯穿自然、乡村与城市, 连接高地与海洋, 具有巨大的地域差异性与多样性。“十四五”规划纲要提出, 水生态环境保护工作要在水环境改善的基础上, 更加注重水生态保护修复。不同类型的河流在其“过程-

形式”的相互作用下呈现出不同特点, 什么样的河流修复策略能够更好地适应不同河流的特征及其生态过程?“与自然合作”的设计理念给出了答案: 设计师应先了解河流调整变化的轨迹, 并对河流的修复潜力进行批判性地理解^[3]。

中国目前针对河流水文地貌评估方法的研究数量正快速增长^[4], 强调了河流生态系统的时空尺度^[5]、河流地貌特征分类体系与识别方法的重要性^[6], 以及在河流修复的景观设计中应进一步整合其地貌形态与生态过程^[7-9]。基于水文地貌学原理的“河流样式框架”(River Styles Framework)^[10]提供了一个综合的科学工具, 可以促进对河流景观水文、地貌与生态过程的理

解, 为我国河流生态修复设计提供“河流知识”工具的借鉴。

1 河流景观的水文地貌评估方法

1.1 河流修复范式的转变: 基于形态与基于过程

概括而言, 当今河流生态系统修复的策略大致可分为2类, 即“基于形态”(form-based)的方法与“基于过程”(process-based)的方法^[11](图1)。基于形态的方法聚焦于河流地貌形态的重建, 如对侵蚀或沉积形态(如沙洲、蜿蜒度等)进行再创造, 而非尝试重新激活塑造这些形态的运作过程。因此在实施后, 需要持续的管理和能源投入来维持特定的地貌结构状态。而基于过程的方法

法则将河道目前的形态视为漫长演变轨迹中的一个点, 将修复河段置于更广泛的空间尺度与生态系统中, 通过移除人类对自然的限制来释放河流的“过程空间”(process space)。该方法通过允许河漫滩的淹没来强调河流侵蚀与沉积过程的重新运作与自然修复, 试图通过最少的控制与干预来修复韧性生态系统, 以推动河流的自然修复。

“基于自然的解决方案”“河流再野化/近自然化”^[12-13]等概念快速兴起, 强调基于自然过程的修复策略与方法, 如荷兰的“Room for the River”项目、英国的“Making Space for Water”项目, 以及美国大量的河流与栖息地修复项目^[14], 通过纳入更多的过程空间让河流自由流动来实现修复目标。

1.2 理解河流的“形式”与“过程”: 水文地貌评估框架

1.2.1 河流景观的4个核心维度

河流景观由河道、河漫滩、生物群落, 以及人类聚落与基础设施相互作用而形成, 可划分为4个维度(图2): 人类需求与价值、生态结构与过程、水文过程与水动力, 以及地貌形式与过程。其中, 底层的地貌、水文与生态过程构成了塑造河流景观最为重要的物理骨架^[15-16]。

作为多元过程耦合的产物, 河流景观具有动态性、复杂性和非线性等特点。因此, 识别与描述(一段)河流的复杂特征是实现可持续河流修复行动的起点, 即定义每段河流和河漫滩的水文地貌特征和“自然过程”, 其本质是强调了河流景观的修复与设计应始终基于对河流自然运作过程的系统理解。由于地貌、水文与生态过程的尺度效应决定了河流系统的多尺度嵌套特征与上下游衔接问题, 因此自上而下地从流域/景观尺度分析, 到地方/河段尺度的详细设计过程是不可逆的^[17]。这意味着聚焦于地方层面的河流修复行动必须始终置于流域尺度的统筹与规划中。

1.2.2 水文地貌评估框架的研究与应用

在西方河流生态系统的修复管理工作中, 水文地貌的术语被广泛应用, 指的是流域及其河流系统内发生的水文与地貌过程和形式的组合。水文地貌学方法强调活态的、不断演变的河流系统中物理与生态过程的整体性, 旨在为河流生态系统的修复管理提供基于自然的解决方案^[18]。

基于水文地貌学原理, 相关学者已开发出诸多方法与工具。如Murphy^[16]和Belletti等^[19]对代表

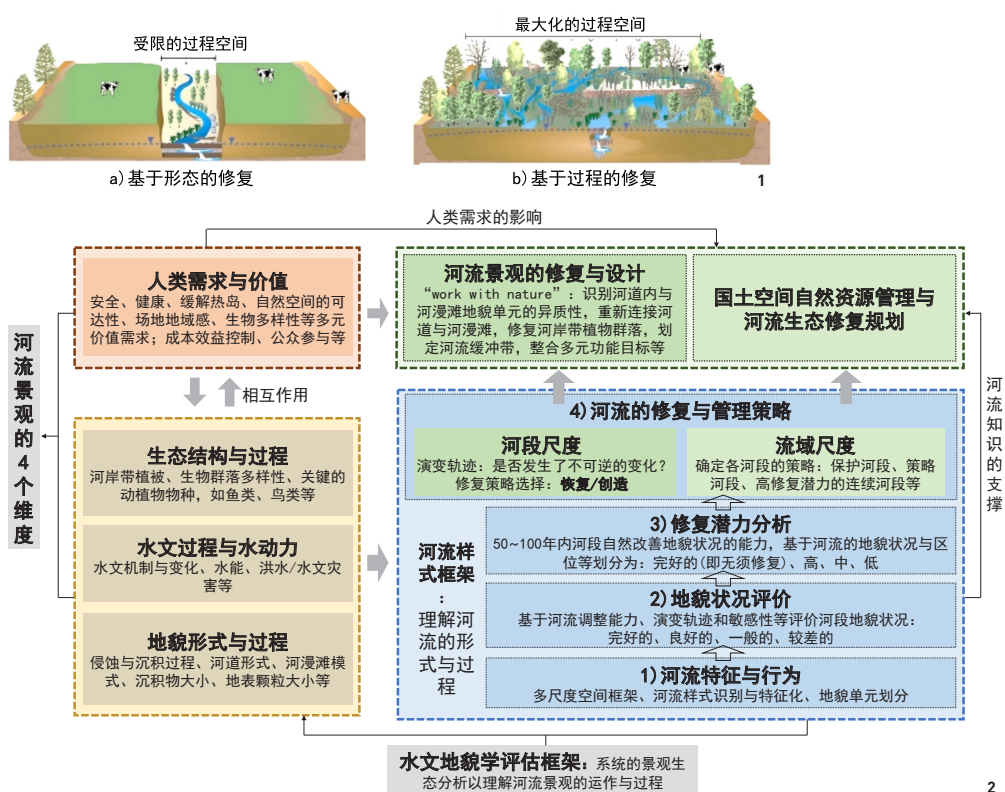


图1 基于过程的河流生态修复设计^[11]

图2 河流样式框架提供了理解河流景观水文地貌过程的方法与工具(作者根据参考文献[10, 15]绘制)

性的水文地貌评估框架进行了系统综述, 包括河流样式框架、Rosgen的自然河流分类体系、活跃河流区域及河流廊道规划指南等。其中, Brierley等^[20]提出的河流样式框架最为成熟, 已在欧洲^[21]、美国^[10]、澳大利亚^[22]、新西兰、巴西等国家的诸多流域与河流修复管理政策及行动中得到广泛应用, 如澳大利亚新南威尔士州河流样式数据库、美国哥伦比亚盆地鱼类栖息地的监测与修复项目, 以及欧盟“修复河流以进行有效的流域管理”(REstoring rivers FOR effective catchment Management, REFORM)项目等。

1.2.3 河流样式框架的目标、原则与4个阶段

河流永远奔流不息, 流经山地、丘陵、平原、河口, 其运作过程与运作行为是多样的、具有差异的。河流样式框架提出了一套结构化的程序, 其根本目的是在流域尺度下评估河流水文地貌过程的多样性、空间分布和时空联系。该方法遵循4个基本原则: 1) 尊重河流形式和过程的多样性; 2) 理解河流水文动力过程 and 变化; 3) 理解河流特征与相关生物物理过程的联系; 4) 使用景观地貌作为河流修复与管理活动的整合骨架。

其中, “河流样式”(River Style)^[22]被定义为是河流特征和运作行为的综合体现, 同一河流

样式的河段有着相似的地貌单元组合模式。河流特征(River Character)是河段独特的河流形态, 包括河谷、河漫滩和河道的水文地貌特征。河流运作行为(River Behavior)则指河道在其河谷和河漫滩内进行调整的趋势和能力。河流的运作行为通过形式和过程的相互作用, 形成了河道内地貌单元的独特组合。

河流样式框架包括4个核心阶段(图2): 1) 河流特征和运作行为的识别与描述; 2) 地貌状况评估; 3) 河流修复潜力评估; 4) 河流管理策略与修复次序。每个阶段都包含一系列程序与步骤, 最后以系统、连贯和一致的方式支撑修复管理行动的选择。第一阶段是该方法的基础, 其本质是基于类型学将连续的河网体系依据“河流样式”划分为有着相似特征的“河段”, 并对其核心的水文地貌特性进行系统分析与描述, 判断其历史演变轨迹与变化趋势, 进而为后续流域尺度和河段尺度的评价与修复策略提供基本的空间单元与关键信息。

2 河流系统的尺度、样式与地貌单元组合

2.1 尺度: 多尺度的空间层级

尺度问题是河流生态系统保护修复与管理

工作中需要首先明确的关键问题。河流是一个复杂系统，不同空间尺度的生态系统之间形成多层次嵌套的空间关系^[4]，一般可按照区域、流域、景观单元、整体河段(segment)、局部河段(reach)、地貌单元(geomorphic units)、水力单元和河流要素(如泥沙斑块、植物林分等)^[23]进行划分。

“河段”构成了河流基本的空间单元，具有相对一致的水文地貌形式与特征，是河流最常被评估、管理和修复的尺度。河流样式框架主要聚焦于流域/景观尺度、河段尺度，以及更小的地貌单元尺度，将整个流域划分为多层次嵌套的空间单元组合(图3)。

从流域至河段的空间嵌套体系构建了一个自上而下的分析过程，以解释流域尺度各关键因素对河段的控制与影响。在水平维度，“河流样式”体系为系统解析河流类型的多样性提供了一个开放式的流程。河段类型的划分与特征化不仅是河流的视觉或形式评估，也是对河流在河谷中行为及其调整方式的描述与总结。在垂直维度，地貌单元的划分又进一步为理解特定河段内过程与形式的相互作用提供了基础的结构单元(可类比为积木)，可以自下而上地去解译河流样式^[25]。水平与垂直结构的结合使河流样式框架超越了一般的视觉与机械式的河流分类方法^[22]，提供了一个“基于过程”的程序来分析河流。

2.2 第一阶段：“河流样式”的划分与地貌单元分析

2.2.1 水平维度：河流样式分类体系

河段类型是河段尺度最重要的指标。河流样式框架的一个核心和独特之处在于所有河段都用明确、简单的标准划分为“河流样式”，目的是描述“自然功能”的形态，即河流仍有能力调整其自身的河道和河床形态。河流样式的识别与分类流程是开放式的^[26](图4)，主要通过以下3个核心要素的类型组合进行定义。1)河谷形态：受限的(confined)、部分受限的(partly confined)、不受限的(unconfined)；2)平面形态：根据弯曲度、编织指数和分叉指数划分为顺直、蜿蜒、辫状、多分支型等；3)河床底质：如基岩、砾岩、砾石、卵石、砂土、淤泥、黏土。

2.2.2 垂直维度：地貌单元的类型与组合

地貌单元的空间组合和模式决定并反映了河段尺度的河流形态与动力过程，为“阅读”河流

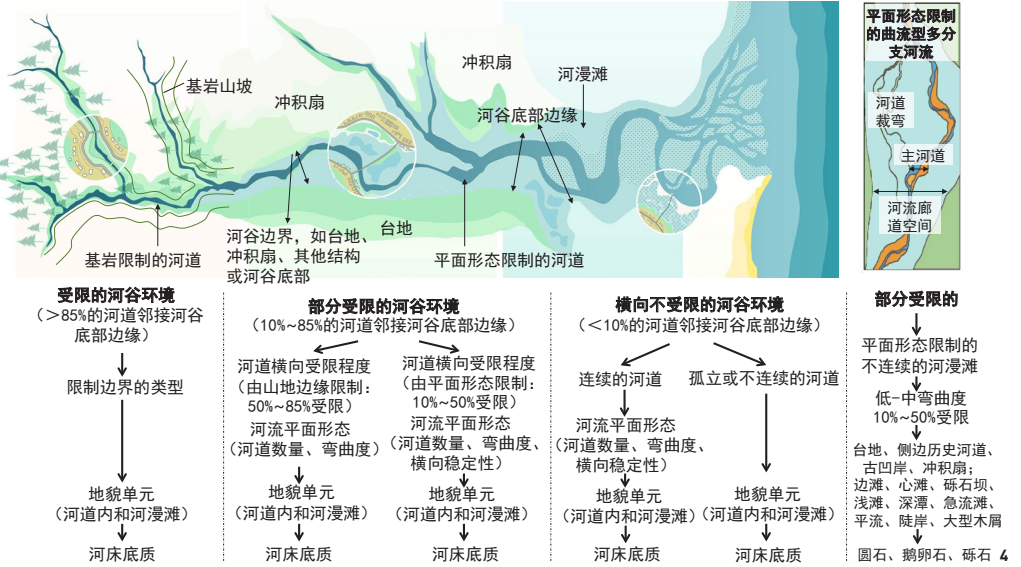
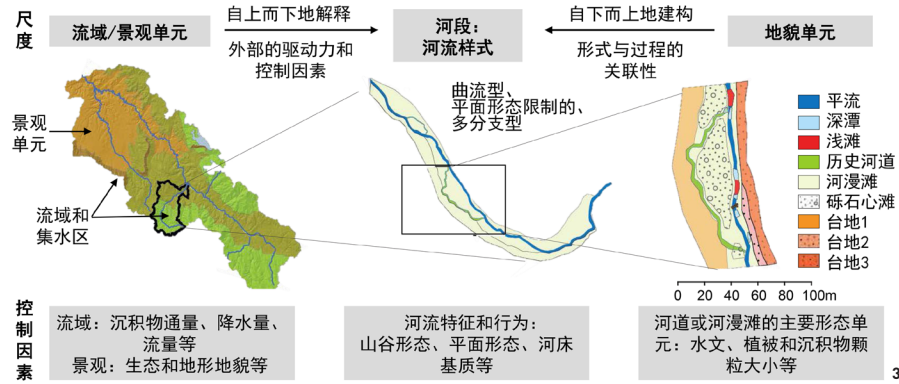


图3 河流样式框架的多尺度嵌套结构(作者根据参考文献[23-24]整理绘制)

图4 河流样式识别与分类的核心要素与程序(作者整理绘制，分类流程引自参考文献[26]，“曲流型河段”案例引自参考文献[24])

景观的行为提供了关键的媒介^[25, 27]。河流地貌单元被定义为河道内或河道外河漫滩侵蚀或沉积形成的地貌区域，如深潭、浅滩、边滩等。地貌单元是表征河段形态的重要斑块，相同河流样式的河段通常拥有类似的地貌单元组合。每类地貌单元均有其内在的“过程-形式”关联性，反映了侵蚀和沉积过程在河道和河漫滩区域的分布及效率，如水流冲刷、沙坝沉积和堤防形成等。

此外，地貌单元在河段尺度的嵌套分布可为水生生物群(如大型无脊椎动物、鱼类、两栖动物)的生存提供多种功能，如庇护所和避难所、食物来源，以及交配和产卵的地点^[28]。

河流样式框架中的《地貌单元快速划分指南》总结了常见的地貌单元类型，包括36类河槽单元和17类河漫滩单元，并对各类单元的形式与过程进行了图示与简要描述。REFORM中的地貌单元调查分类系统则进一步归纳了每个河段类型可能存在的地貌单元清单^[29]。通过分析地貌单

元的组合特征、控制因素及其随时间或水位的变化，可以更好地理解河段的形式与演进过程。

3 基于“河流样式”的修复潜力评估与修复策略

基于第一阶段河流样式的划分及对地貌单元组合的分析，河流样式框架的第二阶段是对各个河段的地貌状况进行评估，第三、四阶段则主要涉及对流域和河段尺度修复潜力的评价，进而制定相适应的修复与管理策略。

3.1 第二阶段：地貌状况评估

河流地貌状况评估不同于第一阶段空间单元的划分与河段类型的定义，是对各个河段的河流状态(如完整、良好、一般、较差)进行评价和判断。地貌状况是栖息地质量和河流健康的重要衡量标准，并且与河段自然恢复潜力直接相关。如今并不存在被一致认可的地貌状况评估方法，但所有方法考虑的核心指标基本一致，即河网连通性、河道属性、河道平面形式、河床基质、河岸

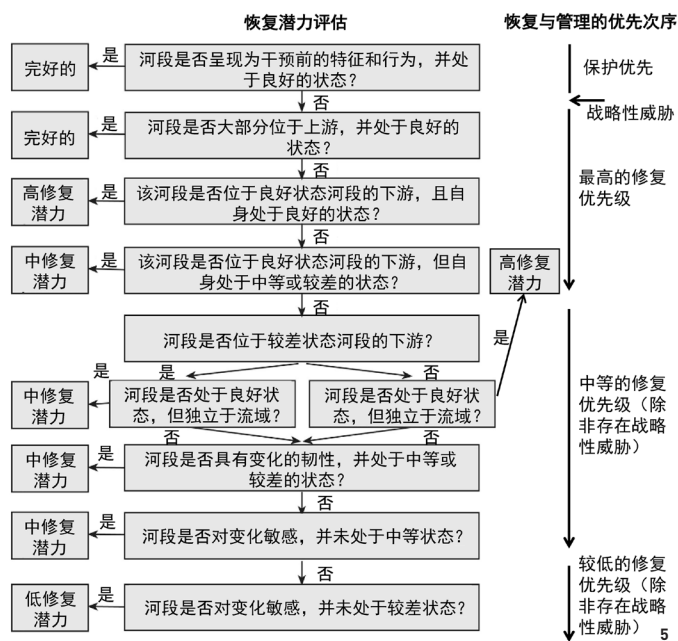
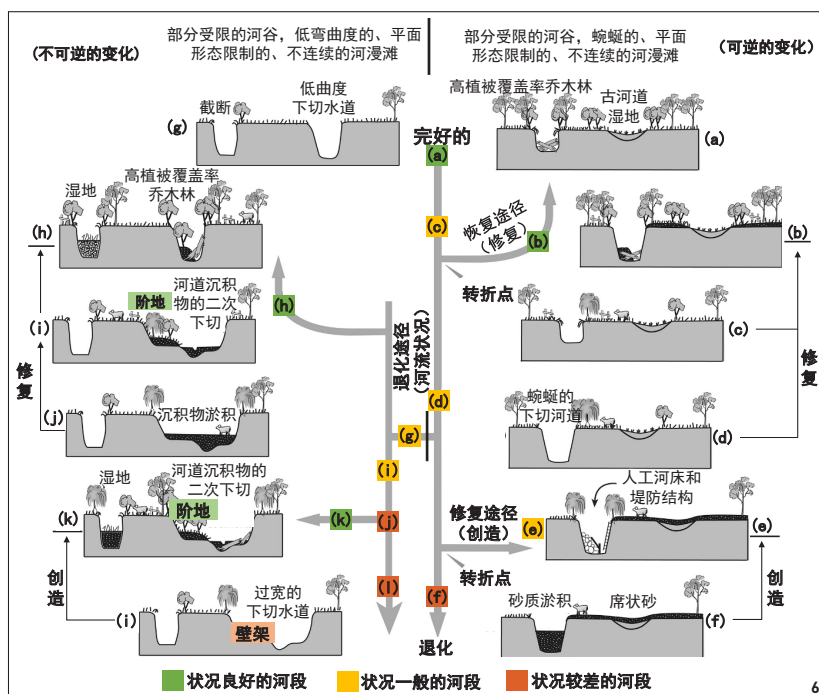


图5 流域尺度河段修复潜力评估和优先次序确定的决策树^[24]
图6 河流地貌演变路径与轨迹分析(作者改绘自参考文献[33])



植被及人工干预情况等。

美国哥伦比亚盆地中福克约翰流域^[24]和澳大利亚新威尔士流域^[30]的分析采取了基本相同的评价指标体系，包括如下3个一级指标和14个二级指标。1)河道属性：尺寸、形状、河岸形态、河道内植被结构、木材残余物；2)河道平面形式：河道数量、河道弯曲度、河岸稳定性、地貌单元组合、河岸植被结构；3)河床底质：颗粒尺寸和比例、河床稳定性、沉积物机制、水文多样性。

而在欧洲REFOMR框架中，通过对既有多元评估工具的整合，形成了一个更为规范、量化的形态质量指数(Morphological Quality Index, MQI)^[31]指标体系与打分方法。MQI主要依据遥感分析，利用LiDar、DEM、历史航空影像与正射影像等数据，基于GIS平台进行量化评价，对现场观测数据的依赖性较低，可以快速完成流域尺度河流网络的整体评估，如今已在欧洲各国及地区广泛应用^[32]。

完善的指标体系为河段地貌状况评估提供了总体框架，但在应用过程中需要根据特定地域的河流样式类型(如河道数量指标并不适用于位于受限河谷环境的河流样式)及数据获取的可能性来构建适宜的指标体系与评价流程。

3.2 流域尺度：修复潜力评估和管理策略

3.2.1 第三阶段：河流修复潜力的综合评估方法

基于河段类型的空间划分，将河流地貌状况

评估(或形态质量指数MQI)、河段对变化的敏感性以及在流域中的区位相结合，依据决策树(图5)评估流域尺度各个河段的修复潜力，一般分为4个等级：完好的、高修复潜力、中修复潜力和低修复潜力。

3.2.2 第四阶段：定义河段修复的优先次序

基于修复潜力的评估，结合流域规划愿景、现实发展需求(如土地开发利用、高强度农业生产等)及50~100年内河流自然修复的可能性，定义各个河段的保护修复策略与优先次序。保护优先表示该河段地貌状况良好，不需要较多的修复与干预，通过控制外部干扰维持其最佳状态即可。战略性河段意味着该河段或位于重要的发展战略区域，或具有较高的生态价值，或土地利用矛盾突出，因此可以提高修复行动的优先级(图5)。当在流域或国土尺度应用时，该方法提供了科学客观的证据与信息，可以支持区域或国家层级的河流修复与管理方案，成为生态修复规划或自然资源管理工具的一部分。

3.3 河段尺度：定义河流演变轨迹与修复目标

3.3.1 河流的演变轨迹与趋势

在河段尺度，基于河流样式与地貌单元组合，Fryirs等提出了一个用于评估并图示河流地貌演变轨迹关键阶段的路径工具，即图6的箭头与路径，沿路径可以确定河道调整变化的3个方向：退化、修复、创造，以及5个关键的调整状

态：完好的、退化、转折点、修复和创造^[33]。自上而下的垂直线与箭头代表了河道远离基线(完整/初始)状态的持续退化，横向路径呈现了“修复”和“创造”2个策略的选择。

河流演变轨迹分析为评估当前河流状况与修复潜力建立了基线，从而判断退化是可逆的还是不可逆的。但过往的河流样式与特征并不能作为“原始状态”的“参考系”，而是旨在表明河流当前或过去以一种相对自然的方式运作的程度。

可逆的变化包括：1)河流样式未变，并与同类型河道具有相似的特征、过程与行为，意味着河段没有远离其最佳完好状态，因此修复潜力或优先性较高，可以选择恢复或修复策略(图6中c/d→a)；2)河流样式未变，但地貌单元或水文条件已发生显著变化，无法修复到初始状态，若河流状况正在改善，则该河段处于创造路径(f→e)的阶段，修复目标需要整合新的变化与需求，若河流状况没有改善，则沿着路径继续退化。

不可逆的变化，即河段已由初始类型完全转变为另一种类型，如从部分受限的蜿蜒型河流转变为低曲度河流，则河段演变的未来状态存在3种可能：持续退化(g→l)、修复(g/l→h)或创造(l→k)。

分析河流生态修复策略的关键挑战之一是定位河流从退化路径转换至修复路径的“转折点”。对河段范围内地貌单元组合的分析可以提供一个关键的诊断指标，表明特定类型河段的修

复过程是否正在进行中。例如，活跃的蜿蜒河流重新形成的下切河道，以及许多冲积河流的河漫滩与河道的重新连接，均可被视为修复过程的一部分。但在评估河流修复的地貌指标时需要谨慎，因为类似的特征可能代表修复，也可能代表退化，具体取决于所调查的河段类型及其地域背景，如河道中存在的台阶式地貌，若被识别为阶地，意味着河道正在收缩与修复；若被识别为壁垒，则说明河道处于退化状态^[33]。

3.3.2 确定河段的修复目标与策略

基于流域尺度河流修复的总体愿景和优先次序，以及对河段演变轨迹的分析，针对特定河段制定生态修复策略与行动计划，结合多样的修复技术实现河道水文地貌特征的修复与重塑。

概括而言，基于过程的修复策略意味着：1)在可能的情况下沿历史路径修复为过去的河流样式；2)构建与河流样式相适应的地貌单元体系，通过地貌形态的塑造为河流修复提供物质基础，如深槽-浅滩序列；3)结合动态的水文事件推动河流自然过程的运作，最终实现自然修复，如图7-1、7-2中苏格兰和美国的河流修复行动。

而基于过程的创造策略，意味着无法恢复为历史的河流样式与形态或恢复成本过高，应参考优秀案例或在其他河段寻求修复机会以强化流域整体的连续性，如图7-3中荷兰奈梅亨河流修复项目，河流的景观设计需要基于对历史河道迁移轨迹、洪水廊道范围的分析及对水文动力的模拟，在给予河道更多过程空间的同时整合新的功能与发展需求。

由于不同类型、不同区位的河段拥有差异化的河道形态与调节过程，修复目标与行动需要因地制宜地选择差异化的路径和方法。在此过程中跨学科的合作必不可少，通过充分整合水文、地貌、生态等领域的知识，才能制定现实可行的河流景观修复设计方案与计划。

4 河流样式框架的应用——以美国Middle Fork John Day流域为例

美国俄勒冈州哥伦比亚河流域的Middle Fork John Day子流域(以下简称“MFJDW流域”)，面积2 050km²，是重要濒危物种鲑鱼的栖息地，长期以来开展了众多河流修复项目以改善河流与河岸栖息地状况。2015年该流域应用河流样式框架完成了全域的河流样式分类与

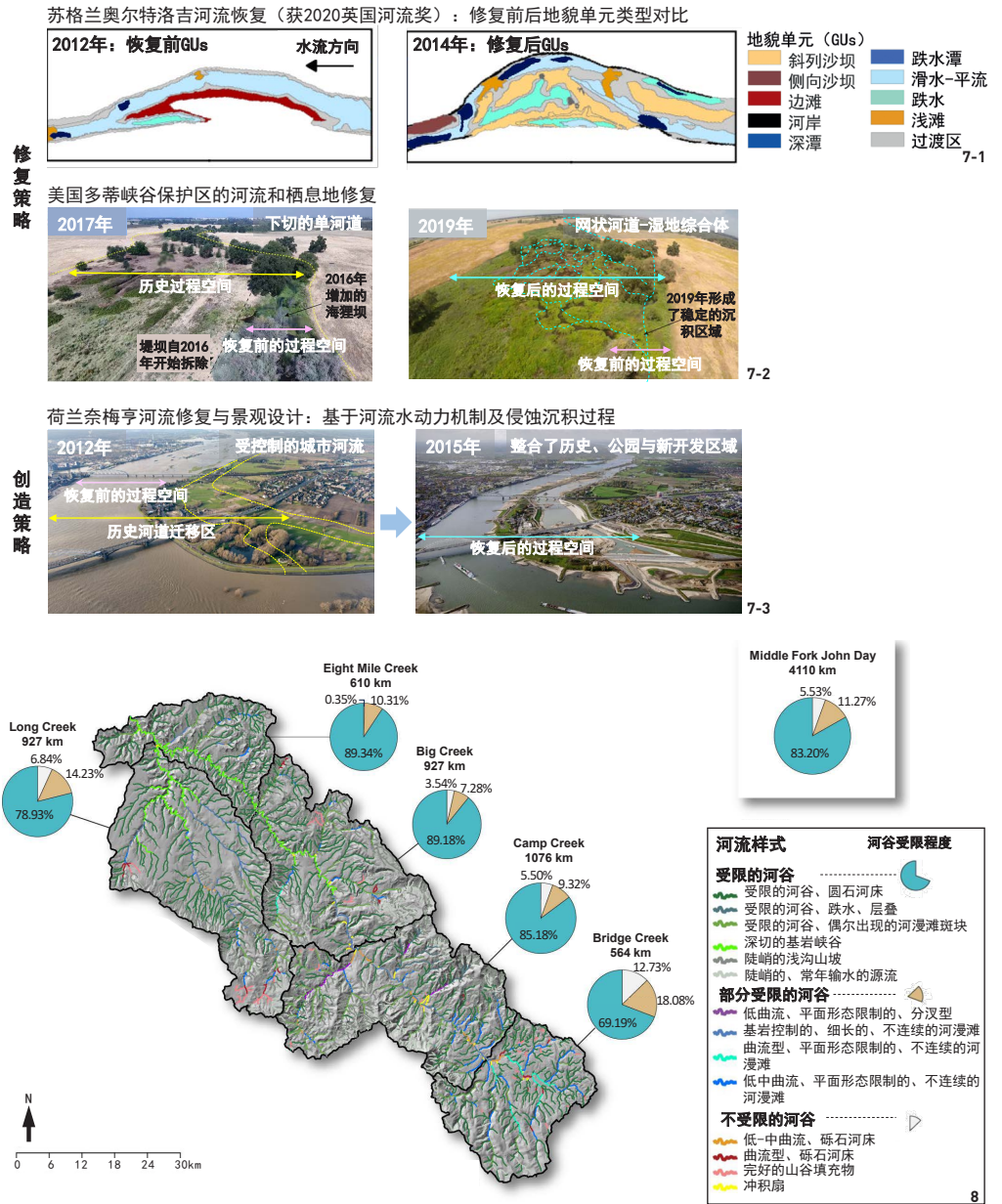


图7 基于过程的河流景观生态修复(底图引自参考文献[11, 34]及H+N+S Landscape Architects)
图8 美国Middle Fork John Day流域的河流样式图(作者改绘自参考文献[24], 饼图中Middle Fork John Day River为该流域名称, 其余英文为子流域名称)

水文地貌评估^[24]。

4.1 MFJDW流域的河流样式分类

在确定流域尺度的研究范围后，河流样式的分类工作主要包括以下2个阶段：1)通过整合美国IV级生态区地图、俄勒冈州地质图、植被分类图和数字高程模型(DEM)划分景观单元的类型与边界；2)应用图4的分类程序，基于Google Earth™高分辨率卫星图像和航空摄影完成河流样式的初步判别，并结合场地调研进行调整验证，最终将整个流域的河网划分为14类河流样式(图8)，为管理人员提供了河流水文形态的基

线与分类体系。基于分类结果可以快速对各个景观单元或次流域的河段样式类型与特征进行统计分析，并可通过横断面法分析河流样式沿高程的组合模式，从而理解河谷地形、景观类型、水文和沉积过程对河流行为的影响。

4.2 流域尺度：基于地貌状况与修复潜力评估确定修复次序

在该流域的地貌状况评估中，主要采取自下而上、基于专家判断的半定量方法。基于对各个河段类型及其演变轨迹的分析，利用规范、统一的表格保证评价过程的透明性。通过对14个二

级指标设置问题，针对每个河段由专家来判定每个问题的“是/否”，依据统计规则(如河道属性的4个指标中存在3个“是”则等级为“良好”)形成该河段地貌状况的最终评价，并划分为“良好、中等、较差”的等级。通过对各个河段进行判断，得到整个流域尺度的地貌状况评价结果，进而应用修复潜力评估决策树，确定流域尺度的修复策略与优先次序(图9)。其中，由于Galena地区附近的河段作为连接上下游的关键河段，同时也受到矿产开采的严重影响，因此被定义为“战略河段”，是需要优先修复的区域。

4.3 河段尺度：定义演变轨迹与修复目标

在美国MFJDW流域中最重要的河段变化轨迹是中低曲度砾石河床河流和基岩控制的不连续河漫滩河流2种河流样式(图10-1)。流域尺度的修复潜力评估结果显示，这些河段拥有最高的河道调整潜力，对干扰有着较高的敏感性，并且面临着最大的土地利用压力。

其中，Middle Fork John Day河作为该流域的主干流，由于历史上的放牧和工程需求，部分河段被截弯取直，由不受限的蜿蜒型河流退化为部分受限、基岩限制的平面形态。通过演变轨迹分析可以定义该河段在演变路径(图10-1)中的位置为D，该路径上地貌状况良好的河段(如A、F)提供了生态修复的参考目标，进而制定具体的行动计划，如重新连接河道与河漫滩、重塑水文地貌特征、河岸带本土植物的重新引入及营造多样的生物栖息地，并重新引入强度适宜的放牧活动。修复行动的目的并非是实现最终的修复状态，而是基于河流样式与地貌单元的重塑，将河道的运作调整到原轨迹，然后通过将时间维度纳入修复过程的设计，利用干扰性的偶然事件，如洪水、干旱和火灾等，在若干年后最终实现河流景观自身的适应与调整(图10-2)。

5 结语：理解“自然过程”，重塑河流景观

国内外河流生态修复行动与实践经历了从河流形态修复到功能修复，以及从单一的水质修复到水生态、水景观整体修复的过程。

河流水文地貌的分类与特征化正日益被视为跨学科河流生态系统研究的综合方法，通过理解河流的形式与过程支撑河流的可持续修复管理。河流样式框架整合了河流形式与过程的3个核心驱动因素：地质学、水文学和生物学，旨在提供

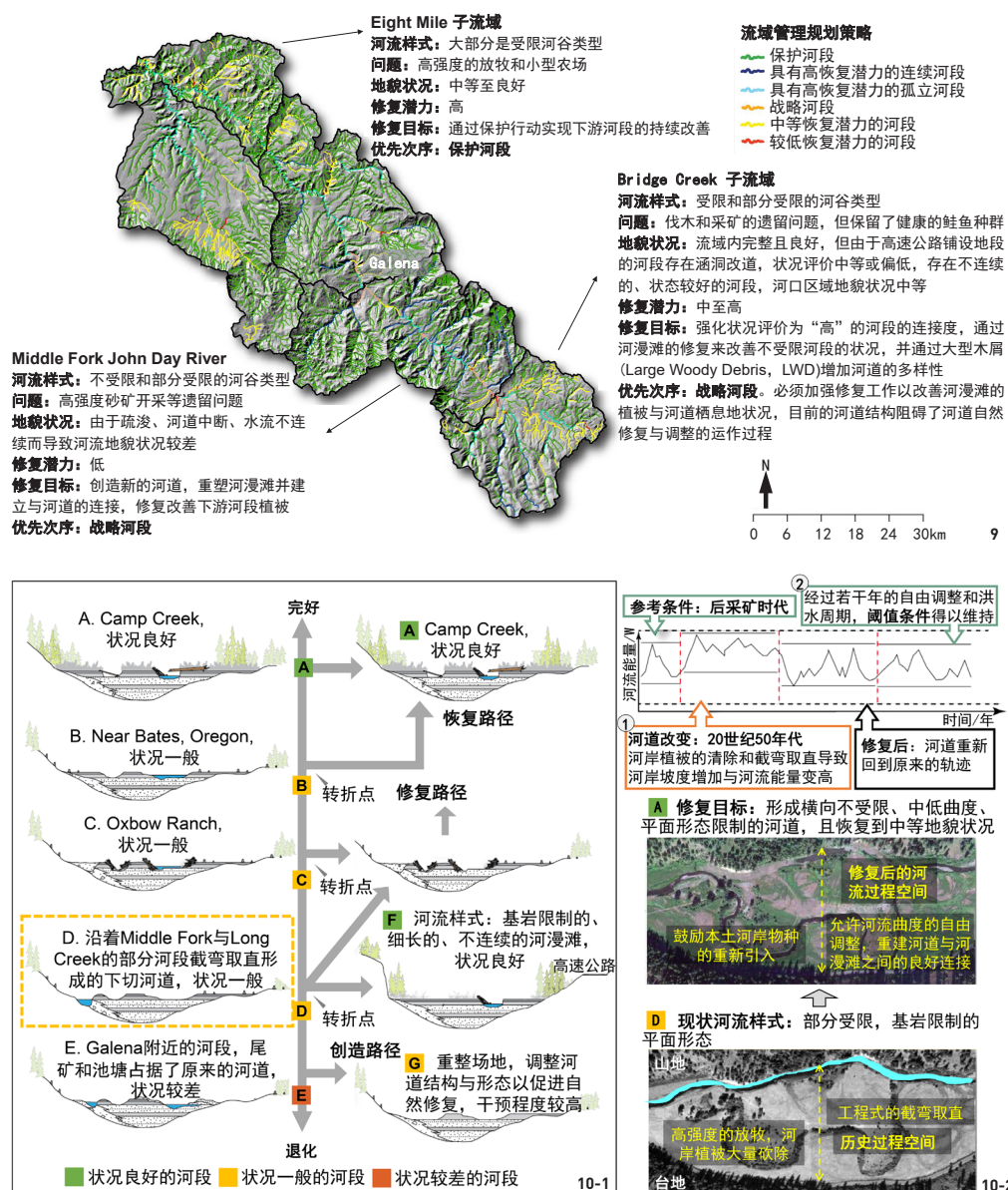


图9 美国MFJDW流域尺度修复与管理的优先次序(作者改绘自参考文献[24])

图10 代表性河段的演变轨迹与修复策略(作者改绘自参考文献[24])

一个多尺度、多层级的空间框架，系统地描述与解释河流的形态-过程关系及其原因，从而超越地方层面的生态修复与整治行动，在流域尺度的整体视角下确定河流修复管理的策略与优先次序，在河段尺度支撑河流修复路径的设计。

河流样式框架并非一个固定的程序，而是提供了一个系统、开放式的工具包，可以在应用过程中根据各地域的情况与需求进行调整。针对重要流域，可通过4个阶段的完整应用为综合流域管理提供系统的科学支撑。在难以完整应用的区域，针对特定河段，河流样式与地貌单元分类方法、地貌状况评估及演变轨迹亦可为修复行动的规划设计提供逻辑清晰的分析工具。通过强化设

计师或管理人员对河流水文地貌特征和运作过程的理解，将有助于推动河流修复目标从注重河道形式和静态生境的重塑，转变为从源头(即驱动河流运作的过程)解决生态系统问题，并在各种随机扰动(如台风、干旱、洪水等)的动态适应过程中持续学习。

但同时应意识到，人类世时代纯粹的“自然”河流早已不复存在，在遵循河流自然过程与特征的前提下，如何超越“自然修复”方法、更好地整合人们的功能需求，尤其是地方社区的诉求，是河流景观修复需要解决的关键问题。河流景观的4个维度意味着我们应该认识到社会生态价值观与水文地貌特征之间的本质关联，河流景

观的重塑需要风景园林师、生态学家、水文学家和地理学家的跨学科协作，河流样式框架成果将提供一个关于流域与河流的知识数据库，以支撑多学科、多部门、多元利益相关者的沟通与积极参与，理解河流过程的随机性并接受未来结果的不确定性，从而对河流景观的修复目标达成共识，共促修复行动的推进与实施，以应对气候变化与城市化进程中错综复杂的河流景观问题。

参考文献:

- [1] Biron P M, Buffin-Bélanger T, Larocque M, et al. Freedom Space for Rivers: A Sustainable Management Approach to Enhance River Resilience[J]. *Environmental Management*, 2014, 54(5): 1056-1073.
- [2] Angelopoulos N V, Cowx I G, Buijse A D. Integrated planning framework for successful river restoration projects: Upscaling lessons learnt from European case studies[J]. *Environmental Science & Policy*, 2017, 76: 12-22.
- [3] Beechie T J, Sear D A, Olden J D, et al. Process-based principles for restoring river ecosystems[J]. *Bioscience*, 2010, 60: 209-222.
- [4] 赵银军, 丁爱中. 河流地貌多样性内涵、分类及其主要修复内容[J]. *水电能源科学*, 2014, 32(3): 167-170.
- [5] 张晶, 于子斌, 董哲仁, 等. 河流地貌单元研究综述[J]. *水生态学杂志*, 2021, 42(5): 10-18.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 李青. 基于河流地貌学的新河道地形设计研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.
- [9] 苟翡翠, 周燕. 近郊型河流景观的生态修复: 以德国德莱萨姆河为例[J]. *中国园林*, 2018, 34(8): 33-38.
- [10] O'Brien G R, Wheaton J, Fryirs K, et al. A geomorphic assessment to inform strategic stream restoration planning in the Middle Fork John Day Watershed, Oregon, USA[J]. *Journal of Maps*, 2017, 13(2): 369-381.
- [11] Ciotti D, Mckee J, Pope K, et al. Design Criteria for Process-Based Restoration of Fluvial Systems[J]. *BioScience*, 2021, 71(8): 831-845.
- [12] 杨锐, 曹越. “再野化”: 山水林田湖草生态保护修复的新思路[J]. *生态学报*, 2019, 39(23): 8763-8770.
- [13] 谢雨婷, 林晔. 城市河流景观的自然化修复: 以慕尼黑“伊萨河计划”为例[J]. *中国园林*, 2015, 31(1): 55-59.
- [14] Warner J, Buuren A, Edelenbos J. *Making Space for the River: Governance Experiences with Multifunctional River Flood Management in the US and Europe*[M]. London: IWA Publishing, 2012: 187.
- [15] Polvi L E, Lind L, Persson H, et al. Facets and scales in river restoration: Nestedness and interdependence of hydrological, geomorphic, ecological, and biogeochemical processes[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 265: 110288.
- [16] Murphy B M. *Assessing and Managing Urban Riverscapes: Integrating Physical Processes and Social-Ecological Values*[D]. Fort Collins, Colorado: Colorado State University, 2022.
- [17] Peters B, van Buuren M, van den Herik K, et al. The Smart Rivers approach: Spatial quality in flood protection and floodplain restoration projects based on river DNA[J]. *WIREs Water*, 2021, 8(3): e1511.
- [18] Brierley G, Fryirs K. Truths of the Riverscape: Moving beyond command-and-control to geomorphologically informed nature-based river management[J]. *Geoscience Letters*, 2022, 9(14): 1-26.
- [19] Belletti B, Rinaldi M, Buijse A D, et al. A review of assessment methods for river hydromorphology [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(5): 2079-2100.
- [20] Brierley G, Fryirs K. *Geomorphology and River Management: Application of the River Styles Framework*[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 2005: 241-242.
- [21] Rinaldi M, Gurnell A, Belletti B, et al. Final report on methods, models, tools to assess the hydromorphology of rivers, Deliverable 6.2, Part 1 of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management)[R]. European Commission, 2015.
- [22] Brierley G, Fryirs K, Outhet D, et al. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia[J]. *Applied Geography*, 2002, 22(1): 91-122.
- [23] Gurnell A M, Rinaldi M, Barbara B, et al. A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management[J]. *Aquatic Sciences*, 2016, 78: 1-16.
- [24] O'Brien G, Wheaton J. River Styles Report for the Middle Fork John Day Watershed, Oregon[R]. Logan: Ecogeomorphology & Topographic Analysis Lab, 2015.
- [25] Brierley G, Fryirs K, Carola C, et al. Reading the landscape: Integrating the theory and practice of geomorphology to develop place-based understandings of river systems[J]. *Progress in Physical Geography*, 2013, 37(5): 601-621.
- [26] Thomson J R, Taylor M P, Fryirs K, et al. A geomorphological framework for river characterization and habitat assessment[J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2001, 11(5): 373-389.
- [27] Belletti B, Rinaldi M, Bussettini M, et al. Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units[J]. *Geomorphology*, 2017, 283: 143-157.
- [28] Mendonça B C C D, Mao L, Belletti B. Spatial scale determines how the morphological diversity relates with river biological diversity. Evidence from a mountain river in the central Chilean Andes[J]. *Geomorphology*, 2021, 372: 107447.
- [29] Rinaldi M, Belletti B, Comiti F, et al. The Geomorphic Units survey and classification System (GUS), Deliverable 6.2, Part 4 of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management)[R]. European Commission, 2015.
- [30] Fryirs K. Developing and using geomorphic condition assessments for river rehabilitation planning, implementation and monitoring[J]. *WIREs Water*, 2015, 2(6): 649-667.
- [31] Rinaldi M, Surian N, Comiti F, et al. Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI)[R]. Rome: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2015.
- [32] Moshe F, Sternberg M, Ratner T, et al. Customizing the Morphological Quality Index (MQI) to evaluate streams in Eastern-Mediterranean ecosystems[J]. *Environmental Challenges*, 2022, 9(10): 100612.
- [33] Fryirs K, Brierley G. Assessing the geomorphic recovery potential of rivers: forecasting future trajectories of adjustment for use in management[J]. *WIREs Water*, 2016, 3(5): 727-748.
- [34] Williams R, Bangen S, Gillies E, et al. Let the river erode! Enabling lateral migration increases geomorphic unit diversity[J]. *Science of The Total Environment*, 2020, 715: 136817.

(编辑/刘欣雅)

作者简介:

鲍梓婷

1987年生/女/山东成武人/博士/华南理工大学建筑学院副教授, 硕士生导师/亚热带建筑与城市科学国家重点实验室/研究方向为地景规划与生态修复、景观特征评估(广州 510641)

张婷婷

1997年生/女/四川绵阳人/华南理工大学建筑学院风景园林专业在读硕士研究生/研究方向为河流景观特征评估(广州 510641)

(荷)史蒂芬·奈豪斯(Steffen Nijhuis)

1976年生/男/荷兰代尔夫特理工大学建筑学院城市化系研究负责人, 副教授/研究方向为区域景观设计、韧性海岸景观(代尔夫特 2628 BL)

张皓翔

1992年生/男/山西太原人/荷兰代尔夫特理工大学建筑学院城市化系在读博士研究生/研究方向为蓝绿基础设施与健康景观(代尔夫特 2628 BL)