

# 河流治理与生态恢复的水动力模拟与优化策略

詹丽

景德镇市水利规划设计院, 江西 景德镇 333000

**摘要：**随着人类活动的不断发展, 河流生态环境面临着日益严重的威胁, 为了实现河流的可持续发展和生态恢复, 水动力模拟与优化策略作为一种重要手段得到了广泛关注。在水动力模拟技术方面, 本文详细介绍了基于 Navier-Stokes 方程的流体动力学模拟方法, 强调其在分析河流水动力特性方面的重要作用。在河流水动力特性分析方面, 本文重点探讨了水流速度、流向分布以及水位变化等对河流生态系统的影响。在生态环境评估方面, 本文讨论了水质模拟、底质输移模拟和生态栖息地分布模拟的重要性。这些模拟结果能够帮助我们深入了解河流水质、底质淤积以及生物多样性的状况, 为制定生态修复策略提供科学依据。最后, 本文强调了水动力模拟与优化策略相结合的重要性。

**关键词：**河流治理; 生态恢复; 水动力模拟

## Hydrodynamic Simulation and Optimization Strategies for River Management and Ecological Restoration

Zhan Li

Jingdezhen Water Resources Planning and Design Institute, Jiangxi, Jingdezhen 333000

**Abstract:** With the continuous development of human activities, the river ecological environment is facing increasingly serious threats. In order to realize the sustainable development and ecological restoration of rivers, hydrodynamic simulation and optimization strategy has been widely concerned as an important means. In terms of hydrodynamic simulation technology, this paper introduces the hydrodynamic simulation method in detail based on Navier-Stokes equations, emphasizing its important role in analyzing the hydrodynamic characteristics of rivers. In terms of river hydrodynamic characterization, this paper focuses on the impacts of water velocity, flow distribution and water level changes on river ecosystems. In terms of ecological assessment, this paper discusses the importance of water quality simulation, substrate transport simulation and ecological habitat distribution simulation. The results of these simulations can help us to understand the water quality, substrate siltation and biodiversity of the river, and provide a scientific basis for the development of ecological restoration strategies. Finally, this paper emphasizes the importance of combining hydrodynamic simulation with optimization strategies.

**Key words:** river management; ecological restoration; hydrodynamic simulation

### 一、前言

随着城市化和工业化的迅速发展, 人类活动对河流生态环境造成了日益严重的影响, 导致水体污染、生态系统破坏以及生物多样性减少等问题愈发凸显。为了实现河流的可持续发展和生态恢复, 水动力模拟与优化策略作为一种重要手段引起了广泛关注。这些方法通过模拟河流水动力特性、水质变化以及生态环境响应, 为制定科学的河流治理与生态恢复策略提供了关键信息。

### 二、水动力模拟技术概述

#### (一) 数值模拟方法

数值模拟技术在水动力研究中扮演着关键角色, 其中基于 Navier-Stokes 方程的流体动力学模拟是一种广泛应用的方法。

Navier-Stokes 方程是描述流体运动的基本方程, 包括质量守恒方程、动量守恒方程和能量守恒方程, 通过求解这些方程, 可以获得流体系统中的各种物理量分布, 如流速、压力和温度等。在河流治理与生态恢复中, 通过对 Navier-Stokes 方程进行数值求解, 可以模拟河流中的水流运动和水动力特性, 为科学决策提供重要参考<sup>[1]</sup>。

#### (二) 数值模型选择

流域尺度模型是基于整个流域水文特性的模拟, 将流域内的河流、湖泊、降雨等因素综合考虑, 适用于研究流域尺度上的水资源分配、洪水预测等问题。这种模型通常采用分布式参数化, 可以模拟出流域内的水动态变化, 但对于具体的河流形态和细节的水流特性可能模拟精度有限。

河段尺度模型则更专注于特定河段内的水流运动, 能够更准确地模拟河道内的水动力特性和泥沙输移过程。通过将河道划分

为一系列网格单元，模拟各个网格内的水流运动，这种模型可以更精细地分析河流的流速、水位和泥沙分布等变化。它特别适用于研究河道工程设计、河床变化和水生态环境恢复等问题。

在实际应用中，模型选择应根据研究目的和可获得的数据来确定。如果关注流域整体水资源管理和洪水风险评估，流域尺度模型可能更合适。而如果需要深入了解具体河段内的水动力过程，优选河段尺度模型。此外，两种模型在实际操作中也可以结合使用，通过不同尺度的模拟结果进行验证和校准，以获得更全面的认识。

### （三）模型参数与数据需求

首先，地形数据是进行水动力模拟的基础之一。高精度的数字高程模型（Digital Elevation Model，简称DEM）能够提供河道和流域的地形信息，包括河流的坡度、高程变化以及潜在的洪水威胁区域。这些地形数据将被用于生成模拟区域的网格结构，并在模拟过程中影响水流的流向和速度分布。其次，水位和流量数据也是模型参数的重要组成部分。实时或历史水位、流量数据能够帮助校准模型，确保模拟结果与实际情况相符。这些数据不仅可以用于设置模型的初始条件和边界条件，还可以用于验证模型的准确性和稳定性。通过与实际观测数据的比较，可以调整模型参数，提高模拟结果的可信度。最后，河床和河道结构的信息也是水动力模拟中不可或缺的一部分。包括河道横断面信息、底质类型以及河流的流向等。这些信息将影响模拟中的摩擦、阻力以及水流流向等参数的设定，从而影响模拟的真实性和准确性<sup>[2]</sup>。

## 三、河流水动力特性分析

### （一）水流速度与流向分布

流速剖面分析是一种常用的方法，它通过河道的纵向和横向剖面，展示出水流速度随着水深变化的趋势。这有助于我们了解水流的垂向分布情况，如水流表面、中层和底层的流速差异。流速剖面分析还可以揭示出水流的最大速度位置和最大速度的高度，这些信息对于设计水利工程、评估河床变化以及预测洪水风险都具有重要参考价值。

另一个重要的水动力特性是涡流分析。涡流是水流中形成的旋涡状流动，通常出现在河道弯曲、岛屿背后或者人工障碍物周围。涡流的存在会影响水流的流速分布和底质运动，对于生态栖息地和河道结构的稳定性都有影响。通过模拟和分析涡流的产生和发展过程，可以更好地理解涡流对水流运动和泥沙输移的影响，为河流生态恢复和治理提供科学依据<sup>[3]</sup>。

### （二）水位变化与波动分析

在洪水期间，河流水位迅速上升，可能导致洪水淹没、堤防破坏和生态栖息地损失。水位变化和波动分析可以帮助我们预测洪水的发展趋势、范围和可能影响区域。通过模拟不同洪水情景，可以评估洪水对河流周边地区的风险，为应急响应和防洪措施的制定提供科学依据。

相比之下，在枯水期，水位可能降低到极低水平，影响河流的水生态环境和生物多样性。水位变化与波动分析可以帮助我们

了解枯水期的水位变化幅度以及对河流生态系统的影响。通过模拟水位下降过程，可以预测可能的河床暴露和栖息地破坏情况，为生态保护和栖息地改善提供参考<sup>[4]</sup>。

## 四、河流生态环境评估

### （一）水质模拟

水质模拟是评估河流生态环境的关键工具，通过模拟河流中污染物的扩散过程和溶解氧的分布情况，我们能够全面了解水体的质量状况，为水生生物的健康和生态系统的稳定提供准确的数据支持。

污染物扩散模拟能够帮助我们预测污染物在水流中的传播轨迹和浓度分布。通过考虑污染源的位置、污染物的特性以及水流运动，模拟结果可以用于分析污染物可能对河流水质产生的影响。这对于评估水体污染程度、识别污染源、制定污染防治措施都具有重要作用。另外，溶解氧是水体中维持生态平衡所必需的重要指标，水质模拟能够模拟出不同水流速度和水深下的溶解氧分布情况，帮助我们了解水体氧气供应的情况，为生态系统的健康运行提供支持。

### （二）底质输移模拟

泥沙淤积模拟可以帮助预测不同水位和流速下的泥沙淤积情况。随着水流减速，悬浮的泥沙颗粒会逐渐沉积到河床上，导致河床高程和形态的变化。通过模拟不同情境下的泥沙淤积，我们可以预测可能出现的河床变化和淤积区域，为河床管理和栖息地保护提供科学依据。另一方面，悬浮物输移模拟关注的是水体中悬浮物颗粒的运动和分布。悬浮物可以影响水体透明度，进而影响水生生物的生存环境。通过模拟不同流速和悬浮物浓度条件下的输移过程，可以了解悬浮物在水流中的分布情况，帮助我们判断悬浮物对水体透明度的影响程度，从而为生态系统的保护和恢复提供数据支持<sup>[5]</sup>。

### （三）生态栖息地分布模拟

生态栖息地分布模拟在河流生态环境评估中扮演着重要角色，通过模拟植被分布和预测生物多样性，我们能够了解生态系统的健康状况、生物群落的分布以及植被对生态环境的影响，为河流生态恢复和保护提供科学依据。

植被分布模拟可以帮助我们预测不同水位和生境条件下的植被分布情况。植被在河流生态系统中起到了稳定河岸、提供栖息地和氧气、净化水体等重要作用。通过模拟植被的扩展和变化，可以了解不同植被类型的分布、植被与水流相互作用的模式，为保护和增强生态系统提供指导<sup>[6]</sup>。

## 五、河流治理与生态恢复优化策略

### （一）生态流量保障

生态需水量是指维持河流生态系统健康的最低水流量。通过模拟水动力特性，我们可以确定不同季节、不同区域所需的生态需水量。在流量调度策略中，将这些生态需水量作为重要参考，

确保在水文条件允许的情况下,有足够的水流注入河流,以满足生态系统的生存和繁衍需求。这种基于生态需水量的流量调度策略有助于解决过去流量管理中忽视生态需求的问题。通过考虑生态需水量,我们可以减少过度抽水和流量调度对生态系统的不利影响,维护水生生物栖息地和生态连通性<sup>[7]</sup>。

## (二) 河道整治与水利设施建设

堤防的优化布局能够平衡河流防洪和生态保护的需求。通过模拟不同洪水情景下的水位变化,我们可以评估不同堤防位置和高度对洪水威胁的减缓程度。在优化布局中,要充分考虑洪水扩散、堤防的稳定性和与生态系统的交互影响,以确保洪水防治和生态保护两者兼顾。

另一方面,堰闸的布局也需要综合考虑水流调节和生态保护。通过模拟水位变化和流量分布,可以确定堰闸的最佳位置和开度,以实现流量的有效控制和水生生物的通行。优化堰闸的布局不仅能够满足水资源调度需求,还能够减少生态系统的干扰,保护洄游鱼类和其他水生生物的迁徙<sup>[8]</sup>。

## (三) 河道生态修复

通过模拟植被分布和栖息地变化,我们能够优化生态修复策略,促进河道生态系统的健康发展。

植被恢复是改善河流生态环境的重要途径之一。通过模拟不同植被类型的分布和扩展,我们可以预测植被恢复对水质净化、土壤保持和栖息地提供的好处。优化植被恢复策略需要综合考虑不同植被类型的生长条件、水流对植被的影响以及与其他生态组分的关系,以实现最佳的生态效益。同时,栖息地改善是帮助河流生态系统恢复的关键措施。通过模拟不同栖息地类型的变化和生物多样性的响应,我们可以评估栖息地改善对生态系统结构和

功能的影响。优化栖息地改善策略需要考虑不同物种的生态需求、栖息地的空间分布以及人类活动的影响,以实现生态系统的稳定和恢复<sup>[9]</sup>。

## (四) 河流水污染治理

通过模拟污染物扩散和非点源污染传播,我们能够优化污染治理策略,实现河流水环境的持续改善。

污水处理是防止和减轻水体污染的关键环节之一。通过模拟不同污水排放情景下的污染物扩散过程,我们可以评估污水对水体水质的影响,为污水处理厂的选址和设计提供科学依据。优化污水处理策略需要考虑不同污染物类型的特性、水流运动以及排放标准的要求,以确保污水排放对河流水质的影响降到最低。另一方面,非点源污染控制也是水污染治理的重要内容。通过模拟不同场景下的土壤侵蚀、农业化肥和农药流失等过程,我们可以评估不同非点源污染控制措施的效果,为农田和城市等不同区域的污染控制提供科学依据。优化非点源污染控制策略需要综合考虑土地利用、气候条件以及不同措施的适用性,以实现污染的最小化和水体生态环境的保护<sup>[10]</sup>。

## 六、结语

综上所述,水动力模拟与优化策略在河流治理与生态恢复中具有重要作用,为维护河流生态系统的稳定性、保护生物多样性以及实现人与自然和谐共存提供了有力手段。然而,需要注意的是,不同河流的特点和治理目标可能存在差异,因此在应用水动力模拟和优化策略时需要充分考虑具体情况,结合多学科的合作,共同推动河流治理与生态恢复工作取得更为显著的成果。

## 参考文献:

- [1] 陈成成. 基于 MIKE21 的城市河流水动力水质模拟研究 [D]. 西安理工大学, 2020.
- [2] 王树涛. 浅谈河流、海岸水动力数值模拟应用 [J]. 工程与建设, 2019, 33(01): 13-16.
- [3] 韩涛. 秦皇岛河流-海岸水动力和水质耦合模拟分析 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018, (22): 162.
- [4] 刘融融, 查红, 王琪. 沿海河流水动力模型中堰闸孔流模拟技术分析 [J]. 治淮, 2018, (03): 25-26.
- [5] 毛蒙玺, 黄惠明, 王义刚, 华夏. 网格尺寸对河流水动力数值模拟的影响 [J]. 水运工程, 2018, (03): 135-142.
- [6] 顾杰, 胡成飞, 李正尧, 匡翠萍, 张永丰. 秦皇岛河流-海岸水动力和水质耦合模拟分析 [J]. 海洋科学, 2017, 41(02): 1-11.
- [7] 张文时. 基于 EFDC 模型的山地河流水动力水质模拟 [D]. 重庆大学, 2014.
- [8] 李勇, 吴娅明, 朱亮, 倪利晓, 谭秋群. 双浮床布设对河流水动力特性的影响模拟 [J]. 河海大学学报(自然科学版), 2014, 42(01): 7-12.
- [9] 王国卿. 河流演弯及其水动力过程的数值模拟研究 [D]. 天津大学, 2012.
- [10] 周华君. 河流海岸工程水动力数值模拟的基本过程 [J]. 重庆建筑大学学报, 2001, (05): 1-5+44.