

# 城市河流潜流带生态环境研究

李 燕<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

<sup>2</sup>陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

<sup>3</sup>自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

<sup>4</sup>陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

Email: liyan\_hhu@163.com

收稿日期: 2020年8月29日; 录用日期: 2020年9月18日; 发布日期: 2020年9月27日

---

## 摘 要

潜流带是城市河流及地下水相互补给的交互带, 是影响城市河流水生态环境质量、维持河流环境健康的重要驱动。本文介绍了城市河流潜流带定义与特性, 对比了潜流带研究方法及适用性, 分析了潜流带潜流交测定方法及不同尺度的影响因素, 并对潜流带潜流交换研究进行了展望, 为城市河流潜流带生态环境研究提供参考。

## 关键词

城市河流, 潜流带, 潜流交换

---

# Study on the Ecological Environment of the Undercurrent Zone of Urban Rivers

Yan Li<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Shaanxi Institute of Land Construction and Engineering Technology Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>3</sup>Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

<sup>4</sup>Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Email: liyan\_hhu@163.com

Received: Aug. 29<sup>th</sup>, 2020; accepted: Sep. 18<sup>th</sup>, 2020; published: Sep. 27<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

The phreatic zone is an interactive zone complemented by urban rivers and groundwater. It is an important driving force that affects the quality of urban river water ecological environment and maintains river environmental health. This article introduces the definition and characteristics of the underflow zone in urban rivers, compares the research methods and applicability of the underflow zone, analyzes the underflow measurement method of the underflow zone and the influencing factors of different scales, and looks forward to the research on the undercurrent exchange in the underflow zone, providing reference for the ecological environment research of the phreatic zone.

## Keywords

Urban River, Phreatic Zone, Hyporheic Exchange

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

良好的水文情势是城市河流生态环境健康的基础。随着城市社会经济的迅速发展,城市建成区河流形态及水文情势受人为活动影响巨大。过度的水利开发、景观建设、工程化保护使原本自然的河流径流紊乱、生态系统结构破坏、生态服务功能衰减,从而引发遇水则涝、环境均一化等问题。作为河流与地下水相互作用的桥梁和枢纽,潜流带是河流水量交换、溶质迁移、新城代谢以及污染物富集的主要区域,也是生物和非生物化学转化的活跃地带,微生物、大型无脊椎动物和其他生物的避难和居住的重要场所 [1] [2]。水交换是污染物交换的主要方式,对河流与地下水水质及其相关联的生态系统健康都会产生重要的影响。污染物进入城市河流,影响河流水质、水生态环境的同时,潜流带沉积物中的污染物也随潜流交换进入上层水体中产生“二次污染” [3]。研究城市河流潜流带污染物运移特性及其影响因素,探析潜流带研究手段和方法,对城市河流污染防治、环境保护以及生态服务功能维持有重要意义。

## 2. 城市河流潜流带

河流潜流带为河床级河岸水分饱和带,潜流带上覆水体与沉积物层间隙水相互交换,形成一定的水流过渡带。地表水与地下水在潜流带交换的同时,通过一系列物理、化学、生物、生化/物化作用,促进水体中污染物迁移扩散、新陈代谢、污染物储存与转化,促进城市河流水体自净。潜流带在水生生态系统中具有极其重要的功能,潜流带中的生物、化学和水力特性以及动力学是许多研究的重点。

潜流带的水交换影响着污染物在沉积物多孔介质中的迁移转化,由于潜流带水交换的变化特性,不仅使得污染物在间隙水中的迁移发生变化,而且还影响着污染物在渗流路径和沉积物之间的转化 [4]。通过潜流带的自然净化,可以去除河流氮污染。在这个过程中,含硝酸盐的地表水或地下水进入潜流带后会产生相应的生物地球化学过程,并且通过吸附、硝化和反硝化或通过异化还原作用去除 [5]。潜流带活跃的物理、化学过程和生物活动能够强烈的影响河流-沉积物-地下水系统的水量交换、溶质迁移以及污染物储存等重要的生物地球化学过程。

### 3. 河流潜流带研究方法

河流潜流带研究主要通过野外监测、室内试验和数值模拟等方法实现。其中,野外监测法利用惰性化学试剂或水温等典型参照指标作为示踪参数,研究河流潜流带水量交换强度、水文地质参数以及水生生物栖息地演变等(表 1)。野外监测法是河流潜流带参数测定、水量交换、污染物运移最为直接、有效的方法。

**Table 1.** Analysis of field monitoring methods for phreatic zone

**表 1.** 潜流带野外监测方法分析

方法	内容	应用特性
实测法	最直接的方法,利用压力计、渗透计直接监测,或直接抽水	水文地质参数(水头、渗透系数)、潜流带水量交换量(流速、流量、径流)、溶解氧、水生生物栖息
示踪法	利用示踪剂(惰性试剂盐)或参照指标(氮素、水温等)	潜流交换量、速率、生物化学反应

基于野外监测与室内试验数据建立数学模型,定量模拟潜流带物质迁移转化规律,预测污染物扩散方向及影响范围和程度。数学模型主要有瞬时存储模型和孔隙介质模型(表 2)。河流潜流带的物质运移设计多介质、多尺度、多因素以及大量数据,近来数字仿真、GIS、网络技术、3D 打印等现代技术与传统的数值模拟、室内试验、野外监测结合应用,使潜流带研究更直观、高效,为河流潜流带生态系统维持研究提供有效指导。

**Table 2.** Analysis of characteristics of mathematical model of phreatic zone

**表 2.** 潜流带数学模型特点分析

模型	模型建立	应用特征	空间尺度
孔隙介质模型	潜流带概化为瞬时存储介质,耦合扩散方程与质量通量方程建模	非恒定流,模拟不同时空条件下水力交换和物质扩散	一维、二维、三维[6]
瞬时存储模型	潜流交换概化为连续介质内水流,二维数学模型修正达西定律建模	地下水、地表水、泥沙、污染物运移	二维、三维[7]

室内实验多为水槽模拟,选择不同粒径的砂、砾石等作为介质模拟河床潜流带形态,研究不同水力坡度条件下潜流带的物质运移规律。室内实验常与野外监测和数值模拟方法相结合应用。

综上,野外实测与示踪法虽能直接对研究区域水量交换、溶质运移以及关键参数进行监测,但耗时耗力,且对复杂野外环境人为监测较困难;相比室内模拟实验可在一定条件下最大程度还原野外环境,并进行实测,该方法往往占地大、耗时长。而数学模型可较好的模拟潜流带物质迁移转化规律,并能对其运移趋势及影响范围等进行模拟预测,往往模拟精度越高其所需参数越多,而大多参数需实验获取。实际研究中常通过野外监测、室内实验和数学模型较差综合应用来实现研究目标。

### 4. 城市河流潜流带潜流分析

#### 4.1. 潜流带潜流交换影响因素

城市河流潜流带水力交换是温度、水质、水生态环境质量等变化的重要驱动力。潜流带水力交换通过上升流与下降流实现,水力交换形式、交换强度、持续时间等主要受河流流域城市生产、河道特性以及潜流带自身性质的影响[8]。如表 3 所示,潜流带沉积物的粒径级配直接决定其渗透性,进而影响河流-地下水间的水力联系以及水量交换强度、污染物滞留与扩散速率。

河流是城市发展的命脉，也是城市宜居人居环境建设的重要前提。在城市发展过程中，对建成区河道形态进行工程化改造、调控径流、建设水力工程设施等扰动河流自然生态环境，以及城市生活生产产生的污染物排入河流等人为活动直接影响河流流域水力交换与连通性及流域生态环境质量，进而影响城市河流潜流带的潜流交换及生态环境健康，并且高强度的水资源开发致使河流生态服务功能脆弱。

**Table 3.** Analysis of influencing factors of underflow exchange in the underflow zone of urban rivers  
**表 3.** 城市河流潜流带潜流交换影响因素分析

分类	影响因素	表征参数
潜流带	沉积物粒径分布	渗透性、水力连通性、溶解氧、污染物富集程度、微生物活性
城市河流	河流流量、流速、径流、河道连通性、河床形态、水利工程密度	水力交换强度、新陈代谢强度及类型
河流流域	地表水与地下水补给作用	水力交换方向、交换形式

#### 4.2. 潜流带潜流交换测定

潜流带潜流交换测定方法众多，现有水力梯度法、抽水试验法、压力计法、渗流仪法、温度梯度法、同位素示踪法以及遥感技术等。其中，温度测定或热示踪模拟是潜流交换测定热点，可较好的量化河流及地下水交互补给过程及补给方向、水量交换通量。

潜流交换呈现明显的时间性空间性。在时间上，不同水文时期潜流交换方式、交换方向差异显著；潜流交换在局部河段及流域范围内也存在明显的空间变异性。为了定量模拟分析潜流带水力交换时空动态变化情况，潜流交换数值模型发展迅速。如：Mod Flow 耦合 MT3D 可较好的模拟潜流交换过程中溶质扩散运移的空间变化情况；温控模型 VS2DH 通过模拟潜流带温度时空变化情况来反应潜流交换变化。

#### 5. 展望

河流是宜居城市的灵魂，是城市重要的水资源、环境资源，城市河流潜流带水力交换、污染物输运以及环境健康是城市河流生态健康的重要前提。目前，城市河流潜流带研究主要侧重于潜流交换机理及其控制因素、污染物交换运移机制等方面，在研究手段和方法方面可利用数据挖掘、统计分析等定量研究潜流交换的时空变异性；重点关注城市发展过程中河流潜流带环境对河流形态、河床性质变化的响应机制；重视潜流带潜流交换变异的时间和空间尺度效应，建立潜流带-河流-流域潜流交换响应机制；综合多学科、多视角，丰富研究手段与方法。

#### 参考文献

- [1] 闫玉琴. 泾河潜流带氮迁移转化规律及其关键过程影响因素[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [2] Harvey, J.W., Böhlke, J.K., Voytek, M.A., et al. (2013) Hyporheic Zone Denitrification: Controls on Effective Reaction Depth and Contribution to Whole-Stream Mass Balance. *Water Resources Research*, **49**, 6298-6316. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20492>
- [3] 金光球, 李凌. 河流中潜流交换研究进展[J]. 水科学进展, 2008, 19(2): 285-293.
- [4] 李运奔, 匡帅, 王臻宇, 等. 东巢湖沉积物——水界面氮、磷、氧迁移特征及意义[J]. 湖泊科学, 2020, 32(3): 688-700.
- [5] 李发东, 张妍, 李静. 地下水硝酸盐去除中反硝化微生物的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 110-118.
- [6] Poole, G.C. (2010) Stream Hydrogeomorphology as a Physical Science Basis for Advances in Stream Ecology. *Jour-*

*nal of the North American ethological Society*, **29**, 12-25. <https://doi.org/10.1899/08-070.1>

- [7] Sawyer, A.H., Cardenas, B.M. and Buttles, J. (2012) Hyporheic Temperature Dynamics and Heat Exchange near Channel-Spanning Logs. *Water Resources Research*, **48**, W01529. <https://doi.org/10.1029/2011WR011200>
- [8] 吴光东, 张潇, 鲁程鹏. 河流潜流带和潜流交换时空变异特征研究综述[J]. 人民长江, 2019, 50(10): 100-107.