

# 再生水补给型城市河道水生态环境质量评价的多维度分析

史佳雨 王鹤立\*

中国地质大学（北京）

DOI:10.12238/hwr.v8i11.5860

**[摘要]** 再生水补给型城市河道因再生水的连续输入而呈现出独特的生态特征,其水生态环境质量评价已成为城市水体管理和生态修复的关键课题。本文从水质参数、生态系统生物指标和水文特征等多维度出发,分析再生水补给对水生态环境的多重影响,并构建了一套基于综合指标的评价体系。该体系以水质、生态与水文特征为核心指标,通过权重赋值与动态监测实现对河道生态环境的精准评估,力图提供一种适应不同河道环境的有效评价框架。

**[关键词]** 再生水补给; 水生态环境; 多维度分析; 综合指标

**中图分类号:** X171.1 **文献标识码:** A

## Multi dimensional analysis of ecological environment quality evaluation of river water in reclaimed water supply type cities

Jiayu Shi Heli Wang\*

China University of Geosciences (Beijing)

**[Abstract]** Urban rivers supplied with recycled water exhibit unique ecological characteristics due to the continuous input of recycled water, and the evaluation of their water ecological environment quality has become a key issue in urban water management and ecological restoration. This article analyzes the multiple impacts of recycled water supply on the aquatic ecological environment from multiple perspectives such as water quality parameters, ecosystem biological indicators, and hydrological characteristics, and constructs an evaluation system based on comprehensive indicators. This system takes water quality, ecology, and hydrological characteristics as the core indicators, and achieves accurate evaluation of the river ecological environment through weight assignment and dynamic monitoring, aiming to provide an effective evaluation framework that adapts to different river environments.

**[Key words]** Reclaimed water supply; Water ecological environment; Multidimensional analysis; Comprehensive indicators

### 引言

随着城市化进程加速,再生水作为一种重要的水资源补给手段逐渐普及,尤其在水资源匮乏的地区,城市河道的再生水供给模式已成为保持水位、调节水质的有效措施。然而,再生水的长期输入也为河道水生态环境带来了前所未有的复杂挑战。再生水中氮、磷等营养物质含量较高,容易导致水体富营养化,诱发水质波动和生态系统失衡。

#### 1 再生水补给型城市河道水生态环境的现状分析

再生水补给型城市河道的水生态环境现状复杂,主要表现为水质的不稳定性 and 生态系统敏感性之间的冲突,这类水体通常依赖人工的再生水供给以维持流量和水位,但再生水的成分、来源多样,使得水质常带有外部干扰因素,难以达到自然河道的自净水准。例如,再生水中氮、磷等营养物质浓度偏高,往往容

易导致富营养化现象的发生,进而引发藻类迅速繁殖。虽然适量藻类能提高水体初级生产力,但当其过度繁殖后,水中溶解氧急剧下降,形成缺氧状态,影响鱼类和其他水生生物的生存,这种状况削弱了河道的生态功能,会在水体中沉积大量有机物,使污染问题在循环中逐渐累积,加剧治理难度。与此同时,生态系统的生物指标也显示出该类河道在再生水供给影响下的多样性降低,再生水带来的水化学环境变化,如pH值和重金属含量的波动,影响到河道中一些关键生物种群的生存。此类生物一旦消失,会直接导致整个食物链的不稳定,减少生物多样性。而且微生物群落结构的失衡,使得有害菌群更易占据主导地位,进一步破坏生态平衡。

#### 2 水质参数在环境质量评价中的关键作用

在评价再生水补给型城市河道水生态环境质量时,水质参

数如溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、总磷(TP)和总氮(TN)不仅是表征水体质量的重要数据,更是揭示水生态系统健康状况和污染负荷的核心指标,这些水质参数间复杂的相互关系直接影响着河道内的生态过程,并反映出水体的承载能力及其对人工补水的适应性,例如,溶解氧的浓度变化不仅决定了河道内好氧生物的生存条件,还可以通过氧化还原过程影响到重金属的形态及其毒性。在再生水补给的背景下,溶解氧的波动往往加剧,尤其在水体富营养化时,氧气消耗剧增,导致缺氧现象频发,抑制了生物群落的多样性,甚至引发厌氧环境下的毒性物质积累。

此外,COD、TP、TN等参数的动态变化进一步揭示了再生水补给型河道在营养元素负荷上的承受力及其对生态健康的威胁,由于再生水往往含有较高的氮、磷元素,当这类水源进入城市河道时,短期内会迅速推高这些营养盐的浓度,形成富营养化的土壤。由此引发的水体“暴藻”现象不仅耗尽氧气,造成水生动植物的窒息死亡,还使得水体中各类有机物和无机物沉积负荷加大,对后续治理带来不可逆的风险。

### 3 生态系统生物指标在水生态环境质量评价中的应用

生物指标可以通过生物多样性、物种丰度和关键物种的生理状态反映水体的生态健康,揭示再生水输入对自然生物群落的长效冲击。在这些指标中,水生无脊椎动物和浮游生物的群落结构尤为敏感和直观。河道中无脊椎动物的种类、数量及其生长状态往往直接体现了水体的污染水平与生态压力,例如,在受到再生水供给后,无脊椎动物的多样性往往减少,耐污物种如某些水蚤、蚊幼等逐渐占据主导,表明水体中氮、磷等营养物质增加、污染加剧。

在再生水补给的河道中,浮游植物往往受到营养物质的过量输入而快速繁殖,导致藻华等现象频发,这种变化通常表现在绿藻和蓝藻的迅速增殖,而硅藻等生物逐渐衰退。在这样的环境下,浮游植物的群落组成趋向单一,水体自净能力受到极大限制。通过浮游植物的群落结构分析,可以直观地感知水体富营养化的进程和程度。同时,藻类毒素的产生进一步影响到河道中更高营养级生物的健康,如鱼类和底栖动物的生存质量,直接影响了整个水体生态的平衡。

### 4 水文特征对水生态环境质量的影响评估

在再生水补给型城市河道中,水文特征对水生态环境质量的影响是多重的,流速、流量、水深、水温等水文参数决定了河道内的物理环境,还直接影响了水体自净能力和生态系统的平衡,例如,流速的变化往往在水体中产生分层现象,进而影响到溶解氧的分布,导致水体中的氧气无法有效地扩散到底层,增加了底栖生物的生存压力。再生水注入后,流速的波动加剧了河道的异质性,加重了污染物在水体中的沉积。高流速有助于污染物的稀释和扩散,但也容易扰动底泥,将沉积的污染物再次释放到水体中,形成二次污染。

随着再生水的不断补给,河道的水深和水温会出现不同程度的变化,直接影响水生生物的生理代谢和群落结构。水深的增

加在一定程度上改善了部分生物的栖息环境,然而,水深的波动也会导致水温的季节性变幅减小,进而对水生物的繁殖和生长造成不利影响。尤其是在再生水补给过程中,由于补水温度的差异,水温的剧烈波动常常会使敏感物种的适应力下降,降低了生物多样性。

### 5 基于综合指标的水生态环境质量评价体系构建

构建再生水补给型城市河道的水生态环境质量评价体系,需要以多维度的综合指标为核心,实现对河道生态环境的动态监测与全面评估,这一体系应涵盖水质、生态和水文特征等单项指标,还需将其有机整合,形成系统性的评价框架,以全面反映水生态环境的复杂性及变化趋势。水质参数如溶解氧、化学需氧量、氮磷浓度等直接表征水体的污染负荷,但单一的水质数据往往无法揭示整体生态系统的健康状况,因而在评价体系中,水质指标需要与生态系统生物指标结合,包括生物多样性指数、关键种群的生理状态等,从而捕捉水体生态平衡与生物链的完整性。在此基础上,流速、流量、水深等水文参数不仅影响水体的自净能力,还决定了污染物的扩散与沉积模式。通过水质、生态及水文参数的综合性指标,评价体系能够形成对河道环境的立体化认知,有效捕捉短期波动与长期趋势间的关联。此外,在数据分析上,应引入权重赋值和层次分析法,根据各类指标对水生态环境的贡献度进行合理权重分配,以提升体系的敏感性与科学性。例如,在富营养化高发的河段,增加氮、磷浓度指标的权重,而在流速影响显著的区域,则适当提升水文参数的评估比例。

### 6 再生水补给与污染控制技术的互动分析

在再生水补给型城市河道的水生态系统中,污染控制技术的应用不仅是降低污染浓度,还在于如何在微观与宏观层面实现污染物的有效转化、分解和稳定,比如,氮磷等富营养化元素是城市河道再生水补给中最难控的污染物成分,直接关系到藻类暴发和水体富营养化的发生风险。当前的污染控制技术对氮磷的移除采用多层次的耦合净化系统,在物理、化学和生物治理技术的交叉作用下进行。具体而言,化学絮凝与沉淀技术提供了直接的沉淀与分离,但并不代表氮磷的有效去除;这种过程中,污染物只是被转移至絮凝物中,最终可能在下游淤积,或在一定条件下重新溶解。因此,在这样的技术基础上需要增加高效微生物菌种,利用生物净化来解决絮凝与沉淀后废物的二次处理问题。这不仅避免了污染物在系统内的再循环,还能增强微生物群落的稳定性,实现动态、复合的水质净化效果。

在多层次的净化系统中,活性炭或砂滤层等物理手段和植物根系微生物群落的结合常被用于污染物的精细过滤,在这样的组合中,物理滤层起到阻隔与截留的作用,而植物和微生物的代谢功能将一部分污染物转化为无害形式,甚至合成为河道生态系统的营养成分。这种物理-生物净化复合手段具备一定的自适应调节能力,可以根据再生水中污染物浓度的波动实现负荷的自我调节,从而在不干扰河道原有生态平衡的前提下逐步优化水质。然而,这种净化手段的效率高度依赖于生物膜的稳定性

以及微生物群落的多样性与活性。因此,在河道补给方案设计中,技术的互动机制需要被有机地结合进系统,以保障水体净化过程的持续性与系统的生物活力。此外,河道环境的动态变化要求污染控制技术能够具有足够的灵活性与适应性,从而应对水质的复杂波动。

### 7 气候与季节性变化对水生态环境的影响研究

季节性降水模式,尤其在暴雨频繁的季节,显著影响河道的水质稳定性与污染物的积聚扩散,例如,雨季期间大量降水引发河道补给水体的急剧变化,水流湍急带动底泥悬浮、增加水体浊度,将本来沉积于底层的有害污染物重新释放到水体中。这一过程不仅影响水体的透明度,也直接影响水中微生物和浮游生物的生存环境,导致水体中溶解氧含量的急剧波动。在此背景下,藻类和浮游生物的生长条件瞬间改变,往往引发局部生态失衡。再者,气温的季节性变化对水生生态系统中的生物群落也有着深刻的影响,尤其是水温的波动显著影响微生物代谢效率及氮、磷等营养盐的循环。而且气温上升会加速水体中微生物的代谢活动,尤其在高温季节,氮磷等营养物质在微生物作用下快速分解并释放到水体中,诱发富营养化的风险。这种情况下,再生水补给的河道水体可能在短期内出现水华现象,加速水体富营养化进程,影响河道整体生态系统的健康和稳定。同时,水温的变化也直接影响生物的种群结构,尤其对敏感的底栖生物而言,高温不仅打破原有生态平衡,还可能导致敏感物种的大量死亡,从而降低生物多样性。因此,在评价再生水补给型河道的水生态环境质量时,必须将气候与季节变化对污染物的释放、沉积模式、营养物质循环的动态效应进行精细化分析,以准确预测和调控季节性影响对水生态环境的长期干扰,这一分析不仅是对自然现象的响应,更是为保护河道生态系统健康所采取的必要生态措施。

### 8 城市开发与土地利用方式对河道水质的间接影响

一方面,城市开发与土地利用模式的改变对再生水补给型城市河道水质的影响通常是隐蔽而广泛的,尤其是在土地硬化率增加的背景下,暴雨径流携带的污染物直接进入河道的情况频频发生。这一问题在高密度建筑区尤其明显,硬化地表截断了自然渗透路径,使得水体自然净化功能丧失,未经过滤的污水径流在雨季激增,导致大量氮磷等污染物累积。相较于自然环境中土壤的逐层渗透作用,城市硬化地表上的径流更迅速、直线化地将污染带入水体,增加了河道的富营养化风险。这不仅直接影

响水生植物的生长,还打破了微生物代谢平衡,使得浮游生物和水生植物的营养动态出现异变,逐步削弱河道的生态系统韧性。

另一方面,自然状态下的河岸带拥有丰富的植被结构,不仅能在水流与土地之间形成天然屏障,还可通过根系固定土壤、吸附营养盐和重金属,极大程度上抑制了污染物的扩散。然而,城市建设往往将这种缓冲地带简化或完全移除,裸露的土壤被破坏,微生态环境遭到改变。这种情况下,污染物会更加频繁地进入水体,进而产生累积效应。此外,河道沿岸的土地开发也会改变水流动力学特征,如水流的速度、流量和流向,使得一些污染物难以在河道内迅速扩散和稀释,形成局部污染源,最终加剧水体的局部恶化。

### 9 结语

综上所述,再生水补给型城市河道的生态环境质量评价体系构建不仅是水环境保护的需求,更是维持河道生态稳定的必要手段。本文以多维度的视角探讨了水质、生态和水文特征的不同作用机制,并提出了基于综合指标的评价框架。通过赋予各指标权重,体系能够精准识别不同河段的生态压力,为治理策略提供了可靠依据。未来,该体系应进一步优化,以增强其在多样化河道环境中的适应性与可操作性。

### [参考文献]

- [1]张振邦.生态文明背景下城市水系综合治理策略探讨:以福州市晋安区为例[J].湖南城市学院学报(自然科学版),2023,32(02):61-67.
- [2]杨珏婕,李广贺,张芳,等.城市河道生态环境质量评价方法研究[J].环境保护科学,2022,48(06):81-85+115.
- [3]陈亚一.生态修复技术在城市黑臭河道治理中的应用——以上海三友河为例[J].能源与节能,2021,(05):84-86.
- [4]闫志强,张扬,梁梦芽,等.试析水体生态修复技术在黑臭河道治理中的应用[J].科技创新导报,2021,18(14):82-84.
- [5]陈释元,任宏超,陈小娟.城市河道综合治理与水环境保护[J].决策探索(中),2020,(12):80-81.

### 作者简介:

史佳雨(2001--),女,汉族,河南信阳人,硕士在读,研究方向:水污染控制。

### \*通讯作者:

王鹤立(1970--),男,汉族,吉林长春人,博士,教授,研究方向:水处理技术。