

黑臭水体治理的生态修复技术与成效评估

江 晟¹ 施 瑞² 仲林玉³

1. 南通市海门区三星镇水利服务站 江苏 南通 226100

2. 南通市海门区海门街道水利服务站 江苏 南通 226100

3. 南通市海门市政有限公司 江苏 南通 226100

摘 要：消除黑臭水体，不仅直接关系到周遭居民的生活幸福指数，同时也是塑造积极城市形象的关键一环。随着人们生活质量的逐步提升，对环境的期待不再局限于消除污染的表象，而是更加追求生态系统的全面恢复和可持续发展。在这样的背景下，对于水体的治理和生态修复采取双管齐下的方法愈发显得重要。基于此，本文将针对黑臭水体治理的生态修复技术应用要点进行分析，同时对其成效进行相应评估，以供参考。

关键词：黑臭水体治理；生态修复技术；成效评估

前言：在改善黑臭水体中，河道的生态修复扮演着十分重要角色。在这一努力的新阶段，依旧面对一系列问题亟待解决。首先是河岸防护过度依赖硬化措施的问题，这在农村河道改造中尤为明显，往往简单模仿城市河道的治理措施；其次，很多河道底泥的清除工作缺少前期的详尽调查和科学评估，导致盲目施工；再者，很多修复项目更注重外在景观的打造，轻视生态系统的原生态恢复，未能充分理解并采取恰当的生态修复措施。面对提升环境质量、实现河湖生态系统全面恢复的共同目标，采取综合性的水体治理和生态修复策略，是十分重要的举措。

1 黑臭水体治理中护坡生态修复技术与成效评估

在河道生态修复项目中，水岸共治的理念至关重要。以往的河道防护措施，大多数情况下侧重于防洪安全，采用的是浆砌块石或混凝土等坚硬的材料建设护岸，这样的做法不仅削弱水中生物与陆生生物之间的互动，还破坏它们的栖息地，对河道的生态系统构成严重威胁^[1]。此外，这些灰色的硬结构护岸与自然景观格格不入，破坏水域与人类活动之间和谐共生的景象，同时也降低其景观价值。在生态修复和护岸建设中，必须准确理解和运用生态修复的原则，明确区分生态护岸修复技术和仅仅是河道旁的绿化美化工程。当下，生态护岸技术的实施主要围绕以下几种方式：植被护坡、结合人工材料的植被护坡、使用多孔材料的护坡，以及生态石笼护坡。

1.1 生态石笼护坡技术

生态石笼护坡技术，采用铁丝网笼来装填块石和填土。这种结构的空隙大，透水性好，非常适合水生和草本植物的根系生长，同时具备良好的强度和稳定性。

它能够抵御冲刷，即便出现适度的变形也不易损坏。此外，生态石笼的生产可以规模化、工厂化，使用的材料如块石、填土均能在当地获取，大幅降低成本，且施工简便，对场地的要求较低。在上海西郊的生态护岸和上海迪士尼围场河护岸建设项目中，生态石笼护岸技术已被成功应用，成效显著。

1.2 植被护坡

通过选择根系密集、具有土壤固定能力的植物来进行河岸的天然保护和固化是一种有效的方法。这些植物不仅可以巩固河岸，减少水土流失，还能为河岸带来生机与自然美^[2]。常用的固土植物包括沙棘、刺槐、墨穗醋栗、黄檀和胡枝子等，此外还有池杉、龙须草、金银花、紫穗槐、油松和黄花等。种植时，必须考虑到当地的气候特色，挑选最适合的植物品种。对于人工复合材料护坡而言，主要包括土工网垫复合种植、生态绿袋和网格反滤技术等。这些技术中，土工网垫复合种植因其独特的应用而广受欢迎。制作材料以聚乙烯、聚丙烯等高分子材料为主，设计有适宜的高度和空间，方便填充土壤和沙粒。植物根系可以穿透网垫，与河岸的泥土形成紧密的连接，构筑出一个既具自我增长又稳定性强的防护系统。

1.3 生态绿袋护岸技术

通过填充适宜植物生长的土壤基质如腐殖土进入专用的袋子中，结合坡脚处的石笼加固防冲措施，打造出稳定而柔性的生态护坡。这种方法特别适应于坡面变化环境，对维护河岸稳定性贡献显著。另外，多孔材料护坡利用的是多孔混凝土、保水材料、难溶性肥料和覆盖的表层土共同构成的系统。这类材料具有出色的抗冲刷能力，通常应用于城市河道改造项目中，尤其是在水岸

空间较为狭小的情境下。多孔材料不仅能够为植物提供良好的生长环境，还有助于提升河岸的自然美观，增强城市河道的生态性和观赏性。

2 黑臭水体治理中河道生态修复技术与成效评估

2.1 物理修复技术

河道的曝气技术，作为操作便捷且效果立竿见影的生态修复方法，通过向水中注入空气或纯氧，既能够满足好氧微生物进行代谢的需求，增强其活性，同时抑制厌氧微生物的繁殖和藻类的生长。该技术有效改善水质及底泥的氧化还原条件，并增加水中的紊流，破坏藻类所依赖的静稳生态环境。在上海走马塘河道的实际应用中，纳米气溶曝气技术在四个月的持续监测后，使得溶解氧水平提升至7.5mg/L，透明度保持在80cm以上，同时显著降低氨氮、总磷和化学需氧量，其去除率分别达到79%、60%和51%。另一方面，对于那些严重污染且难以仅靠自然生态系统恢复的河道，清淤疏浚成为不可或缺的物理修复手段^[3]。与此同时，那些可以通过自然生态系统实现自我恢复的水域，则不需进行此类干预。在执行清淤操作前，必须细致进行水文测算与淤泥成分的分析，以此决定清淤的程度和深度，选择最佳的清淤技术和设备。

2.2 化学修复技术

通过向河道添加化学药剂，化学修复作为一种治理手段，依赖于药剂与水体中污染物之间的吸附、氧化还原反应或是相互作用，来降低污染物的浓度。例如，向水中注入石灰或碳酸钙可以提高水的pH值，进而促使Cd、Cu、Hg、Zn等重金属离子形成沉淀，从而减少水体中的重金属含量；而加入铜盐或氧化剂则能有效抑制藻类过度增长。虽然化学修复在处理突发性的重大水污染事件中表现出良好的效果，但其实质上仅提供一种临时解决方案。这是因为，化学药剂处理后的污染物很可能会沉积在河底淤泥中，增加发生二次污染的风险。因此，化学修复并不能作为长期的治理策略，而应当被视为河道生态修复过程中的一种急救性措施。

2.3 生物修复技术

2.3.1 生态浮岛

生态浮岛是一项创新的生物生态设施，设计用于支持植物、动物以及微生物在水面上的生长、栖息和繁衍。这种设施通常构成于床体、填充物、水生植物和固定装置等四个主要部分。生态浮岛的框架多采用竹子或其他轻便材料制作，并与由环保塑料制成的中空扣板连接，共同组成浮床。这种设施的引入，主要目的在于通过一系列自然和半自然的过程，减轻水体污染。具体而

言，生态浮岛的功效可以归纳为几个方面：首先，利用植物根系吸收能力，有效降低水中氨氮、磷及其他有机污染物的含量；其次，浮岛能够遮挡部分阳光，从而控制藻类的生长；此外，生态浮岛中的合成材料与生态系统中的生物相结合，增强水中悬浮物的沉降作用，有效减少悬浮物；还可以处理流入水体的初期雨水及低浓度生活污水；最后，通过种植不同类型的水生植物，生态浮岛还能够为城市河道景观增添美丽。

在北京市沙河水库的一个案例研究中，专家们深入探讨生态浮岛技术在去除水体中的C、N、P等污染物方面的效果^[4]。研究显示，运用该技术后，COD（化学需氧量）、氨氮、硝态氮及总氮的去除率分别达到38%、80%、64%和67%，显著提高水体的净化效率，因而使沙河水库的水质达到地表水四类标准。通过这项技术，不仅能够显著改善水质，还可以丰富生态多样性，增强水域生态系统的自净能力。生态浮岛为城市水域景观提升提供一种既美观又实用的解决方案。

2.3.2 水下森林技术

利用沉水植物打造的“水下森林”，拥有净化水体、维持生态平衡及营造景观等综合效益。通过光合作用，这些植株向水体中释放氧气，其根、茎、叶部均可吸附并去除水中的污染物，包括重金属和其他悬浮物。此外，水下森林为水生生物提供丰富的食物源、栖息地和繁殖空间，对维护河流生态系统的平衡起到重要作用。通常，这样的生态建设项目适合在保留自然状态的农村河道和未被城市化影响的河道中实施。考虑到大风浪可能对植物种植造成的负面影响，建议在波动较大的区域划设缓冲区，以保证种植工作的顺利进行。

2.3.3 微生物技术

微生物技术，通过向污染水体加入微生物菌剂或生长促进剂，以较低的投资及快速见效的方式改善水质，操作简便。尽管直接在受污染河道中应用这一技术存在一定争议，主要担忧是关于菌种是否可能导致环境安全隐患，以及这种技术对流速快、污染轻微的河道效果不佳。然而，使用微生物促生剂的方法则不存在这样的安全担忧，并且可以通过促进污染物降解微生物的生长来加速BOD₅、COD_{Cr}的下降，并显著提高水中的溶解氧水平。在国内外，多种微生物菌剂已被广泛应用并显示出良好的水体净化效果，如美国的Clear-Flo系列菌剂、LLMO生物活性液、日本的有效微生物群（EM）、中国的光合细菌（PSB）和硝化细菌等^[5]。

具体到实践案例，东莞市珊洲河的生物治理过程中，研究人员直接向水体中投放净水枯草芽孢杆菌、反

硝化细菌和光合细菌,结果发现水体的臭味得到显著缓解,水质从黑色逐渐变绿。经过56天的治理,总磷含量从1.43 mg/L降低到0.40 mg/L,降低率达到72.3%;总氮含量从12.6 mg/L减少到4.41 mg/L,降低率达65.0%。随之,河道生态多样性明显增加,水生生物数量和种类均有所提升。此外,关于生物制剂的安全性问题也被充分考虑和论证。该研究案例中使用的微生物菌剂直接从生态环境中分离,并符合相关安全规定,确保对水环境及人类的安全性。

3 黑臭水体治理中河道缓冲带生态修复技术与成效评估

3.1 人工湿地

人工湿地技术,通过填料、植物和微生物的共同作用,在内部实现河道水体的净化。这一过程涉及物理截留、化学转化、微生物降解以及植物吸附等多种机制,旨在有效去除有机物、氮、磷等污染物。在人工湿地的构成中,植物与填料发挥着关键作用。植物不仅能吸收污染物,其根系还为微生物提供良好的生长环境。此外,植物能够吸收水中的某些重金属离子,利用它们作为微量元素促进自己的生长。选取植物时,既需考虑其耐污能力和生长速度,也要考虑到不同的水质条件和地方气候特点,特别是在寒冷地区,植物还应具备耐寒抗旱特性,并且要照顾到整体的景观效果。

对于填料,其在人工湿地中的作用常被低估。除传统的沸石、砾石、砂、煤渣和石灰石等材料外,越来越多的新型复合材料被引入人工湿地技术中。填料不仅提供过滤效果,其表面形成的生物膜则是净化水质的关键。人工湿地按流动方式大致分为表面流、水平潜流和垂直潜流三类。表面流人工湿地的特点在于水流覆盖在填料之上,平缓流过湿地表层;水平潜流人工湿地则是让河水在填料表层以下水平流动;而垂直潜流人工湿地则设计为水从底部进入,通过填料上升后从上端流出,确保水体与填料有充分接触,发挥最大净化效果。这种多元化的设计让人工湿地技术在水体净化方面具有广阔的应用前景。

3.2 生态塘

生态塘系统在处理有机污染方面虽具有一定的局限性,如较低的有机污染负荷能力、出水水质波动以及对氮、磷去除能力有限;然而,当其与人工湿地系统组合

使用时,能够显著增强整体的净化效果。通过将生态塘配置在人工湿地的前端,利用其良好的沉降性能,有效降低进入湿地的悬浮颗粒物和有机物浓度,这不仅提高水质,而且能有效预防湿地系统的堵塞,延长其使用寿命。此外,倘若将生态塘设置于人工湿地之后,可以进一步深度处理已经过滤的水质,特别是强化氮、磷的去除,有效应对水体富营养化问题,提升整体水质。将生态塘与人工湿地相结合,不仅能够更好地利用两者在净化水体污染方面的优势,而且能够弥补各自的不足之处。

结语:河道生态修复通常采取物理、化学及生物-生态技术的综合策略。选择具体的生物修复技术时,需要考虑河道的地理特点、水质状况和生态损伤程度等变量,进而定制一套合理的修复方案。此外,对方案的潜在成效进行深入研究和验证同样重要。尽管不同的生态修复技术各具优势,它们主要解决的是水体受污染后的局部问题。根治之道在于从源头减少污染排放,严禁未经处理的污水直接排入河道。此外,建立严格的排污管理体系,对违规排污行为采取法律手段进行惩处,形成一个既有主导又分工明确,既依法行政又高效协调的水环境治理体制,是实现河道生态健康的决策基础。城市河道的治理中,应尽可能顺应河流自然属性,重焕其自净能力,以期全方面恢复河流生态系统的完整性。与此同时,农村河道治理不应简单复制城市的做法,重点应放在恢复河道的自然状态和生态结构上。利用好河岸和缓冲带,应努力打造一个布局自然、水质优良、生物多样性丰富的原生态农村河道环境。

参考文献

- [1]冯杰.河道黑臭水体生态修复技术研究——以曲靖市某黑臭水体治理为例[J].中国新技术新产品,2024,(07):116-118.
- [2]周金玲,张聪,孔令为,等.城市内河小流域黑臭水体治理技术探讨[J].水道港口,2023,44(06):971-976.
- [3]冯莉雅,宋小毛,蔡苗,等.基于生态修复的城市黑臭水体处理技术研究进展[J].绿色科技,2023,25(20):144-150.
- [4]管静,蒋帅,於双飞,等.农村黑臭水体综合治理技术的发展趋势[J].环境保护与循环经济,2023,43(10):20-22.
- [5]张红,郭跃洲,于德森.新时代下黑臭水体治理中生态修复技术成效分析[J].建设科技,2021,(10):66-71.