DOI:10.14026/j.cnki.0253-9705.2015.13.004

城市黑臭水体治理与水质长效改善保持技术分析

Treatment and Water Quality Improvement Technology of Black-and-malodorous Water Body in Urban Area

摘 要 城市黑臭水体治理是一个复杂的系统工程，应根据黑臭成因、污染程度和治理目标，因地制宜、综合施策。本文将黑臭水体治理技术分为外源减排技术、内源控制技术、水质净化技术、补水活水技术和生态修复技术五大类，分析了不同技术措施的特点、适用性和存在的问题，提出了治理技术选择和方案制定原则。根据不同治理阶段的目标和特点，分析了技术实施要点。在此基础上，介绍了黑臭水体治理及水质长效保持的成功案例，以期为我国城市黑臭水体治理提供借鉴。

关键词 黑臭水体 ；治理措施 ；长效保持 ；技术集成

文/胡洪营 孙艳 席劲瑛 赵婷婷

2015年4月16日国务院颁发的《水污染防治行动计划》（以下简称“水十条”）提出，到2020年，地级及以上城市建成区黑臭水体控制在10%以内；到2030年，全国七大重点流域水质优良比例总体达到75%以上，城市建成区黑臭水体总体得到消除。这些目标体现了国家治理黑臭水体的决心，然而在黑臭水体治理实践中，仍面临诸多技术方面的问题：黑臭水体治理有哪些适宜技术？这些技术的适用性和局限性如何？如何优选和集成黑臭水体治理技术？如何防止治理后黑臭反弹，保持水体水质良好、稳定？这些问题对于城市黑臭水体治理目标的达成具有重要实践意义。

黑臭水体治理技术体系

黑臭水体成因复杂，影响因素众多，是水环境污染治理的难点。采取有效技术措施并进行综合集成和科学实施，短时间内就能消除黑臭现象，但其难点在于治理后的水质长效改善和保持，保证黑臭不反弹。目前，许多黑臭水体治理工程，因重治理轻保持、重短期轻长效而导致水体返黑，水质反复恶化。黑臭水体的治理应从长远考虑，明确目标、因地制宜、综合施策、规范管理，确保水质改善效果长期稳定。

黑臭水体的治理应按照“外源减排、内源控制、水质净化、补水活水、生态恢复”的技术路线，科学制定治理方案。外源减排和内源控制是基础与前提，污染源得不到控制，水体黑臭就不可能得到根本治理；水质净化是阶段性措施，采取工程手段，借鉴污水处理技术，对已污染水体进行处理，在水体水质改善中发挥重要作用，但不应定位为长期措施；补水活水和生态恢复是长效保障措施，可以调节水体水力停留时间、改善水动力条件、提高水体自净能力，是水质长效改善和保持不可缺少的措施。

依据黑臭水体治理技术路线，可将治理技术措施分为外源减排技术、内源控制技术、水质净化技术、补水活水技术和生态修复技术五大类。各技术措施的功能特点和适用性如表1所示。

黑臭水体治理与水质长效改善技术选择原则

黑臭水体的治理应坚持“因地制宜、综合措施、技术集成、统筹管理、长效运行”的基本原则。根据水体污染程度、污染原因和污染阶段的不同，有针对性地选择治理技术、制定治理措施。根据不同的水文水质特征、不同的治理目标、不同阶段，综合采用不同技术，并进行组合与集成，实现对黑臭水体的治理、水质长效改善和保持。

在进行城市黑臭水体治理技术选择时，要遵循“适用性、全面性、经济性、长效性和安全性”原则。

适用性——不同治理技术具有不同的特点和

黑臭水体成因复杂，影响因素众多，是水环境污染治理的难点。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1　黑臭水体治理与长效改善技术（措施）体系

技术类型	技术（措施）	技术特点和适用性
外源减排技术	截污纳管	建设和改造水体沿岸的污水管道，将污水截流纳入污水收集和处理系统，从源头上削减污染物的直接排放。
	面源控制	控制雨水径流中含有的污染物，主要技术措施包括低影响开发（LID）技术、初期雨水控制技术和生态护岸技术等。
	直排污水原位处理	对直排污水或受污染的地表水进行处理，快速去除水中的悬浮物和部分溶解性污染物，避免污水直排对水体的污染。该措施的特点是周期短、见效快，不受污水管网建设的限制，可在短期内控制外源污染，改善水质。适合于短时间内无法进行截流、或在降雨条件下溢流直接排入水体的污水。
内源控制技术	清淤疏浚	将底泥中的污染物迁移出水体，减少底泥中的污染物向水体释放，显著且快速地降低水体内源污染负荷。适用于底泥污染严重水体的初期治理。
	水生植物残体清理	对于水生植物、季节性落叶和水华藻类等残体，进行打捞和清理，避免植物残体发生腐烂，进一步向水中释放污染物和消耗水体氧气。
水质净化技术	人工增氧	通过人工曝气充氧（通入空气、纯氧或臭氧等），提高水体溶解氧浓度和氧化还原电位，防止厌氧分解和促进黑臭物质的氧化。适用于黑臭水体治理的水质改善阶段。
	絮凝沉淀	投加絮凝药剂，使之与水体中的污染物形成沉淀而去除。该技术可以在短时间内快速净化水质，但如在水体中原位实施，污染物只是沉至水底，没有从水体中去除，容易反弹，因此不宜向水体中直接投加混凝剂。应进行体外循环处理，适用于小型且相对封闭的水体。
	微生物强化净化	通过人工措施强化微生物的降解作用，促进污染物的分解和转化，提升水体的自净能力。一般可用于小型封闭水体，不适于大规模应用。
	人工湿地	利用土壤—植物生态系统的净化功能，净化水质。适用于封闭、半封闭水体的水质净化和生态恢复。
	生态浮岛	人工构建水生植物系统，降解水体中的污染物，实现水质净化。适用于黑臭水体治理的水质改善和生态修复阶段。
	水生植物塘	通过在水体中种植水生植物，对水质进行净化，是一种人工强化措施与自然净化功能相结合的净化技术。适用于黑臭水体治理的水质改善和生态修复阶段。
补水活水技术	清水补给	通过引流清洁的地表水对治理对象水体进行补水，促进污染物输移、扩散实现水质改善。适用于滞留型污染水体、半封闭型及封闭型污染水体水质的长效保持。
	再生水补给	城市污水经过处理并达到再生水水质要求后，将其排入治理后的城市水体中，以增加水体流量和减少水力停留时间。再生水作为城镇稳定的非常规水源，是经济可行、潜力巨大的补给水源，应优先考虑利用。适用于缺水城市或枯水期的污染水体治理后的水质长效保持。
	水动力保持	通过工程措施提高水体流速，以提高水体复氧能力和自净能力，改善水体水质。适用于水体流速较缓的封闭型水体。
生态修复技术	水华藻类控制	黑臭水体水质改善后经常会遇到水华藻类暴发问题，因此控制水华藻类是实现水质长效保持的必要措施，需要采取综合措施进行控制。适用于营养盐水平较低富营养化水体水质的长效保持。
	水生生物恢复	利用水生植物及其共生生物体系，去除水体中的污染物、改善水体生态环境和景观。需考虑不同水生生物的空间布局与搭配。适用于小型浅水水体。

适用范围，没有“万能型”的技术，需要根据水体污染程度、污染原因和治理阶段的不同，优先选择适用技术，而不是追求所谓的“新”技术。

全面性——在选择治理技术时，不能仅仅从单一方面或依靠单一技术实现水质的改善，而是需要综合、全面考虑各种不同技术的组合，实现对黑臭水体的治理。

经济性——在选择治理技术时，应开展不同治理技术方案的综合比选，从中选择经济性可行的技术。

长效性——既考虑技术方案实施后的短期效果，更应关注长期水质改善效果和水质稳定性。

安全性——要考虑技术实施后对水环境和水生态的不利影响和二次污染。例如，要慎重考虑和谨慎实施向水体中投加化学药剂和生物制剂的技术，以避免造成生态风险；曝气增氧要防范微生物气溶胶带来的健康风险和噪声引起的扰民等问题。

黑臭水体治理与长效改善技术实施要点

根据污染程度与治理目标的不同，黑臭水体治理可分为应急治理、水质改善和长效保持三个阶段。不同的阶段，治理目标不同，技术实施要点也不同。

应急治理阶段。对于黑臭现象严重的水体，采取有效措施，快速缓解和消除黑臭现象。通过截污，控制外源污染物的进入，通过絮凝剂、除藻剂等药剂快速去除污染物，通过底泥清淤将大量污染物迁移出水体，通过地表水或再生水补充，使污染物质快速迁移、稀释，以短期内消除

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

在进行城市黑臭水体治理技术选择时，要遵循“适用性、全面性、经济性、长效性和安全性”原则。

黑臭。

水质改善阶段。经过应急处理措施，黑臭缓解之后，需进一步减轻水体污染负荷，采取工程措施净化水质，恢复水体景观功能。人工曝气充氧可使水体保持好氧状态，防止厌氧分解，提高水体中有机污染物质的降解速度。对于滞流型水体、封闭和半封闭型水体，投加底质改良剂或氮磷控制剂以降低内源污染负荷；通过植物塘、生态浮岛等，利用水生植物的净化功能改善水质。

长效保持阶段。黑臭水体治理后，可能会面临污染负荷再度升高等问题，使得水体水质恶化和黑臭反复，因此需要保证水质有效管理，确保水质改善效果的长效性。消除黑臭后的水体，仍然是富营养化水体，藻类容易暴发，最终导致黑臭，应采取必要措施控制水华。

在水体管理维护过程中，加强水体周边的生活垃圾控制管理，严禁生活垃圾直接入水体。同时，要定期清淤疏浚，防止底泥上浮加重水体污染，造成水体再度黑臭。

黑臭水体治理与水质长效保持案例

昆山市同心河治理

昆山市同心河在治理前是一条典型的城市黑臭水体，存在补水水源短缺、水质污染严重、生态系统破坏等突出问题。针对以上问题，制定了“截污清淤(沿河截污/底泥清淤)、中水回用（再生水景观利用）、自净强化（原位充氧、生态修复）”的水体水质修复与长效保持基本技术路线。通过综合治理，系统集成污水截流、水体清淤、曝气复氧、植物栽培、驳岸整治、再生水景观回用、生态修复等措施，削减了污染负荷，消除了黑臭现象，改善了水体质量，恢复了水体的景观功能。在治理工程中，污水处理厂出水深度处理与景观回用发挥了关键作用。

奥林匹克森林公园龙形水系水质长效保持

奥林匹克森林公园龙形水系是利用再生水作为补水水源的人工水景，由于再生水中氮磷等营养盐含量相对较高，即使符合景观利用水质标准，用于景观水系后，因氮磷物质积累、水体流动性差、光照条件好等原因，仍存在水华暴发的风险。因此，再生水补水的再次深度处理和水质稳定化是景观水体长效保持的前提。

“龙形水系”景观水体的水质维护主要通过加强水力循环和以水生植物净化技术为主的生态净化系统两个方面实现。基于湿生/水生植物的“水质生态净化与保持技术”，主要包括生态脱氮水质净化技术、高效除磷技术、植物化感抑藻技术等发挥了重要作用。

水质生态净化与保持技术将水处理生态技术与自然景观有机融合，利用水生植物对无机营养盐的吸收、转化和积累，并经过人工定期打捞回收，去除水体中的氮、磷等营养物质，并抑制藻类生长。同时，对补给再生水进行深度处理，向公园主湖提供了高质量补给水，取得了良好的环境效益和景观效果。

结语

城市黑臭水体的治理是一个复杂的系统工程，为了保障治理措施的科学性、可操作性和治理效果的长效性，应避免“头痛医头，脚痛医脚”，从城市水系统、区域水循环和生态建设的高度进行城市水体综合治理，有效整治城市黑臭水体。事先的黑臭水体成因分析和治理后的长效保持措施不容忽视。此外，还需要建立长效机制，保障城市水体水质长效管理。

主要参考文献

[1]胡洪营，何苗，朱铭捷，等．污染河流水质净化与生态修复技术及其集成化策略[J]．给水排水，2005，31(4)：1-9.

[2]胡洪营，孙迎雪，李鑫．“十一五”国家科技支撑计划项目研究课题——奥运森林公园景观水系水质净化与保持技术[J]．建设科技，2008(19)：22-23.

[3]胡洪营，赵文玉，李轶，等．面向景观回用的污水处理厂工艺优化与水质安全保障成套技术研究与示范[J]．给水排水，2012，38(10)：23-27.

[4]胡洪营，席劲瑛，孙艳，等．城市黑臭水体形成机制、评价方法和治理技术[J]．水工业市场，2015(7).

[5]熊跃辉．我国城市黑臭水体成因与防治技术政策[N]．中国环境报，2015-06-11.

（胡洪营系清华大学环境学院教授；席劲瑛、孙艳、赵婷婷，清华大学环境学院）

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net