

# 黑臭水体成因分析与综合治理技术探讨

郭萌萌 方洪科

山东省济南生态环境监测中心

**摘要:**随着城市规模的不断扩大以及许多经济开发区的引入,城市人口的增长速度逐渐加快,加之工业体系的快速发展,每天城市中将会产生大量的有害污水,远远超过水体的自净容量,从而引发黑臭水体问题的出现。黑臭水体不仅会污染水环境,而且也会危及民众的身体健康,所以要在分析黑臭水体来源的基础上,积极采取措施提升水体质量。因此,本文将对黑臭水体的成因进行分析,并探析黑臭水体综合治理技术的应用效果,以供参考。

**关键词:**黑臭水体;成因;综合治理技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.20.117

## 引言

由于城市发展速度的持续加快,导致大量含有污染物质的废水被源源不断地排出,一旦废水容量大于水环境自净容量的要求,便会导致黑臭水体在城郊结合的区域出现。相关统计表明,我国有超过一半的城市存在黑臭水体,并且黑臭水体问题的发展还在进一步加剧,急需找到根治黑臭水体的办法,从而消除黑臭水体问题对我国城市发展的影响。

### 一、黑臭水体治理指导思想与原则

#### (一) 指导思想

在尊重自然条件背景和相关规划的前提下,定位于建设海绵城市的理念,坚持和谐发展理念,科学规划,推进,以黑臭水体为起点,以水为综合环境管理,发展水生态模式,保护水安全措施,水文化的整合与传承,水资源开发利用为主线,遵守保护优先原则,修复和科学治理,促进经济可持续发展社会,提高人们的财富指数更可靠的初级保证和安全。

#### (二) 治理原则

(1) 综合规划,统筹规划,坚持城市水系安全,生态,经济,系统和特色文化原则是必要的,各种水利目标如防洪,内涝,供水,保护水资源,改善水环境,综合利用的要求对水生态、交通和航运、旅游开发等方面的生态恢复要充分考虑养殖业。注意集中开发,保护和利用与水有关的资源,如水环境和水资源和沿海资源,确保合理有效的开发和利用,以及与河流保护的协调。(2) 带来顺畅的水系统和效益。利用现有的河道,挖掘当地的束窄段和狭窄的部分,现有的泵站和水坝,并通过运输设施解锁水流,以利用现有的技术优势。同时,它根据经济社会发展和土地利用的要求,以补充流动通道适当扩大合理调整流动通道的功能,以改善现有供水系统的设计,保证经济和社会的可持续发展是必要的,可持续利用河流资源。

### 二、水体黑臭成因分析

水体黑臭是一种生物化学现象,用眼睛看,水体出现了黑色或者接近黑色的颜色;用鼻子闻,水体会散发出难闻的气味。相关研究报道,河流河道水体会发生黑臭现象,是由于水体被有机物严重污染时,有机物质被好氧微生物大量分解,使水体中氧的消耗速率高于氧的恢复速率,从而导致了水体出现缺氧的现象。此外,在合适的环境反应条件下,有机污染物和水体中某些悬浮物发生沉集作用,一些厌氧微生物会大量出现并不断繁殖,使有机污染物在厌氧微生物繁殖过程中被有效分解,一些物质如氨、硫化氢、氨等刺激性气体会从水中逸出,这些气体与水难溶,并产生难闻的气味。此外,当水体处于缺氧条件下,水体中的铁和锰等重金属元素能被还原,水体中的硫元素与被还原的重金属元素互相结合,生成硫化铁与硫化锰,也能使水体变黑。水体黑臭是多方面因素相互作用的结果,主要包括水体污染物的种类和浓度,以及水体所处的地理环境、水文条件、温度、气压等自然条件。

#### (一) 污染物因素

污染物因素主要为有机污染物的排入及底泥再悬浮释放污染物致使水中氧气消耗殆尽。在城市建设中,因为城镇潜水处理系统处理污水的能力不够、截断污染物和治理污染物的设施设备比较落后、城市中雨水等地表径流对河流河道的污染负荷大,使水体中流入很多有机污染物,从而造成水体污染。造成水体污染的内在污染物来源主要为底泥淤泥,在水体受到冲刷及人类活动的影响下,沉积在水体底部的底泥会再次悬浮在水体中,而底泥上吸附的污染物体与水发生交换作用,将底泥中的污染物释放出来。水体中的微生物如菌种、藻类等也能在底泥中适者生存,底泥能为微生物提供很好的生存条件,底泥中的污染物质在微生物的代谢作用下进行反硝化或甲烷化作用,从而使水体中的底泥慢慢上浮到水面,使水体出现黑臭现象。水体污染物的来源主要是污水中的有机物质被分解,如一些蛋白质、糖类、油脂、氨基酸等有机物在分解过程中会大量消耗水体中的溶解氧,导致水体出现缺氧现象,而水体中的厌氧微生物可以不断繁殖,从而使有机物被厌氧微生物分解,不断产生使水体发黑、发臭的物质。

#### (二) 自然条件因素

自然条件因素主要为水体热污染和水循环受阻。工业冷却水和人们在日常生活中的污水,都会使水体出现升温的现象,该现象涉及全部水体。在合适的水体温度下,水体中的微生物会产生剧烈的个体活动,从而有效分解水体中的大部分有机污染物,出现使水体发生黑臭的物质。与此同时,水体中的溶解氧含量也随着温度的升高而降低;河道水量不足、流速低缓以及河道

渠道化、硬质化等造成的水循环不畅也是引起水体黑臭的原因之一。水循环是水污染形成、迁移、转化等一系列过程的载体，水流不畅会导致水体中藻类浓度过高，使水体出现霉臭味甚至形成死水，导致水体环境恶化进而出现黑臭现象。

### （三）水体的动力条件因素

当河流河道水体中的水不能顺畅地流动时，水体就丧失了原有的生态功能，使水体中氧的恢复能力下降，造成水体出现缺氧的状态，适合发黑发臭的污染物质大面积生存繁殖，这一现象的出现也说明了水体的动力条件出现了问题，水体出现黑臭现象时也说明水体的水质发生了恶化现象，因而水体的动力条件也是保持水体良好状态的重要原因。

## 三、黑臭水体的机制机理

### （一）水体变黑的机制机理

在发黑发臭的水体中，导致发黑的物质为硫化铁和硫化锰，不同的铁、锰元素与硫元素相结合，吸附在悬浮颗粒中的富里酸（FA）和腐殖酸（HA）中。据相关研究报告，水体出现发黑现象主要与水体中的悬浮颗粒有关，硫化铁吸附在带电胶体悬浮颗粒上的颗粒中，二价铁离子对水体发黑起着重要作用。

导致水体发黑的物质，主要以两种形态存在，一种是黑色污染物质吸附在水体中的部分悬浮颗粒上，或存在形式为不溶于水的固态物质；另一种是可溶性的带颜色的有机化合物。因重力作用的影响，三价铁离子慢慢沉淀至底部，而水体底部的溶氧量少，处于亚氧化的环境时，可以还原并溶解水体中的有机物质。水体发黑发臭现象能够减轻的原因为位于水面上层的氧化性物质会不断向水体底部迁移传递，使水体底部的厌氧环境逐步得到改善。

在黑臭水体中，由于存在大量有机污染物，使水体中的溶解氧下降，破坏了水体中的好氧层、活性厌氧层、厌氧层，也破坏了与黑臭相关的铁元素的循环。在厌氧条件下，二价铁离子与硫化氢结合生成硫化亚铁，硫化亚铁为黑色沉淀物，因其在水底沉淀或在水面悬浮，使水体出现发黑现象。

### （二）水体变臭的机制机理

据相关研究报告，水体发臭的主要物质为二甲基三硫醚、甲硫醇、二甲基四硫醚、二甲基硫醚和二甲基二硫醚。黑臭水体发臭的途径有：腐殖酸（HA）、富里酸（FA）在水解酶的作用下，能产生20种产物，包括游离氨和氨基酸等；在一些细菌、脱氨基、脱羧酸的分解作用下，氨基酸产物能够生成胺类、硫化氢、硫醚类化合物等物质，这些物质会使水体出现发臭现象。黑臭水体发臭的主要原因为，水体中的有机污染物被分解，并在分解时产生了硫化氢、氨气、胺类和低碳脂肪酸等，因而导致水体出现发臭的物质。

## 四、黑臭水体治理的要点

由于不同河流河道被污染的程度不同、对水体的整治目标也不同。在黑臭水体的治理中，可将整治过程分为三个阶段，即治理初期应急治理阶段、治理中期水质

改善阶段、治理后期长效保持阶段，在不同的治理阶段，不同的治理技术要点也有所不同。

### （一）治理初期的应急治理阶段

为实现短时间内消除黑臭水体的目标，可采用截污的方式控制水体外部污染物的进入，快速去除黑臭水体中的污染物。另外，也可以采用絮凝剂等化学药剂达到目的，经过清淤疏浚等措施，将水体中的污染物排出，再补充一定的地表水和再生水，使污染物质得到稀释。

### （二）治理中期的水质改善阶段

为进一步缓解水体受到的污染负荷，可采用充氧曝气等方式，增加水体中的溶解氧，防止污染物在厌氧环境下被分解，从而使水体中有机污染物质的降解速度有所提高。为了降低底泥内部污染源的污染，可以通过增加底泥改良剂等方式。通过构建植物生态塘、浮岛等方式，充分利用植物的净化作用来改善水质。

### （三）治理后期的长效保持阶段

为了避免水体出现再次恶化或黑臭的情况，相关部门应建立有效的长效管理机制，从而确保水质能够长期处于稳定达标的状态。

## 五、探讨黑臭水体综合治理技术

### （一）控源减排，截污处理

加强面源污染治理，设置生态缓冲、建立自然湿地等，借助生物土壤修复技术充分利用土地和植被的净化能力，截留氮磷污染物及有机物。有效收集和处置城乡废弃物，降低城乡污染物总量，清理河面垃圾使水体溶氧提高，促进水体的良性演变。

根据城区污染现状进行污水管网、市政交通道路的改进规划，加大管网覆盖范围。完善现行的城市污水回收网络系统，继续加强都市污水处理厂建设和城市污水回收网络工程建设，同时扩大或增建污水处理厂，努力提高污水处理能力。因此在水质治理工程中，要利用雨污分流、截污减排、提高水运能力和集聚管理构筑治污系统。

### （二）清淤疏浚，控制内源

当前水质已受到严重污染，如果忽视底泥疏浚工作，河涌底泥会将其中的重金属、有机物等污染物质上返释放到水体中持续性恶化水质污染状况，导致其他水体处理手段只能达到事半功半的效果。因此对受污染的河道底泥进行疏浚是必要的，从而达到控制清除水体内源污染，增强水体承受能力的目的。

底泥恢复是整治黑臭水体的重要途径，处理污染底泥的方法分为原位处理和异位恢复，因为异位恢复的方法疏浚底泥工作量大、花费较高且容易对周围环境和水体生态系统管理造成损害，因此目前底泥问题大多通过原位方法加以解决，分为物理性质恢复、物理化学修复、植被恢复、微生物学修复等。物理性质恢复一般采取原位覆盖的方法，主要利用植物在底泥中投加覆盖层，以限制底泥的再悬浮和污染物的蔓延；物理化学修复主要在底泥中投加定量的物理化学制剂，通过氧化、还原、沉降的过程将目标物质稳定化；植被恢复主要是通过植物植株根部对底泥物质的富集吸收，利用植物根

部伸长的新陈代谢过程实现对目标物质的分解利用；微生物修复则是利用细菌新陈代谢过程将废物分解。

对于潮汐式黑臭水体，物理和植物修复技术很难达到理想效果，因为潮汐式水体受水流冲击干扰作用强，表层底泥在水流冲刷下不断扬起，采用物理修复易使覆盖材料随水流迁移，导致覆盖效果不佳。同样，潮汐变化带来的水流冲击也对植物修复中植物抗倒伏能力要求较高。化学和微生物修复在潮汐式黑臭水体治理上具有一定可行性，但采用单一手段对底泥修复效果有限，应根据水体实际情况开发多种修复技术联用的综合技术。

### （三）水体增氧，活水补水

“问渠那得清如许，为有源头活水来”。只有保证水体足够的流动性，才能争取水面与空气更多的接触面积，使其与氧气充分接触，保证水体中溶解氧的充足。引入活水补充水量，不仅对原水进行稀释，使得原始河涌中的污染物浓度降低，还能活化河涌水质，提升水体自净能力。

### （四）活水循环工程

现阶段，活水循环工程主要有三种表现形式，即：

（1）在水环境中设置一定数量的排灌站，并与供水系统相互连接。（2）利用可持续能源，例如，风能、太阳能等，加快水体的流动速度。（3）对水位与总水量进行控制，使水体中溶解更多的氧，增强微生物分解污染物的效率，对水质改善有帮助作用。

### （五）清水补给工程

为了提升黑臭水体的自净能力，加快污染水体中污染物的扩散速度，需要积极建设源头引水与净水补给工程，通过不断地向黑臭水体中补充干净的水体，改善黑臭水体对城市的影响。例如，对雨水以及再生水进行收集，通过阀门或大坝系统向城市中源源不断地补充干净水源。此外，为了增加水体的流动性，可对河流流量进行控制，有助于在更快的时间内，完成水体的改善工作。

### （六）曝气富氧技术工程

为了提升河流水体中溶解氧的含量，曝气富氧技术的应用就显得十分重要。通过使用曝气富氧技术，不仅可以提升区域水体的流量，而且也可将城市水环境的水质质量维持在标准要求的范围之内。20世纪80年代，德国一家公司研发出了一种气体分配曝气系统，将其用在改善水环境工程之中，可以使遭受破坏的河流生态系统慢慢恢复至正常水平。总之，曝气富氧技术的应用，有助于提升区域水质的质量，降低水体中COD的含量，解决长期困扰城市发展的黑臭水体问题。

### （七）微生物工程

为提升受污染黑臭河流的修复质量，可在修复工作中引入微生物接种技术。对于大城市河流而言，由于难以完全截流，所以需要借助微生物接种技术来解决黑臭水体问题。另外，在微生物的帮助下，污染沉积物可以得到快速的分解，加快水质恢复效率。与此同时，微生物工程的应用，不仅水体恢复时间短，而且更加容易管理，黑臭水体恢复效果十分突出，有助于快速地改善水

质指标，确保水质符合国家标准要求。

### （八）兼顾内涝，黑点整治

针对研究流域现状排涝格局所面临的问题，从“蓄、挡、滞、导、排”角度，对重点瓶颈的河道实施拓宽疏导工程，对上游地区建设人工调蓄湖、滞洪湖，并打通就近下排水渠道，为洪涝问题寻找出路。针对前山河流域内涝黑点，梳理周边雨水管网，新建补充雨水管网、调蓄池等基础设施，加强雨水输送能力，解决当地内涝问题。

## 六、黑臭水体治理的综合效益

### （一）环境效益

依照城市黑臭水体生态治理技术路线，对于改善水质、水源安全管理等水质保障和应急处置问题有着很好的示范效果，对于不同区域的生态环境逐步向可持续的生态系统进行演变，且该系统具有净化性、绿化性、美化性以及活化性，从而改善了流域的生态环境、推动了河湖生态健康的恢复，构建了人与自然的和谐体系。

### （二）经济效益

通过对黑臭水体的治理，促进了各个流域水环境污染物的削减，有效推进了城市的绿色发展、循环发展及低碳发展，从而形成了与资源节约、环境保护相关的系列方式，如生活的方式、生产的方式、空间的格局以及产业的结构等，提高了“节能减排”的实际效果，改善了区域内的水体质量，使区域内所涉及的城镇、农村等的环境状况有所提升，并开发当地资源，发展旅游业、工业、农业，从而对带动经济的发展起到推动作用。

### （三）社会效益

黑臭水体的治理是实现节能减排目标的重要措施，切实解决了城市发展的实际问题，是建设生态文明、实施经济发展方式转变的生动实践。推动当地改善民生、新农村建设，促进区域经济发展方式的转变、污染减排和水资源的可持续利用，是科技“扩内需，保增长”的重要方向，对城市的发展具有重要的战略意义。

### 结语

为了确保水体质量得到有效的提升，及时治理黑臭水体特别重要，不但能够明显改善居民的日常生活与生产环境，而且可以推动区域经济可持续、绿色发展。

### 参考文献

- [1] 李国新. 城市黑臭水体的综合治理思路[J]. 资源节约与环保, 2020(01): 109.
- [2] 韩海霞. 城市黑臭水体成因及治理措施分析[J]. 浙江化工, 2020, 51(01): 32-35.
- [3] 冯强, 易境, 刘书敏, 赵风斌, 张杰, 柴晓利. 城市黑臭水体污染现状、治理技术与对策[J]. 环境工程, 2020, 38(08): 82-88.
- [4] 唐晶, 庞维海, 林常源, 黄婧, 解昊, 廖勇. 我国黑臭水体的成因分析与综合治理技术[J]. 应用化工, 2020, 49(02): 483-487+492.

作者简介：郭萌萌，1988.04，女，工程师，山东省济南生态环境监测中心，从事环境监测及综合分析。