

# 城市黑臭水体综合治理的基本思路研究

——以湘潭市爱劳渠为例



马南董 李锦平

(湘潭市规划建筑设计院, 湘潭411201)



CONTANTS

目录



01  
PART

我国黑臭水体污染现状及成因

02  
PART

综合治理基本思路

03  
PART

爱劳渠黑臭水体处理方案

## 我国黑臭水体污染现状及成因



## 【我国黑臭水体污染现状及成因】

### 1.1 黑臭水体污染现状——形势严峻

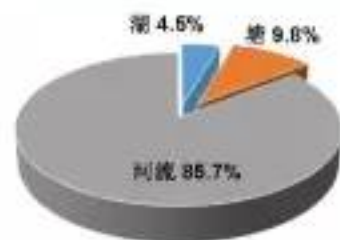
近年来，随着我国经济地快速发展，城镇化进程加快，城市排污量不断增加，再加之城市水体自身环境容量小等原因，许多城市水体已受到严重污染，黑臭问题现象突出。



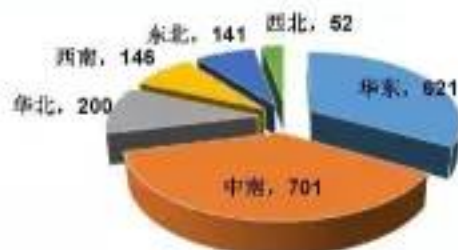
## 【我国黑臭水体污染现状及成因】

### 1.1 黑臭水体污染现状——形势严峻

在全国295座地级及以上城市中，有超过七成的城市存在黑臭水体，黑臭水体总数1861个。在全部黑臭水体中，河流数量占比最高，达85.7%；重度污染水体数量占比达到33.5%。从黑臭水体地域分布情况来看，经济发达且水系更多的中东部地区的黑臭水体数量占比较大，中南区域和华东区域合计占比达71.0%。



已认定黑臭水体中不同类型水体占比情况



分区域已认定黑臭水体数量分布情况

（数据来源：住房和城乡建设部和环保部联合公布第一轮全国黑臭水体摸底排查结果，截至2016年2月16日）



## 【城市黑臭水体网络监督信息发布】

自2016年2月18日“城市水环境公众参与”微信公众号开通以来，全国通过该微信公众号累计收到监督举报信息共1223条，地方主管部门已办结1062条，逾期未回复75条（住房和城乡建设部与环境保护部联合发布，截至5月1日）。



城市水环境公众参与

**功能介绍** ‘城市水环境公众参与’由住房和城乡建设部、环境保护部联合发布。主要功能为收集、处理、反馈、发布公众对城市水环境的监督举报信息，并对地方政府治理情况进行监督和信息公开。系统维护单位：北京润建集思科技有限公司。

**帐号主体** 中华人民共和国环境保护部 >



历史监督数据统计图

## 【城市黑臭水体网络监督信息发布】

各省公众监督及回复情况统计表（单位：条）

地区	截至5月1日累计收到监督举报信息	已完结	逾期
	1223	1062	75
北京	449	445	
天津	4	3	
河北	20	10	9
山西	9	8	1
内蒙古	1	1	
辽宁	6		5
吉林	3	2	1
黑龙江	6	4	
上海	9	7	
江苏	56	50	
浙江	9	4	2
安徽	32	30	
福建	35	35	
江西	6	6	
山东	104	60	1
河南	22	21	1
湖北	48	8	39
湖南	267	257	
广东	51	48	
广西	1	1	
海南	1		
重庆	14	13	
四川	23	18	2
贵州	5		5
云南	14	5	7
陕西	14	13	1
甘肃	9	9	
新疆	5	4	1

## 【我国黑臭水体污染现状及成因】

### 1.2 黑臭水体污染成因

水体黑臭主要是水体缺氧造成的，同时也与水体富营养化和底泥沉积有关。

#### 成因1：外源有机物和氨氮的耗氧

- ◆ 水体超量受纳外源有机物及一些动植物腐殖质，如生活污水、畜禽粪便等，水中DO被快速消耗。
- ◆ DO下降到一个过低水平时，大量有机物在厌氧菌的作用下进一步分解，产生硫化氢、胺、氨和其它带异味易挥发的小分子化合物，从而散发臭味。
- ◆ 河道中大量营养物质促使藻类繁殖，这些藻类在死亡后分解矿化形成耗氧有机物及氨氮，导致季节性水体黑臭现象。



## 【我国黑臭水体污染现状及成因】

### 1.2 黑臭水体污染成因

水体黑臭主要是水体缺氧造成的，同时也与水体富营养化和底泥沉积有关。

#### 成因2：内源底泥的释放污染

在酸性、还原条件下，污染物和氨氮从底泥中释放，沉积物中产生的 $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 等难溶于水的气体在上升过程携带污泥进入水相，使水体发黑。外源污染被阻断后，河道底泥内的有机物、氮、磷及重金属随水体活动而释放出来。

## 【我国黑臭水体污染现状及成因】

### 1.2 黑臭水体污染成因

水体黑臭主要是水体缺氧造成的，同时也与水体富营养化和底泥沉积有关。

#### 成因3：水体流动性变差和水温升高

丧失生态功能的水体的流动性往往较差，直接导致水体复氧能力的衰退，局部水域或水层亏氧，形成适宜蓝绿藻快速繁殖的水动力条件，增加水华暴发风险。此外，水温升高将加快水体中微生物和藻类残体分解有机物及氨氮速度，加快DO的消耗，加剧水体黑臭。

## 综合治理基本思路



2

## 【综合治理基本思路】

### 2.1 我国黑臭水体治理技术的发展历程

我国水体污染治理理念和技术相对都比较滞后。在近30年的不断探索中，借鉴国外水体整治和管理经验，我国水体污染控制与治理经历从单纯注重水资源开发、水体安全功能到治理水体环境、维护景观多样性，到重点建设水体生态系统等三个发展阶段，相应的水体治理技术也在不断发展。

## 【综合治理基本思路】

### 2.1 我国黑臭水体治理技术的发展历程

20世纪80年代-20世纪90年代

**水利治河阶段。**以提高防洪排游、蓄水航运为目的，利用防洪工程、排污工程和灌溉工程等措施控制污染并改善水质。

20世纪90年代-21世纪初

**环境保护与综合治理阶段。**全国开展了混合污水截流管道的修建和优化、兴建集中污水处理设施、氧化塘等为城市水体污染控源截污，开展底泥疏浚、引清调水等水体整治技术。

21世纪初以来

**水体生态修复阶段。**“十五”科技专项以及“十一五”期间，水专项在多个城市水体污染控制与治理中的实施与示范，多自然型水体修复技术的理论研究与应用推广在国内得到快速发展

第一阶段

第二阶段

第三阶段



## 【综合治理基本思路】

### 2.2 黑臭水体治理技术路线

城市河道的黑臭治理要遵循“外源减排、内源清淤、水质净化、清水补给、生态恢复”的技术路线。

#### 前提与基础

- 外源减排
- 内源清淤

#### 阶段性手段

- 水质净化

#### 长效保障措施

- 水动力改善
- 生态恢复

#### 多管齐下

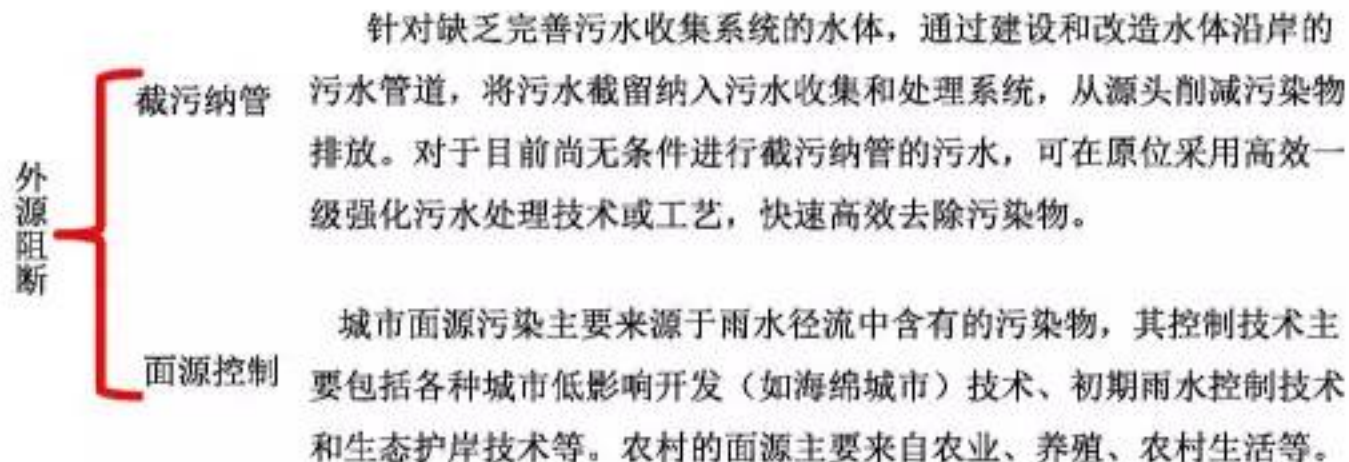
- 治水工作必须始终把握的基本要求



## 【综合治理基本思路】

### 2.3 黑臭水体治理技术

#### (1) 外源阻断（或控源截污）技术



技术缺陷与不足：

工程量大，工程系统性强，周期长，实施难度大等

## 【综合治理基本思路】

### 2.3 黑臭水体治理技术

#### (2) 内源控制技术

清淤疏浚一般有两种方式：干湖疏浚和带水疏浚

◆干湖疏浚 将水抽干，然后使用排干疏浚设备，如推土机和刮泥机等。该法应用有限。

◆带水疏浚 用挖泥船直接从水中清除淤泥，清淤过程要根据污染物特征采取相应措施，尽量减少开挖时污染物在水中扩散形成二次污染。该法应用广泛。

技术缺陷与不足：

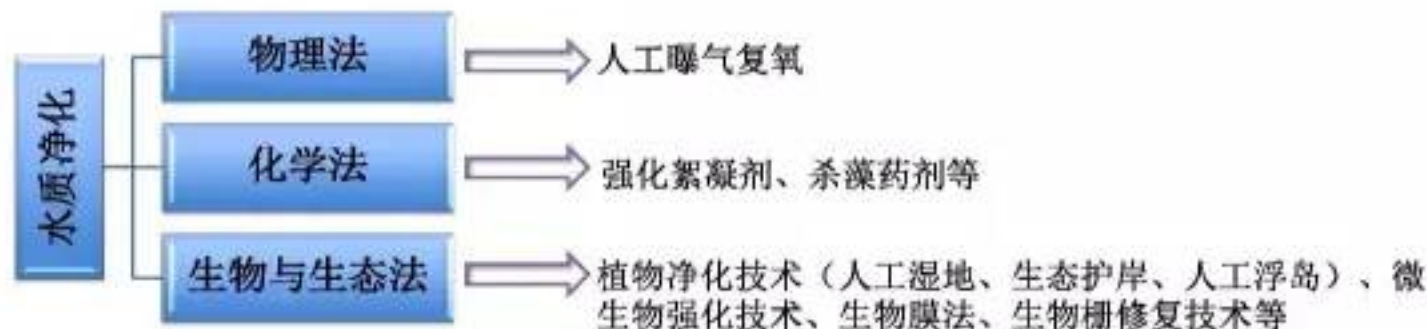
治理费用昂贵，疏浚精度和准确度要求较高，淤泥处理问题等



## 【黑臭水体治理技术简介】

### 2.3 黑臭水体治理技术

#### (3) 水质净化技术





## 【综合治理基本思路】

### 2.3 黑臭水体治理技术

#### (3) 水质净化技术—生物与生态法



##### ★植物净化

水生植物的根际吸附等作用可吸收去除一些有机污染物和重金属等物质。植物净化技术中常用的水生植物主要有沉水植物、挺水植物、浮叶植物和漂浮植物四类，由于黑臭水体的透明度较低，不适宜沉水植物生长，因此，用于治理修复黑臭水体的水生植物主要是后三类。

##### ★微生物强化技术

在受污染水体中，人为投加高效微生物/酶制剂或其它改善微生物生存环境的物质（生物共代谢基质及辅助营养物质），可较好地提升土著微生物生长代谢能力，快速分解去除污染物。



## 【综合治理基本思路】

### 2.3 黑臭水体治理技术

#### (3) 水质净化技术—生物与生态法

##### ★生物膜法

添加滤料或载体的形式使微生物絮凝在一起形成生物膜，通过膜表面上的原生动物等降解高浓度。

##### ★生物栅修复技术

利用微生物、植物、水生动物和底栖动物等要素的协同作用，根据水质强化净化要求构建而成的一种近自然型生态修复装置。生物栅系统具有巨大的由植物根系和组合填料形成的表面积，对固体污染物和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等有一定的沉降、拦截和吸附作用。



## 【综合治理基本思路】

### (3) 水质净化技术—物理法

**天然能源曝气**，由天然能源—风光互补供电系统和水下微孔曝气管构成。



风光互补天然能源曝气系统



太阳能曝气系统



## 【综合治理基本思路】

### 2.3 黑臭水体治理技术

#### (4) 生态恢复技术

- 宜把河流从上游至下游整体纳入生态修复范围。
- 遵从河流自身的功能、形态与生态定位。
- 河道水质净化是河道生态修复的前提条件。
- 河道生态修复规划应将维护管理纳入其中。

河道生态修复技术主要有岸坡生境修复、河道缓冲带修复、河道生物多样性修复。

河道基底、岸坡及缓冲带范围区分示意图





## 【综合治理基本思路】

### 岸坡生境修复技术

岸坡生境修复工程设计需确定生态护岸工程的设计要求、稳定计算、结构型式等内容，并应满足相关规范的规定。

- 生态护岸设计应满足结构材料的自然性、结构的软质化及岸坡自然形态的保持等要求；
- 生态护岸工程结构设计除满足生态效果的设计要求外，尚应满足护岸设计的稳定安全要求；
- 生态护岸应按持久状况、短暂状况和偶然（地震）状况设计；
- 护岸结构型式应根据河道断面型式、沿线岸坡挡土高度、工程地质等自然条件、施工条件等环境条件来设计。



## 【黑臭水体治理技术简介】

### 生态护岸构造形式



仿自然护坡的斜坡式或阶梯式结构型式示意图



抛石防护的斜坡式结构型式示意图



植草砌块、生态混凝土、石笼基床等阶梯式结构型式示意图



综合式护岸结构示意图



## 【黑臭水体治理技术简介】

## 岸坡带植被修复设计

## (1) 原则

生态学原则

景观性原则

亲水性原则

## (2) 植物栽种时间

- 一般陆生植物、球宿根植物的最佳种植时间为植物休眠期。
- 水生湿地植物种植的最佳时间一般是春夏或初夏，
- 耐水性差的种类宜在生长期种植，耐寒性强的种类一般可在休眠期种
- 低温或高海拔地区宜在生长期种植



水深>110cm 水深80-110cm 水深50-80cm 水深20-50cm 水深<20cm

荷花

荷花  
芦苇芦苇  
香蒲  
水葱芦苇  
香蒲  
水葱  
菖蒲  
旱伞草  
梭鱼草

适宜生长的植物较多

## (3) 水生植物的栽种水深

## 【综合治理基本思路】

### 河道生态多样性修复技术

水生植物群落多样性修复技术

水生动物群落多样性修复技术



## 【综合治理基本思路】

### 水生植物群落多样性修复技术

#### (1) 适用范围

流速缓慢

河岸带缓坡

水深 > 1m

岸线复杂性高

#### (2) 设计要求

设计以挺水植被为主、沉水植被为辅，结合少量漂浮植被的全系列生态系统修复模式。

挺水植物选择河流所在区域常见植物，种植面积占2km河流岸带恢复区的水面**20%**，以**2-10丛/m<sup>2</sup>**密度种植；

沉水植物选择不同季相的种类来恢复疏浚后的河流生态系统，约占恢复河段水面的**10%**，以**30-100株/m<sup>2</sup>**的密度种植

## 【黑臭水体治理技术简介】

### 水生动物群落多样性修复技术

#### (1) 适用范围

流速缓慢

河岸带缓坡

水深>1m

岸线复杂性高

#### (2) 设计要求

当水体沉水植物生态修复和多样性恢复后，开展水系现存物种调查，首先选择修复水生昆虫、螺类、贝类、杂食性虾类和小型杂食性蟹类；待群落稳定后，引入本地肉食性的凶猛鱼类。

底栖动物选择河流所在区域常见动物，投放面积占2km河流岸带恢复区的水面10%，动物选择不同季相的种类，水生昆虫、螺类、贝类一般以50~100个/m<sup>2</sup>，杂食性虾类和小型杂食性蟹类以5~30个/m<sup>3</sup>的密度投放。



## 【综合治理基本思路】

### (5) 其它

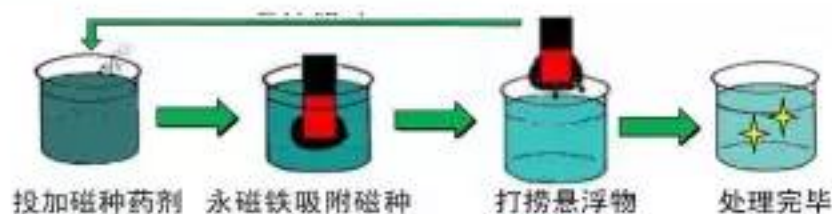
- 在有条件的地方，实行区域限磷或提高污水总磷排放标准。
- 人工控制藻类生长，物理控制技术有藻类直接收集和紫外线杀藻等，化学控制技术包括投加无机或有机抑（杀）藻剂，生物控制技术包括种植抑藻水生植物或投放食藻鱼类等。
- 彻底清除沿河垃圾，严控有色有味污染源的直排，构建岸边绿化带

## 【黑臭水体治理技术简介】

### 2.4 一些黑臭水体治理新技术简介

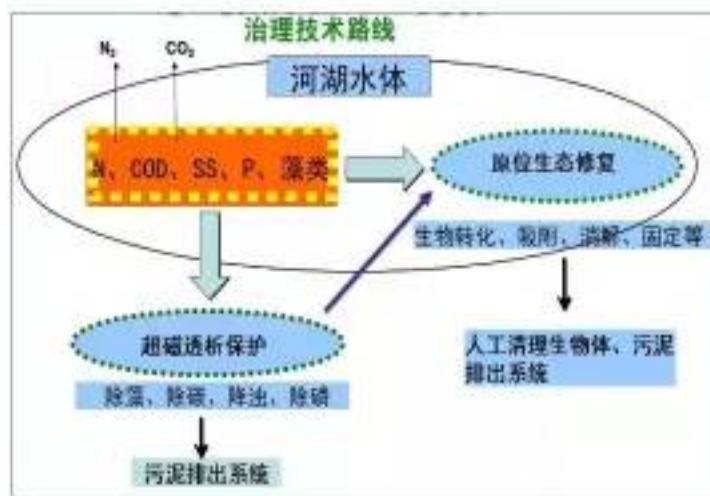
#### (1) 超磁透析保护+原位生态修复

超磁分离水体净化技术，把不带磁性的污染物赋予磁性，然后通过超磁分离设备进行固液分离，使水体净化。



利用高效物化分离与原位生态修复方法相结合，超磁透析保护结合原位生态修复，高效水质净化。

提高降解能力和占地面积限制的不足，短期见效快，长期易保持。



## 【黑臭水体治理技术简介】

### (2) 超磁分离+组装式接触氧化

“超磁分离+组装式接触氧化”复合技术工艺是针对黑臭地表水净化的技术工艺。超磁分离可高效削减黑臭水体中的悬浮物、TP、COD等污染负荷，与组装式的接触氧化技术相结合，去除氨氮等污染物，短时间内提升河湖水质。

占地面积小、可移动性、可现场组装拆卸、无需复杂土建、易操作管理、自动化程度高等优势，适于城市黑臭河道土地资源匮乏，需求紧迫的地区。



黑臭河道污水

超磁分离

组装式接触氧化

出水

## 【黑臭水体治理技术简介】

### (3) SBR分散点源一元化处理技术

SBR分散点源一元化处理技术装备是一种集膜生物反应器（MBR）和序批式活性污泥技术（SBR）于一体的撬装式污水处理技术装备。

□可根据需求设计为地理、半地理、地面3种设备结构形式。

□可根据河湖黑臭点源进出水水质不同需求适当添加预处理工艺环节。

□可实现河湖黑臭污水的高效净化，在适当投资运行成本的条件下，达到河湖景观回用的标准。



——工艺流程图



## 【黑臭水体治理技术简介】

### (4) 微生物菌剂

以多孔性材料为培养基的载体化微生物，兼具好氧，厌氧通用的特征。改善底质，实现生物清淤；降低N，P，水质净化及底泥改良。

EPSB工程菌直投技术，

优点：只需播撒，净化时间长，后期无需管理；低氧情况下，无需使用曝气设备；库存时间长，简单方便。



## 【黑臭水体治理技术简介】

### (5) 粉绿狐尾藻+底层微曝气技术

水面布设30%-60%粉绿狐尾藻，结合底层微曝气技术，吸收、吸附、转化降解水中污染物，抑制底泥污染物释放，消除河道黑臭现象，改善水质。

河底布设微曝气头（1个曝气头/10m），在多排污口岸段构建生态砾石床，粉绿狐尾藻下布设人工介质。



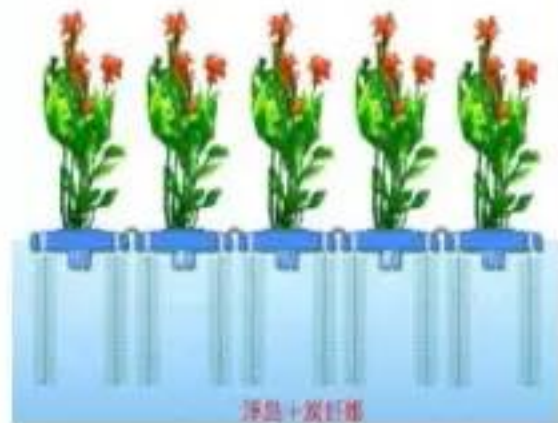
应用：城市河道

## (6) 高效生态浮岛工艺

生态浮岛下挂碳素纤维生态草技术。生态浮岛利用漂浮栽培技术种植挺水植物和陆生植物，碳纤维生态草是对水草的一种仿生产品，将碳素纤维草和生态浮岛结合起来，在浮岛浮体下悬挂碳素纤维生态草作为生物填料供微生物附着，从而扩大生物膜生长面积。



生态浮岛



碳纤维生态草



## 2.5 黑臭水体治理整体解决方案

### 案例一

以生物强化治理、生态恢复为主要手段，通过现状分析，采用多种技术集成措施对该河道水体进行修复治理，从而修复河道生态链，重建水生态系统；提高水体自净能力，增加河道环境容量；构建优美和谐的生态型河道景观。

#### (1) 水体水质不容乐观

水体水质属劣V类水体，水体呈黑臭。污水收集系统不完善、管网滞后，直排。

#### (2) 水系功能严重退化

未疏浚，底泥淤积，水体原有的生态系统破坏。

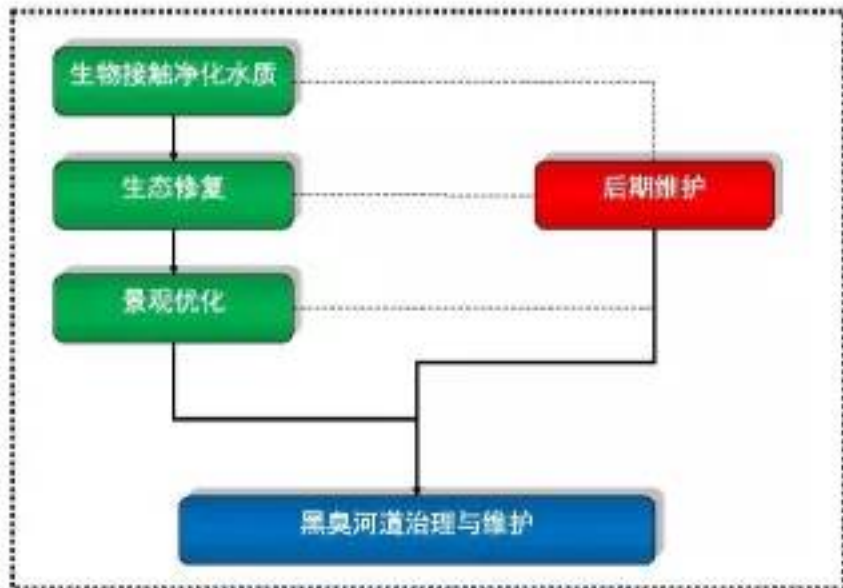
#### (3) 堤岸人工化，缺乏景观性

石砌水泥勾缝硬质直立驳岸，沿岸水生植物丧失，自净能力差。

#### (4) 引水、活水设施匮乏

不流动状态，加速恶化。

#### (5) 全民环保意识有待进一步提高





## 案例二

- (1) 水体水质较差，水体呈黑臭。
- (2) 水系功能严重退化，底泥淤积，水体原有的生态系统破坏。
- (3) 硬质堤岸，缺乏水生植物丧失，自净能力差。
- (4) 水体不流动，加速恶化。

采用多元生态构建、河道充氧造流、底泥污染控制、河水快速净化、水力调配控制等技术，提出了针对断头浜污染的组合技术方案，分应急、过渡、水质改善、生态恢复等不同阶段，明确各项技术实施要点的差异，最终形成断头浜水质净化与生态修复集成技术。



## 总结

(1) 运用**综合整治手段治理**黑臭水体。在流域尺度上采取污染源工程治理等截污措施，大幅度削减如何污染负荷。同时，将河岸带修复、人工充氧等河道内工程措施作为污染负荷削减的重要补充手段。在水质得到有效改善的基础上，通过水生生物等的恢复作用，逐步实现河流生态修复。

(2) 生态修复工程的**维护管理和长效运行维护**对确保黑臭水体治理效果起到至关重要的作用，因此需要建立黑臭水体治理工程运行维护长效机制，实行水体环境的常态化氧化，确保工程长效运行和水质改善效果。

(3) 解决黑臭水体问题涉及到自然科学、工程技术、社会科学、经济学和管理科学，需要针对黑臭水体进行跨学科的，涉及生态、社会、经济等各方面的全面研究。

## 展望

根据黑臭水体治理技术的需求，建立新技术开发与推广体系：

- 1) 在点源治理方面，研发应用高效脱氮、脱碳、除磷及资源、能源化先导技术，如真空收集截污技术、难降解工业废水高级氧化技术等。
- 2) 在面源治理方面，研发集成应用城市面源综合协同控制技术，初期雨水、地表漫流截污与污染控制技术等。
- 3) 在内源治理方面，研发应用新材料与制剂，如氧化剂、覆盖剂、生物抑制剂等。
- 4) 在生态修复方面，研发应用原位水质改善及生物生态修复技术，如复合酶原位生态净化、高效复合微生物菌剂、土著微生物扩增及生物促生、生物操纵等技术。