

附件 3

# 《黑臭水体治理技术政策》

(征求意见稿)

## 编制说明

2015 年 9 月  
环境保护部

项目名称：黑臭水体治理技术政策

项目统一编号：

承担单位：中国环境科学研究院 清华大学

主要起草人：宋永会 许秋瑾 刘翔 席北斗 张列宇 李国文  
蒋进元 刘瑞霞 彭剑锋 何连生 吴易雯 韩璐 姜萍 杨天学  
李曹乐

项目管理负责单位及负责人：中国环境科学研究院 蒋进元

环保部科技标准司项目管理员：王泽林 冷飞



## 目录

<b>1 项目背景</b> .....	<b>15</b>
1.1 任务由来 .....	15
1.2 工作过程 .....	16
<b>2 水体黑臭问题及其治理与控制现状</b> .....	<b>17</b>
2.1 我国黑臭水体环境问题现状 .....	17
2.2 我国黑臭水体水污染治理现状 .....	23
2.3 国内外水体黑臭问题与相关技术政策 .....	25
2.3.1 国外水体黑臭问题与相关技术政策 .....	25
2.3.2 国内水体黑臭问题与相关技术政策 .....	36
2.3.3 黑臭水体评价相关标准 .....	37
<b>3 技术政策编制的必要性</b> .....	<b>39</b>
3.1 国家及环保部门的相关要求 .....	39
3.1.1 产业政策 .....	39
3.1.2 环保政策 .....	39
3.2 黑臭水体治理的需求 .....	40
3.3 黑臭水体治理与生态修复的进展 .....	41
<b>4 黑臭水体治理技术</b> .....	<b>43</b>
4.1 流域水环境承载力与水环境质量目标控制技术（方法） .....	43
4.1.1 流域水环境承载力量化与评估方法 .....	43
4.1.2 流域水环境质量目标控制技术 .....	46
4.2 污染源综合控制技术 .....	48
4.2.1 流域产业结构调整控污减排技术 .....	49
4.2.2 污染源工程治理与控制技术 .....	50
4.3 黑臭水体生态修复技术 .....	57
4.3.1 缓冲带生态修复 .....	57
4.3.2 滨岸带生态修复 .....	61
4.3.3 水体生态修复技术 .....	67
4.4 水体监控预警 .....	82

4.4.1 黑臭水质预警预报技术 .....	83
4.4.2 在线监测技术 .....	83
4.4.3 综合管理平台 .....	84
<b>5 本技术政策的制定原则、依据和技术路线 .....</b>	<b>85</b>
5.1 编制原则 .....	85
5.2 编制依据 .....	85
5.3 技术路线 .....	87
<b>6 主要技术内容的说明 .....</b>	<b>88</b>
6.1 总则 .....	88
6.2 治理原则和技术路线 .....	88
6.3 黑臭问题诊断技术 .....	89
6.4 污染源控制及治理技术 .....	90
6.5 水动力改善及水力调控技术 .....	94
6.6 生态修复技术 .....	94
6.7 综合管理技术 .....	96
6.8 鼓励开发应用的新技术 .....	98

# 1 项目背景

## 1.1 任务由来

我国地表水污染状况严重,根据《2014年中国环境状况公报》,全国423条主要河流、62座重点湖泊(水库)的968个国控地表水监测断面(点位)中,超过III类水质断面占36.9%,主要污染指标为化学需氧量、总磷和五日生化需氧量。黄河流域40.3%的河水超过III类水标准;淮河流域43.6%的河水超过III类水标准;海河流域60.9%的河水超过III类水标准,其中海河流域劣V类水质断面占37.5%。全国许多水体出现了常年性或者季节性的黑臭现象。很多报道显示全国黑臭中小水体分布广泛,例如苏州河(上海)、内河(宁波)、秦淮河(南京)、巡司河、黄孝河(武汉)等。随着国民经济和社会的发展,全国水体黑臭程度加剧,成为制约我国社会、经济发展,影响我国的形象和生态安全的重大环境问题。

我国水体黑臭、尤其是城市水体黑臭问题的严重性引起了中央政府和地方政府的高度重视,为了尽快遏制水污染趋势、改善水环境质量,我国各级政府及各相关部门围绕着水污染防治做了大量卓有成效的工作。国家水体污染控制与治理科技重大专项中专门设立了“城市水污染控制与水环境综合整治技术体系研究与示范”主题。针对城市水体水环境高强度纳污和环境承载力低的问题,以温州、南宁和昆明为黑臭水体治理的示范城市,水专项专门设置了“城市黑臭水体外源阻断、工程修复与原位多级生态净化关键技术研究”来研究城市黑臭水体治理的关键技术,以期为国内类似黑臭水体的环境治理与功能提升提供技术支撑。

2012年党的十八大以来,党中央对生态文明建设和生态环境保护提出一系列新思想新论断新要求,为努力建设美丽中国,实现中华民族永续发展,走向社会主义生态文明新时代,指明了前进方向和实现路径。2015年4月,国务院发布的《水污染防治行动计划》全面贯彻党的十八大和十八届二中、三中、四中全会精神,大力推进生态文明建设,以改善水环境质量为核心,为切实加大水污染防治力度,保障国家水安全,遏制我国水环境恶化,指导水污染防治提供了理论依据和技术引导。但从总体上讲,由于我国水体黑臭问题较世界其他国家更为严重,加上不同地区黑臭问题的原因不尽相同,黑臭问题非常复杂。随着逐渐成熟

的技术与实践经验，从流域水体质量目标控制出发，控源减排、水动力恢复及水力调节、生态修复及综合调控的成套技术成为黑臭水体治理技术的发展方向，为适应黑臭水体治理与控制的形势发展需要，在汲取国内外黑臭水体防治经验和教训的基础上系统梳理与总结国内外最新科技成果，形成符合我国现阶段城市发展状况，并有利于城市经济与社会全面发展的黑臭水体防治技术政策，进一步优化水体黑臭问题防治模式，从根本上扭转水体黑臭问题恶化趋势，完善水环境管理体制和长效运行机制，实现水环境保护和社会经济协调发展。

## 1.2 工作过程

### (1) 项目启动

2015年4月10日-4月15日，中国环境科学研究院与科技司技术处汇报咨询后，成立《黑臭水体治理技术政策》编制组。编制组收集整理黑臭水体治理相关政策、防治技术以及国内外水体污染治理理念、技术、环境管理措施等资料，为全面分析研究我国黑臭水体治理技术与治理措施提供必要的基础。

### (2) 现场调研

2015年4月16日-5月1日，编制组开展了广东、上海、江苏常州、内蒙古四个省（市）不同类型典型的水体实地调研，了解了我国不同经济发展程度、不同区域与不同类型黑臭水体的现状、污染防治工程的科技需求及环境管理政策需求。

### (3) 完成技术政策初稿

2015年5月15日，编制组在北京召开“黑臭水体治理技术政策”内部讨论会，对各大纲章节具体内容进行统稿，形成了《黑臭水体治理技术政策》初稿。

### (4) 完成编制说明初稿

2015年5月31日，编制组在北京召开“黑臭水体治理技术政策”内部讨论会议，完成了《黑臭水体治理技术政策》编制说明（初稿），并对具体内容进一步讨论细化。

### (5) 完成技术政策及编制说明征求意见稿

2015年6月2日，环保部技术处组织中国环境科学研究院、清华大学、北京林业大学、北京市环保局水资源生态处召开了专家评审会，对技术政策及编制

说明初稿进行了咨询讨论。根据专家意见编制组于2015年6月3日完成了修稿，形成了技术政策及编制说明征求意见稿。

#### (6) 不断完善技术政策及编制说明征求意见稿

2015年6月15日，环境保护部科技标准司征集了环保部各司局的反馈意见，编制组根据反馈意见对技术政策进行了修改和完善；

2015年6月28及7月9日，第2、3次征求了国内知名专家的意见，根据专家意见，编制组于7月14日集中开会讨论，完成了修稿，再次形成了新的征求意见稿。

## 2 水体黑臭问题及其治理与控制现状

### 2.1 我国黑臭水体环境问题现状

河流、景观水体等为城镇、乡村提供饮用水源和舟楫交通之利，对城镇、乡村的存在形态及经济发展起着非常重要的作用。然而，城镇或乡村水体历来被人们视为城市工业废水和生活污水的主要排污通道和排污场所。随着经济的持续发展及人口的不断增长，在全球范围内，水体污染问题越来越突出，引起了人们越来越广泛的关注。

我国在20世纪90年代以前，为了追求经济的快速发展，对于污染问题一直不太重视，特别是从20世纪80年代起，随着改革开放力度的不断加大，我国社会经济进入了持续高速发展阶段。由于各地在经济发展过程中往往以牺牲环境为代价，大量工业废水简单处理后和生活污水就近直排入河，导致许多城市河流重蹈西方国家覆辙，走上了先污染后治理的老路。如珠江广州河段、松花江哈尔滨段、沈阳市城区河段、深圳市城区河段、南京市内外秦淮河、无锡市区河道、常州市运河及其支流、上海市中心城区中小河段等。其中上海的苏州河最早出现问题，从1920年起，河流的水质就开始恶化，出现了季节性的水体黑臭现象，到70、80年代时已成为一条终年黑臭的“污水沟”。

20世纪90年代中期，日趋严重的河流污染问题引起了全国各地政府和公众的强烈关注，许多城市花巨资对一些河流展开了大规模的生态环境整治。但这些河流保护与管理行为往往沿用传统的规划治理观念和技术方法，大多停留在水污染控制和水利工程层面，对河流生态系统的复杂性缺乏深入研究和准确把握，从

而导致我国在河流治理和管理方面仍有待于进一步改进和提高。1999 年我国环境状况公报显示：我国流经城市的河段普遍受到污染，141 个国控城市河段中有 63.8% 的城市河段为 IV 到劣 V 类水质，如上海的苏州河、宁波的内河、苏州的外城河、南京的秦淮河、常州的大通河等等，水质均受到严重污染，黑臭现象非常突出。城市水体的黑臭严重威胁了居民的生活和健康，限制了城市自身的发展，破坏了城市的美好形象。

到目前为止，据统计我国 80% 以上的城市河流受到了污染，其中很多甚至出现了季节性和常年性水体黑臭现象。全国工业和生活废污水日排放近 2 亿吨，使城市河流污染类型十分齐全，包括：有机物污染、重金属污染、酸碱污染、病毒细菌污染等。90% 以上的城市地表水域受到严重污染，南方城市总缺水量的 60%-70% 是由水污染造成的；超过 10000 km 的城市河段，丧失了 V 类水的最基本的使用功能；生态系统退化或崩溃。根据《2014 年中国环境状况公报》，2014 年，长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河等七大流域和浙闽片河流、西北诸河、西南诸河的国控断面中，I 类水质断面占 2.8%，II 类占 36.9%，III 类占 31.5%，IV 类占 15.0%，V 类占 4.8%，劣 V 类占 9.0%。主要污染指标为化学需氧量、五日生化需氧量和总磷。地表水总体为轻度污染，部分城市河段污染较重。

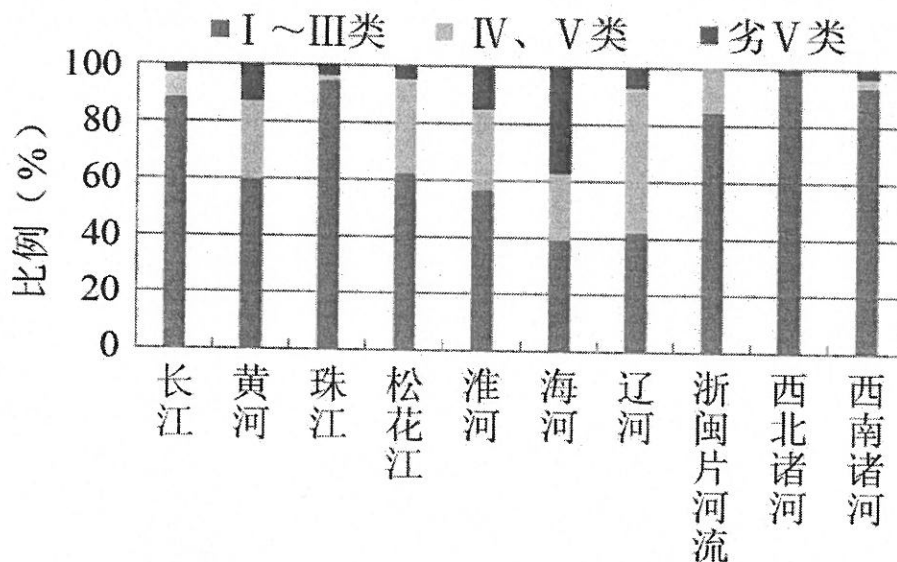


图 2.1-1 2014 年十大流域水质状况



按照流域来划分，2014年，长江流域水质良好。I类水质断面占4.4%，II类占51.0%，III类占32.7%，IV类占6.9%，V类占1.9%，劣V类占3.1%。与上年相比，长江流域水质无明显变化。

主要支流中，螳螂川、坝水、府河和釜溪河为重度污染，岷江、沱江、滁河、外秦淮河、黄浦江、花垣河和唐白河为轻度污染，其余支流水质均为优或良好。

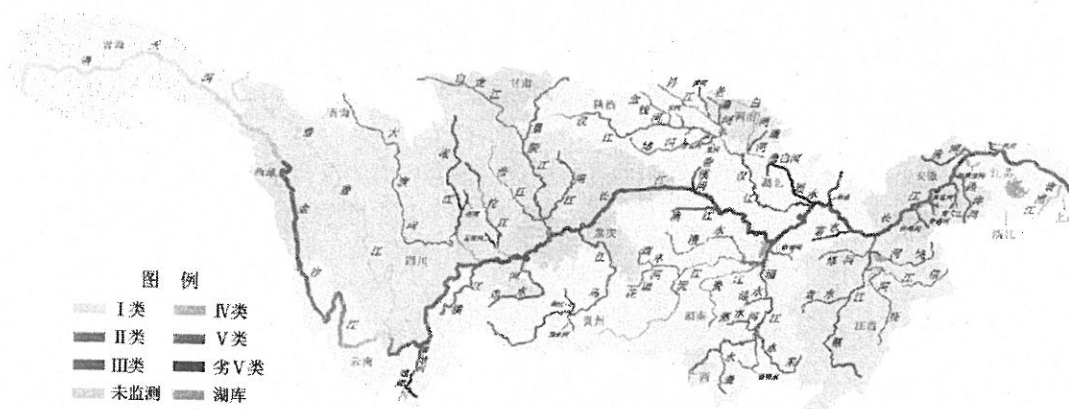


图 2.1-2 2014 年长江流域水质分布示意图

2014年，黄河流域国控断面中，I类水质断面占1.6%，II类占33.9%，III类占24.2%，IV类占19.3%，V类占8.1%，劣V类占12.9%。主要污染指标为化学需氧量、氨氮和五日生化需氧量。与上年相比，黄河流域水质无明显变化。

主要支流中，总排干、三川河、汾河和涑水河为重度污染，大黑河和渭河为中度污染，伊洛河、沁河、灞河、北洛河和丹河为轻度污染，其余支流水质均为优或良好。

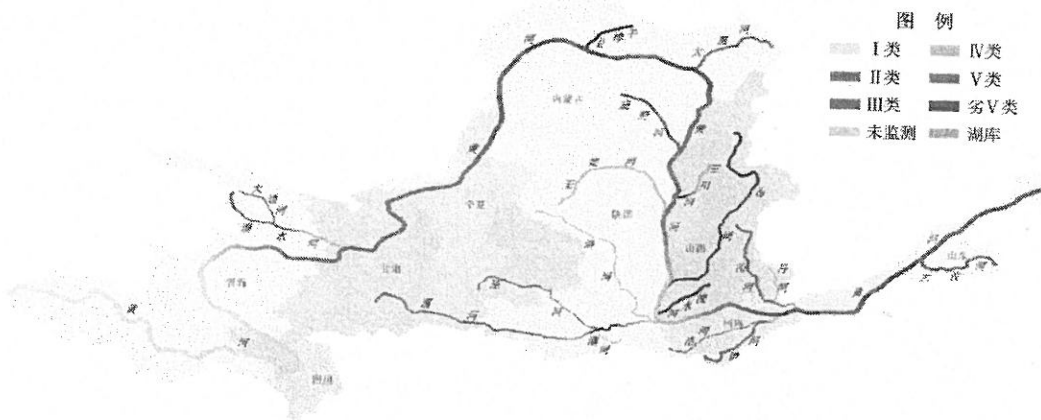


图 2.1-3 2014 年黄河流域水质分布示意图

同年，珠江流域 I 类水质断面占 5.6%，II 类占 74.1%，III 类占 14.8%，IV 类占 1.8%，无 V 类断面，劣 V 类占 3.7%。与上年相比，珠江流域水质无明显变化。

主要支流中，深圳河和练江为重度污染，其余支流水质均为优或良好。

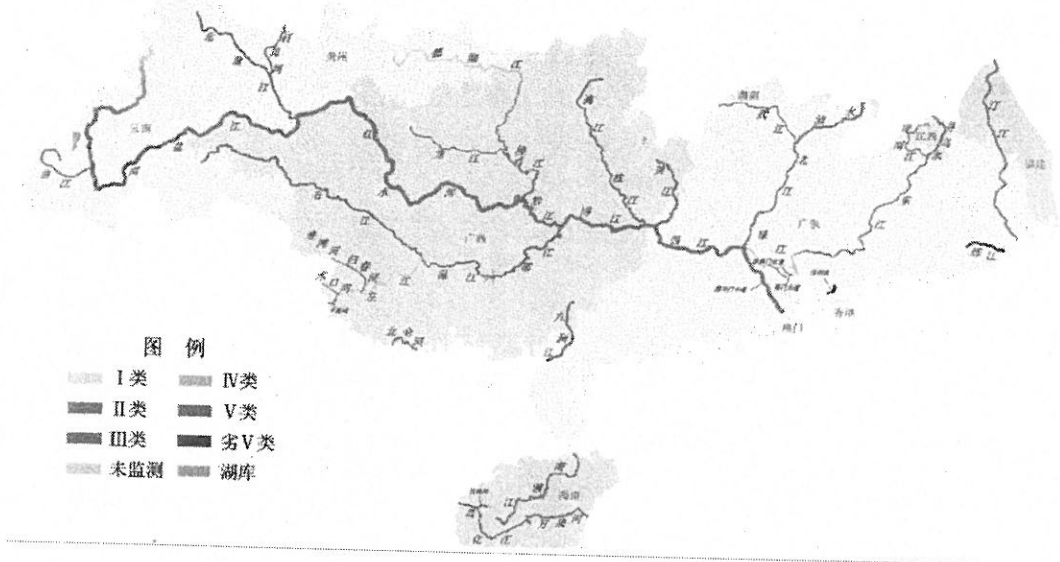


图 2.1-4 2014 年珠江流域水质分布示意图

2014 年，松花江流域无 I 类水质断面，II 类占 6.9%，III 类占 55.2%，IV 类占 28.7%，V 类占 4.6%，劣 V 类占 4.6%，同比下降 1.1 个百分点。主要污染指标为化学需氧量、高锰酸盐指数和五日生化需氧量。与上年相比，松花江流域水质无明显变化。

支流中黑龙江水系、乌苏里江水系和图们江为轻度污染，绥芬河水质良好。



图 2.1-5 2014 年松花江流域水质分布示意图



2014年淮河流域无I类水质断面，II类占7.5%，III类占48.9%，IV类占21.3%，V类占7.4%，劣V类占14.9%。主要污染指标为化学需氧量、五日生化需氧量和高锰酸盐指数。与上年相比，淮河流域水质无明显变化。

主要支流中，洪河为重度污染，涡河为中度污染，颍河、浍河和沱河为轻度污染，沂河、潢河、史河、史灌河和西淝河水质良好。

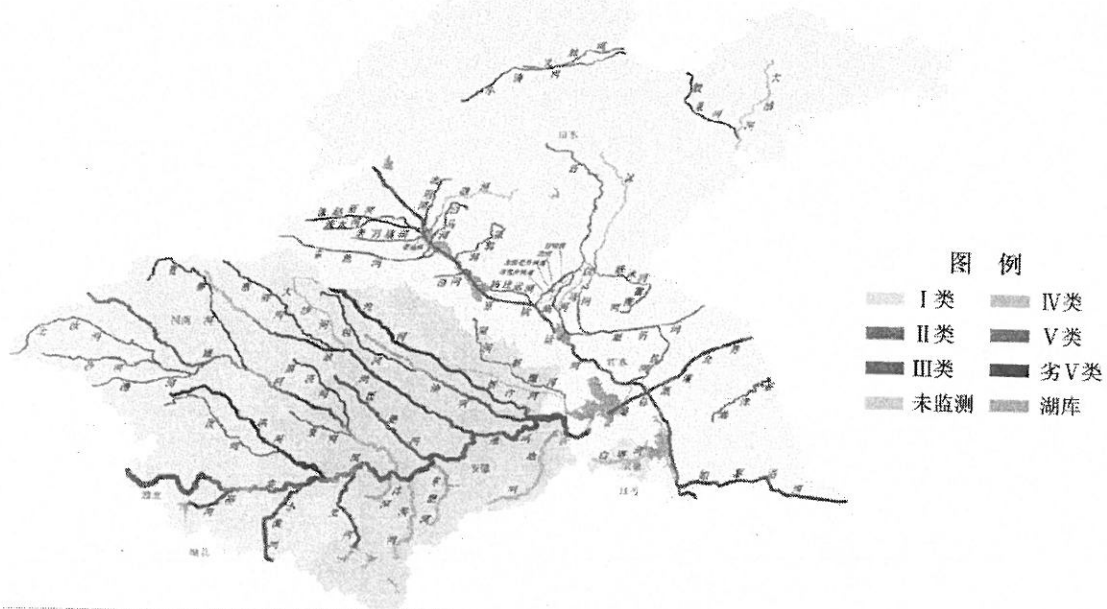


图 2.1-6 2014 年淮河流域水质分布示意图

2014年，海河流域中I类水质断面占4.7%，II类占14.1%，III类占20.3%，IV类占14.1%，V类占9.3%，劣V类占37.5%。主要污染指标为化学需氧量、五日生化需氧量和总磷，污染较严重。

海河主要支流中，北运河、岔河、龙河、潮白新河、大沙河、大石河、府河、滏阳河、洵河、南排河、卫河、卫运河、宣惠河、永定新河和子牙新河为重度污染，妫水河、南运河和漳卫新河为中度污染，御河、洋河、绵河和清水河为轻度污染，其余支流水质均为优或良好。

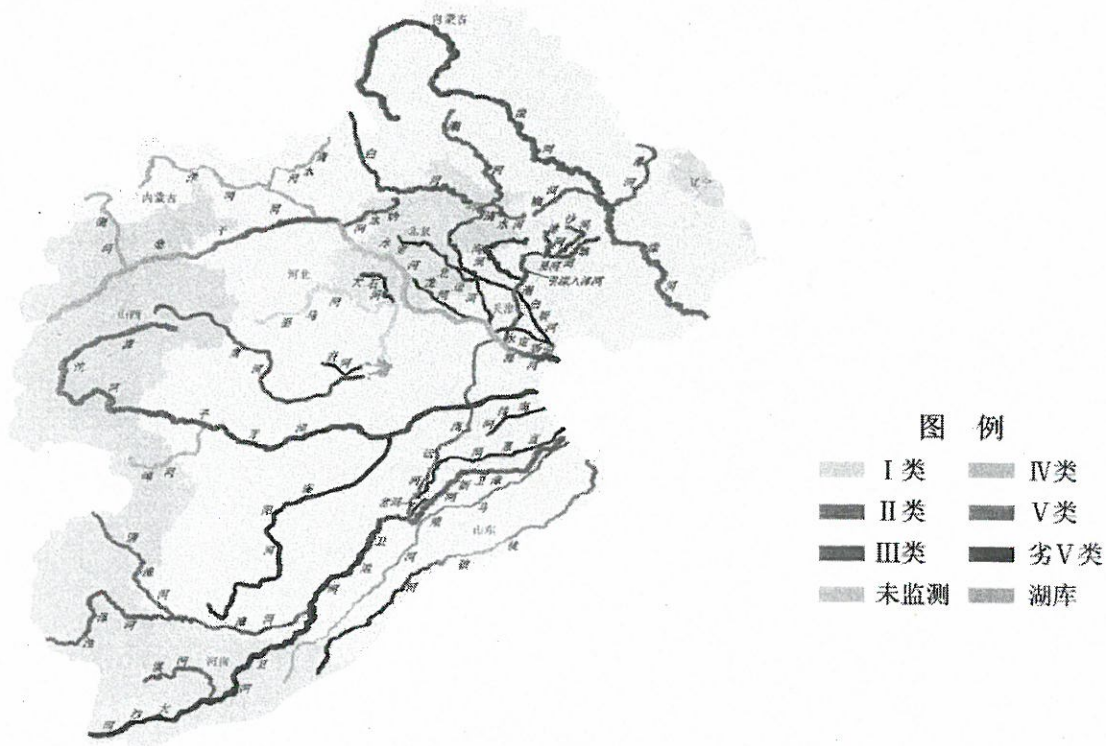


图 2.1-7 2014 年海河流域水质分布示意图

省界水体水质中，I～III类、IV～V类和劣V类水质断面比例分别为 64.9%、16.5%和 18.6%。主要污染指标为氨氮、总磷和化学需氧量。

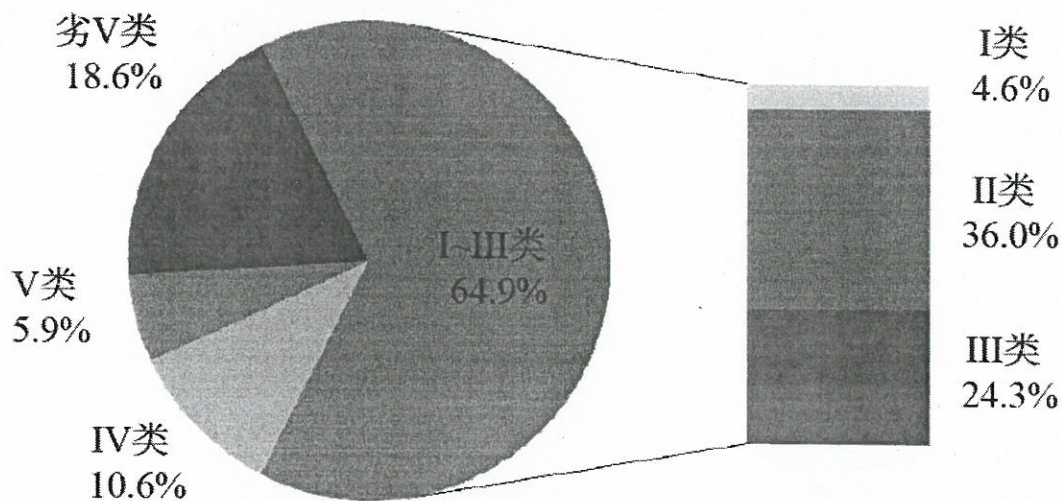


图 2.1-8 2014 年全国省界断面水质状况

表 2.1-1 2014 年省界断面水质状况

流域	断面比例 (%)		劣 V 类断面分布
	I~III类	劣 V 类	
长江	78.0	7.5	清流河的安徽—江苏交界处；舞水的贵州—湖南交界处；清河、黄渠河的河南—湖北交界处；牛浪湖的湖北—湖南交界处
黄河	49.3	34.2	湟水的青海—甘肃交界处；都斯图河的内蒙—宁夏交界处；皇甫川、窟野河、特牛川的内蒙—陕西交界处；葫芦河、渝河、茹河的宁夏—甘肃交界处；金堤河的河南—山东交界处；龙王沟的内蒙—入黄处；偏关河、蔚汾河、湫水河、三川河、鄂河、汾河、涑水河的山西入黄处；皇甫川、孤山川、清涧河、延河、金水沟的陕西入黄处；双桥河、宏农涧河的河南入黄处等
珠江	85.5	5.5	黄华江的广东—广西交界处；深圳河的广东—香港交界处
松花江	83.0	6.4	阿伦河、雅鲁河的内蒙—黑龙江交界处；卡岔河的吉林—黑龙江交界处
淮河	49.0	18.4	洪汝河、南洛河、大沙河（小洪河）、沱河、包河的河南—安徽交界处；奎河的江苏—安徽交界处；灌沟河南支的安徽—江苏交界处；绣针河、青口河的山东—江苏交界处
海河	31.7	61.7	潮白河、北运河、沟河、凤港减河、小清河、大石河是北京—河北交界处；北京排水河是北京—天津交界处；潮白河、蓟运河、北运河、沟河、还乡河、双城河、大清河、青静黄排水渠、子牙河、子牙新河、北排水河、沧浪渠的河北—天津交界处；卫运河、漳卫新河的河北—山东交界处；卫河的河南—河北交界处；徒骇河的河南—山东交界处；饮马河的内蒙—山西交界处；南运河的山东—河北交界处；桑干河、南洋河的山西—河北交界处等
辽河	19.0	23.8	阴河的河北—内蒙交界处；老哈河的辽宁—内蒙交界处；招苏台河、条子河的吉林—辽宁交界处
东南诸河	90.0	10.0	甘岐水库的浙江—福建交界处
西南诸河	100.0	—	—

## 2.2 我国黑臭水体水污染治理现状

对于水体，尤其是城市水体是承载城市文明与发展的重要载体，如今多功能景观城市水体已成为人们新的精神文化需求，是生态文明型及和谐城市建设的重要组成部分，更是一个城市品质的标志之一。然而，随着全球工业化和城市化的迅猛发展，城市水体污染日益严重，污染事件频频发生，城市水体污染问题成为世界普遍问题。近年来，随着我国经济的快速发展，城镇化进程加快，城市排污量的不断增加，再加上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。

严重的水环境污染问题不仅成为制约中国经济发展的重要问题，还直接危害到居民健康和城市生态安全。国家十分重视水体污染问题，在“水体污染控制与治理科技重大专项”等的资助下，在治理技术研发与技术示范工程等方面取得了重要成果，但还存在着些许不足，总体表现为三个方面：水体污染治理技术类型多但缺乏系统梳理，技术示范工程不断增加但缺乏治理绩效评估，技术应用验证和推广的信息化较为落后。

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的经验，我国水体污染控制与治理经历了从单纯的注重水资源开发、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，相应的水体污染控制与治理技术也在不断得到应用与发展。

第一阶段(20 世纪 80 年代-20 世纪 90 年代)为水利工程治河阶段。主要以提高防洪排涝、蓄水航运为目的，利用防洪工程、排污工程、灌溉工程等措施控制污染并改善水质。

第二阶段(20 世纪 90 年代-21 世纪初)为环境保护与综合治理阶段。主要以 1991 年第二次全国城市环境保护会议提出的我国城市水环境综合整治的主要方针为标志，我国城市水体整治全面进入环境保护与综合治理阶段。自 1991 年开始，全国开展了混合污水截留管道的修建和优化、兴建集中污水处理设施、氧化塘、土地处理系统等为城市水体污染控源截污，开展底泥疏浚、引清调水、滨岸带衬砌等水体整治技术，在实现城市水体的景观效应、旅游和休闲功能等方面取得了一定的进展。以上海市苏州河等城市中心水体为主要代表，经过综合治理后，水体水质得到明显的改善，水体黑臭基本消除。

第三阶段(21 世纪初以来)为水体生态修复阶段。随着国内外水体污染控制与治理技术的发展，以及人们对居住环境质量要求的越来越高，不仅需要与周围环境相协调的水体自然景观，而且需要河水清澈、鱼儿欢快、水生植物茂盛的自然生态景观。考虑到此种情况，为建立与我国经济发展水平、居民生活水平相适应的水体生态功能水平，国家对水体生态问题以及多自然水体的建设高度重视。“十五”科技专项以及“十一五”期间，国家水体污染控制与治理科技重大专项在多个

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。在这个阶段,控源截污、底泥疏浚、基地改造、水生生物修复、生态护岸、水质改善、河岸生态景观重建、微生物修复等治理技术得到广泛应用。在理论方面,丰富了“亲自然水体”和“自然型护岸”的概念,如城市水体生态系统的八元修复模式,该模式以控污截源、底泥疏浚与污水处理工程为主导,综合运用曝气复氧、多功能水体生态修复等工程,强化城市初期雨水径流污染控制技术,以生物修复与自然修复相结合,景观建设与生物栖息地营造相结合的原则实现水体生态系统的修复。

## 2.3 国内外水体黑臭问题与相关技术政策

### 2.3.1 国外水体黑臭问题与相关技术政策

20世纪60年代开始,西方发达国家先后对水体污染展开了大规模的综合治理工作。近年来,西方发达国家水利建设已进入“生态水利”或“环境水利”的阶段,人工景观水体建设中注重水体自然生态环境的恢复和保护,使综合服务功能得到充分的发挥。经济高速发展时期所形成的“唯效率主义”水环境管理观念正在受到摒弃,各国转而尊重水生态系统的自然规律,注重水体自然生态和自然环境的恢复和保护,充分发挥水生态系统服务功能。

#### (1) 各国关于黑臭水体治理的政策

##### 1) 英国:科学规划重点治理

2013年,英国环境、食品和乡村事务部依据《欧盟水框架指令》对其境内水体质量进行检测。结果显示,英格兰和威尔士境内质量处于“良好”以上的水体仅占总体的27%。针对境内水体污染物来源的分布状况,英国政府从农业生产和城镇生活两个方面入手,解决水体污染问题,主要政策有以下3个方面:

一是强化农民在农业生产中的水体保护意识。首先在英格兰地区启动了“水域周边敏感地区农地管理项目”,对农业生产造成水体污染的途径和危害向农民普及知识。

二是使用强制措施降低农业生产污染危害。依据欧盟有关指令,严格限制硝酸盐和磷化合物化肥使用的数量和时间,并对违反规定的农户处以重罚。

三是提供指导和资金促使农户改变生产模式。英国政府设立了总额为 21 亿英镑的“环境监管项目”，与农户签订协议，确立其在水体保护方面的责任和义务。通过这一系列激励措施，当前英格兰地区 70% 的农地在农业生产中采取了控制或避免水体污染的耕种模式。

在城镇生活方面，英国政府首先将英格兰地区划分为 66 个水体区域，每个区域实行地方政府、社区以及企业共同管理，并注重发挥社区的作用。2012 年至 2015 年，累计投入 1000 万英镑，联合地方政府、社区和关注公共水体保护的非政府组织，推动社区机构加强水污染领域宣传工作，并支持居民区污水管道改造等活动，降低居民生活污水对公共水体污染。与此同时，加强中央、地方政府和公路管理局的协作，提升水体保护在交通规划中的重要性。针对城镇生活垃圾对公共水体的污染控制，在与社区合作加强宣传的同时，主要通过重金处罚的方式予以控制。英国当前针对城市地区的河流、湖泊、海滨区域等公共水体建立了全面的监控体系，对向公共水体丢弃垃圾的个人最高处以 2500 英镑的罚金。

## 2) 韩国：总量管理分类防治

在上世纪工业化发展时期，韩国也发生过水质污染事故，事故伤痛的记忆以及经济发展带来的环保意识提升，使韩国民众对水污染防治的关注度非常高。韩国政府也为此做了多方面的工作，制定了具有很强针对性和可操作性的水污染防治办法。

韩国环境保护部门将水质污染的原因按污染源划分为点源污染和非点源污染两大类。点源污染指的是由固定排放源产生的污染，这其中包括生活污水，占到了此类污染量的 60%；工业废水，占 39%；畜牧业废水，占 1% 左右。非点源污染指的是道路、土壤等中的污染物质和富营养化物质对地表水和地下水造成的污染。由于此类污染发生地点不固定、范围广，因此成为韩国政府关注和集中治理的重点。

韩国环境部根据不同的水质污染源类别制定了相应的防治办法。对于点源污染源，韩国政府主要通过设立污水处理厂，并根据污水的具体情况，进行物理处理、化学处理和生物学处理。对于非点源污染治理起来则相对复杂，首先在农民中倡导正确的施肥方法，即在农作物对肥料需求旺盛时期集中施肥，其他时期少施肥，绝不过度施肥，以减少土壤中的富营养化物质；其次是在主要道路等污染

源与水源地之间修复和加强自然生态系统,设置植被缓冲带,减少不透水层面积等。

韩国政府从 2004 年开始实行的水质污染总量管理制是治理水污染比较行之有效的办法。水质污染总量管理制是指各地方政府针对管辖区段的河川科学地制定目标水质,以此推算出为实现和维持目标水质最大的水质污染物容忍量,并据此规定污染物排放总量的管理制度。韩国环保专家认为,污染总量管理制的实施具有三方面的重要意义:首先是通过科学的水质管理,提高了环境治理的效率性,使环保和经济发展的矛盾最小化,提高了治污的针对性和灵活性。其次是规划细化到各级政府,细化到各排污源头,使各方责任明确,使政府和企业间、企业和企业间矛盾最小化,提高了管理的实效性。再次是在制定规划时统合上下游区域的意见,避免了地域间的矛盾,增强了管理制度的可操作性。

### 3) 德国:完善立法研发技术

在德国,人们可以享用到充足且优质的饮用水。除了德国水资源丰富之外,还得益于完善的立法、先进的环保技术和资源保护措施。

在德国水法体系中最重要的是《水平衡管理法》。一直到 1949 年联邦德国《基本法》通过前,水事务管理一直都属于各州自行管辖事务。根据《基本法》原第 75 条规定,联邦对于水管理有框架性立法权限,但直到 1957 年联邦议会才通过《水平衡管理法》。1976 年德国利用经济手段对水体保护进行补充的《废水征费法》,才最终在水管理领域制定了联邦范围内统一的法律性框架。这是德国首次按“谁污染谁付费”原则,收取环境保护费用。费率取决于排水数量和其所含有危害物的性质。污水排放收费能促进水消费者尽可能降低排放。收费资金由联邦政府支配,专门用于支持水体质量保护和提高。

德国水资源管制和水体保护受到欧盟法律性规范的深刻影响。2000 年 12 月,欧盟开始实施水框架指令,并要求到 2015 年所有水体在数量和化学两方面达到良好状态。数量状态良好是指地下水汲取和恢复能实现平衡。据统计,2008 年德国已有 95% 地下水域能实现数量状态良好。

2009 年德国颁布联邦新水法,在水务上从原来的框架性立法权限升级为完整立法权限。新法在整体上承袭了原法规大量内容,但不只是条文重新表述和结构重新编排,更是大量吸收了各州水法中的内容,同时还将欧盟指令及时转化为



成员国国内法，在德国历史中第一次实现了全国统一的、直接适用的水管理法。德国亥姆霍兹研究联合会环境研究中心研究员沈百鑫告诉记者：“德国水体治理可以总结为：一个理念，即综合治理；两个标准，即环境质量标准和先进技术标准；三个立足点，即设施、水有害物质和特别保护区。”

德国对废水处理执行相当高的标准。德国联邦能源与水经济联合会的资料显示，与欧盟许多其他国家相比，德国的废水几乎 100%按欧盟最高标准进行处理。“水供给和处理的长期安全性、高饮用水质量、高废水处理标准、高客户满意度以及细心保护水源”的“五支柱”原则成为德国水务行业标杆。

德国柏林水务中心 CARISMO 项目以最大化利用污水中有机物质的新技术，获得了 2014 年德国可持续发展奖。CARISMO 项目将污水处理厂初沉池改为利用混凝沉淀后，用滚筒将沉淀物和有机物过滤并送至污泥厌氧发酵，提高产期率，降低曝气池氧气消耗。不仅可节约能源，而且还能产生更多的能源。

柏林的大型污水处理厂目前每处理一立方米需要消耗 0.2 至 0.4 千瓦小时特定能量。然而，利用最佳的可行性技术方案，废水中所含的有机物质完全转化为甲烷，反而可以在理论上产生甚至高达每废水立方米 0.8 千瓦小时的能量。研究者认为，到 2030 年，这一项目可以在不改变污水处理目标的前提下，将污水处理厂由化石能源的消费者转变为可再生能源的净生产者。

#### 4) 法国：软硬兼施 合理利用

法国政府非常注重对水资源的污染防治，同时积极实行多管齐下的水资源治理模式，主要依靠法律与城市硬件设计维持了日常用水的安全与便利。

早在 1964 年，法国国民议会决议通过了《水法》与《水域分类、管理和污染控制法》。随着法国国民经济发展的变化与需要，《水法》在 1992 年得到了较大修改并沿用至今，进一步有效地协助了法国政府对本国水资源的治理。在法律实施原则上，《水法》体现了四大原则：

首先是综合治理原则，该原则将水资源与其他资源一并纳入生态系统保护环节内，使得法国的环境保护体系保持完整性与系统性。

其次是流域治理原则，《水法》规定法国国内水资源以流域为单位进行综合治理，当经济活动涉及排污、资源开发等水资源管理事项时，经营者必须遵循流域管理委员会的意见，“谁的流域谁负责”。



第三是全民治理原则，除了法国政府及其下属的各级流域管理委员会外，民众也应广泛参与进水资源治理的环节当中，民众有监督相关管理机构的义务，同时民众代表也应对水资源治理问题提出建议对策，使水资源保护与治理“大众化”。

最后是经济治理原则，这里的“经济治理”主要是指利用金钱罚金来规范并约束社会用水行为，旨在利用经济杠杆来保护法律的可实施性以及环境的可持续发展。在法国，向自然水域排放污水需得到严格审核，同时还需向流域管理部排污部门缴纳高昂的排污费，一旦超标便将收到重磅经济罚单乃至法庭传票。另一方面，污水处理与水资源再利用产业则是被政府鼓励的行为，具体的鼓励措施便是向这些产业发放补贴与资助。

法国在水资源保护以及污染防治等方面之所以取得较高成就，除了依靠成熟的法律法规外，完善的人工水循环系统也使得整个社会尝到了合理利用水资源的甜头。法国的供水系统在设计之初便分为了两套系统，以巴黎市为例，一套是流入百姓家中水龙头的饮用水系统，另外一套是主要供城市清洁与绿化的非饮用水系统。这些用于清洁路面，调整城市空气湿度的水最终会流入下水渠，污水在进入污水处理中心后，在物理过滤掉表层垃圾后，还要接受生物过滤，将污水中的富营养化物质消除，在完成这个环节后，水质即可达标，并可根据需要决定是否再次使用，抑或排入自然水域内。凭借着全市区长达 2200 公里的地下污水管线，巴黎得以较为“奢侈”地合理利用水资源进行城市清洁。

#### 5) 瑞士：严格高效 普及净化

半个多世纪前，瑞士水生态环境建设也曾走过弯路。水利用的飞速发展，造成了严重的环境污染。当时，瑞士的湖水普遍遭到来自工业和生活的污染，污水收集率仅为 20%，水质环境持续恶化。

日内瓦湖是欧洲中部地区最大的饮用水蓄水池。上世纪 60 年代，日内瓦湖水体出现污染，家庭污水和工业废水不经处理就被直接排入湖中。此外，周边农林业大量使用农药，对地下水也形成严重污染，到 70 年代中期，湖中鱼虾近乎绝迹，成为“死湖”。巴塞尔市的水源来自莱茵河，在上世纪中叶，生活废水、高毒性废弃物和工业废水的排放，则导致莱茵河污染达到历史上最严重的程度。苏黎世市的露天和封闭河道曾经常被滥用于转移工业区和住宅区污水。直至当污染的后果明显到眼可见、鼻可嗅的程度：河道散发恶臭，湖泊不再吸引人们游泳，

动植物渐渐消失，洪水在频次和强度上激增……人们才意识到，苏黎世水治理到了刻不容缓的地步。

此后，知错即改的瑞士人开始着手治理水污染。严峻的形势使瑞士政府部门、私营企业和民间团体不得不坐下来商讨对策，并及时采取措施。瑞士的经验表明，从某种程度上来说，解决水污染问题只有一个办法：将废水排入自然水域之前首先使其净化。过去几十年，瑞士投资数十亿瑞郎，建设了一项积极有效、遍及全国的污水净化工程。污水净化网遍布城市与村庄，数百个污水净化装置把下水道废水中的有害物质滤出。目前，瑞士民用水水价中，高达三分之二是专门用来处理生活污水的。瑞士联邦环境局专家说：“污水必须经过污水厂净化后才能排出去。所以现在瑞士很多地方都把河水、湖水作为饮用水源，稍加处理便可直接饮用。”

瑞士水污染防治的另一条重要措施就是让水循环重新自然化。在近百年中被引直或被开凿成运河的河流及小溪，要重新变回河床，恢复河流的原有面积。目前，河流回归的自然工程已在瑞士各州全面展开。尽管费用高昂，但让河水重归自然有着非常重要的意义：保障生态平衡，预防洪水泛滥并加强水的自然净化能力。

比如埃默河，由于人工改造，其河床左右是水泥砌成的河墙，河床变得笔直，从而使得河水急速地从布格多夫市流向其他地区。由于河床的宽度被水泥河墙所固定，河水无法向两岸扩展，造成河水流速快，力量大，不仅使两岸所有的植被根本无法生存，而且放大了洪水的危害。随着拦水装置的不断增设，这又对瑞士主要鱼类——鳟鱼等的生存造成了致命打击。如今，治理后的埃默河南段已恢复了原来的河床模样。

经过近几十年严格高效的水污染治理和水环境管理，瑞士的水生态环境建设取得了显著成绩。今天，瑞士的城市工业污水和生活污水已经百分之百做到了经处理后再排放，瑞士的湖水甚至都已经接近饮用水的标准。在瑞士，水泉、溪流、河流和湖泊是人们休养生息的理想场所。

#### 6) 日本：问责严厉 信息公开

日本在维护水资源安全问题上有过沉痛的教训。为了追求经济的快速发展和工业合理布局，日本曾忽视了环境问题，许多重化工业企业肆意向江河湖海排放

废水，不仅污染了日本的水资源，而且严重威胁居民的健康和生活安全。如九州地区的熊本县，由于当地的化肥厂直接排放含有汞的废水，使当地居民患上神经麻痹的怪病。从上世纪 60 年代起，日本各地连续发生多起水污染造成的社会事件，引起日本全国的强烈反响。

在舆论的压力下，日本政府不得不下决心解决企业排污造成的水污染问题。日本首先从立法开始，短短几年，先后通过了诸如《控制工业排水法》、《水质污染防治法》、《湖泊水质保全特别措施法》等法律，后来，日本又根据情况变化多次修改《水质污染防治法》。这样，日本主管部门和法律部门就可以依据这些法律监督和管理水资源，并调查和追究污染水质的责任方。

日本有关法律的最大意义，就是将水资源的安全和地方行政长官的责任联系在一起。相关法律和法规规定，各地行政长官是当地水资源安全责任人，应依法对居民用水和水资源的安全进行管理和监察。因此，一旦出现水质问题，当地行政主要官员将被议会问责，还会面临舆论的强大压力，问题严重的还会被追究法律责任。在这种法律和舆论的约束下，日本任何一级行政长官对水资源和居民用水的安全达标都不敢掉以轻心，尽心尽责地管理和监察水质的安全，否则不仅自己的“乌纱帽”不保，而且可能身陷法律纠纷。

日本为确保水资源安全，防止水污染，还建立了信息公开和居民查询制度。在许多城市，主管部门都在供水系统的各个环节设立了监控系统。如东京都，从上游的水源到最终段的居民家庭管道，一共安装了 10 多个检测点，共有 60 多项检测项目，而且随时公布这些项目的检测结果。居民每天可以从东京都水道局的网站上看到有关信息。如果居民感觉自己家中的水质有问题，可以电话询问水道局，或登门查询，水道局必须给予说明，或上门检查。

为解决企业排放问题，日本政府采取了“鞭子加糖块”的政策。一方面，严厉打击非法排放的企业。大阪附近的一家化工企业，偷偷向河川中排放废水，结果被当地政府和居民联合起诉到法院，法院依法作出高额罚款，结果企业很快倒闭，企业负责人也锒铛入狱。后来，日本又对多起非法排放的企业作出严厉的处罚。另一方面，日本政府向投资建设污水处理系统的企业提供一定的财政补贴，还给予税率上的优惠。这些政策让企业知道，与其违法排污被罚高额罚金甚至企业倒闭，不如拿出些资金修建废水处理设施，而且还能得到政府的补贴，政策引

导致日本在短时间内就杜绝了企业排放污水问题。

## (2) 国外水体综合整治案例

### 1) 英国伦敦泰晤士河

#### A. 水环境问题分析

泰晤士河全长 402 公里，流经伦敦市区，是英国的母亲河。19 世纪以来，随着工业革命的兴起，河流两岸人口激增，大量的工业废水、生活污水未经处理直排入河，沿岸垃圾随意堆放。1858 年，伦敦发生“大恶臭”事件，政府开始治理河流污染。

#### B. 治理思路及措施

一是通过立法严格控制污染物排放。20 世纪 60 年代初，政府对入河排污做出了严格规定，企业废水必须达标排放，或纳入城市污水处理管网。企业必须申请排污许可，并定期进行审核，未经许可不得排污。定期检查，起诉、处罚违法违规排放等行为。

二是修建污水处理厂及配套管网。1859 年，伦敦启动污水管网建设，在南北两岸共修建七条支线管网并接入排污干渠，减轻了主城区河流污染，但并未进行处理，只是将污水转移到海洋。19 世纪末以来，伦敦市建设了数百座小型污水处理厂，并最终合并为几座大型污水处理厂。1955 年到 1980 年，流域污染物排污总量减少约 90%，河水溶解氧浓度提升约 10%。

三是从分散管理到综合管理。自 1955 年起，逐步实施流域水资源水环境综合管理。1963 颁布了《水资源法》，成立了河流管理局，实施取水许可制度，统一水资源配置。1973 年《水资源法》修订后，全流域 200 多个涉水管理单位合并成泰晤士河水务管理局，统一管理水处理、水产养殖、灌溉、畜牧、航运、防洪等工作，形成流域综合管理模式。1989 年，随着公共事业民营化改革，水务局转变为泰晤士河水务公司，承担供水、排水职能，不再承担防洪、排涝和污染控制职能；政府建立了专业化的监管体系，负责财务、水质监管等，实现了经营者和监管者的分离。

四是加大新技术的研究与利用。早期的污水处理厂主要采用沉淀、消毒工艺，处理效果不明显。20 世纪五六十年代，研发采用了活性污泥法处理工艺，并对尾水进行深度处理，出水生化需氧量为 5-10 mg/L，处理效果显著，成为水质改



善的根本原因之一。泰晤士水务公司近 20% 的员工从事研究工作，为治理技术研发、水环境容量确定等提供了技术支持。

五是充分利用市场机制。泰晤士河水务公司经济独立、自主权较大，其引入市场机制，向排污者收取排污费，并发展沿河旅游娱乐业，多渠道筹措资金。仅 1987—1988 年，总收入就高达 6 亿英镑，其中日常支出 4 亿英镑，上交盈利 2 亿英镑，既解决了资金短缺难题，又促进了社会发展。

### C. 治理效果

泰晤士河水质逐步改善，20 世纪 70 年代，重新出现鱼类并逐年增加；80 年代后期，无脊椎动物达到 350 多种，鱼类达到 100 多种，包括鲑鱼、鳟鱼、三文鱼等名贵鱼种。目前，泰晤士河水质完全恢复到了工业化前的状态。

## 2) 韩国首尔清溪川

### A. 水环境问题分析

清溪川全长 11 公里，自西向东流经首尔市，流域面积 51 平方公里。20 世纪 40 年代，随着城市化和经济的快速发展，大量的生活污水和工业废水排入河道，后来又实施河床硬化、砌石护坡、裁弯取直等工程，严重破坏了河流自然生态环境，导致流量变小、水质变差，生态功能基本丧失。50 年代，政府用 5.6 公里长、16 米宽的水泥板封盖河道，使其长期处于封闭状态，几乎成为城市下水道。70 年代，河道封盖上建设公路，并修建了 4 车道高架桥，一度视为“现代化”标志。

### B. 治理思路及措施

本世纪初，政府下决心开展综合整治和水质恢复，主要采取了三方面措施：一是疏浚清淤。2005 年，总投资 3900 亿韩元（约 3.6 亿美元）的“清溪川复原工程”竣工，拆除了河道上的高架桥、清除了水泥封盖、清理了河床淤泥、还原了自然面貌。二是全面截污。两岸铺设截污管道，将污水送入处理厂统一处理，并截流初期雨水。三是保持水量。从汉江日均取水 9.8 万吨，通过泵站注入河道，加上净化处理的 2.2 万吨城市地下水，总注水量达 12 万吨，让河流保持 40 厘米水深。

### C. 治理效果

从生态环境效益看，清溪川成为重要的生态景观，除生化需氧量和总氮两项

指标外，各项水质指标均达到韩国地表水一级标准。从经济社会效益看，由于生态环境、人居环境的改善，周边房地产价格飙升，旅游收入激增，带来的直接效益是投资的 59 倍，附加值效益超过 24 万亿韩元，并解决了 20 多万个就业岗位。

### 3) 德国埃姆舍河

#### A. 水环境问题

埃姆舍河全长约 70 公里，位于德国北莱茵—威斯特法伦州鲁尔工业区，是莱茵河的一条支流；其流域面积 865 平方公里，流域内约有 230 万人，是欧洲人口最密集的地区之一。该流域煤炭开采量大，导致地面沉降，致使河床遭到严重破坏，出现河流改道、堵塞甚至河水倒流的情况。19 世纪下半叶起，鲁尔工业区的大量工业废水与生活污水直排入河，河水遭受严重污染，曾是欧洲最脏的河流之一。

#### B. 治理思路与措施

一是雨污分流改造和污水处理设施建设。流域内城市历史悠久，排水管网基本实行雨污合流。因此，一方面实施雨污分流改造，将城市污水和重度污染的河水输送至两家大型污水处理厂净化处理，减少污染直排现象。另一方面建设雨水处理设施，单独处理初期雨水。此外，还建设了大量分散式污水处理设施、人工湿地以及雨水净化厂，全面削减入河污染物总量。

二是采取“污水电梯”、绿色堤岸、河道治理等措施修复河道。“污水电梯”是指在地下 45 米深处建设提升泵站，把河床内历史积存的大量垃圾及浓稠污水送到地表，分别进行处理处置。绿色堤岸是指在河道两边种植大量绿植并设置防护带，既改善河流水质又改善河道景观。河道治理是指配合景观与污水处理效果，拓宽、加固清理好的河床，并在两岸设置雨水、洪水蓄滞池。

三是统筹管理水环境水资源。为加强河流治污工作，当地政府、煤矿和工业界代表，于 1899 年成立了德国第一个流域管理机构，即“埃姆舍河治理协会”，独立调配水资源，统筹管理排水、污水处理及相关水质，专职负责干流及支流的污染治理。治理资金 60%来源于各级政府收取的污水处理费，40%由煤矿和其他企业承担。

#### C. 治理效果

河流治理工程预算为 45 亿欧元，已实施了部分工程，预计还需几十年时间才能完工。目前，流经多特蒙德市的区域已恢复自然状态。

#### 4) 法国巴黎塞纳河

##### A. 水环境问题

塞纳河巴黎市区段长 12.8 公里、宽 30-200 米。巴黎是沿塞纳河两岸逐渐发展起来的，因此市区河段都是石砌码头和宽阔堤岸，三十多座桥梁横跨河上，两旁建成区高楼林立，河道改造十分困难。20 世纪 60 年代初，严重污染导致河流生态系统崩溃，仅有两三种鱼勉强存活。污染主要来自四个方面，一是上游农业过量施用化肥农药；二是工业企业向河道大量排污；三是生活污水与垃圾随意排放，尤其是含磷洗涤剂使用导致河水富营养化问题严重；四是下游的河床淤积，既造成洪水隐患，也影响沿岸景观。

##### B. 治理思路与措施

工程治理措施主要包括四方面：一是截污治理。政府规定污水不得直排入河，要求搬迁废水直排的工厂，难以搬迁要严格治理。1991-2001 年，投资 56 亿欧元新建污水处理设施，污水处理率提高了 30%。

二是完善城市下水道。巴黎下水道总长 2400 公里，地下还有 6000 座蓄水池，每年从污水中回收的固体垃圾达 1.5 万立方米。巴黎下水道共有 1300 多名维护工，负责清扫坑道、修理管道、监管污水处理设施等工作，配备了清砂船及卡车、虹吸管、高压水枪等专业设备，并使用地理信息系统等现代技术进行管理维护。

三是削减农业污染。河流 66% 的营养物质来源于化肥施用，主要通过地下水渗透入河。巴黎一方面从源头加强化肥农药等面源控制，另一方面对 50% 以上的污水处理厂实施脱氮除磷改造。但硝酸盐污染仍是难以处理的痼疾。

四是河道蓄水补水。为调节河道水量，建设了 4 座大型蓄水湖，蓄水总量达 8 亿立方米；同时修建了 19 个水闸船闸，使河道水位从不足 1 米升至 3.4-5.7 米，改善了航运条件与河岸带景观。此外还进行了河岸河堤整治，采用石砌河岸，避免冲刷造成泥沙流入；建设二级河堤，高层河堤抵御洪涝，低层河堤改造为景观车道。除了工程治理措施外，还进一步加强了管理。一是严格执法。根据水生态环境保护需要，不断修改完善法律制度，如 2001 年修订《国家卫生法》要求，

工业废水纳管必须获得批准，有毒废水必须进行预处理并开展自我监测，必须缴纳水处理费。严厉查处违法违规现象。二是多渠道筹集资金。除预算拨款外，政府将部分土地划拨给河流管理机构（巴黎港务局）使用，其经济效益用于河流保护。此外，政府还收取船舶停泊费、码头使用费等费用，作为河道管理资金。

### C. 治理效果

经过综合治理，塞纳河水生态状况大幅改善，生物种类显著增加。但是沉积物污染与上游农业污染问题依然存在，说明城市水体整治仅针对河道本身是不够的，需进行全流域综合治理。

#### 5) 奥地利维也纳多瑙河

多瑙河全长 2850 公里，是欧洲第二长河，奥地利首都维也纳市地处其中游。维也纳多瑙河综合治理开发，形成了一套现代化的河流综合治理和开发体系，即在传统治理理念基础上突出“生态治理”概念，并运用到防洪、治污、经济开发等各个领域。主要措施包括两方面：

一是建设生态河堤。恢复河岸植物群落和储水带，是维也纳多瑙河治理和开发的主要任务之一。基于“亲近自然河流”概念和“自然型护岸”技术，在考虑安全性和耐久性的同时，充分考虑生态效果，把河堤由过去的混凝土人工建筑，改造成适合动植物生长的模拟自然状态，建成无混凝土河堤或混凝土外覆盖植被的生态河堤。

二是优化水资源配置和使用。维也纳周边山地和森林水资源丰富，其城市用水 99% 为地下水和泉水，维持了多瑙河的自然生态流量。维也纳严禁将工业废水和居民生活污水直接排入多瑙河，废污水由紧邻多瑙河的两座大型水处理中心负责处理，出水水质达标后，大部分排入多瑙河，少部分直接渗入地下补充地下水。此外，严格控制沿岸工业企业数量并严格监管。

## 2.3.2 国内水体黑臭问题与相关技术政策

### (1) 上海

上海是全国最早出现水体黑臭现象的城市，苏州河早在上世纪 20 年代就出现了黑臭现象，到了 80 年代水体黑臭继续恶化。为解决苏州河的黑臭问题，上海市于 1998 年实施了苏州河环境综合整治一期工程，2003 年该工程的顺利完成，



苏州河干流基本消除了黑臭，此后又于 2004 年初开始对中心城区的中、小黑臭水体进行综合整治。

## (2) 江苏

2013 年 4 月，江苏省政府办公厅下发了《全省城市水体环境综合整治工作指导意见的通知》，明确用 3 年时间，基本消除城市水体黑臭现象，实现“水清岸绿、鱼虾洄游、环境优美”的目标。各市建立黑臭水体档案，明确整治责任单位，由各市、县（市、区）人民政府作为城市水体水环境综合整治的第一责任人，全面启动包括控源截污、综合环境整治、疏浚活水、生态修复在内的重点整治任务。省环保厅在对黑臭水体整治的考核要求中强调，对综合整治不力、污染问题严重、群众反映强烈的水体，将对有关责任地方通报批评、约谈政府负责同志，并实施挂牌督办；对整治不力的地方，暂停省级环保专项资金补助和各类环保创建，取消创先评优资格。

### 2.3.3 黑臭水体评价相关标准

目前我国对黑臭水体的评价，主要依据现行的《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）。

表 2.3-1 地表水环境质量标准（部分指标）

项目	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
高锰酸盐指数 ≤	2	4	6	10	15
化学需氧量 (COD) ≤	15	15	20	30	40
五日生化需氧量 (BOD <sub>5</sub> ) ≤	3	3	4	6	10
氨氮 (NH <sub>3</sub> -N) ≤	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
总磷 (以 P 计) ≤	0.02(湖、 库 0.01)	0.1(湖、 库 0.025)	0.2(湖、 库 0.05)	0.3(湖、 库 0.1)	0.4(湖、 库 0.2)
总氮 (湖、库，以 N 计) ≤	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0

对国内外各种水体黑臭评价方法进行比较，比较结果如表 2.3-2 所示。

水体黑臭评价的方法主要包括多元线性回归模型、有机污染指数模型、黑臭多因子加权指数模型和综合水质标识指数法。其中多元线性回归模型在评价过程中综合考虑水体致黑、致臭方面的因素，是一种应用广泛且比较全面的评价模型，只是在臭度和色度的权重因子分配方面还需要作进一步研究。有机污染指数模型、黑臭多因子加权指数模型和综合水质标识指数法评价模型主要应用于上海及其周边地区水体黑臭评价，该模型将三种方法对上海同一地区水体黑臭状况的评价

结果进行比较可以看出,综合水质标识指数法具有明显的优势。该模型既可以用于水体水质类别的评价,又可以用于评价水体黑臭。

表 2.3-2 水体黑臭评价模型比较

模型名称	模型方程	评价水体	模型特点分析
黑臭单因子指数模型	污染指数 = $\frac{\text{氨氮实测值 (mg/L)}}{\text{溶解氧饱和百分率} + 0.4}$	上海市黄浦江	使用的因子太少,具有很大片面性,不能准确、全面地评价河道黑臭。
单一指数法	DO>2mg/L, COD≤40mg/L, DO 指数=0, 没有黑臭; DO≤2mg/L, COD>40mg/L, DO 指数=1, 水体出现黑臭。	上海市苏州河	只能评价水体是否为 V 类或劣 V 类水体,用来评价河道黑臭不够准确。
水质指标比值法	$I = \text{BOD}_5 / \text{COD}_{\text{Mn}}$	苏州水网	较单因子指数法有所改进,但同样存在考虑因素不周全的问题
多元线性回归模型	$I = 0.624[\text{COL}] + 0.376[\text{TO}]$ , $\text{TO} = 4.3066 + 1.0171[\text{COD}_{\text{Cr}}] + 0.2496[\text{BOD}_5] + 0.9017[\text{NH}_3\text{-N}] - 2.3407[\text{DO}] + 1.7602[\text{H}_2\text{S}]$ , $\text{COL} = 8.314[\text{Fe}] + 3.433[\text{Mn}] - 2.30$	汾河太原城区段	综合考虑多个水质参数,对黑度和嗅阈值分别解析后加以整合,能够较准确的评价河道黑臭程度,是目前使用较为广泛的黑臭评价方法之一。
有机污染指数模型	$A = \frac{[\text{BOD}]_i}{[\text{BOD}]_o} + \frac{[\text{COD}]_i}{[\text{COD}]_o} + \frac{[\text{NH}_3\text{-N}]_i}{[\text{NH}_3\text{-N}]_o} - \frac{[\text{DO}]_{\text{饱}} - [\text{DO}]_i}{[\text{DO}]_{\text{饱}} - [\text{DO}]_o}$	常州运河支流	综合考虑了多个水质参数,但由于该模型主要关注水体致臭因素,而没有考虑水体发黑的因素,具有一定局限性。
黑臭多因子加权指数模型	$I = \frac{0.2[\text{COD}_{\text{Cr}}] + 0.1[\text{NH}_3\text{-N}]}{[\text{DO}]_{\text{饱}} + 0.3} \times 1.085^{(T-10)}$	上海市苏州河	综合考虑多个水质参数,并对各种影响因素与黑臭的相关性进行了定量研究,能够较全面地反映水体黑臭程度。
综合水质标识指数法	$I_{\text{wq}} = X_1 \cdot X_2 X_3 X_4$ , $X_1 \cdot X_2 = \frac{1}{5} \sum (P_{\text{DO}}' + P_{\text{COD}_{\text{Mn}}} + P_{\text{BOD}_5}' + P_{\text{NH}_3\text{-N}} + P_{\text{TP}}')$	上海市城市河道	既考虑了单个水质因子的作用又综合考虑了多个水质因子之间的相互作用,是一种比较全面的河道黑臭评价方法,但在不同地区、不同类型河道的黑臭评价中进行推广还有待研究。
多元非线性回归模型	$\log[\text{CH1a}] = 0.99 \log[\text{TN}] + 0.40 \log[\text{TP}] - 0.16 \log[\text{C}] - 2.13$	美国佛罗里达州 Baton 湖	考虑了多个水质指标,是一种值得借鉴的河道黑臭评价方法。
通过乔司眯预测水体黑臭	$\text{GEOS} = -9.93 + 3.02[\text{DO}] + 9.33 \log[\text{CHL}] - 3.58 \log[\text{TOTALG}]$	美国堪萨斯地区水库	对大量水质参数进行了筛选,能够较全面、准确的预测乔司眯的含量,但是由于涉及到的参数太多,监测过程也比较复杂。

### 3 技术政策编制的必要性

#### 3.1 国家及环保部门的相关要求

##### 3.1.1 产业政策

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出：实施主要污染物排放总量控制；加强造纸、印染、化工、制革、规模化畜禽养殖等行业污染治理，继续推进重点流域和区域水污染防治，加强重点湖库及水体环境保护和生态治理，加大重点跨界水体环境管理和污染防治力度。

2012年11月，党的十八大从新的历史起点出发，做出“大力推进生态文明建设”的战略决策，从10个方面绘出生态文明建设的宏伟蓝图：建设生态文明，是关系人民福祉、关乎民族未来的长远大计。面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势，必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念，把生态文明建设放在突出地位，融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程，努力建设美丽中国，实现中华民族永续发展。加大自然生态系统和环境保护力度。良好生态环境是人和社 会持续发展的根本基础。扩大森林、湖泊、湿地面积，保护生物多样性。加快水利建设，增强城乡防洪抗旱排涝能力。加强防灾减灾体系建设，提高气象、地质、地震灾害防御能力。加大自然生态系统和环境保护力度。要实施重大生态修复工程，增强生态产品生产能力，推进荒漠化、石漠化、水土流失综合治理。加快水利建设，加强防灾减灾体系建设。坚持预防为主、综合治理，以解决损害群众健康突出环境问题为重点，强化水、大气、土壤等污染防治。

##### 3.1.2 环保政策

国务院2015年4月16日发布了《水污染防治行动计划》-“水十条”，共10条35款76项238个具体措施。“水十条”量化指标的重要亮点，是它不再停留在减排量、排放标准等以往常用的手段上，而直接将江河湖泊水体的改善程度作为考核标准，包括七大水系的水质标准、地级市以上城市黑臭水体的数量等刚性指标。“水十条”要求：全国七大流域水质优良比例超70%。到2020年，长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河等七大重点流域水质优良（达到或优于Ⅲ类）比例总体达到70%以上，地级及以上城市建成区黑臭水体均控制在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，城市集中式饮用水水源水质达到或优于 III 类比例总体为 95% 左右。这是“水十条”需要达到的主要指标，达到这些指标，就可以实现全国水环境质量总体改善，水生态系统功能初步恢复，生态环境质量全面改善、良性循环。“水十条”做出明确要求，地级市集中饮用水水质达 III 类比例高于 93%。敏感区域达到一级 A 标准，敏感区域（重点湖泊、重点水库、近岸海域汇水区域）城镇污水处理设施应于 2017 年底前全面达到一级 A 排放标准。污水基本实现全收集全处理。到 2017 年，直辖市、省会城市、计划单列市建成区污水基本实现全收集、全处理，其他地级市建成区于 2020 年底前基本实现。在许多城市，污水处理厂还远远滞后于城市发展、污水处理的需要，大量污水直排河湖，有的即便开工也因收集效率不高，处理成本高、效率低。

### 3.2 黑臭水体治理的需求

随着经济的可持续发展及城市人口的不断增长，在全球范围内，水体污染问题越来越突出，引起了人们的广泛关注。在我国，水体有机污染普遍存在且日益突出，主要湖泊富营养化严重，流经城镇的河段污染更加严重，水体的黑臭问题成为水环境中亟待解决的问题。我国一些城市，如上海，南京等地在城市水体治理过程中科技、资金和管理等方面逐步增加，但是我国水体黑臭现象总体尚未得到遏制。区域性的水体黑臭现象治理效果仍待提高，部分水体持续恶化，水生态系统的安全仍然受到潜在威胁。水体黑臭化总体上呈现迅速增长趋势。

水体是景观和生态环境的主要组成部分，水体黑臭现象不仅严重影响城镇形象、生态环境和居民健康，而且直接危害到饮用水源的水质。以上海为例，黄浦江市区段水体的黑臭导致自来水厂的主要引水口不断的由下游向上游迁移，1987 年由上海市区迁到临江，1998 年又从临江迁到黄浦大桥。近 10 年来长江三角洲地区水体有机污染日益严重，普遍出现水体黑臭现象。如何尽快解决水体的黑臭问题已成为水环境工作的当务之急。

目前，在国内外尚无明确统一的城市水体黑臭专门评价方法和标准。在苏州河环境整治中，有研究者提出有机污染综合评价法，评价标准选择确定 GB 3838-88 标准的 V 类水质指标下限。上海自来水公司提出了水体黑臭指数，用于



反映水体黑臭程度，当指数大于等于 5 时，即判断为黑臭状态。但是随着全国水体黑臭状态的发展、修复技术的发展，个别典型城市水体黑臭治理的技术政策并不能完全适应我国城市水体黑臭化控制的新需求。

### 3.3 黑臭水体治理与生态修复的进展

近 10 年来，在国家“863”、“973”以及支撑计划等科技项目中，开展了流域水环境管理对策、水污染综合防治、水环境容量以及总量控制技术等工作。

在“十五”“863”计划中，专门设置了“水污染控制与治理工程”重大科技专项，对城市水环境专题进行研究和示范；重大水课题开始了膜技术研究；设立了太湖水污染防治项目，针对湖泊水源地的水质改善和重污染湖区的底泥疏浚与生态重建等方面开展了湖泊治理的技术集成与工程示范，集成和创建了恶劣条件下保护和改善湖泊水源地水质的综合治理技术，建立了环保疏浚和生态重建技术和示范工程。

2000 年以来，在国家“973”计划中与环境相关的项目达到 20 个左右，其中“黄河流域水资源可再生性机理研究”、“湖泊富营养化过程与蓝藻水华暴发机理研究”、“中国典型河口-近海陆海相互作用及其环境效应”、“持久性有机污染物的环境安全、演变趋势与控制原理”等课题，加深了对我国重大水环境问题的认识，对水环境污染形成过程、污染特征及其变化规律都有了进一步了解，为解决我国重大水环境问题提供了前沿性、基础性的科学基础。

“十五”期间，国家环保总局组织实施了“十五”科技攻关重大项目“重大环境问题对策与关键支撑技术研究”，项目涉及重大环境技术政策、流域污染物总量控制、生态功能区划与监控等，研究成果对推动国家制定新的环境技术政策，完善环境管理制度起到了很好的推动作用。

国家“十五”科技攻关计划（支撑计划）重大项目“水安全保障技术研究”，提出了全国生态需水标准，形成了黑河流域的水资源统一调配系统技术和方法，开发了黑河流域水资源调配管理信息系统模型库。此外，还有其他科技攻关项目以及国际合作项目，如科技部和国家环保总局主持的“松花江水污染应急科技专项跨界流域水环境管理研究”（2005-2006）、亚洲开发银行资助开展的“黄河流域跨行政区水环境综合管理项目”（2003-2005）、国家环保局和世界银行开展的“海

河流域水资源与水环境综合管理”（2004-2009）、“淮河流域水污染防治规划评估”（2005-2006）等项目。

“十一五、十二五”正在实施的国家水体污染控制与治理重大科技专项，按照“控源减排”、“减负修复”和“综合调控”三步走战略实施，中央财政资金概算 141.68 亿元。截至 2014 年，水专项共启动 437 个课题，中央财政资金 70.85 亿元。其中，“十一五”启动 230 个课题，中央财政资金 32.05 亿元；“十二五”启动 207 个课题，中央财政资金 38.80 亿元。按照“一河一策”、“一湖一策”的战略部署，在太湖、辽河、松花江、滇池、巢湖、海河、淮河、三峡水库、东江、洱海等 10 个流域开展大攻关、大示范。第一阶段共研发了 1000 余项关键技术，建设了 500 余项科技示范工程，申请专利 2300 余项（已获得授权的国内外专利 1221 项），研发了 100 余项快速检测方法，形成了 300 余项标准和技术规范；第二阶段截至 2014 年，坚持“减负修复”阶段目标，加大面源污染控制、有毒有害污染物控制等关键技术研发力度，建成示范工程 200 余项，建成综合管理和产学研开发等平台 and 基地 90 余个，成立 8 个产业技术创新战略联盟；申请专利 480 余项，发布标准、规范或技术指南等 28 项。深化了水生态功能分区的原理方法，构建了流域水质目标管理体系；研发了化工等 5 个重点行业污水处理关键技术，造纸等行业废水资源化处理取得新进展；研发了城市水环境系统源解析及其水质响应的新方法，开发了城市污水提标改造关键技术；研发了蓝藻水华暴发监测和预警技术，建立了蓝藻水华拦截与处置利用技术系统；研发了多类型湖滨带生态修复技术，建立了入湖河流水质生态强化净化工艺；开发了微污染饮用水源监测预警及突发性污染事故应急供水净化关键技术；提出了跨界生态补偿与水污染赔偿等政策措施，在典型流域试行排污许可证制度。

这些项目、课题的实施及取得的科技成果，为黑臭水体治理技术政策的编制提供了坚实的基础。

## 4 黑臭水体治理技术

### 4.1 流域水环境承载力与水环境质量目标控制技术（方法）

#### 4.1.1 流域水环境承载力量化与评估方法

水环境承载力是处理水环境与人类社会经济活动之间关系的有力工具，目前已经在多个方面取得进展，特别是量化方法呈现出多样化的态势，现有方法归纳起来主要有4类：指标体系综合评价法、多目标最优化方法、系统动力学方法以及模拟技术与优化技术混用的系统分析方法。

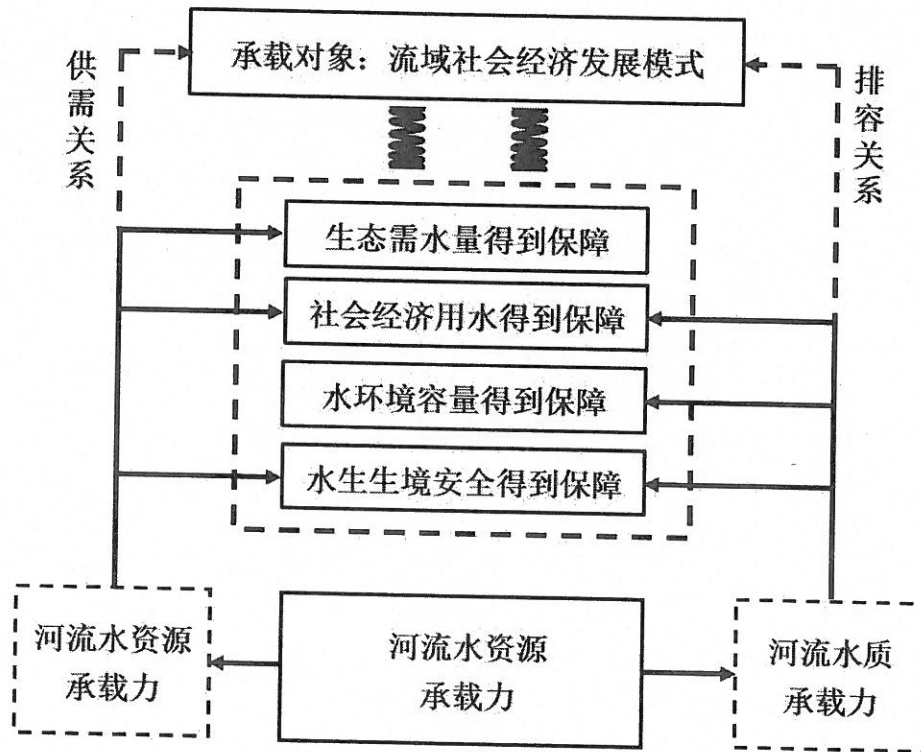


图 4.1-1 黑臭水体水环境承载力概念体系图

(1) 指标体系综合评价法：根据各项评价指标的具体数值，应用统计方法或其他数学方法计算出综合指数，实现对水环境承载力的评价，是目前应用较为广泛的一种量化模式。计算综合指数常用方法有：向量模法、模糊综合评价法和主成分分析法，还有水环境状态指数法和环境承载率表征法等方法。指标体系评价方法依赖人为的评价，以及不同承载力的指标数值之间或指标数值与标准值之间的对比，得出的结果都是无量纲的数值，因而实际上是社会经济系统与水系统的协调程度，而非严格概念意义上水环境承载力。

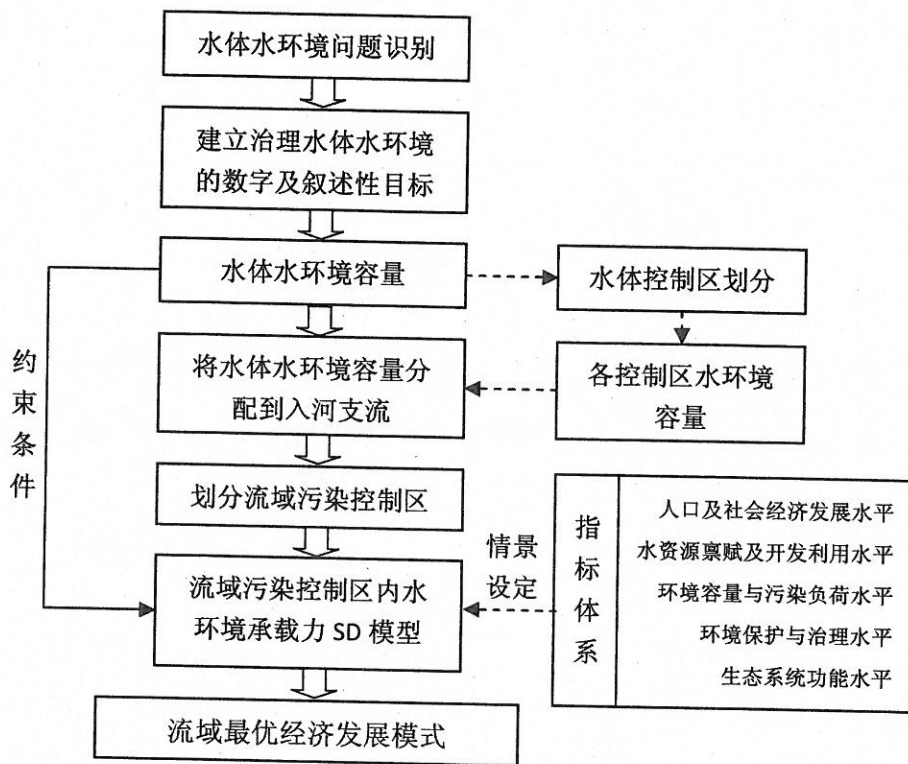


图 4.1-2 黑臭水体水环境承载力量化技术路线

(2) 多目标最优化方法：是采用大系统分解—协调的系统分析思路，研究水环境在“社会—经济—生态—环境—资源”这一多目标、多层次、群决策复杂巨系统中的作用，将研究区域的水环境—人类社会经济系统划分为若干子系统，并采用数学模型对其进行刻画，各子系统模型之间通过多目标核心模型的协调关联变量相连接，并实现确定需要达到的优化目标和约束条件，结合模型模拟和对决策变量在不同水平年的预测结果，就可解出同时满足多个目标整体最优的发展方案，其所对应的人口或社会经济发展规模即为研究区域的水环境承载力。目前多目标核心模型通常采用契比雪夫算法进行求解，在权重叠代收敛时采用融合了决策者对邻近点和 Trade-off 矢量意见的 Z-W 算法。该方法没有注意到各种指标对人来说的统一性，如用人均实际收入为最优化目标要比用国内生产总值和人口规模两个优化目标好，实际上是将现实系统孤立静止地看待；求解技术还不太成熟，如计算机速度、求解容量、解题程序和方法、模型的构造与解的有效性等问题都影响着该方法的应用，因而使得多目标方法仅限于较小的模型规模，不能更全面地考虑系统的各项影响因素。

(3) 系统动力学方法：从系统的内部要素和结构分析入手，通过一阶微分方程组来反映系统各个模块变量之间的因果反馈关系，进而建立系统动力学模型。



系统动力学在对问题进行定性分析时，强调系统、动态和反馈，并使三者有机结合起来，同时强调系统的结构决定系统的功能。在实用中，系统动力学模型以现实存在为前提，通过改变系统的参数和结构，对不同的发展方案采进行模拟，并对决策变量进行预测，然后将这些决策变量视为水环境承载力的指标体系，再运用有关评价方法进行比较，得到最佳的发展方案及相应的水环境承载力。该方法的不足是 SD 模型受建模者对系统行为认识的影响，其中参变量不好掌握，易导致不合理的结论。

(4) 模拟技术与优化技术混用的系统分析方法：可根据问题的性质选用和创新，其中人工神经网络法得到较多应用。人工神经网络是大量简单神经元广泛联结而成的用以模拟人脑思维方式的复杂网络系统，它以其并行分布处理、自组织、自适应、自学习和具有鲁棒性和容错性等独特的优良性质引起了广泛地关注。尤其在信息不完备情况下，在模式识别、方案决策、知识处理等方面具有很强的能力，设计灵活，可以较为逼真地模拟真实社会经济系统。通过构建人工神经网络并使其学习、“掌握”不同时段的社会、经济、资源、环境系统发展历程的运行参数，逐渐成为系统结构和功能的映射集成。该方法目前研究较少，应用不成熟。

表 4.1-1 黑臭水体水环境承载指标列表

一级指标	说明	二级指标
人口及社会经济发展水平	反映经济社会发展的相应阶段，水体流域内经济发展的结构、规模、运行模式、人口数量及生活水平等状况。	人口数量； 城镇化率； 人均 GDP； 工业总产值；
水资源禀赋及开发利用水平	反映以水体流域水资源自然赋存条件为基础的水资源开发、利用程度、水源工程的供水能力、可利用水量、可供水量、实际用水量等之间的比例关系。	人均水资源量； 水资源利用率； 万元工业 GDP 用水量； 人均生活用水量； 生态需水量；
环境容量与污染负荷水平	反映水体流域各行业经济生产和社会生活的水污染物排放情况，对水环境容量的利用程度。	水体水环境容量； 万元 GDP 排污负荷； 人均污水排放量； 工业万元 GDP 排污负荷； 水土流失污染负荷； 规模化养殖排污负荷； 大气沉降污染负荷； 水体内源污染负荷； 地表水功能区达标率；

环境保护与治理水平	反映水环境保护投入力度及治理效果。	城镇污水集中处理率； 工业污水处理率； 工业用水重复率； 水土流失治理率； 环境治理投资占 GDP 的比例；
生态系统功能水平	反映保持水体水生态系统状态稳定性、生态适宜度、生态系统功能正常发挥程度的指标，体现水环境在改善人居环境、生活质量、维持水生生物多样性等方面的间接价值。	流域植被指数； 滨岸带植被覆盖度； 滨岸带土地开发利用率； 水体水生生物多样性指数；

注：以上相关数据可参考国家、地方、行业统计数据中已收编整理的资料，或通过收编数据的简单计算获取，并注意与水利、环保等行业的统计方式和各种标准相协调。

#### 4.1.2 流域水环境质量目标控制技术

##### (1) 计算黑臭水体水环境容量

对已有容量研究成果的流域水体，要先判断容量计算过程与结果的合理性，若计算结果没有使流域水体水环境得到改善，或者计算过程存在明显的错误，必须重新计算流域水体水环境容量。

##### (2) 计算入河支流口污染物最大允许负荷

在科学的污染源解析基础上，用水体水环境容量减去水体内源污染物负荷和河面大气干湿沉降量，将计算结果分配到各入河支流口处，作为各入河支流污染物的最大允许负荷。分配时，考虑以下内容：

①考虑排污混合区的支流：采用排污混合带约束公式计算得到的容量值，即为该支流口最大允许负荷。

②对于面积较小（ $\leq 50\text{km}^2$ ）、功能区单一的水体：除过考虑混合区的排污口（水体）最大允许负荷外，可将剩余容量按照支流现有污染负荷，等比例分配到各支流入河口。

③对于面积较大（ $> 50\text{km}^2$ ）、有多个功能区的水体：流域水体中各功能区内的入河支流可概化为一条水体，利用水质模型软件模拟水体水体中各功能区的水质状况，当各功能区水质达标时，各功能区内入河排污口（支流）的污染物排放量即为改功能区内入河支流最大允许负荷。

④设置安全余量（MOS）：为保证水体满足水质目标，应对容量模拟中的不确定性风险加以考虑；在允许纳污总量的分配方案中，一般需要考虑安全余量。本研究建议采用美国环境保护署（EPA）在制定 TMDL 计划时确定 MOS 的两种

模式（不限其它合理方法）：一种是在计算允许容量时采用保守假设条件而将 MOS 合并入们 TMDL 中，不再单另进行计算；另一种是通过计算水体可能的环境容量而预留出部分容量分配给 MOS（一般采用总量的 5%~10%），使得各个污染源所分配的污染负荷小于水体的污染物容纳量，以达到对水体的保护。

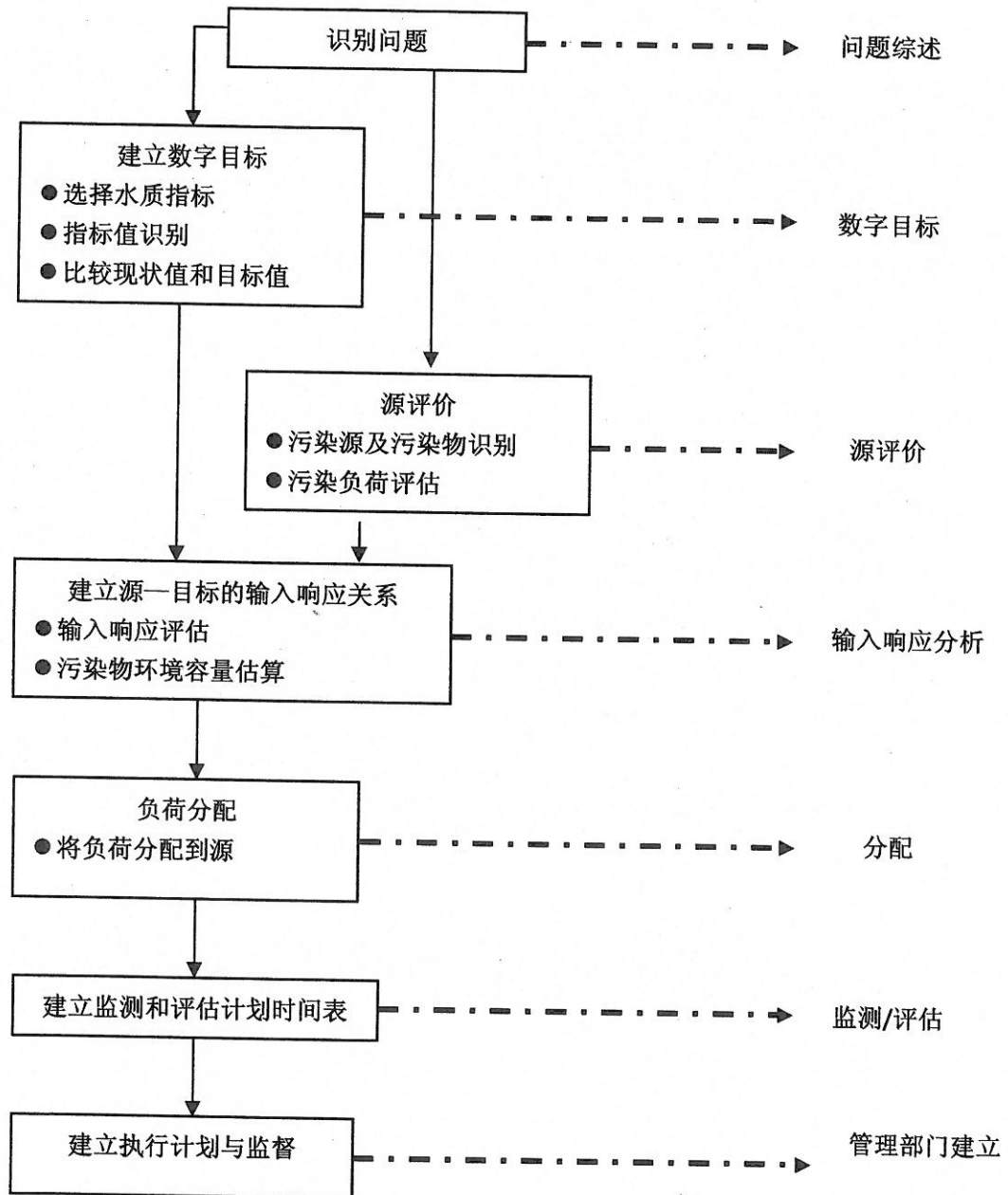


图 4.1-3 黑臭水体容量总量控制的主要组成部分

### (3) 确定水体污染控制区污染物最大允许负荷

污染控制区是指将黑臭水体流域科学的划分为不同的控制地区，各控制地区将作为整个流域系统动力学模型中的一个完整且独立的子模块，各子模块有机耦合在整个流域系统动力学模型内。目的是为了将水体流域分片考虑，即考虑流域

中各个污染控制区内主要水体集水区（子流域）的经济发展模式与规模对水体水质、水生态的影响程度，以便达到细化水体的承载力，更科学的指导流域产业结构调整 and 进行黑臭水体的污染控制。

各控制区的划分应遵从以下原则：

①对于面积较小的水体（ $\leq 50\text{km}^2$ ）

建议以整个水体流域作为污染控制区。

②对于面积较大的水体（ $> 50\text{km}^2$ ）

控制区范围要与计算水环境容量时考虑的水体各功能区所对应的陆域汇水区相一致；

各控制区要求尽量包括完整的行政单位；

③对于流域跨度较大的黑臭水体

以与距离水体最近的行政单位为基础，划分污染控制区；距离水体较远的行政单位可以作为一个排污口设计到系统动力学模型中。根据上述划分原则，将流域各污染控制区内的多条入河支流概化为一条入河支流，污染控制区内原有的多条入河支流河口的污染物最大允许负荷即合并为一个最大允许入河负荷，此值作为一个约束条件，用于约束该污染控制区内的排污负荷，应用到系统动力学模型中。

## 4.2 污染源综合控制技术

“控源截污、截流减负”是黑臭水体治理的基础，黑臭水体控源仅针对点源、面源已经远远满足不了水体的功能水质要求，应采取“产业结构调整减排-污染源工程治理-低污染水净化”的控源系统思路进行流域污染源系统控制。以产业政策与结构调整控污减排为控源的前提和基础，从源头上防治并尽可能降低污染的排放，在此基础上开展污染源的工程治理，通过各种工程措施使污染源达标排放，对达标排放后的低污染水，通过生态处理与有效净化，进一步减少污染物入河量。

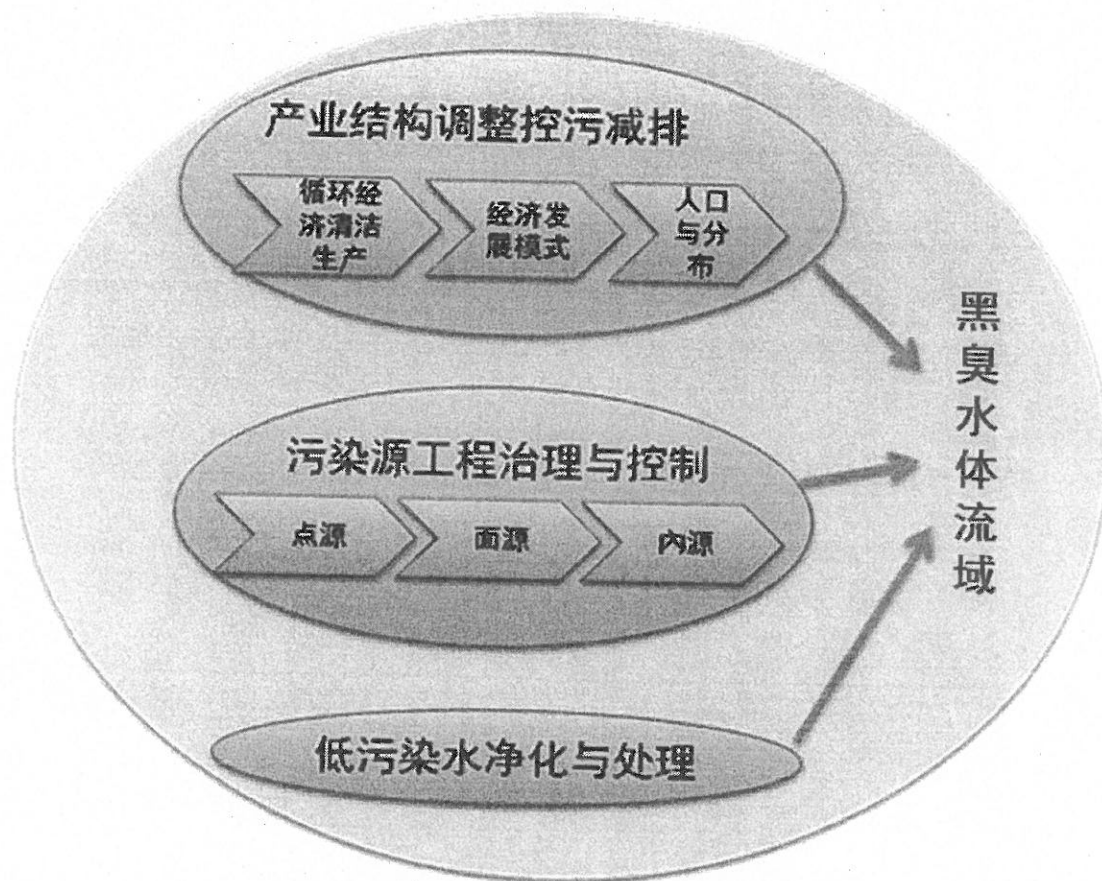


图 4.2-1 黑臭水体综合控源技术

#### 4.2.1 流域产业结构调整控污减排技术

在流域黑臭水体水环境承载力计算和区域分配的基础上，以主要污染物排放量与入河总量分配为核心，开展产业结构调整控污减排体系建设，建立优化的社会经济发展模式，从源头上调整污染源分布和组成，减少整个污染物排放量。通过产业政策与结构调整，从便于控制、集中处理等角度，对各产业布局进行优化调整，调整产业结构(包括人口与产业的总体布局，工业、旅游业及配套服务业结构调整与布局)，形成低污染、循环发展的生态经济模式，从源头上控制黑臭水体的污染物排放量。主要技术有：

##### (1) 利用计量经济学模型研究产业结构—污染物排放关联性

根据重污染区工业各行业的结构及各行业对水环境的污染特点，在投入产出模型基础上，以工业经济最大化及污染减排效果最优为约束目标，构建水环境—工业经济结构多目标优化模型。在产业结构与污染物减排之间建立有效关联，通过产业结构调整优化实现污染物减排。工艺流程为“模型确定与相关参数—情



景方案设定—参数确定—模拟结果分析”。环境经济投入产出模型是一种能够定量地揭示环境和经济的内在联系,实现经济发展和环境保护综合平衡的有效方法。利用投入产出分析技术进行模拟研究,需要明确模型中相关的目标函数、约束条件及其有关参数。

### (2) 基于水环境承载力的流域水体社会经济与产业结构优化调整技术

该项技术主要由“社会经济—水土资源—排放负荷”系统动力学模拟和流域水体水环境承载力优化两部分构成。首先从战略上研究社会经济结构调整与区域发展趋势与方向,为后续技术的研究提供宏观方向与指导。两项技术以水体社会经济的发展与污染负荷产生为研究对象,前者主要研究水体社会经济发展对水土资源的开发与利用和污染负荷的产生及排放的影响,后者主要研究在水土资源和水环境容量约束下最大的社会经济承载能力以及实现这一承载力的社会经济结构调整方向。此三者相互作用相互影响,实现从社会经济发展到污染负荷产生再到对社会经济发展影响及产业结构如何调整这一循环反馈过程。主要工艺流程如下图所示。

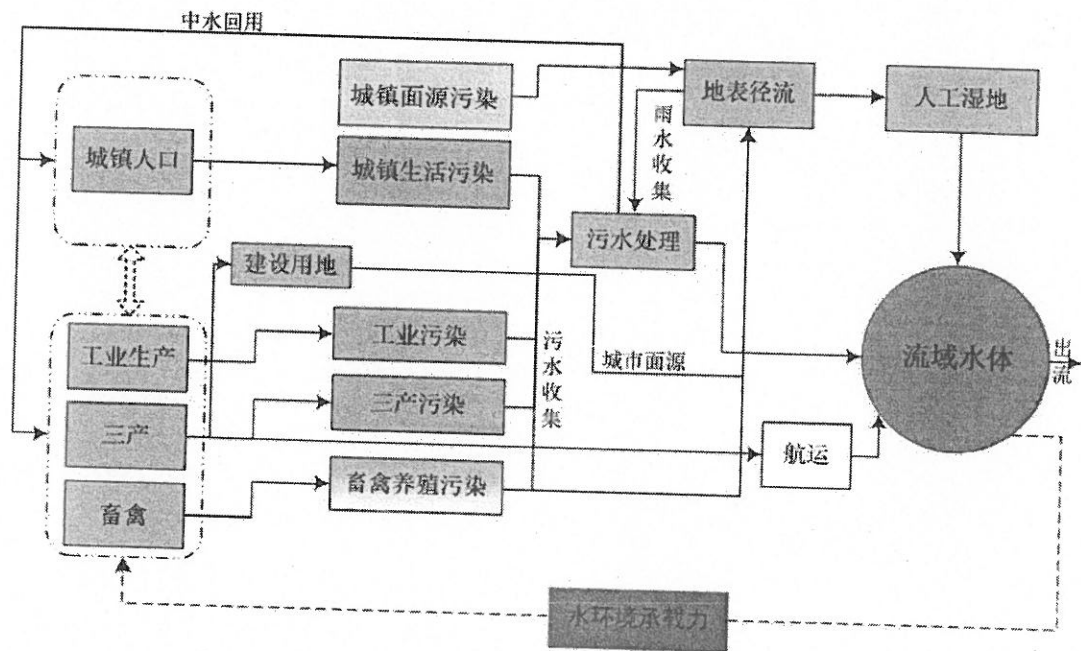


图 4.2-2 工艺流程图

### 4.2.2 污染源工程治理与控制技术

分析黑臭水体主要污染源源强及分布,实施相关经济可行的工程措施,通过多技术联合协同手段使污染源达标排放,削减污染物的排放量和入河量,即“控

源减排”，这是减少流域污染物排放量，降低污染物入河负荷极为重要、最直接、见效最快的措施手段。

### (1) 点源污染控制技术

点源源头的控制技术主要针对工业污染源、城镇生活污水、规模化养殖、临河直排宾馆与饭店污水等几个方面。

#### 1) 点污染源治理技术

点源中工业污染源污水处理技术要求可参照“草浆造纸工业废水污染防治技术政策”(环发[1999]273号)、“印染行业废水污染防治技术政策”(环发[2001]118号 2001-08-08 实施)、“制革、毛皮工业污染防治技术政策”(环发[2006]38号 2006-02-21 实施)、“电镀废水治理工程技术规范”(2010-12-17 发布 2011-03-01 实施)、“制药工业污染防治技术政策”(公告 2012 年第 18 号 2012-03-07 实施)、“制浆造纸废水治理工程技术规范”(2012-03-19 发布 2012-06-01 实施)、“制糖废水治理工程技术规范”(2012-10-17 发布 2013-01-01 实施)、“硫酸工业污染防治技术政策”(公告 2013 年第 31 号 2013-05-24 实施)、“发酵类制药工业废水治理工程技术规范”(2014-10-24 发布 2015-01-01 实施)、“石油炼制工业废水治理工程技术规范”(2014-12-19 发布 2015-03-01 实施)、“淀粉废水治理工程技术规范”(2014-12-24 发布 2015-01-01 实施)等。

点源中城镇生活污水处理技术及要求参照“城市污水处理及污染防治技术政策”(建成[2000]124号 2000-05-29 实施)及“城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策(试行)”(建城[2009]23号 2009-02-18 实施)。城镇生活城市生活垃圾处理技术及要求可参考“城市生活垃圾处理及污染防治技术政策”(建成[2000]120号 2000-05-29 实施)、生活垃圾处理技术指南(建城[2010]61号 2010-04-22 实施)。

#### 2) 临河直排宾馆与饭店污水

宾馆与饭店接纳的主体是流动人群，其污染主要为生活污染，在接待旺季时，将持续排放污水形成点源。对临河的宾馆、饭店的污水排放要求更精炼、更明确。对于城镇居民集中区的宾馆，要求其污水纳入城镇污水处理厂或建设配套的污水处理设施；对于非城镇居民集中区的宾馆，要求需自建污水处理设施处理后回用，不得使未经处理的污水直排入河。

### 3) 畜禽养殖废水与废弃物处理技术

畜禽养殖废水、废弃物处理技术及要求可参照“畜禽养殖业污染防治技术政策”(环发[2010]151号 2010-12-30 实施)、“畜禽养殖业污染防治技术规范”(2001-12-19 发布 2002-04-01 实施)、“畜禽养殖业污染治理工程技术规范”(2009-09-30 发布 2009-12-01 实施)。

此外,规模化养猪废水低耗处理及废弃物资源化利用技术可采用如下新技术:

#### A. 养殖废水碳源碱度自平衡碳氮磷协同处理技术

采用畜禽养殖废水碳源碱度自平衡碳氮磷同步处理技术进行畜禽废水处理。本技术在规模化养猪废水传统厌氧-SBR 处理工艺基础上,增设畜粪/剩余污泥高浓度厌氧消化单元,创建以“厌氧产沼-沼气稳定发电”为核心的养殖废水处理产能系统,建立养殖废水处理系统耗电与发电的平衡,最终实现规模化养猪废水处理动力设备系统自驱,降低处理系统运行费用。工艺流程为:养殖猪场废水先进入经过水力筛去除废水中的悬浮物。之后,废水进入酸化池内,废水中可生物降解大分子有机物被分解为溶解性小分子有机物,同时部分固体物质被截留。废水自水解酸化池进入厌氧池中,废水经过厌氧处理后产生的沼气。经厌氧处理后的出水与酸化池出水在配水池按一定比例混合后进入 SBR 池进行脱氮除磷生物处理,出水达标排放/农田综合利用。废水生物处理剩余污泥及部分畜粪主要通过高浓度厌氧发酵产沼气,产生的沼气与废水处理厌氧处理池产生的沼气汇合,经净化后通过沼气发电机组发电,驱动养殖场废水处理系统设备运转。

#### B. 保氮除臭适度发酵与功能有机肥技术

针对目前畜禽废弃物堆肥效率低、碳氮损失率高、肥料品质差与附加值低的问题,可采用快腐熟保氮除臭适度发酵、有机肥多功能化技术进行资源化利用。筛选保氮除臭功能微生物结合中高温纤维素降解微生物,组配一系列高效保氮微生物发酵复合菌剂,进一步结合高效堆肥调理剂,共同减少高效堆肥过程中的氮素损失以及恶臭的排放;进一步筛选解磷解钾等一系列功能的目标微生物,开发一系列高效复合多功能有机肥,大大提高堆肥产品中有益微生物数量与比率,提高产品的品质与效益,形成高附加值的堆肥后加工产品。

### (2) 面源污染控制技术

#### 1) 城镇面源污染控制技术

随着城镇点源污染的控制,城镇面源成为近年来黑臭水体治理中不可忽视的污染源。城镇面源可参考国内近年来新研发的技术:

#### A. 雨水收集与处理技术

雨水收集技术主要包括高水位滨河带生活区初期雨水收集技术,高水位滨河带生活区初期雨水收集技术。开发了“管道储存—拦截弃流—调蓄沉淀”工艺,该工艺有效地解决了高河水位对雨水管网系统输送能力及初期雨水分离收集的影响问题,流程简单,运行稳定,较适合在南方高水位水体滨河带的生活小区推广使用。

城市面源污染控制技术主要推荐采用低影响开发(LID)技术,低影响开发技术是一种强调通过源头分散的小型控制设施,维持和保护场地自然水文功能、有效缓解不透水面积增加造成的洪峰流量增加、径流系数增大、面源污染负荷加重等。低影响开发主要通过初期与后期雨水径流分质分流技术、雨水调蓄技术、模块化绿色屋顶等措施来维持开发前原有水文条件,控制径流污染,减少污染排放,实现开发区域可持续水循环。

初期与后期雨水径流分质分流技术将污染初期雨水暂时贮存并沉淀,后期雨水分流至渗滤系统处理,可应对不同强度的降雨事件同时保证系统处理效果。雨水调蓄技术基于排水管网水力模型,结合泵站的启排水位与管道高程,研究了初期雨水调蓄池的设计参数与运行方式。模块化绿色屋顶采用塑料板作生长容器,容器内从下至上依次填入蓄排水版、无纺布、生长基质和耐旱植物,四周再以塑料板固定。待植物生长稳定后,这种模块化的绿色屋顶就可搬动到屋面,进行屋面绿化。绿色屋顶对 TSS、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  削减率分别达到 45% 和 30% 以上,对水量拦截达 20% 以上。

#### B. 合流污水高效截流处理技术

针对城市合流污水污染消减,结合合流污水的产流过程,集成了合流制排水系统截污溢清控制、雨污联合调控净化、合流污水调蓄过程水质净化、合流制污水处理厂最大削污动态运行调控技术,系统地进行从源头、输运过程、溢流汇流水体解决雨污水在合流制管网系统源-流-汇净化链中的负荷匹配与功能耦合、系统中污染物输运规律及对管网系统运行参数的响应过程等科学问题,提高合流制管网的截污效率。



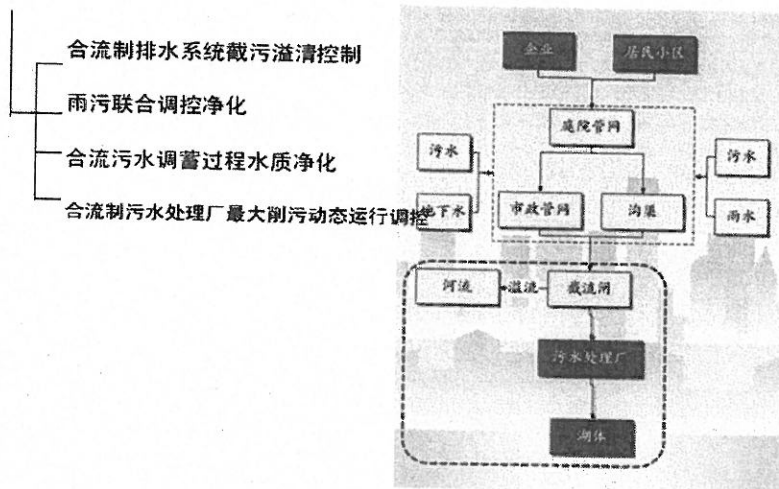


图 4.2-3 工艺流程图

## 2) 农业及农村面源污染控制技术

农业及农村面源污染的控制技术主要针对大量施肥与农药的农田、分散村落生活污水的污染物等。

### A. 农田面源污染控制技术

农田面源污染控制方面,其技术及要求可参考“化肥使用环境安全技术导则”(2010年3月8日发布,2010年5月1日实施)、“农药使用环境安全技术导则”(2010年7月9日发布,2011年1月1日实施)、“农业固体废物污染控制技术导则”(2010年10月18日发布,2011年1月1日实施)。

此外,由于“十一五”以来国家在种植业污染控制方面开展了较多的研究,产出一批实用的新技术,种植业源头减量、不同类型农田径流污染控制,氮磷流失过程拦截等方面可参考如下新技术:

#### a) 农业种植制度调整模式

改变传统稻麦轮作为稻-紫云英绿肥轮作,稻季仅需施氮 90-150kg/ha,可保证水稻高产,减少化肥氮投入 300-390kg/ha/yr,降低 TN 排放 13.5-27kg/ha/yr,农户经济效益略减。适宜在太湖流域一级保护区或沿河/湖区域推广,需政府进行生态补偿。

#### b) 农田氮、磷控源减排技术

针对过量施肥与农田尾水污染问题,可采用分区限量施肥、以碳控氮、农田尾水生态净化为核心技术的农田氮磷控源减排技术,可使农田氮磷化肥用量、面源负荷削减 30%以上,经济效益增加 15%。



### c) 农田径流生态拦截技术

主要包括湿地、水塘、生态沟渠净化技术。人工湿地污水处理技术是一种人工将污水有控制地投配到种有水生植物的土地上,按不同方式控制有效停留时间并使其沿着一定的方向流动,通过过滤、吸附、沉淀、离子交换、植物吸收和微生物分解等来实现水质净化的生物处理技术。人工水塘技术是利用天然低洼地进行筑坝或人工开挖建设水塘,塘中种植的大型水生植物增加水流与生物膜的接触时间,有利于悬浮物和养分的去除;水塘的有机质负荷为微生物提供有机质,并强化反硝化过程。生态拦截沟渠是采用生物、工程等技术措施构建排水沟渠,在沟渠中配置多种植物,并在沟渠中设置透水坝、拦截坝等辅助性工程设施,对沟渠水体中氮、磷等物质进行拦截、吸附、沉积、转化及吸收利用。

## B. 农村污水处理技术

农村生活污水处理方面,其技术及要求可参考“农村生活污染防治技术政策”(环发[2010]20号 2010-02-08实施)、“农村生活污染控制技术规范”(2010-07-09发布 2011-01-01实施)、“人工湿地污水处理工程技术规范”(2010-12-17发布,2011-03-01实施)。

此外,分散式农村生活污水处理还可参考目前在各个湖泊流域得到一定应用的、较新的适用技术:

### a) 土壤净化槽处理技术

在土地处理单元中设置自然增氧系统,实现装置无动力通气复氧,满足土地处理的微生物作用对氧的需求。选用改性土壤作为主要填料,种植生长能力强,产量高且可作牲畜饲料的多年生黑麦草,提高脱氮除磷效果。工艺流程为:“隔油池-厌氧池-土壤净化槽”,主要针对农村生活污水的处理。建设成本低,易于维护,建成后与周围景观良好融合。

### b) 生活污水三级塘生物生态处理强化技术

采用厌氧塘-兼性塘-生物塘生物生态处理生活污水的三级塘强化技术,其中厌氧段应用人工生物基质原位固定化脱氮微生物原创技术和耐污水体植物修复优化配置技术对生活污水强化厌氧,兼性塘-生物塘整体应用塘内水体强化循环无动力复氧原创技术,增加水体中溶解氧。生物塘采用人工浮床、水生植物岛、水生植物沉床等技术,进一步强化去除水体氮磷,并在塘周围采用降雨径流生态

拦截技术，削减降雨径流对生活污水处理的负荷，解决了污水收集相对集中且具有坑塘改造条件的村庄污水治理问题。适合于经济中度发展的地区。

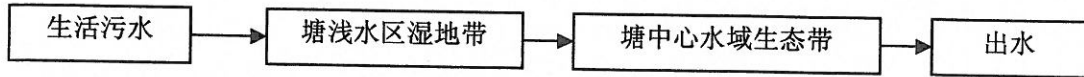


图 4.2-4 工艺流程图

### (3) 内源污染控制技术

黑臭水体内源控制技术主要是针对泥源污染源的控制。

#### 1) 底泥疏挖工艺

将底泥从水下疏挖后输送到岸上，有管道输送和驳船输送两种方式。管道输送工作连续，生产效率高，当含泥率低时可长距离输送，输泥距离超过挖泥船排距时，还可加设接力泵站。采用管道输送泥浆并加设接力泵船的疏挖施工工艺流程如图 4.2-10 所示。驳船为间断输送，将挖泥船挖出的泥装入驳船，运到岸边，再用抓斗或泵将泥排出，该种运泥方式工序繁杂，生产效率较低，一般用于含泥量高或输送距离过长的场合。

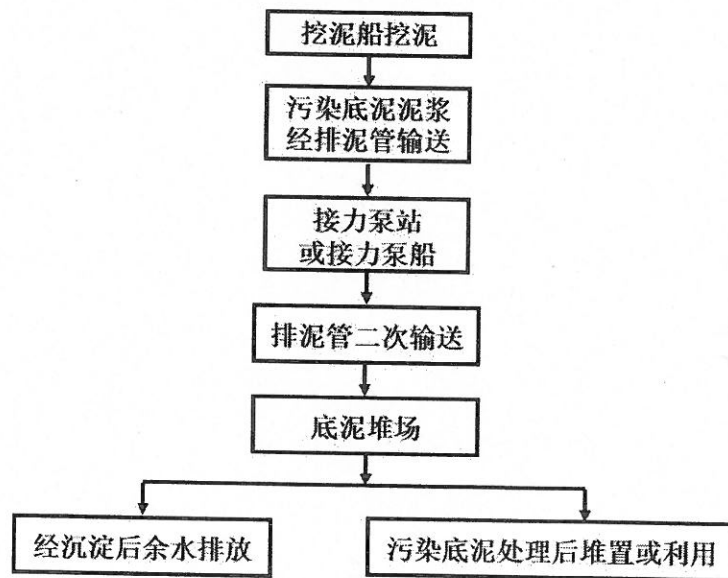


图 4.2-5 工艺流程图

绞吸式挖泥船能够将挖掘、输送、排出等疏浚工序一次完成，在施工中连续作业，它通过船上离心式泥泵的作用产生一定真空把挖掘的泥浆经吸泥管吸入、提升、再通过船上输泥管排到岸边堆泥场或底泥处理场，是一种效率较高的疏挖工艺流程。

## 2) 污染底泥处置及干化

污染底泥在淋溶及浸出条件下,其所含重金属和氮、磷及有机污染物等可能扩散转移到环境中,必须予以妥善处置。选择适宜的污染底泥堆存场地,在与流域的总体规划一致的前提下,尽量选择地下水位低、土层吸附性能好的地带作为堆场场址。对污染物和重金属含量相对低的污染底泥,按一般吹填方式作业,对堆场采取一定的防渗措施。对污染物和重金属含量高的污染底泥,堆放地点尽量离开水体,强化污染防范措施。

污染底泥及其泥浆输送至岸上后,体积一般将扩大若干倍,泥浆经堆场沉淀后大量余水外排,余水外排,余水处理是环保疏浚的又一重要环节。泥浆余水是否需要特殊处置及怎样处置,取决于余水中污染物的组分及含量、接纳余水水体的性质、功能以及技术经济综合分析结果。堆场余水处理工艺应简单易行、经济有效,适合大流量泥浆实施操作。

污染底泥一般属含高有机质的淤泥质土类,淤泥质土自然干化固结过程缓慢,当需要加速其干化过程时,可采用人工强化脱水措施。在吹填工程中加速固化的常用方法包括真空预压法、堆载预压法、加药沉淀法、机械脱水法、堆场主动排水法等。其中堆场主动排水是一种经济有效的污泥干化方法,堆场主动排水主要包括表面开沟、埋设暗管等,该法既充分利用蒸发、渗滤等自然干化的主要途径,又采取了必要的人工措施,强化、加速这一自然过程,简单易行,成本低廉,适宜于大面积实施。

## 4.3 黑臭水体生态修复技术

黑臭水体生态修复包括缓冲带生态修复、滨岸带生态修复、水体生态修复。通过对水源涵养区的水源涵养与水土流失的控制保证源头清水产流,通过缓冲带和滨岸带生态修复最终使“清水”入河。通过水体生境改善与水生态系统的修复,维持水体水生态系统健康稳定。

### 4.3.1 缓冲带生态修复

缓冲带是水体一定水位线之上的水体外部的陆域地区,是水体生态系统重要组成部分,也是滨岸带外围的保护圈,是污染物进入滨岸带前的“缓冲”区域,也是地表径流入水体前的重要屏障。水体缓冲带的构建应充分考虑缓冲带位置、植

物种类、结构和布局及宽度等因素，以充分发挥其功能。

(1) 缓冲带构建和布置要求

1) 缓冲带构建技术要求

A. 缓冲带位置确定应调查水体所属区域的水文特征、洪水泛滥影响等基础资料，宜选择在泛洪区边缘。

B. 从地形的角度，缓冲带一般与地表径流的方向垂直。对于长坡，可以沿等高线多设置几道缓冲带以削减水流的能量。溪流和沟谷边缘宜全部设置缓冲带。

C. 缓冲带种植结构设置应考虑系统的稳定性，设置规模宜综合考虑水土保持功效和生产效益。

D. 缓冲带宽度确定应综合考虑净污效果、接纳水体水质保护的整体要求，尚需综合考虑经济、社会等其它方面的因素进行综合研究，确定沿河不同分段的设置宽度。

2) 缓冲带的植物种类配置

A. 缓冲带的植物种类配置及设计宜满足下列要求：

a) 缓冲带植物配置应具有控制径流和污染的功能，并宜根据所在地的实际情况进行乔、灌、草的合理搭配。

b) 宜充分利用乔木发达的根系稳固河岸，防止水流的冲刷和侵蚀，并为沿水道迁移的鸟类和野生动植物提供食物及为河水提供良好的遮蔽。

c) 宜通过草本植物增加地表粗糙度，增强对地表径流的渗透能力和减小径流流速，提高缓冲带的沉积能力。

d) 宜兼顾旅游和观光价值，合理搭配景观树种。

e) 经济欠发达地区，宜选择具有一定经济价值的树种。

B. 缓冲带应防范外来物种侵害对缓冲带功能造成的不利影响，外来植物品种的引进应进行必要的研究论证。

C. 缓冲带植物种类的设计，应结合不同的要求进行综合研究确定。不同植物种类对缓冲带作用的影响及对污染物的截流效果可参考表 4.3-1、4.3-2。

表 4.3-1 不同植被类型对缓冲带作用的影响参考表

作用	草地	灌木	乔木
稳固河岸	低	高	中
过滤沉淀物、营养物质、杀虫剂	高	低	中
过滤地表径流中的营养物质、杀虫剂和微生物	高	低	中
保护地下水和饮用水的供给	低	中	高
改善水生生物栖息地	低	中	高
抵制洪水	低	中	高

表 4.3-2 不同植被类型缓冲带对污染物的截流效果参考表

实验植被类型	最佳植被类型	最佳植被截污效果
无植被带、芦苇带、芦苇与香蒲混合带	芦苇与香蒲混合带	对 COD、TN、TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率的周平均值分别为 31~62%、37~84%、30~65%和 34~31%
香根草+沉水植物、湿生植物+香蒲+芦苇	香根草+沉水植物	对 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 的去除率分别为 43.5%、71.1%和 69.3%
芦苇带、茭白带和香蒲带	芦苇带	对 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 的去除率分别为 43.7%、79.5%和 75.2%
农田、森林和草地	森林和草地	对 N 的截留转化率大于 80%

D. 植物的种植密度或空间设计，应结合植物的不同生长要求、特性、种植方式及生态环境功能要求等综合研究确定，一般要求可参照如下：

- 1) 灌木间隔空间宜为 100~200cm；
- 2) 小乔木间隔空间宜为 3~6m；
- 3) 大乔木间隔空间宜为 5~10m；
- 4) 草本植株间隔宜为 40~120cm。

### 3) 缓冲带景观设计要求

景观设计宜以植物多样性为基础，构建稳定的、景观层次鲜明与优美的复合生态系统。其遵循原则：以自然景观为主；注重人工景观与自然景观的协调性；体现生态价值的景观美学。一般要求如下：

- A. 提出合适的景观功能定位；
- B. 空间及平面关系适宜，平面布局合理，与周边建（构）筑物协调，空间感觉自然舒适；
- C. 景观主线明确，苗木、小品、水体等设置合理；
- D. 方案和理念先进、适宜，关键部位节点突出，有代表性；



E. 工艺科学经济，性价比高。

## (2) 缓冲带植物配置及栽种技术要求

### 1) 缓冲带植物配置原则

缓冲带植物配置应结合生态恢复、功能定位等要求进行综合分析，一般宜遵循如下原则：

A. 适应性原则，植物配置应适应缓冲带的现状条件，且宜首先选择土著种，进行因地制宜布置。

B. 强净化原则，宜选择对 N、P 等营养性污染物去除能力较强的物种。

C. 经济性和实用性原则，宜选择在水体所在区域具有广泛用途或经济价值较高的生物种。

D. 多样性或协调性原则，应考虑缓冲带生态系统的生物多样性和系统稳定性要求，选择相互协调的物种。

E. 观赏性原则，宜结合水体的观赏和休闲需要，综合考虑工程投资、维护管理方便、易于实施的要求，选择部分适宜的观赏性物种。

### 2) 缓冲带植物栽种技术要求

A. 缓冲带植物一般由林地、草地、灌木、混合植被和沼泽湿地等组成，不同植被类型配置应满足缓冲带的功能需求。一般情况下，缓冲带植物配置的要求可参照如下：

a) 植物恢复初期的建群种，宜选择具有较大生态耐受范围及较宽生态位的物种，以适应初期的生境状况。

b) 缓冲带植物群落破坏较为严重、生态位存在较多空白河段，宜进行人工恢复，引入合适的物种，填补空白的生态位，增加生物多样性，提供群落生产力。

c) 植物配置在水平空间格局和垂直空间格局上，应重视人工恢复和群落自然建立的结合。

d) 针对不同区域的特点，宜通过论证分析，进行生态型植物群落和经济型植物群落的结合布置。

e) 应对缓冲带土壤的 PH 值、盐碱度、疏松状态、透水性、肥沃性等进行分析，研究确定是否采取置换或回填种植土、施肥、浇水灌溉等要求。

B. 缓冲带植物配置的一般程序可参照图 4.3-1。

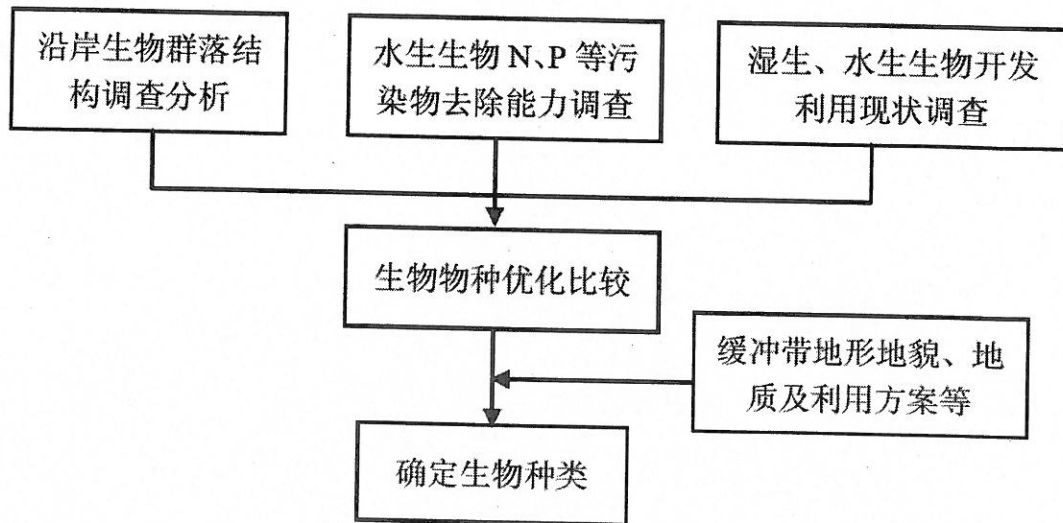


图 4.3-1 缓冲带植物配置一般流程参考示意图

C. 缓冲带的植物栽种宜制定详细的栽种计划，确保植物种植满足设计要求。一般情况下，宜编制种植计划和进度表，乔木和灌木应在休眠期栽种。草本植物栽种宜结合成活率或草籽发芽要求，择时栽种或撒播草籽。

#### 4.3.2 滨岸带生态修复

滨岸带是水体最后一道污染物截留防线，具有截污、过滤和改善水质等重要的环境功能。滨岸带生态修复技术主要涉及构筑直立式、陡坡型、缓坡型等不同类型的生态堤岸，优化堤岸生态系统的群落结构，同时满足防洪和污染控制需求。生态护岸技术主要具有滞洪补枯的作用、水源涵养的功能、共生生态的培育、自净能力的提高和生态景观的多样等功能。在欧洲国家，生态护岸技术主要将护岸与截污相结合；日本则采用多自然型岸堤。我国的生态护岸技术主要是学习和借鉴国外经验，现在正在迅速发展中

##### (1) 生态修复工艺

根据水体不同堤岸形态，周边土地利用方式，地理位置要求，本技术政策在适当拓宽河道基础上，采用以下工艺进行滨岸带生态修复，具体工艺介绍如下：

##### 1) 自然堤岸修复工艺

在自然堤岸形态的基础上，拓宽河道，放缓堤岸坡面，并恢复挺水、沉水植物带，见下图所示：

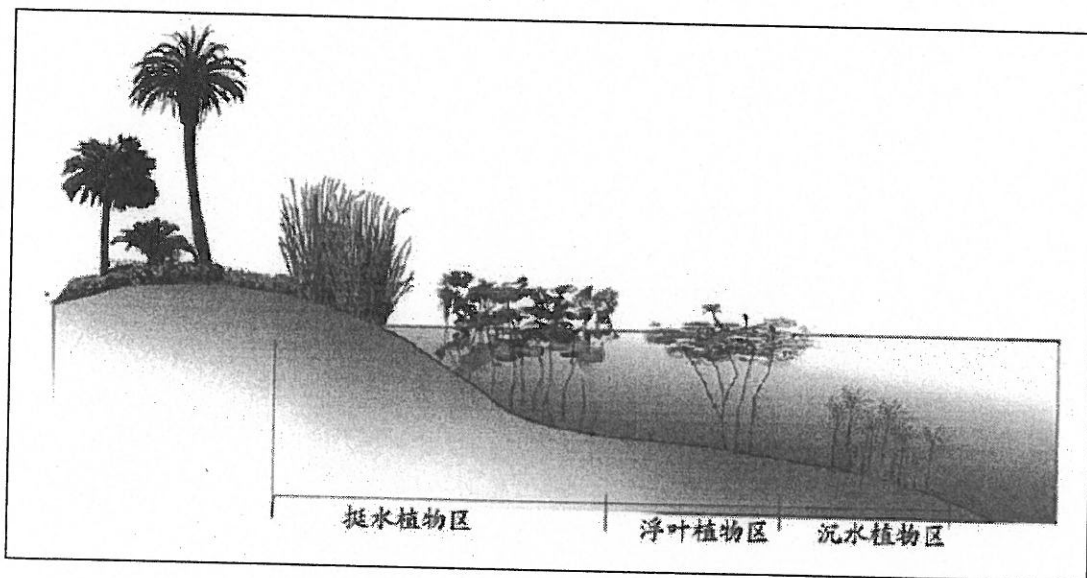


图 4.3-2 自然堤岸修复工艺示意图

### 2) 生态混凝土堤岸工艺

生态混凝土是由低碱度水泥、粗骨料、保水材料等按照特殊工艺制成的混凝土。生态混凝土有一定的抗压强度，而且它有大量的连续孔隙，这使它具有良好的透气性、透水性，既能保护堤岸，防止其受到侵蚀，又可在多孔混凝土孔隙中或其表面铺上泥土，然后播种小型植物。由于多孔混凝土的透水性能和透气性能良好，可以使植物舒适地生长，从而建成亲近自然型的生态护坡护岸，能与生态环境相适应，可使水质得到净化。

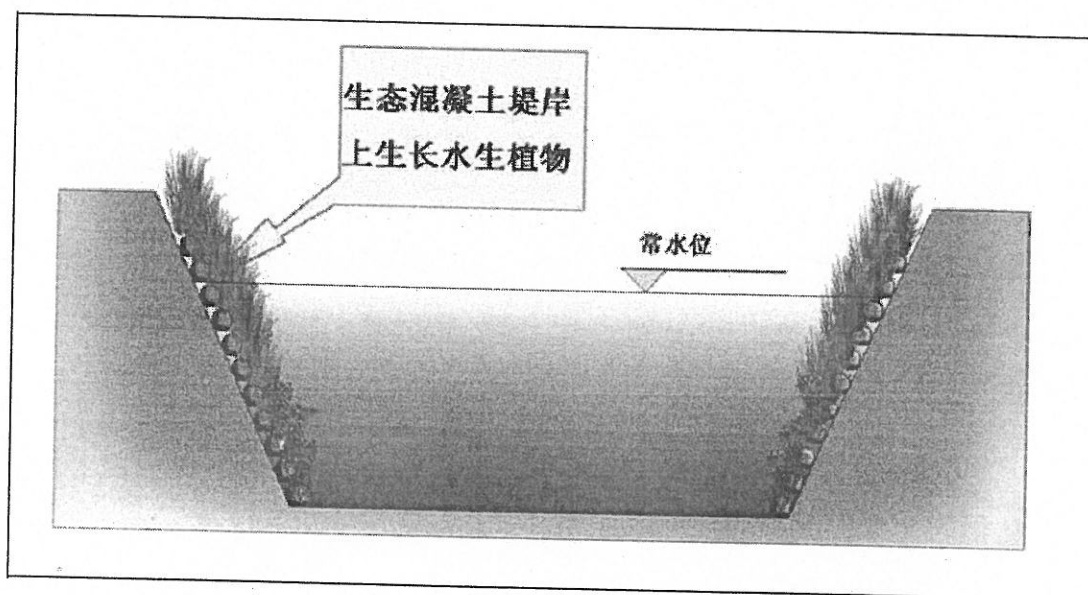


图 4.3-3 生态混凝土堤岸剖面示意图

### 3) 石笼护岸工艺

石笼护岸是用镀锌、喷塑铁丝网笼或用竹子编的竹笼装碎石(有的装碎石、肥料和适于植物生长的土壤)垒成台阶状护岸或做成砌体的挡土墙,并结合植物、碎石以增强其稳定性和生态性。石笼尤其适用于碎石或砂子来源广泛,而缺少大块石头的地区。石笼的网眼大小一般为60~80mm,也可根据填充材料的尺寸大小进行调整。其表面可覆盖土层,种植植物。同时,又能满足生态的需要,即使是全断面护砌,也可为水生植物、动物与微生物提供生存空间。

石笼护岸比较适合于流速大的河道断面,具有抗冲刷能力强、整体性好、应用比较灵活、能随地基变形而变化的特点。根据河岸周边实际情况及功能需求,石笼还可以采用如下两种工艺。

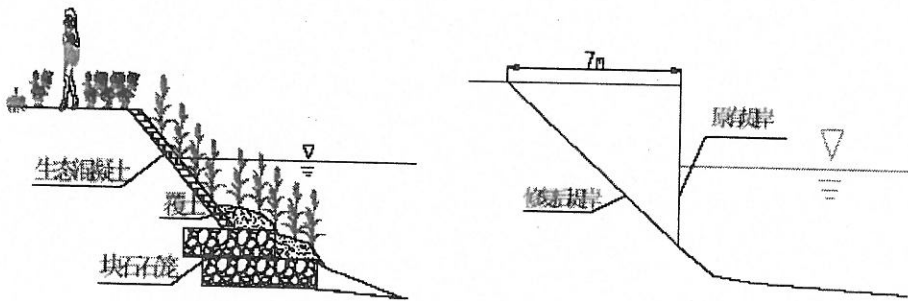


图 4.3-4 生态石笼护岸图 4.3-5 生态石笼护岸工艺改造前后

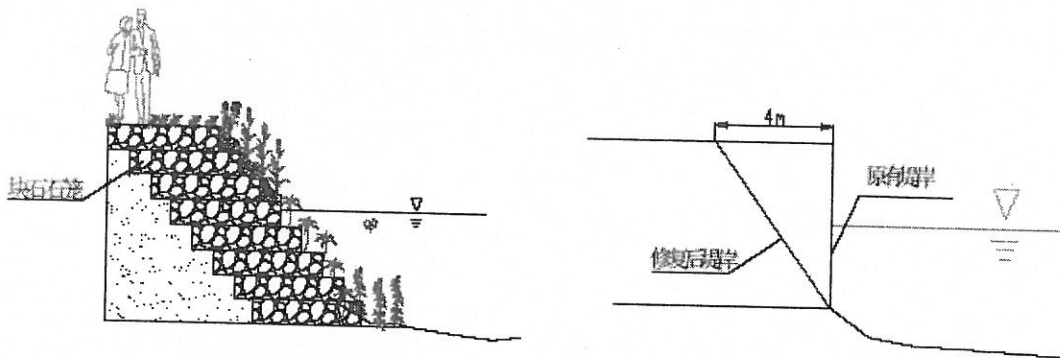


图 4.3-6 阶梯式石笼生态护岸工艺图 4.3-7 阶梯式石笼生态护岸改造前后

#### 4) 栅栏护岸工艺

栅栏护岸是采用各种废弃木材(如间伐材、铁路上废弃的枕木等)和其它一些已死了的木质材料为主要护岸材料的护岸结构。该护岸结构是现在坡脚处打入木桩,加固坡脚;然后在木桩横向上栏上木材或已扎成捆的木质材料(如荆棘柴捆等),做成栅状围栏,围栏可根据景观要求做成各种形状;围栏后堆积石料或回填土料,栅栏与石料或回填土料的搭配进一步加固了坡脚,也为微生物、水生

生物和动物提供了生存环境。围栏以上的坡面可植草坪植物并配上木质的台阶，实现稳定性、安全性、生态性、景观性与亲水性的和谐统一。

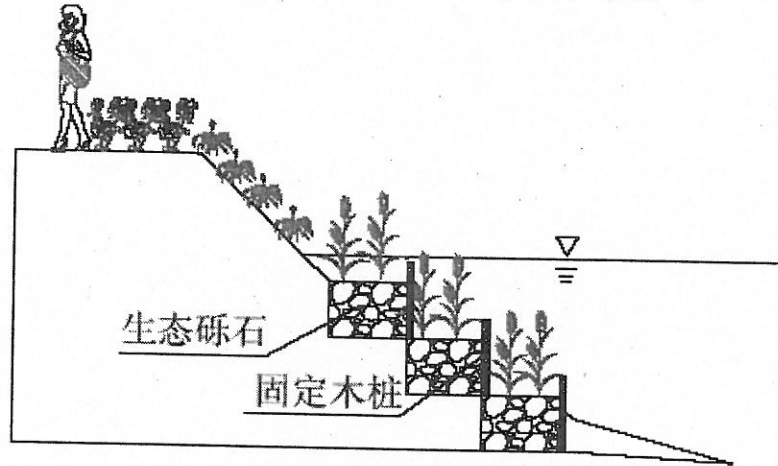


图 4.3-8 栅栏护岸示意图

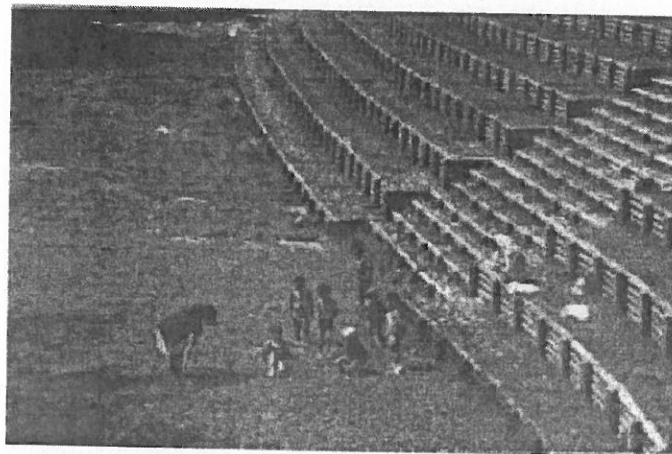


图 4.3-9 栅栏护岸工程实例

#### 5) 木桩-石材复合型生态护岸工艺

坡底采用生态混凝土护岸，保证护坡的稳定性和安全性，并为水生植物生长提供条件。上部用木桩框架护面，框架内嵌有砾石或卵石，是融合亲水性、景观性、净水功能为一体的生态型护岸结构。



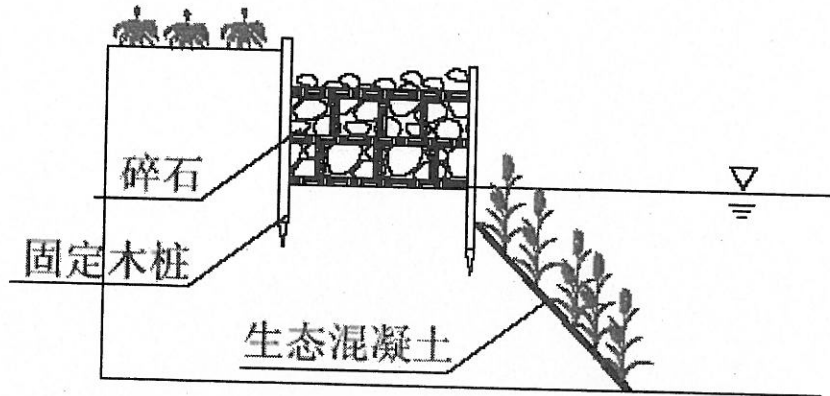


图 4.3-10 木桩-石材复合型生态护岸

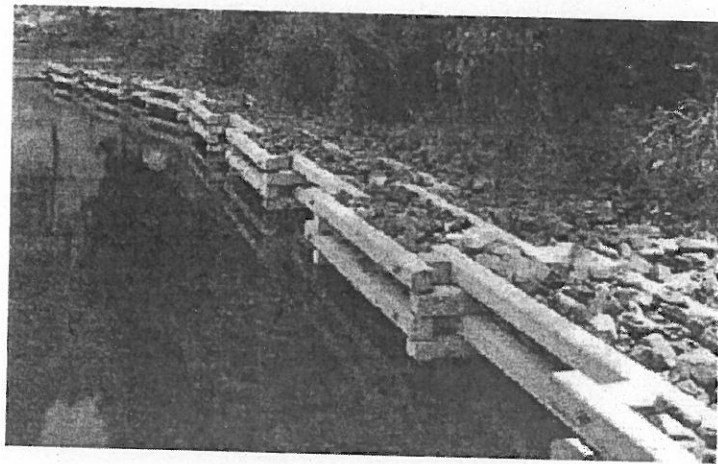


图 4.3-11 木桩-石材复合型生态护岸实例

#### 6) 柳树护岸式生态堤岸工艺

柳树护岸技术是通过使用柳树与土木工程和非生命植物材料的结合,减轻坡面及坡脚的不稳定行和侵蚀,并同时实现多种生物的共生与繁殖的一项技术。柳树因具有耐水强,并可通过截枝进行繁殖的优点,所以成为生态型护岸结构种使用最多的天然材料之一。柳树护岸充分利用柳树的发达根系、茂密的枝叶及水生护岸植物的能力,既可以达到固土保沙、防止水土流失的目的,又可以增强水体的自净能力。同时,岸坡上的柳树所形成的绿色走廊还能改善周围的生态环境,为人类营造一个美丽、安全、舒适的生活空间。

柳树护岸主要形式有:柳树杆护岸;柳排护岸;柳梢捆(柴捆)护岸;柳梢篱笆护岸;石笼与柳杆复合型护岸;柳杆护脚护岸;柳枝工混合护岸。其结构分别如图所示。

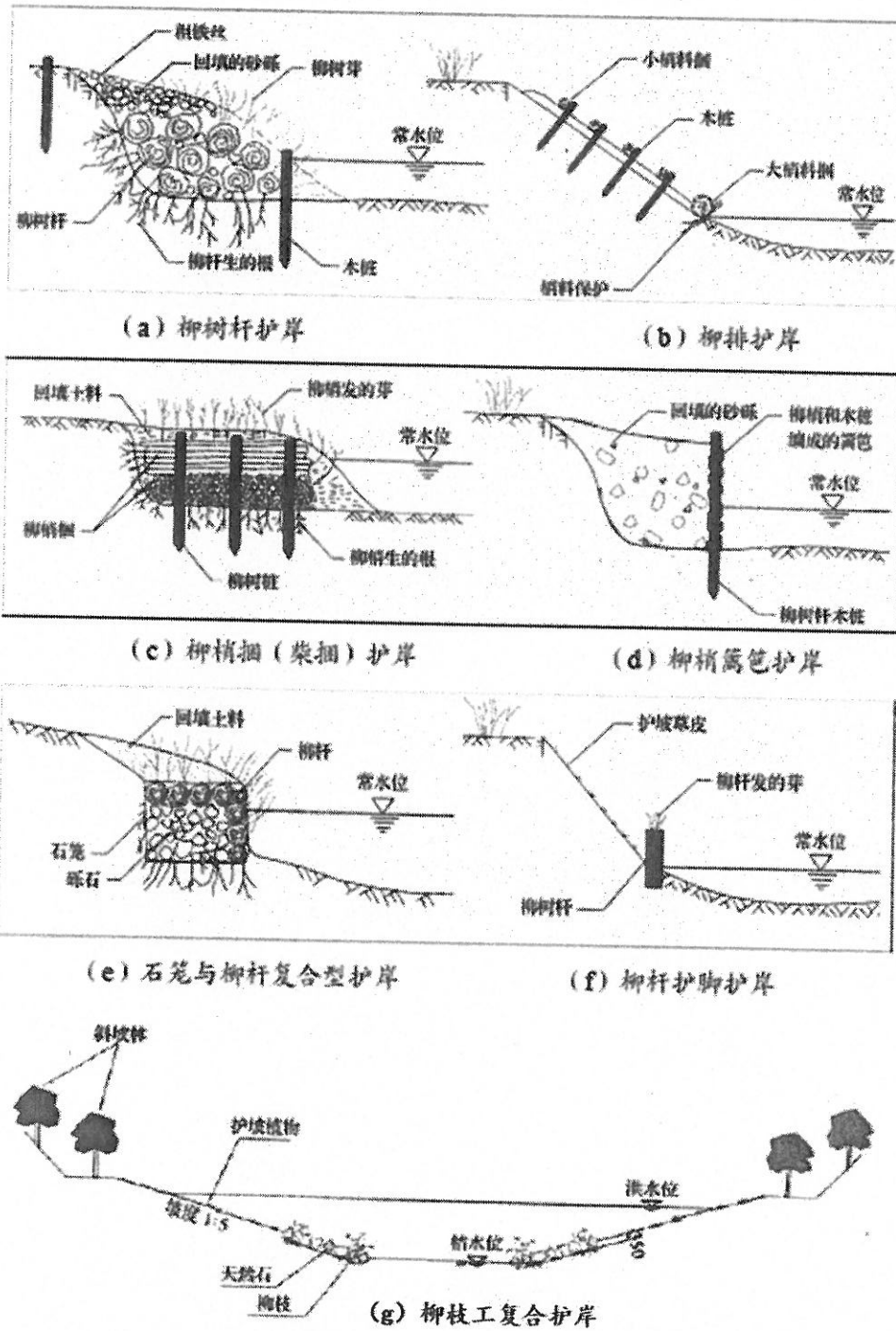


图 4.3-12 柳树护岸式生态堤岸

### 7) 自然堤岸与生态混凝土复合工艺

该工艺是通过使用自然堤岸修复和生态混凝土堤岸修复工艺相结合,对河道的乔草植物带、挺水植物带、沉水植物带进行修复、种植。

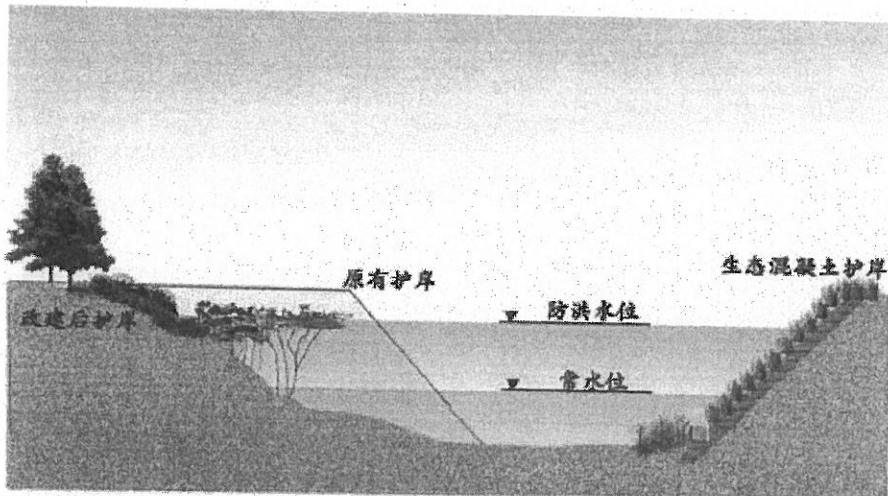


图 4.3-13 自然堤岸与生态混凝土复合工艺

## (2) 种植植物选择

对各工艺的物种选择要求在参考当地优势物种的前提下，选择景观效果较好，净污能力强，适应能力强的乔草、挺水植物和沉水植物，合理搭配各物种间的空间分布，在保证水体自身防洪能力的前提下，将其河道改造成具有景观效果的生态河道。

### 4.3.3 水体生态修复技术

黑臭水体水生态修复技术主要包括水质改善技术和生态多样性修复技术。水质改善技术主要包括水力调控技术、臭氧技术、絮凝、微生物菌剂技术、生物/生态技术、生态净化水厂等技术；生态多样性修复技术主要包括水生植物群落多样性修复技术、沉水植物优势种定植技术、沉水植物模块化种植技术、水生动物群落多样性修复技术等。

#### (1) 水质改善技术

##### 1) 水力调控技术

###### A. 综合调水

综合调水可以有效改善黑臭水体的自净能力，有利于水体中的污染物的扩散与稀释，有利于水体水质的改善。在进出水体河口建设双向水闸，在确保防汛安全的前提下，实施综合调水方案，改善水体及其支流的水质，满足景观和亲水要求。

利用原有闸坝系统或开辟新引水水体，引进一定量的清洁的河水，通过优化引水量、时机、频率和方式，控制水体水流流向、水量，改善水体生境，在较短时间内改善水体水质。

### B. 闸坝改造技术

通过闸坝改变入河支流水力学特性，控制科学合理的水位和水量，强化水体的复氧作用，提高污染物的降解速率，改善黑臭水体水质。

橡胶坝具有造价低、结构简单，运行管理方便，景观效果好，利于行、泄洪等优点。当水流溢过橡胶坝时，在坝面会产生跌落、紊动而进行曝气，水中溶解氧含量会明显提高。

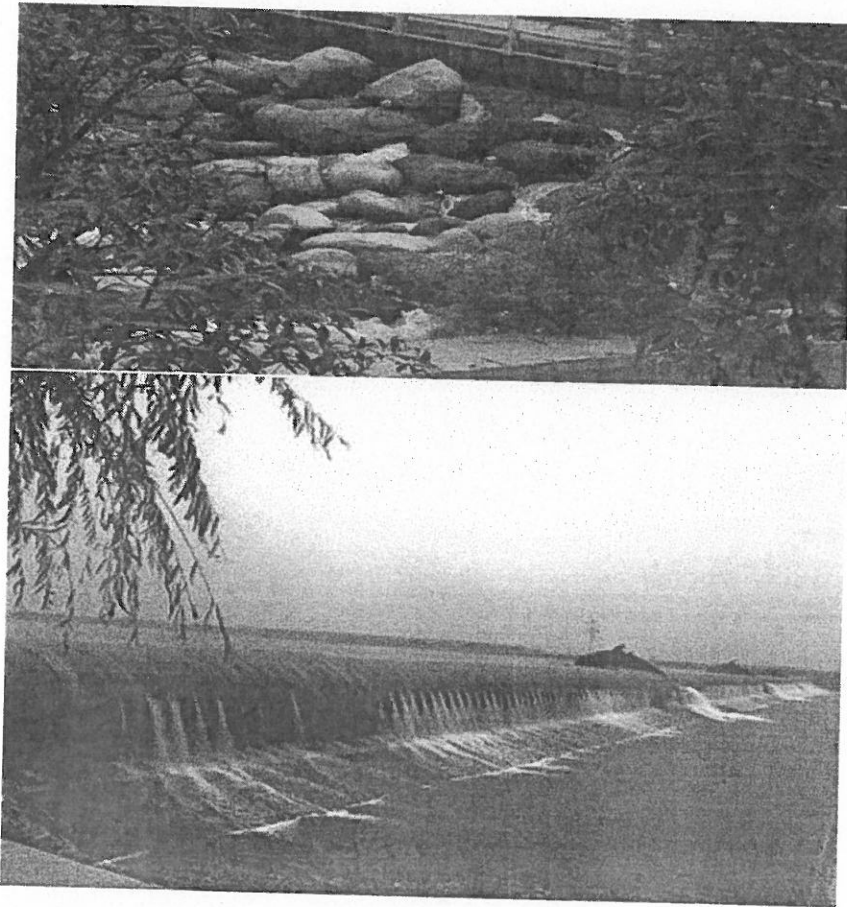


图 4.3-14 闸坝改造技术

### 2) 复氧技术

复氧技术主要指人工向水体中充入空气或氧气加速水体复氧过程以提高水体的溶解氧水平，恢复和增强水体中好氧微生物的活力，使水体中的污染物质得以净化。

常规的复氧技术分为固定式曝气复氧方法和移动式曝气复氧，其中固定式曝

气复氧方法包括：雾化曝气管曝气复氧、橡胶坝跌水曝气复氧和混合水下曝气器曝气复氧。移动式曝气复氧方法主要包括曝气复氧船。

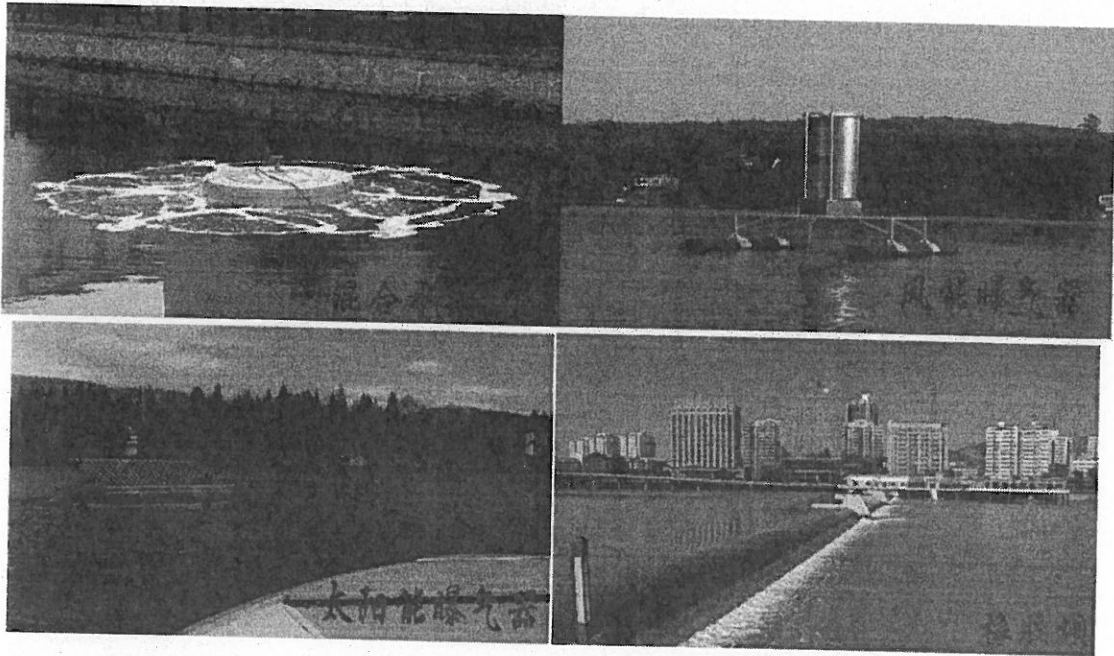


图 4.3-15 几种常见的曝气复氧技术

#### A. 技术特点

人工曝气复氧是指向处于缺氧(或厌氧)状态的水体进行人工充氧，增强水体的自净能力，净化水质、改善或恢复水体的生态环境。该技术具有设备简单、机动灵活、安全可靠、见效快、操作便利、适应性广、对水生生态不产生任何危害等优点，非常适用于景观水体和微污染源水的治理。但水体曝气增氧-复氧成本较大。

#### B. 设计要求

##### a) 水体需氧量的计算

需氧量主要取决于水体的类型、水体目前的水质以及黑臭水体治理的预期目标，计算方法主要有组合推流式反应器模型、箱式模型和耗氧特性曲线法。

##### b) 曝气设备充氧量及设备容量的确定

机械曝气设备的主要技术参数是以动力效率[以  $\text{kgO}_2/(\text{kw}\cdot\text{h})$ 计]，根据校正计算得到的氧转移速率与设备的动力效率来确定设备的总功率和数量；鼓风曝气设备的设备容量可参考污水处理工程设计手册中的相关内容进行计算。

##### c) 曝气设备的选型

根据需曝气水体水质改善的要求(如消除黑臭、改善水质、恢复生态环境)、



水体条件(包括水深、流速、断面形状、周边环境等)、水体功能要求(如航运功能、景观功能等)、污染源特征(如长期污染负荷、冲击污染负荷等)的不同,一般采用固定式充氧站和移动充氧平台两种形式。

固定式充氧站主要分为鼓风曝气、纯氧曝气和机械曝气3种形式。当河水较深,需要长期曝气复氧,且曝气河段有航运功能要求或有景观功能要求时,一般宜采用鼓风曝气或纯氧曝气的形式,即在河岸上设置一个固定的鼓风机房或液氧站,通过管道将空气或氧气引入设置在水体底部的曝气扩散系统,达到增加水中溶解氧的目的。而当水体较浅,没有航运功能要求或景观要求,主要针对短时间的冲击污染负荷时,一般采用机械曝气的形式,即将机械曝气设备(多为浮桶式结构)直接固定安装在水体中对水体进行曝气,以增加水体中的溶解氧。

移动式充氧平台是在不影响航运的基础上,在需要曝气的河段设置可以自由移动的曝气增氧设施,主要用于在紧急情况下对局部河段实施有目的的复氧。目前使用最多的是曝气船。

此外,曝气设备的选择还需要考虑如何消除曝气产生的泡沫、与周周环境相协调等因素。

表 4.3-3 各种水体曝气充氧设备的特性比较

曝气设备类型	组成	优点	缺点	实用范围
鼓风机—微孔布气管曝气系统	鼓风机 微孔布气管统	氧转移速率较高	①布气管安装工程量 大,维修困难,对航运 有一定的影; ②鼓风机房占地面积 大,投资大,运行噪声 较大,影响周围居民的 生活	郊区不通航水 体
纯氧—微孔布气管曝气系统	氧源 微孔布气管	①不需建造专门的构筑物,占 地面积小; ②系统无动力装置,运行费用 小,运行可靠,无噪声; ③安装方便,不易堵塞; ④氧转移率高	对航运有一定的影响	不通航水体
纯氧—混流增氧系统	氧源 水泵 混流器 喷射器	①氧转移率高; ②可安置在河床近岸处,对航 运的影响较小		既可用于固定 式充氧站,也可 用于移动式水 上充氧平台
叶轮吸气推	电动机	①安装方便、调整灵活;	①叶轮易被堵塞缠绕;	不通航水体

流式曝气器	传动轴 进气通道 叶轮	②漂浮在水面, 受水位影响小; ③基本不占地; ④维修简单方便	②影响航运; ③会在水面形成泡沫, 影响水体美观	
水下射流曝气设备	潜水泵 水射器	①安装方便; ②基本不占地	维修较麻烦	不通航水体
叶轮式增氧机	叶轮 浮筒 电机	①安装方便; ②基本不占地	①产生噪音; ②外表不美观	多用于渔业水体, 尤适用于较浅的水体

### C. 工艺原理与技术参数

曝气技术是根据水体受到污染后缺氧的特点, 利用自然跌水(瀑布、喷泉、假山等)或人工曝气对水体复氧, 促进上下层水体的混合, 使水体保持好氧状态, 以提高水中的溶解氧含量, 加速水体复氧过程, 抑制底泥 N、P 的释放, 防止水体黑臭现象的发生。恢复和增强水体中好氧微生物的活力, 使水体中的污染物质得以净化, 从而改善水体的水质。

#### D. 维护管理

a) 根据水体的实际特征得出需氧量, 进而确定曝气设备的容量、运行方式、季节最优化组合等。

b) 可分阶段制定水体改善的目标, 然后根据每一个阶段的水质目标确定所需的曝气设备的容量, 而不必一次性备足充氧能力, 以免造成资金、物力、人力上的浪费。

c) 对于城市中的水体, 为了配合城市景观的建设, 可以充分利用水闸泄流、活水喷池等方式增氧。

d) 要充分考虑水体曝气增氧——复氧成本, 结合太阳能曝气治理技术, 加速氧气的传质过程, 增加水中溶氧量, 从而保证水生生物生命活动及微生物氧化分解有机物所需的氧量, 实现水体的生态修复, 并达到节能和减排的目的。

#### E. 太阳能动水充氧技术

太阳能动水充氧技术是近几年兴起一种节能环保的曝气充氧技术装备, 主要功能包括增强水体流动性、黑臭治理与底泥削减以及生态修复。

主要技术参数如下:

功率: 370w;

动水效率:  $9\text{m}^3/\text{s}$ ;

作用范围：表面和底部层流 10000m<sup>2</sup>；

工作时间：10 h/d；

工作方式：自动实现日间运行、夜间停运。

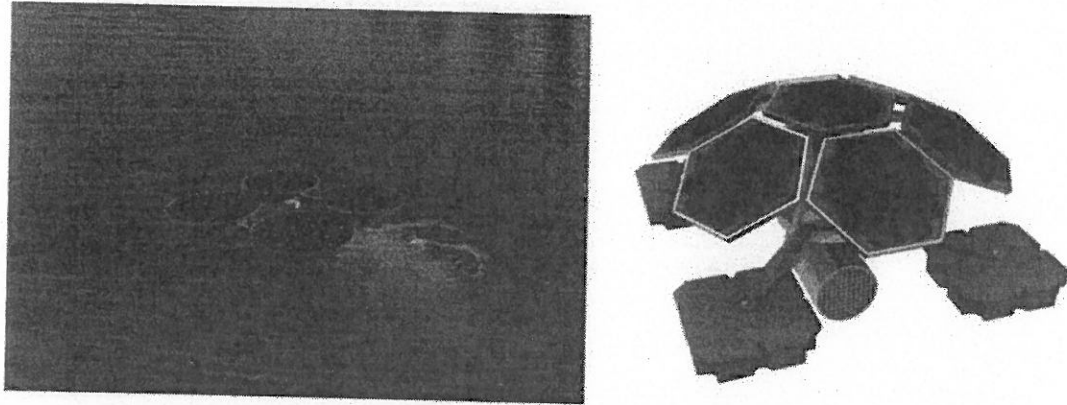


图 4.3-16 太阳能动水充氧机

### 3) 絮凝、微生物菌剂技术

化学絮凝处理技术是一种通过投加化学药剂去除水层污染物以达到改善水质的污水处理技术。对严重污染的水体如黑臭水体的治理，化学絮凝处理技术的快速和高效显示其一定的优越性。但是化学絮凝处理的效果容易受水体环境变化的影响，且必须顾及化学药物对水生生物的毒性及对生态系统的二次污染，这种技术的应用有很大的局限性，一般作为临时应急措施使用。

向污染黑臭水体中投适量的混凝剂，脱稳颗粒直接或间接地相互聚结生成呈“絮状”的大颗粒而进行卷扫、沉淀分离的过程，从而将去除水体中的污染物（如悬浮物、氨氮，有毒有机物等）。

常用的絮凝剂包括金属盐类絮凝剂、高分子絮凝剂和微生物絮凝剂，其中金属盐类絮凝剂主要为硫酸铝和三氯化铁，高分子絮凝剂主要为聚合氯化铝、聚合硫酸铁和聚丙烯酰胺。

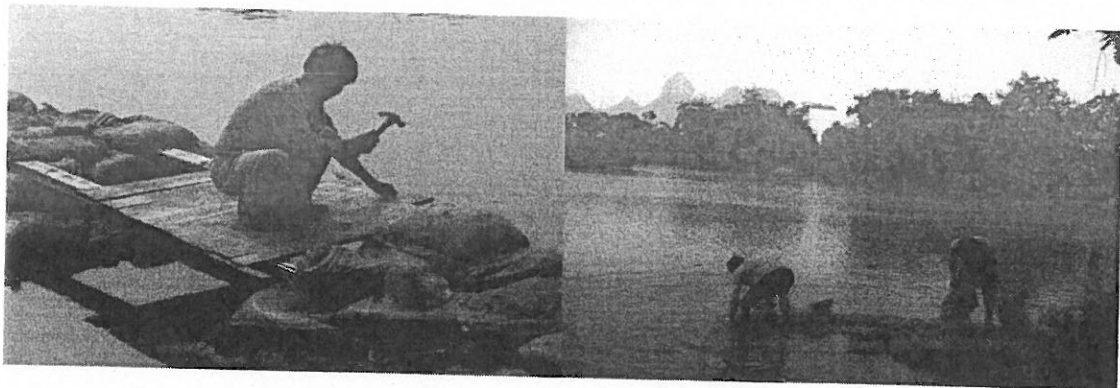


图 4.3-17 絮凝剂施工现场

微生物菌剂主要是通过向受污染黑臭水体中投加适量的生物促进剂或菌剂，促进水体中污染物的生物降解作用，提高其降解效率。

#### 4) 生物/生态技术

生物-生态方法包括生物修复技术和水生植被恢复工程。这类技术主要是利用微生物、植物等生物的生命活动，对水中污染物进行转移、转化及降解，最大程度地恢复水体的自净能力，使水质得到净化，重建并恢复适宜多种生物生息繁衍的水生生态系统。这类技术具有处理效果好、工程造价相对较低、不需耗能或低耗能、运行成本低廉，同时不用向水体投放药剂，不会形成二次污染等优点，同时可以与绿化环境及景观改善相结合，创造人与自然相融合的优美环境。

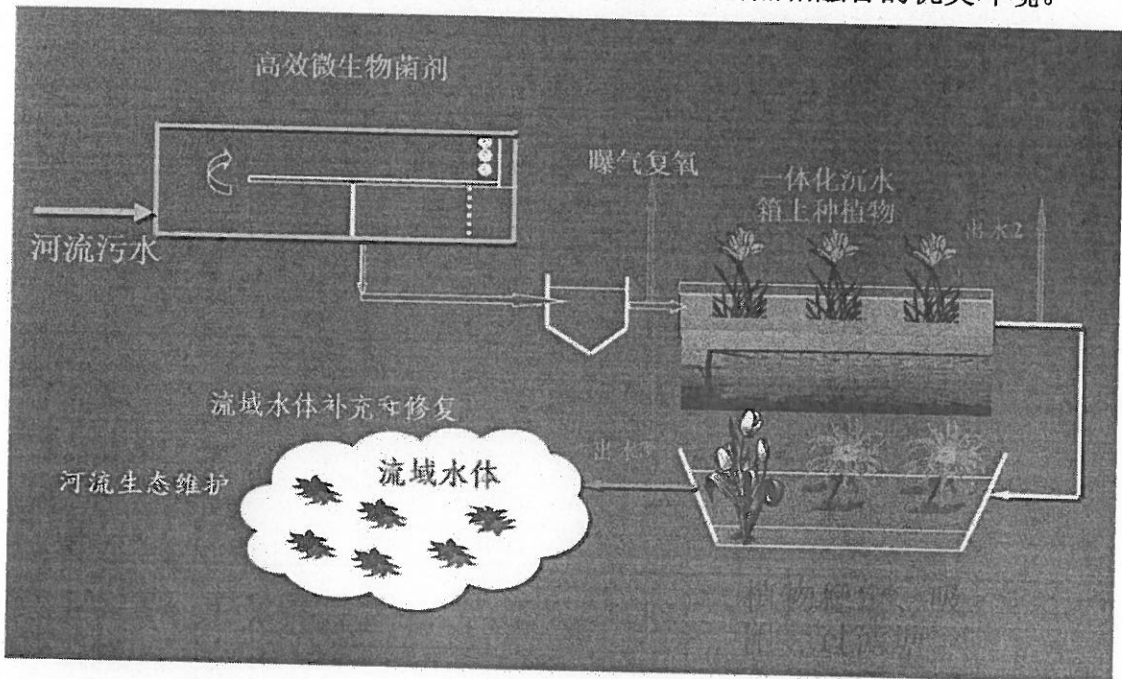


图 4.3-18 流域水体补充和修复和水体生态维护

水体生态修复集成技术主要通过设置水下载体、种植挺水植物、构建生态浮床等技术措施组成生物膜系统，从而强化净水水质、提高景观效果和为生物栖息提供场所，最终形成多目标生态修复集成技术。

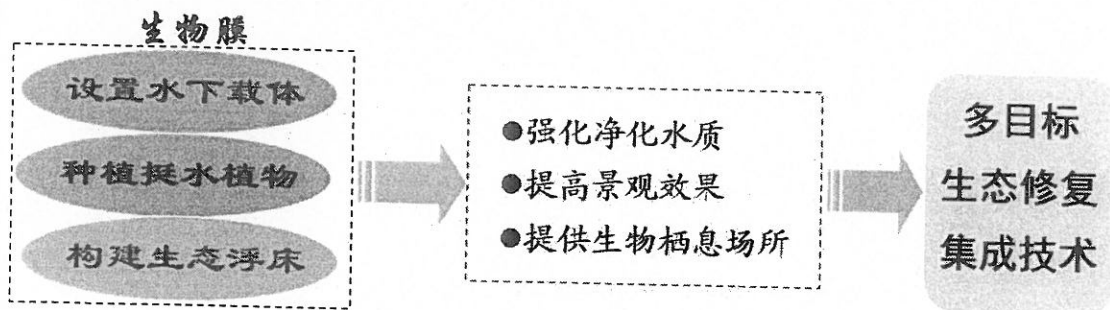


图 4.3-19 水体生态修复集成技术



水体生态修复集成技术中一般采用具有强化除磷单元的材料框架组成工作介质，在其下吊挂生物填料，组成生物膜净化单元，其上种植水生植物，美化景观环境的同时利用植物发达的根系吸收水体中的氮、磷等营养盐物质。

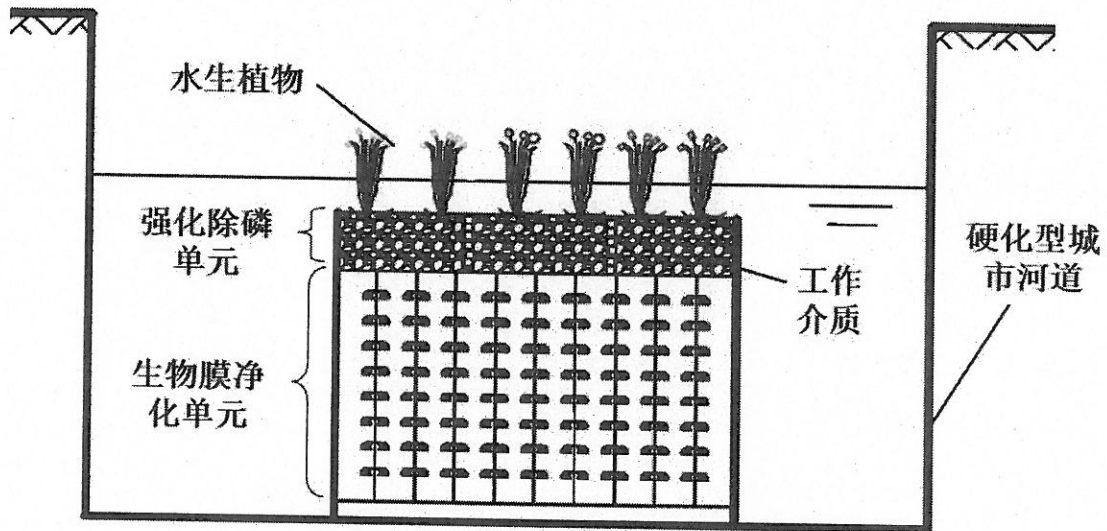


图 4.3-20 水体生态修复集成技术示意图



图 4.3-21 水体生态修复集成技术现场图

#### 5) 生态净化水厂

生态净化水厂是由太阳能水循环复氧设备、净水载体、种植在净水载体上的植物以及固化在植物根系与净化载体上的高效复合微生物有机集成的原位复合净水技术。生态净化水厂应用于解决水体以及再生水、污水厂退水接纳水体污染物负荷高、透明度低、生态系统受损、易暴发蓝藻水华与黑臭等问题。



生态净水厂中净水载体集净水填料、植物种植载体、微生物附着/固化载体多功能于一体。生态净水厂是以固化在植物根系与净化载体上的高效复合微生物、植物根系以及净水载体填料共同完成对污染物的去除。同时，生态净水厂中太阳能水循环复氧设备为微生物提供适宜的好氧、兼氧、厌氧环境条件从而提高系统的污染物去除效率，并改善水体的流动性从而扩大浮动式生态净水厂的作用范围。因此，生态净水厂为水体提供的适宜的溶解氧与流动性环境，促进水体生态系统在结构与功能上进行自我修复并稳定维持水质净化效果。

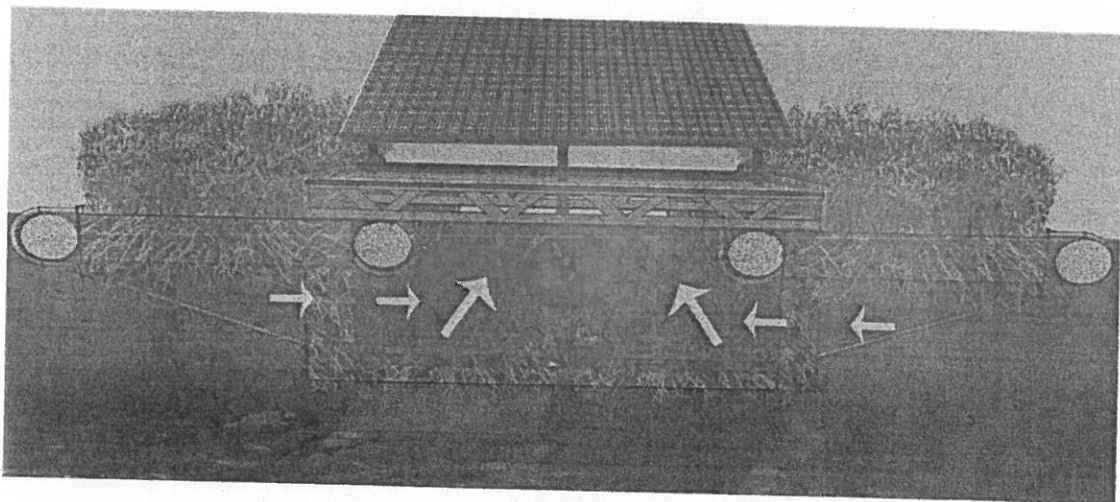
#### A.技术特点:

a) 生态净水厂为复合技术，其将净水载体技术、太阳能水循环复氧技术、高效微生物技术进行集成并有机组合，克服了水体治理单一生态技术应用的局限性，以及多种单一技术不匹配简单组合系统污染物去除率的低效性，实现多种治理技术有机组合并提升了系统污染物去除效率；

b) 在水质净化过程中，固化在植物根系与净化载体上的高效复合微生物作为净水优势菌种，与水体本地微生物相互配合，共同达到净水作用；

c) 生态净水厂为原位技术，直接布设于水体中，不占用周边土地资源；

d) 投资成本低于传统的旁路水体处理系统（如：一体化水体处理设施、人工湿地系统等）；系统运行无需人工操作、无需外接电源，运行维护成本几乎为零。



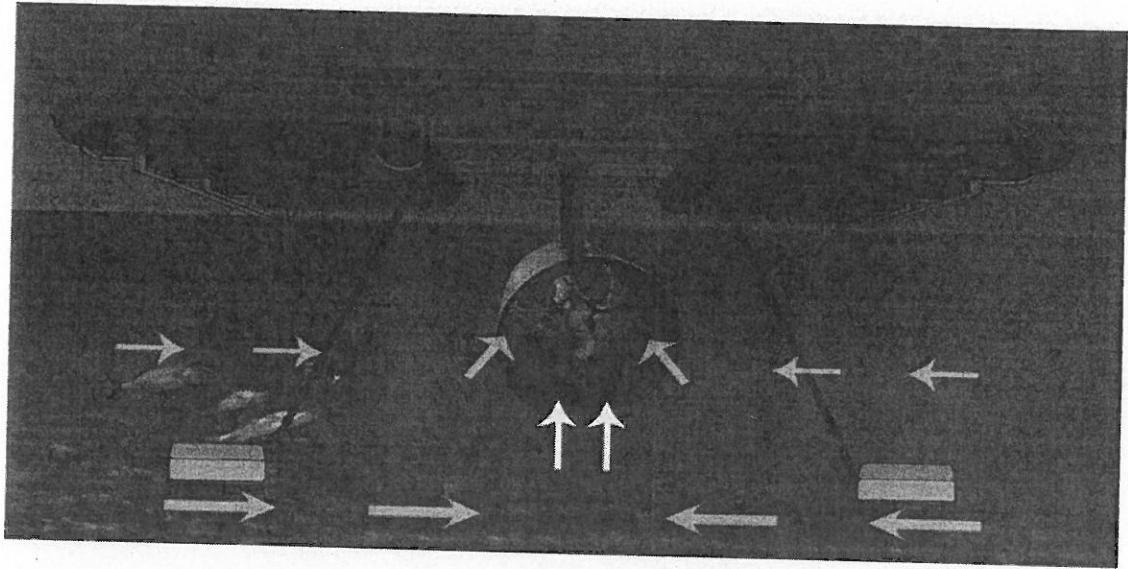


图 4.3-22 生态净水厂效果图

**B. 生态净水厂技术参数:**

环境温度:  $-20^{\circ}\text{C}$ — $45^{\circ}\text{C}$ ;

净水载体材质: 高分子复合纤维, 比表面积 1: 1000, 空隙率 97%;

太阳能供电板输出功率 1500 瓦;

循环通量:  $350\text{ m}^3/\text{h}$ ;

动水距离: 350m;

框架材质: 主体结构金属部件采用 304 以上等级不锈钢;

使用寿命: 25 年。

**6) 生态浮岛**

生物浮岛是将风能曝气、风能照明、植物吸收、除藻及提高水体底层光照条件等多种水治理技术综合的水处理方式。可提高水体 DO、改善水体底层光照条件等措施净化水质, 可抑制藻类生长、降低水体营养盐及有机物含量、提高水体透明度。

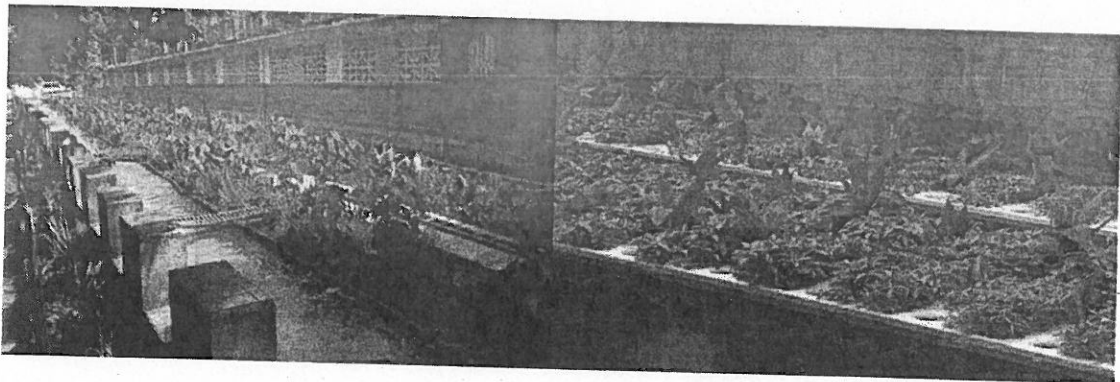


图 4.3-23 生物浮岛现场图

## A. 技术特点

生态浮床是指将植物种植于浮于水面的床体上,利用植物根系直接吸收和植物根系附着微生物的降解作用有效进行水体修复的技术。

生态浮床技术优点: a) 充分利用我国广阔的水域面积,将景观设计与水体修复相结合; b) 可选择的浮床植物的种类较多,载体材料来源广,成本低,无污染; c) 浮床的浮体结构新颖,形状变化多样,不受水位限制,不会造成水体淤积。

但生态浮床仍存在一些问题和不足: a) 不易进行标准化推广应用。b) 现有生态浮岛难以推行机械化操作。c) 生态植物的补种与清理较难。

## B. 设计要求

生态浮床是绿化技术与漂浮技术的结合体,一般由四个部分组成,即浮床框架、植物浮床、水下固定装置以及水生植被。

## C. 设计原则

根据不同的目标、水文水质条件、气候条件、费用,进行浮床的设计,选择合适的类型、结构、材质和植物。浮床的设计必须综合考虑以下5个因素:

①稳定性:从浮床选材和结构组合方面考虑,设计出的浮床需能抵抗一定的风浪、水流的冲击而不至于被冲坏。

②耐久性:正确选择浮床材质,保证浮床能历经多年而不会腐烂,能重复使用。

③景观性:考虑气候、水质条件,选择成活率高、去除污染效果好的观赏性植物,能给人以愉悦的享受。

④经济性:结合上述条件,选择适合的材料,适当降低建造的成本。

⑤便利性:设计过程中要考虑施工、运行、维护的便利性。

除此之外,可以考虑浮床技术和其他技术的组合,如生态浮床和削减波浪设备的组合,如消浪栅、消浪排等,缓解水流、风浪对浮床的冲击,保证浮床能在广阔的河面、风浪较大的区域得以应用。考虑生态浮床可与填料、曝气等技术组合,提高整个浮床的处理效率。

### a) 大小和形状

一块浮床的大小一般来说边长1~5 m不等,形状以四边形居多,也有三角

形、六角形或各种不同形状组合起来的。以往施工时单元之间不留间隙，现在趋向各单元之间留一定的间隔，相互间用绳索连接，这样做①可防止由波浪引起的撞击破坏；②可为大面积的景观构造降低造价；③单元和单元之间会长出浮叶植物、沉水植物，丝状藻类等，成为鱼类良好的产卵场所、生物的移动路径。

#### b) 材料

①浮床框体。要求坚固、耐用、抗风浪，目前一般用 PVC 管、不锈钢管、木材、毛竹等作为框架。

②浮床床体。目前主要使用的是聚苯乙烯泡沫板。此外还有将陶粒、蛭石、珍珠岩等无机材料作为床体。

③浮床基质。目前使用的多为海绵、椰子纤维等。

④浮床植物。需要满足以下要求：适宜当地气候、水质条件，成活率高，优先选择本地种；根系发达、根茎繁殖能力强；植物生长快、生物量大；植株优美，具有一定的观赏性；具有一定的经济价值。目前经常使用的浮床植物有美人蕉、芦苇、荻、水稻、香根草、香蒲、菖蒲、石菖蒲、水浮莲、凤眼莲、水芹菜、水雍菜等。在实际工作中要根据现场气候、水质条件等影响因素进行植物筛选。

#### c) 人工浮床的水下固定设计

水下固定形式要视地基状况而定，常用的有重量式、锚固式、杭式等。另外，为了缓解因水位变动引起的浮床间的相互碰撞，一般在浮床本体和水下固定端之间设置一个小型的浮子。

#### D. 工艺原理与技术参数

工艺原理：一方面，利用表面积很大的植物根系在水中形成浓密的网，吸附水体中大量的悬浮物，并逐渐在植物根系表面形成生物膜，膜中微生物吞噬和代谢水中的污染物成为无机物，使其成为植物的营养物质，通过光合作用转化为植物细胞的成分，促进其生长，最后通过收割浮床植物和捕获鱼虾减少水中营养盐；另一方面，浮床通过遮挡阳光抑制藻类的光合作用，减少浮游植物生长量，通过接触沉淀作用促使浮游植物沉降，有效防止“水华”发生，提高水体的透明度，其作用相对于前者更为明显。同时浮床上的植物可供鸟类栖息，下部植物根系形成鱼类和水生昆虫生息环境。

#### E. 维护管理



a) 浮床植物的管理与收获：对生长不好的植物进行补种，在植物枯萎之前对其地上部分进行不同强度的收割。

b) 浮床支架的稳定与修缮：对支架进行定期的检查，将不稳定的支架进行加固，更换掉老旧的支架。

### 7) 复合纤维浮动湿地

复合纤维浮动湿地通过在水体中搭建类似人工湿地的结构，对水体污染物去除并实现生态修复作用。复合纤维浮动湿地通过浮力载体与湿地填料一体化技术，实现将人工湿地植物及其填料基质漂浮于水体表面，从而增大传统湿地单位时间单位面积的处理水量，并且解决了传统湿地运行 1-2 年后填料基质堵塞系统瘫痪的问题。与传统人工湿地相比，复合纤维浮动湿地能够直接作用于布设的水体，满足各类水位变化要求，适应生态处理池调蓄时的不同水位，无需占用土地资源，构建快捷，单位面积处理效率高，是全新的水生态处理方法。复合纤维浮动湿地于美国、新西兰的成功应用案例表明，其污染物处理效率高于传统人工湿地。

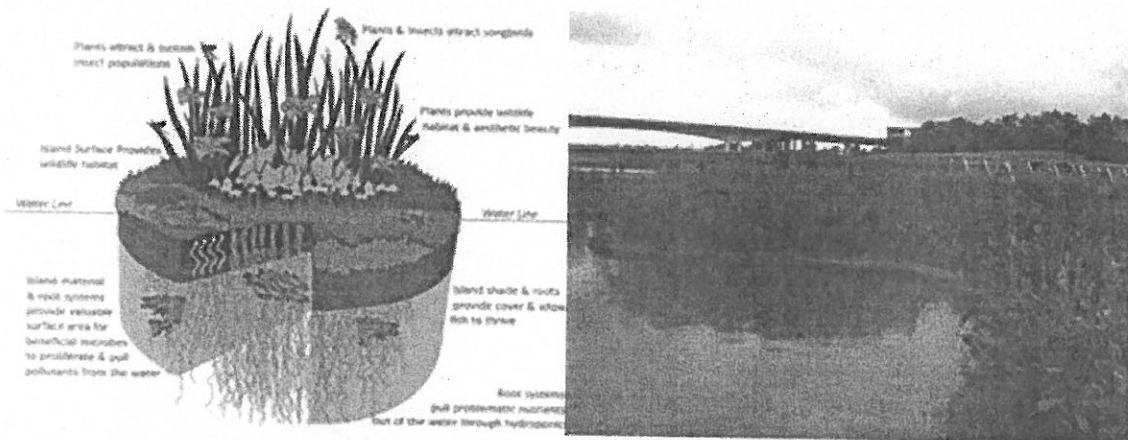


图 4.3-24 复合纤维浮动湿地

#### A. 水质净化原理

复合纤维浮动湿地通过复合纤维浮动湿地中基质、微生物与植物形成的净化系统，通过物理、化学和生物作用使水质得到净化。

复合纤维浮动湿地标准化模块是植物种植的载体、复合纤维浮动湿地浮力的提供者，更是复合纤维浮动湿地的表层基质、水质净化主体之一。其材质为进口高分子材料纤维，具有表面积极大的孔隙结构，在气水交界面区域为微生物的附着挂膜生长提供了空间，同时植物根系在标准化模块纤维孔隙中交织穿梭生长，根系分泌物中的小分子有机物易被微生物分解利用，更促进表层基质的生物膜生



长。大气、水面、标准化模块纤维丝、植物根系与生物膜的共同作用下，表层基质形成连续的好氧、缺氧、厌氧区域，为硝化、反硝化等微生物反应提供了环境条件。

复合纤维浮动湿地系统成熟以后，标准化模块纤维和植物根系吸附了大量微生物形成生物膜，污水流经复合纤维浮动湿地根系区域时，污染物被基质纤维、植物根系、与微生物的共同作用下得到去除。大量的固体悬浮物被基质和植物根系上附着的生物膜截留；有机污染物通过微生物的呼吸作用分解；氮磷等营养物质被植物吸收同化去除，同时也通过在好氧、缺氧环境中硝化、反硝化、聚磷等微生物过程去除。

#### B. 复合纤维浮动湿地技术参数：

- 1) 单体模块尺寸 (m)：2.0×1.5×0.13；
- 2) 采用复合纤维材料，孔隙度达到 97%，平均比表面积 1：1000；
- 3) 植物种植孔 21 个/m<sup>2</sup>；
- 4) 成熟后植物量多于 4 株/m<sup>2</sup>；
- 5) 平均承重为 35kg/m<sup>2</sup>；
- 6) 平均使用寿命大于 20 年。

复合纤维浮动湿地植物种植品种：芦苇、再力花、鸢尾。

#### (2) 生物多样性修复技术

##### 1) 水生植物群落多样性修复技术

###### A. 适用范围

水生植物群落多样性修复适用流速缓慢、滨岸带缓坡、水深小于 1m、岸线复杂性高的河段。

###### B. 设计要求

基于物理基底设计，选择对应植物种类、生活型，设计植物群落结构配置、节律匹配和景观结构，实现净化功能。采用生境和生物对策，因地制宜，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。

###### C. 工艺原理与技术参数

挺水植物选择水体所在区域常见植物，例如香蒲、芦苇，种植面积占 2km 滨岸带恢复区的水面 20%，沉水植物选择不同季相的种类来恢复疏浚后的水体生

态系统，约占恢复河段水面的 10%，挺水植物一般以 2-10 丛/m<sup>2</sup>，沉水植物以 30-100 株/m<sup>2</sup> 的密度种植。

#### D. 注意事项

注意恢复早期的水体光和流速的稳定；同时注意进行防浪隔离和鱼类隔离。

### 2) 沉水植物优势种定植技术

#### A. 适用范围

水生植物优势种定植技术适用流速缓慢、滨岸带缓坡、水深小于 1m、岸线复杂性高的河段。

#### B. 设计要求

基于物理基底设计，选择对应沉水植物种类、生活型，设计优势物种结构配置、节律匹配（季节）和景观结构，实现稳定群落功能。采用生境和生物对策，因地制宜，设计定植优势物种的种类和生长时期。

#### C. 工艺原理与技术参数

定植物种密度参考环境优势种平均丰度；快速定植选取生长旺盛的种类，株高通常 20-30cm，用固定物如石块、竹竿固定上部与底部，垂直插入水体底部基质中，待生长稳定后取出固定物。

#### D. 注意事项

注意定植早期的水体光和流速的稳定；同时注意进行防浪隔离和鱼类隔离。

### 3) 沉水植物模块化种植技术

#### A. 适用范围

水生植物优势种定植技术适用流速缓慢、滨岸带缓坡、水深小于 1m、岸线复杂性高的河段。

#### B. 设计要求

在沉水植物种植上，以集中种植最适宜，这样可以使种植的沉水植物形成一个群体，增强个体的存活能力。由于沉水植物物种的不同，因此在种植方式上存在草甸种植、播撒草种、扦插等工作方式，这些可以在优质土层回填时同步完成。

#### C. 工艺原理与技术参数

采集肥沃河泥、粘土及可降解纤维，按比例配制培养基质，并填入可拆卸模具中；将模具放入光照条件良好、可调节水位的小型水体中；培养基质中按一定

密度种植植物种子,并随着生长高度适时调节水位,使其能快速生长,结成草甸。在沉水植物草甸种植上,先通过细绳将多块草甸联结在一起,通过河段两岸将绳索两端带入水体,分别向两个方向伸展,将草甸完全拉平后将两端固定,或者先将一端固定在水底,通过向另一端拉直,这样就完成了一条草甸的种植工作,然后再将其他草甸按照顺序种植。在草甸的联结间距及两条草甸间的间跟上,可根据种植密度的需要进行调整。在沉水植物扦插种植方式上,可一次扦插数十根水生植物,效率较高。在播撒草种的种植方式上,可直接播种在淤泥层上,这样可以避免草种可能悬浮在水体中而影响种植效率。

#### **D. 注意事项**

注意模块化种植早期的水体光和流速的稳定;同时注意进行防浪隔离和鱼类隔离。

### **4) 水生动物群落多样性修复技术**

#### **A. 适用范围**

适用流速缓慢、滨岸带缓坡、水深小于 1m、岸线复杂性高的河段。

#### **B. 设计要求**

水体生态水生动物的修复应当遵循从低等向高等的进化缩影修复原则去进行,避免系统不稳定性。当水体沉水植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。

#### **C. 工艺原理与技术参数**

底栖动物选择水体所在区域常见动物,投放面积占 2km 滨岸带恢复区的水面 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。

#### **D. 注意事项**

注意流速的稳定;同时注意进行防浪隔离和杂食性鱼类隔离。

## **4.4 水体监控预警**

流域的监控预警及应急技术主要包括黑臭水质预警预报技术、在线监测技术、综合管理平台建设措施。

#### 4.4.1 黑臭水质预警预报技术

黑臭水质预警预测技术主要针对水体发生黑臭,通过建立指标因子临界值预警模型和基于水文水质参数的数学预警模型来实现预警预报。指标因子临界值预警模型指建立环境状态因子(COD、氨氮、DO等)的预测模型,确定的临界值可作为水体黑臭发生的预警值。基于水文水质参数的数学预警模型主要包括生态数学模型和数学驱动模型。在黑臭水质预警预报技术方面主要以数学驱动模型为主,主要的方法有多元统计回归、人工神经网络等方法。

#### 4.4.2 在线监测技术

##### (1) 在线监测指标

黑臭水体在线监测的主要监测指标为:pH、COD、氨氮、DO、溶解氧、流量等。

##### (2) 在线监测系统

黑臭水体水质在线监测系统结构见图 4.4-1。

##### 1) 监控设备

排污口现场使用摄像头进行实时视频监控,水质监测指标包括 pH、COD、氨氮、DO、溶解氧、流量等,使用等比例水样采集仪进行取样控制。

##### 2) 数据采集传输仪

在每个远程监测点现场安装以环保专用控制器为核心的数据采集传输仪,由它负责对现场信号、工业设备数据的传输进行控制。

##### 3) 数据传输网络

通过移动 GPRS 无线网络进行数据的传输与信号的接收,并利用远程终端通过 GPRS 网络来控制在线监测仪器的工作状态。

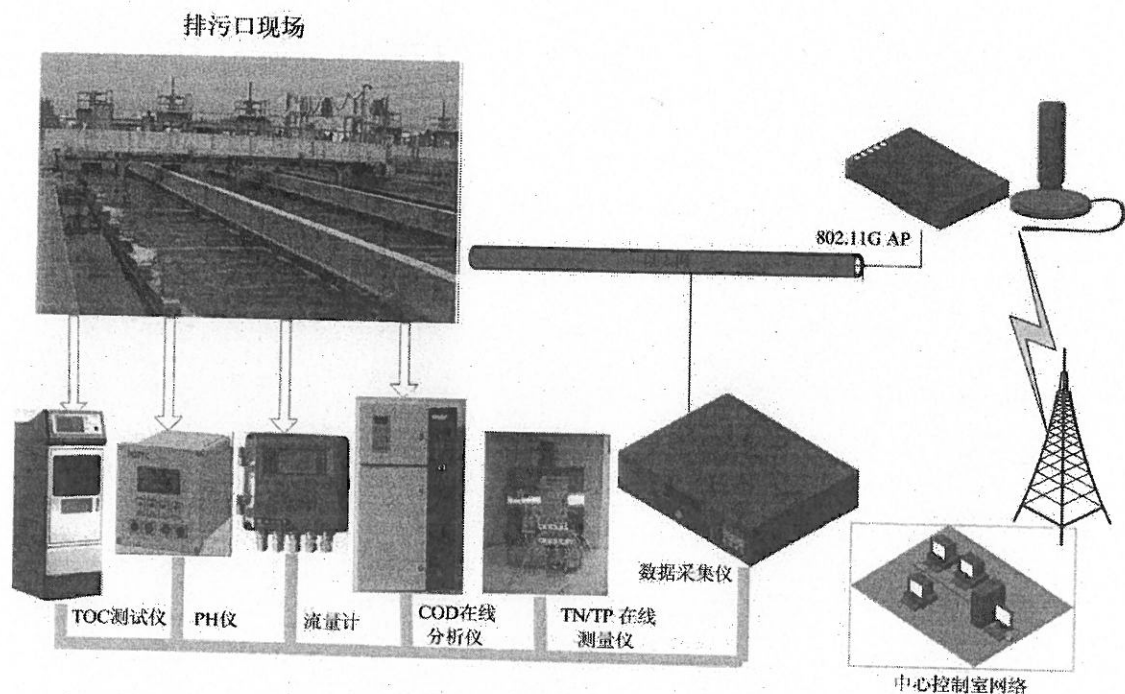


图 4.4-1 黑臭水体在线监测系统结构图

### (3) 黑臭水体监视及多媒体演示技术

基于 MODIS 和环境卫星遥感影像资料，建立流域水体黑臭信息提取业务化运行方法，实现监视流域水体黑臭成灾规模、成灾风险、时空变化规律以及相关水环境状况，分析水体黑臭成灾影响的因素。工艺流程包括：①水体遥感影像资料下载；②遥感影像环境信息提取；③水体黑臭成灾状况评估。

#### 4.4.3 综合管理平台

建设数据采集及传输系统，实现涉水体部门的数据交换；构建气象、水文、生态等基础数据库、水环境监测预警数据库，形成流域生态环境数据中心；建立入河支流和水体水质监测断面管理、水质自动监测数据管理、重点污染源自动监控管理、部门信息管理等子系统，形成水环境与生态综合管理平台，实现数据进行综合分析利用、提供管理决策支持的功能，以及水体黑臭等灾变现象的动态监视功能。完成信息共享技术研究，实现数据发布；建立跨部门、跨地区信息共享与维护运行机制，编制运行维护方案，平台可实现数据集成和共享的作用。



## 5 本技术政策的制定原则、依据和技术路线

### 5.1 编制原则

(1) 遵循国家有关的法规、标准及技术政策，以一定时期的经济技术发展水平为依据，符合我国黑臭水体污染现状以及发展趋势。

(2) 突出适用性和可操作性，政策推荐技术应同时具备充分的理论科学基础和实际应用推广价值，所选择的污染防治技术成熟可靠、先进实用、衔接性好。

(3) 坚持净水为主、节水优先，树立尊重自然、顺应自然的生态文明理念，节水就是保护水体生态，净水就是减排，进一步提标改造，强化源头减量、过程清洁、末端治理，从生产全过程防治水环境污染和生态破坏。统筹考核用水总量、水环境质量，确保水体水环境质量不降低，水生态系统服务功能不削弱，严防水环境生态风险。

(4) 实施水陆统筹和综合防治，从水体环境的整体性、系统性出发，重视水陆统筹的水体流域环境污染的预防、生态建设和系统管理，统筹流域水陆之间的协调关系，兼顾流域生态系统健康、环境功能保障和流域经济社会的可持续发展。

(5) 体现分区控制和分类指导，针对不同区域的黑臭水体水环境问题和污染特征，并结合区域经济技术水平，有针对性的提出相应的黑臭水体治理目标和任务，采用基于区域差异的分区控制策略。

### 5.2 编制依据

(1) 国家现有的环境保护法律、法规文件，各省市的地方排放标准和各行业标准等，如下：

- 1) 中华人民共和国环境保护法，2015年1月；
- 2) 中华人民共和国水污染防治法，2008年2月；
- 3) 中华人民共和国固体废物污染环境防治法，2013年6月；
- 4) 中华人民共和国水法，2002年8月；
- 5) 水污染防治行动计划，2015年4月；
- 6) 中华人民共和国清洁生产促进法；

- 7) 中华人民共和国循环经济促进法;
  - 8) 清洁生产系列标准;
  - 9) 污染防治技术系列政策;
  - 10) 中华人民共和国防治船舶污染内河水域管理规定;
  - 11) 《关于推进水污染防治领域政府和社会资本合作的实施意见》(财建[2015]90号), 2015年4月;
  - 12) 相关产业政策、行业发展规划等。
- (2) 各项相关的已发布的标准、规范与技术指南等, 如下:
- 1) 地表水环境质量标准(GB3838-2002);
  - 2) 污水综合排放标准(GB8978-2002);
  - 3) 城市污水处理及污染防治技术政策(建成[2000]124号);
  - 4) 城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策(试行)(建城[2009]23号);
  - 5) 城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002);
  - 6) 城市生活垃圾处理及污染防治技术政策(建成[2000]120号);
  - 7) 生活垃圾处理技术指南(建城[2010]61号);
  - 8) 生活垃圾填埋场污染控制标准(GB16889-2008);
  - 9) 人工湿地污水处理工程技术规范(HJ 2005-2010);
  - 10) 畜禽规模养殖污染防治条例(国务院令 第643号);
  - 11) 畜禽养殖业污染防治技术政策(环发[2010]151号);
  - 12) 畜禽养殖业污染防治技术规范(HJ/T 81-2001);
  - 13) 畜禽养殖业污染治理工程技术规范(HJ497-2009);
  - 14) 船舶污染物排放标准(GB3552-83);

### 5.3 技术路线

本技术政策制定的技术路线见图 5.3-1。

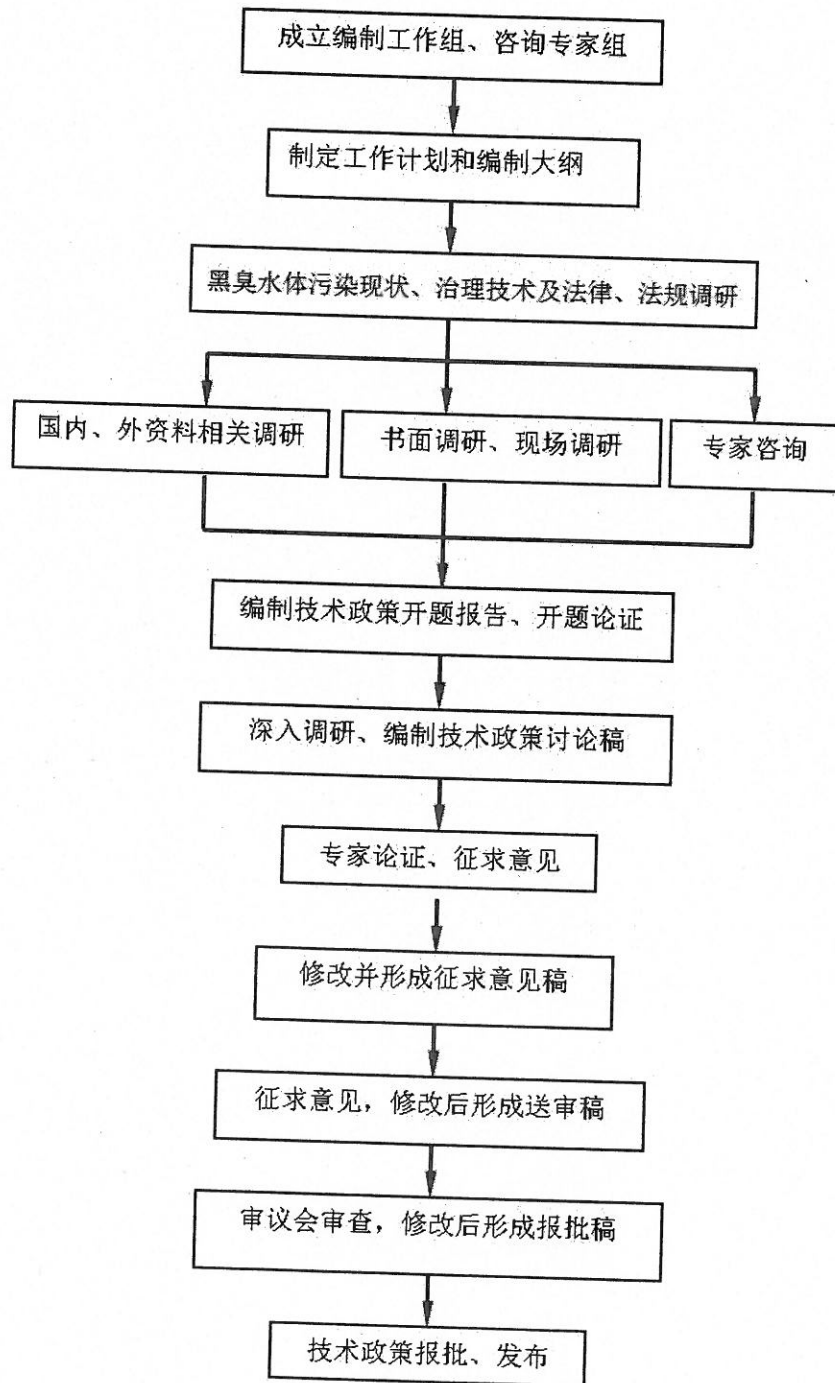


图 5.3-1 《黑臭水体治理技术政策》编制技术路线

## 6 主要技术内容的说明

本技术政策由总则、治理原则和技术路线、黑臭问题诊断技术、污染源控制及治理技术、水动力改善及水力调控技术、生态修复技术、综合管理技术和鼓励开发应用的新技术等共八方面组成。

### 6.1 总则

(一) 为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国水污染防治法》等法律法规及落实《水污染防治行动计划》等有关要求,控制和预防黑臭水体的发展,逐步消除黑臭水体,改善水环境质量,保障人群健康和水生态安全,促进技术进步,制定本技术政策。

本条突出了技术政策编制的重要依据和本技术政策的目标,即控制和预防黑臭水体的发展,逐步消除黑臭水体。

(二) 本技术政策为指导性文件,提出了治理黑臭水体的相关措施,供各有关方面参照采用。

本条说明可为地方政府等有关方面在治理黑臭水体的治理过程中参考应用。

(三) 本技术政策所称黑臭水体是指因过量纳污、超出其水环境容量而导致变黑、发臭,通常低于地表水环境质量标准 V 类水质标准,溶解氧小于 2.0 mg/L。多位于人口密集、污染负荷强度大、基础设施不完善的区域,主要包括城市建成区、城乡结合部、县城及中心镇等域内水体。

本条在编制团队查阅文献综述及大量工程实践凝练总结的基础上,着重说明了黑臭水体的理论定义、指标及界定范围,确定了本技术政策适用的主要区域范围。其中规定了黑臭水体的溶解氧浓度小于 2.0mg/L,是在大量文献和工程实践的基础上凝练总结的;而且溶解氧浓度小于 2.0mg/L 的水体属于劣 V 类水体,通常已经发黑发臭,本技术政策黑臭水体的定义与《中华人民共和国地表水环境质量标准 (GB3838-2002)》相衔接。

### 6.2 治理原则和技术路线

(四) 黑臭水体综合治理应遵循的原则:水陆统筹,分类、分区、分期治理,治理与管理兼顾;以水环境容量为本,改善水力条件,截污优先,污染源

治理和生态修复相结合；部门联动、责任明确、信息公开、公众参与，长效管理。

本条明确了黑臭水体治理原则和技术路线，从统筹规划、综合治理、长效管理三个方面阐述了黑臭水体的治理原则。

（五）黑臭水体治理的技术路线：开展黑臭水体环境问题诊断，分析黑臭成因，核定污染物负荷，确定控制目标，制定黑臭水体治理实施方案。实施污染源控制及治理、水动力改善及水力调控及生态修复，加强综合管理及工程运行与维护。

本条明确了黑臭水体治理的技术路线，并在技术路线的基础上，提出了黑臭水体治理的主要内容和技術路线。

### 6.3 黑臭问题诊断技术

（六）黑臭问题诊断应采集水文、水质、水生态等信息，排查主要致黑臭污染物及污染来源，计算水体环境容量，提出黑臭治理的目标污染物及分期治理目标。

本条要求黑臭水体治理必须开展问题诊断，同时阐明了黑臭水体问题诊断的主要内容。

黑臭水体治理的根本依据是保障水体水环境承载力，基本要求是经济社会发展与黑臭水体治理相协调。我国黑臭水体区域差异显著、类型多样，不同区域黑臭水体环境承载力差异大。目前大部分城市水体仍然没有摆脱资源消耗高、污染重、治理与保护发展模式粗放等问题，导致城市水体所接纳的 COD、氨氮等污染物普遍远超出城市水体水环境承载力。本条要求地方必须在采集水文、水质、水生态等信息，排查主要致黑臭污染物及污染来源，计算水体环境容量，核算城市黑臭水体污染负荷，提出黑臭治理的目标污染物及分期治理目标。对于有条件的城市鼓励确定满足城市水体质量达标约束条件的区域整体治理模式，并为黑臭水体污染源整治、生态修复工程、管理对象提供重点控制对象及总量控制信息，从源头根本上解决城市水体黑臭问题。

（七）黑臭问题诊断技术主要包括：资料收集、现场踏勘、问卷调查、取样检测、统计分析、模型模拟等。



本条主要列举了黑臭水体问题诊断的主要技术。

## 6.4 污染源控制及治理技术

(八) 污染源控制及治理主要针对点源、面源及内源, 鼓励采用适宜的技术削减目标污染物负荷, 满足水体环境容量控制要求。

本技术政策将黑臭水体的污染源控制及治理的主要对象, 包括点源、面源和内源三个方面, 鼓励个地方政府因地制宜, 采用适用于当地的技术削减目标污染物负荷, 满足水体环境容量控制要求。

(九) 点源主要包括集中排放的城镇生活污水、工业及工业园区废水、规模化养殖废水以及分散排放的污水(宾馆、饭店等)。

针对点源污染类型, 本技术政策分别从城镇生活污水、工业及工业园区废水、规模化养殖废水以及分散排放的污水(宾馆、饭店等)等几个方面提出治理要求。

1、对直接排入水体的点源应采取截污措施, 完善污水收集系统, 提高污水收集率和处理率。

本条强调了截污在点源治理方面的重要性。对污染黑臭水体的点源应首先采取截污措施, 扩大城市建成区、城镇等地区的污水管网的铺设范围, 完善污水收集系统, 提高污水的收集率和处理率。

2、城镇生活污水宜采取集中处理方式, 出水标准应达到总体治理方案的控制要求。可采用 A<sup>2</sup>/O、MBR、BAF、SBR、氧化沟等处理技术。

比较我国目前实行的环境标准可知, 城镇污水处理厂达标排放尾水与地表水环境质量标准之间仍有较大差距, 《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 中一级 A 标准的氨氮、COD 浓度值分别是地表水 V 类标准水质指标的 2.5 倍、1.25 倍, 可见, 按现行排放标准, 城镇污水处理厂达标排放尾水, 尤其是其中的氨氮对城市河流水体来讲仍属污染源, 需要对这些达标排放的污水进一步处理。因此, 为满足城市(城镇)水体水质保护的要求, 鼓励有条件的城镇应尽可能采取集中处理方式, 并且确保污水处理厂处理后的出水标准应达到总体治理方案的控制要求。

本技术政策将城镇污水处理分为重点城市和与非重点城市, 分别提出不同处理要求。在重点城市黑臭水体, 已建成污水处理厂并较好运行, 其治理要求与目

标建议高于非重点城市水体，要求城镇污水处理设施必须采取深度脱氮、脱碳提标工艺，城镇污水处理厂出水达到一级 A 标准。在非重点城市，城镇污水处理设施应逐步完善脱氮、脱碳提标工艺，在满足排放标准的基础上，尽可能提高氨氮和 COD 等营养物质的去除率。此外，本技术政策鼓励中水回用，因为中水回用可提高水体循环利用次数，增加了对水的有效利用率，更重要的是在回用中可削减一部分污染物总量，使得城市水体污染物降低。

3、工业及工业园区废水应达标排放，鼓励企业实施清洁生产和再生水回用。可采用常规水处理技术，必要时可增加高级氧化、吸附、膜技术等强化处理单元，提高出水水质。

本技术政策增加了对工业及工业园区污染削减的具体措施，提出工业企业应“按相关规划向工业园区集中”。工业园区是国家或区域的政府通过行政手段划出一块区域，聚集各种生产要素，在一定空间范围内进行科学整合，提高工业化的集约强度，突出产业特色，优化功能布局，使之成为适应市场竞争和产业升级的现代化产业分工协作生产区，同时也便于集中纳管，进行工业企业废水处理。此外，本技术政策提出工业及工业园区处理出水需达到国家或地方规定的污染物排放标准的要求；同时，本技术政策提出鼓励企业实施清洁生产和再生水回用，让企业改进工艺，减少污染物排放，从源头及过程控制上遏制污染源。可采用常规水处理技术，必要时可增加高级氧化、吸附、膜技术等强化处理单元，提高出水水质。

4、规范规模化畜禽养殖场废水排放，鼓励进行生态化改造和粪污资源化利用。可采用厌氧流化床、UASB、IC 反应器、厌氧-好氧结合等技术和资源化利用技术。

规模化畜禽养殖场是河流流域重要的点源污染。本技术政策对规模化畜禽养殖场的建设进行了明确的规定，“规范规模化畜禽养殖场废水排放，鼓励进行生态化改造和粪污资源化利用”。鼓励根据养殖种类、养殖规模、粪污收集方式、当地的自然地理环境条件以及废水排放去向等因素，确定畜禽养殖废弃物无害化处理与资源化综合利用模式，并择优选用低成本的处理处置技术。养殖废弃物处理可用技术包括厌氧流化床、UASB、IC 反应器、厌氧-好氧结合等技术和资源化利用技术。

5、严格排查水体周边饭店、宾馆等餐饮服务单位的污水直排口，修建截污管道，将其纳入城镇污水处理厂或自建污水处理设施处理后排放或回用。

宾馆与饭店接纳的主体是流动人群，在接待旺季时，将持续排放污水形成较强点源直排。本技术政策对水体周边的饭店、宾馆等餐饮服务单位的污水直排口要求更精炼、更明确。对于水体周边饭店、宾馆等餐饮服务单位的污水直排口，要求其修建截污管道，将其纳入城镇污水处理厂或自建污水处理设施处理后排放或回用。

(十) 面源主要包括城市面源、种植业面源及村落生活污水。

本条主要对面源污染做了解释，主要包括城市面源、种植业面源及村落生活污水。

1、城市面源主要来自合流制排水管网溢流污水、分流制排水管网初期雨水、以及分散直排的初期雨水。

针对合流制排水管网溢流污水，可采用分流制改造，提高截流倍数，溢流污水沉淀、过滤快速处理等技术。

针对初期雨水，可采用收集存蓄、水力旋流、快速过滤、人工湿地等处理技术，也可采用绿色屋顶、渗透铺装、雨水花园、植被浅沟等低影响开发改造技术。

本条对城市面源进行了解释。针对雨污合流制溢流污水，为达到改善水体水质、降低雨水径流污染物等目标，可采用合流制排水系统溢流技术，可采用分流制改造，提高截流倍数，溢流污水沉淀、过滤快速处理等技术。此外，改造现有的排水体系也是雨洪控制和利用的有效途径之一。各地应该根据当地不同的特点，因地制宜，采用相应的排水方案，实现对城市雨洪的控制和管理。

针对初期雨水，治理技术应尽量采取各种手段减轻对生态环境的冲击和破坏，重点在于对径流的存贮与滞留，可采用收集存蓄、水力旋流、快速过滤、人工湿地等处理技术，也可采用绿色屋顶、渗透铺装、雨水花园、植被浅沟等低影响开发改造技术。这些技术不仅能够减少暴雨径流带来的城市洪涝灾害和城市面源污染问题，还具有良好的社会效益、生态环境效益和经济效益。各地应因地制宜，采取与当地实际情况、经济水平相适应的处理技术。

2、针对种植业面源控制，鼓励开展种植结构优化调整、测土配方施肥等生

态农业技术，从源头上减少农田径流中污染物排放量；也可采用生态沟渠、滞留塘等技术，加强对农田耕种期初期暴雨径流的截留和净化。

种植业面源控制的有效的方法是发展生态农业，直接控制农药和化肥的施用，从源头上减少农田径流中污染物排放量。鼓励采用种植结构优化调整、测土配方施肥等适用技术。

径流污染的治理是在污染物的输移途径上采取适当的措施，减少污染物排入地下或地表水体。在农田与水体之间建立合理的草地或林地过滤带、利用田间空地、低洼地、湿地、支浜、河流开展生态工程建设，因而也可采用生态沟渠、滞留塘等技术，加强对农田耕种期初期暴雨径流的截留和净化，大大减少进入水体的氮磷含量。

3、针对村落生活污水，可采用土壤净化槽、生态坑塘、人工湿地等技术。

本条技术政策提出了针对村落生活污水的面源处理技术。农村污水处理时，因地制宜地采取集中与分散处理相结合的方式。经济发达地区人口较密集农村或离城镇较近的农村，应建设污水收集系统，其污水应收集入污水处理厂统一进行处理。经济欠发达地区农村及离城镇较远农村进行分散处理方式时，需采用与当地经济水平相适应的处理工艺对污水进行处理。可采用土壤净化槽、生态坑塘、人工湿地等技术。

（十一）内源污染治理，包括污染底泥及生活垃圾。

本条说明黑臭水体的内源污染主要包括黑臭水体底泥释放及通过各种途径进入水体的生活垃圾。

1、针对污染底泥，优选原位覆盖、原位钝化技术。针对污染底泥堆积较厚、污染严重、确需疏挖的区域，采用精确薄层生态疏浚技术；避免堆场余水二次污染，鼓励开展底泥处理处置及资源化利用。

原则上为确保生态修复效果及考虑工程投资、经济效益，尽量不使用大规模疏浚，因而针对污染的底泥，优选原位覆盖、原位钝化技术。若污染底泥堆积较厚的局部区域，并且污染严重，成为水体二次污染的潜在污染源时，并且后期将影响水生态修复过程中水生植物定植等，在这种情况下，则鼓励采用精确薄层生态疏浚技术进行疏挖。此外，在疏浚过程中，应避免堆场余水造成的二次污染，鼓励开展底泥处理处置及资源化利用。



2、加强生活垃圾及其他固体废弃物管理，防止其进入水体，一旦进入水体的，须及时清理，保证水面无大面积漂浮物，岸边无垃圾。

生活垃圾包括城市生活垃圾和农村固体废弃物等，如不进行妥善的处理处置，随着强降雨极易进入水体，影响水质和感官效果。因此应加强生活垃圾及其他固体废弃物管理，防止其进入水体，一旦进入水体，及时清理，保障水面无大面积漂浮物，岸边无垃圾。

## 6.5 水动力改善及水力调控技术

(十二) 计算水环境容量，确定生态基流。针对生态基流较小或基本没有生态基流的水体，可采用生态调水，鼓励利用再生水、雨洪等进行补水。针对滞水区、缓流区，鼓励采用内循环或外循环等技术，改善水动力学条件。

本条要求黑臭水体治理最终要实现水体的水生态健康，这就要求在计算水环境容量的基础上，必须通过多种途径保护水体的生态基流，为水生昆虫、鱼类、植物及其他水生生物的生长提供必要条件，为后续黑臭消除后，生物修复奠定基础。因而针对生态基流较小或基本没有生态基流的水体，可采用生态调水，鼓励利用再生水、雨洪等进行补水。同时针对滞水区、缓流区，鼓励采用内循环或外循环等技术，改善水动力学条件，促进水循环，增加溶解氧。

## 6.6 生态修复技术

(十三) 生态修复是在控源截污的基础上，利用生态手段对水体内、滨岸带、缓冲带进行修复，改善水质，恢复景观。

本条说明了黑臭水体的生态修复方案从水内体、滨岸带、缓冲带三个方面，分别提出其修复技术政策，从而改善水质，恢复景观。

(十四) 水体内生态修复，主要包括生境改善技术、水生植物修复及水生动物修复。

1、针对生境条件差、水生生物修复难度大，鼓励采用曝气增氧、人工生态材料、微生物菌剂等技术手段，改善水质、底质，为水生生物修复创造条件。

生境改善技术主要指可以从技术上改善水质、底质，增加水体透明度，为水生植物修复创造有利条件的技术。典型的水质改善技术包括水力调控技术、曝气



增氧技术、人工生态材料（主要包括一般的生物膜技术、碳素纤维生态草等生物载体）、化学絮凝、微生物菌剂和其他集成技术手段等。

2、针对水生植物修复，筛选确定水生植被修复的先锋物种，鼓励采用水生植物育苗、人工打穴、沙包抛植、草皮制作等定植技术，恢复水生植物群落，并优化配置。预防外来物种入侵、水生植物腐烂二次污染等问题，鼓励大型水生植物资源化利用。

水生植物在水体营养盐循环及能量流动过程中担当着重要角色，水生植物生长过程中大量吸收水体和沉积物中的营养盐，尤其是氮磷元素，同时能够释放出大量的溶解氧，促进黑臭水体生态系统的修复。因而在黑臭水体治理工程中恢复水生植物被认为是可取且有效的手段。

本条说明了水生植物的修复，应首先选择对应植物种类、生活型，确定先锋物种；鼓励采用水生植物育苗、人工打穴、沙包抛植、草皮制作等定植技术，恢复水生植物群落，优化配置水生植物群落结构、节律匹配和景观结构，实现净化功能。同时应注意避免预防外来物种入侵、水生植物腐烂二次污染等问题，鼓励大型水生植物资源化利用。

3、针对水生动物修复，鼓励采取种群恢复、种群控制、放流增殖等技术。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，恢复土著鱼类群落；可适时进行人工放流，调控水体水生动物群落结构。

黑臭水体中水生动物的修复应当遵循从低等向高等的进化缩影修复原则去进行，避免系统不稳定性。当水体沉水植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，恢复土著鱼类群落。鼓励采用的技术包括种群恢复、种群控制、放流增殖等技术。此外，可适时进行人工放流，调控水体水生动物群落结构。

（十五）针对滨岸坡面或直立岸堤，鼓励采用近自然岸堤、生态混凝土、石笼护岸、栅栏护岸及藤蔓植物仿自然等技术对滨岸带进行生态化改造。

滨岸修复是黑臭水体修复的最后一道屏障，是健康水体生态系统的重要组成部分。进行滨岸带生态修复时应遵循因地制宜、优先解决突出问题。对于以浆砌

或直立等硬质化岸堤，鼓励采用近自然岸堤、生态混凝土、石笼护岸、栅栏护岸及藤蔓植物仿自然等技术对滨岸带进行生态化改造。

(十六) 针对缓冲带生态修复，鼓励对缓冲带内已占用的道路、建筑、基础设施等逐步拆迁并进行生态修复。根据地形地貌、土地利用现状、生态类型对缓冲带进行分区分段，综合考虑水环境保护和景观效果，因地制宜，构建多自然型生态缓冲带。

近年来，随着我国对河流、湖泊保护和治理工作的加强，缓冲带的概念被提出，并在缓冲带功能、缓冲带构建技术等方面开展了研究，构建缓冲带在我国河流、湖泊保护与治理中越来越受到重视。

缓冲带是水体生态系统的重要组成部分，对于已占用的道路、建筑、基础设施应尽可能逐步拆迁并进行生态修复。应根据地形地貌、土地利用现状、生态类型，建立“多自然型缓冲带”，尽量选用土著生物物种，恢复生物多样性，恢复缓冲带生态系统，防止面源污染物进入水体。缓冲带生态修复需要充分考虑水环境保护和景观效果，促进生态文明建设。

## 6.7 综合管理技术

(十七) 建立综合协调机制，加强政府各部门之间的联系、协调与合作，齐抓共管，形成黑臭水体治理合力。

黑臭水体治理牵涉多个政府部门，目前不同地区、不同部门，尤其是在城市黑臭河流的治理、利用和管理方面的目标、利益不同，各自为政、各行其是，矛盾较为突出，影响了城市水体的综合管理。因此需建立城市水环境管理的创新体制，加强协调，有效协调不同部门之间、行政区之间、治污责任主体之间横向、纵向的突出矛盾，促进城市水生态环境系统的整体恢复和改善。

(十八) 落实责任到人，公布黑臭水体名称、责任人、达标期限及治理效果。

各地推行的河长制取得了较好的管理效果，因此鼓励推行行政负责人制，将责任落实到人。同时按照国务院《水污染防治行动计划》的要求，城市建成区于2015年年底完成水体排查，并公布黑臭水体的名称、责任人以及达标期限。

(十九) 科学监测监控。鼓励综合利用自动在线监测、自动视频监控、人

工巡视监控、网络信息传媒等手段，构建水体监控预警系统。

监测技术是应对突发性环境污染事故的基础支撑，西方发达国家很早就对化学品理化性质、风险评价、毒理检验、环境监测、环境污染事故应急预案等诸多方面，开发了多种应急监测的技术与方法，为环境管理提供相关技术支持。近年来，我国也开展了城市黑臭水体监测预警技术的研发与应用，因而建议鼓励综合利用自动在线监测、自动视频监控、人工巡视监控、网络信息传媒等主要监控技术构建水体监控预警系统，实现实时、精确监测与预警黑臭水体的发生，为政府科学决策提供依据，降低城市水体发生黑臭带来的危害。

(二十) 建立黑臭水体信息共享平台和信息公开制度，每半年向社会公布治理情况，接受社会监督，鼓励公众参与。

鼓励有条件的重点区域构建黑臭水体治理信息平台，实现数据共享和信息公开。建设数据采集及传输系统，实现各部门的数据交换；构建气象、水文、生态等基础数据库、水环境监测预警数据库，形成黑臭水体治理数据中心；建立水质监测断面管理、水质自动监测数据管理、重点污染源自动监控管理、部门信息管理等于子系统，实现数据的综合分析利用并提供管理决策支持的功能。

公众参与是城市黑臭水体治理工作中十分重要的内容，只有极大地提高公众的环境保护意识，全民参与，公众监督，才能真正实现对城市黑臭水体的治理。

(二十一) 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养护，确保工程长效运行和水质改善效果。

水体内、滨岸带及缓冲带生态建设修复工程，能发挥良好的生态与工程效果，但是如果对大量生长的植被不进行及时科学的管理，会对水环境产生一定的负面影响，如水生植物腐烂导致的二次污染。因此应加强日常维护和管理，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。生态修复工程运行管理包括日常维护与管理、水生陆生植被群落调整及完善、水生陆生植物控制与资源化三部分。生态修复工程运行管理以养护为主，水体内的水生植物必须通过加强后期的维护管理来维持生物多样性。同时垃圾对水质和景观效果会产生一定的影响，需加强管理。日常维护管理是保证生态修复工程中水生陆生植物正常生长的主要措施，主要包括①强化管理降低人为干扰；②凤眼莲、水花生等局部暴发性物种及其他植物残体的打捞；③进行水生陆生植物群落结构

调整，加强日常管理，辅助植物收割并尽量资源化；④垃圾清理。

## 6.8 鼓励开发应用的新技术

(二十二) 鼓励建立新技术开发与推广体系。根据黑臭水体治理技术的需求：

1、在点源治理方面，鼓励研发应用高效脱氮、脱碳、除磷及资源、能源化先导技术，如真空收集截污技术、氮磷及有价物质回收利用技术、难降解工业废水高级氧化技术等。

2、在面源治理方面，鼓励研发集成应用城市面源综合协同控制技术，初期雨水、地表漫流截流与污染控制技术。

3、在内源治理方面，鼓励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，鼓励研发应用原位水质改善及生物生态恢复技术，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。

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。地方各级人民政府应当鼓励支持，并且采取措施，建立新技术开发推广体系，培育相关产业，重点研究开发项目应当列入地方重点科研项目计划。

根据国内外最新研究进展以及热点趋势，本条列举了黑臭水体治理技术的需求，鼓励发展在黑臭水体治理中效果稳定可靠、运行经济合理、已有应用实例的污染源控制、生态修复与监管新技术。