

附件 3

《湖库富营养化防治技术政策》（征求意见稿） 编制说明

项目名称：湖库富营养化防治技术政策

项目统一编号：52.1.1

承担单位：中国环境科学研究院

主要起草人：许秋瑾 席北斗 胡小贞 霍守亮 庞燕

蒋丽佳 徐冰冰 胡妍玢 赵阳

项目管理负责单位及负责人：中国环境科学研究院 何连生

环保部科技标准司项目管理人：许丹宇

目 录

1 项目背景.....	18
1.1 任务由来.....	18
1.2 工作过程.....	19
2 湖库富营养化及其治理与控制现状.....	21
2.1 我国湖库富营养化现状.....	21
2.2 我国湖库富营养化治理与控制现状.....	23
2.3 国内外湖库富营养化相关技术政策.....	33
3 技术政策修编的必要性.....	35
3.1 国家及环保部门的相关要求.....	35
3.2 湖库环境问题的新需求.....	36
3.3 湖库富营养化控制最新进展.....	37
4 湖库富营养化控制与治理技术.....	39
4.1 水环境承载力与氮磷总量控制技术（方法）.....	39
4.2 污染源综合防治技术.....	45
4.3 湖库及流域生态修复技术.....	66
4.4 流域监控预警及应急技术.....	83
5 本技术政策的制定原则、依据和技术路线.....	86
5.1 编制原则.....	86
5.2 编制依据.....	86
5.3 技术路线.....	88
6 主要技术内容的说明.....	89
6.1 总则.....	90
6.2 综合治理流域污染源.....	92
6.3 修复富营养化湖库.....	100
6.4 流域综合管理措施.....	108

1 项目背景

1.1 任务由来

我国湖泊数量众多、分布广泛、类型多样、成因复杂，湖泊的营养物水平和富营养化效应具有很大的区域差异性。随着国民经济、社会的发展，湖泊富营养化加剧，藻类水华暴发频率增高，富营养化是我国湖泊的主要问题，成为制约流域社会和经济持续发展的重大环境瓶颈问题。我国富营养化湖泊主要分布在长江中下游湖区、云贵湖区，部分东北山地及平原湖区与蒙新湖区。城市湖泊由于湖小受城市污水影响大，无论地理位置如何几乎都已达到富营养化或严重富营养化的程度。我国湖泊富营养化问题的严重性引起了中央政府和地方政府的高度重视，自“九五”开始，国内对“太湖、巢湖和滇池”等富营养化湖泊开展了重点整治，拉开了我国对富营养化湖泊进行大规模治理的序幕。进入 21 世纪后，各地更是加强了对本地区富营养化湖泊的大力治理，治理手段上，也从早期的污染源控制，进入到了对湖泊的生态修复。

目前我国已在湖泊富营养化研究与治理方面做了大量的工作，也取得不少科技创新成果。2004 年我国发布的《湖库富营养化防治技术政策（环发[2004]59 号）》为保护湖库及其流域的水质和生态环境，遏制湖库富营养化发展，指导湖库富营养化防治提供了技术支持，为湖库环境管理提供了技术依据。但从总体上讲，由于我国湖泊富营养化较世界其他国家更为严重，加上不同湖泊富营养化的原因不尽相同，导致了富营养化问题非常复杂。随着逐渐成熟的技术与实践经验，从流域统筹出发的，控源减排、生态修复及综合调控的成套技术成为湖泊富营养化控制技术的发展方向，原制订的技术政策已不能满足适应形势发展的需要，因此需要进一步细化、完善与修订，汲取国内外湖泊富营养化防治经验和教训，了解国内外最新科技成果，形成符合我国现阶段国情，并有利于国民经济与社会全面发展的防治技术政策，进一步优化流域经济社会发展模式，从源头上扭转湖泊富营养化恶化趋势，完善湖泊流域水环境管理体制和长效运行机制，构建湖泊流域生态安全格局，实现湖泊保护和流域经济协调发展。根据《国家环境技术管理体系建设规划（环发[2007]150 号）》

以及财政资金管理有关规定，2013 年环境保护部科技标准司组织开展了国家环境技术管理项目工作，对《湖库富营养化防治技术政策（环发[2004]59 号）》进行修订，重新编制了湖库富营养化防治技术政策。

1.2 工作过程

（1）项目启动

2012 年 9 月 15 日，参加环保部组织召开的择优评审会，通过评审确定由中国环境科学研究院为《湖库富营养化防治技术政策》修编的项目承担单位。2013 年 2 月 1 日，参加环保部组织召开的启动会，正式成立《湖库富营养化防治技术政策》修编编制组。编制组收集整理了湖泊治理相关政策、防治技术以及国内外湖泊富营养污染治理、环境管理措施等资料，为全面分析研究我国湖库富营养化污染防治技术与措施提供必要的基础。

（2）技术政策编制培训

环境保护部科技标准司于 2013 年 2 月 1 日在北京召开技术政策编制培训会，指导和帮助技术政策编制人员更好地理解和把握《污染防治技术政策编制要求》的精神。编制组指派主要编制人员参加了培训，学习领会了会议精神，并掌握了技术政策框架设计及其编制的指导思想。

（3）现场调研

2013 年 1-12 月开了不同类型典型湖泊的实地调研，全面了解我国不同发展程度、不同区域与不同类型湖泊富营养化防治技术现状、污染防治工程的科技需求及环境管理政策需求。

（4）完成开题报告

2013 年 4 月 10 日，编制组在北京召开“湖库富营养化防治技术政策”内部讨论会，明确了“湖库富营养化防治技术政策”总体思路框架以及提纲内容。

2013 年 5 月 3 日，环境保护部科技标准司在北京组织召开了《湖库富营养化防治技术政策》修编开题论证会。参加会议的有中国环境学会、北京科技大学、中国环境科学研究院、环保部科技司、中国科学院南京地理与湖泊研究所的专家和代表。

与会专家提出了很好的修改意见，编制组对此给予了充分重视，并逐一进行了修改。

（5）完成初稿

2013年7月1日，编制组在北京召开“湖库富营养化防治技术政策”内部讨论会，对各大章节具体内容进行统稿，形成了《湖库富营养化防治技术政策（初稿）》。2013年10月22日，编制组在南京召开了《湖库富营养化防治技术政策（初稿）》专家咨询会议，征询中科院南京地理与湖泊研究所秦伯强研究员、南京大学杨柳燕研究员、南京土壤研究所杨林章研究员、江苏省环境科学研究院吴海锁研究员、江苏省环境监测中心郁建桥研究员等专家的意见与建议。按照专家论证会的要求，2013年10月31日，编制组在北京召开了“湖库富营养化防治技术政策”内部讨论会议，落实了咨询专家对《湖库富营养化防治技术政策（初稿）》提出的意见和建议，同时对《湖库富营养化防治技术政策编制说明》工作任务进行了分工与安排。

（6）完成征求意见稿

2014年2月，完成《湖库富营养化防治技术政策（修改稿）》；4月在北京组织召开《湖库富营养化防治技术政策（修改稿）》征求意见会，征询科技司技术处冯波处长、刘睿倩、中国环境科学研究院王圣瑞研究员、中科院的生态中心单保庆研究员、上海农科院宋祥甫研究员、环保产业协会燕中凯研究员、北京大学郭怀成教授、中科院南京地湖所秦伯强研究员等专家的意见与建议。5月在南京再一次组织召开《湖库富营养化防治技术政策（修改稿）》专家咨询会议，征询江苏省环保厅原厅长史振华、江苏省环保厅张宁红处长、江苏省太湖办张利民副主任、陈军副处长以及李贺副教授、江苏省农委管永祥站长、南京师范大学王国祥教授等专家的意见与建议。2014年7月，完成《湖库富营养化防治技术政策（征求意见稿）》。

（7）完成编制说明

2014年1月17日，编制组在北京召开“湖库富营养化防治技术政策”内部讨论会议，完成了《湖库富营养化防治技术政策编制说明（初稿）》，并对具体内容进一步讨论细化。2014年7月，根据《湖库富营养化防治技术政策（征求意见稿）》，完善了《湖库富营养化防治技术政策编制说明》。

2 湖库富营养化及其治理与控制现状

2.1 我国湖库富营养化现状

2008~2010 年，我国不同区域主要湖泊的 TLI 营养状态指数评价结果显示（见图 2-1）：处于富营养的湖泊数量已占多数，占调查总数的 78.7%，其中，处于轻度富营养、中度富营养和重度富营养湖泊数量分别占调查总数的 50.7%、21.3%和 6.7%；处于中营养的湖泊数量占调查总数的 14.6%，且不断向富营养化湖泊转变；处于贫营养状态的湖泊数量只占调查总数的 6.7%，主要分布于青藏高原湖区与云贵高原湖区。我国湖泊富营养化形势已非常严峻。

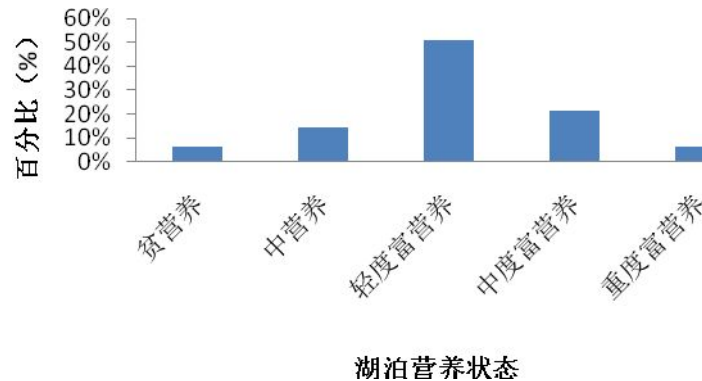


图2-1 我国湖泊营养状态统计

我国不同湖区湖泊营养状态表现为（见表 2-1，图 2-2）：中东部平原湖区湖泊几乎全部富营养化，其次是云贵高原湖区、东北平原和山地湖区、蒙新高原湖区和青藏高原湖区。东部平原湖区几乎全部富营养化，占 94%，中营养湖泊占 6%，无贫营养湖泊。云贵高原湖区湖泊富营养化湖泊占 60%，中营养占 20%，贫营养湖泊占 20%。东北平原和山地湖区湖泊富营养占 57%，中营养占 43%。蒙新高原湖区湖泊富营养占 40%，中营养占 40%，贫营养占 20%。青藏高原湖区湖泊营养状态以贫营养为主，占 67%，中营养湖泊占 33%，无富营养化湖泊。

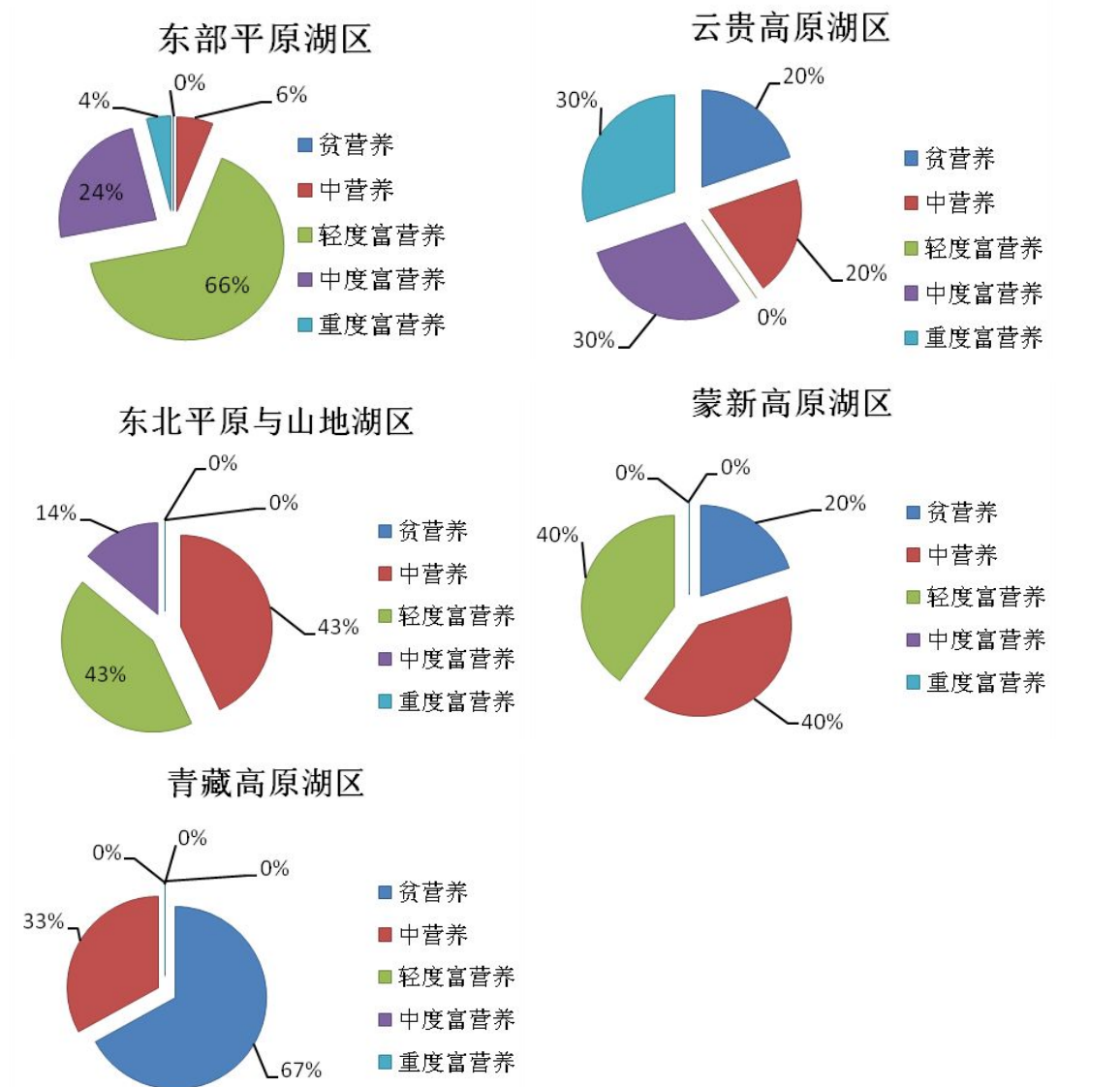


图2-2 我国不同湖区湖泊营养状态比例

表2-1 我国主要湖泊营养状态评价（2008~2010年数据）

区域	湖泊名称	营养状态	区域	湖泊名称	营养状态
东北	镜泊湖	中营养	东部	女山湖	轻度富营养
	五大连池	中营养		沱湖	轻度富营养
	松花湖	中营养		香涧湖	轻度富营养
	西泉眼	轻度富营养		鄱阳湖	轻度富营养
	桃山水库	轻度富营养		天岗湖	轻度富营养
	兴凯湖	轻度富营养		宝应湖	轻度富营养
	连环湖	中度富营养		高邮湖	轻度富营养
				洪泽湖	轻度富营养
青藏	羊卓雍错	贫营养		石臼湖	轻度富营养
	鄂陵湖	贫营养			

区域	湖泊名称	营养状态	区域	湖泊名称	营养状态
	青海湖	中营养		巢湖（东半湖）	轻度富营养
蒙新	喀纳斯湖	贫营养		洞庭湖	轻度富营养
	博斯腾湖	中营养		尚湖	轻度富营养
	乌伦古湖	中营养		傀儡湖	轻度富营养
	乌梁素海	轻度富营养		八里湖	轻度富营养
	柴窝堡湖	轻度富营养		陈家湖	轻度富营养
				大湖	轻度富营养
云贵高原	泸沽湖	贫营养		芳湖	轻度富营养
	抚仙湖	贫营养		南北湖	轻度富营养
	程海	中营养		太泊湖	轻度富营养
	洱海	中营养		瑶岗湖	轻度富营养
	长桥海	中度富营养		瑶湖	轻度富营养
	大屯海	中度富营养		元荡湖	轻度富营养
	杞麓湖	中度富营养		东湖	轻度富营养
	星云湖	重度富营养		邵伯湖	中度富营养
	异龙湖	重度富营养		巢湖（西半湖）	中度富营养
	滇池	重度富营养		太湖	中度富营养
东部	千岛湖	中营养		漕湖	中度富营养
	固城湖	中营养		七里湖	中度富营养
	军山湖	中营养		昆承湖	中度富营养
	升金湖	轻度富营养		玄武湖	中度富营养
	白荡湖	轻度富营养		阳澄湖	中度富营养
	破罡湖	轻度富营养		溇湖	中度富营养
	武昌湖	轻度富营养		长荡湖	中度富营养
	青草湖	轻度富营养		白洋淀	中度富营养
	泊湖	轻度富营养		西湖	中度富营养
	黄湖	轻度富营养		澄湖	重度富营养
	大官湖	轻度富营养		淀山湖	重度富营养
	龙感湖	轻度富营养		花园湖	轻度富营养
	瓦埠湖	轻度富营养			

来源于水专项“我国湖泊营养物基准和富营养化控制标准研究课题”（2009ZX07106-001）

2.2 我国湖库富营养化治理与控制现状

我国的湖泊富营养化及综合管理，大致经历了三个阶段，第一阶段大致在 20 世纪 80 年代以前，主要是对湖泊水资源的开发利用和管理。随着人类活动的加剧，富营养化逐步加重，20 世纪 80 年代至 21 世纪初，对湖泊富营养化防治进入了全面保护和综合治理阶段。进入本世纪以来，几次大的蓝藻事件的发生，促使人们开始

考虑在湖泊水质较好的时期，对湖泊水质进行规划防治，使得中国湖泊的管理进入到以主动防治和保育阶段为主的一个全新的阶段。以“三湖”（太湖、巢湖和滇池）为代表的湖泊富营养化防治工作基本反映了我国湖泊富营养化控制与管理的总体历程。

2.2.1 以开发利用为主阶段

开发利用为主的阶段是指 20 世纪 80 年代初期之前（1985 年之前）。由于社会、经济的快速发展和对湖泊水资源的过度利用，湖泊水质开始呈现下降趋势。针对“太湖、巢湖、滇池”三湖的水污染状况，国家先后成立了湖泊管理部门并制订了相关保护条例，但这一时期总体偏重于对湖泊水资源的开发利用，由于湖泊的自净能力，总体上还未呈现突出的矛盾。

（1）太湖

20 世纪 60 年代中期，由于污染物排放量较小，太湖水质为 I~II 类，处于贫营养至中营养状态。随着太湖流域经济的高速发展，城市现代化、农村城镇化、城乡一体化的进程很快，流域社会经济的快速发展，对水质和水量的要求也进一步提高。流域人口的持续增长导致居民生活用水量增加，同时由于生态环境日益受到人们重视，环境生态用水量有很大增加，以满足人民生活水平提高的需求。随着小城镇和城乡一体化的发展，乡镇企业需水量也明显上升，为加强对太湖流域水资源开发的利用和管理，1984 年，国务院批准成立了太湖流域管理局。

（2）巢湖

尽管巢湖在 20 世纪 50 年代就出现过“水华”现象，但直到 80 年代初之前，水质污染并不十分严重，也没有引起人们的普遍关注，在这段时期内，对湖区的管理主要是水资源的合理开发与利用。1954 年，巢湖湖区最早的管理机构巢湖区成立，主要负责组织渔业生产的互助与合作。由于效果不明显，巢湖区撤销后，1971 年，巢湖和六安联合成立巢湖湖泊管理处，对巢湖进行统一管理，主要负责指定生产计划，保护和利用水产资源。1972 年 8 月颁发了《巢湖湖泊管理条例》（试行草案），确定了管理制度、管理费、税收制度以及对水域的环境保护。1979 年，在湖泊管理处的

基础上，由相关的航运、水产、环保、公安等部门与沿湖县市的一些部门成立了安徽省巢湖管理委员会，主要针对巢湖湖区进行综合管理。

(3) 滇池

20 世纪 50 年代，滇池水清澈见底，水生植物丰富，是许多鱼和鸟类的良好栖息地，水质达到地表水 II 类标准。从抗日战争时期之后，大量的外地工厂、学校迁入到滇池流域，大量的资金、设备和人才流入昆明，城市化速度和规模发展很快。1957 年，昆明市辖内两个城区（五华区、盘龙区）、五个郊区面积达到 3363.36 km²，人口达到 83 万人。从 1958 开始，毁林炼钢、毁林开荒和“围湖造田”使滇池流域森林植被的数量和质量急剧下降，滇池水面缩小，为以后滇池污染和水环境的恶化打下了伏笔。到 70 年代，滇池水质已下降为 III 类。滇池水质的迅速恶化和水体富营养化发生在 20 世纪 80 年代以后。由于滇池一直承担着城市供水、工农业生产用水、调蓄防洪、旅游航运、水产养殖等多种功能，是昆明生产和发展的基础，对昆明市的经济发展起着至关重要的作用，1988 年，昆明市出台了《滇池保护条例》，明确了昆明市滇池保护委员会是滇池流域综合治理的组织领导机构，负责滇池保护治理重大问题的研究和决策，昆明市滇池保护委员会办公室（昆明市滇池管理局）在昆明市滇池委员会的领导下，统一协调和组织实施有关滇池保护和治理的具体工作。

太湖	巢湖	滇池
水质 I - II 类，贫营养至中营养状态(20 世纪 60 年代)	阶段性富营养化及水华 (20 世纪 50~80 年代)	水质 II -III 类，贫营养至中营养状态(20 世纪 50~80 年代)
功能：生产生活、航运、渔业、旅游、生态用水	功能：生产生活、航运、渔业、旅游	功能：生产生活、调蓄防洪、旅游航运、水产养殖
太湖流域综合治理规划报告，1980 水资源开发利用与管理，太湖流域管理局，1984 太湖流域综合治理骨干工程可行性研究报告，1985	巢湖区成立，1954 巢湖湖泊管理处，1971 巢湖湖泊管理条例，1972 巢湖管理委员会，1979	滇池保护委员会，1988 滇池保护条例，1988

图2-3 “三湖”开发利用与管理阶段

2.2.2 综合治理阶段

从“七五”到“十五”前期，即从 1985 年到 2000 年左右，我国全面启动开展了富营养化湖泊的研究和治理工作，重点针对富营养化严重的大型浅水湖泊，开展了一系列的整治措施，开展污染物目标总量控制，重点是建立污水处理厂，控制城市生活、工业等点源废水的排放。“九五”期间，湖泊富营养化成为国家的重点治理对象，“三湖”（巢湖、太湖和滇池）被列入我国首批流域治理重点项目，国家投入大量的人力、物力和财力对太湖、滇池和巢湖开展了重点整治，湖泊治理首次列入国家级流域水污染防治规划。江苏省、安徽省和云南省根据国家有关规划要求，积极开展水污染治理工作，取得了一定的成效。这一时期湖泊富营养化问题突出，同时湖泊治理较之以前的治理工程更为系统和科学，可称之为研究和综合治理阶段。

（1）太湖

20 世纪 80 年代以后，随着乡镇企业的发展，太湖流域污染物排放量持续增加。1989 年，太湖流域废水排放量是 1979 年的 1.7 倍，太湖水质平均为 III 类，尚处于中营养水平；20 世纪 90 年代太湖流域进入全面开放和快速发展时期，工业废水排放量急剧增加，太湖水质降为 IV、V 类，太湖也相应进入富营养水平。

面对湖泊富营养化的严重形势，1987 年，原国家计委批复了水利部太湖流域管理局编报的《太湖流域综合治理总体规划方案》，重点是控制城市生活、工业废水的排放。国务院于 1996 年在无锡召开了“太湖流域环保执法检查现场会”，研究治理太湖富营养化问题，并将太湖作为我国水污染治理的重点“三湖三河项目”之一，编制了《太湖水污染防治“九五”计划及 2010 年规划》。1996 年 10 月 1 日起正式实施的《江苏省太湖水污染防治条例》是我国第一个涉及限磷、禁磷的法规，目前太湖流域地区内禁用含磷洗衣粉的政策已得到了较好的落实。沿湖工业企业、集约化畜禽养殖场和宾馆饭店达标排放工作获得突破性进展，总达标率 97%。国家环保总局开展的“太湖达标倒计时”和“聚焦太湖”行动建立了 1035 家重点污染源达标进度日报制度，加强监督，解决了一批热点、难点问题。关闭了一些污染严重的、技术落后的小企业，工业点源已基本得到控制。2004 年取消了该湖区的所有的定置渔具的保护，在发展水产养殖业同时加强对养殖业污染的控制。

“九五”期间，太湖污染防治的重点是工业和生活污水控制工程，投资为 871500 万元，占总投资的 63.4%；其次是水利和河道疏浚工程，投资 280500 万元，占总投资的 20.4%。“九五”期间太湖主要治理措施见表 2-1。污水处理厂主要是对 COD 进行控制，即一般所说的二级生化处理，而脱氮脱磷由于技术和成本问题基本上没有得到落实。其它工程类中，饮用水保证工程总投资 125700 万元，占总投资的 9.1%；少废农田工程总投资 46000 万元，占总投资的 3.3%；生态恢复工程及其他工程总投资 36700 万元，占总投资的 3.8%。

表2-2 “九五”期间太湖主要治理措施

控制区域	项目名称	项目说明
梅梁湖-五里湖重污染控制区，总投资 398700 万元	截污及废水处理工程	区内生活污水的收集、处理（采用脱磷脱氮技术），工业废水达标排放，逐步禁止含磷洗衣粉的使用。
	污染底泥疏浚及处置工程	疏浚范围包括五里湖和梅梁湖部分区域
	大型水生植物恢复工程	以沉水植物为主，建成低覆盖率观赏性水生植被区
	禁止网箱养鱼	停止人工投饵对太湖的污染
	防止污水入湖与水利优化调控工程	严格管理与运河连通的三条河流，采用水利调控措施防止污水入湖，在直湖港、武进港建节制闸
	藻类爆发期应急处理工程	用吸藻船直接去除藻类并综合利用
湖西污染控制区，总投资 362000 万元	饮用水保证工程	保护饮用水源地，建设引、供水工程
	生活污水处理工程	城市和较大集镇建成污水处理厂（采用脱氮、脱磷技术），污水达标排放；分散居民区采用自然净化和人工强化处理措施相结合的方式处理污水
	工业废水处理	工业废水必须全部达标排放
	畜禽养殖污染综合治理工程	综合治理，强调综合利用，与少产污少排污相结合
	少废农田工程及其管理技术	改革耕作方式，合理施肥，改进排灌设施，加强管理，减少污染负荷
浙西污染控制区，总投资 264000 万元	河流污染综合治理工程	底泥疏浚，沿河岸边生态工程等措施削减污染物入湖量
	生活污水处理工程	城市和较大集镇建成污水处理厂（采用脱氮脱磷技术），污水达标排放，分散居民区采用自然净化和人工强化处理措施相结合的方式处理污水
	工业废水处理	工业废水必须全部达标排放
	少废农田工程及其管理技术	改革耕作方式，合理施肥，改进排灌设施，使之符合环保要求
	水土流失小流域综合治理工程	采取去污能力强，水源涵养能力强的草木复合系统生态工程与冲沟治理等物理工程相结合的方式

控制区域	项目名称	项目说明
望虞河污染控制区，总投资 112400 万元	饮用水保证工程	保护饮用水源地，建设引、供水工程
	工业废水处理	26 家重点污染源进行治理，工业废水必须全部达标排放
	生活污水处理工程	较大城镇城市建污水处理厂（采用脱氮脱磷技术），污水达标排放
	农业污染源治理	畜禽养殖控制工程，发展生态农业
	水利工程	望虞河河道疏浚、东岸口控制、江边建闸和泵站
	区域管理系统工程	建立执法体系、信息系统和人员培训
	沿湖宾馆饭店污水处理工程	77 家饭店
	湖滨防护带工程	分为环湖堤外绿化工程与堤内的湿地净化与生态恢复工程
	湖滨带生活污染源控制工程	控制湖滨带风景点、游览点、宾馆、饭店、疗养院等单位的污染源
	前置库工程	选择湖滨带内合适的小水域减少入湖污染物量
东太湖-太浦河污染控制区，总投资 204600 万元	湖面污染控制工程	水产养殖控制工程、航运污染控制工程
	泥沙淤积防治工程	减少泥沙淤积，防止东太湖沼泽化
	太浦河沿岸工业废水处理工程	工业废水必须全部达标
	生活污水处理工程	在重点镇建设污水处理厂（采用脱磷脱氮技术）
	水利工程	完成太浦河河道疏浚，建设泵站和北岸控制区
	饮用水保证工程	建设引、供水工程

资料来源《太湖水污染防治“九五”计划》

（2）巢湖

20 世纪 70 年代以后，巢湖“水华”频繁暴发，1987 年夏季合肥市第四水厂就因藻类影响而被迫停产，到了 80 年代末期，富营养化程度不断加重，全湖均为富营养化状态。为了改善巢湖水质，1987 年，安徽省人大颁布了巢湖流域污染治理的第一部地方性法规《巢湖水源保护条例》，条例以水源保护为重点，强调末端控制和点源控制，明确了管理职责并制定了惩罚措施。1988 年，安徽省政府设立了巢湖水源保护办公室，1991 年又成立了巢湖污染综合治理领导小组。“八五”期间，巢湖富营养化已经十分严重。为了缓解日趋严重的富营养化趋势，安徽省采取了一系列措施，从源头控制污染物排放。1994 年安徽省政府颁布了《关于加强我省淮河、巢湖流域水污染防治工作的决定》，采取了“一控双达标”，关闭“十五小”等措施，但源头控制并没有有效降低湖泊富营养化的水平。

在“九五”期间，安徽省皖政发[1998] 103 号文批复了《巢湖水污染防治“九五”计

划及 2010 年规划》（以下简称《规划》）。《规划》范围涉及对巢湖水体影响最大的巢湖闸上的汇水区，具体包括合肥市、肥东县、肥西县、巢湖市、庐江县和舒城县。由于巢湖的环境问题是富营养化，《规划》中确定的污染控制指标为总磷、总氮和化学需氧量。并确定巢湖水体污染治理要达到的具体目标是：1999 年底全流域工业企业排放的废水达到国家规定标准；2010 年出、入湖的主要河道水质分别达到地面水三类或四类标准；2010 年出、入湖的主要河道水质全部达到三类标准，巢湖流域生态系统开始走向良性循环。

在“九五”期间，巢湖流域共建成水污染防治规划项目 110 个，完成投资 23.5 亿元。主要的工程包括重点工业污染源治理、农业面源污染综合整治、生活污染源治理和饮用水源地的保护等。1) 在重点工业污染源的治理上，截止到 1999 年 12 月 31 日，巢湖全流域日排放废水在 100 吨以上的 109 家重点污染治理企业中，完成治理任务的 90 家，全部通过验收，破产、停产、转产、搬迁企业 18 家企业经过治理未达标继续调试，重点企业达标完成率 99.1%。日排放废水在 100 吨以下 143 家非重点企业，达标完成率 97.7%。2) 在面源污染综合整治上，为减轻巢湖流域农业面源污染和控制水土流失，一是环巢湖地区大力开展了植树造林，绿化荒山工作。巢湖市已于 1997 年基本消灭了荒山；二是通过大力调整种植业结构，积极推行双季稻改单季稻的工作，以减少化肥施用量。同时，还全方位推进“两高一优”农业，大力发展高效经济作物，减少化肥、农药的使用；三是通过实施沿湖驳岸工程，投资 1.5 亿元建成了高质量的巢湖湖滨大道 52 公里，在一定程度上减轻湖岸崩塌造成的水土流失危害。四是大力发展生态农业。以兴建沼气池和省柴灶为中心，实施“百池村”、“千池乡”的农村沼气工程进展顺利，以沼气肥和农家肥代替化肥、减轻巢湖氨氮污染。五是认真抓好生态保护。以含山县太湖山、和县鸡笼山、无为县天井山、庐江县冶父山等国家森林公园为主体，加强对天然林和野生动植物资源的保护，加快生态农村示范区建设，大力开展植树种草，退耕还林还湖，治理水土流失，改善生态环境质量。3) 在饮用水源地的保护上，1999 年 12 月，巢湖底泥清淤疏挖一期工程正式开工，位于东半湖的巢湖市饮用水源保护区，清淤工程量 300 万 m^3 ，总投资 1.482 亿元，已全面竣工。同时、该工程沿堤构筑围地，将疏挖的底泥沿堤堆起，加

固了巢湖大堤堤防，使其抗洪能力增强，有效地利用了这部分弃土，具有明显的环境效益和社会效益。

（3）滇池

由于流域经济的快速发展，尤其是昆明市城区的发展，大量污染物被排入滇池，使滇池水质急剧恶化，富营养化异常严重。20 世纪 90 年代滇池水质迅速恶化至 V 类地表水。“七五”起到“八五”期间，昆明市就先后颁布了《滇池保护条例》、《松华坝水源保护区管理规定》和《滇池综合整治大纲》等地方性法规和规章。成立了滇池保护委员会及办公室，设立了滇池治理基金和昆明滇池研究会。明确了昆明市滇池保护委员会是滇池流域综合治理的组织领导机构，负责滇池保护治理重大问题的研究和决策，昆明市滇池保护委员会办公室（昆明市滇池管理局）在昆明市滇池委员会的领导下，统一协调和组织实施有关滇池保护和治理的具体工作。

“九五”期间，滇池水污染防治被列入全国环保重点工程，国家将滇池列为“三河三湖”的治理重点之一，《国务院关于环境保护工作若干问题的决定》（国发〔1996〕31 号）把滇池列入国家重点治理对象，之后，国务院连续 3 个五年计划都将滇池纳入国家“三河三湖”重点污染治理项目。云南省将滇池列为九大高原湖泊水污染治理之首。1997 年，昆明市编制的《滇池流域水污染防治“九五”计划及 2010 年规划》于 1998 年得到国务院的批准，采取了城市污水处理、工业污染源治理、面源治理、内源治理和水资源调配及其它等 5 方面的治理工程措施，其中城市污水处理工程 10 项、工业污染源治理项目 1 项、面源污染控制项目 8 项、内源污染治理项目 3 项、水资源调控和其它项目 3 项。截止到 2002 年底，《计划》中涉及的城市污水处理、工业污染源治理、面源污染治理、内污染源治理、水资源调配等 5 大工程措施均已完成。在重点工程的资金投入上，“九五”、“十五”两个五年计划累计投入 47.62 亿元。其中中央资金 10.7 亿元，省级资金 6.65 亿元，市级及其它资金 25.29 亿元，世行贷款 4.98 亿元。

2.2.3 全面防治阶段

从“十五”开始，即从 2000 年之后，随着对湖泊富营养化认识的进一步加深，全

国水环境管理将逐渐从目标总量控制向容量总量控制转变。这一时期，国务院召开了两次全国环境保护会议。其中，2002年国务院召开的第五次全国环境保护会议，部署“十五”（2001~2005）环境保护工作，强调了环境保护是政府的一项重要职能。但是由于对环境保护重视不够，经济结构不合理，经济增长方式粗放，以及环境保护执法不严，监管不力，“十五”环境保护目标没有实现。为解决环境保护与经济发展之间日益突出的矛盾，2006年4月，国务院召开了第六次全国环境保护大会，温家宝总理在会上强调，环境保护与经济发展要“同步”、“并重”，用“综合”的手段解决环境问题，将环境保护摆上了更加突出的战略地位。第六次全国环境保护大会提出了“三个转变”，中国的湖泊富营养化防治进入到了一个全新的阶段。这一时期可称为规划防治和保育阶段。“十一五”期间，国家分别制定了《滇池水污染防治规划（2006-2010年）》、《巢湖水污染防治规划（2006-2010年）》，以及《太湖流域水环境综合治理总体方案》，共投资1278亿元用于“三湖”的工业污染治理、污水处理厂建设和区域综合治理。在“十一五”期间，“三湖”流域的化肥、农药施用量要逐年下降2%以上，全流域禁止网箱和投饵养殖。同时，开展建设生态潮间带和前置库、生态屏障、湿地保护和恢复、水生植物种植等工程。

（1）加强重点湖泊富营养化的规划与综合防治

“十五”期间，太湖共实施236个项目，总投资约266亿元。治污项目共180项，投资107.6亿元，占总投资的40.5%。调水项目共1项，投资8亿元，占总投资的3%。隔离项目共6项，投资42.9亿元，占总投资的16.1%。清淤项目共8项，投资41.3亿元，占总投资的15.5%。面源污染控制项目共16项，投资41.14亿元，占总投资的15.5%。保护项目共18项，投资24.57亿元，占总投资的9.2%。管理项目共7项，投资0.5亿元，占总投资的0.2%。

从太湖污染负荷来源来看，磷、氮污染负荷主要来自城镇生活污染，约占入湖磷总量的27%；农业面源污染排放占入湖磷总量的66%。因此，针对太湖的水污染治理应采取点源、面源兼顾，以削减氮磷为主的措施。然而，具有脱氮脱磷的城市污水处理厂，绝大多数没有采取脱氮除磷工艺。此外，由于缺乏对氮、磷排放控制难度的认识，对确定的指标论证不够深入，使得“九五”计划氮磷目标偏高，增加了

完成目标的难度。由于对农业面源污染底数不清，没有及时针对农业面源污染提出有效控制要求。“十五”期间的治理措施仍然是以治污项目为主（主要是城市生活污水和工业污水处理）。生态工程、农业面源等方面的投资虽然有所提高，但是比例仍然很低，如果考虑污染负荷的因素，则投资份额更低。

在“十五”期间，巢湖富营养化控制力度不断加大。自 2000 年 1 月 1 日起，通过对销售含磷洗衣粉的商家进行申报登记，开展宣传教育等工作，安徽省开始大力推广无磷洗衣粉，以期达到《巢湖流域水污染防治条例》所规定的在巢湖流域禁止销售使用含磷洗涤用品的目标。2003 年，国务院批复了《巢湖流域水污染防治“十五”计划实施意见》，计划投资近 49 亿元，建设水污染防治计划项目 49 个，对巢湖实行水质目标管理，重视前端控制和清洁生产，并加强了农业面源治理，这些措施的实施对巢湖水质改善起到了重要作用。“十五”期间建成规划项目 26 个，完成投资 30.3 亿元。2004 年之后，巢湖水体中叶绿素 a 浓度及营养状态指数有所降低，但仍处于轻度富营养到中度富营养，其中十五里河入湖区、南淝河入湖区以及西半湖湖心等位于西半湖的采样点，富营养化程度最为严重。

(2) 初期富营养化湖泊和水质较好的湖泊开始全面规划湖泊富营养化的预防工作

玉溪市于 2008 年编制了《抚仙湖流域水环境保护与水污染防治规划》；2010 年，内蒙古自治区巴彦淖尔水务集团公司也开始编制《乌梁素海水污染防治规划》，云南大理州政府编制了《大理洱海中长期水污染防治规划》，以期对水质较好的湖泊水体和早期富营养湖泊进行保护和预防灾变。

为保护湖泊生态环境，避免众多湖泊再走“先污染、后治理”的老路，经国务院同意，自 2011 年开始，财政部和环境保护部支持水面面积在 50 平方公里（km²）及以上、具有饮用水水源功能或重要生态功能、现状水质或目标水质好于Ⅲ类(含Ⅲ类)的湖泊开展生态环境保护工作。截至 2013 年底，中央财政累计投入 40 亿元，分 3 批支持抚仙湖、千岛湖、洱海等 54 个湖泊开展生态环境保护工作，带动地方及社会投入约 65 亿元。经过治理，这些湖泊水质稳中改善，生态环境逐步恢复。

2014 年环保部、发改委、财政部联合印发关于《水质较好湖泊生态环境保护总

体规划（2013-2020 年）》的通知，规划包括 365 个湖泊，其中具有饮用水水源功能的 181 个，约占 50%；地处国家级自然保护区或国家级风景名胜区的 107 个，约占 29%；天然湖泊 201 个，约占 55%；人工湖泊（水库）164 个，约占 45%。规划目标、指标是到 2015 年，优于Ⅲ类（含Ⅲ类）的湖泊水质不降级，其他湖泊水质达到Ⅲ类目标。具体指标包括，水质指标：优于Ⅲ类水质(含Ⅲ类)的湖泊及其入湖河流保持或优于现状水质；劣于Ⅲ类水质的湖泊达到Ⅲ类或优于Ⅲ类水质，入湖河流水质明显改善。生态指标：湖泊营养状态为中营养或贫营养。湖泊自然湖滨岸线不低于全湖岸线的 75%，山区湖泊流域森林覆盖率达到 75%。管理指标：工业废水稳定排放达标率达到 100%；流域内的直辖市、省会城市和计划单列市城区实现污水全部收集和处理，地级市污水处理率高于 85%，县级市高于 75%，建制镇高于 40%。至 2020 年，规划内湖泊的水质进一步改善，水质为Ⅰ、Ⅱ类的湖泊比例有所增加，湖泊生态环境自然恢复能力明显增强。

2.3 国内外湖库富营养化相关技术政策

2.3.1 国外湖库富营养化控制相关政策法规与标准

美国环境监管体系是一个高度分散的“合作式”的联邦体系，即美国各州的环保局不隶属于联邦环保局，而是依照州的法律独立履行职责，除非联邦法律有明文规定，州环保局才与联邦环保局合作。美国从联邦和各州都制订了湖泊恢复与管理的相关计划和法案。主要的联邦项目就是美国联邦环保局的“清洁湖泊计划”，“清洁湖泊计划”项目一个最重要的特点是激励各州自己建立湖泊生态恢复项目。自 20 世纪 70 年代以来，美国各大州相继通过法案，禁止生产含磷洗涤剂。针对美国阿波普卡湖（Apopka）富营养化问题，佛罗里达州政府专门通过了 Apopka 湖法案以及地表水改善和管理法案，同时指派具体机构负责。另外，美国执行环境违法高成本的环境法律责任。美国环境保护法律对于违法者的处罚措施是相当苛刻的，处罚措施常见为缴纳罚金和处以监禁两种类型。如环境违法的日罚金缴纳制度、高额度的环境违法金额制度。

日本政府为控制水污染问题，相继颁布了一系列法律法规及行政措施。其中，

湖泊法报告于 1981 年由中央公害对策审议会提交，湖泊法强调了对湖泊水质的保护。该法律的目标直指那些亟待改善的湖泊水质，在总理大臣确认哪些湖泊作为指定治理湖泊后，中央和地方政府被要求采用各种手段改善其水质。针对琵琶湖的污染问题，滋贺县政府先后制定了一系列法规和条例，对琵琶湖周围地区的生活污水和工业废水排放、湖泊与河流的堤防建设等做了明确的规定。“琵琶湖综合发展工程”开始于 1972 年，同时制定了《琵琶湖区综合治理特别法》，实现了具体项目由具体的法律来对工程进行控制和约束。同时，围绕琵琶湖的综合治理和环境保护，日本从国家级、地方市政和直辖县各级制定了相应的法律，例如：《水污染控制法》、《环境质量标准》、《公共灾害预防基本法》、《除去苯氯泥沙暂行办法》等。同年，滋贺县制定了琵琶湖综合开发计划，对琵琶湖的环境治理和开发利用做出了中期规划，1987 年、1993 年和 1997 年制定了三期湖沼水质保全计划及琵琶湖未来发展规划。

欧盟为了缓解、逐步停止并消除人类活动对水体的影响，自 20 世纪 70 年代以来，保证民众和环境健康，相继出台了一系列的水政策。从 1975 年的第 1 个指令——饮用水指令开始，到制定各领域污染排放控制指令阶段，最终于 2000 年 12 月生效的《欧盟水框架指令》（EU Water Framework Directive），欧盟水政策和立法经历了长达 3 个阶段、25 年的立法过程。《欧盟水框架指令》是一个新的水战略，在综合流域管理政策中处于中心地位，使现存的欧盟法律系统更完善。传统的硝酸盐指令和城市污水指令将与新的指令结合继续生效，但是在流域管理框架中，已经废除或合并了很多指令以保持一致性。该指令是近几十年来，欧盟在水资源领域颁布实施的最重要的指令，标志着欧盟水政策进入了综合和全方位管理的新阶段。EU WFD 要求所有欧盟成员国以及准备加入欧盟的国家都必须使本国的水资源管理体系符合水框架指令（WFD）的要求，并引入共同参与的流域管理。

2.3.2 我国湖库富营养化控制相关政策法规与标准

我国现行的《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中对湖泊的富营养化指标总磷和总氮进行了限制。

表2-3 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 $\leq$	2	4	6	10	15
化学需氧量 (COD) $\leq$	15	15	20	30	40
五日生化需氧量 (BOD ₅) $\leq$	3	3	4	6	10
氨氮 (NH ₃ -N) $\leq$	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
总磷 (以 P 计) $\leq$	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) $\leq$	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0

3 技术政策修编的必要性

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，加强重点湖库及河流环境保护和生态治理，加大重点跨界河流环境管理和污染防治力度，加强地下水污染防治；推进火电、钢铁、有色、化工、建材等行业二氧化硫和氮氧化物治理，强化脱硫脱硝设施稳定运行，加大机动车尾气治理力度；深化颗粒物污染防治。

2013 年国务院发布的《良好湖泊生态环境保护规划》（2013—2020）指出：针对我国五大湖区的自然地理特征和主要生态功能，分别提出五大湖区湖泊生态环境保护的主要措施，分区指导湖泊生态环境保护。各具体湖泊需要在流域水环境现状调查与评估、生态环境问题诊断及诊断基础上，结合经济社会发展状况，合理确定保护目标。编制湖泊生态环境保护总体方案，切实改善良好湖泊的生态环境。

3.1.2 环保政策

为有效控制环境污染，我国实施了一系列环境管理制度。但是长期以来，由于为环境管理提供技术支撑的技术政策和技术导则、工程技术规范较少且不成体系，使各级环保部门在污染防治决策和监督执法中缺乏技术依据，从而降低环境管理制度实施的有效性。

总结多年来我国环境管理的经验与教训，依靠单纯的法律和行政手段，以简单的行政管理方式，去面对污染防治这样一种专业性和技术性很强的管理对象，难于实施有效的管理，因此，强化环境监管，实现历史性转变，建立和完善环境技术管理体系十分必要。

修订污染防治技术政策是环境技术管理体系建设的重点任务之一。通过制定和发布污染防治技术政策，使其成为企业和环保部门选择清洁生产工艺、污染物达标排放技术和工艺方法的主要依据，成为环保管理、技术部门开展环境影响评价、项目可行性研究、环境监督执法、环境标准制修订等工作的技术依据。

3.2 湖库环境问题的新需求

近年来，国家在湖库富营养化科技、资金和管理等方面逐步增加，但是我国湖泊富营养化总体尚未遏制。富营养化湖泊治理效果仍待提高，部分湖泊持续恶化，湖泊面积和数量逐年减少；水质良好湖泊生态安全受到潜在威胁。可能发生全国范围的湖泊富营养化和水资源灾害。湖泊富营养化总体上呈现迅速增长趋势。20 世纪 70 年代，我国大部分湖泊水质优良，湖水清澈见底，水生态系统健康，山清水秀，景色宜人。上世纪 70 年代富营养化湖泊为 5%，80 年代为 35%左右。2002 年调查的 200 余个湖泊 75%富营养化，2010 年 80%的湖泊富营养化，其中东部地区的湖泊几乎全部富营养化。

具有重要生态屏障作用的干旱半干旱湖泊水体富营养化和沼泽化并存，湖泊面积逐年萎缩，部分湖泊消亡。由于湖泊流域工农业生产的迅速发展，湖泊上游拦截水源引入，使入湖水量减少，湖面萎缩，流域面源污染严重，水体富营养化和沼泽化并存，生态环境恶化，湖区植被衰退，湖周土地不断沙化。从上世纪 60 年代至今，仅蒙新湖区湖泊面积减少的达 110 余个，消失的湖泊数量达 120 余个，消失和减少的湖泊面积达到 7000 多平方公里，占湖区面积的 36.1%。

湖泊生态系统持续退化。湖泊生态系统结构破坏严重，生物多样性不断减少，生态服务功能持续下降，生态灾害加重、风险加大，生态系统呈现出由结构性破坏向功能性退化演变的趋势，流域生态安全面临极大威胁。湖泊富营养化形势十分严

峻，压力继续加大。已经富营养化的湖泊流域氮磷营养物总量已超过湖泊水环境承载力，湖泊水体营养物浓度居高不下，治理速度赶不上污染的速度；水质良好湖泊流域面临快速城市化和农村现代化的发展压力，呈现出富营养化的趋势，可能发生全国范围的湖泊富营养化和水资源灾害。

原有的《湖库富营养化控制技术政策》在湖库富营养化控制方面发挥了重要作用，但是随着湖泊富营养化的发展、技术发展，原有的技术政策已经不完全适应我国湖泊富营养化控制的新需求。

3.3 湖库富营养化控制最新进展

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研究工作。

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，针对农村面源、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，开发了农村面源污染削减成套技术，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划都有了进一步了解，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，结合国家“十一五”国民经济和社会发展战略需求，针对我国流域（区域）水污染特征和重点流域水污染防治规划实施，通过技术研发与综合示范，体现科技创新的引导作用，并初步建立了我国流域水环境管理技术体系和水污染控制与治理技术体系。突破了重点污染物控制与治理关键技术，大幅度削减流域污染物排放量，重点突破化工、轻工、纺织印染、冶金、医药等重点行业的源头污染控制技术；以水生态系统健康为导向，研发生态修复关键技术，改善水环境质量，支撑以水生态系统健康为技术导向的科技创新。重点突破流域水生态功能分区、监控预警关键技术，构建流域水环境管理技术体系，支撑以流域水质目标管理为技术导向的科技创新。选择重点流域开展水污染控制与治理关键技术综合集成与示范，选择太湖、巢湖、滇池等大型浅水湖泊和三峡水库，开展湖泊水污染和富营养化控制技术集成与综合示范，针对湖库水环境管理与水体污染治理技术方案，开展入湖河流污染源与水体污染负荷削减技术集成与示范，开展湖库蓝藻水华控制与生态修复技术集成与示范，逐步改善湖区水环境质量。选择我国重点流域开展水质目标管理技术集成示范。选择太湖、巢湖、滇池、三峡库区、洱海完成一级、二级生态功能区划，完成太湖三级生态功能区划，建立重点流域水质目标管理技术体系。

这些项目、课题的实施及取得的科技成果，为本技术政策的修订提供了坚实的基础。

4 湖库富营养化控制与治理技术

4.1 水环境承载力与氮磷总量控制技术（方法）

4.1.1 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，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。

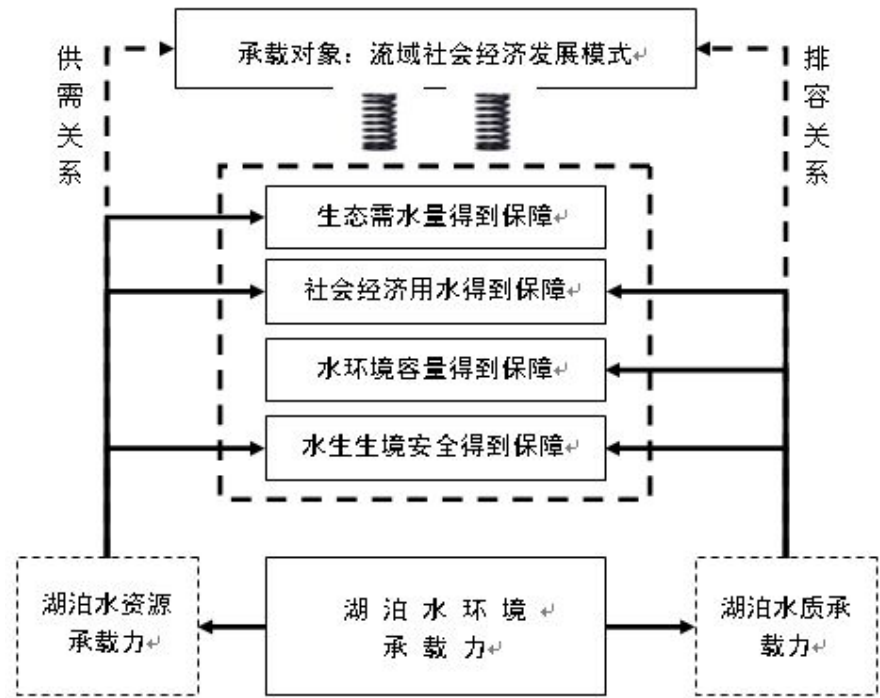


图4-1 湖泊水环境承载力概念体系图

（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。

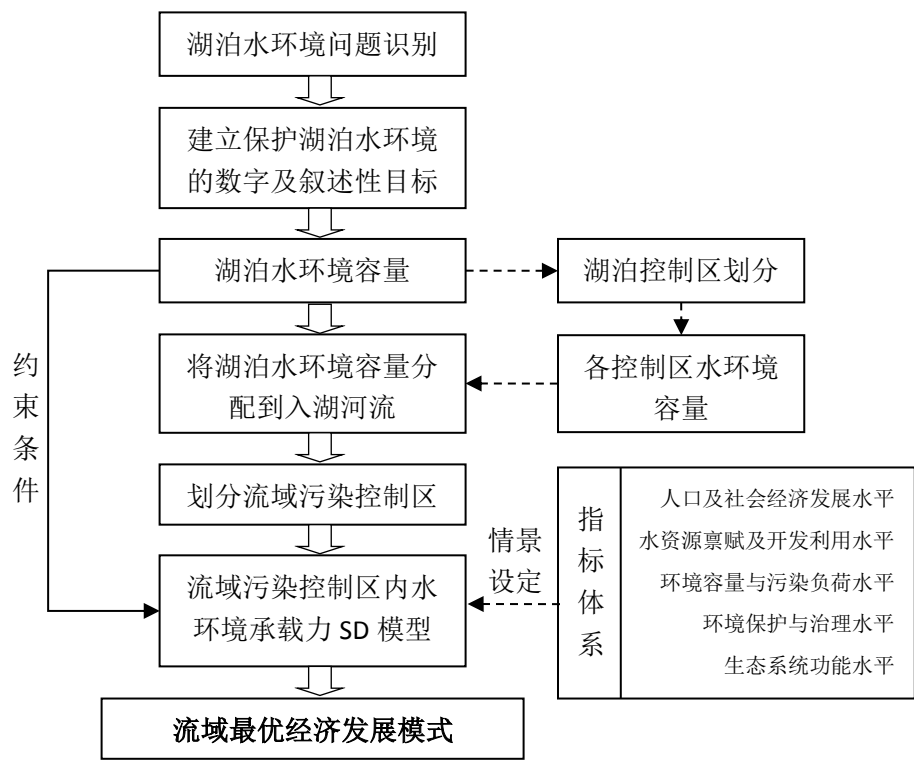


图4-2 湖泊水环境承载力量化技术路线

(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 湖泊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, 湖泊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; 农业总产值; 耕地面积; 灌溉面积; 人均水资源量;
水资源禀赋 及开发利用 水平	反映以湖泊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。	水资源利用率; 万元工业 GDP 用水量; 亩均农灌年用水量; 人均生活用水量; 生态需水量;

环境容量与 污染负荷水 平	反映湖泊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。	湖泊水环境容量； 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； 农业万元 GDP 排污负荷； 规模化养殖排污负荷； 大气沉降污染负荷； 湖泊内源污染负荷； 地表水功能区达标率； 城镇污水集中处理率； 工业污水处理率； 工业用水重复率； 规模化畜禽养殖废水处理率； 农业节水灌溉面积百分比； 水土流失治理率； 环境治理投资占 GDP 的比例； 流域植被指数； 河岸带植被覆盖度； 湖滨带植被覆盖率； 湖滨带土地开发利用度； 湖泊水生生物多样性指数； 湖泊内养殖面积占水面比。
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。	
生态系统功 能水平	反映保持湖泊水生态系统状态稳定性能、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。	

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 氮磷总量控制技术

（1）计算湖泊水环境容量

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

（2）计算入湖河流口污染物最大允许负荷

在科学的污染源解析基础上，用湖泊水环境容量减去湖泊内源污染物负荷和湖面大气干湿沉降量，将计算结果分配到各入湖河流口处，作为各入湖河流污染物的最大允许负荷。分配时，考虑以下内容：

①考虑排污混合区的河流：采用排污混合带约束公式计算得到的容量值，即为

该河流口最大允许负荷。

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

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

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。

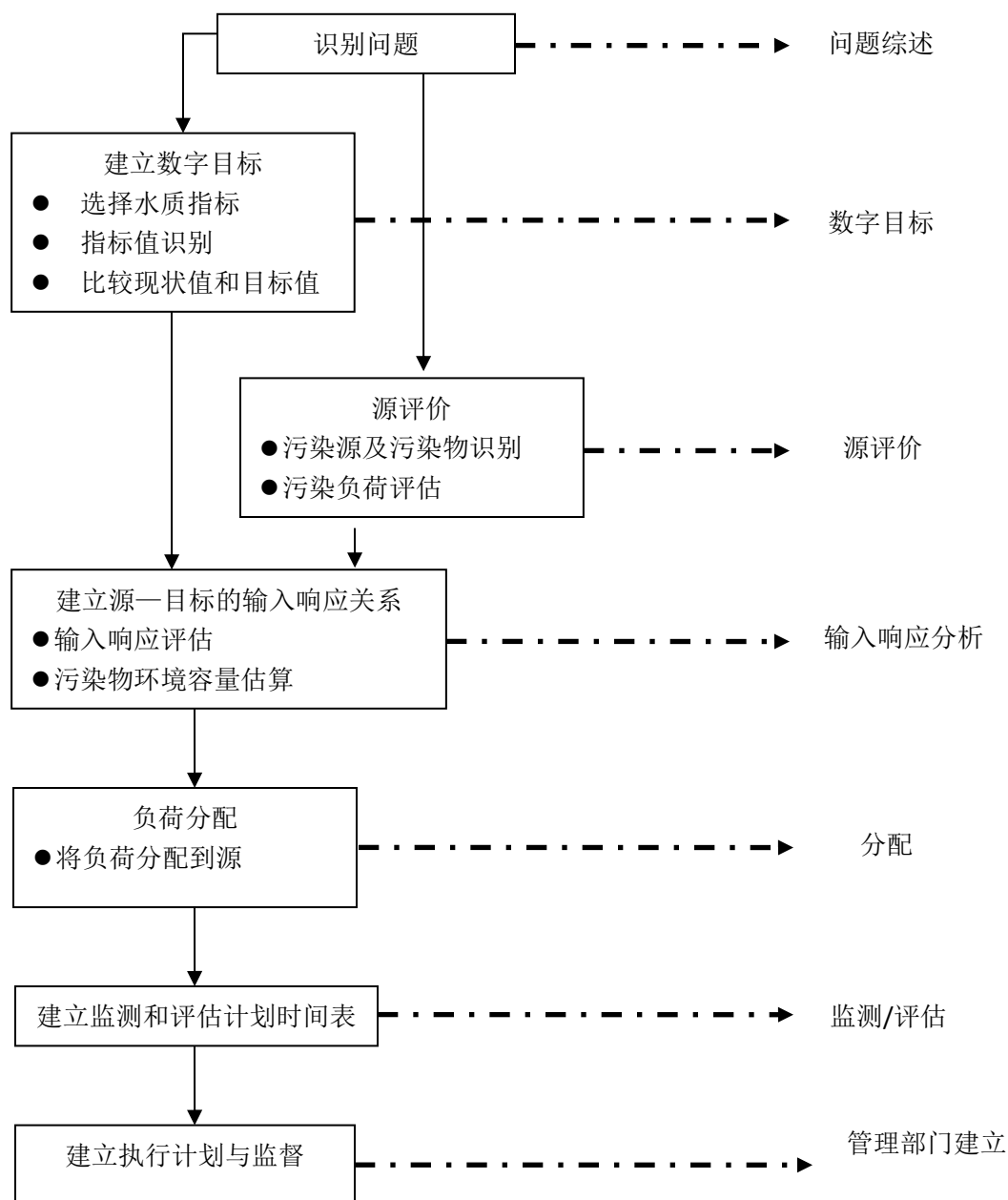


图4-3 湖泊容量总量控制的主要组成部分

(3) 确定流域污染控制区污染物最大允许负荷

污染控制区是指将湖泊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。目的是为了将湖泊流域分片考虑，即考虑流域中各个污染控制区内主要河流集水区（子流域）的经济发展模式与规模对河流水质、水生态的影响程度，以便达到细化湖泊承载力，更科学的指导流域产业结构调整 and 进行主要

河流的污染控制。

各控制区的划分应遵从以下原则：

①对于面积较小的湖泊 ($\leq 50\text{km}^2$)

建议以整个湖泊流域作为污染控制区。

②对于面积较大的湖泊 ($> 50\text{km}^2$)

控制区范围要与计算水环境容量时考虑的湖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；

由于农业经济模式较难以调整，因此，各控制区内农业经济模式要求相同或相似，以方便调整。

③对于流域跨度较大的湖泊

以与距离湖泊最近的行政单位为基础，划分污染控制区；距离湖泊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。例如，千岛湖流域在建立系统动力学模型时，可以在湖泊周边的淳安县境内划分污染控制区或作为一个控制区，至于安徽境内的流域污染排放，可以认为两省交界处街口断面是个点源输入。

根据上述划分原则，将流域各污染控制区内的多条入湖河流概化为一条入湖河流，污染控制区内原有的多条入湖河流口的污染物最大允许负荷即合并为一个最大允许入湖负荷，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 污染源综合防治技术

“控源截污、截流减负”是湖泊治理的基础，湖泊控源仅针对点源、面源已经远远满足不了湖泊的功能水质要求，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湖量。

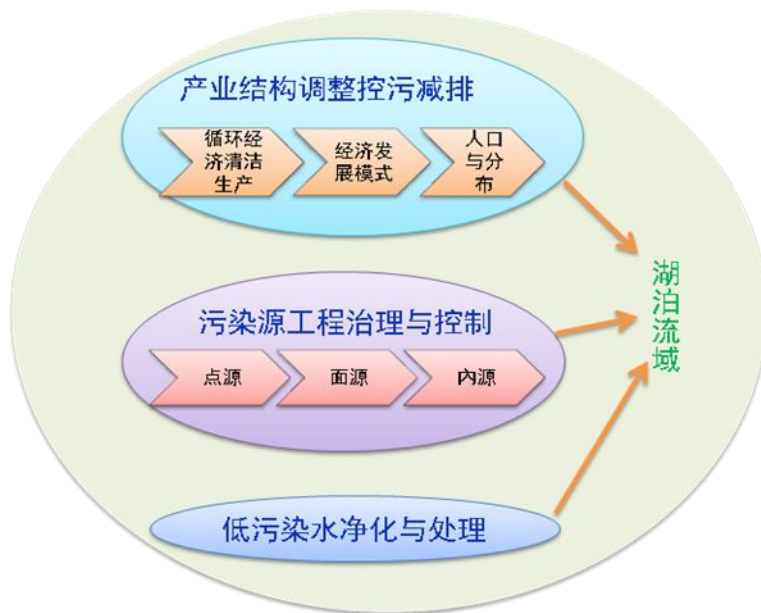


图4-4 湖泊综合控源技术

4.2.1 流域产业结构调整控污减排技术

在湖泊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湖总量分配为核心，开展流域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，减少整个流域污染物排放量。通过产业政策与结构调整，从便于控制、集中处理等角度，对流域各产业布局进行优化调整，调整流域产业结构(包括流域人口与产业的总体布局，工业、农业、旅游业及配套服务业结构调整与布局)，形成流域低污染、循环发展的生态经济模式，从源头上控制整个流域的污染物排放量。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湖泊流域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”系统动力学模拟和湖泊流域水环境承载力优化两部分构成。首先从战略上研究流域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。两项技术以流域社会经济的发展 and 污染负荷产生为研究对象，前者主要研究湖泊社会经济发展对流域水土资源的开发与利用和污染负荷的产生及排放的影响，后者主要研究了流域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。

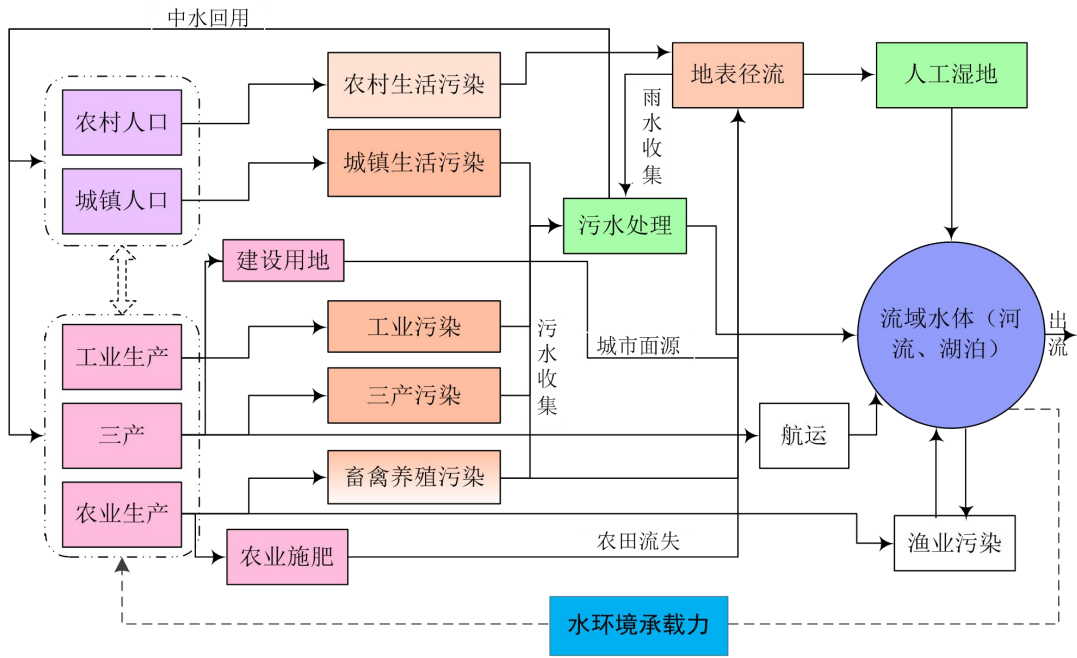


图4-5 工艺流程图

4.2.2 流域污染源工程治理与控制技术

分析流域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湖量，即“控源减排”，这是减少流域污染物排放量，降低污染物入湖负荷极为重要、最直接、见效最快的

措施手段。

(1) 点源污染控制技术

点污染源的控制技术主要针对工业污染源、畜禽养殖污染、城镇生活污水、临湖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)。

此外，点源中重点流域的乡镇印染、化工、造纸等废水提标改造技术可参考如下新技术：

A、印染行业生化尾水深度处理技术

该技术利用磁性微球离子交换树脂对生化尾水中水溶性有机污染物通过离子交换、氢键等多重作用，实现 COD、TN、TP 削减率分别大于 50%、25%和 50%，色度去除率大于 90%。该工艺通过树脂动态再生，在较低平衡浓度下，确保了处理系

统中树脂具有较高的吸附容量。工艺流程是在搅拌反应器中树脂与生化尾水充分接触反应达到对水体中有机物、总磷等污染物的去除，处理后出水进入沉淀分离池进行自然沉淀实现固液分离；沉淀池下部沉淀树脂大部分回流至搅拌反应器中继续运行，部分送入再生池进行再生处理；经过再生后的树脂回流至搅拌反应器中循环使用，再生液可经过滤膜进行浓缩处理。

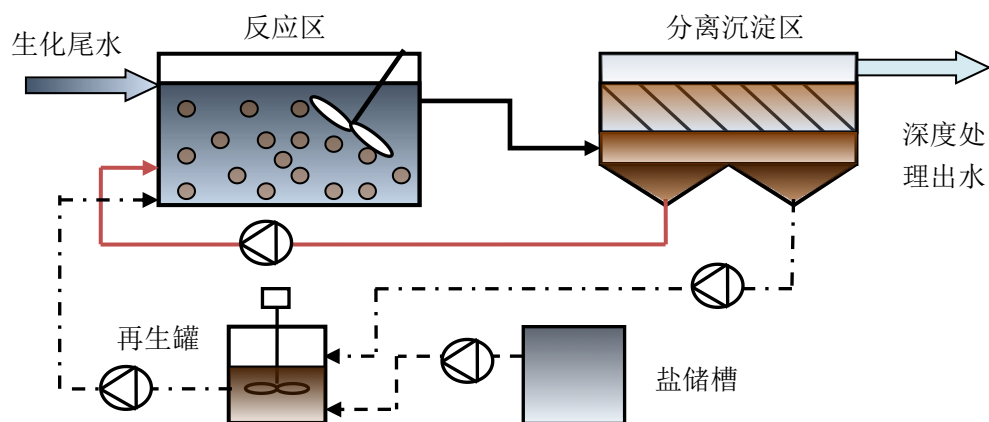


图4-6 工艺流程图

B、化工废水复合催化转化技术

采用了氨氮高效吹脱、难降解化工废水高效催化转化等处理技术。利用光、电对催化剂的协同效应，在反应器内激发产生高密度均匀分布的 $\cdot\text{OH}$ 自由基，从而使难降解有毒污染物快速、高效地降解。高氨氮废水经高效吹脱预处理后，氨氮浓度从2000~3000mg/L降至200mg/L以下。高浓度难降解母液经高效催化氧化处理后，硝基苯去除率50%以上，苯胺去除率90%以上，同时生物毒性可大幅降低，由I级降为IV级，几乎达到无毒状态，出水完全满足后续生化系统处理要求。工程流程为废水通入催化转化反应器，在反应温度不超过80℃条件下，反应5~20min，催化转化反应即完成。

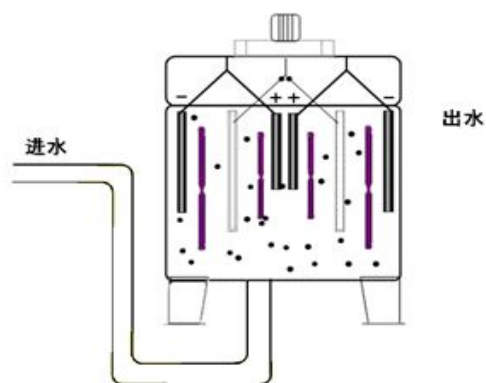


图4-7 工艺流程图

C、印染废水高效净化成套技术

该技术采用“调节—厌氧水解—A/O（PACT）—高效澄清—过滤”组合工艺处理综合印染废水。前处理通过高效厌氧折流板反应器提高厌氧处理效果和抗冲击负荷能力，改善印染废水可生化性，降解有机物，破坏印染废水发色基团，降低色度；强化 A/O（PACT）去除效果，提高难降解有机物和氨氮、总氮的去除。工艺流程如下图所示。

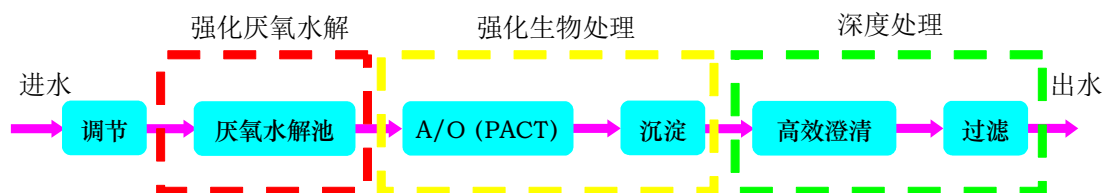


图4-8 工艺流程图

D、废纸造纸高浓度废水处理技术

该技术采用厌氧+好氧+氧化造纸废水组合处理工艺。厌氧采用IC反应器，IC反应器具有较高的容积负荷，处理效率高，投资省，占地小，抗冲击负荷能力强，适合于处理废纸造纸废水。采用IC反应器可以削减造纸废水中大部分的污染负荷。好氧采用A/O工艺，A/O工艺具有较好的稳定性，可以有效的去除造纸废水中的有机污染物。经A/O工艺处理后的废水主要以难降解的可溶性有机物为主，这些物质很难用生化和物化的方法去除，因此采用强氧化工艺。氧化采用Fenton氧化工艺，通过投加 H_2O_2 和 $FeSO_4$ 产生羟基自由基氧化废水中的有机物。从而将废水中的COD稳定控制在60mg/L以下。

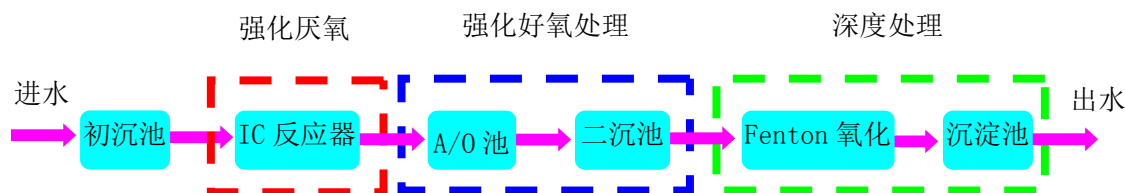


图4-9 工艺流程图

E、高浓度氨氮废水高效吹脱与氨资源化技术

在传统氨氮吹脱技术的基础上，经改进吹脱塔塔内件、用新型高效填料及优化工艺等措施，提高氨氮脱除效率，降低气液比，从而降低能耗。开发吹脱氨新型回收资源化技术，消除二次污染，实现废水中氨的资源化。

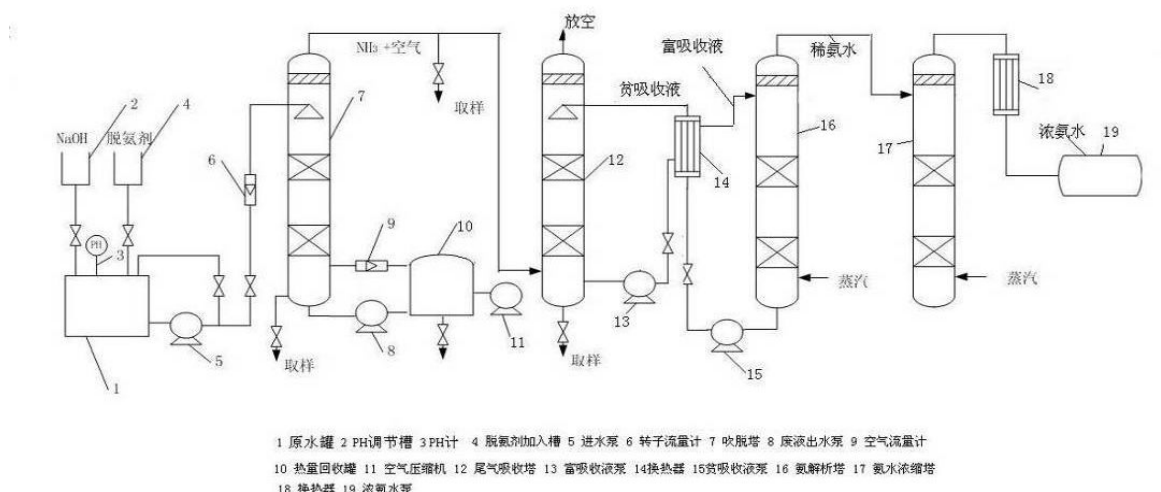


图4-10 工艺流程图

②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、奶牛废弃物循环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。

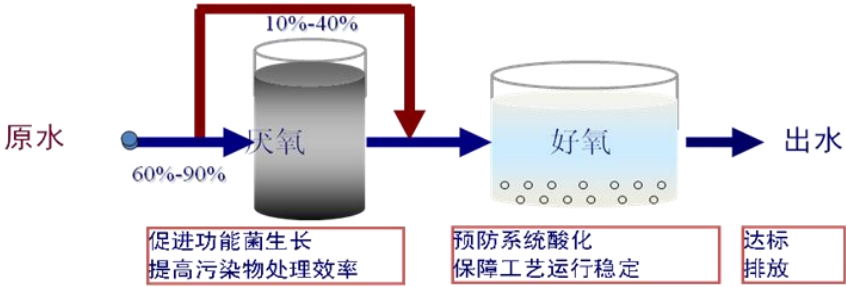


图4-11 工艺流程图

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。

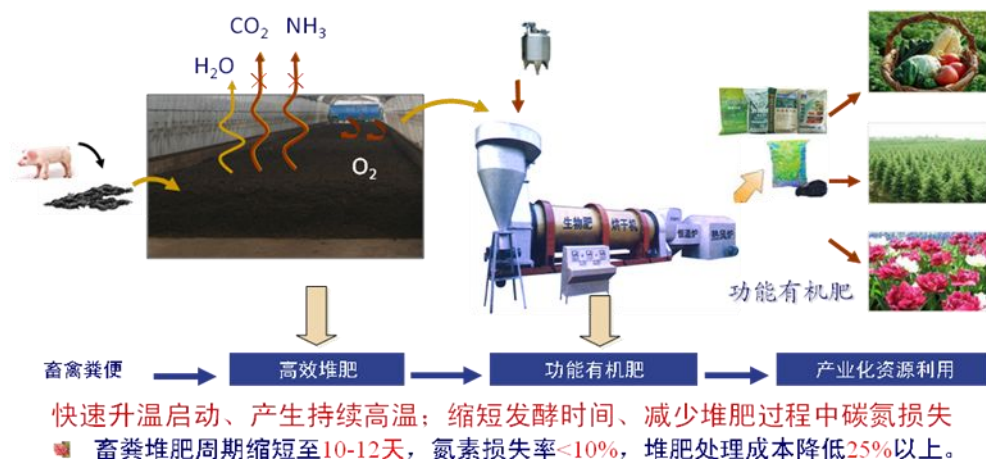


图4-12 工艺流程图

C、奶牛废弃物循环利用技术

针对中温沼气产气率偏低问题，该技术优化发酵工艺，采用中温射流搅拌沼气发酵技术，使沼气质量明显提高。其特征是通过原料加料系统、太阳能加热系统、射流搅拌循环回流系统、厌氧发酵罐、脱硫装置与安全水封装置来实现。

(2) 面源污染控制技术

面源污染的控制技术主要针对大量施肥与农药的农田、畜禽养殖、分散村落生活污水以及可被冲入径流的村落固体废弃物、蓄积滞留在地面上的污染物等。

①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。

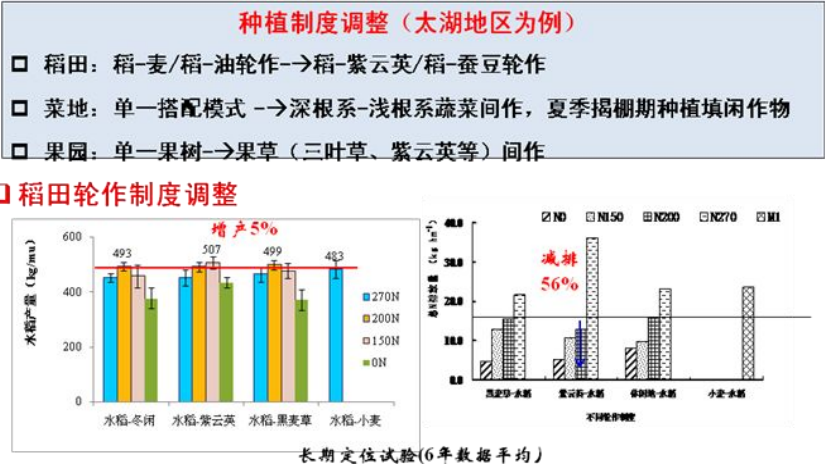


图4-13 农业种植制度调整模式

B、种植业适时适地养分全程调控氮磷减排技术

该技术全程考虑了土壤潜在养分供应能力，合理的目标产量及相应养分需求、养分平衡、养分利用效率及社会经济效益等诸多因素。在测土配方的基础上，确定了肥料用量与配比，建立了稻田环境友好型减肥技术；根据作物生理需肥量，在分析各分次施肥期与生育期植株大小、叶片叶绿素含量、根系与地上部氮磷浓度以及氮磷流失通量的基础上，确定了最佳分次施肥时间与施肥量，实现了稻田氮磷零排放与肥料减量化的目标。

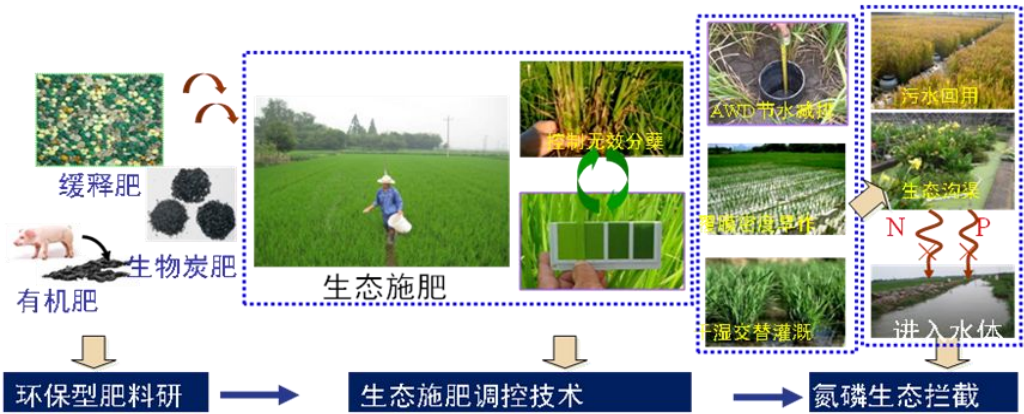


图4-14 工艺流程图

C、设施农业节肥氮磷调控技术

针对流域内设施农业区面积大、分布广、农业生产水平较高、向水体排放的污染物多，利用节肥调控、节水控污、控害防污等技术，减低设施农用化学物资用量，推广使用污染防控型肥料，源头控制面源污染物；增加设施农作物对氮磷的吸收，就地削减面源污染物；控制设施农业农田径流养分流失量，提高设施农业水肥循环利用效率；对农田固废进行无害化处理，实现农田废弃物就近资源化利用。

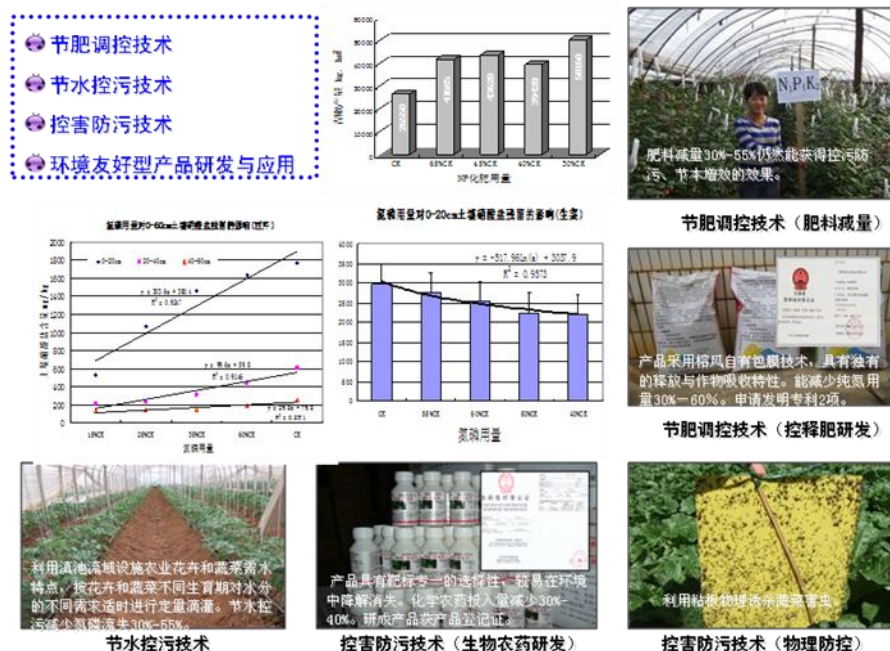


图4-15 设施农业节肥氮磷调控技术

D、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%。

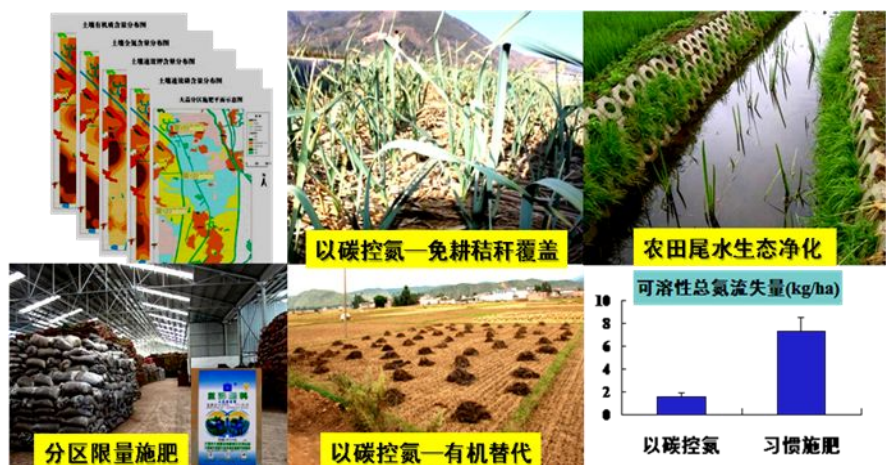


图4-16 农田以碳控氮、磷减排技术

E、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。

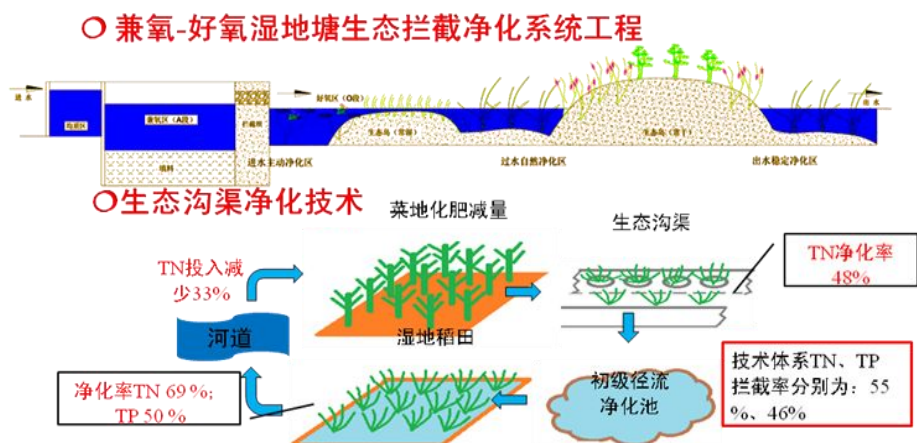


图4-17 工艺流程图

②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。



图4-18 土壤净化槽

B、塔式蚯蚓生态滤池处理技术

其工艺由水解酸化池、塔式蚯蚓生态滤池、人工湿地三个单元组成。该技术主要针对相对集中的农村生活污水处理，集成了土地处理系统、蚯蚓构建生态系统以及人工湿地优点，出水效果好，水质稳定，达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)的一级 A 标准。新型塔式蚯蚓生态滤池在普通的生态滤池基础上，

充分利用了蚯蚓与微生物的协同作用，以及蚯蚓的增加通气性、分解有机物等功能，能够更好地更有效地进行污水处理。蚯蚓在滤池内降解有机物，还可通过其砂囊研磨与肠道的生物化学作用，以及与微生物的协同作用，促进 C，N，P 转化与矿化，但其主要功能为在土壤活动层内的机械疏松、消解，对滤床起物理清扫作用，防止土壤板结、堵塞。蚯蚓在滤池内的活动还能有效提高微生物数量及微生物活性，促进有机物质的厌氧分解转化。对 TN、TP 与氨氮的处理效率高，占地面积小，安装维护方便、需一定运行费用。适合于用地紧张、处理出水要求高的地区。

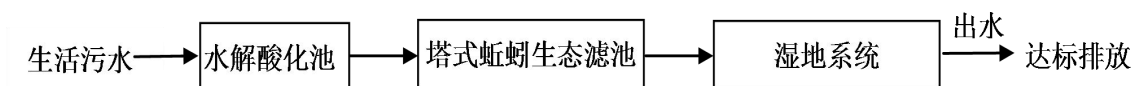


图4-19 工艺流程图

C、农村污水厌氧+生物生态处理技术

包括厌氧+折流人工湿地工艺、厌氧+多介土壤层处理工艺、厌氧+太阳能曝气人工湿地工艺等。厌氧工艺可有效削减生物生态处理主体工艺的处理负荷，提高处理出水，降低处理成本，适用于对出水要求较高的地区。

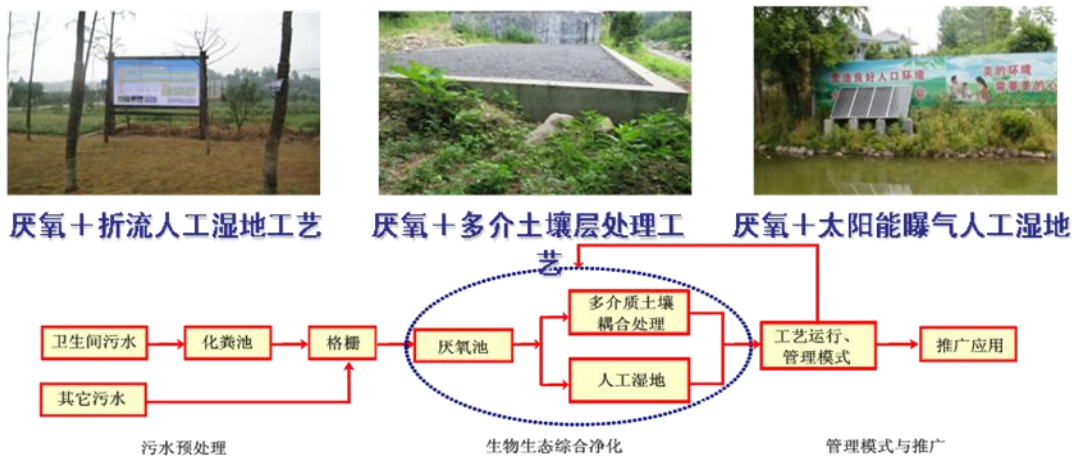


图4-20 工艺流程图

D、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。

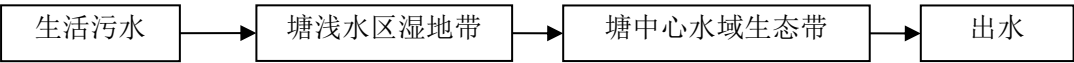


图4-21 工艺流程图

E、分段进水跌水充氧接触氧化一体化技术

利用地形高差，实现跌水充氧，节省机械曝气对电能的消耗；将分段进水技术与接触氧化技术结合，去除 COD 的同时，强化脱氮效果；系统无需内回流和日常排泥操作，管理操作简便，处理方式灵活。工艺的主体为多级跌水充氧接触氧化池，利用水泵提升污水，逐级跌落自然充氧，在降低有机物的同时，去除氮、磷等污染物。跌水充氧接触氧化池出水部分回流至厌氧池进行反硝化处理，提高氮的去除率。该工艺还配有厌氧池和人工湿地，厌氧池起到调节水质水量和反硝化脱氮的作用。人工湿地可种植水耕植物，去除氮磷在排水落差允许的情况下，可利用自然地形落差进行跌水充氧，减少或不用水泵提升。适合地形有落差的区域或山地。

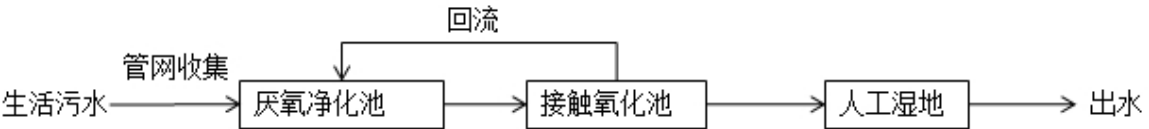


图4-22 工艺流程图

③城镇面源控制技术

随着城镇点源污染的控制，城镇面源成为近年来湖泊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

包括高水位滨河带生活区初期雨水收集技术、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。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河流滨河带的生活小区推广使用。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到屋面，进行屋面绿化。绿色屋顶对 TSS、 NH_4^+-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。

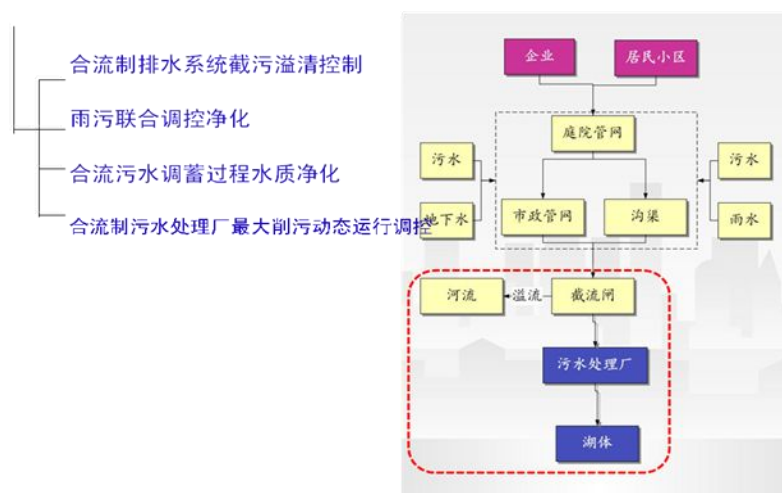


图4-23 工艺流程图

（3）内源污染控制技术

湖泊内源控制技术主要针对泥源、藻源污染控制、水生植物控制、湖内养殖污

染源及旅游、船舶等水面污染源控制。

①泥源污染控制技术

A、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4-26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。

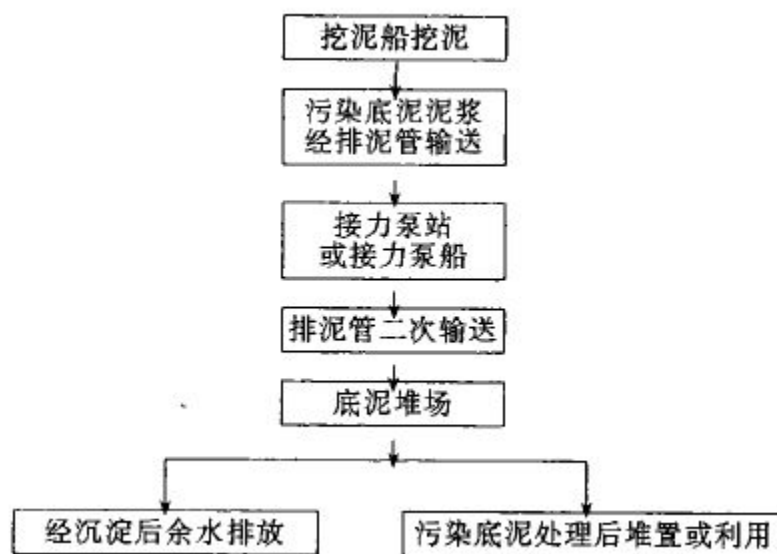


图4-24 工艺流程图

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。

B、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，在与城市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。

②藻源污染控制技术

采用机械和人工结合的方式进行捞藻。根据湖泊潮流流向与风向等因素，在藻类易聚集的水域外围设置拦藻屏，拦藻屏由浮体、锚链、帘布、固定锚座组成，长度没有限制，可以根据工程区范围自由选择。拦藻屏布设依据蓝藻流向，聚积的走势布设，使其可以顺拦藻屏导流到藻类聚积区，然后定期进行收集处理。拦藻屏除了拦截导流藻类外，还要保证水体的流通性，采用的材料要符合渗透系数、有效孔径、梯形撕裂强度等，可以比选不同复合材料，根据工程区的水质现状选择合适的拦藻材质。蓝藻打捞上来以后，可采取如下工艺流程进行处理。

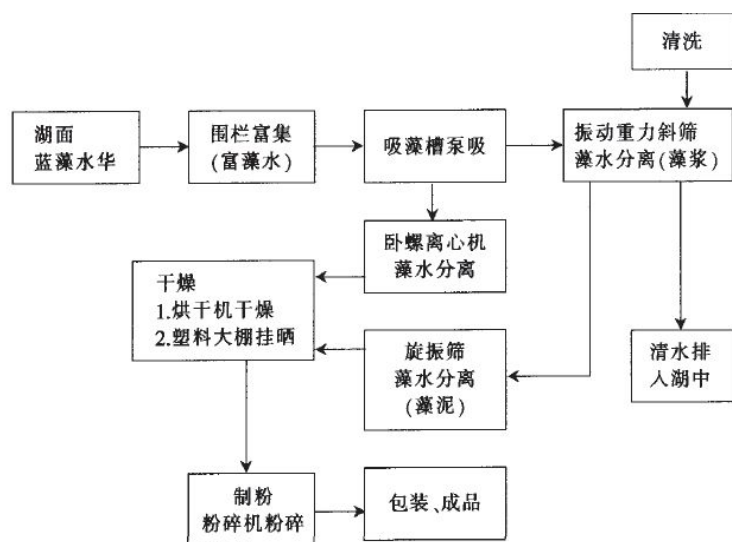


图4-25 工艺流程图

③湖内水生植物生物量调控

水生植物在湖泊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，会大大缓解水体富营养化进程。因此，必须对湖泊内水生植物进行维护管理，通过在秋季植物收获时期，要对水生植物进行适当收割，调控水生植物生物量，以增加湖泊污染物质输出量。

④养殖污染控制技术

湖泊围网养殖污染主要来自剩余饵料和养植物（如鱼类）的排泄物。根据湖泊的水功能要求及水环境状况确定适当的养殖水域，选择合适的鱼种，限制合理的养殖密度，投放适量的难溶性饵料，加强网箱养鱼的管理是网箱养鱼污染控制的关键与核心。

网箱养鱼所形成的污染物及控制主要有以下几点：湖泊网箱养鱼最大负荷约为 1850~2250kg/ha 左右，相当于网箱面积与湖泊水面面积比为 0.24%~0.30%。由于养殖密度最佳负荷量要小于最大负荷量，以及养鱼生产中网箱不可能均匀分布，同时考虑到大水域的污染，建议加上 25%~35%的安全系数。此外，应选择单位水体经济效益高的鱼种，以减少养殖水面面积；选择摄食浮游植物或兼食性的种类；选择易接受颗粒性饵料的种类，减少人工饵料在湖内的累积。饵料必须新鲜，干净、漂浮性好，易被鱼类摄取，提高饵料系数；饵料外形牢固，不易溶解，利用率高，沉降

率低。

⑤湖内旅游污染控制技术

湖内旅游污染主要是指湖内旅游、客轮等的污染，其控制系统如下图。

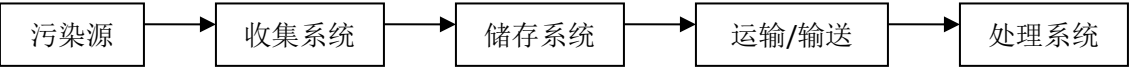


图4-26 湖内旅游污染控制系统

⑥湖内船舶污染控制技术

船舶污染只要指湖泊内除旅游船只以外以运输、渔业等为主要功能的机动船舶对湖泊水环境的污染。污染物主要包括船上人员的生活废水和固体废物、船舶运行过程中产生的含油废水以及散漏的运送物资等。

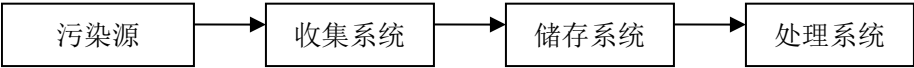


图4-27 船舶污染处理系统

4.2.3 低污染水处理与净化技术

低污染水既指经污水处理设施处理后但对湖泊水体来讲仍为污染源的尾水。湖泊流域低污染水一般包括：污水处理厂二级处理尾水、城镇面源、农田排水（含村落地表径流）三种主要类型。低污染水是“十一五”以来提出的新概念，目前尚无相关的技术政策或规范，低污染水净化可参考如下近年来研发的新技术：

（1）污水处理厂二级处理尾水

①稳定塘-湿地生态净化技术

包括物理-生物脱毒、陆生植物浮岛、表面流生态湿地技术和潜流湿地等技术，可有效去除污水处理厂尾水中的氮、磷浓度，并符合相关水质标准。该技术工艺采用强化的自然净化原理，以重力流为驱动力，不使用化学试剂，是属于环境友好型的环保技术。

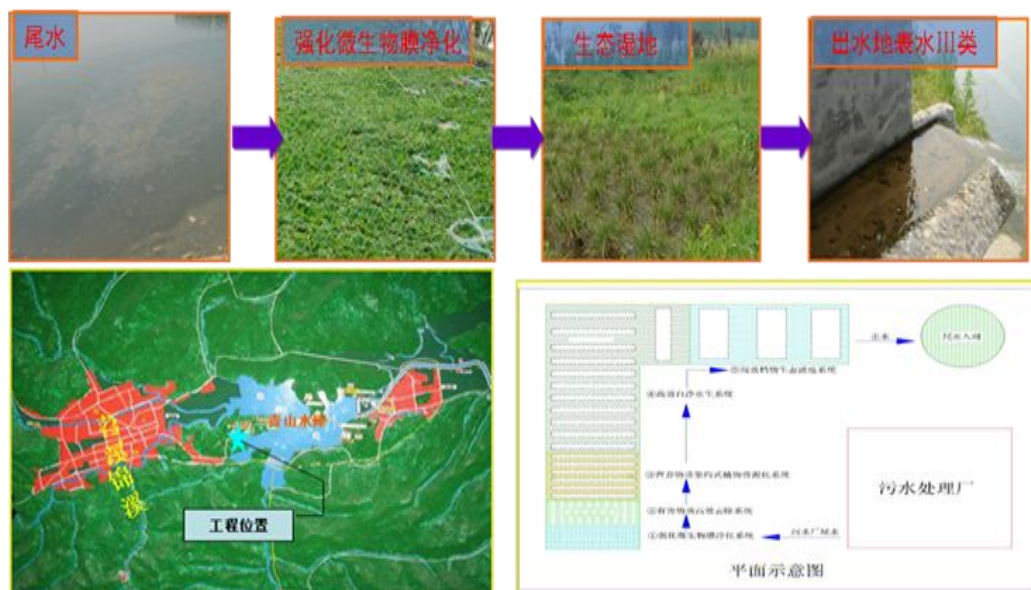


图4-28 工艺流程图

(2) 城镇和农田入河低污染水处理技术

①沿程面源污染拦截--生态护岸+截污沟技术

该技术通过在河流两岸设置截留农业面源的沟渠，收集农田径流，使其净化后再入河，有效降低河流 N、P 污染负荷。



图4-29 生态护岸+截污沟技术

②入河污染物截留净化与系统削减技术

该技术包括复合型污染水体强化生物接触氧化-多级人工湿地组合处理技术、农村生态沟渠往复式植物栅格系统和密植型生态浮床技术。

入河污染物截留与消纳净化示范工程效果

项目	COD	TN	DTN	NO ₃ --N	NO ₂ --N	TP	NH ₃ -N
进水/mg L ⁻¹	27.2	2.35	2.10	0.896	0.007	0.0843	0.313
出水/mg L ⁻¹	10.8	0.963	0.914	0.534	0.002	0.00169	0.163
去除率%	60.3%	59.0%	56.5%	40.4%	71.4%	98.0%	47.92%



图4-30 入河物污染截留净化与系统削减技术

4.3 湖库及流域生态修复技术

湖库及流域生态修复包括陆生生态修复、缓冲带生态修复、湖滨带生态修复、入湖河流及河口生态修复及湖库水体生态系统修复。通过流域陆生生态系统中水源涵养与水土流失的控制保证源头清水产流，通过入湖河流小流域的污染控制与生态修复实现河流汇流的清水养护与清水输送通道，通过缓冲区构建与湖滨带生态修复最终使“清水”入湖。通过水体生境改善与水生态系统的修复，维持湖泊水生态系统健康稳定。

4.3.1 陆生生态修复技术

陆生生态修复技术主要针对水源涵养与水土流失。

(1) 流域山地侵蚀区生态恢复技术

①工程修复技术

在降雨量多，降雨强度大的水力侵蚀地区，必须重视坡面的水系整治，建立坡面水系工程。它包括拦、引、蓄、排等各项工程，按高水高排，中水中排，低水低排，分层利用的原则进行设计。一般由蓄水沟、截水沟（沿等高线施工）、排洪沟、引水渠、灌溉渠、沉沙池、蓄水池等组成。以种植林、草的坡面，一般采用水平沟、排水沟等。

在沟蚀严重的山地，必须修建横向拦挡建筑物，以拦沙滞洪，固定沟床，稳定山坡坡脚，防止沟底下切，提高侵蚀基准面，减免泥沙下泄。这种横向拦挡建筑物称拦沙坝，包括砌石坝、混合坝、铁丝石笼坝、竹石笼坝、格栅坝等。视汇水面积和沟床发育程度，就地就近取材，确定修建坝型。可干砌、浆砌。材料有块石、土石、木石、竹石、铁丝笼石、钢筋水泥混凝土等。在沟内的支沟、毛沟内可修建谷坊，即高度在 5m 以下的小坝，往往修建多个梯级，形成谷坊群体，以稳定两边沟坡。它可建成透水性与不透水性两种，也可就地取材，按用途与沟道流量情况，修建土谷坊、石谷坊、植物谷坊、钢筋混凝土谷坊等。

②植被修复技术

植被修复工作，主要包括树种草种的选择、乔、灌、草的合理配置和栽植技术。经济果林与水土保持林草的要求有所不同，前者对树种、地域的选择，整地、栽植、管理等均有严格要求，后者以快速恢复、植被覆盖，防止侵蚀发展，保持水土为主要目的。

（2）农作区的生态保护技术

①等高带状耕作

在 25° 以下的坡耕地农作区，应进行等高带状耕作。即按等高线划分成若干条地带，沿等高线方向进行耕作及栽培。其目的在于截短径流，增大径流入渗量和土壤水份；蓄水保土，减少水土流失。地带宽度以坡度大小而异，坡度愈大，地带愈窄，作物比重加大，两带之间可栽种植物篱。坡面地带应合理配置作物，雨季要求坡面作物平均覆盖率达 75%，主要作物地块覆盖率达 85% 以上。

②沟垄种植

要求在坡面地带内沿等高线开沟，形成沟垄相间的坡面，在垄上和沟内分别种植不同作物。在降雨量多或暴雨地区，垄沟要求有一定斜度，垄沟的比降为 1/100-1/200。3—5 道沟垄联成菱形小区，上端筑封沟埂，与垄冈等高，防止串流。沟中及下端作竹埂，低于垄高 15cm-20cm，区与区之间设耕作道或排水沟，在地边开挖地边沟或水平沟。

以增加地面覆盖，延长地表覆盖时间为主要目的间作套作。即在同一地块上，

成行间隔种植两种以上生育期相近的作物；或在前茬作物的生育后期，于其行间播种或栽植后茬作物。这样可以增加地面覆盖，扩大根系分布范围，改良土壤，减少水土流失，并使作物之间相互促进，改善农业生态环境。25°以下的坡耕地，还可在1年或1年以上生产过程中轮换种植不同作物，用地养地，增强土壤抗蚀能力，减轻水土流失。

以改良土壤结构，增强土壤自身抗蚀能力为主要目的的保土措施有抽槽聚肥、少耕免耕等：在人多地少地区和15°以下的坡耕地，可抽槽聚肥。即沿等高线开挖一宽度和深度的沟槽，施入基肥，回填肥土，以增厚活土层，改良土壤结构，提高土壤肥力，增大降水入渗和土壤蓄水量，2—3年轮换槽床，促使土壤全部深翻熟化，提高土地生产力。同时，通过合理密植，改善农业生态环境。

免耕、少耕或深耕也是有利于有机质积累、改善土壤结构、培肥地力、增强土壤抗蚀能力的一种方法。深耕对促进土壤透气性、提高渗透性能和蓄水保墒能力，减少雨滴对地表土壤的溅蚀也有好处。

采用植物篱方法截留地表径流转为地下水源，防止土壤冲刷，保湿保墒，是一种经济有效的农作区生态保护技术。农业耕作区和人工林地，均可选择优良的保水保土植物建成植物篱网，进行护坡、护边、护岸工作。

(3) 水源涵养林恢复技术

① 群落优化配置技术

水源涵养林群落优化配置技术要点是：充分考虑当地气象条件和立地条件，参考顶极植物群落结构特征和植物区系特点，设计适宜的群落结构；强调以恢复生态功能为主要目的，以结构体现功能，选择群落类型和植物种类；混交林和复合多层结构具有更强的水源涵养功能和更好的生态稳定性；立地条件宜林造林，宜草种草；植物种类选择以乡土植物种类为主，慎重引进外来植物种；优先选择抗风能力强、耐瘠灌、耐干旱、抗病虫害的植物种；适当配置速生、冠幅大、根系发达的树种；发挥乔、灌、草立体配置的群落优势，创造有利于地被层和层间植被自然恢复的条件；适当营造一定比例的经济林，提高水源涵养林的经济效益。

② 坡耕地退耕还林还草技术

在水土流失非常严重、土壤特别贫瘠的地方，坡耕地退耕还林还草需要修建等高梯田或水平沟；在水土条件较好的地方，可以不修建梯田或水平沟，但应根据不同条件选择不同植物类型和土地利用方式。

③土壤 pH 值及其调控技术

农、林、牧、园艺植物生长基质的适宜 pH 值一般为 5.0-8.4。在一些受人类经济活动干扰严重的迹地，土壤酸碱度常常偏离此范围。因此，进行生态恢复时通常需对其 pH 值进行调整。碱性土壤可以用石膏拌入土壤通过淋溶作用降低 pH 值。酸度较大的基质通常用石灰提高 pH 值。

（4）矿山生态恢复技术

流域矿山生态修复方面，其技术与要求可参考“矿山生态环境保护与污染防治技术政策”（环发[2005]109 号 2005-09-07 实施）。

4.3.2 缓冲带生态修复技术

缓冲带是湖泊一定水位线之上的沿湖部分陆域地区，是湖泊生态系统重要组成部分，也是湖滨带外围的保护圈，是污染物进入湖滨带前的“缓冲”区域，也是地表径流入湖前的重要屏障。湖泊缓冲带的构建应根据沿岸地形地貌、土地利用现状、使用功能的不同分别采取植被修复工艺、鱼塘构建工艺、陡岸修复工艺、生态透水植被带恢复工艺等进行缓冲带构建。

（1）植被修复工艺

缓冲带植被修复主要是指陆生植被的修复，根据地形、地貌、高程等条件植被修复主要进行乔草带与灌草带的构建。

（2）退鱼还湖修复工艺

根据湖滨区鱼塘的分布状况与自然地形条件，对现有湖滨鱼塘塘埂基本拆除，在局部风浪较大的地段，可进行部分拆除。拆除的石方自然堆放至原塘埂两侧，不仅可以削减风浪，减小水流，形成鱼塘区域外部的防护设施作用，还可以在堆石区域内形成鱼、虾聚集区域，为鱼虾提供产卵场所和栖息地，形成了一个小型稳定的人工生态系统。鱼塘区植被不做人工种植，以自然恢复为主。另外在拆除塘埂过程

中需注意对现有鱼塘塘埂上的树木的保护。

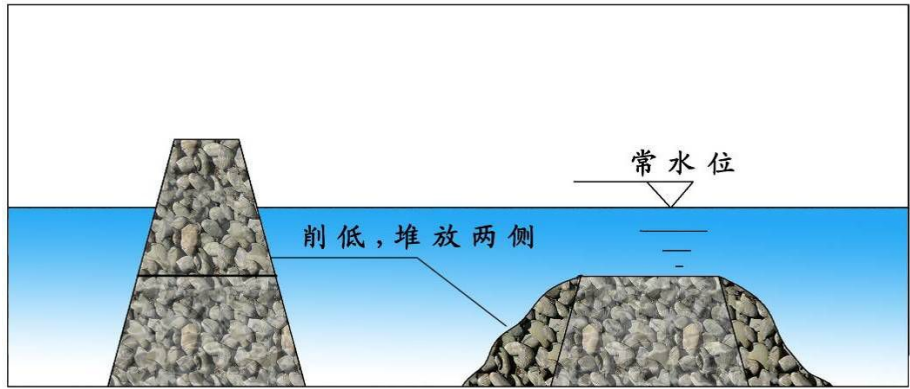


图4-31 退湖鱼塘构建工艺示意图

（3）生态透水植被带净化技术

地下净化处理系统是对近湖村落产生的低污染水进行净化处理的主要设施，可进一步削减氮磷等污染物的入湖量。地下净化处理系统结构简单，仅需在缓冲带内开挖净化用沟槽，在槽内填充碎石、生态砾石或腐殖土等填料，对地表径流污染进行深度处理。在净化过程中，水与污染物分离，水被渗滤后排入湖中，污染物通过物理化学吸附作用被截留在土壤中，由土壤中的微生物降解，一部分被分解成为无机 C、N 留在土壤中，一部分变成 N_2 和 CO_2 逸散在空气中，P 则主要被土壤物理化学吸附，截留在土壤中，为净化系统上部的植被单元的植物吸收利用。

绿地调蓄技术有很多种，下凹式绿地是其中行之有效、蓄渗能力较强的一种，具有蓄渗雨水、削减洪峰流量、过滤水质和防止水土流失等优点。典型下凹式绿地的高程低于路面高程，汇集蓄渗周围道路、建筑物等区域产生的雨水径流。下凹式绿地通过一定的结构形态配置能蓄渗部分或全部的雨水，达到暂存、缓存雨水的作用，对地表径流进行净化和过滤。同时，下凹式绿地可将大量固体污染物沉积在绿地内，其中的有机污染物经土壤微生物作用，转变成植物的营养物质，增加土壤的肥力。

在不影响周边水环境质量的前提下，尽量将绿地设计为下凹式绿地，将屋面、道路等各种铺装表面形成的雨水径流汇集入绿地中进行蓄渗，以增大雨水入渗量。下凹式绿地下凹深度一般为 5-25cm。

（4）生态混凝土技术

目前生态混凝土挡土墙具有较好的水土治理及生态修复效果，主体由透水混凝土构成，透水混凝土具有连续孔隙、良好的透水性和透气性,是一种亲近自然的环境友好建筑材料，具有较小的孔径和较大的比表面积的特性，它有良好的透水、过滤以及吸附功能，是一种环境亲近型材料，其孔隙率可达到 25%、抗压强度为 20 MPa，在拦沙坝、护岸等方面的应用前景较为广阔。

生态混凝土挡土墙主要是利用透水混凝土良好的渗水性能，使水可以在较大范围内的过水断面上渗滤，充分发挥吸附、过滤等功能，可大幅削减来水中的泥沙量，具有显著的去氮磷污染物的效果。

（5）缓冲带防护隔离区林下低生物量草坪建植与径流拦截净化技术

该技术关键以降低林地系统自身污染物发生量为突破点，结合径流污染拦截与生态净化技术，在强化高效拦截与持续净化上游污染物排入的基础上，实现防护隔离林带缓冲、调节等生态功能提升的目的。本技术由 2 个子技术构成，分别是隔离林带生态草坪建设技术、地表径流系统重建与生态净化技术。采用低产污的生态草坪构建缓冲带防护隔离林带，同时设置污染物截留净化系统；使防护林带自身污染最小化。

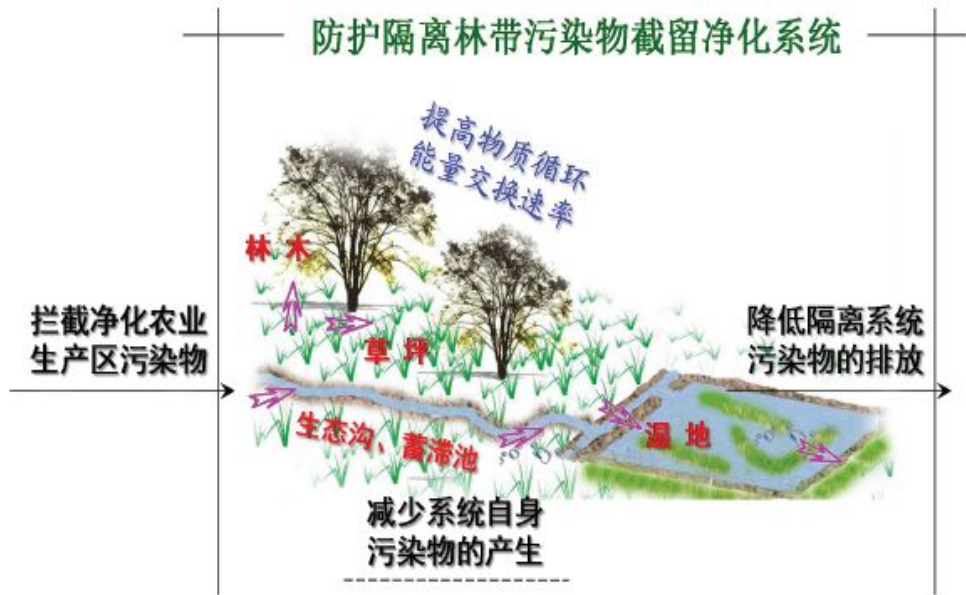


图4-32 防护隔离林带污染物截留净化技术示意图

4.3.3 湖滨带生态修复技术

湖滨带是湖泊流域中陆地生态系统与湖泊水域生态系统之间的生态过渡态，是在湖泊水动力和周期性水位变化等环境因子的作用下，形成的以水文过程为纽带、以湿地生物为特征的水陆生态交错带，是清水进入湖泊的最后一道屏障。湖滨带生态修复主要采用一定人工措施，对有浪蚀和崩岸的地方进行消浪、护岸，通过人工辅助种植和自然恢复的方法恢复湿生、挺水和沉水植物。

（1）湖滨带生境修复技术

湖滨带生境修复包括湖滨带基底修复、水文条件改善、水质改善等，其中水质改善是退化湖滨带生境恢复的难点，由于湖泊是静水水体，自净能力相对低，因此不但要进行点源、面源污染控制，还需要进行原位强化净化及生物调控措施等。基底修复技术包括物理基底改造技术、生态堤岸技术生态清淤技术等。对于风浪冲刷强烈的湖岸区，基底修复可以考虑构筑潜坝消浪，同时应尽可能使原来陡峭易蚀的湖岸区平缓化、稳定化，以适合水生植物的生存和定居。水文条件改善通常是通过调控湖泊水位、入湖河流廊道恢复、配水工程等措施来实现。

（2）湖滨带生物修复技术

主要包括物种选育和培植技术、物种筛选技术、物种保护技术、种群扩增及动态调控技术、种群行为控制技术、群落演替控制与重建技术、群落结构优化配置与组建技术等。其中先锋物种引入技术、物种保护技术、群落结构优化配置与组建技术在湖滨带恢复实践中得到较为广泛的应用。在湖滨带生物恢复中，为了保证恢复后的稳定性，往往需要考虑提高生物多样性。

（3）湖滨带生态系统结构与功能恢复技术

生态系统结构和功能恢复技术是一项综合性的技术，主要包括系统结构和功能的优化配置和调控技术、生态系统稳定化管理技术、景观设计及建立生态监测指标体系等。

生态系统的调控是以生态演替理论为基础，通过对生态系统施加人为的影响，如改变生态系统的理化环境条件或者生物因子等，从而影响或者促进生态系统的结构和功能向人们需要的方向演替的过程。如通过传统的食物链(网)操纵技术上(下)

行理论，改变生态系统中生产者和消费者的结构比例，从而改变水生植被的自然修复和种群演替进程。在太湖及滇池围隔实验研究中，通过配置不同食性鱼类，围隔内浮游植物及水生微管束植物的种类组成和群落结构发生了显著变化，湖泊生态系统的调控效果比较显著。

生态系统的稳定化管理技术涉及面较广，包括为了保证生态系统健康稳定运行中涉及到的资源管理技术、公众管理技术等。

生态恢复的长期性及演替的不确定性，需要在前期工作的基础上，结合生态重建和恢复目标要求，建立生态监测指标体系，通过定期监测生态系统的结构和功能状况，了解生态系统结构和功能因子现状，认真做好生态恢复评估工作，及时调整和指导生态恢复和重建工作的发展动态。

(4) 陡岸湖滨带生态修复工艺

陡岸是重要而常见的湖滨地貌，呈现地形较陡，湖滨宽度较窄小，湖岸浪蚀强烈，植物群落比较简单的特点。湖泊陡岸修复主要是水下修复工艺，考虑到陡岸的稳定性，为达到抗浪、消浪与防浪蚀，水下修复工艺可采用人工鱼礁、大块毛石等人工介质护岸，并营造适合低等生物如低等植物、微生物生存的局部静水环境，在基底孔隙形成生物膜，净化水质。另外还可以采用人工方法在需要进行大型水生植物群落恢复的湖滨陡坎沿岸的水域实施基底修复工程措施，在目标水域边界构筑水下围埝，采用绞吸式挖泥船将疏浚的湖泥按设计高程要求吹填至基底修复工程区内，形成缓坡浅滩，改善湖泊沿岸带自然条件，为湖泊沿岸带生态修复创造良好的生境条件。

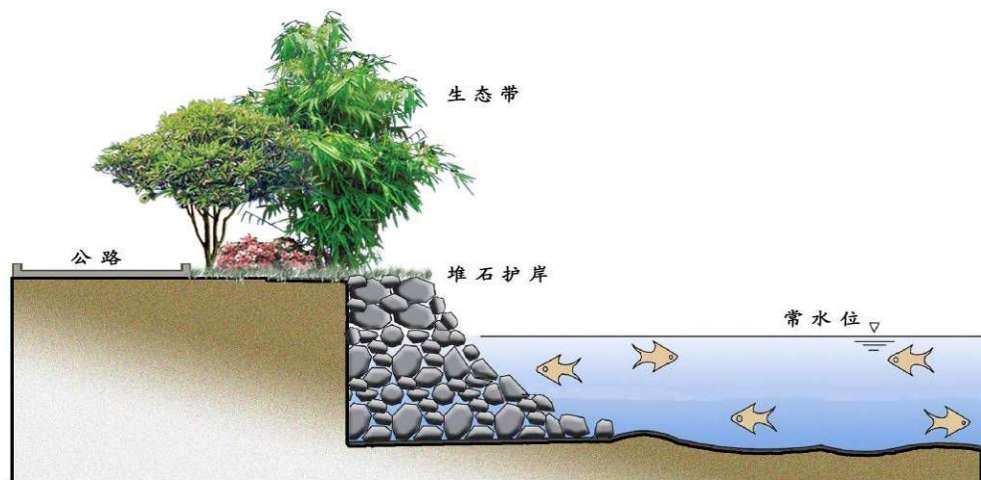


图4-33 陡岸修复工艺断面示意图

(5) 初期暴雨高浓度地表径流收集处理技术

初期暴雨径流携带的农田面源污染是非雨期的 5-20 倍不等，因此控制初期暴雨径流污染是解决农田面源污染的重要环节；而初期暴雨径流与非暴雨径流的无选择性接纳是现存治理技术中急待解决的问题。本技术可以自动选择搜集初期高浓度地表径流，而将非雨期极低浓度的来水自动溢流，大大节约了处理成本，减少能耗。本技术的特点是高效、低成本、低能耗、低维护，具有较大的实用价值。

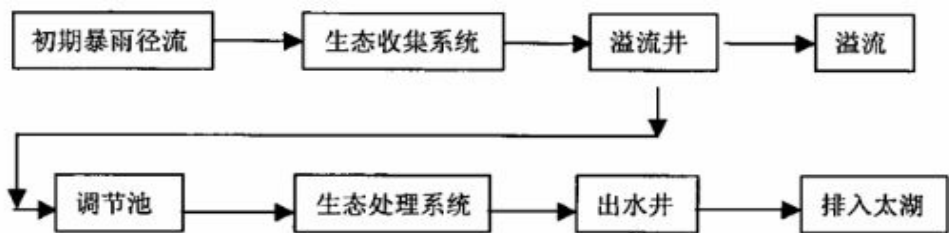


图4-34 工艺流程图

4.3.4 入湖河流生态修复技术

入湖河流生态修复技术主要包括河道曝气技术、生态浮床技术、河岸生态修复技术、食藻虫控藻技术等。

(1) 河道曝气技术

河道增氧曝气是根据河流受到污染后缺氧的特点，人工向水体中连续或间歇式充入空气(或纯氧)，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，从而改善河流的水质。



图4-35 几种河道曝气增氧技术

(2) 生态浮床技术

生态浮床技术治理水环境与生态修复的原理是：在水面上设立合适的栽培基质，人工栽培种植水生植物或改良的陆生植物，通过植物根部的吸收、吸附以及物种竞争等作用，富集消减水体中的氮、磷等营养物质和有害物质，从而达到净化水质的效果。



图4-36 生态浮床技术

(3) 河岸生态修复技术

包括河道生态砾石床处理技术、河道生态堤岸修复技术等。生态砾石床处理技术是将河道水体的一部分导入由砾石材料制成的生态滤床进行处理的方法，该工艺具有造价低、运行费用低、水力负荷高等优点。生态堤岸修复技术利用刚性材料如块石、混凝土块、砖、石笼、堆石等采用干砌的方式固堤，或者利用植物的根、茎、叶来固堤。

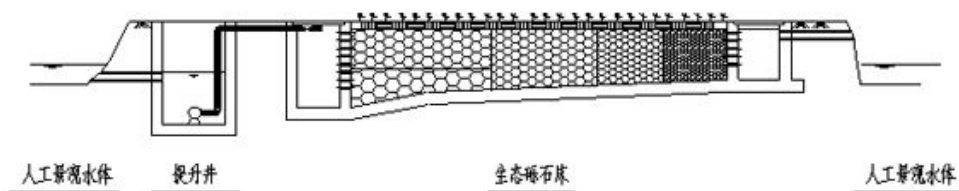


图4-37 生态砾石床



图4-38 堤岸修复

(4) 食藻虫控藻技术

针对河口区藻类暴发水生植物难以修复的特性，可通过食藻虫控藻来改善水质引导沉水植物修复。首先利用食藻虫摄食藻类，降低密度，提高透明度，为水下沉水植被生态修复创造条件；再利用沉水植被为主的水生植物吸收氮磷营养物质，降级富营养化程度；然后逐步引入挺水和浮叶植物、浮游动物、鱼虾类、螺贝类和有益微生物群，通过优化营养结构，构建功能完善的生态系统，增强自身调节能力，巩固和维护生态修复后续自净效果，同时改善美化水下自然景观。

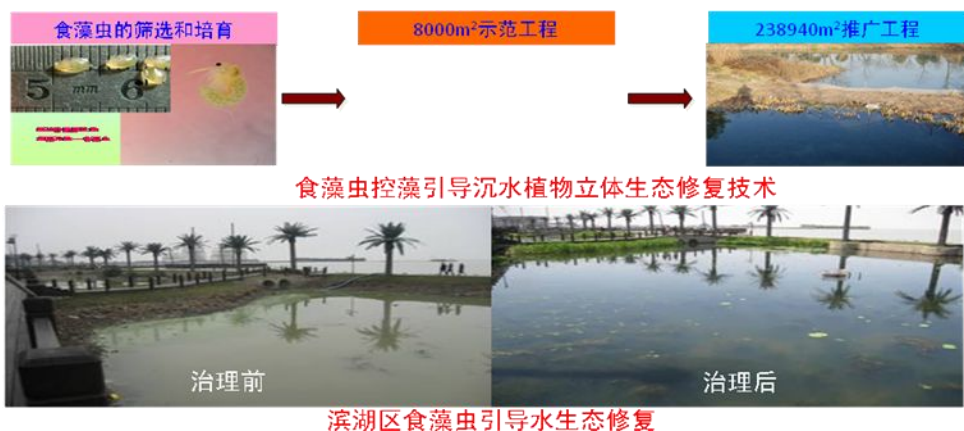


图4-39 技术效果图

(5) 城市景观河道化学-微生物-水生植物复合强化净化技术

针对景观河道水体自净能力差、富营养化现象严重、藻类过度生长等现状，将

微生物净化、化学除磷、水生植物吸附克藻这三种净化技术优化复合。复合技术通过兼顾三种技术的空间和时间效果，取长补短，实现水体整体生态系统的恢复。首先按照先投加微生物复合菌剂，去除水体中的有机物和氨氮；再投加加强型锁磷剂，去除水体中的磷，并最终覆盖在水体底部污泥层上，进一步地控制底部污泥的磷释放；同时栽种的水生植物能辅助净化水体并抑制藻类的生长，水生植物对水体中营养盐（N、P）具有较强的吸收能力，特别是对总氮的去除有较好的效果，能够弥补复合微生物菌剂和化学除磷药剂对总氮去除能力的不足。

（6）复合型污染河道水体强化生物接触氧化-多级人工湿地组合处理技术

通过新型模块化生物接触氧化-生态滤池组合工艺、农村生态沟渠往复式植物栅格系统和密植型生态浮床等技术的集成与优化，因地制宜，利用河滩等荒弃地，采用异位和原位双重净化方式，在入河之前对污染物进行生态拦截与深度净化，最终实现入河污染物负荷的有效削减，为水体水功能稳定达标和饮用水水质安全保障。

其工艺流程如下：

- ①首先经过格网过滤沟渠来水，去除水中较大的悬浮物。
- ②格栅出水流至生态填料接触氧化渠进行预处理，氧化渠内放置纤维生态草填料，并对水体进行曝气，以保证处理效果。
- ③出水流入多级生态滤池系统，利用基质-微生物-植物的共同作用对河水进行净化。
- ④在河道里构建密植型高效生态浮岛和强化净化型生态湿地，以实现入河污染物的原位净化。

（7）河口区污染物拦截前置库构建技术

该技术主要通过入湖河流河口处构建前置库系统进行污染拦截。前置库系统采用新型复合式生态回廊技术、河口区天然能源驱动提水技术，并结合生态浮床、水生植被修复、生物操纵等技术，通过沉降吸附、微生物降解、动植物吸收等作用，实现对入湖污染物的高效去除和水域的生态修复。前置库系统包括调蓄缓冲区、生态拦截区、强化净化区、深度净化区和生态稳定区和导流系统。

其主要工艺流程如下：

I、调蓄缓冲区：调蓄缓冲区位于系统最前端，通过一条溢流坝与下游生态拦截区隔开，对系统进水水质和流速进行缓冲，还通过曝气增氧，去除水体有机物和营养盐。调蓄缓冲区尾部设计溢流坝布水系统，使调蓄缓冲区待净化水体可以顺利且均匀的进入生态拦截区。

II、生态拦截区：在污水进入主库区的最前端，对库区水下地形以及边坡进行改造并种植大型挺水植物-芦苇，建成生物格栅，既对引入处理系统的河水中的颗粒物、泥沙等进行拦截和沉降处理，又去除了水体中的氮、磷以及有机物。

III、强化净化区：主要应用浮游植物强化净化技术、生态浮床强化净化技术、人工基质附着生物强化净化技术等生物-生态的方法在短时间内对水体氮、磷和有机物进行强化净化。

IV、深度净化区：利用自然湿地原理进行水体净化。自然湿地内不添加填料，种植芦苇作为湿地植物，主要依靠土壤吸附、植物吸收和颗粒物自然沉降对水质进行净化。湿地水流采取回廊式设计，使流经的水体与土壤和植物充分接触，增加土壤吸附能力和植物吸收的面积，延长水力停留时间，增强湿地的净化能力。

V、生态稳定区：通过在生态稳定区种植各种类型的水生植物，包括挺水植物、浮叶植物和沉水植物，并放养浮游植物食性的鱼类、蚌、螺，以期构建复杂稳定的生态系统，达到进一步削减水体污染物的目的。

VI、导流系统：导流系统主要由水体提升装置、溢流坝、导流坝和出水闸门组成。水力提升装置将河道内的富营养化水体提升至前置库净化系统内，经过溢流坝对水体流态进行调整后进入主体净化系统。导流坝的作用主要是延长水体在前置库库区内的停留时间。通过出水闸门控制系统内的水位高低和水体下泄。

前置库工艺流程见下图。

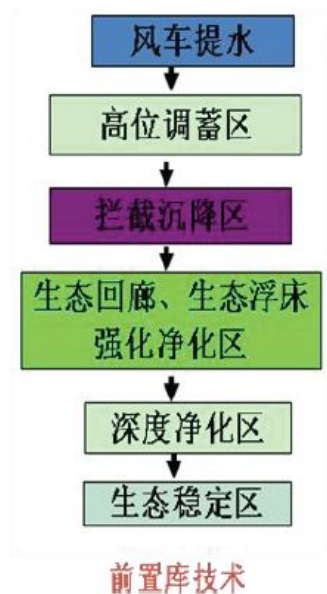


图4-40 技术工艺流程图

4.3.5 湖库水体生态修复技术

湖库水体水生态修复技术主要包括水生植物修复技术和水质改善技术。

(1) 水生植物修复技术

①水生植物恢复技术

通过对水生植物恢复所需要的生境条件的诊断分析，确定水生植物恢复的环境阈值，并通过人工干预的措施改善生境条件，在此基础上通过水生植被的筛选、引种和扩增技术进行水生植物的恢复，并通过水生植物对环境的反馈作用，提高水体的透明度，降低和去除水体营养盐，提高生物多样性。

②利用种子库恢复湖泊植被的关键技术

湖泊底泥种子库累积了不同时期和环境条件下植物产生的种子，许多水生植物的种子，在恶劣的生境条件下，能够在底泥中长期休眠。一旦生境条件适宜，种子库中休眠的种子就可能萌发立苗。因此，种子库为受损生态系统恢复提供了潜在的物种资源。利用种子库恢复湖泊植被的关键技术，包括种子库评估和补充、生境条件适宜性改造、种子库移植和恢复植被稳定化、植被管理与维护等关键技术。

③沉水植被构建关键技术

沉水植被重建是湖泊生态系统重建的关键所在，沉水植被在构建草型清水稳态生态系统起到最关键的作用，沉水植物恢复并稳定，是湖泊食物链赖以存在的物质基础和维持生态系统清水稳态的必要条件。沉水植被构建的关键在于改善生境条件，根据条件选择合适的先锋种和建群种，促进沉水植被的扩增。主要包括沉水植被先锋种和建群种筛选、沉水植被定植与种群构建、沉水植被扩增与调控等技术。

④大型底栖生物和沉水植物联合调控技术

底栖生物及沉水植物能强烈吸附水体中的氮、磷元素，两种物种协调作用，可以加速吸收利用富营养化水体中体中的氮磷能力，同时沉水植物有防风能力，能有效阻止底泥上浮。本技术包括以下步骤：1) 选择相应的进行富营养化调控的水体；2) 检测水质指标；3) 选择适合相应水体大型底栖生物；4) 投放大型底栖生物；5) 选择适合相应水质的沉水植物；6) 种植沉水植物；7) 打捞底栖生物和水生植物；8) 检测水质指标；9) 重复步骤3)-8)，直至水体水质达标。

(2) 水质改善技术

①仿水生植物净化水质技术

将具有较大比表面积、对环境友好的人工载体放入水体中，模拟水生植物，为水体中细菌、藻类和微型动物等构成的周丛生物提供适宜附着的基质，通过附着在基质上的周丛生物群落的代谢作用，降解水体中的氮、磷等营养物质，从而提高水体的净化能力，最终实现持续改善水质的目标。其工艺流程是：在适宜的工程区中布设人工载体-让水体中的细菌、藻类和微型动物等生物在人工载体上附着，形成稳定的周丛生物群落-利用周丛生物的代谢作用，降解、去除水体中的氮、磷营养盐定期更换人工载体，将人工载体上附着的生物及其它有机物质一并移出水体，提高水体的净化能力，人工载体经处理、再生后，可重新布设。

②可隐没式智能蓝藻拦截与导流技术

采用充气式柔性连续棒状浮体和比重大于水的材料，通过程序控制的充气和放气实现快速浮现-隔离和隐匿-连同，可以在几分钟内浮现于水面，用于组建长度数千米的智能蓝藻防线，以拦截、富集、导流随微风漂移的蓝藻。排出浮体中的空气可以使围隔迅速隐伏于水底，便于水流交换和躲避风浪。

工艺路线：蓝藻水华预测预警→对隐伏于水底的围隔进行充气→可隐没式围隔上浮→拦截、导流蓝藻等污染物→当蓝藻水华漂移离开→抽气，围隔下沉→结束任务。

主体结构：蓝藻防线主体采用可隐没式智能柔性围隔，墙布宽度 2.6m，上端安装 $\phi 150$ 带状充气浮体，下端设纲绳，与布设在湖底的锚固网络系统扣接。以湖底纵向锚链为固定蓝藻防线设施的大纲，南端套在钢管桩上，北端通过钢管桩上贴近湖底的定滑轮和绞车张紧，以夹具固定在钢管桩水面以上。围隔上、下纲绳两端以滑块-滑轨松弛固定在钢管桩上，由缆绳向上牵拉固定，随着水位变化调整固定高度。北端上纲绳在启动充气前应拉出水面。

主要技术经济指标：控制动力 1.5 千瓦，浮现速度 2m/s，在水深 3m 以内条件下每千米建设投资 60-80 万元，使用寿命 10 年以上。

③大型仿生式水面蓝藻清除技术与设备

仿照鲢鱼滤食浮游生物的原理，研制出以“鳃式过滤器”为核心技术（ZL200910031268.0）的“大型仿生式水面蓝藻清除设备”（ZL200910026679.0）。

技术工艺：抽吸富藻水（1000m³/h）→仿生式鳃式过滤器→浓缩富藻水→摇振浓缩→藻泥→收集→运输。

操纵工艺：接受蓝藻水华发生预报→达到蓝藻打捞现场→清除蓝藻→收集→运输→无害化处理。

主要技术经济指标：

1) 吃水深度 0.3 米，适合浅水湖泊水源地沿岸带的浅水区域蓝藻的高效打捞与清除；

2) 搭载 10m 宽幅分离铲，作业幅宽 10m；

3) 1000m³/h 汲藻泵管系统，达到 1000m³/h 的流量精确分离、汲取、过滤处理清除随风漂移的表层富藻水；

4) 5×4KW 电推进器组、中控驾驶系统，最大航速 5km/h；

5) 12m² 叠层式摇振浓缩筛、50KW 发电机组；

6) 最大浓缩比 50:1，可见藻群体滤除达 100%；

7) 每立方米富藻水的处理成本为 0.03-0.05 元。

④一体化高效蓝藻浓缩脱水收聚船技术

首先通过采集装置对富藻水进行采集，藻水从进藻管路进入反应池，与藻水一起进入混合后输进 PAC 与藻水混合箱混合。与此同时，开启 PAM 与铁粉的加药泵，输进反应池与藻水混合。混合后的藻水由反应池底部的管路流入藻水分离池。启动磁盘组的电机带动磁盘缓缓转动，即可以将藻水槽内带磁性的藻团吸附，通过铲藻条相切，藻泥刮下后，流进藻泥收集箱。而通过磁盘吸附后的水，通过溢流口流向清水输出管路，直接排放湖中。

一体化高效蓝藻浓缩脱水收聚船一次性将富藻水含水率降到 90%以下，以简洁高效的一级分离技术代替传统的气浮加离心或气浮加压滤两级组合工艺。具有设备效率高、体积小，适合船载的特点，这一技术的应用还有效避免了由于船体晃动对气浮效率的影响。

⑤原位覆盖技术

原位覆盖技术又称封闭、掩蔽或帽封技术，其技术核心是利用一些具有较好的阻隔作用的材质覆盖于污染底泥上，将底泥中的污染物与上覆水隔离，大大减少底泥中污染物向水体的释放能力。覆盖技术具下述三方面功能：一是增加污染物向水体释放的距离，将污染底泥与上层水体物理性阻隔开；二是覆盖物的覆盖作用可稳固污染底泥，防止其再悬浮或迁移；三是通过覆盖层中有机颗粒的吸附作用，有效削减污染底泥中污染物进入上层水体。

⑥原位钝化技术

污染底泥原位钝化技术的核心是利用对污染物具有钝化作用的人工或自然物质，使底泥中污染物惰性化，使之相对稳定于底泥中，大大减少底泥中污染物向水体的释放，达到有效截断内源污染的作用。该技术具有下述几方面主要功能：一是加入的钝化剂在沉降过程中能捕捉水体中的 P 与颗粒物，从而使水体中污染物得到较好的去除；二是钝化层形成后可有效吸附并持留底泥中释放的 P，从而有效减少由底泥释放进入上覆水中的污染物质；三是钝化层的形成可有效压实浮泥层，减少底泥的悬浮。

4.4 流域监控预警及应急技术

流域的监控预警及应急技术主要包括水华预警预报技术、在线监测技术、流域生态综合管理平台建设以及应急防治措施。

4.4.1 水华预警预报技术

水华预警预测技术主要针对有害藻华发生，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或叶绿素a的预测模型，确定的临界值可作为水华发生的预警值。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。生态数学模型方法主要有三种：一是藻类生物量磷负荷量之间的相关经验模型，二是使用限制因子假定来模拟浮游植物的生长；三是根据光合作用的相关因素来估算浮游植物的初级生产力。生态数学模型一般关注影响藻类群落变化的物理、生物和化学过程,可用一些代数或微分方程表示，其优点在于可对环境系统变化提供各种各样的估计。数学驱动模型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) 湖泊藻类生命原位观测技术

基于湖泊蓝藻生长的生境条件，模拟湖泊中藻类细胞/细菌细胞生长过程中的环境变量（温度、溶解氧、pH、ORP、TN/TP、TOC、叶绿素 a）、生理特征变量（细胞 CO₂ 消耗/排放速率、细胞 O₂ 消耗/排放速率、细胞呼吸强度、细胞形态）以及气象变量（日照强度、温度等）的在线连续观测技术，已研制出成套的湖泊藻类生命观测系统装置。观测系统结构主要由 6 个子系统组成：①2 个观察培养罐测控子系统；②TOC、TNP、O₂、CO₂ 在线监测子系统；③2 个细胞在线显微观察子系统；④自动取水、排水子系统；⑤光照测控子系统；⑥网络信息处理子系统。湖泊生命观测系统在湖泊藻类成灾和湖泊水体演变观测中能发挥以下作用：①湖泊生境多水平多参数实时连续观测；②轻度富营养化湖泊早期诊断与湖泊治理措施的预评估；

③富营养化严重湖泊蓝藻暴发早期总体预判等。



图4-41 生命观测系统设备

（2）水华监视及多媒体演示技术

基于 MODIS 和环境卫星遥感影像资料，建立蓝藻水华信息提取业务化运行方法，实现监视蓝藻水华成灾规模、成灾风险、时空变化规律以及相关水环境状况，分析蓝藻水华成灾影响的因素。工艺流程包括：①湖泊遥感影像资料下载；②遥感影像环境信息提取；③蓝藻成灾状况评估。

4.4.3 流域生态综合管理平台

建设数据采集及传输系统，实现涉湖部门的数据交换；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；建立入湖河流和湖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，形成流域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，以及蓝藻暴发等生态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。

4.4.4 应急防治措施

（1）蓝藻水华应急防治措施

①水源地水体蓝藻水华应急防治措施

a.改进性围隔挡藻。在软围隔挡藻装置基础上，利用排水上浮、灌水下沉原理，研制出具备可自动沉浮围隔开闭技术的沉浮式软围隔装置，该装置可以很方便的将进入保护区水域的藻类排出，从而使水源保护区的藻类减少，降低外来藻类对水源保护区水质和生态系统的危害。

b.机械打捞。

c.引水调水稀释。

②水厂应急处理措施

水厂可采取的应急处理措施主要有以下几种：a.活性炭吸附技术；b.混凝沉降技术；c.加氯氧化技术；d.膜分离技术；e.臭氧氧化技术；f.二氧化氯氧化技术；g.高锰酸钾氧化技术。当水源地发生突发性藻类污染时，建议采用高锰酸钾氧化和强化混凝去除原水中的藻类。

（2）“湖泛”应急防治措施

当没有发生“湖泛”的时候，可通过以下几种措施预防“湖泛”的发生：a.在水源地种植水生植物，稳定湖底污泥。b.机械清淤，提高湖水深度，降低湖底淤泥量。

当“湖泛”发生时，如果是发生在水源地周边，建议通过在水源地周围设置隔泥围栏，并设置放浪板阻止和抑制“湖泛”水体向水源地扩张。如果发生在水源保护区内，则应急处理技术包括：a.在风浪降低后投加絮凝剂，使泛起的污泥凝聚成大颗粒而沉降。b.从其他水体调水。

水厂应急处理措施：在水厂处理设施前端设置活性炭吸附池，使进入水厂的湖水经活性炭吸附，降低其三氮，COD 等浓度，监测出水三氮和 COD，如果发现浓度仍然超过水厂处理能力，可通过 a.增加投加活性炭的量；b.在水厂原有的混凝环节上加大絮凝剂的量添加絮凝效果更佳的絮凝剂；c.投加氧化剂，如液氯，臭氧，二氧化氯等；d.在处理末端增加膜分离工艺。

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，符合我国湖泊富营养化现状以及发展趋势。

(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) 坚持预防为主、保护优先，树立尊重自然、顺应自然的生态文明理念，坚持节约优先、保护优先、自然恢复，科学保护湖泊生态环境，对可能造成湖泊富营养化的流域人类开发活动实施禁止或限制，对重要生态功能保护的湖泊实施抢救性长期保护，对重点战略水资源的湖泊实施强制性严格保护，对生态良好的湖泊实行主动性积极保护。

(4) 实施水陆统筹和综合防治，从湖泊环境的整体性、系统性出发，重视水陆统筹的湖泊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，针对不同区域的湖泊水环境问题和污染特征，并结合区域经济发展和技术水平，有针对性的提出相应的水环境管理目标和任务，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；
- ②中华人民共和国大气污染防治法；
- ③中华人民共和国水污染防治法；
- ④中华人民共和国清洁生产促进法；

- ⑤中华人民共和国循环经济促进法;
- ⑥清洁生产系列标准;
- ⑦污染防治技术系列政策;
- ⑧中华人民共和国防治船舶污染内河水域管理规定;
- ⑨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草浆造纸工业废水污染防治技术政策(环发[1999] 273 号);
- ④印染行业废水污染防治技术政策(环发[2001]118 号);
- ⑤制革、毛皮工业污染防治技术政策(环发[2006]38 号);
- ⑥电镀废水治理工程技术规范(HJ 2002-2010);
- ⑦制药工业污染防治技术政策(公告 2012 年第 18 号);
- ⑧制浆造纸废水治理工程技术规范(HJ 2011-2012);
- ⑨制糖废水治理工程技术规范(HJ 2018-2012);
- ⑩硫酸工业污染防治技术政策(公告 2013 年第 31 号);
- ⑪发酵类制药工业废水治理工程技术规范(HJ 2044-2014);
- ⑫石油炼制工业废水治理工程技术规范(HJ 2045-2014);
- ⑬淀粉废水治理工程技术规范(HJ 2043-2014);
- ⑭城市污水处理及污染防治技术政策(建成[2000]124 号);
- ⑮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);
- ⑯城市生活垃圾处理及污染防治技术政策(建成[2000]120 号);
- ⑰生活垃圾处理技术指南(建城[2010]61 号);
- ⑱生活垃圾填埋场污染控制标准(GB16889-2008);
- ⑲畜禽规模养殖污染防治条例(国务院令第 643 号);
- ⑳畜禽养殖业污染防治技术政策(环发[2010]151 号);
- ㉑畜禽养殖业污染防治技术规范(HJ/T 81-2001);

- ⑫ 畜禽养殖业污染治理工程技术规范(HJ497-2009);
- ⑬ 化肥使用环境安全技术导则(HJ 555-2010);
- ⑭ 农药使用环境安全技术导则(HJ556-2010);
- ⑮ 农业固体废物污染控制技术导则(HJ588-2010);
- ⑯ 农村生活污染防治技术政策(环发[2010]20 号);
- ⑰ 农村生活污染控制技术规范(HJ 574-2010);
- ⑱ 人工湿地污水处理工程技术规范(HJ 2005-2010);
- ⑲ 船舶污染物排放标准(GB3552—83);
- ⑳ 矿山生态环境保护与污染防治技术政策(环发[2005]109 号)。

5.3 技术路线

本技术政策制定的技术路线见图 5-1。

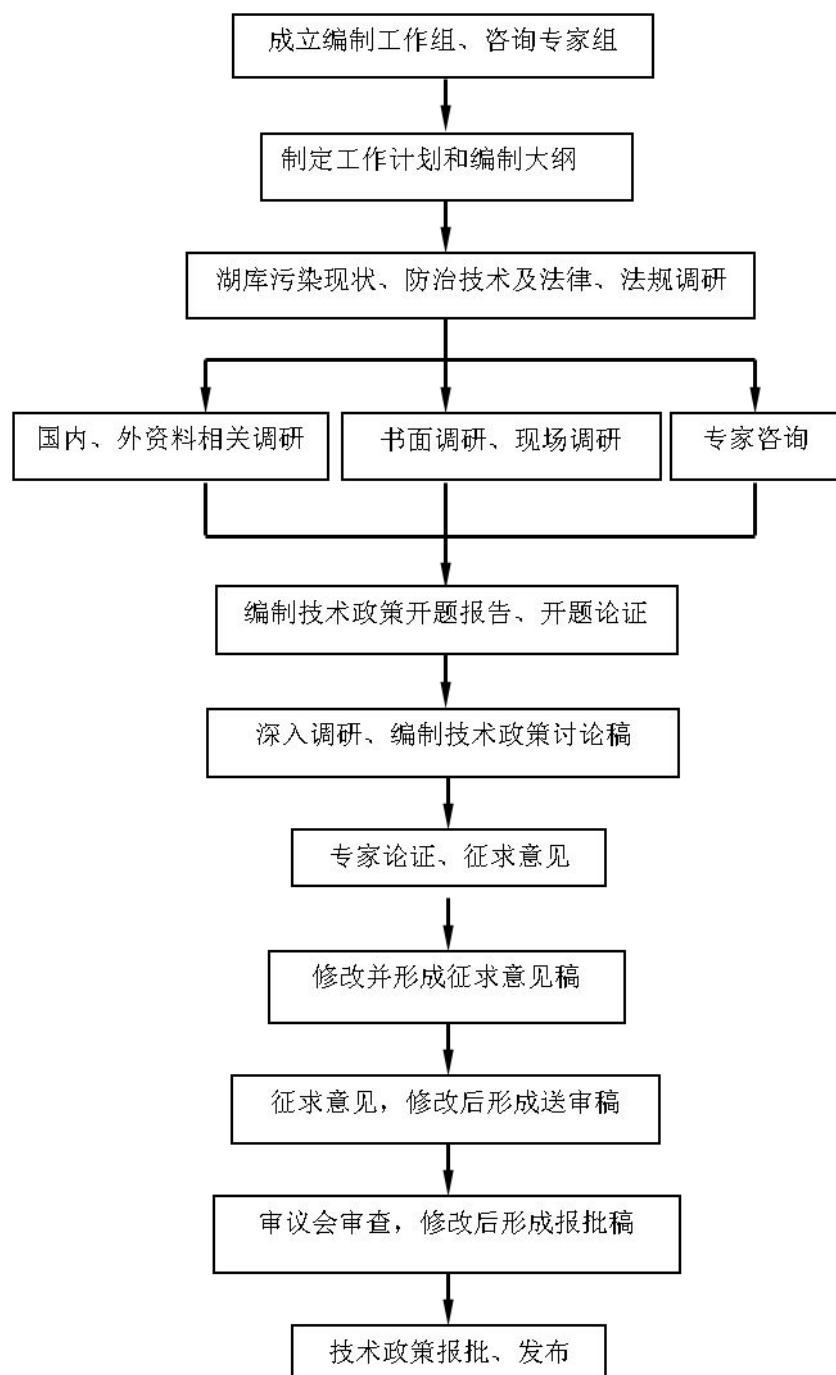


图5-1 《湖库富营养化防治技术政策》编制技术路线

6 主要技术内容的说明

本技术政策修订后由总则和控制目标、湖库富营养化防治方案制定、污染源综合防治、湖库及流域生态修复、流域综合管理、不同类型湖库分类治理措施共六方

面组成。

6.1 总则

（一）为保护湖库及其流域的生态安全，控制湖库富营养化发展，指导湖库富营养化防治并提供技术支持，为湖库环境管理提供技术依据，根据《中华人民共和国水污染防治法》（2008年）、《中华人民共和国水法》（2002年）以及国家关于湖库环境保护的法规、政策和标准，制定本技术政策。

无。

（二）本技术政策适用于我国境内所有的湖泊、水库流域。目的是指导湖库富营养化分类治理、生态环境保护与流域综合管理，并作为湖库及其流域水污染防治规划制定的技术依据。

无。

（三）本技术政策指导思想：从流域出发，以生态文明建设为指导，以湖库生态安全为保障，坚持人与湖库和谐共处，遵循湖库自然演变规律，让湖库休养生息，综合协调湖库富营养化防治和流域经济发展的关系。

党的十八大报告明确提出，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。湖泊富营养化治理需要遵循生态文明建设的理念，从流域出发，坚持人与湖库环境相协调、让湖库休养生息，实现湖泊保护和流域经济协调发展。修编后的技术政策的指导思想融入了生态文明建设以及让湖泊“休养生息”的理念。

（四）本技术政策技术原则：坚持分区管理、近中远期分期实施、“一湖一策”分类治理，实施流域氮磷总量控制，完善流域水环境管理体制，保障湖库水环境质量，促进流域经济可持续性发展。

修编后的技术政策提出了“分类型、分区域保护”的思路，分类型指的是应明确湖泊功能定位，分类型、分层次进行保护；分区域指的依据气候、地形地貌、流域水系等地带相似性，将湖泊分成几大区域来加以保护，便于在湖泊治理时分区指导，

因地制宜，根据不同湖泊的环境问题及其成因，明确治理的重点和难点，有针对性地解决制约湖泊治理的关键问题，从而可以避免“一刀切”治理方式所带来的弊端。

（五）各地区要可根据湖库自然条件、社会经济条件等自身特点，因地制宜地制定所在辖区内湖库富营养化防治的远、中、近期目标。

由于我国湖泊数量众多、分布广泛、类型多样、成因复杂，致使我国湖泊的营养物水平和富营养化效应具有很大的区域差异性。需针对近、中、远三期分别在饮用水源安全保障、污染源控制、生态修复方面等提出不同目标。

（六）各湖库流域所在县级以上人民政府可根据本技术政策指导意见，制定适合本地区湖库流域富营养化防治规划，明确防治的具体目标、政策和措施。

无。

（七）湖库富营养化防治方案的制定原则：

（1）优化布局，调整结构。明确湖库流域水质、水量、水生态状况，依据湖库富营养化控制目标，进行流域产业发展布局和结构调整。

（2）因地制宜，总量控制。结合湖库水环境承载力和水生态功能区划，鼓励实施流域氮磷总量控制。

（3）重点突出，控源截污。污染源实行集中与分散治理相结合，点源与面源治理相结合；工业源治理和生态工业园区建设相结合，农业面源治理和流域农村连片综合整治相结合。

（4）水陆统筹，生态修复。在控源截污的基础上，实施水源涵养区、入湖河流、湖滨缓冲带、湖内大水体等分区的生态修复。

（5）预防为主，保护优先。预防为主，防止水质恶化；优先保护饮用水源地水生态安全。

修编后的技术政策在原制定原则的基础上，结合新的湖库治理理念和研究成果，对语言进行了精简提炼，表述更为全面准确。

（八）开展湖库流域生态环境问题诊断，确定存在的主要生态环境问题及关键驱动因子。

修编后的技术政策在原基础上语言进行了精简提炼，表述更为准确。

（九）湖库富营养化控制目标需满足湖库水生态功能区的要求，分期达标，逐步改善，并符合流域可持续发展的需求。

修编后的技术政策体现了基于水生态功能区的总量控制，体现了分期达标。

（十）湖库富营养化防治方案主要包括：流域水环境承载力核算及总量控制方案、流域污染源综合防治方案、湖库及流域生态修复方案、流域综合管理方案等。

修编后的技术政策强化体现了流域水环境承载力核算的重要性及产业结构调整对控制湖库富营养化的重要作用。

（十一）湖库富营养化防治方案中，鼓励根据湖库特征、污染源分布特点，结合湖库流域的自然条件，进行分类、分区、分期防治。

（1）针对不同类型湖库，分类实施湖库富营养化控制和管理策略。

（2）集中式饮用水源地和下游水源的源头需列为重点保护水域，设置生态红线，防止发生生活饮用水源地污染事故；具有特殊生态保护意义的水域和水陆交错带考虑重点保护和修复。

（3）污染特别严重的水域及沿湖沿河污染源集中分布的区域，进行先期重点综合整治。

修编后的技术政策的方案制定体现了分区控制和分类指导的思想，针对不同区域的湖泊水环境问题和污染特征，并结合区域经济发展和技术水平，有针对性的提出相应的水环境管理目标和任务，采用基于区域差异的分区控制策略，同时与国家现行的生态红线划定有较好的衔接。

（十二）根据不同类型湖库流域经济发展特征，选择国内外已有工程应用实例的、经济实用的污染防治技术和生态修复技术，优先选择国家推荐的技术，鼓励采用新技术，同时注重技术经济效益。

修编后的技术政策更原则，更精炼。

6.2 综合治理流域污染源

（一）流域水环境承载力核算及总量控制

（1）核算湖库水环境承载力，鼓励确定满足湖库水环境承载力约束条件下的

流域经济可持续发展模式。

湖泊保护的根​​本依据是水环境承载力，基本要求是经济社会发展与湖泊保护相协调。我国湖泊区域差异性显著，类型多样，不同区域不同类型湖泊水环境承载力差异很大，需要与之相协调的流域经济发展模式。而目前大部分湖泊流域仍然没有摆脱资源高消耗、污染重、偏离湖泊保护的粗放型发展模式，湖泊所接纳的氮磷污染物大大超过湖泊流域水环境承载力，造成全国湖泊富营养化总体尚未有效遏制。各地方在进行湖库富营养化防治的过程中，建议应首先考虑核算湖库流域的水环境容量和水环境承载力，对于有条件的湖库流域鼓励确定满足湖泊水环境容量约束条件的流域经济最优发展模式，从源头根本上解决湖库的污染负荷问题。

（2）鼓励根据流域经济条件、技术水平，制订湖库营养物分期标准和控制目标。

目前全国采用单一的标准来进行湖泊管理，缺乏湖泊富营养化控制分级标准，没有体现分类指导，无法为我国湖泊富营养化问题的管理和控制提出分类分级指导，同时营养物削减和富营养化治理效果缺少评估标准。湖泊营养物标准是诊断、辨识、管理湖泊水体营养物过量问题，对湖泊富营养化进行综合评估、预防、控制和管理科学基础和重要手段。鼓励大中型湖库流域所在的地方环境管理部门制定本地大中型湖库营养物分期标准和控制目标，指导湖库的中长期的富营养化控制和管理，对于小型湖库，可以参考同区域内大中型湖库的营养物分期标准和控制目标。

（3）依据水环境承载力和分期控制目标，合理调控城镇发展规模，鼓励对湖库流域的土地利用格局、产业结构布局进行优化。

我国当前湖泊富营养问题本质上是流域经济社会发展模式问题，因此，必须综合统筹考虑湖泊环境保护和流域经济社会发展，通过技术进步和产业结构调整，从源头减排、过程控污、末端治理等多渠道解决流域污染重大环境问题，构建湖泊流域经济社会协调发展模式，只有这样才能实现流域经济社会发展和湖泊环境保护双赢，这是当前湖泊富营养化控制的必然选择。通过对湖库流域的土地利用格局、产业结构布局进行优化，调整流域产业结构，控制流域经济总量，努力实现湖泊流域的结构减排，“增产不增污”，“增产减污”，改善湖泊水环境质量，有效的控制湖泊

富营养化。

（二）点源污染防治

针对点污染源的主要类型，本技术政策分别从城镇生活污水、宾馆与饭店污水、工业污染源、畜禽养殖污染等几个方面提出治理要求。

（1）点源主要包括城镇生活污水、工业废水及规模化养殖等固定排放的污染源。

修编后的技术政策对主要点源进行了分类。

（2）城镇生活污水采取集中处理方式。重点湖库流域应完善雨污分流系统，鼓励采取除磷脱氮提标工艺，城镇污水处理厂出水达到一级 A 标准；非重点流域城镇污水处理设施应逐步完善脱氮、除磷提标工艺；鼓励对城镇污水处理厂出水进行深度处理和回用。

对规模较大、已建下水管网的城镇宜采用建设生活污水厂集中处理的方法，这样可节省建设投资和运行费用，而且处理效果好，占地面积小，易于管理，节省监管人员。修编后的技术政策将城镇污水处理分为重点流域与非重点流域，分别提出不同处理要求。在重点流域湖泊，由于国家有明确的规划，投入与治理的力度大，技术支撑力量雄厚，往往已建成污水处理厂并较好运行，为进一步削减入湖负荷量，其治理要求与目标建议高于非重点流域湖泊，因此要求城镇污水处理设施必须采取深度脱氮、除磷提标工艺，城镇污水处理厂出水达到一级 A 标准。在非重点湖泊流域，为了防止其污染加剧、重蹈重点湖泊流域先污染后治理的老路，该流域城镇污水处理设施应逐步完善脱氮、除磷提标工艺，在满足排放标准的基础上，尽可能提高氮和磷等营养物质的去除率。

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 N、P 浓度值分别是地表水 V 类标准水质指标（湖库）的 7.5 倍、2.5 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 TN 对湖泊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，为满足湖泊水质保护的要求，鼓励有条件的城镇应尽可能采用人工湿地或自然湿地等措

施进一步净化城镇污水处理厂排放的尾水，使其出水中营养盐浓度进一步降低，并鼓励处理后回用，达到零排放。中水回用不仅在提高水体循环利用次数中，增加了对水的有效利用率，减少对自来水出厂水的依赖，更重要的是在回用中可削减一部分污染物总量，使得湖泊水体污染物入湖量降低。

（3）控制临湖宾馆、饭店的污水排放，将其纳入城镇污水处理厂或自建污水处理设施处理后回用。

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，修编后的技术政策对临湖的宾馆、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湖。

（4）鼓励工业企业按流域相关规划向工业园区集中，需稳定达到国家或地方规定的污染物排放标准。重点排污工业企业实施清洁生产。

修编后的技术政策增加了对工业企业的具体措施，提出流域工业企业应“按流域相关规划向工业园区集中”。工业园区是一个国家或区域的政府根据自身经济发展的内在要求，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、工业企业废水处理。此外也提出“重点排污工业企业实施清洁生产”，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。

（5）限制规模化畜禽养殖场的建设，鼓励规模化畜禽养殖场进行生态化改造，禽畜粪便及废水进行无害化处理和资源化利用；集中式饮用水源地一、二级保护区内禁止建设规模化畜禽养殖场，已有的应关闭或搬迁。

规模化畜禽养殖场是湖泊流域重要的点源污染。修编后的技术政策对规模化畜禽养殖场的建设进行了明确的规定，“限制规模化畜禽养殖场的建设，鼓励规模化畜禽养殖场进行生态化改造，禽畜粪便及废水进行无害化处理和资源化利用”。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，并择优选出低成本的处理处置技术。养殖废弃物处理可用技术包括保氮除臭适度发酵与功能有机肥技术、农村固体废弃物生物质能转化技术、奶牛废弃物循环利用技术等。大型规模化畜禽养殖场和集中式畜禽养殖废弃物处理处置工厂宜采用“厌氧发酵—（发酵后固体物）好氧堆肥工艺”和“高温好氧堆肥工艺”回收沼气能源或生产高肥效、高附加值复合有机肥。中小型规模化畜禽养殖场（小区）宜采用相对集中的方式处理畜禽养殖废弃物。宜采用“高温好氧堆肥工艺”或“生物发酵工艺”生产有机肥，或采用“厌氧发酵工艺”生产沼气，并做到产用平衡。

（三）面源污染防治

针对面源污染的主要类型，本技术政策主要从村落生活污水、农村固体废弃物、农田地表径流、城镇地表径流、水土流失等方面提出治理要求。

（1）面源污染主要包括村落生活污水、农村固体废弃物、农田地表径流、城镇地表径流、水土流失以及大气降尘、降水等。

修编后的技术政策对主要面源进行了分类。

（2）村落生活污水应因地制宜，采用与当地经济水平相适应的处理工艺，鼓励农村生活污水处理后回用；使用水冲厕所的区域，逐户建立化粪池；未使用水冲厕所的区域，可建设生态旱厕。鼓励化粪池及生态旱厕污泥还田回用。

我国于 2010 年开始了村庄环境连片综合整治与优美乡镇建设的工作，因此鼓励农村生活污水治理与农村连片综合整治紧密结合。修编后的技术政策体现农村污水治理区域联防联控的思路。农村污水处理时，因地制宜地采取集中与分散相结合的方式。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。主要处理工艺有土壤净化槽与太阳能曝气处理技术、塔式蚯蚓生态滤池处理技术、农村污水厌氧+生物生态处理技术、生活污水三级塘生物生态处理强化技术和分段进水跌水充氧接触氧化一体化技术等。同时在经济较发达使用水冲厕所的区域，应逐户建立化粪池；在经济较落后暂时未使用水冲厕所的区域，鼓励建设生态旱厕。

(3) 农村固体废弃物应进行妥善收集和处理处置；秸秆和畜禽粪便可采用还田、堆肥、厌氧发酵、生产生态有机肥等方法进行无害化处理和资源化利用。

根据《农业固体废物污染控制技术导则（HJ588-2010）》，修编后的技术政策对农村固体废弃物提出了具体的处理要求。农村生活垃圾应进行分类收集，运送至垃圾处理场或垃圾填埋场进行无害化处置，积极推进城乡统筹的垃圾处理模式，提高农村生活垃圾收集率和无害化处理率。对于畜禽粪便、农作物秸秆等有机废弃物应采用粪便无害化处理、农作物秸秆综合利用、沼气厌氧发酵等生态工程技术为主，开发农村新能源和有机肥料、畜禽饲料等，实现有机废弃物多层次循环利用，减少农业有机废物流失并对环境造成的污染。

(4) 鼓励开展生态农业建设，通过种植结构优化调整、测土配方施肥、肥药减量、缓释或控释肥、节水灌溉等农业新技术，从源头上减少农田径流中污染物排放量。因地制宜地采取生态沟渠技术或湿地处理系统，进行农田径流污染控制。加强对农田耕种期初次暴雨径流的截流和净化。

对农业面源污染的控制与管理可以从源和输移途径两个方面开展工作，主要包括：面源污染的治理和径流污染的治理。面源污染的治理是根本，径流污染的治理是补充。改变农田的耕作方式和管理措施，采取不同的农作物对营养元素吸收的互补性，采取合理的间作套种，在一定程度上能减少农药或养分的流失，降低面源污染负荷，但更有效的方法是发展生态农业，直接控制农药和化肥的施用。适用的技术主要有种植制度调整模式、种植业适时适地养分全程调控氮磷减排技术、设施农业节肥氮磷调控技术、农田控氮、磷减排技术等。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，大大减少进入水体的氮磷含量。主要技术包括设施农业节肥氮磷调控技术、农田径流生态拦截技术、农田秸秆还田处理技术和水稻种植农药污染消减与控制综合技术等。

(5) 鼓励建立有效的城镇地表径流收集与处理系统，提高城镇排水管网截流能力，加大对初期雨水的收集处理能力。鼓励通过增大城镇透水面积、时空缓冲、

生态处理等技术加强城镇地表径流的污染控制。

在城市面源控制方面，修编后的技术政策以还原城市自然生态水循环为理念，以削减城市面源、控制城市洪峰、减少下游污水处理厂降雨雨峰冲击为目标，提出“通过径流时空缓冲、生态处理等技术加强城镇面源污染控制”。主要技术包括城市面源污染控制及雨水资源化集成技术、合流污水高效截流处理技术等。

（6）湖库流域强侵蚀区的水土流失，坚持以防为主、防治结合、治理与管理相结合的原则。鼓励采取生物治理与工程治理相结合，加快治理水土流失。

水土流失是面源污染发生的主要途径和载体，它将大量的泥沙和营养物质带入各种水体，造成水体污染。自 2005 年起，国家对于水土流失面源污染的研究和防治工作十分重视，2011 年中央一号文件明确提出“搞好水土保持和水生态保护”；2012 年全国水土保持工作会议要求“统筹搞好水土流失防治和面源污染控制”。因此修编后的技术政策提出了对水土流失面源污染防治的原则及措施。坚持以防为主、防治结合、治理与管理相结合的原则。既控制水土流失，又要恢复区域生态系统的良性循环。通过生物治理与工程治理相结合，利用土石工程、绿化等措施，控制面源污染物的扩散，截断面源污染的污染链和减少污染量，主要表现在拦蓄径流、泥沙，从而达到净化径流水质、保护水体功能的目的。

（7）控制排放氮、磷大气污染的化工类工业企业，鼓励采取有效的脱氮除磷措施，减少氨逃逸等大气干湿沉降对湖库的污染。

大气排放造成的干湿沉降污染也是湖泊富营养化重要因素之一，据调查，2007 年太湖由大气污染排放入湖量约占湖泊入湖污染物总量 10%-15%。因此，应控制排放氮、磷大气污染的化工类工业企业，对其排放废气需采取有效的除氮减磷措施后排放，并加强对流域内大气污染化工企业的监控预警。

（四）内源排放污染防治

针对内源的主要类型，本技术政策主要从湖内船舶、湖内养殖、底泥释放、藻源性内负荷及水生高等植物疯长等方面提出治理要求。

（1）湖库内源主要包括湖内船舶、湖内养殖、底泥释放、藻源性内负荷及水生高等植物疯长等。

对主要湖泊内源进行了分类。

（2）限制湖库内船舶的进入与通行。船舶上产生的生活污水、废物应按规定妥善收集、贮存或处理，船舶应实现零排放。

根据《中华人民共和国防治船舶污染内河水域管理规定》，修编后的技术政策对湖库内船舶提出更严格的要求。“限制湖库内船舶的进入与通行”，进入湖泊的机动船舶应经相关湖泊管理部门批准，除经审批的旅游船只、输运船只和捕渔船只，及湖泊管理部门的采样监测船只外，其它机动船禁止、限制进入湖泊水体。参考《船舶污染物排放标准（GB3552—83）》等相关法规，对“船舶上产生的生活废水、废物应按规定妥善收集、贮存或处理，船舶应实现零排放”。

（3）限制在湖库进行围网养殖，鼓励推广自然放养。饮用水源地一、二级保护区内禁止鱼塘养鱼。

湖泊养殖污染主要来自剩余饵料和养殖物（如鱼类）的排泄物，在围网养殖过程中，投喂的饲料残饵的发酵分解、水产动物新陈代谢过程中产生大量的氨氮、动物尸体腐败的恶臭、水质的富营养化及药物的残留等都对生态环境产生了严重的污染，进而对人类健康产生重要影响。网箱养鱼的污染尤为突出，应该予以控制，在湖泊保护区范围内应限制网箱养殖，鼓励推广自然放养。而在饮用水源地一、二级保护区内禁止鱼塘养鱼。为了控制水产养殖对生态环境造成的污染，目前主要通过生化方法消解氨氮、采用科学配制饲料及投喂技术、推行健康养殖观念、减少用药带来的污染等综合措施。

（4）湖库污染底泥堆积较厚的局部区域，鼓励采用精确疏浚技术进行疏挖；合理划定疏浚区域范围、确定疏浚深度，综合设计，分步实施，严格监控；采取有效方式处理堆场余水，避免造成二次污染，鼓励底泥资源化利用。

底泥是水体中污染物的主要蓄积场所，也是水体二次污染的潜在污染源。在湖泊环境发生变化时，底泥中的污染物会重新释放出来进入水体。即便污染水体的外源得到了有效控制，由于内源污染负荷的存在，仍有可能使水体水质长期得不到改善。因此，对于污染水体的治理措施，一般是外源污染基本得到控制以后，采取工程措施清除污染底泥。对浅水湖泊，尤其是城市附近污染底泥堆积的局部重污染水

域，鼓励精确疏浚。精确疏浚技术主要包括方案制定、底泥疏挖工艺、污染底泥处置及干化等内容。对于深水区域含污染物量大的底泥，底泥污染控制技术主要有原位覆盖技术、原位钝化技术等。

（5）对湖库藻源性内负荷，鼓励采用高效、低耗的物理导藻和捞藻技术，及应急、快速除藻技术，确保饮用水源地安全和旅游风景区景观效果。藻类收集后应进行统一处置，鼓励资源化利用。

近年来，太湖、滇池、巢湖蓝藻水华现象频频暴发，大型富营养化湖泊在短期内藻类水华难以消除，应针对其水华发生情况与浓度，开展有针对性的对策。针对高浓度蓝藻水华，修编后的技术政策提出针对富营养化湖库高中浓度藻类水华，采用高效、低耗特点的物理导藻和捞藻技术，以满足大型湖泊在水质未得到明显改善情况下，实现局部水域（如饮用水源地、旅游区沿湖景观区等）应急、快速除藻的需求；针对低浓度藻类水华，可采用富集与打捞、水质强化净化与鱼类调控藻源性内负荷等生态控制技术，有效控制藻类水华，削减藻源性内负荷。

（6）对草型湖泊或单一水生植物大量生长的湖泊，鼓励对水生植物进行定期收割并资源化利用，防止沼泽化。对水草腐烂水体及时采取应急措施防治污染。

针对草型湖泊或单一种水生植物大量生长的湖泊提出了具体措施，应对湖泊内水生植物进行维护管理，通过在秋季植物收获时期，对水生植物进行适当收割，调控水生植物生物量，以增加湖泊污染物质输出量。

6.3 修复富营养化湖库

本技术政策将湖库及流域生态修复分为湖库水体生态修复、入湖河流及河口生态修复、湖滨带生态修复、缓冲带生态修复、陆生生态修复五方面，分别提出其修复对策。

（一）湖库及流域生态修复包括陆生生态修复、缓冲带生态修复、湖滨带生态修复、入湖河流及河口生态修复及湖库水体生态系统修复。

界定了湖泊及流域生态修复的主要内容，比原技术政策增加了缓冲带生态修复，并且条理、逻辑更清晰。目前我国湖泊生态破坏的现状包括：由于开垦山地为农田，

导致的陆地生态系统破坏;由于人为侵占和污染导致的入湖河流水质和生态的破坏;由于围湖造田、养殖或建直立防洪堤岸而造成的湖滨缓冲带生态系统破坏;由于湖内不科学、无序收割水草、网箱养鱼、水质恶化等造成的湖内水生植被破坏。根据我国生态破坏现状,将湖泊流域划分成四个类型的生态带,即侵蚀区(包括山区、半山区)、入湖河流及河口区、湖滨缓冲带(缓冲带及湖滨带)以及湖内生态系统。通常对于湖库,在进行污染源治理的同时,必须对流域进行生态系统恢复与重建(见图 6-1)。因此修编后的技术政策提出湖库及流域生态恢复内容包括:陆生生态修复、入湖河流及河口生态修复、湖滨缓冲带生态修复、湖库水体生态修复。

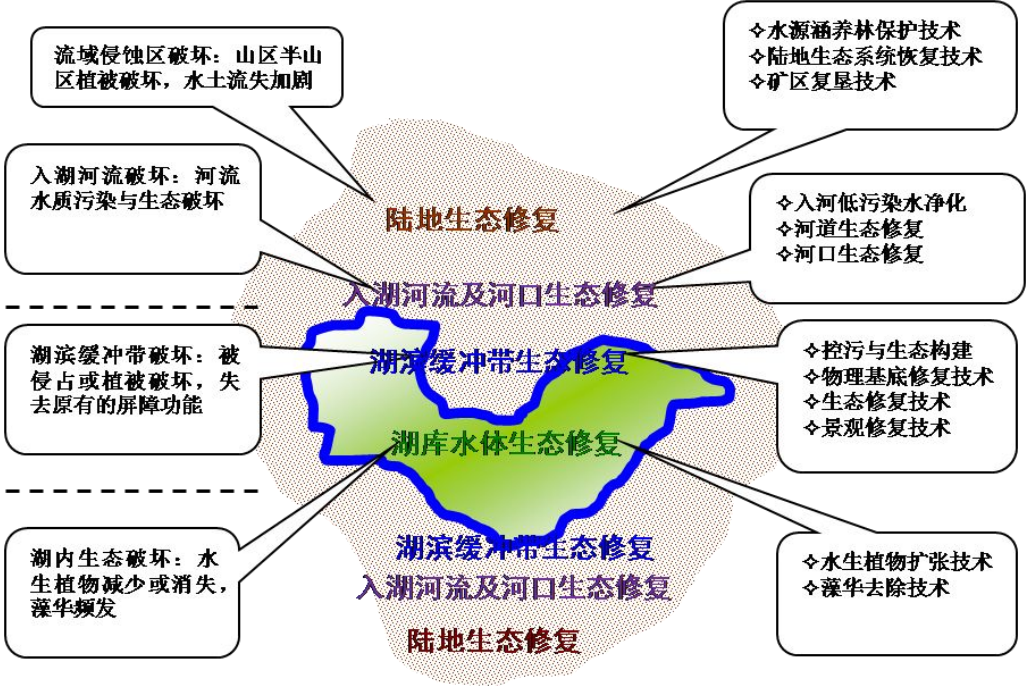


图6-1 湖泊流域“一体”生态修复主要内容

(二) 湖库生态修复以水生态系统健康为目标, 修复水生态系统的功能, 恢复生物多样性, 增加系统稳定性。

湖库生态系统修复指通过一系列保护(与调控)措施将已经退化的水生态系统修复至能够长期维持稳定的水平, 弥补已退化的不合理的生态系统结构, 减轻其影响。水生态系统恢复目标是通过模仿一个自然的、可以自我调节的并与所在区域完全融合协调的系统, 从而最大限度地减缓水生态系统退化的程度, 使系统恢复到可以接受的、能长期自我维持的、稳定的状态水平。

（三）根据湖库水生态系统受损状况，采取相应的修复措施。严重失衡失稳的水生态系统，采取人工生态重建；部分受损的水生态系统，采取人工协助修复；生态系统尚健康的湖库，以生态保育和养护为主。

修编后的技术政策根据湖库内水生态系统破坏或受损状况，提出不同的修复措施。针对严重失衡失稳的水生态系统，进行人工生态重建；针对生态破坏但尚有一定回复力的水生态系统，进行人工辅助修复；针对生态系统健康水质优良的湖泊，以湖内水体的保育和养护为主。

（四）湖库水体生态修复

（1）筛选确定水生植被修复的先锋物种，优化配置水生植物群落，谨慎引进外来物种。加强日常管理与维护，增强修复系统的稳定性，预防水生植物腐烂导致的二次污染，鼓励大型水生植物资源化利用。

水生植物在湖泊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，会大大缓解水体富营养化进程。因而在湖泊富营养化治理工程中恢复水生植物被认为是可取且有效的手段。但随之而来的问题是，在吸收了大量的营养盐的植物体在植物死亡后面临着死亡分解的过程。生长过程中吸收的营养盐又会在这一过程中被释放出来。一般水生植物的生长和死亡以及之后的分解阶段会有明显的季节规律，因此从生长阶段的吸收至死亡后的释放，是具有时空特性的营养盐库的积累和释放过程，而不是简单的营养转移。因此，必须对湖泊内水生植物进行维护管理，要对水生植物进行适当收割，调控水生植物生物量，以增加湖泊污染物质输出量。

大型水生植物在湖泊系统的去污机制中发挥着重要作用，植物的生物量直接影响到水质净化效果的好坏，氮、磷、重金属等元素可通过水生植物的人工收割来移除的。但是，水生植物生长旺盛，形成的生物量很大，如不及时处置，收获后的水生植物将会产生二次污染。因此需要合理利用大型水生植物资源，可制备肥料，生产饲料等。

（2）鼓励湖库鱼类种群与渔业结构的调控，通过土著鱼类人工驯养、繁殖和增殖场建设、外来鱼种控制、渔业综合强化管理，改变不合理渔业结构，恢复土著

鱼类群落。进行人工放流，调控湖库水生动物结构。

鱼类为湖泊生态系统食物链的顶级消费者，湖泊渔业与湖泊生物群落结构、营养物质水平等密切相关并相互影响，随着湖泊富营养化趋势的加剧，渔业与富营养化的关系备受关注。因此需要重视湖库鱼类种群与渔业结构的调控。建立完善的外来鱼种控制与土著鱼类的保护方面的法律法规，对新的外来物种的引入建立风险评估体系、对已入侵的外来物种的控制行动做出规定、对土著种的保护与开发利用做出规定，同时加强宣传力度。加强对土著鱼种保护与恢复、外来鱼种控制。建议可通过建立养殖场，以土著鱼类为对象进行人工驯养、孵化和培育，对土著鱼类繁殖、增殖后进行土著鱼类放流。

（五）入湖河流及河口生态修复。解析入湖河流沿程污染源，采取适当的污染源控制和治理措施；鼓励利用入湖河流小流域内的水库、湿地及其他坑塘等，建设前置库、塘坝湿地等，截留与净化入河污染；实施河口生态修复，促使河湖水质衔接。

入湖河流是由清水产流区、清水养护区、河口修复区组成的有机整体，各个区既紧密联系又相互作用，如清水产流区的生态环境状况直接影响清水养护区、河口区的水质与生态系统。进行入湖河流治理与修复时，应首先要分析河流的污染源，进行水质沿程变化调查，分析主要环境问题，找出污染症结所在；划定出“五个重点”：重点片区、重点控制单元、重点污染源、重点控制指标、重点控制节点；应用入湖河流清水产流机制修复理念对河流小流域进行分区，对各区的污染源进行解析，提出分区及全流域系统的治理思路和方案。

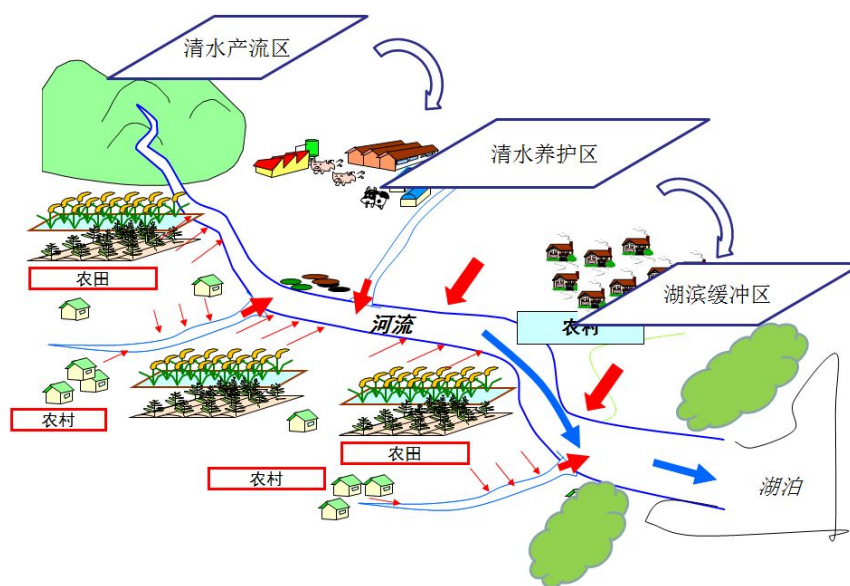


图6-2 入湖河流清水产流机制修复思路

入湖河流生态修复对策应包括河流陆域和水体两部分。恢复河流水体生态系统，包括建立“多自然型河流”的物理结构，还河流以空间；恢复河流滨岸带生态恢复和浅水区水生植物生态恢复，滨岸带是巨大的污染物的累积场所并具有净化作用，同时具有消浪、生态缓冲和泥沙缓冲，恢复生物栖息场所(产卵场、生物多样性)等功能。恢复河流沿岸生态系统，保护入湖河流涵养区及上游的森林植被，防止营养物质的过多流失，减少非点源的污染物入湖量有重要意义。入湖河流生态修复技术主要有：河道增氧曝气技术、生态浮床技术、生态复合填料技术、河道生态砾石床、河道生态堤岸修复、以污泥作基底的直立堤岸植物修复技术以及河流滩潭水质净化技术等。

(六) 湖滨带生态修复

(1) 湖滨带生态修复指湖库水陆交错带的生态修复，其核心区为湖库高水位与低水位之间的变幅区。湖滨带生态修复的基本目标为：修复基底的稳定性与多生境，建立过渡带结构、恢复动植物群落及其多样性、恢复生态及景观功能，形成湖库保护的生态屏障。

修编后的技术政策提出了湖滨带的范围以及基本目标，较原技术政策更全面、具体。湖滨带是湖泊的水陆生态交错带，指湖泊最低水位线到最高水位线之间水位

变幅带，是湖泊保护的最后一道屏障，是健康的湖泊生态系统的重要组成部分。

(2) 湖滨带是湖泊生态系统的组成部分，已占用的村落、农田与鱼塘等应逐步拆迁并进行生态修复。

修编后的技术政策明确湖滨带的村落、农田应逐步退出，强调需全面进行生态修复。

(3) 湖滨带生态修复包括生境修复、生物修复及生态系统结构和功能恢复等。生境修复应综合考虑地质、地形、地貌等物理基底设计及水质改善；生物修复应考虑生物种类选择、生物群落结构设计、节律匹配设计和景观结构设计等。湖滨带生态修复中，应尽可能维持较大的过渡带规模，发挥拦截、过滤和净化功能。

根据湖滨带生态修复要求及功能定位，进行湖滨带生态修复时应遵循因地制宜、优先解决突出问题、以自然保育为主、人工修复为辅、植物配置优先考虑使用土著物种、从长远考虑可操作性、实用性和便于实施等原则。可采用的技术有湖滨带生境修复技术、生物修复技术、湖滨带生态系统结构与功能恢复技术等。

(4) 加强日常维护与管理，调控湖滨带内水生植物群落，清除暴发性物种，打捞植物残体，维持生物多样性，鼓励水生植物资源化利用。

目前，已实施的湖滨带建设工程，取得了良好的生态与工程效果，但是如果对湖滨带大量生长的水生植被不进行及时科学的管理，会对湖泊水环境产生一定的负面影响。因此湖滨带水生植物的维护管理实际上是湖泊生态修复的后续工程和长效运行维护的内容。湖滨带运行管理方案包括湖滨带日常维护与管理、水生植被系统完善与修复、水生植物控制与资源化三部分。湖滨带运行管理以养护为主，湖滨带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。同时湖滨带内存在的垃圾，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湖滨带水生植物正常生长的主要措施，其主要包括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垃圾清理。水生植被系统完善与修复指对于生物量较小、物种单一的湖滨带区段，主要采取水生植物保护与物种多样性优化工程措施，提高物种多样性，保证湖滨带植被正常生长；对于生物量适中、生长状况良好的湖滨带区段，应进行水生植物保护，加强日常管理，辅

助水生植物收割；对生物量小或是植物物种单一的湖滨带区段，实施物种多样性优化措施，增强其生态系统的稳定，维持其生态功能的正常发挥。水生植物控制与资源化可通过收割移除部分营养盐。

（七）缓冲带生态修复

（1）因地制宜划定缓冲带，最大程度削减缓冲带内的人为干扰，恢复缓冲带的结构、功能与景观，形成湖滨带外围的生态屏障。

近年来，随着我国湖泊保护和治理工作的加强，湖泊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初步的研究，构建湖泊缓冲带在我国湖泊保护与治理中越来越受到重视。因此修编后的技术政策提出了湖泊缓冲带的概念、内涵。缓冲带是湖滨带以外（水体最高水位线以上）的陆向辐射带，是湖滨带重要保护圈。缓冲带与湖滨带共同构成了一个湖泊的水生系统与陆生生态系统生态过渡带（见图 6-3）。因此缓冲带、湖滨带及湖泊水体之间是唇齿相依的关系，没有缓冲带健康的生态系统对污染物的削减，湖滨带的生态系统将极易受到破坏，难以发挥其对湖泊的保护屏障作用。目前，很多湖泊的缓冲带或被临时建筑物侵占，或被垦殖为农田或鱼塘，多为农田或强人为干扰区，造成污染物大量入湖；人为侵占与干扰使水陆间的自然过渡带消失；湖泊缓冲带急需整治。健康的湖泊缓冲带可发挥良好的生态功能、环境净化功能与景观功能，充分体现其作为保护湖泊的最后一道天然屏障的重要作用，同时可为人类生产生活提供可再生资源，促进建立人与自然、经济与环境和谐的可可持续发展模式。

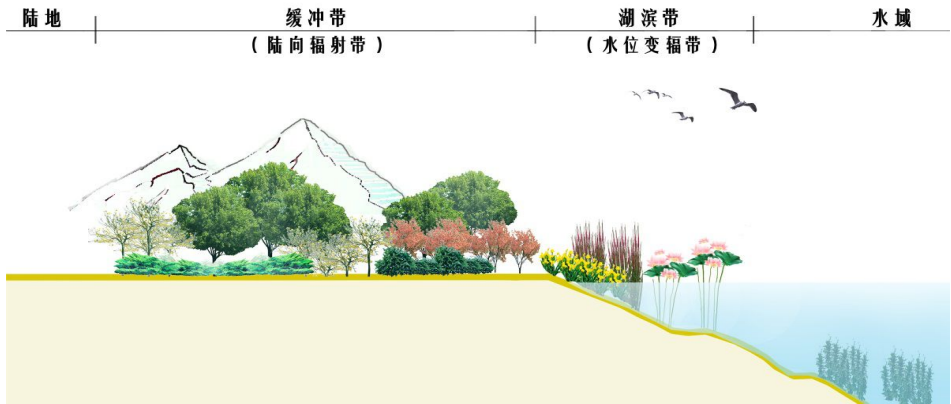


图6-3 缓冲带与湖滨带关系示意图

(2) 缓冲带分为内圈和外圈，内圈为严格控制污染的生态保护带，外圈为经济与环境协调发展的绿色经济带。对缓冲带内圈的农田、房屋、鱼塘、景点等实施清退，构建多自然型生态缓冲带；对缓冲带外圈，实施清洁田园、绿色村庄及生态农业建设，形成环湖污染控制带。根据地形地貌、土地利用现状、生态类型等对缓冲带进行分区分段，采取相适宜的技术与工艺因地制宜构建湖库缓冲带，同时充分考虑景观效果。

缓冲带的生态构建应良好结合湖库岸带功能与环湖发展规划，将缓冲带划分为内、外两个圈层和若干个区域，其中内圈为法定最高蓄水水位线以上一定陆域范围内，构建为生态保护带，其余部分构建为外圈绿色经济带（见图 6-4）。本着先近后远、先急后缓的原则，重点解决问题最为突出的内圈，对外围污染进行拦截，清除人为干扰，净化低污染水，建设环湖生态防护林带，构建生态保护带；对范围较广的外圈进行污染综合治理和绿色、循环经济的建设，构建绿色经济带。最终形成结构完整、功能完备的湖泊生态缓冲带，进一步提高湖泊及其流域生态系统的健康水平，促进流域社会—经济—生态复合系统的健康可持续发展。

缓冲带的治理思路是在缓冲带范围内，实施建筑物拆迁、退田还湿等工程措施；在此基础上，构建由灌草带、多自然型乔草带、生态透水植被带、绿篱带四圈组成的缓冲带生态系统，其外侧区域为外围污染控制带，治理与控制外围村落和农田污染。

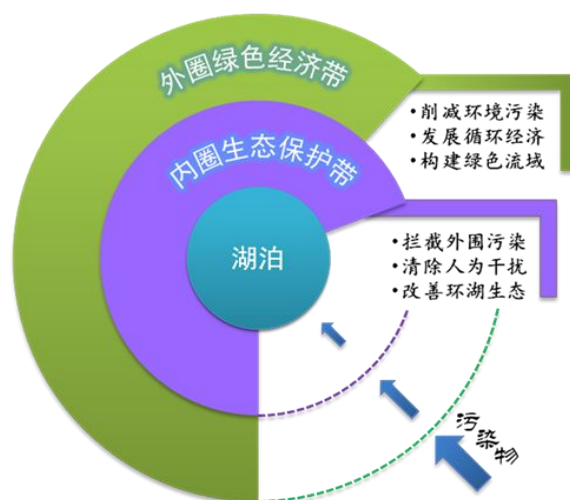


图6-4 湖泊缓冲带构建思路图

（八）陆生生态修复

（1）陆生生态修复包括湖库上游山地侵蚀区、矿山、农作区及水源涵养林等的修复。目的是修复水源涵养林，控制水土流失，恢复流域自身的水源涵养能力，保障源头清水产流。

针对湖泊陆地生态环境脆弱、由于矿山和农作物等造成森林覆盖率低、水土流失严重等环境问题，可通过林地禁封、适地造树、营造特色景观林、经果林等，实施环湖面山林业生态建设；通过退耕还林、难造林地、石漠化地工程造林、宜林荒山工程造林、低效林改造、绿色旅游通道等生态工程，提高陆地森林覆盖率，增强径流区水源涵养能力，保障源头清水产流。

（2）山地侵蚀区生态修复按实际情况采用自然修复或人工修复。矿山生态修复，做好表土管理，控制水土流失，并进行植被恢复。应加大水源涵养林保护力度。加强流域内湖荡湿地、水库坑塘的修复，通过生态修复工程，发挥对陆域径流的截留与净化作用。

修编后的技术政策在原基础上进行了总结归纳，并补充提出了针对陆域中的库、塘、湿地分布情况，通过有效利用流域内湖荡湿地、水库坑塘的修复，建设生态修复工程，使其发挥对流域径流的截留与净化作用。

6.4 流域综合管理措施

随着湖泊新问题的出现和湖泊管理水平的不断提高，当前，我国湖泊水环境管理将进入流域综合治理新阶段，客观上迫切需要建立相应的保障措施。本技术政策从管理体制、法律与政策、监控预警等方面提出了相应的措施。

（一）鼓励通过建立综合协调机制，加强流域内各政府部门的联系、协调与合作，有效治理湖库流域水环境问题，鼓励公众参与。

湖泊治理与保护牵涉多个政府部门，目前不同地区、不同部门，因在湖泊保护、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，影响了湖泊流域的综合管理。因此需建立流域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、上下游之间、治污责任主体之间横向、纵向的突出

矛盾，促进流域水生态环境系统的整体恢复和改善。同时环境教育和公众参与是湖库保护与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，才能真正实现对湖库的保护。

（二）加强湖库流域信息共享平台的建设，积极推进对湖库流域数字化管理，逐步实现对湖库流域水质、水量、水生态的联合调控。

鼓励有条件的重点流域构建富营养化防控信息平台，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，形成流域生态环境数据中心；建立入湖河流和湖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，形成流域环境与生态综合管理信息平台，实现数据的综合分析利用并提供管理决策支持的功能，建立跨部门、跨地区信息共享与维护运行机制。

（三）加强流域监控预警及应急，鼓励构建湖泊蓝藻水华监测预警体系，特别是在具有饮用水功能的湖库实现实时、精确监测与预警蓝藻水华的发生。鼓励综合利用卫星遥感、自动在线和人工监测以及计算机模型模拟等主要监控技术构建水陆空三位一体的监测预警系统。综合研究环保、水利(务)以及气象监测(观测)等信息，对蓝藻水华的发生提出预警机制并制定分级应急方案，建立必要的备用水源地和应急饮水点取水预案。

流域的监控预警与应急是保障湖泊生态安全的必要措施之一，是降低流域污染风险和重大污染事件的主要手段。修编后的技术政策针对湖泊流域监控预警及应急方面提出了相关的方法与措施。目前，随着我国蓝藻水华现象频频暴发，湖泊蓝藻水华监测技术亟待开发。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，我国也开展了湖泊蓝藻水华监测预警技术的研发与应用。建立了湖泊藻类生命原位观测技术、水华成灾监视及多媒体演示技术，并在太湖流域得到了应用，取得了显著的效果。因此建议鼓励构建湖泊蓝藻水华监测预警体系，实现实时、精确监测与预警蓝藻水华的发生，为政府科学决策提供依据，降低水华发生

带来的危害。此外，有效的管理方案可保障蓝藻水华监测预警平台能够得以顺利推广、可靠运行及正常应用，提高工作效率，有效降低和节约成本，保障各种信息传递快捷畅通。建议可对蓝藻水华的发生提出预警机制并制定分级应急方案，建立必要的备用水源地和应急饮水点取水预案。

（四）鼓励支持湖库富营养化控制治理和修复技术的综合研究，建立新技术开发与推广体系。

解决湖泊富营养化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，需要针对湖库流域，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，鼓励发展在湖库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。

（1）在污染源系统治理方面，鼓励源头减排的产业结构优化与调整技术、清洁生产技术和农田种植结构调整与控碳减氮技术；鼓励污染源工程治理减排的工业废水提标改造技术、与农村经济发展水平相适应的农村村落污水处理技术研究及运用、农田面源污染控制技术研究及示范、禽畜养殖场的清洁生产与技术示范、垃圾收集与处理处置系统的研究和应用、污泥的无害资源化与资源化处理技术。鼓励开展湖泊流域低污染水深度净化技术及入湖河流水质强化净化技术的研究与示范应用。

（2）在内源污染防治方面：鼓励开展湖泊污染底泥原位处理技术研究、有毒有害与高氮磷污染底泥环保疏浚技术的研究和疏浚关键设备的研制、湖泊底泥资源开发利用研究；鼓励开展蓝藻水华收集与浓缩设备的研发、蓝藻处理与处置技术的研究与应用、中低浓度蓝藻水华浓聚与处理处置技术研究。

（3）在水生生态修复方面：鼓励开展湖泊缓冲带划定与构建技术研究、多样性湖滨带生态修复技术研究与应用、湖滨带维护管理技术研究；鼓励开展水生生物恢复与资源化利用技术的研究与应用；鼓励开发针对不同地区、类型、功能湖库的水生生物资源化利用技术及相关装置。

（4）鼓励水华暴发应急处理技术及装置的研究，水源地水质应急保障技术的研

究与应用，湖泊感知系统构建技术研究与应用示范。

(5) 鼓励湖库富营养化与蓝藻水华发生机理、湖泊生态修复机理、污染治理技术评价与筛选、污染治理技术集成、湖库生态环境综合管理系统的研究。

(6) 鼓励针对退耕还湖（林、草）、休耕（养、捕）等开展农业生态保护补偿政策研究。鼓励开展陆生生态修复、林业结构优化与水土流失防治技术的研究与应用。

为体现“分类型、分区域保护”的治理思路，本技术政策根据不同湖库特征、污染源分布特点，结合不同湖库流域的自然条件，提出了不同类型湖库分类治理措施。

（五）针对不同类型湖库污染程度、流域开发强度、污染物来源、生态系统特征等，从强化污染源工程治理、实施生态修复，改变居民生活方式、转变经济发展模式、调整社会发展布局等层面，系统地实施湖库流域富营养化控制和管理策略。

（1）流域人类活动少，处于贫营养状态，水生态系统健康的湖库，以预防和保育为主，合理规划流域的发展布局，控制流域的经济和人口规模，保持自然状态，保障优质饮用水源地功能和生态功能。

针对流域人类活动少、处于贫营养状态、水生态系统健康的湖库，以预防和保育为主，合理规划流域的发展布局，严格控制流域的经济规模，保持流域自然状态，保障优质水源功能和生态功能。通过工程或管理措施，调整生物生境，调节陆地生态系统和湖泊水生生态系统之间的物质与能量流动，实现流域“清水产流”和“清水入湖”。

（2）流域人类扰动较大，处于中营养或轻度富营养化状态，水生态系统基本健康的湖库，以生态修复和环境管理为主，限制人类活动干扰，维护自然生态功能。

针对流域人类扰动较大、处于中营养或轻度富营养化状态、水生态系统基本健康的湖库，以环境管理和生态修复为主，限制人类活动干扰，维护综合功能。在实施控源、清水产流机制修复的同时，配套强化管理措施。

（3）流域污染负荷重，处于富营养状态，水生态系统破坏严重的湖库，以综合治理和流域产业结构调整为主，在控源减排基础上，逐步恢复湖泊生态功能。

针对流域污染负荷重、处于富营养状态、水生态系统破坏严重的湖库，以湖泊

水环境承载力为基础，主要污染物入湖总量控制为核心，以综合治理和流域产业结构调整为手段，在控源减排基础上，逐步恢复湖泊生态功能。尤其是草型富营养化湖泊在控源减排、生态修复的同时，要保证湖泊的生态需水，防止沼泽化；深水湖泊沉积速率快，水力交换时间长，要实施最严格的控源减排和生态修复策略，保证良好水质。