

和谐水环境： 面向生态可持续未来的水环境综合治理

2023年9月14日

和谐水环境：

面向生态可持续未来的水环境综合治理

林毅峰

上海勘测设计研究院有限公司 总工程师



和谐水环境： 面向生态可持续未来的水环境综合治理

上海勘测设计研究院有限公司
2023年9月14日



李应辉

上海勘测设计研究院有限公司 生态环保设计研究院生态一所所长

从事水环境治理工程咨询、设计工作10余年，在河湖生态修复、湿地生态净化、给排水相关具有丰富的科研、设计、咨询经验。

溧河生态农业示范区建设开发 -尾水湿地方案策略及设计思考

上海勘测设计研究院有限公司
李应辉

目录

- 项目概述
- 湿地设计
- 建设成效

- 习总书记在合肥主持召开扎实推进长三角一体化发展座谈会并发表重要讲话，**强调要推动长三角区域经济高质量发展，夯实长三角地区绿色发展基础，要把保护修复生态环境摆在突出位置，狠抓生态环境突出问题整改，推进城镇污水处理，在生态保护和建设上带好头。**
- 六安紧扣“高质量”和“一体化”，积极融入长三角一体化发展，为老区绿色振兴注入新的发展动力。近期组织开展《城区水环境（厂-网-河）一体化综合治理》，**可实现城区水环境治理目标。**然而，**淠河下游仍存在污水厂尾水排放等污染问题，加之上游来水不足，淠河新安渡口国考断面仍面临着超标风险。**

淠河右岸生态农业示范区工程旨在以习总书记对长三角一体化生态绿化发展要求为最高指示，进一步巩固六安市水环境治理成效，**以提升入淠河水体水环境整体质量为核心目标**，叠加拓展**生态农业、示范农业、休闲观光农业**等诉求，**打造淠河右岸蓝绿交织、清新明亮、人水和谐、城乡共荣的生态农业示范金名片**，为新时期淠淮经济带生态文明建设树立典范。



习近平总书记8月18日赴安徽淮河考察调研



长三角绿色生态一体化发展



淠淮经济带

地处六安市金安区

南望大别山，北守淮河源

临近省会合肥，六安城区北大门

金安区

东与安徽省会合肥接壤，南、西面分别与舒城县、霍山县及裕安区毗邻，北与淮南市寿县相连，处于长江与淮河之间，大别山北麓。

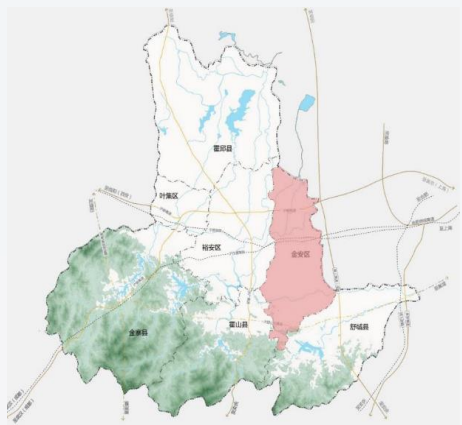
项目范围

刘庆以北，处于六安中心城区的**北部推进区-城北产业新城**，以及金安区经济开发区规划区域。

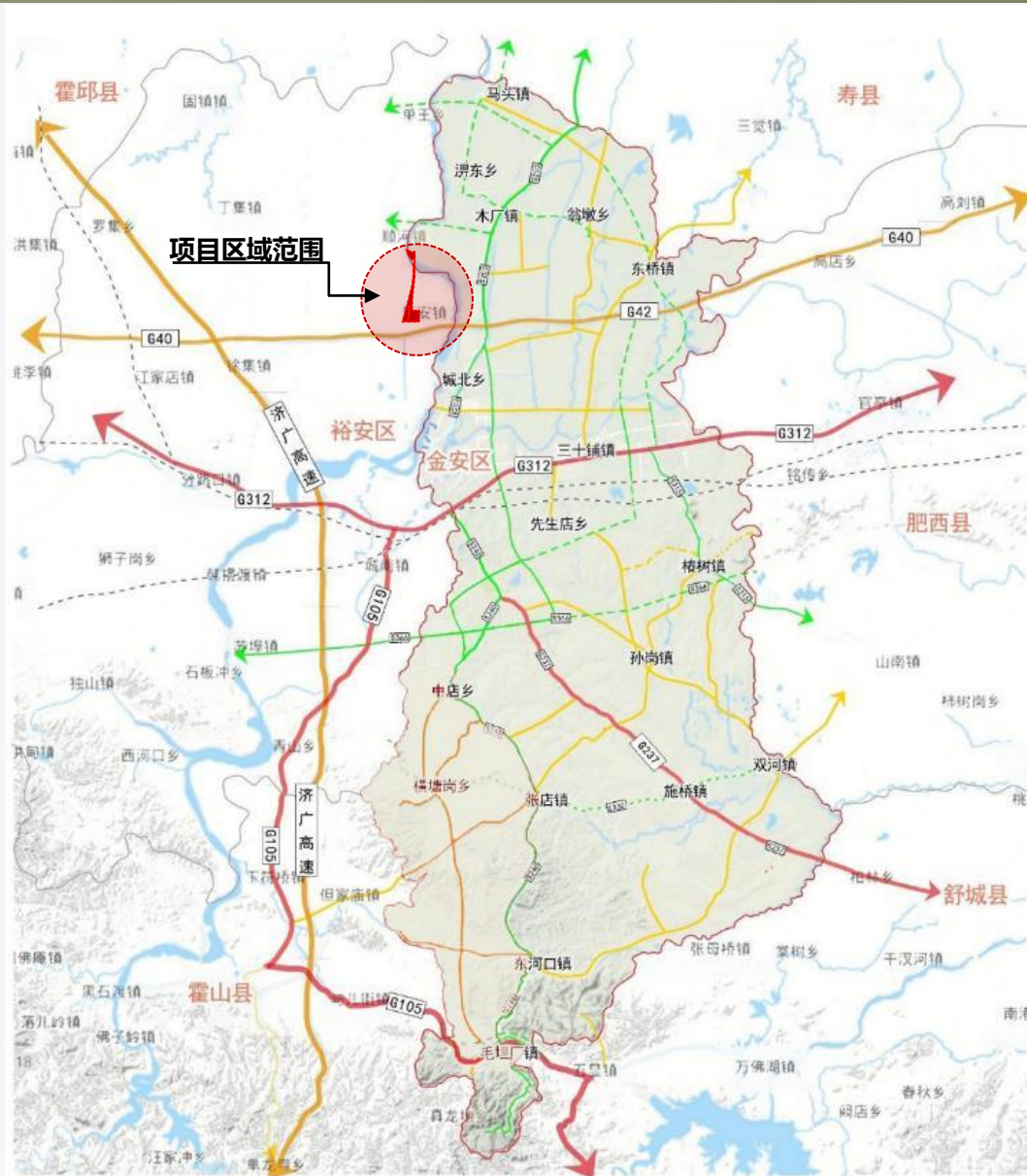
区域处于沪蓉高速下口，属于**六安北部互通进入六安城区的北大门**。



六安



金安区





漯河右岸生态农业示范区（一期）项目范围

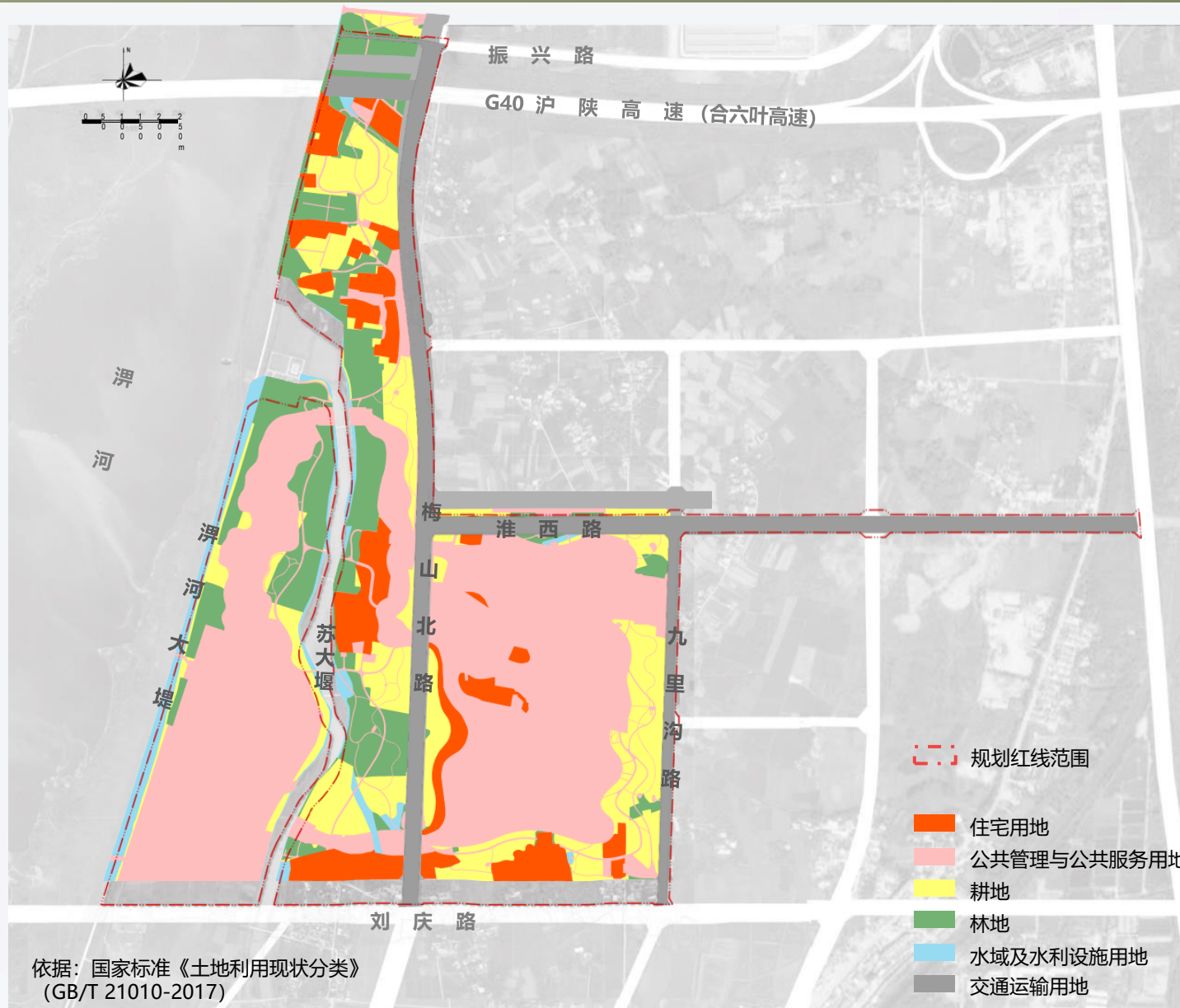
生态农业示范区一期工程及周边市政道路，**总面积178.5公顷，约2677亩**，其中：

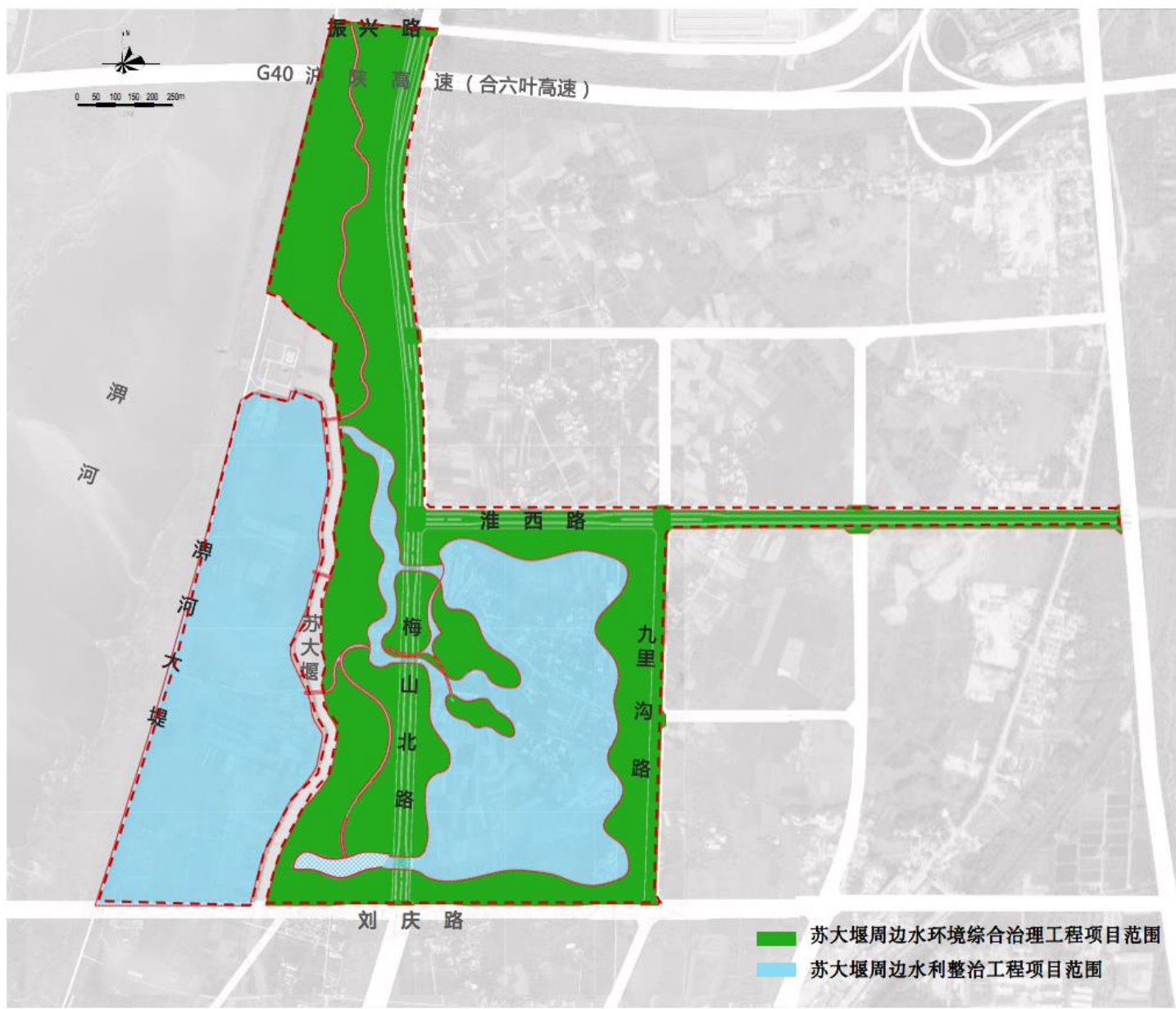
- 农业示范区一期工程四至边界为：北至振兴路、西至漯河大堤、南至刘庆路、东以规划路九里沟路为界，梅山北路为穿越场地的规划道路，**红线内面积156.3公顷，约2344亩**。
- 周边市政道路包括：**梅山北路**（刘庆路—振兴路），长度2300米，宽度45米，**淮西路**（梅山北路—迎宾大道），长度1892米，宽度45米，**九里沟路**（刘庆路—淮西路），长度1016米，宽度30米，**红线内面积为22.2公顷**。



规划用地平衡表

序号	类型	占地面积 (ha)	占比 (%)	主要规划内容
1	住宅用地 (宅基地)	15.8	8.8%	艺术村、民宿、乡村农家乐等
2	公共管理与公共服务用地	81.6	45.7%	生态水体整治、公用设施用地, 生态科普中心、生态文明展示馆、驿站、公厕、农用道路等
3	耕地	29.3	16.4%	生态农旅、农田
4	林地	23.0	12.9%	乔木林地、竹林地等
5	水域及水利设施用地	6.6	3.8%	水工建筑、坑塘、沟渠等
6	交通运输用地	22.2	12.4%	梅山北路10.7ha, 淮西路2.9ha, 九里沟路8.6ha
		178.5	100%	





工程项目范围

苏大堰周边水利整治工程

总面积87.6公顷，约1314亩


苏大堰周边水环境综合治理

总面积90.9公顷，约1364亩

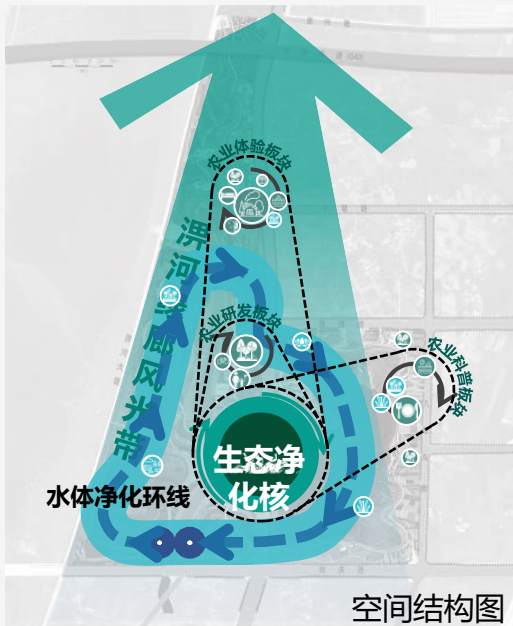
根据规划安排与资金筹措计划，**溧淮经济带溧河右岸生态农业示范区（一期）**划分为**苏大堰周边水利整治工程**、**苏大堰周边水环境综合治理工程**和**其他相关工程**，三者相互融合、无缝衔接。并且苏大堰周边水利整治工程与苏大堰周边水环境综合治理工程近期同步实施。

工程划分	建设内容	项目组成
苏大堰周边水利整治工程 (纳入PPP) 即本工程	生态水利工程	生态池塘、水生有机农业种植区、生态河道和深度净化塘（生态部分）
	科普展示工程	生态农业科普中心、农业活动开放区、农用道路、车行桥与人行桥、导览标识系统、家具系统、照明设施及配套构筑物
	绿化工程	生态池塘、水生有机农业种植区、生态河道和深度净化塘周边绿化种植
	配套基础设施工程	给排水、消防、灌溉系统
苏大堰周边水环境综合治理工程 (专项债资金)	生态净化工程	深度净化塘的土建部分
	水利工程	苏大堰节制闸、进水泵站、出水闸门（排水钢坝）、倒虹吸、溢流堰（跌水堰）
	建筑物工程	农耕文化体验中心、农业研发中心、乡村驿站、公厕
	游憩设施工程	种子塔、田园公共艺术系统及相应的构筑物
	道路广场工程	三条道路：梅山北路（刘庆路—振兴路）、淮西路（梅山北路—迎宾大道）和九里沟路（刘庆路—淮西路），三座跨水桥梁
	绿化工程	农业园路绿化、林地修复绿化
	配套基础设施工程	生态停车场、电气、自控
其他相关工程 (企业投资)	乡村艺术工程	乡村艺术馆、艺术村落
	民宿工程	林间村舍、水间村舍、王家湾村民宿

漯河右岸生态农业示范区（一期）项目通过**苏大堰周边水利整治工程**建设，可实现苏大堰上游3座污水处理厂（东城污水处理厂、东部新城污水处理厂和城北污水处理厂）尾水入漯河前的生态净化；通过**苏大堰周边水环境综合治理工程**建设，可提高区域城乡基础设施建设水平，为生态农业、生态净化的示范与工程管理提供条件；通过**其他企业投资的相关工程**建设，可开辟生态产品价值转换通道，实现乡村振兴与绿色产业的融合。



湿地净化新典范
生态农业新窗口
绿色休闲新坐标



聚合

水质提升
生境营造
蓝绿交织

联动

农业科普
农业研发
农业体验

共生

三生融合
乡村振兴
人水和谐

水体整治片区

- 1 生态池塘
- 2 水生有机农业种植
- 3 区
- 4 生态河道
- 5 面源污染净化塘
- 深度净化塘

生态田园

- 1 生态文明展示馆
- 2 乡村农家乐
- 3 生态科普中心
- 4 淮西路入口
- 5 2# 乡村驿站
- 6 水上杉林
- 7 水畔休闲餐饮
- 8 农业研发中心
- 9 3# 乡村驿站
- 10 田园儿童游乐区

艺术田园

- 1 林间村舍
- 2 艺术村
- 3 乡村艺术馆
- 4 1# 乡村驿站
- 5 生态林地
- 6 休闲田园
- 7 王家湾村花卉示范基地
- 8 田园儿童游乐区
- 9 王家湾民宿
- 10 金色沙滩

休闲田园

- 1 有机菜园
- 2 有机农小馆
- 3 研学工坊
- 4 水间村舍
- 5 生态鱼塘



1【生态池塘区】 占地面积约3.1公顷，苏大堰取水后，通过跌水阶梯进行自然复氧，进入沉淀塘及格栅进行预处理。

2【水生有机农业种植区】 占地面积约24公顷，以天然砾石为填料，尾水引入岸边填满砾石的反应池，通过通过接触沉淀、吸附、生物降解等多重作用分解污染物质，净化水质。

3【生态河道区】 占地面积约22公顷，生态河道地区依靠重力自流，由开放水面区及密植区组成，开放水面溶解氧高，密植区溶解氧低，交替形成的厌氧好氧环境促进污染物的去除。

4【深度净化塘区】 占地面积约41.38公顷，生态水利净化后水流至深度净化塘，构建水系生态系统，进行深度提升、净化。深度净化塘达标处理后将水体退至苏大堰下游。

5【生态田园区】 占地面积约23.41公顷，结合四季气候环境，大范围内种植观光粮油作物，通过不同色彩的组合展现丰富多彩的农田肌理和大地景观。

6【艺术田园区】 占地面积约26.06公顷，该片区小型农园主要功能以感受乡村艺术为主，可布置适量乡村艺术景观小品，提供浓厚的艺术田园氛围。

7【休闲田园区】 占地面积约17.14公顷，以小型综合型农园形式展开，承担乐活农业、农事体验功能。





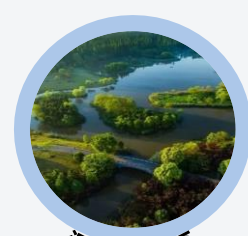
生态池塘
占地1.25公顷



生态河道
占地10公顷



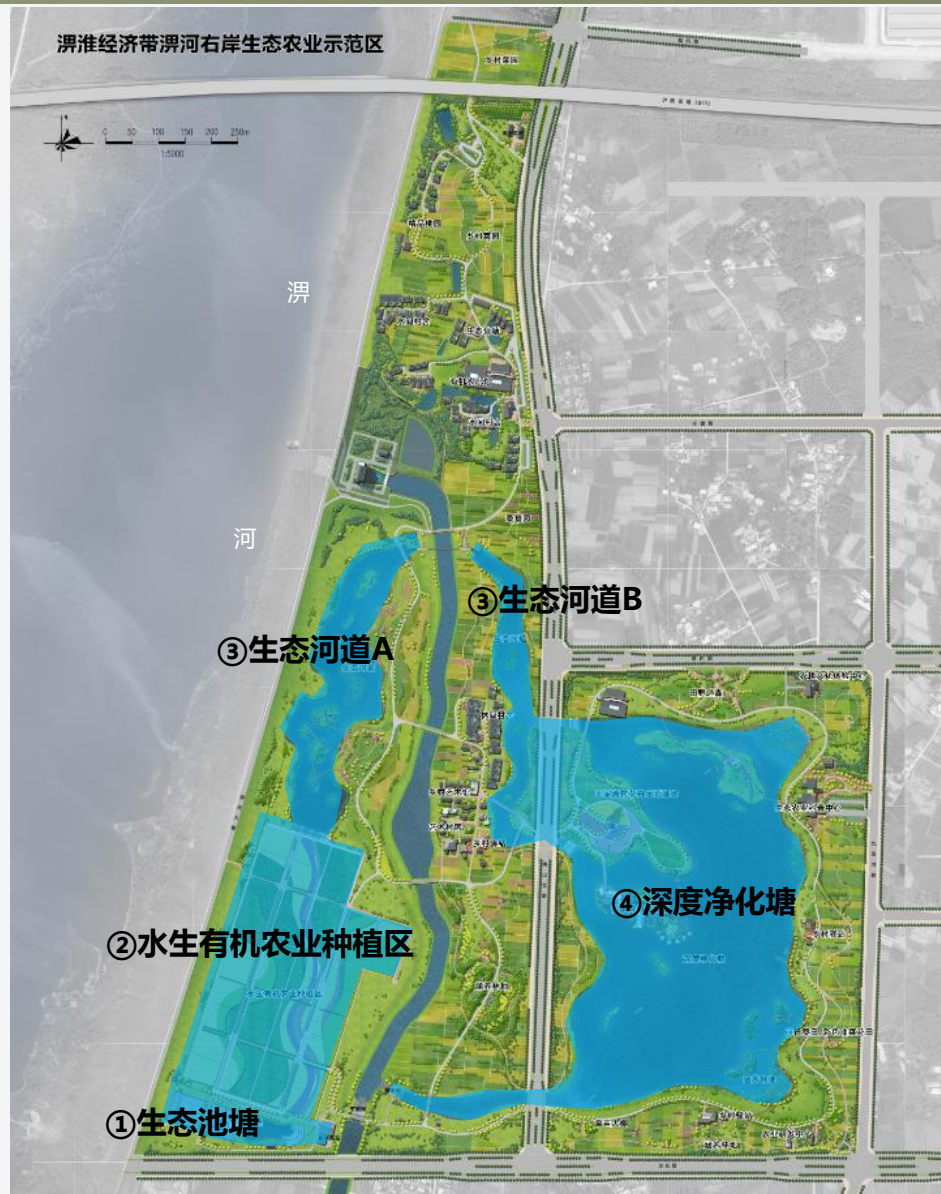
水生有机农业种植区
占地14.9公顷



深度净化塘区
占地35.25公顷

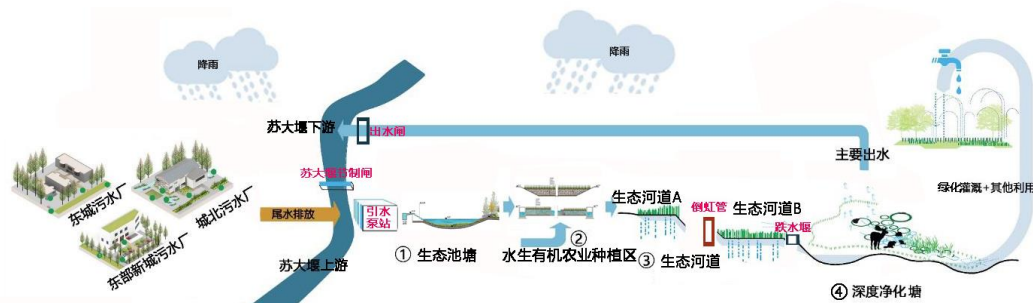
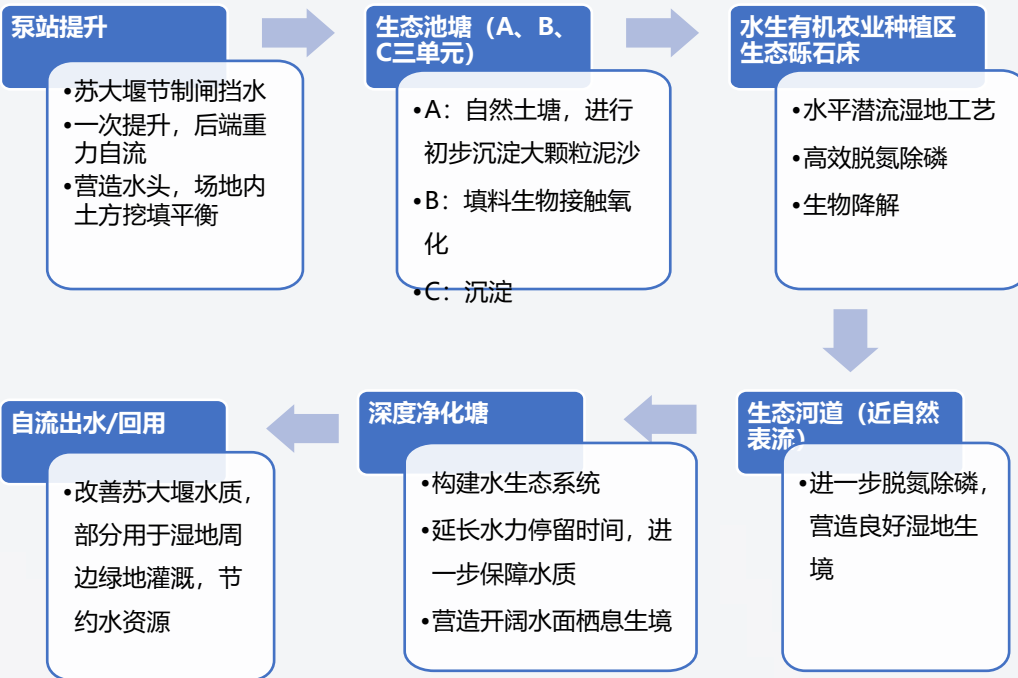
处理规模24万t/d

	进水 mg/L	出水 mg/L
COD	40	30 (四类)
NH3-N	3	1 (三类)
TP	0.3	0.2 (三类)



工艺流程

苏大堰来水主要为上游污水处理厂排放尾水，通过取水泵站从苏大堰引水，一次通过生态池塘、水生有机农业种植区生态砾石床（水平潜流湿地工艺）、生态河道（近自然表流湿地）、深度净化塘进行水质净化及提升，最终达标排放至苏大堰节制闸下游。



(1) 道路标高:

①依据整体现状地形及地块高程范围35.00~39.00m区间; ②考虑到道路横坡、雨水管道埋深等因素, 确定了该片区道路高程在37.00m以上的基本需求; ③依据预留的下穿通道净高要求及过水宽度要求(梅山北路下穿走电瓶车净空要求3.5m, 过水宽度15m, 下穿道路高程为35.00m, 以此确定桥面标高为40.20m; 南侧桥下穿路消防用车净空要求4m, 过水宽度25m, 下穿道路高程为34.50m, 确定桥面标高为41.09m。

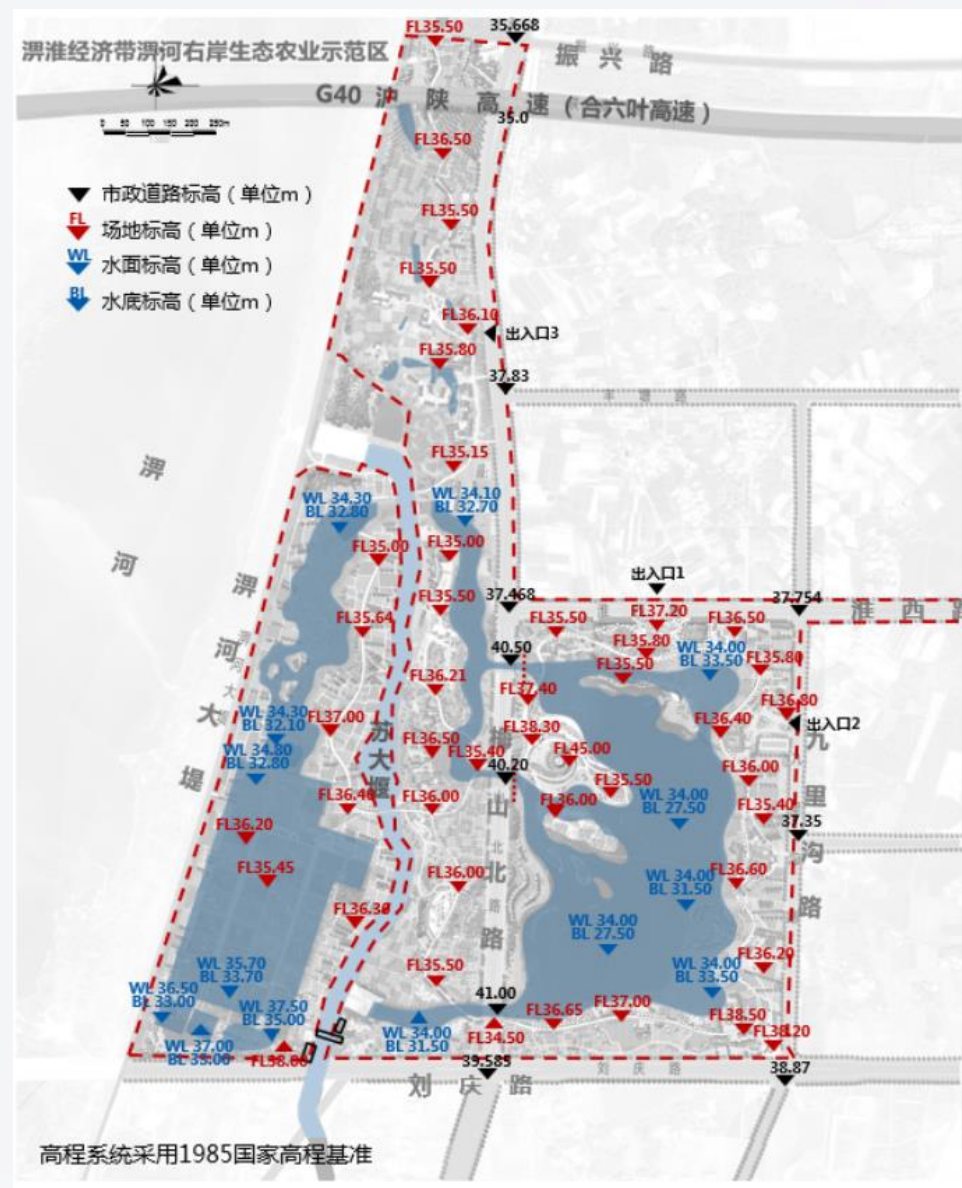
(2) 水位标高:

生态净化工艺单体高程及水位高程结合土方开挖量及运行费用综合确定, 按照取水泵站一次提升, 后段工艺重力自流的原则设计。选址范围内河道设计洪水位34.5~34.70m, 出水口河道断面设计洪水位34.69m, 河道常水位33.11m。水力高程按照常水位设计(防洪排涝工况不进水), 考虑深度净化塘出水溢流水及富余水头需求, 确定深度净化塘水位高程34.0m, 根据沿程及局部损失, 反推各工艺单元高程及水位高程。

深度净化塘的高水位按30年一遇一日最大降雨计算, 工程区外的雨水经营网汇入苏大堰, 工程区内的种植面积及深度净化塘的净雨汇入深度净化塘, 考虑蒸发下渗汇入水量21.62万 m^3 , 经二维水动力模型计算得出, 深度净化塘出口附近的设计水位比常水位高约0.8m, 故高水位取34.8m。

(3) 场地标高:

①苏大堰左岸现状场地平均高程自南至苏大堰末端为35.0~34.0m, 苏大堰左岸堤顶线标高范围约35.47~35.3m; 场地设计标高依据设计水位南高北低并考虑缓坡自然缓坡入水, 设计范围为37.00~34.80m, 因此整体抬高范围为0.8~2m。设计园路平均高程35.00m。②苏大堰右岸与九里沟路之间高程依据周边道路标高及设计水位高程, 确定高程范围为: 38.20~34.50m, 设计平均高程约36.00m(现状高程范围由南至北为39~34m, 平均高程约35.50~36.00m)。



生态池塘设计



泵站取水后，输送至生态池塘，生态池塘子项包括三个单元，分别为生态池塘A、生态池塘B、生态池塘C。其中生态池塘A起初步沉砂，生态池塘B布置填料，进行生物接触氧化，对进水进行曝气强化处理，生态池塘C起沉淀作用。

生态池塘A

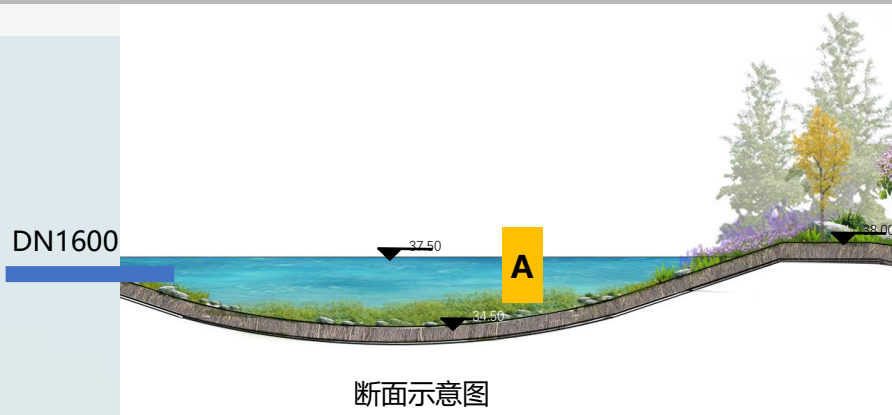
生态池塘A设计进水规模24万 m^3/d 。设计水面面积4180 m^2 ，设计最大水深2.5m，停留时间50min。

生态池塘B

生态池塘B布置弹性立体填料，池底设置盘式微孔曝气系统，通过接触氧化对进行强化预处理。平面尺寸：62.85x58.7m，有效水深：4m，有效容积：12320 m^3 ，水力停留时间：1.2h

生态池塘C

进水生态池塘B接触氧化处理后，含脱落生物膜的水体进入生态池塘C进行沉淀处理。平面尺寸：68.75x58.4m，总面积：4015 m^2 ，设计停留时间：



生态砾石床



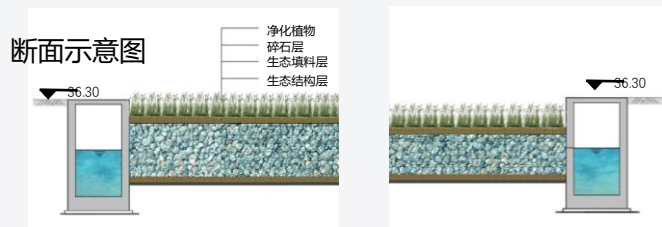
进水经过沉生态池塘强化预处理后，通过配水渠道进入水生有机农业种植区，水生农业种植区设置生态砾石床。通过基质间水平流动，接触沉淀、吸附、生物降解等多重作用分解污染物质，净化水质。水生有机农业种植区采用砾石床并联设计，实施**40组**，有效水面积共约**12公顷**。

单组设计参数：

处理规模：规模6000m³/d

有效面积：3000m²

工艺设计：表面水力负荷2m³/m².d，填料床厚度1m，水力停留时间0.2d。以砾石、沸石为主，辅助配置钢渣、陶粒。强化去除氨氮、TP。



生态砾石床单元上部设置种植层，种植净化效果好的挺水植物，以花叶芦竹、再力花、芦苇等为主，搭配以干屈菜、水生美人蕉等水生花卉品种，与其他品种间隔布置，丰富景观空间效果。种植面积约11公顷。

生态池塘和水生农业种植区效果图



水力设计

(1) 配水渠道设计

主配水渠道数量1条，断面尺寸4m \times 2.55m~4m \times 3.45m (B \times H)，有效水深2m；

支配水渠道数量4条，断面尺寸2.5m \times 2.5m (B \times H)，有效水深2m。

(2) 砾石床进出水设计

采用**配水堰**配水，配水进入**穿孔渠道及进水区**。

穿孔渠道断面尺寸1.3m \times 0.8m。

进出水区采用大粒径砾石，50~80mm，进水段长度2m，出水段1.5m。

(3) 填料区设计

填料粒径采用30~40mm，填料层有效厚度1m，**设计水力梯度1%**。

(4) 排水渠道设计

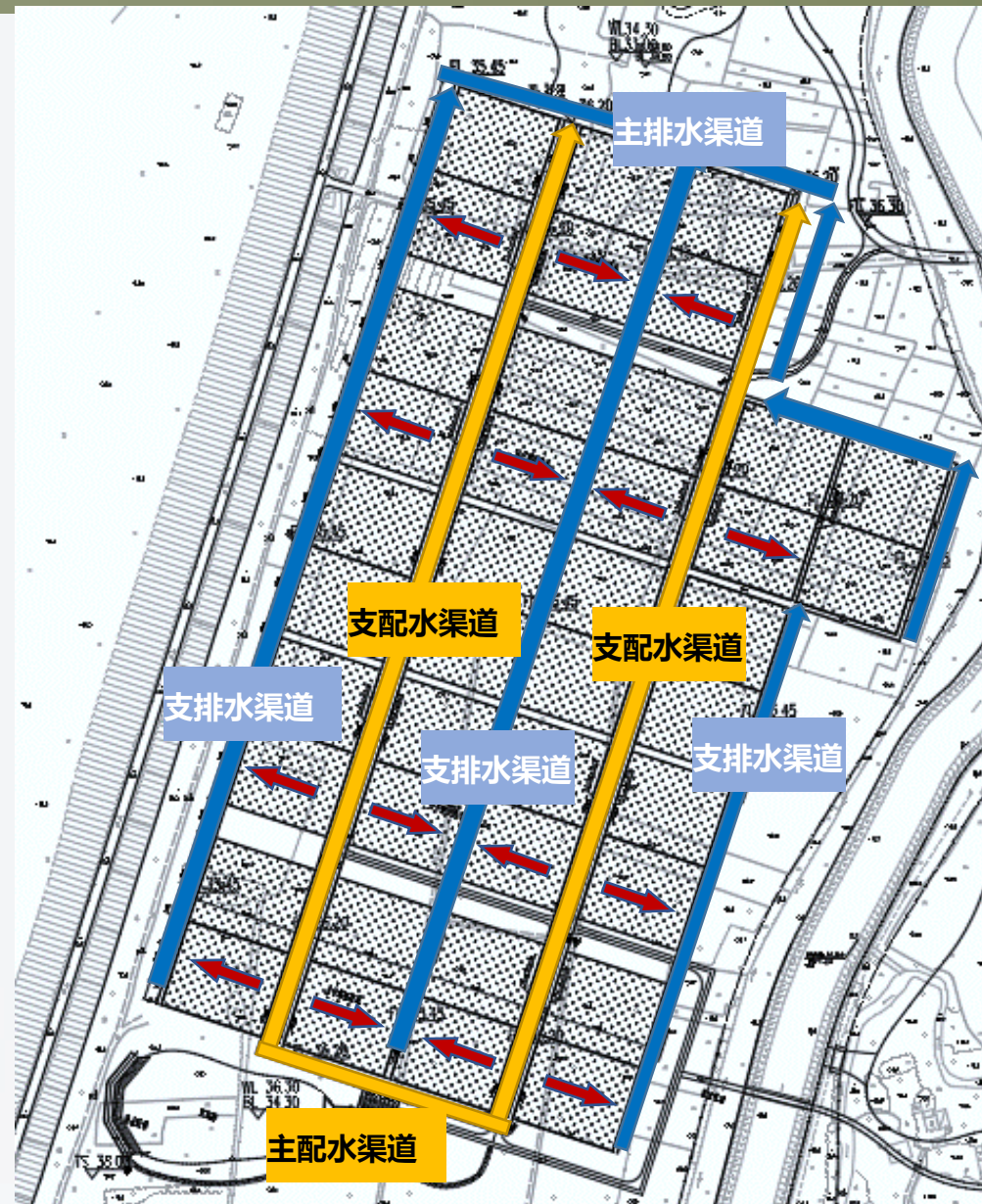
主排水渠道数量1条，断面尺寸4m \times 2.65m (B \times H)，有效水深2m；

支排水渠道数量3条，采用3种规格，断面尺寸分别为1.5m \times 2.65m (B \times H)、3.5m \times 1.85m (B \times H)、2.5m \times 1.85m (B \times H)。

主排水渠道采用**溢流堰跌水排水**。

(5) 超越、放空设计

生态砾石床**支配水渠道**设置超越闸门，**主排水渠道**设置放空管闸门及应急排空闸门。



水生有机农业种植区生态砾石床

水生有机农业种植区生态砾石床植物配置

生态砾石床单元上部设置种植层，种植净化效果好的挺水植物，以花叶芦竹、再力花、芦苇等为主，搭配以干屈菜、水生美人蕉等水生花卉品种，与其他品种间隔布置，丰富景观空间效果。



千屈菜



水生美人蕉



再力花



狭叶香蒲



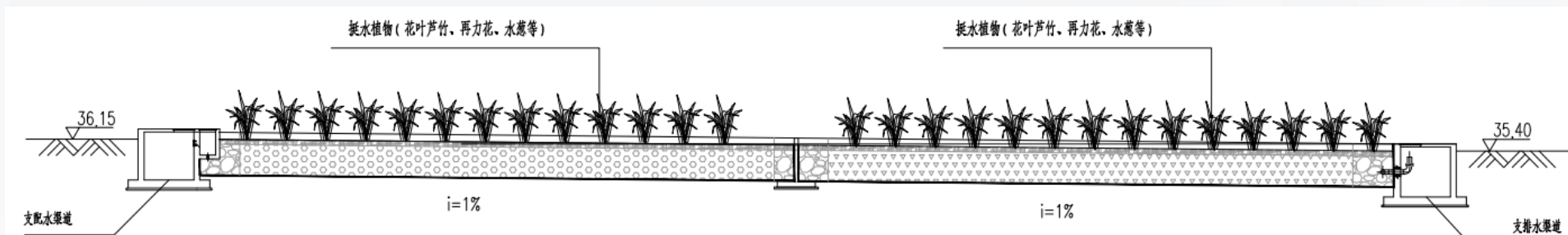
花叶芦竹



芦苇

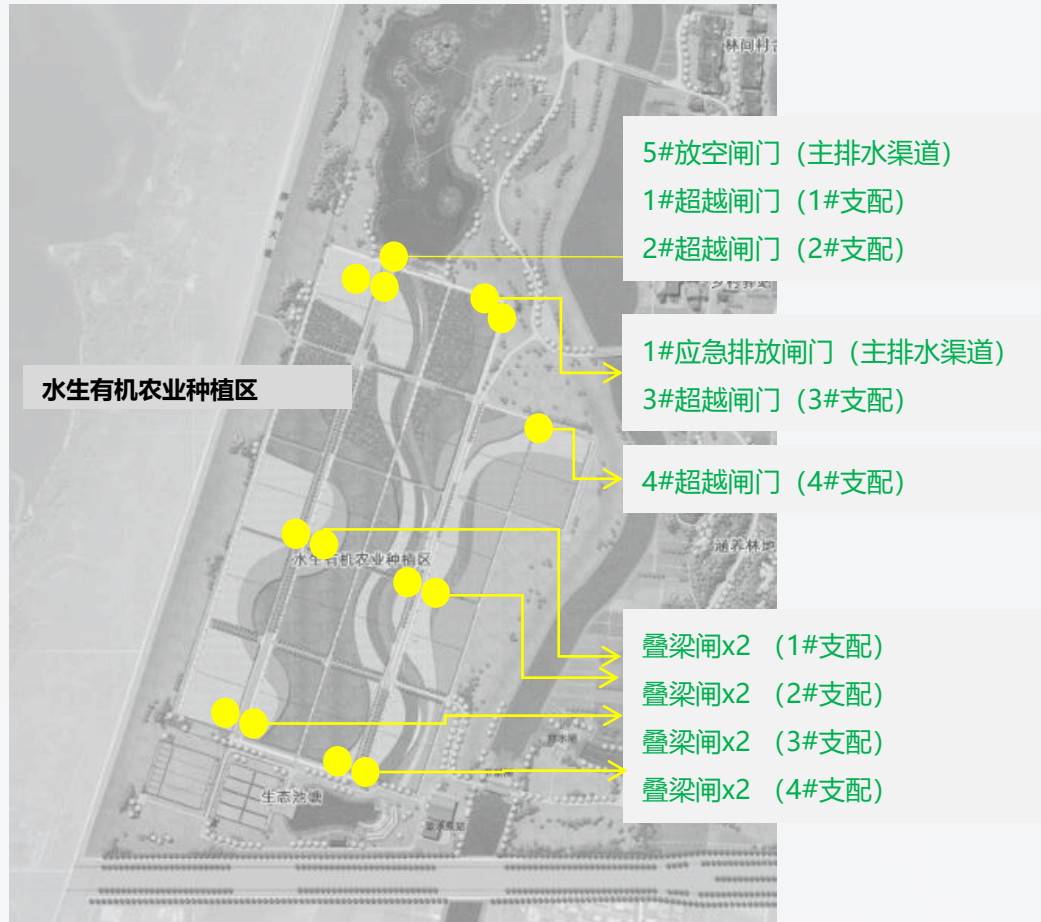


种植平面示意图



典型断面图

工况调整



设计概况:

水生有机农业种植区生态砾石床, 设计总规模24万吨/天, 设计采用并联设计, 共计40组, 每组6规模6000m³/d。分别为A1~A10, B1~B10, C1~C10, D1~D10。40组砾石床采用渠道+配水堰配水, 其中1#支配水渠道负责A组, 2#支配水渠道负责B组, 3#支配水渠道负责C组, 4#支配水渠道负责D组。

正常运行工况:

1#~4#支配水渠道, 每组2块配水堰, 通过均匀补水, 将水流配置A、B、C、D组砾石床。砾石床出水采用阀门及溢流套筒 (可调节高度) 溢流出水。

超越、轮休工况:

1#~4#支配水渠道设置超越闸门, 配合叠梁闸, 可对湿地A、B、C、D组分别进行超越或轮休。

放空及检修工况:

主排水渠道5#放空闸门开启放空, 排水渠道水位下降, 配合单组湿地的出流套筒液位控制或检修阀门开启, 可对任一组砾石床进行放空及检修。

应急排放工况:

突发情况, 打开主排水渠道应急排放闸门及1#~4#超越闸门, 可将砾石进水应急排放至苏大堰。

潜流湿地防堵塞

沉淀及格栅保护

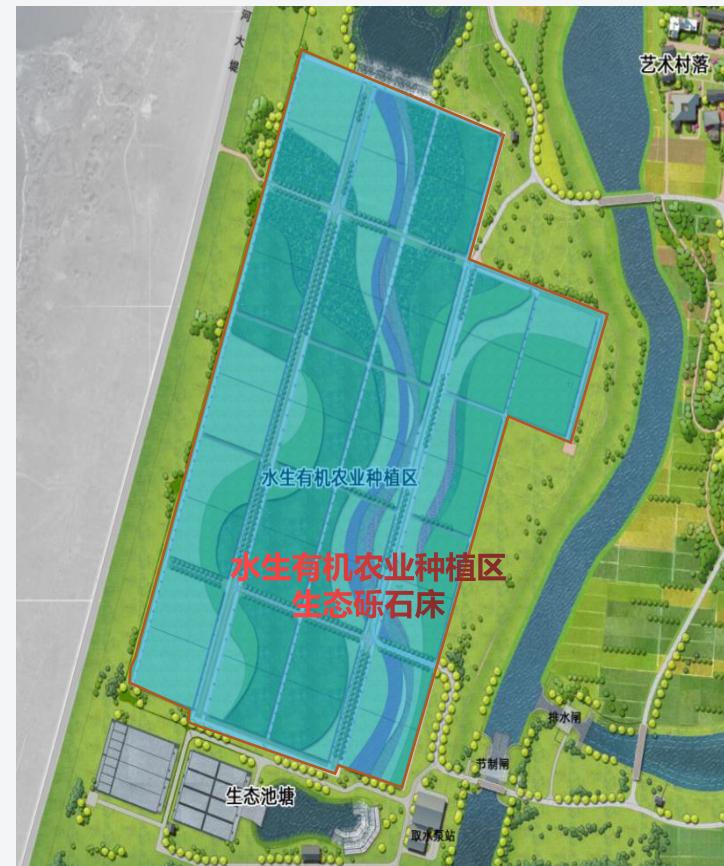
- 苏大堰水源污水厂尾水，SS小于10mg/L。设置生态池塘，进行初步的沉砂处理，水生植物也有截留、吸附、沉降等去除作用；
- 设置细格栅，稳定去除3mm以下的悬浮物、漂浮物，进一步减轻生态砾石进水悬浮物浓度；
- 取水泵站设置进水应急保护，设置进水在线SS监测，当发生暴雨或者突然污染情况，导致进水SS浓度过高（60mg/L），取水泵站停止进水。

进水区保护

- 采用大粒径砾石，粒径50~80mm，增大填料间孔隙大小，增大该区段纳污能力，进水区设计长度2m，减少对后续钢渣、沸石、砾石填料的影响。

合适的水力高程设计

- 生态砾石床运行过程中，干净填料床及多年运行产生一定堵塞后，填料床的水力传导系数预计在4000~12000m/d之间，相应的水力梯度 $< 1\%$ 。本工程设计水力梯度**1%**，长宽比**2.4: 1**。同时在生态砾石床中间设置**溢流墙**，保障运行初期与多年运行后生态砾石床水位的稳定以及过流能力。



填料床维护

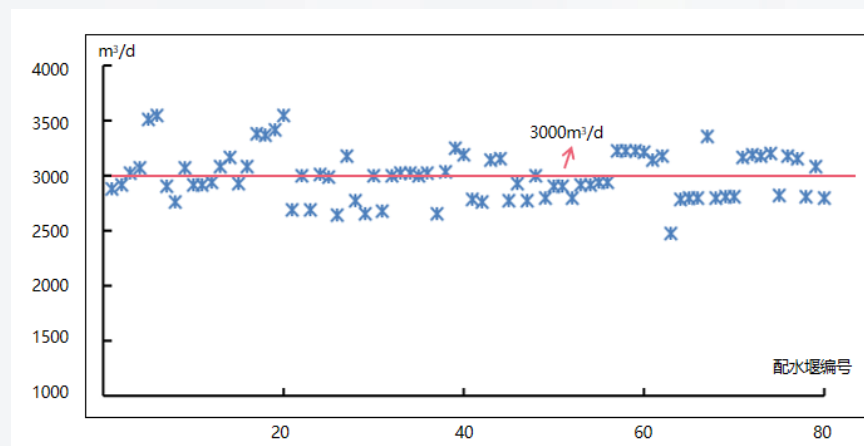
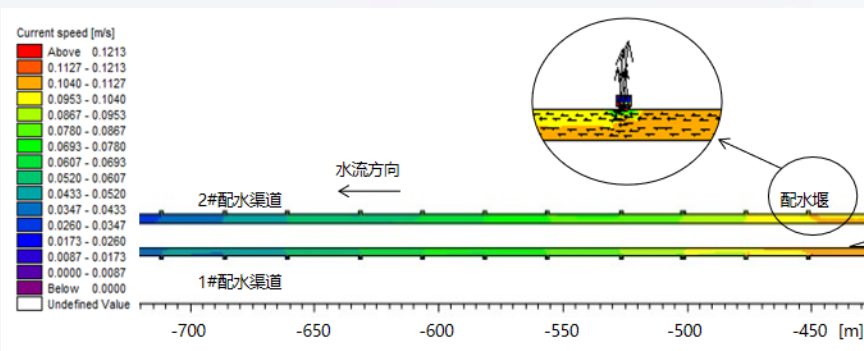
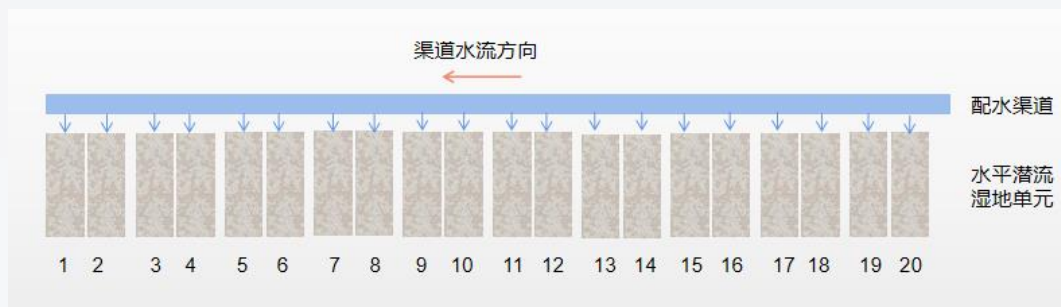
- 当生态砾石床填料出现堵塞并对工艺单元一定的影响后，可通过**进水堰及叠量闸**的控制，可控制进水水量、停床休作与轮作、冲洗填料等恢复措施。当填料过水量下降30%以上时，应进行**填料的翻动、清理或更换部分填料**。

分组独立设计

- 生态砾石床通过配水堰，分组独立设计。确保不互相影响。造成全局性问题。

分组建水模型论证

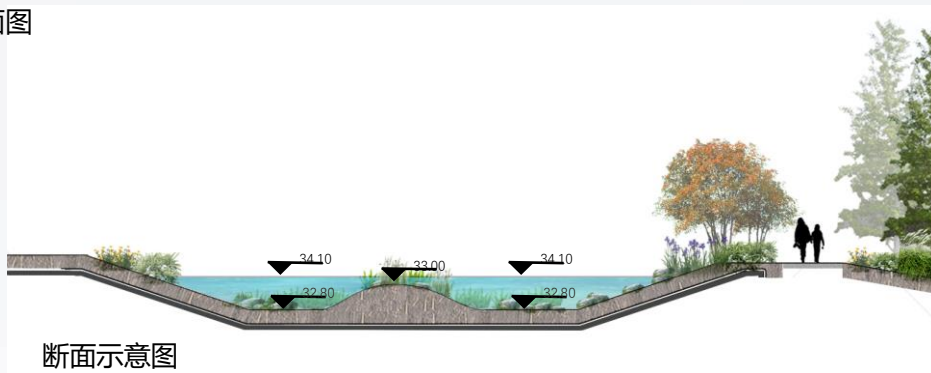
- 生态砾石床通过配水堰，分组独立设计。确保不互相影响。造成全局性问题。40组水平潜流湿地单元中，34组单元配水误差在10%以内，剩余6组配水误差在10~20%以内。



生态河道工艺设计



平面图



断面示意图

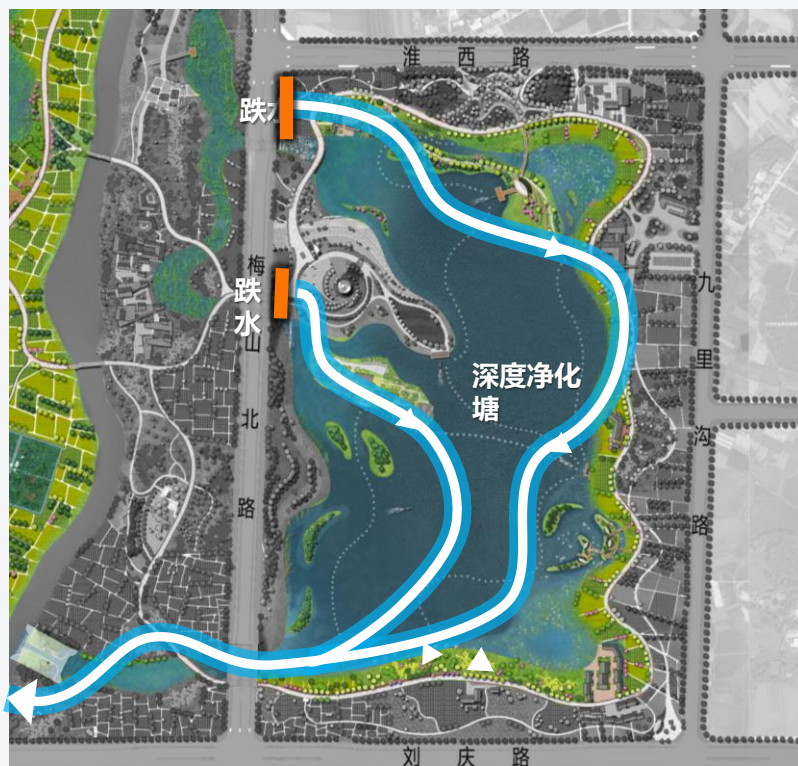
生态河道由开放水面区及密植区组成，开放水面溶解氧高，密植区溶解氧低，交替形成的厌氧好氧环境促进污染物的去除。河道内部水流通道设计自然蜿蜒形态，避免水体短流，增加河道净化的有效停留时间及接触面积。

水面面积：总面积**9.4万m²**，其中A区面积：**6.1万m²**，B区面积**3.3万m²**，设计水深**1.4~2m**。

停留时间：**0.46d**

挺水植物选择以芦苇、狭叶香蒲等本地种为主，搭配点缀花菖蒲、梭鱼草、水生美人蕉等。沉水植物选择生物量小的苦草为主要建群种，在水深较深、流速较大的区域种植马来眼子菜、微齿眼子菜。

深度净化塘工艺设计



生态河道净化后水流至深度净化塘，构建水系生态系统，进行深度提升、净化，同时也作为景观水体补充水。深度净化塘出水达标排至苏大堰下游、部分回用于绿化灌溉。高程设置自然高地错落的水下地形，平面设计自然蜿蜒的形态，创造浅滩、深潭等多样化的生境条件，促进水系生态系统良性发展。

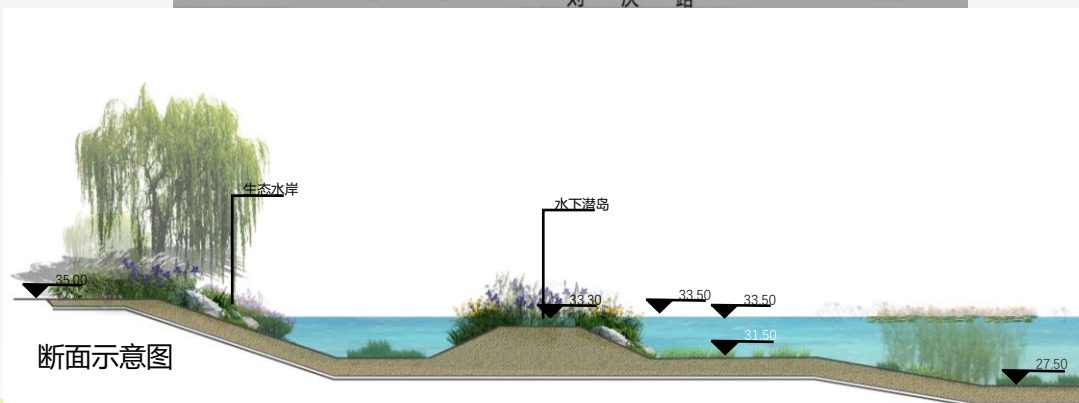
工艺设计参数

水面面积：28.7万 m^2

设计水深：2~4m

停留时间：2.6d

深度净化塘构建以沉水植物为主的包含水生动物和微生物的完整的水生态体系，形成“草型清水态”湖泊，发挥进一步保障水质。挺水植物配置花蔺蒲、狭叶香蒲、芦苇等，沉水植物配置苦草、刺苦草、马来眼子菜、微齿眼子菜，配置水生动物鳊鱼、翘嘴鲇、鲢、鳙鱼、青虾等。



水生植物选择原则

- 具有较强的耐污能力和抗逆性；
- 具有较强的净化能力。一方面植物的根系要发达，另一方面植物生物量要大；同时要适当考虑后续管理养护的难度；
- 因地制宜，选择合适的乡土种；
- 与景观相协调，将治污与景观美化融合为一体；
- 充分考虑种群和季节配置。在空间分布上，使挺水植物、浮叶植物和沉水植物合理组合，在时间分布上，要根据不同植物的习性，使一年四季都有植物在发挥作用。

水生植物品种选择

- 结合当地气温，根据季节特性及不同季节水生植物生理生态特征及净化效果选用不同水生植物，保障水质净化效果，避免出现较大波动。
- 选取**生物量大、净化效果好的土著种**，同时选用净化效果好，且国内广泛使用的水生植物，无侵入危害且兼具景观效果。

当地常见水生植物

序号	类型	种名	拉丁名
1	沉水植物	马来眼子菜	<i>Potamogeton malaianus</i>
2		苦草	<i>Vallisneria spiralis</i>
3		黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i>
4		菹草	<i>Potamogeton crispus</i>
5		聚草	<i>Myriophyllum spicatum</i>
6		金鱼藻	<i>Ceratophyllum demersum</i>
7		狐尾藻	<i>Myriophyllum verticillatum</i>
8	挺水植物	菰	<i>Zizania caduciflora</i>
9		菖蒲	<i>Acorus calamus</i>
10		莲	<i>Nelumbo nucifera</i>
11		芦苇	<i>Phragmites australis</i>
12		狭叶香蒲	<i>Typha angustifolia</i>
13		慈菇	<i>Sagittaria trifolia</i>
14	浮叶植物	水芹	<i>Oenanthe javanica</i>
15		野菱	<i>Trapa incisa</i>
16	漂浮植物	芡实	<i>Euryale ferox</i>
17		水鳖	<i>Hydrocharis dubia</i>
18		浮萍	<i>Lemna minor</i>
19		紫背浮萍	<i>Spirodela polyrhiza</i>



黄菖蒲



千屈菜



水生美人蕉



花叶美人蕉



狭叶香蒲



水葱



梭鱼草



荷花



慈菇



花叶芦竹



芦苇



再力花



西伯利亚鸢尾



花菖蒲



马来眼子菜



微齿眼子菜



轮叶黑藻



穗花狐尾藻



睡莲



芡实



苦草



刺苦草



菹草

本工程选用挺水植物14种，沉水植物7种，浮叶植物2种。

水华防治策略

利用生物操纵控制藻类繁殖

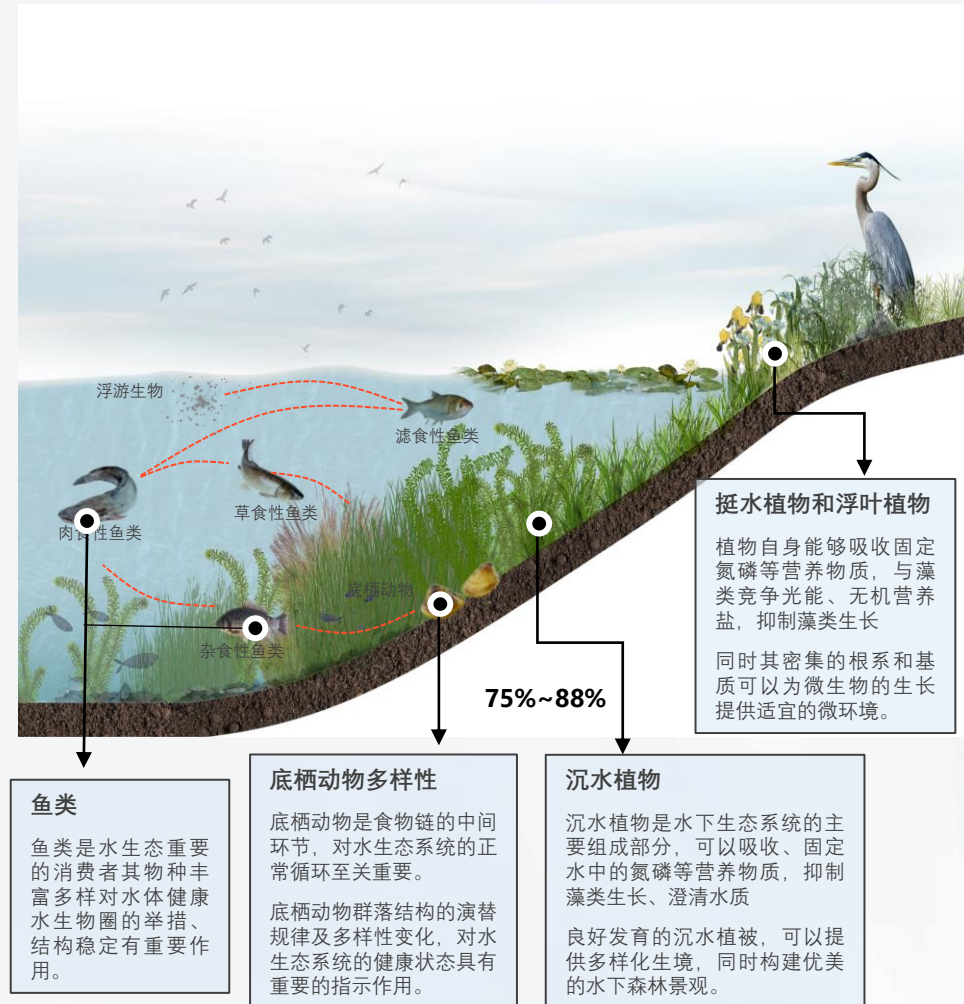
- 通过群落构建，完善健康水体生态系统，增强水体自净功能，利用底栖动物、滤食性鱼类等控制藻类繁殖，降低水华爆发

群落构建

- 水生植物、底栖动物、滤食性鱼类、肉食性鱼类形成完整食物链，构建具有自我平衡与恢复特性的健康生态系统，增强生态稳定性

生物操纵

- 利用底栖动物、鲢、鳙滤食性鱼类捕食藻类，抑制藻类繁殖
- 沉水植物占据生态位置，与藻类形成营养竞争



在线监测



在线监测系统：湿地设计3座仪表小屋，取水泵站设置在线分析室。分别对湿地净化沿程净化工艺段进行水质在线监测。

水生有机农业种植区主排水渠道设置在线监测。来水（生态池塘B）设置在线监测。同时在线数据可实时远传至中控中心，满足生态砾石床对水质、过流的日常监控，以方便对生态砾石床运维管护。

深度净化塘效果图

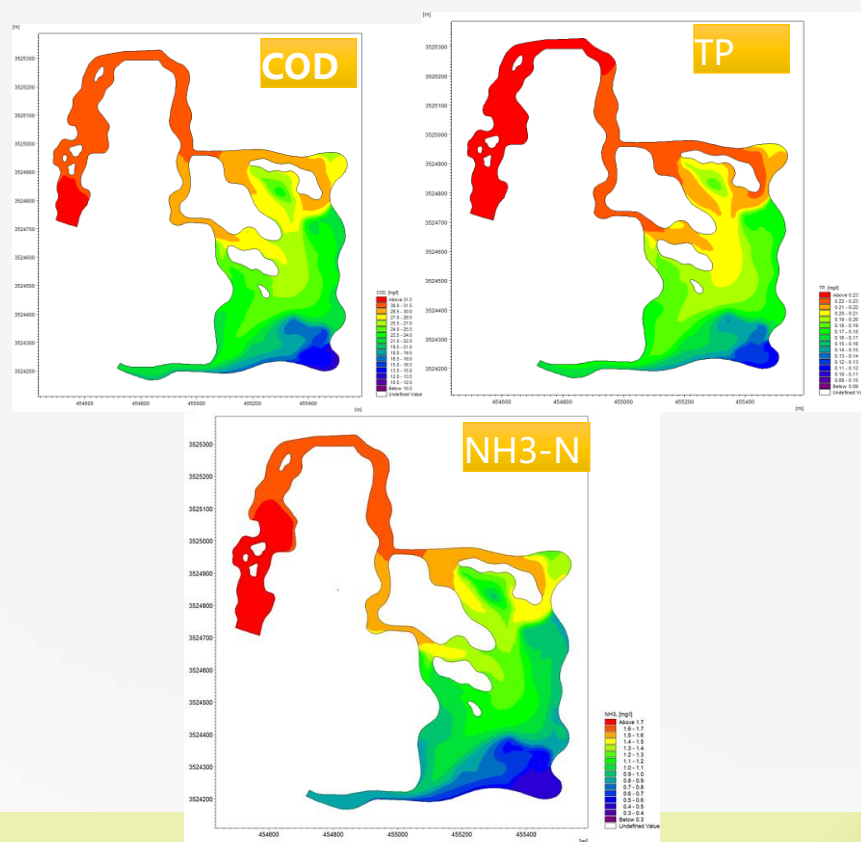


深度净化塘效果图



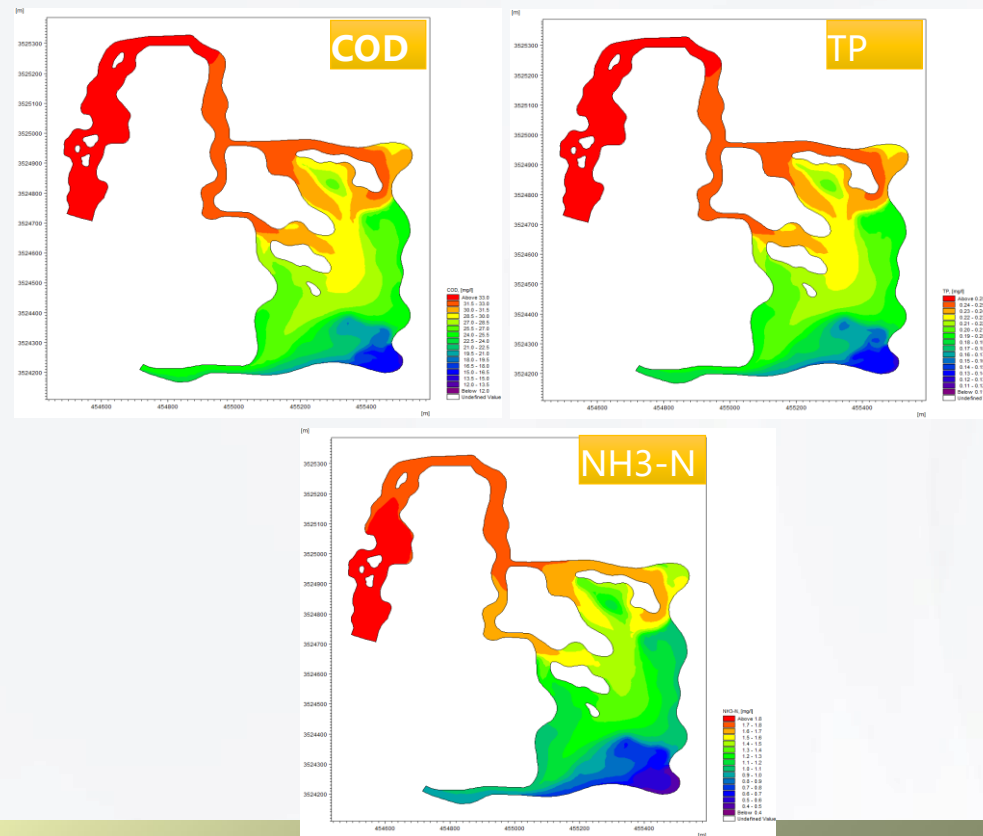
水质计算结果 (夏季)

从模型计算结果可知, 在夏季条件下, 沿程污染物浓度逐渐下降, 生态河道出口处个指标浓度分别为COD: 29.1mg/L、氨氮 1.51mg/L、总磷0.22mg/L, 深度净化塘出水达到COD: 21.1mg/L、氨氮0.84mg/L、总磷0.17mg/L, 出水水质通过模型演算能够达到设计出水水质要求。生态河道加深度净化塘的COD、氨氮、总磷整体去除率分别为34%、53%、29%。



水质计算结果 (冬季)

在冬季条件下, 沿程污染物浓度逐渐下降, 生态河道出口处个指标浓度分别为COD: 31.9mg/L、氨氮1.64mg/L、总磷0.26mg/L, 深度净化塘出水达到COD: 24.1mg/L、氨氮0.99mg/L、总磷 0.19mg/L, 出水水质通过模型演算能够达到设计出水水质要求。生态河道加深度净化塘的COD、氨氮、总磷整体去除率分别为30%、48%、27%。



模型论证（夏季）

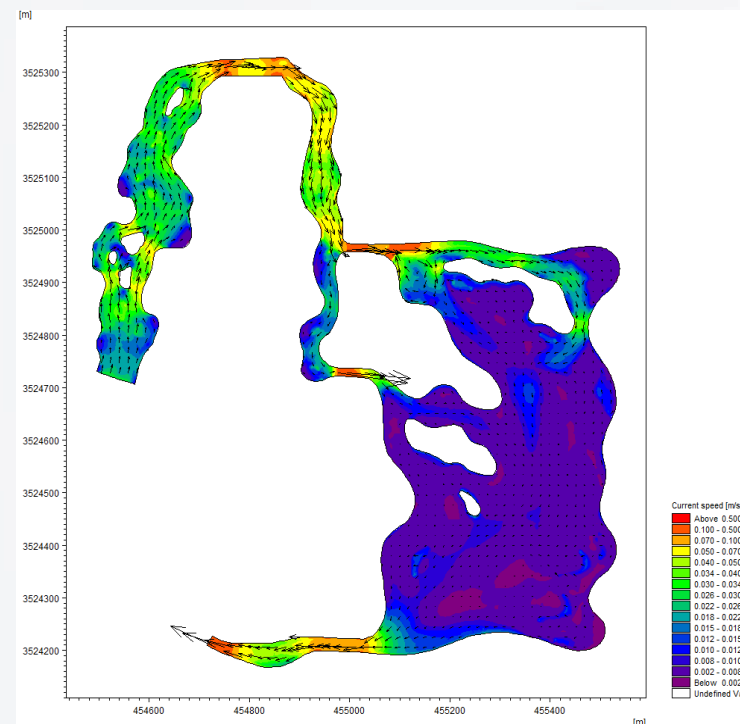
湿地	COD mg/L	去除率	NH ₃ -N mg/L	去除率	TP mg/L	去除率
模型进水	31.9	/	1.8	/	0.24	/
设计出水	30	/	1	/	0.2	/
生态河道	29.1	9%	1.58	16%	0.22	8%
深度净化塘	21.1	27%	0.76	44%	0.17	23%
总去除率	/	34%	/	53%	/	29%

模型论证（冬季）

湿地	COD mg/L	去除率	NH ₃ -N mg/L	去除率	TP mg/L	去除率
模型进水	34.4	/	1.9	/	0.26	/
设计出水	30	/	1	/	0.2	/
生态河道	31.9	7%	1.64	14%	0.24	8%
深度净化塘	24.1	24%	0.99	40%	0.19	21%
总去除率	/	30%	/	48%	/	27%

流场计算结果图

从生态河道及深度净化塘流场图结果来看，整理流场较为均匀，生态河道流速范围为0.01~0.07m/s，深度净化塘水面开阔，水深增加，整理流速减缓，流速范围为0.001~0.03m/s，通过地形塑造，基本没有出现短流现象，



分别针对夏季和冬季工况，根理论预测及模型分析，预期在设计进水水质条件下，出水能达到设计出水水质要求。生态河道及深度净化塘水动力条件较好，平面布置合理。

1. 湿地净化标杆，打造城市生态绿肾



采用预处理强化及多级复合人工湿地的生态工法，减少运行管理维护费用，城市生态文明建设新窗口，提质增效新标杆。

规模 **大**

城市尾水净化湿地规模24万t/d，为国内规模首屈一指，解决六安母亲河淠河右岸所有污水厂尾水生态净化需求。

标准 **严**

湿地净化水质要求由巢湖地标提升至准地表Ⅲ类，助力淠河水环境质量上一台阶。



淠河右岸生态农业示范区（一期）工程效果图

2. 资源循环利用，减污降碳协同增效

尾水资源回用

湿地公园尾水经过提标处理后，出水用作苏大堰生态布水、示范园区景观绿化、农业灌溉，也可用于附近城北工业园区循环冷却水补水，以及城市杂用水



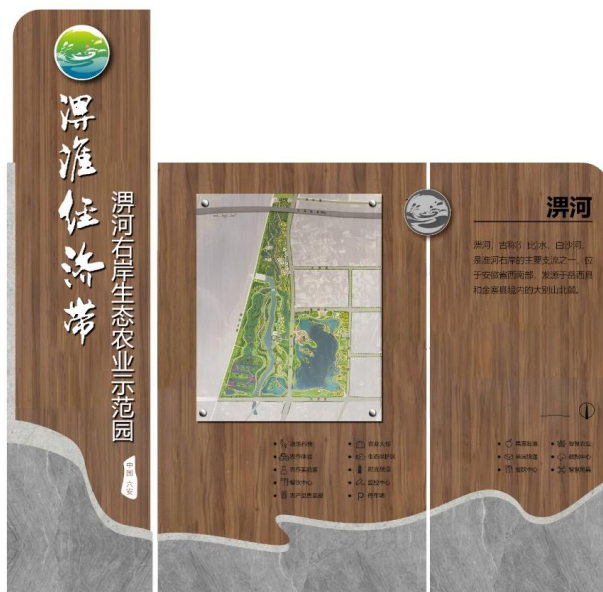
污泥资源化利用

在污泥稳定化、无害化处置前提下探索和尝试推进资源化利用。推广采用“生物质利用+焚烧”处置模式，污泥厌氧、干化处理后用于园林绿化土壤改良、花海草坪的营养土等。



3. 区域农旅中心，探索生态价值转换

生态湿地项目聚合生态农业旅游，集农业科普、农业研发、农耕体验于一体，打造城乡共荣的生态农业示范金名片，带动周边地块开发和升值，探索生态价值转换路径结合上游库区岸线治理，营造连续的淇河水生态廊道，有效促进城市空间拓展



聚合

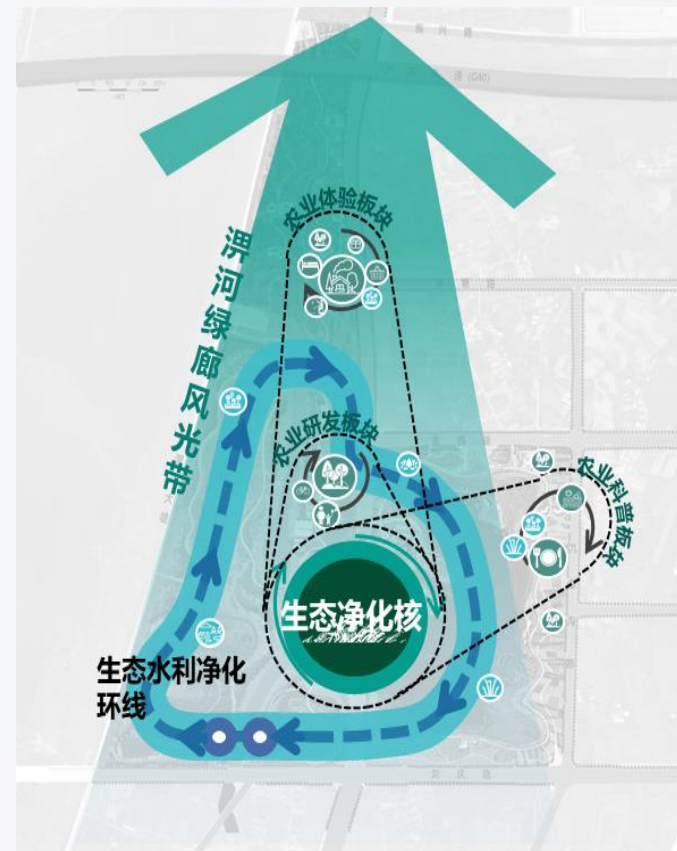
水质提升
生境营造
蓝绿交织

联动

农业科普
农业研发
农业体验

共生

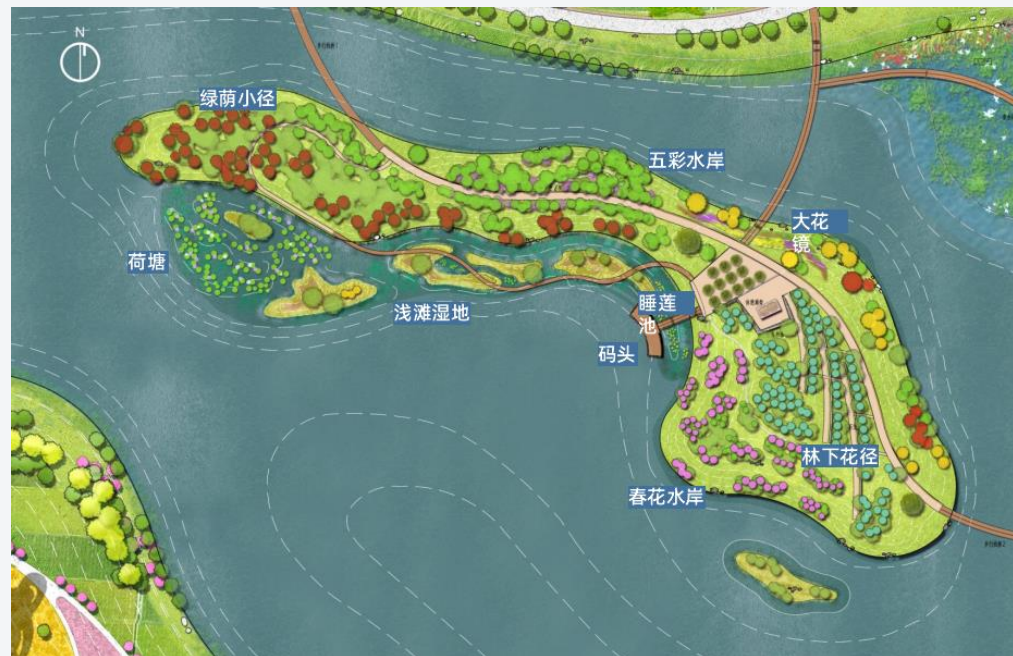
三生融合
乡村振兴
人水和谐

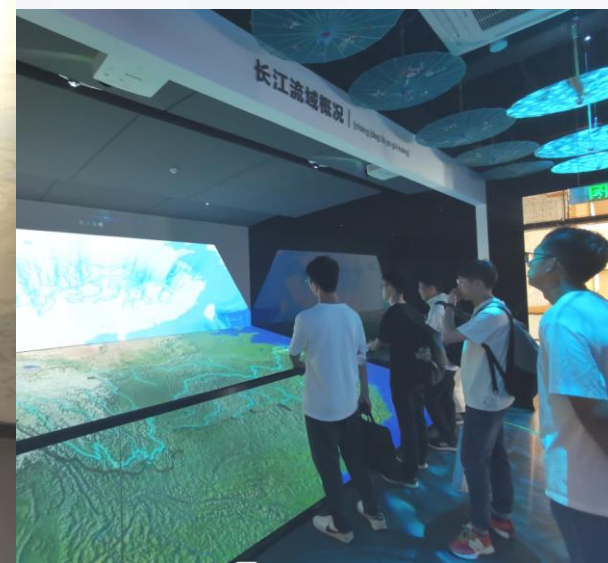
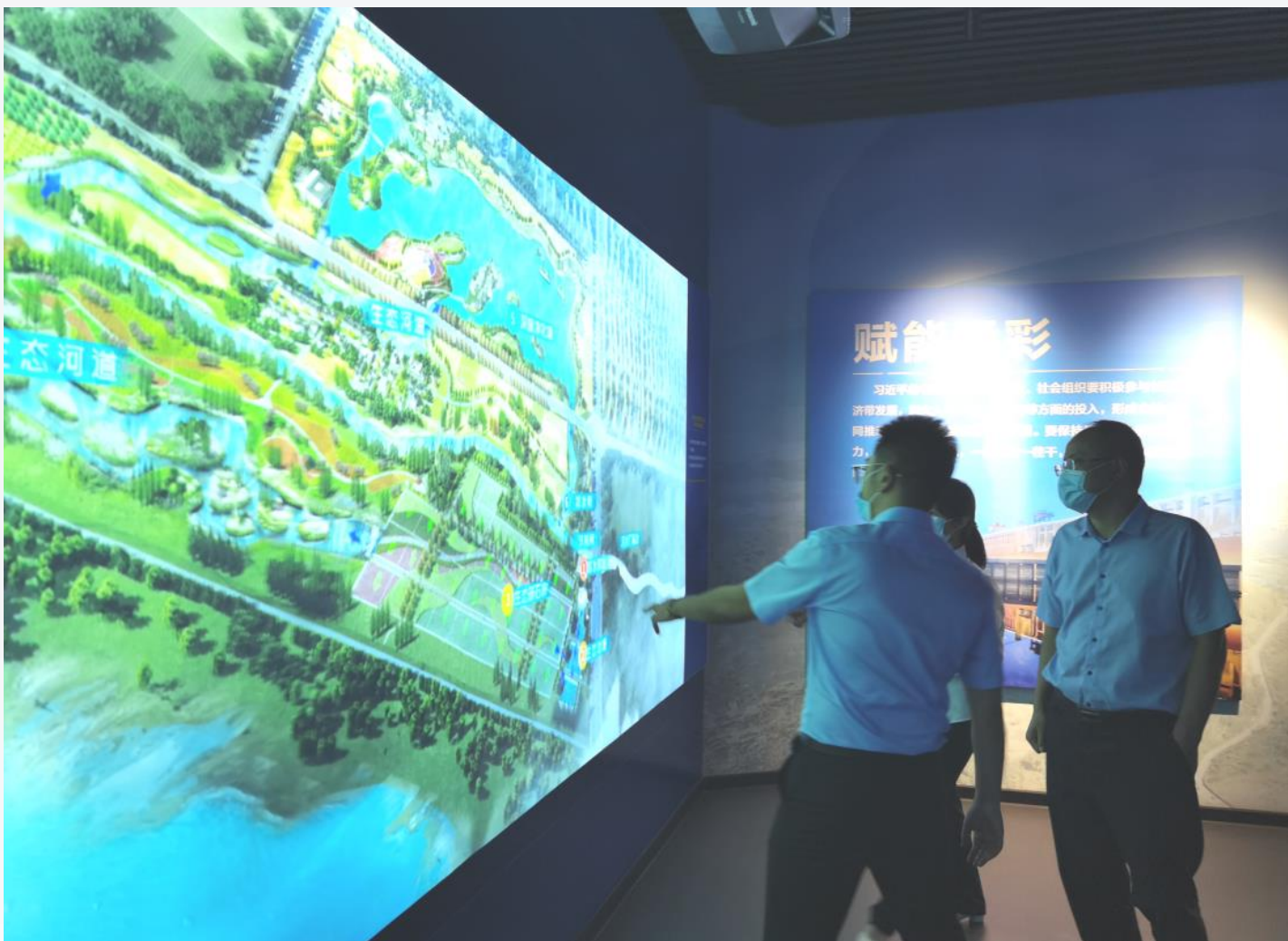


4. 长江保护基因，生态保护科普宣教

珍稀植物园深度净化塘东北角湖心岛，项目陆域占地面积约10132 m^2 ，其中新建陆域园路面积193 m^2 ，新建绿化面积9939 m^2 ，水域新建水上栈道179 m^2 。总体布局形成六园、一带、三组团。布置科普游径（包括水上路径）串联六园。六园包括槭属园、楠木园、珍奇园、木兰园、杉类园和水生园6个专类园。

生态科普中心通过展厅的合理规划及展项的创意设计，将长江珍稀鱼类保育中心及长江珍稀植物研究所的工作深入浅出的向游客呈现。除此之外，游客漫游在展厅之中，能一站式的了解长江流域丰富的生态与物产，一步一景中能随时传播与分享自己的收获。



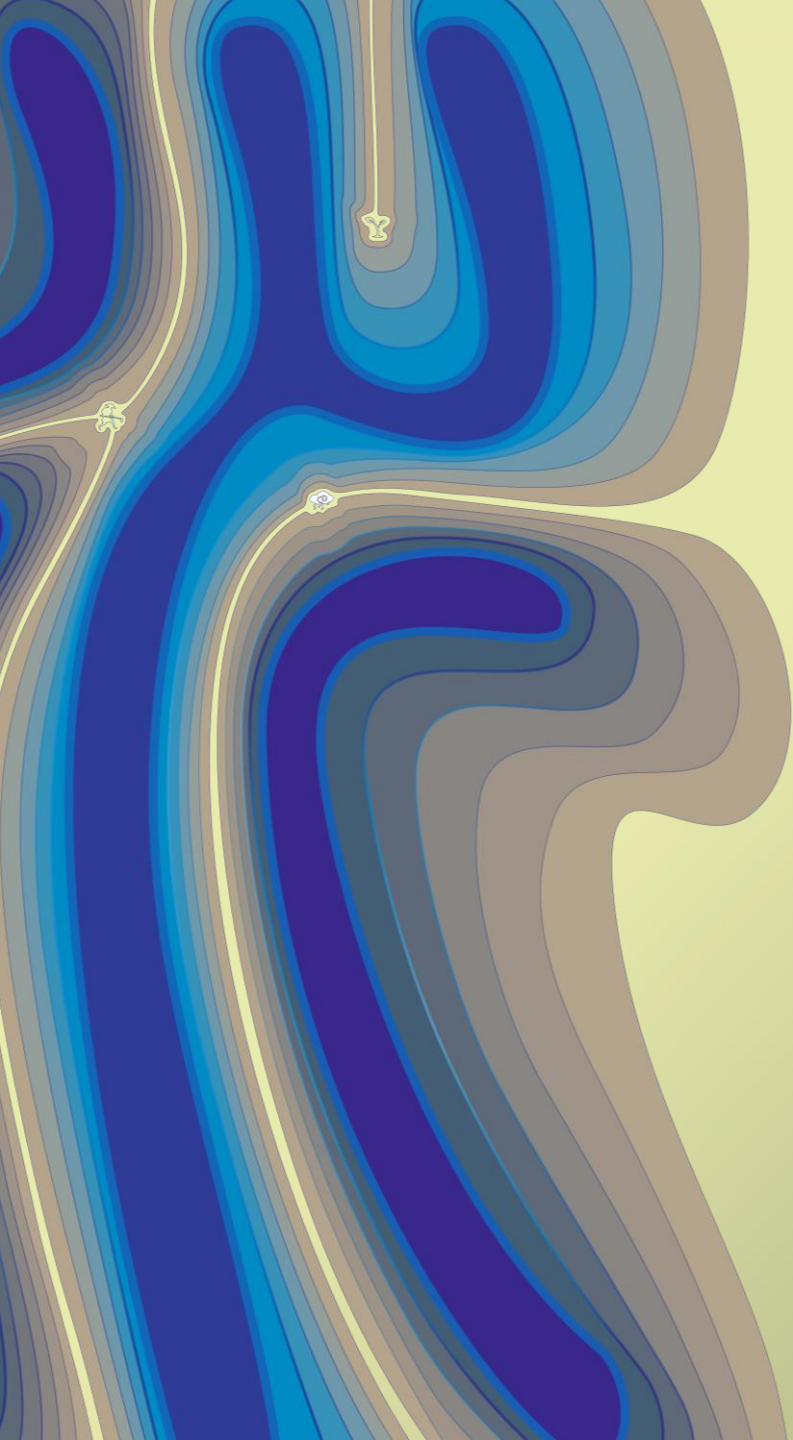












CTG



上海勘测设计研究院有限公司
Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd.



中国水利学会-河口治理与保护专业委员会
Chinese Hydraulic Engineering Society-Estuarines Governance and Protection Professional Committee



XVIII
World Water Congress
International Water Resources Association (IWRA)

谢谢!

XVIII
WORLD WATER
CONGRESS

Water for All
Harmony between
Humans and Nature

第18届
世界水资源大会
水与万物：
人与自然和谐共生

和谐水环境： 面向生态可持续未来的水环境综合治理

2023年9月14日

个人简介



上海勘测设计研究院有限公司
Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd.

长江生态环境工程研究中心（上海）高级工程师
水污染防治研究团队带头人



同济大学
TONGJI UNIVERSITY



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

同济大学 环境科学与工程专业 工学博士
联合国环境规划署-同济大学环境与可持续发展学院 跨学科培养博士
德国德累斯顿工业大学 访问学者

城市水体污染治理管控的机理机制研究与实用/智慧化应用技术开发

Carbon emission, DOM, Microplastics, Urban agglomeration, water environment restoration

DOM荧光/分子群组
精准化水体污染及管网混错接溯源技术

CH₄/CO₂/N₂O
城市排水管网碳排放机制及核算体系

Microplastic物质流
水体微塑料溯源管控与生态效应研究

CH₄模型/底泥有机量反演模型
智慧化管网管控技术及设备研发

研究领域

农业废水处理与资源化技术

主持或作为技术骨干参与国家重点研发计划、自然科学基金、上海市科委社会发展科技攻关项目、集团/院科研项目20余项
以一作或通讯作者发表Water Res., Environ. Sci. Technol., STOTEN等SCI及中文核心论文40余篇
申报或授权专利10余项，作为骨干参编地标、团标2项
Elsevier/ACS/《湖泊科学》审稿专家
东华大学、上海工程技术大学、第二工业大学环境学院校外指导导师

城市水体微塑料污染的溯源管控： 以上海市为例

三峡集团长江生态环境工程研究中心（上海）

陈浩

Content

Part 1

1. 新污染物防控政策背景与需求
2. 陆域水环境的微塑料污染与防控焦点
3. 我们的研究工作

Part 2

1. 上海市水体微塑料污染的现状
2. 城市聚群陆源微塑料污染归趋与系统治理关键

Part 1

1. 新污染物防控政策背景与需求
2. 陆域水环境的微塑料污染与防控焦点
3. 我们的研究工作

新污染物治理面临何种问题和挑战? ——中国科协2022 十大前沿科学问题



持久性有机物 (POPs)、内分泌干扰物、抗生素及微塑料

- 具有生物毒性、环境持久性、生物累积性等特征
- 新近发现、尚未纳入管理或者现有管理措施不足以有效防控其风险的污染物
- 源-迁移路径-汇缺乏足够认知
- 危害比较严重, 环境风险比较隐蔽且缺乏全面评估, 治理难度比较大

1. 新污染物防控政策背景

我国近3年大战略规划和地方政策已重点强调新污染物治理，并提出方案

中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035年远景目标纲要 **2021年**

坚持源头防治、综合施策，强化多污染物协同控制和区域协同治理。加强城市空气质量达标管理，推进细颗粒物（PM_{2.5}）和臭氧（O₃）协同控制，地级及以上城市PM_{2.5}浓度下降10%，有效遏制O₃浓度增长趋势，基本消除重污染天气。持续改善京津冀及周边地区、汾渭平原、长三角地区空气质量，因地制宜推动北方地区清洁取暖、工业窑炉治理、非电行业超低排放改造，加快挥发性有机物排放综合整治，氮氧化物和挥发性有机物排放总量分别下降10%以上。完善水污染防治流域协同机制，加强重点流域、重点湖泊、城市水体和近岸海域综合治理，推进美丽河湖保护与建设，化学需氧量和氨氮排放总量分别下降8%，基本消除劣V类国控断面和城市黑臭水体。开展城市饮用水水源地规范化建设，推进重点流域重污染企业搬迁改造。推进受污染耕地和建设用地管控修复，实施土壤环境风险协同防控。加强塑料污染全链条防治。加强环境噪声污染治理。重视新污染物治理。

中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见 **2021年**

一、总体要求



国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%，地级及以上城市地表水Ⅰ-Ⅲ类水体比例达到85%，近岸海域水质优良（一、二类）比例达到80%以上。土壤污染得到有效管控，固体废物和新污染物治理能力明显增强，生态文明建设实现新进步。

五、深入打好净土保卫战

（二十五）加强新污染物治理。制定实施新污染物治理行动方案。针对持久性有机污染物、内分泌干扰物等新污染物，实施调查监测和环境风险评估，建立健全有毒有害化学物质环境风险管理制度，强化源头准入，动态发布重点管控新污染物清单及其禁止、限制、限排等环境风险管控措施。

中华人民共和国中央人民政府
www.gov.cn

中华人民共和国生态环境部
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China

国务院办公厅关于印发

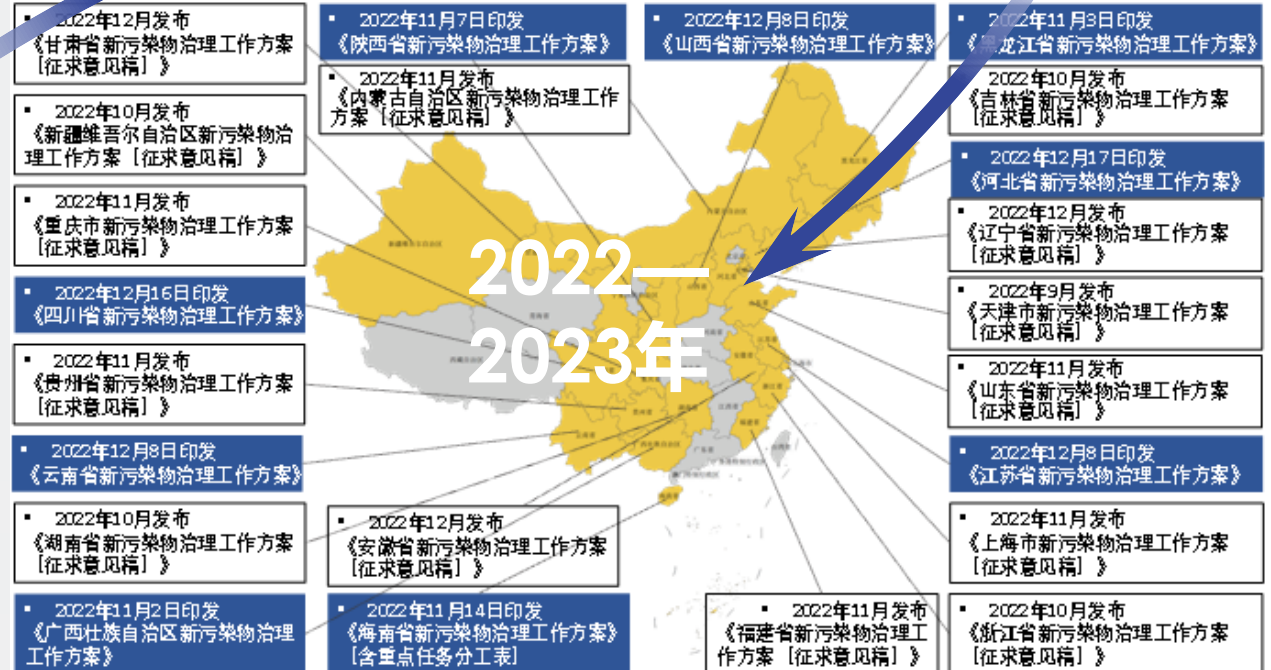
新污染物治理行动方案的通知

国办发〔2022〕15号

中华人民共和国国家发展和改革委员会
National Development and Reform Commission

2022年

省（自治区、直辖市）《新污染物治理工作方案》发布情况（23）



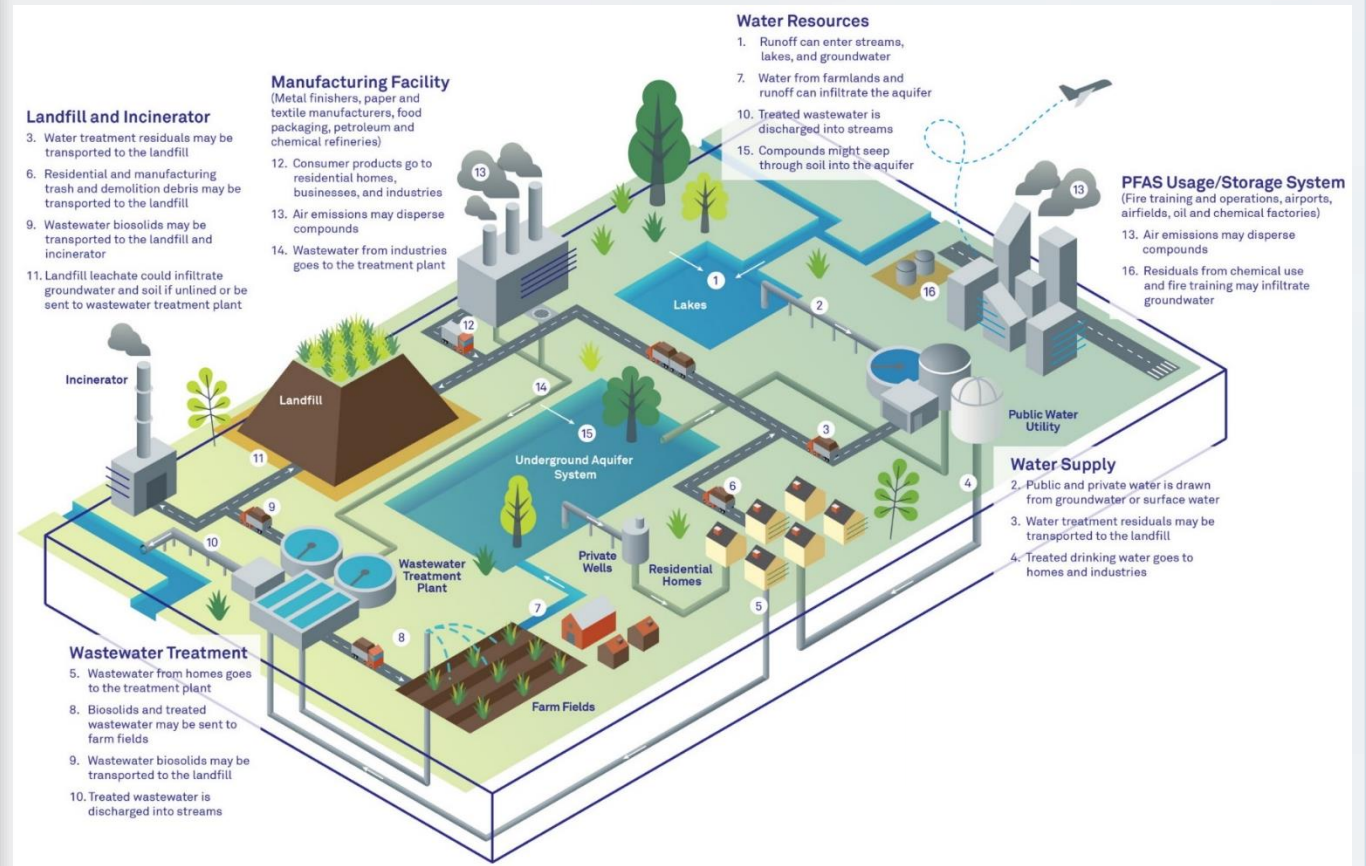
**2022—
2023年**

建立健全新污染物监管治理机制 2025年基本形成新污染物监测&治理体系

精准施策、系统推进、健全体系

- ▶ 强调源头绿色替代、减排、处理处置新技术方法
- ▶ 完善地方法规制度、标准、规范

- 加大科技支撑力度（国家科技计划中加强新污染物治理科技攻关、开展评估与管控关键技术研究、加强新理论新技术研究）
- 加强清洁生产和绿色制造，规范强化使用管理；
- 加强新污染物多环境介质（气、水、固）协同治理；
- 强化含特定新污染物废物的收集利用处置
- 开展新污染物治理试点工程（长江、黄河等流域和重点饮用水水源地周边，重点河口、重点海湾、重点海水养殖区，京津冀、长三角、珠三角等区域）



微塑料(Microplastics)是近20年来全球新污染物焦点

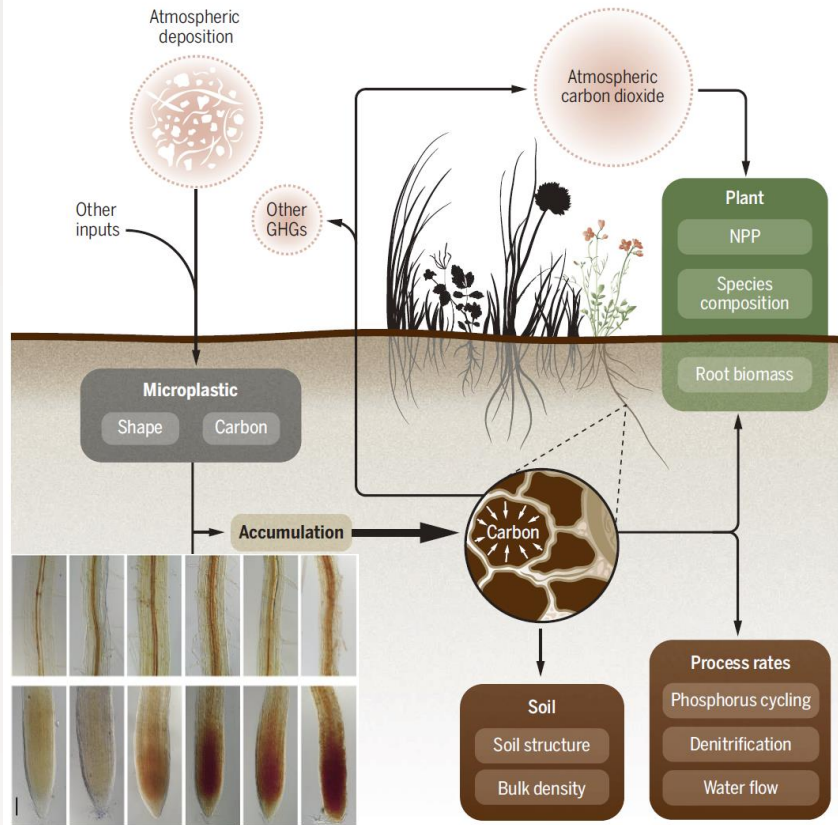


2. 陆域水环境的微塑料污染与防控焦点

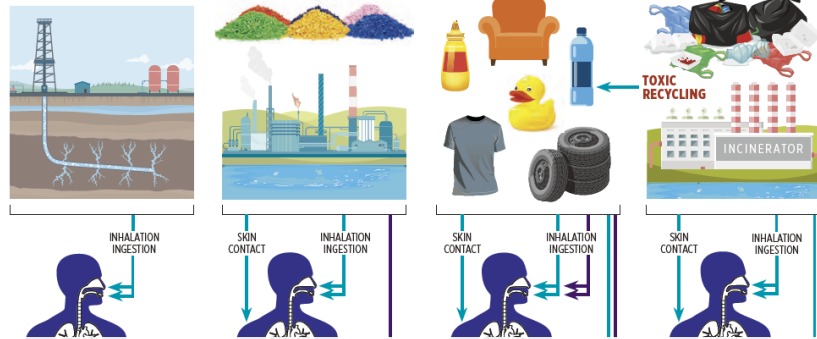
微塑料污染引发大范围生态与健康风险

Microplastic fluxes and associated ecosystem feedbacks

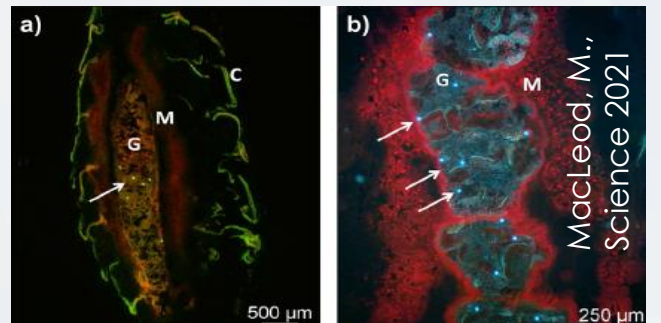
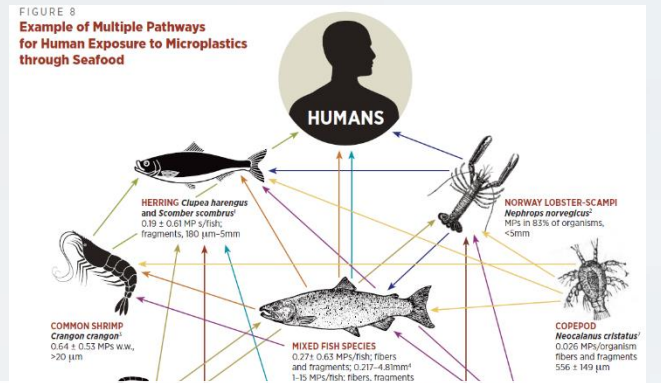
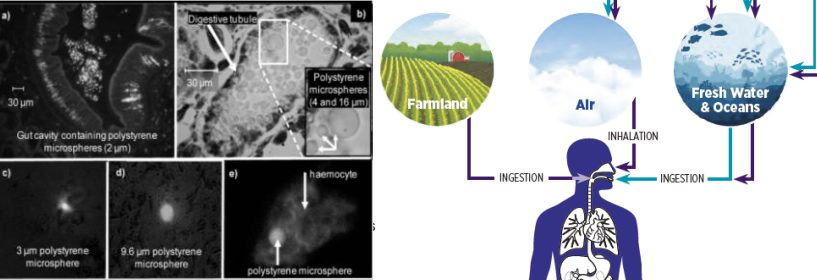
Deposition and accumulation of microplastics can affect soil properties, with consequences for process rates and greenhouse gases (GHGs).
Matthias C. Rillig and Anika Lehmann, SCIENCE 2020



Extraction & Transport Refining & Manufacture Consumer Use Waste Management



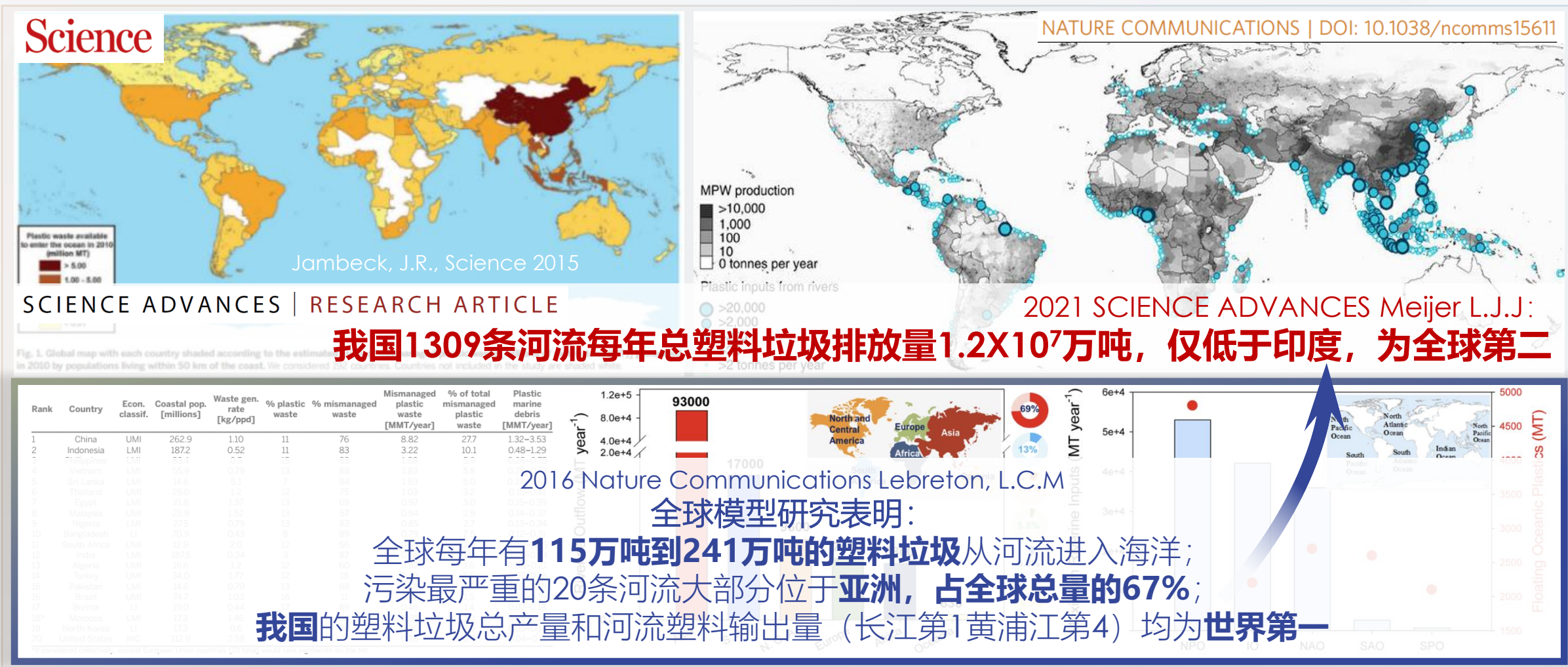
负载/累积/释放毒性添加剂、污染物、病原菌、功能菌
形成沿食物链的传输与富集 (吸入/摄入)
立体扩大的生态风险: 对全球近700种海洋物种和50多种淡水物种的
个体健康与生物行为的负面影响



2. 陆域水环境的微塑料污染与防控焦点

我国陆域水环境正面临严峻的微塑料污染危机

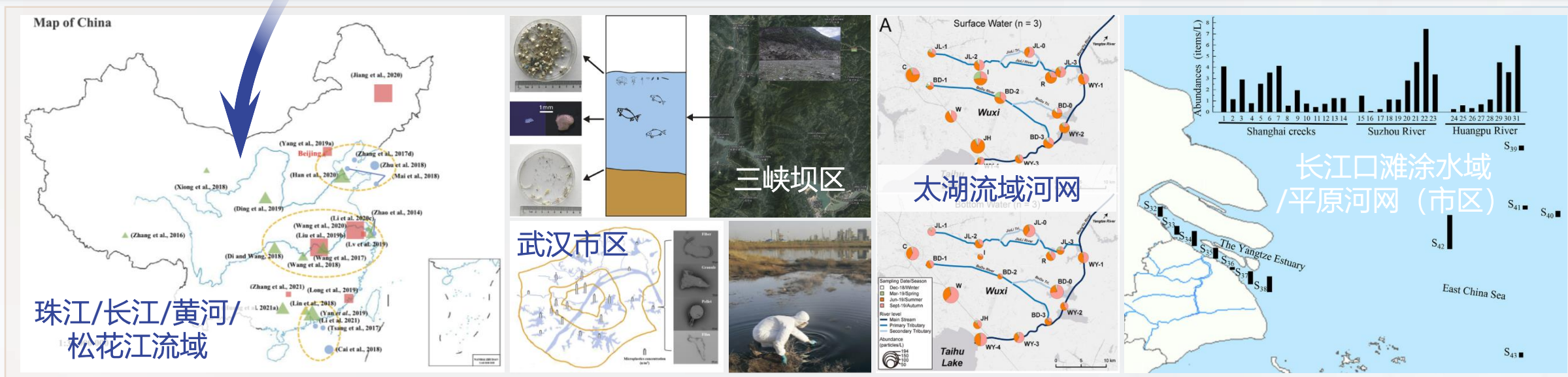
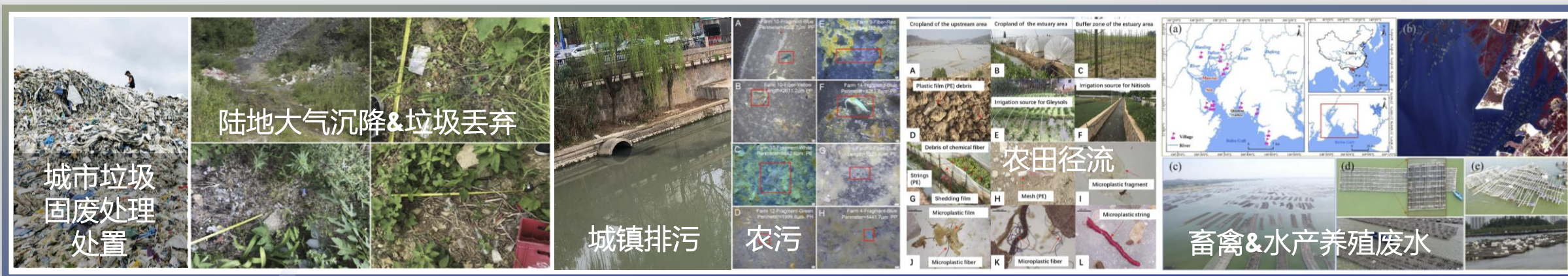
全球性的塑料污染问题——80%的海洋微塑料来自于陆域系统



2. 陆域水环境的微塑料污染与防控焦点

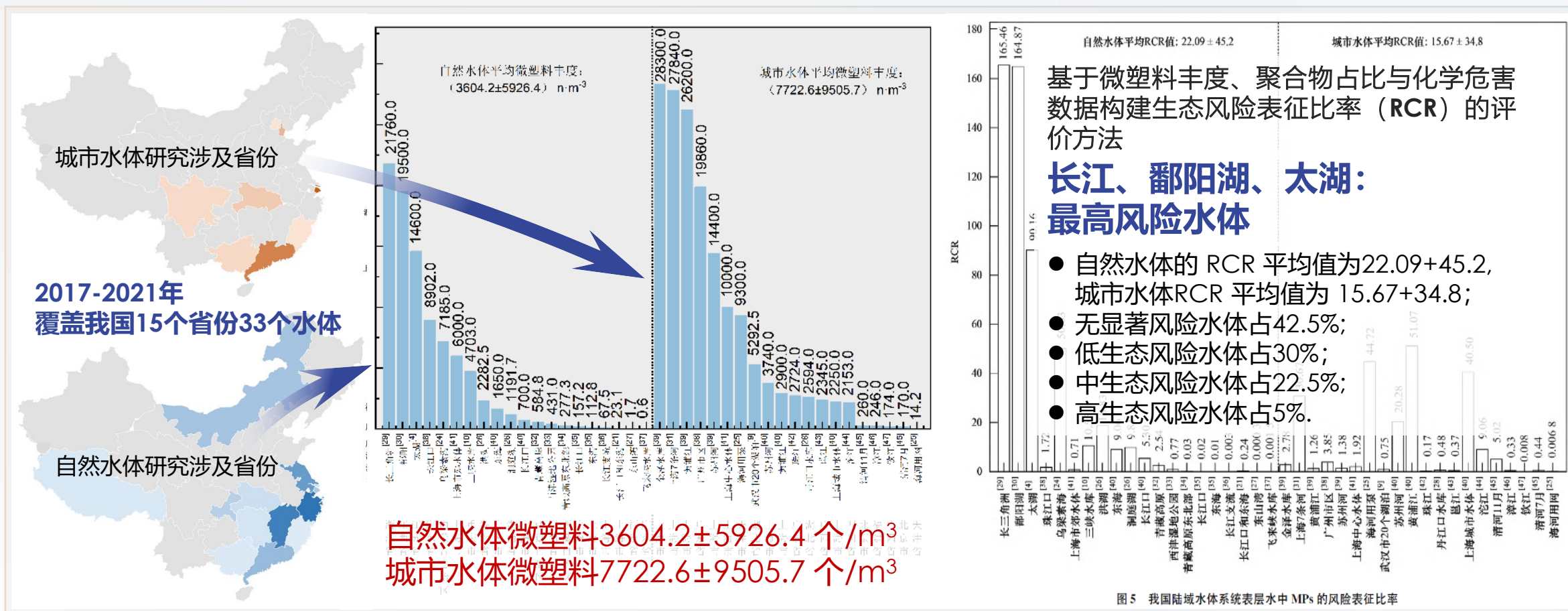
我国陆域水环境正面临严峻的微塑料污染危机

高度加剧的污染风险，覆盖全流域且显著差异化的区域分布



2. 陆域水环境的微塑料污染与防控焦点

现场实测数据统计与风险评估（风险熵）表明 我国城市水体微塑料污染水平高于远离市区水体近2倍



2. 陆域水环境的微塑料污染与防控焦点

全国28个地区将微塑料纳入“一品一策”管控

上海市印发《重点管控新污染物清单》，明确将微塑料提上重点管控名单

地市级新污染物治理工作方案举例

<p>淮安市新污染物治理工作方案</p> <p>3. 开展新污染物环境调查监测和健康风险评估。结合我市实际，根据省试点安排，在重点流域、化工园区（集中区）、化工监测等重点区域开展新污染物环境本底调查监测。在化工（石化）、医药、农药、印染、电镀、电子等重点行业及污水处理、垃圾焚烧、危险废物处置利用等企业开展新污染物筛查监测。2025年底前，配合全省初步建立新污染物环境调查监测体系。按照省部署，探索在集中式饮用水水源地及淡水重要养殖区开展抗生素和内分泌干扰素等新污染物健康风险评估。探索开展微塑料等新污染物生物效应与危害机理、食物链安全和健康风险等研究。（市生态环境局、市卫健委等按职责分工负责）</p>
<p>丽江市新污染物治理工作方案</p> <p>4. 开展新污染物环境调查监测。结合《云南省“十四五”生态环境监测规划》，制定实施丽江市新污染物环境调查监测方案。逐步在程海、泸沽湖、拉市海等重点区域、重点流域和饮用水水源地对大气、水、土壤中的新污染物开展环境调查监测。在重点地区、重点行业、典型工业园区开展新污染物环境调查监测试点。推进污水处理厂进出水内分泌干扰物、抗生素、微塑料、持久性有机污染物等新污染物监测试点示范，对城区和乡镇饮用水厂出水及末梢水开展饮用水水质监测，探索开展地下水新污染物环境调查、监测及健康风险评估。到2025年底，初步建立新污染物环境调查监测体系，建成污染特征数据库。（市生态环境局、市卫生健康委等按照职责分工负责）</p>
<p>廊坊市新污染物治理工作方案</p> <p>2. 严格落实管控措施。严格落实国家、省有关优先控制化学物质，以及抗生素、微塑料等其他重点新污染物的“一品一策”管控措施；严格落实国家首批重点管控新污染物清单及其禁止、限制、限排等环境风险管控措施。（市生态环境局牵头，市工信局、市农业农村局、市商务局、市卫生健康委、廊坊海关、市市场监督管理局等按职责分工负责）</p>
<p>宜宾市新污染物治理实施方案</p> <p>（六）强化新污染物风险管控。落实国家、省优先控制化学物质及抗生素、微塑料等新污染物一品一策管控措施。识别优先控制化学品的主要环境排放源，落实《成渝地区双城经济圈生态环境保护规划》要求，配合开展新污染物川渝联合调查，严格落实国家重点管控新污染物生产、加工使用和进出口禁令工作要求。（市生态环境局、市发展改革委、市经济和信息化局、市农业农村局、市商务局、市卫生健康委、市市场监管局、宜宾海关等按职责分工负责）</p>

省级新污染物治理工作方案举例

<p>北京市新污染物治理工作方案</p> <p>14. 开展新污染物治理试点。聚焦石化、农药、医药等行业，鼓励企业研究、开发、使用低毒低害和无毒无害原料，从源头削减或避免污染物产生。探索污水处理、再生水再利用等领域新污染物去除治理技术与试点，研究对外调水过程新污染物的输入监测和防治。在密云区、延庆区试点开展农田、水体微塑料监测。（密云区政府、延庆区政府，市经济和信息化局、市生态环境局、市农业农村局、市水务局、市发展改革委等部门按职责分工负责）</p> <p>上海市人民政府办公厅关于印发《上海市新污染物治理行动方案》的通知</p> <p>（五）加强微塑料污染治理。严格落实国家和本市塑料污染治理行动方案有关要求。开展海洋塑料垃圾监测调查，探索开展海洋微塑料监测工作，建立岸滩垃圾清理长效机制。（责任单位：市发展改革委、市生态环境局、市经济信息化委、市商务委、市水务局、市绿化市容局、市市场监管局、临港新片区管委会、化工区管委会、各区人民政府）</p>
<p>江苏省新污染物治理工作方案</p> <p>6. 探索新污染物健康风险评估。在集中式饮用水水源地及淡水、海水重要养殖区开展抗生素和内分泌干扰物等新污染物健康风险评估研究。开展微塑料等新污染物生物效应与危害机理、食物链安全和健康风险等研究。（省生态环境厅、省卫生健康委等按职责分工负责）</p>
<p>安徽省新污染物治理工作方案</p> <p>6. 积极落实新污染物管控要求。针对列入优先控制化学物质名录的化学物质以及抗生素、微塑料等其他重点新污染物，实行“一品一策”管控措施，加强对优先控制化学品的主要环境排放源监管，及时实施禁止、限制、限排等环境风险管控措施。探索制订有关地方标准。（责任单位：省生态环境厅，配合单位：省经济和信息化厅、省农业农村厅、省商务厅、省卫生健康委、合肥海关、省市场监管局、省药监局）</p>
<p>辽宁省新污染物治理工作方案</p> <p>（五）强化重点新污染物管控。落实国家优先控制化学物质名录的化学物质以及抗生素、微塑料等其他重点新污染物“一品一策”管控措施。2025年底前，参照国家标准和指南，因地制宜制定重点管控新污染物补充清单及其环境风险管控措施；适时制（修）订相关地方标准，跟踪监测评估管控成效。（省生态环境厅牵头，省工业和信息化厅、省农业农村厅、省商务厅、省卫生健康委、省市场监管局、省药监局、大连海关、沈阳海关等按职责分工负责）</p>



从哪里来？ 怎么来？ 来多少？

系统识别城市陆基微塑料来源，缓解/阻断其向受纳水体的输出路径流量

——未来实现陆域水环境微塑料污染系统性削减的首要前提



尽管在国家生态文明建设发展全局战略中扮演了关键角色
上海市在长期内面临尤其严峻的微塑料污染风险

2019年
上海市塑料垃圾废弃物产
量63.0 mt, 回收18.9 mt

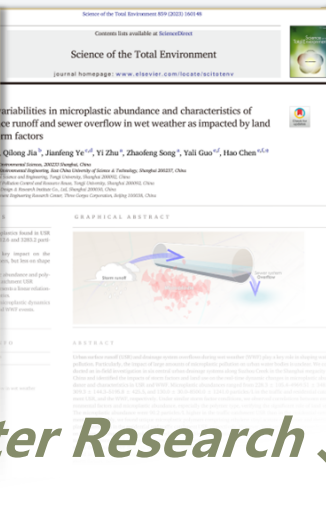
立足全局统筹的宏观防控战略，如何**明确微塑料在大城市尺度下的详细源清单存量与传输路径流量**，探明现状环境管理实践的**削减潜力与未来优化措施/政策组合布局的综合缓解效力**，从而构建系统防控策略体系，是未来实现科学、系统、精准施策的关键前提

防控焦点：城市作为风险热点，在塑造流域微塑料污染格局方面发挥着核心作用

大尺度流域内90%的年累积塑料负荷会在一年20%的时间内从城市区域输出

3. 我们的研究工作

三峡上海院长江生态环境工程研究中心（上海） & 同济大学联合研究团队： 流域水体新污染物（微塑料等）生态风险及其系统治理关键策略研究



三峡上海院2023科标业项目《河湖新污染物环境风险及工程影响研究》
上海市科委研发计划项目《河道水环境质量提升技术集成研究与示范》
上海市环保科研重大项目《泵站污染物放江削减关键技术研究》

已发表 *Water Research*、*STOTEN*、*环境科学* 及其他中文核心杂志论文10余篇

申报相关发明专利多项

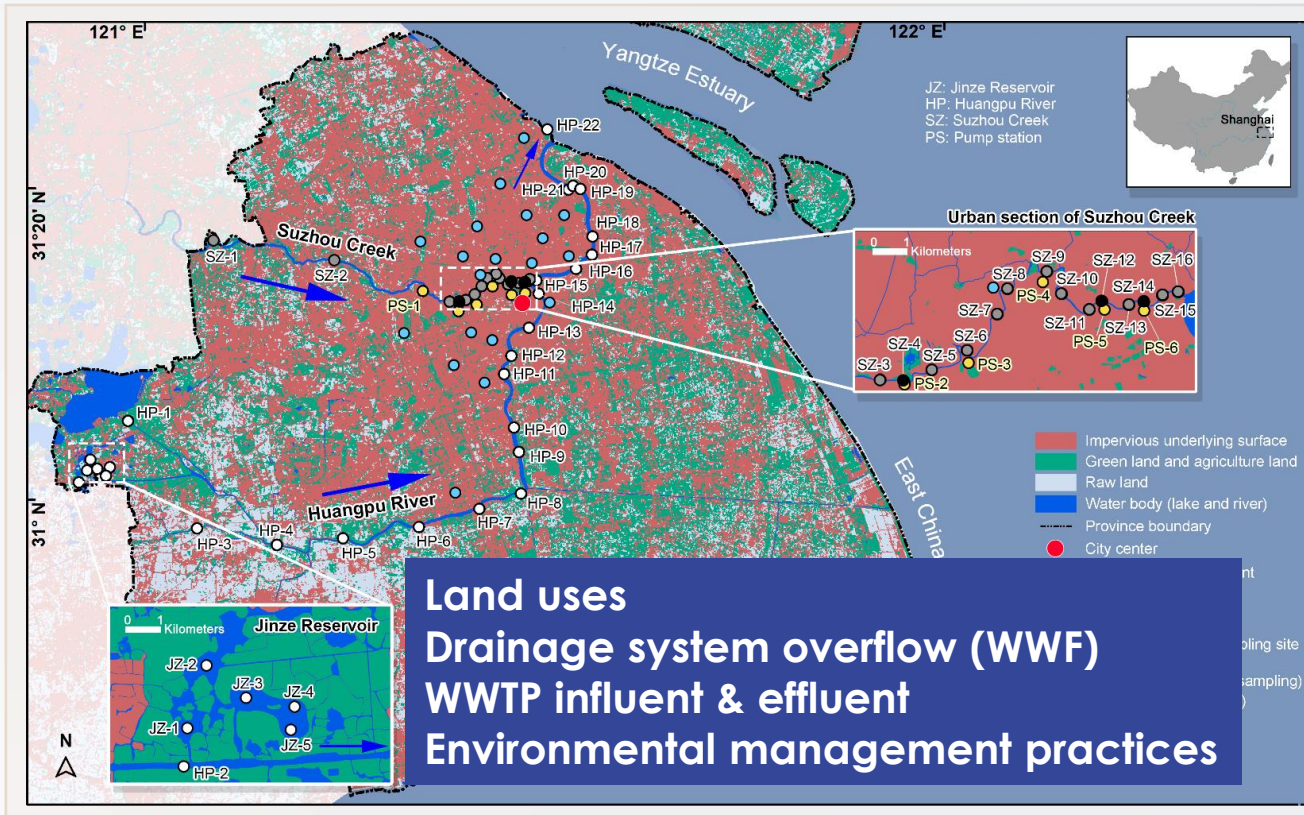
多次代表上海市生态环境局参加中-美/挪威领事馆环境论坛做主旨报告

Part 2

1. 上海市水体微塑料污染的现状
2. 城市聚群陆源微塑料污染归趋与系统治理关键

1. 上海市水体微塑料污染的现状

上海大城市(Megacity): 黄浦江流域尺度 水体微塑料的纵向足迹 & 叠加的自然与人为因素



- ◆ Sampling sites included five sites in Jinze Reservoir (30 surface water samples), 22 sites in Huangpu River (132 surface water samples), 16 sites in Suzhou Creek (13 sites with 78 surface water samples and 78 sediment samples, and three more sites from which 18 sediment samples were taken). All these samples were collected once in summer and winter in 2018, respectively;
- ◆ A total of 71 real-time WWF samples were collected from the sumps of six pump stations located along Suzhou Creek during rainfall events (summer, wet season, 2018).
- ◆ WWF samples from 19 randomly selected pump stations located in urban and peri-urban areas were additionally collected.

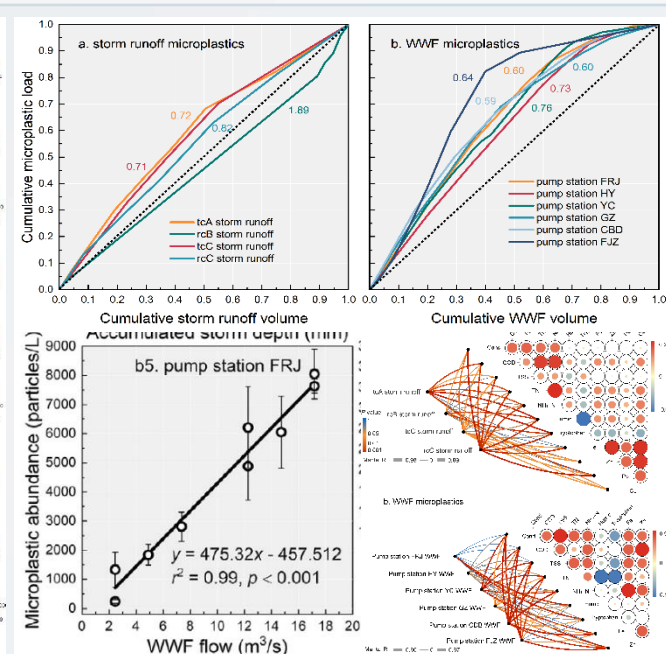
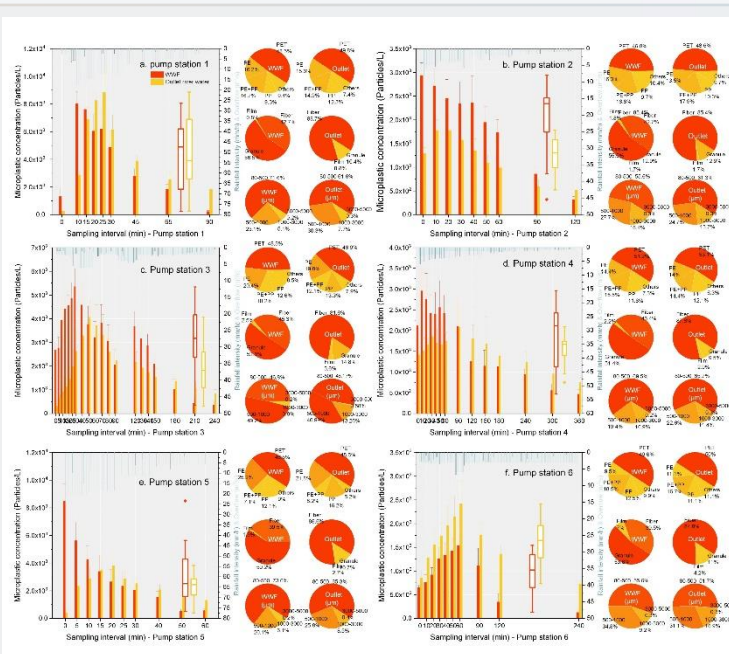
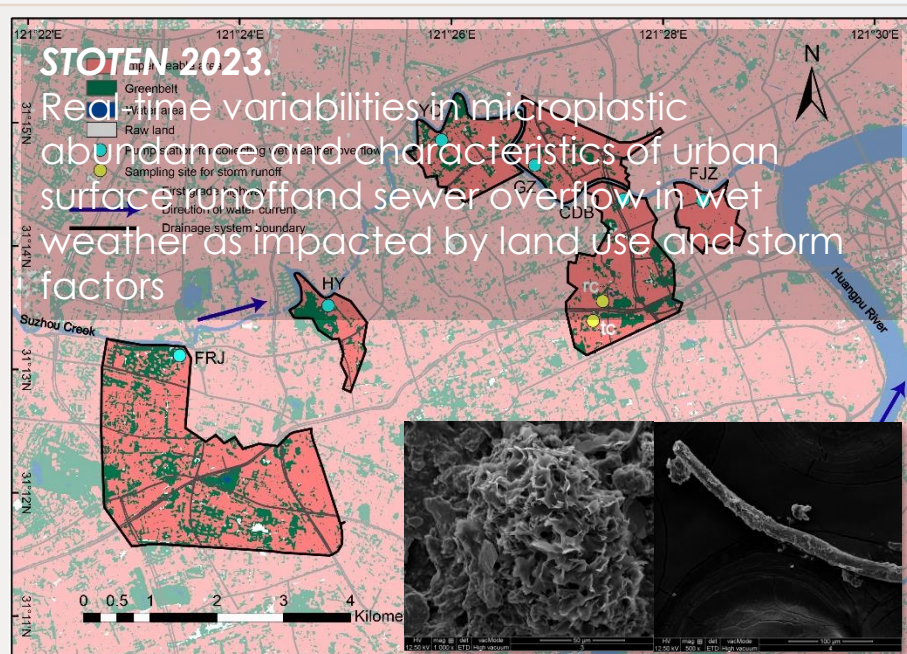
Water research 2020.

The occurrence of microplastics in water bodies in urban agglomerations: Impacts of drainage system overflow in wet weather, catchment land-uses, and environmental management practices (被引76次)

1. 上海市水体微塑料污染的现状

大范围采样监测

市政排水系统雨天溢流与污水厂尾水的微塑料排放：管网雨天溢流



苏州河·浙江路桥附近6个典型合流制泵站

平均微塑料丰度：

130.0±30.0–8500.0±1241.0 particles/L

实时排放丰度落差：

~7900 particles/L

PET: 49%-59%

PE: 9%-23%

Granule: 50%-56%

Fiber: 40%-48%

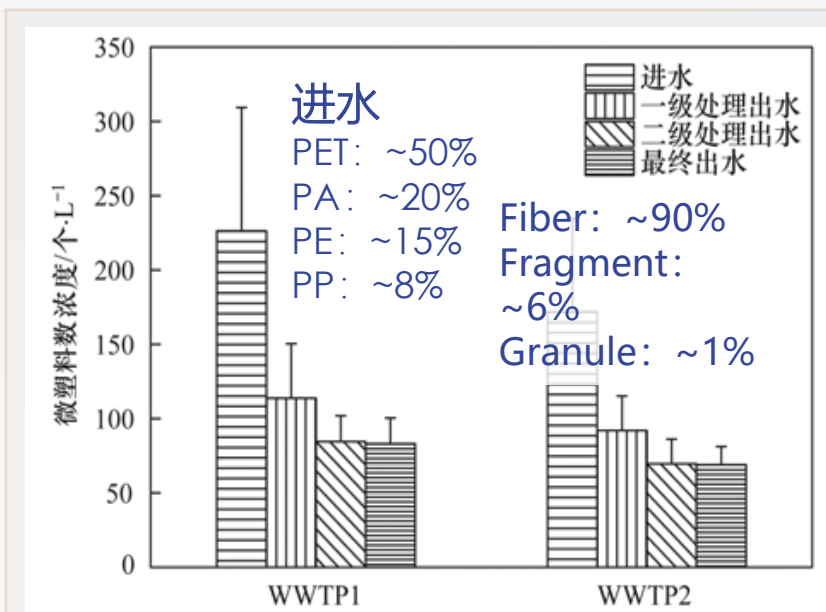
80-500 mm: 48%-70%

◆ 微塑料丰度与累积降雨量、溢流量之间存在线性关系

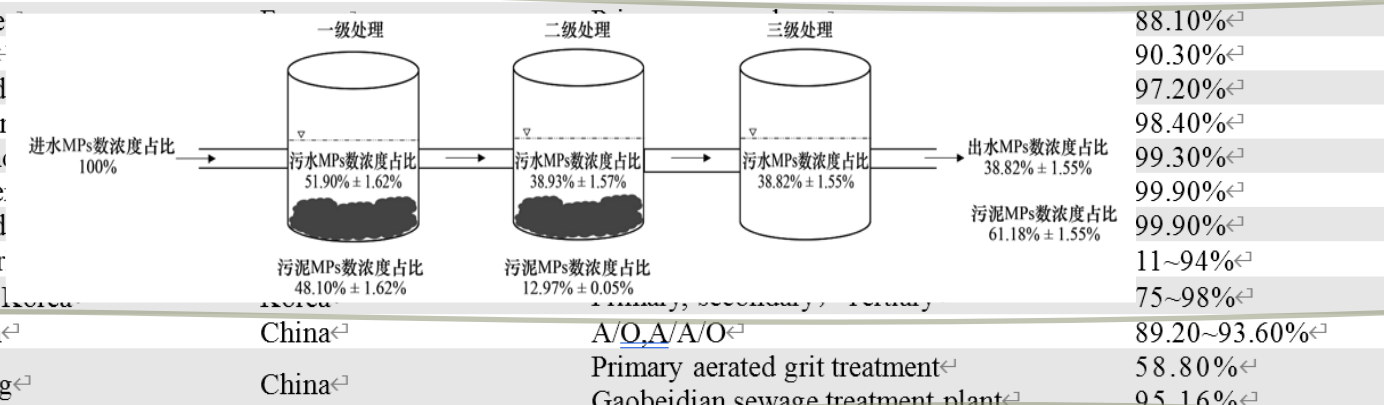
◆ 溢流微塑料丰度存在初期效应：初期30%流量携带~60%的微塑料总量

大范围采样监测

市政排水系统雨天溢流与污水厂尾水的微塑料排放：污水厂尾水



City	Country	Treatment processes	Removal efficiency
Shanghai	China	Primary, secondary	61.57%
Wuhan	China	Conventional activated sludge process	64.40%
Jiangsu	China	MBR/OD	82.10%
France			88.10%
Spain			90.30%
United Kingdom			97.20%
Scotland			98.40%
Finland			99.30%
Sweden			99.90%
United Kingdom			99.90%
Netherlands			11~94%
South Korea			75~98%
Guilin	China	A/O, A/A/O	89.20~93.60%
Beijing	China	Primary aerated grit treatment Gaobeidian sewage treatment plant	58.80% 95.16%



进水MPs数浓度占比 100% → 一级处理 (污水MPs数浓度占比 51.90% ± 1.62%) → 二级处理 (污水MPs数浓度占比 38.93% ± 1.57%) → 三级处理 (污水MPs数浓度占比 38.82% ± 1.55%) → 出水MPs数浓度占比 38.82% ± 1.55%

污泥MPs数浓度占比: 一级处理 48.10% ± 1.62%, 二级处理 12.97% ± 0.05%

我国污水处理厂微塑料处理效率偏低
欧洲地区污水处理厂达到90%以上，部分甚至接近100%

白龙港进水: 226.27 ± 83.00 p/L 竹园一进水: 171.89 ± 62.98 p/L
出水: 83.16 ± 17.22 p/L 出水: 69.03 ± 12.21 p/L

- ◆ 白龙港处理率: 63.25%
- ◆ 竹园一处理率: 59.84%
- ◆ 一级处理单位处理率达到70%~80%

1. 上海市水体微塑料污染的现状

基于采样监测与经验相关证据的统计

市政排水系统雨天溢流与污水厂尾水的微塑料排放量估算

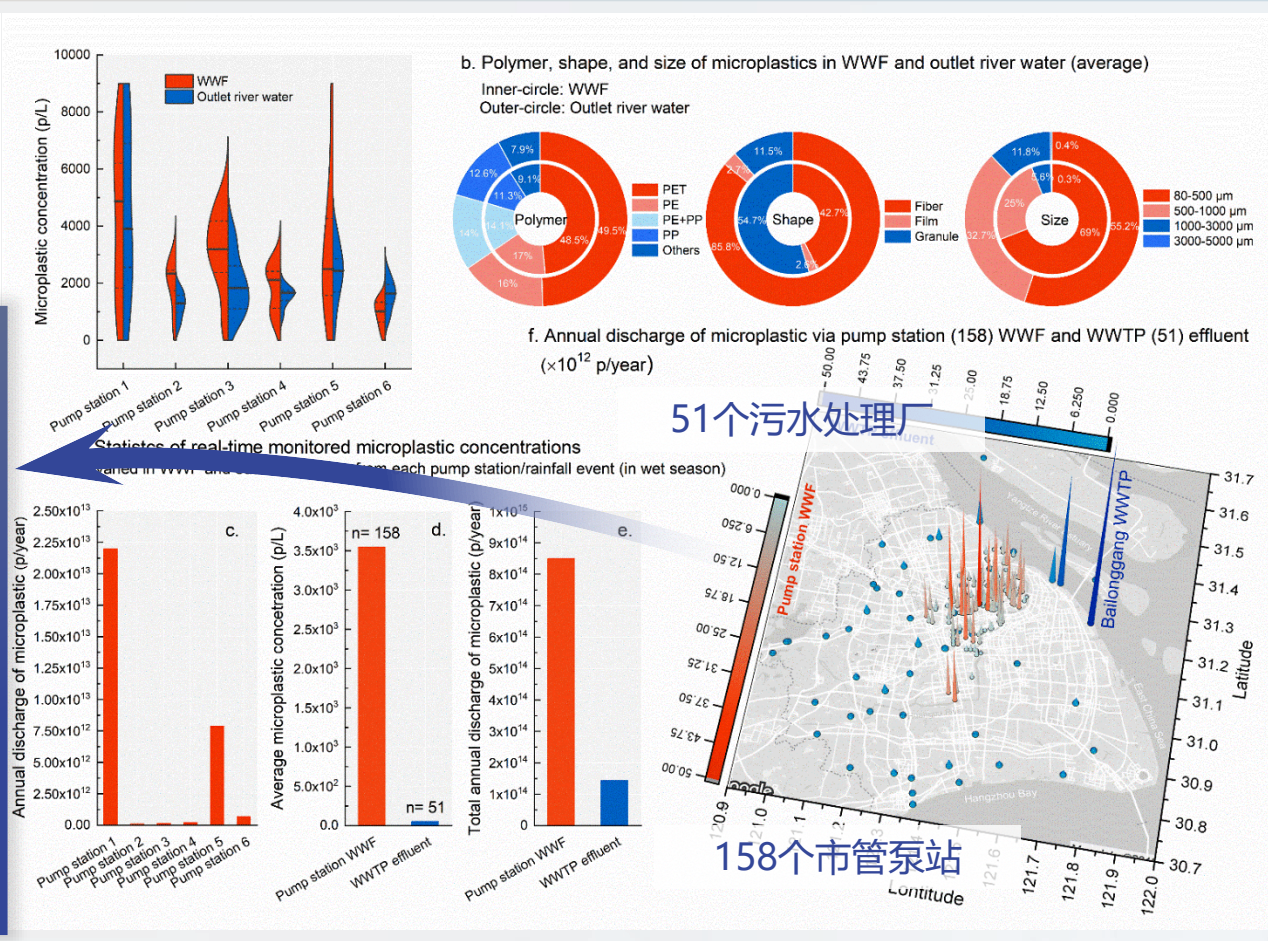
$$C_{microplastic} = 8.0C_{COD} + 775.5 \quad (1)$$

$$C_{microplastic-WWF} = \sum_{i=1}^{158} V_{WWF_i} (8.0COD_i + 775.5) \quad (2)$$

$$C_{microplastic-effluent} = \sum_{j=1}^{51} V_{effluent_j} \times C_{microplastic} \quad (3)$$

- ◆ 158座泵站的WWF年微塑料排放量
- ◆ $8.50 \times 10^{14} \pm 4.72 \times 10^{12}$ (p/year)
- ◆ 51座WWTP的尾水年微塑料排放量
- ◆ 1.43×10^{14} (p/year)
- ◆ 有毒塑料成分(即聚乙烯PE和聚丙烯PP)的比例很高

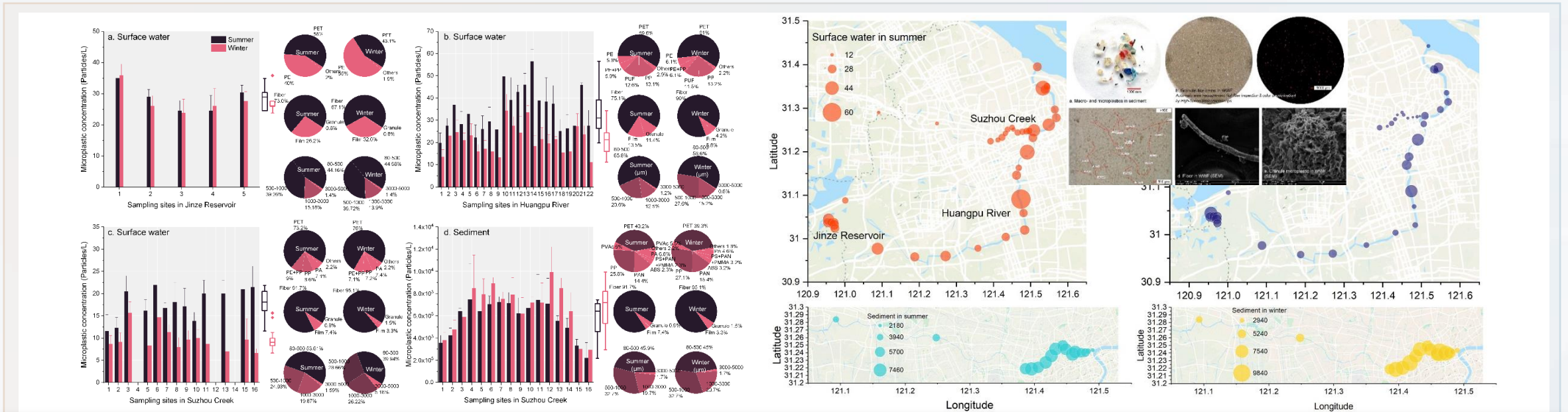
- ◆ (2个数量级) 高于巴黎城市聚群
- ◆ $4-5 \times 10^{12}$ (fiber/year)
- ◆ (2100万m³/year 溢流量)



1. 上海市水体微塑料污染的现状

城市水库与河道的微塑料赋存与特征

土地利用等因素导致的水体微塑料空间分布：苏州河/黄浦江/金泽水源地



金泽水源地:

28.3 ± 4.1 p/L
PET: ~50%
Fiber (70%)/film (30%)
80-500 mm: 45%

黄浦江:

26.2 ± 9.6 p/L
苏州河: 14.4 ± 5.1 p/L
PET: 60%-76%
Fiber: 75%-95%
80-500 mm: 40%-66%

苏州河沉积底泥:

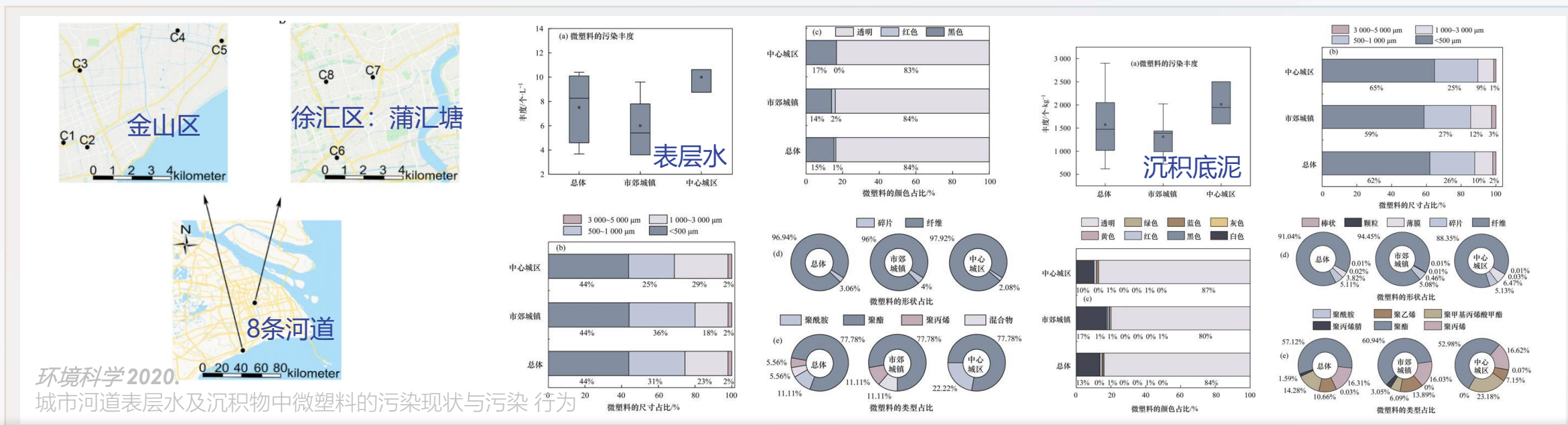
均值: 6233.4 ± 1890.4 p/kg
高值: 8505.5 ± 1439.56 p/kg
PET: 40%/PP: 27%/PAN: 15%
Fiber: >90%; 80-500 mm: 45%

◆ 集水区城市化与人口密度增加 (或与城市中心的距离) 促进近端接纳水体中微塑料丰度

1. 上海市水体微塑料污染的现状

城市水库与河道的微塑料赋存与特征

土地利用等因素导致的水体微塑料空间分布：中心城区/城郊中小河道



城郊河道表层水：

7.5 ± 2.8 p/L
PET: ~80%
Fiber: 96%
80-500 μm: ~45%

中心城区表层水：

10.0 ± 1.1 p/L
PET: ~80%
Fiber: 98%
80-500 μm: ~45%

城郊河道沉积底泥：

1312.8 ± 494.5 p/L
PET: 61%
Fiber: 94%
80-500 μm: 59%

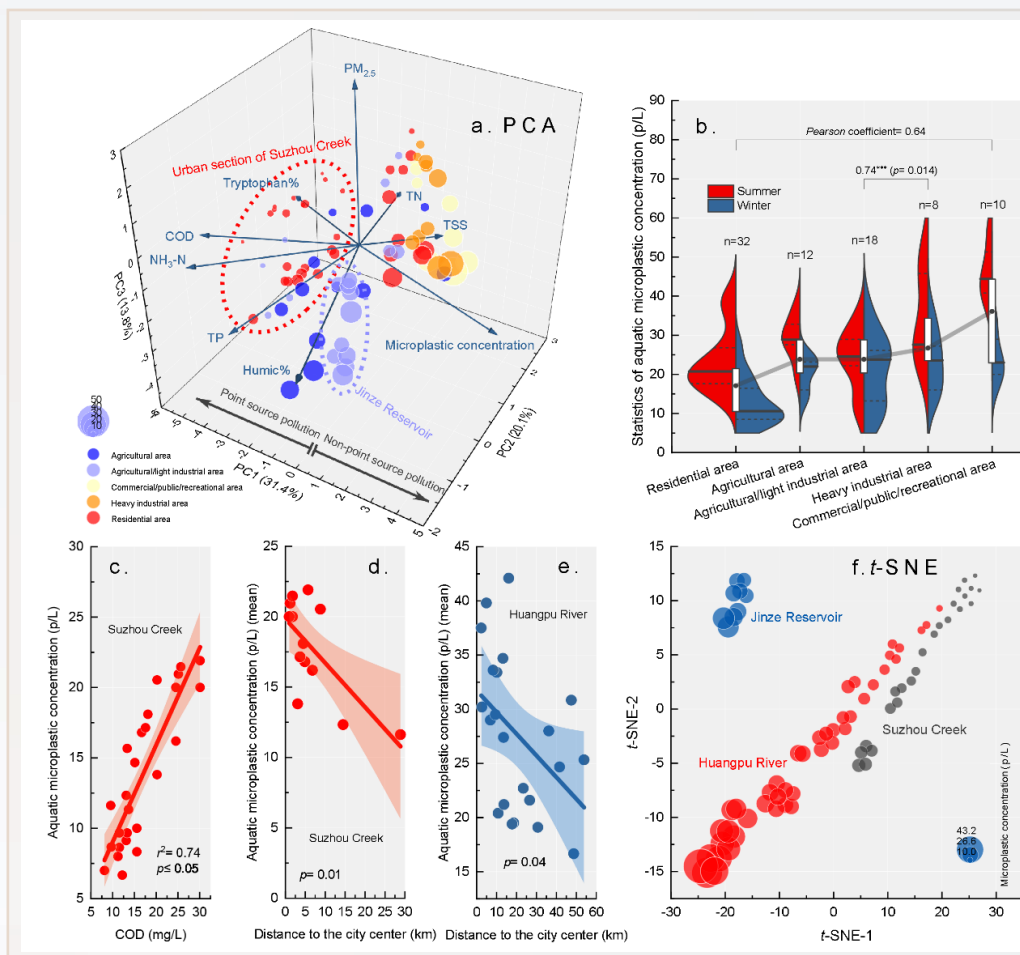
中心城区沉积底泥：

2013.3 ± 459.1 p/L
PET: 53%
Fiber: 88%
80-500 μm: 65%

◆ 中小河道微塑料赋存与聚合物组成多样性显著低于主干河道

1. 上海市水体微塑料污染的现状

城市水库与河道的微塑料赋存与特征 土地利用等因素导致的水体微塑料空间分布差异



- ◆ 苏州河城区段（居民区土地利用为主）不同于其他样本
- ◆ 与COD/氨氮/tryptophan% 高度相关
---市政/生活源污染/环境措施
- ◆ 金泽水源地整体污染状态差异不大
- ◆ 与humic%高度相关
---农业/轻工业/面源污染
- ◆ 黄浦江在污染特征上有明显的分化
- ◆ 由不同的河岸土地利用形成的，与TSS/微塑料有关
---面源污染

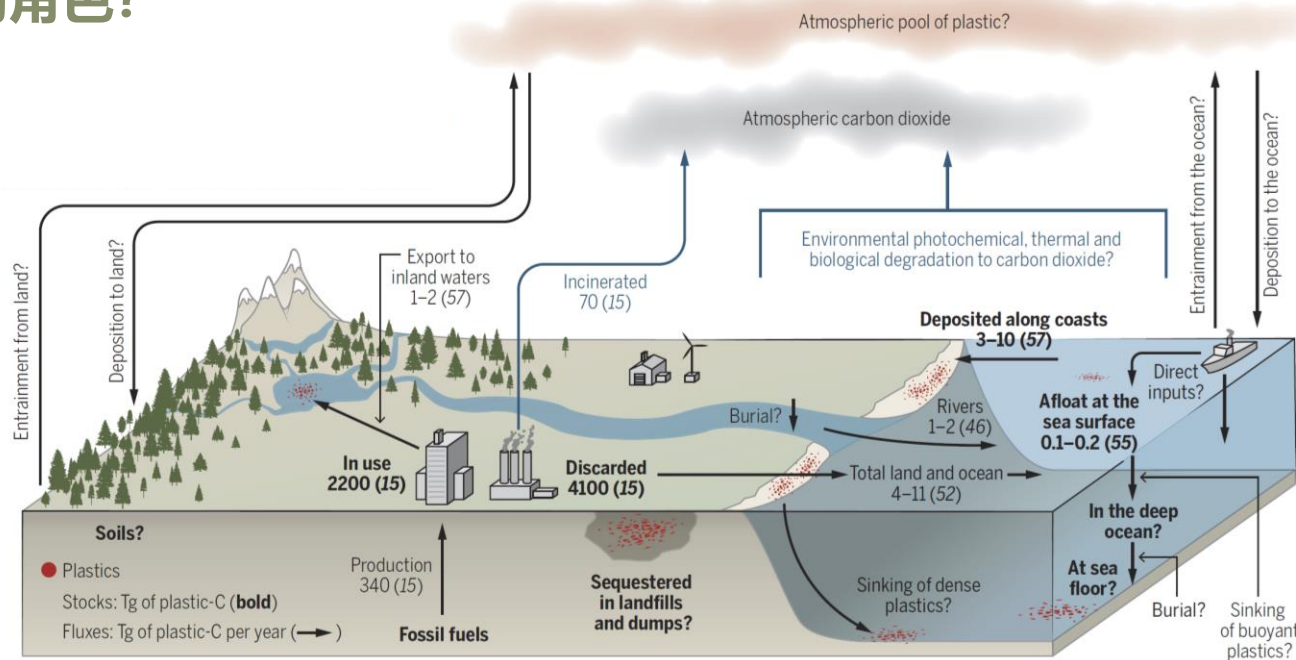
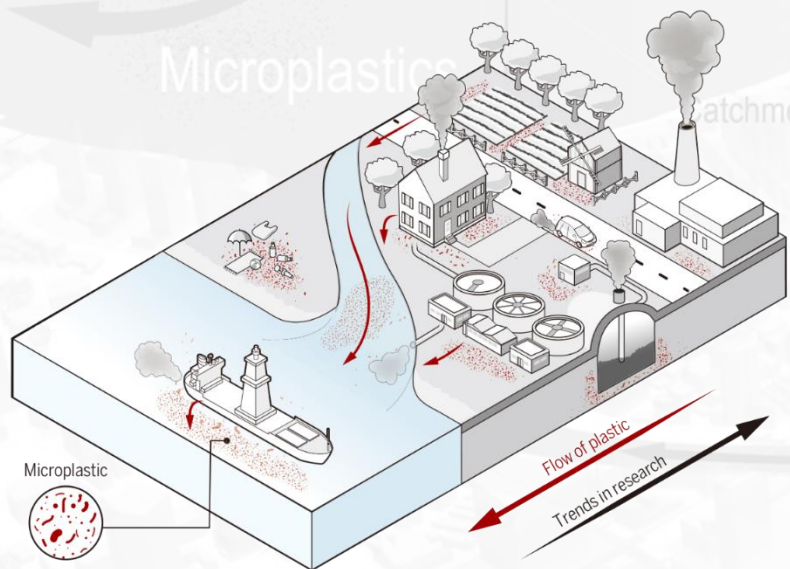
- ◆ 测试的地表水中微塑料浓度的空间差异，从高到低依次是：**商业/公共/娱乐区 > 重工业区 > 农业/轻工业区 > 农业区 > 住宅区**
- ◆ 显著的季节性变化包括：夏季的水体微塑料浓度总体上高于冬季，特别是在商业/公共/娱乐、住宅和农业用地附近
- ◆ 在苏州河和黄浦江，微塑料随着采样点与市中心的距离直线上升
- ◆ t-SNE聚类分析表明，金泽水源地微塑料样本的形态特征和聚合物成分与黄浦江和苏州河的有明显的不同
- ◆ PM_{2.5}与苏州河和黄浦江的部分地表水显示出大致上的正相关关系

当前复杂复合的污染特征大大增加了理解城市微塑料如何发生如何流布的难度

建立基于质量平衡与源头-路径-汇框架的多向级联传输网络，明晰复合叠加因素机制

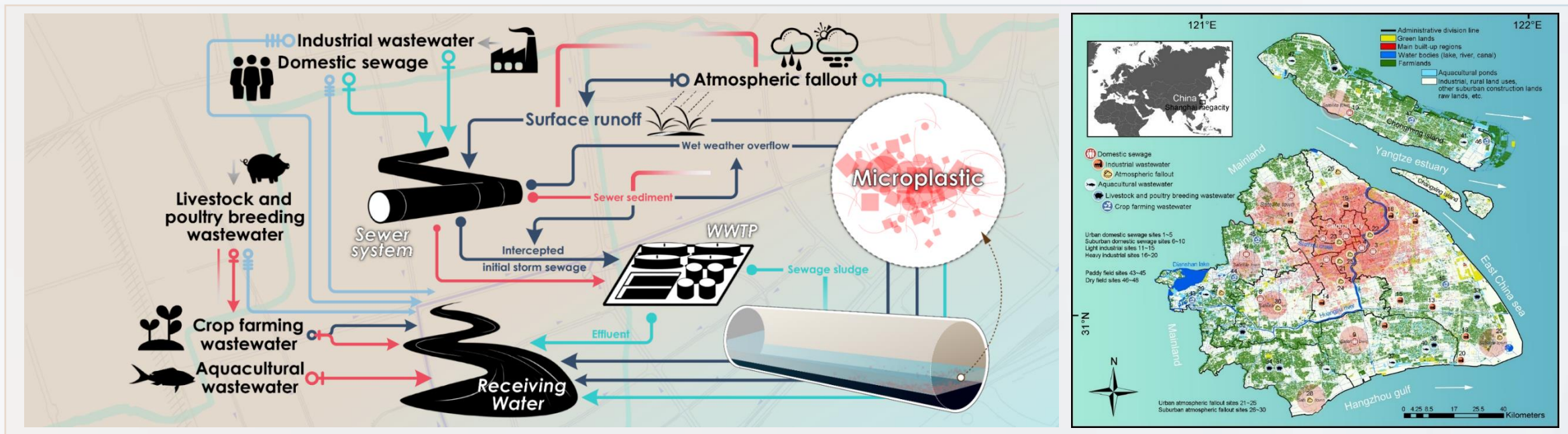
支撑城市水体输入性微塑料污染的系统防控策略体系建构、避免效果有限的单一举措，致力实现污染精准诊断与总量削减目标的先决条件

- A. 跨越广泛的土地使用梯度/环境区间/污染源/路径，流域尺度物质网络的结构和质量流如何？
- B. 根据统一评价标准，城市微塑料源清单存量多少，对受纳水体的污染贡献如何？
- C. 环境管理实践在微塑料传播过程中的角色？
- D. 天气主导模式如何影响物质流？



构建源头存量和途径流量分析的微塑料质量平衡模型

源头-途径-受体框架 & 多向传输网络 & 基于领土的核算 & 基线情景



根据2015-2020年全国污染源普查和区域环境统计调查，**生活污水、工业废水、大气沉降、畜禽养殖废水、水产养殖废水、种植业废水源**在进入上海乃至全国淡水系统的陆源污染输出中占主导地位。

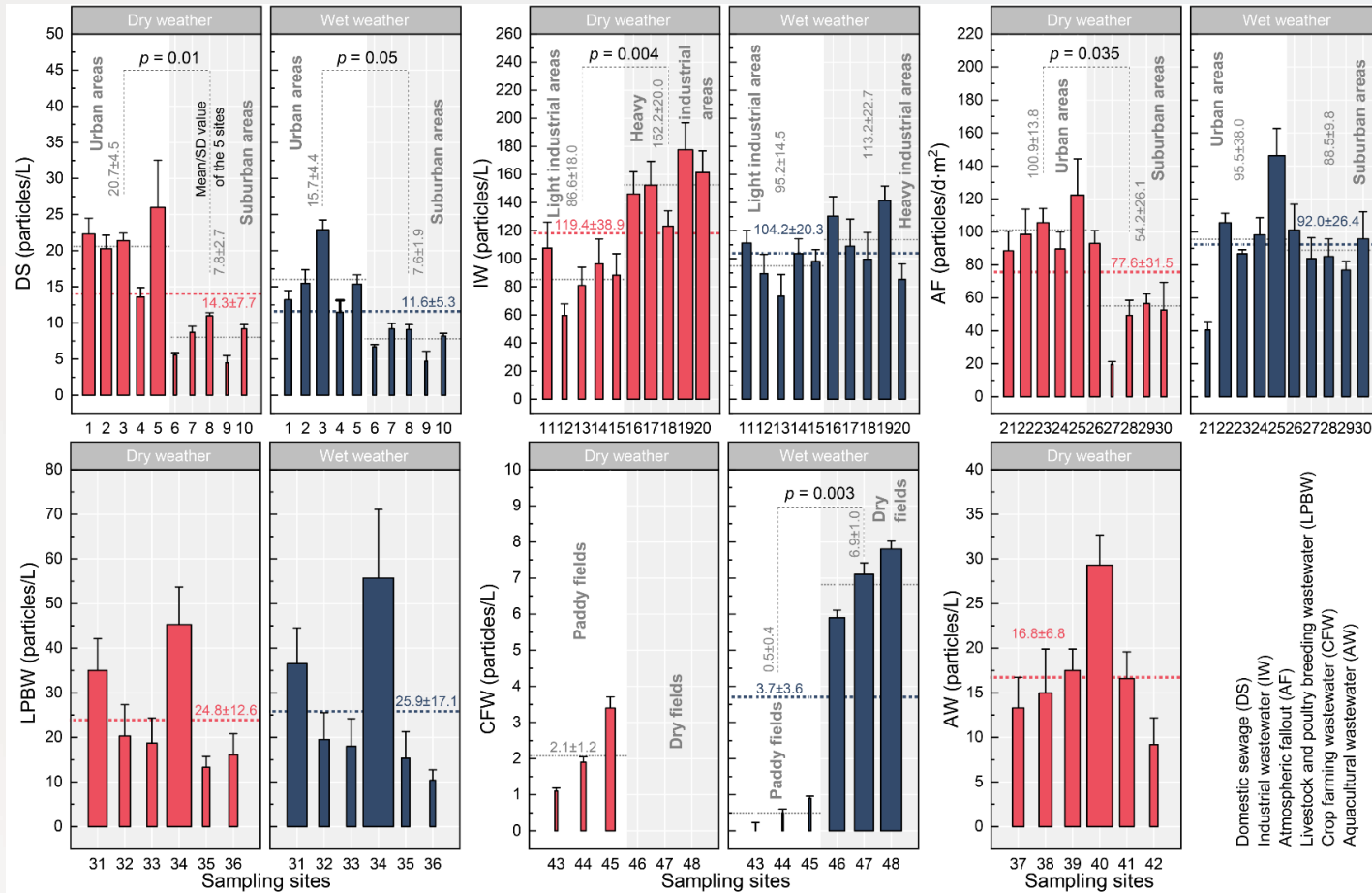
Water research 2022.

Quantifying microplastic stocks and flows in the urban agglomeration based on the mass balance model and source-pathway-receptor framework: Revealing the role of pollution sources, weather patterns, and environmental management practices

- ◆ 假定系统稳定
- ◆ 源的现场监测数据 (均值+标准偏差)
- ◆ 27条路径的转移系数 (2018-2020)
- ◆ 静态质量平衡 (不考虑回收)
- ◆ 边界
- ◆ 不确定性评价

基于源头存量和途径流量分析的微塑料质量平衡模型

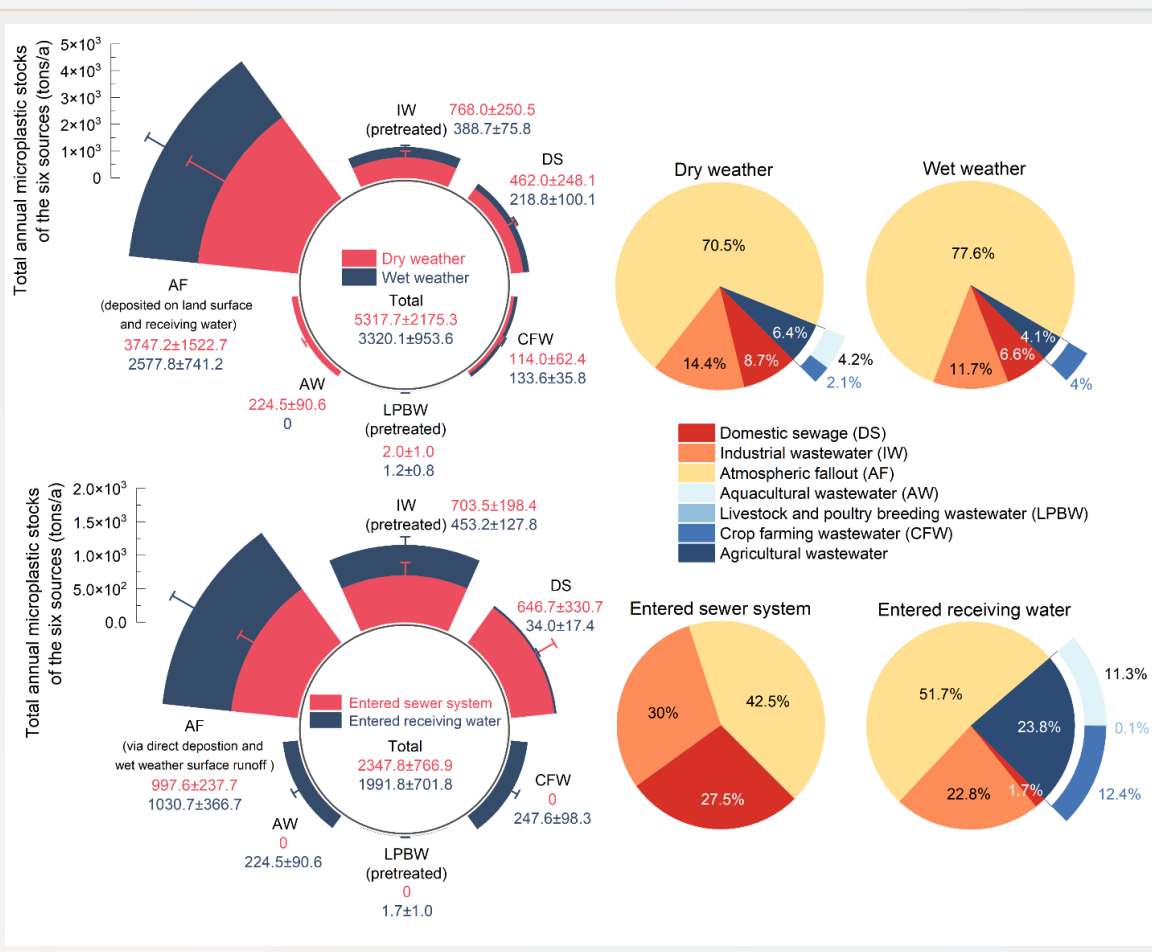
城市聚群陆源微塑料污染的归趋：主要水污染源的微塑料排放丰度水平



- **工业废水/大气沉降微塑料丰度最高**
- IW: 119.4 ± 38.9 (d) and 104.2 ± 20.3 (w) particles/L;
- 重工业高于轻工业废水
- AF: 77.6 ± 31.5 (d) and 92.0 ± 26.4 (w) particles/d·m²;
- 城区大气沉降高于郊区
- ◆ **畜禽养殖废水微塑料**
- 24.8 ± 12.6 (d) and 25.9 ± 17.1 (w) particles/L
- ◆ **生活污水微塑料**
- 14.3 ± 7.7 (d) and 11.6 ± 5.3 (w) particles/L
- 旱雨天均是城区污水高于郊区
- **种植业废水微塑料**
- 3.7 ± 3.6 particles/L (w)
- 旱地高于水田
- 水田: 2.1 ± 1.2 particles/L (d)
- ◆ **水产养殖废水**
- 16.8 ± 6.8 (d) particles/L.

基于源头存量和途径流量分析的微塑料质量平衡模型

城市聚群陆源微塑料污染的归趋：6类水污染源的微塑料存量-天气模式和排放路径



◆ 六类源总量

- 5317.7 ± 2175.3 (d) and 3320.1 ± 953.6 (w) tons/a;
- 进入下水系统: 2347.8 ± 766.9 tons/a
- 直接进入受纳水体: 1991.8 ± 701.8 tons/a

◆ 总量占比: 大气沉降远大于工业废水、生活污水

- 大气沉降: 3747.2 ± 1522.7 (d) and 2577.8 ± 741.2 (w) tons/a, (70.5% and 77.6% of total);
- 工业废水: 768.0 ± 250.5 (d) and 388.7 ± 75.8 (w) tons/a, (14.4% and 11.7% of total);
- 生活污水: 462.0 ± 248.1 (d) and 218.8 ± 100.1 (w) tons/a, (8.7% and 6.6% of total);
- 农业废水: 6.4% and 4.1%

◆ 下水系统接收 (直接):

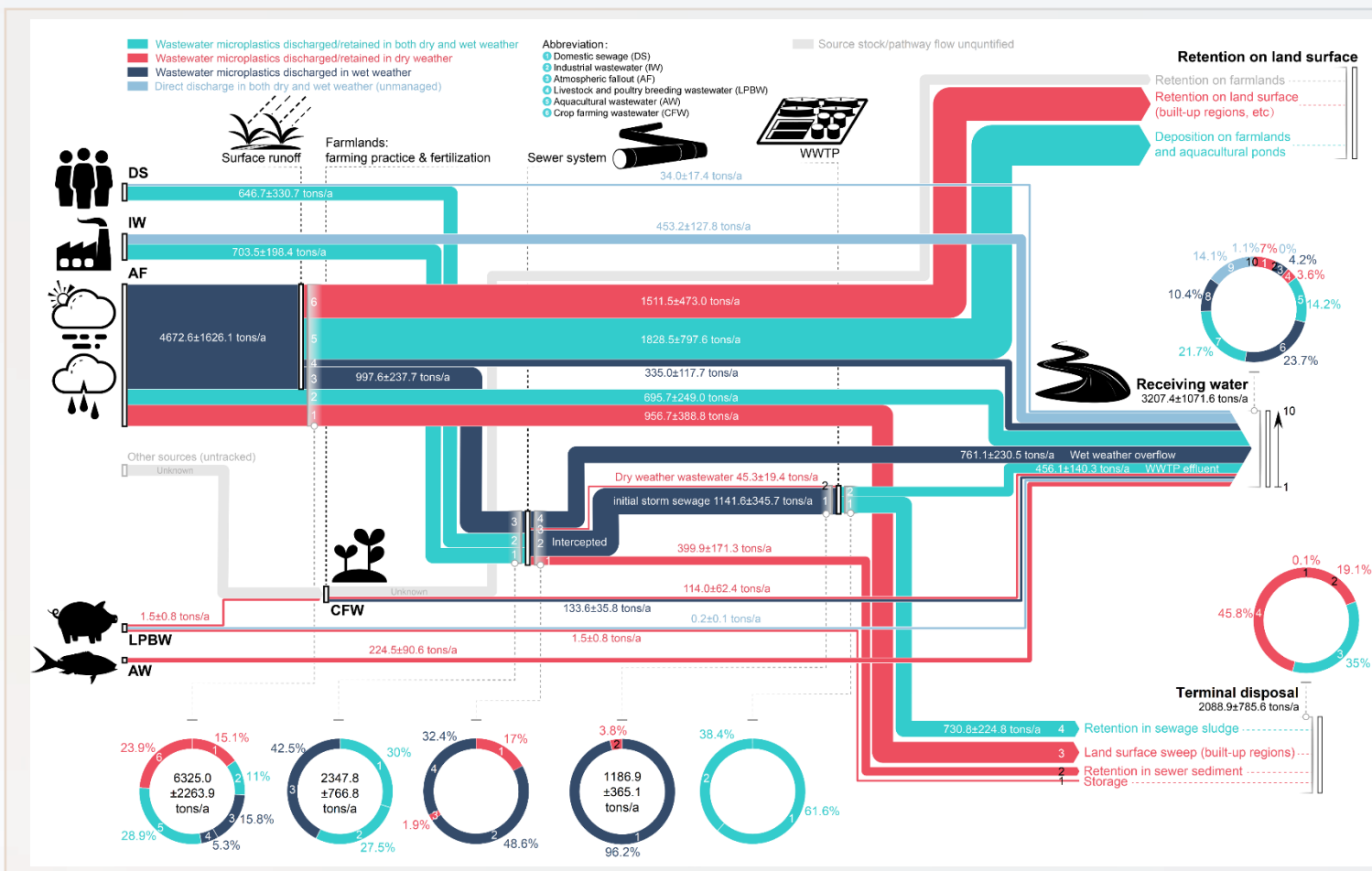
- 大气沉降: 997.6 ± 237.7 tons/a, 42.5%
- 工业污水: 703.5 ± 198.4 tons/a, 30.0%
- 生活污水: 646.7 ± 330.7 tons/a, 27.5%

◆ 受纳水体接收 (直接):

- 大气沉降: 1030.7 ± 366.7 tons/a, 51.7%
- 工业污水: 453.2 ± 127.8 tons/a, 22.8%
- 生活污水: 34.0 ± 17.4 tons/a, 1.7%
- 农业废水: 23.8% (AW, 224.5 ± 90.6 tons/a, 11.3%; CFW, 247.6 ± 98.3 tons/a, 12.4%)

基于源头存量和途径流量分析的微塑料质量平衡模型

城市聚群陆源微塑料污染的归趋：源头-途径-受体框架网络的微塑料质量流



◆ 管网和污水厂在生活污水、工业污水和径流微塑料流中扮演关键角色 **2347.8 ± 766.8 tons/a**

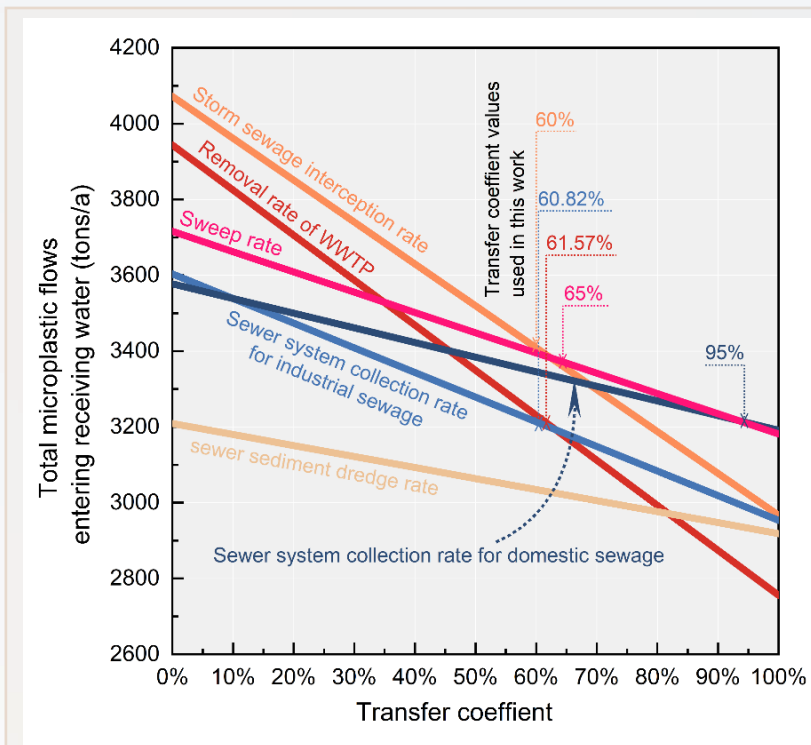
- 进入污水厂：52.2%
- 溢流排放：32.4%
- 沉降至通沟底泥：17.0%

◆ 污水厂进水 **1186.9 ± 365.1 tons/a**

- 进入剩余污泥：61.6%

基于源头存量和途径流量分析的微塑料质量平衡模型

城市聚群陆源微塑料污染的归趋：环境管理措施在缓解微塑料流动方面的作用

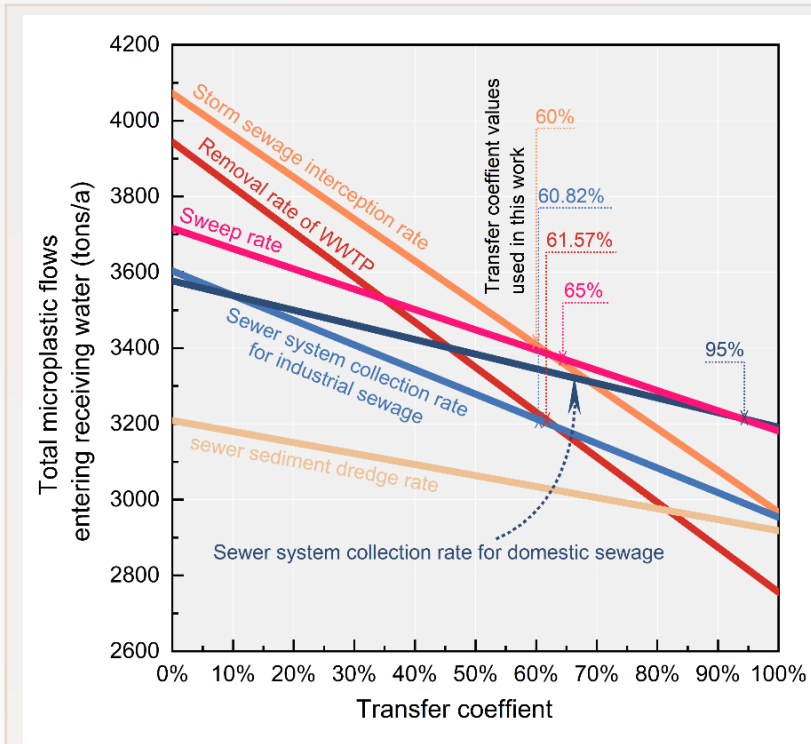


- ◆ 流域范围内微塑料的主要贡献者---大气微塑料控制涉及工业结构调整和清洁能源开发
- ◆ 干预由暴雨径流驱动污染事件，以减轻向下的微塑料流动，已经成为一个优先事项
- ◆ 对最初55%的暴雨径流采取拦截措施可以控制60%-70%的城市非点源污染物负荷
- 低影响开发
- 海绵城市
- 湿地
- 非结构性措施：地表清扫、限制带钉轮胎

这项研究首次提供了环境管理措施在缓解城市群中发生的水生微塑料污染方面的系统性作用的定量证据
终端处理方法可以保留大约五分之二微塑料流，否则这些微塑料将被送入受纳水体

基于源头存量和途径流量分析的微塑料质量平衡模型

城市聚群陆源微塑料污染的归趋：环境管理措施在缓解微塑料流动方面的作用

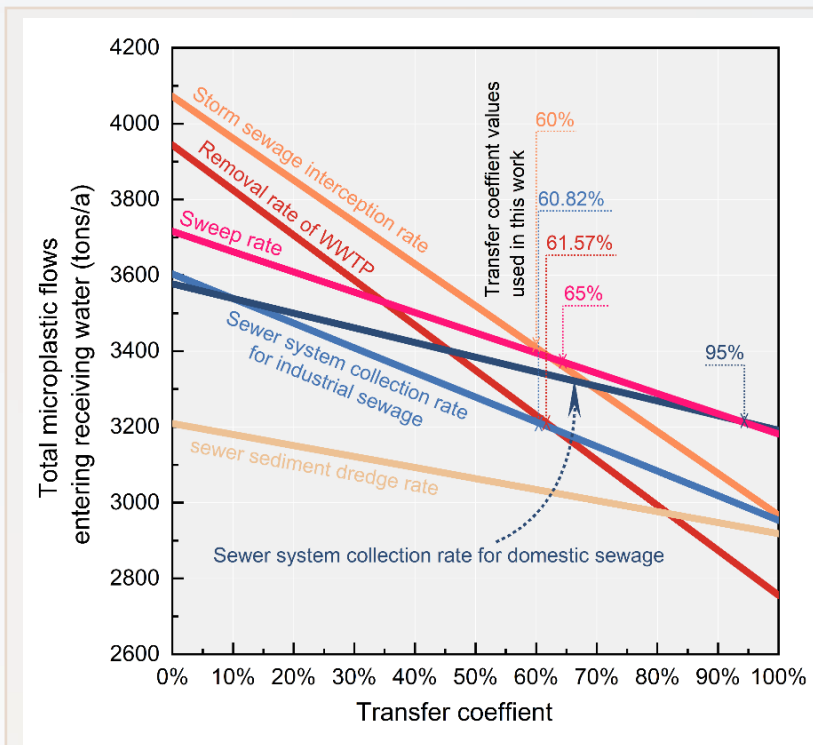


- ◆ 下水道和废水处理系统是连接废水排放源和受纳水体的主要途径
- ◆ 管理下水道和废水处理系统可能是实现大规模减少陆基微塑料出口的切实可行的解决方案
- ◆ 暴雨径流管理基础设施，与污废水收集处理做法相结合，是基于系统效益的最佳战略
- 提高前端废水收集率
- 通沟底泥的处理处置
- 暴雨污水拦截
- 调蓄沉淀
- 减少溢流（灰色基础设施中加入LID以额外减少年度溢流）
- 污水处理厂处理率
- 污泥处理处置和资源回收政策

这项研究首次提供了环境管理措施在缓解城市群中发生的水生微塑料污染方面的系统性作用的定量证据
终端处理方法可以保留大约五分之二微塑料流，否则这些微塑料将被送入受纳水体

基于源头存量和途径流量分析的微塑料质量平衡模型

城市聚群陆源微塑料污染的归趋：环境管理措施在缓解微塑料流动方面的作用

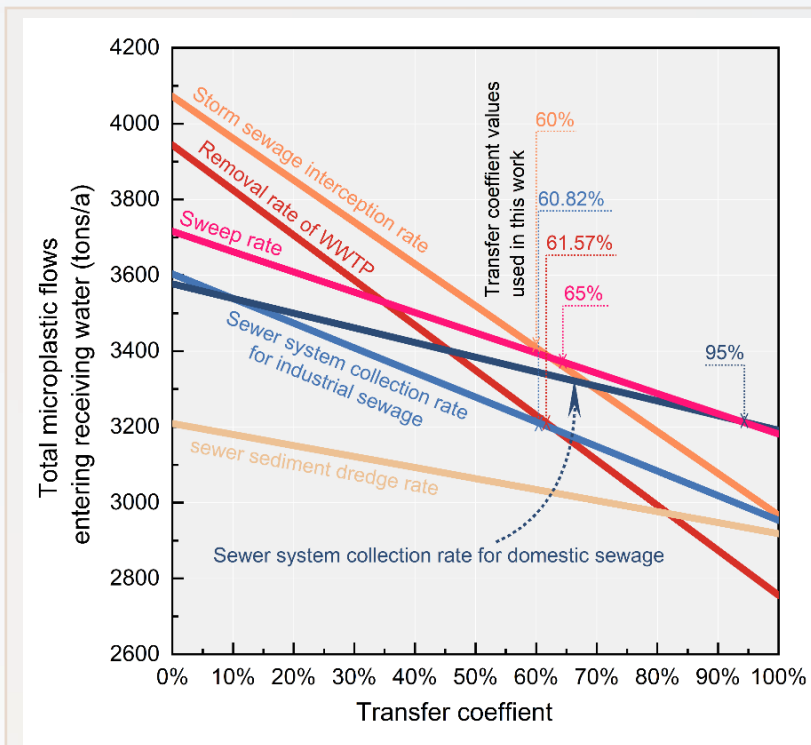


- ◆ 在基线情景条件下，通过上述下水道和废水处理系统中单独部署的做法实现缓解进入受纳水体的微塑料总负荷时，其效率提升的差异是很明显的。
- ◆ 线性模型显示，改善污水处理厂去除效率、初雨截留率、污水收集率和下水道沉积物疏浚率，可以进一步提高缓解活动的效果。

这项研究首次提供了环境管理措施在缓解城市群中发生的水生微塑料污染方面的系统性作用的定量证据
终端处理方法可以保留大约五分之二微塑料流，否则这些微塑料将被送入受纳水体

基于源头存量和途径流量分析的微塑料质量平衡模型

城市聚群陆源微塑料污染的归趋：环境管理措施在缓解微塑料流动方面的作用



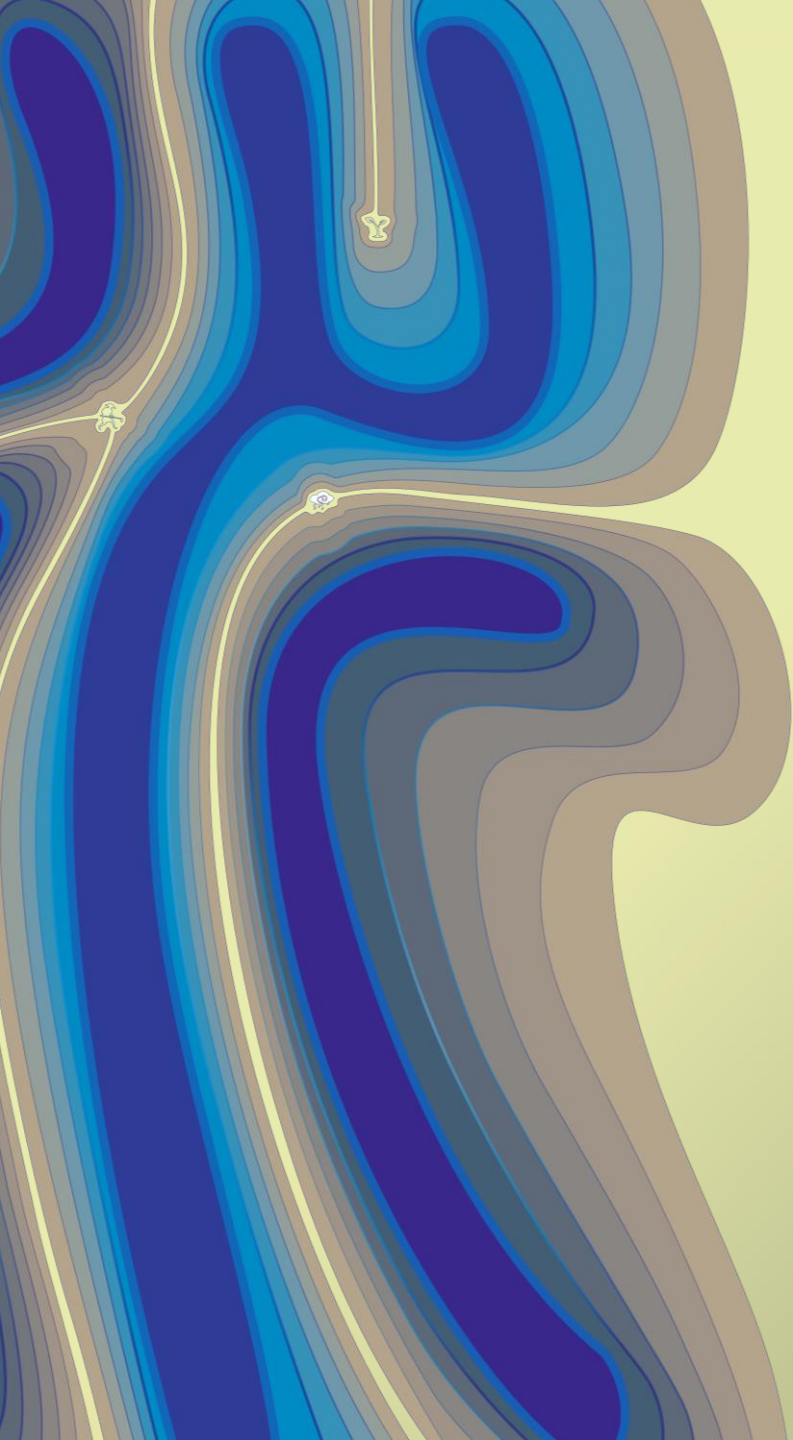
- ◆ 农业的问题？
- ◆ 微塑料的存在并不是触发控制行动的监测指标；这是管理微塑料的一个责任，是由于人们对资源回收和流行的广泛关注和利用造成的（重新使用资源也重新分配了这些资源中存在的微塑料）
- ◆ 单个环境管理措施的缓解功效可能是片面的，可能会加剧质量流向下一个环境区间，造成更大的生态风险
 - 对源头投入的干预仍然是最好和最关键的解决方案，如资源化技术与管理、地膜新材料或新技术等
 - 人工湿地

这项研究首次提供了环境管理措施在缓解城市群中发生的水生微塑料污染方面的系统性作用的定量证据
终端处理方法可以保留大约五分之二微塑料流，否则这些微塑料将被送入受纳水体

总结

我们的研究首次尝试将微塑料的存量和流量作为质量平衡系统进行建模和量化。我们还对陆基微塑料在城市群中发生和多向传播的详细基线情况提供了新颖而全面的见解，这对于系统地指导管理工作以减少未来的微塑料预算，尤其是提出有针对性的缓解策略以解决与关键传播节点相关的风险至关重要。

- ◆ 重点源：大气、工业污水非法排放、农业种植业和道路面源径流、管网溢流、污水厂尾水排放
- ◆ 环境管理措施在减轻城市群水生微塑料污染方面的系统性作用：终端处理方法可以保留约五分之二微塑料流，而这些微塑料流原本会被输送到 受纳水体
- ◆ 重点观测水域：水源地
- ◆ 需要开展进一步研究，以明确基于综合情景的不同减排策略的效率，并评估系统效益和风险。建立详细的微塑料来源清单和流程描述也至关重要。并减少模型的不确定性。



CTG



上海勘测设计研究院有限公司
Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd.



中国水利
CHINA WATER

中国水利学会-河口治理与保护专业委员会
Chinese Hydraulic Engineering Society-Estuarines Governance and Protection Professional Committee



XVIII
World Water Congress
International Water Resources Association (IWRA)

谢谢!

XVIII
WORLD WATER
CONGRESS

Water for All
Harmony between
Humans and Nature

第18届
世界水资源大会
水与万物：
人与自然和谐共生

和谐水环境： 面向生态可持续未来的水环境综合治理

上海勘测设计研究院有限公司
2023年9月14日

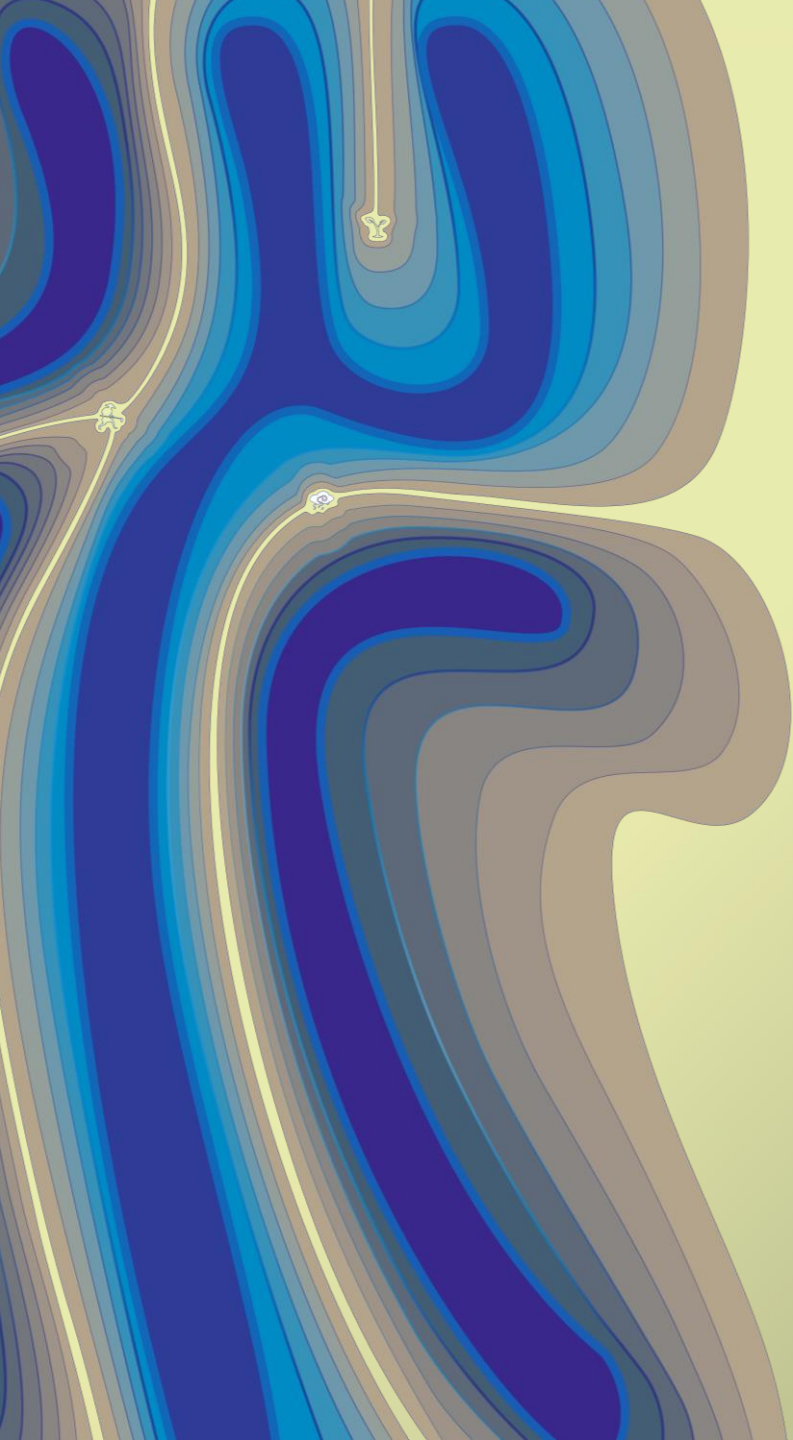


姓 名：李松

专 业：海洋生物学

研究方向：河口生态系统演变研究

工作单位：上海勘测设计研究院有限公司



近四十年长江口生态系统结构功能演变 特征及驱动因素探索

上海勘测设计研究院有限公司
李松

目录

- 长江口生态系统概述
- 长江口生态系统结构演变特征
- 长江口生态系统功能演变特征
- 长江口生态系统演变驱动因素

◆ 定义：

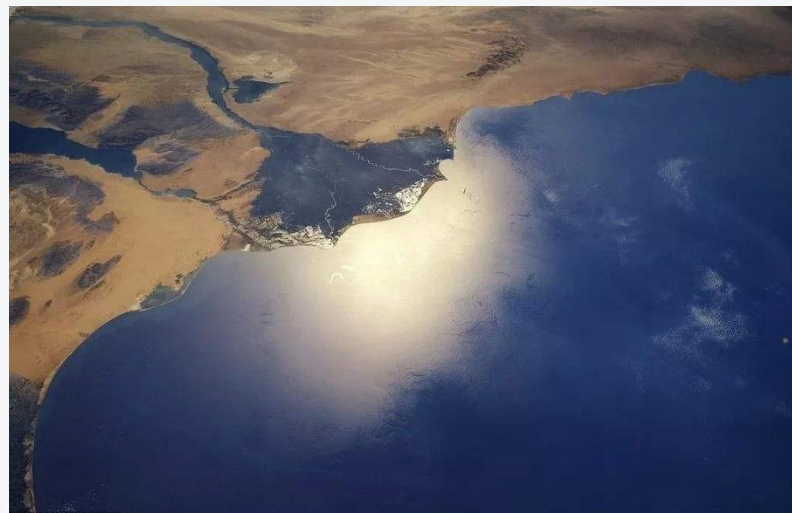
河口生态系统是指河口水体中各类生物之间及其与河口环境之间的相互关系。

◆ 特征：

- 界面生态系统：海洋、河流、陆地、湿地…
- 高度开放；极为敏感；非常脆弱；稳定性低。



密西西比河口

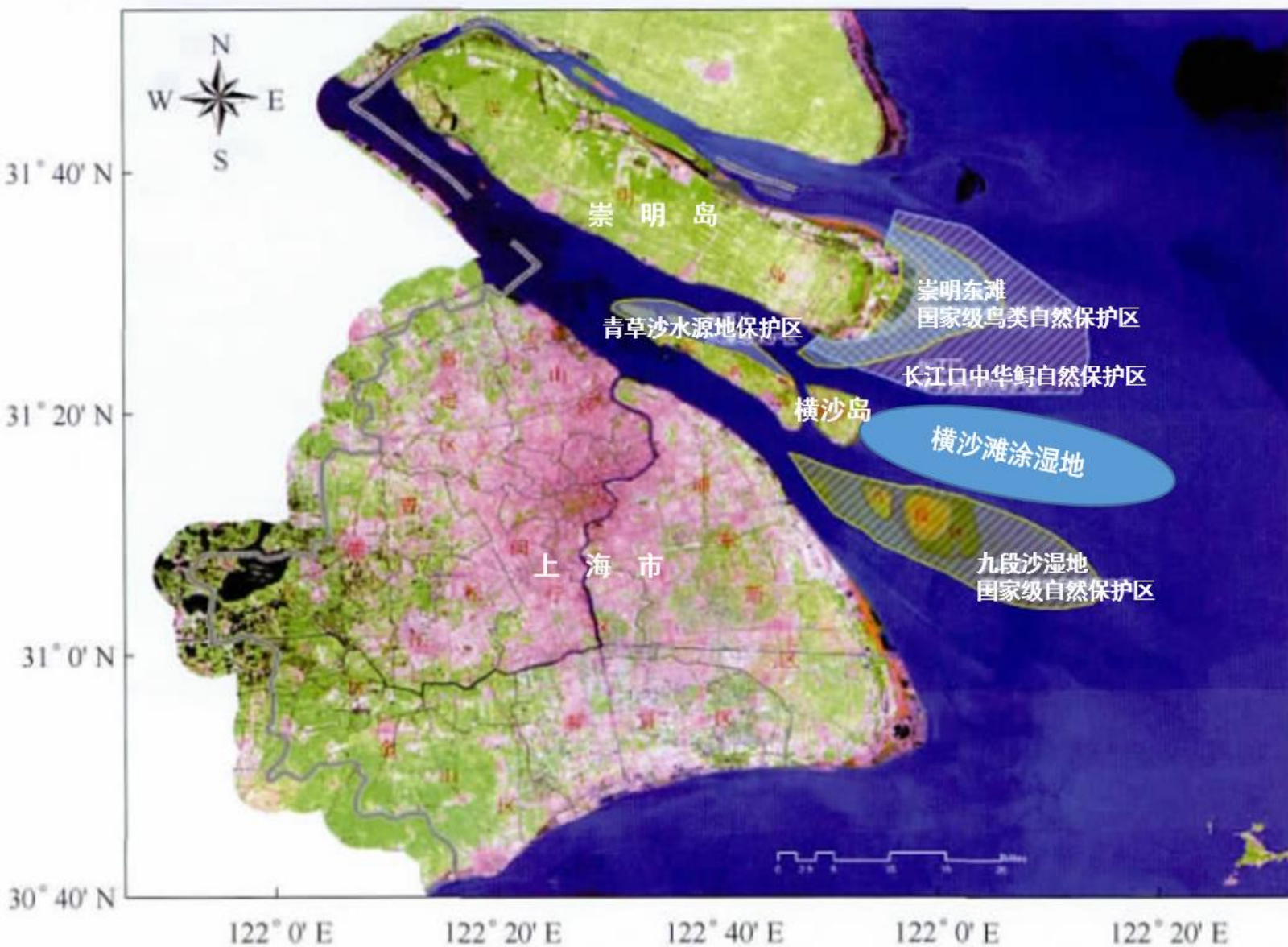


尼罗河口三角洲



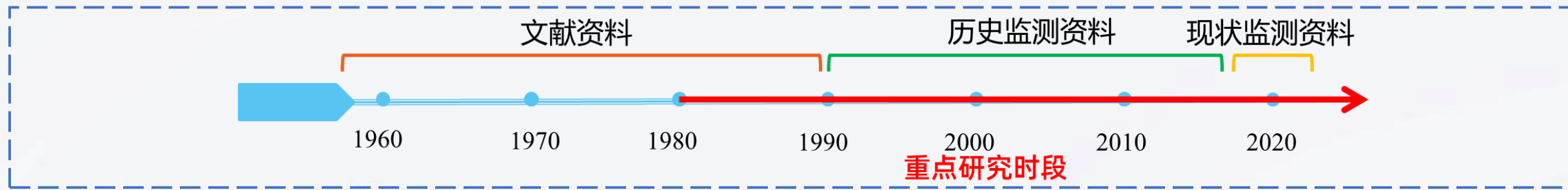
亚马逊河口

一：长江口生态系统概述

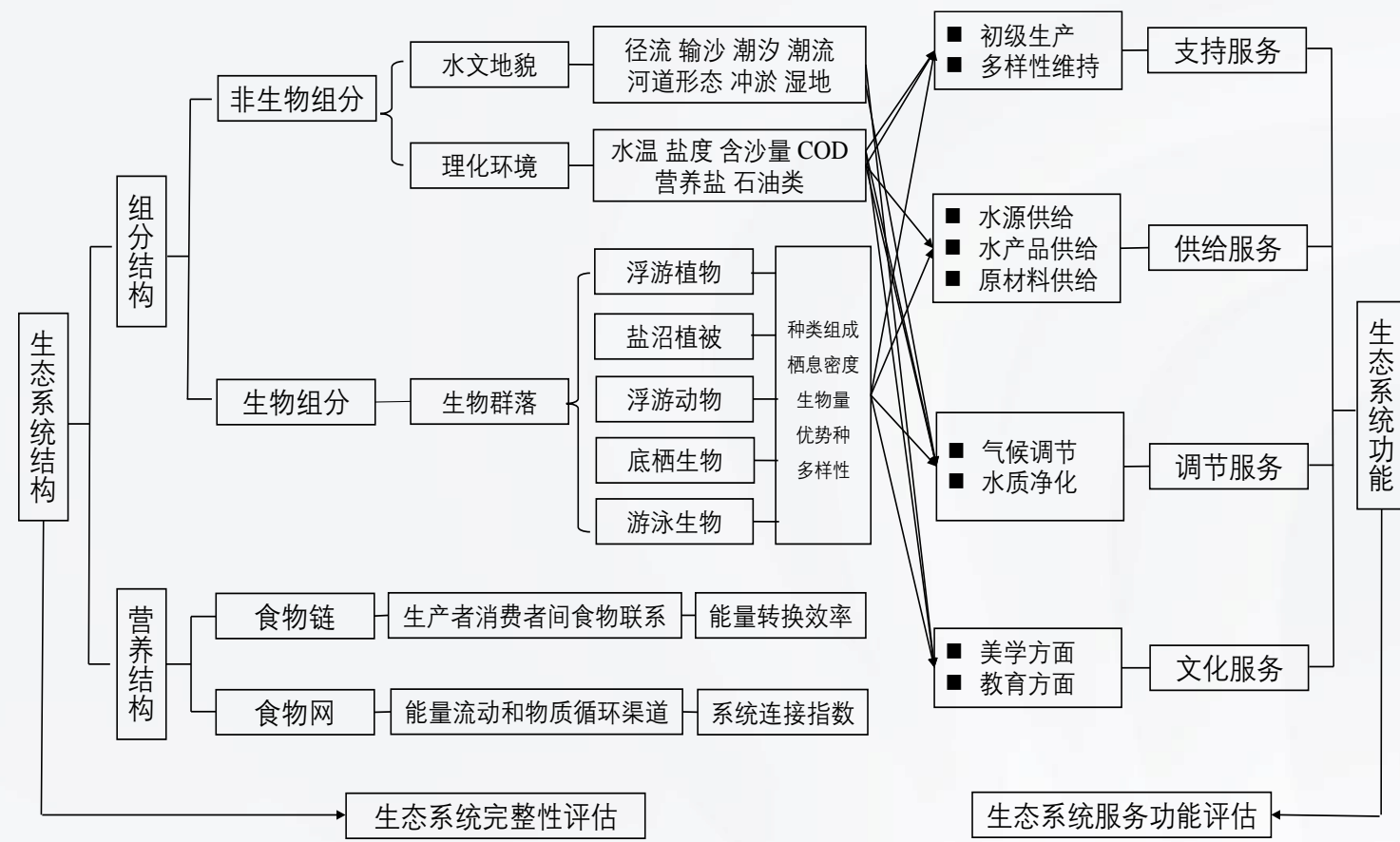
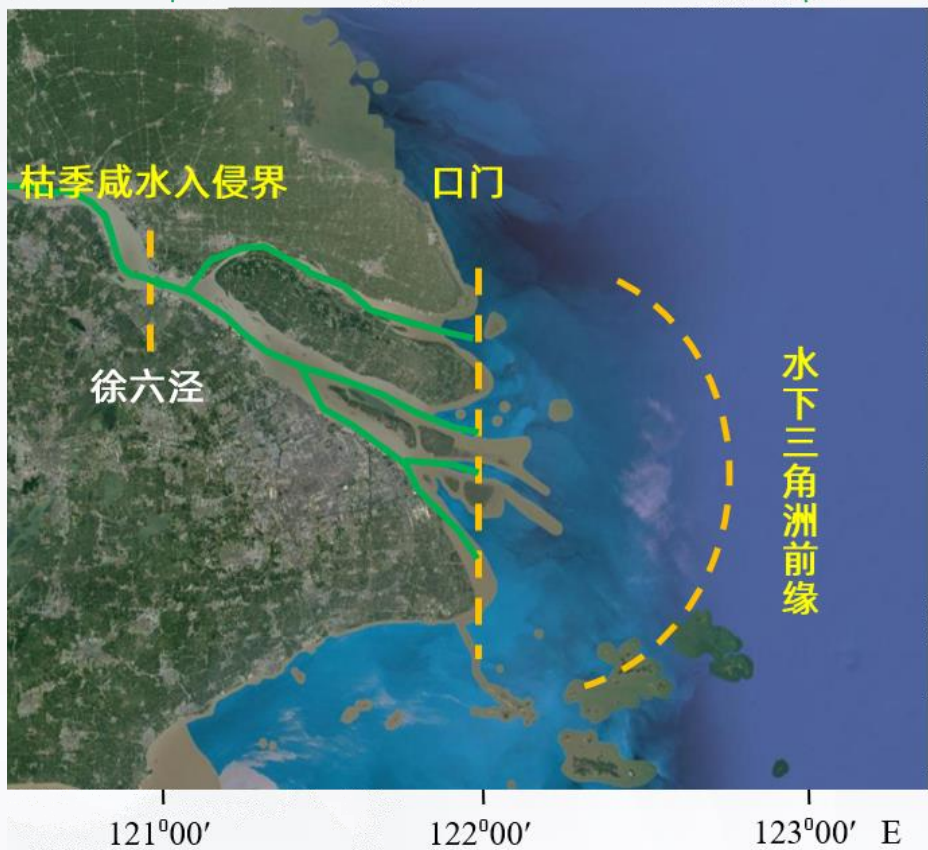


- ◆ 长三角地区是我国最重要的经济区之一，2022年其经济总量占全国比重达到24.1%；
- ◆ 长江口生态系统是我国最为重要、典型的河口生态系统；也是长江经济带和长三角区域发展的重要生态屏障。
- ◆ 近几十年来人类活动对河口生态系统产生巨大影响，加剧演化过程，迫切需要加强系统监测和综合研究，全面认识人类活动和自然变化强势驱动下长江河口生态系统演变趋势，更好地服务共抓长江大保护的国家战略。

一：长江口生态系统概述

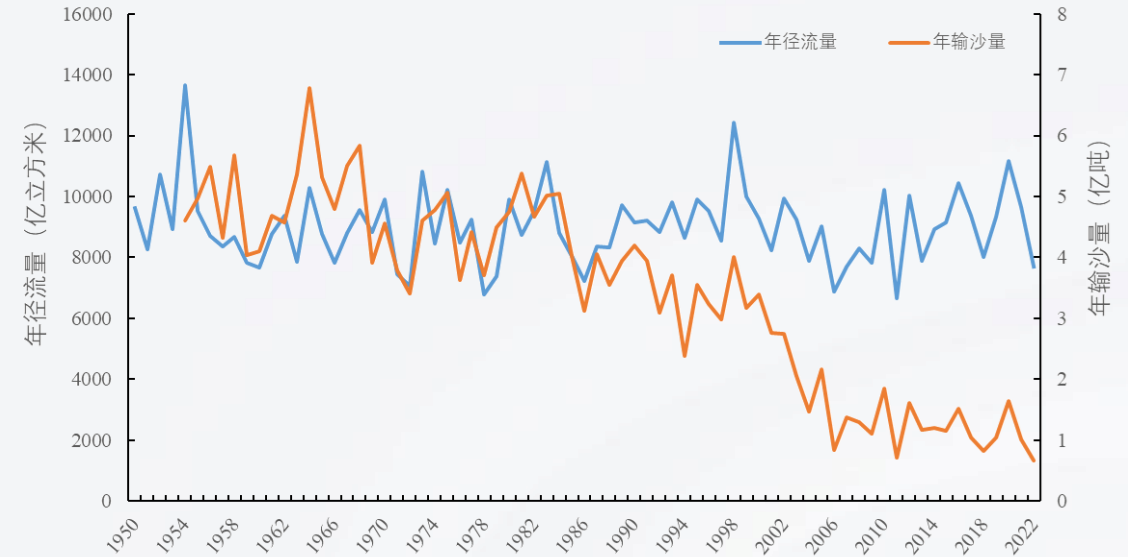


重点研究范围：河口生态系统核心区

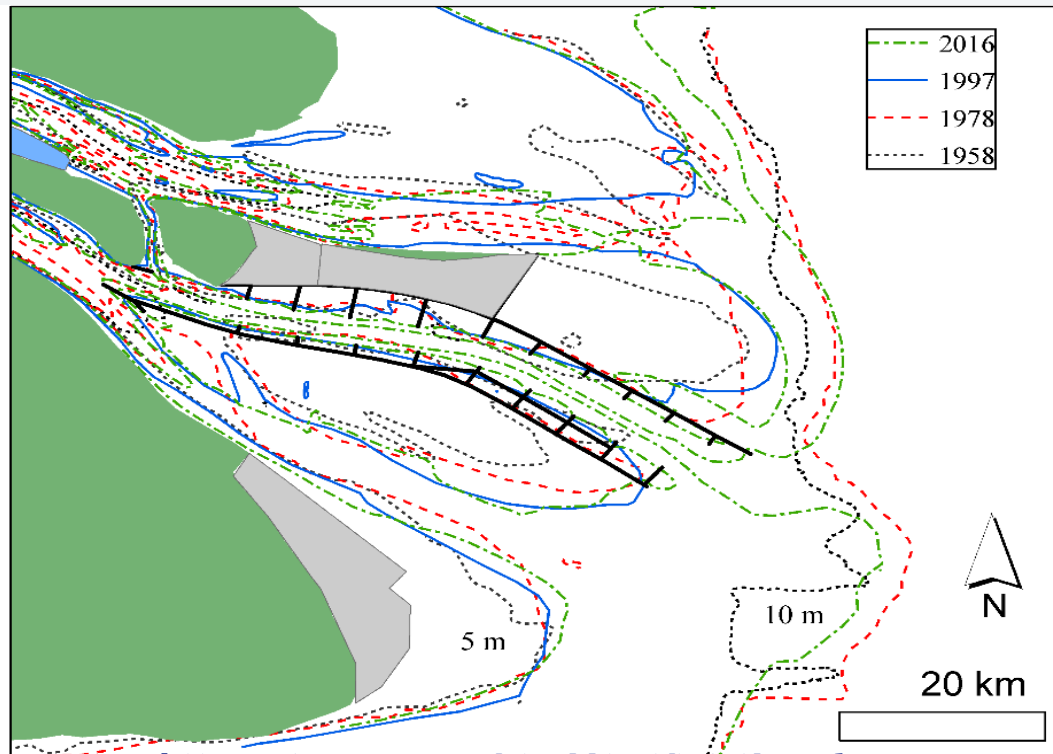


二：长江口生态系统结构演变特征-理化结构

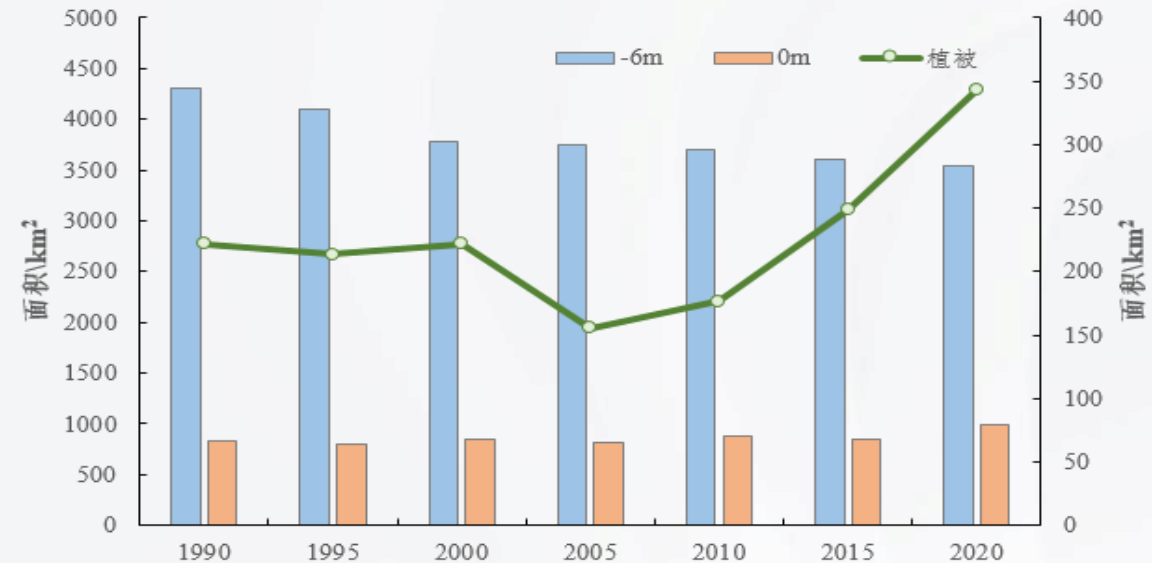
- ◆ 长江多年径流量呈波动变化，输沙量显著降低；
- ◆ 水沙变化叠加工程影响，滩涂湿地面积(-6m)萎缩；
- ◆ 湿地植被面积有所增长，但生物入侵问题显著；
- ◆ 长江口“三级分汊、四口入海”的基本地貌格局较为稳定。



大通站径流量与输沙量年际变化



长江口门5、10 m水深等深线变化示意图

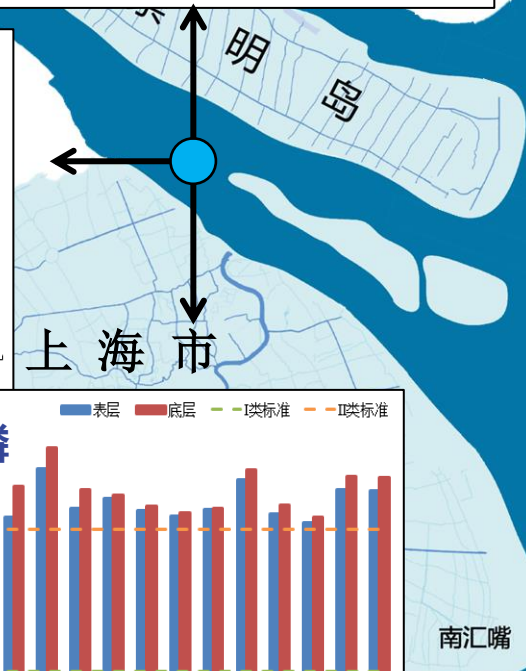
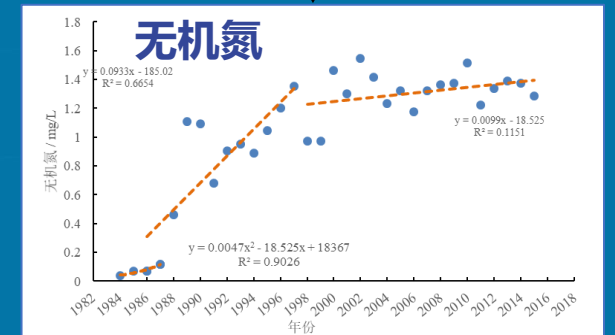
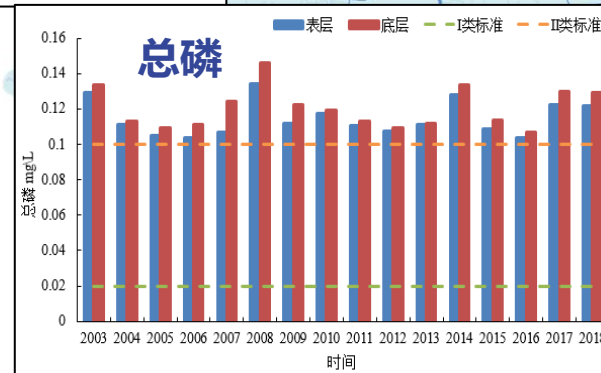
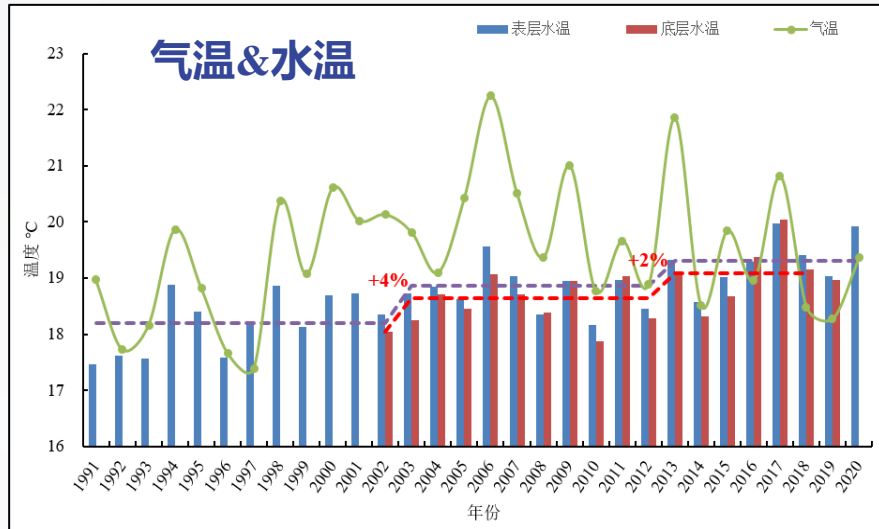
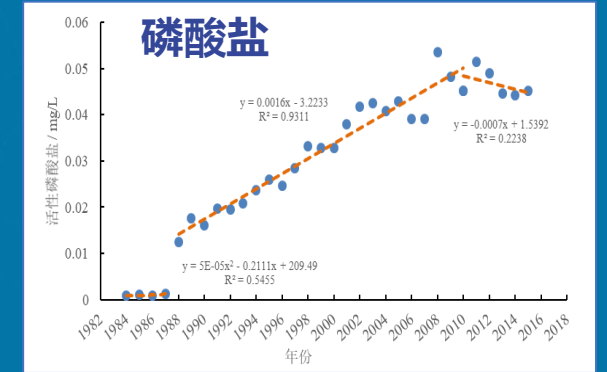
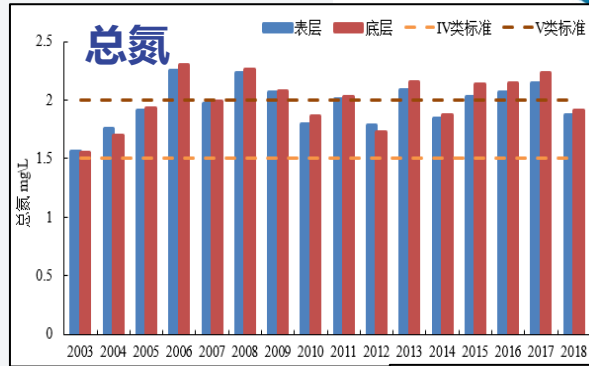
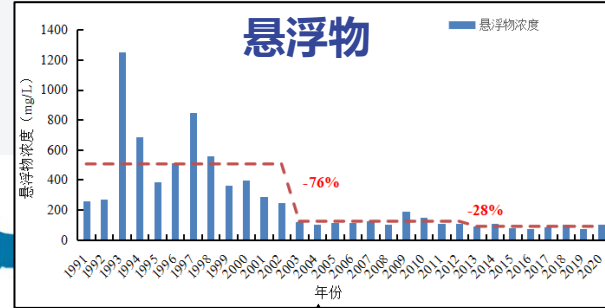


长江口湿地与植被面积年际变化

二：长江口生态系统结构演变特征-理化结构

◆ 长江口水温多年来逐渐增高，DO、COD 质量整体较好，悬浮物浓度整体呈下降趋势，但存在区域差异；

◆ 河口营养盐氮磷浓度维持高位震荡，硅酸盐浓度降低。

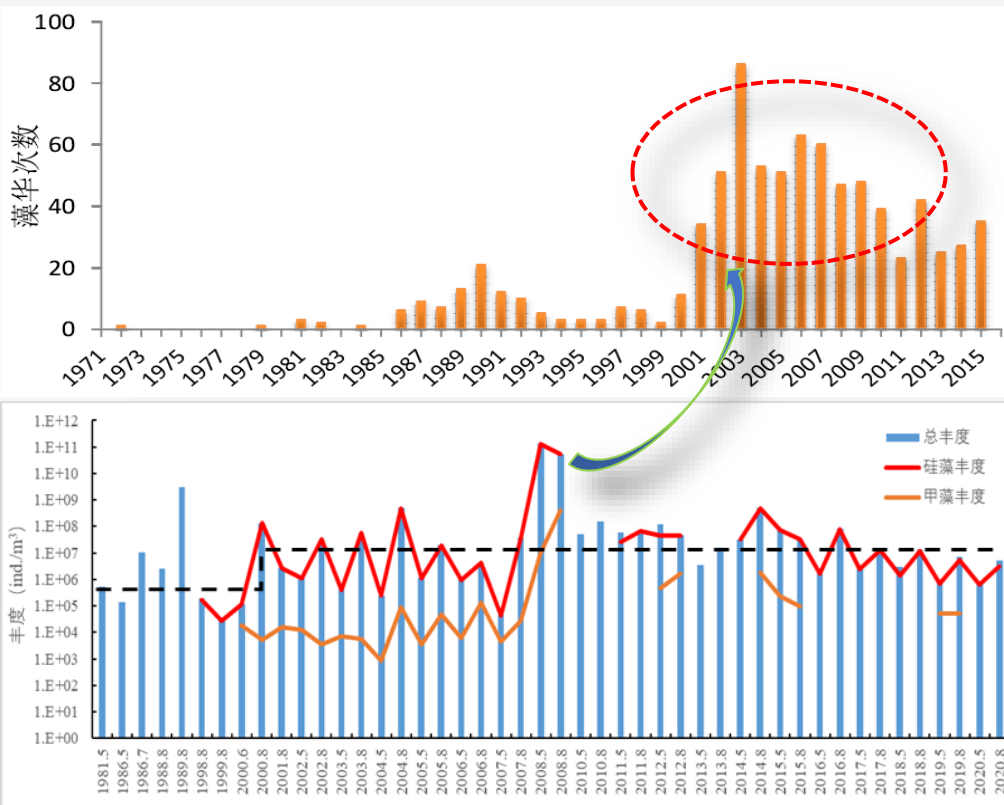


二：长江口生态系统结构演变特征-生物群落结构

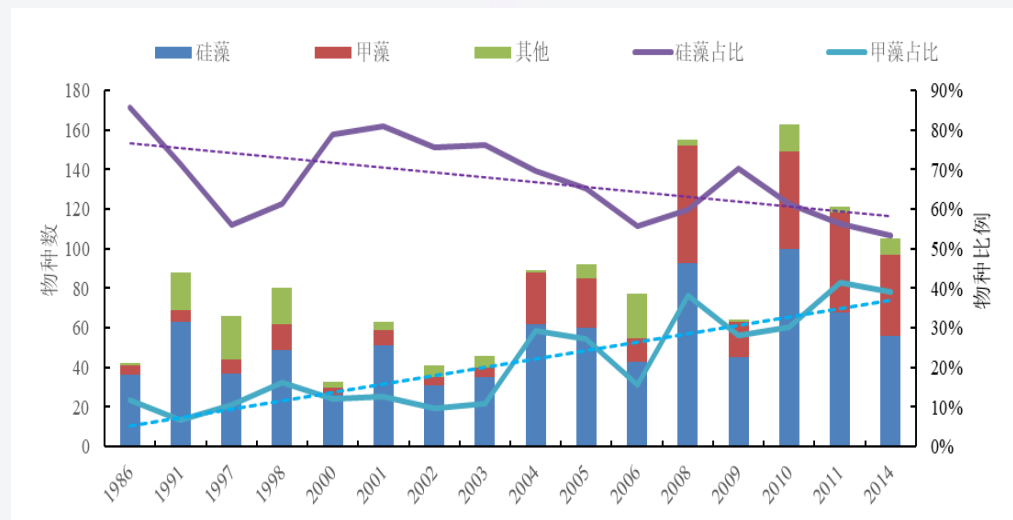
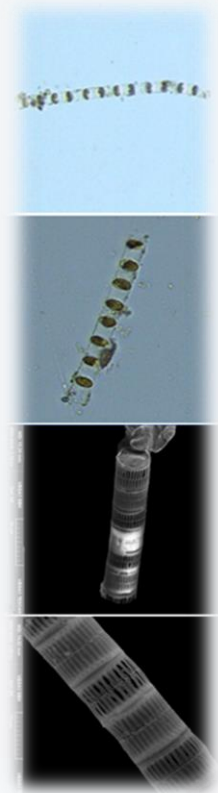
➤ 浮游生物

- ◆ 长江口浮游植物硅藻是绝对优势类群，中肋骨条藻是主要优势种，也是支配该海域浮游植物数量的关键种；
- ◆ 近年来浮游植物种类数量组成发生变化，甲藻物种数增加；
- ◆ 浮游动物群落结构无明显变化，桡足类为主要类群。

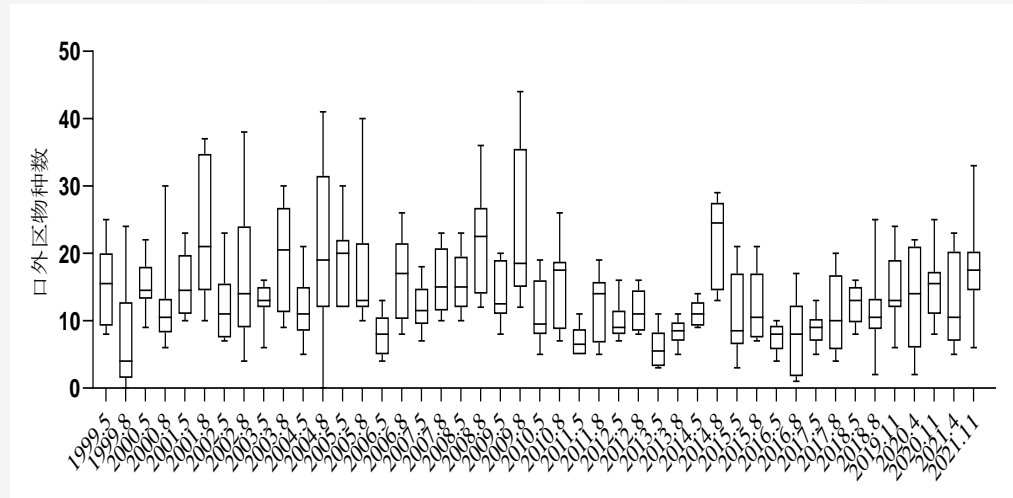
长江口浮游植物丰度变化过程图



中肋骨条藻 (硅藻)



长江口浮游植物种类数长期变化 (春季)

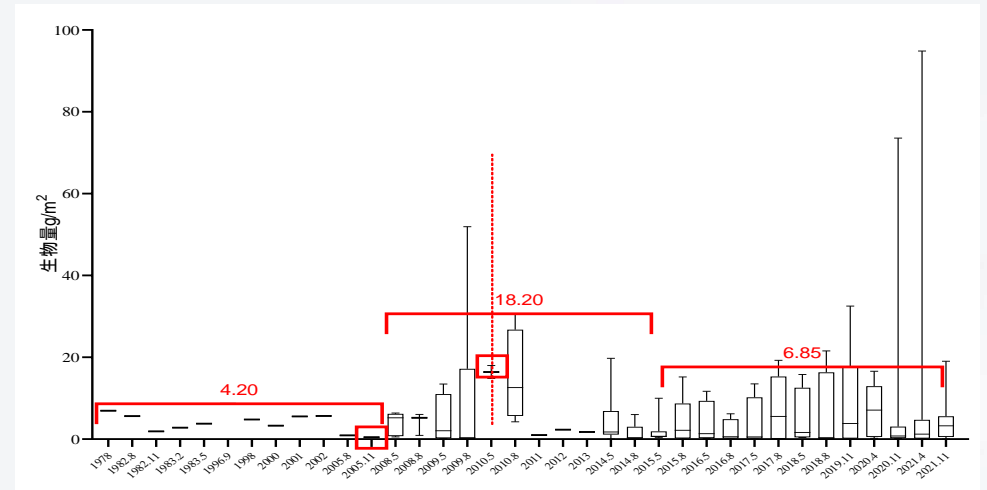


长江口浮游动物种类数长期变化

二：长江口生态系统结构演变特征-生物群落结构

大型底栖动物

- ◆ 长江口底栖动物以多毛类和软体动物居多，近十年来多毛类为主要类群；
- ◆ 底栖动物群落逐渐向个体小型化、短生长周期的生态类群转变；
- ◆ 生物量呈波动变化，组成上软体动物占绝对优势；栖息密度组成上多毛类占绝对优势。



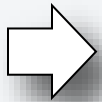
口内区优势种演变



寡毛类



河蚬



齿吻沙蚕

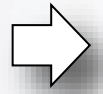
口外区优势种演变



焦河蓝蛤



不倒翁虫



丝异须虫

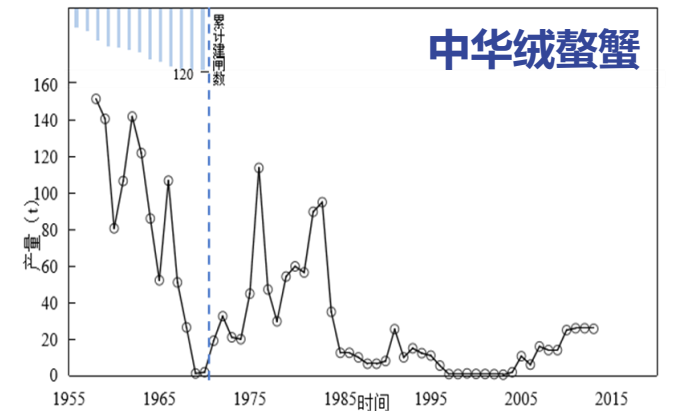
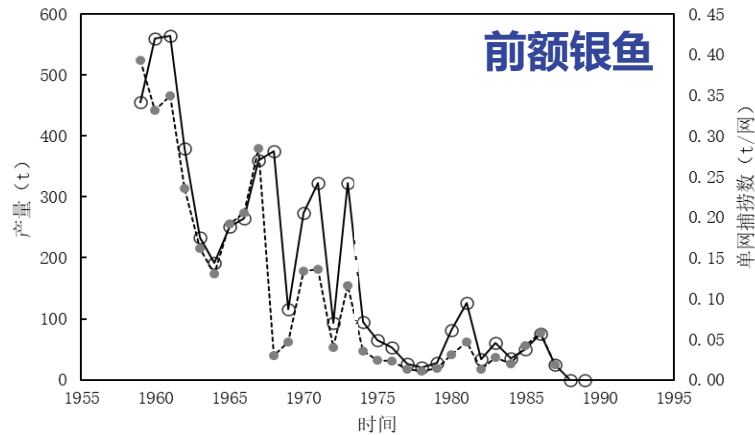
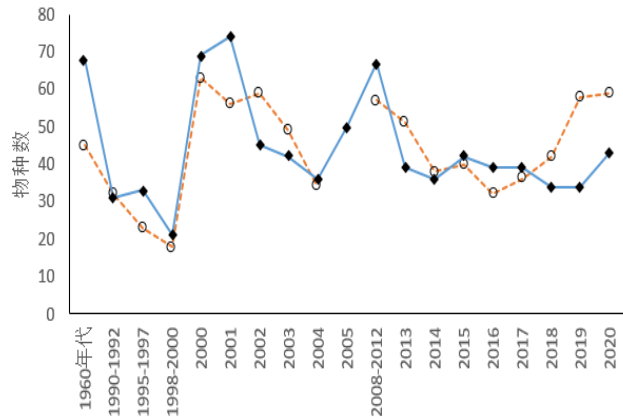
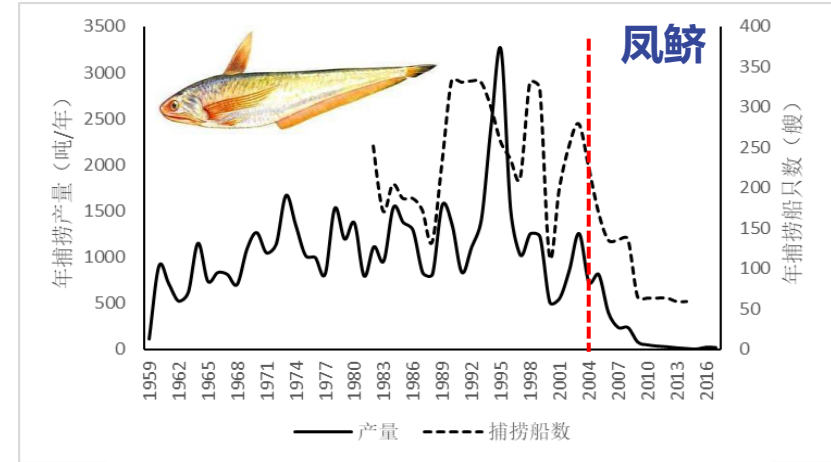
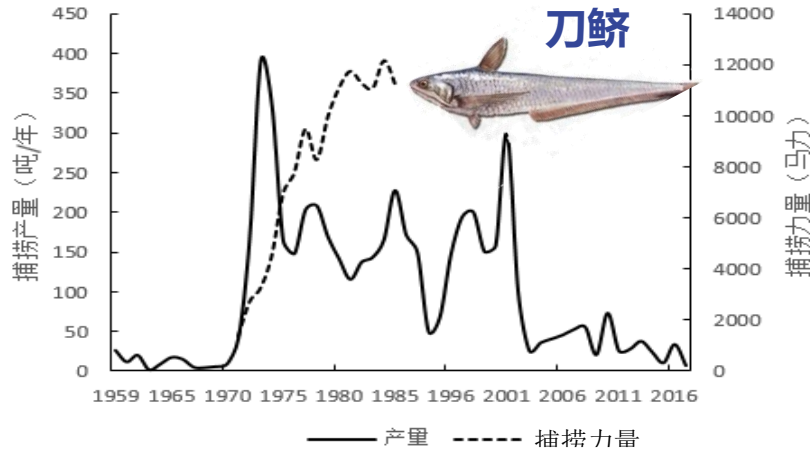
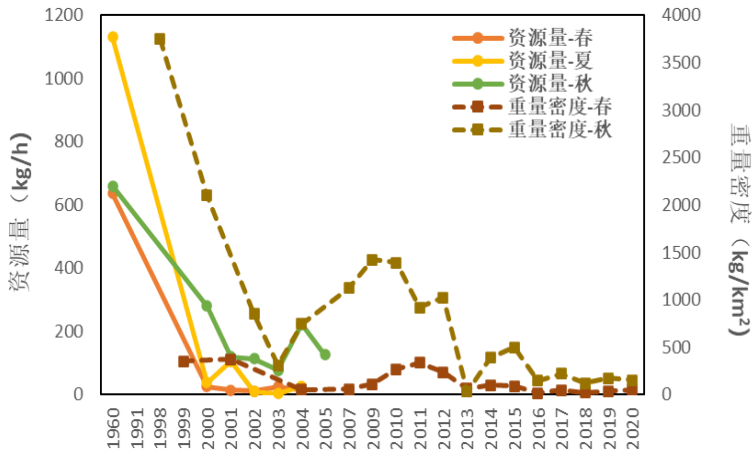


小头虫

二：长江口生态系统结构演变特征-生物群落结构

➤ 渔业资源

- ◆ 长江口鱼类种类数变化不大，资源量持续衰退，鱼类资源量占比逐渐下降；
- ◆ 传统五大渔汛（凤鲚、刀鲚、前额银鱼、白虾、中华绒螯蟹）等重要经济物种资源量衰退趋势逐渐加剧。



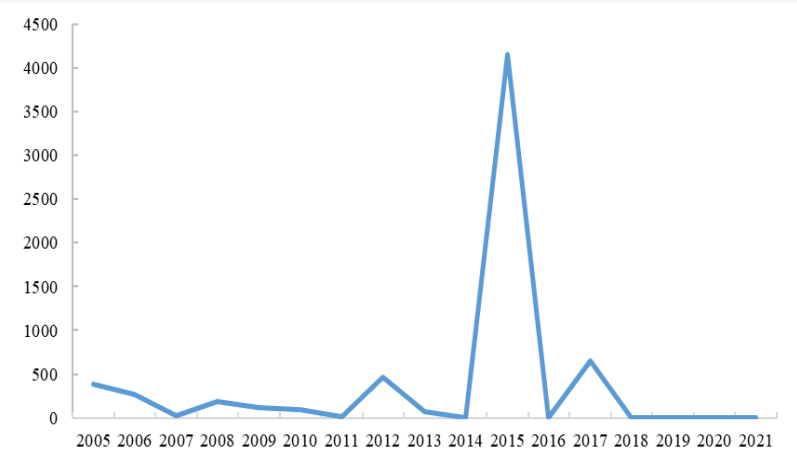
长江口渔业资源物种数与资源量变化 (1960-2020年)

长江口重要经济物种资源量资源量变化

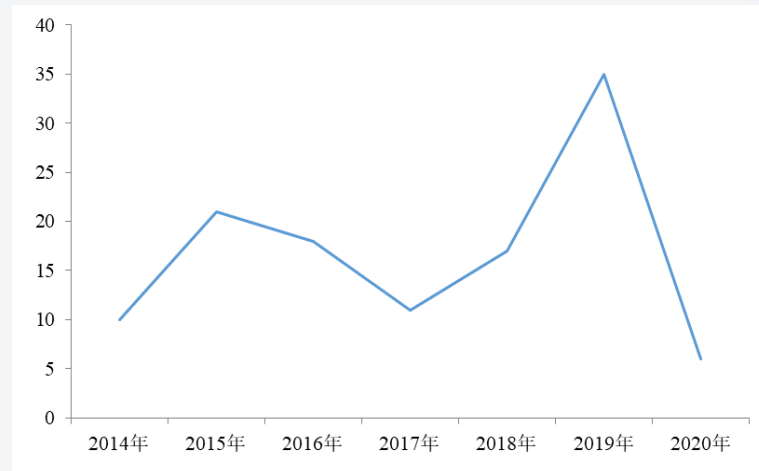
二：长江口生态系统结构演变特征-生物群落结构

珍稀物种中华鲟

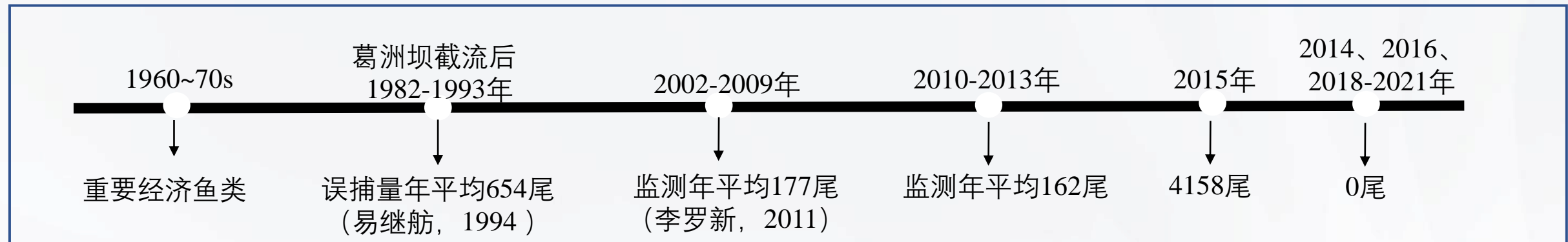
- ◆ 中华鲟属于长江大型江海溯河产卵洄游性鱼类，是我国特有的珍稀濒危鱼类；
- ◆ 长江口中华鲟幼鱼补充量出现断裂的现象，资源保护形势仍然严峻。



长江口中华鲟幼鲟监测数量变化



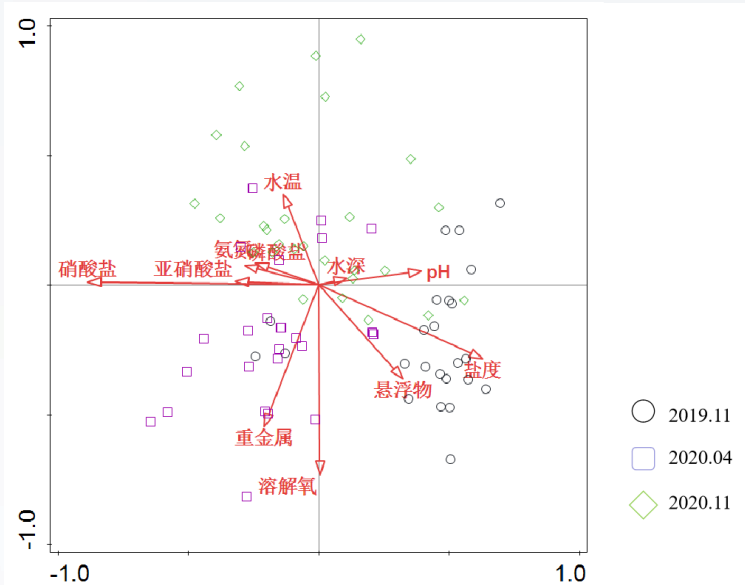
长江口二龄以上中华鲟幼鲟监测数量变化



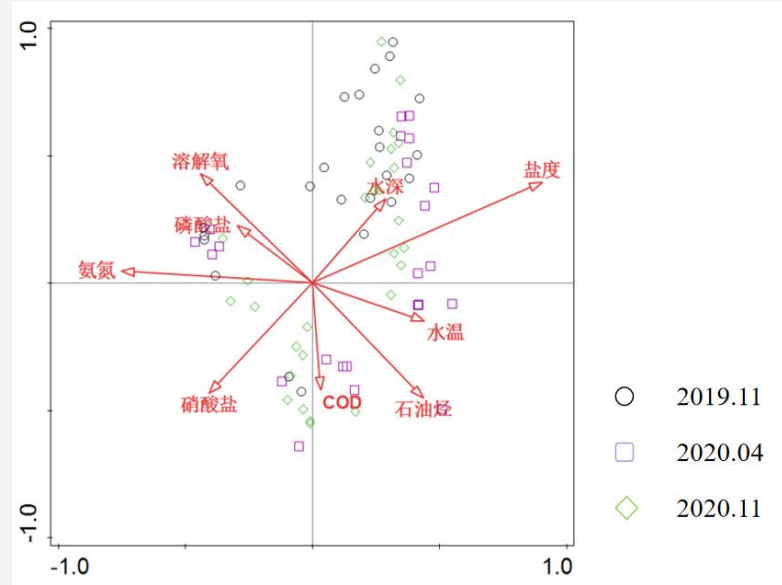
二：长江口生态系统结构演变特征-影响因子分析

➤ 长江口生物群落结构时空变化的主要影响因子

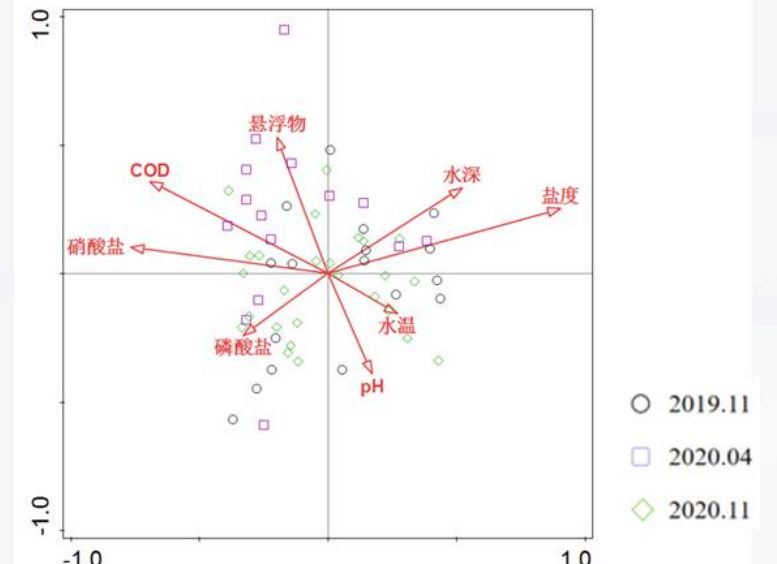
- ◆ 浮游植物：溶解氧、磷酸盐、硝酸盐、水温和盐度等；
- ◆ 浮游动物：水温、DO、盐度和硝酸盐等；
- ◆ 底栖动物：水温、水深、盐度等；
- ◆ 游泳动物：水温、盐度、溶解氧、营养盐和浮游生物等。



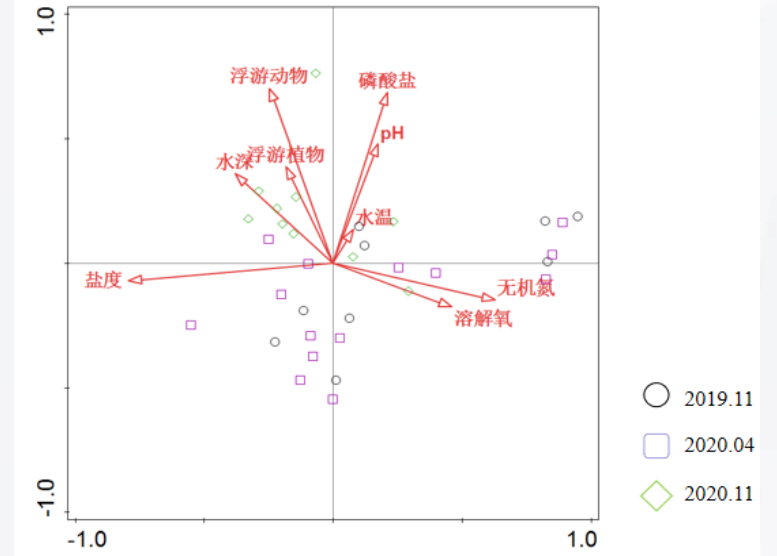
长江口浮游植物的CCA排序图



长江口浮游动物的CCA排序图



长江口底栖动物的CCA排序图

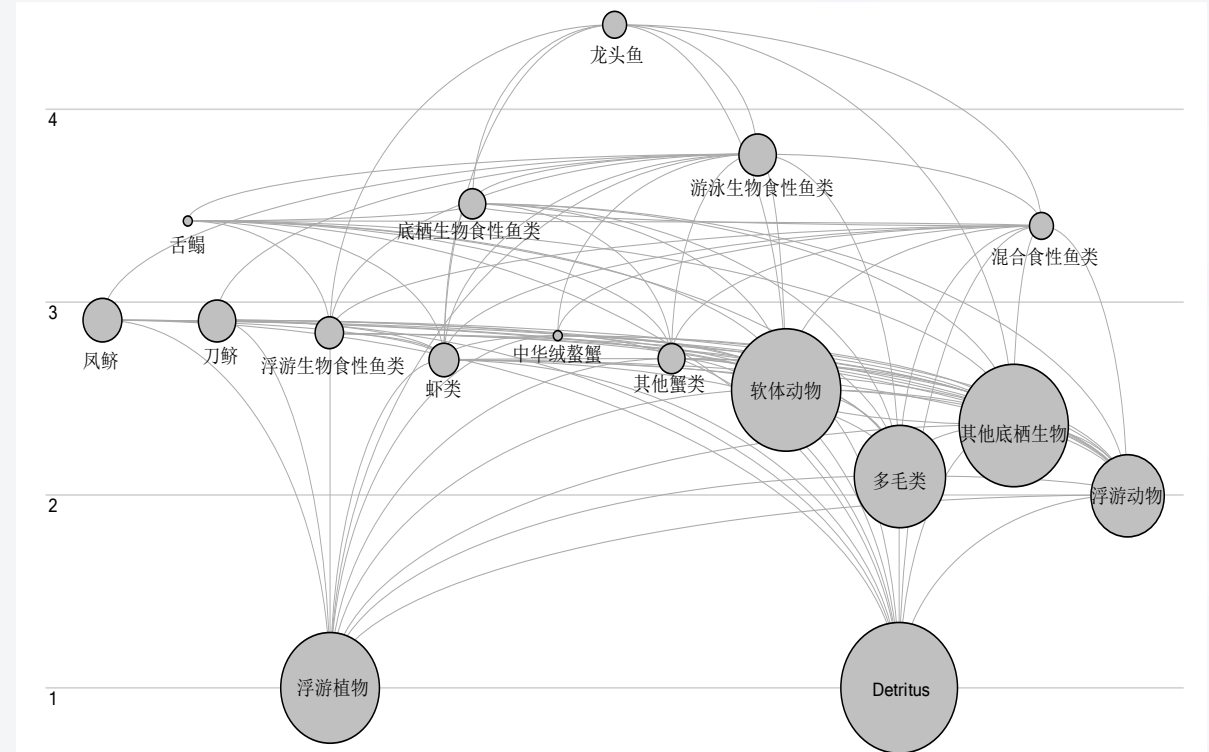


长江口游泳动物的CCA排序图

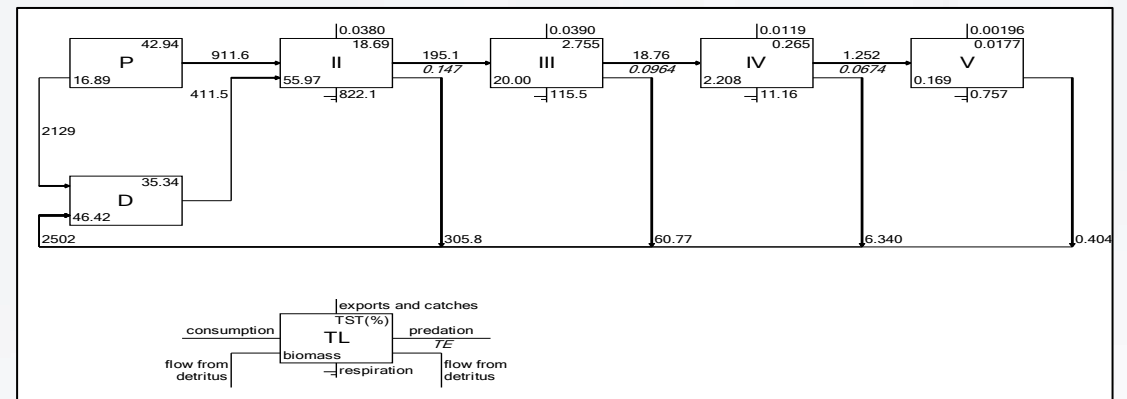
二：长江口生态系统结构演变特征-营养结构

长江口Ecopath模型功能组估算参数一览表

功能组 Functional group	营养级 Trophic level	生物量 Biomass (t/km ²)	生产量/生物量 Production / biomass (/year)	消费量/生物量 Consumption / biomass (/year)	转化效率 Ecotrophic Efficiency
龙头鱼	4.438	0.174	1.89	6.67	0.51
凤鲚	2.907	0.521	2.86	26.5	0.025
刀鲚	2.907	0.475	2.86	26.5	0.027
舌鲷	3.421	0.034	1.6	7.8	0.396
浮游生物食性鱼类	2.837	0.261	2.3	9.4	0.931
底栖生物食性鱼类	3.510	0.234	2.5	9	0.901
游泳生物食性鱼类	3.768	0.478	1	4.5	0.857
杂食性鱼类	3.396	0.192	1.6	7.8	0.983
虾类	2.7	0.298	7.6	28.9	0.989
中华绒螯蟹	2.826	0.032	4	15	0.619
其他蟹类	2.707	0.235	3	12	0.995
软体动物	2.549	30.397	2.5	9	0.407
多毛类	2.1	11.320	6.7	24.2	0.953
其他底栖生物	2.365	29.605	2	8.6	0.997
浮游动物	2	4.108	25	180	0.966
浮游植物	1	16.890	180	0	0.299
有机碎屑	1	46.423			0.164



长江口Ecopath模型营养结构与能量通道示意图



- ◆ 长江口生态系统的营养级范围集中在1~4.438;
- ◆ 营养流动主要有两条途径：一是牧食食物链 (58%)，另一条是碎屑食物链 (42%)；
- ◆ 长江口生态系统总体能量转化效率为9.856%。

二：长江口生态系统结构演变特征-生态系统特征

生态系统特征参数汇总表

生态系统	长江口生态系统特征参数	功能群营养级范围	总转化效率	TPP/TR值	CI	SOI	参考文献
长江口	1985-1986年	1~4.52	12.4%	1.724	0.407	0.103	张效嘉 (2015年)
	2000年	1~3.802	10.2%	5.551	0.359	0.179	韩瑞等 (2016年)
	2004年	1~4.34	14.7%	2.527	0.539	0.0688	张效嘉 (2015年)
	2006年	1~4.058	10%	1.899	0.371	0.205	韩瑞等 (2016年)
	2012年	1~4.019	9.4%	2.095	0.371	0.196	韩瑞等 (2016年)
	2016年	1~3.93	9.3%	1.245	0.345	0.321	徐超等 (2018年)
	2020年	1~4.438	9.856%	3.2	0.388	0.234	本研究
东海	1997~2000	/	/	3.060	0.330	0.213	JIANG et al. (2008)
珠江口	2012	1.000~3.290	8.00	2.185	0.324	0.174	莫宝霖等 (2017)
胶州湾	2016	1.000~4.383	16.35	2.518	0.248	0.116	马孟磊等 (2018)

TPP/TR: 总初级生产力与总呼吸量的比值, 生态系统发育早期, 系统生产力比呼吸量大, 比值 >1 ; 发育后期, 系统生产力越接近呼吸量, 比值接近1;

CI: 连接指数, CI越高, 食物网复杂性越高, 生态系统趋于稳定;

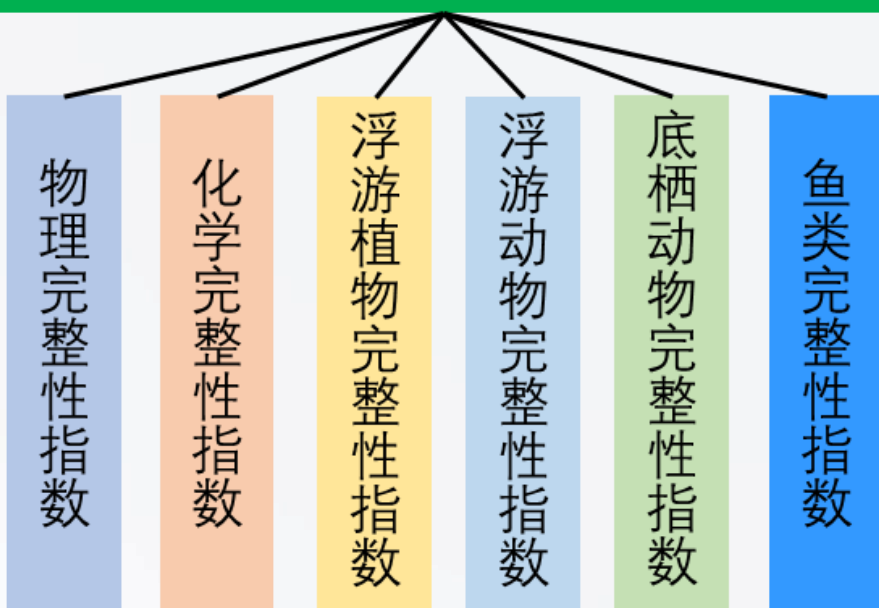
SOI: 杂食指数, SOI越接近于0, 摄食越专一化; 越接近1, 表示摄食越复杂。

- ◆ **长江口营养级无明显变化;**
- ◆ **营养转化效率2004年最高, 为14.7%, 近年来逐渐降低; 整体处于10%左右;**
- ◆ **TPP/TR有所增加, 说明生态系统成熟度有所下降, CI值较为稳定, 食物网结构复杂性仍较高, SOI值升高, 摄食复杂度提升, 这可能与渔业资源衰退有关;**
- ◆ **与其他海域的生态通道模型计算结果进行对比, 长江口生态通道模型计算结果分别优于珠江口和胶州湾; 各海域生态模型计算结果整体差异较小, 各生态系统多处于不成熟状态。**

二：长江口生态系统结构演变特征-结构完整性评估

◆ 针对各长江口生态系统结构要素构建完整性评价指标体系，以1980s数据作为历史基准值，综合评估近40年生态系统结构完整性变化情况。

长江口生态系统结构完整性评估



物理完整性指数评价指标

评价项目	指标
水沙指标	年洪季径流量占比波动比
	年洪季泥沙量占比波动比
	洪季悬沙浓度波动比
滩涂湿地指标	0米以上自然滩涂面积波动比
	-6米以上自然滩涂面积波动比
水文指标	盐度
	温度

化学完整性指数评价指标

评价项目	指标
水质	溶解氧
	化学需氧量
污染物	铜
	锌
	铅
	砷
	汞
	石油烃
营养盐	无机氮
	活性磷酸盐

浮游动物完整性指数评价指标

评价项目	评价指标
生物多样性	浮游动物多样性指数
	浮游动物丰富度指数
群落结构	浮游动物生物量
	最大优势种密度占比

浮游植物完整性指数评价指标

指标缩写	评价指标
物种丰富度	浮游植物多样性指数
	浮游植物丰富度指数
	浮游植物总密度
群落结构组成	硅藻密度占比
	浮游植物最大优势种密度占比
群落营养结构	叶绿素a

底栖动物完整性指数评价指标

指标缩写	评价指标
生物多样性	底栖动物多样性指数
群落结构	总密度
	总生物量
	多毛类密度占比

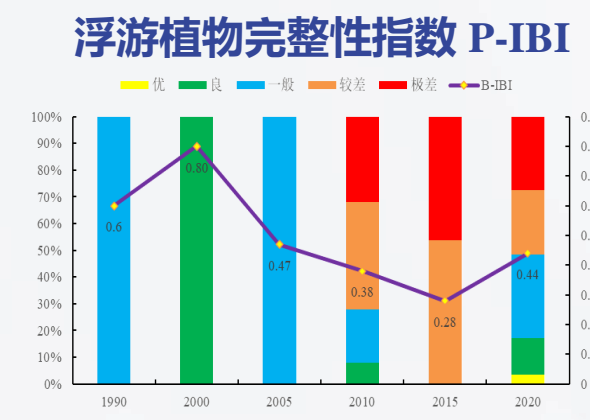
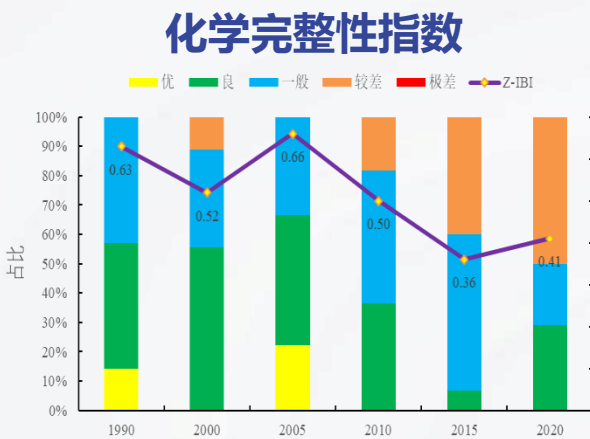
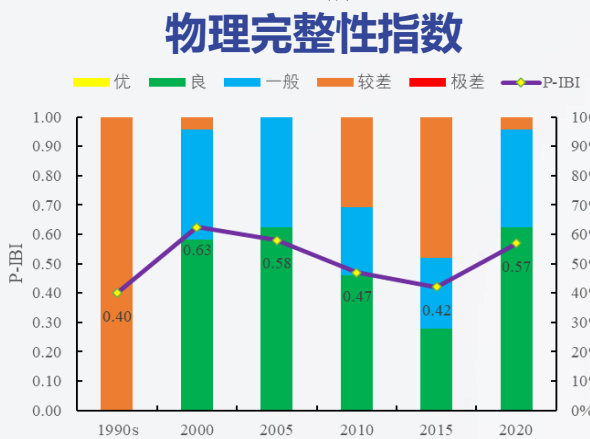
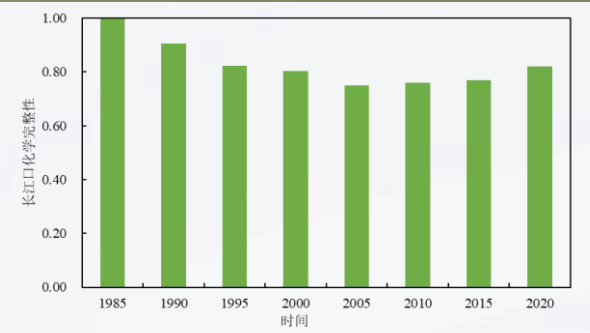
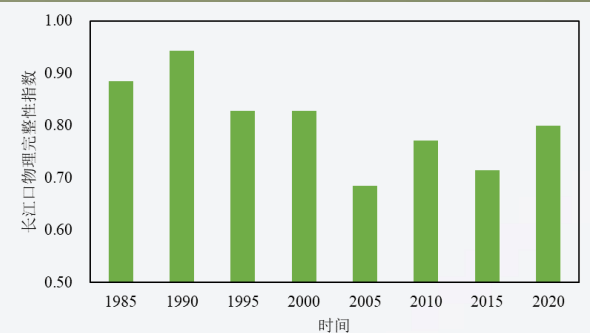
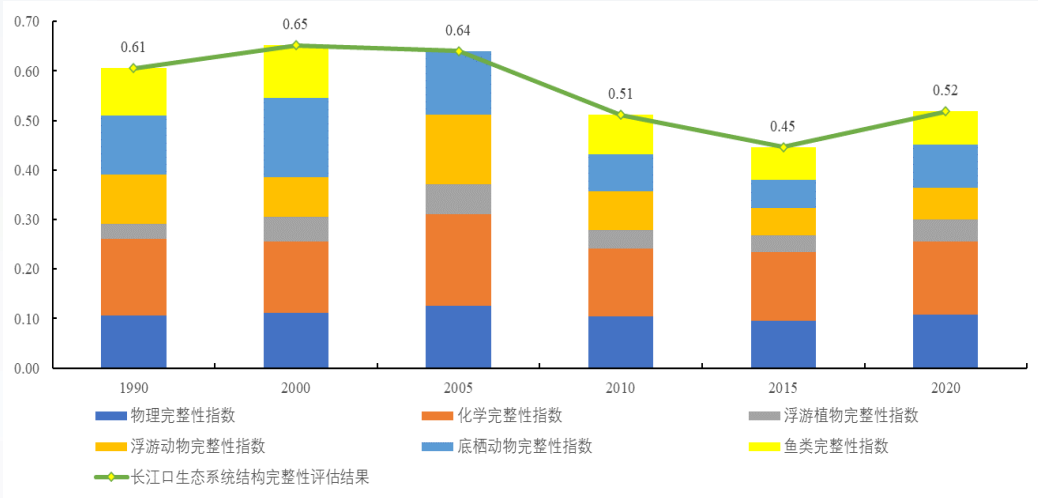
鱼类完整性指数评价指标

评价项目	评价指标
种类组成与丰度	鱼类种类数 (站点)
	种类数 (整体)
	鱼类尾数资源密度 (ind./km ²)
	鱼类重量资源密度 (kg/km ²)
	洄游鱼类种类数百分比
耐受性	河口定居鱼类种类数百分比
	敏感性鱼类个体数百分比
营养结构	耐受性鱼类种类数百分比
	浮游生物食性鱼类个体百分比
	底栖生物食性鱼类种类百分比
	游泳生物食性鱼类个体百分比
	混合生物食性鱼类种类百分比

二：长江口生态系统结构演变特征-结构完整性评估

◆ 与上世纪八十年代相比，长江口生态系统结构完整性整体呈现降低的变化趋势。

- 1990s-2005年长江口生态系统结构完整性相对稳定，之后持续降低；
- 底栖动物完整性指数下降幅度最大，达65.0%。其次为鱼类、浮游植物和浮游动物等其他生物群落结构完整性指数，其降幅分别为37.5%、32.8%和30.8%。
- 2020年各生物完整性指数略有回升。



底栖动物完整性指数 B-I BI

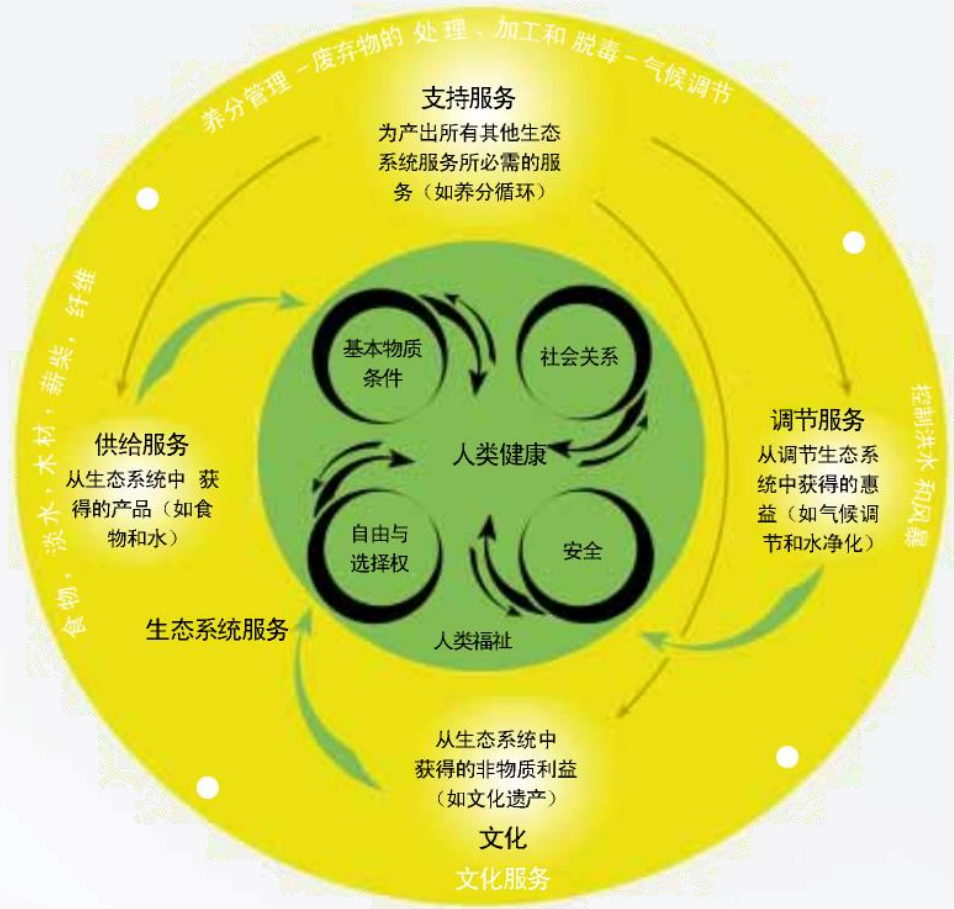
鱼类完整性指数 F-I BI

三：长江口生态系统功能演变特征-服务功能评价

◆ 参考联合国千年生态系统评估框架体系，从供给、调节、文化、支持四类服务功能共筛选22项评价指标。

长江口生态系统服务功能评价指标体系

服务类别	生态系统服务	表现形式	数据来源	量化方法
供给服务	生物资源	渔业捕捞	《渔业统计年鉴》	海洋捕捞+淡水捕捞量
		水产养殖	《渔业统计年鉴》	淡水养殖量
		盐沼植被	遥感分析	植被面积
	淡水资源	淡水资源	《上海市水资源公报》	取（用）水量
	土地资源	滨海湿地	长江口海图、遥感解译	湿地面积(0m线以上)
	遗传资源	浮游植物	环境调查资料	物种数(夏季)
		浮游动物	环境调查资料	物种数(夏季)
		底栖生物	环境调查资料	物种数(夏季)
		游泳生物	环境调查资料	物种数(秋季)
		鸟类	环境调查资料	物种数(崇明)
调节服务	气候调节	固碳	固碳量计算	浮游植物+盐沼植被固碳量
		释氧	释氧量计算	浮游植物+盐沼植被释氧量
	水质净化	重金属移除量		沉积物重金属浓度
		N、P移除量	N、P移除量	浮游植物+盐沼植被N、P移除量
文化服务	生态旅游	生态旅游	《崇明统计年鉴》	崇明区旅游生产总值
	知识扩展服务	知识扩展服务	中国知网	研究论文数量
支持服务	初级生产力	初级生产力	初级生产力计算	浮游植物+盐沼植被初级生产力
	物质循环	物质循环	长江口Ecopath文献	生态系统联结指数
	径流量	径流量	长江大通站年径流量	年径流量
		生物多样性维持	浮游植物	环境调查资料
浮游动物	环境调查资料		生物多样性(夏季)	
	底栖生物	环境调查资料	生物多样性(夏季)	



三：长江口生态系统功能演变特征-服务功能评价

◆ 与上世纪九十年代相比，2000-2004年服务功能有所增长，但之后呈持续降低的变化趋势，2020年有所升高。

- 在供给、服务、文化和调节四大功能模块中，文化服务功能和支持功能呈现持续增长的变化趋势，这是因为长江口虽然持续受到扰动，输沙量有所减少，但径流量基本维持稳定，其物质循环、生物多样性维持等功能并没有明显衰退；
- 供给功能受渔业资源衰退的影响持续降低；
- 调节功能近二十年处于波动变化状态，主要受盐沼植被面积等关键指标变动的影



长江口生态系统服务功能变化

三：长江口生态系统功能演变特征-生态系统健康评价

- ◆ 以生态系统的功能、完整性和可持续性作为评价终点，筛选相关指标构建河口生态系统健康状况的评价体系；
- ◆ 长江河口生态健康状况自1996年以来呈现由“差”到“中”的好转并持续巩固的趋势；
- ◆ 长江河口生物群落状态并没有明显的变化，但生境状态有了较显著的改善。

长江口生态健康状况分级评分结果 (1996-2020年)

指标体系		2020年	2019年	2018年	2015年	2012年	2009年	2004年	2000年	1996年
生物群落状态 (BCS)	1.浮游植物栖息密度 (或叶绿素 a 浓度)	3 ^{ae}	4 ^e	3 ^e	2.5 ^e	3 ^e	1 ^{ae}	3 ^{ae}	2 ^{ae}	3 ^{ae}
	2.浮游动物栖息密度 (或浮游动物生物量)	3 ^e	2 ^e	3 ^e	3.5 ^e	3 ^e	4 ^{be}	4 ^{be}	2 ^{be}	(3) ^e
	3.底栖动物栖息密度	5 ^e	3 ^e	4 ^e	5 ^e	(5) ^e	(5) ^e	(5) ^e	(5) ^e	5 ^e
	4.鱼卵或仔鱼栖息密度	(1) ^e	1 ^e	1 ^e	2.5 ^e	2.5 ^e	3 ^e	3 ^e	3.5 ^e	(3.5) ^e
	5.浮游植物种类数	(3) ^e	(3) ^e	3 ^e	3 ^e	4 ^e	(4) ^e	4 ^e	4 ^e	(4) ^e
	6.浮游动物种类数	(4) ^e	(4) ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	(4) ^e
	7.底栖生物种类数	(5) ^e	(5) ^e	5 ^e	4 ^e	3 ^e	2 ^e	1 ^e	(1) ^e	(1) ^e
	8.鱼类种类数	(3) ^e	3 ^e	3 ^e	3 ^e	(3) ^e	(3.5) ^e	(4) ^e	4 ^e	(4) ^e
	9.浮游植物多样性指数	(4) ^e	(4) ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	(4) ^e	4 ^e	4 ^e	(4) ^e
	10.浮游动物多样性指数	(4) ^e	(4) ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	3 ^e	(3) ^e
	11.底栖生物多样性指数	(4) ^e	(4) ^e	4 ^e	4 ^e	1 ^e	3 ^e	3 ^e	(3) ^e	(3) ^e
	12.鱼类多样性指数	(1) ^e	1 ^e	1 ^e	1 ^e	(1) ^e	(2) ^e	3 ^e	4 ^e	(4) ^e
BCS 得分及评级		40(中)	38(中)	39(中)	40.5(中)	37.5(中)	39.5(中)	42(中)	39.5(中)	41.5(中)
生境状态 (HS)	13.水质(河口段)	8 ^e	8 ^e	8 ^e	8 ^e	8 ^e	8 ^e	6 ^e	8 ^e	4 ^e
	14.水质(口外海滨段)	8 ^e	6 ^e	8 ^e	8 ^e	6 ^e	6 ^e	(4) ^e	2 ^e	2 ^e
	15.沉积物质量	(8) ^e	8 ^e	10 ^e	10 ^e	8 ^e	6 ^e	6 ^e	4 ^e	2 ^e
	16.水文地貌特征	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4 ^e
	HS 得分及评级		30(良)	28(中)	30(良)	30(良)	26(中)	24(中)	20(差)	20(差)
河口生态健康状况(EHS)总得分及评级		70(中)	66(中)	69(中)	70.5(中)	63.5(中)	63.5(中)	62(中)	59.5(中)	53.5(差)



长江口生态健康状况变化情况

河口生态健康状况的指标构成与分级评分体系

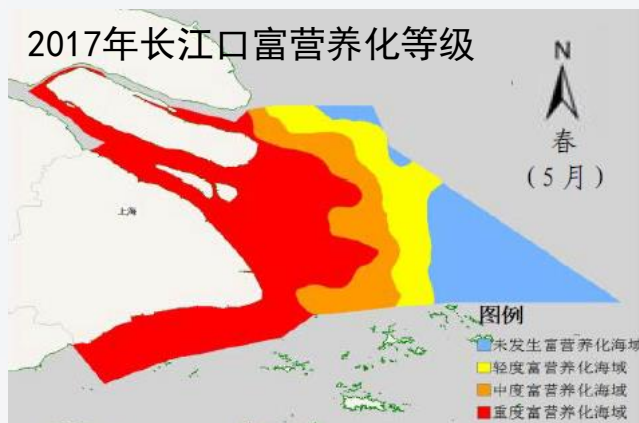
指标得分等级	1.生物群落状态 (BCS, 满分 60)	2.生境状态 (HS, 满分 40)	生态健康状况 EHS (满分 100)
优	[54, 60]	[36-40]	[90, 100]
良	[45, 54]	[30-36]	[75, 90]
中	[30, 45]	[24-30]	[54, 75]
差	[20, 30]	[16-24]	[36, 54]
极差	[12, 20]	[10, 16]	[22, 36]

三：长江口生态系统功能演变特征-生态系统健康评价

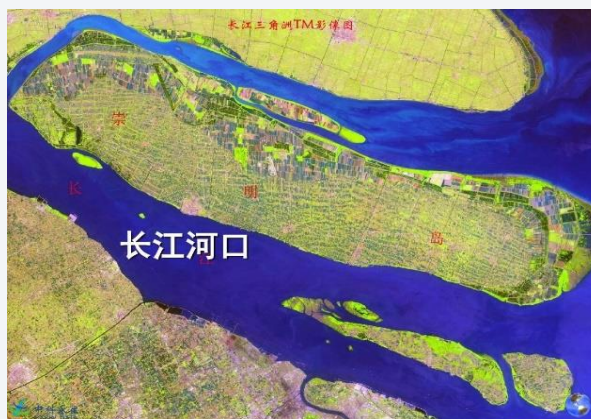
◆ 多数研究认为1990s后期以来长江口生态健康状况呈下降趋势，2000s中期之后呈现缓慢恢复的趋势，与本研究的结论大体一致。

	评价方法	评价年份	评价结果	参考文献
物理化学指标 生态学指标 社会经济学指标	环境与生物综合指标	2004-2020	2004-2005不健康状态，2006年至今亚健康状态	海洋生态环境公报
	PSR模型	2001-2017	2001-2006：退化趋势 2006-2017：缓慢恢复趋势，总体状况仍不乐观	赵艳民等，2021
	PSR模型	2005-2016	亚健康，但不稳定，有向病态方向发展的趋势	周晓蔚等，2011
	DPSIR模型	1998-2009	自从90年代末期就开始退化，在2000s中期达到最坏水平，在2000s末期出现缓慢恢复的趋势	Wang et al., 2013
	层次分析法	2002-2004	处于亚健康状态，距离健康状态尚有明显差距	叶属峰，2007
生物群落指标	生物完整性指数	1986-2016	生态系统健康状况呈现先下降，而后稳定在较低水平的趋势	陈耀辉等，2020
	底栖动物完整性指数	2005	50%以上点位处于“较差”-“极差”状态	周晓蔚等，2009
	鱼类完整性指数	2006-2007	全年处于“一般”到“极差”的水平	毛成责等，2011
	功能指数 完整性指数 可持续性指数	1996-2020 (本研究)	总体上长江河口生态健康状况自1996年以来呈现由“差”到“中”并接近“良”的好转趋势；生物群落状态并没有明显的变化，但物理化学状态有了较显著的改善	

◆ 氮磷污染严重，富营养化程度高



◆ 河口冲淤形势变化，滩涂湿地稳定性面临挑战



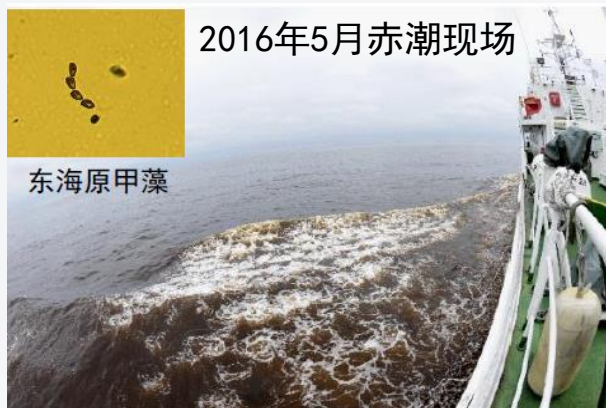
◆ 围垦过度，滩涂湿地的发展受到影响和制约



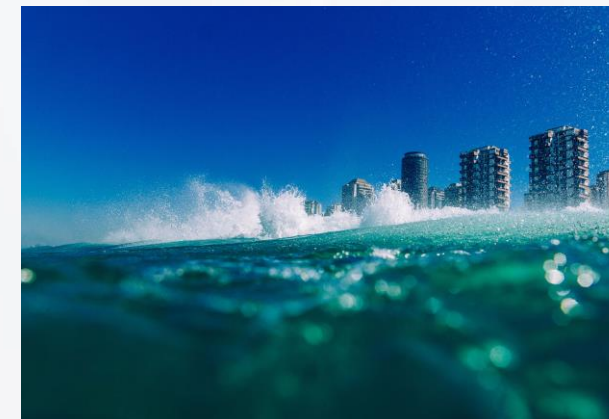
◆ 渔业资源衰退显著，水生生物多样性资源萎缩



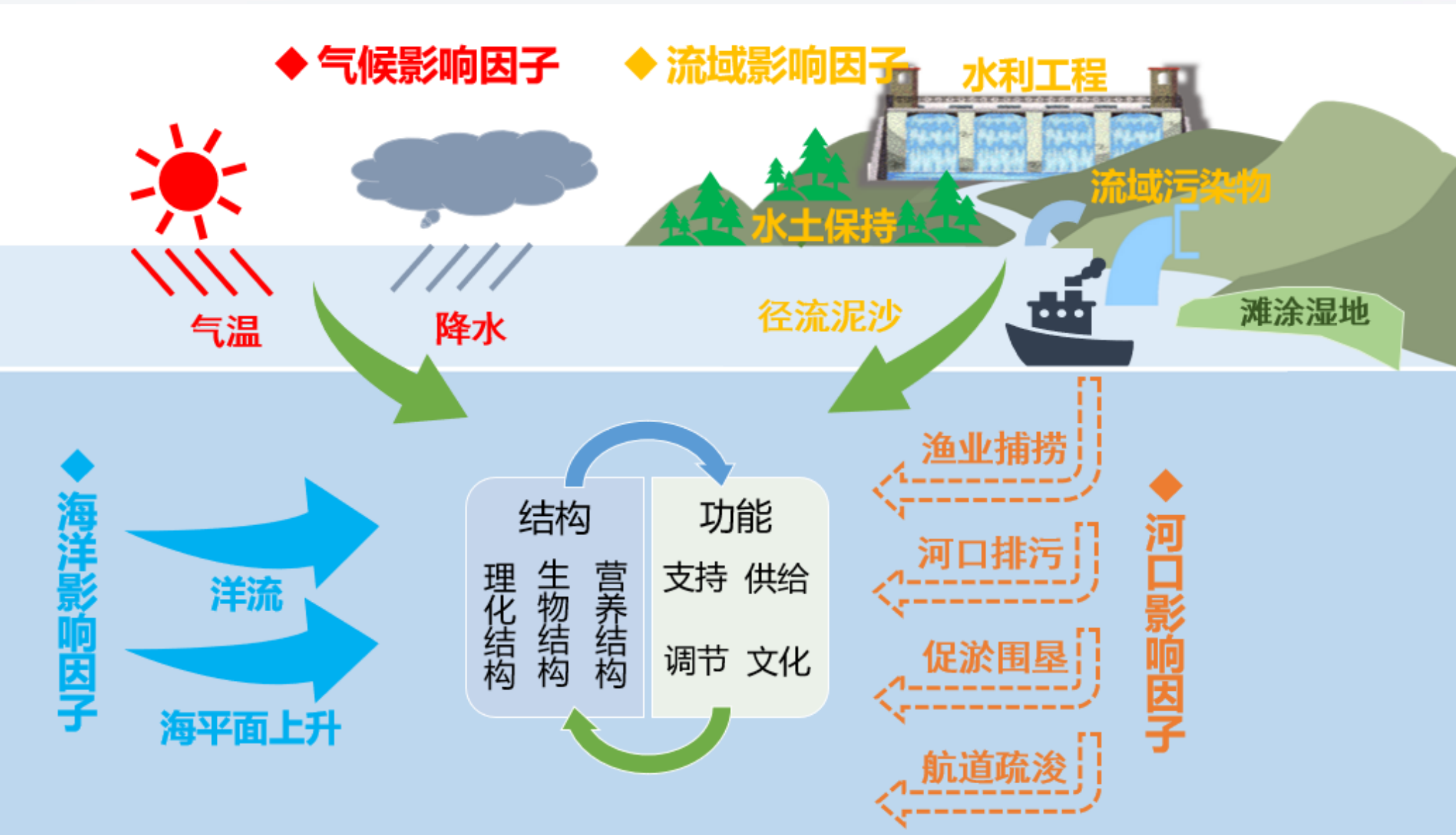
◆ 生物群落结构演替，结构完整性降低



◆ 海平面上升，河口生态系统潜藏危机



四：长江口生态系统演变驱动因素



- ◆ 流域影响因子
 - 水土流失
 - 水利工程建设
 - 污废水排放
 - 调水工程
- ◆ 河口影响因子
 - 航道工程
 - 促淤圈围
 - 河口排污
 - 渔业捕捞
- ◆ 海洋影响因子
 - 洋流潮汐
 - 海平面上升
- ◆ 气候影响因子
 - 气温
 - 降水

四：长江口生态系统演变驱动因素

◆ 结构方程模型

◆ 流域影响因子

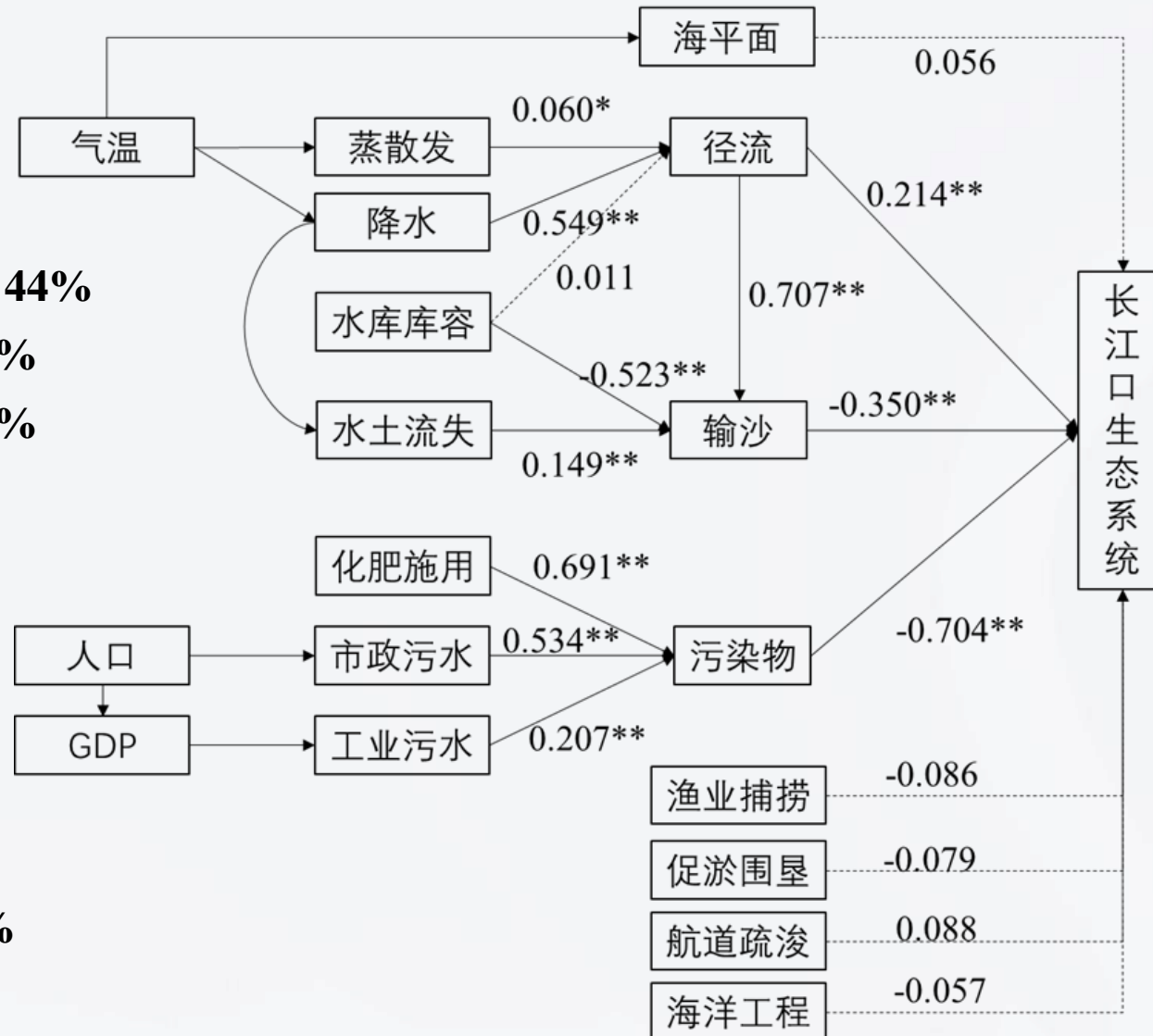
- 污染物入海通量贡献度为44%
- 长江径流量贡献度为12.8%
- 长江输沙量贡献度为20.9%

◆ 河口影响因子

- 航道疏浚贡献度为5.3%
- 渔业捕捞贡献度为5.2%
- 促淤围垦贡献度为4.7%
- 近海工程贡献度为3.4%

◆ 海洋影响因子

- 海平面上升贡献度为3.4%



◆ 对径流的影响：

- 降水为主要影响因子，贡献度约88%；水库贡献度约2%；

◆ 对输沙的影响：

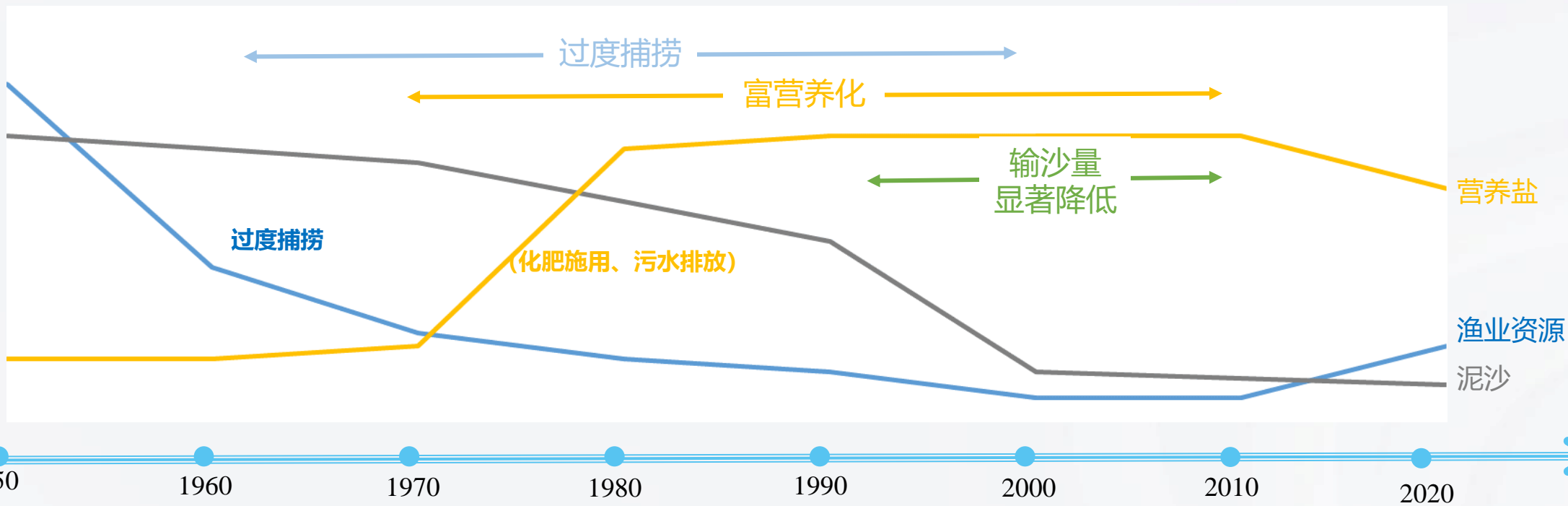
- 径流为主要影响因子，贡献度约51%；流域水库贡献度约38%，

◆ 对入海污染物通量：

- 农业面源为主要影响因子，贡献度约48%；市政污水和工业废水贡献度分别为约37%和约14%。

四：长江口生态系统演变驱动因素

◆ 根据长江口生态系统演变特点和影响要素可大体划分为5个阶段：



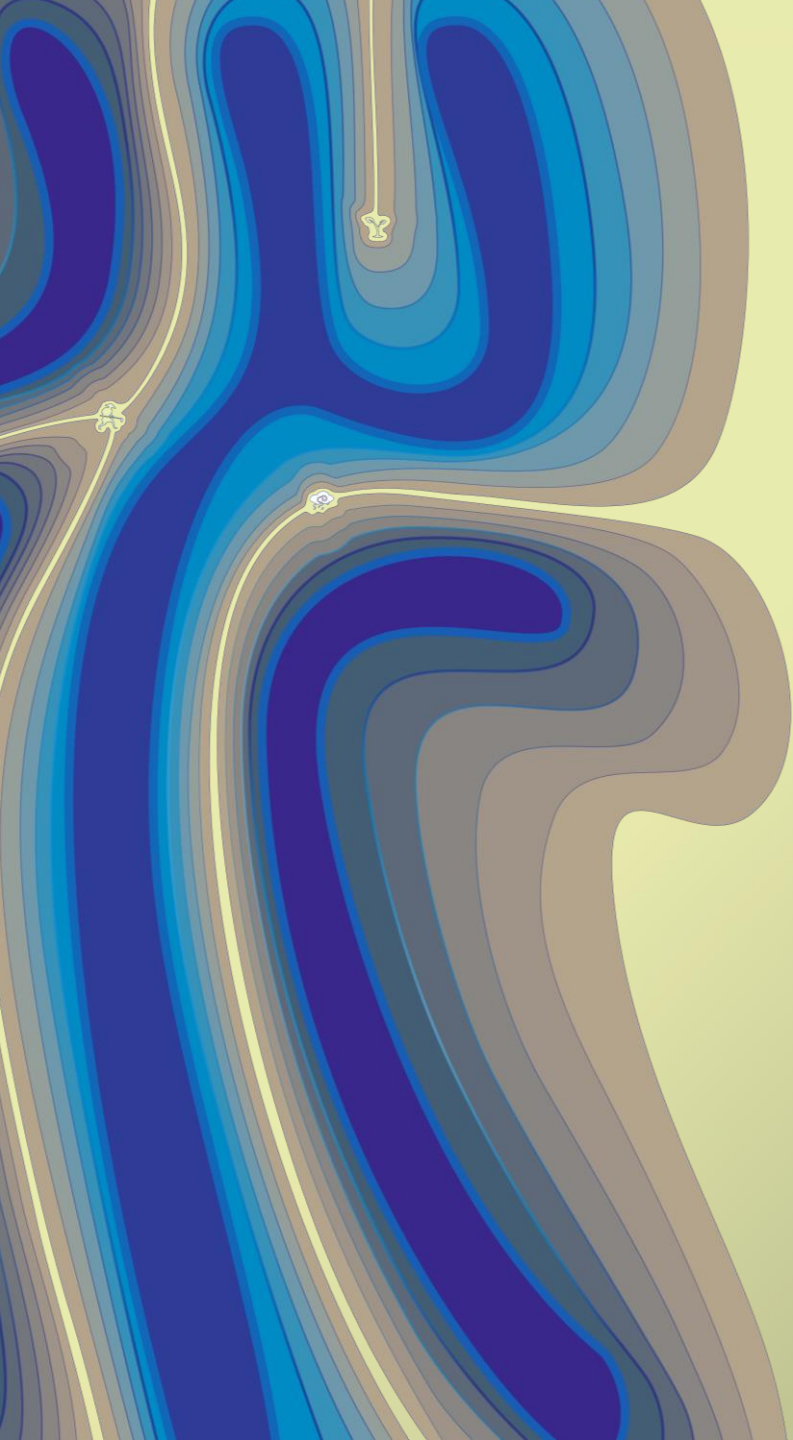
以自然演变为
主，人为
扰动较小。

以渔业捕捞为代表的人类活动对长江口扰动加剧，长江口生态系统演变主导因素从自然因素向人类扰动转变。

水质污染、过度捕捞、大型水利工程建设等多重因素影响下长江口生态系统进入剧烈变动时期，演变加速。

多因素扰动下长江口生态系统呈现亚健康状态生态系统结构和多样性较低，服务功能下降。

“长江大保护”等政策实施，对长江口生态系统的扰动和影响减弱。



CTG



上海勘测设计研究院有限公司
Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd.



中国水利
CHINA WATER

中国水利学会-河口治理与保护专业委员会
Chinese Hydraulic Engineering Society-Estuarines Governance and Protection Professional Committee



XVIII
World Water Congress
International Water Resources Association (IWRA)

THANKS

XVIII
WORLD WATER
CONGRESS

Water for All
Harmony between
Humans and Nature

第18届
世界水资源大会
水与万物：
人与自然和谐共生