

中国城市科学研究会
水环境与水生态分会
Water Environment & Ecology Council
of Chinese Society for Urban Studies



中国三峡
China Three Gorges Corporation

THE FIFTH CONFERENCE ON URBAN WATER
ENVIRONMENT AND ECOLOGY DEVELOPMENT
AND THREE GORGES SYMPOSIUM ON
ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
LOW CARBON AND GREEN WATERSHED

2023^{5th} 中国城市水环境与水生态发展大会
暨三峡环境科技大会
低碳绿色流域构建

热点话题及精华合辑

主办单位：中国城市科学研究会、中国长江三峡集团有限公司

承办单位：中国城市科学研究会水环境与水生态分会、长江生态环保集团有限公司、三峡集团长江生态环境工程研究中心
华中科技大学、中关村汉德环境观察研究所

支持单位：中国工程院环境与轻纺学部、国际水协会、北美华人环境工程与科学教授学会

战略合作单位：中国科学院生态环境研究中心、清华大学环境学院、南京大学环境学院、中国环境科学研究院、南昌航空大学
北京首创生态环保集团股份有限公司、北控水务集团有限公司、中持水务股份有限公司、中国水环境集团
江苏金山环保科技有限公司、中国科学院重庆绿色智能技术研究院、大连理工大学、桂林理工大学
东北师范大学、永定河流域投资有限公司、中建三局绿色产业投资有限公司
浙江联池水务设备股份有限公司、江苏金牛环保工程设备有限公司

目录

THE FIFTH CONFERENCE ON URBAN WATER
ENVIRONMENT AND ECOLOGY DEVELOPMENT
AND THREE GORGES SYMPOSIUM ON
ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
LOW CARBON AND GREEN WATERSHED

2023^{5th} 中国城市水环境与水生态发展大会
暨三峡环境科技大会
低碳绿色流域构建

流域治理创新论坛——案例与模式-----006

永定河流域综合治理模式与实践-----	006
绿色流域构建“固—水—土”协同共治模式研究 -----	009
人工湿地用于生态修复的研究与实践-----	012
小流域城镇尾水湿地高标准保障技术的构建与应用-----	014
流域系统科学概述及对永定河流域系统治理模式的思考-----	016
云南高原浅水湖泊——异龙湖水质提升与生态修复研究-----	021
统筹推进城市黑臭水体治理和污水处理提质增效的思考-----	022
流域治理生态效益向经济效益转化探索与实践-----	026
洱海生态廊道创新河湖生态治理及绿色发展模式-----	029

流域治理创新论坛——管理与政策-----033

我国流域规划和管理的理念创新及实践-----	033
国家十四五流域生态环境保护与治理要求-----	035
系统治水在湖北流域综合治理与统筹发展规划中的实践-----	037
长江流域生态和社会环境形势演变特征与治理需求-----	040
关于流域系统管理的思考-----	042
生态补偿在流域上下游控制当中的模式机制的探索-----	045
气候变化下流域水短缺风险治理-----	048
岩溶湿地生态调控下的碳汇能力研究-----	050
我国流域水体富营养化成因与防治-----	053

中小流域系统治理模式思考-----054

流域治理生态价值评估应聚焦水安全-----056

流域治理创新论坛——技术方法-----059

流域水环境综合管理对策及农村污水治理的技术与经验-----059

琵琶湖水环境治理政策与实践——环境社会学研究-----062

绿色小流域构建的一些思考-----064

环巢湖典型流域污染特征及系统治理工程实践——以白石天河为例-----067

流域综合治理背景下水环境治理与全域国土综合整治工作思路-----069

水环境设计中的生态学方法-----073

长江流域面源污染物的入水过程及生态调控-----076

人工湿地与水生态修复技术研发与工程——以武汉为例-----078

河湖底泥清淤的基本问题与技术体系-----081

河流生物多样性格局与生态健康评估-----082

白洋淀底泥污染特征及修复技术-----084

AI“采+测”监测助力绿色流域构建技术-----085

长江大保护专题论坛——排水管网技术创新-----089

基于光纤分布式测温的排水管道入流渗入诊断技术-----089

市政污水管网入流渗入智慧诊断与决策优化-----093

基于有机质荧光与分子指纹的管网混接及溢流污染溯源诊断-----097

机器人在管网设计修复及运维过程中的现状与发展-----099

人工智能机器视觉技术在排水管道缺陷检测中的研发与应用-----102

排水管网检测智能识别研究及应用-----106

城镇污水处理厂溢流污染控制技术研究-----109

排水管道非开挖修复技术及质量管控-----113

紫外光固化点位修复技术-----116

城市排水系统运行效能关键影响因素分析-----119

原位在线监测技术助力排水管网智慧化运维实践探索-----120

城市水管家集控模式下管网全生命周期管理的实践与探索-----124

青年论坛——上半场：面源污染-----129

城市降雨径流污染负荷核算方法和适宜性分析-----129

农业面源污染的争议与思考-----135

田块到水体：面源污染源-流-汇理论及模型研发-----142

青年论坛——上半场：长江生态-----145

湖泊食物网结构与碳储量功能-----145

促进鱼类自然繁殖的三峡及金沙江下游梯级水库生态调度实践-----147

长江水生生物资源监测与长江大保护-----151

梯级开发背景下水生态适应性管理的思考-----158

长江流域水生态环境现状、问题与对策-----160

流域治理创新之案例与模式

永定河流域综合治理模式与实践

永定河流域投资有限公司总经理 彭增亮

2014年3月，习近平总书记在中央财经领导小组第五次会议上提出，要统筹永定河、潮白河上下游用水，进行中小河流综合治理，恢复自然生态和流量。2016年，永定河综合治理与生态修复正式启动。通过践行山水林田湖草沙一体化保护和修复，探索“两山”转化路径，推动流域高质量发展，逐步形成了流域综合治理的“永定河模式”。

一、基本情况

永定河是海河流域七大水系之一，流经京津冀晋蒙5省（市），是我国四大防洪重点江河之一；是京津冀水网“六横三纵”中的重要一横，也是首都北京的母亲河。

流域存在的问题，在北方河流普遍存在：水资源禀赋差，流域的人均水资源量276立方米，不足全国平均水平的10%；环境承载能力比较差，水功能区的达标水平20%左右，这个是非常低的；生态空间功能退化，上游黄土高原水土流失还有1.5万平方公里，流失率很大，水库淤水率60%以上，森林覆盖率20.8%（2016年数据，不足全国平均值）；还有部分河道防洪功能不足，隐患尤存，有两个大的防洪节点，第一个是首都，第二个是大兴机场。永定河和黄河类似，防洪最大的风险段是在山区，区域协调管理能力薄弱。

2018年，永定河公司在京挂牌成立，探索以投资主体一体化带动流域治理一体化。

□ 2017年6月国家发展改革委印发的《关于组建永定河流域治理投资公司的指导意见》中，明确和细化了永定河流域公司的四项职责：

- 01** 贯彻落实国家关于永定河流域综合治理与生态修复的战略意图及《总体方案》，推动实现流域治理目标，提供生态等准公共产品。
- 02** 以市场化方式组织实施永定河流域综合治理与生态修复项目，统筹管理国家和沿线各省市政府用于永定河综合治理与生态修复的财政性资金。
- 03** 充分发挥政府资金的引导撬动作用，深入开展银企合作，构建可行的商业模式和融资模式，推动实现流域治理与生态修复投资主体多元化、资源资产化、资产资本化、资本证券化，提高企业持续运营能力。
- 04** 受托经营管理流域内有关工程和资产，以及区域内相关水资源、土地、生态资源综合利用与开发。

二、流域综合治理模式与机制

1. 投资主体一体化带动流域治理一体化模式。

第一个一体化就是组建流域公司，政府和市场有机结合、两手发力。政府要发挥战略、规划、标准、制度、服务、监督的职能；企业发挥在资源配置、灵活机制、

创新模式，以及科技创新和转化基地等方面的优势。

如何带动流域治理一体化，需要按照四个统一：统一规划，进行《总体方案》及修编，五年一调整；统一治理，上下游、干支流，全过程、全流程；统一调度，目前实现水资源要素的分级调度、联动；统一管理，推进政企协同，对流域内资源资产和水利设施，包括区域经济和农业、文化文旅的统一管理。



2. 探索五项机制。

其中，领导协调机制，是这项事业能够可持续顺畅推行的关键，由国家发改委牵头，一年一次领导小组会议，形成工作要点，统筹相关部门按照要点实施并检验。协同治理机制，目前在同一个规划里，结合不同地方，形成不同治理思路，正在有序推进监测、效果评估、政策统一等方面工作，各相关省市县都成立了永定河流域协调领导小组。农业节水机制，形成四个模式，上游400多万亩灌区，有效灌溉面积不到100万，目标是实现节水达到1.41亿立方，目前实施了50万亩，节水量将近4000万方。横向生态补偿机制，目前开展了生态补偿框架协议，效果还不错，但还没有完全实现全要素的生态补偿，也没有实现全流域的生态补偿。



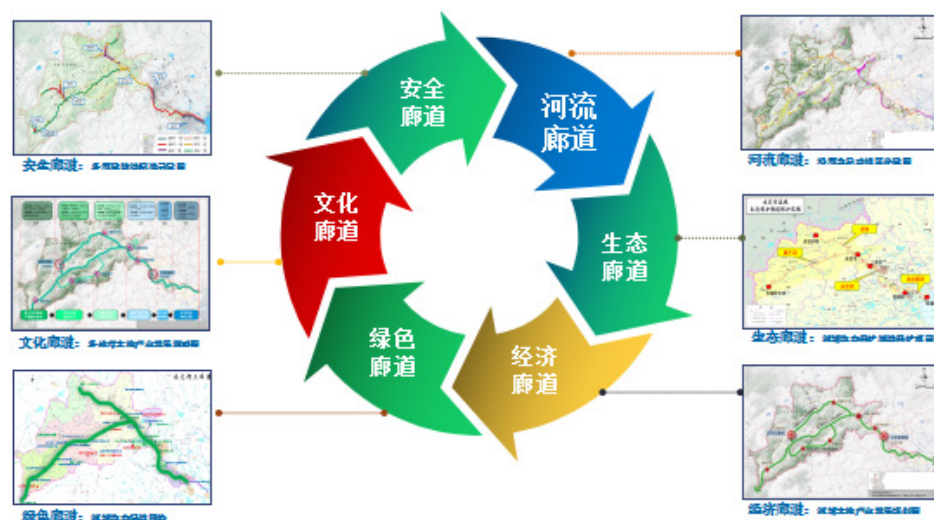
三、实践和成效

1. 四项重点工作

保通水——节水优先，开展农业节水、区域再生水循环利用，在四个地级市和两个直辖市所沿线区域进行统筹；用自然生态的办法和理念解决自然生态的问题，

以水开路求破，用水引路求利；把黄河水、长江水、流域水、再生水进行四水统筹，多库联调，三大枢纽协同工作，其中，四水结构明显优化，流域自身水占比70%左右，黄河水占20%多。

建廊道——采取系列措施，努力实现水是绿的，道是通的，巡河道路全线畅通，鱼类洄游基本畅通，多样性、原生动植物正在逐渐恢复。



促发展——目前的阶段是以水为脉，从水安全、水环境到水管理、水景观、水经济、水文化等方面提出八水治流域；把握水和流域生态治理、城市更新、乡村振兴、文旅康养、绿色能源等方面的关系。目的是推动流域生态、区域经济、公司的三个高质量发展，同步进行，协同发展。

树样本——围绕模式、机制、管理、科技托方面，在全流域形成特色示范工程，探索瓶颈问题的解决，并做到可展示、可推广、可复制。

4. 树样本



2. 成效

首先实现全线通水常态化。其次，治理成效初步显现，《总体方案》颁布后，以规划项目总投资的1/3左右，实现河道生态廊道基本贯通、流域水网主骨架初步形成、“四河”（流动、绿色、清洁、安全）目标取得重大突破。生物多样性加快恢复，保护动物越来越多，停留时间越来越长；沿线地下水位都有不同程度回升，持续稳定，上游2米左右，下游3米左右，影响范围10—15公里；生态空间加强，沿线建成各类湿地约25000公顷。

绿色流域构建“固—水—土”协同共治模式研究

中国环境科学研究院副院长 席北斗

一、绿色流域构建的国家要求和使命

1. 绿色流域构建是污染防治攻坚战、降碳减污扩绿增长必然要求。

十八大以来，国家高度重视生态文明建设，从土、水十条到2023年发布的重点流域水生态环境保护规划，国内国外都提倡流域基于自然的解决方案、固水土协同共建来构建绿色流域，促进可持续发展。

在绿色流域构建方面，要山水林田湖草沙等要素系统治理；水资源、水环境、水生态三水统筹；固水土协同共治，地表地下协同治理；落实绿色流域构建，提升流域的韧性和面源治理、减污降碳的协同作用。流域保护的重心也由过去的污染治理，向生态恢复和韧性恢复的转变。

2. 固水土协同共治是构建绿色流域提高流域生态韧性必由之路。

流域系统是水资源的空间载体，自然□社会□经济复合生态系统，只有健康流域才有健康水体；流域污染陆（固）-水-土交互影响大：治水先治岸，清洁必统筹。如何进行有效的定向转化，将过去需要治理的污染源，成为流域生态建设的一个生源要素，实现多元物质循环和多介质的协同共治，实现陆水统筹，地表地下统筹，这是美好的愿望，也是国家的要求。

二、科学问题与技术难题

绿色流域固水土协同过程：识别难、协同难、管控难

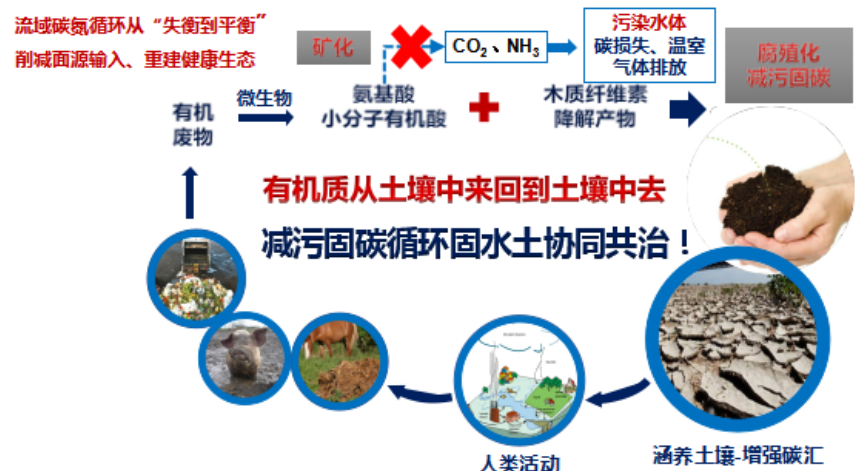
流域污染过程极其复杂，一是来源多，路径广，二是多介质，交互关系非常复杂，彼此交织，问题的识别和诊断极其困难；二是协同治理的一些关键节点、衔接、以及协同性等方面，还需要进行重点攻克；对流域尺度的固水土系统监管和调控，通过技术、经济、政策协同的手段，还有整个生态产业化和价值实现等方面，还有

很高的难度。

科学问题：流域多源有机固废循环转化对土-水污染协同共治作用机制原理。

流域中的污染物，有机废物，如果不进行系统的定向转换和统筹，就会转化为二氧化碳、污染物以及温室气体；反之通过定向转化，使它回归到流域中，就可以实现生源要素的平衡，实现减污降碳协同。

科学问题：流域多源有机固废循环转化对土-水污染协同共治作用机制原理



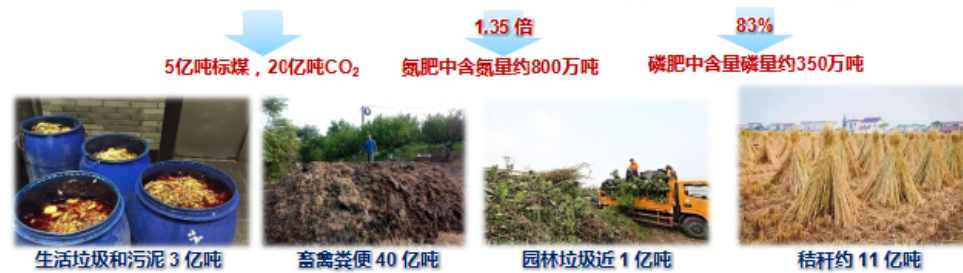
三、固水土协同共治模式研究进展。

1. 有机固废量大资源化率低、生源要素固水土循环转化“失衡”

直接或间接来自流域的有机固体废物，增量是非常大的，占到整个固体废物的50%以上，具有明显的资源和污染二重性。一方面这些有机固体废物中含有大量的碳氮磷，也是流域生态建设所需要的重要生源要素，如果处置不当，就又会成为污染河流水体湖库的重要污染源。所以如何医治它的污染属性，发挥它的资源属性，进行固水土循环，从过去的失衡到平衡，是非常重要的任务。

有机固废量大资源化率低、生源要素固水土循环转化“失衡”

- 量大面广、农业源等有机固废年增55多亿吨，污染和资源二重性
- 资源丰富：碳含量3亿多吨、氮含量1150万吨、磷含量290万吨



抑制污染属性，发挥碳氮磷生源要素属性，固水土循环从“失衡到平衡”

2. 解决有机固废碳氮无序矿化流失、循环失衡

多年研究发现，之所以这些生源要素矿化变成污染，是因为它的转化过程有不协调，不充分的部分。传统的生物转化等都存在着小分子物质大量快速分解的现象，如果后期想形成腐殖质，需要的关键物质（腐殖质前体物），在后期产生少，产生慢，和前期小分子物质失去定向结合的机会，无法循环利用。找到问题主因后，重点强化醌基物质的产生，并通过动态返混和小分子的融合，从时空上充分聚合，解决矿化的问题，实现定向腐殖化。同时，通过氮磷协同固定技术，提升有机腐殖氮含量提升，减少氮的损失，提升其生物功能肥的整体成效。

3. 范例

这一套技术在丹江口水库地区得到应用。这里农业曾经相对发达，大量农业废弃物无处消纳，对丹江口水库环境造成极大胁迫，当地经济收入也比较低，保护丹江口水库面临很大压力。通过有机废弃物的多元收集和测土配方有机结合，实现三级配肥，结合政策搭台、企业参与、农民积极配合，实现大量有机废弃物资源化还田，实现了固水土协同共治，面源污染控制得到有效控制。

绿色流域构建：固水土共治-多源统筹-减污降碳协同增效范例



开创“固-水-土”协同共治新模式，助力资源循环平衡和面源污染控制

基于风险分级、精准诊断，在丹江口流域开展流域多元固废大小分子资源化还田，耕地质量三级提升等工作，并结合智慧化、循环控制手段，几年来流域有机质提升10%以上，提升耕地质量，生态资产实现由低向高的转变；土壤效率得到提升，面源污染得到有效控制，经济作物的质量和价值也得以提升，同时实现有效的固碳减排。

同时，和传统的末端治理（污水处理厂脱氮除磷）方式相比，通过有机固体废物的三级配肥和循环利用的源头治理模式，使流域化肥使用量消减，减少面源氮流失，成本比大概是1：7。实践表明，以有机固废资源化促进流域减污、消氮、固碳，削减面源污染输入，是恢复流域系统生源要素平衡、打造绿色流域健康生态、清水产流的有效模式。

人工湿地用于生态修复的研究与实践

首创环保集团协同创新研究院院长 蔡然

一、基于提升水质开展研发

技术瓶颈——脱氮除磷、提高效率

企业开展湿地研究，目前主要针对的问题是，一级 A 到准四类的氮磷指标提升。比如是不是能够稳定达标，哪些情况下可能超标，下雨时是否会超标等，围绕人工湿地工程运行，很多问题还没有明确的答案。为此，研究的一个目标是，进水一级 A（可能有一定的超负荷情况下），保障出水水质；第二个要明确运维标准，产业应用的核心是要标准化和量化，基于这两个主要目标开展湿地相关研发。

技术瓶颈——脱氮除磷、提高效率							
不同规模尾水湿地出水数据分析（浓度单位：mg/L）							
地区	处理工艺	进水（mg/L）	进水水力负荷（m ³ /d·m ² ）	出水COD浓度	出水TN浓度	出水NH ₄ -N浓度	出水TP浓度
四川	污水站+人工湿地	20	—	13.8	—	0.23	0.47
广东	污水站+人工湿地	230	0.5	—	4.50	2.40	0.27
安徽	污水站+人工湿地	300	1.0	39.2	14.88	3.62	0.73
河南	污水站+人工湿地	2000	0.3	26.9	4.23	0.52	0.28
宁夏	污水厂+人工湿地	10000	0.2	20.8	11.21	0.48	0.32
辽宁	污水厂+人工湿地	15000	0.5	25.7	13.54	5.38	0.35
山东	污水厂+人工湿地	50000	0.5	28.3	10.13	1.10	0.29
一级B				60	20	8	1
一级A				50	15	5	0.5
准IV类				30	10	1.5	0.3
· 不同规模尾水湿地出水到准Ⅳ类，氮磷营养指标是限制因素。							
· 应用传统基质填料尾水湿地表面水力负荷较低，占地面积大，效率低。							

二、主要研究内容

首先，针对低碳氮比的尾水，确保氮磷去除需要高效填料；考虑到费用节省，需要便宜碳源，研发定向发酵植物的碳源以及基于生物炭的填料，一方面保障出水达标，另一方面降低整体运营成本；同时，所有的研发必须落地到设计，从设计到工程，最近正在摸索运维方面的工作。

1. 生物质定向发酵技术——TN 去除

利用湿地植物发酵产生生物质作为补充碳源进行反硝化脱氮（NO₃-N），替代常规碳源。我们实际比较了四种相对常见的湿地植物，再力花、香蒲、风车草和芦苇。从实验情况看，发酵后再力花作为碳源的效果最好，但湿地里再力花是比较少的，因此从应用角度，选择香蒲（效果次之）作为一个碳源供给植物。通过分析生物质定向发酵技术中的发酵产物表明，其中挥发性脂肪酸中乙酸浓度显著高于其他酸，占比最高超过 83%。而乙酸盐是一种低分子有机酸盐，易被微生物利用，其作为碳源的反硝化速率远高于葡萄糖和甲醇，是目前主流的外加碳源。我们把这项技术直接应用于人工湿地里的碳源替代，结果显示，添加发酵液后，可以显著降低人工湿

地硝酸盐氮的出水浓度，虽然发酵液有明显色度，但是出水仍然清澈透明。

2. 功能填料研发——脱氮除磷消毒

研究了三种填料：促进反硝化菌活性填料、催化磷酸钙沉淀填料、产生基反应灭菌填料（考虑农村污水大肠杆菌超标现象）。首先开展生物炭填料研发，主要选择合适的植物秸秆，选择不同温度进行炭化，三个温度分别是 300℃、500℃、800℃。

实验发现，生物炭会显著影响硝酸盐的降解，其中 300℃和 500℃生物炭表现为对总氮的促进作用，800℃表现为抑制作用，即总氮去除是下降的。生物炭对微生物的反硝化速率产生了显著影响，另外，生物炭改变了微生物的物种组成及相对丰度，其中 300℃显著提高了反硝化微生物的相对丰度。

对不同生物炭对总氮的去除也进行了实验研究，发现风车草生物炭出水总氮浓度是更低的。研究发现，在微生物反硝化过程中，产生的 NADH 会被转移至电子呼吸链上，由 NADH 脱氢酶催化产生电子，然后通过醌池和细胞色素 c 来转移电子，最后被 4 种关键的反硝化酶所消耗，来完成反硝化还原反应。为什么我们需要高校老师来做这个机理研究，主要是把研发黑箱打开，因为企业的研发是阶段性的，如果这个阶段暂时告一段落，下一阶段需要重新开启时，通过机理研究成果就能知道在哪个因素或者方向上重启实验。

3. 除磷填料研发

选择一级 A 进水标准，填料填充率在 25% 左右进行研发，实验证明该种除磷填料效果非常稳定，下一步的研发方向可能部分用于污水处理厂里一部分填料，取代一部分 PAC 的投加，有可能会进一步降低处理厂运营成本。

4. 强化消毒功能填料

通过释放带正电银离子吸附至细菌细胞膜表面，透过细胞膜与细菌发生巯基反应，破坏细胞和成酶活性，可稳定杀灭污水中大肠杆菌。

三、工程示范

1. 四川内江某农村污水站尾水湿地，目前出水稳定达到四类水。

【工程案例1】界牌镇污水站尾水湿地——灰绿结合（场站+湿地联动）确保水质达标

项目地点：污水站排污口下 2 km 处有围控断面
处理水量：150-300m³/d
水质目标：一级A提升到准 IV 类水

水质目标	项目亮点
COD _{Cr} ：30mg/L；NH ₄ -N：1.5mg/L；TP：0.3mg/L	1、采用灰绿结合，场站与湿地联动的方式； 2、选用高效的生物炭填料保证脱氮除磷效果。
解决方案 污水经过界牌镇污水站达到一级A水质标准，通过尾水湿地处理，达到准 IV 类水要求。由于下游围控断面及场地限制采用高负荷功能性填料，确保水质达标排放。	

2. 石家庄栾城区尾水湿地公园——尾水湿地 + 再生水利用 + 城市景观模式。
设计进水条件为一级 A，出水达到准IV类水质标准，目前还在建设当中，针对运行中可能出现的稳定达标难点，将在下一阶段研发中寻求突破。

小流域城镇尾水湿地高标准保障技术的构建与应用

清上环境科技有限公司总经理 陈希勇

一、行业背景

在实践中发现，污水处理厂尾水指标已经达到准四类，但进入受纳水体经过一段时间，水质仍旧逐渐变浑，尾水中仍存在大量间接导致水体浑浊的物质。我们采用综合营养状态指数法，对各种水质标准分析之后发现，现在相对较高的准四类水，实际上也是处于一种重度富营养化状态，这就说明了为什么污水处理厂尾水排入河道之后，在一些特定的条件下，比如水流比较缓慢的情况下，仍然会导致富营养化的原因。

另一方面，在河道里取的水样，静置一段时间，发现水却逐渐变清。分析之后发现，是因为河道里的水有一个比较完善的生物体系，通过这种体系化的能力，可以恢复正常的状态。基于这个原因，包括河北、山东等地出台地方相关标准，对污水处理厂出水做了一些要求，建立相关保障系统，希望把污水处理厂工程化的水转化为稳定的生态用水。同时，我们对湿地碳排放做了分析，发现相对同样处理标准的污水处理厂，湿地碳排放是常规污水处理工艺的一半。



二、技术体系

实践中，人工湿地工程本身还存在不少应用中的问题。如冬季运行问题，氨氮、总氮去除，基质堵塞、填料饱和，占地面积大、运行费用高等。为此，研发组合湿

地单元模块，以微生物为基础，结合创造良好的生境环境，调节微生物种群，提高湿地中微生物的量。

1. 漂浮湿地

主要去除 COD 和氨氮。传统湿地受温度影响比较大，冬季微生物活性会急剧下降，污染物去除效率也会下降。漂浮湿地结合应用“耐低温菌剂 + 浸没式生物反应器”，显著提高低温条件下对污染物的去除效率，节省占地面积和能耗，同时实现人工湿地的高效稳定运行。将漂浮湿地跟常规氧化塘做对比，COD 跟氨氮去除率 3—5 倍，4—5 度以上可以保证正常运行；综合成本比较低。

2. 脱氮功能性湿地（COD/ 氨氮）

常规湿地主要靠植物根系进行溶解氧传递，传递量有限，而这个湿地模块利用特殊菌种和填料，结合微纳米的曝气布水一体化设备，能够有效改善湿地内部的供氧系统。优势是低能耗，气水比是 1：1，是常规湿地的 3 倍以上；可减少 60% 以上占地；大大减少激活时间，1—2 个月的时候就可以正常运行；不易堵塞，有效延长湿地使用寿命。

3. 脱氮功能性湿地（总氮）

微污染水体及污水厂尾水中可利用碳源较少，反硝化速率大幅降低，为此，应用“仿生式长效碳源 + 自养异氧协同脱氮填料 + 长效反硝化微生物填料”组合，有效提高系统脱氮效率。其中一个优势在于，可控性比较高，碳源放在进水端，可以根据水质和季节波动进行调整。

4. 深度固磷湿地

常规湿地除磷主要靠植物和填料的吸收。植物的吸收能力是非常有限的，填料吸收容易造成填料饱和，需要更换。这个湿地模块在水体中释放除磷因子，固定水体中的磷，释放周期比较长（2—3 年内），占地较小，运维也比较方便。

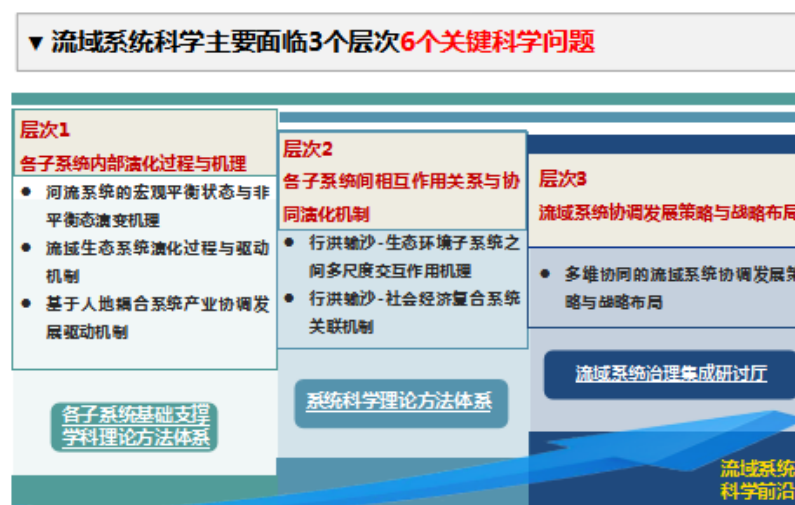
三、实践案例

山东临沂市某污水处理项目。现有湿地分两期建设（分别为 2012 年 2014 年），一期湿地（表流加潜流）维护不到位废弃，二期以表流湿地为主，一二期没有连通。现场对湿地水质和底泥进行分析发现，底泥是深度污染状态；按照进水方向做水质监测发现，除总磷指标有所下降，其他的指标包括总氮跟氨氮，有一部分出现反升现象，这些问题的主要是因为湿地缺乏维护。

根据污水处理厂尾水提标改造需求以及现状湿地系统存在问题，针对性采取治理措施，以“污水厂尾水提标、水质净化”为核心、“生态修复”为基础，创建“北

017

布局。每个层次都要突破的关键科学问题和技术问题。



从基本架构角度，流域系统科学是将系统科学理论和方法引入流域系统治理的研究和实践中，属于地球系统科学的一个分支；其中，学科基础以突变论、控制论、协同学、博弈论、非线性科学等基本原理为主导，以各子系统传统学科基本理论方法为依托；方法体系方面，综合河流、生态、社会、经济等基础学科及系统科学理论方法、相关学科专家经验和现代信息科技等，构建“流域系统治理集成研讨厅”。

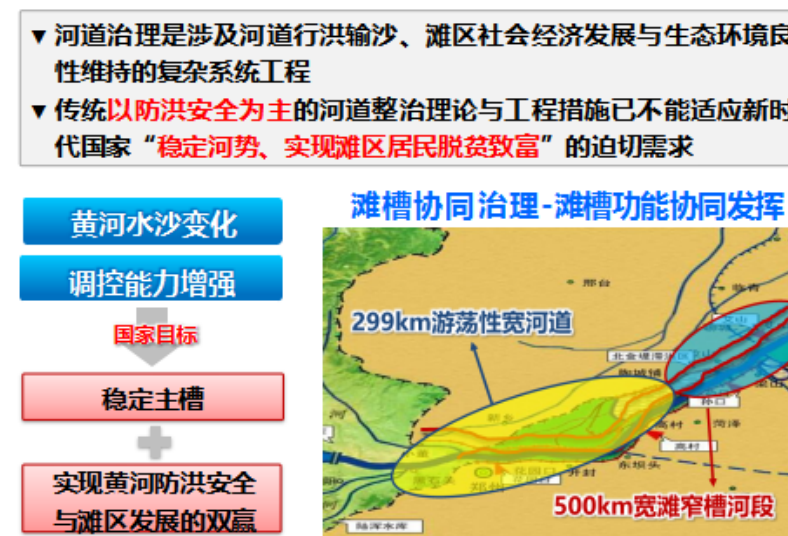


三、在黄河流域的应用

1. 黄河下游滩槽协同治理

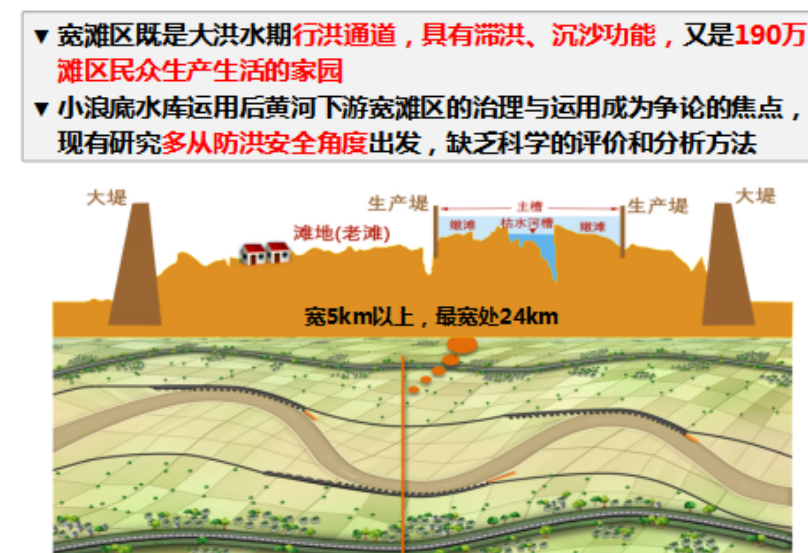
建立了黄河下游河道滩槽协同治理广义目标函数，厘定了黄河下游河流系统行洪输沙-社会经济-生态环境三大功能子系统协同发挥的多维约束因子与主要调控因子；辨识了各子系统治理目标的历史演变过程，建立了各子系统主要调控因子与目标函数的驱动-响应关系，确定了进入下游流量与过程、河道整治工程密度等主要调控因子阈值；阐明了河势稳定控制与滩槽协同治理对下游河道河流系统行洪输沙-生

态环境-社会经济多维功能的综合影响。



2. 宽滩区防洪减灾综合效应评价

将宽滩区发挥的行洪滞洪沉沙功能、社会经济可持续发展功能分别作为宽滩区的两个子系统，建立能同时反映河流自然属性和社会属性的二维评价指标体系；科学评估了3种不同治理和管理方式（现状无防护堤方案、修建防护堤方案、滩区分区运用方案）下游宽滩区滞洪沉沙与减灾效应。支撑不同情况下的管理决策，即什么样的情况下要重点关注减灾，什么时候要关注泥沙，什么情况下要保证用水，进行了非常详细的规划。



四、对永定河流域系统治理模式的思考

通过对综合流域的治理研究，我们认为现在永定河流域治理的模式，投资管理

模式，应该是我国江河治理模式的有机补充。随着新时代治水思路的不断深入，按照“四水统筹”，坚持“四个统一”，我国大江大河系统治理（干流和主要支流）保护理论与技术体系、管理方式与能力正在逐步提升。而相对于我国主要江河，中小河流（或大江大河的中小支流）总长度更长，串联的城市、乡村、产业和人口更多，人民群众对其依存度也更高，但目前我国中小河流（或大江大河的中小支流）流域的系统治理相对滞后，与国家江河治理战略要求尚有一定的差距。

永定河是北京的母亲河，战略定位与功能作用极其重要。但本身处在生态脆弱带，此前长期得不到有效的系统治理，本就极度脆弱的生态环境遭到严重破坏。为此，国家发改委批准成立永定河流域投资有限公司，实施投资主体一体化带动流域治理一体化、促进政府与市场有机结合两手发力治理模式，开创了我国中小流域系统治理的新模式。突出流域系统整体性，统一规划，开展永定河流域系统治理的顶层设计，提出了专业化统筹治理方案，为实现统一治理、统一调度、统一管理、有序推进全流域协同发展奠定基础。

永定河流域系统治理实践结果成效显著，但目前仍面临一些问题：

- 永定河流域系统治理模式尚未完全实现流域治理的“统一规划、统一治理、统一调度、统一管理”；
- 统筹水资源高效利用与防洪安全为主要目的调控能力亟待提升；
- 流域初始水权与水资源配置工作薄弱，难以满足河流行洪输沙功能维持 - 生态环境修复 - 社会经济发展需求；
- 突出流域系统整体性的全流域生态系统服务价值核算、生态补偿机制尚未真正建立。

下一步，在提升防控的能力方面，建议通过水库清淤，保证水库有足够的调蓄库容，可有效应对极端枯水年与丰水年水资源协调配置；尽快实施数字孪生永定河，确保官厅、册田、友谊、东榆林、洋河等水库联合调控，能够达到灵活、高效、精细、协同等；在水资源分配机制方面，统筹黄河水 - 长江水 - 本地水（地表水、地下水） - 再生水，全域 - 全系 - 全链的水资源，推动建立永定河流域初始水权分配制度，强化流域水资源统一管理工作。

云南高原浅水湖泊——异龙湖水质提升与生态修复研究

国家环境保护湖泊污染控制重点实验室主 任姜霞

一、特征和现状

异龙湖是云南最后一个劣五类湖。位于云南最南端，气温高，光照强，年均温度可达 20 度左右（近几年持续升高），浮游藻类光合效率高，气候特点适宜水华暴发。异龙湖上游是城区，人口密度比较高，人类活动对区域干扰比较大；区域内径流较短，区域内污水收集、雨污分流等设施短板比较明显；河流比较短，消减路径少；半封闭湖泊，大量污染物累积，水位持续低位运转；容量小水环境质量波动大；降雨量对水位影响大，年内和年度水位之间变化大，水生植被恢复和稳定维持的压力非常大，促进其藻型浊水的状态。

开展异龙湖 COD 现状调查。结合长期数据，2010-2021 年，COD 呈现反弹趋势，2021 年年均为劣五类。湖体 COD 以不易降解的溶解态 COD 为主，占比 61%，颗粒态 COD 占比 39%。溶解态的 COD 主要来自底泥，表层 15 厘米以上的沉积物中有机质含量高。一个湖体的初级生产者包括沉水植物、停水植物、藻类。藻型湖泊的沉水植物已经处于崩溃的边缘，因为它们是互为竞争的关系。上世纪八十年代，异龙湖的沉水植物是非常好的，所以水质也非常好，但现在基本上沉水植物已经消失。

二、问题和症结

1. 水质波动大，COD 长期处于劣五类

累积浓缩效应显著，水量和 COD 是明显的负相关关系，水域资源的维持对水质改善至关重要；内源释放强度高，污染贡献大。大量的控源截污措施只是减缓恶化趋势，并未改变湖内污染累积趋势。当地采取污水处理达标后外排的措施，虽然可以减缓污染，但对于本身就缺少水资源的湖泊区域，是极大的浪费。

2. 水生态结构失衡，富营养化严重

叶绿素含量达到 160 微克每升，远高于太湖，同时从生态系统结构和功能来看，浮游动物均为一些小型的耐富营养化、耐污物种，沉水植物消失殆尽。主要原因是氮磷的大量累积，除了 COD，磷也处于高位状态；整个湖体内透明度低，有利于藻类生长，对沉水植物非常不利；水位波动特别大，超过沉水植物的耐受限制。所以沉水植物的恢复，难度非常大。

3. 水资源短缺，湖泊生态水位难以保障

流域蒸发量、用水量和水资源外排量大，清水补给不足，导致污染累积浓缩。

三、治理思考和治理重点

1. 治理思考

首先按照山水林田湖草沙系统治理的思路，同时要遵循自然规律。异龙湖有人为因素影响，同时有地域特点和气候下干涸周期的影响。不仅要考虑水环境的问题，还要考虑水资源的问题。异龙湖的主要矛盾是如何提升水资源保有量，提高湖泊流动性。因此目前要从尽可能控源入手，长期考虑借助外流域调水和区间内节水减排，实现两条腿走路。

异龙湖治理要有久久为功的定力，同时也要根据它的功能定位来确定它的保护目标，能够更有效、更持续开展工作。异龙湖的功能就是农灌、生态用水，还有旅游景观等功能，并不定位于饮用水源。因此在修复过程中，第一个原则就是遵循规律，科学治理，探索基于自然的湖泊治理方案；二是系统谋划，分步推进；三是重点突出，精准施策；四是保护优先，统筹发展，通过保护实现区域高质量发展。

2. 治理重点

首先是“两减”：减少面源污染，减少湖体污染物存量。合理优化河湖缓冲带，优化种植业面，降低污染面源排放。底泥中氮磷含量非常高，区域没有工业，可以结合清淤进行资源化循环利用。

其次是两个“增”：增加流域水资源量和湖泊水环境容量。区域内的节水，包括生活节水和农灌节水；通过改善循环，增加连通性、流动性，维持流域基本生态流量。

第三是一“恢复”：水生植被恢复。通过综合手段，提升基础环境条件，加快生态修复进度；水生植被具备基础后，相应的生境就会得到改善，增加生物多样性，生态系统才能尽快恢复。

统筹推进城市黑臭水体治理和污水处理提质增效的思考

中国市政工程华北设计研究总院副总工程师 马洪涛

一、工作背景

我国水环境治理在“十三五”期间取得显著成绩，在第一阶段，水质指标好转后，进入攻坚阶段，如何真正提升城市基础设施建设运行水平，从根源上解决城市水环境问题，持续改善水环境质量，成为“十四五”核心的任务。

目前，依然有一些城市水体在雨天水质出现反弹，甚至部分水体出现返黑返臭情况；很城市的污水处理系统效能还比较低，特别是进水浓度还在下降。处于水环境治理第一阶段和第二阶段叠加的时期，很多城市在水环境改善和污水处理提质增效方面，需要统筹兼顾但又矛盾突出。

从水环境治理的第一阶段向第二阶段跨越

短期“治标” → 长期“治本”
“面子”指标好转 → “里子”根源问题解决

- 第一阶段
 - 大规模修建污水处理设施，补齐短板
 - 沿河截流避免污水直排
 - 末端治理为主
- 第二阶段
 - 补齐污水收集短板，应收尽收
 - 精准截流，提升污水系统效能
 - 源头治理、系统治理、精准治理

污水系统能力不足、效能不高的问题十分突出

- 污水处理厂超高排放标准的效益，被大量污水直排河道抵消
- 城市污水处理量持续增长的效益，被进水浓度持续走低抵消
- 沿河截流管和截流井建设的效益，被污水厂超负荷运行抵消
- 高截流倍数和调蓄池建设的效益，被管内日常满管存水抵消
- 旱季大量工程建设和投入的效益，被雨天初期雨水污染抵消

在城市黑臭水体治理、水环境改善方面依旧存在的问题，主要表现在三个方面：第一，措施和认识存在脱节。“黑臭在水里、根源在岸上、关键在排口、核心在管网”，成为共识。但实践中，常常未能真正站在城市的角度统筹解决问题，还是出现“就水论水”，比如单纯在河道两侧修截污管，在河道内部清淤疏浚，上一些生物治理措施，而不是真正提升整体管网及污水收集处理的效能，从根本上解决问题。

第二，情况不明决心大、底数不清点子多。实践中容易出现重工程、轻研究，重项目、轻调研，导致很多措施的针对性和系统性有所欠缺。

1.3.2 底数不清

重工程、轻研究；重项目，轻调研

- 缺少对源头人均污染物产生量、化粪池和传输过程降解的研究
- 缺少城市级别，系统提升城市生活污水集中收集率和污水处理厂进水浓度的研究
- 缺少科学确定“十四五”目标以及分区、分步实施路径的研究
- 缺少污水处理提质增效工作与其他工作的关系和统筹推进研究
- 缺少开展研究的资金支持

第三，措施不佳。一些设计单位，能否在设计目的、意识上，做到从流域角度出发综合考虑，打破行政区划的限制，站在水的角度，系统分析，真正需要的方案和措施，而不是说传统的设计院能干什么就设计什么，而是要考虑流域治理真正的需求。

1.3.3 措施不佳

- 要求不匹配
 - 新的要求：综合统筹，强调系统内部共同分担
 - 传统设计：分割到具体项目，碎片化设计
- 目的不匹配
 - 新的要求：解决问题、老百姓有获得感
 - 传统设计：满足规范、完成工程
- 意识不匹配：
 - 新的要求：需干什么，就干什么
 - 传统设计：能干什么，就干什么

二、工作重点

建立系统统筹解决问题的思路。从过去的工程导向转变为需求导向。从碎片化的思路向流域整体的思路转变；从过去简单的对照标准、套用文献，到真正考虑系统治理的实际需求，合理确定设施和规模；从单纯工程到考虑设计到建设、运维全生命周期等。建立系统、综合、统筹的思路，统筹推进水环境治理和污水处理提质增效，基本思路是：摸清本底、系统思维、定量决策。

1. 科学合理确定目标

对于近期的方案，应该梳理好城市的排水体制。明确改造可行性和必要性，综合确定近期的排水体制选择；确定好雨季合流制溢流和初期雨水径流污染的处理排放标准，为雨天污染治理提供技术基础；科学确定分阶段工作任务，如果缺乏对分年度可以实施的管理措施和工程措施的有效梳理，简单把五年目标分解到不同年份，就会导致整个工程体系无法优先解决紧迫问题。

2.1 确定科学合理的建设目标

现在的问题：

- 制定过高目标导致无法完成，比如全部雨污分流
- 部分标准缺失，特别是雨天处理排放标准
- 缺乏分阶段指引，导致不同阶段方案缺乏针对性

正确的方法：用科学合理的目标引导工程向正确方向推进

- 合理确定排水体制：优先清污分流、允许适度合流、加强溢流控制、逐步雨污分流
- 确定好雨季合流制溢流和初期雨水径流污染的处理排放标准，为雨天污染（合流制溢流、面源污染）处理找到出路
- 优先解决旱天入流入渗问题，合理确定分阶段工作任务，并量化确定任务是否能够达成

2. 做好本底调查分析

充分调查分析，保证设施排查的全面性，构建系统，反映问题；增加排查过程中的动态更新性；做好重点部位排查，如排口、截流管和溢流井、管道运行情况（水位）、外水入流入渗情况、源头小区浓度等。

3. 编制综合统筹的技术方案

2.3 编制综合统筹的技术方案

晴天污水不入河、雨天污水少溢流、入厂浓度有提高、河道生态有保障

- 补全污水管网系统，保证污水全面收集
- 完善污水处理系统，保证污染有效处理
- 清理污水管道外水，保证效能高效提升
- 维持管道低位运行，保证设施有效运行
- 恢复自然形态基流，保证生态维持健康
- 落实新区规划管控，保证错误不再犯
- 强化日常运行维护，保证效果长期达成

4. 科学合理制定源头改造方案

现在的问题表现为：缺乏系统性，能改哪里改哪里。比如，以城市或者行政区为单位进行改造，不以排水分区进行改造；没有统筹小区和市政，可能小区改了市政没改或者市政改了小区没改；遇到困难就甩项，导致最后改造率很高，但是没有一个是排水分区彻底改造完。

对此，应以排水分区为单位推动工作，提升截污的精细化水平。

2.4.1 以排水分区为单位推动工作

- 以排水口为基础，按照排水分区推动工作
- 在排水分区内部，确保小区与市政管网的雨污分流、混错接改造同步实施以及工程全覆盖，干一片、成一片；不能干多少干多少，不能干的就甩项，避免市政、小区不配套，导致应为合流改造溢流增加情况的出现。
- 对实施雨污分流的区域以“雨水口无污水排放、污水管无雨水混接”为验收标准，确保工程成效，避免过去多轮改造仍无法消除污水混错接的情况
- 实施雨污分流的区域，逐步“打开”截流雨水口、取消沿河截污管道

2.4.2 提升截污的精细化水平

- 对沿街沿河商户，以绣花功夫开展污水接纳，排水部门、属地管理部门和设计单位等成立联合工作小组，统筹落实，采用“五步工作法”（摸底排查和宣传教育、入户设计、商定方案、快速施工、后续处置（核发排水许可）），按照“一户一策”方式编制整治工作方案推进污水治理。

精细化截污：针对混错接：大部分都发生在小区而不是市政道路

- 核心是把分流制真正分彻底，统筹好近远期关系（物理退绕与消纳之间的关系）
- 对于小区：重点治理雨落管，利用海绵城市理念，实现“污水走地下，雨水走地上”
- 对于市政：重点消除混错接点；给沿街店铺提供途径

5. 系统谋划点源、面源污染处理设施

现在的问题：重截流不重处理、重末端不重源头

- 大量截流管道，但是末端处理设施能力不匹配
某南方城市，人均污水处理能力仅为260L/人/日，但仍修建大量截流管道而不增加处理能力，导致大量污水溢流
- 在末端建设大量调蓄池，但是缺乏源头污染控制
某南方城市，建设大量调蓄池，导致蓄池内污水浓度不高不低，既无法直排河道也给下游污水厂带来严重影响

正确的做法：

- 尽量补齐污水处理设施短板
- 正确处理城市面源污染
- 提升合流制溢流控制水平

尽量补齐污水处理设施短板，污水处理能力是水环境治理的根本处理好集中 + 分散，晴天 + 雨天，永久 + 临时，点源 + 面源四个关系。系统、综合，绿灰结合解决城市面源污染，提升合流制溢流控制水平。

6. 突出解决晴天系统效率不高问题

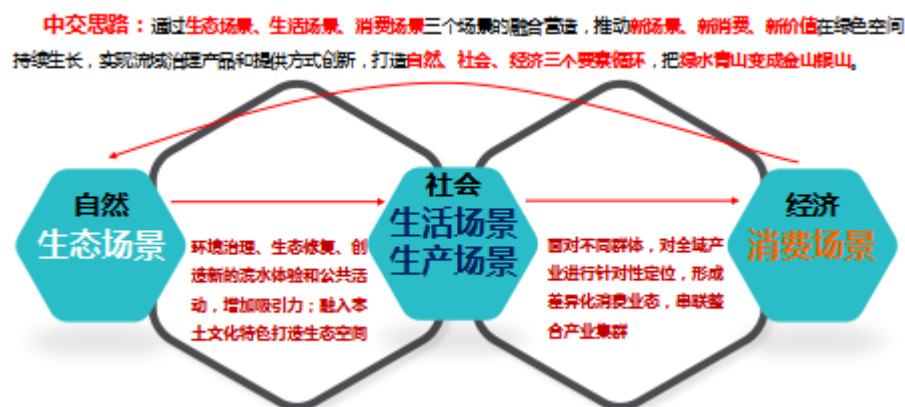
要破解一个误区漏区，简单把污水处理提质增效当作雨污分流、管网排查修复。提质增效的核心是把该收的收进来，把不该收的挤出去。比如广州一水厂日处理规模120万吨，清水达30万吨左右，经排查管道质量导致地下水入渗约占16%，就算把管道都修好，还是解决不了问题。从排水体制看，全国合流制占比下降，但整体浓度并没有显著提高。

因此，应当优先避免河水入侵，减少河水倒灌（特别是存在大量河道截污的区域）；加大山泉水治理，清污分流、各行其道，尽量把清水留给河道进行生态补给；剥离处理施工降水，基坑排水；将维持管道低水位运行作为日常工作重点。

流域治理生态效益向经济效益转化探索与实践

中交生态环保投资有限公司总经理 王永吉

2017年开始，中交集团以中交疏浚为先行先后在永定河、锦江、沱江、汾河、济宁京杭大运河等开展流域综合治理探索实践。在实践中，地方政府更关心的是如何通过流域生态环境的改善，生态效益提升，能够在社会效益不断提升的基础上，让经济效益更好更快展示出来，也就是说绿水青山怎么变成金山银山。多年来我们在流域治理过程中探索自然、社会和经济三个系统之间的协同，构建生态、生活、生产、消费等典型场景。总的来说是因地制宜，实事求是，一地一策，城市按城市的办法，乡村按乡村的办法。



一、城市段——以成都锦江流域治理项目为例

在锦江150公里的两岸开展流域治理，探索两个平衡。一方面，建设期依靠两岸土地增值，地方政策支持，政府和企业的名义发专项债解决污染治理、生态建设资金。投入体量大，这种模式也不适用所有区域。在地方政府严控负债的大形势下，这种模式也面临严峻挑战。另一方面，目前逐步从两岸生态环境的治理、建设期，逐步转向两岸生态环境、空间消费场景提升的运营阶段。两岸生态空间运维，过去都是地方政府付费，现在通过政策支持，植入一定消费场景，其收入用于平衡公益性设施的费用。

一、城区段

成都锦江流域治理项目-消费场景打造

目前，锦江公司在政府支持下，已完成：

- 商业空间——锦江沿线7处公园、11处管理用房的经营权政府无偿划拨和6处商业经营场所的市场化租赁，可经营面积约13万平方米。
- 水上游船——取得锦江水上游船经营权，四十年来首次实现恢复锦江河道游船通航，目前已开通10公里中心城区核心航线。
- 沿线广告——锦江沿线7块广告大屏已正常运营。
- 停车位——梳理锦江沿线停车位3428个，目前已取得1644个运营权。
- 绿道全线220公里共设置106个驿站，驿站均设置于绿道沿线景观节点，旅游资源丰富，能有效串联流域沿线古村落、文化遗迹、旅游景区等，具有功能性、景观性、文化性。



在生活场景和消费场景打造方面，治理前由于水质污染，虽然是核心区，但市民不愿意来，两岸商业热度有限；现在锦江水质已达到三类，锦江夜游项目的客流量非常大。锦江两岸将来还要打造成一个条带状4A级城市公园，就能带动两岸的商业街，属于间接收益。和政府不断沟通，要在生态和经济效益的平衡上算大账，算长久账，算系统的账。

二、郊野段——以山西汾河治理项目为例

习近平总书记2017年考察调研山西提出“水量丰起来，水质好起来，风光美起来”重要指示精神。其中，水量丰起来的目标，通过调水在2020年左右基本实现；水质现在也达到了预期的目标；风光美起来，仍任重道远，到今年年底，汾河中段百公里60%的两岸堤顶道路拓宽、景观道路、慢行系统，湿地和森林基本上建成。

在区域内，根据乡野段自然特点，结合乡村振兴，因地制宜打造多级生态、生活和消费场景。如通过道路、慢行系统等建设，带动堤顶湿地公园的消费场景的升级，生态湖休闲度假人流和整体消费收入提升。另外，我们还考虑在一河两岸，能否做一些适当的、分布式的新能源产业植入；另外结合固水土协同的模式，探索郊区段农田生产场景打造，推动流域绿色治理。

二、郊野段

山西汾河流域治理项目

根据乡野段自然特点，因地制宜打造多级生态、生活和消费场景。

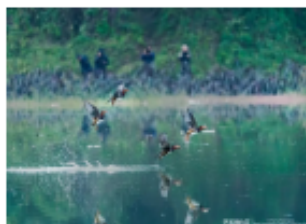
可达：完善堤顶交通系统，直通太原。
可憩：设置自行车道，人行步道等慢行系统。
可玩：对堤防进行生态化改造，同时打造堤内堤外湿地系统。



三、总结

不能靠消费场景打造的经济效益去平衡前期的建设投入，但是大家还是要有一个共识，只有生态环境好了，后续生活、消费场景才能打造得好，流域周边的整体经济效益就会上升。这个过程中，需要政府和企业两手发力，特别是政府在政策和资源上要给予更多支持。另外在模式创新上，进行多元化、以生态环境质量提升为导向的综合开发。

- 城区段主要通过闲置、低效资源资产进行盘活、赋能和开发，使其焕发出新的生机和活力，由“输血”向“造血”转变，打造可感知、可参与、可消费的生态、生活、生产、消费立体场景。
- 郊野段主要通过原始生态空间、自然风貌、人文历史进行提质增效，深度挖掘流域社会服务功能和生态服务功能，打造各种类型功能的景观空间，形成可达、可憩、可玩的多级生态、生活和消费场景。



生态效益



社会效益



经济效益

流域综合治理任重道远，需要政府和企业双向奔赴。政府完善多规合一等政策，释放生态空间（土地、林地等），将生态资源变资产，市场化运作；企业要进一步提升模式创新能力，充分发挥市场运作主体作用，加强生态产品的供给能力。

政策的建立和实施往往不是一蹴而就，而是渐渐式的，需要我们持之以恒的学习、实践，甚至引导。作为流域治理的引领者，不仅需要在约束条件下求解，更多时候是要改变约束条件本身。

洱海生态廊道创新河湖生态治理及绿色发展模式

中水北方勘测设计研究有限责任公司水生态院总工程师 郭英卓

一、意义和成效

洱海在云南九大高原湖属于第二大，中营养状态，是很多湖泊水质和营养变化的中间阶段，其改善的过程对于其他湖泊有重要参考意义。同时，洱海治理保护模式，对于我国西部地区走出绿色发展道路，在保护和发展中找到平衡点具有示范价值。

洱海流域属于澜沧江湄公河体系，周边 100 多条河流。十三五期间存在的主要问题，包括产业结构不合理，农村面源污染，城镇生活污水截污问题没有解决；由于过度开发，湖滨缓冲带受到很大破坏。在世界著名的优质湖泊中，美国五大湖之一的苏必利尔湖其环境承载力现状为每一亿立方米库容承载 0.6 万人，俄罗斯贝加尔湖为 0.05 万人，而洱海目前每一亿立方米库容承载着 1.4 万人，负荷已超Ⅱ类水承载力的两倍以上。

“十三五”期间，先后投入 300 多亿元进行系统治理。其中，“大理市环洱海流域湖滨缓冲带生态修复与湿地建设工程”2019 年正式启动，包括 790 多公顷的生态修复和湿地建设，129 公里的环湖生态廊道和若干环境监测站点，涉及 30 公里污水管网的完善和 5 个带有湿地修复功能的科研实验基地等，总投资 93 亿元。

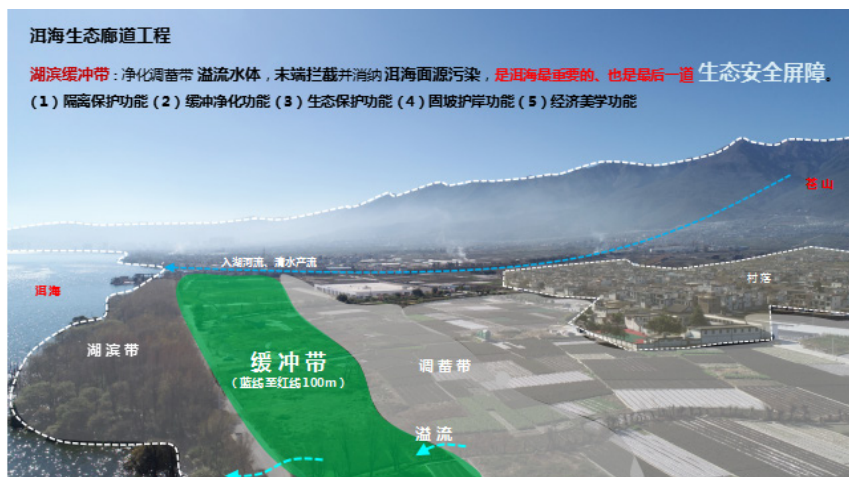
如今，洱海生态廊道成为云南及大理最美网红打卡地之一，洱海水质评价成果连续三年评“优”，2022 年 6 月入选全国第二批“山水林田湖草沙”一体化保护和修复项目。

其中，海菜花重现令人振奋。20 世纪 70 年代后，富营养化、水华爆发、生物多样性下降、入侵物种加剧等生态环境问题，特征生物—海菜花数量迅速下降，被列入《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》易危（VU）物种。工程建成后洱海水质显著提升，代表清洁水体的海菜花又重新回到了人们的视野，其生物量占比和建设前比增大了 6 倍，面积达到了 10 万平方米左右，目前还在不断扩大。

二、主要建设内容

洱海正在承受的环境压力已超过其生态环境功能定位下环境承载力数倍，其上游及湖域周边农田径流与无组织的畜禽养殖粪便造成的农业面源污染，占入洱海污染负荷的 60% 以上。另一方面，大理近年每年接待旅游人数超过 2000 万人次，更增大了生态环境压力。

作为洱海生态治理和整个环湖水污染防治的重要体系中的关键环节，整体项目包括城乡污水收集处理，生活垃圾收集处置，农业面源污染，湖滨缓冲带、清水入湖等。这个项目属于湖滨缓冲带，对于面源污染有显著改善和治理功能，同时，也是洱海最后一道生态屏障。



1. 生态修复与湿地建设

根据相关规划，实施减排增绿、缓冲净化、生态完整性修复、生物多样性恢复。蓝线以内：全面实施生态搬迁、岸线生态修复及保护；绿线以内：科学实施生态搬迁、生态修复及湿地工程；红线以内：系统考虑污染控制、生态修复与水体净化。环洱海区域清退农田后建设大量河口湿地，对改善面源污染入湖起到的关键性作用。

减排增绿：人退湖进，通过生态搬迁、农田清退，为洱海湖滨带生态恢复提供支撑条件。

生态搬迁

- 范围：蓝线-绿线15m范围；
- 内容：面积121.43公顷，涉及9个镇、31个村委会，1806户，7271人。



建筑拆除区
生态修复

农田清退

- 范围：蓝线-红线100m范围；
- 内容：清退100m内农用地，减少污染，进行生态修复。



农田清退区
生态修复

沿湖客栈拆除以后，进行整体的规划、论证和分析，对于如何重塑自然岸线，做了大量研究。

建成前后对比

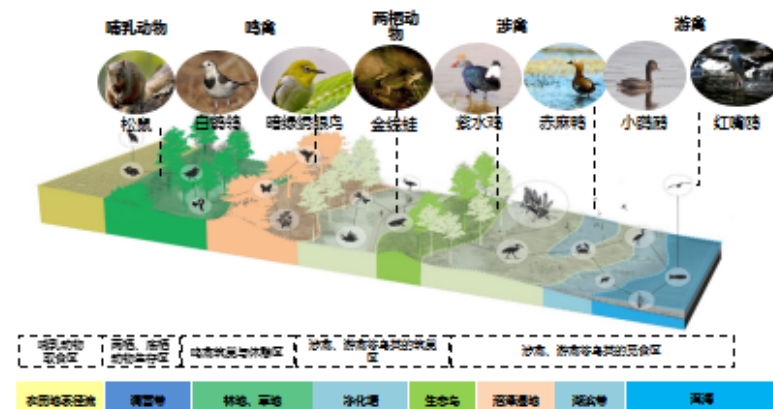
海西

——以洱海村为例，岸线修复完成后，基本上实现了生态的全覆盖和多样化



植被修复方面，清除外来物种，保护原生物种，开展补植和修复。通过一系列综合措施，促进环洱海湖滨缓冲带生态系统整体的正向修复，也对生物多样性保护创造有利的条件。其中，与法国和瑞典专业团队进行了生物多样性方面的专项合作，取得积极成效。

生态修复——生物多样性保护与修复（与法国、瑞典的专业团队进行了生物多样性专题研究）



2. 基础设施建设

对没有覆盖到的区域和村庄，进行了截污管网系统建设，设计有一定生态监测功能的驿站，体现生态化、自然化、本土化的特点。同时在智慧管理方面也有创新。打造洱海生态廊道信息化智能控制系统，实现对洱海生态指标的监测，满足居民和游客康体休闲需求，同时辅助洱海保护管理，最终实现对洱海运行管理的数字化、信息化、智慧化。

三、创新与特点

1. 理念创新

针对洱海作为一个世界级湖区的多重特点，创新“生态 + 策略打造和谐发展的生命共同体”治理理念；同时统筹大理市生态功能目标，利用可持续发展理念梳理环洱海核心保护区空间格局，把水环境保护、垃圾治理、绿色能源、建筑、交通、智慧、公共空间、城市功能协同整合，形成一个共生的生态的可持续发展城市。

2. 技术创新

构建环洱海污染生态拦截带技术。将不同的入湖水水质进行分类，构建高中低三种净化模式，通过建设沟渠湿地、河口湿地、生态净化区、村庄雨水花园等四种湿地类型，将农田面源污染、雨水径流污染、河流携带污染、灌渠排水污染等各种面源污染进行系统拦截净化。

3. 模式创新

因为项目涉及的专业非常多，坚持生态优先，以生态专业统领其他专业，成立现场指挥部，探索打破各个行业固有的专业壁垒和各自标准规范的约束，总体制定相关设计标准，同时进行多项示范检验，对不同技术进行试错，基于结果进行实践和推广。



总结：坚持生态优先，遵从自然演替规律，采取“人退湖进”，划定环洱海圈层保护系统，构建生态安全格局。

由苍山延续至洱海，完整健康的生态系统构建是洱河流域可持续发展的前提，采用先进理念和生态融合技术，制定合理适宜的生态措施，恢复洱海健康湖滨生态系统。

以拦截净化入湖河流沟渠和地表径流污染为重点，建设环洱海区域大海绵系统，构建水环境安全体系。

充分释放生态资源价值，建立与外围交通、城乡发展、环境保护、循环生态之间的有机联系，建设生态隔离、文化特色、充满活力的高品质世界级生态廊道，带动乡村振兴，促进大理市绿色转型和高质量发展。

以物联网、人工智能、大数据等为技术基础，打造智慧运维管理系统，以智慧化建设为基础，链接生态产业，实现产业联动，助力乡村振兴。

我国流域规划和管理的理念创新及实践

水利部水利水电规划设计总院副院长 李原园

一、规划和治理工作面临的新形势、新要求

（一）水情工情社情变化带来新挑战。

1. 水情工情变化。气候变化导致水资源形成的基础发生了变化。从近 40 年降水形势看，西北、东南增多，东北北部增多，其他区域减少，带来水资源的紧缺；地表水情况也基本类似，加剧水资源时空分配不确定性；入海水量，受地表水资源量衰减和水资源开发利用程度提高影响，特别是北方河流，入海水量在过去几十年里减少的非常显著。

气候变化导致极端的洪涝干旱发生的频次和极值增加，从南到北各条河流都普遍出现了相同洪量下洪水水位持续抬高，反映了对地面蓄洪、蓄滞空间挤占越来越严重，风险加剧。

人类社会对自然的干预程度和能力也在提高。我们建立了世界上最庞大的水利基础设施体系，都对水资源状况、水文情势、水文节律、生态产生了一定影响。

2. 经济社会发展对水资源的一些要求发生了很大变化。“三生”用水量质需求同步增加，对水源保障程度的要求也提高；用水结构方面，城镇和工业用地不断提高，农业用地的比例在下降，总量基本上保持稳定，或者是略有波动的下降。国土空间格局发生变化，生态空间、蓄洪等空间不断减少，城市工业用地规模和范围不断增加，导致整个水文蓄泄过程，循环演变规律发生很大变化。另外由于高强度的人流活动，人对自然波动（水文节律波动、洪涝、干旱等灾害）的耐受程度变差。

二、规划体系与规划关系发生变化

1. 对上，水利规划对国民经济和社会发展规划，国土空间规划、生态环境保护规划，既要提供水的承载能力，风险格局情况，也要提供支撑和保障作用。对下，要提供三个方面的控制，一个是水的流域空间，参量的开发利用和保护控制的红线。第二是治理方案，以及工程的建设方案。第三是管控的规则。

2. 新形势对规划与治理管理提出新要求：

一是更加注重安全风险防控与底线思维。统筹发展与安全，各类水安全保障标准要求提高，提高稳定性、可靠性，解决自然变率过大不能适应经济社会持续发展和生态系统稳定性完整性的要求。以全面提升水安全保障能力为主线，把水安全风险防控作为底线，把水资源承载力作为刚性约束上限，把水生态保护作为控制红线。风险防控意识增强，应对不确定性和各种风险挑战。

二是更加注重空间格局协调。把水资源作为刚性约束，把水安全风险作为控制

因素，有效协调人与水，水与地，水与经济，水与生态的关系，增强涉水空间和国土空间的适配性，增加水资源承载能力和经济社会的适配性，增强安全要求与风险应对韧性的适配性，保障国民经济社会的发展，生态环境的稳定，以及风险控制，发挥规划对人类活动的控制性、引导性的作用。

三是更加注重全要素系统治水。统筹水资源、水灾害、水环境、水生态、水经济、水文化六水同治，更加强调资源治水管理保护的系统性，流域进行系统的治理。更加注重全要素时空全过程的调配，包括空间格局匹配、时空调配、要素调控。

四是更加注重水治理与水管理规则制定。强化流域四统一（统一规划、统一治理、统一调度、统一管理），强化流域开发治理保护规则与标准（水量分配与用水效率控制、水资源开发利用程度控制、水生态空间与流量控制、蓄洪滞涝空间与过程控制）。

三、新时期流域规划治理思路

1. 规划的总体思路和流程。规划的过程实际上是反映了我们对于流域，特别是以流域和区域为单元，对流域自然、经济、生态等规律的认识，通过规律的认识找出问题及症结所在，聚焦到流域统筹经济社会发展、水安全、生态环境保护等目标的要求，再把它落实到规划布局、措施。

流域规划是讲对未来水的治理总体安排，一方面是安排水，一方面是安排人，达到人水和谐的目标，实现水资源水循环的良性可持续，水资源利用的可持续，能够实现永续利用，水生态健康，水安全能够风险可控。这样通过规划，提出绿色、生态友好的水利基础设施，提出绿色低碳的水事行为规范。

新的时代，流域规划在空间格局上，从水源的角度，比如说要把水源区、储备区、调控区、用水区，合理通过水网络和自然水系连接起来。从防控角度，合理安排防洪保护区、蓄泄区、风险集散区等风险传递链条。对于生态来说，水源涵养区、集散区、生态敏感空间与生态廊道，以及丰水过程，枯水过程合理安排，来解决相关的要求。

规划的核心，实际上就是多要素的权衡协调，处理好几个平衡关系：人和自然的需求，既要满足人的合理、持续、高效的需求，更要注重自然的需求，给自然留出空间与。特别要注重承载能力，对于流域规划要实现三大承载能力（资源、环境、生态），把我们的空间格局和总量，强度格局以及治理保护方案确定下来。

如国家水网规划。主要解决我们对水资源时空分配，洪水蓄滞关系，以及河湖水文节律等功能的调节，总体上通过由自然河湖水系和人工水利设施形成的水流网络系统，对水流进行综合的调控，实现综合调控，保障水安全，提升四个能力。水网有四级，其中，国家水网更多的是实现宏观尺度的资源调配、风险管控和生态格局的重塑。在自然河湖水系、自然地理格局，叠加合理的经济社会格局，再叠加水的问题识别（水资源的承载状况，水资源的安全风险情况，水生态的安全状况），在此基础上结合已有和未来规划的水利基础设施，提出满足综合调控水流、综合解

决资源、防洪、生态要求的国家水的网络体系。

2. 水资源规划与治理。过去主要是工程驱动和保障用水安全，现在则需要首先算清楚水资源承载能力；要把“四水四定”的要求落实下来，实现刚性约束；要提出水资源节约集约安全利用模式。另外很重要的一个要求，就是规划要确定水量的分配格局，即人拿多少，自然拿多少，控制人的用水行为。然后才是水资源时空的分配和布局，还有一个是我们的水源基地和战略水源的安排，最后才是到传统的水资源配置工程体系，供水、灌排保障体系。对已经发生水资源利用超过水资源承载力的区域，通过减少消耗，增加补给，综合措施进行超载治理。

3. 防洪减灾规划与治理。也有新的变化，不像过去比较注重工程，现在第一件事就是要明确防洪区划，界定红线，在此基础上，评价洪水风险格局，确定合理的标准。尤其重要的是合理安排洪水蓄泄关系。

4. 水生态保护与治理。这类规划的发展方向，第一个是空间格局的确定，九类涉水空间的划定和管控；水土资源的开发规模的控制，特别是包括总量和强度的控制。这几年，水生态相关规划也特别注重栖息地、生态廊道经济等敏感、重要保护目标的生态水文过程，生态水文空间，维护和修护工作。

5. 水工程的规划与安全。自然和人工融合，形成绿色可持续的基础设施体系；提高工程标准和冗余度，提高韧性。水利基础设施布局和规划过程中，一定要体现和“三生”空间的协调，特别是和生态空间、农业空间的统筹协调。过去的工程规划更多的是对人的服务功能，现在要同时考虑也要给自然服务，考虑生态保护的需求。

国家十四五流域生态环境保护与治理要求

生态环境部环境规划院副总工 王东

2023年3月，国务院同五个部门联合印发《重点流域水生态环境保护规划》，规划从2019年开始编制，前后历经5年时间。它有几个特点：一是规划名称发生变化。之前的规划都叫“重点流域水污染防治规划”，从十四五开始，改为重点流域水生态环境保护规划。名称的变化，跟规划的目标内容直接相关，更加强调三水统筹，生态环境的保护治理。二是在目标设立方面，构建三水统筹的目标指标体系，设计4项水环境指标，2项水资源指标，5项水生态指标，是三水统筹理念的一个具体落实。三是规划任务的变化，坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，坚持顶层设计

与基层创新有机结合。

规划体现三个层次的系统思维：一是与美丽中国建设相关领域一体推进。坚持降碳减污扩绿增长协同推进，大力推进美丽河湖保护与建设。二是落实山水林田湖草沙一体化保护与系统治理。三是统筹水资源、水环境、水生态治理。

一、现行水污染防治技术管理体系

1. 以流域分区体系作为空间基础。从淮河规划开始建立，思路一直在沿用，分区的精准化程度不断更新。

2. 运用系统思维解决水生态问题。山水林田湖草沙系统保护。不光污染源的控制，对于全流域包括涵养区、生态缓冲带等在内的保护工作也是重点。关注包括饮用水、黑臭水体、地表水、地下水、入海水的统筹。从水质改善讲，一方面强调污染与减排，一方面强调生产与扩容。

3. 应用精细化的管理手段。探索建立以流域控制单元作为空间载体去聚焦、整合各类管理需求。

4. 实施规划考核。从2005年开始，国家开始以淮河为试点实施规划的年度考核，规划的刚性进一步提升。我认为规划考核制度是规划实施一个非常重要强有力的措施，规划的执行力进一步提升。当然，规划在设定目标时，地方跟国家越来越较真，深化规划目标。所以我们现在的规划目标偏保守，这是一个博弈的结果。

5. 建立流域生态环境管理的综合督导机制。

二、合理设定十四五目标任务

1. “十四五”在中长期生态环境保护的定位

我们研究的一个初步成果，内涵分三个方面：第一，从国际看，水生态环境质量要与经济社会发展水平大致相当，达到或优于中等发达国家水平。从国内看，老百姓获得感、幸福感、安全感明显增强，能够满足人民群众对高品质水生态环境的需求。第三个从问题导向看，影响水生态环境改善的一些突出问题，得到有效的解决，如城乡面源污染防治，水生态保护修复等制约性问题。

迈向美丽中国目标基本实现的“三级台阶”：“十四五”是美丽示范，质量管理，三水统筹，试点突破；“十五五”是美丽引领，功能管理，三水并进、深化治污；“十六五”是全面美丽，功能核心，清洁健康，人水和谐。

2. 明确重点领域水生态保护要点

编制规划时要求，不同流域的规划要针对各自特征性的问题。每个流域要用一句话把突出问题点出来。如长江流域主要的问题是水生物多样性下降，沿江水环境风险比较高；黄河是水资源的问题等。而针对它的问题，在规划里面也是充分衔接，比如说重点流域规划里对长江流域，要求推进长江水生生物多样性的恢复；黄河则

是首先强化水资源刚性约束，然后是统筹推进水生态保护、水环境综合治理。

规划重点任务，一共有五个方面。第一项是为人民群众提供良好的水生态产品，包括饮用水水质安全，重点湖泊保护治理，美丽河湖保护建设。其中2020年形成美丽河湖第一批名单，2021年全国筛选出18个美丽河湖案例。

第二是巩固深化水污染治理。排污口的排查整治，2025年底前，基本完成长江、黄河等七大流域干流及重要支流、重点湖泊、重点海湾排污口整治。还有稳定达标排放、城镇污水收集处理、农业农村污染防治、船舶港口的污染防治、黑臭水体整治等重要任务。

第三，积极推动水生态保护。加强水源涵养区和生态缓冲带保护，保护水生生物多样性。生态环境部于2021年下半年印发《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》（环办水体函〔2021〕558号）。

第四，着力保障河湖基本生态用水。2020年4月17日，水利部就做好河湖生态流量确定和保障工作，发布指导意见，并且连续发布四批重点河湖生态流量保障的目标。

第五，推进区域再生水循环利用。2021年1月，国家发改委联合9部委印发《关于推进污水资源化利用的指导意见》（发改环资〔2021〕13号），同年12月，生态环境部联合四个部门，印发区域再生水循环利用试点的实施方案，去年开始筛选试点城市。

第六，有效防范水环境风险。水环境风险的防范，一方面是最低的要求，另一方面也是最高的要求。风险是一个概率问题，要通过相关的防控设施建设，提升预警能力，强化应急处置，一是降低发生频次，二是缩小影响范围。

系统治水在湖北流域综合治理与统筹发展规划中的实践

中国城市规划设计研究院副总工程师 龚道孝

一、相互交织的复杂水问题

二十大报告指出，我国生态环境保护取得了历史性、转折性的转变，但还不是根本性的转变，水的问题呈现新的特点，表现为四个方面：

第一是水安全——洪涝交织。应对流域性洪水压力仍然较大，防洪体系不完善导致外洪入侵，内涝防治体系不健全导致城市内涝，叠加极端降雨情况增加，洪涝交织问题凸显。

第二是水安全、水环境问题交织——因污致涝、因涝致污。表现为：排水管网雨污混接、外水入侵，雨水管网被侵占，雨季内涝频发；为防止水环境污染，对合流制溢流口简单封堵，雨季污水上路；雨季混流污水溢流外排，河湖水质存在污染

风险。

第三是水资源、水安全问题交织——旱涝急转。前期无降水或降水偏少，且已出现旱情的情况下，紧接着在短期内发生高强度降水并形成洪涝的气象水文事件；由于之前的干旱影响到流域内的植被、雨水下渗等条件，在同样的降雨总量下，旱涝急转带来的洪水往往更快更猛，也更容易造成灾害。

第四是水生态、水环境问题交织——生态退化，自净能力减弱。生产、生活用水挤占河道生态用水，河道出现断流；硬质护岸导致水体失去水陆交换空间，自净能力减弱；水利设施建设影响水生生物生境，天然渔业资源衰退。

以上都不是单一的水问题，需要四水统筹尝试解决。

二、新时期系统治水的思考

水问题的复杂性，决定了必须要用系统的观念解决问题，我理解可能有五个方面新的思路：

1. 系统治水。这个是新时期治水的一个最核心思想。强化系统整体性和关联性，系统化考虑各治水领域、各治水要素、各治水环节。
2. 生态治水。促进社会水循环与自然水循环良性耦合。强调尊重、顺应和保护自然，坚持人与自然和谐共生。
3. 全域治水。以流域为基础，以控制单元为基础的治水，在流域和区域、城市、治水片区、小区等不同尺度上进行统筹协调。
4. 智慧治水。促进传统治水模式向数字化、信息化、智能化转变，变治水为“智水”，显著提升治理效率。
5. 制度治水。坚持依法治水、制度管水，全面加强法规制度建设，强化涉水事务监管。

关于系统治水，个人理解主要是三个方面：

其一是目标的系统性。水安全、水环境、水资源、水生态，还有水经济、水文化等水的一些其他因素。其二是措施的系统性，从源头、过程到末端的统筹，各尺度统筹，互相结合的治水模式。第三是管控的系统性，包括规划、建设、管理等各个环节，多专业，多部门进行协调。

系统治水理念的三个统筹：第一是系统内外协调，水系统和山水林田湖草生命共同体的统筹，城市和流域区域统筹；第二是子系统之间联动，（水安全水资源水环境水生态）四水共治，统筹水资源利用和防灾减灾；第三个是子系统内要素衔接。这主要是由于我国存在多部门共治水的情况，所以每一个系统里面，需要子系统内外的统筹，比如水资源供给，水资源保护和利用，水安全的保障，城市的防洪排涝和流域的防洪，水环境治理，包括从源头到污水处理厂的全流程和水环境的改善，都是从城市到区域的系统治理的要素衔接。

系统治水的实施路径包括：从水资源供给方面强调加强非常规水资源利用和城市节水工作；加强水生态空间的保护和修复；水环境改善更强调水岸同治，厂网一体；安全防护方面更加注重防洪排涝相关体系的建设。

围绕系统治水的实施模式，近年来我们也探讨了很多。设施和空间统筹：“源、厂、网、泵、河湖”一体化运营；全生命周期推进：“规、建、管”一体化推进；管理制度协同：“人、财、制度、方法”一体化保障。

三、湖北省流域综合治理与统筹发展规划实践

在湖北探索实施新时期治水理念，包括坚决守流域安全底线，确定流域综合治理的底图单元，这里面主要思想包括：一张蓝图，编制流域综合治理和统筹发展规划，作为根本指引；两张清单，三个统筹，四化同步。

1. 湖北省：以流域综合治理支撑四化同步发展

2022年6月，湖北省第十二次党代会提出：要坚决守住流域安全底线，确定流域综合治理的“底图单元”。通过编制流域综合治理和统筹发展规划，统筹水安全设施建设与农业灌溉水利建设，统筹水资源利用和产业布局、城镇建设，统筹水环境保护和城乡人居环境建设，推动四化同步发展。

简单介绍湖北省流域综合治理的思路，是以四水共治为基础，支撑全省四化（新型工业化、新型城镇化、农业现代化、信息化）同步发展。四水共治是前提，以安全底线为约束，优化工业、城镇、农业等要素配置，增强空间统筹，包括水安全，水资源安全，水环境安全，水生态安全，以此支撑四化建设。具体以流域为治理单元，划分三个一级流域，16个二级流域，每个流域制定相关底线管控负面清单，和建设任务正面清单。

2. 荆州市：以水安全保障为基础打造宜居城市

荆州治水，在整个湖北具备典型性，任务相对较重。它是一个洪涝交织，因污致涝，因涝致污的城市，外江水位顶托、泵站外排能力不足、调蓄空间缺乏、管网标准偏低；排水管网雨污混接、外水入侵，雨水管网旱季满流，排水能力受限；雨季混流污水溢流外排，水质存在污染风险。

针对荆州的特点和问题，主要做了两个相关规划，一个是整个流域的综合治理规划，另外把整个城市的生态水质建设也作为四化同步很重要的目标，还有文化，还有其他相关的内容。

在区域流域层面，打造平原湖区生态网络，塑造健康生态本底。一方面明确安全底线，包括水安全、水环境安全、生态安全底线等，还包括粮食安全、文物保护的底线。另一方面是整个流域河湖安全的相关内容，包括强化江河湖库防洪治理，加强分蓄洪空间建设，提升排涝减灾能力，完善水资源配置。

在城市层面，科学构建排涝体系，打造生态宜居城市。在污水治理、生态空间、

洪涝统筹、水资源利用等方面，制定具体明确的指标体系上。其中，在防涝体系构建也从两个层面展开，一是蓄排并举构建科学城市防涝体系的体系，二是系统治理，布置韧性基础设施，新城区全面落实好海绵城市建设，老城区要因地制宜，补齐管网短板，持续推进污水提质增效。

3. 襄阳市：以水资源保障为重点实现水城共融

鄂北岗地缺水是襄阳面临的一个突出问题，根据其流域区域特征和需求，提出基于水资源平衡分析的水资源保障策略、基于水资源平衡分析的水资源保障策略、基于水城关系分析的水景观打造策略、基于历史脉络挖掘的水文化传承策略等。整个的思路，一是解决水安全、水环境的问题，二是促进水城共融，发展水文化。

总结和思考：要素统筹，实现四水共治；空间统筹，实现区域、流域、城市、设施的多层次协调；目标统筹，统筹水安全和四化的发展；另外，我们所有的措施，可能一种道法自然，真正实现人水和谐的方式。

长江流域生态和社会环境形势演变特征与治理需求

长江设计集团水利规划院院长 要威

一、长江治水新形势与新挑战

1. 防洪新要求——需提高城市防洪标准和防洪工程质量。随着长江经济带发展、长三角区域一体化等国家战略逐步实施，沿江城市人口集中、财富聚集，洪灾损失风险加大，对防洪标准和工程都提出了更高要求。同时，还发现一些新问题：现在流域洪水逐步向干流转移；泵站排涝能力增加，2020年直排入江入湖的泵站超过2万立方米每秒，较1998年增加8400立方米每秒，增加了65%，原来蓄到平原地区的水，都蓄到了长江；湖泊面积减少，自身调蓄能力变弱，2000年到2016年，湖泊面积减少了7.4%；干流水位呈现涨势猛、洪峰水位高、持续时间长的特点。

2. 防洪新挑战——气候变化对流域影响加剧。2008—2021年，流域强降雨屡创新高，极端气候对防洪的挑战非常大。新时期蓄滞洪区、洲滩建设滞后，管理难度大，也是非常大一个难点。

3. 水资源新需求——国家水网建设对于长江需求日益增长。南水北调中线，由原来补充水源，现在变成北方的主水源，需求由弱变强。而中线丹江口水库来水年际丰枯变化大，怎么来保证北方需求，也是要考虑的问题。目前考虑引江补汉相关工程，通过连通三峡和丹江口两个水库，进一步提高丹江口保障能力。目前生态风险争议比较大西线跨流域调水工程，按目前的方案，调水后对雅砻江、大渡河、通天河取水断面径流量减少30-40%，水源区生态风险高。长江流域本身是一个水土资

源和经济社会错配的区域，相关数据显示，我们下游实际上GDP和人口密度最高，但水资源仅占流域6%。

4. 生态保护新挑战——两湖枯水情势恶化、部分江河湖库水质堪忧。三峡及上游水库群建成应用以来，江湖关系发生变化，中下游河道沿程冲刷，水位下切，低水位影响很大，两湖枯水态势呈趋势性变化，主要表现：枯水位的降低和提前，以及枯水历时加长，带来的生态问题也是非常严重的。水质方面，湖库水质仍在恶化，湖库水质达标率下降了13.7%，导致目前很多城市水源地更多依赖干流和主要支流河流水源地。

5. 水管理新挑战——水资源管理体制机制不健全。水资源刚性约束制度不完善，指标体系不健全，四定落实难度大；水资源配置调度能力有待提升；水资源集约安全利用基础能力不牢固；流域水资源监测体系还需进一步完善；全民节水意识需要加强。

二、应对策略与实践

1. 加强法律法规制度体系建设。实施完善长江保护法相关工作，配合做好《水法》等法律法规的修订，以及《河道管理条例》制定，开展联合调度立法研究，推动相关文件出台。

2. 提升水旱灾害防御能力。正在开展防洪规划修编，优化防洪布局，补齐防洪工程体系及非工程措施的短板，加快推进一些重大防洪工程建设。河道治理方面，正在推的支流四水体系综合整治工程，就是解决目前存在的断流，包括水资源，水生态环境的问题。一些支流问题已经非常突出，全年断流可能超过300天，很多区域的用水都会存在问题。

3. 加强河湖水域岸线与采砂管理，保障防洪安全。推进河长制、河湖监督、岸线保护和管理、采砂监管，保障我们的河道蓄滞洪区水库发挥相关的功能。

4. 加强节约用水，保障供水安全。推动节水宣传，完善节水管理制度，加强用水管理，节水技术推广，加强相关考核和监督。

5. 加强水网建设。优化配置格局，推进重点水源工程，加强西南五省水源工程建设；提高城乡供水保障能力，实施相关工程；加强水资源配置重大战略支撑。

6. 加强水资源管理。严格控制水资源开发强度，推进14条江河流域水量分配方案审批，严格管控；强化水资源刚性约束，推进取水许可负面清单管理；加强流域水资源调配管理，实现干支引提水工程水量统一管理，加强南水北调和中线调度管理。

7. 加强水环境保护修复。加强水土流失、饮用水源地的治理，特别是湖库面源污染治理；加强生态流量管控；推进一些水生态修复工程，干流和重要支流河湖水系连通；推动重大工程，应对两湖枯水形势，恢复自然水文节律的相关工程。荆汉运河工程，也得到相关部门重视，实际上是降低长江干线船舶密度，为干流生态减压。

8. 加强水工程联合角度。逐步扩大水工程联合调度范围，2022 年达到 111 座，可能还要进一步扩大，同时积极做好水工程全周期多目标的联合调度，同时深化相关科学研究，是保障调度科学合理的基础。

9. 加强涉水事务管理。提高流域综合管理能力，完善流域管理体制机制，做实做细长江大保护合作机制，加强沿江科技支撑，解决相关难点和问题。

10. 提升信息化能力，推动长江流域全覆盖水监控系统建设，推进水工程放在两河调度业务应用，建设以数字孪生为核心的“智慧长江”，实现高水平管理目标。

结语：流域系统治理是一个不断变化、持续开展的工作，需要统筹好流域管理和区域发展的关系，守好流域安全底线，做好流域综合规划，实施各项重大工程，为流域经济社会高质量发展提供保障。

关于流域系统管理的思考

大自然保护协会（TNC）中国首席代表 马晋红

一、淡水保护面临巨大挑战

全球淡水保护，或者淡水生物多样性，面临着更大一些挑战。近年来的研究显示，全球范围内有超过 30% 的淡水水生生物正在面临灭绝的风险，特别是从 1970 年开始监测到的淡水种群平均下降了 83%，这个速度明显高于同一时段陆地和海洋种群下降的过程，所以更值得关注。

因此，一些国际水生态专家就提出要进一步紧急恢复淡水生物多样性的计划，呼吁要把淡水生物多样性纳入 2020 年生物多样性框架的六项优先行动中，包括加快实施生态流，改善水质，保护和恢复关键生境，管理物种，利用河岸带开发，预防外来物种的入侵等等。

全球的淡水环境面临挑战，从湿地退化，流域下垫面的改变，农业生产造成的面源污染，废水或者污水处理不足导致的水污染和森林砍伐带来的水土流失，影响的深度和广度都是前所未有的。与此同时气候变化更加显性，更加不可预测，加剧了所面临的风险，包括水质降低，不断发生的洪涝干旱，灾害的频率和强度都在直接影响河流的健康和安全。

为此，全球需要更加紧迫地形成共识，形成新的奋斗目标，随着全球对生物多样性的重视，现有淡水保护方法，也需要进行相应的改善和拓展，以更好克服现在淡水保护方面遇到的一些障碍和问题。比如说必须要考虑适当的空间尺度，在空间尺度上统一进行思考，特别要强调它的一体化和系统性。使保护行动，不受保护地还有管理区等等管控或者是行政方面一些边界的限制，以整个流域发展功能的角

度出发，统筹规划淡水生态系统所面临的各项环境威胁和挑战，制定流域一体化的协同方案。

同时，作为自然保护组织，我们也特别强调要充分重视基于自然的解决方案，在成本还有生态保护方面的一些优势，充分利用自然强大的复原力，增加流域的韧性。近年来，我国从顶层设计上已经开始不断强调这一思路，比如说从生态系统整体性出发，坚持系统治理，进一步推进山水林田湖草沙一体化的保护修复。我们认为，中国的生态红线的概念提出和实施，是非常有助于保障土地和水资源的综合优化利用。

二、长效淡水保护框架

近年来，TNC 提出长效淡水保护框架建议，充分考虑淡水的流动性等一系列综合因素，最大化激发淡水保护工作的有效性和长久性。特别是在气候变化下，不仅要保护和恢复淡水的连通性，还要进一步加强韧性，改善治理领域创新融资机制，增强相关的包容性。另外也要考虑社会、经济、法律之间的联系，在带来生物多样性保护收益的同时，支持社会、文化、经济、公平的利益诉求。希望通过综合平衡的考虑，能够实现保护目标的一个良性循环。

全球生物多样性正在得到越来越多的重视，同时也是目前各个国家最积极应对、得到更多关注的一个平台，所以我们呼吁，要把淡水系统纳入到这个生物多样性公约中，必须寻找机会，把淡水纳入到陆地和海洋一体化的综合系统性保护中，因为它们确实是相互交织，互相影响的。

三、流域高质量发展与气候适应专题研究

目前正在参与中国国合会（中国环境与发展国际合作委员会）关于绿色治理体系的一个议题，承接流域高质量发展与气候适应专题研究。项目是由 TNC、荷兰环境评估署、中国城市规划设计院三家组成，邀请国内外 30 多位专家共同参与。项目充分考虑气候变化对流域管理带来的一系列挑战，将流域视为整体开展系统性研究，关注从源头到沿海，所有各方必须履行的责任，特别是流域内生态保护各种活动和土地利用类型之间的一个依存关系，以及流域与外部其他生态环境相互作用的一些因素。

项目主要目标是，希望通过总结和比较全球大河流域的治理经验，确定主要流域面临的普遍风险、挑战，具体表现形式，建立流域针对性的压力风险和适应性的评估框架，实现真正的一体化管理，并且结合中国、欧洲、美国等国家和地区在大河流域治理方面的经验，提出综合性、跨区域甚至是跨境跨国家协同治理的建议。项目组认识到，建立有效的区域性协同机制，是非常困难的。为此，在 2023 年项目组也专门以区域合作机制为主题，进一步强调建立跨部门、跨区域，以及多元主体协作的协调机制，并且强调要以 100 年为时间尺度，作为一个考虑的基础，既要吸

取过去的教训经验，同时面向未来，在一个更长的时间尺度进行规划，积极主动适应气候变化，提高相关的韧性。具体政策建议，预计会在今年6月完成。

其中，项目提出要建立水电可持续基金，作为流域下游用水者和上游开发者之间的生态补偿交换机制。水电基金方案，既可以用于实现双碳的战略，包括发展现代农业，可再生农业，转变能源结构，并且采用基于自然的解决方案，以促进流域的高质量和绿色发展。这个基金的概念，是我们与三峡集团2021年一起开展的项目，核心目标是促进金沙江下游梯级电站实现生态流量，使自然生态的需求和相关居民需求能够保持一致。水电可持续基金建立的核心，是水电工程系统性的规划，也就是通过对水电开发进行系统性的规划和管理，整合水资源、环境、能源，还有财务模型，在综合模型下进行项目选择和优化，实现最大化流域水电开发系统性的收益。

TNC在美国缅因州与合作伙伴，在佩诺布斯科特河流域开展了一个项目，首先全面分析能源需求和不同情景下水电发电量的情景，定向评估各个情景对环境造成的影响，最终选择在不影响水利、发电量的情况下，对环境影响最小的方案。截至2016年，项目已经完成所有鱼道、拆坝等修复工程，当地的濒危鱼类还有溯河产卵鱼类恢复了一千英里的栖息地，同时帮助当地水电公司获得其余六座大坝新的许可证，不仅维持了发电量，甚至有所增加。

美国伊利诺伊州埃米昆湿地，占地24平方公里，曾经是密西西比河流域内的洪泛平原湿地，在100多年前被改造成农业用地。2000年开始，TNC在此实施湿地保护管理项目，目标是恢复高质量的、具有洪泛区生态功能的河流湿地，保护生物多样性和生境，为生态系统健康、河流的完整性提供支持。项目之初，首先制定河流保护计划，针对生态系统的保护对象，筛选关键的生态属性和生态指标，坚持科学监测、评估，对保护区进行适应性的管理。2019年，TNC在埃米昆实施一个连通工程，重建其与河流之间的水文联系，这是将近100年内的重新连接。修复后的湿地每年为数百万水鸟提供了迁徙和栖息地，2012年被正式认定为国际重要湿地。此外，还为周边居民和访客也提供了良好的自然教育和休闲栖息场所，每年有4万人次的访客，促进了当地的经济，开展观鸟、徒步、皮划艇、垂钓等项目。另外，多方伙伴关系为实现保护目标做出了贡献，如美国农业部、自然资源保护署制定保护计划，将湿地90%的区域列入30年的保护地权，多家研究机构也开展了相关的研究项目，促进了湿地监测和评估的管理提升。基于此，共同组织了一个埃米昆年度科学研讨会，定期交流分享湿地科学研究成果，提升对河流洪泛平原和湿地保护的认知。

四、非洲上塔纳河-内罗毕水基金

基金和多元参与对淡水持久性保护非常重要。TNC的水基金项目，希望通过创新的资金和治理机制，联合公共、私营、民间等利益相关方，共同参与流域系统性

治理，核心是推动下游的水用户，投资上游的一些生态保护、生态安全、以及农业用地等方面的治理，为其提供一个可持续的保护资金机制，目前TNC在全球已经有43个水基金项目，其中在浙江有一个小尺度的青山村水基金项目，得到了阿里巴巴公益基金会、万象信托合作伙伴的支持。

非洲上塔纳河——内罗毕水基金项目，是在2015年由TNC成立的，2021年已经交由当地直接管理。内罗毕是肯尼亚的首都，95%的日常用水来自于塔纳河，为解决水土流失和供水不稳定等问题，确保相关治理措施有效实施，TNC联合当地政府、水资源管理局、森林服务部门，区域水务公司和多家企业，共同成立了这个水基金。利用下游水厂和水用户的资金，保护和保证上游水源地生态系统和服务功能。通过科学规划，内罗毕水基金在塔纳河流域采取了一系列生态系统修复和可持续农业管理措施，包括植树造林、修复河岸带、改变当地农民耕作方式，以及给农民提供技术培训，都极大改善了河流的健康状况，并且在实现水目标的同时，带来了固碳、水源涵养、农业增产等多重效益。根据测算，内罗毕水基金每年会增加约300万美元的小农户农业产值，基本上每投入一美元，为生态环境带来价值2.5美元的清洁水的收益，应该说投入回报比是相当高的。

生态补偿在流域上下游控制当中的模式机制的探索

长江水利委员会长江科学院教授 陈进

现在流域面临的很多问题，包括水污染、生物多样性下降等问题，实际上还是人类活动造成的。过去我们喜欢采取工程措施，未来我们希望用更多的非工程措施去解决问题。其中，流域生态补偿就是十分重要的方式之一。

一、流域生态补偿制度进展

近年来，国家出台一系列关于生态补偿的政策。

2016年国务院办公厅下发《关于健全生态保护补偿机制的意见》；同年财政部等4部委联合印发《关于加快建立流域上下游横向生态保护补偿机制的指导意见》；

2017年《中华人民共和国水污染防治法》第二次修正，在总则中明确提出了流域生态补偿机制；

2018年财政部印发《关于建立健全长江经济带生态补偿与保护长效机制的指导意见》

2019年国家发改委等9部门联合印发《建立市场化、多元化生态保护补偿机制行动计划》，同年4月中办国办印发《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》；

2020年12月通过的《长江保护法》，2022年10月通过的《黄河保护法》，

都提出建立流域生态保护补偿制度；

2021年5月财政部等4部门联合印发《支持长江全流域建立横向生态保护补偿机制的实施方案》；9月中办国办又印发《关于深化生态保护补偿制度改革的意见》；

过去我们的生态补偿主要是垂直生态补偿，就是中央财政或者地方财政直接到自然保护区。现在国内的生态补偿，数量上已远远超过国际上已有的案例。目前，长江流域19个省几乎都在推进相关制度建设和实践探索。

目前，流域生态补偿制度已经在我国全面铺开，主要在跨省、跨地市、跨县三个层级。从流域生态补偿的案例来讲，最早在浙江和安徽，如新安江从2011年开始，已经签订三轮合同，水质已经达到二类，预期五年后相应的指标也会进行调整；像赤水河，涉及到云、贵、川三个省，也签订了两轮合同；潮白河，涉及北京和河北，特点是除了考虑水质，还要考虑水量，因为北方很缺水，对于水量也进行考核。

国际方面，较早开始生态补偿实践，虽然案例数量并没有中国这么多，后者是在过去六七年中爆发很多案例，但是生态补偿类型多，包括自然资源开发利用和生态系统保护两方面，如水质、水源涵养、森林保护、耕地利用、矿山修复和国家公园建设等，而且生态补偿模式丰富，包括：政府财政转移支付和补贴；受益者支付；国际组织贷款或环境保护非政府组织（NGO）捐助；市场交易等。

二、国内生态补偿的问题

坦率讲，我们做了很多生态补偿案例，成效也很显著，但也有局限和不足。

1. 指标上，目前补偿对象或者要素单一，主要针对水质达标，尚未考虑生物多样性或者生态系统完整性等要素；考核指标主要以COD、氨氮、总磷和总氮等水污染指标为依据，考虑其他污染物等综合指标较少，特别是优质饮用水源指标基本没有考虑；

2. 范围上，考核断面主要集中在两个行政区之间的跨界河流上，跨多省市、或者左右岸之间补偿很少。

3. 计算方式上，缺乏符合中国实际的生态服务价值计算方法及技术标准体系，补偿多少问题？

4. 补偿主体和资金上，较为单一，无论是纵向的还是横向生态补偿，一般都是以国家和地方财政转移支付或者专项资金为主要资金来源，企业和社会资金参与少，或者参与渠道不畅；国家投入资金一般要求地方财政配套，对于上游经济欠发达地区而言，反而加大地方债务压力，导致上游地区积极性不高；同时，补偿资金主要以工程项目形式用于上游水污染治理，直接补贴到保护地居民（主要是农民）极少，公众对参与生态补偿的积极性不高。

三、制度设计需要完善

国内流域生态补偿，在制度设计上确实存在一些问题，主要体现在：跨多区域、

多要素的流域生态补偿法律依据、概念及内涵认识不统一，生态补偿和污染赔偿的法律边界相混淆、环境正外部性内部化与环境负外部性内部化的逻辑关系混乱、流域生态补偿的正向激励功能被抑制。

○生态补偿并不等同于污染赔偿

○环境正外部性内部化与环境负外部性内部化的逻辑关系混乱。流域生态补偿地方政策规范的出台往往是为了治理某一流域严重的水污染问题，侧重于环境负外部性成本内部化。生态补偿的正向激励功能不足。基于生态保护利益的生态补偿仅完成了生态利益在区域或群体之间的传送过程，并没有将该补偿资金精确对应到真正的利益供应主体或受害主体，也就没有完成利益归属的最终分配。

○上下游流域生态补偿涉及多元主体的多重利益需求，任何一方利益主体的利益需求得不到满足或未实现合理分配，都会导致利益失衡和冲突，不利于发挥流域生态补偿的正向激励功能。

○在补偿方式方面，政策所推动的流域生态补偿方式多是以政府为主导的财政转移支付，尚未进一步具体落实到微观的利益相关者。

四、对策建议

下一步生态补偿工作的开展需要建立完善相关制度

1. 完善法律法规。在《长江保护法》和《黄河保护法》等法律指导下，建立和完善自然资源和生态系统综合监测系统，组织第三方机构定期对保护地生态环境质量进行评价，确定主要利益主体及变化状况，建立可共享的基础数据库、保护对象和利益主体动态变化名录库。

2. 制定《流域生态补偿管理条例》，明确政府、部门及利益相关者在实施生态补偿项目中的责任、义务；明确补偿项目类型、模式的分类；明确补偿标准确定原则和方法；生态补偿基金募集和使用方式及法律责任等，完善生态补偿制度体系。

3. 制定符合中国实际的生态服务价值、保护成本和发展机会成本等计算方法和标准体系。

4. 不断优化补偿指标，建立补偿协议长效机制。

5. 推动流域生态补偿政策目标综合化，开展多要素联合生态补偿，扩展生态补偿模式

6. 进一步拓展补偿资金渠道，广泛接受企业和社会保护资金，如发展绿色金融，设立流域综合生态补偿基金等。

气候变化下流域水短缺风险治理

南京大学教授 毕军（博士后学生杨建勋代讲）

一、气候变化大背景下流域水短缺风险

水短缺的定义就是需水量与可用水之间的一个比例，我们延伸出一个风险的概念，就是由于需水和可用水两方面的不确定性，使流域水资源系统出现供水短缺，以及由此产生的产业经济损失。第一它反映了区域的水资源情况，第二涉及生产、社会经济、生活活动，反映了用水效率。在联合国经济指标领域，专门设置一个评估指标去反映相关情况。

水短缺风险的三个基本特征：

1. 空间时间异质性。体现为与土地和资源的布局不匹配，显著的年际与年内周期变化。如我国华北平原是一个缺水的热点地区，同时也是我国的主要粮仓和能源密集行业分布地区，因此会导致非常严峻的水资源和土地，以及能源资源布局不匹配的问题。
2. 驱动机制的复杂性。流域的水短缺风险，其驱动因素，除自然资源、产业经济、工程布局等等，还受到调水、蓄水、用水分配等管理因素影响。
3. 风险后果的级联性或者是传导性。比如区域的水短缺风险影响不一定是局地的，可能会随着非常典型的水 - 能 - 粮耦合网络反馈循环，以及国内外产业链网络进行传播和放大，甚至可能在社会系统，乃至地缘政治系统产生传播和风险效应。

我国水短缺风险态势近 20 年得到了有效控制，但整体格局仍然严峻，部分流域水短缺风险显著增加，更加精细的风险评估至关重要。与此同时，过去 20 年，气候变化对我国水短缺风险也带来了非常深刻的影响，总结了三个方面：

- 一是使水资源供应和需求的不确定性进一步加深，整体而言我国北方地区水资源量是减少的，部分流域从周期性的缺水，逐步转变成绝对性的缺水。同时，由于温度和区域气候的变化，灌溉、工业、生活用水需求量发生变化，往往非常难以预测。
- 二是多维风险的复合叠加愈加激烈。一个典型案例就是极端高温和极端缺水复合效应，中亚地区，以及我国华北地区，是发生这种风险最为显著的一个地区，这个效应可能会导致我们平常对风险的低估。
- 三是碳中和政策面临的水资源短缺约束。清洁能源转型（生物质能替代、CCUS），可能导致额外的水短缺风险；水资源短缺影响清洁能源（如水电）的稳定性和安全性。

二、我国流域水短缺风险的新态势

挑战一：水质型缺水与水量缺水的复合问题。虽然得到了一定的改善，但和目标比还是有很大的差距。同时，气候变化从多个维度影响流域水质。如夏季高温，

导致水温上升，可能会影响电厂冷却水需求；由于海水倒灌、化肥使用，影响灌溉用水。

挑战二：气候变化风险和水短缺风险的复合问题。这对于农业是比较突出的，干旱会导致作物减产，气候变化背景下，问题进一步加深，对我们的粮食安全会产生进一步影响。

挑战三：水短缺对安全低碳转型的潜在风险。流域是水电等清洁能源的供应来源，但气候变化威胁了清洁能源供应的可持续性。一个比较典型的例子就是去年的长江大旱，导致四川、云贵地区的水电有很大的产能损失。

三、水质与水量复合缺水风险研究

1. 水质型缺水风险背景

首先，水质恶化会导致部门水资源可用量减少，加剧缺水形势。目前大部分的研究仅考虑基于水量的水短缺评估可能导致风险的低估，有国内研究尝试将水质约束纳入到水短缺风险评估当中，发现华北地区缺水风险会进一步增长。与此同时，气候变化可能会进一步影响水质，比如高温干旱、降雨土壤溶淋、海水倒灌是气候变化影响水质的主要路径，水温、营养物、盐度是最为敏感的水质指标。

相关研究还面临挑战，一是长时间序列的水质监测数据缺失，气候变化的影响效应较为模糊。第二，缺少大尺度、分部门的水质型缺水产业风险评估。围绕这两个问题，我们开展了相关探索研究。

2. 全球水量与水质水风险格局评估

我们利用目前可以得到的公开数据库，基于机器学习的方法，预测在全球尺度上，对于气候变化最敏感的水质指标如电导率、水温、营养物等，补全了全球水质监测数据空白。

在此基础上，构建同时考虑水量与水质风险的评估方法，评估 1995-2010 年全球 40 个主要经济体的水质 & 水量缺水风险。初步结论显示，中国、印度等发展中国家，水量 - 水质缺水风险显著上升，水质缺水恶化速度超过了水量型缺水；美国、法国等发达国家，水量缺水风险呈波动态势，水质型缺水态势呈下降趋势。

考虑到水质约束后，我国南北水短缺风险差距进一步拉大，北部的宁夏、京津冀、海河流域等，水短缺风险可能是南方的几十倍以上。再叠加产业规模之后，东部沿海省份如江苏、山东、广东等产业规模巨大的省份，面临更高的缺水产业损失风险。

四、极端温度和缺水复合风险研究

干旱和极端高温能引起极大的产量损失，是对作物产量影响最大的极端天气事件。干旱和极端高温可能会引起非常大的农作物的产量损失。但目前的研究很少考虑二者复合叠加效应，能够带来的减产风险。特别是我国缺少复合型评估，对农作

物产量可能造成的减产风险不明确。

针对这两个问题,开展探索性研究,选取玉米、水稻、小麦、大豆四个主要作物,选取积温和土壤湿度这两个能比较好反映极端温度和水短缺对作物影响的指标,构建了同时考虑频率和强度的极端温度-水短缺复合风险评估方法,评估1990-2020年中国在0.25度网格的复合风险情况。

初步研究结果,分别反映了这三个十年内全国复合风险的变化,结论显示:我国出现复合风险的面积显著增加,珠江流域也出现复合风险区;海河、黄河、淮河、长江和西北内河流域的复合风险频率显著上升。在此基础上,叠加小麦、水稻等主要作物的种植地图,通过模型,发现华北平原、长江中下游等粮食主产区面临最为严峻的作物产量风险;回归结果表明,极端温度-水短缺耦合风险导致的产量损失可能放大约10%。

五、减污降碳下能源缺水风险研究

在减污降碳背景下,水电面临减排、气候等多重要素制约。中国水电发电需求持续升高,其他部门用水量在区域层面也可能会出现更高的情况,以及气候变化肯定会改变区域的可用水量。

对此,想回答两个问题:一是如何识别多元、复杂条件制约下的水能发电风险,二是当前水能研究评估比较粗糙,特别缺少发电单元的风险评估。针对这两个方向,构建水电站级别的发电需水量水风险评估方法,以2018年为基线,评估到2030年(碳达峰),全国大概1900个水电站,其需水量和面临的流域工业、农业、生活的用水需求、调水需求,在此之上,电站可能会面临的一些缺水风险。

利用可获取的公开水电站数据库,并计算与预测流域尺度的可用水量以及部门用水量等数据,结果显示,到2030年全国约有10%左右水电站可能面临产能损失风险;西北地区风险程度非常高,主要原因是可用水资源的减少;西南地区由于装机规模比较大,因此损失可能是最高的。

岩溶湿地生态调控下的碳汇能力研究

桂林理工大学校长 王敦球

会仙湿地是漓江流域最大的岩溶湖泊型湿地(中国最大的岩溶湿地),具有涵养水源、净化水质、维护生物多样性等重要的生态功能。同时,植被碳汇、土壤碳汇、岩溶碳汇成为会仙湿地生态系统碳汇的重要组成部分。

一、会仙湿地水环境特征及碳汇能力

岩溶地区的特征,首要是碱度和钙含量比较高,还有高溶解的无机碳;季节性变化比较大,河湖季节性水量变化更为巨大;地表水交换比较活跃,水质受碳酸岩盐岩溶风化影响比较大。

水质特点方面,研究发现相比于地表水三类标准,会仙湿地总氮、总磷、化学需氧量总体超标区域较大;面源污染排放量大于点源污染,入河率也是面源污染比较大,贡献率70-90%。

水资源特征方面,年际间水面变化呈现先上升(塘堰等人工湿地明显增加)、后下降(自然湿地明显降低)的趋势;随着丰水期和枯水期,水域面积也有很大程度的不同;与枯水期相比,丰水期湖泊、河流、坑塘等水域面积都增加,其中,湖泊湿地面积增加72.3%;

湿地类型的变化,近30年来主要是人工湿地比较多一点,但是自然湿地下降的较快,主要是密集的鱼塘/水塘开发,导致人工湿地水面积不断增加;自然湿地得不到有效保护,2000年后呈现下降趋势。湿地水位的变化,也是受多峰多谷的特征比较明显,随降雨量的变化比较明显。

会仙湿地的碳汇潜力:

1. 陆地植被碳汇,陆地植被是生态系统中最大的碳库,也是成本较低的重要减缓措施,会仙湿地陆地植被覆盖率近15%;
2. 会仙湿地水生植被覆盖率51.2%,大多数植物群落的固碳能力显著高于国内其他湿地典型植被平均水平。会仙湿地典型植物群落有较强的固碳能力;
3. 会仙湿地是典型的岩溶地,80%的碳酸岩盐可以形成碳汇效应,提供新的增长点。碳同位素示踪的结果显示,碳酸盐岩溶解风化消耗的CO₂主要来源于土壤,而土壤CO₂的源头是植物光合作用;地表植被的覆盖率越高、光合作用越强,输入土壤中的CO₂越多,土下的碳酸盐岩溶解风化的量就越大,固碳的效果会更好。

针对会仙湿地不同土地类型土壤固碳总量预测显示,农田>林地>湖泊湿地>人工鱼塘>沼泽湿地。

二、碳汇能力提升的途径

通过会仙湿地水环境特征、湿地资源空间分布及碳汇影响因素分析,优化提升碳汇能力的途径有湿地植被恢复、土壤改良、减缓湿地面积退化等。

1. 良好的植被覆盖恢复,可以提高土壤里的碳,提升溶解速率,消耗更多二氧化碳,同时使碳汇通量增加,也能使地下的岩溶碳汇通量增加,岩溶作用产生的碳汇通量可以增长2—8倍。
2. 土壤改良,可以提高碳汇能力,岩溶碳汇的碳主要是来自土壤的二氧化碳,改良以后可以强化效率。
3. 增加水域面积,会仙湿地的岩溶水进入到下游,会增加30%的碳汇通量;碳

酸岩盐分布面积在 50% 左右，外源水对碳汇的影响也是最大的。

4. 水生植物的光合作用，可以降低浓度，将无机碳转化为有机碳。水体中高浓度的 HCO_3^- 极不稳定，当水文条件发生改变时，容易转化为 CO_2 ，逸出到大气中，通过水生植物的光合作用，消耗部分 HCO_3^- 、降低其浓度，将无机碳转化为有机碳，可增强岩溶水体中碳迁移过程的稳定性。

三、生态调控下的湿地碳汇能力探索

近年来，人类活动（疏干沼泽、围湖垦湿等）干扰对湿地带来破坏：湿地入水量锐减，湿地面积萎缩，生态环境变得脆弱；局部区域水质变差，生态功能退化，碳汇容量降低。围绕增加湿地功能，增加碳汇量，思路主要是对湿地进行生态补水，使它恢复功能。研究显示，会仙湿地的植被群落沿水位梯度有明显的水平分布规律，呈现“沉水植物 - 挺水植物 - 湿生植物 - 旱地植物 - 岩溶石山植被”，生态水文调控促使湿地植被种群分布发生演替，有利于水生态恢复、植被生物量增加、碳汇容量增长等。所以以湿地群落为切入点，建立水文情势、植被群落，碳固存与碳排放的介导关系，可能是一个关键。

1. 建立水文形势与典型植被分布的响应关系。首先是水文监测与生态水位确定，主要通过水质保障法、植物指示综合法、水质 - 植物指示综合法等几种方式。其次，建立不同水域、水面和水量关系。主要是利用遥感影像提取面积和水位，通过拟合确定二者关系，在此基础上，对水位 - 面积关系曲线进行积分，得到睦洞湖水位 - 水量关系，为生态补水量化计算提供依据。

2. 建立水文调控和水质管理综合模型。包含睦洞湖水位 - 面积 - 容积关系模块、生态需水计算模块、水资源调控分析模块（补水方案分析和水质综合管理），可以计算生态需水总量，分析水质变化，优选补水方案，为水资源调控提供依据。

3. 会仙湿地水资源调控示范区建设。在睦洞河建设睦洞湖“拦”“蓄”多级调蓄工程，增加对睦洞湖的回水补给，实施后，枯水期水位大概抬高 30 厘米，核心区抬高 10—20 厘米，使湿地核心区枯水期推迟 2 个月以上。

4. 水文情势变化下植被生长周期碳固存与排放预测。计算不同条件影响下的各植被群落面积、植被 / 土壤碳含量、温室气体排放通量的变化。

5. 生态水文调控下的湿地碳汇提升能力评价。研究水文情势的改变对植被生长和碳汇的影响，分析退渔还湿、退渔还湖、退耕还林等不同土地利用调控影响的生态水文过程，核算植物与土地碳汇增量、减排模式。

我国流域水体富营养化成因与防治

中科院水生生物研究所研究员 毕永红

一、水体富营养化是个流域问题

水体富营养化是一个流域的问题。从上世纪 80 年代到现在，整个中国水体富营养化状况是东部最严重，其次是中部，西部的情况稍微好一点。不同区域的湖泊，很多都是当年重度富营养化水体，经过多年治理和修复，现在有的水体慢慢重新回到中营养或者是轻度富营养化的状况。从上世纪 70-90 年代，富营养化问题逐步加重，到九十年代后期非常严重。到本世纪最近 20 年，整体上我国水体富营养化态势并没有明显改变。

对于水体富营养化，事实上在国际和国内有不同的评价体系或者方法，用不同的方法来评价水体，结果可能会是有差异的。地方可以基于自己的一个考量，选择合适的方法来做水体富营养化的评价，但是有时候我们要遵循可比较的原则，所以 TLI 指数是国内引用比较多的一个方法。

基于地表水的评价指标，我们把中国九大流域按照水质的六个类别（劣五类到一类），分析后发现，它跟水体富营养化之间有关联关系。即用单个指标或者是用氮磷作为指标，也是可以衡量水体富营养化的。把全国不同流域水质的基本情况做统计，发现黄河、海河流域水质退化和富营养化的态势日趋严峻；长江流域富营养化态势在最近 20 年保持基本状况，但也仍然很严峻。

从中国流域总磷、总氮的空间分布根据基本也可以反映出，跟 TLI 综合指数差不多类似的结果，也就是单独用氮磷来评价富营养化事实上也是可以的。这一工作的背景是，最近行业都在对未来的监测用什么样的指标体系，讨论比较多。比如有人问，藻类指标是否可以作为生态考核的唯一指标，我回答是不可以，因为藻类的叶绿素 A 的含量是非线性分布的，和水体环境之间并不是线性关系。

水体富营养化会威胁人民群众的安全，危及区域生态健康，影响水生生物的安全和生物多样性，在今后乃至相当长一段时间内，控制水污染和控制富营养化，仍然是我国水环境保护需要重点研究的一个问题。

二、人类活动加速水体富营养化进程

客观上，所有的水体，最终都会走向富营养化，但自然的水体富营养化过程，是缓慢的，基本上要几百年以上才可以实现。而人类活动的干扰极大加速了这一进程，也就是说，水的社会循环，导致富营养化加剧。

根源来自于几个方面：水土流失和农业施肥，畜牧业、渔业大量投肥造成的污染，还有工业污水、生活污水和矿区地表径流汇入，还有大气的干湿沉降。比如南水北调中线从源头到了北京以后，水体中藻类的生物量是有极大增加的，氮含量显著增加，我们经过长时间调查发现，是来自于大气的干湿沉降，尽管中线是一个封闭渠道，但

大气沉降看不见但是存在的。偶尔在极个别的水体中，会成为一个主要的来源。

以三峡水库为例，从蓄水前 2002 年起的逐年监测结果显示，三峡水库的水体富营养化状况受季节和天气还有气候的影响，呈现出波动的动态。把三峡流域的人类活动特征、地形地貌、土地利用特征等进行量化，计算出人类活动的综合指数，跟 TLI 指数之间进行拟合，发现二者之间有很好的拟合关系。研究显示，三峡流域的人类活动才是富营养化加剧的一个重要原因。

对中国九大流域不同地貌特征的水体营养状况进行了总结，发现跟三峡有类似的规律，也就是说，人类活动导致的土地利用变化，在深刻改变各个流域水体富营养化的状况。旱地、林地、农田和城镇用地所引起的水体富营养化效应，是不一样的，为此提出减缓对策，比如要适度约束和控制一些对水体、对脆弱生态区水体影响的一些行为。

三、治理思路

山水林田湖草沙一体化的流域治理理念，在富营养化治理上同样合适。此外，需要关注的是，维持水的自然循环，保证水源的清洁；规范水的社会循环，尽量减少干扰；保护脆弱生态区的水源系统。另外高质量发展的模式，对于延缓富营养化也有作用。

中小流域系统治理模式思考

三峡集团长江生态环境工程研究中心高级专业师 李翀

一、背景和意义

关于中小流域，清华大学团队做了一个统计，长江流域有 2540 个综合小流域，单位面积都不大，不到 100 平方公里，总占地土地 13%，但是 GDP 占 40%，污染排放较高。中小流域是整个长江经济带发展与保护的重点区域，具有高密度、高强度、高排放的典型特征。

长江保护法实施以来，在长江流域大力实施包括搬改关转、船舶污染治理、尾矿库治理、污水管网改造、畜禽粪污综合利用等一系列治理，取得显著成效，长江流域的水质断面优良比例达到了 98%。

尽管长江流域整体水质明显改善，但仍然存在河湖连通性下降、磷污染、湿地面积萎缩、湖泊富营养化、岸线开发强度较高等突出问题。在这些方面，我们以工程措施构建了治理模式，对进一步提升长江流域生态环境，可能还要再考虑和别的思路 and 措施，在相互结合的基础上，才能做好流域治理与保护工作。为此，去年我们和清华大学团队共同申报一个国家重点研发计划项目——关于绿色小流域构建指

标体系。围绕绿色小流域，从技术和指标上，从污染控制、生态环境、协同治理、减碳增绿，有很多相关的具体技术。除此之外，我想更多考虑，怎样在企业层面创新、发展出新的模式，实现保护与发展协同治理。

二、模式和路径

思考一：基于产业融合的流域协同绿色发展模式。考虑一个中小流域设置一个开发主体，企业运作，将流域治理和资源开发等项目相结合，探索“生态治理 + 高附加值产业”协同绿色发展的模式。流域治理 + 的模式，可以加农业、旅游、林业，突破“流域治理”模式投资回收期长、盈利能力差等弱项，实现流域治理主体“自我造血”

思考二：构建多主体参与实施的市场化模式。分两种模式，一是不同主体的流域产业间循环经济模式，主要涉及两种：设计多主体“资源 - 产品 - 资源”的生产链条；设计“资源 - 废物 - 资源”的可持续利用链条。二是建立企业参与的上下游生态补偿模式，从纵向补偿和政府间横向补偿的，拓展为多方参与生态补偿新模式，企业在其中发挥主体参与作用。

思考三：统筹生态环境保护修复工程与生态产品价值实现。充分将流域治理与绿色产业发展融合，流域治理主体参与流域生态环境保护与修复，努力提升生态产权及资源价值；探索生态产品向生态资本转化方法，以品牌挖掘对生态、文化等多种有形无形“资源”实现生态溢价。核心是权益的获取，比如在 eod 模式下的关键是，获取生态资源产权，如排污权、碳排放权、能源开发权、水权等；区域开发的权力等。

三、案例和实践

在宜昌两个流域开展相关探索

1. 良斗河流域生态化治理促绿色发展

针对水质状况不理想、富营养化等问题，考虑把治理保护和流域开发协同起来，形成生态化治理与绿色发展的模式。此地大力发展柑橘产业，去年因为干旱受到很大的影响，生长在海拔五六百米以上的树，完全靠海拔 100 米左右的水库提水上去，价格还很高。考虑探索利用“抽蓄”资源，反哺流域农业发展助力实现乡村振兴的路径，包括作物改良、污染消减、农民增收等。实现农民拿到优良作物或柑橘品种，产生好的收成，获得好的收益；企业实施水利工程、面源污染防治，通过合理收费机制取得合理回报，对振兴乡村发挥一定促进作用。

2. 柏临河绿色小流域与乡村振兴

流域 500 平方公里，是比较典型的“4+1”的问题，面源污染、工业污染、城镇污染、尾矿库等问题比较突出，入江断面时有超标，存在治理的迫切需要。为此，我们考虑，首先通过“果园 - 水田 - 湿地塘”模式，种植技术促面源污染消减；其次园区“水能碳”协同模式，光伏 + 基础设施实现减碳。

流域治理生态价值评估应聚焦水安全

原中国环境科学研究院副院长、总工 夏青

一、思路转变

现在各行各业都在满足人的幸福感上下功夫。比如我刚在协和医院动了手术，动手术的毛教授告诉我，为了让人更舒适，医生就必须在手术的源头控制血水，无血手术，让病患恢复地更好。这个对我很有启发，因为我们这个行业的工作也是源头控制，让人民得到幸福感。

流域治理生态价值评估，通常从绿水青山 - 生态产品 - 金山银山这一生态产品价值链来反映流域治理生态价值，是把生态价值、生态产品价值的深化转化作为评价主线。那么，现在我们要想突出人的幸福感，就需要直接从水资源、水环境、水生态领域的治理活动，也就是控源出发，对结果和享受成果的人进行获得多少幸福感的评价。其实国家对于水资源、水环境、水生态加水安全、水文化的五水治理思路，已经有明确指示，不是把水安全、水文化与水资源、水环境、水生态并提，而是在三水治理的基础上，考虑人民的幸福感，需要从水安全来享受；同时，产生影响力，是产生在水文化的新高度。

所以，强调聚焦水安全，实质是从安全出发，突出人民得到安全享受，从安全指标倒逼资源环境生态治理活动，更新传统思维，上升到以人为本的新文化高度。我想特别强调一下，以人为本的水安全指标，必须跨越部门权界、行政区界这些大家都已经熟知的疑难问题。以人的幸福最大化为纲，设计治理活动，建立水安全评价体系，聚焦公共水安全享受带来的幸福新境界，将是我们要建造的水安全评价指标体系。

二、水安全评价如何体现以人为本？

以人为本包含几个方面：一是保公民饮水安全，二是保循环再利用安全，三是保生态航运安全，四是保无灾防洪安全，这些是要直接回答，每个中国人民能从流域治理得到什么，而不是仅针对水资源、水环境、水生态三大领域，评价哪些专业治理活动更有生态价值。

1. 保公民饮水安全。保公民饮水安全首先要跨越城乡界限，不以水源地和自来水厂分别划界开始，以城乡人民实际喝什么质量的水为导向标准，注意以入口水质质量定乾坤。2023年4月1日执行的国家强制性的饮用水新标准，聚焦新污染物，城乡共同强制执行等要求具备深远意义。新的标准将带来新技术，新技术会有大变革。使用生态创新工艺技术的自来水厂比常规供应技术处理的水厂，相同规模可减少占地2/3，吨水运行成本减少75%，水处理水量损耗减少95%，全国城乡人民将直接享受到生态福祉，不再是水源地保护评价与家庭用水保障相互割裂。直接让人民喝上安全饮用水，将会是水安全的一个重要举措。

2. 保循环再用安全。保循环再利用安全，关键在于对地方水资源系列账，受人类活动影响带来的正负面结果，要进行量化评价，不能停留在所谓水资源、水文序列原有的水账上。这里面要求节水优先，要求一水多用，一用一标，要求污水升值，这些不仅要算水资源账，还要算各行各业的节水账，各类污水的升值账，广大用户减耗的价值。这里面我想说一个关键点，是城市原有的污水处理厂，从原有的减污用途，要变成多种功能的用水供水厂，保质保量，按需补充水资源。下一步，若定位为污水处理厂，则全国限定出口达一级B标准，全国强制执行最佳实用技术，最大限度消减污染物；若定位污水厂为保障城市供应为用水厂，则以不同回用要求，围绕出口达一级A做文章；若定位污水厂为保障农灌用水厂，则以农灌用水标准作为处理厂出口标准；若定位污水处理厂为雨水处理厂，则以控制断面水质倒逼方法确定降雨强度、径流总量、径流污染物、消减浓度，确定出口标准；若定位为污水新生水厂，则以地表水水质标准为生态用水出口线。总之，是由用水单位制定地方标准，实现污水再生再用效益最大化。只有外区域调入水质高、水价低，低于本区域置换水时，才允许调水，这是对本区域用水户的真正保护，也是“四水四定”执行者们实现使命导向任务的突破口。

3. 保障生态航运安全。生态航运安全，是水环境与水生态相融合的抓手。以美国净水法为例，它规定合众国所属通航水域实现保护水生生物可游泳，为净水法实现目标。这一目标在中国1988、1998、2002地表水环境质量的制修订中，皆因国情制约未予采纳。我们是基于技术经济可行性的约束，确定了“高功能区高标准保护，低功能区低标准保护”的原则，将中华人民共和国所属具有使用功能的水域分为五类，按标准分类保护，其中独缺航运功能。

为迎接美丽中国目标的实现，中国的地表水水质标准，会借鉴美国净水法要求，保护水生生物，以通航河道为基础，这就以保护水生生物为共同目标，将生态航运与生态环境标准融为一体。

江河生态航运，以促进绿色发展为目标，其要素：一是正确实施禁限航，二是江湖航运岸线实现水岸统筹，三是加强风险控制，确保运输安全，严防污染。所以，这里面也还包括流量的按需控制，在这种情况下，我想说，上述内容都是全流域提升生态安全感的举措，唯有生态航运才能带来水域全覆盖，公众全享受。

4. 保无灾防护安全。这方面全国人民早已有享受感，因为我们已经具备防御新中国成立以来最大洪水能力的全部措施，水利工程年供水能力达到8900亿立方米，非工程措施已经把河流洪水预报精准度提升到90%和70%以上等等。如果把上述成就分别进行各流域的防灾成果安全评价，用安全渡过中国历史最大洪灾的人口数，安全渡洪覆盖面积，安全解除干旱损失的区域面积以及受益人口等指标予以评价，用科学数据反映各类减灾工程带来的福祉。用公众身临其中的评价标准，体现不同

区域差异和感受启示，让更为人性化的防灾评价深入人心。

早在 2017 年 10 月，党的十九大，习近平总书记就强调社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡、不充分的发展之间的矛盾。这就要求我们跳出工程思维，以人为本的上述评价标准早日问世，会让工程增添为民利民导向，实现惠民福祉；各种治理活动，更突出美好生活具体需要，更突出解决发展不平衡、不充分的需求，为治理活动保驾护航。

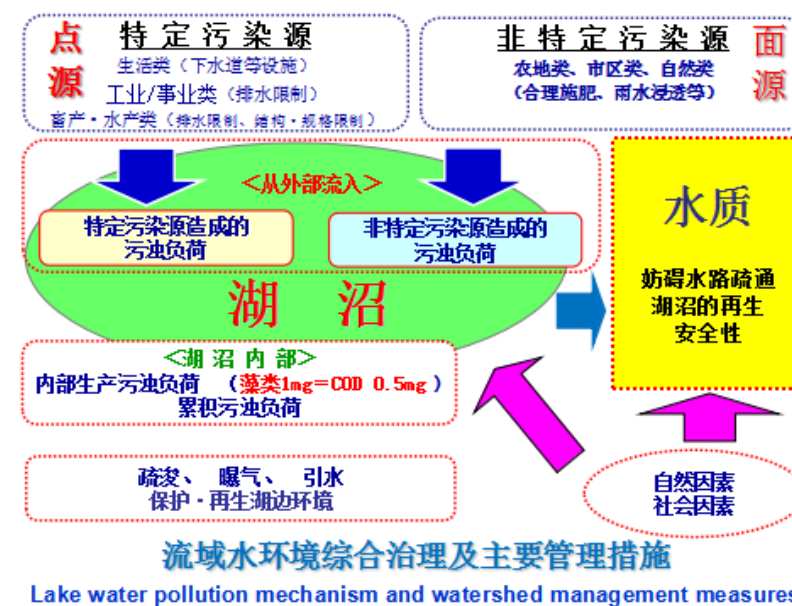
最后，只要把上述指标跟人民带来的幸福感具体化，就能使治理活动目标导向、问题导向、结果导向，三者融合变为可验证、可复制、可持续的现实。水资源，水环境，水生态三水境界，必将成功上升为共保水安全的新境界，从而打造中国水文化的亲民新高度。

流域水环境综合管理对策及农村污水治理的技术与经验 ——以日本霞浦湖流域为例

福州大学土木工程学院特聘教授 徐开钦

一、日本水环境政策体系

上世纪六十年代起，经济高速发展带来的水环境污染问题曾在日本一度非常突出，引发公害问题。为此，从 70 年代起，开始设立管理机构——环境厅，建立法律政策体系、标准和相关技术要求。其中的关键是：法规 - 媒体舆论宣，问责严厉、信息公开；解决企业排污 - 立法。追究污染责任，一级行政长官责任制度“河长制 - 湖长制”；公众参与、环境教育。



1. 水环境行政的历史

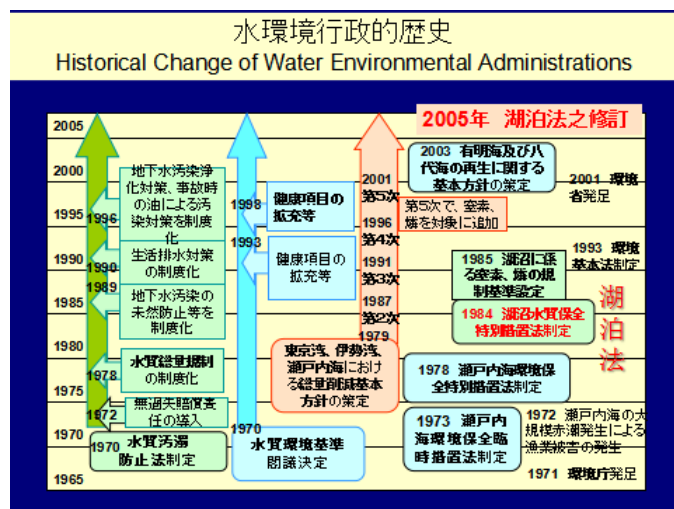
日本的重点湖泊和水库流域有 11 个。从上世纪 60 年代起，日本先后制定很多流域环境管理的政策和制度，包括总量控制、湖泊流域的第一个五年计划等；1984 年制定《湖泊法》，1985 年开始执行；氮磷的相关标准从 1991 年开始执行；2005 年考虑到面源污染，法律得到进一步完善。

日本的污水治理达标控制指标，以 COD 和 BOD 为主。上世纪 70 年代成立了环保部门以后指标不断改善，但湖泊流域的改善仍然很难，截至 2021 年 3 月达标率才 53%。湖泊污染就像人体的“三高”，很不容易治理，需要不断投入。

2005 年，对相关法律进行了改进，以前以点源污染为主，后来追加面源污染对策、净化河道工程、居民参与、调整工厂污染湖河的布局等。

针对面源污染负荷对策有一整套清单，像市区、农田、森林等，入湖河流怎么

治理，排放湖河怎么治理等。最后市民的参与也非常重要。通过这些法律政策的实施，霞浦湖和琵琶湖，点源污染治理相对比较好，但是面源污染基本上没有太大的改善（从cod 负荷角度）。



修订版湖泊法（2005年）的要点

- 以往的对策：
对工厂・事业场所实施负荷限制、生活排水措施等
- 新追加对策：
 - ①面源对策：
新设流出水对策地区、制定流出水对策推进计划
 - ②灵活运用自然净化功能。
新设湖滨环境保护地区、并限制在指定地区进行植物采摘及水面填埋等
 - ③居民参与：
规定在制定湖沼水质保护计划的过程中必须听取相关居民的意见
 - ④重新调整对工厂・事业场所实施的限制

- 当初制定湖泊法时只将COD列入了限制对象。1991年起在对象项目中追加了全氮（T-N）和全磷（T-P）。
- 2007年12月指定八郎湖为指定湖沼，指定湖沼总数达11个。

二、霞浦湖流域水质保护计划

它是日本的第二大湖泊，平均水深4米，面积是220平方公里，停留数约200天。流域约100万人，养了近30万头猪，猪的污染负荷很重。从1985年开始水质保护

Water Quality Protection Plan in Lake Kasumigaura

水質保護行動

年	国	県
1955	昭和水质二法（水质保护法）（工厂排水限制）	
1966		昭和《公害防止条例》
1967	昭和《公害防止基本法》	
1970	昭和《水质汚濁防止法》取代水质二法	
1973	1973年颁布水质法，1979~80年颁布大规模水质法（1980：COD10.6/L 以往最高值）	
1981	昭和《水质汚濁防止法》	
1982	制定水质汚濁防止法（第1期）	
1984	昭和《水质汚濁防止法》	
1985	制定水质汚濁防止法（第2期）	
1986	制定水质汚濁防止法（第3期）	
1988	制定水质汚濁防止法（第4期）	
1989	制定水质汚濁防止法（第5期）	
1990	制定水质汚濁防止法（第6期）	
1991	制定水质汚濁防止法（第7期）	
1992	制定水质汚濁防止法（第8期）	
1993	制定水质汚濁防止法（第9期）	
1994	制定水质汚濁防止法（第10期）	
1995	制定水质汚濁防止法（第11期）	
1996	制定水质汚濁防止法（第12期）	
1997	制定水质汚濁防止法（第13期）	
1998	制定水质汚濁防止法（第14期）	
1999	制定水质汚濁防止法（第15期）	
2000	制定水质汚濁防止法（第16期）	
2001	制定水质汚濁防止法（第17期）	
2002	制定水质汚濁防止法（第18期）	
2003	制定水质汚濁防止法（第19期）	
2004	制定水质汚濁防止法（第20期）	
2005	制定水质汚濁防止法（第21期）	

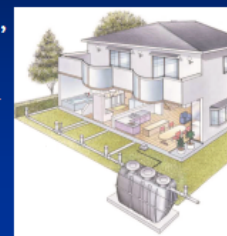
制定霞浦湖水质保护计划（第7期）
制定霞浦湖水质保护计划（第8期）

计划，现在进入了第八期五年计划，平均每5年投入3000亿日元。

远景规划是适宜游泳的霞浦湖，措施方针是：无一例外地减少污染负荷。其中，农村污水处理主要是靠净化槽（分散处理）。

净化槽的特点

- 初期投资成本低
- 占地少，安装时间短，且不受地形限制，见效快
- 处理后的水就地排放，便用于维持小河的水量和营造人文的亲水环境
- 处理水和污泥极便于作为资源回用
- 具有很强的抗灾应变性能



（源自：日本环境装备教育中心）

净化槽使用范围从一个家庭5个人到大型500人以上，甚至可以应用于机场，比如关西机场生活污水就使用这种分散处理的模式。日本为净化槽制定了专门的法律。

目前日本净化槽生产厂家已经由40多家变成20多家，所有产品要经过现场实验合格了，才能上市销售。同时，关于净化槽的使用，日本还有第三方机构培训，帮助合理管理，这一点很重要。

《净化槽法》

目的

从保护公共水域水质角度出发，利用净化槽对粪便及其它生活污水进行有效的处理，以此保护生活环境以及提高公共卫生水平做出贡献。

概要

- ① 净化槽的生产、安装、维护点检及清扫等环节加以必要的规范；
- ② 明确了净化槽相关各方的责任和业务范围，并确立了各方的身份资格，即：建立了
 - 1) 净化槽施工企业及净化槽维护点检企业的注册制度；
 - 2) 净化槽清扫企业的许可制度；
 - 3) 设置了净化槽设备士和净化槽管理士的国家资格。
- ③ 规定了净化槽的检查，如发现不合适使用等情况时，邮递局是知事等可以就净化槽管理者或受其委托的净化槽维护点检企业提出指导性意见或改进警告。

第一章 总则（第1条~第4条）	第七章 净化槽设备士（第42条~第44条）
第二章 净化槽的设置（第5条~第7条）	第八章 净化槽管理士（第45条~第47条）
第三章 净化槽的维护点检及清扫（第8条~第12条）	第九章 多市町村的从事净化槽维护点检企业的注册制度（第48条）
第四章 净化槽型号的认定（第13条~第15条）	第十章 杂则（第49条~第55条）
第五章 关于净化槽施工企业的注册（第16条~第24条）	第十一章 罚则（第56条~第58条）
第六章 净化槽清扫企业的许可（第25条~第41条）	

净化槽生产计划技术规格人员培训资格认定、设备、设施管理、维护管理、检查等体制

琵琶湖水环境治理政策与实践——环境社会学研究

琵琶湖博物馆研究部专门研究员 杨平

最主要的目的是探讨，琵琶湖的水环境是如何改善的？自然科学与社会科学研究、实践中如何相輔相乘？探讨水环境治理（保護、管理）的可持续性。

一、流域治水

琵琶湖在上世纪 60 年代之前可以淘米、洗菜，可以玩耍和捉鱼，上世纪 70、80 年代水质开始逐步恶劣。其环境问题主要包括：一是自然灾害、污水废水处理的问题，二是水质污染问题，三是最近几十年是生态系带来的水环境问题。

70 年代，当地居民以女性为主，组织了名为“肥皂运动”的市民运动（因为肥皂尤其是洗衣粉，有大量磷的使用）。1979 年在琵琶湖最初形成一部法律——《富营养化防止条例》。所在地区的省长认为，琵琶湖周边的学界、研究界包括当地居民对环境的理解和认知方面都非常缺乏，建立了琵琶湖环境研究所，进行人文综合治理研究，人、文与理结合起来的一个治理方向。

围绕水环境如何治理形成三大学派，一是以技术为主治理水环境问题。二是尊重自然治愈，尽量避免人的外界的干扰，基于自然环境保全主义的治理方法。三是从环境社会学而来，环境生活主义的理论。

1984 年，有很多学者，包括人类学、社会学家，以及工科方面的专家，对琵琶湖大约 300 多个村落展开综合调研，并出版了《人与环境史》。这本著作是技术主义、自然主义、生活环境主义三大学派的研究成果之一。环境社会学调查的研究结果，有三方面价值，一是自然环境实用价值，二是自然环境存在价值，三是人和自然之间关系交流的价值。

什么是环境生活主义呢？立足于当地生存和生活的立场，分析和解决环境问题的一种理论学派。上世纪 80 年代，鸟越皓之、嘉田由纪子一起提出生活环境主义，是环境社会学方面的重大理论之一。

琵琶湖的特点是周边有很多河川，多数为流入湖的河川，流出的只有一条河川——赖田川。先治理河道，效果非常好，但一段时间之后河水还是不干涸，湖边水环境也不好。对此，滋贺县提出流域综合治理，治水首先要用水，要有使用价值；打造“亲水性”河流，体现尽量亲近自然、使用自然的观念。

滋贺县政府首先于 2006 年组织了水政对策本部琵琶湖流域治理的推行议会，各方面学者、企业和地方各种人员一起参与的学识型会议；设立流域政策局，2011 年制定《滋贺县流域治水基本方针》。其中，基本方针体现为：水是需要流动性，流着流着可能就清了，发挥水体修复自己的力量；需要流的地方要流动，需要储存的地方要储存。



案例 1：亲自然的河川治理为鱼类考虑栖息地 案例 2：守山川植生净化 + 天然雨水合理利用

二、农业治水

原本琵琶湖周围，鱼可以回游到水田中生活，生活一段时间之后回到河川，再到湖里，有回游性和自由回流产卵的生活状态。后来水不流通，水生生物的回流通道也发生变化，生态循环系统出现问题，进一步给环境、人们生活也带来负面的问题。滋贺县做了摇篮水田，为了让鱼回到水田中做了一系列工程性的工作，同时控制甚至制止农药的使用。在恢复自然的同时，还恢复人与水田之间的关系。产出的稻米经过政府认证之后是绿色稻米，比较被市场青睐。



总之，水环境的治理需要考虑两个问题，能不能玩耍，能不能使用，提供使用价值，最终目的是如何增加人与自然之关系；既要修复可以看见的自然，又要修复看不到的自然。

绿色小流域构建的一些思考

清华大学环境学院副教授 董欣

小流域的系统性治理，是构建绿色流域的关键，建立流域复杂系统“大模型”体系是解决复杂问题重要的技术支撑。

一、研究背景

总体上，如果要去对流域进行整体性保护、系统性治理，小流域可能是一个比较合适的空间单元。以长江流域为例，小流域是发展和重点保护的区域，具有高密度、高强度、高排放的特征。

以长江流域为例，有 2,540 个重点治理小流域，平均面积 93 平方公里；以流域 13% 土地承载了流域近 40% 人口和 GDP；固定源排放超全流域 60%，汛期污染负荷为非汛期 2 倍以上。从这个角度来说，小流域是流域治理非常好的抓手。

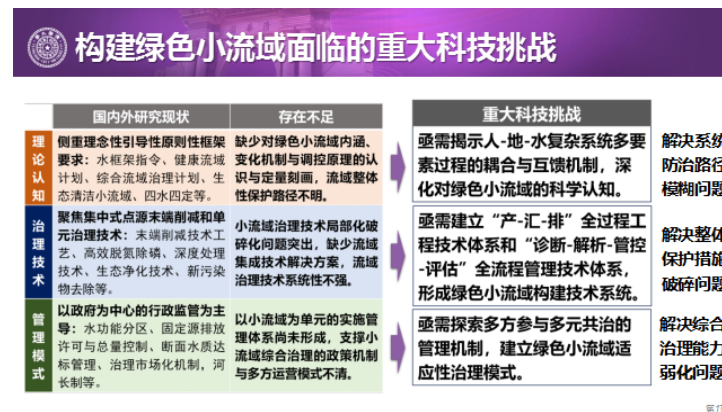
绿色小流域应该是实施小流域整体性保护和系统性治理，协调流域内人、地、水之间结构性、布局性、过程性关系，推动流域高水平保护和高质量发展。小流域是多要素复合的系统，这里面有人、地、水、设施、政府等要素；同时它是多过程耦合物质的代谢系统，这个系统不但是氮、磷的单独存在；是生产到治理的多过程耦合，也是多交互的社会系统。流域治理和社会治理、绿色发展紧密相关，我们需要有绿色，也需要有发展，这是我们概括的小流域的三大特点。



在这样的特点下，绿色小流域构建一定是多目标优化、多过程调控、多主体干预的过程，当然还有一系列原则，如三水统筹、水岸统筹、时空统筹等。我们认为，绿色小流域构建过程中，协调人、地、水复杂关系是非常核心的问题。从理论的认识、治理技术到管理模式，绿色小流域构建还面临非常多的科技挑战。

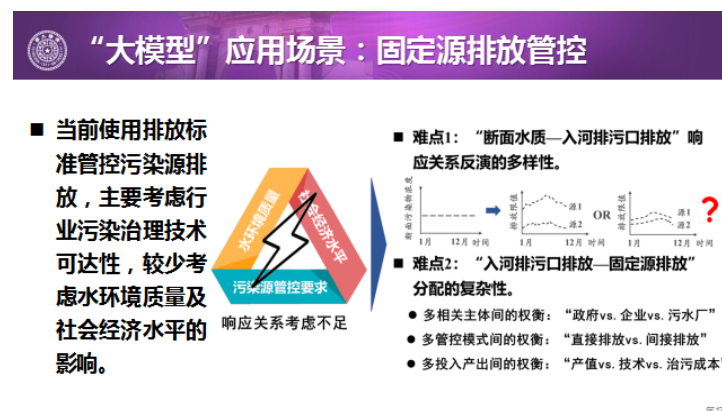
要解决流域问题需要有一个流域复杂系统的大模型体系，依据空间用地，应该有水生态环境模块以及设施运行模块，还要有社会经济模块和主体活动模块等，这些模块耦合在一起在空间上得到表达，就可以表达出整个流域里面水、物质、经济要素到底是怎么流动的，只有这三个要素协同、和谐，才可能达到绿色流域构建的

目标。形成这样的模型体系能够实现正向预演、逆向推演，风险调控，实时控制的功能，我们希望研发基于空间单元和活动单元自体向上的仿真技术，使小流域的人地水复杂系统可计算、可仿真，为流域治理提供可支持。

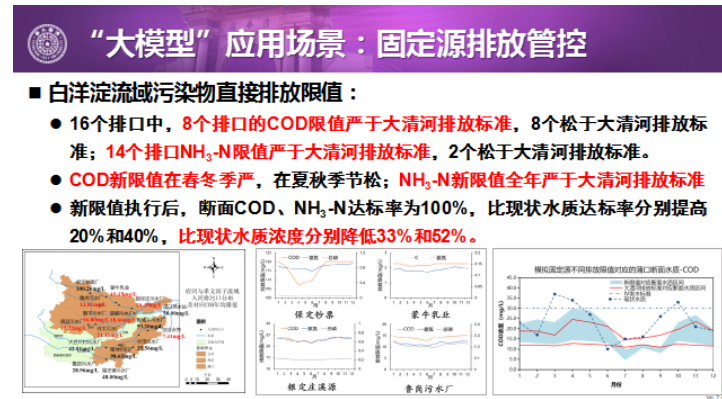


二、大模型应用的场景

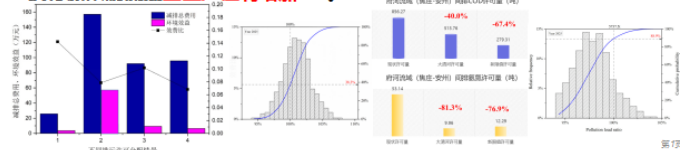
1. 固定源排放管控



这是一个非常复杂的问题，不单单考虑技术可行，还和水生态环境质量相关，和社会经济水平相关，三者统筹起来做排放管控还有不少难点。为此，把水生态模拟模型和环境社会学模型进行结合，在此基础上开发了专门的水生态快速模拟模型，



- 考虑到费效比，间接排放源的许可分配应采用**等比例减排方式**。
- 执行新限值的COD许可量，府河流域**许可量降低**45.6%，孝义河流域**许可量增加**12.1%；顺利实施的概率为38%。
- 执行新限值的氨氮许可量：府河、孝义河流域**许可量增加**23.39%、189.58%；顺利实施的概率为89%。
- 执行新限制流域**工业产值将增加6%**。



刻画企业、污水处理厂之间的关系。以白洋淀流域为例，根据水环境容量工厂所在的位置，所在的位置和排污的特征，以及水期，丰水期、枯水期的水容量特征等，对排放管控进行优化，为当地社会经济发展换来一些空间。

2. 流域适应性规划



“大模型”应用场景：流域适应性规划

- ### ■ 污染减排和水质改善响应关系缺失



- 工程在时间上的关联性考虑不足



- 流域变化的深度不确定性缺乏考虑



传统刚性规划

以滇池草海流域为例，把流域规划在时空上进行了展开。在此情况下流域就会很清楚在 28 个单元中的每一个单元，在每 5 年（规划的时间尺度）要求做什么事情。模拟实施后的水质情况，未来 30 年的情况都可以看到。

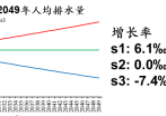
 “大模型”应用场景：流域适应性规划

- ### ■ 三个情景

- s1-高速发展
- s2-协调发展
- s3-以水定城



-
- Figure 1 is a line graph showing the projected population growth rate (增长率) for the year 2025. The Y-axis represents the population growth rate in percentage, ranging from 240 to 300. The X-axis represents the population growth rate in percentage, ranging from 240 to 300. Three lines are plotted: s1 (red), s2 (green), and s3 (blue). s1 starts at 280 and ends at 300. s2 starts at 280 and ends at 280. s3 starts at 280 and ends at 260. The legend indicates s1: 4.5%, s2: 3.0%, and s3: 1.0%.



- 备选工程类型及规模：607个。

工程类型	隐蔽源头控制	隐蔽过程控制				隐蔽末端控制				水体工程
	LID建设	污水收集	雨水收集	海绵建设能力	管道暗设	溢流处理扩容	溢流设施提标	污水处理厂扩容	污水处理厂提标	
工程抗涝能力	3	3	3	3	3	3	3	3	1	16
工程对象数	28	28	28	28	28	28	28	3	4	1

理据

环巢湖典型流域污染特征及系统治理工程实践——以白石天河为例

中国电建中南院高工 李国卿

白石天河是典型的滞留型农业农村区河流，其“三本账一特征”分析、系统治理方法和措施具有一定的代表性，基本做到了“一河一策”，项目工程实践可为类似流域治理提供一定借鉴。

一、流域概况及污染特征

白石天河流域位于巢湖西南方向，随着城镇化发展处于污染负荷上升期和治理关键期。流域属于农业农村区河流，涉及山水林田湖、湿地、村镇各要素。流域面积 709 平方公里，21 个小流域，涉及 10 个镇，5 个镇区在流域内，自然村比较多，有 300 余个，28 万人，流域内有 65 万亩耕地，施肥量特别大。此外，白石天河是国家重点工程引江济淮的通道，承担工农业供水、防洪排涝、航运、生物多样性和景观等各类功能。

1.3 流域概况-水系特点及存在问题

- 项目区面积709km²，含21条小流域（占全巢湖流域7.7%，圩区3.4%，岗丘66%；单个小流域5~128km²）；多年平均径流量2.54亿m³（8m³/s，4.5/s）；独流入湖河道8条，平均径流量0.32亿m³，干流3.45km，田间比降0.2‰。
- 巢湖每年平均水位一般在7.1m左右，汛期不超过7.6m，干流全段受巢湖顶托，部分河段水流循环往复，水文变化复杂。
- 库空回润道，干流蓄水量大，平水期和枯水期流速毫米~厘米级；（环海其他流域类似，干流及支流下游段与巢湖同向流）。
- 平水期和枯水期呈现“同型峰相特征”，丰水期呈现可流特征。
- 主要问题：污染负荷较高，国控断面季节性不达标（2020年纳水保卫组，市环保局督办），支流污染较严重，农业面源污染突出；生态退化、自净能力弱；局部防洪排涝不达标；管理能力有待提升。



日期: 2023-8-9 頁數: 1

干流超标因子主要是 COD 和溶解氧，支流是 COD、氨氮和总磷，有一些支流达到了劣 5 类黑臭。COD 入河量占比较大的是农田径流（31%）、生活污水（26%）、畜禽养殖、工业废水；TP 入河量占比较大的为农田径流（45%）、生活污水（15%）、河道内源（13%）、工业废水等。流域污染特征：滞留型河道，污染物枯水期蓄积，丰水期转移，典型的汛期污染型河流。干流和支流为泥质河床，底泥蓄积问题突出；底泥悬浮与溶氧低问题（底泥水动力试验，释放试验）。总污染负荷超过纳污能力，镇区点源集中，农业面源污染突出，治理难度大。

二、措施体系和工程实践

在摸清现状和污染源基础上，聚焦治污和生态修复，总体规划按小流域和专项开展设计。

其中，白石天流域集镇污水收集处理工程建成运行后，实际收集处理率由不足

20% 提高到 75—85%)，主要集镇污水厂进水浓度指标提升显著。实施镇区面源防控工程—生态塘，充分利用现有坑塘，有序导排集镇面源径流，利用坑塘沉淀、净化，形成镇区第二道治污防线。

□ 总体思路 and 治理策略



总体思路和策略：流域统筹、系统治理、智慧管控；

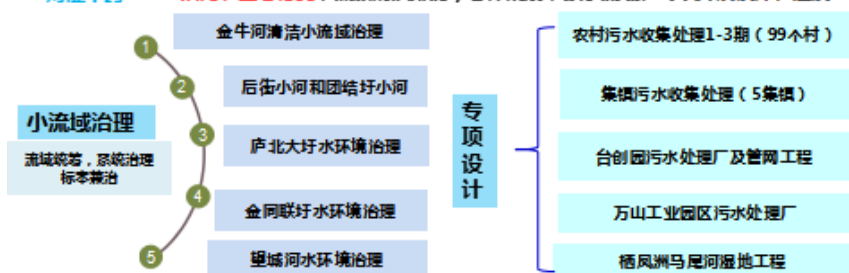
以问题和目标为导向，以治污和水质达标为核心，开展综合治理，并为巢湖治理引江济淮作贡献。

□ 策略与项目

· 对症下药

在摸清环境现状和污染源解析的基础上，以十五字方针为路径，聚焦

治污和生态修复，兼顾防洪排涝；总体规划，按小流域和专项开展设计和建设



白石天河-农业农村区河流水系治理11个策略：

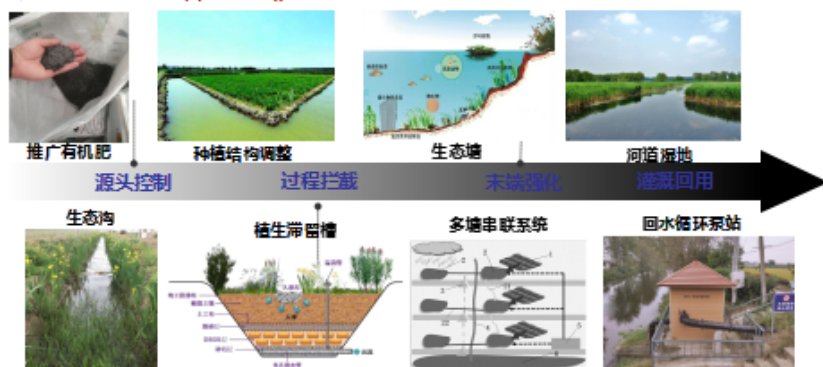
三区治理，四二（六道）防线（农业面源和集镇污染），二个模式（集中与分散，小流域与专项）

农村生活污染防治方面，针对临近镇区的村庄，根据地形条件等纳管接入镇区污水处理厂；中心村、居住较集中的永久居民点、临主干道、沿河临湖敏感村庄，采取一体化污水处理设施集中处理，周边村庄尽量纳入处理；较分散及地形复杂的村庄，采用“一村多塘多湿地”模式。通过水系梳理、坑塘生态修复、小型湿地、太阳能曝气等措施对小型自然村产生的面源进行管控；结合乡村振兴及美丽乡村建

3.4 农田面源综合防控

“四道防线 三措三减”【增加净化、调蓄空间、增加循环
利用设施，减少新鲜水量、减少外排量、减少污染物排放量】

特色技术——农业面源污染防治集成技术



设，推进项目开展。

对农田面源污染防治，源头控制、过程拦截、末端强化、灌溉回用。总体来说就是增加净化调蓄空间，减少外排水，减少污染量。如在东湾圩，通过生态塘 - 人工湿地拦蓄部分降雨径流，在灌溉期利用灌溉回用泵进行尾水回用，减少外引和外排水量，污染物削减成效明显。

经过系统治理，白石天河 2021—2022 年国控断面水质明显改善，COD 降低 23%（由半年不达标到稳定达标）。



流域治理，绝非易事；**抓准问题、因地制宜、精准施策**是关键，技术支撑特别重要（**精细研究，深入思考**）；流域治理与经济社会发展、生产生活密切相关；技术、经济、法律法规、政策、管理措施一个都不能少。

流域综合治理背景下水环境治理与全域国土综合整治工作思路

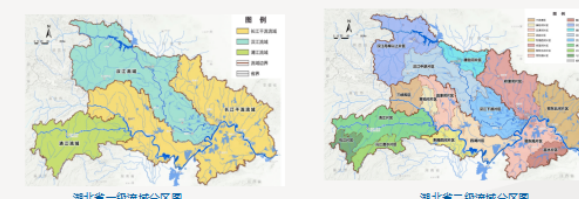
中国电建华东院院长 张宝华

一、政策背景

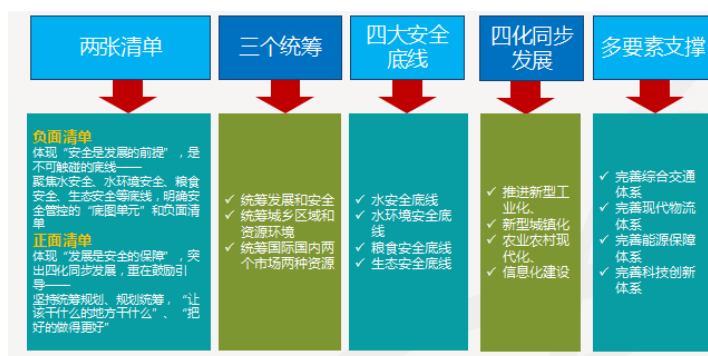
长江经济带和黄河流域重点通过“一体化”系统治理，探索全流域生态保护绿色发展的新模式，推动流域经济与行政区经济的联动协同。长江经济带覆盖沿江 11 省市，黄河流域横贯 9 个省区，均横跨我国东中西三大板块，对东中西部地区协调发展所起的拉动支撑作用是非常巨大的。湖北在第十二次党代会提出，以流域综合治理为基础、推动四化同步建设的实施路径。

政策背景

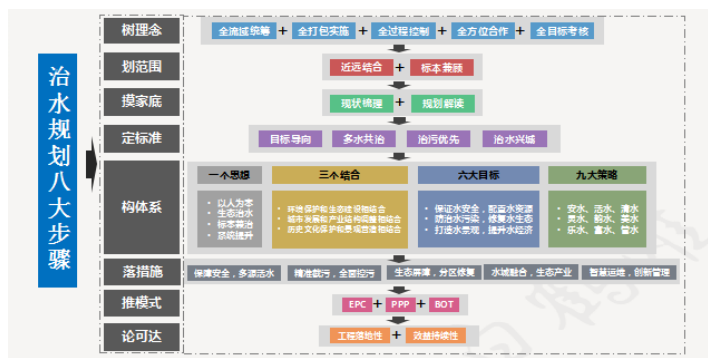
湖北省第十二次党代会确立建设全国构建新发展格局先行区的目标任务，**提出以流域综合治理为基础推动四化同步发展的实施路径**。《流域综合治理和统筹发展规划纲要》是深入贯彻落实党的二十大精神，探索以流域综合治理为基础，统筹推进四化同步建设，探索推进中国式现代化建设的有效路径。



全省划分为长江、汉江、清江 3 个一级流域和 16 个二级流域片区，市县细化三级、四级流域。明确流域综合治理的“底图单元”，努力推动经济社会发展的基本单元由市县为主体向省市县统筹转变。



二、水环境综合治理工作思路



我们提出一个思想、三个结合，六大目标和九大策略。其中，三个结合是指：生态保护和环境建设相结合，城市发展和产业结构调整相结合，历史文化保护和景观建设相结合。六个目标包含水安全、水资源、水污染、水生态、水景观、水经济，需要统筹来考虑。我们把防污排涝、引水配水、水生态保护、污染防治和水质改善、水景观管理联合作为一个基本的功能来实现，提出文化挖掘、滨水地区开发，作为城市的延伸功能。

以江苏盐城为例。盐城面临河网水动力不足、管网系统紊乱、黑臭明显等典型城市水环境问题，具有代表性。其治理目标是，构建“百河交织成网、蓝绿相融成景”的城市生态基底。

划定范围方面，根据综合流域治理理念，划定 108.73 平方公里的范围，包括



118 条河道（含黑臭水体），交错纵横，水网密布。

摸家底方面，用 2 个月时间对整个城市进行体检，发现的主要问题包括：排口多、管网差，污水实际收集率低；城市内河生境缺失、自净能力差；圩区封闭，河网交织、梗阻，活水困难；景观布局紊乱；日常管理调度困难。总体讲就是任务艰巨。

定标准，分总目标和分目标。其中，水环境目标，近期要保证段面达标，中期是全面消除黑臭，远期要水功能区达标。防洪标准要达到 100 年一遇，内涝标准 20 年一遇。

构建顶层设计加 5 个具体控制措施的实施体系。



顶层规划构建了三个模型：水质水量模型，为整个项目水质达标来服务；城市雨洪综合管理模型，满足城市防洪内涝调度使用；水资源配置模型，实现城市水系联通的模型支撑。

落措施方面，首先是保障安全、多源活水。经过调研，主要是局部存在易涝点，水系联通不畅，目标定位不清晰，智慧管控不够细。为此，针对性构建 433 体系。



拆除外部闸段，新建内部闸段和河道护网。要将之前三面光的河道恢复为自然河道，连通之后的水面面积和水网密度不能减少，将分散、孤立的河道连通，打通 15 个断头河，河道淤塞清理 27 处。活水方案与水质达标息息相关，考虑因素复杂，通过多种方案比选，最后采取全流域活水，补水量是 100 万吨每天，水源是湿地尾水。

第二个具体措施是精准截污，全面控污。污染源调查分析显示，点源污染是核心区流域污染的主要贡献者，城镇生活污水是主要污染源，城市污水管网和收集出现了很大问题。市政方面实施污水管网网成网、全通互联的措施，提升将污水管

网密度,实现污水管网全覆盖,对存量管网开展 CCTV 检测。对分流制污水直排排口、分流制雨污混接直排排口、合流制直排排口、合流制截流溢流直排排口等,针对性制定排口整治措施。



三、全域国土综合整治工作思路

全域土地综合整治是贯彻习近平生态文明思想、实施乡村振兴战略的重要手段,积极推进全域土地综合整治对优化农村生产、生活、生态空间格局,不断改善农村人居环境,有效实施乡村振兴战略具有非常重要的意义。流域综合治理需要解决 8 个问题。



以湖北孝感孝南区全域国土整治为例。整体思路是优化三生空间,统筹山、水、林、田、湖、草、村全要素整治。其中,生态空间以水为脉、以林为肌,生产空间以田为底,生活空间以村为本、以镇为核。具体措施包括:农用地整治,保障粮食安全底线,促进农业现代化发展;建设用地整治,可以释放农村低效用地,解决建设用地需求;农村环境整治,可以保障水安全、环境安全、生态安全的目标。

水环境设计中的生态学方法

中电建华东勘测设计研究院有限公司生态环境工程院总工 于海兰

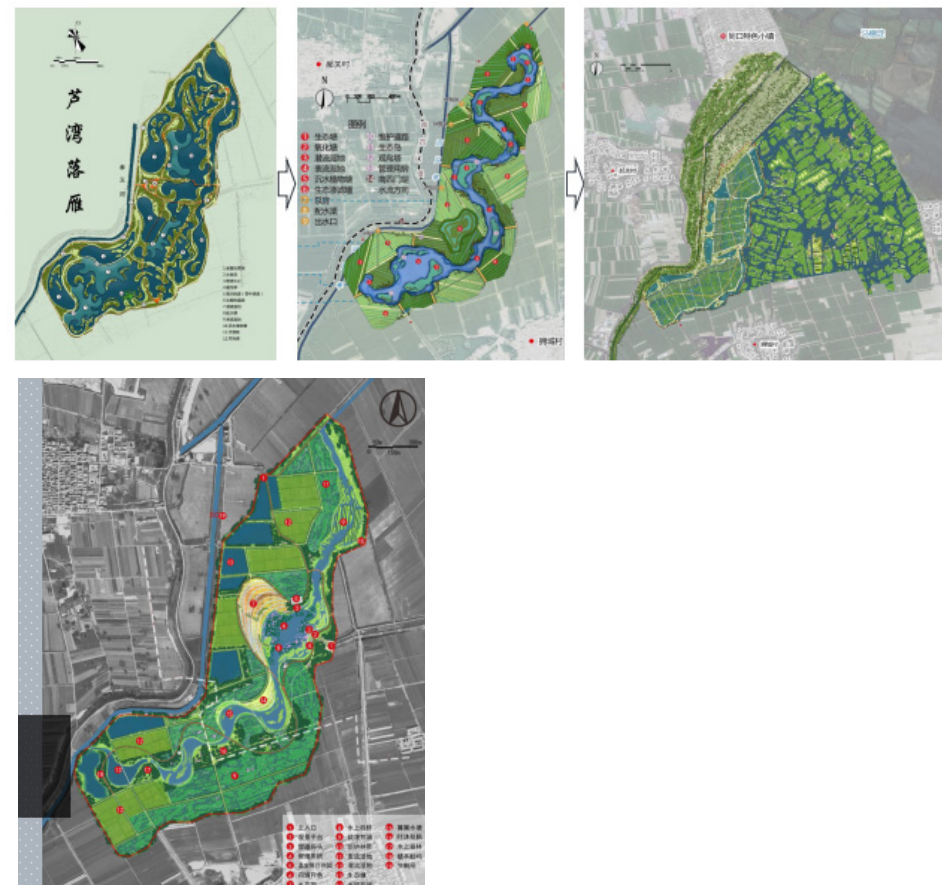
一、最小干预

最小干预不是什么都不做,而是满足基本功能前提下做设计。以雄安新区府河河口湿地水质净化工程为例。这个湿地是华北地区最大的人工湿地,主要净化上游污水、入淀污水厂尾水、直排污水和径流等。当时设计时,首先考虑结合北方大地的特征,其次是采取塘表的人工湿地的工艺,希望采取最小干预的理念。我们常常讲尊重土地原始的地形地貌,不要进行大规模干预。但实际上,施工单位进场以后还是做了大量的土工作业,没有按照最小干预去执行。

在我们做的另外一个白洋淀湿地工程里,下图左图显示原来设计也是有大量的土方作业,我们认为其没有遵循北方大地网格的方式,进行大量开挖,不是非常低碳和生态。为此,我们进行了多方案的优化,最终遵循北方方格网的基本形态,借鉴南方,植入了蜿蜒曲折的河流,最终实现低碳生态的方案。

2.案例分享

2.1 最小干预



二、浅水缓流

就是低水位。以南京金川河项目为例。金川河是连通长江和玄武湖的通江河流。此前为了维持河道的景观和水环境容量，河道是相对高水位的状态，大概 2-3 米的状态去运行。我们发现，如果治理中维持高水位运行，需要大量地补水去置换。因为平原河流本身的水体流动性比较差，如果要维持水环境质量和生态现状就必须用干净的水去置换，导致补水量非常大，不是非常生态和低碳。对此，这个项目采取了一系列措施，最主要一点是采取低水位运行，即浅水缓流。方案里把水深降到 0.5-1 米状态。

降低水位有几个好处，一是原来河道两侧的排口是被淹没的，不太容易发现，降低水位之后很容易发现偷排漏排现象。二是能够腾出大量上部的调蓄空间，对城市防洪排涝有利。三是最直接减少补水量，相对来说比较生态和低碳。四是当水位降低后，河道里溶解氧量增加，对底泥的修复能力提高了 2.6-3 倍。五是有益于植物、微生物、鱼类等生态系统。当然，浅水缓流有很多好处，但是也有一定的不利，降低水位以后，整体的环境容量减少，但综合考虑还是非常推崇浅水缓流的方式。

2.案例分享 2.2 浅水缓流--南京市金川河浅流改造项目

河道水位降下来之后的利弊



三、模拟自然

以荷兰的一个海岸带治理项目为例。一开始没有遵循自然做功的方式，每年需要大量的补砂，没有尊重自然，引入了沙引擎概念之后，让自然做功，在特定的地点投放一定的沙子，利用海岸带潮汐的特性和水力冲沙，让沙沿着海岸慢慢生长，每年补砂都在减少。

在东莞市江滨湿地做了模拟自然的尝试。模拟自然降雨的过程，先是垂直的雨滴，到了地面变成水平流，再进入到河道。云南腾冲湿地草甸，是火山岩融合鸟粪自然生长而成的，为此，我们模拟天然浮床构建了很多人工浮床的系统。在景观水体里面还会模拟人体的功能——肺，在地下设计旁路的设置，对景观水体进行净化处理。自然河流为什么本身能够保持清澈？一个重要原因是河道里有很多卵石，附着很多微生物，能够吸附污染物，净化水体。典型的例子是台湾的砾间处理场，整个处理厂都在地下，地下都是河道的卵石，通过卵石上的生物膜对污染物进行有效处理。

2.案例分享 2.3 模拟自然

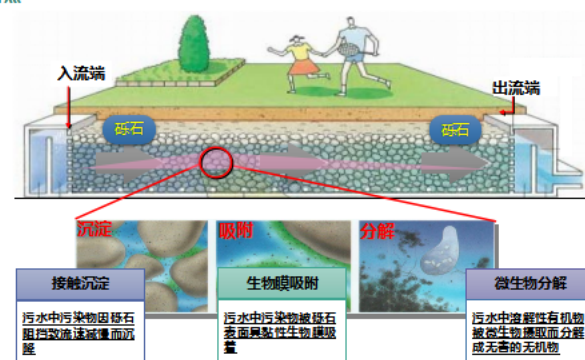
让自然做功——沙引擎 SAND MOTOR

沙引擎概念是通过在指定点投放大量沙子后，由自然力量将沙子输送到更大区域的海滩，以提高补沙功效，降低成本，减少对环境的干扰。根据测算，该方案预计可以为海岸增加 28~33hm² 的沙丘，在 20 年内无需再进行人工补沙，在 50 年内避免新增补沙可保障代尔兰海岸的沙平衡。



2.案例分享 2.3 模拟自然

砾间工艺



四、新概念厂

之前的污水处理厂设计是 2.0 的模式，现在以概念厂为代表的 3.0 模式，核心在于水质永续、资源回收、能量自给、环境友好。华东院在仙居的第二污水处理厂做了一些尝试，其中设计了光伏发电和湿地工程。通过自己发电，大概能减少用电量 33%。湿地工程充分利用地形，形成错落有致的三级台阶，把原来的水力流变成重力流，节约能源。

2.案例分享 2.4 新概念厂

结合场地南高北低，西北低洼的地貌特征，将湿地分为高低错落的三级台阶，有效减少土方开挖外运量，水力流程顺势自流，减少中间提升，节约能源。



环境友好方面做了很多的尝试，包括采取新工艺，提高节能性能；解决邻避效应，对除臭系统进行升级；弘扬当地文化，构建城市公园；把水厂打造成海绵水厂，把工程做成一个可呼吸的公园。

在浙江包括其他地区目前还有很多时候都在探讨地埋式的污水处理厂，这一块目前比较盛行，它到底是不是生态低碳的，很多学者都有自己的观点。从全生命周期的角度，可能生态效益不是特别好。其主要优势是节约土地，有更多开发的功能。对于地埋式的污水处理厂是不是一定要实施，我个人主张还是要因地制宜的。

提出几点建议：一是在水环境设计里面，引入生态和低碳理念是至关重要的。二是对普通设计师要打破传统的设计方法，用宏观结合微观的方法。提出生态设计目标的敏感性，实现水环境工程的生态学设计。三是从创新的工艺、技术、材料出发，多专业融合，促进水环境生态结合和可持续和高质量发展，最后达到健康河湖、幸福河湖、美丽河湖。

长江流域面源污染物的入水过程及生态调控

北京师范大学环境与生态交叉研究院副院长 欧阳威

长江流域作为我国主要的稻作区域，耗费了大量的水和肥料资源。我们主要关注如何用生态工程措施进行管控，课题组通过野外观测、模型模拟，结合项目开展研究，主要探讨生态工程调控田面水位能否对面源污染实现防控。

一、农业面源污染入水过程

以陆面计算单元计算出来的面源污染，如何入水，以哪个入水为边界等，入水问题本身就值得广泛讨论。比如鄱阳湖流域，这个边界就很清楚，以入湖作为入水的标准。为了管理上进行考核，工作以县为单位，而不是传统的以自然属性来划分流域或者亚流域的边界。结合遥感和模型的方法，对它的陆面流失进行了量化，即结合整个鄱阳湖水系，河道的分解，借助江西省常规的数据对典型污染物在不同年份的分解，以及陆面迁移过程中的损失，进行量化，最终根据上下游的关系，划定了湖区迁移过程中的损耗。随后，进行模型空间数据库建设，以及水质和流量的一些常规数据监测站点布设，也将最近一次全国污染源普查数据耦合进来。

由于鄱阳湖水位波动比较剧烈，以湖滨区作为边界，每一条流域以到达湖滨带那个断面为准，计算陆面流失的负荷。如果以常规意义上计算的面源污染常规排放，作为水环境管理的参数有很大争议。

为此，在陆面排放的基础上进一步计算入河和入湖量。首先根据每一个计算单元，采用叠加遥感数据，以行政边界作为划分的条件，计算出入河污染量，氮磷的总量

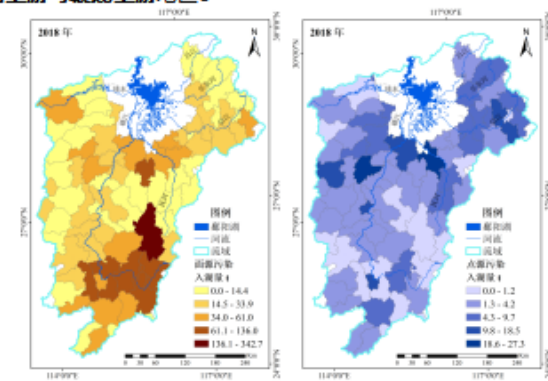
以及不同类型的对应数值。这个数据还只是反映污染进入了赣江水系，还不能考察每一个类型对鄱阳湖水质的污染。因而在此基础上进一步计算入湖量，可以对湖区水污染实现更加精准的管控。以县市为单元，将面源当做点源进行管控，这个工作提供了数据支撑和可行性。

污染物入湖量时空分布特征

1) 污染物入湖量空间分布

✓ 2018-2020年，面源总磷污染排放入河量分别为2345.83t、2150.86t、2135.45t，入湖量较高的区域位于抚河上游与赣江上游地区。

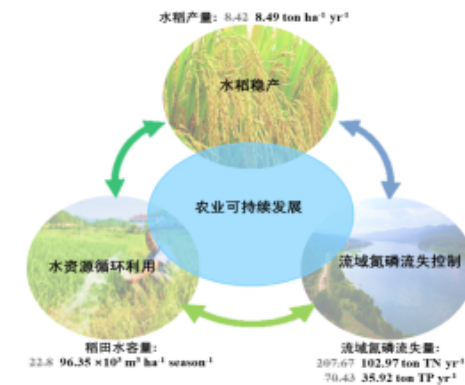
✓ 2018-2020年，点源总磷污染排放入湖量分别为345.33t、277.39t、251.81t，入湖量较高的区域位于抚河中游地区。



二、农业面源污染生态工程调控

南方地区田沟塘体系比较丰沛，利用好这个体系就可以改善农村的面源污染流失。国内外大量研究显示，水稻生长过程中不是每天都是污染的排放源，只有很短一段时间。因此在敏感排放时间节点，研究怎么通过稻田水位调控，使得田面水不出去，增加在稻田的停留时间。我们在湖北有两个实验站开展研究。以磷为例，以地表径流为主，流失的关键期是分蘖期与拔穗期，控制好这两个时间的稻田对外排水，就可以有效控制农业面源污染。

稻作区水循环优化对农业可持续发展的意义



稻作区水循环优化管理措施可以在保证水稻稳产的前提下，提高水资源循环利用、减少流域面源污染，促进农业可持续发展。

我们比较关心另外一个问题，如果提高稻田水位，会不会造成减产？在农业面源污染控制过程中，一个基本的条件是，不能让产量让农民有损失。我们在室内开展了相关模拟实验，研究在关键时期，稻田不同的株高最高的耐受时间、水位是多少，得到一些边界范围。发现通过在分蘖期提高淹水高度，延长滞留时间，可以有效减少外排水氮磷流失量而不影响产量。

在南方，希望将沟塘系统考虑进来，上一块农田的排水就是下一块农田的入水，通过控制水的小流域的循环，可以大量地减少农田氮磷对外的排放量，就类似于工业上的近零排放概念。我们在湖北也做了两块这样的试验田，发现在整个排放过程中，田沟塘排放的趋势逐级减少（氮磷含量表现为田面 > 沟渠 > 水塘），而且排放的形态在发生改变。利用好南方普遍存在的小沟塘对稻田的灌溉水进行循环的管控或者利用，并且适当提高田面水高度，可以大幅度地减少氮磷外排。

人工湿地与水生态修复技术研发与工程——以武汉为例

中科院水生生物研究所研究员 吴振斌

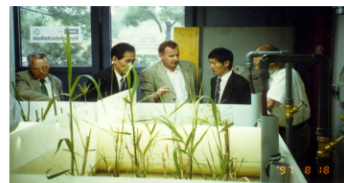
一、关键技术研发

1. 复合垂直流人工湿地技术（IVCW）

欧盟重大国际科技合作项目，1996年启动，中方主导的第一个环境生态领域的欧盟项目

题目：热带与亚热带区域水质改善、回用与水生态系重建的生物工艺学对策研究

项目合同人	副合同人
中科院水生所	深圳环科院
德国科隆大学	浙江大学
德国波恩湖沼研究所	
奥地利维也纳农业大学	



传统湿地工艺技术有待突破

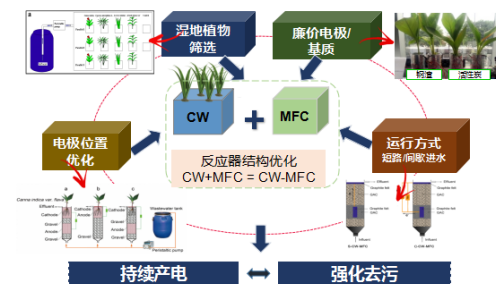
- 净化效率低
- 功能层单一，流场分布不均，“黑箱”
- 碳源不足、堵塞、容积使用效率低
- 植物选配匮乏



30 多年前的水生所老所长，申请了一个欧盟合作项目，这是中国人第一个从欧盟得到的环境方面项目，从一平方的小试开始做起，中试到生产型工程，最后形成了技术支撑的知识产权，都归中国。

2. 生态工程组合技术

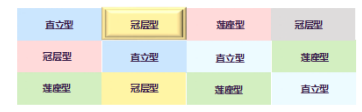
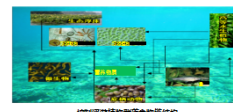
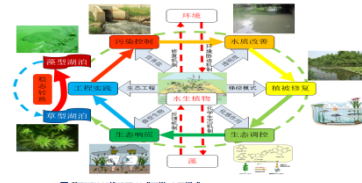
针对人工湿地生物质能源利用特点，引入非金属电极，形成人工湿地-微生物燃料电池组合技术，并实现持续产电和强化净化



提出一级处理 + 单向 / 复合垂直流 / 水平潜流人工湿地 + 表面流湿地 / 综合生物塘等 10 余组高效净化工艺，不只是工艺的简单组合，而是考虑生物特别是微生物以及电化学的内容。

3. 以水生植被恢复为核心的水体生态修复技术

- 发明沉水植物斑块镶嵌格局优化技术，提升沉水植物恢复的自我调节能力与自组织能力
- 提出的水生食物网结构，成功构建多层次稳定健康水生生态系统
- 率先在不同流域空间尺度富营养化湖泊实现了浊水藻型向清水草型湖泊转换



Wu et al., Water Res. 2020, 2021; Environ. Pollut., 2020; J. Hazard. Mater., 2020

研制环保型生态基底改良材料，提出了物化 - 生物协同的高有机质、厌氧沉积物改良机制，显著改善湖泊底质微生态和微环境，攻克了限制沉水植物恢复的沉积物生境难题，实现了大面积沉水植物恢复应用。

二、推广和成效

1. 武汉汉阳六湖水体修复工程

这个项目是针对武汉六湖覆盖的 368 平方公里区域的面源污染、点源污染特征，在不同区域示范不同水质改善技术，以改善六湖水体水质。武汉水多，污染很严重，水质最坏的十个湖，当时有六个在武汉。

2. 长江生态保护修复武汉驻点工作

以中科院水生所为主的科研团队开展了武汉市湖泊调查
其中包括63个重点湖泊4个季度水生态调查
63个湖泊样点布局

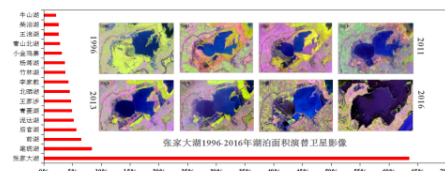
项目	采样点数
水质	370
浮游动植物	
水生植物	668
底栖	520
底泥	520
重金属	502
抗生素	130
雌激素	130
藻毒素	339

武汉市63个代表性湖泊的水质、底泥、浮游动植物、底栖动物、鱼类、水生植物、水体中抗生素、激素、藻毒素、重金属等调查



63个湖泊分布区域

解析了1996-2016年63个湖泊面积演替分析



武汉东湖水生态修复工程，生态基底改良和沉水植物恢复应用于鹅咀示范区，示范工程初见成效，“水下森林”重现东湖景观。我们在武汉搞了6个湖以后，转战西湖，做了一点微薄贡献，把沉水植物恢复起来了，现在连续12年沉水植物可以自然更替，每个季节去看都可以沉水植物稳定地种植。

针对渔业养殖水体水质改善，建设官桥人工湿地养殖复合系统；围绕新农村建设工程，开展武汉东西湖慈惠农场石榴红人工湿地工程示范建设，解决生活污水直排。

20年前海南的第一个人工湿地。

深圳龙岗人工湿地，当时是第一个大规模垂直流人工湿地应用工程（每天7万吨）。后来还有更大的广东燕岭湿地生态园人工湿地工程，规模十万吨。



广东燕岭湿地生态园人工湿地工程



- 目前全世界处理规模最大的垂直流人工湿地（10万m³/d），2011年建成
- 珠三角首个国家级城市湿地公园，出水达到地表水IV类标准

河湖底泥清淤的基本问题与技术体系

河海大学环境学院教授 朱伟

一、河湖库底泥清淤的内涵

首先到底什么是河湖库的底泥清淤，内涵是什么？是不是遇到泥就要挖掉？我国有9.8万座水库，河流数量更多，每年淤积泥沙都有200-300亿吨，难道都要挖出来吗？所以底泥清淤应该就是用工程的方法清除河流、湖泊、水库底部对功能产生影响的部分。

底泥会影响什么功能？有一些影响水资源供给，有一些影响防洪排涝，影响发电、航运、生态和景观等。有的影响是综合的，有的是单一的，要具体问题具体分析。清淤的对象，湖泊叫沉积物，河流叫底泥，大坝叫泥沙，环保叫污染物，城市的河道里面有很多塑料袋、垃圾杂物。

有水流必然有颗粒物，有泥沙，这些东西其实是没有害的，是自然的。大家说尊重自然、最小干预，清除的对象不是所有的淤积物，而是产生影响的淤积物，这个影响还包括空间上的影响、化学的影响和生物的影响。

二、河湖库清淤的基本问题

为什么清淤（目的）、清什么（目标）、怎么清（工艺）、清出来怎么办（处置），这是我们淤积治理的基本问题。这些问题没有搞清楚，就贸然开工，属于眉毛胡子一把抓，钱没地方花了。

1. 为什么清？

一定要把目标搞清楚。工程清淤，防洪、排涝、航道、过水段面、水库扩容，叫物理空间的拓展。环保清淤，黑臭的解决，富营养化，还有持久性污染物其他几类叫环保清淤，属于化学的内源污染治理。还有一类生态清淤，国际上，生态清淤就是给底栖生物增加栖息地，底质生境多样性，它是生物的生态修复的内涵。

这些目标可能夹杂在一起，黑臭河道的污染物主要是有机质，富营养化湖泊主要是氮磷；遭受污染的水库是重金属和氮磷，调蓄水库主要是改变形状；城市河道综合性比较明显，黑臭、水质、防洪、景观结合在一起；大型湖泊，太湖、巢湖、滇池等等主要是蓝藻、水华的问题，主要是控制磷的释放，进行清淤；水源地水库大多数是还是要解决富营养化的问题。干流水库如三峡大坝、小浪底，为了永续利用，还是要想办法把泥沙吐出去、排出去。

2. 怎么清？

要做前期的调查，环保清淤要做有机质，湖泊要对氮磷调查，重金属污染我们要用重金属判断，我们国家没有底泥环境质量标准，有一些参考的，但是不是特别

准确。重金属参考土壤质量标准比较合理，有机质大于 4-5% 会造成厌氧，但是磷的释放和水界面上溶氧的值，关联性非常大，所以要做释放实验，还要是控制氧水平的释放实验才能比较准确。水利协会让我定一个标准，我研究了 5、6 年，越研究越定不出来，怕定错了。

根据这些标准，我们确定疏浚的范围和深度。主要是排干清、水下清，现在还是比较粗放地水枪冲用水泵抽走。比较敏感的，应该薄层清、薄层高浓度清淤。三峡的泥沙不是清，而是研究日常运行中排泄出去的可能性。我现在主张对清淤的问题，应该少量化，尽量清少量泥，解决它对功能的影响。原位覆盖，原位量化、原位降解，基本是实验室的研究得出的结果，实际工程尺度上国内外都没有。

3. 怎么处理？

处理对象是泥浆，通过过滤、分离、固结来脱水，放在堆场里面形成改性土或材料，或者直接做低级处理以后做土地利用。资源化这个化干扰了很多年，其实需要的是处置，是需要对挖出来的全量的东西进行处置。挖了 100 万方，用 1 万方烧了砖，还有 99 万方呢？没有人说。全部 100 万方都得到处理利用，保证环境安全，才能叫全量处置、资源化，一定要分清楚。最大化利用的还是生产各类土材料，变成土或者土壤，放在堆场固结变成地基，再通过处理技术变成土地，再进行利用。

太湖应急清淤抽出的泥，放在鱼塘做土壤化改良，现在变成环贡湖湿地带。日本名古屋机场建设，利用了淤泥生产的材料，羽田机场 D 跑道也是用淤泥固化的土进行填筑。我国现在建筑工程产生的渣土、渣泥挖方多于填方，没地方去，相当于把城市憋住了，是很大的问题。

有污染的泥，最终的方向是找集中场地，我一直主张在海边废弃矿坑，建城市集中处理厂。日本在大阪湾使用无机废弃物填筑 7 个岛，称之为凤凰计划，大阪湾飞来 7 只金凤凰。澳大利亚布里斯班港每年清淤，规划好多个区，把泥分区放，放三五年就变成土地再利用。

河流生物多样性格局与生态健康评估

南京大学环境学院教授 张效伟

一、河流多样性监测的重大战略需求

河流是一个复合的山水林田湖草和生物的生态系统，承载非常重要的生态功能。与此同时，河流的生物多样性，为河流生态系统的健康和功能起到支撑性作用。

在过去的 10 年时间里，长江整体水质向好，但仍然有大量物种不断灭绝，包括江豚、白鱀豚、白鲟等。为此，整个社会包括政策、管理层，对生物多样性保护，

应该有更加深刻的认知。从国际河流生态治理经验来看，欧美国家在流域治理提出以指示种为指标的评价指标和管理方法，如美国的大雅马哈鱼，欧盟以鲟鱼，澳大利亚把鸭嘴兽作为河流健康治理的指示种。昆明蒙特利尔生物多样性保护框架，提出生物多样性保护的更高目标，全球正在形成一个以管生物多样性保护为目标的科技或管理的流域治理的一个计划的框架。

把生物多样性的保护作为所有管理的目标，就需要大量的基础数据，尤其是生物监测的数据。很遗憾，目前这方面工作还比较欠缺。生物多样性监测到底有什么用？可以从大到小的尺度上，认识生物多样性的变化，并因此采取针对性保护策略。可以在不同的尺度上识别出不同的生境，分别进行生物多样性的观测。

二、监测技术发展趋势

重点介绍通过环境 DNA 的技术支撑在流域尺度开展生物监测。在河流的生物监测上一直以来比较依赖于传统方法，它有很多缺点，采样比较难，误差比较大，效率比较低，导致决策时没有数据。环境 DNA 作为新的生物技术，可以提供全面、高分辨的生物多样性监测。可以在环境当中，从流域、河水、陆地上、空气中采集生物的样本，分析生物多样性的变化。目前环境 DNA 在河流生态系统的应用已经很多，包括帮助识别气候变化的影响，闸坝的影响，工业污染的影响等。

所有的技术要支撑应用和管理，要有标准。国际上最近 10 年，美国、欧洲、我国都有环境 DNA 技术的标准出台。这些技术可以支持比较大规模地运用，通过装备化在流域尺度上，通过某一个位点，通过环境 DNA 的分析，识别几乎所有的生物类群，而把这些生物类群的数据放在空间尺度、河流尺度上，帮我们勾画、认识生物多样性的格局和分布。

三、生物多样性监测和评估的新范式

这些技术，最大的特点是反应多营养级的物种，包括微生物、底栖动植物、浮游生物、鱼类、鸟类等，多营养级的数据可以帮助我们认识河流生态系统的质量，精准识别出生态系统的变化，也可以联合生态系统功能、土地及流域的状况进行诊断，识别出生物多样性在环境胁迫下呈现的变化趋势。

需要流域尺度上高分辨率的生物多样性分布数据，帮助在流域治理过程中，了解治理对生物多样性的提升有什么样的帮助，提出以生物多样性净收益为目标进行流域的治理。通过客观、精准的数据，支撑水生态修复、基础设施建设，新能源、海洋开发等。

白洋淀底泥污染特征及修复技术

中电建中南院中级工程师 唐泽恒

一、白洋淀概况

白洋淀被称为华北之肾，总面积 360 平方公里，流域总面积 3.1 万平方公里，多年平均流量 6.8 亿万方，主要有唐河、漕河等入湖河流。白洋淀正常年蓄水量大概 4 亿方，多年平均水位 7.1 米，淀区水质受入淀水量影响比较大，历史上分为三个阶段：1965 年之前，入淀水量最大可以达到 51 亿方；1965-1997 年由于大量新建水力工程，干淀情况比较多，水质呈现恶化的趋势；进入 21 世纪之后，入淀水量急剧减少，多年平均为 2.4 亿方，水质多在 4 类 -5 类之间。

底泥内源污染是白洋淀水质恶化的原因之一。雄安新区按照以点带面分布推进的原则，已分别开展 4 期治理工程。第一期是试点，探索各种清淤技术的试用性。第二期是以点及面，三四期是在一二期基础上扩大推广，总清淤量达到 11.9 万方。

二、底泥污染特征

在进行修复治理之前，对白洋淀的鱼塘、水面和水道底泥的情况进行了采样分析，总共布置点位有 1834 个，其中每个点位取上层底泥 60 公分，每 10 公分做一个采样分析，监测指标包括营养盐、重金属、释放通量等。根据柱状采样分析结果，白洋淀底泥淤积厚度是 14-75 之间，浮泥层、过渡层厚度分别介于 5 ~ 55、5 ~ 63 之间；从空间分布角度，小白洋淀区域淤积厚度明显大于其他地区，鱼塘底泥厚度依次大于开放水面和水道；随着底泥深度增加，营养盐含量逐渐降低，其中在 40-50 公分以及 50-60 公分之间，下降率最大，与沉积学法的底泥平均厚度判断基本相符。

根据白洋淀相关规划和成果评价体系，淀区底泥将 $TN > 4.8g/kg$ 或 $TP > 2.0g/kg$ 或有机质 $> 100g/kg$ 判定为重度污染。根据分析结果，底泥污染物中以有机质、全氮超标为主，分别为 1.2 和 4.5 倍；淀区内，底泥污染的水体占比 48.7%，主要集中在淀区的南部、中部。重金属方面，参考农用地土壤污染风险管控标准，以及重金属潜在生态风险进行分析，淀区的重金属含量不超过农用地土壤污染风险筛选值，底泥重金属潜在生态风险指数处于低风险状态，说明淀区的底泥污染以营养盐分为主。在清淤厚度方面，通过沉积学法和拐点法进行综合判定，鱼塘平均厚度是 41.5 公分，开放水面是 33.2 公分，水道是 34.9 公分。

三、治理修复技术

根据淀区的底泥污染特征，在生态修复方面存在以下重点及难点：治理范围比较广，达到 200 平方公里以上，施工组织设计以及运输的难度比较大；涉及多个国控段面，需要关注水质对段面的影响；水域条件复杂，清淤技术选择是关键；底泥处置量大，达到 350 万方，需要选择合理合适的处理处置方式。

修复技术贯彻以人工引导为示范，自然恢复为主，重污染的人工鱼塘采取底泥清淤和水生动植物的修复方式；污染程度较低的开放水面和水道采用底泥清淤 + 自然演替的方式，分区分类治理。根据现状水深、水下地形、航运条件、围地围泥、适用范围等综合情况，采用绞吸 / 泵吸清淤、干挖清淤、水力冲挖、水上挖掘机和抓斗机械清淤相结合的清淤方式。

底泥处置方面，对于含水量比较高的绞吸以及水利冲挖底泥采用真空预压脱水方式，对于含水量不高的干挖以及机械清淤采用了开挖排水沟，进行自然脱水，坑塘内部的生态修复方面用了沉水植物种植，鱼类和水生动物的投放等，主要采用当地本土的金鱼藻、湖蚌等生态链的补充。

四、成效评估

结合塘水处理、围堤围埝拆除等措施实施后，淀区水体 COD、氨氮、总磷的含量均值下降明显。治理后底泥中有机质平均含量下降 64%，总氮下降 61.7%，总磷没有超标，治理后没有明显变化。

底泥污染是一个长期的污染物沉积过程，与水文、地形地貌和周边环境等因素息息相关，其治理不是简单的“一清了事”，应该在充分调查的基础上，按照生态统筹治理理念，顺应自然、尊重规律，在内源污染治理的同时，重建和修复区域的生态、水文过程，恢复生态空间。底泥清淤技术的选择需要结合水系现状、污染特征、交通运输和底泥处理处置去向等进行综合确定；污染治理过程需与生态修复、动物操控技术等系统修复治理相结合；治理过程中需关注污染物的扩散对周边环境的影响。

AI“采 + 测”监测助力绿色流域构建技术

力合科技（湖南）股份有限公司的副总经理 张辉

一、背景和意义

治理保护生态环境首先要摸清家底，掌握动态。面对水环境的问题，要摸清原因，点源、面源等的比重，不同时期，不同污染物的负荷等情况，需要持续监测，掌握不同场景、不同时间的情况。因为水是动态的，雨前、雨后，丰水期、枯水期的污染物都不一样，监测的深度和覆盖程度决定了治理的精准和科学。

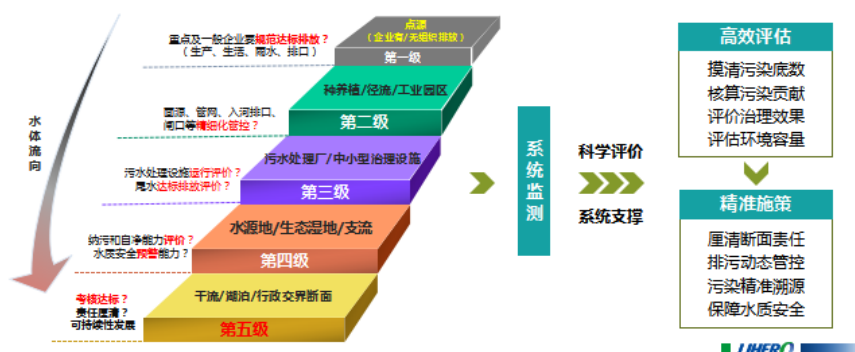
目前的监测手段主要是两种，一是手工监测。持续监测需要投入大量人力，时效性、代表性易受影响。二是自动监测，建设和运营成本较高。

监测本质就是采和测，为满足高密度持续的监测需求，把采和测分开，将自动采和自动测结合。自动采可以通过不同场景，比如针对流量、雨量、水位的变化进行采样，可以解决样品的固定、点位、深度的问题，通过大批量采样，可以解决后

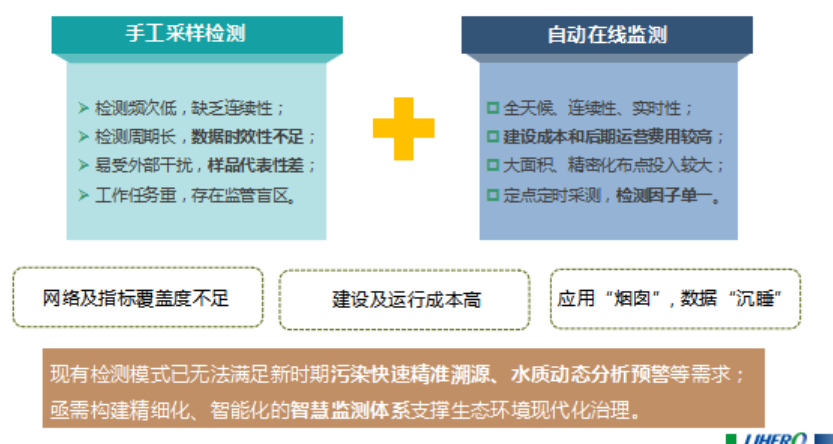
端高密度分析能力的问题，配套的整套分析能力每天可以达到 1000 个样品的处理量，相当于传统实验室 100 个人的工作量。通过高密度的布点和监测，可以实现对“厂网河”一体化监管，绿色流域精细化管理的数据支撑。

1.1 环境监测是水环境治理的重要抓手

习近平总书记：保护生态环境首先要摸清家底、掌握动态，要把建好用好生态环境监测网络这项基础工作做好



1.2 现有检测模式无法支撑环境精细化管理需求



1.3 创新多时空、高序列、全链条的水环境智能“采测”模式

深度应用5G、AI、可视化表征等先进技术，获取准确可靠、动态连续的水质水量监测数据支撑科学决策、理清责任、精准溯源，解决现有感知层覆盖率不足、建设运行成本高、检测机构人员设备不足等问题



二、流域监管方案

整体的思路是，查、测、溯服务于治与评。首先，进行辖区排查，掌握工业分布、农业、排口等的信息，再开展相应的布点监测。前期的布点监测是高密度的，之后是深化到重点领域排查和监测，通过溯源对治理进行服务。整个治理过程中也开展同步评估，最终随着整个治理的完善进行定点动态监测。

2.1 构建流域水环境长效监管服务体系

立足全流域水生态环境保护长效监管的需求，以“查、测、溯”服务“治”与“评”。



三、应用案例

1. 流域：白洋淀水质提升

白洋淀 90% 水域在安新县，面积达三百多平方公里。我们首先对国控断面超标进行了溯源分析，监测入淀、入库量，明确污染物分布；对村庄和现有治理设施进行评估。

4.1 助力雄安新区白洋淀水质提升—项目概况

项目背景：

全面治理水环境，坚持流域“控源—截污—治河”系统治理，开展入淀河流水质达标管理，消除淀区污染源。

项目覆盖范围：

2787个监测点，覆盖白洋淀水域各重要节点（主要河流入淀口、国控断面及周边、主要村庄及周边、主要污水处理设施、码头）

项目目标：

摸清白洋淀流域重点点位周边水质变化情况，对整个白洋淀流域水质状况的全方位监控，完成II类水考核目标。



其中，对国控断面周边开展流向分析，为白洋淀调水和补水做支撑；汛期应急监测；开展流域网格化高密度监测，在三百多平方公里布置 2800 多个点，掌握淀区不同污染物分布情况，为治理做支撑。在内源方面，开展湿地处理效果评估和生态

公园水质监控，对 57 座污水处理站的处理效率进行评估；在村庄管理方面，围绕农业面源污染小散乱污、倒排设施问题等开展巡查，目标是不让一滴污水入白洋淀。

2. 管网：郴州市管网攻坚

郴州市地形南高北低，地下水丰富。主要问题是进水浓度低，外水入侵严重，同时存在污水直排，造成河流黑臭。针对这两方面问题进行排查，一是大规模布点，开展主管网健康度的评估；二是调查 241 个小区，掌握小区出水浓度；三是评估外水汇入量，结果显示外水占了 60% 左右；四是对主管网健康度进行监控、评估，根据一级主干与汇入节点水质对比分析，确定下一步重点排查区域，明确具体问题，经治理改造后，进水浓度提升显著。

4.2 助力郴州市管网攻坚—项目成效



预期目标	问题类型	治理建议	备注
提升污水COD进水浓度	北港排水或外溢进入管网	新建清水管道，将北港水引入直排入河	短期内可实施
	王仙港排水入港	进行CCTV检测定位管段快检点位，进行修复	短期内可实施
	自来水溢漏	自来水公司原状管供水管进行检修排查	短期内可实施
	二三级部分支管管段漏水	开展水质水量连续监测，确定漏水点进行维修改造	短期内可实施
	小区出水排放	1. 开展对小区内管道方式下管道小区摸排，摸清小区内管道排水情况；2. 分区开展各小区出水口水样，摸清小区排水水质	逐步实施
南港黑臭河黑臭	南干渠、北干渠、王仙港、廖心塘、北干渠、王仙港合流片区	1. 另建污水主管，另进行雨污改造；2. 同步进行CCTV检测排查管段，摸清外水汇入点位	逐步实施
	南干渠溢流	另建污水主管接入下游管段，解决溢流问题	短期内可实施
排口污水直排入河		开展排口CCTV检测与截污	短期内可实施

- 依据排查诊断结果分短期内可实施项目、同步实施项目将项目清单提交设计单位对接，确定了同步点进行雨污分流改造的五片区；
- 经计算，短期实施项目完成后，进厂COD浓度可提升至80mg/L；对重点片区完成雨污分流改造后，进厂COD浓度可提升至110mg/L。

LIHERO

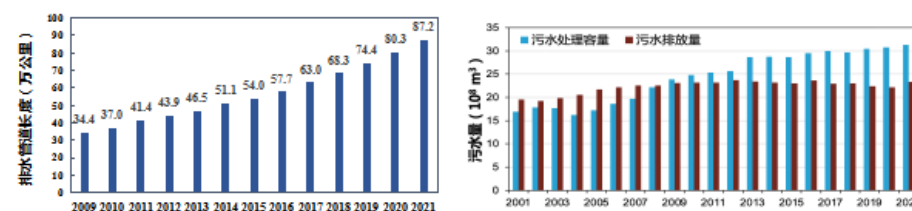
基于光纤分布式测温的排水管道入流入渗诊断技术

同济大学环境科学与工程学院教授 尹海龙

一、技术研究背景

随着城镇化的快速发展，我国水环境基础设施建设取得迅猛发展，但存在污水收集效率不高等问题。根源在于排水管网存在的各种缺陷，包括破损、错接、混接等造成的直排问题。

技术研究背景



我国排水管道总长度已达**87.2万公里**，污水处理量已超**2.0亿立方米/天**，统计污水处理率达**90%**以上。但按照污水管网收集污染量计算，实际污水处理率不足**70%**。

我国河长制实施成效考核方法评估研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(5):169-176.

要解决这些问题，需要科学诊断、找准靶点、精准施策，尤其要避免“老虎吃天、无处下口”。排水管网的诊断检测技术总体上分为两类：一是通常采用的物探检测技术，包括 CCTV 检测，声纳探测等。二是数字化检测，通过不断水、无干扰的技术手段来实现带水操作、定量解析、筛选区域、降低成本和精准施策。

技术研究背景



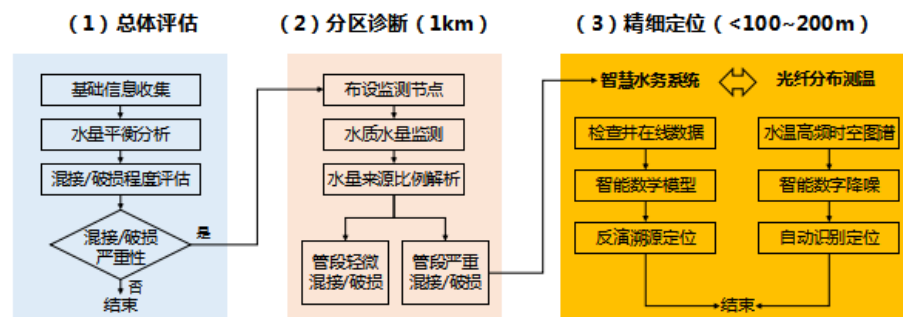
数字化检测：带水操作、定量解析、筛选区域、降低成本、精准施策。

从数字化检测的手段来讲，之前研究较多的是基于水量水质的分区诊断分析方法。技术体系的建立，是由整体到局部、逐渐缩小范围和逐步排查的思路，实施总

体评估、分区诊断、精细定位。

在分区诊断基础上，要找出管网问题点位，目前有两种方法，一是通过智慧水务的在线检测和模型反演。二是我们现在研究的光纤分布式测温方法，通过光纤的分布式测温，在不断水的情况下精准判断点位，旨在完善排水管网数字化诊断技术，解决带水运行条件下精准定位的难题。

技术研究背景



光纤分布式测温技术旨在完善管网数字化诊断技术体系，
解决带水运行条件下精准定位难题

二、国外关于光纤测温技术的研究进展。

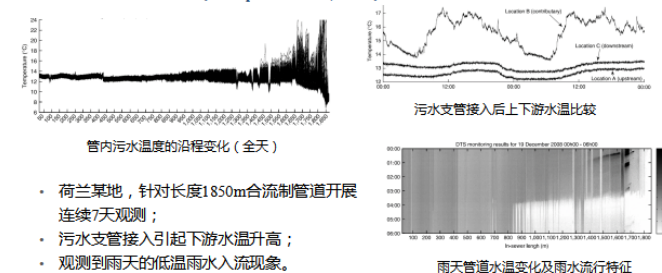
光纤测温技术自上世纪八十年代从英国发展起来，目前在重要电力设备和输电电缆升温预警，水坝隧道健康风险评估，石油输送管线漏损检测，地表水和地下水交换等领域都有应用。

在排水管道检测当中，首先把光纤穿线器将光纤穿到排水管道里，不需要封堵、清淤、降水的操作；之后通过激光发射器，在光纤中输送光信号——斯托克斯光；斯托克斯光遇到介质以后反射，形成反斯托克斯光；基于斯托克斯光和反斯托克斯光光强的相对强度，计算管道当中水温，水温异常点可能就存在混接、外水入流入渗等。监测定位的精准度较高，可以实现每隔一米和每隔一分钟的高频监测。

典型案例包括：

1. 荷兰某地针对 1.8 公里的合流制管道开展光纤测温观测
2. 荷兰雨水管道污水混接探测

● 荷兰某地合流制管道监测 (Schilperoord R P S, 2009)



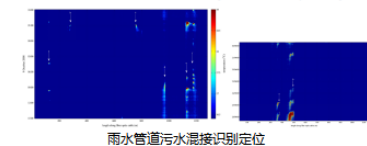
- 荷兰某地，针对长度1850m合流制管道开展连续7天观测；
- 污水支管接入引起下游水温升高；
- 观测到雨天的低温雨水流入现象。

Schilperoord R P S, Clemens F H L R, 2009. Fibre-optic distributed temperature sensing in combined sewer systems.

3. 管道外水入流监测

3. 国外研究应用

● 荷兰某地管道污水混接监测 (Hoes O A C, 2009)



- 荷兰Korendijk 4月(14天), 10月(2天), 1264m;
- 荷兰Groningen 6月(14天), 1160m;
- 污水入流检测灵敏度与管道运行水位有关；
- 排水管道中的温度波动明显大于满管流；
- 雨水入流的温度响应与季节相关。

Hoes O A C, Schilperoord R P S, et al., 2009. Locating illicit connections in storm water sewers using fibre-optic distributed temperature sensing.

从目前来看，这项技术在管网的应用有如下需要解决的问题。

3. 国外研究应用

● 污水管道外水入流 (Schilperoord R P S, 2013)



- 荷兰Woensdrecht 4月(14天), 1500m;
- 德国Wuppertal 8~9月(25天), 1200m;
- 大流量入流显示为明显的温度分段；
- 不同季节的雨水入流响应温度不同。

Schilperoord R P S, Hoppe H, et al., 2013. Searching for storm water inflows in foul sewers using fibre-optic distributed temperature sensing.

- 光纤设备运行时会产生噪音信号，如何识别光纤设备在管道中的噪音信号，排除对水温检测图像判读的干扰；
- 排水管道光纤时空高频检测产生大量的数据，如何对大数据进行智能判别分析；
- 如何分析管道水力运行条件对光纤检测灵敏度的影响；
- 如何基于排水管道光纤测温数据，对管道污水、雨水、地下水等入流入渗水量进行定量解析

三、国内的研究和实践

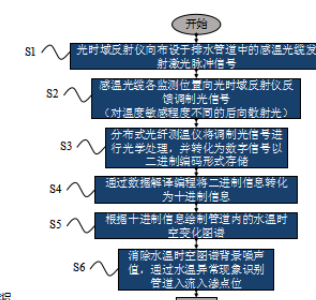
目前，主要围绕上述前两个问题开展探索性的研究。

1. 光纤测温可靠性验证

1 光纤测温可靠性验证



- 尹海龙、郭地天、胡震等：基于光纤分布式测温的污水管道入流识别方法研究，中国环境科学，2022，42(4)：1373-1374。
- 尹海龙、胡震、郭地天等：基于光纤分布式测温系统的雨水管道入流入渗检测方法，ZL 2021 1 0217427.7。



技术流程图

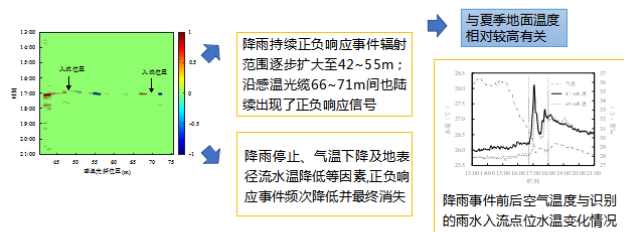
通过探索性的研究，首先建立一套技术流程体系，包括信号的感知、二进制信号的解译，水文时空变化图谱的绘制和判读分析等。

基于图谱，需进行降噪处理。最早采用人工方法，选一段预判没有受到外界干扰的区域，通过上下游点位的温差和概率分布来判断噪声背景值，大概是正负 0.2 度。降噪以后，通过图谱识别入流入渗点位。

连续监测 19 天，期间产生了降雨，通过水温变化，识别出有降水入流的情况。

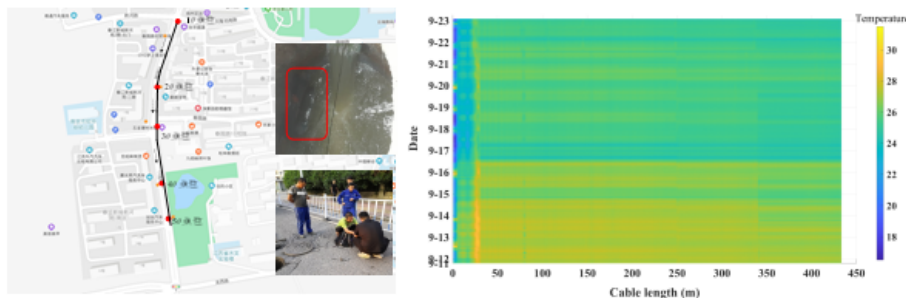
1 光纤测温可靠性验证

雨天污水管道雨水入流识别



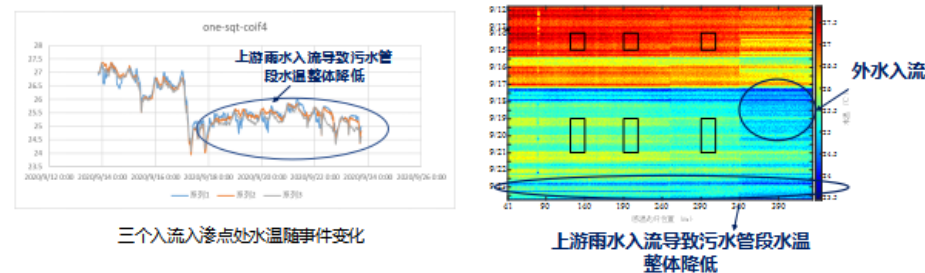
2. 南京市雨花台区江某污水管道检测。

南京市雨花台区JY路污水管道



研究了小波降噪方法。基于现场验证情况，再对 600 多万个数据进行降噪处理，综合判断。

该污水管段的主要问题是雨天上游有大量的雨水接入，造成整个污水管段的水温整体性降低。**重点不是污水管段破损，而是雨水接入。**



四、研究总结与展望

1. 光纤分布式测温技术能够通过对管道水温的时空高频监测，定位排水管道的问题点位，具有捕捉动态入流入渗问题的优势，并实现污水干管不断水条件下的低成本检测；

2. 管道水温数据判读前，应分析光纤设备的背景噪声值。小波降噪分析是一种有效的降噪分析手段，应合理选择小波分析方法。阈值调节方法为算法选择的主导因素，多级、单级阈值调节相比不调节的结果更为合理；

3. 光纤设备的背景噪声值约为 $\pm 0.20^{\circ}\text{C}$ ，上下游水温温差低于 0.20°C 时会造成问题点位判定的不确定性。

后续的研究方向：

进一步研究管道运行条件、入流条件对检测灵敏度的影响，分析管道的来水，入流入渗点位的流量占比、水温和检测灵敏度的关系。

这个技术除用于排水管网检测，还可做管道水热机制的研究，建立排水管网水温数学模型。将来从智慧水务角度，可在排水管网安装水温传感器，比水质传感器成本要低很多。

市政污水管网入流入渗智慧诊断与决策优化

北控水务投资有限公司资深专业经理 林岳

一、研究背景和思路

面对城市排水管网的突出问题，如雨后水量激增、浓度下降，导致污水处理厂效率低下和河道污染等问题，应用过多种手段进行系统诊断。但过程中也遇到了新的问题，比如外水诊断复杂，地下水入渗评估不够精细，降雨相关问题分析不够系统，以及全域治理后实际提升效果不明显等。我们认识到，需要更精准的诊断方式，更准确地去分析管网入流入渗等情况，以便及时高效地在运维管网的同时进行排水管网改造。

当前的排水系统诊断修复技术路线是采取问题导向的诊断方法，通过集中式的管网检查和水质水量调查定位问题，并提出一次性的不可拆分的解决方案集。这种方法在具体工作中往往面临挑战，如方案设计完成后，工程配套资金跟不上；想要少部分资金优先解决旱季水厂低浓度进水问题，但在设计方案里面没有答案，需要重新进行设计。更麻烦的是，期间发现水厂进水浓度比排查期间低了 20%，方案里面和前面的排查也都没有这个问题的原因。



我们认为，现有技术路线在应用过程中存在明显的缺陷：一是诊断不够全面，二是对变化的适应能力不足。为解决这些问题，必须对现行诊断修复路线进行优化，使其更加灵活、全面和高效。

就此，提出一个新的技术路线，能够解决不仅仅是当前的技术问题，还能在未来随时解决问题；同时，必须能适应排水系统监测数据不断更新，问题不断变化的需求。所以，改变一次性排查监测的模式，选择从影响因素的角度出发，以长期监测和模型不断迭代为基础，将诊断工作融入日常排水管理运营。排水系统诊断不再是链式的专业单位合作，而是由管网运营单位自主进行的长期监测和模型迭代，和管段排查的日常管理工作。



这个新技术路线的关键就在于利用大数据、精细模型和数据算法，以弥补人工技术分析在准确性和及时性方面的不足。基于新的思路，我们构建了入流入渗智慧诊断系统，包括两个部分：一是数字雷达，一个是数字孪生。数字雷达主要通过机器学习和优化算法实时进行数据分析，及应对海量监测数据的挑战。而数字孪生则是进一步学习和优化数据，将技术知识和专业经验通过算法进行固化，以满足长期排水诊断的需求。数字孪生也应用于日常的排水管理，利用模型复用诊断经验，通

过数据和排查结果计算检测和排查任务的优先级，并将数据和模拟成果用可视化的形式，降低运营管理难度。



整个系统的核心在于实际上是通过算法去累积经验，去弥补人工分析的不足，实现最终排水管理的智慧化。

数字雷达是整个系统的重点，为处理排水系统的海量实时数据而设计。它需要做的是在线分析数据，实时发现异常，并进行智能清洗，生成高质量数据集。构建数字雷达最大的挑战来自于当前排水监测设备具备极大的差异性，每一种设备都需要针对性的算法。

智慧诊断的部分算法是通过对数据特性的识别，将新水入流、排口入流、管段淤堵等事件进行分析，据此对设施健康状况进行动态评估。智慧诊断的挑战是数据具备随机性，受多因素影响，整个管网系统的演化结果存在极大的不稳定性，这就需要强大的处理数据能力。

二、初步实践

1. 入流入渗典型案例

项目位于北方滨海地区，总流域面积是 64 平方公里，排水管道总长 330 公里，雨后污水处理厂持续三到五天的高进水量是这片排水系统的核心问题。

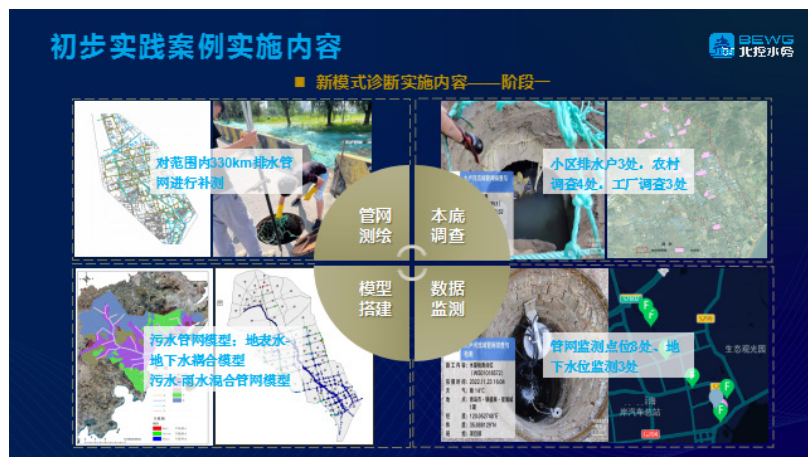
同时采用传统的诊断方式和新的诊断方式同步开展诊断工作。传统诊断主要就是现场的调查和系统的模拟。新的诊断主要是利用智慧诊断系统进行分析，通过对比两种诊断的结果，有利于我们理解新诊断技术的优劣势，并验证可靠性。

首先，根据传统诊断方案进行详尽的本体调查和分析，整个区域管网检测结果显示，管道缺陷率达 64%，旱季污水系统的外水占比高达 40%，在降雨期间，这个比例可以达到 70%。

综合排查结果，制定修复方案，需要修复全部的沿河主干管网和 21 个排水分区中的 4 个重点排水分区，预计可以排除 32% 的入侵外水，降低雨季管网越位 15 公分，整个工程的投资 2.5 亿。整段修复的过程是链条式的，分工明确、计划有序，但结论

也是一次性得出的，整个周期不到三个月。这一方案存在颗粒度比较大、资金投入也比较大的问题。

新的模式主要是从数字孪生角度出发，根据模型和算法的需求实时地进行监测要素的调整和优化。



在初期模型中发现，地下水的入侵量在整个区域存在不一致，就把地下水监测点从原来的一个增加到三个，后续监测数据进一步验证了地下水分布的时空不一致性，而且受降雨的影响极大。同时，现场的监测设备布置和现场排查工作也根据模型的分析需求进行了动态调整，以便模型能够更准确地去模拟和预测管网系统的运行情况，从而提供更有力的支持。

期间融合模型和入流入渗优化算法，我们创新了入流入渗点空间定位技术体系，除了常见的地表水和管网模型，在这个区域建立了比较精细的地下水模型，对地下水的特性进行了深入研究，整个地下水模拟范围达到 500 平方公里，是地表水模拟范围的 9 倍。

同时，利用实际的监测数据，对入流入渗的模拟结果进行合理性检验。整个过程与传统分析的主要区别在于，将管网缺陷和入流入渗进行管段级的精细模拟，这样不仅能模拟出整体条管网的入侵水量，还能模拟出具体缺陷点位的入侵量，以及入侵量和降雨、地下水之间的关系。

从整个系统来看，旱季的地下水主要通过支管进行入侵，而降雨后入侵的主要来源是主干管网的缺陷点。如果要解决低浓度进水问题，应该优先治理支线管网；如果要解决主干管网高水位问题，就需要针对主干管网进行修复。这一整体分析让修复更有针对性，并且提升后续治理效果。

在整个排查过程中，采取了现场排查验证措施，以增强模型的准确性。在模型计算出雨后入渗的重点管制段之后，在雨后对这些重点管制段进行 QA 排查，总共发现 4 处入侵点位，合计在雨后的入侵量达到每天 1.5 万吨，这些点位在普通管网检测过程中只会被视为一般结构性缺陷。

实地排查的结果验证了模型的准确性，同时也提醒在管网检测和维护的过程中，

不能仅仅依赖旱季的检测结果，而需要考虑到雨后的特殊情况。

诊断后，对修复方案采取了梯度修复措施模拟，对比各类修复方案的模拟情况，目标是优化最终的投资及修复方式。在最终的 270 个组合方案中发现，当整体修复比例不足 70% 时，地下水在各个缺陷点位之间进行转移，修复范围不完整是没有办法有效减少地下水入侵的。

具体来说，只修复上游，中游的地下水入侵量就会增大，而只修复中游，上游的入侵量也会增大，这表明有效控制入侵不在于修复了多少缺陷点位，而在于修复的范围。

对比从 70% 到 100% 的修复方案发现，100% 修复也其实并没有带来显著效益，对于减少地下水入侵的效果并不明显。所以最终选择修复高风险区域，在确保修复效果的同时实现投入和效果的平衡。

研究的目的是找到最有效的修复方案，为排水系统的维护提供决策支持，通过优化后的技术方法，用有限资金解决最紧迫的问题，实现最大化的效果。后续将不断地优化和迭代智慧诊断工具，期待最终实现的是将检测、监测和运维过程中所有产生的数据通过数字雷达直接转化为有价值的信息，更好地协调、诊断和修复的工作。

基于有机质荧光与分子指纹的管网混接及溢流污染溯源诊断

三峡集团上海院生态环保科技创新中心 陈浩博士

一、相关技术和问题

创新研发管网混接的高效诊断技术是现阶段提质增效工作中的重点需求，在实际工作中，现在主要采用的还是以物探和水质水量平衡分析的方法来完成混接溯源工作。

1. 主要使用的物探方法，如 CCTV 技术、声纳等，存在一些共性问题：如市场上仍然缺乏有效的淡水检测设备，在高水位和淤积情况下，物探手段操作比较困难，成本也比较高，尤其是在检测成像识别方面需要专业人员；另外在小管径或者在某些特殊管道内部构造条件下使用还存在挑战。

2. 总的来说，水质特征因子法是相对低成本，且能够大范围采用的一种可行方法。这种方法主要是通过不同市政污水来源的特征因子，结合流量图法或者化学平衡法来定性定量判断污染物的来源和污水组成，以此来确定混接问题。近年来，这种方法的研究也处于不断完善和发展中，新的切入点和研究思路也逐渐产生，但也存在一些挑战：如水质特征因子的选择相对比较单一；实际工作中，质量平衡的分析主要还是采用确定性的算法，如何推进不确定性算法模型的应用发展，尤其是克服现场数据缺失的问题，提高溯源的准确性，也是面临的一个问题。

因此，创新研发灵敏、高效、精准，能够解决高人力物力成本投入，指示信息局限以及不确定性较大等现状问题，实现系统性筛查和溯源诊断方法是现阶段提质增效工作的一个重要需求。

二、研究目标导向和内容

研究的目标导向主要是基于：关注河道水质提升目的→防汛泵站溢流污染源贡献框架；关注快速诊断与精准定位目的→管道混接筛查诊断；干线支线系统→水质水量平衡框架。

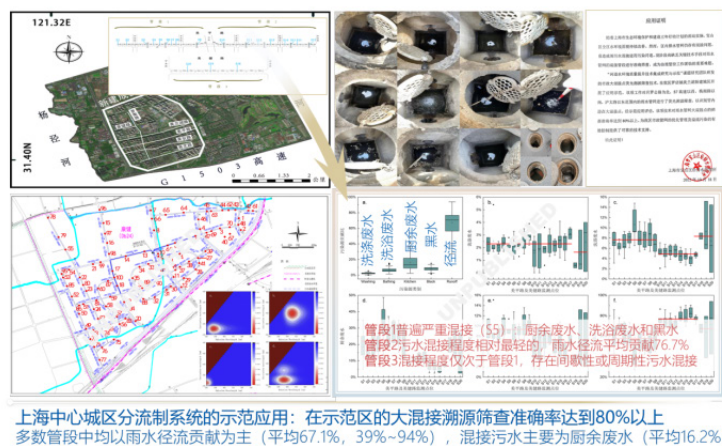
如今，市政管网系统大范围铺设已经大幅度改变了城市的水文状态，使得降雨条件下污染物的传输更为直接，受到的生物地理化学作用也大幅减弱，来源已经成为雨天溢流溶解性有机物的主要影响因素。

三位荧光光谱是当下常见的溶解性有机物表征技术，在水体有机物的污染表征方面有较大范围应用。三位荧光分析主要包含几个步骤：检测、数据处理、去散射、校正、平行因子分析、统计分析等，最后判定成分和前期的生物、地理、化学数据过程。

前期研究主要针对生活污水源通沟底泥和径流的大小类源，建立溶解性有机物荧光指纹数据库，及特征成分的荧光指纹和污染源列别的数学响应关系，形成量化指示体系。在此基础上，进一步结合水利水质模型和不确定性算法，对上海市河流支系统的溢流污染贡献进行量化追踪。

在上海中心城区分流制系统雨水管网示范应用中，通过物探对比，显示示范区的大混接溯源筛查准确率达到 80% 以上，整个混接污水主要是以厨余废水为主，平均为 16%。

3. 基于有机质荧光指纹的管网溢流污染/混接溯源诊断 ▶ 基于荧光指纹的市政混接点快速筛查方法应用



Chen et al., Water Research 190 (2021) 116670; Chen et al., Environmental Pollution 263 (2020) 114489

为响应上海“十四五”生态环境保护规划里对精准分析污染成因相关技术的要求和需求，进一步开发污染源水体溶解性有机物分子指纹量化指示关联和污染源指向性杂原子分子反推率定的二次溯源解析方法，打通污染源 - 混错接 - 溢流 - 河道的

整个体系溯源完整路径。

分子指纹溯源模型方法主要包括三个方面：检测和数据清洗；分子的匹配；基于不确定性的溯源算法。

前期研究中，针对纳管主要污染源和通沟底泥建立数据库，数据显示，溢流溶解性有机物是以碳氢氧硫为主，不同亚分类的污染源和溢流的差异主要表现在：含硫和含磷的杂原子分子以及脂类蛋白质以及化合物的占比；更重要的是不同源存在非常显著的不同标记分子。在此基础上，建立完整的溢流溯源方法，耦合了一些不确定性的算法模型。

在研究中，对某分流制雨水管进行溯源分析，溶解性有机物特殊分子式的溯源结果显示，大多数溢流样品溶解性有机物受到洗浴废水较高的贡献，达到 27.68% 到 64.43%，部分管段混接在部分点位中，黑水贡献也比较高。

机器人在管网设计修复及运维过程中的现状与发展

南京市政设计研究院有限责任公司副总经理 王威

一、管网排查机器人的应用现状

目前管网检测技术比较传统，是国外上世纪四十年代到六十年代的管网技术，我称之为“一台大车带一台小车”，作用就是吸纳清污，做 CCTV 检测，就是一个遥控车加一个摄像头。这个技术一直没有突破，因为发达国家的管网基本都建设纳入管廊，所以在检测方面要求不高。而我国管网复杂程度很高，我们不突破，这个技术就很难再往前走。



传统检测方法成本高，但只解决其中 30% 的问题，有 70% 的缺陷和病害无法实现检测和治理。主要问题分析如下：

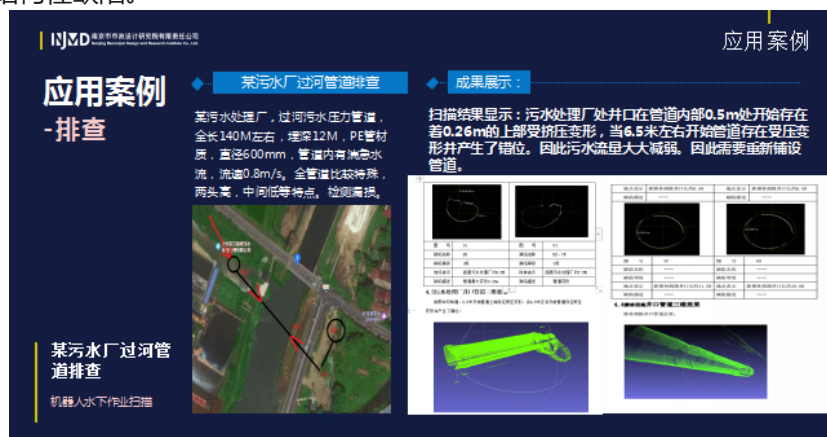
1. 大多数 CCTV 检测的执行结构都是轮式和履带式，无法满水和带压作业。
2. 传输导线长度有限，前后最长 200 米，没有办法对长距离过河入湖的管网进行检测。
3. 路由信号和 GPS 定位屏蔽，无法对管网，特别是盲管进行定位。

4. 缺少清障功能，遇到障碍物没办法。
5. 非开挖修复设备体积比较大，人车分流的小区基本上进不去，一些小的小区也没办法进。
6. 缺乏自动路由、识别、巡检功能终端，无法实时动态更新信息。
7. 缺乏完善的排查、分析、调度、联动管理的智慧平台，无法形成准确的资产一张网、智慧运维和数字化管理的长效机制

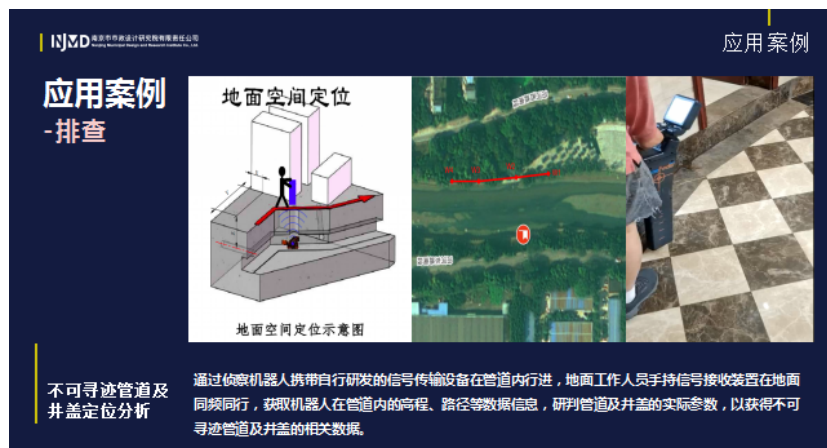
二、产品与应用案例

国家和行业对管网的排查、治理、长效维护的要求越来越高。现在需要能够解决那 70% 高难度复杂性问题的多功能机器人，要能带水作业；探头不再只是摄像头，应该有激光、声纳、雷达等；自动路由功能，能够长距离传输信号，能够在小型的人车分流的小区里面做非开挖修复，能够自动清淤、自动清碍等。对此，我们开展了研究探索，形成了一套机器人系列产品。

案例一，过河管道排查。针对声纳技术的不适应性，使用 4 个声纳探头，叠加用算法过滤掉干扰信号，检测结果很准确，在 6.5 米和 0.5 米处发现了管道功能性缺陷和结构性缺陷。



案例二：盲管排查。利用地震波原理，机器人在管道内传导震动信号，上面用声纳接收，实现管网定位、GPS 定位等功能。



案例三，污染源溯源。



三、是基于管道检测运维一体化的解决方案

总体上，城市管网长效运维的难点是：底数信息数据不全，信息集成共享不足，没有系统化的解决方案，管理技术缺失等。对此，提出排查、治理 + 数字化运维的综合解决方案。通过 11 种机器人产品的应用，能够治理，清淤、清障、修复，最后形成检测 + 修复 + 数据资产平台化一张网。这一平台能够跟环保、市政、管线以及委托、实施等各相关部门、机构联动。



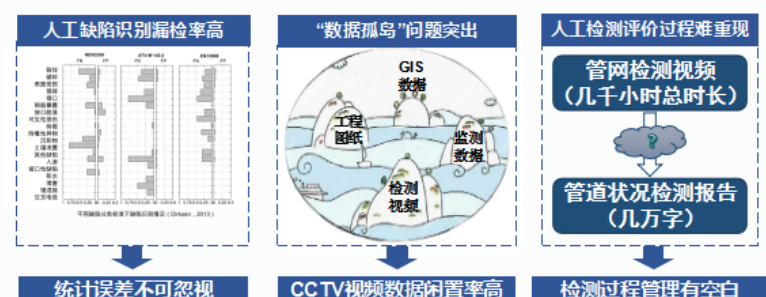
人工智能机器视觉技术在排水管道缺陷检测中的研发与应用

三峡集团长江生态环境工程研究中心 张弛博士

一、研究背景

整体上，在工程实践中，CCTV 的视频检测、缺陷检测，是摸清管网本体的一个重要手段，但在成果的提炼过程中存在很大的信息损失。具体到缺陷 CCTV 视频上，发现有三方面问题：关于人工缺陷识别的漏检率非常高，国外学者对比实验发现漏检率高于 25%；数据孤岛效应的问题非常突出，也就是说工程图纸 GIS 数据、监测数据、检测数据没有相互关联、利用起来；人工检测评价的过程不易重现。

1.2 现状问题



缺陷分析的结果复现难，准确性和可靠性有待提升，数据价值有待挖掘

二、基于 AI 的智能检测系统

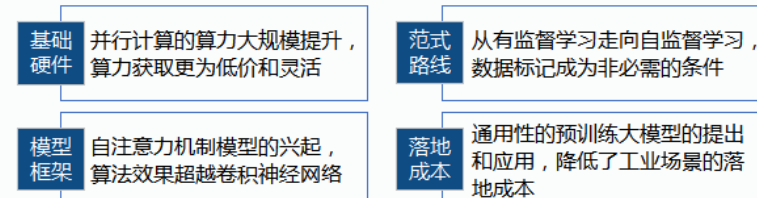
首先，机器视觉 AI 视觉任务的特点，基本上是从分类走到检测，再向分割最后走到三维的重建。但在实际工程实践中，很多时候必须得走到分割这个层次才能够解决分类的问题。另外，管网检测兼具室内机器视觉场景和室外场景的缺点，二者叠加，导致机器视觉技术在管网场景下的应用比较困难。

2.1 计算机视觉任务的特点

类型	分类	检测	分割	重建
目标	识别	定位	理解	测量
应用场景	室内场景		室外场景	
优点	识别目标特征差异大，目标观测距离较近，光照稳定		视野大，目标稀疏	
缺点	视角受限，存在较多弱纹理区域		视深大，光照条件、特征尺度变化范围大	

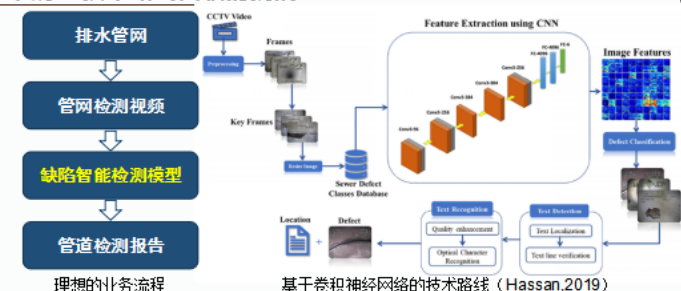
近五年，AI 技术已经实现迭代，体现在基础硬件、技术路线、模型框架、落地成本上。

2.2 近5年的AI技术迭代



研究思路是，希望在检测视频后，通过一个缺陷检测的智能模型能够直接生成检测报告，这是一个非常理想的业务流程。在对这个流程进行长期探索后，发现存在如下挑战：

2.3 常规AI技术路线面临的挑战

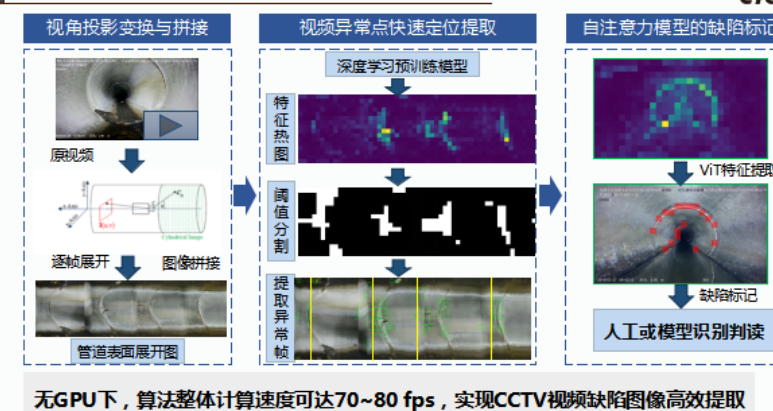


1. CCTV图像特征提取困难：场景具有弱纹理、大视深、视野受限的特点
2. 视频数据处理分析效率低：实时性不一定满足检测分析的需求
3. 卷积神经网络具备位移不变性、一定的尺度和旋转不变性，常规数据增强手段难以同时学习到检测场景中的空间特征（定位）和边缘特征（分类）

对此，提出一套基于 AI 模型对排水管网检测业务优化和提升的技术路线。

首先，对检测视频进行比较强的预处理，对检测视频进行投影的变换、拼接，生成管道展开图；在此基础上应用视觉自注意力模型，快速提取异常点位；检测出异常位点后，再利用自注意力模型进行缺陷标记；最后可以用人工判读，也可以用模型判读。

2.4 基于AI的排水管网检测系统研发框架



其中，通过展开图，一是实现了视频数据的直观化展示以及数据压缩；二是把图象特征的观测尺度固定，使得整个图象的梯度信息比较好提取，有利于机器视觉

任务的开展；三是保留记录了机器人运动稳定性的信息，我们直接能够进行视频质量的检测评估。

关于异常检测如何进行快速定位的问题，直接采用一套视觉自注意力的预训练模型进行提取，主要具有三个特点：特征提取同时保留场景的分布与边缘特征，空间分布跟它所代表的分类信息都能够保留；可直接对展开图一张图进行自动识别提取；保持比较快的推理速度。

关于检测特征提取模型的研发，利用上述自动提取模式，在 1TB 的视频数据里提取 20 万张缺陷图像，提取到的管网缺陷位点，包括底部存在的障碍物等，效果比较好。

关于现有评估业务的流程优化应用，先从排查视频变成管网排查图，之后进行 AI 模型的检测提取，再进行模型的判读，最后，人工确认生成检测报告。我们认为，这样一个流程是可行、易落地、能够实现完整自动化分析的，但是依然存在两个问题：检测作业和评估作业的分割和不连续性，数据孤岛的问题还是没有改善。如何提升存量 CCTV 检测视频的数字资产价值？这是开展第二阶段数字孪生技术探索的出发点。

三、检测视频的数字孪生

综合考虑排水检测的技术条件，包括环境场景的特点，视觉的三维重建是比较优选的路线。

3.1 传统三维重建技术路线的特点

方法	激光雷达	机器视觉
原理	激光探测和测距+采集大量环境点云+生成环境的三维模型	运动回复结构+稠密点云重建+表面重建+纹理贴图
优点	主动视觉，可测距，不受环境光的影响，检测精度高	成本低，视觉信息丰富，计算效率高
缺点	重建成本高，缺少颜色信息	相比激光三维重建，精度上处于劣势，照明条件限制

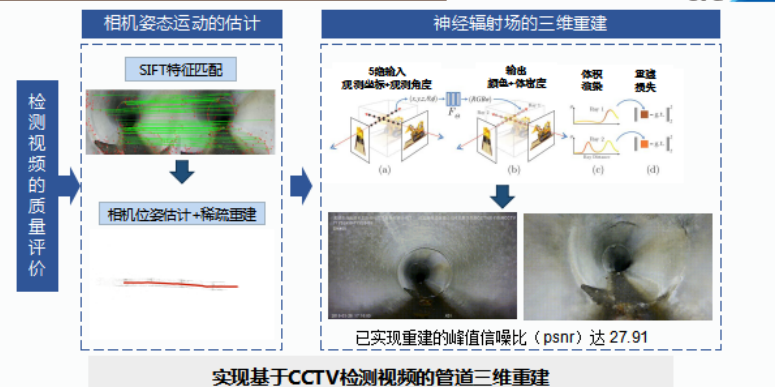
综合排水检测的基础条件和环境特点，
视觉三维重建是排水系统场景的优选方法

基于神经辐射场模型，能够从单管网、检查井到管网进行三维重建，同时收集三维缺陷点云数据，基于大型神经辐射场三维重建技术，能较好推动排水管网实现真正的数字孪生资产建设。

场景 1：直接用 CCTV 视频进行排水管道数字孪生三维场景重建。左侧是原始的视频，右侧是数字孪生生成的视频，可以实现三维场景的漫游。

场景 2：箱涵场景三维重建。最大优势在于重建成本较低。

3.4 基于神经辐射场的排水管道数字孪生

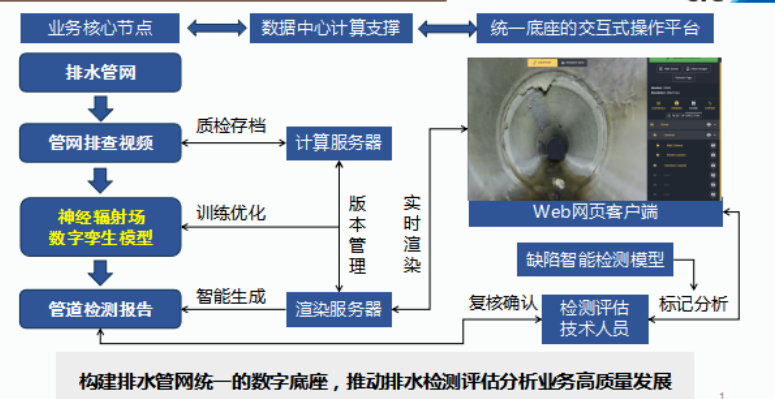


3.5 排水箱涵的低成本三维重建技术应用

来源	箱涵检测原始视频	神经辐射场模型
读取模式	视频软件，进度条控制	漫游渲染、自定义路径渲染
容量大小	因时长而异，包含大量无效片段	1080p重建模型190MB，模型固定体积
质量优化	不可调，可降采样，不能提升图像质量	可通过机器视觉技术改善位姿估计和视角合成效果

10米的检测视频重建训练约8小时，计算成本约1000元/公里，
有望大幅降低现有的箱涵三维重建成本

3.6 排水检测的新业务模式探索



基于神经辐射场的模型，我们对业务进行重塑，可以直接从排查视频做到数字孪生，在数据中心计算资源的支撑下进行实时的交互跟确认标记。检测技术人员在统一的数据底座、统一的三维数字孪生模型基础上进行标记，就如同大家协同标记一个 word 文档，未来这样一种工作模式下，排水检测评估的结果应该质量会比较高。

四、技术展望

在数字孪生技术体系下，未来排水管网检测在四个方向上值得考虑：

1. 检测作业。视觉三维重建的检测设备核心还是需要机器人的轨迹姿态比较准，现在没有机器人轨迹姿态，重建起来确实比较慢。
2. 缺陷检测。要做三维场景，不是只做二维视觉的缺陷检测。
3. 系统诊断，现在只能实现从视频到管道，但是从管道到管网的评估技术目前缺失。
4. 集成平台，基于数字孪生技术怎样建立好管网检测业务平台也是关键点。

排水管网检测智能识别研究及应用

武汉中仪物联技术股份有限公司副总经理 冯成会

一、技术初探：AI 技术应用尝试



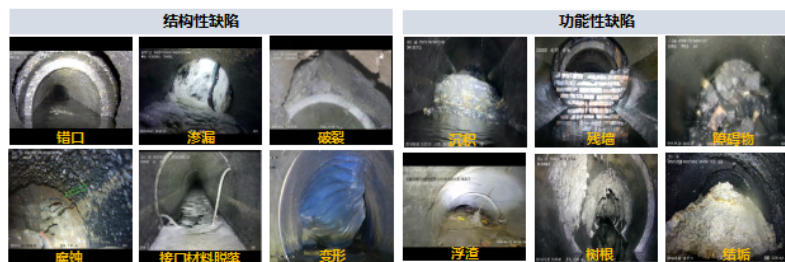
二、现有成果

1. 建立管道缺陷样本库。目前有 18 万张缺陷的样本图片作为训练集，在测试集方面有 3TB 的检测视频，而且在进一步扩大数据的收集和整理。



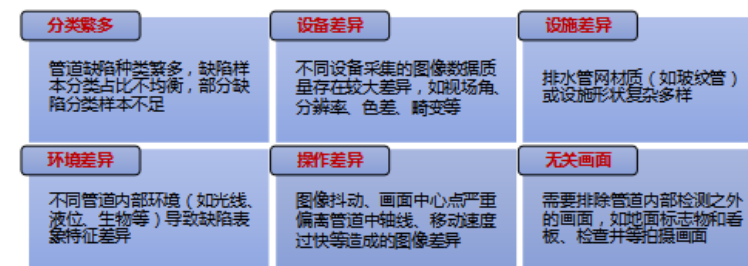
2.1 管道缺陷样本库建立

- 截止目前，已积累 18 万张缺陷样本图片做为模型训练数据集，收集 3TB 管道检测视频做为测试数据集，并持续扩大收集和整理数据。



2. 模型训练和算法研究。汇总出六类主要问题

2.2 模型训练与算法研究



- 训练集中每个分类至少应有 1000 张图像，且样本图像的质量也很重要，使用相同环境中拍摄的较少量的图像训练模型，比使用大量不太具代表性的图像得到的结果更好。此外，数据增强也很重要，可通过随机裁剪、旋转、增亮或扭曲原始图像来增加训练数据。

针对典型问题，首先，每一个缺陷分类至少要输入一千张样本图片，除了数量要求外，样本图像质量也至关重要，一定要选择非常有代表性特征的缺陷样例图片作为样本。对于部分不均衡的分类图像样本，可以利用现有少量的缺陷图像进行一些尺度上的变化，增加训练数据集数量。

在管道内部进行检测时，有可能因为设备差异，比如有些设备前置防撞杆会出现在画面里，镜头在旋转或侧面拍摄时候会拍到轮胎，包括页面的一些光照的反射，甚至是管道内部动态的生物等等，也都会对模型训练和算法的识别造成很多干扰。

2.2 模型训练与算法研究



经过一系列研究，目前已经能通过算法把无关画面剔除掉，实现部分缺陷的像素级分割。进行批量调用测试后，目前整体的平均准确率达到 77%，召回率已经 90%，召回图像的冗余比例控制在大约 1:3，效果不错。

3. 缺陷智能识别系统构建

为了把模型和算法落地、应用，打造了智能排水管网评估的子系统。在子系统上，首先通过提供在线 AI 智能识别功能，能够多人协同评估，最后也能通过平台来审核和报告输出。在常用的评估报告软件里面增加了数据同步和智能分析功能，可以在

线调用系统平台的算法。调用算法后，我们会看到画面出现一个 AI 标识，人工再去审核、评级，相对传统人工评级效率显著提高。

三、新的方向

目前 AI 技术在管道缺陷识别上取得了初步成果，但在内部测试和小范围试用中发现，效果并不十分理想。如前面讲到 16 类管道缺陷里有 14 类，需要在分级时提供量化指标依据，现有检测方式达不到，完全靠人工经验，即使调用 AI 技术，也无法做到比较精准的评级。因此，又对全景激光量化检测开展研究，希望为修复、设计和检测评估提供参数依据。

排水管网检测智能识别研究及应用-新的方向

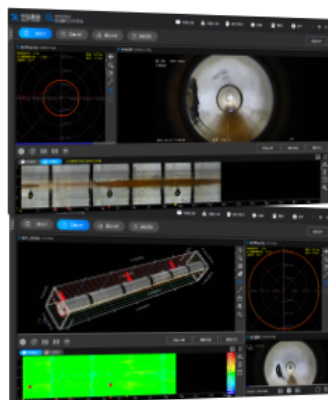
全景激光量化检测

- 管道检测与评估技术规范中对管道功能/结构性缺陷进行了详细的分类和分级，定义的16类管道缺陷中，有14类管道缺陷的分级评定需要具体的量化指标，包括：变形率、弧度、管道直径、管壁厚度、沉积厚度、起伏高度、管口偏差距离、脱节距离、支管接入长度、漏水面积、漂浮物面积、水面面积、过水断面面积、过水断面损失率等。
- 传统CCTV检测受限于摄像视角约束，不够全面直观，仅凭人工经验评估判读管道缺陷，无法进行定性、定量。即使采用图像特征训练管道缺陷识别模型，通过AI软件技术来进行缺陷评估，可以做到准确定性，也仍然无法准确定量。
- 量化检测与评估结论为修复设计计算提供了管道变形率、最小内径、最大内径、平均内径等参数依据，提升了管道养护、修复决策方案的准确性与合理性。

$$I = \frac{D_0 - D_m}{D_0} \times 100\% \quad (5.3.3-1)$$
$$C = \left[\frac{D_0 - D_m}{D_0} \right]^2 \quad (5.3.3-2)$$
$$q = 1000 \times \frac{D_0 - D_m}{D_0} \times 100\% \quad q = 1000 \times \frac{D_0 - D_m}{D_0} \times 100\% \quad (5.3.3-3)$$

式中：I——管道变形率；
C——管道变形率平方；
q——管道变形率平方乘以1000；
D₀——管道内径（mm）；
D_m——管道最小内径（mm）；
D——管道内径（mm）；
D_m——管道最小内径（mm）。

采用 CCTV 搭载激光雷达与全景镜头进行量化检测，构建管道实景三维模型，准确判定和量化缺陷指标（包括细微裂缝的识别和测量），实现管道变形率计算和沉积状况分析，为检测评估和修复设计提供参数依据。



- 融合检测分析
融合激光雷达、全景镜头、声纳、慢导等传感器，采集生成的检测视频、轮廓图、全景图、色谱图、三维模型等可进行时空联动分析，支持关联截图用于报告输出。
- 三维成像建模
可建立实景三维管道模型，导出OBJ格式可用于BIM系统交互展示。
- 量化评估分析
支持在轮廓图、全景图、色谱图和三维模型中测量直径、直线或曲线长度、面积、体积等，测量标注可在各视图中相互映射叠加。
- 智能缺陷识别
可根据全景图或色谱图特征，智能识别缺陷，自动提取和填写缺陷距离、长度、时钟方位等。

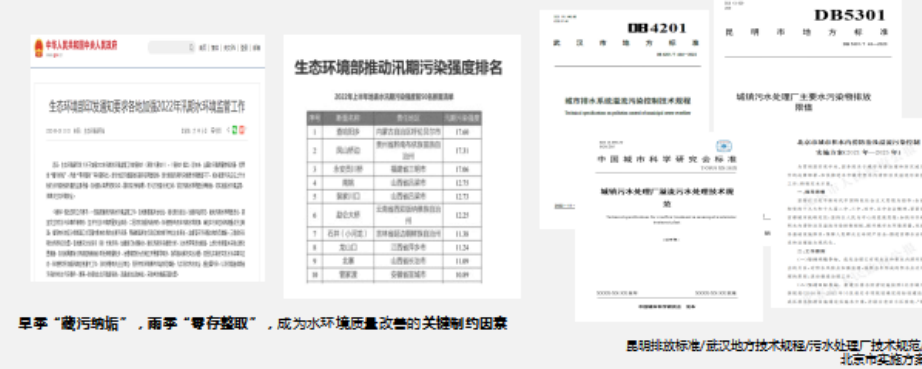
城镇污水处理厂溢流污染控制技术研究

中持水务股份有限公司副总经理 高志永

近年来，国家发布各种政策，将溢流污染控制提到一个新的高度，包括 2022 年年初，行业主管部门对汛期污染强度进行排名，倒逼地方政府在汛期进行事前溢流控制，保障断面水质。

溢流污染控制成为行业热点

《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》明确“溢流污染控制”和“溢流污水净化设施的建设”是未来污水收集处理提质增效补短板、强弱项的重要内容。



一、溢流污染因素解析

通过国内外比较，我国城市人均污水产生量高，但是稀释的倍数和国外相近，说明污水外渗量大。

管网稀释情况（稀释倍数）

表 3 部分欧洲国家和中国的人日均综合用水量、人日均污水处理量、人日均(混合)污水量及污水 COD 浓度等相关数据 Tab. 3 Specific water consumption, treatment and COD concentration of sewage in Western Europe and China								
国家和地区	人日均污水产生量 ^① /[L·(人·d) ⁻¹]	人日均污水处理量(据污水厂记录) ^② /[L·(人·d) ⁻¹]	人日均(混合)污水量(由式 2 计算 DF 计算) ^③ /[L·(人·d) ⁻¹]	人日均外水量 ^④ /[L·(人·d) ⁻¹]	稀释倍数 ^⑤	理论最高污水浓度 (mg COD·L ⁻¹)	污水 COD 浓度 (由式 2 和 4 计算值) /(mg·L ⁻¹)	污水 COD 浓度 (报道值) /(mg·L ⁻¹)
奥地利 ^[24, 28]	135	200	195	65	1.5	889	615	602
苏黎世 ^[7, 41]	160	320	300	160	2.1 (2.0)	750	375	399
德国：分散制系统 ^[42]	117	134	129	17	1.1 (1.1)	1025	896	947
德国：合流制系统 ^[42]	123	237	233	114	1.9 (1.9)	975	513	522
北京 ^[14-20, 36]	234	240 ^⑥	235	<0	1.0 (1.0)	512	511	510
长三角一城市 ^[21, 36]	255	247	428	173	1.7 (<0.1)	470	280	280
珠三角一城市 ^[14-20, 36]	371	502	663	292	1.8 (1.4)	323	180	181

注：①在污水全收集条件下，等于人日均综合用水量(SCWC)，中国案例的用水量不包括由于供水管网漏造成的水损失。②奥地利和德国的人日均污水处理量(SRW)数据基于人口当量(PE)，其余数据基于居民数。③文献[1, 25]中数据的平均值。④没有括号值由式(2)计算；括号中的稀释倍数是根据污水处理厂记录的处理量作为人日均(混合)污水量(SRW)由式(1)计算。⑤业地等，中持水务，2022，《改造当前国内污水管网需综合考虑的四个因素》

国外污清比（污水处理量和用水量之间的比例）是 2 到 3 这样一个尺度，但是国内污清比为 1 到 1.2，污清比偏低。而污清比低就导致的溢流污水量多，在水环境

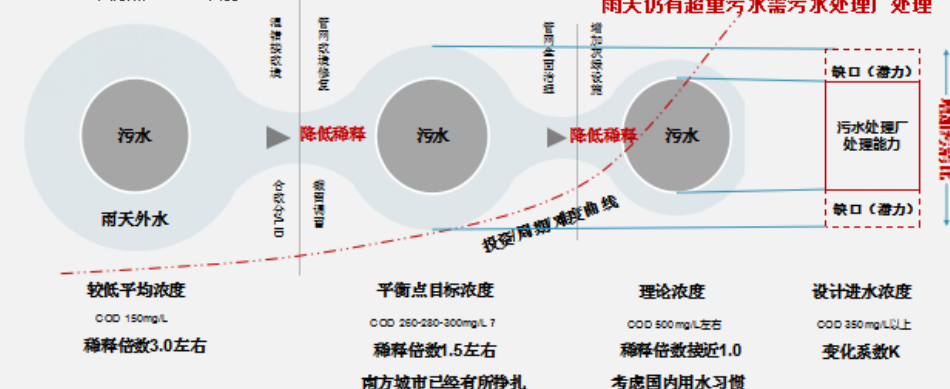
治理过程中，是一个很大的缺项。

对污水处理系统做了一个包含投资、实施难度等的综合分析，发现考虑取一个相对的居中点，可能比较容易实现。这就需要在污水处理厂深度挖潜，让污水处理厂的处理能力得到尽可能的提升。

管网溢流污染控制合理作用区间？

降低稀释倍数vs增加污泥比

平衡点：COD浓度



二、城市污水处理厂溢流污染控制技术

我们和清华大学一起成立绿色基础设施研究中心，围绕溢流污染控制开展大量科研工程实践，形成一系列溢流污染控制技术，重点介绍四个方面的技术。

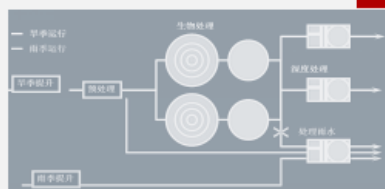
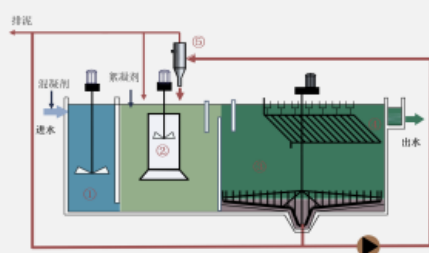
1. 多效澄清技术。可作为一级强化工艺的重点内容，尤其在应急处理、城市黑臭水的快速治理等，有比较好的应用空间。

技术及实践：多效澄清技术

■ 技术特征

多效澄清通过投加高效絮凝剂载体，形成高密度大体积的均匀絮体，实现絮体与水的高速分离和去除，是当前最先进的加药沉淀分离技术。

多效澄清对溢流污水直接进行高效的物理强化处理，可在10min内实现对颗粒性COD、SS和TP等主要污染物80%以上的去除率。



■ 适用场景及优势性能

作为一级强化处理工艺重点去除COD、SS、TP，也可作为后端处理工艺，进一步净化二沉池出水或生化段超越二沉池出水。

多效澄清技术兼有各种加药高效沉淀的特性：
出水水质好、抗冲击能力强、占地面积小的优点，综合性能最优。

2. 生物吸附技术。对污染物进行快速吸附，实现有机污染物高效转移，可以作为补充碳源，同时也可协同有机废弃物进行有机生物物质能循环利用。

3. 生物加载强化技术。通过生物池里增加载体，提升生物量；增加有机负荷，提高氨氮和总氮削减能力，提高泥水分离效果；增加二沉池表面负荷，保障雨季多倍生化处理能力的沉淀效果。

技术及实践：生物吸附多效澄清技术-BioSand S

活性污泥吸附结合多效澄清形成的针对雨季溢流污水的快速生化处理技术，
适合雨季合流制污水水质水量变化大、处理要求高的需求。

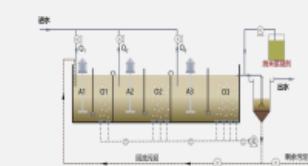


4. 纳米絮凝原位扩容技术。通过纳米絮凝药剂实现二沉池能力大幅度提升。

技术及实践：纳米絮凝原位扩容

■ 技术特征

保障污泥减量条件下，提高系统处理流量的限制性因素是沉淀。高效纳米絮凝剂通过利用金属氧化物纳米颗粒与特殊电荷有机载体结合，使其具有在极低剂量的条件下具有高效的絮凝沉降速率。通过在现有处理系统投加纳米絮凝剂，大幅度提高二沉池分离能力，在原出水标准不变的前提下，保障雨季混合污水处理能力大幅提升。



■ 典型优势



- 典型性能：二沉池3Q以上的沉淀能力、优化药剂投加量
- 形成装置：自动投加装置、高效反应装置
- 分离效果：SS < 10 mg/L
- 适用场景：所有泥法的沉淀分离

三、实践案例

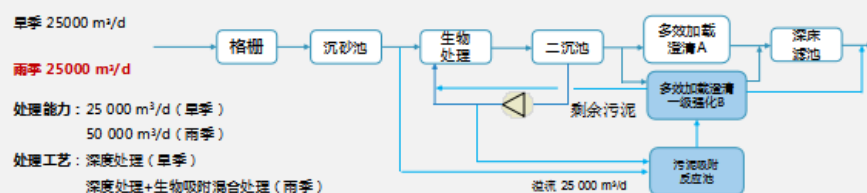
案例1：河南息县项目充分应用雨季溢流污染控制技术，实现雨季2倍Q能力的提升。

案例2：河北献县停产改造项目。整厂规模4.5吨、三条线，一期3万吨基本处于停产状态，用二期1条1.5万吨处理线实现4.5万吨污水处理的正常运转，实现3倍Q处理能力提升。

技术及实践：生物吸附多效澄清-BioSand S

■ 河南息县三污雨季溢流污染控制2Q处理改造

实验序号	污泥浓度 (mg/L)	吸附时间 (min)	PAC (mg/L)	PAM (mg/L)	COD (mg/L)	SSO ₄ (mg/L)	浊度 (NTU)
1	0	/	0	0	460	255	978
2	1600	10	200	5	84	14	8.4
3	1600	25	200	5	74	11	6.7

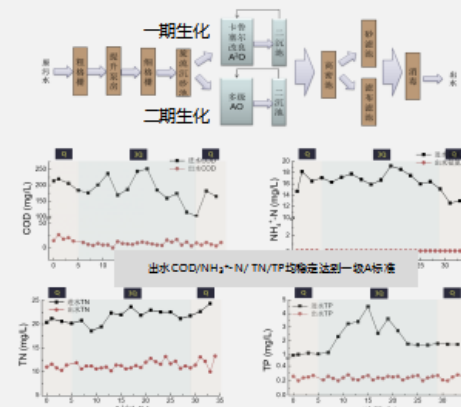
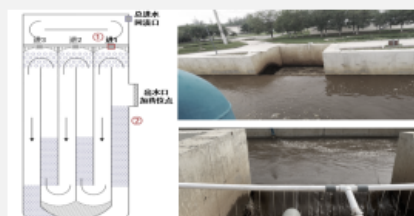


技术及实践：纳米絮凝原位扩容技术

■ 河北献县污水处理厂停产改造3Q处理

设计处理规模为4.5万吨；生化段一期为3万吨；二期为1.5万吨。

1 一期停产，二期超量进水 2 生化池末端投加纳米絮凝剂
3 曝气量：DO 2~5mg/L 4 外回流：维持80%



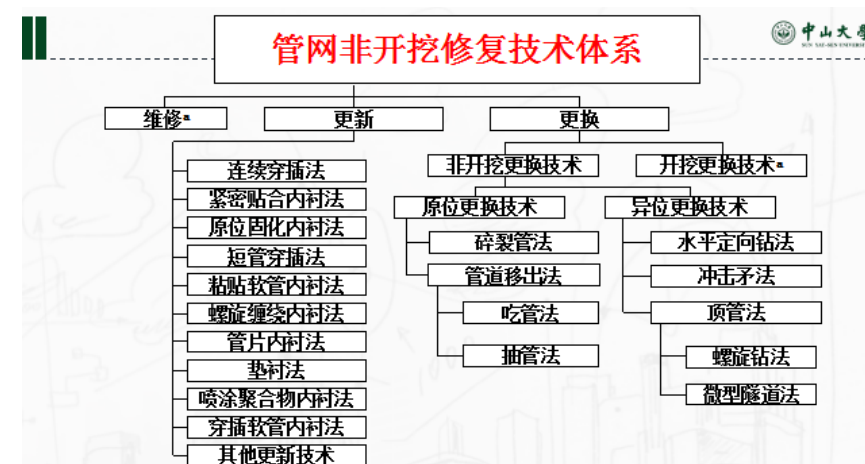
结语：溢流污染控制是将来水环境治理的一个关键点，是一个系统工程，离不开管网系统的调查，包括智慧的联动，最终实现源、厂、网、岸的溢流污染控制的组合技术。

排水管道非开挖修复技术及质量管控

中山大学土木工程学院教授 马保松

一、非开挖管道修复更新技术

根据 ISO 标准分类体系，把非开挖修复技术分为两类（不包括非塑料类的修复方法），一类是更新，一类是更换。更新就是在原有管道里面做内衬，更换就是把原管道置换成新的管道，包括十几种技术。



1. 原位固化法（CIPP）管道修复技术

原位固化法 Cured-in-Place Pipe-CIPP

- 原位固化法（Cured-in-Place Pipe-CIPP）是指采用翻转或牵拉方式将浸渍树脂的软管置入原有管道内，固化后形成管道内衬的修复方法。
- 按照软管进入原有管道的方式不同，可将CIPP分为翻转式和拉入式两种工艺。
- 软管的固化工艺目前包括：热水固化法、蒸汽固化法和紫外线固化法。
- 适用管径：光固化2000mm，水翻2800mm。

CIPP 较早引入国内，大概在上世纪九十年代开始使用。目前有两类固化方法，一类是加热固化，一类是光固化。使用光固化技术目前最大管径可以做到 2 米。光固化在 2010 年开始引进国内，现在正逐步成为主流。光固化技术在整个工艺过程中，各种工艺参数，包括固化质量可以实时进行监控，质量有保证；使用玻纤增强材料，管壁比较薄。

2. 热塑成型法非开挖管道修复技术

原位热塑成型技术特点是使用改性 PVC 材料。这个技术有很多优点，过弯能力、抗震能力比较强；材料加热后非常柔软，便于修复的管道穿入以后在两端封堵通入热蒸汽，把它塑造成和原管道形状一致，就做成了一个新的内衬管道；如果操作失

败可以重新加热，变软后拉出来重新做。

在排水管道领域是性价比较高的一种技术，特别是在中小管径，300 到 600 毫米之间，非常成熟。国内目前已处于国际领先水平，管径最大可做到 1 米 2，原材料均国产。

3. 离心喷筑管道修复技术



主要适用于管道纵向裂缝、腐蚀、钢筋裸露等加固修复。最早 1986 年在美国用于检查井修复，后来推广到水平管道修复。在检查井修复技术里，个人认为这是目前最好的技术。因为速度比较快，结构性好。2014 年国内开始引进这个技术，国内目前很多单位都自主研发成了相关材料和装备，现在国内大管径如管涵修复，特别是混凝土管道修复方面很有前景。

4. 碎裂管法管道置换技术

很多管道病入膏肓，承载不了内衬管，要修复更新没有依托是不行的，只能把它原来的系统打破做一个新的管道。这里有两种工艺，一种是用大吨位冲击力的气动冲击工具，把原管道破碎，后面拉入修复的管道，主要是脆性管道，如铸铁管。

5. 主要技术对比

工法	管径/mm	单段长度/m	断面损失	材质	主要优缺点
CIPP	100-2000	翻转式：<600 拉入式：<250	小	复合材料	a) 管道整体强度高； b) 内衬管壁厚不可逆； c) 可用于管道结构性修复。
FIPP	100-1200	<200	小	U-PVC	与原管道紧密配合关系，可做结构性修复。
纤维增强软管	100-800	1500	小	复合材料	承受内压能力强，但不能承受外压，只能做半结构性修复。
水泥基砂浆喷涂法	300-3000	300	大	水泥基砂浆	与混凝土管道结合良好，内衬要承受内压时，需要配筋。
薄壁不锈钢内衬法	800-?	1000	小	不锈钢	承受内压能力优异，但不能承受外压，承受负压能力非常弱。
PE内衬管配合法	200-1500	500	较小	HDPE、MDPE	a) 能有效控制管道过流断面损失，内衬承受内压能力有限； b) 不能改变原有管道坡度； c) 可用于结构性修复。
碎裂管法	50-1000	<250	可扩径	HDPE	a) 管道整体强度高； b) 内衬管壁厚不可逆； c) 可用于管道结构性修复。

二、非开挖修复工程质量控制

要讲质量控制，首先要看标准。行业最高的还是 ISO 标准，现在 ISO 标准已经发布 24 部关于非开挖修复的标准，还有 1 部正在制订。另外一类标准是美国的 ASTM 标准，在世界范围内也有比较高的认可度，已经发布了 56 项相关标准。

3. 国内非开挖管道修复标准

1. 国家标准 GB/T 37862-2019 《非开挖修复更新用塑料管道 总则》
 2. 国家标准 GB/T 41666.3-2022 《地下无压排水管网非开挖修复用塑料管道系统 第 3 部分：紧密贴合内衬法
 3. 国家标准：地下无压排水管网非开挖修复用塑料管道系统 第 4 部分：原位固化法
 4. 国家标准：地下无压排水管网非开挖修复用塑料管道系统 第 7 部分：螺旋缠绕内衬法
 5. 国家标准：地下供水管网非开挖修复用塑料管道 第 1 部分：总则
1. 国家工程建设行业标准 CJJ/T 147-2010 《城镇燃气管道非开挖修复更新工程技术规程》
 2. 国家工程建设行业标准 CJJ/T 210-2014 《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》
 3. 国家工程建设行业标准 CJJ/T 244-2016 《城镇给水管道非开挖修复更新工程技术规程》

在修复的过程中经常会遇到一些质量问题，如修复后管道发生内衬的塌陷，CIPP 内衬也经常会出现很多皱褶、内衬结构壁本身开裂，不密实；还有做完以后很短时间内发生结构坍塌的。

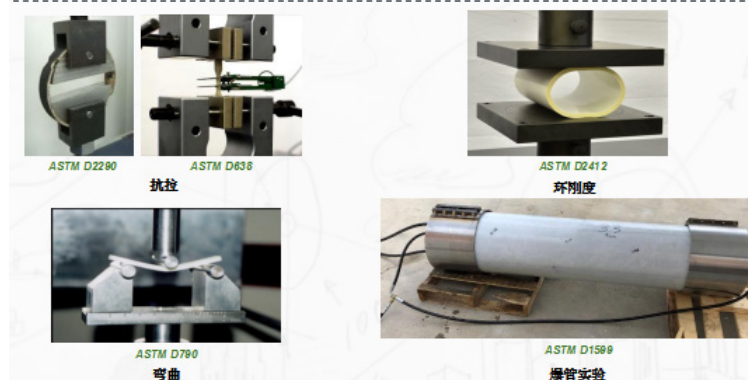
原因简单总结为：

1. 工法选择不合理，设计内衬强度不够。
2. 施工单位不按设计要求购买管材，偷工减料，如壁厚达不到要求等。
3. 施工工艺控制不当
4. 不按要求取样

现在一些施工单位没有按照设计要求进行购买管材，比方设计 12 个厚度，买管材就买 6 个厚，因为省钱。送检还肯定合格，因为它实际用的产品和送检的样品不一致，这个情况是非常严重的。

质量检测方面，既需要关注材料的短期性能，更要关注长期性能。现在 CIPP 国标里要求厂家必须提供长期性能的指标，这样便于设计院来计算，50 年后管道的情况。

短期性能测试



紫外光固化点位修复技术

中国化学工程第十四建设有限公司原副总工程师 易小萍

公司 15 年来一直致力于城市污水管网的施工和修复工作，在城市管网修复领域取得了一些成果。针对传统修复方法固化时间比较长，耗时耗力，材料性能有待提高等问题，研究探索了紫外光原位固化修复技术。

一、施工工艺流程



二、施工工艺要求

- (1) 内衬管长度：应能覆盖待修复缺陷，且轴向前后应比待修复缺陷长不应小于 200mm。当裂缝纵向长度超过 0.2m 时应修复 2 环。
- (2) 修复材料安装应符合下列规定：
 - ① 修复材料应绑扎在可膨胀、内部装有紫外光等的气囊上，气囊应由弹性材料制成，并应承受一定的水压或气压，应有良好的密封性能；
 - ② 气囊的工作压力和修补管径范围应符合气囊设备规定的技术要求；
 - ③ 可通过小车将修复气囊运送到待修复位置，CCTV 设备实时监测、辅助定位。
- (3) 由于紫外光照射加速气囊老化，因此需定期更换气囊外膜。
- (4) 修复材料的膨胀及固化规定：
 - ① 施工时，气囊宜充入空气进行膨胀
 - ② 气囊内气体压力应保证软管紧贴原有管道内壁，压力应控制在 0.08MPa~0.20MPa 范围；
 - ③ 固化时间根据管径大小、管壁厚度、光照强度调整；
 - ④ 固化完成后应缓慢释放气囊内的压力。
- (5) 点状原位固化法修复施工中应做好气囊压力、固化时间等施工记录。

三、材料要求

1. 紫外光局部修复技术所用材料主要包括玻璃纤维布，玻璃纤维布应选用耐化学腐蚀的 CER 级别及以上的玻璃纤维布，常用玻璃纤维布克重为 1050g/m² ~ 1400g/m²。采用硅酸盐树脂时，其配比混合料性能指标应符合下表的规定，

且符合《城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收规程》(T/CECS 717 - 2020) 相关要求。

2. 厚度要求方面，根据管径、地下水位深度、材料弹性模量，根据公式计算。
3. 紫外光固化材料是在加工厂灌制，用避光材料包装到现场进行施工用。

四、施工质量控制

树脂浸渍、软管织物等工程材料的性能、规格、尺寸，内衬管的平均厚度、力学性能等指标应符合要求。同时，管道内衬管表面质量也有具体要求。

- (1) 浸渍树脂、软管织物等工程材料的性能、规格、尺寸应符合《城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收规程》(T/CECS 717-2020) 的相关要求，质量保证资料齐全，浸渍树脂的运输、存储符合要求。
- (2) 内衬管壁厚应符合设计要求，内衬管平均壁厚不得小于设计值，且任意点的厚度不应小于设计值的 10%。
- (3) 固化后内衬管的力学性能应符合下表要求。
- (4) 管道内衬管表面质量应满足下列要求：
 - ① 内衬与原管道紧密贴合，无明显凸起物、凹陷、错台、空鼓等现象；
 - ② 修复位置正确，内衬完整，表面光滑、平整，无局部划伤、裂纹、磨痕、孔洞、起皮、干斑、脱皮、分层、杂质和软弱带等影响管道使用功能的缺陷；
 - ③ 管道严禁有渗水现象；
 - ④ 修复后管道线性和顺，折变或错台处过渡平顺，内衬与原有管道过渡平缓；环向断面圆弧饱满；
 - ⑤ 待修复缺陷部位应被完全覆盖，且延伸宽度应大于 200mm；玻璃纤维层数不应小于 3 层；
 - ⑥ 内衬管两端部密封处理符合设计要求，且密封良好、饱满密实；
 - ⑦ 修复施工记录齐全、正确。

紫外光固化技术在实际应用中容易形成光斑、褶皱，还有一些小的裂缝，主要是因为有不洁的物质刺破内膜引起缺陷，在施工过程中要加强管理。

4. 施工质量控制-常见问题成因及影响

紫外光材料泛白、褶皱成因及影响

空气进入材料的情形

内膜破损，空气进入材料层，比如：

- 灯架不洁净，引入的异物刺破内膜
- 放入灯架过程不注意保护内膜
- 金属扎头毛刺扎坏内膜
- 光固化过程，灯架通过褶皱凸起材料，轮子损坏内膜

空气进入材料不良影响

- 部分树脂黏附于内膜
- 树脂分布不均匀，内表面不平整
- 部分玻纤裸露，影响材料厚度
- 内表面耐磨层变薄

定位是修复过程当中很重要的一个环节，一定要把修复气囊的位置，全面覆盖到缺陷位置，否则管道修复就不完整。

定位问题

1. 在修复定位时，错过修复面；
2. 修复宽度不够，无法完全覆盖修复点位；
3. 修复气囊的修复宽度过短。

鼓包问题

1. 管道修复前未做预处理，底部有垃圾；
 2. 在修复时，底部漏水未得到有效控制，导致部分材料固化不完全；
 3. 管道存在变形缺陷，不建议修复，且存在修复中容易卡气囊风险。
- 芜湖项目试用情况：管道内衬光滑无褶皱、泛白等现象。

五、产品优势

1. 高效，管径 600 的管道紫外光固化时间在 6 到 8 分钟。
2. 材料比较稳定，由加工厂事先灌制。
3. 修复位置比较精准。通过视频和编码器，可将气囊精准定位到修复位置。
4. 稳定。通过紫外光进行固化，不像传统修复方法受风吹日晒影响。
5. 可控。整个修复过程可以进行实时监控。
6. 强度高。弯曲模量达到能够 1 万以上。
7. 由于强度高，可以做到传统厚度的 2/3 左右，这个对过流的影响相对来讲小一些。
8. 通过实验发现，小的渗漏、带水作业能够实现。

传统点修与紫外光固化比较		
	传统点修	紫外光固化
固化方式	固化剂固化	紫外光照射固化
灌注方式	现场掺加固化剂	加工厂灌注完成
固化时间	1小时	10分钟内
弯曲强度	31mpa	125mpa
抗拉强度	21mpa	80mpa
弯曲模量	1724mpa	10000mpa
厚度对照	1	50-60%

城市排水系统运行效能关键影响因素分析

清华大学环境学院研究员 刘艳臣

（应发言者要求，不得使用幻灯片材料，仅通过现场语音整理。）

怎么提高管网本身运行的效能，一个核心表征是能够把污水更多收进来，把污染物更多收进来，系统去除，实现有效的污染排放控制。落实到考核上，一个是污水收集率，一个是污水处理厂进水浓度。整个过程里面，一个重要影响因素是管网的入流入渗。入流入渗的原因主要是管网混错接及管网本身的破损，但实际上这两个过程的问题、现象或原因并不完全不一样，导致的入流入渗特征也有所差异。

我们针对不同的管网区域，上下游位置，做了一些分析和测试，发现单纯在旱季情况下，有很多影响因素，比如管道本身埋深的位置，地下水水位的影响等，对入流入渗基础的量影响比较大，南北方的差异影响也较大。

一个正常运行的管网系统，呈现规律性的状态。下雨之后，如果管网系统比较好，一般能够体现出相对比较有规律性的入流水量的增加。但实际上大多数管网在运行过程中，尤其降雨所引起的入流入渗非常快。我们测到的最快入流入渗，下雨之后也就 10 多分钟就达到最大旱流 7 倍的水量。这个过程是非常快的，同时瞬间就呈现道路拥水的状态，这是目前国内很多城市管网运行管理所面临的挑战。

更有甚者，有的地方，大雨之后会出现很多倒流现象，水质稀释现象比较明显。入流和溢流同时发生，再去按照原有的理想状态去识别和诊断，很多方法就比较难以实施。此外，同一地区在不同的降雨条件下所体现的特征，也有比较大的差异。

在识别入流入渗过程一般会关注三个量，一个是总量，另外就是快和慢的问题。因为快慢意味着问题原因是混错接或一些比较明显的倒灌口，还可能是破损等其他问题导致的。这个过程呈现的区域和差异，能够反映管网整体的健康状态，或者故障类型。

对于溶解性污染物，比如氨氮，一般在入流入渗发生过程中，稀释非常明显，可以看到很好的过程曲线，怎么去恢复以及降低的过程，是有很明显的特征。

对整个系统很多不同类别的水质以及不同位置，做系统监测时可能差异性特征很大。此外，不同的降雨过程，在旱季和雨季差异特征，还有这个过程所带来水质的影响，包括小区和生活区，尤其小区里面管网所带来的问题。当然上下游水质和水量的差异，包括有机物也会有一些不同性能的差异。

结合这些特征，进行测试和分析。首先分析整个区域状态，发现在小区源头有机物的去除或者降低非常明显。选取一段两三千米流态条件很好的管子进行测试，发现不管是有机物还是氮的变化，基本上没有太大的变化，说明如果流态条件很好，管网的降解基本上不会产生过多的损失；但同样这样一段长的管段，如果流态条件不好，COD 降解 50% 以上，对应的损耗非常大，流态条件对整个系统的影响非常大。

在流态条件不好或者结构不好的区域，不管是碳氮比的变化，还是浓度水平的变化都很大，在小区出口之前有机物的削减就达到 40% 到 50% 以上。

在此基础上，对组分的一些过程特征进行研究，发现在低流速条件下，包括小区里面，颗粒态的有机物损耗非常快、非常大，溶解态的相对变化损耗非常小。

结合管网本身的特点，进行一些综合研究，主要是结合管网的流态条件，沉积过程，以及生化反应过程对有机物的消耗等因素。

首先对于沉积过程，对不同状态的颗粒性有机物，进行基于沉积动力学、降解动力学的系统测试，也对颗粒本身的状态，还有流态条件做了测试，发现实际上沉积过程发生得很快。

结合动力学关系，再结合现在常用模型综合评估管网中综合效能过程，即在管网运行过程中有多少液相的 SS 变成沉积相，沉积相本身随着水利条件又发生怎样的冲刷影响过程，为此，做了一些过程的模拟分析。

前述不同降雨类型带来的不同入流入渗过程，也对后面不同类别的有机物，包括溶解态的有机物或者氨氮，尤其是沉积过程，产生不同影响，对此也做了一些对应耦合的模拟影响分析。

最终把这些结果用于分析一个区域的污水过程，对污水处理厂进水有机物浓度做了综合评估，可以整体上比较好地来描述整个系统过程，由于综合的一些影响所带来的有机物损耗的问题，可以评估这个过程的一些管网的效能。

原位在线监测技术助力排水管网智慧化运维实践探索

芯视界（北京）科技有限公司副总裁 孙常库

城市水环境污染防治是个系统工程，只针对其中一环，解决不了整体的问题。城市里有河道，有污水处理厂，有管网，还就泵蓄设施，少了任何一部分信息，可能都无法实现对系统化治理的有效支撑。目前在系统治理中最缺失的是底层传感器和底层信息的获取，导致在做治理判断和分析时缺少有力的数据支撑。

国家在各种相关政策、规划中对城市排水管网提出了提质增效系列要求，我们认为，很多要求其实都和水质相关。无论是 70% 的收集率（污水收进来），BOD 要提升到 100ml/L 以上（把好水挤出去），还是评估污染负荷，本质上都是保证最后的受纳水体的水质要达标。因此，在整个系统里，水质是一个在不同环节进行相互流通的重要“硬通货”。此前，行业更多是用化学的方法来做简单标注，对于整个水务管理的大数据或者智慧化缺少足够支撑。

因此，未来要实现整个排水管网的智慧化运维，水环境改善系统化方案的解决，

都需要获得足够的数据支撑，尤其在水质方面，需要实时在线高频大量的数据。

一、需求

要实现水系统的智慧化管理，一方面要能高频获取数据，另外是准确获得数据，同时还能剔除干扰和风险因素，把复杂流程变简单。尤其像管网这种复杂的环境，需要用原位、高频、准确和稳定的产品。

为实现这些过程以及目标，有三个重要因素：从原理上能说得通，足够实现原位准确测向，又能小体积设置到管井里；产品有质量保证，能够稳定运行；工程化过程中保证准确运行。

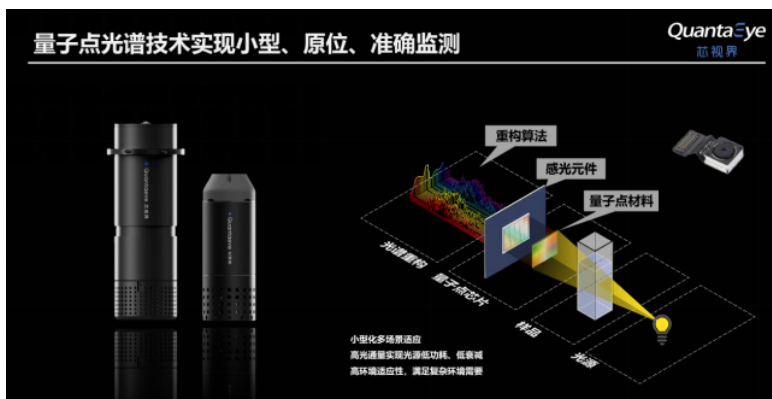


二、技术产品

首先要实现全光谱。更多光谱的信息，更多的维度能够更加准确建立水质指标模型，让它适应在不同水体环境和污染物条件下进行相应的数据解析。

公司的原创技术——量子点光谱传感。通过把一个大的光谱仪通过量子点光谱这层薄膜的叠加，实现芯片大小，具备光谱仪功能。在整个水系统甚至水环境里进行水质监测和水质传感，实现原位准确有效监测。

围绕城市水环境目前有两类产品，一是适用排水管网，小体积终端能够方便安装到管井里进行实时水质监测；二是适用于地表水体实时监测的产品。



产品设计开发过程中包含多重考虑：要多元传感，希望获取更多元、多维的数据进行相互印证；要高频监测，能快速到分钟级或者更快的检测频率，满足不同条件；管井不易进行拉电和接网，最好在井下自己供电；运维简单，自清洁能力以及适应更广泛的安装条件等。

1. 适用地表水体：



2. 适用管井：



三、应用案例

近年来，在多个领域实现了相关应用，包括管网的排查诊断，溢流监控和运维调度，水质水量特征分析，工程之后的效果评估等等。



案例 1：芜湖某区精准排查入流入渗点位。

在 53 平方公里集水区布设 42 台设备，根据连续 8 个月高频高密度（10 分钟）的，进行流量跟水质联用，实现由粗到细、精确缩小范围的排查，最后实现了现场核实。

现场核查得到确认



案例 2：北京某区项目长期监测实现精细化运营，及时发现水质异常跟踪管网健康，网河联动分析锁定溢流位置。

监测管网水质异常，精准锁定问题位置

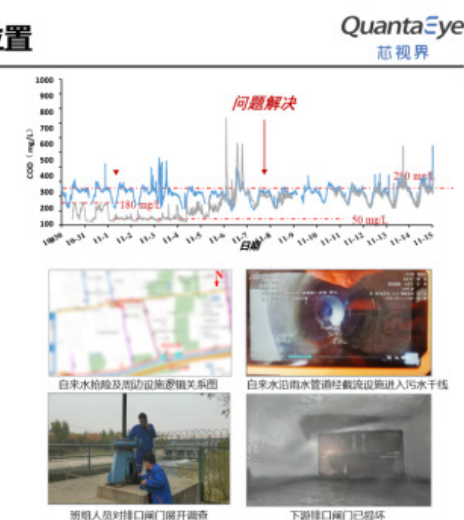
实时监测管道内水质情况，及时发现并有效控制外水入流入渗问题是实现管网长效提质增效的关键。

• 外水混入识别的“芯”模式

- 正常情况下，下游点位COD低于上游点位30%以上，可以判定为低浓度水入流入渗。
- 可能原因：地下水入侵、河水倒灌、施工降水、雨污混接。
- 通过及时告警，智能分析上下游关系，识别异常，可将管网问题锁定到较小区间。

• 及时发现河水倒灌导致的水质异常

- 下游点位COD值低于上游35%。
- 下游点位电导率值低于上游20%。
- 通过COD、电导率多指标综合分析判断，确定水质异常，疑似外水混入，现场核查发现为闸门损坏导致的河水倒灌。



此外，我们也发现用水质、流量数据联动可以实现更多丰富功能。未来，相信数据大量的融合，以及气象信息、水文信息等不同维度数据的融汇，会有更多智慧化的能力和功能，来帮助实现管网运维的智慧化。同时，管网排查是一个长期过程，不可能一下子把所有问题全解决掉，要一点一点做。无论是前期的原因排查，过程调控，最终评估，还是迭代，都需要长期稳定持续的管网实时监测，提供大量有效的数据支撑。

城市水管家集控模式下管网全生命周期管理的实践与探索

长江生态环保集团数字化中心主任 李铭

城市水管家简单来说就是政府是当家，企业和政府成立一个合资公司，作为城市的水管家统筹整个城市的涉水设施运营管理，提供专业化运营服务，一城一策，实现一座城市、一张蓝图、一套机制、一个管家，和政府建立权责清晰、各善其长的边界，解决目前普遍面临的多头管理、主体多元的问题。

通过管网攻坚要解决两个问题：一是以治理效果为导向，从按量付费转变为按效付费，有限的财政支出花在刀刃上；二是通过价格机制赋予管网一定的投资属性，吸引更多社会资本投入管网建设。

一、基于水管家的集控模式



为什么要做集控？简单三句话，就是国家有政策，行业有基础，企业有需求。

实施城市水管家模式后，发现面临的问题非常复杂，同时自身也存在较高的集约化管理需求，为此，提出企业自身的解决方案。



调研发现，目前水务行业整体还是单厂运营的模式，很多集团化管控的企业，通过一定的手段把厂站信息收取到集团侧来进行展示分析。最终实现的集团化管控

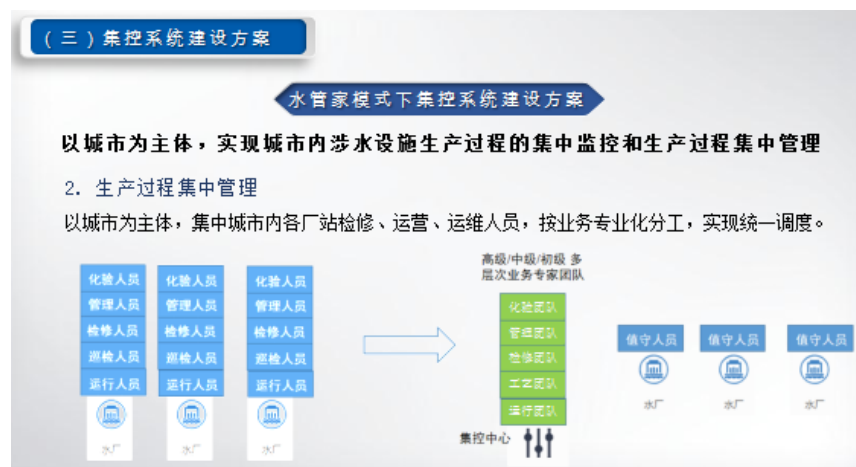
是单向的，就是数据监视。在南部沿海地区也有一些集控的做法，把距离相近、工艺相同的厂站把集中到一个厂站里面来做集中控制，同业态的集中管理起到了管理效能的一定提升。

但是对于我们环保集团来说，面临的是多业态的管理问题，更加复杂，因此水管家模式下的集控建设强调两点：

第一，生产过程集中监控，不光要监也要控。我们在厂站侧，原来有很多中控室，现在把这些中控功能集中到一个集控室，原来的中控室基本上可以不需要，或者没有必要建特别完备。



第二，生产过程集中管理。把原来分散在各个厂的化验、管理、检修、巡检等专业人员集中到调度中心进行统一调度，重新进行专业划分，形成更加合理的运维团队。



在此基础上，才能真正以城市作为主体来建设以城市为对象的智慧调度系统，从而打破各个厂站，各个业务口的信息壁垒，实现厂网河湖岸一体化调度的总体目标，这也是在集控模式下最终要实现的一个总体目标。

在智慧水管家建设过程中，最终形成的集控模式有三个特点：

1. 涉水设施集中统一控制调度。在厂站自动化的基础上，控制由厂站侧集中到

了城市集控中心，厂站 SCADA 系统由集控系统边缘端系统替换，实现集控中心到厂站控制系统一体化管控。

2. 集控运营模式转型。按照集控模式重新全面梳理业务模式，从机构设置、运营方式、人员结构全面重构，围绕集中运行、专业分工全面开展运营方式变革。

3. 构建一体化平台。强调厂网河湖岸一体化、供排雨废循一体化，实现城市水管家下各类业务全接入、全采集、全控制、全调度。

应用这套理念在六安建设了第一个城市水管家智慧调度系统。研发了首个业态全覆盖、数据全监视、操作全员控的智慧水务调度系统，能够在城市所有涉水设施进行全监全控，联调联动，实行精准治水。通过这种方式改变了原来各个厂站单兵作业、分散管理的模式，形成集约管理、集中控制的管理模式，后续还会有新的城市水管家也会延续这套管理机制。

二、管网全生命周期数字化管理



管网数字全生命周期管理是智慧水务管理的一部分，到任何一个城市，要做三件事情：

1. 建库，把所有涉水资产进行数字化建库，形成 GIS 一张图。
2. 建网，把所有检测信息进行提取，做信息的布点方案，监测动态信息，形成业务数据化。
3. 基于前面的成果建模，实现模型的预测预警诊断，并把这些功能在平台上实现，实现数据价值不断的增值。

通过梳理，建立全生命周期的管网运维一张图，结合现场实际需求，陆续开发了一些产品。其中，管线宝主要基于管网数据质量做检验，保证进入 GIS 一张图的数据准确有效；数采系统是基于地下管网排查数据，能够在平台上进行统一的集采处理，把管理手段延伸到普查阶段；建管宝，主要是在建设阶段，把相关业务单位，包括施工单位、监理单位纳入统一平台进行管理，保证施工质量满足的目标要求。

通过后期集成，把这些功能都集成到城市水管家统一平台上，作为一个统一系

统来对外提供服务，实现用户全覆盖，流程阶段全打通，管理标准全统一，解决之前存在的数据孤岛，包括环节缺失，重复填报等问题。



三、集控模式下的管网运维探索

1. 集控模式可以推动管网运维向集约化、精细化和智慧化的方向进一步发展。集约化。体现在计算和存储资源、管网监测设备和物资以及人力资源等方面。

- ▶ 集控模式为计算和存储资源的集约化创造了条件，可以在云端实现算力的集中管理和共享利用。
- ▶ 集控模式的应用，提升了管网监测设备、物资等的集约化管理。
- ▶ 集控模式为人力资源的集约化应用创造了条件等。

少人值守初见成效

整合供排水业务资源和人员配置，通过集控中心建设，集中水质检测，实现污水处理厂现场值守人员降低30%

集控模式为数字化技术与管网运营的深度融合奠定了坚实基础，为管网数字化运营指明了集约化、精细化和智慧化的方向。

精细化。通过对运维管网要素的全关联，为运维人员提供更有力的信息支撑。通过集控模式制定更加高效的巡线路径和计划，有效降低巡线频次；结合系统中出现的一些问题，给出更有针对性的巡检任务和清单化工作任务。

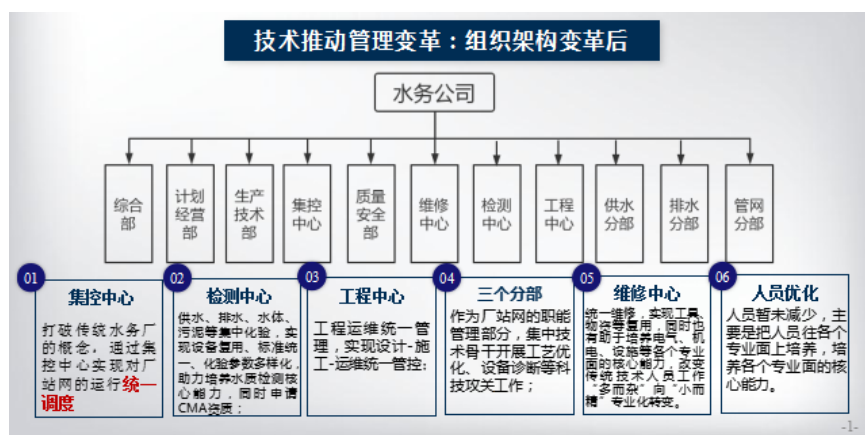
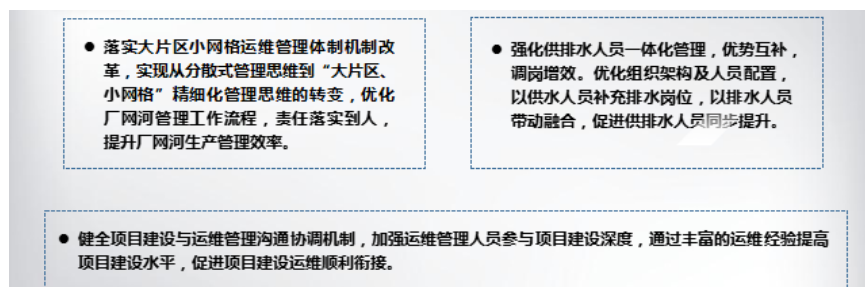


智慧化。支持污染溯源；易涝点、易淤积点分析；运行态势分析；管网充满度分析；健康度评价；缺陷分析；监测布点分析；管网概化图；数模分析等，使智慧化算法真正发挥作用。

2. 集控模式使一体化调度成为可能，推动管网运营向综合效益最优转变。



3. 集控模式势必会带来管理体制变革。



城市降雨径流污染负荷核算方法和适宜性分析

三峡集团长江生态环境工程研究中心 陈亚松

一、城市降雨径流污染特征

随着城市点源污染得到有效控制，降雨引起的非点源污染成为水环境污染的主要原因之一。城市降雨初期径流中污染物浓度比较高，可远劣于地表水Ⅴ类水标准；国内降雨径流污染占水体污染负荷比例较高，特别是在中心城区，因为河湖环境容量受限，有些地表径流的污染贡献甚至超过50%。

国内不同城市的降雨径流污染程度存在较大差异，从不同的分析监测方法得出的数据之间的差异非常大；核准城市降雨径流污染负荷也并不容易，受到很多因素影响，包括汇水范围、汇水区域污染负荷组成、时空差异以及地表混流特征等。

各城市下垫面降雨径流污染负荷程度不同，一方面和核算方法有关系，另一方面受到人为活动和大气沉降不同程度的影响。

各城市不同下垫面降雨径流水质对比

城市	下垫面类型	SS (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
宁波	道路	33.43~622.03	12.34~165.44	1.49~21.05	0.03~1.23	0.53~1.45
	屋顶	25.42~366.72	13.89~97.86	1.32~10.61	0.04~0.14	0.35~2.95
南宁	道路	151.66	72.81	1.33	0.22	0.35
	屋顶	95.03	36.55	0.65	0.09	0.56
昆明	道路	158~759	68~919	1.5~14.4	0.15~3.37	N/A
	屋顶	13~42	22~63	3~7.1	0.23~0.29	N/A
北京	道路	78~145	93~106	1.15~2.1	3.4~4.27	0.72~1.08
	屋顶	32~35	16~20	2.96~4.13	0.43~2.09	1.56~2.23

Ref：岳敏（2022）

同时城市不同的功能区，如新、老小区，商业、住宅，差异也比较大，特别是老旧小区和商业区，情况相对更严重一些，这跟人们的生产生活活动，和人口密度都有很大的关系。

各城市不同功能区降雨径流水质对比

城市	功能区	SS (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	数据来源
宁波	住宅区	226.66	110.33	4.67	0.3	2009~2019年平均污染物质量浓度
	商业区	180.63	99.64	8.71	0.48	
	商业区	253.26	111.69	2.12	3.07	
苏州	老旧住宅区	142.45	140.67	4.65	0.75	2018年平均污染物质量浓度
	现代住宅区	54.44	84.93	1.53	0.36	
常州	住宅区	N/A	17.67	1.36	0.06	2017年平均污染物质量浓度
	商业区	N/A	52.7	1.68	0.38	
	工业区	N/A	42.7	1.66	0.12	

Ref：陆敬博（2022）

除此之外，还跟降雨的条件有关系，包括降雨的强度、场次以及时间间隔都有密切关系。降雨场次负荷差异非常大，所以核准污染负荷非常困难，特别是后续基于统计分析的方法比较困难。

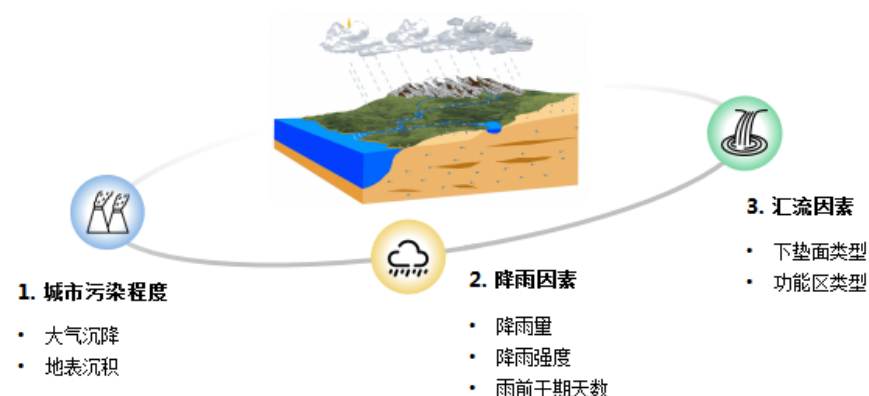
西安市某主干道不同降雨场次径流的水质EMC对比

降雨日期	降雨量 (mm)	最大雨强(mm/h)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	溶解性COD (mg/L)
20090326	25.5	1.7	1271	527	116
20090418	12.8	2.4	2368	734	131
20090422	8.8	2.6	5906	974	158
20090508	52.5	4.0	860	284	85
20090514	38.6	5.3	1912	441	126
20090527	12.4	3.0	1080	390	62
20090607	14.7	3.4	749	402	117

Ref: 陈雪 (2011)

总体看，城市降雨径流污染是一个相对复杂的过程和体系。

城市降雨径流污染特征受城市污染程度、降雨条件、汇流区域特点等多种因素共同影响



二、量化城市降雨径流污染负荷

从不同维度量化径流污染负荷是非常重要的，很多数据、调研文献差距特别大，无法直接使用。从水环境治理的角度看，特别是围绕河湖的环境治理，对污染负荷

获得准确的降雨径流污染负荷是研发污染阻控技术与水环境综合整治的基础和关键

- 定量方法：为污染现状、治理效果提供评估依据
- 控源截污：实现对污染源的智能、精准、有效拦截
- 灰绿协同：符合低碳发展理念，兼顾城市发展与生态环保



量化的要求更高，特别是明确对环境容量的占比，这样才能制定实施更加准确的措施。当然，不同的尺度，不同的使用对象，对径流污染负荷核算的方法以及精准度的要求不太一样。

常规的径流污染核算方法，总结起来是两大核心方法，一是基于统计模型的方法，二是关于机理模型的方法。

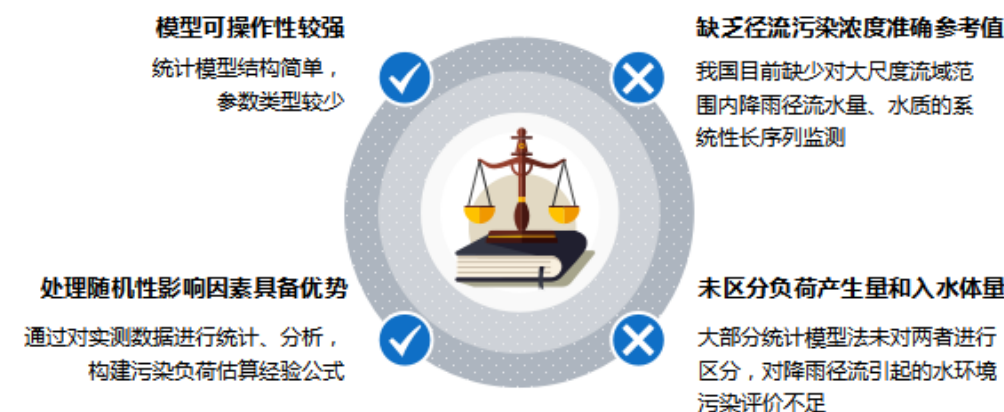
1. 统计模型法

统计模型法：应用统计分析方法，依据所研究问题的具体特征，广泛收集数据资料，选择恰当的影响因素，建立回归分析模型

常用方法	公式	关键参数	应用特点
华盛顿政府委员会方法	$L = C_p \times \Psi \times A \times P \times C \times 0.01$	降雨产流校正因子、地表径流系数、集雨面积、降雨量、径流污染物平均浓度	计算简便，但C值确定难度高，至少需15~20场降雨径流实测数据
监测比例估算法	$L = 0.001 \times P \times \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{\sum_{i=1}^m P_i}$	年降雨量、监测场次总污染负荷、监测场次总降雨量	以部分场次降雨径流情况代表年降雨情况，难点在于监测代表性降雨场次
水质水量相关系数法	$L = f(Q)$	径流污染负荷、相关环境因素（降雨量、径流量、土地利用类型等）	对受纳水体进行分析，规避地表迁移不确定因素影响，但难以区分不同类别面源污染负荷
水文线分割法	$L_a = L - L_p = Q \times p - Q_b \times p_b$	水体汛期污染负荷量（流量、污染物浓度）、水体点源污染负荷量（枯季流量、枯季污染物浓度）	认为降雨径流是产生面源污染的原动力，对汛期、枯季水体污染负荷进行差减，难以区分不同类别面源污染负荷
污染负荷当量法（标准城市法）	$P = A \times \mu \times \lambda$	建成区面积、单位面积污染负荷、修正系数（与地形、人口、面积、降雨、管网覆盖率有关）	基于标准城市定义，以其径流污染负荷当量为参照，对其他城市污染负荷进行修正，难点在于城市分类、参数率定

这些方法的核心是基于一些场次降雨代表性的负荷量，通过统计数据推算全年的数据。比如华盛顿法，包括径流量、面积、单位面积污染负荷的浓度，是通过15-20场降雨的径流实测数据推算全年的径流污染平均浓度。这一计算机理对统计数据有很大的影响，有很多城市一年100多场降雨，用15-20场降雨代表全年，有很大的不确定性和误差。它的逻辑关系非常简单，面积 × 单量 × 径流量，操作性强，但是无法确定径流污染浓度准确的参考值，怎么样获得代表典型年的年均污染负荷，会有很大的困难。另外，核算了污染负荷的产生量，实际上没有区分产生的量以及入水的量，我们做河湖水环境治理，更重要的是关注后者，特别是造成水环境容量侵占的这部分量是多少。

统计模型法的优缺点



2. 机理模型法

机理模型法：基于径流污染形成的动力学过程，对污染物的累积、冲刷、迁移全过程构建数学模型

常用方法	主要功能	模拟水质参数	适宜性	局限性
SWMM	计算并模拟城市产汇流的径流量和污染物迁移全过程	BOD、COD、TP、TN、TSS、大肠杆菌、自定义污染物等	功能强大，应用最广，适合大面积、多特征的城市区域径流模拟	对基础资料要求很高，无法模拟污染物的生化反应和相互转化，管道内泥沙运动模拟较差
HSPF	模拟城市、森林、农村等地较大流域内水文、水质过程	泥沙、BOD、DO、氮、磷、农药和大肠杆菌等	适用于大多数流域和不同气候带，可实现污染物相互作用和迁移转化过程的连续模拟	不能进行排水管内水流复杂计算，不适合场次暴雨模拟，城区应用局限较大且模型校正时参数不唯一
SLAMM	探究城市径流污染源与径流水质关系，辅助城市雨水排水规划	TP、TN、DO等	适用于模拟城市中小型降雨导致的降雨径流和污染负荷	不能在管道中进行雨水与污染物模拟计算，无法输出径流和污染物浓度变化过程
SWAT	评估流域的气候变化、管理方式对区域供水及非点源污染造成的影响	泥沙、TN、TP等	适用于具有不同土壤类型、不同土地利用类型、不同管理条件下的复杂大流域	日流量模拟精度低，应用时相关标准需要转化并调整重要参数

最核心是基于径流污染形成的动力学过程，对污染物的累积、冲刷、迁移过程，通过数字建模，概化一些参数，实现计算。这里面常见的 SWMM、SLAMM 方法，特别是对大尺度流域、区域的估算，非常有效。这类方法关键对基础监测数据要求比较高，是通过大量的基础监测数据对模型关键参数确定，才能实现模型计算方法的准确度。基础资料的获取或者保证准确度非常困难，特别是对于目前监测体系不是特别完善，很多监测数据也不是特别准确的情况下，这种方法可能存在很多不确定性。另外，这些模型都是基于国外的条件开发的，在国内应用时，还有很多需要预定和调整的内容，也存在很多不确定性。

机理模型法的优缺点

功能强大，可模拟变量较多

以污染形成动力学为基础，对污染物累积、冲刷、迁移全过程构建数学模型

率定后模型可移植性较好

率定好的模型可应用于条件类似的其他区域和流域

操作复杂，基础资料需求大

构建模型所需资料较多，对操作人员要求较高；我国降雨监测资料缺乏加剧率定难度

排水系统历史短板影响模拟精度

我国排水体制存在历史短板，基础设施建设质量不理想，管网漏损、混错接等缺陷突出

3. 现有方法在工程应用中亟需突破的问题

现有的统计方法，在工程里面发挥了很好的作用，但是在河湖污染治理实践中也确实遇到很多困惑，在准确表达出入湖污染负荷的计算，特别是工程角度怎么快速计算等方面，存在一些不足。

比如径流水质监测问题，对产汇流过程中沉降、截流、下渗、污染物转化等因素的影响考虑不足。对河湖水环境，初期雨水重力沉降对污染负荷影响很大，通过

简单沉降后，污染负荷的当量如 COD、氨氮，可以削减 60%，甚至 80%；产汇过程中，工程措施、绿地、绿化等对径流污染产生浓度也有影响，不同植物对于削减度很大；汇流产出到输出会经历较长管网，其条件过程对负荷产生影响比较大，比如管网的滞留时间、冲满度、冲刷、清掏等等一系列因素，对污染负荷影响也非常大。这些因素综合起来，要想获得准确的径流污染负荷很困难。

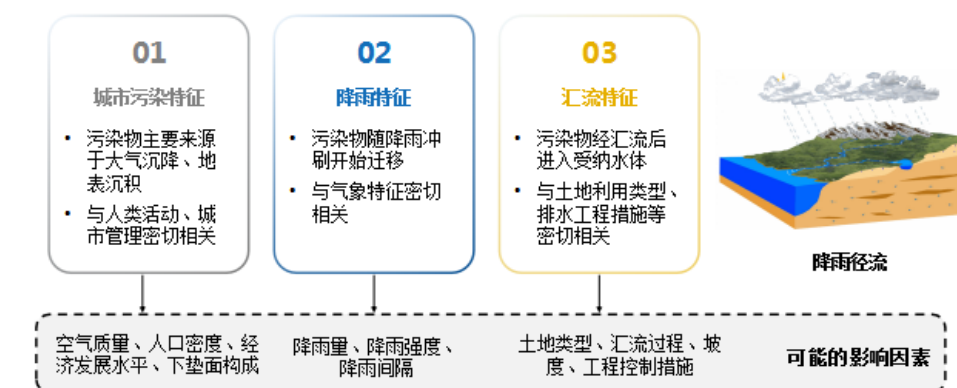
三、基于输出端径流污染负荷当量法

基于此，我们提出建立一种基于入河入湖输出端径流污染标准的当量方法，快速解决环境污染的负荷计算。

1. 辨析降雨径流污染与城市特征的关系

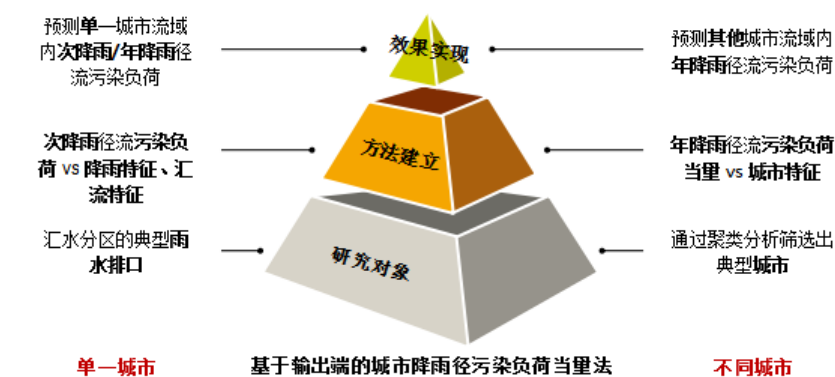
径流污染的特征分三个方面，城市污染本身的特征，降雨特征，汇流特征。这些特征会有很多影响因素，可以把最主要的影响因子筛选出来，包括空气质量、人口密度、经济发展水平、下立面的组成结构等，包括降雨量、降雨强度，以及汇流土地类型、坡度、产汇流的过程等。

面向受纳水体输出端，筛选与降雨径流污染相关的特征因子



基于这些特征，尝试建立一种比较标准的方法，实现快速估算流污染负荷。

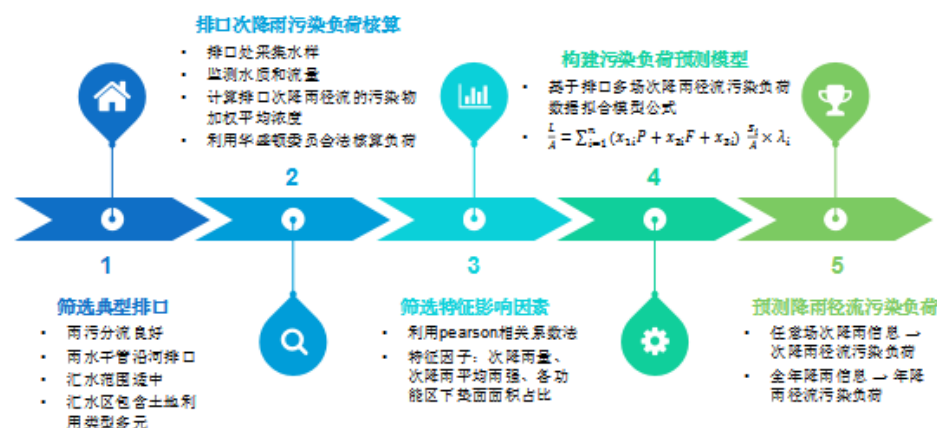
总体方法思路：1、单一城市方法建立；2、不同城市方法建立



对同一个城市，从城市排口这一端来进行汇水单元的分区，选择比较典型的汇

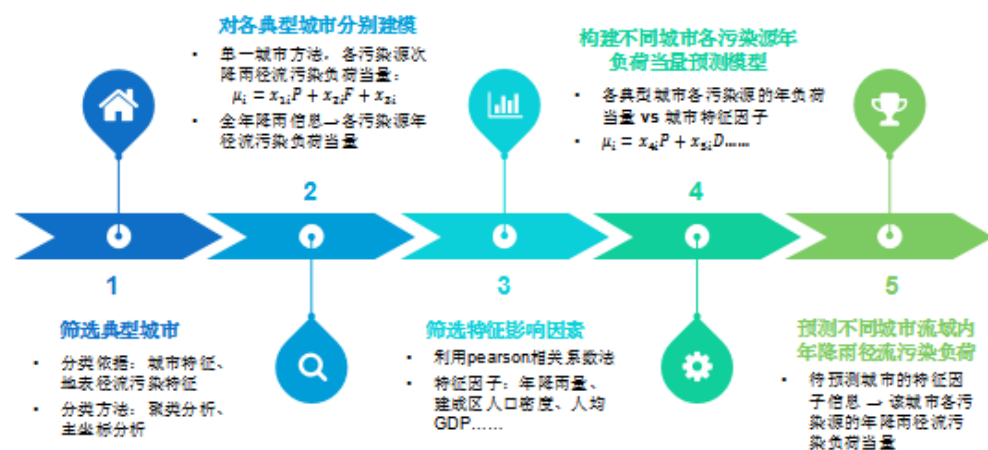
水单元和排口，可以通过多次研究对次降雨污染负荷进行实测，形成比较准确的年污染当量，就是单位面积的污染负荷，可以通过大量的监测数据和手段较为准确地获取。

单一城市：构建城市输出端降雨径流污染负荷与降雨特征、汇流特征的关系



不同城市之间，很多特征是很类似的，所以会选择典型的城市进行核算，然后再推演到其他的城市，建立拟合方程。

不同城市：构建典型城市降雨径流污染负荷当量与城市特征的关系



比如在长江流域，根据城市的基本特征，包括降雨特征、经济发展特征，对所有主要影响因子筛选，再做主要因子的距列分析和主坐标的分析，把典型城市筛选出来。很多城市降雨径流污染特征有很多类似，像苏州、无锡、镇江可以归为一类，重庆、宜宾分为一类，分类之后对典型城市的某一个城市做深入研究，形成某个区域的标准污染负荷当量，为未来其他城市的污染负荷计算做基础。

目前，我们在九江两个汇水区域做了次降雨径流污染负荷的核算，明确了排口的年径流污染当量，再建立相关的拟合方程，再去推演其他排口、汇水单元的汇流污染年负荷。

农业面源污染的争议与思考

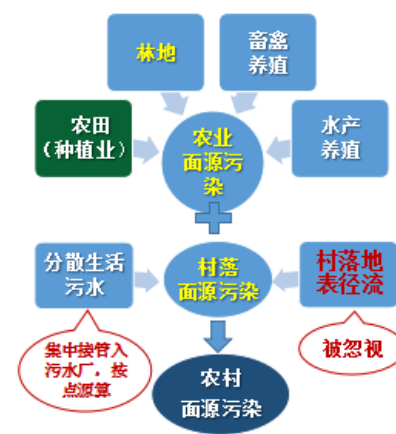
江苏省农业科学院研究员 薛利红

一、概念与边界

只有面源污染的边界清楚了才知道哪些属于面源污染，哪些属于农业面源污染，大家的认识还没有完全统一，会存在混淆的状况。面源污染是美国最先开始提出，即非点源污染，和工业的点源相对应，只是没有固定排污口。我们目前提的面源污染，是相对于水环境的面源污染，主要是跟降水过程相关，主要是分为两个范畴：农业农村的面源污染，以及城市地表径流面源污染。

关于农业农村面源污染，因为农业和农村问题相对复杂，这里面会存在比较多的混淆。农业是一个产业概念，包括农林牧副渔，应该包括种植、畜禽养殖、水产养殖、林地，相关的污染都是农业面源污染范畴。在执法过程中，一些地方政府把农业面源污染狭义理解为农田的面源污染。农村是一个地域概念，和城镇相对应的，其中除了农业面源污染之外，还包括村落里面的污染，这一块又包括生活污水污染和地表径流。长江中下游地区经济发达，很多生活污水也接管并进入到城镇污水管网，这一块按点源算；没有污水设施的农村，还是算面源污染范畴。农村里地表径流也不容忽视，但是相对研究较少。

- > **农业（第一产业）vs 工业（二产），服务业（三产）**
 - 广义：包括种植业、林业、畜牧业、渔业（水产养殖，海水及淡水）及副业。
 - 狭义：仅指种植业（粮食作物、经济作物、饲料作物、绿肥等）
- > **农村（地域）vs 城镇**：农业区，包括乡镇村落及农业生产区域如农田、鱼塘、养殖场、林场等
- > **农业面源污染**：重点关注种植业（农田）、畜禽养殖、水产养殖业等化学投入品较多的产业，监测关注对象包括化肥、农药、农膜、秸秆、畜禽粪污及废水，关注指标：水质相关指标



二、农业或者农田面源污染是否被高估？

《第二次污染源普查公报》（2017）主要调查农业源、工业源、生活源，调查这三大源的水污染物的排放量，农业源占总氮的比例 46%，总磷 67%，COD 是 49.8%。这个数字为什么可能有高估呢？因为城镇和农村的地表径流在这一次没有被普查，但是这一块对水污染物是有贡献的，说明总的基数是变低的，导致计算比例中的分母变小。

最常用输出系数法，争议点是入河系数确定，径流系数里面中农业的情况比较复杂，北方是旱地，有的时候小雨并不一定产生径流，按照全年降雨量是高估的；

南方稻区有田埂，只有水高过田埂才会发生径流。差减法——总负荷减去点源负荷，其中点源负荷考虑到城市污水管网和生活污水，但是往往接管达不到100%，工业废水还可能存在低报现象。如果点源被低估，面源的比重肯定被高估。

二、我国农田面源污染是否被高估？

答案是肯定的！

中国采用的面源污染负荷估算方法

◆输出系数法：

问题：入河系数的确定；输出系数不精确(部分采用国外)

农田面源污染：北方农区多数不产生径流，南方稻区由于田埂等存在，只有当降雨超过一定阈值时才会发生，因此，采用平均的径流系数引起误导并高估

◆差减法：总负荷减去点源负荷

问题或争议：1) 城市污水管网：生活污水接管处理率没有达到100%且会有跑冒滴漏；2) 环保局公布的工业点源负荷往往偏低。2005年环保局废水排放数据524亿吨，而水资源局的数据是717亿吨，相差36.8%。

Edwin et al., 2010, EP

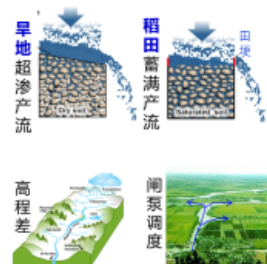
◆水文分割法：把径流水分割为基流和暴雨产流，基流贡献为点源污染，暴雨产流贡献为面源污染。适用于没有堰或水库等蓄水系统的小区域。

问题：中国河流大部分都有堰坝或库塘；降雨时积累的点源污染会一并冲刷到下游；不排除某些企业趁下雨偷排的现象；城市村镇地表径流(算到农业面源头上)

◆模型估算法：SWAT模型(过程模型)

北美发达国家针对旱区开发

- 水文产流过程：旱地vs稻田，自然水文vs闸坝泵水库等人为调控干预多
- 农业管理：田块大小、耕作管理方式
- 模型参数本地化校正难



水文分割法和模型估算法也因为国情等特点，可能也会导致对面源污染的高估。

在日常执法层面，断面水质超标，溯源时首先采取排除法，认为工业园达标排放了就没有问题，但没有考虑到是不是百分百接管了，处理设施是不是运行，有没有跑冒滴漏；另外村落和庭院的地表径流，也落到农业面源污染上；畜禽、水产和农田中，只有农田种植业没有标准，说不清的也都放在了种植业上。

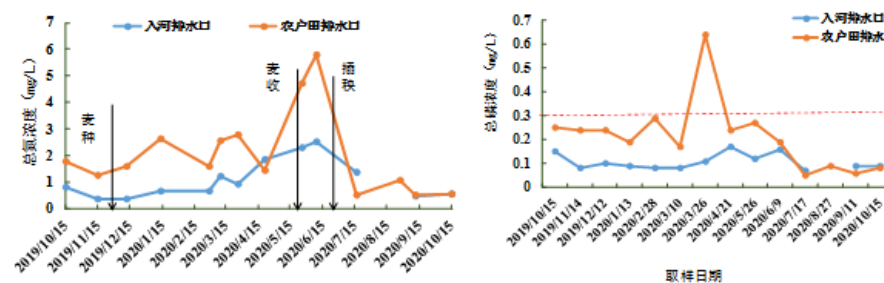
关于标准，还有一个关键问题，工业、城镇生活污水、养殖等的排放标准，所有氮、磷排放的浓度远远高于地表水水质标准，达标排放不代表对河道水质没有污染。如果以应该达到地表水的标准来考核农田种植，显然是不够公平的。

以太湖流域典型的稻麦农田为例，经过监测的监测，插秧前的整地期排放浓度比较高，大部分时间日常排放氮磷浓度并不高。

以洱海流域古生村为案例分析，没有养殖业，没有工业企业，生活污水接管了，假定入海口排放中大部分是农业、种植业的贡献。实际上，我们采用了精细调查，结果发现并非如此。

核心关键：农田排放氮磷浓度其实并不高！

科学问题：如何科学评估各类源对河道断面水质的影响？需统一标准来评估：浓度 or 总排放负荷？

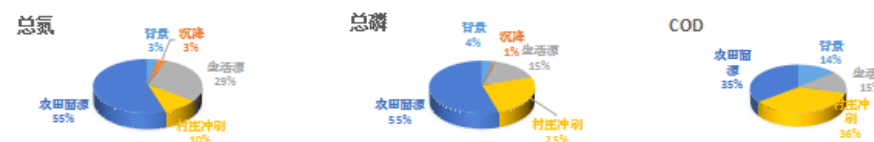


农田14次排水，氨氮：0.11-5.25mg/L，3次超标，超标率21%；TN：0.52-5.8 mg/L，若以2mg/L为标准，有5次超标，超标率35.7%；TP：0.05-0.63 mg/L，仅1次不超标。经生态沟渠等净化后，入河口TN浓度可达地表水IV水准

发现1：农田对水体面源污染的贡献并非传统认识那么大

根据二污普的计算方法，即生活污水接管和畜禽养殖禁养情况下，古生片区农业面源污染(氮、磷、COD)贡献为86%-94%，而通过对片区种植业、村落地表径流、庭院菜地、生活污水漏排等监测，发现农田面源污染贡献仅为传统认识的35%-55%

	背景	沉降	生活源	村庄冲刷	农田面源
TN	221	182	2066	698	3862
TP	38	8	161	265	571
COD	7304	-	7891	18409	18347



2022.5-9月监测期内，片区向洱海输入污染总负荷为7吨的总氮、1吨的总磷和52吨的COD

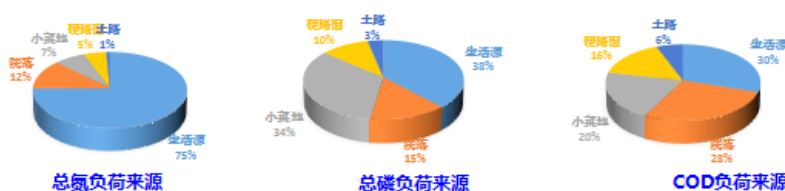
发现2：村庄污染排放在传统核算方法中可能被低估

根据二污普的计算方法及古生村实测数据，由于村落污染负荷只考虑了生活污水，其氮、磷、COD排放量分别为2.6、0.46、51.4t/a，而通过对片区村落地表径流、庭院菜地、生活污水漏排等监测，发现村落氮、磷、COD排放量分别为3.4、0.76、72.0t/a，村落自身排放污染负荷低估了24%-40%。

仅考虑生活污水，村落污染TN、TP和COD排放占片区总排放贡献为15%~29%，如果考虑庭院菜地、地表径流、生活污水漏排等，贡献增加为39%~51%。

村落内部污染排放贡献情况：

- 总氮污染主要来自生活源(75%)；总磷污染主要来自生活源(38%)和小菜地冲刷(34%)；COD主要来自生活源(30%)和院落(28%)、小菜地(20%)冲刷

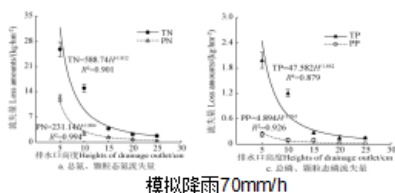


三、我国农田面源污染如何防控？

1. 全时空控制策略。要保证粮食安全生产和水环境改善，全空间里污染源不仅

139

- **稻田提高田埂和排水口高度，增加蓄滞能力。**当前田埂15-20cm，平水缺5-8cm高；建议田埂提高到25cm，排水口高度也动态提高。
- **茶果园：生草覆盖，增加下渗。**



模拟降雨70mm/h
排水口高度5cm→10cm, TN 削减42%, TP削减39%;
5cm→15cm, TN削减85%, TP削减86%

马晓波等, 2021, 农业工程学报

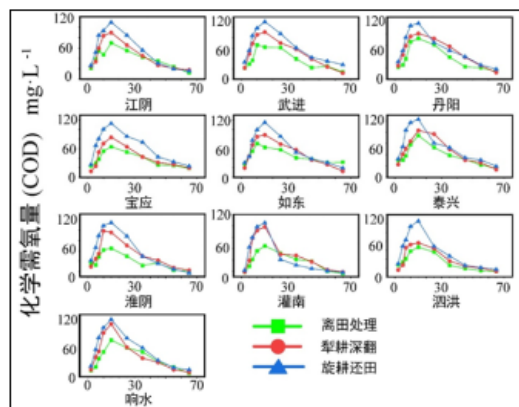
表 水稻的耐淹水深、耐淹历时和推荐排水口高度

生育时期	耐淹水深 (cm)	耐淹历时 (d)	适宜排水口高度 (cm)
返青期	3-5	1-2	5
分蘖期	6-10	2-3	10
拔节孕穗期	15-25	4-6	15
灌浆成熟期	30-35	4-6	10

《太湖沿湖地区集约化稻田清洁生产技术规范》
(DB32/T 4263-2022)

另外比较关注的秸秆还田会不会带来面源污染？研究显示对氮磷的影响并不是特别高，但确实会增加 COD 的排放风险。一般一个月内 COD 的排放量是非常高的，田面水如果不排出去就不会造成污染，首先要严格控制泡田用水量，禁止多灌再排，在田里面就能够转换成养分被作物吸收利用。

◆ 秸秆还田会带来COD排放风险吗？-----会



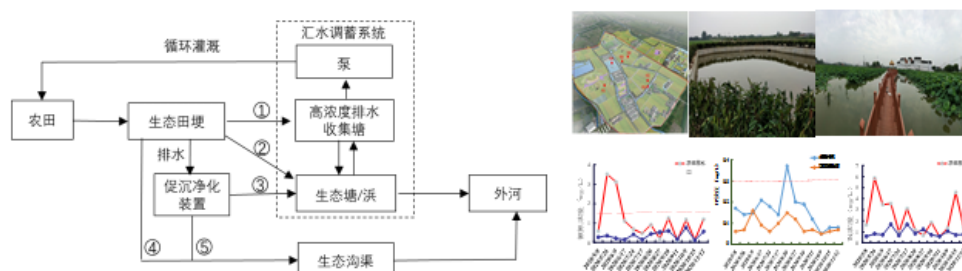
江苏省13个地级市布设20个秸秆机械化还田生态效应监测点，发现：
秸秆还田后的前45天风险较大，重点关注泡田整地期、前期大雨事件。
秸秆深翻还田可显著降低田面水COD浓度，减少杂草发生，降低农业面源污染风险。

建议：

1. 改传统的秸秆浅旋还田为深翻还田，有条件的地方离田资源化处理！
2. 严格控制泡田用水量，禁止多灌再排。

农田退水的管控及循环利用更为关键。灌区单元的用水调度与循环利用是抓手，利用塘浜湿地、闸坝以及泵站等构建退水汇流循环利用系统。适当的生态用地需要保障，并作为农田基本建设的主体内容之一，科学确定农田与生态用地（沟、塘、浜）的配比。

排灌系统优化设计与调度：因地制宜，充分利用沟塘浜等，做好水系沟通与循环，保证农田退水不直排、肥水不下河、养分再循环，使农田排水对外河无负面影响（近零排放）



《太湖沿湖地区集约化稻田清洁生产技术规范》(DB32/T 4263-2022)

四、面临的挑战和未来思考

1. 基础研究层面：农业面源污染对水质的贡献/影响不清。比如除了地表径流，农田还有氨挥发，会通过大气沉降，通过降雨、沉降的形式又回到大地上；此外，地上磷回到地表水等现象也关注不够。

对此，建议开展流域尺度的面源污染监测系统建设及负荷估算模型研究：构建全国农业面源污染监测一张网，目前农田排放监测网（农业部门）、河道断面水质监测网（环保部门），迁移过程监测缺失；

统一监测方法，加快新监测技术和装备的应用，目前国标只有径流监测方法，缺氨挥发、淋溶等方法标准，快捷价廉质优的监测技术和装备；加强模型研发应用，为科学评估农业面源污染对水质的贡献以及精准防控提供依据。

2. 技术层面：

◆ 多目标下的技术革新——碳氮磷协同减排技术

粮食安全、水环境改善、碳中和、乡村振兴

◆ 面向未来农业现代化的技术储备——智慧化管控技术及产品

老龄化、规模化——机械化、智能化

- ✓ 绿色投入品及装备：智能肥料、纳米农药、智能农机
- ✓ 智能灌排装备及系统：智慧排水口、智慧闸门、智慧灌排系统
- ✓ 模块化工程材料及标准化施工
- ✓ 突发事件的快速应急处置（即装即用式）



3. 管理层面：技术不是制约因素，但缺乏技术落地配套的管控标准、监管手段及政策制度等。

投入品的限量标准+化肥农药等定点销售及实名购买（监管）+奖惩政策
农田退水水质标准的制定、农业面源污染监测体系建设、生态农田建设.....



农业面源污染监测体系建设

- 如何选点
- 监测指标
- 监测方法与设备选型
- 数据质量控制及相关计算
- 运维管理

◆ 加强农业绿色发展相关政策和立法研究

● 加强科学决策和立法

国外BMPs：属于法规文件，必须遵照执行！

我国相关技术标准或指南导则：大多属于号召形式，不具备法律效应。有些强制性标准，也缺乏配套的监管和奖惩政策

政府部门的决策立法：具有强制性，但有时出现科学性不足的现象！

● 构建多元主体共治机制和政策支持体系



加快建设政府协同治理体系，形成绿色治理合力

北京师范大学环境学院教授 陈磊

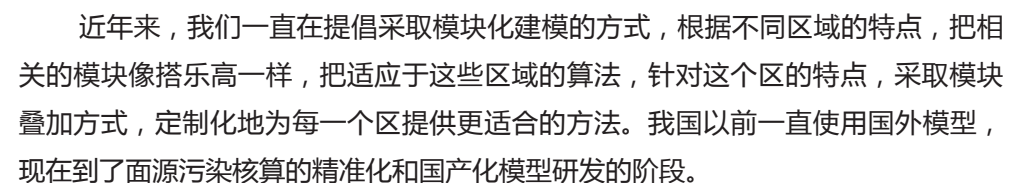
之前一直以为面源污染的贡献很大，但是不管是城市还是农业，现在得出一个结论，围绕面源污染对水体的贡献，存在着很多的边界、界定上的问题。因此，我们对于面源污染，对于每一个流域精准的认知，需要重新思考。另外，氮磷对农田来说都是营养元素，经由降雨径流、水土流失冲刷，导致营养元素进入水体造成污染，本质上不是污染的问题，是生产或者结构性的问题，需要从全局考虑，精准认知面源污染及其环境效益。



近年来做面源污染有三大类研究团队：传统做农业污染，包括土壤学、农学，包括农科院、农业大学，很多对氮磷进入农田之后的流失过程开展研究；有从环境保护的角度，因为面源污染监管划入生态环境部门，研究河道污染多少来自面源的贡献；还有传统搞水力的，从水文、水动力物质迁移角度，分析到底有多少从农田进入到周边流域。



不管是从农学、环境、水文水动力学，多学科交叉导致问题边界模糊。比如对积水区的定义，农业部门、水利部门、环境部门定义的边界不一样；包括散养和规模化养殖怎么归类；北方如北京，很多淡水会进入地下水，然后通过地下水进入到周边水体，这部分怎么记录，这些问题都存在一定争议。物理学提出了引力波概念后，把很多场论的基础知识在其框架之下进行了集成，实现了不同物理学科的大融合。那么，借此思考面源污染的关键，从本质上三件事：污染从哪里来，到哪里去，留在了哪？为此，团队提出面源污染源-流-汇的基础理论。



方法突破一：如何实现污染源位置的精细空间表达？



能成为面源的一个来源。我们在做第二次污染源普查时，面源污染最大的难点也即位置难以确定，导致核算和溯源结果不准确性。解决思路是用很多无人机，包括高精度的遥感数据，通过多源数据融合的方式把地表的观测和空中观测集成，形成天地一体化的数据。比如房子可以在空间上定位，但是牛、羊、鸡会到处跑，部分流动源无法固定，我们也构建了基于一些低成本的统计资料，界定这些流动源的算法，实现面源细化到米级水平。

方法突破二：产排污系数如何更精准？

在进行面源污染产生量计算时，使用产排污系数，最大问题是没有考虑面源污染的随机性。比如地形、降雨、施肥导致面源污染产生量的变化非常大，用这个系数的固定值去算是不合适的。我们把观测的数据和野外观测，包括每个区域获取到的关键影响因素和输出量统筹考虑，把单一的输出系数变成方程，通过机器学习的算法构成一个高精度的动态模型，给出的是一个方程而不是一个固定值。

方法突破三：如何避免多种源的重复计算？

在进行面源污染界定时出现很多重复计算现象。比如畜禽养殖粪便，一些通过有机肥会还到田里，不会进入水体。为此做了三个改进，基于国内化肥、有机肥的基础数据，引入物质流分析方法；考虑农业系统之间存在的物质流动，引入还田率等；考虑大气沉降，在此基础上开发了多元的核算模块。

方法突破四：丘陵山区水土流失的影响？

针对不同积水区产汇流特征，进行研究、构建模型。如长江中下游和黄河中下游丘陵山区，在经典的模型基础上，把水沙相互作用的机制搞清楚，考虑进来，形成栅格模型。

方法突破五：如何实现平原区汇流计算？

平原汇流方向是不定的，是多向流，按照一定的比例从中心往四周计算。同时考虑分布式产汇流方法的计算时间显著上升，不满足业务运行需求，对此提出相应的算法改善，摒弃自顶向下的汇流算法思路，从流域出口反向递归计算汇流过程，避免复杂的判断过程，计算时间缩减到以前的 1/20。

方法突破六：沟塘对汇流有何影响？

针对大量的沟塘汇流，基于农田排水的运算，提出沟塘的汇流算法。思路是把整个的聚水区绘成自然和人为二元汇流路径，通过马尔科夫算法，建立分布式水塘和沟塘水的研究算法，可以实现平原水网沟塘影响下面源核算的高精度解决。

方法突破七：城镇区没有管网数据怎么办？

相关模型做了两方面的改进，一是基于地表产汇流过程，并不是所有的地表下垫面都会影响到城市面源污染，而是一些特定的无透水区，尤其是汇流方向上的会影响。因此我们提出基于微景观概念的地表产汇流的计算方法；同时针对不同城市管道数据可获取性的差异，简化算法，降低城市面源核算的难度。

湖泊食物网结构与碳储量功能

中国科学院水生研究所研究员 徐军

一、湖泊生态系统理论背景

在生态系统生态学里，目前有很多假说和各种模型建模方式，其中生态位假说的理论核心是，生物在生态系统中，在一定时空所需要的栖息位置、资源需求以及和其他生物之间相互作用的功能关系，表示物种生态系统中必需的生态最小阈值。关注这个值之后可以获得多个多样性的计算。比如物种的多样性，遗传的多样性，功能的多样性，最重要的是生态系统中会产生各种网络之间的相互作用，如食物网、传粉网络等生物之间会产生相互作用的网络。

近几十年，湖泊比较突出的问题是浅水湖泊由清水状态向浊水状态转变，水质明显恶化，食物网结构发生显著变化。清水状态下，湖泊主要调用的碳源和主要路径，物质的流动是从沉水植物、附着藻类等底栖食物链为主，这个过程中对营养的控制、碳的固定效用是非常强的。当湖泊受到一定影响之后，食物网受到简化，它的物质能量传递由底栖食物链向浮游食物链转换，很多功能，尤其是水生态修复、恢复的功能会丧失。

二、多重环境压力与湖泊食物网

这其中关注的科学问题主要是两个：一是多重压力下湖泊系统的种间关系、群落结构衰退的机制是什么，注重关注底栖链条；二是如何通过食物网调控，是否能实现一些生态修复，恢复一些生态系统功能，有哪些对应策略。

底栖鱼类对水生植物的影响途径。长期从事湖泊调查总结规律发现，鱼类捕食浮游动物会间接促进浮游植物等生长；鱼类捕食底栖动物，间接促进附着藻类生长，这两个都是现阶段水体中经常看见的生态问题；鱼类直接牧食水生植物，水生植物的衰退；还有鱼类的扰动作用。

影响机理 1：假设在气候变化背景下，鱼类的扰动会增加对底栖的摄食作用和营养级联效应，可能会不利水生植物的发展。我们在中宇宙系统里设立相关观测的

系统构架，观察了两种水生植物，一种是沉水植物——菹草，以及夏秋季的菱角。观测发现，温度升高以及有底栖鱼类可以增加浮游植物的生物量，水华风险增加，水体浊度增加，附着藻类也会变多。气候变暖在全球尺度上会改变物候特征，实际上在系统中也看到，气温升高也改变了两种草的物候结果，导致另外一种草在夏季来临提前，这个过程中鱼类对纯水植物的抑制作用更加促进了浮叶植物的发展。夏天大家其实不想要浮叶植物，因为它会覆盖水面导致水底低氧、遮光，及一系列生态问题。

影响机理 2：城市湖泊因为周围都是景观型湿地或者绿化，面临的面源污染中从周边带入的除草剂比较多，将其纳入研究中，观察如何影响生态系统的相应功能。结果显示，在初级生产者，富营养化直接增加水体浊度和浮游植物生物量，降低沉水植物生物量；在既富营养化又有除草剂添加下，常规的变暖抑制沉水植物生长，夏季的热浪会迅速促进浮游植物的生长，湖泊恢复在多重压力下面临复杂问题。正常气候变暖会增加水生植物生物量，但在富营养化和除草剂都增加条件下，过多的夏季热浪会把增加的一部分沉水植物生物量削减掉，如何避免几者相互作用关系，是在未来生态修复中需要关注的点。

对食物网中消费者的生物观察发现，富营养化可以促进植物、动物生物量生长，但是叠加除草剂和夏季热浪，作用就不明显了。同时，稳定升温会降低底栖生物的总生物量，会导致对附着藻类控制也会降低，水体浊度最终也会改变。

二、生态修复和湖泊碳储量提升潜力

综合全国近期生态修复工程在学术方面的监测，发现在大规模生态修复下，生物多样性和食物网调控能力都有增加，越是修复时间长，生物的作用会显现得更久，生物的指标相对于非生物指标有滞后作用，但是长尺度看有更好的效果，需要长时间的维持作用。

针对太湖流域 200 多个坑塘湖荡进行研究，发现在多样性衰退的过程中，无论浮游还是底栖动物呈现多生物之间的共同衰退，修复的时候也是一起修复的，而且所有清淤后进行了水生植物恢复的湖湾等区域，以底栖动物为例的生物多样性都有所恢复。这也提醒我们，在早期清淤、污染源控制的条件下，在后期的生境改造、生物修复，在中远期对生物多样性和生态保护发挥了作用。

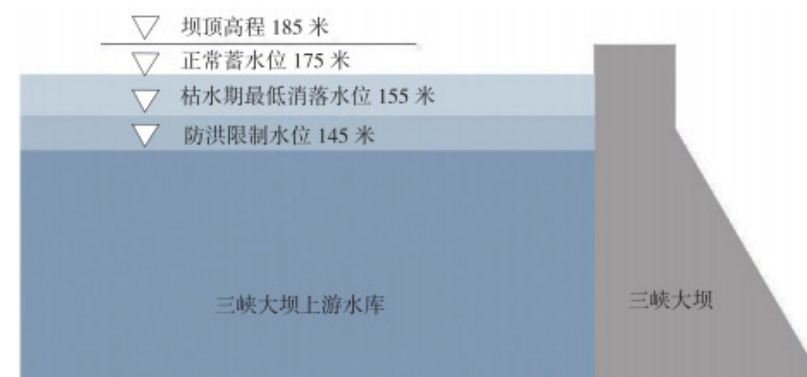
同时，在其中 77 个湖荡中研究食物网的相关指标，发现沉水植物能够维持在 18% 面积比例以上，湖泊更倾向于趋向清水稳态，希望能在大的尺度上，为修复面积的确提供提供一些参数。同时，根据测定的各种元素特征计算其在食物网中碳的储量功能分配，梳理了水生态生产力提升和碳汇通道。通过针对性的修复一方面可以提升生态的容量，同时也能提升对碳的蓄积储备的容量。

促进鱼类自然繁殖的三峡及金沙江下游梯级水库生态调度实践

三峡集团长江生态工程研究中心高工 戴凌全

一、以促进长江中游四大家鱼繁殖为目标的三峡水库生态调度

据不完全统计，在长江流域建设的水库大概超过 5 万座，大型水库 280 座，这些水库在发挥巨大综合效应的同时，不可避免地改变了水库所在河道的天然水文情势，水文节律包括流量过程、水温过程等，导致河流鱼类水流刺激条件减弱，繁殖规模下降，加之长江沿线水体污染和渔业过度捕捞，共同加剧了长江鱼类资源的衰退。而通过改变传统水库调度运行方式，在鱼类繁殖季节营造近自然的人造洪峰刺激鱼类产卵繁殖，是缓解水库不利生态影响，改善河流生态环境的有效手段。



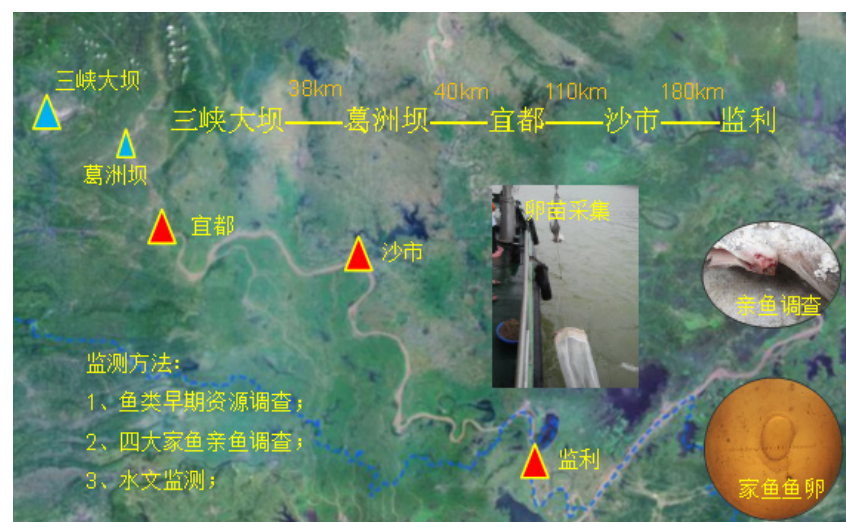
三峡大坝从正常蓄水位 175 米到汛期防洪限制水位 145 米之间，有 211 亿立方米的调解库容，调蓄作用增强，具备通过优化调度制造“人造洪峰”能力，为长江中游四大家鱼创造合适的产卵条件。

四大家鱼——青鱼、草鱼、鲢和鳙，是长江重要经济型鱼类，历史上它们的产卵场是重庆到江西长达 1700 公里的江段，其中宜昌江段产卵量占整个长江流域的 10% 左右。上个世纪 80 年代，因人类建设等多种因素影响，产卵规模有所下降。四大家鱼是典型的产漂流型鱼类，产卵、孵化必须要在流水环境中，需要一定的水文条件，其中一个条件是水温，下限是 18 摄氏度，夏季产卵期可以满足。最主要条件是水流的刺激作用，流量的上涨或水位上涨时，家鱼能够感受到水流信号之后才会产卵。

基于这样的理论，开展生态调度实践工作。自 2001 年首次开展促进长江中游产卵三峡水库生态调度实践以来，连续 12 年已经开展了 18 次生态调度，在鱼类产卵期间，进行早期鱼类资源监测工作。监测站点包括葛洲坝、宜都江段、沙市江段、监利江段，对四大家鱼开展监测，产卵量的监测、水文条件监测，为研究分析提供数据。

生态调度时间设在每年 5-6 月下旬，这是四大家鱼产卵最集中的时段，需要制造 3-6 天持续涨水过程，流量平均增幅在 1000-1200 立方米以上，就可以促进四大家鱼产卵。其中在宜都段面，产卵量呈波动式上升过程，特别是近 5 年上升量非常明显。2022 年，从宜都段面监测到产卵量达到 88 亿粒，恢复到 20 世纪 90 年代水平。这

是包括生态调度在内多种措施共同作用的结果，包括 2020 年 1 月 1 号开始实施的长江禁渔，长江大保护工作的深入开展，鱼类增殖放流多种措施。



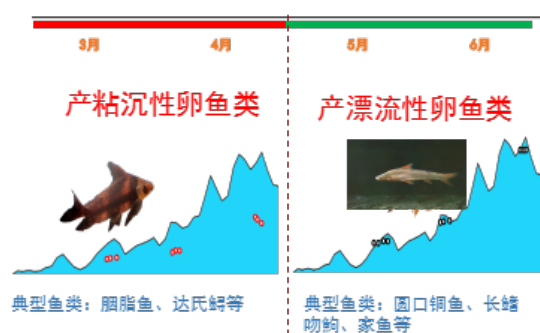
二、金沙江下游梯级水库生态调度

从四川攀枝花到宜宾 800 公里江段，依次建有向家坝、溪洛渡、白鹤滩、乌东德四大发电站；金沙江下游及长江上游川江段水生生物物种丰富，有鱼类 160 种，占到整个长江鱼类种类的一半左右。随着四座电站的相继建成发电，梯级电站开发对下游的生态累积影响已逐渐显现，水文情势、水温和水生生态影响相对突出。

金沙江下游生态调度目标主要针对两类鱼类，三种调度类型。：

实施背景/金沙江下游梯级水库生态调度

保护目标



- 产粘性卵鱼类
 - 水温需求不低于 16℃
- 产漂流性卵鱼类
 - 产卵下限水温：18℃，产卵盛期水温：20-24℃；
 - 涨水过程刺激是促使鱼类繁殖的必要条件；
 - 水流冲击河底深潭或岩礁形成紊乱的流态，为其繁殖创造有利水文条件

一是水温生态调度。因为金沙江下游是深的峡谷型水库，通过前期研究及后期监测，有一些水库在特定时段会产生一些水温的分层。通过运行叠梁门取上中层水，提高出库水温，以此达到鱼类产卵的水温条件。

二是水位生态调度。金沙江下游是窄深型峡谷河道，监测日水位波动可以达到 9 米左右，这种现象会导致一些产粘性卵的鱼类卵附着在岸边，水位下去之后卵就暴

露在阳光下，孵化率就非常低。为此，我们在白鹤滩等采取稳定水位、促进产粘性卵鱼类孵化的水位调度。今年开展了两次水位生态调度，把水位由日波动 9 米控制在 2 米以内，对产粘性卵的孵化起到积极作用。

三是流量生态调度。调节水库出库流量制造一定的涨、退水过程，满足鱼类繁殖的水文需求，刺激产漂流性卵鱼类产卵繁殖。

调度开展情况/金沙江下游梯级水库生态调度

CTG

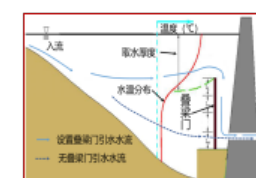
- 2017年溪洛渡-向家坝-三峡水库联合流量生态调度
- 2018年溪洛渡水库开始实施分层取水生态调度
- 2021年乌东德水库开始实施分层取水生态调度
- 2022年白鹤滩水库开始实施分层取水生态调度



金沙江下游梯级水库



面向漂流性卵鱼类的生态调度



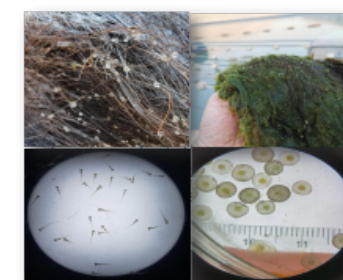
水温生态调度原理

整体来看，生态调度取得了一些有益成果。以乌东德为例，2021 年通过实施水温生态调度和发电生态调度，监测到了产粘性卵的规律，2022 年取得了产漂流性卵小高峰。

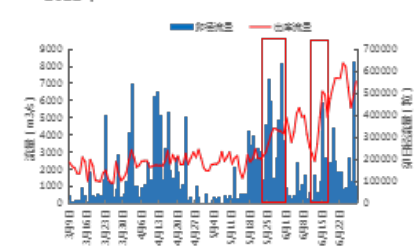
调度效果---以乌东德水库生态调度为例

CTG

生态调度期间鱼类的繁殖情况



2022年



2021年：分层取水生态调度、“基荷发电”生态调度；调度期间产粘性卵鱼类出现规模化繁殖，长鳍吻鲈等漂流产卵规模约为 3.22×10^6 粒。
2022年：分层取水生态调度、“基荷发电”生态调度、流量生态调度，漂流产卵规模约为 8.86×10^6 粒，其中流量生态调度期间 3.17×10^6 粒，约占当年产漂流性卵鱼类繁殖规模的35.8%，调度期间出现明显的产卵高峰。

三、是特色和下一步重点工作

生态调度在操作层面相当复杂，要考虑到来水情况，考虑电网用电需求，考虑防洪条件，上下游的用水需求，每年开展生态调度就要跟电网、水文水利等多个部

门协调好多次才能开展，甚至有一些时候鱼类最佳的生态调度的启动时机错过了还没有协调好。

三峡生态调度特色

CTG

- 国内率先开展流域化水库联合生态调度，持续时间最长。（三峡水库自2011年首次实施生态调度试验以来，已连续12年开展生态调度试验，自2017年起开展三峡及金沙江下游梯级水库生态调度实践）
- 生态调度目标鱼类种类最多，有效促进了40余种长江鱼类自然产卵繁殖。（生态调度不仅促进了以四大家鱼为代表的产漂流性卵鱼类的产卵，也对其他鱼类，如长鳍吻鲈、长薄鳅、中华金沙鳅、银鲴、银鲮、赤眼鲮、鳊、吻鲈等鱼类产卵起到刺激作用，其种类约占长江总鱼类的1/10）
- 生态调度空间跨度最广，覆盖长江干流超过2000km江段。（生态调度区域自金沙江下游乌东德库尾至长江中游荆江河道，占长江总长度的1/3）

下一步重点工作首先是开展系统总结，总结前期哪些好的做法或者存在的问题。历届18次生态调度不是每一次都有效果，有两三次是基本上没有监测到鱼的产卵，说明对自然条件下的生态调度还存在一些问题没有摸清楚。

其次，建立面向水库生态调度的重要水生生物生态响应理论及方法。前期关注的是产了多少卵，很少关心产了卵之后到底有没有长成鱼。我们希望能够往后延伸，围绕鱼类的全生命周期更多做工作；同时关注其他代表性的水生生物，能否通过调度的方式，在一定程度上改善它们回游、产卵等生活阶段的水文过程，能否通过生态调度促进某一个生命阶段的成长。

第三，生态调度的应用拓展。其他流域也在探索性开展相关工作，如从2018年开始，汉江流域也在开展针对鱼类的生态调度，非常希望与相关机构充分沟通交流，共同促进长江流域生物多样性保护工作。

下一步工作的重点

CTG

开展流域生态调度系统总结

持续开展不同类型的流域生态调度

以三峡水库实施生态调度十周年为契机，开展水库生态调度系统总结

分析不同产卵类型鱼类繁殖所需的水文条件特征

建立面向水库生态调度的重要水生生物生态响应理论与方法

鱼类全生命周期

其他重要水生生物，中华鲟，江豚……

水库生态调度的应用拓展

共同推进生态调度在更多流域成功应用

将成果推广至其他流域

生物多样性丰富，美丽长江，人与自然和谐共生。



长江水生生物资源监测与长江大保护

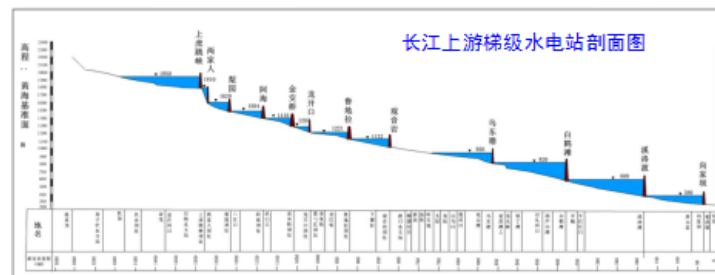
长江水生资源监测中心研究员 段辛斌

一、长江生态健康状况

生态健康状况

长江上游：梯级水电站

- 梯级工程蓄水运行后，江段被分割为“河流-水库（大坝）-河流”形式，天然状态河流的连续性受到破坏
- 梯级水电开发对鱼类的区系组成变动、资源数量变化、遗传多样性变化、遗传分化及生活史对策产生重要影响



1. 上游：梯级电站

电站等水利设施是国之重器，但其对生态的破坏是毁灭性的。现在完整的河流只有从葛洲坝以下，而随着鄱阳湖水利工程马上开工，洞庭湖也要上马类似工程，江湖关系和生态系统将会被彻底改变。如圆口铜鱼，以前是到处都有的经济物种，现在已经成为野外二级保护动物，个人认为下一步是一级，到野外也有可能功能性灭绝，这个进程是很快的。

生态健康状况

长江中游：三峡工程



中华鲟以前也是长江经济类物种，之前有很多，繁殖群体在葛洲坝工程建成使用以后还有2000多尾，到2022年只有15尾，下降99%；因为水温该降的不降，

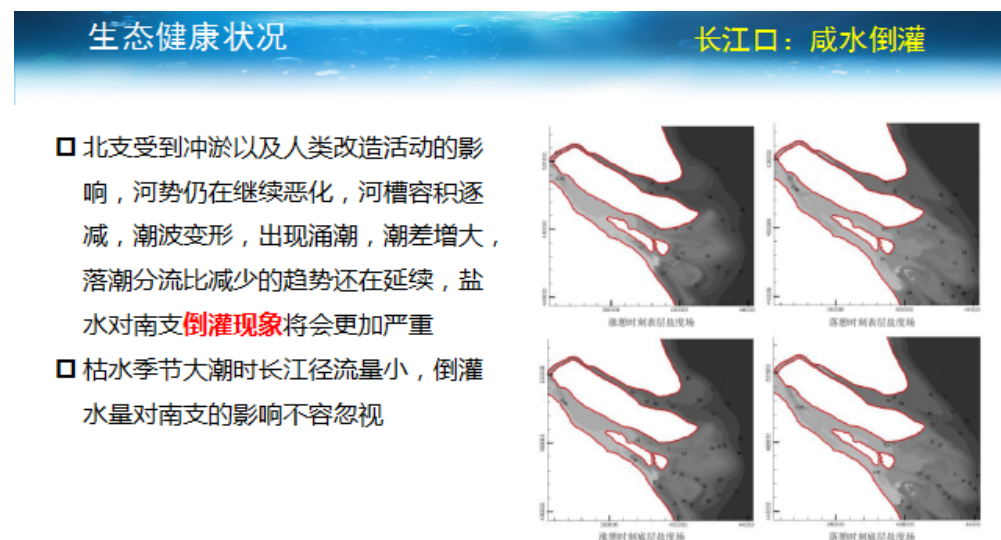
该升的不升，所以导致变化很大。

2. 长江下游：航道、航运



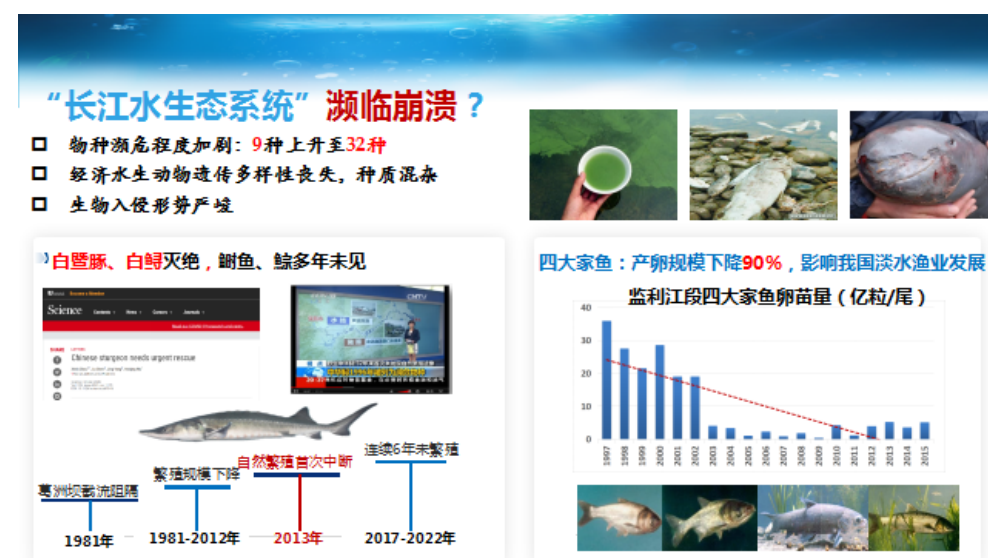
不仅是航道，城市岸线硬化，破坏了生境；同时截至目前，江豚死亡数量已经超过去年，虽然实施了禁捕，但船舶等人类影响还是很大的。

3. 长江口：咸水倒灌



4. 气候变化对长江水文、水环境及水生态均有重要影响

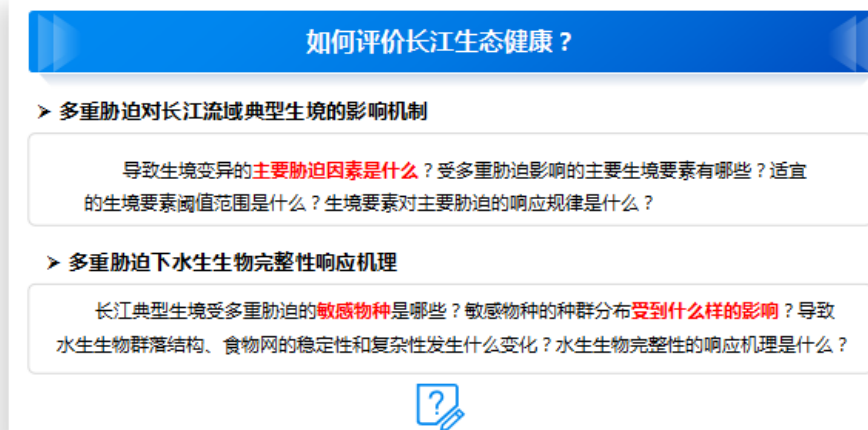
水文方面，全球变暖加剧水文循环过程，改变了天然水文节律及水资源时空分布格局；引起洪水或干旱等极端水文灾害事件强度和频率发生改变；长江源地区气候将会持续呈现暖湿化的发展态势。水生态方面，气候变化对物种适应性发起挑战；物种自然分布格局改变，也可能导致生物入侵现象并加剧；水生态系统生产力、水生生物栖息地的改变等。



二、生态系统健康评级

如何评价长江生态健康？去年科技部启动了长江黄河研究专项，涉及生态到底应该怎么做？敏感的物种到底是什么；基于总书记说的长江生态完整性，农业部花了3年时间，制定了《长江流域水生生物完整性指数评价办法（试行）》；环保部在长江流域开展水生态考核试点，建立以“水生态系统健康”指标为核心，以水生态环境保护、水环境保护、水资源保障三大指标为支撑的考核体系，涉及长江干流及主要支流、重要湖泊、水库等。当然，这个考核是非常有难度的。

生态系统健康评价



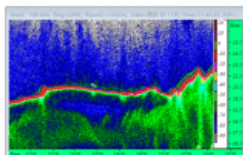
三、水生生物监测与评价

1. 监测网络

水生生物资源监测——监测网络 水利部、农业部、中科院

□ 1996-2022年，长江三峡工程渔业资源监测网络

- 珍稀水生生物监测
- 干流渔业资源监测
- 鱼类早期资源监测
- 洞庭湖、鄱阳湖渔业资源监测
- 渔业水域环境监测



水生生物资源监测—监测网络

□ 2006-2022年，长江上游保护区监测网络

- 保护区珍稀鱼类监测
- 保护区特有鱼类监测
- 保护区重要鱼类资源监测
- 鱼类产卵场与繁殖生态监测
- 保护区及相关水域渔业环境监测
- 保护区及相关水域水生生物资源监测
- 保护区及相关水域污染带水生生物毒性测试和污染死鱼事故监测



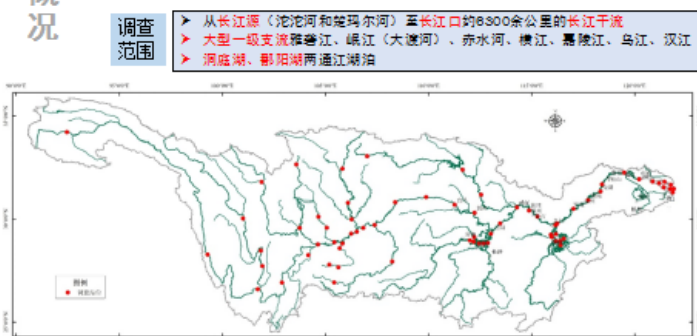
农业部、水利部、中科院

2. 长江专项：第 2 次综合调查 2017-2021

调查概况

- **执行时间:** 2017-2021年
- **调查区域:** 长江干流、大型一级支流、洞庭湖、鄱阳湖
- **参加单位:** 先后有24家单位参与

- 调查内容：
 - 渔业资源：①鱼类组成、②渔业资源、③珍稀鱼类、④江豚、⑤渔业生产
 - 渔业环境：⑥渔业水质、⑦消落区资源与环境
 - ⑧数据样本集成共享平台



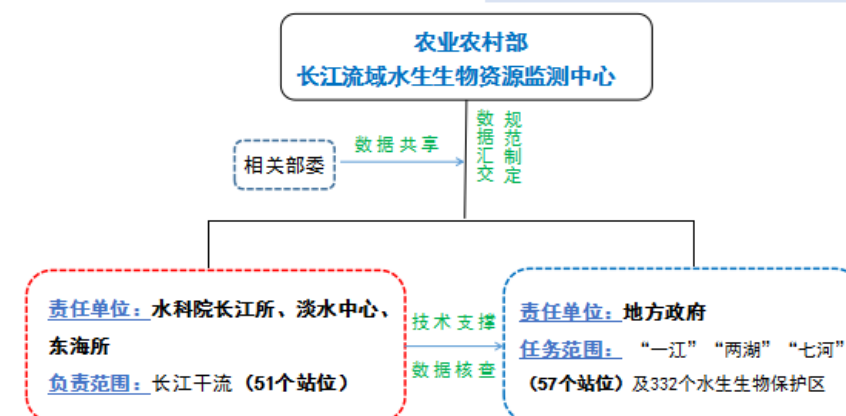
年度重点调查任务			
年度	任务1	任务2	任务3
2017	水质调查	船舶污染 与船舶水污染 (江、湖)	渣土环境、渣土管理 与渣土管理、渣土管理 (江、湖)
2018	渣土调查	船舶污染 与船舶水污染 (江、湖)	渣土环境、渣土管理 与渣土管理、渣土管理 (江、湖)
2019	水质调查	船舶污染 与船舶水污染 (江、湖)	渣土环境、渣土管理 与渣土管理、渣土管理 (江、湖)
2020	水质调查、航迹、采样和渣土调查	船舶污染 与船舶水污染 (江、湖)	渣土环境、渣土管理 与渣土管理、渣土管理 (江、湖)
2021	水质调查、航迹、采样和渣土调查	船舶污染 与船舶水污染 (江、湖)	渣土环境、渣土管理 与渣土管理、渣土管理 (江、湖)

之前主要围绕局部开展工作，第二次综合调查是大尺度，20 多家单位参与。其中，鱼类资源现存量约为上世纪 50 年代 27.3%，80 年代 58.7%；135 种、约 30% 历史记录鱼类未监测到。

3. 构建长江水生生物监测体系

□ 构建长江水生生物监测体系

“部监测中心—省级监测站”两级架构

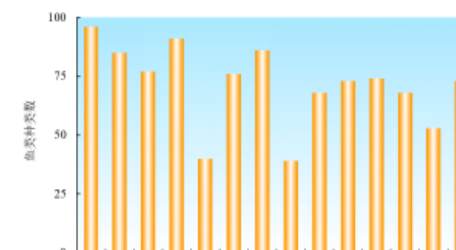


以支撑长江禁捕效果评估和生物完整性评价为出发点，以水科院及各省市监测网络为基础，针对“一江、两湖、七河”，组织开展水生生物资源常规监测以及重要物种资源专项监测，掌握禁渔后长江流域水生生物资源动态，服务长江“十年禁渔”和长江大保护战略。部监测中心在武汉，15省市成立长江流域水生生物资源监测站（从长江沿线城市后来扩大到甘肃、陕西、河南）。自2017年起发布长江水生生物资源及生境状况公报。

4. 长江流域水生生物监测—2022 年

长江鱼类种类数略有增长

- ❑ “一江、两湖、七河”共监测到土著鱼类约200种。
- ❑ 长江干流监测到鱼类150余种，相比2021年增加约20种
- ❑ 洞庭湖和鄱阳湖共监测到90余种，相比2021年略有增加



2022年长江流域各水域鱼类种类数

其中二级保护动物物种形势向好，原因在于一是国家在保护，二是没有人捕捞；区域代表特有物种在增加，如刀鲚，曾经一鱼难求，价格很高，现在数量有了明显恢复，因为繁殖周期较短，禁捕后 2-3 年就能恢复；四大家鱼资源呈现恢复态势，禁捕、

生态调度、鱼类放流等措施成效显著。

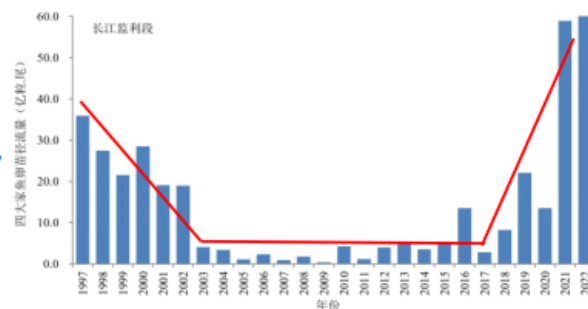
长江江豚止跌回升

- 2022年，长江江豚种群数量为**1249头**，其中，长江干流约**595头**、鄱阳湖约**492头**、洞庭湖约**162头**。
- 与2017年1012头相比，5年数量增加23.42%，年均增长率为4.3%。
- 长江江豚的活动范围也有较大幅度增加。



四大家鱼资源年际变化:

- 监测段卵苗规模年均值在三峡水库蓄水前为25.2亿粒/尾，蓄水后最低降至0.42亿粒/尾。
- 2022年达**78.7亿粒/尾**



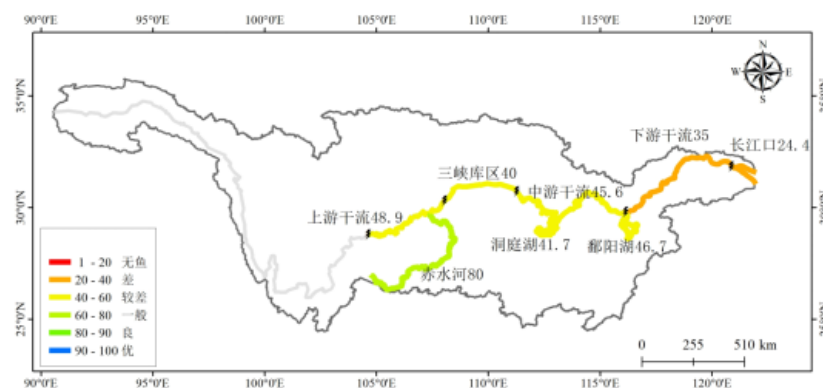
长江监利江段四大家鱼卵苗资源量

中华鲟、长江鲟形势依然严峻，专项监测中未发现中华鲟和长江鲟自然繁殖活动，中华鲟自然繁殖群体规模估算为13尾，延续下降趋势。实际数量有可能还不到13个，因为是几个专业机构的估算。

与此同时，外来物种也得到了休养生息的机会。

长江干流从上游到河口完整性指数逐渐变差。开发力度、人类影响越大，指数越差。

2021年长江水生生物完整性指数评价



长江干流从上游到河口完整性指数**逐渐变差**

四、资源保护与生态修复

1. 建议尽早出台长江流域生态保护补偿条例或办法，促进长江流域生态补偿可持续发展。

2. 落实中华鲟、长江鲟、长江江豚等为代表的珍稀濒危水生生物拯救行动计划。其中，对珍稀物种，加大放流。

3. 关键栖息地保护。



资源保护与生态修复-关键栖息地

关键栖息地保护

- 在水生生物重要栖息地和关键生境建立自然保护区、水产种质资源保护区或其他保护地，**优化调整保护地主体功能和空间布局**，确定保护地功能区范围，合理规范涉保护地人类活动；
- 强化水生生物重要栖息地完整性保护，对具有重要生态服务功能的支流进行**重点修复**。



4. 生态调度。希望下一步通过开展研究，聚焦联合梯级调度，重新回到初心，围绕保护和发展，找到一个契合点、平衡点。

5. 生态航道建设。航道硬化，蜿蜒性河流的把它拉直，有高的低的把它拉平，这是出于防护的需要，但是对鱼类是很不利的。将来非重要的城市区域里能否适当营造一些小的生境，让鱼类有苟延残喘的机会。

6. 江湖连通。我们江汉平原，以前河流里水也有，鱼也有，现在的水没有了，鱼也没有了，人类发展把很多江河流通阻隔了。应打开鱼类索饵场和产卵场之间的洄游通道，这是长江中下游江湖复合生态系统再生或者说再自然化的关键；江湖连通后鱼类资源的恢复也将为江豚等提供更丰富的饵料，有利于濒危物种保护及物种多样性；江湖水文连通性的提升也可以通过水文扰动提升栖息生境的异质性，进而增加水生生物整体的生物多样性和资源量。

梯级开发背景下水生态适应性管理的思考

水利部中国科学院水工程生态研究所工程技术中心主任 陈锋

一、梯级开发对水生生态的影响

梯级开发导致河流的阻隔和生境的破碎化。不管是坝上的流水生境改变、泥沙营养物质分级、水温分层，还是坝下的水文情势改变、清水下泻、滞温效应、气体过饱和等等，都最终改变了河流的生境，从而影响生物多样性和生态系统的健康。

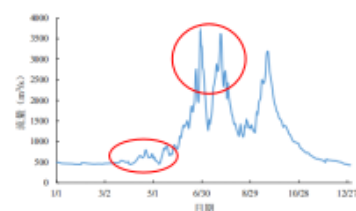
生物与环境是协同进化的，有什么样的生境就有什么样的生物。水库形成之后，尤其是梯级开发的叠加影响，对河流生态系统带来巨大改变，甚至是形成了新的生态系统。一方面，在发电的人工调控下，坝上坝下的水位波动达到9米，是非常不稳定的生态系统，如何维护这种生态系统的健康？另一方面，在原生境的河流系统中，有非常高的生物多样性，经过千百万年演化形成，河流生境破坏后，原来的生物多样性如何保护？

二、水生态保护措施适应性管理探讨

1. 生态调度

1) 生态调度

对象、需求、时间
产粘性卵鱼类：3-4月，12-15℃，粘性，7d
左右孵化，小幅度涨水，流水流速，水位稳定
产漂流性卵鱼类：5-7月，18℃以上，漂流性，
30-50h孵化，涨水过程刺激



- V₁ 洪峰的初始水位
- V₂ 水位的日上涨率
- V₃ 断面初始流量
- V₄ 流量的日增长率
- V₅ 洪峰水位上涨持续时间
- V₆ 前后两个洪峰过程的间隔时间
- V₇ 前后两个洪峰过程的水位差异
- V₈ 起始产卵日期
- V₉ 苗汛时序

其中，产漂流性卵鱼类，繁殖期是5-7月份，正是洪水期，对繁殖温度要求比较高，18度以上，需要30-50小时的漂流孵化，需要涨水过程的刺激，这方面的实践比如三峡的调度，取得了比较好的效果。

在大渡河老鹰岩电站一级二级环评的现场调查时，发现其上游有一个龙头石电站，坝下水位波动非常剧烈，日变幅3-4米。在河滩上面发现了已怀卵的性成熟个体，非常震惊，因为之前我们以为只对鱼卵和幼鱼影响非常大。所以后来在环评过程中向业主和环评单位提出，如果老鹰岩一级二级电站不参与反调节，这两个电站没有上的必要性，在我们的强烈坚持下，电站设计了反调节的功能。经过反调节后，坝下水位波动控制在1.5米以内，可以有效减缓对产粘性卵鱼的影响。

生态调度过程中，还需要高度重视水温的影响。有一些调节功能较强的水库，

其低温水的影响即滞温效应是非常明显的。我们监测的一个水库，在4月份最低的降幅达到5.4度，如果要做到对裂腹鱼最低的繁殖的需求，大概要推迟32天。如果把原本应该3-4月份调度的时间推迟到5、6月份，刚好遇到洪水期，巨大的水位的变幅和高含沙量，对产粘性卵鱼类的产卵、孵化非常有影响。秋冬季水温偏高，对鱼的性腺发育有影响。因此，在制定生态调度过程中要充分考虑多个非常关键的因素。

2. 过鱼设施

首先要考虑必要性和可行性，特别是一些首尾衔接的梯级开发，在坝上没有生活史的条件，过鱼之后对种群究竟有没有作用？是否可以考虑和过鱼设施和栖息地保护相结合。要不要建，一定要科学考察科学论证。

三峡集团做的乌东德集鱼系统是比较好的案例，其经验就是前期一定要做非常深入的基础研究和实验等，才能达到比较好的效果。此外，在过鱼设施维护和管理方面也有很多优化的方面，比如过鱼对象优化，有一些种类确实在过鱼过程中没有发现，是否要进行调整；在过鱼设施建设初期，下游是流水河段，但若千年之后下游形成了水库，鱼类集群也会发生变化，是否要进行改造；过鱼季节方面，一般针对鱼类的繁殖期进行过鱼，一般是3-7月份，鱼类是不是在其他月份也需要过鱼？需要研究；设施设备方面也需要不断地进行优化完善。

3. 增殖放流

我们单位做了非常多工作，包括前期人工繁育研究，增殖放流站工艺的设计，设备制造安装、运行维护等，也在工作中思考遇到的实际问题。比如增殖放流要放哪些种类，有一些种类成库之后资源量可以自然增加；有些物种亲本很难获得，要慎重引种。放流个体的选择方面，一般是放比较小个体的，存活率到底多高，要打个问号？是不是可以放更大个体的？关于放流地点的选择，有很多是流水性的鱼类，放在水库中对它的适应、存活是不是有影响，是不是应放在库尾、支流这种生境里。还有一些凶猛型鱼类增加对放流鱼类的捕食会不会产生影响；放流的种类在放流库区能不能完成生活史、形成自然繁殖的种群，这些问题都非常关键。否则放再多也不能形成种群，根本不能起到作用。

4. 栖息地保护

这是对鱼类多样性保护最有效的措施。首先从水电梯级的规划、可研、方案比选的前期论证工作，要开展优先避让的措施；从流域层面要协调好保护与开发的关系，从上下游、干支流进行栖息地保护的规划；对于局部的水域特别是重要物种的重要生境，要提出重点保护。

栖息地保护过程中，要充分考虑受影响河段内所有土著种类完成生活史的需求；统筹过鱼设施、增殖放流、生态调度等保护措施系统布局；充分考虑栖息地保护与

修复措施的可行性和有效性。

三、开展梯级水生态适应性管理基本原则

一是尊重自然、顺应自然、保护自然，对河流有敬畏之心。二是科学性的原则，保护过程中需要对河流、工程特点，敏感对象生态需求进行科学研究。三是系统性原则，从流域上下游、干支流进行统筹，不同措施之间的统筹。四是要动态管理，要开展长期监测、效果评估，不断优化和调整保护措施的体系。

长江流域水生态环境现状、问题与对策

生态环境部长江流域生态监督管理局生态环境监测与科学研究中心总工程师 王英才

一、长江流域的水环境生态调查情况

从长江源到下游整个来看，首先，物种的演变是非常明显的，从清洁种到耐污种，无论是从藻类还是底栖动物、浮游动物，规律性非常强。从生境来看，优良占 64.5%，一般占 30.5%，差的占 5.0%，我个人认为，由于这个结果是基于人工调查的方法，可能比实际情况“偏好”，因为如果把遥感的结果加进去，长江流域几万个水利工程，把整个水系截得很支离破碎，本身江湖阻隔的情况很突出。因此，这个方法也需要进一步摸索和探讨。从生物角度来看，整个长江流域生态也不乐观，整体来说上游比较好，但是局部支流问题比较多，湖泊的问题更多。

对长江干支流、八大支流的综合评价来看，长江生态从上往下面有逐渐变差的趋势，长江源区是中等和良好，金沙江是良好，到中下游开始出现很多差的结果。湖泊也类似，上游湖泊比较好，下游从滇池开始一些很差的情况开始逐步出现，中下游的湖泊富营养化和水华都比较严重。同时，综合评价结果也可能掩盖了一些局部的问题，在方法上还有进一步讨论空间。

长江流域水生态问题复杂，最突出的五个共性问题是：城镇化发展挤占江河湖库的生态空间；水利工程建设改变水文情势，降低河湖连通性；支流水体污染严重，总磷污染严重；面源污染负荷重，加剧湖泊富营养化；水生态退化、栖息地的受损、生物多样性下降是长江流域最突出面临的问题。

从区域来看，长江源地区的问题主要是：水源涵养能力下降，河流连通性下降、生态用水保障差、局部用水等。其中，人草畜矛盾没有根本解决，水电水利工程的严重威胁，过度放牧，夏季旅游季节脉冲式的污染，上游基础设施比较薄弱等问题，比较突出。

再往下走，长江上游整个云贵川，最突出的表现是江湖连通性差，“人鱼争江”问题凸显，纵向连通性差，物种濒危加剧。四川水电区绝大部分支流开发强度大，

比如一条大渡河可能有几十个电站，基本上一个电站挨着一个电站；自然岸线保有率低，“三磷”排放影响大，城乡面源污染严重；栖息地受到破坏，珍稀水生生物数量下降。

中游地区的问题是濒危物种减少，江湖阻隔，湖泊侵占，大量湖滨带开发，自然岸线破坏，栖息地破碎化，产卵场破坏。水质胁迫的压力在中游比较明显。

下游地区问题则更为严重，压力指数非常大，整个关键种群的退化比较突出。化工及面源污染居高不下，蓝藻水华频频发生。污染仍然是下游面临的突出问题，特别是环保部新污染物控制的新要求，原来很多污染物没有测，一测就会发现问题都出来了。

二、规划引领保护

规划是第一位，要以规划引领长江生态环境保护。“十四五”生态环境保护规划体现了以下特点：

1. 思路转变：从污染防治向水生态环境保护修复转变，坚持生态优先、空间管控；流域统筹，突出重点；系统谋划，综合治理；齐抓共管、严格监督。

2. 技术路线：河湖统领，强调四个在哪里（问题原因对策落实），七大任务落实在哪里？规划强调落实，后续还有一系列体制机制规划去确保落实。

3. 目标确定：主要坚持目标导向、问题导向、有限目标、均衡协调；日前发布的重点流域生态保护规划提出，2025 年地表水达到或者好于三类的水体比例不低于 92.5%，劣 5 类水体全部消除，县级以上城市黑臭水体基本消除；恢复“有水”河流 8 条，62 个重点控制断面生态流量达到有效保障；还有重点水功能区的恢复，生态缓冲带、人工湿地恢复或者增加的要求，还提出了标志性物种的重现要求。整个目标设定有重要改变，弱化了水环境的一些目标，增加了水生态的目标，生态用水流量的目标。

4. 规划落实。长江生态环境监测管理局有一个综合处，专门负责日常的督导和评估，推动形成规划、督导、评估目标不断地相互反馈和促进。目前形成了长江流域“一干、七支、两大水系、三湖、四区、三群”的生态环境保护空间格局。

三、考核驱动保护落地

依据长江保护法的第 78 条，依法开展长江水生态考核。这一制度具有政治性、战略性、引领性，在我国水生态环境保护史上有里程碑意义。考核驱动，直接导向水生态保护和修复，更多关注生物多样性的恢复和生境的保护。在整个考核体系里涉及到四大块：生境修复，不仅要治污，还要把破坏的生境修复；水生态系统健康中纳入大量的水生物指标；水资源保障的落实；水环境指标权重降低，只占到百分

之十几，开始向水生态、水生境转换。

整个考核依据长江保护法，并和长江大保护、长江流域生态环境保护规划等对接，瞄准的是 2035 美丽中国建设，倒推 15 年分解目标。

整个体系构建体现了四个原则。一是针对性，聚焦不当人类活动引起的突出水生态问题；二是科学性，选择认同性高、精准评估的指标；三是引导性，逐渐引导地方因地制宜开展工作；四是可行性，可监测、可评价、可考核。

指标筛选的“四个结合”原则：远近结合，边考核边摸索，边找规律，远期要衔接美丽中国建设的目标；与目前推进的各项重点工作结合；点面结合，点是突出生态问题和突出性，面上体现长江流域整体性，建立统一的工作逻辑和指标体系；部门结合，联合部署、分工协作。

在建议指标参考值上，提出三个方法：已经有标准的用标准参考值；有丰富历史调查资料的，参考历史最佳状态；还有一些工作基础比较薄弱的，用遥感或者来解决这个情况。水华面积可以用它来记录，结合国内的水生所的工作，大家都把数据提起来一起做。参照流域的加在一起，5% 的作为最优的状态进一步设置它的期望值得，这是整个的期望值的设定。

考核的过程看，这一次考核增加了变化分值，现状 40%，变化占 60%，督促进展较差的地方进一步提升，如果有好的变化提升，即使只是 2%-5% 的变化量，基本也能得到较高的赋分。从考核范围，建议长江流域 17 个省作为试点，考核水体选择长江流域重要功能或者社会关注度高的水体，大概有 50 个，基本覆盖“一干八支”、重要湖库、河流等。