



# 避免风险成危险

“流域水环境风险管理技术集成”课题助推国家水环境风险管理

## 2 实现风险的病根防治

素,建立了我国重点行业水环境特征污染物和优控污染物筛选技术方法,提出了《太湖流域重点行业特征污染物清单》和《太湖流域重点行业优控污染物清单》。评估和筛查出太湖流域的潜在风险污染物,主要包括卤代烃、苯系物、脂类、醛类等共计26种,同时筛选出纺织染整行业有毒有害的优控污染物24种,印刷电路板行业22种,黑色金属冶炼和压延加工行业7种(超过50%的检出污染物种类未列入国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中)。

从源头规避突发环境污染事件的发生,是防范环境风险的最有效途径。针对水环境风险源复杂多样,污染源不明的情况,对太湖流域(常州段)范围内水环境风险源及污染物来源进行了科学识别。以流域内重点企业为研究对象,综合考虑企业固有风险属性、风险暴露与传播途径、风险管理水平、风险受体等因素,评估企业突发水环境事件风险,将水环境事件风险等级划分为一般环境风险、较大环境风险和重大环境风险三级;整合各流域内所有水环境事件风险程度,对流域水环境风险进行分区,分别为低风险区、中风险区、高风险区,结合不同功能区要求逐步实施差别化的流域产业结构调整与准入政策,为不同功能区重点行业的环境风险管理提供技术支持和政策建议。为科学判别水环境中污染物来源,基于目前大数据的融合,课题组优化并构建局部CMB模型,根据重点行业污染排放数据及水体中污染物检测数据,利用局部CMB模型和其他源解析受体模型对水体中重点污染物有机磷酸酯阻燃剂识别出其污染源为纺织、钢铁、电子元件加工等行业,并定量判定各污染源贡献率,为管理部门制定科学有效的污染防治策略提供数据基础和技术支撑。

课题组基于常州地区流域重点行业排污数据、流域

有毒有害污染物及特征污染物数据、流域敏感点分布矩阵数据动态监测分析,考虑流域突发环境风险评估数据动态管理的功能要求,构建了“流域水环境风险评估数据库”。结合太湖流域的生物区系特征,以及浮游动植物、水生植物、鱼类等种群特征和物种的调查情况,对风险评估数据库进行完善和补充。为流域有毒有害及特征污染物管理、流域突发环境风险评估管理、流域敏感点筛选及动态评估提供了参考,对当地水环境管理部门提供了数据支撑和技术支持。该数据库主要集合了基础数据收集、地理空间信息展示以及数据分析在内的三大功能模块内容,形成了包括常州市水资源概况、水环境质量、水环境生态风险评估等在内的10个子数据库内容。分析敏感点受污染程度、企业排污特点等,构建流域内重点企业风险源和敏感区的对应关系矩阵。利用相关水质模型模拟了从污染源到敏感点方向的污染物动态污染情景,研判污染源对监测断面处的水环境质量对敏感点的影响,建立了从敏感点到污染源方向的污染源来源预判矩阵。数据库的构建可直观展示企业排污后对水质的影响,以及污染物可能来源范围和重点监管企业的风险等级,为当地对排污企业的监管与水环境保护提供有力依据。该子数据库包括已收集的重点企业基本信息和企业风险等级信息,并具有滚动更新和实时在线查询等功能。对于新污染企业,在添加完基础数据后系统可以自动算出该企业的风险等级,实现了数据库的动态化运行,便于上级主管部门掌握不同企业的风险等级并进行精准管理;同时,在该数据库的水环境生态风险评估基础子数据库中,融合了本土生物区系分布情况、水环境污染物的环境暴露数据、水生态毒理学数据以及通过调查问卷获取的人群暴露参数等数据模块,可作为当地健康暴露、风险评估等研究提供重要参考。

## 3 实现风险的主动防控与应急

太湖流域的水环境风险防控形势十分严峻。一方面,太湖流域环境风险源点多面广、类型众多,不同类型风险源对不同水体环境产生影响的途径和程度存在差别,对于涉及人体健康和环境安全的重点水体继续开展精准识别和科学评判;另一方面,由于水体环境风险底数不清、风险传递过程及主要影响因素不明,亟待有针对性的突发环境事件应急预案对水环境风险防控提供支撑,并为突发环境事件精准应对提供重要参考。

针对环境风险底数不清、环境风险状况不明的问题,课题组从精准识别太湖流域(常州段)环境风险问题的角度出发,研发了区域水环境风险识别与评估技术。采用常州地区统计年鉴、环境、交通、应急、水利等部门资料,依据风险线性递减理论,识别环境风险源、敏感受体、暴露途径等环境风险要素。在此基础上,建立了流域水环境风险网格化评估方法,明确了太湖流域(常州段)环境风险源分布情况,评估了区域水环境风险状况。基于环境风险强度和受体易损性量化计算方法,课题组首次实现了1公里×1公里网格为评价基本单元的流域水环境风险状况,区域内高风险区为新北主城区北部、金坛区主城区、溧阳市主城区北部、

中心城区和武进区南部。

针对水环境风险防控缺乏底层支撑的问题,课题组从区域已识别的环境风险源出发,设定突发水环境事件情景,梳理涉及的环节风险物质及可能发生事件的重点区域,设计了突发水污染事件中污染物迁移模型。根据模型,课题组预测了可能受影响的水环境风险受体,在此基础上制定了《太湖流域(常州段)突发水污染事件应急预案》,预案中重点明确了典型突发水污染事件情景演化规律以及应急处置流程,为区域水环境风险防控与应急管理提供科学支持。

此外,在研究过程中,课题还系统集成“十一五”和“十二五”水环境风险评估与预警的关键技术和应用成果,建立了成套水环境风险管理技术体系,包括风险识别、风险评估、风险预警、风险管控、损害鉴定评估5项核心技术和25项关键技术,形成了《流域水环境风险管理技术集成报告》,在开展流域水环境风险管理技术集成与应用的基础上,组织编制立项《水生态学污染物风险评估技术指南总纲》《地表水环境人群暴露评估技术指南》《水生态毒素类化学品风险评估技术指南》和《水环境复合污染生态风险评估技术指南》4项技术指南。

## 4 助推流域水环境风险管理转型

蓝图参考。

在流域层面,基于在长江流域筛查出包括卤代烃、苯系物、脂类、醛类在内的26种潜在风险污染物,以及印刷电路板、纺织染整等重点行业优控污染物清单,针对流域层面长江流域水环境污染风险防控存在的问题,提交“长江经济带有毒有害水环境风险防控”政策建议,提出加强对流域水体和污染源排放的双重管控,建立“源头—排污口—监测—统计—监督”落实风险源主体

责任的多项建议,为长江流域风险防控提供科学依据和精准管控策略支持。

在污染物层面,基于我国重点流域水生态敏感优先指标为铜、锌的研究成果,提出“加强铜、锌水生态风险防控,保护流域水生生物安全”的政策建议,针对性地提出加强铜、锌污染监管的多项举措建议,为避免铜、锌水质标准对水生生物的“欠保护”问题提供支持。

童克难

## 1 实现风险的“大病”排查

流域复合污染风险评估是摸清流域风险底数的基础,识别复合污染环境中的关键风险污染物是开展针对性的流域风险管控的重要依据。我国流域水环境污染目前呈复合、叠加与压缩的特点,流域污染源涵盖居民生活、工业和农业等排放的污染物在水环境中共存,加上各类降解产物,形成典型的复合污染现状。污染物之间存在拮抗、协同、加和等复合毒性作用,而传统生态风险评估主要针对单一污染物,基于单纯化学分析为基础的评估,可能产生风险评估的误差。相反,基于生物测试为基础的,开展复合污染评估获得流域的整体风险状况有效地支撑风险管理,但复合污染风险评估存在诸多关键技术难题有待突破。

针对实验室离线测试中污染物在样品采集、运输和储存过程中可能发生形态、浓度等改变,以及较难模拟实际环境条件,暴露与效应数据不能反映实际环境效应的关键难题,课题组研发了原位被动采样—生物暴露联用技术,开发了野外在线方法,以提高评估的环境真实性。课题组通过整合水体被动采样器、多段孔隙水采样器、沉积物—水界面通量被动采样器和生物暴露装置并申请国家发明专利。通过获取区域位点的水体和沉积物中污染物生物可利用浓度和受试生物的毒性效应,再经过证据权重分析划分区域的风险等级。目前已在珠江流域、太湖流域和鄱阳湖流域进行了应用,以太湖流域(常州段)为例:选取位于太湖和溧湖的代表性位点,本土物种稀有鮈鲫和河蚌为受试生物,经过10天原位暴露后分析生物体内污染物积累浓度、生物标志物响应、行为变化指标,表征研究位点复合污染的生物毒性效应,同时分析被动采样器中富集的污染物浓度,表征复合污染的暴露水平;输入暴露和效应数据进行灰色逼近理想点法分析,将所有位点按风险高低进行排序,有效筛查出高风险位点,为流域复合污染风险评估提供技术装备支持。

针对复合污染情况下常规污染物监测清单可能无法涵盖主要致毒物的问题,建立了以效应为筛查依据的污染物识别方法,将活体生物测试与细胞生物测试方法与生物可利用性为基础的萃取和加标技术相结合,考虑污染物生物可利用性的基础上,在细胞和个体水平上联用毒性鉴别评估(toxicity identification evaluation, TIE)和效应导向分析(effect-directed analysis, EDA)技术,计算目标和非目标污染物的毒性贡献,筛查出关键危害物。将TIE—EDA联用技术用于识别广州市等水体沉积物中的主要致毒物质,揭示了当前使用农药通过神经毒性作用对摇蚊幼虫的毒性贡献,同时通过非目标污染物的筛查发现研究区域多环芳烃类污染物对摇蚊幼虫毒性有重要贡献,为流域风险污染物识别提供技术支持。

针对流域水环境中污染物的分布复杂性和组成复杂性特点,课题组提出了以识别高风险区域和关键危害物为重点的流域水环境复合污染生态风险评估技术框架。首先,以考虑污染物生物可利用性的暴露和效应分析为基础,通过证据权重分析识别关键风险区域,即重点防控区域;其次,在重点防控区域,结合TIE和EDA技术,甄别关键危害物;最后,利用多级生态风险评估方法,综合评估研究区域中关键危害物的生态风险。目前已编制立项的技术指南将进一步支撑我国流域复合污染风险评估工作的开展。

流域重点行业风险管控是化解流域水环境风险的关键抓手,课题组在太湖流域(常州段)范围内以印刷电路板、纺织染整和钢铁等重点行业等重点行业为研究对象,开展重点行业优控污染物筛选、污染源识别、企业风险识别评估、风险防控数据库构建等研究,构建流域重点行业风险管理体系,为太湖流域(常州段)重点行业的环境风险管理提供技术支持,对我国有针对性的开展流域重点行业的环境风险管理提供了技术模式经验。

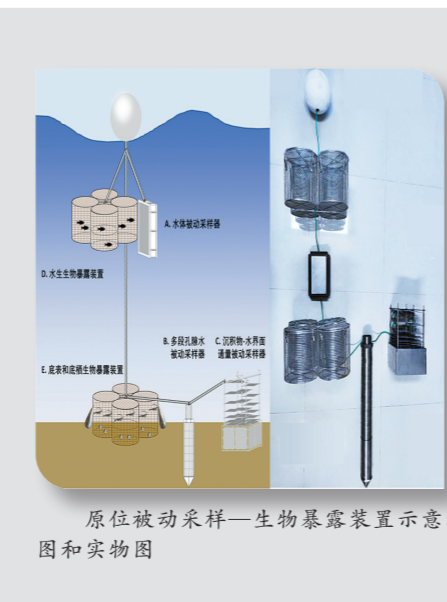
现有的特征污染物和优先控制污染物清单筛选方法主要针对流域和水体,通常来说以污染的受体水环境为研究对象,特征污染物清单通常是通过对于受污染水体的取样检测和分析得到,并通过目前国际上普遍采用的定量和半定量评分方法进行筛选优控污染物清单。此方法存在的不足是水环境中污染物种类繁多,目标检测针对性存疑,即使在水中筛选出特征污染物和优控污染物也无法精准溯源;已有的对于行业特征污染物和优先控制污染物清单筛选方法主要以末端的污水为研究对象,没有充分考虑到行业生产全过程可能产生的污染风险。课题组基于清洁生产全过程管控理念,通过综合评估方法,选择太湖流域具有代表性的印刷电路板、纺织染整和钢铁等重点行业,然后从各行业主流工艺出发,将资料调研和现场监测相结合,研究重点行业原辅材料、产排污环节和产排量,综合考虑原料、中间物质、产品和水处理设施用料等因素,同时根据水体中污染物的暴露浓度、持久性、毒性、致癌性和检出率等因

水生态损害评估是构建流域水环境风险管理的倒逼机制的重要组成。由于地表水体流动性强、水生生物链复杂、生态环境基线数据缺乏、生态系统服务功能影响因素多,地表水生态环境事件往往影响范围较广、水下环境影响调查难度大、生态环境基线确定难、生物多样性损害成因复杂、生态系统服务功能损害量化缺少成熟的技术方法。针对这些难题,课题组在系统梳理国内外地表水生态环境损害鉴定评估技术规范的基础上,针对我国生态环境损害评估与损害赔偿技术需求,结合典型案例剖析,编制了《生态环境损害鉴定评估技术指南地表水与沉积物》,适用于因污染环境或破坏生态导致的地表水与沉积物生态环境损害鉴定评估,目前该技术指南已进入最后行政审批阶段。此外,针对地表水生态环境损害评估费用可能大于损害赔偿数额,生态环境恢复在技术上不可行等问题,课题组正在研究制定简化评估技术方法,以满足水生态环境损害鉴定评估的需求。

应急预案是风险管理底线保障,摸清水环境风险底数,识别环境风险问题是开展太湖流域环境风险管理工作的基础。近年来,由于长江中下游地区经济活动活跃、环境风险企业密布,导致突发环境事件时有发生,

除了技术集成研发与应用,课题在政策层面突出提出的我国流域水环境风险管理的思路,也为我国水生态环境管理思路和重点的转变提供战略蓝图参考。

在国家层面,针对水环境风险防控存在的问题,提交“统筹推进水环境风险管理”的政策建议,系统梳理国内外流域水环境风险管理现状,总结我国水生态环境管理面临的形势和存在的问题,初步提出了我国流域水环境风险管理的战略思路,我国水生态环境管理提供战略



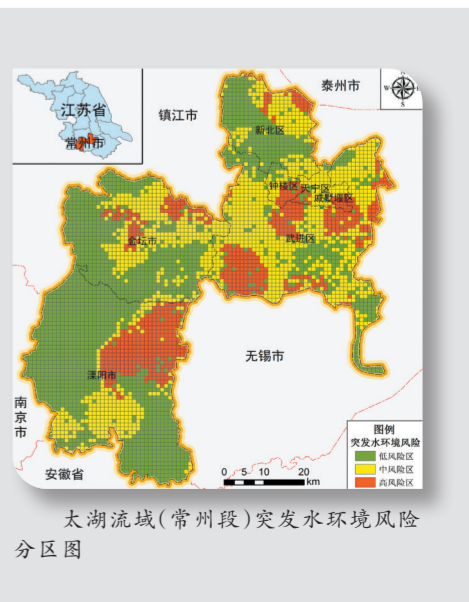
原位被动采样—生物暴露装置示意图和实物图



课题组开展太湖流域原位被动采样工作



课题组成员进行重点行业污水采样工作



太湖流域(常州段)突发水环境风险分区图