

# 流域水环境风险评估再添新助力

水专项“流域水环境风险评估与预警技术研究和示范项目”成效显著

自1993年以来,我国已发生近3万起突发环境事件,重、特大突发环境事件1000多起,其中约53%是水污染事故。2005年11月松花江发生硝基苯重大水污染事件,导致哈尔滨市中断供水,数百万居民生产生活受到影响,经济损失巨大,并产生一系列跨省、跨国环境问题;同年12月,广东省北江镉污染事件导致下游10余万人无法从北江取水。此外,在一些湖泊、大型水库及河口,由于氮磷营养盐大量积累,引发蓝藻水华灾害,同样带来较严重的水环境问题。如2007年5月太湖蓝藻事件,几乎使无锡市供水系统陷入瘫痪。然而,相对于日益严峻的水环境风险防范形势,我国水环境风险的监控预警能力仍然薄弱,监控预警机制尚未建立。现有的水环境监测体系缺乏必要的水环境风险管理机制,不能有效支撑水环境监控预警等风险管理的需求。

针对这些突出问题,在分区、分类、分级、分期的流域水环境管理理念指导下,水专项“流域水环境风险评估与预警技术研究和示范项目”(以下简称“项目”)以流域水生态分区及控制单元划分为基础,充分利用流域水环境质量监测与污染源监测信息,开展污染源监管与风险评估技术、流域水环境风险评估方法、流域水环境预警技术、流域水环境管理平台技术等研究,建立并

完善流域水环境管理技术体系,为构建国家、流域水环境管理决策平台,提高水环境管理水平以及促进水环境管理机制转变提供了科技支撑。

项目选择了太湖、辽河、三峡库区和松花江跨界河流4个示范流域,设计开发稳定、高效的流域水环境风险评估及预警信息系统。在示范区系统建设及运行经验基础上,结合流域水环境风险管理技术,逐步引导流域水环境管理理念创新,提升流域水环境管理能力,为我国流域水质目标管理和风险管理技术体系提供支撑。

项目有三大研究方向:完善常规的流域水环境质量评估技术;建立流域水环境风险评估与预警技术;建立流域水环境风险评估与预警技术平台并进行业务化应用。课题组的目的是:到2020年,研发流域水环境风险评估与预警关键技术,形成中国特色的流域水环境风险评估与预警技术体系,并在重点流域开展技术集成、综合示范及业务化运用,完善现有的流域水环境管理技术,逐步引导流域水环境管理理念创新,提升流域水环境管理能力,为我国流域水质目标管理和风险管理技术体系提供支撑。

自2012年项目实施至今,已取得了多项重要进展。

## 建立流域突发性水环境风险快速模拟与应急技术体系,纳入国家环境标准制定计划

当前,我国流域突发性水污染事故屡有发生。事故发生后,快速、科学评估污染事故对生态系统和人体健康的风险,确立基于保护生态系统或饮用水安全为目的的污染事故特征污染物应急控制阈值,进而采取科学、有效的污染事故应急处置技术,对于正确处理处置突发性水污染事故具有重要意义。

项目为此开展了流域水环境风险源识别技术、风险监控预警技术、风险快速模拟技术、风险评估技术以及风险应急处置技术等突发性水环境风险管理技术研究,初步建立流域突发性水环境风险评估预警技术体系,部分成果已经纳入国家环境标准制修订计划,为流域水环境应急管理提供了技术支持。

对于三峡库区而言,这是一个从无到有、从有到优的改变。三峡库区及上游水环境安全不仅关系到库区周边湖北省和重庆市20个区县人民的生产生活,也关系到长江中下游和南水北调沿线几亿人的用水安全。课题组历经三年时间,构建了具有动力学机理的、引入高效能计算技术的“空-地-水”一体化水环境模型体系,实现了两小时内预测三峡库区水体20米精度内未来两天水环境变化趋势,5分钟内模拟预测突发事故未来两天内的演进过程,实现了对三峡

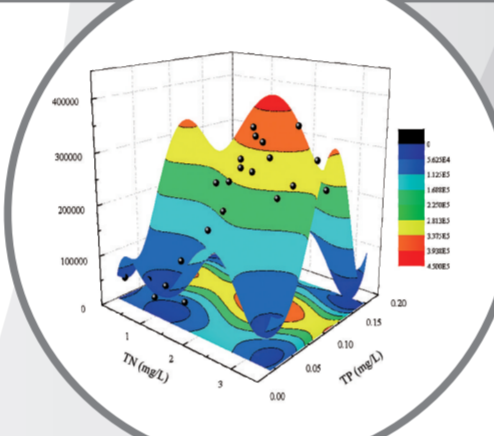
库区水环境风险的高精度、高效率评估与预警。

项目建立的流域水环境突发性风险源识别技术,涵盖了水环境风险源的调查辨识、分级和标准、定性定量评估等技术内容。项目构建的流域水环境突发性环境风险快速模拟技术,是在满足不同地区对流域水环境风险模拟预测需要上,研究流域突发性水污染事故风险的预测方法,建立能同时应用于资料缺乏地区和资料详实地区的流域突发性水环境风险应急模拟预测模型体系,突发性风险模拟模型参数库和风险模拟模型软件。项目提出一套基于维护水生生态系统健康的突发性水污染事故应急生态风险评估方法,确定突发性水污染事故风险等级以及风险表征方法,为进一步加强管理提供了依据。

同时,项目完成六类120种典型危险化学品对土壤及水体污染的应急控制技术,提出应急控制预案,并以典型污染物为例进行了技术研发、应急措施预案的详细说明。考查了应急措施的二次污染和应急处理的时效性,在应急方案研究基础上编写了应急处理研究报告及技术指南手册。研究成果为建立水环境事故稳定性、定量的应急处理体系,支撑危险化学品事故水污染应急处理提供了理论依据。



▲ 研究人员对沉积物界面水进行采样。



▲ 湖泊生态系统水文预警三维模型

▼ 项目组研发了金属生物效应预测模型,获得了50种以上金属的生物毒性值和风险阈值。

## 突破关键技术,建立流域水环境累积性环境风险评估与预警技术体系

湖泊富营养化是我国主要环境问题之一,湖泊蓝藻水华暴发直接影响到湖泊饮用水源的安全。项目集成开发了太湖流域水环境污染源管理、水环境质量管理、水环境风险评估预警及水环境应急响应等子系统,构建了太湖流域以及重污染区、河网区、湖荡区3个专题的水环境风险评估和预警技术平台。该平台在太湖流域实现污染源、水环境质量的日常信息管理的基础上,在水华预警、跨界水污染纠纷调处等方面得到全面应用。

项目围绕累积性环境风险内涵与管理需求,借鉴欧美等发达国家生态风险评估的方法和技术流程,针对水生态健康,着眼于危害识别、暴露评估、效应识别、风险表征和风险预警等主要环节,突破了一系列关键技术,包括流域水生态风险识别技术、原位被动采样技术,金属毒性效应预测模型和野外实际样品污染物毒性效应识别技术,重金属水生态联合风险表征和等级划分技术,水生态系统灾变风险预警模型等,初步构建了适合我国区域特点的流域水环境风险评估与预警技术框架和体系。

### 流域水生态风险识别技术

针对水体中重金属和持久性有机污染等风险因子难以通过化学检测的方法评估其潜在毒性的问题,研究风险识别技术,包括危险物质识别、危险设施(设备)识别、危险生产工艺识别、危险功能单元识别、危险类别识别、重大危险源识别、风险评价工作等级识别、风险评价范围识别等8项内容;建立基于暴露-响应过程分析的对风险受体对污染源暴露途径过程识别技术;基于生物标志物作为敏感的生物效应“早期预警”工具,建立特异性、敏感性、快速指示水体重金属污染对生物体的影响的风险识别技术。

### 流域水生态暴露评价技术

针对常规监测水体污染物浓度不

能准确反映生物接触的实际污染物剂量问题,研究有害污染物从污染源排入环境到被生物吸收或对生态受体发生作用过程的评价技术,从源强分析、迁移过程分析、转归分析、受体暴露途径分析、暴露程度分析等五大方面重点突破水生态风险暴露评价技术,针对污染物在环境中的行为特性和生物受体类型及行为特征建立了被动采样技术、多介质逸度模型、人工神经网络等适用于中国生物区系的暴露评价方法。为更科学地反应环境中污染物的真实暴露风险,通过研发开发水体被动采样装置、沉积物-水界面交换通量被动采样装置和沉积物孔隙水被动采样器等一系列被动采样装置,建立了以原位被动采样技术为主体的流域水环境典型有机污染物的生态暴露评估技术体系,用生物可利用浓度代替水环境污染物总浓度,对水生态系统进行更科学、更有效的暴露评估。

### 流域水生态效应评价技术

为在实际生态系统中,更准确解决多类物种,多暴露途径表征的困难,研发了用于预测水体中重金属的生物有效性以及重金属的毒性生物配体模型,改进了利用化学结构或理化性质预测污染物毒性效应的结构-活性效应模型(QSAR)用于生物个体水平效应评价,集成了种群繁殖力模型、预测矩阵模型、蒙特卡罗模拟等种群水平效应评价技术,集成和完善了物种敏感度曲线法、高斯非参数概率密度模型等生态系统水平效应评价技术。通过对重金属污染物毒性信息开展深入研究,首次发现了金属理化要素与生物毒性之间的显著相关性,研发了金属生物效应预测模型,获得了50种以上金属的生物毒性值和风险阈值;构建了含生物可利用性测定的沉积物毒性评价概念模型,结合原位仿生萃取技术,针对流域典型污染物

建立考虑生物可利用性浓度表征手段的流域水环境生物毒性评价方法,为科学、有效评估流域水生态效应提供了有益补充。

项目对太湖流域开展生态风险评估工作,绘制了生态风险分区图,对多环芳烃、有机氯农药、8种典型重金属等主要累积性污染源进行了基于分区的生态风险评估。项目针对目前亟需解决的复合污染风险评估问题,以潜在受影响物种百分比来尝试表征研究区域内物种可能受到危害的比例,建立了重金属复合污染的水生态联合风险表征和等级划分技术。

项目基于生态系统能质理论,研发了水生态系统灾变风险预警技术,初步建立湖泊生态系统灾变预警模型。该模型在太湖开展示范应用,综合分析了太湖1960-2013年期间水质、水生态变化规律,发现了灾变发生的关键时间节点、早期信号和灾变阈值。研究成果表明,太湖生态系统两次灾变均是沉水植物先衰亡,次年出现藻类暴发,且TP不是沉水植物衰亡的关键驱动因子。沉水植物消亡使得藻类失去竞争营养盐的对手,沉积物再悬浮和沉水植物死亡后营养盐释放,促使湖泊水体营养盐浓度升高,为藻类暴发提供重要铺垫。综合评价所得的灾变时间节点与各湖泊的重大灾变历史事件发现,阈值可提前1年左右预警生态系统灾变现象。项目运用这一灾变预警模型,对国内几个重要湖泊(滇池、巢湖、洱海和抚仙湖)生态系统状态进行评价,为我国的水环境风险管理提供了有力的技术支撑。

目前,项目已经初步形成适合我国区域特点的流域水生态风险评估预警技术体系,初步完成流域水生态风险评估技术导则建议稿,太湖流域水生态风险评估与预警综合报告、太湖流域水生态风险评估与预警综合管理信息库,为提高我国水环境风险管理能力提供了有利支撑。

## 业务化运行技术平台在多地建立,科技支撑作用开始显现

三峡、太湖的工作只是项目的一个缩影。此前,我国水环境信息一直缺乏有效的整合与综合利用。为了提升水环境管理能力,为政府有效评估和管理示范流域水环境风险、有效保障流域水环境安全提供重要决策,项目借鉴欧美等发达国家经验,研究技术体系方法、流程之间的系统接口,实现了示范区各类数据库建设及接口设计与开发。在此基础上,课题组构建出了一套完整的流域水环境风险评估与预警技术体系及平台,并在示范流域成功实现业务化运行。

三峡库区水环境风险评估与预警技术平台,按照“一个体系、一张网、一张图、一个表、一个流程”的技术思路构建了应急指挥信息系统需求设计方案,开发了应急指挥系统和现场单兵系统,实现了“看得见、调得动”的水污染事件应急决策系统。

这套业务化平台集水质监测、实时评价、实时预报、实时预警于一体,当水质自动监测值与模拟值存在较大误差且实测值大于先前三天平均值2倍以上时,监控平台自动发出水质浓度超标预警信息,并推送至管理员手机信息平台,从而有效保障了水环境安全。

课题组在三峡库区及其上游流域部署的业务化平台自2014年运行以来,每天不间断持续运行,自动获取水文监测站、气象监测站的水文气象信息,进行未来72小时的水质预报。据一份2017年初的资料显示,自2014年到2017年,平台共获得了120余万条水质自动监测数据,向四川省环保厅和重庆市环境科学研究院等单位累积发送了水质预报短信28140条。

同时,太湖流域水环境风险评估预警平台目前已集成进入江苏省“1831”平台支撑太湖流域水生态风险评估预警业务化运行工作。平台综合集成流域水生态风险分区、风险源解析、生态系统系统预警、风险管理等多项技术,具备了太湖流域水环境信息查询、重要风险源监管、污染事故应急响应、累积性风险评估预警等多项功能。

而在此前,环境保护部华东督察局(原环境保护部华东督查中心)已经利用这套平台开展太湖流域国控重点污染源总量减排核算、跨界界矛盾协调和环境稽查,大大减轻了野外调查工作量,有效提高了工作效率。太湖流域重污染区蓝藻水华风险评估预警平台在江苏省环保厅实现了业务化应用,该平台逐日提供未来7日重污染区总磷、总氮、氨氮、高锰酸盐指数及溶解氧的浓度分布,以及未来3日重污染区域内的叶绿素浓度预测结果,并进行蓝藻水华预报预警,指导地方政府水华应急处置,确保太湖饮用水安全。

而在辽河流域,这套平台从2010年起就已投入应用。辽河流域是我国水污染治理的重点流域,其上游大伙房水库是辽中平原2000万人口的饮用水源地。项目构建的辽河流域水环境风险评估与预警技术平台包括水环境污染源管理、水环境质量管理、风险评估与预警、水环境应急响应、综合信息服务等5个子系统,并以流域总平台为统领,重点构建大伙房饮用水水源和沈阳市水环境两个子平台。在辽河流域实现污染源、水环境质量的日常信息管理的的基础上,该平台在饮用水源地、城市景观水体风险预警等方面得到全面应用。

平台实现了辽河全流域水环境数据的统一采集与传输,饮用水源地的水质安全预警,流域污染源排放监控评估,景观水体环境适宜度评估,城市水污染物总量、跨界通量的监控、预警与评估,流域水环境信息发布功能,为辽河流域饮用水水源安全提供了技术保障,为辽河流域水环境综合整治和跨界之间水质生态补偿提供了及时高效的信息和技术服务支撑,提升了水环境管理决策的时效性和科学性。

郭飞 邢飞龙



▲ 项目组从武警部队调用冲锋舟对突发水环境事故进行风险评估。