



项目背景

流域是人类文明的摇篮,是国民经济和区域经济发展的空间载体,是产业集中、城市发达和人居条件相对优越的地区。在过去十余年中,我国正处于新型工业化、信息化、城镇化和农业现代化快速发展阶段,与此同时,流域的水环境状况也日趋恶化。我国的水环境问题十分复杂,水资源短缺、水污染严重、水生态恶化三大问题并存,水环境质量改善面临着前所未有的多重压力,水污染防治任务繁重艰巨。

《水污染防治行动计划》(水十条)明确规定,要切实加强水环境管理,分强化环境质量目标管理、深化污染物排放总量控制、严格环境风险控制三步走。当前,我国的环境管理正处于从总量控制向环境风险防范过渡的阶段。《国家环境保护“十二五”规划》将防范环境风险列为“十二五”期间国家环境保护的主要任务之一。环境风险管理是管理的最高阶段,特点

是强调风险防范、事先评估和预防决策,而环境风险评估和预警是风险管理的关键技术和基础。

目前,流域水质安全评估与预警管理的重点工作是在我国已有污染物的浓度和总量控制基础上,加强包括常规污染物在内的众多有毒有害污染物及其累积毒性效应的水环境风险评估,强化风险防范和预警,从源头上进行主动管理,促进我国水环境管理向风险管理战略转变。

“十二五”期间,中国环境科学研究院承担了“流域水质安全评估与预警管理技术研究”课题,针对水环境管理最为棘手的累积性水环境问题开展研究,突破了一系列关键技术,为进一步推动水环境管理从“质量管理”向“风险管理”转变提供了技术支持。据课题组负责人介绍,这一课题立足于常态条件的累积性水环境风险,以水环境质量作为风险受体,强调“源-途径-汇”作用过程及暴露-效应关系的流域多要素综合管理,从流域整体层面,历经5年研究,构建了涵盖“受体压力识别-安全评估-安全预警-安全管理”的全过程流域水质安全评估与预警技术体系。据介绍,这一体系是课题组取得的标志性成果之一,具体主要包括流域水环境压力源识别技术、流域水质安全评估技术以及流域水质安全预警技术等3项关键技术。

从“被动应急”到“主动预警”,保障流域水质安全

水专项“流域水质安全评估与预警管理技术研究”课题成果显著

构建流域水环境压力源识别技术,实现“源头”的风险防控

压力源是指在常规条件下,或者在累积性环境风险条件下,人类开发活动对水环境质量产生不良影响的压力。

课题组负责人表示,为了给监控预警提供“目标”,必须有效识别影响水质安全的压力源。为此,课题组以流域水生态系统为受体,以保障饮用水安全、水环境质量安全以及维护水生态健康为核心,针对流域特点,从累积性风险的概念范畴出发,全面考虑上游来水污染、流域内社会经济发展(工业化、城镇化)、区域土地开发利用等胁迫因素,综合运用理论与探索、文献资料分析、现场调查研究、数值模型模拟、数理统计分析等多种方法,通过“压力源特征分析-压力源与水质安全关系概念构建-压力源指标筛选-压力源评估”的技术流程,开展流域水质安全压力源识别技术研究。

首先,确定流域水质安全所要评估的压力源。针对流域特点,兼顾水体使用功能及流域水生态系统的特征,主要围绕流域上游来水污染输入、流域社会经济发展、区域土地开发,以及其他人

类活动(如水库调度)等几类压力源,明确各典型流域的压力源;其次,构建了流域压力源与水质安全相互作用关系的概念模型,分别针对每一类压力源开展研究,从而进一步明晰和揭示压力源胁迫对水质受体的影响过程、效应范围,厘清两者之间的作用关系;再者,开展了流域压力源的特征分析,关注压力源自身演变特征及其影响的定量化核算方法,明确压力源定性描述方法、主要压力源因子识别方法,分析压力源因子变化趋势;最后,构建了流域压力源的评估方法,分别针对每一类压力源的特征,选择合适的评估终点,构建定性、定量评估方法,提出压力源级别。

本次课题建立的水质安全压力源识别技术体系,分别针对辽河流域、三峡库区和太湖流域进行了应用,确定了不同流域类型(水库、湖泊、入海河流)水质安全所要评估的压力源,并进行了压力源分级。课题组在三峡库区进行了水质安全压力源评估,结果显示库区城镇化、工业化、上游来水影响和土地利用是三峡库区的主要安全压力源。

构建流域水质安全评估技术,强化水环境质量目标管理

在全面、准确识别典型流域的水质安全问题基础上,课题组进一步精准描述流域水质状态,构建了水质安全评估技术。课题组负责人介绍:“课题借鉴了OECD和UNEP的压力-状态-响应概念框架,构建流域水质安全评估技术体系,在考虑了水质安全问题的动态性、系统性后,课题从水质超标状况、耦合水质状态与变化趋势、耦合水质状态与受体响应3个层面来构建水质安全评估技术。”

满足时段内(年内、月内)水体本身的安全状况评估需求,侧重于状态评估,以水质超标特征来衡量是否安全,是基于水质超标特征的水质安全评估技术。课题组使用了水质指数(Water Quality Index,简称WQI指数)评价水质总体状况,WQI指数主要综合三方面的信息,即未达标指标的数量(范围)、未达标指标的频次(频率)以及超标的幅度,课题组以WQI指数评分,将流域水分为五个安全等级,以不同颜色表征水质污染情况。课题组负责人说:“WQI分数值在95以上的,安全等级为优,用绿色来标记,表示水质基本未受污染;80-94分为良,标记为蓝色,表示水质仅微退化,水质良好;分数值在65-79的,安全等级为中,用黄色标记,表示水质偶尔超标,轻度污染;水质退化比较严重、经常超标和重度污染的流域WQI分数在50-65,安全等级仅为及格,标记为橙色;差则是最低的安全等级,分数值在

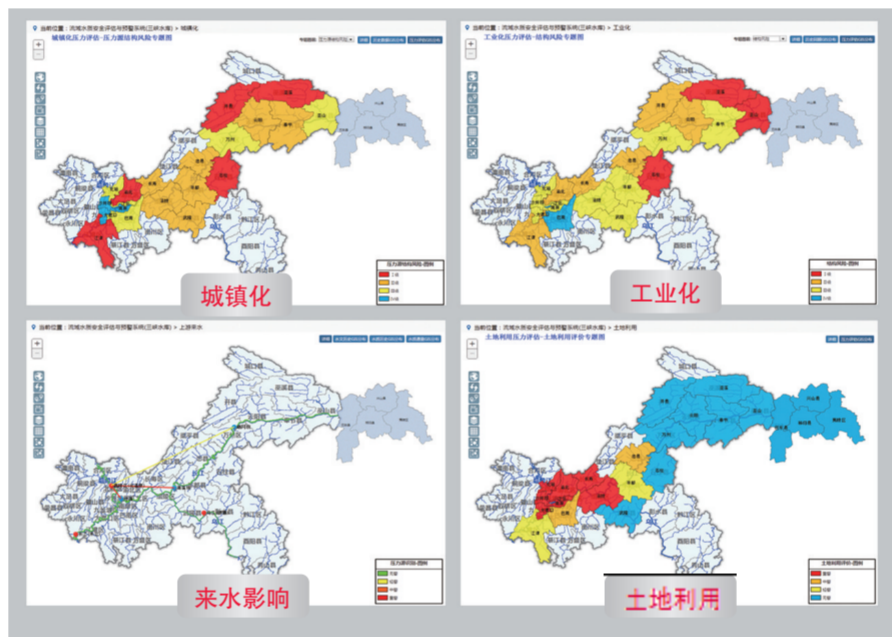
0-50,标记为红色,表示水质退化非常严重,几乎长期超标,属于重度污染。”

耦合水质状态与变化趋势的水质安全评估技术,则侧重于解决时段内(年际)水体本身的安全状况评估需求,兼顾评估时段内的状态与变化趋势,强调、突出水质安全在时间层面的动态性和相对性,以不利的变化幅度和不达标的当前状态衡量是否安全。“耦合水质状态小于等于标准值,年均变幅低于5%则属于安全;变化趋势年均变幅超过5%的,耦合状态超标10%为一般,超标50%属于不安全,超标50%以上就是很不安全”,课题组负责人说。

兼顾压力风险与受体响应的综合评估技术,适用于长时期综合管理决策,可以避免以往单纯以理化因子评估水质的局限,能够针对受体的使用功能,综合考虑压力风险和受体响应,以理化因子、水生态或人体健康响应状态全面评估水质安全状况。

课题组根据这3个层面的评估需求,借鉴“压力-状态-响应(PSR)”的评估框架,确定评估指标、评估标准、评估数学模式、分级及结果表征方式,并在太湖流域进行了验证。

据课题组负责人介绍,太湖水质安全整体较差,水华、富营养化问题是影响太湖水质安全最重要的两个因素。根据研究计算,太湖东区水质级别为中级,其他湖区水质级别均为及格,其中水质指数最低的竺山湖水质级别接近差。



▲三峡库区水质安全压力源评估结果

构建流域水质安全预警技术,实现水环境质量“预警监控”

环境预警是指对水环境质量和生态系统退化、恶化、恶化的及时报警。课题组负责人说:“环境预警具有先觉性、预见性的超前功能,具有对演化趋势、方向、速度、后果的预警作用,具有为环境整治和生态建设服务的科学功能和基础功能”,她说,水质安全预警主要是针对水质不安全相关状况做出的预测性评价,以便提前发现与未来有关的水环境可能出现的恶化、退化问题,并判断其成因,从而把握水环境及其相关生态系统中潜在威胁的时空变化趋势,进而提出环境预防措施。

课题以累积性水环境风险为关注对象,以模型为主要手段,研究建立面向不同预警需求的流域水质安全预警技术。课题组负责人说:“具体来说,这一安全预警技术分两个层面。一是,着眼于长时间尺度的水质退化风险宏观管理决策需求,建立了基于压力-驱动效应的流域水质安全趋势预警技术方法;二是,着眼于短时间尺度的水质异常波动风险快速应对需求,建立基于受体敏感特征的流域水质安全状态响应预警技术。”

对应上述两个不同层面的预警技术,课题组研发了面向不同需求的预警模型、模型变量设置、预警结果判定、预警指标识别及预警信号表征等技术,并且在典型流域进行了验证。

在三峡库区,课题组基于“社会经济(S)-污染负荷(L)-水动力水质模型(W)”综合预警模型框架,以系统动力学(System Dynamics,简称SD)模型和环境过程模拟(The Environment Fluid Dynamics Code,简称EFDC)模型为主要依托,构建了三峡库区水质安全预警模型,实现了多个社会经济发展情景、风险管理决策场景的水质预警。

“根据库区高、中、低不同发展模式情景假设,以2010年为基准年,开展S-L-W模型模拟,得到2020年、2025年库区主要控制断面(朱沱、寸滩、清溪场、

筛网坝、培石、银杏沱)主要因子(COD、氨氮和总磷浓度)水质安全状况预警结果”,课题组负责人说。

课题组利用2025年模型结果对库区水质安全进行了综合评估,结果显示,清溪场和培石断面水质安全为轻警状态。课题组负责人告诉记者,其轻警的主要原因清溪场断面受上游来水压力较大,培石断面受污染物排放强度过大。

在辽河流域,课题组以辽河作为“浑河-太子河-辽河”流域的受体区域,在考虑流域内部污染压力以及辽河作为感潮河段的特点基础上,筛选出大辽河水水质预警指标,构建了基于EFDC模型的大辽河流域水质安全预警模型。课题组负责人说:“在考虑辽河历史观测数据以及风险因素变化态势的基础上,根据大辽河水水质安全评估结果,确定大辽河水水质安全预警系统重点关注的水化学需氧量(COD)、水中氨氮含量指标(NH₃-N)、总磷(TP)指标。”

课题组还根据大辽河水“反降级”特点,确定了大辽河及河口区的预警级别和反映状态,将警情分成4种状态。“正常状态,就是水质维持现状甚至好转的状态,即水体污染物浓度低于确定水质预警阈值低值;不同站点水质现状不同,要求不同。轻微警情,即水质恶化,水体污染物浓度超过确定水质预警低值,但低于中值。中度警情,就是水质进一步恶化,超过确定水质预警中值,但低于高值。重度警情,就是水质严重恶化,水质超过确定的水质预警高值。”课题组负责人说。根据大辽河水水质模型结果,课题组构建了近十年水体污染物浓度累积概率分布曲线,通过插值法,确定了大辽河及河口区3种预警指标的预警阈值。

基于饮用水源地受体敏感特征的流域水质安全预警,课题组则选择了太湖贡湖湾小流域进行验证。根据贡湖湾的

水质和水生态特点,课题组建立适用于贡湖的三维数值预警模型,基于人体健康的角度,根据水质风险评估结果,确定了以叶绿素a(Chl-a)和溶解氧(DO)作为水源地水质预警指标,初步建立了与水质风险级别相对应的水质预警级别。课题组负责人介绍:

“水质正常对应的指标水体中Chl-a浓度低于80 μg/L,DO浓度大于4 mg/L;轻微警情对应的指标水体中Chl-a高于80 μg/L,低于120 μg/L,DO浓度小于4mg/L,大于2mg/L;严重警情对应的指标水体中Chl-a高于120 μg/L,DO浓度小于2mg/L。”

形成示范流域水质安全预警系统,实现业务化运行

在“十一五”示范流域风险评估与预警平台研发和集成应用示范的基础上,针对水库、河流、湖泊典型流域的累积性水环境风险,课题组调研了地方相关业务需求,并确定了“控总量、提质量、评措施、严准入、防风险”的水质安全预警平台建设目标,构建起涵盖“受体压力识别-安全评估-安全预警-安全管理”的全过程流域水质安全评估与预警技术体系。课题组负责人介绍说:“课题还设计了集风险评估、监测分析、趋势预警、污染防治和治理绩效五大功能的系统总体架构,形成了可业务化运行的示范流域水质安全评估与预警模型系统,并将系统应用于示范流域,也就是辽河、太湖、三峡库区的水质安全预警平台,实现业务化运行,为示范流域‘环境准入、污染防治、控制总量、改善质量’的环境风险管理需求提供技术支撑。”

流域层面社会经济、水库调度方式以及污染物排放是影响三峡库区干流水质安全的主要风险,课题组按照“模型封装-模型接口服务-系统集成”思路构建了三峡库区水质安全评估与预警系统。课题组负责人介绍说:“该系统在总体上分数据采集层、数据层、服务层、业务层和目标层5个逻辑层次,系统功能主要包括环境基础数据的集成、水质安全压力源评估、水质安全评估及预警。”她表示,该系统集成在“重庆市水污染防治管理系统”里,主要应用在流域整治、

污水工程、垃圾工程、企业减排、上游来水等管理场景中,实现了对COD、总氮、总磷等指标的水质安全预警,为重庆市“水十条”考核断面的达标形势预判分析和日常管理决策提供了辅助支撑。

辽河属于资源性缺水河流,上游来水即浑-太子河污染负荷输入,对辽河口水质安全有着风险影响,课题组采用面向服务构架(SOA)的设计思想,构建了大辽河口水质安全评估与预警系统。这一系统集成在“十二五”辽河流域水环境安全智能监管系统门户网站上,作为“安全监管系统”的一个重要功能,在2015年12月完成了安装、调试,并开展业务化运行,实现了对大辽河及其河口区水质的评估分级以及水质安全的预警分级。课题组负责人说:“截至目前,系统模块性能稳定,运行良好,效果明显,对COD、NH₃-N等的指标预警准确率较高,显示出良好的应用前景,和社会、环境效益。”

“太湖贡湖湾小流域存在的安全风险影响主要是流域氮、磷负荷输入,氮、磷负荷输入带来的高富营养化严重影响了湖泊型饮用水水源地水质安全”,课题组负责人说。她告诉记者,课题组基于SOA架构体系,采用多层次架构的设计,结合数据建模、业务模型、可视化流程引擎、等多种实用工具,构建了太湖流域贡湖湾饮用水水源地水质安全评估与预警系统。“该系统实现了对贡湖的水质安全评价、饮用水源地人体健康风险评估以及贡湖湾水质安全预警”,她说。据了解,这一系统集成在“无锡市环境质量自动监测(控)系统”平台的“太湖新城水生态动态监控与评估系统”上,系统模块性能稳定,对叶绿素、藻密度等的指标预警准确率较高。

在总结课题取得的成果时,课题组负责人说:“课题共研发关键技术5项,发表相关学术论文104篇,授权计算机软件著作权8项,申请专利6项,凝练形成水环境质量管理相关政策建议5份。”



▲三峡库区排污口

撰稿:秦延文 王丽娟 邹华 赵艳民 鲁昕