突破关键技术 提升监管能力

“流域水生态环境监测技术集成研究”课题助推水生态环境监测体系完善

课题组在太湖野外水质与蓝藻综合观测站现场调研

水生态环境监测就是为江河湖泊做好“体检”,是进行水环境管理和保证水生态健康的重要手段,也是全面服务水污染治理、水生态修复、水资源保护“三水共治”必不可少的一环。但是医生如果没有医疗设备,是无法给病人做好体检,找准病灶才能对症下药,因此,生态环境监测关键技术和仪器研发是流域水生态环境管理体系实施的核心基础。

自20世纪70年代末开始,长江流域在全国率先组建流域水环境监测站网。经过30余年的发展,我国水生态环境监测管理体系不断深化,初步形成综合考虑水环境物理完整性、化学完整性和生物完整性的流域水生态环境监测体系。

“十一五”“十二五”水专项实施期间已经取得了长足的发展和进步,监测设备的行业规模也在不断扩大。但仍存在一些不足:一是基于污染物总量的监测技术难以准确反映污染物的环境风险;二是缺乏国产化的水生生物关键指标参数在线自动监测仪器设备;三是水生态环境监测设备和数据集成技术仍不成熟,信息化水平和共享程度不高;四是在研究成果的技术标准化、业务化及支撑流域水环境的科学决策和精准管理上还需加强。

“十三五”水专项课题“流域水生态环境监测技术集成研究”(2017ZX07302001)突破了一系列水生态环境监测关键技术,研发了一批新型水生态环境仪器设备,形成了基于物联网架构的水生态环境监控系统,为国家水生态环境监测管理能力提升和科学化流域水生态环境综合管理体系的有效实施提供了有力的科技支撑。

成果1 突破水环境污染物生物有效性评估技术,推动水生态环境精准管理

常规采样监测技术往往容易忽略污染物的形态和生物有效性,不能准确评价水环境污染物的环境风险,且样品在储存期间发生的物理、化学、生物变化造成的污染物形态、浓度改变将导致对该污染物在水环境中暴露剂量的估算偏差。

针对上述问题,课题组提出了水环境中基于梯度扩散薄膜(DGT)的多种污染物生物有效性监测及评估技术。该技术包含动力学的“仿生”(*模仿水溶液中待测污染物在水生生物体内的富集*)过程:污染物在一段时间内不断向装置中的吸附膜传递并固定相应的污染物,与一段时间内水生动物富集在体内的污染物浓度有一定的关联性。

与其他污染物生物有效性的监测和评估方法相比,这项技术可以在不使用实验动物的前提下评估目标水体中污染物生物有效性,更加简洁高效。这项技术可以测定水中污染物在一段时间内的平均浓度,能够有效避免大量水样在运输和存储过程中发生的物理、化学变化对测定结果的影响,测定结果能够相对准确的评价水体的真实污染状况,也有助于捕捉偷偷排放等事件。

课题组针对不同价态的重金属开展了DGT预测水中重金属生物有效性的系统研究,提出了基于DGT的水中重金属生物有效性的评估技术:将目标污染物在DGT中的累积规律与在生物体中的累积规律耦合成为相关性曲线,利用该曲线直接进行污染物生物有效性评价。在实验室条件下获得的曲线能够直接应用在实际水环境中,因此无需现场捕捞或现场养殖实验用水生动物。

这项技术适用于水环境中多种水生动物,包括螺类、贝类和鱼类等重金属生物有效性评估,能够预测重金属在水生动物体内的蓄积特性,还可预测污染物在水生动物不同器官中的蓄积。

课题组在太湖流域开展了基于DGT的水中重金属生物有效性技术的应用。选择锦鲫作为代表性水生动物,通过室内实验获得了线性良好的DGT—锦鲫体内As、Cd和Ni的富集相关性曲线,形成了水环境中As、Cd和Ni对鱼类生物有效性的评价方法。利用该方法,在太湖流域示范区验证了DGT对As、Cd和Ni生物有效性评估方法的准确性和可靠性。可见,基于DGT技术的污染物生物有效性评估技术显著降低了重金属生物有效性评估的操作难度,无需实验动物且节省实验时间,简便易行。同时,这项技术的研发有助于推动污染物生物有效态评估技术的发展,对水生态环境评价和相关政策的制定具有重要的参考意义。

“十一五”期间研制的一系列在线和便携式水环境监测装备仅面向常规污染物的监测,“十二五”期间形成了水生态相关指标的部分监测仪器,尚不能完全满足当前水生态环境监测监控需求,缺乏自动在线水生生物监测仪器。

课题针对我国水生态环境监测仪器目前发展现状,创新性地研制了生化需氧量(BOD)在线监测仪和浮游动物在线监测仪,填补了国内外相关指标在线监测仪器空白。此外,课题还研发了具有较强先进性和市场竞争力的水生态环境在线监测仪器,如水质综合毒性(WTT)、叶绿素、藻密度和大肠菌群等水生态关键指标的在线监测仪,为提升我国水生态环境监测能力提供了硬件支撑。

研制一系列水生态环境监测关键指标在线监测仪,提高了国产仪器的先进性和竞争力。针对传统的生化需氧量五日培养法(BOD_5)流程繁琐、受干扰因素多、耗时长、无有效的在线监测仪器等关键难题,课题组研发了原位培养微生物法BOD检测技术。以待测试样中的环境微生物及污染物为源,以功能化的流通式反应器为载体,借助试样与反应器表面的接触,构建了种群庞大、数量丰富、性能稳定的原位培养微生物膜反应器。

成果2 攻克水生态环境监测设备关键技术,助力水生态环境监测能力提升

利用这项技术,课题组研制了一种零试剂消耗、零排废的实时、在线、原位BOD在线监测仪器,检测周期仅需50分钟,且检测结果与BOD_5具有很好的一致性,节省了大量的人工劳动,弥补了传统监测方法耗时长,无法实现实时在线监测等不足,有效提升了BOD检测效率。

利用图像分析法研制的水体浮游动物在线分析仪,也是课题组的一大亮点。该仪器可实现浮游动物形态等特征的在线测定提取,以矩形度、体态比等特征,量化浮游动物差别,建立浮游动物三维特征指标;数据能够在线连续采集,仪器结构简单、测量周期短、无需试剂、维护便捷,解决了人工作业测定水体中浮游动物的种类和数量耗时耗力的问题。

利用微生物电化学方法,以原位培养微生物为毒性检测受试体,以铁氰化钾为微生物呼吸作用的电子受体,以微生物呼吸抑制作用为毒性响应的WTT在线检测仪,能有效避免常规的发光菌法测定水质综合毒性检测结果受水中浊度干扰的问题;以紫外光照射荧光法研制的叶绿素和藻密度在线检测仪,与其他方法相比采用了非接触测量方式,光学器件不受水质污染,检测结果不受水体浊度干扰,检测周期小于两分钟,能够有效避免搁置水样造成的影响。上述仪器设备与市场同类设备相比,具有独特的创新性和显著的优势,有效助力我国水生态环境监测能力的提升。

课题组还研发了浮标式、小型站及移动式水质自动监测装备,提升水生态环境快速及应急监测能力。课题组以自研的单参数水生态环境关键指标监测设备为基础,攻克水质在线自动监测集成技术难题,成功开发了立体高集成多歧流路检测模块技术,实现了流路、杯体、检测池等部件的立体化集成,节省空间且提高稳定性。

依托这项技术,课题组开发了浮标式、小型站房式、移动箱式多参数水质自动监测设备,可集成监测pH、温度、电导率、溶解氧、浊度、氨氮、总氮、总磷、高锰酸盐指数、叶绿素、生化需氧量、大肠菌群等10余项水质参数,主机占地面积小于两平方米,有效解决了常规水质自动监测站占地面积大的问题,适用于地表水环境的水质监测、突发性应急水质监测以及不具备建设固定站条件的水域及断面的水质监测。以上集成式在线自动装备的研制,有效地提升了我国水生态环境快速及应急监测能力。

在水生态环境监测领域,由于不同应用间差异化非常大,造成了大量竖井式应用和重复性开发。针对这一问题,课题组首次在水生态环境监测领域中引入了物联网共性架构体系,破解监控系统的兼容性差、适用度低等难题。课题组创新地提出了“共性架构+应用子集”物联网系统架构理念,根据水生态环境监测的需求,抽取水生态环境监控物联网共性部分的特性,开发了设备管理、数据管理、数据融合、支撑服务等共性模块,形成了国内首个开放的环保物联网自助开发平台。

这个平台类似于物联网领域的“操作系统”,开放性和兼容性极高,可实现几乎所有物联网应用接入,可提供面向个人、企业的一站式、傻瓜式开发服务,快速生成所需的应用子集,可形成物联网的标准化开发模块,降低开发技术门槛和成本,缩短开发周期。目前,利用该平台实现了新研发的水生态环境监测设备、已建站点监测设备以及“十一五”和“十二五”相关监控平台等监测数据的接入和共享,有效提升了水生态环境监测数据利用效率。

成果3 创新物联网共性架构体系,研发水生态监测物联网共性平台

课题组突破了设备、通信集成技术,攻克物联网感知层和传输层技术难题。根据目前太湖流域示范区水生态环境监测设备的应用情况,课题组在原环境保护部发布的《污染物在线自动监控(监测)系统数据传输标准》(HJ 212-2017)的基础上,开发了适用于新研发的大肠菌群、综合毒性、生化需氧量等监测设备的通用集成接口,通过不同协议的智能转换,实现了各类监测设备在站点的统一数据汇聚以及不同区域、不同参数、不同设备厂商格式不一的水生态环境监测数据标准化集成。同时,通过物联网共性网关的开发和协议适配,实现多种异构网络(*有线、无线、专网*)互联互通,建成了高效、稳定、可靠的网络传输系统。利用移动网络传输、低功耗广域网(LPWAN)以及卫星网络传输等方法,实现了网络的数据传输功能,为远程感知设备的数据传输提供质量和安全性的技术保障。

课题组还攻克水生态环境监测数据融合技术,打通不同系统间的信息壁垒。水生态监测体系中对于多源异构数据的处理是一大挑战,因此数据融合成为不可或缺的重要因素。课题组创新地提出了面向感知对象的信息融合技术,并主导了GB/T 37686-2019《物联网感知对象信息融合模型》国家标准。

通过数据融合技术,课题组能够实现水生态环境监控数据信息采集、汇聚、定义、交换和应用等操作,实现水环境监测数据的集成,打破信息共享交换壁垒。该技术能够提供多级多层面的数据融合处理,提供面向对象的全面数据描述指纹图谱;打通政务网、互联网、环保专网的信息通道,实现不同物联网应用子集间的互联互通;采用大数据处理技术,提供强大的数据融合处理和查询服务接口;大大提升数据处理效率,减轻云端负荷,为水质监测和预报预警提供更快速的响应;充分实现联接敏捷化、业务实时化、应用智能化。

目前,课题利用该技术解决了多种仪器设备多源异构数据格式不统一的难题,克服了不同监测系统间相互独立,难以实现数据融合和大规模数据交换的问题,将课题研制的12台套新仪器及太湖示范区已有的监测仪器监测数据进行了标准化融合应用。

针对课题自身研发的水生态环境监测仪器及DGT装置等,课题组基于共性平台的架构对水生态环境监测系统开发了实时数据、历史数据、七日趋势图、DGT图表展示等应用子集模块,实现了示范区无锡梁塘河和尚贤河实时数据获取和可视化。目前,该平台已经部署在腾讯云,稳定运行5个多月,实时监测示范区水生态环境状况。

成果4 完善水生态环境监测技术体系,开展水生态环境监测技术集成应用示范

水专项实施10余年来,在水生态环境监测方面已经取得了显著的成果。“十一五”期间,对《地表水环境质量标准》中相应指标的监测技术与方法进行了完善,开发了流域水环境中的特征有机物、热点污染物、持久性有机污染物等监测方法,形成了以理化指标为主的水环境监测指标体系。“十二五”期间,通过开发和完善水生态关键监测指标,初步建立了水生态环境评价指标体系,形成了水生态环境质量评价方法,提出了我国水环境监测需从水质向水生态转变的目标。

课题组基于对水专项“十一五”至“十三五”水生态环境监测相关的成果梳理,构建了一个开放式的水生态环境监测技术体系。该技术体系主要由水生态环境监测指标、监测技术、监测设备和监测平台4个部分组成。在监测指标方面,构建了以常规理化指标、生物指标以及区域优控污染物指标等三大类指标为主的水生态环境监测指标体系,并提出各类指标的筛选原则,为不同的水生态环境场景的监测指标筛选提供依据。同时,对相应指标的监测技术方法及设备进行梳理,从理论和硬件两个方面为该指标的监测提供指导方向。水生态环境监测技术体系的构建,为我国水生态环境监测和管理水平的提升提供了科学支撑。

课题组以水生态环境监测技术体系为核心框架,在太湖流域示范区开展了流域水生态环境监测技术集成与示范应用。针对示范区水生态环境监测现状及区域特征,筛选并确定了示范区水生态环境监测指标,主要包括常规理化指标和水生生物指标两大类。课题研制的9台(套)水生态环境关键指标在线监测仪目前均在示范区部署并正常运行。

其中,水质综合毒性在线检测仪为示范区新增仪器,BOD、浮游动物和大肠菌群在线监测仪很好地弥补了目前示范区仍采用手工监测耗时长、效率低的不足,叶绿素、藻密度在线监测仪比示范区原有仪器监测频率高、耗时短,以上仪器的布设与运行大幅地提升了示范区的水生态监测能力。

课题研发的基于物联网架构的水生态环境监测系统已经在腾讯云布设并稳定运行了5个月,通过数据融合及归一化处理,实现了示范区原有95个监测站点历史数据以及课题研制设备的监测数据实时在线接入及可视化。监测数据通过HJT212数据传输标准协议适配程序传输至中国环境监测总站开发的“国家水环境监测监控及业务化平台”,有效支撑了国家水环境监测监控及业务化平台的建设。

通过在太湖流域取得的良好示范效果,课题的关键技术及成果已在全国多地进行推广。研制的可选择性富集水中Se(Ⅳ)、Sb(Ⅲ)、Sb(Ⅴ)、As(Ⅴ)、V(Ⅴ)及水溶性的全氟烷基化合物、磷代阻燃剂和精麻类药物等20余种有机污染物的DGT装置,已在长江、珠江流域等进行了推广应用,应用效果获得了委托单位的高度评价。课题组研发的小型站和移动式集成监测装备已在北京、上海、吉林、济南、宜昌、郴州等地进行了有效的应用,用户反映良好,并形成一定的跨省市场销售规模,对地方的水生态环境监测工作提供了良好的硬件支撑。

小型九参数水质在线监测系统和BOD在线分析仪在2019年5月9日生态环境部组织的“打好长江保护修复攻坚战生态环境科技成果推介活动”中进行了展出,获得了生态环境部领导的关注以及相关同行的认可。课题开发的“共性平台+应用子集”的物联网架构凭借共性平台快速开发部署的优势,已获得多个事业及企业用户(*青岛环科院、江苏中科惠软信息技术有限公司、安徽迅达物联网科技有限公司等*)的认可,截至目前,产生的销售额累计达到1942万元。课题启动至今已申请了专利18项,立项地方标准两项(《*环境信息数据共享交换技术规范*》《*水环境质量信息分类与描述技术规范*》,*均为江苏省地方标准*),团体标准两项(《*水质生化需氧量自动监测仪技术规范*》,*中国环境科学学会*;《*水生态环境监控体系数据融合处理规范*》,*中国电子工业标准化技术协会*)。课题成果有效地服务了地方水生态环境监测与管理,助力我国水生态环境监测能力的提升。

随着我国长江大保护、黄河流域生态保护和高质量发展,以及“十四五”重点流域水生态环境保护规划相关工作对水生态的重视,课题组在水生态环境监测关键技术及仪器设备等方面形成的成果将有效支撑水生态环境监管和风险防控能力的提升,在未来水生态环境目标管理中发挥越来越重要的作用。

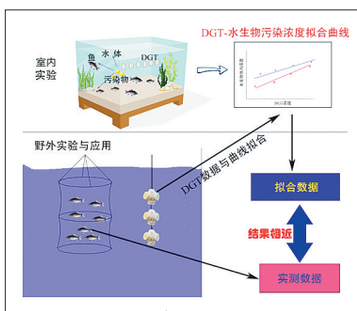
文雯

①

②

③

④



DGT生物有效性实验示意图

室内试验

野外试验

⑤

图片说明
① 水质BOD自动监测技术规范专家咨询会
② 太湖站浮标监测设备现场运维
③ 基于共性平台的水生态监测业务应用
④ 太湖站监测点位分布现场调研
⑤ DGT技术原理及应用

本报地址:北京市东城区广渠门内大街16号 邮编:100062 电话:67194786(总编室) 67113790(广告部) 67113791(发行部) 广告经营许可证:京东工商广字第8048号 年价:390元 月价:32.50元 零售:每份1.50元 人民日报印刷厂印