

# 国家水环境质量预报预警研究进展及业务发展思路

李茜 张鹏 彭福利 许荣 朱莉莉 李健军

中国环境监测总站 国家环境保护环境监测质量控制重点实验室 北京 100012

**摘要:** 开展国家水环境质量预报预警工作是生态环境治理能力现代化的重要部分,是统筹山水林田湖草系统治理的重要抓手。文章介绍了国内外水质模型的研究进展,并概述了国内外水质预报预警系统研究进展,在此基础上分析目前我国水质预报预警方面存在的不足,并提出了国家水环境质量预报预警业务发展的初步思路。我国水质预报预警体系建设要以技术体系和业务体系为保障,以水质模型和面源污染模型为支撑,依托水环境质量预报预警决策支持平台,开展环境监管业务化应用、治理决策精细化支撑、污染事故科学化处置和数据产品社会化服务4种业务应用,逐步建成架构统一、业务协同、资源共享、上下游联动的全国-流域-省级-城市四级水环境质量预报预警网络。

**关键词:** 水环境质量预报; 水环境质量预警; 规划

中图分类号: X84 文献标志码: A 文章编号: 1002-6002(2019)01-0008-09

DOI: 10.19316/j.issn.1002-6002.2019.01.02

## Research Progress and Preliminary Plan of National Water Quality Forecasting and Alarming System

LI Qian ZHANG Peng PENG Fuli XU Rong ZHU Lili LI Jianjun

State Environmental Protection Key Laboratory of Quality Control in Environmental Monitoring, China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China

**Abstract:** Carrying out the national water quality forecasting and alarming system is an important part of the modernization of the ecological environment governance capacity. It is also an important starting point for the management of lake grass system in landscape forest field. This paper introduces the research progress of water quality model and water quality forecasting and alarming system at home and abroad, and analyzes the existing shortage of water quality forecasting and alarming in China, then proposes a preliminary plan for the development of the national water quality forecasting and alarming system. The construction of water quality forecasting and alarming system should be supported by technical system and operational system, based on water quality model and non-point pollution model, relying on the decision-supporting platform of water environment quality forecasting and alarming. Based on these technology supports, the water quality forecasting and alarming system will be established to accomplish four applications: Operational application of environmental supervision, fine support of management decision-making, scientific disposal of accidents, and the socialized services of data products. After that, the four levels network including national, basins, provinces and cities will be gradually established, which implement unified framework, operation collaboration, resource sharing, and upstream and downstream linkage.

**Keywords:** water quality forecasting; water quality alarming; plan

地表水环境污染已经是全球范围内普遍关注的环境问题,影响流域水环境的因素众多,且由于流域特征各异,组成错综复杂,水体受到的污染状况也不同。在流域范围内,水环境与人类活动息息相关,城市化进程和人口密度的增加直接加剧了工业和生活地表水污染物排放,土壤退化和农业活动带来的污染物则通过地表径流进入水体,对水环境质量和水生生态系统产生巨大影响<sup>[1-3]</sup>。

虽然我国水污染防治工作取得明显成效,但水环境质量形势依然严峻。部分水体水环境质量差,水环境隐患不容忽视,全国近80%的化工、石化项目布设在江河沿岸、人口密集区等敏感区域,水污染突发环境事件频发<sup>[4]</sup>。要解决这些突出的水环境问题,达到2020年全面建成小康社会的环境要求,满足人民群众不断增长的环境需求,水污染防治工作仍面临巨大压力。

收稿日期: 2018-04-02; 修订日期: 2018-08-29

第一作者简介: 李茜(1983-),女,山东菏泽人,博士,高级工程师。

通讯作者: 李健军

水环境质量预报预警技术是对整个流域系统及其内部发生的复杂污染过程进行的定量化描述,不仅能明确污染物运移的时空分布规律,还能够估算流域污染负荷,识别污染物主要来源和途径,构建污染负荷削减方案,评估流域污染治理措施成效。因此,水环境质量预报预警是流域水环境管理实现精细化、科学化的核心。《水污染防治行动计划》对水环境监控预警提出了明确要求<sup>[5]</sup>,同时,水环境质量预报预警是统筹山水林田湖草系统治理的重要部分,是推动高质量发展和经济结构优化的重要抓手,是满足人民日益增长的美好生活需要的重要组成。为贯彻落实党中央关于生态文明建设的要求,提升水污染防治现代化水平,亟需形成国家水环境质量预报预警能力作为技术支撑。本文综述了国内外水环境质量预报预警的研究进展,分析了国内相关研究和业务开展的主要不足,并立足于国家层面提出水环境质量预报预警体系发展思路。

## 1 国内外研究进展

水环境质量预报预警是以流域为单元,以定量的模型或方法模拟污染物在流域范围内的迁移转化过程,确定水环境演变趋势和空间分布,以期开展对水质的常规预测和突发污染情况的预警,同时可用于水环境容量等计算,为流域污染防治规划提供技术支撑<sup>[6-7]</sup>。水环境质量预报预警技术的核心是数值化模拟,即水环境模型的建立。水环境模型是用数学的语言和方法描述参加水循环的水体中水质组分所发生的物理、化学、生物和生态学诸方面的变化、内在规律和相互关系的数学模型<sup>[8]</sup>。

### 1.1 水质模型研究进展

自1925年STREETER等<sup>[9]</sup>提出BOD-DO模型,水环境模型的发展已历经90多年,历经3个阶段,从点源污染模型发展到面源污染模型,从单一水质模型发展到机理水质模型。目前国际研究较多、基本获得公认的河流湖库水质模型有QUAL、MIKE、WASP、EFDC、Delft3D等,流域污染负荷模型有SWAT和HSPF等,模拟精度高、计算效率高、机理过程相对全面,被国内外广泛应用在水质预测、水质预警、流域规划、水污染治理措施研究等方面。国内研究以对国际模型的二次开发和本地化应用为主。水质模型对比分析见表1。

#### 1.1.1 水体水质模型

1) QUAL2K。QUAL2K是美国环保署(USEPA)推出的一个综合性、多用途的河流综合水质模型,QUAL2K是一维水质模型,适用于模拟完全混合的枝状河流水质。作为稳态模型,可以模拟污染负荷的总量、发生地点和河流水质;可以模拟15种水质参数,适用于河流和湖库。QUAL2K在我国汉江中下游、钱塘江、滇池、官厅水库、西苕溪等都有应用实例。其优点是由一些简单模型组合而成,计算量较小;缺点是一维水质模型,无水动力模块,应用河段为有限的25个,可拓展性较弱<sup>[9-10]</sup>。

2) MIKE系列。MIKE系列模型是丹麦水力研究所(DHI)开发的水动力水质模型,其中MIKE11是适用河流、灌溉渠道等的一维动态水质模型;MIKE21为二维动态水质模型;MIKE3是三维模型。其使用范围包括河流、湖库、河口、海岸、灌溉渠道等,模拟参数包括水质、重金属、富营养化及生态状况等<sup>[11-12]</sup>。适用性强、模拟精度较高,在非洲的Senegal流域,我国的三峡、葛洲坝、汉江中下游等均有应用,可用于分析、规划和管理大范围的水资源和环境问题。其缺点是计算量大,所需时间较长,且不同过程耦合存在难度。

3) Delft3D。Delft3D是由荷兰Delft大学开发的一套水动力水质模拟软件包。该软件具有灵活的框架,能够模拟二维和三维的水流、波浪、水质、生态、泥沙输移和床底地貌以及各个过程之间的相互作用。Delft3D系统在国际上应用十分广泛,如荷兰、波兰、德国、澳大利亚、美国等,尤其是美国已经有很长的应用历史<sup>[13]</sup>。中国香港地区从20世纪70年代中期开始使用Delft3D系统。Delft3D从20世纪80年代中期开始在中国内地也有越来越多的应用,如长江口、杭州湾、渤海湾、太湖、滇池。其缺点是作为商业化的软件包,在二次开发和可拓展性方面受到限制。

4) EFDC。EFDC模型是由美国弗吉尼亚州海洋研究所和USEPA开发的三维地表水质数学模型,具有水动力、水质和沉积物模块,可实现河流、湖泊、水库、湿地系统、河口和海洋等水体的水动力学和水质模拟,是一个多参数有限差分模型<sup>[14-16]</sup>。目前该模型已在美国和欧洲等100多个水体区域应用,在我国主要应用于云南滇池水质模拟、重庆两江汇流水动力模拟、密云水库营养物模拟和内蒙古乌梁素海地区的水质模拟等。

EFDC 的优点是具有多维模拟功能,通用性强,精度较高,缺点是对基础资料要求全面,对水文水质等专业基础知识要求比较高,建模复杂度相对较高。

5) WASP。WASP 是由 USEPA 提出的基于质量守恒原理的动态水质模型,能够用于不同环境污染决策系统中分析和预测由于自然和人为污染造成的各种水质状况,可以模拟一维水动力、常规污染物(溶解氧、生化需氧量、氨氮、叶绿素 a、有机磷等)和有毒污染物(重金属和沉积物、有机农药等)在水中的迁移和转化规律<sup>[17-18]</sup>。WASP 是水体的动力学箱式模型,通过对水体进行合理分段,可以模拟一维、二维和三维水质,模拟随时间变化的平流、弥散流、点源和非点源的污染物负荷、边界交换等情况。WASP 已在国内外得到了广泛应用,在国内的研究内容包含了重金属污染模拟、河流富营养化、港口挥发性有机物污染模拟、太湖藻类的动态模拟、苏州河环境综合整治方案模拟、南水北调对水质影响的模拟等,在广泛的

应用实例中证实了其科学性和适用性。

6) HIMS-HEQM。HIMS-HEQM 是中国科学院地理科学与资源研究所开发的流域水循环系统模型,其中 HIMS 为多尺度分布式水循环模型,主体结构包括水循环多源信息集成平台、水循环多元要素定量遥感反演系统、水循环程模块库集成系统、多尺度分布式水循环定制模拟系统、水文分析工具箱以及图形界应用服务系统等;HEQM 综合考虑变化环境下水文循环和营养源循环在陆面、土壤、植被和河流水体中的相互作用关系以及闸坝调控、排污和闸坝调控对水和营养源循环的影响。HIMS-HEQM 具有多尺度嵌套、拓展性强、机理模拟过程全面等特点,HIMS 及其定制模型已经在国内外得到广泛认可和应用,HEQM 已在我国潮白河流域、新安江流域、淮河流域、长江流域重点实验区、太湖典型流域、深圳梯级水库控制流域、珠江柴石滩水库控制流域等多个区域的水量水质耦合模拟、农业非点源污染估算等方面得到了应用。

表 1 水质模型对比分析  
Table 1 Comparison of water quality model

模型	开发者	特征	模块/版本	水质	适用	优点	缺点	应用
QUAL2K	USEPA	综合性、多样化的河流水质模型	无水动力模块	COD、BOD、氮、磷等项目	河流、水库等	由一些简单模型组合而成,计算量较小	一维水质模型;应用河段最多 25 个	汉江中下游、钱塘江、滇池、官厅水库、西苕溪干流梅溪段
MIKE 系列	丹麦水力研究所 (DHI)	模拟陆地水文循环中的水流运动、水质以及土壤侵蚀过程	MIKE11、MIKE21、MIKE3 分别为一维、二维、三维动态水质模型	水质、重金属、富营养化及生态状况等	河流、河口、灌溉渠道、湖泊和海岸等,包括地下水	可用于分析、规划和管理大范围的水资源和环境问题	计算量大,所需时间较长;不同过程耦合存在难度	非洲的 Senegal 流域;中国的三峡、葛洲坝、汉江中下游等
WASP	USEPA	污染物在水体中的迁移转化	水动力、水质和有毒污染物模块	模拟 COD、DO、BOD、藻类、氮、磷、重金属、底泥等	一、二、三维河流和湖库的不稳定流	与其他模型能够很好地耦合,进行二次开发	水文、水质等专业基础知识要求比较高	美国密西根湖、波托马克河等;中国的松花江、黄河、淮河、长江、珠江等
EFDC	美国弗吉尼亚州海洋研究所 (VIMS); EPA	通用的三维水动力和迁移模型	水动力、水质和沉积物模块,拉格朗日粒子示踪模拟	COD、氨氮、总磷、藻类等 21 种水质项目	河流、湖泊、水库、河口、海洋和湿地等,包括地下水	多维模型,可研究点源、非点源污染等	水文、水质等专业基础知识要求比较高	北美 Chesapeake 湾,弗吉尼亚 James 河口、York River、Indian 河等;中国的密云水库、洱海、太湖、长江等
Delft3D	荷兰 Delft 大学	三维水动力-水质模拟系统	水动力模块、水质模块、波浪模块、颗粒跟踪模块、泥沙运输模块、生态模块、动力地貌模块	水质、盐度、水温等	能模拟二维和三维的水流、水质、波浪、生态、泥沙输移及床底地貌	采用正交曲线网格,计算稳定,精度高,能处理潮间带及滩槽交换的复杂地形	可调的参数相对较少,在一些有针对性的模拟上要进行编程时较为困难	荷兰、美国、德国等;中国香港近海、长江口、杭州湾、辽河、三江平原等
HIMS-HEQM	中国科学院地理科学与资源研究所	流域面源污染与水体水质耦合	水循环定量遥感反演、多尺度分布式水循环、土壤生物地球化学模块、水体水质模块等	多项水质项目	河流、湖库	多尺度嵌套、流域面源污染与水体水质相耦合	水文、水质等专业基础知识要求比较高	HIMS 及其定制模型已经在国内外得到广泛认可和应用,HEQM 在中国的海河、淮河流域、长江、珠江典型流域应用

1. 1. 2 流域面源污染负荷模型

流域面源污染是指溶解性或固体污染物从非特定的地点,在降水和径流冲刷作用下,通过径流过程汇入受纳水体而引起的水体污染,主要来源包括水土流失、农业化肥施用、城市径流、畜禽养殖和农业与农村废弃物等。由于面源污染起源于分散、多样的广域地区,其危害规模大且防治困难。20 世纪 70 年代,流域面源污染负荷模型在面源污染模拟、预测和关键源区识别等方面有了

大量应用。按照流域模型的参数空间特征划分,面源污染模型大致可分为分布式和集总式 2 类。国际公认和应用广泛的分布式模型有 ANSWERS、AGNPS(AnnAGNPS) 和 SWAT 模型,优点在于其机理模拟比较符合实际,在基础数据比较丰富的条件下可以比较精确地模拟小区域或整个流域的面源污染,缺点是需要大量数据作支撑。对国际公认且在国内有应用实例的 5 个面源污染模型的主要特点归纳如表 2 所示<sup>[19-25]</sup>。

表 2 面源污染模型对比分析  
Table 2 Comparison of non-point pollution model

模型	开发者	水质	特征	适用	优点	缺点	应用
BASIN	USEPA	考虑	基于 GIS 的流域管理工具,集成了流域负荷和传输模型(HSPF, SWAT)、污染物负荷模型(PLOAD)、水质模型(QUAL2E)	流域尺度	有一个大型数据库能够从多个流域和水质模型中选择	须借助 Arcview 软件运行,运用成本相对较高;资料需求多	主要是国外的应用实例
SWMM	USEPA	不考虑	为了设计和管理城市暴雨而研制的综合性数学模型,可以模拟完整的城市降雨径流和污染物运动过程	广泛应用于城市降雨径流模拟	对各种水文地质过程进行模拟	把研究区分割为较小的、相对均一的多个集水单元来实现	易北河流域(流经中欧),中国的西安、昆明和天津等城市
AGNPS	美国农业部	不考虑	评价和预测小流域农业非点源污染,模拟流域管理措施	定量估计氮、磷污染负荷,评价农业管理措施对农业面源污染的防治效果	可提供流域内不同地点的影响信息;分散参数模拟方法,利用 GIS 获取区域数据	单事件模型,模拟过程以网格为单元划分	意大利 Alpone 流域等,中国南方地区等
HSPF	USEPA 与 Hydrocomp 公司	考虑	物理分布型综合模型,集水文、水力、水质模拟于一体,能对水文和水质过程进行模拟,流域面源的模拟效果尤其突出	适用于混合均匀的河流、水库和单一向的水体	可以模拟面与点的管理方案;提供长期的连续模拟;同时模拟土地和管理方案	点方案模拟较弱;要求中高度的运转能力	美国 Swift Creek 流域等,中国的滇池、东江、南四湖、大阁河等
SWAT	美国农业部	考虑	复杂大流域的分布式面源污染负荷计算模型	适用于较大流域尺度	可很好地评估管理措施变化对面源污染和水质的影响,可研究长期的变化过程,计算效率高	适用于农业等基础信息比较齐备的情况	美国 18 个主要流域、德国等,中国的丹江口水库、巢湖、黑河流域、潮河流域、三峡水库等

1. 2 水质预报预警系统研究进展

1. 2. 1 国外研究进展

国外相关研究起步较早,文献多集中于针对突发水污染事件的水质预警系统建立与应用,基于常规水环境质量预报预警功能的应用并不多见。美国在俄亥俄河及密西西比河,英国在特棱特河、迪河及泰恩河,法国在塞纳河均建立了突发水污染事故预警系统。由德国、奥地利、匈牙利等 9 个欧洲国家共同开发的多瑙河事故应急预警系统,是由多瑙河沿岸各国的国际警报中心(PIAC)和各国的学术支持机构组成的,在预测预报多瑙河流域水质变化、保障居民饮水安全等方面发挥了重要作用<sup>[26-27]</sup>。

1. 2. 2 国内研究进展

我国地表水环境监测网络历经近 30 年的发展,建立了覆盖全国十大流域、指标完备的监测网

络,形成了完善的技术标准和业务体系。“十三五”期间国控断面(点位)为 2 767 个,共监测 1 366 条河流 139 座重要湖库,并要在“十三五”期间形成覆盖全部 2 050 个考核断面的国家水质自动监测站网。基于水质自动站的实时数据,大多省级监测站和部分市级监测站建立了基于自动站实时数据的水质异常报警系统。以四川、浙江、广东和江苏为代表的省份以科研项目研究为依托,对基于数值模拟的水环境质量预报预警技术进行了探索性研究。

四川省基于水专项课题,构建了流域水环境突发风险监测预警技术体系与基础信息平台以及三峡水库上游入库干支流污染物通量预警模型。目前,四川省环境监测总站将科研成果进一步拓展,探索在岷沱江流域的业务化应用。浙江省的水专项课题对水环境质量预报预警进行了研究,

建立区域点源、非点源及通量等多要素动态源清单,提出以跨界污染物通量自动监测驱动河网模型模拟结 动态计算区域控制单元的容量总量等,但科研成果并未进行及时更新,没有开展业务化应用。广东省在北江流域探索建立水源水质安全监控预警平台,研发了水环境风险评估和风险源解析技术、水环境预警监控和应急决策支持系统,构建了武江流域水质预测预报模型。江苏省建立了水质自动站实时监控三级预警体系,形成高效的水质监测预警处置机制,协助查处100多起污染情况;建立了太湖水污染及蓝藻监测预警体系,能够对蓝藻水华开展近3日预报。

## 2 存在问题

综合国内外研究进展可以看出,在科研方面,国际主流的水质模型较为成熟,但国内基于水质模型的水环境质量预报预警科学研究多以小流域为对象,缺乏宏观尺度的设计和运用。在业务应用方面,国内的水环境质量预报预警业务多以水质自动站实时数据监控为基础,基于机理模型的预报预警大多处在科研阶段,没有形成对水污染防治提供决策支撑的预报预警能力。

1) 科研与实践多以小流域为对象,缺乏宏观流域尺度应用。纵观基于数值模拟的流域综合管理的科学研究,基本以单个水系、集水区或小流域为对象,主要是由于机理模型所需的水文水质监测、下垫面状况等基础数据量繁多,参数率定复杂,需要专业的基础知识进行建模,因此缺乏大尺度的设计和应用。

2) 业务应用以实时监测数据预警为主,缺乏决策支持功能。在国家和地方层面开展的水环境预警业务,多是以水质自动站实时数据监控为基础,对发现的水质异常现象发出预警并进行现场核实。现有进行业务化应用的水环境监控平台大多缺乏基于数值模拟的水质常规预报功能,以及在水环境分析评价基础上的治理决策综合支撑功能。

3) 对水环境质量预报预警业务的认识尚未统一,缺乏顶层设计。目前,无论是科研工作者还是监测站技术人员,对于开展国家层面的水环境质量预报预警业务尚有不同的认知,还未达到统一。在必要性的认知上,大家都认为开展这项业务意义深远,但部分技术人员对业务开展的可行性有疑虑,认为数据量获取的难度和建模的复杂

性都很大,其专业性很强,系统建设周期和后期维护难度大,不易推广。

综合以上国内外研究进展的分析以及存在问题,结合以水环境质量改善为核心,以流域水污染突出问题为导向,以水污染防治工作目标为引领的目标,初步提出国家水环境质量预报预警的发展思路。

## 3 国家水环境质量预报预警发展思路

### 3.1 总体目标

国家层面以重点流域/湖库为单元,研究建成集水环境质量预测预报、水环境污染事故预警与模拟、面源污染负荷匡算与风险评估、水环境污染物追因溯源、水环境容量和承载力评估等应用为一体的国家水环境质量预报预警能力。在国家水环境质量预报预警形成基本能力的基础上逐步推开,建设架构统一、业务协同、资源共享、上下游联动的全国-流域-省级-城市4级水环境质量预报预警网络,为重点流域水污染防治、省市水环境质量监管和目标考核提供科学有效的技术支撑。

### 3.2 基本原则

1) 业务与科研相结合,引入外脑与强化内功相统筹。科技攻关是业务化应用的必要基础,业务化应用是科技攻关的出发点和根本目标。通过引入外脑、强化内功,组建水环境质量预报预警科研攻关团队,保障业务体系的科学性和先进性,提高监测队伍的技术水平。形成符合我国水环境质量管理要求,具有我国生态环境监测特色的业务体系。

2) 一维与多维相结合,宏观与微观相统筹。机理模型的尺度把握至关重要,一维模拟的建设速度快、参数少,二维/三维模拟的精度高、展示效果好,要从研究范围和应用目的、综合成本和效益进行统筹设计。国家层面是在流域尺度,从宏观上把握水环境质量时空演变规律并预测预警,因此应以一维模拟为主,在重点河段辅以二维/三维模拟,形成完备适用、科学合理的应用手段。

3) 水体与流域相结合,点源与面源相统筹。水文循环过程与流域生态过程归属于一个紧密耦合的复杂系统,这就要求在建模过程中将受纳水体水质模型与流域面源污染负荷模型进行有效的耦合。流域面源污染负荷模型的建立将对面源污染这一形势愈加严峻且计算难度高的污染类型进

行解析和匡算,与点源污染排放清单相统筹,形成覆盖全面、点面结合的模式体系。

4) 国家与地方相结合,先行先建与整体带动相统筹。在4级水环境质量预报预警网络的功能部署中,国家层面除了流域尺度的业务应用外,需要提供一整套先进可行、覆盖全面的技术方法指南,以期保障国家-流域-省级-城市4级业务体系的架构统一、业务协同。地方层面上,有基础的省市要找准问题和需求,发挥各自优势先行先建,同时起到整体带动作用,做到资源共享、保证上下

游联动。形成上下联动、统筹兼顾的整体业务布局。

### 3.3 业务系统设计

建设4级水环境质量预报预警网络,要以2套体系(技术方法体系和业务体系)为保障,以2类模型(水质模型和面源污染模型)为支撑,依托1个平台(水环境质量预报预警决策支持平台),开展环境监管业务化应用、治理决策精细化支撑、污染事故科学化处置和数据产品社会化服务这4种业务应用(图1)。

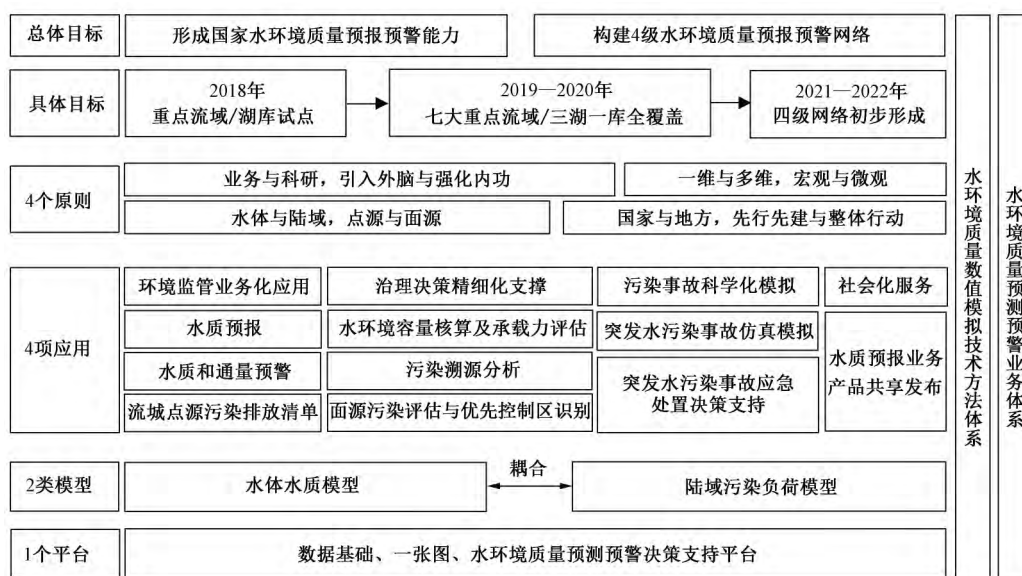


图1 水环境质量预报预警业务体系架构图

Fig.1 The framework of operational system of national water quality forecasting and alarming

#### 3.3.1 构建模型体系

根据国内外主流水质模型的研究进展,水环境质量预报预警系统设计应采用系统工程的方法,建立面源污染模型和水体水质模型相耦合的多模型集合预报系统,所采用的机理模型必须经过研究和应用检验,较成熟稳定,达到国内外先进水平并具备二次开发条件。在重点流域,需发挥不同模型组合的优势,建立不少于3套国内外先进模型组合并实现多模型集合预报,每套模型组合可独立模拟面源污染和水体水质全过程。基于现有国内外先进模型,如HIMS-HEQM、SWAT、HSPF、EFDC、WASP、SELFE、Delft3D、DRONIC、TELEMAC等,使用历史资料进行充分的本地化参数率定校准。同时,进行集合预报优化,对多套模型的模拟结果进行对比校验,利用包括多元回归、偏差订正、神经网络等方法对多套水环境质量集合预报结果进行统计集成。

面源污染机理过程模拟至少包括水文循环、土壤侵蚀、营养物质迁移转化等功能模块,为水体水质模型提供径流和面源污染输入;水文水质机理过程模拟至少包括水动力、闸坝控制、水质、病原体与有毒物质等功能模块。

#### 3.3.2 业务系统设计

1) 环境监管业务化应用。生产包括水文、水质、水华在内的预报产品,对水质和通量信息进行实时预警,整合建立点源污染排放清单,为水环境监管提供的实时高效的业务化产品。①水文预报。能够提供未来3d可用和未来4~7d可供参考的流域水位、流速、流量、水温等预报产品。②水质预报。能够提供未来3d可用和未来4~7d可供参考的悬浮物、溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总磷(TP)、总氮(TN)、五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)、重金属类等主要污染物浓度、水质类

别、首要污染物预报产品。③湖库富营养化预报。能够提供未来7 d可供参考的叶绿素a、蓝藻、绿藻、硅藻的浓度、水华爆发时间和面积等预报产品。④水质和通量预警。系统可根据业务需求设置预警指标参数,基于实测水质数据和预报数据,对一定时间周期内的超过设定参数的水质大幅变化超标、污染物偷排、水质趋势性异常变化、断面通量异常等进行实时预警。

2) 治理决策精细化支撑。以机理水质模型和面源模型为应用支撑,可对水环境容量和承载力进行核算,进而规划污染削减方案;可对污染物来源进行追因溯源,锁定风险源;可对面源污染的来源和迁移转化进行模拟,从而识别管控关键源区,是精准实施水污染防治决策、科学制定水环境管理规划的技术支撑。①水环境风险评估。面向江河沿岸、人口密集区等敏感区域密集分布污染源影响及水环境质量管理需求,建立水环境风险评估系统。建设流域点源污染排放清单,集成整合污染源位置、排污口位置、特征污染物、污染排放等信息,确定污染源排放与流域汇合点、污染源影响范围等,在此基础上实现对清单信息进行管理、编辑和动态更新。应用面源污染模型,对氮、磷等营养元素和主要重金属的面源污染符合进行定量匡算,拟合面源污染负荷的入河量,计算其对水体污染的贡献量及贡献率。设定阈值参数,识别出面源污染关键源区和高风险区。具备分析面源污染月度、水期、年度的时间变化趋势和空间分布特征功能。②水环境容量核算及承载力评估。在水环境质量数值模型支撑下,模拟受纳水体在一定的环境质量目标规划设定条件下的水环境容量,依据水环境容量和污染负荷现状,对流域/湖库、行政区的水环境容量和水环境承载力开展风险评估和超载预警。③决策支持分析。根据重点流域控制单元、河湖长制管理需求,对水质现状、水文水质预报结果与规划目标进行对比,分析主要污染物来源,对影响水质的主要污染源治理措施进行水质改善效果的情景模拟。模拟结果可用于规划和构建流域/湖库或行政区的污染负荷削减方案和空间分配方案。④污染溯源分析。对污染物来源进行追因溯源,掌握污染物的扩散及空间变化路径,基于工业和生活的点源污染排放量,以及农村生活、畜禽养殖、农田径流等面源污染负荷,解析各类污染来源对重点断面主要污染物通量的贡献量、贡献率及其时空变化特征。在水环

境污染物浓度或通量发生较大变化,触发水质大幅变化超标预警、偷排预警时,进行异常水污染溯源分析,结合空间拓扑技术和超标污染物特征,对污染来源进行筛查和定位。

3) 污染事故科学化处置。突发水污染事故会带来水环境破坏,威胁饮用水安全并造成严重的社会影响,在水质模型的支撑下建立突发水污染事故仿真模拟,可以实时模拟水污染事件的时空变化、影响人口和饮用水威胁,为快速有效的应急处置提供科学依据。①突发水污染事故仿真模拟。建立突发水污染扩散模型,依据污染事故的发生位置、污染物类型、泄漏量、泄露方式、气象水文条件等信息,动态模拟污染物的迁移转化过程,计算污染物的浓度分布、污染物到达下游重要断面的时间、超过指定阈值的污染带时空分布范围等。评估污染事件影响地区的人口、威胁饮用水安全的超标程度等。②突发水污染事故应急处置决策支持。建立污染物属性数据库、突然污染物的应急处理处置技术数据库等,包含常见污染物的理化常数、环境影响、实验室检测方法、环境标准、应急处理处置方法等,为污染事故的快速应急处置提供科学的决策支持。

4) 数据产品社会化服务。对水环境质量预测预报业务产品进行发布与共享,针对环境管理部门、监测业务部门、普通大众等不同用户类型的需求进行有针对性的社会化服务。实现重点流域/湖库国控断面的水质预报发布、预警信息实时推送和水质信息专题图生成等功能,体现监测数据和预报预警信息展示一体化、空间查询一体化及数据管理一体化,提高环境监测支撑环境监控管理、满足公众知情权的能力。

### 3.3.3 建立2套体系

国家层面建立水环境质量数值模拟技术方法体系、水环境质量预报预警业务体系,确保在不同流域/湖库、各省市时空分辨率及下垫面的差异下,本地化模型能够协同运转、互联互通;确保在业务化运行中,全国-流域-省级-城市四级水环境质量预报预警业务能够流程规范、口径一致。

1) 水环境质量数值模拟技术方法体系。研究建立水环境质量数值模拟技术方法体系,力求全国的业务开展能够统一水环境质量建模架构、摸清污染源来源和数量、掌握水环境容量和承载力评估技术方法,搞清水环境污染来源。

2) 水环境质量预报预警业务体系。明确国



家水环境质量预报业务、国家水环境质量预警业务机制和基本流程,在此基础上,结合流域/湖库、省、市水环境质量预报预警业务开展情况,研究建立流域/湖库、省级、城市的水环境质量预报预警业务机制、预报预警信息共享交换机制等。

### 3.3.4 搭建一个平台

研究建立水环境质量预报预警决策支持平台,在一套完整的地理空间数据集、水文气象数据集、环境监测数据集、污染源数据集的基础上,运用大数据、GIS 等技术,集成流域/湖库的水质预报预警常规化模拟、决策支持智能化分析、数据信息查询与共享等功能。以一张图为中心,运用空间信息技术集中展现水环境质量预报预警在环境监管业务、治理决策支撑和突发污染事故模拟的成果,实现水环境质量预报预警的精细化、智能化和可视化。

### 参考文献(References):

- [1] CHANG H. Spatial Analysis of Water Quality Trends in the Han River Basin South Korea[J]. Water Research, 2008, 42(3): 285-304.
- [2] FABRICIO D C, ROSA I A, RAFAEL P, et al. Modelling Spatial and Temporal Variations in the Water Quality of an Artificial Water Reservoir in the Semiarid Midwest of Argentina[J]. Analytica Chimica Acta, 2011, 705: 243-252.
- [3] HUSSAIN M, AHMED S M, ABDERRAHMAN W. Cluster Analysis and Quality assessment of Logged Water at an Irrigation Project, Eastern Saudi Arabia[J]. Journal of Environmental Management, 2008, 86: 279-307.
- [4] 环境保护部. 关于印发《重点流域水污染防治规划(2016—2020 年)》的通知[EB/OL]. [2017-10-27]. [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201710/t20171027\\_424176.htm](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201710/t20171027_424176.htm).
- [5] 国务院. 国务院关于印发《水污染防治行动计划》的通知[EB/OL]. [2015-04-16]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-04/16/content\\_9613.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-04/16/content_9613.htm).
- [6] 刘路. 基于水质模型的区域污染控制研究[D]. 上海: 东华大学, 2011.
- [7] 罗定贵, 王学军, 孙莉宁. 水质模型研究进展与流域管理模型 WARMF 评述[J]. 水科学进展, 2005, 16(2): 289-294.  
LUO Dinggui, WANG Xuejun, SUN Lining. Progress in Study of Water Quality Model and Review of River Basin Management Model - WARMF[J]. Advance in Water Science, 2005, 16(2): 289-294.
- [8] 曹晓静, 张航. 地表水质模型研究综述[J]. 水利与建筑工程学报, 2016, 4(4): 18-21.  
CAO Xiaojing, ZHANG Hang. Commentary on Study of Surface Water Quality Model[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2016, 4(4): 18-21.
- [9] STREETER H W, PHELPS E B. A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River[J]. Washington: US Government, 2010, 8(1): 1-75.
- [10] 周华. 河流综合水质模型 QUAL2K 应用研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8(1): 73-77.  
ZHOU HUA. Application Research of a Comprehensive River Water Quality Model QUAL2K[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2010, 8(1): 73-77.
- [11] 梁俐, 邓云, 郑美芳, 等. 基于 CE-QUAL-W2 模型的龙川江支库富营养化预测[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(增刊 1): 103-111.  
LIANG Li, DENG Yun, ZHENG Meifang, et al. Predicting of Eutrophication in the Longchuan River Based on CE-QUAL-W2 Model[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(Supplement 1): 103-111.
- [12] KANDA E K, KOSGEI J R, KIPKORIR E C. Simulation of Organic Carbon Loading Using MIKE 11 Model: A Case of River Nzoia Kenya[J]. Water Practice and Technology, 2015, 10(2): 298-304.
- [13] HAVNO K, MADEN M N, DORGE J, et al. MIKE 11—a Generalized River Modelling Package[J]. Computer Models of Watershed Hydrology, 1995(1): 733-782.
- [14] 黄庆超, 石巍方, 刘广龙, 等. 基于 Delft3D 的三峡水库不同工况下香溪河水动力水质模拟[J]. 水资源与工程学报, 2017, 28(7): 33-39.  
HUANG Qingchao, SHI Weifang, LIU Guanglong, et al. Modeling the Hydrodynamics and Water Quality of Xiangxi River Under Different Working Conditions of Three Gorges Reservoir Based on Delft3D[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2017, 28(7): 33-39.
- [15] XIE R, WU D, YAN Y, et al. Fine Silt Particle Pathline of Dredging Sediment in the Yangtze River Deepwater Navigation Channel Based on EFDC Model[J]. Journal of Hydrodynamics, 2010, 22(6): 760-772.
- [16] SEO D, KIM M, AHN J H. Prediction of Chlorophyll-a Changes Due to Weir Constructions in the Nakdong River Using EFDC-WASP Modelling[J]. Environmental Engineering Research, 2012, 17(2): 95-102.



- [17] HAMRICK J M ,WU T S.Computational Design and Optimization of the EFDC/HEM3D Surface Water Hydrodynamic and Eutrophication Models [J].Society of Industrial and Applied Mathematics ,Philadelphia , 1997( 1) : 143-161.
- [18] EMST M R ,OWENS J.Development and Application of a WASP Model on a Large Texas Reservoir to Assess Eutrophication Control [J]. Lake and Reservoir Management 2009 25( 2) : 136-148.
- [19] WOOL T A , DAVIE S R , RODRIGUEZ H N. Development of Three Dimensional Hydrodynamic and Water Quality Models to Support Total Maximum Daily Load Decision Process for the Neuse River Estuary , North Carolina [J]. Journal of Water Resources Planning and Management 2003 ,129( 4) : 295-330.
- [20] 王雪蕾 ,王新新 ,朱利 .等.巢湖流域氮磷面源污染与水华空间分布遥感解析[J].中国环境科学 2015 35 ( 5) : 1 511-1 519.
- WANG Xuelei ,WANG Xinxin ,ZHU Li ,et al. Spatial Analysis on Diffuse Pollution and Algal Bloom Characteristic with Remote Sensing in Chao Lake Basin [J].China Environmental Science 2015 35( 5) : 1 511-1 519.
- [21] TEMPRANO J , ARANGO O , CAGIAO J , et al. Stormwater Quality Calibration by SWMM: A Case Study in Northern Spain [J].Water South Africa 2006 , 32( 1) : 55-63.
- [22] 金蕾 ,华蕾 ,荆红卫 .等.非点源污染负荷估算方法研究进展及对北京市的应用 [J].环境污染与防治 , 2010 32( 4) : 72-78.
- JIN Lei ,HUA Lei ,JING Hongwei ,et al. Review of Nonpoint Source Pollution Loads Estimation Methods and Its Application in Beijing [J]. Environmental Pollution and Control 2010 32( 4) : 72-78.
- [23] DIAZ RAMIREZ J N , PEREZ ALEGRIA L R , MCANALLY W H. Hydrology and Sediment Modeling Using BASINS/HSPF in a Tropical Island Watershed [J].Transactions of the American Society of Agricultural Biological Engineers 2008 51( 5) : 1 555-1 565.
- [24] KIRNAK H. Comparison of Erosion and Runoff Predicted by WEPP and AGNPS Models Using a Geographic Information System [J].Turkish Journal of Agriculture and Forestry 2002 26: 261-268.
- [25] CHEN S ,LI R. 2013. Assessment of Surface Water Resources and Evapotranspiration in the Haihe River Basin of China Using SWAT Model [J]. Hydrological Processes 27( 8) : 1 200-1 222.
- [26] DIEHL P ,GERKE T ,JEUKEN A D ,et al. Early Warning Strategies and Practices Along the River Rhine [M]. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg , 2006: 99-124.
- [27] PINTER G.Early Warning System on the Danube River [J].Security of Public Water Supplies 2000 ,66: 101-106.