

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.05.009

水质预警研究发展探讨

计 红¹,韩龙喜¹,刘军英¹,孙 娟¹,毛学文²

(1.河海大学环境学院,江苏 南京 210098;2.水利部水文局,北京 100053)

摘要 指出建立预警机制下的水质预警系统对防范水污染事故的发生、降低水污染事故的影响具有积极作用,阐述渐变型预警和突发型预警的内涵及其相应的研究方法,综述目前国内外关于水质预警系统的研究及应用概况,进而从系统逻辑结构、监测网络及技术、水质预警方法、系统研究范围等方面对水质预警系统设计的进一步完善进行探索。

关键词 水污染事故;水质预警系统;水质预测;应急响应

中图分类号 X507 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2011)05-0039-04

Study on water quality early warning

Ji Hong¹, HAN Long-xi¹, LIU Jun-ying¹, SUN Juan¹, MAO Xue-wen²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Bureau of Hydrology, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

Abstract: The water quality early warning system is considered an effective and feasible method of preventing the occurrence of water pollution accidents and mitigating the deleterious effects of pollution accidents, which is a hot topic in the water environment field in China at present. The concepts and research methods of water quality early warning were introduced. The current research progress in water quality early warning systems at home and abroad was reviewed. Further improvement of water quality early warning systems was examined in terms of the logical structure of the system, monitoring network and technology, water quality early warning methods, and system research range.

Key words: water pollution accident; water quality early warning system; water quality forecast; emergency response

预警是指在灾害或灾难以及其他需要提防的危险发生之前,根据以往总结的规律或观测得到的可能性前兆,向相关部门发出紧急信号,报告危险情况,以避免危害在不知情或准备不足的情况下发生,从而最大程度地减低危害所造成的损失的行为。预警理论起源于军事领域,随着计算机技术、网络技术、通讯技术和 GIS 技术的迅猛发展,现已广泛应用于经济、地质气象、管理、医学、农业及环境等领域。早在 20 世纪上中叶,在环境公害事件频发的背景下,为防止此类事件的再度发生,一些水污染、大气污染预警系统得以开发,在欧美各国发挥了重要作用。我国的陈国阶等^[1-2]、宋文华等^[3]也在环境预警

理论及环境预警系统的建立等领域进行了开拓性研究。近年来,随着水污染事故的频繁发生,针对各流域建立预警机制下的水质预警系统逐渐成为国内研究的热点。

1 水质预警的分类及内涵

水质预警按警情发生的状态来分,可分为渐变型预警和突发型预警 2 类。水质预警类型的不同决定了其内涵的不同。渐变型预警是通过监测分析警源和警情变化,对水环境污染的警兆进行识别,进而利用定性、定量相结合的预测模型确定警兆的变化趋势及速度,预先对即将出现的警情进行警报,并制

定防范措施,以达到保证水环境安全的目的。突发型预警则是对突发性水污染事件发出警报,并预测其影响的时空范围及程度,进而提出应急响应措施,以期最大限度地减少这类事情造成的危害。

2 水质预警研究方法

2.1 渐变型预警研究方法

水华爆发是典型的渐变型水污染。水华爆发是由水体的物理、化学和生物过程等多种因素共同作用的结果,各要素之间关系复杂,存在随机性、不确定性和非线性特征,目前对其发生的临界因素和机理尚不完全清楚。

对水华爆发的预测主要有2种方法。①确定性的机理模型,如QUAL II、WASP、SALMO等水质生态模型。危忠等^[4]提出通过建立流域径流模型和湖泊内水动力学模型、沉积物运移模型和多参数水质模型的耦合模型,全面、真实地反映藻类生长与各种物理因子、生化因子及自然社会因子的相互作用关系,从而在时间和空间尺度上尽可能准确地对蓝藻生长进行预警分析。机理性模型以物理、化学等基本理论为基础推求而得,模型变量物理意义明确,但需要大量实测数据确定其取值。②数据驱动方法,包括多元统计回归方法和神经网络方法等。多元统计回归模型存在着模型形式的选择问题,一般采用线性关系进行简化,因此在水华爆发的限制因素发生变化时的预测效果不佳。神经网络方法由于具有较强的适应能力、学习能力和真正的多输入、多输出系统的特点,逐渐受到人们的重视。然而,神经网络模型对于如何确定输入变量和网络结构没有很好的方法,并且很难解释神经网络结构的功能及其对输出变量的影响。曾勇等^[5]认为采用决策树和非线性统计回归方法探讨限制因素发生变化时水华爆发的时机及强度,输入输出关系明显,结果易于解释。刘涛^[6]分别运用多元非线性回归方法、人工神经网络方法建立了叶绿素浓度预测模型,进而采用CE-QUAL-W2理论模型加以辅助验证,并比较了3种方法的优劣。结果表明,人工神经网络法略优于另外2种方法。

2.2 突发型预警研究方法

突发性水污染事故具有发生时间、地点的不确定性、污染源种类及类型的不确定性、影响范围的广泛性、危害的严重性及处理处置的艰巨性等特点。对于此类污染,目前主要采用风险评价和应急评估2种方法^[7]。

2.2.1 风险评价法

突发性水污染事件同时具备瞬时突发性(概率事

件)和后果严重性(影响损失)这2大风险事件的基本要素,因此属于典型的风险事件。对突发性水污染事故进行风险评价,有针对性地制定控制措施,可从源头上降低风险事件的发生频次和减缓污染程度。

完整的突发性水污染事故风险评价程序应包括:①事前“风险调查”评估,对潜在风险源进行识别;②对事故发生后的影响后果进行快速、准确的应急评估,为应急行动提供决策依据;③进行“水质健康风险评估”,对污染事件后续风险影响进行识别。

2.2.2 应急评估法

应急评估法主要关注事故发生后造成的后果,包括定性评估法和定量评估法。定性评估法,也称专家法,可用于初步确定突发性污染事件对取水口的影响程度并对事件级别作出鉴定。定量评估法,也称模型评估法,指在事故发生后,从相关数据库获取数据信息,利用水环境数学模型及计算机软件模拟和预测污染物质到达取水口等敏感区域的概率、时间、浓度等信息,对突发性污染事件的危害进行评估。模型评估法有明确的数理依据,具有一定的科学客观性,可作为定性评估法的有益补充。

3 水质预警系统概况

水质预警系统是以水质预警方法为基础建立的系统,是一个集监测、计算、模拟、管理为一体的系统。水质预警系统的建立,可使决策部门对目标水体的水环境安全进行有效的综合管理和宏观决策,防患于未然,或采取及时有效的应急响应措施。公众也能及时得到最新的环境信息资讯。

3.1 国外水质预警系统概况

国外的水质预警系统研究起步较早,经过多年的发展已较为成熟。如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,法国在塞纳河都建立了各自的预警系统以应对突发性水污染事故^[8]。最为著名的是由德国、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^[9]”,该系统的构建模式借鉴了莱茵河国际预警预报系统,由多瑙河沿岸各国的国际警报中心(PIAC)、各国PIAC间的信息传输系统以及各国国内的学术支持机构组成。自1997年4月投入运行以来,该系统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。

水质预警还可按对象不同分为原水预警、出厂水预警及管网水预警。9.11事件后受国际恐怖活动的影响及政府对防恐的要求,为了确保公众的健康,发达国家尤其是美国在多个城市开始设计和实施不同等级的安全供水预警系统,着重研究管网水水质预

警。国内目前对管网水水质预警的研究相对较少,主要还是对原水水质预警系统的建立进行研究。

3.2 国内水质预警系统概况

自松花江特大水污染事故发生后,国内学者对我国重要流域水质预警系统的建立开始了积极探索。郭振仁等^[10]基于东江的设计经验,对流域水质安全事件应急体系设计的内容与方法进行了概括总结。吕俊等^[11]构建了广西郁江水质预警预报系统总体框架,并对自动监测子系统、移动监测子系统、水质预测子系统及信息发布子系统进行了详细设计。王耕等^[12]设计了基于 WebGIS 技术的辽河流域水安全预警系统,该系统具有功能完善、结构简单、系统开发难度小、投资省、效益高等特点。朱灿等^[13]开发了基于 GIS 和数据库管理系统(DBMS)的数字西江水质预警预报系统,该系统分为基础信息、环境管理、水质评价、水质预警预报、统计查询及 GIS 管理等子系统。其中,水质预警预报子系统可实现河道水流计算、常规水质预报、突发事件预警预报以及超标分析等 4 项功能。肖彩等^[14]构建的水质预警预报系统可实现常规预报、水华预警预报及突发事件模拟,在汉江武汉段的水环境管理中得到了较好的应用。2008 年,由广东省城镇供水协会组建的北江流域原水水质监测与污染预警系统^[15]经过 8 年的筹备和试运行正式投入使用,北江流域 60 多家水厂加入了该系统,共同对流域内水质情况进行实时监测。这是国内第一个由民间机构承担运作的大江大河水质监测与污染预警系统。

4 水质预警系统研究的重点

水质预警系统是一个多目标系统,其研究尚处于起步阶段。要实现有效的水质预警,预警系统的研究重点应包含以下几方面。

4.1 预警系统逻辑结构的完善

逻辑结构的确立是水质预警系统构建的首要步骤。预警系统的基本逻辑结构应包含明确警义、寻找警源、分析警兆和预报警度 4 个组分。但在实际的设计开发过程中,一些水质预警系统缺少基本的预警逻辑结构,使得预警系统等同于一般的环境管理系统,预警功能不突出。陈国阶^[1]对环境预警理论进行了有益的探索,提出了环境预警的含义及步骤,为预警系统逻辑结构的建立提供了理论依据。董志颖等^[16]对水质预警理论进行了初探,认为水质预警系统按其实现过程可划分为警源分析、警兆辨识、警情诊断、警度预报和排警调控等 5 个子系统,并提出了“现状分析与评价——确定警情——寻找警源——分析警兆——预报警度——排除警患”的

水质预警技术路线。Glasgowa 等^[17]建立的海洋赤潮预警系统,采用先定警兆再定警情警度的方式,保证了预警的有效性和准确性。可见,构建完善的预警逻辑结构,能有效降低预测的不准确度,保证预警的有效性。

4.2 监测网络的完善和监测水平的提高

一个高效的水质预警系统依赖于监测网络的完善和监测数据的准确。监测网络的不完善将直接导致预警基础信息的缺失,而监测水平低下造成的数据误差则可能导致预警结果与实际情况的严重背离。因而,近年来环境监测网络的研建及方兴未艾,监测技术的应用和加强也是国内外学者普遍关注的热点。山东省济南市市政公用局供排水监测中心在供水水质实时监控与预警方面走在国内前列。截至 2010 年 9 月,该中心已建成 49 个自动监测站点和 1 个监测预警及应急指挥中心,使济南市实现了从源头到龙头的全过程水质预警监控及应急处理。应急监测在突发性水污染事故应急处理的过程中担负着重要作用,可为决策人员及时提供宝贵的现场动态资料。生物监测较传统的理化监测具有预警时间较短、灵敏度较高、预警成本较低等特点^[18],其在水质预警中的应用是目前国内外研究的热点之一。关于生物监测及相应的生物标志物技术,当前的研究和应用主要集中于欧美地区,国内起步较晚,目前主要关注实验室内双壳类海洋生物的研究^[19]。

4.3 水质预警方法的完善

4.3.1 风险评价理论的完善

张钊^[20]从环境风险评价的角度,对江河饮用水水源地突发性水污染事故风险源项进行了全面的风险辨识,并应用故障树分析方法(FTA)对江河饮用水水源地进行了突发性水质污染事故源项分析。庄巍等^[21]针对长江下游主要水源地特点及水污染事故特征,以江苏段为例,构建了适用于该地区的水源地风险预警模型,实现了对于固定源、移动源等水污染事故风险过程的动态模拟及风险预警。李维新等^[22]以信息技术为基础,综合运用 GIS、网络、多媒体等现代高新科技手段,利用河网水质模型,并结合环境风险管理理论,在太湖流域环境风险管理方面进行了尝试。

然而,与其他风险事件的风险评价理论相比,国内外对突发性水污染事件的系统、专项探讨相对薄弱,尚未形成统一的理论体系。国外对突发性污染事件的风险分析和评估基本集中于海域,对非海域突发性水污染事件风险评价的理论体系关注不多^[7]。另外,风险评价技术本身仍存在不少有待改善的问题。

4.3.2 水质预测模型库的完善

不管是采用风险评价法还是应急评估法 ,水质预测模型库均是水质预警系统的核心。经过大量的实践检验 ,国内外开发的众多模型具有较好的模拟效果。如何从中选择与实际情况更为符合的预测模型 ,是水质预测模型库建立过程中必须认真思考的问题。

由于水环境因子的复杂性和多变性 ,预测模型的准确性长期以来一直备受关注。为了获得有效的结果 ,使用的模型必须尽可能地给出预警结果的置信度 ,即在模型使用中考虑和分析所有不确定性的来源 ,分析模型的不确定性和灵敏性^[23]。这通常需要计算机模拟实现 ,利用自动建模、数据挖掘等人工智能技术进行模型验证和修正。建立系统的反馈机制是预测模型研究的重要发展方向。

4.4 系统研究范围的拓展

水污染事故按发生的水域可分为河流、湖泊、水库、地下水、河口及海洋等污染事故。目前的水质预警系统多针对于地表水的河流及湖库污染 ,今后可研发针对地下水、河口及海洋污染的预警应急系统 ,为水环境的保护和管理提供更为全面的技术支持。

5 结 论

面对频繁发生的水污染事件 ,通过建立科学有效的水质预警系统进行水质预警是一种保障水环境安全的新方法、新手段 ,也是一项融汇了环境安全理论、信息技术和预警方法的复杂系统工程。国内在这一研究领域虽已取得大量成果 ,但很多理论仍有待建立和深化 ,已建系统的有效性也需在应用中不断检验、调整。随着预警监测技术的改进、预警系统网络的完善以及预测模型研究的深入 ,以完善的预警理论和先进的信息技术作保证 ,水质预警系统定能在水环境安全管理领域发挥更大的作用。

参考文献：

[1] 陈国阶.对环境预警的探讨[J].重庆环境科学,1996,18(5):1-4.
[2] 陈国阶,何锦峰.生态环境预警的理论和方法探讨[J].生态环境,1999,21(4):8-11.
[3] 宋文华,王千,颜慧,等.天津经济技术开发区(TEDA)环境预警系统的建立研究[J].城市环境与城市生态,1998,11(4):36-38.
[4] 危忠,尹海龙,徐祖信.湖泊蓝藻水华数字化预警系统构

建探讨[J].四川环境,2009,28(1):33-38.
[5] 曾勇,杨志峰,刘静玲.城市湖泊水华预警模型研究:以北京“六海”为例[J].水科学进展,2007,18(1):79-85.
[6] 刘涛.水库水质参数预测和富营养化预警[D].天津:天津大学,2005.
[7] 常蒲婷,杨侃,侯学勇,等.突发性水污染事件模拟分析研究[J].水电能源科学,2009,27(3):38-41.
[8] 卢金锁.地表水厂原水水质预警系统研究及应用[D].西安:西安建筑科技大学,2006.
[9] BOTTERWEG T,RODDA D W. Danube river basin :progress with the environmental programme[J]. Water Science and Technology,1999,40(10):1-8.
[10] 郭振仁,彭海君,杨大勇,等.流域水质安全事件应急体系设计[J].水资源保护,2009,25(2):83-86.
[11] 吕俊,彭斌,唐奇善.郁江水质预警预报系统建设模式的探讨[J].水资源保护,2006,22(5):81-83.
[12] 王耕,吴伟.基于GIS的辽河流域水安全预警系统设计[J].大连理工大学学报,2007,47(2):175-179.
[13] 朱灿,李兰,董红,等.基于GIS的数字西江水质预警预报系统设计和应用[J].中国农村水利水电,2006(10):9-11.
[14] 肖彩,张艳军,彭虹,等.水质预警预报系统的研究与应用:以汉江武汉段为例[J].贵州环保科技,2005(3):1-6.
[15] 中国首个由民间机构承担运行的江河水质预警系统开始运转[J].水利科技,2008(2):24.
[16] 董志颖,王娟,李兵.水质预警理论初探[J].水土保持研究,2002,9(3):224-226.
[17] GLAGOWA H B,BURKHOLDERA J M,REEDA R E,et al. Real-time remote monitoring of water quality:a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,2004,300(1/2):409-448.
[18] 汪红军,周连凤,李嗣新,等.水环境安全预警系统研究进展[J].环境科学与管理,2011,36(3):32-35.
[19] 计勇,陆光华.水体污染风险预警的生物标志物技术[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(3):258-262.
[20] 张钧.江河水源突发事故预警体系与模型研究[D].南京:河海大学,2007.
[21] 庄巍,李维新,周静,等.长江下游水源地突发性水污染事故预警应急系统研究[J].生态与农村环境学报,2010,26(S1):34-40.
[22] 李维新,张永春,张海平,等.太湖流域水环境风险预警系统构建[J].生态与农村环境学报,2010,26(S1):4-8.
[23] 圣宏,陈吉宁,刘毅.区域水环境污染、预警系统的建立[J].上海环境科学,2002,21(9):541-544.

(收稿日期 2011-05-25 编辑 徐 娟)