

· 专论与综述 ·

# 区域水环境安全预警系统框架的建立及应用

俞 露<sup>1</sup>, 陈吉宁<sup>2</sup>, 曾思育<sup>2</sup>, 张天柱<sup>2</sup>

(1. 深圳市城市规划设计研究院, 广东 深圳 518034; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

**摘 要:**从保护人类社会与水环境之间的协调出发,以环境风险评价理论为基础,从区域水环境安全风险管理的角度,提出了构建区域水环境安全预警系统的方法。对预警系统运作的基本环节作了具体说明,并以南水北调东线工程为例,介绍了该方法的应用成果。

**关键词:**区域;水环境安全;预警系统;环境风险评价

**中图分类号:** X820.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-2009(2005)06-0007-04

## Establishment of Early Warning System Framework for Regional Water Environmental Safety

YU Lu<sup>1</sup>, CHEN Ji-ning<sup>2</sup>, ZENG Si-yu<sup>2</sup>, ZHANG Tian-zhu<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Urban Planning Designing Institute, Shenzhen, Guangdong 518034, China; 2. Environmental Science and Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Under the purpose of protecting the harmony between human society and water environment, a method is proposed in this paper to establish an early warning system framework for regional water environmental safety, based on environment risk assessment theory. It explained the essential steps of the early warning system, and introduced the application of the method, with the example of South-to-North Water Diversion East Line Project.

**Key words:** Region; Water environmental safety; Early warning system; Environment risk assessment

水环境安全问题通常指人类社会生存环境和经济发展过程中发生的与水有关的危害问题,包括洪涝、溃坝、水量短缺、水污染等,并由此给人类社会造成损害,例如财产损失、人口死亡、健康状况恶化、生存环境的舒适度降低、经济发展受到严重制约等。由于水环境安全在人与自然均衡发展中的重要性日益明显,近年来针对保障水环境安全的研究逐渐兴起。世界卫生组织(the World Health Organization, WHO)提出的水安全计划(Water Safety Plans, WSP)包括系统评价、有效的运行监控及管理措施<sup>[1]</sup>。区域水环境安全预警系统的研究目的是为区域水环境风险管理提供直接信息,包括风险起因、发生概率、影响过程、后果等,从而为管理者提供决策依据<sup>[2]</sup>。比较典型的国外研究实践包括德国和奥地利联合开发的多瑙河流域水污染预警系统、德国在莱茵河流域开发的水污染预警系统

等<sup>[3,4]</sup>,国内有桂江、汉江、辽河流域水质预警系统等<sup>[5-7]</sup>。然而,目前国内还缺乏对构建区域水环境安全预警系统的一般性理论和方法的研究,已有的预警系统对水环境安全与区域社会经济发展之间深刻关系的体现不够系统。

### 1 基于环境风险评价理论的区域水环境安全预警系统概念框架

风险包含两个要素,即不良影响的可能性与严重性<sup>[8]</sup>。环境风险评价即评估事件的发生概率及在不同概率下事件后果的严重性,并决定适宜采取的对策。其主要特点是评价环境中的不确定性和突发性问题,人们关心的事件发生的可能性及其发

收稿日期: 2005-02-25; 修订日期: 2005-09-02

作者简介:俞 露(1982—),女,浙江绍兴人,硕士,在校期间研究方向为水环境安全风险研究。

生后的影响。环境风险评价处理了危险物、人类系统和生态资源之间的关系,为环境现状评价和设定情景下的状态预测提供了技术基础<sup>[9]</sup>。

亚洲开发银行 (Asian Development Bank) 1997 年出版的《环境影响评价》一书中指出,环境风险

评价需要解决 4 个问题: 什么因素可能引起不良影响; 不良影响发生的概率是多大; 不良影响的范围和程度是多大; 如何进行风险管理及减少风险与危害的发生,管理成本是多少。建议的环境风险评价程序见图 1<sup>[10]</sup>。

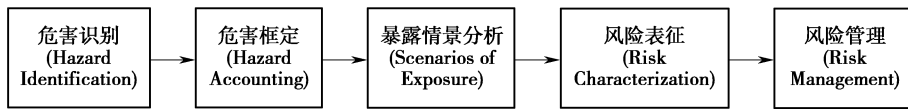


图 1 环境风险评价程序

相对于事故发生后所采取的末端管理而言,针对尚未发生的隐患事件的风险管理能为保障环境安全提供更有效的信息,也更有利于可持续发展。因此,基于环境风险评价理论建立区域水环境安全预警系统具有现实意义。

基于环境风险评价理论的区域水环境安全预警系统概念框架包括风险分析、状态预测与评价、预警与决策响应 3 个重要部分及其相互关联,其对应的概念框架见图 2。模型通过在环境风险评价

程序中对预警功能的嵌入,建立了针对系统状态变化作出响应的基本过程,从而形成一个完整的“风险—安全—预警—控制”系统。此框架模型将预警系统的运作方式概括为:根据水环境安全风险压力作用信息,一旦区域水体无法满足预定的功能要求(由水体状态反映),就可以认为水环境在安全上存在风险,需要发出警报,并由相关信息作出响应,以实现系统的调控。

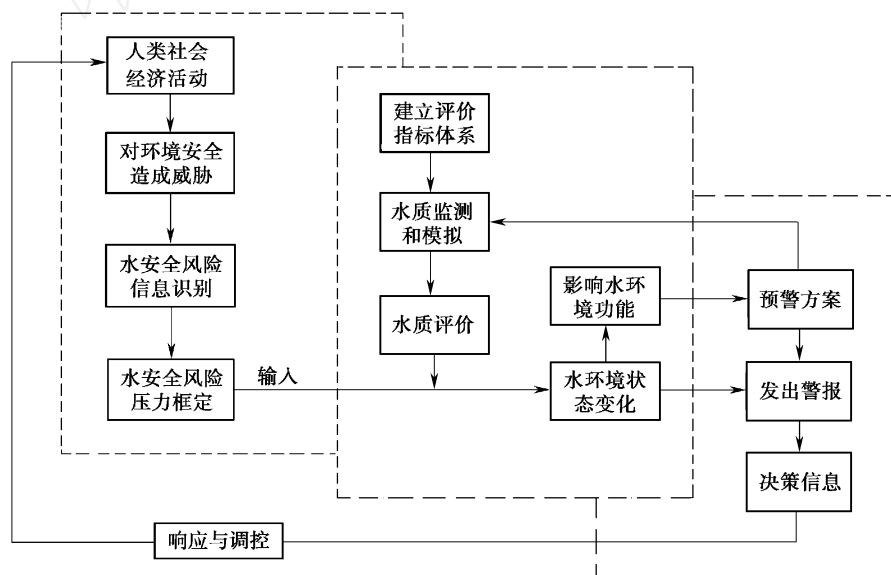


图 2 区域水环境安全预警系统概念框架

## 2 区域水环境安全预警评价及指标体系

以区域水环境安全预警为目的的水环境安全评价工作,其实质是通过评价结果来完成或辅助完

成以下任务: 判定水体安全受到威胁的程度,尤其是一些极端情况,以便在预警系统中实现状态报警功能; 掌握水安全状态的变化趋势,以便在预

警系统中实现趋势报警功能; 确定导致水环境处于不安全状态的风险因素, 例如主要污染物及其来源、污染时段、位置区间及其发展趋势等, 以便在预警系统中实现警源回溯功能, 进而寻找造成水环境不安全的人类活动, 以便予以适当干预。

区域水环境安全评价指标主要反映以下内容: 能够使水环境发生变动的因素, 如化肥和农药的使用强度、灌溉用水量、工业废水排放量、生活污水排放量等; 在外界压力作用下, 水环境所呈现出的安全或不安全的状态, 如河道、湖泊、水库等水体中主要污染物的含量、富营养化程度等; 系统通过状态评价作出的决策, 如 BMP 措施使用率、节水灌溉面积和比例等。评价结果将为发出水环境安全预警信号、为解除警报而实施干预行为等后续工作提供科学的决策依据。

### 3 建立区域水环境安全预警系统的方法

#### 3.1 风险分析

区域水环境是一个结构复杂的综合系统, 其涵盖的层面广阔, 包括社会子系统、经济子系统、水量与水质子系统等。水环境安全的风压力源于各种工农业和生活活动, 以及作为响应过程的政策措施等, 它们直接体现为影响水质状态的污染物排放与水量条件。因此, 需要从人类社会经济活动的角度综合考虑影响水环境安全的因素。

在建立区域水环境安全预警系统时, 对可能影响其安全的各项因素进行定性和定量相结合的分析称为风险分析。风险分析的基本内容可以划分为风险识别和风险框定两个部分。其中风险识别指根据预警对象的基本情况、历史观测数据和机理模型研究系统, 分析各种相关因素及所有水环境安全隐患, 识别出影响环境安全的各种风险因素; 风险框定指根据风险因素发生变化的趋势, 预测未来可能出现的环境污染和生态恶化事故, 识别事故发生的主要途径和原因, 并在此基础上对各种可能发生的事故所造成的损失进行评估, 得出环境可能受到的风险压力的大小及发生的概率, 从而为状态预测与评价提供必要的数据库支持。

#### 3.2 状态预测与评价

水环境功能的价值不仅在于水是可以供人类直接消费和利用的资源, 而且通过保护和改善水环境, 可以使其发挥更大的间接价值。在对水环境安全进行评估和研究的过程中, 虽然无法也不必要确

切地测算出水环境的价值, 但可以通过一定的评价指标来衡量其相对变化和损失, 以便明确水环境安全预警的重点和实施方向<sup>[11]</sup>。

建立了合理的预警评价指标体系后, 状态预测与评价环节的主要任务就是利用所建立的评价指标体系, 选择适当的评价方法和模拟预测模型, 作为主要的测算手段, 将水环境风险和水环境状态予以量化的关联, 以便考察水体状态在风险因素下是否发生变化及如何发生变化。

安全状态评价方法很多, 可以从不同角度予以划分, 如按状态参数的选择方法划分、按数学手段划分、按指数繁简划分等。该研究综合上述不同方法的特点, 根据具体需要, 如水体污染程度、主要污染物及其来源、污染时段、位置区间及其发展趋势等, 选择多种评价方法, 以便为水环境预警预测、水环境管理及水资源保护提供多角度的决策信息。

鉴于 CSTIR 模型 (The Continuously-Stirred-Tank-Reactor Model) 原理具有普适性优点, 并曾在国外被广泛地用于河流水质模拟及河流规划预测, 该研究采用在国内河流水质模拟中曾被实际应用、自主开发的 CSTIR 模型进行水质模拟<sup>[12]</sup>, 初始状态数据由实时动态的水质监测系统提供。

#### 3.3 预警与决策响应

随着人类认识的不断深入, 由于现场观测的局限性, 对环境系统的认识必然越来越多地建立在非结论性的模拟结果上。针对考察重点进行情景分析, 设置具体方案开展情景研究, 已成为系统模拟预测最直接和有效的方法之一。

该研究中, 预警预测系统将在集中管理流域基本信息、识别区域水质影响因素和建立状态预测评价机制的基础上, 通过建立多种预警方案模拟区域水体水质变化过程, 预测水质发展趋势, 以警报形式预报其不正常状况的表现形式和影响范围, 为调整社会经济活动提供支持。其最终目的是实现现有措施评估和在未来一定经济条件约束下减少事故损失和保护生态环境的最佳措施筛选。

预警方案通过人为设置安全风险压力值来考察系统响应情况。通过设计预警方案, 可以提取和组合风险事件, 并针对所设定的风险事件在设定环境中一旦以设定状态发生, 预测系统状态可能发生的变化。典型预警方案可以最大限度地运用已知信息, 设置常见或极端的情况, 得到大概率或小概率大危害的事件组合, 为用户提供重要的决策支持

信息。预警方案设计的基本思想见图 3。

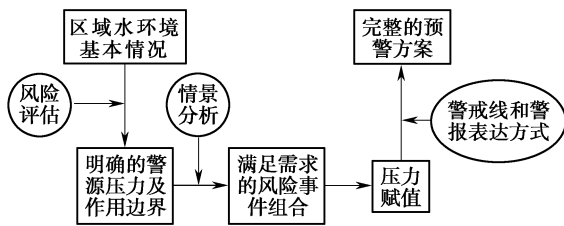


图 3 预警方案设计的基本思想

#### 4 案例研究

南水北调东线工程是在江苏省江水北调工程的基础上,以京杭大运河为调水干线,利用现有京杭运河及与其平行的河道,从长江引水输送到华北及胶东半岛地区的大型工程。调水水质要求为类水,以水体的高锰酸盐指数和氨氮浓度作为评价标准。在深入分析该区域水安全预警需求的基础上,为保障供水环境安全,以上述水环境安全预警系统概念框架为指导,开发了南水北调东线工程水环境安全预警系统。其主要成果如下:

(1)根据对典型区域 47 个污染控制单元和治污规划中几百个污染控制工程的具体分析,南水北调东线工程的水环境风险因素涵盖了点源、面源、内源、水量变化等多个方面。研究应用故障树分析法(Fault Tree Analysis),按照演绎法原则循序渐进地逐层寻找破坏典型区域水环境安全的所有可能的直接原因,一直分解到基本底层事件为止,并对每个事件的发生概率及危害进行了定量分析。

(2)在风险分析的基础上,概化了典型区域的河流和各控制单元,对水环境状态预测工具——CSTR 模型进行了参数率定和验证。

(3)建立了全面的预警机制,为用户提供一系列预警功能,如根据具体需要有针对性地设定预警方案,进行水质模拟,最终输出水质分析结果并为决策管理提供重要依据等。

(4)采用原型法的开发思想,完成了南水北调东线工程水环境安全预测预警示范系统的开发,实现了数据储存、分析计算、水质模拟、预测预警、决策分析等功能。

#### 5 结语

基于环境风险评估理论建立的区域水环境安全预警系统概念框架,是从环境风险评估的角度出发,将水环境安全保护的本质归于水环境风险压力的评估和控制,反映了风险管理在解决环境安全问题中的重要意义,体现了水环境管理的可持续性。该框架的建立,是水环境安全预警理论与方法的有益扩充,对预警系统的设计和开发具有现实指导意义,其在南水北调东线工程水环境安全预警系统开发中的应用是一个良好的案例。

#### [参考文献]

- [1] THE WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking water quality(Vol 1) [M]. Geneva: WHO, 2004.
- [2] 冉圣宏,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 - 580.
- [3] PUZCHA H. Evaluation and avoidance of false alarm by controlling Rhine water with continuously working biotests[J]. Wat Sci Tech, 1994, 29(3): 207 - 209.
- [4] PENTER G G. The danube accident emergency warning system[J]. Wat Sci Tech, 1999, 40(10): 27 - 33.
- [5] 陈惠君,唐允吉,吴贵彬. 广西桂江水水质预警预报信息系统的研究[J]. 陕西水力发电, 1997, 13(2): 50 - 52.
- [6] 窦明,李重荣,王陶. 汉江水水质预警系统研究[J]. 人民长江, 2002, 33(11): 38 - 42.
- [7] 李秉文,刘明,冯明祥. 辽河流域水质预警预报系统的探讨[J]. 东北水利水电, 2000, 18(9): 39 - 42.
- [8] ASIAN DEVELOPMENT BANK. Environmental risk assessment: dealing with uncertainty in environmental impact assessment [R]. Manila: ADB, 1990.
- [9] CARDENAS M L. Environmental risk assessment(EnRA) [EB/OL]. <http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/TechPublications/TechPub-14/1-EnRA1.asp>, 2000.
- [10] LOHANIB N, EVANS J W. Environmental impact assessment for developing countries in Asia (Vol 1) [M]. Manila: ADB, 1997.
- [11] 毛文永. 开发建设项目生态环境影响评价原则——生态环境功能保护论[J]. 环境科学, 1996, 17(2): 76 - 81.
- [12] 邓义祥,陈吉宁,程声通. 稀疏数据下复杂流域的水质模拟: 以赣江为例[J]. 环境科学学报, 2003, 4(23): 422 - 427.

本栏目责任编辑 姚朝英