

集中式饮用水水源地安全预警系统框架的研建^{*}

于凤存^{1,2}, 方国华^{1,2}, 肖秋英³

(1. 河海大学 水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 3. 山东新汇建设集团有限公司, 山东 东营 257091)

摘 要: 随着经济迅速发展和工业化进程的加快。人水矛盾日益尖锐, 水源地水质污染、水量衰竭已成为一个全球性问题, 加之频繁发生的水源地突发性事故, 致使区域发展、国家安全乃至人类生存受到严重的威胁。通过集中式饮用水水源地安全风险分析, 明确饮用水水源地内涵, 从一般的安全预警体系出发建立了饮用水水源地安全预警逻辑体系; 构建了基于 DPSIR 概念模型的水源地预警指标体系框架, 建立了 BP 安全预警模型; 最终形成了完整的集中式饮用水水源地安全预警管理框架体系。

关键词: 集中式饮用水水源地; 安全; 预警系统; 预警模型

中图分类号: X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)04-0021-04

0 引言

经济的快速发展, 人口的日益增加, 致使饮用水水源地安全面临巨大的挑战, 水质污染、水量匮乏、水型地方病、水处理能力不足、管理体制存在弊端、保护法规体系不健全等因素, 对我国国民经济的可持续发展和供水安全构成了极大的威胁^[1-4]。自 20 世纪 80 年代以来, 我国饮用水安全问题凸显, 可用水量逐渐减少, 到 90 年代取水水质普遍恶化, 21 世纪资源型与水质型缺水将是危及人类生存环境和社会经济发展的重大问题^[5]。1997 年水利部对我国 215 个湖泊水库型集中式饮用水水源地进行水质普查的结果表明, 满足 I、II 类水质标准的水源地数量占总数的 61%, 受污染的 IV、V 类水源地数量占总数的 13%^[6]。2000 年, 全国 1 073 个集中式地表饮用水水源地有 25% 水质不达标^[7]。据统计, 全国 661 座城市中有近 420 座城市常年供水不足, 114 座城市严重缺水^[8]。2005 年全国废污水排放总量达 717 亿吨, 其中 2/3 未经处理直接排入水体, 造成 90% 的城市地表水域受到不同程度的污染, 50% 以上城镇的水源不符合饮用水标准, 40% 的水源已不能饮用, 南方城市总缺水量的 60% ~ 70% 是由于水源污染

造成的。

近 20 年来, 饮用水水源地突发性水污染事件频繁发生, 带来了巨大的经济损失, 不利于社会持续稳定和谐发展, 如“2003. 8 与 2007. 4 黄浦江船舶溢油”、“2004. 3 沱江污染”、“2005. 11 松花江污染”和“2007. 7 太湖蓝藻事故”。国家环保总局的调查显示, 自 2005 年 11 月 13 日中国石油吉林石化公司双苯厂发生火灾爆炸引起松花江水污染事故导致哈尔滨供水停止 4 d 以来, 截止至 2006 年底, 我国共发生 140 多起水污染事故, 平均每 2 ~ 3 d 便发生一起与水有关的污染事故^[9]。

饮用水水源地安全评价及预警管理保障体系研究还处于起步阶段, 区域联网供水、集中供水是城乡供水的发展趋势, 研究集中式饮用水水源地安全预警体系, 建立一套切实可行安全预警系统, 对保障饮用水水源地安全、保障社会经济安全运行提供决策依据具有十分重要的战略意义。

1 集中式饮用水水源地安全预警与预警系统

1.1 水源地安全预警

伴随着人类社会和经济发展, 水源地安全问题日益重要, 如水量匮乏、水质污染、突发性事

* 收稿日期: 2008-04-25

基金项目: 南京市财政专项资金项目(2007527313)

作者简介: 于凤存(1979-), 女, 山东聊城人, 博士研究生, 研究方向为水利规划、水利经济与生态环境。

E-mail: fcyhhu@yahoo.com.cn

故发生等，都给经济和社会的稳定和谐发展造成了一定的影响，致使工业限产限量，危害人体健康。集中式饮用水水源地安全问题可归结为以下3方面的问题：水源地自然属性的改变，如干旱造成的水量短缺，边坡和地质风化不利于水质净化，洪水酿成的涝灾等；水源地社会属性的改变，工农业及生活污水的排放造成水质污染，人类开发利用致使水源地系统功能退化，管理体制的落后不利于水源地的可持续发展，水权的不明晰带来水分不公和水资源浪费等都属于此类问题^[10]；突发事件的发生，如船舶溢油事故、上游废污水大量下泄、库存的有毒有害化学品爆炸、恐怖分子蓄意破坏等。

从以上集中式饮用水水源地安全风险拟将水源地安全定义为：在一定的时空范围内，有足够的水量，足够安全的水质，良好的管理体制和应急体系，在维持集中式饮用水水源地可持续发展的同时，能够满足经济社会稳定和可持续发展的需求。水源地安全概念模型见图1。

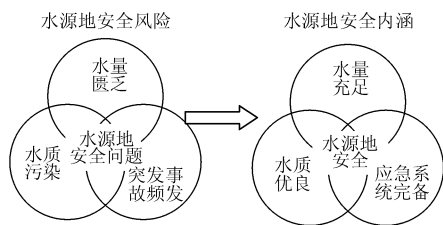


图1 集中式饮用水水源地安全概念模型

集中式饮用水水源地安全预警是保障水源地安全稳定运行的必要基础，是指在一定范围内，对

一定时期的水源地水质状况进行分析、评价，对水源地安全影响因素的变化进行监测、分析，并对安全状况进行评价，通过自然状况和行为分析，对其发生及其未来发展状况进行预测，确定水质状况和水质变化的趋势、速度以及达到某一变化限度的时间等，预报不正常状况的时空范围和危害程度，按需要适时地给出变化或恶化的各种警戒信息及相应的综合性对策，即对已出现的问题提出解决措施，对未出现或即将出现的问题给出防范措施及相应级别的警戒信息，同时为水源地安全管理提供服务的科学功能和基础功能。因此，水源地预警不仅要正确判断地下水污染所带来的一切经济后果和环境后果，并对可能出现的警情寻找警源，以便采取有效控制措施甚至化解警情的出现。

1.2 集中式饮用水水源地安全预警系统

一般预警系统的逻辑框架，包括明确警义、寻找警源、分辨警兆、预报警度和排除警患5个方面^[11]。其中明确警义是前提，是预警研究的基础；寻找警源是对预警产生原因的分析 and 排除警患的基础；分析警兆是关联因素的分析，是预报警度的基础；预报警度是排除警患的基础；排除警患是集中式饮用水水源地安全预警的目标。

集中式饮用水水源地安全预警系统是一个多目标系统，是通过对水源地风险因素识别、评估、评价，建立预警指标体系，从而监测水的质与量偏离预警阈值的程度，发出预警信号，并采取预防、预控措施的综合系统^[12]，集中式饮用水水源地安全预警的逻辑框架见图2。

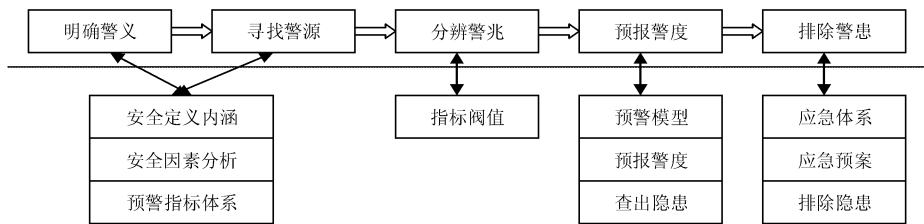


图2 集中式饮用水水源地安全预警逻辑框架图

2 集中式水源地安全预警系统构成要素分析

2.1 预警指标体系构建

预警指标的选取，对于预警结果的准确和全面具有基础性作用，一般应具有以下几个条件：能够从时空尺度描述水源地的安全现状及变化趋势；能够描述和表征城市水源地安全各个方面相

互协调的程度，所选指标具有科学合理性、透明性、易获取性、可量化性和代表性等特点。

水源地是个复杂、开发性的动态系统，是自然、社会和经济因素的复合体。理论分析结合实地调研，在水资源 - 经济 - 社会复合系统的视角下科学界定城市水源地安全的定义及内涵的基础上，基于 DPSR^[13] (Driving forces - Pressur - State - Responses) 概念模型分析水量、水质、管理和应急等方面的风险要素，定义风险，通过专家分析法、

现场调查法、统计分析法和故障树分析法识别警情, 从生成机理寻找警源, 并从定量或定性的角度描述警源。

根据警源要素分析, 首先构建综合预警指标体系。通过对综合预警指标一致性检验、必要性检验和完备性检验和优化, 最终确定预警指标体系。对于信息重叠的情况, 定性分析方法主要有限制指标数量、分离指标重叠源、对指标体系分层设计等, 定量分析方法是基于指标之间数据的关联度的计算比较, 对指标的结构和分类进行优化, 应用主成分分析法、因子分析法等修正指标权重。即通过对指标及其相互间关系的分析, 完成对指标数据基本特征与指标群类组合特征的统计分析, 并对预警指标进行筛选, 约减指标间信息冗余, 最终构建预警指标体系, 并确定预警指标阈值。

基于 DPSR 概念模型的集中式水源地安全预警指标体系构建模式见图 3。

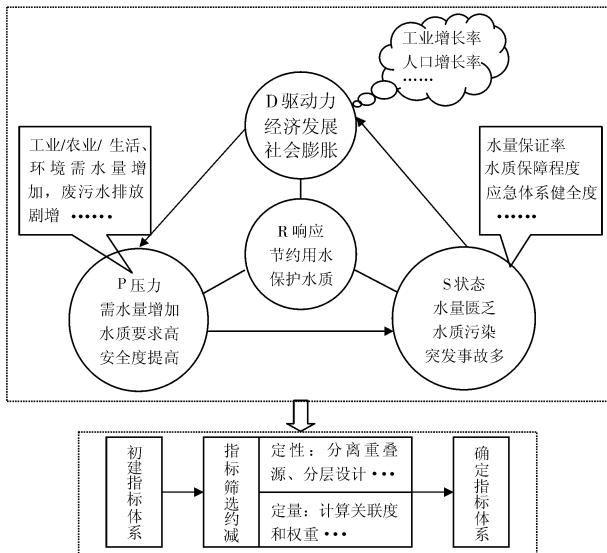


图 3 基于 DPSR 概念模型的集中式水源地安全预警指标体系构建

2.2 安全预警模型的建立

人工神经网络具有优良的非线性逼近能力^[14,15], 在社会经济环境发展系统、系统模拟和预测方面, 不需要预先确定样本是数据的数学模型, 通过学习样本数进行精确的安全预警。运用前馈 3 层 BP 神经网络构建水源地安全 BP 预警模型, 由输入层、输出层和隐藏层构成。输入层神经元个数由输入指标决定, 对应警兆指标; 输出层神经元个数由输出类别决定, 输出则为警度; 隐藏层神经元个数一般为经验值, 隐藏层节点对应警情指标。本文构建的集中式饮用水水源地安全预警 BP 网络结构模型见图 4。

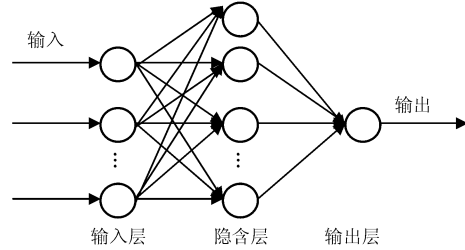


图 4 水源地安全预警 BP 模型

具体步骤: 确定输入节点指标、选择隐含层节点数, 选择输出节点, 确定了模型结构, 应用 Matlab 软件的神经网络工具对水源地安全预警模型进行学习训练, 通过调整隐节点数、训练周期、目标误差等, 直至训练结果满意, 利用训练好的 BP 网络模型对水源地安全进行预警分析。

3 集中式饮用水水源地 DSS 安全预警系统框架

DSS 是能对决策提供支持的计算机系统, 这个系统分析运用可供利用的、合适的计算机技术, 针对半结构化或非结构化的决策问题, 通过人机交互方式帮助和改善管理决策。集中式饮用水水源地 DSS 安全预警系统框架体系见图 5。

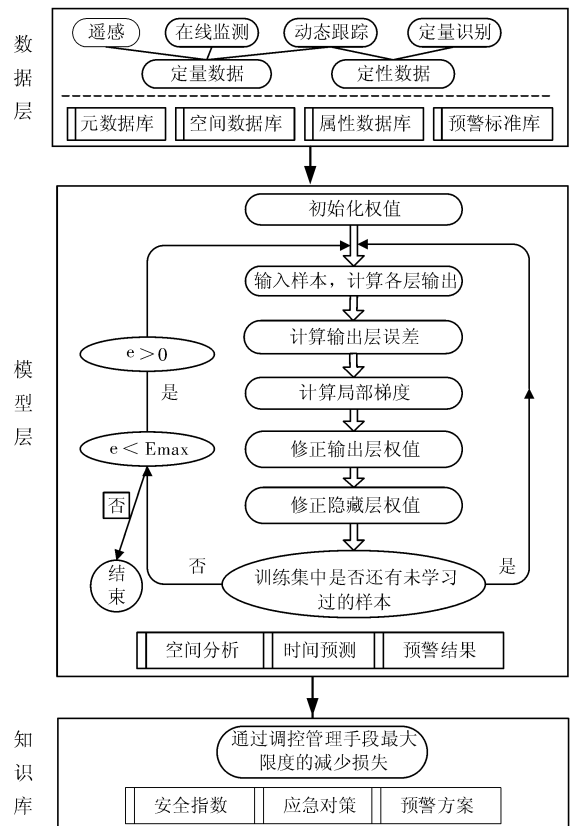


图 5 集中式饮用水水源地 DSS 安全预警系统框架体系

4 讨论

饮用水水源地安全问题已经引起了足够的重视,但其安全预警体系研究还处于起步阶段,区域联网供水、集中供水是城乡供水的发展趋势。建立一套切实可行安全预警系统,通过定量预警结果见微知著,未雨绸缪,全面、准确、及时掌握水源地的基本情况、发展趋势和可能出现的问题,对保障饮用水水源地安全、保障社会经济安全运行提供决策依据具有十分重要的战略意义。从饮用水水源地及其安全预警的内涵出发,分析了安全预警系统构成的要素,辨析了安全预警的指标体系,初步构建了安全预警模型,形成了集中式饮用水水源地 DSS 安全预警系统框架体系,为集中式饮用水水源地安全预警研究提供了一定思路。

参考文献:

- [1] Jafrul Hasan, Stanley States, Rolf Deininger. Safeguarding the security of public water supplies using early warning systems: A brief review [J]. Contemporary water research and education, 2004, (129): 27-33.
- [2] Roberson, Alan. What's next for drinking water security [J]. AWWA. 2004, 96(9): 43-44.
- [3] 安南. 获得安全饮水是人类的基本需求 - 联合国秘书长安南“世界水日致辞”[J]. 中国水利, 2001, (4): 8.
- [4] Zhou N Q, Zhu X Y, Qian J Z. The status of water resource exploitation and utilization and the environmental problems in China [C]//Editors: Wang, Y. X, Liang, X. Proceedings of the International Symposium on Hydrogeology and the Environment. Beijing: Chinese Environment Science Press, 2000: 488-493.
- [5] 李定龙, 王凯全. 试论水质管理与饮水安全[J]. 石油化工环境保护, 2002, 25(1): 7-11.
- [6] 唐克旺, 王研. 我国城市供水水源地水质状况分析[J]. 水资源保护, 2001, (2): 30-30.
- [7] 矫勇. 在全国城市饮用水源地安全保障规划工作会议上的讲话[EB/OL]. [2005-07-29]. <http://www.hwcc.com.cn/nsbd/NewsDisplay.asp?Id=132412>
- [8] 中国环境与发展国际合作委员会. 国会会回顾与展望报告[EB/OL]. [2006-11-10]. http://www.china.com.cn/tech/zhuanti/wyh/2008-01/04/content_9478648.htm
- [9] 于凤存, 方国华, 高玉琴. 城市水源地突发性水污染事故思考[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 104-107.
- [10] 韩宇平, 阮本清. 区域水安全评价指标体系初步研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(2): 267-272.
- [11] 文俊. 区域水资源可持续利用预警系统研究[D]. 南京: 河海大学, 2006: 17.
- [12] 窦明, 李重荣. 汉江水质预警系统研究[J]. 人民长江, 2002, 33(11): 38-42.
- [13] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲. 生态环境需水理论、方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 9-11.
- [14] Tae Yoon Kim, Kyong Joo Oh, Insuk Sohn et al. Usefulness of artificial neural networks for early warning system of economic crisis [J]. Expert System with Application. 2004, (26): 583-590.
- [15] Peter Diehl, Thomas Gerke, Ad Jeuken et al. Early warning strategies and practices along the River Rhine [M]. Hdb Env Chem. 2006: 99-124.

Safety Warning System for Water Source Area of Centralized Drinking Water

Yu Fengcun^{1,2}, Fang Guohua^{1,2} and Xiao Qiuying³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Water Resources and Hydropower Engineering of Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Shandong Xinhui Construction Group limited corporation; Dongying 257091, China)

Abstract: With the rapid economic development and industrialization expansion, the contradiction between the human being and water resources is increasingly acute. So water pollution and water exhaustion have become a global problem. In addition, the sudden accidents occur frequently in water source area which seriously threat regional development, national security and human survival. This paper makes clear the connotation of source area of drinking water by risk analysis of water source area of centralized drinking water. In the terms of general safety warning system, the logical safety warning system for water source area of drinking water is worked out and the framework of forewarning index system for water source area of centralized drinking water based on DPSR (Driving forces-Pressure-State-Responses) conceptual model is constructed and BP (Back Propagation Calculation) safety early warning model is established, forming a complete management framework of safety warning system for water source area of centralized drinking water.

Key words: water source area of centralized drinking water; safety; warning system; warning system model