

〔文章编号〕 1002-2031(2012)10-0040-06

城市供水安全与河流污染风险预警

张 丞 祝慧娜

〔摘 要〕 针对河流污染对我国城市供水安全日益突出的影响,在文献研究的基础上,运用模糊层次分析法建立了河流污染风险预警指标体系,同时指出应通过强化日常污染监管、建立专门的河流污染防控体系等措施保障预警指标体系作用的充分发挥,进而有效保证城市的供水安全。

〔关键词〕 城市供水安全;河流污染;风险预警指标体系

〔中图分类号〕 F294;X915.2 〔文献标识码〕 A

我国的城市供水安全问题是一个很早就引起各方关注但一直没有得到有效解决的问题。当前我国城市供水有地表水及地下水两类水源,由于地下水的过度使用会带来一系列的环境地质问题,并有可能导致生态灾难,因此地表水实际上已成为我国城市供水的主要水源。朱颂梅等的研究指出,由于只有少数城市有战略性的水源,跨流域调水已经成为我国多数核心城市解决水源问题的主要途径,而大江大海功能复杂性的特点使得河流污染成为了我国城市供水安全最直接的危害^[1]。这一危害又可以分为日常污染危害和突然性事件危害,前者是由于经济快速发展引起的城市日常污水排放量快速增加及不完善的水污染管理机制引起的河流污染危害,而后者则是由于突发性事件对河流造成的污染危害。相对于日常污染危害而言,突发性事件的频发

及其对城市供水安全的极大冲击使得其危害更受到社会的关注。进而,很多对城市供水安全与河流污染防治关系问题的研究都指出,完善河流环境污染风险预警的指标体系对保障城市供水安全具有重要意义。

河流环境污染风险预警指标体系是城市供水安全预警系统的基础研究,是由一系列相互关联且能灵敏反映河流污染与污染风险的统计指标有机结合而成的整体。通过文献研究可以发现,我国对此预警指标体系的针对性研究较为匮乏,因此本文在对相关文献进行整理的基础上,运用模糊层次分析法分别建立了河流日常污染风险预警指标体系和突发性污染风险预警指标体系,并从有效发挥河流污染风险预警指标体系作用的角度,就保障城市供水安全问题进行探讨。

〔作者简介〕 张 丞(1980—),男,汉族,湖北仙桃人,中南财经政法大学金融学院博士研究生,广西财经学院讲师,研究方向为政府投资与环境经济;祝慧娜(1986—),女,汉族,河南新乡人,湖南大学环境科学与工程学院博士研究生,研究方向为环境保护与治理。

〔基金项目〕 广西教育厅重点项目(201102zd029)。

〔收稿日期〕 2012-04-25

〔修回日期〕 2012-06-05

一 研究综述

结合研究的主题,本文拟从河流污染及城市供水安全、河流污染风险预警、模糊层次分析法在环境风险领域的运用三个方面展开综述。

1. 河流污染及城市供水安全的相关研究

这方面的研究主要从河流突发性污染对城市供水安全的影响这一角度展开,主要包括:河流污染与城市供水关系研究,如前文所述的朱颂梅等进行的相关研究;应急措施研究,如匡翠萍等对黄浦江突发水污染事件应急措施进行的分析^[2],王雄世对突发性水污染事件的应急监测问题进行的分析等^[3];应急机制研究,如张学峰对黄河突发水污染事件应急指挥机制建设的探讨^[4],李波对水污染应急信息系统的研究等;水污染治理研究,如叶桦对治理投融资问题的分析^[5],财政部财政科学研究所课题组对河流污染治理投资绩效的研究等^[6];水污染相关损失的研究,如彭海君对水污染造成的城市生活经济损失的分析等^[7]。

2. 河流污染风险预警的相关研究

由于河流污染事故的频发,为降低和预防污染风险的发生,欧洲在莱茵河流域和多瑙河流域构建了河流污染预警系统,该系统对于区域内的河流污染控制发挥了非常重要的作用^[8]。我国从上世纪 90 年代中期也开始注重河流污染预警系统的研究。窦明等以信息技术为基础,综合运用地理信息系统、遥感、网络、多媒体及计算机仿真等现代高新科技手段,建立了汉江水质的预警系统^[9]。何焰以上海市为例,建立了为预防可能出现的水资源衰竭和水环境危机的相应预警系统,并提出了针对性的建设措施和安全维护对策^[10]。李淑祎等则从水环境安全预警系统的相关概念出发,阐述了预警系统建立的作用与意义,并提出了预警系统构建的总体框架和体系^[11]。李桂秋等为应对郑州市突出的水环境问题,构建了郑州市水环境预警系统,对郑州市水环境问题的管理发挥了一定的指导作用^[12]。翁士创在环境预警的基础上,利用计算机、地理信息系统等手段,针对珠江下游三角洲河网的特点,研究开发了“珠江下游突发性水污染事故预警预报系统”^[13]。庄宝玉等建立了天津某中水处理厂污水水质分析及水质预警系统^[14]。张磷等介绍了太湖流域水环境监测预警系统的建设对策及其建设框架,并就建设过程中的问题与难点进行了阐述^[15]。饶清华等提

出了构建突发性环境污染事故预警应急系统的基本构想^[16]。庄巍等则以长江江苏段为例,针对长江下游主要水源地的特点及水污染事故的特征,研究开发了水源地突发性水污染事故预警应急系统^[17]。肖泽云等在结合广西省南宁市邕江河段的基本情况,构建了基于 GIS 平台的水污染预警系统^[18]。

3. 模糊层次分析法在环境风险领域的运用

在环境风险领域内,有许多因素都是不确定的,其风险程度也是难以精确量化的。模糊层次分析法是一种结合定性分析和定量分析手段的系统性方法,它对于多层次、多指标的体系具有较好的评判效果。模糊层次分析法已在各种评价领域得到了广泛的应用:陈贇等就运用模糊层次分析法,对公路工程项目风险进行了评价^[19];李春慧等建立了基于模糊层次分析法的医院用药风险评价模型^[20]。已有的研究印证了模糊层次分析法在风险评价领域中的可应用性,但模糊层次分析法在环境风险领域中的相关运用还鲜有报道。

通过以上的文献整理可以看出,河流污染及城市供水安全的相关研究大多还处于理论或定性分析阶段,河流污染风险预警的相关研究虽然已经积累了大量的前期成果,但并未建立起一套比较实用的河流污染风险预警指标体系。

二 河流污染预警指标体系的建立

1. 预警级别的确定

根据模糊层次分析法,首先建立评语集,也就是确立河流污染风险预警级别。可将河流污染风险预警分为 4 类,分别为红色预警、橙色预警、黄色预警、蓝色预警。

本研究中日常污染风险预警和突发性污染风险预警的评语集为:

$L = (\text{红色预警, 橙色预警, 黄色预警, 蓝色预警}) = (0.3, 0.5, 0.7, 0.9)$

2. 河流污染风险预警指标体系的建立

(1) 日常污染风险预警指标体系

根据河流的特征,本文建立了河流日常污染的风险预警指标体系(图 1)。由图 1 可见,该指标体系共包括 3 个层次,分别为目标层(A)、准则层(B)和指标层(C)。其中准则层包括两个指标,分别为人体健康风险指标和环境生态风险指标。人体健康风险指标又包含急性健康风险和慢性健康风险两个指标,而环境生态风险则包括水体生态风险和沉积

物生态风险两个指标。

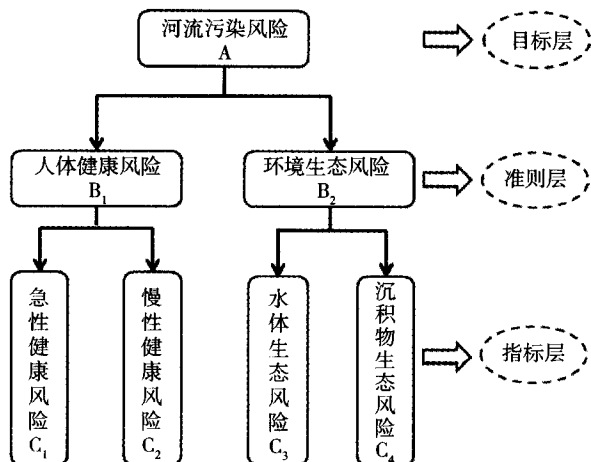


图 1 河流日常污染风险预警指标体系

(2) 突发性污染风险预警指标体系

突发性水污染事故不同于一般的水污染,不仅会造成经济及生态环境上的重大损失,而且会对从相关水源获得供水的城市居民的生活产生严重影响。河流突发性污染事故具有不确定性、流域性、处理的艰巨性、影响的长期性以及应急主体不明确等特性。所以,我们应高度重视突发性水污染事故,建立完善的突发性水污染事故预警指标体系,做到防患于未然。

突发事故在事发前是无法预知的,因此应尽可能地降低和减少突发事故的影响程度以及影响范围。根据河流污染特点及预警指标体系构建的基本原则,并借鉴目前已有的河流水环境安全预警指标体系的研究结果,本文建立了河流突发性污染的风

险预警指标体系(图2)。该指标体系共包括3个层次,分别为目标层(D)、准则层(E)和指标层(F)。

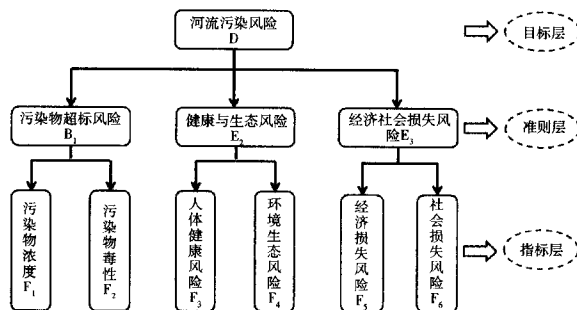


图 2 河流突发性污染风险预警指标体系

3 预警指标体系的指标意义

(1) 日常预警指标体系的指标意义

① 人体健康风险

第一,急性健康风险。急性健康风险也称为急性中毒,主要是指污染物(主要是化学污染物)污染饮用水源所引起的中毒,一般在饮水数小时至数天后出现临床病变。本文根据急性健康风险对急性健康风险评价指标进行了等级划分并赋值(表1)。

表 1 C_1 指标等级划分及赋值

中毒人数占比 (F_R)(%)	$F_R = 0$	$0 < F_R < 20$	$20 \leq F_R < 50$	$50 \leq F_R$
分值(C_1)	1.0	0.6	0.3	0

第二,慢性健康风险。慢性健康风险也称为慢性中毒,是指居民长期饮用被污染的饮用水而发生的中毒,通常数月或数年发病。本文根据 EPA 评价方法计算的年均风险值对其进行了划分及赋值(表2)。

表 2 C_2 指标等级划分及赋值

年均风险值(S_R)	$S_R < 0.5 \times 10^{-5}$	$0.5 \times 10^{-5} \leq S_R < 1.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-5} \leq S_R < 0.5 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4} \leq S_R$
分值(C_2)	1.0	0.8	0.5	0

② 环境生态风险

第一,水体生态风险。水体生态风险主要是指水环境中污染物对水生生物的影响,可采取风险表征系数对其进行定义(表3):

$$Q = \frac{EEC}{LC_{50}} \times SF \quad (1)$$

其中, Q 为风险表征系数, LC_{50} 为半致死剂量阈值, EEC 为有害物质的环境暴露浓度, SF 为有害物质的安全系数。

第二,沉积物生态风险。主要指沉积物中重金

属对生态系统的影响,可运用潜在生态指数风险进行等级划分及赋值(表4)。

表 3 C_3 指标等级划分及赋值

Q	$Q < 0.1$	$0.1 \leq Q \leq 5$	$5 \leq Q \leq 10$	$10 < C_1$
分值(C_3)	1.0	0.8	0.6	0.3

表 4 C_4 指标等级划分及赋值

RI	$RI < 150$	$150 \leq RI < 300$	$300 \leq RI < 600$	$RI \geq 600$
分值(C_4)	1.0	0.6	0.3	0

(2) 突发性预警指标体系的指标意义

① 污染物超标风险

第一, 污染物浓度。它主要是指污染物超标倍数(表 5)。

表 5 F_1 指标等级划分及赋值

超标倍数 (M)	$M < 1.0$	$1.0 < M < 1.5$	$1.5 \leq M < 2.0$	$2.0 \leq M$
分值	1.0	0.6	0.3	0

第二, 污染物毒性。它主要是指污染物的化学性质, 可根据 IARC 所划分的化学致癌物和分化学致癌物进行划分并赋值(表 6)。

表 6 F_2 指标等级划分及赋值

指标	非化学致癌物	化学致癌物
分值	0.8	0.2

② 健康与生态风险

人体健康风险中, 急性健康风险和慢性健康风险各占 50% 的所得综合值为其分值。环境生态风险中, 水体生态风险和沉积物生态风险各占 50% 的所得综合值为其分值。

③ 经济社会损失风险

第一, 经济损失风险。它是由于突发污染事故在经济方面产生的重大损失, 一般包括对农业、渔业、旅游业以及其他方面的经济损失(表 7)。

表 7 F_3 指标等级划分及赋值

经济损失	重大损失	一般损失	较小损失	无损失
分值	1.0	0.6	0.4	0

第二, 社会损失风险。它是由于突发污染事故对社会所造成的损失, 如饮用水源的停用对社会所造成的不便影响等(表 8)。

表 8 F_4 指标等级划分及赋值

社会损失	重大损失	一般损失	较小损失	无损失
分值	1.0	0.6	0.4	0

4. 指标体系权重的确定

指标权重的确定是指标体系构建过程中非常重要的一部分, 它直接影响到指标体系的科学性与合理性。目前, 确定权重的方法较多, 最常用的方法是层次分析法, 它具有简便和准确等特点, 可避免主观

因素的影响及多指标赋值的混乱。

(1) 日常预警指标体系

第一, 建立递阶层次。日常预警指标体系共分为 3 个层次: 目标层(A)、准则层(B)、指标层(C)。其中准则层含有 2 个指标(B1、B2), 指标层含 4 个指标(C1 - C4)。

第二, 计算单层权重结果。通过权重计算及一致性检验, 可得到各层指标的权重及一致性检验结果(表 9 - 表 11)。表 9 - 11 中, 三项指标的 λ_{\max} 均为 2.000, 且 CI、RI、CR 值均为 0, 即通过一致性检验。

表 9 人体健康风险指标权重计算及一致性检验

指标	C_1	C_2	W_i
C_1	1	5/4	0.556
C_2	4/5	1	0.444
合计			1

表 10 环境生态风险指标权重计算及一致性检验

指标	C_3	C_4	W_i
C_3	1	1	0.500
C_4	1	1	0.500
合计			1

表 11 河流污染指标权重计算及一致性检验

指标	B_1	B_2	W_i
B_1	1	5/4	0.556
B_2	4/5	1	0.444
合计			1

第三, 层次总排序及一致性检验。根据各指标的权重计算可得出目标层的层次总排序(表 12)。其中, $CI = 0$, $RI = 0$, $CR = 0$, 通过一致性检验, 且权重的确定合理。

表 12 日常污染风险层次总排序及一致性检验

指标	$B_1(0.556)$	$B_2(0.444)$	总排序权重
C_1	0.556		0.309
C_2	0.444		0.247
C_3		0.500	0.222
C_4		0.500	0.222

(2) 突发性预警指标体系

突发性预警指标体系权重计算过程同日常预警指标体系的相同, 共分为 3 个层次: 目标层(D)、准则层(E)、指标层(F)。其中准则层含有 2 个指标(E_1 、 E_2), 指标层含 6 个指标($F_1 - F_6$)。其层次

总排序及一致性检验见表 13。其中,CI = 0,RI = 0,CR = 0,通过一致性检验,权重的确定合理。

表 13 突发性污染风险层次总排序及一致性检验

指标	E ₁ (0.357)	E ₂ (0.357)	E ₃ (0.286)	总排序权重
F ₁	0.500			0.178
F ₂	0.500			0.179
F ₃		0.556		0.198
F ₄		0.444		0.159
F ₅			0.500	0.143
F ₆			0.500	0.143

5. 预警级别的模糊综合评判

可依据各指标的意义及其基本分类方法判定各指标对 L 的隶属度,分别建立相应的模糊矩阵,并根据以上计算所得权重集进行预警级别的模糊综合评判。日常污染风险和突发性污染风险的评价结果分别为:

$$W_{daily} = R_{daily} \times L_{daily}^T = N_{daily} \times M_{daily} \times L^T \quad (2)$$

$$W_{sudden} = R_{sudden} \times L_{sudden}^T = N_{sudden} \times M_{sudden} \times L^T \quad (3)$$

得到风险评价结果后,可分别根据表 14 和表 15 判定预警等级。

表 14 日常污染风险预警综合评价指数与预警等级

评价指标综合指数值	污染风险预警等级	水体特征
$W_{daily} \leq 0.3$	红色预警	水体受到严重污染和破坏,对人体健康和生态安全具有严重风险
$0.3 < W_{daily} \leq 0.5$	橙色预警	水体受到破坏,对人体健康和生态安全具有风险
$0.5 < W_{daily} \leq 0.7$	黄色预警	水体受到轻微破坏,对人体健康和生态安全具有轻微风险
$0.7 < W_{daily} \leq 0.9$	蓝色预警	水体良好,对人体健康和生态安全基本没有风险

表 15 突发性污染风险预警综合评价指数与预警等级

评价指标综合指数值	污染风险预警等级	水体特征
$W_{sudden} \leq 0.5$	红色预警	污染物毒性较强,污染物扩散较慢,水质受到严重污染,不适合作为饮用水
$0.5 < W_{sudden} \leq 0.7$	橙色预警	污染物毒性一般且污染物扩散较慢,或者污染物毒性较强但扩散较快,水质在短期内受到影响,短期内不适合作为饮用水
$0.7 < W_{sudden} \leq 0.9$	黄色预警	污染物毒性一般,扩散速度较快,水质在短时间内超标后恢复正常,不影响饮用
$0.9 < W_{sudden} \leq 1.0$	蓝色预警	污染物对水质影响不大

6. 风险防范措施的制定

根据不同预警等级的确定,可建立相应的风险防范措施,如蓝色预警可考虑加强常规监测,黄色预警则需要采取应急监测,橙色预警则需要采取水源保护措施,红色预警则要及时动用相关资源进行应急处理。

三 保证城市供水安全的相关建议

预警指标体系作用的充分发挥离不开相关配套制度的完善,本文认为要充分发挥河流污染预警指标体系的作用,保障城市供水安全,还应该要做好以下几个方面的工作。

1. 强化日常污染监管

当前我国对河流日常污染的监管不足,往往当日常污染状况已经非常严重或发生突发性污染事件后,县级环保部门才介入。考虑到经济快速发展背景下,城市日常生活和产业发展带来的污水排放量有不断增加的趋势,同时由于当前城市供水安

全保障体系的不完善,因此应强化河流日常污染的监管。

2. 建立专门的河流污染防控体系

目前对河流污染管理方面,我国采取的是分级负责、属地管理的制度。这一管理制度不利于各方面的协调,容易导致管理盲区,进而威胁到城市供水安全。从河流污染角度看,本文建议应由国务院及环保总局建立完善统一的河流污染防控体系,不仅要应对突发性污染问题,同时也要全面协调日常监管。在河流污染防控体系建设中,应将完善中央到地方的统一应急指挥机构及相关应急预警体系与机制作为重点。当发生突发性事件后,通过该体系可将污染状况及专家评估信息迅速传递到各级应急指挥机构,从而尽可能地减小损失。同时,县级环保部门还应设立专门的机构,来加大对河流日常污染的监管力度。当县级环保部门发现日常污染情况后,可迅速通过河流污染防控机构体系将相关信息传递到各级政府,通过行政干预及时解决污染隐患。

3. 对河流污染进行交叉布控

各级政府应注重区域联动,通过基层环保部门对整个水域可能发生的水污染事件进行全面监控。在监控中应打破行政区域的限制,实现行政区域间交叉布控与联动。如发现水污染隐患,基层环保部门应立即将情况上报至中央统一设立的河流污染防控体系,由该体系根据实际情况采取相应措施进行跨区域管理。

4. 从战略层面完善应急保障

应急保障的完善主要包括资金保障、人才保障、技术保障等三个方面的完善:在资金保障方面,建议采取鼓励民间资本参与和国家专项资金投入相结合的方式,来改善当前投入不足的状况;在人才保障方面,应加强基层环保部门及相关专家库的建设,同时还应加强环保产业的人才队伍建设;在技术保障方面,需要结合我国相应的经济与社会条件进行有针对性的技术开发。

5. 强化外部监督

各级环保部门应该积极增强公众的环保意识及防范能力,通过加强环保科普宣传及开通相关信息传导渠道,加大社会公众对河流污染事件的监督力度。应急指挥机构及日常监控机构应在获取外部监督信息后,及时介入相关污染事件并积极应对。

6. 加快信息系统建设

完善河流污染信息系统,不仅要完善硬件上完善各个信息系统建设,更要从信息接收、评估、处理等各个环节加以完善:在信息接收方面,基础环保部门应建设并完善能快速对水污染事件或隐患进行核实的部门;在信息评估方面,各级政府应在完善应急专家库建设的基础上规范相关工作流程,在收到经核实的水污染信息后能通过专家库对相关信息进行及时的评估分析,使应急决策能建立在科学的基础上,同时应建立健全相关基础信息数据库,通过各级基层环保部门,将区域状况、水污染监控信息等资料迅速传递给各类相关人员;在信息处理方面,要完善上报机制,将专家评估的结果根据危害的严重程度直接传递给相应的政府行政负责人。

7. 妥善进行水污染事件处置

首先,要迅速运用应急指挥机构专门的信息传递渠道进行信息传递。其次,应急指挥机构应立即对相关信息进行评估,结合实际情况,调动相应级别的政府力量,运用应急保障体系积极应对,特别是采取有效措施控制事态发展。再次,各级政府应在与应急指挥机构充分交流的基础上,向公众及时发布

政府应对措施与公众防范建议等信息。另外,国家应该完善相关法规,加大水污染主体的行为成本。最后,对已发生的水污染事件进行应急处理后,应继续加强监测,并且进行相关环境影响评估,进一步制定相关应对措施。

四 结语

河流环境污染风险预警指标体系的建立,使我们可以针对不同的预警等级采取相应的风险防范措施,这为我国可以更加有效地保障城市供水安全创造了可能。但预警指标体系的作用能否充分发挥,离不开日常污染监管的强化、河流污染防控体系的建设等措施的保障。这些措施如何完善应是我们进一步研究河流污染风险预警与城市供水安全所需关注的问题,特别是如何使公共投资在这些领域充分发挥作用亦应是研究的焦点之一。

【Abstract】 River pollution has become an increasingly prominent threat to the safety of China's urban water supply. To solve this problem, this essay uses fuzzy analytic hierarchy process to establish a river contamination risk warning index system on the basis of literature research. It also points out that only strengthening the supervision of the daily pollution and establishing specialized river pollution prevention and control system can efficiently safeguard the water supply.

【Key words】 urban water supply security; river pollution; indicator system of risk warning

参考文献

- [1] 朱颂梅,唐德善.水污染与城市供水安全[J].城市问题,2008(1):64-67
- [2] 匡翠萍,邢飞,刘曙光,娄厦,贺露露,邓凌.黄浦江突发水污染事件应急措施数值计算分析[J].人民长江,2010(4):43-47
- [3] 王雄世.突发性水污染事件中应急监测探讨[J].水文,2009(12):84-86
- [4] 张学峰,赵山峰,张芳珠.黄河突发水污染事件应急指挥机制建设探讨[J].人民黄河,2009(3):7-8
- [5] 叶桦.水污染治理投融资研究[J].统计与决策,2008(2):57-59
- [6] 财政部财政科学研究所课题组.流域水污染防治投资绩效评估研究[J].经济研究参考,2011(8):45-56
- [7] 彭海君.水污染造成的城市生活经济损失研究——以广东省为例[J].城市问题,2007(8):46-48
- [8] 赵楠,刘毅,陈吉宁,严懿.流域水污染防治的比较研究[J].环境科学与管理,2009(9):6-9

(下转第61页)

- rected Behaviour: The Case of Travel Habit [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2000 (20): 75 - 82
- [3] 麦可尔·杰伊·波隆斯基, 阿尔玛·明图·威蒙萨特. 环境营销[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 87 - 145
- [4] Singh N. Exploring Socailly Responsible Behavior of Indian Consumers: a Empirical Investigation [J]. *Social Responsibility Journal*, 2009(2): 200 - 211
- [5] Andreasen W. T., Cunningham W. H. the Social Conscious Consumer [J]. *Journal of Marketing*, 1992(36): 23 - 31
- [6] Newell S. J., Green C. Racial Differences in Consumer Enviornmental Concern [J]. *Journal of Consumer Affairs*, 1977(1): 53 - 69
- [7] Li L. Effect of Collectivist Orientation and Ecological Attitude on Actual Environmental Commitment: the Moderating Role of Consumer Demographics and Product Involvement [J]. *Journal of International Consumer Marketing*, 1997(4): 31 - 53
- [8] Barr S. Strategies for Sustainability: Citizens and Responsible Environmental Behaviour [J]. *Area*, 2003(3): 227 - 240
- [9] 蔡佳伶. 师范学院学生纸张回收行为意图之研究[D]. 台北: 台湾师范大学环境教育研究所, 1994: 67 - 74
- [10] Dispoto R. G. Interrelationships among measures of environmental activity, emotionality, and knowledge [J]. *Educational and Psychological Measurement*, 1977(2): 451 - 459
- [11] Bamberg S., Schmidt S. Incentives, Morality or Habit? Predicting Students' Car Use for University Routes with the Models of Ajzen, Schwartz and Triandis [J]. *Environment and Behavior*, 2003(2): 264 - 285
- [12] Vaske J. J., Donnelly M. P. A Value - Attitude - Behavior Model Predicting Wildland Preservation Voting Intentions [J]. *Society and Natural Resources*, 1999(6): 523 - 537
- [13] Stern P. C., Dietz T., Abel T., Guagnano G. A., & Kalof L. A Value - Belief - Norm Theory of Support for Social Movements [J]. *The Case of Environmentalism. Human Ecology Review*, 1999(2): 81 - 97
- [14] 刘倩, 秦志海. 城市居民可持续消费模式转型引导——基于六个城市的实证分析[J]. *软科学*, 2011(12): 45 - 51
- [15] Dunlap R. E. Environmental Sociology: A Personal Perspective on Its First Quarter Century [J]. *Organization and Environment*, 2002(1): 10 - 29
- [16] Nordlund A. M., Garvill J. Effects of Values, Problem Awareness, and Personal Norm on Willingness to Reduce Personal Car Use [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2003(4): 339 - 347
- [17] 杨智, 董学兵. 居民可持续消费行为及意向实证研究——以长沙市为例[J]. *城市问题*, 2011(3): 60 - 66
- [18] Cuieford J P. Fundamental Statistics in Psychology and Education [M]. New York, Mc Graw Hill, 1965: 8 - 12
- [19] 黄芳铭. 结构方程模式——理论与应用[M]. 北京: 中国税务出版社, 2005: 162 - 167
- [20] Baron R. M., Kenny D. A. The Moderator - Mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Coniderations [J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1986(6): 1173 - 1182
- [21] Sobel M. E. Direct and Indirect Effects in Linera Structural Equation Models [J]. *Sociological Methods and Research*, 1987(1): 155 - 176
- (编辑: 牟世晶; 责任编辑: 赵 勇)

(上接第45页)

- [9] 窦明, 李重荣, 王陶. 汉江水质预警系统研究[J]. *人民长江*, 2002(11): 38 - 42
- [10] 何焰, 由文辉. 水环境生态安全预警评价与分析——以上海市为例[J]. *安全与环境工程*, 2004(12): 1 - 4
- [11] 李淑祯, 王烜. 水环境安全预警系统构建探析[J]. *安全与环境工程*, 2006(9): 79 - 86
- [12] 李桂秋, 窦明, 胡彩虹. 郑州市水环境预警系统研究[J]. *气象与环境科学*, 2008(8): 86 - 89
- [13] 翁士创. 韩江流域水量分配方案的研究思路与研究重点[J]. *人民珠江*, 2008(5): 10 - 12
- [14] 庄宝玉, 于佳瀛, 孙井梅, 单金林. 再生水厂原水水质在线预警系统研究与应用[J]. *环境工程学报*, 2011(6): 1232 - 1236
- [15] 张磷, 陈建林. 太湖流域水环境监测预警系统建设对策研究[J]. *环境与可持续发展*, 2009(3): 15 - 17
- [16] 饶清华, 曾雨, 张江山, 许丽忠. 突发性环境污染事故预警应急系统研究[J]. *环境污染与防治*, 2010(10): 97 - 101
- [17] 庄巍, 李维新, 周静, 赵爽. 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): 34 - 40
- [18] 肖泽云, 莫创, 雷晓霞. 基于 GIS 平台的水污染预警系统研究与应用[J]. *水电能源科学*, 2011(5): 139 - 141
- [19] 陈赞, 吴竹青, 刘君健. 基于模糊层次分析法的公路工程项目风险评价[J]. *长沙交通学院学报*, 2008(9): 44 - 48
- [20] 李春慧, 施鹏. 基于模糊层次分析法的综合医院用药风险评价[J]. *中国现代医学杂志*, 2011(5): 1685 - 1687
- (编辑: 王明哲; 责任编辑: 刘媛君)