

干旱区某河流域风险源管理系统研究

卢奇¹, 贾尔恒·阿哈提², 陈超¹, 李琳¹

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆环境保护科学研究院, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 运用“压力-状态-响应”(PSR)模式,采用熵值法和层次分析法(AHP)对指标体系进行赋权。根据流域水环境风险源模糊综合评价模型风险源评估指标体系,拟定流域的33个重点风险企业清单。然后,利用Visual Studio可视化平台及SQL数据库,结合ArcGIS Engine开发了集基本信息与风险源查询、追踪和评估为一体的流域水环境重点风险源信息管理系统。此风险源管理系统,将数据信息通过编程实现可视化,并实现风险源信息的查询、更新、分析等功能。同时建立了风险源污染特征数据库、源追踪技术模块,为该流域的水污染事故溯源提供技术支持。

关键词: 水环境; 水污染; 风险源; ArcGIS; 风险源数据库; 管理系统; 流域

中图分类号: TV212.52

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)02-0085-05

Research on management system of risk source in a river basin of arid areas

LU Qi¹, JIAERHENG · Ahati², CHEN Chao¹, LI Lin¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052;

2. Xinjiang Academy of Environmental Protection Science, Urumqi 830011, China)

Abstract: Making use of “pressure-state-response”(PSR) mode, the paper empowered the index system by entropy method and Analytic Hierarchy Process(AHP), and draw up a list of the river basin of 33 key risk enterprises by establishing the river basin water environment risk source fuzzy comprehensive evaluation model by on the basis of in the basin water environment risk source index system and reasonable construction standard. Then, based on the Visual Studio visualization platform and SQL database it developed the key risk source of river basin water environment information management system with basic information, query, tracking and evaluation as a body by combining ArcGIS Engine. The system realized the visualization of data information through programming, and the functions such as query, update and analysis of risk source information. It can provide technical support reference for the source recognition of water pollution accident of the basin through establishing the characteristics database of risk source pollution and source query technical modular

Key words: water environment; water pollution; risk source; ArcGIS; risk source database; management system; river basin

新疆位于我国西北边陲,属于干旱内陆区,是典型的缺水地区^[1]。根据新疆水资源分布特征及利用现状,大致可分为资源型、工程型、设施型、管理型和污染型等5种类型^[2],其中污染性缺水是关系区域生态安全和经济可持续发展的关键。环境风险源是从生态环境保护的角度考察重大安全事故演化成

环境污染事件后,对周边环境所产生的可能危害性。对流域水环境风险源的有效评估是从根本上控制风险源的重要手段。在流域风险源调查的基础上,根据不同风险源的特征及对流域水环境的影响作用,归纳分类后,为流域风险源进行系统化控制管理,对流域风险源的有效治理、保护生态环境具有重要意义。

收稿日期:2014-09-26; 修回日期:2014-11-11

基金项目:新疆自治区科技支撑项目(201333109)

作者简介:卢奇(1990-),男,四川遂宁人,硕士研究生,研究方向为环境水力学。

通讯作者:贾尔恒·阿哈提(1962-),男,新疆阿勒泰人,高级工程师,主要从事水环境管理工作。

义^[3]。

水环境风险源识别是风险事故发生前的一个静态评价,是事故风险评价的基础,同时也是环境风险评价的一部分。我国相关部门已开发了相关流域的水环境信息管理系统,但是针对性较强,且大多数的研究只停留在风险源的识别与评价,未对风险源进行系统化管理。特别是对于新疆特殊的生态环境,类似的信息管理系统少之又少,是相关部门信息管理的一大难题。

1 典型流域概况

所选取的流域位于亚欧大陆中心,是新疆地表水系最发达、径流最发育、水资源最丰富的内陆河流域^[4]。由于该流域经济发展起步较晚、速度快,初级产品多,科技含量较低,污染源分布分散,故流域水环境污染相对较大,且不宜进行全流域的管理。因此,建立高效、快捷的流域水环境风险源信息管理系统,尤其是利用 3S 技术和模型分析技术开发现代水环境风险源信息管理系统,己是该流域水环境风险源得到有效控制和管理的必要条件。

2 流域风险源评价指标体系

2.1 流域风险源评价指标体系建立

选择科学合理的指标体系是流域风险源评价的关键基础,风险源种类繁多,识别过程中涉及多学科领域,其评价指标既有风险源自身的主观指标,又包含经济、社会等客观指标,因此在选择时需遵循科学性、整体性、代表性、可操作性以及动态和静态相结合等原则^[5]。

所选取的典型流域支流众多,补给水源以冰川雪融水为主,降雨与地下水为辅,是全疆水资源最为丰富的流域。流域经济发展起步较晚,工业企业规模较小,生产水平较低,多以初加工为主。本文参考“压力-状态-响应”(PSR)模式^[6],以该流域各企业风险源的固有风险为生态环境的压力指标,企业风险源在排污时的环境状态和环境变化情况作为状态指标,企业排污的直接收纳水体状况为风险源响应指标。根据流域环境风险评价研究,水文地质、工业企业分布特征等情况,结合相关专家学者意见,细化、分析指标的影响因子,筛选具有代表性的典型因子作为具体的评价指标。最终确定以流域内企业的固有风险指标、污染物排放指标和直接受纳水体水环境指标为基础,建立流域的水环境风险源的评价指标体系,具体评价指标如表 1 所示。

表 1 流域水环境风险源评价指标体系

准则层	评价因素
企业固有 风险指标 B ₁	企业规模 B ₁₁
	正常生产时间 B ₁₂
	行业类别 B ₁₃
	距离流域的最短距离 B ₁₄
	距离敏感目标流程 B ₁₅
排放指标 B ₂	排放方式 B ₂₁
	污水排放量 B ₂₂
	排放污染物复杂程度 B ₂₃
	重金属等标负荷量 B ₂₄
	耗氧有机物等标负荷量 B ₂₅
受纳水 体指标 B ₃	氰化物等标负荷量 B ₂₆
	挥发酚、石油类等标负荷量 B ₂₇
	水体敏感程度 B ₃₁
	水体功能重要程度 B ₃₂

2.2 流域风险源评价标准体系标准值

流域水环境风险源评价指标体系标准值直接影响风险评价结果的准确性、客观性和实用性。如表 2 所示,在借鉴国内外众多研究及相关法律法规^[7-8]的基础上,结合流域实际情况及流域已有的研究成果,考察相关学者专家意见,确定流域指标体系的标准值。

2.3 流域重点风险源评价指标赋权

根据 2011 年流域的污染源普查结果,流域内主要排污企业有 261 个,涉及食品加工制造业、林木业以及采矿业等。分析各行业的污水排放情况得,农副产品加工业、食品制造业与煤矿开采和洗选业为重点排污控制行业,分别占总排污量的 40.9%、24.0% 和 23.2%。本文将累积污染负荷比达到 99.5% 的企业作为该流域的重点污染源。采用等标符合法,计算得流域内各个企业的等标污染负荷 P_n 及其污染负荷比 K_n ,并按照 K_n 值的大小进行顺序排列。综合考虑企业行业类别、原材料毒性、生产工艺等因素,将行业污染大、原材料毒性强、清洁生产水平低的企业作为重点风险源,共计 152 个企业。在建立流域重点风险源指标体系及标准值的基础上,结合熵值法^[9]和 AHP^[10]对各指标进行赋权。首先,对重点风险源评价指标体系中的 3 个子系统进行权重赋值,根据熵值法与 AHP 赋值方法,并结合专家评分法,确定子系统的权重分别为:W(B₁: B)=0.42、W(B₂: B)=0.39、W(B₃: B)=0.19。

其次,对个子系统的评价指标进行赋权。对于企业固有风险子系统, B_{11} (企业规模)和 B_{13} (行业类别)是定性指标,其余指标为定量指标,各指标权重为 $w_1 = (0.08,0.33,0.09,0.21,0.29)$;对于排放子系

统,只有 B_{21} (排放方式)为定性指标,各指标的权重为 $w_2 = (0.14,0.18,0.11,0.21,0.07,0.10,0.19)$;对于受纳水体子系统,其指标均为定性指标,指标权重为 $w_2 = (0.5,0.5)$ 。

表 2 流域水环境风险源评价指标体系标准值

评价因素 U	评价等级 V		
	V_1	V_2	V_3
企业规模	<1.5	1.5 ~ 2.5	>2.5
正常生产时间/(h · a ⁻¹)	<2500	2500 ~ 5000	>5000
行业类别	<3.5	3.5 ~ 6.5	>6.5
距排入河流的最短距离/km	>1.5	0.7 ~ 1.5	<0.7
距敏感断面的流程/km	>150	70 ~ 150	<70
排放方式	<1.5	1.5 ~ 3.5	>3.5
污水产生量/t	<50000	50000 ~ 500000	>500000
污水中污染物复杂程度	<2.5	2.5 ~ 4.5	>4.5
重金属等标负荷量/g	<0.01	0.01 ~ 0.03	>0.03
耗氧有机物等标负荷量/(mg · L ⁻¹)	<0.8	0.8 ~ 2	>2
氰化物等标负荷量/(mg · L ⁻¹)	<0.03	0.03 ~ 0.1	>0.1
挥发酚、石油类等标负荷量/(mg · L ⁻¹)	<0.01	0.01 ~ 0.04	>0.04
水体敏感程度	<2.5	2.5 ~ 3.5	>3.5
水体功能重要程度	<1.5	1.5 ~ 2.5	>2.5

如表 3 所示,根据熵值法将风险源评价指标体系各子系统的权重与其指标的权重相乘,得流域水环境风险源评价指标体系各指标权重。各评价指标对于环境风险源的总权重。

表 3 流域水环境风险源评价指标权重

准则层	评价因素	各指标权重	综合权重
企业固有风险指标 0.42	企业规模	0.08	0.03
	正常生产时间	0.33	0.14
	行业类别	0.09	0.04
	距离流域的最短距离	0.21	0.09
	距离敏感断面距离	0.29	0.12
排放指标 0.39	排放方式	0.14	0.05
	污水排放量	0.18	0.07
	排放污染物复杂程度	0.11	0.04
	重金属排放	0.21	0.08
	耗氧有机物排放	0.07	0.03
受纳水体指标 0.19	酸碱盐类污染物排放	0.10	0.04
	特征污染物排放	0.19	0.07
	水体敏感程度	0.50	0.10
	水体功能重要程度	0.50	0.10

3 流域水环境重点风险源清单

3.1 风险源评价指标隶属度计算

隶属度是确定评价指标隶属于各评价等级的程

度。在建立隶属函数时,为了保证各评价等级之间的数值的连续性,使评价值之间有较缓慢的变化,防止评价等级跳跃现象,对其采用迷糊化处理^[11-12]。根据表 2,对于 V_2 级,取其区间中点的隶属度为 1,中间向两侧呈线性递减,两侧边缘的隶属度为 0.5。对于 V_1 和 V_3 区间,距临界值越远则两侧区间隶属度越大。各评价因素对各等级的隶属度计算公式分别为:

$$\mu_{w_1}(u_i) = \begin{cases} 0.5 \left[1 + \frac{u_i - k_1}{u_i - k_2} \right] & u_i \leq k_1 \\ 0.5 \left[1 - \frac{k_1 - u_i}{k_1 - k_2} \right] & k_1 \leq u_i \leq k_2 \\ 0 & u_i \geq k_2 \end{cases} \tag{1}$$

$$\mu_{w_2}(u_i) = \begin{cases} 0.5 \left[1 - \frac{u_i - k_1}{u_i - k_2} \right] & u_i \leq k_1 \\ 0.5 \left[1 + \frac{k_1 - u_i}{k_1 - k_2} \right] & k_1 \leq u_i \leq k_2 \\ 0.5 \left[1 + \frac{u_i - k_3}{k_2 - k_3} \right] & k_2 \leq u_i \leq k_3 \\ 0.5 \left[1 - \frac{k_3 - u_i}{k_2 - u_i} \right] & u_i \leq k_3 \end{cases} \tag{2}$$

$$\mu_{w_3}(u_i) = \begin{cases} 0 & u_i \leq k_2 \\ 0.5 \left[1 - \frac{u_i - k_3}{k_2 - k_3} \right] & k_1 \leq u_i \leq k_2 \\ 0.5 \left[1 + \frac{k_3 - u_i}{k_2 - u_i} \right] & u_i \geq k_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中: k_1 为 V_1 级与 V_2 级的临界值, k_2 为 V_2 级区间的中点值, 即 $k_2 = (k_1 + k_3)/2$, k_3 为 V_2 级与 V_3 级的临界值。对于指标值越大、水环境风险源的风险越低的评级因素, 各等级相对隶属度函数的计算公式只需将以上公式满足条件区间符号“ $\leq$ ”改为“ $\geq$ ”, 将“ $<$ ”改为“ $>$ ”后采用同样方法进行计算即可。

3.2 风险源综合评价指数

对水环境风险源综合评价时, 其指数是衡量水环境风险源风险程度的综合性指标, 为了便于定量分析各等级指标对水环境风险源的风险程度的影响, 对评价等级用分制数量化, 数值越高, 说明风险源的风险越大^[11]。具体计算如下:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^3 b_j^k a_j}{\sum_{j=1}^3 b_j^k} \quad (4)$$

式中: a 为基于综合评价的水环境风险源风险的综合评分值, a 值越大, 说明水环境风险源的风险也就越大, 此风险源对水环境的影响大; k 为突出占优势等级参数。

3.3 流域重点风险源清单

对该流域重点风险源的综合风险指数进行统计分析, 风险指数超过 0.7 的有 6 家企业, 风险指数在 0.6~0.7 之间的有 27 家企业。如表 4 所示, 研究流域重点风险源的主要风险环节与因素得, 风险指数超过 0.7 的企业, 多为煤炭开采与洗选业、电力与热力生产、纺织类等重污染企业, 其风险因素普遍包含重金属、挥发酚、石油类负荷产生量等污染物类指标; 风险指数介于 0.6~0.7 的企业多为农副产品加工业、食品制造业等, 企业规模大、距离污水受纳水体以及敏感断面流程较近等因素。

4 流域重点风险源管理系统

基于风险源评价技术, 结合 ArcGIS、污染源追踪和 SQL 数据库技术建立水环境风险源管理系统。它的特点就是适用于该流域特征、流域管理模式、流域水环境风险源管理以及流域水环境风险源防范策略、动态更新。该系统采用了模块化管理, 并且模块

之间相辅相成, 实现高效的管理体系。

4.1 系统功能设计

根据系统功能需求, 将风险源管理系统划分为系统基本功能、流域基本信息、水环境风险源信息查询与分析、系统管理五大模块。其中系统基本功能模块包括 GIS 基本功能、布局设计、地图输出等功能; 流域基本信息模块包括流域信息显示、专题图加载、数据库动态更新等功能; 风险源查询模块包括数据库信息查询、图层属性查询、统计分析等功能; 污染源追踪模块包括检测断面显示、污染物查询等功能; 系统管理模块包括系统介绍、系统操作帮助等功能。

4.2 风险源管理系统数据库设计

水环境风险源管理系统的地理空间数据库设计的目的是统一储存研究区域流域的有关数据, 实现图形数据和属性数据之间的相互查询^[13]。通过分析水环境重点风险源系统的数据需求, 采用了两种不同的数据库储存风险源工厂的空间信息和属性信息, 空间信息数据采用 ArcGis 软件自带的 Geodatabase 数据库, 属性数据库采用 SQL2010 数据库软件。

4.3 风险源管理系统实现

(1) 系统主页面的设计与实现。系统左半部分为风险源信息管理系统 3 大主要功能模块, 各模块下设计了风险源信息日常管理中常用功能。右半边采用人性化的 GIS 软件操作系统标准界面布局, 包含菜单栏、工具栏、地图显示、地图编辑、图层管理和状态栏等。该界面设计、使用与 GIS 操作软件基本一致, 同时考虑到用户对风险源信息管理对象的不同需求, 菜单中直接加入了风险源管理专题的子系统。

(2) 各模块及子模块设计。本系统依据风险源信息管理涉及方面将系统分解为 5 大模块, 各子系统以菜单形式在右侧菜单栏中显示, 各模块包含的子菜单为: ①系统基本功能模块: 文件、工具、布局设计、地图输出子系统; ②风险源基本信息模块: 包含数据管理、自定义图层要素设计子系统; ③风险源信息查询模块: 空间查询分析子系统; ④污染源追踪模块: 污染源追踪子系统; ⑤系统维护与帮助模块: 系统管理子系统。

5 结 语

本文对干旱区典型河流进行了流域水污染预防、风险源信息管理、源追踪等技术的研究, 参考大量文献资料并借鉴国内外水环境管理的成功案例, 结合流域水质目标、流域水系特征、工业布局特征、风险源类型、污染特征及时空变化规律等, 筛选流域

表 4 流域工业企业重点水环境风险源清单

企业名称	风险值	主要风险环节及因素
1 号企业	0.86	年生产时间长、行业风险高、水污染物成分复杂、重金属负荷产生量大、影响水体功能高、影响水体水质目标高
2 号企业	0.79	企业规模大、行业风险高、排放方式风险高、重金属负荷产生量大
3 号企业	0.76	企业规模大、行业风险高、重金属负荷产生量大
4 号企业	0.75	企业规模大、行业风险高、距影响水体近、重金属负荷产生量大、影响水体功能高、影响水体水质目标高
5 号企业	0.74	企业规模大、行业风险高、水污染物成分复杂、挥发酚石油类负荷产生量大、影响水体功能高、影响水体水质目标高
6 号企业	0.72	年生产时间长、行业风险高、距影响水体近、排放方式风险高、挥发酚石油类、氰化物负荷产生量大
7 号企业	0.69	企业规模大、距影响水体近、耗氧有机物负荷产生量大、影响水体功能高
8 号企业	0.69	企业规模大、年生产时间长、距影响水体近、挥发酚石油类负荷产生量大、影响水体功能高
9 号企业	0.68	企业规模大、年生产时间长、行业风险高、距影响水体近、排放方式风险高、影响水体功能高
10 号企业	0.68	年生产时间长、距影响水体近、距敏感断面流程短、耗氧有机物负荷产生量大
11 号企业	0.68	企业规模大、行业风险高、水污染物成分复、重金属负荷产生量大
12 号企业	0.68	企业规模大、距影响水体近、距敏感断面流程短、影响水体功能高
13 号企业	0.67	年生产时间长、距影响水体近、距敏感断面流程短、耗氧有机物负荷产生量大
14 号企业	0.66	企业规模大、距影响水体近、距敏感断面流程短、影响水体功能高
15 号企业	0.66	企业规模大、年生产时间长、行业风险高、影响水体功能高
16 号企业	0.65	距影响水体近、距敏感断面流程短、排放方式风险高、耗氧有机物负荷产生量
17 号企业	0.65	企业规模大、行业风险高、距影响水体近、影响水体功能高
18 号企业	0.64	年生产时间长、距影响水体近、污水产生量达、受纳水体功能、影响水体水质目标高
19 号企业	0.63	企业规模大、行业风险高、距影响水体近、距敏感断面流程短
20 号企业	0.63	耗氧有机物负荷产生量大、挥发酚石油类负荷产生量大、影响水体功能高
21 号企业	0.63	企业规模大、距影响水体近、距敏感断面流程短、影响水体功能高
22 号企业	0.63	企业规模大、影响水体功能高
23 号企业	0.62	企业规模大、年生产时间长、距影响水体近
24 号企业	0.62	企业规模大、距影响水体近、距敏感断面流程短、影响水体功能高
25 号企业	0.62	企业规模大、距影响水体近、距敏感断面流程短、影响水体功能高
26 号企业	0.62	企业规模大、排放方式风险高、影响水体功能高
27 号企业	0.62	企业规模大、影响水体功能高
28 号企业	0.61	企业规模大、距影响水体近、距敏感断面流程短、影响水体功能高
29 号企业	0.61	企业规模大、距影响水体近、距敏感断面流程短、影响水体功能高
30 号企业	0.60	企业规模大、距影响水体近、影响水体功能高
31 号企业	0.60	企业规模大、距影响水体近、距敏感断面流程短、影响水体功能高
32 号企业	0.60	距影响水体近、耗氧有机物负荷产生量大
33 号企业	0.60	敏感断面距离、耗氧有机物负荷产生量大、影响水体功能高

风险源的评价指标,初步建立起适合该流域的水环境风险源评价体系。

对于有的风险源信息不能及时跟踪和更新的情况,开发了基于 GIS 的水环境风险源管理系统,将数据信息通过编程实现可视化,并实现风险源信息的查询、更新、分析等功能。同时建立了风险源污染特征数据库、源追踪技术模块,为该流域的水污染事故溯源提供技术支持。

该流域风险源信息管理系统存在以下需改进的地方:

(1)由于流域风险源数目较多,影响企业风险的因素也较多,因此需要根据不同情况不断完善风险评价指标体系,使风险评价结果更符合实际情况。

(2)系统整体框架基本成型,如果能编程实现初始数据的计算模型,实现风险评价融合于系统,能够使软件更具技术性,也方便用户进行系统维护。

(下转第 96 页)

产水高值区成为实际供水的低值区。率水、街源河子流域平均供水能力较强。

需要说明的是,本研究所采用的下垫面特征参数 ω 仅仅为 Zhang 等人研究的推荐值,是在不同降雨地区对比流域试验结果的基础上概化而来的一般性参数。在新安江上游,地形、地质等其他因素对流域产流的影响可能会很大,所以仍然需要对参数进行区域化的校正处理。本案例研究缺失这一环节,今后需要以特征小流域的实测数据为基础,对参数 ω 进行修正,以适合新安江上游各种特征 LC,进一步提高产水量的模拟精度。

另外,若单纯对此项生态系统服务过度的强调,则可能会导致其他相关的生态系统调节服务能力的退化或丧失。当流域下垫面全部为无植被覆盖或全部为不透水的硬化地面时,对下游的实际供水量无疑最大。那么,自然植被对产汇流的滞缓集流过程(有利于减小洪峰和形成基流),防止土壤侵蚀、泥沙淤积,维持河道形态和净化水质等调节服务能力的丧失,也必将引发一系列相关环境问题的产生。而通过研究未来 LC 情景下更多相关的调节服务及价值的响应,来权衡综合服务效益,将作为下一步研究重点。

参考文献:

- [1] 周国逸,黄志宏. 中国大陆面向生态的水资源管理与调控战略[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 435 - 440.
- [2] 中华人民共和国财政部, 中华人民共和国环境保护部.

关于印发《新安江流域水环境补偿试点实施方案》的函(财建函[2011]123号)[Z]. 2011-09-26.

- [3] Liu Junwei, Lü Huijin. Economic value of water resources of the upper reaches of the Xin'an river basin, China[J]. Journal of Resources and Ecology, 2012, 3(1): 87 - 92.
- [4] 国务院. 关于实行最严格水资源管理制度的意见[EB/OL]. [2012 - 02 - 16][2014 - 10 - 10] http://www.gov.cn/zwgk/content_2067664.htm.
- [5] Zhang Lu, Dawes W R, Walker G R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale [J]. Water Resources Research, 2001, 37(3): 701 - 708.
- [6] 刘克岩, 张 鲁, 张光辉, 等. 人类活动对华北白洋淀流域径流影响的识别研究[J]. 水文, 2007, 27(6): 6 - 10.
- [7] 吕翠美, 吴泽宁, 胡彩虹. 水资源价值理论研究进展与展望[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(6): 545 - 549.
- [8] 周振民. 蒸发皿系数 k_p 计算方法研究[J]. 水文, 2003, 23(1): 21 - 23.
- [9] 安徽省水利厅. 2010 年安徽省水资源公报[EB/OL]. [2012 - 10 - 19][2014 - 10 - 10] http://guanli.wswj.net/news_file/201210123507349.pdf.
- [10] 李 恒. 安徽省生态经济系统的能值分析与可持续发展研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2011.
- [11] Hundecha Y, Bardossy A. Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model[J]. Journal of Hydrology, 2004, 292(1 - 4): 281 - 295.

(上接第 89 页)

参考文献:

- [1] 张捷斌. 新疆水资源可持续利用的战略对策[J]. 干旱区地理, 2001, 24(3): 217 - 222.
- [2] 董新光, 姜卉芳, 邓铭江. 新疆水资源短缺原因分析[J]. 新疆农业大学学报, 2001, 24(1): 10 - 15.
- [3] 张 巍, 蒋军成, 张明广, 等. 城市重大危险源普查与分级技术探讨[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(4): 105 - 108.
- [4] 张军民. 伊犁河流域地表水资源优势及开发利用潜力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(7): 142 - 146.
- [5] 邵 磊. 跨界突发性大气环境风险源分级评价研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [6] 肖佳媚. 基于 PSR 模型的南麂岛生态系统评价研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2007.
- [7] 国家环境保护总局. 中华人民共和国地表水环境质量标准[EB/OL]. [2002 - 04 - 26][2014 - 06 - 01]. <http://wenku.baidu.com/view/a03d26fe770bf78a6529541b.html>.

- [8] 国务院国有资产监督管理委员会办公厅. 关于在财务统计工作中执行新的企业规模划分标准的通知[EB/OL]. [2003 - 11 - 04][2014 - 06 - 01]. http://gzw.jl.gov.cn/fg/200508/t20050826_34256.htm
- [9] 胡二艳. 基于熵权法的水质模糊综合评价[J]. 科技信息, 2011(16): 373 - 374.
- [10] 陈 锋, 吴壮海, 黄宇容. 基于模糊层次分析法的水库移民安置区优选[J]. 水电能源科学, 2014, 32(10): 135 - 137.
- [11] 王学全, 卢 琦, 李保国. 应用模糊综合评判方法对青海省水资源承载力评价研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(6): 944 - 949.
- [12] 凌敏华, 左其亨. 水质评价的模糊数学方法及其应用研究[J]. 人民黄河, 2006, 28(1): 34 - 36.
- [13] 陈建春. Visual C++ 开发 GIS 系统: 开发实例剖析(第 2 版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.