

文章编号: 1006-4710(2011)03-0285-05

基于信息扩散理论的水资源短缺风险评价

严伏朝^{1,2}, 解建仓¹, 秦涛², 马增辉³

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 陕西省引汉济渭工程协调领导小组办公室, 陕西 西安 710032; 3. 陕西省地产开发服务公司, 陕西 西安 710075)

摘要: 针对水资源短缺风险评价中出现的历史样本不足、不同评价对象落在同一风险区间导致评价对象风险程度难以区分的情况, 建立了基于信息扩散理论的水资源短缺风险模糊综合评价模型。采用风险率、脆弱性和可恢复性作为区域水资源短缺风险评价指标, 建立了综合评价指标体系。运用信息扩散理论将评价指标离散成多个点, 将单值信息扩散至离散点, 并在此基础上构造水资源短缺模糊评价矩阵, 并将其应用于西安地区水资源短缺风险评价。评价结果表明, 此方法有效且可行。

关键词: 水资源; 短缺风险; 信息扩散; 综合评价; 权重

中图分类号: TV213

文献标志码: A

Risk Evaluation of Water Shortage Based on Information Diffusion Theory

YAN Fuchao^{1,2}, XIE Jianchang¹, QIN Tao², MA Zenghui³

(1. Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Diversion Project Coordination Leading Group Office from Hanjiang to Wei River in Shaanxi, Xi'an 710032, China; 3. Shaanxi Estate Development Service Corporation, Xi'an 710075, China)

Abstract: With an aim at the inadequate historical sample data in water shortage risk assessment and the situation of difficulty to distinguish risk evaluation degrees caused by the different evaluation objects falling into the same risk span, this paper establishes the risk fuzzy comprehensive assessment model for water shortage based on the principle of information spread. The risk rate, weakness and recoverability are adopted as the regional water shortage risk assessment indexes to establish the comprehensive assessment index system. The information spreading theory is used to disperse the assessment indexes to many points to which the single value information is dispersed, on the basis of which coater shortage fuzzy assessment matrix is formed and used in water shortage risk assessment in Xi'an region. The assessment results indicate that this method is scientific reliable, practical and feasible with the objective assessment results.

Key words: water resources; shortage risk; information spread; comprehensive assessment; weight

随着经济、社会和环境的变化, 水资源短缺问题日益严重, 对水资源系统进行风险管理势在必行。水资源风险评价是风险管理的基础, 已引起社会和科研人员的广泛关注, 也取得了丰富的研究成果^[1-4]。从已有的研究成果可以看出, 水资源风险评价可以概括为 3 个部分: 评价指标的确定; 评价矩阵的确定(模糊矩阵); 评价矩阵所对应的权重的确

定。由于单指标评价往往可能遗漏系统的重要信息, 文献[1]提出多指标的评价模型, 从而弥补了单指标评价的缺陷。对于评价权重的确定, 诸多文献中均有介绍, 一般是根据专家判断或由先验经验来确定, 被称之为主观权重, 如层次分析法^[5-6](AHP); 也有根据信息熵确定, 这称为熵权, 又称为客观权重, 也有学者将主观权重和客观权重混合使

收稿日期: 2011-06-15

基金项目: 国家 863 计划基金资助项目(2006AA01A126); 国家自然科学基金资助项目(50979088, 51079120); 陕西省教育厅 2010 年省级重点实验室基金资助项目(2010JS077)。

作者简介: 严伏朝(1964-), 男, 陕西渭南人, 正高级工程师, 博士生, 研究方向为水文学及水资源。解建仓(1963-), 男, 陕西宝鸡人, 教授, 博导, 研究方向为水利信息化、水资源管理等。E-mail: jcxie@xaut.edu.cn。

用的,称之为混合权重。对于评价矩阵,文献[1]和[2]均采用评价指标的实际值对照指标分级按照人为规定的隶属函数推求,这样的评价结果可能导致多个评价对象落在同一风险区间,出现在同一风险区间内的各个对象的风险程度难以区分;同时,当历史样本较少时,水资源短缺风险难以评价。

针对以上问题,本文将信息扩散理论^[7]引入水资源短缺风险评价,将评价指标进行离散化,构造基于离散点的评价矩阵,从而将具体指标值扩散至评价指标的离散点,解决了上述问题,也为水资源风险评价问题提供了另一种解决途径。

1 基于信息扩散理论的水资源短缺风险评价模型

1.1 水资源短缺风险评价指标

水资源短缺的根本在于供水和需水两方面,且这两方面都是随机的,存在不确定性因素,因此,水资源短缺也具有随机性。在进行风险评价过程中,要充分考虑风险的特点以及水资源的复杂性,本文选取水资源风险性、脆弱性、可恢复性作为水资源短缺风险评价指标。

1.2 水资源短缺风险综合评价的基本方法

水资源短缺风险评价是在风险识别和分析的基础上,把损失概率、损失程度以及其他因素综合起来考虑,分析该风险的影响,寻求风险对策并分析该对策的影响,为风险决策创造条件。本文采用风险性、脆弱性、可恢复性作为水资源短缺风险评价指标,采用模糊综合评价方法对水资源短缺风险进行评价。

设给定两个有论域 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 和 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 其中, U 代表评价指标集合, V 代表评语集合。则模糊综合评价表现为模糊变换 $B = W \cdot R$, 式中, W 为 U 上的模糊子集, 并且 $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ 为单指标对水资源短缺风险总评定中的权重, w_i 满足 $\sum_{i=1}^m w_i = 1$, “ \cdot ” 为模糊合成算子, 常用的算子有 $M(\wedge, \vee)$ 算子、 $M(\cdot, \vee)$ 算子、 $M(\wedge, \oplus)$ 算子和 $M(\cdot, \oplus)$ 算子。在水资源短缺风险评价中, 选取加权平均算子 $M(\cdot, \oplus)$ 进行综合评价; $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 为水资源短缺风险评判的结果集, $b_j = \sum_{i=1}^m w_i r_{ij}$ 且 $0 \leq b_j \leq 1$ 。 R 为评价矩阵, 表达式为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, r_{ij} 表示指标 u_i 的评价对等级 v_j 的隶属度。选取 $\max\{b_j\}$ 对应的评语为最终结果。

由上述分析可知, 水资源短缺风险评价的主要内容是评价矩阵的构造和其所对应的权重的确定。评价结果的好坏可以通过评价指标的级别来区分, 参考文献[2], 各评价指标分级情况如表1所示。

表1 评价指标分级表

Tab. 1 Classification of index

风险等级	u_1 (风险性)	u_2 (脆弱性)	u_3 (可恢复性)
v_1 (低)	[0.000, 0.200)	[0.000, 0.200)	(0.800, 1.000]
v_2 (较低)	[0.200, 0.400)	[0.200, 0.400)	(0.600, 0.800]
v_3 (中等)	[0.400, 0.600)	[0.400, 0.600)	(0.400, 0.600]
v_4 (较高)	[0.600, 0.800)	[0.600, 0.800)	(0.200, 0.400]
v_5 (高)	[0.800, 1.000]	[0.800, 1.000]	[0.000, 0.200]

1.3 基于信息扩散理论的评价矩阵构造

信息扩散是为了弥补信息不足而考虑优化利用样本模糊信息的一种对样本进行集值化的模糊数学处理方法, 它可以将单值样本变成集值样本。最原始的信息分配 (Information Distribution) 方法^[8], 主要用于地震工程领域。近年来, 信息扩散理论已经广泛应用于各个方面^[9-12]。信息扩散模型有多种, 最简单的是正态扩散模型^[13]。将信息扩散理论应用于水资源短缺风险评价, 基本原理是将评判指标的取值范围划分成多个离散点, 然后将指标的观测样本扩散到这些离散点从而构成评价矩阵。

设水资源短缺的某一评判指标的离散点为:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} \quad (2)$$

现有该指标的观测样本为:

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_t\} \quad (3)$$

所谓信息扩散, 即对 Y 中的观测值 (亦可以是预测值) $y_j (1 \leq j \leq t)$, 按一定的规则将其携带的信息扩散到 P 中所有的点。目前常用的正态扩散模型为:

$$f_j(p_i) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(y_j - p_i)^2}{2h^2}\right] \quad (4)$$

式中 h 为扩散系数, 反映每个样本点的信息向周围扩散的幅度。一般当样本数量增多时, h 逐渐减小, 即每一样本点作为“其周围的代表”这一性质逐渐减弱。文献[7]根据亮点择近的原则, 给出的计算公式如下:

$$h = \begin{cases} \frac{1.6987(b-a)}{t-1} & 1 < t \leq 5 \\ \frac{1.4456(b-a)}{t-1} & 6 \leq t \leq 7 \\ \frac{1.4230(b-a)}{t-1} & 8 \leq t \leq 9 \\ \frac{1.4208(b-a)}{t-1} & 10 \leq t \end{cases} \quad (5)$$

式中, a 、 b 分别为样本中的最小值和最大值, t 为样本的个数。

取:

$$C_j = \sum_{i=1}^n f_j(p_i) \quad (6)$$

则:

$$\mu_{y_j}(p_i) = \frac{f_j(p_i)}{C_j} \quad (7)$$

这样就将水资源短缺风险某一指标观测值(或预测值) y_j 变成了以 $\mu_{y_j}(p_i)$ 为隶属函数的模糊子集, 其中, $1 \leq i \leq n$ 。加入评判指标变量 u_k ($1 \leq k \leq m$), 隶属函数变成 $\mu_{y_j}(p_i(u_k))$, 而多个模糊子集即可构成评价矩阵。根据上述内容, 基于信息扩散理论的评价矩阵构造式如下:

$$R_{y_j} = \begin{bmatrix} \mu_{y_j}(p_1(u_1)) & \mu_{y_j}(p_2(u_1)) & \cdots & \mu_{y_j}(p_n(u_1)) \\ \mu_{y_j}(p_1(u_2)) & \mu_{y_j}(p_2(u_2)) & \cdots & \mu_{y_j}(p_n(u_2)) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{y_j}(p_1(u_m)) & \mu_{y_j}(p_2(u_m)) & \cdots & \mu_{y_j}(p_n(u_m)) \end{bmatrix} \quad (8)$$

在进行水资源短缺风险评价中, y_j 往往是对将来某个时期评判指标的预测值。结合上文和水资源短缺风险的实际应用, 得出评价矩阵的构造步骤如下: ① 在历史资料中得到各指标的实测值或实际计算值; ② 计算各指标的样本总数、最小值和最大值; ③ 将 ② 的结果代入式(5) 求出参数 h ; ④ 将指标在其取值范围内进行离散化; ⑤ 通过对水资源进行供需平衡预测和分析得到将来某个时间各指标的预测值; ⑥ 将 ④ 和 ⑤ 的结果代入式(5) ~ (7) 进行计算; ⑦ 将 ⑤ 的结果组合成式(8) 模式, 即构造出评价矩阵。

1.4 指标权重确定方法

以往确定评价指标一般有 3 种方法: 基于主观因素的层次分析法、基于客观因素的熵值法和将主观和客观相结合的方法。参考文献[2], 本文采用熵值法确定指标权重, 其计算步骤如下。

1) 构建 m 个评价对象、 n 个评价指标的评价矩

阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)。

2) 将评价矩阵 R 进行归一化处理, 得到归一化矩阵 Z, Z 的元素为:

$$z_{ij} = \frac{r_{ij} - r_{\min}}{r_{\max} - r_{\min}} \quad (9)$$

式中, r_{\max}, r_{\min} 分别为同一评价因素下不同对象的最大值和最小值。

3) 确定评价因素的熵值 H

$$H_i = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (10)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; 0 \leq H_i \leq 1$, 且:

$$f_{ij} = \frac{1 + z_{ij}}{\sum_{j=1}^m (1 + z_{ij})} \quad (11)$$

4) 确定评价因素的熵权 W

$$W = (\omega_i^*)_{1 \times n} \quad (12)$$

$$\omega_i^* = \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^n H_i} \quad (13)$$

2 实例分析

西安市目前正在发展成为国际化大都市, 而水资源短缺仍是其发展中的一个很大的瓶颈。西安人均占有地表水资源量为 316 m^3 , 不足全省的 $1/3$ 、全国人均占有量的 $1/6$ 和世界人均占有量的 $1/24$, 远低于国际公认的维持一个地区经济社会正常发展的人均占有量 1000 m^3 的临界值, 水资源短缺问题越来越突出。本次计算根据对 2015 年西安地区及周边的长安、周至和临潼这几个地区的水资源需求预测, 采用 1997—2007 年的来水系列资料, 以月为时段进行供需平衡操作。通过供、用水进行一次供需平衡分析, 可以得到 2015 年各月的缺水量系列和年缺水量系列。

在对水资源进行供需平衡分析的同时, 可以采用前面提到的水资源系统风险评价指标对西安地区及周边地区样本年和 2015 年的水资源短缺风险进行描述, 其结果见表 2 和表 3。

表 2 西安地区 1997—2007 年水资源短缺风险指标取值统计

Tab.2 Index of water shortage risk from 1997 to 2007 of Xi'an area

地区	样本数	风险率		脆弱性		可恢复性	
		最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值
西安地区	11	0.134	0.926	0.022	0.428	0.068	0.405
城区	11	0.267	0.989	0.058	0.507	0	0.315
长安区	11	0.106	0.857	0.023	0.324	0.105	0.648
周至县	11	0.043	0.629	0.044	0.451	0.134	0.729
临潼区	11	0.095	0.831	0.031	0.467	0.067	0.553

表3 西安地区2015年水资源短缺风险评价指标取值

Tab.3 Index value of water shortage risk assessment of Xi'an area in 2015

评价指标	西安地区	城区	长安	周至	临潼
风险率	0.734	0.978	0.631	0.416	0.793
脆弱性	0.355	0.412	0.289	0.131	0.308
可恢复性	0.372	0.001	0.437	0.505	0.335

2.1 评价矩阵构造

以西安地区为例,首先对评价指标进行离散化,

表4 评价指标离散化

Tab.4 Discretization of indexes

风险指标	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}
风险率 u_1	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000
脆弱性 u_2	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000
可恢复性 u_3	1.000	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.000

$$R_{Xi'an} = \begin{bmatrix} 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.002 & 0.004 & 0.0409 & 0.1748 & 0.3393 & 0.2991 & 0.1196 & 0.0217 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0188 & 0.4402 & 0.5115 & 0.0294 & 0.0001 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0235 & 0.7051 & 0.2700 & 0.0013 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

2.2 熵值法确定权重

根据表3和式(9)构造归一化矩阵 Z :

$$Z = \begin{bmatrix} 0.5658 & 0.7971 & 0.7361 \\ 1.0000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.3826 & 0.5623 & 0.8651 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 \\ 0.6708 & 0.6299 & 0.6627 \end{bmatrix}$$

根据归一化矩阵 Z 及式(10)和式(11)可得评价指标的熵值 $H = (0.9850, 0.9853, 0.9850)$,通过

表5 西安地区2015年水资源短缺风险综合评价

Tab.5 Result of water shortage risk assessment of Xi'an area in 2015

地区	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	结果
西安地区	0.000 0	0.000 0	0.006 2	0.145 1	0.169 1	0.031 3	0.295 5	0.204 7	0.101 0	0.040 2	0.007 3	p_7
城区	0.000 0	0.000 0	0.008 2	0.043 9	0.201 5	0.079 2	0.002 9	0.043 9	0.038 3	0.156 0	0.477 4	p_{11}
长安区	0.000 0	0.000 0	0.033 7	0.285 8	0.040 8	0.183 5	0.275 2	0.137 9	0.037 4	0.005 2	0.000 3	p_7
周至县	0.017 4	0.196 4	0.167 3	0.075 3	0.242 4	0.255 0	0.087 3	0.008 8	0.000 2	0.000 0	0.000 0	p_6
临潼区	0.000 0	0.000 8	0.046 2	0.209 3	0.070 3	0.015 5	0.148 0	0.257 4	0.157 4	0.077 0	0.018 2	p_8

表5是按照各地区归属评价指标离散点情况来评价的,将各个离散点对照表4可换算出其对应的数值,再将数值按照表1可以换算成各个地区的风险程度,为了比较本文方法的有效性,同时将本文方法与模糊综合评价方法进行比较,结果见表6。

表6 西安地区水资源短缺风险程度

Tab.6 Water shortage risk of Xi'an area

方法	西安地区	城区	长安区	周至县	临潼区
本文方法	较高	高	较高	中等	较高
模糊综合评价法	较高	高	较高	中等	较高

由于评价本文选取的评价指标取值范围均在0到1之间,因此本文将离散成11个点,当然,离散的点的个数可以增多,离散后的结果见表4。

将表2中的数据代入式(5),得到评价指标风险率、脆弱性和可恢复性的 h 值分别为0.1125、0.0577、0.0479,将 h 值和表3、表4中的数据按照评价矩阵构造步骤即可构造出西安地区的评价矩阵 $R_{Xi'an}$ 。

式(12)和式(13)的计算可得指标权重 $W = (0.3363, 0.3281, 0.3356)$ 。

2.3 水资源短缺风险评价

根据西安地区水资源短缺风险评价矩阵 $R_{Xi'an}$ 和指标权重 W ,可得西安市水资源短缺风险综合评价为 $B = R_{Xi'an} \circ W = (0, 0, 0.0062, 0.1451, 0.1691, 0.0313, 0.2955, 0.2047, 0.1010, 0.0402, 0.0073)$ 。同理可计算出西安周边地区的综合评价,评价结果见表5。

2.4 结果分析

表4是对应离散点进行评价的,本文将水资源短缺风险划分为11个离散点,从表4可以看出,西安地区和长安区的评价结果均为 p_7 ,将其换算后风险程度均为“较高”,而西安地区对于离散点 p_6 、 p_7 和 p_8 的隶属度分别为0.031、0.296和0.205,说明西安地区风险结果应介于 p_7 和 p_8 之间;长安区对于等级 p_6 、 p_7 和 p_8 的隶属度分别为0.184、0.275和0.138,说明长安区实际等级应介于 p_6 和 p_8 之间,从而说明西安地区和长安区风险评价虽然对应于同一离散点和同一风险程度,而西安地区风险程度实际

更高,如果将离散点划分得更细,那么结果就会更明显。城区风险评价结果为 p_{11} , 换算后风险程度为“高”,说明城区水资源短缺形势严峻,这主要是由于城区人口密度大,工业及其它行业用水量大的。周至县水资源短缺风险评价结果为 p_6 , 换算后风险程度为“中等”,这和周至县的地理环境息息相关。临潼区评价结果为 p_8 , 换算后风险程度为“较高”,而西安地区和长安区的风险程度均为“较高”,由于西安地区和长安区评价结果均属于离散点 p_7 , 从而可知临潼区风险程度更高。从西安地区水资源短缺风险总体来看,越靠近城区,水资源短缺风险程度越高。从上面的分析可以得到西安地区水资源短缺风险从高到低依次是:城区、临潼区、西安地区、长安区、周至县。从表6的对照结果可以看出,本文提出的评价方法的评价结果与模糊综合评价方法的评价结果一致,从而证明了本文方法是有效的。

3 结 语

本文针对水资源短缺风险评价过程中历史样本点较少并且各个评价对象可能落在同一风险区间,导致风险程度难以区分的情况,提出基于信息扩散理论的水资源短缺风险模糊评价,将各个评价指标的风险程度划分成多个离散点,从而构造出基于离散点的评价矩阵,并与熵值权重法相结合,对水资源短缺进行评价,从而在历史样本点较少的情况下依然能够对水资源短缺进行评价,并且实现了对风险程度的更细致评价,丰富和改进了水资源短缺风险评价方法,且整个过程计算简单,思路清晰,评价结果客观。从而为水资源短缺风险评价提供了一种实际可行的方法。

参考文献:

- [1] 阮本清, 韩宇平, 王浩, 等. 水资源短缺的模糊综合评价[J]. 水利学报, 2005, 36(8): 906-912.
Ruan Benqing, Han Yuping, Wang Hao, et al. Fuzzy comprehensive assessment of water shortage risk[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(8): 906-912.
- [2] 罗军刚, 解建仓, 阮本清. 基于熵权的水资源短缺风险模糊综合评价模型及应用[J]. 水利学报, 2008, 39(9): 1092-1097.
Luo Jungang, Xie Jiancang, Ruan Benqing. Fuzzy comprehensive assessment model for water shortage risk based on entropy weight [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(9): 1092-1097.
- [3] Ghosh S, Mujumdar P P. Risk minimization in water quali-

ty control problems of a river system [J]. Advances in Water Resources, 2006, 29(3): 458-470.

- [4] Bagel M S, Das G A, Nayak D K. A model for optimal allocation of water to competing demands [J]. Water Resources Management, 2005, 19(6): 693-712.
- [5] 方燕, 党志良. 基于层次分析法的渭河流域水环境质量综合评价[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(3): 45-48.
Fang Yan, Dang Zhiliang. Weihe river water environment quality assessment based on AHP [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2005, 16(3): 45-48.
- [6] 程理民, 吴江, 张玉林. 运筹学模型与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [7] 黄崇福, 王家鼎. 模糊信息优化处理技术及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.
- [8] Liu Zhengrong, Huang Chongfu. Information distribution method relevant in fuzzy information analysis [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1990, 36(1): 67-76.
- [9] 黄崇福, 刘新立, 周国贤, 等. 以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(2): 1-7.
Huang Chongfu, Liu Xinli, Zhou Guoxian, et al. Agricultural natural disaster risk assessment method according to the historic disaster data [J]. Journal of Natural Disasters, 1998, 7(2): 1-7.
- [10] 雷晓云, 何春梅. 基于信息扩散理论的洪水风险评估模型的研究及应用[J]. 水文, 2004, 24(4): 5-8.
Lei Xiaoyun, He Chunmei. Study and application of evaluation model of flood risk based on information diffusion theory [J]. Hydrology, 2004, 24(4): 5-8.
- [11] 杨旭, 李春晨. 基于信息扩散理论的火灾风险评估模型研究及其应用[J]. 工业安全与环保, 2010, 36(1): 41-43.
Yang Xu, Li Chunchen. Research and application of fire risk assessment model based on information diffusion theory [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2010, 36(1): 41-43.
- [12] 杨炳儒, 宋泽峰, 候伟, 等. 基于信息扩散原理的关联规则自动评价方法研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(10): 2965-2968.
Yang Bingru, Song Zefeng, Hou Wei, et al. Research on auto-evaluation of association rules based on information spreading theorem [J]. Application Research of Computers, 2008, 25(10): 2965-2968.
- [13] 魏一鸣, 金菊良, 杨存建, 等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 235-236.