

基于 DEMATEL 与 ISM 集成方法的水上交通 系统脆性影响因素研究

陆梦

(上海海事大学 交通运输学院, 上海 201306)

摘要: 为完善水上应急系统管理体系, 建立水上交通系统脆性影响因素多层递阶结构模型. 首先从人、物、环境和管理等方面分析脆性影响因素, 然后结合解释结构模型(Interpretive Structure Modeling, ISM)法和决策试验和评价实验室(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)法融合的优势, 将复杂的因素关系转化为直观的、良好的层次结构关系. 通过水上交通系统脆性影响因素之间的内在运行机制和层次关系, 可找出水上交通系统脆性最直接和最根本的影响因素. 结果显示, 该方法能深入挖掘水上交通系统事故发生的关键因素和这些因素之间的相互影响及层次关系, 从而可为寻求水上交通系统事故发生的关键问题和改善水上交通环境提供方案.

关键词: 水上交通; 脆性因素; DEMATEL法; ISM法

中图分类号: U698; N945.1

文献标志码: A

Research on brittleness influencing factors of marine traffic system based on DEMATEL and ISM integrated method

LU Meng

(School of Transport & Communications, Shanghai Maritime Univ., Shanghai 201306, China)

Abstract: To improve the marine emergency management system, a multi-level recursive structural model of brittleness influencing factors in marine traffic system is established. First, the brittleness influencing factors are analyzed from the perspective of people, objects, environment and management. Then, by combining the integration advantage of Interpretive Structure Modeling (ISM) method and Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method, the complex relationship among all factors is transformed into an intuitive and good hierarchical relationship. Through the internal operating mechanism and hierarchical relationship among brittleness influencing factors of marine traffic system, the most direct and most fundamental brittleness influencing factors of marine traffic system can be found. The research result shows that the method can deeply identify key factors resulting in accidents of marine traffic system and their interaction and hierarchical relationship, which can provide reference to seek key factors resulting in accidents of marine traffic system and to improve marine traffic environment.

Key words: marine traffic; brittleness factor; DEMATEL method; ISM method

收稿日期: 2013-07-16 修回日期: 2013-09-10

基金项目: 上海市基础研究重点项目(05JC14073); 上海海事大学博士创新能力培养专项资金(yc2012054)

作者简介: 陆梦(1982—), 女, 浙江余姚人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为交通运输系统规划, (E-mail) lu_meng@126.com

<http://www.smujournal.cn>

0 引言

随着世界经济的快速发展,水上运输、旅游事业日益繁荣,水上交通事故也时有发生。水上交通事故具有爆发的不确定性、事故的连锁性、时间的紧迫性、环境的特殊性、救援的艰难性、事态的严重性、影响的深远性等特性,因此,研究水上交通系统的脆性影响因素,有助于完善水上应急管理体系,减少水上突发事件以及人员伤亡,减少国家和企业的经济损失,促进社会的稳定团结和经济的持续发展。

近年来国内外学者运用结构分析法^[1-4]、系统科学法^[5]、管理与数学工具^[6-9]等对系统内部影响因素以及风险识别进行研究,但这些方法(工具)难以有效分析结构要素之间的内在影响机制的不足。比较众多分析方法发现,解释结构模型(Interpretative Structure Modeling, ISM)法和决策试验和评价实验室(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)法的有效结合不仅可以弥补上述不足,而且能满足研究水上交通系统应急能力结构要素的相关性、层次性、可操作性等要求。

本文在对水上交通系统脆性进行数学描述的基础上,从人、物、环境和管理等4个方面分析其脆性影响因素,吸取ISM法和DEMATEL法的优点,将复杂的因素关系转化为直观的具有良好层次结构关系的模型,即水上交通系统脆性影响因素多层递阶结构模型,探讨水上交通系统脆性构成要素之间相互影响的内在运行机制和层次关系,找出水上交通系统脆性最直接、最根本的影响因素。

1 水上交通系统脆性影响因素分析

1.1 水上交通系统脆性的数学描述

水上交通系统是一个具有开放性、复杂性、随机性、层次性、动态性、自适应性的复杂巨系统。在这个系统中,源自外界或系统内部的一个小的扰动,往往可能导致整个系统的崩溃,引起整个系统崩溃的那一部分要素即为脆性源。

脆性这一概念起源于对自然灾害的研究。^[10]近年来,国内外不同研究领域的学者对不确定环境中动态行为的研究越来越多,脆性思想已在无形中被屡屡提及和应用。脆性术语已经成为分析人地相互作用程度、机理与过程、区域可持续发展的一个非常基础性的科学知识体系。^[11]因此,水上应急系统脆性的数学描述可表示如下:

假设水上交通系统 S 由若干个子系统 S_i

($i=1, \dots, n$)组成,当 S_i 受到内、外因素的扰动或攻击而崩溃时,其他部分或子系统也随之崩溃,从而导致整个应急系统的崩溃。 S_i 的状态用 $c_i \in C \in R^m$ 表示。若存在一个子系统 S_f ,当其结构或状态变化到 $c_f \in F$ 时,有 $\lim_{t \rightarrow \infty} \delta_i(S) \rightarrow \infty$,则称系统 S 具有脆性, S_f 即为其脆性源。式中 F 为子系统 S_f 的崩溃域, $c_f \in F$ 表示子系统 S_f 崩溃, $\delta_i(S)$ 是整个系统 S 的一个性能指标。因此,寻找这样的脆性子系统并加以预防是提高应急系统可靠性的有效途径。

1.2 水上交通系统脆性影响因素分析

由于事故原因的复杂性和行动实施的艰巨性,需要用安全系统工程的方法分析水上交通事故发生的各种潜在危险因素。根据4M原则,可以将水上交通系统脆性的成因分为人、物、环境和管理等4个方面。

1.2.1 人的因素

有关统计显示,80%以上的海事事故与人的因素有关。在国际海事组织(IMO)的《海事调查员示范教程》第8部分“人的因素”中,也强调人的因素与事故有关。^[12]1993—2002年,在我国发生的海事事故中,存在人的因素的事故比例超过92%,其中1996年、1998年、1999年和2001年的比例均在96%左右,其他年份的比例也都不低于90%。从总体上看,事故和灾害给人类造成的损失并没有因为经验增多而明显下降,反而有上升趋势。^[13]

这里的“人”主要指船员和引航员等人员。人的因素主要包括人的自身内因和环境外因。人的自身内因主要包括心理、生理和行为因素。在心理因素方面,船员作为一个特殊的职业群体,特定的工作环境使他们要受到许多与常人不同的复杂因素的影响;在生理因素方面,艰苦的生活环境要求船员(特别是远洋船员)具有良好的身体素质,航海业的危险性和突发性要求船员具有较高的应急素质;在行为因素方面,船舶工业、航海技术的日新月异,对船员的知识技能提出更高的要求。其次在人的环境外因方面,当人在某种不良的客观环境(船舶交通量大、水面建筑、港湾形状的变化等)下进行船舶操纵和避让时,其失误概率会大大提高。^[14]

1.2.2 物的因素

物的因素也是水上交通事故的主要成因之一。物的因素分为船舶因素和货物因素两部分。

船舶因素主要指船龄、船舶尺寸、结构和操纵性、船舶的机械设备、航海资料以及消防、救生设备等。^[15]货物(尤其是危险品和特种货物)由于其特质

不同也会直接影响水上交通的安全. 一些货物可能易爆易燃、毒性剧烈或带有辐射, 装载时需要特别注意.

1.2.3 环境因素

环境因素主要包括自然条件因素、航道因素、社会条件因素等. 除不可抗力外, 它是事故发生的主要促成因素, 也可能成为扩大损失的主要因素.

自然因素是指气象、海象等自然现象, 如风、浪、流、雾、雨、雪、台风、沙暴、冰山等自然现象. 航道因素是指航道的水文、地理、环境等, 如航道的宽度、弯曲度、礁岩、浅滩等障碍物, 风、流、潮汐的变化及航标位置等影响船舶航行的因素. 社会条件因素主要是指船舶通航的密集程度、港口配套设施建设和信息系统建设. 不同水域的交通密度差异和季节的变换也会给船舶航行带来风险.

1.2.4 管理因素

管理因素主要是指船舶管理、船员管理、法规管理、安全目标管理、航行秩序管理、安全教育管理等方面的管理水平. 船公司管理水平的优劣直接影响到航行安全和航行效率. 当前国内船舶安全管理存在一定的问题, 例如船舶管理公司经常只收取管理费而不对船舶负责, 不能为船舶提供应有的安全管理服务和技术支持, 船舶严重脱离管理公司的体系, 容易发生事故.^[16] 因此, 强化管理水平对降低水上交通风险和增加航行质量有很大帮助.

2 集成 DEMATEL/ISM 的多级递阶结构模型构建

水上交通系统脆性影响因素复杂, 且这些影响因素之间相互关联、相互作用, 形成复杂的递阶因素链. 应用 ISM 法进行定性和定量分析, 可以从众多影响因素以及复杂的因素链中找出影响水上交通安全的各层次影响因素. ISM 属于概念模型, 最初由沃菲尔德教授开发, 应用十分广泛.^[17-18] 鉴于当系统影响因素较多时, 单独使用 ISM 法存在矩阵运算量大、运算效率低等问题, 周德群等^[19] 综合考虑 ISM 法和 DEMATEL 法, 运用集成 DEMATEL/ISM 法分析系统层次结构.

本文通过集成 DEMATEL/ISM 法构建水上交通系统脆性影响因素结构模型, 模型构建原理参见文献[18]. 该方法的使用在保证分析准确性的基础上能够更加简洁、系统地对水上交通系统脆性影响因素进行剖析.

步骤 1 确定系统的主要影响因素和不同因素间的直接影响程度, 得到系统直接影响矩阵 F ($F =$

$(f_{ij})_{n \times n}$, 其中 f_{ij} 表示因素 a_i 对 a_j 的直接影响程度, $f_{ij} = 0$ ($i = j$)).

步骤 2 规范化直接影响矩阵

$$G = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n f_{ij}} F \quad (1)$$

式中: $G = (g_{ij})_{n \times n}$, $f_{ij} \in [0, 1]$, 且 $\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n g_{ij} = 1$.

步骤 3 计算系统影响因素间的综合影响矩阵 T ($T = (t_{ij})_{n \times n}$), $T = F + F^2 + \dots + F^n$, 由于 $f_{ij} \in [0, 1]$, 当 $n \rightarrow \infty$ 时 $f^{n-1} \rightarrow 0$, 则有

$$T = F(E - F)^{-1} \quad (2)$$

E 为单位矩阵.

步骤 4 计算各因素的影响度 k_i 和被影响度 l_i .

$$k_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}, \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$l_i = \sum_{j=1}^n t_{ji}, \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

步骤 5 计算各因素的中心度 p_i 和原因度 q_i .

$$p_i = k_i + l_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$q_i = k_i - l_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

步骤 6 利用笛卡尔坐标系绘制原因-结果图, 通过分析各因素的重要性, 得到关键致因.

步骤 7 在以上计算的基础上, 计算系统整体影响矩阵 H ($H = (h_{ij})_{n \times n}$),

$$H = T + E \quad (7)$$

步骤 8 依据系统整体影响矩阵 H 确定可达矩阵 U ($U = (u_{ij})_{n \times n}$): 根据实际情况设定阈值 λ , 当 $u_{ij} \geq \lambda$ ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$) 时, 取 $u_{ij} = 1$; 当 $u_{ij} < \lambda$ ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$) 时, 取 $u_{ij} = 0$.

步骤 9 确定各因素的可达集合 R_i 以及前项集合 A_i .

步骤 10 验证下式是否成立. 若成立则说明其对应的因素 a_i 为底层因素, 并在矩阵 U 中划除 i 行和 i 列. $R_i = R_i \cap A_i$, $i = 1, \dots, n$.

步骤 11 重复步骤 9 和 10, 直到所有的因素均被划去.

步骤 12 按照因素被划去的顺序, 建立因素的层次结构.

3 算例应用

3.1 水上交通系统脆性影响因素层次结构

针对水上交通系统脆性特点, 提取 16 个影响因素 (a_1, \dots, a_{16}), 以 DEMATEL 法作为 ISM 法的优

化 构建水上交通系统脆性影响因素模型. 水上交通系统脆性影响因素框架见图 1.

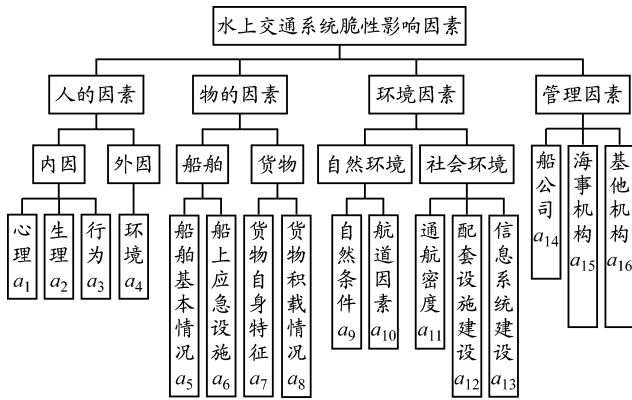


图 1 水上交通系统脆性影响因素框架

在调研水上交通系统相关部门人员和专家的基础上,对以上 16 个影响因素进行打分,得到直接影响矩阵 F 为

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
a_1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a_2	1	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
a_3	1	1	0	1	0	2	0	1	0	0	1	0	1	2	1	1
a_4	1	1	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
a_5	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
a_6	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
a_7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
a_8	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
a_9	1	2	3	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
a_{10}	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	1
a_{11}	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	2	1	0	1
a_{12}	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1
a_{13}	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1	1
a_{14}	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1
a_{15}	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1
a_{16}	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0

式中:0 表示两个要素之间没有直接影响关系;1 表示两个因素之间的关系较弱;2 表示两个因素之间的关系一般;3 表示两个因素之间的关系较强.

通过 DEMATEL 法求解 结果见表 1.

表 1 DEMATEL 法求解结果

影响因素	k_i	l_i	p_i	q_i
a_1	1.478 6	0.816 4	2.295 0	0.662 2
a_2	1.518 3	1.419 9	2.938 2	0.098 4
a_3	3.896 2	2.172 5	6.068 7	1.723 7
a_4	1.694 1	1.898 4	3.592 5	-0.204 3
a_5	1.067 3	2.128 1	3.195 4	-1.060 8
a_6	2.465 4	1.476 7	3.942 1	0.988 7
a_7	0.136 2	0.700 8	0.837 0	-0.564 6
a_8	0.946 3	1.209 0	2.155 3	-0.262 7

续表 1

影响因素	k_i	l_i	p_i	q_i
a_9	1.724 6	2.898 6	4.623 2	-1.174 0
a_{10}	0.171 3	1.343 7	1.515 0	-1.172 4
a_{11}	1.446 7	1.669 4	3.116 1	-0.222 7
a_{12}	1.118 5	1.726 4	2.844 9	-0.607 9
a_{13}	1.682 4	1.989 7	3.672 1	-0.307 3
a_{14}	3.104 3	2.124 9	5.229 2	0.979 4
a_{15}	1.670 0	1.628 2	3.298 2	0.041 8
a_{16}	2.283 9	1.201 2	3.485 1	1.082 7

取阈值 $\lambda = 0.1$ 根据式(9) 可计算得到可达矩阵 U 为

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
a_1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a_2	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
a_3	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1
a_4	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
a_5	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
a_6	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
a_7	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
a_8	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
a_9	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1
a_{10}	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
a_{11}	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1
a_{12}	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
a_{13}	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
a_{14}	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
a_{15}	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
a_{16}	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1

经计算分析可见,水上交通系统脆性影响因素具有多级递阶结构的特点.本模型可分为 4 个层次,各级影响因素集为:第 1 层次 $L_4 = \{a_1, a_3, a_6, a_{14}, a_{16}\}$;第 2 层次 $L_3 = \{a_2, a_7, a_8, a_{11}, a_{12}, a_{13}\}$;第 3 层次 $L_2 = \{a_9, a_{15}\}$;第 4 层次 $L_1 = \{a_4, a_5, a_{10}\}$.

3.2 水上交通系统脆性影响因素 DEMATEL/ISM 结构模型分析

通过以上分析,可以将水上交通系统脆性影响因素的多级递阶结构模型表示如图 2.

图 2 能够更加清晰、条理地描述各影响因素间的层次关系.从图 2 可见:在水上交通系统中,人的心理、人的行为、船上应急设施、船公司的管理和和其他机构的管理是导致系统脆性的直接影响因素,这些因素从根本上对水上交通事故的发生产生影响,可能成为水上交通系统崩溃的主要诱因.第 2 层因素(人的生理、货物自身特征、货物积载情况、通航密度、配套设施建设和信息系统建设)对第 1 层因素产生直接影响.同时,第 2 层因素、第 3 层因素(自然条件和海事机构的管理)和第 4 层因素(人

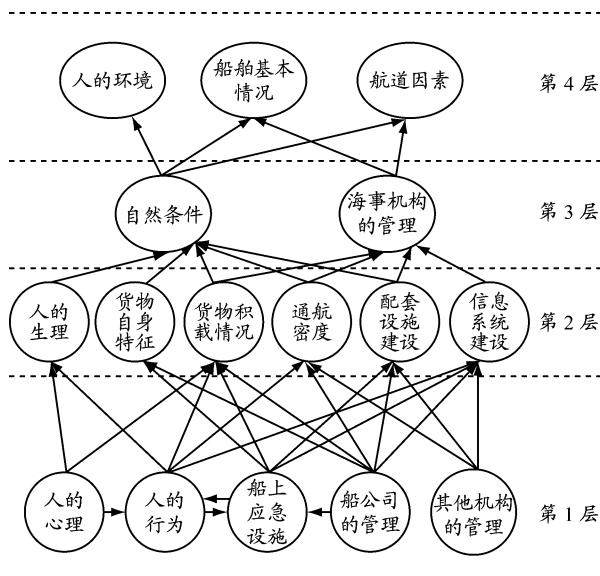


图2 水上交通系统脆性影响因素的多级递阶结构模型

的环境、船舶因素和航道因素)之间是相互影响、相互制约的,成为造成水上交通系统脆性的直接或间接影响因素。

4 结束语

将 DEMATEL 法与 ISM 法相结合对水上交通系统脆性影响因素进行分析,能够深入挖掘水上交通事故发生的关键因素和这些因素之间的相互影响、层次关系,找出避免水上交通事故发生的关键问题和改善水上交通环境的措施方案,从根本上降低水上交通系统脆性的崩溃系数。

参考文献:

- [1] CALABRESE A, COSTA R, MENICHINI T. Using fuzzy AHP to manage intellectual capital assets: an application to the ICT service industry [J]. *Expert Systems with Applications*, 2013, 40(9): 3747-3755.
- [2] LIAO Jianxin, WANG Jinzhu, LI Tonghong, et al. A token-bucket based notification traffic control mechanism for IMS presence service [J]. *Comput Communications*, 2011, 34(10): 1243-1257.
- [3] JASSBI J, MOHAMADNEJAD F, NASROLLAHZADEH H. A fuzzy DEMATEL framework for modeling cause and effect relationships of strategy map [J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(5): 5967-5973.
- [4] 何剑彤, 李振福, 李娜, 等. 我国海上战略通道安全影响因素的 ISM 分析 [J]. *上海海事大学学报*, 2012, 33(4): 64-69.
- [5] MEHREGAN M R, HOSSEINZADEH M, KAZEMI A. An application of soft system methodology [J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2012, 41: 426-433.
- [6] DOYTICHEV D E, SZWILLUS G. Combining task analysis and fault tree analysis for accident and incident analysis: a case study from Bulgaria [J]. *Accident Anal & Prevention*, 2009, 41(6): 1172-1179.
- [7] SHEN V R L, CHUNG Yu-Fang, CHEN Tzer-Shyong. A novel application of grey system theory to information security: Part I [J]. *Comput Standards & Interfaces*, 2009, 31(2): 277-281.
- [8] 张文青, 胡甚平, 刘琨, 等. 基于熵权的海上交通风险成因物元评价模型 [J]. *上海海事大学学报*, 2010, 31(2): 18-22.
- [9] 张欣欣, 轩少永, 席永涛, 等. 基于 HFACS 的海上交通事故原因系统分析 [J]. *上海海事大学学报*, 2012, 33(4): 15-19.
- [10] JANSSENA M A, SCHOON M L, KE W, et al. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change [J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 240-252.
- [11] 史培军, 王静爱, 陈婧, 等. 当代地理学之人地相互作用研究的趋向——全球变化人类行为计划 (IHDP) 第六届开放会议透视 [J]. *地理学报*, 2006, 61(2): 115-126.
- [12] 夏海波, 胡甚平. 海事中人为因素的调查与分析 [J]. *交通部上海船舶运输科学研究所学报*, 2004, 27(1): 61-64.
- [13] 王有权. *航海心理学* [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2007: 96-97.
- [14] 谢吉刚. 我国水上交通事故调查分析 [J]. *中国水运*, 2009, 9(11): 32-33.
- [15] 傅春燕. 水上突发事件演变模型研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.
- [16] 史秀伍, 祝剑. 天津水域水上交通事故统计分析和对策研究 [J]. *中国海事*, 2010(8): 50-52.
- [17] 曾诚, 解明曙, 梁文艳, 等. 解析结构模型在中水工艺优选系统模型中的应用 [J]. *水资源与水工程学报*, 2006, 17(3): 22-25.
- [18] 刘玫. 基于解释结构模型法的绿色供应链影响因素分析 [J]. *科技管理研究*, 2011(12): 192-194.
- [19] 周德群, 章玲. 集成 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次划分研究 [J]. *管理科学学报*, 2008, 11(2): 20-25.

(编辑 贾裙平)