

基于熵度量法的再生水 回用项目 ABS 融资风险评价

高旭阔, 贺明珠

(西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 再生水项目引入 ABS 融资可以有效解决其建设资金不足的问题, 但采用新方法的同时也面临着来自各方的风险. 在介绍了再生水项目 ABS 融资相关理论的基础上, 建立风险评价指标体系, 并引入熵度量法, 结合实例, 对再生水项目 ABS 融资的风险进行系统评价, 为项目参与主体提供一个科学的风险管理框架, 促进再生水行业的有效融资.

关键词: ABS 融资; 再生水项目; 熵度量法; 风险评价

中图分类号: TV 213.9; X 703

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2013)05-0738-06

水资源对于人均水平不足世界四分之一的中国而言显得弥足珍贵, 因水资源不足而产生的制约经济发展的现象在中国的很多城市比较普遍. 为缓解水资源紧张状况, 将城市污水处理后得到的再生水越来越受到人们的关注, 再生水回用项目在北京、天津等北方城市得到了一定程度的应用, 产生了良好的经济和社会效果. 与其他城市基础设施项目一样, 再生水回用项目具有公共项目的基本特质, 其建设周期长、投资额巨大的特点使项目的实施受到了较大的限制. 但资源节约型社会和生态文明建设的客观要求又使得加大再生水回用成为必然的趋势, “十二五”期间, 全国城镇污水处理及再利用设施的新增投资将达到 3 800 亿元. 如此巨大的投资仅凭政府很难满足要求, 为解决这一难题, 诸如 BOT、TOT 和 BT 等融资模式在包括再生水回用在内的城市水务项目中均有所采用. 再生水回用项目融资的途径中, 国际上广泛采用的 ABS (Asset Backed Securitization) 融资模式在国内尚未深入尝试, 尽管这种方式在中国已基本具备运行环境, 而且可以有效吸纳社会闲散资金, 拓宽融资渠道, 提高项目的建设运营效率, 但由于其风险的组成较为复杂, 对风险的评价尚不成熟, 限制了 ABS 融资模式在再生水回用项目中的应用. 本文以采用 ABS 融资模式的再生水回用项目为研究对象, 采用熵度量法对其融资风险进行评价, 以期为解决再生水回用项目的融资问题提供借鉴和参考.

1 再生水回用项目 ABS 融资过程及其风险组成

1.1 再生水回用项目 ABS 融资过程

再生水回用项目 ABS 融资, 是以新建(改扩建)再生水项目所拥有的资产为基础, 以该项目未来产生的收益(污水处理费、再生水水费)为保证, 通过在资本市场发行债券筹集资金的一种融资方式. 在再生水项目中, 通常是由政府部门管理的水务公司发起, 并以股东身份组建再生水项目公司, 即为原始权益人; 再由水务公司联合某相关经验丰富的信托公司组建再生水项目融资特设机构 (SPV); 受托管理人是项目公司与投资者的中介, 通常由银行担任, 负责对项目未来收入进行管理, 是为确保投资者的利益而设置的; 除以上参与方外, ABS 融资还包括证券发行商、信用增级机构和信用评级机构. 各参与方的关系如图 1 所示.

收稿日期: 2013-02-04 修改稿日期: 2013-09-17

基金项目: 陕西省科技厅软科学研究资助项目 (2011KRM87); 陕西省教育厅重点研究基地项目 (08JW18、09JZ008)

作者简介: 高旭阔 (1973-), 男, 陕西西安人, 博士, 副教授, 主要从事资源与环境经济分析、环境管理和经济评价方面的教学科研工作.

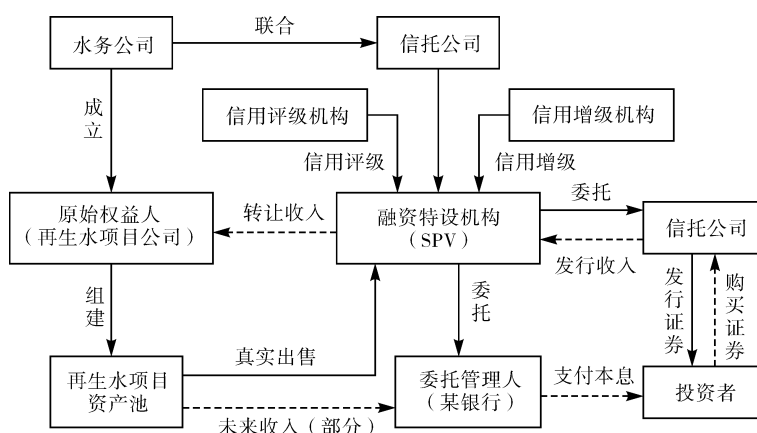


图1 ABS融资过程各参与方关系

Fig. 1 Partners' relationship in process of ABS financing

1.2 再生水回用项目 ABS 融资风险组成

再生水回用项目 ABS 融资风险既包括资产证券化运作风险,也包括其他一般项目所具有的风险,更有再生水特有的风险,可以简单的概括五大方面:政治法律风险、金融风险、证券化运作风险、建设风险、运营风险。这几方面的风险既相互独立、又相互联系,有些风险甚至贯穿项目融资建设始终。政治法律风险中主要面临的是政策法律制度相对不完善风险,特别是美国金融危机以来,人们对资产证券化提出质疑,导致其发展缓慢。金融风险贯穿项目始终,主要是由利率波动、外汇变化引起的;在对项目现金流进行敏感性分析的时候,它对利率变化反应很敏感,一个较小的利率波动引起的成本增加可能要一个较大的收益增长才能弥补,所以,要对利率波动作出合理的估计。证券化运作风险主要指证券运作发行过程中面临的风险,主要体现为交易结构、交易管理是否合理可行方面的风险,它们的选择关系到资产证券化运作的成败。在对北京、天津、秦皇岛等一些北方地区再生水项目建设运营的调研中,项目的投资方及相关专家普遍认为再生水水质风险、配套管网不完善风险和进口设备风险是制约再生水项目顺利开展的瓶颈。

2 熵度量法原理

2.1 熵的概念

熵的发展主要经历了热力学熵、统计熵、信息熵三个阶段。热力学熵最早是 1864 年由克劳修斯提出的,反应了热的传导具有方向性和不可逆性,用数学公式表达为: $dS = dQ/T$,表明熵的变化与物质吸热量成正比,等于单位热力学温度吸热量。1872 年玻尔兹曼提出了“统计熵”的概念,从分子运动的角度对热力学熵进行了补充,此时的熵被定义为: $S = K \ln P$,表明在大量粒子构成的系统中,熵函数与描述微粒子不确定性无序混乱状态的热力学概率 P 的对数成正比,系统越乱,熵越大,系统越稳定有序,熵越小。信息熵是 1948 年由 Shannon 提出的,也称 Shannon 熵,是用信息(消除不确定性的东西)来消除系统的不稳定性,信息量越大,系统越有序,熵越小;反之,系统越无序,信息熵用公式表示为: $H = -C \sum p_i \ln p_i$ 。

2.2 熵权理论

熵作为对不确定事物的度量,可以用来度量风险。为了确定各风险因素的重要程度,引入信息熵理论,用其来确定各评价指标所占权重,即为权重法,它反应了各指标间的相对竞争激烈程度。设有 m 个评价指标和 n 个可选对象,按照定性定量相结合的方法确定风险评价矩阵 X ,然后对 X 进行标准化处理,转换为等价矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$,其中:

$$r_{ij} = (x_{ij} - \min x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}) \quad (1)$$

式中: $0 < r_{ij} < 1$, r_{ij} 表示第 j 个评价对象在评价指标 i 上的评价价值。

熵权理论的核心是熵权的计算,第 i 个评价指标的熵为:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式中: $k = 1/\ln n$, $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}$, 当 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$.

评价指标 i 的熵权计算如下式:

$$\omega_i = (1 - H_i) / (m - \sum_{i=1}^m H_i) \quad (3)$$

式中: $0 \leq \omega_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$.

2.3 熵度量法对再生水回用项目 ABS 融资风险评价的步骤

(1) 建立风险评价指标体系. 根据 1.2 节中阐述的再生水回用项目 ABS 融资风险组成的内容, 并实地走访证券公司运作和再生水项目建设的状况, 归纳总结, 建立一个二级三层的风险评价指标体系如图 2 所示, 以为再生水项目 ABS 融资提供一定的帮助.

(2) 确定评语集. 风险因素一般用高低来评论, 所以将再生水项目 ABS 融资的风险划分为五个等级, 确定风险评价指标评语集 $V_i = \{\text{风险很低, 风险较低, 风险一般, 风险较高, 风险很高}\}$, 分别用 1, 2, 3, 4, 5 表示.

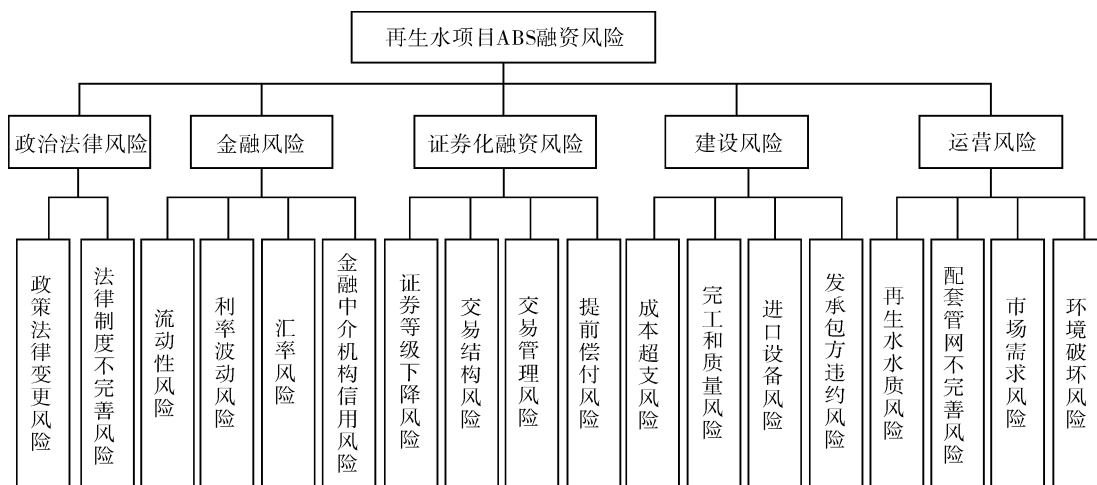


图2 再生水项目 ABS 融资风险评价指标体系

Fig. 2 Risk evaluation index system of ABS financing in reclaimed water reuse project

(3) 建立评价矩阵. 对于某一个风险因素, 可用它下级所包含子风险因素来确定它的单风险因素评价结果, 用矩阵 X 表示.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \text{根据公式(1) 对其进行标准化处理, 即得到所求矩阵 } R.$$

(4) 确定熵值 H 和熵权 ω . 根据公式(2) 和公式(3) 计算各评价指标的熵值和熵权.

(5) 风险评估. 将各指标的熵权进行归一, 得 $\lambda_i = \omega_i / \sum_{i=1}^m \omega_i$, 则风险评价值为:

$$R = \sum_{i=1}^m \lambda_i H_i = \sum_{i=1}^m (\omega_i / \sum_{i=1}^m \omega_i) \times H_i \quad (4)$$

(6) 风险水平定级. 确定了再生水项目 ABS 融资的主要风险和风险值后, 要对其风险水平进行定级, 并根据风险水平采取相应措施. 国际上通用的风险接受准则是 ALARP 准则, 依据准则判断风险是

否可以接受,进而确定其所属风险级别,最后作出在保障项目正常融资建设运营的情况下,将各类风险降到最低的决策.再生水项目 ABS 融资风险级别及决策准则如表 1.

表 1 再生水项目 ABS 融资风险级别及决策准则
Tab.1 Risk level & decision standards of ABS financing in reclaimed water reuse project

| 风险级别 | 风险大小 | 风险大小标准值 | 风险决策准则 |
|---------|-------|-----------|--------------------|
| 1(风险很低) | 1~4 | 0~0.16 | 可接受且不必进行管理审视 |
| 2(风险较低) | 5~8 | 0.16~0.32 | 可接受,进行管理审视 |
| 3(风险一般) | 9~12 | 0.32~0.48 | 不希望发生,高层管理决策是否接受风险 |
| 4(风险较高) | 13~16 | 0.48~0.64 | 不可接受 |
| 5(风险很高) | 17~25 | 0.64~1.00 | 被拒绝 |

3 熵度量法在再生水回用项目 ABS 融资风险评价中的应用

3.1 项目概况

某市一座污水处理厂一期工程设计规模为 16 万 t/d,已于 1993 年投产使用,由于服务区域目前排水量已达到约 30 万 t/d,且附近有热电厂、钢铁厂等用水量较大企业,为缓解污水处理和用水压力,该市政府决定建设二期工程再生水项目,设计污水处理规模为 20 万 t/d,并以污水二级出水为原水,实现再生水日产 15 万 t 的规模.

该项目总投资估算 46 959 万元,中央补助资金 14 000 万元,其余资金政府自筹,该政府拟采用 ABS 模式进行融资.由代表政府的水务公司与信托公司、银行等中介机构合作,以二期工程资产为基础,以二期工程未来收益为保障,发行债券筹集资金,将筹集到的资金用于再生水项目的建设.现对该融资过程中所面临的风险进行分析评价.

3.2 建立评价矩阵,计算因素风险值

邀请 10 位不同行业的专家(水务公司经理人、评估师、证券商和相关理论学者)对图 2 中所述风险进行打分,建立相应指标的判断矩阵 X ,并进行标准化处理后得矩阵 R .评语集为 $V = \{\text{风险很低,风险较低,风险一般,风险较高,风险很高}\}$,分别用数字 1,2,3,4,5 表示,针对各风险因素专家的打分值如下,并进行风险值的计算.

(1) 政治法律风险值计算

$$X_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由式(2)、(3)、(4) 分别计算出熵值、熵权和风险值: $H_1 = (0,0.477), \omega_1 = (0.657,0.343), R_1 = 0.164$.

(2) 金融风险计算

$$X_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 3 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 3 & 1 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}, R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 1/2 & 1 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由公式(2)、(3)、(5) 计算得,熵值、熵权和风险值分别为 $H_2 = (0,0.451,0.301,0.865), \omega_2 = (0.419,0.230,0.293,0.057), R_2 = 0.241$.

(3) 证券化融资风险计算

$$X_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 2 & 2 & 4 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 \\ 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 4 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

计算得: $H_3 = (0.477,0.451,0.276,0.301), \omega_3 = (0.210,0.220,0.290,0.280), R_3 = 0.364$.

(4) 建设风险计算

$$X_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 3 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 4 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 5 & 2 & 3 & 1 & 1 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 0 & 0 & 1/2 & 1/2 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1/3 & 0 & 0 & 1/3 & 1/3 & 2/3 & 0 \\ 1/4 & 0 & 1/4 & 1 & 1/4 & 1/2 & 0 & 0 & 1/2 & 3/4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

计算得: $H_4 = (0.578, 0.865, 0.784, 0.301)$, $\omega_4 = (0.287, 0.092, 0.147, 0.475)$, $R_4 = 0.504$.

(5) 运营风险计算

$$X_5 = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 1 & 2 & 1 & 3 & 1 & 1 & 2 & 1 \\ 3 & 3 & 5 & 2 & 2 & 3 & 2 & 4 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 3 & 2 & 1 & 3 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 3 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 1/2 & 1 & 0 & 1/2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 0 & 0 & 1/3 & 0 & 2/3 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 0 & 1 & 1/2 & 0 & 1 & 1/2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

计算得: $H_5 = (0.608, 0.648, 0.753, 0.451)$, $\omega_5 = (0.255, 0.229, 0.160, 0.356)$, $R_5 = 0.584$.

由上述计算可得, $R = (0.164, 0.241, 0.364, 0.504, 0.584)$, $\omega = (0.266, 0.241, 0.202, 0.158, 0.132)$, 从而得总风险值为 $R_{\text{总}} = 0.332$.

3.3 再生水回用项目 ABS 融资风险评价

从信息熵角度考虑,熵权代表了各指标所含信息量的多少,熵权越大,所包含的信息越多,专家对此指标的把握程度越大,不确定性越小,反之,不确定性越大.上述各风险因素中,运营风险的熵最大,熵权最小,说明专家对此风险的把握程度最小,不确定性最大;政治法律风险所提供的信息量大,熵权最大,因此专家对此风险的把握程度最大.

由于 $0.32 < R_{\text{总}} = 0.332 < 0.48$, 根据表1知,该项目采用此种融资方式的风险级别为3级,即风险一般,不希望这些风险发生,高层管理者具有绝对的决策权,决定如何规避这些风险或者采取拒绝风险的方式,拒绝风险的同时也就拒绝了将ABS融资用于再生水回用项目中.所以,这些风险也就成了再生水项目采用ABS融资的制约因素,因此对这些风险全面识别和评价显得很重要.

4 结 语

将ABS融资用于再生水回用对解决项目资金短缺具有重要的现实意义,但这种尝试尚未深入,没有成熟的理论实践经验作指导,因而面临着诸多方面的考验.其中风险因素的判别与评价便是ABS融资方式在再生水项目中实施的一个重要影响因素,对它的准确把握直接关系到项目能否顺利融资及建设完工后能否顺利运营等问题.本文为决策者提供了一种较客观的风险评价方法—熵度量法,它可以消除部分主观因素的影响,有效的反映各种风险因素对项目的综合效应,是一种值得推广的方法.结合实例,利用熵度量法对再生水项目ABS融资过程中的风险进行了评价,确定了项目的风险级别.评价的过程表明这种方法简便可行,同时评价结果也可以作为参考依据,为决策者提供一定的帮助.

参考文献 References

[1] 胡永宏,贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京:科技出版社,2000.

HU Yong-hong, HE Si-hui. Method of comprehensive assessment[M]. Beijing: Science Press, 2000.

- [2] 章 穗,张 梅,迟国泰. 基于熵权法的科学技术评价模型及其实证研究[J]. 管理学报,2010,7(1):34-42.
ZHANG Hui, ZHANG Mei, CHI Guo-tai. The science and technology evaluation model based on entropy weight and empirical during the 10th five-year of China[J]. Chinese Journal of Management, 2010,7(1):34-42.
- [3] 王爱领,孙少楠. 基于熵度量法的代建制项目风险评价研究[J]. 中国管理信息化,2009,12(9):108-111.
WANG Ai-ling, SUN Shao-nan. The research of risk evaluation of agent construction project based on entropy weight[J]. Chinese Management Informationization, 2009,12(9):108-111.
- [4] 林 挺,常 杪. 污水处理厂 BOT 项目风险识别、分配与变化分析[J]. 中国给水排水,2006,22(18):72-76.
LIN Ting, CHANG Miao. Analysis on risk identification, allocation and change in bot projects of wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2006,22(18):72-76.
- [5] 高 幸,韩佩宏. 改进层次分析法在 ABS 高速公路风险评估中的应用[J]. 公路工程,2007,32(5):64-69.
GAO Xing, HAN Pei-hong. Application of improved ahp method in risk assessment of abs highway[J]. Highway Engineering, 2007,32(5):64-69.
- [6] 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 Jun-gang, XIE Jian-cang, RUAN Ben-qing. Fuzzy comprehensive assessment model for water shortage risk based on entropy weight[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008,39(9):1092-1097.
- [7] 张 薇. ABS 项目融资风险管理[D]. 北京:北京化工大学,2008.
ZHANG Wei. Risk management of abs project financing[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2008.
- [8] CHEN Wei, HAO Xiao-hong. An optimal combination weights method considering both subjective and objective weight information in power quality evaluation [J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2011,87(2):97-105.
- [9] BERTOLINI M, BRAGLIA M, CARMIGNANI G. Application of the ahp methodology in making a proposal for public work contract [J]. International Journal of Project Management, 2006,24(5):422-430.
- [10] YE J. Multicriteria fuzzy decision making method using entropy weights based correlation coefficients of interval valued intuitionistic fuzzy sets [J]. Applied Mathematical Modelling, 2010,34(12):3864-3870.
- [11] WANG T H, LEE H D. Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights [J]. Expert Systems with Application, 2009,36(5):8980-8985.
- [12] DZAALI S, ZOLAIT A. Assessment of information security maturity: an exploration study of Malaysian public service organization[J]. Journal of Systems and Information Technology, 2012,14(1):23-57.

Risk evaluation of ABS financing in reclaimed water reuse project on the basis of entropy measurement method

GAO Xu-kuo, HE Ming-zhu

(School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The reclaimed water reuse project using ABS financing helps solve the problem of shortage construction funds effectively. However, adopting new methods is faced with various risks. Based on the introduction of related theory about ABS financing in reclaimed water reuse project, the paper establishes the risk evaluation index system and introduces entropy measurement method. It evaluates the risk for an engineering example. Moreover, is also provides a scientific risk management framework for project partners and realize the effective financing of reclaimed water industry.

Key words: ABS financing; water reuse project; entropy measurement; risk evaluation