

基于反向聚类法的水利工程造价风险因素研究

陈培然, 陈 钟, 陈江云

(江苏省洪泽湖水利工程管理处, 江苏 淮安 223100)

摘要: 水利工程项目造价风险关键因素的识别是对其潜在风险损失进行有效控制的前提。当前水利工程项目造价控制中存在诸多风险, 且风险对项目造价的影响程度不尽相同。为了更好地对水利工程项目造价风险进行有效控制, 通过问卷调查, 运用有向聚类法分析识别水利工程造价的各种风险因素, 归纳总结出了相对突出的风险因素。对这些风险因素的提炼, 有助于水利工程造价人员理解并规避造价的风险。

关键词: 造价风险; 水利工程; 关键风险; 聚类分析

中图分类号: [TV-9] **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 09-0062-07

Study on risk factors of water conservancy project cost based on reverse clustering method

CHEN Peiran, CHEN Zhong, CHEN Jiangyun

(The Hongze Lake Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Huai'an 223100, Jiangsu)

Abstract: The identification of key risk factors in water conservancy project cost is the premise of effective control of its potential risk loss. There are many risks in the cost control of water conservancy projects, and the risks have different Influence degree on project cost. In order to better control the risk of water conservancy project cost effectively, through questionnaire survey, all risk factors of water conservancy project cost were analyzed and analyzed by using directional clustering method, and relatively prominent risk factors were summarized. The refinement of these risk factors would help the water conservancy project cost personnel understanding and avoiding the risk of construction cost.

Key words: cost risk; water conservancy project; key risk; cluster analysis

0 引言

水利工程建设是一项关系国计民生的基础性建设工程, 近些年得到了国家的高度重视和有关部门的大力支持, 显示出前所未有的大好形势。1994 年 9 月, 小浪底工程正式开工; 同年 12 月, 三峡工程作为世界最大水利枢纽工程正式破土动工; 2002 年, 世界最大的跨流域的调水工程项目——南水

北调工程开建; 2013 年白鹤滩水电站主体工程正式开工, 电站建成后, 将成为仅次于三峡水电站的中国第二大水电站。

水利部发布的《2015 年全国水利发展统计公报》显示, 2015 年全年在建江河治理工程 5730 处, 全年在建枢纽工程 296 座, 全国已建成各类水库 97988 座, 水库总库容 8581 亿 m^3 。全年水利工程

收稿日期: 2017-05-22

作者简介: 陈培然 (1992-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向为水利工程管理。

总供水量 6103 亿 m^3 。截至 2015 年年底,全国已建成各类装机流量 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 或装机功率 50 kW 以上的泵站 91795 处。2015 年末全国水电装机容量 31937 万 kW,此外,全年发电量 11143 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。水利工程建设不断发展,不仅有效缓解了传统火力发电方式带来的污染问题,也积极发挥我国水运综合功能,带动水利风景区旅游开发。水利工程建设突飞猛进发展也凸显了当前建设过程中存在一些问题,即水利工程建设过程呈现出投资规模大、建设工期长、社会影响面大等特点,造价管理面临复杂多变的环境和各种各样的不确定因素。因此,研究水利工程的造价风险具有理论和实践意义^[1]。

1 工程造价风险研究综述

目前,国内外许多专家对工程建设项目造价风险做了相关的研究,成果丰富。Kim 等^[2]结合贝叶斯推理和贝叶斯模型平均技术提出了一种概率成本预测方法和框架,通过自适应组合的内部视图和外部视图预测的项目造价成本与风险。Dikmen 等^[3]运用蒙特卡罗模拟确定的风险因素,开发 Web 工具在决策者建设项目规划阶段估计各种风险发生情况及持续时间,编制风险管理计划。孙海虹等^[4]运用蒙特卡罗模拟及水晶球软件,分析具体工程项目造价的风险水平,提出规避造价风险的措施和方法。谢赤等^[5]综合运用各种定性与定量分析技术辨识、量化大型水电工程项目工程造价风险因素,旨在降低风险损失、提供有效的决策信息。朱文喜等^[6]建立了基于群体专家综合集成赋权的高速公路工程造价风险模糊可拓综合评价模型。孔令祯等^[7]利用 WBS-RBS 及集对分析方及工程项目造价风险评估模型,并利用改进 SPA-IAHP 评价各个风险评价指标的风险等级。

综上所述,国内外学者都运用各种分析方法,分析了工程项目造价存在的问题,提出了许多风险因素。但对水利工程风险因素进行识别和聚类研究较少。水利工程项目作为关系民生和生态环境发展的重要基础建设工程,在我国社会发展进程中发挥着重要作用。为了使造价人员在水利工程造价工作中更具科学性,就需要重点识别和关注水利项目造价工作中影响较大的风险因素。为此,本文在对识别多种风险因素的基础上,借

助调查问卷,利用聚类分析方法,对水利工程造价风险因素的重要性进行分类。

2 样本数据与研究模型

2.1 样本数据

本文通过问卷调查的方式获得分析数据,为了使所设计问卷的内容更加全面,结构更加合理,并具有较高的可信度,问卷调查之前,整理并归纳了大量水利工程造价风险的研究成果,并归纳总结其中典型的造价风险因素。以此为基础,问卷从 9 个维度分别讨论了水利工程造价风险,包括:政治风险、经济风险、技术风险、自然风险、管理风险、人为风险、设计风险、市场风险、变更风险。再对每一风险维度的指标进行具体化处理,处理后的最终结果包含 32 个子因素,如政策风险可划分为:价格政策、税费政策、土地政策、费率政策。研究运用 5 分制 Liketer 量表评价不同因素水利工程造价风险的影响程度,1~5 分分别表示“最不重要”至“最重要”。

样本的选取主要遵循两个原则:一是被调查单位业务必须包含水利工程建设;二是调查对象涉及各个层面的员工,这有利于从整体上理解水利工程造价过程中的各种因素。问卷来源途径主要有:①调查对象为水利单位工作人员,长期开展水利工作,能够直接接触到大量水利工程造价的人员;②在水利工程项目工作会议期间,邀请与会专家填写调查问卷。最后借助 SPSS 软件对问卷的调查内容进行统计分析。

2.2 描述性统计

本次关于水利工程造价风险的调查总共发出问卷 200 份,收回问卷 174 份,最后整理筛选出有效问卷共计 140 份,主要内容如下:

(1)调查对象任职所在单位情况。被调查人员中 20 人任职于江苏省水利厅,45 位任职于洪泽湖水利管理处,45 位在水利工程建设施工单位工作,另有 30 位为水利行业或河海大学专家学者。调查对象几乎涵盖了水利工程建设过程中涉及的不同性质的单位,调查对象的选择具有一定科学性和合理性。

(2)调查对象的业务掌握情况。样本的选择没有局限水利工程造价人员,所以有效问卷中人员业务分布广,既有造价工程师、施工工程师、设

计工程师、监理工程师,也有政府审计单位人员。在对各自水利工程造价能力进行评价时,65人认为企业的水利工程造价能力强,认为非常强的33人,17人觉得一般,而25人选择水利工程造价能力弱。综上,被调查对象选择自己水利工程造价能力强及以上水平的占总数的70%以上。

同时,在问卷中关于水利工程造价风险调查中所作出的判断是基于何种依据时,84人是基于自身多年的水利工程建设工作经验做出的判断,56人则是综合自身在水利工程行业的工作经历和了解到的水利工程造价失败案例。因此,问卷调查所获得的关于水利工程造价风险的数据可信度较高,为研究提供了主要的数据支持。

(3)32个水利工程造价风险因素具体情况。本文涉及的风险因素对水利工程造价风险影响的总体情况,调查人员的意见不具有统一性,具体情况见表1。

表1 水利工程造价风险因素的总体情况

| Variable | N | Mean | StdDev | Minimum | Maximum |
|----------|-----|--------|--------|---------|---------|
| 政策风险 | 140 | 2.9375 | 0.7675 | 1.0 | 5.0 |
| 经济风险 | 140 | 1.7518 | 0.6419 | 1.0 | 5.0 |
| 自然风险 | 140 | 2.2785 | 0.8121 | 1.0 | 5.0 |
| 技术风险 | 140 | 3.3893 | 0.5145 | 1.0 | 5.0 |
| 市场风险 | 140 | 2.9571 | 0.6089 | 1.0 | 5.0 |
| 管理风险 | 140 | 3.3643 | 0.5374 | 1.0 | 5.0 |
| 设计风险 | 140 | 3.5732 | 0.4887 | 1.0 | 5.0 |
| 变更风险 | 140 | 3.4268 | 0.7190 | 1.0 | 5.0 |
| 人为风险 | 140 | 3.6464 | 0.5374 | 1.0 | 5.0 |

由表1可知,政治风险、自然风险、变更风险的标准差均大于0.7,比其他造价风险因素的标准差高。由此表明,对于这3个水利工程造价风险因素的评价存在较大差异,这主要是由于参与方的工作性质不同导致的差异。此外,所列出的风险因素中只有经济风险的平均值在2以下,可以看出其对于水利工程造价影响较小。

2.3 研究模型

反向聚类即对有序样本进行聚类研究时^[8],将样本数据按一定顺序进行排序分成若干类别,设 $\{a_{ij} \mid i=1, 2, \dots, r; j=1, 2, \dots, c\}$ 是 $R \times C$ 的双因素列表,其中 a_{ij} 为 Y_j 因素在 C_i 水平下的观测

频数,而且 $\sum_{i=1}^r a_{ij}=n_j, \sum_{j=1}^c a_{ij}=n_i, \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c a_{ij}=n$ 。

具体分析步骤如下:

(1) 计算因素 X 在水平 C_i 下的区间宽度的秩权及加权秩和。 X 表示有序的因素,该因素包含不同的水平, $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 。因素 Y 表示研究的对象。 $Y=(Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ 。用 $X'_i=(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$, $i=(1, 2, \dots, n)$ 表示有序因素 X 为 C_i 时,得到的 m 个因素出现的频数值,定义其位于一个特定的取值区间,将其称为秩区间。把第 i 个区间内的频数合计, $\sum_{j=1}^m a_{ij}=p$,叫做第 i 个区间的宽度,把在这个区间内所取得的值称为秩。用 $Y'_j=(Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{jm})$, $j=(1, 2, \dots, m)$,表示 Y_j 因素各水平的频数值。

第 i 个区间秩权重为:

$$R_i = i \sum_{j=1}^m a_{ij}, i=(1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$R=(R_1, R_2, \dots, R_n)$$

用 R_j 表示因素 Y_j 相对于有序因素 X 的加权秩和:

$$R_j=Y'_j R, j=(1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

(2) 对 Y 因素进行分类。①对 Y 因素进行聚类的原则是依据加权秩和平均值标准进行分类。将 $R_j=Y'_j R, j=(1, 2, \dots, m)$,看成一大类 G_1 ,计算 $\bar{R}=\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_j$,以 \bar{R}_j 为标准进行划分,以某一特定值作为判断聚类终止的终止临界点,将 G_1 分为 G_{11} 、 G_{12} 。在进行聚类分析时,需要结合实际,设定一个阈值 R^* ,加权秩和的权差值 (R_i-R_j) 小于 R^* 则

停止聚类。②将 G_{11} 列表下的聚类因素继续计算加权秩和的平均值, 根据平均值 \bar{R} 和阈值 R^* , 将 G_{11} 分为 G_{21} 、 G_{22} 等, 同理, 将 G_{12} 分为 G_{23} 、 G_{24} 等, 依次进行下去, 直至阈值临界点。

3 水利工程造价风险因素的实证分析

(1) 调查对象对各风险因素的评价
造价受风险因素影响的频数分布见表 2。通过表 2 可以计算出因素 Y 的每一个相对于有序因

素 X 的秩, 即秩效应为 $R_j=Y_j' R, j=(1, 2, \cdots, m)$, 将其排序, 见表 3。为分析方便对数据进行处理, 将秩效应值保留两位整数部。

由表 3 可知, 在水利工程造价过程中, 风险因素水平中设计图纸变更影响最大, 秩效应值为 46.03, 依次到风险因素水平中汇率风险影响最小, 秩效应值为 10.01。

(2) 聚类分析
将 G_1 分为 3 类: G_{11} 、 G_{12} 、 G_{13} 。 G_{11} 的秩效

表 2 造价受各风险因素影响的频数分布

| 因素 X | | | | | | 因素 X | | | | | | |
|----------|-----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|--|
| 因素 Y | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 因素 Y | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 价格政策 | 5 | 19 | 28 | 63 | 25 | 17 供需不足 | 34 | 42 | 38 | 24 | 2 | |
| 2 税收政策 | 4 | 23 | 74 | 32 | 7 | 18 管理者素质 | 4 | 12 | 31 | 69 | 24 | |
| 3 土地政策 | 12 | 21 | 68 | 26 | 13 | 19 组织协调能力 | 14 | 28 | 36 | 33 | 15 | |
| 4 费率政策 | 18 | 31 | 53 | 26 | 12 | 20 施工管理水平 | 9 | 27 | 56 | 33 | 15 | |
| 5 利率风险 | 104 | 16 | 12 | 8 | 0 | 21 质量管理水平 | 5 | 11 | 25 | 76 | 23 | |
| 6 融资风险 | 21 | 73 | 28 | 16 | 2 | 22 安全管理水平 | 11 | 36 | 45 | 34 | 14 | |
| 7 汇率风险 | 99 | 26 | 9 | 5 | 1 | 23 设计标准的把控 | 8 | 31 | 43 | 37 | 21 | |
| 8 关税风险 | 75 | 34 | 21 | 7 | 3 | 24 设计方案可行性 | 1 | 16 | 21 | 67 | 35 | |
| 9 地质风险 | 34 | 53 | 33 | 17 | 3 | 25 设计图纸规范性 | 6 | 5 | 22 | 43 | 64 | |
| 10 气候风险 | 19 | 83 | 23 | 13 | 2 | 26 设计图纸准确性 | 7 | 18 | 37 | 33 | 45 | |
| 11 技术水平 | 8 | 25 | 29 | 46 | 32 | 27 设计图纸变更 | 11 | 15 | 22 | 68 | 24 | |
| 12 技术方案 | 6 | 5 | 22 | 43 | 64 | 28 技术变更 | 12 | 23 | 37 | 45 | 23 | |
| 13 技术规范 | 24 | 28 | 34 | 31 | 23 | 29 材料变更 | 21 | 31 | 46 | 34 | 8 | |
| 14 技术可行性 | 13 | 19 | 26 | 47 | 35 | 30 设备变更 | 8 | 24 | 27 | 58 | 23 | |
| 15 通货膨胀 | 6 | 45 | 48 | 36 | 5 | 31 造价人员能力 | 10 | 11 | 31 | 48 | 40 | |
| 16 价格上涨 | 6 | 16 | 35 | 63 | 20 | 32 造价人员特质 | 5 | 19 | 28 | 63 | 25 | |

| 因素 X | | | | | |
|------|-------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 区间宽度 | 650 | 894 | 1105 | 1208 | 623 |
| 秩权 | 1-650 | 651-1544 | 1545-2649 | 2650-3857 | 3858-4480 |
| 平均秩次 | 325.5 | 1097.5 | 2097 | 3253.5 | 4169 |

表 3 排序后的秩效应

| 秩效应极差 | 秩效应极差 | 序号 | 因素水平 Y | 秩效应（ $R_i/10000$ ） | $R_i-\overline{R_{11}}$ |
|------------------------------------|-------------------|----|------------|--------------------|-------------------------|
| G_1 36.02 | G_{11} 18.99 | 1 | 7 汇率风险 | 10.01 | -21.36 |
| | | 2 | 5 利率风险 | 10.26 | -21.11 |
| | | 3 | 8 关税风险 | 14.10 | -17.27 |
| | | 4 | 10 气候风险 | 19.61 | -11.76 |
| | | 5 | 6 融资风险 | 20.61 | -10.76 |
| | | 6 | 9 地质风险 | 20.63 | -10.74 |
| | | 7 | 17 供需不足 | 22.33 | -9.04 |
| | | 8 | 1 价格政策 | 26.69 | -4.68 |
| | | 9 | 29 材料变更 | 28.13 | -3.24 |
| | | 10 | 4 费率政策 | 28.56 | -2.81 |
| | | 11 | 15 通货膨胀 | 29.00 | -2.37 |
| | G_{12} 1.35 | 12 | 22 安全管理水平 | 30.64 | -0.73 |
| | | 13 | 13 技术规范 | 30.66 | -0.71 |
| | | 14 | 3 土地政策 | 30.83 | -0.54 |
| | | 15 | 2 税收政策 | 31.50 | 0.13 |
| | | 16 | 20 施工管理水平 | 31.99 | 0.62 |
| | G_{13} 12.56 | 17 | 23 设计标准的把控 | 33.47 | 2.10 |
| | | 18 | 19 组织协调能力 | 33.90 | 2.53 |
| | | 19 | 28 技术变更 | 34.90 | 3.53 |
| | | 20 | 30 设备变更 | 37.02 | 5.65 |
| | | 21 | 11 技术水平 | 37.39 | 6.02 |
| | | 22 | 14 技术可行性 | 37.84 | 6.47 |
| | | 23 | 12 技术方案 | 38.02 | 6.65 |
| | | 24 | 16 价格上涨 | 38.13 | 6.76 |
| | | 25 | 25 设计图纸规范性 | 38.75 | 7.38 |
| | | 26 | 32 造价人员特质 | 39.04 | 7.67 |
| | | 27 | 26 设计图纸准确性 | 39.46 | 8.09 |
| | | 28 | 31 造价人员能力 | 40.33 | 8.96 |
| | | 29 | 18 管理者素质 | 40.40 | 9.03 |
| | | 30 | 21 质量管理水平 | 40.93 | 9.56 |
| | | 31 | 24 设计方案可行性 | 42.58 | 11.21 |
| | | 32 | 27 设计图纸变更 | 46.03 | 14.66 |
| 第一大类 G_1 的平均秩效应 $\overline{R_1}$ | | | | 31.37 | |

应极差为 18.99; G_{12} 的秩效应极差为 1.35; G_{13} 的秩效应极差为 12.56。如果取阈值为 11, 由于 G_{11} 、 G_{13} 的极差均大于阈值, 下一步将 G_{11} 、 G_{13} 进行再分类, 见表 4、表 5。

根据有向聚类分析, 将水利工程造价的风险

因素分为 5 类: 高风险、较高风险、一般风险、较低风险、低风险。按影响大小的程度排序, 见表 6。

4 实证分析结果

由于我们分析时是按“没有影响→影响最大”

表 4 对 G_{11} 风险因素的分类结果

| 秩效应极差 | 秩效应极差 | 序号 | 因素水平 Y | 秩效应 ($R_i/10000$) | $\overline{R_i - R_{11}}$ |
|--|-------------------|----|----------|---------------------|---------------------------|
| G_{11} 18.99 | G_{21} 10.62 | 1 | 7 汇率风险 | 10.01 | -10.89 |
| | | 2 | 5 利率风险 | 10.26 | -10.64 |
| | | 3 | 8 关税风险 | 14.10 | -6.80 |
| | | 4 | 10 气候风险 | 19.61 | -1.29 |
| | | 5 | 6 融资风险 | 20.61 | -0.29 |
| | | 6 | 9 地质风险 | 20.63 | -0.27 |
| | G_{22} 6.67 | 7 | 17 供需不足 | 22.33 | 1.43 |
| | | 8 | 1 价格政策 | 26.69 | 5.79 |
| | | 9 | 29 材料变更 | 28.13 | 7.23 |
| | | 10 | 4 费率政策 | 28.56 | 7.66 |
| | | 11 | 15 通货膨胀 | 29.00 | 8.10 |
| 第二大类 G_{11} 的平均秩效应 $\overline{R_{11}}$ | | | | 20.90 | |

表 5 对 G_{13} 的分类结果

| 秩效应极差 | 秩效应极差 | 序号 | 因素水平 Y | 秩效应（ $R_i/10000$ ） | $R_i-\overline{R_{13}}$ |
|--|------------------|----|------------|--------------------|-------------------------|
| G_{13} | G_{23} 4.65 | 1 | 23 设计标准的把控 | 33.47 | -5.17 |
| | | 2 | 19 组织协调能力 | 33.90 | -4.74 |
| | | 3 | 28 技术变更 | 34.90 | -3.74 |
| | | 4 | 30 设备变更 | 37.02 | -1.62 |
| | | 5 | 11 技术水平 | 37.39 | -1.25 |
| | | 6 | 14 技术可行性 | 37.84 | -0.80 |
| | | 7 | 12 技术方案 | 38.02 | -0.62 |
| | | 8 | 16 价格上涨 | 38.13 | -0.51 |
| | G_{24} 7.28 | 9 | 25 设计图纸规范性 | 38.75 | 0.11 |
| | | 10 | 32 造价人员特质 | 39.04 | 0.40 |
| | | 11 | 26 设计图纸准确性 | 39.46 | 0.82 |
| | | 12 | 31 造价人员能力 | 40.33 | 1.69 |
| | | 13 | 18 管理者素质 | 40.40 | 1.76 |
| | | 14 | 21 质量管理水平 | 40.93 | 2.29 |
| | | 15 | 24 设计方案可行性 | 42.58 | 3.94 |
| | | 16 | 27 设计图纸变更 | 46.03 | 7.39 |
| 第二大类 G_{13} 的平均秩效应 $\overline{R_{13}}$ | | | | 38.64 | |

表 6 风险因素聚类分析结果

| | 高风险 | 较高风险 | 一般风险 | 较低风险 | 低风险 |
|-------|---|---|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 风险因素 | [18]、[21]、[24]、 [25]、[26]、[27]、 [31]、[32] | [11]、[12]、[14]、 [16]、[19]、[23]、 [28]、[30] | [2]、[3]、[13]、 [20]、[22] | [1]、[4]、[15]、 [17]、[29] | [2]、[5]、[6]、[8]、 [9]、[10] |
| 平均秩效应 | 40.94 | 36.33 | 31.13 | 26.94 | 15.87 |
| 秩效应极差 | 7.28 | 4.65 | 1.35 | 6.67 | 10.62 |

顺序排列,即秩效应值越大,表明因素水平对水利工程造价的影响越大。

通过以上计算我们可以得到结论:

(1)第1类与第2类所包含的水利工程造价影响程度明显高于平均水平,而且影响程度较高。说明水利工程设计阶段的方案详细程度、技术可行性与造价管理人员的素质对于水利工程造价的影响最大。

(2)第3类包括安全管理水平、技术规范、土地政策、税收政策、施工管理水平,这类可以概括为施工管理水平与政策风险,这对水利工程造价的影响与平均水平没有显著差异。

(3)第4类与第5类包含的水利工程造价影响因素均低于平均水平。第四类包括供需不足、通货膨胀、价格政策等因素,这类因素对于水利工程的造价具有一定影响。第5类包括汇率风险、利率风险、关税风险、气候风险、地质风险等,概括为两类:自然环境和经济环境,说明自然与经济环境对于水利工程造价影响较小。

5 结论

本文在近些年关于水利工程造价风险研究成果的基础上,归纳出影响水利工程造价的9类风险和32个风险子因素。然后通过问卷调查展开实证分析,综合运用有向聚类分析,将水利工程造价风险影响因素按重要程度分成5类。研究的结论对于指导水利工程项目应该从哪些方面控制工程造价风险具有一定的参考价值。但本文的研究也

存在一定的不足,例如,本文未详细分析水利工程建设各个阶段的造价风险,未针对特定的单位进行造价风险分析。以上问题希望在接下来的研究中得到解决,并为水利工程造价提供更大的实践指导意义。

参考文献:

- [1] 王利兵. 水利水电工程造价管理中存在的问题及解决对策分析[J]. 中国水运(下半月), 2013, (06):158+160.
- [2] Kim B C, Reinschmidt K F. Combination of project cost forecasts in earned value management[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2011, 137(11): 958-966.
- [3] Dikmen I, Birgonul M T, Tah J H M, et al. Web-based risk assessment tool using integrated duration-cost influence network model[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2012, 138(9): 1023-1034.
- [4] 孙海虹, 叶晓甦. 基于蒙特卡罗模拟技术的工程造价风险因素分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2005, (06):121-126.
- [5] 谢赤, 张娟, 孙柏. 大型水电工程造价风险评估及其关键因素识别[J]. 水力发电学报, 2010, (03):63-68+75.
- [6] 朱文喜, 袁江雅, 何欣, 等. 高速公路工程造价风险群体可拓评价模型[J]. 科技进步与对策, 2012, (18):91-94.
- [7] 孔令祯, 张云宁, 杨骏, 等. 基于集对分析法的工程项目造价风险评价[J]. 土木工程与管理学报, 2016, (01):90-96.
- [8] 田方军, 董静. 企业技术创新风险的聚类分析: 一项实证研究[J]. 科技进步与对策, 2007, 01:120-123.

(责任编辑: 王宏伟)