

基于保险理赔数据的水电企业风险评估研究

李晓英^{1,2}, 曾宇轩¹

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 水利工程实验教学中心, 江苏 南京 210098)

摘要:为解决水利工程风险评估中主观评分法存在的随机性和主观性强、评估结果不理想等问题,提出了一种基于保险理赔数据的改进评分方法。该方法通过对保险理赔数据的统计分析得到判断矩阵,并利用AHP法对风险指标排序。考虑到当前水电企业可用保险理赔数据较少,引入风险相对发生概率与风险损失区间的标度确定方法以提高风险评估的准确性。以某水电企业为例,验证了该方法的可行性和有效性。结果表明:不同风险因素的风险权重有明显差异,该水电企业后期可根据风险权重排序,分级制定风险防控措施,应加大在设备故障、暴雨、洪水等方面的风险防控投入,适当减缓在电压波动、绝缘击穿、过电压等方面的投入。该企业应依据保险理赔数据,实时更新风险权重,为风险防控决策提供实时参考意见。

关键词:水电企业; 保险理赔数据; 风险评估; 客观赋权; 统计分析; AHP; 水利工程

中图分类号:F426.9

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2021)01-0158-06

Risk assessment of a hydropower enterprise based on the settlement data of insurance claims

LI Xiaoying^{1,2}, ZENG Yuxuan¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. The Experimental Teaching Center of Water Conservancy Projects, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In the risk assessment of water conservancy projects, the application of subjective scoring method always result in unsatisfactory evaluation results due to the randomness and subjectivity of this method. In order to solve this problem, an improved scoring method based on the settlement data of insurance claims is proposed. The judgment matrix is obtained by statistical analysis of the settlement data, and analytic hierarchy process (AHP) method is used to sort the risk index. Considering that there are few insurance claims available in hydropower enterprises, the scale determination method of relative probability of risk occurrence and risk loss range is introduced to improve the accuracy of the risk assessment. The feasibility and effectiveness of the method are verified by the case study of a hydropower plant. The results show that there are obvious differences in risk weights of different risk factors, so hierarchical risk prevention and control measures should be formulated according to the risk weight ranking. It is suggested that this hydropower plant should increase the investment in the risk control of equipment failure, rain-storm, flood, etc., meanwhile reduce the investment in the risk control of voltage fluctuation, insulation breakdown and overvoltage, etc. To provide a reliable reference for the decision-making of risk prevention and control, the risk weights should be updated in real time according to the settlement data of insurance claims.

Key words: hydropower enterprise; settlement data of insurance claims; risk assessment; objective empowerment; statistical analysis; analytic hierarchy process (AHP); water conservancy project

收稿日期:2020-05-11; 修回日期:2020-10-28

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0400909)

作者简介:李晓英(1978-),女,江苏徐州人,博士,副教授,硕士生导师,研究方向:水资源系统规划与动能经济。

通讯作者:曾宇轩(1999-),男,重庆人,学士,研究方向:水库调度。

1 研究背景

安全是可持续发展的基础。水利工程作为涉及能源、环境、社会稳定等诸多方面的复杂系统工程,其投资大、不确定因素多,一旦出现安全事故将造成巨大的经济损失,甚至会对社会公共安全产生巨大的威胁^[1];同时,水利行业属于资金密集型产业,如何在建设和运营阶段进行有效地管理对水利事业的发展具有重要参考价值^[2]。虽然水利工程具有高风险性,但我国水电企业的经营者和管理者风险意识普遍不强,缺乏系统和明确的风险管理目标^[3]。因此,构建现代化水电企业风险管理体系具有重要的意义。

风险评估能够用具体的数值直观反映风险的大小,是构建系统风险管理体系的基础,相关方法被广泛应用于安全管理领域^[4-5]。风险指标的权重计算是风险评估的核心所在,其计算方法主要可分为主观赋权法和客观赋权法两类,在主观赋权法方面,现阶段已有不少相关研究,李创^[6]运用风险评估中传统的 AHP - 模糊综合评价法对纳米比亚欧曼德尔管道工程项目施工中的风险因素进行了综合评价,由于只考虑风险严重程度一个输入变量,其主观性和随机性较强;在此基础上,林倩^[7]利用风险矩阵综合考虑风险发生概率和后果严重程度两个输入变量来划分风险等级,并引入区间数削弱主观赋权的随机性,但其通过专家赋分选取区间数,仍有较强的主观性。近年来,部分学者将智能算法引入主观赋权,取得了较好的效果。江新等^[8]利用集对理论和云模型削弱传统 AHP (analytic hierarchy process) 法的模糊性和不确定性,建立基于 SPA (set pair analysis) - 云模型的工程运营风险评估模型,该模型能有效处理专家判断的同一性和差异性,减少主观误差;程江洲等^[9]结合贝叶斯网络和 Dirichlet 模型分解水力发电系统以提高主观赋权的精度,并在此基础上运用权威度赋权和模糊隶属函数进一步削弱主观赋权的随机性;此外,傅鹤林等^[10]引入语言评价价值来反映指标的重要程度,该方法能较好地反映系统的模糊性、不确定性和复杂性,进而削弱赋分的随机性。以上研究尝试多种方法削弱主观赋权法的主观性与随机性,取得了一定的成效,但水利工程风险复杂性高,专家难以给出确切评分,主观赋权的随机性大且很难规避。在客观赋权法方面,沈菊琴等^[11]采用熵权法计算指标权重以削弱主观性,形成基于熵权可拓物元模型的水利工程稳定风险评估方法;

卢丹等^[12]运用反熵权法对电网风险进行客观赋权,并运用博弈理论结合相关主观赋权结果综合两种赋权方法求解最终权重。但目前多数客观赋权法的基础数据仍源于专家评分或问卷调查,不能直接接触实际的客观数据。

由于传统风险评估中赋权的主观性和随机性强,且多为基于文字和经验意义上的风险描述,不能直接接触实际数据^[13-15],需寻找一种基于实际客观数据的评分法以代替主观评分。考虑到通过保险理赔数据能较精确地识别和定量风险^[16],同时近年来国内水电企业实现全国运营项目保险统一安排,保险的标准化、规范化情况较好^[17],且出险资料实时更新,具有实用价值,故其可以较好地被选作代替主观评分的客观数据。本研究以水电企业的保险理赔数据为切入点展开分析,提出了一种基于保险理赔数据的水电企业风险评估方法。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况与数据来源

本文研究对象为某水电企业,收集到的数据资料包括其运营的分布于新疆、湖南、云南、宁夏、四川、河南、江西 7 个省份的 24 座水电站 2016 - 2019 年的所有保险理赔数据,数据质量良好。

2.2 研究方法

2.2.1 风险因素指标体系构建 通过分析某水电企业的保险理赔数据并结合相关专著^[1],总结近年来水电企业存在的主要运营风险,按成因将其划分为如图 1 所示的 3 个类别和 14 个因素。

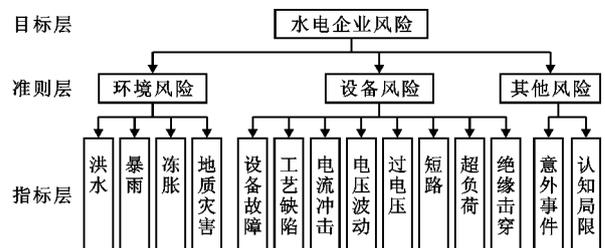


图 1 水电企业运营风险因素指标体系

2.2.2 风险损失区间及其标度 目前水电企业的保险理赔数据较少,难以精确定量风险损失,故通过区间数来提高风险损失估计的准确性。

(1) 准则层风险损失区间。假设索赔额序列 $\{X_k, k \geq 1\}$ 为独立同分布的非负随机变量序列,在该序列中随机抽取一样本 $\{x_k, k \geq 1\}$,令样本数量为 n ,均值为 \bar{x} ,标准差为 s ,则该样本的偏度系数 SK 和峰度系数 K 可表示为:

$$SK = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x - \bar{x}}{s} \right)^2 \quad (1)$$

$$K = \frac{n(n+1) \sum (x - \bar{x})^4 - 3 \left[\sum (x - \bar{x})^2 \right]^2 (n-1)}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \quad (2)$$

通过 \bar{x} 、 s 、 SK 、 K 等数据度量指标可估计风险损失分布的大体特征,从常用的理论概率分布中选择近似的概率分布模型,并运用矩估计法或极大似然估计法估计其分布参数,确定概率分布函数,再对拟合结果进行 P-P 图检验即可得到拟合效果最好的分布模型^[18]。

同一准则下可能包含多项指标,为全面体现各项指标避免遗漏,定义一种最优风险损失区间 (x^-, x^+) 。设损失处于该区间内的概率为 P ,则该区间需满足下列条件:

① $P \geq 95\%$

② $x^+ - x^- \leq \forall [x_n^+ - x_n^-]_{p \geq 95\%}$

($n = 1, 2, \dots, \infty$)

已知满足条件 ② 时,条件 ① 需取等式,即 $P = 95\%$,但条件 ② 较难满足。考虑到风险评估往往不要求十分精确的结果,可采用一种区间范围尽可能小的近似最优风险损失区间来代替最优风险损失区间。为找到近似最优风险损失区间,定义区间概率贡献率 g_m 来衡量各损失区间对概率的影响,设选取的区间为 (x_m^-, x_m^+) ,损失发生在该区间的概率为 p_m ,则 g_m 可表示为:

$$g_m = \frac{p_m}{x_m^+ - x_m^-} \quad (3)$$

将 (x_m^-, x_m^+) 与 p_m 按 g_m 降序排列,以其排序号 n 输出 (x_n^-, x_n^+) 、 p_n ,则发生概率为 95% 的风险损失区间可表示为:

$$P = \sum_{n=1}^k p_n = 95\% \quad (4)$$

此时, (x_1^-, x_1^+) 即为风险损失区间。

(2) 指标层风险损失区间。指标层通常涉及发生概率很低的风险,其出险数据资料少,不足以完成拟合。为保证指标层风险损失区间在构造上的一致性,采用百分位数求解指标层风险损失区间。

设某理赔数据样本的偏度系数为 SK ,第 1 四分位数为 Q_1 ,中位数为 Q_2 ,第 3 四分位数为 Q_3 ,则其风险损失区间可表示为:

$$\begin{cases} [Q_1, Q_2] & (SK < 0) \\ [Q_1, Q_3] & (SK = 0) \\ [Q_2, Q_3] & (SK > 0) \end{cases} \quad (5)$$

(3) 风险损失区间标度。标度计算需先对风险损失分级,本研究参考王丽萍等^[19]所提出的方法结合水利行业相关规范将风险损失按金额(10^4 元)划分为 $(0, 5]$, $(5, 100]$, $(100, 1000]$, $(1000, \infty)$ 4 个严重程度等级。结合 1-9 标度法,将严重程度等级 (d_n^-, d_n^+) 与 $(2n-1, 2n+1]$ 标度区间相对应。为了简便,取各区间的中值用于计算,设风险损失为 x ,标度为 c ,则第 n 个严重程度等级 (d_n^-, d_n^+) 对应的标度 c 为 $2n$ 。

风险损失区间的标度可通过线性隶属函数计算,假设风险损失区间 $[x_1, x_2]$ 对第 n 个严重程度等级 (d_n^-, d_n^+) 的隶属度为 z_n , $n = 1, 2, 3, 4$,若 $[x_1, x_2] \cap (d_n^-, d_n^+) = \emptyset$,则 $z_n = 0$,否则 z_n 可表示为:

$$z_n = \frac{\min(x_2, d_n^+) - \max(x_1, d_n^-)}{x_2 - x_1} \quad (6)$$

其标度 C 可表示为:

$$C = \sum_{n=1}^4 (z_n \cdot 2n) \quad (7)$$

2.2.3 风险相对发生概率 风险发生概率通常需要结合大量事故案例综合分析或是查阅相关研究资料,但现阶段水电企业可利用风险数据资料少,求解风险发生概率困难。考虑到判断矩阵的构造仅需各风险间的相对发生概率(推理可参考公式(10)),在仅有短期保险理赔数据时,风险相对发生概率的计算简便可行,故采用风险相对发生概率代替风险发生概率构造判断矩阵。设 i 风险的出险次数为 n_i ,相对发生概率为 P'_i , i 风险所属的准则(指标)层的风险类别总数为 m ,则 P'_i 可由下式计算:

$$P'_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^m n_i} \quad (8)$$

2.2.4 AHP 法计算指标权重 AHP 法是将决策问题按目标、准则、指标的顺序分解为不同的层次结构,然后求解判断矩阵特征向量进而计算各指标对总目标的权重的方法。其具体步骤可归纳为建立层次结构模型、构造判断矩阵、层次单排序及其一致性检验、层次总排序及其一致性检验。

(1) 判断矩阵。风险指数是风险的后果严重程度与发生概率的乘积,用以划分风险等级^[20],可利用风险指数作为判断矩阵的计算依据。设某风险的发生概率为 P_i ,后果严重程度为 C_i ,风险指数为 R_i ,则 R_i 可按以下公式计算:

$$R_i = P_i \cdot C_i \quad (9)$$

设 α_{ij} 为判断矩阵第 i 行第 j 列的元素, i 风险的发

生概率为 P_i , 相对发生概率为 P'_i , 其所属准则(指标)层所有风险发生的概率总计为 P , 则 α_{ij} 可表示为:

$$\alpha_{ij} = \frac{R_i}{R_j} = \frac{P_i \cdot C_i}{P_j \cdot C_j} = \frac{P_i/P}{P_j/P} \cdot \frac{C_i}{C_j} = \frac{P'_i \cdot C_i}{P'_j \cdot C_j} \quad (10)$$

(2) 权重向量。判断矩阵 $A = (\alpha_{ij})_{n \times m}$ 如满足 $\alpha_{ij} = \alpha_{ik} \cdot \alpha_{kj}$, 则称其为一致性矩阵。一致性矩阵 A 存在唯一的非零特征值 $\lambda = n$, 其规范化特征向量 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 称为权重向量, 且 $\alpha_{ij} = w_i/w_j$ 。

(3) 一致性检验。现实中判断矩阵的赋值具有非等比性, 阶数大于 2 时, 很难满足一致性要求, 这时可通过 λ_{\max} 求权重向量, 但矩阵偏离一致性的程度必须在可接受范围内。

设 λ_{\max} 为矩阵 $A = (\alpha_{ij})_{n \times m}$ 的最大特征值, $\lambda_{\max} \geq n$, 等号当且仅当 A 为一一致性矩阵时成立。因此, 可根据 λ_{\max} 与 n 的偏差来检验矩阵的一致性, λ_{\max} 与 n 相差越多, A 的一致性程度就越差。由此定义一致性指标 CI 和平均随机一致性指标 RI 。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (11)$$

RI 的值可参照平均随机一致性指标标准值表选取。取 CI 对 RI 的比值作为一致性检验判别式, 称其为一致性比率 CR , 即:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (12)$$

如 $CR < 0.1$, 则认为该判断矩阵通过一致性检验。

3 实例应用与结果分析

3.1 实例应用

3.1.1 保险理赔数据统计计算 利用图 1 的指标体系, 对该水电企业的保险理赔数据进行统计计算, 以寻找其分布规律。

(1) 准则层风险。以设备风险为例, 利用 SPSS 统计分析得到设备风险损失数据的概括性数据度量指标见表 1。

表 1 设备风险损失数据度量指标

个案数	平均值	标准差	偏度系数	峰度系数
90	12.15	19.42	2.85	9.21

由表 1 可看出, 设备风险出险次数多, 损失数据为左偏、尖峰分布。选用半正态分布、对数正态分布、威布尔分布对其进行拟合, 对数正态分布拟合设备风险损失数据的 P-P 图如图 2 所示。由图 2 可看出, 对数正态分布的拟合效果较好, 故采用对数正态分布对设备风险损失数据进行拟合。

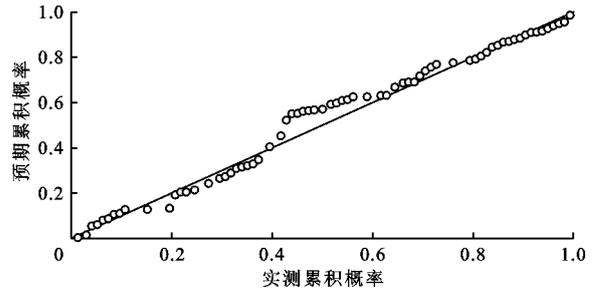


图 2 对数正态分布拟合设备风险损失数据的 P-P 图

取理赔数据的自然对数, 可得其 $\mu = 1.464$, $\sigma = 1.520$, 由此可得相应的概率分布函数。划分风险损失计算区间并利用 Excel 完成各区间分布累积概率与理论概率的计算, 利用公式(3)计算各区间的概率贡献率, 将计算结果列于表 2。

表 2 风险损失区间计算表

损失区间/ 10^4 元	区间理论概率/%	区间概率贡献率
(0,1]	16.77	16.77
(1,5]	37.04	9.26
(5,15]	25.53	2.55
(15,30]	10.53	0.70
(30,60]	5.95	0.20
(60,100]	2.24	0.06

按区间概率贡献率将损失区间降序排序, 利用公式(4)可得到理论概率为 95.82% 的风险损失区间为(0,60], 进一步划分(30,60]并重复上述计算过程, 可得到设备风险损失发生概率为 95% 的风险损失区间为(0,52.68]。由于风险损失不可能为 0, 取理赔数据中的最小值对风险损失区间进行修正, 将风险损失区间调整为[0.08,52.68]。

同理可求得环境风险和其他风险的风险损失区间, 将计算结果列入表 3。

表 3 准则层风险损失区间 10^4 元

风险类别	环境风险	设备风险	其他风险
损失区间	[0.47,369.17]	[0.08,52.68]	[5.34,1260.95]

(2) 指标层风险。通过公式(1)、(5)可求出指标层各风险因素的损失区间如表 4。

3.1.2 指标权重计算 通过公式(6)、(7)可计算各风险因素的后果严重程度 C_i , 通过公式(8)可计算各风险因素的相对发生概率 P'_i , 将计算结果列入表 5。

结合表 5, 通过公式(10)可得到准则层判断矩阵 A 以及指标层判断矩阵 B_1 、 B_2 、 B_3 。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{1.30} & 3.09 \\ 1.30 & 1 & 4.00 \\ \frac{1}{3.09} & \frac{1}{4.00} & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{1.02} & 2.47 & 3.50 \\ 1.02 & 1 & 2.53 & 3.58 \\ \frac{1}{2.47} & \frac{1}{2.53} & 1 & 1.42 \\ \frac{1}{3.50} & \frac{1}{3.58} & \frac{1}{1.42} & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1.33 \\ \frac{1}{1.33} & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 6.86 & 6.86 & 26.67 & 9.60 & 8.31 & 4.80 & 24.30 \\ \frac{1}{6.86} & 1 & 1.00 & 3.90 & 1.40 & 1.21 & \frac{1}{1.43} & 3.54 \\ \frac{1}{6.86} & 1.00 & 1 & 3.90 & 1.40 & 1.21 & \frac{1}{1.43} & 3.54 \\ \frac{1}{26.67} & \frac{1}{3.90} & \frac{1}{3.90} & 1 & \frac{1}{2.78} & \frac{1}{3.21} & \frac{1}{5.56} & \frac{1}{1.10} \\ \frac{1}{9.60} & \frac{1}{1.40} & \frac{1}{1.40} & 2.78 & 1 & \frac{1}{1.55} & \frac{1}{2.00} & 2.53 \\ \frac{1}{8.31} & \frac{1}{1.21} & \frac{1}{1.21} & 3.21 & 1.55 & 1 & \frac{1}{1.73} & 2.92 \\ \frac{1}{4.80} & 1.43 & 1.43 & 5.56 & 2.00 & 1.73 & 1 & 5.06 \\ \frac{1}{24.30} & \frac{1}{3.54} & \frac{1}{3.54} & 1.10 & \frac{1}{2.53} & \frac{1}{2.92} & \frac{1}{5.06} & 1 \end{bmatrix}$$

表4 指标层各风险因素的损失区间

10⁴元

洪水	暴雨	冻胀	地质灾害	设备故障	工艺缺陷	电流冲击
[25.59,45.49]	[42.56,187.50]	[11.64,43.40]	[129,952]	[7.86,20.00]	[14.40,44.43]	[2.73,4.12]
电压波动	过电压	短路	超负荷	绝缘击穿	意外事件	认知局限
[0.40,23.43]	[2.32,4.11]	[1.19,12.00]	[11.07,34.88]	[4.00,35.8]	[204,550]	[493.97,975.00]

表5 准则层和指标层各风险因素风险后果严重程度及相对发生概率

风险类别	后果严重程度 C	相对发生概率 P'	风险因素	后果严重程度 C	相对发生概率 P'
环境风险	5.43	0.32	洪水	4.00	0.42
			暴雨	5.21	0.33
			冻胀	4.00	0.17
			地质灾害	6.00	0.08
			设备故障	4.00	0.48
			工艺缺陷	4.00	0.07
			电流冲击	2.00	0.14
设备风险	3.82	0.59	电压波动	3.60	0.02
			过电压	2.00	0.10
			短路	3.30	0.07
			超负荷	4.00	0.10
			绝缘击穿	3.94	0.02
其他风险	6.26	0.09	意外事件	6.00	0.57
			认知局限	6.00	0.43

高,这符合水电站的风险统计规律^[1]。

表6 某水电企业的风险评估结果

风险因素	最终权重	排序	风险因素	最终权重	排序
洪水	0.141	3	电压波动	0.010	14
暴雨	0.144	2	过电压	0.029	12
冻胀	0.057	6	短路	0.033	11
地质灾害	0.040	10	超负荷	0.057	5
设备故障	0.274	1	绝缘击穿	0.011	13
工艺缺陷	0.040	8	意外事件	0.071	4
电流冲击	0.040	8	认知局限	0.053	7

进一步对照表6中的风险权重,权重最高的3个风险因素为设备故障、暴雨、洪水,其后果严重程度的评估值分别为4.00、5.21、4.00,相对发生概率的评估值分别为0.48、0.33、0.42,其中暴雨因素的相对发生概率低于洪水因素,但其后果严重程度高于后者,经综合计算分析可得其权重略高于后者,由此可见风险权重能综合反映水电企业事故的严重程度与发生概率。水电企业不同风险的权重存在明显差异,可为不同风险划分不同的防范等级,进而分级制定具体的防控措施。

结合2.2.4节中的理论可分别求解准则层和指标层的权重,将两者相乘即可得到该水电企业的风险评估结果,如表6所示。

3.2 结果分析

由表4、5可看出,2016-2019年该水电企业运营过程中环境类风险和其他类风险损失较大,但发生概率较低,设备类风险损失较小,但发生概率较

4 讨论

工程风险有一定的规律性,建立合理的风险防控体系可有效预防风险,降低财产损失。本研究结

合企业保险理赔数据,建立风险因素指标体系,并进一步分析得到各风险因素权重,这与前人通过文献检索、现场走访等方式归纳风险因素指标体系并结合专家打分计算得到风险权重^[6-8,11,13]的方法不同,能更好地结合水电企业的特征,得到更有针对性的风险评估数据以供水电企业风险防控决策参考。但目前水电企业可用保险理赔数据较少,基于保险理赔数据的客观评分法精度可能不足,本文引入风险相对发生概率与风险损失区间及其标度确定方法以提高风险评估的准确性。有学者在客观权重的基础上通过博弈模型^[12]耦合主观权重,该方法亦能较好地提高评估精度。

本研究得出了某水电企业各风险因素的权重与排序,但并未对风险成因及其防控措施作深入研究,水电企业长周期安全稳定运行的技术及管理模式还需进一步探讨。环境风险和设备风险是众多水电企业长周期安全稳定运行中亟需改进的突出问题,环境风险损失大、机理复杂、难以避免,有待进一步研究其事故机理及预警方法以减小事故损失,设备风险出险频率高、类别多,需深入研究运营管理模式以减小设备事故概率。

5 结 论

(1)提出了一种基于保险理赔数据的水电企业风险评估方法,该方法通过对保险理赔数据的统计分析直接得到各风险因素的权重,能较好地规避传统风险评估方法的主观性和随机性,且保险理赔数据可与风险评估数据实现同步实时更新,评估精度将随时间的积累而不断提高,具有实用意义。

(2)引入了风险相对发生概率与风险损失区间及其标度的确定方法,适用于水电企业出险数据少的情况,且其求解方法简单,有较强的可操作性,可推广至水电企业的基层管理人员。

(3)利用基于保险理赔数据的水电企业风险评估方法对某水电企业进行了运营风险评估,得到了该企业的风险因素权重及排序,可为该企业的风险防控工作提供参考。结果表明:该水电企业应加大在设备故障、暴雨、洪水等方面的风险防控投入,适当减缓在电压波动、绝缘击穿、过电压等方面的风险防控投入。可根据风险权重排序,有区别地制定不同等级的风险防控措施。

参考文献:

[1] 王民浩. 水利水电工程风险辨识与典型案例分析[M]. 北京:中国电力出版社,2010.

- [2] 刘鹏博. 基于虚拟现实技术的应急演练系统设计与开发[D]. 秦皇岛:燕山大学,2016.
- [3] 王悦. 某建筑工程项目风险管理研究[D]. 武汉:湖北工业大学,2016.
- [4] 顾冲时,苏怀智,刘何稚. 大坝服役风险分析与管理研究述评[J]. 水利学报,2018,49(1):26-35.
- [5] 钟登华,闫玉亮,张隽,等. 耦合改进PERT和BBNs的堆石坝施工进度风险分析[J]. 水利学报,2017,48(1):52-60.
- [6] 李创. 基于AHP-模糊综合评价法的国际工程项目风险管理研究[D]. 南昌:南昌大学,2019.
- [7] 林倩. 水电企业应急风险管理的应用策略研究[D]. 福州:福州大学,2016.
- [8] 江新,李炜,胡文佳,等. 基于SPA-云模型的水利工程运营风险态势评估[J]. 中国农村水利水电,2019(11):145-150+160.
- [9] 程江洲,朱偲,付文龙,等. 基于贝叶斯网络的水力发电系统动态风险评估方法[J]. 水利学报,2019,50(5):631-640.
- [10] 傅鹤林,黄震,黄宏伟,等. 基于云理论的隧道结构健康诊断方法[J]. 工程科学学报,2017,39(5):794-801.
- [11] 沈菊琴,张玲,孙付华. 基于熵权可拓物元模型的重大水利工程社会稳定风险评估——以W河道整治工程为例[J]. 资源与产业,2020,22(1):52-60.
- [12] 卢丹,许长清,张琳娟,等. 基于博弈赋权和灰色关联投影的电网综合风险评估方法[J]. 中国安全生产科学技术,2019,15(9):170-175.
- [13] 王训洪,顾晓薇,胥孝川,等. 基于GA-AHP和云物元模型的尾矿库溃坝风险评估[J]. 东北大学学报(自然科学版),2017,38(10):1464-1467.
- [14] 金远征,崔守臣,赵礼,等. 基于改进LEC法的水利施工安全风险评估与管控[J]. 人民长江,2018,49(19):63-66+104.
- [15] 钱龙霞,张韧,王红瑞,等. 一种改进投影寻踪风险评估函数模型[J]. 应用科学学报,2019,37(1):112-125.
- [16] 范圣伟,朱丽佳. 大连市化工企业风险评估及对策研究——基于A保险公司实际出险数据[J]. 保险职业学院学报,2018,32(1):33-39.
- [17] 万西林,胡望来. 水电投资开发企业集团财产保险集中管理模式的探讨[J]. 四川水力发电,2018,37(Z2):139-141.
- [18] 王周伟. 风险管理计算与建模[M]. 上海:上海交通大学出版社,2011.
- [19] 王丽萍,李宁宁,马皓宇,等. 大坝可接受风险水平确定方法研究[J]. 水力发电学报,2019,38(4):136-145.
- [20] MARKOWSKI A S, MANNAN M S. Fuzzy risk matrix[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 159(1):152-157.