

跨区域水电工程项目群风险多级模糊综合云评价

江 新^{1,2}, 徐 平^{1,2}, 吴国莉^{1,2}, 朱沛文^{1,2}

(1. 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 湖北省水电工程施工与管理重点实验室(三峡大学), 湖北 宜昌 443002)

摘要:跨区域水电项目群工程量大、环境复杂、风险事故极易发生。而现有的水电项目群风险评价方法在处理随机性、模糊性和评价主体主观性等方面存在不足,为此,提出了基于云模型改进的跨区域水电项目群风险多级模糊综合评价方法。首先,系统分析了风险因素,并构建了多级模糊评价指标体系;其次,利用云模型算法改进的多级模糊评价方法,建立风险评语集云模型、风险因子权重云模型、隶属度云模型以及综合评价结果云模型;最后,用所建模型对某水电站左右岸泄洪和放空建筑物工程项目风险进行评价,结果表明该评价方法具有一定的可行性和实用性。

关 键 词:云模型; 风险评价; 多级模糊综合评价; 跨区域水电项目群

中图法分类号: TV5

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.17.026

水电项目群是指多个具有一定内在关联性的水电项目构成的群体,一般修建在偏远山区的各大流域上,而各大流域流经地域广,穿过多个省市,使水电项目群不可避免地出现跨区域建设的情况。跨区域项目群所处环境比较特殊,具有区域差异性,即处于不同的社会、自然环境中,导致整体工程决策、组织实施难度大,使项目集群中的风险管理问题更具复杂性。由于区域差异,不同子项目处于不同环境可能存在不同的风险,它们相互交叉作用,表现出极强的传播效应^[1],其过程中某些风险效应得以累加,导致风险事故极易发生。为顺利实现项目群目标,保障业主利益,确保风险评价结果客观真实至关重要。

风险评价方法的选择对评价结果的客观真实性具有较大影响。近年来,国内外学者对项目群风险评价方法进行了相关研究:Ipsilandis等提出了项目群风险的多标准满意度分析方法^[2];Asan等提出了一个模糊的多指标群决策(MCDM)方法^[3],研究模糊集不确定信息的项目群风险评估过程;韩金山等针对独立性风险所导致的直接损失和间接损失采用不同的建模方法^[4],评价项目群风险损失;江新等建立了基于可靠

性分析的工程项目群FAHP风险评价方法,解决了评价者主观估计的可靠性问题^[5]。

以上研究未能全面考虑水电项目群风险的模糊性、随机性等特点,研究方法不能有效解决主观评价定性概念与定量转化问题,且目前对跨区域项目群风险的研究成果较少。为此,笔者采用基于云模型的多级模糊综合评价方法对跨区域水电项目群风险进行评价,利用云模型定性定量的转化功能,把评价主体主观定性概念定量化,充分考虑风险的模糊性和随机性。最后通过云图直观展示评价结果,以期完善水电项目群风险评价方法,提高风险应对效果。

1 跨区域水电项目群风险分析

1.1 风险识别

本文跨区域是指水电项目群的建设范围超过规定区域(一个省、直辖市或者自治区),而非以建设单位的活动是否超过企业注册所在地范围为标准。笔者将跨区域水电项目群内涵界定为:规划占地或者施工范围超过规定区域的水电项目群。譬如溪洛渡水电站位于四川省雷波县和云南省永善县接壤的金沙江峡谷

收稿日期:2015-04-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51378110);水电工程施工与管理湖北省重点实验室(三峡大学)开放基金(2014KSD05)

作者简介:江 新,男,教授,硕士生导师,主要从事工程项目群管理、移民工程及系统决策理论等方面的教学与研究工作。E-mail:jiangx163@163.com

段,左右岸处于不同的省市,属于典型的跨区域水电项目群。跨区域项目群风险是指由于区域差异,包括建设环境,人文政治经济等多种环境的不同,导致业主在进行各类决策、项目组织实施中产生许多影响项目群目标实现的不确定因素。本文从业主的角度,对跨区域水电项目群风险进行系统分析和评价。

业主单位在对跨区域水电项目群规划、决策、施工管理过程中势必会遇到因其原处区域和其他区域之间的差异而引起的成本变化、价格变化、管理组织协调方式手段变化,导致施工资源的供应不及时,产生资源冲突风险^[6]。跨区域项目群工程量大、环境复杂、协调与安全问题突出,对业主单位的决策、组织实施、管理协调等综合实力提出了更高的要求。另外,风险的发生与否除了取决于业主单位多方面的能力外,还依赖于项目的外部环境,如区域间市场经济、施工环境、相关法律法规执行力、政府的干预程度等。然而,无论从业主单位自身看还是从水电项目群外部环境看,项目群所处环境都不是一成不变的,而是处于不断变化之中。为系统分析潜在的风险,将项目群所处的内外环境看作一个模糊系统^[7],动态、全面探析可能存在的不确定因素,辨识各类跨区域水电项目群风险。

1.2 风险评价指标

基于对跨区域水电项目群风险的定义,从外部和内部两方面对跨区域项目群可能面临的风险进行归纳分析,发现该项目群风险具有较为明显的系统性和层次性^[8-9]。本着简明科学性、系统层次性、全面可比性、定性与定量相结合等原则,将评价指标划分为 2 个一级,8 个二级,22 个三级,具体见图 1。

2 多级模糊综合云评价模型构建

2.1 多级模糊综合评价方法

多级模糊综合评价是利用模糊集理论对某一系统

的各个组成要素进行综合评价的方法,并广泛应用于解决多因素和多目标的决策问题^[10]。它正确反映系统内部综合因素相互作用的过程,有利于对各个复杂系统进行合理全面的评价分析。首先系统分析各评价指标之间的层级关系,构造多级评价指标体系,运用层次分析法确定各层指标权重,然后进行模糊综合评判,最后得出综合评价结果。

设 U 是跨区域水电项目群风险影响因子构成的集合,由图 1 可得 $U = \{ U_1 \text{ 外部风险}, U_2 \text{ 内部风险} \}$,其中外部风险包括:社会环境风险、建设环境风险、公共环境风险;内部风险包括:决策风险、安全风险、人力资源风险、合同风险、组织管理风险。根据安全风险分级的基本思想,并集合业主单位对风险影响的可接受程度,将跨区域水电项目群风险划分为 4 个等级^[11]:可接受 v_1 、有条件可接受 v_2 、不期望 v_3 和不可接受 v_4 。设 V 为跨区域建设项目群风险等级构成的集合,则 $V = \{ v_1, v_2, v_3, v_4 \}$ 。

依据多级模糊综合评价法,对已建立的跨区域水电项目群风险评价指标体系中的风险逐层进行权重赋值和模糊映射,综合评价跨区域项目群风险。得出综合评价结果矩阵后,依据最大隶属度原则,确定最终评价结果。模糊综合评价的合成算法为

$$C = RS \tag{1}$$

式中, C 为该层次的综合评价结果矩阵; R 为跨区域项目群风险因子权重构成的权重向量; S 为下级子结点对上级父节点的隶属度构成的模糊矩阵。

2.2 基于云模型的多级模糊综合评价方法

为保障风险评价结果真实可靠,必须解决多级模糊综合评价法在处理随机性、评价主体主观性等方面的不足。而云模型改进的多级模糊综合评价方法,就是利用云模型的定性概念与定量描述的不确定转换功能,通过期望 E_x 、熵 E_n 和超熵 H_e 三个数字特征,将模

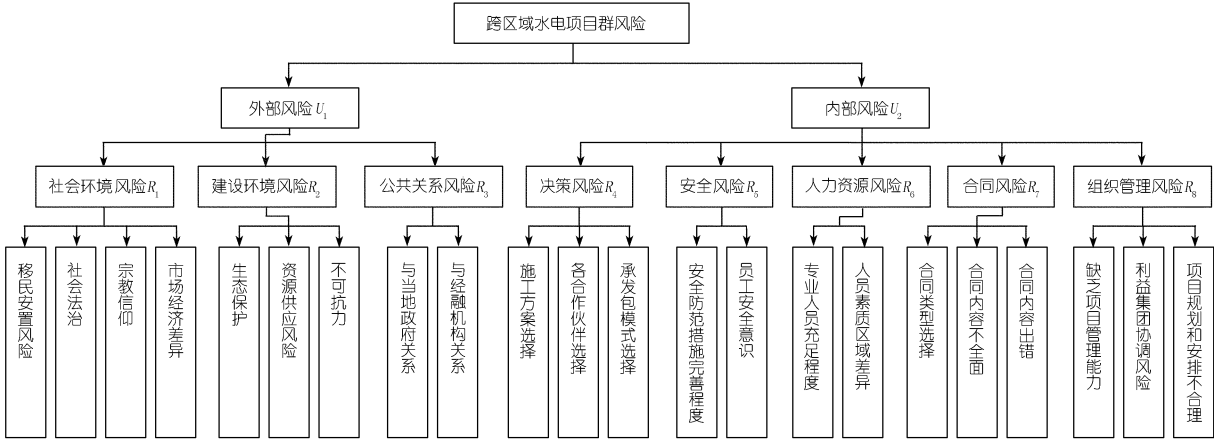


图 1 跨区域水电项目群风险评价指标体系

糊性、随机性和离散性进行有机结合,较好解决了上述评价方法的不足,不仅考虑项目群风险的模糊性,也充分体现风险的随机性,真实表征风险的特性。

2.2.1 跨区域项目群风险评语集云模型

根据业主单位对风险影响的可接受程度,构建跨区域项目群风险评语集 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ 。对于评语集中的每一个评语标准,业主都有量化标准进行范围界定,即每个评语都存在双边约束 $[F_{\min}, F_{\max}]$ 。 F_{\min}, F_{\max} 分别表示评语取值的最小边界和最大边界,具体评价标准和评价范围如表 1 所示。双边约束可以采用具有相应 E_x, E_n, H_e 三个数字特征的云模型进行表示。云模型的 3 个数字特征的计算式为

$$\begin{cases} E_x = \frac{F_{\min} + F_{\max}}{2} \\ E_n = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{6} \\ H_e = i \end{cases} \quad (2)$$

式中, i 为常数,根据评语本身的模糊程度进行合理的设定。

表 1 风险等级

风险等级	评价范围	评语标准
可接受 v_1	$[F_{\min1}, F_{\max1}]$	风险损失可以接受,不需要采取应对措施
有条件可接受 v_2	$[F_{\min2}, F_{\max2}]$	采取风险应对措施不经济或没有办法应对
不期望 v_3	$[F_{\min3}, F_{\max3}]$	风险是不期望的,必须降到合理可行的水平
不接受 v_4	$[F_{\min4}, F_{\max4}]$	风险危险性大,不能被接受,必须制定应对方案

2.2.2 跨区域项目群风险权重云模型

多级模糊综合评价法综合了层次分析法和模糊综合评判法各自的优点,在运用层次分析法计算各指标因子的权重时,其重要的计算步骤是构造两两判断矩阵,相互比较,确定相对权重。选择一个合适的标度方法对两两相对重要性进行标度是非常关键的。传统的层次分析法采用 Satty 标度,要求专家用 1~9 之间的一个自然数来确定两个因子的相对重要性问题。其重要性的确定很容易受到专家的个人经验、偏好等主观因素的影响。为此,本文构建基于云模型特性的跨区域项目群风险重要性标度方法,标度准则如表 2 所示。

重要性标度准则确定后,构造满足一致性检验的判断矩阵(随机一致性指标 $C.R. < 0.1$),计算各指标相对权重。本文先利用云模型标度构造判断矩阵,然后利用求和法计算各因子权重,对判断矩阵中的各行数据进行计算得到权重云 E_x, E_n 和 H_e 计算式(见式(3))。

根据式(3)可以计算得到各因子的权重云模型 $R_i^0(E_{xi}^0, E_{ni}^0, H_{ei}^0)$ 。采用云模型标度的判断矩阵计算各

风险因子权重,同时也对熵和超熵进行计算,使对评价语言的模糊性、离散性描述更加客观。

表 2 跨区域项目群风险因子云模型标度准则

跨区域项目群风险因子重要性定义	相对重要性	标度值云模型 (E_x, E_n, H_e)
M_i 比 M_j	极端重要	(9, 0.33, 0.03)
	强烈重要	(7, 0.33, 0.03)
	明显重要	(5, 0.33, 0.03)
	稍微重要	(3, 0.33, 0.03)
M_i 与 M_j	同等重要	(1, 0, 0)
M_i 比 M_j	稍微不重要	(1/3, 0.33/9, 0.03/9)
	明显不重要	(1/5, 0.33/15, 0.03/15)
	强烈不重要	(1/7, 0.33/35, 0.03/35)
	极端不重要	(1/9, 0.33/63, 0.03/63)

注:表中 M_i, M_j 分别为跨区域项目群风险因子 i 和 j 的重要性。

$$\begin{cases} E_{xi}^0 = \frac{E_{xi}}{\sum E_{xi}} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{E_{xij}}{\sum_{i=1}^n E_{xij}}}{\sum_{i=1}^n \frac{E_{xij}}{\sum_{i=1}^n E_{xij}}} \\ E_{ni}^0 = \frac{E_{ni}}{\sum E_{ni}} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{E_{nij}}{\sum_{i=1}^n E_{nij}}}{\sum_{i=1}^n \frac{E_{nij}}{\sum_{i=1}^n E_{nij}}} \\ H_{ei}^0 = \frac{H_{ei}}{\sum H_{ei}} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{H_{eij}}{\sum_{i=1}^n H_{eij}}}{\sum_{i=1}^n \frac{H_{eij}}{\sum_{i=1}^n H_{eij}}} \end{cases} \quad (3)$$

2.2.3 跨区域项目群风险隶属度云模型

根据跨区域项目群风险等级,采用专家打分法对风险因子 $R_i (1 \leq i \leq 8)$ 进行打分 x_i (x_i 表示第 i 位专家的打分),然后统计打分数据,采用逆向隶属云发生器原理,对评价数据进行处理,计算各因子的 3 个数字特征值 E_x, E_n, H_e ,即可确定相应的隶属度云模型。

$$E_x = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$$E_n = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{X}| \quad (5)$$

$$H_e = \sqrt{S^2 - E_n^2} \quad (6)$$

2.2.4 综合评价结果云模型

基于云模型的多级模糊综合评价是将云模型与多级模糊综合评价方法相结合的一种新型风险评价方法,不再是单一的依靠传统的多级模糊评价方法的最大隶属度原则或者加权平均法来进行决策,而是在多级模糊综合评价法的基础上,加上云模型的定性知识描述与定性概念和定量数值之间的转换作用,构造权重云模型和隶属度云模型,利用所得的权重云模型 $R_i^0(E_{xi}^0, E_{ni}^0, H_{ei}^0)$ 对隶属度云模型进行加权平均运算,求得综合评价值,与评语集云模型进行比较,确定跨区域项目群风险等级。

3 实例应用分析

国内某水电开发公司规划在某流域修建一大型水电站,该电站采用坝式开发,枢纽建筑物主要由拦河坝、两岸泄洪及放空建筑物、右岸首部式地下引水发电系统等组成,且两岸泄洪及放空建筑物位于不同的省市,可视作跨区域项目群进行管理。该水电工程项目群具有区域差异、环境复杂、施工管理难度大等特征,存在多种相互关联的风险,如图 1 所示。这些并存的关联风险在项目群内部各枢纽建筑物间表现出极强的传播性,使风险效应得以扩散、累加。为避免风险事故发生,减少业主风险损失,现以左右岸泄洪和放空建筑物为对象进行风险综合评价研究。

3.1 风险评语集云模型

根据有关专家对该项目左右岸泄洪和放空建筑物进行的风险评估,并结合业主单位对各级风险取值的量化标准,确定 4 个风险等级的评估值范围,分别是 $v_1[0,3), v_2[3,5), v_3[5,7), v_4[7,8]$, 根据公式(2), 计算各风险等级的 3 个数字特征值,用相应的云模型表示风险等级。计算结果分别为:

$$\begin{cases} E_{x1} = 1.5 \\ E_{n1} = 0.5 \\ H_e = 0.02 \end{cases} \quad \begin{cases} E_{x2} = 4 \\ E_{n2} = 0.33 \\ H_e = 0.02 \end{cases}$$
$$\begin{cases} E_{x3} = 6 \\ E_{n3} = 0.33 \\ H_e = 0.02 \end{cases} \quad \begin{cases} E_{x4} = 7.5 \\ E_{n4} = 0.17 \\ H_e = 0.02 \end{cases}$$

根据计算结果绘制相应的评语集云模型,见图 2。

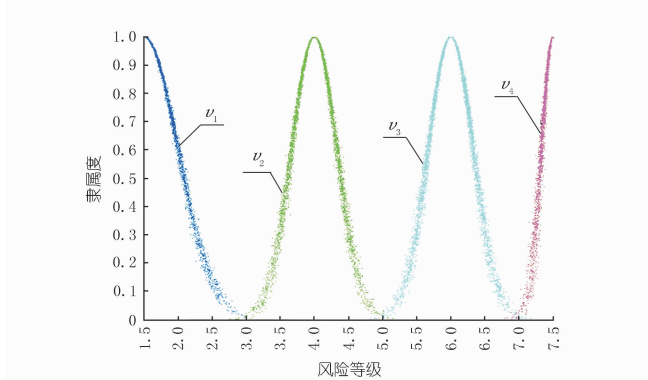


图 2 跨区域项目群风险评语集云模型

3.2 评价过程分析

依据跨区域项目群风险因子云模型标度准则,构建判断矩阵,根据公式(3)计算各指标因子的权重云 E_x, E_n 和 H_e 。据此得到相应的权重云模型 $R_i^0(E_{xi}^0, E_{ni}^0, H_{ei}^0)$, 并经过一致性检验。各因子相应的数字特征如表 3 所示。

表 3 各指标因子的权重云模型特征参数

风险因子	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
E_x	0.041	0.239	0.037	0.196	0.102	0.037	0.152	0.152
E_n	0.037	0.349	0.037	0.174	0.088	0.037	0.139	0.139
H_e	0.037	0.355	0.034	0.174	0.088	0.034	0.139	0.139

根据风险等级评定标准和各等级评价值范围,通过专家对各风险因子进行打分 $x_i (0 \leq x_i \leq 8)$, 统计打分样本,利用公式(4)、(5)、(6),采用逆向云发生器将数据样本转换为参数 (E_x, E_n, H_e) , 确定隶属度,得到模糊矩阵:

$$S = \begin{bmatrix} 2.130 & 0.159 & 0.270 \\ 5.938 & 0.184 & 0.315 \\ 2.039 & 0.124 & 0.226 \\ 7.154 & 0.077 & 0.145 \\ 3.326 & 0.135 & 0.259 \\ 2.170 & 0.202 & 0.351 \\ 3.412 & 0.091 & 0.195 \\ 3.285 & 0.139 & 0.241 \end{bmatrix}$$

利用所得的权重云模型对隶属度云模型进行加权平均运算,得到改进的跨区域项目群风险多级模糊综合评价结果云模型: $E_x = 4.422, E_n = 0.139, H_e = 0.25$ 。其相应的云模型如图 3 中 C 所示。

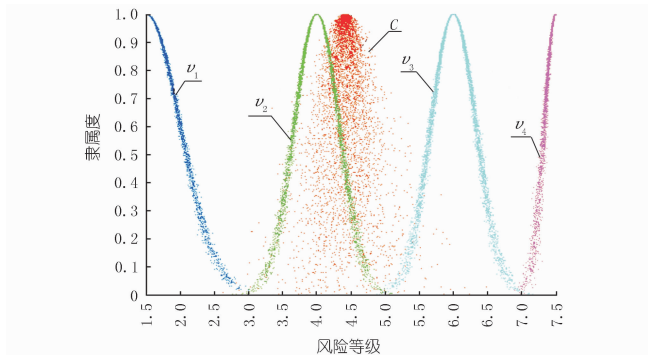


图 3 综合评价结果云模型与风险评语集云模型对比

将综合评价结果云模型与风险评语集云模型 (v_1, v_2, v_3 和 v_4) 进行比较,可以直观地看到,该项目左右岸泄洪和放空建筑物的风险等级位于 v_2 和 v_3 之间, $E_n = 0.139, H_e = 0.25$, 随机性大,离散程度高,评价结果分布比较分散,充分体现了风险的随机性和离散性。由图 3 可以看出,此项目群风险波动基本都处于 $v_2[3,5)$ 范围内,即此跨区域项目群左右岸泄洪和放空建筑物风险是有条件可接受的。该工程其他枢纽建筑物也存在相似风险,运用该方法进行风险评价,可以得到整个项目群风险评估结果。

根据对此项目左右岸泄洪和放空建筑物全过程的管理追踪和信息反馈,得知水电开发公司在项目群的决策、组织管理过程中遇到棘手问题,主要包括对两个

区域的社会环境不熟悉、公共关系不融洽、人力资源受到区域经济水平差异的影响以及施工组织协调管理难等问题,容易导致风险事故的发生。然而,这些风险损失大都在业主单位可以接受的范围内,也存在采取措施反而不经济的不确定事件,即风险处于有条件可接受等级。由此得出,该跨区域水电项目群左右岸泄洪和放空建筑物风险评价结果与实际情况基本相符,证明该评价方法具有一定的可行性和实用性。

4 结 论

(1) 从外部和内部两个方面对跨区域项目群可能面临的风险进行归纳分析,发现其表现出较为明显的系统性和层次性。从业主风险管理角度,将评价指标划分为 2 个一级,8 个二级,22 个三级指标,构建跨区域项目群风险评价指标体系。

(2) 运用基于云模型的多级模糊综合评价法对项目群风险进行评估,把评价主体主观定性概念定量化,充分考虑项目群风险所具有的模糊性、随机性和离散性,直观得到更具真实性、可靠性的评价结果,提高风险应对效果,减少业主风险损失。

(3) 对实例中水电项目群左右岸泄洪和放空建筑物进行风险仿真评估,将跨区域项目群风险综合评价结果云模型与评语集云模型进行对比,直观得到研究对象风险等级为有条件可接受,其评价结果与实际情

况基本相符,证明该方法具有一定的可行性和实用性。

参考文献:

[1] 江新,赵静. 工程项目群的 AHP - NET 风险评价模型[J]. 中国安全科学学报,2012,22(10):158 - 163.

[2] Ipsilandis P, Samaras G, Mplanas N. A multicriteria satisfaction analysis approach in the assessment of operational programmes[J]. International Journal of Project Management, 2008, 26(6):601 - 611.

[3] Asan U, Soyer A, Bozdog C. E. A fuzzy multi - criteria group decision making approach to project risk assessment[J]. Analysis and Crisis Response, RACR 2013:915 - 924.

[4] 韩金山,廖丽莎. 项目群独立性风险损失建模研究[J]. 项目管理技术,2010,8(5):13 - 19.

[5] 江新,李琦,赵静. 基于可靠性分析的工程项目群 FAHP 风险评价模型[J]. 长江科学院院报,2014,31(09):126 - 131.

[6] 江新,刘晓培,裴利民. 工程项目群风险管理系统思维模式研究[J]. 人民长江,2013,44(05):103 - 106.

[7] 江新,朱沛文,沈力. 基于 ANP 和云模型的水电项目群资源冲突风险评估[J]. 中国安全科学学报,2014,24(11):152 - 158.

[8] 田林钢,宋永嘉,孙淑侠. 水利工程施工期业主风险的多层次模糊综合评价研究[J]. 水力发电学报,2008,27(4):141 - 145.

[9] 李卓玉,唐文哲,强茂山,等. 水电开发风险因素研究[J]. 水力发电学报,2013,32(1):293 - 298.

[10] 张秋文,章永志,钟鸣. 基于云模型的水库诱发地震风险多级模糊综合评价[J]. 水利学报,2014,45(1):87 - 95.

[11] 徐征捷,张友鹏,苏宏升. 基于云模型的模糊综合评判法在风险评估中的应用[J]. 安全与环境学报,2014,12(2):69 - 72.

(编辑:邓玲)

Risk evaluation of inter - regional hydropower projects by
multilevel fuzzy comprehensive model and cloud model

JIANG Xin^{1,2}, XU Ping^{1,2}, WU Yuanli^{1,2}, ZHU Peiwen^{1,2}

(1. College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. Hubei Key Laboratory of Construction and Management in Hydropower Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: The inter - regional hydropower project is characterized as large engineering quantity, complex environment and prone to risk and accident. To overcome the deficiencies of the current risk - assessment methods in hydropower projects such as randomness, fuzziness and subjectivity of evaluation body, we propose the improved multilevel fuzzy comprehensive evaluation model on the basis of cloud model to assess the risk of the inter - regional hydropower projects. We analyzed the risk factors systematically and established the multilevel fuzzy evaluation index system, which was improved by the cloud model. The corresponding cloud models of remark set, risk factor weight, membership degree and comprehensive evaluation results are constructed. The established method was used to assess the risk of the flood discharging projects on both banks of a hydropower station, and the assessing result has some applicability and practical meanings

Key words: cloud model; risk assessment; multilevel fuzzy comprehensive evaluation; inter - regional hydropower project