

农业水利工程建设风险分析

魏明华¹, 鲁仕宝^{2*}, 郑志宏¹

(1. 华北水利水电学院, 郑州 450011; 2. 深圳市政府投资项目评审中心, 深圳 5180362)

摘要: 农业水利工程建设项目为投资大、建设周期长、内部结构复杂、参与方众多的复杂开放系统, 受制于时间、资源、环境等条件的制约。该文运用层次分析原理和方法建立农业水利工程建设风险三层结构体系, 并通过 Monte Carlo 模拟, 对某一农业水利工程建设风险进行了分析。结果表明: 此项农业水利工程建设风险的主要存在于坝体变形、坝体渗漏和坝基的渗漏、渗透物。对于主要用于社会效益和生态效益的农业水利工程, 应加强坝体防漏和变形等加固措施, 以降低工程风险。

关键词: 农业水利工程, 风险评估, 层次分析法, 蒙特卡洛模拟

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.z1.046

中图分类号: TV93

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-0x-0233-05

魏明华, 鲁仕宝, 郑志宏. 农业水利工程建设风险分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 1): 233-237.

Wei Minghua, Lu Shibao, Zheng Zhihong. Risk analysis on construction of agricultural water conservancy projects [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp.1): 233-237. (in Chinese with English abstract)

0 引言

农业水利工程建设项目是一个规模大、复杂、需要创新和技术含量很高的项目, 工程建设受制于时间、资源、环境等条件的制约。水利工程建设项目是投资大、建设周期长、内部结构复杂、参与方众多的复杂开放系统。而影响该系统的因素众多, 各因素关系错综复杂, 这就导致在工程建设各子系统中存在风险, 而且各种风险因素所引起的后果的严重程度也各不相同。因此, 水利工程建设项目的结果具有很大的不确定性, 运用风险理论对于水利工程建设项目进行风险分析。风险分析作为一种技术手段, 已经广泛应用于金融、证券、工程建设等方面。对于水利工程建设来说, 其投资额大、建设周期长、建设周期长、项目风险较一般工程来说更大。目前国内外对风险分析与风险管理的研究非常多, 主要从定量和定性两个方面进行研究。定性研究方法主要有风险水平矩阵表示法、风险坐标曲线表示法、层次分析法等^[1]定量研究方法主要有: 活动网络 (PERT、GERT、VERT 等), Monte Carlo 模拟, 模糊数学, 影响图, CIM 模型等^[2-5]。投资风险分析已经成为项目风险分析最为重要的方面之一, 本文主要运用层次分析法对水利工程投资进行分析。

1 工程项目风险与风险分析

1.1 项目风险的定义

工程建设都伴随着风险, 风险可以被描述为“任何可能影响项目在预算范围内按期完成的因素”, 风险是指预期后果中出现不利因素的不确定性。工程项目目标指项目的投资 (成本)、进度、质量和安全等, 每个项目风险都包含如下三个基本因素: 1) 风险因素的存在性; 2) 风险事件发生的不确定性。3) 风险后果的不确定性。风险因素指的是任何影响项目目标实现可能发生的事件。风险因素的发生是不确定的, 这是由于项目外部环境的千变万化以及项目本身的复杂性和人们对于未来时期变化的预测能力有限而导致的^[2]。

1.2 农业水利工程建设风险评估过程

一般来说, 作为一个工程, 风险管理是一个系统的过程, 它包括风险识别、分析和相应的工程风险, 包括对整个工程的积极事件概率最大化和消极事件概率最小化。它是由风险管理计划、风险识别、风险分析、风险相应计划、风险监听和控制等组成。

在风险管理过程中, 风险相应计划是发展优化、提高决策行动机会, 减少工程目标威胁的过程。一定要与工程风险的严厉性, 成本效益的挑战, 按期完工等相适应。本文风险评估的工具和技术主要采用对细节和账单的调查, 最主要的是风险评估软件。

每一项农业水利工程建设包括大量的信息, 调查每一项工程的信息风险就是要认清工程的类型和规模, 工程建造方法、周期、施工者的水平、经验、监理方的经验和职责、业主的融资能力、场地状况等。每一项信息的可靠度都将影响整个工程的风险大小。另一方面就是调查水利工程建设每一项历史数据, 通过专家对历史数

收稿日期: 2009-10-29 修订日期: 2011-02-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2011CB403306), 西安理工大学优秀博士基金 (106-210910)

作者简介: 魏明华 (1976-), 女, 工程师。郑州 华北水利水电学院, 710048。Email: wmh@ncwu.edu.cn

*通信作者: 鲁仕宝 (1975-), 男, 安徽芜湖人, 博士。深圳 深圳市政府投资项目评审中心, 5180362。Email: lu5111284@yahoo.com.cn

据的分析可以得知哪一些信息的风险较大及其风险的周期，通过对数据的分析，可以限制和克服可能发生的风险，这将有利于规避和降低风险。

2 项目投资分解系统

工程项目投资一般都是由各个分项工程（子项目块）组成，为了实现总的投资目标，往往对整个工程项目进行项目工作分解（WBS）和对风险分解（RBS）相结合的方法^[7-8]。这可以有利于各个部分投资的展开，也有利于工程建设的开展。

工程结构分解就是将整个工程项目进行结构分解，首先对工程项目进行分解（总工程-子工程-孙工程-曾孙工程-...-基本活动），以分解后的最低层“基本活动”，

作为目标投资方面，如图 1 所示。风险分解结构（RBS）是对风险因素按类别进行分解，对其进行投资影响风险因素系统分层分析，最后分解到基本风险因素，如图 1、2。

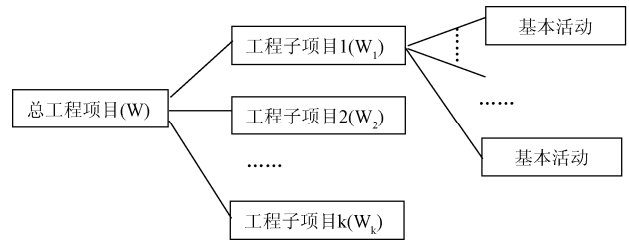


图 1 工程项目分解结构示意图

Fig.1 Sketch map of project decomposition structure

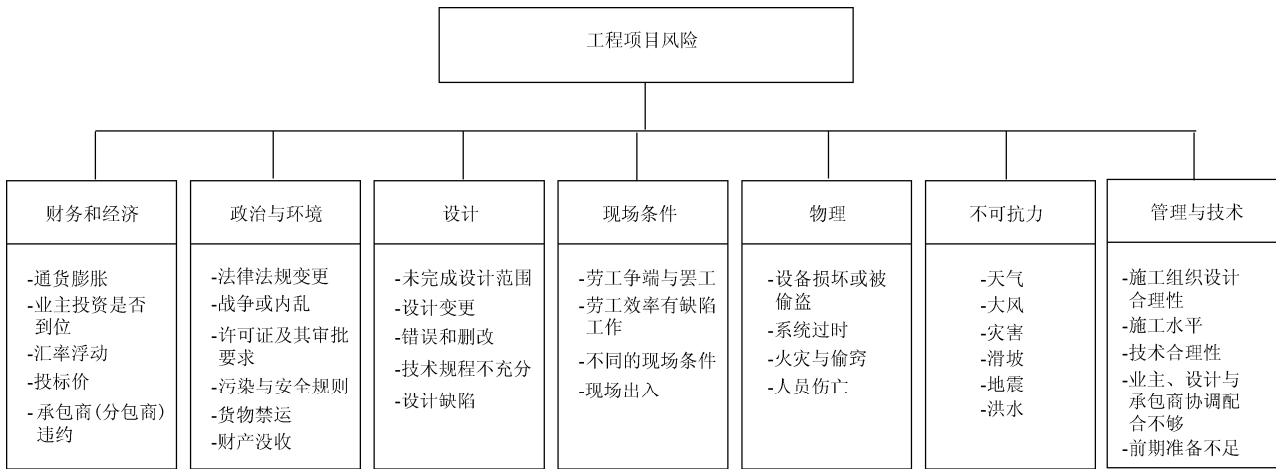


图 2 工程项目风险分解图

Fig.2 Sketch map of project risk decomposition

3 水利工程建设风险分析方法

层次分析法（AHP）是 20 世纪 70 年代由著名运筹学家 Satty 提出的。在决策风险分析上有广泛应用。层次分析法是运用系统分析思想把复杂的问题分成若干有联系的、有序的层次，对每一层次的相关因素进行比较分析，把各个因素的相对重要性量化，再利用数学方法决定全部因素的重要性次序，并辅之以一致性检验，以保证评价人的思维判断符合实际，从而为选择最优方案提供依据的一种多目标评价方法。

运用层次分析法改进的模型进行分析，将所有水利工程项目各因素的风险按其关联隶属关系建立递阶层次结构体系，构造可比较的判断矩阵，对其权值排序并检验判断矩阵的一致性。其主要步骤如下：

1) 根据确定水利工程建设层级，将同一层次的相邻的元素进行比较，确定其重要性，再构造判断矩阵。

由于水利工程组合都存在着变化，如通货膨胀、设计变更、设备损坏等都存在着隐患和不确定性，专家根据知识经验对 B、C 层级上的元素进行两两进行比较，构造不同层次风险因素的相对矩阵。构造 B 层矩阵， $B=(r_{ij})n \times n$ ，其中， $r_{ij}=r_i/r_j$ ， $r_{ji}=1/r_{ij}$ ， $r_{ii}=1$ 。采用 1~9 级标度法见表 1。以各位专家判断矩阵计算结果的平均值作为综合评判工

程项目风险的基础，根据大数定理以及抽样分布与整体分布的关系可知，专家估计的平均权重结果近似于各风险因素的实际权重^[5]，见表 1。

表 1 判断矩阵标度及其含义

Table 1 Judgement matrix scaling and meanings

标度	判断矩阵标度及其含义
1	<i>i</i> 因素与 <i>j</i> 具有同样重要性
3	<i>i</i> 因素比 <i>j</i> 因素稍微重要
5	<i>i</i> 因素比 <i>j</i> 因素明显重要
7	<i>i</i> 因素相比 <i>j</i> 因素强烈重要
9	<i>i</i> 因素相比 <i>j</i> 因素极端重要
2、4、6、8	上述两相邻判断的中值
上述数的倒数	因素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 的比较判断得 r_{ij} ，则因素 <i>j</i> 与 <i>i</i> 的比较判断得 $r_{ji}=1/r_{ij}$

2) 根据判断矩阵计算对于上一层次中某元素而言本层次与之有关的元素重要性次序的权值。

同一层次各元素的重要程度单排序及其一致性检验，即确定同一层次各元素对于上一层次某元素的相对重要程度的排序权值并检验各判断矩阵的一致性。

文献[10]认为，考虑到风险投资的风险，B 层中每个元素的单排序权值为 ω_k ，其中 $k=1, 2, \dots, n$ ， n 表示影

响投资元素运行的因素，且满足 $\sum_{k=1}^n \omega_k = 1$ 和 $\omega_k > 0$ 。

根据判断矩阵定义，则有

$$b_{ij} = \omega_j / \omega_i, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

可以得出判断矩阵的性质

$$\begin{aligned} b_{ii} &= \omega_i / \omega_i = 1; \\ b_{ji} &= \omega_j / \omega_i = 1/b_{ij}; \\ b_{ij} \cdot b_{jk} &= (\omega_i / \omega_j); \\ \omega_j / \omega_k &= \omega_k / \omega_k = b_{jk} \end{aligned}$$

根据已知的判断矩阵求该层各元素的排序权值 ω_k ($k=1, 2, \dots, n$)。如果判断矩阵 **B** 能够满足 (1) 式投资者可以准确测得 $b_{ij} = \omega_i / \omega_j$ 判断矩阵具有完全的一致性，则有

$$\sum_{k=1}^n (b_{ik} \cdot \omega_k) = \sum_{k=1}^n (\omega_i / \omega_k) \cdot \omega_k = n \cdot \omega_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n \left| \sum_{k=1}^n (b_{ik} \cdot \omega_k) - n \cdot \omega_i \right| = 0 \quad (3)$$

这里对投资者的素质要求较高，判断矩阵是否具有有一致性或者一致性的程度高低主要依赖于工程建设者的对工程的风险认识。投资者的认识能力强，驾驭风险的机会就大，判断矩阵的一致性程度就高。类似单排序，当 CR 小于 0.10 时层次的总排序的结果为满意的一致性，否则需要调整判断矩阵的元素取值。

当 (3) 式成立时，判断矩阵 **B** 趋于完全一致性时，**B** 层各元素的单排序及其一致性检验问题可以优化为

$$\begin{cases} \min F_{Cl}(\omega_k) = \sum_{k=1}^n \left| \sum_{k=1}^n (b_{ik} \cdot \omega_k) - n \cdot \omega_i \right| / n, \\ \text{s.t.} \quad \omega_k > 0, \quad k = 1, 2, \dots, n, \\ \sum_{k=1}^n \omega_k = 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中 $F_{Cl}(\omega_k)$ 为一致性指标函数。(4) 是一个非线性问题，可以用 Monte Carlo 模拟进行优化处理。当一致性指标值小于 0.10 时即达到了满意的一致性，如果没有达到继续调整判断矩阵，直至满意为止。

3) 总层次排序及一致性检验。利用同一层次中各元素单排序计算结果，合成对应上一层次元素的权重，形成该层次所有元素相对重要性权值并检验各判断矩阵的一致性。层次总排序的检验，也是从高到低逐层进行的。如果 **B** 层次某些因素 A_m 单排序的一致性指标为 C_{ij} ，相应的平均随机性指标为 R_{ij} ，则 **B** 层总排序随机一致性比率 CR 为

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^n a_j C_{j}}{\sum_{j=1}^n a_j R_{j}} \quad (5)$$

类似单排序，当 $CR < 0.10$ 时，认为层次总排序的结果有满意的一致性，否则需要调整判断矩阵的元素取值。在工程投资风险分析中，对风险因素的风险度排序仅考

虑风险概率和风险损失两项内容，这两种分析方法常常会带来一定的评价偏差和风险响应误导^[11]。

因此，运用层次分析法对水利工程建设进行有效控制（预防、转移、补偿及分担）必须要对总层次排序并进行一致性检验。在总层次排序中，一般按照 **A** 层（目标层）到 **B** 层（准则层），再到 **C** 层（指标层）依次逐步进行。以 **B** 层为例，**B** 层的单排序权值和总排序权值是一样的，单排序一致性和总排序一致性也相同，都是已知的。而 **C** 层总排序权值和一致性指标需要求出。通过 (9) 式可以得出 **C** 层总排序权值和一致性指标。对判断矩阵的一致性进行检验，若满足要求则停止计算，否则需重新调整判断矩阵的取值。

$$\begin{cases} \omega_i^A = \sum_{k=1}^n \omega_k \cdot \omega_i^k \\ F_{Cl}^A(\omega_i^A) = \sum_{k=1}^n \omega_k \cdot F_{Cl}^k(\omega_i^k), \end{cases} \quad (6)$$

4) 同样，求出 **C** 层次总排序权值 ω_i^A ($i=1, 2, \dots, m$)。对各项建设风险要素大小排序。模拟出排名前几项风险大的元素，为进一步建设风险分析提供依据，以便针对性的采取措施。

5) 风险分析步骤: 由于水利工程建设非重复性和复杂性等特点通过以上步骤运用 Monte Carlo 模拟技术，编制计算软件，通过软件计算得出结果^[12-14]。其流程如图 3 所示。

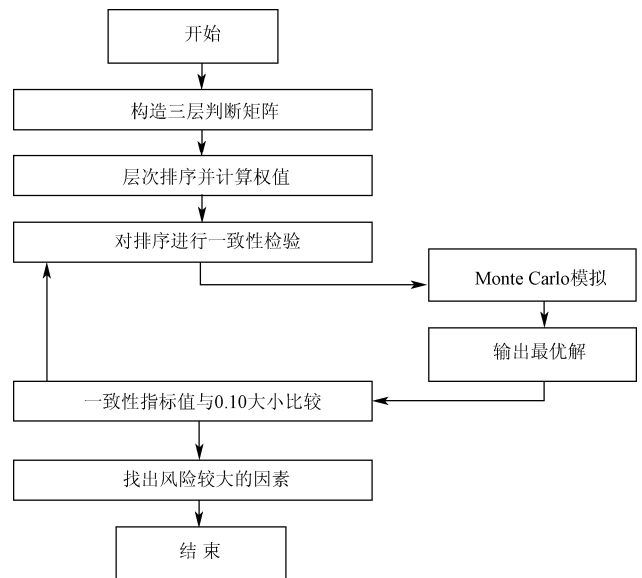


图 3 工程风险分析流程图
Fig.3 Flow chart of project risk analysis

4 实例

为了说明以上农业水利工程运行风险的分析方法，现以广东某农业水电工程为例，运用上述方法采用文献 [15] 对工程建设风险进行风险分析。

此项工程资金由市、县各级政府投资而成，主要用来防洪、堤围、排灌为主。根据该项工程的投资风险特

征资料，建立该项工程的风险因素集。根据层次分析法判断此项农业水利工程建设投资的可行性。

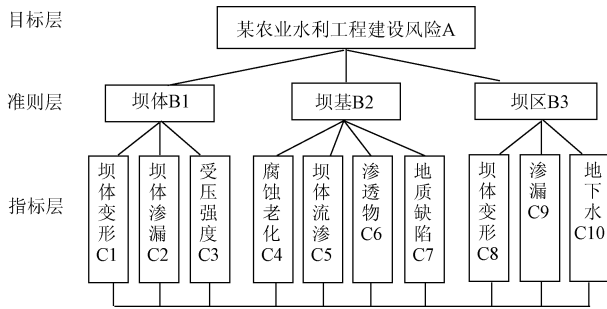


图 4 农业水利工程建设风险

Fig.4 Agriculture water conservancy project construction risk

如图 4 所示，建立相应的判断矩阵，计算特征向量、最大特征根和随机一致性比率。

建立 A 层判断矩阵， $A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$

$R_a = [0.43, 0.43, 0.14]^T$

$\lambda_{max} = 3$

$CR=0$

建立 B 层的判断指标判断矩阵，计算特征向量、最大特征根和随机一致性比率。指标层的判断矩阵为

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

各特征向量、最大特征根和随机一致性比率分别为

$Rb_1 = [0.43, 0.43, 0.14, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$

$\lambda_{max} = 4$

$CR = 0$

$Rb_2 = [0, 0, 0, 0.125, 0.375, 0.375, 0.125, 0, 0, 0]^T$

$\lambda_{max} = 4$

$CR = 0$

$Rb_3 = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.43, 0.43, 0.14]^T$

$\lambda_{max} = 3$

$CR = 0$

这项工程的建设风险总排序权值计算结果为

$Ra^T \times (Rb_1, Rb_2, Rb_3) = (0.185, 0.185, 0.06, 0.054, 0.161, 0.161, 0.054, 0.06, 0.06, 0.02)^T$

从上述计算中可以看出此项工程建设的风险在第一、二项，坝体变形、坝体渗漏较为突出（其值为 0.185、0.185），第五、六坝体渗漏、渗透物风险为（0.161、0.161），风险也很大。

5 结论

运用层次分析法基本原理建立了水利工程建设风险的三层结构体系。结合具体实例对权值和检验的判断矩阵的一致性排序得出，该水利工程的风险主要是坝体变形、坝体渗漏、坝基渗漏、渗透物。对于一项主要用于社会效益和生态效益的农业水利工程，应加强坝体防漏和变形等工程措施。

[参 考 文 献]

- [1] Mustafa M A, Al-Bahar J F. Project risk assessment using the analytic hierarchy process [J]. IEEE Transaction on Engineering Management, 1991, 38(1): 46—52.
- [2] Manuel Arellano, Stephen Bond. Some tests of specification for panel data: monte carlo evidence and an application to employment equations [J]. The Review of Economic Studies, Vol. 58, No. 2. (Apr., 1991), pp. 277—297.
- [3] 谢季坚. 模糊数学方法及其应用[M]. 华中理工大学出版社, 2000.
- [4] 刘金兰, 韩文秀. 关于工程项目风险分析的模糊影响图方法[J]. 系统工程学报, 1994, 9(2): 81—88. Liu Jinlan, Han Wenxiu. A Fuzzy Influence Diagram Method for Analyzing Engineering Project Risk, 1994, 9(2): 81—88. (in Chinese with English abstract)
- [5] Cali A, Calvanese D, Giacomo G D, et al. Description logic formalization of CIM [R]. Technical Report, SMO(system management ontology) Project Report NO.1. Faculty of Computer Science, Free University of Bozen-Bolzano, Italy, 2001:1-18.
- [6] 钟登华, 王振强. 大型水利工程项目投资风险分析方法, 水利学报, 200, (7): 93—99. Zhong Denghua, Wang Zhenqiang. Risk analysis on investment of large-scale water project[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, (7): 93—99. (in Chinese with English abstract)
- [7] Charoengam C, Yeh C Y. Contractual risk and liability sharing in hydropower construction [J]. International Journal of Project Management, 1999, 17(1): 29—37.
- [8] Chapman C B, Dale F Cooper. Risk engineering basic controlled interval and memory models[J]. J Opl Res Soc 1983, 134(1): 51—60.
- [9] 滕素珍, 姜炳蔚, 任玉洁. 数理统计[M]. 大连理工大学出版社, 1996:215—242.
- [10] 吴中如, 苏怀智, 郭海庆. 重大水利水电病险工程运行风险分析方法[J]. 中国科学 E 辑, 2008, 38(9): 1391—1397. Wu Zhongru, Su Huaizhi, Guo Haiqing. Importance water conservancy and hydropower diseased engineering run risk

- analysis method [J]. *Science in China(Series E:Technological Sciences)*, 2008, 38(9):1391—1397. (in Chinese with English abstract)
- [11] Williams T M. The two-dimensionality of project risk [J]. *International Journal of Project Management*. 1996, 14.
- [12] Baker S, Ponniah D, Smith S. Techniques for the analysis of risks in major projects [J]. *Journal of the operational research society*, 1998, 49: 567—572.
- [13] Bennett J C, Bohoris G A, Aspinwall E M, Hall R C. Risk analysis techniques and their application to software development[J]. *European Journal of the Operational Research*, 1996, 95: 467—470.
- [14] Hacura A, Hacura M J, Kocot A. Risk analysis in investment appraisal based on the monte carlo simulation technique[J]. *the European physical journal B*, 2001, (20): 551—553.
- [15] 陈国桥. 层次分析法在水利工程投资决策中的应用研究[J]. *人民珠江*, 2002, (2): 56—59.
- Chen Guoqiao. Application of AHP on water conservancy engineering investment decision [J]. *Pearl River*, 2002, (2): 56—59. (in Chinese with English abstract)

Risk analysis on construction of agricultural water conservancy projects

Wei Minghua¹, Lu Shibao^{2*}, Zheng Zhihong¹

(1. *North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China;*

2. *Shenzhen Government Investment Project Evaluation Center Shenzhen 518036, China)*

Abstract: Project of agricultural water conservancy construction is an open and complex system with huge investment, long construction period, complex internal structure and many participants, and which is restrained by time, resources, environment, and so on. The paper aimed to establish a 3-layer structure system of the risks of agricultural water conservancy construction by applying Analytic Hierarchy Process and analyze risks of the construction of a water conservancy project by using Monte Carlo simulation. The results indicate that the main risks of the project are the deformation and leakage of the dam, leakage and penetration objects of the dam foundation. Therefore, for the agricultural water conservancy projects that are mainly used for social and ecological benefits, more strategies should be applied to avoid dam leakage and deformation of engineering so as to reduce the risks of the project.

Key words: agricultural engineering, risk assessment, AHP(Analytical Hierarchy Process), Monte Carlo Simulation