

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201605013



采用多因素模糊矩阵算法的数值模拟 与工程风险仿真诊断

矫立超^{1,2}

(1. 河北工业大学 土木工程学院, 天津 300401;
2. 河南城建学院 管理学院, 河南 平顶山 467044)

摘要: 以多因素模糊矩阵算法和仿真技术理论为基础,从我国建筑工程风险的特点及实际情况出发,探讨大型工程领域存在的风险.对多因素模糊矩阵算法在建设工程风险评价中的适用性进行分析,并以某省大型粮仓储备工程建设风险评价为例,进行工程仿真诊断.结果表明:该算法量化程度高,可操作性强.

关键词: 建设工程; 风险等级; 仿真诊断; 风险评价; 多因素模糊矩阵算法

中图分类号: TU 7; F 832 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2016)05-0591-04

Numerical Simulation and Engineering Risk Simulation Diagnosis Using Multi-Factor Fuzzy Matrix Algorithm

JIAO Lichao^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;
2. School of Management, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan 467044, China)

Abstract: Based on the theory of multi-factor fuzzy matrix algorithm and simulation technology, the characteristics and the actual situation of Chinese construction project risk were discussed, the risks in the current large scale engineering field were studied. The applicability of multi-factor fuzzy matrix method in the risk assessment of construction project was analyzed, and a large granary reserve construction risk assessment was taken as an example for the engineering simulation diagnosis. The result shows that the algorithm has high degree of quantization and good operability.

Keywords: construction project; risk grade; simulation diagnosis; risk assessment; multi-factor fuzzy matrix algorithm

工程项目建设是一个大规模的生产过程,参与方多、持续时间较长、环境因素复杂、四新技术采用较多.工程项目,尤其是大中型工程项目建设过程中,有很多随机、模糊因素.这些不确定的因素构成了工程项目风险的主要来源,可能导致项目工期延误、成本超支、工程质量等问题,甚至造成工程事故,出现人员伤亡,导致项目整体失败.不同规模、不同类别的工程项目所面临的风险大小、种类也不尽相同.因此,对工程项目建设进行有效的风险数值模拟与仿真诊断是工程项目全过程管理中的重要课题.作为国家战略物资储备场所,大型现代化粮仓建设比一般工程项目更加复杂、风险控制点更多.本文采用多因素模糊矩阵算法进行数值模拟,对某省大型现代化粮仓建设进行工程风险仿真.

收稿日期: 2016-09-03

通信作者: 矫立超(1978-),男,讲师,博士研究生,主要从事现代工程项目管理理论与方法的研究. E-mail: jiaolichao2006@126.com.

基金项目: 全国统计科学研究计划项目(2013LY127)

1 建设工程风险评价的多因素模糊矩阵算法

1.1 多因素模糊矩阵算法

多因素模糊矩阵算法, 又称模糊多元算法或模糊综合算法, 是一种非常有效的决策算法, 适合于综合评价受多种因素影响的变量. 模糊综合分析法与系统理论相结合, 具有较强的系统性和定量性, 可以解决难量化的模糊理论涉及的多种复杂问题^[1-2]. 在大型工程建设中, 有很多随机、模糊因素, 这些因素随时发生变化, 如环境变化、物价上涨、参与方变化、不可抗力等. 这些项目特征与模糊综合评价法适用的情况相符.

1) 确定因子权重和因子集合. 根据工程项目风险影响因子, 采用专家打分法确定评价因子(或指标). 因子集可表示为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. 各因素的重要性不同, 评价因子应采取不同的权重, 可表示为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$. 其中, 第 i 个评价因子 a_i 的权重值为 u_i .

2) 设映射关系 $\sigma(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 为多因素模糊贴进度, 满足假定条件: $\sigma(a_1, a_2, \dots, a_n) = 1, \sum U = 1, \sigma(a, b) = (b, a), A \subset B \subset C, \sigma(a, c) \leq \sigma(a, b) \Delta \sigma(b, c)$.

3) 确定综合评价值集合, 构建模糊矩阵. 评价值集合包含任意评价因子的评价等级, 可表示为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$. $r_{i,j}$ 表示对某系统或程序评估项目因子 a_i 做出的评语等级(或评价) v_j 的评定概率, 这个概率是隶属度的大小. 整个因子集的隶属度向量由模糊综合评判矩阵 R 构成.

4) 模糊综合评价. 依据加乘法则的普通理论, 综合评定向量 $W = U \times R$. 综合评定向量 W 按照加权平均法确定综合评价权重: 评语集 v 进行量化, 按照等级差异度确定 H . 规范化综合评价向量 W , 规范化后的 W_j , 即 v_j 的权重值. 由此综合得到所评价方案的总分值^[3] $N = WH^T$.

1.2 多因素模糊矩阵算法在建设工程风险评价中的适用性

假设项目风险管理机构重点考虑的评价因素, 如表 1 所示.

表 1 评价因素
Tab. 1 Evaluation factors

因素	说明
安全	工程安全、人员伤亡. 定性与定量相结合, 进行权重模糊综合评判
质量	工程质量等级. 定性定量相结合, 进行权重模糊综合评判
成本	赢得值法进行成本分析. 定性定量相结合, 进行权重模糊综合评判
工期	赢得值法进行成本分析. 定性定量相结合, 进行权重模糊综合评判

4 个主要评价因子定性因素较多, 且可量化. 其映射关系 $\sigma(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 为多因素模糊贴进度. 由此可知: 其相关性满足多因素模糊矩阵算法假定条件.

评价指标权数分配符合多因素模糊矩阵算法, 4 种主要因素风险可划分为 5 个等级, 并构成评价等级集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_5\} = \{\text{重大, 较大, 一般, 较小, 小}\}$. 由于缺乏 4 个评价指标准确的层次划分依据, 其层次具有明显的模糊性, 层次之间界限不清. 因此, 在对 4 种指标层次的衡量中, 对于权重的确定, 采用多因素模糊矩阵算法, 使之能够量化决策者的经验判断. 应用数学模型 $W = U \times R$, 依据最大隶属原则, 可得出总的评价结果.

2 数值模拟与风险仿真诊断

某市欲投资修建一座大型储备粮仓, 包括粮食仓储主体及码头配套工程工作塔、汽车接发站、立筒仓、消防泵房、消防水池等单项工程项目. 施工要求较高, 要求建成优质工程, 工期 2 年. 因大型储备粮仓的特殊使用要求, 在设计阶段已对其承载力、刚度、荷载进行反复验算与比较, 将风险最大限度地控制在工程前期.

粮仓施工过程中存在的风险因素多且复杂^[4]. 在粮仓建设之初, 由投资方牵头成立了风险管理机构, 对工程进行风险识别, 根据因素清单列出主要风险. 在风险识别过程中, 通过专家会议或对照核对表的方法, 找出可能造成影响的项目风险和存在于之前的风险, 分析风险对项目的影响和其产生的具体原因. 风险识别方法是否正确直接影响到风险管理的全过程^[5]. 为了精确起见, 采用专家会议法进行风险

识别,针对工程的主要风险,将因子集列为安全(a_1)、质量(a_2)、成本(a_3)、工期(a_4)、概率(a_5),则 $A=\{a_1,a_2,a_3,a_4,a_5\}$.

表 2 $a_1\sim a_5$ 判断矩阵

Tab. 2 Judgment matrix $a_1\sim a_5$					
严重风险	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
a_1	1	1	3	4	5
a_2	1	1	3	4	5
a_3	1/3	1/3	1	3	5
a_4	1/4	1/4	1/3	1	3
a_5	1/5	1/5	1/5	1/3	1

1) 确定基于多因素模糊矩阵算法的工程风险因子集,构建判断矩阵.站在投资方的角度,采用专家会议法、层次分析法列出评价因子集中诸元素权重的判断矩阵,如表 2 所示.根据表 2,用层次分析方根法求解因子相对权重^[6]可得 $U=[2.268,2.268,1.108,0.574,0.306]^T$.归一化处理 u_i ,可得 $U_1=0.348,U_2=0.348,U_3=0.170,U_4=0.088,U_5=0.047$.各个因子的权重相对值为 $U=[0.348,0.348,0.170,0.088,0.047]^T$.问题的整体评价不可能准确地确定 $v_{i,j}$ 的精确值,只能支持实证估计.如果有一个错误估计,将导致一个特征值的判断矩阵也有偏置.因此,需要对结果进行一致性检验^[7],即

$$A \cdot U = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 4 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 4 & 5 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.348 \\ 0.348 \\ 0.170 \\ 0.088 \\ 0.047 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.790 \\ 1.790 \\ 0.900 \\ 0.459 \\ 0.249 \end{bmatrix},$$

$$\lambda = 5.23, \quad CI = (\lambda - n)/(n - 1) = (5.23 - 5)/(5 - 1) = 0.057.$$

式中:CI 为一致性指标; λ 为 A 的最大特征值.对于 1~9 阶矩阵,其平均随机一致性指标(RI)值,如表 3 所示.由表 3 可知:RI=1.12,差异度 $CR=CI/RI=0.057/1.12=0.05<0.10$,符合一致性指标检验.

表 3 随机一致性指标参数 RI 值对应表

Tab. 3 Corresponding values of random consistency index parameter RI

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

2) 确定评语等级.工程风险仿真数值矩阵可以根据国家、部门、企业的标准和规范制定质量评定标准.根据项目的实际情况,将风险等级划分为 5 个层次^[8],则所有评语集为 $V=\{v_1,v_2,\cdots,v_5\}=\{\text{重大,较大,一般,较小,小}\}$.工程的主要风险为 A(现场停电),B(意外火灾),C(连续降雨).以此为例,得出与评语集合 V 对应的工程风险仿真数值矩阵,如表 4 所示.

表 4 工程风险仿真数值矩阵

Tab. 4 Simulation matrix of engineering risk

风险因素	因子集	V				
		v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
A	a_1	0	0	0	0.10	0.90
	a_2	0	0.10	0.20	0.30	0.40
	a_3	0.10	0.50	0.25	0.10	0.05
	a_4	0.10	0.55	0.25	0.05	0.05
	a_5	0.10	0.30	0.40	0.10	0.10
B	a_1	0.10	0.40	0.30	0.15	0.05
	a_2	0.20	0.35	0.05	0.05	0.05
	a_3	0.20	0.35	0.30	0.10	0.05
	a_4	0.30	0.30	0.20	0.15	0.05
	a_5	0.10	0.10	0.30	0.40	0.10
C	a_1	0	0	0	0.20	0.80
	a_2	0.10	0.40	0.30	0.10	0.10
	a_3	0.10	0.40	0.30	0.15	0.05
	a_4	0.10	0.60	0.20	0.05	0.05
	a_5	0.10	0.30	0.30	0.20	0.10

3) 综合评价.按加乘运算法,可得

$$\mathbf{W}_A = \mathbf{U} \cdot \mathbf{R} = [0.348, 0.348, 0.170, 0.088, 0.047] \times$$
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.10 & 0.90 \\ 0 & 0.10 & 0.20 & 0.30 & 0.40 \\ 0.1 & 0.50 & 0.25 & 0.10 & 0.05 \\ 0.1 & 0.55 & 0.25 & 0.05 & 0.05 \\ 0.1 & 0.30 & 0.40 & 0.10 & 0.10 \end{bmatrix} = [0.031, 0.182, 0.153, 0.165, 0.470].$$

同理可得

$$\mathbf{W}_B = [0.169, 0.351, 0.309, 0.118, 0.052],$$
$$\mathbf{W}_C = [0.065, 0.274, 0.187, 0.144, 0.331].$$

4) 根据等级数据,确定最终 $\mathbf{H}=[90,70,50,30,10]^T$,可得

$$N_A = \mathbf{W}_A \cdot \mathbf{H} = [0.031, 0.182, 0.153, 0.165, 0.470] \times [90, 70, 50, 30, 10]^T = 32.78.$$

同理,可得 $N_B=59.34, N_C=41.99$. 风险水平的划分:(80~100)为重大风险;(60~80)为较大风险;(20~60)为一般风险;(0~20)为小风险. 粮库建设项目管理机构可以根据上述标准制定具体的风险管理措施、应对方法^[9-11]. 由此可知:火灾事故可被视为接近高风险;连续降雨可被视为一般风险;工程断电可被视为较小风险.

3 结束语

引入多因素模糊矩阵算法并进行数值模拟,对某省大型现代化粮仓建设进行工程风险仿真. 基于多因素模糊矩阵算法的数值模拟与工程风险仿真量化程度高,可操作性强,是当前工程风险定性化研究的重要补充,对工程项目管理机构及工程参与各方进行风险规避具有重要意义.

参考文献:

[1] 梁保松,曹殿立.模糊数学及其应用[M].北京:科学出版社,2007:131-132.

[2] 谢季坚,刘承平.模糊数学方法及其应用[M].武汉:华中科技大学出版社,2000:215-218.

[3] 张裔智,孙波.基于 AHP 算法的校园网络模型的定量分析[J].西南师范大学学报(自然科学版),2009,34(4):183-187.

[4] 黄逸群,林从谋,黄清祥,等.隧道型钢喷混凝土初期支护的可靠度计算方法及应用[J].华侨大学学报(自然科学版),2014,35(2):212-215.

[5] 易涛,熊坚,万华森.高速公路基本路段交通流微观仿真建模与实现[J].昆明理工大学学报(理工版),2004,29(3):13-19.

[6] 罗帆,刘小平,杨智.基于系统动力学的空管安全风险情景预警决策模型仿真[J].系统工程,2014,32(1):68-72.

[7] 刘光忱,游蕾,张靖.基于层次分析法的建筑工程施工安全风险评价[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2013,15(3):106-112.

[8] 杨莉琼,李世蓉,贾彬.基于二元决策图的建筑施工安全风险评估[J].系统工程理论与实践,2013,33(7):93-98.

[9] 林陵娜,苏振民,王先华.基于系统动力学的建筑施工项目安全状态识别模型构建[J].中国安全生产科学技术,2011,7(12):101-107.

[10] 张建平,胡振中.基于 4D 技术的施工期建筑结构安全分析研究[J].工程力学,2008,25(增刊 2):204-212.

[11] LI Heng, GUO Hongling, MIROSLAW J, et al. Using the IKEA model and virtual prototyping technology to improve construction process management[J]. Construction Management and Economics, 2008, 26(9): 991-1000.

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)