

# 建设项目全寿命周期成本的 CIM 风险评估模型

余恬, 叶青

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 建立风险评价指标体系的基础上,运用控制区间和记忆(CIM)模型,辅以层次分析法,建立建设项目全寿命周期成本(LCC)风险评估模型. 选用层次分析法确定建设项目 LCC 在各阶段的风险权重,运用控制区间和记忆模型计算各阶段次级风险因素的概率分布,对建设项目全寿命周期成本风险做出预测和评价. 工程实例分析表明:项目风险集中在较低和低风险层次,低风险的可能性最大;设计阶段风险适中的概率较大,而其余阶段都集中于低风险层次.

**关键词:** 风险评估; 建设项目; 全寿命周期成本; 控制区间和记忆模型; 层次分析法

**中图分类号:** TU 723

**文献标志码:** A

建设项目全寿命周期成本(LCC)是设计、开发、建造、使用、维护和报废过程中发生的费用总和<sup>[1-2]</sup>. 建设项目全寿命周期成本控制对优化成本、节约资源、实现建筑业“绿色化”战略等方面都有重要意义<sup>[3]</sup>. 大型的建设项目具有科技含量高、风险大、周期长、涉及单位众多等特点,因而现代项目的管理必须是全系统、全寿命的管理<sup>[4]</sup>. 随着项目的进展,许多原先不确定性因素会逐步变为确定性的因素,因此加强建设项目全寿命周期各阶段的风险识别非常重要,能够大大提高项目决策的科学性和项目成功的概率<sup>[5]</sup>. 在进行 LCC 风险管理时,各阶段不可分别考虑,应作为一个整体综合考虑,相互协调,最终才能达到成本风险控制的目的<sup>[6]</sup>. 目前国内的建设项目 LCC 控制仍处于一个亟待发展的阶段,可操作性及较为系统的基础理论仍然很少. 控制区间和记忆(CIM)模型利用直方图具有相同宽度区间的特点进行概率叠加<sup>[7]</sup>表示变量的概率分布,可以解决风险事件独立和相关两种情况下风险的综合估计. 但 CIM 模型在运算过程中只能两两比较,且概率分布空间必须一致. 目前,广泛使用的是变量独立的并联响应模型,而变量独立的串联响应模型及变量相关的 CIM 模型鲜有涉及. 本文在建立风险评价指标体系的基础上,运用控制区间和记忆模型(CIM),辅以层次分析法(AHP),建立了建设项目 LCC 风险评估模型,对风险做出了预测和评价.

## 1 建设项目 LCC 风险评估体系的建立

建设项目全寿命周期成本(LCC)构成可按阶段划分,也可按成本构成要素划分,对项目整个生命周期内的风险进行评估亦可从多个角度分解考察. 由于建设工程项目显示了明确的阶段性,各阶段分工明确,所以文中按项目的主要阶段识别风险,以期更有序的对项目的成本风险进行评估,从而有利于管理者对项目各阶段的风险做好相应的准备.

根据资料查阅及专家学者的总结分析<sup>[6,8]</sup>,建立建设项目全寿命周期成本风险评价体系,如图 1 所示. 各阶段成本风险管理重点及控制目标:决策阶段需选择合适的建设项目,确定相应的投资目标及

**收稿日期:** 2012-09-09

**通信作者:** 叶青(1968-),女,教授,主要从事建筑经济与工程项目管理的研究. E-mail:yeqing@hqu.edu.cn.

**基金项目:** 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目,国家自然科学基金培育计划专项资助项目(JB-ZR1162); 华侨大学高层次人才科研启动项目(12BS131)

合理的报价策略;设计阶段需落实投资目标,合理的设计方案(勘察设计是关键);施工阶段需实现项目的安全、质量、进度、费用目标,是风险集中阶段;运行阶段需维持项目的使用功能,控制项目的运营费用;报废回收阶段需将建筑废弃物转化为再生资源 and 再生产品,降低对社会、环境的影响<sup>[6]</sup>.

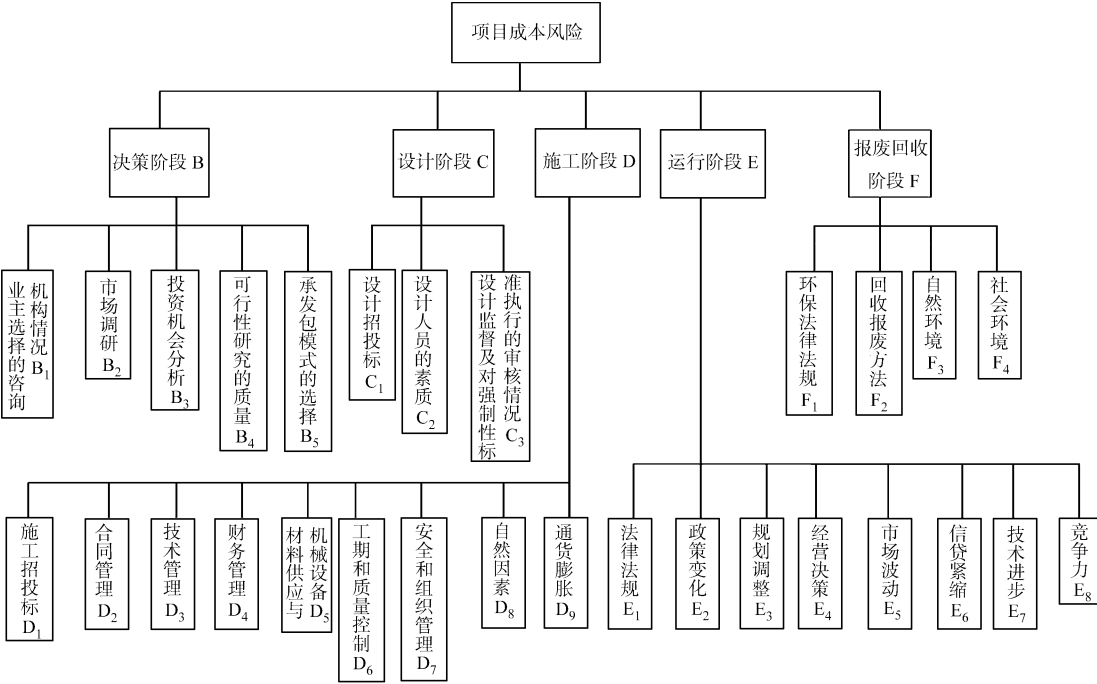


图 1 LCC 风险评价体系  
Fig. 1 LCC risk evaluation system

2 基于 CIM 的风险评估模型

一项活动 S 存在  $n$  个风险因素,任一因素出现都会影响活动 S,风险因素  $X_1, X_2, \dots, X_n$  概率分布组合模型称为“并联响应模型”. 项目风险因素的出现带有随机性,因此将各个风险变量看作相互独立,适用并联响应模型. 用“概率乘法”叠加并联概率曲线,即先将两个风险因素的概率分布相乘,再与第三者相乘,依此类推,确定全过程的概率曲线<sup>[9]</sup>. 当  $n$  个风险因素叠加完成后得到活动 S 的概率分布,其组合影响概率为

$$P(k) = X_{k,1} \times \sum_{i=1}^k X_{i,2} + X_{k,2} \times \sum_{i=1}^{k-1} X_{i,1}. \tag{1}$$

式(1)中: $k$  表示所对应行的行数.

由于建设项目成本风险综合评价体系具有结构多层次、多因素、评估模糊性等特点,对各类风险因素的直接量化比较困难. 因此选用层次分析法确定各阶段的风险权重,然后运用 CIM 并联模型计算各阶段内子风险因素的概率分布,最后将二者相乘得到各风险层次的比重来直观地反应项目的风险程度. 对建设项目全寿命周期成本风险进行预测和评价有如下 5 个具体步骤.

- 1) 根据给出的风险综合评价体系,建立风险因素层次图.
- 2) 让每位专家按 1~9 的评分原则 (因素  $i$  与因素  $j$  同样重要时,取值 1;因素  $i$  比因素  $j$  重要很多时,取值 9),对各阶段风险因素两两比较和打分,以获得判断矩阵,并用层次分析法计算出各阶段的风险权重,建立风险因素权重集.
- 3) 采取问卷调查法,让每位专家对末层风险因素  $i$  给出评价  $j$ ,确定末层风险因素概率分布. 评价集  $V = \{\text{高风险,较高风险,适中风险,较低风险,低风险}\}$ ,每个末层风险因素概率分布  $P_{i,j} = N_{i,j} / N$ . 其中,  $N_{i,j}$  为把风险因素  $i$  归为同一风险等级  $j$  的专家人数;  $N$  为专家总数.
- 4) 用 CIM 并联模型,计算各阶段风险因素的概率分布.
- 5) 根据步骤 2) 所求出的各阶段风险因素权重,计算出项目总风险的概率分布<sup>[10]</sup>.

3 实例分析

贵州省贵阳市某安置房工程结构类型为底框架结构,工程总建筑面积为 18 782. 42 m<sup>2</sup>,建筑层数为 6 层. 项目投标总价 2 496 万元,工程大部分施工层的柱混凝土和梁板混凝土强度等级基本一致. 该工程位于城内,环保要求高,施工中必须有效控制环境因素及危险源对周边的影响. 由于地质特点以及当地行业现状等因素,在项目全寿命周期尤其是前期存在较大不确定性,风险易发.

3.1 层次分析法确定风险因素权重

针对风险因素之间相互存在的重要性,让 10 位专家对各阶段的风险因素进行两两对比评分,同样请这 10 名专家对 29 个末层风险因素的风险等级程度做出评价,结果分别如表 1,2 所示.

表 1 各阶段风险因素比较矩阵

Tab. 1 Risk factor comparison matrix in each stage

项目风险 A	决策阶段 B	设计阶段 C	施工阶段 D	运行阶段 E	报废回收阶段 F
决策阶段 B	1	4	3	4	7
设计阶段 C	1/4	1	1/3	1	5
施工阶段 D	1/3	3	1	3	5
运行阶段 E	1/4	1	1/3	1	4
报废回收阶段 F	1/7	1/5	1/5	1/4	1

表 2 风险等级概率分布

Tab. 2 Probability distribution of risk level

项目总风险 A	风险因素	风险等级概率				
		高	较高	适中	较低	低
决策阶段 B	业主选择的咨询机构情况 B <sub>1</sub>	0	0	0. 5	0. 3	0. 2
	市场调研 B <sub>2</sub>	0	0. 3	0. 5	0. 1	0. 1
	投资机会分析 B <sub>3</sub>	0. 3	0. 2	0. 2	0. 1	0. 2
	可行性研究的质量 B <sub>4</sub>	0. 1	0. 1	0. 5	0. 2	0. 1
	承发包模式的选择 B <sub>5</sub>	0	0	0. 5	0. 3	0. 2
决策阶段 C	设计招投标 C <sub>1</sub>	0. 2	0. 3	0. 5	0	0
	设计人员的素质 C <sub>2</sub>	0. 1	0. 2	0. 3	0. 4	0
	设计监督及对强制性标准执行的审核情况 C <sub>3</sub>	0. 2	0. 3	0. 4	0. 1	0
决策阶段 D	施工招投标 D <sub>1</sub>	0	0	0. 5	0. 3	0. 2
	合同管理 D <sub>2</sub>	0. 1	0. 2	0. 3	0. 4	0
	技术管理 D <sub>3</sub>	0	0	0. 5	0. 3	0. 2
	财务管理 D <sub>4</sub>	0. 3	0. 3	0. 3	0. 1	0
	材料供应与机械设备 D <sub>5</sub>	0	0	0. 5	0. 3	0. 2
	工期和质量控制 D <sub>6</sub>	0. 1	0. 2	0. 5	0. 1	0. 1
	安全和组织管理 D <sub>7</sub>	0. 2	0. 3	0. 4	0. 1	0
	自然因素 D <sub>8</sub>	0	0	0. 5	0. 3	0. 2
	通货膨胀 D <sub>9</sub>	0	0	0. 5	0. 3	0. 2
决策阶段 E	法律法规 E <sub>1</sub>	0. 1	0. 2	0. 4	0. 1	0. 2
	政策变化 E <sub>2</sub>	0	0	0	0. 6	0. 4
	规划调整 E <sub>3</sub>	0. 2	0. 3	0. 4	0. 1	0
	经营决策 E <sub>4</sub>	0. 3	0. 4	0. 3	0	0
	市场波动 E <sub>5</sub>	0. 2	0. 2	0. 4	0. 1	0. 1
	信贷紧缩 E <sub>6</sub>	0. 1	0. 2	0. 3	0. 2	0. 2
	技术进步 E <sub>7</sub>	0	0	0. 1	0. 4	0. 5
	竞争力 E <sub>8</sub>	0. 1	0. 2	0. 3	0. 2	0. 2
决策阶段 F	环保法律法规 F <sub>1</sub>	0. 1	0. 1	0. 1	0. 3	0. 4
	回收报废方法(技术进步)F <sub>2</sub>	0. 2	0. 1	0. 3	0. 2	0. 2
	自然环境 F <sub>3</sub>	0. 3	0. 4	0. 1	0. 1	0. 1
	社会环境 F <sub>4</sub>	0. 3	0. 4	0. 1	0. 1	0. 1

1) 根据表 1 得到 AHP 判断矩阵  $\mathbf{A}$ , 然后对每一列向量进行归一化处理. 即

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 3 & 4 & 7 \\ 1/4 & 1 & 1/3 & 1 & 5 \\ 1/3 & 3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/4 & 1 & 1/3 & 1 & 4 \\ 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.506 & 0.435 & 0.616 & 0.432 & 0.318 \\ 0.127 & 0.109 & 0.069 & 0.108 & 0.227 \\ 0.169 & 0.326 & 0.206 & 0.324 & 0.227 \\ 0.127 & 0.109 & 0.069 & 0.108 & 0.182 \\ 0.072 & 0.022 & 0.041 & 0.027 & 0.046 \end{bmatrix}.$$

(2)

2) 对归一化处理后的式(2)按行进行求和, 即可得

$$\tilde{\omega} = (\tilde{\omega}_1, \tilde{\omega}_2, \tilde{\omega}_3, \tilde{\omega}_4, \tilde{\omega}_5)^T = (2.307, 0.639, 1.252, 0.594, 0.208)^T.$$

(3)

3) 对求和后的式(3)进行归一化处理, 可得

$$\omega_i = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5)^T = (0.461, 0.128, 0.250, 0.119, 0.042)^T.$$

(4)

式(4)中:  $\omega_i$  即为近似特征向量, 即是各因素相对于上一层次的权重向量.

4) 采用算术平均数法(取近似值法)求最大特征根  $\lambda_{\max}$  和其正交化特征向量, 即

$$\mathbf{A}\omega = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 3 & 4 & 7 \\ 1/4 & 1 & 1/3 & 1 & 5 \\ 1/3 & 3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/4 & 1 & 1/3 & 1 & 4 \\ 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.461 \\ 0.128 \\ 0.250 \\ 0.119 \\ 0.042 \end{bmatrix}.$$

(5)

由此可得:  $(A\omega)_1 = 2.493, (A\omega)_2 = 0.656, (A\omega)_3 = 1.355, (A\omega)_4 = 0.614, (A\omega)_5 = 0.213$ . 由此可得  $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A\omega)_i}{n\omega_i} = 5.237$ . 其中:  $n$  代表判断矩阵要素的个数, 也就是矩阵的阶数, 文中  $n=5$ .

5) 一致性检验. 计算一致性指标  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.059$ , 查表确定随机一致性指标  $RI = 1.120$ , 则一致性比例  $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.059}{1.120} = 0.053 < 0.1$ , 达到一致性要求.

3.2 CIM 模型计算概率分布

1) 采用 CIM 模型, 计算出表 2 中各阶段风险因素的概率分布. 首先, 将任意两个风险因素进行并联叠加. 以设计阶段 C 的风险概率计算为例, 即首先将  $C_1$  和  $C_2$  进行并联叠加, 然后再将叠加后的结果  $C_{12}$  任意与剩余的风险因素  $C_3$  进行并联叠加, 可以得出设计阶段 C 各层次风险等级发生概率. 其他各阶段也以同样方法求得. 各阶段风险概率分布结果, 如表 3 所示.

表 3 各阶段风险概率分布

Tab. 3 Risk probability distribution of each stage

风险阶段	高	较高	适中	较低	低
B	0	0	0.098	0.317	0.585
C	0.004	0.071	0.465	0.460	0
D	0	0	0.012	0.283	0.705
E	0	0	0	0.138	0.862
F	0.002	0.028	0.086	0.273	0.611

2) 与之前计算的各主风险权重相乘, 可得本项目成本风险概率. 当风险等级为高、较高、适中、较低和低时, 项目总风险概率分布分别为 0.000 596, 0.010 264, 0.111 310, 0.303 655, 0.573 175. 由此可知本项目风险集中在较低和低风险层次, 低风险的可能性最大.

由表 3 可知: 设计阶段风险适中概率较大, 应予以注意和防范, 而其余阶段都集中于低风险层次, 这也印证了前文提到的设计准备阶段风险的多发性、更易产生严重后果的普遍特点.

4 结论

利用层次分析法确定建设项目全寿命周期各阶段的风险因素权重, 使用 CIM 模型定量分析次级风险, 并结合实例对建设项目全寿命周期成本风险按阶段进行评估. CIM 模型的操作简单明了, 成本风险

评价结果具有一定可靠性和客观性,可以为项目风险管理人员提供参考,有利于风险管理的顺利实施.

项目管理者应该着重加强设计阶段的风险防范,并认真布置应对措施.如市场调研的覆盖范围尽量扩大,选取适当的有效的样本点;设计招投标应严格把关,审查各单位素质,尽量选择经验丰富、口碑良好的设计单位.项目定义错误和决策失误是项目决策阶段面临的主要风险,是在各阶段、各项活动和要素在全寿命周期中能分析和识别出的可能存在的风险,减少这种风险的方法就是进行科学的不确定性和风险评估.

然而,风险变量之间实际上具有一定相关性,CIM 模型仍然是一个较为理想化的模型,这将导致不可避免的误差.同时,由于诸多因素和条件的限制,本文未能细致地进行风险因素分析及划分.

参考文献：

[1] FAY R,TRELOAR G,IYER-RANIGA U. Life-cycle energy analysis of buildings: A case study[J]. Building Research and Information,2000,28(1):31-41.

[2] 李瑞. 基于 LCC 价值分析理论的建设项目方案决策研究[D]. 西安:长安大学,2010:12-17.

[3] 常昭丽. 浅谈建设项目全寿命周期成本控制[J]. 硅谷,2008(4):86.

[4] 张亚莉,杨乃定,杨朝君. 项目的全寿命周期风险管理的研究[J]. 科学管理研究,2004,22(2):27-30.

[5] 董士波. 建设项目全生命周期成本管理[M]. 北京:中国电力出版社,2009:200-202.

[6] 王雪青. 工程项目成本规划与控制[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2011:336-342.

[7] CHAPMAN C B,COOPER D. Risk engineering approach basic controlled interval and memory models[J]. Journal of Operation Research,1983,34(1):51-60.

[8] 黄彩虹,金福江. 运用层次分析法的印染质量综合评价方法[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2009,30(1):30-33.

[9] 陈伟珂,姚卫峰,王亦虹. 基于 CIM 模型的公共政策风险决策实证研究[J]. 天津理工大学学报,2006,22(1):16-18.

[10] 李小浩,宋永发. CIM 模型在地铁施工安全风险评估中的应用[J]. 工程管理学报,2010,24(5):513-516.

CIM Risk Evaluation of Construction Project Life Cycle Cost

YU Tian, YE Qing

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** Based on building risk evaluation index system, controlled interval and memory (CIM) models and analytical hierarchy process, the life cycle cost (LCC) risk evaluation model was established. The analytical hierarchy process was adopted to determine the weight coefficient of each stage, probability distribution of secondary risk factors in each stage was calculated via CIM, then LCC risk of construction project can be predicted and evaluated. An engineering case analysis shows that project risk focuses on the lower risk level and the low risk level, the low risk probability is maximum; the risk probability is medium in design stage, the risk probability is low in other stages.

**Keywords:** risk evaluation; construction project; life cycle cost; controlled interval and memory models; analytical hierarchy process

(责任编辑：黄晓楠      英文审校：方德平)