

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.S1.013

地铁施工期风险源综合权重的确定

何德福

(赣州宏泰公路建设投资有限公司,江西赣州 341000)

摘要:层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)在建设管理中已经得到广泛应用,但是,该方法存在构造出的判断矩阵(Comparison Matrix, CM)难以满足一致性要求的问题。本文在已有成果基础上,进一步采用几何加权平均综合判断矩阵(Weighted Geometric Mean Complex Judgment Matrix, WGMCJM)方法确定了风险源的综合权重。通过调查问卷分析,改进的 AHP 和 WGMCJM 方法在地铁施工风险源综合权重确定中能够紧密的结合在一起,操作步骤简单易行,为多准则决策(multi-criteria decision-making, MCDM)分析和地铁施工风险管理提供了新的思路。

关键词:地铁施工;风险辨识;层次分析法;决策分析

中图分类号:TU714.3 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2014)S1-0050-03

Research on Calculating Integrated Weight of Risk in Subway Construction

He Defu

(Hongtai Highway Investment Company, Ganzhou 341000, Jiangxi, P. R. China)

Abstract: The application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) has become popular in different areas of construction management. However, the comparison matrix (CM) is not consistent as required. An Improved AHP (IAHP)^[25] was proposed to improve consistency by constructing CM with sorting methodology. Furthermore, in this paper, Weighted Geometric Mean Complex Judgment Matrix (WGMCJM) was applied to calculate the final weights of risks when the consistency of CM is acceptable. A case study was presented to illustrate that IAHP and WGMCJM can be used together as integrated approach in weight analysis. The integrated approach provides a new way of solving multi-criteria decision-making (MCDM) problem and risk management in metro construction.

Key words: subway construction; risk identification; analytic hierarchy process; decision analysis

近年来,在多准则决策(multi-criteria decision-making, MCDM)分析中利用层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)^[1-2]确定指标的权重,在建设管理中已经得到了广泛的应用。例如,项目管理^[3-4]、选择承包商^[5-8]、采购^[9]、设施选址^[10]、施工安全管理^[11]、项目/方案评价^[12-13]、绿色建筑评价^[14],以及技术/设备/材料的选择^[15-17]。张玉春^[18]研究了火灾发生时人员疏散过程中表现出的随机性和确定性行为造成的死亡风险。曹文贵^[19]采用三角模糊数互补判断矩阵排序方法确定权重,以体现评价指标重要程度取值的不确定性和专家判断的模糊性。项贻强^[20]在层次分析法层(AHP)结合专家打分建立各指标的权重,再利用模糊综合评价法(FCE)建立模糊评价集对桥梁的设计风险进行了研究。但是, AHP 在确定各指标权重时存在以下缺点^[21-22],一是判断矩阵的一致性,另一个是构造判断矩阵的方法过于复杂。针对上面的问题,很多文章对 AHP 的适用性进行了改进。Boender 等^[23]和 Chen 等^[24]在 AHP 中嵌入模糊方法来解决一致性问题。Sugihara^[25]也提出了模糊层次分析法对判断的不确定性和信息的不完整性进行处理。但是,这些改进使 AHP 在实际应用中更为复杂。在保证 AHP 简单适用

的基础上,文献[26]提出了一种改进的 AHP 来构造判断矩阵解决一致性问题。笔者进一步采用 Xu^[27]提出的几何加权平均综合判断矩阵(Weighted Geometric Mean Complex Judgment Matrix, WGMCJM)的方法进行风险源综合权重的确定,并对造成地铁施工事故的 5 种事故类型进行调查问卷分析,分析结果表明改进的 AHP 和 WGMCJM 方法在地铁施工风险源综合权重确定中能够紧密的结合在一起,操作步骤简单易行,为地铁施工风险管理提供了新的思路。

1 改进的层次分析法(IAHP)

1.1 判断矩阵不容易满足一致性的原因

造成 AHP 不容易满足一致性的原因有以下两个方面:首先,在 AHP 的使用过程中,通过两两比较的方法构造判断矩阵,若该层次中需要比较的因素有 n 个,那么接受调查的对象需要做出 $n(n-1)/2$ 个判断才能构造出该层次的判断矩阵。这种方法对调查对象来说内容过于繁杂,容易对调查的内容产生厌烦的心理,做出的判断也容易失真。其次,专家在对所有的元素进行比较判断的过程中,把其中的一个元素(B)与其它的元素进行比较,然后根据自己的经验、知识等

收稿日期:2014-05-20

作者简介:何德福(1957-),男,高级工程师,主要从事公路工程施工管理研究,(E-mail)13707078569@163.com。

因素给出一个模糊的重要程度的判断,即元素 B 与它元素相比重要程度如何,是同等重要、稍微重要、很重要、非常重要还是极其重要。然而,在判断的过程中,对重要程度的把握是非常困难的。由于很难做到对重要程度中“度”的准确把握,所以构造的判断矩阵有很大的失真,也很难满足一致性的要求。为了解决一致性问题,李凤伟^[25]对原有的 AHP 进行了改进。

1.2 IAHP 方法介绍

1.2.1 排序、赋值 改进的层次分析法(IAHP)与传统的层次分析法(AHP)最主要的区别就是:IAHP 通过先对元素排序,然后赋值的方法来构造判断矩阵。为了更好的说明 IAHP 的操作方法,下面结合地铁施工风险分析进行论述。首先对造成地铁施工事故的 5 个主要类型进行问卷调查。

1) 调查的内容

事故分类中,坍塌事故是指建筑物、构筑物、堆置物、土石方等因设计、堆置、摆放或施工不合理而发生倒塌造成伤害的事故。坍塌事故主要分为以下类别:深基坑(槽)施工中的土石方坍塌;拆除过程中的坍塌;模板、支撑失稳引起的坍塌;脚手架坍塌;大型起重机械安、拆装过程中引起的坍塌。塌陷主要是施工过程中造成路面的下沉。

在以下 5 种地铁施工事故类型中,按发生的频率由高到低进行排序。频率发生最高的排序为 1、其次排序为 2,依此类推,发生频率最低的排序为 5。

a. 塌陷() b. 机械事故() c. 火灾() d. 坍塌() e. 毒气()

2) 排序结果

专家 1 给出的排序为:

a. 塌陷(第 1 名) b. 机械事故(第 4 名) c. 火灾(第 3 名) d. 坍塌(第 2 名) e. 毒气(第 5 名)

专家 2 给出的排序为:

a. 塌陷(第 2 名) b. 机械事故(第 4 名) c. 火灾(第 3 名) d. 坍塌(第 1 名) e. 毒气(第 5 名)

专家 3 给出的排序为:

a. 塌陷(第 1 名) b. 机械事故(第 3 名) c. 火灾(第 4 名) d. 坍塌(第 2 名) e. 毒气(第 5 名)

3) 赋值

对排序后的事故类型(元素)进行赋值。把排名第 1 的元素赋值为 10,排名最后的元素赋值为 1,然后按线性内插的方法对位于中间的元素进行赋值。在问卷调查中,一共有 5 个元素。所以,排名第 1 的元素赋值为 10 分,排名第 2 的元素赋值为 8 分,剩下的 3 个元素的赋值分别为 6、3、1 分。排名最后的(第 5 名)为 1 分。按照调查结果中专家 1 给出的排序,则 5 个元素的赋值结果为:a. 塌陷(10 分),b. 机械事故(3 分),c. 火灾(6 分),d. 坍塌(8 分),e. 毒气(1 分)。

1.2.2 构造判断矩阵 对排序赋值后的结果按照下面的方法构造判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 。

计算元素值(u)之间的差

$$a_{ij} = u_i - u_j \quad (1)$$

式中:当 $u_i - u_j > 0$, $a_{ij} = u_i - u_j$; 当 $u_i - u_j < 0$, $a_{ij} = 1/u_j - u_i$; 当 $u_i - u_j = 0$, $a_{ij} = 1$ 。

按照式(1)构造的判断矩阵具有以下性质:

$$1) a_{ij} > 0, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$2) a_{ij} = 1/a_{ji}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. A \text{ 是正互反判断矩阵}$$

$$3) a_{ii} = 1$$

按照式(1)的构造方法,调查结果中 3 个专家的判断矩阵分别为 A_1, A_2, A_3 。

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 4 & 2 & 9 \\ 1/7 & 1 & 1/3 & 1/5 & 2 \\ 1/4 & 3 & 1 & 1/2 & 5 \\ 1/2 & 5 & 2 & 1 & 7 \\ 1/9 & 1/2 & 1/5 & 1/7 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 2 & 1/2 & 7 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 1/7 & 2 \\ 1/2 & 3 & 1 & 1/4 & 5 \\ 2 & 7 & 4 & 1 & 9 \\ 1/7 & 1/2 & 1/5 & 1/9 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 7 & 2 & 9 \\ 1/4 & 1 & 3 & 1/2 & 5 \\ 1/7 & 1/3 & 1 & 1/5 & 2 \\ 1/2 & 2 & 5 & 1 & 7 \\ 1/9 & 1/5 & 1/2 & 1/7 & 1 \end{pmatrix}$$

利用一致性比率 C_R ^[2]来衡量矩阵的一致性。 C_R 按式(2)计算。

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$W_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式中: C_R 为一致性比率(Consistency Rate); R_1 为平均随机性指标(Random Index); C_1 为一致性指标(Consistency Index); λ_{\max} 为矩阵的最大特征值; W 为与最大特征值对应的权向量。

R_1 是多次(500 次以上)重复进行随机判断矩阵特征值的计算之后取算数平均数得到的。许树柏^[28]得出的 1~15 阶重复计算 1 000 次的平均随机一致性指标如表 1 所示。

表 1 平均随机一致性指标 R_1 ^[28]

阶数(n)	1	2	3	4	5	6	7	8
R_1	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41

2 群组决策

由于群组决策在社会、经济、管理及工程系统等各个领域有着广泛的实际应用,所以一直是决策分析的一个重要的研究内容。为了使决策具有广泛的代表性,提高决策的有效性和准确性,一个复杂的评价需要由多个决策者参与其中。并且,在同一准则下分别独立地对决策的对象给出判断,这时将得到多个判断矩阵和相应的多个排序向量。如何把得到的多个判断矩阵和相应的多个排序向量进行综合以获得一个合理的决策,这就是群组决策所要解决的问题。

在基于 AHP 的群组决策方法——几何加权平均法

(WGMM)的基础上, Xu^[27]研究了 WGMM 的一致性问題, 提出了几何加权平均综合判断矩阵(WGMCJM)方法。证明了当每个判断矩阵(A_1, A_2, \dots, A_s)满足一致性要求时, 综合判断矩阵(\bar{A})也是满足一致性要求的, 并且,

$$\bar{A} = A_1^{\lambda_1} \circ A_2^{\lambda_2} \circ \dots \circ A_s^{\lambda_s} \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^s \lambda_k = 1, \quad \lambda_k > 0 (k = 1, 2, \dots, S) \quad (7)$$

其中 λ_k 为第 k 个专家所占的权重。

定义矩阵 $A = (a_{ij}), B = (b_{ij})$ 为 $n \times n$ 的判断矩阵。则

$$C = A \cdot B = (c_{ij}), \quad c_{ij} = a_{ij} b_{ij} \quad (8)$$

$$A^\lambda = (a_{ij}^\lambda) \quad (9)$$

关于如何确定专家的权重问题, 已经有很多的文献资料进行了此方面的研究, 本文不展开讨论。假设 3 个专家在进行判断时所占的权重都是同样重要的, 即: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1/3$, 由式(6)可以得到几何加权平均综合判断矩阵为(综合 1)

$$\bar{A}_1 = \begin{pmatrix} 1.000 & 0 & 5.192 & 5 & 3.825 & 9 & 1.259 & 9 & 8.276 & 8 \\ 0.192 & 6 & 1.000 & 0 & 0.693 & 4 & 0.242 & 6 & 2.714 & 4 \\ 0.261 & 4 & 1.442 & 2 & 1.000 & 0 & 0.292 & 4 & 3.684 & 0 \\ 0.793 & 7 & 4.121 & 3 & 3.420 & 0 & 1.000 & 0 & 7.611 & 7 \\ 0.120 & 8 & 0.368 & 4 & 0.271 & 4 & 0.131 & 4 & 1.000 & 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

采用排序赋值的方法构造出的判断矩阵都是满足一致性要求的。利用公式(5)分别对判断矩阵 A_1, A_2, A_3 和综合判断矩阵(10)进行计算, 求出风险源权重向量 W 。为了更好地对计算结果进行比较分析, 把权重向量汇总到表 2 中。

表 2 元素权重值计算结果

事故类型 (元素种类)	元素的权重值 W			
	专家 1	专家 2	专家 3	综合 1
塌陷	0.473 8	0.273 5	0.473 8	0.411 5
机械事故	0.061 1	0.061 1	0.061 1	0.087 0
火灾	0.153 9	0.153 9	0.153 9	0.118 4
坍塌	0.273 5	0.473 8	0.273 5	0.343 8
毒气	0.037 6	0.037 6	0.037 6	0.039 4

利用综合判断矩阵(10)计算得到的风险源权重分布情况见图 1 所示。

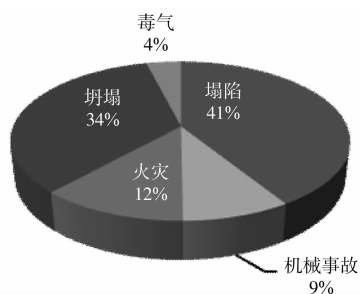


图 1 地铁施工风险源权重分布

塌陷和坍塌是地铁施工事故 2 类主要的类型, 占事故总数的 75%。火灾和机械事故占 21%。

3 结 论

在改进的 AHP 的基础上, 采用几何加权平均综合判断矩阵的方法来进行群组决策分析。通过对造成地铁车站施工事故的调查, 介绍了改进的 AHP 和几何加权平均综合判断矩阵(WGMCJM)方法在实际工程中的运用。改进的 AHP 和 WGMCJM 方法在确定地铁施工风险源权重中能够紧密的结合在一起, 操作步骤简单易行, 为多准则决策分析和地铁施工风险管理提供了新的思路。

参考文献:

- [1] Saaty T L. Exploring the interface between the hierarchies, multiple objectives and the fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1978(1):57-68.
- [2] Saaty T L. The analytical hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation [M]. McGraw-Hill International Book Co., London, England, 1980.
- [3] Al-Harbi K A S. Application of the AHP in project management [J]. International Journal of Project Management, 2001(19): 19-27.
- [4] Chan A H S, Kwok W Y, Duffy V G. Using AHP for determining priority in a safety management system [J]. Industrial Management and Data Systems, 2004, 104(5): 430-445.
- [5] Fong S W, Choi K Y. Final contractor selection using the analytical hierarchy process [J]. Construction Management and Economics, 2000(18):547-557.
- [6] Kahraman C, Cbeci U, Ulukan Z. Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP [J]. Logistics Information Management, 2003, 16(6):382-394.
- [7] Hsieh T Y, Lu S T, Tzeng G H. Fuzzy MCDM approach for planning and design tender selection in public office buildings [J]. International Journal of Project Management, 2004, 12: 573-584.
- [8] Cheng E W L, Li H. Contractor selection using the analytic network process [J]. Construction Management and Economics, 2004, 22: 1021-1032.
- [9] Cheung S O, Lam T I, Leung M Y, et al. An analytical hierarchy process based procurement selection method [J]. Construction Management and Economics, 2001, 19:427-437.
- [10] Yang J, Lee H. An AHP decision model for facility location selection [J]. Facilities, 1997, 15(9):241-254.
- [11] Teo E A L, Ling F Y Y. Developing a model to measure the effectiveness of safety management systems of construction sites [J]. Building and Environment, 2006, 41(11):1584-1592.
- [12] Su C W, Cheng M Y, Lin F B. Simulation-enhanced approach for ranking major transport projects [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2006, 12(4):285-291.
- [13] Bertolini M, Braglia M, Carmignani G. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract [J]. International Journal of Project Management, 2006, 24: 422-430.
- [14] Chang K F, Chiang C M, Chou P C. Adapting aspects of GBTool 2005 - searching for suitability in Taiwan [J]. Building and Environment, 2007, 42(1):310-316.

(下转第 66 页)