

Research on Safety Evaluation of Construction Site Based on AHP-FUZZY

Tao Zhang¹, Xiaowei Wu^{2*}, Hongbo Yu¹

¹Powerchina Hubei Electric Engineering Corporation, Wuhan Hubei

²Wuhan Metro, Wuhan Hubei

Email: ¹160152778@qq.com

Received: Nov. 3rd, 2019; accepted: Nov. 18th, 2019; published: Nov. 25th, 2019

Abstract

Aiming at the problems of safety accidents and the seriousness of losses in the construction industry, this paper introduces the fuzzy analytic hierarchy process (AHP-FUZZY) and establishes a safety evaluation model based on AHP-FUZZY. The weight of each evaluation index of the safety evaluation model is determined by AHP method, and the comprehensive safety evaluation of the construction site of Qichun Hexi Industrial Park is carried out in combination with the fuzzy mathematics theory. The construction site is in a basically normal safety state, which is consistent with the actual situation. This method is of great significance for improving the level of enterprise safety management.

Keywords

Construction Site, Safety Evaluation, AHP-FUZZY

基于AHP-FUZZY施工现场安全评价研究

张 涛¹, 武晓炜^{2*}, 喻红波¹

¹湖北省电力勘测设计院有限公司, 湖北 武汉

²武汉地铁集团, 湖北 武汉

Email: ¹160152778@qq.com

收稿日期: 2019年11月3日; 录用日期: 2019年11月18日; 发布日期: 2019年11月25日

摘 要

针对施工行业安全事故易发性和造成损失的严重性等问题, 本文引入模糊层次分析法(AHP-FUZZY), 建

*通讯作者。

立了基于AHP-FUZZY的安全评价模型。通过AHP确定了安全评价模型各评价指标的权重，并结合模糊数学理论对蕪春河西工业园施工现场进行了综合安全评价，该施工现场处于基本正常的的安全状态，与实际情况吻合，该方法的应用对提高企业安全管理水平具有重要意义。

关键词

施工现场，安全评价，AHP-FUZZY

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来，建筑业已经成为我国经济发展的主要产业之一，其对国民经济的发展发挥了举足轻重的作用。然而，建筑业由于其具有施工周期长、劳动条件差、工种复杂和危险性大等特点，使得建筑业已经成为我国所有工业部门中仅次于采矿业的最高危险行业。建筑施工过程的安全运行关系到国家健康发展和社会稳定，因此为保证施工安全开展，除需提供良好的施工技术措施外，还需使用安全评价方法对施工现场进行安全评价，确定施工现场的安全状态。

对于施工现场安全评价问题已有较多研究，袁春燕等[1]将模糊测度理论和模糊集理论引入施工现场安全评价研究中，并应用实例验证了模型的可行性；向鹏成、陈娟娟等[2] [3]将可拓理论引入施工现场安全评价研究中，效果良好；单仁亮、尹传根等[4] [5]将组合赋权法引入施工现场安全评价研究中，结合工程实例，验证了模型的可行性；张仕廉[6]将改进层次分析法引入施工现场安全评价研究中，通过实例验证了该方法的合理性。

本文在上述研究的基础上，以蕪春河西工业园施工现场为研究对象，建立基于 AHP-FUZZY 蕪春河西工业园施工现场安全评价模型，构建安全评价模型各层比较判断矩阵，确定各层评价指标权重，结合施工现场安全评价指标模糊隶属度，最后确定蕪春河西工业园施工现场安全等级。

2. AHP-FUZZY 安全评价模型

2.1. 建立安全评价指标体系

本文在已有研究[7] [8] [9]的基础上，根据《施工企业安全生产评价标准》(JGJ/T77-2010) [10]，结合蕪春河西工业园实际情况，将蕪春河西工业园安全评价指标体系划分为目标层、准则层和指标层。目标层表示想要得到的最终评价结果，故将蕪春河西工业园施工现场安全状态作为目标层。准则层代表最终目标所包括的重要组成部分，故将人的因素、机械设备、环境因素和总包管理作为准则层。指标层表示影响施工现场安全的各种影响指标，故将每个准则层进行细化，形成对应的指标层。综上所述，建立如图 1 所示的蕪春河西工业园安全评价指标体系。

2.2. 确定评语集

根据《施工企业安全生产评价标准》(JGJ/T77-2010)，将蕪春河西工业园安全评价指标和施工现场安全状态等级划分为五级： $V = (V_1, V_2, V_3, V_4, V_5) = (\text{正常}, \text{基本正常}, \text{轻度异常}, \text{重度异常}, \text{恶性失常})$ ，如表 1 所示。

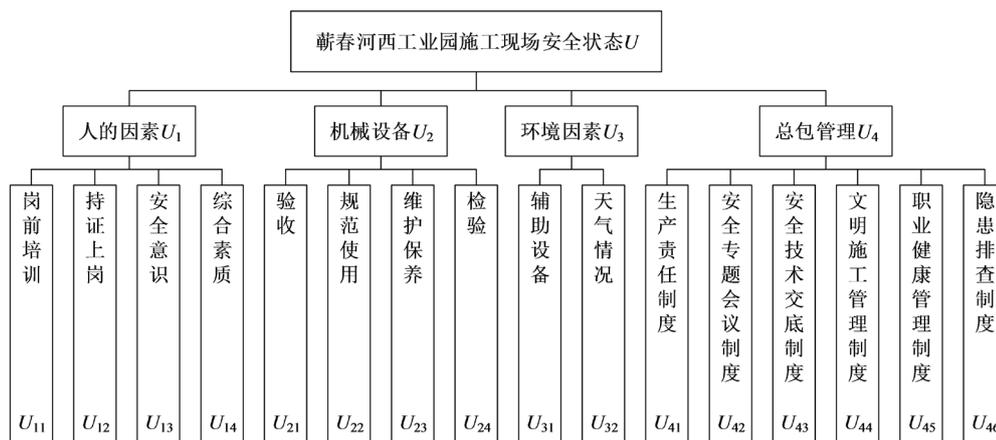


Figure 1. Qichun Hexi Industrial Park safety evaluation index system
图 1. 蕪春河西工业园安全评价指标体系

Table 1. Construction site safety and safety evaluation index classification
表 1. 施工现场安全和安全评价指标等级划分

安全等级	分级标准	标准值
V ₁	正常	[I ₁₁ ~I ₁₂]
V ₂	基本正常	(I ₂₁ ~I ₂₂)
V ₃	轻度异常	(I ₃₁ ~I ₃₂)
V ₄	重度异常	(I ₄₁ ~I ₄₂)
V ₅	恶性失常	(I ₅₁ ~I ₅₂)

$0 \leq I_{j1}, I_{j2} \leq 1;$
 $J = 1, 2, 3, 4, 5$

2.3. 确定评价指标模糊隶属度

根据评价指标的等级划分,对单指标 U_i 做评判,从指标 U_i 确定该指标所对应的评价指标安全等级 V_j 的隶属度 r_{ij} ,这样就得出第 i 个指标 U_i 的单指标模糊隶属度矩阵, m 个指标的模糊隶属度矩阵就构造出整个安全评价体系的模糊隶属度矩阵 R ,如下式所示:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

2.4. 构造判断矩阵

美国学者 Saaty 提出的层次分析法(AHP)是一种定性和定量相结合的实用决策方法,用于解决多目标复杂问题的决策分析,在社会各个领域得到了广泛的应用。AHP 作为一种评价方法,采用 1~9 标度法,通过对评价对象的两两比较,得出判断矩阵,对定性和定量问题的综合处理,得出明确的量化结论,并且通过优劣排序体现指标间的重要程度。其中标度的含义如表 2 所示。

2.5. 确定指标权重

判断矩阵 A 的特征根问题 $A \cdot W = \lambda_{\max} W$ 的解 W ,经归一化后即为本层指标对于上层指标重要性的赋权。由表 3 给出的 RI 的取值对层次指标排序进行一致性检验,当随机一致性比率 $CR = CI/RI < 0.1$ 时,认为层次单排序的一致性满足要求,否则需要重新选取判断矩阵的指标重要度。指标权重确定流程如图 2 所示。

Table 2. Judgment matrix scale meaning
表 2. 判断矩阵标度含义

标度	定义(比较指标 i 和 j)
1	指标 i 比 j 相同重要
3	指标 i 比 j 稍微重要
5	指标 i 比 j 较强重要
7	指标 i 比 j 强烈重要
9	指标 i 比 j 绝对重要
2, 4, 6, 8	为以上两个判断中间状态的对应值
倒数	当比较 j 和 i 时的对应值

Table 3. RI value
表 3. RI 的取值

判断矩阵	1	2	3	4	5	6	7	8
RI 值	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

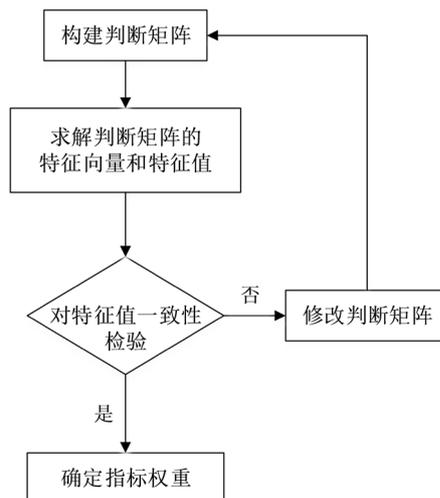


Figure 2. Indicator weight determination process
图 2. 指标权重确定流程

3. 实例分析

3.1. 工程概况

本工程位于蕲春县河西工业园内，一期规划用地面积 $106,380 \text{ m}^2$ ，规划建筑面积 $113,104 \text{ m}^2$ 。建设区域主要分为 6 个小、中、大型厂区及 1 个集中生活配套区，每个厂区有 1 栋办公楼、1 栋车间、1 栋仓库；生活配套区有 2 栋 15 + 1 层综合楼及 1 个多功能展厅。为保证工程安全施工，总包项目部每日上、下午各开展一次现场安全检查，每周三开展一次项目安全全面检查，每周四一次安全专题会议。

3.2. 构建判断矩阵

根据工程日程检查、验收等工程资料，在参考专家意见的基础上，构建判断矩阵，如表 4 所示。

Table 4. $U-U_i$, U_i-U_{ij} judgment matrix
表 4. $U-U_i$ 、 U_i-U_{ij} 判断矩阵

	U	U_1	U_2	U_3	U_4		
$U-U_i$	U_1	1	3	7	1/3		
	U_2	1/3	1	3	1/3		
	U_3	1/7	1/3	1	1/9		
	U_4	3	3	9	1		
	U_1	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}		
U_i-U_{ij}	U_{11}	1	1/3	1	1/5		
	U_{12}	3	1	3	1/3		
	U_{13}	1	1/3	1	1/3		
	U_{14}	5	3	3	1		
	U_2	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{24}		
U_i-U_{ij}	U_{21}	1	1/7	1/5	1/3		
	U_{22}	7	1	1	5		
	U_{23}	5	1	1	5		
	U_{24}	3	1/5	1/5	1		
	U_3	U_{31}	U_{32}				
U_i-U_{ij}	U_{31}	1	5				
	U_{32}	1/5	1				
	U_4	U_{41}	U_{42}	U_{43}	U_{44}	U_{45}	U_{46}
U_i-U_{ij}	U_{41}	1	5	1	1/3	1/3	5
	U_{42}	1/5	1	1/5	1/5	1/7	3
	U_{43}	1	5	1	1/3	1/3	7
	U_{44}	3	5	3	1	1	5
	U_{45}	3	7	3	1	1	5
	U_{46}	1/5	1/3	1/7	1/5	1/5	1

3.3. 确定评价指标权重

根据指标权重确定流程, 运用 Matlab 软件计算评价指标权重, 计算结果如表 5 所示。

Table 5. Evaluation index weight

表 5. 评价指标权重

目标层	权重值	准则层	权重值	指标层	权重值
U	1	U ₁	0.293	U ₁₁	0.101
				U ₁₂	0.267
				U ₁₃	0.119
				U ₁₄	0.513
		U ₂	0.137	U ₂₁	0.059
				U ₂₂	0.431
				U ₂₃	0.399
				U ₂₄	0.111
		U ₃	0.048	U ₃₁	0.833
				U ₃₂	0.167
				U ₄₁	0.100
				U ₄₂	0.289
		U ₄	0.523	U ₄₃	0.096
				U ₄₄	0.049
				U ₄₅	0.047
				U ₄₆	0.419

3.4. 确定评价指标模糊隶属度

结合工程相关资料, 邀请专家、项目经理和安全总监对各指标进行评价, 确定评价指标模糊隶属度如下:

$$\text{人的因素模糊隶属度 } R_1 = \begin{pmatrix} 0.35 & 0.55 & 0.10 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.50 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.40 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 0.20 & 0.40 & 0.30 & 0.10 & 0.00 \end{pmatrix}$$

$$\text{机械设备模糊隶属度 } R_2 = \begin{pmatrix} 0.55 & 0.30 & 0.15 & 0.00 & 0.00 \\ 0.35 & 0.50 & 0.15 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.45 & 0.15 & 0.10 & 0.00 \\ 0.30 & 0.45 & 0.10 & 0.15 & 0.00 \end{pmatrix}$$

$$\text{环境因素模糊隶属度 } R_3 = \begin{pmatrix} 0.55 & 0.35 & 0.10 & 0.00 & 0.00 \\ 0.35 & 0.35 & 0.15 & 0.15 & 0.00 \end{pmatrix}$$

$$\text{总包管理模糊隶属度 } R_4 = \begin{pmatrix} 0.45 & 0.45 & 0.10 & 0.00 & 0.00 \\ 0.65 & 0.35 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.35 & 0.50 & 0.15 & 0.00 & 0.00 \\ 0.55 & 0.40 & 0.05 & 0.00 & 0.00 \\ 0.50 & 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.45 & 0.15 & 0.10 & 0.00 \end{pmatrix}$$

3.5. 模糊综合评价

将各评价指标权重 W_j 与模糊隶属度矩阵 R_i 相乘计算可得:

$$B_1 = (0.101, 0.267, 0.119, 0.513) \times R_1 = (0.266, 0.442, 0.241, 0.051, 0)$$

$$B_2 = (0.059, 0.431, 0.399, 0.111) \times R_2 = (0.336, 0.463, 0.145, 0.056, 0)$$

$$B_3 = (0.833, 0.167) \times R_3 = (0.517, 0.350, 0.108, 0.025, 0)$$

$$B_4 = (0.144, 0.053, 0.157, 0.297, 0.311, 0.038) \times R_4 = (0.484, 0.453, 0.059, 0.004, 0)$$

则蕪春河西工业园施工现场安全等级模糊隶属度为:

$$B = (B_1, B_2, B_3, B_4) = \begin{pmatrix} 0.266 & 0.442 & 0.241 & 0.051 & 0.000 \\ 0.336 & 0.463 & 0.145 & 0.056 & 0.000 \\ 0.517 & 0.350 & 0.108 & 0.025 & 0.000 \\ 0.484 & 0.453 & 0.059 & 0.004 & 0.000 \end{pmatrix}$$

将准则层指标权重 W_i 与施工现场安全等级模糊隶属度矩阵 B 相乘计算可得:

$$S = (0.293, 0.137, 0.048, 0.523) \times B = (0.401, 0.447, 0.127, 0.025, 0)$$

由此可知, 蕪春河西工业园施工现场“正常状态”安全等级隶属度为 0.401, “基本正常状态”安全等级隶属度为 0.447, “轻度异常状态”安全等级隶属度为 0.127, “重度异常状态”安全等级隶属度为 0.025, “恶性失常状态”安全等级隶属度为 0。根据最大隶属度原则, 蕪春河西工业园施工现场处于基本正常的安全状态。

实际上, 蕪春河西工业园项目的施工现场, 各项管理制度健全、管理动作执行到位、安全防护设施齐全, 也会存在部分施工人员安全意识淡薄需反复提醒、部分安全防护设施搭设不规范或使用度不高、部分管理动作未能真正落实到一线工人等安全管理问题, 但该项目自开工以来未发生任何安全事故、整体安全状况基本可控, 这一安全现状与模型评价的结论是一致的, 也侧面证明了该模型评价方法用于蕪春河西工业园项目施工现场是可行的。

4. 结论

为确保施工安全, 除提供良好的施工技术保证措施, 我们还需要利用现代科学的方法对其进行安全评价, 从而弥补技术上的缺陷。因此, 本文结合蕪春河西工业园工程相关资料, 引入模糊层次分析法(AHP-FUZZY), 建立基于 AHP-FUZZY 蕪春河西工业园施工现场安全评价模型, 并运用该模型对施工现场进行了综合评价, 蕪春河西工业园施工现场处于基本正常的安全状态。安全评价方法在施工现场的应用可以提高施工现场安全管理水平, 降低事故发生的可能性以及事故发生后造成后果的严重性, 对企业的管理具有极其重要的意义。

参考文献

- [1] 袁春燕, 杨剑耕, 卢俊龙. 模糊测度理论在施工现场安全目标决策中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(3): 101-105.
- [2] 向鹏成, 陈远方. 建筑工程施工现场安全性评价及预警研究[J]. 项目管理技术, 2016, 14(9): 50-55.
- [3] 陈娟娟. 基于可拓云理论的施工安全综合评价及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉科技大学, 2017.
- [4] 单仁亮, 宁海龙, 李健芳. 基于组合赋权法的建筑施工现场安全综合评价[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2018, 20(2): 168-175.

- [5] 尹传根, 侯学良. 基于组合赋权法的特高压输变电工程施工质量灰色评价模型[J]. 河南工程学院学报(自然科学版), 2017, 29(3): 53-59.
- [6] 张仕廉, 许海鸿. 建筑施工现场组织及员工安全行为评价[J]. 建筑经济, 2017, 38(1): 53-57.
- [7] 黄世国. 建筑施工现场安全综合评价体系研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [8] 董秋实. 建筑施工现场安全评价体系的研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [9] 曹红峰. 建筑施工现场安全评价体系相关问题探讨[J]. 黑龙江科学, 2015, 6(6): 107.
- [10] 中华人民共和国建设部. 施工企业安全生产评价标准(JGJ/T77-2010) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.