

基于模糊综合评价法的地铁站安全评价

——以徐州彭城广场站为例

周欣雨

中国矿业大学矿业工程学院, 江苏 徐州

收稿日期: 2023年3月28日; 录用日期: 2023年5月8日; 发布日期: 2023年5月16日

摘要

随着我国城市轨道交通高速发展, 地铁站的安全隐患问题逐渐暴露, 建立健全地铁站安全评价体系显得十分重要。为准确地综合量化评价地铁站安全性, 提出针对性的措施, 以避免或降低地铁站的安全隐患, 本文运用模糊综合评价法, 从人、机、环、管四个方面, 量化评价指标, 对徐州地铁彭城广场站的安全性进行综合评价。最终计算得出综合评价结果, 并提出了针对城市地铁站的安全对策措施。

关键词

模糊综合评价法, 地铁站, 安全评价

Evaluation of Metro Station Safety Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

—A Case Study of Xuzhou Pengcheng Square Station

Xinyu Zhou

School of Mining Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu

Received: Mar. 28th, 2023; accepted: May 8th, 2023; published: May 16th, 2023

Abstract

With the rapid development of urban rail transit in China, there are many potential safety hazards in subway stations, and it is very important to establish and improve the safety evaluation system

of subway stations. In order to accurately and quantitatively evaluate the safety of metro stations and put forward targeted measures to avoid or reduce potential safety hazards of metro stations, this paper uses the fuzzy comprehensive evaluation method to comprehensively evaluate the safety of Pengcheng Square Station of Xuzhou Metro from the four aspects of man, machine, environment and pipe. Finally, the comprehensive evaluation results are calculated, and safety countermeasures for urban subway stations are proposed.

Keywords

Fuzzy Comprehensive Evaluation Method, Metro Stations, Safety Evaluation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

我国地铁系统的建设与美国、欧洲、日本等城市轨道交通发展较早的国家相比，起步较晚，但发展迅速，从1969年到2020年，我国地铁已在41个城市投入运营。而地铁的人流量大，运营环境较为封闭，当车站遭遇突发事件时，人员伤亡和财产损失的情况就极易容易发生。例如2018年北京地铁14号线车站电梯事故，造成1人死亡，5人受伤。还有2020年重庆地铁2号线发生墙体决裂事故，造成1人死亡，1人受伤。查阅我国近几年地铁车站发生的事故，虽说伤亡和损失与以往相比有所降低，但这些事故仍然提醒我们必须高度重视地铁车站安全问题，采取更加科学的防范措施，确保乘客出行的安全。

近年来，随着城市轨道交通的不断发展壮大，地铁车站的安全问题也日益引起社会各界的关注和重视。为了保障人民群众的出行安全，我国已经展开了一系列关于地铁车站安全的研究，并取得了一定的成果。如周雯等[1]采用AHP和灰色系统理论，用火灾、踩踏事件、电梯故障3种突发事件构建安全风险层次结构体系，并举例进行了风险评价；汪益敏等[2]针对人员密集型地铁车站，建立了四级安全评价指标体系，基于可拓理论对广州地铁3号线体育西路车站进行了安全评价；朱彤[3]针对地铁车站施工，运用工作分解结构方法来识别风险因素，构建了地铁车站施工安全评价指标体系，实现了在BIM环境下的车站施工安全风险的识别；刘陆[4]采用案例分析法，对223起地铁运营安全事故进行研究，构建了地铁车站运营安全管理系统动力学模型，并用系统模型仿真模拟了近五年的地铁车站运营安全水平。但是，随着城市轨道交通规模的不断扩大和人口密集度的不断增加，地铁车站的安全问题仍然面临诸多挑战和困难，需要进一步加强研究和实践，以更好地服务于城市化进程和人民群众的出行需求。

2. 模糊综合评价法

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法。该综合评价法能对事物进行定性与定量的综合评价，它根据隶属度理论把定性评价转化为定量评价，能够对一个事物进行全方位、多层次的综合评价。它具有结果清晰，实用性强的特点，可以很好地解决模糊和难以量化的问题，可应用于许多领域，如环境评价、市场调查、企业绩效评价等非确定性问题。在运用模糊综合评价法时，需要明确所评价的对象、评价的指标或因素、每个指标或因素的隶属度函数以及权重等细节内容。同时，还需要结合实际情况进行灵活运用，确保得出的评价结果可行可信。

模糊综合评价法的步骤通常可以分为以下几步：

1) 确定评价对象及其因素论域。即确定被评价对象的各个评价因素或指标，以及每个因素或指标的取值范围。

2) 建立隶属度函数。对于每个评价因素或指标，建立隶属度函数，用来描述该因素或指标取某个值时对被评价对象的影响程度。

3) 界定评价等级。根据评价等级划分标准，在每个评价因素或指标上定义一组评价等级。

4) 确定权重因子。针对每个评价因素或指标，赋予其相应的权重，反映其对最终评价结果的重要程度。

5) 综合评价。将每个评价因素或指标的隶属度函数、评价等级和权重因子综合考虑，采用模糊逻辑运算等方法，得出最终的评价结果。

通过查阅相关文献[5] [6] [7] [8] [9]可知，当因素集 U 较大时，在权矢量和为 1 的条件约束下，相对隶属度权系数往往偏小，权矢量与模糊矩阵 R 不匹配，结果会出现超模糊现象，隶属度没有区分度，评估效果不好。所以我们从人、机、环、管四个方面的评价指标入手，先用调查问卷将影响安全的因素细分，分别设置相应的问题，通过专家填写调查问卷进行评价，再分类统计结果，避免了计算复杂和隶属度没有区分度的问题。

3. 分析过程

3.1. 安全评价过程

3.1.1. 建立综合评价的因素集

假设 U 是影响地铁站安全的因素的集合， $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$ 。从“员工综合素质”、“机器设备情况”、“环境安全”、“管理制度”，即人、机、环、管四个方面进行分析，则 u_1 表示员工综合素质， u_2 表示机器设备情况， u_3 表示环境安全， u_4 表示管理制度。

3.1.2. 建立综合评价的评价集

假设 V 是对车站安全性评价划分等级的集合， $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ 。则 v_1 表示安全， v_2 表示较安全， v_3 表示较危险， v_4 表示危险。

3.1.3. 获得评价矩阵

以“安全”、“较安全”、“较危险”、“危险”为选项，从人、机、环、管四个方面设计问题制作调查问卷，对专家进行问卷调查，统计各选项数据，分别计算四个方面对四个选项的隶属度。

根据调查问卷得到的数据，将“人”这一方面对四个选项的隶属度假设为模糊集合 R_1 ，以此类推，剩下三个方面的因素也可以得到对应的集合 R_2, R_3, R_4 ，再以四个方面的单因素评价集 R_1, R_2, R_3, R_4 为行，组成矩阵 R ，即模糊综合评价矩阵。

3.1.4. 确定各因素的权重

根据各因素对车站安全的重要程度，分析“员工综合素质”、“机器设备情况”、“环境安全”、“管理制度”四项中每一项所占的权重。假设权重集合的模糊集为 A ，则 $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ 。根据地铁工作人员评估与数据处理，确定各因素权重为 $A = [0.25, 0.20, 0.25, 0.30]$ 。

3.1.5. 建立综合评价模型

确定单因素评判矩阵 R 和因素权向量 A 之后，通过模糊变化将 U 上的模糊向量 A 变为 V 上的模糊向量 B ， $B = A \cdot R$ ，所得的集合中数值最大的对应的评价等级即为对车站整体的最终评价。

从总体上看，用模糊综合评价法进行安全评价的主要流程如图 1 所示。

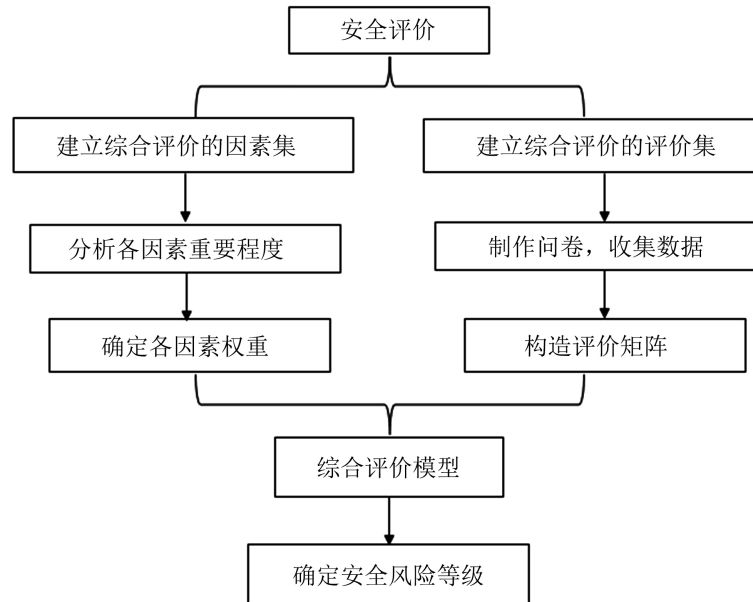


Figure 1. Schematic diagram of fuzzy comprehensive evaluation method
图 1. 模糊综合评价法示意图

3.2. 评价模型的建立

针对徐州地铁彭城广场站的“员工综合素质”、“机器设备情况”、“环境安全”、“管理制度”四个方面制作调查问卷，参考国家安全标准和车站具体情况，每个方面细分出若干问题，请专家填写问卷，共获得 109 份有效数据。通过统计调查问卷中的评分结果，可以建立起地铁车站安全评价体系各层次的模糊关系矩阵 R ，即二级评价指标的模糊关系矩阵 $R_1 \sim R_4$ 。

问卷统计得到的调查结果图表如下所示，图 2~5 中的“1, 2, 3, 4”是代表“安全”、“较安全”、“较危险”、“危险”的四个选项。

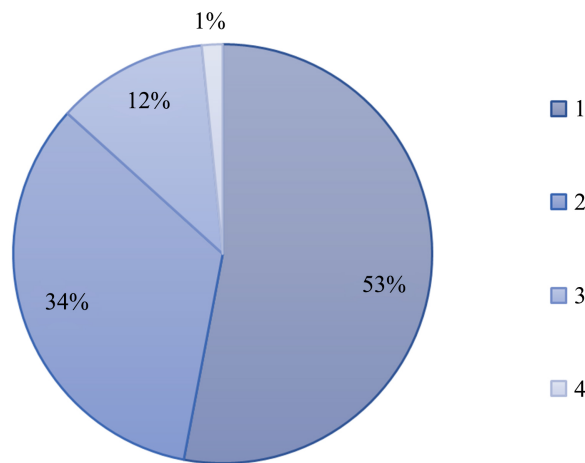


Figure 2. Evaluation of the comprehensive quality of employees
图 2. 员工综合素质评价情况

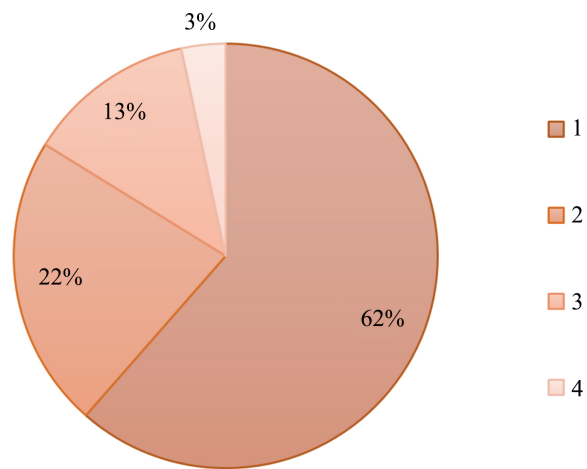


Figure 3. Evaluation of machinery and equipment factors
图 3. 机器设备因素评价情况

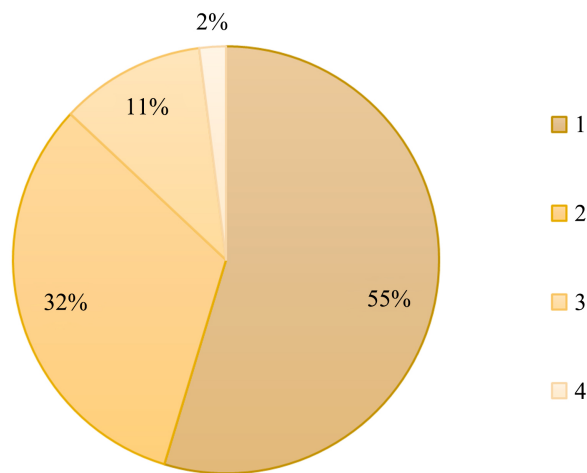


Figure 4. Environmental safety assessment
图 4. 环境安全评价情况

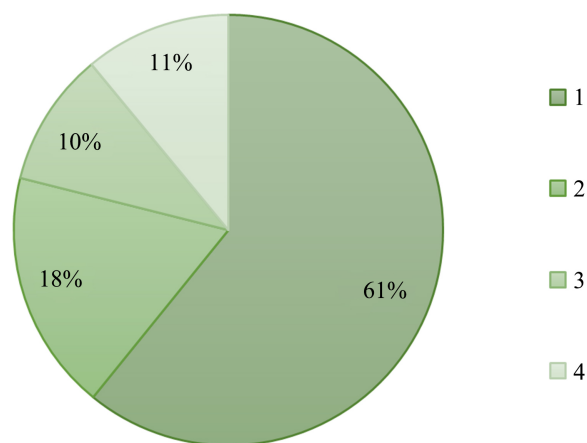


Figure 5. Evaluation of the management system
图 5. 管理制度评价情况

由统计结果可以得到以下评价矩阵:

- 1) 员工综合素质与各因素的评价矩阵 $R_1 = [0.53, 0.34, 0.12, 0.01]$
- 2) 机器设备情况与各因素的评价矩阵 $R_2 = [0.62, 0.22, 0.13, 0.03]$
- 3) 环境安全与各因素的评价矩阵 $R_3 = [0.55, 0.32, 0.11, 0.02]$
- 4) 管理制度与各因素的评价矩阵 $R_4 = [0.61, 0.18, 0.10, 0.11]$

以 R_i 为第 i 行构成评价矩阵可得:

$$R = \begin{bmatrix} 0.53 & 0.34 & 0.12 & 0.01 \\ 0.62 & 0.22 & 0.13 & 0.03 \\ 0.55 & 0.32 & 0.11 & 0.02 \\ 0.61 & 0.18 & 0.10 & 0.11 \end{bmatrix}$$

4. 结论及建议

4.1. 评价结果

对上述计算结果进行矩阵合成运算可得:

$$B = A * R = [0.25, 0.20, 0.25, 0.30] * \begin{bmatrix} 0.53 & 0.34 & 0.12 & 0.01 \\ 0.62 & 0.22 & 0.13 & 0.03 \\ 0.55 & 0.32 & 0.11 & 0.02 \\ 0.61 & 0.18 & 0.10 & 0.11 \end{bmatrix}$$

最终得出结果: $B = [0.577, 0.263, 0.1135, 0.0465]$

本文中的评价方法将评价等级划分为“安全”、“较安全”、“较危险”、“危险”四个等级,即对应 $B = [b_1, b_2, b_3, b_4]$ 。所以,根据最大隶属度的法则,评估可得,徐州地铁彭城广场站的安全评价等级为安全。

虽然最终得出的评价结果为安全,但结合问卷结果与实地调查,我们发现,徐州地铁彭城广场站还存在以下问题:

- 1) 在员工综合素质方面,安全管理人员和生产人员虽然都经过安全培训,掌握专业技能与知识,但日常工作中采取措施的主动性不强,偶尔存在擅自更改或放松要求的现象。
- 2) 车站内虽然有出入口等引导标志和安全提醒的标志,但缺少安全应急措施的宣传,站内张贴相关安全知识,乘客可以在发生危险时更好地配合工作人员。

4.2. 提出安全建议

本文只是针对彭城广场站进行调查,每个车站的安全问题不完全相同,因此,不光是这一车站,所有地铁车站安全情况都有可以提升的空间。通过总结查阅的文献资料[10][11][12][13]和以往的经验,在今后的研究工作中,还需要加强以下几方面的研究:

4.2.1. 定期检查,及时调整

根据评价结果和调查问卷反映出的问题,进行分析讨论,提出优化方案,对车站定期进行安全评估,根据评估结果的反馈及时调整车站的情况。当然,每个车站的情况不同,要具体问题具体分析。比如,在对徐州地铁彭城广场站的安全现状进行评价时,综合来看,有 11%的人在调查问卷中对应安全管理的方面选择了对应“危险”等级的选项,代表徐州地铁彭城广场站的安全在这一方面还有很多提升空间,应及时完善安全管理制度并落实安全生产责任制。

4.2.2. 完善应急预案

为进一步提高地铁安全，需要进行细致的风险评估，并制定实用的应急预案。此外，应该持续改进和优化现有的应急预案，并提高员工处理突发事件的能力。同时，也需要根据实际情况，对监测内容、监测点及网络布置进行优化调整。只有通过良好的预案制定和充分准备，才能有效避免次生事件的发生，最大限度地减少经济损失。在当今社会不断多样化的背景下，现场安全情况不断变化，因此，在危险来临之前制定可靠的应急救援方案至关重要。合理完善的应急预案将有助于救援人员能够快速、准确地展开救援行动，提升救援工作的成功率。

4.2.3. 加强安全教育的宣传与普及

人们对于地铁安全知识的匮乏可能会导致乘客的安全受到威胁，从而导致意外伤害和死亡。如程鹏和胡倩[14]提到地铁危险品的相关安全知识不够普及，以及乘客因侥幸心理将违禁物品带上地铁造成安全隐患的问题。而地铁车站安全教育有助于提高乘客的安全意识。地铁车站安全教育可以帮助乘客了解安全知识，让乘客知道如何保护自己，以及如何避免发生不安全的情况，还可以让乘客了解到不良行为对地铁设施和其他乘客造成的危害，从而减少人为破坏的发生。其次，地铁车站安全教育有助于提高安全管理能力。地铁车站安全教育可以帮助车站管理人员掌握安全管理的相关知识，提高地铁车站员工的安全意识和应急处置能力，让他们更好地掌握安全管理的技能，以便更好地管理车站，提高车站的安全性，保障地铁运营的安全和畅通。

4.2.4. 智能化安全管理

一方面，智能化地铁安全监测系统可以精确地检测到各种安全隐患，及时发现问题，从而有效预防和控制安全事故发生；另一方面，智能化地铁安全监测系统可以收集和分析大量的安全数据，从而为安全管理提供可靠的依据，使安全管理更加科学合理。因此，具体要做到细化城市地铁安全监测与评估系统的软件设计与开发，根据地铁运营安全标准和相关技术规范，强化软件系统各运行模块的数据处理功能，简化系统运行管理操作过程，提高地铁安全监测与评估系统的实际使用效率。

致 谢

学贵得师，亦贵得友。首先，我要感谢我的指导老师苑红伟副教授和交通运输专业每一个认真负责的老师。在我学习的过程中，他们一直给予我耐心细致的指导和悉心关怀，使我能够更好地理解和掌握专业知识，提高自己的研究水平。衷心祝愿各位老师身体健康，工作顺利！

其次，我要感谢我的家人和朋友。感谢他们在我最困难的时候给予我精神上的鼓励和支持，使我能够克服困难，迎接挑战，获得坚持下去的动力。希望我的家人朋友们健康平安，生活幸福！

此外，也要感谢与我并肩作战的同窗好友，感谢他们与我一起探讨、研究、交流，共同提高自己的学习能力和学术水平。感谢帮助过我的同伴们，我们每一个人都未来可期！

最后，我要感谢我所查阅参考的文献的作者们，正是参考了他们的研究成果，我才能够更加全面深入地认识和掌握研究方向，最终顺利完成论文。

谨向上述所有给予我帮助、支持和关怀的人士表示衷心的感谢和敬意！

参考文献

- [1] 周雯, 王洁, 周洁琼, 王佩. 基于灰色层次分析的地铁车站安全风险评价研究[J]. 安全, 2021, 42(2): 25-30.
- [2] 汪益敏, 罗跃, 于恒, 陈嘉诚, 黄鑫. 人员密集型地铁车站安全风险评价方法[J]. 交通运输工程学报, 2020, 20(5): 198-207.
- [3] 朱彤. 基于 BIM 的地铁车站施工安全风险识别与评估[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2020.

- [4] 刘陆. 基于系统动力学的地铁车站运营安全管理研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2020.
- [5] 王祥. 基于层次分析模糊综合评价的高速公路养护质量评价模型应用[J]. 交通世界, 2022(33): 52-55.
- [6] 凌杰瑶, 顾可恒. 基于模糊综合评价的共享单车市场竞争影响力模型构建研究[J]. 企业改革与管理, 2022(20): 75-77.
- [7] 陈冲, 刘星桥, 段文勇, 刘超吉. 基于改进层次分析法和模糊综合评价的哺乳母猪环境舒适性评估[J]. 农业工程技术, 2022, 42(27): 108.
- [8] 李啸然, 谢中朋. 基于熵权-模糊综合评价法的施工项目风险评价研究[J]. 安全与健康, 2022(6): 58-62.
- [9] Liu, Z.S. and Xue, J. (2022) Fuzzy Comprehensive Evaluation of Mixed Reality Seismic Retrofitting Training System. *Buildings*, **12**, 1598. <https://doi.org/10.3390/buildings12101598>
- [10] 石艳元. 地铁车站安全管理风险及应对方式探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(28): 58-59.
- [11] 马颀鸿. 浅谈地铁车站安全对策[J]. 低碳世界, 2018(9): 231-232.
- [12] 王馨鸿. 地铁车站安全管理风险及对策[J]. 山东工业技术, 2018(10): 240.
- [13] Lee, S. and Lee, S. (2022) The Effectiveness of Safety Education on Workforce Risks: Evidence from South Korea. *International Journal of Empirical Economics*, **1**, Article ID: 2250012. <https://doi.org/10.1142/S2810943022500123>
- [14] 程鹏, 胡倩. 浅谈地铁车站安全对策[J]. 通讯世界, 2018, 25(12): 311-312.