

# 基于AHPF的地铁施工安全风险影响因素研究

范心然, 朱会霞

辽宁工业大学经济管理学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2024年3月18日; 录用日期: 2024年4月20日; 发布日期: 2024年5月29日

## 摘要

根据2022年《中国统计年鉴》数据, 2021年民用汽车拥有量达到29418.59万辆, 较上年增加2077万辆。对比之前几年的数据发现, 近三年来, 汽车拥有量一直以这样的速度逐渐上升, 随之而来的就是更严重的交通问题。地铁作为唯一一个地下交通出行方式, 其优势就更加明显的凸现出来, 也为缓解交通堵塞发挥了重要作用。但地铁施工工期长, 施工跨度大, 施工环境复杂, 很容易发生施工事故, 造成人力财力的重大损失。本文为减少事故的发生, 通过实地考察和专家访谈, 结合查阅的文献资料建立地铁施工安全风险评价指标体系, 采用层次分析法计算权重, 再运用模糊综合评价法进行风险等级判定。以A市地铁十号线为例, 进行风险等级评价, 最后根据评价结果提出相应的对策与建议。

## 关键词

地铁, 施工安全风险, 模糊综合评价法

# Research on Influencing Factors of Subway Construction Safety Risks Based on AHPF

Xinran Fan, Huixia Zhu

School of Economics and Management, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

Received: Mar. 18<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 20<sup>th</sup>, 2024; published: May 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

According to data from the 2022 "China Statistical Yearbook", the number of civilian cars in 2021

reached 294.1859 million, an increase of 20.77 million from the previous year. Comparing data from previous years, it is found that car ownership has been gradually increasing at this rate in the past three years, followed by more serious traffic problems. As the only underground transportation mode, the advantages of the subway are more obvious and it also plays an important role in alleviating traffic congestion. However, the subway construction period is long, the construction span is large, and the construction environment is complex. Construction accidents are prone to occur, resulting in heavy losses of human and financial resources. In order to reduce the occurrence of accidents, this article establishes a subway construction safety risk management evaluation index system through on-site inspections and expert interviews, combined with the literature reviewed, uses the analytic hierarchy process to calculate the weights, and then uses the fuzzy comprehensive evaluation method to determine the risk level. Taking Metro Line 10 in City A as an example, we conducted a risk level evaluation and finally put forward corresponding countermeasures and suggestions based on the evaluation results.

## Keywords

Subway, Construction Safety Risk Management, Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

Copyright © 2024 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

近年来,人们生活水平不断提高,需求层次也随之增长。无论是旅行还是通勤,出行的人越来越多,这就给我国交通带来严峻考验。私家车数量的增多,让我国地上道路的压力不断提升,高峰时段的路段拥堵已经成为人们生活的一大困扰。虽然很多城市已经采取了限制措施,但是地上交通的压力还是很难减轻。地铁是现有交通工具中少有的正点率高,不受堵车困扰的出行工具。它运行速度快,较少受天气因素影响,占地面积小且不会对地上交通造成干扰,能源消耗少,多为电能运行,其运载能力也很可观。在条件允许的可能下,大力发展地铁运行是解决我国地上交通拥堵的有效方式。

1971年1月15日,在经过为期4年的建设后,我国第一条地铁线路在北京正式开通运营。50年之后,地铁已经成为我国各大城市的必不可少的交通工具。截至2023年9月30日,中国内地累计有58个城市已经开通地铁线路,许多一线城市就已经建立了四通八达的地铁网络,建设总里程达到10841.59公里,稳居世界前列。地铁给我们的生活带来很多方便之处,但地铁的建设过程充满变化,不断更新,充满着众多不可预测的因素。这些不可预测的因素往往会造成不可弥补的伤害,因此我们要重视地铁施工过程中的风险研究,力求将事故发生率降到最低。

## 2. 地铁施工安全风险影响因素的选取

影响地铁施工安全的因素有很多,要想保证地铁施工项目的顺利进行和完工,就要重视施工安全风险因素的识别和评估,从多方位、全过程考虑整个施工流程的风险因素。2011年,国家颁布了《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》(GB 50652-2011)和《地铁工程施工安全评价标准》(GB 50715-2011),要求我们从地铁工程施工安全组织管理、安全技术管理、环境安全管理、安全监控预警四个方面进行检查和评价。

除此之外,国内外学者在过去的的时间里也对地铁施工安全风险识别进行了深入且细致的研究,本文

稍加梳理, 记录如下: 李解等[1]为明确施工过程中存在的致险因素, 选取 2002~2015 年国内 151 例地铁施工安全风险事故报告, 借助 R 语言和文本挖掘的方法对事故报告进行风险因素识别。郑学召等[2]以西安某地铁隧道施工为例, 从人员、机器、环境多指标进行系统综合评价, 提出了一种新型的综合评价体系, 进而对地铁隧道施工风险等级进行评估。于文龙等[3]通过采用 WSR 系统方法, 从物理、事理、人理 3 个维度确定地铁施工安全评价指标, 结合博弈论的思想在客观赋权和主观赋权上取得最优解, 综合确定安全评价指标权重。龚颖超等[4]研究施工过程中存在的安全风险因素, 运用层次分析法计算风险指标权重, 构建地铁深基坑施工安全风险评价体系建立地铁深基坑施工安全风险评价模型。吴波等[5]构建以主成分法、灰色关联-TOPSIS 为基础的多尺度综合评估模型, 并加以运用。刘平等[6]使用集对分析(SPA)方法从降雨、水文地质、施工设计和管理四个方面分析封面, 采用改进层次分析法、熵权法(和线性赋权法对各指标因素进行权重分析。

根据以上对国家现行标准和文献的收集和梳理, 总结得到地铁施工安全风险影响因素:

- 1) 施工环境因素, 包括工程地质环境、工地内部环境、工地周边环境、自然气候;
- 2) 施工管理与应急能力因素, 包括规章制度、施工方案、监测能力、拯救能力;
- 3) 施工人员与技术因素, 包括身体健康状况、施工安全意识、工程设计应用、专业技能经验;
- 4) 施工材料与设备因素, 包括材料质量、材料存放条件、设备使用程度、设备合格率。

### 3. 地铁施工安全风险影响因素分析

#### 3.1. 研究方法

20 世纪 70 年代初, 美国学者萨蒂提出层次分析法, 他将决策看做是一个整体的系统, 再将能够影响决策的因素按找一定的特征顺序分解为不同的层次, 对每个层次的不同因素进行打分, 最后通过加权计算做出决策。

模糊综合评价法是用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出整体评价的方法。其评价结果具有清晰明了、系统性强等特点, 能够扩大信息量, 将定性评价转换为定量评价, 较好地解决模糊的、难以量化的问题, 适合各种非确定性问题的解决。

#### 3.2. 工程简介

A 市地铁十号线线路全长约 24.5 km, 共包含 16 座车站, 全部为地下车站, 其中换乘车站 7 座, 设有 1 座停车场, 其中 G 站作为某高铁站的配套工程已经先期实施。平均站间距约 1.48 km, 最小站间距 978 m, 最大站间距 2478 m。全线车站大部分采用明挖法施工, 部分车站因其环境和设计特殊故采用明挖法与盖挖法结合的施工方法; 区间施工主要以盾构法为主, 局部采用明挖法或矿山法施工。

#### 3.3. 实证研究

以地铁施工安全风险管理能力评价为目标层, 细分为 4 个准则层, 分别为施工环境因素  $B_1$ 、施工管理与应急能力因素  $B_2$ 、施工人员与技术因素  $B_3$  和施工材料与设备因素  $B_4$ ; 再根据对施工现场的实地考察, 结合相关政策材料的研究和对行业专家、现场施工人员的访谈情况, 将一级评价指标进一步细分为 16 个因素, 最终确立 A 市地铁十号线安全风险管理评价指标体系, 如表 1 所示。

##### 3.3.1. 指标权重确定

根据萨蒂的 1~9 标度法, 制作并发放问卷, 再结合问卷收集的数据结果, 构造判断矩阵。对判断矩阵进行一致性检验, 一致性检验结果见表 2, 可以看出, 所有判断矩阵均已经通过一致性检验。采用方根法计算得出权重。判断矩阵和及计算出的权重结果具体见表 3~7。

**Table 1.** Safety risk assessment index system during subway construction stage  
**表 1.** 地铁施工阶段安全风险评价指标体系

目标层	一级评价指标	二级评价指标
施工阶段安全风险 A	施工环境因素 B <sub>1</sub>	工程地质环境 C <sub>1</sub>
		工地内部环境 C <sub>2</sub>
		工地周边环境 C <sub>3</sub>
		自然气候 C <sub>4</sub>
	施工管理与应急能力因素 B <sub>2</sub>	规章制度 C <sub>5</sub>
		施工方案 C <sub>6</sub>
		监测能力 C <sub>7</sub>
		拯救能力 C <sub>8</sub>
	施工人员与技术因素 B <sub>3</sub>	身体健康状况 C <sub>9</sub>
		施工安全意识 C <sub>10</sub>
		工程设计应用 C <sub>11</sub>
		专业技能经验 C <sub>12</sub>
	施工材料与设备因素 B <sub>4</sub>	材料质量 C <sub>13</sub>
		材料存放条件 C <sub>14</sub>
		设备使用程度 C <sub>15</sub>
		设备合格率 C <sub>16</sub>

**Table 2.** Consistency test results of each comparison judgment matrix  
**表 2.** 各比较判断矩阵的一致性检验结果

指标	A-B	B <sub>1</sub> -C	B <sub>2</sub> -C	B <sub>3</sub> -C	B <sub>4</sub> -C
CR	0.0099	0.0673	0.0092	0.0242	0.0973

**Table 3.** A-B comparison judgment matrix and weight values  
**表 3.** A-B 比较判断矩阵及权重值

施工阶段安全风险 A	施工环境因素 B <sub>1</sub>	施工管理与应急能力因素 B <sub>2</sub>	施工人员与技术因素 B <sub>3</sub>	施工材料与设备因素 B <sub>4</sub>	权重 ω
施工环境因素 B <sub>1</sub>	1	7	1/2	3	0.3157
施工管理与应急能力因素 B <sub>2</sub>	1/7	1	1/8	1/2	0.0539
施工人员与技术因素 B <sub>3</sub>	2	8	1	5	0.5245
施工材料与设备因素 B <sub>4</sub>	1/3	2	1/5	1	0.106

**Table 4.** B<sub>1</sub>-C comparison judgment matrix and weight values**表 4.** B<sub>1</sub>-C 比较判断矩阵及权重值

施工环境因素 B <sub>1</sub>	工程地质环境 C <sub>1</sub>	工地内部环境 C <sub>2</sub>	工地周边环境 C <sub>3</sub>	自然气候 C <sub>4</sub>	权重 $\omega$
工程地质环境 C <sub>1</sub>	1	2	5	7	0.5175
工地内部环境 C <sub>2</sub>	1/2	1	5	4	0.3181
工地周边环境 C <sub>3</sub>	1/5	1/5	1	3	0.1053
自然气候 C <sub>4</sub>	1/7	1/4	1/3	1	0.0591

**Table 5.** B<sub>2</sub>-C comparison judgment matrix and weight values**表 5.** B<sub>2</sub>-C 比较判断矩阵及权重值

施工管理与应急能力因素 B <sub>2</sub>	规章制度 C <sub>5</sub>	施工方案 C <sub>6</sub>	监测能力 C <sub>7</sub>	拯救能力 C <sub>8</sub>	权重 $\omega$
规章制度 C <sub>5</sub>	1	8	5	3	0.0774
施工方案 C <sub>6</sub>	1/8	1	1/2	1/2	0.6096
监测能力 C <sub>7</sub>	1/5	2	1	1	0.1465
拯救能力 C <sub>8</sub>	1/3	2	1	1	0.1664

**Table 6.** B<sub>3</sub>-C comparison judgment matrix and weight values**表 6.** B<sub>3</sub>-C 比较判断矩阵及权重值

施工人员与技术因素 B <sub>3</sub>	身体健康状况 C <sub>9</sub>	施工安全意识 C <sub>10</sub>	工程设计应用 C <sub>11</sub>	专业技能经验 C <sub>12</sub>	权重 $\omega$
身体健康状况 C <sub>9</sub>	1	2	2	5	0.4454
施工安全意识 C <sub>10</sub>	1/2	1	1/2	3	0.196
工程设计应用 C <sub>11</sub>	1/2	2	1	3	0.0813
专业技能经验 C <sub>12</sub>	1/5	1/3	1/3	1	0.2772

**Table 7.** B<sub>4</sub>-C comparison judgment matrix and weight values**表 7.** B<sub>4</sub>-C 比较判断矩阵及权重值

施工材料与设备因素 B <sub>4</sub>	材料质量 C <sub>13</sub>	材料存放条件 C <sub>14</sub>	设备使用程度 C <sub>15</sub>	设备合格率 C <sub>16</sub>	权重 $\omega$
材料质量 C <sub>13</sub>	1	3	8	2	0.4743
材料存放条件 C <sub>14</sub>	1/3	1	9	3	0.0414
设备使用程度 C <sub>15</sub>	1/8	1/9	1	1/5	0.3121
设备合格率 C <sub>16</sub>	1/2	1/3	5	1	0.1722

将以上表格的权重数据进行汇总, 得到所有二级指标相关权重的量化表(小数点后取两位小数)如表 8 所示。

**Table 8.** Quantitative table of weights for emergency management capability evaluation during construction stage  
**表 8.** 施工阶段应急管理评价各权重量化表

目标层	一级评价指标	权重 $\omega$	二级评价指标	权重 $\omega$
施工阶段安全风险 A	施工环境因素 B <sub>1</sub>	0.32	工程地质环境 C <sub>1</sub>	0.52
			工地内部环境 C <sub>2</sub>	0.32
			工地周边环境 C <sub>3</sub>	0.11
			自然气候 C <sub>4</sub>	0.06
	施工管理与应急能力因素 B <sub>2</sub>	0.05	规章制度 C <sub>5</sub>	0.08
			施工方案 C <sub>6</sub>	0.61
			监测能力 C <sub>7</sub>	0.15
			拯救能力 C <sub>8</sub>	0.17
	施工人员与技术因素 B <sub>3</sub>	0.52	身体健康状况 C <sub>9</sub>	0.45
			施工安全意识 C <sub>10</sub>	0.20
			工程设计应用 C <sub>11</sub>	0.08
			专业技能经验 C <sub>12</sub>	0.28
	施工材料与设备因素 B <sub>4</sub>	0.11	材料质量 C <sub>13</sub>	0.47
			材料存放条件 C <sub>14</sub>	0.04
			设备使用程度 C <sub>15</sub>	0.31
			设备合格率 C <sub>16</sub>	0.17

从表 8 可以看出, 在一级评价指标中, 施工人员与技术因素所占的权重最大, 其次是施工环境因素, 再接下来是是施工材料与设备因素和施工管理与应急能力因素。

### 3.3.2. 安全风险等级确定

将收集到的问卷数据按照极低风险、低风险、一般、高风险、极高风险五个等级进行分类, 根据各评价等级人数确定的隶属度矩阵  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  如下。

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.16 & 0.26 & 0.28 & 0.10 & 0.2 \\ 0.12 & 0.26 & 0.34 & 0.25 & 0.03 \\ 0.17 & 0.28 & 0.36 & 0.17 & 0.02 \\ 0.20 & 0.34 & 0.25 & 0.11 & 0.10 \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0.33 & 0.28 & 0.14 & 0.20 & 0.05 \\ 0.35 & 0.20 & 0.24 & 0.18 & 0.03 \\ 0.20 & 0.22 & 0.33 & 0.20 & 0.05 \\ 0.19 & 0.24 & 0.37 & 0.15 & 0.05 \end{pmatrix}$$

$$R_3 = \begin{pmatrix} 0.44 & 0.20 & 0.16 & 0.16 & 0.04 \\ 0.26 & 0.25 & 0.14 & 0.25 & 0.10 \\ 0.12 & 0.28 & 0.30 & 0.20 & 0.10 \\ 0.18 & 0.22 & 0.37 & 0.16 & 0.07 \end{pmatrix}$$

$$R_4 = \begin{pmatrix} 0.33 & 0.28 & 0.10 & 0.19 & 0.10 \\ 0.23 & 0.21 & 0.32 & 0.12 & 0.12 \\ 0.20 & 0.19 & 0.34 & 0.16 & 0.01 \\ 0.15 & 0.28 & 0.15 & 0.21 & 0.09 \end{pmatrix}$$

则单因素模糊评价矩阵为:

$$P_1 = \omega_1 * R_1 = (0.1627, 0.2625, 0.3078, 0.1552, 0.1218)$$

$$P_2 = \omega_2 * R_2 = (0.3282, 0.302, 0.2183, 0.1987, 0.0489)$$

$$P_3 = \omega_3 * R_3 = (0.318, 0.2176, 0.2336, 0.1663, 0.0745)$$

$$P_4 = \omega_4 * R_4 = (0.2701, 0.2434, 0.2229, 0.1271, 0.1095)$$

进一步将上述单因素的模糊评价矩阵与相应的权重结合, 可得到多因素的模糊综合评价矩阵  $P$ :

$$P = \omega * (P_1, P_2, P_3, P_4) = (0.264, 0.239, 0.255, 0.160, 0.097)$$

综上所述, 根据 A 市 10 号线施工安全风险综合评价来看, 属于“极低风险”的有 0.264, 属于“低风险”的有 0.239, 属于“一般”的有 0.255, 属于“高风险”的有 0.160, 属于“极高风险”的有 0.097。根据最大隶属度的法则, A 市地铁 10 号线施工安全风险等级处于极低风险。

## 4. 对策与建议

### 4.1. 重视提前调研, 保持现场整洁

项目考察与调研是整个施工阶段的开始, 也是施工过程中至关重要的一步。好的风险管理就是要在风险萌生之前, 在风险源进行拦截。在地铁施工正式开始之前, 要做好调研, 重点考察地质情况、水文情况, 还要对周边居民住宅情况、是否涉及景区等情况进行了解。对整个施工环境有充分的了解, 防止因为信息不全而导致的风险事故的发生。

在整个地铁施工过程中, 要保持施工现场的整洁。材料堆放要设计合理, 大型机器和设备也要有固定妥帖的位置存放, 及时清理施工产生的建筑垃圾和废料, 对施工过程中产生的污水也要设计好排放路线和处理方式。

### 4.2. 细化施工方案, 提高应急能力

施工方案包含的信息很多, 诸如组织机构方案、人员组成方案、技术方案、安全方案、材料方案等都会在施工方案里有所展示。在编制地铁施工方案的过程中, 无论是地铁车站的施工方案还是隧道区间的施工方案, 要从各个角度全方位的进行考虑, 力求精细化。

除了降低风险发生的概率, 还要提高应急反应的能力, 建立应急反应机制, 编制应急预案, 做好应急反应资源的协调。在风险发生时, 能够快速做出反应, 做出应急救援措施, 减少人员伤亡和财物损失。

### 4.3. 规范工作制度, 保障人员健康

施工人员的身体健康是保证地铁施工顺利完成的基本保障。施工方首先要建立恰当的工作制度, 切



实有效的实行, 使施工人员的工作时间合理且有充足的休息时间, 不疲劳工作。其次要做好后勤保障工作, 给施工人员创造一个良好的工作环境。最后还要根据实际情况开展技能培训, 提高施工人员的安全意识和专业技术能力, 确保工程能够按时保质完成。

#### 4.4. 严抓材料质量, 控制设备使用

2018年12月25日, 住房和城乡建设部印发《城市轨道交通工程土建施工质量标准化技术指南》。明确要求凡将要构成永久性工程组成部分的一切材料(含半成品、成品), 都必须符合设计文件及相关规范、规定和要求, 从中足以可见材料质量的重要性。各施工单位必须严抓材料质量, 不放松任何一个标准, 依据国家有关标准和规定, 选用合格的原材料。

施工现场还要安排专门的人员定期对使用的大型设备进行修缮和保养, 如盾构机、隧道掘进机和起重机等, 一旦发现机器异常要立即停止使用。对已经超出使用寿命的机器和设备, 要及时停用并更换, 防止造成严重的施工事故。

### 5. 结语

综上所述, 地铁项目是减少通勤时间、加强城市化规划建设中的重要内容, 通过施工安全风险控制和管理能够有效控制地铁施工过程中安全风险事故的发生, 保证地铁工程项目的顺利进行, 提高施工活动的效率。不仅有利于地铁施工建设经济效益目标的实现, 对于社会经济的有序稳定发展也具有十分积极的意义。

### 参考文献

- [1] 李解, 王建平, 许娜等. 基于文本挖掘的地铁施工安全风险事故致险因素分析[J]. 隧道建设, 2017, 37(2): 160-166.
- [2] 郑学召, 姜鹏, 刘会林, 等. 基于梯形模糊层次法的地铁施工风险评价研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(9): 56-60.
- [3] 于文龙, 张向阳. 基于博弈论——可拓理论的地铁施工安全评价[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(S2): 30-37.
- [4] 龚颖超, 路婉妮, 陶红雨. 基于 CIM-AHP 模型地铁深基坑施工风险研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2022, 45(10): 1422-1427.
- [5] 吴波, 蔡琦, 刘聪, 等. 城市地铁车站施工安全风险多尺度评估模型及应用[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(3): 633-641.
- [6] 刘平, 金学强, 许家铭, 等. 基于本体的地铁车站施工安全风险知识自动化识别[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(8): 12-18.