

DOI: 10.7672/sgjs2024210128

# 基于 SEM 与云模型的公共建筑施工安全风险评估\*

张东辉<sup>1</sup>, 卢占宾<sup>1</sup>, 曹佳伟<sup>2</sup>, 任 劼<sup>2</sup>

(1. 中铁十二局集团华南工程有限公司, 广东 中山 528400;

2. 西安理工大学土木建筑工程学院, 陕西 西安 710048)

**[摘要]** 为精准评估大型公共建筑施工过程中的安全风险等级, 提出基于结构方程模型(SEM)与云模型的施工安全风险评估方法。通过文献研究法检索以公共建筑、安全风险、风险评估等为关键词的相关文献, 按人员、机械、材料、管理、环境要素对安全风险指标进行初步筛选, 通过灰色关联度分析建立指标体系。综合分析各指标之间的关系, 确定各指标权重。计算施工安全风险评估云与综合云, 通过计算云相似度确定施工安全风险等级。研究结果表明, 机械设备合规性、定期维修保养及材料质量对公共建筑施工安全风险的影响较大。基于 SEM 与云模型的评估结果与实际情况相符, 证明了评估方法的实用性与准确性。

**[关键词]** 公共建筑; 安全; 风险; 评估; 结构方程模型; 云模型

**[中图分类号]** TU71

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 2097-0897(2024)21-0128-06

## Risk Assessment of Public Building Construction Safety Based on SEM and Cloud Model

ZHANG Donghui<sup>1</sup>, LU Zhanbin<sup>1</sup>, CAO Jiawei<sup>2</sup>, REN Jie<sup>2</sup>

(1. China Railway 12th Bureau Group Co., Ltd. South China Branch, Zhongshan, Guangdong 528400, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

**Abstract:** In order to accurately assess the risk level during the construction process of large public buildings, a construction risk assessment method based on structural equation model (SEM) and cloud models is proposed. Through literature research, relevant literatures with keywords such as public buildings, safety risks and risk assessments are collected and retrieved. The safety risk indicators are initially screened based on personnel, machinery, materials, management and environmental factors, and an indicator system is established through grey relational degree analysis. The weight of each index is determined by analyzing the relationship between the indexes. The construction safety risk assessment cloud and the comprehensive cloud are calculated, and the construction safety risk level is determined by calculating the cloud similarity. The research results show that the compliance of mechanical equipment, regular maintenance and material quality have a significant impact on the safety risks of public building construction. The evaluation results based on SEM and cloud model are consistent with the actual situation, proving the practicality and accuracy of the evaluation method.

**Keywords:** public building; safety; risk; assessment; structural equation modeling (SEM); cloud model

### 0 引言

大型公共建筑施工阶段面临的风险具有多样化、不确定性较强的特点, 为确保工程顺利进行, 相关单位应加强对风险的识别和评估能力, 建立全面

的风险评估体系。

近年来, 越来越多的学者研究了公共建筑施工安全风险, 旨在提高施工安全性。王锦芳<sup>[1]</sup>通过研究国内大型公共建筑施工风险管理现状, 构建了相对全面的风险评估模型, 并提出了风险防范及应对措施。张溢<sup>[2]</sup>通过系统梳理大型公共建筑施工风险管控过程, 构建了施工风险 BIM5D 管控体系, 提出了风险管控方案。刘国彬等<sup>[3]</sup>提出了基于案例

\* 中铁十二局集团华南工程有限公司科技项目(107-441223078)

[作者简介] 张东辉, 高级工程师, E-mail: Zhangdonghui\_12th@163.com

[收稿日期] 2024-04-19

数据的基坑施工连续破坏风险评估法,利用数据库统计结果进行定量计算。齐军<sup>[4]</sup>通过分析综合办公楼工程施工阶段风险影响因素,得出了包含 21 个风险指标的施工风险清单,并综合运用 AHP 法、模糊综合评判法和 ABC 法对工程风险进行评估,提出了风险规避和管控措施。姚建石等<sup>[5]</sup>建立了超高层建筑施工事故风险评估方法,结合 BIM 技术开发了超高层建筑施工事故风险评估系统。黄霞<sup>[6]</sup>对柳州火车站改建站房工程施工安全风险进行了研究,并建立了风险故障树模型,分析、识别安全风险指标并确定各指标重要性。卓彬等<sup>[7]</sup>基于 Noisy-or Gate 模型、贝叶斯网络及模糊理论的综合应用,针对张家界市西部旅游通道杨家界大道隧道工程,进行了施工风险评估。

目前的研究主要使用 AHP, ABC, LEC 评估法等定性或定量方法进行施工风险评估,对施工风险随机性考虑较少。为此,本文以某在建大型公共建筑为研究对象,提出基于结构方程模型(structural equation modeling, SEM)与云模型的大型公共建筑施工安全风险评估方法,即通过文献研究法和灰色关联度分析建立施工安全风险指标体系,并利用 SEM 确定各指标权重,采用云模型评估施工安全风险等级。

## 1 施工安全风险指标体系构建

### 1.1 施工安全风险指标识别

采用文献研究法,在 CNKI 数据库中检索公共建筑、安全风险、风险评估等关键词,共获得 117 篇相关期刊论文及硕博士论文。利用 Citespace 软件对文献相关度进行筛选,初步确定 23 项评估指标,如表 1 所示,根据人员、机械、材料、管理、环境要素确定准则层划分,并进行指标层归类,以确定施工安全风险。

### 1.2 施工安全风险指标确定

为解决施工安全风险指标过多导致难以判断风险因素的问题,本研究采用灰色关联度分析筛选表 1 指标。首先邀请专家对待评指标进行客观打分,然后利用 SPSSAU 软件分析灰色关联度,各子指标间的相互关系通过相关性计算可确定。通过灰色关联度分析,可准确评估不同指标间的关联度,找出对施工安全风险评估具有重要影响的指标。在筛选过程中,根据关联度低于 0.5 的标准,排除相关性较低的指标,以减少指标数量,提高评估结果准确性和可信度。

采用专家打分法进行数据采集时,共邀请 20 位专家组成评分小组,包括施工管理研究领域高等院校教授 3 名、政府职能部门人员 2 名、具有 10 年以

表 1 施工安全风险指标识别

Table 1 Identification of construction safety risk indices

准则层指标名称	评估层指标名称	文献来源
人员	施工人员防护用具使用 A1	[6,8,9,10,11,12,13]
	施工人员操作行为 A2	[2,6,7,8,9,10,13]
	施工人员安全意识 A3	[2,6,7,9,10,11,12,13,14,15]
	施工人员身心健康水平 A4	[11,12,14,15]
	施工人员专业技术水平 A5	[1,2,4,12,14,15]
机械	机械设备合规性 B1	[3,5,6,8,9,10,11,12]
	机械设备定期维修保养 B2	[1,2,10,11,13,14,15]
	机械设备安装与拆除控制 B3	[3,11,13,15]
	机械设备操作人员水平 B4	[2,3,7,13,15]
材料	材料质量 C1	[1,2,3,4,5,6,11,13,14,15]
	材料堆放 C2	[2,7,11,12,15]
	材料采购与储存 C3	[1,2,11,13,15]
	材料进场验收 C4	[1,2,6,11]
管理	安全检查 D1	[1,4,5,6,7,8,9,10,11,12,14]
	安全管理制度 D2	[2,4,8,9,10,11,12,13,14,15]
	安全教育培训 D3	[2,9,10,11,12,13,14,15]
	安全管理机构与岗位设置 D4	[2,3,4,10,11,13]
	事故应急预案编制 D5	[10,11,12,13,14]
	安全防护和警示标识设置 D6	[1,6,7,12,13]
环境	气候条件 E1	[1,2,3,5,6,8,10,11,12,13,14,15]
	照明条件 E2	[8,10]
	施工现场作业环境 E3	[2,6,7,9,10,11,12,13,14,15]
	工程地质与水文地质条件 E4	[1,2,4]

上工龄的建设单位管理人员 5 名、具有 10 年以上工龄的施工单位管理人员 5 名、具有 20 年以上工龄的设计单位管理人员 2 名和具有 5 年以上工龄的监理单位管理人员 3 名。向评分小组发放问卷,获取量化评估结果。问卷评分标准以影响程度为基础,等级分为可忽略不计、影响较小、影响一般、影响较大、影响很大,各等级得分范围设定为(0,40],(40,55],(55,70],(70,85],(85,100]。针对评分结果,使用 SPSSAU 软件进行灰色关联度分析(假定分辨系数为 0.5),结果如表 2 所示。

表 2 灰色关联度分析结果

Table 2 Analysis results of grey relational degree

风险指标	关联度
施工人员防护用品使用 A1	0.864
施工人员操作行为 A2	0.428
施工人员安全意识 A3	0.892
施工人员身心健康水平 A4	0.767
施工人员专业技术水平 A5	0.813
机械设备合规性 B1	0.805
机械设备定期维修保养 B2	0.759
机械设备安装与拆除控制 B3	0.664
机械设备操作人员水平 B4	0.496
材料质量 C1	0.863
材料堆放 C2	0.659
材料采购与储存 C3	0.701
材料进场验收 C4	0.489
安全检查 D1	0.886
安全管理制度 D2	0.843
安全教育培训 D3	0.872
安全管理机构与岗位设置 D4	0.794
事故应急预案编制 D5	0.827
安全防护和警示标识设置 D6	0.476
气候条件 E1	0.842
照明条件 E2	0.431
施工现场作业环境 E3	0.815
工程地质与水文地质条件 E4	0.861

由表 2 可知,A2,B4,C4,D6,E2 评估指标因关

联度低于 0.5 被排除在外,则大型公共建筑施工安全风险评估指标体系如图 1 所示。

### 2 施工安全风险评估

#### 2.1 评估流程

基于 SEM 与云模型的大型公共建筑施工安全风险评估流程如图 2 所示。

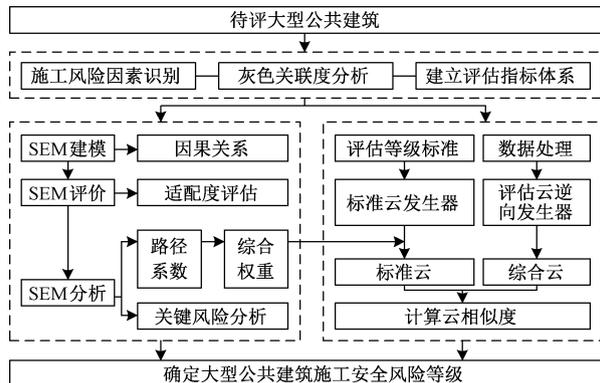


图 2 施工安全风险评估流程

Fig. 2 Construction safety risk assessment process

#### 2.2 问卷调查

本研究采用问卷调查的方式收集评估数据,并验证获得的数据,设计有效问卷>200 个。

#### 2.3 SEM 构建

SEM 构建流程为:构建预模型并导入数据→检验拟合优度并进行必要的调整→运行模型并解读路径系数等结果。

#### 2.4 云模型构建

评估指标的综合权重选取 SEM 计算所得权重值,基于此,利用 Matlab 软件创建评估云和综合云,并通过计算云的相似度确定安全等级,云模型构建步骤如下。

##### 1) 确定评估标准等级

根据大型公共建筑施工安全风险评估精度要求,建立五级标准  $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$ 。

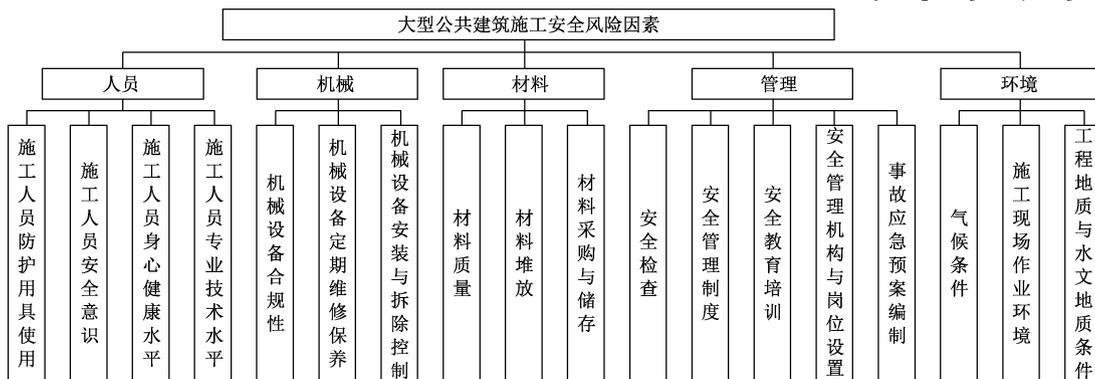


图 1 施工安全风险评估指标体系

Fig. 1 Construction safety risk assessment index system

## 2) 确定综合权重

由 SEM 确定综合权重。

## 3) 确定标准云

将评估指标的有效论域根据评估标准的等级数进行划分,每个子范围对应 1 个评估等级。设第  $i$  个子区间为  $[x_{i\min}, x_{i\max}]$ ,  $k$  为依据项目实际所需的模糊阈值调整值,对应标准云的数字特征值  $(E_{xi}, E_{Ni}, H_{Ei})$  表达式为:

$$\begin{cases} E_{xi} = (x_{i\max} + x_{i\min})/2 \\ E_{Ni} = (x_{i\max} - x_{i\min})/2\sqrt{2\ln 2} \\ H_{Ei} = k \end{cases} \quad (1)$$

## 4) 确定评估云和综合云

处理所有专家的打分数据,设全体专家打分为  $Z_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{i18})$ , 其中  $i = 1, 2, \dots, I$ 。第  $j$  个指标的评估云为  $C_{Uj}(E_{sj}, E_{nj}, H_{ej})$ , 其中  $j = 1, 2, \dots, 18$ 。

$$\begin{cases} E_{sj} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I z_{ij} \\ E_{nj} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I |z_{ij} - E_{sj}| \\ H_{ej} = \sqrt{|S_j^2 - E_{nj}^2|} \end{cases} \quad (2)$$

将综合权重  $\omega_j$  代入  $C_{Uj}$ , 通过式(3)可得到大型公共建筑施工安全风险综合云  $C(E_X, E_N, H_E)$ :

$$\begin{cases} E_X = \sum_{j=1}^{18} (E_{sj}\gamma_j) \\ E_N = \sqrt{\sum_{j=1}^{18} (E_{nj}^2\gamma_j)} \\ H_E = \sum_{j=1}^{18} (H_{ej}\gamma_j) \end{cases} \quad (3)$$

## 5) 计算云相似度并确定安全绩效考核等级

为确定大型公共建筑施工安全风险等级,计算每个等级的综合云与标准云之间的云相似度,在综合云中生成以  $E_N$  为期望、 $H_E^2$  为方差的正态随机数  $E_{sk}$ , 在综合云中生成以  $E_X$  为期望、 $E_{sk}^2$  为方差的正态随机数  $y_k$ , 将  $y_k$  代入某评估等级  $i$  的标准云期望方程中,计算  $\eta_k = \exp[-(y_k - E_{xi})^2/2E_{Ni}^2]$ , 直至生成  $n$  个  $\eta_k$ , 一般取  $n = 15 \sim 20$ , 计算相似度  $\delta_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta_k$ 。

## 3 工程应用

### 3.1 工程概况

本文以广州市天河区图书馆为研究对象进行大型公共建筑施工安全风险评估。该图书馆属于一类高层公共建筑,地上 9 层,地下 6 层,最大建筑高度为 43.8m,整体采用钢框架-混凝土剪力墙结构

形式。建筑总用地面积 8 126.92m<sup>2</sup>,总建筑面积达 52 065.81m<sup>2</sup>,其中地上建筑面积 19 391.27m<sup>2</sup>,地下建筑面积 32 674.54m<sup>2</sup>。

### 3.2 问卷调查分析

#### 1) 问卷调查情况

本研究调查了建筑行业相关专家、学者和从业人员,调查对象遍布全国各地,工作年限  $\geq 2$  年。通过线上、线下的方式,共发放 300 份调查问卷,收回 238 份问卷,经筛选得到 206 份有效问卷,基本情况如表 3 所示。

表 3 有效问卷基本情况

Table 3 Basic information of valid questionnaire

基本信息	频数/份	占比/%	
工作年限/年	2~10	96	46.60
	11~20	79	38.35
	>20	31	15.05
工作单位	高校	19	9.22
	建设单位	38	18.45
	设计单位	34	16.50
	施工单位	63	30.58
	监理单位	42	20.39
	政府部门	10	4.85

#### 2) 信度分析

本研究使用 SPSS Statistics 26.0 软件进行信度分析。根据分析结果,问卷信度系数(克朗巴哈系数)为 0.936,表明数据信度良好,并通过信度检验。此外,分析结果表明各项指标之间呈良好的相关关系。5 个潜在变量信度系数均高于 0.6,处于容许范围内,如表 4 所示。

表 4 信度系数

Table 4 Reliability coefficients

潜在变量	观测变量(子指标)数量/个	信度系数
人员	4	0.782
机械	3	0.859
材料	3	0.763
管理	5	0.861
环境	3	0.779

### 3.3 SEM 修正

经模型拟合后发现 5 个一级指标之间存在较高的相关性,故考虑使用二阶模型进行分析,将潜在高阶因子归类为施工安全风险,建立经验证的二阶因子分析模型,并采用最大似然估计法对模型进行调整,通过去除变量间关联的限制条件,选取修正指数 > 4 的路径系数进行释放,得到修正后的 SEM,如图 3 所示。

### 3.4 施工安全风险指标权重计算

根据修正后的 SEM 计算得到大型公共建筑施工安全风险指标权重,如表 5 所示。

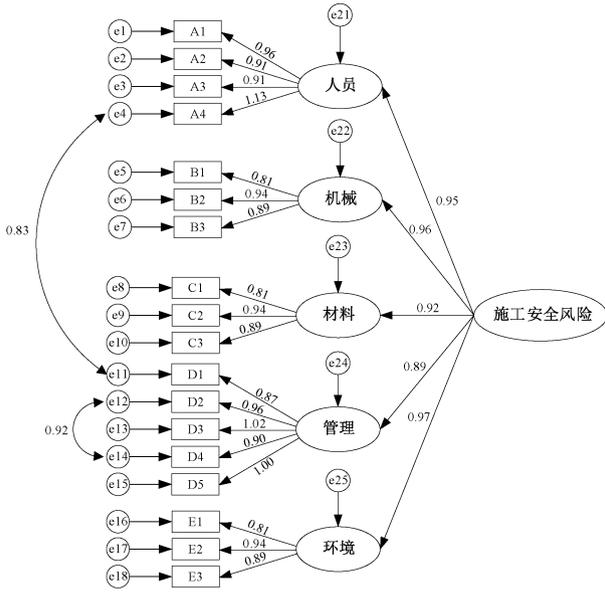


图 3 修正后的 SEM  
Fig. 3 Modified SEM

表 5 施工安全风险指标权重

Table 5 Construction safety risk index weight

准则层 指标名称	准则层指标 权重	评估层指标 名称	评估层指标 权重	综合 权重
人员	0.208	施工人员防护用品使用	0.258	0.054
		施工人员安全意识	0.273	0.057
		施工人员身心健康水平	0.223	0.046
		施工人员专业技术水平	0.245	0.051
机械	0.198	机械设备合规性	0.341	0.068
		机械设备定期维修保养	0.336	0.067
		机械设备安装与拆除控制	0.322	0.064
材料	0.184	材料质量	0.357	0.066
		材料堆放	0.318	0.059
		材料采购与储存	0.324	0.060
管理	0.217	安全检查	0.217	0.047
		安全管理制度	0.196	0.043
		安全教育培训	0.201	0.044
		安全管理机构与岗位设置	0.183	0.040
		事故应急预案编制	0.202	0.044
环境	0.192	气候条件	0.337	0.065
		施工现场作业环境	0.328	0.063
		工程地质与水文地质条件	0.334	0.062

表 6 施工安全风险评估指标云

Table 6 Construction safety risk assessment index cloud

指标名称	指标云	指标名称	指标云
施工人员防护用品使用	(89.8, 1.81, 0.50)	材料采购与储存	(90.7, 1.88, 0.50)
施工人员安全意识	(90.9, 2.13, 0.66)	安全检查	(81.4, 1.85, 0.53)
施工人员身心健康水平	(82.9, 1.88, 0.32)	安全管理制度	(81.6, 1.75, 0.61)
施工人员专业技术水平	(84.7, 1.20, 0.35)	安全教育培训	(80.3, 1.63, 0.15)
机械设备合规性	(94.0, 1.50, 0.64)	安全管理机构与岗位设置	(80.0, 1.75, 0.50)
机械设备定期维修保养	(92.8, 0.80, 0.15)	事故应急预案编制	(82.6, 1.75, 0.38)
机械设备安装与拆除控制	(91.2, 2.26, 0.68)	气候条件	(93.3, 1.88, 0.18)
材料质量	(92.4, 1.65, 0.44)	施工现场作业环境	(92.3, 1.45, 0.35)
材料堆放	(90.1, 1.91, 0.16)	工程地质与水文地质条件	(91.7, 1.70, 0.07)

3.5 云模型计算结果

1) 施工安全风险等级标准云

根据相关要求,将施工安全性能评估等级分为 5 级,由低到高依次为差、较差、合格、良、优。通过计算得到各等级标准云模型特征参数,利用 Matlab 软件绘制施工安全风险等级标准云,如图 4 所示。

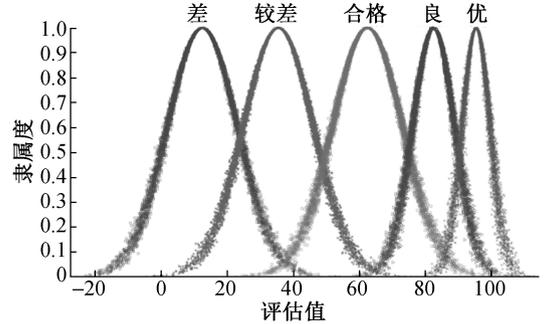


图 4 施工安全风险等级标准云

Fig. 4 Construction safety risk assessment rating standard cloud

2) 施工安全风险评估指标云和综合云

计算得到施工安全风险评估指标云如表 6 所示,综合云如图 5 所示。由图 5 可知,综合云与标准云中的等级优更接近,这表明本工程施工安全风险等级达到了优秀水平。

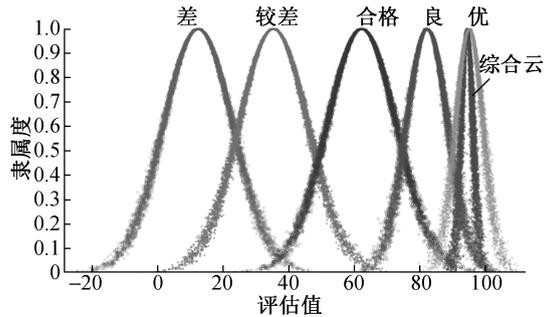


图 5 施工安全风险评估综合云

Fig. 5 Construction safety risk assessment comprehensive cloud

### 3.6 风险评估等级确定

计算得到差、较差、合格、良、优等级对应的云相似度分别为 0.000 1, 0.006 3, 0.051 0, 0.356 9, 0.685 3, 可知本工程施工安全风险评等级为优。

## 4 结语

1) 在大型公共建筑施工安全风险评中应用 SEM 与云模型进行建模和云模拟, 可深入分析风险指标的相互作用, 使评估结果更符合工程实际情况。

2) 建立大型公共建设项目 SEM, 运用路径系数计算复杂的指标权重, 提高了评估过程的客观性, 使评估结果更科学有效。

3) 评估数据和图像数据相结合, 可更好地了解、分析项目实际安全管控情况, 有利于提高项目管理水平。

### 参考文献:

- [ 1 ] 王锦芳. 大型公共建筑项目施工风险管理研究 [ D ]. 南宁: 广西大学, 2019.  
WANG J F. Research on construction risk management of large public building projects [ D ]. Nanning: Guangxi University, 2019.
- [ 2 ] 张溢. BIM5D 技术在大型公共建筑项目施工风险管控中的应用 [ D ]. 太原: 太原理工大学, 2022.  
ZHANG Y. Research on the application of BIM5D technology in construction risk control for large public building projects [ D ]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2022.
- [ 3 ] 刘国彬, 周志斌, 郭健, 等. 基于案例数据的基坑施工连续破坏风险评估方法研究 [ J ]. 施工技术 ( 中英文 ), 2023, 52 ( 11 ): 44-50, 60.  
LIU G B, ZHOU Z B, GUO J, et al. Research on the risk assessment method of continuous damage in foundation pit construction based on case data [ J ]. Construction technology, 2023, 52 ( 11 ): 44-50, 60.
- [ 4 ] 齐军. H 综合办公楼项目施工风险评估及管控研究 [ D ]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.  
QI J. Research on construction risk assessment and control of H comprehensive office building project [ D ]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2020.
- [ 5 ] 姚建石, 乔胜利, 刘文彬, 等. 超高层建筑施工事故风险评估 II: 系统及应用 [ J ]. 施工技术 ( 中英文 ), 2022, 51 ( 13 ): 150-154.  
YAO J S, QIAO S L, LIU W B, et al. Risk assessment of construction accidents in ultra-high-rise buildings II: system and application [ J ]. Construction technology, 2022, 51 ( 13 ): 150-154.
- [ 6 ] 黄霞. 既有线高铁站房施工安全风险评管理研究 [ D ]. 绵阳: 西南科技大学, 2018.  
HUANG X. Research on safety risk management of construction for existing high-speed railway station building [ D ]. Mianyang:

Southwest University of Science and Technology, 2018.

- [ 7 ] 卓彬, 高昕, 姜早龙, 等. 基于 NGBN 和 FCEM 的复杂环境隧道施工风险评估 [ J ]. 施工技术 ( 中英文 ), 2022, 51 ( 13 ): 62-67.  
ZHUO B, GAO X, JIANG Z L, et al. Risk assessment of tunnel construction in complex environment based on NGBN and FCEM [ J ]. Construction technology, 2022, 51 ( 13 ): 62-67.
- [ 8 ] 熊坚, 彭一鸣, 蔡晶. 基于 MICMAC-FCMs 的建筑施工风险动态演化及干预模拟研究 [ J ]. 铁道科学与工程学报, 2023, 20 ( 11 ): 4356-4366.  
XIONG J, PENG Y M, CAI J. Research on dynamic evolution and intervention simulation of building construction risk based on MICMAC-FCMs [ J ]. Journal of railway science and engineering, 2023, 20 ( 11 ): 4356-4366.
- [ 9 ] 李明柱, 王文东, 张智超. 基于 ISM 与 MICMAC 的建筑施工风险因素研究 [ J ]. 安全与环境学报, 2022, 22 ( 1 ): 22-28.  
LI M Z, WANG W D, ZHANG Z C. Research on risk factors of building construction based on ISM and MICMAC [ J ]. Journal of safety and environment, 2022, 22 ( 1 ): 22-28.
- [ 10 ] 陈舒馨, 郭耸, 陈学兵, 等. 基于层次分析和预先危险性分析法的建筑施工风险评价 [ J ]. 安全与环境工程, 2018, 25 ( 5 ): 127-132, 138.  
CHEN S X, GUO S, CHEN X B, et al. Risk evaluation of building construction based on hierarchical analysis and advance risk analysis method [ J ]. Safety and environmental engineering, 2018, 25 ( 5 ): 127-132, 138.
- [ 11 ] 陆晨. 基于组合赋权-云模型的高层建筑施工安全风险评管理研究 [ D ]. 济南: 山东建筑大学, 2023.  
LU C. Research on safety risk management of high-rise building construction based on combined empowerment-cloud model [ D ]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2023.
- [ 12 ] 黄帅. 高层建筑施工安全风险评价研究 [ D ]. 石家庄: 河北地质大学, 2022.  
HUANG S. Research on safety risk evaluation of high-rise building construction [ D ]. Shijiazhuang: Hebei GEO University, 2022.
- [ 13 ] 刘志鹏. 威海绿轴春和里一期项目施工安全风险评管理研究 [ D ]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2022.  
LIU Z P. Research on construction safety risk management of Weihai Lüzhou Chunheli Phase I project [ D ]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2022.
- [ 14 ] 刘文杰. 高层建筑工程施工安全风险评价研究 [ D ]. 济南: 山东建筑大学, 2023.  
LIU W J. Research on construction safety risk evaluation of high-rise building projects [ D ]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2023.
- [ 15 ] 杨鹏宇. XH 项目施工安全风险评管理研究 [ D ]. 石家庄: 河北地质大学, 2022.  
YANG P Y. Research on construction safety risk management of XH project [ D ]. Shijiazhuang: Hebei GEO University, 2022.