

DOI: 10.7672/sgjs2025030108

# 城市地下综合管廊施工风险识别与评价研究\*

刘胤彤

(中铁十九局集团第一工程有限公司, 辽宁 辽阳 111000)

[摘要] 对城市地下综合管廊施工工序及存在的风险进行评价,可实现风险监控,避免风险事故的发生。依托柳州市静兰片区地下综合管廊工程,采用层次分析法研究施工风险因素,计算各因素权重,综合评判施工风险。针对施工风险高的基坑土石方开挖、钢板桩施工、围护结构施工、基槽开挖及主体混凝土浇筑,提出相应的安全控制措施,包括确定合理的基坑边坡坡度、钢板桩堆放高度和方式符合要求、围护结构成孔设备安装牢固、基槽开挖至设计标高后及时进行基底处理、主体混凝土浇筑时泵管接口严密等。研究表明,可将地下综合管廊工程施工风险因素分为环境风险、社会风险、施工管理风险、施工技术风险4个大类;一级评价指标中施工管理风险所占权重最大,二级评价指标中危险源施工风险所占权重最大;地下综合管廊施工风险属于一般风险,可通过采取相关措施保证施工安全性。

[关键词] 管廊;风险;识别;层次分析法;权重;综合评判

[中图分类号] TU93

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)03-0108-06

## Research on Construction Risk Identification and Evaluation of Urban Underground Comprehensive Pipe Gallery

LIU Yintong

(China Railway 19th Bureau Group First Engineering Co., Ltd., Liaoyang, Liaoning 111000, China)

**Abstract:** Evaluating the construction process and existing risks of urban underground comprehensive pipe gallery can realize risk monitoring and avoid the occurrence of risk accidents. Based on the underground comprehensive pipe gallery project in Jinglan District of Liuzhou, this paper uses the analytic hierarchy process to study the construction risk factors, calculates the weight of each factor, and comprehensively evaluates the construction risk. For high-risk construction activities such as excavation of foundation excavations, steel sheet pile construction, retaining structure construction, trench excavation, and main concrete pouring, corresponding safety control measures are proposed. These include determining a reasonable slope gradient for foundation excavations, ensuring that the stacking height and method of steel sheet piles meet requirements, securely installing hole-forming equipment for retaining structures, timely base treatment after trench excavation reaches the design elevation, and ensuring tight pump pipe connections during main concrete pouring. The research results show that the construction risk factors of underground comprehensive pipe gallery can be categorized into four major types, such as environmental risks, social risks, construction management risks, and construction technical risks. Among the first level evaluation indicators, construction management risks carry the highest weight, while among the second level evaluation indicators, risk sources in construction carry the highest weight. The construction risks of underground comprehensive pipe gallery are considered general risks, and construction safety can be ensured by implementing relevant measures.

**Keywords:** pipe gallery; risk; identification; analytic hierarchy process; weight; comprehensive evaluation

### 0 引言

在我国大中型城市中心区域,为减少交通拥堵,地下综合管廊建设数量越来越多,由于施工区

\* 中铁十九局集团有限公司科研课题

[作者简介] 刘胤彤,工程师,E-mail:1139225689@qq.com

[收稿日期] 2024-09-28

域地质环境复杂,且施工周期长,施工过程中不确定风险因素较多,为确定施工风险发生的概率,已有学者进行了相关研究。蔡惠华<sup>[1]</sup>研究了EPC模式下综合管廊设计优化与施工关键技术,分析了施工过程中的安全风险控制;宛明晨等<sup>[2]</sup>对基于改进D-S证据理论的管廊施工风险进行了评价,结果表明管廊施工整体处于较低风险状态;刘成龙<sup>[3]</sup>研究了浅埋管廊盖挖快速装配施工技术及地表变形影响,分析了地下综合管廊施工安全风险因素;张志成等<sup>[4]</sup>对城市地下综合管廊浅埋暗挖法施工安全风险进行了分析,确定了浅埋暗挖法施工安全的致灾风险因素;张裕等<sup>[5]</sup>采用数值模拟方法,研究了富水砂层深基坑降水开挖对邻近综合管廊的影响。以上学者采用多种方法客观分析了地下综合管廊施工风险和控制技术,但未对管廊施工阶段的风险因素进行评判。

已有学者采用多种评价方法,对综合管廊运维安全风险进行了分析,如杨杰等<sup>[6]</sup>依托连云港市地下综合管廊工程,对富水软土地区综合管廊运行初期结构变形规律与安全性进行了评价;宋贤萍等<sup>[7]</sup>为科学合理明确综合管廊运维风险等级,确定影响运维风险的敏感性指标,提出改进模糊优先规划和向量夹角余弦下的运维风险评价方法;安玉华等<sup>[8]</sup>针对涉及定性和定量的运维风险评价指标,利用层次分析法和灰色关联度法,建立了城市综合管廊运维风险评价模型,用于识别风险因素;任伟<sup>[9]</sup>采用模糊评判方法,对地下综合管廊运维不安全行为风险进行了评价;刘爽等<sup>[10]</sup>通过调研确定了城市地下综合管廊运维阶段风险评价体系中20个指标,运用序关系分析法确定指标主观权重,运用熵权法确定指标客观权重,构建了基于组合赋权的城市地下综合管廊运维阶段风险模糊综合评价模型。

目前,对地下综合管廊施工阶段风险因素的评价研究较少。基于此,本文依托柳州市地下综合管廊工程,采用层次分析法分析了管廊施工风险因素,计算了各指标权重,对施工阶段风险进行了综合识别和评价。

## 1 工程概况

柳州市静兰片区地下综合管廊工程位于桂柳大道北侧,为双舱结构,基坑周边采用钢板桩+钢支撑进行支护,施工区土体为红黏土,土质自稳性良好,黏度较高,且含有大量角砾石,钢板桩无法直接振动压入,为此采取先引孔后植入钢板桩的施工措施。由于管廊深基坑邻近城市主干道,且无法中断交通,因此基坑周边持续存在大量车辆荷载,在此

情况下,应增强基坑内施工安全措施,减小管廊施工对周边建筑物的影响。为确保整个管廊工程高质量按期完成,本研究采用层次分析法对管廊施工阶段风险进行综合评价。

## 2 施工风险评价体系建立

### 2.1 施工风险因素分析

根据地下综合管廊施工、设计专家及现场施工人员对风险因素识别结果,可将施工风险因素分为4个大类,分别为环境风险、社会风险、施工管理风险、施工技术风险,设置编号分别为F1~F4。在地下综合管廊施工过程中,施工风险高的项目主要包括基坑土石方开挖、钢板桩施工、围护结构施工、基槽开挖及主体混凝土浇筑,将以上项目各施工工序进行风险分类,均属于施工管理风险。

将施工风险因素进一步细分,环境风险因素可细分为4个小类,分别为地质水文风险、洪水地震等不可抗力风险、基坑周边建筑物风险及恶劣气候风险,设置编号分别为A1~A4;社会风险因素可细分为3个小类,分别为材料和人工价格波动风险、资金风险、违反国家规定和法律风险,设置编号分别为B1~B3;施工管理风险可细分为5个小类,分别为施工规划风险、资源分配不合理风险、现场安全措施风险、危险源施工风险及质量验收不合格风险,设置编号分别为C1~C5;施工技术风险可细分为4个小类,分别为设计变更风险、工程量变动风险、新技术使用风险及核心技术掌控风险,设置编号分别为D1~D4。根据以上分析,构建施工风险评价体系,如图1所示。

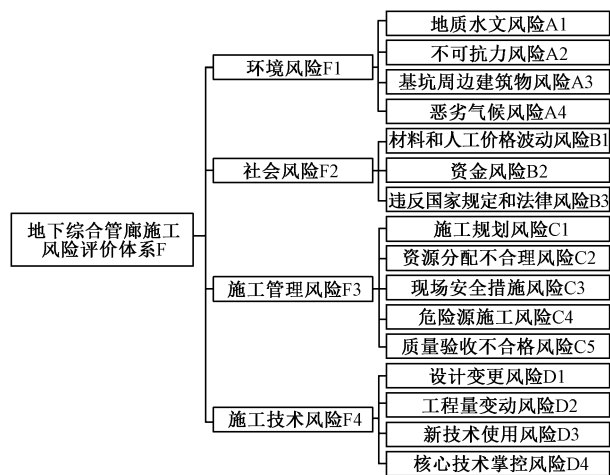


图1 地下综合管廊施工风险评价体系

Fig. 1 Construction risk evaluation system for underground comprehensive pipe gallery

### 2.2 判断矩阵建立

本研究采用层次分析法对地下综合管廊施工风险进行评价,层次分析法是将定量和定性相结合

的分析方法,通过对事物的影响因素进行主观判断和科学计算,确定事物的重要程度。在建立层次模型结构的过程中,首先确定目标层和准则层,即将地下综合管廊施工风险设为目标层,将4个大类施工风险因素设为一级准则层,将由4个大类施工风险因素细分的因素设为二级准则层。通过专家打分法,将同级准则层内因素根据1~9比较标度法进行两两比较(见表1),可得出地下综合管廊施工风险判断矩阵。

表1 1~9比较标度法

Table 1 1~9 comparison scale method

比较标度	比较结果定义	说明
1	因素 $W_i$ 与 $W_j$ 相比,两因素同等重要	无差异
3	因素 $W_i$ 与 $W_j$ 相比,因素 $W_i$ 稍微重要	差异较小
5	因素 $W_i$ 与 $W_j$ 相比,因素 $W_i$ 明显重要	差异一般
7	因素 $W_i$ 与 $W_j$ 相比,因素 $W_i$ 非常重要	差异很大
9	因素 $W_i$ 与 $W_j$ 相比,因素 $W_i$ 强烈重要	差异强烈
2,4,6,8	取各值的中间值	—

设置目标层为  $M$ , 则一级准则层施工风险因素集为  $M = (M_{i1}, M_{i2}, \dots, M_{in})$ , 二级准则层施工风险因素集为  $M_{in} = (M_{j1}, M_{j2}, \dots, M_{jn})$ ,  $i$  为一级准则层施工风险因素,  $j$  为二级准则层中第  $i$  个一级准则层施工风险因素下的子因素,  $i, j$  取值均为  $1 \sim n$ , 当相同层次内有  $n$  个影响因素时, 将  $n$  个影响因素两两比较, 可得施工风险因素判断矩阵为:

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \cdots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \cdots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \cdots & m_{nn} \end{bmatrix} = (m_{ij})_{n \times n} \quad (1)$$

式中:  $m_{ij} > 0$ ,  $m_{ij} = \frac{1}{m_{ji}}$  时,  $m_{ij} = 1$ 。

将矩阵  $M$  中风险因素按列进行归一化处理, 得到列向量  $\overline{m_{ij}}$ :

$$\overline{m_{ij}} = \frac{m_{ij}}{\sum_{i=1}^n m_{ij}} \quad (2)$$

将归一化的矩阵按行相加, 得向量  $\overline{P_i}$ , 将相加后的向量取平均值, 得各因素的权重向量  $P_i$ :

$$\overline{P_i} = \sum_{j=1}^n \overline{m_{ij}} \quad (3)$$

$$P_i = \frac{\overline{P_i}}{n} \quad (4)$$

对各层次判断矩阵进行一致性检验, 计算一致性指标:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad (5)$$

式中:  $\lambda_{\max}$  为判断矩阵  $M$  最大特征值;  $m$  为判断矩阵阶数。

根据下式计算随机一致性比率  $CR$ :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

式中:  $RI$  为随机一致性指标值,  $m$  取  $1 \sim 9$  时  $RI$  分别为  $0, 0.08, 0.12, 0.16, 0.20, 0.24, 0.28, 0.32, 0.36$ 。

当  $CR \leq 0.1$  时, 判断矩阵一致性检验通过, 各施工风险因素评价合理; 当  $CR > 0.1$  时, 判断矩阵不满足一致性要求, 应对判断矩阵进行调整, 直至满足一致性要求为止。

### 3 施工风险指标权重和一致性检验结果

#### 3.1 一级施工风险指标

根据地下综合管廊施工风险评价体系, 结合前文对一级施工风险指标包含的4个因素进行两两比较, 结果如表2所示。将一级施工风险指标包含的各因素进行归一化处理, 得到各因素特征向量和权重, 并进行一致性检验, 结果如表3所示。

表2 一级施工风险指标包含的因素比较结果

Table 2 Comparison results of factors included in the first level construction risk indicators

F	F1	F2	F3	F4
F1	1	2	1/3	5
F2	1/2	1	1/4	3
F3	3	4	1	5
F4	1/5	1/3	1/5	1

表3 一级施工风险指标包含的因素权重

Table 3 Weights of factors included in the first level construction risk indicators

F	F1	F2	F3	F4	特征向量	各因素权重	一致性检验
F1	0.213	0.273	0.187	0.357	1.029	0.257	$CR = 0.051 < 0.1$
F2	0.106	0.136	0.140	0.214	0.597	0.149	
F3	0.638	0.545	0.561	0.357	2.102	0.525	
F4	0.043	0.045	0.112	0.071	0.272	0.068	

#### 3.2 二级施工风险指标环境风险

根据地下综合管廊施工风险评价体系, 将环境风险包含的4个因素进行两两比较, 结果如表4所示。将环境风险包含的各因素进行归一化处理, 得到各因素特征向量和权重, 并进行一致性检验, 结果如表5所示。

#### 3.3 二级施工风险指标社会风险

根据地下综合管廊施工风险评价体系, 将社会风险包含的3个因素进行两两比较, 结果如表6所示。

表 4 环境风险包含的因素比较结果

Table 4 Comparison results of factors included in environmental risks

A	A1	A2	A3	A4
A1	1	2	2	1/4
A2	1/2	1	2	1/2
A3	1/2	1/2	1	1/3
A4	4	2	3	1

表 5 环境风险包含的因素权重

Table 5 Weight of factors included in environmental risks

A	A1	A2	A3	A4	特征 向量	各因素 权重	综合 权重	一致性 检验
A1	0.167	0.364	0.250	0.120	0.900	0.225	0.058	CR= 0.083< 0.1
A2	0.083	0.182	0.250	0.240	0.755	0.189	0.049	
A3	0.083	0.091	0.125	0.160	0.459	0.115	0.030	
A4	0.667	0.364	0.375	0.480	1.885	0.471	0.121	

将社会风险包含的各因素进行归一化处理,得到各因素特征向量和权重,并进行一致性检验,结果如表 7 所示。

表 6 社会风险包含的因素比较结果

Table 6 Comparison results of factors included in social risks

B	B1	B2	B3
B1	1	2	2
B2	1/2	1	1/2
B3	1/2	2	1

表 7 社会风险包含的因素权重

Table 7 Weight of factors included in social risks

B	B1	B2	B3	特征 向量	各因素 权重	综合 权重	一致性 检验
B1	0.500	0.400	0.571	1.471	0.490	0.073	CR= 0.046< 0.1
B2	0.250	0.200	0.143	0.593	0.198	0.030	
B3	0.250	0.400	0.286	0.936	0.312	0.046	

### 3.4 二级施工风险指标施工管理风险

根据地下综合管廊施工风险评价体系,将施工管理风险包含的 5 个因素进行两两比较,结果如表 8 所示。将施工管理风险包含的各因素进行归一化处理,得到各因素特征向量和权重,并进行一致性检验,结果如表 9 所示。

表 8 施工管理风险包含的因素比较结果

Table 8 Comparison results of factors included in construction management risks

C	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	2	1/3	1/3	2
C2	1/2	1	1/4	1/2	2
C3	3	4	1	1/2	2
C4	3	2	2	1	3
C5	1/2	1/2	1/2	1/3	1

表 9 施工管理风险包含的因素权重

Table 9 Weights of factors included in construction management risks

C	C1	C2	C3	C4	C5	特征 向量	各因素 权重	综合 权重	一致性 检验
C1	0.125	0.211	0.082	0.125	0.125	0.742	0.148	0.078	CR= 0.074< 0.1
C2	0.063	0.105	0.061	0.188	0.063	0.617	0.123	0.065	
C3	0.375	0.421	0.245	0.188	0.375	1.429	0.286	0.150	
C4	0.375	0.211	0.490	0.375	0.375	1.750	0.350	0.184	
C5	0.063	0.053	0.122	0.125	0.063	0.462	0.092	0.048	

### 3.5 二级施工风险指标施工技术风险

根据地下综合管廊施工风险评价体系,将施工技术风险包含的 4 个因素进行两两比较,结果如表 10 所示。将施工技术风险包含的各因素进行归一化处理,得到各因素特征向量和权重,并进行一致性检验,结果如表 11 所示。

表 10 施工技术风险包含的因素比较结果

Table 10 Comparison results of factors included in construction technology risks

D	D1	D2	D3	D4
D1	1	4	2	3
D2	1/4	1	1/4	1/5
D3	1/2	4	1	2
D4	1/3	5	1/2	1

表 11 施工技术风险包含的因素权重

Table 11 Weights of factors included in construction technology risks

D	D1	D2	D3	D4	特征 向量	各因素 权重	综合 权重	一致性 检验
D1	0.480	0.286	0.533	0.484	1.783	0.446	0.030	CR= 0.077< 0.1
D2	0.120	0.071	0.067	0.032	0.290	0.073	0.005	
D3	0.240	0.286	0.267	0.323	1.115	0.279	0.019	
D4	0.160	0.357	0.133	0.161	0.812	0.203	0.014	

## 4 施工风险综合评判

在一级评价指标中,施工管理风险所占权重最大,为 0.525;环境风险所占权重次之,为 0.257;施工技术风险所占权重最小,为 0.068。因此,应重点关注地下综合管廊施工管理风险因素。

在二级评价指标中,危险源施工风险、现场安全措施风险、恶劣气候风险、施工规划风险、材料和人工价格波动风险所占权重较大,分别为 0.184, 0.150, 0.121, 0.078, 0.073,其中危险源施工风险所占权重最大,因此,在地下综合管廊施工过程中应加强危险源管理,避免施工安全事故的发生。

根据地下综合管廊施工风险评价体系,将各因素风险按照重要程度划分为 5 个等级(见表 12),通过专家评分确定各因素所属的风险等级。

表 12 工程风险等级划分

Table 12 Classification of engineering risk levels

风险等级	I	II	III	IV	V
风险评定	低风险	较低风险	一般风险	较高风险	高风险
评分标准	<20	20~40	40~60	60~80	80~100

将施工风险概率  $Q$  分为 5 个等级,当  $0 \leq Q < 20$  时,对应的评价等级为极少发生;当  $20 \leq Q < 40$  时,对应的评价等级为很少发生;当  $40 \leq Q < 60$  时,对应的评价等级为偶尔发生;当  $60 \leq Q < 80$  时,对应的评价等级为时有发生;当  $80 \leq Q < 100$  时,对应的评价等级为频繁发生。

通过专家打分法,计算得到地下综合管廊各因素施工风险得分,如表 13 所示。

表 13 地下综合管廊各因素施工风险得分

Table 13 Construction risk scores for various factors of underground comprehensive pipe gallery

施工风险因素	综合权重	专家打分	风险得分	风险排序
地质水文风险 A1	0.058	53	3.074	5
不可抗力风险 A2	0.049	16	0.784	10
基坑周边建筑物风险 A3	0.030	71	2.130	7
恶劣气候风险 A4	0.121	35	4.235	4
材料和人工价格波动风险 B1	0.073	10	0.730	11
资金风险 B2	0.030	16	0.480	13
违反国家规定和法律风险 B3	0.046	13	0.598	12
施工规划风险 C1	0.078	62	4.836	3
资源分配不合理风险 C2	0.065	24	1.560	9
现场安全措施风险 C3	0.150	58	8.700	2
危险源施工风险 C4	0.184	55	10.120	1
质量验收不合格风险 C5	0.048	48	2.304	6
设计变更风险 D1	0.030	63	1.890	8
工程量变动风险 D2	0.005	45	0.225	15
新技术使用风险 D3	0.019	16	0.304	14
核心技术掌控风险 D4	0.014	12	0.168	16

将地下综合管廊各因素施工风险得分相加,得到所有风险因素总得分为 42.138,可知施工风险等级为 III 级,即为一般风险。危险源施工风险得分最高,为 10.120;现场安全措施风险得分次之,为 8.700。因此,在地下综合管廊施工过程中,应重点关注得分高的风险因素,施工前制定合理的施工方案和安全措施方案,避免施工过程中发生安全事故。

## 5 施工安全控制措施

根据以上分析,在地下综合管廊施工过程中,相比其他风险因素,危险源施工风险和现场安全措施风险发生的概率较高,应重点关注。危险源施工

风险主要包括基坑土石方开挖、钢板桩施工、围护结构施工、基槽开挖及主体混凝土浇筑过程中出现的风险,需采取安全措施,避免安全事故的发生。

1) 在基坑土石方开挖过程中,根据地质勘察报告确定合理的基坑边坡坡度,减小坡顶荷载,如果出现土质差、地下水位高等情况,应采取土钉墙、锚杆支护等措施,并在开挖期间及时排水。

2) 钢板桩堆放时,确保堆放高度和方式符合安全要求,防止钢板桩倒塌伤人。钢板桩吊运时,使用合格的吊具,吊运作业由专人指挥,吊运过程中下方严禁站人,防止钢板桩坠落伤人。

3) 围护结构施工时,成孔设备应安装牢固,钻进过程中防止设备倾倒。冠梁钢筋笼制作时,焊接作业符合安全规范要求,防止触电和烫伤。钢筋笼吊运和安装过程中确保吊点牢固,起吊平稳,防止钢筋笼变形和掉落。

4) 基槽开挖前在周围设置防护栏杆,栏杆高度  $\geq 1.2\text{m}$ ,设置安全网,防止人员和物体坠落。当基槽开挖至设计标高后,及时进行基底处理,缩短基底暴露时间。如果基底需要进行加固处理时,在加固过程中防止机械碰撞围护结构及对基底土体的扰动。

5) 主体混凝土浇筑时,泵管接口严密,防止混凝土流出伤人。混凝土振捣前振捣器操作人员穿戴防护用品,振捣器使用过程中不得将软管插入混凝土中过深,防止振捣器损坏伤人。浇筑平台和脚手架牢固可靠,在平台上作业的人员不得集中站立,防止平台坍塌。高处浇筑混凝土时,设置可靠的操作平台和防护栏杆,防止人员坠落。在混凝土养护过程中注意地面湿滑,同时设置警示标识,防止人员滑倒。

## 6 结语

1) 整个地下综合管廊工程施工风险因素可分为 4 个大类,分别为环境风险、社会风险、施工管理风险、施工技术风险。在地下综合管廊施工过程中,施工风险高的项目主要包括基坑土石方开挖、钢板桩施工、围护结构施工、基槽开挖及主体混凝土浇筑,以上项目风险均属于施工管理风险。

2) 根据地下综合管廊施工风险评价体系,对各因素进行评价,在一级评价指标中,施工管理风险所占权重最大,环境风险所占权重次之;在二级评价指标中,危险源施工风险、现场安全措施风险、恶劣气候风险、施工规划风险、材料和人工价格波动风险所占权重均较大,其中危险源施工风险所占权重最大。

3)对地下综合管廊施工风险进行综合评判,所有风险因素总得分为42.138,通过与工程风险等级进行对比,确定施工风险等级为Ⅲ级,即为一般风险,通过采取相关措施可保证施工安全性。

4)为保证地下综合管廊施工安全,进行基坑土石方开挖时,确定合理的基坑边坡坡度,减小坡顶荷载;钢板桩堆放时确保堆放高度和方式符合安全要求,钢板桩吊运过程中下方严禁站人;冠梁钢筋笼制作时,焊接作业符合安全规范要求;基槽开挖至设计标高后,及时进行基底处理;高处主体混凝土浇筑时,设置可靠的操作平台和防护栏杆。

#### 参考文献:

- [1] 蔡惠华. EPC模式下综合管廊设计优化与施工关键技术研究[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(12):107-112.
- CAI H H. Research on design optimization and key construction technologies of integrated pipe gallery under EPC mode [J]. Construction technology, 2024, 53(12):107-112.
- [2] 宛明晨, 景月岭, 马乐乐, 等. 基于改进 D-S 证据理论的管廊施工风险评估[J]. 公路, 2024, 69(8):274-280.
- WAN M C, JING Y L, MA L L, et al. Risk assessment of pipe gallery construction based on improved D-S evidence theory [J]. Highway, 2024, 69(8):274-280.
- [3] 刘成龙. 浅埋管廊盖挖快速装配施工技术及其地表变形影响[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(10):15-20.
- LIU C L. Rapid assembly construction technology for shallow buried pipe gallery cover excavation and its impact on surface deformation [J]. Construction technology, 2023, 52(10):15-20.
- [4] 张志成, 邱凤夏. 城市地下综合管廊浅埋暗挖法施工安全风险探讨[J]. 科技资讯, 2024, 22(6):170-172.
- ZHANG Z C, QIU F X. Discussion on safety risks of shallow burial and hidden excavation method for urban underground comprehensive pipe gallery construction [J]. Science & technology information, 2024, 22(6):170-172.
- [5] 张裕, 王俊鹏, 钟伟慈, 等. 富水砂层深基坑降水开挖对邻近综合管廊的影响[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(9):73-78.
- ZHANG Y, WANG J P, ZHONG W C, et al. The impact of deep foundation excavation dewatering excavation in rich water and sand layers on adjacent comprehensive pipe galleries [J]. Construction technology, 2024, 53(9):73-78.
- [6] 杨杰, 周开红, 邱金鹏, 等. 富水软土地区综合管廊运行初期结构变形规律与安全评价[J]. 城市道桥与防洪, 2024(7):115-120, 127, 18.
- YANG J, ZHOU K H, QIU J P, et al. Structural deformation law and safety evaluation of comprehensive pipe gallery in the early stage of operation in areas with rich water and soft soil [J]. Urban roads bridges & flood control, 2024(7):115-120, 127, 18.
- [7] 宋贤萍, 宋向南, 牛发阳, 等. 改进模糊优先规划和向量夹角余弦在综合管廊运维风险评估中的应用[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(12):4239-4246.
- SONG X P, SONG X N, NIU F Y, et al. Application of improved fuzzy priority planning and vector angle cosine in comprehensive pipe gallery operation and maintenance risk assessment [J]. Journal of safety and environment, 2023, 23(12):4239-4246.
- [8] 安玉华, 杜影泽. 基于 AHP-灰色关联度分析的我国城市综合管廊运维风险研究[J]. 陶瓷, 2023(11):195-199.
- AN Y H, DU Y Z. Research on the operation and maintenance risks of urban comprehensive pipe corridors in china based on AHP grey relational analysis [J]. Ceramics, 2023(11):195-199.
- [9] 任伟. 基于模糊评判的地下综合管廊运维不安全行为风险评估[J]. 现代职业安全, 2023(9):29-31.
- REN W. Risk assessment of unsafe behavior in underground comprehensive pipe gallery operation and maintenance based on fuzzy evaluation [J]. Modern occupational safety, 2023(9):29-31.
- [10] 刘爽, 焦晨晓. 基于组合赋权的城市地下综合管廊运维阶段风险因素分析[J]. 工程经济, 2023, 33(7):45-54.
- LIU S, JIAO C X. Risk factor analysis of urban underground comprehensive pipe gallery operation and maintenance stage based on combination weighting [J]. Engineering economy, 2023, 33(7):45-54.