

复杂环境条件下路桥隧道工程施工安全风险预测

赵生军

(中铁十八局集团国际公司 工程管理部, 天津 300300)

摘 要:路桥隧道工程施工环境复杂,进行施工过程中的安全风险预测十分必要。通过分析路桥隧道工程施工风险因素并对所获取的因素进行筛选,实现风险指标体系构建;通过熵权法确定各指标权重;基于集对分析理论的施工风险同异反预测模型。选取风险程度微弱的“低度风险”为参照目标集合,通过其与路桥隧道工程施工风险的同势、反势、均势状态判断实现施工安全风险预测。实验结果表明,该方法可计算出风险指标权重,预测路桥隧道工程施工风险发展趋势以及确定风险等级。

关键词:复杂环境;路桥隧道工程;施工安全风险;熵权法;集对势;同异反预测模型

中图分类号:U4-34

文献标志码:A

文章编号:2097-0358(2023)2-0037-07

0 引言

高速公路是运输车辆高速行驶通道,它在为人们出行提供极大便利的同时,也在城乡一体化发展中扮演着重要角色,在国家经济快速发展中起着不可替代的作用^[1-2]。但随着出行车辆的日益增多,现有高速公路运输能力已无法与实际需求相匹配,这为高速公路的发展提供了更大的发展契机^[3]。由于我国多为丘陵、山地地貌,为提高高速车辆运行速度,减少行车里程,保证出行车辆的安全行驶,路桥隧道应运而生。路桥隧道工程具有修建里程长、施工困难度高的特点^[4-5],特别是施工环境复杂,隧道工程下穿山体可能遭遇诸多不良地质条件,如湿陷性黄土、膨胀围岩等,一旦施工过程中施工管理、技术、策略等方面的措施运用不当,很容易引发塌方、突水、瓦斯泄漏等问题,进而发展成严重事故,造成惨重的经济损失与人员伤亡。因此,对路桥隧道工程进行施工安全风险预测显得极为有意义。^[6-8]

姜安民等人针对公路隧道施工条件复杂、安全风险较高问题,构建了层次分析-可拓模型的工程施工风险预测模型,将地质条件、洞口工程等作为施工风险预测方向,对工程施工风险影响因素进行分析,完成风险指标的确定,通过层次分析法求解各指标权重,再利用风险预测模型,通过计算隧道工程施工风险概率值以及风险后果完成风险等级的界定,该方法获得的指标权重具有主观性,不利于施工风险的准确预测,并且难以实现路桥隧道施工风险发展趋势的变化分析。^[9]王景春等人为降低公路隧道事故率,提出改进 K-Means 聚类模型的施工风险分析方法,通过 WBS-RBS 对公路隧道施工过程中存在的风险进行辨识,将作业分解树与风险分解树进行融合处理以实现风险事件的确定,将其作为预测样本,选取事故发生概率、后果等作为风险指标,根据风险等级划分预测样本,通过改进 K-Means 聚类模型对其进行预测,经过独立性检验后,计算指标间的相关度、可接受度,以确定风险因素间的内在关联,从而获得公路隧道施工风险结果,但该方法易受聚类中心的影响,降低了其风险预测准确性。^[10]因此,本文提出复杂环境条件下路桥隧道工程施工安全风险预测,基于集对分析理论,在对同一度、对立度、差异度进行量化计算后,构建了同异反路桥隧道工程施工风险预测模型,运用偏联系数与集对势实现路桥隧道工程施工风险演化过程的分析,确定预测结果,为施工风险管理与防范提供依据。

收稿日期:2023-02-17

作者简介:赵生军(1982—),男,青海西宁人,中铁十八局集团国际公司工程管理部高级工程师。

1 路桥隧道工程施工安全风险预测

1.1 路桥隧道工程施工风险指标体系构建

在复杂环境条件下,路桥隧道工程施工环境具有复杂性特点,不仅涉及较多的施工作业方及工程设备等,同时,施工地质条件也存在多变性,可能会在施工过程中遭遇涌水突泥、瓦斯、岩溶等恶劣情况,这给路桥隧道工程施工安全带来诸多威胁,增加了施工安全风险^[11]。及早对复杂环境下的路桥隧道工程施工安全风险进行辨识,有利于降低风险损失,避免造成严重的风险后果。

通过工作分解结构法对路桥隧道工程中的风险因素进行辨识,获得工程结构以及风险分解图,根据专家建议完成风险识别矩阵的构建,结合专家调查法对路桥隧道工程施工过程中的安全风险因素进行全面分析与选择,由此实现路桥隧道工程施工安全风险指标体系的构建,其基本结构如图1所示。

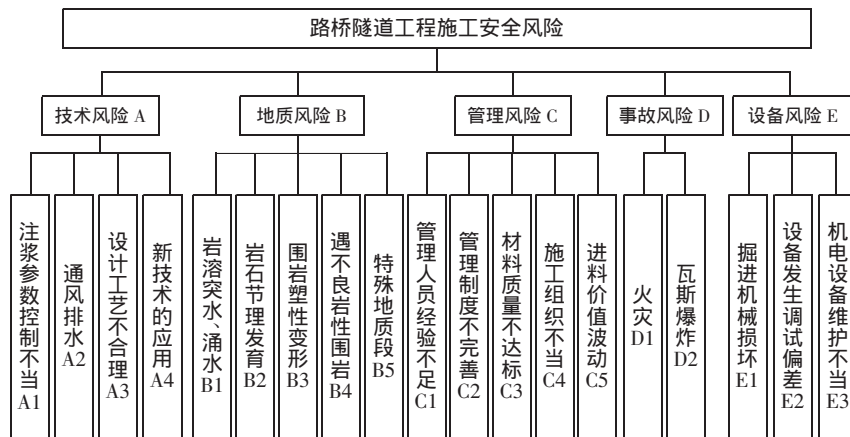


图1 路桥隧道工程施工安全风险指标体系结构

在该指标体系中,路桥隧道工程施工安全风险作为目标层,准则层中共包含5个一级指标,涉及路桥隧道工程施工的技术、地质、管理、设备、事故各个方面,通过对工程施工过程的全面分析,确定了19个路桥隧道工程施工安全风险影响因素,将其作为二级指标,实现体系结构中指标层的构建。

1.2 路桥隧道工程施工安全风险等级划定

基于路桥隧道工程施工安全风险影响因素,按照区间量化标准对各指标的风险大小进行描述,即可完成其安全风险等级的划定,一般而言,安全风险程度随着风险等级的增高而增大,当路桥隧道工程施工处于高风险等级时,施工过程中发生安全风险的概率也较大。路桥隧道工程施工安全风险等级确定标准如表1所示。当评分值小于6时,路桥隧道工程施工发生风险概率低,对应低度风险,评分值与风险发生概率、风险结果成正比关系,[6,7]、(7,8)分别对应中度、高度风险,[8,9]对应风险等级为严重,(9,10]则对应灾难性风险。

表1 路桥隧道工程施工安全风险等级

风险概率等级	风险后果等级	评分值
一级	低度	<6
二级	中度	[6,7]
三级	高度	(7,8)
四级	严重	[8,9]
五级	灾难性	(9,10]

1.3 基于熵权法的指标权重确定

在信息论中通过熵对信息的不确定性进行量化分析,指标所含信息量多少以及权重的高低均与其熵值具有正比例关系^[12-13]。本文采用熵权法对路桥隧道工程施工安全风险指标权重进行确定。

第一步 无量纲化处理。各路桥隧道工程施工风险指标数据单位存在差异,需对其作无量纲化处理,以

达到分析处理要求。正、负指标的无量纲化分别描述为:

$$X_{kr} = \frac{x_{kr} - \min\{x_{1r}, \dots, x_{nr}\}}{\max\{x_{1r}, \dots, x_{nr}\} - \min\{x_{1r}, \dots, x_{nr}\}} \quad (1)$$

$$X_{kr} = \frac{\max\{x_{1r}, \dots, x_{nr}\} - x_{kr}}{\max\{x_{1r}, \dots, x_{nr}\} - \min\{x_{1r}, \dots, x_{nr}\}} \quad (2)$$

式中 x_{kr} 为 k 个样本的第 r 个指标的原始值 X_{kr} 为无量纲化后的值。

第二步 对各路桥隧道工程施工风险指标信息熵进行确定,公式描述为:

$$E_r = -[\ln(n)]^{-1} \sum_{k=1}^n p_{kr} \ln(p_{kr}) \quad (3)$$

$$p_{kr} = \frac{X_{kr}}{\sum_{k=1}^n X_{kr}} \quad (4)$$

式中 E_r 为第 r 个指标信息熵 $k = 0, 1, \dots, L$ $r = 1, 2, \dots, M$ 。当 $p_{kr} = 0$ 可得 $\lim_{p_{kr} \rightarrow 0} \ln(p_{kr}) = 0$ 。

第三步 计算路桥隧道工程施工风险各指标权重,其计算公式为:

$$w_r = \frac{1 - E_r}{m - \sum E_r} \quad (5)$$

1.4 集对分析理论

集对分析是用于解决模糊、不确定性等问题的有效方法,它针对事物发展中存在的确定性与不确定性,将其视为一个整体,通过“同一”“对立”两个特征对前者进行刻画,通过“差异”特征实现对后者的反映,以同、异、反三角度完成事物发展趋势的综合分析^[14-15],具有关联性的两集合组合即可获得集对。通常来说 X, Y 为存在关联的两集合,若二者均有 N 个不同特征构成,即 $X = (X_1, X_2, \dots, X_N)$ $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$,其集对通过 $H = (X, Y)$ 描述,对其作特性分析后,可获得共有、对立特性数量分别为 S, P ,这两种都不属于的差异特性数量为 F ,总特性为 N 。 X, Y 集合的联系度可通过下式计算确定:

$$\mu = a + bi + cj = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (6)$$

式中 μ 为 $H = (X, Y)$ 的联系度 a, b, c 分别为同一度、差异度和对立度 i, j 为系数,其中 $i \in [-1, 1]$ j 一般取 -1 ,有时只将其作为标记来用。

在公式(6)的基础上将项作展开处理,可获得元联系数表达式:

$$\mu = a + b_1 i_1 + b_2 i_2 + \dots + b_n i_n + cj \quad (7)$$

路桥隧道工程施工安全风险划分为 5 个等级,故 n 值取 3,可得五元联系数公式为:

$$\mu = a + b_1 i_1 + b_2 i_2 + b_3 i_3 + cj \quad (8)$$

式中 a, b_1, b_2, b_3, c 分别为路桥隧道工程施工的低度、中度、高度、严重、灾难性五个风险等级。

1.5 基于集对分析的路桥隧道工程施工安全风险预测

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_{19}\}$ 为路桥隧道工程施工安全风险指标集,与其对应的指标权重集合表示为 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{19}\}$,引入 $\{1, i_1, i_2, i_3, j\}$ 同异反系数矩阵后即可完成路桥隧道工程施工风险同异反预测模型的构建,其公式描述为:

$$u = \{w_1, w_2, \dots, w_{19}\} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_{19} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ j \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^{19} w_k z_k + \sum_{k=1}^{19} w_k z_k i_1 + \sum_{k=1}^{19} w_k z_k i_2 + \sum_{k=1}^{19} w_k z_k i_3 + \sum_{k=1}^{19} w_k z_k j \quad (9)$$

以所构建的路桥隧道工程施工风险同异反预测模型为基础,对集对分析法的联系数进行扩展,可获得其伴随

函数,即偏联系数,它可从事物的演变中发现其变化规律,确定其发展趋势。基于公式(7)的 n 元联系数,通过其一阶、二阶偏导数,以完成对应偏联系数的确定。一阶、二阶偏联系统分别描述为:

$$\partial\mu = \frac{a}{a+b_1} + \frac{b_1 i_1}{b_1+b_2} + \frac{b_2 i_2}{b_2+b_3} + \cdots + \frac{b_{n-2} i_{n-2}}{b_{n-2}+c} \quad (10)$$

$$\partial^2\mu = \partial(\partial\mu) = \frac{\partial a}{\partial a + \partial b_1} + \frac{\partial b_1 i_1}{\partial b_1 + \partial b_2} + \frac{\partial b_2 i_2}{\partial b_2 + \partial b_3} + \cdots + \frac{\partial b_{n-3} i_{n-3}}{\partial b_{n-3} + \partial b_{n-2}} \quad (11)$$

按同样方法,可确定阶偏联系数:

$$\partial^{n-1}\mu = \partial^{n-2}(\partial\mu) = \frac{\partial^{n-2}a}{\partial^{n-2}(a+b_1)} \quad (12)$$

通过公式(10)~(12)得出 $\partial a, \partial^2 a, \cdots, \partial^{n-2} a$ 是通过 $b_1, \partial b_1, \cdots, \partial^{n-2} b_1$ 的不断演变得到的,事物的发展变化过程可通过 $\partial a = \frac{a}{a+b_1}, \partial^2 a = \frac{\partial a}{\partial a + \partial b_1}, \cdots, \partial^{n-1} a = \frac{\partial^{n-2} a}{\partial^{n-2}(a+b_1)}$ 得以体现。差异度 $b_1, b_2, \cdots, b_{n-2}$ 的演化过程也可按上述方法得出,联合同一度 a 的发展规律,可实现公式(7)的综合分析。当 $\mu > 0$ 时,此时 μ 是偏正联系数,是对同势状态的描述,说明路桥隧道工程施工安全风险向正向演变;当 $\mu < 0$ 时,则视其为偏负联系数,反映的是反势状态,表明路桥隧道工程施工安全风险正沿负向趋势演变;当 $\mu = 0$ 时,则是对均势状态的描述,此时路桥隧道工程施工安全风险的演变呈现出整体局势不明朗的状态。

结合集对势理论对公式(7)进行分析,在 c 不为 0 的情况下,可通过下式计算 μ 的集对势:

$$shi(H_{a,c}) = \frac{a}{c} \quad (13)$$

当同一度 a 高于对立度 c ,即 $\frac{a}{c} > 1$ 时,路桥隧道工程施工安全风险向下降方向演化;反之,若 a 低于 c ,即 $\frac{a}{c} < 1$ 时,则路桥隧道工程施工安全风险有上升变化趋势。本文对集对势定义进一步延伸,用其描述同一度与差异度之比,则有:

$$shi(H_{a,b}) = \frac{a}{b_i} \quad (14)$$

分别求上式的一阶、二阶直至 $n-1$ 阶偏联系数,可得 $\partial shi(H_{a,b}) = \frac{\partial a}{\partial b_i}, \cdots, \partial^{n-2} shi(H_{a,b}) = \frac{\partial^{n-2} a}{\partial^{n-2} b_i}$,将

其代入到 $\partial a = \frac{a}{a+b_1}, \partial^2 a = \frac{\partial a}{\partial a + \partial b_1}, \cdots, \partial^{n-1} a = \frac{\partial^{n-2} a}{\partial^{n-2}(a+b_1)}$ 中,可得:

$$\partial^{n-1}\mu = \partial^{n-2}(\partial\mu) = \partial^{n-1}a = \frac{1}{1 + \frac{1}{\partial^{n-2} shi(H_{a,b_1})}} \quad (15)$$

若 $\frac{a}{b_1} > 1$,即同一度高于差异度,路桥隧道工程施工安全风险呈逐渐下降规律变化, $\partial^{n-2} shi(H_{a,b_1})$ 表现出增大变化趋势, $\partial^{n-1}\mu$ 随之变大,安全风险变小的演化规律越突出;若 $\frac{a}{b_1} < 1$,即同一度低于差异度,路桥隧道工程施工安全风险呈逐渐上升规律变化,同时 $\partial^{n-2} shi(H_{a,b_1})$ 呈变小变化规律, $\partial^{n-1}\mu$ 随之变小,路桥隧道工程施工安全风险上升的演化规律越突出。

以集对势理论为基础,选取风险程度微弱的“低度风险”,视其为参照对象集合,将之作为对比数据,判断路桥隧道工程施工过程中的安全风险与其之间的差异,实现路桥隧道工程施工安全风险趋势预测。

(1)当路桥隧道工程施工风险与“低度风险”在同势区时 ,表明二者演化趋势相同 ,路桥隧道工程施工风险很低 ,可忽略不计 ,该路桥隧道工程施工处于最佳状态。

(2)当路桥隧道工程施工风险与“低度风险”在均势区时 ,表明路桥隧道工程施工风险已达到中度水平 ,需要加强安全风险管理 ,确定一阶偏联系数为反势的风险因子 ,对其进行高度关注 ,以使其变为同一趋势。

(3)当路桥隧道工程施工风险与“低度风险”位于反势区时 ,表明它们的演化趋势呈反向变化 ,此时路桥隧道工程施工风险达到高度风险水平以上 ,需对反势区的风险因素给予更大关注 ,通过采取有效措施使路桥隧道工程施工风险回归到低风险水平。因此 ,在对路桥隧道工程施工安全风险进行管理时 ,应将关注焦点锁定在与参照集合具有均势以及反势变化关系的风险因素上 ,根据集对势值可实现路桥隧道工程施工风险的排序 ,达到风险预测目标。

2 实验分析

以某路桥隧道工程为研究对象 ,其为分离式隧道设计 ,左、右线设计长度分别为 1 885 m、1 840 m ,对应的最大埋深分别为 184 m、195.2 m ,隧道出入口采用端墙式。该隧道工程施工处为低山地貌 ,坡度大 ,植被生长良好 ,该处富含泥灰岩、石英砂岩等 ,未勘测到地表水 ,只有隧道出入口周围冲沟处因积水形成的少量水流 ,通过钻孔勘测发现地下水 ,部分孔位存在涌水问题 ,同时发现一处岩堆不良地质 ,是由其他高速连接线开挖后的弃石形成 ,呈上薄下厚状。笔者采用前文所述方法对该路桥隧道工程施工安全风险进行预测 ,验证本文方法的预测性能。

获取各风险指标权重是实现路桥隧道工程施工风险预测的基础。笔者采用本方法对该路桥隧道工程施工安全风险指标权重进行确定 ,各指标权重计算结果如表 2 所示。该路桥隧道工程施工安全风险指标体系由两层级构成 ,其中一级指标 5 个、二级指标 19 个 ,运用本方法对该路桥隧道工程施工安全风险进行预测 ,可获得各指标权重 ,风险预测目标层的权重计算结果为 $W = [0.034 \ 0.023 \ 0.043 \ 0.026 \ 0.046]^T$ 。

表 2 路桥隧道工程施工安全风险指标权重计算结果

一级指标	权重	二级指标	权重
A	0.034	A1	0.073
		A2	0.029
		A3	0.022
		A4	0.046
B	0.023	B1	0.019
		B2	0.036
		B3	0.039
		B4	0.014
		B5	0.018
C	0.043	C1	0.081
		C2	0.032
		C3	0.067
		C4	0.073
		C5	0.036
D	0.026	D1	0.022
		D2	0.011
E	0.046	E1	0.081
		E2	0.074
		E3	0.034

在确定各指标权重计算结果后,采用专家打分法获得路桥隧道工程施工风险体系各指标的五元联系数,以此获得路桥隧道工程施工的同异反模型,再对各指标的各阶偏联系数进行计算。各施工风险指标的发展态势如表 3 所示。

表 3 施工风险指标发展态势分析

风险指标	五元联系数趋势	一阶偏联系数趋势	二阶偏联系数趋势	三阶偏联系数趋势	四阶偏联系数趋势
A1	同势	同势	同势	反势	反势
A2	同势	反势	反势	同势	同势
A3	反势	同势	同势	反势	均势
A4	反势	同势	同势	反势	反势
B1	反势	同势	反势	同势	同势
B2	反势	同势	反势	反势	反势
B3	同势	同势	反势	同势	同势
B4	同势	反势	反势	反势	反势
B5	同势	同势	同势	同势	同势
C1	同势	同势	同势	同势	同势
C2	同势	同势	同势	同势	同势
C3	反势	反势	反势	反势	反势
C4	均势	反势	反势	反势	反势
C5	反势	同势	反势	同势	同势
D1	反势	同势	反势	同势	同势
D2	同势	同势	反势	反势	反势
E1	反势	同势	反势	同势	同势
E2	均势	反势	反势	反势	反势
E3	同势	反势	反势	反势	反势

由表 3 可知,路桥隧道工程施工风险的五元同异反系数为 $0.27 + 0.11i_1 + 0.15i_2 + 0.14i_3 + 0.24j$,通过公式(13)计算得到的集对势为 1.125,其值大于 1,由此可通过集对势的同势状态刻画路桥隧道工程施工风险,表明该工程的施工风险呈下降态势变化。在一级指标 A 中,A1、A2 指标呈下降趋势变化,A3、A4 指标呈上升规律变化,同理可确定其余指标的五元联系数演化规律。基于公式(9),可确定路桥隧道工程施工安全风险的一阶偏联系数为 $0.60 + 0.49i_1 + 0.54i_2 + 0.34i_3$,因 0.60 高于 0.34,因此,可利用同势状态对进行描述,即路桥隧道工程施工风险具有一阶减弱变化趋势,其中 A1、A3、A4、B1、B2、B3、B5、C1、C2、C5、D1、D2、E1 风险指标为同势状态,其风险存在变小发展趋势,其余指标均为反势状态,需对其进行严密监测。路桥隧道工程施工安全风险的二阶偏联系数为 $0.53 + 0.47i_1 + 0.60i_2$,因 0.53 低于 0.60,故需用反势状态描述,即路桥隧道工程施工风险呈二阶增强走势变化,需将 A2、B1—B4、C3—C5、D1—D2、E1—E3 风险指标作为严密监测目标,加强施工风险管理。路桥隧道工程施工安全风险的三阶偏联系数为 $0.52 + 0.43i_1$,计算其集对势为 1.20,由于 1.20 大于 1,故路桥隧道工程施工风险呈三阶减弱走势变化;其四阶偏联系数为 0.51,此值高于 0.5,表明相较路桥隧道工程施工风险的差异性,同一性更为突出,故该工程施工风险具有四阶减弱走势,A3 指标为均势,变化趋势难以分辨。实验结果表明,应将具有反势与均势的风险因素作为重点监控对象,通过采取有效施工管理措施进行干预,以降低路桥隧道工程施工风险。

3 结束语

将集对分析理论应用到路桥隧道工程施工安全风险预测中,通过对某项路桥隧道工程的施工风险发展

趋势进行分析,验证本文方法的应用性能。实验结果表明:本文方法可完成风险指标权重的计算,并获得施工风险趋势预测结果,可依据本文预测结果对高风险因素进行重点监控,提升复杂环境条件下路桥隧道工程施工安全性。

参考文献:

- [1]刘佳.谈高速公路隧道施工风险管理技术[J].公路交通科技(应用技术版),2019(1):195-196.
- [2]张子凯.高速公路长隧道机电交安工程施工安全管理探索及应用[J].公路,2020(12):220-223.
- [3]杨佳奇,申玉生,曹帮俊,等.寒区隧道洞口段施工安全风险研究[J].公路,2020(5):317-324.
- [4]李蒙,邹健,刘苹,等.基于BIM的隧道施工安全风险辨识模型研究[J].工业安全与环保,2019(5):69-71.
- [5]黄文红,刘松涛,刘安,等.基于粗糙集和云模型的隧道施工过程动态风险评估[J].公路,2020(5):329-334.
- [6]李梦初,王景春.一种地铁塌方风险评估模型的设计仿真[J].计算机仿真,2022(2):93-97.
- [7]张兵,夏时雨,赵庆华,等.基于CART回归树模型的深基坑施工安全事故分析与预测[J].土木工程与管理学报,2021(3):32-38,44.
- [8]赵秋华.基于SVM的城市地下工程施工安全风险预测研究[J].施工技术,2021(7):113-115,119.
- [9]姜安民,董彦辰,张晓波.基于层次分析-可拓模型的公路隧道施工风险评估[J].数学的实践与认识,2019(11):297-305.
- [10]王景春,林佳秀,靳俊中.基于改进K-Means聚类模型的公路隧道施工风险分析及其应用[J].公路交通科技,2019(6):58-64.
- [11]李海文,鲍学英.基于动态权重-二维云模型的青藏高原交通工程高地温隧道施工风险评估[J].武汉大学学报(工学版),2022(10):1010-1018,1080.
- [12]吴波,陈辉浩,黄惟.基于模糊-熵权理论的铁路瓦斯隧道施工安全风险评估[J].安全与环境学报,2021(6):2386-2393.
- [13]蒙国往,丘洪彬,吴波,等.基于改进层次分析法、熵权法的深基坑施工风险评估[J].数学的实践与认识,2021(21):167-176.
- [14]胡庆国,田学泽,何忠明.基于五元联系数集对分析模型的绿色建筑施工安全风险评价[J].安全与环境学报,2021(5):1880-1888.
- [15]李亚峰,冷伍明,聂如松,等.基于改进的集对分析理论的路基沉降组合预测模型[J].应用基础与工程科学学报,2021(4):961-972.

(责任编辑 张 利)

Safety Risk Prediction of Road and Bridge Tunnel Construction Under Complex Environmental Conditions

ZHAO Sheng-jun

(International Co., Ltd. of the Eighteenth Bureau Group of China Railway, Tianjin 300300, China)

Abstract: The construction environment of road and bridge tunnel project is complex, and it is necessary to predict the safety risk during the construction process. By analyzing the construction risk factors of road and bridge tunnel project and screening the acquired factors, the risk indicator system is constructed; the weight of each indicator is determined by entropy weighting method; based on homogeneous and inverse anti-prediction model of construction risk of set-pair analysis theory, the “low risk” with weak level of risk is selected as the reference target set. Construction safety risk prediction is realized through the judgment of homotropic, antipotential and equilibrium states with the construction risk of road, bridge and tunnel projects. The experimental results show that the method can be used to calculate the weights of risk indicators, predict the development trend of the construction risk of road and bridge tunnels and determine the risk level.

Key words: complex environment; road and bridge tunnel project; construction safety risk; entropy weight method; set-pair potential; homogeneous and inverse anti-prediction model