

基于前景-后悔理论的瓦斯隧道施工风险等级评估方法

——以山西黎霍高速公路隧道施工为例

吴何碧¹, 曹继翔², 张凌寒², 周向东², 李 园², 陈慧敏³

(1. 云南卫士盾科技有限公司, 昆明 650500; 2. 中铁一局集团第四工程有限公司, 陕西 咸阳 610400;
3. 昆明理工大学 理学院, 昆明 650500)

摘要:针对现有安全等级评估中决策者的理性状态受多种因素干扰问题,提出一种基于前景-后悔理论的煤矿瓦斯隧道施工风险分析法。首先,运用期望值法确定决策者对不同风险等级评估的期望区间;其次,利用前景理论计算风险等级的价值函数矩阵、权重函数矩阵和前景值;然后,以正负理想点为参考点,利用后悔理论计算出后悔-欣喜值;最后,对欣喜-后悔值进行排序,确定风险评估等级。通过实例分析可知,该隧道Ⅳ级风险得分约-4.7,Ⅲ级风险得分约-3.1,Ⅱ级风险得分约-0.6,Ⅰ级风险得分约2.1。Ⅰ级风险的得分最高,即隧道处于Ⅰ级风险状态,实例结果与现场分析结果一致。说明该评估方法设计合理,能够准确地对瓦斯隧道施工风险等级进行判定。

关键词:瓦斯隧道;前景理论;后悔理论;施工风险;评估方法

中图分类号:TU714 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)11-0325-06

近年来,随着中国基础设施建设的逐步完善,山陵地区越发重视公路铁路等的开发。其中,瓦斯隧道工程项目的数量也不容小觑,正呈现逐年增加的趋势,已成为交通运输体系中至关重要的一环。然而,由于中国瓦斯隧道起步晚、体制不完善、人员安全意识不到位、地质条件复杂等原因,瓦斯隧道施工的安全问题一直是安全领域研究的重点问题。因此,进行施工风险等级评估显得尤为重要。

目前,国内外学者对瓦斯隧道施工安全风险等级的评估做了大量研究。Alexander 等^[1]首先提出层次分析法,该方法主要通过咨询该领域的专家进行权重打分,但最终得到的结果存在较强的主观性,不具有严密性。张凤毛等^[2]在 1998 年提出模糊数学法,首先对单个指标分别进行评价,然后赋予权重,最后用模糊矩阵复合运算得出风险排序情况。马莎等^[3]利用熵权法对传统的层次分析法进行了改进,可靠地分析了地下空间的适应性。蒋晓槟

等^[4]运用将蒙德法与瓦斯隧道特点相结合的方式,对穿煤层瓦斯隧道进行了量化的风险评估。王子超等^[5]使用模糊层次分析法,结合专家打分与层次分析法确定权重,建立模糊数学评价模型,定量分析施工风险,使评估结果更加合理和准确。王勇胜等^[6]、Wang 等^[7]运用模糊综合评价方法将地理信息与模糊数学理论相结合,解决了评估指标与风险水平之间的多重非线性关系,得出了直观的风险评估图。兰明慧等^[8]基于城市开发建设提出了定性、定量、定位、定策 4 个方面相结合的分析方法,实现了从单纯评估向精细化评估的转变。林志等^[9]提出了一种基于 8 个因子的安全评估方法,为公路隧道的安全评估提供了强有力的技术支持。

然而,上述多种评估方法在决策时仍存在一定的客观性。即在上述评估模型中,决策者处于完全理性的状态,而在实际过程中,决策者的理性状态会受到多种因素的干扰,难以达到完全理性。因此,本文引入了前景理论与后悔理论。

收稿日期:2022-05-30

基金项目:中铁一局集团第四工程有限公司研发项目(2022530103000303)。

作者简介:吴何碧(1974—),男,贵州毕节人,云南卫士盾科技有限公司,技术员,研究方向为安全管理;曹继翔(1984—),男,江西上饶人,中铁一局集团第四工程有限公司,工程师,研究方向为矿隧安全技术与工程、安全管理;张凌寒(1988—),男,陕西西安人,中铁一局集团第四工程有限公司,工程师,研究方向为安全工程;周向东(1969—),男,河南巩义人,中铁一局集团第四工程有限公司,高级工程师,研究方向为安全技术与工程;李园(1994—),男,陕西西安人,中铁一局集团第四工程有限公司,助理会计师,研究方向为工程管理;通信作者陈慧敏(1995—),女,江苏无锡人,昆明理工大学理学院,硕士研究生,研究方向为应急管理、安全评估。

前景理论由 Tversky 等^[10]基于期望值理论、期望效用理论提出,解释了影响决策者行为的主观因素,反映了人们在决策中存在着有限理性。朱兴林等^[11]基于前景理论制定了合理的应急预案,冯焕焕等^[12]利用前景理论与乘客最优理论构建了公交出行选择模型,程苑等^[13]利用前景理论构建了疫情下的公交选择机制,均体现了前景理论对决策行为的影响。

Bell^[14]提出的后悔理论是与前景理论相对的一种行为决策理论,主要是考虑了决策者的主观心理以刻画其后悔规避的行为。敖翔龙等^[15]考虑了人的后悔心理,对拥挤收费后的再分配效率问题进行了探究。于晓娟等^[16]基于后悔理论-随机 Logit 模型,研究了瓶颈路段的拼车决策问题。

本文建立了将前景理论与后悔理论相结合的评估模型,并以山西黎霍高速公路隧道为例,对该路段瓦斯隧道的施工风险等级进行评估,验证该方法的科学性与有效性。

1 前景-后悔理论

1.1 前景理论

前景理论提出决策者对风险的态度是由价值函数与权重函数共同决定的,可修正主观期望,其具体形式表现为

$$V_{ij} = \sum_{i=1}^n v(\Delta\xi) \pi(p_{ij}) \quad (1)$$

式中: $v(\Delta\xi)$ 为价值函数; $\pi(p_{ij})$ 为决策权重函数。

1.1.1 专家打分评价指标选择

在选择瓦斯隧道施工风险的评价指标时,通常需要考虑环境、人员、机器设备等因素,综合市场调研与人员咨询,可考虑以下评价指标:

1) 工程环境。施工条件与环境是施工风险等级评价指标的重要考虑因素,能直接影响到施工的正常展开。主要从自然灾害、岩土地质条件和水温地质条件、气象条件和引起火灾和爆炸的因素进行考虑。例如:对瓦斯浓度的实时监测,若浓度达到2%时,人员必须撤出;针对煤尘爆炸做好相对的措施,煤尘注水、喷雾洒水等;加强施工通风,降低突发事件概率。

2) 材料与报告。施工材料与报告是施工风险等级评价指标的重要指标之一,它决定了该工程的产品质量,严格对材料进行质量把关,避免出现因材料而存在的安全隐患,也是对整个工程的责任。评价时主要从施工材料获取的难度、设备潜在的使用风险、施工材料是否齐全、施工材料是否符合质

量要求、有无质量检测报告与图纸、手续是否齐全等方面进行考虑。

3) 人员素质。人员素质是风险等级情况需要重点考虑的内容之一,为保证工程的质量,确保施工正常、安全、有效率地开展,应着重考虑承包商管理人员、一般技工和施工机械操作人员的技术水平、管理能力、身体素质、职业道德等方面,综合考虑并择优选择质量意识高的工程参与人员。

1.1.2 参考点设计

前景理论的第一步,首先确定固定的参考点,也称为准则值。常用的参考点确定方法包括期望值法、正负理想点法、零点法^[17]。为了对施工项目风险等级进行有效的评估分析,通常需要对其进行风险等级划分,根据风险等级发生的可能性和风险损失、社会影响等,将风险等级划分为4类,即Ⅳ级风险(略有风险)、Ⅲ级风险(一般风险)、Ⅱ级风险(显著风险)、Ⅰ级风险(高度风险)。考虑到决策者对于不同风险等级的期望不同,为规范专家打分和防止取值偏差较大,本文使用极值法确定决策者的期望参数区间,给出不同风险等级下的决策期望参考区间和准则值。

1.1.3 价值函数

价值函数 $v(\Delta\xi)$ 体现的是人们对未来收益的提前感知,具体表现形式为

$$v(\Delta\xi) = \begin{cases} (\Delta\xi)^\alpha, & \Delta\xi \geq 0 \\ -\lambda(-\Delta\xi)^\beta, & \Delta\xi < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: α 与 β 分别表示决策者对收益和对损失的敏感程度; $\Delta\xi = \xi - \xi_{ij}$, ξ 是决策的准则值,具体值见表1, ξ_{ij} 为决策者根据心理而做出判断的期望值; λ 为决策者对于损失的厌恶程度($\lambda > 1$)。当 $\Delta\xi < 0$ 时, $v''(\Delta\xi) > 0$, 图形表现为凹形,此时表现为风险规避;当 $\Delta\xi > 0$ 时, $v''(\Delta\xi) < 0$, 图形表现为凸形,此时表现为风险偏好。文献[18]表明, $\alpha = \beta = 0.88$, $\lambda = 2.25$ 时与实际决策经验相符合。现实中,人们在面临获得时往往是小心翼翼,不愿冒风险,偏向于风险规避的;而在面对失去时会很不甘心,变成“风险追求者”;就敏感程度而言,对损失时痛苦的敏感程度要远大于获得时快乐的敏感程度。

1.1.4 决策权重函数

在风险决策中,决策价值存在的概率对风险决策主体具有特殊的意义,前景理论将其称为决策权重。当决策者进行概率推理时,概率会发生非线性转化,比如存在低概率事件被高估、低概率事件直接降为0、高概率事件被低估、高概率事件升为1的

情况,导致所做的主观判断概率与事件发生的真实概率产生偏离。

决策权重函数 $\pi(p_i)$ 体现的是该决策的重要程度,具体表现形式为

$$\pi(p_{ij}) = \begin{cases} \frac{(p_{ij})^\sigma}{[(p_{ij})^\sigma + (1 - p_{ij})^\sigma]^{1/\sigma}}, & \Delta\xi \geq 0 \\ \frac{(p_{ij})^\delta}{[(p_{ij})^\delta + (1 - p_{ij})^\delta]^{1/\delta}}, & \Delta\xi < 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: p_{ij} 为该决策价值发生的概率; σ, δ 分别表示对决策收益和损失的估计系数 ($0 < \sigma < 1, 0 < \delta < 1$), 根据文献[19], 取 $\sigma = 0.61, \delta = 0.69$ 。为评估多个指标对同一风险等级的贡献程度, 利用式(4)将其归一化, 得到最终权重函数。

$$\pi'(p_{ij}) = \frac{\pi(p_{ij})}{\sum_{j=1}^n \pi(p_{ij})} \quad (4)$$

1.2 后悔理论

后悔理论认为决策者在决策过程中会综合对比其选择的方案获得的结果与其他方案所获得的结果。后悔理论使用正负理想点法, 结合Hamming距离函数计算欣喜值 R_{ij} 和后悔值 G_{ij} , 具体表现形式为

$$R_{ij} = 1 - \exp\left(\eta \left| \frac{V_{ij} - V_{ij}^+}{V_{ij}^+ - V_{ij}^-} \right| \right) \quad (5)$$

$$G_{ij} = 1 - \exp\left(-\eta \left| \frac{V_{ij} - V_{ij}^-}{V_{ij}^+ - V_{ij}^-} \right| \right) \quad (6)$$

欣喜-后悔值为

$$Z_i = \sum_j R_{ij} + G_{ij} \quad (7)$$

式中: V_{ij}^+ 为最大前景值, 也称正理想点; V_{ij}^- 为最小前景值, 也称负理想点, η 为规避系数, 其值越小表示决策者对决策事物的后悔程度越高^[18]。

最后一步, 对欣喜-后悔值 Z_i 进行排序, 值越大, 说明越符合此时的风险等级状况。

2 施工安全风险等级评估

以山西黎霍高速公路隧道施工情况为例, 通过现场实际调研和咨询, 从工程环境、材料与报告、人员素质 3 个指标判断瓦斯隧道施工风险状态。第一步, 综合考虑经验、权威性选取 4 位专家, 确定他们对各指标在不同风险等级下的决策期望值; 第二步, 运用极值法综合确定 4 位专家的期望参数区间, 并取 4 位专家期望值的均值作为基准值, 具体见表 1; 第三步, 将判定施工风险状态的 4 个指标按 1:1:1:1 的比例, 计算得出综合打分表, 见表 2。

表 1 风险等级评分期望及准则值

风险等级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级
期望参考值区间	[0.0, 0.4]	[0.2, 0.6]	[0.4, 0.8]	[0.6, 1.0]
决策基准值 ξ	0.2	0.4	0.6	0.8

表 2 专家综合打分

专家	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级
专家 1	0.19	0.37	0.53	0.86
专家 2	0.32	0.42	0.66	0.92
专家 3	0.26	0.48	0.69	0.85
专家 4	0.15	0.31	0.73	0.94

2.1 价值函数矩阵

根据专家对不同风险等级下各指标的期望值, 判定价值收益或损失, 且可求得损益价值矩阵为

$$\Delta\xi = \begin{bmatrix} 0.07 & -0.17 & -0.33 & -0.56 \\ 0.08 & -0.02 & -0.26 & -0.52 \\ 0.34 & 0.12 & -0.09 & -0.25 \\ 0.65 & 0.49 & 0.28 & 0.12 \end{bmatrix}。$$

依据式(2)计算价值函数, 则价值函数矩阵 $v(\Delta\xi)$ 为

$$v(\Delta\xi) = \begin{bmatrix} 0.096\ 3 & -0.473\ 1 & -0.848\ 2 & -1.350\ 8 \\ 0.108\ 3 & -0.072\ 0 & -0.687\ 6 & -1.265\ 5 \\ 0.387\ 0 & 0.154\ 8 & -0.270\ 3 & -0.664\ 3 \\ 0.684\ 5 & 0.533\ 8 & 0.326\ 2 & 0.154\ 8 \end{bmatrix}。$$

2.2 决策权重值函数

计算决策函数权重矩阵之前, 需明确决策事件出现的概率。通过现场实际调研和专家咨询, 采集相关领域的 4 位专家对于不同风险等级可能性的意见如下:

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} 0.78 & 0.69 & 0.92 & 0.86 \\ 0.56 & 0.74 & 0.82 & 0.91 \\ 0.81 & 0.93 & 0.73 & 0.87 \\ 0.69 & 0.84 & 0.75 & 0.67 \end{bmatrix}。$$

将 p_{ij} 代入式(3)计算得到决策权重函数 $\pi(p_i)$ 为

$$\pi(p_i) = \begin{bmatrix} 0.591\ 1 & 0.580\ 4 & 0.802\ 0 & 0.727\ 9 \\ 0.452\ 0 & 0.618\ 4 & 0.687\ 5 & 0.788\ 1 \\ 0.616\ 0 & 0.756\ 3 & 0.610\ 5 & 0.739\ 0 \\ 0.527\ 4 & 0.643\ 7 & 0.568\ 3 & 0.514\ 8 \end{bmatrix}。$$

将 $\pi(p_i)$ 代入式(4) 归一化后得到最终的决策权重函数 $\pi'(p_{ij})$ 为

$$\pi'(p_{ij}) = \begin{bmatrix} 0.218\ 8 & 0.214\ 9 & 0.296\ 9 & 0.269\ 5 \\ 0.177\ 5 & 0.242\ 9 & 0.270\ 0 & 0.309\ 5 \\ 0.226\ 3 & 0.277\ 9 & 0.224\ 3 & 0.271\ 5 \\ 0.234\ 0 & 0.285\ 6 & 0.252\ 1 & 0.228\ 4 \end{bmatrix}。$$

2.3 前景值计算

将上述得到的价值函数和决策权重矩阵代入式(1),即可计算决策事物的前景值矩阵:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} -0.570\ 9 & -0.715\ 6 & -0.629\ 9 & -0.659\ 3 \\ -0.440\ 8 & -0.546\ 7 & -0.460\ 6 & -0.468\ 8 \\ -0.104\ 4 & -0.144\ 1 & -0.071\ 4 & -0.072\ 9 \\ 0.354\ 6 & 0.411\ 6 & 0.459\ 5 & 0.473\ 6 \end{bmatrix}^{\circ}$$

2.4 欣喜-后悔值计算

专家对于不同风险等级评价的后悔程度不同,具体取值见表 3。

表 3 专家对不同风险等级的后悔程度

专家	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级
专家 1	0.9	0.9	0.7	0.9
专家 2	0.9	0.8	0.8	0.8
专家 3	0.8	1	0.8	0.7
专家 4	1	0.7	1	0.9

基于前景值矩阵确定最大前景值和最小前景值,利用式(5)和式(6)计算欣喜值矩阵欣喜值 R_{ij} 和后悔值 G_{ij} 分别为

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} -1.204\ 4 & -1.459\ 6 & -0.914\ 7 & -1.356\ 9 \\ -0.997\ 7 & -0.986\ 4 & -0.874\ 6 & -0.885\ 0 \\ -0.475\ 3 & -0.681\ 0 & -0.442\ 9 & -0.379\ 4 \\ -0.105\ 2 & -0.037\ 2 & -0.011\ 9 & 0 \end{bmatrix};$$

$$G_{ij} = \begin{bmatrix} 0.103\ 8 & 0 & 0.049\ 2 & 0.041\ 8 \\ 0.187\ 8 & 0.107\ 4 & 0.157\ 7 & 0.153\ 0 \\ 0.337\ 1 & 0.381\ 6 & 0.351\ 7 & 0.315\ 0 \\ 0.593\ 4 & 0.485\ 0 & 0.627\ 7 & 0.593\ 4 \end{bmatrix}^{\circ}$$

得到欣喜值矩阵和后悔值矩阵后,将它们代入式(7),从而分别计算出各风险等级所对应的欣喜-后悔值 Z_i 分别为 $Z_{Ⅳ} = -4.740\ 8, Z_{Ⅲ} = -3.137\ 7, Z_{Ⅱ} = -0.593\ 2, Z_{Ⅰ} = 2.145\ 2$ 。

根据所得欣喜-后悔值对各风险等级进行排序,其排序结果为 $Z_{Ⅰ} > Z_{Ⅱ} > Z_{Ⅲ} > Z_{Ⅳ}$,则此时风险等级为Ⅰ级高度风险状态,隧道施工队伍需立即撤离,待情况好转后才能继续施工。

2.5 现场总体风险评估

现场总体风险评估指开工前根据隧道工程的地质环境条件、建设规模、结构特点等影响因子,评估隧道工程整个风险,估测其安全风险等级。首先,建立总体风险评估指标体系与总体风险分级标准,见表 4、表 5。

其次,根据实际情况,可知左线洞体中 V_2 级围岩累计长度 640 m,占 21.6%; V_1 级围岩累计长度 1 055 m,占 35.6%; IV_3 级围岩累计长度 1 270 m,占 42.8%;右线洞体中其中 V_2 级围岩累计长度 590 m,占 20.0%; V_1 级围岩累计长度 1 025 m,占

表 4 总体风险评估指标体系

评估指标	分类		分值
地质 $G=(a+b+c)$	围岩情况 a	1. V、IV 围岩长度占全隧道长度 70%以上	4~5
		2. V、IV 围岩长度占全隧道长度 40%以上、70%以下	3
		3. V、IV 围岩长度占全隧道长度 20%以上、40%以下	2
		4. V、IV 围岩长度占全隧道长度 40%以上、70%以下	1
	瓦斯情况 b	1. 隧道洞身穿越瓦斯地层	2~3
		2. 隧道洞身附近可能存在瓦斯地层	1
		3. 隧道施工区域不会出现瓦斯	0
	富水情况 c	1. 隧道全程存在可能发生涌水突泥的地质	2~3
		2. 有部分可能发生涌水突泥的地质	1
		3. 无涌水突泥可能的地质	0
开挖断面 A	1. 特大断面(单洞四车道隧道)		4
	2. 大断面(单洞三车道隧道)		3
	3. 中断面(单洞双车道隧道)		2
	4. 小断面(单洞单车道隧道)		1
隧道全长 L	1. 特长(3 000 m 以上)		4
	2 一长(大于 1 000 m、小于 3 000 m)		3
	3. 中(大于 500 m、小于 1 000 m)		2
	4. 短(小于 500 m)		1
洞口形式 S	1. 竖井		3
	2. 斜井		2
	3. 水平洞		1
洞口特征 C	1. 隧道进口施工困难		2
	2. 隧道进口施工较容易		1

表 5 总体风险分级标准

风险等级	计算分值 R
Ⅳ级(略有风险)	0~6 分
Ⅲ级(一般风险)	7~13 分
Ⅱ级(显著风险)	14~21 分
Ⅰ级(高度风险)	22 分以上

34.7%; IV₃级围岩累计长度 1 340 m,占 45.3%。由表 4 可知, a 分值为 5 分。问腰隧道穿越含煤地层,6#煤层瓦斯含量为 1.73~7.73 m³/t,所在区域煤矿均为高瓦斯煤矿,瓦斯含情况 b 分值为 2 分。隧址区及其附近未见地表水,地下水类型主要为碳酸盐岩裂隙岩溶水。隧道在洞身中前段部分段落处于地下水位线以下,附近还可能有采空区积水,富水情况,有部分可能发生涌水突泥的地质, c 分值为 1 分。开挖断面 A 为中断面,分值为 2 分。隧道左线长 2 965 m,右线长 2 955 m,隧道长度大于 1 000 m,小于 3 000 m,隧道全长 L 分值为 3 分。隧道洞口选用水平洞, S 分值为 1 分。洞口为 V 级围岩,采用 CD 法施工,进口施工难度较易,洞口特征 C 分值为 1 分。因此,隧道工程施工安全风险总得分 $R = G(A + L + S + C) = (a + b + c)(A + L + S + C) = 56$ 。

最后,根据表 5,依据风险可接受准则可确定该隧道的施工风险为Ⅰ级(高度风险),处于非安全范围内,原施工进度需暂且搁置,随后需采取相应的措施(如加强通风),降低隧道施工风险等级,直到风险等级降至安全范围内时才可再次施工。由此可知,本文结果与实际情况相符合,可认为本文评估隧道施工风险等级的方法基本正确。

3 结论

1)针对决策者在决策过程中的心理会极大地影响最终的决策行为这一问题,从规避与偏好两方面提出了基于前景-后悔理论的评估方法。

2)对山西黎霍高速公路隧道做实例分析,通过基于前景-后悔理论的评估方法得出其风险等级为Ⅰ级(高风险状态)。评估结果与现场瓦斯隧道施工风险等级评估所得到的结果一致,说明了本文方法的正确性与可靠性。

3)结合了专家打分法与前景-后悔理论,并验证该方法的正确性,为有效地进行瓦斯隧道施工风险等级评估提供新思考。

参考文献

[1] ALEXANDER J M, SAATY T L. The forward and backward processes of conflict analysis[J]. Systems Research and Behavioral Science, 1977, 22(2): 87-98.

[2] 张凤毛, 张铸. 公路建设项目投资控制[J]. 公路交通科技, 1998, 15(1): 67-70.

[3] 马莎, 刘聪聪, 张润华, 等. 基于熵权-层次分析法的地下空间适宜性评价[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(23): 10013-10020.

[4] 蒋晓槟, 李博, 薛亚东. 基于蒙德法的穿煤层隧道瓦斯风险评估[J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(6): 1292-1295, 1301.

[5] 王子超, 雷克江, 杨霜, 等. 基于模糊层次分析法的瓦斯隧道施工安全风险评估[J]. 武汉工程大学学报, 2019, 41(6): 573-579.

[6] 王勇胜, 孔祥美, 陈露锋. 基于改进层次模糊综合评价法的电网建设项目风险评估体系[J]. 科技和产业, 2018, 18(3): 79-83.

[7] WANG G P, LIU Y, HU Z Y, et al. Flood risk assessment based on fuzzy synthetic evaluation method in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan area, China[J]. Sustainability, 2020, 12(4): 1-30.

[8] 兰明慧, 赖敏斌. 重大事项社会稳定风险评估运行框架研究-以城市新区开发建设为例[J]. 科技和产业, 2019, 19(4): 64-74.

[9] 林志, 赵喜锋, 张立媛, 等. 基于安全性能和风险程度的公路隧道群运营安全评估方法[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(10): 4134-4140.

[10] TVERSKY A, KAHNEMAN D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty [J]. Journal of Risk and Uncertainty, 1992, 5(4): 297-323.

[11] 朱兴林, 温喜梅. 基于前景理论与理想解法的应急预案评估模型 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20(29): 12125-12130.

[12] 冯焕焕, 邓建华. 基于前景值和乘客最优理论的居民公交出行选择模型[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(5): 307-311.

[13] 程苑, 缪凯, 马毅林, 等. 基于前景理论的疫情期间出行方式选择模型研究[J]. 交通工程, 2021, 21(6): 68-74.

[14] BELLD E. Regret in decision making under uncertainty [J]. Operations Research, 1982, 30(5): 961-981.

[15] 敖翔龙, 关宏志. 基于后悔理论的拥挤收费再分配效率研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(2): 111-115.

[16] 于晓娟, 邹正兴, 张千帆. 基于后悔理论的拼车决策问题研究[J]. 运筹与管理, 2022, 31(2): 1-7.

[17] 江文奇. 基于前景理论和统计推断的区间数多准则决策方法[J]. 控制与决策, 2015, 30(2): 375-379.

[18] 张鹏, 范潮海, 王璟. 基于前景-后悔理论的油气管道风险模态分析[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(6): 2365-2370.

[19] 李娜, 高雷阜, 王磊. 基于 Pythagorean 模糊熵的风险型决策方法-考虑后悔与失望规避[J]. 运筹与管理, 2020, 29(6): 130-138.

Risk Level Assessment Method for Gas Tunnel Construction Based on Prospect-regret Theory:

Taking the construction of Lihuo expressway tunnel in Shanxi as an example

WU Hebi¹, CAO Jixiang², ZHANG Linghan², ZHOU Xiangdong², LI Yuan², CHEN Huimin³

(1. Yunnan Wisdom Science Technology Co., Ltd., Kunming 650500, China;

2. China Railway First Group Fourth Engineering Co., Ltd., Xianyang Shaanxi 610400, China;

3. Faculty of Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: To address the problem that the rational state of decision makers in the existing safety level assessment is disturbed by many factors, a prospect-regret theory-based risk analysis method for coal mine gas tunnel construction is proposed. Firstly, the expectation value method is applied to determine the expectation interval of decision makers for different risk level assessments. Secondly, the value function matrix, the weight function matrix and the prospect value of the risk level are calculated using the prospect theory. Thirdly, the regret theory is used to calculate the joy-regret value with the positive and negative ideal points as reference points. Finally, the joy-regret value is ranked to determine the risk assessment level. The example analysis shows that the tunnel has a risk score of about -4.7 for level IV, -3.1 for level III, -0.6 for level II and 2.1 for level I. The score for level I is the highest and the example results are consistent with the field analysis results, so the tunnel risk is level I. It shows that the evaluation method is reasonably designed and can accurately determine the risk level of gas tunnel construction.

Keywords: gas tunnels; prospect theory; regret theory; construction risk; assessment methods