

文章编号:1006-2106(2013)09-0121-06

铁路路堤风险管理研究与实例分析*

魏永幸** 丁兆锋 罗一农

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:研究目的:目前针对铁路路堤风险管理方面的研究资料十分有限,尚未形成系统的风险管理体系,建立和完善铁路路堤安全风险预测及评价理论,实现对铁路路堤的全面风险防范和管理具有重要的现实意义,为此本文对铁路路堤安全风险预测和评估方法进行了研究,并对某铁路路堤的风险进行实例分析,可为铁路路基工程类风险管理技术方法研究提供借鉴和指导。

研究结论:(1)提出了用于风险分析计算的“层次分析+专家调查+模糊评价”综合分析法,给出了具体步骤,并结合工程实例进行了演示。(2)提出了铁路路堤风险等级分为轻微、轻度、中度、重度、灾难性等5级的建议,并研究提出了相应各等级风险的风险处置对策。(3)计算表明,铁路路堤各风险因素中地震风险的风险权重最大,地震区路堤设计应采取相应的风险处置措施。(4)“层次分析+专家调查+模糊评价”综合分析法,具有层次鲜明、步骤清晰、可以实现风险的量化分析的特点,可用于铁路、公路路基工程风险的识别与分析。

关键词:铁路路堤;风险管理;实例分析

中图分类号:U213.1+1 **文献标识码:**A

Risk Management Research and Case Analysis for Embankment of Railway

WEI Yong-xing, DING Zhao-feng, LUO Yi-nong

(China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: Research purposes: The information of risk management research is limited. And the risk management system has not been formed. So it is important and significative to establish the risk prediction and evaluation theory and realize the risk prevention and management for the railway embankment. This paper studied the method of risk prediction and evaluation theory for railway embankment, and analyzed the risk of one railway embankment. All above can provide reference and guidance for the research of risk management techniques of railway subgrade engineering.

Research conclusions: (1) In the paper, a comprehensive analysis method with “analytic hierarchy process + expert investigation + fuzzy evaluation” is put forward for analysis and calculation of the risk of railway embankment engineering and the specific steps have been given. (2) It is suggested to class risk factors of railway embankment as slight degree, mild degree, moderate degree, severe degree and catastrophic degree and the corresponding treatment measures are put forward. (3) The calculation result shows the weight of seismic risk factor is maximum in the risk factors, therefore, the corresponding risk treatment measures shall be taken in the design of embankment in the seismic area. (4) The comprehensive analysis method with “analytic hierarchy process + expert investigation + fuzzy evaluation” is

* 收稿日期:2013-01-07

** 作者简介:魏永幸,1964年出生,男,教授级高级工程师,注册土木(岩土)工程师。

characterized by distinct levels, clear steps and quantitative analysis of risk, which can be used for identification and analysis of subgrade engineering risk of railway and highway.

Key words: railway embankment; risk management; case analysis

路堤是一种常见的路基结构形式,在铁路线下工程中占比较高,对铁路路堤安全风险问题进行有效管理,是积极和有效的降低铁路路基灾害风险的手段和途径,通过风险管理可以减小各类风险带来的危害,且有很高的成本-效益比^[1]。但目前针对铁路路基工程类风险管理上的研究资料十分有限^[2],尚未形成风险管理体系,建立和完善铁路路堤安全风险预测及评价理论,实现对铁路路堤的全面风险防范和管理具有重要的现实意义。本文对铁路路堤安全风险预测和评估方法进行了研究,并以某地震区路堤为例,详细介绍了铁路路堤安全风险预测和评估的具体做法。

1 铁路路堤风险识别

风险识别是风险管理的首要步骤,首先要找出工程中存在哪些潜在风险因素,其次是研究这些因素会引起什么风险,再次是评价风险发生造成的后果有多大^[3-4]。铁路路堤存在的风险主要有路基面下沉,坡面开裂和边坡溜坍,甚至整体失稳。根据风险分类及评价指标体系设置原则可建立风险因素指标体系树状图,以地震区路堤为例,路基风险因素指标体系树状图如图 1 所示。

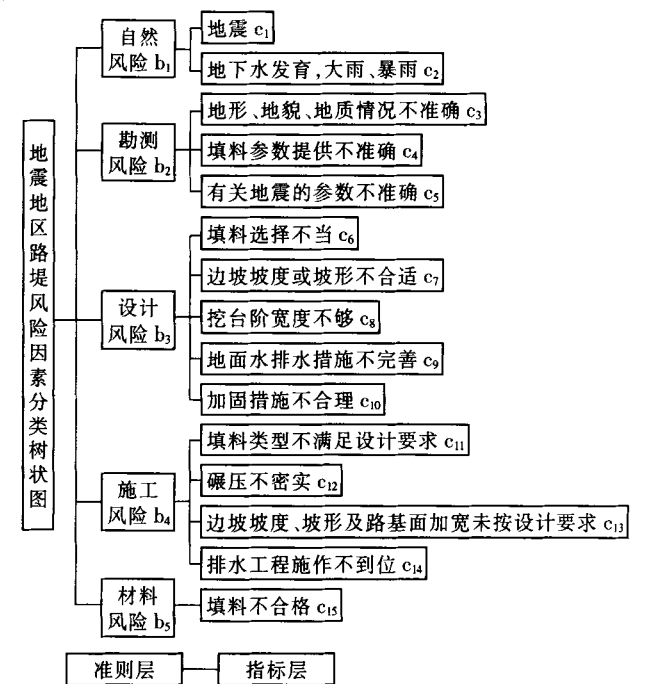


图 1 地震区路堤风险因素指标体系树状图

2 铁路路堤风险估计与评价^[5-6]

2.1 风险值估计

风险估计,主要是根据专家打分结果计算求得指标层各风险因素权重值以及目标层评判矩阵,为风险评价提供定性、定量分析依据。风险估计按如下步骤进行:

(1) 建立该路堤的风险因素指标体系树状图,如图 1 所示;

(2) 根据风险因素指标体系树状图设计专家调查表(如表 1 所示),向参与评估的专家(14 位)发放调查表,调查表中对比值的含义按表 2 执行,专家根据经验做出判断填表完毕后及时收回;

(3) 根据专家打分结果构造判断矩阵,并求解指标层各风险因素的权重 W,再结合 14 位专家对风险因素可能性的调查结果 C,计算出各风险因素的估计值($W \times C$,如表 3 所示),然后将风险因素指标层中风险因素按照估计值从大到小的顺序进行排序。

(4) 根据风险因素专家评语调查表(如表 4 所示)构建判断矩阵 R,计算求得整体风险估计值。

表 1 风险调查表

| 层次 | 相比较的前后两指标 | 对比值 | 层次 | 相比较的前后两指标 | 对比值 |
|-----|------------------|-----|---------|------------------|-----|
| 准则层 | b_1 与 b_2 比较 | | 自然与环境风险 | c_1 与 c_2 比较 | |
| | b_1 与 b_3 比较 | | | c_1 与 c_3 比较 | |
| | b_1 与 b_4 比较 | | | c_2 与 c_3 比较 | |
| | b_1 与 b_5 比较 | | 勘测风险 | c_4 与 c_5 比较 | |
| | b_2 与 b_3 比较 | | | c_4 与 c_6 比较 | |
| | b_2 与 b_4 比较 | | | c_5 与 c_6 比较 | |
| | b_2 与 b_5 比较 | | 设计风险 | | |
| | b_3 与 b_4 比较 | | 施工风险 | | |
| | b_3 与 b_5 比较 | | 材料风险 | | |
| | b_4 与 b_5 比较 | | | | |

表 2 对比值的含义

| 分值 a_{ij} | 定义 |
|-------------|---|
| 1 | i 因素比 j 因素同样重要 |
| 3 | i 因素比 j 因素略重要 |
| 5 | i 因素比 j 因素稍重要 |
| 7 | i 因素比 j 因素重要得多 |
| 9 | i 因素比 j 因素重要很多 |
| 2、4、6、8 | i 与 j 两因素重要性比较结果处于以上结果的中间 |
| 倒数 | j 与 i 两因素重要性比较结果是 i 与 j 两因素重要性比较结果的倒数 |

表3 风险因素估计值

| 风险因素 | 权重(W) | 风险因素出现的可能性(C) | | | | | | W×C |
|----------------|-------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|-----|
| | | 很大 1.0 | 较大 0.8 | 中等 0.6 | 不大 0.4 | 较小 0.2 | 平均值 | |
| b ₁ | C1 | | | | | | | |
| | C2 | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | |
| b ₂ | C1 | | | | | | | |
| | C2 | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | |
| b ₃ | C1 | | | | | | | |
| | C2 | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | |
| b ₄ | C1 | | | | | | | |
| | C2 | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | |
| b ₅ | C1 | | | | | | | |
| | C2 | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | |

表4 风险因素专家评语调查表

| 指标层 风险因素 | 风险因素风险级别 | | | | |
|----------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| | 高风险 V1 | 较高 风险 V1 | 中等 风险 V1 | 较低 风险 V1 | 低风险 V1 |
| c ₁ | | | | | |
| c ₂ | | | | | |
| c ₃ | | | | | |
| | | | | | |

表5 概率等级标准

| 概率等级描述 | 概率(x) | 概率等级系数 |
|--------|-------------------------|--------|
| 轻微 | $x < 10^{-6}$ | 1 |
| 低 | $10^{-6} < x < 10^{-3}$ | 2 |
| 中 | $10^{-3} < x < 10^{-2}$ | 3 |
| 高 | $10^{-2} < x < 10^{-1}$ | 4 |
| 极高 | $10^{-1} < x$ | 5 |

表6 事故发生后果等级标准

| 后果定性描述 | 灾难性的 | 很严重的 | 严重的 | 较大的 | 轻微的 |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------|
| 后果等级系数 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 经济损失/万元 | >1 000 | 300 ~ 1 000 | 100 ~ 300 | 30 ~ 100 | <30 |
| 人员伤亡数量/人 | F≥10 | 3 < F≤10 或 SI > 10 | 1 < F≤3 或 5 < SI≤10 | 1≤SI≤5 或 1 < MI≤10 | MI = 1 |
| 延误时间 1(控制工期工程)(月/单一事故) | >10 | 1 ~ 10 | 0.1 ~ 1 | 0.01 ~ 0.1 | <0.01 |
| 延误时间 2(非控制工期工程)(月/单一事故) | >24 | 6 ~ 24 | 2 ~ 6 | 0.5 ~ 2 | <0.5 |
| 环境影响描述 | 永久性的且严重的 | 永久的但轻微的 | 长期的 | 临时的但严重的 | 临时的且轻微的 |
| 运营影响描述 | 运营中危及行车安全,造成列车脱轨或停运 | 列车行车不安全,运行中断时间长 | 列车停下,延误时间较长 | 列车缓行 | 使列车运行不平顺 |

根据事故发生的可能性(概率)和后果等级,将风险等级划分为五级,建立风险等级矩阵,如表7所示。

表7 风险等级标准

| 后果等级 概率等级 | | 轻微的 | 较大的 | 严重的 | 很严重的 | 灾难性的 |
|--------------|---|-----|-----|-----|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 很可能 | 5 | 轻度 | 中度 | 重度 | 灾难性 | 灾难性 |
| 可能 | 4 | 轻度 | 中度 | 中度 | 重度 | 灾难性 |
| 偶然 | 3 | 轻度 | 轻度 | 中度 | 中度 | 重度 |
| 可能性较小 | 2 | 轻微 | 轻度 | 轻度 | 中度 | 中度 |
| 可能性小 | 1 | 轻微 | 轻度 | 轻度 | 轻度 | 轻度 |

根据风险等级,选择合适的铁路路堤工程风险处置对策,如表 8 所示。

表 8 风险处置对策

| 风险等级 | 风险处置对策 |
|------|--------------------|
| 轻微 | 一般可不需要采取额外的控制措施 |
| 轻度 | 后果较轻,可适当采取措施预防风险发生 |
| 中度 | 后果较重,应采取措施减轻风险 |
| 重度 | 后果严重,必须采取措施降低风险等级 |
| 灾难性 | 后果很严重,必须消除或规避 |

3 工程实例

3.1 工程概况

某铁路路基工点,场区属浅丘平原地貌,地形平坦开阔,局部段地形略有起伏。平原多被第四系地层覆盖,大部分为农场。段内地表水主要为河水、沟水、塘水,其中在该段分布有两条主要的河流,常年有水流,靠大气降水补给,水量受季节影响明显,旱季水量小,雨季水量丰富,总体而言地表水较发育。地下水主要类型有第四系孔隙水、基岩裂隙水,由于河沟附近的第四系地层中分布有大量的砂层和卵砾石层,受地表水补给,孔隙水发育,水量丰富,根据钻探揭示河谷两岸地下水水位一般在 2~5 m,旱节水位下降。沿线多分布第三系泥质砂岩、页岩,属于相对隔水层,基岩裂隙不发育。地表水及地下水水质对混凝土无侵蚀性。

段内覆盖第四系黏土层,下伏基岩为第三系泥质砂岩、页岩,其成岩性较差,岩质较软。段内路基工程主要以填方为主,一般填高 2~8 m,填方段基底一般

较稳定;段内路堑最大挖深约 4.2 m 左右,开挖岩性主要以第四系低塑性黏土为主,局部可能出现泥质砂岩和页岩全风化层,整体上来说该段工程地质条件较好。

根据《中国地震动峰值加速度区划图》和《中国地震动反应谱特征周期区划图》,测区地震动峰值加速度为 0.25g,地震动反应谱特征周期为 0.4 s。

3.2 工程措施

路堤最大填方高度约 8.5 m 左右。路堤填筑前清除表层松散和及地表的种植土,逐层夯实填筑。本地区雨季暴雨持续时间长,强度大,降水具突发性,路基填挖方地段边坡设置人字型截水骨架护坡防护工程,全段内设置良好的排水系统。场区地震动峰值加速度为 0.25g,抗震设防烈度为 8 度,为确保路基边坡稳定性,路堤填筑过程中,每 0.6 m 于路基边坡水平铺设幅宽 2.5 m 土工格栅。路堤横断面如图 2 所示。

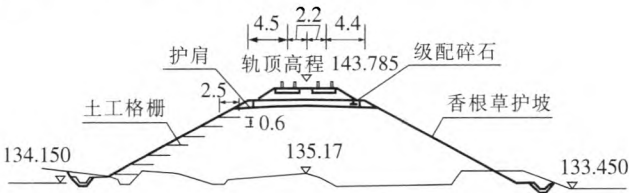


图 2 路堤横断面图(单位:m)

3.3 路堤失稳风险的估计与评价

根据专家打分后返回的调查表结果构造指标层各指标的判断矩阵,求解权重向量分别得出了各层的权重并最终计算出权重,如表 9 所示。

表 9 准则层中各风险因素权重值

| 项目 | b ₁ 0.189 | b ₂ 0.054 | b ₃ 0.087 | b ₄ 0.078 | b ₅ 0.085 | 权重值 |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|
| 地震 c ₁ | 0.514 | — | — | — | — | 0.097 |
| 大雨、暴雨 c ₂ | 0.481 | — | — | — | — | 0.091 |
| 地形、地貌、地质情况不准确 c ₃ | — | 0.296 | — | — | — | 0.016 |
| 填料参数提供不准确 c ₄ | — | 0.296 | — | — | — | 0.016 |
| 有关地震的参数不准确 c ₅ | — | 0.389 | — | — | — | 0.021 |
| 填料选择不当 c ₆ | — | — | 0.195 | — | — | 0.017 |
| 边坡坡度或坡形不合适 c ₇ | 0.207 | 0.018 | | | | |
| 挖台阶宽度不够 c ₈ | — | — | 0.287 | — | — | 0.025 |
| 地面水排水措施不完善 c ₉ | — | — | 0.138 | — | — | 0.012 |
| 加固措施不合理 c ₁₀ | — | — | 0.149 | — | — | 0.013 |
| 填料类型不满足设计要求 c ₁₁ | — | — | — | 0.244 | — | 0.019 |
| 碾压不密实 c ₁₂ | — | — | — | 0.346 | — | 0.027 |
| 边坡坡度、坡形及路基面加宽未按设计要求 c ₁₃ | — | — | — | 0.231 | — | 0.018 |
| 排水工程施工不到位 c ₁₄ | — | — | — | 0.154 | — | 0.012 |
| 填料不合格 c ₁₅ | — | — | — | — | 0.99 | 0.084 |

根据专家对表3打分,将准测层的权重与风险因素可能性的调查结果相乘得到风险值,将风险因素的风险值排序如表10所示。

表 10 指标层内各风险因素风险值排序

| 风险因素 | 估计值 | 排序 | 风险因素 | 估计值 | 排序 |
|----------------------|-------|----|------------------------------|-------|----|
| 地震 c_1 | 0.054 | 1 | 边坡坡度、坡形及路基面加宽未按设计要求 c_{13} | 0.018 | 9 |
| 大雨、暴雨 c_2 | 0.046 | 2 | 填料选择不当 c_6 | 0.017 | 10 |
| 填料不合格 c_{15} | 0.045 | 3 | 地形、地貌、地质情况不准确 c_3 | 0.016 | 11 |
| 碾压不密实 c_{12} | 0.043 | 4 | 填料参数提供不准确 c_4 | | 12 |
| 挖台阶宽度不够 c_8 | 0.043 | 5 | 加固措施不合理 c_{10} | | 13 |
| 有关地震的参数不准确 c_5 | 0.042 | 6 | 地面水排水措施不完善 c_9 | | 14 |
| 填料类型不满足设计要求 c_{11} | 0.027 | 7 | 排水工程施工不到位 c_{14} | | 15 |
| 边坡坡度或坡形不合适 c_7 | 0.021 | 8 | | | |

(1)与高风险、较高风险、中等风险、较低风险和低风险,相对应的评语为 $v = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ 。对14位专家进行调查,设计专家调查表,如表11所示。

表 11 路堤失稳风险因素专家评语调查

| 指标层风险因素 | 风险因素风险级别 | | | | |
|------------------------------|----------|---------|---------|---------|--------|
| | 高风险 V1 | 较高风险 V1 | 中等风险 V1 | 较低风险 V1 | 低风险 V1 |
| 地震 c_1 | 0 | 2 | 3 | 9 | 0 |
| 大雨、暴雨 c_2 | 0 | 3 | 3 | 8 | 0 |
| 地形、地貌、地质情况不准确 c_3 | 0 | 0 | 8 | 3 | 3 |
| 填料参数提供不准确 c_4 | 0 | 0 | 7 | 4 | 3 |
| 有关地震的参数不准确 c_5 | 0 | 0 | 8 | 4 | 2 |
| 填料选择不当 c_6 | 0 | 0 | 7 | 5 | 2 |
| 边坡坡度或坡形不合适 c_7 | 0 | 0 | 8 | 5 | 1 |
| 挖台阶宽度不够 c_8 | 0 | 0 | 8 | 3 | 3 |
| 地面水排水措施不完善 c_9 | 0 | 0 | 7 | 4 | 3 |
| 加固措施不合理 c_{10} | 0 | 0 | 3 | 3 | 8 |
| 填料类型不满足设计要求 c_{11} | 0 | 0 | 8 | 4 | 2 |
| 碾压不密实 c_{12} | 0 | 3 | 2 | 9 | 0 |
| 边坡坡度、坡形及路基面加宽未按设计要求 c_{13} | 0 | 4 | 2 | 8 | 0 |
| 排水工程施工不到位 c_{14} | 0 | 4 | 1 | 9 | 0 |
| 填料不合格 c_{15} | 0 | 2 | 3 | 9 | 0 |

(2)建立模糊评判矩阵^[7-9]。本文采用专家调查法建立隶属函数,计算隶属度,构建模糊评判矩阵如下:

$$R_{b1} = \begin{bmatrix} 0 & 0.143 & 0.214 & 0.643 & 0 \\ 0 & 0.214 & 0.214 & 0.571 & 0 \end{bmatrix}$$
$$R_{b2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.571 & 0.214 & 0.214 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.286 & 0.214 \\ 0 & 0 & 0.571 & 0.286 & 0.142 \end{bmatrix}$$
$$R_{b3} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.5 & 0.357 & 0.143 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.214 & 0.286 \\ 0 & 0 & 0.571 & 0.214 & 0.214 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.286 & 0.214 \\ 0 & 0 & 0.214 & 0.214 & 0.571 \end{bmatrix}$$

$$R_{b4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.571 & 0.286 & 0.143 \\ 0 & 0.214 & 0.143 & 0.643 & 0 \\ 0 & 0.286 & 0.143 & 0.571 & 0 \\ 0 & 0.286 & 0.071 & 0.643 & 0 \end{bmatrix}$$
$$R_{b5} = [0 \quad 0.143 \quad 0.286 \quad 0.571 \quad 0]$$

在上面矩阵中各元素用小数形式表示,其中 R_{b1} 为自然与环境风险的矩阵, R_{b2} 为勘测风险矩阵, R_{b3} 为设计风险矩阵, R_{b4} 为施工风险矩阵, R_{b5} 为材料风险矩阵。

(3)考虑多因素下的权数分配,则模糊综合评判模型为: $B = W_B R$ 。求得各准则层对应的权数分配,然后把计算结果分别作为行向量,组成上一层次的评判矩阵 R_A 。

$$\omega_{b1} \times R_{b1} = [0.097 \quad 0.091] \begin{bmatrix} 0 & 0.143 & 0.214 & 0.643 & 0 \\ 0 & 0.214 & 0.214 & 0.571 & 0 \end{bmatrix} = [0 \quad 0.033 \quad 0.057 \quad 0.114 \quad 0.040]$$

同理可求得:

$$\begin{aligned} \omega_{b2} \times R_{b2} &= [0 \quad 0 \quad 0.029 \quad 0.014 \quad 0.010] \\ \omega_{b3} \times R_{b3} &= [0 \quad 0 \quad 0.041 \quad 0.024 \quad 0.020] \\ \omega_{b4} \times R_{b4} &= [0 \quad 0.041 \quad 0.018 \quad 0.041 \quad 0.003] \\ \omega_{b5} \times R_{b5} &= [0 \quad 0.012 \quad 0.024 \quad 0.048 \quad 0] \end{aligned}$$

分别把计算结果作为行向量,组成上一层次的评判矩阵 R_A ,即:

$$R_A = \begin{bmatrix} 0 & 0.033 & 0.057 & 0.114 & 0.040 \\ 0 & 0 & 0.029 & 0.014 & 0.010 \\ 0 & 0 & 0.041 & 0.024 & 0.020 \\ 0 & 0.014 & 0.018 & 0.041 & 0.003 \\ 0 & 0.012 & 0.024 & 0.048 & 0 \end{bmatrix} = [0 \quad 0.020 \quad 0.019 \quad 0.030 \quad 0.010]$$

将准则层权向量 W_A 与评判矩阵 R_A 相乘,得到整体风险值:

$$\omega_A \times R_A = [0.189 \quad 0.054 \quad 0.087 \quad 0.078 \quad 0.010] \begin{bmatrix} 0 & 0.033 & 0.057 & 0.114 & 0.040 \\ 0 & 0 & 0.029 & 0.014 & 0.010 \\ 0 & 0 & 0.041 & 0.024 & 0.020 \\ 0 & 0.014 & 0.018 & 0.041 & 0.003 \\ 0 & 0.012 & 0.024 & 0.048 & 0 \end{bmatrix} = [0 \quad 0.020 \quad 0.019 \quad 0.030 \quad 0.010]$$

准则层中,最大风险值为 0.030,按照最大隶属度原则,属于较低风险。此风险后果较轻,风险处置对策为适当采取措施预防风险发生。该工点设计时,采取了水平铺设土工格栅和放缓边坡等措施。专家的评估表明该工点设计是合理的。

4 结论

(1) 提出了综合应用层次分析法、专家调查法、模糊评价法进行风险值分析计算的方法——“层次分析 + 专家调查 + 模糊评价”综合分析法,给出了具体步骤,并结合工程实例进行了演示。

(2) 提出了铁路路堤风险等级分为轻微、轻度、中度、重度、灾难性等 5 级的建议,并研究提出了相应各等级风险的风险处置对策。

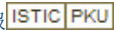
(3) 计算表明,铁路路堤各风险因素中地震风险的风险权重最大,地震区路堤设计应针对不同的地震动峰值加速度把降低地震灾害风险作为首要考虑的问题,把与地震相关联的因素,如大雨、暴雨等,作为重点降低风险级别的因素,并采取相应的风险处置措施。

(4) 研究表明,本文提出的“层次分析 + 专家调查 + 模糊评价”综合分析法,层次鲜明,步骤清晰,可以实

现风险分析从定性到量化的转变,实现风险的量化分析,这对于提高工程风险识别和分析的技术水平,具有重要意义,可直接用于铁路、公路路基工程风险的识别与分析。

参考文献:

- [1] 温家洪. 中国地震灾害风险管理[J]. 地理科学进展, 2010(7): 771-777.
Wen Jiahong. Mainstreaming Disaster Risk Management in China[J]. Progress in Geography, 2010(7): 771-777.
- [2] 郭坚鸽. 赣龙扩能施工图设计路基风险评估探讨[J]. 铁道勘察, 2012(3): 38-41.
Guo Jiange. Discuss Risk Assessment Of Roadbed About Capacity Enlargement Construction Drawing Design of Ganzhou - Longyan Railway [J]. Railway Investigation and Surveying, 2012(3): 38-41.
- [3] 袁腾方. 高速公路岩溶路基稳定性风险分析方法[J]. 铁道工程学报, 2010(4): 61-66.
Yuan Tengfang. Risk Analysis Method of Carst Roadbed Stability in Expressway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010(4): 61-66.
- [4] 牛衍亮. 三峡库区库岸公路路基安全风险评价[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2012(2): 246-250.
Niu Yanliang. Risk Assessment of Bank Roadbed Security along Three Gorges [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2012(2): 246-250.
- [5] 陈伟珂. 工程项目风险管理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
Chen WeiKe. Risk Management for Engineering [M]. Beijing: People Communications Press, 2009.
- [6] 陈起俊. 工程项目风险分析与管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
Chen Qijun. Risk Management and Analysis for Engineering [M]. Beijing: China Architecture & Bulding Press, 2007.
- [7] 陈国钧. 模糊综合评判法在新宾县地质灾害易发程度分区评价中的应用[J]. 地质与资源, 2009(1): 74-76.
Chen Guojun. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.
- [8] 吕云南. 市政道路工程质量模糊综合评价[J]. 武汉理工大学学报, 2000(6): 34-38.
Lv Yunnan. Fuzzy Compressive Evaluation for the Quality of Municipal Road [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2000(6): 34-38.
- [9] 张丽萍. 矿山泥石流成灾度模糊综合评价——以神府东胜矿区为例[J]. 山地学报, 2002(2): 212-217.
Zhang Liping. Fuzzy Comprehensive Evaluation on Disastrous Degree of Mine Debris Flow - Taking Shenfu - Dongsheng Coal Field as Example [J]. Journal of Mountain Research, 2002(2): 212-217.

作者: 魏永幸, 丁兆锋, 罗一农, WEI Yong-xing, DING Zhao-feng, LUO Yi-nong
作者单位: 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都, 610031
刊名: 铁道工程学报 
英文刊名: Journal of Railway Engineering Society
年, 卷(期): 2013(9)

参考文献(9条)

1. 温家洪 中国地震灾害风险管理[期刊论文]-地理科学进展 2010(07)
2. 郭坚鸽 赣龙扩能施工图设计路基风险评估探讨[期刊论文]-铁道勘察 2012(03)
3. 袁腾方 高速公路岩溶路基稳定性风险分析方法[期刊论文]-铁道工程学报 2010(04)
4. 牛衍亮 三峡库区库岸公路路基安全风险评价[期刊论文]-同济大学学报(自然科学版) 2012(02)
5. 陈伟珂 工程项目风险管理 2009
6. 陈起俊 工程项目风险分析与管理 2007
7. 陈国钧 模糊综合评判法在新宾县地质灾害易发程度分区评价中的应用[期刊论文]-地质与资源 2009(01)
8. 吕云南 市政道路工程质量模糊综合评价[期刊论文]-武汉理工大学学报 2000(06)
9. 张丽萍 矿山泥石流成灾度模糊综合评价--以神府东胜矿区为例[期刊论文]-山地学报 2002(02)

引用本文格式: 魏永幸, 丁兆锋, 罗一农, WEI Yong-xing, DING Zhao-feng, LUO Yi-nong 铁路路堤风险管理研究与实例分析[期刊论文]-铁道工程学报 2013(9)