

文章编号: 1006-2106(2013)03-0101-06

某膨胀性红土路堑边坡土钉墙风险管理实例分析^{*}

丁兆锋^{**} 魏永幸 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: 铁路路基工程类风险管理技术处于刚起步阶段, 可供借鉴的风险管理资料有限, 在风险数据库的建设、风险因素的识别、预测模型的建立、风险因素动态变化的定量刻画、承灾体识别和易损性定量评价等方面存在诸多难题。本文针对上述难题以某膨胀性红土路堑边坡土钉墙工点为例, 在阐述风险管理流程的基础上, 详细介绍综合层次分析法、专家调查法、模糊评价法的科学风险管理方法体系及其具体操作步骤, 以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: 以层次分析法、专家调查法、模糊评价法相结合的风险管理体系, 具有层次鲜明、步骤清晰、分析细致的特点, 其分析结果与实际情况相符, 是可靠的。自然与环境风险、施工风险以及设计风险对该段膨胀性红土土钉墙风险评价结果影响较大, 因此在充分考虑自然与环境因素的前提下, 合理的设计并严格按照设计施工, 是降低该段膨胀性红土路堑边坡土钉墙工点坍塌风险的关键。

关键词: 膨胀土; 路堑边坡; 土钉墙; 风险管理

中图分类号: U213.1⁺⁴ **文献标识码:** A

Analysis of Risk Management of Soil Nailing Wall for Expansive Red Clay Cut Slope

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

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

Abstract: Research purposes: The risk management technology for the railway subgrade engineering is just in the beginning stage and there is a little reference information on it. There are many problems in the establishment of the risk database , the identification of the risk factors , the establishment of the prediction model , the quantitative characterization of the dynamic changes of the risk factors , the recognition of the hazard - affected body and the quantitative evaluation of the vulnerability. Aiming at the problems mentioned above , and taking an expansive soil nailing wall for the cut slope as an example , this paper expounds the risk management process and introduces the scientific risk management system composes of the analytic hierarchy process method , expert investigation method and fuzzy evaluation method and its operation steps for providing the reference and guidance to doing the research on the risk management technology for railway subgrade engineering.

Research conclusions: The risk management system composed of the analytic hierarchy process method , expert investigation method and fuzzy evaluation method has the characteristics of the distinct levels , clear steps and detailed analysis. The analysis results accord with the real situation , so it is reliable. The natural risk , environmental risk , construction risk and design risk have the big influence on the risk assessment results of the expansive soil nailing wall. Therefore , on fully consideration of natural and environmental factors , the reasonable design and strictly construction according to the design are the key points to reduce the collapse risk of the expansive soil nailing wall.

Key words: expansive soil; cut slope; soil nailing wall; risk management

^{*} 收稿日期: 2012-11-14

^{**} 作者简介: 丁兆锋, 1978年出生, 男, 工程师。

近年来,国内外日益重视各类工程风险管理技术方法的研究,但风险管理技术依然存在很多难题,尤其是铁路路基工程类风险管理技术,由于处于刚起步阶段,可供借鉴的风险管理资料有限,在风险数据库的建设、风险因素的识别、预测模型的建立、风险因素动态变化的定量刻画、承灾体识别和易损性定量评价等方面存在诸多难题^[1]。铁路路基工程风险管理技术方法研究的目的是:构建科学的风险管理体系,用于识别路基工程中存在的风险,梳理诱发风险的潜在因素,揭示风险因素发展和风险发生的规律,归纳总结预防和处理风险的对策,以便通过控制各种风险事件发生的可能性,降低各种风险因素的危害^[2]。

1 工点概况

1.1 地质环境

本工点位于广西隆安县那桐镇,属Ⅱ级阶地。表层为中更新统冲积弱网纹红土,属膨胀土,之下为中新世泥岩的砖红壤风化壳。红土土壤呈弱酸性,物质成分颗粒含量高,矿物成分以高岭石或多水高岭石、伊利石为主,蒙脱石含量约 7.43%~14.11%;物理力学性质:天然含水较高,液限、塑限、塑性指数较大,天然孔隙比一般大于 0.9,压缩指数 a_{1-2} 为 0.13~0.23 MPa⁻¹,快剪 c 值一般大于 60 kPa, φ 值 14°~23°,膨胀力为 4.7~183 kPa,自由膨胀率为 15%~75.5%;收缩性大于膨胀性,分层平均收缩量为膨胀量的 7~22 倍,历经干湿循环,膨胀红土的强度明显衰减,长期强度与天然强度相比, c 值低于 20%, φ 值不到 2/3。

1.2 工程措施

DK 50+400~+460 左侧路堑边坡采用土钉墙支护,如图 1 所示。土钉墙最高墙高 9.2 m,分两级,其间留宽 1.5 m 平台,墙面坡度 1:0.2,墙背受到的土压力按库仑土压力计算,选择参数为:综合内摩擦角 35°,重度 20 kN/m³。设计土钉墙的下墙高 5 m,上墙高 3.2~4.2 m,面板厚 20 cm,中间挂钢丝网。下墙土钉长 4.1 m,间距 1.25 m×1.25 m,钉材为 $\phi 18$ 圆钢;上墙土钉长 3.1 m,间距 1.25 m×1.25 m,钉材为 3.0 cm×0.12 cm 的聚丙烯工程拉筋带,采用双筋。钉孔直径为 10 cm,采用 M30 膨胀水泥砂浆灌注。

该路堑土钉墙支护工程 1991 年 3 月开工,10 月基本完工,施工为自上而下分层开挖,每层深 2 m,纵向长 10 m 分层分段施工。

1.3 病害情况

该段土钉墙自 1992 年 4 月开挖侧沟并积水后,墙顶外坡面出现裂缝,墙面凸起、开裂、侧沟外挤,并逐渐发展。至 7 月一场暴雨后,土钉墙段整体性下错坍塌。

土钉墙坍塌后坍塌体后缘距堑顶 2.5 m 左右,后壁陡直,顺垂直节理形成,下错而形成高 1.5~2.0 m 错台。锚杆被拔出,后壁残留锚孔。土钉墙面板整体形状保持良好但有多处开裂,下错后外推 2~3 m,坍塌后面坡坡率变为 1:0.5~1:0.7,如图 1 所示。

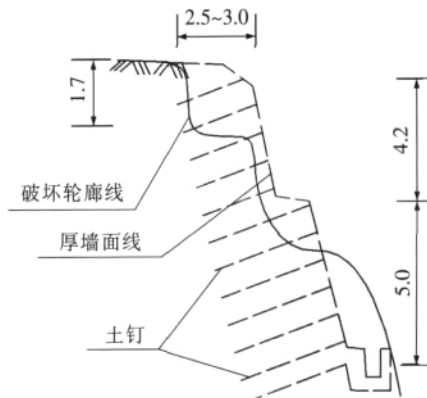


图 1 某路堑土钉墙代表性横断面(单位: m)

2 风险识别

风险识别是风险管理的首要步骤,根据风险因素分解法原理将本工程的风险因素划分为自然与环境风险、勘测风险、设计风险、施工风险和材料风险^[3]。然后根据风险评价指标体系设置原则将识别结果归类并建立风险因素指标^[4-6]体系树状图,如图 2 所示。

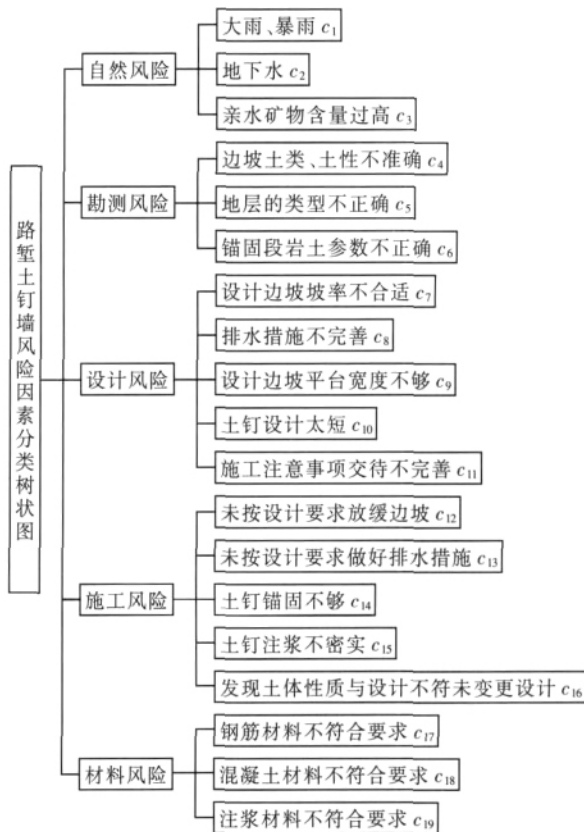


图 2 风险因素指标体系树状图

3 风险评价^[1 2 7]

3.1 风险因素风险值排序

风险因素风险值排序采用如下步骤进行。

步骤1: 设计并向专家发放风险因素层次结构调查表, 要求专家按比较填写标度值, 如表1所示。标度值打分方法参照表2执行。

表1 风险因素层次结构调查表

层次	相比较的前后两指标	标度值	层次	相比较的前后两指标	标度值
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			b_2 与 c_3 比较	
	b_1 与 b_5 比较			c_4 与 c_5 比较	
	b_2 与 b_3 比较		勘测风险	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			
	b_3 与 b_4 比较		设计风险	
	b_3 与 b_5 比较		施工风险	
	b_4 与 b_5 比较		材料风险	

注: 表中设计风险、施工风险和材料风险比较因素选取原则同自然与环境风险, 采用正交分解法。

表2 标度值分值表

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

步骤2: 向专家发放风险因素调查表, 专家按表填写风险因素出现的可能性, 如表7所示。

步骤3: 构造判断矩阵, 求解特征向量。以01号专家的调查为例, 将01号专家对准则层中的5个元素的调查结果构造判断矩阵 A , 如表3所示, 根据该矩阵求解权重向量。求解过程及结果如表4所示。表4中 n 为判断矩阵的阶数 ($n=5$); a_{ij} 为判断矩阵中的元素; W_i 为权重向量的 i 个元素。则得到权重向量: $W_A = (0.351, 0.071, 0.143, 0.367, 0.068)^T$ 。同理可求得其他专家对应的判断矩阵及其特征向量。

步骤4: 进行一致性检验。

一致性检验过程如下:

(1) 最大特征根 λ_{\max} 计算:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{AW_{Ai}}{nW_{Ai}} = \frac{1.773}{5 \times 0.351} + \frac{0.354}{5 \times 0.071} + \frac{0.729}{5 \times 0.143} + \frac{1.842}{5 \times 0.068} = 5.054$$

(2) 计算判断矩阵一致性指标:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5.054 - 5}{5 - 1} = 0.013$$

(3) 随机一致性比率计算: $n=5$, 查随机指标性表(表5), 得 $RI=1.12$ 。

表3 判断矩阵示例

A	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
b_1	1	5	3	1	4
b_2	1/5	1	1/2	1/5	1
b_3	1/3	2	1	1/3	3
b_4	1	5	3	1	5
b_5	1/4	1	1/3	1/5	1

表4 权重向量计算表

A 判断矩阵	各行元素连乘积	各行元素的 n 次方根	归一化处理
$A \quad b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad b_4 \quad b_5$	$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}$	$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i}$	$W_i = \bar{W}_i / \sum_{i=1}^n \bar{W}_i$
$b_1 \quad 1 \quad 5 \quad 3 \quad 1 \quad 4$	60	2.268	0.351
$b_2 \quad 1/5 \quad 1 \quad 1/2 \quad 1/5 \quad 1$	0.02	0.457	0.071
$b_3 \quad 1/3 \quad 2 \quad 1 \quad 1/3 \quad 3$	0.667	0.922	0.143
$b_4 \quad 1 \quad 5 \quad 3 \quad 1 \quad 5$	75	2.371	0.367
$b_5 \quad 1/4 \quad 1 \quad 1/3 \quad 1/5 \quad 1$	0.017	0.441	0.068

表5 随机性指标表

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41

$$\text{因此 } CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.013}{1.12} = 0.012 < 0.1$$

则认为满足一致性要求。

步骤5: 以上过程是对01号专家关于准则层调查计算结果的计算过程, 指标层调查结果计算过程也用同样的方法。根据收回的14位专家的调查结果, 通过计算求得14位专家调查表中准则层和指标层的权重向量值, 并求出权重向量值的算术平均值, 其结果即为评价指标的最终权重值, 如表6所示。

表 6 权值计算表

准则层	权值 (W_A)	指标层	权值 (W_B)	总权值 $W = W_A \times W_B$
自然与 环境 风险 b_1	0.381	大雨、暴雨 c_1	0.334	0.127
		地下水 c_2	0.338	0.129
		亲水矿物含量过高 c_3	0.328	0.125
勘测 风险 b_2	0.092	边坡土类、土性不准确 c_4	0.332	0.031
		地层类型不正确 c_5	0.335	0.031
		锚固段岩土参数不正确 c_6	0.333	0.031
设计 风险 b_3	0.148	设计边坡坡率不合适 c_7	0.442	0.065
		排水措施不完善 c_8	0.285	0.042
		设计边坡平台宽度不够 c_9	0.085	0.013
		土钉设计太短 c_{10}	0.138	0.020
		施工注意事项交待不完善 c_{11}	0.051	0.008

续表 6 权值计算表

准则层	权值 (W_A)	指标层	权值 (W_B)	总权值 $W = W_A \times W_B$
施工 风险 b_4	0.304	未按设计要求放缓边坡 c_{12}	0.420	0.128
		未按设计要求做好排水措施 c_{13}	0.261	0.079
		土钉锚固不够 c_{14}	0.132	0.040
		土钉注浆不密实 c_{15}	0.073	0.022
		发现土体性质与设计不符未变更设计 c_{16}	0.115	0.035
材料 风险 b_5	0.075	钢筋材料不符合要求 c_{17}	0.308	0.023
		混凝土材料不符合要求 c_{18}	0.381	0.029
		注浆材料不符合要求 c_{19}	0.311	0.023

步骤 6: 将指标层最终权重值填入风险调查表的权重栏,再结合 14 位专家对风险因素可能性的调查结果,计算出风险因素的最终风险值,如表 7 所示。

表 7 南昆铁路某路堑段土钉墙风险值表

风险因素		权重 W	风险因素出现的可能性 C						$W \times C$
			很大 1.0	较大 0.8	中等 0.6	不大 0.4	较小 0.2	平均值	
自然与 环境风险	大雨、暴雨 c_1	0.127	4	5	4	1	—	0.771	0.098
	地下水 c_2	0.129	2	4	6	2	—	0.686	0.088
	亲水矿物含量过高 c_3	0.125	1	3	6	4	—	0.614	0.077
勘测风险	边坡土类、土性不准确 c_4	0.031	2	7	4	1	—	0.543	0.017
	地层的类型不正确 c_5	0.031	2	4	7	1	—	0.700	0.022
	锚固段岩土参数不正确 c_6	0.031	1	5	6	2	—	0.671	0.021
设计风险	设计边坡坡率不合适 c_7	0.065	2	4	7	1	—	0.700	0.046
	排水措施不完善 c_8	0.042	—	2	8	4	—	0.571	0.024
	设计边坡平台宽度不够 c_9	0.013	3	5	3	3	—	0.714	0.009
	土钉设计太短 c_{10}	0.020	1	5	6	2	—	0.671	0.014
	施工注意事项交待不完善 c_{11}	0.008	—	3	7	4	—	0.586	0.004
施工风险	未按设计要求放缓边坡 c_{12}	0.128	4	4	5	1	—	0.771	0.097
	未按设计要求做好排水措施 c_{13}	0.079	3	5	6	—	—	0.757	0.060
	土钉锚固不够 c_{14}	0.040	4	4	6	—	—	0.771	0.031
	土钉注浆不密实 c_{15}	0.022	3	6	3	2	—	0.743	0.016
	发现土体性质与设计不符未变更设计 c_{16}	0.035	2	7	4	1	—	0.743	0.026
材料风险	钢筋材料不符合要求 c_{17}	0.023	—	4	5	2	3	0.543	0.013
	混凝土材料不符合要求 c_{18}	0.029	2	6	4	2	—	0.714	0.020
	注浆材料不符合要求 c_{19}	0.023	—	4	7	3	—	0.614	0.014

步骤 7: 根据表 7 中指标层各因素的风险值,按从大到小的顺序进行排序,如表 8 所示。

表 8 指标层内各风险因素风险值总排序

排序	风险因素	风险值	排序	风险因素	风险值
1	大雨、暴雨 c_1	0.098	11	锚固段岩土参数不正确 c_6	0.021
2	未按设计要求放缓边坡 c_{12}	0.097	12	混凝土材料不符合要求 c_{18}	0.020
3	地下水 c_2	0.088	13	边坡土类、土性不准确 c_4	0.017
4	亲水矿物含量过高 c_3	0.077	14	土钉注浆不密实 c_{15}	0.016
5	未按设计要求做好排水措施 c_{13}	0.060	15	注浆材料不符合要求 c_{19}	0.014
6	设计边坡坡率不合适 c_7	0.046	16	土钉设计太短 c_{10}	0.014
7	土钉锚固不够 c_{14}	0.031	17	钢筋材料不符合要求 c_{17}	0.013
8	发现土体性质与设计不符未变更设计 c_{16}	0.026	18	设计边坡平台宽度不够 c_9	0.009
9	排水措施不完善 c_8	0.024	19	施工注意事项交待不完善 c_{11}	0.004
10	地层的类型不正确 c_5	0.022			

3.2 风险评价与分析

首先构建评语集。应用模糊综合评判模型^[8-10], 人们一般采用五级评语集, 分别是高风险、较高风险、中等风险、较低风险和低风险, 相对应的评语为 $v = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ 。其次, 建立模糊评判矩阵。该项目采用专家调查法建立隶属函数, 设计专家评语调查表, 邀请专家进行调查。评语调查表如表9所示。

表9 南昆铁路某路堑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 v_1	较高 风险 v_2	中等 风险 v_3	较低 风险 v_4	低风险 v_5
大雨、暴雨 c_1	1	2	7	3	1
地下水 c_2	1	3	6	1	—
亲水矿物含量过高 c_3	1	2	6	5	—
边坡土类、土性不准确 c_4	—	5	7	2	—
地层的类型不正确 c_5	1	5	6	2	—
锚固段岩土参数不正确 c_6	—	3	6	5	—
设计边坡坡率不合适 c_7	1	3	7	3	—
排水措施不完善 c_8	2	4	7	1	—
设计边坡平台宽度不够 c_9	1	3	8	1	1
土钉设计太短 c_{10}	1	2	8	3	—
施工注意事项交待不完善 c_{11}	3	4	5	2	—
未按设计要求放缓边坡 c_{12}	2	5	6	1	—
未按设计要求做好排水措施 c_{13}	3	4	5	2	—
土钉锚固不够 c_{14}	1	6	5	2	—
土钉注浆不密实 c_{15}	1	4	7	2	—
土体性质与设计不符未变更设计 c_{16}	1	4	7	2	—
钢筋材料不符合要求 c_{17}	—	3	8	3	—
混凝土材料不符合要求 c_{18}	1	4	7	2	—
注浆材料不符合要求 c_{19}	1	2	9	2	—

根据表9中调查的数据构建模糊判断矩阵。以自然环境风险中大雨、暴雨 c_1 因素为例, 大雨、暴雨 c_1 这一因素在评语集中的向量为: $[1/14, 2/14, 7/14, 3/14, 1/14]$, 同理其他因素的评语向量也是按照这种方法求得, 将各个因素的评语调查结果统计构造矩阵如下:

$$R_{b1} = \begin{bmatrix} 0.071 & 0.144 & 0.5 & 0.214 & 0.071 \\ 0.144 & 0.214 & 0.571 & 0.071 & 0 \\ 0.071 & 0.143 & 0.429 & 0.357 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{b2} = \begin{bmatrix} 0 & 0.357 & 0.5 & 0.143 & 0 \\ 0.071 & 0.357 & 0.429 & 0.143 & 0 \\ 0 & 0.214 & 0.429 & 0.357 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{b3} = \begin{bmatrix} 0.072 & 0.214 & 0.5 & 0.214 & 0 \\ 0.143 & 0.286 & 0.5 & 0.071 & 0 \\ 0.071 & 0.215 & 0.572 & 0.071 & 0.071 \\ 0.071 & 0.144 & 0.571 & 0.214 & 0 \\ 0.214 & 0.286 & 0.357 & 0.143 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{b4} = \begin{bmatrix} 0.143 & 0.357 & 0.429 & 0.071 & 0 \\ 0.214 & 0.286 & 0.357 & 0.143 & 0 \\ 0.071 & 0.429 & 0.357 & 0.143 & 0 \\ 0.143 & 0.357 & 0.286 & 0.214 & 0 \\ 0.071 & 0.286 & 0.5 & 0.143 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{b5} = \begin{bmatrix} 0 & 0.214 & 0.572 & 0.214 & 0 \\ 0.071 & 0.286 & 0.5 & 0.143 & 0 \\ 0.071 & 0.143 & 0.643 & 0.143 & 0 \end{bmatrix}$$

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。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 , 将准则层权向量 W_A 与评判矩阵 R_A 相乘, 得到南昆铁路某路堑的整体风险值, 即:

$$W_A \times R_A = [0.381 \quad 0.092 \quad 0.148 \quad 0.304 \quad 0.075]$$

$$\times \begin{bmatrix} 0.096 & 0.167 & 0.501 & 0.213 & 0.024 \\ 0.024 & 0.309 & 0.453 & 0.214 & 0 \\ 0.099 & 0.229 & 0.509 & 0.158 & 0.006 \\ 0.144 & 0.340 & 0.399 & 0.118 & 0 \\ 0.049 & 0.219 & 0.567 & 0.165 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= [0.101 \quad 0.246 \quad 0.472 \quad 0.172 \quad 0.010]$$

按照最大隶属度原则, 0.472 所对应的表9中评语集为中等风险。此类风险应采取相应风险处理措施降低风险。

针对该工程出现坍塌, 结合所列风险因素, 分析如下:

(1) 该路堑左侧开挖设边坡支护后, 经历了1992年雨季, 大暴雨导致路堑左侧大量积水, 地下水含量急剧增加; 在长期的地表积水和地下含水浸泡作用下, 边坡土体强度急剧下降, 促发了左侧土钉墙的坍塌;

(2) 该土钉墙最终的施工坡率较陡, 也是导致该土钉墙失稳的一重要因素;

(3) 该路堑土体亲水矿物含量过高, 膨胀性明显, 并且膨胀性向下呈增强的趋势, 在开挖侧沟后出现坡脚应力集中现象, 极易导致边坡失稳;

(4) 施工过程中, 未及时做好排水措施, 造成雨季

时侧沟大量积水,地下水含量急剧增加,影响坡脚的稳定性;

(5) 左侧土钉墙施工设置土钉较短,上墙钉长仅 3.1 m,结构单薄。

工程出现了坍塌,从风险因素来看,大暴雨、边坡坡率、膨胀土亲水矿物含量、排水措施、土钉的锚固,风险值在 19 个风险因素中处于前 8 位,施工中本应针对这些高风险因素作出控制,但由于没有重视,导致了风险事件出现。

4 结 论

从本文的分析可知,以层次分析法、专家调查法、模糊评价法相结合的风险管理体系,具有层次鲜明,步骤清晰,分析细致的特点,可以从定性与定量综合的角度进行较为系统的分析,其分析结果与实际工程的情况比较符合,是可靠的。采用该风险管理体系可以更好地控制各种风险事件的发生,降低各类风险因素的危害。对于该段膨胀性红土路堑边坡土钉墙工点的坍塌风险而言,准则层中,自然与环境风险、施工风险以及设计风险对风险评价结果影响较大,因此充分考虑自然与环境因素的前提下,合理的设计并严格按照设计施工,是降低该段膨胀性红土地段路堑边坡土钉墙工点坍塌风险的关键。本段土钉墙工程后来变更为挡土墙。

参考文献:

- [1] 陈伟珂. 工程项目风险管理 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [2] 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.
- [3] 袁腾方. 高速公路岩溶路基稳定性风险分析方法 [J]. 铁道科学与工程学报, 2010(4): 61-66.
- [4] 肖世国. 膨胀土堑坡稳定性分析 [J]. 岩土力学, 2001(2): 152-155.
- [5] 庄仲欣. 朔黄铁路膨胀土路堑设计 [J]. 铁道标准设计, 2005(3): 16-17.
- [6] 孙继伟, 王军. 浅谈膨胀土路基施工 [J]. 铁道工程学报, 2004(4): 54-55.
- [7] 牛衍亮, 黄如宝, 周直, 等. 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.
- [8] 陈国钧, 封灵. 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.
- [9] 吕云南. 市政道路工程质量模糊综合评价 [J]. 武汉工业大学学报, 2000(6): 34-38.
- [10] 张丽萍, 唐克丽. 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.

Railway Science and Engineering, 2010(4): 61-66.

Xiao Shiguo. Stability Analysis of Expansive Clay Slope [J]. Rock and Soil Mechanics, 2001(2): 152-155.

Zhuang Zhongxin. Design of Swelling Soil Cutting for ShuoHuang Railway [J]. Railway Standard Design, 2005(3): 16-17.

Sun Jiwei, Wang Jun. Comments on Construction of Expansive Soil Subgrade [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2004(4): 54-55.

Niu Yanliang, Huang Rubao, Zhou Zhi, etc. Risk Assessment of Bank Roadbed Security Along Three Gorges [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2012(2): 246-250.

Chen Guojun, Feng Ling. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.

Chen Guojun, Feng Ling. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.

Chen Guojun, Feng Ling. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.

Chen Guojun, Feng Ling. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.

Chen Guojun, Feng Ling. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.

Chen Guojun, Feng Ling. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.

Chen Guojun, Feng Ling. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.

Chen Guojun, Feng Ling. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.

Chen Guojun, Feng Ling. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.

Chen Guojun, Feng Ling. Application of Fuzzy Compressive Evaluation in the Grading of Hazard in Xinbin County, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2009(1): 74-76.