

潜在滑坡体对桥梁桩基安全影响的评价分析

杨 凯

(中电建路桥集团有限公司,北京市 100160)

摘 要:为了合理评价某高速公路工程潜在滑坡体对桥梁桩基础工程安全影响,通过实地调研,提出影响冲沟区桥梁桩基础工程安全的因素有人为因素和自然因素,即桩基位置、桩基周围弃方弃渣、施工规范程度、监测意识、防护措施、桩周岩土性质、相对高差、坡度、植被覆盖率、日最大降雨量、地震烈度等;进一步结合层次分析法、模糊综合分析法、专家打分法等,对桥梁桩基进行了安全评价,确定了依托工程安全等级为“Ⅱ”级,即危险度为中等。相关结论可为依托工程提供针对性指导。

关键词:冲沟区;桥梁桩基;安全保障技术;层次分析法;评价指标

中图分类号:U443.15

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2022)03-0152-04

0 引 言

随着我国经济的快速发展,在山区建设道路桥梁愈加增多。由于冲沟区的存在,在滑坡作用下桩基的受力变大,此外使用以及维护的不适当也会对桥梁的耐久性、安全性、适用性产生不利影响。因滑坡发生存在偶然性、不确定性、危害性,故而科学评估冲沟区桥梁桩基周围岩体发生滑坡的可能性,提前做好防治措施,对于减少人员伤亡、财产损失具有重要意义。

目前,国内外学者对桥梁桩基的安全评价进行了一系列研究。冯忠居等^[1]对工程进行实地调研,并应用层次分析法进行了分析,研究了多雨冲沟区在役桥梁桩基础工程中的安全影响因素和安全评价方法,并由此提出相应的安全保障措施。焦生军等^[2]采用层次分析法,对既有桥梁评价方法的概念、内容、自身特征及评价与桥梁结构设计之间的相互关系进行了详细描述,并提出相应的实施措施。禹智涛等^[3]运用多级模糊综合评价方法,建立综合评价模型,并修正了评价中的相关参数,为桥梁的维修加固提供相应的处治技术。徐家云等^[4]人研究了模糊数学隶属函数理论在公路桥梁技术状态评估中的应用情况,利用超安全度与模糊综合评价来评断桥梁的最终技术状态等级。王有志等^[5]通过分析桥梁结构部位的受力特征,建立了多层次综合评价模型,根据层次分析法的基本原理,最终建立了评价桥梁结构体系的评

价方法。目前,大多研究都只采用了单一的评价方法,各种评价方法也各有利弊,因此交互使用不同的评价方法,对于建立更加全面的安全评价体系及提出更加安全的保护措施具有重要意义。

本文主要基于层次分析法和模糊综合评价法,对某高速公路冲沟区桥梁桩基的安全影响因素、危险度的划分及相应的防护措施进行分析,建立滑坡冲沟区的安全评价模型,并根据安全等级提出相应的安全防护措施。

1 依托工程简介

某高速公路工程路线设大桥跨越某河流,桥梁与河流交角约 80° ,桥位处河宽80 m,河两岸横坡较陡,上部陡坎处出露部分为厚层砂岩,中下部为堆积部分为崩坡积,厚2~5 m,下伏基岩为侏罗系中统自流井组粉砂质泥岩夹砂岩,岩层倾向为NW 350° ,倾角 6° ,产状 $350^{\circ}\angle 6^{\circ}$,岩层倾向坡内,整体稳定。桥位区地貌属中低山侵蚀河谷地貌,区内最低海拔430 m,最高点为东、南侧山梁,海拔1 000~1 500 m,相对高差约570~1 070 m,区内主千山脉延伸方向一般呈北东-南西向,地形受构造和岩性控制明显,斜坡植被茂盛,如图1所示。

2 滑坡冲沟区附近桥梁安全的影响因素

在冲沟区处的桥梁桩基,由于经常处于滑坡区,且在雨水作用下极易导致滑坡对桥梁桩基产生巨大危害。因此有必要对其进行安全评价。通过对依托工程的调研,冲沟区附近影响桥梁桩基安全的因素主要

收稿日期:2021-05-28

作者简介:杨凯(1989—),男,硕士,工程师,从事工程建设。



图 1 河流两岸的桥梁桩基

分为人为因素和自然因素两大类。

- (1)人为因素:主要有桩基位置、桩基周围弃方弃渣^[6-8]、施工规范程度、监测意识、防护措施。
- (2)自然因素:主要包括桩周岩土性质、相对高差、坡度、植被覆盖率、日最大降雨量、地震烈度

2.1 安全评价体系

为了简化层次分析法,借助多次模糊综合评价方法,并由专家评价法确定影响桥梁安全性的各因素的权重和隶属度。评价方法由 20 人的专家组根据现场的实际情况,对照等级划分标准,给出每个指标相应等级,由每个等级下的专家比例确定相应的隶属度,并形成隶属矩阵,然后采用模糊综合评价方法进行计算,最终确定桥梁桩基的危险等级。

参考地质灾害危险性的评价方法将滑坡对桥梁桩基的危险度评价等级划分为:I 级、II 级、III 级。其中 I 级代表危险度最小;II 级代表危险度中等;III 级代表危险度最大。具体详见表 1。

表 1 单指标危险等级划分标准

评价指标	危险等级		
	I 级	II 级	III 级
桩周岩土特性	岩土体较坚硬,结构完整	岩土体较破碎,结构不完整	岩土体破碎,有软弱结构面,结构不完整
相对高差 /m	≤100	100 ~ 300	≥300
坡度 /(°)	≤30	30 ~ 50	≥50
植被覆盖率 /%	≥60	30 ~ 60	≤30
日最大降雨量 /mm	≤50	50 ~ 100	≥100
地震烈度 /度	≤6	6,7	≥8
桩基位置	位于坡顶	位于坡底或坡脚	位于坡中
桩周不良堆载	桩周存在少量堆载	桩周存在较多堆载	桩周存在大量堆载
监测意识	监测意识强	监测意识一般	无监测意识
防护措施	完善	中等	没有

参加本次打分的人员有行业专家 4 名,业主 3 名,施工单位 10 名,设计院 3 名。打分表见表 2。

表 2 专家打分表

目标层	准则层	指标层	评价等级		
			I	II	III
滑坡对桩基的危害	自然因素	桩周岩土特性	5	13	2
		相对高度	20	0	0
		坡度	20	0	0
		植被覆盖率	12	5	3
		日最大降雨量	0	20	0
	人为因素	地震烈度	0	20	0
		桩基位置	0	20	0
		桩周不良堆载	15	3	2
监测意识		16	3	1	
防护措施		12	6	2	

2.2 指标权重的确定

2.2.1 系统层次分析评价法模型的建立

对于冲沟区滑坡处的桥梁桩基,经过分析建立层次分析模型。其中:目标层为滑坡对于桩基的危害;准则层为人为因素、自然因素;指标层(1)为桩周岩土特性、相对高度、坡度、植被覆盖率、日最大降雨量、地震烈度;指标层(2)为桩基位置、桩周不良堆载、监测意识、防护措施。

2.2.2 指标集及评语集的确定

(1)一级指标

$U = \{U_1, U_2\} = \{\text{自然因素}, \text{人为因素}\}$

(2)二级指标

$U_1 = \{U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}, U_{16}, U_{17}\} = \{\text{桩周岩土特性}, \text{相对高度}, \text{坡度}, \text{植被覆盖率}, \text{日最大降雨量}, \text{地震烈度}\}$

$U_2 = \{U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}\} = \{\text{桩基位置}, \text{桩周不良堆载}, \text{监测意识}, \text{防护措施}\}$

(3)评语集

$V = \{V_1, V_2, V_3\} = \{\text{I 级}, \text{II 级}, \text{III 级}\}$

2.2.3 判断矩阵及权重系数的确定

权重是指某一因素或指标相对于某一事物的重要程度,其不同于一般的比重,体现的不仅仅是某一因素或指标所占的百分比,强调的是因素或指标的相对重要程度,倾向于贡献度或重要性。

3 评价结果计算

3.1 权重计算

(1)计算比较判断矩阵每一行元素的乘积

$$U_i = \prod_{j=1}^n U_{ij} (i=1, 2, 3 \cdots n) \tag{1}$$

式中:U 为影响评价对象的因素合集,即滑坡对桩基

造成危害的因素之和,评价时将 U 分为 U_i 和 U_{ij} 两级指标; U_i 为包括自然因素和人为因素两类的一级指标; U_{ij} 为包括桩周岩土特性、相对高度等在内的二级指标; i, j 分别为指标在指标集中的行、列编号; n 是影响因素的个数。

例如:

$$U_1 = 1 \times 1 = 1$$

$$U_2 = 1 \times 1 = 1$$

(2)求 U_i 的第 n 次方根

$$a_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n U_{ij}} \quad (i=1, 2, 3 \cdots n) \quad (2)$$

式中: a_i 为单个影响因素的数值大小,即:第 i 个影响因素 U_i 的绝对大小。

例如:

$$a_1 = \sqrt[2]{1} = 1$$

$$a_2 = \sqrt[2]{1} = 1$$

向量归一化处理:

$$a_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (3)$$

式中: $\sum_{i=1}^n a_i = 1$; a_i 为各因素在评价过程中的权重值,即:第 i 个影响因素 U_i 所占因素合集 U 的比例。

例如:

$$a_1 = \frac{1}{1+1} = 0.5$$

$$a_2 = \frac{1}{1+1} = 0.5$$

3.2 一致性检验

只有通过判断矩阵进行一致性检验,才能够确定我们通过层次分析法确定的指标值的是否合理,具体步骤如下:

计算判断矩阵一致性的指标 CI :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{2 - 2}{2 - 1} = 0 \quad (4)$$

式中: λ 为判断矩阵的特征向量,而 $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵最大特征根的平均值; n 为样本构成的矩阵形成的维数。

计算一致性比率 CR :

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0}{0.89} = 0 \quad (5)$$

式中: RI 为平均随机一致性指标,它是通过多次重复性随机判断矩阵特征根计算得出的算术平均值。

因为 $CR = 0 < 0.1$, 故此判断矩阵的一次性合理,通过,归一化权值为: $W_i = \{0.5, 0.5\}$ 。同理可以算

出其他的权重系数。

(1)准则层,指标判断矩阵及权重系数见表 3。

表 3 准则层 U 指标判断矩阵及权重系数

U	U_1	U_2	归一化权值 W_i
U_1	1	1	0.5
U_2	1	1	0.5
$\lambda_{\max} = 2.000 \quad CI = 0 \quad CR = 0 < 0.1$ 通过			$\Sigma = 1$

$U = \{U_1, U_2\} = \{\text{自然因素}, \text{人为因素}\}$

(2)指标层(1): $U_1 = \{U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}, U_{16}, U_{17}\} = \{\text{桩周岩土特性}, \text{相对高度}, \text{坡度}, \text{植被覆盖率}, \text{日最大降雨量}, \text{地震烈度}\}$,判断矩阵及权重系数见表 4。

表 4 指标层(1)判断矩阵及权重系数

U_1	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_{15}	U_{16}	归一化权值 W_{1i}
U_{11}	1	4	3	2	1	2	0.274
U_{12}	1/4	1	1/2	1/3	1/4	1/3	0.056
U_{13}	1/3	2	1	1/2	1/3	1/2	0.089
U_{14}	1/2	3	2	1	1/2	1	0.154
U_{15}	1	4	3	2	1	2	0.274
U_{16}	1/2	3	2	1	1/2	1	0.154
$\lambda_{\max} = 6.041 \quad CI = 0.08 \quad CR = 0.007 < 0.1$ 通过							$\Sigma = 1$

(3)指标层(2): $U_2 = \{U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}\} = \{\text{桩基位置}, \text{桩周不良堆载}, \text{监测意识}, \text{防护措施}\}$,判断矩阵及权重系数见表 5。

表 5 指标层(2)判断矩阵及权重系数

U_2	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{24}	归一化权值 W_{2i}
U_{21}	1	2	2	1/2	0.263
U_{22}	1/2	1	1	1/3	0.141
U_{23}	1/2	1	1	1/3	0.141
U_{24}	2	3	3	1	0.455
$\lambda_{\max} = 4.010 \quad CI = 0.03 \quad CR = 0.004 < 0.1$ 通过					$\Sigma = 1$

3.3 模糊关系矩阵的确定

根据表 2 中的目标层、准则层的值,采用因素相互比较的方式,得到准则层对目标层、目标层对准则层两者的影响关系,可以知道准则层的判断矩阵 R_1 , R_2 分别为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.65 & 0.10 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.60 & 0.30 & 0.10 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$
$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0.75 & 0.15 & 1 \\ 0.80 & 0.15 & 0.05 \\ 0.60 & 0.30 & 0.10 \end{bmatrix}$$

3.4 模糊综合评价

一级模糊综合评价

(1)自然因素 U_1 的模糊综合评价矩阵 B_1

根据表 4 得到判断矩阵中各因素对其准则的权重向量,指标层(1)可归一化为 W_1 :

$$W_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{r_{ij}}{\sum_{k=1}^n r_{ik}}$$
$$=[0.274 \ 0.056 \ 0.089 \ 0.154 \ 0.274 \ 0.154]$$

式中: W_1 为二级指标集 U_1 的权重集; r_{ij} 为判断矩阵中第 i 行第 j 列的元素; r_{ik} 同理; n 为元素个数。

则:

$$B_1 = W_1 \cdot R_1$$
$$=[0.274 \ 0.056 \ 0.089 \ 0.154 \ 0.274 \ 0.154] \cdot$$
$$\begin{bmatrix} 0.25 & 0.65 & 0.10 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.60 & 0.30 & 0.10 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$
$$=[0.305 \ 9 \ 0.652 \ 3 \ 0.042 \ 8]$$

(2)人为因素 U_2 的模糊综合评价矩阵 B_2

将表 5 中指标层(2)归一化权值向量记为 W_2 ,算法同 W_1 ,则

$$W_2 = [0.263 \ 0.141 \ 0.141 \ 0.455]$$

式中: W_2 为二级指标集 U_2 的权重集。

$$B_2 = W_2 \cdot R_2$$
$$=[0.263 \ 0.141 \ 0.141 \ 0.455] \cdot$$
$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0.75 & 0.15 & 1 \\ 0.80 & 0.15 & 0.05 \\ 0.60 & 0.30 & 0.10 \end{bmatrix}$$
$$=[0.491 \ 55 \ 0.441 \ 80 \ 0.066 \ 50]$$

二级模糊综合评价

在判断矩阵一次性合理的条件下,根据一级模糊综合评价的结果,可以根据下式得到二级模糊综合评价结果 B :

$$B = W \cdot R$$

$$=[0.5 \ 0.5] \begin{bmatrix} 0.305 \ 90 & 0.652 \ 30 & 0.042 \ 80 \\ 0.491 \ 55 & 0.441 \ 80 & 0.066 \ 50 \end{bmatrix}$$
$$=[0.398 \ 725 \ 0.547 \ 050 \ 0.054 \ 725]$$

式中: B 为潜在滑坡体对桥梁桩基安全影响的隶属函数值; R 为一级指标 U_i 的单因素评价矩阵,则 $R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$; W 为一级指标集的权重集,在 3.2 小节中已知: $W_i = \{0.5, 0.5\}$ 。

从上式计算结果可以知道隶属于“Ⅰ”级的隶属度为 0.398 725;隶属于“Ⅱ”级的隶属度为 0.547 05;隶属于“Ⅲ”的隶属度为 0.054 725。根据最大隶属度原则,我们可以知道在滑坡作用下桥梁桩基的安全程度等级为“Ⅱ”级,即危险度为中等等级。

4 结 论

(1)通过实地调研,提出某高速公路工程中影响冲沟区桥梁桩基础工程安全的因素有人为因素和自然因素,即桩基位置、桩基周围弃方弃渣、施工规范程度、监测意识、防护措施、桩周岩土性质、相对高差、坡度、植被覆盖率、日最大降雨量、地震烈度等。

(2)结合层次分析法、模糊综合分析法、专家打分法等,对桥梁桩基进行了安全评价,确定了依托工程安全程度等级为“Ⅱ”级,即危险度为中等。相关结论可为依托工程提供针对性指导。

参考文献:

[1] 冯忠居,王增贤,王蒙,等.多雨冲沟区在役桥梁桩基础工程安全保障技术研究[J].公路,2016(10):66-72.

[2] 焦生军.城市桥梁安全评价指标体系研究[D].重庆:重庆交通大学,2011.

[3] 禹智涛,韩大建.既有桥梁可靠性的综合评估方法[J].中南公路工程,2003,28(3):8-12.

[4] 徐家云,刘敦朝,张俊.桥梁模糊评估与超安全度综合评价方法[J].武汉理工大学学报,2004,26(8):62-64.

[5] 王有志,张宏同,徐鸿儒.在用钢筋混凝土梁式的安全评估[J].长安大学学报(自然科学版),2002,22(5):39-41.

[6] 汪益敏,郭继幸,李林生,等.基于层次分析法的公路运营期路基状况评价[J].华南理工大学学报,2017,45(6):37-43.

[7] 赵珂劼,张义平,池恩安,等.改进 AHP-模糊综合评价在工程爆破安全评价中的应用[J].中国矿业,2019,28(8):160-164.

[8] 冯忠居,张永清,李晋.堆载引起桥梁墩台与基础的偏移与防治技术[J].中国公路学报,2004,17(3):74-77.