

文章编号 1000-5013(2006)04-0388-04

运用 AHP-FUZZY 法判定岩质边坡稳定性

刘 春

(河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 在综合分析岩质边坡稳定性评价因素的基础上, 对岩质边坡稳定性影响因素进行系统分类, 提出一种岩质边坡稳定性预测评价的方法, 即系统决策和模糊数学相结合的层次分析-模糊综合评价法(AHP-FUZZY)。该方法考虑了影响岩质边坡稳定性的多种因素, 并对各种因素的重要性进行分析, 给出不同的影响程度权值, 从而避免单一判据和主观臆断所带来的局限性。

关键词 边坡, 稳定性分析, 预测, 评价, 层次分析-模糊综合评价法
中图分类号 TU 457 **文献标识码** A

在边坡工程中, 边坡稳定性是一个外延清楚、内涵模糊的“灰色系统”, 在边坡稳定性分析中, 则存在许多外延模糊、内涵清楚的力学概念, 如塑性、屈服、失稳、滑移, 等等。为了进一步真实地描述和分析岩土体这一复杂的介质, 模糊数学的概念、理论与方法常被引用到边坡稳定性分析中^[1]。众多学者尝试利用模糊数学^[2, 3]等方法对边坡稳定性程度进行评价, 取得了一定效果, 但由于考虑的影响因素较少, 且对各影响因素之间的相互关系没有深入讨论, 故在一定程度上影响了评判的客观性。本文提出层次分析-模糊综合评价法(AHP-FUZZY), 着重分析了评价因子间的层次关系, 对各评价因子的影响价值进行评估, 得出较为合理评价权重。

1 AHP-FUZZY 原理

在进行模糊综合评判的时候, 确定各影响因素的权重值十分关键, 一般都采用专家直接给出的方法, 存在较大的主观因素。AHP 分析法^[4]对岩体风化的各个评价因素和判据进行层次分析, 建立层次结构模型, 确定各因素和判据权值进行一致性检验, 并将权值分析结果运用于模糊综合评判中^[5]。该方法的评价结果更客观更可信。AHP-FUZZY 综合评判过程, 如图 1 所示。

2 岩质边坡综合评价

2.1 岩质边坡影响因素及判据

根据边坡的稳定程度, 可将其稳定性划分为如下的 4 个级别。(1) 稳定边坡: 在短期内边坡不会发生变形和破坏。(2) 基本稳定边坡: 在短期内边坡可能会有些松动, 但不会发生大的变形和破坏。(3) 次不稳定边坡: 边坡稳定性差, 坡体上各种松动的裂隙发育, 在一定条件下可能发生严重的变形和破坏。(4) 不稳定边坡: 边坡正在蠕动变形, 随时

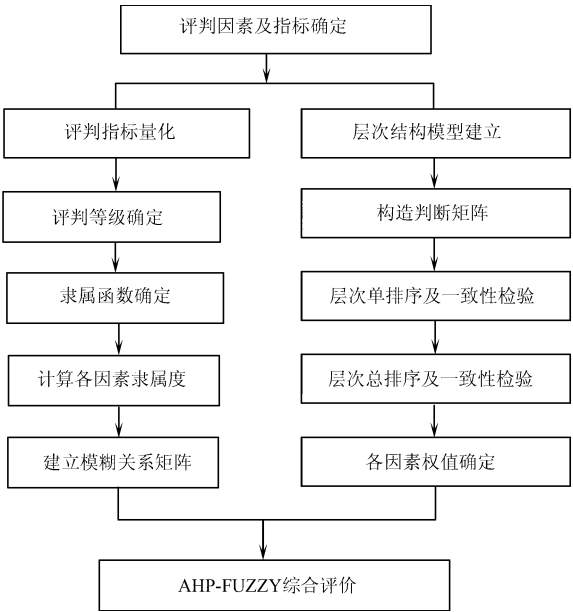


图 1 AHP-FUZZY 综合评价过程框图

收稿日期 2006-01-20

作者简介 刘 春(1972), 男, 副教授, 博士, 主要从事岩土工程的研究. E-mail: liuchun@zscas.edu.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

都有可能发生大的破坏,尤其在雨季更容易发生^[3].综合以往的研究成果^[6~9],总结出了 4 类 20 项主要指标,可作为边坡的稳定程度进行模糊综合评判的评价因子.结合因子的特征,按上述的 4 个边坡稳定级别,确定各因子的分级标准,如表 1 所示.

表 1 评价因子及分级标准

类型	项目	稳定	基本稳定	次不稳定	不稳定
工程地质特征 <i>B</i> ₁	<i>C</i> ₁ 岩土类型	坚硬岩石(A)	胶结好的半坚硬岩石(B)	胶结差的半坚硬岩石(C)	软弱岩类和松散岩土类(D)
	<i>C</i> ₂ 坡体结构	均质结构(A)	块状结构(B)	层状结构(C)	松散结构(D)
	<i>C</i> ₃ 结构面发育程度/(%)	不发育(< 10)	较不发育(10~ 30)	较发育(30~ 50)	非常发育(> 50)
	<i>C</i> ₄ 软弱面与边坡临空面关系	逆向坡(A)	横交坡(B)	斜交坡(C)	顺向坡(D)
	<i>C</i> ₅ 岩土软化性(软化系数)	弱(> 0.9)	较弱(0.7~ 0.9)	较强(0.5~ 0.7)	强(< 0.5)
	<i>C</i> ₆ 岩土抗剪性(内摩擦系数)	强(> 0.6)	较强(0.5~ 0.6)	较差(0.2~ 0.5)	差(< 0.2)
地形地貌 <i>B</i> ₂	<i>C</i> ₇ 坡面形态	凸形坡(A)	直形坡(B)	凹形坡(C)	“S”形坡(D)
	<i>C</i> ₈ 边坡高度/m	低(< 5)	较低(5~ 15)	中等(15~ 45)	高(> 30)
	<i>C</i> ₉ 边坡坡度/(°)	平缓(< 15)	缓倾(15~ 30)	中等倾(30~ 45)	陡倾(> 45)
	<i>C</i> ₁₀ 冲沟发育及切割程度/(%)	弱(< 5)	较弱(5~ 15)	较强(15~ 45)	强(> 45)
气象水文地质特征 <i>B</i> ₃	<i>C</i> ₁₁ 多年平均降雨量/mm	小(< 150)	较小(150~ 250)	较大(250~ 350)	大(> 350)
	<i>C</i> ₁₂ 降雨的冲刷作用/m	弱(< 0.1)	较弱(0.1~ 0.3)	较强(0.3~ 0.5)	强(> 0.5)
	<i>C</i> ₁₃ 岩土层的含水性(饱水率)/(%)	差(< 0.25)	较差(0.25~ 0.50)	较好(0.50~ 0.75)	好(> 0.75)
	<i>C</i> ₁₄ 岩土层透水性(渗透系数)/m·d ⁻¹	差(< 5)	较差(5~ 10)	较好(10~ 30)	好(> 30)
	<i>C</i> ₁₅ 含水层积水条件	差(A)	较差(B)	较好(C)	好(D)
	<i>C</i> ₁₆ 地下水埋深/m	浅(< 3)	较浅(3~ 6)	较深(6~ 10)	深(> 10)
其他因素特征 <i>B</i> ₄	<i>C</i> ₁₇ 植被覆盖率/(%)	发育(> 30)	较发育(30~ 15)	发育差(15~ 5)	发育极差(< 5)
	<i>C</i> ₁₈ 岩土风化程度/(%)	未风化(< 5)	微风化(5~ 10)	中等风化(10~ 30)	强烈风化(> 30)
	<i>C</i> ₁₉ 人为影响程度/(%)	轻微(< 5)	较轻(5~ 15)	较重(15~ 45)	重(> 45)
	<i>C</i> ₂₀ 地震烈度/(度)	< 3	3~ 5	5~ 8	> 8

2.2 岩质边坡影响因素层次结构分析

上述影响因素在某种程度上都能表征边坡的稳定程度,有些是定性的,有些则是定量的,单靠个别因素是不能综合判断边坡的稳定程度的.这些影响因素相互关联、相互制约,共同决定着岩体风化的等级.至于哪些因素起主要作用,哪些因素起次要作用,我们认为各因素的权重直接决定等级的划分.因此,必须采用系统分析经综合分析,建立阶梯层次结构模型,即评价目标边坡的稳定程度等级(*A*).其中,第 1 层次评价指标有工程地质特征 *B*₁、地形地貌 *B*₂、气象水文地质特征 *B*₃ 和其他因素特征 *B*₄;第 2 层次评价指标有 *C*₁~ *C*₂₀ 共 20 项指标.

采用 Satty 提出的 1~ 9 及其倒数标度法,将两两因素之间的比值判定后构成判断矩阵.(1) 相对于评价目标 *A*,第 1 层次评价指标具有同等重要性,其判断矩阵如表 2 所示.(2) 对于第 2 层次各个评价因子相对重要性判断矩阵,如表 3 所示.层次单排序结果,如表 4 所示.对结果进行一致性检验,值均小于 0.10,这表明建立的判断矩

表 2 *A-B* 判断矩阵

<i>A</i>	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄
<i>B</i> ₁	1	2	2	3
<i>B</i> ₂	1/2	1	1	2
<i>B</i> ₃	1/2	1	1	2
<i>B</i> ₄	1/3	1/2	1/2	1

阵正确, 层次总排序如表 5 所示. 从层次分析结果可以看出, 各个影响因素对边坡的稳定程度的反映效果是不同的, 其中岩土类型、岩土软化性、岩土抗剪性、边坡坡度、坡面形态等较好地反映了边坡的稳定程度. 因此, 在进行边坡的稳定性评价时, 应着重考虑这几项指标.

表 3 $B-C$ 判断矩阵

B_1-C							B_3-C						
B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	B_3	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}
C_1	1	2	2	3	1	1	C_{11}	1	1	2	5	5	2
C_2	1/2	1	1	2	1/2	1/2	C_{12}	1	1	2	5	5	2
C_3	1/2	1	1	1	1/2	1/2	C_{13}	1/2	1/2	1	2	2	1
C_4	1/3	1/2	1	1	1/3	1/3	C_{14}	1/5	1/5	1/2	1	1	1/2
C_5	1	2	2	3	1	1	C_{15}	1/5	1/5	1/2	1	1	1/2
C_6	1	2	2	3	1	1	C_{16}	1/2	1/2	1	2	2	1
B_2-C					B_4-C								
B_2	C_7	C_8	C_9	C_{10}	B_4	C_{18}	C_{18}	C_{19}	C_{20}				
C_7	1	2	1	2	C_{17}	1	1	2	2				
C_8	1/2	1	1/2	1	C_{18}	1	1	2	2				
C_9	1	2	1	2	C_{19}	1/2	1/2	1	1				
C_{10}	1/2	1	1/2	1	C_{20}	1/2	1/2	1	1				

表 4 层次单排序结果

排序层	ω	λ_{\max}	C_i	C_R
$A-B$	[0.423, 0.227, 0.227, 0.123]	4.01	0.003 5	0.003 8
B_1-C	[0.23, 0.121, 0.108, 0.078, 0.231, 0.231]	6.03	0.006 8	0.005 5
B_2-C	[0.333, 0.167, 0.33, 0.167]	4.00	0	0
B_3-C	[0.298, 0.298, 0.138, 0.064, 0.064, 0.138]	6.08	0.011 4	0.009 2
B_4-C	[0.333, 0.333, 0.167, 0.167,]	4.00	0	0

表 5 层次总排序结果

$B-C$ 排序	$A-B$ 排序				层次总排序权值
	$B(0.4231)$	$B_2(0.227)$	$B_3(0.227)$	$B_4(0.123)$	
C_1	0.231	0	0	0	0.097
C_2	0.121	0	0	0	0.051
C_3	0.108	0	0	0	0.046
C_4	0.078	0	0	0	0.033
C_5	0.231	0	0	0	0.097
C_6	0.231	0	0	0	0.097
C_7	0	0.333	0	0	0.076
C_8	0	0.167	0	0	0.038
C_9	0	0.330	0	0	0.075
C_{10}	0	0.167	0	0	0.038
C_{11}	0	0	0.298	0	0.068
C_{12}	0	0	0.298	0	0.068
C_{13}	0	0	0.138	0	0.031
C_{14}	0	0	0.064	0	0.015
C_{15}	0	0	0.064	0	0.015
C_{16}	0	0	0.138	0	0.031
C_{17}	0	0	0	0.333	0.041
C_{18}	0	0	0	0.333	0.041
C_{19}	0	0	0	0.167	0.021
C_{20}	0	0	0	0.167	0.021

2.3 计算实例

根据某磷矿采场边坡地质调查报告^[60]及试验资料, 对该边坡进行综合评判研究, 隶属度的确定采

用文〔3〕的方法确定。综合评判计算公式为

$$C = A \cdot B = A \begin{bmatrix} A_1 & R_1 \\ A_2 & R_2 \\ A_3 & R_3 \\ A_4 & R_4 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} = A \cdot (b_{ij})_{4 \times 4}.$$

其中, A, A_1, A_2, A_3 和 A_4 分别为排序层 $A-B, B_1-C, B_2-C, B_3-C, B_4-C$ 权重矩阵(表 4); R_1, R_2, R_3 和 R_4 分别为 4 类指标的每一类评判矩阵。其计算结果可得到

$$C = [0.02 \quad 0.14 \quad 0.34 \quad 0.50].$$

通过计算, 该边坡对稳定边坡、基本稳定边坡、次不稳定边坡和不稳定边坡的隶属度分别为 0.02, 0.14, 0.34 和 0.50。根据最大隶属度原则, 该边坡应属于不稳定边坡, 结果与现场地质勘察结果吻合。

3 结束语

本文提出的 AHP-FUZZY 法是一种针对多指标、多因素、多判据的综合评价方法, 是综合运用系统工程中的层次分析方法与模糊数学的综合评判法, 将定性判断和定量评价有机的相结合的一种边坡稳定性分析法。该方法避免了单一判断带来的局限性, 较全面地反映了影响边坡稳定性等级的各个因素, 为边坡稳定性分析提供了一种新方法。计算实例表明, 该方法来评判边坡稳定性程度是可行的, 且该方法简便易行, 综合考虑了各项因素的影响, 使各因素都真实地参与评价, 减少了人为因素的影响。

参 考 文 献

1 政 权, 李 宁. 边坡工程——理论与实践最新发展〔M〕. 北京: 中国水利水电出版社, 1999. 225~ 229

2 张永波, 时 红. 斜坡稳定性两级模糊综合评判〔J〕. 工程地质学报, 2000, 8(1): 31~ 34

3 刘 春, 白世伟, 王 刚. 黄麦岭磷矿采场边坡稳定性模糊综合评判〔J〕. 矿冶工程, 2002, 24(2): 252~ 256

4 赵焕臣. 层次分析法〔M〕. 北京: 科学出版社, 1986. 12~ 14

5 楼世博, 张爱云, 李秋水. 模糊数学〔M〕. 北京: 科学出版社, 1983. 25~ 26

6 靳泽先. 模糊数学在边坡稳定性评价中的应用〔J〕. 水文地质工程地质, 1987, (6): 27~ 29

7 何广讷. 土工的若干新理论研究与应用〔M〕. 北京: 中国水利水电出版社, 1994. 112~ 114

8 李智毅, 杨裕云. 工程地质学概论〔M〕. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994. 97~ 99

9 谢全敏, 夏元有. 岩体边坡治理决策的模糊层次分析方法研究〔J〕. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(7): 1 117~ 1 120

10 李 轴, 袁丛华. 黄麦岭磷化工集团公司采场边坡地质调查报告及临时性处理措施〔R〕. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所报告, 2000. 7~ 9

Slope Stability Analysis by AHP-FUZZY Method

Liu Chun

(College of Civil Engineering, Hohai University, 210098, Nanjing, China)

Abstract Based on analysis and classification of the factors influencing slope stability, AHP-FUZZY method is presented, which considers rock mechanical parameters, adjoining rock conditions etc. This method evaluates the importance of every factor influencing slope stability, and gives the weight of every factor. The method can be used widely to evaluate the slope stability.

Keywords slope stability analysis, forecast, evaluation, AHP-FUZZY