

文章编号:1009-6825(2006)03-0099-02

基于 AHP 方法的锚杆支护方案优化

林杭 曹平 陈惠磊

摘 要:根据层次分析法(AHP)的基本原理,提出边坡支护方案的评价体系,构建了层次分析模型,分析判断矩阵,并作一致性检验,从而确定边坡的优化支护方案,利用 FLAC3D 数值建模,分析了优化方案对于目标因素的影响。

关键词:AHP,判断矩阵,边坡稳定,锚杆支护

中图分类号:TU463

文献标识码:A

引言

边坡稳定性问题是一个重要的研究内容,它是边坡设计的前提。在大量的岩土工程中锚杆作为一种有效的边坡加固手段,已得到广泛的运用^[1]。目前,锚杆支护参数的选取都是根据以前的工程经验,再验算边坡的稳定性,并没有给出定量的分析。因此需要一种方法把定性分析和定量分析结合起来,得到定量的结果,目前许多学者都在探讨这个问题。文中引入系统统计中的 AHP 方法,将定性分析与定量分析相结合,得到各个指标因素(支护方案)的权重,为准确提供边坡支护方案的优选提供保证。

1 AHP 方法的原理

AHP 方法是美国运筹学家 T. L. Saaty 在 20 世纪 70 年代提出的一种多目标决策分析方法。这一方法基于对问题的全面考虑,将定性分析与定量分析相结合,使决策者的经验判断予以量化。基于 AHP 方法的思想,从影响边坡稳定性权重的因素出发,两两比较准则因素以及指标因素的相对重要性,得到相应的判断矩阵,并计算各层因素的权重,最终得出各个指标因素对目标因素的权重,进而实现锚杆支护方案的优选。

基于 AHP 的分析方法实施步骤如下:

1) 对所考虑的概念,分析其相互关联、逻辑归属及重要性级别,进行分层排列,构成一个由下而上的递阶层次结构。层次结构中的概念通常称为因素。最高层一般只有一个因素,称为目标层;若干中间层,称为准则层;最底层,一般称为指标层。

2) 构造判断矩阵。从构造模型的第二层开始,比较某一层的因素 $A_1, \dots, A_n$ 上一层一个因素 O 的影响。用 a_{ij} 表示 A_i 和 A_j 对 O 的影响之比,全部比较结果即构成判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。比较的结果值一般取为 $1/9, 1/8, \dots, 1/2, 1, 2, \dots, 8, 9$ 等,比较尺度 a_{ij} 含义如表 1 所示。

表 1 尺度 a_{ij} 含义表

尺度 a_{ij}	含 义
1	表示待比较的两个因素具有同等重要性
3	一个因素比另一个因素稍微重要
5	一个因素比另一个因素明显重要
7	一个因素比另一个因素强烈重要
9	一个因素比另一个因素极端重要
2, 4, 6, 8	因素之间重要性比较在上述等级之间
上述数的倒数	一个因素比另一个因素不重要的上述描述

3) 计算权向量并做一致性检验。根据决策者的回答,得到比较矩阵 $\bar{A} = (\bar{a}_{ij})_{n \times n}$ ($\bar{a}_{ij}$ 为决策者的回答值),为了满足一致性条件 $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$,引入一致性指标 CI :

收稿日期:2005-08-14

作者简介:林 杭(1980-),男,中南大学硕士研究生,湖南 长沙 410083

曹 平(1959-),男,博导,教授,中南大学,湖南 长沙 410083

陈惠磊(1981-),男,中南大学硕士研究生,湖南 长沙 410083

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

其中, $\lambda_{\max}$ 为 $\bar{A}$ 的最大特征值,可以看出, CI 的值越小,说明 $\lambda_{\max}$ 与 n 相差越小,即判断矩阵更接近完全一致性,所以希望 CI 值越小越好。

RI 的取值^[2]见表 2,只有当 $CR < 0.1$,认为检验通过,特征向量(归一化后)即为权向量;如不通过,需重新构造判断矩阵。计算对比矩阵的特征值和特征向量,可以采用和法、幂法和根法。

表 2 RI 的取值

n	RI	n	RI
1	0	6	1.24
2	0	7	1.32
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.45
5	1.12		

4) 计算组合权向量。对于 3 个层次的决策问题,若第 1 层 1 个因素,第 2,3 层分别有 3 个因素,则第 2,3 层对第 1,2 层的权向量分别为:

$$\omega^{(2)} = (\omega_1^{(2)}, \omega_2^{(2)}, \omega_3^{(2)})^T \quad (3)$$

$$\omega_h^{(3)} = (\omega_{h1}^{(3)}, \omega_{h2}^{(3)}, \omega_{h3}^{(3)})^T (h = 1, \dots, 3) \quad (4)$$

以 $\omega_h^{(3)}$ 为列向量构成矩阵:

$$W = [\omega_1^{(3)}, \omega_2^{(3)}, \omega_3^{(3)}] \quad (5)$$

则第 3 层对第 1 层的组合权向量为:

$$\omega^{(3)} = W^{(3)} \omega^{(2)} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)^T \quad (6)$$

2 计算模型

2.1 物理力学参数

选取某公园边坡作为研究对象,其坡高 10 m,倾角 45° ,现拟开挖成坡高 10 m,倾角为 75° 的边坡,开挖方式采用分台阶开挖工艺,台阶高度 2 m。此边坡地层情况及参数见表 3。

表 3 边坡的物理力学参数

岩土层	厚度 m	容重 kN/m ³	弹性模量 MPa	泊松比 ν	粘聚力 kPa	摩擦角 ($^\circ$)
填土	3	16	10	0.3	20	18
可塑状土	10	17	20	0.3	22	22
硬塑状土	5	19	40	0.3	32	24
强风化岩	2	22	200	0.2	200	30

2.2 边界条件

对于边坡这样在纵向很长的实体,计算模型可以简化为平面应变问题。计算边界范围的大小对于计算结果有一定的影响,当

坡角到左端边界的距离为坡高的1.5倍时,坡顶到右端边界的距离为坡高的2.5倍,且上下边界总高不低于2倍坡高时,计算精度较为理想。因此本模型计算范围选取: $H = 2h = 20\text{ m}$, $L = 5h = 50\text{ m}$, 其中, $h = 10\text{ m}$ 为坡高。

模型的边界条件为:两侧边界约束水平位移为零,下侧边界约束竖向位移为零。计算剖面示意图见图1。

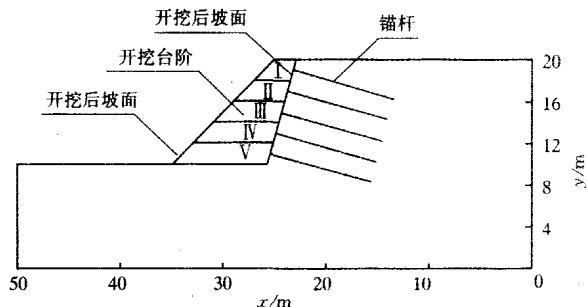


图1 计算模型示意图

2.3 支护方案的提出

通过 FLAC3D 的试算,得到在未支护情况下,边坡的稳定安全系数为 1.04,处于临界安全状态,为达到安全储备系数 $K = 1.25$,须作加固处理,支护方案选用全长注浆无预应力锚杆加固法。对锚杆支护提出的三个支护方案见表4。

表4 锚杆支护方案

项目	倾角/(°)	长度/m	间距/m
方案一	5	10	2
方案二	10	6	1.5
方案三	15	14	2

3 层次分析模型

3.1 构建层次分析模型

以支护结构的经济稳定作为目标层^[4],以锚杆倾角、长度、间距作为准则层,以支护方案作为指标层,构建层次结构模型见图2。

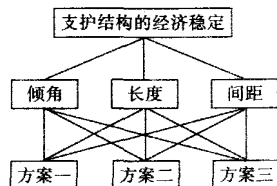


图2 层次结构模型

3.2 判断矩阵分析

利用文中的方法,构造第2层对第1层的成对矩阵 G 和第3层(支护方案)分别对第2层的倾角、长度和间距三因素的判断矩阵 E_1 , E_2 和 E_3 :

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/2 \\ 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}, E_1 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 7 \\ 1/4 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 2 \\ 1/5 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}, E_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1 \\ 3 & 1 & 3 \\ 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}.$$

利用和法,计算各层因素的权向量并作一致性检验,结果见表5。可以看出 CR 值都小于 0.1,说明通过一致性检验,结果有效。

表5 计算结果表

层次	各层权向量值			$\lambda_{\max}$	CR
$\omega^{(2)}$	0.200 0	0.400 0	0.400 0	3.000 00	0
$\omega^{(3)}$	0.710 4	0.192 4	0.097 2	3.001 98	0.001 7
$\omega_3^{(3)}$	0.606 1	0.128 8	0.265 1	3.005 54	0.004 8
$\omega_3^{(3)}$	0.200 0	0.600 0	0.200 0	3.000 00	0

利用表5结果,根据式(6)计算组合权向量得到: $\omega^{(3)} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)^T = (0.464\ 5, 0.330\ 0, 0.205\ 5)^T$ 。可以看出 $\omega_1 > \omega_2 > \omega_3$,即第一组支护方案对于目标因素的影响程度最高。

4 工程设计方案优化

基于以上分析,选用方案一作为本工程锚杆的支护方式。锚杆支护参数见表6。

表6 锚杆支护参数

锚杆倾角/(°)	锚杆长度/m	垂直间距/m	锚杆钢筋直径/mm	注浆体厚度/mm
5	10	2	16	10

通过 FLAC3D 计算得到边坡稳定安全系数 $K = 1.71$,最大水平位移 10 mm,最大竖直位移 2 mm。

5 结语

1) AHP 法操作相对简单,实用价值较大。利用 AHP 法分析边坡稳定,是在决策思维过程中加入统计检验的方法,使思维的分析、判断和综合这三个基本特征得到量化的处理,可以对锚杆支护方案进行较好的定性和定量分析。在利用 AHP 方法分析的时候,判断矩阵的构建反映出思维的分析、判断和综合,先对各个因素进行比较打分,这里会存在一定的误差,因此需要一定的经验。但是通过判断矩阵的一致性检验,可以排除较大误差的出现。2) 通过 AHP 方法确定了三个指标因素(锚杆支护方案)对于目标因素(边坡稳定)的组合权重,得出第三个方案的权重最大,表明其对边坡稳定的影响程度最高,因此选择其作为支护方案。通过 FLAC3D 建立数值模型,计算在第三个支护方案下,边坡的稳定性,得出安全系数为 $K = 1.64$,比原先未支护情况的 $K = 1.04$ 提高了 57.7%,并且有效的约束了边坡的水平位移以及竖直位移。

参考文献:

- [1] 赵明阶,何光春,王多垠. 边坡工程处治技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003. 8-10.
- [2] 王宇亮,刘智慧. 基于模糊数学理论的桥型方案比选模型[J]. 工程设计与建设,2005,37(1):14-17.
- [3] 谢全敏,夏元友,朱瑞康. 边坡治理方案评价体系多层次结构模型及其应用[J]. 岩石力学与工程学报,2001,20(sup):1 065-1 069.
- [4] 张钦喜,何建勇,霍达,等. 土钉墙变形破坏的数值模拟及参数优化[J]. 土木工程学报,2003,36(11):24-28.
- [5] 彭俊生,施宇如. 土钉墙支护技术的应用及体会[J]. 山西建筑,2004,31(14):83-84.

Optimum design of scheme for anchor rods reinforcement by AHP method

LIN Hang CAO Ping CHEN Huilei

Abstract Based on the basic theory of Analytic Hierarch Process(AHP), judgement system of reinforcement schemes for slope is introduced. The AHP model is founded. By analyzing judgement matrix and consistency, the optimum design for the slope reinforcement is chosen. By FLAC3D, the influence of the optimum design to the object factor is analyzed.

Key words: AHP, judgement matrix, slope stability, anchor rod reinforcement