

# AHP法在深基坑围护方案评价中的应用

李祎<sup>1</sup>, 陈戩<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 管理与经济学院, 云南 昆明 650093; 2. 昆明万达房地产有限公司, 云南 昆明 650011)

**摘要:** 从 AHP 法建立了深基坑围护方案评价的决策模型, 以某工程深基坑拟用的 3 种方案的评价为例, 说明该种决策模型方法简单、结论可靠, 可以反映出各方案的优先次序以及方案的排序权值。

**关键词:** AHP 法; 深基坑围护; 方案评价

**中图分类号:** C934 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)04-0068-05

## Application of AHP to Evaluating the Bracing Deep Foundation Pit Program

LI Yi<sup>1</sup>, CHEN Jian<sup>2</sup>

(1. Faculty of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Kunming Wanda Real Estate Development Co. Ltd, Kunming 650011, China)

**Abstract:** On the basis of the AHP, one model is established to evaluate the bracing deep foundation pit program. The AHP is proved to be easy and reliable by taking 3 programs which will be used in a certain building as an example.

**Key words:** AHP; bracing deep foundation program; evaluation

## 0 引言

深基坑围护方案的评价选优是一个多因素的决策问题, 采用单一指标评定不能全面反映出方案的优劣, 应综合考虑工期、造价、质量、安全、周边环境等多方面因素的影响。本文采用层次分析法(AHP法)将深基坑围护方案选型的决策思维过程数字化, 通过一系列数学方法对多层次、多方案系统做出综合评价, 从而为方案的决策提供依据。

## 1 层次分析法的方法及步骤

层次分析法(AHP - Analytic Hierarchy Process)是一种实用的多准则决策方法。它把实际事物中关系错综复杂而又难以解决的系统按层次关系进行分解, 化分为一个有序的递阶层次结构, 通过人们的判断对决策方案的优劣进行排序。它能够统一处理决策中的定性与定量因素, 具有实用性、系统性、简洁性等优点。

### 1.1 建立层次结构模型

在运用 AHP 法进行决策时, 首先应根据所要决策问题的因果关系将其层次化, 一般按照目标层(最高层)、准则层(中间层)和方案措施层(最低层)的形式排列, 采用框图表示各层次的递阶结构与各因素之间的从属关系。

### 1.2 构造判断矩阵

根据建立的层次结构模型, 将同一层的因素与上层中的某个因素两两成对比较, 构造出判断矩阵。判

收稿日期: 2005-01-05。

第一作者简介: 李祎(1982.12-), 女, 博士研究生。主要研究方向: 管理科学与工程。E-mail: doniaaily@yahoo.com.cn

断矩阵  $B = [b_{ij}]$  应满足下列条件:

$$\begin{aligned} b_{ij} &= 1/b_{ji} & i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, n \\ b_{ii} &= 1 & i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

为确定判断矩阵中  $b_{ij}$  的值,采用 1 ~ 9 及其倒数作为标度. 当两因素相比,具有同样重要性、稍微重要、明显重要、强烈重要、极端重要时:

$$b_{ij} = 1, 3, 5, 7, 9; b_{ji} = 1, 1/3, 1/5, 1/7, 1/9; \text{上述两相临判断的中值可取: } 2, 4, 6, 8.$$

### 1.3 求解判断矩阵的最大特征值及其对应的特征向量

用 AHP 法计算判断矩阵的最大特征值与特征向量可采用方根法进行计算,步骤为:

1) 计算判断矩阵  $A$  中每行元素乘积

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

2) 求  $M_i$  的  $n$  次方根  $\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i}$ .

3) 对  $\bar{W}_i$  进行标准化,求特征向量各分量:

$$W_i = \bar{W}_i / \sum_{j=1}^n \bar{W}_j, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T \text{ 即为特征向量.}$$

4) 求  $A$  的最大特征值:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i}$$

### 1.4 层次单排序及其一致性检验

层次单排序为同一层次中相应元素对于上一层次中的某个因素相对重要性的排序权值,为检验层次单排序的一致性需要计算以下指标:

1) 一致性指标  $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ ;

2) 平均随机一致性指标  $RI$ , 如表

1 所示;

3) 随机一致性指标  $CR$ :  $CR = CI/RI$ ; 当

$CR \leq 0.1$  时,矩阵的一致可以接受,否则,需要调整判断矩阵.

表 1 平均随机一致性指标

Tab. 1 Average random coincidence indicators

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

### 1.5 层次总排序

1) 层次总排序为计算同一层次所有因素对于最高层相对重要性的排序权值. 这一过程从上到下逐层进行. 若上层所有元素  $C_1, C_2, \dots, C_m$  的排序已完成,对应的权值为  $a_1, a_2, \dots, a_m$ , 与  $a_1$  对应的本层元素  $P_1, P_2, \dots, P_n$  单排序结果为  $b_1^i, b_2^i, \dots, b_n^i$ . 当  $P_j$  与  $C_i$  无关时,  $b_n^i = 0$ ,  $P$  层次总排序为  $\sum_{i=1}^m a_i b_n^i, n = 1, 2, \dots$ .

2) 层次总排序的检验

$$CR = \sum_{i=1}^n C_i (CI)_i / \sum_{i=1}^n C_i (RI), \text{ 当层次总排序随机一致性比率 } CR \leq 0.1 \text{ 时, 表示一致性满意.}$$

## 2 AHP 模型的应用

东方广场 A 座位于昆明市东寺街中段,周边环境复杂. 基坑开挖深度裙楼 7.8 m, 主楼 9.3 m. 场地开挖范围内主要揭露的土层为: ①<sub>1</sub> 杂填土: 以褐灰色粉质粘土为主, 厚 1.1 ~ 3.5 m; ①<sub>2</sub> 素填土: 以灰褐色可塑状态粉质粘土为主, 厚 0.6 ~ 1.2 m; ②<sub>1</sub> 粘土: 褐灰色, 硬塑状态, 湿, 具中等压缩性, 厚 0.6 ~ 1.2 m; ③<sub>1</sub> 圆砾: 褐灰, 中密, 饱和, 厚 0.6 ~ 1.2 m ③<sub>2</sub> 圆砾: 兰灰色, 中密, 饱和, 主要为中等风化的砂岩及玄武岩, 磨圆度中等, 厚 6 ~ 21 m. 场地稳定水位在地表下 1.9 ~ 3.9 m.

### 2.1 建立层次关系

本工程根据场地条件及周边建筑物情况拟用 3 种方案, 即  $P_1$ : 水泥土深搅桩 + 土钉墙;  $P_2$ : 地下连续墙;  $P_3$ : 水泥土深搅桩 + 喷锚网. 依据合理选择深基坑围护方案的有关因素建立层次结构图如图 1.

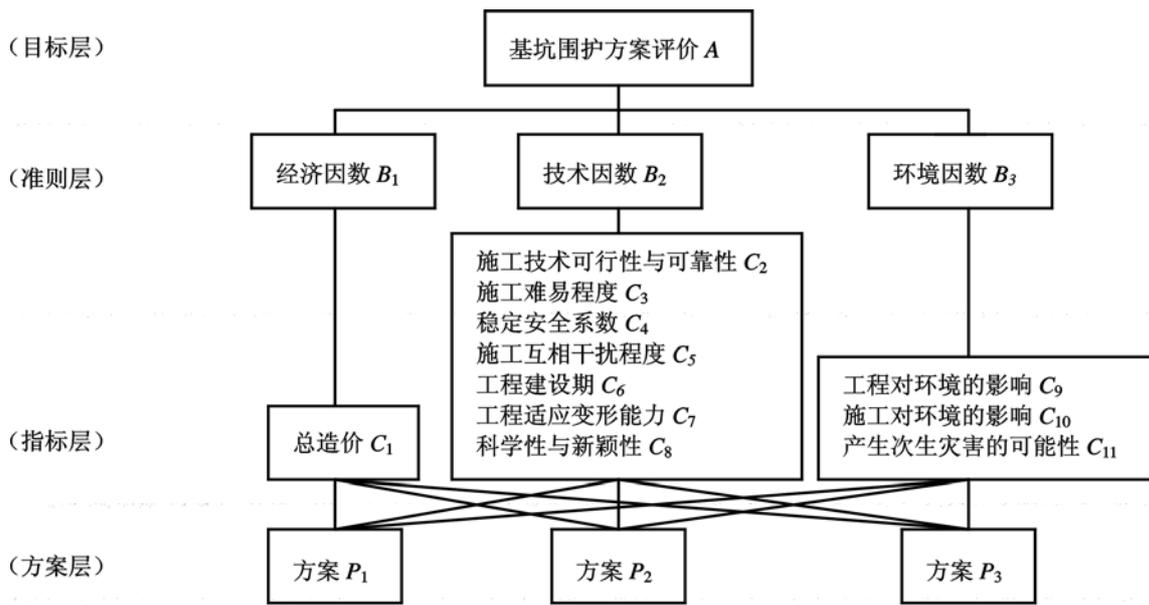


图1 方案优选层次结构模型  
Fig.1 Model of AHP in project optimization

2.2 构造判断矩阵

根据工程地质条件及周边环境状况, 在结合地基专家组的咨询报告并分析各因素之间的重要性后得到判断矩阵(见表 2 ~ 15).

表 2 判断矩阵 A—B

Tab.2 Judgment matrix of A—B

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	W	
B <sub>1</sub>	1	1	3	0.428 6	$\lambda_{\max} = 3$ $CI = 0$ $RI = 0.52$ $CR = 0 < 0.1$
B <sub>2</sub>	1	1	3	0.428 6	
B <sub>3</sub>	1/3	1/3	1	0.142 8	

表 3 判断矩阵 B<sub>2</sub>—C

Tab.3 Judgment matrix of B<sub>2</sub>—C

B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	W	
C <sub>2</sub>	1	1	3	2	2	1	4	0.218	$\lambda_{\max} = 7.045$ $CI = 0.007 5$ $RI = 1.36$ $CR = 0.005 5 < 0.1$
C <sub>3</sub>	1	1	3	2	2	1	4	0.218	
C <sub>4</sub>	1/3	1/3	1	1	1/2	1/3	2	0.078 3	
C <sub>5</sub>	1/2	1/2	1	1	1	1/2	2	0.102 8	
C <sub>6</sub>	1/2	1/2	2	1	1	1/2	2	0.113 5	
C <sub>7</sub>	1	1	3	2	2	1	4	0.218	
C <sub>8</sub>	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1/4	1	0.051 4	

表 4 判断矩阵 B<sub>3</sub>—C

Tab.4 Judgment matrix of B<sub>3</sub>—C

B <sub>3</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	W	
C <sub>9</sub>	1	1	3	0.428 6	$\lambda_{\max} = 3$ $CI = 0$ $RI = 0.52$ $CR = 0 < 0.1$
C <sub>10</sub>	1	1	3	0.428 6	
C <sub>11</sub>	1/3	1/3	1	0.142 8	

表 5 判断矩阵 C<sub>1</sub>—P

Tab.5 Judgment matrix of C<sub>1</sub>—P

C <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	W	
P <sub>1</sub>	1	3	2	0.539 6	$\lambda_{\max} = 3.009 3$ $CI = 0.004 6$ $RI = 0.52$ $CR = 0.008 9 < 0.1$
P <sub>2</sub>	1/3	1	1/2	0.163 4	
P <sub>3</sub>	1/2	2	1	0.297 0	

表6 判断矩阵  $C_2-P$

Tab.6 Judgment matrix of  $C_2-P$

$C_2$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$W$	$\lambda_{\max} = 3.0093$ $CI = 0.0046$ $RI = 0.52$ $CR = .0089 < 0.1$
$P_1$	1	1/3	1/2	0.1634	
$P_2$	3	1	2	0.5396	
$P_3$	2	1/2	1	0.297	

表7 判断矩阵  $C_3-P$

Tab.7 Judgment matrix of  $C_3-P$

$C_3$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$W$	$\lambda_{\max} = 3.0091$ $CI = 0.0045$ $RI = 0.52$ $CR = 0.0087 < 0.1$
$P_1$	1	4	3	0.6337	
$P_2$	1/4	1	1	0.1744	
$P_3$	1/3	1	1	0.191	

表8 判断矩阵  $C_4-P$

Tab.8 Judgment matrix of  $C_4-P$

$C_4$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$W$	$\lambda_{\max} = 3.0054$ $CI = 0.0268$ $RI = 0.52$ $CR = 0.0515 < 0.1$
$P_1$	1	1/3	1/3	0.1396	
$P_2$	3	1	2	0.5278	
$P_3$	3	1/2	1	0.3326	

表9 判断矩阵  $C_5-P$

Tab.9 Judgment matrix of  $C_5-P$

$C_5$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$W$	$\lambda_{\max} = 3.0093$ $CI = 0.0046$ $RI = 0.52$ $CR = 0.0089 < 0.1$
$P_1$	1	1/2	2	0.0189	
$P_2$	2	1	3	0.2970	
$P_3$	1/2	1/3	1	0.1634	

表10 判断矩阵  $C_6-P$

Tab.10 Judgment matrix of  $C_6-P$

$C_6$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$W$	$\lambda_{\max} = 3$ $CI = 0$ $RI = 0.52$ $CR = 0 < 0.1$
$P_1$	1	2	2	0.5	
$P_2$	1/2	1	1	0.25	
$P_3$	1/2	1	1	0.25	

表11 判断矩阵  $C_7-P$

Tab.11 Judgment matrix of  $C_7-P$

$C_7$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$W$	$\lambda_{\max} = 3$ $CI = 0$ $RI = 0.52$ $CR = 0 < 0.1$
$P_1$	1	1/2	1/2	0.2	
$P_2$	2	1	1	0.4	
$P_3$	2	1	1	0.4	

表12 判断矩阵  $C_8-P$

Tab.12 Judgment matrix of  $C_8-P$

$C_8$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$W$	$\lambda_{\max} = 3.0037$ $CI = 0.0018$ $RI = 0.52$ $CR = 0.0035 < 0.1$
$P_1$	1	5	3	0.6483	
$P_2$	1/5	1	1/2	0.122	
$P_3$	1/3	2	1	0.2279	

表13 判断矩阵  $C_9-P$

Tab.13 Judgment matrix of  $C_9-P$

$C_9$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$W$	$\lambda_{\max} = 3.0159$ $CI = 0.0795$ $RI = 0.52$ $CR = 0.0153 < 0.1$
$P_1$	1	1/2	3	0.3042	
$P_2$	2	1	5	0.5725	
$P_3$	1/3	1/5	1	0.1233	

表14 判断矩阵  $C_{10}-P$

Tab.14 Judgment matrix of  $C_{10}-P$

$C_{10}$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$W$	$\lambda_{\max} = 3.0159$ $CI = 0.0795$ $RI = 0.52$ $CR = 0.0153 < 0.1$
$P_1$	1	1/2	3	0.3042	
$P_2$	2	1	5	0.5725	
$P_3$	1/3	1/5	1	0.1233	

表15 判断矩阵  $C_{11}-P$

Tab.15 Judgment matrix of  $C_{11}-P$

$C_{11}$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$W$	$\lambda_{\max} = 3.0093$ $CI = 0.0046$ $RI = 0.52$ $CR = 0.0089 < 0.1$
$P_1$	1	1/2	2	0.297	
$P_2$	2	1	3	0.5396	
$P_3$	1/2	1/3	1	0.1634	

2.3 层次总排序及一致性检验

表16 C层次总排序权值

Tab.16 Proportion of the chief sort order in hierarchy C

层次	$B_1$	$B_2$	$B_3$	C层次总排序权值	层次	$B_1$	$B_2$	$B_3$	C层次总排序权值
	0.4286	0.4286	0.1428			0.4286	0.4286	0.1428	
$C_1$	1			0.4286	$C_7$		0.218		0.0934
$C_2$		0.218		0.0934	$C_8$		0.0514		0.022
$C_3$		0.218		0.0934	$C_9$			0.4286	0.0612
$C_4$		0.0783		0.0336	$C_{10}$			0.4286	0.0612
$C_5$		0.1028		0.0441	$C_{11}$			0.1428	0.0204
$C_6$		0.1355		0.0486					
				$CI = 0.0032$					$RI = 0.6571$
									$CR = CI/RI = 0.0258 < 0.1$

表 17 P 层次总排序权值

Tab. 17 Proportion of the chief sort order in hierarchy P

层次	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	P 层次 总排序
$P_1$	0.428 6	0.093 4	0.093 4	0.033 6	0.044 1	0.048 6	0.093 4	0.022 0	0.061 2	0.061 2	0.020 4	0.426 2
$P_2$	0.539 6	0.163 4	0.633 7	0.139 6	0.297	0.5	0.2	0.648 3	0.304 2	0.304 2	0.297	0.311 5
$P_3$	0.163 4	0.539 6	0.174 4	0.527 8	0.539 6	0.25	0.4	0.122	0.572 5	0.572 5	0.539 6	0.264 3
	0.297	0.297	0.191 9	0.332 6	0.163 4	0.25	0.4	0.229 7	0.123 3	0.123 3	0.163 4	0.264 3
$CI = 0.013 4$			$RI = 0.519 9$			$CR = CI/RI = 0.025 8 < 0.1$						

根据表 17 的计算结果,可知方案  $P_1$  是本工程的优选方案.

### 3 结束语

运用层次分析法对深基坑围护方案进行评价选优具有科学、简洁、实用等优点,它能得出各方案的优先次序以及排序权值.但应注意在处理各方案中的非定量因素时应充分结合当地地质条件以及工程特点认真斟酌选取,使其更贴近实际.

#### 参考文献:

- [1] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988:10-57.
- [2] 郑绍羽,等. 采用 AHP 法优选厂房屋盖网架结构方案的研究[J]. 建筑结构,1997(9):.
- [3] 阮永芬,兰世强. 深基坑支护的多目标多层次系统多维模糊决策[J]. 昆明理工大学学报(理工版),2001,26(5):43-49.

(上接第 67 页)

### 4 结语

通过以上对双连拱隧道两种中隔墙防排水系统设计、施工及其特点的介绍和总结,可以看出,凸顶式中隔墙防排水系统结构简单,施工方便,但排水效果不佳,凹顶式中隔墙防排水形式结构复杂,施工麻烦,但排水效果较好.

实际上,凹顶式中隔墙防排水形式正是在总结并改进了凸顶式中隔墙防排水形式缺点的基础上而设计出来的,在目前的双连拱隧道设计中大都采用凹顶式中隔墙防排水的形式.

文中凸顶式中隔墙防排水形式的介绍是以直墙为例的,凹顶式中隔墙防排水形式是以曲墙为例的,在实际的设计与施工中无论是直墙还是曲墙,其凸顶式和凹顶式中隔墙防排水形式的特点和施工注意事项都是一样的.

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国行业标准. JTJ042-94 公路隧道施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,1994:53-55.
- [2] 吕康成. 公路隧道防排水隧道若干问题探讨[C]//. 防排水专业委员会第九次学术交流会论文集. 1999:179-183.
- [3] 庞志伟,张林洪,吴华金,等. 公路工程反滤设计的方法和建议[J]. 昆明理工大学学报(理工版),2003,28(3):150-154.