

## 钻孔灌注桩施工技术方案的优化选择

雷 斌

(江西省地质工程公司·南昌市)

在优化钻进中,技术方案的选择,是整个钻进过程的关键之一。本文试用系统工程中的层次分析法(AHP),根据施工具体条件,就4种泵吸反循环多工艺综合钻进技术方案,从总体性能上进行优化选择,得到的结果与实际应用相符。

**关键词:** 优化选择; 层次分析法; 泵吸反循环; 多工艺综合钻进技术



勘察施工

泵吸反循环为主体的施工技术,以其钻进速度快、成桩效率高、桩身混凝土质量均匀可靠、单桩承载力高等特点,在钻孔灌注桩施工中取得了很好的效果。在大力发展泵吸

及反循环工法的同时,不能忽略地层与施工条件的特殊性,还要因地制宜采用多种工艺方法综合作业。在大口径钻进领域,已形成以反循环工法为主的多工艺综合钻进。几年来,我公司主要发展和采用了:A. 泵吸反循环+冲抓锥钻进; B. 泵吸反循环排渣+冲击锥钻进; C. 泵吸反循环钻进+振动沉管; D. 泵吸反循环排渣+正循环钻进这4种配套钻进工艺技术。多工艺综合钻进技术方案是一个由地层和施工条件等因素组成的有机整体,用单一指标进行比较,不能反映其整体性能,而且由于某些性能难以定量地表示,因此要将某些性能按一定的指标排列出先后加以优选就遇到困难。系统工程中的层次分析法(AHP)正是一种处理那些难以完全用定量方法来分析复杂问题的新决策

方法。

层次分析法(AHP)是由美国运筹学家A.L.Saaty在70年代初提出的。它以模糊数学中的模糊聚类分析和模式识别为理论基础,定性分析和定量分析相结合,把复杂问题中的各因素通过划分相互联系的有序层使之条理化,根据对一定客观的判断,就每一层次的相对重要性给予定量表示,表达每层次的全部元素相对重要性次序的权值,并通过排序结果分析和解决问题。由于它具有分析思路清楚,分析时所需要的定量数据少,能抓住本质特点,因而在近年来的系统分析中得到广泛利用。

### 层次分析法的步骤

#### 1. 明确问题

根据施工现实,明确所优选技术方案的具体要求,包含的因素以及各因素之间的联系和评价指标,进而搜集与之有关的情报信息。

#### 2. 建立层次结构

根据对问题的了解和分析,把涉及的因

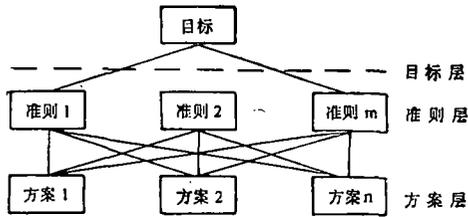


图 1 层次结构模型

素按性质分层排列，形成目标层次结构。图 1 是一个简单的三层结构。

### 3. 构造判断矩阵

表示针对上一层某元素与本层次有关元素之间相对重要性的比较。假定 O 层因素中  $O_k$  与下一层次中  $C_1, C_2, \dots, C_n$  有联系，构造的判断矩阵一般取如下形式：

$O_k$	$C_1$	$C_2 \dots C_n$
$C_1$	$C_{11}$	$C_{12} \dots C_{1n}$
$C_2$	$C_{21}$	$C_{22} \dots C_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$C_n$	$C_{n1}$	$C_{n2} \dots C_{nn}$

其中  $C_{ij}$  按 Saaty 的比率标度法写出：

如两因素相比具有同样重要性，则  $C_{ij} = 1$ ；

如两因素相比，一个比另一个稍重要，则  $C_{ij} = 3$ ；

如两因素相比，一个比另一个明显重要，则  $C_{ij} = 5$ ；

如两因素相比，一个比另一个强烈重要，则  $C_{ij} = 7$ ；

如两因素相比，一个比另一个极端重要，则  $C_{ij} = 9$ ；

如因素  $i$  与因素  $j$  比较得到  $C_{ij}$ ，则因素  $j$  与因素  $i$  比较得判断  $1/C_{ij}$ 。

上述两相邻判断的中值取 2, 4, 6 和 8。

### 4. 层次单排序及其一致性检验

通过计算判断矩阵的最大特征值和特征向量，即可计算出某层次因素相对于上一层某因素的相对重要性权值，这种排序计算称为层次单排序。常用的有方根法。

先计算判断矩阵每一行元素的乘积  $M_i$ ，

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

再计算  $M_i$  的  $n$  次方根  $\bar{W}_i$ ，

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i}$$

后对向量  $\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]^T$  正规化，即

$$W_i = \bar{W}_i / \sum_{i=1}^n \bar{W}_i$$

则  $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$  即为所求得特征向量。

最后计算判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}$

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

式中  $(AW)_i$  表示向量  $AW$  的第  $i$  个元素。

引入度量偏离一致性指标

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

和平均一致性指标  $RI$  (表 1)。

当随机性比率  $CR = \frac{CI}{RI} < 0.10$  时，可

以认为单排序的结果具有满意的一致性；否则，需要重新调整判断矩阵的元素取值。

### 5. 层次总排序及一致性检验

利用层次单排序结果，综合出对更上一层的优劣顺序：

$$B_i = \left\{ \sum_{j=1}^m C_j W_{ij} \right\}$$

其中  $C_j$  为各条件，相对总目标的权值。

当层次总排序随机一致性比率

$$CR = \frac{\sum_{i=1}^m C_i CI_i}{\sum_{j=1}^m C_j RI_j} < 0.10$$

时，则认为层次总排序的结果具有满意的一致性。否则要重新调整判断矩阵元素取值。

## 在钻进技术方案优化选择中的应用

1989年9月，我公司承担了襄樊市汉江大桥零号墩钻孔灌注桩成孔施工任务。设计

表 1

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

钻孔灌注桩 8 根,直径 1.5 m,孔深 57.69 m,其中第四系(古河床)砂、卵砾石层厚 45~50 m,岩溶层成孔 15~16 m。岩溶层裂隙、溶沟、溶槽和溶洞十分发育,有主溶洞三层,最大洞高 3.65 m,洞洞相连,沟沟相通,岩性破碎,软硬不均。

现有前述 A, B, C, D 4 种方案可供选择。根据施工条件的复杂性和实际要求,所选择的技术方案应具备对地层的适应性、孔壁稳定程度、可靠性、配套性和经济性。现决定以该 4 种技术方案的对地层适应性( $C_1$ )、孔壁稳定程度( $C_2$ )、钻进效率( $C_3$ )、设备互换性( $C_4$ )和经济性( $C_5$ )来综合评价优选。其层次结构模型如图 2 所

示。

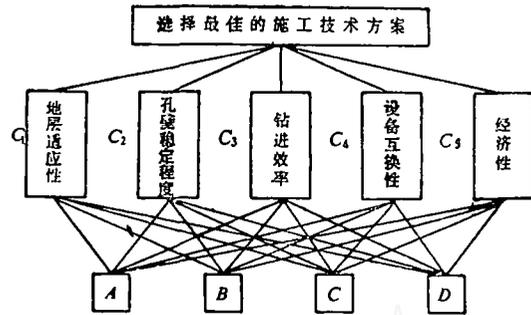


图 2 方案选择层次结构模型

根据以往对上述 4 种钻进工艺的应用情况分析, A 工艺适于在内陆地区,特别是山间盆地(古河床)第四系沉积物粒度较大、分

总体评价

表 2

准 则		施 工 技 术 方 案			
		A	B	C	D
地层适应性 $C_1$	第四系 $C_{1Q}$	强	较差	一般	较强
	岩溶地层 $C_{1C}$	较差	较强	差	强
孔壁稳定程度 $C_2$		好	较差	最好	较好
钻进效率 $C_3$	第四系 $C_{3Q}$	高	较差	一般	较高
	岩溶地层 $C_{3C}$	一般	高	较差	较高
设备互换性 $C_4$		较好	差	较差	好
经济性 $C_5$	第四系 $C_{5Q}$	较好	差	较差	好
	岩溶地层 $C_{5C}$	一般	好	较差	较好

选性差、卵石直径大于反循环钻杆内径、桩孔处在老城区、港口码头或河堤附近钻遇大石块、混凝土块以及大抛石时采用; B和D工艺对灰岩地区陡倾斜的基岩面、发育的岩溶裂隙,以及坚硬基岩、漂石等是比较合适的,目前B工艺是分先后进行的,其配套性不如D; C适于在水域特别是深水区或潮差

大、流速急的水域施工,偏心振击器振动沉管使护筒能有效隔离水流、抬高水头高度,维持循环液正常循环,使反循环施工得以顺利进行。由此,对其总体性能评价列于表 2。

根据表 2,经讨论确定出  $C_1$  的判断矩阵是:

$C_{1Q}$	A	B	C	D	$C_{1C}$	A	B	C	D	$C_2$	A	B	C	D
A	1	7	5	2	A	1	1/3	2	1/4	A	1	5	1/3	3
B	1/7	1	1/3	1/5	B	3	1	5	1/2	B	1/5	1	1/7	1/3
C	1/5	3	1	1/3	C	1/2	1/5	1	1/6	C	3	7	1	4
D	1/2	5	3	1	D	4	1/2	6	1	D	1/3	3	1/4	1
$\lambda_{max} = 4.069$					$\lambda_{max} = 4.034$					$\lambda_{max} = 4.121$				
$RI = 0.9$					$RI = 0.9$					$RI = 0.9$				
$CI = 0.023$					$CI = 0.011$					$CI = 0.040$				
$CR = 0.026$					$CR = 0.012$					$CR = 0.045$				

$C_{3Q}$	A	B	C	D	$C_{3C}$	A	B	C	D	$C_4$	A	B	C	D
A	1	6	4	2	A	1	1/4	3	1/3	A	1	4	2	1/3
B	1/6	1	1/3	1/3	B	4	1	6	2	B	1/4	1	1/2	1/6
C	1/4	3	1	1/3	C	1/3	1/6	1	1/5	C	1/2	2	1	1/5
D	1/2	3	3	1	D	1	1/2	5	1	D	3	6	5	1
$\lambda_{max} = 4.118$					$\lambda_{max} = 4.078$					$\lambda_{max} = 4.049$				
$RI = 0.9$					$RI = 0.9$					$RI = 0.9$				
$CI = 0.039$					$CI = 0.026$					$CI = 0.016$				
$CR = 0.044$					$CR = 0.029$					$CR = 0.018$				

$C_{5Q}$	A	B	C	D	$C_{5C}$	A	B	C	D
A	1	4	3	1/2	A	1	1/4	3	1/3
B	1/4	1	1/3	1/6	B	4	1	6	2
C	1/3	3	1	1/5	C	1/3	1/6	1	1/5
D	2	6	5	1	D	3	1/2	5	1
$\lambda_{max} = 4.101$					$\lambda_{max} = 4.078$				
$RI = 0.9$					$RI = 0.9$				
$CI = 0.034$					$CI = 0.026$				
$CR = 0.038$					$CR = 0.029$				

各层次单排序的一致性检验结果列于各判断矩阵下，其一致性均满意。

根据施工条件对方案的具体要求，对地层的适应性是第一位的，其次是孔壁的稳定程度、钻进效率、设备互换性、经济性。于是5个条件对总目标的优劣顺序组成下面的判断矩阵。

O	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$C_1$	1	2	4	6	7
$C_2$	1/2	1	3	5	6
$C_3$	1/4	1/3	1	3	4
$C_4$	1/6	1/5	1/3	1	2
$C_5$	1/7	1/6	1/4	1/2	1
$\lambda_{max} = 5.168$ $CI = 0.042$ $RI = 1.12$ $CR = 0.038$					

其一致性检验结果列于判断矩阵下，一致性满意。

4种技术方案对总目标的层次总排序计

算结果见表3、表4。

层次总排序一次性检验如下：

$$CI = \sum_{j=1}^5 C_j CI_j = 0.031$$

$$RI = \sum_{j=1}^5 C_j RI_j = 0.9$$

$$CR = CI/RI = 0.031/0.9 = 0.034 < 0.10$$

层次总排序一致性满意。

层次总排序一致性检验如下：

$$CI = \sum_{j=1}^5 C_j CI_j = 0.023$$

$$RI = \sum_{j=1}^5 C_j RI_j = 0.9$$

$$CR = CI/RI = 0.026 < 0.10$$

层次总排序一致性满意。

从总排序看出，4种泵吸反循环多工艺

4种技术方案对第四系地层的层次总排序

表 3

层次 $C_i$	$C_{10}$	$C_2$	$C_{30}$	$C_4$	$C_{50}$	层次总排序
	0.455	0.304	0.142	0.055	0.044	
A	0.523	0.270	0.511	0.236	0.292	0.418
B	0.056	0.056	0.069	0.070	0.064	0.059
C	0.121	0.546	0.137	0.124	0.125	0.253
D	0.299	0.128	0.283	0.570	0.519	0.269

4种技术方案对岩溶地层的层次总排序

表 4

层次 $C_i$	$C_{1c}$	$C_2$	$C_{3c}$	$C_4$	$C_{5c}$	层次总排序
	0.455	0.304	0.142	0.055	0.044	
A	0.121	0.270	0.133	0.236	0.133	0.175
B	0.313	0.056	0.495	0.070	0.495	0.255
C	0.068	0.546	0.061	0.124	0.061	0.215
D	0.498	0.128	0.311	0.570	0.311	0.355

综合钻进技术方案,对第四系地层A总体性能最好,对岩溶地层D总体性能最好。实际施工中,上部第四系砂卵石层厚40~50m,桩孔直径1.5m,我们采用冲抓锥+泵吸反循环综合钻进工艺(A),使用 $\phi 1050$ mm冲抓锥,顺利钻进,穿过厚10~15m、卵石粒径达200~350mm的卵石层;冲抓锥的使用,突破了反循环钻进一大技术难题,使得排除孔内障碍物变得容易多了。下部灰岩岩溶发育,地层漏失,钻孔直径0.7m,钻进灰岩12~17m,不适于反循环钻进,冲击效果也不理想,最后采用正循环钻进,取得了较好效果。主要措施是:钻遇倾斜基岩面后,压注水泥砂浆填平岩面,待形成强度后,用正循环合金、钢粒取心或全面钻进工艺造孔,

防止了孔斜;在岩溶裂隙地层钻进,先压注水泥砂浆封堵岩溶裂隙漏失通道,再用筒状钢丝钻头正循环钻进;硬岩钻进主要采用合金、钢粒取心,或分级正循环钻进。其综合平均时效为0.23m/h。终孔后用泵吸反循环排渣清孔,确保桩孔质量。

### 结 语

通过对评价准则下各方案的判断、计算,得到与实际相符的结果,说明层次分析法对钻孔灌注桩孔施工方案的优选是可行的。大直径桩孔钻进技术方法的优化组合,随着技术的进步,新的组合方式将不断涌现。层次分析法(AHP)将为人们科学决策提供一条新途径。

### Optimal Choice of Construction Technique Scheme for Pile Grouting in Drilling

Lei in

The selection of technical scheme one of is the keys to optimal drilling in the whole drilling operation. In this paper the analytic hierarchy process of system engineering is employed to make an optimal choice from four schemes of pumping type reverse circulation multi-technical comprehensive drilling, in the light of their overall behaviour and concrete construction conditions. The result obtained is in conformity to the practical application.