

模糊综合评判法在管桩施工方案选择中的应用研究

王东,于静,牟杰

(昆明理工大学 建筑工程学院,云南 昆明 650224)

摘要: 在分析现场管桩施工的不同沉桩方式的基础上,通过层次分析法建立起影响管桩施工方案选择的指标体系,然后对各指标作经验或逻辑推理评语,经过模糊计算,达到模糊优化选择管桩施工方案的目的。

关键词: 预应力混凝土管桩;沉桩;模糊综合评判;施工方案;层次分析法

中图分类号: TU753.65 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2007)04-0048-05

Application of Fuzzy Comprehensive Assessment Method to Choosing the Construction Schemes of the Pipe Pile

WANG Dong, YU Jing, MU Jie

(Faculty of Civil and Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: Based on analyzing different sink manners of pipe pile construction in position, the index system of influence on choosing pipe pile construction schemes is established by the hierarchy analysis method. The remark based on the experience and logical reasoning is made on the aim of fuzzy optimization choosing construction schemes.

Key words: prestressed concrete pipe pile; sink pile; fuzzy comprehensive assessment; construction schemes; analytic hierarchy process

0 引言

预应力混凝土管桩由于其承载力大,材料强度高,不受地下水位的限制,施工速度快、效率高,制作方便,质量可靠,静力压桩不影响周围环境,施工现场文明整洁等优点,静压预应力混凝土管桩越来越多地被工程广泛采用。

本文运用多层次模糊综合评判的方法,通过对工程施工中管桩的不同施工方案的分析比较,优选出较好的施工方案。

1 问题的提出

昆明某住宅开发小区,位于市北郊银河片区内,上部15层,地下1层,小区南面、西面与某农村自建房相邻,东北面与城市道路相邻,场区原为农田,后经人工填土,总地形东北面高,西南面低。地貌单元为滇池盆地北部边缘,盘龙江西岸的I级阶地。在地址勘察深度范围内,场地地层主要以表层人工填土及其下的第四系冲洪积、湖相沉积层交互组成,按地层成因类型,土层名称和物理力学性质,将钻探深度范围内的地层分为5个大层、26个亚层。场地土类别为三类。场区在40余m深度范围内,场地地层由表层人工填土及其下的第四系冲洪积、湖相沉积地层交互组成,按成因类型及地层工程地质特性,划分为5个大层,典型地质剖面如图1所示。

①大层:为人工填土及耕植土,埋置于0.00~4.90m间,厚度0.20~4.90m,主要为新近堆填的人工

收稿日期:2007-01-18. 基金项目:某商品房设计与施工新工艺的研究(项目编号:KKK0200506110).

第一作者简介:王东(1964-),男,工学硕士,副教授. 主要研究方向:施工技术与管理.

E-mail: edit-me@163.com

填土,为欠压密土层。

② 2.0~2.6 m 层:为冲积层,埋置于 0.20 ~ 6.20 m 间,厚度 0.20 ~ 3.30 m,为昆明地区“硬壳层”,以硬塑 - 可塑状态的粘土为主,物理力学性质一般。其下②₁ 层粘土,为河流相的冲淤积层,主要由可塑 - 软塑状态,高压缩性,物理力学性质稍差。

③ 5.2~10.1 m 层:为冲洪积层,该层顶板埋深约 6.90 ~ 1.70 m,层厚 5.80 ~ 14.90 m,主要由粗颗粒、中密状态的圆砾组成,局部为卵石层,该层土体不均匀,其间夹粘性土及粉土等软弱透镜体,力学性质较差,总体上该大层的力学性质较好。

④ 10.1~20.9 m 层:湖相沉积和冲洪积互层,顶板埋深约 10.30 ~ 17.90 m,厚约 7.50 ~ 15.00 m,其中④₁、④₃ 层为湖相沉积层,以可塑 ~ 软塑状态的粘土为主夹薄层粉土、砾砂及圆砾等粗颗粒透镜体组成,物理力学性质稍差,④₂、④₄ 层为砾砂、圆砾组成,物理力学性质较好。

⑤ 20.9~27.0 m 层:为湖相沉积和冲积成因形成层,顶板埋深约 20.00 ~ 31.00 m,以粉质粘土为主,硬塑 - 可塑状态,中等压缩性,层间夹⑤₁ 层砾砂,该层总体物理力学性质较好。

原来的基础选型建议采用天然地基,筏板(箱)型基础,以③₁ 层圆砾为基础持力层;基底置于其它土层上的地段,需作砂石置换处理。但由于设计的地下室深度仅为 3.60 m,基底至圆砾层还有较大的距离,同时圆砾层厚薄不均,下部还存在软弱下卧层的问题,所以在基础选型中设计确定采用管桩施工,桩长 24 m,设计单桩极限值 2 000 kN,桩型为 DN400 - 95 - C60 - 24。

施工难点:由于现场存在管桩无法压入圆砾层的问题和沉桩影响场地周围的农村自建危房的问题,如何在确保施工不影响危房的前提下,沉桩得以实现,是本项施工面临的问题。按目前的施工方法,一般是通过对原状土进行扰动或取出,减低土的摩擦力来实现沉桩的问题,本项目的实质是选择合适的取土或扰土方式来配合沉桩。现场可采用的沉桩方式有直径 350 mm 的长螺旋钻孔机取土后静压管桩(方案 1),直径 300 mm 的长螺旋钻孔机取土后静压管桩(方案 2),直径 380 mm 的深层搅拌机扰土后静压管桩(方案 3),及振动沉直径 377 mm 空管扰土后静压管桩(方案 4)4 种施工方案。

鉴于上述具体情况,如何选择一种较为合理的管桩施工方案是本文的研究重点。

2 多层次模糊综合评判的基本步骤^[1,3]

2.1 确定影响管桩施工方案选择的指标体系,建立因素集 U

2.1.1 管桩施工方案优化的目标

在进行管桩施工方案优化时,目的就是要优选出一个最优化(最适宜)的管桩施工方案,因此,方案的优化选择便构成了本文的总目标。而这个总目标,通常它又是由几个分目标来确定的,在确定本方案的选择时,要考虑的因素很多,按照选择施工方案的基本原理,选择施工方案的分目标为:方便施工、节约费用、缩短工期和安全可靠。

2.1.2 指标体系的构成

第 1 层为目标层,方案的优化选择是我们的总目标,即为目标层,又称结论层,是我们要的结论。

第 2 层为分目标层。是构成目标层的基础,由构成目标的性质所决定的,这就是我们确定的分目标:方便施工、节约费用、缩短工期、安全可靠,如果用施工的可实施性代替方便施工这个指标,用工程造价代替节约费用之指标,用施工工期代替缩短工期之指标,用文明施工情况代替安全可靠之指标,则此目标层由施工的可实施性、工程造价、施工工期、文明施工情况 4 项分目标构成。

第 3 层为子目标层,它决定了各分目标的性质。

1) 施工的可实施性分目标 U₁

要使一项管桩施工方案切实可行而又方便迅速,影响的因素很多,但主要是受客观条件的制约。主要

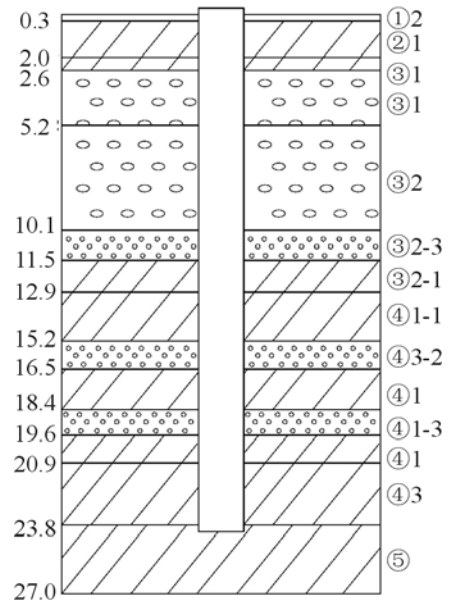


图1 典型地质剖面
Fig.1 Typical geologic legend

可分为:实测单桩的承载力;实测单桩的沉降值;现场挤土现象;施工用水等4项指标,分别用 u_1 、 u_2 、 u_3 和 u_4 表示.

2) 工程造价分目标 U_2

管桩施工的造价由管桩自身的施工造价和施工中配合管桩压入土体的施工方案的价格和其他相关费用组成,本方案选择只考虑配合管桩压入土体的施工方案的价格,即取扰土费用和技术措施费,分别用 u_5 和 u_6 表示.

3) 工期分目标 U_3

施工的工期由取扰土时间、桩机移动时间和桩机故障处理时间组成,分别用 u_7 、 u_8 和 u_9 表示.

4) 文明施工情况分目标 U_4

该项分目标由施工时对周围的影响、施工噪音、现场零乱度、安全保障、余土外运和爆桩可能性5项组成,分别用 u_{10} 、 u_{11} 、 u_{12} 、 u_{13} 、 u_{14} 和 u_{15} 表示.

综上所述,本项目管桩施工方案选择的指标体系见表1.

2.2 建立权重集 A

根据每一层次中各个因素的重要程度,分别给每一因素赋以相应的权重 A_j ,通过二元对比法和一致性检验,可得指标体系中各指标的模糊权重值,见表1.

表1 管桩施工方案选择的指标体系和权重系数

Tab.1 Index system and weight coefficient of pipe pile construction program

目标层	分目标及其权重		子目标	权重系数
施 工 方 案 选 择 指 标 体 系	施工可实施性 U_1	0.33	单桩承载力 u_1	0.44
			沉降值 u_2	0.33
			挤土现象 u_3	0.16
			施工用水 u_4	0.07
	工程造价 U_2	0.33	取扰土费用 u_5	0.75
			技术措施费 u_6	0.25
	施工工期 U_3	0.17	取扰土时间 u_7	0.40
			桩机移动时间 u_8	0.40
			桩机故障率 u_9	0.20
	文明施工情况 U_4	0.17	对周围的影响 u_{10}	0.48
			施工噪音 u_{11}	0.34
			现场零乱度 u_{12}	0.10
			安全保障 u_{13}	0.05
			余土外运 u_{14}	0.02
				爆桩可能性 u_{15}

权重 $A: A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, $a_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 为第1层次第 i 个因素 u_i 的权重,其中 $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$, ($i = 1, 2, \dots, m$), $a_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 为第 j 层次中决定因素 u_i 的权重.

2.3 建立备择集 V

不论因素层次有多少,备择集仅有一个. 设备择集为 $V = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$.

2.4 对各影响因素进行专家评语^[2]

即用隶属度的方式对经验或逻辑推理的评语加以一定的等级描述,从而获得对各种指标描述的一致性. 设评语等级分为7级: $V = \{\text{很差, 差, 较差, 一般, 较好, 好, 很好}\}$. 并将备择集 V 的7个等级分别赋予对应的等级矩阵值, $C = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$, 从而评语集 V 则由评语描述的强弱分为7个等级.

本工程完成了28组不同沉桩方式的试桩,每种方案选取了5~7组定量实验数据,将其实验数据的平均值汇总形成成果汇总表2.

表3是通过根据现场试桩的具体情况,对各决定管桩施工方案选择的影响因素进行横向比较后,得到对应其指标体系中子目标的实践经验或逻辑推理的评语等级.

表2 实验数据成果汇总表
Tab.2 Table of exploratory data

方案	设计值 /kN	取或扰 土方式	取扰土 直径/mm	取扰土平均 深度/m	平均压 桩力/t	成桩桩 长/m	圆砾层下口 深度/m	静载 结果/kN	静载沉降 量/mm
方案1	2 000	取土	350	18.89	98.56	24	14.33	2 500	27.08
方案2	2 000	取土	300	18.83	147.3	24	16.20	2 500	21.62
方案3	2 000	扰土	400	15.30	145.7	24	14.63	2 500	14.99
方案4	2 000	扰土	377	17.90	150.7	24	15.10	2 500	15.12

表3 实践经验或逻辑推理评语等级
Tab.3 Remark grade of practice experience and logical reasoning

目标层	分目标及其权重	子目标	权重系数	方案1	方案2	方案3	方案4	
施工方案选择指标体系	施工可实施性 U_1	0.33	单桩承载力 u_1	0.44	好	好	好	好
			沉降值 u_2	0.33	一般	较好	好	好
			挤土现象 u_3	0.16	一般	较差	差	差
			施工用水 u_4	0.07	好	好	差	好
	工程造价 U_2	0.33	取扰土费用 u_5	0.75	一般	一般	好	较好
			技术措施费 u_6	0.25	较差	较差	差	差
	施工工期 U_3	0.17	取扰土时间 u_7	0.40	较好	较好	较差	较差
			桩机移动时间 u_8	0.40	较好	较好	较差	较差
			桩机故障率 u_9	0.20	较好	较好	较差	较好
	文明施工情况 U_4	0.17	对周围的影响 u_{10}	0.48	好	好	较好	差
			施工噪音 u_{11}	0.34	较好	较好	较好	差
			现场零乱度 u_{12}	0.10	差	差	很差	较好
			安全保障 u_{13}	0.05	较好	较好	较好	较好
			余土外运 u_{14}	0.02	差	差	好	好
			爆桩可能性 u_{15}	0.01	较好	较好	一般	一般

2.5 选取隶属度值,确定变换矩阵 R

由因素集 U ,备择集 $V = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$,则得实践经验或逻辑推理从 V 到 U 的 Fuzzy 映射,见表4.

表4 Fuzzy 映射及隶属度等级表
Tab.4 Grade table of Fuzzy mapping and membership grade

经验或逻辑推理评语	隶属度等级 V							语言描述	交换矩阵 R_j
	-3	-2	-1	0	1	2	3		
很好	0	0	0	0	0	0.33	0.67	很大程度上属于3级	R_1
好	0	0	0	0	0.3	0.4	0.3	很大程度上属于2级	R_2
较好	0	0	0	0.3	0.4	0.3	0	很大程度上属于1级	R_3
一般	0	0	0.3	0.4	0.3	0	0	很大程度上属于0级	R_4
较差	0	0.3	0.4	0.3	0	0	0	很大程度上属于1级	R_5
差	0.3	0.4	0.3	0	0	0	0	很大程度上属于2级	R_6
很差	0.67	0.33	0	0	0	0	0	很大程度上属于3级	R_7

将上述 Fuzzy 映射之全体向量并列起来得到一矩阵: $R_i = (r_{ij}), (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$, $R_i = (r_{ij})$ 称为模糊综合评判的变换矩阵, $n = m = 7$.

2.6 计算综合评判结果 B

$$B = A \circ R = A \circ \{A_1 \circ R_1, A_2 \circ R_2, \dots, A_n \circ R_n\}^T$$

其中 A 与 R 的运算符号“ \circ ”采用不同的模糊算子可得到不同的 B 值(本方案为考虑综合影响因素,采用

加权平均型模糊算子计算).

2.7 计算综合价值系数 W

取 $W = B \circ C^T$; $C = (-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)$, 则 W 为计算出的综合价值系数.

2.8 重复 2.4 ~ 2.7 的步骤, 即可计算出不同方案的 W , W 值最大者为最优方案.

表 5 是本工程不同的管桩施工方案按上述模糊综合评判后的计算结果.

表 5 计算结果汇总表

Tab. 5 Total table of accounting result

计算结果 W	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
	0.574 4	0.697 9	0.484 5	0.311

因方案 2 总综合价值系数最大, 故方案 2 即直径为 300 mm 的长螺旋钻孔机取土后再静压管桩的施工方案为本工程最优的施工方案.

3 工程实践

按照方案 2 的施工方案, 项目从 2006 年 8 月起进行了工程桩的施工, 至 10 月全部结束, 共完成工程桩近 2 000 颗, 工程桩桩长考虑到现场标高问题比试桩时减少 1 ~ 2 m, 根据现场堆载测桩实验结果, 全部工程桩单桩承载力满足设计要求, 平均沉降量 26.09 mm, 最大总沉降量 31.41 mm, 部分检测结果汇总如表 6.

表 6 工程桩检测结果

Tab. 6 Result of engineering pile detection

序号	桩长/m	沉桩终压值/t	测桩级别/级	测桩终压值/kN	总沉降量/mm
1	23	266	10	2 500	17.70
2	23	266	10	2 500	14.72
3	22	266	10	2 500	15.37
4	22	266	10	2 500	16.69
5	23	124	10	2 500	25.53
6	23	98	10	2 500	28.65
7	23	100	10	2 500	27.75
8	23	93	10	2 500	28.81
9	23	93	10	2 500	27.33
10	23	100	10	2 500	27.76
11	23	93	10	2 500	31.17
12	23	106	10	2 500	27.05
13	22	93	10	2 500	31.41
14	22	99	10	2 500	26.96
15	22	100	10	2 500	29.27
16	22	140	10	2 500	25.82
平均值		158.31			26.09

4 结束语

本文通过影响管桩施工方案选择指标体系的建立和其指标间相对模糊权重的确定, 利用多层次模糊综合评判法的原理, 在现场实验结果的帮助下, 对管桩的施工方案进行了优选. 实践证明本方法对管桩施工方案的选择方便、有效, 所选择的施工方案切实可行.

对于不同的工程, 调整指标体系中模糊权重的数值和重新对各待选方案进行实践经验或逻辑推理评语的确定, 即可计算出各待选方案的综合价值系数, 则综合价值系数最大的方案就为最优方案.

参考文献:

- [1] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 3 版. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
- [2] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 3 版. 武汉: 华中理工大学出版社, 2006.
- [3] 蒋泽军. 模糊数学教程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.