

文章编号:1004-8820(2005)01-0060-06

超长钻孔灌注桩施工质量 评价的灰色变权方法

杨 芳

(温州大学 建筑与土木工程学院,浙江 温州 325035)

摘要: 对影响超长钻孔灌注桩施工质量的因素进行了分析,建立了因素的指标体系和评价矩阵.采用灰色关联分析确定了因素的常权.考虑因素的组态对权重的影响,根据变权的原理,得到因素变权的计算公式,建立了因素的变权集,并构造了变权的综合评价模型,使得评价方法进一步完善.工程应用实例表明,应用灰色变权方法评价超长桩的施工质量,更具有合理性和科学性.

关键词: 超长桩;施工质量;灰色关联分析;变权;评价

中图分类号: TU470 **文献标识码:** A

影响超长桩极限承载力的因素很多,主要分成两大类,一类是可用定量化表达的因素,如桩长、桩径、桩顶沉降、侧阻力、端阻力.另一类是非定量化的影响因素,即施工质量因素,主要有桩底沉渣、孔壁粗糙程度、充盈系数、桩身混凝土质量、桩的偏斜程度、护壁质量^[1,2].在确定桩的极限承载力时,主要考虑定量化的因素,由于非确定因素难以定量化,难以在确定桩承载力模型时考虑,为了提高超长钻孔灌注桩承载力多因子模型的预测精度,不仅要考虑定量化因素对桩承载力的影响,还要考虑非定量化因素对桩承载力的影响,这就要求将非定量化的因素参数进行评价.评价非确定因素的方法主要有层次分析法,模糊综合评价法,灰色关联法,这些方法所使用的因素权重都是常权,没有考虑到因素空间评价对权重的影响^[3~5].因此本文提出采用灰色变权的方法,将影响桩施工质量的非确定因素进行定量化,一方面作为评价超长桩施工质量好坏的定量指标,另一方面为进一步探索,通过数据的初始化处理,作为相对影响因素参与承载力模型的建立.

1 影响超长钻孔灌注桩施工质量因素指标的确定

超长钻孔灌注桩施工质量的好与差,直接影响桩的极限承载力,根据相关文献^[1,2]结合工程实践,可以得到超长钻孔灌注桩施工质量的主要影响因素(见图 1).这些因素构成了超长钻孔灌注桩施工质量的因素空间.

收稿日期:2004-10-04

基金资助:温州市科技基金资助项目(S2004A007).

作者简介:杨芳(1966-),女,安徽淮南人,讲师,主要研究方向:材料与结构工程等.

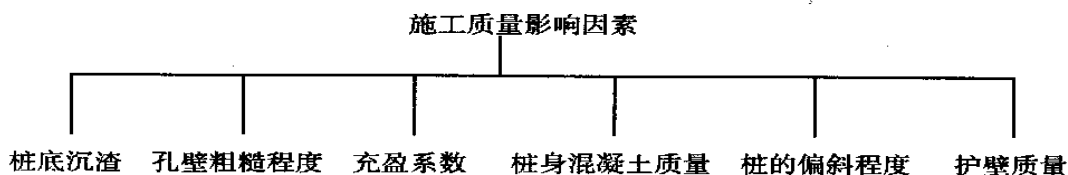


图1 施工质量影响因素

Fig. 1 Influential factors of construction quality

2 变权集的确定方法

因素权重的确定对模型评价的精度是非常重要的. 在工程中常用常权的方法来反映评价因素的相对重要性. 对于变权的方法, 不仅要考虑各个评价因素的相对重要性, 还要考虑它们的组态, 这两方面的作用可同时体现在可变的权重当中, 因此采用变权的方法确定因素的权重, 更符合工程实际.

2.1 灰色关联法确定因素的常权

在确定因素变权时, 首先必须确定因素的常权. 常权的权重集可表达为 $W^0 = (w_1^0, w_2^0, \dots, w_n^0)$. 因素的权重是反映指标相对于评价目标的重要性程度, 确定因素的常权主要有专家估测法, 频数统计分析法, 指标值法, 白化函数法, 灰色关联法以及层次分析法^[5~7]. 本文采用灰色关联分析的方法确定因素的常权, 是对非定量事件作定量分析的一种简便方法.

设 $X_0 = \{X_0(k) \mid k = 1, 2, \dots, n\}$ 为参考数列, $X_i = \{X_i(k) \mid k = 1, 2, \dots, n\}$, $(i = 1, 2, \dots, m)$ 为比较数列.

$X_i(k)$ 与 $X_0(k)$ 的关联系数为

$$\rho_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}. \quad (1)$$

每个因素的关联度为

$$\rho_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \rho_i(k). \quad (2)$$

将关联度进行归一化处理, 得到因素的权重集^[7].

2.2 变权的原理

根据上述 2.1 计算, 常权向量可表达为

$$W^0 = (w_1^0, w_2^0, \dots, w_n^0); w_j^0 \in [0, 1], \quad j = 1, 2, \dots, n; w_1^0 + w_2^0 + \dots + w_n^0 = 1.$$

引入状态变权向量 S_X ,

$$S_X = (S_1(X), S_2(X), \dots, S_n(X)), \text{ 其中 } X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in [0, 1]^n.$$

将常权向量与状态变权向量的 Hardarmard 积得到变权向量^[8,9]:

$$W(X) = \frac{W^0 \cdot S_X}{\sum_{k=1}^n w_k^0 \cdot S_k(X)} = \frac{w_j^0 \cdot \frac{\partial B(X)}{\partial x_j}}{\sum_{k=1}^n w_k^0 \cdot \frac{\partial B(X)}{\partial x_k}}, \quad (3)$$

$B(X)$ 为惩罚型均衡函数, 在实践经验中常取 $B(X) = \prod_{j=1}^n x_j^a$, ($0 < a < 1$).

由公式(3)可得到因素的变权公式为

$$w_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{w_j^{\circ} x_j^{a-1}}{\prod_{k=1}^n w_k^{\circ} x_k^{a-1}}, \quad (0 < a < 1). \quad (4)$$

因素的变权集可以表达为

$$W(X) = (w_1(X), w_2(X), \dots, w_n(X)) = \left(\frac{w_1^{\circ} x_1^{a-1}}{\prod_{k=1}^n w_k^{\circ} x_k^{a-1}}, \frac{w_2^{\circ} x_2^{a-1}}{\prod_{k=1}^n w_k^{\circ} x_k^{a-1}}, \dots, \frac{w_n^{\circ} x_n^{a-1}}{\prod_{k=1}^n w_k^{\circ} x_k^{a-1}} \right). \quad (5)$$

根据工程经验, 一般情况下 a 取值 $1/2$ 为宜.

3 指标因素评价矩阵的确定

对于 m 个评估对象, n 个指标因素, 评估对象的各指标作单因素评估, 评定的关系矩阵 R ,

$$R = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{m1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{m2} \\ x_{13} & x_{23} & \dots & x_{m3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij})_{m \times n}.$$

若想确定 n 个评估对象的评价矩阵, 可采用专家评分法, 由专家对 n 个评估对象的指标因素进行评估, 评估按百分制, 每位专家对各个评估对象的评价指标的每个因素按公式(6)进行统计.

$$X_{ij} = (A + 4m + B)/6. \quad (6)$$

其中: m 为每位专家对指标集中的某一因素评价的平均值; A 为低于 m 的某一评价因素平均值; B 为高于 m 的某一评价因素平均值; X_{ij} 为每位专家对评估指标因素集某一因素评价的估计值.

公式(6)求得的估计值 X_{ij} , 既重视专家评估的平均值, 又剔除了最大、最小值和异常值, 较为符合实际, 由此得到 $x_{ij} = X_{ij}/100$.

4 综合评判模型

对于单个评价对象, 评价函数为

$$b = \prod_{j=1}^n w_j^{\circ}(X) x_j = (w_1(X), w_2(X), \dots, w_n(X)) [x_1, x_2, \dots, x_n]^T. \quad (7)$$

对于 m 个评价对象, 经变换, 可得到 m 个评价对象的评语集为

$$B = \left(\prod_{j=1}^n w_{1j}(X) x_{1j}, \prod_{j=1}^n w_{2j}(X) x_{2j}, \dots, \prod_{j=1}^n w_{mj}(X) x_{mj} \right) =$$

$$\left(\frac{\overset{n}{\underset{j=1}{\sum}} \frac{w_j^{\circ} x_{1j}^a}{\underset{k=1}{\sum} w_k^{\circ} x_{1k}^{a-1}}, \frac{\overset{n}{\underset{j=1}{\sum}} \frac{w_j^{\circ} x_{2j}^a}{\underset{k=1}{\sum} w_k^{\circ} x_{2k}^{a-1}}, \dots, \frac{\overset{n}{\underset{j=1}{\sum}} \frac{w_j^{\circ} x_{mj}^a}{\underset{k=1}{\sum} w_k^{\circ} x_{mk}^{a-1}} \right). \tag{8}$$

式中： w_j° 、 w_k° 为第 j 、 k 个因素的常权值， $j, k = 1, 2, \dots, n$ ； x_{ij} 、 x_{ik} 为第 i 根评价对象的第 j 、 k 个因素评价价值， $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ； $j, k = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

5 实 例

某工程为超高层建筑,基础为超长钻孔灌注桩,设计桩长范围为 70 ~ 120 m,直径 1200 mm,为了确保超长桩的设计承载力,根据工程需要,结合不同的施工单位、施工工艺等条件,在场地选择了四根桩进行试桩,根据试桩结果对每根桩的施工质量进行综合的评价。通过调查研究,选择施工单位、监理单位、建设单位、设计单位的 4 位专家,进行权重和因素咨询评估,得到指标权重的评价信息见表 1。根据每个专家对超长桩施工质量影响因素的评价,由公式(6)得到桩评价指标的统计信息见表 2。

表 1 指标权重的评价信息
Tab. 1 Evaluation results of index weight

专家 k	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4
指标 u_1	0. 48	0. 5	0. 46	0. 45
指标 u_2	0. 17	0. 17	0. 18	0. 18
指标 u_3	0. 17	0. 16	0. 17	0. 18
指标 u_4	0. 08	0. 08	0. 09	0. 09
指标 u_5	0. 08	0. 07	0. 08	0. 08
指标 u_6	0. 02	0. 02	0. 02	0. 02

表 2 评价指标的统计信息
Tab. 2 Statistical results of index

桩号	桩 CZ_1	桩 CZ_2	桩 CZ_3	桩 CZ_4
指标 u_1	87. 8	75. 0	88. 8	82. 8
指标 u_2	90. 0	76. 1	90. 0	78. 8
指标 u_3	87. 2	75. 0	92. 8	85. 0
指标 u_4	88. 5	82. 2	91. 5	85. 0
指标 u_5	91. 5	87. 2	80. 0	77. 8
指标 u_6	87. 8	77. 8	90. 0	82. 2

由表 1 可见,由于各个指标的权重最大为 0. 5, 因此设定参考数列为 $x_0 = (0. 5, 0. 5, 0. 5, 0. 5, 0. 5, 0. 5)$ 。将表 1 及参考数列的数据代入公式(1) 和公式(2) 得到评价指标的权重结果见表 3。

因此评价指标的常权集为 $W^{\circ} = (w_1^{\circ}, w_2^{\circ}, \dots, w_n^{\circ}) = (0. 3210, 0. 1512, 0. 1499, 0. 1304, 0. 1289, 0. 1186)$ 。

表 3 评价指标权重的计算结果

Tab. 3 Calculational results of index weight

专 家 k	关联系数 $\mu_i(k)$				关联度 μ_i	权重 w_i
	1	2	3	4		
指标 u_1	0.9231	1.0000	0.8571	0.8276	0.9020	0.3210
指标 u_2	0.4211	0.4211	0.4286	0.4286	0.4248	0.1512
指标 u_3	0.4211	0.4138	0.4211	0.4286	0.4211	0.1499
指标 u_4	0.3636	0.3636	0.3692	0.3692	0.3664	0.1304
指标 u_6	0.3636	0.3582	0.3636	0.3636	0.3623	0.1289
指标 u_5	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	0.1186

根据第 3 节及表 3 的数据得到指标评价矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 0.878 & 0.750 & 0.888 & 0.828 \\ 0.900 & 0.761 & 0.900 & 0.788 \\ 0.872 & 0.750 & 0.928 & 0.850 \\ 0.885 & 0.822 & 0.915 & 0.850 \\ 0.915 & 0.872 & 0.800 & 0.778 \\ 0.875 & 0.778 & 0.900 & 0.822 \end{bmatrix}$$

将相关数据代入公式(3) ~ (8), 得到超长桩施工质量的评价结果为 $B = (0.8861, 0.7797, 0.8891, 0.8208)$. 由此可见, 桩的施工质量排序为 $CZ_3(0.8891) > CZ_1(0.8861) > CZ_4(0.8208) > CZ_2(0.7797)$.

根据桩的评价值相对可以反映施工质量对承载力的影响程度, 并反映了不同施工单位的施工质量水平. 在试桩过程中 CZ_3 和 CZ_1 是一种工艺, CZ_4 和 CZ_2 是另一种工艺, 说明桩 CZ_3 、 CZ_1 的施工工艺及施工水平比 CZ_4 、 CZ_2 桩要好, 可见评价结果反映了超长桩的实际施工质量, 并和实际采用的施工工艺水平相符, 同时也为超长桩建立承载力的多维模型提供了量的依据.

6 结 语

施工因素对超长桩质量的影响, 是一个复杂的问题, 至今尚无定量的方法确定这些因素对承载力的影响程度. 基于神经网络和遗传算法的评价方法, 需要输入参数通过中间节点(隐层点)作用于输出节点, 经非线性变换, 产生输出参数, 经过网络训练, 获得神经网络的模型评价系统, 并通过训练样本验证模型的正确性^[10]. 可见, 采用神经网络和遗传算法的评价方法, 需要大量的训练样本和检验样本, 这些样本包含评价对象指标体系的确定值, 也包括评价对象评价结果的量化值, 要在评价指标和评价结果都量化的基础上才能建立神经网络的模型评价系统, 因此神经网络的评价方法是确定性信息评价的有效方法. 而本文提出的评价方法, 和神经网络的评价方法相比, 不需要大量的样本数据, 以及评价对象的评价结果, 只需要通过对非确定信息进行定量化, 利用灰色变权理论演算得到非确定信息的评价结果, 该方法在常权评价方法的基础上, 考虑了因素组态对权重的影响, 由于权重随评价指标的指标

值不同而改变,反映了指标权重的本质属性,有效地解决了由于评价指标多而引起的评价不合理现象,克服了常权评价方法的不足,使得评价方法进一步完善和科学。因此利用灰色变权理论,对超长桩施工质量进行综合评价,从定量的角度反映了施工工艺和水平对桩质量的影响,为进一步研究施工质量参与超长桩承载力模型的建立奠定了基础。

参考文献:

- [1] 舒翔,刘利民. 施工因素对钻孔灌注桩承载力的影响[J]. 施工技术,2003,(1):25~27.
- [2] 张百全. 嵌岩桩竖向承载力影响因素分析[J]. 建筑结构,2002,(4):48~49.
- [3] 孙林柱,杨芳. 住宅小区建筑设计方案评价的灰色关联法[J]. 土木工程学报,2003,(3):25~29.
- [4] 王金山,谢家平. 系统工程基础与技术[M]. 北京:地质出版社,1996. 181~205.
- [5] 孙建军,成颖,邵佳宏,等. 定量分析方法[M]. 南京:南京大学出版社,2002. 140~171.
- [6] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2000. 197~230.
- [7] 罗佑新,张龙庭,李敏. 灰色系统理论及其在机械工程中的应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2001. 18~33.
- [8] LI Hong-xing, LI Ling-xia, Wang Jia-yin, et al. Decision making based on variable weights[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2004, 39:163~179.
- [9] 蔡前凤,刘伟. 带参数的变权综合模型[J]. 广东工业大学学报,2002,(1):110~114.
- [10] 姜绍飞. 基于神经网络的结构优化与损伤检测[M]. 北京:科学出版社,2000. 18~26.

Gray Variable Method of Evaluation on Construction Quality of Super-length Bored Pile

YANG Fang

(School of Architecture and Civil Engineering, Wenzhu University, Wenzhou 325035, China)

Abstract: The index system and its evaluation matrix of the factors are built by the analysis of construction quality of super-long piles. Constant weight of every index is established in the light gray correlation analysis. Variable weight and its aggregation are obtained to take into account the effect of compositions of factors. Based on the variable weight principle, an evaluation model is constructed. The result of one example is given to demonstrate the scientificity and rationality of the above method.

Key words: super-length bored pile; construction quality; gray correlation analysis; variable weight; evaluation

(责任编辑 柳瑞雪)