

多目标灰色局势决策在桩基方案选择中的应用

同济大学 阳吉宝

【提要】 本文利用多目标灰色局势决策方法来确定桩基方案，并用实例说明了该方法的实用和可靠性。

【Abstract】 That the plan of pile foundation is determined by the ambiguous decision with multiple objective is proposed in this paper. The suitability and reliability of this method are illustrated by cases.

引言

近年来，随着沿海地区经济的迅速发展，高层建筑如雨后春笋不断拔地而起。由于这些地区的第四纪覆盖层厚达150~400m，浅部地层较弱，作为建筑物的地基，常出现承载力较低、变形量大的现象。因此，桩基在这些地区得到了广泛应用。而桩基工程又是一个复杂的系统工程，它涉及到许多问题，如上部结构的性质与荷载、场地的工程地质与水文地质条件、周围环境的制约、材料供应和施工技术水平、经济代价和施工工期等。实际上，桩基方案的设计是一项非常复杂的工作，在设计过程中既会遇到信息清楚的因素，又会遇到信息不清楚的因素。因此，可应用灰色局势决策来确定桩基设计方案，力求获得工程、经济、环境等总体效益最优。

一、灰色局势决策的基本原理

对于灰色局势系统，其局势决策是指在事件、对策、效果三者统一的前提下，当事件、对策量化后，按事件拓扑和对策拓扑的偶对进行决策。

设： U 为决策问题的全体，并由事件集 A 、对策集 B 、效果集 C 组成，即

$$U = \{ A, B, C \}$$

A 和 B 组成局势 S_{ij} ，即事件 a_i 用对策 b_j 对付的局势。事件和对策的全体构成局势集 S ，

$$S = \{ S_{ij} | i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, m \}$$

局势集是事件集与对策集的卡笛积：

$$A \times B \rightarrow S。$$

效果 γ_{ij} 是局势 S_{ij} 的映射，并由效果测度 γ_{ij} 和局势 S_{ij} 组成对策元： $d_{ij} = \gamma_{ij}/S_{ij}$ 。

1. 在单目标局势下

对同一事件 a_i ，若用对策 $b_j (j=1, 2, \dots, m)$ 去对付，则有对策局势集 $\{ D_{ij} \}$ 的决策行向量：

$$\begin{aligned} d_{(i)} &= [d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im}] \\ &= [\gamma_{i1}/S_{i1}, \gamma_{i2}/S_{i2}, \dots, \gamma_{im}/S_{im}] \end{aligned}$$

对于同一对策 b_j ，用事件 $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 匹配，有决策向量：

$$\begin{aligned} d_{(j)} &= [d_{1j}, d_{2j}, \dots, d_{nj}] \\ &= [\gamma_{1j}/S_{1j}, \gamma_{2j}/S_{2j}, \dots, \gamma_{nj}/S_{nj}] \end{aligned}$$

得决策矩阵：

$$D = \begin{bmatrix} \frac{\gamma_{11}}{S_{11}}, & \frac{\gamma_{12}}{S_{12}}, & \dots, & \frac{\gamma_{1m}}{S_{1m}} \\ \frac{\gamma_{21}}{S_{21}}, & \frac{\gamma_{22}}{S_{22}}, & \dots, & \frac{\gamma_{2m}}{S_{2m}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\gamma_{n1}}{S_{n1}}, & \frac{\gamma_{n2}}{S_{n2}}, & \dots, & \frac{\gamma_{nm}}{S_{nm}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. 在多目标局势下

设有 K 个目标，则第 K 个目标的局势效果测度及对策元分别为 $\gamma_{ij}(K)$ 和 $\gamma_{ij}(K)/S_{ij}$ 。此时有第 K 个目标的决策矩阵：

$$D(k) = \begin{pmatrix} d_{11}(k), d_{12}(k), \dots, d_{1m}(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1}(k), d_{n2}(k), \dots, d_{nm}(k) \end{pmatrix} \quad (2)$$

将K个目标综合后的效果测度记为 $\gamma_{ij}(\Sigma)$, 有:

$$\gamma_{ij}(\Sigma) = \sum_{H=1}^K P_H \gamma_{ij}(H) \quad (3)$$

式(3)中, $\gamma_{ij}(\Sigma)$ —— S_{ij} 局势的综合效果测度; P_H 为H目标的权重; $\gamma_{ij}(H)$ ——H目标下的 S_{ij} 局势效果测度。

综合后的对策元和决策矩阵为:

$$d_{ij}(\Sigma) = \gamma_{ij}(\Sigma) / S_{ij}; \quad D_{ij}(\Sigma) = \{d_{ij}(\Sigma)\}.$$

对每一事件,都能在决策矩阵中找到最优对策,这样所有事件的最优对策组合就构成了最优决策。

二、桩基局势的分析目标与效果测度计算

1. 分析目标

对某一具体工程,评价桩基方案的优劣,应充分考虑如下目标:

(1) 经济目标

桩基方案实施后,经济代价最小。这里以每100元所提供的单桩容许承载力大小来反映经济代价大小。

(2) 安全目标

桩基方案实施后,沉降最小,且满足工程要求。本文以弹性理论法计算出各种方案的桩基沉降量大小,并认为沉降量最小者为最优。

(3) 环境目标

桩基方案实施后,对周围环境的影响最小。其中包括施工过程中因施工而产生的噪音、废弃物、挤土效应等因素对工地附近居民和环境卫生的影响,以及对周围建筑物及城建设施的影响。

(4) 施工技术目标

这包括3个方面:

- 桩基方案实施过程中,沉桩可能性最大;
- 桩基方案的施工技术水平最好;
- 桩基方案施工期最短。

这里,主要有两方面因素:一是施工单位的技术水平、机械设备和人员素质;二是施工时的气候以及场地条件等。

2. 效果测度计算

效果测度就是对于局势所产生的实际效果,不同目标间进行相互比较的度量。对于桩基工程,其经济代价、桩基沉降、施工过程对周围环境的影响和施工期越小或越短时,反映此桩基方案越优。故上述这些目标用下限效果测度,计算式为:

$$\gamma_{ij} = U_{ij} / U_{\max} \quad (4)$$

式(4)中, $\gamma_{ij} \in [0, 1]$; U_{ij} 为局势 S_{ij} 的效果样本; $U_{\max} = \max_{i,j} \{U_{ij}\}$; $U_{ij} \geq 0$ 。

桩基工程中的其它两个分析目标,应用上限效果测度。计算式为:

$$\gamma_{ij} = U_{\min} / U_{ij} \quad (5)$$

式(5)中, $\gamma_{ij} \in [0, 1]$; U_{ij} 为局势 S_{ij} 的效果样本; $U_{\min} = \min_{i,j} \{U_{ij}\}$; $U_{ij} \geq 0$ 。

三、实例

某一28层办公楼,地下两层,裙房为3层,对周围环境有较严限制。估算基底总荷载约为500kPa(主楼)。主楼平面尺寸为35m×30m。初步拟定选用相对标高-24.9m——-28.8m暗绿色粉质粘土, -28.8m——-35.3m砂质粉土或-35.3m——-45.1m粉土中之一土层作为持力层。扣除基坑开挖深度,这样就决定必须选用20.0m、24m或30.5m中之一作为设计桩长。现又知可供选用的桩型为:钢管桩、钢砼预制桩和钻孔灌注桩。因此,本例要考虑的事件(也即要分析的因素)为:桩长和桩型。现根据上述分析目标和效果测度计算式,按事件 a_1 : 桩型; 其对策为 b_{11} : 钢管桩、 b_{21} : 钻孔灌注

桩、 b_{31} : 钢筋砼预制桩; 事件 a_2 : 桩长; 其对策为 b_{12} : 20.0m, b_{22} : 24.0m、 b_{23} : 30.5m来计算各目标下的效果测度。

(1) 经济代价

$$M_{(1)} = \begin{pmatrix} 0.111 & 0.337 \\ 0.333 & 0.361 \\ 0.250 & 0.828 \end{pmatrix}$$

(2) 桩基沉降

$$M_{(2)} = \begin{pmatrix} 0.250 & 0.102 \\ 0.200 & 0.145 \\ 0.167 & 0.244 \end{pmatrix}$$

(3) 沉桩阻力

$$M_{(3)} = \begin{pmatrix} 0.125 & 0.250 \\ 0.500 & 0.200 \\ 0.100 & 0.167 \end{pmatrix}$$

(4) 环境影响

$$M_{(4)} = \begin{pmatrix} 0.250 & 0.250 \\ 0.500 & 0.200 \\ 0.200 & 0.167 \end{pmatrix}$$

(5) 施工技术

$$M_{(5)} = \begin{pmatrix} 0.200 & 0.250 \\ 0.250 & 0.200 \\ 0.200 & 0.167 \end{pmatrix}$$

(6) 施工工期

$$M_{(6)} = \begin{pmatrix} 0.250 & 0.287 \\ 0.200 & 0.951 \\ 0.250 & 0.951 \end{pmatrix}$$

根据专家评估及工程实践, 各目标的权重按表1分配。

表1 各目标权重

目 标	经济代价	桩基沉降	沉桩阻力	环境影响	施工技术	施工工期
权 重	0.181	0.322	0.237	0.165	0.061	0.033

根据式(3), 得综合效果测度矩阵为:

$$D = \begin{pmatrix} \frac{0.192}{S_{11}} & \frac{0.219}{S_{21}} \\ \frac{0.348}{S_{12}} & \frac{0.236}{S_{22}} \\ \frac{0.176}{S_{13}} & \frac{0.337}{S_{23}} \end{pmatrix}$$

可见, 对于因素 a_1 , 最优局势为钻孔灌注桩; 对于因素 a_2 最优局势为桩长应为30.5m。因此, 该桩基方案为采用30.5m长的钻孔灌注桩。后来的工程实践告诉我们, 该桩基方案不但满足了工程需要, 而且造价便宜, 对环境影响也较小。

四、结 语

设计桩基方案的确是一项涉及诸多因素及其不同组合型式的复杂工作, 而某些因素却又难以做到精确的量化分析, 因而采用灰色局势决策方法所得到的桩基方案, 要比凭经验所作出的选择更加准确和优越。

参 考 文 献

- 1 邓聚龙. 灰色控制系统. 武汉: 华中工学院出版社, 1985
- 2 沈杰. 地基基础设计手册. 上海: 上海科技出版社, 1988
- 3 刘金砺. 桩基础设计与计算. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990

(上接第20页)

证, 恳请同行们加以指正, 以便进一步完善。

参 考 文 献

- 1 张苏民, 张炜. 地基承载力的确定与探讨. 军工勘察, 1992年1~2期
- 2 室内指标与承载力的相关性. 工程地质信息, 1985年2期
- 3 陈锐, 李德伟, 黄一平. 黄金分割法判断压缩土的 P 值. 大坝测试与土工测试, 1991年1期
- 4 严义荣, 丁德仪. 黄土状轻亚粘土承载力的确定. 水文地质与工程地质, 1991年1期
- 5 丛传早. 三五三二厂针织染车间地基基础工程设计研究报告. 军工勘察, 1994年1期
- 6 建筑地基基础设计规范(GBJ7-89), 中国建筑工业出版社, 1989年