

基于MATLAB不确定多属性理论的设计

——施工模式下深基坑设计方案决策研究

□ 崔 玉

[摘 要] 本文针对城市级深基坑本身特有的造价高、建设周期长、环境复杂、建设技术要求高、过程不确定性强等众多特点，研究基于正理想点的纯语言不确定多属性决策理论，设计MATLAB软件开发出Design-Build承包模式下深基坑工程设计方案决策程序，并引入项目实际案例，对决策方法进行验证，结合验证结果，证明了该决策方法具有较好的可操作性和可靠性，为工程总承包企业开展深基坑工程设计方案决策提供支持。

[关键词] MATLAB；不确定多属性理论；设计—施工承包模式；深基坑；设计方案决策

近年来，我国各大中型城市都在研究解决住房供给问题，居住空间密集化势必成为趋势。深基坑建设进入高速发展阶段，同一城市内大型深基坑连续集中兴建，项目投资规模大、复杂程度高、技术难度大、建设周期较长，在运营、养护及维修期间，深基坑受各种因素影响和耦合共同作用，不可避免地会产生严重的不确定性。我国建筑行业在专业设置和分工上过于精细，设计与施工相对独立，设计人员完成项目设计后，很少全程参与到项目的实际施工过程，难以及时掌握项目变化动态，施工经验匮乏；而施工单位虽然能及时掌握项目施工中的动态变化，但设计理论知识与经验不足，实施中难以做到及时发现和评估项目实际情况与设计模型状态的差异，并及时给予必要的信息反馈。因此，项目设计时需通盘考虑城市级深基坑在抵抗自然灾害和极端情况下灾难性突发事故的能力和应对措施，使系统具有良好的前瞻性和经济性。

通过设计—施工总承包模式（即“Design-Build模式”）与我国传统模式（即“Design-Bid-Build模式”）在设计方案决策的项目合同、建设单位、承包单位、项目风险分担机制等方面进行差异性对比分析^[1-2]发现，相较于传统模式，DB模式的承包企业已经同时具备设计和施工能力，于施工协同、现场施工能力及应对建设环境动态把控更加灵活，方案比选时可以更好地在安全性与经济性之间做出平衡。本文基于DB承包模

式的特点^[3]，结合国内外深基坑工程设计方案决策的现状^[4-5]，指出深基坑工程设计方案决策存在的问题，引出基于不确定多属性正理想点与LHA算子的深基坑工程设计方案决策方法，构建决策模型，有助于相关人员发现方案缺陷，及时做出相应的技术应用调整，提高深基坑设计方案应用水平。

MATLAB可以针对矩阵计算、数值分析、科学数据、交互式程序设计、非线性动态、可视化系统的建模进行应用^[6-8]，比较符合本文构建算法的指令功能表达式要求，因此相对于其他数学软件，运用MATLAB编制程序来解算基坑工程的设计方案决策算法较为方便快捷^[9]，可以极大提高决策者的效率。

1 国内外研究现状

国外专家学者在基坑工程的设计方案研究主要基于安全性且偏技术层面的深度挖掘^[10-11]，从承包企业的角度去研究深基坑设计方案合理性，以求达到安全与经济平衡的研究成果偏少。

国内在深基坑工程领域发展相对迟缓，直到1999年陈忠汉著作的《深基坑工程》才比较系统全面地介绍深基坑工程^[12]。随着国内深基坑的快速发展，其在建筑行业形成了一个重要分支，项目的设计与施工技术规范也得到了完善。国内专家开始选用较为科学的理论分析方法，构建出复杂的数学模型，比如运用AHP-F法、BP神经网络和直觉梯形模糊TOPSIS法等^[13]。

[基金项目] 广西壮族自治区教育厅2020年度广西高校中青年教师基础能力提升项目“基于‘BIM+F-AHP’的工程施工安全评价体系应用研究”（编号：2020KY34025）研究成果。

[作者简介] 崔 玉，广西交通职业技术学院，讲师、工程师、二级建造师，硕士。

虽然国内外学者研究深基坑设计方案决策问题的方法呈现多元化评价，然而大多无法实现设计方案安全性与经济性的平衡，决策的复杂性、精度也不高。需要研究应用一种新的算法来补全此方面的不足。

2 不确定多属性决策算子的确定

1957年Churchman与Ackoff两位学者率先提出多属性决策理论，在项目方案评估与决策领域中被广泛应用。多属性决策也称为多目标决策的有限方案，即充分考虑若干个与方案密切相关的特征属性后再对方案进行整合和评价。若该决策问题涉及多种方案，则采用适中的方法比对特征属性，进而从多种方案中获得最佳方案或者对多种方案进行综合排序择优。利用不确定多属性是多属性决策相关知识理论管理的延伸和发展^[14]，“不确定”这一内涵主要表现在企业经营决策研究过程的相关因素普遍存在着不确定性。这个不确定性主要体现在两个不同层面：首先是时间层面，随着时间的推移，客观物质会发生一定不可预测的复杂变化；然后是决策层面，决策者无法对未知事物进行科学的肯定性判断。不确定性判断的产生一方面是由于事物客观多变，另一方面则是因为生活实践经验的欠缺和技术上的局限性^[5]。不确定性原理的属性通常分为由多个属性决定的不确定性，多属性决定的不确定区间和不确定性间隔语言3种模式^[15]，根据权重属性的作用，不确定性多属性理论必须选择在属性的权重是完全未知、部分已知、完全已知的三种情况之一去考虑上述属性值^[12]。

不确定多属性决策方法具备解决企业内部决策、有效分析不确定且较复杂方案优选的能力。对此需要通过一定的算法对多种设计方案进行排序择优，利用模糊的信息进行决策。

(1) 收集决策数据。决策数据主要包括：属性权重已知、部分确定和未知3种情况；属性值有语言型、区间型和实数型3种类型，构建决策矩阵Ak，并规范化处理，得到规范矩阵。

$$R_k = (r^{(k)}_{ij})_{n \times m}$$

(2) 集结计算综合属性值。根据属性权重，对各类属性值进行集结，采用合适的算子，如OWA算子、WAA算子、WGA算子，选择更合理算子的综合属性值。

(3) 运用综合属性值对各方案进行优序排列。DB承包模式下深基坑设计方案影响因素繁多而复杂，带有众多不确定性，与相关决策者水平、经验层次有关，本文结合决策指标的特点，构建了一个能够指导决策者在充分掌握决策指标信息的条件下，快速做出最优设计方案

选择的决策模型。

本文根据主观赋权法：运用层次分析法相对合理地进行决策因素上的选取和权重分析，再运用不确定多属性决策理论建立基于正理想点和LHA算子的不确定多属性决策模型来对深基坑项目设计方案进行定量评价分析，实现项目方案的最终决策。

3 基于不确定多属性理论的DB模式深基坑设计方案决策模型

3.1 模型假设

- (1) 问题的决策环境：深基坑项目已经确定采用DB承包模式进行开展。
- (2) 确定决策属性：已经通过查阅文献，邀请设计研究领域、施工技术领域的专家以及高校进行相关知识领域研究的专家学者展开调查，所选方案具有一定权威性，假设常见方案为x₁：重力式挡墙方案、x₂：土钉喷锚支护方案、x₃：排桩支护方案、x₄：地下连续墙支护方案。
- (3) 确定决策者的权重向量：基于正理想点和LHA算子的不确定性算法，必须首先确定决策者的相对权重向量，最公平的做法是假设决策者权重一样即权重向量为（0.3334，0.3333，0.3333）。

3.2 决策模型因子

(1) 影响因素。根据调查DB承包模式下深基坑设计方案影响因素的总共有22个决策属性，分别记为μ₁~μ₂₂。具体代表如表1。

表1 DB承包模式下深基坑设计方案决策属性表

工程分类	项目整体	总承包企业因素	环境影响	项目因素
关键影响因素	μ ₁ 施工协同与搭接	μ ₅ 承包企业类似工程经验	μ ₁₂ 施工对周围居民的影响	μ ₁₇ 项目技术的复杂性
	μ ₂ 新材料、新技术的应用	μ ₆ 支护体系施工安全能力	μ ₁₃ 施工对周围建筑及地下设备的影响	μ ₁₈ 项目设计深度及服务要求
	μ ₃ 施工场地周边环境安全	μ ₇ 企业主要装备优势	μ ₁₄ 场地狭小	μ ₁₉ 项目预期利润
	μ ₄ 经济技术指标标准化	μ ₈ 承包企业的设计能力	μ ₁₅ 建筑密集及强度	μ ₂₀ 项目规模
	—	μ ₉ 施工技术能力	μ ₁₆ 项目所处的气候和水文条件	μ ₂₁ 项目工期要求
	—	μ ₁₀ 企业治理能力	—	μ ₂₂ 施工现场便利性条件
	—	μ ₁₁ 承包企业的资金能力	—	—

- (2) 不确定语言标度为S。S={极差，很差，较差，稍差，一般，稍好，较好，好，很好，极好}经过研究发现以零为中心的对称性语言可以直接进行运算与分析^[16]，因此本论文采用对称性语言标度：

Si={S-5，S-4，S-3，S-2，S-1，S0，S1，S2，S3，S4，S5}与上一一对应，记{Si}，i∈[-5,5]且i∈Z。

(3) 决策属性权重集合。DB模式下深基坑设计方案决策属性权重列为：{W_j}其中j为属性个数。

(4) 决策者权重集合。决策者权重详见权重向量，记为{λ_k}，K=1,2,3。

$$\lambda_k=0.3334, \lambda_k=0.3333, \lambda_k=0.3333。$$

(5) LHA算子权重集合。LHA 算子权重集合记为：{W_n}，N=1,2,3且Σ_nⁱ w_n =1。

3.3 决策模型相关定义

3.3.1 正理想点

定义^[2]，设 $\tilde{R}=(\tilde{r}_{ij})_{m \times n}$ 为不确定语言决策矩阵，则称 $\tilde{r}_j+=(\tilde{r}_{j1}+, \tilde{r}_{j2}+, \cdots, \tilde{r}_{jm}+)$ 为方案的正理想点，其中：

$$\tilde{r}_j+=[\tilde{r}_j+L, \tilde{r}_j+U], \tilde{r}_j+L=\max\{\tilde{r}_{ij}L\}, \tilde{r}_j+U=\max\{\tilde{r}_{ij}U\}$$

这里 $\tilde{r}_j+L$ 和 $\tilde{r}_j+U$ 分别为 $\tilde{r}_j+$ 的下限和上限。

3.3.2 偏差

定义^[2]，设 $\tilde{\mu}=[Sa, Sb]$ 和 $\tilde{v}=[Sc, Sd]$ 为两个不确定语言变量，c≥a，d≥b，则定义

$$D(\tilde{\mu}, \tilde{v}) = \frac{1}{2} (Sc-a \oplus Sd-b) = \frac{S}{2}(c-a+d-b)$$
 为 $\tilde{\mu}$ 和 $\tilde{v}$ 的偏差。

3.3.3 偏差集结

利用 L H A 算子对相应于 i 位决策者的偏差

D (x⁺, x_i⁽ⁿ⁾) 进行集结

$$D(x^+, \tilde{x}_i) = LHA_{\lambda, \omega} (D(\tilde{r}_1+, \tilde{r}_1^-), (\tilde{r}_2+, \tilde{r}_2^-), \omega_m D(\tilde{r}_m+, \tilde{r}_m^-)), =w_1 \tilde{v}_i^{(1)} \oplus w_2 \tilde{v}_i^{(2)} \oplus \cdots \oplus w_1 \tilde{v}_i^{(i)},$$

I∈N其中w=（w₁，w₂，…，w_n）为LHA算子的加权向量，w_n∈[0,1](n=1,2,⋯,t)Σ_{k=1}ⁱ w_k=1, $\tilde{v}_i^{(k)} = \sum_{n=1}^i w_n = 1$ ，是一组加权的语言变量(tλ₁ D(x⁺, x_i⁽¹⁾), tλ₂ D(x⁺, x_i⁽²⁾), ⋯, tλ_t D(x⁺, x_i^(t))) 中第n大的元素，t是平衡因子。

3.3.4 模型建立x_i

根据（1），（2），（3），可以建立论文DB模式下深基坑设计方案决策模型：

$$DP[LHA^{(ki)}_{\lambda, \omega}(\tilde{r}_{ij}^k)]$$

式中： $\tilde{r}_{ij}^k$ 为针对方案i的属性因素U_j，决策者认为

的不确定评估值；

LHA^(ki)_{λ, ω} 为决策者基于属性权重向量ω，利用LHA函数进行集结的方案不确定评估值；

d_k为方案X_i与其正理想点中的群体偏差。

最终算的D（x⁺, x_i⁽ⁿ⁾）值越小，表明方案x_i与方案正理想点越贴近，因而方案x_i越优。

3.4 程序计算思路

本文构建的基于理想点和LHA算子的多属性深基坑设计方案决策方法组合涉及大量计算目前无法简化的复杂算法，企业在实际项目的应用较为困难。利用MATLAB^[8]编制成程序代码，运用程序进行权重计算以及不确定多属性群决策分析，可简化企业对于决策模型的应用。图1为决策者进行决策计算的程序算法流程图。输入表1中的DB承包模式下深基坑设计方案决策属性矩阵，通过计算矩阵判断其一致性，如果不符合一致性原则则通过粒子群算法修正矩阵进行修正和调整，然后通过运算确定各矩阵的统计权重层次单排序；接着求各矩阵的全局权重层次总排序，并进行其一致性检验。当检验数据不满足要求，则重新修正及调整操作，然后建立决策矩阵并求正理想点，计算群体偏差，最后选择群体偏差最小的即为最佳方案。

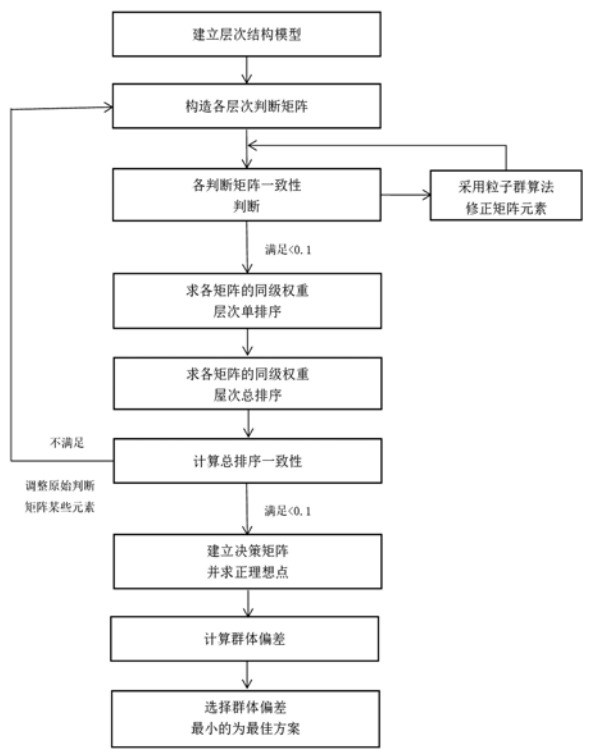


图1 程序算法流程图

4 案例应用

4.1 工程概况

X投资管理有限公司拟在X市X区兴建商务酒店项目。该项目规划总用地面积6870m²，总建筑面积36190.2m²，建筑占地总面积2197.5m²。拟建一栋酒店综合楼地上高19层，楼高75.9m，设置3层地下室，场地±0.00标高为75.5m，场地周边环境复杂，西北及东南侧近邻主街道，交通流量大，周边管线众多，东北侧近邻某食品大厦，西南侧近邻某集团大楼，本项目基坑开挖深度预计14m，本项目基坑安全等级为一级。

4.2 权重调查

设置调查表对DB承包模式下深基坑工程设计方案决策进行数据调查,本次调查选择7名高级职称以上的深基坑工程业内权威专家,问卷调查基于Satty1-9标度法,7份电子问卷全部有效,设置矩阵表达因素之间的关系(如图2)。

第 5 回 同様の要約色相図表ver. 記事本							
条件②	候補①	格式②	意書③	解題④			
1	1		5	3			
1	1		1/5	5			
1/5	5		1	7			
1/3	1/5		1/7	1			
1	3		1/5	9			
1/3	1		1/3	9			
5	3		1	1/5			
1/9	1/9		5	1			
1	9		7	1/3	9	7	1/3
1/9	1		5	1/7	1	5	1
1/7	1/5		1	1/7	1	1/5	1/3
3	7		7	1	5	1	1/9
1/9	1		1	1/5	1	5	1
1/7	1/5		5	1	1/5	1	5
3	1		3	9	1	1/5	1
1	9		9	9	7		
1/9	1		9	1	1		
1/9	1/9		1	5	1/5		
1/9	1		1/5	1	1		
1/7	1		5	1	1		
1	7		7	7	5	1/3	
1/7	1		5	3	1	1/5	
1/7	1/5		1	9	5	5	
1/7	1/3		1/9	1	3	3	
1/5	1		1/5	1/3	1	3	
3	5		1/5	1/3	1/3	1	

图2 影响因素权重调查表数据表

邀请3位专家作为该项目的决策参与者，并在现场发放纸质调查表请3位专家填写，整理成决策评估矩阵（如图3）。

[illegible]

图3 影响因素权重调查表数据表

4.3 决策方法运行计算

运行程序如下。

(1) 运行MATLAB软件;

(2) 新建空白项目，根据程序算法流程图，编制决策程序代码至空白项目内，修改影响因素权重调查表数据表.txt、方案评价表数据.txt导入项目目标途径；

(3) 点击运行即可求出方案权重及 $D(\bar{x}_+, \bar{x}_l)$ 最小方案 x_0 。

通过MATLAB软件编制的程序计算, 中DB承包模式下深基坑设计方案 x_4 为最佳方案, 依据文献其他同类型的案例基本采用地下连续墙方案, 决策程序计算结果(如图4)也与实际工程所采用的方案一致, 论证了该程序的可操作性。

[illegible]

图4 程序计算结果

5 结论

为保障DB模式下深基坑工程承包实现项目效益最大化和建设安全,本文结合实际项目,主要做了以下几方面工作。

(1) 引入纯语言多属性群决策方法, 结合专家评价内容, 构建出DB模式下深基坑工程设计方案决策指标体系, 为承包企业客观做出最终决策提供科学的指标依据。

(2) 引入基于正理想点和LHA算子的纯语言不确定多属性决策理论模型, 将不确定多属性决策方法运用到X企业的基坑设计方案决策案例中, 科学规避传统方案难以充分考虑承包商的经验、施工能力、设备优势、资金及管理能力的不足, 也预估不了现场环境、居民影响、气候及其水文变化等, 无法避免本可预知的经济损失。

(3) 利用MATLAB软件开发的决策程序,为企业开展深基坑工程设计方案决策提供简化应用的支持,计算结果与实际工程所采用的方案一致,论证了本文所构建的DB承包模式下深基坑工程设计方案具有较完整可操作性和可靠性,具有一定的研究借鉴意义。

[参考文献]

[1]严玲,王智秀.DBB与EPC模式下工程价款结算与支付的对比研究[J].建筑经济,2017,38(12):30-33.

[2]强茂山,温祺,袁尚南.设计-建造和设计-招标-建造项目执行期成本控制绩效元分析[J].同济大学学报(自然科学版),2016,44(3):482-490.

[3]石林林,丰景春.DB模式与EPC模式的对比研究[J].工程管理学报,2014,28(6):81-85.

[4] Luo H, Gong P. A BIM-based code compliance checking process of deep foundation construction plans[J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2015, 79(3-4): 549-576.

[5]关于发布国家标准《城市轨道交通技术规范》的公告
中华人民共和国住房和城乡建设部公告第250号[J].中国市政工程,2009(2):60.

[6]李睿馨.大型繁忙机场机坪管制工作中的滑行路径决策优化算法研究[D].广汉:中国民用航空飞行学院,2018.

[7]刘树林,汪子为,钟明航,等.基于Matlab的Boost变换器输出本安性能评价系统[J].煤炭学报,2017,42(S1):282-287.

[8]李国胜,华泽玺,苗轶如.基于MATLAB与VC++混合编程实现配电网重构算法[J].贵州大学学报(自然科学版),2012,29(3):51-54.

[9] 苏海花. 基于Matlab层次分析法的震后恢复重建项目质量评价研究[J]. 地震工程学报, 2019, 41(3): 793-799.

[10]Day J J.Brittle overbreak prediction in deep excavations for hydrothermally altered and heterogeneous rockmasses[J].Bulletin of engineering geology and the environment.2019,79(2):1041–1060.

[11]Sainea-Vargas C J,Torres-Su á rez M C.Assessing and updating damage probabilities for a deep excavation in mexico city soft soils[J]. Indian Geotechnical Journal.2019.

[12]徐泽水.不确定多属性决策方法及应用[M].北京:清华大学出版社,2004.

[13]Kim D I,Yoo W S,Cho H,et al.A fuzzy AHP-based decision support model for quantifying failure risk of excavation work[J].Ksce Journal of Civil Engineering,2014,18(7):1966–1976.

[14]刘学生.基于粗集的不确定多属性决策排序法的研究[D].大连:大连理工大学,2009.

[15]张雪球.基于不确定多属性理论的经营性PPP项目运行模式决策研究[D].成都:西华大学,2019.

[16]廖虎昌, 缙迅杰, 徐泽水. 基于犹豫模糊语言集的决策理论与方法综述[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(1): 35-48.