

# 基于集对投影寻踪的软基处理方案优选

杨科<sup>1</sup>, 武曼曼<sup>2</sup>, 汤正东<sup>1</sup>

(1. 中铁合肥建筑市政工程设计研究院有限公司, 安徽 合肥 230041;

2. 国华工程科技(集团)有限责任公司, 安徽 合肥 340001)

**摘要:** 软基处理方案的优选具有不确定性的特点, 是一个复杂的多属性决策问题。传统决策方法对决策者的工程经验依赖性很强, 对统一描述多指标高维数据尚存在诸多困难。文中基于集对分析和投影寻踪建立软基处理方案决策模型, 即基于方案多项经济指标和技术指标构建集对同一度决策矩阵, 基于投影寻踪理论中高维向低维转化的思想计算各方案的投影值, 根据投影值对方案进行决策。实例应用结果及与其他方法的对比结果表明, 该模型用于软基处理方案优选可行, 可为解决具有不确定性特点的多属性决策问题提供参考。

**关键词:** 公路; 软基处理; 投影寻踪; 集对分析; 方案优选

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)02-0068-03

软基处理方案的优选决策非常重要。为此, 学者们运用不同分析决策理论提出了多种软基处理方案优选方法, 如灰色变权模糊法、范例推理法、逼近理想解排序法、自适应共振神经网络法、多层次模糊综合评判法等, 这些方法在实际运用中均存在不可忽视的缺陷。如灰色变权模糊法将灰色理论、变权理论和模糊理论三者结合在一起, 公式复杂, 计算过程繁琐, 难以在实际工程中得到有效推广; 范例推理法需要大量推理范本, 否则难以得到准确可靠的推理决策结果; 逼近理想解排序法需对软基处理方案评价矩阵进行同向化, 以使各项评价指标具有同向性, 同向化操作容易造成评价结果不可信; 自适应共振神经网络法需决策人员具有 MATLAB 编程功底, 难以在实际工程中推广应用; 多层次模糊综合评判法需对各项指标进行重要性排序, 易导致决策主观意志放大。该文利用集对分析和投影寻踪的思想, 通过集对分析对数据进行集对同一度处理, 排除主观因素, 并综合考虑定量指标与定性指标的影响, 再利用投影寻踪简化处理高维数据, 建立软基处理方案决策模型。

## 1 理论简介

### 1.1 集对分析

集对分析是中国学者赵克勤在 20 世纪末提出的一种不确定性分析理论。该理论的主要优势在于将不确定性与确定性 2 种不兼容的特性作为一个统一的系统进行研究, 基于实际不确定问题普遍存在

联系的观点, 建立由 2 个集合构成的集对关系。集对联系度模型定义如下:

$$\mu(A, B) = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (1)$$

式中:  $S$ 、 $F$ 、 $P$ 、 $N$  分别为由集合  $A$  和集合  $B$  构成集对关系时的共同特性数、差异特性数、对立特性数、总的特性数;  $i$  为差异度系数;  $j$  为对立度系数。

### 1.2 投影寻踪

随着科学技术的快速发展, 高维数据的降维和统计分析越来越重要。投影寻踪降维方法可使用一维统计方法解决高维问题, 它利用投影寻踪的思想, 根据实际应用背景定义一个投影指标函数, 指标函数值越大, 则当前投影方向更接近实际情况。

## 2 基于集对投影寻踪的软基处理方案决策模型

### 2.1 基本原理

基于集对投影寻踪建立软基处理方案决策模型的原理如下: 根据软基处理的实际问题, 选择合适的评价指标构造决策矩阵, 对待选方案各指标进行集对同一度处理, 构建同一度矩阵; 对同一度矩阵中各方案的指标取最优值组成理想方案; 利用投影寻踪理论中高维向低维转化的方法计算各待选方案对理想方案的投影, 根据投影值大小得出各方案的排序, 投影值最大值对应的方案即为最优方案。

### 2.2 决策流程

(1) 构建决策矩阵。假设软基处理方案中有  $N$  个待选方案  $S_1, S_2, \dots, S_N$ , 方案评价指标有  $M$  个,

则多方案决策矩阵  $S$  为:

$$S = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{M1} & x_{M2} & \cdots & x_{MN} \end{bmatrix} \quad (2)$$

(2) 建立同一度矩阵并确定理想方案。按式(3)计算效益型指标的同一度,按式(4)计算成本型指标的同一度,形成被评价方案的同一度矩阵[见式(5)]。分别从各方案同一度矩阵  $M$  个指标中选取最优值,效益型指标选取最大值,成本型指标选取最小值,形成理想方案指标值,得到理想方案[见式(6)]。

$$y_{mn} = \frac{x_{mn}}{\max_{1 \leq n \leq N} x_{mn}} \quad (3)$$

$$y_{mn} = \frac{\min_{1 \leq n \leq N} x_{mn}}{x_{mn}} \quad (4)$$

$$A = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1N} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2N} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ y_{M1} & y_{M2} & \cdots & y_{MN} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$A_0 = [\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_m, \cdots, \alpha_M]^T \quad (6)$$

(3) 根据集对分析理论,将待评方案与理想方案构成集对,计算待选方案对理想方案的投影值。

计算模型如下:

$$P(S_n, A_0) = \frac{\sum_{m=1}^M y_{mn} \alpha_m}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \alpha_m^2}} \quad (7)$$

式中: $S_n$  为待选方案; $A_0$  为理想方案。

(4) 确定最优方案。投影值  $P(S_n, A_0)$  越大,则待选方案和理想方案越接近。按照待选方案对理想方案的投影值大小进行排序,最大投影值对应的软基处理方案即为最优方案。

### 3 实例应用

软基处理受多项经济、技术决策指标的限制。为验证模型的可靠性和实用性,采用文献[5]中的软基处理方案(方案 1 为振冲碎石桩;方案 2 为塑料排水板;方案 3 为二灰桩;方案 4 为粉体搅拌桩)进行实例应用和对比分析。评价指标选用工程造价、施工工期、维修工程量、技术可靠性、处理效果、施工复杂程度、环境消耗和资源消耗,这些指标涉及经济、技术和环保 3 个方面,可充分体现软基处理方案选择的可靠性,既能控制方案成本,又能保证工程质量和对环境的影响。各方案的指标值见表 1。

表 1 软基处理方案的指标值

方案编号	工程造价/万元	施工工期/d	维修工程量	技术可靠性	处理效果	施工复杂程度	环境消耗	资源消耗
方案 1	252.1	140.0	0.72	0.71	0.72	0.75	0.81	0.52
方案 2	75.6	450.0	0.42	0.81	0.75	0.81	0.83	0.81
方案 3	151.3	150.0	0.44	0.21	0.42	0.65	0.32	0.71
方案 4	189.1	150.0	0.78	0.41	0.43	0.62	0.30	0.51

按式(2)构造软基处理方案的决策矩阵:

$$S = \begin{bmatrix} 252.1 & 75.6 & 151.3 & 6.9 \\ 140.0 & 450.0 & 150.0 & 150.0 \\ 0.72 & 0.42 & 0.44 & 0.78 \\ 0.71 & 0.81 & 0.21 & 0.41 \\ 0.72 & 0.75 & 0.42 & 0.43 \\ 0.75 & 0.81 & 0.65 & 0.62 \\ 0.81 & 0.83 & 0.32 & 0.30 \\ 0.52 & 0.81 & 0.71 & 0.51 \end{bmatrix}$$

按式(3)、式(4)计算,得到软基处理方案的同一度矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 0.299\ 9 & 1.000\ 0 & 0.499\ 7 & 0.399\ 8 \\ 1.000\ 0 & 0.333\ 3 & 0.933\ 3 & 0.933\ 3 \\ 0.583\ 3 & 1.000\ 0 & 0.954\ 5 & 0.538\ 5 \\ 0.876\ 5 & 1.000\ 0 & 0.259\ 3 & 0.506\ 2 \\ 0.960\ 0 & 1.000\ 0 & 0.560\ 0 & 0.573\ 3 \\ 0.826\ 7 & 0.765\ 4 & 0.953\ 8 & 1.000\ 0 \\ 0.370\ 4 & 0.361\ 4 & 0.937\ 5 & 1.000\ 0 \\ 0.980\ 8 & 0.629\ 6 & 0.718\ 3 & 1.000\ 0 \end{bmatrix}$$

理想方案为:

$$A_0 = [0.299\ 9, 0.333\ 3, 0.538\ 5, 1.000\ 0, 1.000\ 0, 0.765\ 4, 0.361\ 4, 0.629\ 6]^T$$

按式(7)求得各待选方案在理想方案上的投影值(见表2)。

表2 投影值计算结果及排序

方案编号	投影值	排序	方案编号	投影值	排序
方案1	2.085	2	方案3	1.746	4
方案2	2.140	1	方案4	1.874	3

由表2可知:方案2与理想方案之间的投影值最大,该方案为软基处理最优方案。采用自适应共振神经网络法得到的软基处理最优方案也为方案2,两者的结果完全吻合。但采用集对分析与投影寻踪相结合的方法解决高维非线性不确定性优选决策问题具有简单、快速的优势。

#### 4 结语

软基处理方案优选受众多经济、技术指标的影响,是一个复杂的不确定性多指标决策问题。基于集对分析理论和投影寻踪理论建立软基处理方案集对投影寻踪模型,通过计算待选方案对理想方案的投影值来评价待选方案,可有效避免待选方案评价指标高维数据处理的复杂性,使结果更合理可靠。实例应用表明,该模型应用于软基处理方案优选有效、可行,是一种快速、准确的软基处理方案决策方法。

#### 参考文献:

[1] 刘汉龙,赵明华.地基处理研究进展[J].土木工程学报,

2016,49(1):96—115.

- [2] 张龙云,张强勇,杨尚阳.灰色变权模糊优选模型在软基加固中的应用[J].水电能源科学,2013,31(1):131—134.
- [3] 杨逾,郑志明.基于范例推理的软基处理评价方案研究[J].长江科学院院报,2015,32(12):93—97.
- [4] 吾斯曼·若孜,吐尔尼沙·尼亚孜,陈法安.基于TOPSIS的高速公路软基处理方案评价[J].交通标准化,2014,42(7):40—42.
- [5] 陈向阳,夏元友,鄢恒珍.基于ART网络的高速公路软基处理决策模型[J].武汉理工大学学报,2007,29(2):104—106.
- [6] 张留俊,黄晓明,尹利华.公路软基处理方案多层次模糊综合评判方法研究[J].公路交通科技,2007,24(3):35—38.
- [7] 赵克勤.集对分析及其初步应用[M].杭州:浙江科学技术出版社,2000.
- [8] 汪明武,金菊良,周玉良.集对分析耦合方法与应用[M].北京:科学出版社,2014.
- [9] 田铮.投影寻踪方法与应用[M].西安:西北工业大学出版社,2008.
- [10] 冯玉国,王渭明.基于集对分析同一度的基坑支护方案综合评价[J].岩土工程学报,2008,30(9):1389—1392.
- [11] 刘展瑞,张潭,罗克文,等.基于沉降实测数据的软土地基土工参数优化计算[J].公路与汽运,2021(6):88—91+94.
- [12] 严黎.南方湖区高速公路吹砂填筑路基关键技术研究[J].公路与汽运,2021(3):78—81+86.

收稿日期:2021—05—18

(上接第67页)

角度,也应控制水泥用量,从而避免该材料的强度和成本过高。

#### 参考文献:

- [1] 孙兆云,程钰.山东省赤泥堆存与综合利用现状[J].山东交通科技,2017(2):99—100+107.
- [2] 程钰.赤泥资源化公路工程应用[M].济南:山东大学出版社,2018.
- [3] 杨家宽,侯建,齐波,等.铝业赤泥免烧砖中试生产及产业化[J].环境工程,2006,24(4):52—55.
- [4] 任根宽.用改性赤泥为原料制备水泥[J].化工环保,2008,28(6):526—530.
- [5] 秦旻,陆兆峰,宋永朝.赤泥在道路工程中的应用研究[J].公路与汽运,2008(6):81—84.
- [6] 孙兆云,韦金城,程钰.改性拜耳法赤泥路基的模量特

性研究[J].中外公路,2018,38(2):54—57.

- [7] 张宏,凌建明,钱劲松.可控性低强度材料(CLSM)研究进展[J].华东公路,2011(6):49—54.
- [8] 范猛.非压实回填土基本性能及应用研究[D].北京:北京工业大学,2009.
- [9] 贾冬冬.低强度流动性建筑垃圾回填材料基本性能研究[D].北京:北京工业大学,2014.
- [10] 冉晋,张金喜,王建刚,等.快硬性建筑垃圾流动化回填材料制备与性能[J].公路,2016(3):190—195.
- [11] 刘万超,闫琨,和新忠,等.拜耳法赤泥制备地聚物类无机聚合材料的研究进展[J].硅酸盐通报,2016,35(2):453—457.
- [12] 郑磊.赤泥基矿井喷浆材料的研制及性能优化[D].徐州:中国矿业大学,2021.

收稿日期:2021—04—21