

# 基于改进物元可拓模型的输电 项目投资效益评价

谭玉东<sup>1,2</sup>, 文明<sup>1</sup>, 李湘华<sup>1</sup>, 章德<sup>1</sup>, 汪志才<sup>3</sup>, 蒋郑伟<sup>3</sup>, 凌明娟<sup>3</sup>

(1. 国网湖南省电力有限公司经济技术研究院, 湖南长沙 410004; 2. 国网湖南省电力有限公司岳阳供电分公司, 湖南, 岳阳 414000;  
3. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 湖南长沙 410114)

**摘要:**针对输电项目投资效益评价存在评价结果模糊性以及评价指标赋权存在主观误差的情况, 提出基于改进物元可拓模型的输电网项目投资效益评价方法。首先, 考虑投产项目对电网的改善情况构建电网项目投资效益评价指标体系, 并基于图论原理提出一种图模型指标赋权方法, 以降低传统主观赋权方法存在的主观误差; 其次, 建立输电项目投资效益评价的物元可拓模型; 最后, 以某地区投产的 220 kV 输电项目为例开展实证分析, 并研究投产项目的投资效益评级和影响因素, 验证该模型的科学实用性。

**关键词:** 输电网; 投资效益; 物元可拓模型; 图论; 权重

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2021.06.013 中图分类号: TM77 文章编号: 1673-9140(2021)06-0113-07

## Comprehensive benefit evaluation of transmission network projects based on improved matter element extension model

TAN Yudong<sup>1,2</sup>, WEN Ming<sup>1</sup>, LI Xianghua<sup>1</sup>, ZHANG De<sup>1</sup>, WANG Zhicai<sup>3</sup>,  
JIANG Zhengwei<sup>3</sup>, LING Mingjuan<sup>3</sup>

(1. Economic and Technological Research Institute, State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd., Changsha 410004, China;  
2. Yueyang Power Supply Branch, State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd., Yueyang 414000, China; 3. School of Electrical & Information Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

**Abstract:** Aiming at the ambiguity of the evaluation results in the evaluation of the investment benefits of transmission projects and the subjective errors in the weighting of evaluation indicators, this paper proposes a method for evaluating the investment benefits of transmission grid projects based on the improved matter-element extension model. Firstly, a grid project investment benefit evaluation index system is constructed under consideration of the improvement of the power grid by the project being put into operation. A graph model index weighting method based on the principle of graph theory is also proposed to reduce the subjective error of the traditional subjective weighting method. Secondly, the matter element extension model for investment evaluation of transmission projects is established. Finally, 220 kV transmission projects put into operation in a certain area is taken as example for empirical analysis. The investment benefit rating and influencing factors of the projects put into production are studied to verify the scientific practicability of the model.

**Key words:** transmission network; investment efficiency; the matter element extension model; graph theory; weight

目前,中国电网规模逐步扩大,电压等级逐步提高,为了解决电网出现的负荷需求及安全性等问题,相关的输电项目正在逐步的规划与建设中。而输电项目投资通常存在规模大、回收期长的特点,面对庞大且快速增长的投资趋势,对已投产的输电网项目进行投资效益分析显得尤其重要<sup>[1]</sup>。

传统电网项目的投资效益评价,普遍采用的方法是建立相关指标体系,并计算相应指标权重,进而计算投资效益综合评分<sup>[2-6]</sup>。投资效益综合评分虽然可以精准比较项目投资效益,但另一方面其缺点是评价结果存在模糊性,即无法判断投资效益的优良等级,往往只能根据主观经验去判断。为实现投资效益的精准评价,也有不少学者侧重于研究或改进指标权重的设置方法;目前常用的主观赋权法有层次分析法<sup>[7-9]</sup>、德尔菲法<sup>[10]</sup>等,该类方法简单易行,但缺点是其结果具有主观性和偶然性;或采用客观赋权法,比如熵权法<sup>[11]</sup>,该方法从数据本身的离散程度出发进行分析,结果较为客观,但在实际应用时发现若指标值的变动很小或者很突然地变大变小,熵权法的结果就存在偏差,因此其应用也具有局限性。

考虑到目前项目投资效益评价方法和权重计算存在评价结果模糊性和主观误差等不足,该文提出基于改进物元可拓模型的输电项目投资效益评价方法。该模型针对传统物元可拓模型计算过程中待评物元超出节域范围后存在的结果不相容问题,提出归一化的改进方法;为降低评价指标权重计算时存在的主观误差以及与实际情况不相符的问题,提出一种基于图论的指标赋权方法。最后,利用评价模型对实际项目投资效益评价进行计算,并分析影响投资效益的主要因素,为电网公司分析项目投资效益和投产同类项目提供参考。

## 1 输电项目投资效益评价指标体系

输电项目功能分类多,投资效益差异大,为真实反映项目的投资效益,根据不同项目功能的特点,分析项目在满足功能方面的主要效益<sup>[12]</sup>。考虑到投

资效益涉及很多定量因素和难以量化的因素,因此从技术、经济、社会等方面出发,遵循定量和定性相结合的原则建立了输电项目投资效益评价指标体系,如表1所示。其中,一级评价指标反映投产项目带来的技术、经济、社会等方面的效益,二级指标是一级指标的细化。

表1 输电项目投资效益评价指标体系  
Table 1 Evaluation index system of transmission network project

目标层	一级指标	二级指标	指标解释
综合效益	提高供电能力	改善容载比( $C_1$ )	项目实施后对容载比改善情况
		新增变电容量( $C_2$ )	项目投产后增加的变电容量
		变电站负载均衡度( $C_3$ )	反映项目实施后改善变电站之间的负载匹配程度
		高压线路负载均衡度( $C_4$ )	反映项目实施后改善高压线路之间所带负载的均衡程度
	改善供电质量	改善高压输电网N-1( $C_5$ )	项目提升高压输电网安全程度
		改善电压质量( $C_6$ )	项目对电压合格率的提升程度
		改善潮流分布( $C_7$ )	改善有功、无功及电流分布情况
		缩短高压供电半径( $C_8$ )	项目投产改善供电半径的程度
	改善经济效益	降低线损( $C_9$ )	投产项目对降低线损改善情况
		运行成本( $C_{10}$ )	项目年额外支出费用
		增加供电量效益( $C_{11}$ )	投产项目增加供电量带来效益
	满足社会环境政策	项目技术进步( $C_{12}$ )	投产项目示范作用和长期作用
		经济发展影响( $C_{13}$ )	投产项目对地区经济促进作用
		用户满意度( $C_{14}$ )	反映用户对投产项目满意程度

## 2 基于图模型的指标赋权

### 2.1 评价信息的量化

图模型的核心思路是将各指标重要性程度(以评分表示)视为图中的点,描述指标属性;图中的边反映评价者将各指标联系起来的评价行为之间的关联关系,即评价者认可不同指标的不同属性之间关系,在图中表示为将评价者认可属性将点与点连接起来构成边。由此,建立指标的点(指标属性)一边(属性认可行为关联关系)模型即为反映评价信息的图模型。假设被评价项目的指标有3个,每个指标重要性打分为2分制,其模型如图1所示。

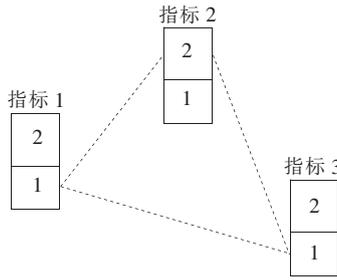


图 1 评价者的评价图示

Figure 1 Evaluation from the evaluator

为评价某项目  $Y$ , 设有  $N$  个指标和  $M$  个评价者, 每个评价者以  $Y$  为目标, 对这些指标进行评价 (评价采用  $\alpha$  分制,  $\alpha$  为整数), 评价信息情况如表 2 所示。

表 2 评价信息情况

Table 2 Evaluation information

序号	评价者 1	...	评价者 $M$
指标 1	$V_{11}$	...	$V_{1M}$
指标 2	$V_{21}$	...	$V_{2M}$
...	...	...	...
指标 $N$	$V_{N1}$	...	$V_{NM}$

定义每名评价者的评分向量为  $\mathbf{v}_{\alpha N \times 1}^m$ , 其中, 当第  $m$  名评价者对第  $k$  个指标作  $z$  的评分时, 有 2 种情况:

$$\begin{cases} \mathbf{v}_{l \times 1}^m = 0, & l \in \{\alpha k - \alpha + 1, \alpha k - \alpha + 2, \dots, \alpha k\} \\ \mathbf{v}_{l \times 1}^m = 1, & l \in \alpha k - z + 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中  $k$  为第  $k$  个指标;  $z$  为对第  $k$  个指标的评分;  $\alpha$  为评分制。

每个评价者对全体指标的评价信息用一维向量  $\mathbf{v}_{\alpha N \times 1}^m$  表示, 但该一维向量是割裂的, 各指标评价信息相互独立, 人为的评价习惯和评价行为会对指标的评价结果存在一定联系和影响。图 1 中虚线描述了评价者通过评价行为将指标联系起来的关系, 而这个关系对于反应评价者的评价习惯和得到完整的指标评价信息则是重要的<sup>[13]</sup>。定义向量的乘法运算得到与图 1 等价的二维矩阵, 反映第  $m$  名评价者全体指标评价信息的矩阵为

$$\mathbf{A}_{\alpha N \times \alpha N}^m = \mathbf{v}_{\alpha N \times 1}^m (\mathbf{v}_{\alpha N \times 1}^m)^T \quad (2)$$

式中  $m$  为第  $m$  名评价者;  $\alpha$  为评分制;  $N$  为指标个数。

将每名评价者的评分矩阵加总, 得到整个系统

的评分矩阵:

$$\mathbf{A}_{\alpha N \times \alpha N} = \sum_{m=1}^M \mathbf{A}_{\alpha N \times \alpha N}^m \quad (3)$$

式中  $M$  为评价专家总数;  $\mathbf{A}_{\alpha N \times \alpha N}^m$  为单个专家评分向量。

## 2.2 权重计算

为了得到全部指标最终评价得分向量, 将式(3)得到的反映全体评价信息的矩阵  $\mathbf{A}_{\alpha N \times \alpha N}$  (简记为  $\mathbf{A}$ ) 进行降维处理, 将其降到一维, 且尽可能保持矩阵  $\mathbf{A}$  的信息少损失, 即

$$\begin{cases} \text{Max } \frac{\mathbf{W}^T \mathbf{A} \mathbf{W}}{\mathbf{W}^T \mathbf{W}} \\ \text{s. t. } \sum_{i=1}^{\alpha N} \omega_i = 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中  $\mathbf{W}$  为矩阵  $\mathbf{A}$  投影后的一维向量;  $\omega_i$  为向量  $\mathbf{W}$  的元素。

式(4)优化的目标函数等于矩阵  $\mathbf{A}$  在一维向量  $\mathbf{W}$  上的投影, 其中  $\omega_i$  是向量  $\mathbf{W}$  的第  $i$  个元素。根据 Perron-Frobinus 定理<sup>[14]</sup>, 式(4)有唯一非负解。将求得的  $\mathbf{W}$  按照指标进行分割, 并针对每一分割的单元逐一进行归一化运算, 将运算的结果与相应的分数求积再求和, 得到反映各指标重要性的评价得分  $V_1, V_2, \dots, V_N$ 。定义指标权重:

$$\lambda_{s,i} = \frac{V_i}{\sum_{k=1}^N V_k} \quad (5)$$

式中  $\lambda_{s,i}$  为指标  $i$  的权重;  $V_i$  为第  $i$  个指标重要性得分;  $N$  为指标总个数。

## 3 输电项目投资效益的物元可拓模型

物元可拓模型以物元理论和可拓集合论作为理论框架, 以相应的评价指标体系为基础, 通过建立指标的经典域、节域和事物评价等级, 根据实测数据计算待评物元关于评级等级的关联度, 以此来确定评价对象的等级<sup>[15]</sup>。利用这种方法开展投资效益评价不是简单的利用指标数据迭代得到效益评分, 而是考虑到了各指标与划分等级的内在关联性。由于指标划分的等级是根据相关标准和实际情况得到的, 避免了传统方法根据评分评价事物优良等级时存在的主观片面性。

### 3.1 投资效益物元

输电项目投资效益评价的物元主要由经典域、节域和待评物元组成,包括待评价目标的名称( $N$ )、特征( $C$ )和量值( $V$ )三要素,组成数组  $\mathbf{R} = (N, C, V)$  来描述待评事物的特征。假设将项目的投资效益评级划分为  $y$  个等级,相应评级指标有  $n$  个,投资效益物元构造如下。

1) 投资效益经典域。

$$\mathbf{R}_N = \begin{bmatrix} P_j & C_1 & (a_{j1}, b_{j1}) \\ & C_2 & (a_{j2}, b_{j2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{jn}, b_{jn}) \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中  $P_j$  为投资效益第  $j$  等级 ( $j=1, 2, \dots, y$ );  $C_i$  为投资效益等级  $P_j$  的第  $i$  个指标 ( $i=1, 2, \dots, n$ );  $(a_{ji}, b_{ji})$  为参考相关标准和文献划定的投资效益第  $j$  等级指标  $C_i$  的取值区间,可以看出经典域反映的是评价指标局部范围。

2) 投资效益节域。

$$\mathbf{R}_p = \begin{bmatrix} P & C_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & C_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中  $P$  为划分的投资效益等级全体;  $(a_{pi}, b_{pi})$  为在全体等级下的指标  $C_i$  的整体取值范围,可以看出节域反映的是评价指标全体范围。

3) 投资效益待评物元。

$$\mathbf{R}_0 = \begin{bmatrix} P_0 & C_1 & v_1 \\ & C_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & v_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中  $P_0$  为待评物元;  $v_1, v_2, \dots, v_n$  为评价指标的实际取值。

### 3.2 指标量化及处理

1) 定性指标的量化处理。

对于该文建立的定性指标,分级评价为“显著、明显、一般、微小、无”,将这 5 个等级依次对应为 5、4、3、2、1。考虑到随着电网建设发展的深入,很多指标值的改进将会越来越困难,或者每一点的改进所需要的投入将更多,因此评价判据应能体现出这一特点<sup>[16]</sup>。为计算方便并考虑实际曲线的可能趋势,取偏大型柯西分布和对数函数作为隶属函数:

$$f(x) = \begin{cases} [1 + \alpha(x - \beta)^{-2}], & 1 \leq x \leq 3 \\ a \ln x + b, & 3 \leq x \leq 5 \end{cases} \quad (9)$$

式中  $\alpha, \beta, a, b$  均为待定常数;  $x$  为指标等级;  $f(x)$  范围为  $(0, 1)$ 。

2) 定量指标的量化处理。

对定量指标作无量纲化处理:采取极差化方法对定量指标作无量纲化处理,假设  $m$  个数据指标  $x_1, x_2, \dots, x_m$  已经一致化,有  $n$  组样本观测值  $X_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ )。令

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - m_j}{M_j - m_j} \quad (10)$$

其中,  $M_j = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}\}$ ,  $m_j = \min_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}\}$ , ( $j=1, 2, \dots, m$ ), 则  $x'_{ij} \in [0, 1]$  是无量纲的标准观测值。

### 3.3 关联系数计算

根据归一化得到的经典域、节域和待评物元,计算评价指标  $i$  与投资效益等级  $j$  的关联度:

$$r_j(v_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(v_i, V_{ij})}{|V_{ij}|}, & v_i \in V_{ij} \\ \frac{\rho(v_i, V_{ij})}{|\rho(v_i, V_{pi}) - \rho(v_i, V_{ij})|}, & v_i \in V_{ij} \end{cases} \quad (11)$$

式中  $r_j(v_i)$  为指标  $i$  相对于等级  $j$  的关联度;  $v_i$  为指标  $i$  的实际数值;  $V_{ij}$  为指标  $i$  在等级  $j$  下的经典域范围;  $V_{pi}$  为指标  $i$  节域量值范围。其中

$$\begin{cases} V_{ij} = |b_{ji} - a_{ji}| \\ \rho(v_i, V_{ij}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{ji} + b_{ji}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ji} - a_{ji}) \\ \rho(v_i, V_{pi}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi}) \end{cases} \quad (12)$$

### 3.4 投资效益评级计算

$$K_j(P_0) = \sum_{i=1}^n \omega_i r_i(v_i), i=1, 2, \dots, n \quad (13)$$

式中  $K_j(P_0)$  为待评物元关于等级  $j$  的关联度,若  $K_j(P_0)$  为最大值,则投资效益等级为  $j$ ;  $\omega_i$  为指标  $i$  的权重。

## 4 输电项目投资效益评价

以湖南省 2016 年投产的“麻阳、浏阳医药园、新

田、衡阳廖家湾输变电工程”这 4 个 220 kV 输电项目( $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ )为例,考虑将项目投资效益水平划分为 4 个等级,分别命名为优、良、中、差,基于该文提出的改进物元可拓模型,计算各项目的投资效益评级。

4.1 投资效益经典域、节域及待评物元

1)经典域。

对于指标的各等级区间范围的划分目前电网公司并没有明确的规范。该文根据专家经验和意见,同时考虑指标实际的历史数值变化,对各指标等级区间进行划分,计算得到经典域  $R_N$  归一化后矩阵:

$$R_N =$$

	差	中	良	优
$C_1$	(0,0.37)	(0.37,0.76)	(0.76,0.88)	(0.88,1)
$C_2$	(0,0.33)	(0.33,0.58)	(0.58,0.93)	(0.93,1)
$C_3$	(0,0.28)	(0.28,0.61)	(0.61,0.89)	(0.89,1)
$C_4$	(0,0.31)	(0.31,0.56)	(0.56,0.81)	(0.81,1)
$C_5$	(0,0.25)	(0.25,0.51)	(0.51,0.85)	(0.85,1)
$C_6$	(0,0.35)	(0.35,0.50)	(0.50,0.92)	(0.92,1)
$C_7$	(0,0.31)	(0.31,0.52)	(0.52,0.90)	(0.90,1)
$C_8$	(0,0.23)	(0.23,0.53)	(0.53,0.85)	(0.85,1)
$C_9$	(0,0.22)	(0.22,0.54)	(0.54,0.83)	(0.83,1)
$C_{10}$	(0,0.29)	(0.29,0.55)	(0.55,0.91)	(0.91,1)
$C_{11}$	(0,0.36)	(0.36,0.61)	(0.61,0.93)	(0.93,1)
$C_{12}$	(0,0.30)	(0.30,0.50)	(0.50,0.80)	(0.80,1)
$C_{13}$	(0,0.29)	(0.29,0.56)	(0.56,0.89)	(0.89,1)
$C_{14}$	(0,0.31)	(0.31,0.55)	(0.55,0.83)	(0.83,1)

(14)

式中  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $\dots$ 、 $C_{14}$  为该文建立的 14 个二级指标。

2)节域。

投资效益的节域矩阵中各指标的范围为其经典域范围之和。由于该文采取了归一化处理,因此节域矩阵中各指标范围均为(0,1)。

3)待评物元。

统计各投产项目实际指标数据,根据式(10)对指标归一化计算得到待评物元:

$$R_0 = \begin{bmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 \\ C_1 & 0.68 & 0.91 & 0.86 & 0.93 \\ C_2 & 0.47 & 0.82 & 0.86 & 0.75 \\ C_3 & 0.76 & 0.61 & 0.73 & 0.52 \\ C_4 & 0.44 & 0.55 & 0.45 & 0.47 \\ C_5 & 0.59 & 0.75 & 0.76 & 0.51 \\ C_6 & 0.73 & 0.82 & 0.85 & 0.87 \\ C_7 & 0.84 & 0.82 & 0.60 & 0.58 \\ C_8 & 0.53 & 0.63 & 0.71 & 0.79 \\ C_9 & 0.85 & 0.66 & 0.67 & 0.72 \\ C_{10} & 0.66 & 0.68 & 0.85 & 0.78 \\ C_{11} & 0.95 & 0.88 & 0.86 & 0.98 \\ C_{12} & 0.88 & 0.88 & 0.76 & 0.82 \\ C_{13} & 0.66 & 0.81 & 0.88 & 0.93 \\ C_{14} & 0.92 & 0.87 & 0.89 & 0.86 \end{bmatrix} \quad (15)$$

4.2 指标权重计算

该文采用 5 分制,即主网规划人员 2 名、配网规划人员 1 名、电网投资人员 1 名和智能电网人员 1 名共计 5 人对指标的重要性评分意见评价各指标重要性打分,由图模型赋权方法得到各指标权重,如表 3 所示。

表 3 指标权重

Table 3 Weights for indices

一级指标	指标权重	二级指标	指标权重	占整体权重
提高供电能力	0.332	$C_1$	0.318	0.106
		$C_2$	0.240	0.080
		$C_3$	0.246	0.082
		$C_4$	0.196	0.065
		$C_5$	0.316	0.067
改善供电质量	0.212	$C_6$	0.234	0.050
		$C_7$	0.142	0.030
		$C_8$	0.308	0.065
		$C_9$	0.334	0.070
改善经济效益	0.211	$C_{10}$	0.330	0.070
		$C_{11}$	0.336	0.071
		$C_{12}$	0.302	0.074
满足社会政策	0.244	$C_{13}$	0.360	0.088
		$C_{14}$	0.338	0.082

4.3 电网项目投资效益评级结果

根据式(11)~(13)计算 4 个项目的投资效益评级,结果如表 4 所示。

表4 项目效益评级结果

Table 4 Project benefit rating results

项目	评分结果					投资效益评级
	差	中	良	优	Max	
$P_1$	-0.59	-0.27	-0.02	-0.19	-0.02	良
$P_2$	-0.67	-0.46	0.09	-0.18	0.09	良
$P_3$	-0.69	-0.47	0.16	-0.22	0.16	良
$P_4$	-0.67	-0.44	-0.09	0.06	0.06	优

在物元可拓模型中,指标或者项目与某等级关联系数越大,则与该等级关联程度越高。由表4可知,从整体上看,湖南公司2016年投产的4个项目投资效益普遍表现良好,其中衡阳廖家湾220 kV输变电工程项目( $P_4$ )投资效益评级为“优秀”,投资效益表现最好。其余3个项目均与“良好”关联度最大,其次与“优秀”关联度大,表明了该3个项目的投资效益有向“优秀”等级变化的潜力。

#### 4.4 结果分析

为分析项目投资效益影响因素,以项目 $P_1$ 为例,根据构建的经典域、节域和相关数据,利用式(13)计算项目指标与各等级的关联系数和投资效益评级,结果如表5所示。

根据物元可拓模型的定义可知,指标与各等级的关联系数影响投资效益评级结果,因此,通过计算指标与各等级的关联系数,分析表4中投资效益评级为“良好”项目的投资效益影响因素。根据表5可知,指标“改善容载比( $C_1$ )”、“新增变电容量( $C_2$ )”和“高压线路负载均衡度( $C_4$ )”与“中等”关联系数最高,项目 $P_1$ 的这3个指标评级都为“中等”,在整体指标评级中表现最差。更进一步,指标 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_4$ 与“中等”的关联度分别为-0.18、0.46、0.47,即指标 $C_4$ 与“中等”关联度最高,因此在所有指标中表现最差。同理,分析项目 $P_2$ 、 $P_3$ 指标与各等级关联系数(限于篇幅,数据结果不再赘述),指标“高压线路负载均衡度( $C_4$ )”均表现最差。

通过对投产项目的目的研究发现,该文的4个项目为电网公司“满足新增负荷”类项目,投产目的是为了解决地区负荷问题。根据分析,指标“高压线路负载均衡度”为“满足新增负荷”类项目投资效益评级的影响因素。由指标定义可知,“高压线路负载均衡度”又与投产项目周边整体线路负载率平均值有关。因此,在考虑投产同类项目时,可考虑将减轻线路负载率作为优选项目时的判断标准之一。

表5 项目 $P_1$ 指标关联系数及效益评级Table 5 Project  $P_1$  index correlation coefficients and benefit ratings

二级指标	$P_1$ 指标关联系数					评价结果
	差	中	良	优	Max	
$C_1$	-0.51	0.18	-0.18	-0.38	-0.18	中
$C_2$	-0.23	0.46	-0.20	-0.50	0.46	中
$C_3$	-0.67	-0.39	0.46	-0.35	0.46	良
$C_4$	-0.23	0.47	-0.21	-0.45	0.47	中
$C_5$	-0.45	-0.16	0.24	-0.39	0.24	良
$C_6$	-0.59	-0.46	0.45	-0.41	0.45	良
$C_7$	-0.76	-0.66	0.17	-0.28	0.17	良
$C_8$	-0.39	0.00	0.01	-0.40	0.01	良
$C_9$	-0.80	-0.67	-0.10	0.10	0.10	优
$C_{10}$	-0.52	-0.24	0.30	-0.42	0.30	良
$C_{11}$	-0.92	-0.87	-0.27	0.27	0.27	优
$C_{12}$	-0.82	-0.75	-0.39	0.39	0.39	优
$C_{13}$	-0.53	-0.24	0.32	-0.40	0.32	良
$C_{14}$	-0.88	-0.82	-0.53	0.47	0.47	优
提高供电能力	-0.42	0.163	-0.03	-0.41	0.16	中
改善供电质量	-0.50	-0.25	0.20	-0.38	0.20	良
改善经济效益	-0.74	-0.59	-0.02	-0.01	-0.01	优
满足社会政策	-0.73	-0.59	-0.18	0.13	0.13	优
综合效益	-0.59	-0.27	-0.02	-0.19	-0.02	良

## 5 结语

对于输电项目的投资效益评价,针对传统评价方法中电网项目投资效益水平发挥等级难以判别、评级结果存在模糊性以及指标赋权过程中存在的人为误差等缺点,提出了基于改进物元可拓模型的输电项目投资效益评价分析方法。考虑经典域、节域与待评物元范围可能存在不相容的问题,提出归一化改进方法;基于图论提出图模型赋权法,降低了评价过程中的主观因素造成的误差。此外,通过对案例中投产的输电网“满足新增负荷”类项目投资效益评级计算及影响因素的分析,该类项目投资效益主要与投产项目地区线路的负载率有关,即地区线路的负载率是影响“满足新增负荷”类项目投资效益发挥水平的重要因素,其结果可为今后投产同类项目提供相应参考。

#### 参考文献:

[1] 王圆圆,魏胜民,田春笋.新常态下河南电网投资的经济

- 效应研究[J]. 电力科学与技术学报, 2017, 32(1): 157-163.
- WANG Yuanyuan, WEI Shengmin, TIAN Chunzheng, et al. Study on investment economic effect under new normal of Henan power grid[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2017, 32(1): 157-163.
- [2] 何凯, 王剑晓, 王佳伟, 等. 基于全成本电价的电网规划方案评估与优选[J]. 中国电力, 2020, 53(3): 66-75.
- HE Kai, WANG Jianxiao, WANG Jiawei, et al. Evaluation and optimization of power network planning scheme based on total-cost price[J]. Electric Power, 2020, 53(3): 66-75.
- [3] 葛婷. 配电网投资效益评价及投资决策模型研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2019.
- [4] Huang Y S, Fan Y F. The economic evaluation of grid planning[J]. Value Engineering, 2013, 12(14): 190-191.
- [5] He Y, Liu W, Jie J, et al. Evaluation method of benefits and efficiency of grid investment in China: a case study[J]. Engineering Economist, 2018, 63(1): 1-21.
- [6] 周程, 郑建勇, 韩文军, 等. 计及地理环境因素的输电通道路径优化与扩展研究[J]. 电测与仪表, 2020, 57(14): 13-18.
- ZHOU Cheng, ZHENG Jianyong, HAN Wenjun, et al. Research on path optimization and extension of transmission channel considering geographical environment factors[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2020, 57(14): 13-18.
- [7] Sun L, Ma Z, Shang Y, et al. Research on multi-attribute decision-making in condition evaluation for power transformer using fuzzy AHP and modified weighted averaging combination[J]. Iet Generation Transmission & Distribution, 2016, 10(15): 3855-3864.
- [8] 陈嘉宁, 吴振杰, 王源涛, 等. 基于雷击灾害的输电网可靠性综合评估模型[J]. 高压电器, 2020, 56(2): 170-175.
- CHEN Jianing, WU Zhenjie, WANG Yuantao, et al. Lightning disaster-based comprehensive reliability assessment model for transmission grid[J]. High Voltage Apparatus, 2020, 56(2): 170-175.
- [9] 葛诗涵, 李立生, 姜仁卓, 等. 基于层次动态灰色关联分析的配电网运行状态评价指标体系的构建与应用[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(23): 9393-9399.
- GE Shihan, LI Lisheng, JIANG Renzhuo, et al. Construction and application of distribution network operational status evaluation index system based on hierarchical dynamic grey correlation analysis[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(23): 9393-9399.
- [10] 孙玉玮, 陈辉, 陈立贤, 等. 基于历史数据分析的输电线路状态研判技术研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(1): 83-87+104.
- SUN Yuwei, CHEN Hui, CHEN Lixian, et al. Technology for determining transmission line insulation state based on historical data analysis[J]. Smart Power, 2019, 47(1): 83-87+104.
- [11] 张健钊, 陈星莺, 徐石明, 等. 基于 AHP-熵权法的工业大用户用电能效评估[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(1): 57-63.
- ZHANG Jianzhao, CHEN Xingying, XU Shiming, et al. Electricity utilization evaluation of large industrial users based on ahp and entropy method[J]. Power System and Clean Energy, 2017, 33(1): 57-63.
- [12] 欧阳森, 刘丽媛. 配电网用电可靠性指标体系及综合评估方法[J]. 电网技术, 2017, 41(1): 227-234.
- OUYANG Sen, LIU Liuyuan. Reliability index system of distribution network for power consumer and its comprehensive assessment method[J]. Power System Technology, 2017, 41(1): 227-234.
- [13] 李永立, 吴冲. 基于图模型和最优化的评价方法[J]. 系统工程学报, 2013, 28(3): 403-409.
- LI Yongli, WU Chong. Inventing an evaluation method based on graph model and optimization[J]. Journal of Systems Engineering, 2013, 28(3): 403-409.
- [14] David G L. Introduction to dynamic systems: theory, models and applications[M]. Toronto, Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1979: 446.
- [15] 韩永霞, 岑伯维, 蔡泽祥, 等. 基于超效率模型的含分布式电源配电网能效评估方法[J]. 供用电, 2020, 37(12): 16-21.
- HAN Yongxia, CEN Bowei, CAI Zexiang, et al. Super efficiency model based energy efficiency assessment method for distribution network containing distributed generati[J]. Distribution & Utilization, 2020, 37(12): 16-21.
- [16] 刘旭娜, 魏俊, 张文涛, 等. 基于信息熵和模糊分析法的配电网投资效益评估及决策[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(12): 48-56.
- LIU Xuna, WEI Jun, ZHANG Wentao, et al. Investment benefits evaluation and decision for distribution network based on information entropy and fuzzy analysis method[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(12): 48-56.