

新电改环境下基于效用函数的电网投资决策评价方法

马倩¹,王昭聪²,潘学萍²,刘肖凡³

(1. 国网江苏省电力有限公司,江苏 南京 210024;2. 河海大学 能源与电气学院,江苏 南京 210098;
3. 南京知诸信息技术有限公司,江苏 南京 211189)

摘要:从技术、效益和项目成熟度3个指标出发,构建了新电改环境下电网规划项目投资排序评估的指标体系。为计及决策者的风险偏好,将效用理论引入投资评估中。首先根据各指标建立对应的效用函数,并求取其效用值,进一步采用模糊层次分析法获取上述3个指标的权重,最后基于向量距离合并规则算法求取投资排序综合效用值。以IEEE-RTS79节点系统为例,对不同输电规划项目进行了投资排序,并将所提方法与净现值方法进行了对比,说明了所提方法的可行性和有效性。

关键词:新电改环境;电力系统;效用理论;投资决策评价;模糊层次分析法;向量距离合并规则

中图分类号:TM 73;F 123.9

文献标志码:A

DOI:10.16081/j.epae.201910011

0 引言

随着新一轮电力体制改革的不断深入^[1],电网企业的盈利模式由传统的购销差价转变为市场环境下收取交易电量的过网费。由于输配电价和交易电量的不确定性^[2],电网公司面临较大的投资风险,需要新的投资决策评价方法。

目前在电网投资效益评估方面已有较多的研究报道。根据评价时段可分为前评价与后评价2类,前评价一般针对待建设项目开展评估,而后评价针对已完成项目开展评估,常采用确定性方法。国家电网公司高度重视电力建设项目的后评价工作,并相继出台了相关文件^[3-4]。电力市场背景下,环境以及人为等不确定因素增强,决策主体多元化,使得电网公司投资风险增大,因此有必要在项目规划阶段对待建设项目开展前评价工作,以获得精准投资方案,提高电网公司的投资收益率。

电网投资效益评估研究侧重于以下2个方面:一是评价指标体系的建立,二是评价方法的研究。在指标体系建立方面,部分文献侧重于对单一指标进行评估,如文献[5]构建了电网安全综合评价指标,对新建项目进行安全性评估;文献[6]将项目成熟度指标应用于银川电网建设项目的管理。单一指标侧重于问题的某一方面,结果具有片面性。目前常采用同时考虑技术效益及经济效益的综合指标体系进行评估,如文献[7]从电网运行效率和效益2个角度出发构建了计及新能源接入的电网效率效益评估指标体系;文献[8-10]基于设备的全生命周期,采用成本-效益净现值模型构建电网投资效益的决策

评价指标;文献[11]综合网络协调程度及经济性指标,对电网建设项目进行优化排序。由于电网规划建设项目属于典型的资金密集型项目,一旦实施将产生巨大的社会经济影响。为此本文在建立综合评估指标体系时,不仅考虑技术经济效益,同时还计及项目成熟度等客观性指标,将社会经济效益佳且具有建设条件的项目优先安排投资。

在评估方法方面,目前常用的方法包括模糊层次分析法^[12]、区间分析法^[13]、前景理论法^[14]、概率分析法^[8-10]等。模糊层次分析法由于指标的模糊隶属函数难以确定,故在应用上具有一定的局限性;区间分析法由于指标的精准区间较难获得,对评估结果可能造成偏差;概率分析法要求各指标概率分布已知,但实际工作中却难以确定。在对建设项目投资排序时,决策者的风险偏好往往起到关键性的作用,基于此,本文提出一种计及投资者风险偏好的基于效用函数的电网投资排序评估方法。

本文给出了综合技术效益、经济效益以及项目成熟度的电网投资综合指标体系,该指标体系全面且可操作性强。基于效用函数进行投资评估的步骤如下:首先求取各指标的效用值,然后采用模糊层次分析法求取各类指标的权重,最后采取向量距离合并规则算法求取项目总的效用值。算例结果表明本文所提方法可以为电网企业规划项目排序提供参考,能计及决策者的风险偏好,降低电网企业的投资风险。

1 电网规划项目投资排序综合评价指标体系

电网投资决策除着重于技术效益、经济效益以外,对于项目本身而言,项目成熟度也是决策的重要指标。为此,本文提出综合技术效益、经济效益、项目成熟度指标的综合评价体系,具体见图1。

收稿日期:2018-12-02;修回日期:2019-08-22

基金项目:国网江苏省电力公司科技项目(JSDL-2017-ZB01)
Project supported by the Science and Technology Project of State Grid Jiangsu Electric Power Co.,Ltd.(JSDL-2017-ZB01)

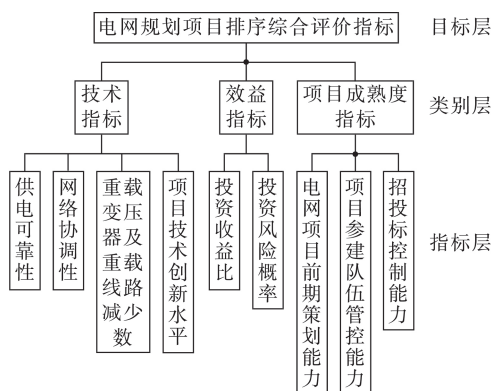


图1 电网规划项目综合评价指标体系

Fig.1 Comprehensive evaluation index system of power grid planning projects

采用层次分析方法建立指标体系时,将评价指标分为3层:目标层、类别层、指标层。类别层包含的具体指标如下。

(1)技术指标指项目投资给电网带来的技术效益,主要包括供电可靠性的提高、网络协调性的改善、重载变压器和重载线路数量的减少以及项目的技术创新水平等。

(2)效益指标指项目投资带来的直接经济效益,包括投资收益率和投资风险概率。在计算这2个指标时,着重考虑由增售电量、线损率变化带来的直接经济效益。

(3)项目成熟度指标指项目的前期策划能力、项目实施过程中的管控能力、项目的收尾能力以及实现项目预期目标的能力等。包括电网项目前期策划能力、电网项目参建队伍管控能力和招投标控制能力。

2 指标计算

图1中,指标层中的各指标分为定性指标与定量指标2类。其中技术指标中的项目技术创新水平以及项目成熟度指标中的电网项目前期策划能力、项目参建队伍管控能力、招投标控制能力皆为定性指标,其余为定量指标。

2.1 定性指标的量化方法

定性指标通过专家打分,采用梯形模糊数方法^[15]将其量化。本文采用的模糊等级及其对应梯形模糊数见表1。

梯形模糊数的隶属函数为:

$$G(x) = \begin{cases} G_L(x) = \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b < x \leq c \\ G_R(x) = \frac{d-x}{d-c} & c < x \leq d \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

表1 梯形模糊等级及其对应模糊数

Table 1 Trapezoidal fuzzy grade and its corresponding fuzzy number

模糊等级	梯形模糊数(a,b,c,d)
极度差	(0,0,0.1,0.2)
非常差	(0.05,0.15,0.25,0.35)
差	(0.2,0.3,0.4,0.5)
中等	(0.35,0.45,0.55,0.65)
好	(0.5,0.6,0.7,0.8)
非常好	(0.65,0.75,0.85,0.95)
极度好	(0.8,0.9,1,1)

其中, $G_L(x)$ 和 $G_R(x)$ 分别为梯形模糊数的左隶属度函数和右隶属度函数; a, b, c, d 为对应模糊数中的4个参数。

用梯形模糊数的期望值来计算各指标的数值,如式(2)所示。

$$V_{ij} = E(r_{ij}) = O \int_c^d x G_R(x) dx + (1-O) \int_a^b x G_L(x) dx = \frac{O(c+d) + (1-O)(a+b)}{2} \quad (2)$$

其中, V_{ij} 为第*i*个项目第*j*个指标的量化值; r_{ij} 为第*i*个项目第*j*个指标对应的模糊数;系数*O*反映了决策者的乐观程度,一般取*O*=0.5。

2.2 定量指标的计算

定量指标包括技术指标中的供电可靠性、网络协调性、重载变压器及重载线路减少数,以及效益指标中的投资收益率和投资风险概率。各指标的计算方法如下。

(1)供电可靠性。

通过计算系统失负荷率 P_{LOLP} 来描述供电可靠性。本文基于蒙特卡洛模拟法计算项目实施前后系统失负荷率的差值来表示供电可靠性的变化,如式(3)所示。

$$P_{LOLP} = \frac{1}{N_k} \sum_{t=1}^{N_k} F_{LOLP}(t) \quad (3)$$

其中, N_k 为总抽样次数; $F_{LOLP}(t)$ 为系统在状态*t*下的切负荷状态,等于1时表示切负荷,等于0时表示未切负荷。

(2)网络协调性。

文献[10]给出了网络协调性的计算方法,主要考虑的是线路协调性。线路协调性 D_L 通过线路负载率的标准差来衡量,具体表示为:

$$D_L = \sqrt{\frac{1}{N_L} \sum_{k=1}^{N_L} (L_k - \bar{L}_k)^2} \quad (4)$$

其中, L_k 为第*k*条线路的负载率; $\bar{L}_k$ 为第*k*条线路负载率的平均值; N_L 为总线路数。

(3)重载变压器及重载线路减少数。

对于给定的系统以及当前运行方式,计算各规划项目实施前后的潮流,据此获得项目实施前后系

统的线损率,并统计减少的重载变压器数和重载线路数。

(4) 投资收益比。

文献[9]采用全寿命周期方法以及不确定性方法计算各建设项目的成本和收益。

项目的总投资 T_0 为:

$$T_0 = \sum_{l=1}^{n_1} T_l (1+i_0)^{n_1-l+1} \quad (5)$$

其中, n_1 为全寿命周期,且 $n_1 = n_1 + n_2$, n_1 为建设周期, n_2 为运行周期; T_l 为每年的投资额; i_0 为折现率。

新电改环境下,电网企业的盈利模式与输配电价密切相关,电网投资项目的收益包括三部分:一是保底供电部分以购销差价为收益;二是参与市场交易的部分以收取过网费为收益;三是由于电网项目的实施,可能使得电网的线损率发生变化,由线损率变化带来的直接经济收益。

基于全寿命周期的项目收益 R 可表示为:

$$R = \sum_{l=1}^{n_2} (1+\mu\Delta\eta_l) [(1-\lambda)P_{2l}Q_l + \lambda P_{3l}Q_l] \frac{1}{(1+i_0)^l} - \sum_{l=1}^{n_2} [P_{1l}(1-\lambda)Q_l / (1-\beta_l)] \frac{1}{(1+i_0)^l} \quad (6)$$

项目收益 $R = R_1 + R_2 + R_3$, R_1 为未参与市场的购销差价的收入, R_2 为参与市场的过网费收入, R_3 为线损率变化带来的收入,其分别为:

$$R_1 = \sum_{l=1}^{n_2} \frac{P_{2l}(1-\lambda)Q_l}{(1+i_0)^l} - \sum_{l=1}^{n_2} \frac{P_{1l}(1-\lambda)Q_l}{1-\eta_l} \frac{1}{(1+i_0)^l}$$

$$R_2 = \sum_{l=1}^{n_2} P_{3l}\lambda Q_l$$

$$R_3 = \sum_{l=1}^{n_2} \mu\Delta\eta_l [P_{2l}(1-\lambda)Q_l + P_{3l}\lambda Q_l] \frac{1}{(1+i_0)^l}$$

其中, P_1 — P_3 分别为平均购电电价、平均售电价和平均输配电价; Q 为增售电量; λ 为市场化率; η 为线损率; $\Delta\eta$ 为线损率的变化值; μ 为线损率核定系数,一般取 0.5。

基于全寿命周期的项目投资收益比 P 可以表示为:

$$P = R / T_0 \quad (7)$$

(5) 投资风险概率。

将项目净现值大于 0 的概率作为投资风险指标,采用文献[9]中的不确定方法求取。

2.3 指标的归一化处理

由于各指标的属性不同,数值差别较大,为便于比较,需要将指标进行归一化处理。上述指标中有些属于成本型,有些属于效益型,因此采用式(8)所示的方法获得归一化结果。

$$\sigma_{ij} = \begin{cases} \frac{V_{ij} - V_{ij\min}}{V_{ij\max} - V_{ij\min}} & V_{ij} \text{ 为效益型指标} \\ \frac{V_{ij\max} - V_{ij}}{V_{ij\max} - V_{ij\min}} & V_{ij} \text{ 为成本型指标} \end{cases} \quad (8)$$

其中, $V_{ij\min}$ 和 $V_{ij\max}$ 分别为第 i 个项目第 j 个指标的最小值和最大值。

3 基于效用函数的投资排序评估模型

3.1 基于效用理论计算各指标的效用值

效用理论^[16]是物品满足人的欲望的能力或人对物品效用主观心理评价解释价值及其形成过程的经济理论。偏好分析^[17]作为效用理论的一个主要内容,能反映决策者的风险偏好。

本文将效用理论应用到电网项目投资排序评估中,根据投资者的风险偏好求取相对应的效应函数,主要分为保守型、进取型、中立型 3 种^[18]。当 $\varepsilon < 0.5$ 时, $U = \beta + \alpha \ln[\sigma + \varepsilon^2 / (1 - 2\varepsilon)]$; 当 $\varepsilon > 0.5$ 时, $U = 1 - [\beta + \alpha \ln\{1 - \sigma + (1 - \varepsilon^2) / [1 - 2(1 - \varepsilon)]\}]$; 当 $\varepsilon = 0.5$ 时, $U = \sigma$ 。其中, ε 为折算系数; σ 为各指标归一化后的值; U 为效用值。折算系数 ε 采用文献[18]中方法确定,系数 α 、 β 通过求取一些特殊的效用点及其对应的 σ 值采用线性回归来求得。

效用函数曲线见图 2。图中,效用值、指标值均为标么值,后同。由图 2 可知,当 $\varepsilon < 0.5$ 时,效用函数曲线为一条上凸曲线,表明决策者厌恶风险,对损失反应较敏感,此类决策者为保守型决策者;当 $\varepsilon = 0.5$ 时,效用函数曲线为一条直线,此类决策者为风险中立型决策者;当 $\varepsilon > 0.5$ 时,效用函数曲线为一条上凹曲线,此类决策者喜好风险,对利益反应敏感,为冒进型决策者。

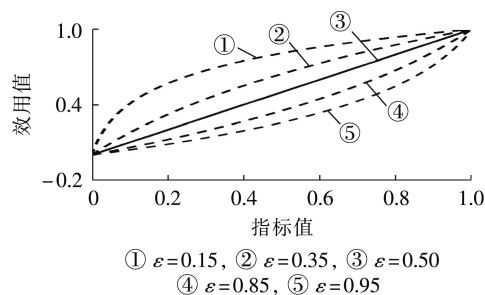


图2 效用函数曲线

Fig.2 Curve of utility function

基于效用函数方法进行决策时,不同 ε 下决策者的风险态度不同, ε 越小风险态度越保守, ε 越大风险态度越冒进。

3.2 基于模糊层次分析法求取各指标的权重

对于决策者而言,各类指标的重要性可通过权重系数来表示。本文采用模糊层次分析法^[19]求取各

类指标的权重。与层次分析法相比,模糊层次分析法在判断矩阵一致性问题上的适应性更强。

模糊判断矩阵 A 为 $n \times n$ 阶矩阵;若是类别层,则 n 为类别层指标数;若是指标层,则 n 为各类别层包含的指标数。矩阵中的元素具有如下的性质:

$$\begin{cases} A_{ii}=0.5 \\ A_{ij}=1-A_{ji} \\ A_{ij}=A_{im}-A_{jm}+0.5 \quad i,j,m=1,2,\dots,n \\ 0 \leq A_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (9)$$

其中, A_{ij} 为第 i 个指标和第 j 个指标的关系。若 $A_{ij}=0.5$ 则表明 2 个指标同等重要,若 $A_{ij}>0.5$ 则表明指标 i 比指标 j 重要, A_{ij} 越大,越重要。

模糊判断矩阵由专家打分来获取,统计专家打分结果获得模糊一致判断矩阵,进而求取各层指标的权重^[20],具体权重公式如下:

$$w_i = \rho \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{ij}}{\sum_{m=1}^n \rho \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{mj}} \quad (10)$$

其中, ρ 为决定权重的分辨率参数,取值为 e^ζ (若为类别层,则 ζ 为类别层指标数;若为指标层,则 ζ 为各类别层包含的指标数)。参数越大表示重要的指标权重越高且非重要指标的权重越低。

3.3 基于效用函数的项目排序方法

基于效用函数计算项目 i 的总效用值 U_T 时,现有方法常采用线性加权方法求取,如式(11)所示。

$$U_T(i) = \sum_{j=1}^n w_j U_{ij} \quad (11)$$

由于采用线性加权法要求指标间相互独立,然而图 1 所示的指标体系中各指标存在相互作用,采用线性加权法将导致评估结果存在偏差。为此本文提出基于距离向量合并规则^[18]求取目标层的总效用值,据此对待建项目进行投资排序。

由 θ 个效用值求取总效用的问题可以归结为求由 θ 个变量构成的实数值函数。 θ 维空间的各点函数值构成一个效用值曲面,在由 θ 维空间构成的曲面上必有唯一最理想点 $E(1,1,\dots,1)$ 和唯一最不理想的点 $D(0,0,\dots,0)$,最理想点对应的效用值为 1,最不理想点对应的效用值为 0,其他点都不同程度地劣于点 E 而优于点 D ,且其效用函数值介于 0~1。假设效用值曲面是平滑连续的,根据距离向量合并规则可知,平面上的点离最理想点越近,其效用值越大,反之,则效用值越小。效用曲面上的点到最理想点的距离为:

$$d_1(i) = \left\{ \sum_{j=1}^n [w_j (1 - U_{ij})]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

点 E 到点 D 的距离为 $d_2(i) = \left(\sum_{j=1}^n w_j^2 \right)^{\frac{1}{2}}$, 则项目 i

在效用空间中的总效用值 U_T 可表示为:

$$U_T(i) = 1 - d_1(i)/d_2(i) \quad (13)$$

4 算例分析

以图 3 所示的 IEEE-RTS79 系统为例,该系统的参数及运行情况见文献[21]。设由于地区负荷增长导致变压器及输电线路过载,需要对现有系统进行规划,规划项目 1—4 如图 3 中的虚线所示。取市场化率为 0.3,输电线路工程造价为 140 万元/km,变压器工程造价为 40 万元/(MV·A)^[22],设备运行 18 a 后报废。

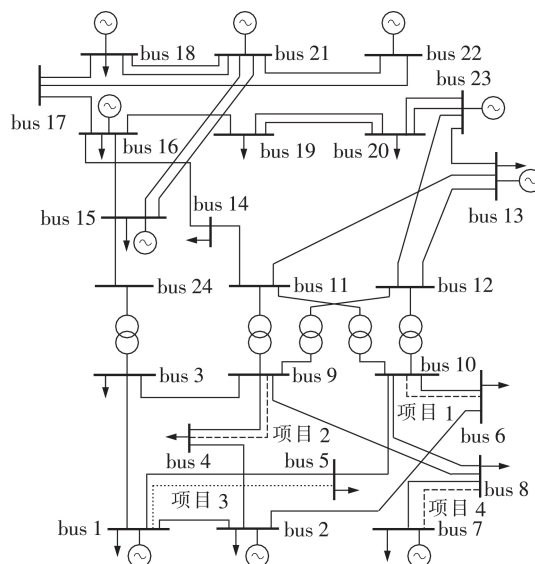


图 3 IEEE-RTS79 系统图

Fig.3 Diagram of IEEE-RTS79 system

以下为 4 个项目的具体实施情况。项目 1: bus 6 处负荷增加 136 MW, 拟在 bus 6 和 bus 10 之间新架一条长度为 25.76 km 的输电线路, 同时新增一台 80 MV·A 的变压器; 计划总投资 6 886 万元, 项目建设期为 2 a, 年投资费用为 3 443 万元, 年运行费用为 500 万元/a。项目 2: bus 4 处负荷由 74 MW 增加到 285 MW, 拟在 bus 4 和 bus 9 之间新架设一条 44 km 的输电线路, 同时将相应变压器从原 240 MV·A 扩容到 300 MV·A; 计划总投资费用为 8 080 万元, 年运行费用为 590 万元/a。项目 3: bus 5 处负荷由 71 MW 增加到 300 MW, 拟在 bus 1 和 bus 5 之间新架设一条长度为 36 km 的输电线路, 同时将相应变压器从原 120 MV·A 扩容到 320 MV·A; 计划总投资费用为 13 040 万元, 年运行费用为 520 万元/a。项目 4: bus 8 的负荷由 171 MW 增加到 270 MW, 拟在 bus 7 和 bus 8 之间新架设一条长度为 26 km 的输电线路, 同时将相应变压器从原 200 MV·A 扩容到 300 MV·A; 计划总投资费用为 7 640 万元, 年运行费用为 500 万元/a。

4.1 指标计算

按照第2节中的方法计算各定性指标与定量指标,各指标的归一化结果见表2。

表2 各指标归一化值

	指标	项目 1	项目 2	项目 3	项目 4
技术指标	网络协调性	0.6	0	0.2	1
	创新水平	1	0	0.33	0.67
	重载变压器 及重载线路减少数	0.5	0.75	0	1
	供电可靠性	0.113	0.081	0	1
效益指标	投资风险概率	1	0	0.283	0.3716
	投资收益比	1	0.021	0	0.371
项目成熟度指标	前期策划能力	0.636	0	1	0.636
	参建队伍管控能力	1	0.636	0.636	0
	招投标控制能力	0.5	0	1	1

4.2 指标效用值的求取

在求取各指标效用值时,为使项目之间具有可比性,将各指标的平均值作为对应指标的折算系数 ε ,并根据折算系数确定决策者对各个指标的态度,这样可以将决策者的主观偏好和客观的指标数据结合到一起。在求取效用函数时,分别将相应指标最优的项目指标值的效用值视为1,指标最差的项目指标值的效用值视为0,将其代入相应的效用函数即可求出参数 α 和 β ,再通过效用函数求取其他项目对应指标的效用值,结果见表3。

4.3 指标权重的求取

根据专家打分获得各指标层的模糊一致判断矩阵如下:

$$a = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.65 \\ 0.6 & 0.5 & 0.75 \\ 0.35 & 0.25 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (14)$$

取分辨率参数 $\rho=e^3$,可得到类别层技术指标、效益指标以及项目成熟度指标的权重,分别为0.3347、0.4518、0.2135。类似地,可以得到指标层各指标的权重系数,其中技术指标中网络协调性、创新水平、重载变压器及重载线路减少数以及供电可靠性的权重系数分别为0.1895、0.1404、0.2885、0.3816;效益指标中投资收益比、投资风险概率的权重分别为0.5498、0.4502;项目成熟度指标中电网项目前期策划能力、电网项目参建队伍管控能力以及招投标控制

制能力的权重分别为0.4573、0.2984、0.2443。

根据各类别层和各类别层包含的指标层权重,可以得到指标层相对于目标层的综合权重见表4。

表4 指标层的综合权重

指标	综合权重	指标	综合权重
网络协调性	0.0635	投资风险概率	0.2034
创新水平	0.0468	前期策划能力	0.0976
重载变压器及重载线路减少数	0.0967	参建队伍管控能力	0.0637
供电可靠性	0.1277	招投标控制能力	0.0522
投资收益比	0.2484		

4.4 综合效用值

采用距离向量合并规则,求取各类项目类别层的效用值和综合效用值见表5。

表5 类别层效用值及总效用值

指标	项目1	项目2	项目3	项目4
技术	0.3757	0.2528	0.0463	0.9131
效益	1.0000	0.0243	0.1186	0.4843
项目成熟度	0.6312	0.1122	0.5486	0.4206
总效用值	0.6287	0.1003	0.1363	0.5587

根据表5的综合效用值,可得4个待建项目的排序结果为项目{1,4,3,2}。

4.5 与净现值法排序结果的对比

目前常采用净现值方法对电网投资项目进行评估。由于市场环境下各因素的不确定性,在计算净现值时常采用概率方法,如文献[9]通过净现值的均值、方差以及净现值大于0的概率对电网建设项目进行评估。如果投资项目的净现值均值越高,说明收益越大;净现值大于0的概率越大,表明项目投资的风险越小。

图3所示系统算例的净现值结果如下:项目1—4的净现值均值分别为2825.3、1642.6、2084.9、2009.8万元,项目1—4的净现值方差分别为5818.4、6096.8、5956.6、5776.8,项目1—4的净现值大于0的概率分别为0.6864、0.6062、0.6289、0.6360。可以看出:项目1的净现值最大,净现值大于0的概率也最大,表

表3 4个电网投资项目排序指标效用值

项目	网络协调性	创新水平	重载变压器及重载线路减少数	供电可靠性	投资收益比	投资风险概率	前期策划能力	参建队伍管控能力	招投标控制能力
1	0.6466	1	0.4787	0.2416	1	1	0.6144	1	0.4573
2	0	0	0.7335	0.1827	0.0409	0	0	0.6144	0
3	0.2347	0.33	0	0	0	0.3335	1	0.6144	1
4	1	0.67	1	1	0.5242	0.4299	0.6144	0	1
折算系数	0.45	0.5	0.5625	0.2985	0.384	0.41365	0.568	0.568	0.625

明项目1的投资收益最优;项目2的净现值最小,且其净现值大于0的概率也最小,表明项目2的投资收益最低。比较项目3和项目4可以发现,项目3的净现值大于项目4,但项目4净现值大于0的概率小于项目3。如果决策者为风险偏好型,则项目排序为{1,3,4,2};反之如果决策者为保守型,则排序为{1,4,3,2}。

比较本文方法与净现值方法可以看出:虽然净现值方法中通过净现值大于0的概率这一数据能体现风险,但是当净现值与净现值大于0的概率这2个指标发生冲突时,决策者只能凭主观感觉进行决策,具有一定的盲目性。相反,当采用效用方法时,各指标的折算系数 ε 反映在效用函数的选择以及效用函数的凹凸程度(即风险偏好)上,据此进行决策时既可计及决策者的风险偏好,还能指导决策者进行理性决策。

5 结论

本文构建了新电改环境下电网规划项目投资排序综合指标体系,该指标体系包括技术指标、效益指标、项目成熟度3个方面。提出将效用理论引入电网规划项目投资排序评价中。采用效用理论对投资项目进行排序时,能将决策者的主观偏好与客观指标数据结合在一起,实现对决策者投资偏好的定量描述。同时在计算各项目的综合效用值时,提出了采用基于距离向量合并规则的方法,该方法可以避免单个指标过大而导致总效用值偏大的问题,使评估结果更加符合实际。

基于IEEE-RTS79节点算例系统对多个规划项目进行了投资排序,并将本文方法与净现值方法进行了对比,结果表明本文所提方法具有适用性及可行性,可为电网企业规划项目的投资排序提供参考。

参考文献:

- [1] 中共中央国务院. 关于进一步深化电力体制改革的若干意见[EB/OL]. (2015-03-15)[2017-01-19]. http://smartgrids.ofweek.com/2015-03/ART-290010-8480-28942130_3.html.
- [2] 国家发展与改革委员会. 省级电网输配电价办法(试行)发改价格〔2016〕2711号[EB/OL]. (2016-12-22)[2017-01-19]. http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201701/t20170104_834330.html.
- [3] 国家电网公司. 中央政府投资项目后评价管理办法〔2014〕2129号[EB/OL]. (2014-09-21)[2017-01-19]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201411/t20141127_649785.html.
- [4] 国家发展与改革委员会. 国家电网公司投资管理暂行规定〔2003〕355号[EB/OL]. (2003-09-10)[2008-11-11]. <http://www.ocn.com.cn/zcfg/200811/dianwang111157.htm>.
- [5] 崔明建,孙元章,杨军,等. 一种基于多层次灰色面积关联分析的电网安全综合评价模型[J]. 电网技术,2013,37(12):3453-3460.

CUI Mingjian, SUN Yuanzhang, YANG Jun, et al. Power grid security comprehensive assessment based on multi-level grey area relational analysis[J]. Power System Technology, 2013, 37(12):3453-3460.

- [6] 江楠. 银川电网建设项目成熟度模型及应用研究[D]. 北京:华北电力大学,2015.
- JIANG Nan. Study on maturity model and application of Yin-chuan power grid construction project management[D]. Beijing:North China Electric Power University,2015.
- [7] 方宇娟,王秀丽,师婧,等. 计及新能源接入的省级电网效率效益评估[J]. 电网技术,2017,41(7):2138-2145.
- FANG Yujuan, WANG Xiuli, SHI Qian, et al. Research on operation and economic efficiency evaluation of provincial power grid with integrated renewable energy[J]. Power System Technology, 2017, 41(7):2138-2145.
- [8] 王锦斌,谭忠富,张丽英,等. 市场环境下的电网投资风险评估的集对分析法[J]. 中国电机工程学报,2010,30(19):91-99.
- WANG Mianbin, TAN Zhongfu, ZHANG Liying, et al. Power grid investment risk evaluation model based on ser-pair analysis theory in power market[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(19):91-99.
- [9] 王锦斌,谭忠富,张蓉,等. 基于“增量法”下的电网投资风险评估模型[J]. 电工技术学报,2006,21(9):18-24.
- WANG Mianbin, TAN Zhongfu, ZHANG Rong, et al. Risk evaluation model of the power grid investment based on increment principle[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2006, 21(9):18-24.
- [10] 马倩,王琛,李杨,等. 增量配电业务放开下电网企业投资风险分析[J]. 电力建设,2017,38(9):139-144.
- MA Qian, WANG Chen, LI Yang, et al. Investment risk analysis of power grid enterprises under incremental distribution businesses opening[J]. Electric Power Construction, 2017, 38(9):139-144.
- [11] 黎灿兵,傅美平,梁锦照,等. 基于网络协调性程度评估的电网建设项目优化排序方法[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(17):112-115.
- LI Canbing, FU Meiping, LIANG Jinzhao, et al. Optimization sequencing for grid construction projects based on evaluation of network coordination[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(17):112-115.
- [12] 徐铭铭,曹文思,姚森,等. 基于模糊层次分析法的配电网重复多发性停电风险评估[J]. 电力自动化设备,2018,38(10):19-25.
- XU Mingming, CAO Wensi, YAO Sen, et al. Risk assessment of repeated multiple blackouts for distribution network based on fuzzy AHP[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(10):19-25.
- [13] 江修波,吴文宣,陈祥伟,等. 区间分析法在电力变压器全寿命周期成本模型中的应用[J]. 电力自动化设备,2011,31(9):50-53.
- JIANG Xiubo, WU Wenxuan, CHEN Xiangwei, et al. Transformer life cycle cost model based on interval analysis[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(9):50-53.
- [14] 李如琦,唐林权,凌武能,等. 基于云理论和前景理论的变压器状态维修风险决策[J]. 电力自动化设备,2013,33(2):104-108.
- LI Ruqi, TANG Linquan, LING Wuneng, et al. Risk decision-making based on cloud theory and prospect theory for conditional maintenance of power transformer[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(2):104-108.
- [15] LIOU T S, WANG M J. Ranking fuzzy numbers with integral value[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 50:247-255.
- [16] 成盛超,谢如贤,吴健中. 效用理论的历史与现状[J]. 系统工程理论与实践,1994(12):16-21.
- CHENG Shengchao, XIE Ruxian, WU Jianzhong. The past and the present of utility theory[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 1994(12):16-21.
- [17] 姜树元,姜青舫. 定常风险偏好效用函数式及其参数确定问题

- [J]. 中国管理科学, 2007(1):16-20.
JIANG Shuyuan, JIANG Qingfang. The functional expressions of utility measured as constant risk preference and parameters determination[J]. Chinese Journal of Management Science, 2007(1):16-20.
- [18] 毛义华. 效用方法评价施工企业综合经济效益[J]. 浙江大学学报(自然科学版), 1997, 31(5):592-599.
MAO Yihua. Applying utility theory to the synthetic assessment of economic benefit on construction enterprises[J]. Journal of Zhejiang University(Natural Science Edition), 1997, 31(5):592-599.
- [19] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2):80-88.
ZHANG Jijun. Fuzzy analytical hierarchy process[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2000, 14(2):80-88.
- [20] 兰继斌, 徐扬, 霍良安, 等. 模糊层次分析法权重研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006(9):107-112.
LAN Jibin, XU Yang, HUO Liang'an, et al. Research on the priorities of fuzzy analytical hierarchy process[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2006(9):107-112.
- [21] The Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee. IEEE reliability test system [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1979, 98(6):2047-2054.
- [22] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程通用造价 110 kV 输电线路分册[M]. 2014年版. 北京:中国电力出版社, 2014:14-16.

作者简介:



马倩

马倩(1973—),女,江苏常州人,高级工程师,硕士,主要研究方向为电网投资与管理(E-mail:13770683400@139.com);

王昭聪(1992—),男,河南长垣人,硕士研究生,主要研究方向为电力市场以及电网投资效益分析(E-mail:m18300604245_1@163.com);

潘学萍(1972—),女,安徽天长人,教授,博士,主要研究方向为电力系统分析与控制(E-mail:xueping_pan@163.com)。

(编辑 李玮)

Evaluation method of power grid investment decision based on utility function under new electricity reform environment

MA Qian¹, WANG Zhaocong², PAN Xueping², LIU Xiaofan³

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China;

2. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Nanjing Zhizhu Information Co., Ltd., Nanjing 211189, China)

Abstract: A comprehensive index system, which considers the technique, economy and project maturity, is constructed for investment sequence evaluation of power grid planning projects in the new electricity reform environment. To take the risk preference of decision-makers into account, the utility theory is introduced into the evaluation. Firstly, the utility function of each index is established and the utility value of each index is calculated. Secondly, the weights of above three indexes are obtained based on fuzzy analytical hierarchy process. Finally, the overall utility value of each investment project is obtained based on vector distance merging rule algorithm. Investment sequence evaluation of different planning projects based on IEEE-RTS79 system is carried out. The evaluation results are compared with those obtained from the net present value method, which demonstrates the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Key words: new electricity reform environment; electric power systems; utility theory; investment decision evaluation; fuzzy analytic hierarchy process; vector distance merging rule