

# 基于 TOPSIS—灰色关联度的农网投资 效益与风险能力综合评价

王利利<sup>1</sup>, 贾梦雨<sup>2</sup>, 韩松<sup>2</sup>, 李锰<sup>1</sup>, 刘巍<sup>3</sup>

(1. 国网河南省电力公司经济技术研究院, 河南 郑州 450052; 2. 贵州大学电气工程学院, 贵州 贵阳 550025;  
3. 国网河南省电力公司, 河南 郑州 450000)

**摘要:**随着国家在 2017 年提出“乡村振兴”策略, 农村电网势必又将面临新一轮的升级改造。如何平衡农网投资效益与风险将会是今后重要的研究课题。在传统配电网投资效益分析的基础上, 本文将环境影响、辅助服务与农网投资效益进行统筹, 提出包含项目效益、管理效益、节能减排和增值服务的新型农网投资评价体系, 同时考虑到投资体量大、资金收回周期长等因素, 引入农网投资风险评价体系, 并基于 TOPSIS—灰色关联度模型, 对数据样本的优劣性进行排序。为体现评价体系的完备性与评价方法的适应性, 选择不同供电公司进行实例验证。综上所述, 本文为电网投资决策者提供基于多方风险下不同投资方案的对比, 以更好地实现收益最大化。

**关键词:**投资效益; 投资风险; 理想解法; 灰色关联度

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.04.010 中图分类号: TM727 文章编号: 1673-9140(2020)04-0076-08

## Synthesized evaluation of investment efficiency and risk ability of rural network based on TOPSIS-gray incidence

WANG Lili<sup>1</sup>, JIA Mengyu<sup>2</sup>, HAN Song<sup>2</sup>, LI Meng<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>3</sup>

(1. Economic and Technological Research Institute, State Grid Henan Electric Power Co., Ltd., Zhengzhou 455000, China; 2. The Electrical Engineering College, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. State Grid Henan Electric Power Co., Ltd., Zhengzhou 455000, China)

**Abstract:** As the country proposes the "rural revitalization" strategy in 2017, the rural power grid inevitably faces a new round of upgrading and transformation. How to balance the benefits and risks of rural network investment becomes an important research topic in the future. Based on the analysis of traditional distribution network investment benefits, this paper integrates environmental impact, ancillary services, and rural power grid investment benefits, and proposes a new type of rural power grid investment evaluation system that includes project benefits, management benefits, energy conservation, emission reduction, and value-added services. At the same time, taking into account factors such as large investment volume and long period of capital recovery, the investment risk evaluation system of rural power grid is introduced. Based on the TOPSIS-gray correlation degree model, the advantages and disadvantages of the data samples are ranked to reflect the completeness of the evaluation system. In order to reflect the completeness of the evaluation system and the adaptability of the evaluation method, different power supply companies are selected for example verification. In summary, this paper provides power grid investment decision makers with a comparison of different investment schemes based on multi-party risks to better maximize revenue.

**Key words:** investment returns; investment risk; TOPSIS; grey relational degree

国家发改委颁布《关于“十三五”期间实施新一轮农村电网改造升级工程的意见》,提出加快新型小城镇、中心村电网和农业生产供电设施改造升级,稳步推进农村电网投资多元化。现阶段农村电网存在供电负荷密度不均匀、电能质量差以及变电站分布、线路规划不合理等问题,迫切需要新的投资策略进行引导;其次,光伏、风电等分布式能源的大规模建设,伴随着项目周期长、投资金额大等不确定因素,为电网公司带来了潜在的运营风险。因此,如何平衡投资效益与投资风险也是亟需解决的问题。

现阶段国内对农村电网投资效益与风险的文献较少,且集中在配电网的投资效益评价,具体可分为 2 个方面:①在指标选择方面。文献[1]基于配电网技术导则提出技术合理性、安全性和经济性在内的效益关联指标,并图示了指标关联性分析流程,为效益强相关指标的计算提供支撑。在此理论基础上;文献[2]提出以灰色关联度理论为核心,从配电网运行与电网投资效率出发,提出网络结构、协调能力等指标,结合投资策略流程对各指标评分,得到配电网薄弱环节为设备配置。进一步的加入投资收益率等经济学指标;文献[3]着重研究项目与管理效益 2 个方面,提出单位投资供电量、万元资产运行维护成本、检修费用完成率等 21 个三级指标,并对多个供电公司进行效益横向对比。②在评价延伸与方法方面。文献[4]提出计及配电网地理位置的投资效益评价体系,通过 DEA 模型对比不同区域的电网投资,并充分考虑自然环境对电网运行的影响。在智能电网的评价中还包含了政策、用户等主观性的指标<sup>[5]</sup>,目的是丰富整个评价体系。为更好地评估电网公司投资策略,文献[6]提出考虑电网电源侧投资风险指标,包含政策、市场、管理等 6 方面。

基于对现阶段农村电网投资评价的分析,该文改进传统投资体系涵盖范围小的问题,加入环境因素、政策导向、用户体验等新型指标,形成包含项目效益、节能减排效益、管理服务效益、增值服务效益在内的 4 个层次的新型指标体系,并基于现阶段农网投资政策与趋势,提出与之强相关的风险指标,并利用 TOPSIS—灰色关联度模型分别对不同供电公司进行投资效益与风险评价的实例验证。

## 1 新型评价体系优势

由于中国农村面积大,且村落分布较为分散,电网原始规划布局裕度不足,伴随着现阶段农村居民对供电可靠性以及供电公司服务的要求越来越高,国家加大对农村电网的投资比重已经刻不容缓。考虑到传统粗放型与集约型的电网投资方式已经不适用于现阶段电网全方位发展与用户多样化需求的背景,迫切需要挖掘新的投资模式以达到投资精准化、管理精细化和服务精心化的新标准。该文提出构建效益与风险指标的方法,旨在对农村电网的“点对点”投资以及公司运营情况给出量化的投资指导,如图 1 所示。

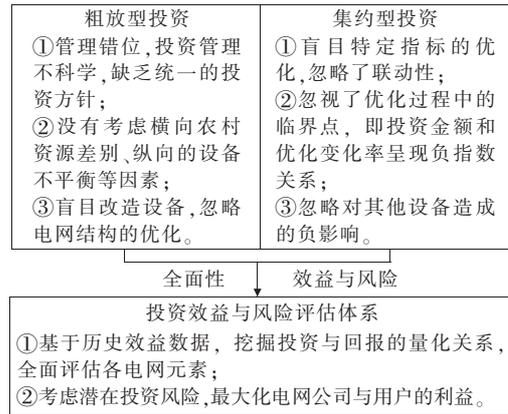


图 1 投资效益与风险体系优势

Figure 1 Investment benefits and risk system advantages

## 2 农网投资效益与风险评价体系

### 2.1 投资效益指标体系

建立农网投资评价体系目的是引导传统配电网投资由政策指引转变为精准指标的升级改造。在农村电网投资过程中,包括基础电网设施投资、电力调配与运营投资、新能源投资以及电网服务平台投资<sup>[7]</sup>。为了使评价更加客观地反映投资与效益的实际情况,该文依据科学性、完备性和适应性原则,并经过多次调查研究,建立包含项目投资效益、管理效益、节能减排效益与增值服务效益的农网投资效益综合评价体系<sup>[4,8-10]</sup>,其中,项目效益包含基础设施投资、投资收益以及部分关系电网可靠、安全运行的参数,管理效益指系统在运维、预测以及控制的快

速、准确反馈,节能减排效益包括分布式电源接入和农村居民终端电能替代的新增负荷两个方面,增值服务收益指最大化农村电网终端用户收益的技术手段。具体指标如表1所示。

表1 农网投资效益评价体系

Table 1 Agricultural network investment benefit evaluation system

二级指标	三级指标	序号
项目效益 指标	单位投资增供电量( $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{元}$ )	A1
	万元固定资产供电量( $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{万元}$ )	A2
	新增单位固定资产收益(元)	A3
	理论线损率(%)	A4
	容载比( $\text{kV} \cdot \text{A}/\text{kW}$ )	A5
	N-1 通过率(%)	A6
	单位配变容量供电量( $\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{kV} \cdot \text{A})$ )	A7
	新增单位配变容量供电量( $\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{kV} \cdot \text{A})$ )	A8
	每万元电网资产运行维护成本(元)	A9
	农村电网单位投资收益利润率(%)	A10
管理效益 指标	线路平均负载率(%)	A11
	成本费用利用率(%)	B1
	生产性检修费用完成率(%)	B2
	输变电设备状态评价完成率(%)	B3
	农网通用设备应用率(%)	B4
	电网建设与改造工程投资计划完成率(%)	B5
	负荷预测准确率(%)	B6
	售电量预测偏差率(%)	B7
节能减排 效益指标	农村电网重点项目资金计划完成率(%)	B8
	电费回收率(%)	B9
	分布式电源渗透率(%)	C1
	分布式电源利用率(%)	C2
	清洁能源发电率(%)	C3
	分布式电源用户比例(%)	C4
	温室气体排放量下降比(%)	C5
	电动汽车、电动三轮车比例(%)	C6
	发电节煤量(%)	C7
增值服务 效益指标	线路走廊节地面积占比(%)	C8
	用户降峰占比(%)	C9
	国家政策倾向度(分)	D1
	对农业发展支撑力度(分)	D2
	农网用户满意度(分)	D3
	农网业务更改用户适应度(分)	D4
	农网技术成熟度(分)	D5
	技术人员培训率(分)	D6

## 2.2 农网投资风险指标体系

农村电网的投资不能仅考虑规模的投入,同时也要明晰投资成本的回报以及公司未来运营风险。在传统的农村电网投资过程中,往往存在问题:①投资决策机制不健全,造成投资决策的随意性、主观性、盲目性和独断性;②项目审批部门从地方利益出发,没有从严把关,从而造成重复建设,使项目建成投产后缺乏市场应用,企业处于亏损状态;③缺乏风险意识,盲目追求政府报告中的“热门”电网问题;④对项目仅侧重于技术可行性的研究,缺乏对经济回报的论证,包括投资成本及项目建成后的收益等。因此,将电网的投资风险评估纳入整个投资效益体系是有必要的。该文将充分考虑经济发展情况、产业结构、自然环境等因素的综合影响,加之市场供需、用户需求以及区域电网设备层差异等因素的影响,力求对整个投资周期做全面的评估。

结合农网投资过程的典型特征,综合考虑项目、节能、管理和增值服务收益<sup>[11]</sup>,依据客观性、全面性原则,该文选取国家政策、项目选型、经济、管理与用户侧风险<sup>[12-13]</sup>等5个指标,如表2所示,通过计算风险指标的关联性,更好地辅助电网公司制定农网的投资决策(假设各风险指标互不影响)。

表2 农网投资风险性指标

Table 2 Rural network investment risk indicators

序号	二级指标	三级指标
E1	国家政策风险	政策倾斜度
		农网产业趋势
		投融资体制
E2	项目选型风险	市场竞争力
		市场需求度
		技术成熟度
E3	经济风险	技术先进性
		项目可持续性
		投资成本
E4	管理风险	收益率
		投资回收期
		运营管理风险
E5	用户侧风险	人力资源风险
		建设管理风险
		用户认可度
		用户体验

1) 国家政策风险。从政策倾斜度、农村产业趋势、投融资体制 3 个方面评估。就政策而言,不同阶段国家对电网的发展策略是有区别的,早期电网发展是以城市电网为主、农村电网为辅,现阶段是城乡电网兼顾,尤其是“十三五”期间,对农网新一轮改造以及分布式电源大规模接入后的基础设施。就产业趋势而言,随着农村小工业发展,电能需求由生活、农用灌溉向小商户、新型园区倾斜,未来农村电量需求急剧增长,对电网建设的裕度存量提出了极大挑战,但盲目的以远景年负荷预测数据为基础,可能带来电网设施资源闲置的风险。另一方面,伴随着部分新能源项目投资大、回收期长、维护成本高等问题,电网公司的融资也将会更加困难。

2) 项目选型风险。从居民需求、市场竞争、技术成熟度、技术先进性和项目可持续性等 5 个方面评估。居民需求直观反映了项目的立项意义与可行性,市场竞争间接表明了承建方的建设能力,技术成熟度反映了项目技术支持力度,技术先进性反映了项目理念的持久性,尤其是未来分布式能源大规模接入以及综合能源系统的建立,对技术的要求越来越高。项目可持续性则是对现阶段立项的远景展望,也是对于现阶段农网发展评述和未来电网裕度的反映。

3) 经济风险。从项目投资成本、收益率和投资回收期 3 个方面进行评估。从经济层面来看,设备升级改造以及风电、光伏等新项目的实施需要大量的资金投入。因此,是否具有充足的资金建设、运营后收益率是否满足要求以及投资回收期的长短是农村电网投资风险评价中非常重要的评价指标。

4) 管理风险。从运营管理风险、人力资源管理风险和建设管理风险 3 个方面进行评估。主要是评价电网建设、电网运行过程中突发情况的应对能力,并通过对管理者和技术人员的培训,降低农网运维层系统反应迟钝、定位故障时间长等问题出现的概率。

5) 用户侧风险。从用户认可度、用户体验两方面评估。电网公司提供辅助服务等新型增值类选项必须建立在用户的多元化需求之上。受限于农村地区居民上网条件不足的问题,可通过对用户进行问卷调查,提高用户对新增电网服务的认可度与参与度,降低用户对新产品及新服务的排斥度。

### 3 TOPSIS—灰色关联度模型研究

理想解法(TOPSIS法)是对最优解的排序,目的是寻求各评价标准(评价矩阵里边的每一列)的最优解,然后将对应列最优解抽象出来,构建一个虚拟的评价对象,并利用灰色关联度法对上述最优解矩阵进行关联度分析与权重优化,最后得到指标样本的相对优劣性排序。

1) 构造原始指标数据矩阵  $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ , 即

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $x_{mn}$  为第  $n$  个指标下第  $m$  个项目的评价值。

2) 各标度下进行同度量化,得到规范化的数据矩阵值为

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{(\sum_{i=1}^m x_{ij}^2)^{1/2}} \quad (2)$$

3) 计算第  $j$  项指标的熵值  $e_j$ , 即

$$\begin{cases} e_j = (1 + p_{ij}) / \sum_{i=1}^m (1 + p_{ij}) \\ e_j = -(\ln m)^{-1} \sum_{i=1}^m e_{ij} \ln e_{ij} \end{cases} \quad (3)$$

4) 计算第  $j$  项指标的熵权重:

$$\omega_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j) \quad (4)$$

5) 确定理想解。分别求解同属性指标的最值,并且以正向最大值和负向最小值组成正理想解,以正向最小值和负向最大值组成负理想解。

$$\mathbf{Y}_0^+ = (\max_{1 \leq i \leq m} y_{ij} | j \in j^+, \min_{1 \leq i \leq m} y_{ij} | j \in j^-) = (y_1^+, y_2^+, \dots, y_n^+) \quad (5)$$

$$\mathbf{Y}_0^- = (\min_{1 \leq i \leq m} y_{ij} | j \in j^+, \max_{1 \leq i \leq m} y_{ij} | j \in j^-) = (y_1^-, y_2^-, \dots, y_n^-) \quad (6)$$

式中  $y_{ij} = \omega_j p_{ij}$  为加权标准化矩阵元素值;  $j^+$ 、 $j^-$  分别表示正、负向指标,  $j^+$  越大表示指标越优,  $j^-$  越小表示指标越优。

6) 计算样本的欧式距离。设样本到正、负理想

解的欧式距离分别为  $D^+$  和  $D^-$ , 则

$$\begin{cases} D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n \omega_j (y_{ij} - y_j^+)^2} \\ D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n \omega_j (y_{ij} - y_j^-)^2} \end{cases}, i, j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

7) 计算样本与理想解的灰色关联度。样本  $i$  与理想解关于指标  $j$  的关联度系数为

$$\mu_{ij} = \frac{\min_i \min_j \Delta y_{ij} + \rho \max_i \max_j \Delta y_{ij}}{\Delta y_{ij} + \rho \max_i \max_j \Delta y_{ij}} \quad (8)$$

式中  $\min_i \min_j \Delta y_{ij}$ 、 $\max_i \max_j \Delta y_{ij}$  分别为最小与最大两级差;  $\rho$  为分辨系数, 在该文中取 0.5。当与正理想解样本对比时,  $\Delta y_{ij} = |y_j^+ - y_{ij}|$ ; 与负理想解对比时  $\Delta y_{ij} = |y_j^- - y_{ij}|$ 。灰色关联度矩阵为

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1n} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{m1} & \mu_{m2} & \cdots & \mu_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

求得第  $i$  个样本与正、负理想解的关联度为

$$K_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mu_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

8) 无量纲化处理, 即

$$\omega_i = \frac{W_i}{\max_{1 \leq m \leq m} W_i}, i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

式中  $W_i$  包括欧式距离  $D_i$ 、灰色关联度  $K_i$ ,  $\omega_i$  代指  $d_i$ 、 $k_i$ , 表示无量纲处理后的值。为更加量化观测样本与理想解之间的偏差, 特引入逼近程度值  $R_i$ , 即

$$\begin{cases} R_i^+ = \lambda_1 d_i^- + \lambda_2 k_i^+ \\ R_i^- = \lambda_1 d_i^+ + \lambda_2 k_i^- \end{cases}, i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

其中,  $\lambda$  反映主观决策者的喜好程度, 且  $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$ , 其数值完全服从决策者。

9) 计算样本贴近度与优劣性排序。为客观反映样本与理想解之间的逼近程度, 特引入贴近度:

$$\xi_i = \frac{R_i^+}{R_i^+ + R_i^-} (i = 1, 2, \dots, m) \quad (13)$$

利用式(13)求出对应样本的  $\xi_i$ ,  $\xi_i$  越大表示样本越优, 即更趋近正理想样本; 反之,  $\xi_i$  更趋近负理想样本。

## 4 算例

该文选取某地区 2016 年的农网投资数据以及参考其他统计数据, 对其管理的 3 个分公司进行农网投资评价, 原始数据如表 3 所示(序号含义参见表 1)。

进一步对 3 个公司投资风险性进行评估, 通过对电网公司科研人员与高校相关专业教师的问卷调查, 采用评分制(0~1 分)对国家政策、项目选型、经济、管理与用户侧等 5 个方面进行风险综合评估<sup>[6]</sup>, 具体得分如表 4 所示(为降低主观评分偏差过大, 该次评分中设置参数对应的分数界限, 并求解专家的平均分填入)。

表 3 农网投资效益原始数据

公司	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
A	0.967	1 690	0.108	3.33	2.98	99.03	1 360
B	0.865	1 520	0.058	5.96	2.23	100	1 275
C	0.854	4 130	0.107	2.78	2.16	99.76	1 887
公司	A8	A9	A10	A11	B1	B2	B3
A	1 775	146.52	5.4	47.98	24.71	96.54	98.67
B	1 710	243.09	5.7	30.07	18.34	92.76	99.89
C	2 190	377.18	5.1	65.45	37.30	95.23	96.49
公司	B4	B5	B6	B7	B8	B9	C1
A	98.67	95.28	100.01	97.55	100	97.55	29.0
B	99.89	97.39	101.51	96.60	92.25	96.60	40.6
C	96.79	98.65	104.27	94.06	86.75	94.06	34.8
公司	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A	20.7	8.6	29.0	5.2	4.5	5.2	1
B	28.9	10.0	33.8	9.5	3.7	9.5	2
C	28.9	8.6	31.4	7.6	4.1	7.6	2
公司	C9	D1	D2	D3	D4	D5	D6
A	7	95	80	93	90	95	95
B	5	88	82	87	88	94	96
C	5	90	90	85	85	94	98

表 4 3 个公司投资风险评分

公司	投资风险评分				
	国家政策	项目选型	经济	管理	用户侧
A	0.40	0.60	0.65	0.60	0.65
B	0.25	0.60	0.40	0.20	0.80
C	0.40	0.45	0.80	0.45	1.00

### 4.1 构建规范化矩阵

以表 3 中农村电网原始数据为基础,由式(2)得到投资效益体系与风险评估体系的规范化矩阵  $p_1$  和权重向量  $p_2$ ,由式(4)求解权重向量,分别为  $w_1$  和  $w_2$ ,即

$$p_1 = \begin{bmatrix} 0.001\ 620 & 0.001\ 449 & 0.001\ 431 \\ 0.071\ 961 & 0.064\ 739 & 0.175\ 900 \\ 0.039\ 679 & 0.021\ 314 & 0.039\ 308 \\ 0.044\ 144 & 0.079\ 008 & 0.036\ 848 \\ 0.012\ 614 & 0.009\ 441 & 0.009\ 145 \\ 3.29 \times 10^{-5} & 3.36 \times 10^{-5} & 3.35 \times 10^{-5} \\ 0.013\ 235 & 0.012\ 408 & 0.018\ 361 \\ 0.005\ 443 & 0.005\ 243 & 0.006\ 715 \\ 0.037\ 284 & 0.061\ 847 & 0.095\ 970 \\ 0.000\ 967 & 0.001\ 021 & 0.000\ 913 \\ 0.044\ 107 & 0.027\ 633 & 0.060\ 160 \\ 0.187\ 575 & 0.139\ 263 & 0.283\ 162 \\ 0.000\ 679 & 0.000\ 652 & 0.000\ 669 \\ 0.000\ 401 & 0.000\ 406 & 0.000\ 393 \\ 0.000\ 491 & 0.000\ 501 & 0.000\ 508 \\ 0.000\ 687 & 0.000\ 697 & 0.000\ 716 \\ 0.000\ 575 & 0.000\ 570 & 0.000\ 555 \\ 0.144\ 826 & 0.083\ 483 & 0.127\ 091 \\ 0.008\ 745 & 0.008\ 067 & 0.007\ 586 \\ 0.000\ 575 & 0.000\ 57 & 0.000\ 555 \\ 0.018\ 085 & 0.025\ 317 & 0.021\ 698 \\ 0.021\ 267 & 0.029\ 767 & 0.029\ 767 \\ 0.006\ 032 & 0.007\ 036 & 0.006\ 032 \\ 0.004\ 246 & 0.004\ 954 & 0.004\ 600 \\ 0.046\ 920 & 0.085\ 711 & 0.068\ 569 \\ 0.007\ 017 & 0.005\ 848 & 0.006\ 433 \\ 0.046\ 920 & 0.085\ 711 & 0.068\ 569 \\ 0.061\ 160 & 0.122\ 320 & 0.122\ 320 \\ 0.038\ 586 & 0.027\ 557 & 0.027\ 557 \\ 0.061\ 700 & 0.057\ 144 & 0.058\ 456 \\ 0.141\ 573 & 0.145\ 096 & 0.159\ 231 \end{bmatrix}$$

$w_1 =$

$$(0.004\ 5, 0.312\ 6, 0.100\ 3, 0.161\ 0, 0.030\ 2, 0.000\ 1, 0.044\ 0, 0.017\ 4, 0.195\ 0, 0.010\ 8, 0.003\ 0, 0.000\ 1, 0.131\ 9, 0.610\ 0, 0.002\ 0, 0.001\ 2, 0.001\ 5, 0.002\ 1, 0.001\ 7, 0.360\ 0, 0.024\ 4, 0.001\ 7, 0.355\ 4, 0.024\ 4, 0.001\ 7, 0.065\ 1, 0.080\ 8, 0.019\ 1, 0.013\ 8, 0.201\ 0, 0.019\ 3, 0.201\ 2, 0.305\ 8, 0.093\ 7, 0.177\ 3, 0.445\ 9, 0.250\ 4, 0.094\ 0, 0.004\ 2, 0.028\ 5)$$

$$w_2 = (0.960\ 2, 0.985\ 1, 0.965\ 6, 0.920\ 6, 0.980\ 8)$$

$p_2 =$

$$\begin{bmatrix} 0.384\ 08 & 0.369\ 413 & 0.321\ 834 & 0.460\ 300 & 0.245\ 200 \\ 0.192\ 04 & 0.369\ 413 & 0.214\ 556 & 0.153\ 464 & 0.326\ 901 \\ 0.384\ 08 & 0.246\ 275 & 0.429\ 113 & 0.306\ 836 & 0.408\ 699 \end{bmatrix}$$

### 4.2 求解欧式距离与灰色关联度

在构建的投资效益与风险体系中,依据指标的实际评判标准,将线损率、运行维护成本、预测偏差率以及全部风险类指标归为负向指标,其他指标归类为正向指标。由式(5)、(6)求解投资效益与风险评估的正、负理想解,分别表示为

$j_1^+ =$

$$(0.001\ 6, 0.180\ 0, 0.039\ 7, 0.044\ 1, 0.012\ 6, 3.28 \times 10^{-5}, 0.000\ 0, 0.000\ 0, 0.003\ 7, 0.000\ 9, 9.66 \times 10^{-5}, 3.28 \times 10^{-5}, 6.54 \times 10^{-5}, 0.000\ 9, 0.000\ 6, 0.018\ 1, 0.021\ 2, 0.059\ 7, 0.000\ 1, 6.77 \times 10^{-5}, 0.017\ 7, 6.77 \times 10^{-5}, 0.070\ 1, 0.007\ 4, 0.001\ 8, 0.001\ 3, 0.021\ 5, 0.001\ 7, 0.021\ 5, 0.203\ 0, 0.010\ 0, 0.141\ 0, 0.087\ 8, 0.032\ 6, 0.001\ 4, 0.093\ 6)$$

$j_1^- =$

$$(0.001\ 0, 0.165\ 0, 0.021\ 0, 0.079\ 0, 0.009\ 4, 3.36 \times 10^{-5}, 0.012\ 4, 0.005\ 2, 0.061\ 8, 0.001\ 0, 0.027\ 6, 0.139\ 2, 0.007\ 0, 0.000\ 4, 0.000\ 5, 6.9 \times 10^{-5}, 0.000\ 5, 0.000\ 7, 0.001\ 5, 0.001\ 1, 0.017\ 2, 0.001\ 6, 0.017\ 0, 0.027\ 6, 0.057\ 0, 0.145\ 0, 0.082\ 2, 0.031\ 2, 0.001\ 3, 0.009\ 5)$$

$j_2^+ =$

$$(0.384\ 08, 0.369\ 41, 0.429\ 11, 0.460\ 30, 0.408\ 69)$$

$j_2^- =$

$$(0.192\ 04, 0.246\ 28, 0.214\ 56, 0.153\ 46, 0.245\ 20)$$

由已知的正、负理想解,根据式(7)得到样本到正、负理想解的欧氏距离,并依据式(13)得到样本与正理想解的贴适度,具体如表 5 所示,其中取  $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.5$ ,并对贴适度进行样本优劣排序。

通过对表 5 分析得出:

1)在投资效益评估方面,样本与正理想解的贴适度顺序为  $\xi_C > \xi_A > \xi_B$ ,而在投资效益评估体系中,仅有 3 个指标为负向指标,对整体影响较小,根据关联度优劣原则,贴适度越大表示该样本越优质。因此,C 公司的农网投资效益最优,B 公司农网的投资效益最差;

2)在风险评估方面,投资效益评估中样本与正理想解的贴近度顺序为 $\xi_B > \xi_A > \xi_C$ ,但由于风险指标为负向指标,样本贴近度越大表示公司在政策、经济、管理等方面将面临的风险越大,因此,该次评价中公司C风险最小。由于风险评估的主观性,可能存在风险与效益贴近度的不完全匹配,可以辅助决策者制定供电公司的投资策略。

表5 正、负理想解欧式距离及贴近度值

Table 5 Euclidean distance and closeness to positive ideal solution

公司	投资效益评估			风险评估		
	欧氏距离(正)	欧氏距离(负)	贴近度	欧氏距离(正)	欧氏距离(负)	贴近度
A	0.103 9	0.125 1	0.23	0.195 6	0.397 1	0.33
B	0.136 1	0.200 3	0.20	0.428 7	0.147 8	0.74
C	0.167 2	0.102 1	0.31	0.156 8	0.364 9	0.31

## 5 结语

1)该文研究的出发点是立足于电网公司与用户两者的共同利益。首先,构建了涵盖范围广的农村电网投资效益评价体系,综合评估了包含项目效益、管理效益、节能效益与增值服务效益等4个方面的内容;其次,考虑到农网投资过程面临的不确定性因素,特构建了农网风险评估体系,旨在对电网公司运营情况做全面性和整体性评估。

2)评价过程基于TOPSIS—灰色关联度理论,构建了样本贴近度模型,并分析其逼近理想解的程度,发掘出数据有序性在态势分析的新定位。

3)通过对投资效益与风险的综合评价,对不同下属供电公司的投资收益进行对比,有利于省公司调整不同区域的电网建设策略。随着未来农村综合能源系统的建设,如何进行合理的投资也将成为电网公司重要的研究内容。

### 参考文献:

[1] 刘福炎. 基于投资关联性分析的配电网投资效益评价体系研究[J]. 浙江电力, 2016, 35(3): 68-71.

LIU Fuyan. Study on investment efficiency evaluation

system for distribution networks based on investment correlation analysis[J]. Zhejiang Electric Power, 2016, 35(3): 68-71.

[2] 吴争, 崔文婷, 龙禹, 等. 配电网投资效果后评价及投资合理性分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(12): 96-102.

WU Zheng, CUI Wenting, LONG Yu, et al. Post-evaluation and rationality analysis of distribution network investment[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2016, 28(12): 96-102.

[3] 李娟, 李晓辉, 刘树勇, 等. 基于理想解法和灰色关联度的配电网投资效益评价[J]. 华东电力, 2012, 40(1): 13-17.

LI Juan, LI Xiaohui, LIU Shuyong, et al. Investment benefit evaluation for distribution network based on TOPSIS and grey correlation degree[J]. East China Electric Power, 2012, 40(1): 13-17.

[4] 朱鹤, 杨丽徙, 朱延伟, 等. 计及地理空间信息的农网投资效益后评估方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2012, 24(5): 31-35.

ZHU He, YANG Lixi, ZHU Yanwei, et al. Rural power grid investment benefit post-evaluation method containing geospatial information[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2012, 24(5): 31-35.

[5] 孙晓东, 焦玥, 胡劲松. 基于灰色关联度和理想解法的决策方法研究[J]. 中国管理科学, 2005, 13(4): 63-68.

SUN Xiaodong, JIAO Yue, HU Jinsong. Research on decision-making method based on gray correlation degree and TOPSIS[J]. Chinese Journal of Management Science, 2005, 13(4): 68-71.

[6] 李彦斌, 于心怡, 王致杰. 采用灰色关联度与TOPSIS法的光伏发电项目风险评价研究[J]. 电网技术, 2013, 37(6): 1514-1519.

LI Yanbin, YU Xinyi, WANG Zhijie. Risk assessment on photovoltaic power generation project by grey correlation analysis and TOPSIS method[J]. Power System Technology, 2013, 37(6): 1514-1519.

[7] 刘胜利, 曹阳, 冯跃亮, 等. 配电网投资效益评价与决策模型研究及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 119-125.

LIU Shengli, CAO Yang, FENG Yueliang, et al. Research and application of distribution grid investment effectiveness evaluation and decision-making model[J].

- Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 119-125.
- [8] 杨红磊,盛万兴,王金宇,等. 基于模糊评价方法的农网改造升级工程投资效果分析[J]. 电工电能新技术, 2015,34(2):55-60.
- YANG Honglei, SHENG Wanxing, WANG Jinyu, et al. Fuzzy evaluation method of investment efficiency evaluation in rural distribution network transform and upgrade project[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2015, 34(2):55-60.
- [9] 贾梦雨,李猛,韩松,等. 基于博弈论组合赋权的农村电网综合评价体系研究[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(2):69-75.
- JIA Mengyu, LI Meng, HAN Song, et al. Research on rural power system comprehensive evaluation system based on game theory combination weights[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2020,35(2): 69-75.
- [10] 孔祥玉,尧静涛,崔凯,等. 考虑分布式电源接入的区域配电网规划投资决策方法[J]. 中国电力, 2020,53(4): 41-48.
- KONG Xiangyu, YAO Jingtao, CUI Kai, et al. Investment decision-making method for regional distribution network planning considering distributed generations[J]. Electric Power, 2020,53(4):41-48.
- [11] 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.
- [12] 王锦斌,谭忠富,张丽英,等. 市场环境下电网投资风险评估的集对分析方法[J]. 中国电机工程学报, 2010,30(19):91-99.
- WANG Jinbin, TAN Zhongfu, ZHANG Liying, et al. Power grid investment risk evaluation model based on set-pair analysis theory in power market[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(19): 91-99.
- [13] 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 Jinbin, 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.