

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2024.07.015

# 基于知识图谱的电网投资因素评价模型的研究与应用

杨芳芳<sup>1</sup>, 何 颀<sup>2</sup>, 孙文兵<sup>2</sup>, 胡成恩<sup>2</sup>, 邓华夏<sup>1</sup>

(1. 合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 国网安徽省电力有限公司安庆供电公司, 安徽 安庆 246001)

**摘要:** 文章研究电网投资决策模型, 考虑环境、经济、政策和技术等各种不确定条件影响。根据经济学投资的标准净现值、内部收益率和静态回收期评判投资的必要性。利用模糊层次分析的方法, 对影响投资的主要因素进行权重分析, 同时进一步说明不确定因素对投资的重要程度, 从而在考虑投资的过程中可以更加全面地预测盈亏。利用知识图谱的方式将各因素进行可视化的系统排序, 便于模型在以后的利用中能够动态提取信息和更新数据, 保证模型的可靠性。案例分析表明, 利用模糊层次分析和知识图谱相结合的方法可以有效预测不确定因素, 并且保证投资决策的准确性, 是一种适合电网投资预测不确定因素的有效方法。

**关键词:** 模糊评价; 层次分析; 知识图谱; 可视化

**中图分类号:** TM733 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-5060(2024)07-0957-05

## Research and application of evaluation model of power grid investment elements based on knowledge graph

YANG Fangfang<sup>1</sup>, HE Ju<sup>2</sup>, SUN Wenbing<sup>2</sup>, HU Cheng'en<sup>2</sup>, DENG Huaxia<sup>1</sup>

(1. School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Anqing Power Supply Company, State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Anqing 246001, China)

**Abstract:** This paper researches the impact of uncertain factors such as environment, economy, policy and technology on the power grid investment decision-making. The necessity of investment is valued based on the standard net present value(NPV), internal rate of return(IRR) and static payback period from an economic perspective. The method of fuzzy analytic hierarchy process is presented to analyze the weight of the main factors affecting investment. Meanwhile, the importance of uncertain factors for investment is revealed. Thus, the profit and loss can be more comprehensively predicted in the process of investment. The knowledge graph is utilized to visually sort the various factors. The proposed model can extract information and update data dynamically to ensure the reliability. Case analysis shows that the method with the combination of fuzzy analytic hierarchy process and knowledge graph can effectively predict uncertain factors and ensure the accuracy of investment decision-making, which is an effective method for predicting uncertain factors in power grid investment.

**Key words:** fuzzy evaluation; analytic hierarchy process; knowledge graph; visualization

知识图谱是由事物、属性和关系组成的可视化图形界面。可以通过知识图谱进行关系查询、

更新和修改, 不断完善知识图谱的时效性, 提高决策的准确性。本文主要就关系推理与模糊层次分

**收稿日期:** 2020-11-29; **修回日期:** 2021-01-05

**基金项目:** 安徽省自然科学基金资助项目(1908085J15); 国网供电公司科技(群创)资助项目(SGAHAQOOFZJS2000274)

**作者简介:** 杨芳芳(1993—), 女, 山东菏泽人, 合肥工业大学硕士生;

何 颀(1969—), 男, 江苏镇江人, 国网安徽省电力有限公司安庆供电公司高级工程师, 通信作者, E-mail: 1015241149@qq.com;

邓华夏(1982—), 男, 湖南郴州人, 博士, 合肥工业大学教授, 博士生导师。

析的方法,对知识图谱不断地实时更新<sup>[1-4]</sup>,以获得最新的推算结果。其中,关系推理主要是基于电力市场主要影响因素的重要程度,通过对比矩阵进行推演,计算出各个因素对于投资决策模型的权重。

面对市场环境的不确定性对电力投资影响程度的提升,电力投资领域将投资收益最大化作为最终目标,因此需要加大对不确定因素预测的力度,争取在有限的资源条件下,建立有效的评价级制,从而增加投资的成功率。由于传统电力系统的投资决策系统都是由国家来完成的,面对现有电力体制的改革,迫切需要建立一整套完备的投资决策模型,用于预测不确定因素对地方电力投资的影响程度。现有电力领域的竞争投资比较多样化、电价和原材料价格的浮动不确定性决定了投资是否可以产生收益。

针对本金回收的模型从经济学领域进行评估,包括净现值、内部收益率和静态回收期等。这些指标主要是对投资能力和水平作出初步评判,因此为了充分预测投资的各项影响因素,需结合上述静态预测和动态的不确定因素来充分考虑决策的准确性。在对不确定因素的细节分析中,通常考虑环境因素导致的投资收益的不确定性<sup>[5]</sup>,常用的方法有模糊层次分析法<sup>[6]</sup>、概率分析法<sup>[7-8]</sup>和蒙特卡洛法<sup>[9]</sup>等。

蒙特卡洛法是一种计算机随机模拟的过程,该方法的利用率非常高,结果也相对准确,但它无法反映各个因素之间的相互制约关系。模糊层次分析法和概率分析法均可以定量分析不确定性因素,但概率分析法更适合随机过程,因此本文选取模糊层次分析法,将影响投资决策的因素进行量化处理,与可视化图形结合,系统直观地展示不确定性因素之间的关系。

## 1 不确定因素的分析方法

净现值(net present value, NPV)法作为一种利用经济学原理预测投资可靠性的方法,其原理是将各年的净现金流量按照一定的比率进行折现,与 0 进行比较来评估是否有必要投资。其表达式如下:

$$N_{pv} = \sum_{t=0}^n (C_i - C_o)_t (1 + i_c)^{-t} \quad (1)$$

其中:  $C_i$  为项目在整个运行期每年的现金流入量;  $C_o$  为每年现金流出的金额;  $t$  为项目的整个生命周期;  $i_c$  为基准收益率。

判断的标准为:  $N_{pv}$  低于 0 时,表示收益率低于预期的收益;  $N_{pv}$  远超过 0 时,表示投资的收益高于预期。因此净现值的大小可以反映出项目的投资必要性。

根据净现值的大小可知,当  $N_{pv}$  为 0 时,内部收益率(internal rate of return, IRR)可以被计算出来。表达式如下:

$$\sum_{t=0}^n (C_i - C_o)_t (1 + I_r)^{-t} = 0 \quad (2)$$

其中,  $I_r$  为内部收益率。式(2)的主要含义如下:在  $I_r$  下,项目的生命周期结束后,每年的净现金之和与投资的金额相等;  $I_r$  越大,说明项目的经济价值越高。另外,当  $I_r > i_c$  时,表明投资项目在经济上可行;当  $I_r < i_c$  时,说明该项目投资在经济上可行性较低。

由于市场环境的变化,投资决策需要考虑到多方面因素的影响,本文针对影响投资收益的主要因素进行分析,其影响关系如图 1 所示。考虑各个因素的不确定性,本文利用模糊层次分析法,对各个因素进行量化处理。模糊层次分析方法主要适用于 3 层模型,本文主要计算直接因素层对目标层的影响程度,并与知识图谱相结合。

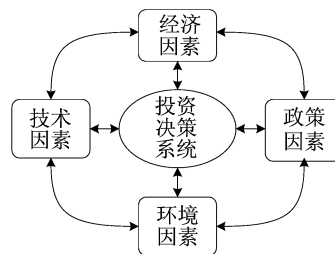


图 1 各影响因素对投资决策的影响关系

构建影响投资决策的因素进行评价矩阵的模型,确定模糊因素的影响集合。主要从环境、经济、政策和技术层面分析各个因素的影响权重,对各因素进行比较形成矩阵  $U$ ,利用 MATLAB 计算确定各个因素的影响权重并与知识图谱结合。矩阵  $U$  的公式如下:

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1j} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_{i1} & u_{i2} & \cdots & u_{ij} \end{bmatrix}$$

评价矩阵  $U$  主要是用于评判下层因素对上层因素的影响程度。首先确定单层因素的评价集,利用数字法构建多个不同因素的比较矩阵  $U$ ,确定比较矩阵的  $u_{ij}$ 。其中  $u_{ij}$  表示  $u_i$  对  $u_j$  的相

对重要性,利用“1-9”标注法分别确定,见表 1 所列。

表 1 “1-9”标注法评判的原则

指标	定义
1	$u_i$ 和 $u_j$ 一样重要
3	$u_i$ 比 $u_j$ 稍微重要
5	$u_i$ 比 $u_j$ 明显重要
7	$u_i$ 比 $u_j$ 强烈重要
9	$u_i$ 比 $u_j$ 极端重要
2、4、6、8	处于两重要程度之间
1~9 的倒数	$u_j$ 与 $u_i$ 相比

利用一致性评判指标  $C_1$  和分析比较矩阵  $U$  中各因素的影响程度  $C_R$  的计算合理性,利用算术平均法对列向量进行归一化处理,得到各个因素的权值大小<sup>[10]</sup>。 $C_1$ 、 $C_R$  计算公式为:

$$C_1 = \frac{\lambda - a}{a - 1} \quad (3)$$

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} \quad (4)$$

其中: $a$  为矩阵的阶数; $\lambda$  为矩阵的最大特征值。 $R_1$  取值见表 2 所列,当  $C_1$  越接近 0 并且  $C_R$  小于 0.1 时,一致性越好,说明建立的对比矩阵的可靠性较好。然后将所得的各个因素的权重与知识图谱相结合,利用所得到的权重对投资项目中的因素进行排序,最后进行可视化分析。同时,当投资过程中考虑的因素发生改变时,可以直接利用知识图谱的查询语句,对该因素的取值和位置进行更新,从而使得投资决策模型中的信息更加准确,节省信息校对的时间,保证投资方案的可靠性,帮助在未来的投资中把握有利的投资机会,提高投资收益率和降低风险。

表 2  $R_1$  取值

$a$	1	2	3	4	5	6
$R_1$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24

## 2 案例分析

为了充分预测安庆市高新园区投资方案的合理性,根据安庆市高新区已有用地规划,采用先分布后总量的思路,对未来几年的负荷进行预测。通过整合各类别负荷和总负荷,提出高、中和低 3 种负荷密度方案,该方案由 6 种因素组成,如图 2 所示,然后根据各方案由专家评判密度数据及打分确定因素的对比矩阵。

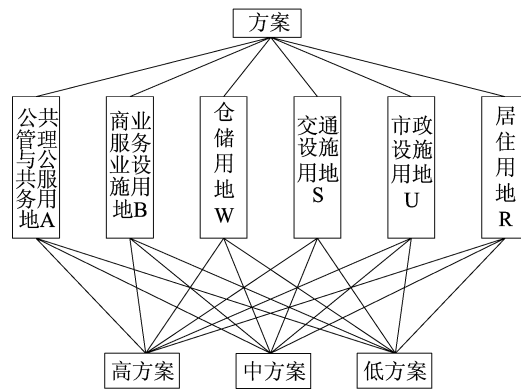


图 2 决策要素组成

表 3 各类性质用地负荷密度指标 单位: kW/hm<sup>2</sup>

用地性质	代码	高方案	中方案	低方案
行政办公用地	A1	500	400	300
文化设施用地	A2	400	350	300
A 教育科研用地	A3	500	400	300
体育用地	A4			
医疗卫生用地	A5	450	400	350
商业用地	B1	600	500	400
公用设施营业网点	B4	200	150	100
B 二类工业用地	M2	550	450	350
三类工业用地	M3	600	500	400
工业研发用地	MA	550	450	350
W 一类仓储用地	W1	30	25	20
城市道路用地	S1			
S 交通枢纽用地	S3	25	20	15
交通场站用地	S4			
供应设施用地	U1			
U 环境设施用地	U2	20	15	10
安全设施用地	U3	20	15	10
R 二类居住用地	R2	300	250	200

根据密度指标建设进行层次分析,本文利用“1-9”标注法确定层次单排序的比较矩阵为:

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 6 & 7 & 8 & 3 \\ 2 & 1 & 7 & 8 & 9 & 4 \\ 1/6 & 1/7 & 1 & 3 & 4 & 1/4 \\ 1/7 & 1/8 & 1/3 & 1 & 3 & 1/5 \\ 1/8 & 1/9 & 1/4 & 1/3 & 1 & 1/6 \\ 1/3 & 1/4 & 4 & 5 & 6 & 1 \end{bmatrix}。$$

由一致性分析知  $C_1=0.0839$ ,随机一致性指标  $C_R=0.0677 < 0.1$ ,因此该层次排序比较矩阵具有很好的一致性,说明该矩阵比较合理。

安庆市高新园区凤凰区区域如图 3 所示,该园区的占地面积为 11.73 km<sup>2</sup>,现拥有 10 kV 公用线路 10 条,长度 69.1 km;用户线路 9 条,长度 23.43 km;公用配变 8 台,容量 4.6 MVA;用户专变 68 台,容量 27.6 MVA。本文以该区域为案例,对其电网投资进行分析。

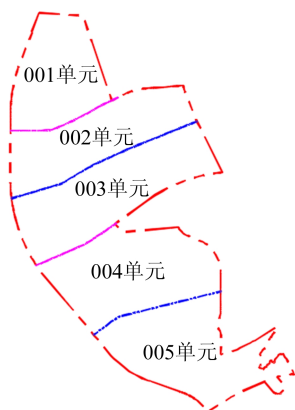


图 3 安庆市高新区凤凰城区网格图

现面临的问题是:间隔资源紧张,用户接入困难;负荷转移困难,区域供电能力不足;线路联络率低等。按照园区属性参考风险划分原则,该区域处于低风险级别,适合投资。由于该区域主要采取建设商业与工业结合的发展模式,本文主要抽取设施商业服务业设施建设、公共管理与公共服务、交通和市政设施 4 种建设因素,并构造单层比较矩阵,即

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 8 & 9 \\ 1/2 & 1 & 7 & 8 \\ 1/8 & 1/7 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/8 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}。$$

由计算知  $C_1 = 0.0537, C_R = 0.0597 < 0.1$ , 因此该比较矩阵有很好的 consistency。然后将 3 种方案进行层次总排序权重分析可得:

$$\omega = [0.448 \quad 0.132 \quad 0.419]^T。$$

通过该权重可知由于安庆市高新园区主要是工商业的发展,优先选择高方案对于未来

的发展是比较有利的。低方案的权重也相对较高,这是由交通和绿化的用电量比较少导致的。为了合理地进行电网投资,并结合高新区快速发展的经济模式,该高方案从长远利益来看是比较合理的。因此,计划在凤凰城区建设期项目的投资金额为 28 000 万元,其中包括土地费用、设备费等。

项目各年的现金流量见表 4 所列。从表 4 可以看出,在建设期 6 a 的时间内该项目投资金额为 28 000 万元,在项目投入运营期后,每年的原材料、人工成本、维修成本和技术管理成本等的平均投入是 17 484 万元。通过计算以往相同规模的工业园区的成本,参考安庆市的电价水平在 0.606 元/(kW·h),预计平均每年的售电量产生的营业收入为 29 269 万元。

在未缴纳利息时,该项目预估每年的平均收益为 11 786 万元。该数据主要是为了说明模型的实际应用过程。

根据净现值的计算公式可知,在基准收益率为 10% 的情况下,该项目的  $N_{pv}$  为 7 302 万元,远超过了 0,表明该项目具有投资的必要性;投资的内部收益率  $I_r$  为 15% (15% > 10%),表明该投资项目的经济价值较高。

从表 4 可以看出该项目的静态投资回收期为 9 a,因此该项目在经济上具有投资的可行性。然后利用模糊层次分析法,根据“1-9”评判表建立单层对比矩阵,计算直接影响因素环境、政策、经济、技术对目标层的影响,其中该对比矩阵的确定主要根据收益的最大化来建立。

表 4 项目投资现金流量

年份	2014—2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
现金流出/万元	28 000	15 257	14 659	18 638	20 577	16 853	18 918
负荷/MW	0	91	95	100	108	112	122
现金流入/万元	0	25 461	26 569	27 919	30 105	31 454	34 106
净现金流量/万元	-28 000	10 203	11 911	9 282	9 529	14 601	15 188
累计净现金流量/万元	-28 000	-17 797	-5 886	3 396	12 924	27 526	42 714

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/7 & 1/3 \\ 5 & 1 & 1/2 & 5 \\ 7 & 2 & 1 & 3 \\ 3 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}。$$

通过归一化计算得到层次单排序中各个影响因素的权向量为:

$$\psi = [0.0573 \quad 0.3488 \quad 0.4633 \quad 0.1305]^T。$$

计算出随机一致性指标为 0.0676 < 0.1,说明通过了一致性检验。该权重说明经济因素和政策因素对投资决策的影响力度相对较大,技术对投资决策的影响相对较小,环境因素对投资决策的影响程度最小<sup>[11]</sup>。在没有具体数据的情况下,可以通过隶属度矩阵进行多级指标评判确定权重。在该项目的资金流统计中,经济因素电价决

定了该项目的收益水平,政策的扶持对成本的控制比较有利。而在项目建设完成后,工人的福利薪资、技术支持和设备维护方面的支出相对固定,环境因素在原材料的运输和污染治理方面对资金的流量影响比较低。对上述项目影响因素进行系统分析后,结果显示投资中优先考虑的各个因素符合模糊层次分析后得到的权重值。

本文根据计算得到的各因素权重值对它们进行分层表示,并利用 Neo4j 做出了可视化的知识图谱<sup>[12-13]</sup>,如图4所示。该知识图谱主要由3层组成,即决策层、直接影响决策层的因素集和间接影响决策层的因素集。然后将计算得到的权重值更新到知识图谱的节点中,后期可以利用知识图谱的信息提取和更新功能,对决策模型进行不断的优化。利用模糊层次分析和知识图谱相结合的模型不仅可以对方案的选择做出评判,还可以对投资项目中的各影响因素进行系统分析。可以直接通过可视化的界面,找出对应因素的影响值,使其与投资预测中的因素形成统一,方便模型建立时的错误纠正,避免因考虑影响因素不全面而带来的损失。同时通过多个成功案例的实施,又可以对知识图谱进行不断信息优化,使它更加可靠。



图4 决策因素分层模型

### 3 结 论

本文首先分析了投资大环境下存在的主要不

确定因素的类型,然后利用模糊层次分析法建立对比矩阵,利用一致性指标对对比矩阵进行合理分析,并与实际案例相结合。从案例中可知,该模糊层次分析法不仅可以进行方案选择,而且可以有效预测决策中风险因素的影响程度,然后利用该方法计算值与知识图谱相结合,实现了各影响因素的可视化。通过知识图谱对信息的提取和快速更新作用,可以对投资模型进行实时评估,使得该模型在投资决策中拥有较高的可靠性,并有很强的适用性。

### [参 考 文 献]

- [1] 刘岍,李杨,段宏,等.知识图谱构建技术综述[J].计算机研究与发展,2016,53(3):582-600.
- [2] 刘焯豪,李华昱.领域知识图谱研究综述[J].计算机系统应用,2020,29(6):1-12.
- [3] 王元卓,贾岩涛,刘大伟,等.基于开放网络知识的信息检索与数据挖掘[J].计算机研究与发展,2015,52(2):456-474.
- [4] MAEDCHE A,STAAB S.Ontology learning for the semantic Web[J].IEEE Intelligent Systems,2001,16(2):72-79.
- [5] 周春生,长青,郭良勤.等待的价值:未来不确定性条件下的建设项目投资决策分析[J].经济研究,2001(8):79-85.
- [6] 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):19-25,31.
- [7] 王绵斌,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.
- [8] 王绵斌,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(9):18-24.
- [9] 王昭聪,马倩.基于层次分析和蒙特卡洛法的电网企业投资风险分析[J].智慧电力,2018,46(7):42-48,74.
- [10] 邓雪,李家铭,曾浩健,等.层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J].数学的实践与认识,2012,42(7):93-100.
- [11] 蔡俊雄,龚启慧,罗枫.基于层次分析法的科研项目绩效评价体系研究[J].生产力研究,2020(10):99-104.
- [12] 郭蕴颖.基于知识图谱的电网信息搜索引擎的设计与实现[D].沈阳:中国科学院沈阳计算技术研究所,2020.
- [13] WEBBER J. A programmatic introduction to Neo4j[C]//ACM Conference on Systems, Programming, and Applications: Software for Humanity. [S. l.]: ACM, 2012: 217.

(责任编辑 李 凯)