DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)08-0169-05

基于混合评价策略的综合评价模型在电网建设中的应用

韩立芝[1]，刘明红[2]，刘灵爽[2]，王大军[3]

（1.国网新疆电力有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000；
2.国网新疆电力有限公司经济技术研究院，新疆 乌鲁木齐 830063；
3.国网新疆电力有限公司阿勒泰供电公司，新疆 乌鲁木齐 836500）

摘　要：针对项目后投资评价对电网建设的重要性，提出一种基于混合评价策略的综合评估模型。首先对项目后评价的基本原则及最终目的进行介绍，并对常见的项目评价策略进行对比，最终选取基于层次分析优化的模糊综合法进行电网项目评估。对模糊综合法的基本原理和流程进行了介绍设计，实现对项目的定量分析，接着引入层次分析计算各层指标的权重，加强对项目的定性分析。最后选用某电网建设项目数据进行分析，结果表明，项目评价总得分为8.82，等级为良好，与实际情况相符，因此，基于层次分析与模糊综合的项目评价方法具有一定的可靠性。

关键词：项目后；层次分析；模糊综合；指标；权重；评估模型

中图分类号：TP274+.2　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1003-7241(2025)08-0169-05

Application of Comprehensive Evaluation Model in Hybrid Power Grid Construction Based on Hybrid Evaluation Strategy

HAN Lizhi[1], LIU Minghong[2], LIU Lingshuang[2], WANG Dajun[3]

(1. State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi 830000, China;
2.State Grid Xinjiang Economic Research Institute, Urumqi 830063, China;
3.State Grid Aletai Electric Power Supply Company, Urumqi 836500, China)

Abstract: Aiming at the importance of post-project investment evaluation to power grid construction, a comprehensive evaluation model based on mixed evaluation strategy is proposed. First of all, the basic principles and final purpose of the project post-evaluation are introduced, and the common project evaluation strategies are compared. Finally, the fuzzy comprehensive method based on hierarchical analysis optimization is selected for power grid project evaluation. The basic principle and process of the fuzzy synthesis method are introduced and designed to realize the quantitative analysis of the project, and then the hierarchical analysis is introduced to calculate the weight of each layer index to strengthen the qualitative analysis of the project. Finally, the data of a power grid construction project is selected for analysis. The results show that the total score of the project evaluation is 8.82, which is good and consistent with the actual situation. Therefore, the project evaluation method based on hierarchical analysis and fuzzy synthesis has certain reliability.

Keywords: after the project; hierarchical analysis; fuzzy synthesis; indicators; weight; evaluation model

0　引言

电力行业作为国家安全的保障，以及社会经济发展的支柱，是非常重要的基础设施之一，大面积的电网事故，会造成难以估量的社会混乱。因此，国家对于电力工业的重视程度极高，这也表明电网建设投资的管理运营等标准更高。投资人通过项目后评价对其进行监管，该部分是电网项目投资流程中的重要组成部分，它不仅能够提升项目的可行性规划，保证运行的准确性，还能够对已完成的建设进行有效反馈，为后续投资提供参考意义[1]。此外，由于项目后评价包括对整个建设的全流程总结，这也能看到预估情况与现实的差距，加强后续的管理维护。常见的方法包括基于文献、基于问卷调查、基于专家评分以及基于理论与实际结合的方式[2]。

王道静等认为电网建设时的评估水平较低，因此提出一种基于层次-熵权模型的评价系统，将其转变为微观层面上的数据分析形式，并引入神经网络进行优化，实验验证了其方法的有效性[3]。艾欣等认为了解电网评级的发展能够促进其不断进步，在原有的指标基础上，构建了一种基于优化模糊评价的电网项目建设评级模型，综合考虑了项目的内外部因素，提出了动态的评估体系，同时

*基金项目：新疆自治区电力改造专项项目（BD30JY230002）
收稿日期：2023-12-25

引入隶属度函数等进一步优化，实验结果表明，其模型能够对电网建设项目进行正确评估[4]。ORA等提出可再生能源技术决定着电力工业的发展走向，并意识到电力系统评估不充分导致的能源市场动态信息缺失，因此构建一种基于决策辅助框架的启发式投资评估模型，保证其回报率高于7%，并以年为单位，进行了评估期的保证，结果表明，其投资评估方法确实能够提升电网建设的发展周期，加强建设的稳定性等[5]。

虽然研究方法众多，但同时对项目进行定性和定量分析的还较少，并且针对电网建设项目的后评价体系建立也不完善。因此，本文提出一种基于层次分析与模糊综合的项目后评价模型，能够同时满足对其定性与定量的分析。

1 基于层次分析与模糊综合的项目后电网建设评估模型

1.1 电网建设项目后模糊综合评估框架模型搭建与评价体系建立

在项目投资流程完成后，需要进行项目后评价，即通过对实际运营和决策阶段的各项指标对比，进行其在经济、环境以及技术等方面的评估。与项目前的可行性评估目的不同，项目后评估是以总结反馈为目的，旨在督促后续项目的不断完善，但两者的评价指标大致相同[5]。项目后评估需要遵循数据真实性、独立于客户性、单位合作性、优化探索性以及反馈性五个基本原则。常见的项目评估策略有逻辑框架法、层次分析法、模糊综合评价法以及神经网络法，每种方法都有相应的优缺点，比如基于神经网络的评估方法，具有较强的自适应能力，但受样本数量的限制，难以达到高精度评估的效果[6]。电网建设工程的项目后评估的特点，包括多面性、高层次性、权重性以及模糊性等，仅靠传统的数学处理已无法满足其基本需求，而基于数学语言和定量的模糊数学，则能解决这一问题。同时再引入层次分析法，搭建一个多层次模糊的综合评估模型，既能解决评估对象的复杂关联性，也能处理其中存在的模糊问题，与电网建设项目的多目标属性较为重合。并且同时结合了定性和定量的指标，能够最大程度地避免主观性问题[7]。其中，模糊综合评价的基础是以各种模糊关系组合而成的数学模型，旨在为边界不清晰的指标提供一个量化标准，是作为定性分析的基奠存在的，与其是相辅相成的关系，模糊综合评价流程如图1所示。

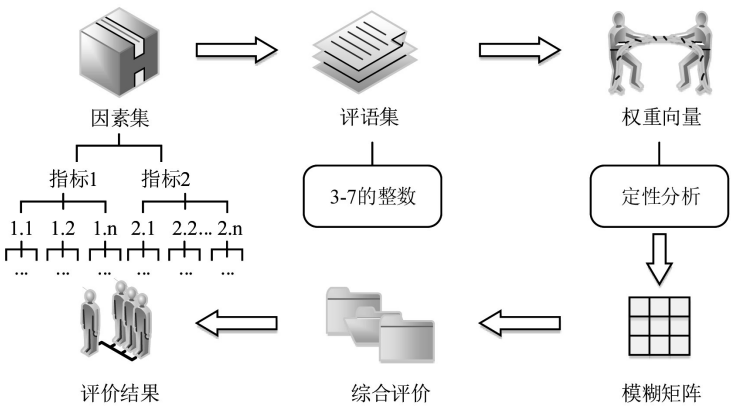


图1 模糊综合评价模型基本流程

首先需要确定评价对象的因素集，如式(1)[8]为

$$U=\{u_1,u_2,...u_m,\} \tag{1}$$

式中，m表示评价指标的总数。

接着需要计算其对应的评语集，如式(2)为

$$V=\{v_1,v_2,...v_n,\} \tag{2}$$

式中，n表示[3,7]区间中的整数评语等级。评语集可按照评级个数进行分类，如强中弱，以及好、良好、普通、差等情况。然后需要对因素的权重向量进行计算，旨在将其与定性分析相结合，需要引入一些方法进行结合。最后的评分结果是某评语的人数与总人数之比，并且在归一化后，该值的合集为1，则模糊矩阵$\boldsymbol{R}$如式(3)为

$$\boldsymbol{R}=\left[R_1,R_2,...,R_n\right]^T \tag{3}$$

由此得到的模糊综合评价矩阵，如式(4)为

$$\boldsymbol{B}_i=\boldsymbol{W}_i\odot R_i=\left(b_1,b_2,...,b_m\right) \tag{4}$$

式中，$\boldsymbol{W}_i$表示因素的权重向量矩阵。研究选择优秀、良好、中等、及格以及差作为评判等级，最终的综合评价结果F如式(5)[9]为

$$F=B\bullet V \tag{5}$$

式中，V表示评价的得分值。

通过对后阶段的各项数据分析，建立了总的评价指标模型，项目后评价指标体系如图2所示。

可以看出，整体的评价模型分为3层，每层指标下对应着不同的子指标。一级评价指标包括对建设过程的评价、对项目建设效果和收益的评价、对环境和社会效益的

评价，以及对项目建设目标和可持续性的评价。在一级指标之下，又分别划分为不同的子指标。

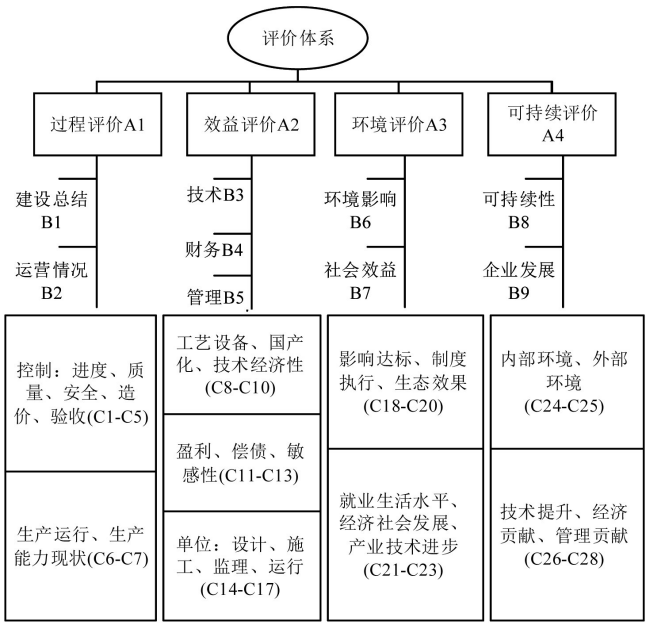


图2 电网建设项目后投资评价体系总体模型

1.2 基于层次分析的模糊综合指标评价模型定性优化

层次分析旨在通过定量与定性的方式，根据人为判断进行指标量化的过程，在多模块的复杂决策场景中具有较好的表现，因此研究选取该方法作为模糊评判的优化模块，即权重向量计算过程。其基本步骤包括5步，首先需要搭建指标层次结构基础模型，包括目标层、准则层、指标层以及分指标层。目标层是问题的最终目的指标，准则层为目标层的下层分支，分为建设过程、项目效益、电网性能、干扰因素以及可持续性，指标层和分指标层则对应着上层指标的分支[10]。接着需要构建判断矩阵，这是因为在指标对比的同时，还需要兼顾下层指标在数量上的差别，如式(6)所示。

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{n1} & b_{2n} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中，$\boldsymbol{A}$表示$n\cdot n$的判断矩阵，b表示矩阵中的各种分指标。

层次分析法的量化方法为1-9标度法，如图3所示。

可以看出，当标度为偶数时，则选择相邻两个判断的中间数，而按照奇数的叠加，则表示前一个因素相对于后一个因素，其重要程度的叠加。当判断值为倒数时，其重要性之比也为倒数[11]。计算特征根和特征向量的方法是进行矩阵运算，其关系如式(7)所示。

$$\boldsymbol{AW}=\lambda_{\max} \tag{7}$$

式中，$\boldsymbol{W}$表示特征向量，λ表示特征根。

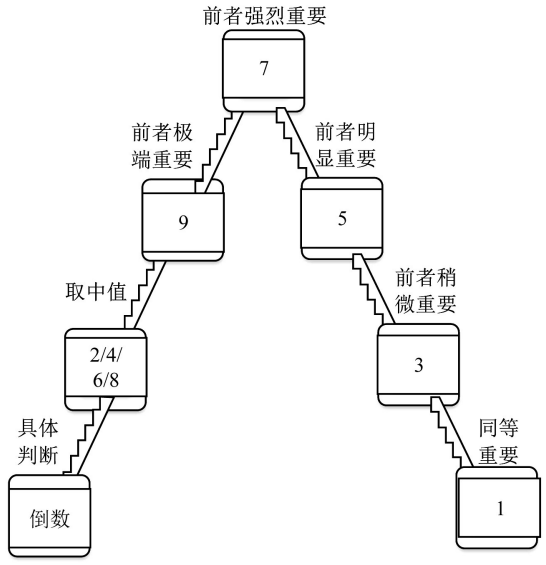


图3 层次分析量化标度模型

特征向量既是相对于特征根的正规化向量，也是指标权重系数。研究选择几何平均法进行单排序，首先需要对行元素进行相乘，并导出其n次方根，以此计算权重和特征根最大值，如式(8)所示。

$$\begin{cases} w_i=\dfrac{P_i}{\sum_{j=1}^{n}P_i} \\ \lambda_{\max}=\dfrac{1}{n}\sum\dfrac{(\boldsymbol{AW}^T)_i}{w_i} \end{cases} \tag{8}$$

式中，w_i表示权重，$\lambda_{\max}$表示最大特征根，P_i表示n次方根，i表示任意元素，n表示判断矩阵阶数。

接着进行一致性检验，矩阵对角线上的元素均为1，其右上和左下元素相倒，并且指标之间存在递进的相互关系。若判断矩阵不能完全符合上述三种条件，则表示指标的权重和评价策略之间是相互矛盾的。评判过程难免会受到个人的主观认知影响，研究引入矩阵理论进行优化，旨在限制矩阵的误差区间，当其不产生矛盾时，最大特征根与判断矩阵阶数是一致的，反之，判断矩阵没有达到完全一致性。一致性验证如式(9)所示。

$$C_l=\left(\lambda_{\max}-n\right)/\left(n-1\right) \tag{9}$$

式中，C_l表示一致性验证指标。

C_l值的大小与完全一致性成反比，然而，该指标无法满足一致性判定的精度，因此利用随机一致指标进行优化，如式(10)所示[12]。

$$C_R=C_l/R_l \tag{10}$$

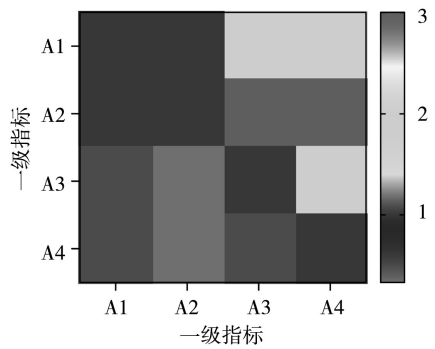
式中，R_l表示随机一致指标，C_R表示一致性比例。

当一致性比例小于0.1时，判断矩阵是正常的，否则需要对其进行重新整合。最后对指标进行排序，就能得到最终的指标排序。

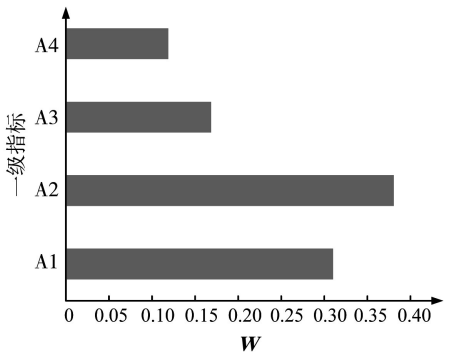
2 基于层次分析与模糊综合的项目后评估模型在电网建设中的应用分析

2.1 基于层次分析的指标权重计算的定性评价

为验证项目后投资评价模型的可靠性，研究选取了某电力公司的110 kV输变电工程项目进行分析。该项目的可研估算值为14 331万元，初设概算值为14 077.4万元，竣工结算为12 930.45万元，结余率达到了8.15%。首先需要通过层次分析法确定各权重的权重值，将调查问卷发放给在设计领域、管理领域等多个相关范围的专家，进行调查咨询，并在yaahp平台完成计算。得到一级指标的权重矩阵及大小如图4所示。



(a) 一级指标权重矩阵



(b) 一级指标权重值

图4 一级指标层次分析的权重矩阵结果

由图4(a)可以明显看出各指标之间的对比关系，比如建设过程评价指标A1与环境社会效益评价指标A3相比，前者的权重是后者的1倍。而目标和可持续性的评价指标A4是建设效果和收益的评价指标A2的1/3。最终得到的各指标的权重值大小分别为0.317、0.389、0.172、0.122，根据权重向量，代入式(8)进行计算，最终得到其最大特征λ_{max}根为4.081，最后代入式(10)进行一致性检验，可得到一致性检验指数达到了0.003 05，该值是小于0.1的，因此计算得到的判断矩阵符合一致性检验要求，是正确且有效的。按照同样的方法对评价模型的二级指标和三级指标，进行了权重计算，得到的结果如表1所示。

根据表1中各指标的权重可知，针对建设项目的技术水平评价指标和项目财务评价指标是最重要的，针对过程评价的建设实施总结评价指标也较为重要，这三种指标的权重达到了二级指标总体权重的47.9%，可见其在建设评估中的重要性。而对三级指标的权重计算中，评估着重于其盈利能力，占第三层级指标权重的6.9%，其勘察设计的能力则是最次要的评估指标。但从整体上看，指标之间不存在级数差别过高的现象，因此在评估中，需要尽可能地考虑到每一种评价指标的得分。

表1 二级指标与三级指标权重计算值

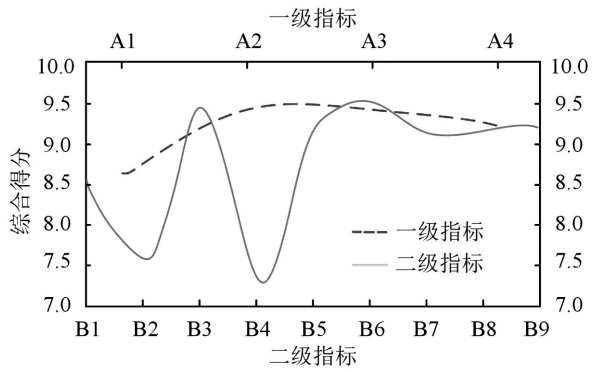
指标层级	指标	权重
二级指标	B1	0.139
	B2	0.077
	B3	0.093
	B4	0.170
	B5	0.170
	B6	0.100
	B7	0.100
	B8	0.075
	B9	0.075
三级指标	C1~C7	0.022/0.022/0.046/0.022/0.0360.026/0.047
	C8~C17	0.043/0.020/0.029/0.069/0.056/0.045/0.052/0.028/0.032/0.021/0.048
	C18~C23	0.048/0.022/0.032/0.048/0.032/0.022
	C24~C28	0.025/0.046/0.021/0.030/0.055

2.2 基于模糊综合法的电网建设项目后投资评价应用

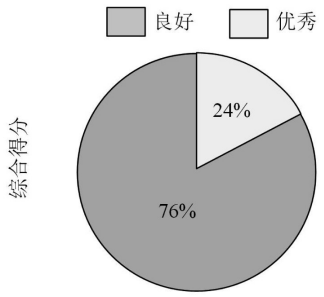
根据方法中对评判准则的选取，将优秀~差的等级分值，分别设置为9、7、5、3、1分，相邻等级间则为对应的偶数。研究通过打分情况划分评语集，并利用归一化运算，获得不同指标的隶属度值，最后以此为依据搭建模糊关系矩阵。根据上述原理可得到各指标的综合评价得分，如图5所示。

由图5(a)可知，一级指标中A1、A2、A3、A4的综合评判得分分别为8.62、9.43、9.41、9.25，除了过程评价的评价为良好，其余指标的评价均达到了优秀。而二级指标中，有3项指标的得分在[7,8]区间，即表示该指标评价为良好，未达到优秀，分别是对项目建设实施的总结指标，项目的运营现状指标以及对项目财务的评价指标，其得分分别为8.55、7.06、7.29，其余指标得分均值为9.36。根据上述数据可得到总的项目评价得分为8.82，评价为良好。以财务收益为例，其工程税后实际收益率为6.4%，低于国家相关要求的基准值0.6%，资本金税后内部收益率也低于国家标准0.66%，因此与计算结果的相符的。在社会效益方面，其电压综合合格率在99.8%以上，因此该方面的对应指标得分也更高，其变电站的负载率均值上升至26.5%，

也为企业发展作出了贡献。大量的数据表明，项目在设备利用率和建设周期方面出现了问题，轻载化导致了电量负荷降低，进而降低了项目效益，无法回本。而在前期的线路等准备中效率过低，拉长了项目建设时间，难以实现投资成本的控制。因此，在后续电网建设项目中，应加强建设地的实地考察，及时与相关政府机构交流建设滞后等问题，提升项目建设的经济效益。综上所述，研究提出的基于层次分析与模糊综合的项目后投资评估模型，能够较为准确地对电网建设项目进行评估。



(a) 一、二级指标综合得分数值



(b) 一、二级指标综合得分评级比例分析

图5 基于层次-模糊综合评价的各指标综合评价分值

3 结束语

项目后投资评价分析是促进企业发展的重要部分，研究提出一种基于层次分析与模糊综合的项目评价模型。通过两种评价策略的结合，实现了对项目的定性和定量分析，并针对项目后评价的基本原则与目的，搭建了总的评价指标体系。为验证模型的有效性，选择某电力公司的110 kV输变电工程项目作为实验数据进行分析，在基于层次分析的指标权重计算实验中，结果表明，一级指标的权重值分别为0.317、0.389、0.172、0.122，计算得到对应的最大特征根为4.081，符合一致性检验标准，其余子指标也按照相同方法进行了权重矩阵的计算。其中，技术水平和财务评价指标占二级评价指标的47.9%。最后在模糊综合评价法中进行项目评价得分的计算，在一、二级指标中，评价为优秀和良好的比为19:6，总体评估得分为8.82，评价为良好，与实际的项目情况相符。然而，指标之间可能存在的重复、交叉等相互关系没有进行完整考虑，后续研究应着重指标的相互关系进行分析。

参考文献：

[1] 袁江辉.智慧社区配电网供电可靠性风险动态综合评估方法[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(4): 171-175.

[2] 史雷, 王莹, 魏联滨, 等. 基于风险熵的增益配电网投资风险评估模型设计[J]. 微型电脑应用, 2020, 36(12): 90-92.

[3] 王道静, 程双六, 王军燕. 改进型层次-熵权模型的电网施工建设评估方法[J]. 电气自动化, 2022, 44(4): 50-56.

[4] 艾欣, 胡寰宇, 任大鹏, 等. 电网发展诊断的改进模糊评价模型与评级[J]. 中国电力, 2022, 55(5): 66-78.

[5] OR A, AMB C. Towards a complex investment evaluation framework for renewable energy systems: A 2-level heuristic approach [J]. Energy, 2021, 228(8): 120530-120549.

[6] 李铁, 张文虎, 张帅军. 基于GA-MaxEnt权重的产品模糊综合评价[J]. 制造业自动化, 2023, 45(3): 34-37.

[7] 唐博文, 孙元章, 徐箭, 等. 售电公司参与下的工业园区局域电网建设项目新模式探讨[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(19): 185-193.

[8] 尹维波, 刘子明. 电网规划中全生命周期投入产出效益评判方法[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(7): 117-120.

[9] 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.

[10] 沙宇恒. 基于阶段研判的电网项目需求知识图谱构建[J]. 微型电脑应用, 2023, 39(4): 72-75.

[11] 谭玉东, 文明, 李湘华, 等. 基于改进物元可拓模型的输电项目投资效益评价[J]. 电力科学与技术学报, 2021, 36(6): 113-119.

[12] 王冠球, 郑国杰, 冯辅周, 等. 基于模糊层次分析的装甲车辆PHM系统性能评估[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(6): 239-244.

作者简介：韩立芝(1974—)，女，本科，高级工程师，研究方向：规划计划。