

基于熵权-TOPSIS 法的海外油气投资方案评价

钱 媛

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 102206)

摘要:海外油气项目具有高投资、高风险和高不确定性的特点,对项目方案进行评价研究是确保项目效益的有效手段。针对海外油气多目标多属性的复杂特征,基于实际项目资料建立了经济、成本、风险三级海外油气方案评价指标体系,采用熵权法确定了不同评价指标的客观权重,然后利用 TOPSIS 方法对海外油气项目的各个投资方案进行了排序比选。实际应用表明,和成本风险指标相比,目前经济指标仍是影响海外油气投资方案选择的主要原因,但考虑到油气决策的复杂特征,细化评价指标体系内容可以使得最终决策更为精确。

关键词:海外油气;方案评价;熵权法;TOPSIS

中图分类号:TE322 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)11-0143-05

近年来,国内石油市场面临对外依存度高的困境。根据国家统计局数据显示,2021 年国内生产原油 1.99 亿 t,比 2020 年增长 2.4%;进口原油 5.13 亿 t,比 2020 年下降 5.4%。虽然 2021 年石油的对外依存度和 2020 年相比略有下降,但仍高达 72.1%。和国内油田项目相比,海外油田项目存在着分布范围广、资源类型多、投资风险高、财税模式和作业类型差异大等特点。在经营管理中,在考虑效益最大化的同时,还要考虑内部生产风险和外部政局、油价等风险因素。同时,在多个因素影响下,往往有多个各有优劣的开发投资方案供决策者选择。作为油田决策中的重要一环,选择一个合理有效的方案是成功决策的关键。因此,针对海外油气投资项目,考虑多目标决策并其开展多属性方案分析研究,确定不同方案的比选顺序,可为决策者制定经营策略提供必要的决策依据。

1 评价指标的选择与量化

油气勘探开发的核心目标是效益最大化。在油气项目评价中,常用的经济评价指标为内部收益率、净现值和投资回收期。其中,内部收益率为主要指标,净现值和投资回收期通常作为辅助参考指标^[1-2]。除了上述三个指标外,自由现金流、动态投资回报率、操作成本等指标也是油气项目投资决策时需要考虑的因素^[3]。

为了实现油气项目的效益目标,其中的一个关键是对风险的控制。和国内油气项目相比,海外油气项目的开发往往具有更大的风险。其中,国际油气价格水平及其波动往往是影响海外项目开发投资评价的一个重要因素^[4]。另外,海外油气项目所在资源国的政局和社会秩序、对外政策和法律税务、地缘冲突等也是进行海外油气项目开发投资时需要考虑的主要因素^[5]。

油气项目实现效益的一个主要手段是油气储量的获取。考虑到海外项目不同风险因素的影响,石油公司并不一定能获得预期的油气储量^[6]。因此,除了政局风险和油价风险外,本文还考虑了海外油气项目的储量风险。

基于上述分析,并结合海外油气项目中运用的评价指标,分别从经济、成本、风险三个方面选取了 8 个评价指标。其中,经济指标包括净现值、净利润和内部收益率;成本指标包括投资和操作成本;风险指标包括储量风险、政局风险和油价风险。具体的指标情况如表 1 所示。

在表 1 中,正向指标表示该指标的值越大越好,负向指标表示该指标的值越小越好。在风险指标中,储量风险是指方案中不同投资单元 2P、2C 及勘探新增储量所贡献的产量占方案所有投资单元组合的总产量比例,其中,2P 储量表示储量的最佳估算量,2C 储量表示条件潜在储量的最佳估

收稿日期:2022-06-07

作者简介:钱媛(1990—),女,河南濮阳人,中石化石油勘探开发研究院,助理研究员,博士,研究方向为能源经济和环境政策分析。

表 1 海外油气项目投资评价指标

一级指标	二级指标	三级指标	单位	性质	代码
海外油气项目 投资评价 指标体系	经济指标	净现值	百万美元	正向	C ₁
		净利润	百万美元	正向	C ₂
		内部收益率	%	正向	C ₃
	成本指标	投资	百万美元	负向	C ₄
		操作成本	百万美元	负向	C ₅
	风险指标	储量风险	—	负向	C ₆
		政局风险	—	负向	C ₇
		油价风险	—	负向	C ₈

算量。政局风险是指不同投资单元所处资源国的社会政局风险,其数值主要由专家打分获得。油价风险是指考虑低、中、高三套油价下的净现值的离散系数。

2 熵权-TOPSIS 法的优化流程与步骤

海外油气项目是一个复杂的多目标系统,在进行开发投资决策时需要考虑多种因素及其之间的复杂关系。TOPSIS(technique for order preference by similarity to ideal solution,逼近于理想解的排序法)是多属性决策中常用的一种依据多指标多目标进行决策的算法^[7]。其基本思想是基于无量纲决策矩阵,计算评估方案与正负理想方案之间的欧式距离,从而可以获得每个评估方案与理想方案的贴近程度和优劣排序^[8-10]。TOPSIS 法对数据的计算步骤简单并且对数据的利用程度较高,在风险评价领域运用较为广泛^[11]。

在多目标决策过程中,不同的评价指标对最终决策的影响不同,因此在评价模型中有必要确定不同评价指标的影响权重。熵权法作为一种客观赋权的评价方法,在 1949 年由 Shannon 提出来描述和度量信息性质和系统的不确定性^[12]。其基本思路是根据各个指标的变异程度,通过信息熵来确定各个指标的熵权,并通过一定的修正方法来计算各个影响指标的客观权重^[13]。信息熵可以衡量每个指标的变化程度,其中信息熵越大说明指标的变异程度越低,可以提供的信息量越少,因此在最终评价研究中该指标的权重也就越小^[14]。通过熵权法确定的权重可以避免主观因素造成的误差,将其引入 TOPSIS 法中,可以保证最终计算结果的相对

客观^[15-16]。

考虑到海外油气项目的多目标多属性特征,采用熵权-TOPSIS 法来确定海外油气项目的投资评估和选择,该方法的主要流程如图 1 所示。

2.1 构建初始决策矩阵

根据表 1 确定的海外油气投资评价指标,首先构建各指标和方案的初始决策矩阵。假设待评价的方案集为 $M = (M_1, M_2, \dots, M_n)$, 指标集为 $C = (C_1, C_2, \dots, C_m)$, 则初始决策矩阵可以表示为

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

(1)

2.2 构建标准化决策矩阵

考虑到各项评价指标的单位和量纲不同会对方案选择的结果造成影响,因此需要对各项评价指标进行归一化处理,进而取得标准化矩阵 $V = (v_{ij})_{m \times n}$ 。

对于正向指标,归一化方法为

$$v_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}}$$

(2)

对于负向指标,归一化方法为

$$v_{ij} = \frac{x_{i\max} - x_{ij}}{x_{i\max} - x_{i\min}}$$

(3)

式中: v_{ij} 为 x_{ij} 归一化后的值; $x_{i\max}$ 和 $x_{i\min}$ 为第 i 个指标的最大值和最小值; $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; m$ 和 n 分别表示指标数和方案数。

各个评价指标的熵为

$$H_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}$$

(4)

根据传统熵值定义, f_{ij} 的计算公式为

$$f_{ij} = \frac{v_{ij}}{\sum_{j=1}^n v_{ij}}$$

(5)

显然,当 $f_{ij} = 0$ 时, $\ln f_{ij}$ 没有意义。因此需要对 f_{ij} 进行修正:

$$f_{ij} = \frac{1 + v_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1 + v_{ij})}$$

(6)

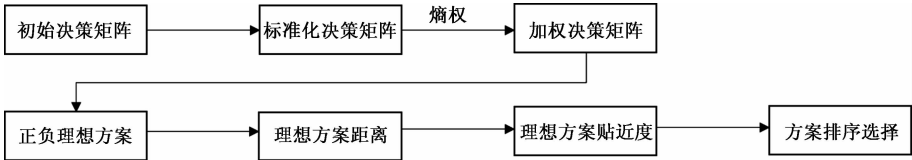


图 1 熵权-TOPSIS 法的优化流程与步骤

最终可以得到各个评价指标的熵权为

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \tag{7}$$

2.3 构建加权决策矩阵

在得到各个评价指标权重和标准化后的指标值之后,通过将各评价指标的权重矩阵 W 和标准化决策矩阵 V 相乘,便可以得到加权决策矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$, 其中:

$$r_{ij} = w_i v_{ij} \tag{8}$$

2.4 确定正负理想方案

通过加权决策矩阵,便可以确定海外油气评价的正负理想方案。其中,正理想方案的计算方法为

$$S_i^+ = \begin{cases} \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij}, & \text{正向指标} \\ \min_{1 \leq j \leq n} r_{ij}, & \text{负向指标} \end{cases} \tag{9}$$

负理想方案的计算方法为

$$S_i^- = \begin{cases} \min_{1 \leq j \leq n} r_{ij}, & \text{正向指标} \\ \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij}, & \text{负向指标} \end{cases} \tag{10}$$

2.5 确定各方案与理想方案的距离

通过欧式距离计算公式,可以确定各方案与正负理想解的距离。其中,各方案与正理想方案的距离为

$$Sd_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (S_i^+ - r_{ij})^2} \tag{11}$$

各方案与负理想方案的距离为

$$Sd_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (S_i^- - r_{ij})^2} \tag{12}$$

2.6 确定各方案与理想方案的贴近度

最后,可以得到各方案与理想方案的贴近度为

$$\eta_j = \frac{Sd_j^-}{Sd_j^+ + Sd_j^-} \tag{13}$$

通常情况下, η_j 的取值介于 $[0,1]$, 并且 η_j 越接近于 1, 说明方案越接近于理想方案。因此,根据各个方案与理想方案的贴近度,便可以对海外油气项目的各方案进行排序比选,最终完成最优方案的选择。

3 实例分析

3.1 油气项目的初始化决策矩阵

中国某石油公司 A 公司在海外有 30 多个油气项目,在保证老井投资单元运营的基础上每年还需要决定是否对投资一些新井单元。综合考虑海外油气项目投资的成本效益等各方面因素的影响,A 公司现有 6 个油气投资方案可供选择。根据表 1 中的评价指标体系,6 个海外油气项目方案的指标值如表 2 所示,即初始化决策矩阵(出于数据保密考虑,本文对上述数据做了处理)。

3.2 评价指标的归一化处理

为了消除不同指标量纲和单位不同造成的影响,需要对各评价指标进行标准化处理,将表 2 中各指标值进行归一化处理后的结果如表 3 所示。

3.3 确定各方案与理想方案的贴近度

在得到海外油气项目的标准化矩阵后,利用熵权法计算各评价指标的权重。根据式(4)~式(7),最终可以得到评价指标的权重为

$$W = (0.125\ 1, 0.125\ 0, 0.125\ 1, 0.124\ 7, 0.125\ 3, 0.125\ 1, 0.125\ 1, 0.124\ 4)。$$

表 2 海外油气项目投资评价指标值

变量	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
M ₁	32 266	4 692	-12. 726	2 992	9 074	0. 214	0. 704	0. 838
M ₂	32 496	4 726	-12. 714	2 992	9 153	0. 216	0. 705	0. 843
M ₃	32 267	4 692	-12. 726	2 995	9 074	0. 216	0. 704	0. 838
M ₄	32 497	4 726	-12. 714	2 995	9 153	0. 217	0. 705	0. 843
M ₅	32 627	4 710	-12. 731	2 999	9 125	0. 209	0. 703	0. 839
M ₆	32 857	4 744	-12. 720	2 999	9 203	0. 211	0. 704	0. 844

表 3 海外油气项目投资评价指标的归一化结果

变量	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
M ₁	0. 000 0	0. 001 1	0. 294 1	1. 000 0	1. 000 0	0. 378 6	0. 566 6	1. 000 0
M ₂	0. 389 2	0. 656 8	1. 000 0	1. 000 0	0. 391 6	0. 186 0	0. 000 0	0. 124 5
M ₃	0. 002 1	0. 000 0	0. 294 1	0. 609 0	0. 998 2	0. 186 0	0. 567 6	0. 965 2
M ₄	0. 391 4	0. 655 7	1. 000 0	0. 609 0	0. 389 8	0. 000 0	0. 001 0	0. 089 9
M ₅	0. 610 8	0. 344 3	0. 000 0	0. 000 0	0. 608 4	1. 000 0	1. 000 0	0. 865 8
M ₆	1. 000 0	1. 000 0	0. 647 1	0. 000 0	0. 000 0	0. 785 2	0. 432 8	0. 000 0

按照图 1 中的流程与步骤,通过各指标的权重和标准化矩阵,便可以构建加权决策矩阵,从而得到海外油气项目投资评价方案的正负理想解。根据式(11)~式(13),可以得到各方案与理想方案的欧式距离和贴近期(表 4)。

表 4 海外油气投资方案贴近期评价结果

变量	欧式距离		贴近期 η_i	排序
	Sd^+	Sd^-		
M_1	0.305 1	0.101 7	0.250 0	6
M_2	0.162 6	0.261 7	0.616 8	3
M_3	0.283 6	0.130 6	0.315 3	5
M_4	0.126 2	0.277 7	0.687 5	2
M_5	0.271 1	0.161 1	0.372 7	4
M_6	0.120 6	0.300 6	0.713 7	1

3.4 结果分析及验证

由表 4 可知,方案 6 与理想方案的贴近期最高,为 0.713 7;而方案 1 的贴近期最低,仅为 0.250 0。具体的油气项目投资方案排序为:方案6>方案 4>方案 2>方案 5>方案3>方案 1。

根据所评价的指标来看(表 2),方案 6 的净现值和净利润在 6 个方案中是最高的,同时投资、操作成本和油价风险也是最高的;而方案 1 的净现值在 6 个方案中最低,同时投资、操作成本和油价风险也最低。另外,由表 4 可知方案 1、方案 3 和方案 5 的贴近期都较低,分析发现上述三套方案在经济指标(净现值、净利润和内部收益率)中至少有一项指标是在所有方案中表现最差的,因此在最终的方案比选中排名较为靠后。同样地,方案 2、方案 4 和方案 6 在经济指标中至少有一项是所有方案中最优的,因此在最终排名中表现较好。考虑到各指标的权重差别不大,净现值、净利润和内部收益率是影响方案最终排名的主要原因。

4 结论

从经济指标、成本指标和风险指标出发,构建了 8 个指标的海外油气项目的投资评价指标体系,并通过熵权-TOPSIS 法对 A 石油公司的 6 个海外油气投资方案进行了评价比选。根据评价结果,可以得到以下结论:

1)从实证分析结果来看,海外油气项目方案的投资排序为方案 6 > 方案 4 > 方案 2 > 方案 5 > 方案 3 > 方案 1。其中,经济指标是影响最终评价结果的主要原因。

2)采用熵权-TOPSIS 法进行油气方案的比选,充分利用了方案中各评价指标的信息,并且避免了

主观因素的影响,可以有效地提高方案评价的效率。

3)海外油气项目的决策是一个复杂的体系,本文仅从经济、成本、风险角度对方案的选择进行了分析探索。若要获得更精确的结论,还需要细化指标和指标分级标准,考虑不同决策者的偏好,从而可以为决策者提供更精确的参考意见。

参考文献

[1] 吴红珍,王秀芝,雷利安,等.应用模糊数学优选油气田开发方案[J].江汉石油学院学报,2004,26(1):124-126.

[2] 陈武,梅平.应用多目标决策-理想点法优选油气田开发方案[J].石油天然气学报(江汉石油学报),2005,27(3):358-360.

[3] 朱倩.低油价条件下海外油气项目投资组合管理研究[J].当代石油石化,2020,28(9):44-48.

[4] 黄永章,汪华.最大现金损失视角下的海外油气投资项目风险分析与价值评估[J].国际石油经济,2020,28(8):45-51.

[5] 李世群,张宝生,唐旭.基于蒙特卡罗模拟的海外油气项目评价研究[J].天然气与石油,2016,34(1):102-106.

[6] 张宝生,王庆,王英君.海外油气项目风险-效益联动分析模型与应用[J].系统工程理论与实践,2012,32(2):246-256.

[7] HUANG C L,YOON K. Multi-attribute decision making: methods and applications[M]. New York: Springer-Verlag,1981:12-34.

[8] 周彦红,尹华,刘玉申,等.长春市水资源开发利用存在的问题及其节水潜力分析[J].东北师大学报(自然科学版),2015,47(2):153-157.

[9] 李锋,魏莹.一种改进的基于效用理论的 TOPSIS 决策方法[J].系统管理学报,2008,17(1):82-86.

[10] 梁晏铭,赵佳丽.中国西南地区农业经济综合评价研究[J].科技和产业,2021,21(11):227-232.

[11] 肖勇,徐俊.基于组合赋权与 TOPSIS 的储能电站电池安全运行风险评价[J].储能科学与技术,2022,11(8):2574-2584.

[12] ZHANG X C,SHAN W C,ZHANG Z W,et al. AE monitoring of reinforced concrete squat wall subjected to cyclic loading with information entropy-based analysis[J]. Engineering Structures,2018,165:359-367.

[13] 张完定,王广三.基于 TOPSIS-熵权法的陕西创新驱动发展评价指标研究[J].长安大学学报(社会科学版),2019,21(1):32-41.

[14] 孟超,李晓萌,孙玉岭,等.基于 ISM 和信息熵的铁路隧道塌方风险分析[J].中国安全科学学报,2018,28(S1):64-70.

[15] 刘倩,谷晓燕,贾子睿.基于熵权-TOPSIS 法的重大错报风险评估研究[J].北京信息科技大学学报(自然科学版),2019,34(5):73-77.

[16] 唐彦秋,何中其,郑晓冉.基于文本挖掘技术和信息熵-TOPSIS 法辨识重点工序[J].兵工自动化,2022,41(3):85-90.

The Evaluation of Overseas Oil and gas Investment Schemes Based on Entropy Weighting and TOPSIS

QIAN Yuan

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 102206, China)

Abstract: Overseas oil and gas projects have the characteristics of high investment, high risk and high uncertainty. Evaluation on the project schemes is an effective means to ensure the benefits of the project. Considering the complex characteristics of multi-objective and multi-attribute of overseas oil and gas projects, a three-level evaluation index system of economy, cost and risk was established based on the actual project data. Based on the entropy weighting method, the objective weight of different evaluation indexes was determined, and then using TOPSIS method, the investment schemes of overseas oil and gas projects was ranked and compared. The practical application shows that compared with the cost and risk indexes, the current economic index is still the main reason affecting the selection of overseas oil and gas investment scheme. However, considering the complex characteristics of oil and gas decision-making, refining the content of the evaluation index system can make the final decision more accurate.

Keywords: overseas oil and gas; evaluation of schemes; entropy weighting; TOPSIS