

基于改进 TOPSIS 的航线评估方法研究

赵 龙, 王 影

(沈阳航空航天大学 民用航空学院, 沈阳 110136)

摘要:航线是航空公司获得收益的基础,对航线进行评估是航空公司必须要进行的步骤。为量化评价航线效益,综合考虑成本和收入,建立初始评价指标。影响航线评估的因素有很多,筛选评价指标,建立客座率、竞争力运营条件、航线网络的影响、市场需求量和成本票价比 5 个方面的评价指标体系。针对多属性的航线评估决策,通过 TOPSIS 法对航线进行评估,利用熵权法确定属性指标,之后用 TOPSIS 法,通过判断航线的选择与理想的贴合度来进行航线评估排序,从而选取更优的航线。最后对哈尔滨机场的航线进行评估。结果表明, TOPSIS 法可量化航空公司在不同情况下的最优航线,与实际情况相符。最终结果证明了该评价方法的有效性与可行性。给其他的航空公司,在属性权重未知的情况下,提供了航线评估方法。

关键词:熵权法;逼近理想求解排序(TOPSIS)法;航线评估;航线收益;多属性规划

中图分类号:V37 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)08-0344-04

伴随社会和经济的不断进步,越来越多的年轻人开始选择乘坐飞机出行。航线是航空企业赖以生存的基础和根本。因此,如何设计和安排航班数量和时刻以达到“效益最大”的基本原则,对于提升航空企业的效益愈加重要。基于公司现有航班运能,对航线方式进行合理选择,对于航空公司盈利将产生重要影响。所以有必要对航线进行科学评估,从而实现充分利用航空资源的目标。航线效益受到客座率、竞争力、市场等诸多因素的综合影响。因而,航线评估需要考虑上述所有因素,并依据相应的评价体系完成。目前成熟的研究方法有 AHP (层次分析法)、TOPSIS 法及 VIKOR 法等^[1]。其中, TOPSIS 法是一种常见的应对多指标综合评价的研究方法,具有对数据散布、样本量比较宽松的要求,计算量小、应用广且具备比较直观的几何意义^[2]。但是 TOPSIS 中属性的权重是很难确定的,以往的研究根据经验来确定,具有主观性。利用熵权法确定指标因素的权重更客观,再采用 TOPSIS 法对航线的决策进行初步评估,从而达到收益最大化的目的。

1 决策原理与方法

目前航线评估多集中在无人机侦察敌对环境与航海领域。Guo 等^[3]提出基于时空注意力方法并

通过仿真实验验证了航线评估的有效性。Shen 等^[4]通过对中越南贸易的多式联运集装箱运输的竞争路线进行分析,以重庆至海防的 8 条运输路线为例,利用德尔福和 CFPR 方法对这些路线进行了评价,为中国和越南贸易企业做出管理决策提供信息。在航海领域,为了充分利用导航资源,降低风险,Zhao 等^[5]提出一种基于航线风险评估的舰队部署新方法,考虑影响航行安全的主要环境因素,构建路线风险评估模型,从而建立了一种新的舰队部署优化模型,并使用萤火虫算法解决了该问题。Sun 等^[6]通过对无人机的航线进行评估。将路径评估表述为含不确定性的多准则决策问题,提出一种基于 Type-2 模糊集的综合路径评估方法。在民航领域的航线评估方面,于耕等^[7]利用模糊多属性方法来评价航线。C. L. Hwang 和 K. Yoon 在 1981 年第一次提出 TOPSIS,翻译成为逼近理想求解排序法,又被人们统称为求优劣势解距离法。TOPSIS 法是一种常用的综合评价计算分析方法,通过分析和使用原始资料,精确反映出评估方案间的相似度和差异^[8]。根据航空公司提供的最初数据,第一步确定了这些数据的种类,统一转换成正向化的矩阵,在对这些正向化的矩阵中分别进行标准化的处理(已经正向化中进行标准化处理),这样就可以有

收稿日期:2022-04-06

基金项目:国家自然科学基金(61671141);辽宁省教育厅系列项目(L201723)。

作者简介:赵龙(1978—),男,辽宁沈阳人,沈阳航空航天大学民用航空学院,副教授,博士,研究方向为空域规划与管理技术;王影(1997—),女,辽宁沈阳人,沈阳航空航天大学民用航空学院,硕士研究生,研究方向为交通运输规划与管理。

效地消除不同的类型指标所带来的干扰,并在其中寻找出有限的方案中最优和不良方案,然后分别计算各个被评估的对象之间与最优方案与不良方案之间的区别差异和距离,获得每个被评估者所认为的对象之间或者接近最优方案相对或者最好方案的程度,以此作为评估其优劣的主要参考依据^[9]。这种方法在数据的分布和样本内容含量上都没有任何严格的限制,而且数据计算也简便易行。采用了修正熵权 TOPSIS 的评价方法,主要包括相关指标权重确立和运用指标权重进行评价两个步骤。确立相关指标权重采用熵权的方法,在对原始数据进行处理,利用熵权法确定权重可以做到客观有效,根据指标类型的不同,依据指标的变异程度,计算得出信息熵,之后得出效用值,对指标权重进行评价是对每个指标的权重进行修正,得出相对贴合度。指标的变异程度与所反映的信息量的变化过程一样,其越小,对应的权值也越低,在计算时,用指标的标准差来表示样本的变异程度,指标的标准差越大,其信息熵越小^[10-12]。

航线评估问题需要考虑多种影响因素,属于多目标规划问题。本文主要分析 5 个目标属性:①客座率;②竞争力,航空公司与其他航空公司的竞争,高铁的应运而生也给航空公司带来巨大的冲击;③航线网络的影响,这包括之后的市场规模和运行航线的影响;④市场需求量,需要将当地的人口和当地的经济状况都要考虑进去;⑤成本票价比。前 4 个属于效益类指标,最后 1 个属于成本性指标^[13-15]。

1)利用熵权法确定每个属性的权重。首先因为指标类型的不同,需要指标正向化,即将所有指标转换成效益类指标。构建决策矩阵形式。考虑有 m 个被评价对象、 n 个评价指标的正向化决策矩阵为

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

式中, x_{mn} 表示第 m 个方案的第 n 个指标的评价值。

为了减少和消除不同的指标对量纲的干扰,通过采用矢量标准化的方法对矩阵做标准化处理,得到标准化矩阵 $\mathbf{X}'$,即

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

已经标准化的矩阵 $\mathbf{X}'$ 中的每一个元素 x' 因为

指标类型不同,具体如下:

效益型

$$x' = x_{nm} / \sum_{m=1}^1 x_{nm};$$

成本型

$$x' = \left(\frac{1}{x_{nm}}\right) / \sum_{m=1}^1 \left(\frac{1}{x_{nm}}\right).$$

每个指标的权重计算方法为

$$y_{nm} = x'_{nm} / \sum_{m=1}^1 x_{nm} \quad (3)$$

再计算信息熵值和效用值,之后对计算结果进行归一化处理得到每个指标的熵权,第 n 个指标信息熵的计算公式为

$$e_n = -k \sum_{m=1}^i y_{nm} \ln y_{nm} \quad (4)$$

式中, k 为常数, $k = \frac{1}{\ln i}$; 若 y_{nm} 为 0, 则定义 $\lim y_{nm} \ln y_{nm} = 0$ 。再计算有效值 $d_n = 1 - e_n$ 。各指标权重为各指标值与其他指标的相对重要值,所有权重系数 w_n 之和为 1, 保证 $w_n \geq 0$ 。

$$w_n = \frac{d_n}{\sum_{n=1}^j d_n}, j = 1, 2, \cdots, n \quad (5)$$

存在常数 k 值可以使得信息熵始终落在 $[0, 1]$ 区间上。 e_n 越大, 第 n 个指标的信息熵越大, 表明第 n 个指标的信息越少, 而对于信息效用值越大, 对应的信息越多。将 w_n 进行归一化, 能得到每个指标的熵权。

2)依据由熵权法计算出的权重,运用 TOPSIS 法进行排序。TOPSIS 基本思路是确定有几条需要评估的航线,在备选航线中根据指标类型的不同确定正、负理想解,之后确定备选航线与正、负理想解之间的距离,计算相对贴近度,对其排序,确定最优的航线。

首先,已知指标的属性值,而且该矩阵已经正向化,构建加权权重标准化矩阵:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \cdots & S_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中, S_{nm} 表示第 m 个方案的第 n 个指标的权重标准化值, $S'_j = x'_{nm} w_n$ 。

然后,确定正负理想解,正理想解 $S^+ = (S_1^+, S_2^+, \cdots, S_j^+)$, 负理想解 $S^- = (S_1^-, S_2^-, \cdots, S_j^-)$ 。

$$S_j^+ = \begin{cases} \max_m \{r_{ij}\}, & x_j \text{ 为效益性指标} \\ \min_m \{r_{ij}\}, & x_j \text{ 为成本性指标} \end{cases} \quad (7)$$

$$S_j^- = \begin{cases} \max_m \{r_{ij}\}, & x_j \text{ 为成本性指标} \\ \min_m \{r_{ij}\}, & x_j \text{ 为效益性指标} \end{cases} \quad (8)$$

最后确定距离,到正理想解 S^+ 的距离 H^+ ,到负理想解 C^- 的距离为 H^- , $H^+ = \left[\sum_{n=1}^j (S_j^+ - S_{nm})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$, $H^- = \left[\sum_{n=1}^j (S_j^- - S_{nm})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ 。 H^+ 为各条航线与最优的航线的接近程度, H^+ 值越小,评价方案越好。用相对贴近度 CI 表示,计算公式为

$$CI = S^- / (S^+ + S^-) \quad (9)$$

根据计算得出 CI 的值,按一定的顺序对各条航线进行排序,CI 越大,表示该条航线越优,则航空公司可选择该条航线。

2 算例分析

以哈尔滨机场为参考,通过对航空公司的研究,确定影响航线评估有 5 个影响因素。依据上述原理,通过对哈尔滨机场 2019—2020 年冬春季航班计划分析得到数据^[7]。因为受到数据的限制,选取了 4 条航线进行综合评价和排序,得到最优化的航线。运用熵权 TOPSIS 法,从 4 条备选航线中找出最优航线。评价指标为客座率 A_1 、竞争力 A_2 、对航线网络的影响 A_3 、市场需求量 A_4 、成本票价比 A_5 。航线评价原始数据见表 1。

表 1 航线评价原始数据

指标	指标类型	航线 1	航线 2	航线 3	航线 4
短期平均客座率 A_1	收益类	300	200	280	360
竞争力 A_2	收益类	8	5	9	7
对航线网络影响 A_3	收益类	7	6	7	9
市场需求量 A_4	收益类	290	150	300	380
成本比 A_5	成本类	1.8	0.9	2.6	1.6

根据式(1)和式(2),首先指标正向化,之后矩阵转化成为标准化形式:

$$X = \begin{bmatrix} 0.263 & 0.276 & 0.241 & 0.259 & 0.26 \\ 0.175 & 0.172 & 0.267 & 0.134 & 0.13 \\ 0.246 & 0.31 & 0.241 & 0.268 & 0.377 \\ 0.316 & 0.241 & 0.31 & 0.339 & 0.23 \end{bmatrix}.$$

依据熵权法,各指标权重具体数值见表 2。求出常数 k , k 为 $1/\ln(\text{方案数})$,本例中有 4 个方案,4 条航线,所以求得 k 为 0.721 348。

表 2 各指标权重值

指标	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
权重	0.150	0.158	0.108	0.337	0.462

针对 4 条备选航线,计算各个航线属性权重标准化值,构建权重标准化矩阵:

$$S = \begin{bmatrix} 0.039\ 6 & 0.043 & 0.026 & 0.087 & 0.12 \\ 0.026\ 3 & 0.027 & 0.028 & 0.045 & 0.06 \\ 0.037 & 0.048 & 0.026 & 0.09 & 0.17 \\ 0.047 & 0.038 & 0.033 & 0.114 & 0.11 \end{bmatrix};$$

$$S^- = (0.026\ 3, 0.027, 0.026, 0.045, 0.17).$$

计算到正理想解 S^+ , 负理想解 S^- , 结果见表 3。

表 3 各航线的 S^+ 与 S^- 值

航线	航线 1	航线 2	航线 3	航线 4
S^+	0.007 491	0.001 324	0.018 621	0.008 319
S^-	0.004 731	0.012 089	0.002 678	0.009 491

利用式(9),计算与正理想解的相对贴近程度,排序结果见表 4。

表 4 各航线 CI 值及排序

航线	航线 1	航线 2	航线 3	航线 4
CI	0.387 067	0.901 292	0.125 739	0.532 914
排序	3	1	4	2

CI 值越大,该方案越优。由表 4 可知,航线 2 为最优航线,航空公司收益最高。

3 结论

利用航线评价模型和原理,在对哈尔滨机场航线航班运行现状整理分析的基础上,选取部分航线进行航线评价和排序的实例分析。为了贴近实际,研究近年来相关文献资料,总结出 5 个相关指标,并采用熵权法确定各个指标的权重。通过对 TOPSIS 方法的修正,首先,以实现提高 4 条航空公司收益最大化为主要战略目标的方法作为主要依据,采用熵权法来确定每一条航线上的客观权重,采用 TOPSIS 方法将 4 条航线的收益率进行了综合的评价和分析排序,最终根据 CI 值决定得出最优航线为航线 2,有效地提高航空公司收益率。结合熵权法来确定各个指标的权重,科学、客观、有效,对其他企业的航线估算具有一定的指导意义。

参考文献

[1] 姚竞争,王同山,陈哲. 基于熵权 TOPSIS 法的邮轮舒适度评价[J]. 中国水运, 2021(5): 36-39.

[2] 陈旭祎,闫龙,刘新浩,等. 基于熵权 TOPSIS 的机场进离场航线使用效率评估[J]. 科学技术创新, 2021(10): 67-69.

[3] GUO J, XIA W, HU X X, et al. A spatiotemporal atten-

tion-based neural network to evaluate the route risk for unmanned aerial vehicles[J]. Applied Intelligence, 2022 (prepublish):03029.

[4] SHEN L X, YU S G, SHI X W. Transportation routes evaluation:a delphi and CFPR approach[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2021, 41(4):189969.

[5] ZHAO Y X, JIA R F, JIN N, et al. A novel method of fleet deployment based on route risk evaluation[J]. Information Sciences, 2016, 372:65-67.

[6] SUN X X, CAI C, YANG J, et al. Route evaluation for unmanned aerial vehicle based on type-2 fuzzy sets[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2015, 39:8-12.

[7] 于耕, 刘青, 赵龙. 模糊多属性航线评估决策方法研究[J]. 综合运输, 2019, 41(10):41-44, 51.

[8] 刘佳月. 航空公司航线网络的优化设计[J]. 电子技术与软件工程, 2019(20):4-5.

[9] 陈子怡. 基于航线网络优化的新疆机场群协同发展战略研究[J]. 科技风, 2019(8):62-65, 67.

[10] 顾俭. 民航航线网络分析及其优化论述[J]. 科技创新与应用, 2017(6):83.

[11] 金嗣博, 杨新涅, 翟文鹏. 北京首都国际机场航线机型分析与优化[J]. 科技创新与应用, 2015(22):76-77.

[12] 赵桂红. 我国民航的航线网络规划[J]. 中国民用航空, 2001(4):47-49.

[13] 杨文东, 邵佳佳, 郑文娟. 不确定需求下航空公司国际联盟航线网络优化[J]. 中国民航大学学报, 2020, 38(3):34-39.

[14] HAUSLADEN I, SCHOSSER M. Towards a maturity model for big data analytics in airline network planning [J]. Journal of Air Transport Management, 2020, 82:101721.

[15] 谢春生, 李少华, 戴玉洁. 基于蚁群算法的主干航线网络动态规划[J]. 中国民航大学学报, 2018, 36(6):6-9.

Research on Route Evaluation Method Based on Improved TOPSIS

ZHAO Long, WANG Ying

(School of Civil Aviation, Shenyang University of Aeronautics and Astronautics, Shenyang 110136, China)

Abstract: Route is the basis for airlines to obtain revenue. Evaluating route is a necessary step for airlines. In order to quantitatively evaluate the route benefits and comprehensively consider the cost and income, the initial evaluation index is established. There are many factors affecting the route evaluation. The evaluation index is selected, and the evaluation index system in five aspects is established, including passenger occupancy rate, competitive operation conditions, the impact of route network, market demand and cost fare ratio. For the multi-attribute route evaluation decision, the route is evaluated by TOPSIS method, and the attribute index is determined by entropy weight method. Then, the route is evaluated and sorted by judging the fit between the route selection and the ideal solution using TOPSIS method, so as to select a better route. Finally, the route of Harbin airport is evaluated. The results show that TOPSIS method can quantify the optimal route of airlines in different situations, which is consistent with the actual situation. The final result proves the effectiveness and feasibility of the evaluation method. A route evaluation method is provided when the attribute weight is unknown.

Keywords: entropy weight method; technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS); route evaluation; route revenue; multi-attribute planning