

基于组合赋权法与欧几里德测度的 公路飞机跑道选址优化

耿昊¹, 蔡良才¹, 李光元¹, 邵斌¹, 王观虎¹, 李刚², 林伟²

(1. 空军工程大学航空航天工程学院, 陕西西安, 710038; 2. 沈阳军区空军后勤部机营处, 辽宁沈阳, 110015)

摘要 为解决公路飞机跑道选址方案优选问题, 通过深入探讨和完善公路飞机跑道选址的评价指标, 综合考虑适用、技术、经济和环保4个方面的要求, 建立了公路飞机跑道选址的评价指标体系。结合熵值客观赋权法和改进层次分析主观赋权法, 分别确定各评价指标权重初值, 运用线性加权组合法将两者加以组合最终确定评价指标的权重值。进而提出以欧几里德距离为测度, 比较各方案距离理想点的相对接近度, 建立公路飞机跑道选址的多指标决策优化模型, 对公路飞机跑道备选方案进行优选。结合公路飞机跑道选址实例, 验证了公路飞机跑道选址的多指标决策优化模型的有效性和实用性。

关键词 公路飞机跑道; 选址; 组合赋权; 欧几里德测度; 决策优化

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.05.005

中图分类号 V351.11 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)05-0020-05

公路飞机跑道选址是个多指标决策优化问题。目前, 针对选址的指标权重确定, 刘洲等人^[1]改进了图上作业的选址方法, 引用GIS构建了公路飞机跑道选址评价的层次分析模型; 张罗利等人^[2]通过构造单目标优化模型, 进而确定各选址备选方案考核目标值及最优方案; 刘臣等人^[3]运用组合权重法、德尔菲法、两两比较法等, 采用灰色系统分析理论, 进行选址方案的优化。以上研究只单独使用一种赋权方法(主观赋权法或客观赋权法)对于选址因素权重进行赋值, 未考虑其局限性。本文通过进一步细化和加深公路飞机跑道选址影响因素权重赋值, 结合熵值赋权法与改进层次分析赋权法^[4]来确定评价指标权重值, 并以欧几里德距离为测度运用到方案优选中, 构建了公路飞机跑道选址多指标决策优化模型。

1 建立公路飞机跑道选址的评价指标体系

为提供具体的参考指标内容和比选范围, 以便选择出有价值的适用方案, 参考公路飞机跑道建设规范, 民用机场选址要求, 《公路路线设计规范》(JTGD20-2006), 《公路工程技术标准》(JTGB01-2003)和有关文献^[5-8], 尽量满足适用、技术、经济以及环保上的要求, 本文建立由目标层, 一级准则层, 二级指标层, 方案层4个层次构成的公路飞机跑道选址评价指标体系。见图1。

参照图中的评价指标体系, 筛选出适用的方案为 $m(m \geq 2)$ 个, 记为 G_1, G_2, \dots, G_m 。以一级准则层 F_2 为例, 反映每个选址方案的二级指标有8个, 指标集为 $F_{2j} = \{F_{21}, F_{22}, \dots, F_{28}\}$; 指标的权重集为 $w_{2j} = \{w_{21}, w_{22}, \dots, w_{28}\}$ 。假设被评价对象 G_i 对应评价指标 F_{2j} 的取值为 $x_{i2j}(i=1, 2, \dots, R, j=1, 2, \dots, 8)$, x_{i2j} 的取值可由原始数据或经专家打分获取。

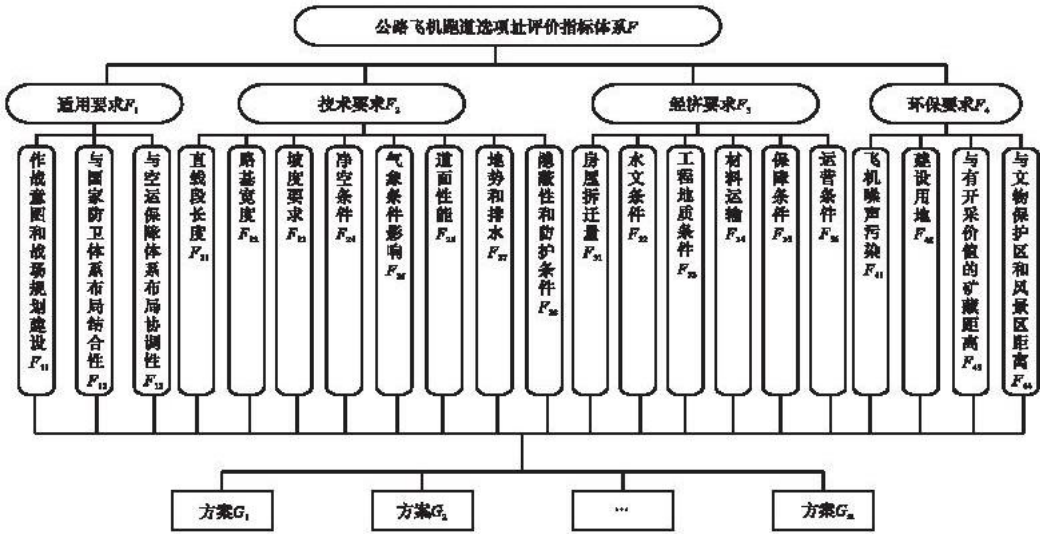


图 1 公路飞机跑道选址评价指标体系

Fig. 1 System of evaluation targets for highway runway locating

2 确定公路飞机跑道选址指标权重

2.1 熵值法确定指标客观权重

熵值法主要考虑指标值的差异性,对于指标 F_{2j} ,若各方案的指标值之间的差距越大,则该指标在综合评价中所起的作用就越大;反之,作用越小。对于 m 个待评方案,采用熵值法调整权重的基本步骤如下:

1) 由于选址方案的指标所包含的内容以及量纲的不同,需首先对 x_{2j} 进行标准化处理得到 y_{2j} ,对于成本型指标,考虑经济要求,需要取其小值;对于效益型指标,为充分保障飞行安全,需要取其大值,分别见式(1) - (2),式中, x_{2j}^{\max} , x_{2j}^{\min} 分别为方案集中指标 F_{2j} 最大、最小值:

$$y_{2j} = \frac{x_{2j}^{\max} - x_{2j}}{x_{2j}^{\max} - x_{2j}^{\min}} \quad (1)$$

$$y_{2j} = \frac{x_{2j} - x_{2j}^{\min}}{x_{2j}^{\max} - x_{2j}^{\min}} \quad (2)$$

经过处理后,建立指标 F_{2j} 的标准化矩阵:

$$Y_2 = \begin{bmatrix} y_{121} & \cdots & y_{128} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{m21} & \cdots & y_{m28} \end{bmatrix} \quad (3)$$

2) 计算指标 F_{2j} 的熵值 e_{2j} 和差异性系数 g_{2j} :

$$e_{2j} = -k \sum_{i=1}^m p(y_{i2j}) \ln p(y_{i2j}) \quad (4) \quad g_{2j} = 1 - e_{2j} (0 \leq g_{2j} \leq 1) \quad (5)$$

式中: $k = 1/\ln(m)$, $k < 1$, 且 $0 \leq e_{2j} \leq 1$; $p(y_{i2j})$ 为计算指标值在指标 y_{i2j} 下的比值, $p(y_{i2j}) = y_{i2j} / \sum_{i=1}^m y_{i2j}$, 当 $p(y_{i2j}) = 0$ 时,规定 $p(y_{i2j}) \ln p(y_{i2j}) = 0$ 。

3) 计算权重:

$$\alpha_{2j} = \frac{g_{2j}}{8 - E_{2e}}, \quad E_{2e} = \sum_{j=1}^8 e_{2j} \quad (6)$$

2.2 改进层次分析法确定指标主观权重

在一级准则层 F_2 下的指标层上,假设有 R 位专家, $S = \{S_1, S_2, \dots, S_R\}$, 采用 1-9 标度方法对指标量化,写出数值判断矩阵,经过层次单排序权重的计算和一致性检验(对于准则层,还应进行层次总排序组合权重计算和一致性检验),得到每位专家对 8 个指标的权重值,由此全部专家的权重矩阵 $Z_{R \times 8}$:

$$Z_{R \times 8} = \begin{bmatrix} z_{11} & \cdots & z_{18} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ z_{R1} & \cdots & z_{R8} \end{bmatrix} \quad (7)$$

根据参与评价的专家的知识结构、经验水平以及对评价指标的熟悉程度不同,在传统的层次分析法的基础上考虑专家的可信度^[9]。以 $a_k, k=1,2,\dots,6$ 表示专家的知名度、职称、学历、判断依据、熟悉程度、自信度等6个方面,第 t 位专家的自我评价为 P_t ,现采用 $P_t = \prod_{k=1}^6 a_k$ 。第 t 位专家的可信度 $S_t = P_t / \sum_{t=1}^R P_t$,专家可信度向量 $S = (S_1, S_2, \dots, S_R)$ 。具体评价标准及分值参见文献[9]。由此,将专家可信度向量与专家组的指标权重矩阵进行加权平均可求出8项指标的权重向量,即

$$\beta_{2j} = S_{1 \times R} \times Z_{R \times 8} = (\beta_{21}, \beta_{22}, \dots, \beta_{28}) \quad (8)$$

2.3 主客观组合赋权

主观权重法是针对专家的主观判断作进一步的数学处理,使之更科学,但具有一定的主观随意性;客观赋权法虽严格尊重客观数据,避免了权重确定的主观随意性,但忽视了专家的重要性,有可能使权值完全背离了指标实际权重。因此,应优化这两种方法,本文采用线性加权组合法来确定评价指标的权重,即:

$$w_{2j} = (1 - \delta_{2j})\alpha_{2j} + \delta_{2j}\beta_{2j}, \quad j = 1, \dots, n \quad (9)$$

式中: α_{2j} 、 β_{2j} 分别为指标的客观和主观权重; δ_{2j} 为各评价指标主、客观权重的偏好系数,可通过文献[10]确定。

3 公路飞机跑道选址多指标决策优化模型的建立

经主客观赋权确定二级指标 F_{2j} 的权重后,建立二级指标的标准化矩阵与对应权重的组合矩阵 $(y_{i2j}w_{2j})_{m \times 8}$,式中, $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$:

$$(y_{i2j}w_{2j})_{m \times 8} = \begin{bmatrix} y_{i21}w_{21} & \cdots & y_{i28}w_{28} \\ \cdots & & \cdots \\ y_{m21}w_{21} & \cdots & y_{m28}w_{28} \end{bmatrix} \quad (10)$$

由于指标间的相关性和竞争性,绝对的理想解是不存在的。为建立方案优选的模型,提出以欧几里德距离为测度^[13],计算比较各方案在二级指标层 F_{2j} 层面上与理想点 Y_2^+ 的相对接近度。具体步骤如下:

1) 在指标集中引入2个比较不同方案优劣的参考点:

理想点 $Y_2^+ = (y_{i21}^+, y_{i22}^+, \dots, y_{i28}^+)^T, y_{i2j}^+ = 1$, 负理想点 $Y_2^- = (y_{i21}^-, y_{i22}^-, \dots, y_{i28}^-)^T, y_{i2j}^- = 0$ 。

2) 计算相对接近度:

$$c_i^2 = s_i^{2-} / s_i^{2+} + s_i^{2-} \quad (11)$$

式中 s_i^{2+}, s_i^{2-} 分别为各方案到理想点、负理想点的距离, $s_i^{2\pm} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^8 (y_{i2j}w_{2j} - y_{i2j}^{\pm} w_{2j})^2}$ 。

同理,可计算方案集针对其他准则层 F_1, F_3, F_4 下的二级指标的 c_i^x 值(其中, $x = 1, 3, 4$ 表示准则层序号; $i = 1, 2, \dots, m$ 表示方案序号),经过组合赋权,可以得到在准则层上的各准则的权重 w_x 值。

方案的综合评价值应是由准则层权重向量 $w_x = (w_1, w_2, w_3, w_4)$ 与方案集的二级指标层矩阵的线性加权得到的,因此,建立方案集的决策矩阵:

$$C = (w_1, w_2, w_3, w_4) \begin{bmatrix} c_1^1 & \cdots & c_m^1 \\ \cdots & & \cdots \\ c_1^4 & \cdots & c_m^4 \end{bmatrix} = (C_1, C_2, \dots, C_m) \quad (12)$$

求出 $C_{\text{优}} = \max_i \{ C_i \mid C_i = \sum_{x=1}^4 c_i^x w_x, i = 1, 2, \dots, m \}$ 即为问题的有效解,由此比较得出选址的最优方案。

4 应用实例分析

4.1 背景分析

以某区某高速公路路段改扩建工程为例,拟在其基础上修建公路飞机跑道。依据建立的公路飞机跑道选址评价指标体系,通过收集相关资料,现场试验测试,分析筛选可以用作公路飞机跑道建设的适用场址,

得到 4 个备选方案。由 10 位专家参与备选方案的评价,采用 10 分值评价,由专家对指标性能进行评分,具体的评价原则为:优[10.0 - 8.0],良(8.0 - 7.0],中(7.0 - 6.0],差(6.0 - 4.0],劣(4.0 - 0.0],专家评分数据属于效益型指标。

针对一级准则层 F_2 下的不同指标用对应的关键量值参数(指标 F_{21} 、 F_{22} 、 F_{23} 、 F_{25} 可用具体量值参数表述,在其中起关键作用)或专家群的评分数来表示,对比情况见表 1。

4.2 公路飞机跑道选址的多指标决策优化的步骤

公路飞机跑道选址优化的步骤为:参照建立的公路飞机跑道选址评价指标体系,初步确定可能的修建、改建公路飞机跑道的地点(备选方案)。经过计算分析各指标权重,利用建立的公路飞机跑道选址多指标决策优化模型进行备选方案的优选,最终确定最优方案。详细的计算步骤如下:

1) 确定客观权重。经分析, F_{21} 、 F_{22} 、 F_{24} 、 F_{25} 、 F_{26} 、 F_{27} 、 F_{28} 为效益型指标,越大越好, F_{23} 为成本型指标,越小越好。根据式(1-2)对表 1 数据进行处理,建立二级指标的标准化矩阵,由熵值法,根据 2.1 节计算出指标客观权重集: $\alpha_{2j} = (0.1034, 0.1340, 0.1461, 0.1279, 0.1461, 0.1308, 0.1138, 0.0979)$ 。

2) 确定主观权重。由改进层次法确定的主观权重集为: $\beta_{2j} = (0.1346, 0.1247, 0.0989, 0.1721, 0.1313, 0.1321, 0.1017, 0.1046)$ 。

3) 组合赋权确定权重。由参考文献[10]可知由客观权重确定的指标排序与指标的重要性排序不一致,取 $\delta = 0.85$ 。根据式(9)确定的主客观组合权重为: $w_{2j} = (0.1299, 0.1261, 0.1060, 0.1655, 0.1335, 0.1319, 0.1035, 0.1036)$ 。

4) 确定方案集在二级指标层面上的相对接近度 c_i^2 。根据式(10)建立的线性组合矩阵,由式(11)可得 $c_i^2 = \{0.4262, 0.7753, 0.4364, 0.3735\}$ 。

5) 确定其它指标层的相对接近度并进行方案优选。建立方案集的二级指标层矩阵为:

$$c_i^x = \begin{bmatrix} 0.4945 & 0.5142 & 0.5087 & 0.4963 \\ 0.4262 & 0.7753 & 0.4364 & 0.3735 \\ 0.5146 & 0.4978 & 0.5041 & 0.4893 \\ 0.5074 & 0.5040 & 0.5093 & 0.5109 \end{bmatrix}$$

经过计算,准则层的权重向量 $w_i = (0.2553, 0.2870, 0.2331, 0.2246)$,由式(12)建立方案集的决策矩阵,计算 4 个方案的 C_i 值分别为 0.4825, 0.5830, 0.4870, 0.4627。所以 $C_{优} = 0.5830$,即方案 2。

现比较单独使用客观赋权法、主观赋权法、主客观赋权法分别与欧几里德测度相结合评定方案集的差异性,对于每一种方法获取的 4 个 C_i 值的差异性大小可采用熵值法进行比较,对比情况如表 2。

表 2 不同赋权法对方案集甄选的比较

Tab. 2 Different weighting method for comparing the choice of the schemes

各方案相对接近度	C_1	C_2	C_3	C_4	熵值 e
客观赋权法	0.4469	0.5028	0.4486	0.4327	0.5907
主观赋权法	0.4751	0.5516	0.4793	0.4598	0.5602
主客观赋权法	0.4825	0.5830	0.4870	0.4627	0.5526

通过对比发现,主客观赋权法的熵值最小,说明其 C_i 值的差异性更明显,具有一定的优越性^[4]。

5 结语

本文运用熵值法客观确定评价指标的权重以克服改进层次分析法确定指标权重的主观随意性,同时明确了改进层次分析法在指标权重确定中的决定性作用,将两者相结合以确定指标的权重值,发现技术要求所占权重最大,在公路飞机跑道选址中应引起足够重视。最后,通过选用欧几里德测度,比较与理想点的相对接近度,较客观、较合理地解决了公路飞机跑道选址方案的优选问题,具有一定的参考价值。

参考文献(References):

[1] 刘洲,蔡良才,李博. GIS 在公路改建飞机跑道选址优化中的应用[J]. 路基工程,2010(6):142-143.

- LIU Zhou, CAI Liangcai, LI Bo. Application of GIS to location optimization of pavement rebuilt airstrip [J]. Subgrade engineering, 2010 (6):142 - 143. (in Chinese)
- [2] 张罗利,蔡良才,种小雷,等. GIS 与多属性决策理论在公路飞机跑道选址中的应用[J]. 交通运输工程学报,2010,10(5):66 - 70.
- ZHANG Luoli, CAI Liangcai, CHONG Xiaolei, et al. Application of GIS and multiple attribute decision theory in highway runway locating [J]. Journal of traffic and transportation engineering, 2010,10(5):66 - 70. (in Chinese)
- [3] 刘臣,薛政宇,谭建锋. 多层次灰色评价法在公路飞机跑道选址方案优选中的应用[J]. 工程技术,2005:317 - 319.
- LIU Chen, XUE Zhengyu, TAN Jianfeng. Application of multiple echelons used in the optimization of highway runway locating schemes [J]. Engineering technology,2005:317 - 319. (in Chinese)
- [4] 程峻,王宇,余轩,等. 电力变压器运行状态综合评判指标的权重确定[J]. 中国电力,2011,44(4):26 - 30.
- CHENG Yin, WANG Yu, YU Xuan, et al. Study on index weighting methods for transformer condition evaluation [J]. Electric power, 2011,44(4):26 - 30. (in Chinese)
- [5] Tung S L, Tang S L. A comparison of the Saaty's AHP and modified AHP for right and left eigenvector in - consistency [J]. European journal of operational research, 1998,106:123 - 128.
- [6] Mohammed I Alkhali I. Selecting the appropriate project delivery method using AHP [J]. International journal of project management, 2002,20:469 - 474.
- [7] Zeleny M. A concept of compromise solutions and the method of the displaced deal [J]. Computer operation research, 1974:479 - 496.
- [8] 康亚林,邱延俊,张波. 新建高速公路跑道几何参数的研究[J]. 铁道建筑,2007(2):106 - 108.
- KANG Yalin, QIU Yanjun, ZHANG Bo. Research on geometric parameters of newly - built highway runway [J]. Railway engineering, 2007(2):106 - 108. (in Chinese)
- [9] 王成. 多指标综合评价的一种灰色模糊决策方法[J]. 延边大学学报:自然科学版,2007,33(1):12 - 15.
- WANG Cheng, A grey fuzzy decision - making method of multiindex comprehensive evaluation [J]. Journal of Yanbian university:natural science edition, 2007,33(1):12 - 15. (in Chinese)
- [10] 匡乐红,徐林荣,刘宝琛. 组合赋权法确定地质灾害危险性评价指标权重[J]. 地下空间与工程学报,2006,2(6):1063 - 1067.
- KUANG Lehong, XU Linrong, LIU Baochen. A combination weighting method for determining the index weight in geological hazard risk assessment [J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2006,2(6):1063 - 1067. (in Chinese)

(编辑:徐敏)

The Optimization of Highway Runway Locating Based on A Combination Weighting Method and Euclid Distance

GENG Hao¹, CAI Liang - cai¹, LI Guang - yuan¹, SHAO Bin¹, WANG Guan - hu¹, LI Gang², LIN Wei²

(1. School of Aeronautics and Astronautics Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Airport and Barracks Bureau in Logistics Department of Shenyang Military Region, Shenyang 110015, China)

Abstract: In order to solve the problem of the optimization of highway runway locating, by the way of investigating and consummating the targets of the highway runway locating, the paper has synthetically considered the requirements in four aspects of usability, technicality, economy and environmental protection to establish the system of evaluating targets for the highway runway locating. Each initial target weights are determined respectively based on the entropy method and the improved AHP method in a combination weighting method, by using the method of composing linear weighting all the target weights are ascertained finally. And then the measuring degree based on the Euclid distance for comparing the opposite closing degrees of all schemes is at a distance from perfect point, then the model of optimizing multiple target decision is established for selecting the best highway runway locating spared schemes. In combination with the living example of highway runway locating, the model of optimizing multiple target decision is tested effectively and practically.

Key words: highway runway; locating; a combination weighting method; Euclid distance; optimization