

基于层次分析法的民用机场场址比选

陶 佳

上海民航新时代机场设计研究院有限公司 上海 200335

摘 要: 针对民用机场场址方案比选, 本文通过应用层次分析法, 对不同影响因素赋予相应的权重, 再通过对预选方案进行量化计算, 来获得方案排序, 并对计算结果进行一致性检验, 从而获得科学合理的场址方案。

关键词: 层次分析法; 民用机场选址方案; 判别矩阵

引言:

近年来, 随着我国整体经济水平的高速发展, 民航事业也不断发展壮大, 航空客货运输量也快速增长, 对机场等基础设施的需求也在不断扩大。根据《2019年民航机场生产统计公报》显示, 截止2019年12月底, 我国境内运输机场(不含香港、澳门和台湾地区)达到238个。根据《全国民用运输机场布局规划》, 至2025年, 全国机场总量将达到370个, 平均约2.6万平方公里设有一个机场^[1]。

机场场址位置是机场建设的一个关键环节, 涉及到方方面面众多因素, 如何能够确定最合理的方案, 对未来机场的运行、总体投资的控制都至关重要。目前, 我国的机场选址方案的确定, 一般是通过初选、预选、比选后确定, 在比选过程中缺乏能够量化的、科学系统的评价方法来确定推荐方案。

本文旨在通过应用层次分析法, 为机场选址方案的比选提供一个能够系统量化的设计思路。

一、层次分析法数学模型

1. 建立层次结构模型

层次分析法将决策的目标、评价准则(或考虑因素)和方案按它们之间的相互关系分为目标层、准则层及方案层, 据此绘

出层次结构模型, 如图1所示:

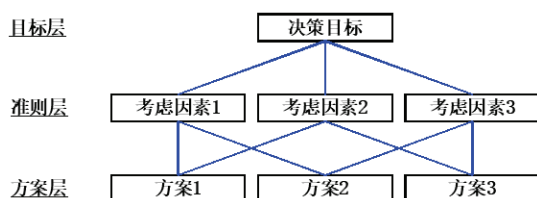


图1 层次结构模型

2. 构造比较判别矩阵

建立层次结构模型后, 从第一个准则层开始向下, 通过两两比较法, 逐步确定各层不同因素相对于上一层因素的重要性权数。当以上一层次某个因素作为比较准则

时, 可用一个比较标度 a_{ij} 来表达下一层次中第 i 个因素与第 j 个因素的相对重要性, 两两对比标度表如表1所示:

表1 层次分析法两两对比标度表

元素	标度	取值规则(以上一层某因素为准则)
a_{ij}	1	因素 i 与因素 j 同样重要
	3	因素 i 比因素 j 稍微重要
	5	因素 i 比因素 j 明显重要
	7	因素 i 比因素 j 强烈重要
	9	因素 i 比因素 j 极端重要
	2, 4, 6, 8	i 与 j 两因素比较处于以上结果中间
a_{ji}	倒数	因素 j 与因素 i 比较结果是因素 i 与因素 j 比较结果的倒数

由 a_{ij} 构成的矩阵称为比较判别矩阵 $A = (a_{ij})$, 即:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

3. 单准则下层次排序及其一致性检验

层次分析法的信息基础是比较判别矩阵。由于每个准则都支配下一层若干个因素, 这样对于每一个准则及它所支配的因素都可以得到一个比较判别矩阵。并对判别矩阵求得特征值及特征向量。

权重值是否合理, 需要通过一致性检验, 检验计算过程如下:

设 A 为 n 阶正互反矩阵, 定义 CI 为一致性指标:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

其中: $\lambda_{\max}$ 是 A 的最大特征值。

定义 RI 为平均随机一致性指标, 其取值如表2所示:

表2 平均随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

$n=1, 2$ 时 $RI=0$, 因为1, 2阶矩阵总是一致的。当 $n \geq 3$ 时, 另 $CR=CI/RI$, CR 为一致性比例。

当 $CR < 0.1$, 认为比较判别矩阵的一致性可以接受, 反着则需对判别矩阵进行适当修正。

4. 层次总排序及其一致性检验

(1) 层次总排序

计算同一层次中所有元素对于目标层的相对重要性标度称为层次总排序。层次总排序的步骤如下:

①计算同一层次所有因素对目标层相对重要性的排序权向量, 这一过程自上而下逐层进行;

②已计算出的第 $k-1$ 层上有 n_{k-1} 个元素相对总目标的排序权向量:

$$\omega^{(k-1)} = (\omega_1^{(k-1)}, \omega_2^{(k-1)}, \dots, \omega_{n_{k-1}}^{(k-1)})^T$$

③第 k 层有 n_k 个元素, 它们对于上一层次 (第 $k-1$ 层) 的某个因素 u_i 的单准则排序权向量:

$$p_i^{(k)} = (\omega_{1i}^{(k-1)}, \omega_{2i}^{(k-1)}, \dots, \omega_{n_{k-1}i}^{(k-1)})^T$$

对于与 $k-1$ 层第 i 个元素无支配关系的对应 u_j 取值为 0。

④第 k 层有 n_k 个元素相对总目标的排序权向量为:

$$(\omega_1^{(k)}, \omega_2^{(k)}, \dots, \omega_{n_k}^{(k)})^T = (p_1^{(k)}, p_2^{(k)}, \dots, p_{n_{k-1}}^{(k)}) \omega^{(k-1)}$$

(2) 总排序一致性检验

从模型的总体上来检验这种差异尺度的累积是否显著, 检验的过程称为层次总排序的一致性检验。

设第 $k-1$ 层第 j 个因素为比较准则, 第 k 层的一致性检验指标为 $CI_j^{(k-1)}$, 平均随机一致性指标为 $RI_j^{(k-1)}$, 第 k 层各因素两两比较的层次单排序一致性指标为:

$$CI^k = CI^{(k-1)} \bullet \omega^{(k-1)}$$

其中, $\omega^{(k-1)}$ 为第 $k-1$ 层对总目标的总排序向量。令:

$$RI^k = RI^{(k-1)} \bullet \omega^{(k-1)}$$

$$CR^k = CR^{(k-1)} + \frac{CI^k}{RI^k}, (3 \leq k \leq n)$$

若 $CR^k < 0.1$, 可认为评价模型在 k 层水平上整体达到局部满意一致性。

二、运用层次分析法分析民用机场选址

本文以阿拉尔民用机场选址为例, 运用层次分析法对机场选址进行方案分析。

1. 项目概况

阿拉尔市, 是新疆维吾尔自治区直辖的县级市, 北起天山南麓山地, 南至塔克拉玛干沙漠边缘, 傍依阿克苏河、塔里木河、台兰河、多浪河水系。

按照民航局“依据所在城市经济社会发展状况、机场在航空运输网络中的地位、客货运输规模等因素, 结合阿拉尔市的经济、人口、商贸、旅游等发展状况及对航空运输业务的需求, 阿拉尔民用机场定位为国内小型机场, 承担支线航空的任务。

参照国内同等支线机场的建设规模以及结合阿拉尔市经济发展的状况, 近期设计目标年 (2030年) 按年旅客吞吐量 15 万人次的规模考虑建设, 飞行区指标为 4C; 远期 (2050年) 预测旅客吞吐量可达到 40 万人次左右, 飞行区指标按 4C 进行控制, 可以满足 C 类及以下机型。

本次选址的基本原则主要依据民用机场场址选择的一般规定和基本条件, 并遵循阿拉尔市政府及有关部门对机场选址工作的有关要求, 重点考虑机场功能的最大利用, 机场服务区域旅客容量可行性以及与周边机场和环境的相容性等问题。具体原则如下^[2]:

(1) 机场选址报告应符合民用机场布局规划。

(2) 机场净空符合民航有关技术标准。

(3) 与城市距离适中, 机场运行及发展与城市中长期发展规划相协调, 飞机起降航线尽量避免穿越城市上空。

(4) 场区场地能够满足机场近期建设和远期发展需要, 工程地质、水文地质和电磁环境条件相对良好, 地形、地貌相对简单, 满足机场工程的建设和安全运行要求。

(5) 具备建设机场导航、通信和监视设施的条件。

(6) 具备建设供电、航油、供水、供气、通信、道路、排水等设施、系统的条件, 能满足机场运营要求。

(7) 机场选址应符合城市总体规划和土地使用规划, 不占或少占良田、耕地、林地或草地, 拆迁量较少。

(8) 满足生态、环境保护及文物保护要求, 场区地下无重要矿藏。

(9) 工程投资经济合理。

根据以上原则, 本次项目在预选阶段设定三个方案: 十团场址、十三团场址、十二团场址。剔除三个场址方案相同的影响因素后, 针对不同影响因素采用层次分析法进行方案比选分析。

2. 机场选址层次结构模型

民用机场选址评价体系复杂, 需要考虑多方面因素, 来最终确定最科学合理的机场选址方案。本次阿拉尔机场选址比选考虑的主要因素, 按相对重要性排列如下:

(1) 很重要:

①净空条件;

②地理位置;

③用地情况。

(2) 比较重要:

①公用配套设施;

②交通条件;

③投资情况。

(3) 一般重要:

①建筑材料供应情况。

以上所列因素为层次结构模型准则层, 据此建立层次结构模型如图2所示:

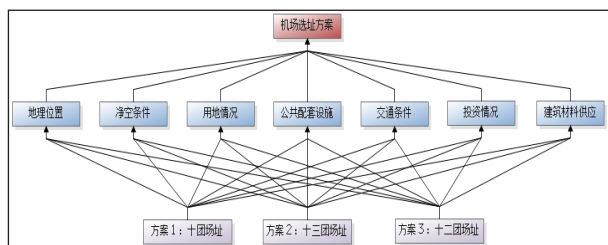


图2 机场选址层次结构模型

3. 构造比较判别矩阵

构建选址层次模型后, 准则层对目标层的判别矩阵如下 (以下简称目标层为A、准则层为B, 方案层为C):

$$A-B: \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1 & 3 & 3 & 3 & 5 \\ 2 & 1 & 2 & 3 & 3 & 3 & 5 \\ 1 & 1/2 & 1 & 3 & 3 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

方案层对准则层的判别矩阵如下:

$$B_1-C: \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1 \\ 1/5 & 1 & 1/5 \\ 1 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_2-C: \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/5 \\ 5 & 1 & 1 \\ 5 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_3-C: \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_4-C: \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_5-C: \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/5 \\ 5 & 1 & 1 \\ 5 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_6-C: \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1/5 \\ 3 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_7-C: \begin{bmatrix} 1 & 5 & 2 \\ 1/5 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

4. 层次单排序一致性检验

根据3.2节构造的判别矩阵, 分别计算最大特征值及

特征向量, 得出相应层次单排序的相对重要性权重向量, 及一致性比例CR, 计算结果列于表3:

表3 判别矩阵计算结果汇总表

矩阵	权重向量	$\lambda_{\max}$	CR
A-B	$(0.2107, 0.29, 0.2107, 0.0839, 0.0839, 0.0839, 0.0368)^T$	7.144	0.0176
B ₁ -C	$(0.4545, 0.091, 0.4545)^T$	3	0
B ₂ -C	$(0.091, 0.4545, 0.4545)^T$	3	0
B ₃ -C	$(0.6144, 0.2684, 0.1172)^T$	3.0735	0.0707
B ₄ -C	$(0.5, 0.25, 0.25)^T$	3	0
B ₅ -C	$(0.091, 0.4545, 0.4545)^T$	3	0
B ₆ -C	$(0.2583, 0.1047, 0.637)^T$	3.0385	0.037
B ₇ -C	$(0.5954, 0.1283, 0.2764)^T$	3.0055	0.0053

由上表可知, 所有层次单排序的CR值均小于0.1, 满足一致性要求。

5. 层次总排序一致性检验

根据上一节计算结果, 对层次结构模型进行层次总排序一致性检验, 计算得: $CR=0.0339 < 0.1$, 满足总层次一致性要求。

6. 方案比选结果

通过计算及一致性检验, 本次阿拉尔机场选址的三个方案相对优先排序如表4所示:

表4 方案优先排序

排序	方案	权重
1	方案3: 十二团场址	0.3750
2	方案1: 十团场址	0.3448
3	方案2: 十三团场址	0.2802

根据上述权重排序结果, 方案3 (十二团场址) 为最佳方案。故本次阿拉尔机场选址推荐方案为: 十二团场址。

三、结束语

本文通过建立层次分析法的数学模型, 来对机场选址的方案进行比选。综合考虑了不同因素对每个预选方案不同影响程度, 并赋予相应的打分, 不仅避免了方案比选中的片面性, 同时可以更加量化的展现不同方案在各种因素影响下的科学合理性。在实际方案比选工作中, 还可综合多名专家的意见, 让因素相互比较的打分更加精确合理, 提高模型的准确度。

参考文献:

- [1]左精力, 王丽, 王艳刚. 民用机场选址方法综述[J]. 综合运输, 2021, 43 (5): 63-68, 84.
- [2]刘宇飞, 罗永胜. “3S”技术在机场建设工程中的应用研究[J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2016, (13): 4142-4142.