

基于 GIS 的山地丘陵地区通用机场选址研究

吴 豪, 任国正

(中国民用航空飞行学院机场学院, 四川 广汉 618307)

摘要: 加大通用机场建设将是未来几年的必然趋势,其场址的选择直接影响机场的安全高效运行。而在通用机场的规划建设过程中,山地丘陵地区的选址比地势平坦地区难度更大、局限更多。为此,从交通条件、建设条件、运行条件 3 个方面出发构建山地丘陵地区通用机场选址指标体系,利用模糊层次分析法对选址指标进行定量化评价。在此基础上,基于 GIS(地理信息系统)建立山地丘陵地区通用机场选址决策模型,用于获得通用机场选址因子评价可视化结果,以此揭示通用机场选址的适宜性空间分布,为相关决策提供可靠的量化依据。以华东某通用机场选址为例验证模型和方法的可用性。

关键词: 通用机场选址; 山地丘陵地区; 适宜性评价; 模糊层次分析法

中图分类号: V351 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671—1807(2024)03—0223—05

随着经济的发展和人民生活水平的提高,通用机场的出行需求不断增加,通用航空市场逐渐兴起。我国在册通用机场数量由 2019 年的 239 个发展到 2022 年上半年的 384 个,力争到 2025 年末在册通用航空器达到 3 500 架,在册通用机场达到 500 个^[1]。因此,加大通用机场建设将是未来几年的必然趋势。而我国的山地丘陵地区约占全国土地总面积的 43%,未来将有部分通用机场建设于此。由于受地理条件限制,山地丘陵地区通用机场建设会面临工程建设成本高、机场净空受限等问题,因此在山地丘陵地区进行通用机场选址比地势平坦地区难度更大、局限更多。现有的机场选址评价方法主要有层次分析法、模糊综合评价法、灰色加权关联度法等。朱来辉等^[2]用模糊层次分析法建立机场选址优选模型,考虑到了主观判断的不确定性,减少了结果的偏差。卢厚清等^[3]基于主成分分析法建立机场选址综合评价模型,用尽可能少的不相关影响指标保留原来尽可能多的变量信息,该方法评价机场选址方案缺乏一定的客观性。李明捷和石荣^[4]为了解决机场选址评估中权重分配过于主观的问题,引入了变异理论来评估机场选址方案,以指标的内在逻辑对指标的重要程度进行排序,减少主观性对评价结果的影响。张世迪等^[5]将组合权重与灰色关联法相结合,依据各方案与最优方案的关联度大小评价其优劣程度。

一些研究者已经开始采用定性和定量相结合的方法进行评价指标权重的计算用以选址分析,但在处理空间信息方面存在一些挑战。为克服这一问题,许多学者开始应用强大的空间分析工具在选址分析中。而地理信息系统(geographic information system, GIS)具有在短时间内处理和分析大量不同来源的空间和非空间数据的高效能力,是这类研究的理想选择。何文斌和梁利姣^[6]基于规划三维辅助决策支持系统,分析了在机场选址中使用 GIS 的可行性。何尧等^[6]考虑空间适宜性,提出了利用 GIS 将机场选址的影响因素加权叠加的评价方法。Chabuk 等^[7]利用 GIS 找出最适合的垃圾填埋场,其采用多准则决策方法,对 GIS 上的准则图进行权重计算以此获得潜在填埋场的位置。基于以上研究, GIS 软件与数学方法相结合,将成为解决通用机场选址问题的快速有效途径。

区别于传统的选址方法,本文将地理空间分析技术与模糊层次分析法结合,进行山地丘陵地区的通用机场选址分析。首先,针对山地丘陵地区特有的地形地貌条件,将大量的数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据,行政区划、河流、路网等矢量数据等进行整合;其次,从交通条件、建设条件、运行条件 3 个方面综合考虑建立通用机场选址指标体系,同时引入模糊层次分析法的原理及方法来计算通用机场选址的指标权重;最后,基于 GIS

收稿日期: 2023-11-07

作者简介: 吴豪(1998—),男,陕西西安人,硕士研究生,研究方向为机场管理与工程;任国正(1998—),男,山东淄博人,硕士研究生,研究方向为机场管理与工程。

建立山地丘陵地区通用机场选址的决策模型,对选址指标进行定量化、可视化的评价,以此揭示山地丘陵地区通用机场选址的适宜性空间分布。针对山地丘陵地区的通用机场选址,利用数学模型与地理空间分析技术以缩减选址区域范围和优化选址过程,并为相关决策提供可靠的量化依据。

1 山地丘陵地区通用机场选址评价指标体系

影响山地丘陵地区通用机场选址结果的因素有很多,主要考虑满足机场从建设到安全运行使用的各项条件。安然和刘照博^[8]在机场选址中考虑安全运行方面的因素外,还将建设条件、经济条件以及为机场提供保障条件的因素都列入考虑范围。许家铭和刘平^[9]从工程技术条件、工程经济、航行服务等方面综合考虑提出机场综合评价指标。本文根据相关规范^[10]及运输机场选址指标,从交通条件、运行条件、建设条件3方面建立山地丘陵地区通用机场选址评价指标体系。根据对研究目标的影响差异确定建设、交通、运行条件3个一级指标,所涉及的二级指标均根据其性质和功能上的相似性被分配在不同的一级指标中(表1)。

交通条件方面,主要是考虑机场位置与城市高速公路和城市服务中心的位置。机场与城市高速公路与城市服务中心较近的距离,可以提高机场的可达性,降低运输时间与成本,另外还有助于促进地区经济增长和投资吸引力。

运行条件方面,包括场址与其他机场邻接区位置关系、周边居住点数量及与河溪距离。调查场址周围规定半径范围内的机场及其空域情况,分析本场使用空域需求与周边机场邻接空域是否重叠。而起降和空中运行应避免噪声敏感区,如居民区、学校和医院,因此以规定范围内的居民点数来作为噪声方面的考量指标。靠近河流可能带来气象条件变化、水面反射光线等因素,对飞行操作和导航系统造成一定影响,需与河流保持一定的安全距离。

表1 山地丘陵地区通用机场选址评价指标体系

一级指标	二级指标
交通条件	与城市高速公路距离
	与城市服务中心距离
建设条件	海拔高度
	地形坡度
	与河溪距离
运行条件	周边居住点数量
	与其他机场邻接区位置关系

建设条件考虑了海拔高度、地形坡度、与河流距离。海拔高度对机场性能和飞行安全有影响。高海拔地区的气压和空气密度较低,可能导致飞机起降性能下降、推力减少、加速距离增加等。地形的坡度直接影响土地的可利用性,对土地开发施加了限制。坡度和海拔的相对变化关系着城市建设用地的布局和工程施工的难度。地势的复杂起伏会增加工程建设的成本。陡峭的地形容易引发地质灾害,如水土流失和滑坡,从而增加了财产和生命安全的风险。

2 通用机场选址模型的构建

Saaty^[11]提出的层次分析法,目前是多准则决策中最常用的方法之一。层次分析法通过考察多个要素及其关系,对其进行层次划分和结构建模,利用有限的定量信息进行决策问题的定量或定性分析。模糊层次分析法(fuzzy analytic hierarchy process, FAHP)基于传统的层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)方法构建,并通过采用模糊一致性矩阵来考虑人们对复杂问题判断的不确定性。

为了避免评价指标之间存在模糊性和不确定性的情况,引入模糊层次分析法计算指标的适宜性指数(权重),最大限度降低决策过程中不确定性带来的不利影响。

2.1 优先关系矩阵的建立

建立各个影响因素之间的优先关系矩阵,再将其转化成模糊一致阵,从而更准确地量化和描述具有主观性和模糊性的决策问题。优先关系矩阵的建立,需要考虑每层因素对于上层因素的相对重要性。采用的0~1标度法^[12]给予标度,该标度法只有0、0.5和1三个数量标度,具体见表2。

表2 0~1标度法

标度	定义	含义
0	不重要	前者不如后者重要
0.5	同等重要	两者同等重要
1	重要	前者比后者重要

2.2 模糊一致矩阵的构建

设 $V = (v_{ij})_{n \times n}$ 为模糊互补判断矩阵,各行求和之值为 V_i ,通过如下公式转换可得模糊一致阵 R 。

$$r_i = \sum_{k=1}^n \gamma_{ik}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{r_i - r_j}{2n} + 0.5 \quad (2)$$

$$R = (r_{ij})_{n \times n} \quad (3)$$

式中： r_i 、 r_j 分别为第 i 、 j 行影响因子按行求和； r_{ij} 为模糊一致矩阵各因子经标度得到的数值； R 为模糊一致矩阵； n 为影响因子总数。

2.3 指标权重的计算

采用式(4)^[13]计算模糊互补判断矩阵的权重。式(4)充分利用了模糊一致性判断矩阵的优点以及其中包含的判断信息,同时计算工作相对较轻,为实际应用提供了便利。

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij} + \frac{n}{2} - 1}{n(n-1)}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中： w_i 为第 i 个因子的权重。

3 模型验证

为验证模型与方法的有效性与可靠性,以华东地区某市通用机场选址为例,进行选址分析与研究。这座城市北部和南部被群山环绕,中心地区有河流穿过。地势从北部和南部逐渐向中心倾斜,形成了明显的马鞍状地形。从地理特征来看,该地区可归类为中低山地和丘陵地带,以山和丘陵为主要地貌,其次为少许平原。

3.1 数据准备及预处理

所用数据包括:研究区域 DEM 数据(来源于地理空间数据云 GDEMDEM 30 m 分辨率数字高程数据),行政区划、河流、路网矢量数据(来源于全国地理信息资源目录服务系统 2019 年公开版矢量数据),居民点矢量数据。其中居民点矢量数据为国家统计局官网公布的 2022 年度全国统计用区划代码和城乡划分代码,基于行政村(社区)的名字,借助百度地图地址反查工具得到经纬度再进行坐标纠正得到 WGS1984 坐标下的最终数据。以上数据都在研究区域范围内进行处理,数据的准备和分析工作在 ArcGIS 中进行。

3.2 指标权重及适宜性范围的确定

以运行条件为例,根据 0~1 标度法对运行条件的优先关系给予标度,标度结果见表 3。

基于表 3 的优先关系矩阵及式(1)~式(3),得到运行条件的模糊一致矩阵,见表 4。

通过表 4 以及式(4),即可得到运行条件 3 项因子的权重值 $w_i = [0.250, 0.417, 0.333]$ 。

根据适宜性程度,确定每个二级指标的分类赋值(表 5),另外将其评价值分级为 1~5 级,从 1 级到五级分别为不适宜、临界适宜、一般适宜、比较适宜、高度适宜,各因素评价分级原则见表 6。

3.3 适宜性分析及模型验证

以华东地区某市通用机场选址为例,建立交通条件、建设条件、运行条件 3 个一级指标以及海拔高度、地形坡度、与河溪距离等 7 个二级指标。由于该区域与周边机场的邻接区均无重叠,因此仅考虑其余影响因素,其二级指标因子的重分类结果叠加分析后得到通用机场选址的评价结果,如图 1 所示。

表 3 运行条件优先关系矩阵

运行条件	周边居住点数量	与其他机场邻接区位置关系	与河溪距离
周边居住点数量	0.5	0	1
与其他机场邻接区位置关系	1	0.5	1
与河溪距离	0	0	0.5

表 4 运行条件模糊一致矩阵

运行条件	周边居住点数量	与其他机场邻接区位置关系	与河溪距离
周边居住点数量	0.500	0.333	0.667
与其他机场邻接区位置关系	0.667	0.500	0.833
与河溪距离	0.333	0.167	0.500

表 5 评价指标影响因子权重分配

一级指标	权重	二级指标	权重	综合权重
交通条件	0.417	与城市高速公路距离	0.375	0.156 4
		与城市服务中心距离	0.625	0.260 6
运行条件	0.333	周边居住点数量	0.333	0.110 9
		与其他机场邻接区位置关系	0.417	0.138 9
		与河溪距离	0.250	0.083 3
建设条件	0.250	海拔高度	0.625	0.156 2
		地形坡度	0.375	0.093 7

表 6 山地丘陵地区通用机场评价指标适宜性水平

指标	单位	适宜性范围及分级				
		高度适宜	比较适宜	一般适宜	临界适宜	不适宜
与城市高速公路距离	km	(0,2]	(2,4]	(4,7]	(7,10]	>10
与城市服务中心距离	km	(0,8]	(8,15]	(15,25]	(25,35]	>35
周边居住点	个/0.08 km ²	(0,0.13]	(0.13,0.45]	(0.45,0.76]	(0.76,1.45]	>1.45
与其他机场邻接区位置关系		不重叠	—	—	—	重叠
与河溪距离	m	(0,300]	—	—	—	>300
海拔高度	m	(40,60]	(15,40]/(60,100]	(100,200]	(200,300]	(0,15]/>300
地形坡度	%	(0,3]	(3,8]	(8,15]	(15,30]	>30

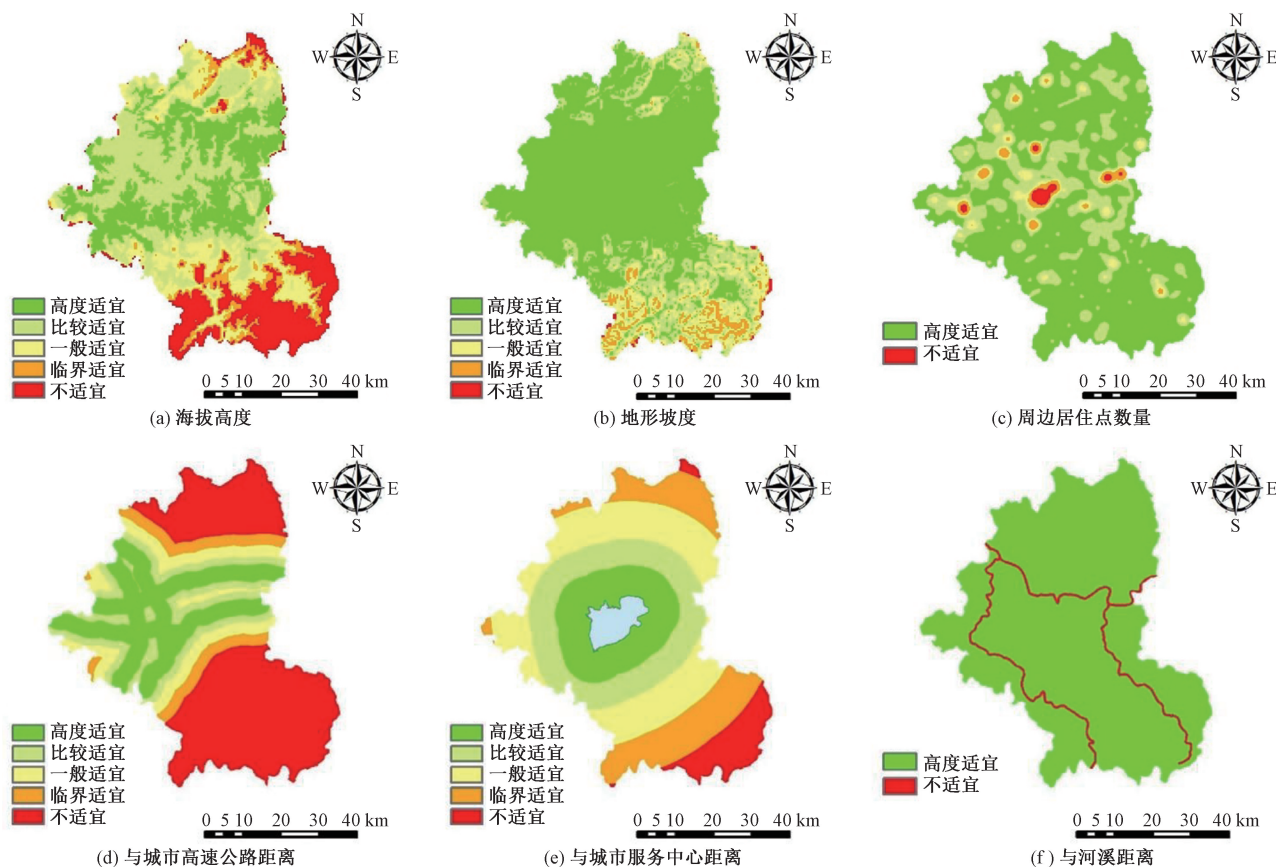


图1 通用机场选址因子评价可视化结果

由于该区域南北环山,地势较高,中部有江流横贯。用DEM数据分析该区域的高程及坡度,可以发现高度适宜及比较适宜区域主要集中在中部地区。与高程及坡度分析结果相反,由于中部地区人口密集,居民点数多且集中,所以从居民点数分析,适宜区主要分布在南北部以及中部市区与周边乡镇的中间地带。

结合与城市服务中心距离、河流距离、高速公路距离的分析,再叠加“三区三线”(用以分析选址是否符合基本用地条件)的不适宜区域,加权计算以后得到最终的适宜性区域分类图,如图2所示。

最适宜建设通用机场的区域主要集中在城市服务中心周边的小平原地区。它们在保证航空器安全运行的基础上,有利于机场建筑物建设、降低旅客出行成本,同时减少机场建设对城市发展的影响。受地形地势条件与出行可达性限制,区域南北两端的丘陵与山地不适宜建设通用机场。

为了验证试验的有效性,将得到的适宜性区域分类图与实际的机场建设位置进行比较分析,发现正位于高度适宜地区。试验结果也与该市的交通、经济发展、城市规划基本一致,符合实际选址结果。

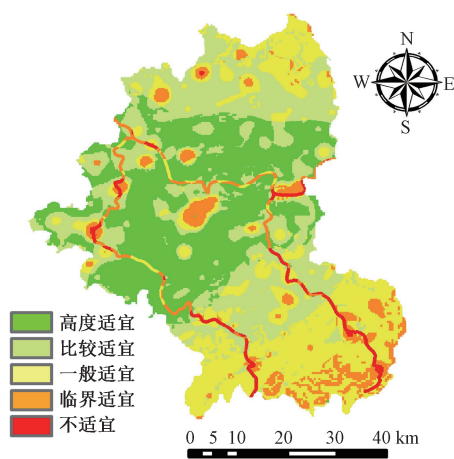


图2 通用机场选址适宜性区域分类

4 结语

从空间适宜的综合定量分析评价角度出发,设计了基于交通条件、建设条件与运行条件的综合评价指标体系,提出了一种GIS空间适宜性分析与模糊层次分析的山地丘陵地区通用机场选址综合评价方法,为规划工作者提供了可靠的决策依据,避免了以往逐个进行现场踏勘考察的时间与经济耗费,使整个选址过程更加科学有效。

另外,通过算例分析验证了该方法能够在山地丘陵地区的通用机场选址中辅助规划者进行分析、决策,为该类型通用机场选址布局提供可靠依据。

由于山地丘陵地区通用机场选址问题的系统性、复杂性等因素,结合研究区域的自然条件及地形地势情况,仅选取了 7 个评价指标,未来研究中应根据具体案例继续完善评价体系,并进一步深化影响指标权重的客观赋值。

参考文献

- [1] 中国民用航空局. “十四五”民用航空发展规划[R]. 北京: 中国民用航空局, 2021.
- [2] 朱来辉, 曹炜, 张珏. 基于 FAHP 的民用机场选址方案优选[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(6): 117-119.
- [3] 卢厚清, 刘诚, 杨海明, 等. 基于 PCA 的机场选址问题综合评价模型[J]. 交通标准化, 2012(5): 50-52.
- [4] 李明捷, 石荣. 基于突变理论的机场选址评价研究[J]. 中国民航大学学报, 2011, 29(6): 35-37.
- [5] 何文斌, 梁利姣. GIS 在机场选址中的应用研究[J]. 东莞理工学院学报, 2010, 17(1): 27-31.
- [6] 何尧, 舒富民, 郑皓文. 基于 GIS 多因素加权叠加的机场选址方法[J]. 中国民航大学学报, 2021, 39(4): 42-47.
- [7] CHABUK A J, AL-ANSARI N, HUSSAIN H M, et al. GIS-based assessment of combined AHP and SAW methods for selecting suitable sites for landfill in Al-Musayib Qadhaa, Babylon, Iraq[J]. Environmental Earth Sciences, 2017, 76: 1-12.
- [8] 安然, 刘照博. 基于组合权重的灰色关联法在机场选址中应用[J]. 山西建筑, 2014, 40(32): 3-5.
- [9] 许家铭, 刘平. 基于多指标模糊综合评价法的民用机场项目选址方法[J]. 工程管理学, 2023, 37(3): 66-71.
- [10] 通用机场建设规范[S]. 北京: 中国民用航空局, 2012.
- [11] SAATY T L. The analytic hierarchy process: what it is and how it is used[J]. Mathematical Modelling, 1987, 9: 161-176.
- [12] 姚敏, 张森, 徐昊. 模糊性的度量及其应用[J]. 系统工程与电子技术, 1998, 20(1): 44-46.
- [13] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵排序的一种算法[J]. 系统工程学报, 2001, 16(4): 311-314.

Research on General Airport Site Selection in Mountainous and Hilly Areas Based on GIS

WU Hao, REN Guozheng

(Airport College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan, China)

Abstract: The expansion of general aviation airport construction will be an inevitable trend in the coming years, and the selection of the airport's site directly influences its safe and efficient operation. In the planning and construction process of general aviation airports, the selection of sites in mountainous and hilly areas poses greater challenges and limitations compared to flat terrain. A site selection index system for general aviation airports in mountainous and hilly areas is constructed based on three aspects: transportation conditions, construction conditions, and operational conditions. The fuzzy analytic hierarchy process is utilized to quantitatively evaluate site selection criteria. Building upon this, a decision model for general aviation airport site selection in mountainous and hilly areas is established using GIS (geographic information system) to obtain visualized results of the evaluation of airport site selection factors. It reveals the suitability of spatial distribution for general aviation airport site selection, providing a reliable quantitative basis for relevant decision-making. The model and methodology's usability is validated using the example of site selection for a general aviation airport in the east China region.

Keywords: general airport site selection; mountainous and hilly areas; suitability assessment; fuzzy analytic hierarchy process