

【航空科学与工程研究】

# 云模型在四型机场建设评价中的应用

刘成肖, 房炳宇

(滨州学院 飞行学院, 山东 滨州 256603)

**摘 要:**结合层次分析法与云模型给出了一种四型机场建设的评价方法。首先建立四型机场模糊评价指标体系,得到各级评价指标;其次使用层次分析法对指标进行赋权,结合云模型算法,计算出标准云的数字特征并生成标准云图;最后计算出各个指标的云模型数字特征并生成云图,与标准云图进行对比,可得到评价结果。以某机场为评价对象,按上述方法进行评价,结果表明,该方法能对四型机场建设生成定性评价结果,对四型机场的建设具有一定指导作用。

**关键词:**四型机场;评价;云模型;层次分析法

**中图分类号:** V 351      **文献标识码:** A      **DOI:**10.13486/j.cnki.1673-2618.2023.02.005

近年来,随着民航运输业的发展,我国机场数量不断增加,《“十四五”民用航空发展规划》提出,预计到 2025 年,中国民用运输机场数量达到 270 个,比“十三五”末期增加 30 个以上<sup>[1]</sup>。由于民航运输业的快速发展,机场数量不断增加,我国民用航空机场建设速度快、总体数量多与其服务质量不足之间的矛盾日益凸显。

2019 年 9 月 25 日,习近平总书记出席北京大兴国际机场投运仪式,对民航工作做出重要指示,要求建设以“平安、绿色、智慧、人文”为核心的四型机场,为中国机场未来发展指明了方向<sup>[2]</sup>。民航局提出了关于四型机场的建设导则《中国民航四型机场建设行动纲要》(2020—2035 年)<sup>[3]</sup>。随着 2021 年《“十四五”民用航空发展规划》正式印发,民航机场规划编制体系、民航安全生产、航空物流、运输服务、通用航空、机场建设、绿色发展逐步提上日程。关于四型机场评价体系问题,大多数研究是以机场信息化体系作为研究对象,很少以机场综合保障能力作为研究对象。国家提倡以新标准建设方式代替传统方式,发挥科技力量带动基建,提高赋能效率,转型升级,提高国际机场软实力和国际地位。但如何评价机场是否完成了四型机场的建设,或者其建设的怎么样,还有哪些不足之处,亟待解决<sup>[4-5]</sup>。

本文通过构建基于云模型的四型机场评价体系,并对标准云图寻找机场建设中的问题寻求解决方案。根据指标的评价等级寻找机场建设的短板,反馈给机场各部门进行商议,为目标机场的四型机场的建设提供建议,从而推动我国四型机场的建设步伐。

## 1 云模型理论

云模型<sup>[6]</sup>作为定性定量转换的不确定性模型,能够充分体现语言概念的随机性和模糊性,是实现定性定量转换的有效工具。

收稿日期:2022-08-15

基金项目:滨州学院科研基金项目(BZXYQNLG202108)

第一作者简介:刘成肖(1994—),男,山东菏泽人,助教,硕士,主要从事民航系统建模与仿真研究。

E-mail:984292873@qq.com

云的数字特征:云期望、熵和超熵来整体表征一个概念。期望表示云滴在论域空间的分布,是概念在论域空间的中心值,最能够代表定性概念的点,或者说这个概念量化最典型的样本。熵是定性概念不确定性的度量,是由定性概念的随机性和模糊性共同决定的,反映了能代表这个定性概念的云滴离散程度<sup>[8]</sup>。

熵值公式

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} (j = 1, 2, \dots, n), k = 1/\ln m \geq 0, e_j \geq 0,$$

差异系数公式

$$g_j = 1 - e_j (j = 1, 2, \dots, n),$$

权重公式

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} (j = 1, 2, \dots, n)。$$

本文就某单一机场进行分析,因此  $p_{ij}$  为单一对象。从主观角度出发,评价等级的取值范围不尽相同,对于取值也会有模糊细微的差别,因此取值范围相对应当更加广泛。评价四型机场等级划分为 5 个评价等级,即:差、较差、中等、较好、优秀<sup>[9]</sup>。

## 2 四型机场指标评价体系

### 2.1 评价指标体系构建

本文通过机场运作为模型对四型标准进行划分,同时又结合目标机场的自身特点,形成以四型机场结果为导向的三级评价指标体系。将四型标准的一级指标划分为:绿色指标、平安指标、智慧指标、人文指标四大方向。

绿色机场指标<sup>[7]</sup>体系由机场节约使用资源、低碳高效运行、周边环境和谐友好构成。(1)节约使用资源:倡导健康、绿色绩效管理,计划为先,合理使用土地、市政资源;评估全生命周期理念的综合效益,减少施工中尘土、毒物等污染;坚持绿色环保建材,降低消耗量,优化能源结构。(2)机场低碳高效运行:利用空地一体化全景三维技术获取详细环境信息,结合模拟仿真技术制定数据平台,推进低碳高效运行。(3)周边环境和谐友好:大力推进“多规合一”,将自然生态质量、环境安全作为首要任务。

平安机场指标体系由机场运行安全、防空安全、建设安全构成。(1)机场运行安全:在日常安全管理中,坚持“安全第一”的原则对安全隐患零容忍,做到隐患分级、工作细化,推进安全运行体系落实;开展职工安全月学习活动,增加职工安全意识和防范意识;进行安全考察制度,细化各部门精抓安全。(2)机场防空安全:当今时代是国家经济实力和国际地位双比拼的时代,防空安全治理改革已经被提上重点建设的日程,机场防空安全重在统一组织,重视责任落实,推进防空治理改革。(3)机场建设安全:监管力度要大,质量把关要严,抓机场建设安全的责任主体,彻底排查、整改隐患;推进现代化工程建设质量管理体系建设,做到运行无差错,检测不松懈。

智慧机场指标体系由数字化基础设施建设、网络化数据共享与协同、智能化数据融合应用构成。(1)数字化基础设施建设:以数字化为核心形成机场新商业模式,带动机场更多产业发展。结合 5G+时代,大力建设数字感知基础设施,人人、人物、物物相互连通服务于终端客户群体。(2)网络化数据共享与协同:加大网络化服务平台、数据共享、资源共享、平台网络化力度,推动“互联网+”的运营模式。形成多部门协同发展,互通互助,缩减任务量性管理,实现信息“活”起来,方便乘客,服务社会。(3)智能化数据融合应用:机场数据将有结构、非结构和半结构数据融合应用在四型建设中,解放人的双手逐步实现全自动化办公和自动化服务。

人文机场指标<sup>[10]</sup>体系由打造“中国服务”品牌、机场服务品质工程、机场服务便捷工程构成。(1)打造

“中国服务”品牌:依托于服务品质指标和以人为本的理念,在改革创新的新机场模式下大力增强人民群众获得感,把中国元素、优秀传统文化推向国际舞台。(2)机场服务品质工程:在管理队伍建设方面应推进服务考核机制,本着以百姓需求利益出发,建设高要求、高品质的机场运输服务体系。品质工程是便民出行的根本,落实细化管理是高品质长远发展的必然要求。(3)机场服务便捷工程:为实现机场便民工程,应采取简化旅客流程,强化后台服务业务能力,增加培训机制,对新员工实行定期考试的方式,加强机场服务便捷工程队伍的建设。

在四型机场的综合评价过程,不同评价指标占评价结果的重要程度不同。综合考量评价对象及数据特点,采用层次分析法(AHP)法确定权重,从而既体现主观信息又表现客观信息。指标体系如表 1 所示。

表 1 指标体系

一级	二级	三级		
绿色机场 B1	节约使用资源 C1	绿色绩效管理 D1	全生命周期理念 D2	绿色环保建材 D3
	机场低碳高效运行 C2	空地一体化 D4	模拟仿真技术 D5	优化保障流程 D6
	周边环境和友好友好 C3	“多规合一”D7	周边环境治理 D8	空间结构基础设施优化 D9
平安机场 B2	机场运行安全 C4	安全隐患分级治理 D10	安全生产责任体系 D11	新技术体系化预警联动运行 D12
	机场防空安全 C5	遵守防空安全法 D13	防空治理改革创新 D14	安保队伍政治建设 D15
	机场建设安全 C6	监督管理体制 D16	质量管理体系 D17	运行监测检测 D18
智慧机场 B3	数字化基础设施建设 C7	信息机建一体化 D19	新一代移动通信 D20	终端业务服务 D21
	网络化数据共享与协同 C8	“一张网”各部门信息交互 D22	统一监管 D23	大数据信息平台 D24
	智能化数据融合应用 C9	云计算采集 D25	设备智能化 D26	自动化代工 D27
人文机场 B4	打造“中国服务”品牌 C10	机场服务质量指标 D28	以人为本 D29	人民群众获得感 D30
	机场服务品质工程 C11	考核机制 D31	以需求出发 D32	高品质运输服务 D33
	机场服务便捷工程 C12	简化旅客流程 D34	后台业务能力 D35	“行李门到门”D36

2.2 各级评价指标赋权

目标层矩阵  $Nm$  为 B1、B2、B3 及 B4 的总目标判断矩阵,  $Nb1$  为 C1 和 C2 准则层相对于目标层 B1 的判断矩阵,  $Nc1$  为 D1、D2 和 D3 指标层相对于 C1 准这层的判断矩阵。

使用层次分析法<sup>[9]</sup>形成的准则层矩阵为

$$Nm = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} \\ 7 & 1 & 2 & 3 \\ 5 & \frac{1}{2} & 1 & 2 \\ 3 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}。$$

通过以下公式计算出各元素所在矩阵中的比重,

$$M_i = \sum_1^n a_{ij}, \bar{W}_i = \frac{a_{ij}}{M_i}, i, j = 1, 2, \dots, n。$$

例如,求平安机场 B1 的权重.计算可得

$$M_1 = 1 + 7 + 5 + 3 = 16, M_2 = 1/7 + 1 + 1/2 + 1/3 \approx 1.976,$$

$$M_3 = 1/5 + 2 + 1 + 1/2 = 3.7, M_4 = 1/3 + 3 + 2 + 1 \approx 6.333.$$

如此求得

$$\bar{W}_{B1} = 0.061, \bar{W}_{B2} = 0.489, \bar{W}_{B3} = 0.288, \bar{W}_{B4} = 0.162.$$

最终,AHP 法比重值的平均数,通过  $W_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{W}_i (i = 1, 2, \dots, n)$  求得。

权重算出后,再判断矩阵一致性。

$$AW = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau w_1 \\ \tau w_2 \\ \vdots \\ \tau w_i \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} \tau w_1 \\ \tau w_2 \\ \vdots \\ \tau w_i \end{bmatrix} = \lambda w, \lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{n W_i}.$$

CI 为矩阵  $Nm$  的一致性指标,  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 。  $CR = CI/RI(n)$ , 其中  $CR$  为一致性比例,  $RI$  为随机一致性指标,  $n$  为矩阵的阶数。利用 MATLAB 计算可得  $CI = 0.064, CR = 0.0072 < 0.1$ , 可知该矩阵满足一致性检验, 如表 2 所示。

表 2 一致性指标 RI 取值

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

分别对各三级指标进行赋权, 然后综合得到二级指标权重, 节约使用资源 C1(0.020 33)、机场低碳高效运行 C2(0.020 33)、周边环境和谐友好 C3(0.020 33); 机场运行安全 C4(0.163 00)、机场防空安全 C5(0.163 00)、机场建设安全 C6(0.163 00); 数字化基础设施建设 C7(0.096 00)、网络化数据共享与协同 C8(0.096 00)、智能化数据融合应用 C9(0.096 00); 打造“中国服务”品牌 C10(0.054 00)、机场服务品质工程 C11(0.054 00)、机场服务便捷工程 C12(0.054 00)。综合上述二级指标得到各核心指标权重: 绿色机场 B1(0.061)、平安机场 B2(0.489)、智慧机场 B3(0.288)、人文机场 B4(0.162)。

### 3 云模型在四型机场评价中的应用

#### 3.1 评价标准云集

根据云模型公式<sup>[11]</sup>可计算标准云集。评价标准云集如表 3 所示, 四型机场综合评价先利用 AHP 各指标权重, 再引入评价云的数字特征, 利用 MATLAB 编码算法, 生成标准和评价云, 通过直观观察法, 最后确认评价等级<sup>[12]</sup>。

表 3 评价标准云集

评价等级	云模型	评价等级	云模型
优秀	[1.000, 0.103, 0.010]	较差	[0.309, 0.064, 0.010]
良好	[0.691, 0.064, 0.010]	差	[0.000, 0.103, 0.010]
中等	[0.500, 0.031, 0.010]		

云数字特征计算公式如下<sup>[6]</sup>:

$$E_x = \frac{E_{x1} \times \omega_1 + E_{x2} \times \omega_2 + \cdots + E_{xn} \times \omega_n}{\omega_1 + \omega_2 + \cdots + \omega_n}, \tag{1}$$

$$E_n = \frac{\omega_1^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_n^2} E_{n1} + \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_n^2} E_{n2} + \dots + \frac{\omega_n^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_n^2} E_{nm}, \quad (2)$$

$$H_e = \frac{\omega_1^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_n^2} H_{e1} + \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_n^2} H_{e2} + \dots + \frac{\omega_n^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_n^2} H_{en}. \quad (3)$$

其中,  $\omega_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$  为二级指标的权重,  $E_{xi}, E_{ni}, H_{xi}$  为各二级指标的数字特征,  $i$  为指标个数 ( $i=1, 2, \dots, n$ )<sup>[6]</sup>。运用正向云发生器即可得到一级指标的云图。由公式(1)~(3)得出表 4 准则层指标云参数。

表 4 准则层指标云参数

准则层指标	$E_x$	$E_n$	$H_e$	准则层指标	$E_x$	$E_n$	$H_e$
绿色机场 B1	0.7333	0.002 00	0.0010	智慧机场 B3	0.6043	0.039 60	0.0065
平安机场 B2	0.5130	0.050 04	0.0133	人文机场 B4	0.5320	0.049 70	0.0190

### 3.2 评价结果

以某机场为例, 首先对三级指标进行量化赋值, 然后根据云模型算法<sup>[6]</sup>计算云数字特征, 并生成各个三级指标的云图, 利用文献<sup>[6]</sup>中第四章相关公式进一步计算, 得到决策层云参数并生成云图, 结果如图 1 所示。四型机场综合评价中, 决策层云数字特征分别为:  $E_x$  为 0.542,  $E_n$  为 0.011, 离散范围在 0.5~0.6,  $H_e$  为 0.004, 评价整体稳定。将决策层评价结果(图 1)放在标准云集<sup>[6]</sup>中得出四型机场的综合评价云图在评价等级中的位置, 如图 2 所示。

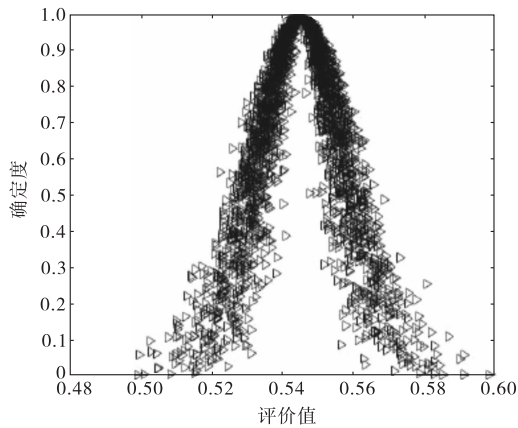


图 1 四型机场评价云图

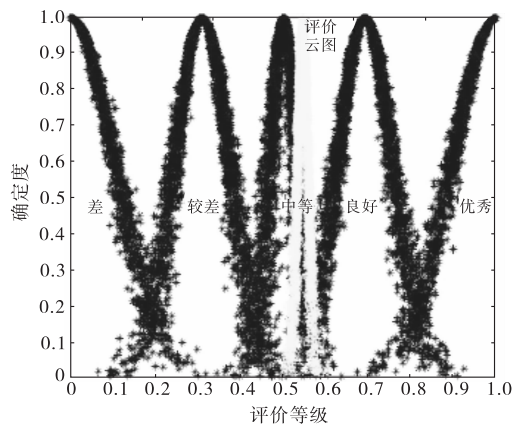


图 2 四型机场综合云图评价等级

通过对各云层的对比不难看出, 某机场的四型机场在综合评价等级为中等, 而其  $E_n$  与  $H_e$  数值小, 稳定性高, 评价准确。

该机场总体建设中等, 其主要问题有: 机场出入口设置的问题, 二楼为出发楼只进不出, 旅客反映不方便出入打车; 没有专门设立吸烟区, 部分安保人员态度恶劣, 应加强安队伍建设; 噪声污染严重, 时常会有不间断的噪声污染; 登机手续较为复杂, 刷身份证后进去, 需二次提醒走人工通道才能进入, 所以在“绿色、人文、智慧”指标方面都有待提高。

此外, 根据调查, 旅客反馈最多的一个问题是机场的交通十分不便, 没有地铁或者轻轨通往市区。机场通过人流量带动周边产业是发展经济的重要方式, 缺乏交通基础不仅影响机场的服务水平, 也会影响整个城市的经济活力。

## 4 结论

根据四型机场建设目标和特点, 通过对指标的合理筛选, 建立了包含 4 个准则层和 36 个指标的综合评价体系。利用云模型完成对某机场四型机场建设的定性评价, 通过对比云图可以直观地观察出评价等

级,最终得出此机场四型机场的综合评价的结果为“中等”,并指出其存在的问题,为该机场进行四型机场建设提供参考。

### 参 考 文 献:

- [1] 中国民用航空局,国家发改委,交通运输部.“十四五”民用航空发展规划[EB/OL]. [2022-05-10]. [http://www.caac.gov.cn/big5/www.caac.gov.cn/PHONE/XXGK\\_17/XXGK/FZGH/202201/PO20220107443752279831.pdf](http://www.caac.gov.cn/big5/www.caac.gov.cn/PHONE/XXGK_17/XXGK/FZGH/202201/PO20220107443752279831.pdf).
- [2] 闫妍.我国推进“四型机场”建设的讨论[J].建材与装饰,2019(32):223.
- [3] 中国民用航空局.中国民航四型机场建设行动纲要(2020—2035)[EB/OL].(2020-01-03)[2022-04-21].<http://www.ccau.gov.cn/XXGK/XXGK/ZCFB/202001/PO20200110664548555485.PDF>.
- [4] 訾谦.民航局:2025年民用机场将超270个记者[N].光明日报,2022-01-08(3).
- [5] 中国民用航空局.四型机场建设导则[EB/OL].(2020-12-01)[2022-04-21].<http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/202011/PO20201103683629031814.pdf>.
- [6] 王红岩.民航机场服务质量评价与实证研究[D].广汉:中国民用航空飞行学院,2016.
- [7] 魏保平,王宗利.关于绿色机场建设评价体系的研究[J].智能城市,2021,7(15):1-3.
- [8] CHAI S L, WANG Z. Product design evaluation based on FAHP and cloud model[J]. Journal of intelligent & fuzzy systems, 2022, 43(3): 2463-2483.
- [9] 闫熠辉,戚作秋,李利,等.基于AHP-云模型的教师职业健康风险分析[J].工业卫生与职业病, 2022, 48(4): 249-252.
- [10] 王健,周龙,黄味味,等.基于生态圈理念下的人文机场建设实践与探索[J].民航管理,2021(2):100-104.
- [11] ZHANG X G, LEI Y K, LI R, et al. Research on thermal comfort of underside of street tree based on LiDAR point cloud model[J]. Forests, 2022, 13(7): 1086.
- [12] 陈贵林.一种定性定量信息转换的不确定性模型:云模型[J].计算机应用研究,2010(6):2006-2010.

## Application of Cloud Model in Construction Evaluation of Four Characteristics Airport

LIU Cheng-xiao, FANG Bing-yu

(Flight College, Binzhou University, Binzhou 256603, China)

**Abstract:** An evaluation method combining analytic hierarchy process (AHP) and cloud model is presented for the construction of four characteristics airport. Firstly, the fuzzy evaluation index system of four characteristics airport is established. Secondly, the AHP is used to weight the indicators, and the cloud model algorithm is combined to calculate the digital characteristics of the standard cloud and generate the standard cloud map. Finally, the digital characteristics of the cloud model of each index are calculated and the cloud map is generated. Compared with the standard cloud map, the evaluation results can be obtained. This paper takes an airport as the evaluation object to evaluate it according to the above methods. The results show that this method can generate qualitative evaluation results for the construction of four characteristics airports, and has a certain guiding role for the construction of four characteristics airports.

**Keywords:** four characteristics airport; evaluation; cloud model; analytic hierarchy process

(责任编辑:唐立平)