

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2023.01.004

民用飞机性能选型评估研究

褚双磊* 魏志强 任强 刘菲

(中国民航大学, 天津 300300)

摘要: 随着航空公司机队规模的不断扩大,系统有规划地进行飞机性能选型和根据不同的航线市场需求进行机型匹配是相当重要的。根据航空公司性能选型要求、民航规章和航空公司航线运营分析报告,建立了以飞机性能优劣度为顶层目标的性能选型指标体系,分为4个一级指标,19个二级指标,使用层次分析法得到主观权重,利用熵权法得到客观权重,通过组合赋权法将主观权重和客观权重结合,得到组合权重,权重大小排序靠前的为推重比、直接运行成本、单发小时耗油量、座公里成本、单发推力。然后基于灰色关联-TOPSIS法建立飞机性能选型评估模型,选取四种典型机型进行综合评价,得到各个机型的贴近度和排名情况,从而得出了民用飞机性能选型评估方法,为航空公司选购新型飞机时提供理论依据。

关键词: 民用飞机;性能选型;熵权法;灰色关联-TOPSIS法;综合评价模型

中图分类号: V271.1

文献标识码: A

OSID:



0 引言

随着航空公司航线网络的扩大,需要购买新的机型来增加运力,因此飞机性能选型是关系到航空公司航线网络布局的重要步骤。飞机性能选型是否合理决定了航空公司运营网络是否健全,能否节约运营成本。如果飞机性能选型不当,会影响航空公司航线网络布局,同时增大航线运营成本。

陈志怀^[1]认为飞机选型过程主要包括发动机选型、机场分析、飞机经济性分析计算、飞机技术性评估。在发动机的匹配性方面,选择发动机时,要求发动机的性能和可靠性更高。

在航线经济性方面,韩晓玲^[2]利用飞机经济数学评估模型进行了飞机经济评估,并开发了一个飞机经济评估软件。宋杨^[3]指出经济性是民机市场竞争性的核心指标之一。在同等座级和航程的情况下,飞机的直接运营成本越低,飞机使用经济性就越好。航线运营成本中,与飞机设计指标紧密相

关的为燃油成本和维修成本。

在机场适应性方面,南京航空航天大学的钟尉^[4]提出机场对飞机性能的限制主要体现在跑道长度限制、跑道坡度限制、机场高度限制和机场道面限制。

在航线适应性方面,孙瑜^[5]指出:航线分析应主要分析飞机对航线的适应性,特别是高原航线、跨水航线等特殊航线的适应性,确定每条航线上各种机型飞机的一些技术指标并进行对比,即业载能力、航程能力、巡航速度。谢春生^[6]提出:航线性能主要体现在业载能力,航程能力和巡航高度三个指标上。业载能力为在航线距离相同条件下,装载旅客和货物的能力,业载能力越强,运输的旅客和货物越多。航程能力是一次不加油航行时航空器所能飞行最大距离的能力,航程能力越强,运输的距离越长。巡航高度为飞机在巡航阶段飞行的高度,巡航高度能力越强,航空器所适用的航线范围越广,经济性也会得到大大的改善。

在发动机性能方面,殷爱萍^[7]提出:发动机推

基金信息: U1933103 国家自然科学基金;20185567018 航空科学基金;MJ-2014-Y-65, MJ-2016-J-91, MJ-2018-Y-60 工业和信息化部民用飞机专项科研项目;3122014C021 中央高校基本科研业务费项目

* 通信作者: E-mail: chushuanglei@163.com

引用格式: 褚双磊, 魏志强, 任强, 等. 民用飞机性能选型评估研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2023(1): 22-30. CHU S L, WEI Z Q, REN Q, et al. Comprehensive evaluation of civil aircraft performance selection[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2023(1): 22-30 (in Chinese).

力是民用发动机选型时的重要飞行性能指标。分析了在起飞、降落过程中推力不同的情况下,飞机高度和空速的变化。通过研究建立民用涡扇发动机的性能模型,结合飞行仿真模型,进行飞机起飞和爬升下降性能分析。

在民用飞机选型评估方面,演克武等^[8]运用灰色层次分析法,对机型适应性的几个相关参数进行了系统分析。王筱利^[9]提出:采用层次分析效用理论对飞机发动机选型方案进行评价。葛瑞辰^[10]提出:利用 NSGA II 和灰色关联 TOPSIS 分析法进行宽体客机系列化选项分析。对所得非劣解用灰色关联 TOPSIS 算法对备选方案进行排序,得出各方案的优劣性。章程^[11]认为,将制造商提出的五大类选择办法分为两类问题,即“多项选择”和“单项选择”。采用经改进的层次分析法来计算系统中权重的差异。针对这两类问题的不同描述,采用了多目标决策的方法,制定了基于 TOPSIS 方法和“多项选择”的有效性评估模型和基于灰色关系分析的“单项选择”项目有效性评估模型。褚双磊^[12]针对航空公司性能工程师的日常计算工作,设计并开发了一款飞机性能辅助计算软件,实现性能工程师日常工作的快捷和简便性计算,为性能选型提供帮助。Gollnick 和 Stumpf^[13]运用鲁棒性研究了多目标决策时的航空器选型问题。Hall 和 Mayer^[14]在考虑到制造商和航空公司的情况下,建议对多用途飞机的选择进行互利分析,并优化了客舱的布局。Dožić 和 Kalic^[15]提出利用层次分析法(AHP)解决已知航路网络的飞机选型问题,并对飞机出行需求进行预测。

综上所述,国内外学者在飞机性能选型方面的研究工作比较分散,只是单独侧重于航线能力、机场起降能力或者发动机性能方面,并没有形成一套完整的飞机性能选型指标体系。

航空公司飞机选型包含性能选型、维修选型、客舱选型。其中,飞机性能选型是航空公司飞机选型的重要组成部分和最先评估项目。航空公司飞机选型时,由市场部根据热门航线初步确定开航城市,然后将开航计划发给运行控制部、维修工程部和客舱服务部分别进行选型。运行控制部的飞机性能室负责飞机性能选型,初步判断飞机的满载航程是否覆盖开航城市的航线距离,飞机在较高温度条件下的业载是多少,能否满客,在航线距离下飞机在冬春和夏秋不同航季的计划加油量,是否涉及特殊飞行程

序,初步确定客舱布局是单舱布局还是两舱布局,建议发动机推力等级。维修工程部进行发动机选型和估算维修成本,客舱服务部根据飞机性能室的客舱布局建议进一步确认客舱布局和客舱设备。

飞机性能选型不同于飞机选型,飞机选型需要结合航空公司的航线网络布局和机队规划,更加全面地评估飞机是否与公司航线匹配,更加符合市场需要。飞机性能选型针对单通道窄体客机,主要从飞机性能角度对机型进行评价。随着航空公司飞机引进和航线网络布局工作的深入,飞机性能选型工作更加重要,迫切需要形成性能选型指标体系,对民用飞机性能选型进行综合评估,完善飞机性能选型工作。

1 民用飞机飞行性能选型指标体系构建

依据飞机性能要求方面的咨询通告《AC-121FS-006 飞机航线运营应进行的飞机性能分析》,同时参考航空公司新飞机选型工作方法、新飞机引进工作检查单和飞机性能简介数据,构建了民用飞机性能选型指标体系。

性能选型指标借鉴了航空公司新飞机引进中的飞机选型工作方法和飞机性能数据简介的性能指标。飞机性能表现如何,关键在于发动机性能,发动机性能又分为推力性能和耗油性能。同时飞机性能主要分为低速性能和高速性能。低速性能涉及起飞和着陆性能,是在机场终端区附近的,表现为机场适应性,涉及起降安全。高速性能分为爬升性能、巡航性能和下降性能,涵盖飞机航线运行,表现为航线运行能力,涉及航线适应性和航线经济性。飞机性能最终表现为飞机的速度能力、高度能力和航程-业载能力。基于此,将飞机性能主要划分为机场适应性、航线适应性、航线经济性和发动机性能,形成了飞机性能选型指标体系。

对于机场适应性,是指所选的机型是否适合所选跑道的起飞、降落或者复飞。航线适应性涉及到飞机业载能力的大小、在相同油量下航行距离的远近以及在飞机巡航时,能够到达的巡航高度的高低。航线经济性是指在完成一定运输任务条件下,所需的运营成本越低,运营收入越高。其中需要重点关注燃油成本。在发动机匹配性方面,主要指发动机性能,包括推力特性和燃油特性。

此外,飞机选型还需要综合考虑飞机的维修性、

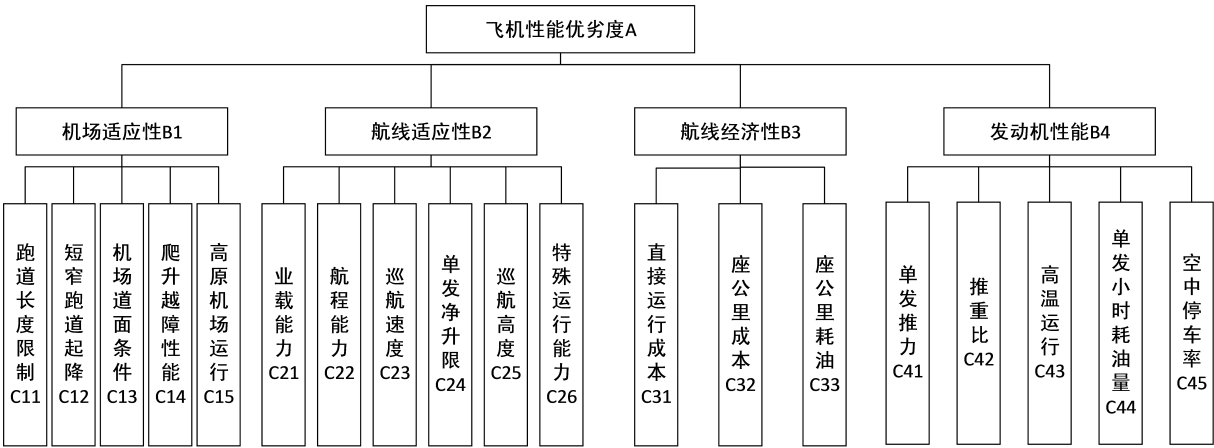


图 1 飞机性能选型指标体系层次结构

飞行性能表现、舒适性、环保性、经济性、先进性等多种因素,而飞机性能选型是飞机选型的主要构成部分,飞机性能选型是依据航空公司的飞机性能选型方案,对现役机型进行综合性能评估的过程,是从飞机性能角度对飞机运行性能表现进行评估。以飞机性能优劣度为顶层目标,形成了机场适应性、航线适应性、航线经济性和发动机性能四个一级指标^[16],如图 1 所示。该指标体系适用于执飞国内航线的单通道窄体客机性能选型。

飞机性能选型指标体系是混合式综合指标体系,其中定量指标为高原机场运行 C15(最大起降机场标高)、业载能力 C21(最大业载)、航程能力 C22(满载航程)、巡航速度 C23(经济巡航速度)、

单发净升限 C24、巡航高度 C25(最大巡航高度)、座公里成本 C32、座公里耗油 C33、单发推力 C41、单发小时耗油量 C44、空中停车率 C45,其余指标为定性指标。

2 民用飞机性能选型指标权重计算

2.1 基于层次分析法的主观权重计算

根据图 1 建立的评价指标体系,发放调查问卷,邀请行业内性能资深专家采用 1~9 标度法对指标进行打分,通过层次分析法计算,经过一致性检验,得到单层优先级向量即为相对权重,通过一级指标相对权重和二级指标相对权重相乘可以得到二级指标的绝对权重,如表 1 所示。

表 1 指标体系的层次分析法主观权重大小

指标名称	机场适应性 B1	航线适应性 B2	航线经济性 B3	发动机性能 B4	绝对权重	绝对排序
	0.120 9	0.171 0	0.318 3	0.389 8		
跑道长度限制 C11	0.119 1				0.014 4	17
短窄跑道起降 C12	0.078 6				0.009 5	19
机场道面条件 C13	0.244 0				0.029 5	13
爬升越障性能 C14	0.401 0				0.048 5	7
高原机场运行 C15	0.157 2				0.019 0	15
业载能力 C21		0.280 7			0.048 0	8
航程能力 C22		0.222 8			0.038 1	9
巡航速度 C23		0.212 3			0.036 3	11
单发净升限 C24		0.097 3			0.016 6	16
巡航高度 C25		0.122 6			0.021 0	14
特殊运行能力 C26		0.064 3			0.011 0	18

续表 1

指标名称	机场适应性 B1 0.120 9	航线适应性 B2 0.171 0	航线经济性 B3 0.318 3	发动机性能 B4 0.389 8	绝对权重	绝对排序
直接运行成本 C31			0.443 4		0.141 1	2
座公里成本 C32			0.387 4		0.123 3	3
座公里耗油 C33			0.169 2		0.053 9	6
单发推力 C41				0.214 2	0.083 5	5
推重比 C42				0.373 0	0.145 4	1
高温运行 C43				0.084 0	0.032 7	12
单发小时耗油量 C44				0.232 3	0.090 6	4
空中停车率 C45					0.037 6	10

2.2 基于熵权法的客观权重计算

熵权法的原理为熵越小,指标值的变异程度越大,其信息的效果值越大,指标的熵权越大。因此,利用信息熵计算各指标的客观权重。首先通过专家的评价数据形成原始数据矩阵,进行归一化处

理,利用熵计算公式 $H = - \sum_{i=1}^n e_{ij} \ln e_{ij}$ 计算指标的熵值和差异性系数,最后得到相对熵权。由一级指标的相对熵权与二级指标的相对熵权相乘得到二级指标的绝对熵权,如表 2 所示。

表 2 指标体系的熵权法客观权重大小

指标名称	机场适应性 B1 0.343 1	航线适应性 B2 0.237 1	航线经济性 B3 0.148 6	发动机性能 B4 0.271 2	绝对熵权	绝对排序
跑道长度限制 C11	0.138 9				0.047 66	7
短窄跑道起降 C12	0.277 8				0.095 31	2
机场道面条件 C13	0.277 8				0.095 31	3
爬升越障性能 C14	0.138 9				0.047 66	8
高原机场运行 C15	0.166 5				0.057 13	5
业载能力 C21		0.173 9			0.041 23	13
航程能力 C22		0.160 2			0.037 98	14
巡航速度 C23		0.154 7			0.036 68	18
单发净升限 C24		0.197 8			0.046 90	11
巡航高度 C25		0.154 6			0.036 66	19
特殊运行能力 C26		0.158 8			0.037 65	16
直接运行成本 C31			0.320 8		0.047 67	6
座公里成本 C32			0.255 0		0.037 89	15
座公里耗油 C33			0.424 2		0.063 04	4
单发推力 C41				0.175 7	0.047 65	9
推重比 C42				0.175 7	0.047 65	10
高温运行 C43				0.155 3	0.042 12	12
单发小时耗油量 C44				0.356 5	0.096 68	1
空中停车率 C45				0.136 8	0.037 10	17

2.3 基于组合赋权法的组合权重计算

层次分析法属于主观赋权法,利用专家意见对各指标间的重要性对比建立判断矩阵得到相对权重,能够发挥专家的主观能动性。熵权法依赖客观数据能够减少人为主观判断。组合赋权法综合了

层次分析法和熵权法的优点,为了使组合权重更加合理可信,本研究通过计算组合权重距离层次分析法权重和熵权法权重两者偏差平方和最小的方法,将层次分析法和熵权法的权重系数分别设置为 0.5,最终得到组合权重大小,如表 3 和表 4 所示。

表 3 准则层 B 相对于目标层 A 的组合权重

飞机性能优劣度 A	层次分析法主观权重	熵权法客观权重	一级组合权重	一级排序
机场适应性 B1	0.120 9	0.343 1	0.232 0	3
航线适应性 B2	0.171 0	0.237 1	0.204 1	4
航线经济性 B3	0.318 3	0.148 6	0.233 4	2
发动机性能 B4	0.389 8	0.271 2	0.330 5	1

表 4 方案层二级指标的组合权重

二级指标名称	层次分析法主观权重	熵权法客观权重	二级组合权重	二级排序
跑道长度限制 C11	0.014 4	0.047 7	0.031 0	17
短窄跑道起降 C12	0.009 5	0.095 3	0.052 4	8
机场道面条件 C13	0.029 5	0.095 3	0.062 4	6
爬升越障性能 C14	0.048 5	0.047 7	0.048 1	9
高原机场运行 C15	0.019 0	0.057 1	0.038 1	11
业载能力 C21	0.048 0	0.041 2	0.044 6	10
航程能力 C22	0.038 1	0.038 0	0.038 0	12
巡航速度 C23	0.036 3	0.036 7	0.036 5	15
单发净升限 C24	0.016 6	0.046 9	0.031 8	16
巡航高度 C25	0.021 0	0.036 7	0.028 8	18
特殊运行能力 C26	0.011 0	0.037 7	0.024 3	19
直接运行成本 C31	0.141 1	0.047 7	0.094 4	2
座公里成本 C32	0.123 3	0.037 9	0.080 6	4
座公里耗油 C33	0.053 9	0.063 0	0.058 4	7
单发推力 C41	0.083 5	0.047 7	0.065 6	5
推重比 C42	0.145 4	0.047 7	0.096 5	1
高温运行 C43	0.032 7	0.042 1	0.037 4	13
单发小时耗油量 C44	0.090 6	0.096 7	0.093 6	3
空中停车率 C45	0.037 6	0.037 1	0.037 4	14

由表 3 可知,发动机性能对飞机的性能优劣度的影响是最大的,其次是航线经济性与机场适应性,而航线适应性相较而言是最小的。二级指标权

重大小排在前 5 位的为推重比 C42、直接运行成本 C31、单发小时耗油量 C44、座公里成本 C32 及单发推力 C41,是比较重要的性能选型指标,对民用飞机

飞行性能优劣度的影响较大。

3 基于灰色关联-TOPSIS 模型的民用飞机性能选型综合评价

3.1 灰色关联-TOPSIS 分析法计算原理和基本流程

在方案选择中,灰色关联法是根据格式相似性对方案进行分类,反映内部抽样和理想样本变化趋势之间的差异,并侧重于内部因素之间的联系,而 TOPSIS 法则可以在有限的信息环境中,反映出各种备选方案和理想方案总体上的相似性。

灰色关联法的优势在于对于样本没有严格的数量要求,劣势在于关联度无正负之分,只能判断样本数据之间的关联度大小,无法判别样本数据的大小关系。TOPSIS 法通过正负理想解的双点定位,可以避免分别位于比较样本上方与下方且到比较样本距离相同的两个被比较数列具有相同的关联度。因此本文在构建评价模型时,将灰色关联法和 TOPSIS 法结合起来,选择引入灰色关联-TOPSIS 法的定性分析模型,并反映整个项目和理想方案的贴近度,项目内部因素的偏离和变化使得项目决策更为合理和科学。灰色关联-TOPSIS 分析法的具体计算可以分为如下几个步骤,如图 2 所示。最后按照相对贴近度 L_i 对样本进行排序,选出最佳方案,得到最终结果。

3.2 实例分析

本文选取航空公司现役主流机型波音 738、A320、E190、MA60 为机型样本,由于该性能选型指标体系中有 19 个二级指标,分为定性指标和定量指标,对于定性指标根据专家法打分来得到原始数据,调查对象为 50 名航空公司飞机性能工程师,工作时间均在 5 年以上,对其进行电子问卷填写和电话访谈,调查问卷采用 1-5 分制表示。使用 SPSS20 软件对专家调查结果进行信度分析。通过 Cronbach α 系数检验问卷的内部一致性,问卷整体信度系数

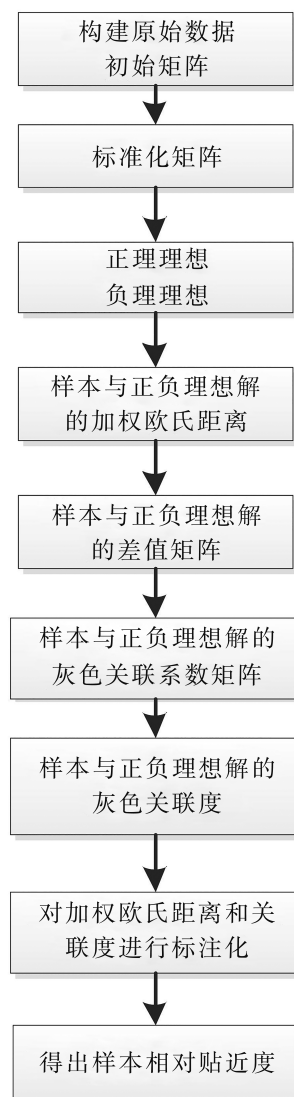


图 2 灰色关联-TOPSIS 法计算流程

为 0.81,可信度较高。对于定量指标,根据真实的测量值得到数据,数据来源于航空公司的飞机性能数据简介、航空公司年度报告和发动机可靠性数据。样本数量为 4,有评价指标 19 个,原始数据矩阵是一个 4×19 的矩阵,见表 5。

对初始矩阵进行规范化处理,得到规范化矩阵,见表 6。

表 5 原始数据的初始矩阵

机型	C11	C12	C13	C14	C15	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44	C45
波音 738	2	3	3	3	8 400	19 052	3 060	469	20 314	41 000	5	4	0.317	0.026	4	3	5	2 530	0.001
A320	3	3	3	4	9 200	20 100	3 100	458	19 495	39 800	5	3	0.325	0.029	5	4	5	2 610	0.002
E190	4	4	4	2	10 000	13 047	2 400	447	14 300	41 000	4	5	0.345	0.039	3	2	4	2 100	0.004
MA60	5	5	5	5	8 000	5 500	650	232	11 000	25 000	1	2	0.412	0.041	2	5	3	600	0.014

在标准化矩阵基础上,依次计算正理想解和负理想解,各个样本与正负理想解的加权欧式距离,各个样本与正负理想解的差值矩阵,各个样本与正负理想解的灰色关联系数矩阵,见表 7 和表 8。

表 6 规范化矩阵

机型	C11	C12	C13	C14	C15	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44	C45
波音 738	0	0	0	0.3	0.2	0.928	0.984	1	1	1	1	0.67	1	1	0.67	0.3	1	0.04	1
A320	0.33	0	0	0.7	0.6	1	1	0.954	0.912	0.925	1	0.33	0.916	0.8	1	0.7	1	0	0.9
E190	0.67	0.5	0.5	0	1	0.517	0.714	0.907	0.354	1	0.75	1	0.705	0.133	0.33	0	0.5	0.254	0.8
MA60	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0

表 7 各机型与正理想解 f^+ 之间的灰色关联系数矩阵 R^+

r_{ij}^+	C11	C12	C13	C14	C15	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44	C45
波音 738	0.33	0.33	0.33	0.43	0.38	0.87	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	0.60	0.43	1.00	0.34	1.00
A320	0.43	0.33	0.33	0.60	0.56	1.00	1.00	0.92	0.85	0.87	1.00	0.43	0.86	0.71	1.00	0.60	1.00	0.33	0.83
E190	0.60	0.50	0.50	0.33	1.00	0.51	0.64	0.84	0.44	1.00	0.67	1.00	0.63	0.37	0.43	0.33	0.50	0.40	0.71
MA60	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00	0.33	1.00	0.33

表 8 各机型与负理想解 f^- 之间的灰色关联系数矩阵 R^-

r_{ij}^-	C11	C12	C13	C14	C15	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44	C45
波音 738	1	1	1	0.6	0.714	0.35	0.337	0.333	0.333	0.333	0.333	0.429	0.333	0.333	0.429	0.6	0.333	0.926	0.333
A320	0.6	1	1	0.429	0.455	0.333	0.333	0.344	0.354	0.351	0.333	0.6	0.353	0.385	0.333	0.429	0.333	1	0.357
E190	0.429	0.5	0.5	1	0.333	0.492	0.412	0.355	0.585	0.333	0.4	0.333	0.415	0.789	0.6	1	0.5	0.663	0.385
MA60	0.333	0.333	0.333	0.333	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.333	1	0.333	1

最终得到各个机型样本与正负理想解的灰色关联度 r_i^+ 、 r_i^- 和相对贴近度,见表 9。

表 9 各个机型的灰色关联度 r_i^+ 、 r_i^-

机型	正理想解的灰色关联度 r_i^+	负理想解的灰色关联度 r_i^-
波音 738	0.717 2	0.529 0
A320	0.718 5	0.490 6
E190	0.599 9	0.527 6
MA60	0.543 9	0.789 5

3.3 结果分析

由表 10 可知,通过对 4 个机型样本的灰色关联-TOPSIS 法计算,得到波音 738、A320、E190、MA60、这四种机型的相对贴近度 L_i 为 A320>波音 738>E190>MA60,贴近度越大,则该方案越优,所以可知,A320 是最优机型。

可以看出,A320 这一机型的性能选型符合情况与理想方案最为贴近,在样本中属于较理想的状态,说明其在运行过程中性能良好,满足较好的性能要求。在保持现有水平的基础上可以再对细节

表 10 各个机型的相对贴近度 L_i

机型	R_i^+	R_i^-	D_i^+	D_i^-	S_i^+	S_i^-	L_i
波音 738	0.998 2	0.670 1	0.820 3	0.978 0	0.456 2	0.598 3	0.527 3
A320	1.000 0	0.621 5	0.789 2	1.000 0	0.441 1	0.616 7	0.528 9
E190	0.834 9	0.668 3	0.846 6	0.879 3	0.490 5	0.555 4	0.523 0
MA60	0.757 0	1.000 0	1.000 0	0.999 2	0.500 2	0.430 8	0.465 5

或某些影响因素方面进行优化,争取能够更好地满足性能需求。

波音 738 的相对贴近度 L_i 也较大,在 4 个样本中排第二,表示该机型的民用飞机性能选型状态也相对较好。但比起 A320 与理想状态接近程度还是有一定距离,在日后的飞机改进设计中还应该更多关注飞机性能的提升。

E190 机型相对贴近度 L_i 的大小,在样本中处于中间水平。表明其在运行使用的过程中,还应对飞机的性能选型状态做更多的分析,熟悉设计问题所在,提出改进方案并加以实施,以缩短其与理想方案的距离。

MA60 的相对贴近度 L_i 是最小的,即该机型的实际性能选型符合情况与理想方案间的距离最大。说明该机型对性能需求的符合程度最低,飞机性能在四种机型中排名最靠后,不能很好地满足飞机的实际性能要求。因此航空公司、飞机设计制造商需要重视这一情况,有针对性地确定改进方案、做出决策,以提高该机型的相对贴近度,使其能更好满足飞机运行过程中提出的性能需求和性能目标。

4 结论

针对民用飞机性能选型研究尚未成熟,其相应的性能选型指标体系研究处于初步探索阶段,尤其是民用飞机性能选型指标模糊,未细化,很难开展基于运行要求的民用飞机性能选型工作,对民用飞机性能选型进行综合评价是完善基于运行要求的民用飞机性能选型工作的重要环节。为了科学合理地建立民用飞机性能选型指标体系,结合民航规章要求、民用飞机的原始性能数据和航空公司的航线运营分析报告,构建了民用飞机性能选型指标体系,以机场适应性 B1、航线适应性 B2、航线经济性 B3、发动机性能 B4 四个维度作为一级指标,同时包含了 19 个二级指标。

运用层次分析法-熵权法从主观和客观 2 个方面对指标权重值进行计算。通过组合赋权法得到组合权重大小,既降低了传统层次分析法中主观因素的片面性,又考虑指标数据的客观性,提供了一种定量与定性结合、主观和客观相辅的指标权重计算方法,进而得到更加符合实际的指标权重大小。

为了使民用飞机性能选型综合评价结果更加

准确,将灰色关联分析法和 TOPSIS 法相结合。基于灰色关联-TOPSIS 分析法建立民用飞机性能选型综合评估模型。选取波音 738、A320、E190、MA60 这 4 种机型进行评价,得到 4 种机型相对贴近度和排序情况,从而得出了民用飞机性能选型的综合评估方法。通过实例分析表明:得到的相对贴近度结果与实际运行情况相符,表明该指标体系和综合评价模型具有一定的实用性,可以得到待评价机型的民用飞机性能选型优劣状态和薄弱环节,为基于航空公司运行要求的民用飞机性能选型工作提供理论依据和实际应用。

参考文献:

- [1] 陈治怀. 民用飞机的选型评估[J]. 民航经济与技术,1994(6):36-40.
- [2] 韩晓玲. 民用飞机选型经济评估数学模型[J]. 中国民航学院学报(综合版),1994,14(3):10-19.
- [3] 宋杨. 民用飞机价值驱动设计中的经济性需求[J]. 价值工程,2017,36(19):17-19.
- [4] 钟尉. 飞机航线运行机型选择影响因素分析与建模[D]. 南京:南京航空航天大学,2007.
- [5] 孙瑜,刘虎,武哲. 多用途飞机使用效能指标体系研究[J]. 飞机设计,2011,31(5):1-4.
- [6] 谢春生,赵煜,李海斌. 飞机选型应进行的航线分析研究[J]. 中国民航飞行学院学报,2009,20(5):12-15;19.
- [7] 殷爱萍,徐正家. 基于飞行性能分析的民用发动机选型研究[J]. 飞机设计,2017,37(1):6-10.
- [8] 演克武,朱金福,刘锋. 基于灰色层次分析法的航空公司机型适应性综合评价研究[J]. 数学的实践与认识 2009,39(14):19-24.
- [9] 王筱丽. 面向客户的宽体客机选项研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2017:26-27.
- [10] 葛瑞辰. 面向制造商的民用宽体客机选项功能评价研究[D]. 南京:南京航空航天大学 2017:36-42.
- [11] 章程. 面向客户的民用飞机选项效用评估研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2015.
- [12] 褚双磊,董奇,刘子昂,等. 民用飞机的飞机性能辅助计算系统设计与开发[J]. 航空计算技术,2016,46(3):79-83;89.
- [13] SUN X Q, GOLLNICK V, STUMPF E. Robustness consideration in multi-criteria decision making to an aircraft selection problem[J]. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis,2011,18(2):55-64.
- [14] HALL A, MAYER T, WUGGETZER I, et al. Future

- aircraft cabins and design thinking: optimisation vs. win-win scenarios [J]. Propulsion and Power Research, 2013, 2(2): 85-95.
- [15] DOŽIĆ S, KALIĆ M. An AHP approach to aircraft selection process [J]. Transportation Research Procedia, 2014, 3: 165-174.
- [16] 魏一盛, 褚双磊, 张田冲, 等. 民用飞机性能选型指标体系研究[J]. 长沙航空职业技术学院学报, 2019, 19(1): 38-42.

作者简介

褚双磊 男, 博士, 讲师。主要研究方向: 民用飞机飞行性能, 飞行运行控制。E-mail: chushuanglei@163.com

魏志强 男, 硕士, 正教授。主要研究方向: 尾流间隔, 飞机性能。E-mail: zqwei@cauc.edu.cn

任强 男, 硕士, 讲师。主要研究方向: 民用飞机飞行运行控制, 飞机性能。E-mail: qren@cauc.edu.cn

刘菲 女, 硕士, 副教授。主要研究方向: 民用飞机飞行性能, 航空专业英语。E-mail: feiliu@cauc.edu.cn

Comprehensive evaluation of civil aircraft performance selection

CHU Shuanglei * WEI Zhiqiang REN Qiang LIU Fei

(Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: With the continuous expansion of airline fleet, it is very important to systematically select aircraft performance and perform model matching according to different market demands and route demands. According to airline performance selection requirements, civil aviation regulations and airline route operation analysis reports, a performance selection index system with the performance priority of aircraft as the top target was established, and it was divided into 4 primary indicators and 19 secondary indicators. The subjective weight was obtained by using analytic hierarchy process, the objective weight was obtained by using the entropy weight method, and the combination weight was obtained by combining subjective weight with objective weight through combination weight method. The top order of weight is thrust weight ratio, direct operation cost, fuel consumption per engine hour, seat kilometer cost and single engine thrust. Then, based on the grey correlation TOPSIS method, an evaluation model for aircraft performance selection was established. Four typical models were selected for comprehensive evaluation, and proximity and ranking of each model were obtained. Therefore, an evaluation method for civil aircraft performance selection was obtained, which provides a theoretical basis for airlines to choose and purchase new aircraft.

Keywords: civil aircraft; performance selection; entropy weight method; grey correlation TOPSIS method; comprehensive evaluation model

* Corresponding author. E-mail: chushuanglei@163.com