

基于 TOPSISI 的空管运行单位安全能力分类评估研究

付新伟, 杨昌其, 肖 奇

(中国民用航空飞行学院 空中交通安全管理实验室, 四川 广汉 618300)

摘要:从空管一线运行单位的安全出发,考虑到航班量逐年递增以及各空管运行单位年飞行保障量存在较大地区性差异。为使各空管运行单位现有安全保障能力与其飞行保障量更好的匹配,将塔台、区域保障架次和跑道数量作为重要的属性来进行空管安全能力评估单位分类。运用已构建的评估指标体系,采用标准离差法-TOPSIS 排序法,通过输出结果验证单位分类评估的合理性。

关键词:空管运行单位;保障能力;飞行保障量;标准离差法-TOPSIS 排序法;分类评估

中图分类号:V355 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)06-0149-05

空管运行单位是空管系统中的一线运行基层单位,该单位以飞机安全有序飞行为目的提供空中交通服务。安全保障能力是对各种危险因素的控制状态及使运行单位保持在一种可接受运行状态的能力^[1]。近些年我国乘客吞吐量逐年增加,空中交通系统面临越来越严重的航线拥堵,大量航班延误,造成巨大经济损失,并埋藏隐患。空管运行单位分类评估在整个航空运输安全有着十分重要的意义。

目前,国内外对于空管运行单位分类方法的研究很少。对空管运行单位的风险评估较多,大多停留在单一单位评估,结合我国空管运行单位现状并进行分类的研究还停留在初步探索阶段。Alberto Pasquinia、Simone Pozzi 提出从三个维度出发,对系统的安全运行进行评估,该研究结合了国外某机场的实际数据进行信息处理分析评价^[2]。罗帆等人以人员、环境硬件等几个方面为基础,搭建了对于空管一线运行单位的评价体系^[3]。郭臻等人第一次系统的搭建了评估体系,对华东局使用神经网络模型模型进行研究,得出了该单位的评估分值^[4]。

空管运行安全将长期面临着基础设施陈旧和专业队伍建设相对滞后,资源配置与发展需求不协调等问题,这也是民航运输快速发展下引发的挑战与难题。航班量持续增长、专业队伍建设滞后、复杂运行环境影响、安全管理不到位造成了安全问题的发生。为此,进行空管运行单位分类研究,查阅 FAA 等国

内外大量相关文献,通过收集反映以上四个方面的相关指标和数据,邀请国内民航安全领域的专家,根据工作经验,进一步梳理、筛选和完善安全保障能力指标;采用标准离差法-TOPSIS 排序法,通过输出结果验证单位分类评估的合理性。

1 空管运行单位分类研究

根据近几年的空管不安全事件发生规律,很多航班量增长速度过快的运行单位会发生一些不安全事件,仔细思考其原因是管理和资源与快速发展不匹配。为此,需要将塔台、区域保障架次和跑道数量作为重要的属性来进行空管安全能力评估单位分类选取。

1.1 按塔台保障架次评估单位分类

按照 2017 年日均塔台保障架次数据^[5-6],将空管系统 44 个机场分为 200 架次以下、200~300 架次、300~500 架次、500~800 架次、800 架次以上五个级别。

1.1.1 200 架次以下机场

200 架次以下的机场包括西宁、银川、湛江、呼伦贝尔、桂林、汕头、阿克苏机场。这几个具备共同的特点,机场保障架次小、增长速度几乎都在 20% 以上。

1.1.2 200~300 架次机场

200~300 架次的机场包括南宁、兰州、太原、福州、呼和浩特、南昌、长春、石家庄、合肥、珠海、温州、宁波机场。该类机场保障架次增长速度较快,增长率

收稿日期:2020-03-07

基金项目:民航科技基金项目(20150203)。

作者简介:付新伟(1993—),男,山东德州人,中国民用航空飞行学院空中交通安全管理实验室,硕士研究生,研究方向:空中交通安全管理。

基本在15%~20%以上。

1.1.3 300~500 架次机场

300到500架次包括沈阳、哈尔滨、大连、济南、青岛、海南、三亚、贵阳、新疆、长沙、天津机场。该类机场保障架次增长率基本在10%~20%之间。

1.1.4 500~800 架次机场

500到800架次包括上海、杭州、南京、郑州、武汉、重庆机场。该类机场增长率基本在5%~15%之间,多为双跑道或多跑道机场。其中厦门机场是全国单跑道保障架次最高的机场,已经趋于饱和,增长率较低。

1.1.5 800 架次以上机场

800以上架次包括北京、浦东、广州、昆明、深圳、成都、西安机场。该类机场主要是一线城市机场,跑道容量已趋于饱和,该类机场保障架次数大,增长率基本在5%左右。

1.2 按区域保障架次评估单位分类

按照2017年日均区域保障架次数据,将区域管制单位分为1000架次以下、1000~2000架次、2000架次以上三个级别。

1.2.1 1000 架次以下区域

1000架次以下机场包括呼和浩特、呼伦贝尔、哈尔滨、南昌、济南、桂林、乌鲁木齐、阿克苏机场。

1.2.2 1000~2000 架次区域

在2017年已有16家区域管制单位的日均保障架次突破1000,而且全部分布在1000~1500架次之间,包括太原、沈阳、大连、青岛、厦门、合肥、三亚、南宁、湛江、贵阳、兰州、郑州、武汉、长沙、昆明、重庆机场。

1.2.3 2000 架次以上区域

2000架次以上机场包括北京、上海、广州、成都、西安机场。该区域主要是地区空管局本部的区域管制中心。

1.3 按同一类型单位和同一类指标相匹配的原则分类

通过以上的分析,在同类型单位中,选取七大局本部作为一个分类。在同类型指标中,按照塔台保障架次和区域保障架次的数量级作为基础分类,把单跑道和双跑道两种类型再次分类。本研究将对跑道类型和两种保障架次分级的评估匹配处理。塔台保障架次分级300到500单跑道、500到800双跑道,区域保障架次1000到2000单双跑道。

塔台保障架次300到500单跑道单位包括东北局本部、黑龙江分局、大连空管站、山东分局、青岛空

管站、海南空管分局、贵州分局、新疆空管局本部。

塔台保障架次500到800双跑道单位包括华东局本部、浙江分局、江苏分局、河南分局、湖北分局。

区域保障架次1000到2000单跑道单位包括山西分局、东北局本部、大连空管站、青岛空管站、厦门空管站、安徽分局、广西分局、湛江空管站、贵州分局、甘肃分局。

区域保障架次1000到2000双跑道单位包括河南分局、湖北分局、湖南分局、云南分局。

2 空管运行单位安全保障能力评估指标体系

参考国内外相关文献,借鉴国内外专家学者在民航安全风险评估^[7]指标体系建设中的研究成果。根据空中交通管制系统的实际运行,邀请民航空中交通管制系统相关安全专家,根据专家多年的经验,充分考虑各指标项的数据收集性,完成了空中交通管制单位安全保障能力指标体系的构建。充分考虑指标项对空中交通管制单位实际运行的适宜性,挖掘空中交通管制安全保障能力指标。如下表1所示。

表1 空管运行单位安全保障能力评估指标体系

目标层	标准层	要素层
空管运行 单位安全 保障能力	人员	管制员人均每月岗位执勤小时数
		管制员人均指挥航班架次
		飞行保障量增长率与专业人员数量增长率比
	设备	雷达覆盖情况
		VHF覆盖情况
		自动化系统相关情况
		进离场航线分离度
	环境	区域保障架次/区域航路(线)长度
		其他空域用户活动影响航班正常率占比
		天气原因导致航班正常率占比
		管制员数量与席位数量比
	管理	近三年空管不安全事件年均发生率
		年度重大变更次数
		安全管理专职人员数量/单位总人数

3 空管运行单位安全保障能力 TOPSIS 评价模型

TOPSIS排序法^[8]主要原理是根据待评估对象各评估指标的原始数据设定一个最优理想目标(该目标所有评估指标数据均为最优值),通过计算待评估对象与最优理想目标间的相对贴近度,根据相对贴近度值大小按照某种评估特性对各待评估对象进行优劣排序。

具体计算步骤如下所示:

3.1 构建初始判断矩阵

假设待评估对象有 m 个, 针对评估对象的某一特性进行评估时共挖掘指标项 n 个, 则 x_{ij} 表示第 i 个评价对象在第 j 个指标项上的原始数据值, 其中 $(1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$, 则初始判断矩阵如下 (1) 所示:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.2 构建规范化决策矩阵

TOPSIS 排序法中评估指标形式各异, 因此需要对原始数据进行规范化处理以消除指标项间的量纲, 使后续计算免受因各指标项单位不同所造成的计算不便。由于基于 TOPSIS 空管单位综合安全能力评估涉及正向指标、逆向指标之分, 故本节采用 min-max 法进行原始数据规范化处理, 具体计算公式如下:

对于正向指标而言:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min |x_{ij}|}{\max |x_{ij}| - \min |x_{ij}|} \quad (2)$$

对于逆向指标而言:

$$x'_{ij} = \frac{\max |x_{ij}| - x_{ij}}{\max |x_{ij}| - \min |x_{ij}|} \quad (3)$$

用 b_{ij} 表示原始数据 x_{ij} 经规范化处理后的值, 所以规范化决策矩阵如下所示:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1j} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2j} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{i1} & b_{i2} & \cdots & b_{ij} & \cdots & b_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mj} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

3.3 构建加权规范化决策矩阵

构建加权规范化决策矩阵, 首先要计算各指标的权重。为保证最终评估结果的客观性、科学性, 本文采用标准离差法求解各项指标权重 w_j 。标准离差法计算权重步骤如下:

1) 计算第 j 项评估指标的均值。

$$\bar{b}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m b_{ij} \quad (5)$$

2) 计算第 j 项指标的标准差。

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (b_{ij} - \bar{b}_j)^2} \quad (6)$$

3) 计算各指标项权重。

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad (7)$$

4) 确定正、负理想解。

1> 正理想解:

$$C^+ = \{(\max_{1 \leq i \leq m} c_{ij} | j \in J^+)\} \quad (8)$$

$$C^+ = \{(\min_{1 \leq i \leq m} c_{ij} | j \in J^-)\} \quad (9)$$

2> 负理想解:

$$C^- = \{(\min_{1 \leq i \leq m} c_{ij} | j \in J^+)\} \quad (11)$$

$$C^- = \{(\max_{1 \leq i \leq m} c_{ij} | j \in J^-)\} \quad (12)$$

其中 J^+ 为正向指标集, J^- 为逆向指标集。

5) 计算评估对象到正、负理想解的距离。

评估对象到正、负理想解之间的距离计算公式如下:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_j^+)^2} \quad (13)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_j^-)^2} \quad (14)$$

其中: $1 \leq i \leq m$ 。

6) 计算相对贴近度。

$$E_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, (1 \leq i \leq m) \quad (15)$$

通过对比 E_i 值的大小, 判断评估对象在某一特性评估中的相对优劣情况。

贴近度越大说明样本越优, 空管运行单位安全保障能力越高; 贴近度越小说明样本越差, 空管运行单位安全保障能力越低。

4 算例分析

4.1 数据来源

选取国内区域保障架次 1 000 到 2 000 单跑道单位为研究对象, 以单位 1、2...命名。

选取 2017 年作为研究时间段, 根据本文表 1 中确定的指标体系, 完整采集所需指标数据, 利用基于 TOPSIS 法空管运行单位安全保障能力评估模型进行评估。表 2 为原始数据。

4.2 计算过程将上表原始数据写成矩阵形式作为初始评判矩阵

采用 min-max 方法对原始数据进行标准化处理, 将各项指标标准化后的数据写成矩阵形式作为标准化决策矩阵。

构建加权标准化决策矩阵首先是求得各指标项在空管单位安全能力影响中所占的权重 w_j 。为保证最终结果的客观性, 本文采用标准离差法计算各评

估指标项的权重,根据公式(5)、(6)、(7)计算求得各指标项权重如表 3 所示。

表 2 区域保障架次 1 000 到 2 000 单跑道单位原始数据

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
单位 1	105.3	5 595	1.86	82.45	12.83%	26%	0	2	5.96	0.75	0.75	1	100%	0.008 8
单位 2	108.99	5 221.4	0.91	36.82	11.69%	12.26%	0	3	5.1	1	1	1	50%	0.015 9
单位 3	125	4 262	1.78	223.16	7.11%	10.86%	0	1	3.9	1	1	1	100%	0.013 3
单位 4	107	6 811	1.14	251.57	5.23	7.92	0	3	6.33	0.75	1	1	50%	0.025
单位 5	99.89	7 104	0.62	115.16	30.53%	24.92%	0	5	6.16	1	1	0.75	100%	0.024 7
单位 6	122.16	8 450	4.451	307.11	7.57%	11.02%	0	5	3.9	1	1	0.75	75%	0.034 2
单位 7	146	10 043	1.79	422	18.30%	45%	0	2	4.36	1	1	0.75	25%	0.029
单位 8	114.67	5 639	0.49	219.26	26.10%	31.76%	0	1	6.4	1	1	1	100%	0.038
单位 9	77	4 197	8.75	18.63	6%	12.14%	0	8	5.44	0.5	0.5	0.75	25%	0.023

表 3 基于 TOPSIS 空管单位综合安全能力定量评估指标权重

w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆	w ₇
0.068 0	0.072 5	0.080 3	0.072 1	0.060 2	0.074 2	0.073 6
w ₈	w ₉	w ₁₀	w ₁₁	w ₁₂	w ₁₃	w ₁₄
0.062 9	0.073 4	0.072 4	0.083 0	0.071 2	0.062 0	0.074 3

确定正、负理想解。根据公式(8)、(9)计算空管单位安全能力评估正理想解与负理想解分别为:

$$C^+ = [0.0680 \quad 0.0725 \quad 0.0803 \quad 0.0721 \quad 0.0602 \quad 0.0742 \quad 0.0736 \quad 0.0629 \quad 0.0734 \quad 0.0724 \quad 0.0830 \quad 0.0712 \quad 0.0620 \quad 0.0743]$$
$$C^- = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]$$

确定评判对象到正、负理想解的距离,根据公式(10)、(11)计算求得各空管单位到正负理想解的距离如表 4 所示。

表 4 基于 TOPSIS 空管单位综合安全能力定量评估
评判对象到正、负理想解距离

i	1	2	3	4	5
D _i ⁺	0.148 6	0.187 8	0.203 5	0.185 4	0.156 5
D _i ⁻	0.225 5	0.237 7	0.211 2	0.217 4	0.247 2
i	6	7	8	9	
D _i ⁺	0.215 4	0.161 1	0.164 7	0.163 6	
D _i ⁻	0.173 6	0.247 1	0.237 8	0.235 2	

4.3 结果分析

根据公式计算基于 TOPSIS 法的 9 家空管单位相对贴近度值及相对安全程度排序如表 5 所示。

结果表明:

1)空管运行单位安全保障能力最高的是单位 8,根据数据显示以及现实运行状况,这家单位的人均架次不高,设备完善,空域及天气相对较好,管制员工作负荷相对较低,空管运行单位安全保障能力相对较高。

表 5 基于 TOPSIS 空管单位综合安全能力定量评估贴近度表

单位	E _i	排序
单位 1	0.686 6	4
单位 2	0.697 3	3
单位 3	0.676 7	5
单位 4	0.701 9	2
单位 5	0.578	6
单位 6	0.523 1	7
单位 7	0.433 6	8
单位 8	0.732 1	1
单位 9	0.424 6	9

2)空管运行单位安全保障能力最低的是单位 9,根据数据显示以及现实运行状况,这家单位的人均架次较高,设备完善程度较差,空域相对较差,管制员工作负荷相对较高,空管运行单位安全保障能力相对较低。

通过多次开展相关研讨会议,经过资深管制专家评判,此分类方式合理。

5 结论

从空管运行单位保障量以及工作组成出发,将塔台、区域保障架次和跑道数量作为重要的属性来进行空管安全能力评估单位分类选取。

建立并采集了完整的空管运行单位安全保障能力综合评估指标体系。利用 TOPSIS 法对空管运行单位安全保障能力综合评估,分析评估结果并通过多次开展相关研讨会议,经过资深管制专家评判证明此

单位分类合理。

如何基于单位分类评估结果,采取多种方法进一步为单位提出优化策略,笔者将进一步研究。

参考文献

[1] 许诺. 中国空中交通管制员胜任特征研究[D]. 广州:暨南大学,2007.

[2] ALBERTO PASQUINIA,SIMONE POZZI. Evaluation of air traffic management procedures-safety assessment in an experimental environment[J]. Reliability Engineering and System Safety,2005,89(2):105-117.

[3] 罗帆,贾贵娟,陈高明,等. 空管安全风险评估指标体系的优化设计[J]. 中国安全科学学报,2009,19(8):115-120.

[4] 郭臻. 基于人工神经网络的空管安全程度综合评估方法研究[J]. 江苏航空,2010(4):34-36.

[5] 中国民用航空局. 2017 年民航行业发展统计公报[EB/OL]. (2018-05-21). <http://www.caac.gov.cn>.

[6] 2017 年交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. (2018-03-30). <http://zizhan.mot.gov.cn>.

[7] 杜红兵,李晖,袁乐平,等. 基于 Fuzzy-ANP 的空管安全风险评估研究[J]. 中国安全科学学报,2010,20(12):79-85.

[8] 罗京亚,罗爱静,谢文照,等. 基于标准离差法与 TOPSIS 法的中药知识产权评价体系的构建[J]. 中华医学图书情报杂志,2015,24(5):2-6.

Research on the Safety Capability Classification Evaluation of Air Traffic Control Operation Unit Based on TOPSIS

FU Xin-wei, YANG Chang-qi, XIAO Qi

(Air Traffic Safety Management Laboratory,Civil Aviation Fly University of China,Guanghan Sichuan 618300,China)

Abstract: Based on the safety of the air traffic control front-line operation units, considering the increasing flight volume year by year and the large regional differences in the annual flight support volume of each air traffic control operation unit. In order to make the existing safety support capacity of each air traffic control operation unit better match with its flight support capacity, the number of towers, regional support sorties and runways are taken as important attributes to classify the air traffic control safety capacity assessment units. Using the established evaluation index system and TOPSIS ranking method, the rationality of unit classification evaluation is verified by the output results.

Key words: air traffic operation unit;safety supportability;number of flight support;standard deviation topsis ranking method;classification evaluation