

# Safety Risk Assessment and Analysis of Air Traffic Control Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation

Liu Qin<sup>†</sup>, Chang Yang, Hong Rao

Civil Aviation Flight University of China

Email: 195471364@qq.com

## Abstract

With the continuous progress of the times and the continuous development of the level of economic development, the scale of air transportation is also expanding, and how to strengthen the safety of air traffic control has become an important challenge that people need to face. Based on the feasibility analysis of fuzzy comprehensive evaluation of air traffic control safety risk, this paper constructs a fuzzy comprehensive evaluation model of air traffic control safety risk based on the selection of evaluation index system, single index risk evaluation, risk class value evaluation and comprehensive risk evaluation, and takes an air traffic control station in East China as an example to evaluate its comprehensive safety risk. Finally, the simulation analysis is carried out based on the software platform, in order to provide support and help for avoiding air traffic control safety risk and improving risk management and control.

**Keywords:** Fuzzy Evaluation Method; Air Traffic Management; Risk Early Warning; Security Evaluation

## 基于模糊综合评价的空管安全风险评估分析\*

秦柳, 杨畅, 饶弘

中国民用航空飞行学院

**摘要:** 随着时代的不断进步以及经济发展水平的不断发展, 空中交通运输的规模也在不断扩大, 如何加强空管运行安全已成为人们需要面对的重要挑战。本文以空管安全风险模糊综合评价的可行性分析作为切入点, 基于评估指标体系筛选、单指标风险评估、风险类值评估以及综合风险评估等角度构建了空管安全风险模糊综合评估模型, 并以我国华东地区某空管站为例, 对其综合安全风险进行了评价, 最后依托软件平台进行了仿真分析, 力求为规避空管安全风险, 提升风险管控力度提供支持和帮助。

**关键词:** 模糊评价法; 空中交通管理; 风险预警; 安全评估

## 引言

近年来, 我国民航领域得到了长足发展与进步, 据《2022 年民航行业发展统计公报》当中相关统计数据显示, 截至 2022 年年末, 全国获颁通用航空经营许可证的通用航空企业达 661 家, 通用航空在册航空器总数达到 3186 架, 全国通用航空共完成飞行时数 121.9 万小时, 与此同时, 加强空中交通管理, 保障航空事业的健康发展的重要性不断凸显。从业者应明确空管安全风险评估分析的作用和意义, 积极提升空中交通安全管理水平, 将风险控制在最小范围内, 推动交通事业的不断进步。

## 1 空管安全风险模糊综合评价的可行性分析

\*基金资助: MHAQ2023012 基于智慧监管的通航风险隐患双重预防机制示范性建设研究。

在基于模糊综合评价法针对空管安全风险进行调研之前，首先应当从可行性层面对空管安全风险评估评价工作的开展情况进行分析。

## 1.1 技术保障情况

当前，随着信息化技术以及自动化技术的不断发展以及广泛应用，空中交通管理工作开展模式也开始逐步变化，数字化管理系统与管理平台已成为空中交通管理工作开展的重要桥梁和渠道，各空管系统功能模块之间的衔接较为便捷，能够通过相应数据接口实现数据的实时传输、共享以及输出利用，相关数据主要包括语音系统状态、导航系统状态、航空器动态、空中交通服务情况、实时气象信息状况以及管制人员能力素养等内容。通过对上述数据形态以及输出模式进行分析过后能够发现，上述数据信息能够为模糊综合评价下的空管安全风险分析评估提供技术层面的支持，使模糊综合评价下的评估结果能够实时反映出空管系统内部的安全状况及其所面对的风险情况，同时明确各空管模块之间在时间与管理逻辑上的关联性，使风险管控工作的开展更加完善，能够实现预期评估目标<sup>[1]</sup>。

## 1.2 模糊评价优势

通过对模糊评价法的特点及其在空管安全风险评估工作当中的应用优势进行分析过后，能够得出以下几方面结论。首先，基于模糊评价法，能够针对某一特定事件以及特定问题当中存在的不确定性信息进行深层次分析和处理，受到技术因素以及运行环境因素的影响，导致空中交通管理工作开展过程当中涉及到的影响因素较为多元，给以往评价分析工作的开展带来了一定的难度。而通过模糊评价法，则能够将空管安全风险评估过程当中涉及到的各项信息内容进行全面量化与客观分析，从较为直观的角度对空管安全风险做出判断，使后续的风险管控与决策工作的开展更加科学合理。其次，基于模糊评价法能够对不同评价指标之间的关联进行明确，在空中交通管理安全风险评估工作的开展过程当中，不同要素之间存在着一定的衔接特性与关联特性，不利于评价工作的效果。而依托模糊评价法，能够更加实际地针对不同指标以及不同影响要素之间的关系进行辨识与判断，同时做好要素关联性的全面整合，减少了外部因素以及主观因素对最终评价结果造成的影响。最后，模糊评价法具备较强的直观性特点，基于模糊评价法针对空中交通管理安全风险进行分析与评估，能够使决策管理人员更加直观地掌握工作开展过程当中不同项目以及影响要素的风险状态以及安全情况，提升了结果的直观程度与清晰程度。

## 1.3 空管安全风险评估要求

在空中交通管理安全风险评估工作开展过程当中，其整个内部风险系统呈现出显著的模糊性特征，涉及到的风险指标要素主要包括调度冲突、交通特征、交通流量变化情况、交通间隔以及通信负荷等等，而上述安全风险指标同样来源于相当数量的风险要素，这些要素与最终呈现指标之间的关联性难以通过一定的量化信息做出描述和分析，因此依托模糊评价法对综合评估模型进行构建，能够使空中交通管理过程当中所面临的安全风险得到更加及时地辨识和处置，有效控制风险造成的影响和威胁，使风险预警与管控工作得到针对性落实。

# 2 空管安全风险模糊综合评估模型

为使模糊评价法下的空管安全风险综合评估工作的开展更加规范有序，提升空管安全风险模糊综合评估质量，确保最终评估结果的直观有效，相关工作人员以及管理部门应当做好以下几方面工作内容。

## 2.1 评估指标体系筛选

作为模糊评价工作开展的基础与前提，针对引发空管安全风险的评估指标进行筛选与分析对提升评估工作的成效与质量具有关键性作用。相关工作人员以及管理人员在选取评估指标的过程当中，应坚持以下几方

面原则。

首先是科学性原则，模糊综合评价的指标内容应当符合科学实际，应当能够准确反映出当前空中交通管理安全风险管控工作的开展要求以及开展规律，使决策人员以及管理部门能够基于模糊评价指标所反馈的相关内容做出较为科学完善的决策方案，有效减少空管安全风险给空中交通运行造成的影响与威胁，推动空中交通运行效益的不断提升<sup>[2]</sup>。

其次是系统性原则，基于上文能够得知，在空中交通管理工作的开展过程当中，涉及到的可能引发空管安全风险的要素与指标较为多元，这些指标与要素之间往往也存在着一定的关联性与衔接性，进而形成了一个宏观的风险关联系统，因此在模糊评价体系下针对空管安全风险进行评估与分析的过程当中，相关从业人员以及工作人员也应当将上述影响空管安全风险的要素与指标作为宏观系统进行研究与分析，使工作人员能够从一定的高度进行决策考量，减少最终预测方案以及风险控制方案对于单一指标产生的冲击，使其能够形成系统性的风险防范作用。

最后是有效性原则，模糊评价法下涉及到的空管安全风险影响要素以及影响指标应当能够对空管安全风险产生针对性与有效性影响。在进行指标选定以及综合分析的过程当中，相关研究工作者应当分别通过国家标准研究、实地考察以及专家走访等相关方式针对空管安全风险指标进行综合研判，使其具备较强的代表性，从而使空中交通管理运行过程当中所面对的各项安全风险得到合理化控制。

在本文所述研究过程当中，主要以《民航空管安全管理体系建设指导手册》当中所述安全风险影响要素为基础进行指标内容的选择，指标体系按照类别与形态进行划分主要可分为人为指标、设备指标、环境指标以及管理指标等四个部分，其中人为指标直接指向人因风险，设备指标当中分别涵盖了通信负荷风险以及设备运行风险等两种类别，环境指标当中涉及到了交通特征风险、天气风险、飞行风险以及其他风险等四类，管理指标当中主要涉及到空中交通流量风险、调度冲突风险、管制移交风险以及间隔风险等四类内容。

## 2.2 单指标风险评估

基于国家发布的空管安全管理体系当中涉及到的要求，在针对单指标下的空管安全风险进行评估与分析的过程当中，应基于以下公式进行风险值计算：

$$R_{\text{单}} = \max(R_{C1}, R_{C2}, R_{C3}), 1 \leq R_{\text{单}} \leq 25$$

式中， $R_{\text{单}}$ 为模糊评估法下单指标空中交通管理安全风险评估值； $c$ 为风险等级；1，2，3指空中交通管理工作当中涉及到的安全风险发生频次。为提升单指标风险评估效果，可按照国家有关民航空中管理以及安全风险评估工作的相关要求按照一般风险、中等风险以及高风险的评价体系进行类别划分，使风险值的代表性得到进一步体现<sup>[3]</sup>。

## 2.3 风险类值评估

在明确单一指标下空中交通管理运行过程当中的风险值过后，可针对某一类别指标引发的安全风险值做出评估与分析，具体计算公式为：

$$R_{\text{类}} = \max(R_{B1}, R_{B2}, R_{B3}), 1 \leq R_{\text{类}} \leq 25$$

式中， $R_{\text{类}}$ 为某一指标类别影响下空中交通管理过程当中可能产生的风险值； $B$ 指的是不同指标风险类；1，2，3指空中交通管理工作当中涉及到的不同类目安全风险发生频次。

## 2.4 综合风险评估

最后，为了更加全面地掌握空中交通管理工作要素引发的安全风险以及安全隐患，提升风险评估的针对性与有效性，需要从综合角度开展风险评估与分析工作，明确不同指标要素的权重及其在评估工作当中的特性，进而实现对风险指标的进一步判断。

相关人员需要基于层次分析法明确不同指标与要素的关联架构，一般来说，在以往的安全风险评估过程

当中，其风险指标以及风险要素的评估往往依赖工作人员的主观分析，导致最终的评估结果不够完善与科学，因此在基于模糊评价法进行综合风险评估的同时，应针对不同风险指标之间的逻辑层次进行明确，分别通过问卷调查以及实地考察等方式掌握不同风险要素之间的逻辑关系，进而为后续风险管控工作的开展提供支持<sup>[4]</sup>。

待指标逻辑关系明确后，需要基于专家意见以及判别矩阵的构建对不同指标在评估工作当中的权重特征做出分析和判断。例如，在本文所述研究过程当中涉及到的风险指标主要包括：

$$A = \left\{ \begin{array}{l} \text{冲突风险, 交通特征风险, 空中流量风险, 间隔风险, 通信负荷风险} \\ \text{设备风险, 天气风险, 管制移交风险, 飞行风险, 其他风险} \end{array} \right\}$$

按照专家意见以及实地考察结果，现将上述指标要素分别按照一般风险、中等风险以及高风险三项进行分类，形成模糊评价矩阵，最终得到量化风险评价结果。

### 3 基于实例的空管安全风险评估模型有效性验证

为了使本文所述模糊评估模型的有效性得到针对性验证，现基于我国华东地区某空管站运行情况以及安全风险状态做出分析。

#### 3.1 案例概况分析

案例空管站位于我国华东地区，主要负责空中交通管理、通信导航监视、航空气象服务以及飞行情报服务等业务，进近管制区管制范围为地面至高空 5400m，管制室管制范围为 3000m 至 7800m。

#### 3.2 安全风险状态

基于上文给定的风险评估模型，得到案例项目的风险评语集：

$$K = \{K_1, K_2, K_3\} = \{R_l, R_m, R_h\} = \{1 \sim 6, 6 \sim 14, 14 \sim 25\}$$

其中， $R_l$ 代表一般风险， $R_m$ 代表中等风险， $R_h$ 代表高风险。通过将风险评语集中给定的风险值带入下式后，能够分别对单指标风险评价价值以及风险类值进行计算后得出结果，进近管制区 R 单风险值为 15.21，R 类风险值为 12.41。同理可得，管制室管制范围 R 单风险值为 16.77，R 类风险值为 15.94。

#### 3.3 综合风险评价

上文涉及到的风险指标分别涵盖了冲突风险、交通特征风险、空中交通流量风险、交通间隔风险、通信负荷、人为因素、设备因素、天气风险、管制移交风险、飞行风险以及其他风险等几种不同类别，其中，冲突风险模糊评价矩阵为：

0.1500	0.4500	0.4000
0.0500	0.3500	0.6000
0.0500	0.4000	0.5500
0.1500	0.6500	0.2000
0.2000	0.6000	0.2000
0.1500	0.8000	0.0500

交通特征风险模糊评价矩阵为：

0.1500	0.6500	0.2000
0.5500	0.2500	0.2000
0.2000	0.6000	0.2000
0.4000	0.5000	0.1000
0.2000	0.4500	0.3500
0.4000	0.5500	0.0500

空中交通流量模糊评价矩阵为：

0.2000	0.6500	0.1500
0	0.4500	0.5500
0.2500	0.6000	0.1500
0.3000	0.5000	0.2000
0.5000	0.5000	0
0.2500	0.4500	0.3000

间隔模糊评价矩阵为:

0.2500	0.7000	0.0500
0.2500	0.7000	0.0500
0.2500	0.7000	0.0500
0.3000	0.6500	0.0500

通信负荷模糊评价矩阵为:

0.0500	0.7000	0.2500
0.2000	0.8000	0

人为因素模糊评价矩阵为:

0.7500	0.2500	0
0.5000	0.5000	0
0.0500	0.7500	0.2000

天气因素模糊评价矩阵为:

0.0500	0.4000	0.5500
0.1500	0.4500	0.4000
0.3500	0.4000	0.2500

管制移交风险模糊评价矩阵为:

0.4500	0.4000	0.1500
0.5000	0.4500	0.0500

飞行风险模糊评价矩阵为:

0.5500	0.4000	0.0500
0.4000	0.6000	0
0.2500	0.6000	0.1500
0	0.7000	0.3000

其他风险模糊评价矩阵为:

0.1000	0.6500	0.2500
0.5000	0.3000	0.2000
0.4000	0.6000	0
0.3500	0.5000	0.1500

经现场调研以及专家评估等方式能够得到空管站风险综合评价向量  $T_{B1}$ :

$$T_{B1} = (0.166, 0.2064, 0.2124, 0.1566, 0.1313, 0.1273) \bullet$$

0.1500	0.4500	0.4000
0.0500	0.3500	0.6000
0.0500	0.4000	0.5500
0.1500	0.6500	0.2000
0.2000	0.6000	0.2000
0.1500	0.8000	0.0500

$$= (0.1147, 0.5143, 0.3710)$$

## 4 仿真设计与实现

### 4.1 应用仿真

针对“进近缩小雷达管制间隔”实施风险分析，组建专家组落实集体推荐，完成对 2 级可能性评价指标的构建。其中，所设定的一级指标包含人、机、环、管这四项，对应的二级指标为：人，管制员工作状态、班组资源管理、管制员管理技能、管制员特情处置能力、机组通话水平；机，机载设备状态、雷达终端状态、甚高频卡阻、内话系统状态；环，空中流量情况、军航活动情况、低云低能见度天气、流量控制情况；管，班组资源管理、管制学员的基础培训、日常安全检查、应急处置培训、冲突解脱培训。同时，设定的风险可能性等级为：极为不可能、极少可能、可能、相当可能、完全可能。

由专家组结合所设定的可能性等级及其内容描述，推荐所有可能性指标属于何种可能等级，并结合相应内容列出隶属度矩阵。比较各个评价之间的相对重要性，完成对判断矩阵的构造，计算各级指标的权重向量，在此基础上合成模糊综合评价结果向量。使用参数表征法处理结果向量，此时所应用的评价定量标准如下表所示。

表 1 评价定量标准

评价等级	评价定量
极为不可能	[0,2]
极少可能	(2,4]
可能	(4,6]
相当可能	(6,8]
完全可能	(8,10]

计算可能性风险值，并对照可能性定量标准表，判断相应危险源的可能性结果。使用相同的方法计算危险源的严重性值，进一步利用可能性值与严重性值的比值，确定出该危险源的综合风险值。

4.2 结果判定改进

完成危险源可能性值以及严重性值的计算后，确定风险值实际落实落在风险矩阵的某个区域，以此完成对相应危险源是否可接受的判断，形成“可接受”、“需缓解”、“不可接受”的判断结果。此时所划分出的风险区域为离散的，所以在可能性值与严重性值不同，但是综合风险值相同的条件下，对应危险源可能会落入不同的风险区域内。为解决这一问题，主要针对上述风险评价结果实施改进处理，利用曲线风险区域判定替换风险矩阵判定，单纯依托综合风险值完成对风险程度的确定，有效避免了因为可能性值与严重性值不同而使得对应危险源落在不同风险区域的现象发生<sup>[5]</sup>。

4.3 管理流程改进

使用多阶段评价方式替代传统的危险源一次评价方式，此时，可以将整个空管风险管理过程划分为三部分，即：初次评价，主要评估现阶段的风险状况；措施评价，主要评估现阶段风险状况制定的措施；整改评价，主要评估整改措施实施后的风险状况。改进后，设定的风险管理流程如下：报告危险信息；识别并启动风险管控；制定指标并进行初次评价；如果初次风险评价结果为可接受，则直接关闭危险源并展开风险跟踪；如果初次风险评价结果为不可接受，则进行措施评价；实施整改；进行整改评价；关闭危险源；展开风险跟踪。

5 结语

综上所述，在现代空中交通管理工作开展过程当中，加强空管安全风险评估对控制风险造成的影响，规避风险带来的损失具有至关重要的作用。本文以模糊综合评价法为基础，按照《民航空管安全管理体系建设指导手册》当中的规定针对空管运行风险涉及到的指标进行了分析，同时构建了相应的风险评估体系，力求为风险管控与分析工作提供支持和助力。

## 参考文献

- [1] 张萌,李柯,朱明波,高仁博. 基于 WSR-区间犹豫模糊的航空公司应急能力评价[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2022,44(04):533-540.
- [2] 褚双磊,魏志强,任强,刘菲. 基于 AHP-熵权法的民用飞机运行需求模糊综合评价[J]. 上海工程技术大学学报, 2021,35(04):362-369.
- [3] 陈芳,韩美佳. 空中危险接近事件中的空管风险因素识别[J]. 安全与环境学报,2021,21(04):1583-1591.
- [4] 唐家文,董兵. 基于组合赋权的空管系统安全风险物元评价[J]. 航空工程进展,2021,12(01):30-38.
- [5] 黄卫芳. 基于博弈论和云模型的空管运行风险评估模型[J]. 中国民航大学学报,2020,38(06):26-30.