

基于灰色多层次的空中交通管理安全风险评价

文兴忠

中国民航飞行学院, 四川广汉 618307

摘要 针对影响空中交通管理安全风险诸多因素具有的灰色性, 引入灰色理论对空中交通管理安全进行风险评价。从人为因素、设备因素、环境因素和管理因素 4 个方面, 提出了空中交通管理安全风险评价的指标体系, 采用层次分析法确定评价指标权重, 建立基于灰色多层次的空中交通管理安全风险评价模型。并结合实例进行了计算, 结果表明, 该方法能有效地利用评价指标的信息, 科学合理地对空中交通管理安全风险状况, 可根据评价结果采取有效措施防止空中交通管理事故的发生。

关键词 安全管理工程; 空中交通管理; 安全风险评价; 灰色多层次评价; 权重

中图分类号 X92

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.32.007

Safety Risk Evaluation of Air Traffic Management Based on Grey Hierarchy Method

WEN Xingzhong

Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan Province, China

Abstract To develop effective measures to ensure the safety operation of air traffic management, it is necessary to evaluate the security risks of air traffic management scientifically. In view of many grey factors affecting the safety of the air traffic management, the grey theory is used to evaluate the safety risk of the air traffic management. An indicator system of the safety risk evaluation of the air traffic management is built on the basis of the four kinds of factors, including human factors, equipment factors, environment factors and management factors. The weights of evaluation indexes are determined by means of the analytical hierarchy process (AHP). A model of safety risk assessment of the air traffic management based on the grey hierarchy theory is proposed. The expert score evaluation is used to evaluate the index layer of the security of the air traffic management. With this method, the evaluation sample matrix of the index can be obtained. Then the grey evaluation weight matrix of each indicator in every index layer can be obtained. The safety risks of the air traffic management in a grey hierarchy theory can then be evaluated. The results of examples show that the model is effective, an overall security risk level of the air traffic management can be obtained with this method and an integrated evaluation method to evaluate the safety risks of the air traffic management can thus be developed. The result of the comprehensive evaluation provides a scientific basis for the air traffic management to work out security risk measures and preventive measures.

Keywords safety management engineering; air traffic management; safety risk assessment; grey hierarchy assessment; weight

0 引言

空中交通管理系统承担着地面系统与空中用户联系、有效地使用空域、保障飞行安全和提高飞行效率的重要职责。虽然在航空运输事故的统计中, 由于空中交通管理原因所占

的比例不大, 但是它所处的地位非常重要, 绝大多数的安全事故都直接和间接的与空中机构交通管理相关。随着航空流量的不断增大和航线的不断扩展, 对空中交通安全要求越来越高。因此及时掌握空中交通管理的安全水平, 对空中交通

收稿日期: 2011-07-22; 修回日期: 2011-11-08

作者简介: 文兴忠, 副研究员, 研究方向为航空安全管理, 电子信箱: wenxingzhong1970@126.com

管理的安全风险进行评价,根据评估的结果,采取相应的安全对策,对于进一步降低事故率,提高防灾减灾水平,促进空中交通管理健康持续发展,保障航空运输安全具有非常积极的作用。

目前国内外一些管理机构 and 学者针对空中交通管理的安全风险问题进行了相关研究。国外学者主要是利用事故率评估,依据数理统计方法,对历史资料进行统计分析,对空中交通管理安全风险进行评估。但由于事故发生率低,加之样本之间的不一致性较大,限制了数理统计方法的应用^[1-2]。国内学者对空中交通管理安全风险的研究起步相对较晚,多为对空中交通管理安全风险的某一方面的定性描述,缺乏定性和定量分析的结合,不能使有关部门和企业把握安全风险的差距所在^[3-4]。国内外一些管理机构针对空中交通管理的安全管理侧重于依靠规章、制度和事后处理的措施与手段^[5-7]。如何对空中交通管理安全风险进行科学评价,建立适宜的评价指标体系,并提出一套切实可行的评价方法,是每一位空中交通管理安全管理者面临的问题。

由于空中交通管理安全系统是一种动态、多变量的开放和复杂巨系统,内部各因素和风险往往呈现部分确定、部分不确定的状态,有些因素难以量化,具有很高的灰色性^[8-9]。因此,运用传统方法很难实现客观、系统的评价。本文采用灰色评价方法,建立了空中交通管理安全分析评价的多层次灰色模型,并结合实例,说明了模型的应用。

1 空中交通管理安全评价的多层次灰色模型

1.1 空中交通管理安全风险评价指标体系

建立空中交通管理安全风险状况的评价指标体系,应该遵循科学性、全面性、系统性、可比性和可行性的原则。通过分析空中交通管理系统运营管理特点,用专家咨询法和模糊统计法,结合中国民航局已施行的民用空中交通管理安全评估指标体系^[6]和安全审计体系中的指标体系^[7]进行优化整合,建立一个基于空中交通管理系统的全方位安全风险评估指标体系,衡量空中交通管理单位与本行业先进企业之间的差距,更有利于空中交通管理单位采取针对性的措施提高安全风险管理水平。同时建立的指标体系应满足如下要求:(1)能衡量空中交通管理系统当前的安全风险状态和情况,(2)能反映空中交通管理系统提高安全风险水平的潜力,(3)能反映空中交通管理系统的整体安全风险管理水平。因此,综合考虑了影响空中交通管理安全风险的因素^[5-9],并根据空中交通管理系统的实际运营情况,建立了基于“人、设备、环境、管理”的空中交通管理安全风险评价指标体系 U ,如表 1 所示。它是一个递阶层次结构,这种递阶层次结构为使用层次分析法与模糊综合评价方法奠定了基础,由 4 个准则层指标和 24 个指标层指标组成。

空中交通管理安全风险的综合安全状况由准则层的 4 个因素指标的安全状况综合得到。而准则层的每个因素指标

的安全状况由各指标层的若干个因素指标的安全状况综合得到,这个综合过程采用模糊综合评价方法来实现,对于每个底层因素指标的安全风险性的量化一般由空中交通管理安全专家根据经验和知识给出。

表 1 安全风险评价指标体系
Table 1 Index system of safety risk

目标层	准则层	指标层
空中交通管理 系统安全 风险 评价指 标体系	人为因素指标 U_1	管制员敬业精神 U_{11}
		管制员个性心理状况 U_{12}
		管制员班组资源管理能力 U_{13}
		管制员生理状况 U_{14}
		管制员责任心 U_{15}
		管制员知识技能 U_{16}
	设备因素指标 U_2	基础设施建设 U_{21}
		设备运行管理 U_{22}
		维护与保养工作 U_{23}
	环境因素指标 U_3	空域环境 U_{31}
		地理环境 U_{32}
		气象环境 U_{33}
		人文环境 U_{34}
		通信环境 U_{35}
		信息环境 U_{36}
		电磁环境 U_{37}
	管理因素指标 U_4	安全管理 U_{41}
		组织机构合理性 U_{42}
技术培训管理情况 U_{43}		
应急管理培训与实施情况 U_{44}		
		规章制度建设 U_{45}
		安全文化 U_{46}

1.2 灰色多层次评价指标权重的确定

在指标评价过程中,对指标重要性的度量值称为权重。指标的相对重要性不同,权重也不同,得出的评价结果也有很大差异。因此,指标权重的确定在评价问题的求解过程中具有举足轻重的地位。如何科学、合理地确定指标的权重,直接关系到评价结果的可靠性与正确性。由于本文所研究对象确立的指标体系是定性分析偏多,并将定性分析进行量化处理,因此,采用层次分析法 AHP 确定各指标权重 A_i 。先构造判断矩阵,判断矩阵元素值反映了人们对空中交通管理安全风险评价各指标重要性的认识;专家对各指标的重要程度进行两两比较,逐层判断评分;计算判断矩阵的特征向量以确定下层指标对上层指标的贡献程度,从而得到各变量层指标对目标层指标重要性的排列结果;将判断矩阵代入 AHP 计算软件,即可算得上级指标的权重^[10-11]。

1.3 制定评价指标的评分等级指标

对于主观指标评价,必须先制定出评价等级和评分标

准,然后组织专家对其进行评分,将之转化为定量指标。考虑人思维的最大可能分辨能力,根据空中交通管理安全风险面临的安全风险特点,将评价指标 U_j 的安全风险等级高低划分为5级,分别赋值为5,4,3,2,1分,对应的评价语言为“极高、高、较高、一般、低”,指标等级介于两相邻等级之间时,相应评分为4.5,3.5,2.5,1.5分。

1.4 组织评价专家评分,求评价样本矩阵

设评价专家序号为 $k(k=1,2,\dots,p)$, 即有 p 位评价专家。组织评价专家对各个评价指标 U_j 分别按评分等级标准打分 d_{jk} , 并填写评价专家评分表。据此得到评价样本矩阵 D

$$D = \begin{bmatrix} d_{111} & d_{112} & \dots & d_{11p} \\ d_{121} & d_{122} & \dots & d_{12p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{211} & d_{212} & \dots & d_{21p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{461} & d_{462} & \dots & d_{46p} \end{bmatrix} \begin{matrix} U_{11} \\ U_{12} \\ \vdots \\ U_{22} \\ \vdots \\ U_{46} \end{matrix} \quad (1)$$

1.5 确定评价灰类

由于专家水平的限制及认识上的差异,只能给出一个灰数的白化值。为了真正反映属于某类的程度,需要确定评价灰类,就是确定评价灰类的等级数、灰类的灰数及灰数的白化权函数^[8-9]。由于已经将评价指标的评分等级确定为5级,其对应的评价灰类也为5级,分别对应于低安全风险、一般安全风险、较高安全风险、高安全风险、极高安全风险。设评价灰类序号为 h , 则 $h=1,2,3,4,5$ 。其相应的灰数及白化权函数如下。

第1灰类低安全风险($h=1$), 设定灰数 $\otimes_1 \in [0,1,2]$, 白化权函数为 f_1

$$f_1(d_{jk}) = \begin{cases} 1 & d_{jk} \in [0,1] \\ (2-d_{jk})/1 & d_{jk} \in [1,2] \\ 0 & d_{jk} \notin [0,2] \end{cases} \quad (2)$$

第2灰类一般安全风险($h=2$), 设定灰数 $\otimes_2 \in [0,2,4]$, 白化权函数为 f_2

$$f_2(d_{jk}) = \begin{cases} d_{jk}/2 & d_{jk} \in [0,2] \\ (4-d_{jk})/2 & d_{jk} \in [2,4] \\ 0 & d_{jk} \notin [0,4] \end{cases} \quad (3)$$

第3灰类较高安全风险($h=3$), 设定灰数 $\otimes_3 \in [0,3,6]$, 白化权函数为 f_3

$$f_3(d_{jk}) = \begin{cases} d_{jk}/3 & d_{jk} \in [0,3] \\ (6-d_{jk})/3 & d_{jk} \in [3,6] \\ 0 & d_{jk} \notin [0,6] \end{cases} \quad (4)$$

第4灰类高安全风险($h=4$), 设定灰数 $\otimes_4 \in [0,4,8]$, 白化权函数为 f_4

$$f_4(d_{jk}) = \begin{cases} d_{jk}/4 & d_{jk} \in [0,4] \\ (8-d_{jk})/4 & d_{jk} \in [4,8] \\ 0 & d_{jk} \notin [0,8] \end{cases} \quad (5)$$

第5灰类极高安全风险($h=5$), 设定灰数 $\otimes_5 \in [0,5,10]$,

白化权函数为 f_5

$$f_5(d_{jk}) = \begin{cases} d_{jk}/5 & d_{jk} \in [0,5] \\ 1 & d_{jk} \in [5,10] \\ 0 & d_{jk} \notin [0,10] \end{cases} \quad (6)$$

1.6 计算灰色评价系数

对于评价指标 U_j , 属于第 h 个评价灰类的灰色评价系数记为 M_{jh} , 则有

$$M_{jh} = \sum_{k=1}^p f_h(d_{jk}) \quad (7)$$

对于评价指标 U_j , 属于各个评价灰类的总灰色评价系数记为 M_j , 则有

$$M_j = \sum_{h=1}^n M_{jh} \quad (8)$$

1.7 计算灰色评价权向量及权矩阵

所有评价专家就评价指标 U_j , 对于主张第 h 个灰类的灰色评价权记为 q_{jh} , 则 $q_{jh} = M_{jh}/M_j$

考虑到灰类有5个, 即 $h=1,2,3,4,5$, 便有评价指标 U_j 对于各灰类的灰色评价权向量 q_j

$$q_j = (q_{j1}, q_{j2}, q_{j3}, q_{j4}, q_{j5}) \quad (9)$$

从而得到指标 U_i 所属指标 U_j 对于各评价灰类的灰色评价权矩阵 Q_i , 则有

$$Q_i = \begin{bmatrix} q_{i1} \\ q_{i2} \\ \vdots \\ q_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{i11} & q_{i12} & q_{i13} & q_{i14} & q_{i15} \\ q_{i21} & q_{i22} & q_{i23} & q_{i24} & q_{i25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{ij1} & q_{ij2} & q_{ij3} & q_{ij4} & q_{ij5} \end{bmatrix} \quad (10)$$

1.8 综合评价

对于评价指标 U_j 做综合评价, 其综合评价结果记为 B_i , 则有

$$B_i = A_i \cdot Q_i = (b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, b_{i4}, b_{i5}) \quad (11)$$

由 U_j 的综合评价结果 B_i 得的所属评价指标 U_i 对于各评价灰类的灰色评价权系数矩阵 Q

$$Q = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{51} & b_{52} & b_{53} & b_{54} & b_{55} \end{bmatrix} \quad (12)$$

于是, 对 U_i 指标做综合评价, 其综合评价结果记为 B , 则有:

$$B = A \cdot Q = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) \quad (13)$$

其中, A 为准则层的权重, 对评价指标 U_i 的综合评价结果 B 是个向量, 表示评价指标 U_i 综合状况分灰类程度的描述, 它还不能直接用于评价对象的有效性排序, 因此, 还需对它作进一步处理, 使其单值化, 即计算评价指标 U_i 的综合评价价值 W 。

设将各评价灰类等级按“灰水平”(阈值)赋值, 则各评价灰类等级值化向量 $C=(1,2,3,4,5)$ 。于是, 评价指标 U 的综合评价价值 W 为

$$W=B \cdot C^T \quad (14)$$

其中, C^T 为各评价灰类等级值化向量的转置。

综合评价值 W 求出后, 可以根据表 2 所示的评价指标的风险等级量化值与对应的语言变量, 可以给出所评价的空中交通管理安全风险状况的高低。

表 2 准则层指标的判断矩阵
Table 2 Judgment matrix of rule layer index

U	U_1	U_2	U_3	U_4	A
U_1	1	2	4	3	0.4461
U_2	1/2	1	3	2	0.2900
U_3	1/4	1/3	1	1/2	0.0929
U_4	1/3	1/2	2	1	0.1710

2 实证分析

为说明模型的有效性, 以国内某家空中交通管理安全风险状况为考查对象, 对其空中交通管理运行系统安全性进行灰色评价, 建立的评价指标体系见表 1。

$$D= \begin{bmatrix} 2.5 & 2 & 3.5 & 2 & 3.5 & 2 & 3 & 2.5 \\ 3 & 2.5 & 3 & 3.5 & 2.5 & 3.5 & 2.5 & 3.5 \\ 2.5 & 3 & 3.5 & 3 & 3 & 3.5 & 2.5 & 3 \\ 4 & 4 & 3.5 & 3.5 & 4 & 4.5 & 3 & 4.5 \\ 4 & 3.5 & 2.5 & 2 & 3 & 2.5 & 3 & 3.5 \\ 3 & 3.5 & 3.5 & 3 & 3.5 & 4 & 3 & 2.5 \\ 4.5 & 3.5 & 3.5 & 4.5 & 4.5 & 4 & 4 & 3.5 \\ 2 & 2 & 2.5 & 2 & 2 & 3 & 1.5 & 2 \\ 2 & 2.5 & 3 & 3 & 2.5 & 2.5 & 3.5 & 2 \\ 3.5 & 2.5 & 3 & 3.5 & 3.5 & 4 & 3 & 2.5 \\ 3 & 3.5 & 3 & 3 & 3.5 & 3 & 2.5 & 3 \\ 2 & 3.5 & 2.5 & 3.5 & 3 & 2 & 3 & 2.5 \\ 3.5 & 2.5 & 3.5 & 3.5 & 2.5 & 3 & 3 & 3 \\ 3 & 2 & 1.5 & 2 & 3 & 2.5 & 2.5 & 2.5 \\ 3.5 & 3 & 3 & 2.5 & 3 & 3 & 4.5 & 3.5 \\ 2.5 & 3 & 3.5 & 2 & 2 & 2 & 3.5 & 3 \\ 3.5 & 3.5 & 4 & 4 & 3.5 & 3.5 & 3 & 2.5 \\ 2 & 3.5 & 3.5 & 3 & 3 & 2 & 3 & 3 \\ 3.5 & 4 & 4.5 & 4 & 3.5 & 4.5 & 3.5 & 4 \\ 2 & 2.5 & 2.5 & 3 & 2 & 2 & 2.5 & 2.5 \\ 3.5 & 3.5 & 4 & 4 & 3.5 & 3.5 & 4.5 & 3.5 \\ 3 & 3.5 & 3 & 2.5 & 3 & 2 & 3.5 & 3 \\ 2.5 & 2 & 3 & 3.5 & 3 & 2 & 3.5 & 2.5 \\ 4 & 3.5 & 3 & 3.5 & 4 & 3.5 & 3 & 4 \end{bmatrix} \begin{matrix} U_{11} \\ U_{12} \\ U_{13} \\ U_{14} \\ U_{15} \\ U_{16} \\ U_{17} \\ U_{18} \\ U_{21} \\ U_{22} \\ U_{23} \\ U_{31} \\ U_{32} \\ U_{33} \\ U_{34} \\ U_{35} \\ U_{36} \\ U_{37} \\ U_{41} \\ U_{42} \\ U_{43} \\ U_{44} \\ U_{45} \\ U_{46} \end{matrix} \quad (20)$$

2.3 计算灰色评价权矩阵

应用式(2)一式(6)计算白化函数值后, 再用式(9)计算得

2.1 权重系数矩阵

根据层次分析法计算各层指标的权重。以 4 个准则层指标为例, 首先构造判断矩阵, 专家采用 9 级标度法对各指标的重要程度进行评分, 见表 2。将判断矩阵代入 AHP 计算软件, 并进行一致性检验。由于其一致性比例 $C.R.=0.0116 < 0.1$, 一致性检验通过。

因此, 指标 U_i 的权重为

$$A=(0.4461, 0.2900, 0.0929, 0.1710) \quad (15)$$

同理, 可求得各指标层指标的权重分别为

$$A_1=(0.3267, 0.0440, 0.2267, 0.0440, 0.0293, 0.1553, 0.1048, 0.0692) \quad (16)$$

$$A_2=(0.2406, 0.1504, 0.2406, 0.1504, 0.0852, 0.0476, 0.0852) \quad (17)$$

$$A_3=(0.1087, 0.3587, 0.2120, 0.1087, 0.2120) \quad (18)$$

$$A_4=(0.3984, 0.1518, 0.0732, 0.0732, 0.0318, 0.2715) \quad (19)$$

2.2 组织专家评分并建立评价样本矩阵

请 8 位专家按评价指标评分等级进行评分, 根据 8 位专家所填写的评分表, 求得评价样本矩阵 D 。

到指标层指标各级灰类的评价权矩阵, 用式(11)计算一级指标的灰色评价权矩阵, 结果如下:

$$Q_i= \begin{bmatrix} 0 & 0.2584 & 0.2976 & 0.2467 & 0.1973 \\ 0 & 0.1835 & 0.3211 & 0.2752 & 0.2202 \\ 0 & 0.1807 & 0.3313 & 0.2711 & 0.2169 \\ 0 & 0.0497 & 0.2817 & 0.3604 & 0.3082 \\ 0 & 0.1863 & 0.3106 & 0.2795 & 0.2236 \\ 0 & 0.1382 & 0.3226 & 0.2995 & 0.2396 \\ 0 & 0.0380 & 0.2703 & 0.3674 & 0.3243 \\ 0.0240 & 0.3363 & 0.2722 & 0.2042 & 0.1633 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$Q_{\tau}= \begin{bmatrix} 0 & 0.2544 & 0.3084 & 0.2429 & 0.1943 \\ 0 & 0.1662 & 0.2471 & 0.3259 & 0.2608 \\ 0 & 0.2544 & 0.3084 & 0.2429 & 0.1943 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$Q_3= \begin{bmatrix} 0 & 0.2318 & 0.3091 & 0.2550 & 0.2040 \\ 0 & 0.1709 & 0.3266 & 0.2791 & 0.2233 \\ 0.0234 & 0.2806 & 0.2962 & 0.2221 & 0.1777 \\ 0 & 0.1498 & 0.3226 & 0.2880 & 0.2396 \\ 0 & 0.2450 & 0.3034 & 0.2509 & 0.2007 \\ 0 & 0.1065 & 0.3077 & 0.3254 & 0.2604 \\ 0 & 0.2059 & 0.3204 & 0.2632 & 0.2105 \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$Q_4= \begin{bmatrix} 0 & 0.1933 & 0.3259 & 0.2671 & 0.2137 \\ 0 & 0.0830 & 0.3084 & 0.3381 & 0.2705 \\ 0 & 0.1709 & 0.3266 & 0.2791 & 0.2233 \\ 0 & 0.0376 & 0.2760 & 0.3701 & 0.3162 \\ 0 & 0.0940 & 0.3135 & 0.3292 & 0.2633 \\ 0 & 0.0327 & 0.3708 & 0.3217 & 0.2748 \end{bmatrix} \quad (24)$$

2.4 综合评价

对于评价指标 U_i 所属的评价指标做综合评价,其综合评价结果记为 B_i ,则有

$$B_1 = A_1 \cdot Q_1 = (0.0017, 0.1898, 0.3052, 0.2774, 0.2259) \quad (25)$$

$$B_2 = A_2 \cdot Q_2 = (0, 0.1709, 0.2855, 0.3334, 0.2101) \quad (26)$$

$$B_3 = A_3 \cdot Q_3 = (0.0028, 0.2152, 0.3113, 0.2611, 0.2096) \quad (27)$$

$$B_4 = A_4 \cdot Q_4 = (0, 0.1375, 0.3259, 0.2945, 0.2401) \quad (28)$$

由 U_i 的综合评价结果 B_i 得所属评价指标 U_i 对于各评价灰类的灰色评价权系数矩阵 Q

$$Q = \begin{bmatrix} 0.0017 & 0.1898 & 0.3052 & 0.2774 & 0.2259 \\ 0 & 0.1709 & 0.2855 & 0.3334 & 0.2101 \\ 0.0028 & 0.2152 & 0.3113 & 0.2611 & 0.2096 \\ 0 & 0.1375 & 0.3259 & 0.2945 & 0.2401 \end{bmatrix} \quad (29)$$

该空中交通管理安全风险 5 级灰类的评价权向量

$$B = A \cdot Q = (0.0010, 0.1777, 0.3036, 0.2950, 0.2222) \quad (30)$$

该空中交通管理安全风险的综合评价值为

$$W = B \cdot C^T = 3.5586 \quad (31)$$

3 结论

(1) 将灰色多层次评价技术应用于空中交通管理安全风险评估问题,建立了空中交通管理安全风险评价指标体系,并应用于某空中交通管理机构安全风险评估。综合评价结果表明,该空中交通管理机构安全风险值为 3.5586,可见该空中交通管理机构的安全处于高风险与较高风险之间,说明处于较高风险的状况,已有一些不正常因素存在,应加强防范。

(2) 各评价指标的权值对于评价结果的影响是明显的。评价指标的权值应该充分结合空中交通安全管理专家学者、空中交通高级管理者等的意见,并结合所研究空中交通管理安全个案的各种影响因素的统计分析,如此将能更真实地反映关于空中交通管理安全的实际情况,使研究结论更能符合实际状况。

(3) 本文所采用的方法,可以评价各子因素的风险值,当某些子因素的风险值过高时可以有针对性地采取措施,进行预防和监控,降低风险。如该例中,管理因素的风险值为 3.6309,高于综合风险值,应予以重点关注。

(4) 与其他类似评价方法相比,该方法最大限度利用了

各种灰类程度的评价信息,避免了评价结果失效问题,而且评价精度准确,同时与空中交通管理安全风险灰色特征相适应,因此,适于在在空中交通管理安全风险评价中应用。

参考文献 (References)

- [1] Chang Y H. The status and perspective of Taiwan's civil aviation safety [J]. *Civil Aviation Journal Quarterly*, 1999, 1(3): 1-24.
- [2] Bureau of Transport and Communication Economics. Quality of service in Australian passenger aviation research report 80[R]. Canberra: Australian Government Publishing Service, 1992: 56-79.
- [3] 雷贵生. 民航空管运行不安全因素调查研究 [J]. 中国民用航空, 2009(2): 37-38.
Lei Guisheng. *China Civil Aviation*, 2009(2): 37-38.
- [4] 余志雄, 刘子圣. 空中交通非系统性风险的管理 [J]. 空中交通管理, 2008(5): 36-38.
Yu Zhixiong, Liu Zisheng. *Air Traffic Management*, 2008(5): 36-38.
- [5] FAA. FAA international aviation safety assessment program [EB/OL]. [2011-05-30]. <http://ostpxweb.dot.gov/aviation/certific/pkt2kb.pdf>, 2003.
- [6] 中国民用航空局. 空中交通服务安全评估系统[R]. 北京:中国民用航空局, 2000.
Civil Aviation Administration of China. Services safety assessment system of air traffic management [R]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2008.
- [7] 中国民用航空局. 空管安全审计手册[R]. 北京:中国民用航空局, 2008.
Civil Aviation Administration of China. Manual of safety audit of air traffic management [R]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2008.
- [8] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国. 灰色系统理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
Liu Sifeng, Guo Tianbang, Dang Yaoguo. The theory and application of grey system [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [9] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
Deng Julong. Basis of grey theory [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.
- [10] 王永刚, 董保健. 基于模糊综合评价法的航空公司空防安全评价[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(2): 228-231.
Wang Yonggang, Dong Baojian. *Journal of Safety and Environment*, 2011, 11(2): 228-231.
- [11] 叶伟, 黄天彬. 机坪安全风险的多级模糊综合评价研究[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(3): 231-235.
Ye Wei, Huang Tianbin. *Journal of Safety and Environment*, 2011, 11(3): 231-235.

(责任编辑 董陇军, 刘志远)

《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上,全面、深入、系统地论述该领域的问题,并对所综述的内容进行归纳、分析、评价,以反映作者的观点和见解。在线投稿: www.kjdb.org。