

文章编号:1671-1556(2018)04-0169-06

基于 DEMATEL-ISM 法的民航飞行员综合安全能力 结构模型研究

杨 姝¹,李俊龙²

(1. 中国民用航空飞行学院空中交通管理学院,四川 广汉 618307;
2. 中国民用航空飞行学院广汉分院,四川 广汉 618307)

摘 要: 民航飞行员安全能力的建设是保证飞行安全的重要手段之一。为研究民航飞行员综合安全能力结构模型,构建了民航飞行员综合安全能力评价指标体系,并集成决策实验和评价试验法(DEMATEL)与解释结构模型法(ISM),研究各项指标间的相互影响关系及其对民航飞行员综合安全能力的影响程度,找出关键指标,分析指标间的综合影响关系,最终建立了民航飞行员综合安全能力的多级递阶结构模型。根据该模型可深入分析飞行员综合安全能力各项指标间的递阶关系,以为飞行学员的选拔、飞行员的培养、成熟飞行员安全能力基本要求及最高要求的评估提供参考依据。

关键词: 民航飞行员;综合安全能力;DEMATEL 法;ISM 法;多级递阶结构模型

中图分类号:X949 文献标识码:A DOI:10.13578/j.cnki.issn.1671-1556.2018.04.030

Comprehensive Safety Capability Structure Model of Civil Aviation Pilots Based on DEMATEL-ISM Method

YANG Shu¹, LI Junlong²

(1. Air Traffic Management College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307,
China; 2. Guanghan Branch, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

Abstract: The construction of comprehensive safety capability of civil aviation pilots is one of the important means to ensure flight safety. In order to study the structure of pilots' comprehensive safety capability, this paper first constructs the comprehensive safety capability index system of civil aviation pilots. Then by using DEMATEL and ISM algorithm, the paper studies the relationship between these indexes and their impact on comprehensive safety capability of civil aviation pilots, and finds out the key indexes, and analyzes the comprehensive relationship between indexes. Finally, the paper constructs a multilevel structure model for the comprehensive safety capability of civil aviation pilots which shows the hierarchical relationship between the comprehensive safety capability indexes. The model provides reference for each stage of the comprehensive safety capability construction of civil aviation pilots, including selection and training of flight cadets, evaluation of veteran pilots on the basic and the highest requirements of safety capability.

Key words: civil aviation pilot; comprehensive safety capability; DEMATEL method; ISM method; multilevel structural model

美国著名安全工程师海因里希认为,人的不安全行为和物的不安全状态是导致事故发生的直接原因^[1]。近年来,航空器的设计制造工艺和自动化程

度都达到了较高的技术水平,由机械故障、天气等原因造成的飞行事故率已大大下降,相反,由人为因素所导致的飞行事故却在逐年增加,尤其是飞行员的

收稿日期:2018-02-01 修回日期:2018-05-25

基金项目:中国民用航空局安全能力建设资金项目(0241723);中国民航飞行学院面上项目(J2015-52)

作者简介:杨 姝(1983—),女,硕士,讲师,主要从事飞行程序设计、飞行安全管理等方面的研究。E-mail:cafucys@163.com

失误,一直是飞行事故的最主要原因。据中国民用航空局对飞行事故原因的调查分析,因飞行员原因导致的飞行事故占事故总数的 70% 以上^[2]。

安全能力,顾名思义,是指保证安全的能力,在不同的行业其具体内容存在较大的差异^[3-4]。本文对飞行员综合安全能力的内涵界定为:飞行员在执行飞行任务时,通过自身所具备的知识、技能、态度等素质和拥有的相关资源,能够识别和控制系统性风险,避免不安全飞行事件、飞行事故症候以及飞行事故的发生,从而有效完成飞行任务的能力。因此,研究飞行员综合安全能力结构模型,对飞行员的培养考核、安全风险的识别与控制以及事故及事故症候的预防调查都具有重要的意义,将有助于提高民航飞行员的综合安全能力,从而提升民航业航空的安全水平。

目前,已有诸多学者从不同角度对民航飞行员综合安全能力进行了研究。如赵崇德等^[5]、王悦颐等^[6]、高扬等^[7]从飞行员心理素质的角度出发,对飞行员的安全能力展开了定性或半量化的评价分析;姜薇等^[8]、杨仕云等^[9]从飞行员的认知能力和动态空间加工能力等具体操作技能出发,对飞行员的安全能力进行了检测;文兴忠^[10]从飞行员的职业安全意识角度出发,对国内当前民航飞行员的安全能力现状进行了分析。

上述研究都是从飞行员人为因素的某一方面入手展开的研究,缺乏系统性、整体性,虽然陈农田等^[11]、王鹏等^[12]采用 AHP 等方法对飞行员的综合能力或疲劳状态进行了分析,但对评价指标之间相互关系,以及指标在整个系统结构中的位置和作用方面未能涉及。鉴于此,本文在构建民航飞行员综合安全能力评价指标体系的基础上,采用决策实验和评价试验法(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)分析了民航飞行员综合安全能力各项指标的重要程度,识别了各项指标在民航飞行员安全能力评价指标体系中的类别和作用,并采用解释结构模型(Interprative Structural Modeling, ISM)方法构建了民航飞行员综合安全能力的多级递阶结构模型,根据该模型可深入分析民航飞行员综合安全能力各项指标之间的递阶关系,研究结果对民航飞行员安全能力建设具有重要的意义。

1 集成的 DEMATEL-ISM 法

DEMATEL 法是为了分析复杂系统内部因素的重要性程度,简化系统结构分析的过程而提出的一种运用图论与矩阵工具进行系统要素分析的方

法。该方法通过分析系统中各因素之间的逻辑关系与直接影响关系,构建直接影响矩阵,计算各因素对其他因素的影响程度和被影响程度,并计算各因素的中心度和原因度,以此来判断该因素在整个系统中的作用^[13-14]。

ISM 法是现代系统工程中广泛应用的一种结构模型化技术分析方法。该方法可以把模糊不清的思想、看法转化为直观的具有良好结构关系的模型,特别适用于变量众多、关系复杂而结构不清晰的系统分析。ISM 法通过对表示有向图的相邻矩阵进行逻辑运算,得到可达性矩阵,最终使复杂系统分解成层次清晰的多级递阶结构形式。

集成 DEMATEL-ISM 法的思路是:通过 DEMATEL 法推导指标间的综合影响矩阵,并计算整体影响矩阵;根据整体影响矩阵和可达矩阵的关系,将整体影响矩阵转换为 ISM 法中的可达矩阵;根据可达矩阵,利用 ISM 法划分出评价指标系统的结构。基于 DEMATEL-ISM 法的民航飞行员综合安全能力评价指标系统结构分析流程,详见图 1。

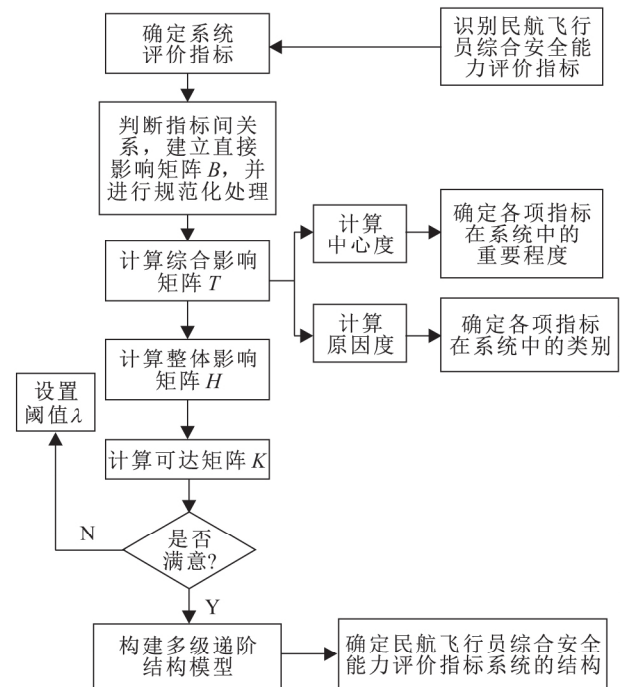


图 1 基于 DEMATEL-ISM 法的民航飞行员综合安全能力评价指标系统结构分析流程

Fig. 1 Flow chart of comprehensive safety capability structure analysis for civil aviation pilots based on DEMATEL-ISM

2 民航飞行员综合安全能力评价指标体系的构建

民航飞行员的综合安全能力是一个复杂的系统

性问题,内部指标成多层次、多角度分布。通过对世界民航事故中关于飞行员人因方面的原因进行调查分析,并参考相关研究成果^[3-10,15],结合飞行技术专家

及飞行教员的意见,得到民航飞行员综合安全能力评价指标体系,该体系各项评价指标的编号及其含义详见表 1。

表 1 民航飞行员综合安全能力评价指标体系

Table 1 Index system for comprehensive safety capability of civil aviation pilots

类别	评价指标	编号	含义
身心素质	健康状况	α_1	在满足民航要求的最低体检标准前提下的身体状况
	体能体力	α_2	体能测评中的表现情况
	生活习惯	α_3	是否吸烟、饮酒、熬夜,是否定期锻炼
	心理感知能力	α_4	对信息的察觉、注意、记忆、分析和判断能力
	应对能力	α_5	对外界刺激的应变能力,如情感稳定状态、压力处理能力
	人格特质	α_6	乐观积极,善于交际,情绪适中稳定,能控制调节消极情绪
安全理念	安全法规程序教育	α_7	对安全、法规及标准操作程序知识的掌握情况
	安全态度及法规观念	α_8	对安全、法规及标准操作程序是否持有敬畏之心
	安全意识	α_9	飞行过程中对各种可能造成危险的外在环境条件的一种戒备和警觉意识
文化素养	学历背景	α_{10}	取得的最高学历
	自主学习能力	α_{11}	自主学习法规、新技术与经验的能力
	理解沟通能力	α_{12}	与飞行有关的人员(如机组成员、管制员、签派等)及其他人员进行有效沟通的能力
专业技能	飞行理论知识	α_{13}	掌握飞行理论知识的具体情况
	航图识别能力	α_{14}	阅读各机场航图、航路图的能力
	专业英语水平	α_{15}	使用专业英语陆空通话、掌握专业词汇以及阅读英语文件材料的能力
	飞行经历经验	α_{16}	飞行时间、驾驶机型的种类以及飞行员等级
	驾驶技术水平	α_{17}	对航空器的操作技能
	飞行适应能力	α_{18}	在不同的机场起降、与不同的空勤人员合作、与不同的管制员沟通的能力
	驾驶舱资源管理	α_{19}	在飞行中能否合理利用信息、设备、人等资源
	特情处理能力	α_{20}	对飞行过程中出现的特情能及时感知、准确判断并合理处置的能力

3 基于 DEMATEL-ISM 法的民航飞行员综合安全能力结构建模

3.1 判断指标间的相互影响关系,建立指标的直接影响矩阵

民航飞行员综合安全能力评价指标体系包括四大类、20 项评价指标,将指标集合记为 $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{20}\}$,将指标间的相互影响关系记为 β_{ij} ,即表示指

标 α_i 对指标 α_j 的影响程度。指标间的相互影响关系并非等同,指标对自身视为无影响,即 $i = j$ 时, $\beta_{ij} = 0$ 。采用 Delphi 法,邀请相关专家根据指标间的相互影响关系对 β_{ij} 赋值,将强、较强、一般、弱、无 5 个等级分别赋值为 4、3、2、1、0,从而得到民航飞行员综合安全能力评价指标的直接影响矩阵 B ,即 $B = (\beta_{ij})_{20 \times 20}$,见表 2。通过将指标的直接影响矩阵进行规范化处理,得到规范化后的指标直接影响矩阵 C 为

表 2 民航飞行员综合安全能力评价指标的直接影响矩阵 B

Table 2 Adjacent matrix B of comprehensive safety capability indexes of civil aviation pilots

β_{ij}	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}	α_{15}	α_{16}	α_{17}	α_{18}	α_{19}	α_{20}
α_1	0	3	1	3	3	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	2
α_2	1	0	1	2	2	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	2
α_3	4	4	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
α_4	0	0	0	0	1	1	2	2	4	1	2	4	2	2	2	0	4	4	2	4
α_5	2	0	0	1	0	2	0	1	2	1	0	2	0	0	0	0	3	3	2	2
α_6	2	0	1	1	1	0	0	1	2	0	1	4	0	0	0	0	1	1	2	1
α_7	1	1	2	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
α_8	1	1	4	0	0	0	4	0	4	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0
α_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	3	2	2	4
α_{10}	0	0	1	3	2	2	2	1	2	0	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0
α_{11}	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1	0	1	3	2	2	0	2	2	2	1
α_{12}	0	0	0	1	1	1	1	0	2	0	2	0	1	1	1	0	2	2	2	1
α_{13}	0	0	0	3	0	0	1	1	2	0	1	1	0	3	2	0	4	3	3	3
α_{14}	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	1	1	2	0	0	0	1	1	0	1
α_{15}	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	2	1	2	2	0	0	1	1	0	1
α_{16}	0	0	0	1	1	1	0	2	2	0	1	2	1	2	1	0	2	2	1	1
α_{17}	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4
α_{18}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
α_{19}	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	2	3	0	4
α_{20}	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0

$$C = (c_{ij})_{20 \times 20} = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq 20} \sum_{j=1}^{20} \beta_{ij}} B \quad (1)$$

从而使得 c_{ij} 处于 $[0, 1]$ 区间内。

3.2 计算指标的综合影响矩阵 T 、中心度 M_i 和原因度 N_i

计算指标的综合影响矩阵 $T [T = (t_{ij})_{20 \times 20}]$, 用以确定各项指标相对于民航飞行员综合安全能力评价指标体系中最高水平指标的综合影响, 其计算公式为

$$T = C(I - C)^{-1} \quad (2)$$

式中, I 为单位矩阵。

对指标综合影响矩阵 T 中的行和列, 利用下面公式计算各项指标的中心度 M_i 和原因度 N_i :

$$f_i = \sum_{j=1}^{20} t_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 20) \quad (3)$$

表 3 民航飞行员综合安全能力评价指标体系中各项指标中心度和原因度的计算结果

Table 3 Computation results of centrality degree and degree of causation of the comprehensive safety capability indexes of civil aviation pilots

编号	评价指标	中心度 M_i	原因度 N_i	编号	评价指标	中心度 M_i	原因度 N_i
α_1	健康状况	1.278 74	0.397 04	α_{11}	自主学习能力	1.833 89	0.338 69
α_2	体能体力	0.984 31	0.277 35	α_{12}	理解沟通能力	1.870 05	-0.185 08
α_3	生活习惯	0.984 04	0.110 73	α_{13}	飞行理论知识	1.845 46	0.619 17
α_4	心理感知能力	2.787 33	0.536 57	α_{14}	航图识别能力	1.332 82	-0.048 25
α_5	应对能力	1.556 63	0.332 21	α_{15}	专业英语水平	1.269 06	0.305 78
α_6	人格特质	1.347 01	0.369 19	α_{16}	飞行经历经验	0.941 91	0.941 90
α_7	安全法规程序教育	1.071 87	0.012 41	α_{17}	驾驶技术水平	2.066 33	-1.052 24
α_8	安全态度及法规观念	1.286 83	0.328 32	α_{18}	飞行适应能力	1.576 07	-1.240 41
α_9	安全意识	2.357 16	-0.988 15	α_{19}	驾驶舱资源管理	1.788 03	-0.517 70
α_{10}	学历背景	1.200 10	0.903 57	α_{20}	特情处理能力	2.123 55	-1.441 12

3.3 计算指标的整体影响矩阵 H 和可达矩阵 K

指标整体影响矩阵 $H [H = (h_{ij})_{20 \times 20}]$ 的计算公式为

$$H = I + T \quad (7)$$

根据指标的整体影响矩阵 H , 给定阈值 $\lambda = 0.08$, 通过下式计算指标的可达矩阵 $K [K = (k_{ij})_{20 \times 20}]$:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & h_{ij} \geq \lambda \quad (i, j = 1, 2, \dots, 20) \\ 0, & h_{ij} < \lambda \quad (i, j = 1, 2, \dots, 20) \end{cases} \quad (8)$$

设置阈值 λ 的目的是舍去影响程度较小的指标间的影响关系, 简化系统结构, 其大小直接影响可达矩阵的构成和系统结构的划分。阈值取值越大, 指标间的独立性越强, 系统结构越简单, 但指标间的影响关系越难以表达清楚; 阈值取值越小, 指标间的影响关系越复杂, 系统结构越复杂, 但系统的整体性越难以表达清楚。因此, 需要对阈值经过多次取值分析验证, 以获得最佳的系统结构模型。

3.4 构建多级递阶结构模型

根据指标的可达矩阵 K , 通过下面公式可确定

$$e_i = \sum_{j=1}^{20} t_{ji} \quad (i = 1, 2, \dots, 20) \quad (4)$$

$$M_i = f_i + e_i \quad (i = 1, 2, \dots, 20) \quad (5)$$

$$N_i = f_i - e_i \quad (i = 1, 2, \dots, 20) \quad (6)$$

式中: f_i 为指标 α_i 的影响度; e_i 为指标 α_i 的被影响度; M_i 为指标 α_i 的中心度, 用来表示该项指标在评价指标体系中的重要程度, 中心度越大, 表明该项指标重要性越大; N_i 为指标 α_i 的原因度, 用来表示该项指标在评价指标体系中的作用大小, 原因度越大, 则表明该项指标在评价指标体系中所起的作用越大, 为原因指标, 而原因度越小, 则表明该项指标为评价指标体系中的结果指标。

民航飞行员综合安全能力评价指标体系中各项指标中心度和原因度计算结果详见表 3。

指标的可达集合 R_i 和前项集合 S_i :

$$\begin{cases} R_i = \{\alpha_j | \alpha_j \in A, k_{ij} = 1\} \\ S_i = \{\alpha_j | \alpha_j \in A, k_{ji} = 1\} \end{cases} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 20) \quad (9)$$

经分析, 当 $i = 18, 20$ 时, 满足 $R_i = R_i \cap S_i$, 因此第一级指标集为 $L_1 \{\alpha_{18}, \alpha_{20}\}$, 去掉可达矩阵 K 中标 α_{18}, α_{20} 所对应的行和列; 同理, 可计算第二级至第九级指标集如下:

$$\begin{aligned} &L_2 \{\alpha_2, \alpha_{17}\}, L_3 \{\alpha_9, \alpha_{19}\}, L_4 \{\alpha_7, \alpha_{12}, \alpha_{13}, \alpha_{16}\}, \\ &L_5 \{\alpha_5, \alpha_6, \alpha_{11}, \alpha_{14}, \alpha_{15}\}, L_6 \{\alpha_4\}, L_7 \{\alpha_1, \alpha_{10}\}, L_8 \{\alpha_3\}, \\ &L_9 \{\alpha_8\} \end{aligned}$$

4 民航飞行员综合安全能力结构模型的分析

4.1 民航飞行员综合安全能力评价指标的重要性分析

根据 DEMATEL-ISM 法计算出的指标中心度, 可绘制民航飞行员综合安全能力评价指标的重要性曲线, 见图 2。

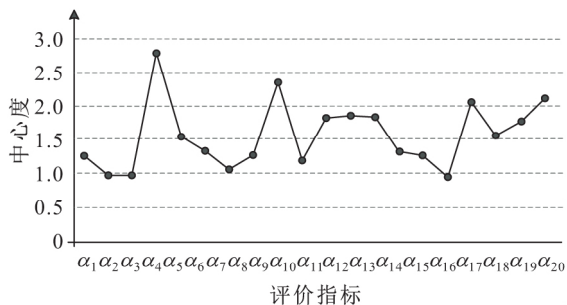


图 2 民航飞行员综合安全能力评价指标的重要性曲线
Fig. 2 Importance curve of comprehensive safety capability indexes of civil aviation pilots

指标的 centrality 越大,则表明该项指标在评价指标系统中的重要性越大。由图 2 可知,对民航飞行员综合安全能力影响重要性较大的指标依次为心理感知能力(α_4)、安全意识(α_9)、特情处理能力(α_{20})和驾驶技术水平(α_{17});其次为理解沟通能力(α_{12})、自主学习能力和飞行理论知识(α_{13})、驾驶舱资源管理(α_{19})、飞行适应能力(α_{18})、应对能力(α_5)、人格特质(α_6)、航图识别能力(α_{14})、专业英语水平(α_{15})和安全态度及法规观念(α_8);其重要性较小的指标为健康状况(α_1)、学历背景(α_{10})、安全法规程序教育(α_7)、体能体力(α_2)、生活习惯(α_3)和飞行经历经验(α_{16})。

4. 2 民航飞行员综合安全能力评价指标的类别分析

根据 DEMATEL-ISM 法计算出的指标原因度,可绘制民航飞行员综合安全能力评价指标的因果图,见图 3。

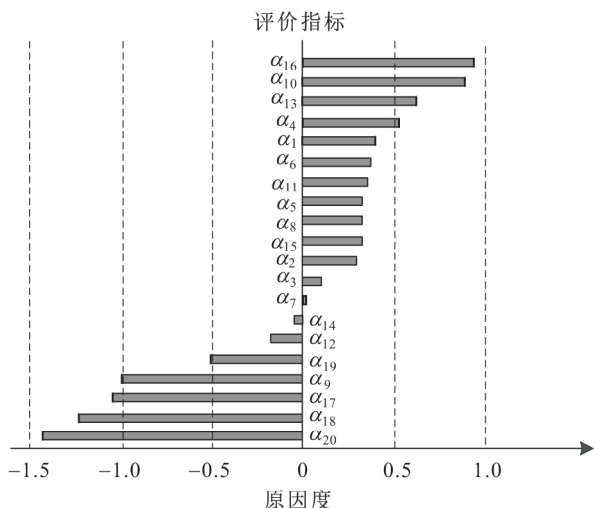


图 3 民航飞行员综合安全能力评价指标的因果图
Fig. 3 Causality diagram of comprehensive safety capability indexes of civil aviation pilots

指标的原因度越大,则表明该项指标在评价指

标系统中为原因指标;指标的原因度越小,则表明该项指标在评价指标系统中为结果指标。由图 3 可知,飞行经历(α_{16})、学历背景(α_{10})、飞行理论知识(α_{13})、心理感知能力(α_4)、健康状况(α_1)、人格特质(α_6)、自主学习能力(α_{11})和应对能力(α_5)为民航飞行员综合安全能力评价指标体系中的原因指标;特情处理能力(α_{20})、飞行适应能力(α_{18})、驾驶技术水平(α_{17})、安全意识(α_9)、驾驶舱资源管理(α_{19})和了解沟通能力(α_{12})为民航飞行员综合安全能力评价指标体系中的结果指标;其他指标位于中间,是原因指标到结果指标的过渡指标。

4. 3 系统多级递阶结构分析

根据 DEMATEL-ISM 法计算出的各级指标集,可绘制民航飞行员综合安全能力的多级递阶结构模型,见图 4。

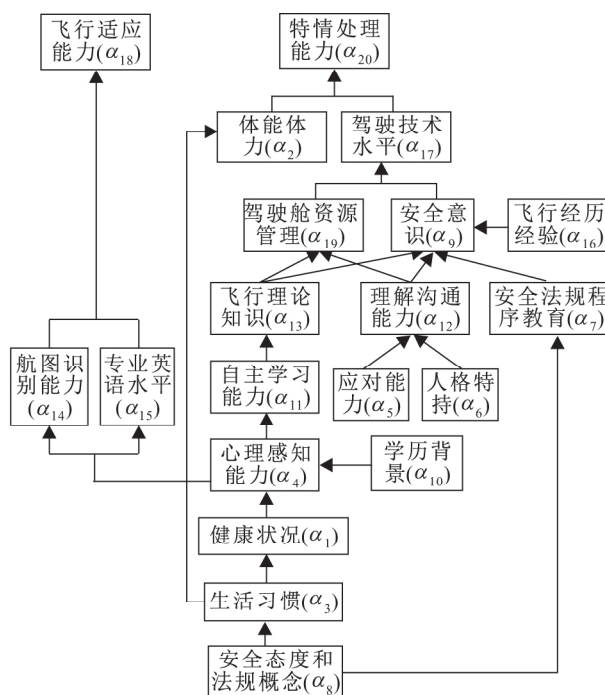


图 4 民航飞行员综合安全能力的多级递阶结构模型
Fig. 4 Multilevel structural model of comprehensive safety capability of civil aviation pilots

由图 4 可见,民航飞行员综合安全能力评价指标体系中,体现飞行员综合安全能力最高的指标是飞行适应能力(α_{18})和特情处理能力(α_{20}),具备这两项能力的飞行员在任何地方、与任何空勤人员和管制人员沟通、出现任何特情的情况下,都能保证飞行安全;体现飞行员综合安全能力最重要的指标是驾驶技术水平(α_{17})、驾驶舱资源管理(α_{19})和安全意识(α_9),这三项能力是成熟飞行员能够保证飞行安全的最基本要求;从飞行学员成长为一名成熟的飞行

员,在培养阶段一定要重视安全法规程序教育(α_7),培养理解沟通能力(α_{12})和自主学习能力(α_{11}),打好扎实的飞行理论基础知识(α_{13}),积累丰富的飞行经历经验(α_{16}),注意锻炼体能体力(α_2),并提升自身的航图识别能力(α_{14})以及专业英语水平(α_{15});在选拔飞行学员阶段,一定要重点考察其安全态度及法规观念(α_8)、生活习惯(α_3)、健康状况(α_1)、学历背景(α_{10})、应对能力(α_5)、人格特质(α_6)和心理感知能力(α_4),其中心理感知能力位于承上启下的关键位置,是考察的重点。

5 结论及意义

本文在构建民航飞行员综合安全能力评价指标体系的基础上,采用集成的 DEMATEL-ISM 法建立了民航飞行员综合安全能力的多级递阶结构模型,并对该结构模型进行了深入分析,研究结果对民航飞行员安全能力的建设具有重要的意义,具体结论如下:

(1) 对民航飞行员综合安全能力评价指标的重要性进行了定量研究,得出心理感知能力、安全意识、特情处理能力和驾驶技术水平是最重要的评价指标,该量化结果可为民航飞行员综合安全能力评估及考核提供参考。

(2) 对民航飞行员综合安全能力评价指标进行了属性分类,可分为原因指标和结果指标。其中,结果指标通常是引起飞行事故的直接原因;原因指标通常是引起飞行事故的间接原因,故在飞行事故或事故征候调查以及安全风险需要时全面把握。

(3) 本文所构建的多级递阶结构模型体现了民航飞行员综合安全能力评价指标体系的整体结构,可为民航飞行员安全能力建设的各个阶段提供参考

依据。

参考文献:

- [1] 罗云,樊运晓,马晓春. 风险分析与安全评估[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [2] Huan-Jyh S. A quantitative model for aviation safety risk assessment[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2008, 54(1): 34-44.
- [3] 王盼盼,李启明,邓小鹏. 施工人员安全能力模型研究[J]. *中国安全科学学报*, 2009, 19(8): 40-45.
- [4] 张岭,宋丹,段鹰. 民用飞机维修人员安全能力测评模型的构建[J]. *科技创新导报*, 2014, 11(6): 173-174.
- [5] 赵崇德,刘锋,祁妍敏,等. 中国民航飞行学员 MMPI-2 测评结果分析[J]. *航天医学与医学工程*, 2015, 28(4): 249-252.
- [6] 王悦颐,李敬强,王蓓. 民航飞行员安全心理测评模型研究[J]. *安全与环境工程*, 2017, 24(6): 81-85.
- [7] 高扬,张楠. 基于层次分析的民航飞行员选拔心理素质模糊综合评价[J]. *安全与环境工程*, 2013, 20(5): 149-153.
- [8] 姜薇,潘静,丰廷宗. 民航飞行学员认知能力倾向测试系统的研制及信校度检验[J]. *解放军预防医学杂志*, 2014, 32(2): 122-124.
- [9] 杨仕云,晏碧华,游旭群. 民航飞行员、飞行学员动态空间能力加工水平检测[J]. *心理科学*, 2009, 32(1): 71-74.
- [10] 文兴忠. 民航飞行员职业安全意识的初步研究[J]. *中国安全科学学报*, 2007, 17(11): 26-33.
- [11] 陈农田,谭鑫,杨文锋,等. 基于熵权层次分析法的飞行学员安全状态模糊综合评价[J]. *数学的实践与认识*, 2015, 45(16): 62-67.
- [12] 王鹏,方洋旺,张磊,等. 基于改进模糊综合评判法的飞行员综合能力研究[J]. *航空兵器*, 2010, 3: 34-37.
- [13] Falatoonitoosi E, Leman Z, Sorooshian S, et al. Decision making trial and evaluation[J]. *Research Journal of Applied Sciences Engineering & Technology*, 2013, 5(13): 3476-3480.
- [14] 张仕廉,聂李琴. 基于 DEMATEL 方法的建筑施工安全管理行为影响因素分析[J]. *安全与环境工程*, 2017, 24(1): 121-125.
- [15] Maschke P, Goeters K M, Klamn A. Job requirements of airline pilots: Results of a job analysis[J]. *Aviation Resource Management*, 1998, 2(1): 55-78.