

基于 ISM 和 DEMATEL 航空维修不安全事件诱因研究*

谭鑫黄泽媛

(中国民用航空飞行学院四川广汉 618307)

摘要：航空维修不安全事件由多种因素引发，拟通过解释结构模型(ISM)和决策试行与评价实验室(DEMATEL)计算航空维修不安全事件诱因之间的关系、建立多层次递阶解释结构模型，并以此探讨相应管理对策。分析得出：知识和技能、工作任务等属于原因因素，对其他因素影响逐渐增大；组织机构、环境和设施等属于结果因素，受其他因素影响较大。组织机构、知识和技能、工作任务是影响航空维修不安全事件的基础因素，是航空安全管理中的重点管控对象。

关键词：航空维修不安全事件 ISM DEMATEL

Research on Incentives of Unsafe Aviation Maintenance Events based on ISM and DEMATEL

Tan XinHuangZeyuan

(Civil Aviation Flight University of China, Guanghan618307 Sichuan China)

Abstract : Unsafe aviation maintenance incidents are caused by many factors. The relationship between the causes of unsafe aviation maintenance incidents is calculated by Interpretation Structural Model (ISM) and Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), and a multi-level hierarchical interpretation structure model is established to explore the corresponding management countermeasures. It is concluded that knowledge and skills, work tasks and other factors are the cause factors, and the influence on other factors is gradually increasing. Organizational structure, environment and facilities are the result factors, which are greatly influenced by other factors. Organizational structure, knowledge and skills, work tasks are the basic factors affecting aviation maintenance unsafe events, and are the key control objects in aviation safety management.

Keywords : Aviation maintenance insecurity ISM DEMATEL

1 引言

航空维修不安全事件，是指航空器在维修阶段发生航空器损伤，人员伤亡或其他影响维修安全的情况^[1]。维修不安全事件会导致航班延误或取消，返航或改航等结果，不仅造成经济损失还造成不利的社会影响。

近年来，已有学者利用各种数学方法去研究不安全事件的机理，例如对应分析法^[2]、模糊数学和危险程度分析法^[3]、模糊灰色关联优先控制法^[4]等。改进的 HFACS 和 CET 是当前较为成熟、具有代表性的分析航空事故诱因的方法，尤其是运用 HFACS 方法捕捉到难以被发现的隐形差错，但主要是预测系统未来的状况，未考虑到多层次传递中要素间的相互关系^[5]；灰色关联分析方法可以确定各因素对事故征候的影响，克服了传统统计分析方法的不足，但必须使用灰色系统，这显示出一定的局限性^[6]；

灰熵分析法反映影响因素之间的关联度，能够很好地捕获到安全质量影响因素的显著性因素，但是需要大量验证的数据^[7]。

鉴于此，笔者对收集到的近年中国民航 573 起航空维修不安全事件进行梳理，参考波音公司推荐的维修差错判断方法 (Maintenance Error Decision Aid ,MEDA)将不安全事件的诱因分为 12 类，并采用解释结构模型 (Interpretative Structural Model ,ISM)、决策试行与评价实验室 (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory ,DEMATEL)对航空维修不安全事件的诱因进行研究。ISM 方法的优点在于能够结合主观判断和专家知识库，将不清晰的系统模型转换为可见且定义明确的模型^[8]。DEMATEL 方法可以帮助研究人员更好地理解问题性质，结构模型中各个元素之间的关系通常以准确的值给出^[9]。

*民航局安全能力建设项目 (14002600100017J003)

本文采用DEMATEL方法来确定ISM识别出的关系有向图，评估指标之间的互连，计算各个因素的影响度、被影响度、原因度和中心度^[10]，利用适当的阈值生成ISM分析的可达矩阵，最后采取ISM方法来构建多层诱因递阶关系系统，具体步骤流程见图1。

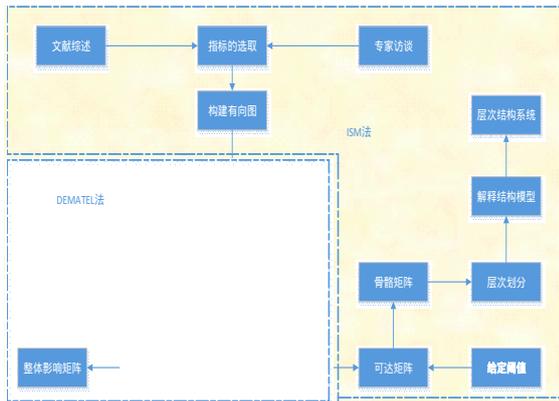


图1 划分层次结构系统流程

2 航空维修不安全事件诱因分析

本文在民航局维修差错调查表的基础上，吸收了MEDA的适用内容^[11]。以近十年中国民航发生的573起不安全事件案例的原始统计材料为基础，针对航空维修不安全事件这一复杂系统（考虑到人、环、软、硬等因素）的安全状况进行分析，并访谈多名专家。为了涵盖航空维修系统的各个要素，达到查清问题的目的，区分不同阶段的责任，将MEDA程序的诱因分为12个诱因因素（表1）。

表1 航空维修不安全事件诱因划分

编号	诱因
S1	飞机设计 / 构造 / 零备件
S2	初始批准的维修文件
S3	公司维修文件
S4	器材管理
S5	设备和工具
S6	环境和设施
S7	工作任务
S8	知识和技能
S9	个人因素
S10	计划和监管
S11	信息沟通
S12	组织机构

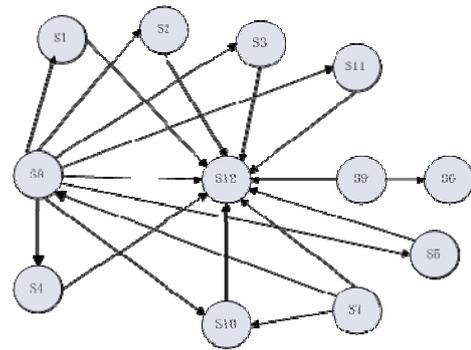


图2 航空维修不安全事件诱因关系网络

不同的人根据自己对专业的认识程度、系统要素间的客观性和性质将会得到不同的关系网络图，如图2所示。因此构建这个有向图并非是唯一的，需要自身结合航空专业的知识来绘制^[12]。其中，因素一般采用编号字母的形式。在关系图中，描述 S_n 受到 S_m 的影响，可表示为 $S_n \rightarrow S_m$ 。

3 诱因计算与分析

3.1 建立直接影响矩阵

运用DEMATEL方法分析航空维修不安全事件的案例，确定因素间的直接影响程度，将其要素之间的关系分为5个等级：没有影响关系，影响弱，影响比较弱，影响较强以及影响很强，分值分别为0,1,2,3,4。同时，邀请专家对诱因关系进行打分，最终引入模糊数学方法得到直接影响矩阵A。直接影响矩阵 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ ，其中 a_{ij} 是指标i对指标j的影响程度。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 3 \\ 3 & 3 & 3 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.2 计算整体影响矩阵

计算归一化的直接影响矩阵 $X = [x_{ij}]$ ， $s = \max \left[\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij} \right]$ ， $X = \frac{1}{s}A$ 。变量s表示矩阵A中的分数元素，表达式中的 $\sum_j^n a_{ij}$ 表示计算矩阵中的行和。确定综合影响

矩阵 $T = [t_{ij}]_{n \times n}$ ，利用 $T = X + X^2 + \dots + X^p = X(1 - X)^{-1} = [x_{ij}]_{n \times n} p \rightarrow \infty$ ，计算整体影响矩阵，利用 $H = [h_{ij}]_{n \times n}$ ， $H = I + T$ ，其中 I 为单位矩阵。

3.3 计算影响度、被影响度、原因度和中心度
计算诱因因素之间相互影响度 D ， $D = [\sum_{j=1}^n t_{ij}]_{n \times 1} = [d_i]_{n \times 1}$ ，表示该因素对其他因素的整体影响；被影响度 R ， $R = [\sum_{i=1}^n t_{ij}]'_{1 \times n} = [r_j]'$ 表示该因素受到其他因素的整体影响；计算

中心度 Y ， $Y = D + R$ ，中心度表明该致因因素在系统的重要性，即中心度越大，表明因素重要性越高；计算原因度 Z ， $Z = D - R$ ，原因度为正值表示该致因因素对其他致因因素影响大；若原因度为负值，表示该致因因素受其他致因因素影响大，则被称为结果因素。结果见表 2。

表 2 综合影响关系表

因素	D	R	Y	Z	中心度排序	因素属性
S1	0.0625	0.06565	0.12815	-0.00315	10	结果因素
S2	0.0625	0.06565	0.12815	-0.00315	10	结果因素
S3	0.1250	0.06565	0.19065	0.05935	8	原因因素
S4	0.1250	0.1563	0.2813	-0.0313	7	结果因素
S5	0.1250	0	0.1250	0.1250	9	原因因素
S6	0	0.0391	0.0391	-0.0391	12	结果因素
S7	0.7608	0	0.7608	0.7608	3	原因因素
S8	1.2922	0.2500	1.5422	1.0422	2	原因因素
S9	0.1875	0.1563	0.3438	0.0312	5	原因因素
S10	0.2500	0.1563	0.4063	0.0937	4	原因因素
S11	0.2500	0.0813	0.3313	0.1687	6	原因因素
S12	0	1.698	1.698	-1.698	1	结果因素

3.4 绘制原因结果图

根据表 2 的计算结果绘制原因结果图。横坐标为中心度，纵坐标为原因度。从图 3 可以得出，原因因素在横坐标的上方，结果因素在横坐标的下方，关键因素主要集中在原因结果图的后半部分。

3.5 建立多级层次结构模型

基于 ISM 和 DEMATEL 法构建的航空维修不安全事件诱因指标模型，如图 4 清晰地反映出影响航空维修不安全事件发生的各要素之间关系，箭头表示两者存在着关系^[13]。一般箭头的方向是说明被影响的结果。例如，组织机构→个人因素，表示组织

机构影响到个人因素，并最终可能造成航空维修事故征候的发生。

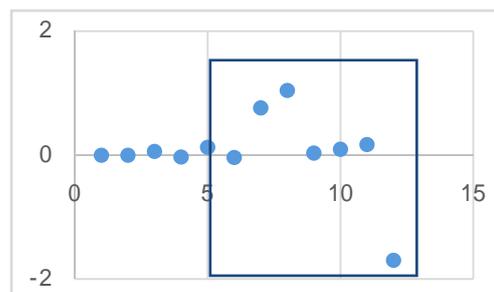


图 3 原因结果图

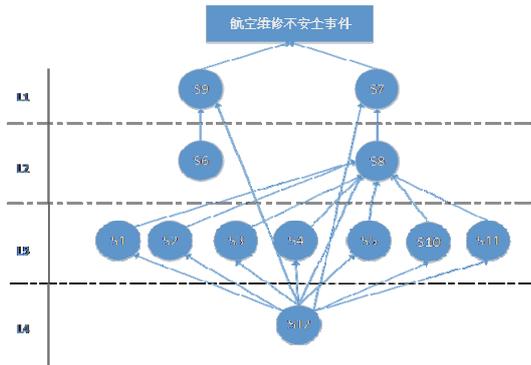


图4 航空维修不安全事件诱因指标模型

3.6 结果分析

1) 路径分析

由图4可知，根据发生航空维修不安全事件的路径来看，共有11条路径。以环境和设施为例：“环境和设施→个人因素”。以组织机构为例，引起航空维修不安全事件发生的路径有10条。其中1条为：“组织机构→信息沟通→知识和技能→工作任务”。通过这些路径我们可以了解到环境和设施以及组织机构是如何一层一层地影响到航空维修不安全事件的发生，利用该过程可以识别目标并进行干预。

2) 中心度分析

由表2可知，从中心度看S12、S8、S7排在前三名。S5、S1、S2排在后三名。由此可见，目前影响航空维修不安全事件主要取决于工作状况、管理决策和组织过程，而提供的初始批准的维修文件、飞机设计、构造、零备件这些因素对航空维修不安全事件带来的影响较小。

3) 原因度分析

根据原因度分类，结果因素是S12、S6、S4、S1、S2。原因因素是S8、S7、S11、S5、S10、S3、S9。其中，知识和技能是对其他因素影响最大的，知识和技能认识不足、工作任务无效完成都会直接影响组织因素，进而影响到其他因素。值得注意的是，设备和工具不容忽视，这将是以后发生航空维修不安全事件的关键因素。

4) 虚节点分析

结合原因结果图，不难看出图4航空维修不安全事件诱因指标模型并不能满足层次结构的严格定义，即同层因素和跨层因素间不能存在直接影响关系^[14]。本模型中诱因因素不存在同层因素，故不考虑。S7、S9与S12之间存在跨层关系，故必须需要

增加虚节点F来调整系统层次结构：增加虚节点F1（S12的像）调整S12和S9的跨层关系；增加虚节点F2（S12的像）调整S12和S7的跨层关系，调整后的结果见图5。

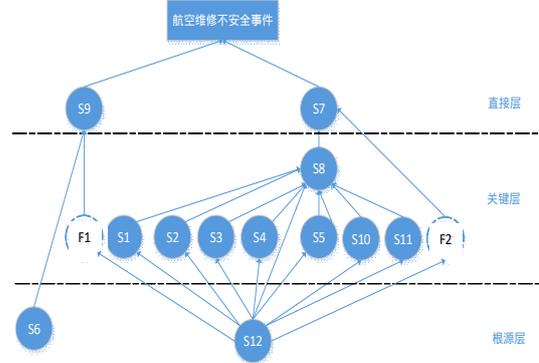


图5 航空维修不安全事件层次结构系统

5) 结果分析

依据图5，得出航空维修不安全事件的12个诱因因素中，组织机构、环境和设施是根源性因素。飞机设计/构造/零备件、初始批准的维修文件、公司维修文件、器材管理、设备和工具、知识和技能、计划和监管以及信息沟通是关键性因素，直接因素有个人因素和工作任务。

4 对策与建议

基于研究结果，组织机构、知识和技能、工作任务是影响航空维修不安全事件的基础因素，重要度依次递减，它们是航空安全管理中的重点管控对象。其中，组织机构在现阶段不明显的两方面原因（即虚节点F1、F2），一是未能够及时控制工作失误，这是根本原因；二是维修不安全事件的防护机制不够完善。

1) 建立有效的安全管理机制，防范不安全事件发生。从中心度计算可以看出，组织因素是所有不安全事件最重要的诱发因素，组织过程就是根源性的原因。公司的政策和指导文件、设备和工具、计划和监管、信息沟通等因素对组织因素都有直接影响，这也间接影响完成维修任务的质量。根据交通运输部最新颁布的《民用航空安全管理规定》，要求国内航空公司依法建立和运行有效的安全管理体系。各级管理者需要树立正确的安全观，实行全面综合模式，加强各部门之间的合作与沟通，协同民航行政机关共同查明潜在状况，如何建立适合本部门的安全管理体系、及时防范航空维修不安全事件再次

发生是当前和接下来一段时期的重点工作任务。

2)积极探索搭建知识共享平台,及时更新知识和实践技能。知识和技能在关键层中起到了承上启下的重要作用,通过知识和技能这个路径流入工作任务的来源也是最多的。知识和技能主要包括技术技能、专业知识、工作上的程序知识等涉及整个维修过程所需要的知识。因此,现阶段技术维修部门应积极探索搭建有效的维修知识信息共享平台,通过维修预警信息提示、内部通报等方式公布近期的不安全事件消息,组织不安全事件项目课题研究,开展一系列有针对性的安全维修讲座和技术训练,及时更新相关的专业知识,促进航空安全知识交流,让员工能够从共享平台中找寻到自己需要的信息,提高安全保障水平。

3)改善工作场所状况,控制工作失误。计算结果和案例研究表明维修不安全事件的原因或多或少与工作场所状况有关,例如,联系和顺序不合理的工作任务、使用不够人性化的设备和工具、次佳的工作环境和设施。工作场所状况的好坏往往直接影响维修人员的工作效率。通常情况下,由于各种资源分配缺乏,容易造成维修人员为顺利完成工作任务而选择走捷径。工作失误是由一系列导致不安全行为的因素串联在一起而引发的,从本文的路径上来看,主要通过个人因素、工作任务来攻破。从安全方面的角度出发,改善工作场所状况,建立职责划分制和网络安全评估中心,管控维修差错和违规行为再次发生,制定实时监测行动计划,并上报有关部门备案。

4)加强对现有防御屏障的利用,全方位发展新的风险防范机制。在航空维修不安全事件层次结构系统中可以发现经常是不止一条路径往上流动,更多时候是多条途径共同流动,导致防御屏障又被攻破。预防控制是遏制潜在失效和现行失效的最后一道安全网。失效次数增多可能会打破防御系统,加强已有的防御屏障将进一步降低不安全行为穿过系统的概率,进而避免沿着路径流向发生航空维修不安全事件的不良后果。因此加强防御屏障并不完全能够杜绝航空不安全事件的发生,开发新的防御系统也是我们应该关注的焦点。

参考文献

[1] 中华人民共和国国务院. 民用航空安全信息管

理规定[J].中华人民共和国国务院公报,2016(16)

[2] 于思璇,王华伟.基于对应分析模型的通用航空不安全事件研究[J].中国民航大学学报,2018,36(06):37-41

[3] 唐卫贞.民航空管不安全事件人为因素灰色关联分析[J].科学技术与工程,2010,10(16):4100-4104

[4] 陈勇刚,饶斌.航空公司维修不安全事件优先控制模型研究[J].数学的实践与认识,2015,45(7):249-254

[5] HOOPER B J, O'HARE, DAVID P. A. Exploring Human Error in Military Aviation Flight Safety Events Using Post-Incident Classification Systems[J]. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 2013, 84(8):803-813

[6] 李宜,张雄旗.灰色关联分析在民航事故征候管理中的应用[J].交通科技与经济,2011,13(3):68

[7] 陈勇刚.基于灰熵分析法的航空公司维修安全质量影响因素分析[J].安全与环境学报,2013,13(1):267-270

[8] WARFIELD JW (1974) Developing intercon-nected matrices in structural modelling. IEEE Trans Syst Men Cybern 4(1):51-81

[9] GABUS, A., &FONTELA, E. (1972). World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL. Switzerland, Geneva: Battelle Geneva Research Centre

[10] 刘慕磊,何秋钊,李明捷.集成 EMATEL-ISM 方法的航班截载时间影响因素分析[J].民航学报,2018(05):5-8,26

[11] 中国民用航空局航空器维修人的因素课题组编著.人的因素案例集:民用航空器维修差错[M].北京:中国民航出版社,2003

[12] 魏燕明,甘旭升,游雯雯.基于 ISM 模型的可控飞行撞地诱因关系分析[J].火力与指挥控制,2018

[13] DULEBA S, SHIMAZAKI Y, MISHINA T. An analysis on the connections of factors in a public transport system by AHP-ISM [J]. Transport, 2013, 28(4):404-412

[14] 周德群,章玲.集成 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次划分研究[J].管理科学学报,2008,11(2):20-26