

DOI:10.16356/j.1005-2615.2019.03.019

基于粗糙集的案例推理 在民机结构 MSG-3 分析中的应用

吴昊

(中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院,上海,200232)

摘要: 确定飞机结构偶然损伤检查任务和间隔是制定飞机结构维修大纲的关键问题之一。在国内缺乏相关使用数据的前提下,本文将基于粗糙集的案例推理应用于民用飞机 MSG-3(Maintenance steering group)分析过程。本文从民用飞机 MSG-3 分析的需求出发,分析了基于案例推理的 MSG-3 分析基本过程,讨论了民用飞机 MSG-3 分析案例库的构建、案例表达、案例检索、匹配、案例修改、维修任务和间隔的确定等关键技术。同时,本文应用粗糙集理论,对 MSG-3 分析的特征属性进行权重分配,从而避免了人的主观性对案例检索准确性的不良影响。最后通过对某重要结构项目进行偶然损伤实例分析,效果良好。

关键词: 粗糙集;案例推理;民用飞机;维修大纲;维修任务

中图分类号: V267 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2615(2019)03-0403-07

Civil Aircraft MSG-3 Analysis Based on Rough Set and Case Based Reasoning

WU Hao

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of China Ltd, Shanghai, 200232, China)

Abstract: One of the most important things in developing aircraft structure maintenance program is to determine the inspection task and intervals for structure accidental damage. Given the lack of using datum, the method of using rough set and case based reasoning (CBR) is introduced to civil aircraft MSG-3 analysis. According to the requirement of civil aircraft MSG-3 (Maintenance steering group) analysis, the research into the method of civil aircraft MSG-3 analysis using CBR is conducted and key techniques, including the case base development, case representation, case retrieval, maintenance task and interval determination, are investigated. Meanwhile, to avoid human's subjectivity influence, rough set is used to allocate the weight of the MSG-3 analysis factors. Finally, we use the significant structure item of aircraft as an example to verify the method.

Key words: rough set; case based reasoning; civil aircraft; maintenance program; maintenance task

结构维修大纲是保持航空器持续适航的基本文件组成,它规定了民用飞机结构项目的初始最低预定维修/检查要求,是航空公司制订其维修方案的基础和框架。当前,国际主流机型均根据维修指导小组(Maintenance steering group, MSG-3)思想编制维修大纲。MSG-3的核心内容是解决飞机什么时间做什么工作的问题。而在确定什么时间做工作时基本都是采用如下步骤:

- (1) 确定影响维修/检查的有效评价指标;
- (2) 对各指标进行等级确定并把所有指标等级进行融合形成综合指标等级;
- (3) 利用综合指标等级与维修间隔关系表确定维修工作的间隔。

显然,综合指标等级的确定方法以及综合指标等级与维修间隔关系表就成为制定合适维修间隔的基础^[1-2]。而对于国内民机制造商来说,由于起

收稿日期: 2018-08-27; **修订日期:** 2018-11-19

通信作者: 吴昊,男,博士,高级工程师, E-mail: wuhaol@comac.cc。

引用格式: 吴昊. 基于粗糙集的案例推理在民机结构 MSG-3 分析中的应用[J]. 南京航空航天大学学报, 2019, 51(3): 403-409. WU Hao. Civil Aircraft MSG-3 Analysis Based on Rough Set and Case Based Reasoning[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2019, 51(3): 403-409.

步较晚,尚无成熟的经验数据来确定各指标等级与综合指标等级的转换以及综合指标等级与维修间隔的转换表,从而出现完全照搬国外相似机型方法的现象^[3-4]。分析过程中,各指标权重受主观判断的影响较大,为了减少这种主观性,应用粗糙集理论^[5-6]中决策表属性的信息熵可以避免这种影响。吴昊等^[7-8]建立偶然损伤分析的指标评定体系,利用粗糙集理论改进的层次分析法(Antalytic hierarchy process, AHP)方法确定各个指标权重,从而科学地计算出损伤总等级,进而确定损伤检查间隔期。近年来,基于案例的推理较好地解决了缺乏经验数据的问题。刘明等^[9]依据MSG-3思想,提出了基于规则推理(Rule based reasoning, RBR)和案例推理(Case based reasoning, CBR)相结合的民航维修大纲制订方法,构建了民航维修大纲专家系统的总体框架,并对案例的表示和组织、案例的检索、集成推理技术和案例的修正与存储进行了详细分析和研究。李青等^[10]讨论了飞机故障案例库的构建、案例表达、案例检索、匹配、案例修改和维护等关键技术,并将CBR方法应用于飞机故障诊断和维修决策支持。Cheng等^[11]把基于案例的推理技术应用于武器装备以可靠性为中心的维修分析(Reliability centered maintenance, RCM)过程,通过对相似案例的修改,类似的RCM分析任务被简化,提高了RCM分析效率。吴昊^[12]采用了基于案例推理技术的方法来确定系统部件维修间隔,在案例知识的表达和案例的调整做了重点研究。

目前的研究尽管取得了许多成果,但是适用于民用飞机结构偶然损伤维修任务与间隔确定方法基本处于空白状态。因此,本文在参考以上文献的基础上结合民用飞机结构偶然损伤分析的特点提出一个适用于民用飞机结构偶然损伤维修任务和间隔确定的方法,并利用实例进行了验证分析,结果充分表明了方法的正确性和对民用飞机MSG-3分析的适用性。

飞机结构可能受外来物体接触或碰撞,或不适当的使用或维修活动引起的损伤影响。偶然损伤是由一些偶然事件出现引起的而导致结构固有剩余强度降低的损伤。在飞机的寿命期内偶然损伤出现的概率都是不变的。在工程中,重要结构项目(Structure significant item, SSI)的偶然损伤任务和间隔分析过程如图1所示。其中需要对可见性、敏感性、剩余强度及可能性等4个因素进行评价,然后通过各个飞机制造商以及营运人的使用经验,确定该SSI的维修任务和维修间隔。本文所提出的基于粗糙集的案例推理在民用飞机结构MSG-3分析主要解决该分析流程中的两个难点:(1)4个因

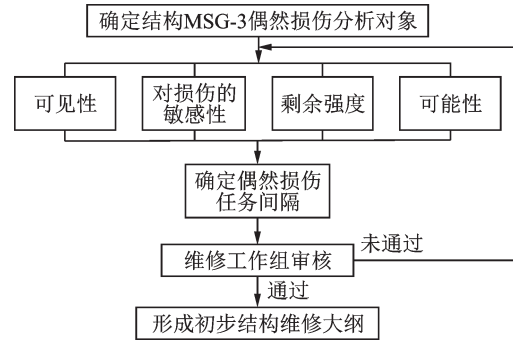


图1 偶然损伤任务和间隔分析过程

Fig.1 Accidental damage analysis process

素的指标如何融合。(2)已有的经验如何用来确定维修任务和间隔。针对难点1,本文拟用基于粗糙集的权重分配来解决指标的融合。针对难点2,本文拟用案例推理的方法来确定维修间隔确定。

1 基于粗糙集的权重分配

一个决策表系统 S 可以表示为: $S=\langle U, R, V, f \rangle$,其中, U 是对象的集合,也称为论域, $R=C \cup D$ 是属性集合,子集 C 和 D 分别称为条件属性集和结果属性集, $V=\cup V_r$ 是属性值的集合, V_r 表示属性 $r \in R$ 的属性值范围,即属性 r 的值域, $f:U \times R \rightarrow V$ 是一个信息函数,它指定 U 中每一个对象 X 的属性值。

对于每个属性子集 $B \subseteq R$,定义一个不可分辨二元关系(不分明关) $IND(B)$,即 $IND(B)=\{(x, y) | (x, y) \in U \times U, \forall b \in B(b(x)=b(y))\}$ 。显然, $IND(B)$ 是一个等价关系, $IND(B)=\cap IND(\{b\})$ 。设 U 为一个论域, P 和 Q 为 U 上的两个等价关系簇(属性集),可以认为 U 上任一等价关系簇是定义在 U 上的子集组成的 σ 代数上的一个随机变量,其概率分布可通过如下方式确定。

定义1 设 P, Q 在 U 上导出的划分分别为 X 和 $Y, X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}, Y=\{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$,则 P, Q 在 U 的子集组成的 σ 代数上的概率分布为

$$(X:p)=\begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \cdots & X_n \\ p(X_1) & p(X_2) & \cdots & p(X_n) \end{bmatrix}$$

$$(Y:p)=\begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 & \cdots & Y_m \\ p(Y_1) & p(Y_2) & \cdots & p(Y_m) \end{bmatrix}$$

式中: $p(X_i)=|X_i|/|U|, i=1, 2, \dots, n; p(Y_j)=|Y_j|/|U|, j=1, 2, \dots, m; |X_i|, |Y_j|, |U|$ 表示该集合包含元素的个数,称为集合的基数或势。

定义2 属性集合 P 的熵定义如下

$$H(P)=-\sum_{i=1}^n p(X_i) \lg(p(X_i)) \quad (1)$$

定义3 属性集合 $Q(U|IND(Q)=\{Y_1, Y_2, \dots,$

Y_m)相对于属性集合 $P(U|IND(P)=\{X_1, X_2, \dots, X_n\})$ 的条件熵 $H(Q|P)$ 定义如下

$$H(Q|P) = - \sum_{i=1}^n p(X_i) \sum_{j=1}^m p(Y_j|X_i) \lg(p(Y_j|X_i)) \quad (2)$$

定义4 设 $S = \langle U, R, V, f \rangle$ 是一个决策表系统,其中 $R = C \cup D$, C 为条件属性集合, D 为决策属性集合且 $A \subset D$, 则对于任意属性 $a \in C \setminus A$ 的重要性 $SGF(a, A, D)$ 定义为

$$SGF(a, A, D) = H(D|A) - H(D|A \setminus \{a\}) \quad (3)$$

$SGF(a, A, D)$ 的值越大,说明在已知 A 的条件下,属性 a 对于决策 D 就越重要。

通过上述方法可求得各个因素的重要度。然后由各个因素的重要度构造成层次分析法的判断矩阵。最后通过求解判断矩阵的最大特征值及其特征向量确定出各个因素的权重。

2 基于案例推理的MSG-3分析

2.1 基于案例的推理

由于民用飞机之间存在相似性,不管是同一制造商的飞机还是不同制造商研制的飞机之间都存在不同程度的相似性。因此,可以从相似机型的维修任务分析经验中发现解决当前维修任务分析问题的线索。而基于案例的推理就是指借用旧的事

例或经验来解决新的问题。这一思想与基于案例推理方法的思想是一致的。本文把基于案例推理方法应用于民机的MSG-3分析。基于案例的推理由案例库和案例推理过程两部分组成,包括案例表示、案例检索、案例修改和案例学习组成。

2.2 案例表示

基于案例推理的效率和案例表示紧密相关。案例表示涉及这样几个问题:选择什么信息存放在一个案例中;如何选择合适的案例内容描述结构;案例库如何组织和索引。对于那些数量达到成千上万,而且十分复杂的案例,案例组织和索引问题很重要。

本文案例表示就是对MSG-3分析案例尽可能地进行详细地描述,由问题的描述部分和解决方案构成。MSG-3分析案例的问题描述部分由结构的基本特征信息组成,如:①SSI基本描述属性,包括制造商、章节、支线/干线、区域、发动机布局等等;②SSI任务分析过程属性,包括可见性、敏感性、剩余强度及可能性的评价等级、维修任务类型和维修任务间隔。

通过以上的特征属性,可以针对获取的飞机结构MSG-3分析案例记录建立分析案例库。以某机型54章短舱/吊挂结构为例,案例详细描述如表1所示,其中包括了案例的主要特征。

表1 目标案例的主要属性

Tab.1 Main factors of target case

分析对象	定性属性				定量属性				
	支线/干线	发动机布局	制造商	章节	区域	可见性	敏感性	剩余强度	可能性
上拉杆	干线	翼吊	B	54	431	2	2	1	2

2.3 案例检索

案例的检索和选择是CBR系统的一个关键的步骤,基于“维修工作和对象”相似案例的选择包括检索和选择两部分,比较长用的案例检索方法有:最近邻法、归纳索引法、知识导引法,本文采用近邻匹配法计算案例相似度,案例的相似度定义如下

$$s(T, C) = \sum_{i=1}^n k_i s_i(T, C) \quad (4)$$

式中: T 表示目标问题, C 表示检索到的相似案例, $s(T, C)$ 为案例总体相似度, k_i 表示第 i 种特征的权重, $s_i(T, C)$ 第 i 种特征的相似度。

本文案例的所有属性分为3类:①章节、区域、制造商;②支线/干线和发动机布局;③SSI任务分析过程属性。

第1类和第2类属性属于定性描述,因此相似度采用直接字符串匹配算法,如果目标问题和案例关于上述同一属性的文本一样时,属性相似值为

1,否则为0。

第3类属性属于定量描述,因此中可见性、敏感性、剩余强度及可能性评价特征相似度采用各属性相似度的加权,如下式所示

$$s_3(T, C) = \sum_{j=1}^m \omega_j s_j(T, C) \quad (5)$$

式中: $s_3(T, C)$ 为案例第3类属性的总体相似度, ω_j 表示第 j 种特征的权重, $s_j(T, C)$ 第 j 种特征的相似度。

同时,考虑到定量属性值大小范围的不容易确定,因此采用公式

$$s_j(T, C) = 1 - \frac{|a_{Tj} - a_{Cj}|}{\text{MAX}_j - \text{MIN}_j} \quad (6)$$

式中: ω_j 表示第 j 种特征的权重, $s_j(T, C)$ 第 j 种特征的相似度, a_{Tj} 和 a_{Cj} 分别表示目标问题 T 和案例 C 关于属性的 j 属性值, MAX_j 和 MIN_j 分别表示在所有案例中(包括目标问题),第 j 个属性的最大值和最小值。

2.4 案例修改

通过案例检索,得到了按相似度降序排列的候选案例集,MSG-3分析人员可以选择相似度高的一个或几个案例作为参考。所选出的MSG-3分析案例与待分析结构案例之间往往存在或多或少的差异,无法直接应用,需要适当的调整。通过调整,可以认为目标问题和案例之间的相似就是问题间隔和案例间隔之间的相似。对选择出来的案例,重新计算属性相似度,公式如下

$$s(a_i^T, a_i^P) = 1 - \frac{a_i^T - a_i^P}{a_i^T} \quad (7)$$

2.5 任务确定

案例的维修任务选择模型采用零修改策略:如果相似案例的维修任务类型各不相同,则选择相似度最高的案例的维修任务类型。否则,选择维修任务类型占多数的维修工作类型。表示如下

$$\text{task} = \begin{cases} \text{MAX}(S_{T,P_i}) \\ \text{task}_i \neq \text{task}_j, i \neq j, 1 \leq i, j \leq n \\ \text{Majority}(\text{task}_i) \text{ 其他} \end{cases} \quad (8)$$

式中:task_i≠task_j表示案例*i*和*j*有不同的维修任务类型;MAX(*S_{T,P_i}*)

2.6 间隔确定

目标案例的维修间隔计算方法如下

$$\begin{cases} I' = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_j \\ I_j = \frac{I_j^p}{S(T, P_j)} \end{cases} \quad (9)$$

式中:*I_j*表示由第*j*个案例得出的间隔值;*I_j^p*表示第*j*个案例的间隔值;*S(T, P_j)*表示案例*P_j*和问题*T*的相似度。

3 实例分析

本文选取737MAX飞机的54章短舱/吊挂结构为例进行实例分析。

3.1 偶然损伤评价指标的权重分配

首先根据图1中分析内容,根据工程人员经验,可以设计如表2所示的决策表。

表2中:*a, b, c, d, e*分别表示可见性、敏感性、剩余强度、可能性和检查间隔。值0, 0.5, 1, 1.5, 2的含义:对可见性和剩余强度准则,分别表示“低”、“较低”“中”“较高”“高”,对敏感性和可能性准则,分别对应“高”“较高”“中”“较低”“低”。表2中有20个不同的例子,工程人员都分别给出检查间隔,

表2 可见性、敏感性、剩余强度和可能性的决策表

Tab.2 Visibility, sensibility, residual strength and likelihood decision

<i>U</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
1	0	1	1	0	2000FC
2	1	0	0	0	1000FC
3	1	1	1	0	4000FC
4	1	1	1	1	8000FC
5	2	1	2	1	16000FC
6	2	2	2	2	16000FC或更长
7	2	1	1	1	16000FC
8	1	2	2	2	16000FC
9	0	2	1	0	4000FC
10	0	0	1	0	1000FC
11	0	1	1	1	4000FC
12	2	1	0	1	8000FC
13	1	2	1	0	8000FC
14	1	1	0	0	2000FC
15	1	2	1	2	16000FC
16	2	1	2	2	16000FC
17	1	0.5	1.5	1.5	8000FC
18	0	2	1	1	8000FC
19	1	0	2	2	16000FC
20	2	0	1	0	4000FC

“1000FC”表示“该组件的偶然损伤检查间隔为1000FC”。根据表1,可通过以下过程计算可见性、敏感性、剩余强度和可能性这4个因素在间隔决策中的重要度。

$$U|IND = \{\{1\}, \{2\}, \{3\}, \{4\}, \{5\}, \{6\}, \{7\}, \{8\}, \{9\}, \{10\}, \{11\}, \{12\}, \{13\}, \{14\}, \{15\}, \{16\}, \{17\}, \{18\}, \{19\}, \{20\}\}$$

$$U|IND\{a\} = \{\{1, 14\}, \{2, 10\}, \{3, 9, 11, 20\}, \{4, 12, 13, 17, 18\}, \{5, 7, 8, 15, 16, 19\}, \{6\}\} = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6\}$$

$$U|IND\{b, c, d\} = \{\{1, 3\}, \{2\}, \{4, 7, 11\}, \{5\}, \{6, 8\}, \{9, 13\}, \{10, 20\}, \{12\}, \{14\}, \{15\}, \{16\}, \{17\}, \{18\}, \{19\}\} = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}\}$$

$$p(X_1) = 2/20, p(Y_1|X_1) = 1/2, p(Y_3|X_1) = 1/2$$

$$p(X_2) = 1/20, p(Y_1|X_2) = 1$$

$$p(X_3) = 3/20, p(Y_3|X_3) = 1/3, p(Y_4|X_3) = 1/3,$$

$$p(Y_5|X_3) = 1/3$$

$$p(X_4) = 1/20, p(Y_5|X_4) = 1$$

$$p(X_5) = 2/20, p(Y_5|X_5) = 1/2, p(Y_6|X_5) = 1/2$$

$$p(X_6) = 2/20, p(Y_3|X_6) = 1/2, p(Y_4|X_6) = 1/2$$

$$p(X_7) = 2/20, p(Y_2|X_7) = 1/2, p(Y_3|X_7) = 1/2$$

$$p(X_8) = 1/20, p(Y_4|X_8) = 1$$

$$p(X_9)=1/20, p(Y_1|X_9)=1$$

$$p(X_{10})=1/20, p(Y_5|X_{10})=1$$

$$p(X_{11})=1/20, p(Y_5|X_{11})=1$$

$$p(X_{12})=1/20, p(Y_4|X_{12})=1$$

$$p(X_{13})=1/20, p(Y_4|X_{13})=1$$

$$p(X_{14})=1/20, p(Y_5|X_{14})=1$$

$$SGF(a, \{b, c, d\}, \{e\}) = H(\{e\}|\{b, c, d\}) - H(\{e\}|a, b, c, d) =$$

$$-\left[\frac{2}{20} \times \left(\frac{1}{2} \lg \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \lg \frac{1}{2} \right) \right] \times 4 - \frac{3}{20} \times \left(\frac{1}{3} \lg \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \lg \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \lg \frac{1}{3} \right) = 0.192$$

上式求得因素可见性的重要度为 0.192, 通过重复上述过程, 可得到敏感性、剩余强度和可能性的重要度分别为 0.221, 0.0716, 0.1505。

由可见性、敏感性、剩余强度和可能性 4 个因

素的重要度构造成的判断矩阵 A 。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1.1568 & 0.3729 & 0.7839 \\ 0.8645 & 1 & 0.3224 & 0.6776 \\ 2.6816 & 3.1020 & 1 & 2.1020 \\ 1.2757 & 1.4757 & 0.4757 & 1 \end{bmatrix}$$

A 的最大特征值 $\lambda_{\max}=3$, 由 $C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ (n 为判断矩阵的秩) 可知: 判断矩阵 A 的 $C.I.$ 为 0。说明判断矩阵 A 有良好的一致性, 本文的改进的 AHP 方法可构造出具有良好一致性的判断矩阵。 A 的特征向量值分别为 0.1718, 0.1485, 0.4606, 0.2191。分别对应于可见性、敏感性、剩余强度和可能性这 4 个因素在确定总等级时各自的权重。

3.2 基于案例推理的分析

目标案例的主要属性如表 1 所示。通过对案例库的检索, 得到与目标案例 MSG-3 分析相关的案例信息如表 3 所示。

表 3 相似案例的主要属性

Tab.3 Main factors of similar cases

案例号	定性属性					定量属性				案例分析结果	
	支线/干线	发动机布局	制造商	章节	区域	可见性	敏感性	剩余强度	可能性	任务类型	任务间隔
1	干线	翼吊	A	54	415/425	2	1	2	1	DET	24000FC 42000FH
2	干线	翼吊	A	54	425	2	1	2	1	DET	72MO 30MO
3	干线	翼吊	B	54	431/441	2	2	1	1	GVI	9000FC
4	干线	翼吊	B	54	507	2	2	1	1	DET	15MO
5	干线	翼吊	B	54	400	2	2	2	1	DET	28000FC 5250DY
6	干线	翼吊	B	54	431	2	2	2	2	DET	12000FC 6YRS
7	干线	尾吊	B	54	412/422	2	2	2	1	GVI	90MO
8	支线	尾吊	C	54	400	2	2	2	1	DET	8YRS
9	支线	尾吊	C	54	400	2	2	2	1	DET	8YRS
10	支线	翼吊	E	54	419/429	2	2	1	1	GVI	12693FC

根据经验本文定性属性和定量属性的权重分别占 20% 和 80%。因此, 定性属性的权重分别如下: 支线/干线 0.3、发动机布局 0.2、制造商为 0.3、章节为 0.1、区域 0.1。定量属性权重分别如下: 可见性为 0.17, 敏感性为 0.15, 剩余强度为 0.46, 可能性为 0.22。根据 2.3 中方法, 计算目标案例其属性相似度, 如表 4 所示。

根据专家意见确定一个比较合理可靠的相似度阈值, 对本文相似案例进行筛选。本文实例选取相似度大于 0.5 的案例。因此, 案例 1, 2, 3, 4 和 10 被保留。

通过以上的选择的方法把相似案例选择出来

后, 可以认为目标问题和案例之间的相似就是问题间隔和案例间隔之间的相似。对选择出来的案例, 利用公式(7)重新计算属性相似度如表 5 所示。

根据 2.6 中方法, 该 SSI 项目上拉杆的维修任务为: 详细检查(Detailed inspection, DET)上拉杆。

根据公式(9)计算, 并进行数据归整处理, 得到该项目的维修间隔为 17000FC/42MO。

3.3 结果比较

根据上述计算结果可以得出, 该 SSI 的维修任务和间隔如下: 详细检查上拉杆, 维修间隔为 17000FC/42MO。实际 737MAX 机型该 SSI 的维修任务和间隔如下: 详细检查上拉杆, 维修间隔为,

表4 案例相似度

Tab.4 Similarity of cases

案例号	定性属性分析结果						定量属性分析结果						案例 总体 相似度
	支线/ 干线	发动机 布局	制造商	章节	区域	相似度 (20%)	可见性	敏感性	剩余 强度	可能性	综合损 伤等级	相似度 (80%)	
1	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	0.14	2	1	2	1	1.625	0.440	0.58
2	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	0.14	2	1	2	1	1.625	0.440	0.58
3	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	0.20	2	2	1	1	1.325	0.800	1.00
4	0.3	0.2	0.3	0.1	0.0	0.18	2	2	1	1	1.325	0.800	0.98
5	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	0.20	2	2	2	1	1.775	0.267	0.47
6	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	0.20	2	2	2	2	2.000	0.000	0.20
7	0.3	0.0	0.3	0.1	0.1	0.16	2	2	2	1	1.775	0.270	0.43
8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.04	2	2	2	1	1.775	0.270	0.31
9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.04	2	2	2	1	1.775	0.270	0.31
10	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.08	2	2	1	1	1.325	0.800	0.88

表5 改写后的案例属性相似度

Tab.5 Similarity of modified cases

案例号	定性属性分析结果						定量属性分析结果						案例 总体 相似度
	支线/ 干线	发动机 布局	制造商	章节	区域	相似度 (20%)	可见性	敏感性	剩余 强度	可能性	综合损 伤等级	相似度 (80%)	
1	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	0.14	2	1	2	1	1.625	0.84	0.98
2	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	0.14	2	1	2	1	1.625	0.84	0.98
3	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	0.20	2	2	1	1	1.325	0.68	0.88
4	0.3	0.2	0.3	0.1	0.0	0.18	2	2	1	1	1.325	0.68	0.86
10	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.08	2	2	1	1	1.325	0.68	0.78

9000FC/48MO。采用本文计算方法,其飞行循环结果偏差较大一点,这个主要是因为案例1中,A公司该型号飞机和B公司目标机型的在此处损伤防护设计理念对飞机飞行循环以及飞行日历时间的敏感性差异较大。但由于要保证航空器对安全性的要求,消除可能存在的安全隐患,在该SSI项目对应维修间隔的选择上,因按42MO这个更小的维修间隔安排维修工作。因此采用本文模型给出的维修任务和维修间隔是切实有效且能保证飞机安全的。

4 结 论

(1) 在缺乏数据积累的国产民机背景下,本文提出了一种基于案例推理的民用飞机结构MSG-3分析方法。

(2) 采用基于粗糙集的AHP权重评判方法代替了过去的矩阵转化或者求和法的做法,对结构MSG-3分析的特征权重进行了合理分配,改进了案例检索效果。

(3) 通过详细的实例进行验证。结果表明,本文提出的民用飞机结构维修任务与维修间隔确定方法是科学、有效的。

参 考 文 献:

- [1] 左洪福,蔡景,吴昊,等. 航空维修工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
ZUO Hongfu, CAI Jing, WU Hao, et al. Aviation maintenance engineering[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [2] Air Transport Association of America. MSG-3 Operator/Manufacturer scheduled maintenance development[M]. USA: [s.n.], 2007.
- [3] Boeing Company. BOEING 737-600/700/800 maintenance program development policy and procedures handbook[M]. USA: Boeing Company, 1996.
- [4] Airbus Company. A318/A319/A320/A321 maintenance program development policy and procedures handbook[M]. Germany: Airbus Company, 2001.
- [5] 王国胤. 粗糙集理论与知识获取[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001: 14-21, 123-133.
WANG Guoyin. Rough set theory and knowledge acquisition[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001: 14-21, 123-133.
- [6] 石峰, 娄臻亮, 张永清. 一种改进的粗糙集属性约简启发式算法[J]. 上海交通大学学报, 2002, 36(4): 478-481.

- SHI Feng, LOU Zhenliang, ZHANG Yongqing. A modified heuristic algorithm of attribute reduction in rough set[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2002, 36(4): 478-481.
- [7] 吴昊. 民用飞机规划维修技术理论及应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.
- WU Hao. Research on theory and application of civil aircraft maintenance planning [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2009.
- [8] 吴昊, 左洪福, 孙伟. 基于改进 AHP 的民机结构偶然损伤检查间隔的研究[J]. 飞机设计, 2008, 28(3): 57-61.
- WU Hao, ZUO Hongfu, SUN Wei. A study on the accidental damage inspection intervals of aircraft structure based on the improved AHP[J]. Aircraft Design, 2008, 28(3): 57-61.
- [9] 刘明, 左洪福, 耿端阳, 等. 基于 RBR 与 CBR 的维修大纲专家系统[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(5): 522-523.
- LIU Ming, ZUO Hongfu, GENG Duanyang, et al. Expert system of maintenance review board report based on CBR and RBR[J]. Journal of Beihang University of Aeronautics and Astronautics, 2006, 32(5): 522-523.
- [10] 李青, 史雅琴, 周扬. 基于案例推理方法在飞机故障诊断中的应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(5): 622-626.
- LI Qing, SHI Yaqin, ZHOU Yang. CBR methodology application in fault diagnosis of aircraft[J]. Journal of Beihang University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(5): 622-626.
- [11] CHENG Zhonghua, JIA Xisheng, GAO Ping, et al. A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2008, 93(6): 806-814.
- [12] 吴昊. 基于案例推理的民用飞机系统维修间隔确定方法研究[J]. 航空维修与工程, 2011(4): 55-57.
- WU Hao. A study on determine the maintenance task interval of civil aircraft system base on CBR[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2011(4): 55-57.

(编辑:张蓓)