

文章编号: 1673-4599(2011)05-0046-05

一种民用飞机结构维修大纲的制定方法

柏文华, 左洪福, 吴静敏, 刘明

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 飞机在运营之前必须制定出维修大纲。根据新研民用飞机缺少使用数据和使用经验的情况, 依据类似机型结构维修大纲的制定经验, 同时结合维修指导小组思想, 提出案例推理的方法, 制定新研机型的结构维修大纲。以案例推理为基础构建了结构维修大纲制定的方法。运用基于案例推理的方法制定出了结构维修大纲, 得到结构的维修任务和维修间隔, 推理结论与实际一致。实例验证表明: 提出的基于案例推理制定结构维修大纲的方法合理有效, 为新研机型的结构维修大纲制定提供了一种有效的方法。

关键词: 维修大纲; 案例推理; MSG思想; 结构; 重要结构项目

中图分类号: E237

文献标识码: A

Study on Making Method of Civil Aircraft's Maintenance Review Board Report Based on CBR

BAI Wen-hua, ZUO Hong-fu, WU Jing-min LIU Ming

(Civil Aviation College, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,
Nanjing 210016, China)

Abstract: The maintenance review board report(MRBR) must be made before civil aircraft's operation. According to the status of lack of the used datas and experience, the method to make the structure MRBR was proposed for developing civil aircraft on the basis of Similar aircraft's experience and maintenance steering group conception. The method of making structure MRBR is based on the case-based reasoning(CBR) and structure MRBR was made, the maintenance tasks and maintenance interval were obtained consistent with the actual. The example proves the method of CBR to make structure MRBR validity and effective.

Key words: maintenance review board report; case-based reasoning; maintenance steering group conception; structure; structural significant Item

维修大纲是保持民用飞机持续适航的基本文件, 是由工业指导委员会组织和指导, 任务组制定, 维修审查委员会审查、批准或认可的主要持续适航文件之一; 是飞机承运人用于制定维修方案和工卡的主要依据^[1]。

航空基础雄厚的波音、空客以飞机运行数据、维修数据等研究经验为基础对大纲进行确定, 维修任务以及维修间隔逐步改善使得维修方案趋向完善^[2]。当前我国新型客机维修大纲的建设没有历史使用数据和使用经验, 可以采用类似

机型数据解决数据缺失的问题。CBR (Case-Based Reasoning) 方法就是以研究类似机型数据作为维修大纲制定的基础, 相似性研究是CBR进行维修大纲制定的基础, CBR的基本原则是“相同或者相似问题会重复发生”, 主要适用于经验丰富、问题复杂和需要进行多属性决策的应用领域^[3]。

制订有效的飞机结构维修大纲, 在飞机的使用寿命期内, 以探测和预防由疲劳、环境恶化、或偶然损伤引起的结构恶化。当前国际上大中型民用飞机结构维修大纲都是按照MSG (Maintenance Steering Group) 思想制定的。MSG思想是世界民航界公认的民用航空器维修思想, 当前世界的大中型飞机都是以MSG思想制定的结构维修大纲^[4], 因此新型客机应该以MSG最新思想为基础, 结合相似案例制定结构维修大纲是相对可行的方法。

文中首先对以MSG-3思想为基础的结构维修大纲制定的框架进行了研究, 对CBR方法中的案例检索、案例学习、案例修正进行了研究; 采用基于案例推理的方法结合维修大纲思想确定重要维修项目, 以及重要维修项目的维修任务和维修间隔。实例分析表明提出的基于案例推理的方法辅助制定结构维修大纲是有效的。

1 民用飞机结构维修大纲制定技术

按照最新的MSG-3思想, 维修大纲分为系统/动力装置、结构、区域和闪电/高强度辐射四部分, 四部分相互联系组成维修大纲主体。本文以CBR方法为基础制定结构维修大纲。

根据MSG-3思想, 结构维修大纲的制定过程如下(如图1):

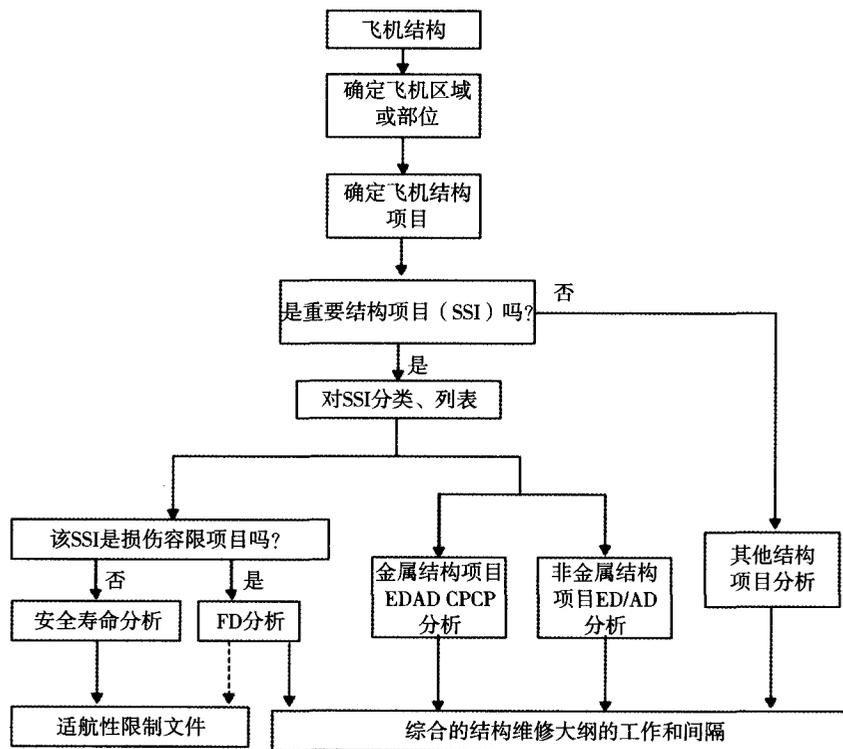


图1 结构维修大纲制定过程

(1) 确定飞机结构项目: 任何一个对飞行运输、着陆、压力或者控制承载以及其故障对飞机安全性的结构完整性有着显著影响的结构附件、零件或者组件, 我们称之为“重要结构项目” (Structural Significant Item, SSI)。而不符合以上描述的结构我们把它称为“其他结构”。对于SSI进一步划分为3类。把即使有明显的故障也能维持

正常承载的SSI归为种类2, 把需要制订定时检查大纲来维持其结构完整性的SSI归为种类3, 进行安全裂纹检查不能保证安全性要求的SSI称之为“安全寿命”的SSI归为种类4 (把次要/其他结构件归为种类1)。

(2) 针对确定飞机重要结构项目进行相对应的环境损伤、偶然损伤、疲劳损伤以及腐蚀预防

控制分析。针对非损伤容限的金属结构项目进行ED (Environmental Deterioration) /AD (Accidental Damage) /CPCP (Corrosion Prevention and Control Program) 分析, 针对非金属结构项目进行ED/AD分析; 对损伤容限项目进行FD(Fatigue Damage)分析, 对于非损伤容限项目而影响安全寿命项目的放入适航性限制文件。

(3) 对重要结构项目进行相对应的程序分析之后确定其对应的工作任务和维修间隔; 对于其他结构项目直接确定维修任务和维修工作间隔。

(4) 综合考虑每个飞机结构项目的维修任务和维修间隔, 确定飞机结构系统的维修工作和时间间隔, 确定结构系统的维修大纲。

2 基于CBR方法的维修大纲制定过程

CBR方法推理是一个不断循环的过程。CBR维修大纲预测流程主要分为4个步骤^[5](如图2):

(1) 案例检索: 将国内外大中型民用飞机的设计参数、使用历史数据、试验数据(包括结构维修工作设置、维修工作间隔等)作为案例建设案例库。当有新型飞机设计参数输入时, 按照相似算法与案例库中案例进行相似性计算, 然后将匹配的相似度排序, 最后根据设计的阈值选择相似度大于阈值的案例作为案例库案例群。

(2) 案例调整: 调整是指根据新旧案例的相似程度, 选择最匹配的案例, 判断旧案例是否和待解决的问题完全相符。根据匹配结果和领域知识, 利用一种调整算法可以得到新型飞机的维修任务和维修间隔的预测值。

(3) 案例修正: 修正是指提出的解决方案通过仿真或实际应用后会得到检验, 利用检验后的结果修正原来的解决方案。新机运营之后根据验证调整维修任务和维修间隔的预测值。

(4) 案例学习: 学习是指从成功或失败的案例中学习, 为将来解决新的问题提供基础。将验证后的维修任务和间隔的修正值作为新的案例存入案例库, 增加案例库容量。

由上面对CBR理论的推理应用可以看到: CBR的思想与我们的需求是非常相符的。只要将新旧飞机的结构项目的维修任务和间隔情况以案例的方式进行存储, 就可以利用CBR的理论根据多个类似机型的维修任务和间隔对新型飞机的维修大纲做出预测。这样, CBR理论本身所具有的

合理性、准确性以及增量式学习等功能也就可以继承下来。

3 基于CBR的维修大纲制定关键技术

3.1 案例的表述

案例表述是CBR预测维修工作和维修间隔的基础。在CBR预测系统内新型飞机维修大纲预测问题中一种机型就是一个案例, 并且案例的属性(主要是设计参数以及经验数据)基本上是数值, 所以采用数据库式结构表达方式, 即一种机型就是数据库中的一条记录, 字段代表了各种属性, 主键就是机型名称。考虑到案例属性比较多, 选择层次结构表达方式存储。于是, 维修大纲预测的案例模型可以表示为:

$$\text{Case} = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, M_1, M_2) \quad (1)$$

其中: $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{in})$ 代表第*i*个属性类, 由*n*个属性组成; a_{ij} 表示第*i*个属性类的第*j*个属性; 当属性层次比较多时, 第*i*个属性类还可以包括子属性类, 子属性类再包括若干属性; M_1, M_2 代表本案例的维修任务和维修间隔。

3.2 案例的检索

目前, 基于类的权重相似算法已有20余种^[6]。这些方法基本上可以分为基于距离的和非基于距离的两类, 其中基于距离的相似算法最为常见, 可以用以下通式表示:

$$\text{SIM}(x, y) = 1 - \text{DISS}(x, y) \quad (2)$$

其中: $\text{SIM}(x, y)$ 表示*x*和*y*之间的不相似程度(也就是距离), 通常处于[0, 1]之间。这种相似度计算方法往往用来表示属性之间相似程度, 如果要表示案例之间的相似度, 就要考虑不同属性的重要度, 即:

$$\text{SIM}(X, Y) = \sum_{i=1}^n w_i \text{SIM}(x_i, y_i) \quad (3)$$

其中: w_i 表示第*i*个属性的权重, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$; $\text{DISS}(x_i, y_i)$ 表示案例*X*和案例*Y*的第*i*个属性间的相似度。

案例的检索和选择采用的检索算法是基于类别的权重相似算法: 首先利用案例的分类信息进行分类检索, 确定案例所在的类别, 然后在同属一类的案例集中进行最近邻匹配, 找到相似度最高的范例。它的计算公式为:

$$S(C_i) = R_i \sum_{j=1}^m w_j S(C_{ij}) \quad (4)$$

其中： $S(C_i)$ 表示第*i*个案例和目标问题综合相似度； R_i 表示类别权重，

$$R_i = \begin{cases} 1 & \text{案例和}i\text{类问题同类别} \\ 0.5 & \text{案例和}i\text{类问题不同类别} \end{cases}$$

w_j 为第*j*个属性在参与匹配检索的属性中占的权重， $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ ，根据工程经验确定 w_j ； $S(C_{ij})$ 表示第*i*个旧案例的第*j*个属性指标与问题的第*j*个属性指标相似度。

(1) 初步匹配时的相似性

初步匹配的目的在于从案例库中找出与新机型尽可能相类似的机型，缩小搜索范围，提高搜索速度。经过对案例库中所有机型做维修大纲的影响因素分析，可以选择类似机型的主要属性包括：飞机的布局、运行环境、最大起飞质量、发动机参数（海平面起飞推力和发动机类型）等^[7-9]。其具体匹配过程如下：利用基于类的权重的相似算法，首先由发动机数量和海平面起飞推力得到发动机参数相似性，再结合发动机类型权重，得到发动机相似性，然后由发动机、座位数、最大起飞质量和巡航速度的相似性获得飞机参数的相似性，最后结合飞机类型权重，得到飞机的相似性。得到所有机型与新机的相似性之后，就可以按相似度大小将案例排序。设定阈值 T 为 0.95，这样就能筛选出与新机比较相似的机型，利用这些机型就能预计新机的维修任务和间隔。经过对多种机型的测试，初步匹配的属性层次

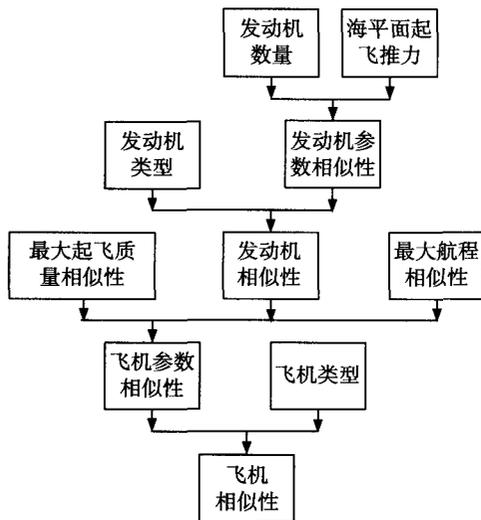


图2 初步匹配属性层次

次如图2。

(2) 详细匹配时的相似性

详细匹配的目的在于初步匹配的基础上，从类似机型中进一步匹配出最相似的SSI，最终得到案例的相似性。案例的问题描述属性包括：飞机相似性和SSI相似性。飞机相似性在初步匹配时已经得出，SSI相似性包括：名称、ATA号、供应商、组成、式样、位置、特征参数和MSG分析信息。案例的结论部分则是SSI的维修工作和维

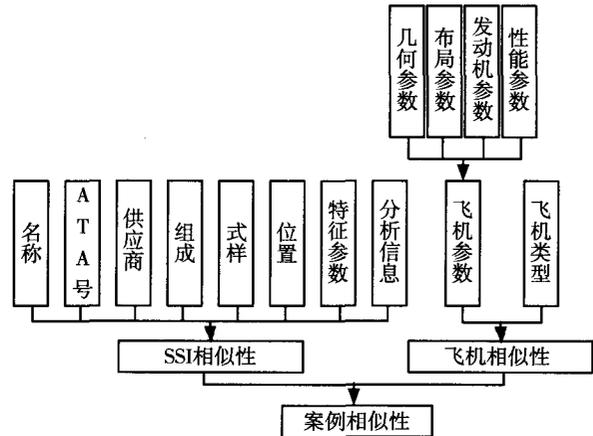


图3 详细匹配属性层次

修间隔。详细匹配的属性层次见图3。

3.3 案例的修正与存储

用CBR方法制定维修大纲，因为不存在完全相似的案例，并且几种案例可能都是值得借鉴的。当检索出的案例与当前问题之间的相似度高与阈值 T 时，进行案例调整，最后的结果存储到案例库中。先由系统工作组人员对维修大纲制订过程中的决策判据进行修改审查，然后由CBR系统根据当前的问题描述与被选案例的差别对被选案例进行自动修改。

4 算例验证

以某航空公司某机型的有关资料作为一个实例，选取某型飞机的机翼的上拉杆/保险销/支撑杆连接为例进行验证。所设置检查工作为：(1) 润滑/勤务 (LU/SV或LUB/SVC)；(2) 使用/目视检查 (OP/VC或OPC/VCK)；(3) 检查/功能检查(IN/FC或*/FNC)，*一般目视检查(GV/GVI)*详细检查 (DI/DET)*特殊详细检查 (SI/SDI)；(4) 恢复 (RS/RST)；(5) 报废 (DS/DIS)。

飞机结构划分见表1，CBR结果见表2，维修工作的结果见表3。

表1是飞机主区域的划分，所有研究的SSI项目

表1 飞机结构SSI划分

主区域	编号	区域内SSI编号	SSI数目
机身	100//200	53-xx-xx	347
机翼	100	57-xx-xx	173
尾翼及48段	300	55-xx-xx, 53-80-xx	133
发动机及其吊舱	400	54-50-xx	78
起落架及其舱门	700	32-xx-xx	9
机身舱门	800	52-xx-xx	13

表2 案例相似度

序号	相似度
1	0.951 3
2	0.942 5
3	0.934 4
4	0.770 1
5	0.742 1
6	0.722 2
7	0.510 9
8	0.500 3
9	0.356 7

所属主区域,区域内SSI项目有各自唯一的编号。

相似度阈值取 $T \geq 0.95$,那么采用案例1预测的维修工作,如表2所示,这样就确定了一个SSI的维修工作和维修间隔,对于其他SSI项目采用相同方法处理得到相应的维修工作和维修间隔,这样得到相关SSI项目的初始结构维修大纲,如表3

表3 基于CBR的结构维修大纲

项目编号	维修任务	维修间隔/FH	工作说明
57-11-43	SVC	8 000 FH(2C)	对机翼上拉杆勤务工作
57-11-35	SVC	8 000 FH(2C)	对上支撑杆联接勤务工作
57-19-13	RST	16 000 FH(4C)	清洁保险销

所示。

验证结果表明:采用基于CBR的结构维修大纲预测得出的SSI维修工作和间隔与实际维修工作和间隔非常一致,证明该预测方法合理适用。

5 结束语

当前我国大型民用飞机研制已经展开,适航要求飞机运营前必须有可用的维修大纲。CBR方法将基于案例推理的技术应用到新型飞机的结构维修任务和维修间隔预计中来,相对简单、快

捷、精度高。解决了新研飞机制定结构维修大纲没有使用数据以及试验数据的问题,为民用飞机维修大纲的制定提供了一个有效途径。

参 考 文 献

- [1] 常士基. 现代民用航空维修工程管理[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 2002. 72-75.
- [2] Hossam A G, Hiroyuki Y, Kazuhiko S, et al. Computer-aided RCM-based plant maintenance management system[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2003, 19(5): 449-458.
- [3] Shiu Simon C K, Pal S K. Case-base reasoning: concepts, features and soft computing[J]. Applied Intelligence, 2004, 21(3): 233-238.
- [4] Air Transport Association: MSG-3 Operator/Manufacturer scheduled maintenance development [S]. U.S.A: Air Transport Association, Inc, 2005. 11-49.
- [5] Rey L M. An exception handling of rule-based reasoning using case-based reasoning [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2002, 35(3): 327-338.
- [6] Liao Shu-Hsien. Expert system methodologies and applications a decade review from 1995 to 2004[J]. Expert Systems with Applications, 2005, 28(1): 93-103.
- [7] 吴静敏, 左洪福. 基于案例推理的直接维修成本预计方法[J]. 航空学报, 2005, 26(2): 190-194.
- [8] Liu Ming, Zuo Hongfu, Ni Xiancun, et al. Research on a case-based decision support system for aircraft maintenance review board report[A]. ICIC2006, LNCS 4113, 1030-1039[C]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [9] Li Yongping, Chen Minye, Liu Ming. Estimation method for aircraft similarity based on fuzziness theory and grey incidence analysis[J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2007, 24(3): 194-198.

作 者 简 介

柏文华(1964—),女;博士研究生;研究方向为维修理论、可靠性工程。

左洪福(1959—),男;教授,博士生导师;研究方向为可靠性工程、维修理论、故障诊断与监控等。

吴静敏(1978—),女,研究方向为航空维修工程,成本管理等。