

# 飞机结构战伤评估与修理决策支持系统中模型库的构建

李曙林<sup>1</sup>, 侯满义<sup>1</sup>, 刘加丛<sup>1</sup>, 李寿安<sup>1</sup>, 刘洋<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 94506 部队, 江苏 苏州 215000)

**摘要:**论述了构成飞机结构战伤评估与修理决策支持系统中模型库的各个单元模型, 根据系统的具体需要构建了模型库, 阐述了该模型库的具体工作逻辑和数据流程及主要特点。

**关键词:**决策支持系统; 模型库; 飞机结构战伤; 战伤评估与修理; 战伤抢修

**中图分类号:** V26 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)02-0001-03

在进行飞机结构战伤评估与修理的过程中, 不仅要用到很多的支持信息, 还需要进行大量的科学计算, 根据损伤信息和计算结果做出一系列的评估和修理决策。由于战伤修理的紧迫性, 这一过程要及时、迅速、可靠, 如果仅靠人工来完成战伤修理的资料查询和科学计算, 势必延误战机。因此, 利用先进的计算机技术和决策支持系统理论, 建立飞机结构战伤评估与修理决策支持系统具有非常重要的意义<sup>[1]</sup>。根据战伤评估与修理过程的特点以及决策支持系统的构造及功能, 从软件组织的角度考虑, 作者对建立飞机结构战伤评估与修理的决策支持系统(ASBDARDSS)做了探索<sup>[2]</sup>, 本文仅就该系统中模型库的构建方法进行分析。

## 1 飞机结构战伤评估与修理的相关模型

飞机结构战伤评估与修理是一个复杂的过程, 需要做出许多决策。首先要收集损伤信息, 确定损伤等级, 然后据此评定战场修复能力, 计算修复工时, 制定相应的修理方案和方法。

按照上述需要, ASBDARDSS 模型库中的单元模型应当包括: 飞机战伤等级判断模型、战伤修理工时计算模型、战伤抢修效能计算模型、结构战伤抢修方案制定模型等。

### 1.1 飞机战伤等级判断模型

综合考虑飞机结构强度、气动和功能等特点, 将飞机结构的损伤分为允许损伤、可修损伤和不可修损伤等类型。其判断原则是: 若损伤不影响战斗能力, 即为允许损伤, 损伤等级为 D 级; 若损伤影响战斗能力但能够在前线修理好, 则损伤等级为 C 级; 若损伤影响战斗能力且在野战条件现有的修理能力下无法修理, 则损伤等级为 B 级; 若损伤根本无法修理, 即为不可修损伤, 损伤等级为 A 级。模型根据损伤信息的输入, 匹配相关知识规则, 根据判断原则进行损伤等级的判断。

### 1.2 战伤修理工时计算模型

考虑许多随机因素的影响, 修正基本工时而得到实际的修理工时, 其计算公式为  $T_z = T + (T_1 - T)S_1 + (T_2 - T)S_2 + \dots + (T_n - T)S_n$ 。式中:  $T_z$  为修理某种损伤需要的总工时;  $T$  为修理某种损伤所需要的基本工时(受修理类型、修理方法的影响);  $T_i$  为修理某种损伤, 某种随机因素在最不利的影响下所需要的工时;  $S_i$  为操作人员熟练程度的影响系数。各参数的统计值见文献[3]。

### 1.3 战伤抢修效能计算模型

考虑损伤情况和给定的修复要达到的飞机的任务能力, 可以按下式计算飞机战伤抢修效能:  $R = M_s PD$

收稿日期: 2005-04-01

基金项目: 军队科研基金资助项目

作者简介: 李曙林(1959-), 男, 河北威县人, 教授, 硕士生导师, 主要从事飞机结构强度、飞机生存力及战伤抢修等。

$$= [m_{s1}, m_{s2}, \dots, m_{sn}] \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_n \end{bmatrix}^0$$

式中: $M_s$  为飞机任务矩阵;  $m_{si}$  为系统状态  $S_i$  能否满足任务要求的取值(能取 1, 否则取 0);  $P$  为战伤抢修飞机的状态转移矩阵;  $P_{ij}$  为抢修前处于状态  $i$ , 抢修后处于状态  $j$  的概率;  $D$  为飞机损伤矩阵;  $D_i$  为处于状态  $i$  的概率。

1.4 结构战伤抢修方案制定模型

飞机结构战伤抢修的方案,从强度恢复的角度可分为无强度、次强度和等强度修理三种。无强度修理是一种不考虑飞机结构强度的修理,主要用于战伤抢修。使用时,根据战伤的结构和形式,确定某种损伤容限曲线,然后判断损伤特征点的相对位置,若特征点坐标(损伤尺寸-应力坐标系)位于损伤容限曲线以下,则可采用无强度修理方案。

定义相对剩余强度系数  $\eta'$  为构件许用应力/构件实际最大使用应力。显然当  $\eta' > 1$  时,结构强度是富裕的。如果存在大于 1 的整数  $n$ ,使得  $\eta' > n$ ,即结构的实际静强度大于设计载荷要求强度的  $n$  倍,此时就可采用恢复  $1/n$  强度的次强度修理方案。如果上述条件都不满足,则采用等强度修理方案。

基于 ASBDARDSS 模型库运算的实际需要考虑,本文将部件损伤修复方法作为一个单元模型置入模型库中,损伤部件的修理方法作为模型的输出,便于上述各单元模型的调用和运算过程中的辅助判断。

2 ASBDARDSS 模型库的构建

针对飞机结构战伤评估与修理工作的特点,本文对 ASBDARDSS 模型库的构建基于以下原则:①各单元模型以独立可执行程序形式存储;②对单元模型的输入输出格式作约定,定义模型字典;③根据需要,单元模型间可互相调用;④各单元模型算法独立,可单独访问 ASBDARDSS 中相关的数据库和知识库。

ASBDARDSS 模型库中的主要单元模型为:部件损伤修复方法模型;损伤等级判断模型;修复工时计算模型;抢修效能计算模型;抢修方案制定模型。系统的决策模型是各单元模型的有机组合,本文所建模型库是利用顺序语句加上单元模型来表示。

表 1 为本文构建的 ASBDARDSS 模型库及其单元模型的工作逻辑,表中说明了各单元模型的输入输出和模型的算法,以及为实现其算法而对相关数据库和知识规则库的访问。其中,损伤等级判断模型和修复工时计算模型的输入需要调用部件损伤修复方法模型的输出,为算法提供支持。抢修效能计算模型的运算也要调用部件损伤等级和修复工时计算模型的输出搜索匹配相关知识规则,对模型条件做出辅助判断,具体方法见对表的注释部分(\*号部分)。

表 1 ASBDARDSS 模型库的构建及其工作逻辑

单元模型	模型输入	模型输出	模型算法	访问数据库	访问知识库
部件损伤修复方法	损伤系统/部件名、位置、损伤程度	修复方法/历史事实描述	搜索、匹配	损伤类型-修复方法	根据模型输入匹配修复记录
损伤等级判断	损伤信息+修复方法模型的输出	损伤等级	匹配规则、逻辑判断		根据模型输入匹配相关规则给出判断
修复工时计算	部件名+ $T_i$ 、 $S_i$ +修复方法模型输出	修复总工时	线性运算	修理工时	
抢修效能计算	损伤信息+预定任务+要求飞机状态	恢复任务能力的修复概率	线性运算、逻辑判断	任务数据库状态	根据损伤等级和修复工时匹配相关知识辅助判断*
抢修方案制定	损伤部件名、尺寸	修理强度级别	线性运算、逻辑判断	载荷数据库	工艺知识库

\*注:损伤等级为 A、B 时,飞机不可在战场抢修,该模型计算中断跳出;损伤等级为 C 时,若修复总工时超出给定时间,则不予抢修,该模型计算中断跳出,不然则继续;损伤等级为 D 时,不影响飞机的任务能力,恢复任务能力的修复概率为 1。

### 3 模型库的工作流程

模型库根据输入,通过各单元模型的组合、运算输出,为用户提供飞机结构战伤评估与修理决策支持信息。其数据流程见图1。其中损伤信息主要包括以下主题词为代表的信息:①损伤部件名(部位略):蒙皮、长桁、梁、隔框、翼肋、结构支架、导管、操纵拉杆、线束等。

②损伤类型:包括:压坑、鼓动、变形、划伤、擦伤、裂纹、破孔、缺口、烧伤、断裂等。

③损伤程度:使用量化数据表示或以数量值为划分标准的程度概念词等。

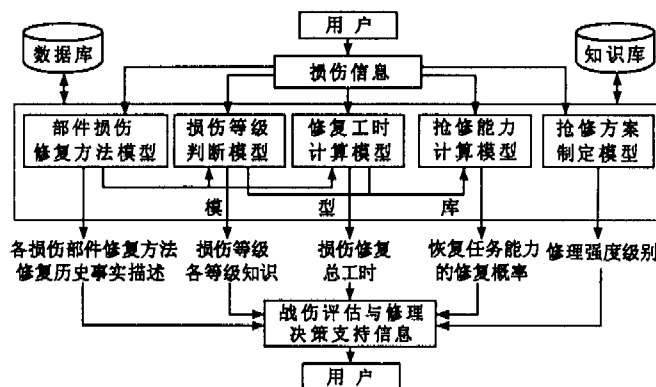


图1 ASBDARDSS 模型库的工作数据流程

### 4 结束语

本文搭建的 ASBDARDSS 中的模型库,能够为飞机结构战伤评估与修理的快速进行提供科学的判断依据及指导信息。

该模型库在运算当中通过各单元模型的调用及嵌套行为实现了新的模型的生成过程。具有如下特点:

- 1) 在某一工作过程中,所用模型并不一定是单一的一个模型,也不一定是或者不完全是数学模型。
- 2) 在使用模型库产生决策支持信息的过程中,采用了定量建模和推理分析相结合的技术。
- 3) 模型生成在人机交互中完成。

#### 参考文献:

- [1] 张建华,周平,侯日立. 飞机结构撞击损伤预测的现状与发展[J]. 空军工程大学学报(自然科学版)2004,5(5):5-8.
- [2] 薛锐,李曙林. 飞机战伤评估与修理决策支持系统研究[J]. 现代电子技术,2003,20(1):40-42.
- [3] 张建华. 飞机战伤抢修工程学[M]. 北京:航空工业出版社,2001.
- [4] 高洪深. 决策支持系统(DSS)[M]. 北京:清华大学出版社,2001.

(编辑:姚树峰)

## Building of the Model Base in ASBDARDSS

LI Shu - lin<sup>1</sup>, HOU Man - yi<sup>1</sup>, LIU Jia - cong<sup>1</sup>, LI Shou - an<sup>1</sup>, LIU Yang<sup>2</sup>

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China; 2. Unit 94906 PLA, Suzhou, Jiangsu 215000, China )

**Abstract:** Some models that constitute the model base of the Aircraft Structure Battle Damage Assessment and Repair Decision Support System (ASBDARDSS) are presented briefly, and then the model base is built according to the requirement of ASBDARDSS. The work logic and the date operation procedure of the model base are analyzed, and finally the chief characteristics of it are given.

**Key words:** decision support system (DSS); model base; aircraft structure battle damage; battle damage assessment and repair (BDAR); battle damage repair