

飞机结构耐久性设计与分析专家系统

赵要武 刘小冬 蒋冬滨 刘文斑

(北京航空航天大学 飞行器设计与应用力学系)

王凡

(成都飞机设计研究所)

摘 要: 为适应现代飞机设计发展的需要,把现有飞机结构耐久性设计与分析的专家知识与经验组织起来,形成具有一定规模的知识库,在大量试验的基础上形成数据库,把原有的设计与分析计算方法形成具有一定功能的计算模块,用 Visual C++ 语言开发出飞机结构耐久性设计与分析专家系统。该系统实现了耐久性分析与设计的标准化,且在某型号飞机耐久性评定中得到初步应用。本文阐述了它的组织结构、功能,并举例演示。

关 键 词: 飞机构件; 耐久性设计; 专家系统**中图分类号:** V 215.5; TP 311.52**文献标识码:** A**文章编号:** 1001-5965(2000)02-0178-04

飞机结构耐久性设计是满足先进飞机的长寿命、高可靠度、低维修成本要求而发展起来的综合技术。在我国飞机耐久性设计领域,由于各个研究单位比较分散,它们的专家知识与经验也各不一样,因此设计的结果肯定不同。美国、日本、英国等发达国家纷纷把专家系统的研制列入国家级重点科研项目^[1],其中 Fracture Mechanics Expert System 是 American Institute of Aeronautics and Astronautics 于 1992 年开发的用于航天飞机设计的专家系统^[2]。目前,我国对耐久性设计已制定出统一的标准^[3],但实施起来仍要花费大量的时间和经费。为改变这一现状,“九五”期间在国防科技预先研究重点项目“飞行器结构强度技术研究”中,投入经费资助开发飞机结构耐久性设计与分析专家系统,以便以后在各个设计单位推广,以取得一定的经济和社会效益。本文在此方面进行了有益的尝试,在 ×× 歼击机耐久性评定中得到初步应用。

1 飞机结构耐久性专家系统的结构模型

1.1 专家系统的思想

专家系统是一种智能计算机程序,它用一定的知识和推理进程去解决通常需要人的知识和经

验才能解决的复杂问题。把专家系统技术应用到某一领域的前提是,该领域有专家、专家系统这个领域研究建造具有专门知识的人机系统的方法和技术。

1.2 耐久性专家系统结构的总体方案

耐久性专家系统由 5 个部分组成:知识库、推理功能、知识获取功能、用户界面和数据库,其相互关系见图 1。

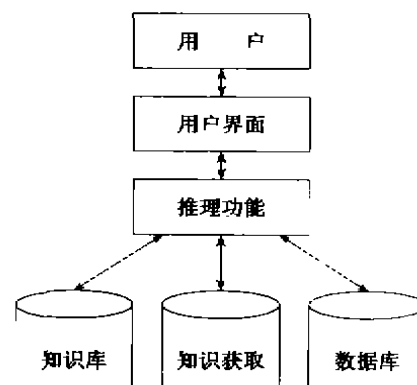


图 1 耐久性专家系统结构总体方案

知识库是专家系统的核心,其中包括与该专家系统所面对的问题相关的事实和启发式知识;经验和诀窍。专家系统开发中最重要的任务是十分细致认真地对专家的知识进行分析,因为专家

收稿日期: 1998-09-09

基金项目: 国家部委基金资助项目

作者简介: 赵要武(1966-),男,河南新乡人,博士后,100083,北京。

拥有经验性的、判断性的知识,这些知识仅仅是直觉和诀窍性的,知识工程师必须根据计算机如何表达这些知识、使用这些知识的要求,将它们转化为知识库的一个个组成部分。

推理功能包括2个部分:知识库管理系统和推理机。知识库管理系统自动控制、扩展、更新知识库中的知识,它根据推理过程的需求去搜索适用的知识,能对知识库中的知识作正确的解释;推理机包括推理知识、控制策略和解释生成器。

知识获取是专家系统提供的一种辅助功能,它帮助知识工程师获取相关专家的知识,使之结构化为知识库和推理机适用的知识。

用户界面是专家系统的另一个关键组成部分,它是用现代流行的在 Win95 和 WindowsNT 操作平台下的开发工具 Visual C++ 开发而成的,它拥有漂亮的用户操作界面,而且可以开发声音和图像配合用户进行操作。

数据库中存放大量各种牌号的飞机材料试验数据,也是耐久性专家系统的重要组成部分。

2 耐久性专家设计与分析系统功能介绍

耐久性专家设计与分析系统是用 Visual C++ 5.0 语言开发的,可以在 Win95 和 WindowsNT 操作系统下安全运行,它拥有漂亮的用户界面,丰富的菜单功能,采用对话框形式实现人机对话。运行耐久性分析与设计专家系统后,在其主菜单上有以下主要功能选项:设计、分析、试验、维护、信息管理等,每个选项都有二级子菜单,它们的功能如下:

- 单击设计菜单,弹出布局与传力、细节设计、接头设计、连接件设计、结构选材、工艺要求、防腐抗腐等子菜单,它们主要是在耐久性设计阶段完成的工作。

- 单击分析菜单,弹出寿命评定、分析方法评定与选取、裂纹萌生法(CIA)、改进的裂纹萌生法(Imp-CIA)、确定性裂纹扩展法(DCGA)、概率断裂力学法(PFMA)、改进的概率断裂力学法(Imp-PFMA)、DFR法、显示曲线等子菜单,它们主要是对所设计的飞机结构进行耐久性计算功能。

- 单击试验菜单,弹出试验大纲制定、试验数据处理等子菜单,它们主要是针对试验前大纲的制定及试验后数据的处理应进行的工作。

- 单击维护菜单,弹出细节检查维修大纲制定、细节维修方案优化、可靠性维修大纲制定等子

菜单,它们的功能是所设计的飞机结构进行维护阶段大纲及方案的制定。

- 单击信息管理菜单,弹出图例库、数据库、知识库等子菜单,它们收集大量的实际设计图例、大量疲劳试验数据及丰富的专家知识。

3 耐久性专家系统演示算例

耐久性专家系统是为一般的工程设计人员应用而开发的,不需要专家的指导,耐久性专家系统的每一步操作都有一对话框,用户可以根据对话框提示来进行正确的计算。为了说明问题,假设用改进的裂纹萌生方法来分析一个结构是否满足耐久性设计的要求,特给出演示算例如下:

- 1) 运行耐久性专家系统程序,出现它的主菜单。

- 2) 选择分析菜单,弹出耐久性专家系统二级菜单。

- 3) 在弹出的菜单上选择寿命评定选项,弹出“分析方法选取”对话框,对话框上有3个组合选项,内容分别为:

- 应用阶段

- ① 初步设计与详细初步设计阶段;

- ② 详细设计阶段;

- ③ 定寿阶段。

- 具备(或可提供的)数据条件

- ① 一种任意谱载下(a, t)数据或相对小裂纹 da/dN , 截止比 v , 门槛值 K_{th} ;

- ② 1种或1种以上应力水平下结构细节模拟件恒幅疲劳试验的(a, t)数据集,材料 $S-N$ 曲线形状参数(三参数的 A, a)及 σ_b (或 σ_c);

- ③ 1种或1种以上应力水平下结构细节模拟件实际谱载试验的(a, t)数据集,材料 $S-N$ 曲线形状参数(三参数的 A, a)及 σ_b (或 σ_c)。

- ④ 2种或2种以上应力水平下结构细节模拟件实际谱载试验的(a, t)数据集。

- 分析结果的要求程度

- ① 分析结果要求一般;

- ② 分析结果精度要求较高。

此对话框要求用户在每个复选框中选择一项,这里选择:

应用阶段:②详细设计阶段。

具备(或可提供的)数据条件:③+④2种或2种以上应力水平下结构细节模拟件实际谱载试验的(a, t)数据集,材料 $S-N$ 曲线形状参数(三参数

的 A, α) 及 σ_b (或 σ_s).

分析结果的要求程度: ②分析结果精度要求较高.

4) 按照上述选择后用鼠标单击对话框的确定按钮, 弹出“从可用方法中选取某一特定方法”对话框, 内容为:

· 可用的分析方法: ① PFMA 法; ② 改进的 PFMA 法; ③ 改进的 CIA 法.

选择③改进的 CIA 法.

5) 选择后用鼠标单击对话框的确定按钮, 弹出“分析参数选取”对话框, 内容为:

· 分析对象对结构安全性的影响

① 很重要;

② 重要.

· 分析对象的机群架次

① 大于或等于 100 架;

② 小于 100 架.

· 材料类型: ① 钢; ② 铝

· 最小边距(mm): 8

· 孔直径(mm): 6

· 设计目标寿命(飞行小时数): 3000

· 最多允许修理的次数: 1

对于有复选项的按照以下选择, 其它参数不变.

分析对象对结构安全性的影响: ① 很重要.

分析对象的机群架次: ② 小于 100 架.

材料类型: ① 钢.

6) 选择后用鼠标单击对话框的确定按钮, 弹出“裂纹萌生法(或改进的裂纹萌生法)细节特性输入”对话框, 内容为:

· 材料有关特性文件

· $a-t$ 数据集及试验应力谱文件

· 分析过载谱文件

· 分析应力区及细节数信息文件

在计算机中找到这些文件并全部输入.

此时, 原始数据选择输入完毕, 可以进行分析计算了. 但在第一次运算前有一个选择经济修理极限 a_e 的原则, 必须同时满足 2 个条件(即取小者):

① 取 $a_e = a_R - \text{塑性区尺寸}$, 其中 a_R 为最大允许修理量, 它必须符合设计手册对最小边距的要求;

② $a_e = 1.25 \text{ mm}$ (损伤容限初始缺陷尺寸).

7) 选择后用鼠标单击对话框的确定按钮, 程序开始第一次运算, 弹出“计算结果”对话框, 内容

为:

· 目标寿命(飞行小时数): 3000

· 分析寿命 τ_e (飞行小时数):

· 分析对应的 a_e (mm):

· 分析结论:

① 如果 $\tau_e > \text{目标寿命}$, 则耐久性设计满足要求;

② 如果 $\tau_e < 40\% \text{ 目标寿命}$, 则耐久性设计不满足要求, 需要重新设计;

③ 如果 $40\% \text{ 目标寿命} < \tau_e < \text{目标寿命}$, 可通过修理满足耐久性要求.

其中, 目标寿命(飞行小时数)是设计应达到的寿命; 分析寿命(飞行小时数)是改进的裂纹萌生法计算出的寿命及此时对应的 a_e (mm), 根据这 2 项, 在对话框中的分析结论中显示①、②或③中的一项. 如果显示的是①或②, 则计算结束; 如果显示的是③, 则还要进行修理, 需接着进行分析计算.

8) 假设分析结论显示的是③, 则还要进行修理, 需重新选取 a_e , 此时 $a_e = a'_R - \text{塑性区尺寸}$ (a'_R 为修理量). 用鼠标单击对话框的确定按钮, 弹出“选取确定修理量的方法”对话框, 内容为:

① 由 $a'_R = \frac{1}{2} a_R$ 确定;

② 由修理工艺规范化确定(例如紧固孔铰孔孔径扩大 1 mm, 2 mm, 3 mm, ..., 对应 $a_R = 0.5 \text{ mm}, 1 \text{ mm}, 1.5 \text{ mm}, \dots$);

③ 根据计算获得(即选择不同的 a_e 进行试算).

这 3 个选项可选择其中任意一项, 假设选择②项, 取 $a'_R = 1 \text{ mm}$.

9) 选择后用鼠标单击对话框的确定按钮, 重新计算修理前经济寿命 τ_e , 确定修理方案, 此时弹出一对话框, 内容为:

· 目标寿命(飞行小时数):

· 分析寿命(飞行小时数):

· 计算分析的 a_e (mm):

10) 用鼠标单击对话框确定按钮, 弹出“维修方案选取”对话框, 内容为:

· 维修时间 τ_R , 小于 τ_e 的最近一次进厂大修时间, 由用户确定并填入;

· 修理范围. 根据各应力区应力水平的差别大小, 维修方便程度选定修第一个或几个应力区细节(专家建议);

· 修理工艺. 暂选原制造工艺(如紧固孔铰孔工艺);

· 选择 $a_c(\text{mm})$, 可取步骤 8) 中所选值.

11) 用鼠标单击对话框的确定按钮, 程序开始重新计算, 弹出“计算结果”对话框. 此时程序计算维修后的经济寿命 τ_c' , 对应的总寿命 $\tau_c^{\text{total}} = \tau_R + \tau_c'$, 有以下几种情况:

① 如果 $\tau_c^{\text{total}} > \text{目标寿命}$, 设计合格, 结束计算;

② 如果 $\tau_R + 1.3\tau_c' > \text{目标寿命}$, 可通过挤压强化满足设计要求, 结束计算;

③ 如果 $\tau_R + 1.3\tau_c' < \text{目标寿命}$, 修改设计或考虑再次修理.

最后根据弹出“计算结果”对话框选择是否再进行 8)、9)、10)、11) 步运算, 直到满足用户需要为止.

4 结 论

耐久性分析与设计和专家系统相结合有许多

优点, 主要有以下几个方面:

1) 使用户节省了时间和资金, 避免了传统的设计部门和专家的评定脱节的情况, 使用户能及时使用该专家系统进行耐久性分析;

2) 专家系统使耐久性分析和设计实现了设计的标准化和文档化;

3) 减少了不同设计部门使用不同程序、不同版本造成的在设计与分析时潜在的错误;

4) 在耐久性分析与设计中得出的结论形成永久性的文档可供以后借鉴;

5) 本耐久性专家系统具有较好的用户界面, 操作简单, 达到了预定要求.

参 考 文 献

- [1] 黄可鸣. 专家系统导论[M]. 南京: 东南大学出版社, 1988.
- [2] Powers E, Elfer N, Casadaban C. Fracture mechanics expert system [R]. AIAA 92-0876. Washington D C: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992.
- [3] 中国航空研究院. 军用飞机疲劳·损伤容限·耐久性设计手册 [M]. 北京: 中国航空研究院, 1994.

Design and Analysis Expert System of Airplane Structure Durability

ZHAO Yao-wu LIU Xiao-dong JIANG Dong-bin LIU Wen-ting

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of Flight Vehicle Design and Applied Mechanics)

WANG Fan

(Airplane Design Institute of Chengdu)

Abstract: In order to satisfy the need of rapid development of modern airplane design, the development process of expert system is presented for airplane structure durability design and analysis with Visual C++ language. This expert system includes knowledge base formed by organizing existed expert's knowledge and expert's experience, experiment database on the basis of many kinds of material experiment, and calculation model formed by calculation manner of original design and analysis. This expert system realizes the normalization of durability design and analysis, and is applied in certain model airplane durability evaluation. This paper presents the system organization structure, its functions and also shows an example and gives the conclusion.

Key words: airplane structural parts; durability design; expert systems